

第一章 概述

二十一世紀是資訊掌控的時代，各種現代化科技提供了新方法，解決了以往需要長時間、眾多人力或大量金錢才能解決的問題。灌溉排水結合了農業科技與工程技術，自然不能自外於現代化科技的衝擊，其中最重要的資料擷取、整理工具即是地理資訊系統、遙感探測與衛星定位系統。農田水利業務涵蓋廣大面積之空間資料與經常更新的作物、灌溉資料，利用遙感探測和衛星定位系統提供之即時性作物種類、生長情況等，再透過地理資訊系統之空間管理、分析及展示功能，將可有效幫助灌溉排水業務之績效。

一、地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）

所謂地理資訊系統乃是結合各種具有空間分佈特性之地理資料庫，如交通、人文、土地利用、土壤、雨量、地質、地形及水資源等，經由處理及分析後，可供資源規劃、生態保育、區位勘選等，並進而提供準確之評估，以供決策分析。政府為全面提升空間決策品質與行政效率，明定推動國土資訊系統，實質內容為國土資訊系統是一個以共同座標系統為套合基準，可結合全國各種具有空間特性資料的地理資訊系統架構，現正由內政部資訊中心統籌推動有關工作，並將水利事業相關業務劃分到自然環境及生態保育資訊系統中，以期得到一完整之農業體系資訊系統。

傳統之灌溉排水管理多以人工方式作業，紀錄資料之更新與訊息的掌握常無法跟上田間實際情況。田間坵塊、灌溉渠道與各種水工設施數量，也常因資料量龐大而使管理人員無法精確的統計。灌溉排水之規劃與管理，需要先收集各種正確的數據資料，再經過分析處理才能產生正確之成果，因此當資料無法反映實際狀況時，此種管理必將產生許多困擾，因此必朝向更科學化之方向邁進，而地理資訊系統之應用便是解決此一方法之利器。

二、遙感探測（Remote Sensing, RS）

登高望遠一向是人類瞭解周遭環境的慣用方法，古人有言「欲窮千里目，更上一層樓」或「登泰山而小天下」，在高樓上俯望城市，原本零散的地標，錯綜複雜的街道，開始呈現出它的結構，在高山上展望四野，河流的動態與山脈的走向一目了然。登高而望遠是遙感探測的起源，而遙感探測則是現代科技對遙測的展現。

遙感探測是利用航空載具攜帶感測儀器，從空中收集地表上各種光譜資料，加以處理分析、解釋，以了解地面目標物之特性的技術，簡稱遙測。過去，遙測的技術經常因為戰爭的需要而得到進展，今天，遙測已經是我們每日生活的一部份。氣象報播報員利用天氣雲圖解說未來的天氣；新聞記者在

直昇機上拍攝洪水、地震災區現場的狀況，測量人員利用航空相片來製作地圖，環境學者依賴遙測來蒐集環境資訊，農業人員辨識遙測影像來監測作物生長的狀況等，均是遙測利用於日常生活之實例。由於遙測技術能夠在最內短的時間，蒐集大範圍的資料，已經成為我們瞭解周遭大地之有效工具。

三、衛星定位系統（Global Positioning System, GPS）

衛星定位系統原本是為美國空軍在軍事上之定位、戰機導航、飛彈遙控等目的而發展出來的全球性空間定位系統，後經國防部接管並擴大計畫使其應用於民間定位測量，並於近年來逐漸轉為商業用途。透過衛星定位系統，不論使用者是在陸地、海面或是空中，都可以精確測量出所在的位置。於農業應用上，衛星定位系統結合農業機具可進行自動化噴灑農藥、施肥及收穫等工作。衛星定位系統也促成了資料生產的方式。例如，將定位系統裝置在車上，沿著街道開一遍，立刻可以得到最新的街道圖。定位系統如果加上各種感測器，更可以快速的生產各種資料。

四、資訊系統之整合

地理資訊系統為一空間資訊管理工具，遙感探測和衛星定位系統是空間資訊有效且快速的提供者，三者之結合是目前邁向農業現代化及推展精準農業（Precision Agriculture）之最佳方法。用遙感探測和衛星定位系統蒐集資料不但迅速、位置正確，並且是數值化的形態，可以直接被地理資訊系統使用。地理資訊系統更可以整合這些新方法所獲取的資料，使資料的價值能夠充分的發揮。以水土保持工作為例：由衛星所得影像可以知道甚麼地方在開發。疊合上土壤、坡度等資料，就可以判斷那些地方有不當開發的狀況。再配合地籍資料就可以知道誰的土地有不當開發的行為。地理資訊數值化之另一項長處為資料的交換、傳遞變得非常容易，例如平時以大量紙張登錄之資料、紀錄，可以收藏於一張光碟片中，更可以透過電腦網路，查詢或使用遠處電腦中儲存的資料。在農田水利業務中，每月之灌溉水量、水質檢驗報告等資料透過電腦網路的連線，傳至管理單位。同樣的方式，遠方的管理單位亦可以透過網路，使用地理資訊系統，查到田間最新的作物種植面積、生長情形等地理資料庫中的資料。

近年來農田水利業務成功地使用地理資訊系統、遙感探測與衛星定位系統之例子不斷增加，農田水利不再僅是看天掌水，現代化的監控與管理方法將使農田水利業務更能確實達到水與土地物盡其用之目的。

第二章 灌溉管理地理資訊系統

2.1 什麼是地理資訊系統

地理資訊系統（GIS）可以簡單定義為具有整合空間資訊及協助解決真實世界問題的決策支援系統。它的主要目的是透過疊圖及空間分析功能，將原始地理資料轉變為可支援空間決策的資訊。GIS 在設計上是用來有效擷取、儲存、更新、處理、分析、及展示各種形式地理資訊的系統，包括電腦硬軟體、地理資料庫、及操作維護人員。地理資訊系統為一有效處理圖形資料與文字數字資料之資訊系統，其最大優點在於其具備整合各類不同空間資料的能力。因此 GIS 在功能方面一般將具有輸入、管理、分析應用及展示之特性，茲將其特性簡述如下：

- (一)輸入：地籍圖之數化、屬性資料之建立等工作可由 GIS 介面下完成。
- (二)管理：地理資料庫之建立，如圖形資料與屬性資料連結，才能提供適當之資訊，供使用者利用。
- (三)分析應用：包括
 - 1.空間資料處理，座標轉換等。
 - 2.空間資料分析、套疊。
 - 3.數值地形，如集水區分析等。
 - 4.網路分析，如最佳路徑選擇，流量模擬等。
- (四)展示：能夠將空間資訊，經分析處理後，利用螢幕或繪圖機製作主題圖將其結果展示出來。

2.2 向量式與網格式資料格式

地理資訊系統儲存資料的格式大致可分為向量式與網格式，茲分別介紹如下：

2.2.1 向量式地理資訊系統（Vector GIS）

向量式地理資訊系統是使用點、線、面等幾何圖元來表現地形、地物。向量式地理資訊系統以地形地物為主體、儲存各地形、地物的位置及屬性資料。向量系統又可分為有位向關係（topological relation）及無位向關係（non-topological）兩大類。通常無位向關係的向量系統指的是電腦繪圖系統（CAD），如 AUTOCAD、MICROSTATION 等設計製圖軟體，純粹為圖

形之展現而無須分析點、線、面之間的關係，而採用無位向的向量結構表現空間資料。反之，有位向關係向量系統通常使用有位向關係的向量結構儲存地理資料，透過位向，可以表達空間中物體的相鄰關係。例如在灌溉坵塊圖中，有位向關係的系統可以很容易的分辨甲坵塊的鄰居為乙坵塊而不是丙坵塊；或是甲渠道和乙渠道及丁渠道連接而不與丙渠道相連接等等。

(一)向量式地理資訊系統優點：

- 1.能精確的表示位置，可用於大比例尺地圖。
- 2.便於儲存水工構造物、農作生產等屬性資料或地籍資料。
- 3.可以表達物體間等各種關係。例如可建立渠道、田間道路、輸水管線等網路以進行各種網路分析。

(二)向量式地理資訊系統缺點：

- 1.表達地形、溫度等連續變化現象較困難。
- 2.建立檔案需要較高的技術，費用較高。
- 3.系統的維護及使用較為複雜。

2.2.2 網格式地理資訊系統 (Raster GIS)

網格式地理資訊系統將研究區域分為規則的網格 (grid)，每一網格均有一座標位置，相鄰的網格其座標差即為此網格系統之解析度。系統於每一個網格內儲存相對於該座標位置相的特徵值，此特徵值可以是土地利用型態、土壤質地、種植作物或任何相關於那一個格子的性質。網格式地理資訊系統的展現常被視為主題圖像，它可與向量式地理資訊系統共同展示以發揮不同的特性。

(一)網格式地理資訊系統優點：

- 1.適於表達地形高程、土壤、土地利用等覆蓋全地表類型的資料。
- 2.資料製作簡單，經過簡單的訓練就可以進行。
- 3.網格式結構簡單明瞭，觀念易懂、容易學習。
- 4.遙感探測資料為網格式，容易納入網格式地理資訊系統使用。
- 5.空間結構單純，適合於環境模型的表達。

(二)網格式地理資訊系統缺點：

- 1.精確度受方格大小限制、需要高精確度資料時、資料量增加得很快。不適合表達位置要求精確的資料。
- 2.繪圖時容易出現鋸尺狀邊緣，較不美觀。
- 3.不容易儲存各行政區人口、統計值等類型資料。
- 4.不利於表達有複雜關係的資料。例如交通網路、電信、電力管線、自來水管路資料。

2.2.3 關連式資料庫 (Relational Database System)

文數字資料庫方面、過去有階層式資料庫 (hierarchical database system)、網路式資料庫系統 (network database system)。大多數近代的資料庫系統，例如，Dbase、MS Access、Oracle、Informix 等均為關連式資料庫系統。目前向量式地理資訊系統的屬性大多儲存在關連式資料庫系統中。關連式資料庫系統最基本的觀念便是表格 (table)。一個表格式為儲存資料最自然的方式，每一個表格包含了許多行 (column) 又稱為欄位 (field)，於每一行內存著相同性質的資料。表格內每一列 (row) 裡包含許多不同性質的資料項目。每一列又稱為一筆記錄 (record)。

2.3 地理資訊系統套疊分析

從事水利土地規畫管理時，常常需要綜合地形、地質、土壤、水文、交通、人口等多種地圖。用人工處理這麼大量的資料、幾乎是不可能的事。於是有人想到將資料輸入電腦就可以輕易的將各種地圖疊合在一起。進行土地規畫時，經常必須量測道路、河流的長度及計算土地的面積。過去必須利用曲線計及求積儀以人工量取。資料輸入電腦後，求取長度，面積成為輕而易舉的事。加拿大在 1960 年代就體認到利用地理資訊系統管理土地的好處，開發了加拿大地理資訊系統 (CGIS)。地理資訊系統也從此成為進行土地規畫、管理工作的利器。

對現代的土地資源規畫者來說，疊圖僅是資料分析的起點。整合過的資料可以透過地理資訊系統作進一步的分析。例如為了瞭解不同水土保持措施的效果，可將各種措施下土壤、地形、植被狀況等資料代入土壤沖蝕公式中，以模擬各種措施的效果，然後據此選擇最佳的方法。現代的地資訊系統除資料疊合的功能外，還提供許多分析工具及分析模式。對於地理資訊系統疊合功能而言，資料的位置正確，疊圖的結果才可靠。

地理資料一般可分成二大部份即屬性及空間資料，GIS 具備之分析功能

如下：

(一)屬性資料處理分析

- 1.資料更新
- 2.統計分析
- 3.即時查詢

(二)空間資料處理分析

- 1.多邊形相疊/取消
- 2.座標轉換及座標資料過濾
- 3.環框/通廊之形成
- 4.近鄰/相鄰分析
- 5.長度、面積、週邊、坡度、坡向、體積計算等
- 6.最佳路線選擇
- 7.流量模擬
- 8.時間/距離分區
- 9.等值線繪製
- 10.集水區分析
- 11.比例尺改變
- 12.圖形重疊
- 13.三度空間立體圖製作
- 14.變遷研究
- 15.最佳路徑尋找
- 16.空間分布之分析
- 17.預測模擬

2.4 農田水利會灌溉管理地理資訊系統

農田水利會為農業灌溉用水之管理單位，秉承政府之政策加予執行，因此對於地理資訊系統所提供之決策支援及規劃之能力，可能無法單獨執行，故在應用方面可能偏重於現有資料之管理及應用，目前本省各水利會對管理業務之需求度不一，都會型之水利會偏重於會有地之管理，水資源匱乏或管理業務較龐大之水利會則以灌溉管理為優先，因此以水利會之應用角度來看，其應用之方向約可分為：

- 1.地籍圖管理
- 2.灌溉計畫及輸配水管理
- 3.灌溉渠道及排水渠道系統管理
- 4.灌溉區域圖分佈、劃分及現場勘查應用
- 5.灌溉設施及水工構造物管理
- 6.會有財產及會有土地管理
- 7.水污染及各監視點管理及追蹤
- 8.工程設施評估及受益面積估算
- 9.立地條件相關資料分析及應用（土壤質地、氣候分佈、入滲率、灌溉地類別、地目、等則等）
- 10.地下水井分佈及管理
- 11.水源資料及水權管理
- 12.其他如工程規劃設計、人事、會計、財物等之管理

2.4.1 灌溉管理地理資訊系統內容及格式

全省各農田水利會生產之灌溉相關資料包括土系圖、農地坵塊圖、水利會輪區圖（或小組範圍圖）、土壤特性及入滲資料、各水利會轄區灌溉渠道基本資料、各農田水利會輪區別灌溉計畫基本資料、灌溉設施基本資料及灌溉設施歷年更新改善資料等。資料名稱、型態、內容及用途、以及資料來源列於表 2-1。

表2-1 農田水利會灌溉管理地理資訊系統基本資料

資料名稱	資料型態	資 料 內 容 及 用 途	資 料 來 源
平地土壤土系圖	面	由土系類別及四層土壤質地(0-30 cm、30-60 cm、60-90 cm、90-120 cm)資料用來估算入滲率	中興大學土壤系、台灣省農試所
農地坵塊圖	面	全省農地坵塊圖、供繪製全省水利會輪區圖	台灣省糧食局
水利會輪區圖或水利小組圖	面	輪區界限、小組界限、輪區面積、及土壤特性等	全省各水利會
地下水深淺層補注資料	面	提供入滲量對地下水深淺層補注之分級	省水利局(由台大自行數化)
土壤保水力分析資料	點	土壤特性及入滲率	省水利局(旱作立地區分報告)
河川入滲資料	點	土壤特性及入滲率	地調所
旱作灌溉基本資料	點	土壤特性及入滲率	各農田水利會及農工中心
灌溉渠道系統基本資料	線	系統編號、水利會代號、管理處代號、工作站代號、水權量、渠道長度、最大設計通水容量、補助水源、輸水損失、公井口數、公井水量、水質狀況	全省各水利會
輪區別灌溉計畫基本資料	點	水利會代號、水利會名稱、管理處代號、工作站代號、小組別代號、灌溉系統別代號、輪區別、輪區面積、輪區內之旱作面積、土壤別代號、粘土率百分比、正常時期之灌溉期距、最大之灌溉期距、乾田日數、錯開日數、日需水量、日滲漏量、正常開始插秧日期、正常結束插秧日期、最早開始插秧日期、最晚開始插秧日期、本田日數、量水設備、期作別、整地用水量、種植作物別代號、本田需水量、旱作需水量	全省各水利會
排水渠道系統基本資料	線	等級、渠道長度、斷面底寬、斷面高、邊坡比、渠道質地、植生/淤積情形、集水區面積等	全省各水利會

2.4.2 全省平地土系資料

本資料係由台灣省農試所農化系負責數化，經由農工中心轉換為 Arc/Info 之資料格式，資料精度為 1/5000，依縣市區分全省共有 15 幅資料，其資料格式如表 2-2：

表2-2 全省平地土系資料圖幅清單

圖幅代號	縣市別	圖幅代號	縣市別	圖幅代號	縣市別	圖幅代號	縣市別
scye	嘉義縣	Shce	新竹縣	shle	花蓮縣	sile	宜蘭縣
skhe	高雄縣	Smle	苗栗縣	snte	南投縣	spte	屏東縣
stce	台中縣	Stne	台南縣	stpe	台北縣	sche	彰化縣
stte	台東縣	Style	桃園縣	syle	雲林縣		

表2-3 全省平地土系資料-屬性欄位名稱

欄位名稱	資料型態	資料長度	小數點位數	備 註
labelid	Numeric	11	0	識別碼
drain	numeric1	1	0	排水性
slope	Character	1		坡度分級
t0_30	Numeric	2	0	0到30公分之土壤質地
t30_60	Numeric	2	0	30到60公分之土壤質地
t60_90	Numeric	2	0	60到90公分之土壤質地
t90_150	Numeric	2	0	90到150公分之土壤質地

表2-4 全省平地土系資料-屬性欄位代碼

欄位名稱	屬 性 代 碼
drain	: a : 良好 b : 不完全 c : 不良 d : 極不良 e : 浸水
slope	: a : 0~5% b : 5~15% c : 15~30% d : 30~40% e : 40~55% f : >55%
t0_30	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫
t30_60	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫
t60_90	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫
t90_120	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫

2.4.3 全省農地坵塊圖

本資料係由台灣省糧食局數化，主要以農地坵塊為主，非農地之部份則未數化，檔案為 Arc/Info 格式，全省共 3,000 多幅，其屬性檔資料內容如下：

欄 位 名 稱	長 度	資料型態	小 數 點 長 度	備 註
area	13	n	6	坵塊面積
perimeter	13	n	6	坵塊周長
s6232008	11	n	0	地籍內部編碼
s6232008_i	11	n	0	地籍人工編碼
ang	3	n	0	地號角度
more	1	c	0	多重地號有無(y/n)
land	2	n	0	多重地號數
l_type	1	c	0	地目
land_no	9	c	0	地號
r	1	c	0	
m	1	c	0	
s	1	n	0	

2.4.4 水利會輪區圖

本資料係由全省各農田水利會向地政機關申請 1/4800 地籍圖，並由各水利會作業人員直接將輪區界限描繪於地籍圖上，同時將灌溉渠道、排水系統、水工構造物名稱及位置亦加予描繪，其資料庫包括之空間物件計有以下四類：

- (一)渠道：包括灌溉及排水渠道等線性資料。
- (二)水源：包括水庫取水口、水井、河川取水口、池塘等點資料。
- (三)農地：包括地籍坵塊、輪區、小組、灌區等面資料。
- (四)水工構造物：包括分水門、河水堰、抽水站等點資料。

種 類	圖 層 劃 分	資料型態	屬 性 欄 位
渠 道	灌溉幹線、灌溉支線、灌溉分線、灌溉大中小給水路、大排水、中排水、小排水	線資料	渠道代碼、輸水時間、輸水損失、所轄灌區、管理維護單位、渠道等級、渠道長度、灌溉面積、渠道各區段對照表
水 源	水庫水源取水口、河川水源取水口、池塘取水口、水井	點資料	水源代碼、水源名稱
農地地籍坵塊	坵塊邊界、坵塊中心點	面資料	地段代碼、地號代碼
水 工 構 造 物	抽水站、河水堰、分水門	點資料、 (須附屬在 渠道上)	構造物代碼、所屬渠道代碼、位置區段數字、設置時間、上次維修時間、設施用途、工程設計圖、實地照片

2.4.5 土壤特性及入滲資料

土壤特性資料係由水利局、地調所、及農工中心等單位所出版之報告經整理後建檔完成，包括：台灣旱作灌溉立地區分計畫報告、地表地質材料粒徑分析及現地入滲試驗究、旱作灌溉基本資料收集等報告。資料建檔之精度係以經緯度座標輸入建檔，資料格式為 Arc/Info 圖幅資料，坐標系統為 TM 二度分帶。資料內容如下：

圖幅清單：表土壤入滲特性測點資料（僅表土層，且表土厚度定義不一致）。圖幅屬性資料存於屬性資料庫中，欄位說明見附表。附屬屬性資料庫包含各土層土壤入滲特性測點資料（屬性欄位見附表）。

(一)旱作立地區分部份：

資料檔型態為 Database 檔案，建檔筆數為 3,614 筆。

欄 位 名 稱	欄 位 型 態	欄位長度	小數點	備 註
x	numeric	11	4	x坐標(tm2,m)
y	numeric	12	4	y坐標(tm2,m)
sample_id	character	6		樣點編號
depth_s	numeric	3		採樣深度起(cm)
depth_e	numeric	3		採樣深度終(cm)
sand	numeric	5	1	砂粒(%)
clay	numeric	5	1	粘粒(%)
silt	numeric	5	1	粉粒(%)
texture	character	16		土壤質地
wpoint	numeric	6	2	永久凋萎點(pwp%)
fcapacity	numeric	6	2	田間容水量(fc%)
pwater	numeric	3		有效水分(pv%)
conduc	character	10		滲透率(cm/sec)

(二)旱作灌溉基本資料部份：

資料檔型態為 Database 檔案，建檔筆數為 501 筆。

欄 位 名 稱	欄 位 型 態	欄位長度	小 數 點	備 註
x	numeric	1	4	x座標(tm2.m)
y	numeric	12	4	y坐標(tm2
sample_id	character	6		點編號
depth_s	numeric	2		採樣深度起(cm)
depth_e	numeric	2		採樣深度終(cm)

texture	character	4		土壤質地
wpoint	numeric	4	1	永久凋萎點(pwp%)
fcapacity	numeric	5	1	田間容水量(fc%)
pwater	numeric	4	1	有效水分(pv%)
k	numeric	10	5	入滲率k係數 (mm/hr)
n	numeric	8	5	入滲率n指數 (mm/hr)
irate	numeric	7	4	入滲率(mm/hr)
gwt	numeric	4	1	地下水位(m)

(三)整合後之土壤測點資料庫欄位定義

資料檔型態為 Database 檔案，建檔筆數為 4,675 筆。

欄 位 名 稱	資 料 型 態	欄 位 長 度	小 數 點	備 註
x	numeric	11	4	x坐標(tm2,m)
y	numeric	12	4	y坐標(tm2,m)
id	numeric	5		識別碼
type	numeric	1		資料來源類型
sample_id	character	6		樣點編號
depth_s	numeric	3		採樣深度起(cm)
depth_e	numeric	3		採樣深度終(cm)
sand	numeric	5	1	砂粒(%)
clay	numeric	5	1	粘粒(%)
silt	numeric	5	1	粉粒(%)
texture	character	16		土壤質地
wpoint	numeric	6	2	永久凋萎點(pwp%)
fcapacity	numeric	6	2	田間容水量(fc%)
pwater	numeric	4	1	有效水分(pv%)
swater	numeric	5	2	含水量(%)
k	numeric	13	8	入滲率k係數
n	numeric	10	7	入滲率n指數
iratecmmmin	numeric	6	4	入滲率(cm/min)
iratemmhr	numeric	9	4	入滲率(mm/hr)
gwt	numeric	4	1	地下水位(m)
conduc	character	10		滲透率(cm/sec)

備註： type 代碼： 1--水利局旱作立地區分；
2--地調所濁水溪、高屏入滲資料；
3--嘉南地區旱作灌溉基本資料。

id 代碼：由 type 在第一位再加上各 type 樣點之 4 位流水號，如 20015。

kn 值之單位：type=2 時，是以入滲率 cm/min 為單位計算；
type=3 時，是以入滲率 mm/hr 為單位計算；
type=1 時，無 kn 值。

資料空間分佈說明：

- 1.水利局土壤測點分佈資料，共有 1473 點，分佈在全省各平地區域。
- 2.地調所濁水溪測點分佈涵蓋彰化、雲林、嘉義三縣之平地區域，共 280 點，高屏之測點分佈則涵蓋高雄、屏東兩縣之平地區域，共亦 280 點，其分佈與農試所土系資料之分佈大致相符。
- 3.嘉南地區旱作灌溉基本資料涵蓋台南、嘉義兩縣之平地區域，共 167 點，其分佈與農試所土系資料之分佈大致相符。

(四)整合後之土壤測點資料庫欄位資料來源對照表

代號	欄位英文名稱	欄位中文名稱	type1	type2	type3
1	x	x坐標(tm2度,公尺)	○	○	○
2	y	y坐標(tm2度,公尺)	○	○	○
3	id	識別碼	1xxxx	2xxxx	3xxxx
4	type	資料來源類型	1	2	3
5	sample_id	樣點編號	○	○	○
6	depth_s	採樣深度起(cm)	○	×	○
7	depth_e	採樣深度終(cm)	○	×	○
8	sand	砂粒(%)	○	×	×
9	clay	粘粒(%)	○	×	×
10	silt	粉粒(%)	○	×	×
11	texture	土壤質地	○	×	○
12	wpoint	永久凋萎點(pwp%)	○	×	○
13	fcapacity	田間容水量(fc%)	○	×	○
14	pwater	有效水分(pv%)	○	×	○
15	swater	含水量(%)	×	○	×
16	k	入滲率k係數	×	cm/min	mm/hr
17	n	入滲率n指數	×	cm/min	mm/hr
18	iratecmmin	入滲率(cm/min)	×	○	導出
19	iratemmmhr	入滲率(mm/hr)	×	導出	○
20	gwt	地下水位(m)	×	×	○
21	conduc	滲透率(cm/sec)	×	○	×

Type=1：水利局旱作立地區分；

Type=2：地調所濁水溪、高屏入滲資料；

Type=3：嘉南地區旱作灌溉基本資料。

2.4.6 灌溉渠道系統資料

本項資料係由全省各農田水利會針對轄區之灌溉系統，依水源別及幹支分線之順序重新調查及填寫表格後再予建檔，其格式如下：

欄位名稱	資料型態	資料長度	小數點	備註
code	character	2		水利會代號。
iacns	character	4		水利會中文名稱。
mng	character	1		管理處代號，依各會現行灌溉地籍資料代碼格式，除嘉南及雲林水利會外，其餘各會本欄皆空白。
stn	character	2		工作站代號，依各會現行灌溉地籍資料代碼格式。
sys	character	27		灌溉渠道系統代號，依各會現行灌溉地籍資料代碼格式，如001001003，第一個'001'代表水系，第二個'001'代表埤圳別，'003'為幹線。
sys_cns	character	28		渠道中文名稱
sys_len	numeric	10	3	渠道長度(m)
sys_cap	numeric	8	3	渠道設計最大通水容量(cms)
sys_wq	character	2		渠道之水質狀況，分五級，即c1-c5
pub_well	numeric	8	3	公井水量(補助水源),cms
pwc	numeric	3		公井口數
re_water	numeric	8	3	迴歸水水量(cms)
loss	numeric	8	3	輸水損失
loss_unit	numeric	1		輸水損失之單位（1:百分比2:cms3:cms/公里）
wtr_right	numeric	8	3	水權量,cms

2.4.7 輪區別灌溉計畫資料

本項資料係由全省各農田水利會以輪區為調查單位，調查灌溉計畫相關之基本資料，如輪區面積、使用之水源、各旬用水量、種植之作物別等，其格式如下：

欄位名稱	資料型態	資料長度	小數	備註
code	character	2		水利會代號
Iacns	character	4		水利會名稱
mng	character	1		管理處代號
stn	character	2		工作站代號
grp	character	2		小組別代號
rotation	character	2		輪區別

rot_area	numeric	6	2	輪區面積
paddy_area	numeric	6	2	輪區內之旱作面積
soil	character	1		土壤別代號
clay	numeric	5	2	粘土率百分比
ip_normal	numeric	4	1	正常時期之灌溉期距
ip_max	numeric	4	1	最大之灌溉期距
ip_paddy	numeric	2		乾田日數
loss	numeric	4	1	輸水損失
ref	numeric	1		農地重劃
crop_1	numeric	4	1	第一期作錯開日數
crop_2	numeric	4	1	第二期作錯開日數
wtr_demand	numeric	6	2	日需水量
perc	numeric	6	2	日滲漏量
c1_n_s_m	character	2		第一期作正常開始插秧日期(月份)
c1_n_s_10d	character	1		第一期作正常開始插秧日期(旬別)
c1_n_e_m	character	2		第一期作正常結束插秧日期(月份)
c1_n_e_10d	character	1		第一期作正常結束插秧日期(旬別)
c1_e_m	character	2		第一期作最早開始插秧日期(月份)
c1_e_10d	character	1		第一期作最早開始插秧日期(旬別)
c1_l_m	character	2		第一期作最晚開始插秧日期(月份)
c1_l_10d	character	1		第一期作最晚開始插秧日期(旬別)
c1_gp	numeric	3	0	第一期作本田日數
c2_n_s_m	character	2		第二期作正常開始插秧日期(月份)
c2_n_s_10d	character	1		第二期作正常開始插秧日期(旬別)
c2_n_e_m	character	2		第二期作正常結束插秧日期(月份)
c2_n_e_10d	character	1		第二期作正常結束插秧日期(旬別)
c2_e_m	character	2		第二期作最早開始插秧日期(月份)
c2_e_10d	character	1		第二期作最早開始插秧日期(旬別)
c2_l_m	character	2		第二期作最晚開始插秧日期(月份)
c2_l_10d	character	1		第二期作最晚開始插秧日期(旬別)
c2_gp	numeric	3		第二期作本田日數
water_equ	character	1		輪區內是否有量水設備(1:是,2:否)
period	character	1		期作別
work_water	numeric	3		整地用水量(mm)
kind	character	36		種植作物別代號(共三年36旬)
pd_water1	character	108		第一年本田需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
pd_water2	character	108		第二年本田需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm

pd_water3	character	108		第三年本田需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
cr_water1	character	108		第一年旱作需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
cr_water2	character	108		第二年旱作需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
cr_water3	character	108		第三年旱作需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm

2.5 實例應用—新竹農田水利會地理資訊系統

2.5.1 設置經過

農田水利會之灌溉管理業務龐大且資訊量多，特別是引用到地籍圖之部份，由於牽涉到大批之圖籍資料，在管理上特別辛苦，鑑於近年來地理資訊系統之技術日漸成熟，因此新竹農田水利會為了加強灌區地籍資料及灌排渠道、水工構造物等資訊之有效管理，進而於民國 86 年起以『普查』之方式陸續建立灌溉管理地理資料庫，並於民國 90 年全部完成，地理資料庫內容包括灌區內地籍圖、灌溉渠道分佈圖、排水渠道分佈圖、水工構造物分佈圖（含斷面變化、構造物起始樁號等），同時針對本會之業務開發軟體介面，以提昇水利會之灌溉管理成效。

2.5.2 新竹農田水利會地理資訊系統應用架構

RS、GPS 與 GIS 俗稱 3S，其整合應用成功實例很多，新竹農田水利會所建置之地理資訊系統利用 RS 協助灌溉地面積及灌溉區域內灌溉地遺漏輔助調查，利用 GPS 協助現地之渠道及水工構造物調查，最後利用桌上型 GIS 系統，將上述資料整合並建置一個灌溉管理資料庫（詳如圖 2-1）。

另外新竹農田水利會採用 ESRI 公司出品之 NT 版 ARC/INFO 為前端模式應用工具，而後端工作則交給 ArcView 來做處理。ArcView 也是 ESRI 公司發展的一套功能強大之桌上型地理資訊系統，本身提供了圖形資料及屬性資料的建立外，亦可輕易整合各種數位地圖資料、CAD 圖檔、遙測影像資料圖檔等，同時透過此關聯式的資料整合，可進行資料的修改及互動式查詢、統計分析、資料展示及出圖等功能，並可利用其內建之 Avenue 程式語言，撰寫使用者自定之操作介面。

2.5.3 資料來源

新竹農田水利會所建置之地理資料庫，部份資料係引用其他單位建置完成之電子檔加予轉換，部份則自己生產，茲說明如下：

(一)向地政事務所或土地測量局申請

- 1.數值地籍圖：為Autocad之dxf格式電子檔，取得後再利用Autocad Map轉成shape file格式。
- 2.地籍圖：為藍晒圖（土地測量局未提供地籍數值檔部份），取得後再自行數化。
- 3.灌排渠道、水工構造物等,利用GPS協助普查及蒐集。

(二)由相關單位取得或購置。

- 1.內政部出版1:25000地形圖。
- 2.1:5000 電子地圖。
- 3.水系圖。

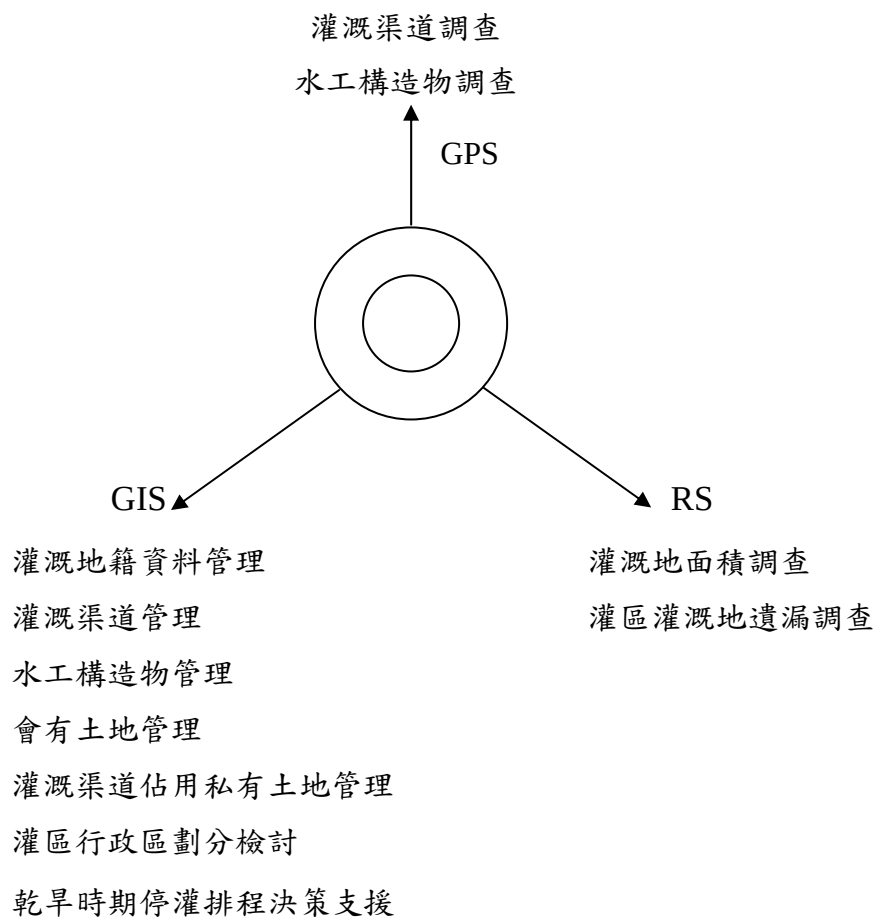


圖 2-1 新竹農田水利會地理資訊系統架構圖

2.5.4 系統建置成果

要建立一個灌溉管理地理資訊系統，需耗費大量之人力、時間及金錢，特別是國內尚未有一個專責之單位在負責基本圖之建置時，想要利用 GIS 來管理業務，在建置成本上需花費較高之代價，然建置完成後也能夠收到較好之成

效。以下茲分別說明新竹農田水利會利用 GIS 來完成各項管理業務之效益。

一、灌溉地籍資料管理：特過定期取得轄區地政機關之地籍圖數值檔及地籍資料，結合地籍圖與地籍資料產生地址對位，建立完整之地籍資料表，可隨時掌控灌區內灌溉地籍資料之變化。

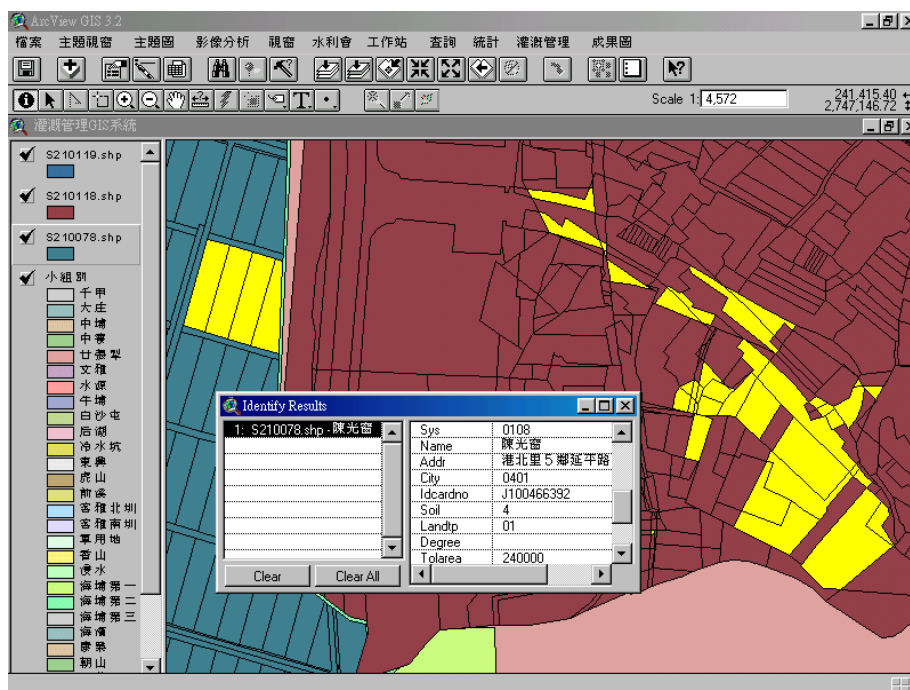


圖 2-2 會員地籍查詢畫面-地理位置分佈

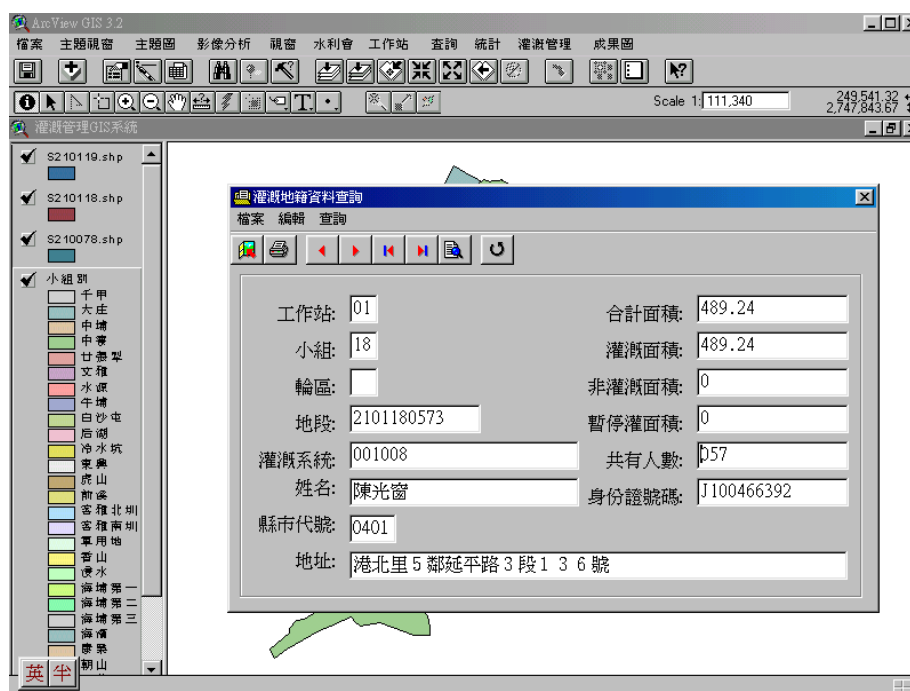


圖 2-3 會員地籍查詢畫面-屬性資料展示

二、灌排渠道管理：建構完整之灌排渠道資訊網，配合地籍圖之套疊，即時提供渠道維修及管理上之各種資訊。

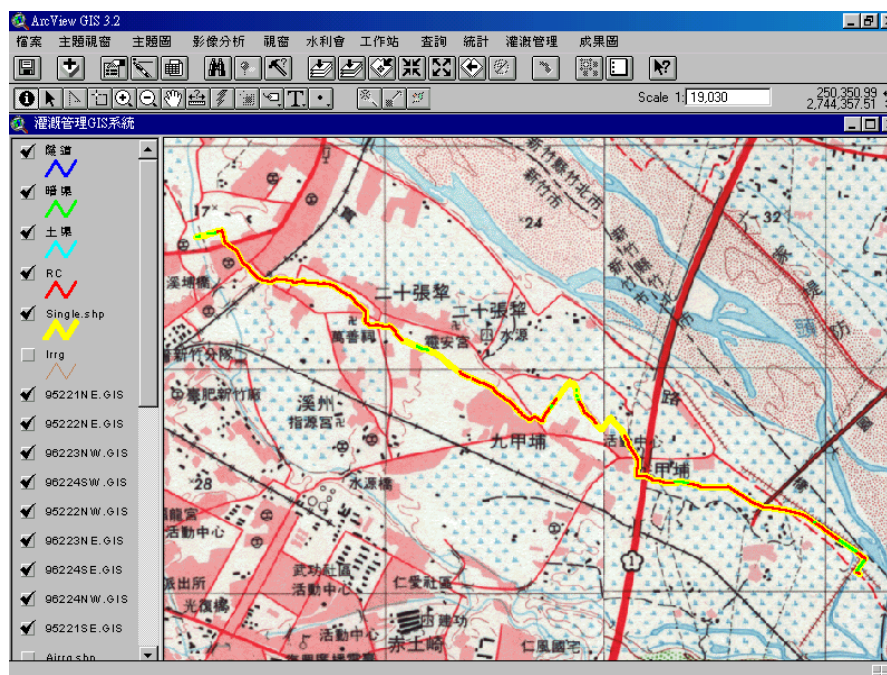


圖 2-4 灌溉渠道內面工分佈狀況（連續線段）

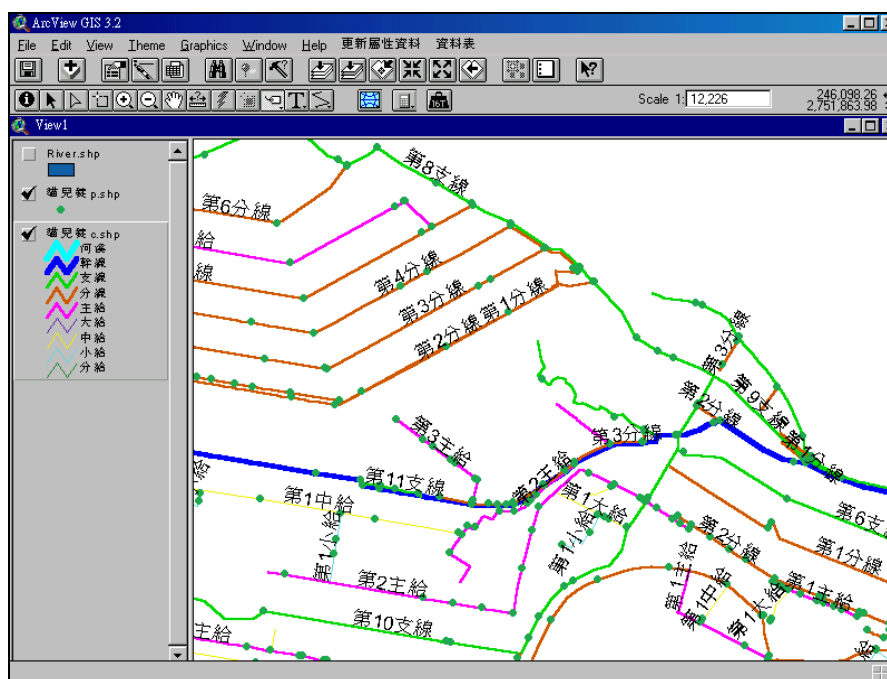


圖 2-5 灌溉渠道路網圖

三、水工構造物管理：蒐集及建構水工構造物之起始終點座落樁號、種類，配合灌溉渠道及地籍圖聯結，建立完整之水工構造物資訊網，即時提供渠道維修及管理上之各種資訊。

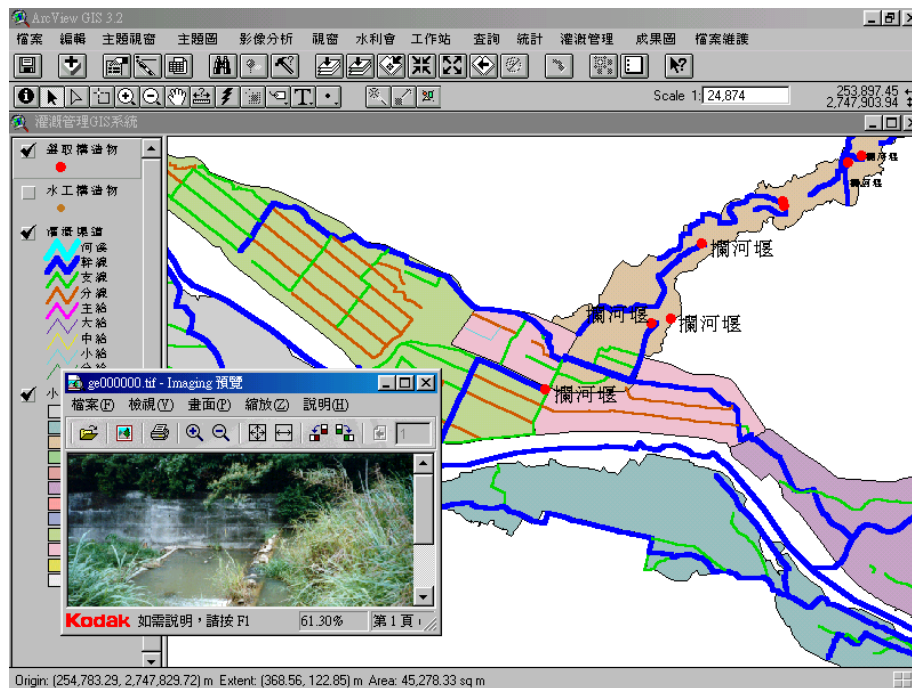


圖 2-6 水工構造物路網圖

6 of 452 selected

S_location	E_location	Location	Sys	Image	Desc	Start
0+084.6	0+091.6	0+084.6~0+091.6	001006007		拱形暗渠 寬1m高0.9m長7m	84.60
0+104.3	0+107.1	0+104.3~0+107.1	001006007		混凝土橋 長2.8m寬3.5m	104.30
0+205.8	0+234.2	0+205.8~0+234.2	001006007		暗渠 寬1.3m高0.9m跨越水渠	205.80
0+000.0	0+000.0	0+000.0~	001006	C010601.tif	控制水門 寬5.5m高3.1m	0.00
0+157.5	0+309.5	0+157.5~0+309.5	001006		暗渠 寬2.1m高1.4m	157.50
0+309.5	0+347.5	0+309.5~0+347.5	001006		暗渠 寬3.2m高1.57m	309.50
1+140.5	1+160.8	1+140.5~1+160.8	001006		暗渠 寬2.3m高1.3m經中正路	1140.50
1+295.4	1+366.9	1+295.4~1+366.9	001006		暗渠 寬3.3m高1m長71.5m	1295.40
1+396.3	1+401.1	1+396.3~1+401.1	001006		混凝土橋 寬3.6m長4.8m	1396.30
1+470.9	1+475.3	1+470.9~1+475.3	001006		混凝土橋 寬3.8m長4.4m	1470.90
1+557.5	1+593.5	1+557.5~1+593.5	001006		暗渠(矩形) 左:卵石 右:RC	1557.50
1+653.1	1+656.1	1+653.1~1+656.1	001006		混凝土橋 寬4m長3m	1653.10
2+658.2	2+728.2	2+658.2~2+728.2	001006		暗渠 寬2.6m高1.1m長70m	2658.20
2+859.8	2+889.8	2+859.8~2+889.8	001006		暗渠 寬3.6m高1.3m長30m	2859.80
0+116.8	0+164.8	0+116.8~0+164.8	001006004		暗渠 寬0.7m高0.7m長48m	116.80
0+667.6	0+679.6	0+667.6~0+679.6	001006006		暗渠 上底寬1.9m下底寬1.5m	667.60
1+730.5	1+796.4	1+730.5~1+796.4	001006		暗渠 寬2.1m高1.2m 暗渠(經	1730.50
2+028.8	2+154.8	2+028.8~2+154.8	001006		暗渠 寬2.5m高1.6m長126m	2028.80
2+231.3	2+235.8	2+231.3~2+235.8	001006		混凝土橋 寬10.6m高2m長4	2231.30
2+480.1	2+511.0	2+480.1~2+511.0	001006		暗渠 寬5m高1.8m 暗渠(經	2480.10
0+076.0	0+240.8	0+076.0~0+240.8	001006005		暗渠 左:卵石 右:RC 寬1.3m	76.00
0+000.0	0+121.4	0+000.0~0+121.4	001006006002		暗渠 寬0.6m高0.8m	0.00
0+521.7	0+544.3	0+521.7~0+544.3	001006006002001		暗渠 寬2.1m高1.3m長22.6m	521.70
0+000.0	0+793.1	0+000.0~0+793.1	001006007003		暗渠 寬0.5m高0.6m路測溝	0.00
0+062.2	0+096.0	0+062.2~0+096.0	001006003		暗渠 寬0.7m高1.3m跨越竹	62.20
0+000.0	0+012.2	0+000.0~0+012.2	001006007001		暗渠 寬0.45m高0.65m長12	0.00
0+424.1	0+953.1	0+424.1~0+953.1	001006007		暗渠 寬1.3m高1m	424.10

圖 2-7 水工構造物座落樁號及設施內容查詢

四、會有土地管理：利用水利會現有之『會有土地資料』與地籍圖做地址對位，建立關連分析及查詢，提供水利會在會有土地分佈、查詢、統計及不同比例出圖列印等管理需求。

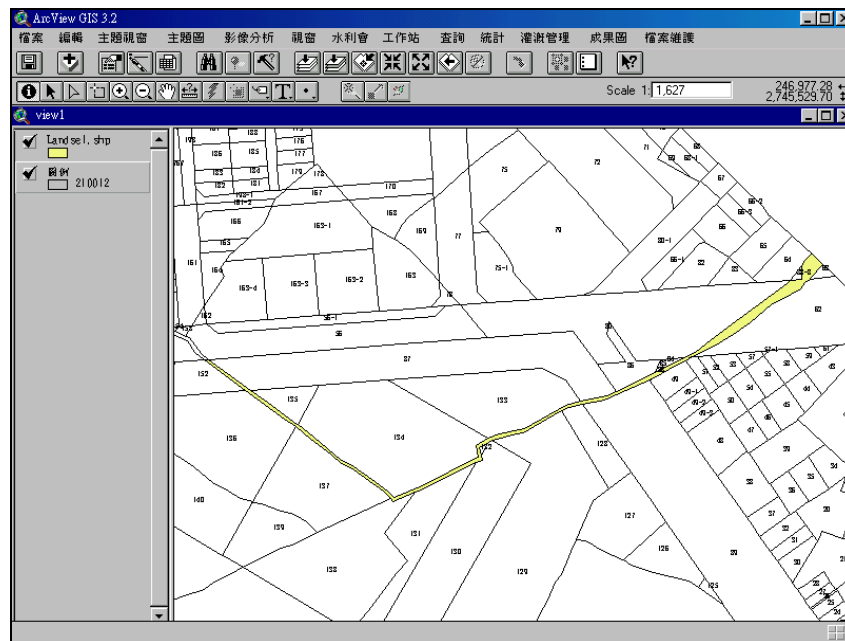


圖 2-8 會有土地查詢

五、灌溉渠道佔用公私有土地管理：從建構之地理資料庫中，利用 GIS 之分析特性，輔助清查水利會現行灌溉渠道中，佔用公私有地之地理分佈及建立該筆土地之相關資訊。

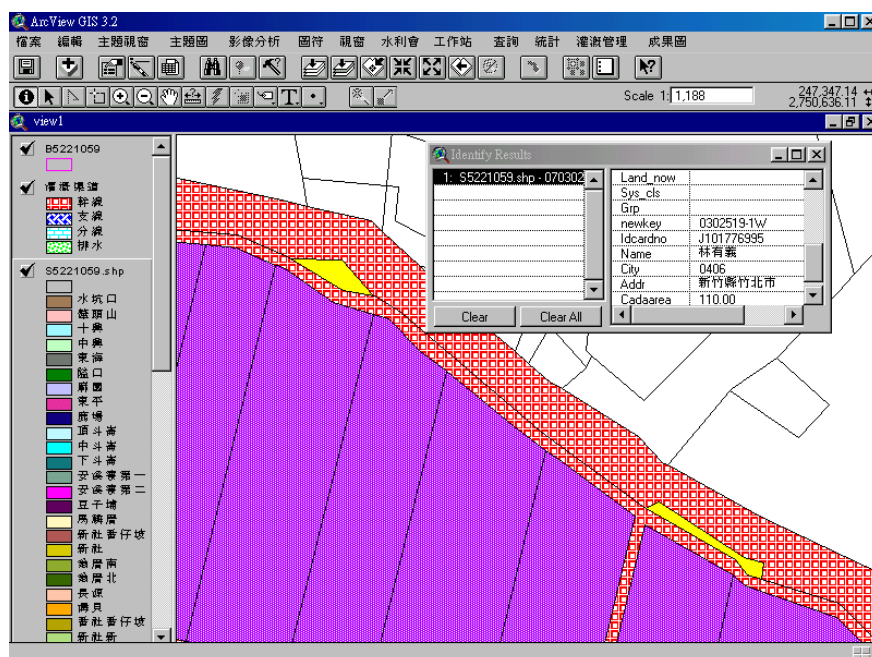


圖 2-9 灌溉渠道佔用公私有地（黃色部份為地理位置）

六、灌區行政區劃分檢討：由於過去不同之時空背景，致產生水利小組劃分上之錯誤，過去因無法與圖籍資料聯結，故不易發覺。新竹農田水利會利用灌區內地籍資料與地籍圖做地址對位後，可將不合理之分佈，依照灌溉渠道特性，做適當之調整。

七、乾旱時期停灌排程決策支援：建立灌區內之土壤別、渠道損失、渠道長度、缺水率等模式庫，依照計算不同小組別之灌溉需水量，提供優先停灌順序，做為乾旱時期之決策支援參考。

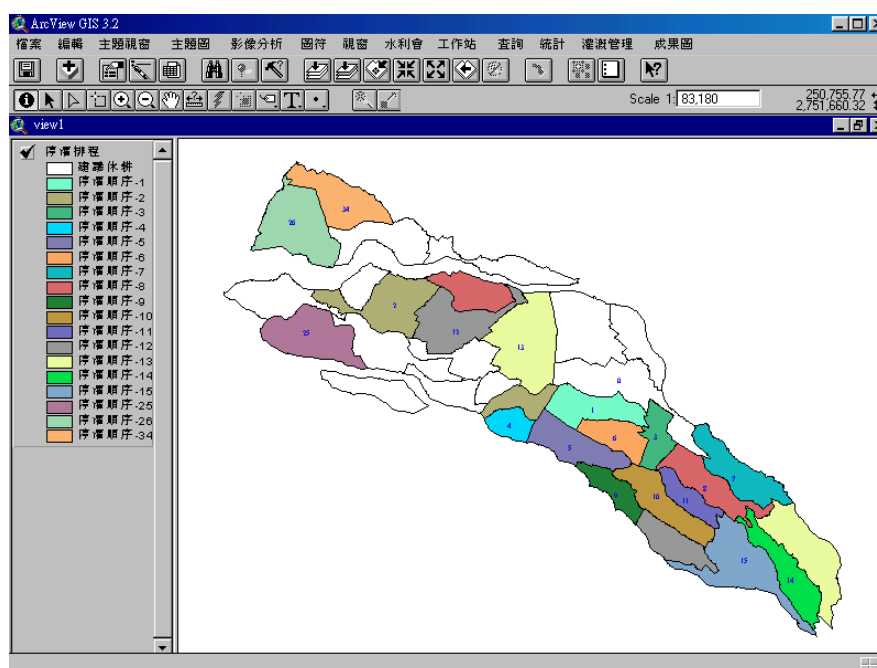


圖 2-10 乾旱時期停灌優先順序排程（決策支援）

八、灌溉地面積及灌區內遺漏調查：配合灌區地籍圖，SPOT 衛星影像，利用 ArcView Image Analysis 延伸模組，以灌區內之『單一坵塊』、多時段進行土地使用分類，協助水利會灌區內灌溉地面積及遺漏面積之統計及調查。

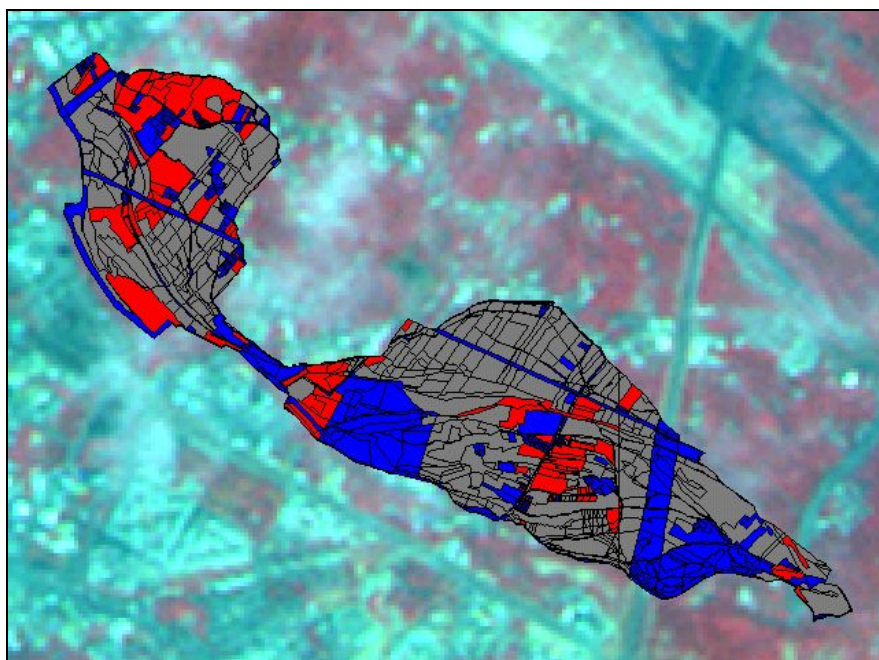


圖 2-11 灌區水稻分類

九、成果圖展示：依照水利會之不同需求，隨時提供水利會不同主題之成果展示，包括水利小組分佈圖、地段別地籍圖、1:5000 地籍圖、灌溉渠道分佈圖、排水渠道分佈圖、水工構造物分佈圖、灌溉區域分佈圖等。

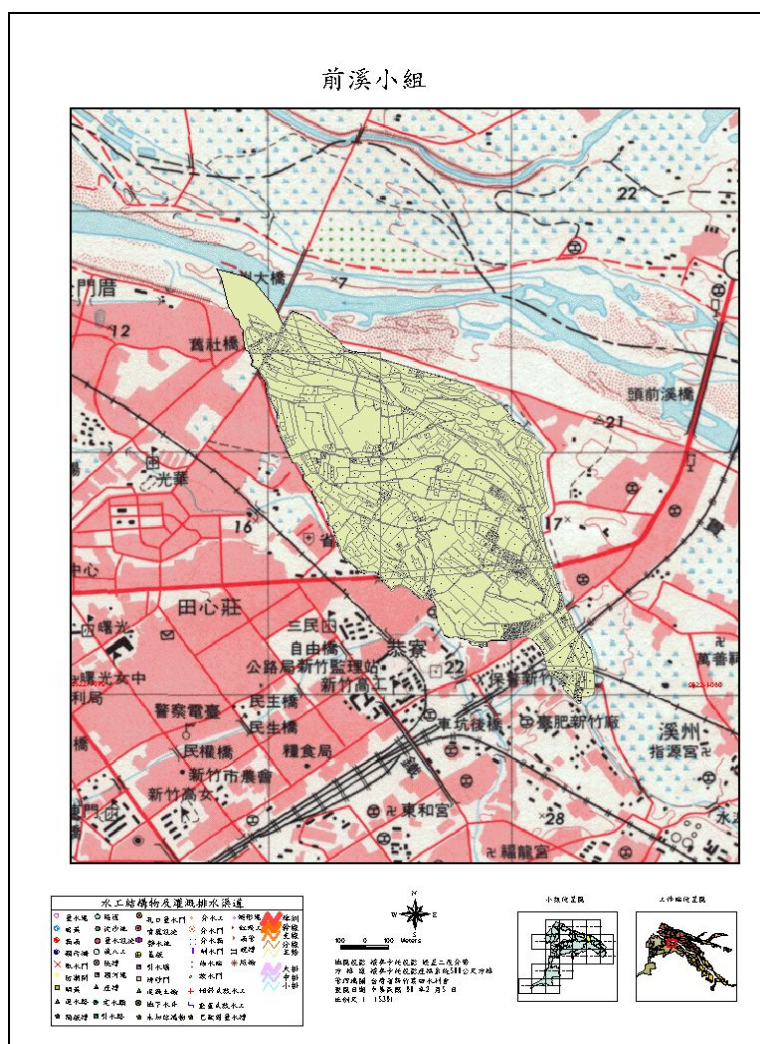


圖 2-12 小組分佈圖

2.5.5 未來發展

隨著 e 世代之來臨，傳統管理方法已經不符合企業之需求，過去水利會之管理方式也必需隨著潮流作適當之調整才能產生競爭優勢，在競爭激烈的商場中，競爭優勢是企業表現好壞的精髓。今天農田水利會在面對資訊化、全球化及加入 WTO 後，如何利用現有之資源，提昇服務之績效，為未來水利會經營者必需面對之課題。

GIS 之技術過去幾年日漸成熟，建置費用也大幅滑落，特別是地籍圖之建置上，近年來在內政部土地測量局逐年完成電子化及開放外界購買後，所需之成本已經大幅降低，展望未來新竹農田水利會將繼續朝著：

- (一)繼續推動水利會地理資訊系統，並加強各單位對地理資訊系統之概念。
- (二)確立合理之資料供應制度，降低資料取得成本及時間，提高行政效率。
- (三)利用高精度之衛星影像資料輔助土地使用分類，提高水利會灌區大面積判釋之精度。
- (四)積極發展網際網路應用環境（Web-Gis），符合資訊時代之需求。

第三章 遙感探測與農業應用

3.1 什麼是遙感探測

遙感探測簡稱為遙測，這個名詞經常出現，但它究竟是什麼，對農田水利人員有什麼用處？遙測這個名詞源自英文的 Remote Sensing。Remote 本為遠隔或遙遠的；Sensing 即為感覺的意思。有人將遙測定義為「人類對環境的事物與現象，利用儀器探測，而不作直接的接觸，以獲取所需情報的技術」。廣義的遙測可說與人類的眼睛歷史同樣久遠。早期的人類為求生存以眼睛尋找獵物、察知危難，以事先設法防範或逃避，眼睛即為當時最精巧的遙測工具。目前科學日益發達，遙測利用飛機、衛星等將比人類肉眼更精密的感測器送到有利的觀察位置，在遠距離蒐集資訊。遙測與我們與生俱來的視力與聽力相較，好比以望遠鏡拓展我們觀察的距離，以專門的感測器觀測紫外光、紅外光、雷達等人眼所不能感知的電磁波段，來延伸我們探索環境的能力，再加上氣球、飛機及衛星等飛行器械的發展，感測器得以自由的移動，來到最適宜的觀察位置記錄資訊。

過去，遙測的技術經常因為戰爭的需要而得到進展。在 1870 的法俄戰爭中，氣球首次被雙方作為偵察之用。第一次大戰起，飛機被作為軍事偵察的利器，在第二次世界大戰時，空中偵察及空中照相更是軍事行動中不可缺少的一環。這時期也發明了紅外光照相的技術來突破對手的反偵察偽裝。二次戰後的冷戰時期，促成了間諜衛星的發展。今天，遙測已經是我們每日生活的一部份。氣象報播報員利用天氣雲圖解說未來的天氣；新聞記者在直昇機上拍攝洪水、地震災難現場的狀況；測量人員利用航空相片來製作地圖；環境學者依賴遙測來蒐集環境資訊；農業研究人員利用遙測影像來監測作物生長的狀況。由於遙測技術能夠在最內短的時間，蒐集大範圍的資料，已經成為我們瞭解大地不可或缺的利器。

3.2 遙測基本原理

遙測是對環境事物與現象，不做直接的測定，但欲觀測地表面的各種物體與現象，一定得藉由一些物理量的傳達，此物理量即為電磁輻射（electromagnetic radiation）。地表面上的各種物體，對於電磁波有不同的反射強度，亦有不同的輻射強度，而遙測資料即是記錄地物的這種光譜反應，因此欲研究遙測必須先對電磁波的特性有所瞭解。如人的眼睛所能感受的可見光是電磁波的許多種型態之一，其它為我們所熟知的無線電波、熱量、紫外線及 x 射線等亦屬電磁波的其它型式。電磁波是以光速進行，由基礎物理學可知電磁波做下列公式運動：

$$c = f \times \lambda$$

式中：

c = 光速

f = 頻率

λ = 波長

波在物理學上，分為橫波與縱波，如聲波振動的位移發生於波動進行傳播的方向者稱縱波。水波的振動位移則與傳波進行的方向垂直，稱為橫波，並由二個振動場所構成，一為電場，另一為磁場。電場與磁場互成直角，而兩者共同又與傳波進行的方向成直角，如圖 3-1 所示。

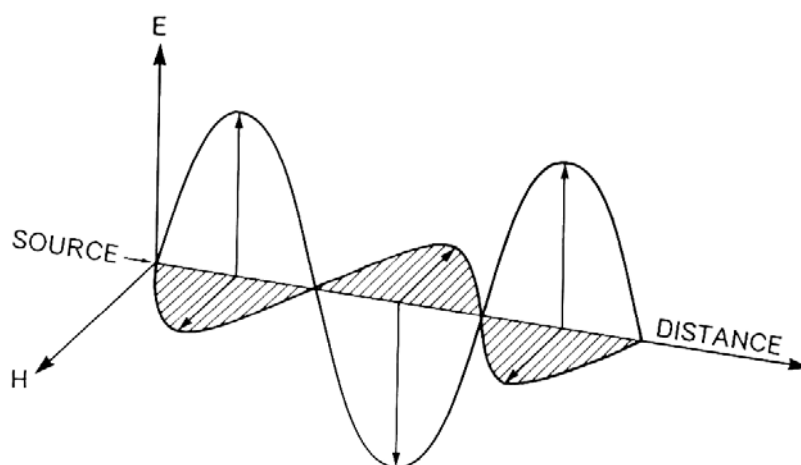


圖 3-1 電磁波中電場與磁場能的傳播圖

電磁波傳播的速度一定，然其波長可有變化，且為一連續的變化，此波長變化的範圍稱電磁波譜 (electromagnetic spectrum)。電磁波譜內依波長位置之不同，可將電磁波加以分類為許多不同功能之波，如圖 3-2 及表 3-1。其中最常利用的波段為可見光段，反射紅外光段 (reflected infrared, 簡稱 IR)、熱紅外光段 (thermal infrared)，及微波 (microwave) 等電磁波段。

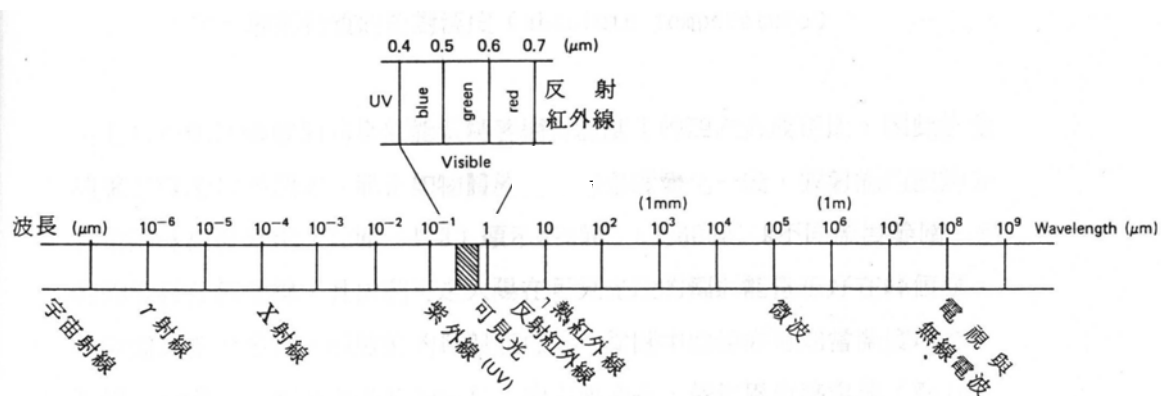


圖 3-2 電磁波譜 (electromagnetic spectrum) 連續分佈圖

表 3-1 電磁波譜中之主要類別

電磁波類別	波長範圍
加瑪射線	< 0.03 nm
X-射線	0.03-300 nm
紅外線	0.30-0.38 μ m
可見光	0.38-0.72 μ m
近紅外光	0.72-1.30 μ m
中紅外光	1.30-3.00 μ m
熱紅外光	7.0-15.0 μ m
微波	0.3-30 cm
無線電波	$\geq$ 30 cm

雖然電磁輻射的許多特性可藉波動理論求得，但另一個理論剛說明了電磁能如何與物質交互作用，此學說即所謂的粒子學說。在粒子學說中提出了電磁輻射是由許多光子（Photons）或量子（quanta）等小單元組合而成，量子的能量為

$$E = h \times f$$

式中：

E ＝量子能量，單位為焦耳（以 J 表示），

h ＝普朗克常數，其值為 6.626×10^{-34} J/sec。

因此可得知波與電磁輻設作用中量子模型的關係，其關係式為：

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

由上式中可看出量子能量與波長成反比，即波長愈長，能量愈少。故從遙測觀點來看，自然界中長波段輻射能的放射（如地表物體所放射的微波），要比短波段輻射能的放射（如熱紅外線能量的放射）更難感測出。

在遙測中太陽是最明顯的輻射來源，然而，所有溫度在絕對溫度零度（0K 或 -273°C）以上的物質都會放出電磁輻射。因此，地球上的任何物質均是輻射來源，且其輻射量與其表面溫度有關。此性質可以史蒂芬一波茲曼定律（Stefan-Boltzmann Law）來表示，關係如下：

$$W = \sigma T^4$$

式中：

W ＝物體表面的全部輻射強度， w m^{-2}

σ = 史蒂芬一波茲曼常數， $5.667 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T = 放射物質的絕對溫度 (absolute temperature)，K。

由上式可知物體放射的全部能量隨著絕對溫度 T 的四次方成正比，因此能量隨著溫度增加而遞增。而正如物體放射能隨溫度變化一般，放射能的波譜分佈也隨著溫度變化。如圖 (3-3) 顯示從 200°k 到 6000°k 不同溫度範圍，黑體的能量分佈曲線，且由圖可知太陽在可見光段的輻射能量正好在峰值處。輻射體的溫度愈大，所放射的輻射能愈大，從圖中曲線亦可知當溫度增加，黑體輻射曲線達到最大值時的波長，即主要波長，依維恩位移定律叫 (Wein's displacement law) 可知其與溫度之關係如下：

$$\lambda_m = \frac{A}{T}$$

式中：

λ_m = 最大波譜輻射強度時的波長

$A = 2898 \mu \text{ m K}$

T = 絕對溫度，K

因此由此式可知，地球表面的溫度 (即地表物質諸如土壤、水及植物等的溫度) 約為 300K (27°C) 左右。由維恩位移定律可知，地球產生最大波譜輻射強度時的波長約為 $9.7 \mu \text{ m}$ 。

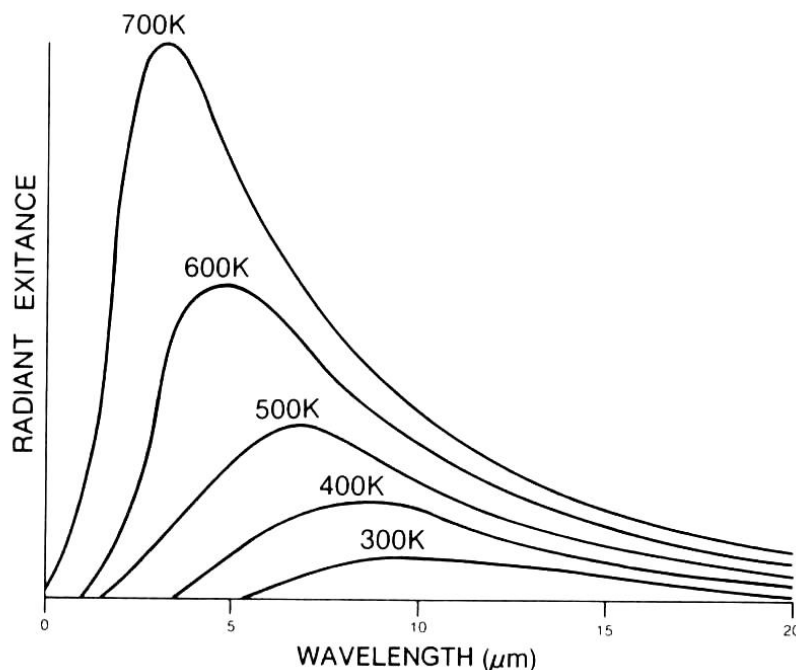


圖 3-3 各種絕對溫度的黑體電磁波能量曲線圖

3.3 大氣對電磁輻射的影響

無論以何種能源，輻射線在被感測器所偵測到之前，必定在大氣層中穿越若干距離，因此大氣對這些輻射線便會有吸收（absorption）與散射（scattering）的現象產生。所謂大氣散射是大氣層中的粒子作不可預測的擴散性輻射作用。當大氣分子以及其他直徑比輻射波長為小的微小粒子與輻射線交互作用時，通常稱之為雷氏散射（Rayleigh scatter）。另一種散射方式稱之為米氏散射（Mie scatter），它存在於大氣層中粒子的直徑與被感測到的能量波長大約相等，其中水蒸氣和灰塵是導致米氏散射的主要原因。而第三種散射則為非選擇性散射（nonselective scatter），此現象要在粒子直徑遠大於被感測到的能量波長時才會發生。而大氣層中的吸收作用會導致能量在大氣層中損耗的效果，這種現象通常發生在某些特定範圍的波長，如太陽輻射最有效的吸收體為水蒸氣、二氧化碳及臭氧，因為這些氣體易吸收特殊波段的電磁能，因此對於遙測系統所觀察的波譜影響相當巨大。在大氣中的能量可穿透某些特別的波段，這些區段稱之為大氣窗（atmospheric windows），如（圖 3-4）。圖中的陰影部份表示能量受大氣層阻擋的波譜範圍，而遙測資料是由未受阻擋的範圍中取得，該範圍即上述的大氣窗。由於有大氣窗的存在，所以在選擇感測器時，必須要考慮到希望感測的波譜區域中是否有大氣窗的存在。

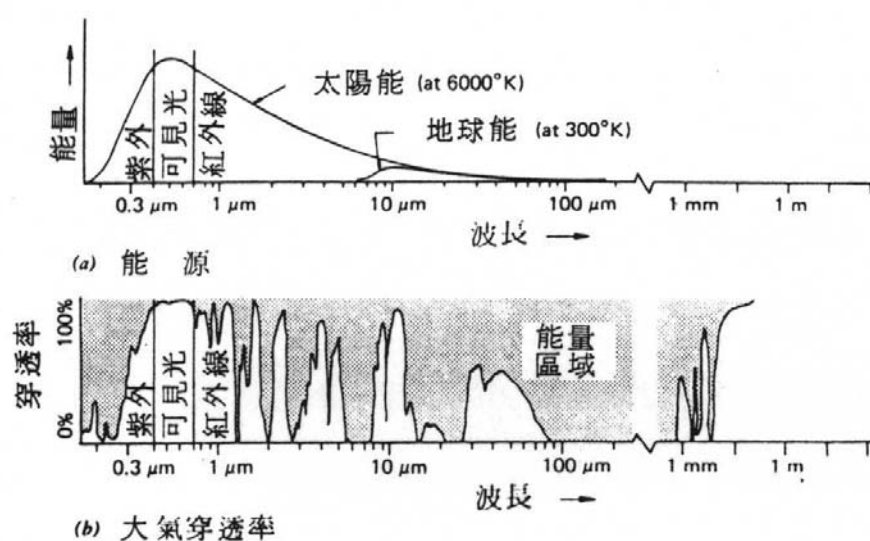


圖 3-4 電磁輻射穿透大氣層較良好的區段（大氣窗）

3.4 近紅外光與熱紅外光的特性

光學中將波長為 $0.75 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 的電磁波稱為近紅外光，近紅外光遙測之能量來源為地表反射之太陽光，故又稱為反射紅外光（reflected infrared）。此段光波不能為肉眼所見，但卻可以用軟片感光。近紅外光照片有黑白及彩色之分。近紅外光黑白照片最大的用途在於海岸線及水資源的調查，因為水

體能夠吸收近紅外光線，故在紅外光照片上水體將呈黑色，色調對比甚強，極為醒目。同時近紅外光線穿透大氣層的能力比可見光遠強，放在矇矓的天氣照相，紅外光照片仍十分清晰。近紅外線彩色照片又稱為假色照片（false color photograph），因為在照片上的景物其色彩與真實的顏色大異其趣，如植物呈紅色，都會區呈灰藍色，純淨的水則表現為黑色。一般而言，反射紅外線的景物在此種照片上呈紅色，反射紅色的景物呈綠色，而反射綠色的景物則呈藍色，亦即在近紅外光照片上所顯現的顏色均較物體的真實顏色降低一個波段（例如由紅色降為綠色，由綠色降為藍色等）。然特別要說明的是植物的反射特性較為特殊，它雖然反射綠色，但反射最多的卻是近紅外線，此非肉眼所能感覺，因此近紅外線照片確實使人的視覺能力更為延伸。此外，近紅外光彩色照片極適合於植生和水分的研究，岩石露頭或土壤內水分含量的變化一般在照片上極為醒目，因此對於危險邊坡及崩坍地的調查，從近紅外光彩色照片可獲得極佳的效果。

雖然近紅外光用途相當廣泛，但地球上物體反射太陽光的能力到 $3\mu\text{m}$ 以後即趨減弱。因此要測量更長的波長時，不再是反射能，而是輻射能。輻射能係自物體本身放射出來，此部份輻射能係反應地表本身之運動溫度（kinetic temperature），運動溫度乃由於物體分子運動所產生能量之轉化溫度，故遙測上將此電磁波稱為熱紅外光（thermal infrared），以示此部份能量來源主要為地表放射出之熱能。熱紅外線波段中有些小波段易被大氣層所吸收，因此在遙測上只用兩個窗口（波段），分別是 3 至 $5\mu\text{m}$ ，及 8 至 $14\mu\text{m}$ 。

在地球表面的溫度約為 300 K，太陽之溫度約為 6000 K。地表幾乎無法放射出近紅外光段（ $0.7\text{--}1.3\mu\text{m}$ ）之能量，而根據維恩定律，地表所能放射最大能量強度之波長為 $9.66\mu\text{m}$ ，此波段正位於 8- $14\mu\text{m}$ 之大氣窗內，其能量之大部份可透過大氣為遙感探測器偵測得到。

雖然太陽所放射之輻射能亦包括熱紅外光段之能量，但此能量於穿透大氣層到達地表時，部份為大氣層所吸收。到達地表之能量又有部份為地表覆蓋所吸收，部份則再被反射而再度進入大氣層。此能量經大氣吸收、散射後，部份可到達遙感偵測器。唯由於到達偵測器所需經過之路徑（Path）不同，故熱紅外光遙測之主要輻射能來源係地表所放出者，而非來自太陽輻射再經地表反射回大氣層之能量。

熱紅外線能量的接收需利用掃描方式，導入感測器（sensor）而後記錄在磁帶上，再變成影像（image）。使用多波段掃描儀時，可以從紫外線、可見光、攝影紅外線，一直到熱紅外線分成數個至十數個頻道（channel）一一接收。熱紅外線掃描的飛行時間一般均選擇在黎明前，因為此時溫度較為穩定，而且沒有反射能（即太陽光）的干擾。為了地質的研究，更不願在白天飛行，因為在日間的向陽坡較熱，背陽坡較冷，故在熱紅外線影像上顯露者為地形而非地質。

對未固結的沈積物而言，顆粒愈大，吸熱與散熱愈快，亦即白天熱得快，夜間亦冷得快。例如在黎明前的熱紅外線影像上，礫石層感覺最冷，其它依次是砂質土及黏土。土壤內的水分有降低土層溫度的功能；斷層帶亦因含有水分而溫度略低，可顯示於影像上。在夜間影像上，固結岩層比未固結岩層還冷，而砂岩比頁岩冷。水與岩層正好相反，兩者相較之下，水在白天較冷而夜間較溫。熱紅外線影像亦可用來辨認崩塌地，此因崩塌地質含有較多的水分，其溫度與周圍的岩層有異。

3.5 波譜反射率曲線

圖 3-5 代表三種基本型式的地物：健康的綠色植物，乾裸的土壤（灰棕壤土）以及透明的湖水等典型的波譜反射率曲線。圖中線條代表著每一種地物，由甚多樣本的平均值所編輯而成的反射率曲線。這些曲線說明了有關波譜反射率的一些基本性質。

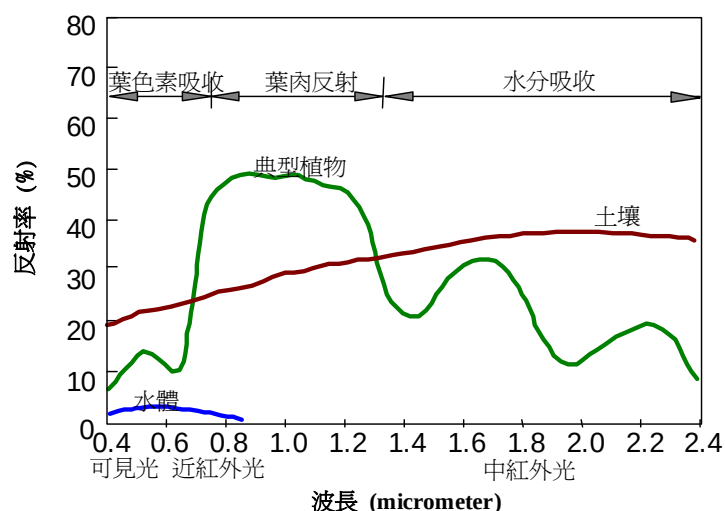


圖 3-5 綠色植物，土壤以及透明的水體等典型的波譜反射率曲線圖

由圖可知，由於植物葉子對於藍光及紅光能量吸收率很高，又極易反射綠光能量，因此吾人所見之健康植物都是綠色的。若植物受到某些病害而影響到其正常成長及生產力時，它可能減少或停止生產葉綠素，結果將減少葉綠素對藍光及紅光波段的吸收。紅光反射強度的增加使吾人看到的植物轉變成黃色（由綠色及紅色組合而成）的印象。在反射強度曲線凹下處發生在波長 1.4、1.9、2.7 μm 的地方，因為在此波段樹葉的水分吸收力最強。因此在波譜中這些波段稱為水吸收帶。

在圖中，土壤的反射強度曲線峰谷之間變化較少。其意義為因特殊波段作用而產生影響土壤反射強度的因素較少，而土壤中含水量與其組織有極密切的關係。如粗糙的砂質土壤常具有良好的排水性，因此導致低含水量，相對的反射強度便增加，排水不良的細質土壤則反射強度較低。若考慮水的波

譜反射強度，其最明顯的區別點為反射紅外光波段的高度能量吸收。簡言之，吾人所討論的是由於水體（如湖泊或溪流）或者是在植物、土壤中所含的水分，會吸收反射波段的能量。由於此吸收的特性，在反射紅外波段內利用遙測資料去尋找水體位置並加以描述便十分容易。然水中的物質亦會影響到波譜的反射率，如水體的反射強度也隨著所含的葉綠素濃度而變化，水中葉綠素濃度增加，使得水體在藍光段的反射強度減少，而綠光段的反射強度增加，藉此遙測資料，利用上述變化可測得海藻之位置及估算它們的濃度。

由上述植物、土壤及水的波譜反射強度特性後，可知研究者若能廣泛的瞭解各種地物的波譜反射特性，則對於遙測資料的判讀將會有更大的幫助，也可將遙測的技術做最大的應用。

3.6 遙測影像

遙測影像依不同之觀點有不同之分類方式。依探測器之載台可分為空載之遙測影像與衛星之衛星影像。二者飛行高度不同，故具有不同之地面解析力及涵蓋之範圍。依探測能源而言，遙測影像包括主動式與被動式之探測系統。依探測之光譜，則具有多光譜之影像。此外，遙測影像之多時性（重覆觀測性）亦是地表變遷偵測之動態資料之考慮。雖然分類方式可依載具、探測能源之主/被動性、多光譜性，及多時性辦理。本單元將以載具為主要分類，並以之介紹遙測影像。

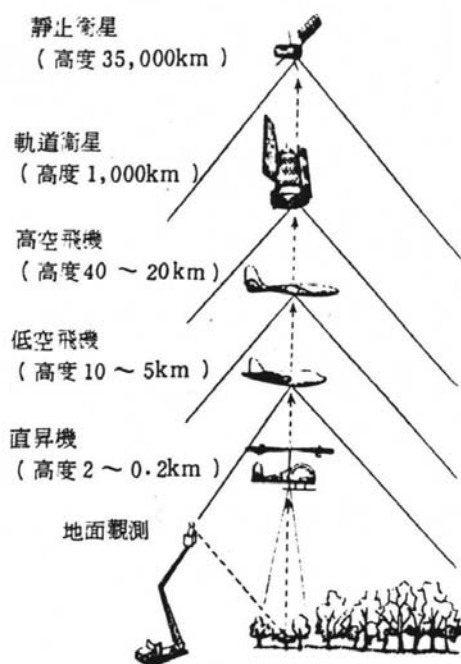


圖 3-6 各種不同之遙測載具

3.6.1 空載影像

空載影像之載具為飛機。其影像之主要來源有三，即空照相片、空載多譜掃描儀影像及雷達影像。空照相機以中心投影之方式，將物體空間目標之反射能量記錄於影像平面上。其光譜資訊視其所使用之底片而異。在台灣地區以使用全色態（panchromatic）底片為主。空載多譜掃描儀則以一定之瞬間視場角（IFOV）進行地面目標物之掃描。空載多譜掃描儀影像與空照相片相比較，前者具較佳之光譜解析力，但其掃描時之扭曲，造成影像幾何變形，校正過程較為困難。雷達影像之全天候特性，無論日夜以及雲層狀況，並可裝置於飛機上增強機動性，進而提升其應用性。

一、正射相片

在照相時，以垂直地面的方法拍攝，所拍出的相片中每一個地點的比例尺都近似，稱為正射相片。正射相片經處理後，可以用來製成地圖，節省許多地面調查及測量的時間及經費。如果用一系列相同比例尺正射相片來函蓋整個地區，再將這些鑲嵌成一張大圖，就能夠展現出一個地區的全貌。台灣的五千分之一相片基本圖（如圖 3-7），就是由正射相片加工製作出來的一套圖。



圖 3-7 台灣的五千分之一相片基本圖（圖中為雲林縣四湖鄉水田）

二、航空照相

航空照相是最普及、用途最廣且最經濟的遙測技術之一，也是使用最早的遙測技術。航空照相係利用光學攝影系統，將地面的景物以照片形式記錄下來。藉著照片，我們可以同時「鳥瞰」廣大地區的地表現象。由於航空照相同時將所有的地表現象記錄在照片上，不同的照片，使用人可能自照片上獲得完全不同的資料。例如水文學家可能注意照片上所展現的地表水體分佈情形；地質學家注意岩層的分佈及構造現象；農業學家則注意土壤及農作物的種類等。航空照相將地表的現況做成永久的記錄以便隨時在室內研究，而且一張照片可供多人研究，比較同一地區不同時間拍攝的照片可以發現地表的變化情形，達到監測的目的。圖 3-8 顯示民國 88 年 921 地震災害後埔里市郊之航空相片。



圖 3-8 921 震災後埔里市郊之航空相片

3.6.2 衛星影像

衛星影像具有之特性有：(1)涵蓋面積廣，(2)資料量大，(3)具多光譜之特性，(4)具重覆觀測之能力，因此，適於區域性及全球性之環境監視之用。資源衛星的目的是觀察地形地貌、環境污染、森林植被，生態環境等現象。常見之資源衛星包括美國 Landsat 大地衛星、法國 SPOT 資源衛星、歐洲太空總署歐洲資源衛星 (ERS-1)。

一、美國 Landsat 大地衛星

美國 Landsat 大地衛星為美國航空暨太空總署（NASA）很早所著手研究一系列地球資源技術衛星之後期成熟產品。地球資源技術衛星 ERT-1 於 1972 年 7 月 23 日發射升空，為第一個具有中等解像力之多譜掃描系統，並且反覆蒐集地球資源資料的自動操作人造衛星。其設計著眼點，係當作一個實驗系統，以測試無人駕駛人造衛星蒐集地球資源資料的可行性。其後太空總署正式將 ERTS 計畫更名為大地衛星計畫，因此 ERTS 系列衛星重新命名為 Landsat 系列衛星。大地衛星的基本組成。其外型類似蝴蝶狀，高 3 公尺，直徑 1.5 公尺，外伸之太陽能板約寬 4 公尺，重 815 公斤。其環繞地球的軌道高度在 880 公里至 940 公里之間，平均高度約 900 公里。大地衛星由北向南環繞地球運轉，繞地球一周需 103 分鐘，即每天可繞地球 14 圈，其繞行速度約為 6.46 公里/秒。新一代的 Landsat 地球資源觀測衛星，具有四波段多譜掃描系統及主題測繪器（Thematic Mapper; TM）。主題測繪器為一個七波段的掃描器，設計目的在使農業用途的植物分析提昇到最大的能力。以下為主題測繪器的七個波段及其特性：

- (一)第一波段（波長 0.45 至 0.52 μm ）用以調查沿岸水域及土地使用、土壤及植物特性為主。
- (二)第二波段（波長 0.52 至 0.60 μm ）用以察看位於兩個葉綠素吸收波段之間的植物綠光反射波峰。此一波段主要用於植物調查與生長狀況的評估。
- (三)第三波段（波長 0.63 至 0.69 μm ）為識別植物最重要的波段。位於葉綠素吸收區段的一個。強調植物與非植物之間的對比及植物種類間的對比。
- (四)第四波段（波長 0.76 至 0.90 μm ）用以偵測像幅內出現的植生數量，有助於作物的鑑定及強調土壤—作物、土地—水體之間的對比。
- (五)第五波段（波長 1.55 至 1.75 μm ）主要著重於作物種類，作物含水量及土壤濕度狀況的測定。
- (六)第六波段（波長 10.4 至 12.5 μm ）為一熱紅外光波段，有助於植物的分類，植物病蟲害的分析，土壤濕度識別及其他和熱有關的現象。
- (七)第七波段（波長 2.08 至 2.35 μm ）一用以識別各種岩層。

二、SPOT 衛星

SPOT 衛星是法國公司所發射的資源衛星，SPOT 衛星在離地球 822 公里的軌道上運行，每隔 26 天回到同一地點。在 SPOT 上裝載著兩種的感測

器，一種是黑白的，能夠觀測到地表上超過 10 公尺大小的物體；另一種多波段感測器，分別紀錄綠、紅及紅外光的強度；能夠分辨大小超過 20 公尺的物體。SPOT 的影像系統，包括兩具的高解像可見光（HRV）的掃描器，每具 HRV 單元有兩種方式的操作，包括 3 波段多譜與黑白全色態。多譜掃描每波段的範圍是：0.49-0.59 μm （綠），0.61-0.71 μm （紅），和 0.80-0.91 μm （反射紅外線）。下圖中三張黑白影像分別為 SPOT 衛星的多光譜感測器拍攝的紅外光（圖 3-9）、紅光（圖 3-10）及綠光段（圖 3-11）竹北地區影像。其中紅外光影像的特別明亮，這是因為植物反射大量的紅外光。不同種類的植物反射紅外光的強度有相當的差異，因此紅外光能夠用來辨認植物的種類及生長的狀況。水體則能有效的吸收紅外光，因此在影像中呈現黑色，所以紅外光可以區分水體及非水體。正因為紅外光能提供可見光所沒有的重要資料，所以許多的感測器中都會蒐集紅外光波段的資訊。

由 SPOT 衛星的紅外、紅、綠三個波段組合成彩色影像，最常用的方法有兩種，分別是紅外光假色影像（圖 3-12）及擬自然色影像。紅外光假色影像將紅外光波段著上紅色，紅光波段著上綠色，綠光波段著上藍色，然後組合起來，所得到的影像中，植物呈現紅色，紅色越鮮豔代表植物越茂密。水體越澄清，水色越黑。聚落則呈現灰藍色。以擬自然色影像方式製作影像時，則盡量模擬成可見光的效果，植生是綠色的而水體是藍色的。不過因為 SPOT 衛星沒有藍光的資料，因此所製作出來的擬自然色影像和可見光的影像多少有些差異。

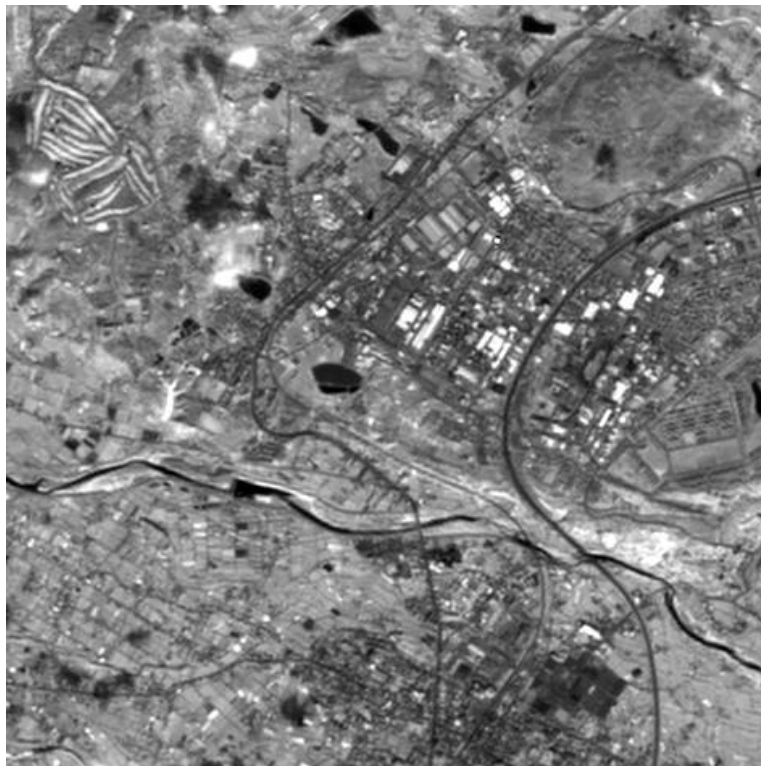


圖 3-9 SPOT 衛星竹北地區紅外光段影像

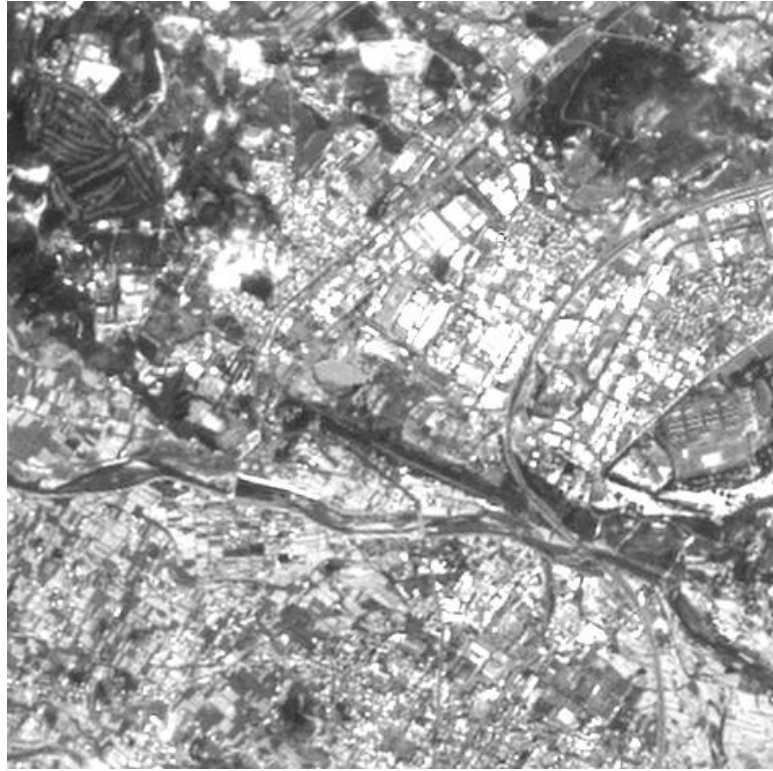


圖 3-10 SPOT 衛星竹北地區紅光段影像

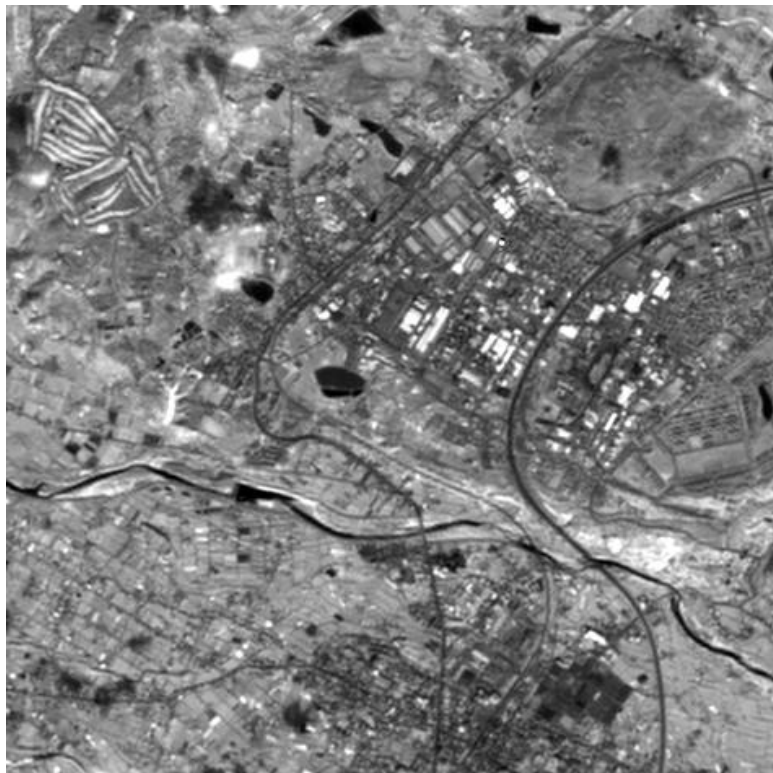


圖 3-11 SPOT 衛星竹北地區綠光段影像

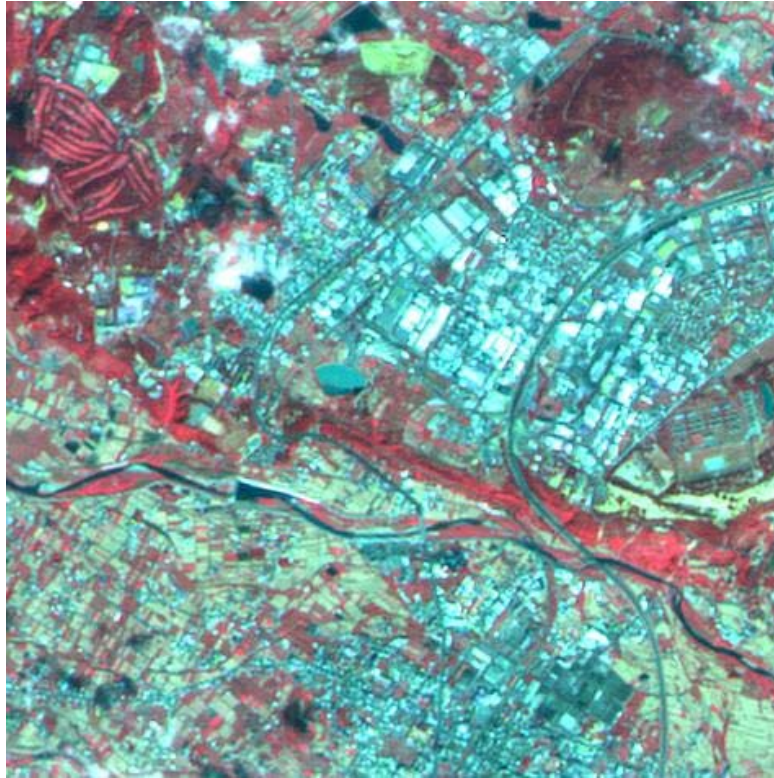


圖 3-12 SPOT 衛星竹北地區紅外光假色影像

三、歐洲資源衛星

歐洲資源衛星(ERS-1)是歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)負責之衛星，是以太陽同步軌道運行，軌道高度約為 785 公里，軌道傾斜角約為 98.5° ，以 168 天週期運作。ERS-1 衛星合成口徑雷達影像(SAR)系統是以 23° 入射角斜視地面物攝取雷達回波資料，掃描軌跡寬約為 100 公里，掃描軌跡中心距離衛星軌道投影中心約為 294 公里。因合成口徑雷達影像不受天候影響，且日夜均可取樣，有助於未來台灣地區遙測應用。

四、氣象衛星

在衛星上攜帶各種輻射感測儀器，並由各輻射觀測值反演推求諸如溫度、濕度、風、雲、降水和各種氣體含量等氣象要素以及監測各種天氣現象，這種用於氣象目的的衛星稱之為氣象衛星。

1960 年，美國發射第一顆氣象衛星 TIROS-1 升空後，在氣象研究上之應用技術更是蓬勃發展。氣象衛星提供包括劇烈風暴、鋒面、高空槽脊、氣流、雲霧等大尺度運動之特徵，並可監測颱風、風暴及大氣層外地球輻射收支之估算。

氣象報告中的衛星雲圖是由 GMS 氣象衛星所拍攝，GMS 氣象衛星在離地球表面三萬六千公里軌道，繞地運行。GMS 環繞地球的速度正好和地球自轉的速度一樣。所以在地面上看來，就好像一直停在同樣的地方，所以也

稱為地球同步衛星。NOAA 也是一種氣象衛星，平均飛行高度約 820 公里，繞地球一周需時約 101 分鐘。除了探測氣象外，NOAA 的資料也可以用來產生植生分佈的影像。

3.7 遙測影像之來源

在國科會之補助下，設置於國立中央大學太空及遙測研究中心的資源衛星接收站，是台灣衛星影像最主要之來源。太空及遙測研究中心已於民國八十二年底起有系統地接收並處理資源衛星影像，目前已超過四十萬幅。這些影像之 Meta-Data 及 Quick-Look 和其他由中央大學負責提供之相關遙測資料，可經由中央大學太空及遙測研究中心之網站 (<http://www.csr.sr.ncu.edu.tw>) 進行查詢 (圖 3-13)。目前可提供查詢的項目如下：

1. 資源衛星資料影像查詢
2. 氣象衛星影像查詢
3. 空載多譜掃描儀影像查詢
4. SPOT/LANDSAT 衛星資料:主題式影像查詢
5. SPOT 立體像對查詢
6. 新加坡資源衛星接收站 (CRISP)
7. 衛星資料影像查詢系統



圖 3-13 國立中央大學太空及遙測研究中心衛星影像線上查詢系統

3.8 數值地形模型 (DTM)

數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)，乃是以數值的方式記錄地面上平面位置 (X,Y) 及高程 (Z) 的座標值，為一種描述地形資料之數值模式。台灣地區的 DTM 資料乃由農委會委託農林航測所測製，利用解析航測法，在航照立體相片上數化高程點，以每 40 x 40 公尺等間距的規則網格取樣，產生之 DTM 資料以五千分之一基本圖幅分檔，每幅約 4800 點。全台灣地區的 DTM 資料共有 5441 幅，山區部分因長年雲霧覆蓋和地形陡峭等因素，仍缺一些圖幅，另有一百餘幅被軍方列為機密 (121 幅)，目前可買到的圖幅共 4627 幅。

DTM 是地面特性空間分布的數值描述，故凡是涉及地面特性空間分布的問題，都可以應用 DTM。五十年代中期到六十年代初，DTM 多侷限在網格式數值高程模型在土木水利工程和地圖測繪中的應用，至六十年代中期起，逐漸成為地理資訊系統資料庫中的實體，為地理資訊系統進行空間分析和決策提供操作便利的輔助資訊。其應用領域包括：

一、工程建設方面

1. 挖填方計算
2. 鐵公路及各種管線選線
3. 水庫蓄水量、淤沙量及淹沒面積計算。
4. 廠址、住宅區選址。

二、在地圖測繪和遙測方面

1. 製作正射像片
2. 輔助遙測影像處理之幾何校正與分類判釋。

三、在自然地理方面

1. 氣候分析 (日照分析、山區風場模型)
2. 水文分析
3. 地形分析
4. 土壤地理應用
5. 植被分析

四、在農、林業方面

1. 農產品栽植適宜性分析
2. 林地評價、林業規畫、林區景觀改造

五、在災情監控方面

- 1.水災淹沒區劃定
- 2.洪水期人口撤退選線
- 3.蓄洪堤防、分洪口、出洪口選址
- 4.森林大火監控

六、土地管理方面

- 1.地價分級評定
- 2.航測土地利用現況調查

七、其他相關領域

- 1.軍事（飛彈導航、機場、雷達系統選址）
- 2.生態（動植物棲地分析）

3.9 遙感探測與農業應用

地表上人類活動的範圍，無論是都市、農田、森林或沼澤，絕大部分都有植物生長。植物通常是太陽電磁輻射於穿透大氣層後首先接觸的地表物體，此能量的反射、穿透與吸收對植物光合作用的形成，太陽能量與生物質量的轉換累積及空氣中氧氣量的循環更新，都有直接的影響。遙感探測針對此能量與植物體的交互作用，經由航空照片或衛星影像的記載，配合植物本身之物理特性，在許多不同的電磁波譜（Electromagnetic spectrum）上作分析，已能準確的辨識作物種類、覆蓋面積，並可對植物病害監測、缺水程度作評估。另外，間接的可做準確的作物收穫量估計，森林材積衡量湖泊優養化程度評估，地表利用及生態環境之動態監測等。

正常的植物體在近紅外光區域有最強的光譜反射，其反射特性主要受控於二類植物細胞，其一是位於上表皮下方的狹長形柵狀細胞（palisade cells），其包含許多飽含葉綠素的葉綠體（chloroplasts），吸收大部份電磁波譜中的藍色和紅色光以用於光合作用，另有約 20%的綠色光由葉綠體所反射，而使正常植物體葉表面呈現綠色。二是位於葉片柵狀細胞下的海綿組織（sponge mesophyll）層，此層包含中葉細胞及無數不規則形狀，可容納空氣的小孔，圖 3-14 顯示葉片結構之示意圖。近紅外光輻射於穿透葉表及柵狀細胞時並不受影響，但會被其下方的海綿組織層所高度反射。對一健康的植物葉片而言，常有高於 50%的近紅外光反射回葉表面外，而其餘部份則被穿透或被葉片所吸收。由於中葉海綿組織排列的變化，造成不同植物於紅外光波段有不同的反射特性，例如大部分的單子葉植物有較薄的海綿組織，造成相對較少的紅外光反射與較高的穿透；相反地，具明顯海綿組織雙子葉植

物的葉片，常有高度的紅外光反射與少量的穿透。

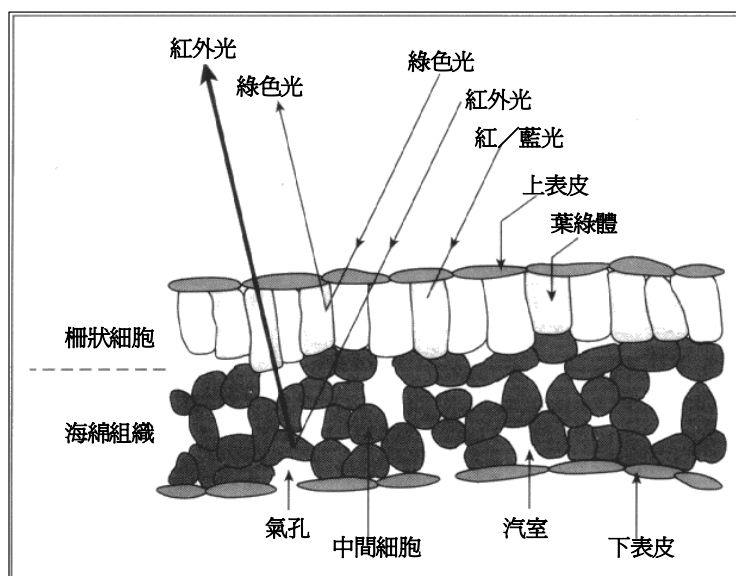


圖 3-14 葉片結構及與光線之反射示意圖

不同種類的植物，即使其顏色近似，反射曲線在可見光區或許不易分辨，但在紅外光波段可能有顯著的差別，圖 3-15 顯示落葉喬木、草地、水生植物及針葉樹木的波譜反射曲線，他們在可見光段無明顯差別，但在近紅外光段即可予以分辨。

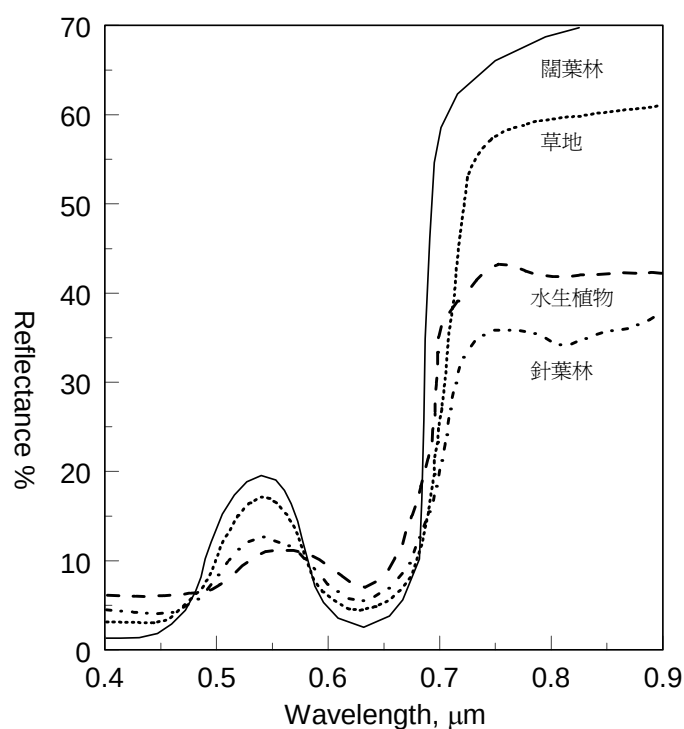


圖 3-15 落葉喬木、草地、水生植物及針葉樹木的波譜反射曲線

當植物體受到外在環境的壓迫 (stress) 包括蟲害的侵襲，疾病的感染，生長期溫度異常，土壤鹽分濃度過高，土壤水分不足，根部長期浸泡，養分缺乏或環境污染等等，它的波譜特性曲線將發生改變，通常此變化同時發生於可見光及紅外光段，但在紅外光段的改變量將數倍於可見光段的改變，此類影響植物體生長的因素，直接破壞海棉組織中的孔隙或摧毀葉中細胞的細胞壁，造成近紅外光波段較強烈反射率的改變。

此變化約可分為四個階段：

階段 1.健康期:可見光譜反射的波峰在綠色光段 (約 20%)，紅光與藍光段有較低反射值 (約 10%)，而近紅外光段有明顯的高原 (約 70%)。

階段 2.傷害初期:葉片受到傷害之初期，僅於近紅外光區產生一反應值降落 (約 10%)，此減少乃葉片中葉組織氣孔的潰散，通常此期亦稱"視覺前" (pre-visual) 傷害，因為葉片仍呈現綠色，植物體本身無任何明顯變化，此階段遙測方法可透過近紅外光波段值測出此一先期變化，而設法降低此環境壓迫，使植物恢復第一階段之生長狀況。

階段 3.傷害顯現期:此階段通常位於傷害初期後數天至數星期，葉片由綠而轉黃，顏色的改變是由於柵狀細胞中葉綠體的破壞增加了紅色光的反射值，在近紅外光波段相較於階段 2 亦約有 5% 的降低。

階段 4.壞死期:葉片呈現棕色或棕紅色，光譜反應曲線中可見光區的波峰消失，紅色反射增強，而可見光區至近紅外光區位於 0.7um 的高反射率亦不復存在。此階段葉片細胞結構已遭破壞，水分亦已散失而呈乾燥易碎。

對一般農作或園藝作物，由階段 2 傷害初期返回階段 1，僅需設法移去造成此傷害之環境壓迫因子，即可迅數復原；而由階段 3 欲返回階段 1，則除了移去此迫害因子外，依植物種類的不同，尚須經歷不同長度的復育時期。此時的生長停滯或產量減低，是可以藉由遙測方法早期獲得訊息而予以防治。

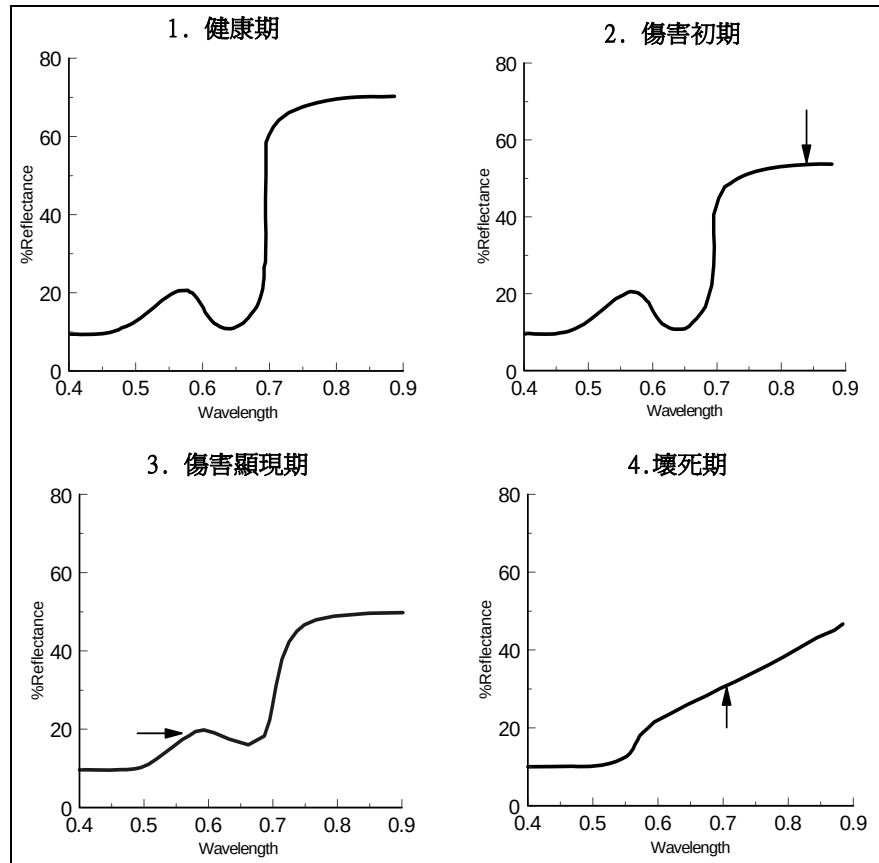


圖 3-16 植物體受到外在環境的壓迫，光譜反應之四階段圖

3.9.1 植物指標

植物指標 (Vegetation Index) 是利用植物於不同波段光譜所反應之特性，加以特殊組合成的一組數值，用以顯示植物於某一特定時間及地點之生長狀況。植物指標可依不同植物類別，土壤條件及可使用的遙測波段而賦與不同的組合。其基本目標在於(1)經由適當的光譜組合，而加強其對植物特性的分辨能力。此指標並非隨意的波段排列，而是根據植物與其土壤背景之物理性質，對光譜反應的不同予以選擇性合併，來加強植物反應部份，及減低背景反應的影響；(2)建立一可供長時期，及不同地區比較的標準。經由比例 (Ratio) 或正規化 (Normalize) 的過程，可除去許多由當時氣象條件及日照程度不同，所造成的影響。

許多研究指出植物指標和植物的生長現象有密切相關，其中具體的研究包括葉面積指標 (leaf area index)、生物質量 (biomass)、地面覆蓋百分率 (percentage ground cover)、和吸收之有效光合輻射量 (absorbed photosynthetic active radiation) 與植物指標關係之研究。許多植物相關模式，可藉此基本關係，再加以推廣。常見的植物指標及其定義，列表如下：

名	稱	定	義
比例植物指標		$\frac{IR}{R}$	
Simple ratio vegetation index		$\frac{R}{G}$	
紅綠比		$\frac{R}{G}$	
Red green ratio		$\frac{R}{G}$	
標準化差異植物指標		$\frac{IR - R}{IR + R}$	
Normalized difference vegetation index (NDVI)		$\frac{IR - R}{IR + R}$	
轉換標準化差異指標		$\sqrt{\left(\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5\right)}$	
Transformed normalized difference vegetation index (TNDVI)		$\sqrt{\left(\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5\right)}$	
正交植物指標 Perpendicular vegetation index (PVI), s=soil v=vegetation		$\sqrt{(R_v - R_s)^2 + (IR_v - IR_s)^2}$	
土壤修正植物指標 soil adjusted vegetation index (SAVI)		$\left(\frac{IR - R}{IR + R + L}\right) \times (1 + L)$	
纓帽轉換		$0.332 MSS_4 + 0.603 MSS_5 + 0.676 MSS_6 + 0.263 MSS_7$	
Tasseled Cap transformation		$-0.283 MSS_4 - 0.660 MSS_5 + 0.577 MSS_6 + 0.388 MSS_7$ $-0.899 MSS_4 + 0.428 MSS_5 + 0.076 MSS_6 - 0.041 MSS_7$	

R=red band, G=green band, IR=near infrared band

3.10 遙測工具的選擇

遙測工具的選擇，須考慮所欲監測地區面積，欲監測變化之頻率與被監測區於光譜反應之特性，而有不同尺度的考量。空間尺度或稱空間解析度（spatial resolution），指的是遙測儀器所能分辨最小地表物件的能力。低空航照或軍事用途上所謂的間諜衛星，可以達到 10 公分以下的解析度，地表面甚至如高爾夫球般大小的物件，可從衛星影像或航空照片上分辨出來。一般民間用途的觀測衛星（如美國 LANDSAT，法國 SPOT，印度 IRS 等），空間解析度約在 10 公尺至 80 公尺之間，適合中等規模如農地、森林、小集水區等之觀測。氣象衛星（如美國 NOAA、GOES，日本 GMS 等），空間解析度約在一公里至數公里之間，適合較大規模或地區性觀測，如整個行政區、國界或洲陸地，甚至全球的監測。此類衛星，尤其是 NOAA 衛星，雖歸類為氣象衛星，但許多研究顯示，其用於地面觀測之功能遠大於原本設計之氣象用途。

時間尺度指的是對同一地點得到重複觀測影像所需的時間。一般環繞地球衛星，空間解析度愈高，因其每次觀測所能涵蓋之地表面積有限，時間解析度便相對降低。如美國 LANDSAT 衛星，每 16 天可對同一地區做重複觀測；法國 SPOT 衛星在正常運行下，每 26 天可重複觀測一次，然後者具有

特殊的定點觀測能力，可移動感應器的觀測角度，依所在緯度不同，可得到 1 天至 5 天不等的重複觀測能力。氣象衛星雖然空間解析度低，但具有極佳的時間解析度。環繞地球軌道的 NOAA 衛星，每日可作 2 次的重複觀測，適合選擇為需要每日讀取變化的研究。而定點（Geostationary）氣象衛星，因其與地球的相對位置固定，可有高達 15 分鐘一次的觀測能力，適合作雲層變化、颱風移動等改變頻繁的監測。

除了上述二項主要的尺度考量外，尚有光譜解析度（spectral resolution）及輻射解析度（radiometric resolution）的尺度考量，與遙測方法的選擇有直接關係。前者指的是遙測儀器在電磁波譜上可感應的範圍，如 LANDSAT TM 有 7 種不同波段範圍（0.45-0.52 μm , 0.52-0.60 μm , 0.63-0.69 μm , 0.76-0.90 μm , 1.55-1.75 μm , 10.4-12.5 μm , 2.08-2.35 μm ），而 NOAA AVHRR 有 5 種不同的感應範圍（0.58-0.68 μm , 0.72-1.1 μm , 3.55-3.92 μm , 10.3-11.3 μm , 11.5-12.5 μm ）。依所應用目標不同，光譜解析度有時亦是非常重要的考慮因素之一，如以熱慣量估計土壤水份須作地表溫度監測，則必須選擇具有熱紅外光（Thermal infrared）波段之衛星。輻射解析度指的是感應系統可以記錄不同感應值的能力，如 8-bit 輻射解析度可以記錄 256 種不同灰階的變化，10-bit 解析度則可以記錄 1024 種不同感應值。輻射解析度相較於其他三種尺度，其重要性略低，但適當地選擇資料分析及儲存時的尺度，則可顯著的增加運算速度及減小檔案。

3.11 應用實例

3.11.1 作物產量估計

許多研究依植物外觀特徵與生理機能等合併特徵，與植物產量之關係而提出產量效率（production efficiency）的觀念。具體而言，農作物、草地或森林的累積生物量（accumulated biomass）和植物葉面所截取的太陽輻射量大約成一線性關係。此關係可以表示為一截取百分率與太陽輻射量對時間積分之關係式如下：

$$P = \varepsilon \int_{t=0}^n I_t \cdot S_t dt$$

P = 產量（g/m²/time），

ε = 生產率（g/MJ），

I = 截取的太陽輻射百分率，

S = 太陽輻射量（MJ/m²），

t = 時間。

而後衛星遙測技術及多頻道影像的被大量採用，經由田野實驗及理論推導許多研究均指出，由可見光及紅外光波段組成的指標，與前述輻射截取量有緊密的關聯性。另有研究指出地面觀測之正規化差異植物指標（NDVI）與光合輻射之葉面吸收百分率，有幾乎一對一的相關性，而改寫前面方程式為：

$$P = \varepsilon \int_{t=0}^n NDVI_t \cdot S_t dt$$

當整個生長季節中，作物的 NDVI 相對於時間作圖，通常可得到一鐘形曲線，鐘形曲線上升段代表作物生長階段，曲線高點區域代表作物由生長階段轉為複製階段（開花結穗期），而曲線下降區代表作物逐漸趨向衰亡。圖 3-17 顯示一輪作田之 NDVI 時間序列，序列基部介於 NDVI=0 至 0.05 之間，通常會有一土壤基線，代表土壤本身 NDVI 反應值，其上方之 NDVI 方為植物本體所貢獻，最大年度 NDVI 勢能與作物型態及氣候有關，而曲線下之面積可作為年度產量的指標。

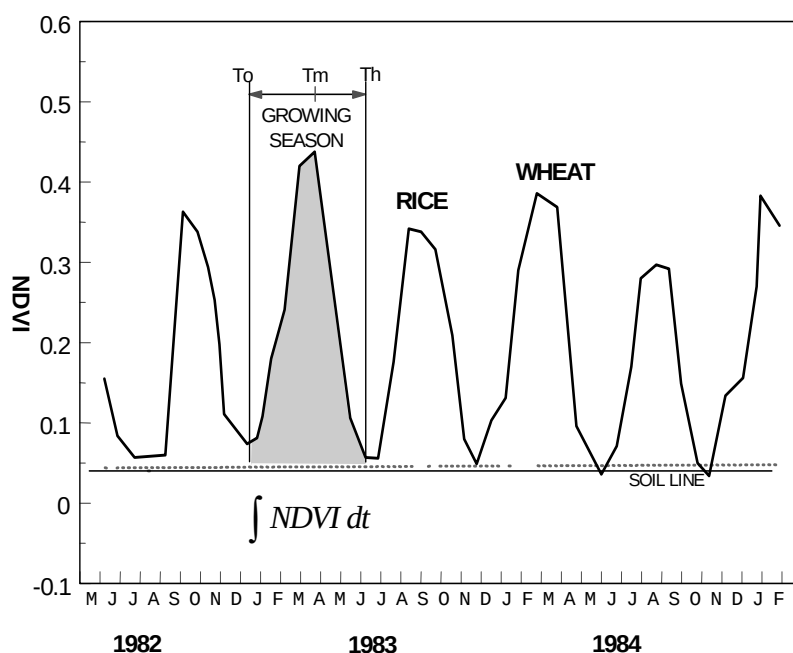


圖 3-17 稻米與小麥輪作田之 NDVI 時間序列，陰影部分面積可用以推求單季作物之產量

3.11.2 土地利用植物覆蓋動態監測

地表植物覆蓋受自然或人為因素的影響，其變化常是許多環境擾動的先期指標。天然的變化，如上游集水區邊坡崩塌，森林火災造成的林相改變，湖泊優養化所造成的大面積藻類生長等；人為的擾動包括森林砍伐，河川盜採砂石，高爾夫球場與新社區的開發等。許多此類地表的變化，無論是人為

或天然的，常發生於偏遠或不易為人得知的地點，其早期變化的訊息是避免情況進一步惡化及解決紛爭的重要因素。

本例是以 NOAA 衛星 AVHRR 5 波段資料作地表土地利用之動態監測，主要地表利用大致分為一般農業用地（包括旱作、甘蔗、蔬菜、柑橘類等）、牧草地（pasture）、沼澤地（marsh）、森林地（forest）、濕地（swamp）、都市和湖泊等。NOAA AVHRR 具有 1 公里地表解析度及每日 2 次的重複觀測能力。本例中所利用之 NOAA AVHRR 地表特性推估值，包括輻射率（emissivity），植物指標（NDVI），地表溫度（Ts）等。

植物指標，可代表當地地表植物的生長密度及健康狀況，而地表溫度除了隨不同地表覆蓋物而改變外，土壤水份含量是另一重要的影響因子。因水的比熱高於大部分地表自然物質，在相同的太陽輻射能量供給下，土壤水份含量高的地區，其熱慣量（thermal inertia）亦大，溫度隨時間的改變較緩慢，而有日間湖泊、濕地的溫度低於一般地表，而夜間此關係正相反。

植物指標與溫度特性之應用常先選取欲分析之土地利用，分別計算其範圍內之 NDVI 及地表溫度之統計特性，再進一步以此特性依次決定整個區域中每一像素（pixel）所代表的土地利用型態。再經由現地勘察（ground truthing），以驗證此分辨之準確性。校驗部份採用地面點經由現地踏勘、觀測及記錄其地表利用，並配合全球定位系統（GPS）記錄其座標以檢驗其分辨能力。分類之誤差分析（Error analysis）顯示此方法具足夠之精確度，尤其在對草原地及水體等於 NDVI-溫度圖上位置特殊區域，有高達九成以上的準確率。植物指標與地表溫度與地表特性的關聯性，是監測地表土地利用的良好工具，此監測不同於傳統之土地利用分類之處，在於它是根據地表的物理特徵，直接加以辨識，而非傳統分類方法根據多波段光譜的統計特性。在資料分析速度及物理意義解釋上，均有其優越之處。此外，此處之監測，強調的是高頻率的觀測，期能在地表發生變化的初期即加以注意，並採取必要措施。

在 NDVI-溫度所形成的空間上，每一類型土地使用狀況，又可依其主要成份（principle components）及標準差（standard deviation），訂出其特性橢圓（圖 3-18），如都市之特性橢圓，位於高地表溫度及低植物指標區；而草地、牧場等高植物覆蓋用地，位於高 NDVI 及中等地表溫度區；沼澤及濕地因植物覆蓋變異量大，在 NDVI 方向上有較長之橢圓長軸，又因其土壤含水量極高，地表溫度相對較其他土地利用低。在此 NDVI-Ts 空間上位置的移動，常可作為土地利用變化的指標。例如 NDVI 與 Ts 同時有明顯的上升，在短期看來可能是作物正常生長，覆蓋量或樹冠大小增加，土壤因作物吸收含水量降低，顯示地表溫度上升，若此變化是屬於長期性的，從 NDVI-Ts 圖上判斷可能為濕地排水後形成新的牧草地，亦有可能由沼澤地變化為農業用地，須依其實際位置及變化量大小而決定。

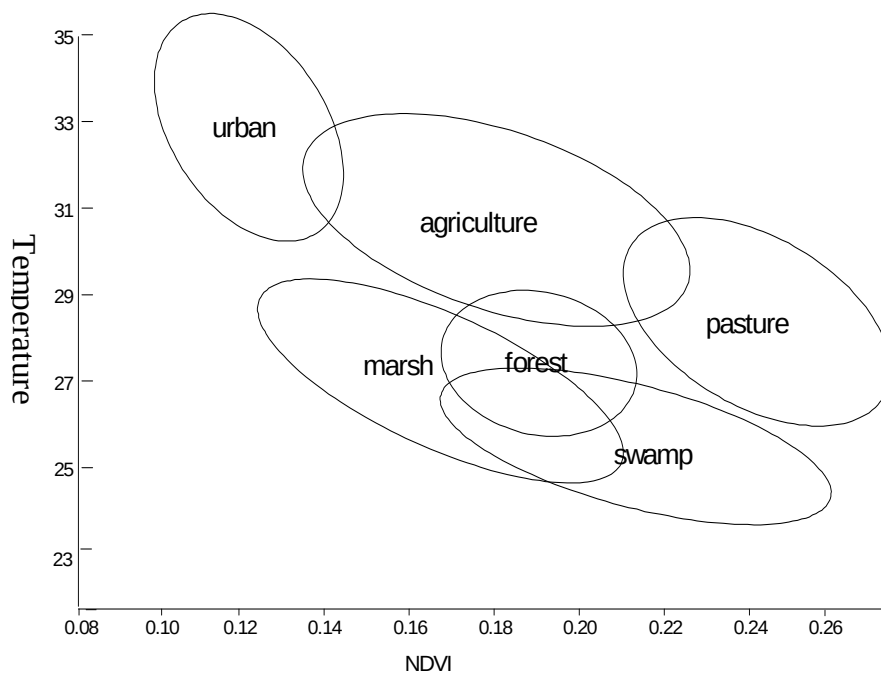


圖 3-18 NDVI-溫度所形成的空間上，每一類型土地使用狀況，又可依其主要成份及標準差，訂出特性橢圓

低空間尺度，高時間尺度的地表監測，並不能取代高解析度的地表分類，它是藉由迅速、低成本的衛星觀測早期發現變異，再針對此局部變異配以高解析度之衛星影像或航空照相，甚至派專人至現地調查，以探求此地表特徵改變的原因。此方法亦可針對某種特定地表利用改變，於 NDVI-Ts 空間上的向量變化，設計監測模式，一旦此改變型態出現即予以預警並作進一步查驗。例如森林地的盜伐必然導致 NDVI 明顯下降與地表溫度某種程度的上升，實際數值變化量，可依當地過去影像特徵值而決定，或以目前影像上已知類似狀況點之特徵向量，推求整個影像中符合此特徵之其他區域。

第四章 衛星定位系統與田間管理

4.1 衛星定位系統簡介

衛星定位系統（Global Positioning System，簡稱 GPS）是一九八〇年代美國國防部逐漸發展出來的衛星性空間定位系統，原本是為美國空軍軍事上定位、戰機導航、飛彈遙控等目的而發展，後經國防部接管並擴大計畫使其應用於民間定位測量。近年來則逐漸轉為商業用途。透過 GPS，不論使用者是在陸地、海面或是空中，都可以精確測量出所在的位置（包括了經、緯度與海拔等資訊）。

大略來說，GPS 包括了三部份，第一個是太空部份：由 24 顆人造衛星繞行地球，擔任傳送訊號的角色，全天候傳送著衛星位置資訊。第二部份則是地面控制部份：由於人造衛星的需要管理與監控，因此在全球不同地方設置了地面控制站來負責整個系統的運作。第三部份則是使用者部份：使用者需要一個特別的 GPS 接收器來接收數個衛星訊號，透過微電腦來計算出位置資訊，由於訊號是透過衛星傳送，所以沒有使用區域、地形與人數的限制。

在概念上，GPS 代表著整個系統，包括衛星、地面控制站及 GPS 接收器。不過一般而言，GPS 即意指一個 GPS 接收器，這是因為我們在使用上多半只會接觸 GPS 接收器的緣故。

4.2 衛星定位測量之原理

GPS 系統中的 24 顆衛星高約兩萬公里，平均分佈於六個軌道面，以一天繞行地球兩週的速度運行（圖 4-1）。一般而言，在任何地點、時間，天空中都至少有 4 顆衛星存在，擔任訊號發射的工作。每顆衛星都透過精密的儀器與地面控制站的修正而有十分精準、同步的計時器，每顆衛星都在同一時刻發出訊號，但是由於使用者與每顆衛星之間的距離不同，每個衛星的訊號產生延遲的程度也不同。而使用者便透過接收器搜尋這些訊號，利用不同訊號的延遲程度求得距離每個衛星的距離，再以三角測量理論，計算出使用者的所在位置座標，以完成導航定位及各種測量作業。



圖 4-1 衛星定位系統示意圖（GPS 共有 24 顆衛星均勻分布於 6 軌道面上）

由於 GPS 衛星持續不斷地發射這些定位訊息，只要接收器能持續接收，便能隨時計算、更新它的資料，幾乎每隔一秒鐘就能提供使用者最新的訊息，由於這樣快的更新速率，我們就可以將定位資訊再加以計算，來得到使用者的其他空間運動資訊，如移動速度、移動方向等。為防止非美軍使用者得到太精確的定位資料，以至妨礙到美國的國家安全，所以在供給民間使用的訊號上，另外加入所謂的 S/A（Selective Availability）效應干擾訊號，使得民用的 GPS 接收器在定位時，只能維持 95% 的接收狀況讓精確度在直徑 100 公尺內，另外 5% 的接收狀況可能在直徑 300 公尺內。事實上，這樣的精確度已滿足大部份民間定位作業的需求。但如果某些定位作業需要更高的精確度，也可以利用差分定位法（Differential GPS, DGPS）達到 2~10 公尺內的定位精度。

舉例來說，假設我們知道距離 A 衛星的距離是 17,000 公里，這已經將位置所在的可能性降低到一個球面（如圖 4-2），換句話說，我們一定是位在以衛星為中心，17,000 公里為半徑的假想球面上。同時如果我們也能知道距離另一顆衛星 B 的距離是 18,000 公里，這樣一來更加縮小了我們可能的位置。因為在整個宇宙空間中，同時距離 A 衛星 17,000 公里及 B 衛星 18,000 公里的點，都位在這兩個球面相交的圓周上（如圖 4-3）。這時如果再得知第三顆衛星的距離，我們幾乎就可以知道自己的位置。假設距離第三顆衛星 C 是 19,000 公里，可能的位置只剩下二個點，這二點是 19,000 半徑的球面通過 17,000 公里及 18,000 公里半徑球面交界所在的點（如圖 4-4）。我們可以發現，透過知道三顆衛星的距離，已經將自己可能所在位置降低到二個點。其實這時候甚至可以說只剩下一個點，因為在這二點中，位在地球表面附近的僅有一個，另一點也許在太空中，也許在地心內，GPS 內的電腦程式有許多方法可以快速過濾掉這不可能的點。也可以想像成地球是第四個球面。

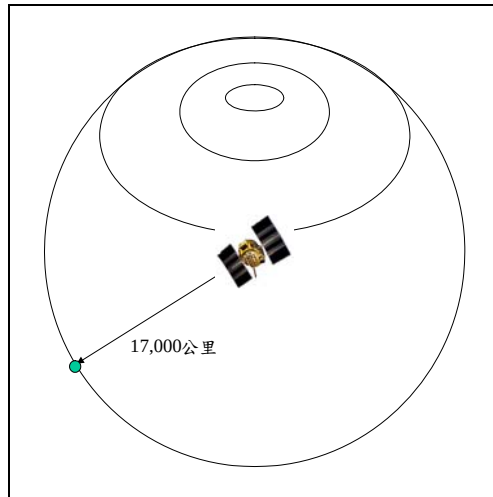


圖 4-2 離衛星一固定距離之可能範圍為一球面

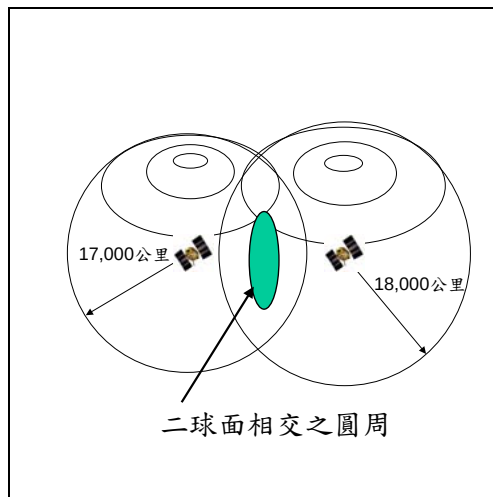


圖 4-3 離二顆衛星固定距離之可能範圍為一圓周

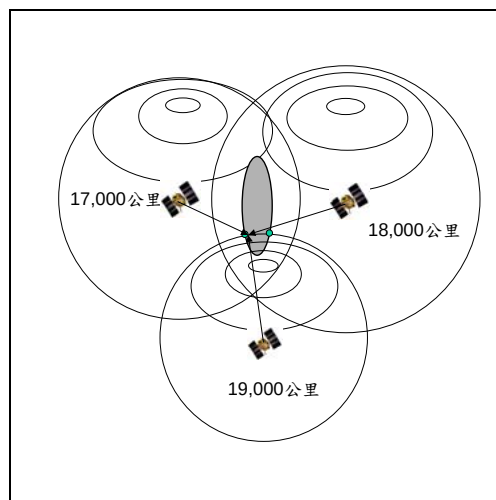


圖 4-4 三顆衛星所代表之球面相交會後可能位置為二個點

4.3 GPS 衛星訊號之形式及精度

GPS 衛星所播送之訊號內容主要可分為電碼及載波兩類：

1. 電碼訊號可即時定位，主要應用在飛機、船隻等運動器具之導航上，其精度僅約 50~100 公尺，惟近年來差分導航定位 (DGPS) 技術發展快速，其精度已可達 1 公尺以內。
2. 載波訊號須事後處理計算，主要應用在高精度點位測量上，其點位精度可達公分級以上。

衛星定位系統中利用幾何原理計算出接收儀所在的位置，可以表示為：

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\Delta\delta_i^j(t) \dots\dots\dots(1)$$

其中 $R_i^j(t)$ 為 i 觀測點與衛星 j 之間的電碼距離 (pseudorange)， $\rho_i^j(t)$ 為衛星與地面觀測點之幾何距離， c 為光速， $\Delta\delta_i^j(t)$ 為地面接收儀之訊號接收延時。

$\rho_i^j(t)$ 可利用幾何性質直接求得，即

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{(x^j(t) - x_i)^2 + (y^j(t) - y_i)^2 + (z^j(t) - z_i)^2} \dots\dots\dots(2)$$

其中 $x^j(t)$ 、 $y^j(t)$ 、 $z^j(t)$ 為衛星 j 在 t 時間之空間位置， x_i 、 y_i 、 z_i 即為觀測點未知位置。

對於每顆衛星而言，與地面觀測點之間皆存在一時間延時，因此對於單一衛星而言，即有 4 個未知數需解決，加入一顆衛星雖多提供了一條方程式，但是也多一項未知時間延時，因此未知數永遠比方程式的個數多，無法得到可行解，因此必須將所有衛星上的原子鐘時間以參考時間 t_0 加以表示，減少變數的數目，一般皆以二項式的方式表示為

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 \dots\dots\dots(3)$$

由 $\Delta\delta_i^j(t) = \delta^j(t) - \delta_i(t)$ 代入(1)式得到

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_i(t) \dots\dots\dots(4)$$

雖然(4)式中仍存在四個變數，但其中 $\sigma_i(t)$ 與衛星無關，因此四顆衛星擁有四條方程式即可解出四個變數。

以衛星定位技術來輔助地理資料收集與輸入有許多優點，包括(a)

由於衛星資料經由接收儀接收，本體上即為數值化資料，透過 GIS/GPS 界面，可以在野外直接將調查的資料輸入資料庫中，使資料調查收集與輸入建檔能夠一次完成；(b)過去傳統的資料收集都將資料或記錄或繪製於地圖上，然後再以人工輸入電腦，每一過程中都隱藏著概括化誤差及人為失誤。而以衛星定位方法從事資料收集，自始至終都是數值化過程，除了衛星定位系統的系統誤差外，幾乎無誤差的累積與傳播；(c)由接收儀接收衛星資料後直接進入電腦，以地理資訊系統功能來加以處理及儲存，可以節省大量人力及時間金錢的花費。

衛星定位的誤差來自整個系統的各部份，包括衛星軌道不準確度、接收儀本身及附近環境的影響、天線相位中心不準確性和雜訊、以及訊號從發射到接收中間路徑的變化，如電離層、對流層等影響及觀測的方法等，使得其精度變化範圍可準確自數公分至數十公尺以上不等，若加上選擇性可靠 (Selective Availability, SA) 的干擾，其誤差甚至可達 100 公尺以上，在如此大的誤差範圍內，我們首先必須根據應用的目的，決定誤差的容許範圍，然後施以不同操作步驟降低誤差，達到應用的精度需求。

一般而言，軌道誤差對高程影響會較顯著，對基線之尺度較不顯著；電離層對單頻觀測而言，其對基線尺度影響約 0.35ppm 至 3.5ppm；而對流層在小範圍內不當的氣象修正可能反而造成修正過當。故衛星軌道及電離層、對流層誤差在小範圍（相對於整個地球）的地理應用上應該是可以忽略而不予考慮。而接收儀附近的環境影響主要是多路徑效應的作用，多路徑效應是指接收儀附近的障礙物多次折射造成訊號經由兩條以上的路徑到達接收儀的天線，這種作用在高樓林立的都市中尤其明顯，因此在都市中的 GPS 應用如建物調查，汽車導航等應用，必須特別考慮此效應所造成的誤差。

4.4 差分修正法

觀測的方法也直接影響衛星定位的精度，一般而言，定位方法可分為單點定位及相對定位，單點定位的精度平均大約在 10-15 公尺之間，並且衛星群的幾何分佈是影響精度的主要因素。相對定位又稱為差分定位 (Differential Positioning)，其原理是利用設在已知位置之固定接收儀所接收到的資料來求得改正值，再將此改正值與未知位置接收儀所接收到的資料合併計算，以求得較高精度之座標，其精度可達公分級以上精度，其中基地台即為固定接收儀，將衛星之誤差值傳給接收儀（移動台）做即時差分，或是將接收儀的資料帶回實驗室做後差分處理。

4.5 大地基準轉換

全球衛星定位系統所使用的座標系統是屬於全球性的 WGS84 座標基準，其座標原點為地球質量中心。台灣地區現在使用的大地基準為以埔里鎮虎子山為原點之 TWD67 基準，只適合台灣地區使用，所以自接收儀所收到的 WGS84 座標必須先將其轉換至 TWD67 座標，台灣地區目前使用的地圖大都以橫麥卡托投影為主，所以還必須將 TWD67 座標由球面投影至二維的平面上，如此才能進入地理資訊系統中與其它資料整合。本計畫所使用之衛星定位系統具有預先設定座標系統之功能，可在首次架構 GPS 接收儀之資料屬性時載入，直接由台灣慣用的二度分帶座標獲得，省去日後座標轉換的工作。

4.6 GPS 衛星定位應用實例：GPS 於水利會灌區現有水井數調查

雲林水利會為控制地區超抽地下水使用情形，必須瞭解地下水井之分佈情形。GPS 定位施程序及地理資訊系統之整合與建立略述如下：

4.6.1 定位施程序

衛星定位不同於傳統測量的方法，因為它不受氣候所影響，並且毋需顧慮測點之間的能見度，紅外線瞄準裝置的開發，甚至不用到達定點即可量測。在決定計畫執行工作之前，必須先考慮所需精度及用途，在本計畫之研究區內，井的密度非常高，相鄰井之間距離多在 10 公尺以下，因此基地台之設置不可或缺，其可將精度保持在 5 公尺以下，但井數龐大，接收儀必須容易攜帶及輕巧，以節省人力的損耗，所以本計畫採用 Trimble GeoExplorerII 接收儀以及 Pathfinder 基地台，其中接收儀精度於差分修正後在 2-5 公尺之間，可同時追蹤 8 顆衛星，儲存容量為 9000 個訊號點。

基地台使用 Pathfinder2.01 程式，直接做程式上載及資料下載處理之工作，圖 4.5 顯示進行差分修正前後之結果，同時選擇差分修正成 ArcView shapefile 型式以利後續分析工作。定位前準備工作包括以下幾點：

- (一)底圖的選擇:視調查項目及範圍來選擇適當比例的底圖，本研究屬普查性質，井距在 10 公尺以下，因此選擇大比例尺的 1:5000 像片基本圖為底圖。
- (二)決定測量時段:一般而言，天空中隨時都會出現四顆以上的衛星，然而同時出現的數目越多，越能得到正確的結果，此狀況稱為最佳視窗 (optimal window)，可由方位-高度表獲得。
- (三)現地定位測量：將日期、時間、座標系統設定後，就可將所編排之屬

性程式上載至接收儀進行現地測量。基本上，在本研究區內建築物非常稀少，且水平視野皆在符合 15-20 度之最低限制，因此訊號接收皆不受干擾。

4.6.2 地理資訊系統之整合與建立

地理資訊系統是將地球表面各種地理資料整合於電腦以掌握和使用，於 1964 年首先由加拿大發展出來。由於其具有空間資料庫管理及圖形展示分析等多項功能，因此可利用來整合分析大量的空間資料，同時分析結果可快速地提供決策者及決策單位作為一判斷之依據。而 GIS 的應用方可迅速提供監測資料和圖形資料，有助於資訊的傳遞與溝通，使資訊集中管理，增加資訊應用的效率。

地理資訊系統之主要功能可概分為以下幾點說明：

- (一)資料聯結、查詢：利用 DBASE 之資料庫管理，百件不同型態資料之聯結、整合，再與空間資料結合，更百件各種空間或屬性之查詢，對所有資料庫之儲存、更新、擷取，功用頗大。
- (二)空間分析：GIS 之強大功能，在於其能將各種空間資料作各種形式之登合、轉換，如交、聯集，分割、網路等等，而使得各種相關資料整合為一新資料庫，可再加以分析得到所需之資料，我們乃能藉此作各種相關空間之分析。
- (三)展示：GIS 同時也是相當優異之繪圖系統，除可套疊各種圖層，顯示各不同資料，分析結果更可繪製成清晰易懂之地理圖檔，作展示或輸出。

經營管理地下水之使用量，並結合地面水之應用為本研究調查之主要工作。圖 4-7 為整合了址塊地籍資料檔，包括糧食局所建農地坵塊屬性資料格式表、雲林水利會所建灌溉地籍資料格式表、水利會會員資料檔、台灣電力公司電度查詢資料格式，以及本中心所建立的水井定位屬性資料格式等，對於管理工作的推行有極佳的便利性。

本計畫即採用用 ARC/INFO 地理資訊系統作為模式應用工具，而展圖的工作則交給 ArcView 來做處理。ArcView 是 ESRI 公司發展的一套功能強大完整的桌上型地理資訊系統，本身提供了圖形資料及屬性資料的建立，可輕易整合各種數位地圖資料、CAD 圖檔、遙測影像資料固檔等，同時透過此關連式的資料整合進行資料的修改及互助式查詢、各種統計分析、資料展示等查詢、展示、分析、出圖等功能。並且藉由 Avenue 物件程式語言，可改變 ArcView 的介面以提供給使用者發展出最適自己需求的系統環境。

4.6.3 水井定位結果

經由 GPS 定位調查，於雲林水利會引西圳灌區引西工作站轄區內民井口徑分布如圖 4-5 所示。

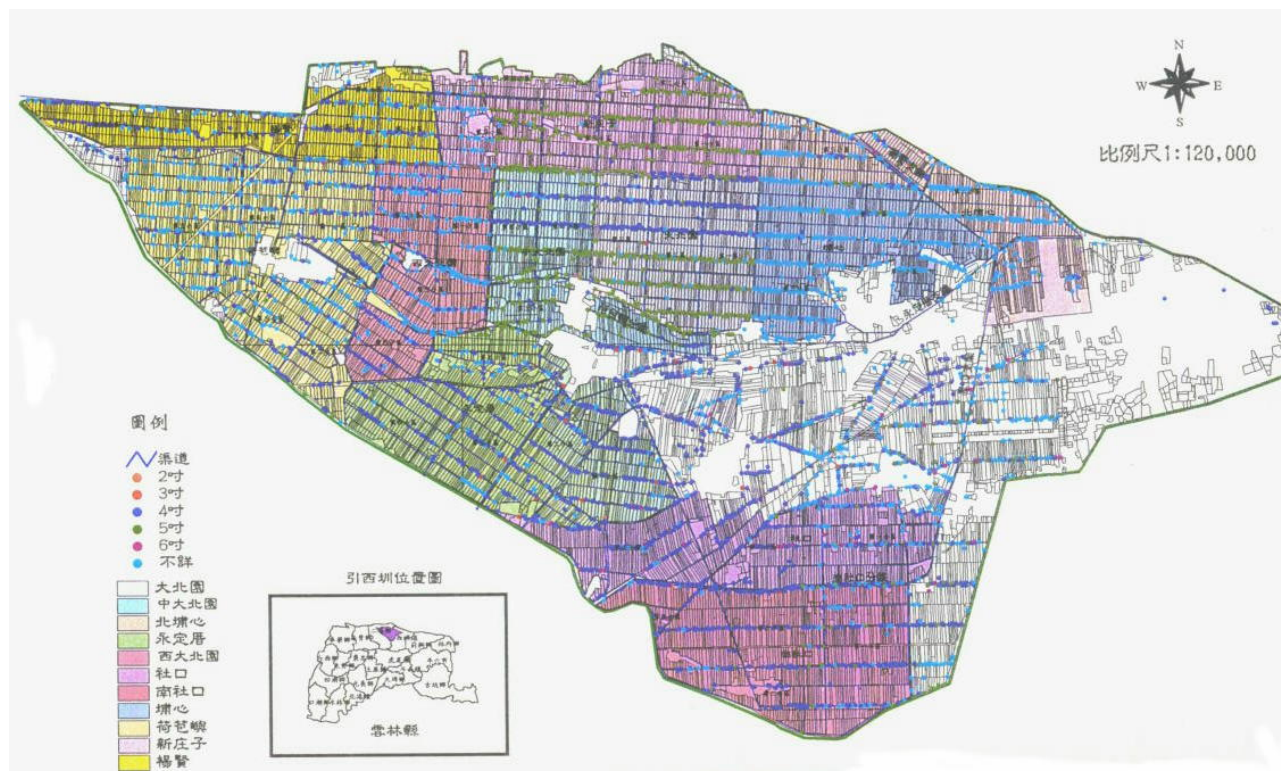


圖 4-5 雲林水利會引西圳灌區引西工作站轄區民井口徑分布圖

參考文獻

1. 歐陽鐘裕，遙感探測學，大中國圖書公司，民國 81 年。
2. 焦國模，森林航空測學記，國立編譯館，民國 78 年。
3. 國立台灣大學水工試驗所，遙測技術於水利之應用訓練班講義，民國 85 年。
4. 廖大牛，遙測技術與資源調查，台灣省林務局職工訓練中心，民國 83 年。
5. 曾清涼，全球定位系統衛星導航及定位測量。
6. 蔡源二，即時 DGPS 衛星定位經度之研究，第十三屆測量學術應用研討會論文集，民國 83 年，國立交通大學。
7. Baret, F., and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, *Remote Sensing of Environment*, 35:161-174.
8. Campbell, J. B., 1987. Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, pp.551.
9. Choudhury, B. J., 1987. Relationships between vegetation indices, radiation absorption and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis, *Remote Sensing of Environment*, 22:209-233.
10. Environmental Systems Research Institute, 1990. Understanding GIS-the Arc/Info Method, ESRI.
11. Goward, S. N., B. Markham, D. G. Dye, W. Dulaney, and J. Yang, 1991. Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer, *Remote Sensing of Environment*, 35:257-277.
12. Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer, 1987. Remote Sensing and Image Interpretation, second edition, John Wiley & Sons, pp. 721.
13. Malingreau, Jean-Paul, 1986. Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*, vol.7, no.9, 1121-1146.
14. Price, J. C., 1992. Estimating vegetation amount from visible and near infrared reflectances, *Remote Sensing of Environment*, 41:29-34.
15. Seller, P.J., 1985. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration, *International Journal of Remote Sensing*, 6:1335-1371.
16. Tan, C. H., S. F. Shih and J. D. Jordan, 1994. Spatial dependence of NOAA-AVHRR observations and ground measured meteorological parameters in an agricultural area (abstract). *EOS transaction/supp.*, vol.75, no. 16, 174.
17. Tucker, C. J., Vanpraet, C. L., Boerwinkle, E., and Easton, A., 1984. Satellite remote sensing of total dry matter accumulation in the Senegalese Sahel, *Remote Sensing of Environment*, 13:461-469.