

灌溉工程學

# 灌溉工程學

Irrigation Engineering



行政院農業委員會

行政院農業委員會

中華民國109年5月

# 編者序

農田水利建設為農業發展之基礎，也是農業永續經營重要一環，完善的農田灌溉排水設施，結合網路資通訊及自動控制系統，除對農業生產提供穩定的水量，以確保農業生產外，也可支援其他標的使用。為使農業水資源有效利用，河川溪流水經由渠首工程、導水路、幹支分線、給水路，搭配沉砂池、貯水池、隧道、渡槽、跌水工、虹吸工、暗渠、量水設備、給水門等構造物，將灌溉用水輸配至田間，以供給農作物生長所需，並經由排水渠道排除多餘水量，以保持田間作物良好生長環境。

我國農田水利事業規模，自元、明、清、日據、戰後至今經營，依據本會農業統計年報(107 年度)，我國 17 個農田水利會轄區之灌溉排水渠道長度為 7 萬 1,208 公里，相關構造物為 19 萬 6,889 座，灌溉工程設施數量及種類相當多。有鑑於我國灌溉工程並無教科書籍，農田水利會工程人員於規劃設計時，主要係參考本會特刊新 28 號灌溉排水工程設計(1978)及中國農業工程手冊(1990)等專業書籍，然其出刊年代已久，爰此，特予編製「灌溉工程學」，以提供農田水利會在職人員及有志從事農田水利業務人員甄試或未來國家考試者參閱，亦期望成為未來國家考試命題之參考書籍。

本書「灌溉工程學」屬灌溉工程實務層面，共 14 章，第一章為渠首工程、第二章為明渠、第三章為暗渠、第四章為跌水工、第五章為虹吸工、第六章為渡槽、第七章為隧道、第八章為分水工、第九章為量水設備、第十章為水壩工程、第十一章為管路工程、第十二章為抽水工程、第十三章為生態工程、第十四章為公共工程生態檢核機制；工程編撰之內容，主要包括：「概述(陳述該構造物有那些類型)、水理、設計注意事項(含設計要點、設計準則)、工程設計及實例與相關圖片(陳述該工程特性、地點、建造時間、示意圖)」等，為國內專家學者(參與人員芳名錄，詳如後)參酌本會特刊新 28 號灌溉排水工程設計、中國農業工程手冊難易程度、渠道水力學(謝平城，2014)、渠道水利學(易任，1989)、農田水利會技術人員訓練教材-灌溉排水工程類合訂本(農田水利會聯合會，1996)、Irrigation Engineering(ASAE，1986)及其相關資料，精心編撰適合我國本土化及實用化教材，本書有助於培育農田水利會在職工程人員及有志從事農田水利工程專業人才。

承蒙國內多位專家學者精心編撰與審閱，包括計畫審查之孫委員明德、余委員化龍、鄭委員錦章、許委員銘熙、林委員永德，以及農業工程研究中心承辦，在短期中完成出版，在此謹致謝忱。惟文中疏誤在所難免，尚請先進多予指正，協助找出錯誤，以提供未來增補修正。

# 灌溉工程學

## Irrigation Engineering

### 參與人員芳名錄

| 章        | 章名             | 編撰/審查 | 委員      | 服務機關              |
|----------|----------------|-------|---------|-------------------|
| 第一章      | 渠首工程           | 編撰    | 蕭火炎設計股長 | 屏東農田水利會           |
|          |                | 審查    | 蔡榮興股長   | 嘉南農田水利會           |
| 第二章      | 明渠             | 編撰    | 戴欽興工程師  | 桃園農田水利會           |
|          |                | 審查    | 藍士呈設計股長 | 台中農田水利會           |
| 第三章      | 暗渠             | 編撰    | 戴欽興工程師  | 桃園農田水利會           |
|          |                | 審查    | 藍士呈設計股長 | 台中農田水利會           |
| 第四章      | 跌水工            | 編撰    | 藍士呈設計股長 | 台中農田水利會           |
|          |                | 審查    | 蕭火炎設計股長 | 屏東農田水利會           |
| 第五章      | 虹吸工            | 編撰    | 藍士呈設計股長 | 台中農田水利會           |
|          |                | 審查    | 鄒元燈秘書   | 彰化農田水利會           |
| 第六章      | 渡槽             | 編撰    | 吳水樹工程師  | 南投農田水利會           |
|          |                | 審查    | 徐富城股長   | 嘉南農田水利會           |
| 第七章      | 隧道             | 編撰    | 王泰典教授   | 臺灣大學土木工程學系        |
|          |                | 審查    | 徐富城股長   | 嘉南農田水利會           |
| 第八章      | 分水工            | 編撰    | 余啟鴻工程師  | 彰化農田水利會           |
|          |                | 審查    | 鄒元燈秘書   | 彰化農田水利會           |
| 第九章      | 量水設備           | 編撰    | 周哲正工程師  | 彰化農田水利會           |
|          |                | 審查    | 張順年副研究員 | 農業工程研究中心          |
| 第十章      | 水壩工程           | 編撰    | 蕭火炎設計股長 | 屏東農田水利會           |
|          |                | 審查    | 蔡榮興股長   | 嘉南農田水利會           |
| 第十一章     | 管路工程           | 編撰    | 陳獻顧問    | 農業工程研究中心          |
|          |                | 審查    | 陳明儀組長   | 南投農田水利會           |
| 第十二章     | 抽水工程           | 編撰    | 廖志聰主任   | 雲林農田水利會           |
|          |                | 審查    | 陳懋寬站長   | 屏東農田水利會           |
| 第十三章     | 生態工程           | 編撰    | 陳獻顧問    | 農業工程研究中心          |
|          |                | 編撰    | 黃振昌副研究員 | 農業工程研究中心          |
|          |                | 審查    | 簡大為副工程師 | 新竹農田水利會           |
| 第十四章     | 公共工程生態<br>檢核機制 | 編撰    | 黃振昌副研究員 | 農業工程研究中心          |
|          |                | 審查    | 黃國倉教授   | 臺灣大學生物環境系統工程<br>系 |
| 第一章~第十四章 |                | 複審    | 林永德前主秘  | 行政院農業委員會漁業署       |
|          |                | 複審    | 鄭錦章工程師  | 中興工程顧問社(退休)       |

# 灌溉工程學

## Irrigation Engineering

### 目錄

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 編者序 .....                      | I     |
| 參與人員芳名錄 .....                  | II    |
| 目錄 .....                       | III   |
| 圖目錄 .....                      | XI    |
| 表目錄 .....                      | XVIII |
| 第一章、渠首工程 .....                 | 1     |
| 1.1、概述 .....                   | 1     |
| 1.2、固定堰 .....                  | 6     |
| 1.2.1、設計注意事項 .....             | 6     |
| 1.2.2、工程設計及實例與相關圖片 .....       | 12    |
| 1.2.3、屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰工程 ..... | 14    |
| 1.3、活動堰 .....                  | 14    |
| 1.3.1、設計注意事項 .....             | 14    |
| 1.3.2、工程設計及實例與相關圖片 .....       | 16    |
| 1.3.3、屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰工程 ..... | 17    |
| 1.4、進水口及附屬設備 .....             | 18    |
| 1.4.1、設計注意事項 .....             | 18    |
| 1.4.2、工程設計及實例 .....            | 19    |
| 1.4.3、屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰工程 ..... | 20    |
| 1.5、參考文獻 .....                 | 20    |
| 第二章、明渠 .....                   | 21    |
| 2.1、概述 .....                   | 21    |
| 2.1.1、明渠分類 .....               | 21    |
| 2.1.2、明渠水流類型 .....             | 21    |



|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 2.2、水理 .....                    | 21 |
| 2.3、渠道之外部壓力 .....               | 29 |
| 2.3.1、土壓力 .....                 | 29 |
| 2.3.2、上揚力 .....                 | 29 |
| 2.4、設計注意事項 .....                | 32 |
| 2.4.1、設計要點 .....                | 32 |
| 2.4.2、設計準則 .....                | 32 |
| 2.5、工程設計及實例與相關圖片 .....          | 34 |
| 2.5.1、工程設計 .....                | 34 |
| 2.5.2、桃園農田水利會桃園大圳 U 型複式斷面 ..... | 35 |
| 2.5.3、桃園農田水利會光復圳幹線改善工程 .....    | 36 |
| 2.6、參考文獻 .....                  | 36 |
| 第三章、暗渠 .....                    | 37 |
| 3.1、概述 .....                    | 37 |
| 3.2、暗渠水理 .....                  | 37 |
| 3.2.1、水理態樣 .....                | 37 |
| 3.2.2、水理 .....                  | 37 |
| 3.3、設計注意事項 .....                | 39 |
| 3.3.1、設計要點 .....                | 39 |
| 3.3.2、設計準則 .....                | 39 |
| 3.4、工程設計及實例與相關圖片 .....          | 43 |
| 3.4.1、工程設計 .....                | 43 |
| 3.4.2、桃園農田水利會光復圳二支線箱涵 .....     | 43 |
| 3.4.3、桃園農田水利會蚵殼港圳排水箱涵 .....     | 46 |
| 3.5、參考文獻 .....                  | 46 |
| 第四章、跌水工 .....                   | 47 |
| 4.1、概述 .....                    | 47 |
| 4.2、水理 .....                    | 47 |
| 4.3、設計注意事項 .....                | 47 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 4.3.1、設計要點.....                  | 47 |
| 4.3.2、設計準則.....                  | 48 |
| 4.4、工程設計及實例與相關圖片.....            | 53 |
| 4.4.1、工程設計.....                  | 53 |
| 4.4.2、工程實例與相關圖片.....             | 58 |
| 4.5、參考文獻.....                    | 58 |
| 第五章、虹吸工.....                     | 59 |
| 5.1、概述.....                      | 59 |
| 5.2、水理.....                      | 60 |
| 5.3、設計注意事項.....                  | 60 |
| 5.3.1、設計要點.....                  | 60 |
| 5.3.2、設計準則.....                  | 60 |
| 5.4、工程設計及實例與相關圖片.....            | 62 |
| 5.4.1、工程設計例.....                 | 62 |
| 5.4.2、工程實例與相關圖片.....             | 69 |
| 5.5、參考文獻.....                    | 70 |
| 第六章、渡槽.....                      | 71 |
| 6.1、概述.....                      | 71 |
| 6.2、水理.....                      | 73 |
| 6.3、設計注意事項.....                  | 74 |
| 6.3.1、設計要點.....                  | 74 |
| 6.3.2、設計準則.....                  | 76 |
| 6.4、工程設計及實例與相關圖片.....            | 78 |
| 6.4.1、彰化農田水利會新分南圳渡槽.....         | 78 |
| 6.4.2、嘉南農田水利會南幹線跨越曾文溪渡槽改建工程..... | 79 |
| 6.5、參考文獻.....                    | 80 |
| 第七章、隧道.....                      | 81 |
| 7.1、概述.....                      | 81 |
| 7.1.1、岩石隧道基本力學特性.....            | 81 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 7.1.2、選線與定線.....             | 83  |
| 7.1.3、工址調查.....              | 83  |
| 7.1.4、調查與試驗計畫的擬定及實施.....     | 84  |
| 7.1.5、岩體評級分類.....            | 84  |
| 7.1.6、調查結果整理與報告.....         | 86  |
| 7.2、水理.....                  | 86  |
| 7.2.1、通水量.....               | 86  |
| 7.2.2、斷面設計.....              | 87  |
| 7.3、設計注意事項.....              | 88  |
| 7.3.1、設計要點.....              | 88  |
| 7.3.2、設計準則.....              | 88  |
| 7.4、工程設計及實例與相關圖片.....        | 96  |
| 7.4.1、嘉南農田水利會新烏山嶺引水隧道工程..... | 96  |
| 7.4.2、新竹農田水利會竹東圳隧道整治工程.....  | 100 |
| 7.5、參考文獻.....                | 101 |
| 第八章、分水工.....                 | 103 |
| 8.1、概述.....                  | 103 |
| 8.2、水理.....                  | 103 |
| 8.2.1、溢流分水工.....             | 103 |
| 8.2.2、潛流分水工水理.....           | 108 |
| 8.3、設計注意事項.....              | 109 |
| 8.3.1、設計要點.....              | 109 |
| 8.3.2、設計準則.....              | 110 |
| 8.4 工程設計及實例與相關圖片.....        | 110 |
| 8.4.1、工程設計.....              | 110 |
| 8.4.2、雲林農田水利會林內分水工程.....     | 113 |
| 8.4.3、台中農田水利會白冷圳分水池.....     | 113 |
| 8.5、參考文獻.....                | 114 |
| 第九章、量水設備.....                | 115 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 9.1、概述 .....                      | 115 |
| 9.1.1、各式量水堰.....                  | 115 |
| 9.1.2、各式量水堰相關名詞.....              | 116 |
| 9.2、各式量水堰水理及構造 .....              | 117 |
| 9.2.1、矩形堰.....                    | 117 |
| 9.2.2、標準銳緣梯形堰(撒普利地堰).....         | 118 |
| 9.2.3、標準銳緣三角形堰.....               | 118 |
| 9.2.4、寬頂堰.....                    | 118 |
| 9.2.5、潛堰.....                     | 118 |
| 9.2.6、巴歇爾量水槽.....                 | 119 |
| 9.2.7、定水頭孔口量水門.....               | 121 |
| 9.2.8、潛孔口.....                    | 124 |
| 9.3、設計注意事項 .....                  | 125 |
| 9.3.1、設計要點.....                   | 125 |
| 9.3.2、設計準則.....                   | 128 |
| 9.4、工程設計及實例與相關圖片 .....            | 129 |
| 9.4.1、彰化農田水利會蔴仔埤圳巴歇爾量水槽.....      | 129 |
| 9.4.2、彰化農田水利會路上圳北幹線定水頭孔口量水門 ..... | 130 |
| 9.5、參考文獻 .....                    | 130 |
| 第十章、水壩工程 .....                    | 131 |
| 10.1、概述 .....                     | 131 |
| 10.1.1、前言.....                    | 131 |
| 10.1.2、壩之種類.....                  | 132 |
| 10.1.3、壩型之選擇.....                 | 134 |
| 10.1.4、壩型之比較.....                 | 134 |
| 10.2、水理 .....                     | 136 |
| 10.3、設計注意事項 .....                 | 137 |
| 10.3.1、設計要點.....                  | 137 |
| 10.3.2、設計準則.....                  | 142 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 10.4、工程設計及實例與相關圖片 .....          | 148 |
| 10.4.1、工程設計例 1 .....             | 148 |
| 10.4.2、工程設計例 2 .....             | 149 |
| 10.4.3、桃園及石門農田水利會灌溉水源之石門水庫 ..... | 151 |
| 10.4.4、嘉南農田水利會灌溉水源之烏山頭水庫 .....   | 152 |
| 10.5、參考文獻 .....                  | 152 |
| 第十一章、管路工程 .....                  | 153 |
| 11.1、概述 .....                    | 153 |
| 11.1.1、管路材料種類及特性 .....           | 153 |
| 11.1.2、管路系統型式 .....              | 154 |
| 11.1.3、管路輸配水方式 .....             | 155 |
| 11.1.4、管路之構成(含附屬構造物)及其配置 .....   | 156 |
| 11.2、管路水理設計 .....                | 158 |
| 11.2.1、設計水位 .....                | 158 |
| 11.2.2、設計流速 .....                | 158 |
| 11.2.3、水理計算所用管徑及最大平均流速 .....     | 159 |
| 11.2.4、動水壓(動水位) .....            | 159 |
| 11.2.5、末端餘裕水頭 .....              | 160 |
| 11.2.6、損失水頭之計算 .....             | 161 |
| 11.2.7、水錘壓之計算及其對策 .....          | 164 |
| 11.3、設計注意事項 .....                | 167 |
| 11.3.1、設計要點 .....                | 167 |
| 11.3.2、設計準則 .....                | 168 |
| 11.4、工程實例與相關圖片 .....             | 169 |
| 11.4.1、台東農田水利會鹿野茶區公共管路灌溉系統 ..... | 169 |
| 11.4.2、南投農田水利會大坪頂灌區管路灌溉系統 .....  | 170 |
| 11.5、參考文獻 .....                  | 172 |
| 第十二章、抽水工程 .....                  | 173 |
| 12.1、概述 .....                    | 173 |

|         |                          |     |
|---------|--------------------------|-----|
| 12.1.1、 | 泵之種類與型式.....             | 173 |
| 12.1.2、 | 基本名詞.....                | 175 |
| 12.1.3、 | 泵特性.....                 | 176 |
| 12.2、   | 水理.....                  | 179 |
| 12.2.1、 | 比速與葉輪型式.....             | 179 |
| 12.2.2、 | 揚程.....                  | 180 |
| 12.2.3、 | 抽水量與泵之口徑.....            | 185 |
| 12.2.4、 | 動力.....                  | 185 |
| 12.3、   | 設計注意事項.....              | 187 |
| 12.3.1、 | 設計要點.....                | 187 |
| 12.3.2、 | 泵之選擇.....                | 188 |
| 12.3.3、 | 設計準則.....                | 189 |
| 12.4、   | 工程設計及實例與相關圖片.....        | 191 |
| 12.4.1、 | 設計步驟.....                | 191 |
| 12.4.2、 | 工程設計.....                | 191 |
| 12.4.3、 | 雲林農田水利會北水林分線補助水源抽水站..... | 194 |
| 12.4.4、 | 雲林農田水利會北港支線補助水源抽水站.....  | 195 |
| 12.5、   | 參考文獻.....                | 196 |
| 第十三章、   | 生態工程.....                | 197 |
| 13.1、   | 概述.....                  | 197 |
| 13.2、   | 水理.....                  | 197 |
| 13.3、   | 設計注意事項.....              | 198 |
| 13.3.1、 | 設計要點.....                | 198 |
| 13.3.2、 | 設計準則.....                | 204 |
| 13.4、   | 工程實例及相關圖片.....           | 205 |
| 13.4.1、 | 人行透水鋪面.....              | 206 |
| 13.4.2、 | 架高木棧道.....               | 206 |
| 13.4.3、 | 塊(卵)石護坡.....             | 207 |
| 13.4.4、 | 預鑄式護坡.....               | 207 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 13.4.5、水門及水壩旁魚道.....                 | 208 |
| 13.4.6、生態孤島.....                     | 208 |
| 13.4.7、多孔隙圳床及淺灘設計.....               | 209 |
| 13.4.8、複層綠化與雜生混種.....                | 210 |
| 13.4.9、多樣之水生植物.....                  | 211 |
| 13.4.10、原有老樹保留.....                  | 212 |
| 13.4.11、小結.....                      | 212 |
| 13.5、參考文獻.....                       | 213 |
| 第十四章、公共工程生態檢核機制.....                 | 215 |
| 14.1、概述.....                         | 215 |
| 14.1.1、源起.....                       | 215 |
| 14.1.2、推動辦理歷程.....                   | 215 |
| 14.2、生態檢核作業原則.....                   | 217 |
| 14.2.1、工程計畫核定階段.....                 | 217 |
| 14.2.2、規劃階段.....                     | 218 |
| 14.2.3、設計階段.....                     | 218 |
| 14.2.4、施工階段.....                     | 218 |
| 14.2.5、維護管理階段.....                   | 219 |
| 14.3、生態檢核自評.....                     | 219 |
| 14.3.1、生態資料蒐集、調查及評析原則.....           | 221 |
| 14.3.2、生態保育策略.....                   | 223 |
| 14.3.3、公民參與及資訊公開.....                | 224 |
| 14.4、生態檢核實例.....                     | 224 |
| 14.4.1、嘉南農田水利會路東中排一等2線改善工程.....      | 225 |
| 14.4.2、彰化農田水利會八堡一圳幹線(第二、三期)改善工程..... | 225 |
| 14.5、參考文獻.....                       | 225 |
| 中英名詞對照.....                          | 239 |

# 灌溉工程學

## Irrigation Engineering

### 圖目錄

|  |    |
|--|----|
| 圖 1-1 渠首構造物組成圖.....                    | 1  |
| 圖 1-2 攔河堰構造圖示意圖.....                   | 5  |
| 圖 1-3 基本斷面.....                        | 8  |
| 圖 1-4 基本斷面之修正(卧箕式).....                | 9  |
| 圖 1-5 固定堰斷面.....                       | 11 |
| 圖 1-6 堰上下游水位.....                      | 12 |
| 圖 1-7 基本斷面形狀.....                      | 13 |
| 圖 1-8 屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰斷面圖.....         | 14 |
| 圖 1-9 屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰排砂閘門斷面圖.....     | 17 |
| 圖 1-10 進水口引水量：溢流式進水口(左)、孔口式進水口(右)..... | 19 |
| 圖 1-11 屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰進水口斷面圖.....     | 20 |
| 圖 2-1 矩形斷面圖.....                       | 23 |
| 圖 2-2 梯形斷面圖.....                       | 23 |
| 圖 2-3 緩慢變速定流公式之誘導圖.....                | 27 |
| 圖 2-4 逐步法公式誘導圖.....                    | 28 |
| 圖 2-5 渠道之土壓力.....                      | 29 |
| 圖 2-6 上揚力示意圖.....                      | 30 |
| 圖 2-7 渠道斷面圖.....                       | 31 |
| 圖 2-8 矩形斷面示意圖.....                     | 32 |
| 圖 2-9 梯形斷面示意圖.....                     | 32 |
| 圖 2-10 渠道滲透示意圖.....                    | 34 |
| 圖 2-11 桃園大圳 U 型複式斷面.....               | 35 |
| 圖 2-12 桃園大圳改善前(左)、後(右)相片.....          | 35 |
| 圖 2-13 桃園農田水利會光復圳幹線改善設計斷面圖.....        | 36 |



|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 圖 3-1 暗渠水理.....                 | 38 |
| 圖 3-2 圓形暗渠斷面.....               | 40 |
| 圖 3-3 管涵荷重情形.....               | 41 |
| 圖 3-4 箱形暗渠載重情形.....             | 41 |
| 圖 3-5 車輛分配重.....                | 42 |
| 圖 3-6 車輛通過暗渠涵填土頂部輪重之傳佈.....     | 42 |
| 圖 3-7 矩形暗渠斷面圖.....              | 44 |
| 圖 3-8 暗渠應力計算點示意圖.....           | 45 |
| 圖 3-9 桃園農田水利會光復圳二支線箱涵施工相片.....  | 45 |
| 圖 3-10 桃園農田水利會光復圳二支線箱涵完工相片..... | 45 |
| 圖 3-11 桃園農田水利會蚵殼港圳排水箱涵施工情形..... | 46 |
| 圖 4-1 水躍現象圖.....                | 48 |
| 圖 4-2 水躍長度與 $y_2$ 曲線圖.....      | 49 |
| 圖 4-3 水平護坦上水躍長度(靜水池一、二、三型)..... | 50 |
| 圖 4-4 第二型靜水池尺寸.....             | 50 |
| 圖 4-5 水躍長度.....                 | 50 |
| 圖 4-6 一、二、三型靜水池最小尾水深度.....      | 50 |
| 圖 4-7 第三型靜水池尺寸.....             | 51 |
| 圖 4-8 池檻與終檻高度.....              | 51 |
| 圖 4-9 最小尾水深.....                | 51 |
| 圖 4-10 水躍長度.....                | 51 |
| 圖 4-11 第四型靜水池尺寸.....            | 51 |
| 圖 4-12 水躍長度.....                | 52 |
| 圖 4-13 拋射槽底曲線.....              | 52 |
| 圖 4-14 進出口漸變段.....              | 52 |
| 圖 4-15 垂直式跌水工.....              | 53 |
| 圖 4-16 拋射槽底曲線.....              | 56 |
| 圖 4-17 梯形渠道水面寬(左：上游、右：下游).....  | 57 |
| 圖 4-18 斜坡式跌水工設計示意圖.....         | 57 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 圖 4-19 台中農田水利會南幹線跌水工.....            | 58 |
| 圖 4-20 台中農田水利會葫蘆墩圳跌水工.....           | 58 |
| 圖 5-1 常見倒虹吸工布置類型.....                | 59 |
| 圖 5-2 台中農田水利會白冷圳 1 號倒虹吸工.....        | 70 |
| 圖 5-3 台中農田水利會白冷圳 2 號倒虹吸工.....        | 70 |
| 圖 6-1 新建曾文溪渡槽(嘉南水利會).....            | 71 |
| 圖 6-2 曾文溪渡槽橋梁斷面示意圖.....              | 71 |
| 圖 6-3 渡槽及溢流設施.....                   | 72 |
| 圖 6-4 渡槽上層設木棧道及欄杆.....               | 72 |
| 圖 6-5 預製管路渡槽(北投新幹小給).....            | 75 |
| 圖 6-6 預力鋼筋混凝土渡槽(龍泉圳).....            | 75 |
| 圖 6-7 箱涵渡槽(北投新圳四支線).....             | 75 |
| 圖 6-8 渡槽加蓋(北投新幹小給).....              | 75 |
| 圖 6-9 基礎及地質剖面圖(新分南圳渡槽工程).....        | 78 |
| 圖 6-10 基樁施工.....                     | 79 |
| 圖 6-11 渡槽箱涵結構.....                   | 79 |
| 圖 6-12 南幹線跨越曾文溪渡槽施設完成.....           | 79 |
| 圖 6-13 曾文溪渡槽雙孔箱型橋梁標準斷面.....          | 80 |
| 圖 7-1 二維平面應變條件下圓形隧道開挖後周圍應力狀態變化.....  | 82 |
| 圖 7-2 隧道周圍岩土材料收斂曲線與支撐作用曲線關係.....     | 82 |
| 圖 7-3 常見輸水隧道斷面形狀.....                | 87 |
| 圖 7-4 重力流及壓力流隧道複合斷面例.....            | 87 |
| 圖 7-5 洞門、洞口段及標準開挖支撐段.....            | 89 |
| 圖 7-6 隧道軸線與洞口地形交會型態.....             | 89 |
| 圖 7-7 常見隧道開挖工法.....                  | 90 |
| 圖 7-8 噴凝土支撐功效示意.....                 | 92 |
| 圖 7-9 岩栓支撐功效示意.....                  | 92 |
| 圖 7-10 新烏山嶺引水隧道工址區域地質圖.....          | 97 |
| 圖 7-11 新烏山嶺引水隧道斷面及 BIV 類岩體開撐支撐例..... | 97 |

|  |     |
|--|-----|
| 圖 7-12 東洞口銜接構造物及洞口段施工順序.....               | 98  |
| 圖 7-13 西洞口銜接構造物及洞口段施工順序.....               | 98  |
| 圖 7-14 新竹水利會竹東圳 1 號隧道.....                 | 100 |
| 圖 7-15 竹東圳隧道整治-明挖(左)及挖掘(右)隧道設計標準斷面.....    | 101 |
| 圖 8-1 越過堰之假想流動結構示意圖.....                   | 103 |
| 圖 8-2 明槽分水工：(A)Harvey 型與(B)Jeffries 型..... | 104 |
| 圖 8-3 緩流比率分水.....                          | 105 |
| 圖 8-4 比率分水.....                            | 105 |
| 圖 8-5 急流分水工示意圖.....                        | 107 |
| 圖 8-6 小型孔口示意圖.....                         | 109 |
| 圖 8-7 水門式示意圖.....                          | 109 |
| 圖 8-8 急流分水工設計例圖.....                       | 112 |
| 圖 8-9 雲林農田水利會林內分水工 1/2.....                | 113 |
| 圖 8-10 雲林農田水利會林內分水工 2/2.....               | 113 |
| 圖 8-11 台中農田水利會白冷圳分水池 1 號池.....             | 114 |
| 圖 8-12 台中農田水利會白冷圳分水池 2 號池.....             | 114 |
| 圖 9-1 各式量水堰.....                           | 116 |
| 圖 9-2 標準不收縮矩形堰.....                        | 117 |
| 圖 9-3 標準收縮矩形堰.....                         | 117 |
| 圖 9-4 標準銳緣梯形堰.....                         | 118 |
| 圖 9-5 寬頂堰.....                             | 119 |
| 圖 9-6 潛堰.....                              | 119 |
| 圖 9-7 中、小型巴歇爾量水槽尺寸圖.....                   | 120 |
| 圖 9-8 定水頭孔口量水門全視圖.....                     | 123 |
| 圖 9-9 定水頭孔口量水門剖面圖.....                     | 123 |
| 圖 9-10 標準矩形潛孔口圖.....                       | 125 |
| 圖 9-11 彰化農田水利會荊仔埤圳巴歇爾量水槽.....              | 130 |
| 圖 9-12 彰化農田水利會路上圳北幹線定水頭孔口量水門.....          | 130 |
| 圖 10-1 壩之各部名稱.....                         | 131 |

|   |     |
|---|-----|
| 圖 10-2 水庫蓄水分區 .....                             | 137 |
| 圖 10-3 上頂力分析圖 .....                             | 144 |
| 圖 10-4 混凝土重力壩之基礎壓力 .....                        | 145 |
| 圖 10-5 設計例 1 壩體 .....                           | 149 |
| 圖 10-6 設計例 2 壩體 .....                           | 150 |
| 圖 10-7 石門水庫大壩近況 .....                           | 152 |
| 圖 10-8 烏山頭水庫大壩近況 .....                          | 152 |
| 圖 11-1 開放式管路示意圖 .....                           | 155 |
| 圖 11-2 半封閉式管路示意圖 .....                          | 155 |
| 圖 11-3 封閉式管路示意圖 .....                           | 155 |
| 圖 11-4 自然壓方式 .....                              | 158 |
| 圖 11-5 抽水機輸送方式 .....                            | 158 |
| 圖 11-6 水力坡降與減壓設施 .....                          | 160 |
| 圖 11-7 水力坡降線與管路管頂之關係 .....                      | 160 |
| 圖 11-8 末端餘裕水頭 .....                             | 160 |
| 圖 11-9 水理計算之概念 .....                            | 161 |
| 圖 11-10 鹿野茶區灌溉系統 3,000 噸蓄水池(左)、50 噸蓄水箱(右) ..... | 170 |
| 圖 11-11 南投農田水利會大坪頂灌區管路輸水責任分界點架構圖 .....          | 171 |
| 圖 11-12 南投農田水利會大坪頂灌區管路輸水用水自動監控系統 .....          | 171 |
| 圖 12-1 渦卷式泵 .....                               | 173 |
| 圖 12-2 輪機式泵 .....                               | 174 |
| 圖 12-3 輻流式泵 .....                               | 174 |
| 圖 12-4 混流式泵 .....                               | 175 |
| 圖 12-5 軸流式泵 .....                               | 175 |
| 圖 12-6 泵管路圖 .....                               | 175 |
| 圖 12-7 泵特性曲線 .....                              | 177 |
| 圖 12-8 各種泵 Q-H 特性 .....                         | 177 |
| 圖 12-9 各種泵 Q-Ls 特性 .....                        | 177 |
| 圖 12-10 各種泵 Q- $\eta_p$ 特性 .....                | 178 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 圖 12-11 揚程曲線.....                     | 178 |
| 圖 12-12 軸動力曲線.....                    | 178 |
| 圖 12-13 效率曲線.....                     | 179 |
| 圖 12-14 比速與葉輪之形狀示意圖.....              | 179 |
| 圖 12-15 泵的揚程.....                     | 180 |
| 圖 12-16 泵.....                        | 180 |
| 圖 12-17 豎軸泵的揚程.....                   | 181 |
| 圖 12-18 最高效率點 $\sigma$ 與比較迴轉數的關係..... | 184 |
| 圖 12-19 泵之有效吸入水頭.....                 | 184 |
| 圖 12-20 泵之效率.....                     | 186 |
| 圖 12-21 泵型式之選定表.....                  | 188 |
| 圖 12-22 泵之設計流程圖.....                  | 191 |
| 圖 12-23 抽水工程計算例.....                  | 192 |
| 圖 12-24 北水林分線補助水源抽水站.....             | 194 |
| 圖 12-25 北港支線補助水源抽水站平面及側視圖.....        | 195 |
| 圖 12-26 北港支線補助水源抽水站.....              | 195 |
| 圖 13-1 與環境相調和之設計檢討.....               | 199 |
| 圖 13-2 砌石水路檢討事項之範例.....               | 199 |
| 圖 13-3 連續性確保所需考量.....                 | 200 |
| 圖 13-4 圳路旁之人行步道以連鎖磚透水鋪面施作.....        | 206 |
| 圖 13-5 架高木棧道提供人類觀賞動線又不干擾其他生物走廊.....   | 206 |
| 圖 13-6 砌卵石護坡屬多孔隙生態環境.....             | 207 |
| 圖 13-7 預鑄式鋼筋混凝土護坡降低碳排.....            | 207 |
| 圖 13-8 制水門旁魚梯提供生物迴遊.....              | 208 |
| 圖 13-9 利用魚梯補償制水門對生態所造成的影響.....        | 208 |
| 圖 13-10 圳路上生態孤島有助於棲地營造.....           | 209 |
| 圖 13-11 生態孤島複層綠化與雜生混種.....            | 209 |
| 圖 13-12 圳路以拋石創造多樣化水流.....             | 209 |
| 圖 13-13 多孔隙淺灘圳床及拋石工法.....             | 210 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 圖 13-14 多孔隙圳床設計-提供棲息、躲藏、覓食的環境 ..... | 210 |
| 圖 13-15 複層綠化灌木與喬木相間 .....           | 210 |
| 圖 13-16 水圳旁兩側步道的雜生混種 .....          | 211 |
| 圖 13-17 多層次複層綠化示意圖 .....            | 211 |
| 圖 13-18 綠色圳道浮水植物漫佈 .....            | 211 |
| 圖 13-19 豐富多樣性的水生植物 .....            | 212 |
| 圖 13-20 以迴避做法保有原地生長的喬木 .....        | 212 |
| 圖 14-1 生態檢核各階段作業流程圖 .....           | 217 |
| 圖 14-2 生態關注區域圖套疊 .....              | 222 |
| 圖 14-3 生態保育 4 項策略 .....             | 224 |

# 灌溉工程學

## Irrigation Engineering

### 表目錄

|  |     |
|--|-----|
| 表 1-1 計畫洪水量與閘門跨徑.....  | 6   |
| 表 1-2 不同基礎之可容許承载力.....   | 7   |
| 表 1-3 溢流堰流量係數表.....  | 10  |
| 表 2-1 Ganguillet-Kutter 氏公式之 n 值.....  | 25  |
| 表 2-2 明渠最大容許流速.....  | 33  |
| 表 2-3 不同土質之 C 值(最小容許流速).....   | 33  |
| 表 3-1 不同入口形狀之 $f_e$ 與 C 值關係表.....  | 39  |
| 表 3-2 $\frac{H}{D}$ 所對應 $\frac{Q}{D^{5/2}}$ 與 $\frac{Q}{d^{3/2}}$ 關係表( $f_e = 0.5$ 時)..... | 39  |
| 表 3-3 方形暗渠在各臨界點之力矩、推力及剪力係數.....  | 44  |
| 表 3-4 2m×2m 暗渠計算表.....   | 44  |
| 表 5-1 圓形渠道斷面水深直接計算(只截錄範例使用值).....  | 68  |
| 表 7-1 新烏山嶺引水隧道細部設計標準開挖支撐表.....   | 98  |
| 表 7-2 新烏山嶺引水隧道細部設計岩體類別與地質強度指數關係.....   | 99  |
| 表 7-3 新烏山嶺引水隧道開挖支撐數值模擬分析參數例.....   | 99  |
| 表 7-4 竹東圳隧道整治工程歷年完成隧道一覽表.....  | 101 |
| 表 9-1 潛堰係數 n.....  | 119 |
| 表 9-2 試驗流量公式表.....   | 121 |
| 表 9-3 中、小型巴歇爾量水槽各部分尺寸表.....  | 122 |
| 表 9-4 潛孔口堰箱尺寸表.....  | 124 |
| 表 10-1 求算靜水壓之水庫水位.....   | 143 |
| 表 10-2 壩之設計震度.....   | 144 |
| 表 11-1 農業管路管材及其規格與特性一覽表.....   | 153 |
| 表 11-2 設計流速之範圍.....  | 158 |
| 表 11-3 容許最大流速.....   | 159 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 表 11-4 流速係數 C 值 .....               | 163 |
| 表 11-5 負壓之防止對策 .....                | 166 |
| 表 11-6 上昇壓之防止對策 .....               | 167 |
| 表 11-7 南投農田水利會大坪頂灌區管路輸水工程各項要素 ..... | 171 |
| 表 12-1 三相感應電動機於 60HZ 之轉數 .....      | 176 |
| 表 12-2 泵之口徑與效率 .....                | 176 |
| 表 12-3 粗糙係數 .....                   | 182 |
| 表 12-4 閥類之損失係數 .....                | 182 |
| 表 12-5 地面高度與氣壓之關係 .....             | 183 |
| 表 12-6 水溫與飽和蒸汽壓力之關係 .....           | 183 |
| 表 12-7 泵口徑與吸入揚程之界限 .....            | 185 |
| 表 12-8 原動機 $\alpha$ 值 .....         | 186 |
| 表 12-9 傳動方式 $\eta_t$ 值 .....        | 186 |
| 表 13-1 水邊植物群落之功能 .....              | 203 |
| 表 13-2 柯林湧泉圳具綠色內涵之思維與作法 .....       | 213 |
| 表 14-1 生態檢核自評各階段需填具內容 .....         | 220 |
| 表 14-2 生態關注區域圖套疊 .....              | 221 |





# 第一章、渠首工程

## 1.1、概述

在灌溉系統中，經由河道、湖泊或蓄水池，引水導入用水路而建造之構造物稱為渠首工(Head Works)，渠首工除了攔河堰外，還有一個將水引入圳道的設施，又稱為圳頭工。渠首工分為「自然引水渠首工」及「攔河堰引水渠首工」二種型式。渠首工主要構造示如圖 1-1 渠首構造物組成圖。

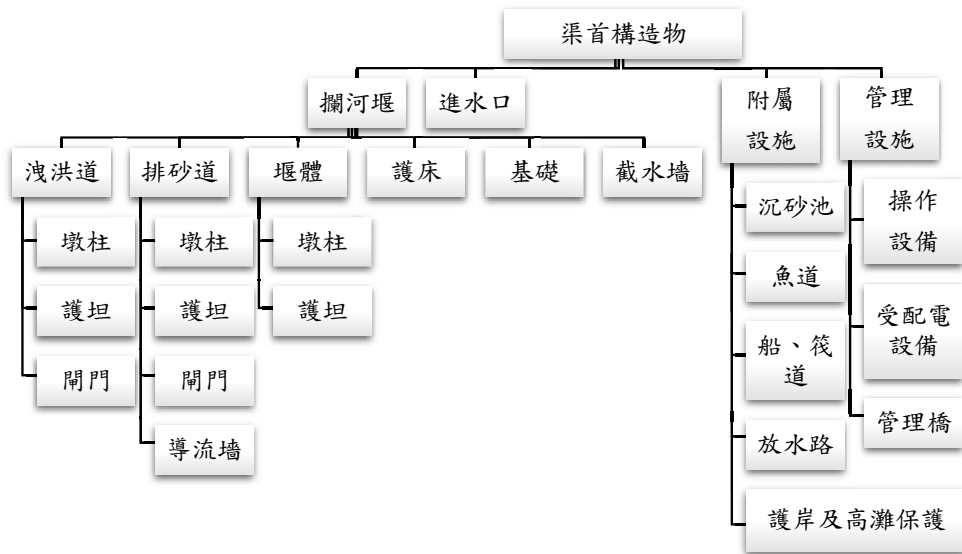


圖 1-1 渠首構造物組成圖

一般渠首工程設計前準備作業大致如下所示：

### 1. 調查計畫

#### (1). 河性調查

- A. 流況：由水位流量歷線或流況表推估出豐水流量、平水流量、低水流量、枯水流量、年平均流量及灌溉期平均流量等。
- B. 河道：含河床質、河道坡降、綫線調查、感潮河段鹽分侵入調查等。
- C. 河床形態：含改變河床形態之水深、水位、河床高程、流速等因素。
- D. 河川平面形態：依直線河川(設置進水口應考慮配合設施、保養維護等)、辮狀河川(不利引水及防洪等工程設置)、蜿蜒河川(凸岸處沙洲移動度攸關蜿蜒穩定情形，決定進水口之選定)等檢討配置。
- E. 河川合流點之淤積型態：河川合流時河床移動與水流運動狀況複雜、流路不穩，下游不宜設置渠首工。

F.輸砂量：含採樣、估算公式等(依河川輸砂量資料方能決定渠首工進水口門檻底高程及沉砂池之排砂方法、次數等)。

(2).對相關水利工程影響之調查

A.防洪工程：計畫渠首地點已有河川治理計畫者，不得抵觸計畫洪水量/洪水位、計畫堤線、堤防斷面、堤頂標高、計畫河道斷面等資料；尚無河川治理計畫者，應蒐集河川主管機關相關資料配合辦理。

B.至於本計畫對上游排水，堤防、橋梁、其他構造物以及上下游河川利用之影響等均應調查。

(3).基礎地質調查

A.地面地質勘查：調查地層成層狀態(走向及傾斜)、節理、風化帶及風化岩、斷層等。

B.地下探查：有地球物理探查法、鑽探及試挖、承载力試驗、現場透水試驗、打樁試驗、板樁打擊試驗、舊河道調查及地下水調查等。

(4).工程施工有關事項調查

包含相關氣象、水文，工程材料及施工機械，施工材料、機械之搬運路徑，施工用動力等。

(5).測量

A.平面測量：

範圍：上游 1.5 倍河道蜿蜒長度，下游 1.0 倍河道蜿蜒長度。(蜿蜒有關定義請閱中國農業工程手冊：農業水利之部(1990)II-29 之圖 1-12 及表 1-1)

比例尺：1/1000~1/3000，渠首工附近詳細測量 1/200~1/500。

等高線：河床 0.2m~0.5m，其他 1.0m。

B.縱橫斷面測量：

範圍：上下游約 2.0km。

比例尺及間隔：渠首工設計位置上下游各 100m 河段，每不超過 20m 測一橫斷面，其比例尺橫 1/200~1/500，縱 1/100~1/200，其餘河段間隔 200m 一斷面，其比例尺縱 1/100，橫 1/1000~1/3000，至於縱斷面比例尺為 1/500。

C.其他臨時設施，用地、補償範圍測量：擋水設施，混凝土有關設備，施工道路，工程用粒料之採取等即需測量，比例尺 1/200~1/500 之平面圖，等高線與土方計算所用縱橫斷面仍如上述辦理。

## (6).其他關連事項調查

包括相關雨量資料，潮位、潮汐資料以及生態環境等調查。

## 2.渠首位置之選定

### (1).就工程費條件：

- A.為減少導水路工程費及其維護管理費，渠首以最接近受益區為宜。
- B.可得構造上之安定且工程費低廉，如河床上有良好之岩盤露頭處。

### (2).就水理條件：

- A.在直線河段，應選在流心靠岸且穩定，洪水過後河床變化較小處。
- B.選在彎曲河段時，則應設進水口於凹岸無砂礫淤積之處。
- C.因攔河堰提高之水位對上游兩岸土地、橋梁、河防溝造物之影響最小處。
- D.現有河防構造物對擬建渠首工無重大影響處。

### (3).就維護管理條件：

- A.計畫引水位之決定應考慮沉砂池自然排砂所需要之水頭。
- B.為防砂進渠之需要，進水口前流速限制在 0.2m/sec。
- C.進水口門檻底高程應在最大洪水深 1/6(自河底起算)以上處。

## 3.設計流量與水位

(1).渠首設計引水量：需水量推估，以計畫最大引水量為設計基準。

### (2).渠首設計水位：

#### A.符合用水人需要而決定之水位：

- a.供水區最高處用水人所需最低水頭標高，如灌區最上游端水田灌溉水位或噴灌最低水壓標高。
- b.供水區計畫最大引水量。
- c.導水路起點水位(係由輸水系統最末端水位向上游推算而得)
- d.導水路起至進水口起點間之全部損失水頭。
- e.進水口起各項損失水頭，如流入水頭、攔汙柵及橋墩水頭損失等。

#### B.符合防砂及排砂功能需要之水位：

- a.為防止推移載流入進水口，進水口前接近流速宜小於推移河床質 0.3mm 以上顆粒之啟動速度。亦即攔河堰上游河道接近流速宜小於 0.4m/sec。

- b.洪水時仍須取水時，進水口門檻(intake sill)高程，對推移載是否有決定性影響，其門檻高程應距河底約最大洪水深之 1/6 處。
  - c.排砂所需要之閘前水位在急流河川時此水位約略相當於進水口門檻高程，而在緩流河川，則可能相當於設計引水位。
  - d.需要設置沉砂池時(主要在洪水期仍需引水之進水口)，引水水位須考慮重力排砂所需水頭。
- (3).設計洪水量及洪水位之決定：渠首係興建於河川區域內之構造物，且攔河堰因係橫越河川斷面而興建，故攔河堰本身不但需要耐洪，且亦不可影響河防、河道及上下游兩岸之安全。因而其興建應符合水利法，河川管理規則等規定。

#### 4.佈置

- (1).引水方式：有引自水庫、池塘或河川直接引水之自然引水方式，及設攔河堰提高水位引水方式二種，須考慮河川、地形、地質等條件慎選其方式。
- (2).進水口之位置
- A.進水口應設在緊接攔河堰之上游豁線處。
  - B.原則上應避免兩岸均設進水口分別引水，而宜由一岸引水後以倒虹吸管輸送對岸之需要水量，且應先進行水工模型試驗。
  - C.直線段水流因引水或分流而改變流向時，將產生離心力所形成副流(secondary flow，或稱二次流)，該副流產生螺旋狀流動，形成螺旋流(helicoidal flow)的運動現象，該運動現象得以減少進水口前泥砂淤積。
- (3).引水角度：進水口前接近流速越大，進水角度應越小，以堰攔河引進大量河水時，引水角之大小對推移載之進渠量影響較小，但引水量僅佔河川流量之小部分時，仍以小角度引水為宜，例如將進水口設於凹岸，並盡量使引水方向與主流彎曲正切。
- (4).佈置：因實地條件之限制，只能在直線段河道上設進水口時，則宜佈置渠首工使其能在渠首自然產生螺旋流。
- (5).攔河堰型式與堰軸線方向：堰軸線與河川垂直，對工程費、排砂道排砂功能之發揮有利，故原則上應與河川垂直設置攔河堰。
- (6).沉砂池、魚道、放水路等
- A.沉砂池宜設於進水口旁渠道起點附近，並有充分之排砂水頭。
  - B.魚道原則上應設於排砂道旁以利魚類之溯游。

(7).堰頂標高之決定

A.決定堰頂標高應考慮因素：堰頂(活動堰閘門頂，或固定堰堰頂)標高通常為設計引水位加必要之出水高。

B.根據設計引水位所得之堰頂標高：

a.堰頂標高=(設計引水位+流入水頭損失)+出水高

出水高=波浪高+堰頂摩損高。

b.活動堰與固定堰混合型時，原則上採用同一標高或固定堰頂稍高於活動堰頂。

c.活動堰與固定堰之混合型設於河川上游狹窄河段且無沖刷河床之虞時，固定堰頂可稍低於活動堰頂。

(8).活動堰閘門底檻高之決定：高程不適當之門檻底除導致淤砂問題外，亦可能提高洪水位而抵觸河川治理計畫。為免於門檻前淤砂，攔河堰之興建應避免導致流況之劇烈變化，同時採用閘門底檻等於或稍高於攔河堰完工後綫河床達平衡坡降時之河床高。

(9).活動堰長度之決定

A.應考慮事項：攔河堰之全長為固定堰與活動堰(包括洩洪道、排砂道、魚道)長度之和。

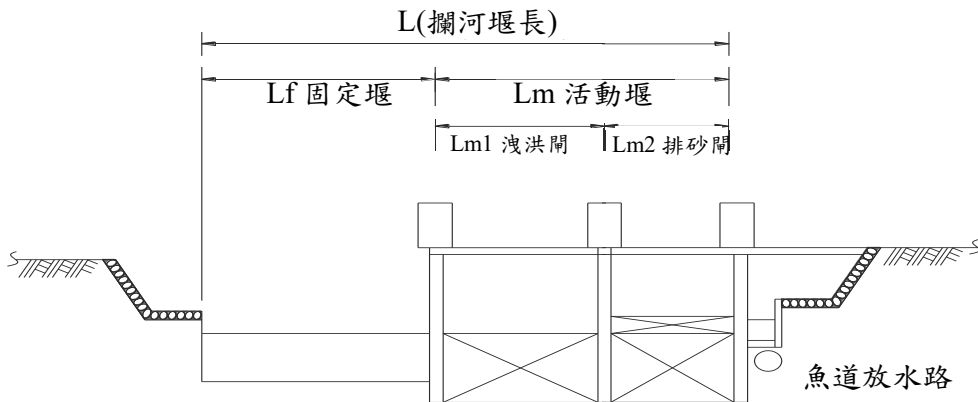


圖 1-2 攔河堰構造圖示意圖

B.計畫洪水量與閘門跨徑：原則上，活動堰閘門跨徑可根據計畫洪水量採用如表 1-1 第 2 欄。如兼用為排砂閘時，其跨徑可縮小如表 1-1 第 3 欄。

C.混合堰(固定堰與活動堰)壅水高計算：須混合設置固定堰與活動堰時，則應以可容許抬高水位範圍內決定固定堰與活動堰之長度比。且應考慮兩岸已有堤防高度，兩岸排水水位及淹沒地。

表 1-1 計畫洪水量與閘門跨徑

| 計畫洪水量(cms)  | 跨徑長(m) | 兼用為排砂閘閘門跨徑(m) |
|-------------|--------|---------------|
| 小於 500      | 15 以上  | 12.5 以上       |
| 500~2,000   | 20 以上  | 12.5 以上       |
| 2,000~4,000 | 30 以上  | 15 以上         |
| 4,000 以上    | 40 以上  | 20 以上         |

(10).設置攔河堰對河道之影響：決定攔河堰底標高時，須先評估堰址將來之安定河床高程。為此須先調查現況河床是否在平衡狀態，降低狀態或上昇狀態，隨後檢討興建攔河堰後或實施河川治理工程後，攔河堰上下游河床之變動情形。

## 1.2、固定堰

固定堰顧名思義在構造上為固定在河床上而無可動構造物之堰體，因此在結構上為堰體之骨幹與主體，同時在管理上亦因無可動堰之操作構造，而無管理操造之繁雜。攔河堰斷面當視築造地點、地形、地質與水理條件而異，固定堰通常均以圬工或混凝土構造物如塊石混凝土、鋼筋混凝土建造，以求其穩定、耐磨及堅牢，足以支撐上下水壓及水流衝擊之永久性構造物。

### 1.2.1、設計注意事項

#### 1.2.1.1、設計要點

1.堰頂標高與堰底標高：

A.堰頂標高=(進水口設計引水位+流入水頭損失)+出水高

B.堰底標高

- a.築堰於岩盤上時，以上游截水牆之下游側堰體底，定為堰底標高，堰高即為堰頂標高與堰底標高之差。
- b.築堰於滲透性基礎上時，則需再檢討防止滲透流、沖刷、上揚力、湧砂及基礎承載等因素。

2.堰體斷面：

- (1).斷面形狀通常以卧箕式(Ogee)或梯形狀設計斷面，再修正溢流壩面使能符合水簾形狀，並修正下游端曲線俾能發生良好之水躍現象。
- (2).溢流量：依不同溢流條件分別評估計算。

(3).作用於堰體之外力：

- A.堰體自重：堰體混凝土之自重宜實測使用粒料以決定該比重，一般以 2.3 計算為安全，但亦有使用大比重之粒料而最佳顆粒分佈之粗粒料使比重大增而可得 2.35~2.50 之單位重。其他一般假定鋼筋混凝土 2.4、水泥砂漿 1.70、砂 1.80 計算。
- B.靜水壓與動水壓：靜水壓應依完全溢流及不完全溢流時分別計算，按上下游最大水位差之靜水壓檢討設計斷面之穩定性。堰高低時可簡化計算，而忽略地震影響之動水壓，如流速大時，理論上應有相當於 2 倍  $V^2/2g$  之靜水壓作用，但如與淤砂作用之土壓合併考慮時，可不予計算。
- C.地震力：依內政部「建築物耐震設計規範及解說」剛性結構物之設計地震力計算。
- D.淤積土砂：靜水壓與淤砂壓力同時存在將合併考慮，淤砂深度依堰體之情況酌予假定，一般以淤積至堰頂應屬安全。
- E.上頂力：上頂力應假定加計流速水頭之水深作用於堰底基面，而上頂力之大小以上游與下游水深乘以上頂力係數所成之梯形荷重作用之。在攔河堰未施設與蓄水壩同等之減少上頂力係數之措施前，一般均為安全計上頂力係數為 1.0。
- F.基礎承载力：不同土壤質地有不同容許承载力，如下表 1-2 所示。

表 1-2 不同基礎之可容許承载力

單位：ton/m<sup>2</sup>

| 基 礎    | 可容許承载力  | 基 礎      | 可容許承载力  |
|--------|---------|----------|---------|
| 軟坩土與粘土 | 1.4~4.0 | 粗 砂      | 30      |
| 濕 坩 土  | 10~20   | 礫 與 粗 砂  | 40~55   |
| 軟 粘 土  | 10~15   | 礫與粗砂之固結層 | 50~60   |
| 密而硬的粘土 | 20~25   | 軟 岩      | 70~100  |
| 壓實粘土與砂 | 20~30   | 良 質 岩 盤  | 200~400 |
| 濕 砂    | 20      | -        | -       |

(4).穩定檢核：

- A.針對堰趾之傾倒檢核。
- B.沿堰底座滑動檢核。



C. 針對堰底座沉陷檢核。

3. 滲透性基礎上固定堰：

- (1). 堰體斷面決定方式如 2. 所述。
- (2). 為防止堰下游河床之沖刷，應設置消能池、護床工等。
- (3). 消能池需有充分重量足以抵抗上頂力。
- (4). 為防止沿基礎滲流而發生之管湧現象，需有充足之滲透路徑長度。
- (5). 河床覆蓋層基礎承载力評估。

4. 護坦：

(1). 下游護坦

A. 下游護坦長度：下游護坦除須防止越流水淘刷下游河床外，應有足夠長度以供消能。通常先設計消能池規模與長度再檢討其滲透路徑長。

B. 護坦厚：下游護坦厚度應足以抵抗上頂力。

- (2). 上游護坦：上游護坦係用於防止堰上游河床之淘刷，以確保堰體安全。堰體高度為 2~3 公尺以上而上游有淤積可能時可不設置。
- (3). 護床拋石：為避免溢流底層之湍急水流淘刷河床，護坦通常加設砥柱、尾檻及護床拋石。

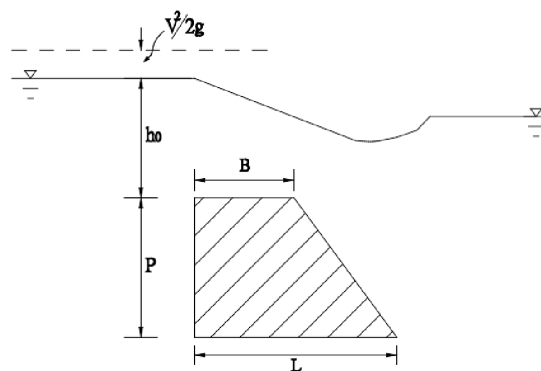
1.2.1.2、設計準則

1. 堰頂出水高，依設計規模與需求訂定之。

2. 堰體斷面

- (1) 堰體橫斷形狀，上游面採用垂直面或接近垂直之斜面，下游面採緩坡面(1:0.8~1.0)，其坡度應滿足安定條件。

A. 基本斷面



1-3 基本斷面圖

B.基本斷面之修正：依據安定分析具有充分安定之斷面應再修飾符合水理之良好形狀，堰頂上游部份宜為橢圓形或半圓形亦可。下游部份宜拋物線，而以圓滑之曲線連接下游面，堰趾以堰高  $Df$  之  $1/2\sim 1/3$  為半徑，與下游靜水池或護坦以切線連接之。

a.堰頂上游

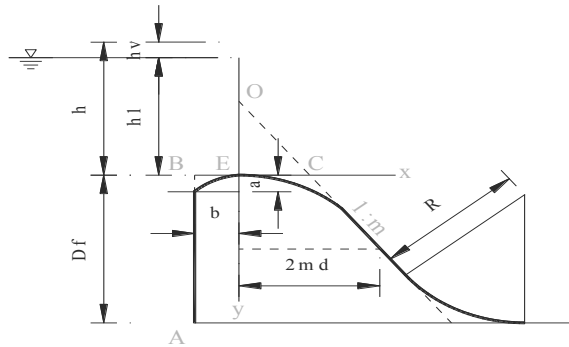


圖 1-4 基本斷面之修正(卧箕式)

以  $h = h_1 + h_v$  及下式  $a$ 、 $b$  值，所形成之橢圓形曲線。

$$a = 0.125h \cdot b = 0.28h \dots \dots \dots (1-1)$$

b.堰頂下游

有多種修正斷面，原則上堰面宜與水脈之軌跡一致，而為  $x^2=2hy$  之拋物線，其  $a$  值宜大於 1.78 而連接下游面，因此，為簡化將由  $E$  點之垂直線與下游面  $m$  之延長線之交點為  $O$ ，使  $OE=d$ ，則曲線方程式為，

$$x^2 = 4m^2 dy \dots \dots \dots (1-2)$$

而由堰頂下降一段距離與下游面連接，此時應受

$$4 \frac{d}{h} m^2 > 1.78 \dots \dots \dots (1-3)$$

之限制，又堰頂設一寬度時  $E$  點可酌予水準延長之。

c.堰趾

除非小流量良好岩盤基礎之低堰以外，溢流堰之堰體坡趾部份水脈落下處使水流偏向水平方向之設施，其目的為防止水之跌落衝擊力所發生之沖刷。曲線以堰高之  $1/2\sim 1/3$  為半徑。為使承水池充分有效外應使曲線之切線相切地盤線為宜。而堰體高度越高，溢流量越多，承水池之半徑宜擴大，使與岩盤之接觸點不設計急劇之變化，因此其半徑依岩盤之良否而異，在岩質較差或砂礫地盤中堰下游應設防止沖刷設備之必要。

(2)溢流量

A.一般公式

$$\text{無控制堰頂 } Q = CLH_0^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{閘門控制堰頂 } Q = 2/3\sqrt{2g}CL(H_1^{\frac{3}{2}} - H_2^{\frac{3}{2}})$$

式中：Q=流量(cms)；C=流量係數；H<sub>1</sub>=堰上游水頭；H<sub>2</sub>=閘門開度；L=堰有效長(m)。

$$L = L' - 2(NK_p + K_a)H_e$$

式中：L=有效堰長；L'=總堰長；N=橋墩數；K<sub>p</sub>=橋墩收縮係數；K<sub>a</sub>=橋臺收縮係數；H<sub>e</sub>=堰上總水頭(含流速水頭)(m)。

B.簡易公式

a.  $h_o \leq \frac{2}{3}H_0$ 時，採自由流公式  $Q = mbH_0\sqrt{2gH_0}$

b.  $h_o \geq \frac{2}{3}H_0$ 時，採潛流公式  $Q = m'bh_2\sqrt{2g(H_0 - h_2)}$

c.堰頂寬大於  $h_o$ ，或堰上游河床淤高至堰頂時

$$h_o \leq \frac{2}{3}H_0 \text{時， } Q = 1.76H_0^{\frac{3}{2}}$$

$$h_o > \frac{2}{3}H_0 \text{時， } Q = 0.95bh_2\sqrt{2g(H_0 - h_2)}$$

表 1-3 溢流堰流量係數表

| 堰面坡度                          | 自由流係數 m                  | 潛流係數 m' |
|-------------------------------|--------------------------|---------|
| 下游堰面坡度小於 3/5<br>(上游壩面為垂直~3/4) | $0.31+0.23\frac{h_o}{P}$ | 2.6     |
| 下游堰面坡度=1:1<br>(上游壩面為垂直~3/2)   | $0.29+0.32\frac{h_o}{P}$ | 2.6     |
| 下游堰面坡度=2/3<br>(上游壩面為垂直~3/1)   | $0.28+0.37\frac{h_o}{P}$ | 2.6     |

(3).作用於堰體之外力

計算堰體自重將梯形斷面分割為三角形與長方形以期計算簡便，如圖 1-5 堰體比重為  $\gamma$ ，水之單位重量為  $W_o$ ，堰體之自重為  $W$ ，分割之各部份為  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ ， $n=\tan\beta$ ， $m=\tan\alpha$ ，則各自重之作用點各圖形之重心。

$$W_1 = W_o\gamma B_1 D_f, W_2 = \frac{1}{2} W_o\gamma m D_f, W_3 = \frac{1}{2} W_o\gamma n D_f^2,$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

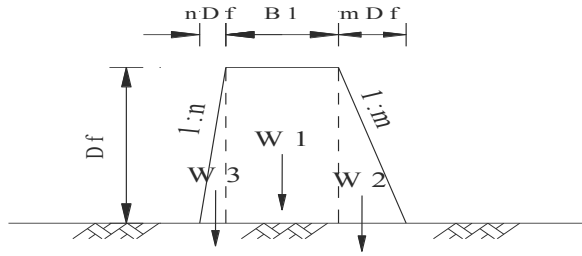


圖 1-5 固定堰斷面

### 3. 滲透性基礎上固定堰：

#### (1). 滲透路徑長度與滲透量計算

設計堰於透水基礎上時應檢討，確保防止發生管湧所需滲透距，所需滲流距長度可用 Lane 氏或 Bligh 公式計算，如滲透水量影響，可計算防止滲水量施設必要之截水設施。

#### (2). 護坦長度

為防止溢流水沖刷下游，下游面施設護坦，長度可用 Bligh 公式計算。

$$L = 0.67 * c * \sqrt{(h * q)} = l_a + l_{f1} \dots \dots \dots (1-4)$$

式中， $c$ ：Bligh 之  $c$  值； $h$ ：枯水時下游側水位到堰頂的高差(m)，一般可採用護坦頂到堰頂的高差； $q$ ：單位寬流量(cms/m)； $l_a$ ：下游護坦長度(m)； $l_{f1}$ ：堰體長度(m)。

#### (3). 護坦厚度

下游護坦厚度，應對上頂力有充分之抵抗厚度，可用下式求之。

$$T_A \geq \frac{4}{3} \frac{\Delta h - h_f}{r - 1} \dots \dots \dots (1-5)$$

式中， $T_A$ ：下游護坦之厚度(m)； $R$ ：護坦材料之比重； $4/3$ ：安全率； $\Delta h$ ：上下游之水位差(m)； $h_f$ ：任意點之損失水頭(m)； $\Delta h - h_f$  為該點之上頂力強度， $h_f$  為達該點之損失水頭，至該點之滲透路徑長度為  $S'$ ，則  $h = (\Delta h / S) \times S'$ ，而  $S$  為全滲透路徑長度。

### 4. 護坦：

(1). 上游護坦厚度約為下游護坦厚度之  $1/2 \sim 1/3$ ，但有旋渦之河川，其厚度應予加厚以保護沖刷。為安全計，上游護坦滲透路徑長度不予加計，如以河床之條件而不得已將該滲透路徑列入計算時，護坦與堰體之接合處，須以鋼筋或鋼骨連接以防下陷外，應施設止水板使確實截水。

(2). 與河床連接之護床拋石段，一般設置為  $1:4$  之逆坡降，以將底層水流折向水流上層緩衝之。

## 1.2.2、工程設計及實例與相關圖片

### 1.2.2.1、工程設計

#### 設計例一

試決定如圖 1-6 所示，下游水位等於堰頂時( $2/3 h_1 \geq h_2$  之場合)之混凝土堰體固定部的基本斷面形狀。但於此僅就安定條件(1)檢討即可。

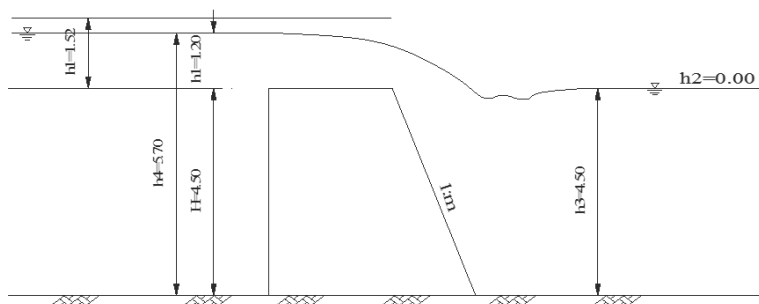


圖 1-6 堰上下游水位

#### 《解法》

$\omega_0 = 1.0 \text{ t/m}^3$  ,  $\omega_1 = 2.3 \text{ t/m}^3$  ,  $\omega_2 = 0.96 \text{ t/m}^3$  ,  $\mu = 1.0$  ,  $C_e = 0.38$ (砂之場合)。假設不考慮地震力，則 $k$ (或 $k'$ ) = 0 ,  $\gamma_1 = \omega_1/\omega_0 = 2.3$  ,  $\gamma_2 = \omega_2/\omega_0 = 0.96$ 。圖 1-6 中， $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\alpha_4$  如次式所示。

$$\alpha_1 = h_0/H = 1.52/4.5 = 0.338$$

$$\alpha_2 = h_1/H = 1.2/4.5 = 0.267$$

$$\alpha_3 = h_3/H = 4.5/4.5 = 1.000$$

$$\alpha_4 = h_4/H = 5.7/4.5 = 1.267$$

將此等數值代入公式，

$$(-\gamma_1 + \mu\alpha_4)m^2 + \{\alpha_0(-3\gamma_1 - 2\alpha_2 + \alpha_3 + 2\mu\alpha_4) + k\gamma_1\}m + \alpha_0^2(-\gamma_1 - \alpha_2 + \mu\alpha_4) + 1 + 3\alpha_1 - \alpha_3 + 3k\gamma_1\alpha_0 + \gamma_2 C_e = 0$$

並整理之，則：

$$1.033 \text{ m}^2 + 3.900 \alpha_0 m + 1.300 \alpha_0^2 - 1.379 = 0$$

因 $\alpha_0 = B/H$ ，而 $B$ 值可由布萊(Bligh)氏公式求出，故可決定 $\alpha_0$ 值。

又，使用阿基培利公式 $B = 0.552(\sqrt{H} + \sqrt{h_1})$ 計算之，則 $B \doteq 1.775 \text{ m}$ 。由此等計算得知，有關上游面之坡度，若考慮地震力，最好能給予 $n=0.1\sim 0.01$ 之坡度。今若設 $n=0.01$ ，則由此等計算，得頂寬 $B=2.0\text{m}$ 、底寬 $L=2.0+4.5\times 0.5+4.5\times 0.01 \doteq 4.30\text{m}$ 。圖 1-7 即為所決定之基本斷面形狀。

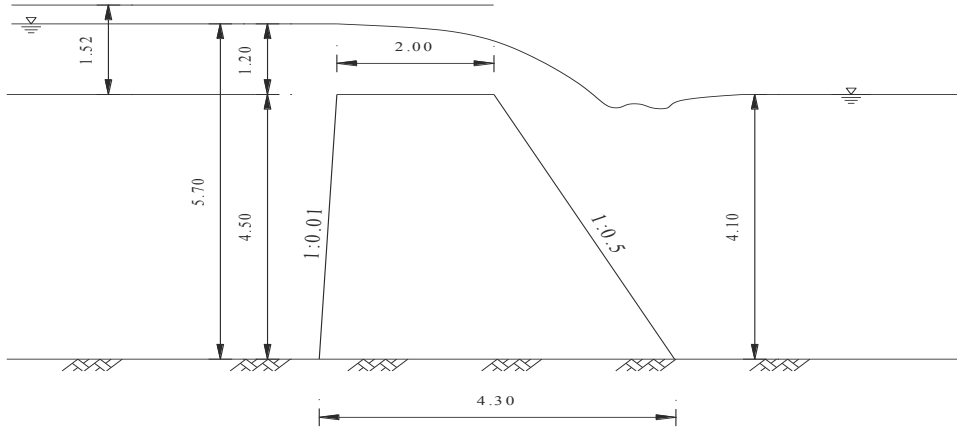


圖 1-7 基本斷面形狀

設計例二

試就[設計例一]檢討安定條件(2)之滑動，以及(3)之所謂壓縮應力比地盤支持力為小(假定地盤為緻密堅硬的粘土)。但，[設計例 1]之情形係考慮為最大洪水之時，以及不計地震力，且  $\frac{2}{3} h_1 \geq h_2$  之場合。

《解法》有關安定條件(2)，由圖 1-6 及公式。

$$S = \frac{\Sigma H}{\Sigma V} = \frac{P_1 + P_2 + P_e - P_5}{W_1 + W_2 + P_3 + P_4 - U_1 - U_2}$$

$$= \frac{6.845 + 10.125 + 3.694 - 10.125}{20.698 + 11.644 + 1.200 + 5.063 - 12.110 - 9.558} = 0.622$$

$1.2S = 0.747 < f (= 0.8)$ ，故屬安全。

有關安定條件(3)，先求  $e$ ，然後由圖 1-6 及公式計算  $P$ 。

$$\begin{aligned} \sum M &= W_1x_1 + W_2x_2 + P_1y_1 + P_2y_2 + P_3y_3 + P_4y_4 \\ &\quad - P_5y_3 - U_1x_5 - U_2x_6 + P_e y_2 \\ &= 20.698 \times 1.0 + 11.644 \times \left(2 + \frac{2.3}{3}\right) + 6.845 \times \frac{4.5}{2} \\ &\quad + 10.125 \times \frac{4.5}{3} + 1.200 \times \frac{2.00}{3} + 5.063 \times \left(2 + \frac{4.6}{3}\right) \\ &\quad - 10.125 \times \frac{4.5}{3} - 12.110 \times \frac{4.3}{3} - 9.558 \times \frac{8.6}{3} + 3.694 \times \frac{4.5}{3} \\ &\doteq 47.794 \text{ t m} \end{aligned}$$

$$\sum V = 16.937 \text{ t}$$

$$\therefore e = \frac{\sum M}{\sum V} - \frac{L}{2} = \frac{47.794}{16.937} - \frac{4.3}{2} = 0.672 \text{ m}$$

$$\therefore P = \frac{\sum V}{L} \left(1 + \frac{6e}{L}\right) = \frac{16.937}{4.3} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.672}{4.3}\right)$$

$$= 8.205 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} < 25 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} (\text{緻密堅硬的粘土}), \text{ 故滿足安定條件(3)。}$$

### 1.2.3、屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰工程

民國 71 年，位於屏東縣新園鄉鯉魚山麓之新建萬丹圳第一抽水廠開始完工營運，爾後每年為因應第一期作灌溉，必須抬高水位以提供抽水而施設之臨時攔河堰；因為高屏溪流心逐年西移，臨時攔河堰施設需逐年加長，經費亦逐年加鉅。為穩定河心、穩固河床，屏東農田水利會遂於民國 81 年 11 月至民國 83 年 4 月分二期施設萬丹圳固床工攔河堰。

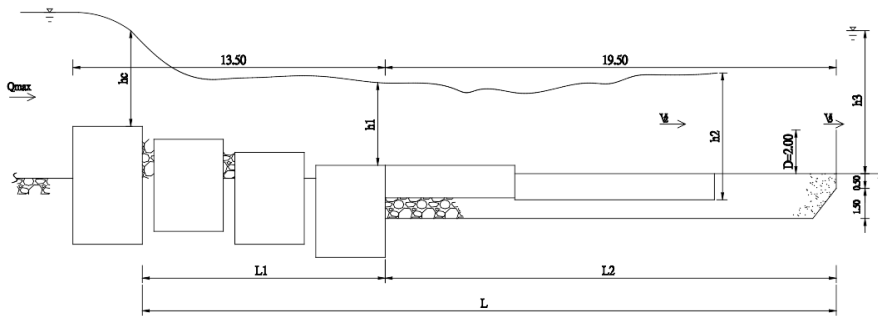


圖 1-8 屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰斷面圖

圖中：

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| $H_c$ ：壩頂水深（臨界水深）(m) | $h_3$ ：護坦下游平常水深 (m) |
| $H_0$ ：壩趾水深 (m)      | $L_1$ ：固床工長度 (m)    |
| $H_2$ ：尾水深度 (m)      | $L_2$ ：護坦工長度 (m)    |
|                      | $L$ ：固床工總長 (m)      |

## 1.3、活動堰

活動堰係由固定堰上部設置洩洪閘道與排砂閘道所構成，平時或洪水期間可藉閘門之操作確保進水口之必要引水位，洪水時則可確保洪水之暢通，並符合上、下游河川防洪安全及河川治理計畫要求。為排除淤積於進水口前之土砂進入渠道，進水口側均應設排砂閘道。

### 1.3.1、設計注意事項

#### 1.3.1.1、設計要點

- 有關活動堰之：「堰頂標高之決定」、「活動堰門檻底高之決定」、「活動堰長度之決定」等，如「1.1、概述~4.佈置~(7). (8). (9).」所述。

## 2.洩洪閘道

- (1).洩洪閘佈置：為防止迴水對河川上游產生不良影響，跨越主槽部分之攔河堰應設計為活動堰；洩洪閘通常與排砂閘鄰接而設。
- (2).門檻底高：如「1.1、概述~4.佈置~(8).」所述原則。
- (3).洩洪閘頂高：如「1.1、概述~4.佈置~(7).」所述原則。
- (4).長度：如「1.1、概述~4.佈置~(9).」所述原則。

## 3.排砂閘道

- (1)排砂閘佈置：為充分發揮排砂閘效果，在佈置上設法增加排砂流速，利用副流特性，通常利用導流牆。在排砂閘前設置曲線形導流牆，對防淤及排砂有令人滿意之效果，同時證明曲線牆較直線牆性能更優。無導流牆時，有效排砂範圍，離開閘門愈遠排砂效果愈小。

### (2)排砂閘道設計：

#### A.基本原則：

- a.排砂時水流應為超臨界流。
- b.排砂流速應足以推移進水口中心附近粗粒徑河床質(相當於 $d_{90}$ 以上粒徑)。
- c.排砂閘底標高，原則上與現況澗線底標高同高；但須檢討河川治理計畫河床高。
- d.排砂閘上下游段坡度原則上不予變化，但視河床坡度與下游水位，下游段可採用較陡坡度。

#### B.排砂道流入口設計：

排砂道為超臨界流時，其流入口將產生臨界流，故需設計可以推移河床質最大粒徑之臨界流。

#### C.排砂道設計：

包括排砂閘上游段、排砂閘下游段及緩流河道排砂道坡度等分別檢討設計。

#### D.導流牆：

由排砂閘上下游延伸之導流牆，可集中流量提高流速以利排砂。

### (3)引水及排砂管理

- A.放淤引水或渠首排砂時期及時間長短均應先觀測該河川之含砂量變化與流量關係後決定。
- B.啓開洩洪閘時渠首閘門均須關閉。



C.排砂道排砂時應關閉進水口閘門，一般設計上，淤積 1m 時就要啟動排砂操作作業。

(4)基礎：堰體及其上部結構物全部荷重平均作用於底版。

(5)橋墩(pier)：活動堰如採用可傾式閘門(collapsible gate)，所需要之橋墩較低，否則閘門高出洪水位，需要較高之橋墩。橋墩可按構造分為混凝土重力式、鋼筋混凝土倒 T 式及半重力式(即將重力式斷面稍為縮小，以鋼筋補強地震發生時之張應力)。

### 1.3.1.2、設計準則

1.洩洪閘堰體與護坦：因堰體糙率(roughness)係數小於上下游河床之糙率係數，在亞臨界流流況時堰體上水面將下降，故堰體及閘門門檻下游之護坦長應比固定堰安全係數為高。

2.進水口寬不得超過有效排砂範圍。另為避免進水口下游端與排砂閘墩柱間發生之渦流擾亂沉砂並促使土砂進渠，排砂閘與進水口下游端宜相離 3~5 公尺。

3.排砂道需先決定掃流所必要之單位寬流量 $q_r$  (急流河川)， $q_s$  (緩流河川)，次求急流河川 $d_{60}$ 之啟動流量 $Q_r$ ，緩流河川灌溉期間之平均流量 $Q_m$ 。排砂閘寬如下

$$\text{急流河川 } B_r \leq Q_r / q_r \quad \text{緩流河川 } B_s \leq Q_m / q_s$$

4.排砂道寬度宜小於排砂道長度之 1/2 以下

5.利用蓄水深 $H_{\max}$ 與可以產生超臨界流水頭之水深 $H_0$ 間之貯水量 $V_H - V_0$ 排砂。須藉蓄水能量排砂時，排砂閘前導流牆頂宜提高至設計引水位，惟應檢討提高導流牆高程是否影響進水口之取水功能。

6.橋墩厚度一般以 1.50~3.00 公尺者為多，可以下式概估厚度，再檢討安定、應力分析後決定設計厚度

$$t_p = 0.12(D_p + 0.2B_i) \pm 0.25m$$

式中： $t_p$ =橋墩厚度(m)； $D_p$ =橋墩高度(m)； $B_i$ =跨徑長(m)。橋墩總厚度以不超過計畫洪水位時水面寬 10%為宜。橋墩縱向(上下游)長度須滿足安定條件，其下游部斷面可視施工條件採用梯形或長方形。梯形斷面時上游面垂直，下游面則以 1：0.4 傾斜。

### 1.3.2、工程設計及實例與相關圖片

工程設計如下。

1.排砂流速 $V_c$ ：

排砂道必須在適當的設計條件下提供附近流場足夠的流速，以便達到掃

流的目的。為達到此一目的，排砂流速需依據設計點附近的土砂粒徑大小，並以下式計算之：

$$V_c = 1.5C\sqrt{d_{\max}}$$

其中： $V_c$ =排砂流速(m/sec)； $C$ =土砂形狀係數 3.2~3.9，土砂形狀接近圓形者採 3.2，接近角形者採用 3.9，土砂具備良好級配者採用 4.5~5.5； $d_{\max}$ =最大土砂粒徑(m)； $C$ 採 3.2， $d_{\max}$ 則是平均最大土砂粒徑 0.07m，如此計算之排砂流速 $V_c$ 為 1.27m/sec。

2.排砂道之單寬流量  $q$ ：

排砂道單寬流量  $q$  與排砂流速 $V_c$ 間的關係，可以下式計算之：

$$q = \frac{V_c^3}{g}$$

又排砂道基準流量 $Q_b$ 與排砂道的單寬流量 $q$ 及排砂道寬度 $L_m$ 間的關係，可以下式表示之：

$$Q_b = L_m * q = L_m * \frac{V_c^3}{g}$$

據此，若以 7m 寬之排砂道進行計算，則

$$Q_b = 7 * \frac{1.27^3}{9.8} = 1.463 \text{cms}$$

### 1.3.3、屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰工程

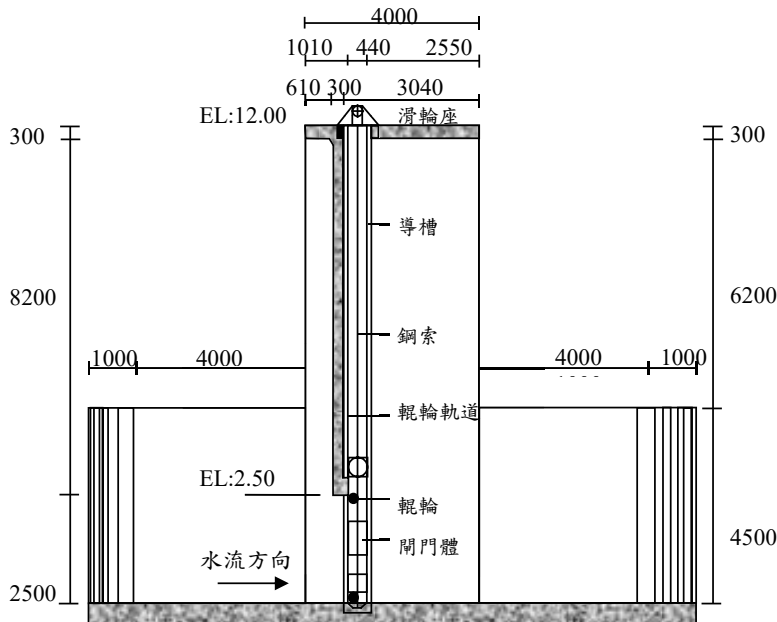


圖 1-9 屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰排砂閘門斷面圖  
(圖單位：mm)

## 1.4、進水口及附屬設備

良好的進水口在任何時期均應可順利引進所需之全部流量。一般河川流量經常變化，且洪水期有大量漂浮物與輸砂量。因此進水口應容易調節流量，且可以防止漂浮物與沉滓進渠。

因此，為配合安全、穩定取水等需求，應檢討設置控制閘門、門柱、攔污柵、暗渠、取水池、沉砂池、排砂閘門等附屬設備，同時此等附屬設備之維護管理費用應為最少。

至於其他附屬構造物有：為保護溯河魚類之魚道設施及為日常之閘門操作、檢修維護而設置之管理橋等。

### 1.4.1、設計注意事項

#### 1.4.1.1、設計要點

- 1.根據草擬進水口形狀，進行水理計算。自己知條件之水路起點(即進水口終點)水位起算，向上游加算各項水頭損失至進水口入口，所得水位即為攔河堰設計引水位。
- 2.進水口形狀設計係依入口底高程、引水深、引水流速及進水口寬度等條件而決定。
- 3.提高入口流速雖可減少進水口規模，但易昇揚河床質進渠如前述。反之如減少流速則須擴大進水口規模而增加工程費。
- 4.決定進水口入口高程，設計引水位及引水流速，即可求進水口寬。如求得之寬度過大，宜考慮閘門高度寬度比及引水管理之方便，分為適當門數(-門寬約為 3~5 公尺)，惟其橋墩形狀宜為流線形以減少水流束縮與損失水頭。
- 5.進水口引水量計算按進口流況，進水口可分為(1)溢流式及(2)孔口式二種，並分別適用不同計算式：
- 6.進水口水位計算應考慮之損失水頭包括：(1)流入口；(2)昇階；(3)橋墩；(4)攔污柵；(5)摩擦；(6)斷面變化；(7)彎曲等損失。

#### 1.4.1.2、設計準則

- 1.進水口入口流速一般限制在 0.6~1.0 m/sec 之間，係基於：a.限制接近流速為 0.4 m/sec 以下時，可防止粒徑 0.30mm 以上之有害顆粒進渠；b.為防止水生植物在水路內繁殖，平均流速應在 0.75 m/sec 以上。
- 2.進水口寬度計算：

$$B=Q/h_1 \times V$$

式中  $B$  為進水口寬度(m)； $Q$ =設計引水量(cms)； $h_1$ =引水深(設計引水位-入口標高) (m)； $V$ =引水流速(m/sec)。

### 3.進水口引水量：

(1).溢流式進水口：流況通常為潛流(submerged flow)，以下式計算流量：

$$Q = m * (B - n * k * h_1) * h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

式中  $Q$ =流量(cms)； $m$ =流入水頭損失係數，如圖 1-10 之昇階式進水口時， $m$  值約為 0.8~0.85，但有排砂閘導流牆時(如圖 1-9) $m$  值更小； $n$ =側收縮數； $k$ =側收縮係數，橋墩或堰柱上游端形狀為半圓形或尖圓形時為 0.02~0.04； $B$ =進水口寬(m)； $h_1, h_2$ ：如圖 1-10 所示。

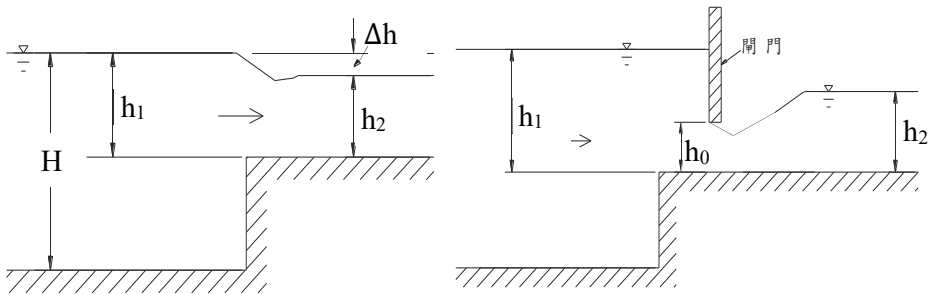


圖 1-10 進水口引水量：溢流式進水口(左)、孔口式進水口(右)

如  $h_2 < \frac{2}{3\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g}\right)}$  時則採用完全溢流公式：

(2).孔口式進水口：

$$Q = m * B * h_0 \sqrt{2g\left(h_1 - \frac{h_0}{2}\right)}$$

式中  $Q$ =流量(cms)； $m$ =流量係數，0.62~0.66(設計時可採 0.65，俟完工後依實測修正)； $h_0$ =閘門開度(m)； $B$ =進水口流入寬； $h_1$ ，如圖示。

#### 1.4.2、工程設計及實例

進水口引水量以孔口式取水方式：

$$Q = m * B * h_0 \sqrt{2g\left(h_1 - \frac{h_0}{2}\right)}$$

式中， $Q$ =流量(cms)； $m$ =流量係數，0.62~0.66(設計時採 0.65，俟完工後依實測修正)； $h_0$ =閘門開度(m)； $B$ =進水口流入寬； $h_1, h_2$ ，如圖 1-10。

$$\text{即 } Q = 0.65 * 1.50 * 1.00 \sqrt{2 * 9.8 \left(2.00 - \frac{1.00}{2}\right)} = 5.29 \text{ cms}$$

### 1.4.3、屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰工程

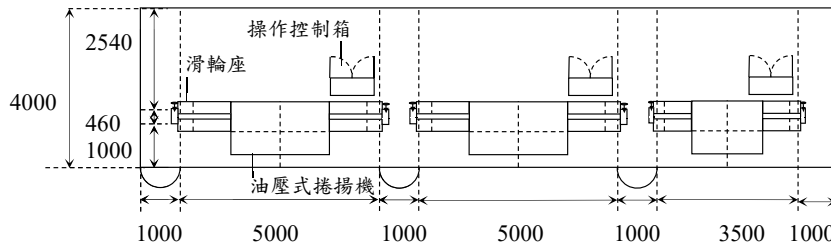


圖 1-11 屏東農田水利會萬丹圳固床工攔河堰進水口斷面圖

(圖單位：mm)

### 1.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 科學圖書大庫，1977，灌溉設施。
4. 屏東農田水利會，1994，萬丹圳固床工攔河堰規劃設計。
5. 農田水利會聯合會，1996，農田水利會技術人員訓練教材，灌溉工程類合訂本。
6. ASAE, 1986, Irrigation Engineering, American Society of Agricultural Engineers.
7. Dahigaonkar J. G., 2006, Textbook of Irrigation Engineering, Asian Books Private Limited.
8. J. G. Dahigaonkar, 2006, Textbook Of Irrigation Engineering, Asian Books Private Limited.
9. Peter Waller and Muluneh Yitayew, 2015, Irrigation and Drainage Engineering, Springer International Publishing.

## 第二章、明渠

### 2.1、概述

渠道為將定量的水，由某一地點安全的輸送至天然地帶或人為地形、地勢或開墾之另一地點之一連串構造物，渠道水流不完全受固體界線所拘束，且具有自由表面，直接受大氣壓力者，渠道頂並無覆蓋者，稱之為明渠(open channel)。

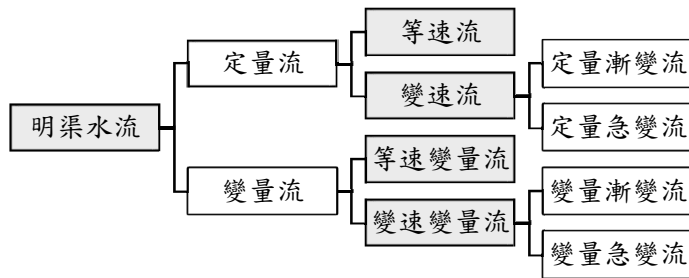
#### 2.1.1、明渠分類

渠道依使用目的分，有：1.灌溉水路：專用於農業灌溉或兼用多目的之用水者。2.排水路：主要以農地及村莊之排水為目的者。3.灌溉用水路：兼用 1、2 性能之渠道，然為確保必要之斷面，通常渠道斷面均作排水路斷面而設計之。

渠道依系統而分類，其標準以灌溉渠道為原則，由取水地點由上而下依序稱為導水路、幹線、支線、分線、主給水路、小給水路等；若為排水路則由下游沿上游稱之為大排、中排、小排...。

#### 2.1.2、明渠水流類型

明渠水流有定量流與變量流之分，二者均以時間作為衡量標準，並細分如下；明渠水流態樣雖多，灌溉工程實際應用上，以定量流最普遍，定量流中以等速流為最，變速流次之。



### 2.2、水理

農田水利之灌溉，大多利用重力方式輸送水流，以節省能量，故重力對明渠流態影響甚鉅。

#### 一、重力效果

重力效果影響流態之程度，可以慣性力對重力之比值表示，此種比值通常稱為福祿數(Froude Number)F，

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \dots \dots \dots (2-1)$$

式中，V=平均流速(m/sec)；g=重力加速度(m/sec<sup>2</sup>)；L=特性長(m)。

明渠水流之特性長，即以水理水深(Hydraulic Depth)D 代表其水深，即以水準寬除垂直於流向水流斷面積所得值。在矩形斷面即等於流水斷面之水深。

若 $F = 1$ ，則 $V = \sqrt{gD}$ 時之水流稱為臨界水流(critical flow)。若 $F < 1$ ，則 $V < \sqrt{gD}$ 時之水流稱為亞臨界流(subcritical flow)，此時重力牽制水流之分量較大，故流速緩慢，通常稱為常流或緩流(tranquil and streaming)。若 $F > 1$ ，則 $V > \sqrt{gD}$ 時之水流稱為超臨界流(Supercritical flow)，此時慣性力佔優勢，故流速急端，通常稱為射流或湍流(rapid, shooting or torrential flow)。

## 二、臨界流之特性

臨界水流之基準(Criterion for a Critical state of flow)，即臨界流具有下列幾個特徵：

- 1.對於一定流量其比能量為最小。
- 2.對於一定的比能量，其流量為最大。
- 3.臨界流渠道之流速水頭等於水理水深(Hydraulic depth) $D=A/T$ 之半，即 $h_{v_c} \cong \frac{D}{2}$ 。
- 4.福祿數(Froude Number)等於 1。
- 5.通過一定流量其比能力為最小。
- 6.當渠床縱坡不大時，渠流若為臨界流況，則其流速將等於局部干擾之動波的傳播速度。因此該重力波將是定波。

有關臨界流之理論性規範如下：

$$\text{比能量 } E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \dots\dots\dots(2-2)$$

式中，Q 為一定，歷經對 y 微分、整理、移項，水流在臨界狀態時，其比能量最小，可得，

$$1 = \frac{V^2}{gD}, \quad \frac{D}{2} = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2-3)$$

此乃臨界流之特性，亦即水流在臨界狀態時，其流速水頭等於水理水深之一半。

(2-3)式可改寫為 $1 = \frac{V}{\sqrt{gD}}$ ，亦即福祿數等於 1。

使用上式時，必須滿足下述條件：1.平行流或漸變流，2.水路坡降平緩，3.能量係數假定為 1。

## 三、臨界流之計算(Computation of Critical flow)

通常有代數法、圖解法及設計圖表法等，受限篇幅僅介紹代數法如下：

臨界深度可經由(2-2)式之第一次微分等於零求之，然後解出變數  $y$  之值，此值即臨界深度  $y$ 。

若為矩形斷面，經由  $Q = AV = byV$ ，及代入比能量方程式後，經微分、移項、整理，可得

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \dots \dots \dots (2-4)$$

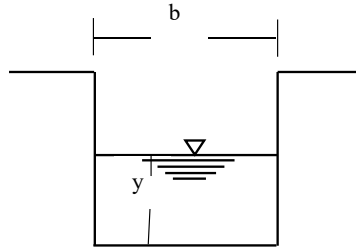


圖 2-1 矩形斷面圖

若為梯形斷面，經微分、移項、整理，可得

$$y_c = \frac{b+2Zy_c}{(b+2Zy_c)^3} \cdot \frac{Q^2}{g} \dots \dots \dots (2-5)$$

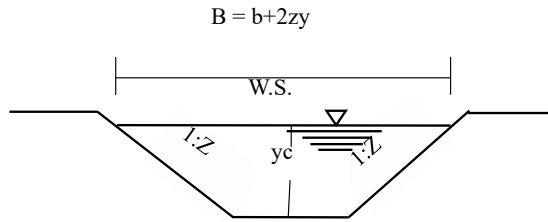


圖 2-2 梯形斷面圖

或移項演變為，

$$g \left(\frac{y_c}{b}\right)^3 \cdot \frac{(1+Z\frac{y_c}{b})^3}{(1+2Z\frac{y_c}{b})} = \frac{Q^2}{b^5} \dots \dots \dots (2-6)$$

設梯形斷面臨界流速  $V_c$ ，水深  $y_c$ ，通水斷面積  $A_c$ ，經移項、整理，可得

$$V_c = \sqrt{g \cdot y_c} \cdot \sqrt{\frac{b+Zy_c}{b+2Zy_c}} \dots \dots \dots (2-7)$$

計算例：渠底寬度 2cm，側坡 1:1 之梯形斷面，流量  $Q=5\text{c.m.s}$  糙率  $n=0.015$  求臨界水深  $y_c$ ，流速  $V_c$ ，坡降  $S_c$ 。

解： $\frac{Q^2}{b^5} = \frac{5^2}{2^5} = 0.78125$ ， $y_c$  與  $b$  之比值，經查表可得，目前由於資訊進步，可藉由電腦運算不必查表，所以，得  $y_c$  與  $b$  之比值為 0.3766。因此，得



$$\text{臨界水深 } y_c = 0.3766 \times 2 = 0.753\text{m}$$

臨界流速  $V_c$ ，係臨界水深  $y_c$  在通水斷面積  $A_c$  所發生，所以，

$$A_c = y_c(b + Zy_c) = 0.753(2 + 1 \times 0.753) = 2.073\text{m}^2$$

$$\text{水力半徑 } R_c = \frac{y_c(b + Zy_c)}{b + 2\sqrt{1 + Z^2}y_c} = \frac{0.753(2 + 1 \times 0.753)}{2 + 2\sqrt{1 + 1^2} \times 0.753} = 0.502\text{m}$$

$$\text{臨界流速 } V_c = Q/A_c = 5/2.073 \doteq 2.41\text{m/sec}$$

$$\text{坡降 } S_c = \frac{V_c^2 n^2}{R_c^{4/3}} = \frac{2.41^2 \times 0.015^2}{0.502^{4/3}} \doteq \frac{1}{306}$$

#### 四、定量等速流

等速定量流乃渠道水力學中最基本型之水流，其水深、通水斷面積、流速、流量，在渠道任何縱斷面上均保持定值，其能量線(Energy line)、水面線(Water surface line)，及渠道底縱坡線(Channel bottom line)均相互平行。

構成等速定量流渠道斷面之水力要素，視渠道斷面之形狀而異，大致可分為梯形或矩形和圓形斷面之水力要素。

1. 梯形或矩形渠道流量計算 5 要素：糙率、側坡、縱坡、水深及底寬。
2. 圓形斷面渠道流量計算 4 要素：糙率、縱坡、水深及直徑。

茲將各種構成渠道斷面之水力要素說明其性質與規格如下：

1. 糙率(roughness)：糙率常以“n”記號表示，為水流移動時與渠道內側坡或因水流之內粘力所致之一種抵抗，隨構築渠道材料性質而變化。Ganguillet-Kutter 氏曾對各種不同構築材料加以檢定求出各種渠道材料 n 值之範圍及平均值，如表 2-1 所示。
2. 容許流速(Permissible velocity)：容許最小平均流速，若渠中含砂量少時為 0.6m/sec~0.9m/sec，防止長草之流速為 0.75m/sec；最大容許流速，依內面工材料有如下表之規定：

| 土質   | 平均流速 m/sec | 材質                  | 平均流速 m/sec |
|------|------------|---------------------|------------|
| 砂質土  | 0.45 m/sec | 中度岩                 | 2.50 m/sec |
| 砂質壤土 | 0.60 m/sec | 硬岩                  | 4.00 m/sec |
| 壤土   | 0.75 m/sec | 混凝土                 | 4.00 m/sec |
| 粘質壤土 | 0.90 m/sec | 乾砌塊石<br>(厚 30cm 以下) | 1.50 m/sec |
| 粘土   | 1.20 m/sec | -                   | -          |
| 砂粘土  | 1.50 m/sec | 乾砌塊石<br>(厚 30cm 以上) | 2.00 m/sec |
| 軟岩   | 2.00 m/sec | 漿砌塊石                | 3.00 m/sec |

表 2-1 Ganguillet-Kutter 氏公式之 n 值

| 材料及潤週之狀況   |           | 甚佳     | 佳      | 平常     | 劣     |
|------------|-----------|--------|--------|--------|-------|
| 未塗漆之生鐵水管   |           | 0.012  | 0.013  | 0.014  | 0.015 |
| 塗漆之生鐵水管    |           | 0.011  | 0.012  | 0.013  | -     |
| 塗黑之熟鐵水管    |           | 0.012  | 0.013  | 0.014  | 0.015 |
| 電鍍之熟鐵水管    |           | 0.013  | 0.014  | 0.015  | 0.017 |
| 絞釘螺旋鐵水管    |           | 0.013  | 0.015  | 0.017  | -     |
| 水泥漿砌磚工     |           | 0.012  | 0.013  | 0.015  | 0.017 |
| 混凝土管       |           | 0.012  | 0.013  | 0.015  | 0.016 |
| 水泥漿鋪面      |           | 0.011  | 0.012  | 0.013  | 0.015 |
| 混凝土渠道      |           | 0.012  | 0.014  | 0.016  | 0.018 |
| 水泥砌石       |           | 0.017  | 0.020  | 0.025  | 0.030 |
| 乾砌石面       |           | 0.025  | 0.030  | 0.033  | 0.035 |
| 整齊琢石面      |           | 0.013  | 0.014  | 0.015  | 0.017 |
| 光滑金屬半圓渠槽   |           | 0.011  | 0.012  | 0.013  | 0.015 |
| 綉紋金屬半圓渠槽   |           | 0.0225 | 0.025  | 0.275  | 0.030 |
| 土渠         | (1)土質平直整齊 | 0.017  | 0.020  | 0.0225 | 0.025 |
|            | (2)鑿石光滑整齊 | 0.025  | 0.030  | 0.033  | 0.035 |
|            | (3)鑿石參差不齊 | 0.035  | 0.040  | 0.045  | -     |
|            | (4)紆曲流緩   | 0.0225 | 0.025  | 0.275  | 0.030 |
|            | (5)已疏浚土渠  | 0.025  | 0.0275 | 0.030  | 0.033 |
| 渠底粗石兩岸莠草叢生 |           | 0.025  | 0.030  | 0.035  | 0.040 |
| 土底岸坡砌石     |           | 0.028  | 0.030  | 0.033  | 0.035 |

### 3. 渠道縱坡(Longitudinal slope of Channel)

渠道縱坡視地形而定，應配合地形求得最經濟土方，盡量增加流速縮小通水斷面，但不致產生沖刷與淤積。安全縱坡與土質之大略關係列如下：

| 容許最大縱坡 |       |       |       |         |          |
|--------|-------|-------|-------|---------|----------|
| 土質     | 重粘土   | 礫石土   | 砂土    | 腐植土     | 粉泥       |
| 縱坡     | 1/150 | 1/250 | 1/800 | 1/1,000 | 1/10,000 |

### 五、等速流之計算

渠道等速定流求平均流速公式，大致為謝茲(Chezy)型與指數型兩類：

1. 謝茲(Chezy)型公式：謝茲(Chezy)為法國人於 1769 年發現等速定流公式，此公式因此稱為塞斯公式，茲列於下：

$$V = C\sqrt{R \cdot S} \dots\dots\dots(2-8)$$

式中，V = 平均流速(m/sec)；C = 流速係數；R = 水力半徑；S = 能量坡降(等速定流時此坡度與水面線及渠到底縱坡線坡度相同)。其中，係數 C 一般以表示潤週狀態之糙率 n，水力半徑 R 及水面坡降 S 之函數表示。於 1869 年有兩位元元瑞士工程師 Ganguillet 和 Kutter 曾將謝茲公式中之係數加以檢定，茲列於次：

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.0155}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots(2-9)$$

故得一謝茲型公式，求平均流速之代表型公式如次：

$$V = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.0155}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{R \cdot S} \dots\dots\dots(2-10)$$

2. 指數型公式：指數型公式之通式為，

$$V = C_1 R^m S^k \dots\dots\dots(2-11)$$

式中，V = 平均流速(m/sec)；R = 水力半徑(m)；S = 水面坡降。渠道不論 R 或 S 為如何，C<sub>1</sub>、m、K 值恆為同值，此型公式主要應用於渠道或一定形之內面工渠道，適當選定 C、m、k 值，以愛爾蘭工程師曼寧(manning)所創，最為廣泛採用之公式，即

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2-12)$$

3. 曼寧公式與其他公式之比較：

- A. 此式當 R > 0.5m, n < 0.03, S >  $\frac{1}{5,000}$ ，其實測值與 Ganguillet-Kutter 式之值完全符合。
- B. n 採用 Ganguillet-Kutter 之 n 值。
- C. Ganguillet-Kutter 氏公式在同一渠道中，水深大比水深小時，使用之 n 值應較小，方能與實測值符合，採用曼寧公式則否。
- D. 若 C 或 n 值僅以糙率定之，則曼寧公式適用於糙率 0.02 以下，水深在 4m 以下。

## 六、變速流

### (一) 概述

定量變數流可分為緩慢變速流與急速變速流，水流在渠道中之水深沿渠道緩慢變化者為之緩慢變數流。諸如水流經過渠道縱坡變換點，漸變段或回水等屬性之，其水流具有下列二種特性：

- 1. 定量漸變流為一定量流，其在某時間領域中之水力特性保持不變者。

2. 實際流線互相保持平衡，其斷面內靜水壓力分佈與等速定量流相同。

(二) 緩慢變速流之基本假設

定量漸變流之計算，不管在理論上或實驗上均難得精密結果，但利用等速定量流公式應用於變速定量流渠道時，須注意切勿隨意應用於整個變速定量流渠道中。定量漸變流渠道係基於下列各基本點假定而加以計算：

1. 斷面上能量損失與具有相同流速及水力半徑之等速流能量損失相同。
2. 因渠道坡降甚小，故垂直斷面上水深與正交於渠床斷面上水深相同。
3. 假定渠床為椎柱狀漸變，為定型渠槽，即主流方向及渠床形狀不變。
4. 渠中流速分佈與等速定量流相同。
5. 糙率與水深各自獨立無關，在全渠中均假定不變。
6. 定量漸變流之運動與連續有關方程式。

(三) 緩慢變速流之基本公式

緩慢變速流之基本公式有運動方程式連續方程式。緩慢變速定流之誘導由圖 2-3，基準線上之總水頭 H 為

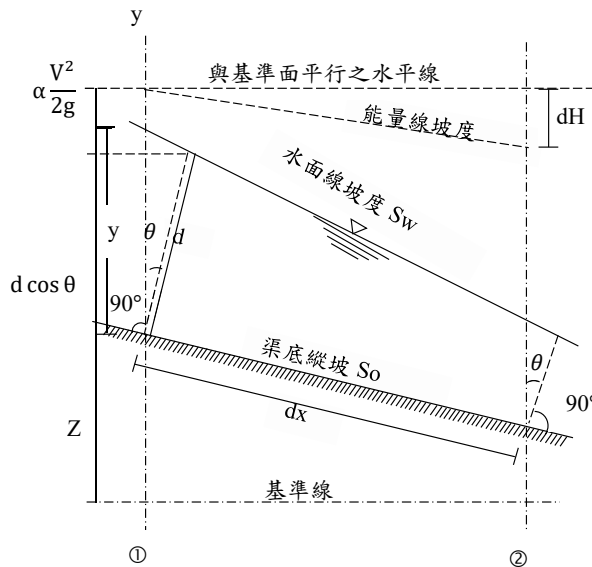


圖 2-3 緩慢變速定流公式之誘導圖

$$H = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2-13)$$

式中，H = 總水頭；Z = 基準線至渠底之垂直距離；d = 流水斷面水深； $\theta$  = 渠底斜角； $\alpha$  = 能量係數；V = 平均流速。

以渠底為 X 軸並微分(2-13)式，即

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \cos \theta \frac{dd}{dx} + \alpha \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (2-14)$$

經移項、整理，可得如下緩慢變速定流公式，再進一步積分之，可得流量 Q，為  $A \cdot V = Q = \text{const}$ 。

$$\frac{dV}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{\alpha d \left( \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{dy}{dy}} \dots \dots \dots (2-15)$$

#### (四) 緩慢變速流流水剖面之計算

##### 1. 直接逐步法(The direct step method)

直接逐步法為一最簡單方法，適合定線定形之稜柱體形渠道(prismatic channel)，亦即適合於一般人工渠道。透過圖 2-4 渠道中某一距離  $\Delta x$ ，利用柏努利定理(Bernoulli Theory)，使斷面①及②總水頭相等，再應用比能量(Specific Energy)觀念、曼寧公式即可得。

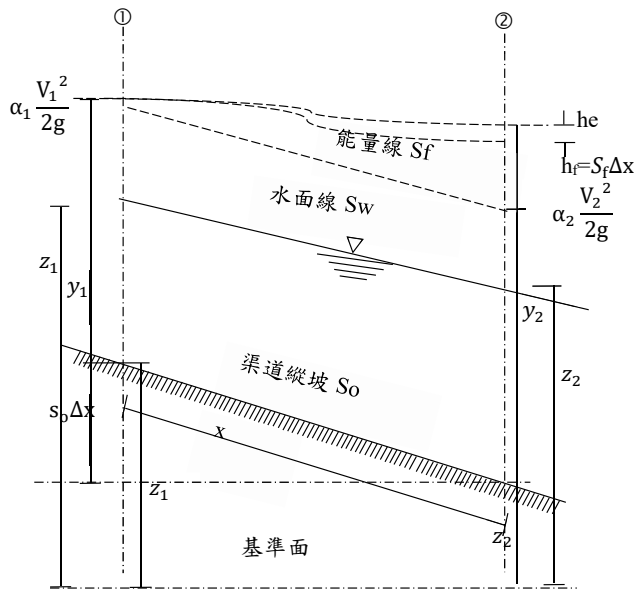


圖 2-4 逐步法公式誘導圖

##### 2. 標準逐步法(The standard step method)

可應用於自然河川或非柱體形渠道(nonprismatic channel)。若屬自然河川，先河川測量，收集有關計算站所要資料，以試誤法一站站計算，其原理仍應用圖 2-4 斷面①及②總水頭相等概念，經移項、整理，可得(2-16)式，其中， $h_e$ 係因旋渦而產生之損失水頭， $h_f$ 為摩擦損失水頭，流速水頭  $\alpha$  係數實用上當為零，再經適當移項、整理，可得(2-17)式，即為標準逐步法基本公式，可用於人工渠道及自然河川。

$$Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f + h_e \dots \dots \dots (2-16)$$

$$H_1 = H_2 + h_f + h_e \dots \dots \dots (2-17)$$

(五)各種變速流

對斷面相同之渠道，倘渠道縱坡變化時，則水面有種種變化，變化形態隨等流水深 $h_0$ 、臨界水深 $h_c$ 、坡降 $S_0$ 及臨界坡降 $S_c$ 間之大小關係，所生水面有：M型、S型、C型、A型及H型等5種基本類型，若再按水面型形狀及位置，即所謂之定域(Zone)組合，則分別有：M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>三種，S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>三種，C<sub>1</sub>、C<sub>3</sub>二種，A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>二種，H<sub>2</sub>、H<sub>3</sub>二種，上述隨渠道縱坡變化而變化之各種水面圖型，受限篇幅本文僅為敘述，詳請參明渠水文學相關書籍。

### 2.3、渠道之外部壓力

#### 2.3.1、土壓力

渠道側坡超過安息角，其挖土或填土均須襯砌工保護側坡之坍塌，作用於側坡上之土壓力使用庫倫(Coulomb)氏公式計算之。

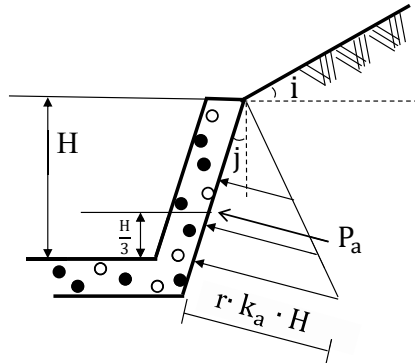


圖 2-5 渠道之土壓力

$$Pa = \frac{1}{2} \cdot r \cdot H^2 \cdot \frac{Ka}{\cos j} \dots \dots \dots (2-18)$$

$$Ka = \frac{\cos^2(\phi + j)}{\cos^2 j \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \sin(\phi - i)}{\cos(j + i) \cos j}} \right]^2} \dots \dots \dots (2-19)$$

式中，Pa = 主動土壓力；r：土壤單位容積重量；H：襯砌工高度；Ka = 主動土壓係數；j：側壁與垂直面之傾斜角； $\phi$  = 土壤安息角；i：襯砌工背面水準與地表傾斜面所承之角度。

#### 2.3.2、上揚力

在地下水位較淺處，構築渠道於挖土斷面上襯砌內面工，渠中流量較小或斷水時，因地下水或雨水滲入內面工背面，致使渠道內面工因水壓而產生

上浮，若內面工強度不足，將導致破壞現象，因此必須有排除地下水或滲透水之設施：

1. 在內面工側坡上埋設排水孔。
2. 在內面工底部設至導水暗管，引導地下水至低處排除。
3. 渠道內面工需有足夠重量以防止上浮，應使上揚力(Up-lift)小於內面工自重：

如圖 2-6，設上揚力為 U，即當 1m 長之上揚力 U 為

$$U = W \cdot b \cdot h \cdot 1m(t) \dots \dots \dots (2-20)$$

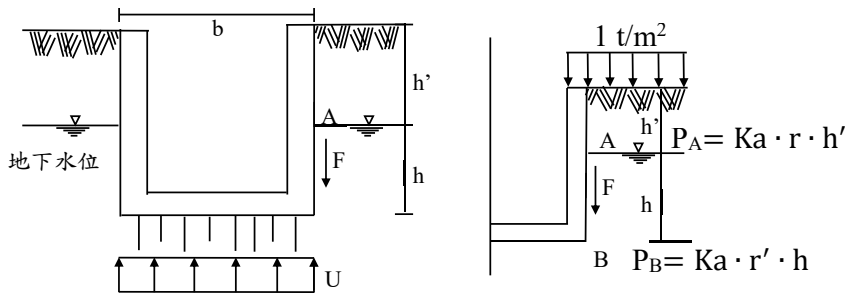


圖 2-6 上揚力示意圖

式中，W：水單位重量  $\frac{t}{m^3}$ ；h：渠底至地下水水位距離(m)；b：渠底寬。

抵抗 U 者為依土壓所發生之側壁摩擦 F 與槽體重量 W。當 1m 長土壓力分為地下水水位之上方與下方，由地下水水面至地表面，A 點之土壓為，

$$P_A = K_a \cdot r \cdot h' \cdot 1m \left( \frac{t}{m} \right) \dots \dots \dots (2-21)$$

由地下水水面至底板 B 點之土壓

$$P_B = K_a \cdot r' \cdot h \cdot 1m \left( \frac{t}{m} \right) \dots \dots \dots (2-22)$$

式中，r'：地下水水面下方之土壤單位重量。因此，由地表至地下水水面之平均總土壓為：

$$P_1 = \frac{P_A}{2} = \frac{K_a \cdot r \cdot h' \cdot 1m}{2} \cdot h'(t) \dots \dots \dots (2-23)$$

由地下水水面至底版面之平均總土壓為：

$$P_2 = \frac{P_A + P_B}{2} \cdot h(t) \dots \dots \dots (2-24)$$

側壁與土壤之間摩擦係數設  $f = 0.2$ ，則沿側壁之摩擦力 F 為：

$$F = f(P_1 + P_2) = 0.2(P_1 + P_2) \dots \dots \dots (2-25)$$

每單位長度之渠道側壁及底板重量  $W$ ，則  $W + F + F > U$  時，對於上揚力即屬安全。

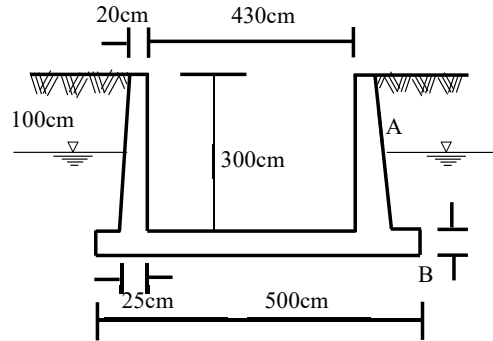


圖 2-7 渠道斷面圖

〔計算例〕就圖 2-7 所示混凝土渠道斷面檢討其上揚力。

底板單位長度上揚力為， $U = 3.25\text{m} \times 5.00\text{m} \times 1.0\text{t/m}^3 = 16.25\text{t}$   
單位長度之混凝土側壁及底版重量為：

$$W = (0.2 + 0.25) \times 3.0 \times \frac{1}{2} \times 2.4\text{t/m}^3 \times 2 + (0.25 \times 5.0) \times 2.4\text{t/m}^3 \\ = 6.24\text{t}$$

$$A \text{ 點土壓 } P_A = K_a r h', \quad K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}, \quad \phi = 30^\circ, \quad K_a = 0.33,$$

$$r = 1.8\text{t/m}^3, \quad h' = 1.0\text{m}$$

$$\therefore P_A = 0.33 \times 1.8 \times 1.0 = 0.594\text{t/m}^2, \text{ 即單位長度 } 0.594\text{t/m}$$

$$B \text{ 點土壓 } P_B = K_a r h = 0.33 \times 1.5 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \times 2.25 = \frac{1.114\text{t}}{\text{m}^2},$$

所以，由地表面至地下水水面 A 點之平均總土壓

$$P_1 = \frac{0.594}{2} \times 1\text{m} = 0.297\text{t}$$

由地下水水面至底版面之平均總土壓

$$P_2 = \frac{P' + P''}{2} \times h = \frac{0.594 + 1.114}{2} \times 2.25 = 1.922\text{t}$$

$$\text{即地表面至底版面總土壓為 } P_1 + P_2 = 0.297 + 1.922 = 2.219\text{t}$$

$$\text{側壁之摩擦力 } F = f \times 2.219 = 0.2 \times 2.219 = 0.444\text{t}$$

$$\text{兩邊計 } 0.444 \times 2 = 0.888\text{t}$$

$$W + F = 6.24 + 0.888 = 7.128\text{t}, \text{ 即 } U > W + F$$



## 2.4、設計注意事項

### 2.4.1、設計要點

1. 渠道為將定量的水，由某一地點安全的輸送至天然地帶或人為地形、地勢或開墾之另一地點之一連串構造物。渠道水流方向由重力決定，不受固體界線所拘束，渠頂無覆蓋直接受大氣壓力，具自由表面。
2. 明渠為農田灌溉排水中常見輸水構造物，依形狀斷面可分為梯形斷面及矩形斷面；依結構斷面可分為挖方渠道、填方渠道以及半挖半填渠道。

### 2.4.2、設計準則

1. 應具最佳水力斷面：係指一定通水斷面 A，其潤週 P 值最小，即指水力半徑 R 最大之斷面，此斷面不僅所受邊界阻力最小，而且所需工程費用最低。矩形(如圖 2-8)、梯形(如圖 2-9)及圓形斷面之最佳水力斷面如下，其中，b 為底寬，d 為水深， $\theta$  為側壁對水平之傾斜角，B 為水面寬：

$$\text{梯形：} b = 2d \cdot \tan \frac{\theta}{2}, d = \frac{B}{2}, R = \frac{d}{2}$$

$$\text{矩形：} b = 2d$$

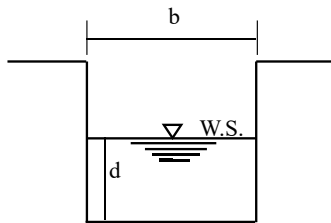


圖 2-8 矩形斷面示意圖

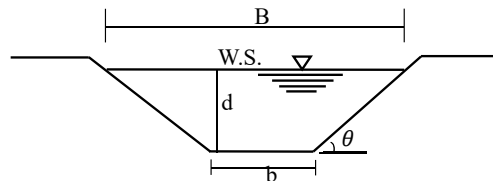


圖 2-9 梯形斷面示意圖

2. 結構形式之選擇：分如下三類，A. 無襯砌，如土溝；B. 有襯砌，如混凝土鋪面渠道；及 C. 擁壁型渠道，如鋼筋混凝土槽型渠道(U 型溝)、漿砌塊石渠道。
3. 最大容許流速：因渠道構成材料不同而有限制，相關流速限制說明詳見下表。(詳見表 2-2)

無常流水之最大容許流速可提高如下：

- A. 混凝土或混凝土砌塊石：最大容許流速為 4.57-6.1m/s。
- B. 鋼筋混凝土：採最大容許流速為 12m/s。可依混凝土抗壓強度比例調整最大容許流速。

表 2-2 明渠最大容許流速

| 土質       | 最大安全流速(m/s) | 土質            | 最大安全流速(m/s) |
|----------|-------------|---------------|-------------|
| 純細砂      | 0.23~0.30   | 平常礫土          | 1.23~1.52   |
| 不緻密之細砂   | 0.30~0.46   | 全面密草生         | 1.50~2.50   |
| 粗石及細砂石   | 0.46~0.61   | 粗礫、石礫及砂礫      | 1.52~1.83   |
| 平常砂土     | 0.61~0.76   | 礫岩、硬土層、軟質、水成岩 | 1.83~2.44   |
| 砂質壤土     | 0.76~0.84   | 硬岩            | 3.05~4.57   |
| 堅壤土及粘質壤土 | 0.91~1.14   | 混凝土           | 4.57~6.10   |

資料來源：水土保持技術規範，民國 106 年。

4. 最小容許流速：渠道應不發生淤積，其流速亦不能低於該渠道構築材料最小容許流速(如表 2-3)。依印度之肯尼第氏(Kennedy)之最小容許流速如下式。

$$V_s = C \cdot d^{0.64}$$

$$V_s = C \cdot d^{0.50} \text{ (清水時)}$$

式中：Vs：不沖不淤之容許流速(m/s)。

C：流速係數，不同土質之 C 值如下表所示。

d：水深(m)

表 2-3 不同土質之 C 值(最小容許流速)

| 土質       | 流速係數 C 值 |
|----------|----------|
| 輕且鬆之砂質壤土 | 0.535    |
| 微細砂土     | 0.548    |
| 輕鬆之細砂土   | 0.587    |
| 砂質壤土     | 0.645    |
| 粗砂土      | 0.698    |

資料來源：內政部土地重劃工程局，農地重劃區農路、水路建造物規範手冊，民國 93 年。

5. 最小出水高  $F_b$ ：基於渠道糙率係數之變動及水面波動影響，以確保渠道安全，而需增加之水面至渠頂的垂直距離，以下式決定之，d 為最大計畫流量之水深(m)。

$$F_b = 0.05d + (0.05 \sim 0.15)$$

6. 滲透最少斷面：渠道滲透量  $S_y$ (如圖 2-10)受表土、下層土及地下水位高低影響，與水深  $d_y$ ，有如下平方根關係，其中，K(單位：m/s)係依土質或地下水位高低而異之滲透係數，其值介於級配礫石(粒徑 0.4mm)之  $10^{-3}$ m/s 至高塑性黏土(粒徑 0.00001mm)之  $10^{-11}$ m/s。

$$S_y = K\sqrt{dy}$$

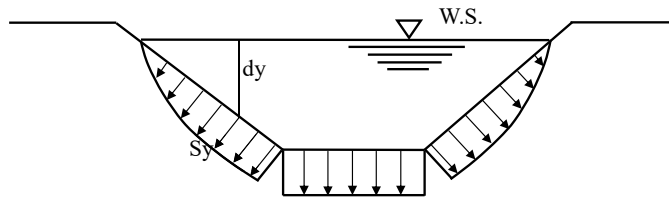


圖 2-10 渠道滲透示意圖

7. 渠道安定：設於山腰部渠道，對此問題尤其重要，須滿足抗滑抗翻安全準據。若水位浸及填土部分則其流出水量因水壓之增大而增加，易至危險，故應將其通水斷面設計於挖土部分或必要時加以內面工。
8. 挖掘容易又經濟之斷面：渠道水深增加則挖掘單價亦增高，其殘土放置之距離越遠費用越增，故土渠經濟之決定要素與此有莫大之關係。
9. 渠道縱坡：明渠水路縱斷面設計，應視地形、土質及流速等因數而定，水路縱坡較陡者須設置跌水工消能，以降低流速防止沖刷。農田水利設施大多以重力方式輸送水流，須滿足福祿數比值特性。
10. 渠道淤積：渠道內之流速應中庸，其流速亦不能低於該渠道構築材料最小容許流速，避免發生淤積情形。
11. 結構計算應考慮外力：包括土壓力、水壓力、上揚力均須考慮。上揚力之考慮在地下水水位較淺處，渠中流量較小或斷水時，因地下水或雨水滲入內面工背面，致使渠道內面工因水壓而產生上浮，若內面工強度不足時，將導致破壞現象，因此需有如下排除地下水或滲透水之設施：(1)在內面工側坡上埋設排水孔；(2)在內面工底部設置導水暗管，引導地下水至低處排除；(3)渠道內面工需有足夠重量以防止上浮。

## 2.5、工程設計及實例與相關圖片

### 2.5.1、工程設計

#### 一、工程設計前

1. 工程用地需先調查清楚，若屬私人土地需取得土地所有權人同意。
2. 多餘土石方的存置地地點，要規劃清楚。
3. 在規劃設計之前，需先確定土地所有權之範圍，避免完工之後，發現界址超過權狀，凡對土地範圍有疑慮者，應事先申請土地鑑界。

#### 二、工程設計

1. 水理計算必需能滿足灌溉需求，運用水理計算水位、流量。
2. 渠道之結構安全，夠符合渠道之水壓、外部壓力之需求。

3. 渠道設施配合當地社區發展特色，如綠美化工程滿足地方需求。

4. 農田水利會係公法人機構，適用國家賠償法，各項工程施工，需負公共安全責任，所以各工程無論施工或是維護，都要注意安全，必須再三檢討，避免因工程缺失，而要負賠償責任。

### 2.5.2、桃園農田水利會桃園大圳 U 型複式斷面

桃園農田水利會於民國 8 年創立，迄民國 108 年滿百年，早期因財源不足，設計工法著重經濟效益，渠道採用梯型無鋼筋之薄形坡面工，厚度為 8 至 10cm，經長年通水、豪雨傾襲，坡面工破損；又隨著主會發展，沿著桃園大圳兩岸由農村逐漸發展成社區，當地居民也隨著增加，原梯型斷面，因坡面工採用 1:1 之側坡，若有人不小心跌落，不容易爬上岸，為顧及附近住民之安全，將原梯型斷面改成 U 型複式斷面(如圖 2-11)，並配合社區發展，針對周遭環境綠美化，提供民眾休閒空間。桃園大圳更新改善水理計算分析，為保守計，採 8m×2.8m 矩型渠道分析，水理計算僅計算第一層矩形渠道水量滿足正常供水量，尤須顧及完成後通水水位不可太低，以免影響直接灌溉及水門取入水位，所以複式斷面第一層採用 1.5m。改善前後如圖 2-12。

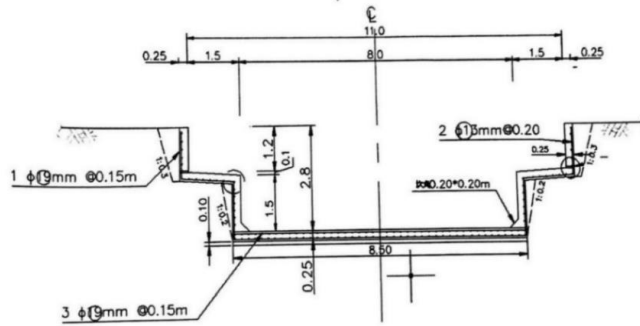


圖 2-11 桃園大圳 U 型複式斷面

說明：通水量  $Q$  為 14.0cms；原為梯型斷面，底寬 5.4m，邊坡=1:1。更新改善後之斷面複式斷面底寬=8.0m；渠道縱坡 1/2500。利用曼寧公式計算渠道等速流計算  $n=0.014$ 。梯型斷面之正常水深=1.414m。改善後之複式斷面正常水深=1.26m。改善後之流速=1.389m/sec。臨界水深 $y_c=0.679m <$ 正常水深(亞臨界流)。



圖 2-12 桃園大圳改善前(左)、後(右)相片

### 2.5.3、桃園農田水利會光復圳幹線改善工程

桃園農田水利會為改善幹線內面工破損老舊狀態，減少輸水損失，就光復圳幹線改善工程，將原有梯型斷面改成矩型斷面(如圖 2-13)。其施工地點：桃園市楊梅區伯公岡公園，屬湖口工作站轄區。水理：設計水量 4.0cms、渠底坡度  $S=1/1289$ 、水深=0.88m、渠道寬=4.0m、臨界水深=0.54m。渠道高度：配合地形且滿足出水高，採用 1.88m。渠道旁：設 3.5m 巡視道路，以利管理人員通行。於 88 年完工。

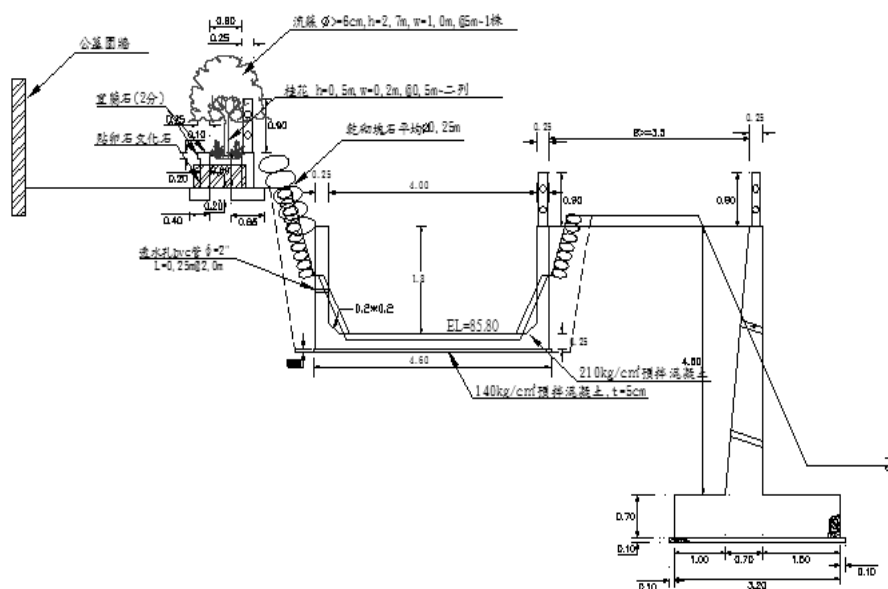


圖 2-13 桃園農田水利會光復圳幹線改善設計斷面圖

### 2.6、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 易任，1976，渠道水力學，東華書局。
4. 桃園農田水利會，1999，光復圳幹線改善工程、桃園大圳 U 型複式。
5. 農田水利會聯合會，1996，農田水利會技術人員訓練教材，灌溉工程類合訂本。
6. 連惠邦、曹文洪、胡春宏，2000，明渠水力學，高立圖書公司。
7. 謝平城，2014，渠道水力學，五南圖書公司。
8. Hubert Chanson, 2004, Hydraulics of Open Channel Flow, 2nd edition, Elsevier.

## 第三章、暗渠

### 3.1、概述

農田水利之渠道大部分均為明渠，但當渠道橫越公路、堤防或因用地關係不能開設明渠時，則設置暗渠(culvert)。

暗渠內之水流依其水力特性，可為自由流或壓力流。其斷面形狀有矩形、圓形、梯形、拱型或其他形狀，並可由金屬、混凝土、木材或其他材料所構成。一般以預製混凝土之圓形管，或矩形整體現澆之混凝土箱涵最為普遍。

### 3.2、暗渠水理

#### 3.2.1、水理態樣

依其水流流況，暗渠水理態樣，大致有如下 3 類 8 種，其中， $D$ =圓管直徑(m)， $H$ =上游水深(m)：

1. 部分流，入口未淹沒時， $H/D < 1.2$ ，
  - A. 緩坡，亞臨界流，控制可在出口處之臨界水深。
  - B. 臨界坡，亞臨界流，控制可在出口處之臨界水深，或在有迴水時較大水深處。
  - C. 陡坡，超臨界流，控制為入口處之臨界水深。
2. 部分流，入口已淹沒時，
  - A.  $H/D > 1.2$ ，緩坡，亞臨界流，入口處有孔口水流控制。
  - B.  $H/D < 1.2$ ，陡坡，超臨界流，入口處有孔口水流控制。
3. 滿流，入口已淹沒時，
  - A.  $H/D > 1.2$ ，壓力流緩坡，亞臨界流，控制在出口處。
  - B.  $H/D = 1.2 \sim 1.5$ ，壓力流陡坡，超臨界振動斷續流，控制在入口及管道等某斷面間交互移動。
  - C.  $H/D > 1.5$ ，壓力流陡坡，超臨界流，控制在出口處。

#### 3.2.2、水理

若是部分流，入口為淹沒時，其水理與明渠相同。餘，則可分進口控制水理與出口控制水理兩種。

進口控制部分，即暗涵入口水位如高於管頂以上，則成為潛流孔口(Submerged orifice)，如圖 3-1 所示，若  $A$ =孔口斷面積( $m^2$ )，則暗涵流量可由下式求得

$$Q = CA\sqrt{2g(H - D)} \dots\dots\dots(3-1)$$

式中，Q=流量(cms)；C=流量係數 0.81~0.91；g 為重力加速度(m/sec<sup>2</sup>)。

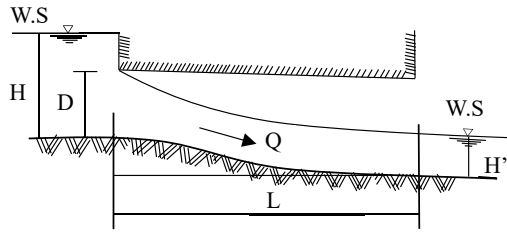


圖 3-1 暗渠水理

出口控制水理部分，需考慮進、出口水頭損失(如 3-1a、3-1b 式所示)及管路損失，其中， $K_i$ 及 $K_o$ 為進出口損失係數； $\Delta H_v$ 為漸變段兩端流速水頭差。

$$\text{進口水頭損失 } H_i = K_i \cdot \Delta H_v \dots\dots\dots(3-1a)$$

$$\text{出口水頭損失 } H_o = K_o \cdot \Delta H_v \dots\dots\dots(3-1b)$$

管路損失，主要為摩擦損失，因斷面型式不同可由下式計算：

$$h_0 = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \text{ (圓形斷面)} \dots\dots\dots(3-2)$$

$$h_0 = f \frac{L}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \text{ (一般斷面)} \dots\dots\dots(3-3)$$

若暗涵出入口底部高差大於公式(3-2)及(3-3)時，暗涵即成為自由流。上式中 f 摩擦損失係數，可由下式求之。

$$\text{圓形斷面, } f = \frac{124.6n^2}{D^{1/3}} \dots\dots\dots(3-4)$$

$$\text{一般斷面, } f = \frac{2gn^2 \times 4}{R^{1/3}} \dots\dots\dots(3-5)$$

式中，n=粗糙率；R=水力半徑(m)。

將公式(3-1)代入上述相關式子、移項、整理，可導得 $\frac{H}{D}$ 與圓形斷面 $\frac{Q}{D^{5/2}}$ 、矩形斷面 $\frac{Q}{d^{3/2}}$ 之關係式，

$$\text{圓形斷面, } \frac{Q}{D^{5/2}} = 3.48C \sqrt{\frac{H}{D} - 1} \dots\dots\dots(3-6)$$

$$\text{矩形斷面(以單位長度暗涵計算), } \frac{Q}{d^{3/2}} = 4.43C \sqrt{\frac{H}{D} - 1} \dots\dots\dots(3-7)$$

式中， $C = (1 + f_e)^{-1/2}$ ，為流量係數； $f_e$ 為不同入口形狀之損失係數，其值與C值關係如表 3-1 所示。以角形入口損失係數 $f_e = 0.5$ 為例，其 $\frac{H}{D}$ 所對應 $\frac{Q}{D^{5/2}}$ 與 $\frac{Q}{d^{3/2}}$ 之關係，如表 3-2 所示。

表 3-1 不同入口形狀之 $f_e$ 與 C 值關係表

| 入口形狀 | $f_e$ | C    |
|------|-------|------|
| 角形   | 0.5   | 0.81 |
| 圓形   | 0.23  | 0.90 |
| 鐘形   | 0.04  | 0.98 |

表 3-2  $\frac{H}{D}$ 所對應 $\frac{Q}{D^{5/2}}$ 與 $\frac{Q}{d^{3/2}}$ 關係表( $f_e = 0.5$ 時)

| $\frac{H}{D}$ | $\frac{Q}{D^{5/2}}$ | $\frac{Q}{d^{3/2}}$ | $\frac{H}{D}$ | $\frac{Q}{D^{5/2}}$ | $\frac{Q}{d^{3/2}}$ | $\frac{H}{D}$ | $\frac{Q}{D^{5/2}}$ | $\frac{Q}{d^{3/2}}$ |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 1.1           | 0.90                | 1.14                | 2.1           | 2.98                | 3.78                | 3.1           | 4.12                | 5.23                |
| 1.2           | 1.27                | 1.61                | 2.2           | 3.11                | 3.95                | 3.2           | 4.21                | 5.35                |
| 1.3           | 1.56                | 1.98                | 2.3           | 3.24                | 4.11                | 3.3           | 4.31                | 5.47                |
| 1.4           | 1.80                | 2.29                | 2.4           | 3.36                | 4.27                | 3.4           | 4.40                | 5.59                |
| 1.5           | 2.01                | 2.54                | 2.5           | 3.48                | 4.4                 | 3.5           | 4.49                | 5.70                |
| 1.6           | 2.20                | 2.79                | 2.6           | 3.59                | 4.56                | 3.6           | 4.58                | 5.81                |
| 1.7           | 2.38                | 3.02                | 2.7           | 3.70                | 4.70                | 3.7           | 4.67                | 5.92                |
| 1.8           | 2.54                | 3.23                | 2.8           | 3.81                | 4.84                | 3.8           | 4.75                | 6.03                |
| 1.9           | 2.70                | 3.43                | 2.9           | 3.91                | 4.97                | 3.9           | 7.83                | 6.13                |
| 2.0           | 2.84                | 3.60                | 3.0           | 4.02                | 5.10                | 4.0           | 4.91                | 6.20                |

〔計算例〕設管徑  $D=0.9\text{m}$ ，管長  $L=18.2\text{m}$  之直線暗渠， $n=0.014$ ，流量  $Q=1.4\text{cms}$ ，試求上游水深  $H$ 。

$$Q=1.4\text{cms}, D=0.9\text{m}, A=\frac{\pi}{4}D^2 = 0.636\text{m}^2$$

$$V=Q/A=1.4/0.636=2.201(\text{m}/\text{sec}), h_v=\frac{v^2}{2g}=0.247\text{m}$$

$$\frac{Q}{D^{2.5}} = \frac{1.4}{0.9^{2.5}} = 1.82\text{m}, \text{由表 3-2 以比例求得 } \frac{H}{D}=1.42\text{m}$$

$$\therefore \text{暗渠上游水深 } H = \frac{H}{D} \times D = 1.42 \times 0.9 = 1.278\text{m}$$

### 3.3、設計注意事項

#### 3.3.1、設計要點

1. 渠道通過道路之交叉點，水流能夠穩定的向下游輸送。
2. 暗渠之結構能夠承受外部之各項荷重。包括活載重、靜載重、土壓力及水壓等。

#### 3.3.2、設計準則

##### 一、選擇適合之斷面型式

暗渠形狀之選擇，以能適合渠道或排水路之形狀為原則，如渠道或排水路唯一狹而深之水路，因雨季時所需通過之水量甚大，宜使用高而狹之暗渠



較寬而低者為經濟。如使用後者，則管體兩側開挖常較多且進出口漸變段及胸牆均較費錢。相反，地形較平坦時水路寬闊，用多孔寬矩形暗渠較為適宜。圓形暗渠之特點為潤周一定時具有較大之水力半徑，且受壓力時其應力分佈較為均勻，可稱為一種經濟斷面。

### 1. 箱形斷面

箱形斷面在施工較簡單，因模型板不複雜，鋼筋之安排與結紮也較容易，故常被採用。但當暗渠所受載重增加時，矩形暗渠之經濟性亦隨之減少。當內部淨水壓力較外部載重更大時，易發生同樣情形。

箱形暗渠之跨距不可過大，但如水流較淺則因所需之通水斷面機必須採用較寬之構造物，此時宜用二孔或數孔之暗渠較為適宜。

### 2. 圓形斷面

埋設在堤岸或公路下較深時，其土壓力大，則使用圓形斷面最為經濟。若使圓形斷面底部稍放平，則其之承力及荷重可均分佈在底版上，此種斷面並因其兩邊之厚度及強度均較大，可得較大之壓力平均分佈於基礎上，底部之厚度較小，該處之剪力及壓力均較小。

圖 3-2 係適合上述情形，為一般所採用之斷面(直徑  $D$ 、半徑  $R$ )，此種斷面兼具圓形管之水力特性與圓形拱形載重承受性質，其緩平底部則與矩形底部情形相似。此種斷面常用於倒虹吸工、暴雨水道、下水道及隧道等。

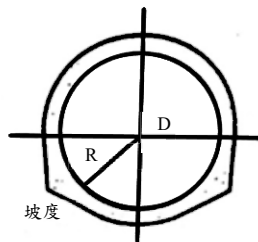


圖 3-2 圓形暗渠斷面

二、決定適合之斷面尺寸，已可銜接上下游渠道為主

三、計算各項暗渠荷重

#### 1. 暗渠荷重種類

暗渠結構設計除由水理條件決定其通水斷面外，其本身斷面之大小尺寸乃由暗渠荷重而定。加諸於暗渠之荷重可分為活載重與靜載重兩大類。活載重包括移動之集中載重，如車輪載重及衝擊力。靜載重包括暗渠上面之土壓力。暗渠本身重量與暗渠內之水重，暗渠兩旁之側壓力及靜水壓力等。綜合上述載重可分為下列六種(如圖 3-3 及圖 3-4)所示：

(1) 均勻垂直載重：以  $P$  代表，及加諸於暗渠上全部土壓及車輛載重，以  $\text{kg/m}$  表示。

- (2)暗渠本身重量(以均勻反力計, kg)：混凝土單位體積重量為 $\frac{2,400\text{kg}}{\text{m}^3}$ 。
- (3)暗渠內水壓：滿管水壓力，以 kg 表示，單位體積水重量為 $\frac{1,000\text{kg}}{\text{m}^3}$ 。
- (4)均勻側壓力：平均分佈側壓力，以 W(兩邊對稱)代表，等於暗渠頂部側壓力，以 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ 表示。
- (5)三角側壓力：以 T(兩邊對稱)代表，等於相當之單位側壓力，以 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ 表示。4 與 5 之組合可得任何一種矩形側壓力。
- (6)暗渠頂上靜水壓力所引起之內壓力 hp 為自暗渠頂部之靜水頭，相當於 $\frac{1,000\text{hpkg}}{\text{m}^2}$ 之壓力加於內面側。此種壓力僅發生於壓力隧道或虹吸工，普通暗渠設計可略而不計。若需計及者必須與 3 並計之。

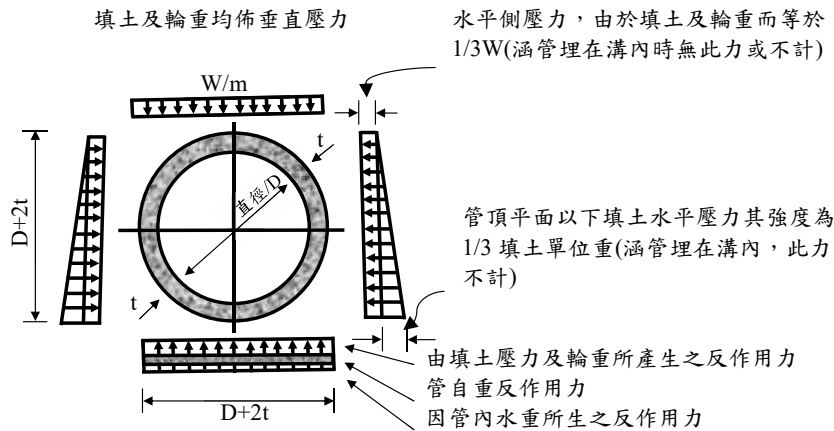


圖 3-3 管涵荷重情形

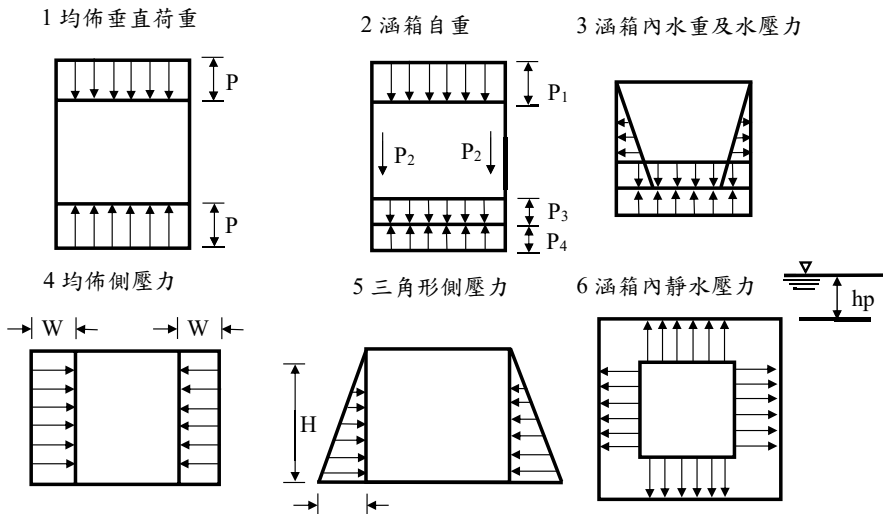


圖 3-4 箱形暗渠載重情形

## 2. 車輛傳至暗渠頂荷重

暗渠設計所論及之活載重在穿過公路時，我國設計標準係根據 AASHTO(美國公路及運輸員司協會)所頒定標準貨車載重。

圖 3-5 示輪距及載重分配情形。一般載重車輛，其重量分配，前輪承擔全部重量之二成，後輪承擔八成，而後輪每輪平均承擔四成，車輛通行於暗渠上，可能傳布之最大力量為後輪輪重。故設計恆以此種為準。

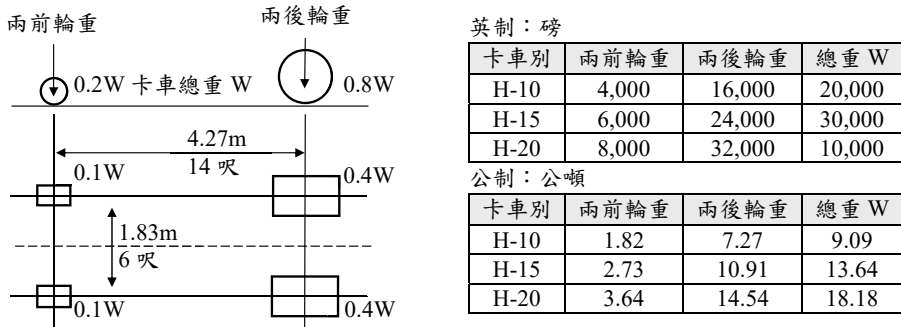


圖 3-5 車輛分配重

車輪輪重通常經由回填傳佈於暗渠上部，傳於管頂或箱頂上之壓力，可由圖 3-5 查得，該圖係於 H-10 加 50% 之衝擊力(無鋪面路)為基礎而得。倘設計之車輛大或小於 H-10 者，則自圖 3-6 查得之數值，乘以設計輪輪重與 H-10 之比值而得，輪重如為 H-15 而不計衝擊力時，則自圖上查得之數值即為所需要之數值。

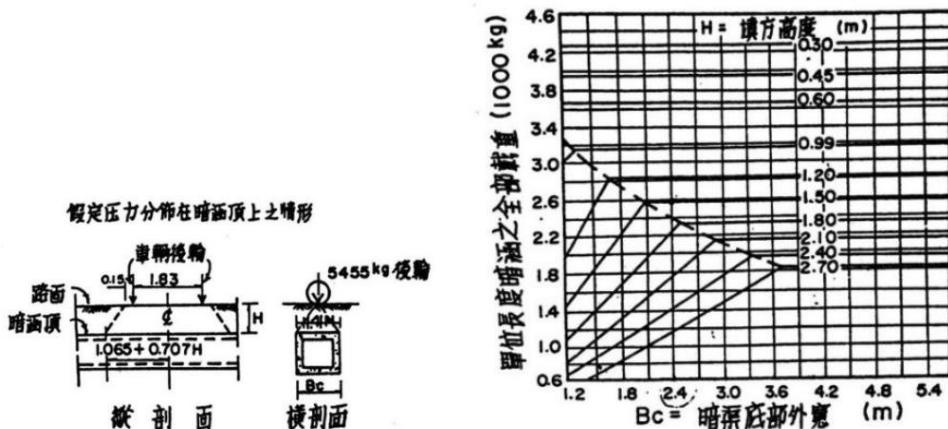


圖 3-6 車輛通過暗渠涵填土頂部輪重之傳佈

四、配合外部壓力計算暗渠各相關位置之配筋。

### 3.4、工程設計及實例與相關圖片

#### 3.4.1、工程設計

- 1.施工前，需先向地方政府申請施工許可。
- 2.設計時，需考慮完工後，暗涵通行時的安全，並維持車輛及行人之安全，在暗涵設計時須加設欄杆。
- 3.施工時，須注意工地現場之安全，如增設安全警示帶、安全警示燈及活動拒馬等安全設備。
- 4.暗渠之各項外力，均應包括在內。

#### 3.4.2、桃園農田水利會光復圳二支線箱涵

##### 一、工程特性

暗涵可採用圓形或箱涵，目前各地農田水利會改善工程，暗涵都是在與道路交換處使用，本工程係以箱涵為主，而箱涵設計方式，可採用係數計算表，該箱涵於108年建造，屬桃園農田水利會光復圳二支線。

##### 二、正方形暗渠斷面設計(係數計算表)

已知：通水斷面積 $A = 3.9m^2$ ，10噸貨車行駛於無鋪面二級公路上，暗渠頂部填土高 $H = 1.5m$ (垂直荷重第二種情形)，填土單位重量 $W' = \frac{1,600kg}{m^3}$ 。

計算：暗渠淨寬與高度 $L=2m$ ，則暗渠通水斷面積 $=2 \times 2 = 4m^2 > 3.9m^2$ 。假定厚度 $t = \frac{L}{10} = 0.2$ ，則斷面外寬 $Bc = 2 + 2 \times 0.2 = 2.4m$ 。10噸貨車之活載重由圖3-5可查得，為 $\frac{2,750kg}{m}$ 。第二種填土載重 $= 1.5 \times 1,600 \times 2.4 = \frac{5,760kg}{m}$ 。均勻垂直荷重 $P = 2,570 + 5,760 = \frac{8,330kg}{m}$ 。均勻側壓力 $W = \frac{1}{3}W'H = \frac{1}{3} \times 1,600 \times 1.5 = 800 \frac{kg^2}{m}$ 。三角形側壓力 $T = \frac{1}{3}W' = \frac{1}{3} \times 1,600 = 533 \frac{kg^3}{m}$ 。

由此等數字乘以表3-3中係數，結果如表3-4。例如表3-4計算均勻垂直荷重力矩時， $P(L+t) = 8,330(2.0 + 0.2) \doteq 18,330$ 。而4、5、6、7各點之係數分別為-0.042，-0.042，-0.022及+0.083。故所求之力矩分別為：

點4： $18,330 \times (-0.042) \doteq -770$  點5： $18,330 \times (-0.042) \doteq -770$

點6： $18,330 \times (-0.022) \doteq -403$  點7： $18,330 \times (+0.083) \doteq +1,520$

最後之力矩 $M$ ，推力 $N$ ，剪力 $V$ 乃係每行數值之代數和。由表3-4可知所需最小有效厚度為12.8cm(點7)，加保護厚度5cm，計17.8cm，因此先假定 $t=20cm$ 尚足夠，此時有效厚度為 $d=15cm$ 。以此再計算各點所需鋼筋量。

點7，A鋼筋需 $12.97cm^2$ ，採用 $\varnothing 16mm@15cm$ 時 $A_s = 13.2cm^2 > 12.97cm^2$ 其次檢算點6之剪力及附著力，配筋標準圖詳圖3-7。

表 3-3 方形暗渠在各臨界點之力矩、推力及剪力係數

| 荷重情形 |                              | 方矩 M 軸心力 N 及剪力 V |        | 點 4    |        | 點 5    |        | 點 6    |  | 點 7 |
|------|------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|-----|
|      |                              | M                | N      | M      | N      | M      | N      | M      |  |     |
| I.   | 均勻垂直載重 P(L+t)                | -0.042           |        | -0.042 |        | -0.022 |        | +0.083 |  |     |
|      | P                            |                  | +0.5   |        | +0.50  |        | -0.50  |        |  |     |
| II.  | 暗渠本身重量 t(L+t) <sup>2</sup>   | -200             |        | -351   |        | -212   |        | +551   |  |     |
|      | T(L+t)                       |                  | +2,400 |        | +3,600 |        | -3,600 |        |  |     |
| III. | 內部所含水壓力 L <sup>2</sup> (L+t) | -41.6            |        | +10.1  |        | +22.9  |        | +22.9  |  |     |
| IV.  | 均勻側壓力 W(L+t) <sup>2</sup>    | +0.083           |        | -0.022 |        | -0.042 |        | -0.042 |  |     |
| V.   | 三角形側壓力 T(L+t) <sup>3</sup>   | +0.042           |        | -0.010 |        | -0.023 |        | -0.023 |  |     |

註：P：寬度(L+2t)、暗渠填土高 H 時，單位長度暗涵上之垂直總載重；W：單位長度暗涵之填土高為 H 時之均勻側壓力 W=1/3W'H(W'為單位土重)；T：單位長度單位寬度之三角形側壓力 T=1/3W'。

表 3-4 2m×2m 暗渠計算表

| 荷重情形                          |                   | M,N,V 係數 |        | 點 4      |        | 點 5     |        | 點 6      |  | 點 7 |
|-------------------------------|-------------------|----------|--------|----------|--------|---------|--------|----------|--|-----|
|                               |                   | M        | N      | M        | N      | M       | V      | M        |  |     |
| I.                            | 均勻垂直載重 M          | -770     |        | -770     |        | -403    |        | +1,520   |  |     |
|                               | N 或 V             |          | +4,165 |          | +4,165 |         | -4,165 |          |  |     |
| II.                           | 暗渠本身重量 M          | -194     |        | -340     |        | -205    |        | +533     |  |     |
|                               | N 或 V             |          | +1,060 |          | +1,590 |         | -1,590 |          |  |     |
| III.                          | 內部所含水壓力 M         | -336     |        | ※0       |        | ※0      |        | +202     |  |     |
| IV.                           | 均勻側壓力 M           | +321     |        | -85      |        | -163    |        | -163     |  |     |
| V.                            | 三角形側壓力 M          | +238     |        | -57      |        | -131    |        | -131     |  |     |
| 總力矩 $\sum M$                  |                   | -771     |        | -1,252   |        | -902    |        | +1,961   |  |     |
| 總軸心或剪力 $\sum M$ 或 $\sum V$    |                   |          | +5,225 |          | +5,755 |         | -5,755 |          |  |     |
| 100M                          | (kg·cm)           | -77,100  |        | -152,200 |        | -90,200 |        | +196,100 |  |     |
| Nd''(d''=5cm)                 | (kg·cm)           | 26,100   |        | 28,800   |        |         |        |          |  |     |
| Ms=100M+Nd''                  | (kg·cm)           | 103,20   |        | 154,000  |        |         |        |          |  |     |
| $d = c \sqrt{\frac{Ms}{100}}$ | (cm)              | 9.3      |        | 11.3     |        | 8.7     |        | 12.8     |  |     |
| $As = \frac{Ms}{fsid}$        | (cm) <sup>2</sup> | 6.83     |        | 10.19    |        | 5.97    |        | 12.97    |  |     |
| $-\frac{N}{fs}$               |                   | -4.35    |        | -4.8     |        |         |        |          |  |     |
| As                            | (cm) <sup>2</sup> | 2.48     |        | 5.39     |        | 5.97    |        | 12.97    |  |     |

註：上表中，斷面 5、6 點應力於暗涵內有水時反而減少，故此兩斷面假定暗渠內無水。

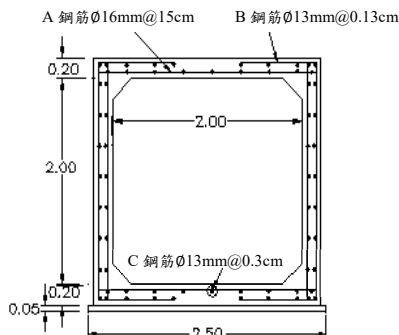


圖 3-7 矩形暗渠斷面圖  
鋼筋配置圖 S = 1/50

$$\text{剪應力 } T = \frac{V}{bjd} = \frac{5,755}{100 \times 0.84 \times 15} = \frac{4.57 \text{ kg}}{\text{cm}^2} < \frac{6 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{握著力 } \sum 0 = \frac{V}{T_{ojd}} = \frac{5,755}{15 \times 0.84 \times 15} = 30.45 \text{ cm}$$

點 6，B 鋼筋需  $5.79 \text{ cm}^2$ ，採用  $\text{Ø}13\text{mm}@13\text{cm}$  時，

$A_s = 9.77 > 5.79 \text{ cm}^2$ ，而總周長  $\sum 0 = 30.77 > 30.45 \text{ cm}$ 。

縱向鋼筋  $\sum 0 = 0.002$ ，乘混凝土總斷面積 =  $0.002 \times 100 \times 20 = \frac{4 \text{ cm}^2}{\text{m}}$ ，  
採用  $\text{Ø}13\text{mm}@30\text{cm}$  時， $A_s = 4.23 \text{ cm}^2 > 4 \text{ cm}^2$ 。

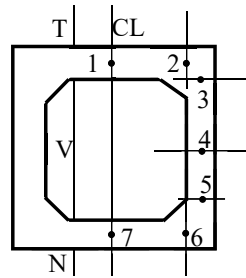


圖 3-8 暗渠應力計算點示意圖

文中符號，(+)M：內側產生張力之力矩(Moment)；(+)N：在斷面產生壓力時之推力(Thrust)；(+V)：由內部視之此斷面左邊諸力之和向外時之剪力(Shear)；P：均勻垂直荷重(kg)；L：方形、矩形暗渠淨高度(m)；T：方形、矩形暗渠牆厚度(m)；W：均勻側壓力( $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ )；T：三角形側壓力( $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ )；R：圓管半徑(m)；hp：自暗渠頂部之靜水頭(m)。

點 7，A 鋼筋須  $12.97 \text{ cm}^2$ ，採用  $\text{Ø}16\text{mm}@15\text{cm}$  時  $A_s = 13.2 \text{ cm}^2 > 12.97 \text{ cm}^2$   
其次檢算點 6 之剪力及附著力，

$$\text{剪應力 } T = \frac{V}{bjd} = \frac{5,755}{100 \times 0.84 \times 15} = 4.57 \text{ kg/cm}^2 < 6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{握著力 } \sum 0 = \frac{V}{T_{ojd}} = \frac{5,755}{15 \times 0.84 \times 15} = 30.45 \text{ cm}$$

圖 3-7，為施工方便，實務上，有關 A、B 形式之鋼筋都採用相同之型號，箱涵之施工相片，詳圖 3-9，完工詳圖 3-10。



圖 3-9 桃園農田水利會光復圳二支線箱涵施工相片

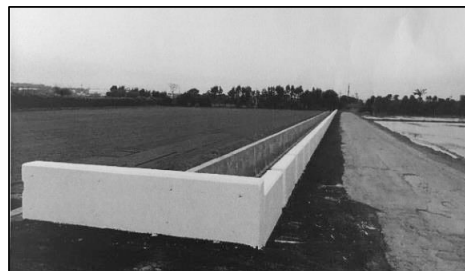


圖 3-10 桃園農田水利會光復圳二支線箱涵完工相片

### 3.4.3、桃園農田水利會蚵殼港圳排水箱涵

為有效解決蚵殼港圳下游西濱公路段逢雨必淹水情形，桃園農田水利會設計蚵殼港圳分洪工程，以減輕蚵殼港圳下游負擔。

其規劃設計構想，乃將部份洪水水量在適當中游段，即經由側溢道分洪排出，透過設置長 263 m、斷面高 1.5 m、寬 2 m 鋼筋混凝土排水箱涵，排出大部分洪水水量 14.0 cms，引流至下游福興溪出海，大幅改善側溢道後之蚵殼港圳下游負擔。該排水箱涵施工情形，如圖 3-11 所示，並於 98 年 4 月竣工。



圖 3-11 桃園農田水利會蚵殼港圳排水箱涵施工情形

### 3.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 農田水利會聯合會，1996，農田水利會技術人員訓練教材，灌溉工程類合訂本。
4. 易任，1976，渠道水力學，東華書局。
5. 謝平城，2014，渠道水力學，五南圖書公司。
6. 桃園農田水利會，2009，光復圳二支線箱涵工程、蚵殼港圳分洪工程。
7. Peter Waller and Muluneh Yitayew, 2015, Irrigation and Drainage Engineering, Springer International Publishing.
8. J. G. Dahigaonkar, 2006, Textbook of Irrigation Engineering, Asian Books Private Limited.

## 第四章、跌水工

### 4.1、概述

農田水利之跌水工(drop)，為渠道上的階狀結構物，主要用於消能、減緩坡度、約束流心之效，然因生態意識抬頭，故有時也用於營造生態條件或景觀需求。爰此，渠道中跌水工的運用狀況可歸納如下：

- 1.減緩渠道中之水流流速，以降低水流對渠道的淘刷。
- 2.因取水需求，提高渠底高程，讓水位抬升滿足取水量，再於後方設置跌水工，以降低渠底高程，使能接續下游渠道坡度以穩定水流。
- 3.營造渠道整體的生態條件或景觀需求。
- 4.跌水工依水流流向，可分為斜坡式跌水工及垂直式跌水工為二種型式。

消能方法中，水躍、衝擊及表面摩擦等，為使急流趨緩甚至全部消失，讓下游河床不致被沖刷蝕食之慮。常用消能設備有各類型靜水池，戽斗消能器，齒坡，衝擊式靜水池，衝塊型靜水池，槽柵消能器等。

### 4.2、水理

渠道水流若經過突降地形時，導致水流流線脫離渠底，受重力牽引而自由落下，此稱自由跌水(free drops)，此為跌水工通常顯現的水理現象。

一般土渠容易因自由跌水產生水流能量的沖刷，而造成下游渠道底部產生坑洞，若長期沖刷也可能導致渠岸的變形或崩塌。若是鋼筋混凝土渠道，短時間雖不至於造成渠道的掏刷，但若跌水深度過深產生水流衝擊能量過大，或水流中夾帶堅硬之土石顆粒，長時間下來亦會造成鋼筋混凝土渠道之沖刷損壞，所以減緩自由跌水後的水流能量，是跌水工設置時所要探討重點。

從水理觀點而言，跌水不能相距太近，否則各渠道構造物之進口與出口間之水流將造成不均勻現象。跌水下游若水深不足，在靜水池中又無法產生水躍，水流將變成急流，容易對渠道造成淘刷，尤其以土渠最為嚴重。

### 4.3、設計注意事項

#### 4.3.1、設計要點

跌水工消能設施，主要目的為降低流速，防止沖刷及為穩定水流。為防止沖刷，必須降低流速，使流速數值低於下游河床容許安全流速以下，確保下游河床穩定及其水流更趨平穩。降低水流動能的消能方式有如以下4種：



- 1.碰撞(collision)：使急流與渠道結構物或靜水池相碰撞，即部份能量因碰撞而消失，動能減低，流速減緩，水流即逐漸喪失沖刷威力，跌水工下游之靜水池及消能器等設施，都是憑藉碰撞而消能。
- 2.表面摩擦(friction of surface)：水流在流動之過程中常因摩擦而消失動能，摩擦分為內外二種，內摩擦指水流中分子間相互碰撞而生之摩擦，外摩擦指水流與渠道因相接觸所生之摩擦。外摩擦與渠道之粗糙率係數成正比。
- 3.灌氣(airation)：將急流沿流線方向射入空氣中，再因重力使其向下墜落，當急流射入空氣中時，逐漸變成挾帶大量空氣之水流，有如氣泡狀液體，破壞內部流線，產生分子間之碰撞，使能量逐漸消失。
- 4.產生水躍：跌水工下游水流甚急、流速大，沖刷威力於短距離內難以消滅，在此情況下，最常見的消能措施，即是設法促成水躍。水躍形成後，除大部份動能消耗外，另一部份動能轉為位能，使水深大增，流速自減，水流逐漸驅近於常流，而不致發生沖刷災害，此項消能措施最廣泛被採用。

### 4.3.2、設計準則

#### 4.3.2.1、斜坡式跌水工

##### 一、水躍(hydraulic jump)

渠道中超臨界流速在下游遇阻礙或其他邊界條件時，可能使流況突變為亞臨界流，渠流中原有能量於此突變過程中，產生混亂、渦動、激盪使能量大量損失，此突變稱為水躍現象，如圖 4-1。

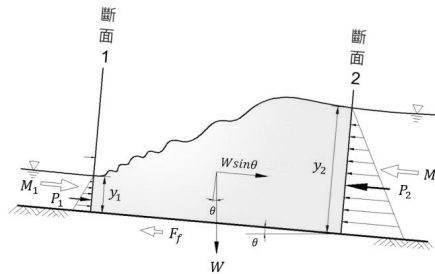


圖 4-1 水躍現象圖

由動量方程式(momentum equation)，

$$P_1 - P_2 + W \sin \theta - F_f = M_2 - M_1 \dots \dots \dots (4-1)$$

式中， $P_1$  = 斷面 1 壓力 =  $p_1 A_1 \cos \theta = \gamma \bar{y}_1 A_1 \cos \theta$ ； $P_2$  = 斷面 2 壓力 =  $p_2 A_2 \cos \theta = \gamma \bar{y}_2 A_2 \cos \theta$ ； $W \sin \theta$  = 沿流程方向水體之重力分量； $F_f$  = 渠道邊界摩擦阻力； $M_1$ 、 $M_2$  分別為沿流程方向於斷面 1、2 流出動量通量  $\beta_1 \rho Q V_1$ 、 $\beta_2 \rho Q V_2$ 。

由於水躍屬急變流，相較緩變速流，水躍長度很短，因此上式考慮摩擦阻力 $F_f$ 常可忽略，水平渠道時， $\theta = 0$ ，故 $W \sin \theta = 0$ ，動量係數 $\beta_1 = \beta_2 = 1$ ，經簡化、移項，再以福祿數(Froude number)表示，於單位渠寬，整理可得

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + 8F_1^2} \right) \dots \dots \dots (4-2)$$

式中， $y_1, y_2$ 為水躍前後水深，稱為共軛水深(Conjugate depth)。

### 二、水躍長度之決定

水躍長度並無公式可計算，通常均由水工試驗或實際觀測而得。跌水工水躍長度，則以斜面與水平護坦之相交作為起點，以下游水面滯之終點為終點，起終點間水平距離，即為水躍長度。

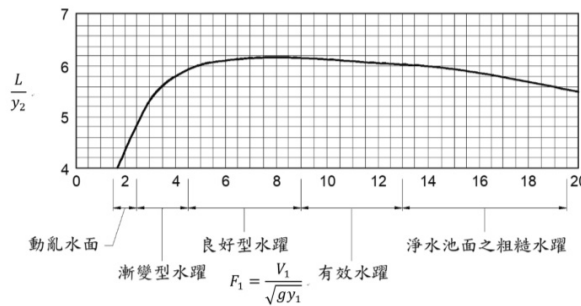


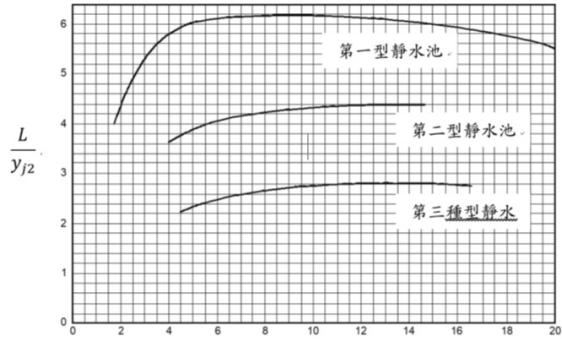
圖 4-2 水躍長度與 $y_2$ 曲線圖

### 三、消能設施的種類

#### (一)靜水池(stilling basin)

靜水池係與溢水道、出水口或其他高速水流之水工構造物連接，其主要結構為一混凝土護坦，功用係以承受下落之高速射流，減少亂流及波浪作用，消耗部份能量，減低流速，使不致沖刷下游河床。而成功之靜水池，係以促成水躍之形成，下列是幾種常用靜水池：

- 1.第一型靜水池：水躍發生於水準護坦上，靜水池內並無消能設備，池長與自然水躍相同，所需長度為共軛水深 $y_2$ 之 4~5 倍，福祿數在 4.5 以上時，長度即需為 $y_2$ 之 6 倍，所需長度不甚經濟，甚少採用。
- 2.第二型靜水池：適用於高壩之溢道及較大渠道構造物，福祿數在 4.5 以上，採用射檻(chute blocks)及終檻(end sill)設備，可縮短水躍及靜水池長度約 33%。
- 3.第三型靜水池：適用於較小溢道，放水口及較小渠道構造物，其射流速度小，不超過 18m/sec，福祿數 4.5 以上，採用射檻，池檻(baffle blocks)及終檻，可將水躍及靜水池長度縮短至 60%。
- 4.第四型靜水池：適用於水躍福祿數介於 2.5~4.5 之間，通常發生於渠道及攔河堰中，此型靜水池功用，係用以減少不完全水躍作用。



$$F_1 = \frac{V_{j1}}{\sqrt{gy_{j1}}}$$

圖 4-3 水平護坦上水躍長度(靜水池一、二、三型)

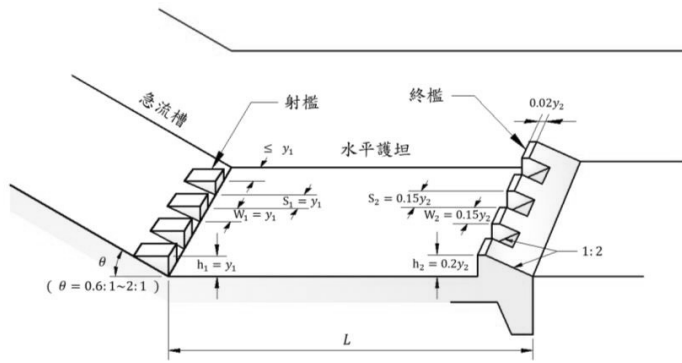


圖 4-4 第二型靜水池尺寸

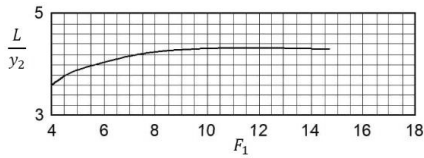


圖 4-5 水躍長度

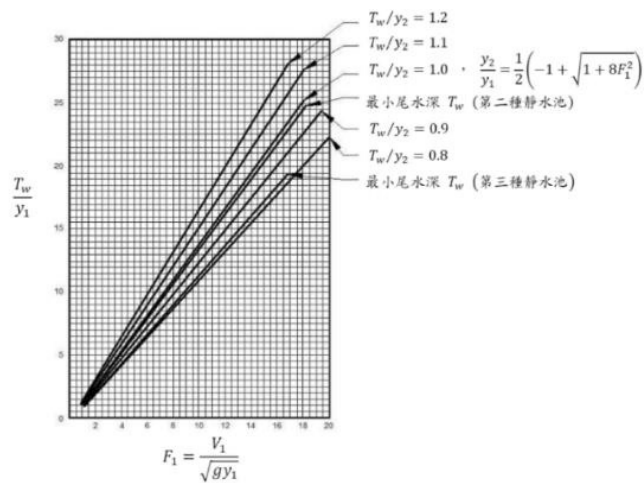


圖 4-6 一、二、三型靜水池最小尾水深度

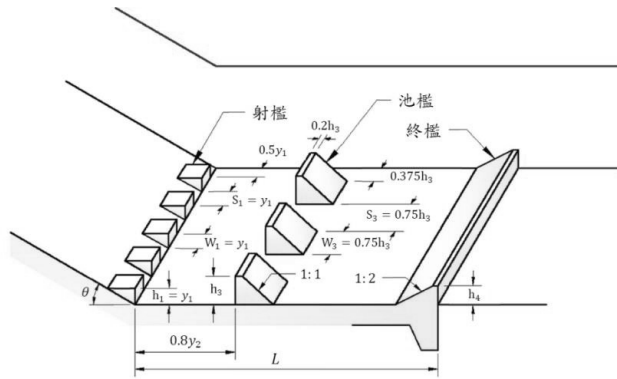


圖 4-7 第三型靜水池尺寸

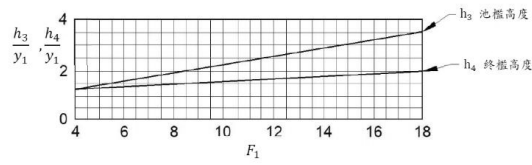


圖 4-8 池檻與終檻高度

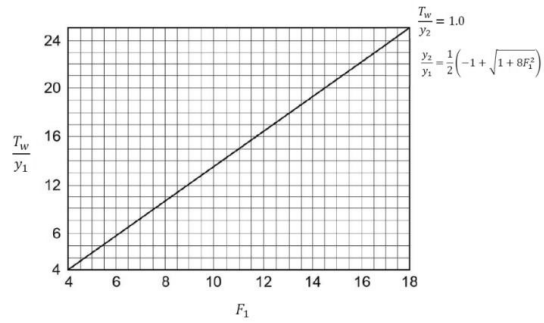


圖 4-9 最小尾水深

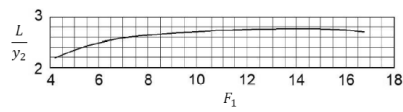


圖 4-10 水躍長度

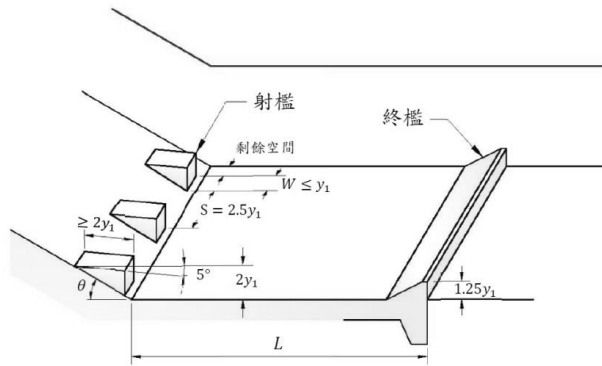


圖 4-11 第四型靜水池尺寸

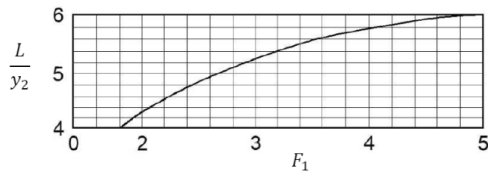


圖 4-12 水躍長度

5. 決定靜水池高程及牆高

6. 靜水池牆高程

$$E_{SB} = (Z_2 + d_2 + h_{v2}) - (y_{j2} + h_{j2}) \dots\dots\dots(4-3)$$

$$H = y_{j2} + h_{j2} + f \dots\dots\dots(4-4)$$

7. 拋射槽底曲線之決定: 參照圖 4-13。P<sub>t</sub> 點之求法: S=拋射槽坡度, 令  $\phi \cong 0$ , 設 K 對應的 x 及 y 值如下

|               |                 |                  |               |
|---------------|-----------------|------------------|---------------|
| K = 0.5       | K = 0.4         | K = 0.3          | K = 0.2       |
| $x = 4Sh_v$   | $x = 5Sh_v$     | $x = 6.67Sh_v$   | $x = 10Sh_v$  |
| $y = 2S^2h_v$ | $y = 2.5S^2h_v$ | $y = 3.34S^2h_v$ | $y = 5S^2h_v$ |

P<sub>c</sub> 點之求法: P<sub>c</sub> 點在上游距離 0 點  $x - \frac{y}{S}$  處, 當 K 其值之坐標如下:

|                           |                             |                              |                           |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| K = 0.5                   | K = 0.4                     | K = 0.3                      | K = 0.2                   |
| $x - \frac{y}{S} = 2Sh_v$ | $x - \frac{y}{S} = 2.5Sh_v$ | $x - \frac{y}{S} = 3.34Sh_v$ | $x - \frac{y}{S} = 5Sh_v$ |

$$y = x \tan \phi + \frac{Kx^2}{4h_v \cos^2 \phi} \quad S = \frac{dy}{dx} = \tan \phi + \frac{Kx}{2h_v \cos^2 \phi}$$

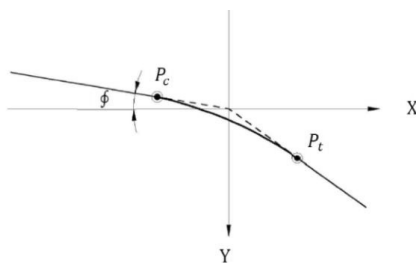


圖 4-13 拋射槽底曲線

8. 漸變段之決定: 如圖 4-14。

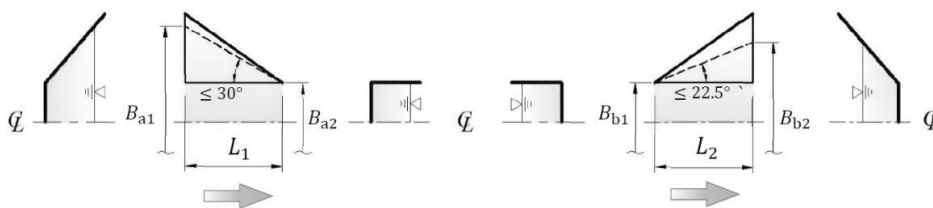


圖 4-14 進出口漸變段

$$A. \text{入口漸變段長度} : \therefore L_1 = \frac{B_{a1}-B_{a2}}{2 \times \tan 30^\circ} = \frac{B_{a1}-B_{a2}}{2 \times 0.577}$$

漸變段損失水頭及  $L_1$  段間的摩擦損失，可忽視之，用近似值  $0.2h_v$  計算， $\Delta h_v =$  漸變段上游渠道至跌水口間流速水頭之差。

$$B. \text{出口漸變段} : \text{即 } \tan 22.5^\circ = \frac{(B_{b2}-B_{b1})/2}{L_2} \therefore L_2 = \frac{B_{b2}-B_{b1}}{2 \times \tan 22.5^\circ} = \frac{B_{b2}-B_{b1}}{2 \times 0.414}$$

C.入口漸變段與急流槽之出水高度：入口漸變段(左)、急流槽(右)

| 水深(m)   | 出水高度(m)   | 流量(cms) | 出水高度(m) |
|---------|-----------|---------|---------|
| 0~1.5   | 0.35~0.40 | 0~0.3   | 0.40    |
| 1.5~2.0 | 0.40~0.45 | 0.3~0.6 | 0.45    |
| 2.0~3.0 | 0.45~0.50 | 0.6~1.0 | 0.50    |
|         |           | 1.0~1.5 | 0.55    |
|         |           | 1.0~2.0 | 0.60    |

(二)戽斗消能器：水躍之尾水過深，無法形成良好水躍時可採用。

(三)齒坡：跌水工與土渠連接或下游水位無法控制時。

(四)衝擊式靜水池：急流槽尾端之靜水池或大流速管路出口可採用。

(五)衝塊型靜水池：低水頭時使用。

(六)槽柵消能器：可作為小跌水時之消能器使用。

#### 4.3.2.2、垂直式跌水工

如圖 4-15 垂直式跌水工示意圖，適用於較小渠道中，或因上下游渠道受地形影響，不能施設斜坡式跌水工時使用。

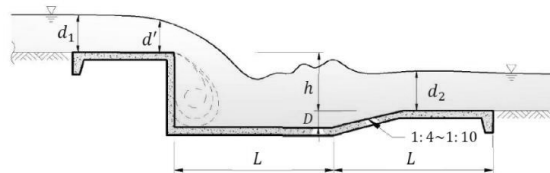


圖 4-15 垂直式跌水工

## 4.4、工程設計及實例與相關圖片

### 4.4.1、工程設計

以下表渠道資料設計一斜坡式跌水工為例。

| 項目      | 上游渠道斷面 | 下游渠斷面     |
|---------|--------|-----------|
| 樁號      | 1+500m | 1+523.39m |
| 渠底標高 EL | 220m   | 217m      |
| 渠道縱坡 S  | 1:1000 | 1:2000    |

| 項目     | 上游渠道斷面 | 下游渠斷面 |
|--------|--------|-------|
| 計畫流量 Q | 6cms   | 6cms  |
| 糙率 n   | 0.014  | 0.012 |

例中， $b_1 = b_2$ ，故上下游斷面渠底寬均以  $b=2m$  表示， $z_1 = z_2$ ，故上下游斷面側坡均以  $z=1:1.5$  表示。

一、先計算上游水力因素，由梯形渠道相關公式，計算出下列參數。

$$\text{由 } \frac{Qn}{\sqrt{S}} = \frac{[d(b+dz)]^{\frac{5}{3}}}{(b+2d\sqrt{1+z^2})^{\frac{2}{3}}} \dots\dots\dots(4-5)$$

以試誤法，當  $d_1 \cong 1.02m$  帶入(4-5)式，得等號左右兩邊相等，故取  $d_1 \cong 1.02m$ 。

$$P_1 = b + 2d_1\sqrt{1+z^2} = 2 + 2 \times 1.02 \times \sqrt{1+1.5^2} = 5.6777m$$

$$A_1 = d_1(b + d_1z) = 1.02(2 + 1.02 \times 1.5) = 3.6006m^2$$

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} = 0.6342m, \quad V_1 = \frac{1}{n_1} R_1^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_1} = \frac{1}{0.014} (0.6342)^{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{1}{1000}} = 1.67m/s$$

$$\text{緩坡時 } \theta \cong 0 \therefore d_1 \cos \theta \cong d_1$$

$$\text{故 } E_1 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 1.02 + \frac{1.67^2}{2 \times 9.81} = 1.16m$$

二、再計算下游水力因素，亦由梯形渠道相關公式，計算出下列參數。

同樣以試誤法，當  $d_2 \cong 1.125m$ ，帶入(4-5)式，等號兩邊相等，

故取  $d_2 \cong 1.125m$ 。

$$P_2 = b + 2d_2\sqrt{1+z^2} = 2 + 2 \times 1.125 \times \sqrt{1+1.5^2} = 6.0562m$$

$$A_2 = d_2(b + d_2z) = 1.125(2 + 1.125 \times 1.5) = 4.1484m^2$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} = 0.685m, \quad V_2 = \frac{1}{n_2} R_2^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_2} = \frac{1}{0.012} (0.685)^{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{1}{2000}} = 1.45m/s$$

$$\text{緩坡時 } \theta \cong 0 \therefore d_2 \cos \theta \cong d_2$$

$$\text{故 } E_2 = d_2 + \frac{V_2^2}{2g} = 1.125 + \frac{1.45^2}{2 \times 9.81} = 1.23m$$

三、計算跌口水口控制斷面之斷面因素(如臨界寬度、水深、速度水頭)。

依照美國墾務局手冊，控制斷面決定須符合  $E_1 \cong E_c + 0.2dh_{vc-1}$ ，其中，由試誤法找出臨界寬度，當  $b_c \cong 3m$ ，可以符合，即

$$\begin{aligned} E_c + 0.2 dh_{vc-1} &= y_c + h_{vc} + 0.2 dh_{vc-1} = y_c + h_{vc} + 0.2(h_{vc} - h_{v1}) \\ &= 0.742 + 0.371 + 0.2(0.371 - 0.1421) = 1.16 m \cong E_1( \\ &\text{等號兩邊值相同 OK) } \end{aligned}$$

$$\text{其中, } y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb_c^2}} = \sqrt[3]{\frac{6^2}{9.81 \times 3^2}} = 0.742 \text{ m}$$

$$h_{vc} = \frac{V_c^2}{2g} \text{ 或 } = \frac{y_c}{2} = \frac{0.742}{2} = 0.371\text{m} \cdot h_{v1} = \frac{V_1^2}{2g} = \frac{1.67^2}{2 \times 9.81} = 0.1421\text{m}$$

#### 四、計算靜水池尺寸參數

##### (一)算出靜水池的計畫高程

由前式知，須先由水躍公式找出相關參數，

$$F = (Z_1 + d_1 + h_{v1}) - (Z_2 + d_2 + h_{v2}) \\ = (220 + 1.02 + 0.1421) - (217 + 1.125 + 0.1072) = 2.93\text{m}$$

由試誤法，當 $y_{j1} \cong 0.21$ ，(4-5)式等號左右兩邊相等，取 $y_{j1} = 0.21\text{m}$ 。

$$K = \frac{1}{2} \left[ -1 + \sqrt{1 + 8F_{j1}^2} \right] = 8.905 \cdot y_{j2} = y_{j1}K = 1.87\text{m}$$

$$V_{j2} = \frac{Q}{A_{j2}} = \frac{Q}{b_c y_{j2}} = \frac{6}{3 \times 1.87} = 1.069 \text{ m/s} \cdot h_{j2} = \frac{V_{j2}^2}{2g} = \frac{1.069^2}{2 \times 9.81} = 0.058\text{m}$$

$$\text{故由(4-3)式知，靜水池計畫高度為 } E_{SB} = (Z_2 + d_2 + h_{v2}) - (y_{j2} + h_{j2}) \\ = (217 + 1.125 + 0.1072) - (1.87 + 0.058) = 216.3\text{m}$$

##### (二)算出靜水池所需寬度

$$\text{因 } V_{j1} = \frac{Q}{b_c y_{j1}} = \frac{6}{3(0.2095)} = 9.55(\text{m/s}) < 10\text{m/s}$$

故不必擴大靜水池斷面，寬度採與控制斷面寬度 $b_c$ 相同，即寬度取3m。

##### (三)算出靜水池所需長度

先求福祿數，再視其值大小以決定用哪種型式靜水池，將前面所計算出的參數值，帶入下式中可得福祿數，為

$$F_1 = \frac{V_{j1}}{\sqrt{g y_{j1}}} = \frac{9.55}{\sqrt{9.81 \times 0.21}} = 6.65 > 4.5$$

由上值得知，可採第三型靜水池，由水準護坦上水躍長度曲線圖 4-10 或圖 4-3，可查得。當 $F_1 = 6.65$ 時， $\frac{L}{y_{j2}} \cong 2.5$ ，由此可知， $L = 2.5 y_{j2} = 2.5 \times 1.87 = 4.68\text{m}$ ，取其整數之大值(高估)，此處取 $L = 5\text{m}$ 。

##### (四)決定靜水池消能檻尺寸，由第三型靜水池相關曲線圖得知

###### 1.射檻尺寸

$$h_1 = W_1 = S_1 = y_{j1} = 0.21\text{m}，取其大值(高估)，此處取 0.25\text{m}。$$

###### 2.池檻尺寸



A.  $F_1 = 6.65$ ，對應的  $\frac{h_3}{y_{j1}} = 1.6$ ，移項得  $h_3 = 1.6y_{j1} = 1.6 \times 0.21 = 0.336\text{m}$ ，取其整數之大值(高估)，此處取  $0.35\text{m}$ 。

B.  $S_3 = W_3 = 0.75h_3 = 0.252\text{m}$ ，取其大值(高估)，此處取  $0.3\text{m}$ 。

C、射檻至池檻距離為  $0.8y_{j2} = 0.8 \times 1.87 = 1.5\text{m}$ ，取其整數之大值(高估)，此處取  $1.6\text{m}$ 。

D.池檻頂寬  $0.2h_3 = 0.067\text{m}$ ，取其大值(高估)，此處取  $0.1\text{m}$ 。

E.池檻後方斜坡，由圖中可知為  $1:1$ 。

### 3.終檻尺寸

A.  $F_1 = 6.65$ ，對應的  $\frac{h_4}{y_{j1}} = 1.4$ ，移項得  $h_4 = 1.4 y_{j1} = 1.4 \times 0.21 = 0.294\text{m}$ ，取其大值(高估)，此處取  $0.3\text{m}$ 。

B.終檻前方斜坡，由圖可知取  $1:2$ 。

### 五、決定靜水池牆高

靜水池出水高度，由圖 4-16 對應值求得。先導出圖 4-6 縱座標值，即

$$\frac{QV_{j1}y_{j1}}{A_{j1}} = \frac{(AV_{j1})V_{j1}y_{j1}}{A_{j1}} = V_{j1}^2 y_{j1} = 9.55^2 \times 0.21 = 19.15$$

經前圖 4-6 上縱座標值  $19.15$ ，對應曲線所得橫坐標值  $f \cong 0.56$ ，此處採用  $f \cong 0.56\text{m}$ ，故靜水池牆高。  $H = y_{j2} + h_{j2} + f = 1.87 + 0.058 + 0.56 = 2.488\text{m}$ ，此處採用較大數值  $H=2.6\text{m}$ ，所以，高程值為：靜水池牆高=靜水池計畫高程+靜水池牆高=  $216.3 + 2.6 = 218.9\text{m}$ 。

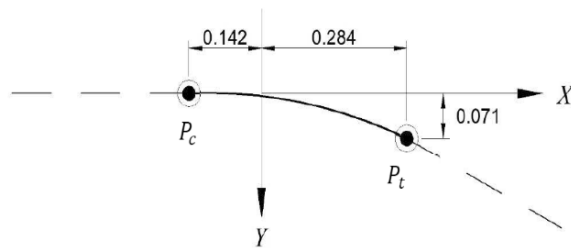


圖 4-16 拋射槽底曲線

### 六、拋射槽底曲線之決定

拋射槽底坡設為  $1:2$ ，即  $S=1/2=0.5$ ，令  $K=0.5$ ，則  $P_t$  點座標，

$$x = 4Sh_{v1} = 4 \times 0.5 \times 0.1421 = 0.284 \text{ m}$$

$$y = 2S^2 h_{v1} = 2 \times 0.5^2 \times 0.1421 = 0.071 \text{ m}$$

$$P_c \text{ 點座標：} x - \frac{y}{S} = 2Sh_{v1}, y = 0 \text{ (水平銜接)}$$

$$\therefore x = 2Sh_{v1} = 2 \times 0.5 \times 0.1421 = 0.142m。$$

### 七、漸變段長度之決定

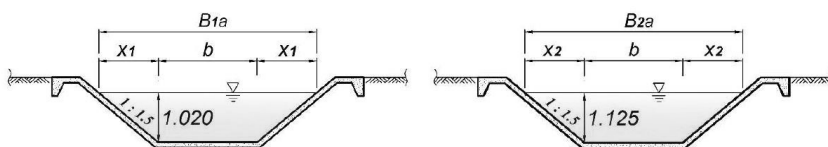


圖 4-17 梯形渠道水面寬(左：上游、右：下游)

(一)入口漸變段：入口漸變段水面變化角度為  $30^\circ$ ，即

$$\tan 30^\circ = \frac{(B_{1a} - B_{1b})/2}{L_1} \quad \therefore L_1 = \frac{B_{1a} - B_{1b}}{2 \cdot \tan 30^\circ} = \frac{5.06 - 3}{2 \times 0.577} \cong 1.79m$$

，此處取較大之數值 4m。如圖 4-17 可知，梯形渠道上游左右兩側水面寬分別為  $x_1$

$$x_1 = \frac{1.5}{1} \times 1.020 = 1.53m \quad \therefore B_{1a} = 2x_1 + b = 2 \times 1.53 + 2 = 5.06m$$

且  $B_{1b} = b_c = 3m$ ，由前面結果，採用與控制斷面相同寬度 ( $B_{1b} = b_c$ )。

(二)出口漸變段：出口漸變段水面變化角度為  $22.5^\circ$ ，即  $\tan 22.5^\circ = \frac{B_{2b} - B_{2a}}{2L_2}$

$$\therefore L_2 = \frac{B_{2b} - B_{2a}}{2 \cdot \tan 22.5^\circ} = \frac{5.38 - 3}{2 \times 0.414} \cong 2.87m$$

，取較大值 5m，如圖 4-17 可知，梯形渠道下游左右兩側水面寬分別為  $x_2$

$$x_2 = \frac{1.5}{1} \times 1.125 \cong 1.69m \quad \therefore B_{2b} = 2x_2 + b = 2 \times 1.69 + 2 = 5.38m$$

且  $B_{2a} = b_c = 3m$ ，由前面結果，採用與控制斷面相同寬度 ( $B_{2a} = b_c$ )。

### 八、斜坡式跌水工設計示意圖，各相關尺寸如下圖。

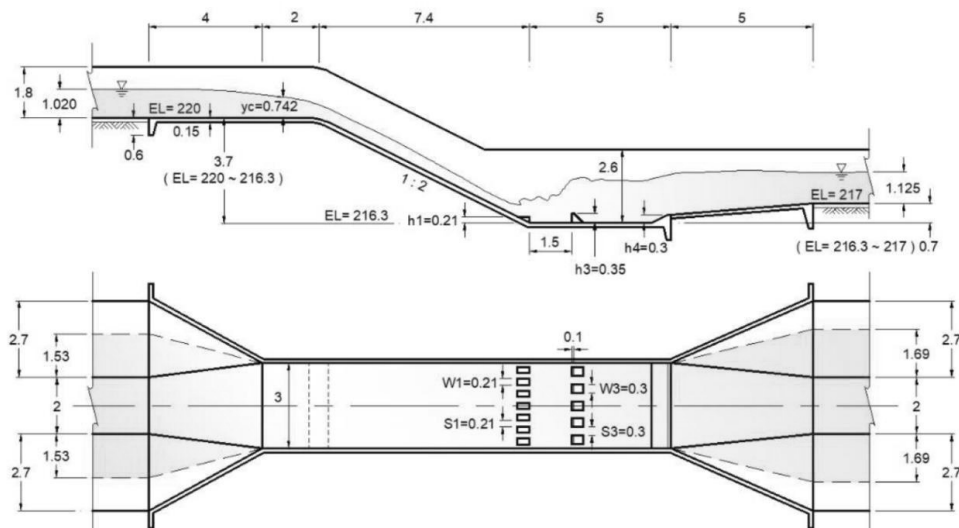


圖 4-18 斜坡式跌水工設計示意圖

#### 4.4.2、工程實例與相關圖片

台中農田水利會葫蘆墩圳原自大甲溪取水，後來於民國 66 年 10 月 15 日石岡壩竣工後，葫蘆墩圳改由石岡壩之南幹線引水，在 921 大地震後因石岡壩被切斷，一度無法自石岡壩之南幹線引水，水利會遂在大甲溪內修建攔河堰及導水路引取大甲溪水，經原葫蘆墩圳取水口引水入幹線。

南幹線及葫蘆墩圳剛好經過 921 斷層帶上，為改善因 912 大地震斷層所造成之高差，於 912 大地震後，南幹線於斷層帶區設置 3 座跌水工，葫蘆墩圳於斷層帶區設置 2 座跌水工，讓原灌溉渠道與下游渠道之高程得以順利銜接，下圖即是南幹線落差最大之跌水工(落差 5.7m)與葫蘆墩圳之跌水工(落差 2.7m)。



圖 4-19 台中農田水利會南幹線跌水工



圖 4-20 台中農田水利會葫蘆墩圳跌水工

#### 4.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 台中農田水利會，2000，南幹線跌水工程、葫蘆墩圳跌水工程。
4. 易任，「渠道水利學」，1989，東華書局。
5. Richard H. F., Open-Channel Hydraulics, 1986, McGraw-Hill International edition, Civil Engineering Series。

## 第五章、虹吸工

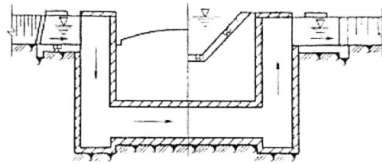
### 5.1、概述

虹吸工是一種引水工程，有正虹吸工及倒虹吸工，但正虹吸工需要先在管內造成真空，產生壓力差以推動管中兩端的水體，故鮮少使用，在此不作介紹，而農田水利工程中最常使用者為倒虹吸工，因不必人為製造管中真空，因而更為普及。當渠道要穿越道路、河溝或其它障礙物時，所建造由下方穿越之水利構造物，此構造物稱倒虹吸工(inverted siphon)。

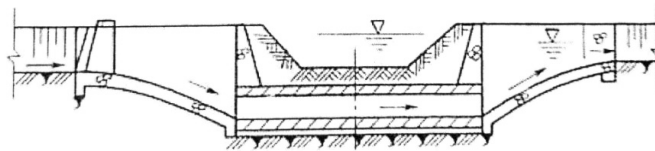
倒虹吸工可分成三部分，分別為入口、管身、出口，為了銜接前後原有灌排渠道之入口及出口，一般常用型式有豎井式與緩坡式兩種。其中豎井式將豎井設於原有渠道之入口端及出口端，再以管路連接，形成輸水通道進行輸水；緩坡式除中間的管路外，於其前後之入口端及出口端，各別以傾斜管與水平管進行連接成一體做為管身，形成輸水通道進行輸水。豎井式本身之豎井可作為沉砂用；緩坡式一般在入口前端設置沉砂池及排砂道，與豎井式作用相同，均是做為沉砂及排淤之用。

上述豎井式與緩坡式之倒虹吸工，一般用於入口及出口兩端高程差較小的地形上，若穿越高程差較大之地形如山谷或凹地時，為減少施工困難度與工程費用，則可選擇渡槽與倒虹吸工結合的橋式倒虹吸工。

(a)豎井式



(b)緩坡式



(c)橋式

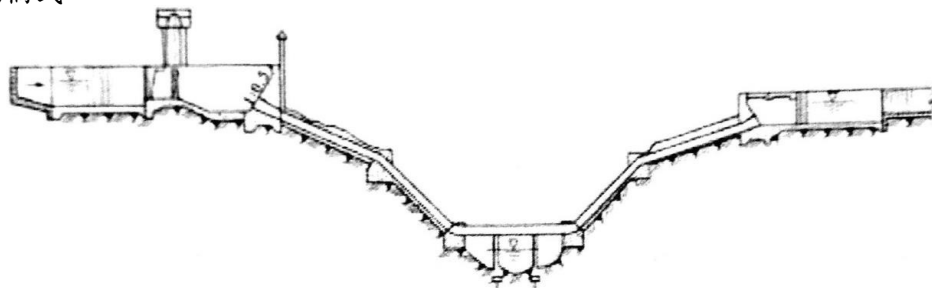


圖 5-1 常見倒虹吸工布置類型

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，水利工程技術規範(草案)，民國 103 年。

## 5.2、水理

倒虹吸工主要是藉助上下游的水位能量差，並扣除前後端、管體、彎管之摩擦及損失後，將水順利送至下游的一種工程方法。水理條件如下所述：

- 1.地形上有自由水頭者，儘可能使管內流速達到容許之最大流速，並依管材的材質決定其流速使不易淤積，反之在低水頭之平野地帶，亦須使管內流速至少大於容許最小流速，使淤積降至最低。
- 2.混凝土最大容許流速為 4m/s，在一定流速下，可使管內不發生淤積，管內平均流速應比上游渠道的流速為大，且不得小於 0.75m/s。

## 5.3、設計注意事項

### 5.3.1、設計要點

- 1.為了施工上的方便，緩坡式倒虹吸工之管身一般採用加工完成之管路成品；豎井式與橋式倒虹吸工之管身需要較長之管長，可採用鋼管或 HDPE 管。
- 2.埋設深度須視現場管路經過路線的上方地質及地上物之狀況而定，若穿越一般農地、平原...，無其他承载力時，深度最小須 90cm 以上，若倒虹吸上方有鐵路、道路或有大型活載重時，則除考慮覆土重外，另須再考慮最大活載重之壓力。
- 3.若上方有耕作物時，管路深度須考慮耕作物須使用的整田水深及根系深度。
- 4.若倒虹吸設置於地震帶或容易震動區域，則須設置可撓伸縮管，以抵擋因上述原因所造成管路變位，使其能承受一定程度的 3D 變形。
- 5.若設置之地點其地質較容易沉陷或地下水位變化較大時，可以於管路周圍鋪設較厚之碎石級配、CLSM 或改良回填土，亦可直接用混凝土包覆管路的方式施作，以降低或防止上述情形產生。
- 6.一般較重要之倒虹吸工，可以考慮以鋼管佈設並以法蘭接頭銜接各鋼管，以防止接頭鬆動造成漏水。
- 7.若以焊接或其他方式銜接管路，須於接合後再做防水及防鏽處理。

### 5.3.2、設計準則

#### 一、漸變段

- 1.若緩坡式倒虹吸工，會於入口端及出口端設置漸變段與相關設施，除讓渠道及管體能順利銜接以穩定水流外，並防止浮游雜物及泥砂進入管內，有關漸變段之斜坡角度請參考後面設計實例。

- 2.倒虹吸管口前進口胸牆上的胸牆高度，應設置於正常水位面下，一般設置之值以 $1.1(h_{v2} - h_{v1})$ 為最小值(請參考後面設計實例圖)，而以45cm或 $1.5(h_{v2} - h_{v1})$ 此兩者取大值者為最大值。設計良好的漸變段，若採用上述之最小值設計時，在不計摩擦損失的條件下，理論上仍能容許進入管口之水流對頂部之沖刷。
- 3.進口底部的斜度會影響到倒虹吸管之進水是否順暢，故於進口胸牆以上的漸變段，所設計之結構物，須以較順暢之曲線配置，以維持進口處整體水流流動的順暢。

## 二、胸牆

設計倒虹吸進口時，於進口胸牆處至倒虹吸管之起點管口頂端，必須設計適當胸牆高度，以防止管口附近的水溢流，此胸牆位置，乃從上游進口處正常水面，至倒虹吸管起點管口頂端間的垂直距離。可依照倒虹吸管斜度及尺寸大小，經水力學觀點，計算出胸牆高度，亦可由經驗或試驗中得知。

- 1.小型倒虹吸管，直徑自30cm至90cm，或相同面積非圓形管，胸牆高度通常取 $1.5\Delta h$ 或15cm此兩者的最大值。
- 2.中型倒虹吸管，直徑自90cm至180cm，或同面積非圓形管，理論上，計算所得值，須與45cm進行比較，取兩者中較大值者做為胸牆高度。
- 3.大型倒虹吸管，直徑自180cm以上者，或相同面積非圓形管，其胸牆高度可以參考前面漸變段的說明為之。

若設計長度較長的倒虹吸工時，其管之進口處，於某些情形下須特別注意考慮其水力條件，若在進口流量減少成為自由流時，致使管中發生水躍，水與空氣混流，使水的體積膨脹，阻礙水流通暢，故設計倒虹吸管時，當實際之摩擦係數小於設計時所假定的摩擦係數，均會發生上述之現象。

## 三、其他附屬設施

- 1.沉砂池：為防止管中水流之流速不足，無法將較粗粒徑之砂石，一起挾帶至下游而造成淤積，會於倒虹吸進口前設置沉砂池，使部分砂石停留於沉砂池內，再經由排砂道排除。
- 2.溢水道：經渠首工引水之渠道，如因調節不佳引起渠道水量過剩，或因暴雨、地面逕流流入渠道中，致使超出倒虹吸工所能輸送之流量，而造成上游滿水溢頂，危害渠道及周圍之安全，因此須視情況設置溢水道以防止發生上述情況。
- 3.排氣閥：長度較長之倒虹吸工，容易使流入管內之水與空氣混和，造成空氣在管內聚集，而減少通水斷面，因此須設置排氣閥，一般可設於管線高點處，其排氣管徑大小，取倒虹吸管徑之 $1/12$ 左右。

## 5.4、工程設計及實例與相關圖片

### 5.4.1、工程設計例

設計一座倒虹吸工，使能順利穿越一條河川，並符合 10cms 渠道流量，倒虹吸入口及出口渠道側坡同為  $z=2$ ，底寬  $b=4.3\text{m}$ ，水深 2m，上下游糙率  $n$  同為 0.014，上下游進出口以漸變段連接原有渠道，下降段與上升段之斜坡角度  $\theta$ ，渠道上游入口及下游出口底部高程分別為  $EL_1=100$  與  $EL_2=99.7\text{m}$ ，本文以下水理參數下標代表意涵，1：上游；2：下游；c：臨界斷面； $\square$ ：箱型管； $\odot$ ：圓形管。

初步估計：

1. 將要輸送之流量先行預估管徑尺寸  $D$ ，再進行水理計算是否符合通水條件，在此先預估管徑  $D=2.3\text{m}$  進行計算檢討。
2. 依要穿越河川的寬度及深度配置，預估底部中央水平管設置 8m 管底標高 90m，下降段及上升段斜坡角度  $\theta=20^\circ$  連接，以此進行計算檢討。

一、各區段之水理因素計算

(一)、上游水理因素條件，由梯形渠道公式決定下列參數，下游類推。

$$P_1 = b + 2d_1\sqrt{1+z^2} = 4.3 + 2 \times 2\sqrt{1+2^2} = 13.2443\text{m}$$

$$A_1 = d_1(b + d_1z) = 2(4.3 + 2 \times 2) = 16.6\text{m}^2$$

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{16.6}{13.2443} = 1.2534\text{m}, \quad V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{10}{16.6} = 0.602\text{m/s}$$

$$h_{v1} = \frac{V_1^2}{2g} = \frac{0.602^2}{2 \times 9.81} = 0.0185\text{m}, \quad S_1 = \left(\frac{nV_1}{R_1^{2/3}}\right)^2 = \left(\frac{0.014 \times 0.602}{1.2534^{2/3}}\right)^2 = 0.0000526$$

(二)、箱型管水理因素條件，由矩形斷面公式可以求得。

$$P_{\square} = 4 \times 2.3 = 9.2\text{m}, \quad A_{\square} = 2.3 \times 2.3 = 5.29\text{m}^2$$

$$R_{\square} = \frac{5.29}{9.2} = 0.575\text{m}, \quad V_{\square} = \frac{Q}{A_{\square}} = \frac{10}{5.29} = 1.89\text{m/s}$$

$$h_{v\square} = \frac{V_{\square}^2}{2g} = \frac{1.89^2}{2 \times 9.81} = 0.1821\text{m}$$

$$S_{\square} = \left(\frac{n_{\square}V_{\square}}{R_{\square}^{2/3}}\right)^2 = \left(\frac{0.014 \times 1.89}{0.575^{2/3}}\right)^2 = 0.0014643$$

(三)、圓管水理因素條件，由圓形斷面公式可以求得。

$$A_{\odot} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 2.3^2}{4} = 4.15\text{m}^2$$

$$R_{\odot} = \frac{D}{4} = \frac{2.3}{4} = 0.575\text{m}, \quad V_{\odot} = \frac{Q}{A_{\odot}} = \frac{10}{4.15} = 2.41\text{m/s}$$

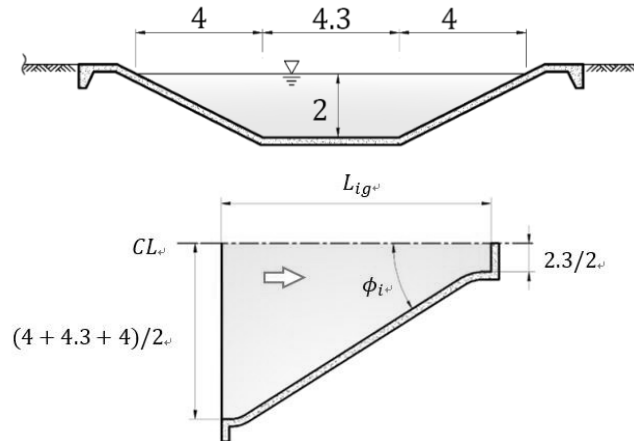
$$h_{v\odot} = \frac{V_{\odot}^2}{2g} = \frac{2.41^2}{2 \times 9.81} = 0.295m$$

$$S_{\odot} = \left( \frac{n_{\odot} V_{\odot}}{R_{\odot}^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{0.014 \times 2.41}{0.575^{2/3}} \right)^2 = 0.0023809$$

## 二、漸變段

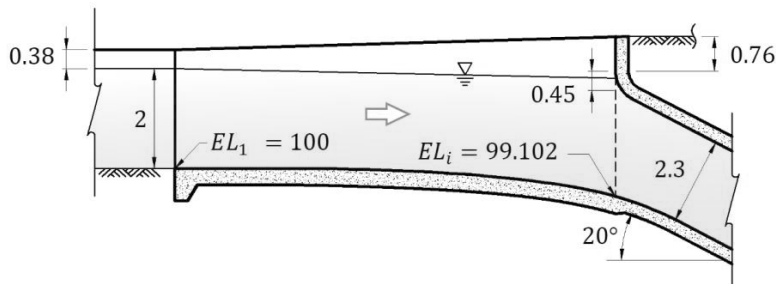
### (一)、入口漸變段

- 1、決定長度，由水面寬之三角關係，決定漸變段角度，如下橫斷面圖及入口平面圖之幾何三角公式， $\tan\phi_i = \frac{T_1/2 - T_2/2}{L_{ig}} = \frac{(4+4.3+4)/2 - 2.3/2}{L_{ig}}$ ，找出符合 $\phi_i = 22.5^\circ \sim 30^\circ$ 範圍的 $L_{ig}$ ，由試誤法，當 $L_{ig} = 10.5m$ ， $\tan\phi_i = 0.476$ ， $\phi_i = \tan^{-1}(0.476) = 25.46^\circ < 30^\circ$  (OK)，當 $L_{ig} = 10.5m$ 時， $\phi_i = 25.46^\circ < 30^\circ$ ，仍然符合範圍值內，故入口漸變段的長度取 $L_{ig} = 10.5m$ 。



- 2、決定入口截水牆出水高 $H_{ic1}$ ， $H_{ic1} = 0.38m$ 。

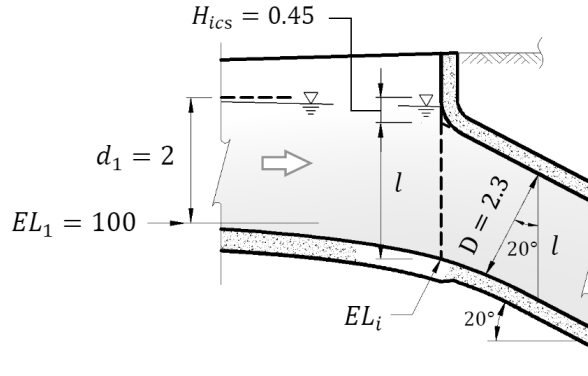
- 3、決定入口胸牆胸牆高度 $H_{ics}$ ，由 $H_{ics} = 1.5(h_{v\Box} - h_{v1}) = 1.5(0.1821 - 0.0185) = 0.2452m$ ，由前說明，當 $H_{ics} < 0.45m$ 時，則採用 $0.45m$ ，故此處 $H_{ics}$ 採用 $0.45m$ 。





4、決定入口胸牆出水高度  $H_{ic2}$ ，取 2 倍  $H_{ic1}$ ，即  $H_{ic2} = 2 \times H_{ic1} = 2 \times 0.38 = 0.76m$ 。

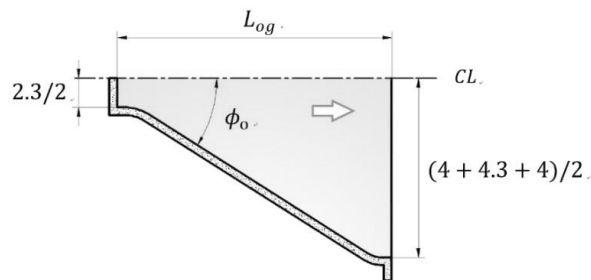
5、決定虹吸管入口胸牆管底高程( $EL_i$ )， $EL_i = EL_1 + d_1 - H_{ics} - l = EL_1 + d_1 - H_{ics} - D \cdot \sec\theta = 100 + 2 - 0.45 - 2.3 \cdot \sec 20^\circ = 99.102m$



6、決定入口漸變段(截水牆)起點，水準樁號  $0k+100m(X_1)$ ，底部高程  $EL_1=100m(Y_1)$ ，至倒虹吸管入口起點水準樁號  $0k+110.5m(X_2)$ ，底部高程  $EL_i=99.102m(Y_2)$ 之縱斷面曲線，由  $(X_1, Y_1)$ 與  $(X_2, Y_2)$ ，可以找出通過上面兩點的圓，圓中曲線即為該縱斷面底部曲線。

## (二)、出口漸變段

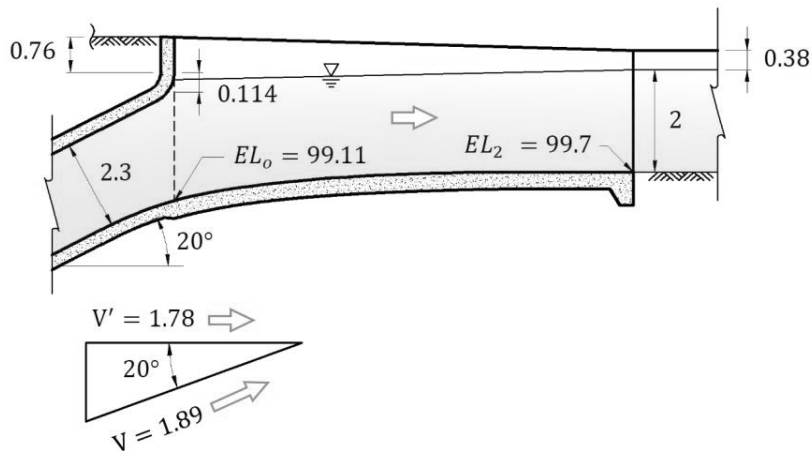
1、決定長度如下出口平面圖，取入口漸變段 1.3 倍設計，並由幾何三角公式， $\tan\phi_o = \frac{T_2/2 - T_1/2}{L_{og}} = \frac{(4+4.3+4)/2 - 2.3/2}{L_{og}}$ ，且須符合  $\phi_o < 22.5^\circ$  範圍內之  $L_{og}$  值，取  $L_{og} = 1.3 \times L_{ig} = 1.3 \times 10.5 = 13.65m$ ，因  $\tan\phi_o = \frac{(4+4.3+4)/2 - 2.3/2}{L_{og}} = \frac{5}{13.65} = 0.3663$ ，所以  $\phi_o = \tan^{-1}(0.3663) = 20.12^\circ < 22.5^\circ$  (OK)。



## 2、決定出口

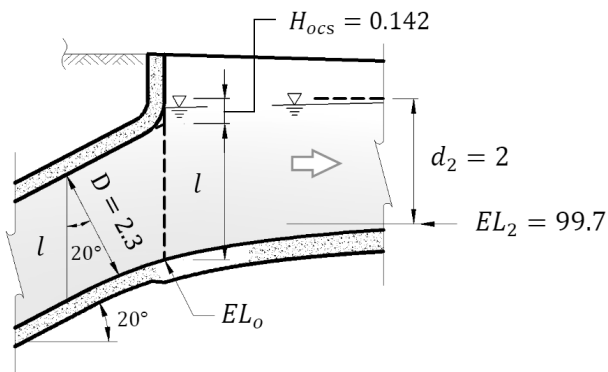
截水牆出水高度  $H_{oc1}$ ，與入口相同，即  $H_{oc1} = 0.38m$ 。

- 3、決定出口胸牆胸牆高度 $H_{ocs}$ ，以倒虹吸管出口水準方向流速來計算 $h_{v'_{\square}}$ ，因為 $\frac{V'_{\square}}{V_{\square}} = \cos\theta$ ，移項後，可得 $V'_{\square} = V_{\square}\cos\theta = 1.89 \times \cos(20) = 1.78(m/s)$ ， $h_{v'_{\square}} = \frac{V'^2_{\square}}{2g} = \frac{1.78^2}{2 \times 9.81} = 0.1614(m)$ ，再由經驗公式 $H_{ocs} = (h_{v'_{\square}} - h_{v1}) = (0.1614 - 0.0185) = 0.142$ ，而水面升高 $= 0.8(h_{v'_{\square}} - h_{v1}) = 0.114(m)$ 。



- 4、決定出口胸牆出水高度( $H_{oc2}$ )，取2倍 $H_{oc1}$ ，即 $H_{oc2} = 2 \times H_{oc1} = 2 \times 0.38 = 0.76m$ 。

- 5、決定虹吸管出口胸牆管底高程( $EL_o$ )， $EL_o = EL_2 + d_2 - H_{ocs} - l = EL_2 + d_2 - H_{ocs} - D \cdot \sec\theta = 99.7 + 2 - 0.142 - 2.3 \cdot \sec 20^\circ = 99.110(m)$ 。



- 6、決定倒虹吸管出口終點水準樁號  $0k+170.932m(X_3)$ ，底部高程 $EL_o=99.11m(Y_3)$ ，至出口漸變段)終點水準樁號  $0k+184.582m(X_4)$ ，底部高程 $EL_2 = 99.7m(Y_4)$ ，由 $(X_3, Y_3)$ 與 $(X_4, Y_4)$ ，可找出通過上面兩點的圓，圓中曲線即為該縱斷面底部曲線。

### 三、損失水頭

#### (一)、決定入口漸變段之損失

$$\begin{aligned}
 1、入口摩擦損失：f_{ig} &= L_{ig} \times \frac{(S_1 + S_{\square})}{2} \\
 &= 10.5 \times \frac{(0.0001 + 0.0015)}{2} \\
 &= 0.008m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2、斷面變化損失：\Delta h_{ig} &= 0.1 \times (h_{v_{\square}} - h_{v_1}) \\
 &= 0.1 \times (0.1821 - 0.0185) = 0.0164m
 \end{aligned}$$

#### (二)、決定箱型管入口漸變之損失

##### 1、入口摩擦損失，取兩倍管徑

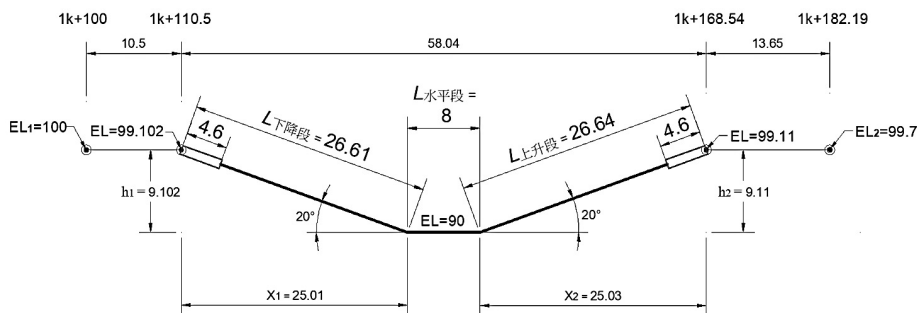
$$\begin{aligned}
 L_{\square} &= 2D = 2 \times 2.3 \\
 f_{\square i} &= L_{\square} \times \frac{(S_{\square} + S_{\odot})}{2} = 2 \times 2.3 \times \frac{(0.0015 + 0.0023)}{2} = 0.0088m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2、斷面變化損失：\Delta h &= 0.1 \times (h_{v_{\odot}} - h_{v_{\square}}) \\
 &= 0.1 \times (0.296 - 0.1821) = 0.0114m
 \end{aligned}$$

#### (三)、決定管體之損失

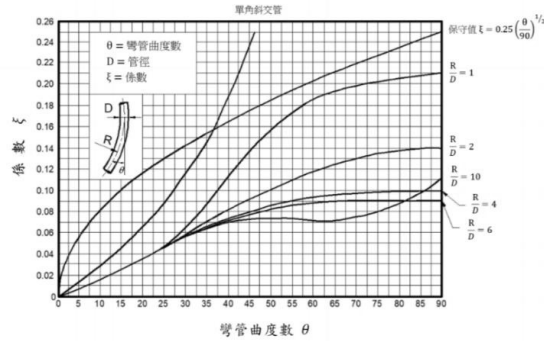
##### 1、管體之摩擦損失

由下圖， $L_{\text{下降箱型管}} = L_{\text{上升箱型管}}$ ，取 2 倍管徑(2D)長度，即  $L_{\text{下降箱型管}} = L_{\text{上升箱型管}} = 2 \times 2.3 = 4.6m$ ，又因  $\sin\theta = \frac{h_1}{L_{\text{下降段}}}$ ，移項後可得， $L_{\text{下降段}} = \frac{h_1}{\sin\theta} = \frac{9.102}{\sin 20^\circ} = 26.61m$ ， $L_{\text{水平段}} = 8m$ ，且因  $\sin\theta = \frac{h_2}{L_{\text{上升段}}}$ ，移項後可得， $L_{\text{上升段}} = \frac{h_2}{\sin\theta} = \frac{9.11}{\sin 20^\circ} = 26.64m$ ，所以，管體摩擦損失  $f_{\odot} = L_D \times S_{\odot} = 52.05 \times 0.0023747 = 0.1236m$ ， $L_D = (L_{\text{下降段}} - L_{\text{下降箱型管}}) + L_{\text{水平段}} + (L_{\text{上升段}} - L_{\text{上升箱型管}}) = (26.61 - 4.6) + 8 + (26.64 - 4.6) = 52.05m$ 。



## 2、彎曲損失

圓管下降段與上升段的彎曲角度同為  $20^\circ$ ，取其  $\frac{R}{D} = 2$ ，相對彎管損失水頭，由下圖曲線查得為  $\xi_1 = \xi_2 \cong 0.035$ ，則倒虹吸管彎曲損失為  $\Delta h_{\odot} = \xi_1 \times h_{v\odot} + \xi_2 \times h_{v\odot} = 0.035 \times 0.295 + 0.035 \times 0.295 = 0.0207 \text{ m}$ 。



### (四)、決定箱型管出口漸變之損失

#### 1、出口摩擦損失：

$$f_{\square o} = L_{\square} \times \frac{(S_{\odot} + S_{\square})}{2} = 2 \times 2.3 \times \frac{(0.0023 + 0.0015)}{2}$$

#### 2、斷面變化損失， $\Delta h_{\square o} = 0.2 \times (h_{v\odot} - h_{v\square})$

$$\Delta h_{\square o} = 0.2 \times (0.296 - 0.1821) = 0.0228 \text{ m}。$$

### (五)、決定出口漸變段之損失

#### 1、出口摩擦損失， $f_{og} = L_{og} \times \frac{(S_{\square} + S_2)}{2}$

$$= 13.65 \times \frac{(0.0015 + 0.0001)}{2} = 0.0109 \text{ m}。$$

#### 2、斷面變化損失， $\Delta h_{og} = 0.2 \times (h_{v\square} - h_{v2})$

$$\Delta h_{og} = 0.2 \times (0.1821 - 0.0185) = 0.0327 \text{ m}。$$

### (六)、總損失水頭為

| 各區段           | 摩擦損失(m)  |   | 水頭損失(m)                         |
|---------------|--|---|---------------------------------|
| 入口漸變段之損失      | $f_{ig} = 0.008$                                       | + | $\Delta h_{ig} = 0.0164$        |
| 箱型管入口漸變之損失    | $f_{\square i} = 0.0088$                               | + | $\Delta h_{\square i} = 0.0114$ |
| 管體之損失         | $f_{\odot} = 0.1236$                                   | + | $\Delta h_{\odot} = 0.0207$     |
| 箱型管出口漸變之損失    | $f_{\square o} = 0.0088$                               | + | $\Delta h_{\square o} = 0.0228$ |
| + 出口漸變段之損失    | $f_{og} = 0.0109$                                      | + | $\Delta h_{og} = 0.0327$        |
| 上面合計          | $\Sigma(f + \Delta h) = 0.2641 \text{ (m)}$            |   |                                 |
| + 再加算 10%安全係數 | $\Sigma(f + \Delta h) \times 0.1 = 0.0264 \text{ (m)}$ |   |                                 |
| 總計            | $\Sigma(f + \Delta h) \times 1.1 = 0.29 \text{ (m)}$   |   |                                 |

上面「總計」結果，須滿足 $\sum(f + \Delta h) \times 1.1 < (EL_1 - EL_2)$ ，即  $0.29m < 0.3m$ ，故 OK。

#### 四、倒虹吸入口自由流之檢討

##### (一)、先由管流公式

$$\frac{Qn}{D^{\frac{8}{3}}\sqrt{S}} = \alpha\beta^{\frac{2}{3}} = K = \frac{5 * 0.014}{2.3^{\frac{8}{3}}\sqrt{0.364}} \cong 0.0126$$

其中， $Q$ ：設定檢討流量，此處取設計流量之  $1/2=10/2=5\text{cms}$ ； $n$ ：管糙率 0.014； $D$ ：管直徑 2.3m； $S$ ：倒虹吸於自由流段坡度，若水準夾角為 $\phi$ ，則  $S=\tan 20^\circ = 0.364$ 。此處僅截錄例題使用部分之圓形渠道斷面水深直接計算表，如下，並由表中找出最接近 0.0126 的前後範圍內兩個值，再使用內插法解。如內插求得  $d_e/D = 0.1323$ ，得  $d_e = 0.3043\text{m}$ ，同理得  $A_e = 0.3428\text{m}^2$ 、 $R_e = 0.1964\text{m}$ 。

表 5-1 圓形渠道斷面水深直接計算(只截錄範例使用值)

| $d/D$ | $\alpha=A/D^2$ | $\beta=R/D$ | $Q_n/D^{\frac{8}{3}}\sqrt{S}$ |
|-------|----------------|-------------|-------------------------------|
| 0.11  | 0.0470         | 0.0695      | 0.00795                       |
| 0.12  | 0.0534         | 0.0755      | 0.00954                       |
| 0.13  | 0.0600         | 0.0813      | 0.01127                       |
| 0.14  | 0.0668         | 0.0871      | 0.01314                       |
| 0.15  | 0.0739         | 0.0929      | 0.01514                       |

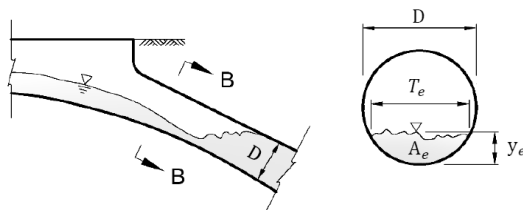
(二)、決定管流  $V_e = \frac{1}{n} R_e^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} = \frac{1}{0.014} \times 0.1964^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.364} = 14.56\text{m/s}$ 。

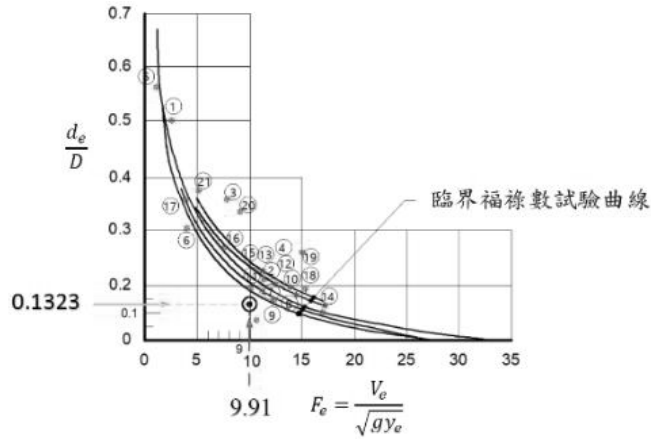
(三)、決定  $T_e = 2\sqrt{(D - d_e)d_e} = 2\sqrt{(2.3 - 0.3043)0.3043} = 1.559\text{m}$

(四)、決定  $y_e = \frac{A_e}{T_e} = \frac{0.3428}{1.559} = 0.22$

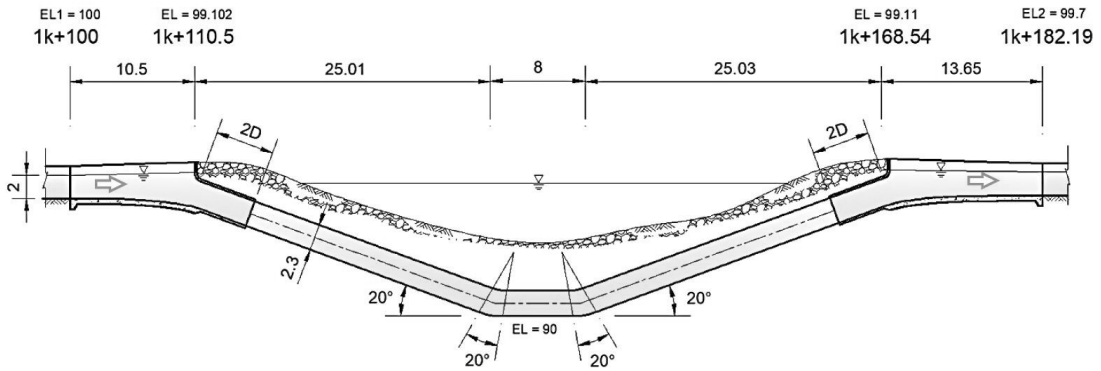
(五)、決定福祿數  $F_e = \frac{V_e}{\sqrt{gy_e}} = \frac{14.56}{\sqrt{9.81 \times 0.22}} = 9.91$ 。

(六)、由試驗所得經驗值產生倒虹吸工自由流曲線圖，如下圖所示，當縱軸  $\frac{d_e}{D} = 0.1323$ (前面查表之值)及橫軸  $F_e = 9.91$  時，對照下列臨界福祿數試驗曲線圖的相對位置，上面兩值之交點，因為位於全部臨界曲線之下，不致於產生水躍，故運用上仍可行。





(七)、倒虹吸工設計各相關尺寸，如下圖所示。



#### 5.4.2、工程實例與相關圖片

白冷圳工程興建，於 1927 年進行工程設計，1928 年開工，1932 年完工通水，引自大甲溪上游左岸(天輪發電廠對岸，海拔 554.99 公尺)優質水源，灌溉約 833 公頃甘蔗、水稻、綠肥輪作田、週邊產業及民生用水，白冷圳設計通水能力目前有 2.589cms，平時取水也都為 1.5cms 左右。

白冷圳工程全都設於山腰懸崖峻坡之處，遇高山開鑿隧道、遇山谷造水橋、遇峻嶺架設虹吸管，完全利用自然流水及大氣壓力原理，自和平白冷高地引水至新社台地農田灌溉使用，包括：導水路 16.6 公里、22 座隧道(全長 7.2 公里)、14 座渡槽(共 290.15 公尺)及 3 座倒虹吸工(1、2 號倒虹吸管同屬於鋼製水管，3 號倒虹吸管則是水泥暗管)，其中，位於中和村的抽藤坑二號倒虹吸工最為巨碩，管徑 1.2 公尺，全長 346 公尺，高低落差 90 公尺，綠色的壓力鋼管，彷彿一條綠色的巨龍沿著山坡攀附而上，為遠東地區最大的倒虹吸管，令人嘆為觀止。



圖 5-2 台中農田水利會白冷圳 1 號倒虹吸工



圖 5-3 台中農田水利會白冷圳 2 號倒虹吸工

## 5.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 農田水利會聯合會，1996，農田水利會技術人員訓練教材，灌溉工程類合訂本。
4. 台中農田水利會，2002，白冷圳 1 號倒虹吸工工程、白冷圳 2 號倒虹吸工工程。
5. 易任，「渠道水利學」，1989，東華書局。
6. ASAE, 1986, Irrigation Engineering, American Society of Agricultural Engineers.
7. Peter Waller and Muluneh Yitayew, 2015, Irrigation and Drainage Engineering, Springer International Publishing.
8. Richard H. F., Open-Channel Hydraulics, 1986, McGraw-Hill International edition, Civil Engineering Series。

## 第六章、渡槽

### 6.1、概述

渡槽(aqueduct/flume)是農田水利工程中用於跨越低地、河川、山谷或與道路、水路交叉的引水建造物，也稱水橋、過水橋等，台語稱為「梘仔」，其前後兩端與水路銜接，外觀是一種架高的水槽，主要常用於灌溉輸水，或水路交叉，渠道上方集水區域導流疏洪、排砂使用，亦有特殊功能如大型渡槽可以與鐵、公路共構的多功能橋樑。

「梘仔」也是臺北市文山區「景美」地名的由來，景美早期叫做「梘尾」，別的地方都是因「地」而名，梘尾卻是因「水橋」而名，清朝乾隆年間郭錫瑠從新店青潭引水灌溉農作，在當地興建一座橫跨景美溪(舊稱霧裡薛溪)的水利設施稱為「梘仔」，於新店引水端稱為「梘頭」，過景美溪則為「梘尾」，台語的「梘」與「景」讀音相同，此為地名「景美」的典故。

瑠公圳最早「梘仔」的灌溉設施，是以木樁和木板構成口型槽，架跨溪河之上，讓水流通過。以條木製成的木槽用楔子連接，內部敷有一層油灰，以防漏水，梘內深約 1.5m，寬 2.5m，平時輸水，汛期時拆下以免影響排洪及損壞，日治時期拆除木梘，改建水泥橋(後稱瑠公橋)橋上行車走人，橋下箱涵通水，是台灣最早的混凝土水利建造物。

目前台灣單一跨距及通水斷面規模最大的渡槽，為嘉南大圳南幹線曾文溪渡槽，位於官田與善化交界，舊渡槽為日治時期嘉南大圳幹線穿越七大河川渡槽之一，過去不僅輸水功能，曾經是台 1 線省道的一部分，上層為鋼筋混凝土橋面，可通行人車，下層為華倫式桁架鋼樑水槽輸水，因老化及影響河川排洪問題，於 2012 年 6 月改建為鋼結構加大跨距渡槽(如圖 6-1)。

新曾文溪渡槽橋梁標準斷面圖(如圖 6-2)。渡槽全長 484.8m，主河道樑跨距 81.2m，箱樑槽體通水斷面寬 4m、高 3m，橋樑為外翻雙拱圈主樑銜接箱型樑結構，外觀以官田水雉羽翼為意象造型，新曾文溪渡槽除了確保供水穩定外，亦是一處新增景點。

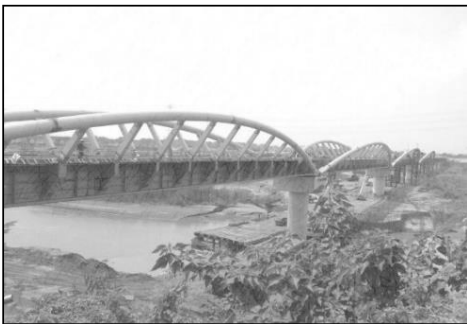


圖 6-1 新建曾文溪渡槽(嘉南水利會)

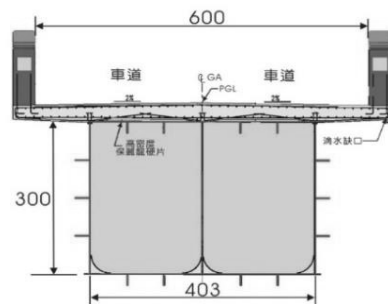


圖 6-2 曾文溪渡槽橋梁斷面示意圖  
(嘉南水利會)



興建渡槽材料因地制宜，主要使用有砌石、砌磚、木板、混凝土、鋼筋混凝土、鋼板、鋼纜及鋼管等。

依使用材料可分為：

鋼筋混凝土渡槽、鋼板渡槽、鋼管渡槽、複合式材料渡槽。

依施工方法可分為：

現場澆灌式、工地預製吊裝式、廠製運輸吊裝式。

依支撐結構可分為：

樑式結構、拱式結構、桁架式結構、吊索式結構、組合式結構等。

渡槽組成部分區分為：

- 1.進出口(漸變)段：包含與上下游渠道銜接段，其功能以整束水流，使之順暢平穩，減少沖刷或淤積，避免過多水頭損失。
- 2.槽身：主要作用為輸水，亦可以有巡管通行目的，槽身橫斷面有矩形、U型、梯形、半橢圓形，依據不同材料應力計算，選擇經濟安全施工斷面。
- 3.基礎橋台：參照公路橋樑設計，不同部分在於橋台頂部為漸變段與渡槽渠道介面，除了底部銜接平順外，尚須注意接頭伸縮及防止漏水設施，還有與原有護岸邊坡的配合。
- 4.橋墩：儘量以不影響排水路斷面配置，墩座型式最好為流線形，減少洪水沖擊，如沖刷情況嚴重其外部考慮加強防沖刷材料，如加裝防撞鋼板亦可做為施工外模使用。
- 5.防護設施：渠道輸水容量如果因水量增加，或發生雜物阻塞水流，應有攔(撈)汙設備、溢流或緊急放水門等設備(如圖 6-3)，上層如有通行使用應加強防護(如圖 6-4)。



圖 6-3 渡槽及溢流設施  
(北投新圳大堀分線跨越茄荖媽助圳)



圖 6-4 渡槽上層設木棧道及欄杆  
(北圳幹線)

## 6.2、水理

渡槽一般以自由流明渠水理設計，除為節省經費縮小斷面，以箱涵方式佈置，加高上游翼牆，利用水頭使之成為加大流速的壓力水流，維持原有計畫通水量，惟壓力水流渡槽出口段流速較大，需防止沖刷。

渡槽上下游渠道斷面一般參照最佳水力斷面與滲透最小方式為之，通常以曼寧公式計算，根據施工斷面以挖填平衡原則，規劃大多採梯形設計，而渡槽本身考量工程經濟，一般選擇矩形規劃設計，槽身水理計算與矩形明渠水理相同，出水高度計算原則亦同，渡槽與上下游渠道斷面不一時，則需以漸變段銜接。

除依一般明渠計算方法外，亦可運用計算軟體，如農業工程研究中心開發之「灌排渠道及水工構造物設施之水理分析系統」做為應用。該系統依水理不同分為 3 大類：1.明渠灌溉設施，含矩形、梯形及複式斷面輸水渠道、渠道流況改變等。2.箱涵及管路暗渠灌溉設施。3.其他水工構造物。

水理因素流速之控制除了考量水體中含沙量多寡，避免淤積外，流速在混凝土材質儘量不超過 4.0m/sec 為宜，一般介於 0.7m/sec-3.0m/sec 區間，上下游渠道斷面之水理依據輸水量推估最佳水力斷面計算各項數據，而槽身規劃時考量跨距及工程經費，嘗試以減少斷面尺寸施作，於水頭落差足夠時，可以計畫調整坡度，加快流速，改變其水理因素，以輸水量相同下縮小渡槽斷面積。

渡槽之縱坡一般選用 1/300-1/400，大型渡槽之縱坡為減少水頭損失可採用 1/500-1/1500，槽內水流不管為常流或射流，均以等速定流流況特性規劃，縱坡陡時水流會成射流狀態，如果渡槽上下游管道斷面為常流狀態時，其控制斷面須設於進出口漸變段內，調整水流狀態，矩形槽身為考量工程經濟選擇適宜寬深比(b/h)，一般常用寬深比介於 1.25-1.67 之間，有時渠道為防洪需要，不能於進口適當地點設溢流道排洩多餘水量時，可在渡槽之中段設置缺口，直接溢流至下方河道，以確保輸水安全。

上下游漸變段斷面為避免水流急遽變化，引發亂流現象，以及穩定通過槽身水流，渡槽進出口依水理計算設置漸變段，漸變段形式採流線形為宜，長度以水面變化角度為設計之要素，通常水流邊線與中心線交角在 12.5 度至 25.0 度範圍為宜，在水頭充裕渠道漸變可採用直線形，坡度在 1/2000 以下之幹線應用流線形(鐘口形)漸變段以最小水頭損失，及消除橫坡和其他擾亂。

上下游漸變段長度 L、摩擦損失  $h_f$  以下式計算：

$$L = \frac{1}{2}(T_1 - T_2) \tan \theta \quad h_f = \frac{L}{2}(S_1 - S_2) \dots \dots \dots (6-1)$$

式中， $T_1$  與  $T_2$  分別為漸變段前後水面寬度； $\tan\theta$  為水流邊線與中心線交角； $S_1$  與  $S_2$  分別為漸變段前後縱坡；漸變段斷面變化水頭損失可依下表計算，其中， $h_{v1}$ 、 $h_{v2}$  及  $h_{v3}$  分別為上游、槽內及下游渠道流速水頭。

| 區別  | 直線式                  | 流線式                  |
|-----|----------------------|----------------------|
| 進水口 | $0.2(h_{v2}-h_{v1})$ | $0.1(h_{v2}-h_{v1})$ |
| 出水口 | $0.3(h_{v2}-h_{v3})$ | $0.2(h_{v2}-h_{v3})$ |

槽身與上、下游渠道標高計算，根據上、下游渠道水理及分別加計上游漸變段摩擦損失，斷面變化之水頭損失，及槽身摩擦損失，下游漸變段摩擦損失，斷面變化之水頭損失，分別將上下游渠道及漸變段前後做水力坡降計算，並依據能量線變化標定渡槽前後渠底高程與水面線的變化。該高程扣除槽身底部厚度，為渡槽樑底標高，依左右不同高程檢核下方渠道通洪能力是否足夠。各點標高計算如下：

1. 上游渠道漸變段起點標高： $EL1$ =依上游渠道水位標高。
2. 上游渠道漸變段終點(渡槽起點)標高： $EL2=EL1$  渠道標高+上游渠道能量  $E$ -上游漸變段摩擦損失-斷面變化之水頭損失-渡槽能量  $E$ 。
3. 下游渠道漸變段起點(渡槽終點)標高： $EL3=EL2$  渠道標高+渡槽能量  $E$ -渡槽段摩擦損失-渡槽能量  $E$ 。
4. 下游渠道漸變段終點標高： $EL4=EL3$  渠道標高+渡槽能量  $E$ -下游漸變段摩擦損失-斷面變化之水頭損失-下游渠道能量  $E$ 。

## 6.3、設計注意事項

### 6.3.1、設計要點

渡槽設計基本資料的蒐集，主要包括以下各要項：

1. 渠道輸水的基本要求：上、下游渠道斷面及相關水理因素，如流量、流速、水深、底寬、濕潤周、通水斷面積、水力半徑、臨界流速、臨界水深、渠道坡度、糙率、能量坡降等數值。
2. 地形資料：現場測量地形圖、水準測量設立基準點、套繪河川圖籍，以供選擇路線配置及構造物佈置。
3. 地質資料：透過鑽探等步驟或蒐集現有附近既有資料研判，含地下水位、含水層標繪等。
4. 水文氣象資料：當地長期氣候、氣溫、風速、降雨(雪)、河川洪水水位流量變化、地震週期、規模、斷層帶調查等。
5. 施工材料調查：場址附近砂石、骨材資源、品質及水泥、鋼材及其他材料等，並包括材料運輸、交通動線及施工場地等調查。

除以上基本資料調查外，隨橋樑技術不斷發展，新建渡槽技術亦步亦趨，當輸水量大、跨距大的巨型渡槽需求不斷，新式渡槽採用新式支撐結構橋型，設計新式快速施工法，結構加勁輕量型化以減少自重，融入環境注重景觀視覺美學，顧及環境保護避免資源浪費及影響生態等，都需事前規劃妥當。

與渡槽相同功能的構造物如倒虹吸工或箱涵，選用參考主要以安全因素、通水功能及其經費多寡，以性價比相互比較，參酌材料取得、施工難易度做為選擇。首先依輸水流量，參考坡度選用通水斷面，再視跨越長度，跨距分配，配合現場地形佈置，規劃施工步驟，分析評估渡槽與倒虹吸工優缺點。目前橋樑先進工程技術與倒虹吸工預製管路工法均有長足進步，如有地形用地限制或天候災害因素特別限定外，一般渡槽與倒虹吸工工法均可選用。

渡槽槽身斷面選擇依據輸水計畫評估各種不同型式材料與工法，經審慎優選工法做設計，一般仍多以選擇混凝土或鋼鈹材質，至於短跨距輸水量小，除以樑式和上下游相同斷面設計外，於跨越小排水路可使用現有廠製規格化管路製品施作(如圖 6-5)，如預製鋼管/混凝土管/鋼襯混凝土管等，增設上下游渠道漸變段其進口漸變段以能銜接上游渠道，作流線形整束水流，必要時加長漸變段長度使水流順暢平穩，下游則可以開放式銜接即可。

跨越河川槽身支撐結構常以鋼筋混凝土 I 形樑或 T 形樑設計，如因通行及河川通航或排洪需較長跨度，一般在 20m 以上時以選用預力鋼筋混凝土樑式渡槽(如圖 6-6)或鋼構渡槽較為經濟，以減輕自重及樑負載。短跨距或以箱涵方式加強配置底部及側牆鋼筋混凝土施工成為渡槽(如圖 6-7)。或以箱涵方式為下方水路通道並作渡槽基礎，於頂部施工座槽銜接上下游施工，以利通水斷面一致。渡槽兩側或頂部加蓋可為維修通行使用(如圖 6-8)。



圖 6-5 預製管路渡槽(北投新幹小給)



圖 6-6 預力鋼筋混凝土渡槽(龍泉圳)



圖 6-7 箱涵渡槽(北投新圳四支線)



圖 6-8 渡槽加蓋(北投新幹小給)

### 6.3.2、設計準則

渡槽設計，視流量、跨距、經濟及實用與美觀，常用設計工法如下說明：

#### 一、鋼筋混凝土渡槽

- 1.槽身跨距小，結構設計可分為支撐型式選擇，荷重計算，應力計算，及細部(配筋)設計四大部分。
- 2.渡槽基礎依地盤承载力檢討，橋台型式有重力式，半重力式，扶壁式等，所受外力為垂直與水準力，以混凝土或鋼筋混凝土構築。
- 3.橋墩位於河床流心部分，以混凝土或鋼筋混凝土構築外，其外部採用圓型、半圓型、三角型等外觀，以減少流水衝擊壓力，受外力同樣分為垂直與水平力，另外計入流木衝擊力及雜物壓力。
- 4.槽身接縫以不收縮水泥砂漿或瀝青塗刷防止漏水。工法佈置及設計步驟詳參照「灌溉系統構造物之設計與實例」等相關教材。

#### 二、預力鋼筋混凝土(pre-stressed reinforced concrete)渡槽

渡槽設計工法考慮加大槽身跨距減少落墩，因應長距離輸水減少大規模填土方，大多選擇預力鋼筋混凝土製作渡槽，不但槽身重量減輕，施工因可預製速度變快。為增加渡槽通水量，應用多箱樑式結構，有矩形斷面及 U 形斷面。槽身上部結構施工法，可以分為預鑄與場鑄兩種方式，一般大型渡槽量體大，吊裝運輸不便，宜採用場鑄方式施工，中小型長距離多跨渡槽則採用預鑄，規劃設計概述如下：

- 1.場鑄預力鋼筋混凝土槽身可採用支撐先進工法(advancing shoring method)，將可移動系統範本組立於可前進移動的主鋼樑上，然後依序進行鋼筋綁紮、預力鋼鍵配置、內模安裝及混凝土澆置，於混凝土養護完成後施加預力，完成一跨後利用支撐架往前推進下一跨重複施工。
- 2.廠(預)鑄預力鋼筋混凝土槽身，可於工廠使用組合式鋼模製作，完成後進行運輸吊裝作業。或以節塊推進工法(incremental launching method)施工，將每一跨槽身製作完成後，藉由推進設備及鼻樑往前方橋台推進安裝。
- 3.預力箱型樑渡槽常因樑深固定，其鋼鍵常以單弦方式配置，進而限縮渡槽跨距(如學甲分線渡槽鋼鍵配置， $L=40\text{m}$ )；另鋼鍵可採多弦配置方式(如南幹支線 3 號渡槽預力鋼鍵配置， $L=51\text{m}$ )，即可延長單一跨距長度，減少橋墩及斷面數量，避免止水滲漏工序處理。
- 4.因應渡槽跨距加大，橋台及橋墩基礎需有足夠支撐力，因此一般設計施作採基樁基礎以增加承載。

5. 基樁施工依地質條件不同選用，一般淺深度可採用預力混凝土基樁直接打設，另外還有全套管基樁(full casing pile)及反循環基樁(reverse circulation pile)。
6. 橋墩於行水區內，其長軸應與計畫洪流方向平行為原則，但因流路及配置不一致時，宜採圓柱形，沖刷情形嚴重時，於洪水位高度外側，加裝防撞鋼板防護。橋墩上部支撐槽身部分，需有支承墊及止震塊，以防止地震時振動及位移影響。大型渡槽並需考慮溫度變化，其槽身混凝土冷熱作用下之應力變化，同時水流動力下如受地震侵襲時，水位湧高時，檢討出水高度是否足夠。

### 三、鋼構渡槽

鋼構渡槽為槽身以鋼材構件組合而成，鋼板以節塊方式於工廠加工完成後，進行假組立，並將各單元編號，記錄修正公差，以便於運至工地現場再進行組裝，對於焊道的檢查需借助超音波檢測，鋼材的選擇及另件如高強度螺栓、焊條等，均需依規定訂定使用，鋼版的防鏽措施分為內、外塗層，內層漆料以能減少摩擦力為宜，外層為對抗氣候溫度變化及防鹽害，使用多道塗料，並逐一檢查塗膜厚度，鋼構渡槽視通水斷面可規劃多槽並行(如嘉南大圳南幹線曾文溪渡槽)，以利一邊通水，一邊巡管檢查維修。

### 四、其他材料渡槽

短跨距渡槽，目前大都採用現有廠製規格化產品替代，常用管型如下：

1. 預製混凝土管，常用管徑介於 20-120cm，管長為 2.50m。也有管長為 5.0m，常用管徑介於 40-80cm。
2. 預製鋼襯混凝土管，常用管徑介於 100-220cm，管長為 2.5-7.0m。
3. 預製鋼管，常用管徑介於 32-66cm，管長為 5.0-7.5m。
4. 預製 PVC 厚管(或 HDPE 管)，常用管徑介於 30-80cm，管長 5.0-7.5m。設計時管路上下游以漸變段銜接，如有穿越道路埋設情形，需有足夠覆土深度，覆土如不足應加以補強加固。

渡槽設計有如上數種材料之運用，唯隨著施工建材及工法之進步，鋼構渡槽及預力箱型梁渡槽係目前廣泛使用之橋型，其優缺點比較如下：

| 橋型   | 優點   | 缺點   |
|------|--|--|
| 鋼構渡槽 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 橋體可配合景觀動線設計，較具動感。</li> <li>2. 可整跨吊裝，減少施工工期。</li> <li>3. 主體工廠製造，品質控制容易。</li> <li>4. 對河川防洪影響小。</li> <li>5. 適用於中長跨度之結構。</li> <li>6. 遇大型災害時，修護時間較短。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工程造價偏高。</li> <li>2. 需定期編列維修費用。</li> <li>3. 鋼橋防蝕需定期進行及做橋樑檢測工作。</li> </ol> |

| 橋型      | 優點  | 缺點  |
|---------|---|---|
| 預力箱型梁渡槽 | 1. 工程造价經濟。<br>2. 橋梁維護費用低且管理容易。<br>3. 國內施工技術純熟，品質控制穩定。 | 1. 槽體造型較為平淡。<br>2. 施工工期較長。<br>3. 地震時伸縮縫防漏工作較難處理。<br>4. 施工期間需注意施工方式對河川防洪之影響。 |

## 6.4、工程設計及實例與相關圖片

### 6.4.1、彰化農田水利會新分南圳渡槽

#### 6.4.1.1、工程設計

新分南圳渡槽為彰化農田水利會轄內，位於彰化縣鹿港鎮洋子厝溪仁和橋下游約 500m 處，原有橋墩因豪雨沖刷下陷致渡槽斷裂塌陷，災修工程改善採用預力鋼筋混凝土渡槽規劃，渡槽全長 88.0m，第一、三跨徑 24.0m，第二跨徑(主河道)40.0m，減少落墩以免影響通洪斷面。前後以漸變段與既設箱涵銜接，左、右岸橋台各一座，中間懸臂式橋墩 2 座，以 D:120cm 全套管基樁為基礎，經調查灌溉流量及相關水理因素： $Q=0.36\text{cms}$ 、 $B=1.0\text{m}$ 、 $S=1:380$ 、 $n=0.015$ 、 $h=0.34\text{m}$ 、 $A=0.34\text{m}^2$ 、 $V=1.08\text{m/sec}$ 。

整體佈置依據地質鑽探記錄，套入河床橫斷面，標繪基礎及地質剖面圖(如圖 6-9)，實測現場地形圖，標繪等高線、水準點，佈置橋台及橋墩做成平面配置圖，橋墩及基樁基礎設計圖等(彰化農田水利會等，2000)。

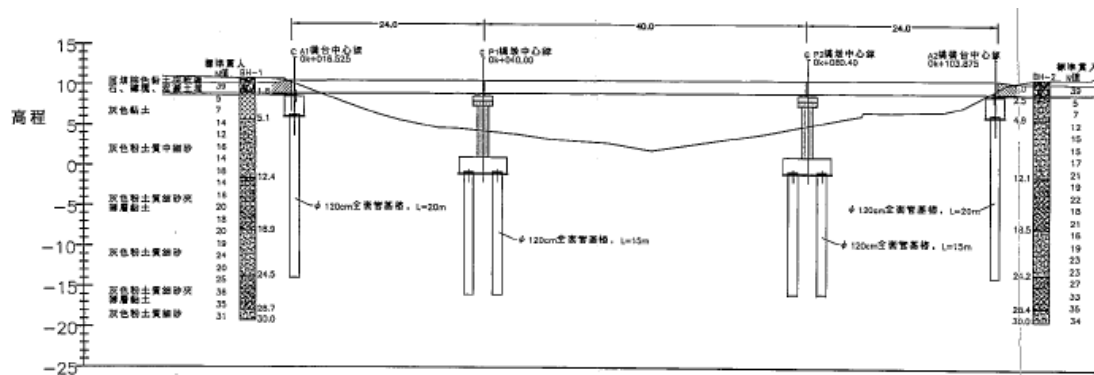


圖 6-9 基礎及地質剖面圖(新分南圳渡槽工程)

#### 6.4.1.2、工程實例與相關圖片

新分南圳渡槽災修工程，茲列舉其實例與相關圖片如下：

1. 基礎施工圍堰、基樁及橋墩施工，如圖 6-10 所示。
2. 渡槽箱涵鋼筋綁紮後安裝預力鋼鍵套管，如圖 6-11 所示。
3. 渡槽橋台灌漿及止震塊鋼筋。

#### 4. 渡槽橋台支承墊及止震塊。

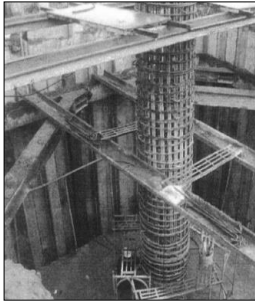


圖 6-10 基樁施工

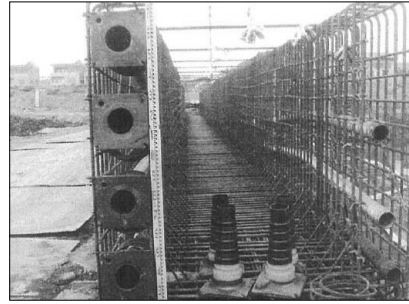


圖 6-11 渡槽箱涵結構

#### 6.4.2、嘉南農田水利會南幹線跨越曾文溪渡槽改建工程

有鑑於南幹線跨越曾文溪渡槽施設使用已逾70年，部份槽體結構腐蝕，且鋼構桁架構件歷經多次地震扭曲損壞，槽體結構安全堪虞，且渡槽橋梁長度及梁底高程無法滿足「曾文溪治理基本計畫(83年)」要求，94年第六河川局函文建請嘉南水利會改建或重建，爰此，嘉南農田水利會依據99年行政院經濟建設委員會函陳報「曾文溪急要工程實施計畫」結論，接受農業委員會經費補助，辦理「南幹線跨越曾文溪渡槽改建工程」。於101年6月開工，103年10月完工，耗資約4.2億元，渡槽工程全長計480m，主河道採四跨連續，每跨主樑跨達80m、箱型樑通水斷面寬4m高3m，為現行台灣單一跨徑最長、通水斷面最大之渡槽，獲102-103年度優良農建工程獎，施設完成如圖6-12所示。



圖 6-12 南幹線跨越曾文溪渡槽施設完成

(資料來源：嘉南農田水利會，2014。)

整體工程，主要包括渡槽工程：1.W4.0m\*H3.0m 箱涵 60.99 公尺；2.W4.0m\*H3.0m 座槽 108.71m；3.箱涵井式基礎 2 處。大地工程：1.橋台擋土支撐 2 處；2.橋墩擋土支撐 7 處；3.懸臂式擋土牆 22m；4.南岸座槽坡面保護工。橋樑工程：1.鋼拱箱型梁 4 跨 81.4m\*3@81.2；2.箱型梁 4 跨 40m\*4=160m；3.橋台 2 座；4.橋墩 7 座；5.沉箱 1 座  $\psi$ 6m、L=30m；6. $\psi$ 1.5m 全套管基樁共 81 支、總長 3,663m。



其工程特色：

1. 渡槽結構設計採雙孔箱型梁橋並兼顧河川防洪需求，如圖 6-13 所示，肩負 21cms 用水輸送、渡槽寬 6m 可供人車維修通行、維修可單側通水確保通水不斷。
2. 確保南幹線輸水機能，穩定嘉南地區各標的用水需求，包括農田灌溉面積 8,989 公頃，150 萬人口之公共給水，工業用水之供應，促進南部地區經濟繁榮與發展。
3. 原上承式鋼桁架渡槽，以外翻雙拱圈主樑銜接箱型樑方式改建，展現官田水雉羽翼自然優美弧線，結合地方特色營造整體景觀，鋼結構可加大跨距減少落墩，呈現強烈地標聚焦效果。
4. 橋梁上部結構採用鋼構造再生材料，土方就近再利用節省運輸能源消耗，照明採用高效率光源，基樁混凝土採用爐石混凝土減少水泥用量，合計綠色內涵佔總體工程量 12.85%。

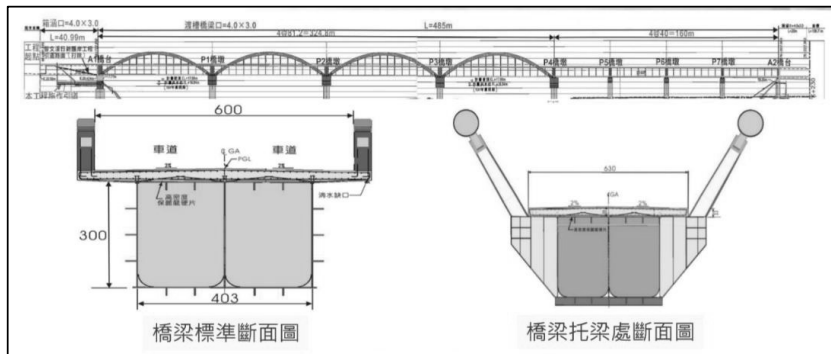


圖 6-13 曾文溪渡槽雙孔箱型橋梁標準斷面  
(資料來源：嘉南農田水利會，2014。)

## 6.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 農田水利會聯合會，1996，農田水利會技術人員訓練教材，灌溉工程類合訂本。
4. 農業工程研究中心，2017，灌排渠道及水工構造物水理分析系統建置。
5. 嘉南農田水利會，2014，南幹線跨越曾文溪渡槽改建工程簡報。
6. 彰化農田水利會、黎明工程顧問公司，2000，新分南圳渡槽災修工程。
7. Clemmens, A. J., Wahl, T. L., Bos, M. G. and Replogle, J. A., 2001, Water Measurement with Flumes and Weirs, ILRI Publication 58.

## 第七章、隧道

### 7.1、概述

隧道(tunnel)為提供水路、交通、電氣與渠道輸運的通道，大多數位於地面下，亦有位於海底或河底者，如台灣唯一的海底隧道高雄過港隧道。隧道具有立體化輸運、所需用地較小、景觀衝擊較低、結構耐震性較佳，長期維護成本較低的優勢；隨著施工技術提升，機具設備效能改善，近年來已為輸運與交通常見選項。就灌溉工程而言，當構築明渠需深挖或開挖於不安定山坡處，以隧道替代明渠可確保行水安全、減少養護費用，長期評估可能較為經濟，也常是越域引水最可行與經濟方法。

隧道依其功能分類，如公路隧道、鐵路隧道、輸水隧道、排水隧道及共同渠道等；按所在位置或通過地層岩土材料分類，例如山嶽隧道、城市隧道，前者通過材料常為岩盤，又稱岩石隧道，後者則可能為岩土交互出現的情況。輸水隧道依在隧道內水流是否存在自由液面，可分重力流與壓力流兩種情況，前者水流對隧道結構荷載相對甚小，後者則可能形成內壓，又稱壓力隧道。

#### 7.1.1、岩石隧道基本力學特性

隧道開挖必然擾動其周圍岩土材料原有的平衡狀態。圖 7-1 以圓形隧道為例，說明二維平面應變條件下隧道開挖後周圍應力狀態的變化，隧道周壁因開挖移除岩土的影響，若無支撐作用，其徑向應力分量(radial stress component)將減降消失，切向應力分量(tangential stress component)則因岩土材料向內變位(簡稱收斂變形(convergence))相互擠壓而增加。岩土材料具均質、均向力學特性、現地應力均勻分佈情況時，可以透過彈性力學理論公式求得隧道開挖後周圍岩土材料應力分佈；圖示即為現地應力初始條件呈靜水壓( $\sigma_0$ )狀態下，圓形隧道開挖後周圍切向應力( $\sigma_t$ )增壓、徑向應力( $\sigma_r$ )解壓的變化。當徑向應力與切向應力的變化造成隧道周圍岩土材料降伏，切向應力增量值必然受到材料強度( $\sigma_f$ )的限制，其量值的變化可以透過適當的破壞準則描述。此情況下隧道開挖後通常設置支撐，抑低周圍岩土材料的收斂變形量，則隧道周壁的徑向應力分量( $\sigma_r^{\text{sup}}$ )等於支撐系統的合作力，切向應力分量( $\sigma_t^{\text{sup}}$ )可以透過應力-應變調整，考慮材料的組成模式估算求得。

圖 7-1 所示的應力變化描述了隧道開挖前的現地初始應力( $\sigma_0$ )以至於隧道開挖支撐完成、且開挖工作面遠離所考慮分析平面後的最終狀態。實務上隧道施工係開挖與支撐的輪進作業，力學上則是周圍岩土材料的收斂變形、應力變化與支撐系統相互影響的互制過程，並受到時間因素影響。圖 7-2 簡化隧道周圍岩土材料收斂曲線與支撐作用曲線的關係。地盤收斂曲線(ground convergence curve)描述隧道周圍岩土材料自初始狀態( $P_0$ )受開挖擾動後，收斂變形量( $\delta$ )達到平衡狀態所需的徑向應力分量值，而支撐作用曲線(support reaction curve)則描述支撐設置時機對應的圍岩收斂變形量、以及構件變形所

發揮的支撐作用力( $S$ )。地盤收斂曲線與支撐作用曲線的交會點即為隧道開挖支撐後新的平衡狀態點。

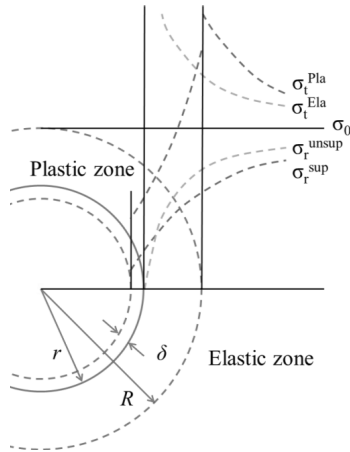


圖 7-1 二維平面應變條件下圓形隧道開挖後周圍應力狀態變化

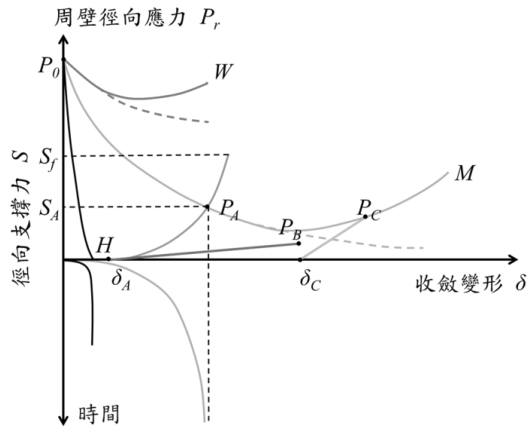


圖 7-2 隧道周圍岩土材料收斂曲線與支撐作用曲線關係

圖 7-2 繪出 3 種地盤收斂曲線，代表不同隧道工程地質條件下典型的開挖面附近圍岩變形特性。岩體工程特性佳、現地應力不大情況下，隧道開挖後周壁收斂變形量小，周圍岩土材料已經達到了新的平衡狀態，隧道開挖面附近的變形特性可以  $P_0H$  曲線描述。對於軟弱岩體或是現地應力過大情況下，隧道開挖後周壁顯露明顯的收斂變形特性，然而過量的變形快速發生，周圍岩土材料擾動範圍迅速增大，收斂曲線出現上凹現象，隧道周壁所需的平衡應力可能接近初始狀態應力值，甚至更大，此情況下隧道開挖面附近的變形特性可以  $P_0W$  曲線描述。若岩體工程特性中等，現地應力不致過大，則隧道開挖面附近的變形特性介於  $P_0H$  與  $P_0W$  曲線之間，可以  $P_0M$  曲線描述：隧道開挖後周壁可量測到收斂變形量，透過支撐系統可以抑制收斂變形，且收斂變形量的大小與支撐系統設置的時機、支撐勁度大小有關。圖中  $\delta_A P_A$  曲線與橫坐標軸的交點  $\delta_A$  表示支撐系統設置時，隧道周壁已經發生的收斂變形量，此時支撐系統因構件無變形，而尚未提供支撐作用力， $\delta_A P_A$  曲線與  $P_0M$  曲線的交點  $P_A$  表示地盤收斂變形與支撐作用曲線達到平衡，力學上隧道開挖後達到了穩定狀態。此時支撐構件的安全係數可以透過支撐強度  $S_f$  與平衡狀態支撐受力  $S_A$  的比值估算。相同的隧道工程地質條件下，支撐系統可能因為勁度不足，或是設置時機過晚，而降低了安全性，分如  $\delta_A P_B$ 、 $\delta_C P_C$  曲線的情況。

圖 7-1 與圖 7-2 可謂現代化岩石隧道工程理論的濫觴，簡單扼要地透過圍岩與支撐受力及變形的關係，闡釋了常見的隧道工程行為。隧道選線、開挖支撐設計以至於施工，需要透過地質調查掌握岩體工程特性，評估隧道周圍岩土材料在開挖後的地盤收斂曲線特性，設計適當的支撐系統並及時設置完成。然而囿於地層的複雜性以及岩土材料工程特性的異質、異向性，圖

7-1 與圖 7-2 中的曲線在同一隧道不同里程剖面，甚至同一里程剖面上不同的位置，可能出現明顯的差異，因此開挖面工程地質特性評估、施工安全監測作業以及回饋設計的觀念，亦成為現代化隧道工程不可或缺的一部分。

### 7.1.2、選線與定線

隧道工程計畫應基於服務功能需求，考慮地形及地質條件、前後銜接構造物、鄰近既有構造物及管線分佈、生態環境、施工安全及經濟性等因素，整體檢討評估後選擇妥適路線進行規劃設計。選線與定線作業應依據工址調查成果，綜合檢討地形、地質及環境等相關條件對隧道工程的影響，在滿足隧道服務功能需求以及確保施工安全前提下，力求降低建設經費及運營維護費用，選擇經濟效益最佳的路線方案。

隧道定線包括平面線形與立面(縱斷面)線形兩部分。在兼顧環境保護、用地取得、建物拆遷與保護、以及其他工程因素如土方調撥運用或運棄等考量下，盡量避開不良地形並佈置於工程地質條件較佳的位置。

隧道水平定線主要配合建設計畫整體路線需求，先確定隧道兩端洞口或銜接水工構造物位置，考量洞口段地形與地質特性，盡量採較短距離配置。路線鄰近既有構造物或其他隧道時，應保持適當水準距離，以維持隧道施工及運營期間周圍地層的穩定性。

隧道沿線縱斷面原則上需配合兩端洞口或銜接水工構造物以和緩坡度連接，並依通水量、隧道及通水斷面積、以及流速等功能需求配置。採用較大坡度可提高速度，減小隧道斷面積，但亦有水頭損失以及施工困難等問題，應視水理分析結果，綜合檢討不同斷面及坡度組合，選擇適當的配置。

隧道長度對於施工工作面規劃、施工方法、工期及造價、以及運營維護影響甚大，一般儘可能以多段長度較短隧道取代一連續較長隧道為原則。隧道附屬設施如水工閘室、以及其他運營維護設施位置，應在選線規劃階段一併配置。施工所需的通達道路以及施工基地，亦應納入一併考量。

影響隧道選線的地形、地質與地下水因素甚多，例如常見的河谷地形、風化與軟弱岩盤、潛移及重力變形邊坡、地下水等因素，以及較為特殊的斷層帶、煤層及廢煤坑附近、地盤湧水性、擠壓性、膨脹性、高岩爆、高地溫、含有害氣潛能較高的地質狀況，以及淺覆蓋段等，可能造成隧道施工以及維護作業困難，隧道選線規劃階段應予檢討，儘可能避開影響顯著的範圍。

### 7.1.3、工址調查

隧道工址調查要項包括：(1)隧道沿線地形與覆蓋厚度，(2)隧道沿線岩盤分佈狀況、岩質及構造特性，(3)地表水系狀況，(4)岩盤所含地下水特性及含量，(5)岩盤力學特性及開挖安全的影響因素等。

工址地質條件的瞭解程度影響建設計畫推動過程一連串的決策判斷，進而影響工程設計與施工良莠。洪如江(1991)建議規模較大工程計畫應隨著建設作業推動，在生命週期各個階段辦理適當地質調查。在先期如可行性研究、規劃作業階段，地質調查範圍(coverage)較廣、精度(precision)較低、程度(extend)較簡略；隨作業階段進展，調查程度愈明確，精度亦隨之提升。行政院公共工程委員會辦理「台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立」計畫(張吉佐等，2001)，建議合理工址地質調查作業應依據建設計畫不同作業階段的目標、主要內容以及所需達成的基本成果要求，訂定不同作業階段工址地質調查的範圍、程度與精度，提供必需的工程基本資料。

#### 7.1.4、調查與試驗計畫的擬定及實施

隧道工址地質調查與試驗工作計畫書，內容至少包括：(1)調查與試驗範圍，(2)調查與試驗目的及內容，(3)既有地質、岩體與工程資料，(4)調查與試驗方式，(5)調查底圖比例尺，(6)預定工作進度，(7)預期成果。

隧道工址地質調查與試驗計畫常按後述流程實施：1.資料蒐集以及遙測影像判釋；2.地表地質調查；3.地球物理探查；4.鑽孔探查與現地試驗；5.室內試驗。政府資料開放平臺提供廣域的地形、地質、環境、水系、水文與交通資料；鄰近隧道與大地工程施工記錄及文獻報導，應於地質調查計畫書擬定階段即廣泛蒐集整理，廣化並加速對工址的認知。除了傳統衛星影像、航空照片等遙測技術，近年新興的光學雷達(light detection and ranging, LiDAR, 簡稱光達)，可提供網格精度優於 1 m 的高精度數值地表模型(digital surface model, DSM)或數值高程模型(digital elevation model, DEM)；合成孔徑雷達差分干涉技術(D-InSAR)，衛星酬載雷達拍攝歷史影像並可提供部份地區的地表變位回溯分析；無人飛行載具可提供快速觀察、航拍與產製 DSM 的優勢，皆可輔助地表地質調查作業。

#### 7.1.5、岩體評級分類

現代化隧道工法為效率化開挖支撐輪進作業，將具有高度複雜性的岩體針對影響其工程特性較顯著的幾個因數，分別給予權重及評分，再加總或相乘計量總分，評級岩體據以分類其工程特性，此稱岩體評級分類(Rock mass classification)，簡稱岩體分類。其中以 Bieniawski 1973 年在南非科技及產業研究中心(Council for Scientific and Industrial Research, CSIR)提出的地質力學分類法(Geomechanics Classification System)及 Barton 等人(1974)在挪威地工研究中心(Norwegian Geotechnical Institute, NGI)提出的 Q 法最為著名。

CSIR 地質力學分類法評估因數有 6 項，分別評分後的總和為岩體評分(Rock Mass Rating)，俗稱 RMR 法。RMR 法歷經多版修正，1984 年版各分項評分為岩石材料強度 0 至 15 分，RQD 3 至 20 分，弱面間距 5 至 20 分，弱面狀況 0 至 30 分，地下水情形 0 至 15 分，弱面方位 0 至負 60 分。

NGI 以 Barton、Lien 及 Lunde(1974)三位創立 Q 法作為評估地盤等級的基準，評估因數亦有 6 項。岩體的  $Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF)$ ，式中， $RQD$  為岩石品質指標，即每次鑽獲岩心中，每段長度超過 10 cm 者的長度總和對鑽探總長度的百分比； $J_n$  為有關弱面組數的評分； $J_r$  為弱面粗糙度的評分； $J_a$  為弱面品質(風化、腐朽情形)的評分； $J_w$  為弱面滲水情形的評分； $SRF$  為應力影響因素的評分。

Q 法亦有不同的修正版本，其中應用在鑽炸隧道開挖者，以配合挪威隧道工法(Norwegian Method of Tunnelling (NMT))介紹的版本最為常見。另有適用於 TBM 開挖工法的  $Q_{TBM}$ 、考慮完整岩石強度修正的  $Q_c$ 、評估震波衰減的  $Q_{seis}$  等不同的版本(Barton, 2002)。

公共工程委員會亦提出適用我國地質特性的 PCCR 岩體分類法，將台灣地層劃分為 A、B、C、D 四種岩體。A、B 岩類適用於定量分類，C、D 岩類則適用於定性分類。各岩類的劃分原則如後(張吉佐等, 2001)：

1. 岩類 A 大致可對應於國際岩石力學學會(International Society for Rock Mechanics, ISRM)地質材料強度分類法中強度高於或等於中強岩的地質材料，岩質堅脆，易因大地應力影響而產生發達節理；岩體破壞機制屬於受節理、劈理等弱面控制的構造破壞，包括台灣地區所有的變質岩類與亞變質岩類、火成岩類中除火山角礫岩的岩層、沉積岩類中岩化程度高且具高強度者。
2. 岩類 B 大致可對應於 ISRM 地質材料強度分類中相當於弱岩的地質材料。岩質不如 A 岩類般堅脆，在大地應力作用下並不容易產生發達的節理，但因膠結較差，會因含水量提高而產生不容忽視的強度降低現象。岩體破壞機制包含構造破壞以及材料破壞。本岩類泛指沉積岩中較軟弱的已固結岩層，多位處西部麓山帶西緣丘陵區。
3. 岩類 C 涵蓋所有大致可對應於 ISRM 地質材料強度分類中，強度小於或等於甚弱岩的地質材料；此外，亦涵蓋所有粗顆粒(粒徑大於 4 號篩者)含量少於 50%，力學行為受控於細粒料的複合材料地層。膠結程度遠低於 A 岩類及 B 岩類，遇水軟化現象極明顯，岩體少有明顯的地質弱面，破壞機制以材料破壞為主。岩盤強度的決定因素主要為組成材料性質、膠結程度與含水量高低。包括台灣南部晚上新世至更新世、東部海岸山脈地質區膠結不佳的沉積岩或混同層。
4. 岩類 D 泛指以粗顆粒為主(含量超過 50%)，夾有細粒料的複合地質材料，包含礫石層、火山角礫岩與火山集塊岩等。單壓強度變異範圍相當大，因而影響弱面產生的多寡；含水量高低對於整個岩體強度所造成的影響程度大小亦視個案而異。粗顆粒含量介於 50%至 75%時，岩體破壞行為為受控於細粒料的膠結程度；且顆粒含量大於 75%時，岩體破壞行為則由粗顆粒主控。

除前述一般岩體特性外，亦有少數隧道施工遭遇斷層帶、大量湧水、擠壓、膨脹、高岩爆潛能、高地溫、含有害氣體等特殊地質狀況，尚無法系統歸納其特性，一旦發現可能遭遇此等特性地質狀況，或影響程度無法明確評估時，宜廣納學者專家組成顧問團隊，針對個案研擬調查與評估分析。

#### 7.1.6、調查結果整理與報告

工址地質調查結果應綜合整理，原則上應呈現調查過程蒐集的工址地質調查紀實報告與大地工程評估分析報告兩部分。

地質調查紀實報告內容需載名執行調查與參與試驗單位；調查目的與預期成果；地表地質調查結果，包含地表水文資訊、鄰近設施行為、工址附近地表裸露狀況與露頭調查記錄；鑽孔探查設備、施作項目、調查數量、取樣數量、試體運送程式與保存位置；現地試驗方法、試驗結果及試驗結果報告；地下水位變動的狀況；施作現地調查與室內試驗的時間間隔；室內試驗調查方法、試驗方法、試驗結果及調查作業報告；鑽孔紀錄，包含岩心照片及推定的地層結構；並整理現地調查結果等。

大地工程評估分析報告應詮釋工程地質調查與試驗的結果，並評估所需提供的工址地工資訊，以及載明設計所需的隧道沿線地質模型、地工特性與參數，以及其決定的流程。各種經過工程地質與大地工程方法估計處理過的資訊，需說明詮釋時採用的假設。若試驗與調查資料有不足或不完整、差異及低精度的情況，應檢討差異的原因。地工參數的估算，應考慮各項調查、試驗、觀測與監測結果的相互關係以及過去的經驗。

隧道沿線地質模型應包含地質平面圖、縱剖面以重要的橫剖面地質圖，並力求將調查結果充分標示，包括隧道高程、鑽孔位置、推估地層岩性、位態、地下水狀況、斷層、破碎帶位置，並應提供隧道沿線岩體評級分類預測結果、主要不連續面組數、位態以及隧道開挖後可能影響穩定的岩楔形貌。

## 7.2、水理

輸水隧道設計其水理首要滿足通水量需求，隧道斷面需能提供目標通水量通過，並確保在前後銜接構造物之間長期穩定、經濟的服務功能。隧道通水量與水流速度(flow velocity)及通水斷面積有關，此二項又受到隧道斷面形狀、大小以及隧道線形所影響。

### 7.2.1、通水量

重力流隧道的平均水流速度類似明渠，可由常見的水理公式計算，如曼寧(Manning)公式。重力流隧道沿線斷面一致，坡度無明顯變化且流速不大時，可依據曼寧公式所得平均水流速度與通水斷面積的乘積，求得通水量。若斷面形狀改變、大小或坡度變化較大、或是水流速度較高情況，則需透過數值模擬分析或水工模型試驗，校核曼寧公式計算所得，並視需要修正。

輸水隧道的設計水流速度不宜低於 0.8 m/s，以減少淤積的可能性；水流速度大於 12 m/s 時，應考慮磨損現象並評估因應對策。

壓力隧道常用於水力發電，又稱頭水隧道，其取水口通常設置在壩區或堰區，引導水流經過水輪機發電。頭水隧道與水輪機之間常用壓力鋼管連接，隧道與鋼管銜接處附近設置平壓塔平穩水流並緩和放水過程的水錘壓力。壓力隧道流況複雜，特別是出入口與銜接構造物段附近，除利用理論計算通水量及流速變化外，應透過數值模擬分析或水工模型試驗結果予以檢核修正。

### 7.2.2、斷面設計

輸水隧道斷面除符合水理上通水量需求外，尚需考慮經濟性與施工性及運營階段的檢查及維護作業。主要設計項目包括斷面形狀及其大小兩項。

圖 7-3 為常見輸水隧道斷面形狀，包括圓形、馬蹄型及倒 D 型等，其中馬蹄型為最常見輸水隧道斷面，高度-側壁半徑-仰拱高度皆為 2 倍開挖半徑（即  $2r-2r-2r$ ）時，稱為標準馬蹄型，常於建設計畫可行性評估或選線規劃階段用於初步估計通水量。圓型隧道適用於採用全斷面鑽掘機開挖或推管工法施工條件，其結構行為最佳，在膨脹性地盤、擠壓性地盤等地質條件差、現地應力較大的工址有利於抑低隧道圍岩變形，但採用鑽炸法或鑽掘法施工難度較大。圓形隧道斷面亦常應用於壓力隧道。倒 D 型斷面底部平坦，施工過程便於機具進出、碴料運棄、支撐構件架設、以及底板混凝土澆置，採用鑽炸法或鑽掘法的施工性最佳，但在相同通水量條件下因通水面積較大以致平均水流速度較低，隧道長度較大時容易淤積，在水流速度較大時，側壁與底板交接的施工縫易發生沖蝕，因此斷面設計仍應綜合各項因素評估決定。

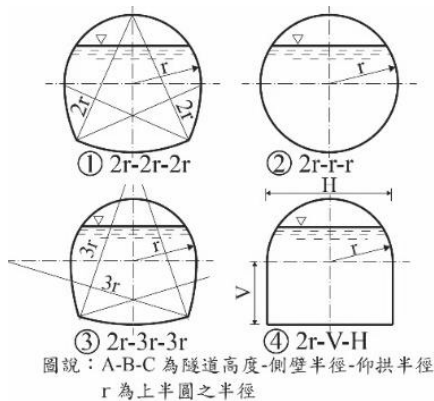


圖 7-3 常見輸水隧道斷面形狀

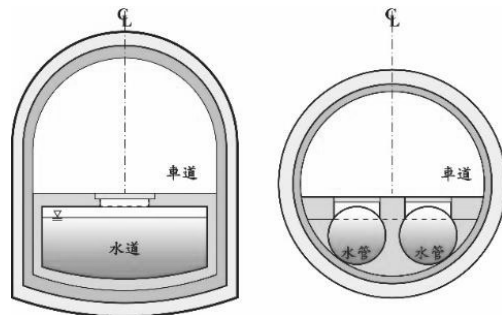


圖 7-4 重力流及壓力流隧道複合斷面例  
(改繪自 Wang and Lee, 2013)

理論上滿足目標通水量需求、斷面積最小的輸水隧道，其開挖土石量最少，支撐構件及襯砌量也最小，為效益最佳的斷面設計。但現代化隧道施工大量仰賴機具進行開挖、支撐作業，隧道小大不足以提供各式機具作業空間時，施工可能窒礙難行。加之隧道完工後即進入運營養護期，或有車輛進入



檢查及長期維修補強作業之需要，斷面大小亦需考慮車行及維修所需的最小斷面，基於施工性以及維護管理考量，隧道長度較大時，開挖寬度宜在 4.5 m 以上。通水量小、長度較大的輸水隧道可採用複合斷面設計，兼顧輸水需求與維護管理考量(Wang and Lee, 2013)，圖 7-4 即是複合斷面案例。

## 7.3、設計注意事項

### 7.3.1、設計要點

1. 為確保前後銜接構造物間長期穩定性、經濟性與施工性及運營階段的檢查及維護作業需求，輸水隧道設計首要滿足通水量，而通水量與水流速度及通水斷面積有關，此二項又受隧道斷面形狀、大小及隧道線形影響。
2. 常見輸水隧道斷面形狀，包括圓形、馬蹄型及倒 D 型等，其中馬蹄型高度-側壁半徑-仰拱高度皆為 2 倍開挖半徑(即  $2r-2r-2r$ )時，稱標準馬蹄型。

### 7.3.2、設計準則

#### 一、洞口段

洞口是隧道的起點與終點，其位置受到隧道與銜接水工構造物影響，常需克服地形與地質條件限制，更因用地取得困難，使得位置的選擇及佈置難度提高，洞口的設計與施工逐漸成為隧道工程中極重要的課題。

#### (一)工程特性與設計要點

洞口包括洞門段、洞口段及路線前後銜接的結構物，其工程特性不同於隧道本體，不僅受到地形與地質條件影響，氣象與周邊環境亦常為洞口設計的重要因素。隧道洞口因其岩覆厚度較薄，且經年受到風雨冷熱等風化與侵蝕作用，地質相較鄰接的隧道本體段軟弱，常包括許多風化、中低強度岩石材料，未如隧道本體岩覆厚度較高、地質材料較佳，可形成地拱以抵抗外來岩壓。依據國內外施工經驗，隧道上方岩覆厚度達  $1-2D$  ( $D$  為隧道開挖直徑)時，地拱較易形成，因而常將隧道自施工臨時洞口至開始採用隧道標準開挖支撐型態位置(即覆蓋厚度  $1\sim 2D$  的位置)，視為洞口段(圖 7-5)。

洞口附近地形係地質材料經過長期風化、侵蝕、搬運等外力作用而形成的一種平衡狀態，隧道挖掘或邊坡開挖改變地貌均將破壞原有的應力平衡，嚴重時可能導致洞口附近邊坡發生地層滑動或坡面崩壞，隧道內則可能發生開挖工作面崩壞、偏壓、頂拱抽心或落盤、地盤承载力不足、圍岩變形量過大等現象。

圖 7-6 按隧道軸線與洞口邊坡地形的位置關係。其中直交型洞口段的隧道軸線垂直山坡等高線，通常施工長度較短，為最理想的洞口地形條件；若洞口位在陡峭山坡腹部，應防範落石；如洞口位於半山腰施工時，應考慮施

工道路與銜接路線的關連性。斜交型洞口段的隧道軸線與邊坡等高線斜交切入山坡，洞口附近橫斷面地形為傾斜狀、或地層傾向與坡面在同一方向，洞口段預期遭遇偏壓現象。平行型洞口段的道以小角度斜交切入山坡，並大約與山坡等高線相互平行，洞口段長度相較長於其他相交型式。施工時可能會遭遇偏壓及邊坡不穩定的現象。此種型態的問題點最多，應儘量避免採用。山脊部進入型可分成兩種，一種是風化層及崖錐堆積厚度較薄者，洞口開挖可很快進入岩盤，地層較為穩定；另一種為堆積層很厚、整個地形呈凸形狀，洞口開挖範圍不能太大，否則影響地層之穩定。谷部進入型洞口段地層常為未固結的崖錐或崩積層等，堆積很厚且地下水豐富，洞口坡面穩定性較低，應針對地下湧水及施工工法充分檢討。此種型態洞口附近易發生土石流、雪崩等自然災害，亦應注意。

隧道洞口段設計以儘量減低邊坡及隧道開挖對原有地盤造成的擾動，使其維持原有的穩定性為原則。若原有地盤穩定性較差，或是洞口段施工時可能引發邊坡不穩定，則應先穩定邊坡，再進行鑽掘洞口段的施工。

自然坡面進行洞口開挖時，應考慮地盤特性以及隧道軸線與地形的相交型式，同時應將隧道內洞口段開挖一併納入邊坡穩定分析，再依據分析結果選用具施工性、經濟性與安全性的邊坡穩定與洞口段開挖支撐措施進行設計，如回填土方穩定、側抱式擋土牆、邊坡噴凝土、岩栓或地錨、隧道前進支撐及上半擴座基礎等。

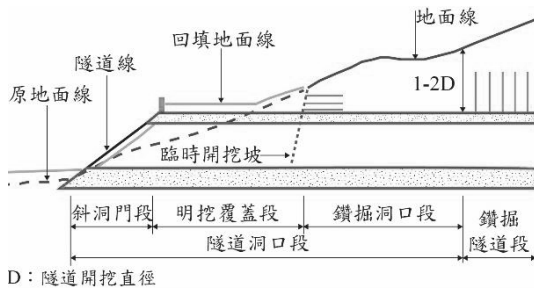


圖 7-5 洞門、洞口段及標準開挖支撐段

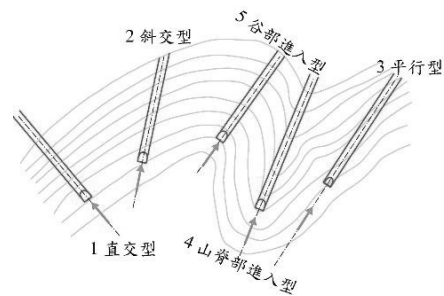


圖 7-6 隧道軸線與洞口地形交會型態

## (二)明挖覆蓋隧道

明挖覆蓋隧道銜接鑽掘段隧道與洞門，或是洞外水工結構物，為人為回填土方構成，設計考慮荷載來源包括：覆土重、側向土壓力、地下水壓力、地震力、隧道結構自重、鄰接邊坡潛在崩落土石或施工車輛等造成的超載。

明挖覆蓋隧道採用的設計準則及方法偏向一般地表結構物，其中回填土方的側向土壓力可採用朗欽土壓力理論(Rankine earth pressure theorem)或是庫倫土壓力理論(Coulomb earth pressure theorem)估計，地震力按建築物耐震設計規範依工址特性及所在位置震區係數計算。明挖覆蓋隧道埋於地中，受

震時周圍土石可提供部份阻抗，亦能將震波能量向外傳遞，受震反應未若高層建築顯著，因此設計地震力可按規範值酌減。明挖覆蓋隧道耐震設計除採用動力分析進行外，目前擬靜態分析方法亦相當常見。

## 二、隧道開挖

岩石隧道建造主要包括開挖及支撐兩大部分。開挖方法可分機械開挖與鑽炸開挖兩大類，前者主要採隧道鑽掘機(Tunnel Boring Machine, TBM)或隧道掘削機(roadheader)，岩體較為軟弱時，俗稱怪手改裝衝擊錘的開挖機(rock digger)亦可用於隧道開挖；後者則透過鑿岩機(rock drill)或鑽堡(jumbo/drill carriage)鑽設炸藥孔，填裝炸藥、結線、引爆進行開挖。

TBM 將隧道施工的開挖、清渣、支撐等程式進行系統整合，全斷面的隧道施工自動化程度得以大幅提高，施工更為快速化、效率化(Bickel et al., 1996)；隧道掘削機則具有精準開挖優勢，兩種開挖方法國內皆有應用實例。然而此兩種機械開挖方法深受地質條件影響，而且每一開挖工作面的初期投資成本較高，因此國內仍以鑽堡或氣動式鑽機鑽孔，搭配炸藥爆破開挖的鑽炸法較為普遍。採用怪手開挖機進行開挖的方式，在軟弱岩層亦相當常見。

相對於機械開挖，鑽炸法或鑽掘法可因應不同地質狀況、隧道斷面大小，調整分區開挖的方式，迄今仍為我國岩石隧道主流的開挖方法。一般可概分為全斷面開挖、台階開挖、中壁分割及先進開挖工法等(圖 7-7)。

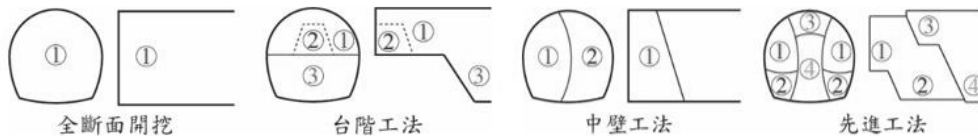


圖 7-7 常見隧道開挖工法

全斷面開挖工法一般適用於小斷面隧道或沿線地質差異較小的中斷面隧道，整個斷面一次開挖完成並架設支撐系統，施工效率為所有鑽掘法或鑽炸法開挖方式中最高者。大斷面鑽掘限於經濟及安全因素，此方式並不多見。

台階開挖工法係目前最常被採用的鑽掘方式，依台階長度的不同，又可區分為長台階、短台階、迷你台階及多段台階等開挖方法。台階長度在 50 m 以上者屬長台階開挖工法，因施工管理容易而為一般施工廠商所樂於採用；介於 50 m 與開挖寬度之間者屬短台階工法，因上半及洞台施工幹擾較大而較少採用；小於開挖寬度者屬迷你台階開挖工法，若又分區開挖如環挖預留土心者，則為多段台階開挖工法，此二種開挖方式一般僅在不良至惡劣地盤中被採用，以利儘早進行仰拱閉合，惟開挖工作面或經常改變，或開挖工作面數多，不論開挖、出渣與支撐等作業繁雜，故常導致工期及經費增加。

先進工法包括側壁導坑先進，中央導坑先進，底導坑及頂導坑先進等工法。側壁導坑先進工法用於地盤承载力不足時，以抑制隧道的沈陷量，常見於軟弱地層或都市中的隧道施工；底導坑先進工法利於主隧道開挖前先行排水；中央導坑與頂導坑先進工法利於預先灌漿強化頂拱附近圍岩，在軟弱地層中亦常被採用。

中壁分割開挖工法為側壁導坑先進工法的特例，當隧道斷面不大，側壁導坑的開挖面積已趨近全斷面積之一半時採用之。

鑽炸法開挖的施工包括測量、鑽孔、裝藥、結線、引爆開炸、通風、出碴、清浮石/修挖、地質記錄與回饋、鋼支保、噴凝土、岩栓等一次支撐作業，並視需要施作先撐鋼管。前述各項作業完成後，隧道僅推進數十公分至數公尺的距離，稱為一個輪進。岩石隧道施工，即重覆的輪進作業，待隧道圍岩變形趨於收斂後，再分階打設混凝土襯砌，完成隧道的土木結構部分。

### 三、隧道支撐系統

隧道支撐以維持開挖後圍岩穩定，並提高隧道長期結構安全及確保服務功能為目的。現代化隧道工法為效率化開挖作業，通常在開挖後優先施作足以維持圍岩短期穩定的主要支撐系統(primary support)，俗稱一次支撐，待整個隧道斷面皆開挖完成、圍岩變形趨於收斂後，再施作提高長期結構安全的隧道襯砌(secondary lining)。主要支撐系統與襯砌的設計重點亦有差異。

#### (一)主要支撐系統組成

採用鑽炸法或鑽掘法開挖隧道，主要支撐系統通常由鋼支撐架、噴凝土及岩栓等構件組成。鋼支撐架俗稱鋼支保，包括 H 型鋼支保及桁架鋼支保兩大類。H 型鋼支保或桁架鋼支保通常皆由數段組成，以螺栓及螺帽透過鋼承板對接鎖定，並利用繫桿與前一輪進鋼支保進行隧道軸向連接，確保噴凝土施作後尚未凝固前鋼支保的穩定性。

隧道噴凝土形成一薄殼狀圓拱，在開挖四周岩壁形成一束縛力，並可配合鋼支保與岩栓結合隧道圍岩，形成岩石拱以發揮岩體本身的自持力。噴凝土尚可防止岩塊掉落，延緩開挖面岩體風化，並可承受一定程度的剪力、彎矩及軸向力(圖 7-8)。一般噴凝土通常加掛鋼線網以增加剪力及張力強度，增加噴凝土附著性、減少其因潛變或過應力造成的龜裂、破壞或掉落。遭遇較差岩體而需較厚的噴凝土支撐時，鋼線網需搭配噴凝土分層，於施噴前依次鋪設。

鋼纖維噴凝土採濕噴式施作，具有較優越的抗彎、抗拉強度及較佳的韌性，其破壞後仍能承受荷重而具延展性，改善傳統噴凝土易脆裂的缺點，並可避免鋼線網及鋼支保後方間隙或空間的形成。另外，鋼纖維噴凝土尚可減少噴凝土層厚度、省去掛網時間以加速施工等，近期有逐漸取代一般噴凝土加掛鋼線網的趨勢。

岩栓具有多重的支撐效果(圖 7-9)，包括：1.懸掛功效，將鬆動的岩塊固定於未鬆動的地盤，防止掉落或滑落，為最簡單的懸掛支撐，常見於塊狀岩體中；2.成梁功效，層狀岩體使用岩栓加固時，可增加層間弱面的正向應力，進而提高其抗剪強度，產生合成梁的支撐功效；3.內壓功效，束制圍岩變形，形成內壓作用於隧道開挖壁面，並將隧道壁面附近的岩盤自二維應力狀態轉變為三維應力狀態；4.成拱功效，系統佈置的岩栓除了形成內壓功效作用於隧道開挖壁面外，更於隧道周圍岩栓打設範圍形成一束制拱圈，拱圈內因岩栓支撐使徑向作用的最小主應力增加，應力莫耳圓縮小，第一應力不變量變小且遠離強度包絡線，因而提高地盤穩定；5.地盤改良功效，岩栓打設於地盤內形成加勁的效果，改良地盤平均的抗剪強度，抑低隧道圍岩變形。

岩栓依佈設方式，可以分為系統岩栓與局部岩栓，前者常沿隧道環向及縱向規則設置，構成整體支撐系統的一部分；後者則針對岩體中局部具有滑動、墜落潛能岩塊，視地層位態打設岩栓，其佈設位置、型式需有現場有經驗工程師指示配置。常見的岩栓型式包括膨脹式岩栓、樹脂式岩栓以及灌漿式岩栓，其中灌漿式岩栓又可細分為 SN 岩栓、後灌式岩栓及自鑽式岩栓等，應用皆相當普遍。

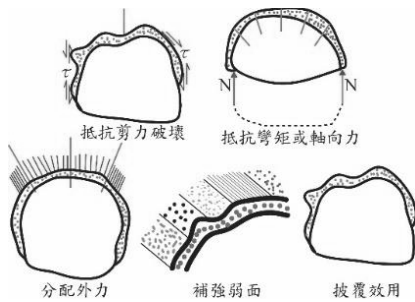


圖 7-8 噴凝土支撐功效示意  
(改繪自日本土木學會，2006)

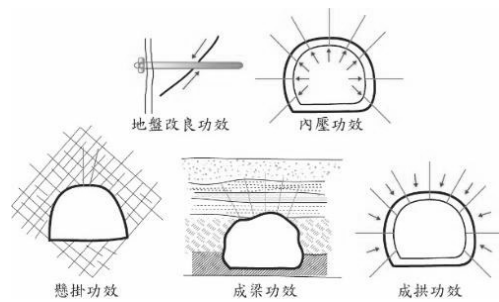


圖 7-9 岩栓支撐功效示意  
(改繪自日本土木學會，2006)

## (二)前進支撐

隧道開挖工作面前方頂拱自立性不足時，可施作先撐鋼管做為前進支撐，預先增加前方圍岩拘束力或提高其抗剪強度，輔助隧道開挖並避免抽坍危及工作人員安全。依剛性構件長度，先撐鋼管可分為短先撐工法的先撐鋼管、先撐鋼棒、鋼護版與 SN 岩栓等，以及長先撐工法的管幕工法等。

## (三)支撐設計

早年隧道設計常採類比概念，蒐集斷面形狀、大小以及岩盤資料相似者做為支撐型式設計的參考，即所謂類似條件設計法。大量的隧道支撐設計與施工案例不僅提供了岩體分類法發展的依據，許多岩體分類法亦提出了對應的支撐系統，如 Barton 等人的 Q 法即透過統計方法，建議了不同 Q 值配合隧道等值尺寸的支撐構件組合，並且隨著案例累積持續修正，隧道等值尺寸

依據開挖寬度或高度除以開挖支撐比(excavation support ratio, ESR)決定。此類設計方法針對不同的岩體評級類別建議對應的標準支撐型式，可視為標準支撐型式法。

基於國內 20 世紀末期所累積隧道設計與施工經驗，配合 PCCR 法岩體分類系統，台灣岩體分類與隧道支撐系統亦研擬 A、B、C、D 岩類的標準支撐建議。當隧道所面臨的地質條件較為單純且工程本身較無特殊性，例如隧道跨度不大且沿線岩覆不高時，可按隧道沿線所經地層研判各隧道段的岩盤類別，並進一步依據岩體評級分類結果，進行支撐設計。

PCCR 法建議的標準支撐僅適用於於該岩體評級分類可充分反應岩體工程特性的情況，且不適用於洞口段、交叉段及淺覆蓋。當隧道遭遇特殊地質條件、岩體工程特性非常惡劣、岩覆深度過大、存在偏壓現象、地下水壓大或地下水影響顯著、通過市區街道與重要結構物下、近接或並設隧道等情況，需經解析方法分析，適度調整支撐型式。

解析方法包括理論解析法與數值分析法兩大類。理論解析法適用於隧道斷面為圓形或其他形狀可簡化為圓形條件，依極限平衡理論或彈塑性理論解析圍岩應力狀態，做為支撐設計依據。由於影響隧道設計的重要因素包括隧道開挖斷面形狀、開挖順序、支撐設置時機等施工順序，理論解析法僅在有限的假設條件下解析，因而較適用於選線規劃階段初步評估隧道所需支撐，所得成果亦需適度修正。

隨著岩石力學與計算機科學的進步，岩體分類法及標準支撐型式搭配數值分析法已成為隧道支撐設計的主流方法。連續體理論及非連續體理論結合有限差分法、有限元素法及邊界元素法等多種數值方法已廣泛應用於計算隧道開挖引致圍岩變形量、開挖擾動區範圍，以及不同支撐構件組合下的應力值；並可比較不同斷面形狀、開挖工法以及支撐組合的差異性，做為優化開挖支撐設計的依據。儘管數值分析法功能強大，然分析結果取決於數值模型對於隧道開挖支撐程式的模擬，且受輸入的現地應力、岩體特性參數高度影響，應用時需注意數值模型的合適性與輸入參數的適當性。

#### (四) 襯砌設計

隧道襯砌多以提高隧道長期結構安全及確保服務功能為目的，襯砌結構以承載自重及地下水壓為主。然岩栓等主要支撐構件可能發生腐蝕或預力損失，造成支撐力減降；或是地盤工程特性具依時性變化時，長期皆可能對襯砌形成超載。另外，隧道遭遇偏壓、淺覆蓋擠壓性、膨脹性地盤時，襯砌亦可提供支撐功效，分擔主要支撐系統的荷載。洞口段、遭遇斷層帶或軟弱地盤隧道、以及通過強震區隧道，襯砌結構必需評估耐震設計的必要性。

地質條件較差區段，隧道需設置抑拱，以利與側壁及頂拱形成閉合斷面，提高整體結構性能。隧道抑拱、側壁與頂拱的曲率需平順連接，以均勻傳遞

軸力；襯砌所需厚度若隨位置而不同，厚度變化宜逐漸調整，避免襯砌勁度差異引致顯著的彎矩變化。岩石隧道襯砌需承載外力時，常採用樑－彈簧模式(*beam-spring model*)考量圍岩與襯砌組成的聯合結構，透過理論解析或數值分析，求得襯砌應力分佈，做為結構設計的依據。

隧道圍岩破碎、主要支撐系統完成後仍有顯著地下水入滲情況，應於噴凝土與襯砌間設置防水層。防水層通常由不織布及防水膜構成，前者具有引導水流至排水渠道的功能，後者則可阻止水流通過。儘管隧道襯砌設計應考慮長期可能承受的最大地下水壓，湧水性地盤或隧道開挖遭遇突發性湧水時，需採適當的排水與阻水措施，例於圍岩實施阻水灌漿降低導水性，加大地下水流動的水頭損失，抑低直接作用於襯砌的水壓力，以達安全且經濟設計。

水利隧道的水流速度較大或夾雜土石時，水流經年累月沖刷可能造成襯砌表面磨損，特別是襯砌底部以及施工縫附近，必要時應檢討抗磨損對策，例如設置抗磨層或損耗層。隧道建成營建後需定期檢測，以利及早發現襯砌裂縫等異狀，襯砌設計考慮營運後隧道實施檢測以及維護管理作業的需求，視需要提供車行或人行的空間，必要時於隧道內分區設置(如圖 7-4)。

#### 四、監測系統

由於地質條件的複雜性與岩體參數的變異性，地下工程設計與施工常有相當程度的不確定因素。隧道設計一般僅能依據有限的地質調查結果，透過岩體分類法估計工程地質特性，參照類似工程經驗的開挖支撐方式進行，輔以必要的力學分析複核，期儘可能符合實際，避免施工時過多或過大的修正。然而隧道開挖後，其行為除受地質因素影響外，尚因開挖工法及支撐時機而有所變化，可能衍生許多問題，稍一不慎，甚至釀成災害。因此，施工過程對於地質條件的確認，開挖支撐適當性的檢討以及施工安全的保證，已為現代化隧道工程極為重要的一環。

隧道監測作業即扮演此一重要角色，施工過程依據即時的地質記錄，選定開挖順序與支撐類別後，藉由監測作業的實施，瞭解隧道周圍岩體與支撐系統的互制行為，對於潛在危險及早提出警訊，謀求解決策略，必要時修正施工方法與支撐設計。同時，透過監測資料的整理與回饋設計，可檢核各種地質條件下不同支撐系統的行為，或是透過反算分析之方式反求設計參數等，對於隧道設計施工經驗的累積具有積極的意義(王文禮與王泰典，1998)。

隧道監測系統須考量隧道行為特性及周遭環境敏感程度，以決定有效的量測方法和監測項目。

一般而言，可獲得兩類資料以描述施工中隧道的行為，其一為位移資料，包括隧道周邊、地中位移、地表沉陷等；另一為應力資料，包括支撐構件內部應力、支撐與岩體間接觸應力、岩栓軸力等。隧道監測項目可區分為洞內及洞外監測兩部分，隧道內監測項目之目的與常見配置原則，略述如後。

目視觀察對象包括開挖面地質狀況以及已施工區間的主要支撐系統及二次襯砌，原則上全線均需實施，每次輪進開挖均需進行開挖面地質觀察，每次進洞需進行已施工區間襯砌狀況觀察。洞口段或淺覆蓋段尚須進行地表或結構物觀察。

淨空變位及頂拱下陷的測點配置係依開挖工法、覆蓋厚度、地質及地形條件決定，以配置於同一監測斷面為原則，配置間距約 1 至 5 倍開挖直徑，常介於 10 至 50 m。洞口段、初期施工區段(例如距洞口 200 m 區段)、特殊區段(如淺覆蓋)、以及隧道遭遇高度風化岩盤及崩積層等，應採用較小的配置間距。傳統的淨空變位採用收斂觀測儀配合鋼網尺，量測監測斷面特定位置(頂拱與兩側壁)開挖過程的變化與變形速率；頂拱下陷則採水準儀，量測監測斷面頂拱位置與選定參考點的相對下陷情況，兩者量測所得皆為相對值，且工作量繁重。1990 年代後期國內逐漸採電子式高精度光波測距經緯儀，量測並計算監測斷面反光規標位置收斂變形的絕對位移。2010 年代中期更運用地面光達掃描技術，具有免設規標、開挖壁面全面掃描監測的優點，並可大幅抑低傳統淨空變化監測因需設置吊掛點或規標而未能及時觀測的初期變形(位)量(王泰典等，2016)。

地表、地中沉陷監測儀器的配置間隔視地盤條件、地下水位、覆蓋厚度、有無鄰近結構物及施工方法而定。以覆蓋厚度的考量為例，當覆蓋厚度大於 2 倍隧道寬度時，監測斷面間隔以 20-50 m 為宜；小於隧道寬度時，則宜縮減至 5-10 m。初始施工段、地質變化較劇段以及鄰近結構物可能受施工影響範圍，應採較小的間隔。地中沉陷配置位置宜與淨空變位頂拱下陷監測儀器設於同一監測斷面上。

隧道仰拱隆起及中心位移之監測儀器主要配置於具膨脹性或偏壓狀況的地盤，其間隔可參照淨空變位與頂拱下陷監測儀器之配置間隔。

地中變位、鋼支保應力、岩栓軸力及襯砌應力等監測項目需配合目視觀察、頂拱下陷及淨空變位等項目進行監測，主要目的係為瞭解隧道周圍地盤及支撐的互制狀況，以檢核設計並防範異常現象與問題發生。此類監測斷面配置位置應設置於具代表性地質區段，並儘早於初始施工區段實施；必要時為了安全管理的需要，於特殊問題或異常狀況發生時亦可設置。斷面配置間距建議採 200 至 500 m。

隧道開挖初期，開挖工作面附近地盤變位與支撐受力變化較顯著，因此監測儀器應於開挖後儘速安裝完成，且儘量靠近開挖面，並以較高監測頻率儘量掌握開挖後岩體應力調整過程隧道的穩定性。隨著開挖面前進或時間經過，隧道變位通常漸趨穩定，量測頻率可逐漸降低。因此，監測頻率可以經歷的時間長短、變位元元速率，或儀器安裝位置距工作面距離而訂。一般而言，儀器裝設後歷經日數在 7 日以內，或監測斷面距開挖面小於 2 倍開挖寬度條件下，至少每日應觀測 1 次。



監測儀器安裝後，正確地獲知開挖後初期變位或應力值十分重要，因此初始值應儘可能及早讀取，一般初始值測定最好於開挖後 12 小時以內完成，如因施工因素考慮，應在次一輪開挖前完成，且以不晚於 24 小時為宜。

## 7.4、工程設計及實例與相關圖片

### 7.4.1、嘉南農田水利會新烏山嶺引水隧道工程

鑑於烏山嶺隧道通水量下降，政府自 2006 年起陸續辦理檢討作業。隨後辦理新烏山嶺引水隧道工程，包含攔河堰、取水口、防洪牆、導流牆、輸水隧道及出水口工程等。新東口堰取水後，匯流至取水口暗渠進入引水隧道，並由西口河道流出。隧道下游側西口豎井連接至發電站。於 2015 年 5 月 7 日開工，2018 年 5 月 23 日順利貫通。

新烏山嶺引水隧道東洞口新設取水口，以 8 座直提式水工閘門銜接放水道、排砂道、導流牆、固定堰等；西洞口銜接 15m 長出口暗渠段，其末端 9.2m 由標準馬蹄型斷面漸變至寬 5.4m、高 5.1m 之矩型箱涵後，再銜接出口明渠段，寬度漸擴至 8.0m 連接烏山頭水庫。

#### 7.4.1.1、工址調查

於基本設計階段蒐集工址附近地形、地質、環境、水系、水文與交通資料，烏山嶺隧道 1920 年代的施工記錄亦提供寶貴的資訊。補充地質調查作業首先進行相關地質資料整理與評估，繼而辦理地質鑽探(6 孔共 440 m)、折射震測(4 測線共 575 m)、地電阻剖面探查(2 測線共 600 m)、岩盤透水試驗、孔內變形試驗、孔內攝影、有害氣體分析等現地試驗及一系列岩石室內試驗等(許勝雄等，2016)。

圖 7-10 為工址區域地質圖，隧道最大覆蓋深度約 370m，穿越隘寮腳層、鹽水坑頁岩、糖恩山層、六重溪層及崁下寮層，主要地質構造為崁後斷層、其分支剪裂帶及六重溪層內之褶皺構造。

細部設計綜合原烏山嶺隧道施工紀實、新烏山嶺引水隧道工程調查規劃及基本設計地質調查報告、既有文獻、及現地勘查結果等資料進行大地工程評估，並整理隧道施工可能遭遇的特殊地質問題包括斷層破碎帶(剪裂帶)、湧水、擠壓及有害氣體等，針對危害最大的有害氣體，利用鑽探孔井進行井內現地及室內試驗，調查甲烷氣體蘊藏濃度與可能出氣量。試驗項目包括井內電測、井內音射式影像掃描、鑽井回水可燃性偵測、鑽井過程氣體濃度偵測、井內氣體取樣與成分分析。透過井內電測、音射式影像掃描及孔內攝影取得岩層孔隙率及節理位態等，配合有害性氣體濃度偵測及取樣分析，建立有害性氣體濃度、出氣量與岩層位態、破碎程度之關聯性，推估可能地質模型及潛在出氣層資料，據以研擬施工對策。

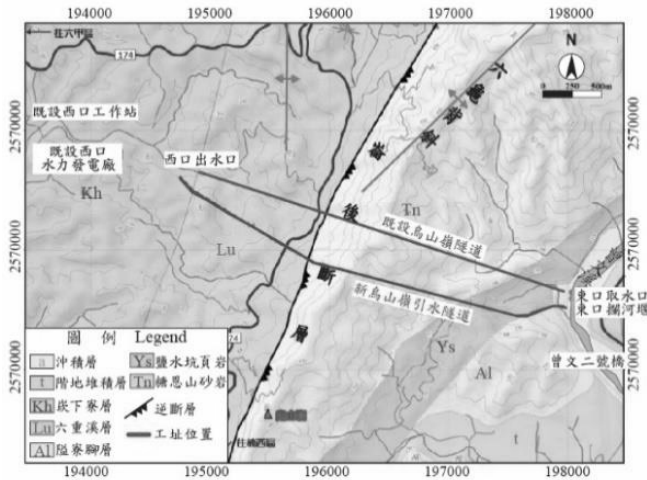


圖 7-10 新烏山嶺引水隧道工址區域地質圖

(改繪自許勝雄等，2016)

#### 7.4.1.2、通水量、隧道斷面與定線

通水量為恢復烏山嶺隧道建成初期的 56cms 輸水能力，並歷經與洞外河道整體考量之水力分析後，擇以馬蹄形隧道斷面(圖 7-11)，內徑 2.7m 進行隧道工程設計。

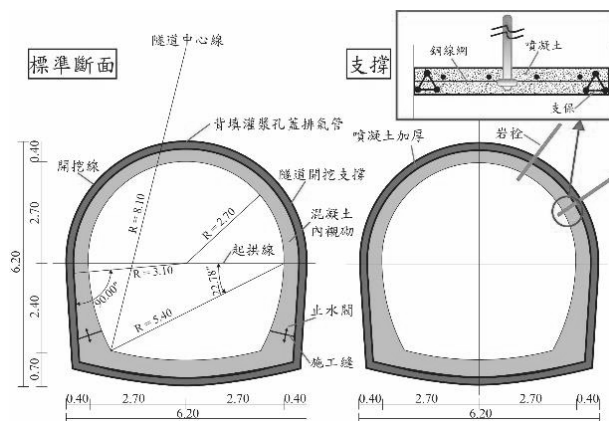


圖 7-11 新烏山嶺引水隧道斷面及 BIV 類岩體開撐支撐例

(資料來源：許勝雄等，2016)

#### 7.4.1.3、洞口段設計

新烏山嶺引水隧道東側鑽掘主體段以取水暗渠銜接新設取水口及直提式水工閘門，西側鑽掘主體段亦以出口暗渠段銜接明渠段，暗渠段依水力分析結果視需求變化斷面，配合採用明挖覆蓋便利施工，皆屬常見的輸水隧道洞口段設計。

東洞口連接曾文溪、西洞口連接烏山頭水庫上游河道，隧道若自永久洞口開挖，皆有施工期間遭遇颱風豪雨引致洪水灌入洞內的可行性，因此皆設計施工橫坑開挖進洞方式，待完成施工便道後，自施工橫坑進洞，朝向隧道主體段掘進，此時同步施作洞口邊坡保護工以及洞外圍堰，待邊坡保護完成、洞外水工閘門(東洞口)或圍堰完工後，即可自洞內向外開挖(圖 7-12 及 7-13)。

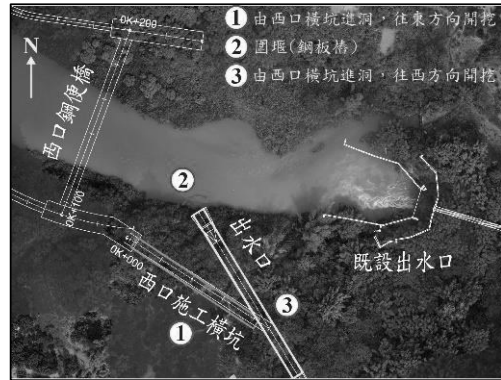


圖 7-12 東洞口銜接構造物及洞口段  
施工順序

圖 7-13 西洞口銜接構造物及洞口段施  
工順序

(資料來源：改繪自許勝雄等，2016)

#### 7.4.1.4、開挖

採用鑽炸法開挖，並依不同地質條件設計開挖工法，詳如表 7-1 所示。

表 7-1 新烏山嶺引水隧道細部設計標準開挖支撐表  
(鹽水坑頁岩與六重溪層段)

| 支撐等級 | III   | IV  | V                                       | VI  |
|------|---|---|---|---|
| RMR  | 80~61   | 60~41   | 40~21                                   | 小於 20   |
| 開挖工法 | 全斷面   | 全斷面   | 視需要分階                                   | 視需要分階   |
| 輪進長度 | 1.5~2.0 m                                       | 1.2~1.5 m                                       | 1.0~1.2 m                               | 0.8~1.0 m   |
| 噴凝土  | C&W：12 cm                                       | C&W：15 cm                                       | C&W：20 cm                               | C&W：25 cm   |
| 岩栓   | 32 mm $\phi$ 自鑽式<br>L=4 m(視需要)                  | 32 mm $\phi$ 自鑽式<br>L=4 m(視需要)                  | 32 mm $\phi$ 自鑽式<br>L=4 m(視需要)          | 32 mm $\phi$ 自鑽式<br>L=4 m(視需要)                          |
| 鋼支保  | C&W：G100<br>100x100x25x20                       | C&W：G125<br>140x124x32x22                       | C&W：G150<br>180x180x25                  | C&W：G150<br>180x180x25                                  |
| 先撐保護 | 先撐鋼管(40 mm $\phi$ ，<br>L=3 m)@0.3~0.5<br>m(視需要) | 先撐鋼管(40 mm $\phi$ ，<br>L=3 m)@0.3~0.5<br>m(視需要) | 先撐鋼管(40 mm $\phi$ ，<br>L=3 m)@0.3~0.5 m | 管幕鋼管(100mm $\phi$ ，<br>L=12m)@0.3~0.5 m<br>或先撐鋼管(同 V 類) |
| 地盤改良 | —   | —   | —                                       | 厚度 > 3m(視需要)  |

註：C 表頂拱，W 表側壁，VI 類支撐開挖面上方滲水、湧水時採用管幕鋼管。資料來源：許勝雄等，2016。

#### 7.4.1.5、支撐設計

表 7-1 標準開挖支撐表中一併列出支撐構件組合，主要支撐包括噴凝土、型鋼支保以及岩栓等。開挖支撐設計經採用二維有限元素法進行數值模擬，基於平面應變假設，考慮岩體應力-應變組成律符合理想彈塑性，並採莫爾庫倫破壞準則描述，分析計算隧道圍岩及支撐系統之受行行為。數值模擬重要考量包括現地初始應力、岩體及支撐參數，及表 7-2 所示開挖支撐過程等。

表 7-2 新烏山嶺引水隧道細部設計岩體類別與地質強度指數關係

| 支撐等級     | III   | IV    | V     | VI    |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| RMR      | 80~61 | 60~41 | 40~21 | ≤20   |
| GSI      | 60~51 | 50~41 | 40~31 | 30~20 |
| 分析 GSI 值 | 55    | 45    | 35    | 25    |

資料來源：許勝雄等，2016。

岩體參數依據工址調查結果，考量地層、岩性、單壓強度及風化或破碎程度等因素，評估不同岩體類別的工程特性參數，並參考 Hoek-Brown 破壞準則(Hoek et al., 2002)，按岩石單壓強度、地質強度指數(GSI)、完整岩石參數( $m_i$ )、擾動因數( $D$ )、岩石彈性模數( $E_i$ )或模數比(MR)等參數，選定分析參數。表 7-2 為不同岩體類別的地質強度指數，表 7-3 以數個地層為例，整理新烏山嶺引水隧道開挖支撐數值模擬分析參數。其中擾動因素考慮隧道採鑽炸法開挖， $D$  值介於 0.2-0.4。支撐參數參考混凝土及鋼材的材料特性，依構件尺度計算分析參數。

表 7-3 新烏山嶺引水隧道開挖支撐數值模擬分析參數例

| 地層    | 里程                    | 支撐等級 | 岩覆  | 岩材參數  |     |       |     |         | 岩體參數 |        |        |        |        |
|-------|-----------------------|------|-----|-------|-----|-------|-----|---------|------|--------|--------|--------|--------|
|       |                       |      |     | 單壓強度  | GSI | $m_i$ | $D$ | 靜彈模數    | $c$  | $\phi$ | 岩體變形模數 |        |        |
| 鹽水坑頁岩 | 0k+230<br>~<br>0k+600 | III  | 80  | 14.12 | 55  | 7     | 0.4 | 1417.08 | MPa  | 度      | MPa    | 333.23 |        |
|       |                       | IV   |     |       |     |       |     |         |      |        |        | 45     | 174.68 |
|       |                       | V    |     |       |     |       |     |         |      |        |        | 35     | 121.10 |
|       |                       | VI   |     |       |     |       |     |         |      |        |        | 25     | 67.41  |
| 六重溪層  | 2k+350<br>~<br>3k+375 | III  | 130 | 17.56 | 55  | 7     | 0.4 | 3436.5  | MPa  | 度      | MPa    | 808.10 |        |
|       |                       | IV   |     |       |     |       |     |         |      |        |        | 45     | 423.61 |
|       |                       | V    |     |       |     |       |     |         |      |        |        | 35     | 293.68 |
|       |                       | VI   |     |       |     |       |     |         |      |        |        | 25     | 163.48 |

資料來源：許勝雄等，2016。

依據表 7-1，考量開挖後至隧道架設支撐的延遲時間，岩體已發生前期變形量，在數值分析中隧道開挖後，給予岩體應力釋放率，以模擬架設支撐的時機。模擬所得鹽水坑頁岩、六重溪層及炭下寮層中不同類別的圍岩變位量，在頂拱附近介於 12.8-170.9 mm，側壁 22.3-192.0 mm，圍岩塑性區多在數公尺以內，並據以設計相應的變形寬容量(120-250 mm)。

值得一提的，系統岩栓是現代化隧道工法相當重要的支撐構件。然對於有害氣體地盤而言，岩栓打設過程可能造成裂隙連通、形成氣體傳輸的渠道。因此新烏山嶺隧道採用「不打設岩栓」進行有害氣體地盤的主要支撐設計，配合加厚噴凝土及抑拱閉合彌補取消岩栓的支撐力。經隧道開挖支撐後監測系統實測，隧道圍岩變位仍明顯低於預估變形量。

對於某些特殊區段如洞口段、交叉段及避車道等，岩栓功效仍難完全採噴凝土替代，則選擇打設自鑽式岩栓，並於第 1 層噴凝土完成後隨即設置，隨即以第 2 層噴凝土披覆方式，避免油氣透過岩栓孔滲出。交叉段開挖支撐亦採三維有限元素法進行圍岩變位、塑性區範圍以及支撐應力檢核。

#### 7.4.1.6、監測系統

包括主副計測斷面，副計測斷面在 BIII 及 BIV 類岩體每隔 25-50m 設置一處，在 BV 及 BVI 類岩體每隔 20-30m 設置一處，監測項目包括水準收斂變位、斜向收斂變位及三維光學規標；主計測斷面在 BIII 及 BIV 類岩體每隔 100-150m 設置一處，在 BV 及 BVI 類岩體每隔 50-100 m 設置一處，監測項目除副計測斷面所含 3 項外，另於頂拱及兩側壁增加伸縮儀及計測岩栓。

除前述監測項目外，亦針對潛在風險最高的有害氣體—瓦斯(甲烷)設計監測措施。依量測瓦斯濃度，區分微/低/高瓦斯及瓦斯突出工區等 4 個管理等級。微瓦斯、低瓦斯工區採四合一氣體偵測器採人工檢測，高瓦斯及瓦斯突出工區除人工檢測外，每隔 250 m 設置固定式氣體偵測器，施工期間有多處遭遇瓦斯逸出，探查孔內濃度最高逾 450,000 ppm。

#### 7.4.2、新竹農田水利會竹東圳隧道整治工程

竹東圳，建於 1926 年，自上坪攔河堰取水口汲取頭前溪上游支流的上坪溪水水源，灌溉農田面積達 800 公頃，全長約 21 km，蜿蜒穿行於竹東丘陵東北麓，包含：13 座隧道(1 號隧道如圖 7-14 所示)、6 座水路橋、3 座虹吸工及明暗渠等系列構造物，為一灌溉、工業、民生用水、發電及歷史建築等多樣功能兼具之圳路。

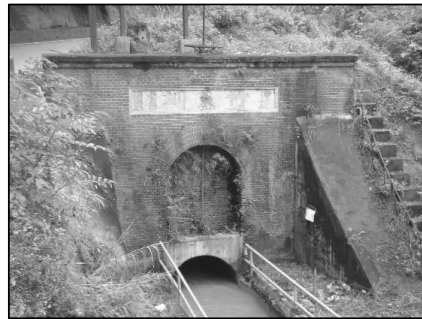


圖 7-14 新竹水利會竹東圳 1 號隧道  
資料來源：新竹農田水利會，2019。

竹東圳沿線導水隧道原設計流量 2.4cms，馬蹄形斷面，半徑 0.8~0.835m，淨高約 1.5~2.2m、底部淨寬約 1.3~1.6m，側壁和仰拱為混凝土結構，頂拱則依地質條件有混凝土砌磚、全混凝土和無襯砌三種型式。有鑑於歷經近 70 年之運轉，在持續淘刷與地層擠壓作用下，隧道結構逐漸顯現抽心、變形及坍塌等現象，致全圳最大輸水量僅剩約 1.28cms，且亦有因地質不穩而造成斷水現象，已漸喪失之原設計規劃輸水功能，恐有未能滿足用水需求之虞，新竹農田水利會遂有「竹東圳隧道整治工程」計畫。

竹東圳隧道整治工程，包括：隧道改善 4,354 公尺(歷年完成長度如表 7-4 所示；以挖掘及明挖二種隧道標準斷面設計，如圖 7-15 所示)、渠道改

善 4,200 公尺、三號虹吸工改善、明渠加高及綠美化工程等，總工程經費逾 2.5 億元，歷經 8 期 11 年內完成(民國 82-92 年)，改善後輸水量由整治前 1.28cms 或原規劃設計 2.4cms，大幅提升至 3cms，擴大輸水功能，發揮穩定農業、民生及高科技用水無虞。

表 7-4 竹東圳隧道整治工程歷年完成隧道一覽表

| 隧道別   | 長度<br>(m) | 施工年別(民國)  |    |    |     |     |     |     |       |     | 合計<br>(m) |
|-------|-----------|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----------|
|       |           | 84        | 85 | 86 | 87  | 88  | 89  | 90  | 91    | 92  |           |
|       |           | 年度完成長度(m) |    |    |     |     |     |     |       |     |           |
| 1號隧道  | 627       |           |    |    |     | 126 | 172 |     | 329   |     | 627       |
| 2號隧道  | 531       | 132       |    |    | 150 | 160 |     |     | 89    |     | 531       |
| 3號隧道  | 992       | 372       |    |    | 299 |     |     |     |       | 321 | 992       |
| 4號隧道  | 155       |           |    |    | 155 |     |     |     |       |     | 155       |
| 5號隧道  | 113       |           |    |    |     | 113 |     |     |       |     | 113       |
| 6號隧道  | 457       |           |    |    |     | 120 | 64  |     | 273   |     | 457       |
| 7號隧道  | 144       |           |    |    |     |     | 144 |     |       |     | 144       |
| 8號隧道  | 109       |           |    |    |     |     |     | 109 |       |     | 109       |
| 9號隧道  | 92        |           |    |    |     |     |     | 92  |       |     | 92        |
| 10號隧道 | 157       |           |    |    | 157 |     |     |     |       |     | 157       |
| 11號隧道 | 224       |           |    |    |     |     |     |     | 224   |     | 224       |
| 12號隧道 | 384       |           |    |    |     |     | 177 |     | 207   |     | 384       |
| 13號隧道 | 369       |           |    |    |     | 240 | 129 |     |       |     | 369       |
| 合計    | 4,354     | 504       | -  | -  | 761 | 759 | 686 | 201 | 1,122 | 321 | 4,354     |

(資料來源：新竹農田水利會，2019。)

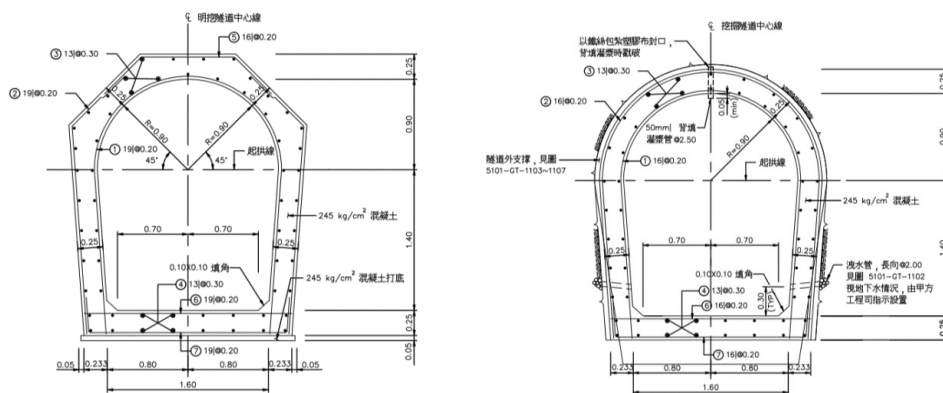


圖 7-15 竹東圳隧道整治-明挖(左)及挖掘(右)隧道設計標準斷面

(資料來源：新竹農田水利會，2019。)

## 7.5、參考文獻

1. 王文禮、王泰典，1998，隧道工程安全監測，工程安全監測技術研討會論文集，119-140。
2. 日本土木學會(日本社團法人土木學會隧道工學委員會)，2006，日本隧道工程標準規範及解說：山嶽工法篇，日本社團法人土木學會，東京。
3. 王泰典、李亮瑩、郭育安、許宗傑，2016，岩石隧道開挖面工程地質特性及開挖支撐快速量化評估新技術，大地技師，12，14-27。

4. 王泰典、邱雅築、鄭富書、黃燦輝，2008，隧道結構安全管理新潮流與襯砌非破壞性檢測新技術，地工技術，117，17-28。
5. 李佳翰、王泰典、張清秀，2006，水利隧道維修補強之案例探討，2006岩盤工程研討會論文集，549-558。
6. 洪如江，1991，初等工程地質學大綱，地工技術研究發展基金會。
7. 新竹農田水利會，2019，竹東圳九十週年特刊。
8. 胡德欽、王泰典、蔡宏銘、王文禮，1997，山嶽隧道洞口段之設計與施工案例研究，隧道設計與施工自動化研討會論文集，臺北，99-128。
9. 國道新建工程局，2006，隧道工程施工技術解說圖冊，臺北，234頁。
10. 張吉佐、林銘郎、孫荔珍，2001，台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立(第二期)。
11. 許勝雄、顏呈仰、周坤賢、蕭富元，2016，新烏山嶺引水隧道工程，大地技師，13，61-71。
12. 黃燦輝、林銘郎、王泰典，2008，隧道非破壞性檢測技術之開發總結報告書，交通部鐵路改建工程局東部工程處委託研究計畫報告。
13. 農田水利會聯合會，2003，農田水利會隧道工程發達誌。
14. Barton N., R. Lien, J. Lunde, 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech Rock Eng*, 6, 189-236.
15. Barton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design, *Int J Rock Mech Min*, 39, 185-216.
16. Bickel, J.O., T.R. Kuesel, E.H. King, 1996. *Tunnel Engineering Handbook*. Chapman & Hall, New York.
17. Bieniawski, Z.T., 1984. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. Balkema Publishers. 272p.
18. Hoek, E., E.T. Brown, 1980. *Underground Excavations in Rock*. The institution of Mining and Metallurgy, London.
19. Hoek, E., C. Carranza-Torres, B. Corkum, 2002. Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition, *Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto*, 1, 267-273.
20. Wang, T.T., C.H. Lee, 2013. Life cycle design considerations for hydraulic tunnels - lessons learned from inspection and maintenance cases, *J Perform Constr Fac*, 27(6), 796-806.

## 第八章、分水工

### 8.1、概述

為利於灌溉管理配水之公平分水與平息分水糾紛，工程上經常採用之工程設施即為分水工(division works)。分水工依調節功能可分類為溢流分水工、明槽分水工及比率分水工三類，其中，比率分水工依下游灌溉面積大小設計分配寬度，依既定比率自動分配水量不須人工調節。因應近年來灌溉面積變化及異常氣候影響，分水或配水上之調節需求增加，而應用電腦監控系統予以即時調節分配之趨勢，方興未艾。

### 8.2、水理

#### 8.2.1、溢流分水工

##### 一、溢流分水工

一般溢流堰分水，即在主流上設置溢流堰，兩邊上游之邊牆以流線型為佳。其溢流堰流量公式如下：

$$Q = 2.95 \times B(H^{3/2} - ha^{3/2}) \dots \dots \dots (8-1)$$

式中：B=溢流堰頂寬(m)；H=h+ha，h=溢流堰上方水深(m)， $ha = V_1^2 / (2g)$  = 漸近流速水頭(m)； $V_1$ =漸近流速(m/s)； $P_w$ =溢流堰高度(m)，當  $P_w \gg h$  時，致使上游的流速小至可以忽略予以簡化，即  $ha \ll h$ ，故 8.1 式可以簡化成基本之矩形堰方程式，即，

$$Q = 2.95 \times C_{wr} B h^{3/2} \dots \dots \dots (8-2)$$

其中， $C_{wr}$  為矩形堰係數  $= 0.611 + 0.075(h/P_w)$ 。

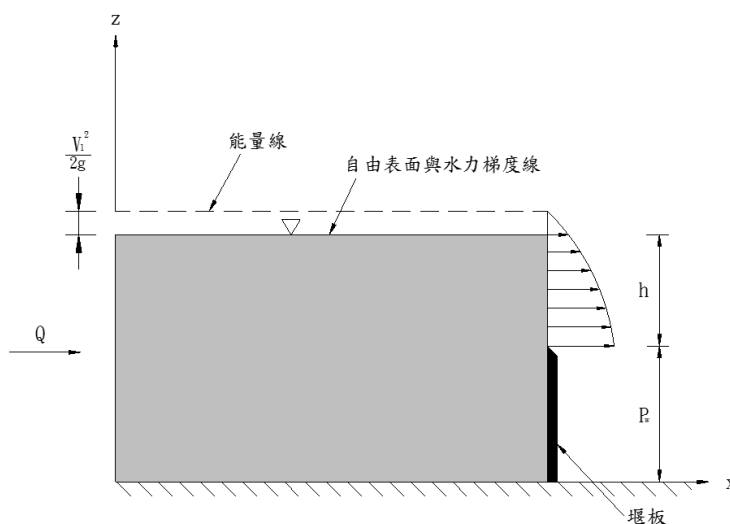


圖 8-1 越過堰之假想流動結構示意圖



## 二、明槽分水工

明槽分水工，源於 Harvey 在 1912 年所設計之型式發展而成，有 Harvey 型與 Jeffries 型，如圖 8-2 所示。在堰頸部份做充分之收縮，以產生臨界流，其頸部需有充分之長度，控制斷面設在頸部中央，而下游端漸次放寬以回復水位，在控制斷面二邊牆上附加鋼板，以防高速流之沖刷。

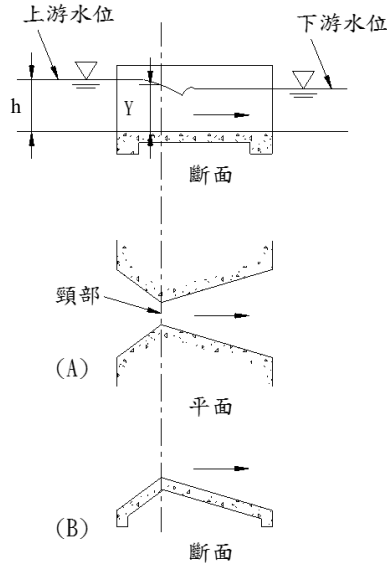


圖 8-2 明槽分水工：(A)Harvey 型與(B)Jeffries 型

$$\text{流量公式：} q = KB_i h^{3/2} \dots \dots \dots (8-3)$$

式中：K=自由溢流狀態之流量係數； $B_i$ =堰控制斷面寬度；h=堰頂至上游水面之水深。若漸近流速不計，則，

$$q = AV = Y \sqrt{2g(h - Y)} \dots \dots \dots (8-4)$$

式中，Y=堰頂水深。斷面  $A=1 \times Y$ ，水路摩擦不計，得最大 q 值

$$\therefore \frac{dq}{dY} = \sqrt{2g} \left( \sqrt{h - Y} - \frac{1}{2} \times \frac{Y}{\sqrt{h - Y}} \right) = 0 \quad \therefore Y = \frac{2}{3}h$$

$$q_{\max} = \frac{2}{3}h \sqrt{2g \frac{h}{3}} = 1.70h^{3/2} \dots \dots \dots (8-5)$$

分流量若按完全比例時，頂部位置水深以上游水路水深之 0.9 倍為之，此種分水設施，可由一條水路分數條小水路之分水或用比率分水時最適宜。

## 三、比率分水工

### 1. 緩流分水工

明槽式分水工在緩流明渠中居多，一般將緩流按照比率分水時，可將渠道寬度按分水量大小比例，以分水牆加以分隔，因此分水工係屬近似法，故

為減少誤差，隔牆應儘量延長至數十公尺以上，而水深儘量採用淺流，如圖 8-3 所示，設  $a$ 、 $b$  堰之流量分別為  $Q_a$  及  $Q_b$ ，則  $Q_a/Q_b=a/b$ 。

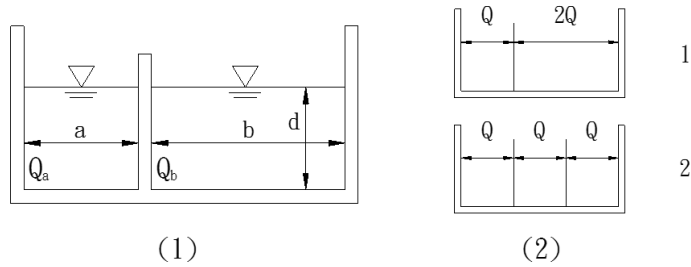


圖 8-3 緩流比率分水

因分水量與明槽分水寬度約成正比，這種方法需要流速在橫斷面上均勻分佈，實際流量較之設計流量略有減少，必要時在分水槽下游加設量水設備，以通水量作種種分水比率檢定後，作分水牆位置之修正。為設計正確之分水工，對下游渠道大小、坡降、糙率等需予以確定。

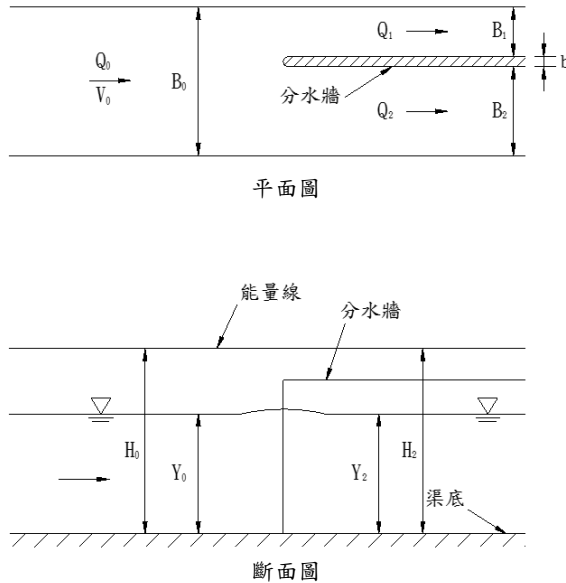


圖 8-4 比率分水

圖 8-4 係以一定流量  $Q_0$  分為  $Q_1$ 、 $Q_2$  之分水量( $Q_2=Q_0-Q_1$ )，因各渠道下游條件互有不同，先定二分水路之水深，則分歧點下游之水深、流量求得後，在分歧點鄰近為滿足運動量保存之法則，以定分歧點上游水深與下游所對應之定值。

設上游比能量為  $H_0$ ，下游分別為  $H_1$  及  $H_2$ ，則可定得上下游比能差  $E$ ，其關係如下：

$$E = \sqrt{(H_0 - H_1)^2 + (H_0 - H_2)^2} \dots \dots \dots (8-6)$$

式中： $H_0 = Y_0 + \frac{Q_0^2}{2gB_0^2Y_0^2}$ ； $H_1 = Y_1 + \frac{Q_1^2}{2gB_1^2Y_1^2}$ ； $H_2 = Y_2 + \frac{Q_2^2}{2gB_2^2Y_2^2}$ ；E=比能差(m)；B=槽寬(m)；Y=上下游水深(m)； $\frac{Q^2}{2gB^2Y^2}$ =速度水頭(m)。

## 2. 急流分水工

急流分水工之主體為一寬頂堰，當溢流時，水流從緩流變至急流，該變換斷面之水流不受下游水位之影響，且溢流於堰上之急流，其水準橫斷面上之流速分佈幾乎均勻。故在急流段設置平行於水流之銳緣分水牆時，水流即按照分比寬度作相當精確之分水。

急流分水工由下列各部份組成：

### A. 進口漸變段

進口漸變段應置於渠道直線區段，連接漸變段與整流段時，邊牆與渠道中心線之角度 $\theta$ 應小於 $\tan \theta = \frac{1}{3}F$ ，此處 $F = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ (福祿係數)。

### B. 整流段

整流段為一矩形渠道，長度按照上游渠道之流速比率增減，通常為水深之3~6倍或採用分水工寬度之1.0~1.5倍。

### C. 溢流段

溢流段比照寬頂堰設計，急流分水工之寬頂堰設計主要能發生急流即可。普通在渠道上設堰而水流自堰上溢流時，堰上之水流在比能量達到最小之斷面處成為臨界水深，該下游端成急流。若堰下游水深超過某一高度時，則不發生臨界流而成潛流狀態，則下游水位將影響到堰之上游，故急流工必須為完全溢流，而堰高之設計則以此為要點。

如圖 8-5(a)所示，斷面I-II間不計摩擦損失，可成立下式：

$$E = h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = h_c + h_z + \frac{\alpha V_c^2}{2g} \dots \dots \dots (8-7)$$

$$Q = A_c \times V_c = b h_c \left[ \frac{2g}{\alpha} (E - h_c - h_z) \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (8-8)$$

式中， $V_c = \left[ \frac{2g}{\alpha} (E - h_c - h_z) \right]^{\frac{1}{2}}$ ；A=斷面積(m<sup>2</sup>)；b=矩形與水流情況而定之係數= $\int A \left( \frac{V_1}{V_c} \right)^3 \frac{dA}{A}$ ； $\alpha$ =急流係數=1.05； $\alpha_1$ =緩流係數=1.0； $h_c$ =臨界水深= $\frac{2}{3}E$ 。

次如圖 8-5(b)同一基準斷面，上下游各水頭，須能滿足下列條件：

$$(h_1 - h_2 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}) \frac{2}{3} \geq h_2 - h_z - h_d + \frac{\alpha_1 V_2^2}{2g} \dots \dots \dots (8-9)$$

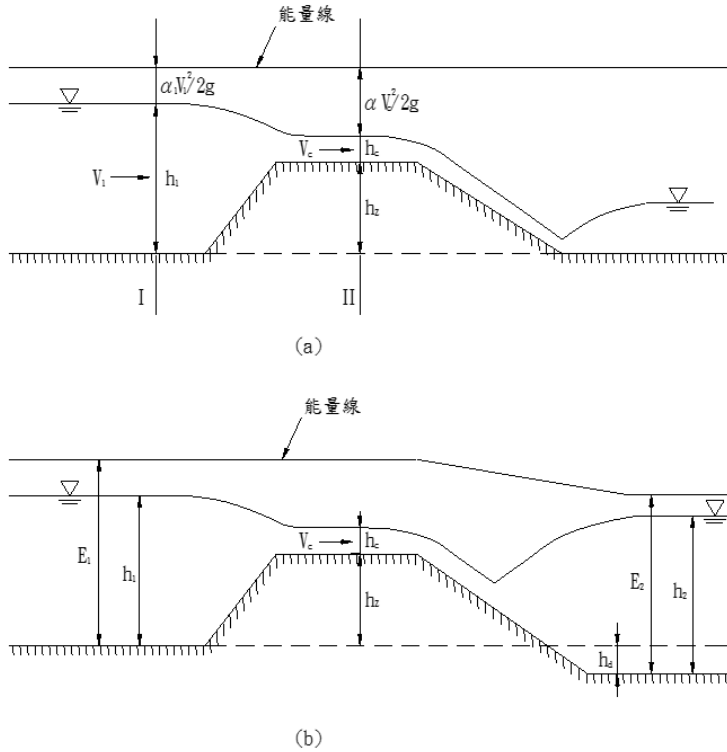


圖 8-5 急流分水工示意圖

式中， $h_d$ =上下游底部跌差，故矩形溢流段控制斷面寬度可由下式決定：

$$\frac{Q}{b_c} = \left[ \frac{2g}{\alpha} h_c^2 (E - h_c - h_z) \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (8-10)$$

式中， $b_c$ =溢流頂寬度(m)； $h_c = \frac{2}{3} (h_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - h_z)$ 。

$$Q = \left[ \frac{2g}{\alpha} (b + m h_c)^2 h_c^2 (E - h_c - h_z) \right]^{\frac{1}{2}} (\text{梯形斷面}) \dots \dots \dots (8-11)$$

式中， $m$ =梯形兩側坡度； $b$ =梯形渠底寬(m)。

$$Q = \left[ \frac{2g}{\alpha} b^2 h_c^2 (E - h_c - h_z) \right]^{\frac{1}{2}} (\text{矩形斷面}) \dots \dots \dots (8-12)$$

寬頂堰溢流段之上游坡面宜小於 1：6，下游坡面為 1：4 左右。

#### D. 靜水池

$$\text{出水高度 } F_b = C \left( \frac{Q V_1 h_1}{A} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (8-13)$$

式中， $A$ =通水斷面積( $m^2$ )； $C$ =係數(矩形斷面=0.17，梯形斷面=0.25)。

而靜水池寬度與分水牆，溢流段底寬相同。靜水池長度則需為水躍長度另加 0.5m 以上之餘長，請參照跌水工設計。另據 Bakhmeteff 氏試驗式為：

$$L_j = \frac{11.5}{\left(\frac{2h_{v1}}{h_1}\right)^{0.2}} h_j \dots\dots\dots(8-14)$$

$$\text{但 } \frac{L_j}{h_j} \geq 5 \text{ 則 } \frac{L_j}{h_j} = \frac{11.5}{\left(\frac{2h_{v1}}{h_1}\right)^{0.2}} \geq 5 \dots\dots\dots(8-15)$$

式中， $L_j$ =水躍長度(m)； $h_j$ =水躍高度 $= (h_2-h_1)$ 。

#### E. 出口漸變段

比照進口漸變段設計。

#### F. 分水牆

分水牆應設在溢流段下游面上，其分隔寬度按分水量之比率設計，分水牆始點在下游水躍始點 0.3m 以上，其尖銳端厚度在 20mm。

#### G. 損失水頭

損失水頭計有進口漸變段、整流段、溢流段上游面，下游端之靜水池及出口漸變段。但溢流水平部份之損失可不計。

$$\text{損失水頭 } h_r = h_t + h_g \dots\dots\dots(8-16)$$

式中， $h_r$ =損失水頭(m) $= 0.1\Delta h_v = 0.1 \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g}$ ； $h_t$ =摩擦損失水頭(m)；  
 $h_g$ =斷面變化損失水頭(m)。

依能量線為基準，計算損失水頭之差值，設分水前後渠道比能量為  $E_1$  及  $E_2$ ，因水躍所損失之水頭  $F$ ，則水躍終點之比能下降。

$$F = \frac{(h_2 - h_1)^2}{4h_1 h_2} \text{ (m)} \dots\dots\dots(8-17)$$

式中， $h_1$ 、 $h_2$ =水躍前後之水深。

則跌差以外之比能量假定為水準，並假定出口漸變段、整流段、溢流段及靜水池終點四個斷面水深，以試演算法求各斷面比能量相等。

### 8.2.2、潛流分水工水理

#### 1. 孔口型(orifice)

若是小型孔口( $H \geq 2Y$  時)，孔口前若無漸近流速，由孔口射出之水流，因其控制斷面與自由水面受同等壓力時，射出於自由大氣中之流量為(見圖 8-6)，

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

式中， $A$ =孔口斷面積( $m^2$ )； $C$ =流量係數，依孔口直徑形狀等而異，在充分縮流時， $C$  值約為 0.60，至於控制斷面之損失水頭以  $0.04H$  計算。

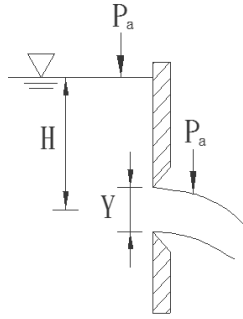


圖 8-6 小型孔口示意圖

2. 水門式(見圖 8-7)

若下游係射流時，其流量：

$$q = V_2 Ch = Ch\sqrt{2g(E - Ch)} \dots\dots\dots(8-18)$$

式中，C=收縮係數，與  $h/h_0$  比之相對應值，如下；E 比能量， $E = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = Ch + \frac{v_2^2}{2g}$ 。

|         |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h/h_0$ | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   |
| C       | 0.611 | 0.605 | 0.604 | 0.604 | 0.607 |

若下游係潛流時，流量如下式，式中 E 比能量， $E = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$ 。

$$q = V_2 \times h_2 = Ch\sqrt{2g(E - h_2)} \dots\dots\dots(8-19)$$

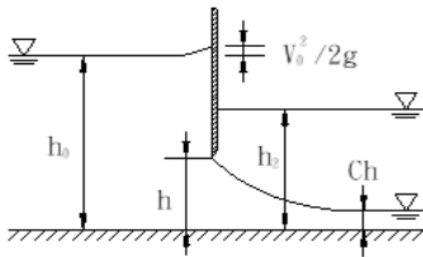


圖 8-7 水門式示意圖

### 8.3、設計注意事項

#### 8.3.1、設計要點

分水工為從一個供水管路或渠道，分配水量至兩個或更多之管路或渠道，分水工可為單獨構造物或需要再次分水之虹吸管、跌水工或斗門的出水口，如分水處不需量水調節流量時，通過構造物的水流可連接具有閘門或閘板的各種出水口，若需量水而且上游有充分水頭可供利用時，可採用堰型量水設備分配水流。

### 8.3.2、設計準則

- 1.構造堅固，以免結構物損壞造成分水誤差。
- 2.分水正確，不需加以調整。
- 3.浮游積物易於流通，以避免淤積、沉澱等現象。
- 4.備有小水頭以利於分水之功效。
- 5.建造費用低廉，管理維護方便。
- 6.量水精度高，不易故障。
- 7.可標準化。
- 8.農民不易作弊，即使作弊時亦容易發現。
- 9.盜水容易發現。

## 8.4 工程設計及實例與相關圖片

### 8.4.1、工程設計

以急流分水土工設計為例，已知分水條件如下表。

| 上游渠道     |        |                | 下游渠道   |        |        |        |
|----------|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|
|          |        |                | A      | B      | C      | D      |
| 最大流量 Q=  | 7.37   | cms            | 0.95   | 3.24   | 2.12   | 1.06   |
| 通水斷面積 A= | 4.02   | m <sup>2</sup> | 0.88   | 2.75   | 1.85   | 1.01   |
| 水深 h=    | 1.38   | m              | 0.60   | 0.60   | 0.60   | 0.60   |
| 水力半徑 R=  | 0.747  | m              | 0.347  | 0.486  | 0.445  | 0.366  |
| 平均流速 V=  | 1.84   | m/sce          | 1.09   | 1.18   | 1.18   | 1.06   |
| 糙率 n=    | 0.02   | -              | 0.017  | 0.017  | 0.017  | 0.017  |
| 縱坡 S=    | 1/500  | -              | 1/700  | 1/950  | 1/850  | 1/800  |
| 能量高度 E=  | 19.432 | m              | 18.592 | 18.592 | 18.592 | 18.592 |
| 分水流量     | 7.37   | cms            | 0.95   | 3.24   | 2.12   | 1.06   |
| 分水百分比率   | 100    | %              | 12.89  | 43.96  | 28.77  | 14.38  |

1.堰高計算：先假定堰高度，使用公式(8-10)試算堰高是否適合。

$h_1=1.38\text{m}$ 、 $V=1.84\text{m/sec}$ ，計算 $\frac{\alpha v_1^2}{2g} = 1.1 \times 0.172 = 0.19\text{m}$ ，上游渠道底部標高  $E_1=19.432-1.38-0.19=17.862\text{m}$ ，設堰高  $h_z=1.0\text{m}$ ，即堰頂標高  $=18.862\text{m}$ 。

$$\frac{2}{3}\left(h_1 - h_2 + \frac{\alpha_1 v_2^2}{2g}\right) = \frac{2}{3}(\text{上游能量高}-\text{堰頂高程})$$

$$= \frac{2}{3}(19.432-18.862)=0.38\text{m}$$

$$h_2 - h_z - h_d + \frac{\alpha_1 v_2^2}{2g} = (\text{下游能量高}-\text{堰頂高程})$$

$$= 18.592-18.862=-0.27\text{m}$$

上值代入公式(8-9)，得  $0.38\text{m} > -0.27\text{m}$ ，可知假定堰高尚可用。

2.臨界水深，使用公式(8-10)，得：

$$h_c = \frac{2}{3}\left(h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} - h_z\right) = \frac{2}{3}(1.38 + 0.19 - 1.0) = 0.38 \text{ m}$$

3.控制斷面寬度，使用公式(8-10)，得

$$\frac{Q}{b_c} = \left[\frac{2g}{\alpha} h_c^2 \left(h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} - h_c - h_z\right)\right]^{1/2}$$

諸值代入上式得：

$$\frac{7.37}{b_c} = \left[\frac{19.6}{1.1} \times 0.38^2 (1.38 + 0.19 - 0.38 - 1.0)\right]^{1/2}$$

$\therefore b_c=10.29\text{m}$ ，採用  $10.30\text{m}$ ，其寬度按分水率大小比率分配，並設導流隔牆。

| 下游渠道     | A     | B     | C     | D     | 計     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 分水百分比(%) | 12.89 | 43.96 | 28.77 | 14.38 | 100   |
| 導流牆間距(m) | 1.33  | 4.53  | 2.96  | 1.48  | 10.30 |

4.整流段長度，設整流段寬度為上游水深 3~6 倍，或分水工寬度 1~1.5 倍，採用  $L=10\text{m}$ 。

5.靜水池

A.水躍

$$\text{水位落差 } F=19.432-18.592=0.84\text{m} \cdot \frac{F}{h_c} = \frac{0.84}{0.38} = 2.21 \cdot \text{由查表得}$$

$$\frac{h_2}{h_1} = 6.5 \cdot \frac{h_1}{h_c} = 0.345$$

$$h_1 = 0.345h_c = 0.345 \times 0.38 = 0.131\text{m}$$

$$h_2 = 6.5 \times h_1 = 6.5 \times 0.131 = 0.852\text{m}$$

$$v_1 = \frac{7.37}{10.30 \times 0.13} = 5.54\text{m/sec} \cdot h_{v1} = 1.513\text{m}$$



$$v_2 = \frac{7.37}{10.30 \times 0.852} = 0.84 \text{ m/sec} \cdot h_{v2} = 0.036 \text{ m}$$

$$E_1 = 0.131 + 1.513 = 1.644 \text{ m}$$

$$E_2 = 0.852 + 0.036 = 0.888 \text{ m}$$

B. 池底標高  $EL = 18.592 - 0.888 = 17.704 \text{ m}$

C. 池長，根據公式(8-15)

$$\frac{L_j}{h_j} = \frac{11.5}{\left(\frac{2hv_1}{h_1}\right)^{0.2}} = \frac{11.5}{\left(\frac{2 \times 1.513}{0.131}\right)^{0.2}} = 6.14 \geq 5$$

$$\text{但 } h_j = h_2 - h_1 = 0.852 - 0.131 = 0.721 \text{ m}$$

$$\therefore L_j = 6.14 \times 0.721 = 4.43 \text{ m} + 0.5 \text{ m} (\text{另加餘長}) \cong 5.0 \text{ m}$$

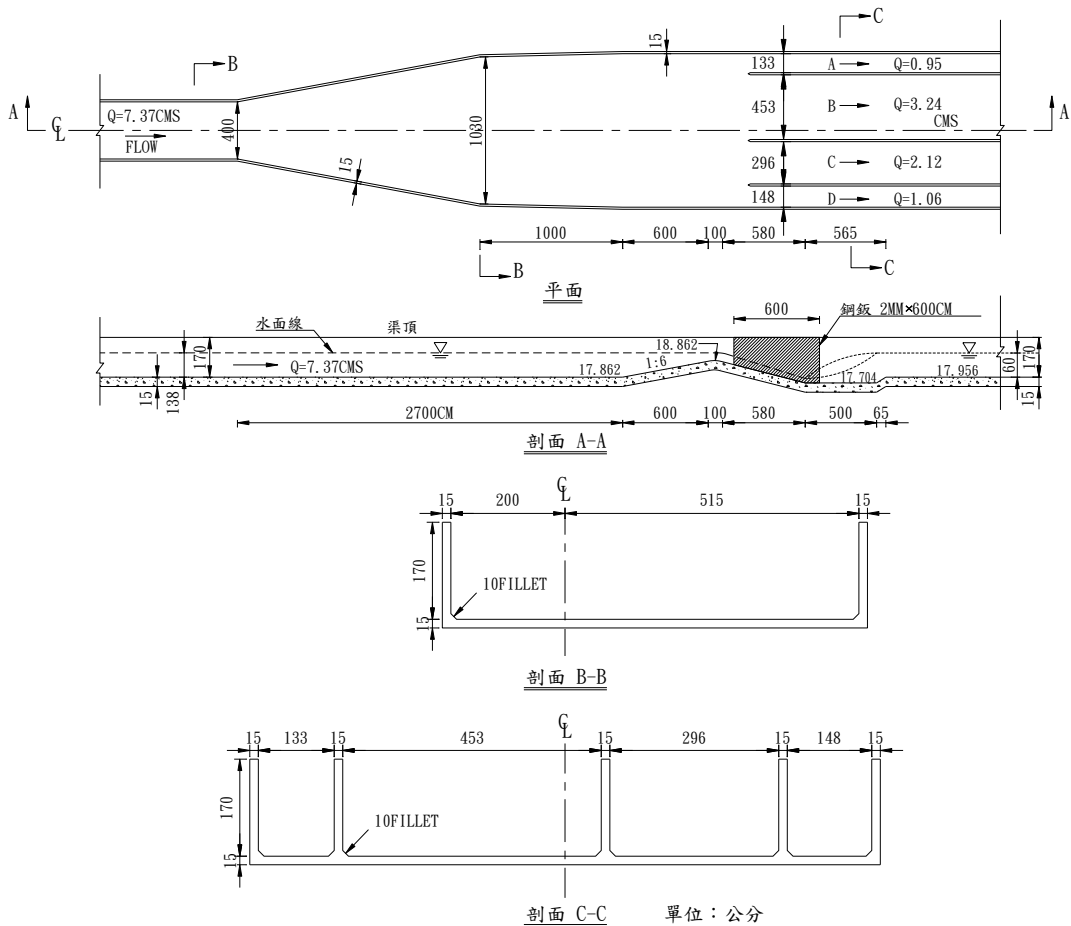


圖 8-8 急流分水工設計例圖

#### 8.4.2、雲林農田水利會林內分水工程

雲林農田水利會林內分水工程特性：設計形式為八角形，面積為 8,660 平方公尺，蓄水量計 45,638 噸，計劃分水量為 90 秒立方公尺，進水渠道 2 條，分水渠道 5 條，沉砂體積為 12,990 立方公尺，分水閘門 5 座，除砂方式採用機械式除砂。

地點：雲林縣林內鄉。建造時間：民國 89 年完工試通水。

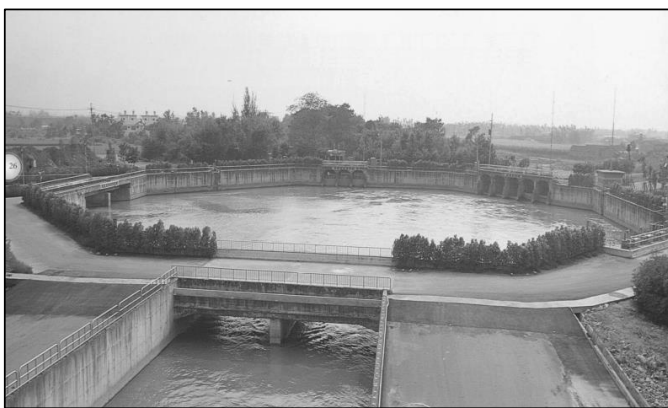


圖 8-9 雲林農田水利會林內分水工 1/2



圖 8-10 雲林農田水利會林內分水工 2/2

#### 8.4.3、台中農田水利會白冷圳分水池

台中白冷圳分水池工程特性：白冷圳第 1 號分水池為一圓形分水池，其直徑 10 公尺、深 2.5 公尺；第 2 號分水池其直徑 8 公尺、深 2 公尺。係將白冷圳圳水做適當沉澱後，以分水門控制圳水流入其馬力埔支線（1 號分水池）；大南支線、烏統頭支線（2 號分水池）。

地點：台中市新社區。建造時間：民國 21 年。



圖 8-11 台中農田水利會白冷圳分水池 1 號池



圖 8-12 台中農田水利會白冷圳分水池 2 號池

## 8.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 台中農田水利會，2019，白冷圳分水池，<http://www.tcia.gov.tw/>。
4. 雲林農田水利會，2000，林內分水工程。
5. 易任，1976，渠道水力學，東華書局。
6. 連惠邦、曹文洪、胡春宏，2000，明渠水力學，高立圖書公司。
7. 謝平城，2014，渠道水力學，五南圖書公司。
8. 農田水利會聯合會，1996，農田水利會技術人員訓練教材，灌溉工程類合訂本。
9. ASAE, 1986, Irrigation Engineering, American Society of Agricultural Engineers.
10. B. E. van den Bosch and W. B. Snellen, 1993, Structures for Water Control and Distribution, FAO.

## 第九章、量水設備

### 9.1、概述

在灌溉系統中，量水可說是”水管理”之基礎，更是水文規劃及水資源利用之工具，其中包括從水源地之取水、蓄水，以及輸水至幹、支、分線等各級渠道系統之分水、輸水、配水等，均有賴量水設備(water measurement)或建立水位—流量率定曲線圖及對照表等，據以調配灌溉用水量。在灌溉系統中為滿足灌溉用水量之輸水量，亦即為測定渠道輸水流量，並依定量流公式表示，即為

$$Q=A \times V \dots\dots\dots(9-1)$$

式中，Q(流量、 $m^3/sec$ 、 $cms$ )：單位時間內通過渠道某水深下斷面之流量(立方公尺/秒)；A(斷面積)：渠道某一水深下之斷面(平方公尺)；V(流速)：水流斷面之平均流速(公尺/秒)。

一般流量測定之方法，可略分為兩種：

- 1.直接測定法：利用特別設計之量水構造物設置於渠道內，其斷面形式為一定，且流量僅與水位深度有關，故測定流經此斷面之水位深度，再依據相關公式計算其流量，通常這些特別構造物普遍採用有堰、孔口、閘門及巴歇爾量水槽等構造物；例如量水堰(Weir)是最常用及建造成本較低的一種流量量測設施，且量水堰基本是以通過一固定斷面渠道之堰口處的水位高度，依據相關明渠水力學之公式換算流量。
- 2.間接測定法：係將上式中之水深斷面積 A，及平均流速 V，分別測得後，其乘積( $Q=A \times V$ )即為通過該斷面之流量；測量斷面積可以普通測桿測深用三角形、梯形公式計算面積大小或測量儀器量測水深，以其斷面形狀公式計算面積大小，至於平均流速，可用流速儀或其他儀器及方法測定之，如比降法，浮標法等。

一般較大之流量，先測得控制斷面平均流速及面積，再依明渠水力學之公式求算流量，即間接測定法；而小流量則經由堰、孔口或巴歇爾量水槽等以量測水頭高，並藉此換算為流量。

#### 9.1.1、各式量水堰

量水堰之設置與水流方向垂直，且橫築於明渠中的構造物，即在渠道中適當地點橫築胸牆並附設缺口，使水流流經缺口，並測量缺口(堰口)處水位高度用以計算渠道流量；其中堰之型式依缺口形狀可分為銳頂之矩形堰、梯形堰或稱撒普利地堰(Cipolletti weir)、以及三角形或稱 90 度 V 形等形狀之量水堰，各式量水堰相關名詞及其示意圖如下。

### 9.1.2、各式量水堰相關名詞

- 1.堰口：供水流通之缺口。
- 2.W(堰頂寬度)：堰口底邊寬度。
- 3.D(堰高)：堰頂至渠底之垂直距離。
- 4.H(堰上水頭)：堰頂與上游一定觀測點(堰口往上游約 4~6 倍水頭處)之水位差。
- 5.水舌或水簾：流經堰口之舌狀水流。
- 6.引導水流過堰之渠道稱為引渠。
- 7.引渠內之平均流速稱為接近流速以  $V$  表示之，其水頭以  $H_v$  表示之。
- 8.自由流：堰處下游水位在堰頂下方時，水舌經過堰頂洩入空氣中，再進入下游水中稱之。
- 9.潛流：水舌經堰頂，一部分或全部潛洩下游水中者稱之(下游水位高於堰頂)。
- 10.橫收縮：堰缺口至引渠邊牆之水準距離。
- 11.底收縮：堰頂至引渠底之距離；另堰頂水舌之垂直方向收縮稱為表面收縮，底收縮與表面收縮之和稱為縱收縮。
- 12.完全收縮：當收縮距離足夠使堰口處之漸進流速為緩流時稱之。

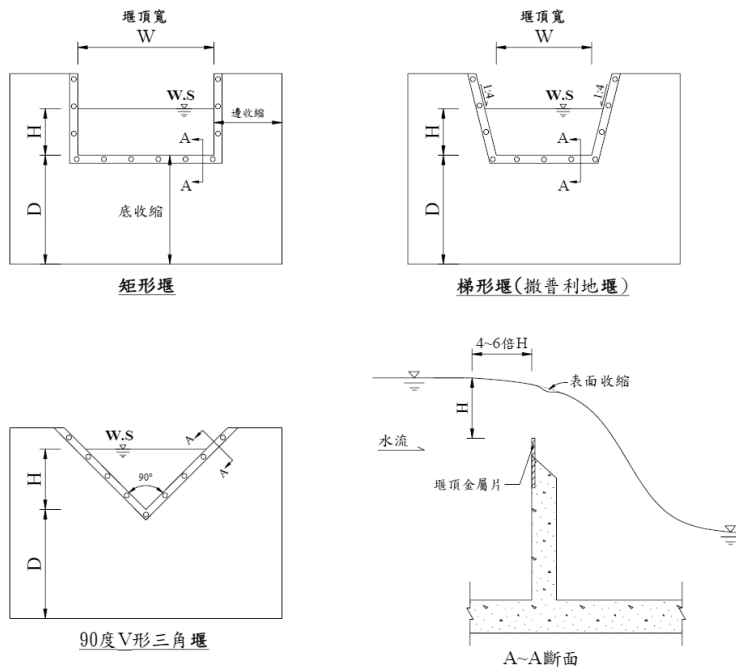


圖 9-1 各式量水堰

## 9.2、各式量水堰水理及構造

### 9.2.1、矩形堰

流量公式： $Q=1.838 \times [W-n/10 \times H] \times H^{3/2}$ .....(9-2)

式中，Q：流量；W：堰頂寬(m)；n：收縮係數，當兩邊收縮時，n=2，單邊收縮時，n=1，兩邊不收縮時，n=0；H：堰上水頭(m)；除接近流速很大外，均不計流速水頭 $H_v = \frac{v^2}{2g}$ ，則流量 Q 可由堰頂寬 W 及堰上水頭 H 求得。

若是標準不收縮矩形堰(兩邊不收縮時，n=0 代入)，如圖 9-2 所示，則：

1.不計接近流速水頭， $Q=1.838 \times W \times H^{3/2}$ .....(9-3)

2.計入接近流速水頭， $Q=1.838 \times W \times [(H+H_v)^{3/2} - H_v^{3/2}]$  .....(9-4)

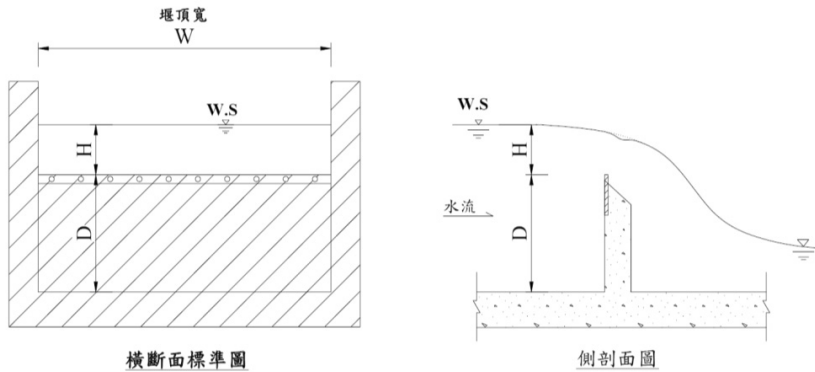


圖 9-2 標準不收縮矩形堰

若為標準收縮矩形堰(兩邊收縮時，n=2 代入)，如圖 9-3 所示，則：

1.不計接近流速水頭， $Q=1.838 \times (W - 0.2 \times H) \times H^{3/2}$ .....(9-5)

2.計入接近流速水頭， $Q=1.838 \times (W - 0.2 \times H) [(H+H_v)^{3/2} - H_v^{3/2}]$ ... (9-6)

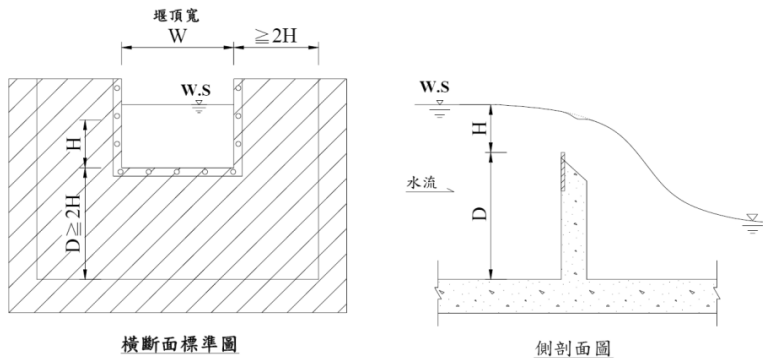


圖 9-3 標準收縮矩形堰

### 9.2.2、標準銳緣梯形堰(撒普利地堰)

銳緣梯形堰(如圖 9-4)為收縮堰，呈現梯形形狀，其中，撒普利地堰兩側銳緣坡度為 1:4，因梯形堰流量為長矩形流量，加上兩側三角形部分流量之和，且梯形堰可用簡單不收縮公式表示，依據撒普利地氏實驗研究結果，公式如下：

1. 不計接近流速水頭： $Q=1.856 \times W \times H^{3/2}$ .....(9-7)

2. 計入接近流速水頭： $Q=1.856 \times W \times (H + 1.5 \times H_v)^{3/2}$ .....(9-8)

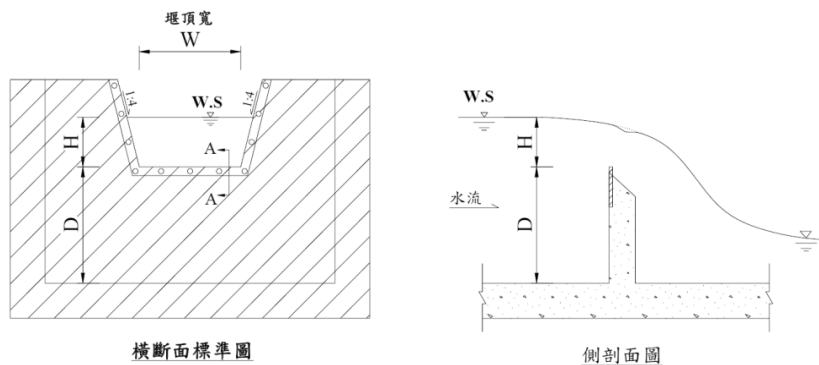


圖 9-4 標準銳緣梯形堰

### 9.2.3、標準銳緣三角形堰

三角形之缺口有 90 度、60 度，為通常採用多為 90 度之三角堰，且用以測定小流量時，頗為精確方便；為普通渠道並不多見，一般用於實驗中精確量水使用；若灌溉支小給渠道內，條件許可時，採用三角堰量水，則可獲得較精確之流量，公式如下：

流量公式： $Q=1.40H^{5/2}$ .....(9-9)

### 9.2.4、寬頂堰

堰口水流非經一銳緣，而流經寬平之面者，稱為寬頂堰(如圖 9-5)。寬頂堰型式有多種，如矩形頂部、梯形頂部、弧形頂部等，又其堰頂緣面亦有圓形及方形兩種，以上各種因素均將影響流量係數。一般寬頂堰公式可按堰頂之接觸緣而定，且當堰頂水深為臨界水深  $h_c$  時，流量  $Q$  為最大，常用堰形公式如下：

1. 圓緣寬頂堰： $Q=1.55 \times W \times H^{3/2}$ .....(9-10)

2. 方緣寬頂堰： $Q=1.41 \times W \times H^{3/2}$ .....(9-11)

### 9.2.5、潛堰

尾水深高過堰頂，致溢流水舌水面與下游水面相接，稱為潛堰(如圖 9-6)，常用潛流堰公式(赫爾西(Herschel)潛堰公式)如下：

$$Q=1.838 \times W \times (n \times H)^{3/2} \dots \dots \dots (9-12)$$

式中， $H_1$ ：下游潛浸水頭(m)； $n$ ：潛堰係數，由潛浸度 $\frac{H_1}{H}$ 而定。

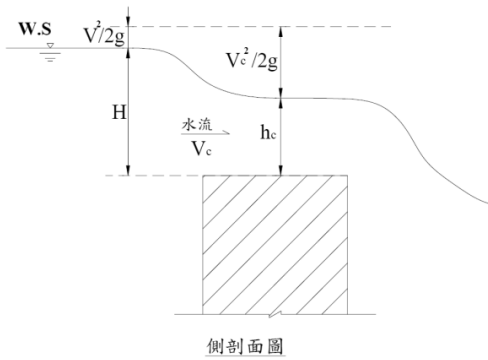


圖 9-5 寬頂堰

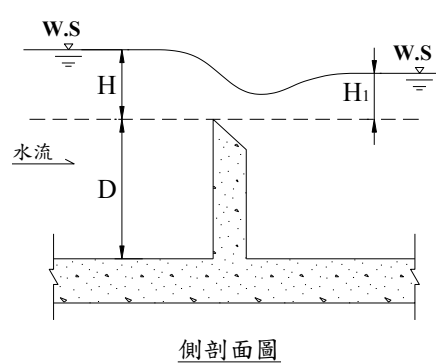


圖 9-6 潛堰

表 9-1 潛堰係數 n

| $\frac{H_1}{H}$ | 0     | 0.01  | 0.02  | 0.03  | 0.04  | 0.05  | 0.06  | 0.07  | 0.08  | 0.09  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0               | 1.000 | 1.004 | 1.005 | 1.006 | 1.007 | 1.007 | 1.007 | 1.006 | 1.006 | 1.005 |
| 0.1             | 1.005 | 1.003 | 1.002 | 1.000 | 0.998 | 0.996 | 0.994 | 0.992 | 0.989 | 0.987 |
| 0.2             | 0.985 | 0.982 | 0.980 | 0.977 | 0.975 | 0.972 | 0.970 | 0.967 | 0.964 | 0.961 |
| 0.3             | 0.959 | 0.956 | 0.953 | 0.950 | 0.947 | 0.944 | 0.941 | 0.938 | 0.935 | 0.932 |
| 0.4             | 0.929 | 0.926 | 0.922 | 0.919 | 0.915 | 0.912 | 0.908 | 0.904 | 0.900 | 0.896 |
| 0.5             | 0.892 | 0.888 | 0.884 | 0.880 | 0.875 | 0.871 | 0.866 | 0.861 | 0.856 | 0.851 |
| 0.6             | 0.846 | 0.841 | 0.836 | 0.830 | 0.824 | 0.818 | 0.813 | 0.806 | 0.800 | 0.794 |
| 0.7             | 0.787 | 0.780 | 0.773 | 0.766 | 0.758 | 0.750 | 0.724 | 0.732 | 0.723 | 0.714 |
| 0.8             | 0.703 | 0.692 | 0.681 | 0.669 | 0.656 | 0.640 | 0.631 | 0.618 | 0.604 | 0.590 |
| 0.9             | 0.574 | 0.557 | 0.539 | 0.520 | 0.498 | 0.471 | 0.441 | 0.402 | 0.352 | 0.275 |

### 9.2.6、巴歇爾量水槽

巴歇爾量水槽(Parshall Flume)是以收縮斷面束水並用於測量流量之水槽設施，其設計在明渠內，將渠道斷面以漸縮方式至一狹窄且斜降之喉段後，再經一漸寬且斜上之漸寬段而成，其量水原理為：由水槽的幾何形座迫使水



流在收縮段底版(水槽之頂)處發生臨界水深，並由測量水深決定流量的方法，但須注意下游渠道水位(尾水深)低至不足以影響頂處水深，亦即經過水槽流量僅與上游水位有關，而與下游水位無關者，稱之為自由流，如下游水位影響上游水位，即為潛流，此時決定流量就必須量測兩個水深。

### 一、巴歇爾量水槽設計尺寸說明

- 1.量水槽前段為漸縮段，其底部為水準及兩側渠壁應垂直；斷面中心線長度為  $B$ 、側壁長度為  $A$ 、上游寬度為  $D$ 、下游喉寬為  $W$  等表示。
- 2.在量水槽中段為喉段兩壁垂直且寬度保持一定，且槽底向下傾斜，長度以  $F$  表示、寬度以  $W$  表示，如圖 9-7 所示。
- 3.量水槽末段為斷面漸寬段，其底部高程同為漸增。
- 4.槽頂：喉段起點底部稱為槽頂(與漸縮段底版同高)。

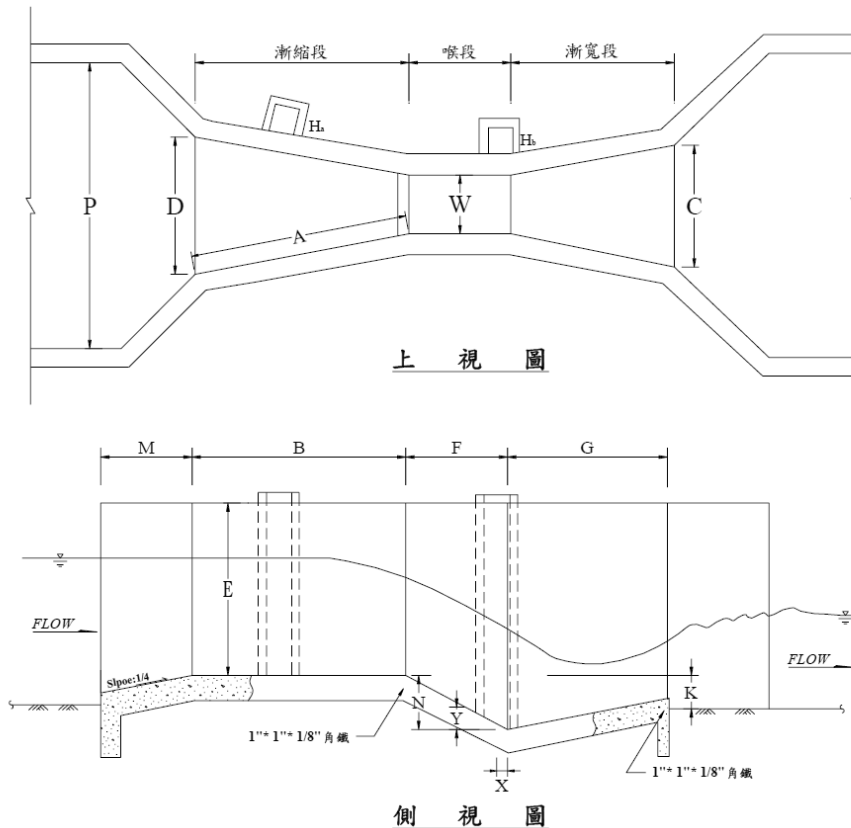


圖 9-7 中、小型巴歇爾量水槽尺寸圖

### 二、巴歇爾量水槽之種類與自由流限界

巴歇爾量水槽型式可依喉道寬度分為小型、中型、大型三種，並依水流狀態，可分自由流及潛流兩種；通常喉道寬度為 3 吋、6 吋、9 吋等三種為

小型，1~8 呎為中型，8 呎以上為大型，且各種水槽之自由流限界可由測量上、下水位之關係來劃定，自由流限界如下( $H_a$  上游水位、 $H_b$  下游水位)：

1. 小型水槽  $\frac{H_b}{H_a} \leq 0.6$ ，即自由流，如  $>0.6$ ，即潛流。
2. 中型水槽  $\frac{H_b}{H_a} \leq 0.7$ ，即自由流，如  $>0.7$  即潛流。
3. 大型水槽  $\frac{H_b}{H_a} \leq 0.8$ ，即自由流，如  $>0.8$  即潛流。

### 三、巴歇爾量水槽各主要部份尺寸及流量公式

巴歇爾量水槽均有其固定的型狀及尺寸，且在其固定型狀及尺寸下，可由相關試驗推估流量公式或率定曲線，故此種量水槽設置時需尺寸正確，才可以產生可靠測定結果。有關自由流流量公式，如表 9-2(註：單位， $Q$ : cms、 $H_a$ : cm)；較常用之中、小型巴歇爾量水槽各部分尺寸，如表 9-3 所示；至於潛流，因公式計算較繁雜，一般皆以圖表表之，如  $H_b/H_a$  vs.  $Q$  流量率定曲線圖，較為簡潔，受限篇幅，請參閱相關資料。

表 9-2 試驗流量公式表

| 喉寬 W 值      | 公式                      |
|-------------|-------------------------|
| 1'(2.54cm)  | $Q=0.69091 H_a^{1.522}$ |
| 2'(5.08cm)  | $Q=1.4280 H_a^{1.5497}$ |
| 3'(7.62cm)  | $Q=2.1843 H_a^{1.5661}$ |
| 4'(10.16cm) | $Q=2.9534 H_a^{1.5779}$ |
| 5'(12.7cm)  | $Q=3.7321 H_a^{1.587}$  |
| 6'(15.24cm) | $Q=4.5188 H_a^{1.5946}$ |
| 7'(17.78cm) | $Q=5.3123 H_a^{1.601}$  |
| 8'(20.32cm) | $Q=6.1114 H_a^{1.6665}$ |

### 9.2.7、定水頭孔口量水門

定水頭孔口量水設施(如圖 9-8、圖 9-9)常用在灌溉系統中，並為結合調節水量及測量流量之結構物，亦可作為分水之用。定水頭孔口量水門有兩個水門，第一個是上游孔口水門，調節矩形孔口大小，第二個係下游控制水門，調節後方之水位，並維持孔口處前後水頭為固定值，並依流量公式推算之：

$$Q=CA\sqrt{2gH}.....(9-13)$$

式中， $Q$ ：流量(cms、秒立方公尺)； $C$ ：流量係數(0.65~0.713)開啟度大者，係數較大； $g$ ：重力加速度(9.81m/sec<sup>2</sup>)； $H$ ：水頭差( $\Delta h$ )，以公尺計之，大部分採用 0.06m。

表 9-3 中、小型巴歇爾量水槽各部分尺寸表

W~Y 之單位 : cm

| W            | A      | $\frac{2}{3}A$ | B      | C      | D      | E     | F     | G     | K    | N     | R     | M     | P      | X    | Y    | 自由流量(c.m.s) |         |
|--------------|--------|----------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|------|------|-------------|---------|
|              |        |                |        |        |        |       |       |       |      |       |       |       |        |      |      | 最 小         | 最 大     |
| (3") 7.62    | 46.67  | 31.12          | 45.72  | 17.78  | 25.88  | 60.96 | 15.24 | 30.48 | 2.54 | 5.72  | 40.64 | 30.48 | 76.84  | 2.54 | 3.81 | 0.0008496   | 0.05380 |
| (6") 15.24   | 62.05  | 41.43          | 60.96  | 39.37  | 39.69  | 60.96 | 30.48 | 90.96 | 7.62 | 11.43 | 40.64 | 30.48 | 90.17  | 5.08 | 7.62 | 0.001416    | 0.1104  |
| (9") 22.86   | 87.95  | 58.74          | 86.36  | 38.10  | 37.47  | 60.96 | 30.48 | 45.73 | 7.62 | 11.43 | 40.64 | 30.48 | 107.95 | 5.08 | 7.62 | 0.002549    | 0.2520  |
| (1') 30.48   | 137.16 | 91.44          | 134.24 | 60.96  | 84.46  | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 50.80 | 38.10 | 149.21 | 5.08 | 7.62 | 0.003115    | 0.4560  |
| (1.5') 45.72 | 144.78 | 96.52          | 141.86 | 76.20  | 102.55 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 50.80 | 38.10 | 167.64 | 5.08 | 7.62 | 0.004248    | 0.6797  |
| (2') 60.96   | 152.40 | 101.60         | 149.47 | 91.44  | 120.65 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 50.48 | 38.10 | 195.44 | 5.08 | 7.62 | 0.01189     | 0.9374  |
| (3') 91.44   | 167.64 | 111.76         | 164.47 | 121.92 | 157.16 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 50.48 | 38.10 | 222.29 | 5.08 | 7.62 | 0.01728     | 1.427   |
| (4') 121.92  | 182.88 | 121.92         | 179.39 | 152.40 | 193.68 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 60.96 | 45.72 | 271.11 | 5.08 | 7.62 | 0.03682     | 1.9229  |
| (5') 152.40  | 198.12 | 132.08         | 194.31 | 182.88 | 230.17 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 60.96 | 45.72 | 307.98 | 5.08 | 7.62 | 0.04531     | 2.424   |
| (6') 182.80  | 213.36 | 142.24         | 209.23 | 213.36 | 266.70 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 60.96 | 45.72 | 344.19 | 5.08 | 7.62 | 0.07363     | 2.931   |
| (7') 213.36  | 228.60 | 152.40         | 224.16 | 243.84 | 303.21 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 60.96 | 45.72 | 381.04 | 5.08 | 7.62 | 0.08476     | 3.438   |
| (8') 243.84  | 243.84 | 162.56         | 239.08 | 274.32 | 339.93 | 91.44 | 60.96 | 91.20 | 7.62 | 22.86 | 60.96 | 45.72 | 417.16 | 5.08 | 7.62 | 0.09912     | 3.951   |

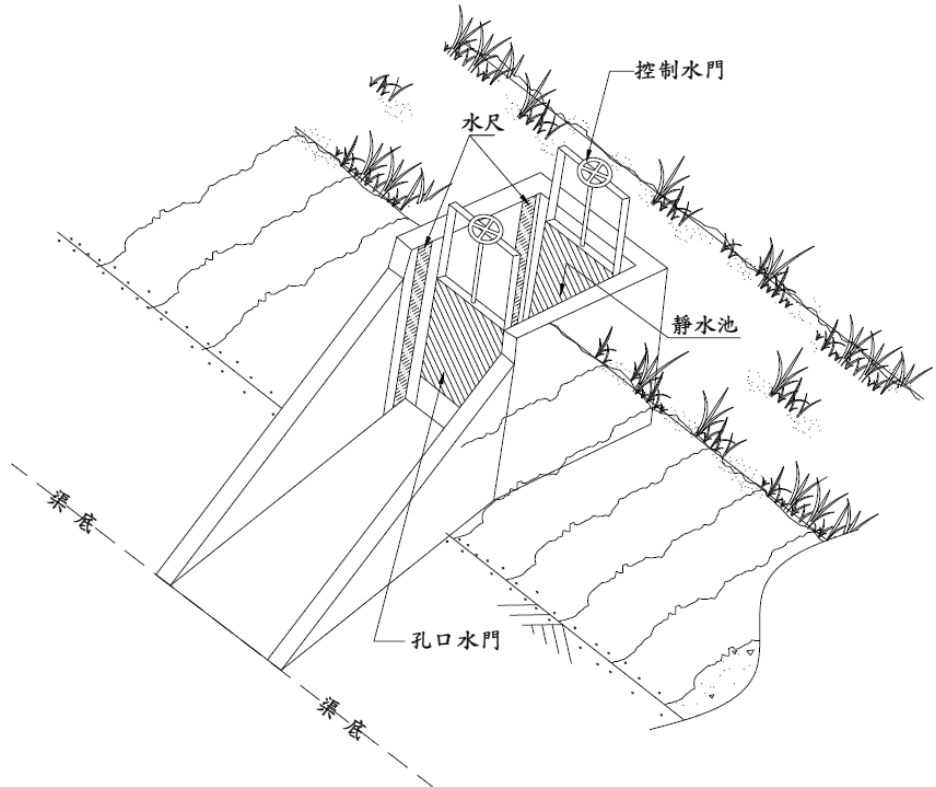


圖 9-8 定水頭孔口量水門全視圖

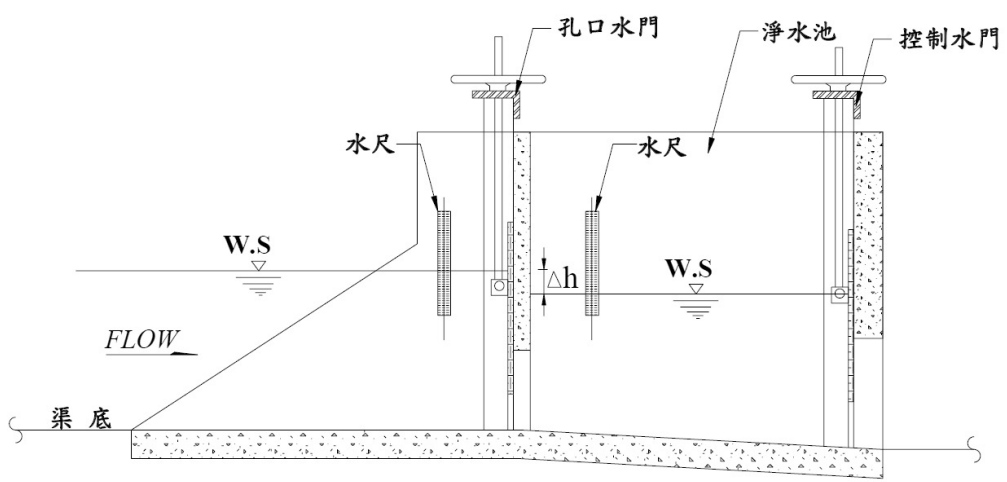


圖 9-9 定水頭孔口量水門剖面圖

另應注意定水頭孔口量水門之正確性易受下列因素影響：

1. 孔口門前之流況。

2. 孔口門後之流況。
3. 觀測水頭可能之誤差。
4. 孔口被雜物阻礙。
5. 因可能影響因數多，如要求 10% 以下之誤差，宜在現地作率定曲線之檢定。

計算例：

當  $h=0.06\text{ m}$ 、 $C=0.7$  時，(9-13)式可寫成：

$Q=0.7(2\times 9.81\times 0.06)^{1/2}A=0.7591A$ ，若孔口水門尺寸為  $0.3\text{m}\times 0.45\text{m}$ ，水門開度為  $0.1\text{m}$ ，得

$$A=0.1\text{m}\times 0.45\text{m}=0.045\text{m}^2，$$

進一步計算  $Q=0.7591\times 0.045=0.0341\text{cms}$ ，可得在固定水頭  $6\text{cm}$  時， $0.1\text{m}$  開啟度之流量。

### 9.2.8、潛孔口

潛孔口為一簡單量水構造物，其主要為放置隔板在渠道中水流之垂直方向並開一孔洞用以洩水(即稱孔口)，一般廣泛採用者均為孔口上下游皆潛沒水中之潛孔口，且常用之形式多為銳緣及完全收縮矩形等，如圖 9-10 標準矩形潛孔口，其流量公式如下。

$$1. \text{不計接近流速：} Q=CA\sqrt{2gH}\dots\dots\dots(9-14)$$

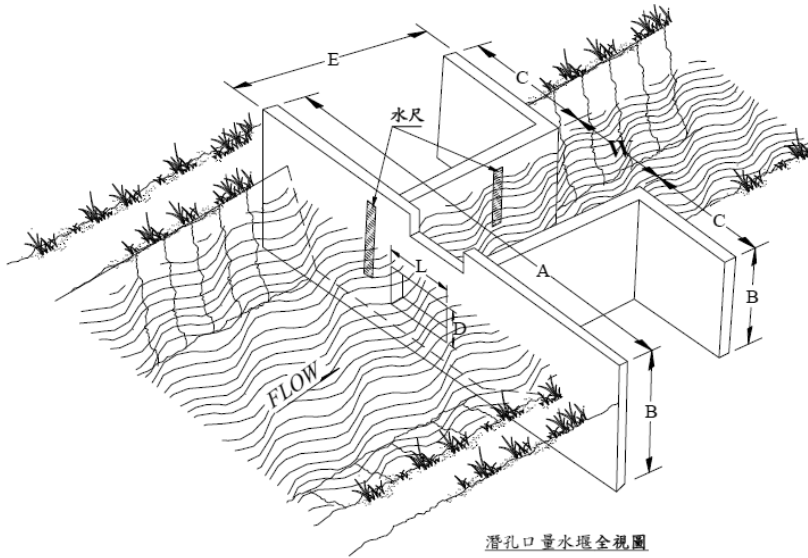
$$2. \text{計入接近流速水頭：} Q=CA\sqrt{2g(H+H_v)}\dots\dots\dots(9-15)$$

式中， $C$ =流量係數多採用  $0.615$ ； $H$ =孔口上下游水頭差= $H_1-H_2(\text{m})$ ； $H_v$ =流速水頭( $\text{m}$ )。

標準矩形潛孔口最適當之尺寸，其高度應小於寬度，表 9-4 為木製或混凝土製之潛孔口適用尺寸。

表 9-4 潛孔口堰箱尺寸表

| 孔口尺寸    |         | 構造物高<br>B(m) | 胸牆寬<br>A(m) | 長度<br>E(m) | 寬度<br>W(m) | 下游翼牆<br>長 C(m) |
|---------|---------|--------------|-------------|------------|------------|----------------|
| 高 D(cm) | 寬 L(cm) |              |             |            |            |                |
| 7.5     | 30      | 1.20         | 3.00        | 0.90       | 0.75       | 0.60           |
| 7.5     | 60      | 1.20         | 3.60        | 0.90       | 1.10       | 0.60           |
| 15      | 30      | 1.50         | 3.60        | 1.10       | 0.75       | 0.60           |
| 15      | 45      | 1.50         | 4.30        | 1.10       | 0.90       | 0.60           |
| 15      | 60      | 1.50         | 4.30        | 1.10       | 1.10       | 0.60           |
| 23      | 35      | 1.80         | 4.30        | 1.10       | 0.90       | 0.60           |
| 23      | 60      | 1.80         | 5.00        | 1.10       | 1.10       | 0.60           |



潛孔口量水堰全視圖

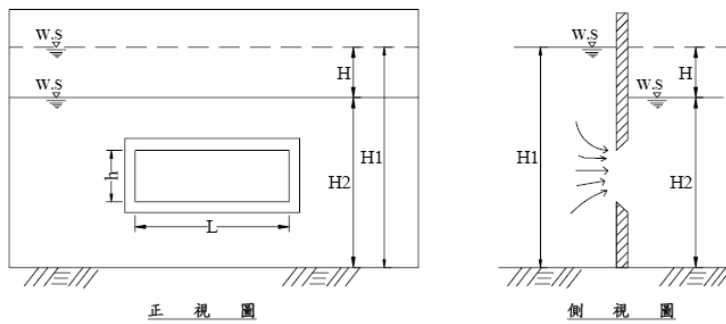


圖 9-10 標準矩形潛孔口圖

## 9.3、設計注意事項

### 9.3.1、設計要點

#### 一、量水堰

1. 堰版上游面，必須與水流方向垂直。
2. 堰板內側起 2mm 之寬度，需與堰版上游面垂直且為銳緣，外側切成 45 度角。
3. 堰頂要保持水準。
4. 水舌下空氣要流通，如在不良的通氣情況，可使流量增加 25%，一般以  $\phi 2''$  管做通氣管。
5. 堰前水流流速在 15cm/s 以下。
6. 堰前水路長度要有最大水頭之 15~20 倍。

- 7.量水堰之水頭是堰頂與上游水路水位之高差，且堰上水頭位置要在離堰版4倍最大水頭以上之處。

量水堰之優點與缺點略述如下：

#### (一)優點

- 1.測定簡易且能準確測量廣大範圍的流量。
- 2.因構造簡易，故建造容易。
- 3.可以用在分水構造物；且可移動或可調節。

#### (二)缺點

- 1.在渠道系統中需要較大之水頭差，故損失較大。
- 2.堰池中泥砂雜物易淤積，故須經常清除。
- 3.如取過多流量時，易改變水量；另可移動堰周圍會產生一些滲漏。

### 二、巴歇爾量水槽

- 1.多種尺寸量水槽可測定同一流量，故可根據渠道斷面，流量範圍，容許若差及渠道正常水位等選擇槽體大小，並選取適合及施工費較低者，一般量水槽喉寬宜為正常水深時之水面寬度的 $1/3\sim 1/2$ 等。
- 2.除側邊牆可延伸外，因各尺寸量水槽皆有率定流量公式，故各部分尺寸不可改變；因此不管是現地澆灌或工廠預鑄，尺寸都需正確。
- 3.只能在直線之渠道設置，不能設在彎曲變化段。
- 4.槽頂必須水準，且槽軸與渠道軸心要一致。
- 5.因盡量在自由流狀態下量取所需之流量。
- 6.與量水堰相同，上游能量線高度不宜超過控制斷面之最低能量線高度，以確保有控制斷面形成。

巴歇爾量水槽優點與缺點略述如下：

#### (一)優點

- 1.可在較小水頭損失下，精確測量流量。
- 2.在尾水深不影響上游水位下產生自由流，故可測量一個水深，求得範圍廣大之流量。
- 3.在尾水深影響上游水位下產生潛流，故可測量兩組水深，求得流量。
- 4.因水槽的形狀及喉部流速，故在水流快速通過時，即可清除淤積。
- 5.除建造時繁複，但其混凝土溝造物使用時間甚久且不易變形。

## (二)缺點

1. 建造工程費較高。
2. 不能和分水口或分水門合併應用，因進入量水槽流量須為均勻流。
3. 為良好的操做及其有固定形狀和尺寸，故建造時需要小心及精確。
4. 量水井通水管易於堵塞，需時常清潔。

## 三、定水頭孔口量水門

1. 適合流量小於 0.85cms。
2. 上游水位在孔口門上之封水，要大於或等於最大流量時之孔口門開啟數。
3. 控制水門之封水，最小要有流速水頭之 1.78 倍加上 8 公分。
4. 孔口門前要有水準底板，其長度約等於孔口門最大開啟數
5. 孔口門與控制水門間之距離 L 要適合下列規定：
  - A.  $Q < 0.283\text{cms}$  時，L 為最大流量孔口開啟數之 2.25 倍或孔口全開啟數之 1.75 倍；同時不能小於 1.10m。
  - B.  $Q > 0.283\text{cms}$  時，L 為最大流量孔口開啟數之 2.75 倍。

## 四、潛孔口

1. 為計算方便，以最大容許水頭差 H 求得孔口面積後，再計算其長、寬尺寸時，以兩者乘得孔口面積能為整數者，更為適宜。
2. 為確保收縮之完全，孔口宜設計成高度小及寬度大之長方形形式。
3. 孔口板上游面與壁體上游面必須垂直，且孔口須為銳緣。
4. 孔口之四週收縮要完全，且孔口頂上之封水要有孔口高度之兩倍以上；另外孔口之兩側離側壁及下方離底部同樣最少要有兩倍孔口高度之距離。下游封水亦需足夠，至少要 30cm。
5. 孔口受流速水頭之影響大，接近之水路形狀宜均勻且寬大，且水流為均勻流況。如接近流速大時，應考慮漸進流速水頭( $V_2/2g$ )之影響並做修正。

且潛孔口優點與缺點略述如下：

## (一)優點

1. 結構簡單，建造容易。
2. 觀測簡單，流量容易計算。



- 3.尺寸選用無嚴格限制。
- 4.可與分水構造物一起興建。

## (二)缺點

- 1.容易受渠道淤積之影響。
- 2.受接近流速之影響大。
- 3.不能作為流量控制點使用。
- 4.易被懸浮物阻塞影響水流。

### 9.3.2、設計準則

#### 一、標準收縮矩形堰

依據廣泛之量水堰實驗及相關經驗顯示，標準收縮矩形堰欲精確測量水量，必須具備下列條件：

- 1.堰頂設於一段平直而均勻的渠道中，水流平順，無渦流發生，引渠中心線必須經過堰中心，接近流速以不超過 0.2 公尺/秒為宜。
- 2.堰牆上游面必須光滑，上游堰頂及其邊緣必須正直尖銳而平滑，且與堰牆上游面齊平。
- 3.堰頂兩端必須水準，兩側須為垂直。
- 4.堰頂至渠底及由堰頂兩側至引渠邊牆之距離，應不小於堰上水頭之兩倍且不得小於 30 公分。
- 5.水頭以不超過堰前引渠水深 $\frac{1}{4}$ 為宜，以減低接近流速之影響。
- 6.水頭不宜小於 3 公分以下，以免受表面張力之影響。
- 7.引渠斷面積，必須大於堰口斷面積之 6~8 倍以上(長度約為堰口水頭之 15~20 倍)以降低接近流速。
- 8.堰上游水尺應設於距離堰頂上最大水頭 4~6 倍處，使不受水面洩降影響。
- 9.經堰頂之水舌，應以自由流狀態為原則，並使空氣得以自由進入水舌(水簾)下之空間內。
- 10.堰之左右側及堰底不得有漏水現象。

#### 二、標準不收縮矩形堰

此種堰型具備條件，除側收縮部分外，與收縮矩形堰相同，且渠道上、下游兩側應與堰之兩側吻合，以防水舌向下游產生側向擴大情形；另水舌下應設置通氣孔，以利通氣作用。

### 三、標準收縮銳緣 90 度三角形堰

1. 缺口邊側與垂直傾斜成 45 度。
2. 水頭以 3~30 公分為宜。
3. 水頭以引渠水深之 1/2 以下為宜。
4. 其他符合於設置標準收縮矩形堰者，均可適用，但流量超過 0.075 秒立方公尺時則不準確。

### 四、標準銳緣梯形堰(撒普利地堰)

堰頂與邊側均為一薄片，其距渠道之底及兩邊牆均應有充分之距離，以完成收縮，兩側邊坡之坡度為 1:4。

### 五、巴歇爾量水槽

巴歇爾量水槽之設置，應該設置於渠道直線段，且此處水流應為均於流，並注意此種量水槽不可設置在渠道彎曲段或水流成直角的地方，為操作方便，應盡可能設置於接近閘門處，但也須離開閘門一段距離，以使水流能均勻分佈，不受閘門放水產生渦流等干擾。裝設巴歇爾量水槽應注意事項，包括：

1. 建造巴歇爾量水槽時，因有固定型狀及尺寸，故施工時應詳加檢測各部位尺寸及灌漿時確定範本穩固，以符合設計標準，並藉由相關實驗公式推算流量。
2. 水尺應安裝在正確位置，其零點為槽頂。
3. 應配合渠道高程及演算之水理，選用較為合適且易於觀測之量水槽尺寸。

## 9.4、工程設計及實例與相關圖片

### 9.4.1、彰化農田水利會荊仔埤圳巴歇爾量水槽

早年集集共同引水計畫濁水溪北岸聯絡渠道工程，起自北岸沉沙池，沿濁水溪北岸而行，經原八堡圳取水口至荊仔埤圳取入口，再沿循永基二圳、永基三圳，予以擴大改善，直至大城鄉灌區，其中，荊仔埤圳灌溉面積達 9,840 公頃、計畫流量 28.208cms、渠道容許流量 57.437cms。

北岸聯絡渠道工程中，為監控引自集集攔河堰水量，以利整個南彰化農業灌溉系統之順利運轉，遂於荊仔埤幹線 0K+016.6 處，即彰化農田水利會溪州工作站旁，設置乙座巴歇爾量水槽(如圖 9-11)，係荊仔埤圳改善工程之附屬構造物。藉由巴歇爾量水槽量測所獲流量資料，再輔以設置於圳路旁之超音波計量測水位，並依水位流量率定公式(H-Q curve)，由水頭(水位)換算流量，以為彰化農田水利會二水用水管制中心調配灌溉水源之依據。



圖 9-11 彰化農田水利會荊仔埤圳巴歇爾量水槽



圖 9-12 彰化農田水利會路上圳北幹線定水頭孔口量水門

#### 9.4.2、彰化農田水利會路上圳北幹線定水頭孔口量水門

彰化農田水利會有鑑於路上工作站管轄之灌區，位於輪灌系統最末端，常因水源不足，需實施分區輪灌，因此於路上站轄管之路上圳北幹線1k+724.5處，施設一常用在灌溉系統中，作為分水配水用之定水頭孔口量水門乙座。

本座量水門(如圖 9-12)除作為北幹線一支主給1取水門之用外，更是輪灌時期調節流量之重要設施，以確保下游各輪灌田區能獲得有效水源，並發揮該結構物調節水量及量測流量之功能。

#### 9.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 彰化農田水利會，2019，荊仔埤圳巴歇爾量水槽、路上圳北幹線定水頭孔口量水門。<http://www.chia.gov.tw>。
4. B. E. van den Bosch and W. B. Snellen, 1993, Structures for Water Control and Distribution, FAO.
5. Brosz, D. J. and Richard L. C., 1973, Irrigation Water Measurement, Agriculture Extension Service, University of Wyoming.
6. Clemmens, A. J., Wahl, T. L., Bos, M. G. and Replogle, J. A., 2001, Water Measurement with Flumes and Weirs, ILRI Publication 58.
7. USDA, 1997, Water Measurement Manual.

# 第十章、水壩工程

## 10.1、概述

### 10.1.1、前言

壩(Dam)：攔截河川溪水匯集成水庫之結構物(構造物)，用來防止洪水氾濫、水力發電、民生與工業用水及農業灌溉之用。

壩堰皆為跨越河川阻水之建築物。旨在集水、蓄水、抬高水位及以供水力、灌溉、給水、防洪、航運等功能。一般而言，規模小者稱為堰，規模大者稱為壩，其中祇作引水用者，堰壩並稱。

壩之各部名稱：以混凝土重力壩為例，如圖 10-1 所示：

- (1)壩身：壩之軀體稱之。
- (2)壩背：臨水一面稱之。
- (3)壩面：背水一面稱之。
- (4)壩頂：壩上面。
- (5)壩底：壩下面。
- (6)壩基：胚胎稱之。
- (7)壩跟(heel)：壩背與壩層或壩基之相交處稱之。
- (8)壩趾：壩面與壩層或壩基之相交處稱之。
- (9)上水：壩背之水稱之。
- (10)下水：壩面之水稱之，但此地不一定常有水。
- (11)出水高度(Free-board)：超出上水之最高水位，如圖 10-1 之 H 所示部份稱之。

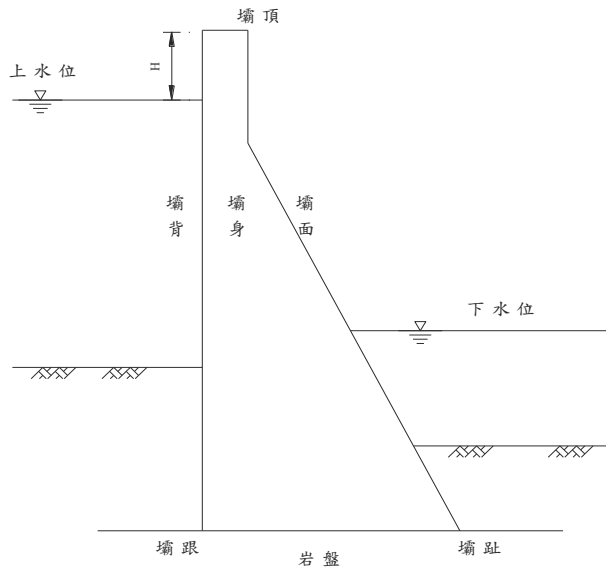


圖 10-1 壩之各部名稱

水庫興建功用：

- (1)儲蓄水量：此功用係低水不足時，興建水庫以儲蓄平時多餘之水，並調節盈枯，以利灌溉、公共給水等之用，並利用其高差以利發電及攔洪以減少洪水災害。
- (2)調蓄水位：此項功用不但需依賴蓄水以調節水量，且須經常利用蓄水間接關係，以抬高水位增加低水流量，實行高地灌溉或公共給水，並增加落差以利發電及增加吃水深度以利航運等。
- (3)滯洪水量：如某河流洪水漲發特別快，故每次洪水來臨都成水災，因此若有興建水庫攔洪，暫時能蓄留洪水，俟洪水高峰過後，緩洩放水調節出水量，可避免洪水災害。

### 10.1.2、壩之種類

一、依所用材料與型式分類

A.混凝土材料：

- 1.重力壩：混凝土重力壩(Concrete gravity dam)簡稱重力壩，一般需要相當良好之岩盤。重力壩適存於壩頂溢流型，而常用於土壩及堆石壩之溢流壩段，為溢洪道之用。重力壩有直線與曲線之佈置，而曲線較直線為經濟且安全。諸如：興仁水庫、明湖水庫、天輪壩、奧萬大壩等，均為混凝土重力壩構造。
- 2.扶壁壩(butress dam)：係由承受荷重之平台，及傳達該荷重至霸基之扶壁為主體，再用加勁條及橫撐補強之構造物，其構造物各部分係使用鋼筋混凝土，依承載荷重平台之設計不同，可分平板型、多拱型及巨頭型等三種。
- 3.拱壩：混凝土拱壩(Concrete arch dam)簡稱拱壩，此適合於地質情況極優之壩址。因壩墩岩盤需承受水壓及其他載重經拱壩作用傳達之推力，因此，拱壩適合於寬度與高度比例在 3:1 以下地形之壩址。諸如：谷關水庫、翡翠水庫、德基水庫、榮華壩等，均為拱壩構造。

B.堆填壩：

- 1.土壩(Earth dam)：土壩為最早且最普遍採用之壩型，可採用自然狀態之材料。土壩可興建於任何地質基礎，在缺乏適合興建混凝土壩之優良壩址情形下，土壩的興建即為普遍之構造，諸如：龍鑾潭水庫、鹽水埤水庫、烏山頭水庫、寶山第二水庫、蘭潭水庫、德元埤水庫等，均為土壩構造。
- 2.堆石壩(Rock-fill dam)：堆石壩為壩身斷面中，屬於安定所需部份之填方為各種尺寸之石料築填，並使用不透水性隔膜之壩，諸如：石

門水庫、成功水庫等，即為堆石壩構造。

- 3.土石壩：土石壩是土壩與堆石壩的總稱，以土、砂、石頭建造的寬壩，斷面一般為梯形，是最古老的壩型，也是最普遍使用的壩型。土石壩多採用分層填土、分層碾壓的方法修築，稱為碾壓式土石壩，主要有均質壩、分區壩、人工防滲材料壩。

#### C.其他：

- 1.充氣橡皮壩：利用人造橡膠材料(棉綸或維納綸等作為受力骨架、氣丁橡膠作為保護層)，嵌入不銹鋼網防止刺破，內填充空氣或水，多用於河川、埤塘，其優點是施工迅速，倒伏功能可以不另建置溢洪道及排砂道，缺點是容易磨損破壞，使用年限較短，諸如：高屏攔河堰、玉峰堰等。
- 2.鋼索式(油壓式)倒伏壩：壩體材質為鑄鐵或不銹鋼，使用操作與橡皮壩相同，造價更為低廉及耐磨，惟使用範圍仍以小型河川及區域排水為主。
- 3.其他壩型：由建築材料構成壩，除上述外，較早時期或基於地區特殊條件或為試驗性質者，尚有鋼壩、木造壩及圪工壩等。惟，此類壩型壽命均不長久且有缺陷，故甚少興建，僅述參考而已。

#### 二、依使用之目的分類

- A.單目標蓄水壩：水庫興建大致可分為單目標水庫及多目標水庫兩種，惟一般除少數屬於單目標水庫外，彼此常有關聯。
- B.多目標蓄水壩：近代興築水庫，趨向整個流域為對象之多目標水庫開發為多。其目標包括：(1).防洪(flood control)；(2).灌溉(irrigation)；(3).發電(electrification)；(4).公共給水(public water supply)；(5).航運(navigation)；(6).養魚及野生動物(fish-farming and wild animals)；(7).調節河流蓄水(regulating river flow storage)；(8).觀光(sightseeing)。

#### 三、依壩高分類

- A.低壩：壩高在 30m 以下者。
- B.中壩：壩高在 30m 以上 90m 以下者。
- C.高壩：壩高在 90m 以上者。

#### 四、依形狀分類

- A.天然水庫：凡河流之湖泊稱之，例如洞庭湖、鄱陽湖等乃是長江之天然水庫。天然湖泊本身有不絕之水源，僅需就其出口處加設閘門操縱，便成為最經濟之水庫矣。

B.人工水庫：此係橫斷幹河上游處或在支河上，以人工建築水庫攔河蓄集水量，可儲亦可洩之水庫稱之。

#### 五、依蓄水容量分類

A.水池：凡蓄水量較小並僅於短時間內，以調節小水量所需者稱之。

B.水庫：凡蓄水量較大並可供長時間內，以調節巨水量所需者稱之。

### 10.1.3、壩型之選擇

壩型依壩址之天然條件(壩址地形、地質、氣象、水文、地震、築壩材料)，與社會環境(交通、勞工、施工設備機械及工程技術等)及計畫內容(工程目的、規模、工期、效益)等要件綜合檢討後選定。其中壩址地形、地質及築壩材料等三要素，在選擇壩型時所佔權重最大，但最後仍以經濟考量、比較及研討，選擇最適當之壩型。

### 10.1.4、壩型之比較

為達到建壩目的，而作最適宜之壩式選擇與設計時，除對各種壩之基本性質先有了解外，須對壩址調查入手，壩址選擇之基本原則，必須符合建壩目的，能使安全、經濟、美觀並便於施工，方稱完善。

在建壩選擇整個計畫中，必須合乎適用，乃不爭之必要條件，安全問題應屬首要。

#### 一、土壩

A.除特殊情形外，此種壩適合於任何基礎。

B.材料處理較為簡單，控制品質尚易，惟組成材料仍需具有不透水性，以形成足夠阻水層，合乎此種要求之土壤一般剪力強度不強。

C.近年來重型施工機械之發展，使土壩施工迅速。

D.因不允許溢流壩頂、溢洪道、出水工及臨時排洪道等均需與壩體分開另設，致使工程費用增加。

E.不透水性土壤，須於最佳含水量時輾壓，俾獲最高輾壓效果，減低孔隙水壓力，因此降雨及採土含水量過高等，均影響施工進度。

F.地震影響之適應性，較其他壩型為佳。

#### 二、堆石壩

A.此種壩，適合於次好地質基礎。

B.因岩石料填方施工，不受降雨、含水量之影響，故施工進度迅速。

C.此壩與土壩相同，由於重型施工機械之發達，而施工進度迅速。

D.因不允許溢流壩頂之故，其附屬建築物費用昂貴。

- E.需要堅硬而高度耐風化性之足夠數量石料。
- F.工地需要有多數重型施工機械之充份活動空間。

### 三、混凝土重力壩

- A.此種壩適合於較好之地質興建之。
- B.混凝土品質可以容易而正確控制。
- C.巨積混凝土，需冷卻以減水化熱，使費用增加。
- D.壩體中，可設溢洪道、出水工及施工排洪道等，以減低工程費用。
- E.上頂壓力大，雖可設施灌溉及解壓系統藉以減低，但仍為安全條件之重要因素。

### 四、混凝土空體重力壩

- A.此種壩適合於較興建實體重力壩稍遜之地質，而河床較寬處。
- B.可減少混凝土數量至實體混凝土壩之三分之二。
- C.水化熱可由體內空間解散，可節省冷卻費用。
- D.減少上頂壓力甚多，若配合良好基礎處理，上頂壓力作用範圍較小。
- E.本壩與垛壩相同，可將上游面傾斜至  $45^\circ$ ，以便利用水及淤沙載重增加壩體安定。
- F.可由壩體內空間，直接觀察及檢查運用時期情況。
- G.壩體內或壩頂上，可設溢洪道、出水工及施工排水設施等，而減少附屬構造物費用。
- H.增加模型費用。
- I.需要提高混凝土品質，而使混凝土單價增加。

### 五、混凝土拱壩

- A.此種壩僅適合於極良好地質。
- B.混凝土品質雖高，但所需數量最少。
- C.薄拱壩可以不需冷卻。
- D.為壩墩及壩基等品質之改善，處理費用較其他型體昂貴。
- E.設計需較專門，且需配合應力模型。
- F.溢流水深不可過高，一般而言，附屬構造物工程費較重力壩為高。
- G.施工較難。



## 10.2、水理

蓄水庫或保持水庫即能攔蓄高流量時期過多水量，而蓄留待以後或乾旱季節使用外，攔蓄洪水亦可降低水庫下游洪水造成之損害。

不論水庫大小或者水使用極限，水庫主要功能乃是藉蓄水以調節自然河川之變化供給量，或滿足極限消耗用水者之變化需要量來穩定水之流量。

1.水庫蓄水量：蓄水是水庫首要功能，其蓄水體積，於形狀規則之水庫，可利用土方體積公式計算之。在自然庫址處，水庫容量須依地形測量求出，以求積儀將庫址內每一條等高線所圍繞之面積量出，即以高程與等高線所圍面積關係畫出面積-高程曲線，面積高程曲線之累積，即為水庫之高程-蓄水曲線或高程-容量曲線。而兩等高線間蓄水之增量，通常是由兩高程之平均面積乘以高程差得出。

2.水庫出水量：出水量乃是在一定時距內水庫能所供給之水量，在小的配水庫，此時距可為一天，而對於大的蓄水庫，此時距可為一年或更長。出水量視入流量而定，每年均有變化。大多數蓄水庫計畫均考慮安全或可靠出水量，亦即在乾早期，水庫所能保證輸出之最大水量。

3.已知出水量時，水庫容量之選定：為滿足用水需要，需要決定水庫容量，如都市公共給水或農業灌溉用水等例子。水庫容量可透過蓄水方程式加以計算，以供水量(即流出量，必須等於入流量減去漏失及不可避免損失水量)等於流入量加上或減去蓄水增量。

### 4.水庫容量

(1)水庫高度-面積-容量曲線：通常利用測量所得地形圖，比例尺以 1/2,500 或 1/5,000 為宜，等高線間距如平坦谷底者 0.5m，較緩處 1~2m，陡坡處 5m 或 10m 一條，自填址起，以面積儀求各等高線所包圍之面積。如該等高線間距非 1m 時，需用插入法繪出每 1m 之等高線後，求其面積，代入梯形公式  $\Delta V = 1/2 (A_1 + A_2) \Delta h$ ，求得間距 1m 之各標高之體積，再自水庫最低標高處開始累積之，如此可得水庫-面積-容量曲線。而水庫容量求法，有梯形法、Simpson 法等，但如高度間距較密，則以梯形法較為方便。

(2)水庫集水量：以壩址具有長期可靠流量紀錄，可以直接應用者較佳，如壩址缺乏充分流量紀錄時，需以各種方法推算。

(3)水庫放水量及損失量：應檢討包括農業用水、工商業及公共用水、壩址下游保留水量、發電用水、庫面蒸發損失、庫底滲漏損失、呆水量等。鑑於泥砂並非祇淤積於水庫之呆水量部分，常普遍淤積於庫底之任何處，佔去運用水量部分，呆水位之位置，如水頭不成問

題時，應設於經濟運用年限內，即為 50 年以內，大壩附近之估計泥沙淤積高度處方不致影響引水機能。

- (4)水庫盈虛運用：經求得歷年旬計水庫集流量、放水量、及損失水量後，可以利用水庫運用表計算歷年水庫盈虛運用，以便求出每年所需水庫有效容量。俟水庫盈虛計算完畢後，需列出每年所需總蓄水量，即缺水量加呆水量，按大小順序排列，以便決定水庫之設計容量。
- (5)經濟水庫容量：具某一定經濟標準時之經濟壩高之設計蓄水量。
- (6)離槽水庫：又稱離河水庫，即水庫本身集水面積少，須由鄰近流域引進流量稱之。
- (7)水庫容量之簡便求法：水庫容量大小，可以連續無效雨日數為根據，簡便算出。通常可按年供水時期即灌溉時期之最大連續無效降雨日數(日雨量在 5mm 以下者算為無效降雨量)，採用 10~20 年一次之連旱日數，即採用下式估計，惟本法僅於水庫容量概估時用之，水庫蓄水分區圖示如圖 10-2。

$$Q=l+q \times d-a \dots \dots \dots (10-1)$$

式中：Q=水庫有效蓄水量，l=連旱期間內水庫損失水量(蒸發+滲透)，  
q=日用水量，d=連旱日數，a=同期間水庫集流量。

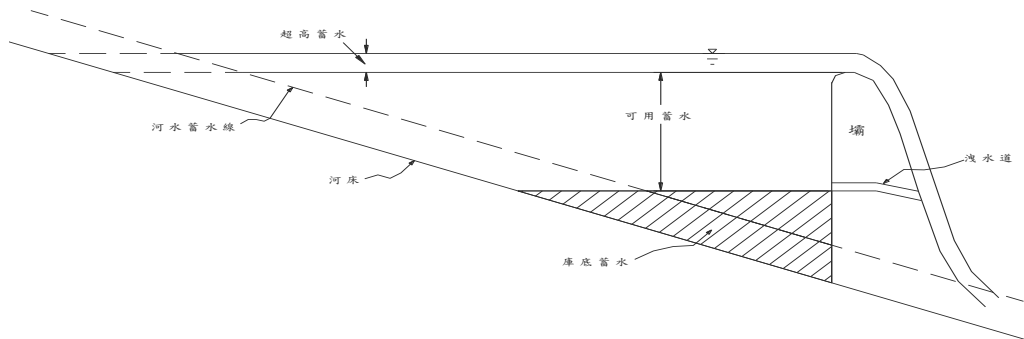


圖 10-2 水庫蓄水分區

### 10.3、設計注意事項

#### 10.3.1、設計要點

1.壩址之選定：應考慮流域面積，社會、經濟因素與其他標的長期開發計畫之關連，地形、地質條件，施工與自然環境之調和與環境保護。

亦即壩址之選定應考慮：(1)可獲得必要之蓄水量；(2)地質上無或漏水少且構造穩定安全；(3)開發單位蓄水量所需工程費低廉；(4)對環境之影響最小等條件選定。

2.壩型選擇：壩型依壩址之天然條件(壩址地形、地質、氣象、水文、地震、築壩材料)與社會環境(交通、勞工、施工設備機械及工程技術等)及計畫內容(工程目的、規模、工期、效益)等要件綜合檢討後選定。

3.蓄水位：水庫設計蓄水位以平時滿水位，超高水位或設計洪水位為基準，再加因風或地震所產生之浪高及安全出水高。

(1)平常滿水位 $H_n$ ：指水庫在非洪水期之最高蓄水位，亦即為最大蓄水量時之蓄水位。有洪水調節功能之水庫則指洪水調節限制水位。

(2)超高水位 $H_s$ ：指洪水調節水庫於洪水時暫時蓄留調節水量之水位。

(3)設計洪水位 $H_d$ ：指溢洪道排洩設計頻率洪水量時之水庫最高水位。

4.出水高 $H_f$ ：壩頂高度應較水庫水位高出相當數值，使在任何惡劣條件或洪水來襲時不致溢流壩頂，設計土石壩時尤其須有充分而安全之高度。

5.壩高：壩高係指基礎岩盤至非溢流部壩頂間之高差，須考慮計畫蓄水位，風及地震所引起之浪高及出水高妥為決定。

6.設計應考慮之荷重

(1)自重  $W$ ：築壩材料之單位體積重量，應採用擬實際使用材料之試驗結果。未做試驗或低壩壩體混凝土一般採用  $2.3\text{ton}/\text{m}^3$ 。

(2)靜水壓  $P$ ：壩上游面與下游面均受到作用於壩身表面垂直投影面之靜水壓，靜水壓垂直分力等於垂直壩面上的水重，並通過該水體重心。

(3)淤砂土壓  $P_e$ ：水庫內淤積土砂之作用力係與壩體接觸面成垂直及水平方向作用。

(4)上頂力  $U$ ：上頂力係作用於岩盤及壩體內間隙之滲透壓力，對壩體及基礎岩盤之安定具有重大影響。上頂力假定與壩體和岩盤之接觸面，或與壩體水平斷面垂直作用。

(5)孔隙水壓  $P_p$ ：係壩體內孔隙及基礎地盤中滲透水之壓力，填料壩之安定分析時必須考慮之。

(6)地震慣性力  $I$ ：作用於壩體之地震慣性力為壩體自重與設計震度之乘積，並對壩體水平作用於壩體重心。

(7)地震動水壓  $P_d$ ：地震時作用於壩體之外力，除前述壩體本身之地震慣性力外，尚有蓄水慣性力之動水壓。

(8)基礎反力：在安定條件下，混凝土壩上水平及垂直兩向作用力之合力為大小相等方向相反之基礎反力所平衡。

7.混凝土重力壩設計要點

(1)設計基本考慮：混凝土重力壩係以自重抵抗外力，並將荷重傳達於基礎岩盤。一般而言，支承壩體之基礎岩盤強度、變形特性比築壩材料之混凝土為優時，可僅考慮壩體本身之設計，惟具有優良地形地質之壩址已逐漸減少，常須將壩體與基礎岩盤視為一體設計。

壩工設計除需考慮承受前述作用於壩體之諸外力外，尚需將之安全傳達於基礎岩盤，因此壩體所受應力、支持壩體之基礎岩盤所受剪應力、變形性及截水性均須詳細檢討。

(2).壩體安定條件：混凝土重力壩設計須考慮適當之安全係數並滿足下列安定條件：A.不傾倒；B.不滑動及 C.不發生超應力。

(3).壩體斷面：壩體斷面通常先以基本三角形設計最經濟之壩上下游面坡度，再視壩頂道路、閘門等附加荷重修正斷面至符合上述安定條件 1 之要求。壩在最不利受力條件下仍應可滿足安定要求。最不利受力條件通常係假定水庫空庫時地震作用力向上游作用，滿庫時地震作用力向下游作用。

(4).混凝土重力壩細部設計時，包括：A.接縫；B.水封；C.廊道；D.排水孔等均應細加檢討。

(5).壩體混凝土應充分設計之要求，且永久發揮原所預期之功能，因此應具備如下性質：A.十分良好之耐久性、水密性、強度及重量，且品質均勻；B.隨硬化而產生之溫度上昇及容積變化小，不發生龜裂現象；C.適合施工之工作性。

#### (6).基礎處理

A.壩基開挖：為支持壩體重量與一切外力，壩基須先剝除表土、風化岩、節理過份發達或破碎岩盤。岩質良好時，雖未達預定開挖線可停止開挖。如岩質不佳，則應超過預定開挖線至良好岩盤為止。為避免損傷良質岩盤，最後 30~50cm 應避免以炸藥開炸。

B.灌漿：灌漿除可封閉裂縫、節理以減少滲漏水、減少上頂力外，尚可固結岩盤減少岩盤變形。

#### 8.土壩設計要點：

(1).土壩必須在施工與運用之任何方面都安全且穩定。

(2).築壩材料：A.借土區調查。B.築壩材料之選擇。

(3).土壤試驗及其應用：含 A.抗剪試驗。B.固結試驗。C.滲透試驗。D.壓實試驗(施工中孔隙壓之推估)等。

(4).基礎設計：依 A.岩盤基礎。B.砂礫層基礎，C.軟弱基礎等分別設計。

(5).壩體設計

- A.基本考慮與設計順序：壩體之設計主要根據可用土料決定壩型及邊坡，再根據理論與經驗就安全與經濟反覆檢討後始可定案。
- B.依壩型：a.均質型。b.分區型(薄心壁型、厚心壁型、隔膜型)等分別設計。
- C.壩體細部設計：包括 a.壩頂寬，b.壩頂排水，c.預備沉落加高，d.不透水層頂高，及 c.戽道等。

#### (6).安定分析

- A.影響安定之荷重：自重、孔隙壓、地震力等。
- B.對滲透之安全檢討：流線網、流線網之製圖法等。
- C.滑動破壞安全評估：應檢討之情況：土壩非溢流部上游面水位在 a.常時滿水位，b.超高水位，c.設計洪水位，及 d.滿水位以下而需要急洩降時。

#### (7).基礎處理：壩底清理、基礎開挖、湧水處理、斷層處理及灌漿等。

#### (8).土壩內埋設儀器：含漏水、沉陷、水平變位、滲透線、孔隙水壓、地震、土壓、傾斜測定裝置等。

#### (9).土壩施工：包括施工程序(施工計畫)、施工排水與臨時擋水堰、基礎處理、填土、施工機械、可施工日數及填土速率等。

### 9.堆石壩設計要點

- (1).以不同尺寸岩石填堤安定壩體，另以不透水性隔膜。
- (2).依隔膜層位置可分為上游隔膜型、傾斜隔膜型及心壁型三種。其中傾斜型與心壁型二者統稱為內膜型，而上游隔膜型亦可稱為外膜型。

#### (3).基礎設計

- A.基礎處理除必須除去泥土、粘土、砂及有機物外，應處理至達到下列要求：a.裂縫最少，b.可防止管湧發生，c.沉陷量最小，d.壩體與壩基、壩墩間產生充分之摩擦力。
- B.堆石壩成敗之最重要關鍵為能否防止壩體下之滲水，及隔膜層與基礎、壩墩間之水密封效果如何。

#### (4).填方設計

- A.石料選擇原則上以堅硬、耐久性岩石，不易風化，不受物理、化學變化影響，採石、運石、推拋過程中不易破碎者為宜。
- B.壩體斷面上下游坡面坡度依所使用之不透水隔膜之性質及其位置而異。

## (5).填方施工

由於過量沉陷將破壞上游隔膜或接縫之脫離而導致漏水，因此控制沉陷至可容許範圍內為堆石壩施工之最重要問題。以薄層堆放並以振動滾壓機施工者，其沉陷最小。

## (6).隔膜層設計

- A.不透水中央心壁：中央心壁所使用不透水土料與一般土壩不透水土料條件相同。應以最佳含水量土料，經 12 次輾壓成 15 公分厚。
- B.鋼筋混凝土：其厚度以能滿足下列要求即可：(1)透水性小；(2)壩面局部沈陷時，隔膜有足夠強度不致坍塌；(3)可抗禦風化；(4)有充分彈性可適應壩體之小量沉陷。
- C.瀝青混凝土：使用上僅次於鋼筋混凝土。瀝青混凝土具有柔軟性，故比鋼筋混凝土更易於適應較大沉陷。
- D.鋼板：雖效果優異，但使用鋼板為堆石壩表面隔膜之例較少。鋼板隔膜有施工迅速，比其他材料隔膜更易於適應壩體較大位移等優點，但易腐蝕為其最大缺點。

## 10.溢洪道設計要點

### (1)位置之選定

- A.混凝土壩溢洪道除其排水或尾水方向受限制外，一般可在壩體上作適當之溢洪道。
- B.土石壩溢洪道應考慮壩址附近之地形、地質、開挖土方之利用性，蓄水目的及管理因素而選定最安全及經濟之位置。
- C.溢洪道原則上宜設計在堅硬岩盤上，但如無法覓到良好基礎時，應充分防止構造物之不等沉陷及沿構造物外側滲透等之設施。

### (2)型式之選定

- A.溢洪道應選定有利於水理及經濟條件，且構造上安定之型式，就水理條件而言，以直線渠道方式最有利，至若曲線水路之水理較為複雜，而管路水理變化則隨流量而異，故不得不採用管路方式時，其洩洪能力應考慮設計洪水量外相當量之安全量。
- B.除非得以完善之維護管理及確實之閘門管理操作外，以採用非調節型溢洪道為原則。
- C.渠道水路方式分為：自由流下式溢洪道(多用於拱壩)、溢流式溢洪道(多用於混凝土重力壩)、側溝式溢洪道及陡槽式溢洪道等。
- D.管路方式分為：隧道式溢洪道、豎管式溢洪道、暗渠式溢洪道及

虹吸管式溢洪道等。

### (3)溢洪道之構成

- A.進槽水路(接近水路)：由水庫導流至調節部之水路，依溢洪道之地形、型式等而有下列幾種：a.等斷面直線式；b.等斷面曲線式；c.直線漸縮式；d.曲線漸擴式等。進槽水路內流速宜限制在 4m/sec 以下，並為免產生亂流，調節部前水路斷面以長方形斷面並以漸縮形為宜。
- B.調節部：為進槽水路末段至洩水路起點間，控制水庫流出水量部份，為溢洪道之主要部份。可分類為
  - a.依有無控制閘門(閘)而分類：分為調節型及非調節型調節部等。
  - b.以調節部之水理特性分類：分為明渠流入式、溢流式、側槽流入式、豎管式調節部等。
- C.洩水路：a.洩水路位於溢洪道調節部之尾端至消能設施之起點，有渠道、隧道、暗渠，及其混合式。b.隧道、暗渠之水流應確保為自由流，因此通水斷面積  $A_w$  與全斷面積  $A_o$  之比應以 3/4 為上限。
- D.消能設施：分為水躍(靜水池)式消能、副壩型消能、傾斜水躍型消能、U.S.B.R.強制水躍型消能及戽斗型消能等。

### 11.生態環境保育問題

為減輕公共工程對生態環境及文物保存造成負面影響，應以減緩與調適策略予以因應，於工程生命週期各階段，必須遵循「公共工程生態檢核注意事項」辦理之，詳參閱第 14 章。

#### 10.3.2、設計準則

1.出水高 $H_f$ ：依壩坡斜度、粗糙度而變化甚大，故在設計前，應將此項有關因素選擇估計，不應於壩設計後再計算。估計出水高 $H_f$ ，可用下式估算或參照一般標準值決定。

$$H_f \geq R + \Delta h + h_s + h_t + h_e \dots \dots \dots (10-2)$$

式中， $R$ ：風浪溯上高(包括波浪之爬高)； $\Delta h$ ：最大洪水時之水位上升高度； $h_s$ ：壩之安全出水高(土石壩應增加一公尺之出水高)； $h_t$ ：依溢洪道型式之安全出水高(閘門控制式為 0.5m，其他為 0 公尺)； $h_e$ ：地震波浪高。

土石壩出水高之標準值一般為 2.0m~3.0m，但壩高 60m 以上之閘門控制式排洪道之土石壩，應有 3 公尺以上出水高。出水高在 3.0m 以上者，可將壩頂胸牆作為出水高之一部分，尤其較高之壩，因出水高之增加，壩體積增

加量甚巨(約為壩底面積×出水高增加量)，故利用壩頂胸牆以求經濟，但出水高在 3.0m 以下時，雖設有壩頂胸牆，亦不宜計入出水高內。

2.自重 W：壩身重量 W 乃材料的比重 $\gamma_a$ 與壩身體積 V 之乘積，此力的作用線穿過壩身斷面積的重心，即

$$W = \gamma_a \cdot V \dots\dots\dots(10-3)$$

3.靜水壓 P：

$$p = \omega_0 h \dots\dots\dots(10-4)$$

$$P_0 = \omega_0 H^2 / 2 \dots\dots\dots(10-5)$$

式中，p=水深 h (m)處靜水壓(t/m<sup>2</sup>)；P<sub>0</sub>=水深 H (m)之總水壓(ton)； $\omega_0$ =水之單位容積重量(t/m<sup>3</sup>)，採用 1t/m<sup>3</sup>；h=水深(m)，為自表 10-1 之水位起算擬求算水壓之水深。

表 10-1 求算靜水壓之水庫水位

| 設計條件  | 考慮非溢流部上游面波浪之水位            |
|-------|---------------------------|
| 平時滿水位 | (平時滿水位) + (風浪高) + (地震波浪)  |
| 超高水位  | (超高水位) + (風浪高) + (地震波浪/2) |
| 設計洪水位 | (設計洪水位) + (風浪高)           |

4.淤砂土壓 P<sub>e</sub>：水庫內淤積土砂之垂直作用力可由淤積土砂之水中重量求得，某一深度 d 處之水平作用力則以下式計算

$$p_e = C_e \omega_1 d \dots\dots\dots(10-6)$$

$$P_e = C_e \omega_1 d^2 / 2 \dots\dots\dots(10-7)$$

$$\omega_1 = \omega - (1 - \vartheta) \omega_0 \dots\dots\dots(10-8)$$

式中 p<sub>e</sub>=深度 d 處之淤砂水平壓力(t/m<sup>2</sup>)；P<sub>e</sub>=淤砂總水平壓(ton)；C<sub>e</sub>=土壓係數(約為 0.4~0.6)， $\omega_1$ =淤砂在水中單位重量(t/m<sup>3</sup>)，d=由淤積表面起算之深度(m)， $\omega$ =淤砂單位重量(t/m<sup>3</sup>)(約為 1.5~1.8)， $\vartheta$ =淤砂孔隙率(約為 0.3~0.45)。設計採用之淤砂深採用 100 年之淤積深度，須根據水庫及集水區狀況推算。

5.上頂力 U：一般均假定上頂力自壩跟(最高靜水壓力)至下游壩趾(最高尾水壓力)成直線變化，依據此項假設，得上頂力為，

$$U = \frac{\gamma t}{2} (h_1 + h_2) \dots\dots\dots(10-9)$$

上頂力作用線通過壓力梯形面積之形心。另 Lane 氏權重緩流理論亦可推出上頂力。



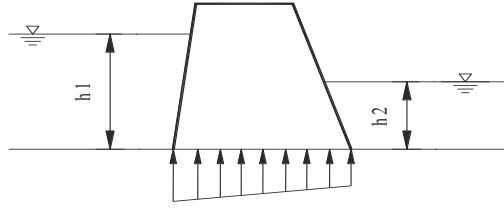


圖 10-3 上頂力分析圖

6.地震慣性力 I :

$$I = W\gamma \dots\dots\dots(10-10)$$

式中，I=地震時之壩體慣性力(t/m<sup>3</sup>)；W=壩體自重(t/m<sup>3</sup>)；γ=設計震度。  
水庫水位為超高水位時，壩體構造設計所採用之設計震度可採用表 10-2 列值之 1/2。至於設計洪水位時，則不考慮地震之影響。

表 10-2 壩之設計震度

| 壩型      | 地區區分      |           |
|---------|-----------|-----------|
|         | 強震地區      | 弱震地區      |
| 重力式混凝土壩 | 0.12~0.20 | 0.10~0.15 |
| 拱壩      | 0.24~0.40 | 0.20~0.30 |
| 填料壩     | 均質型       | 0.15~0.25 |
|         | 其他型       | 0.12~0.20 |

7.地震動水壓P<sub>d</sub>：動水壓垂直作用於壩上游面，並以下式求近似值

$$P_d = \frac{7}{12} \omega_0 \gamma \sqrt{hy} \dots\dots\dots(10-11)$$

式中，P<sub>d</sub>=y 深度處地震動水壓(t/m<sup>2</sup>)；ω<sub>0</sub>=水單位容積重量(t/m<sup>3</sup>)；γ=設計震度；h=蓄水深(m)；y：蓄水面至所求動水壓作用點之水深(m)。

8.基礎反力：無上頂力作用時之壩基垂直反力如圖 10-4 之 A12B 所示，其中，

$$A1 = \frac{\Sigma W}{T} (1 - \frac{6e}{T}) \dots\dots\dots(10-12)$$

$$B5 = \frac{\Sigma W}{T} (1 + \frac{6e}{T}) \dots\dots\dots(10-13)$$

加入上頂力而上游面上頂力小於A1時，其反力A1可如上式求之。惟所作用之上頂力大於A1時，應修正基礎反力如下式：

$$e' = \frac{\Sigma W}{\Sigma W - A3 * T} \dots\dots\dots(10-14)$$

$$T_1 = 3(\frac{T}{2} - e') \dots\dots\dots(10-15)$$

$$B5 = \frac{2(\Sigma W - A3 * T)}{T_1} + A3 \dots\dots\dots(10-16)$$

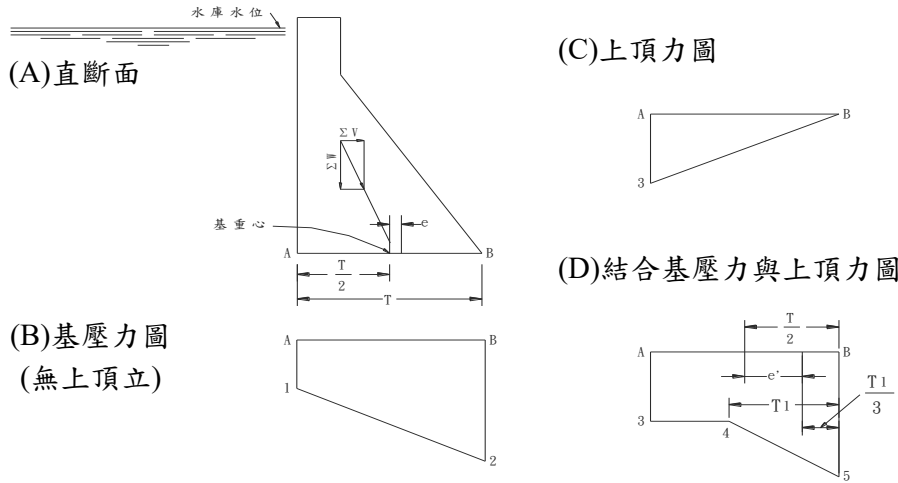


圖 10-4 混凝土重力壩之基礎壓力

### 9. 混凝土重力壩設計準則

(1) 不傾倒：在諸外力作用下，有沿壩體內水平接縫、壩體基礎面或壩基岩盤水平裂隙向下游傾倒之趨勢。任何水平斷面上游端之未計上頂力所計算之垂直應力(圖 10-4 A1)大於該點上頂力時，該斷面以上壩體可認為對傾倒安全。如上頂力大於任意水平斷面上游端之垂直應力而形成如圖 10-4(D)之應力分佈時，則應予檢討。在此情況下，如圖 10-4(D)之 B5 尚小於任意水平斷面壩體混凝土及基礎可容許應力時，其壩仍可認為對傾倒安全。

為避免壩體傾倒，任意水平斷面上諸外力及自重之合力作用點，應交於壩基三分點內。惟溢流壩頂附近產生局部張力時，可以鋼筋補強以免龜裂。

(2) 不滑動：水平作用力 $\Sigma V$ 用使壩體向水平滑動之趨勢，此趨勢以混凝土或基礎之摩阻力及剪阻力抗阻之。

岩盤基礎上大小重力壩抗阻滑動之安全條件均以剪摩阻因數(shear friction factor)檢討：

$$Q = \frac{CA + (\Sigma W - U) \tan \phi}{\Sigma V} \dots\dots\dots(10-17)$$

式中， $Q$ =剪摩阻因數； $C$ =混凝土或岩盤之凝聚力(純抗剪強度)； $A$ =檢討斷面之底面積； $\tan \phi$ =岩盤或混凝土之內摩擦係數； $W$ 、 $V$ =分別為垂直及水平作用力； $U$ =上頂力。

良好岩盤或岩盤與混凝土接觸面之  $C$  及  $\tan \phi$  值可參考已發表試驗結果推估，惟不良岩盤或需填縫之岩盤則應經特別試驗決定。

壩體內或壩體混凝土與岩盤接觸面之最小摩阻因數(安全係數)，在正常受力情況下為 3.0，在不尋常受力情況下為 2.0，而在極端不尋常受力時應大

於 1.0。沿基礎內任意弱帶滑動之安全係數，在正常受力情況下應為 4.0，不尋常受力時為 2.7，而極端不尋常受力時為 1.3。如計算所得安全係數小於上述規定，則必須加強基礎處理以期提高安全係數至要求值。

建於無凝聚力基礎上之混凝土壩，通常無法得到如在岩盤基礎上混凝土壩之高安全係數。惟在此種基礎上一般壩高不大，且崩損時災害亦不致太大，故可採用上述較低安全係數，或以滑動因素  $f$  (sliding factor) 檢討對滑動之安全，即

$$f = \frac{\text{靜態磨擦係數}}{\text{所選用之安全因素}} \dots\dots\dots(10-18)$$

$$f \geq \frac{\sum V}{(\sum W - U)} \dots\dots\dots(10-19)$$

礫、粗砂、砂、頁岩基礎上混凝土構造物之滑動係數大約分別為 0.4、0.3 及 0.3，泥及粘土基礎則須經試驗。適當設計之壩基截水牆有助於對滑動之抗阻。

(3)不發生超應力：混凝土重力壩所要求之混凝土強度高於一般混凝土，故混凝土設計與施工必須提高標準。

在正常受力情況下，可容許壓應力應小於 1,500 磅/平方英寸(105kg/cm<sup>2</sup>)，安全係數為 3.0。在不尋常受力情況下之可容許壓應力應小於 2,250 磅/平方英寸(158kg/cm<sup>2</sup>)，安全係數為 2.0。

基礎之最大容許承载力應經試驗決定，惟規劃設計階段可參考富有經驗工程地質師之預估值或類似基礎地質之試驗報告。

(4)接縫：A.橫接縫係為防止發生與壩軸垂直向之龜裂而與壩軸垂直設置，其間距以 10~15 公尺為度。B.縱接縫係為防止發生與壩軸平行之龜裂而設，故與壩軸平行，其間隔通常為 15~20 公尺。

(5)水封：常用 A.銅板水封厚度為 1~3mm，B.不銹鋼板厚為 1~2mm，C.塑膠板水封厚度為 6~12mm，寬 300~400mm。

(6)廊道：壩高 30 公尺以上時原則上應設廊道，惟基礎岩盤不良或有其他特殊原因時仍宜設廊道。廊道通常與壩軸平行，並盡量靠近上游壩面設置，惟為減少滲透水與應力集中之影響，應距離廊道高度之 2 倍。廊道斷面通常為寬 1.5~2.0 公尺，高 2.0~2.5 公尺，足以容納灌漿作業所需空間。

(7)排水孔：一般於隔幕灌漿之下游以適當間隔設 1~2 排，從廊道鑽孔，其深度約為隔幕灌漿之 1/3。壩體完工蓄水後，可利用此排水孔觀測基礎孔隙水壓及滲透岩盤之漏水量。

## 10. 土壩設計準則

(1). 土壩設計必須符合下列準則：

- A. 土壩必須避免洪水溢流壩頂，故需要充分容量之溢洪道與出水工。
- B. 土壩邊坡無論在施工期或水庫運用之一切情況下，包括水庫蓄水之急遽洩降時，均屬安定。
- C. 壩基不發生超應力。
- D. 經過壩體、基礎與墩壁之滲透水應不致發生內部沖刷，滲潤線出現處不致於淖化，滲漏水量應在可容許範圍內。
- E. 蓄水波浪應不溢頂。
- F. 上游坡面應可防止風浪沖刷，下游坡面應防止風雨之沖蝕。
- G. 壩體應對地震安全。
- H 其他考慮：a.比較設計。b.施工條件。c.壩體內應力與變形之檢討。d.對地震之檢討。e.現場試驗。f.新施工法之檢討。

(2)土壩細部設計必須符合下列準則：

- A. 壩頂寬 $w$ ：依正常蓄水位時所需之最小滲透徑長及壩體材料、壩高 $z$ 及壩之重要性、壩頂供交通使用之程度及施工條件等決定壩頂寬度 $w$ ，可依下式計算，如考慮施工條件，最小寬度為 3.5m。壩高 50m 以上者，以採用 9~12m 者為多。  

$$w = \frac{z}{5} + 3.0 \quad (\text{m}) \dots\dots\dots(10-20)$$
- B. 壩頂排水：壩頂應向兩側作 2~3% 傾斜，或向上游面單向傾斜，後者較宜。
- C. 預備沉落加高：可能沉落量可依不同經驗及理論公式計算，惟一般可估計壩高之 1% 為完工後之沉落量。
- D. 不透水層頂高：應高出最高蓄水位數 10cm，以免滲透水因毛管作用上昇越過不透水層，但須低於壩頂 30cm 以免受氣溫變化影響。
- E. 戩道：壩高大於 25m 以上時，因坡面長度過長，宜設戩道以策拋石等坡面保護層之安定。
- F. 坡面保護：a.拋石護坡之損壞率為 5%，其原因為石徑不合適；b.砌石護坡之損壞率為 30%，係因常用之單層施工法；c.混凝土鋪面失敗率 36%，係因混凝土本身之缺陷。故以設計拋石護坡為宜。下游坡面常以草皮保護，但應有灌溉設備。

11.堆石壩設計準則

- (1)填方設計：中央心壁型或傾斜心壁型採用 2:1~4:1；而上游隔膜型上游坡面採用 1.3~1.7:1，下游坡面則採用約等於該石料之安息角坡度。具有良

好基礎之小型堆石壩，如係使用混凝土或鋼板作為上游面膜，其坡度可採用 1.3~1.4:1，瀝青膜時採用 1.7:1 坡度。下游面坡度則均採用 1.3~1.4:1。

(2)填方施工：上游面膜型堆石壩 C 層堆石，宜以 1.5~1.8m 高度拋下，B 層岩石則以 0.9m 高度拋下後再以振動滾壓機輾壓。A 層土料輾壓後厚度不可大於 30cm。通常使用之振動滾壓機為 3~10 噸型。過濾層每次堆放高度不可超過 30cm，並經振動輾壓之。過濾層寬度則須考慮施工之方便。

### (3)隔膜層設計

A.鋼筋混凝土：通常最小厚度為 20cm，惟如有基礎沉陷或地震之可能時，宜適當加厚。鋼筋量通常為混凝土面積之 0.5%。如係單層鋼筋排列，應排列於版中央。低壩、沉陷小時，鋼筋混凝土隔膜無需設縱橫伸縮縫，但壩長時，宜設縱向伸縮縫。基岩堅硬時，可設錨合釘截水底板(doweled cutoff)，如係風化岩、節理發達或有疑問之岩盤時，應設截水牆。

B.瀝青混凝土：瀝青混凝土坡面坡度為 1.7:1 或更緩坡。瀝青混凝土厚度約為 23cm 至 30cm，分三層每層以 3m 至 3.6m 寬度條狀施工。各條相接處之水密性須特別注意，橫向接縫亦儘可能減少。上游面瀝青膜必須耐久、柔軟但不變形、不透水、耐風化。距壩址在經濟距離範圍內之可利用材料如泥質砂至級配礫，均應儘量利用，唯獨粘土不可與瀝青混合。

C.鋼板：鋼板隔膜邊坡約為 1.3:1 至 1.7:1，鋼板厚度約為 1/4 英吋至 3/8 英吋，依壩體之可能位移量而異。鋼板須錨釘於壩體，鋼板接縫須銲接。鋼板應伸入截水牆，且須能適應基礎沈陷或鄰接鋼板移動時所產生之張力。垂直向伸縮縫應自壩頂延伸至基礎截水牆。

## 10.4、工程設計及實例與相關圖片

### 10.4.1、工程設計例 1

圖 10-5 假設壩底應力為線性變化，求：1.合力作用位置 X；2.底部最大及最小應力(液體上頂力不計)。

《解法》垂直力：①  $\frac{9.6 \times 18}{2} \times 2.5\gamma = 216 \gamma$

②  $3.6 \times 24 \times 2.5\gamma = 216 \gamma$

③  $\frac{3 \times 18}{2} \times 2.5\gamma = 67.5 \gamma$

④  $3 \times 6 \times \gamma = 18 \gamma$

⑤  $\frac{3 \times 18}{2} \times \gamma = 27 \gamma$ ，垂直力 PV 共計 454.5 $\gamma$ 。

水平力  $P_H = \gamma \times \frac{24}{2} \times (24 \times 1) = 288 \gamma$

$$\sum F_x = 0 \quad , \quad \sum F_y = 0 \quad \therefore R_x = 288 \gamma \quad , \quad R_y = 454.5 \gamma$$

(1) 對 O 點  $\sum M_0 = 0$

$$R_y \cdot X = 288 \gamma \cdot \frac{24}{3} + 18\gamma \times 1.5 + 27\gamma \times \frac{3}{3} + 67.5\gamma \times \frac{6}{3} \\ + 216\gamma \times 4.8 + 216\gamma \times 9.8$$

$$X = 12.42 \text{ m}$$

$$(2) \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \times 16.2 = 454.5 \gamma \quad \dots\dots\dots ①$$

$$\frac{\sigma_{\min} \times 16.2 \times 8.1 + (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \times \frac{16.2}{2} \times (\frac{2}{3} \times 16.2)}{\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \times 16.2} = 12.42 \quad \dots\dots\dots ②$$

由①、②解得  $\sigma_{\max} = 346 \text{ kg/m}^2$   
 $\sigma_{\min} = 563 \text{ kg/m}^2$

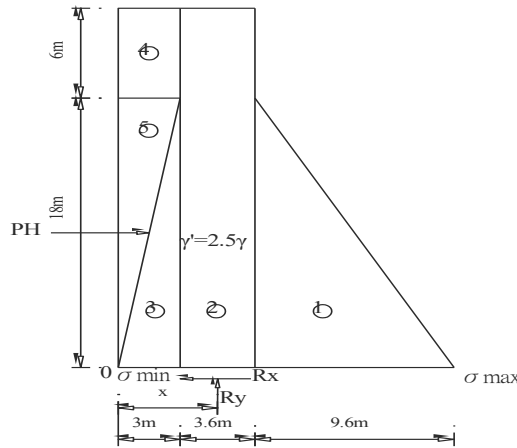


圖 10-5 設計例 1 壩體

### 10.4.2、工程設計例 2

圖 10-6(a)所示為一重力壩近中心的標準斷面，試分析 B1 塊之穩定性？假定出水高為零。

《解法》作用於 B1 塊之力如圖 10-6(b)表示在空水庫的情況，靜水壓力為 0，若不計地震力和壓力，唯一的作用力為重量 W 作用於重心。取混凝土比重為 2300kg/m<sup>3</sup>，B1 之每單位長重為，

$$W = 230 \left( \frac{6 \times 0.3}{2} + 6 \times 3 + \frac{6 \times 1.8}{2} \right) = 55,890 \text{ kg}$$

此力作用於

$$x = \frac{(0.9 \times 4.95) + (18 \times 3.3) + (5.4 \times 1.2)}{0.9 + 18 + 5.4} = 2.89 \text{ m}$$

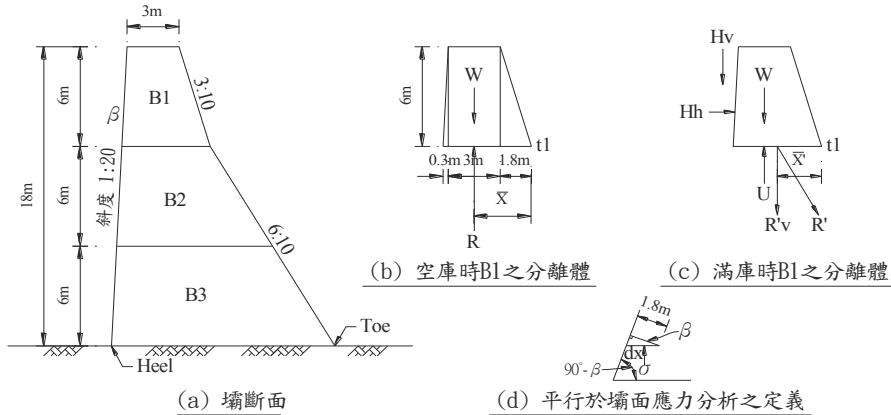


圖 10-6 設計例 2 壩體

自 t1 算起，此方塊體下對 B1 所生之反力 R 與 W 大小相等，方向相反。因為 W 之作用線垂直，且切在底部中間，故 B1 處於靜止穩定狀態，假定應力成直線的分配，混凝土產生的直接正向應力是由中心載重和因偏心矩所生的力，二者的合力，此處偏心矩為，

$$e = 2.89 - 2.55 = 0.34 \text{ m}$$

最外側混凝土所受正應力為，

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{MC}{I} = \left[ \frac{55,890}{5.12 \times 1} \pm \frac{55,890 \times 0.34 \times 2.55}{(1 \times 5.1^3) / 12} \right] \frac{1}{10000}$$

解之，得  $\sigma$  在壩跟(heel)為  $1.53 \text{ kg/cm}^2$ ，在壩趾為  $0.66 \text{ kg/cm}^2$ 。此應力平行於壩面，可寫出垂直各力的平衡方程式而求出，使用圖 10-6(d)之符號。故，

$$\sigma \, dx = (\sigma' \cos \beta)(dx \cos \beta), \text{ 移項, 得 } \sigma' = \frac{\sigma}{\cos^2 \beta}$$

$$\text{壩跟處 } \sigma' = \frac{1.53}{(0.9988)^2} = 1.53 \text{ kg/cm}^2, \text{ 壩趾處 } \sigma' = \frac{0.66}{(0.958)^2} = 0.72 \text{ kg/cm}^2$$

對於蓄水庫空著的情況，B1 塊體之假定設計斷面乃是適當的，但須注意到應力直線分佈乃是假設混凝土為完全彈性體。雖然實際情況混凝土並非完全彈性體，但也相差不多，也只有如此才能作一簡便之分析。

滿水時之情況如圖 10-6(c)，B1 單位寬之靜水壓力的分力為

$$H_h = 1/2(1000)(6)^2 = 18,000 \text{ kg} \text{ 及 } H_v = 1000(6 \times 0.3/2) = 900 \text{ kg}$$

由於水會由混凝土接頭處(joints)滲出，有靜水壓力作用。習慣上通常假定作用於壩體任何水平面上之上頂力為：

$$U = \frac{(1000 \times 6) + 0}{2} (5.1 \times 1) = 15,300 \text{ kg}$$

作用力  $H_h$ 、 $H_v$  和  $U$  之作用線分別在其三角形 1/3 高處，對  $t_1$  取力矩即可發現，B1 壩體有傾覆的趨勢。

傾覆力矩總和為  $18,000 \times 6/3 + 15,300 \times 5.1 \times (2/3) = 88,020 \text{ m} - \text{kg}$

$W$  和  $H_v$  產生向右力矩為  $55,890 \times 2.89 + 900 \times 5.0 = 166,022 \text{ m} - \text{kg}$

傾覆力矩安全係數，等於向右力矩與傾覆力矩之比值。

$$\text{安全係數(傾覆)} = \frac{166,022}{88,020} = 1.89$$

$H_h$  力係使方塊 B1 對方塊 B2 有產生滑動的趨勢，如假定 B1、B2 間無連接物，則沿 B1、B2 平面的平均剪應力為：

$$\tau = \frac{18,000}{5.1 \times 10000} = 0.35 \text{ kg/cm}^2$$

因此力低於混凝土之工作剪應力 ( $\tau = 17.50 \text{ kg/cm}^2$ )，故甚佳。而其間所生之接觸面，摩擦力為  $F_f = \mu(W + H_v - U)$ 。取摩擦係數  $\mu = 0.65$ ， $F_f = 26,900 \text{ lb}$ 。因之抵抗滑動之

$$\text{安全係數(滑動)} = \frac{F_f}{H_h} = \frac{26,900}{18,000} = 1.49$$

現計算方塊底部之壓應力如下， $W$ 、 $H_h$ 、 $H_v$ 、 $U$  諸力合成後之合力  $R'$  的垂直分力為

$$R'_v = 55,890 + 900 - 15,300 = 41,490 \text{ kg}$$

此力作用於底部自  $t_1$  算起  $\bar{x}'$  處

$$\bar{x}' = \frac{166,022 - 88,020}{41,490} = 1.88 \text{ m 距 } t_1$$

偏心矩  $e' = 2.55 - 1.88 = 0.67 \text{ m}$

作用於壩跟(heel)之正應力為  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ ，作用於壩趾正應力為  $1.49 \text{ kg/cm}^2$ 。

#### 10.4.3、桃園及石門農田水利會灌溉水源之石門水庫

石門水庫位於大漢溪中游，因大漢溪上游陡峻，無法涵蓄水源，延及下游地區常遭水旱之苦；政府為解決民困、發展農業、興修水利，自民國 45 年 7 月開工，於民國 53 年 6 月完工，建設經費約新台幣 32 億元，為一多目標水利工程，具有灌溉、發電、給水、防洪、觀光等效益。

石門水庫係國內第二高土石壩，大壩高 133.1m，如圖 10-7 所示，壩頂標高 252.1m，設計滿水位 245m，壩頂長度 360m，寬度 11.9m，體積 706 萬  $\text{m}^3$ 。有效蓄水量約 2.01 億  $\text{m}^3$  (106 年測)，土石材料開採於附近關西台地及大漢溪河床，築壩不用任何鋼筋混凝土，堪稱是最佳綠色環保材料。



主要工程分為大壩、溢洪道、電廠、後池及後池堰、石門大圳及桃園大圳進水口等結構物，其後陸續興建排洪隧道、增設分層取水工、排砂隧道、中庄攔河堰等附屬設施，自完工營運以來，對北部農工業區域發展、防止水旱災害以及環境教育等方面均有重大貢獻。



圖 10-7 石門水庫大壩近況



圖 10-8 烏山頭水庫大壩近況

#### 10.4.4、嘉南農田水利會灌溉水源之烏山頭水庫

烏山頭水庫於民國 9 年 9 月開工，民國 19 年 5 月完工，總工程費 541,130,000 日圓。為離槽式水庫，主要水源於東口設取水口及隧道取曾文溪河水(曾文水庫完成後即取其放水量)。集水面積：58km<sup>2</sup>。有效蓄水量：83,758,651m<sup>3</sup>。水庫滿水面積：13km<sup>2</sup>(標高 58.18m)。壩型：半水力式壩，土壩構造。壩頂長 1,273m，高度 56m，頂寬：9m，壩底寬：303m，如圖 10-8 所示。溢洪道：自然溢流陡槽式，最大溢洪量 1,500cms。對大台南地區民生、工業、農業供水貢獻很大。

### 10.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 石門水庫管理中心，2019，石門水庫，<https://www.wranb.gov.tw/3517/22717/22721/>。
4. 陳文祥，1996，閘壩工程(第二版)，科技圖書。
5. 嘉南農田水利會，2020，烏山頭水庫，<https://www.chianan.gov.tw/>。
6. ASAE, 1986, Irrigation Engineering, American Society of Agricultural Engineers.
7. J. G. Dahigaonkar, 2006, Textbook of Irrigation Engineering, Asian Books Private Limited.

# 第十一章、管路工程

## 11.1、概述

本章所述管路系統係指壓力輸配水之水管(自由流管路已於第三章暗渠論述)，含水管及其相關附屬配件及構造物。灌溉輸配水系統，傳統係採用明渠，具下列條件即會考量使用管路：

- 1.灌溉農地地形起伏或水源位於低地。
- 2.明渠用地難以取得，地價貴，或地上物補償費高。
- 3.灌溉水質，以明渠輸配方式，易受外界汙染。
- 4.輸配水損失小或需要精準配水管理。

灌溉管路系統與自來水管路系統，在使用對象及輸送水體有明顯差異，在設計時，應特別注意下列事項：

- 1.一般之自來水管，一旦通水，往往都保持滿管狀況，而灌溉用管路則因不繼續用水使管中水流有發生斷續狀況，管中有空氣互相擠壓而產生衝擊現象，故迅速排除管中之空氣為設計應考慮之重要事項。
- 2.灌溉水源多含有細沙、垃圾或浮游物等雜質，若此項雜質附著於管路內壁，則阻礙管路之通水，且將造成流量計或控制閥故障之主因，其處理方法，須於設計時考慮設置沈砂池及除汙設備。
- 3.灌溉用水施灌之範圍很廣，自水源至田間，供水系統均由管理人員來管理。因此在設計時，必須檢討用水之彈性調度，各級管理人員之責任、管理規則及操作方法等均事先做一周全之考慮研訂。

### 11.1.1、管路材料種類及特性

灌溉管路選用材料，應依整個系統設計條件、地形、地質狀況、施工方法、預算配合管材特性及價格，綜合檢討而定。市售管材特性如表 11-1。

表 11-1 農業管路管材及其規格與特性一覽表

| 管類名稱 |            | 台灣規格                 | 管徑 mm    | 特性                                   |
|------|------------|----------------------|----------|--------------------------------------|
| 不可撓性 | 離心式鋼筋混凝土管  | CNS A 1001           | 150~3000 | 耐蝕性大，重量大，A型管無可撓性，B型管有可撓性，適合於低壓開放式管路。 |
|      | 滾筒輾壓鋼筋混凝土管 | CNS A 1001           | 150~2000 | 耐蝕性大，抗內外壓力較前二種混凝土管大，重量大，適合於外壓較大之管路。  |
|      | 預力混凝土管     | CNS 483<br>CNS 12285 | 500~2000 | 耐蝕性大，抗內外壓力較前二種混凝土管大，重量大，適合於外壓較大之管路。  |

| 管類名稱 |               | 台灣規格             | 管徑 mm                    | 特性       |  |
|------|---------------|------------------|--------------------------|----------|--|
| 可撓性  | 鑄鐵管           | 螺栓壓圈式伸縮接合球狀石墨鑄鐵管 | CNS B 5055<br>CNS B 5062 | 80~800   | 耐內外壓，適用於高壓管路系統，水密性亦極佳管材。   |
|      |               | 螺栓式接合球狀石墨鑄鐵管     | CNS B 5056               | 80~600   |  |
|      | 硬質塑膠管<br>PVC管 | 自來水用硬質塑膠管        | CNS K 3033               | 10~500   | 重量輕，耐蝕性大，因水錘作用之壓力傳播速度為鋼、鑄鐵管之 1/3~1/4，水錘亦僅有 1/3~1/4，管接頭採用 TS 法施工確實而簡單，不慮電蝕，內面光滑，各種小口徑耐壓管中，價格比較低廉，不耐外部衝擊，故必須埋設地下，不宜露出路面。 |
|      |               | 一般用硬質塑膠管         | CNS K 3034               | 10~600   |  |
|      |               | 自來水用接頭           | CNS-2334                 | 10~350   |  |
|      | PE管           | HDPE 高密度聚乙烯管     | CNS-2456-2               | 10~300   | 重量較塑膠管輕，落下衝擊強度大，耐蝕性及保溫性優，不慮電蝕，適於中低壓管路。   |
|      | FRP管          | 玻璃纖維管及其接頭        | CNSK 3080                | 200~2000 | 質輕，耐腐蝕性，耐熱耐候性佳，電器絕緣佳，摩擦小。外壓大的狀況必須加強接頭處理厚度。   |
| 鋼管   |               | CNS-6445         | 15~500                   |          |  |

### 11.1.2、管路系統型式

#### 一、依管路機構之別

可分為開放式及封閉式兩類，而封閉式又可分完全封閉與半封閉兩種(如圖 11-1 至圖 11-3)，3 種型式之主要特點說明如下：

- 1.開放式管路:開放式管路型式，即沿管線在適當地點設置調壓豎槽，諸類調壓槽閘，當下游滿管而不取水時，水流可由此槽溢出，而保持下游管體之固定壓力，調壓豎槽同時具備支分線分水之功能。
- 2.封閉式管路:封閉式管路是自上游至末端均為封閉式管線，在給水栓可取得計畫水量。一般管路系統多用此種，尤其在管路出水需維持相當壓力時適用之(如噴灌系統)。

3.半封閉式管路:在管路系統中設有調節池,但該調節池屬非溢流型,只利用水位開啟閘閥控制調節上游段水管水流;當下游段用水時,調節池水位下降,開啟閘閥形成上下游通路,由於開放式調節池,故可為池下游段固定之壓力水頭,當下游段不用水時則調節池水位升高,而閘閥即關閉。由於該半封閉式管路,無溢流損失,往後使用之適應性愈大。

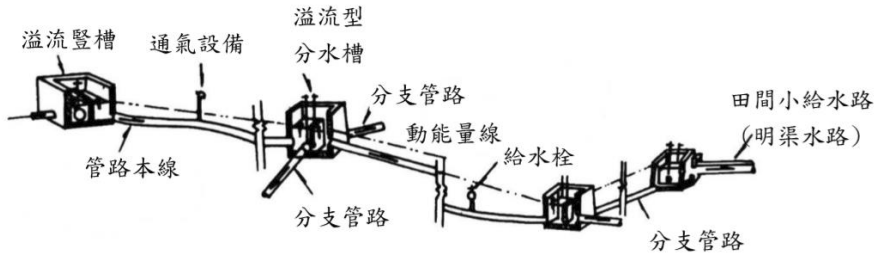


圖 11-1 開放式管路示意圖

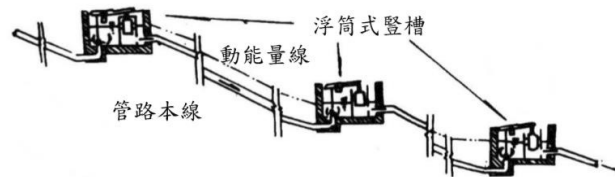


圖 11-2 半封閉式管路示意圖

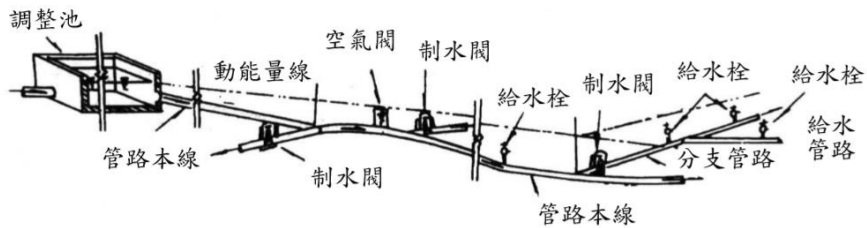


圖 11-3 封閉式管路示意圖

## 二、依配管形狀區分

- (1)樹枝狀配管：主管、支管、分管線路如樹枝狀順序排列，水流自上游向下游沿固定方向移動。
- (2)網狀配管：網狀配管像網狀佈置，各支分管均互相貫通，當管閘打開時，水流可向正反方向流動，因此該型配管僅適用於封閉式。網狀配管可由其網狀管路互補各點之壓力水頭，適於地形不平之場地。

### 11.1.3、管路輸配水方式

輸配方式而分：可分為自然壓差、配水池分水及泵直接加壓：

- 1.自然壓差：利用坡降自然落差輸送水量。
- 2.配水池(槽)方式：為分配水量，選一地點保持固定水頭，設置水池(槽)。但為調整壓力，常設壓力水槽，或有利用自然之落差，或泵加壓。
- 3.泵壓送：在規模較小地區或小系統，為達到固定出水水頭，常用泵直接壓送。

總之，選用管路型式，要特別注意下列事項：

- 1.管路型態：開放式及半封閉式管路，均適合於樹枝狀配管，而不合於網狀配管。
- 2.地形狀況：如係寬廣地帶，則網狀配管較為合宜，如屬細長地形，使用樹枝狀較為經濟。在平坦地區，沿著同方向緩坡傾斜之地形，採用網狀配管有其優點效果，但在地形急坡起伏地區，因無法自由連接管路，可使用部分樹枝狀與網狀連接。
- 3.地區範圍：在寬廣地區，通常主幹線及重要支線用網狀，田間配水系統用樹枝狀；無論使用何者配管，對整體計畫影響甚鉅，須從經濟及實用性上做充分比較分析。

#### 11.1.4、管路之構成(含附屬構造物)及其配置

##### 一、管路構成

系統含有下列重要設施，必須適當地組合配置，始能充分發揮其功能。

- 1.取水設備：在河川、貯水池、農塘或明渠等之取水工。
- 2.送水管路：含輸送管及各種型式之接頭。
- 3.抽水設備：在水源低處或要保持田間管路固定壓力(如噴灌系統)時，須抽水加壓。
- 4.配水槽：在比較複雜系統，如泵直接送水或水田及早田同時考慮之灌溉系統等，均須設置配水槽。
- 5.配水設備：在分支管及田間給水均須設置分水工。

(1) 分水工：常分為

- A. 閘門式豎水槽。
- B. 溢流式豎水槽。
- C. 封閉式分水工：封閉式管路使用
- D. 浮球開關配合豎水槽型之分水工及封閉式分水工，多在半封閉式管路或封閉式管路使用之。

(2) 給水栓：給水栓之位置及型式之選擇，端視使用目的及水壓之要

求條件而定，一般水田管路使用較低壓者，而旱作中高壓管路則使用高壓給水栓。

6.調壓設備(水壓調整設備)：主要控制支分管線水壓及給水栓後之出口水壓，其功能為降低當水量調節時管路中過剩壓力，型式有水位調節型及減壓型兩大類：

(1) 水位調節型

A. 豎槽分水工型調壓設備。

B. 閘閥豎水槽型。

C. 溢流式豎水槽。

其中，B 及 C 適用於開放式管路。

(2) 減壓型

A. 豎水槽調壓設備，適用於開放式管路。

B. 閘型調壓設備，自動減壓閘適用於封閉式管路。

C. 浮球閘調壓設備，適用於半封閉式管路。

7.排氣設備：為排除管內留存空氣或通水突然停止時吸入之空氣，該設備有通氣豎管及空氣閘兩種。

(1) 通氣豎管：適用於靜水頭不超過 5 公尺之開方式及半封閉式管路。

(2) 空氣閘：均適用於靜水頭超過 5 公尺之開方式及封閉式管路。

8.安全設備：為確保管線安全，通常須加設安全設備，減少壓力異常變化。一般有下列數種，其中，(2)及(3)均適用於封閉式及半封閉式。

(1) 減壓豎槽：適用於開放式管路系統。

(2) 逆止閘：設置於泵之出口。

(3) 安全閘：與減壓閘同時或合併設施，當管路中之閘門急速開關時可減少壓力之急速增減變化。

9.管理設備：為著系統之分配水及維護管理，需有制水閘、溢水口、排泥設備、人孔、沈砂池、量水計、集水監視等裝置及管理用道路。

10.調整設備：為求順利調配水量，高效率之利用及當管路修補時之確保用水，在管路中間往往設有貯水池，如旱作灌溉系統之農塘。

11.除汙設備：設攔汙柵、除塵、過濾等設備，以確保水質之清潔，不致妨礙管路之水流輸送及堵塞閘類或流量表。

## 11.2、管路水理設計

### 11.2.1、設計水位

決定管徑所用之設計水位，係以計畫最大流量時之水位作為基準，於始點係使用管理上可發生之最低水位，又於終點或分水點之供給則係使用管理上可發生之最高水位。設計水位，自然壓方式如圖 11-4、泵輸送方式如圖 11-5 所示。

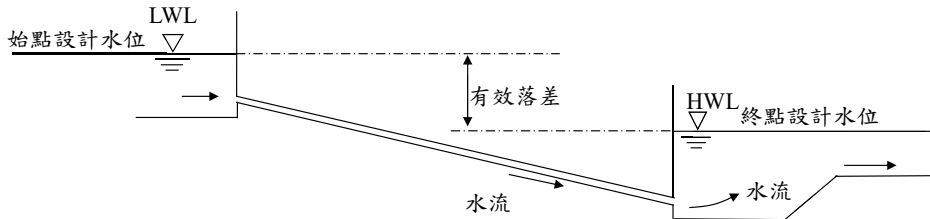


圖 11-4 自然壓方式

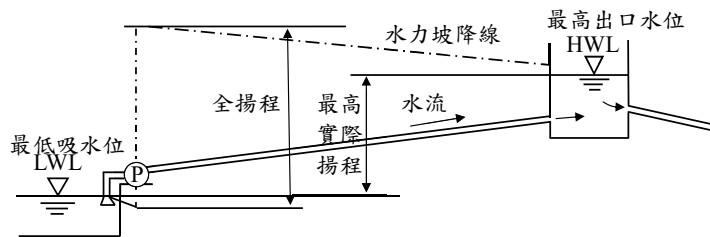


圖 11-5 抽水機輸送方式

### 11.2.2、設計流速

#### (1)設計流速之標準值

表 11-2 設計流速之範圍

| 管徑(mm)      | 設計流速(m/sec) |
|-------------|-------------|
| 75~150      | 0.7~1.0     |
| 200~400     | 0.9~1.6     |
| 450~800     | 1.2~1.8     |
| 900~1,500   | 1.3~2.0     |
| 1,600~3,000 | 1.4~2.5     |

管路系統設計上應採用管內流速範圍如表 11-2 所示。但有關泵之吸水管及排水量，以及無流量調節之排泥管、放水管與排水管等，必須另項檢討之。再者，所示流速範圍，無論自然壓管路或泵輸水管路均適用。

表 11-2 所稱設計流速係從農業用管路安全性，附屬機器之管理情形等，依經驗決定者。管徑係在此流速範圍，依經濟選定者。管徑 2,000mm 以上大口徑，雖亦適用表 11-2，但必須對管之安全性等管理上必要事項檢討後使用。

### (2)容許最大流速

管內容許最大流速，依管內面材質而異，可取如表 11-3 所示之值。容許最大流速，係為適用於通水頻率少之設施(排泥管、排水管等)，至於經常通水之管路，由於管內部之磨損或閘之操作而造成發生異常壓力，應避免使用。又排泥、排水工等末端設置有閘類之情況，必須充分檢討耐壓強度與孔蝕(Cavitation)，然後決定流速。

表 11-3 容許最大流速

| 管內面狀態               | 容許最大流速(m/sec) |
|---------------------|---------------|
| 砂漿或混凝土              | 4.57-6.10     |
| 鋼                   | 5.0           |
| 鑄鐵或延性鑄鐵             | 5.0           |
| 硬質聚氯乙烯(PVC)或聚乙烯(PE) | 5.0           |
| 強化塑膠複合管(FRP)        | 5.0           |

### (3)最小流速

管內平均流速之最小限度，係為避免流水中之浮游土砂沉澱於管內，於平時流量時應使能達 0.3m/sec 以上。

#### 11.2.3、水力計算所用管徑及最大平均流速

用於水力計算之管徑，只要在本章所使用管種與管徑範圍內，亦可採用。

#### 11.2.4、動水壓(動水位)

動水壓之檢討，最好應就以下事項進行之。

- 1.水力坡降之決定，應由管路之始點水位開始，使在設計流速之範圍內，能充分滿足末端所必要之壓力。
- 2.依上述求得之末端壓力，若超過末端所必要之壓力時，亦有設置如圖 11-6 所示之適當減壓設施，進行壓力之調節。
- 3.水力坡降線不可在管頂以下，因管內水壓將比大氣壓小，造成水中空氣分離而妨礙輸水，此時應檢討是否應變更路線位置或設置調壓用連接水槽等，自管頂至水力坡降線止之餘裕水頭，最好能確保 0.5m 程度以上(參照圖 11-7)。



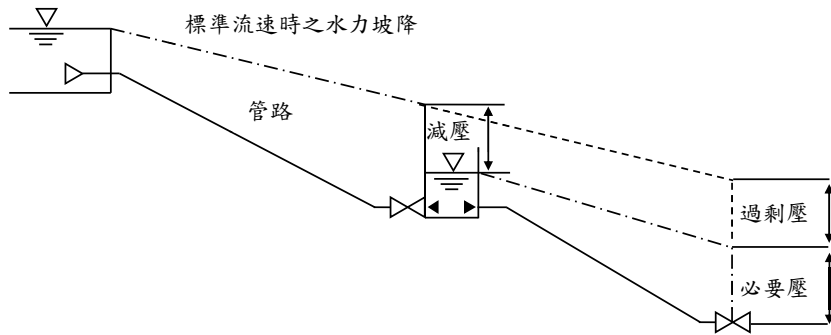


圖 11-6 水力坡降與減壓設施

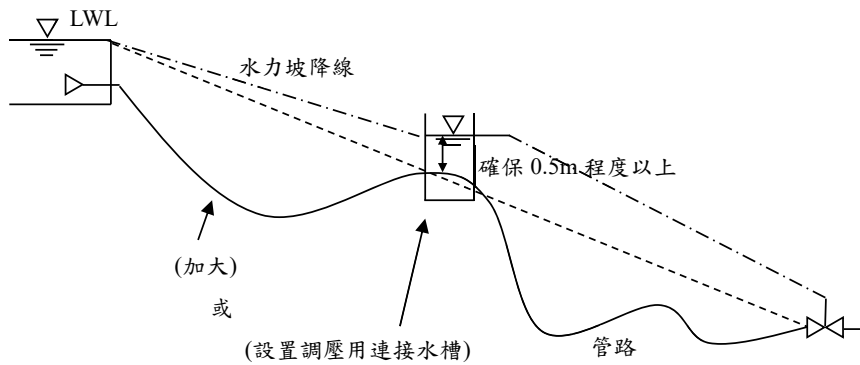


圖 11-7 水力坡降線與管路管頂之關係

### 11.2.5、末端餘裕水頭

有關管路直徑水力計算，對水力計算精度、施工狀況及水管理狀況等，應使用餘裕，管路末端排出水位(或分水位)，應在灌溉必要末端水位(或分水位)之上，加算至該區間總損失水頭 10%或 2m(兩者取較大值)(參照圖 11-8)。

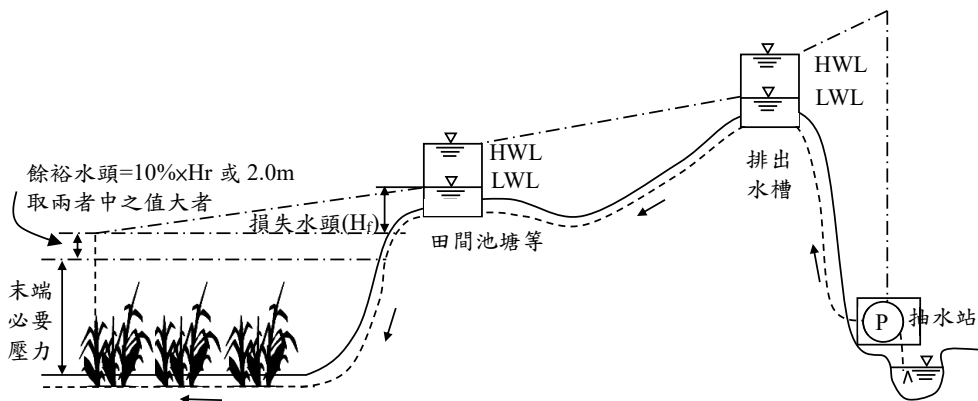


圖 11-8 末端餘裕水頭

### 11.2.6、損失水頭之計算

水力計算之目的，係為將可能利用之能量作有效利用，求得能輸送計畫最大用水量所需之最小斷面，而管路中流量，係依據計算設計上之摩擦損失水頭及各種損失水頭求得，水力計算之概念如圖 11-9 所示，在總能量不變原則下，有如下方程式成立。

$$h_A + Z_A = H_{ab} + h_B + Z_B$$

式中， $V_A$ ：流入接近流速； $V_B$ ：放流流速； $Q$ ：流量； $D$ ：管徑； $V$ ：管內平均流速； $f_e \cdot \frac{V^2}{2g}$ ：流入損失水頭； $f_b \cdot \frac{V^2}{2g}$ ：彎管損失水頭； $f_v \cdot \frac{V^2}{2g}$ ：閘損失水頭； $f_0 \cdot \frac{V^2}{2g}$ ：流出損失水頭； $f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$ ：摩擦損失水頭； $L_{1\sim 3}$ ：管路長； $H_{ab}$ ：AB 間各種損失總和； $Z_A$ 、 $Z_B$ 、 $Z_C$ ：基準線置計算點的高度。

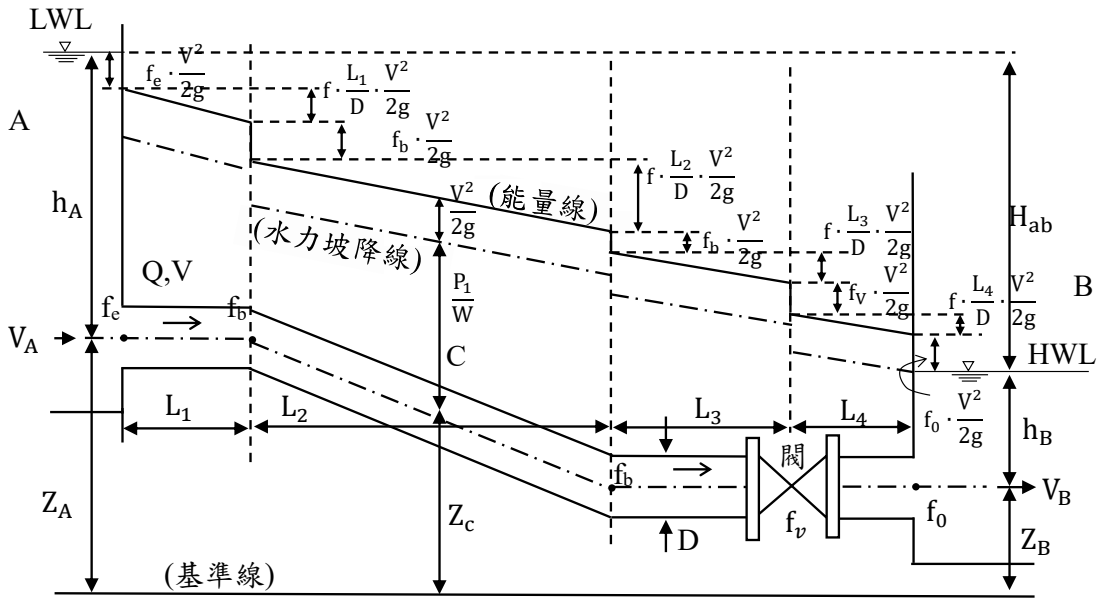


圖 11-9 水力計算之概念

#### 一、摩擦損失水頭

假設管徑為  $D$ ，平均流速為  $V$ ，管路長度  $L$  區間之摩擦損失水頭為  $h_f$ ，則  $h_f$  可依式(11-1)求得之。

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (11-1)$$

式中， $g$ ：重力加速度  $9.80(m/sec^2)$ ； $f$ ：摩擦損失係數。

管路摩擦損失水頭，係使用哈臣-威廉(Hazen-Williams)公式計算。但，抽水站內泵配管摩擦損失水頭，則應依抽水站設計之規定。哈臣-威廉公式之基本型式，如式(11-2)所示。

$$V = 0.84935CR^{0.63}I^{0.54} \dots\dots\dots(11-2)$$

由式(11-2)，可導出適用於圓形管之公式，如式(11-3)。

$$V = 0.35464CD^{0.63}I^{0.54} \dots\dots\dots(11-3a)$$

$$Q = 0.27853CD^{2.63}I^{0.54} \dots\dots\dots(11-3b)$$

$$D = 1.6258C^{-0.38}Q^{0.38}I^{-0.205} \dots\dots\dots(11-3c)$$

$$I = h_f / L = 10.666C^{-1.85}D^{-4.87}Q^{1.85} \dots\dots\dots(11-3d)$$

式中，V：平均流速(m/sec)；C：流速係數(採用表 11-4 之標準值)；R：水力半徑(m)；I：水力坡降；D：管徑(m)；h<sub>f</sub>：摩擦損失水頭(m)；Q：流量(m<sup>3</sup>/sec)；L：管路長(m)。

由式(11-1)可得式(11-4)

$$f = h_f / \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(11-4)$$

由式(11-4)與式(11-3d)，可得哈臣-威廉公式中之摩擦損失係數，如式(11-5)。

$$f = \frac{133.7}{C^{1.85}D^{0.17}V^{0.15}} \dots\dots\dots(11-5)$$

曼寧(Manning)公式與哈臣-威廉公式，都是實用之平均流速公式，根據水流領域，其適用經度有差異。一般言之，曼寧公式適用於完全亂流領域之粗糙管；而哈臣-威廉公式則是用於粗滑過渡領域之水流。然而若欲明確區分兩者之適用範圍其實有其困難。亦即依據 n 或 C 之給予，其適用領域將發生變化，且無論根據任何一公式，均無法免發生數%程度之誤差。

本標準設計，均以應用哈臣-威廉公式作為原則。雖然經過長時間而發生變化之鋼管以及一部分之管種，在理論上與其根據此公式不如用曼寧公式來得適當，但就同一管路系統，若依據管種之不同應用相異之公式，則在管路整體之水理檢討，所謂統一水理現象之設計，從實務之立場而言並無不適當。因此，除非特殊之場合，均使用哈臣-威廉公式。

再者，水管橋、倒虹吸管等構成明渠系統一部分之管路計算，其與明渠區間之關聯，原則上係使用曼寧公式。

表 11-4 流速係數 C 值

| 管種(內部之狀態)                        | 流速係數(C) |     |     |
|----------------------------------|---------|-----|-----|
|                                  | 最大值     | 最小值 | 標準值 |
| 鑄鐵管(無塗漆)                         | 150     | 80  | 100 |
| 鋼管(無塗漆)                          | 150     | 80  | 100 |
| 煤焦油塗漆管(鑄鐵)                       | 145     | 90  | 100 |
| 焦油環氧塗漆管(鋼)(註 1)                  |         |     |     |
| Ø800 以上                          | -       | -   | 130 |
| Ø700~600                         | -       | -   | 120 |
| Ø500~350                         | -       | -   | 110 |
| Ø300 以下                          | -       | -   | 100 |
| 砂漿襯砌管(鋼、鑄鐵)                      | 150     | 120 | 130 |
| 離心力鋼筋混凝土管                        | 140     | 120 | 130 |
| 滾壓鋼筋混凝土管                         | 140     | 120 | 130 |
| 預應力混凝土管                          | 140     | 120 | 130 |
| 石綿水泥管                            | 160     | 140 | 140 |
| 硬質聚氣乙烯管 PVC(註 2)                 | 160     | 140 | 150 |
| 聚乙烯管 PE(註 2)                     | 170     | 130 | 150 |
| 強化塑膠複合管(註 2)及<br>離心力強化塑膠複合管(註 2) | 160     | -   | 150 |

註 1：塗漆方法照 JWVA-115-1974，漆膜厚應為 0.5mm 以上。而又，直徑小於 800mm 之焦油環氧塗漆鋼管，現場焊接部無塗漆時，適用本表之值。但現場焊接部之內部經充分塗漆時，則可應用 C=130。

註 2：直徑 150mm 以下之管，適用 C=140。

## 二、各種損失水頭之計算

管路水理設計，除摩擦損失水頭外，須按設計條件考慮以下各損失水頭(詳參閱 11.2.6 節、圖 11-9 所示)。

1. 流入損失水頭。
2. 流出損失水頭。
3. 過濾網損失水頭。
4. 斷面變化損失水頭。
5. 彎曲及回折損失水頭。
6. 分流損失水頭。
7. 閘類損失水頭。

## 8.各種豎座(Stand)損失水頭。

各種損失水頭之計算，均有計算式，但若管路總長甚長，則以上各種損失較之摩擦損失水頭為小，因此可將之忽略，可以 10%摩擦損失水頭計算之。但如果系統管長不大則必須詳細計算各項水頭。

### 11.2.7、水錘壓之計算及其對策

在管路系統中，急速關閉閘門，或急速開啟、停止泵，則水之動量在短時間內發生變化，而致使管內發生相當大的壓力波，此瞬間性之壓力波所引起之作用稱為水錘作用，通常稱之為水錘壓。

從確保管路系統之安全而言，水錘壓不能忽視，故必須計入管承受內壓之範圍內。水錘壓之計算與閘門(或泵)開關速度、管材特性及管路長度相關，計算手續繁複，在正常操作壓力小於  $7.5\text{kg/cm}^2$  條件下，可採用經驗法則(理論計算參考農業工程研究中心出版管路灌溉實務 p208~247)。

#### 一、水錘壓之計算

##### 1.經驗法則估算水錘壓

依經驗法則計算水錘壓，因水錘壓係隨閘之特性及其開閉速度，管路總長、管內流速、靜水壓及管體材質等而異，故決定有困難，但可依如下進行：

- (1)自然壓方式之水錘壓，於開放式管路時，以靜水壓 20%，或動水壓之 20%兩者中取值大者作為水錘壓。
- (2)於封閉式及半封閉式管路，閘處之靜水壓大於  $3.5\text{Kg/cm}^2$  之場合，取靜水壓之 100%作為；靜水壓  $3.5\text{Kg/cm}^2$  或靜水壓之 40%，兩者中取值大者作為水錘壓。
- (3)若設置有分歧管且閘數目多之管路系統，係以設置分水閘、分歧點或泥閘等類地點之作用水壓為基準，估算水錘壓。

##### 2.泵系統之管路水錘壓

係依據輸水方式，以不同靜水壓作為基準計算，如：

- (1)配水槽方式之水錘壓：通水時水壓(動水壓)小於  $4.5\text{Kg/cm}^2$  之場合，取其 100%作為水錘壓； $4.5\text{Kg/cm}^2$  以上之場合，則取其 60%或作為水錘壓； $4.5\text{Kg/cm}^2$  以上之場合，則取其 60%或  $4.5\text{Kg/cm}^2$  兩者中之值大者作為水錘壓。
- (2)抽水壓送壓方式之水錘壓：依據泵壓送方式之水錘壓，一般由其控制方式區分為三種。

- A. 流量~壓力無控制之場合：以泵壓入水位當作靜水位，當靜水壓小於  $4.5\text{Kg/cm}^2$  時取其 100% 作為水錘壓； $4.5\text{Kg/cm}^2$  以上時，取其 60% 或  $4.5\text{Kg/cm}^2$  兩者中之值大者作為水錘壓。
- B. 流量~壓力有控制之場合：以泵計算排出壓(水位)當作靜水位，當靜水壓小於  $4.5\text{Kg/cm}^2$  時，取其 100% 作為水錘壓； $4.5\text{Kg/cm}^2$  以上，則取其 60% 或  $4.5\text{Kg/cm}^2$  兩者中大者為水錘壓。
- C. 有壓力水槽之壓送系統之場合：以泵(壓力水槽)之 OFF 水位當作靜水位，當靜水壓力小於  $3.5\text{Kg/cm}^2$  時，取 100% 作為水錘壓； $3.5\text{Kg/cm}^2$  以上時取 40% 或  $3.5\text{Kg/cm}^2$  兩者中大者為水錘壓。

## 二、水錘壓對策

### 1. 自然壓方式

自然壓方式之水錘壓，其減輕方法大多主要係據閘之選定與延長操作時間以達到目的。以例示之如下：

- (1) 閘之操作時間，若能使之大於管內壓力波往復時間以上。則可使管內安全上會發生問題之水錘壓減少。
- (2) 使用人為操作之閘，由於按照預先擬定操作時施行閘操作有其困難，故為使異常壓力減少，亦有設置安全閘(減壓閘)者。
- (3) 設於主閘之副閘，亦為減輕水錘壓之一種有效方法，但需做檢討。

### 2. 泵系統管路

自然壓方式之管路，可依據控制閘之操作時間以減輕水錘壓，惟泵系統管路，要控制因停電或事故等原因致使泵急遞停止運轉所造成之水錘壓則有困難，故對於水錘壓之防止對策成為其主體。

泵系統管路之水錘壓防止對策，包含有負壓防止及上昇壓防止。

表 11-5 及表 11-6 所示，係泵系統水錘壓減輕方法，與將其主要目標按水錘壓對策之區分表示者，選擇時應考慮管路規模，路線位置及水錘壓發生大小等諸條件，採用最為有效者。

表 11-5 負壓之防止對策

| 目的    | 項 | 方法                                  | 目標                                      | 備考  |
|-------|---|-------------------------------------|---|---|
| 負壓之防止 | 1 | 附裝水車輪                               | 增大回轉慣性，使回轉數與管內流速緩慢變化。                   | 對小型機係有效，但對大型機或管長長者，則飛輪過大，並不適合。                                    |
|       | 2 | 設置大容量之空氣槽(連接於泵送出側)                  | 放出所蓄積之壓力能量，也防止壓力降低。                     | 空氣槽大，保養維護麻煩。  |
|       | 3 | 增大管徑                                | 減低管內流速，使管路常數 $2\rho$ 減少，以防水壓低下。         | 若不能全面積大管徑，則無效果，建設費高。  |
|       | 4 | 變更管之路徑                              | 於管路之縱斷面形狀，儘量鋪設埋深。                       | 容易受用地及費用上之限制，實施很困難。   |
|       | 5 | 設置吸氣閥                               | 由負壓發生處，使空氣自動吸入，以減輕異常負壓。壓力波傳播速度 $a$ 應變小。 | 近空氣吸入地點之下游側，若為自然流下之場合，則可行，除此以外，由於吸入空氣，反而會助長水錘壓。                   |
|       | 6 | 跨過泵，於吸水槽與送出管之間設置自動開閉閥               | 供吸槽之水自動吸上，以防止異常壓力降下。                    | 隨管路之高低狀況，有時無法達到目標。  |
|       | 7 | 設置單向調壓水箱                            | 於負壓發生處，將水壓入，以減輕壓力之異常降低。                 | 即使是高揚程泵系統，亦以低水箱即可，亦可沿管路設置複數之水箱。                                   |
|       | 8 | 設置一般之調壓水箱                           | 於負壓發生處將水壓入，減輕負壓之同時，吸收壓力上昇。              | 輸水管內壓力高者，調壓水箱箱高亦需高，使建設費增大，但效果相當理想，於調壓水箱以下不發生水錘壓，可僅考慮泵與調壓水箱之間的水錘壓。 |
|       | 9 | 柴油機驅動之場合，一旦發生故障，馬上一面自動地控制速度，一面逐漸停止。 | 為防止燃料遮斷後，柴油機急速停止而發生負壓之積極控制。             | 柴油機之保護及自動裝置，必須妥善策劃。   |

表 11-6 上昇壓之防止對策

| 目的     | 項 | 方法  | 目標  | 備考   |
|--------|---|---|---|--|
| 上昇壓之防止 | 1 | 逆止閥或繞流閥之自動緩閉使用水或油緩衝(dash pot)或液壓操作，使用繞流閥。 | 依逆止閥之急閉鎖延遲以防止壓力上昇。                                | 小型泵以上逆止閥直接緩閉，中型以上者，則於逆止閥設置大繞流管，而以途中之繞流閥自動緩閉。 |
|        | 2 | 使用安全閥。                                    | 當壓力上昇超過設定壓，則安全閥啟開，以防止異常壓力上昇。                      | 管路短而壓力週期短者，安全閥之動作有延遲，但並不太有效。                 |
|        | 3 | 使用急閉鎖式逆止閥                                 | 依閉鎖延遲以避免附加壓力上昇。                                   | 一般均附有彈簧者較多，因閥之阻力大，故必須注意全揚程之計算。適用於小型泵。        |
|        | 4 | 主送出閥之自動閉鎖省略。將閘閥、蝶閥、旋轉閥等用油壓、水壓、自動緩閉。       | 省略逆止閥以防止壓力上昇。                                     | 適用於高揚大容量泵。                                   |
|        | 5 | 除去逆止閥、底閥，使送出管路之全部逆流。                      | 用最簡單方法，以防止壓力上昇。                                   | 管路雖長，但吸水槽容量若無餘裕，可能會溢流。                       |
|        | 6 | 使用自動放流閥。                                  | 與泵動力遮斷之同時，急開放流閥，並由送出側放流於外部。自逆止閥關閉，即開始自動緩閉，防止壓力上昇。 | 適用於高揚程泵，但限定於不發生負壓之系統。                        |

### 11.3、設計注意事項

#### 11.3.1、設計要點

管路系統設計時之考量有直接影響系統之使用壽命及維護管理之人力、物力。故必須周詳考量，以下羅列特別要注意事項：

1. 正確地形資料，據以計算管路水理。
2. 最大通水量及最小通水量，據以計算管徑及必要加壓能量(水塔高度或加壓泵之揚程)。
3. 慎選管材含其零件，要有標示耐內、外壓之流速係數或摩擦係數。另一種要考量為其連接型式(機械式接頭、承插加膠水或熱熔等)，連接方式除在新做時要據以估算接頭施工費外，亦須考量日後維修或擴充時如何連接。



- 4.排氣閥之設置，系統縱斷面在突起點，必須設置排氣閥，很平順地區亦在 200~300 公尺距離設置排氣閥一處。
- 5.排泥閥，系統經低凹處及管線末端要設排泥閥，該排泥閥在系統剛施工完成時，試通水時必須開啟，以排除施工時留在管內之雜物如鋸管削、膠水劑或落入泥砂等。
- 6.固定座，特別是高壓管路，無論是水準或高低轉彎，均需設置固定座，以防回填土鬆軟(特別剛剛回填就通水)管線震動接頭脫落。
- 7.經過基地有否強酸鹼或高鹽分土壤，要注意金屬零件之防腐蝕。
- 8.中間控制閥之設置，系統施工必須分段施工、試水，因此必須在適當地方設置中間控制閥。
- 9.管徑及加壓能量之選擇，系統輸水容量固定，管徑及加壓能量(加壓泵之揚程或水塔之高度)成反比，而年計成本與利率及使用能源有密切關係，最後決定，以最佳效益為依據。
- 10.管路系統如屬公共設施，設計時即要考慮如何管理、如何計量，收費系統，則必須考量收費依據，並在系統中明確的使用農戶及設施管理者之管理責任分界點。
- 11.設計時，要詳細規範回填材料，不得有尖銳材料。
- 12.設計時，必須註明該系統正常操作壓力，及系統完成後試水試壓之壓力範圍，一般採用試壓=2 倍正常操作壓力。

### 11.3.2、設計準則

到目前台灣相關農田灌溉排水事業管理機關尚未訂定基準，本章僅參考以往設計經驗及農業工程研究中心刊行管路灌溉規劃設計及施工準則(草案)提供下列方向：

#### 一、設計及施工之基本考慮事項

管路設計及施工之考慮事項，必須包括水管及輸水有關之附屬配件構造物之整體組合，各種不同型態的管路，均要滿足：1.整體計畫目標；2.操作簡便；3.確保安全；4.施工難易度；5.符合經濟條件。

#### 二、管種選擇

管種之選擇，依系統管路承受內壓，埋設條件所需外壓，及水密性要求，基本上以選用市售規格品為主。

#### 三、設計前調查

設計前之基本調查，必須含土讓、作物、氣象水文、水質及農經調查。以上調查資料作為灌溉計畫之依據及效益分析之基本資料。

#### 四、水理設計

水理設計時，為達到系統功能需求，一定要滿足下列條件：

1. 用水計畫所需要之流量及水頭，無論系統在常態(經常狀況)或特殊狀況(尖峰用水、最小流量或停止流水)均須滿足。
2. 管路系統內各段管路之耐內壓，必須滿足正常水流狀況壓力之 2 倍，各種正負水錘壓必須考慮以防止水錘壓對策方式減少之。

#### 五、管路結構設計

輸水管路結構設計，為確認保管路之安全，須慎重選擇現場之適合基礎施工方法並考慮管體內外所受之荷重壓力，縱橫斷面應力強度、位移、變形及水密性等有關事項。

#### 六、附屬構造物設計

為確保管路之功能及安全性，必須充分考慮下列輸水管路與各種附屬構造物之關係：1. 取水設施；2. 抽水設施；3. 配水槽；4. 分水設施；5. 調壓設施；6. 通氣設施；7. 安全設施；8. 管理設施；9. 調整設施。

### 11.4、工程實例與相關圖片

#### 11.4.1、台東農田水利會鹿野茶區公共管路灌溉系統

包括：永隆茶區 40 Ha、永康茶區 30 Ha、馬背茶區 20 Ha、高臺茶區 130 Ha、龍田茶區 30 Ha 在內統稱鹿野茶區，共計 250 Ha，每年 9 月至翌年 4 月間有一段很長乾早期，且因缺乏水源與灌溉設施可供茶園灌溉、施藥用水，致茶樹每年春、冬茶產量與製茶品質深受影響。茶農為防茶樹枯死與確保收穫量及解決病蟲害用水等問題，於是在乾早期自臨近溪谷取水，用車搬運至茶園，每噸水花費 250 元，形成茶作經營成本負擔。為此，台東縣政府及鹿野鄉公所、農會，於 72 年擬具灌溉計畫，承行政院農業發展委員會補助，縣府與茶業改良場經費配合，及受益茶農負擔，設置公共管路灌溉系統工程。又於民國 76 年與 77 年度為擴大蓄水功能，購地(0.4Ha)建農塘(7,500m<sup>3</sup>)、工程費 250 萬元，總計全部設施費 1,150 萬元。

設施內容主要包含有：攔河壩(R.C)1 座，農塘 4 座包括有：農塘 A(橡皮防水布內面工，容積 2,000m<sup>3</sup>)、農塘 B(紅泥塑膠防水布，容積 3,000m<sup>3</sup>)、茶改場專用農塘(橡皮防水布，容積 1,500m<sup>3</sup>)、農塘 C(PE 防水布，容積 7,500m<sup>3</sup>)，開放式蓄水池(200m<sup>3</sup>)1 座，封閉式球狀 R.C 儲水箱(50m<sup>3</sup>)9 座，鋼板壓力分水箱 12 座，輸水管路(P.V.C)16,413.5 公尺，量水錶 100 只。

灌溉系統設施完成後，為使有限水資源做最有效利用，及有系統之管理、維護，並輔導當地受益茶農。推選委員並組織管理委員會，負責灌溉系統之管理維護工作。凡區內茶農均可申請加入受益供水，唯需先繳納受益費，每

戶 6,000 元，水費則採計量收費，每一用戶裝設水錶一隻，基本費 50 元/月，每噸水費 2.5 元，由於收費成本低廉與未設施前茶農自行搬運車取水比較，用水成本設施後為設施前 1/100，因此，茶農均樂於支持配合。並將收取之水費供做灌溉系統工程維護管理之用，至 76 年度結算經費，除還清茶農配合款 50 萬元，農會貸款及扣除管理維護費外，尚盈餘 45 萬，如此有組織的農民自治管理委員會，不僅可發揮公共設施之效益，政府也無須長期再付予負擔管理維修配合經費，對節省人力、財力支出甚具效益。

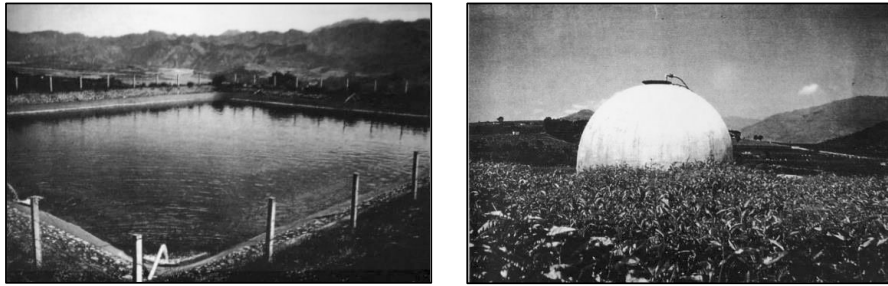


圖 11-10 鹿野茶區灌溉系統 3,000 噸蓄水池(左)、50 噸蓄水箱(右)

#### 11.4.2、南投農田水利會大坪頂灌區管路灌溉系統

大坪頂灌區因長期受缺水困擾，且隨著經濟發展，高經濟作物耕作興起，用水量提升，當地農民只能以克難方式取得昂貴水源因應灌溉，如私人集資鑿井、載運水車買水等，再加上該地區屬丘陵台地，地下水水位低，挖鑿深井成本高，效益不符需求，致使當地農民耕作相當困難。

爰此，南投農田水利會特於 99 年起，將大坪頂灌區規劃設置公共管路灌溉系統，藉能高大圳引取北港溪水，再透過隧道、座槽、明渠、暗渠及管路等方式，輸送灌溉水源至東西幹線二大灌區，大坪頂地區即利用能高大圳西幹線尾水設置五票坑進水口，施設公共管路、抽水及監控設備等配套系統，供灌約計 624 公頃之百香果、絲瓜、粟南瓜等高經濟作物，堪稱是促進水資源餘水有效利用、減少地下水抽用，以及配合農業永續經營政策擴大服務範圍，典型之輸水管道輸送灌溉用水成功案例。

大坪頂灌區管路輸水工程，設計流量 0.2cms，灌區輸水及灌溉系統配置 HDPE，口徑  $\phi$  315-140mm 不等，及延展性鑄鐵管(Ductile Iron Pipe, DIP)，口徑  $\phi$  200-150mm 不等，管路總長 26,193 m，如表 11-7 所示，附屬構造物：加壓池、分水門/箱、量水錶、安全閘、給水栓、抽水豎槽、通氣豎管、機電及監控系統、電磁式流量計等，於民國 105-108 年分 4 期施設，總工程費 12,756 萬元，換算每公頃投資經費約為 20.4 萬元。

管路供水系統營運管理維護，設有收費機制並以責任分界點區分，如圖 11-11 所示，用水管理方式採自動監控之 PLC 及圖控傳輸設備，包括：進水口流量、調蓄水池及水塔水位、用戶端用水量等各項資訊，均利用電腦網路嚴密監測、管控及操作，如圖 11-12 所示。

表 11-7 南投農田水利會大坪頂灌區管路輸水工程各項要素

| 項目        | 大坪頂灌區   | 北寮灌區                                    | 太平國小灌區  | 大雁頂灌區 | 合計     |
|-----------|---|---|---|-------|--------|
| 灌溉面積(公頃)  | 232   | 189                                     | 121   | 82    | 624    |
| 蓄水池容量(公噸) | 1,820   | 1,320                                   | 970   | 尚未施作  | 4110   |
| 輸水分線      | D315mmHDPE管L=2,202  | D315mmHDPE管L=4,005m<br>D300mmDIP管L=665m | D315mmHDPE管L=3,469m   | 尚未施作  |        |
| 灌溉支線      | D200mmDIP管L=172m<br>D150mmDIP管L=1,391m<br>D140mmHDPE管L=4,195m | D150mmDIP管L=250m<br>D140mmHDPE管L=5,466m | D200mmDIP管L=1,376m<br>D150mmDIP管L=1,365m<br>D140mmHDPE管L=1,637m | 尚未施作  |        |
| 管路總長度(m)  | 7,960   | 10,386                                  | 7,847   |       | 26,193 |
| 作物種類      | 白蘿蔔、百香果   | 絲瓜、百香果、栗南瓜                              | 百香果   | 百香果   |        |

(資料來源：南投農田水利會，2019)

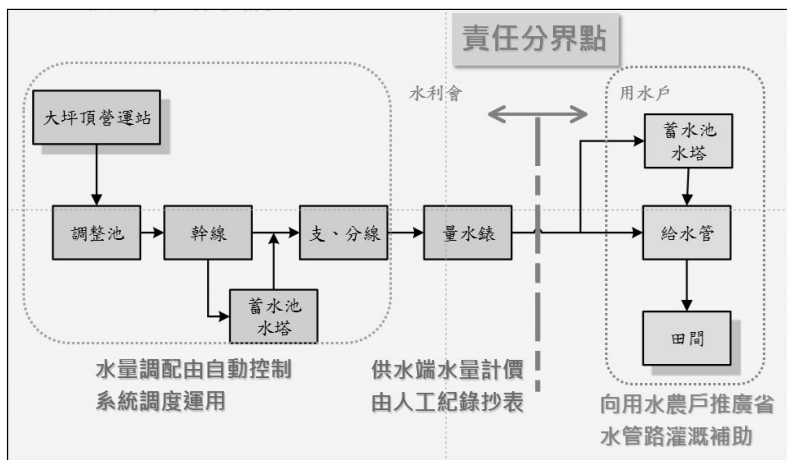


圖 11-11 南投農田水利會大坪頂灌區管路輸水責任分界點架構圖

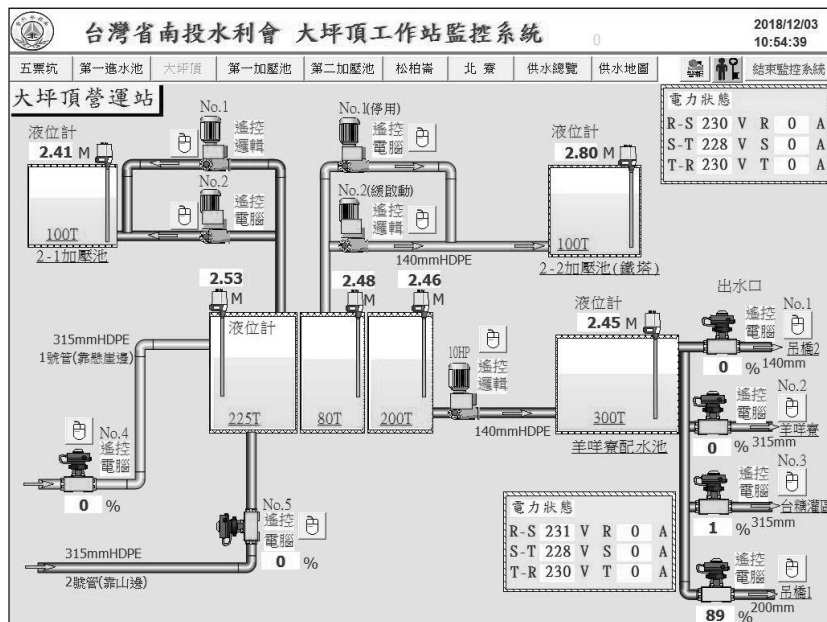


圖 11-12 南投農田水利會大坪頂灌區管路輸水用水自動監控系統

## 11.5、參考文獻

1. 日本農林省構造改善局，1977，土地改良事業計劃設計基準設計(その2)パイプライン，昭和52年10月。
2. 日本農業土木學會，1978，パイプラインの設計資料(設計基準の解説)。
3. 日本農業構造改善局，1983，土地改良事業標準設計第千編パイプライン(解説書)。
4. 社團法人畑第農業振興會，1985，畑地かんがいの手引。
5. 南投農田水利會，2019，「南投農田水利會大坪頂新灌區管路灌溉系統及營運模式經驗分享」。
6. 農業工程研究中心，2001，管路灌溉技術實務，第二篇調查、規劃、設計及維護管理。
7. 農業工程研究中心，1982，管路灌溉規劃設計及施工準則(草案)。
8. 農田水利會聯合會，1996，第六編之三管路水理設計 P.521~632。
9. 農業工程研究中心，1991，台東縣葉農及鹿野茶區公共設施介紹。
10. 陳獻，1984，台灣管路灌溉可行性之研究，台灣水利季刊，第三十二卷，第三期，P.7~8。
11. 陳獻，1984，管路材料及其使用，農業工程研究中心編印新近灌溉設施研討會資料輯，P.217~254。
12. 陳獻，1976，管路灌溉系統設計經濟分析，農業工程學報第廿二卷第四期，P.46~53。
13. 猿渡良一，1978，FIELD IRRIGATION HAND BOOK。
14. Sprinkler Irrigation Association，SPRINKLER IRRIGATION，Third Edition，1969。

## 第十二章、抽水工程

### 12.1、概述

抽水工程內容涵蓋：站房構造、抽水機組、動力設備、攔污撈污設備、引水水門、抽水管路出口自動水門、操作設備等諸元。因抽水機的選用對於農田水利抽送灌溉排水及後續設施維護管理最為關鍵，本章針對農田水利常用抽水機之種類、型式、水理、設計注意事項等做介紹。

抽水機(亦稱泵或泵浦，以下簡稱泵(pump))係一種由外部供給原動力(如電動機或內燃機)，對流體施加能量，提高其壓力，而將流體揚升至較高地方或壓送至較遠處的動力機械，是相當重要的一種流體動力機械。泵的用途非常廣泛，如農業灌溉、工業流體輸送、民生用水輸送及防洪排水等，或相關機械潤滑油、冷卻水循環及各種運用液壓傳動或作功的動力機械。

#### 12.1.1、泵之種類與型式

依構造及對液體施壓方式不同，泵大致分 3 種類型：1.離心式泵(centrifugal pump)，液體藉由葉輪的旋轉離心力而流出，常利用在含泥沙等農業灌溉用途。大小流量均適用，不適合黏性較大之流體。2.往復式泵(reciprocating pump)，原理和以吸管吸飲汽水一樣，將吸水管深入液體中，提起活塞使管內大氣壓力降低，周圍大氣壓力就把液體壓進吸水管，流量不均勻且壓力較大。3.迴轉式泵(rotary pump)，操作方式與往復式泵浦原理相同，只是把活塞換成以馬達帶動齒輪、扇葉或螺旋等構造，因運轉速度較高，故多運用在黏稠液體如石油等之輸送，其揚程大，效率不高，不適太大流量。

抽水泵浦另有其他數種分類方式。

##### 一、依導翼之有無分類

- 1.渦卷泵(volute-type pump)：亦稱渦流泵，葉輪外殼無導輪，水流直接由葉輪傳至葉輪室，輪室呈蝸狀。如圖 12-1 所示。其原理是由電動機驅動葉輪旋轉後，藉離心力使液體加速流向外殼，當通過蝸形外殼時減速，並將動能轉變成壓力能，再由排出口排出。

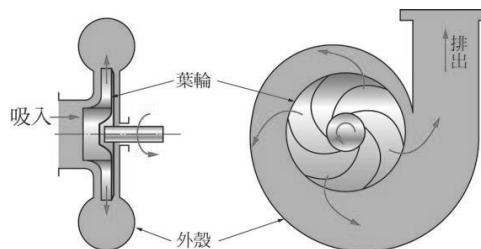


圖 12-1 渦卷式泵

2. 輪機泵(turbine-type pump)：當液體由葉輪流出後，先經導葉片改變其方向並降低流速，將動能轉變成壓力能，而提高其壓力，此泵稱透平泵(turbine pump)或擴散泵(diffusion pump)，因葉輪外殼具有導輪，故壓送高程較大，可加段增加抽水高度。一般深井泵多屬此型。如圖 12-2 所示。

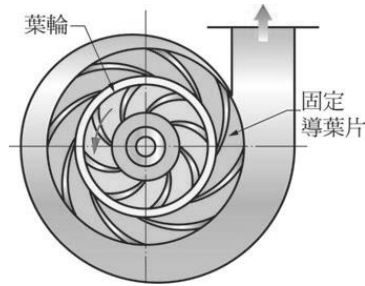


圖 12-2 輪機式泵

二、按構造型式分類

| 構造型式    | 泵浦        |       |
|---------|-----------|-------|
| A. 非排量泵 | (1) 離心泵   | ① 渦卷泵 |
|         |           | ② 輪機泵 |
|         | (2) 混流泵   |       |
|         | (3) 軸流泵   |       |
| B. 排量泵  | (4) 摩擦泵   |       |
|         | (1) 往復泵   |       |
|         | (2) 迴轉泵   |       |
| C. 其他   | (1) 噴射泵   |       |
|         | (2) 氣力揚升泵 |       |

三、依水流方向分類

1. 輻流泵(Radial flow pump)：亦稱為離心式泵(centrifugal pump)，水流由軸方向進入葉輪，觸及與軸向垂直之葉輪壁後，折為徑向流出。水流出口與入口形成直角，其對水流之推曳力均由離心作用所形成。如圖 12-3 所示。

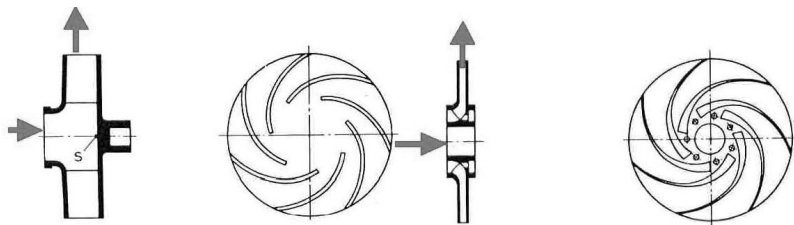


圖 12-3 輻流式泵

2.混流泵(Mixed flow pump)：亦稱斜流泵(obliquely flow pump)，水流由軸方向進入葉輪斜向流出，流出口與入口形成一斜角。其葉徑出水端大於進水端，推曳力係由葉瓣旋轉離心力及葉瓣推撞作用共同造成。如圖 12-4 所示。

3.軸流泵(Axial flow pump)：亦稱為推進式泵(Propeller pump)，葉輪之進出水葉徑相等，水沿軸向進出，水流出口與入口形成同一方向，無徑向水流。其推曳力係由葉瓣推撞所造成。一般大水量低水頭推進式螺旋槳泵即屬此型式。如圖 12-5 所示。

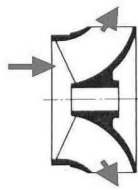


圖 12-4 混流式泵

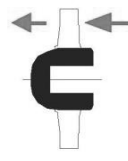
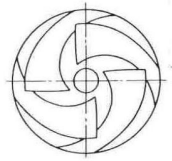
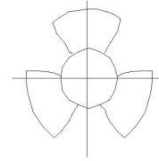


圖 12-5 軸流式泵



### 12.1.2、基本名詞

包括流量、揚程、轉速、動力、效率等泵基本名詞，說明如下：

流量(capacity)：單位時間內通過斷面之體積數量，如  $\text{m}^3/\text{min}$  或  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

揚程(head)：係指單位重量流體在泵的出口處及入口處所具有的能量差，亦即為泵所供給流體之能量，其值為泵所供給之壓力能、動能及位能的總和，如圖 12-6 所示。由於入口液面與出口液面上之壓力差以及管路中的各種損失，因此，實際揚程  $H_a$  小於總揚程  $H$ 。

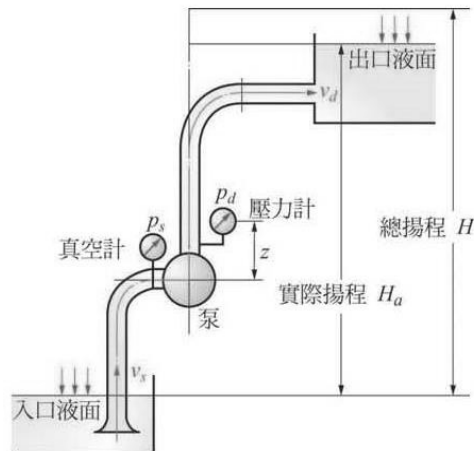


圖 12-6 泵管路圖



轉速：泵欲抽送某一定流量及揚程時，每分鐘所需之迴轉數稱為轉速。其單位為每分鐘轉數(rpm)。由電動機直接驅動之泵，其轉數依電源頻率及電動機之極數而定，如表 12-1 所示。

表 12-1 三相感應電動機於 60HZ 之轉數

單位：rpm

| 極數   | 2     | 4     | 6     | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  |
|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 同步轉速 | 3,600 | 1,800 | 1,200 | 900 | 720 | 600 | 514 | 450 | 400 | 360 |
| 實際轉速 | 3,450 | 1,750 | 1,160 | 870 | 700 | 580 | 500 | 430 | 390 | 350 |

動力：泵於一定轉速輸送一定流量及揚程所需之功率稱為動力。泵賦予液體之有效動力稱為輸出動力或水動力；供給於泵之動力稱為輸入動力或軸動力，考慮原動機至泵軸間之傳動效率，原動機實際輸出動力必須大於軸動力，稱為所需動力。

效率：效率(efficiency)乃輸出與輸入之比，泵內部因有機械摩擦、洩漏及水力損失，供入泵軸之動力不能全部充為輸送液體之動力，因此軸動力必須大於賦予液體輸送動力，泵效率乃泵之有效動力(水動力)與輸入動力(軸動力)之比，一般大型泵之效率比小型泵者高，泵之口徑與效率之關係，如表 12-2 所示。

表 12-2 泵之口徑與效率

|            |     |     |     |     |       |       |       |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 口徑<br>(mm) | 50  | 70  | 80  | 100 | 130   | 160   | 180   | 200 | 260 | 300 |
| 效率(%)      | 45  | 50  | 55  | 60  | 65    | 70    | 72    | 73  | 74  | 75  |
| 口徑<br>(mm) | 400 | 500 | 600 | 800 | 1,000 | 1,300 | 1,500 | -   | -   | -   |
| 效率(%)      | 76  | 77  | 78  | 79  | 80    | 81    | 82    | -   | -   | -   |

### 12.1.3、泵特性

同一規格型態之泵，其出水量、全揚程、軸馬力、迴轉數及效率間各有一定關係，此項關係稱為泵特性。

泵特性有多種表示方法，一般以轉速、抽水量與總揚程等三種因素之一保持一定，其餘兩因素使之變化而測定動力及效率之變化予以表示之方式。除特殊電動機可改變轉速外，目前多以交流感應電動機驅動泵，因其轉速趨於一定，遂以定速之狀態而以抽水量與總揚程、動力及效率之關係表示泵之特性，此即為定速特性，一般以橫坐標表示出水量 Q，縱座標分別表示全揚

程  $H$ 、軸動力  $L_s$  及效率  $\eta_p$  而繪成  $H-Q$ 、 $L_s-Q$  及  $\eta_p-Q$  等 3 種關係曲線圖，圖 12-7 所示為一口徑 800mm 之渦流泵的特性曲線。從曲線圖可看出該泵於設計點時，其特性為  $Q=86\text{m}^3/\text{min}$ ； $H=11\text{m}$ ；軸馬力為 250Ps，此時效率  $\eta_p = 85\%$ 。

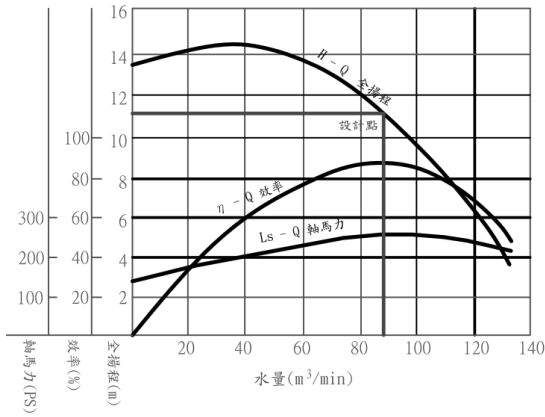


圖 12-7 泵特性曲線

### 一、一般定速特性

輻流泵(含輪機泵與渦流泵)、混流泵(即斜流泵)及軸流泵(含固定翼與可動翼)各具不同之特性， $Q-H$  特性、 $Q-L_s$  特性及  $Q-\eta_p$  特性之關係曲線分別如圖 12-8~圖 12-10 所示。

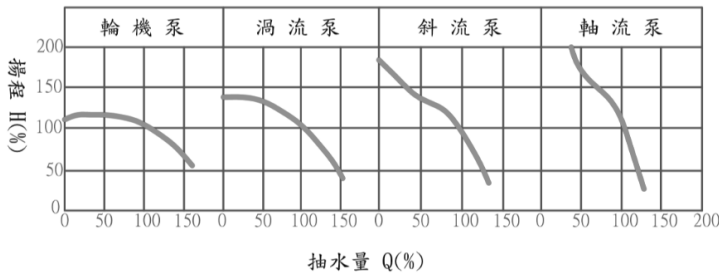


圖 12-8 各種泵  
Q-H 特性

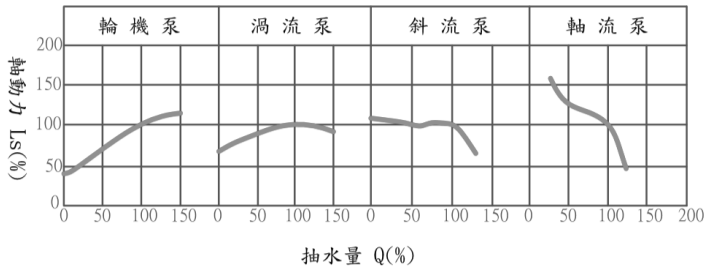


圖 12-9 各種泵  
Q-Ls 特性

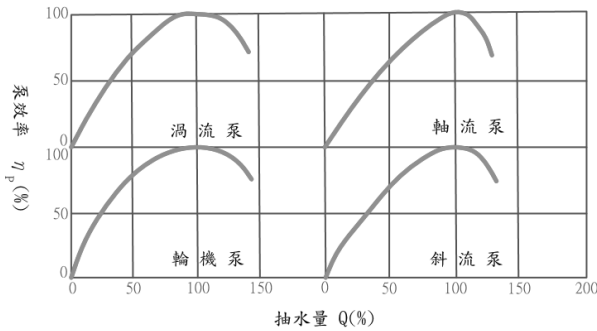


圖 12-10 各種泵 Q-ηp 特性

## 二、不同比速 $N_s$ 之泵特性

1. 揚程特性，如圖 12-11 所示。

A.  $N_s$  低之泵：水量  $Q$  變化時，揚程隨之變化之範圍較小。

B.  $N_s$  高之泵：水量  $Q$  變化時，揚程隨之變化之範圍較大。

2. 動力特性，如圖 12-12 所示。

A.  $N_s$  低之泵：抽水量較小，故水量  $Q$  變化時，軸動力變化較小，尤其在關閉點( $Q=0$ )最小。

B.  $N_s$  高之泵：與上述相反，水量  $Q$  小則軸動力增大，尤其在關閉點最大。中等  $N_s$  之泵，水量  $Q$  雖變化，但軸動力不見得有顯著之變化。

3. 效率特性，如圖 12-13 所示。

A.  $N_s$  低之泵：從小水量至大水量，其效率高之範圍較廣。

B.  $N_s$  高之泵：從小水量至大水量，其效率高之範圍較窄。

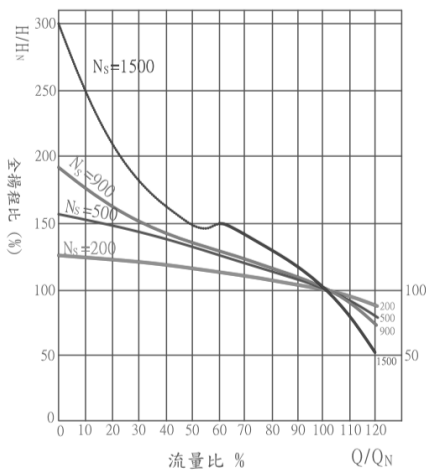


圖 12-11 揚程曲線

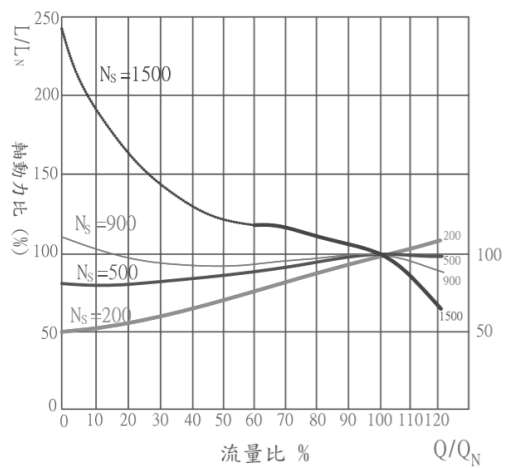


圖 12-12 軸動力曲線

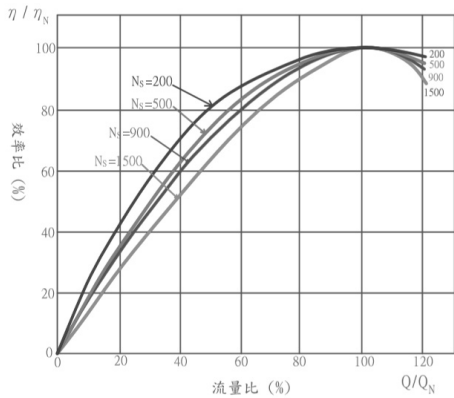


圖 12-13 效率曲線

## 12.2、水理

### 12.2.1、比速與葉輪型式

比速(Specific speed)乃代表一系列葉輪在尺寸形狀上保持幾何相似時，於最高效率點各特性值—水量、總揚程、轉速之關係值，以公式表示如下：

$$Ns = \frac{N(Q)^{1/2}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots(12-1)$$

式中，N：轉速(rpm)；Q：抽水量(m<sup>3</sup>/min)；H：每個葉輪總揚程(m)。

比速 Ns 為選用葉輪型式之重要指標，它代表一系列之葉輪型式。抽水量愈大揚程愈低之泵其 Ns 值越高，對於葉輪內部之水流而言，Ns 值隨葉輪型式，由輻流→混流→軸流而逐漸增高。如圖 12-14 所示。

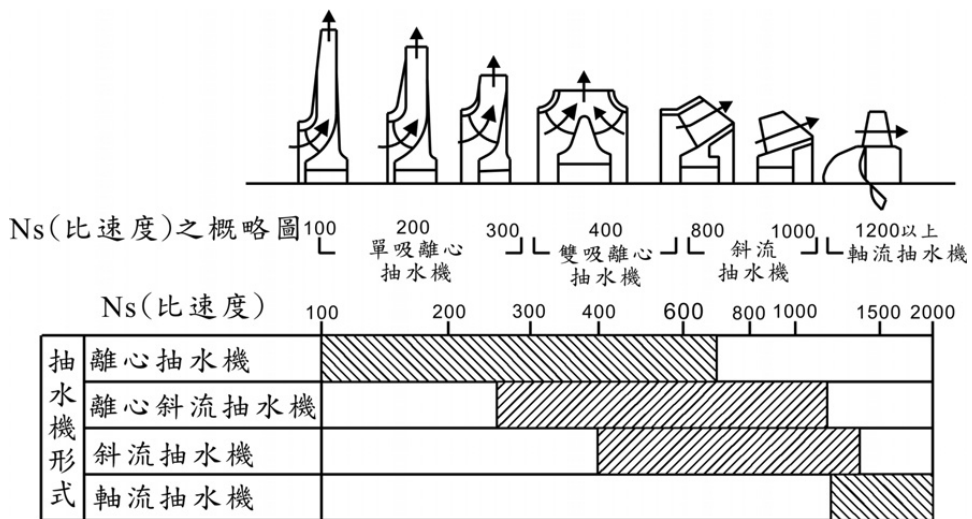


圖 12-14 比速與葉輪之形狀示意圖

資料來源：下水道管渠工程設計指南(中國土木水利工程學會環境工程委員會 73.11)。

### 12.2.2、揚程

#### 一、實揚程與總揚程

泵運轉抽水時，從吸入水面至排出側水面之垂直距離，稱為實揚程 (Actual head)；於吸入水面至泵中心線之垂直距離，稱為吸入實揚程，當吸入水面低於泵中心線時，稱吸入升程(Suction lift)；當吸入水面高於泵中心線時，稱吸入水頭(Suction head)，如圖 12-15 所示。泵中心線至排出水面之垂直距離，稱為壓出(流出)實際揚程(Actual discharge head)；泵之實揚程，加上吸入管路與壓送管路所有損失及出口剩餘速度水頭，稱為泵之總揚程 (Total head)，以公式表示如下：

$$H = H_s + H_d = (H_{sa} + h_{fs}) + (H_{da} + h_{fd}) = H_a + h_f \dots \dots \dots (12-2)$$

式中：H=總揚程(m)；H<sub>s</sub>=吸入揚程；H<sub>d</sub>=壓出揚程；H<sub>sa</sub>=吸入實揚程；h<sub>fs</sub>=吸入側損失水頭；H<sub>da</sub>=壓出實揚程；h<sub>fd</sub>=壓出側損失水頭。

若吸入與排出水槽有壓力差時，應將之加入實揚程內，如圖 12-16 所示之泵，於壓出側裝有壓力計與吸入側裝有真空計，可測壓出壓力與吸入壓力 (真空度)，其總揚程依下式計算：

$$H = H_d - H_s + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \dots \dots \dots (12-3)$$

式中：H：總揚程(m)；H<sub>d</sub>：壓出側壓力計指示值相當之水柱高(m)；H<sub>s</sub>：吸入側真空計指示值相當之水柱高(m)；V<sub>d</sub>：出水側於壓力計測定孔處流速 (m/s)；V<sub>s</sub>：吸入側於真空計測定孔處流速(m/s)；g：重力加速度=9.81(m/s<sup>2</sup>)。

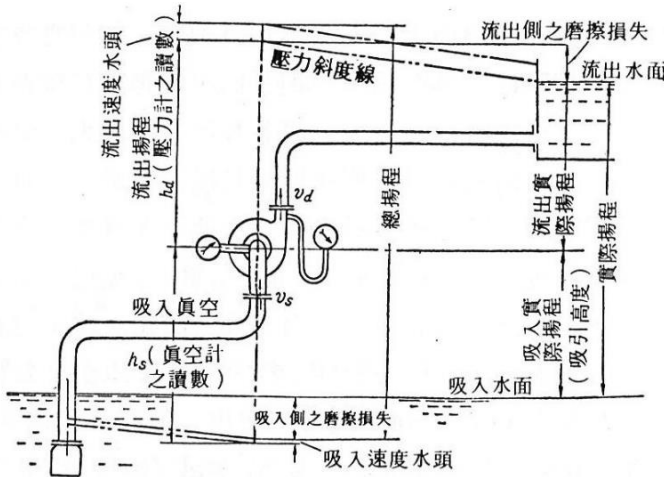


圖 12-15 泵的揚程

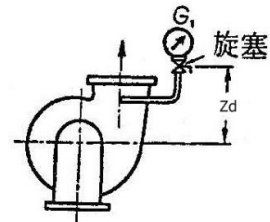


圖 12-16 泵

若排出壓力於大氣壓以上時，壓力計指示值與水柱高之換算如下：

$$H_d = \frac{10G}{r} + Z_d \dots \dots \dots (12-4)$$

式中，G：壓力計指示值(kg/cm<sup>2</sup>)；r：揚液單位體積相當之重量，於抽送常溫清水時 r=1kg/l；Z<sub>d</sub>：測點高差(m)=壓力計至泵中心線之垂直距離，如壓力計裝於泵中心線以下，其值為負。

若吸入壓力於大氣壓以下，而真空計指示值以水銀柱高(cmHg)表示時，其指示值與水柱高之關係如下：

$$H_s = \left( \frac{G_M}{100} \times \frac{\Gamma_{Hg}}{r} \right) + Z_s \dots \dots \dots (12-5)$$

式中，G<sub>M</sub>：真空計之指示值(cmHg)；Γ<sub>Hg</sub>：水銀單位體積相當之重量=13.55(kg/l)；r：揚液單位體積相當之重量(kg/l)；Z<sub>s</sub>：測定點之高差(m)=測定孔與泵中心線之垂直距離，測定孔位於泵中心線以下時，其值為負。

若豎軸泵於出水管裝有壓力計，其總揚程依下式計算：

$$H = h + h_d + \frac{V_d^2}{2g} \dots \dots \dots (12-6)$$

式中，H：總揚程(m)；h：吸入水面至泵出口管中心線之垂直距離(m)；h<sub>d</sub>：壓力計指示值對於出口管中心線相當之水柱高(m)；V<sub>d</sub>：出水管於壓力計測定孔處之流速(m/s)；g：重力加速度=9.81(m/s<sup>2</sup>)。

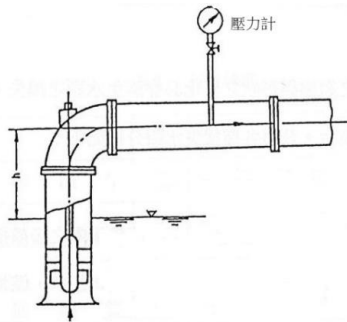


圖 12-17 豎軸泵的揚程

## 二、損失水頭

泵抽水時，由於管內之摩擦與形狀之變化產生水頭之損失，該損失水頭係以流速水頭(v<sup>2</sup>/2g)之函數表示。各種損失水頭分述如下：

### A. 直管之摩擦損失

泵抽水時，管內流速一般屬亂流範圍，流體於管內之摩擦損失水頭與流速水頭成比例而增加。計算直管摩擦損失水頭 H<sub>f</sub> 實用公式甚多，主要者有：

Darcy 公式

$$H_f = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (12-7)$$

式中，L：直管長度(m)；D：管徑(m)；V：管內流速(m/s)；g：重力加速度=9.81(m/s<sup>2</sup>)；λ：摩擦損失係數=0.02+0.0005/D。該公式適用於農業用水、排水，都市雨水排水等管路較短之場合。

Manning 公式

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots(12-8)$$

$$H_f = S \times L \dots\dots\dots(12-9)$$

$$R = A/P \dots\dots\dots(12-10)$$

式中，V：管內流速(m/s)；n：粗糙係數(如表 12-3)；S：動水坡度；R：水力半徑(m)；L：管路或暗渠長度(m)；P：浸入周長(m)；A：管路或暗渠截面積(m<sup>2</sup>)。該公式適用於下水道管路、開水路、暗渠等損失之計算。

表 12-3 粗糙係數

| 水路材料 | n 值           |
|------|---------------|
| 鋼    | 0.010 ~ 0.016 |
| 鑄鐵   | 0.010 ~ 0.015 |
| 混凝土  | 0.011 ~ 0.017 |
| 木材   | 0.010 ~ 0.015 |
| 磚    | 0.011 ~ 0.017 |

B.管件、閥類之損失

管件、閥類損失水頭之計算式為

$$H_f = \zeta \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(12-11)$$

式中，ζ：損失係數。吸入口損失係數、各種管件損失係數(詳參相關資料)；閥類損失係數(如表 12-4)。

表 12-4 閥類之損失係數

|          |             |         |      |         |      |         |      |         |        |          |
|----------|-------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|--------|----------|
| 管端舌閥     | ζ=0.5       |         |      |         |      |         |      |         |        |          |
| 逆止閥(擺動型) | ζ=0.8 ~ 1.2 |         |      |         |      |         |      |         |        |          |
| 停止閥(全開)  | 口徑          | 15      | 20   | 50      |      |         |      |         |        |          |
|          | ζ           | 15      | 7.5  | 5       |      |         |      |         |        |          |
| 制水閥(全開)  | 口徑          | 15      | 25   | 50      | 100  | 150     | 200  | 250     | 300 以上 |          |
|          | ζ           | 1.0     | 0.25 | 0.19    | 0.16 | 0.15    | 0.11 | 0.05    | 不計     |          |
| 蝶閥(全開)   | 口徑          | 100~250 |      | 300~450 |      | 500~600 |      | 700~900 |        | 1000 以上  |
|          | ζ           | 3.2~2.5 |      | 2.0~1.5 |      | 1.2~0.7 |      | 0.5~0.3 |        | 0.2~0.15 |

### 三、容許吸入揚程

理論上泵之吸入升程為 10.33m(相當於一大氣壓之水柱高)，但因有摩擦及其他損失，實際上可吸上來之升程最高約 6~7m。此外為防止空蝕現象(Cavitation)之發生，在決定揚程時，亦應將淨正吸入揚程(NPSH)列入考慮，茲就防止空蝕現象問題進行淨正吸入揚程計算如下：

#### 1. 依設備可資利用之 NPSH( $H_{sv}$ )

於葉輪入口因有負壓產生，當液體進入葉輪之際，泵吸入口之壓力為扣除這些負壓後，不低於飽和蒸汽壓力，故此時不以吸入揚程來處理，而係以可資利用吸入揚程計算。從液體理論上之吸入揚程減去飽和蒸汽壓力之值，今以  $H_{sv}$  表示設備可資利用之 NPSH，則

$$H_{sv} = H_a - h_s - h_v - h_l \dots\dots\dots(12-12)$$

式中， $H_a$ ：大氣壓力相當之水柱高(一大氣壓力為 10.33m)； $h_s$ ：吸入揚程； $h_v$ ：水溫相當之飽和蒸汽壓力(以水柱高 m 表示)； $h_l$ ：吸入口及吸入管路內之總損失水頭(m)；泵於較高之地面抽水時，由於空氣較稀薄，大氣壓力會減少，表 12-5 所示乃地面高度與氣壓之關係。水溫與飽和蒸汽壓力之關係，如表 12-6 所示。

表 12-5 地面高度與氣壓之關係

|                           |       |       |       |      |      |      |      |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| 高度(m)                     | 0     | 100   | 200   | 300  | 400  | 500  | 800  | 1,000 |
| 氣壓<br>(mH <sub>2</sub> O) | 10.33 | 10.20 | 10.08 | 9.96 | 9.85 | 9.73 | 9.38 | 9.14  |

表 12-6 水溫與飽和蒸汽壓力之關係

|                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 水溫 (°C)                       | 0    | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90  |
| 飽和蒸汽壓力<br>(mH <sub>2</sub> O) | 0.06 | 0.09 | 0.13 | 0.24 | 0.43 | 0.75 | 1.25 | 2.03 | 3.18 | 4.83 | 7.1 |

#### 2. 泵所需要之 NPSH( $h_{sv}$ )

前述之  $H_{sv}$  如恰與抽水時葉輪所需之壓力  $h_{sv}$  一致時，於葉輪入口後面之壓力會降至飽和蒸汽壓力以下，於是空蝕現象開始發生，因此為防止空蝕現象，必須使  $H_{sv} > h_{sv}$ ，此  $h_{sv}$  即為泵將水吸至葉輪所需要之揚程，稱為泵所需要之 NPSH。

依上所述，當  $H_{sv} = h_{sv}$  之際即會發生空蝕，然  $h_{sv}$  之值究竟要多少，有多種方法可求算，一般使用以下二種方法，因有其運用方便之優點。

##### (1) Thoma's 係數法



$$h_{sv} = \delta \times H \dots \dots \dots (12-13)$$

式中,  $\delta$ : Thoma's 空蝕係數(圖 12-18 查出);  $H$ : 於最高效率之總揚程(m), 多級泵以一級葉輪之總揚程計算。

(2) 依吸入比速  $S$  求算

$$S = \frac{N(Q)^{1/2}}{(h_{sv})^{3/4}} \dots \dots \dots (12-14)$$

$$\text{即, } h_{sv} = \left[ \frac{N(Q)^{1/2}}{S} \right]^{4/3} \dots \dots \dots (12-15)$$

式中,  $S$ : 吸入比速;  $N$ : 泵之轉速(RPM);  $Q$ : 抽水量(雙吸泵以  $Q/2$  計算)( $m^3/min$ )。圖 12-19 為泵之有效吸入水頭。

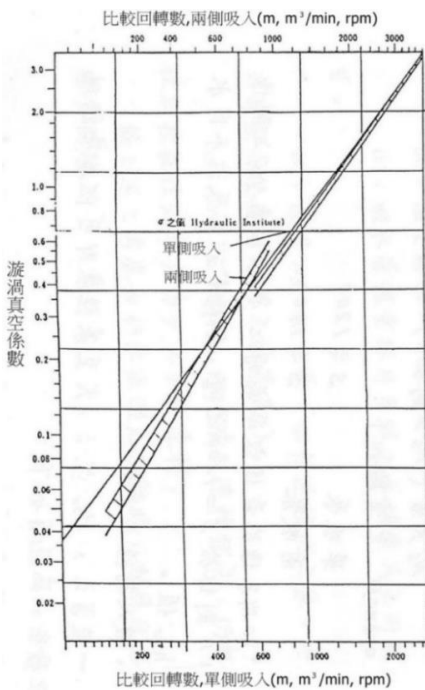


圖 12-18 最高效率點  $\sigma$  與比較迴轉數的關係

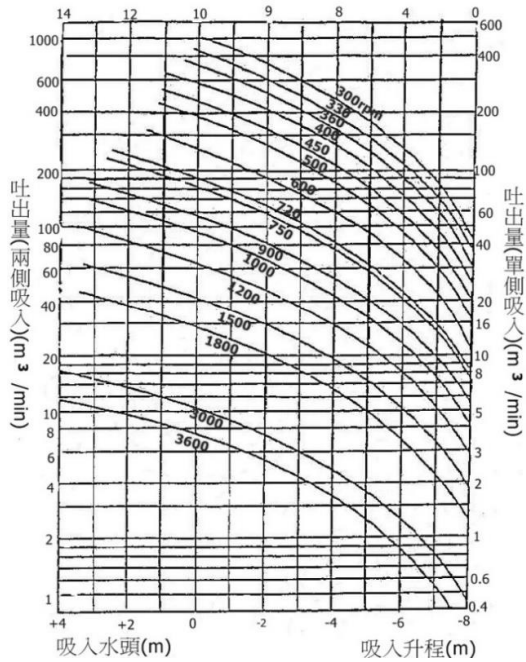


圖 12-19 泵之有效吸入水頭

### 3. 吸入揚程之決定

一般  $H_{sv}$  較  $h_{sv}$  大至某程度時, 才可防止漩渦真空之發生, 若  $H_{sv} > 1.3h_{sv}$ , 不會發生空蝕。反之,  $H_{sv} < 1.3h_{sv}$ , 則有發生空蝕之虞, 應考慮下列諸點, 若仍無法避免空蝕發生, 就要考慮泵之材質。

吸入揚程盡量取小。

考量吸入管之總損失水頭可資減少之構造與尺寸。

改用  $N_s$  較小之泵(如取用轉速較低之泵、增加泵台數、雙吸泵等)

$N_s$  較小之泵雖然會犧牲一些運轉效率，但可考慮在較高效率點小水量運轉。

又泵如高出計畫水量之點運轉時，會增加空蝕發生危險，若揚程餘裕不足或  $N_s$  高之泵，其抽水量過大，均容易發生空蝕，泵設計時應予注意。綜上所述，一般泵抽取 0~40°C 清水，容許吸入揚程界限，如表 12-7 所示。

表 12-7 泵口徑與吸入揚程之界限

| 口徑(mm)         | 40~80 | 100~125 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|----------------|-------|---------|-----|-----|-----|-----|
| 吸入實程+吸入側總損失(m) | 7.0   | 6.5     | 6.0 | 5.0 | 4.0 | 3.0 |

### 12.2.3、抽水量與泵之口徑

根據抽水、排水及給水計畫定出抽水處總抽水量與泵台數後，每台泵之抽水量即可得出，每台泵之水量決定後，即可藉正常流速選用適當泵口徑。泵出口尺寸除依水量決定外，尚須考慮結構上問題，高揚程泵由於出口處產生之流速增高，宜裝置漸變管，使其減低至普通管內之流速。至於吸入口徑則與揚程無關，一般其流速定為 2~3m/s(大小口徑分別取近於 3、2m/s)，在特殊場合，經特別設計不妨將吸入口徑稍許加大，使降低流速，增強吸引力。

泵口徑依正常流速列出簡單計算公式如下：

$$Q < 2 \text{ m}^3/\text{min} \text{ 時, } D \cong 100\sqrt{Q} \dots\dots\dots(12-16)$$

$$Q > 2 \text{ m}^3/\text{min} \text{ 時, } D \cong 90\sqrt{Q} \dots\dots\dots(12-17)$$

式中， $D$ ：泵口徑(mm)； $Q$ ：抽水量( $\text{m}^3/\text{min}$ )。從上二式可知，泵之抽水量與口徑是呈開根號正比關係，受限篇幅表列方式從略，請參相關資料。

### 12.2.4、動力

#### 一、水動力

泵抽水時之有效動力，以  $L_w$  表示

$$L_w = \frac{r \times Q \times H}{4,500} \dots\dots\dots(12-18)$$

式中， $r$ ：液體單位體積重量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )； $Q$ ：抽水量； $H$ ：總揚程(m)。

抽送常溫清水時，

$$L_w = \frac{1,000 \times Q \times H}{4,500} = 0.222 \times Q \times H \text{ (公制馬力 PS)} \dots\dots\dots(12-19)$$

如以仟瓦(KW)表示，因  $1\text{PS}=0.736\text{KW}$ ，則，

$$L_w = 0.163 \times Q \times H \text{ (KW)} \dots\dots\dots(12-20)$$

## 二、軸動力

供給泵軸之動力，以  $L_s$  表示，

$$L_s = \frac{L_w}{\eta_p} \text{ (PS 或 KW)} \dots\dots\dots(12-21)$$

式中， $\eta_p$ ：泵效率(以小數表示)，與泵之大小及比速率  $N_s$  之高低有關，請參考表 12-2 泵之口徑與效率及圖 12-20。

## 三、原動機動力

驅動泵所需原動機之輸出動力，以  $L_d$  表示

$$L_d = \frac{L_s(1+\alpha)}{\eta_t} \text{ (PS 或 KW)} \dots\dots\dots(12-22)$$

式中， $\alpha$ ：餘裕係數，如表 12-8； $\eta_t$ ：傳動效率，如表 12-9。

表 12-8 原動機  $\alpha$  值

| 原動機之種類 | $\alpha$  |
|--------|-----------|
| 電動機    | 0.1~0.2   |
| 小型引擎   | 0.2~0.25  |
| 大型柴油引擎 | 0.15~0.20 |

表 12-9 傳動方式  $\eta_t$  值

| 傳動方式         | $\eta_t$  |
|--------------|-----------|
| 平皮帶          | 0.85~0.93 |
| V 型皮帶        | 0.90~0.95 |
| 正齒輪          | 0.88~0.96 |
| 螺旋齒輪         | 0.90~0.98 |
| 傘形齒輪變速機(1 段) | 0.90~0.96 |
| 聯軸節          | 1.0       |

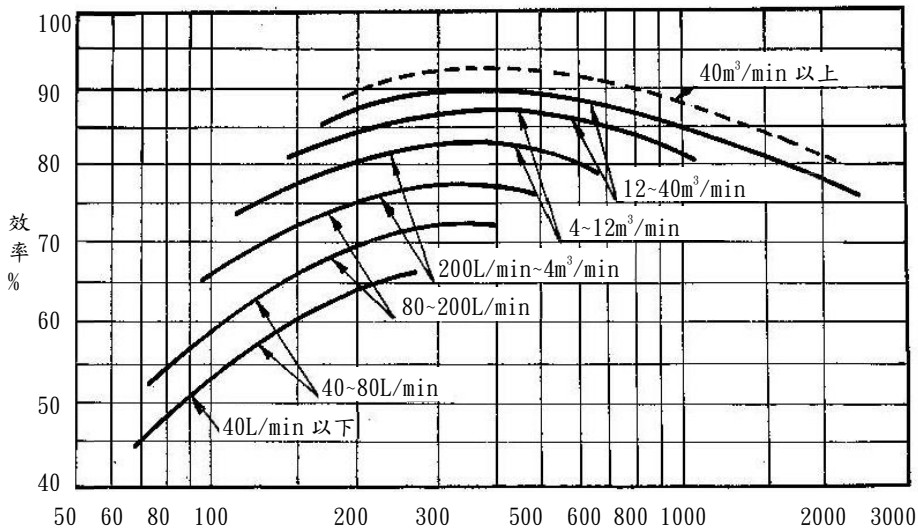


圖 12-20 泵之效率

資料來源：高立圖書機械設計製圖~泵~

## 12.3、設計注意事項

### 12.3.1、設計要點

抽水應依其目的、用途選擇最適合泵及其附屬設備之場所。抽水場所(或稱抽水站)用地選擇包括：(1)用地問題；(2)與地區開發計畫相關問題；(3)與河川、都市、港灣等各項法令有關問題；(4)與公害法令有關問題等各種重要因素，非純技術條件即可決定，因此選擇用地時，必須考慮下列條件：

#### 一、用地選擇之一般考慮條件：

1. 通路交通：交通方便，尤其應確保機器搬運之進出通路。
2. 地盤高與吸入水位之關係：需有利於選擇較經濟之泵型式，避免過大之土木挖掘工事。
3. 地盤之穩定：地盤下陷對於設備會不會帶來重大之障礙？地盤下陷時，對於泵揚程有無考量餘裕？此對於排水泵尤須加以留意。
4. 周圍住家之影響：噪音會不會造成周圍住家之公害？其振動會不會波及附近住家？
5. 既有設施之影響：既有設施對於抽水站之興建會不會造成障礙？(如堤防、公路、鐵路、高壓線、地下電纜等)。
6. 用水之確保：潤滑水、冷卻水等之用水能否確保？
7. 電力之引接：是否有不利之限制？
8. 水質：取水地點之水質、水溫有無特別條件？
9. 地形：河川之彎曲會不會造成泥砂之淤積？海岸等有漲潮、波浪時，會不會有不利之影響？

#### 二、依泵用途別之考慮條件：

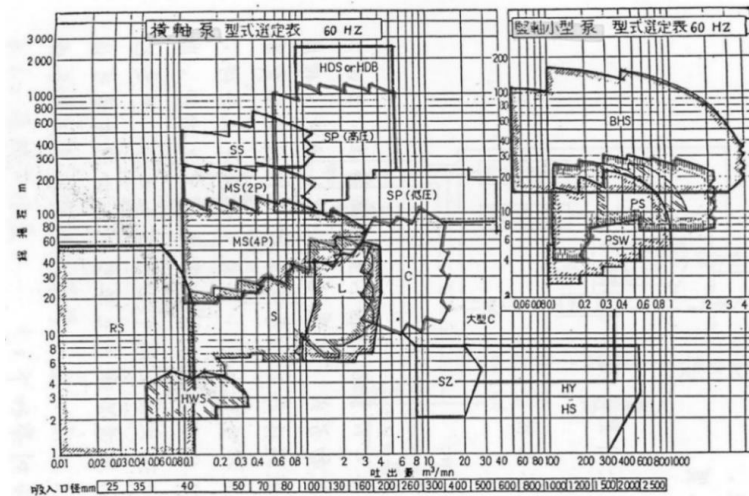
1. 河川取水：詳加調查主流流經歷年變化，俾為決定取水位置之依據。
2. 海水取水：盡量選擇波浪及風力影響較小之位置，取水口不宜設在波浪容易捲進泥沙之處，選擇用地時，應選在貝類及海蜇等繁殖影響較少之位置，請應考慮留出設施清除裝置之空間。
3. 雨水、洪水及排水：選擇吸入側之導水路與抽水站盡量成直線之位置，如抽水站附近之導水渠道曲折，容易導致偏流、渦流之發生，而造成泵性能之降低以及振動之原因。如果導水路過長，泵起動或停止之際，會發生顫動現象(Surging)，故須慎加選擇用地，盡量選定集水適當之地點，俾利排水運轉中泵有足夠之連續運轉時間。

4.增壓泵：使送水管保持適當之輸水坡度，使在最大送水量時，增壓泵之吸入側不致產生負壓之現象。

5.送水泵：送水管應盡量保持向上緩緩傾斜之坡度，使泵驟然停止之過渡期，不致於管路產生負壓而斷裂。尤其應避免在管路中間具有較吐出水位高之流路部份。

### 12.3.2、泵之選擇

選擇泵須考慮之因素包括抽水量、總揚程、轉速、原動機之總類、驅動方式、設置地點之地形條件、使用目的、工程費、維護保養之難易、管理及燃料或電費等。惟一般簡略之選擇，可依水量、揚程及轉速等三要件，依前述方法求取口徑及比速率，據以選用適宜之機種。圖 12-21 為泵型式之選定圖，圖中包括各型泵，只要已知水量及總揚程，即可選出適用之泵型式，亦可選用適當之口徑。



單位：60HZ

圖 12-21 泵型式之選定表

圖中以英文字母代表各機種之名稱，其代名列舉如下：

- |             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| RS：摩擦泵      | MS,SS：輪切型多級泵(2P 表 2 級電動機直結) |
| HWS：電動渦卷泵   | SP：上下分割型多級泵                 |
| S：單吸式渦卷泵    | HDS,HDB：筒型多級泵               |
| L, C：兩吸式渦卷泵 | PS,PSW：沉水式電動泵               |
| HS：軸流泵      | VW：豎軸污水泵                    |
| HY：斜流泵      | BHS：井用水中電動泵                 |
| SZ：斜流渦卷泵    |                             |

茲舉泵型式之選用例如下：

例：設揚水量為  $70\text{m}^3/\text{min}$ ，總揚程為  $5\text{m}$ ，以電動機驅動，電源為  $60\text{HZ}$ ，試選用適當之泵型式。

解：由圖 12-21 可選出 4 種型式之泵，兩吸式大型渦卷泵(大型 C)、斜流泵(HY)、橫軸軸流泵(HS)、豎軸軸流泵(HS)，然因橫軸軸流泵具有吸入升程  $N_s$  高之緣故，可能有發生空蝕之虞，故不採用。豎軸軸流泵因葉輪沉入水中，沒有吸入升程，故不發生空蝕。本例可配合現地條件，就兩吸式渦卷泵、斜流泵及豎軸軸流泵三者選其一種使用之，分述如下：

1. 口徑  $800\text{mm}$  之豎軸軸流泵：此型泵  $N_s \doteq 1500(\text{rpm}, \text{m}^3/\text{min}, \text{m}$  單位)，轉速  $599\text{rpm}$ ，直結電動機時，轉速為  $585\text{rpm}$ (12 極)，則決定採  $N_s=1464(\text{rpm}, \text{m}^3/\text{min}, \text{m}$  單位)。
2. 口徑  $800\text{mm}$  之橫軸或豎軸斜流泵：此型泵  $N_s \doteq 800(\text{rpm}, \text{m}^3/\text{min}, \text{m}$  單位)，轉速  $320\text{rpm}$ ，此種轉速宜使用 6 極或 8 極電動機，藉齒輪等減速裝置，使轉速降為  $320\text{rpm}$ ，以驅動泵。
3. 口徑  $800\text{mm}$  之橫軸兩吸式渦卷泵：此型泵  $N_s \doteq 600(\text{rpm}, \text{m}^3/\text{min}, \text{m}$  單位)，轉速  $340\text{rpm}$ ，( $N_s$  之計算以  $0.5Q$  代  $Q$ )，與 2. 同樣藉齒輪等減速裝置。

本例 1. 豎軸軸流泵因  $N_s$  高達 1464，出水管之制水閥關閉時，軸動力較設計點為高，不宜利用制水閥調節水量而運轉，除非空間有限，否則配合現地條件，採 2. 橫軸、豎軸斜流泵或 3. 橫軸兩吸式渦卷泵皆可。

### 12.3.3、設計準則

#### 一、吸入水槽

為使泵充分發揮抽水效能吸入水槽之設計應設法防止急流、偏流及渦流現象之發生，因吸入水槽之水流不穩時，容易導致空氣、砂石及雜物等吸入泵內，發生空蝕或引起葉輪之損害。設計吸入水槽應注意下列幾點：

1. 進水口前應設攔污柵，以防雜物流入。
2. 為防止砂、石之流入，便於清除雜物，進水口及攔污柵前之流速最好限制在  $0.5\text{m/s}$  以內。倘有砂石流入之可能時，吸水槽前應設沉砂池。
3. 吸水管入口與吸入水槽之側壁、底及水面之間，應保留適當之距離及深度。
4. 吸入水槽前面之流入水路斷面做成漸擴狀，將水流速度逐漸減低而引入吸入管口，如設置兩組以上之泵時，須使水流平均流向各吸入

口，必要時應設置導水牆或隔牆，以防止於吸入水槽內發生亂流或渦流。

5. 吸入水槽之前設有引水暗渠或導水路時，為維持水槽內水面之穩定，因應泵揚水量之變化，其流水斷面應按泵計畫揚水量之 1.2~1.5 倍之流量予以設計。
6. 如於堤防外之河川放置水槽，設進水口及導水暗渠將水引入吸水槽時，進水口設置之位置應選在流心較穩定之凹岸處，並應考慮將來流心之變動及枯水期水位降低時，仍有水源可以安全取入之措施。
7. 導水暗渠通過重要之堤防下面時，不得採用成品之混凝土管，最好採鋼筋混凝土之結構，暗渠之外面於適當之距離應設截水環，以防止沿渠壁外周發生潛流，同時接縫之施工應特別留意，以免危及堤防之安全。如於高水位之河川內設置之進水口及導水暗渠等構造物，認為未甚安全時，宜在堤防之前面加設預防用之制水門。

## 二、出水槽

管路出口處為減少損失水頭，通常加裝擴大管，附裝自動舌閥(Flap Valve)，以防因停電或機件故障停機時水之回流而使泵逆轉。擴大管出口處管徑須為送水管之 1.2~1.3 倍，漸變長度為送水管直徑之 1.5~1.7 倍。自動舌閥於管端應做成傾斜面，使閥瓣能密閉外，管底應高出出水槽底以免砂礫阻滯，妨礙開啟。

## 三、抽水站房

抽水站房設計前應調查各項機器如泵、電動機、各種水閥及附屬機器等之尺寸及重量，以供設計之依據，設計時並應注意下列各點：

1. 機房內應具備足夠寬度空間，以利機械之搬運及裝卸。
2. 機房內須保持乾燥、通風及光線良好。
3. 機房出入口大門應設計適當之寬度，俾利機械之搬運。
4. 規模較大抽水站應在機房縱樑預留臂樑，架設導軌，裝置滑移吊車。
5. 泵之管路儘可能埋入地下或設暗槽管路於槽內，上面再以混凝土板覆蓋，作為通道，以利機械之搬運。
6. 配電設備應考慮充分安全位置，如在戶外之變壓器，應設置電力警告標誌並以鐵絲網圍住，以策安全。
7. 如配置多台機器應用時，應考慮各項機件維護管理上之方便。
8. 機房若築於河岸，須加護岸工程或防水牆保護之。

## 12.4、工程設計及實例與相關圖片

### 12.4.1、設計步驟

泵設計之步驟如圖 12-22 所示之流程，分述如下：

- 一、決定抽水量、泵之台數及口徑：依水源及計畫水量決定抽水量及口徑，並配合製造、搬運之界限以及就設備費、動力費、維護管理費作經濟比較，決定泵之台數。
- 二、決定揚程：依實揚程及管路系統之損失計算總揚程，再選定每台泵之葉輪級數，決定每級葉輪可輸送之揚程。
- 三、決定原動機之動力：依水量及總揚程計算泵之水動力，並選定泵之型式及考慮揚液性質，選用適當之材質，決定泵之效率(如圖 12-20 及表 12-2，計算泵之軸動力，再依傳動效率(如表 12-9)及餘裕(表 12-8)決定原動機之輸出動力。
- 四、決定原動機之轉速：由泵之抽水量及每級葉輪輸送之揚程，並由選定泵型式相當之比速率  $N_s$  求算原動機之轉速(rpm)。

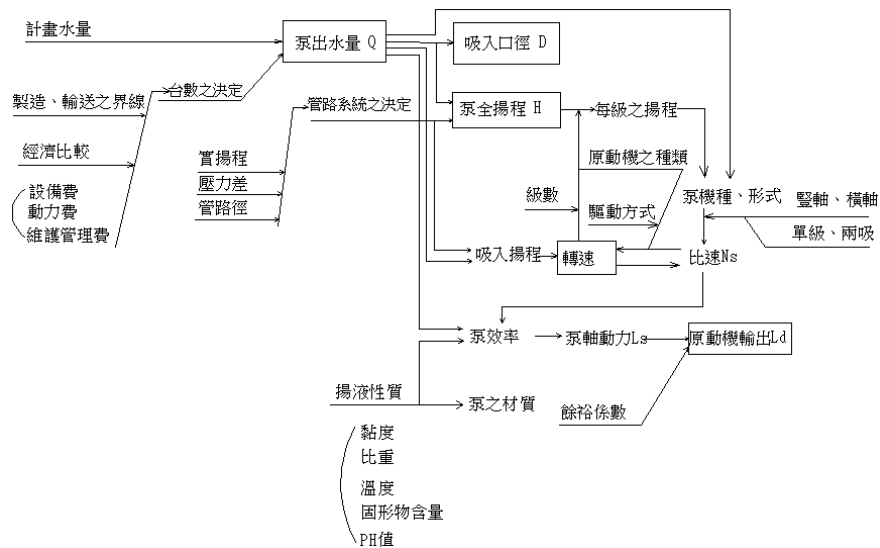


圖 12-22 泵之設計流程圖

### 12.4.2、工程設計

某灌區依輪灌計畫資料得出，現可供應水量(含有效雨量)外，尚缺部分水量須靠泵抽灌，其不足水量(包括水路損失)於尖峰用水期為 0.403CMS，正常用水期為尖峰用水期之一半，今泵欲從附近之大排抽水供應，經測量規劃之結果，由取入水源至給水路之高差及配管如圖 12-23 所示，其中，水量



容許變動範圍±15%，高水位 HWL=+9.10m，設計水位 DWL=+7.80m，低水位 LWL=+6.80m，請設計所需之泵，解析如下。

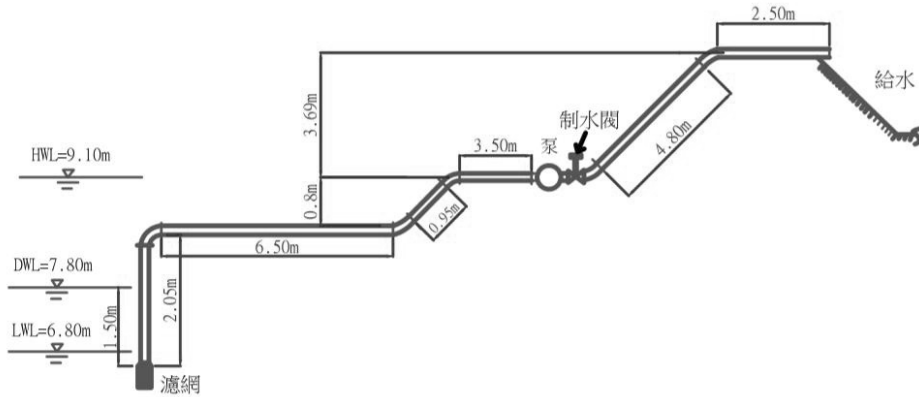


圖 12-23 抽水工程計算例

### 一、泵之型式及口徑

總揚水量 0.403cms，但正常時期為  $0.403 / 2 = 0.202\text{cms}$ ，故該抽水站應設置兩部泵，每部之揚水量  $Q$  各為  $0.202\text{cms} = 12.12\text{cmm}$ ，由圖 12-22 之選定圖查知泵之口徑為 300mm(12 吋)，選用兩吸式渦卷泵，採用與泵同口徑之管路。

### 二、損失水頭計算

#### (一)、吸入管路之損失

1. 濾網，查各類零件水頭損失(由相關資料查閱)， $f_i = 1.0$ ，流速  $V_s = V_d$   
 $= Q/A = \frac{0.202}{\frac{\pi}{4}(0.30)^2} = 2.86 \text{ m/s}$ ，速度水頭  $\frac{V_s^2}{2g} = \frac{(2.86)^2}{2 \times 9.81} = 0.417\text{m}$ ，濾網損失  $f_i \times \frac{(V_s)^2}{2g} = 0.417\text{m}$ 。

2. 直管， $D = 0.30\text{m}$ ， $L_s = 2.05 + 6.50 + 0.95 + 3.50 = 13.00\text{m}$ ，依 Darcy 實驗式， $\lambda = 0.02 + 0.0005/D = 0.022$ ，依(12-7)式，直管損失為  $h_L = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V_s^2}{2g} = 0.022 \times \frac{13.0}{0.3} \times 0.417 = 0.40\text{m}$ ，使用年數按 10 年計，其摩擦阻力增率  $\alpha = 1.8$ ，故直管損失水頭  $h_L = 1.8 \times 0.40 = 0.72\text{m}$ 。

3. 90°彎頭， $R/D = 1.5$ ，查各類零件水頭損失， $\zeta = 0.17$ ，按(12-11)式， $h_b = \zeta \times \frac{V^2}{2g} = 0.17 \times 0.417 = 0.07\text{m}$ 。

4. 45°彎頭， $R/D = 1.5$ ，查表， $\zeta = 0.13$ ， $h_b = \zeta \times \frac{V^2}{2g} = 0.13 \times 0.417 = 0.05\text{m}$ ，二隻 45°彎頭計損失， $0.05 \times 2 = 0.10\text{m}$ ，吸入水管損失水頭，計  $H_{sf} = 0.417 + 0.72 + 0.07 + 0.10 = 1.307\text{m}$ 。

## (二)、送水管路之損失

1.300mm 制水閥，按  $f_v = 0.07$ ， $h_v = \zeta \times \frac{v^2}{2g} = 0.07 \times 0.417 = 0.03\text{m}$ 。

2.45° 彎頭 2 只，與吸入側相同， $h_b = 0.05 \times 2 = 0.10\text{m}$ 。

3.直管， $D = 0.30\text{m}$ ， $L_d = 4.80 + 2.50 = 7.30\text{m}$ ， $\lambda = 0.022$ ， $h_L = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{Vd^2}{2g} = 0.022 \times \frac{7.30}{0.30} \times 0.417 = 0.223\text{m}$ ，使用年數按 10 年計，摩擦阻力增率  $\alpha = 1.8$ ，故直管損失水頭為  $h_L = 0.223 \times 1.8 = 0.40\text{m}$ 。

4.出水管之放流(剩餘速度水頭)，查表，其損失係數  $= 1.0$ ，即， $\frac{V_d^2}{2g} = 0.417\text{m}$ ，送水管路損失水頭，計  $H_{df} = 0.03 + 0.10 + 0.40 + 0.417 = 0.947$ ，管路總損失水頭， $H_f = H_{sf} + H_{df} = 1.307 + 0.947 = 2.254\text{m}$ 。

## 三、總揚程計算

### (一)、吸入揚程

由圖 12-23 看出大排之設計水位 DWL(=+7.80m)高於吸入網 1.50m，故吸入實揚程為， $H_{sa} = 2.05 + 0.80 - 1.50 = 1.35\text{m}$ ，吸入全揚程， $H_s = H_{sa} + H_{sf} = 1.35 + 1.307 = 2.657\text{m}$ 。

### (二)、壓出揚程

由圖 12-23 看知壓出實揚程， $H_{da} = 3.69\text{m}$ ，壓出全揚程，為  $H_d = H_{da} + H_{df} = 3.69 + 0.947 = 4.637\text{m}$ ，實揚程  $H_a = H_{sa} + H_{da} = 1.35 + 3.69 = 5.04\text{m}$ ，總揚程  $H = H_a + H_f = 5.04 + 2.254 = 7.294(\text{m})$ 。

## 四、比速計算

### (一)、轉速之決定

依圖 12-14，按混流式兩吸入渦卷泵常用比速 550(rpm， $\text{m}^3/\text{min}$ ，m)

$$Q/2 = 0.202 \times 60/2 = 6.06 (\text{m}^3/\text{min})，H = 7.294\text{m}$$

由(12-1)式計算泵之轉速

$$N_s = \frac{N(Q)^{1/2}}{H^{3/4}}，故 N = \frac{N_s(H)^{3/4}}{Q^{1/2}} = \frac{550(7.294)^{3/4}}{6.06^{1/2}} = 992(\text{rpm})$$

選用 8 極(依表 12-1)電動機直結，其滿載轉速約 870rpm。

### (二)、比速 $N_s$

以  $N = 870 \text{rpm}$ ， $Q/2 = 6.06 \text{m}^3/\text{min}$ ， $H = 7.294\text{m}$

代入(12-1)式，得

$$N_s = \frac{N(Q)^{1/2}}{H^{3/4}} = \frac{870(6.06)^{1/2}}{7.294^{3/4}} = 483 < 550，OK。$$

## 五、動力計算

### (一)、水動力

$$Q = 2.02 \text{ m}^3/\text{hr} = 12.12 \text{ m}^3/\text{min}, H = 7.294\text{m}, r = 1,000\text{kg}/\text{m}^3$$

代入(12-18)式得，

$$L_w = (r \times Q \times H) / 4500 = (1000 \times 12.12 \times 7.294) / 4500 = 19.45(\text{ps})$$

### (二)、軸動力

依表 12-2，口徑 300mm 之兩吸式渦卷泵效率 75%，考慮製造誤差及運轉點變動，採泵效率  $\eta_p = 0.72$  代入(12-21)式得

$$L_s = L_w / \eta_p = 19.65 / 0.72 = 27.3(\text{ps})$$

### (三)、所需動力

因採用電動機直接驅動，按(表 12-8)取餘裕係數  $\alpha = 0.2$ ，傳動效率  $\eta_t = 1.0$ ，由(12-22)式

$$L_d = L_s(1 + \alpha) / \eta_t = 27.3 \times (1 + 0.2) / 1 = 32.5(\text{ps})$$

因無該種規格，故選用 35HP 之電動機。

#### 12.4.3、雲林農田水利會北水林分線補助水源抽水站

北水林分線補助水源抽水站位於雲林縣水林鄉水中段 490 地號，民國 99 年設置，抽取水林大排二排水供灌北水林小組，灌溉面積 41.58 公頃，抽水機 15Hp，抽水管徑 10 英吋，抽水量為 1,500GPM，如圖 12-24 所示。



圖 12-24 北水林分線補助水源抽水站

#### 12.4.4、雲林農田水利會北港支線補助水源抽水站

北港支線補助水源抽水站位於雲林縣四湖鄉新蔡厝段 859 地號，原民國 51 年設置，98 年改建，抽取牛挑灣排水，灌溉面積 1,357 公頃，屬三年輪灌區，共有 30Hp 抽水機 3 部，出水管徑 12 英寸，抽水量為 9,800GPM，其抽水站平面及側視圖如圖 12-25 所示；抽水站現況，如圖 12-26 所示。

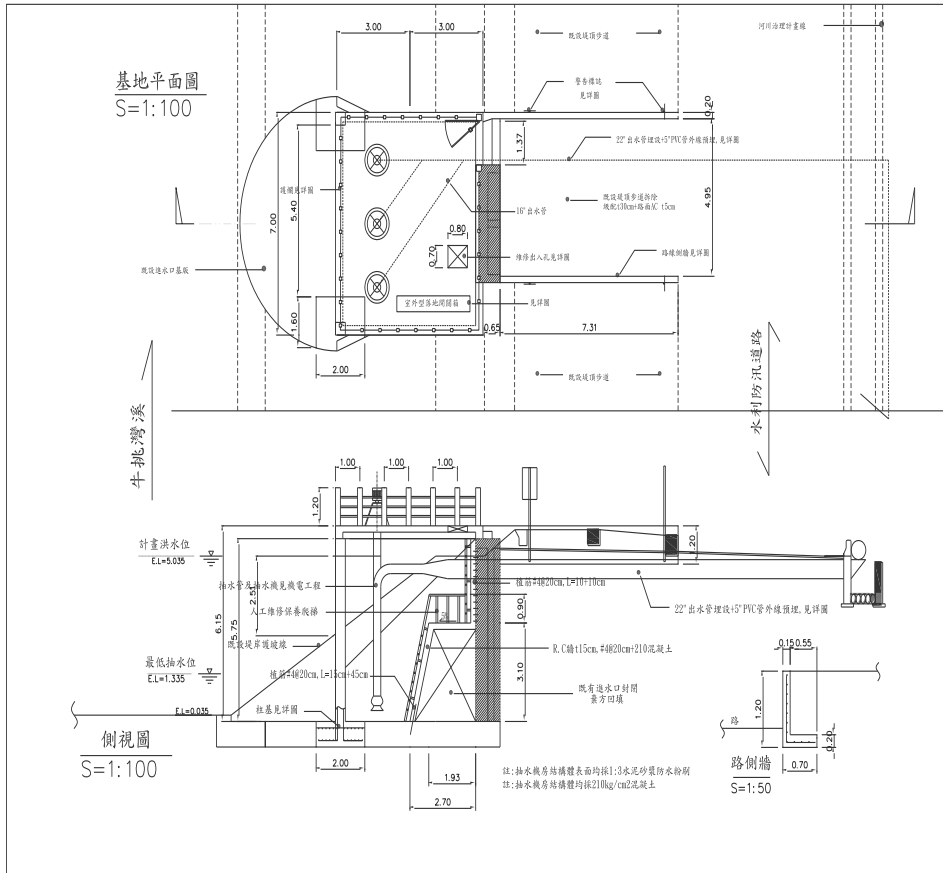


圖 12-25 北港支線補助水源抽水站平面及側視圖

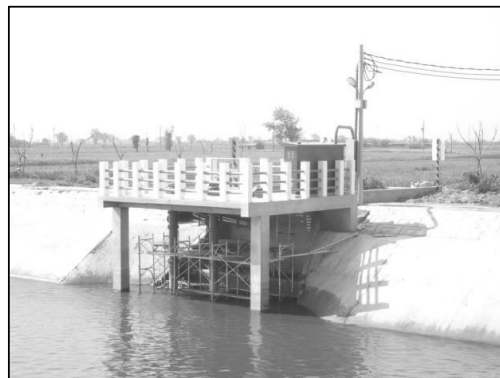


圖 12-26 北港支線補助水源抽水站

## 12.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1978，灌溉排水工程設計，特刊新二十八號。
2. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊-農業水利之部。
3. 大町昌義著、徐景福譯，1978，「渦旋泵浦之設計」，正言出版社。
4. 李國貞，1997，「抽水工程」，農田水利會人員訓練工程設計班。
5. 李國貞，2002，「泵工程設計實務」，農田水利會人員訓練班。
6. 梶原滋美著、張兆豐譯，1978，「泵及其使用方法」，臺隆書店。
7. 陳朝光、王明庸、黃泰翔，1997，「機械設計製圖」，高立圖書有限公司。
8. 經濟部能源局，2002，「產業泵浦效率管理節能技術手冊」。
9. 營建署，2010，「雨水下水道設計指南」。
10. 「電機機械 II」，台科大圖書股份有限公司。
11. 「動力機械概論 II」，全華科友圖書股份有限公司。
12. ASAE, 1986, Irrigation Engineering, American Society of Agricultural Engineers.
13. J. G. Dahigaonkar, 2006, Textbook of Irrigation Engineering, Asian Books Private Limited.
14. Peter Waller and Muluneh Yitayew, 2015, Irrigation and Drainage Engineering, Springer International Publishing.

## 第十三章、生態工程

### 13.1、概述

生態工程之由來源自於歐洲德國與瑞士最早發展，是近代世界公認之維持地區永續發展之近自然工法，其基本原則為天人合一，人與自然共生。該法則其實中國很早即有概念，如大禹治水與李冰父子建造都江堰，均以順應自然而能使水利事業永垂千古。具體提出論述與做法，則在 1930 後歐美國家為治理山崩及河川陸續發表，並且付諸實施，而且有具體成效，故歐美先進國家，均將其列入開發建設必須依循法則。

台灣於 1998 年正式引入，並且於 2002 年由行政院公共工程委員會成立「生態工法諮詢小組」，行政院農業委員會、經濟部、交通部及內政部四大部會相繼成立生態工法推動小組。2002 年 8 月 14 日公共工程委員會召開「生態工法諮詢小組會議」，確認官方版生態工法定義為「基於對生態系統深切認知與落實生物多樣保育與永續發展，而採取生態為基礎，安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」，自此生態工程全方位推動。

行政院農業委員會因應國家生態工程之推動，於 2004 年 6 月 30 日訂定公告「農田水利建設應用生態工法規劃設計與監督管理作業要點」作為推動農田水利建設時兼顧「提升農業生產、保護生態環境、維護生物多樣性及營造農村景觀」，採取生態工程以減少對自然環境傷害，達到「永續發展目標」之基本原則。

復於 2008 年，因應全球氣候變遷之挑戰，行政院核定「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」(公共工程委員會，2008)，將「生態工程」提昇為「永續公共工程」(sustainable public infrastructure)，期望公共工程建設能達到人本、優質、永續之標準，並讓未來公共工程建設得以取得經濟發展、環境保育以及社會正義等三方面之均衡，營造國人優質之生活空間。

2011 年，為減少溫室氣體排放的國際共識，並落實永續公共工程推動理念，更進一步推出「公共建設之永續性思維與作法--從綠色內涵到節能減碳」(公共工程委員會，2011)，此節能減碳概念之綠色內涵，包括營造綠色環境、廣採綠色工法、選用綠色材料及使用綠色能源。

2017 年公共工程委員會公告，公共工程生態檢核機制供工程實施參考，為貫徹公共工程永續發展為目標，復於 2019 年公告「公共工程生態機能檢核注意事項」。以上為我國生態工程發展歷程及法源依據。

### 13.2、水理

生態工程，係所有工程考慮與其他生物共存之工程，基本要求表面粗糙，縱斷不要直線化，其水理設計與原先各種構造物相同，惟因採用表面粗糙材

料其 n 值增加，或縱斷面曲折必須考慮可能產生之漩渦流、水躍或跌水等現象，以上各水理現象分別於渠首工、明渠、跌水工、水壩各章，本章不再重複論述，惟各種構造物可期待為有利於生態環境之工程簡述如下：

#### 一、攔河堰

設置魚道或連續矮壩，不要阻斷水域生物來回上下遊廊道。

#### 二、灌溉渠道

期望成為農地與河川水域生物廊道或昆蟲、兩棲類等之棲地。如蜆、溪蝦、泥鰍、鯽魚、蛙類等，甚至水質乾淨水路可能棲息螢火蟲。

#### 三、排水渠道

期望農地以排水路與河川或海域連接，而成為降海生物之廊道，如鰻魚、螃蟹類。

#### 四、貯水池

期望成為兩棲、鳥類及底棲生物棲地，或灌溉水路停水期間水生動物之避難所。貯水池堤岸畔是本土種水邊植物好棲地，如水柳、野薑花。

#### 五、農路

農路常為連接水域、農田與陸域之第一個介面，兩側之植生及路樹是鳥類及昆蟲之棲地，也是某些生物之廊道，如蝴蝶。

### 13.3、設計注意事項

#### 13.3.1、設計要點

##### 一、基本檢討事項

考量與環境相調和之水路，在維護其作為農業水利設施基本機能外，亦需對：

1. 生物棲地、生長環境的確保，
2. 構造物之基本條件的確保，
3. 環境考量之資料的採用，
4. 其他多樣性機能(親水性及景觀等)等進行考慮，詳如圖 13-1。

水路設計之際，不僅是提高農業生產性，如圖 13-2 所示，須從多元的觀點進行檢討。又，各個檢討內容相互間有關連性，亦存在有相反面，因此邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體等的意見，並加以參考為宜。





## 2. 考量棲息範圍之棲息環境的檢討。

依對象物種的不同，有的其棲息場所不僅僅是水路，亦會往水田及河川、埤塘等移動，故產卵、避難場所等有時未必就一定要在水路中加以確保。因此，關於動物的棲息環境，必須要在掌握棲息範圍的情況下進行檢討。

## 3. 為了確保聯繫性所需之考量。

在與水田接續之水路設計上，從確保連續性觀點，最好盡量考量「縮小田面與排水路間的落差」、「護岸、固床採用土、砌石及多孔質的材料」等的水路構造物。

## 4. 不只是水路等構造，有時亦應該重新確保非灌溉期的水量。

5. 雖然由於構造上的條件，冬季用水的確保，維護管理等自然性、社會性的條件所致，欲將所有的水路都採用生態系保育型者在現實上應該是很困難的，但是基於主計畫的區域區分，根據個別處所的立地條件，灌溉用水的利用型態及當地的要求等來選擇「重視生態系保育機能之水路」或是「重視水利機能之水路」是很重要的。

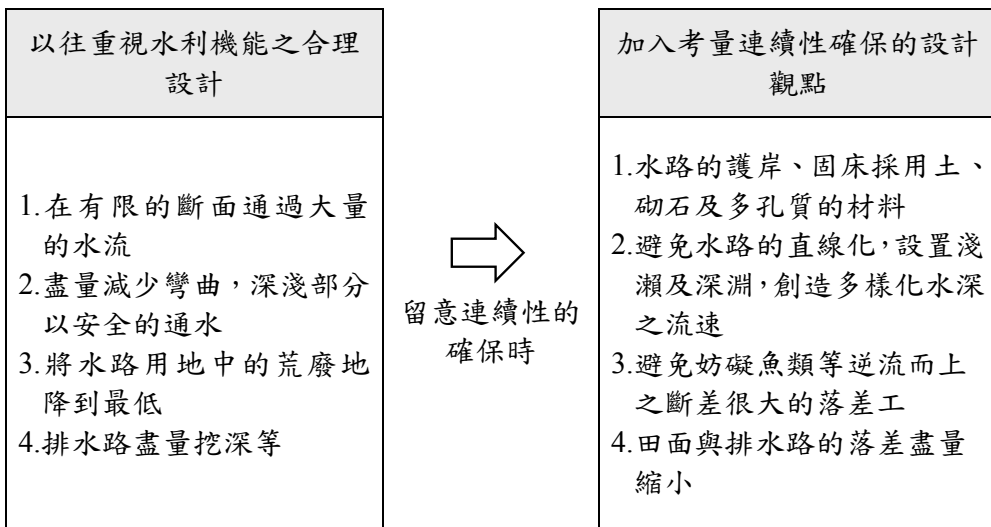


圖 13-3 連續性確保所需考量

## 三、構造物基本條件的確保

即使是考量與環境相調和之水路，就構造物而言也必須滿足：1. 安全性；2. 經濟性；3. 維護管理作業性等基本要件，故需進行比較設計，並進行充分的檢討、確認，切勿因要維護生態環境，忘了原構造物功能及安全性。

### 1. 安全性的確保

對於土水路方面應就邊坡的侵蝕、崩塌等，對於砌石水路方面應就護岸的倒塌、滑動等的安全性加以確認外，亦需講求所需要之安全確保對策。

尤其是在考量與環境相調和之水路，由於使用自然素材的情況也很多，故透過安定計算(傾倒、滑動、沉陷、抬升等)來檢討其安全性是很重要的。

此外，為了居民，管理作業者等的安全，與必須檢核防止跌落等之安全對策。由於親水性的提高及作為環境教育場所來加以活用等，使得區域居民接近水路的機會也變多，因此為了防範孩童等不慎跌落，若有需要應設防護柵等，檢討安全上的對策，並考量植栽等與週邊環境及景觀相調和。

## 2.經濟性的確保

考量與環境相調和之水路，確保適合生物棲息、生長的流速等將導致斷面規模擴大等，其與以往以經濟性為優先考量的水路相比，用地費及工程費大多會增加。因此，在選擇各種水路斷面工法等時其經濟性的比較就相當重要。即使是考量環境之工法，亦須努力透過可減少成本之施工方法及使用材料的選用，來確保其濟性。

## 3.維護管理作業性的確保

為確保所設想之生物種的棲息、生長條件，適切的維護管理將是其一大前提，因此透過在水路底設置台階等使水路的除草及淤泥清除等較容易進行，關於對維護管理作業容易性的考量及維護管理費的減輕等有檢討的必要。

## 四、環境考量下資材的利用

在區域中可採用的自然材料，亦與週邊環境相調和，工程費有時亦較便宜，因此最好善加利用。又，植物等一旦採用外來種、移入種時，有時會影響到現有之生態系，因此需要留意。

對於水路改善時所產生混凝土廢料等的再利用，在抑制廢棄物產生上對環境的考量，社會性成本縮減及工程費縮減上也很有效果，故應積極檢討。

- 1.減少遠運資材：週邊區域所沒有的自然材料(石材、間伐材等)由遠離地區等運入時，除了工程費較高外，有時也會與週邊之景觀不協調，故應注意之。
- 2.本土物種：為了促進本地種植生的恢復，除了檢討表土的處理外，在進行重新植生及邊坡吹附時亦應留意儘量採用本地種。此外，在從區域外運入表土等時，亦需充分注意是否有會影響區域生態系之外來種混入其中等。常見對區域植生造成影響之外來種：北美一枝黃花、三裂葉豬草、刺果瓜、菊芋、水蘊草等。
- 3.副產物活用：將混凝土塊作為蛇籠及箱籠之填充料，堆塊的內填充料的利用，將建設產生木材(採伐木、間伐材等)作為木樁，木工沉床工，樹枝材來利用等。關於間伐材及樹枝材等自然材料需有適當的維護管理、修補。

## 五、生態系統之維管認養

有關生物棲息、生長保件之確保與經濟性、維護管理作業性的平衡，需考量與環境相調和之水路之整備中，有時愈提高對生物棲息、生長環境(生態系考量)的考量，工程費及維護管理費等就愈高，因此考量其間的平衡來進行是很重要的。此時，就必需根據負擔工程費及將來維護管理之包含農家之區域居民等的意見進行充分的檢討。

在考量與環境相調和之水路，依據包含農家之區域居民、有學識者等的意見，考慮以下之平衡來進行設計是很重要的。在此，檢視 5 要素的平衡。此外，依據水路的的不同，檢討要素也不相同。

## 六、生態工程資材

### (一)自然資材

所有生物均喜好自然資材，以下簡述可做為農田水利生態工程自然資材：

- 1.塊石：土石與乾砌塊石、漿砌塊石等構造物材料。
- 2.土壤：土渠、塊石與土包袋。
- 3.磚類：磚瓦或窯等討陶製品。
- 4.樹木或竹材：打樁編冊、柳枝工、木梢沈床工、樹枝丁埧。
- 5.水邊植物：在以土石為材料之構造物如貯水池、大排水路、其水邊植物除有保護水岸外，對水質淨化及提供動物生育場所具有很大功能，表 13-1 介紹水邊植物群落之功能。

生態工程材料，盡可能就地取材，切勿因要在甲的實施生態工程而在遙遠以的取材又破壞乙地生態(如挖取大石)且因運輸而耗大量能源。盡可能使用天然資材，不得以時始採用人工資材，惟應考量表面粗糙、多孔材料。

### (二)自然資材加工品

- 1.蛇籠或箱籠：內裝塊石或土包或建築廢棄物。
- 2.網袋：內裝土石、貝殼等材料。
- 3.不織布袋：內裝土壤。
- 4.鋼筋籠：以鋼筋焊接成籠內填塊石或建築廢棄物。

### (三)仿生態機能人工資材

凡以水泥砂石為材料做成表面粗糙且多孔隙製品，即所謂的生態塊(陳獻等，2005、2007)。該類材料會應用於工程地點自然資材不易取得

或工程必須忍受較大沖刷力等地方。另有些貯水池或圳路旁之欄杆也會採用仿木 PE 材料。

#### (四)人工資材

在工程安全要求很嚴格地方，如水路轉彎斷或重要構造物如水門、橋梁下等水路，不得不要採用鋼筋混凝土等人工資材，該類資材在現場澆置如能考慮表面粗糙或人工孔洞(陳獻等，2006)，亦有利於微生物。

表 13-1 水邊植物群落之功能

| 功能\植物群落 |                 | 水邊林群落               | 濕地植物群落 | 抽水植物群落 | 浮葉植物群落 | 沈水植物 |   |
|---------|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|------|---|
| 動物生育所   | 魚蝦產卵及稚魚生育所      |                     |        | ○      | ○      | ○    |   |
|         | 野鳥之巢、育雛、隱蔽所     | ○                   | ○      | ○      | +      |      |   |
|         | 野鳥餌料之供應         | ○                   | ○      | ○      | ○      | ○    |   |
|         | 昆蟲、兩稀動物生育所及餌料供應 | ○                   | ○      | ○      | ○      | ○    |   |
|         | 底棲動物或貝類隻飼料供應    | +                   | +      | ○      | ○      | ○    |   |
|         | 附著生物之著生機體       |                     |        | ○      | ○      | ○    |   |
| 其他      | 水質淨化            | 阻止泥沙或汙濁物質之流入        | ○      | ○      | ○      | ○    | + |
|         |                 | 有機物分解淨化             |        | ○      | ○      | ○    | ○ |
|         |                 | 吸收來自湖水或底泥之營養鹽       |        |        | ○      | ○    | ○ |
|         |                 | 植物浮游生物(plankton)之抑制 |        |        | ○      | ○    | + |
|         | 水岸保護            | 由於密生根莖而防止侵蝕         | ○      | ○      | ○      |      |   |
|         |                 | 密生群落而消波及飛濺水沫之減弱     | ○      | ○      | ○      | +    | + |
|         | 資源供給            | 人類食物                | ○      | ○      | ○      | ○    | ○ |
|         |                 | 生活用品材料              | ○      | ○      | ○      | +    | + |
|         |                 | 家畜餌物及農地肥料           | ○      | ○      | ○      | ○    | ○ |
|         | 祥和水邊景觀形成        |                     | ○      | ○      | ○      | ○    | + |

註：「○」表示功能顯著；「+」表示多少有助益。

### 13.3.2、設計準則

農業生產所需要之灌溉排水及農路工程，以台灣現階段之農業生產區域大都已經建設完成，之前因對生態環境認識或重視較少，大部分工程均以增加生產效率，以安全堅固且經濟又維護容易為基本考量。如今因應講求生態環境之社會共識條件，今後在工程更新改善或擴大灌區新建農田水利事業，除安全因素應優先考慮外，必須遵循永續公共工程相關規定。

基本上，農田水利工程是農業生產事業所需，故以緩和對自然生態環境影響為原則，國際對緩和(mitigation)事業對自然生態環境影響，美國NEPA(國家環境政策法)，在環境考量對策上，應考量以迴避(avoidance)、最小化(minimization)、修正(rectifying)、減輕／消失影響(reduction/elimination)及彌補(compensation)來緩和對環境影響，各種不同對策的適用範圍分別說明如下：

- 一、迴避：應保存的環境要素，儘可能遠離因事業實施而帶來人為影響。
  1. 事業實施地點若可儘量遠離應保存之地點，或是將之排除在事業實施範圍以外，就可迴避工程的影響，此對區域的生態系而言是最好的。
  2. 在水路和農路的建設預定地若存在著貴重生物所棲息、生長的樹林地和沼澤地等時，或是文化古蹟，則可將建設預定路線以迂迴方式繞過，或是依照現況原封不動保存其中的一部份或是避開生物繁殖施工等，此亦相當於迴避因事業實施所造成環境影響的方法。
- 二、最小化：透過工種(素材、規模、時期等)的選定，儘可能減少影響。
  1. 選定儘可能使事業目的和生態保育的兩全工法，並為使對自然環境影響盡量減少的方法，一般而言即相當於所謂的生態系保育工法。
  2. 在生態系保育工法方面，並不是採用三面內面工水路而是二面內面工和單側護岸水路，其中有利用所謂的蛇籠、箱籠和木工沉床等傳統性的工法，以生態系保育為目的所開發出來二次製品的利用等方法。
- 三、修正：透過事業的實施，推動新棲息、生長空間的開創和網路化。
  1. 不要使事業的實施陷入其經常會對生態系帶來不良影響的印象，而是事業的實施為了生態系的保育，在創造出其所期待之狀況方面也能夠積極配合的形象。
  2. 在農場建整之際，對於棄耕地和生產條件不利的土地以換地措施來處理，並值得對於重新開創地區內生物在棲息、生長空間上所需的生態棲地，謀求網路化的作法進行檢討。

- 3.在已經單純化之斷面而不適於生物棲息、生長的水路，透過更新改善將之變成生物可利用來棲息、生長之水路，此應該可作為在事業實施的同時開創生態系保育所企求之環境上的案例。

四、減輕：以工程實施前在準備和假設規劃上的巧思與努力來減緩影響。

- 1.由於工程的實施雖然無法避免對環境造成一定的影響，但卻可減輕其影響程度，並可在工程完成後順利將環境恢復的方法。
- 2.其中包含有確保工程實施中污水處理對策和水生生物保育上所需水流的方法，以及當很難確保充分水流時，暫時將生物移居等的方法。

五、補償：確保補償既有棲息、生長空間之替代地，開闢生態棲地。

- 1.由於事業的實施，不得已會對生物的棲息、生長地帶來某種程度的傷害時，可採用確保或開闢替代性棲息、生長地，以確保棲息、生長空間之方法。
- 2.隨著灌排水路的更新改善而使水路直線化的情況下，設置蛇行的迂迴水路和保護池以確保生物之棲息、生長空間的方法等就是此法的適用範例。此法需要有適當的用地和水源的確保為條件，雖然並非任何區域都能適用，但若是條件齊全的話，在使得生產性的提升和生態系的保育能夠兩全其美的方法上是相當有效果的。

### 13.4、工程實例及相關圖片

如何考慮水利功能與生態環境、農村景觀有機結合，亦即如何兼具生產、生活及生態三生功能之生態工程案例，受限篇幅，遂僅援引獲得公共工程金質獎肯定的宜蘭農田水利會柯林湧泉圳生態工程代表案例如下。

柯林湧泉圳生態工程位於宜蘭縣三星鄉大隱村、冬山鄉柯林村的交界處是冬山鄉柯林村農田主要灌溉來源，於2002年及2003年藉由農委會經費補助，宜蘭農田水利會配合政府推行環境綠美化、大量運用綠色材料、營造親水空間及維護生態環境，提昇大眾生活品質，促進水資源永續發展，柯林湧泉分2年2期以生態工程進行規劃設計，採用以生態為基礎，安全為導向的坡頂綠美化，利用具有豐富天然湧泉水施作生態化功能水路，融入社區總體營造理念，建造親子多樣化活動設施，如水源保護區、生態島、自然湧泉區、生態圳路，並於圳岸植栽綠色花木潤飾，回復大地生命原貌，美化農村生活環境，完全契合農田水利設施兼具生產、生活及生態三生功能之願景。

### 13.4.1、人行透水鋪面

透水鋪面功能為透過磚面縫隙使雨水能夠入滲至大地土壤以涵養地下水源同時調節土壤與近地表空氣之流通，調節並緩和環境微氣候。鋪面多為預鑄式，降低現場施工拌漿鑄作，無須挖地、拌漿、鋪模，減少二氧化碳排放。

透水性鋪面多利用於停車場、人行步道或車流量較小之道路鋪築上，運用結合安全美觀實用與環保，並提供良好透水性及透氣性，提升地底層含有助排洪控溫。有些連鎖磚甚至屬回收再利用之再生磚，具『綠色材料』特質，同時達到基地保水精神，如圖 13-4 所示。



圖 13-4 圳路旁之人行步道以連鎖磚透水鋪面施作

### 13.4.2、架高木棧道

架高木棧道提供生物穿越遷移而不受人為干擾，有助於生物基因交流，可讓棧道兩旁小生態系做連結，協助生態綠網建立的生態道路，防止人行動線對自然環境衝擊減至最低，便於原生動物、昆蟲的移動不受阻斷、干擾甚至被路死的可能性，符合『綠色環境』精神，如圖 13-5 所示；其中棧道鋪面以可回收之天然木頭製成，符合『綠色材料』。

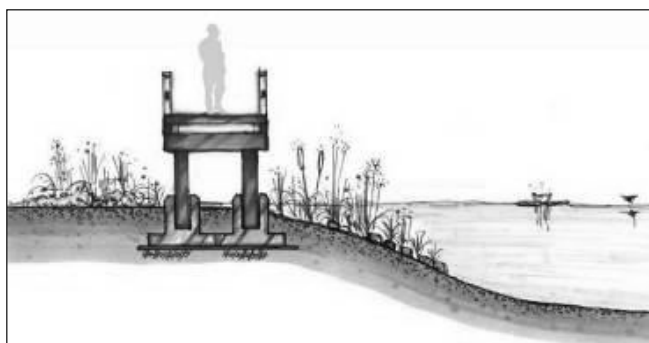


圖 13-5 架高木棧道提供人類觀賞動線又不干擾其他生物走廊

### 13.4.3、塊(卵)石護坡

創造生物多樣性環境需仰賴「多孔隙環境」，以砌石護坡為例，護坡孔隙可容納水分、空氣、土壤以滋養細菌、微生物，促進分解作用進行，進一步提供高層次生物賴以生存養分，創造出『綠色環境』維持生態系的平衡，如圖 13-6 所示。

護坡以乾砌石堆疊，製造多孔隙，使魚、蝦、蟹類及植物能利用孔隙躲藏、紮根，是一種『綠色工法』呈現。此外多孔隙所營造空間亦可為小生物覓食、築巢的生存空間，且有助於創造多樣化的棲地。同時，採用當地天然石頭砌成的生態邊坡，屬營建材料再生利用，減少營建廢棄物產生及二氧化碳排放等效益的『綠色材料』。



圖 13-6 砌卵石護坡屬多孔隙生態環境

### 13.4.4、預鑄式護坡

預鑄式造型鋼模鋼筋混凝土護岸，如圖 13-7 所示，施工時採用自動化或標準化施工方式為高效率的建材生產，不但能提高施工速率，節省經費，亦能減少施工過程中營建廢棄物產生，減少不必要建材浪費降低建材生產階段所排放之二氧化碳量，對建材生產之節能減碳有莫大的助益，符合『綠色工法』。



圖 13-7 預鑄式鋼筋混凝土護坡降低碳排



#### 13.4.5、水門及水壩旁魚道

柯林湧泉圳制水門及水壩魚道具有調節水源兼具灌溉與排洪功能，藉以抬高水位，以利引灌農田。制水門雖使圳路分截成二段，形成上下游之跌水落差，恐讓生態系不連續，因此，本案於水門旁設有水壩魚道使魚類有迴游路線，以維護水生物魚類族群等之生態平衡，營造出人類與大自然雙贏的『綠色環境』，如圖 13-8、圖 13-9 所示。



圖 13-8 制水門旁魚梯提供生物迴遊



圖 13-9 利用魚梯補償制水門對生態所造成的影響

#### 13.4.6、生態孤島

生態島，如圖 13-10、圖 13-11 所示，提供更豐富水域生態，藉水域之阻隔獨立避免人為干擾，可更完整維護原生生態環境及促進生物棲地之形成，屬於『綠色環境』之一環。

本案採用天然石塊堆砌而成多孔隙的水岸符合『綠色工法』，減省許多傳統建材或運輸時所要消耗的費用與二氧化碳量，另，其石頭的來源係於宜蘭現地取材，在原料採取、產品製造與應用過程中，對地球環境負荷小、對人類身體健康無害的材料的『綠色材料』。島上種植原生喬木、灌木、植草等複層綠化與雜生混種，以創造多樣化之棲地環境。



圖 13-10 圳路上生態孤島有助於棲地營造



圖 13-11 生態孤島複層綠化與雜生混種

#### 13.4.7、多孔隙圳床及淺灘設計

多孔隙圳床及部分淺灘設計，提供微生物及蝦蟹等躲藏及繁衍空間，有助於水中生物多樣化的環境，營造適合生態系生存的『綠色環境』，如圖 13-12 所示。



圖 13-12 圳路以拋石創造多樣化水流

其中，採拋石工法施作之圳床，創造因不同水深高差製造出圳路水流之多樣環境，如圖 13-13 所示。



圖 13-13 多孔隙淺灘圳床及拋石工法

此外，圳底不以水泥為之以增加透水性，有助於大地水源之涵養。淺灘可作為兩棲生物岸邊之棲地，創造多樣性棲息環境，增近水域與陸地生態系統的連結性，且淺灘未使用人工建材，全以當地植栽種類或木構構築，如圖 13-14 所示。

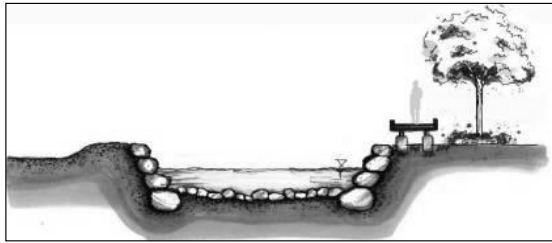


圖 13-14 多孔隙圳床設計-提供棲息、躲藏、覓食的環境

#### 13.4.8、複層綠化與雜生混種

複層綠化與雜生混種在岸邊腹地及生態島上，採用不同樹種，高低的喬木、灌木、草花、蔓藤等混種，兼顧物種多樣性綠化，營造多生態共存的『綠色環境』，如圖 13-15 所示。



圖 13-15 複層綠化灌木與喬木相間

且不以單一物種之植物種植避免物種單一化，同時採多層次混種手法，在有限腹地面積上創造最大量綠化固碳效果，符合『綠色工法』，如圖 13-16 所示，可彌補工程施工階段之碳排，如圖 13-17 所示。



圖 13-16 水圳旁兩側步道的雜生混種

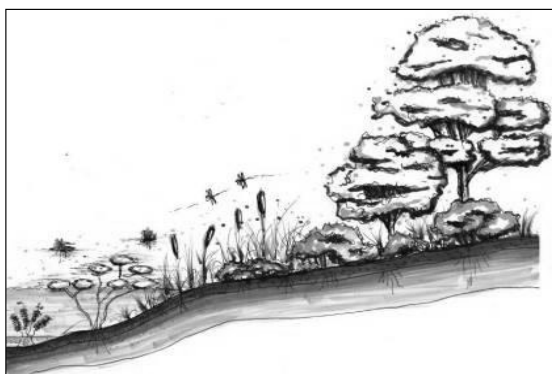


圖 13-17 多層次複層綠化示意圖

#### 13.4.9、多樣之水生植物

水域中混種浮葉與挺水植物，如圖 13-18、圖 13-19 所示，創造水域生態多樣綠化環境，亦作為生物覓食、產卵、避難的產所。水生植物可吸收水中營養鹽，維持水中養分平衡，不至於使藻類過度繁殖造成水域優養化。



圖 13-18 綠色圳道浮水植物漫佈



圖 13-19 豐富多樣性的水生植物

#### 13.4.10、原有老樹保留

該工程於規畫設計時，以「迴避、減輕、補償」等原則，降低工程施作時對原有老樹之衝擊，保留基地內原有之原生老樹，以不砍伐移植的原則，進行工程之規畫、設計與施工，如圖 13-20 所示。



圖 13-20 以迴避做法保有原地生長的喬木

#### 13.4.11、小結

綜合上述包括：透水性鋪面、架高木棧道、塊石護坡、預鑄式護岸、水門及水壩旁魚道、生態島、多孔隙圳床、複層綠化、水生多樣性等生態工程設施，其位置、特色、具綠色內涵之思維與作法以及符合綠色內涵，彙整如表 13-2 所示。

表 13-2 柯林湧泉圳具綠色內涵之思維與作法

| 項目       | 位置     | 特色簡述  | 符合綠色內涵                     |
|----------|--------|---|----------------------------|
| 透水性鋪面    | 連鎖磚步道  | 增加雨水入滲，減少地表逕流，符合基地保水、透水之功能。                   | ■綠色環境 ■綠色工法<br>■綠色材料 □綠色能源 |
| 架高木棧道    | 櫻花枕木步道 | 架高之木棧步道提供小生物穿越之路徑，並與水域間保留綠帶，以為區隔，可避免人為幹擾水岸棲地。 | ■綠色環境 ■綠色工法<br>■綠色材料 □綠色能源 |
| 塊石護坡     | 園區河道護坡 | 石砌邊坡為多孔隙環境，是有益於邊坡植生綠化之作法。                     | ■綠色環境 ■綠色工法<br>■綠色材料 □綠色能源 |
| 預鑄式護岸    | 圳道閘門旁  | 預鑄為高效率工法，減少工程施作時之二氧化碳排放量，節能減碳。                | □綠色環境 ■綠色工法<br>□綠色材料 □綠色能源 |
| 水門及水壩旁魚道 | 制水門與魚道 | 供魚類洄游魚梯，減少因水工構造物造成之水域生態障礙。                    | ■綠色環境 ■綠色工法<br>□綠色材料 □綠色能源 |
| 生態島      | 生態島    | 生態孤島提供無人為幹擾之生物棲地環境。                           | ■綠色環境 ■綠色工法<br>■綠色材料 □綠色能源 |
| 多孔隙圳床    | 園區所有圳床 | 多孔隙圳床有助於水生動植物之活動、生存與躲藏空間，拋石之圳床可創造多樣之水文環境。     | ■綠色環境 ■綠色工法<br>■綠色材料 □綠色能源 |
| 複層綠化     | 園區植栽   | 複層綠化在有限之基地內多層次種植大小喬木、灌木，有助於提高綠化之固碳量。          | ■綠色環境 ■綠色工法<br>□綠色材料 □綠色能源 |
| 水生多樣性    | 園區植栽   | 水域中混種浮葉與挺水植物創造水域生態之多樣綠化環境，維持水域生態。             | ■綠色環境 ■綠色工法<br>□綠色材料 □綠色能源 |

### 13.5、參考文獻

1. 日本農林水產省構造改善向計畫部資源課，1985，社團法人農村環境整備せこ夕ー，せこ夕ー，生態系に配慮した農業農村整備事業實施に當たつ手引き(案)。

2. 日本食料・農業・農村政策審議會，2006，農村振興分科會，農村整備部會技術小委員會，環境との調和に配慮した事業実施のための調査計畫，設計の手引き，2002年中文翻譯本—與環境相調和考量下事業實施之規劃、設計手冊(第一篇)，農業工程研究中心，農田水利會聯合會製作。
3. 黃振昌，2016，「如何考慮水利功能與生態環境、農村景觀有機結合」，2016福建水利學會學術報告，中華農業暨水利事業發展協會，p.1-p.32。
4. 黃勝頂、陳豐文、陳獻、蔡西銘，2007，灌排渠道生態工法之應用—以大牛欄分渠為例，土木水利第34卷第1期，P.56~64。
5. 陳豐文、陳獻、黃勝頂、蔡西銘，2008，台東湧泉圳棲地特性及多樣性生態工法之應用，先進工程學刊，第3卷，第4期。
6. 陳獻、楊紹洋、詹榮鑑，2005，預鑄生態石塊應用在灌排水路之設計，農業工程學報，第51卷第2期，P.41~61。
7. 陳獻、楊紹洋、蔡西銘、張德鑫、王繼緯，2006，農業水利生態孔洞之水理設計，農業工程學報第52卷第3期，P.46~54年。
8. 陳獻，2006，農田水利事業應用生態工程之潛力與發展方向，農政與農情。
9. 陳獻、謝新春、楊紹洋、邱金火、李俊儒，2007，石樑工法應用在農水路生態改善工程，農業工程學報，第53卷第2期，P.61~76。
10. 蔡逸文、陳獻、張斐章，2005，灌溉水路應用生態工法實施流程之擬議，農業工程學報，第51卷第3期，P.74~86。
11. Te-Hsing Chang, Shinne Chen, Shen-Ting Huang, Shelter effect Evaluation of the willow works bank protection method : A case study for Beinan River Reach 2009 Typhoon Morakot event, Paddy and water Environment, ISSN : 1611-2490, Vol11, P.15~33, Jan.2013.

## 第十四章、公共工程生態檢核機制

### 14.1、概述

#### 14.1.1、源起

時序邁入追求永續發展之 21 世紀，資源、環境、糧食安全及生物多樣性(biological diversity)保育等全球性共通議題，早已蔚為世界趨勢潮流、時代使命及世代責任，當前更因全球暖化(global warming)、氣候變遷(climate change)所致旱澇頻度與強度加劇，致全球各地天然災害頻傳、民眾生命財產損失、生物多樣性消失、生態系統服務(ecosystem service)減損等衝擊，影響環境、社會、經濟的穩定，愈發凸顯及重要，全世界各國政府無不加緊腳步依政府間氣候變化專門委員會於 2014 年所提 AR5(fifth assessment report)建議(IPCC, 2014)，採減緩(mitigation)與調適(adaptation)策略，推出各項在各專業領域的因應與作法，身為地球村一員的台灣自也未置身事外，聚焦在公共工程與環境永續及保育之專業領域上，為減輕公共工程對生態環境造成負面影響，系列減緩與調適策略，歷經逾 20 年之建構、滾動檢討修正、推動辦理，於 2017 年明確規範「公共工程生態檢核機制」，並進一步提升至行政規則位階，頒訂「公共工程生態檢核注意事項」(行政院公共工程委員會，2019)，將公共工程建設計畫全面納入應辦事項。

#### 14.1.2、推動辦理歷程

圍繞「人本、優質、永續」施政宗旨下，公共工程與生態環境議題相關之系列推辦歷程如下：

- 一、2002 年頒定「生態工法」：係推動數年之永續公共工程歷程中，明確界定應用生態概念之工程工法，其意涵：「基於對生態系統深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取生態為基礎、安全為導向之工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。
- 二、2006 年更名為「生態工程」：因常誤以為是一種工法(即施工方法)而滋生爭議，為優質工程與永續環境政策能持續順利推動，並與 eco-engineering 國際專業用語接軌，遂更名之。
- 三、2008 年，因應全球氣候變遷挑戰，依據「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」(行政院公共工程委員會，2001)，提昇「生態工程」為「永續公共工程」(sustainable public infrastructure)，期望公共工程建設能達到「人本、優質、永續」施政宗旨，並推動公共工程需具「綠色內涵至少達 10%以上」，所稱綠色內涵係指：營造綠色環境、廣採綠色工法、選用綠色材料及使用綠色能源，以取得經濟發展、環境保育以及社會正義等三方面均衡，營造優質生活空間。



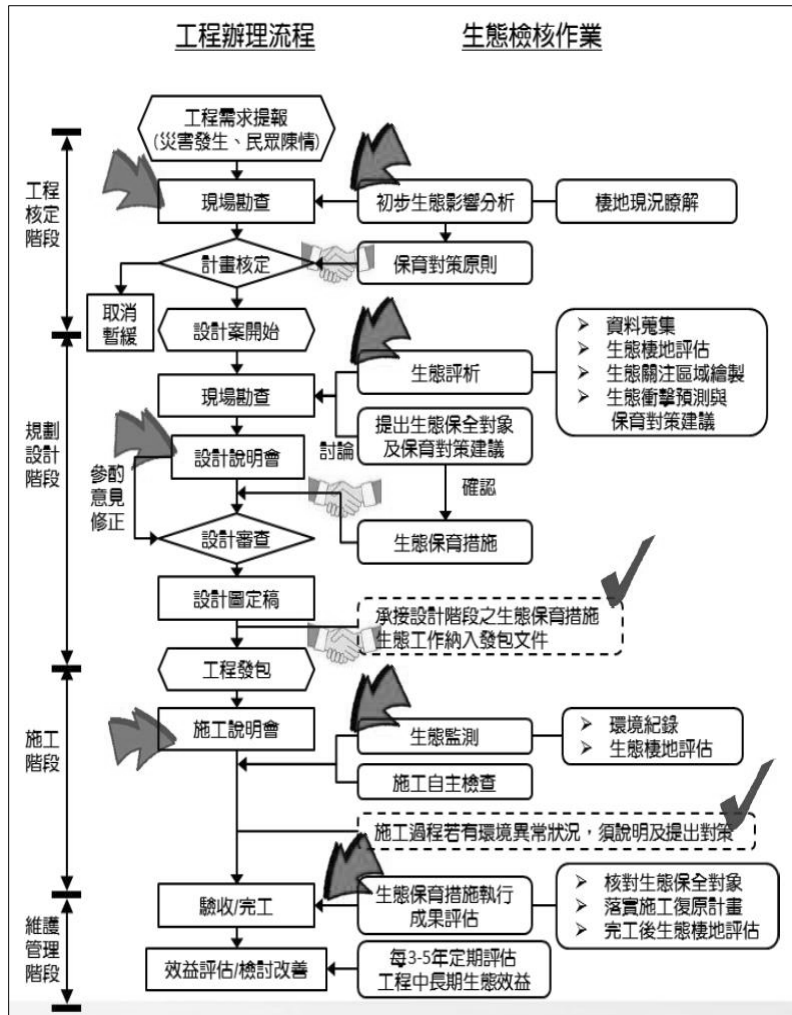
- 四、2011 年，推出「公共建設之永續性思維與作法--從綠色內涵到節能減碳」，以更進一步達成減少溫室氣體排放的國際共識，並落實永續公共工程推動理念。
- 五、2017 年，訂定「公共工程生態檢核機制」：歷經逾 10 年不斷反覆之研發、評估、操作試辦及推廣經驗回饋，將各階段工程考量生態相關面向之生態檢核評估表，明確規範並以機制型態制定，以減輕公共工程對生態環境造成的負面影響，秉生態保育、公民參與及資訊公開原則，積極創造優質的環境。
- 六、2019 年，頒訂「公共工程生態檢核注意事項」：累積施行經驗並提升至行政規則位階，將公共工程建設計畫納入應辦事項，落實生態保育政策，減輕工程對生態環境影響。除無涉生態環境保育議題之相關工程無須辦理生態檢核外，明確規範：1.中央政府各機關補助直轄市及縣(市)政府辦理補助比率，逾工程建造經費 50%之新建公共工程，需辦理生態檢核作業。2.公共工程生態檢核自評表所需檢附相關附件。3.新增地方政府機關辦理生態檢核得參照注意事項。

為兼顧工程品質與生態永續，減輕工程施做對生態環境造成負面影響，以維護生物多樣性與棲地環境，長年來公部門配合政策不遺餘力積極推動與公共工程生態檢核相關作為，其主要事件臚列如下：

- 一、2006 年，經濟部水利署石門水庫集水區治理工程計畫率先納入生態保育思維，首起生態檢核作業。
- 二、2007 年，水土保持局研擬「石門水庫集水區治理工程生態保育措施」。
- 三、2012 年起，歷經研發、規範制定、案例試辦，陸續擴大成果應用範疇及其執行參考手冊，如：2012 年，經濟部水利署曾文南化及烏山頭水庫集水區整治工程。
- 四、2013 年，水利署重點河川水利工程、水土保持局綜合流域治理。
- 五、2014 年，林務局綜合流域治水計畫、水土保持局制定環境友善措施標準作業書並納入「工務處理手冊」。
- 六、2016 年，水利署制定「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」。
- 七、2017 年，前瞻性基礎建設計畫納入生態檢核，就水利領域有：水與發展，加強水庫集水區保育治理計畫。水與環境，全國水環境改善計畫。水與安全，縣市管河川及區域排水整體改善計畫。
- 八、2018 年，林務局制定「國有林治理工程生態友善機制手冊」。
- 九、2019 年，交通部公路局頒「省道公路工程生態檢核執行參考手冊」。

## 14.2、生態檢核作業原則

2019 年版「公共工程生態檢核注意事項」，計 14 條、1 附圖及 1 附表，其作業原則係依工程生命週期工程計畫核定、規劃、設計、施工與維護管理等 5 個階段分述，各階段生態檢核作業流程如圖 14-1 圖所示。



圖例：

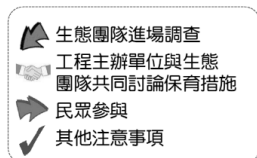


圖 14-1 生態檢核各階段作業流程圖

資料來源：水利工程生態檢核推動及保育案例分享(經濟部水利署，2019)

### 14.2.1、工程計畫核定階段

本階段目標為評估計畫可行性、需求性，以及對生態環境衝擊程度(或稱環境敏感區評估)，決定採不開發或可行工程計畫方案，其作業原則如下：

- 一、蒐集計畫施作區域既有生態環境及議題等資料，並由生態背景人員現場勘查記錄生態環境現況及分析工程計畫對生態環境之影響。
- 二、依工程規模及性質，計畫內容得考量替代方案，並應將不開發方案納入，評估比較各方案對生態、環境、安全、經濟及社會等層面之影響後，決定採不開發方案或提出對生態環境衝擊較小可行方案。
- 三、邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體辦理現場勘查，溝通工程計畫構想方案及可能之生態保育原則。
- 四、決定可行工程計畫方案及生態保育原則，並研擬必要之生態專案調查項目及費用。

#### 14.2.2、規劃階段

本階段目標為生態衝擊之減輕及因應對策之研擬，決定工程配置方案。其作業原則如下：

- 一、組成含生態背景及工程專業之跨領域工作團隊，透過現場勘查，評估潛在生態課題、確認工程範圍及週邊環境之生態議題與生態保全對象。
- 二、辦理生態調查及評析，據以研擬符合迴避、縮小、減輕及補償策略之生態保育對策，提出合宜之工程配置方案。
- 三、邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體辦理規劃說明會，蒐集整合並溝通相關意見。

#### 14.2.3、設計階段

本階段目標為落實規劃作業成果至工程設計中，作業原則如下：

- 一、根據生態保育對策辦理細部之生態調查及評析工作。
- 二、根據生態調查、評析成果提出生態保育措施及工程方案，並透過生態及工程人員之意見往復確認可行性後，完成細部設計。
- 三、根據生態保育措施，提出施工階段所需之環境生態異常狀況處理原則，以及生態保育措施自主檢查表。

#### 14.2.4、施工階段

本階段目標為落實前兩階段所擬定之生態保育對策、措施及工程方案，確保生態保全對象、生態關注區域完好及維護環境品質，其作業原則如下：

- 一、開工前準備作業
  - 1.組織含生態背景及工程專業之跨領域工作團隊，以確認生態保育措施實行方案、執行生態評估，以及確認環境生態異常狀況處理原則。

- 2.辦理施工人員及生態背景人員現場勘查，確認施工廠商清楚瞭解生態保全對象位置，並擬定生態保育措施及環境影響注意事項。
  - 3.施工計畫書應考量減少環境擾動之工序，並包含生態保育措施，說明施工擾動範圍(含施工便道、土方及材料堆置區)，並以圖面呈現與生態保全對象之相對應位置。
  - 4.履約檔應有生態保育措施自主檢查表。
  - 5.施工前環境保護教育訓練計畫應含生態保育措施之宣導。
  - 6.邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾及關心相關議題之民間團體辦理施工說明會，蒐集整合並溝通相關意見。
- 二、確實依核定之生態保育措施執行，於施工過程中，注意對生態之影響。若遇環境生態異常時，停止施工並調整生態保育措施。
- 三、施工執行狀況納入相關工程督導重點，完工後列入檢核項目。

#### 14.2.5、維護管理階段

本階段目標為維護原設計功能，檢視生態環境恢復情況，其作業原則：定期視需要監測評估範圍之棲地品質並分析生態課題，確認生態保全對象狀況，分析工程生態保育措施執行成效。

### 14.3、生態檢核自評

依「公共工程生態檢核注意事項」所揭，工程主辦機關應填具公共工程生態檢核自評表，並檢附各階段檢核工作中，所辦理生態調查、評析、現場勘查及保育對策研擬等過程及結果之檔紀錄。

爰此，公共工程生態檢核自評表中，包括：計畫及工程名稱、工程期程、主辦機關、基地位置(含 TWD97 座標)、設計單位、監造/營造廠商、工程預算/經費(千元)、工程目的、工程類型(勾選：交通、港灣、水利、環保、水土保持、景觀、步道、其他)、工程概要、預期效益等工程基本資料，各階段需填具內容說明如下並彙整如表 14-1 所示。

- 一、計畫核定階段：包含生態專業背景人員參與；地理位置與關注物種及重要棲地之生態資料蒐集調查；方案評估、採用策略及經費編列之生態保育原則；工程計畫構想說明之民眾參與；工程計畫內容之資訊公開。
- 二、規劃階段：包含生態背景及工程專業跨領域工作團隊之專業參與；生態環境及議題之基本資料蒐集調查；調查評析、生態保育方案之生態保育對策；規劃說明會之民眾參與；工程規劃內容之資訊公開。

表 14-1 生態檢核自評各階段需填具內容

| 階段     | 目標  | 檢核項目       | 評估內容        |
|--------|---|------------|-------------|
| 計畫核定   | 評估計畫可行性、需求性，以及對生態環境衝擊程度，決定採不開發方案或可行工程計畫方案 | 1.專業參與     | 生態背景人員      |
|        |   | 2.生態資料蒐集調查 | 地理位置        |
|        |   |            | 關注物種及重要棲地   |
|        |   | 3.生態保育原則   | 方案評估        |
|        |   |            | 採用策略        |
|        |   |            | 經費編列        |
| 4.民眾參與 | 現場勘查                                      |            |             |
| 5.資訊公開 | 計畫資訊公開                                    |            |             |
| 規劃     | 生態衝擊之減輕及因應對策之研擬，決定工程配置方案                  | 1.專業參與     | 生態背景及工程專業團隊 |
|        |   | 2.基本資料蒐集調查 | 生態環境及議題     |
|        |   | 3.生態保育對策   | 調查評析、生態保育方案 |
|        |   | 4.民眾參與     | 規劃說明會       |
|        |   | 5.資訊公開     | 規劃資訊公開      |
| 設計     | 落實規劃作業成果至工程設計中                            | 1.專業參與     | 生態背景及工程專業團隊 |
|        |   | 2.設計成果     | 生態保育措施及工程方案 |
|        |   | 3.資訊公開     | 設計資訊公開      |
| 施工     | 落實前兩階段所擬定之生態保育對策、措施及工程方案                  | 1.專業參與     | 生態背景及工程專業團隊 |
|        |   | 2.生態保育措施   | 施工廠商        |
|        |   |            | 施工計畫書       |
|        |   |            | 生態保育品質管理措施  |
|        |   | 3.民眾參與     | 施工說明會       |
| 4.資訊公開 | 施工資訊公開                                    |            |             |
| 維護管理   | 維護原設計功能，檢視生態環境恢復情況                        | 1.生態效益     | 生態效益評估      |
|        |   | 2.資訊公開     | 監測、評估資訊公開   |

- 三、設計階段：包含生態背景及工程專業跨領域工作團隊之專業參與；生態保育措施及工程方案之設計成果；工程設計方案資訊公開。
- 四、施工階段：包含生態背景及工程專業跨領域工作團隊之專業參與；施工廠商(含確認施工廠商清楚瞭解生態保全對象位置、施工前環境保護教育訓練計畫，並將生態保育措施納入宣導)、施工計畫書及生態保育品質管理措施(含生態保育措施納入自主檢查、擬定工地環境生態自主檢查及異常情況處理計畫、依核定執行生態保育措施、施工生態保育執行狀況納入工程督導)之生態保育措施；施工說明會之民眾參與；施工相關內容之資訊公開。
- 五、維護管理階段：包含生態效益定期監測評估並分析生態課題之生態效益評估；監測追蹤結果、生態效益評估報告等之資訊公開。

### 14.3.1、生態資料蒐集、調查及評析原則

生態檢核作業中，提及有關生態部分，包含：各階段之生態檢核、保育作業，宜由具有生態背景人員配合辦理生態資料蒐集、調查、評析及協助，將生態保育概念融入工程方案並落實等工作，其原則如下。

- 一、為記錄及分析生態現況，瞭解施工範圍內之陸水域生態及生態關注區域，作為工程選擇方案及辦理後續生態環境監測依據，應就工程地點自然環境及工程特性，採取合適生態資料蒐集或調查方法。
  1. 所稱生態關注區域，係指生態資源豐富或具有生態課題的地理區域，包含：法定保護區與文獻及現地調查蒐集之重要生態資訊，套疊設計圖依敏感等級，搭配不同色澤以地圖化標示與標記方式，如表 14-2 及圖 14-2 所示，呈現生態關注區域圖及標示生態課題及保全對象，作為施工階段生態保育措施執行依據，以降低工程對環境之干擾。

表 14-2 生態關注區域圖套疊

| 等級   | 顏色 |    | 判斷標準                            | 工程生態保育策略        |
|------|----|----|---------------------------------|-----------------|
|      | 陸域 | 水域 |                                 |                 |
| 高度敏感 | 紅  | 藍  | 屬不可取代或不可回復的資源，或生態功能與生物多樣性高的自然環境 | 優先迴避            |
| 中度敏感 | 黃  | 淺藍 | 過去或目前受到部分擾動，但仍具生態價值的棲地          | 迴避或縮小干擾或棲地回復    |
| 低度敏感 | 綠  | -  | 人為干擾程度大的環境                      | 施工擾動限制在此區域或營造棲地 |
| 人為干擾 | 灰  | 淺灰 | 已受人為變更的地區                       |                 |

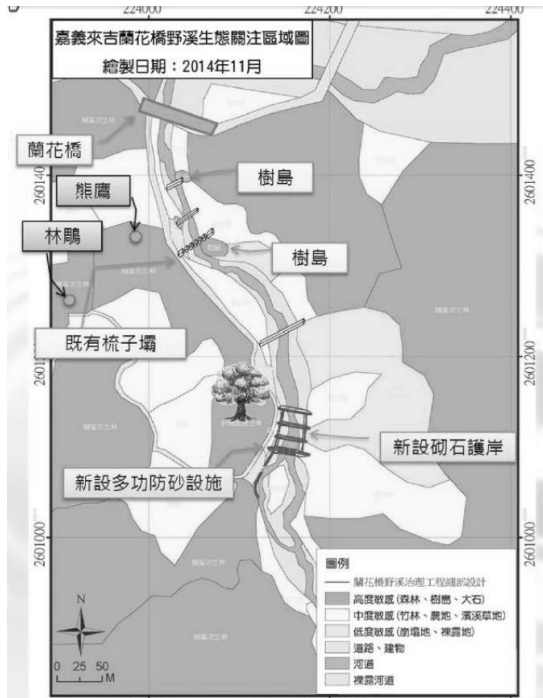


圖 14-2 生態關注區域圖套疊

資料來源：水利工程生態檢核推動及保育案例分享(經濟部水利署，2019)

2. 所稱生態資料蒐集調查，以工程計畫核定階段為例，包含：地理位置及關注物種及重要棲地。
3. 所稱地理位置，需注意一般區或法定自然保護區，如文化資產保存法之自然保留區，野生動物保育法之野生動物保護區及野生動物重要棲息環境，國家公園法之國家公園及國家自然公園，森林法之國有林自然保護區，溼地保育法之國家重要濕地及海岸保護區等。
4. 所稱關注物種，如農委會公告之保育類野生動物，文資法規定及學界認定之特稀有植物，當地台灣特有物種、局部分佈物種及指標物種，依據樹木保護自治條例保護之老樹，與當地居民生活、信仰相關而需保護之民俗動植物等。
5. 所稱重要棲地，包含工址或鄰近地區是否有森林、水系、埤塘、濕地及關注物種之棲地分佈與依賴之生態系統。
6. 所稱生態調查方法，係指採取合適調查方法，常用的有：地景評估、河溪棲地評估、坡地棲地評估，若為關鍵物種需密集現地評估，可參考環境影響評估法的「植物生態評估技術規範」及「動物生態評估技術規範」(經濟部水利署，2016)，或林務局制定之監測標準作業手冊(林務局，2018)，若需調查環境因數或生態系功能，可參考濕地保育法的「濕地生態系生物多樣性監測系統標準作業程式」。

- 二、除生態調查外，善用及尊重地方知識，透過訪談當地居民瞭解當地對環境之知識、文化、人文及土地倫理，除補充鄰近生態資訊，為尊重當地文化，可將相關物種列為關注物種，或將特殊區域列為重要生物棲地或生態敏感區域。
- 三、將生態保育概念融入工程方案，評估工程擾動對生態環境影響程度，得依工程量體配置方式及影響範圍，繪製生態關注區域圖。
- 四、為掌握施工過程中環境變動及評估生態保育措施執行成果，於施工前及完工後驗收後進行生態調查，以適時調整生態保育措施。

### 14.3.2、生態保育策略

環境友善或生態保育措施，應考量：工程個案特性、用地空間、水理特性、地形地質條件及安全需求等，因地制宜依迴避、縮小、減輕及補償等4項生態保育策略之優先順序考量及實施，其定義如下。

#### 一、迴避(avoidance)

迴避負面影響之產生，大尺度之應用包括：停止開發計畫、選用替代方案等；較小尺度之應用則包含：工程量體及臨時設施物(如施工便道等)之設置，應避開有生態保全對象或生態敏感性較高之區域；施工過程避開動物大量遷徙或繁殖之時間等。

#### 二、縮小(minimization)

修改設計縮小工程量體(如縮減車道數、減少路寬等)、施工期間限制臨時設施對工程周圍環境影響，即包含減量設計或縮小施工範圍等。

#### 三、減輕(mitigation)

經過評估工程影響生態環境程度，兼顧工程安全及減輕工程對環境與生態系功能衝擊，因地制宜採取適當措施，如：保護施工範圍內之既有植被及水域環境、設置臨時動物通道、研擬可執行之環境回復計畫等，或採對環境生態傷害較小之工法，或選用自然友善的施作材料(如大型或小型動物通道之建置、資材自然化、就地取材、減少材料運輸等)。

#### 四、補償(compensation)

以人為方式於他處重建相似或等同之生態環境，補償工程造成之生態損失，如：施工後以人工營造手段，加速植生及自然棲地復育。應用上常以營造、保留或增加棲地，作為補償，可於現地或異地進行補償措施，現地補償可以利用工程方法或管理限制其傷害擴大，異地補償則透過鄰近區域分析，對於受工程衝擊敏感區，創造或重建與敏感區同性質棲地，若鄰近環境不適合做為同性質棲地，則考量利用不同性質棲地來增加整體生態效益。



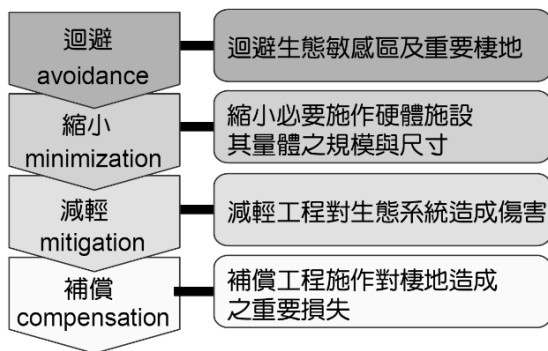


圖 14-3 生態保育 4 項策略

資料來源：水利工程生態檢核推動及保育案例分享(經濟部水利署，2019)

由於工程各階段屬性不同，因此生態保育策略用詞也略有不同。於核定階段，因工程規劃尚未定案，稱為生態保育原則，屬概念性質；規劃設計階段，因應工程規劃衍生的生態課題提出解決辦法，所以稱為生態保育對策，並依此擬訂可行措施；施工階段，執行實際的工作稱為生態保育措施。

### 14.3.3、公民參與及資訊公開

公民參與及資訊公開，是生態檢核工作歷程中不可或缺之重要項目。

- 一、公民參與：於計畫核定至工程完工過程中，工程主辦機關應建立民眾協商溝通機制，邀請在地民眾、受工程直接或間接影響之利害關係人、關心工程施做之民間或環保團體，如在工程設計定稿前之設計說明會，除說明工程辦理原因、工作項目、生態保育策略及預期效益，廣為大眾週知外，亦可傾聽或蒐集居民重視生態議題、在地人文資產與保全對象；如在開工前之施工說明會，確認施工方法、保育措施與相關意見是否落實納入設計方案；或如公聽會、討論會、工作坊、座談會等方式，藉由相互溝通交流，有效推行計畫，以落實公民參與精神，達成生態保育目標。
- 二、資訊公開：工程主辦機關應透過如刊登於公報、公開發行之出版品、網站或舉行記者會、說明會等方式，主動公開各階段生態檢核資訊。

## 14.4、生態檢核實例

相較水利、水保及林務等專業領域，由於事業屬性不同，所以以確保農業生產環境、農田水利設施更新改善工程之農田水利會，相對上，較無涉略生態環境保育議題，唯營運管理範疇，如：水庫型之苗栗、嘉南農田水利會，其水庫集水區相關保育治理；與水環境及水安全有關之各地農田水利會，其流域綜合治理或區域排水改善治水，依規定皆需辦理生態檢核作業。

爰此，農田水利涉略生態檢核之前瞻計畫，即縣市管河川及區域排水整體改善計畫-農田排水、埤塘、圳路改善，包括於直轄市、縣(市)河川、排水流域範圍內，農田水利會所轄農業生產環境之農田排水、埤塘、圳路及設施構造物需一併改善者納入辦理，以提升農業產區保護，減輕洪災損失，以 108 前瞻 II-01.01-利-03 計畫為例，計有宜蘭農田水利會、工程編號：宜蘭 108V01、工程名稱：砂仔港排水下游段(第 2 期)改善工程等 41 件個案。

#### 14.4.1、嘉南農田水利會路東中排一等 2 線改善工程

茲援引上開 108 前瞻計畫，即，環境敏感區之嘉南農田水利會路東中排一等 2 線改善工程為例，依前瞻計畫推動規定，需辦理環境敏感區生態檢核作業，其規劃、設計階段之生態檢核自評表如後「附件 14-1」所示。

#### 14.4.2、彰化農田水利會八堡一圳幹線(第二、三期)改善工程

同理，援引上開 108 前瞻計畫，即，非環境敏感區之彰化農田水利會八堡一圳幹線(二水段第二、三期)改善工程，依前瞻計畫推動規定，需辦理非環境敏感區生態檢核作業，其規劃、設計階段之生態檢核自評表如後「附件 14-2」所示。

### 14.5、參考文獻

1. 水土保持局，2014，「環境友善措施標準作業書」。
2. 交通部公路總局，2019，「省道公路工程生態檢核執行參考手冊」。
3. 行政院公共工程委員會，2001，「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」(修正版)。
4. 行政院公共工程委員會，2017，「公共工程生態檢核機制」。
5. 行政院公共工程委員會，2019，「公共工程生態檢核注意事項」。
6. 林務局，2018，「國有林治理工程生態友善機制手冊」。
7. 彰化農田水利會，2019，「八堡一圳幹線(第二、三期)改善工程」。
8. 嘉南農田水利會，2019，「路東中排一等 2 線改善工程」。
9. 經濟部水利署，2016，「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」。
10. 經濟部水利署，2019，「水利工程生態檢核推動及保育案例分享」。
11. Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014. <http://www.ipcc.ch/>.

附件 14-1

縣市管河川及區域排水整體改善  
計畫-農田排水、埤塘、圳路改善生態檢核自評表

(規劃、設計階段)—環境敏感區

| 計畫及工程名稱        | 路東中排一等 2 線改善工程  |   | 設計單位        | 嘉南農田水利會   |
|----------------|---|---|-------------|-----------|
| 工程期程           | 107.11.05~108.06.30   |   | 監造廠商        | 嘉南農田水利會   |
| 主辦機關           | 嘉南農田水利會   |   | 營造廠商        | 工程尚未發包    |
| 基地位置           | 台南市柳營區/TWD97 座標<br>路東中排一：座標 X:182612 Y:2575890<br>路東中排二：座標 X:182684 Y:2575213   |   | 工程預算/經費(千元) | 10,000 千元 |
| 工程目的           | 依據原台南縣政府 98 年 4 月「易淹水地區水患治理計畫—台南縣管區域排水龜子港排水系統規劃報告」,改善本會通水斷面不足之農田排水,以達整體淹水改善成效。  |   |             |           |
| 工程類型           | <input checked="" type="checkbox"/> 農田排水、 <input type="checkbox"/> 圳路、 <input type="checkbox"/> 水利設施、 <input type="checkbox"/> 其他 |   |             |           |
| 工程概要           | 路東中排一：矩形溝 461m、箱涵 1 座；<br>路東中排二：矩形溝 584 m、箱涵 1 座。   |   |             |           |
| 預期效益           | 路東中排一:保護面積 107 公頃,保護人口 100 人。<br>路東中排二:保護面積 37 公頃,保護人口 200 人。   |   |             |           |
| 項目             | 評估內容  | 檢核事項  |             | 附表        |
| 生態規劃<br>(規劃階段) | 環境敏感區   | 1. 工址或鄰近地區是否有法定自然保護區?<br><input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否國家重要濕地<br>(法定自然保護區包含自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國家公園、國家自然公園、國有林自然保護區、國家重要濕地、海岸保護區...等。) |             | 附表 1      |
| 專業參與<br>(設計階段) | 生態團隊參與  | 1. 是否有生態背景人員參與,協助蒐集調查生態資料、評估生態衝擊、擬定生態保育原則?<br><input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否後段施設生態工法  |             | 附表 2      |

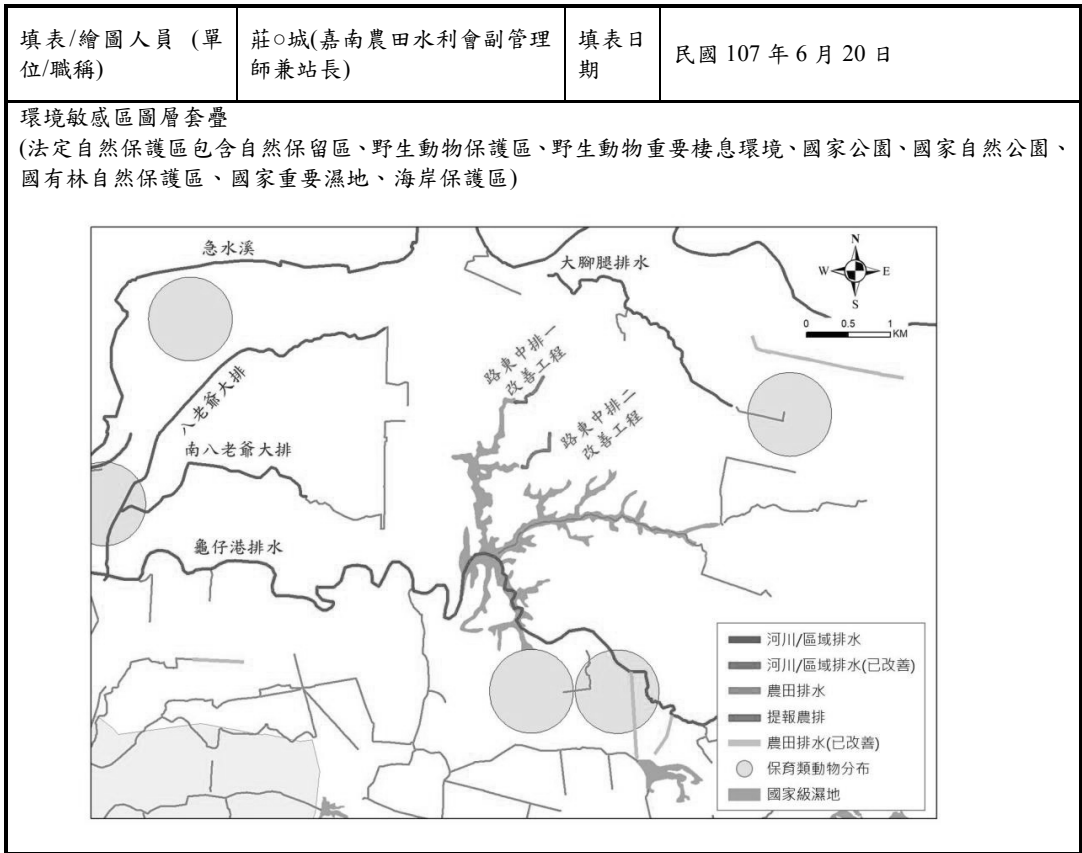
|                            | 現場生態<br>勘查 | 1. 是否邀生態背景人員至現場，以瞭解計畫<br>範圍內生態關注區域及生態保育對象？<br>■是 □否 _____   | 附表 3 |
|----------------------------|------------|---|------|
| 項目                         | 評估內容       | 檢核事項  | 附表   |
| 生態資料<br>蒐集調查<br>(設計階<br>段) | 關注物種       | 1. 是否瞭解當地生物資源並掌握關注物<br>種，如保育類動物、特稀有植物、老樹或<br>民俗動植物等？<br>■是 □否 _____                                     | 附表 4 |
|                            | 生態關注<br>區域 | 1. 計畫範圍及鄰近區域是否有森林、水系、<br>埤塘、濕地及關注物種之棲地分佈與依賴<br>之生態系統？<br>■是 □否 _____<br>2. 是否有繪製生態關注區域圖？<br>■是 □否 _____ | 附表 5 |
| 生態保育<br>規劃構想<br>(設計階<br>段) | 生態友善<br>措施 | 1. 針對重要生物棲地，是否採取迴避、縮<br>小、減輕或補償策略，減少開發影響範<br>圍？<br>■是 □否 _____<br>2. 是否擬定生態保育措施內容及方法？<br>■是 □否 _____    | 附表 6 |
|                            | 措施研擬       | 1. 是否將生態保育對策納入設計圖說？<br>■是 □否 _____  | 附表 7 |
| 民眾參與<br>(設計階<br>段)         | 說明會        | 1. 是否召開地區說明會，邀請當地居民或保<br>育團體參加，說明開發方案、生態影響、<br>因應對策，並蒐集回應相關意見？<br>■是 □否 _____                           | 附表 8 |

註：本自評表各檢核事項僅勾選是否，補充內容請依填寫說明編寫，若自評表之評估項目勾選為否，應敘明合理原因。

填表人：莊○城

單位主管：林○山

**附表 1 環境敏感區套疊繪製**



**附表 2 團隊名單**

|               |                   |    |      |                    |            |
|---------------|-------------------|----|------|--------------------|------------|
| 填表人員 (單位/職稱)  | 莊○城(嘉南水利會副管理師兼站長) |    | 填表日期 | 民國 107 年 06 月 20 日 |            |
| 職稱            | 姓名                | 學歷 | 專業資歷 | 負責工作               | 專長         |
| 嘉南水利會/專門委員兼主任 | 林○山               | 學士 | 30 年 | 督導、指揮              | 水利工程       |
| 嘉南水利會/副工程師兼股長 | 謝○憲               | 學士 | 25 年 | 監造                 | 水利工程       |
| 嘉南水利會/副管理師兼站長 | 莊○城               | 學士 | 3 年  | 水域生態調查分析           | 陸域調查、資料蒐集  |
| 嘉南水利會/二等助理工程師 | 顏○楓               | 學士 | 10 年 | 設計、監造              | 水利工程       |
| 嘉南水利會/路東區小組長  | 陳○堂               | 初中 | 40 年 | 水域生態調查導引           | 路線導引、動植物辨識 |
| 嘉南水利會/太康區小組長  | 顏○雄               | 初中 | 40 年 | 水域生態調查導引           | 路線導引、動植物辨識 |





附表 3 生態環境勘查紀錄表

|  |                    |  |                    |
|--|--------------------|--|--------------------|
| 勘查日期   | 民國 107 年 06 月 20 日 | 填表日期   | 民國 107 年 06 月 20 日 |
| 紀錄人員   | 莊○城、顏○楓            | 勘查地點   | 路東中排一等 2 線         |
| 參與人員：<br>莊○城、顏○楓、顏○雄   |                    |  |                    |
| 現勘意見：  |                    | 處理情形回覆：  |                    |
| <p>生態環境記錄：</p> <p>1. 本案位於台南市柳營區路東重劃區，鄰近柳科園區，工程針對排水進行改善計畫，計畫段總長約 1,046 公尺。</p> <p>2. 渠道以砌石工組成，內側淤積雜草叢生，堤岸外以農田、墓園、草地及雜木林為主，植被覆蓋度高，並有芒果及破布子大樹。周圍環境屬人為幹擾、自然度環境參半，渠道旁墓園為齧齒動物及蛇類適合的棲息、躲藏環境。</p> <p>保育措施建議：</p> <p>1. 工程施作儘量保留原貌，原墓園及植被地予以保留確保周遭動物之棲息環境，減少對自然棲地之衝擊破壞。</p> <p>2. 建議工程配合生態工法，營造生態友善之環境。</p> |                    | <p>嘉南水利會回覆：</p> <p>1. 芒果與破布子等淺根樹木，會影響構造物將伐除，墓園旁等植被予以保留，減少對自然棲地之衝擊破壞。</p> <p>2. 緊鄰農地及墓園區段之砌石工已老舊破損嚴重，爰因地制宜考量下，仍規劃以剛性渠道為設計，以避免周遭人民財產安全受到威脅。</p> <p>3. 下游處近德元埤水庫，豐水期庫水回流，渠底水生植物及魚類皆可見，故於此區段設置重力式擋土牆，渠底整平再排卵石，營造生態友善之環境。</p> |                    |

說明：

1. 勘查摘要應與生態環境課題有關，如生態敏感區、重要地景、珍稀老樹、保育類動物及特稀有植物、生態影響等。
2. 多次勘查應依次填寫勘查記錄表。

附表 4 生態調查表

|                 |              |  |  |                    |
|-----------------|--------------|--|--|--------------------|
| 填表人員<br>(單位/職稱) |              | 莊○城(嘉南農田水利會副管<br>理師兼站長)  | 填表日期   | 民國 107 年 06 月 20 日 |
| 資料<br>類別        | 資料項目         | 計畫範圍內容概要說明   |  |                    |
| 自然<br>環境        | 地形、地質        | 大部份為平地，屬第四紀沖積層，由石英之粉砂及局部砂質黏土所組成，主要以灰黑色、灰色、黃棕色之砂、沉泥質細砂及低塑性沉泥交互疊積而成。   |  |                    |
|                 | 氣象及水文        | 年平均雨量約 1,500 毫米，年均溫度 23.2°C。   |  |                    |
|                 | 河川水系         | 屬急水溪水系之龜子港系統   |  |                    |
|                 | 土地利用現<br>況   | 農業區及村落   |  |                    |
|                 | 過去相關治<br>理措施 | 無  |  |                    |
| 棲地生<br>態        | 關注區域         | 內容   | 照片   |                    |
|                 | 陸域生態調查       | 渠道以砌石工組成，內側淤積雜草叢生，堤岸外以農田、墓園、草生地及雜木林為主，植被覆蓋度高，並有芒果及破布子大樹。周圍環境屬人為幹擾、自然度環境參半，渠道旁墓園為齧齒動物及蛇類適合的棲息、躲藏環境。例如：麻雀、八哥科、鳩鴿科、燕科、黑眶蟾蜍、田鼠、草花蛇等。 | <br>  |                    |
|                 | 水域生態調查       | 工區既有護岸以水泥堤岸、土堤及砌石護岸組成，水道兩側旁雜草叢生，可供水中生物良好躲藏環境，可觀察到鯽魚、吳郭魚、鯉魚等魚類物種，底棲生物則以福壽螺、石田螺等一般常見物種為主。  | <br> |                    |

說明：調查結果應與生態環境課題有關，如生態敏感區、重要地景、珍稀老樹、保育類動物及特稀有植物、生態影響等。

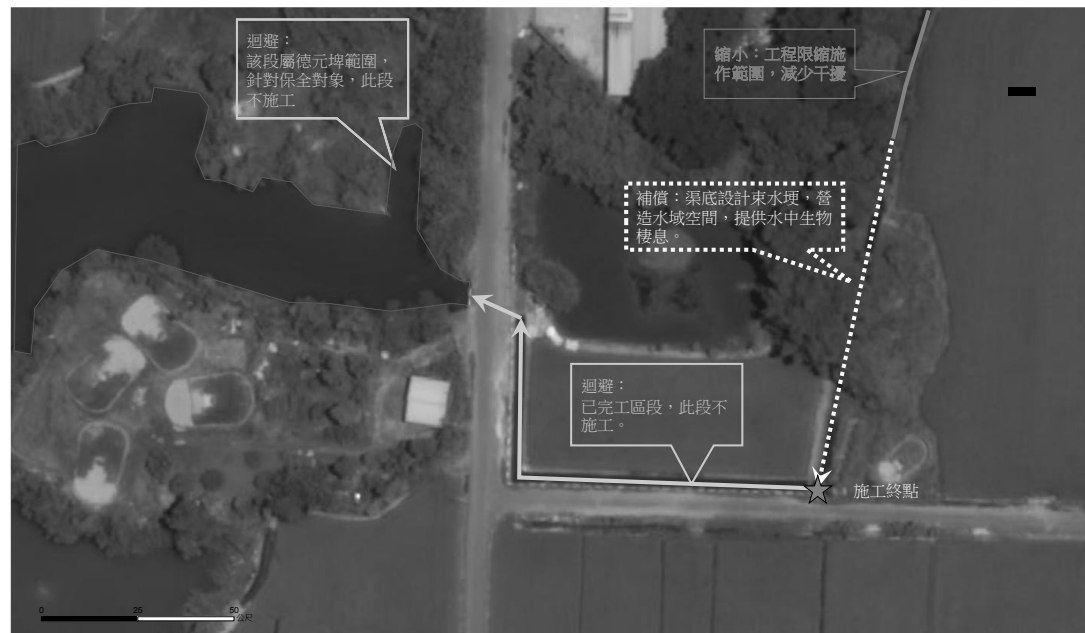
附表 5 生態關注區域繪製

|                 |                    |      |                    |
|-----------------|--------------------|------|--------------------|
| 填表/繪圖人員 (單位/職稱) | 莊○城(嘉南水利會/副管理師兼站長) | 填表日期 | 民國 107 年 06 月 20 日 |
|-----------------|--------------------|------|--------------------|

生態關注區域圖(路東中排一)：





生態關注區域圖(路東中排二)：



說明：計畫範圍內及鄰近區域森林、水系、埤塘、濕地及關注物種之棲地分佈。




附表 6 生態保育對策

| 填表人員<br>(單位/職稱)  | 莊○城(嘉南水利會/<br>副管理師兼站長)             | 填表日期   | 民國 107 年 06 月 20 日 |
|--|------------------------------------|--|--------------------|
| 生態保育對象   | 生態保育策略                             | 保育對策   |                    |
|  <p>草花蛇<br/>(樁號 0K+350)<br/>(107/06/20)</p>   | <p>■迴避<br/>□縮小<br/>□減輕<br/>□補償</p> | <p>□取消位元於棲地的工程<br/>■取消治理需求低的工程<br/>■工程限縮施作範圍，減少幹擾<br/>□工程限縮施作範圍，保留大樹或大石<br/>■施工便道利用既有道路或河床，減少開挖範圍<br/>□工程考量設置動物逃生通道<br/>■工程採用友善工法<br/>□植生工程採用適生原生種<br/>□大樹移植、保護<br/>□施工設置導、繞流，維持水質<br/>□加強排水，減少逕流及沖刷<br/>■調整施工時間或範圍以減輕工程影響<br/>□施工期間進行環境監測計畫<br/>■工程完工後恢復原地形地貌<br/>■施工人員實施教育訓練<br/>■工程裸露面進行植被復原<br/>□工程完工後營造生物棲地<br/>□其它 _____</p> |                    |
|  <p>吳郭魚<br/>(樁號 0K+450)<br/>(107/06/20)</p> | <p>□迴避<br/>□縮小<br/>□減輕<br/>■補償</p> | <p>□取消位元於棲地的工程<br/>■取消治理需求低的工程<br/>■工程限縮施作範圍，減少幹擾<br/>□工程限縮施作範圍，保留大樹或大石<br/>□施工便道利用既有道路或河床，減少開挖範圍<br/>□工程考量設置動物逃生通道<br/>■工程採用友善工法<br/>□植生工程採用適生原生種<br/>□大樹移植、保護<br/>□施工設置導、繞流，維持水質<br/>□加強排水，減少逕流及沖刷<br/>■調整施工時間或範圍以減輕工程影響<br/>□施工期間進行環境監測計畫<br/>■工程完工後恢復原地形地貌<br/>■施工人員實施教育訓練<br/>□工程裸露面進行植被復原<br/>■工程完工後營造生物棲地<br/>□其它 _____</p> |                    |

說明：生態關注區域之保護對策可配合迴避策略、影響較小之工法或棲地代償機制來實施。

附表 7 生態保育對策

|   |                          |      |                    |
|---|--------------------------|------|--------------------|
| 填表人員(單位/<br>職稱)   | 莊○城(嘉南農田水利會/<br>副管理師兼站長) | 填表日期 | 民國 107 年 06 月 20 日 |
| <p>基本設計內容說明：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0+005~0+434.8 改善為鋼筋混凝土矩形溝及工程限縮施作範圍，改善長度計 431m，計畫斷面 B×H=1.8m×1.6m；渠底鋪設不織布後設置生態透水 PVC 管 D=4”，間隔 2m 設置一處。部份芒果與破布子等淺根樹木予以伐除，墓園旁等植被予以保留，減少對自然棲地之衝擊破壞。</li> <li>0+450.8~0+495 設置重力式擋土牆，渠底鋪排原拆除之卵石，豐水期庫水回流，適於渠底水生植物及魚類生存。</li> </ol>  |                          |      |                    |

- 說明：1.應配合工程設計圖的範圍及比例尺進行繪製，比例尺約 1/1000。  
 2.繪製範圍除了工程本體所在的地點，亦要將工程可能影響到的地方納入考量，如濱溪植被緩衝區、施工便道的範圍。  
 3.應標示包含施工時的臨時性工程預定位置，例如施工便道、堆置區等。

## 附表 8 民眾參與說明會

路東中排一等2線農田排水治理工程民眾參與說明會會議記錄

一、日期：2018年6月14日(四) 上午08:30時

二、地點：台南市柳營區篤農裡關懷中心

三、主持人：嘉南農田水利會柳營工作站長莊寶城

四、參與人員：路東小組會員、小組長暨篤農裡長等(詳簽到表)

五、會議內容

| 時間          | 內容說明     |
|-------------|----------|
| 08:30~08:40 | 長官致詞     |
| 08:40~09:00 | 工程執行說明簡報 |
| 09:00~10:00 | 綜合討論暨問與答 |
| 10:00       | 散會       |

六、討論事項:Q與A

1. Q:會員詢問工程開完工日期，是否影響農耕?

A:本工程預定開完工為107年11月~108年3月，即在二期稻作結束馬上動工鄰耕地區段會優先施作,盡量配合農耕進度。

2. Q:會員詢問渠道旁之果樹作物，處置方式為何?

A:渠道旁之果樹作物採無償運棄，若有私人物品請即時移開或採收。

3. Q:會員詢問渠道高濱與田高，高低差是否太大影響堤岸覆土?

A:高濱的高度主要以水理因素為考量，當然也會配合沿線田坵的高度取平均值，最高的田坵約離高濱0.2m左右，不致影響田埂堤岸覆土。

七、會議討論情形



主席與小組長向會員說明路東中排一現況及未來改善後情形



會員詢問高濱與田高，高低差是否太大影響堤岸覆土

八、簽到表：略。

附件 14-2

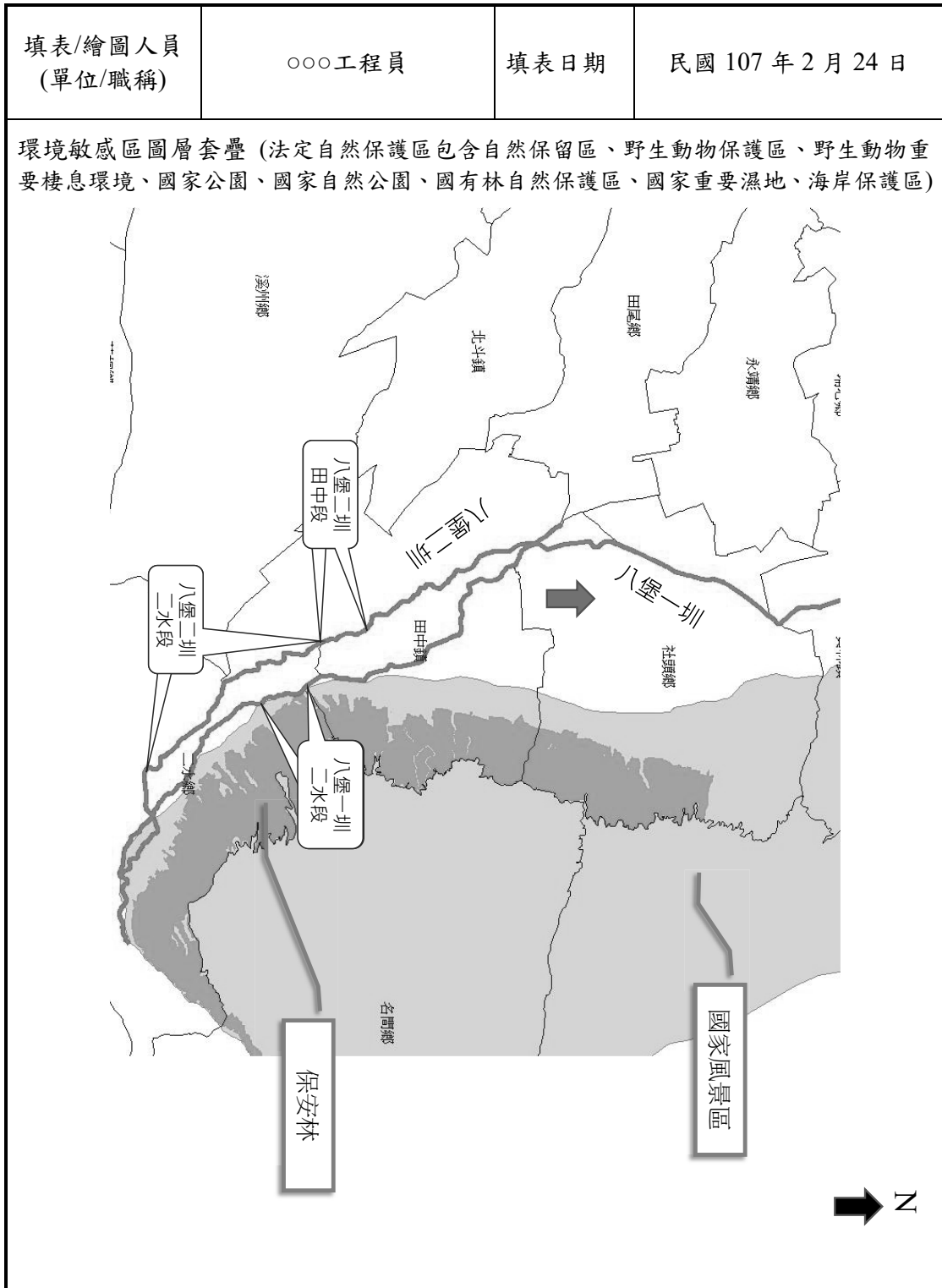
縣市管河川及區域排水整體改善

計畫-農田排水、埤塘、圳路改善生態檢核自評表

(規劃、設計階段) - 非環境敏感區

| 計畫及工程名稱                | 八堡一圳幹線(二水段第二、三期)改善工程  |   | 設計單位                     | 彰化農田水利會 |
|------------------------|---|---|--------------------------|---------|
| 工程期程                   | 107.11.20~108.1.20  |   | 監造單位                     | 彰化農田水利會 |
| 主辦機關                   | 彰化農田水利會   |   | 營造廠商                     | 尚未發包    |
| 基地位置                   | 地點：彰化縣二水鄉<br>TWD97 座標 X：210711 Y：2634762  | 工程預算/<br>經費(千元)   | 第二期 31,500<br>第三期 31,600 |         |
| 工程目的                   | 1.減少滲漏。2.提升排洪能力。3.營造環境。   |   |                          |         |
| 工程類型                   | <input type="checkbox"/> 農田排水、 <input checked="" type="checkbox"/> 圳路、 <input type="checkbox"/> 水利設施、 <input type="checkbox"/> 其他 |   |                          |         |
| 工程概要                   | 1.渠道 862 公；2.車道橋 2 座  |   |                          |         |
| 預期效益                   | 改善淹水面積 1425 公頃。減少滲漏。保護人口 2560 人。  |   |                          |         |
| 項目                     | 評估內容  | 檢核事項  |                          | 附表      |
| 生態核定<br>(核定階段)         | 環境敏感區   | 1. 工址或鄰近地區是否有法定自然保護區？<br><input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 _____<br>(法定自然保護區包含自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國家公園、國家自然公園、國有林自然保護區、國家重要濕地、海岸保護區...等。) |                          | 附表 1    |
| 生態保育<br>規劃構想<br>(設計階段) | 友善環境對策研擬  | 1. 是否擬定友善環境對策措施內容及方法？<br><input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 _____   |                          | 附表 2    |
|                        |   | 2. 是否將友善環境對策納入設計圖說？<br><input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 _____   |                          | 附表 3    |
| 民眾參與<br>(設計階段)         | 說明會   | 1. 是否召開地區說明會，邀請當地居民參加，說明開發方案、環境影響、並蒐集回應相關意見？<br><input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 _____  |                          | 從略      |


附表 1 環境敏感區套疊繪製



附表 2 友善環境對策

|                 |            |   |                   |
|-----------------|------------|---|-------------------|
| 填表人員<br>(單位/職稱) | ○○○<br>工程員 | 填表日期  | 民國 107 年 8 月 15 日 |
| 友善環境對象          |            | 友善環境對策  |                   |
| 左岸雜木林           |            | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 工程限縮施作範圍，減少干擾</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> 工程限縮施作範圍，保留大樹或大石</li> <li><input type="checkbox"/> 施工便道利用即有道路或河床，減少開挖範圍</li> <li><input type="checkbox"/> 工程考量設置動物逃生通道</li> <li><input type="checkbox"/> 工程採用友善工法</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> 植生工程採用適生原生種</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> 大樹移植、保護</li> <li><input type="checkbox"/> 施工設置導、繞流，維持水質</li> <li><input type="checkbox"/> 加強排水，減少逕流及沖刷</li> <li><input type="checkbox"/> 調整施工時間或範圍以減輕工程影響</li> <li><input type="checkbox"/> 施工期間進行環境監測計畫</li> <li><input type="checkbox"/> 工程完工後恢復原地形地貌</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> 施工人員實施教育訓練</li> <li><input type="checkbox"/> 工程裸露面進行植被復原</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> 工程完工後營造生物棲地</li> <li><input type="checkbox"/> 其它 _____</li> </ul> |                   |

附表 3 友善環境對策

|  |        |      |                   |
|--|--------|------|-------------------|
| 填表人員<br>(單位/職稱)  | ○○○工程員 | 填表日期 | 民國 107 年 8 月 15 日 |
| <p>基本設計內容說明：</p>  |        |      |                   |

說明：1.應配合工程設計圖的範圍及比例尺進行繪製，比例尺約 1/1000。

2.繪製範圍除了工程本體所在的地點，亦要將工程可能影響到的地方納入考量，如施工便道的範圍。

3.應標示包含施工時的臨時性工程預定位置，例如施工便道、堆置區等。

## 中英名詞對照

| 中文                  | 英文                          | 頁碼      |
|---------------------|-----------------------------|---------|
| <b>零劃</b>           |                             |         |
| AR5                 | fifth assessment report     | 215     |
| Ganguillet-Kutter 氏 | Ganguillet-Kutter 氏         | 24-26   |
| Harvey 型            | Harvey type                 | 104     |
| Jeffries 型          | Jeffries type               | 104     |
| <b>三劃</b>           |                             |         |
| 土壩                  | earth dam                   | 132     |
| 上揚力                 | up-lift                     | 30      |
| <b>四劃</b>           |                             |         |
| 比速                  | specific speed              | 179     |
| 水躍                  | hydraulic jump              | 48      |
| 分水工                 | division works              | 103     |
| 水面線                 | water surface line          | 24      |
| 比能量                 | specific energy             | 28      |
| 孔口型                 | orifice                     | 108     |
| 水流速度                | flow velocity               | 86      |
| 水理水深                | hydraulic depth             | 22      |
| 公共給水                | public water supply         | 133     |
| 反循環基樁               | reverse circulation pile    | 77      |
| 切向應力分量              | tangential stress component | 81      |
| 孔蝕/空蝕現象             | cavitation                  | 159,182 |
| 巴歇爾量水槽              | Parshall flume              | 120     |
| 支撐先進工法              | advancing shoring method    | 77      |
| 支撐作用曲線              | support reaction curve      | 81      |
| <b>五劃</b>           |                             |         |
| 出水高度                | free-board                  | 131     |
| 可傾式閘門               | collapsible gate            | 16      |
| 布萊氏公式               | Bligh 公式                    | 11,12   |
| 生物多樣性               | biological diversity        | 215     |



| 中文           | 英文   | 頁碼      |
|--------------|--|---------|
| 主要支撐系統       | primary support  | 91      |
| 永續公共工程       | sustainable public infrastructure                              | 197,215 |
| 生態系統服務       | ecosystem service  | 215     |
| <b>六劃</b>    |  |         |
| 池檻           | baffle blocks  | 49      |
| 收斂變形         | convergence  | 81      |
| 自由跌水         | free drops   | 47      |
| 自動舌閥         | flap valve   | 190     |
| 全球暖化         | global warming   | 215     |
| 共軛水深         | conjugate depth  | 49      |
| 全套管基樁        | full casing pile   | 77      |
| 地盤收斂曲線       | ground convergence curve                                       | 81      |
| 光學雷達/光達      | light detection and ranging, LiDAR                             | 84      |
| 地質力學分類法      | geomechanics classification system                             | 84      |
| 合成孔徑雷達差分干涉技術 | differential interferometric synthetic aperture radar, D-InSAR | 84      |
| <b>七劃</b>    |  |         |
| 防洪           | flood control  | 133     |
| 吸入升程         | suction lift   | 179     |
| 吸入水頭         | suction head   | 179     |
| <b>八劃</b>    |  |         |
| 定域           | zone   | 29      |
| 明渠           | open channel   | 21      |
| 卧箕式          | Ogee   | 7       |
| 油緩衝          | dash pot   | 167     |
| 亞臨界流         | subcritical flow   | 22      |
| 岩體評分         | rock mass rating   | 84      |
| 肯尼第氏         | Kennedy  | 33      |
| 表面摩擦         | friction of surface  | 48      |
| 直接逐步法        | the direct step method   | 28      |
| 岩體評級分類       | rock mass classification                                       | 84      |
| 非柱體形渠道       | nonprismatic channel   | 28      |
| <b>九劃</b>    |  |         |

| 中文          | 英文   | 頁碼            |
|-------------|--|---------------|
| 流量          | capacity   | 175           |
| 柏努利定理       | Bernoulli theory                                     | 28            |
| 哈臣-威廉公式     | Hazen-Williams equation                              | 162           |
| 美國公路及運輸員司協會 | AASHTO   | 42            |
| 南非科技及產業研究中心 | council for scientific and industrial research, csir | 84            |
| <b>十劃</b>   |  |               |
| 射檻          | chute blocks   | 49            |
| 航運          | navigation   | 133           |
| 迴避          | avoidance  | 204,223       |
| 效率          | efficiency   | 176           |
| 能量線         | energy line  | 24            |
| 氣候變遷        | climate change                                       | 215           |
| 消失影響        | elimination  | 204           |
| 倒虹吸工        | inverted siphon                                      | 59            |
| 容許流速        | permissible velocity                                 | 24            |
| 射流或湍流       | rapid, shooting or torrential flow                   | 22            |
| 徑向應力分量      | radial stress component                              | 81            |
| 挪威隧道工法      | Norwegian method of tunnelling, NMT                  | 85            |
| 朗欽土壓力理論     | Rankine earth pressure theorem                       | 89            |
| 庫倫土壓力理論     | Coulomb earth pressure theorem                       | 29,89         |
| 挪威地工研究中心    | Norwegian geotechnical institute, NGI                | 84            |
| <b>十一劃</b>  |  |               |
| 終檻          | end sill   | 49            |
| 曼寧          | Manning  | 26,86,162,181 |
| 副流(二次流)     | secondary flow                                       | 4,15          |
| 堆石壩         | rock-fill dam  | 132           |
| 接頭處         | joints   | 150           |
| 推進式泵        | propeller pump                                       | 175           |
| 常流或緩流       | tranquil and streaming                               | 22            |
| 混凝土拱壩       | concrete arch dam                                    | 132           |
| 混凝土重力壩      | concrete gravity dam                                 | 132           |
| <b>十二劃</b>  |  |               |

| 中文         | 英文                               | 頁碼          |
|------------|----------------------------------|-------------|
| 揚程         | head                             | 175         |
| 渡槽         | aqueduct/flume                   | 71          |
| 發電         | electrification                  | 133         |
| 程度         | extend                           | 84          |
| 跌水工        | drop                             | 47          |
| 渠首工        | head works                       | 1           |
| 量水堰        | weir                             | 115         |
| 開挖機        | rock digger                      | 90          |
| 超臨界流       | supercritical flow               | 22          |
| 渠道縱坡       | longitudinal slope of channel    | 25          |
| 量水設備       | water measurement                | 115         |
| 減輕/減緩      | mitigation/reduction             | 204,215,223 |
| 進水口門檻      | intake sill                      | 4           |
| 開挖支撐比      | excavation support ratio, esr    | 93          |
| 最小化/縮小     | minimization                     | 204,223     |
| 渠道底縱坡線     | channel bottom line              | 24          |
| <b>十三劃</b> |                                  |             |
| 碰撞         | collision                        | 48          |
| 補償         | compensation                     | 204,223     |
| 實際揚程       | actual head                      | 180         |
| 福祿數        | Froude Number                    | 21,22,49    |
| 達西公式       | Darcy equation                   | 192         |
| 滑動因素 f     | sliding factor                   | 146         |
| 稜柱體形渠道     | prismatic channel                | 28          |
| 節塊推進工法     | incremental launching method     | 77          |
| 預力鋼筋混凝土    | pre-stressed reinforced concrete | 76          |
| <b>十四劃</b> |                                  |             |
| 精度         | precision                        | 84          |
| 赫爾西潛堰公式    | Herschel weir equation           | 118         |
| <b>十五劃</b> |                                  |             |
| 潛流         | submerged flow                   | 19          |
| 調適         | adaptation                       | 215         |

| 中文          | 英文                                     | 頁碼     |
|-------------|--|--------|
| 豎座          | stand                                  | 164    |
| 潛流孔口        | submerged orifice                      | 37     |
| 調查範圍        | coverage                               | 84     |
| 撒普利地堰       | Cipolletti weir                        | 115    |
| 標準逐步法       | the standard step method               | 28     |
| 調節河流蓄水      | regulating river flow storage          | 133    |
| 數值地表模型      | digital surface model, dsm             | 84     |
| 數值高程模型      | digital elevation model, dem           | 84     |
| 樑-彈簧模式      | beam-spring model                      | 94     |
| 養魚及野生動物     | fish-farming and wild animals          | 133    |
| <b>十六劃</b>  |  |        |
| 橋墩          | pier                                   | 16     |
| 隧道          | tunnel                                 | 81     |
| 靜水池         | stilling basin                         | 49     |
| 隧道襯砌        | secondary lining                       | 91     |
| 隧道掘削機       | roadheader                             | 90     |
| 隧道鑽掘機       | tunnel boring machine, tbm             | 90     |
| <b>十七劃</b>  |  |        |
| 糙率          | roughness                              | 16,24  |
| 謝茲          | Chezy                                  | 25     |
| 螺旋流         | helicoidal flow                        | 4      |
| 臨界水流        | critical flow                          | 22     |
| 臨界流之計算      | computation of critical flow           | 22     |
| 臨界水流之基準     | criterion for a critical state of flow | 22     |
| 錨合釘截水底板     | doweled cutoff                         | 148    |
| <b>二十一劃</b> |  |        |
| 灌氣          | airation                               | 48     |
| 灌溉          | irrigation                             | 133    |
| 蘭氏公式        | Lane 公式                                | 11,143 |
| <b>二十二劃</b> |  |        |
| 顛動現象        | surging                                | 187    |

| 中文          | 英文                   | 頁碼          |
|-------------|----------------------|-------------|
| <b>二十四劃</b> |                      |             |
| 壩           | dam                  | 131         |
| 壩跟          | heel                 | 131,150,151 |
| <b>二十五劃</b> |                      |             |
| 觀光          | sightseeing          | 133         |
| <b>二十七劃</b> |                      |             |
| 鑽堡          | jumbo/drill carriage | 90          |
| <b>二十八劃</b> |                      |             |
| 鑿岩機         | rock drill           | 90          |

# 灌溉工程學

## Irrigation Engineering

編著者 蕭火炎 戴欽興 藍士呈 吳水樹 王泰典 余啟鴻  
周哲正 陳獻 廖志聰 黃振昌 (依章節順序排序)

發行人 陳吉仲

策劃 謝勝信 林國華 譚智宏

執行編輯 林柏璋 黃振昌 郭紫晶

著作權  
所有人 行政院農業委員會 台北市南海路37號

出版機關 行政院農業委員會 台北市南海路37號

執行機關 財團法人農業工程研究中心 (03)452-1314

出版年月 中華民國109年5月初版