

四、遙感探測及航照地質判讀

林真在*

一、前言

遙感探測簡稱遙測，廣義的說，凡是在不直接接觸物體的情況下，而能進行物體探測的技術，均屬遙感探測。但遙感探測所用的方法，一般而言，只限於利用光、熱及雷達波等電磁能，來量測物體的特性，其他方法例如磁探及電探等等，係量測磁力場或電場，而非電磁能，則不包括在內。因此，遙感探測可以說是利用適當的感測器，在不直接接觸及物體的情況下，測錄物體輻射或反射電磁波的特性和強度，用以識別物體的種類及特性。

遙測影像之地質判釋是工址探查的重要項目之一，妥善的加以運用，可使工址探查更經濟、有效及可靠。

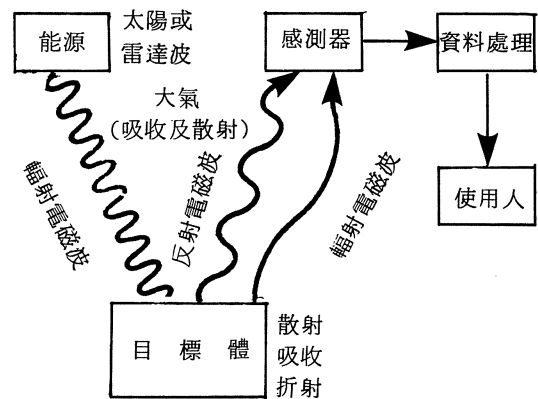
以下首先介紹遙測系統、遙測基本原理、遙測影像，接著介紹使用頻率最多之航空照片的地質判讀，並以幾個案例介紹航照地質判讀之過程，最後為簡單的結論。

二、遙測系統

遙測系統包括能源、目標體、感測器、資料處理及使用人等。感測器係搜集目標體電磁波反射或輻射情報的裝置，有照相機及掃描儀等，裝在人造衛星、飛機、地面交通工具或塔台等載台上，量測電磁波的特性和強度。

圖一為遙測系統之示意圖。圖中顯示太

陽或雷達波等能源、輻射電磁波，穿過大氣，經大氣之吸收及散射後，到達目標體，目標體與入射之電磁波產生反應（包括反射、折射、散射、吸收及輻射等），反射或輻射電磁波，利用感測器可將目標體所反射或輻射之電磁波加以記錄，記錄之資料經過處理成影像或非影像資料後，即可供使用者應用。



圖一 遙感探測系統示意圖（謝仁馨，1983）

三、遙測基本原理

3.1 電磁輻射

任何物體之溫度高於絕對溫度零度（0°K，即攝氏溫度零下273度）時，均會放射電磁輻射能。地球地表之平均溫度約300°K，太陽表面之最高溫度約5800°K，輻射能與波長之關係示於圖二之(A)圖，圖中顯示最

大輻射能之波長與物體的絕對溫度成反比，溫度愈高，最大輻射能之波長愈短。

太陽輻射能之波長包括紫外線、可見光及紅外線，最大輻射能之波長為 $0.48\mu\text{m}$ （屬於可見光之藍光範圍）。地球輻射能之分佈波長，落在紅外線範圍，最大輻射能之波長為 $9.7\mu\text{m}$ 。地球表面物體除了物體本身的輻射外，在白天也會反射來自太陽的輻射能，該反射能最大能量之波長為 $0.48\mu\text{m}$ ，能量比物體本身的輻射能大得多。

3.2 大氣影響

遙測系統中電磁波從能源、目標體至感測器之過程，需經過大氣，大氣中含有多種氣體及微粒，對於不同波長之電磁波產生吸收及散射現象，圖二中之(B)圖；顯示不同波長之能量在大氣中穿透之百分比。空白部分表示能穿透大氣能量的百分比，這些受大氣吸收及散射較小的電磁波段，稱作大氣窗。畫有黑點部分係表示該波長不能穿透大氣層，其中波長小於 $0.3\mu\text{m}$ 之能量，全部被大氣上空之臭氧層 (O_3) 所吸收。

實用遙測感測器所用之電磁波段，就是選用穿透大氣能量高的波段，亦即選用大氣窗。各種實用感測器所用之電磁波段示於圖二之(C)圖。照相系統所感測之波長從 $0.3\mu\text{m}$ 至 $1.2\mu\text{m}$ ，多譜掃描系統感測器作業之波長範圍從 $0.3\mu\text{m}$ 至 20mm ，雷達系統常用之雷達波為 K_a 波段（波長 0.86cm ），X 波段（波長 3.0 及 3.2cm ）及 L 波段（波長 25cm ），熱紅外線感測器之感測波長在 3.0 及 $20\mu\text{m}$ 之間。

圖二之(A)(B)及(C)圖，顯示了太陽、地球、雷達波、大氣窗及各種感測器間之關係。

四、遙測影像

遙測影像依感測器之不同，可分成照相系統、多譜掃描系統、雷達系統及熱紅外線掃描系統等四大類，每類之特性概述如下：

4.1 照相系統

照相系統包括地面照相（地面照片之比例尺一般從 $1/1$ 至 $1/500$ ）、空中照相（航空照片之比例尺一般從 $1/5,000$ 至 $1/60,000$ ），及太空照相（衛星照片比例尺一般從 $1/125,000$ 至 $1/1,000,000$ ）等，記錄自地表反射回來的太陽輻射能，感測的波長自 $0.3\mu\text{m}$ 至 $1.2\mu\text{m}$ （從紫外線至近紅外線）。

航空照片之解像力較其他遙測影像系統為高，具有很高的幾何精確度，而且可觀察到立體起伏，可提供很多有用的工程地質資料，是最常用的遙測影像。

4.2 多譜掃描系統

多譜掃描系統之感測器可安置在飛機上或人造衛星上，作業的波長範圍從 $0.3\mu\text{m}$ 至 20mm ，比照相系統寬很多（參看圖二(C)圖）。影像比例尺在 $1/5,000$ 及 $1/1,000,000$ 之間，由於解像力、幾何精確度及立體效果等方面有所不足，在工址探查上之應用，尚待開發。

4.3 雷達系統

雷達系統之感測器可安置在飛機上，甚至在人造衛星上，記錄目標體反射雷達波的能力。正對著雷達波投射方向之目標體，反射最強，背著雷達波投射方向之目標體，雷達波照射不到，就產生陰影，利用此種特性，可偵測地表之粗糙度及地形。

常用之雷達波之電磁波段為 K_a 波段（波

長 0.86cm)，X 波段 (波長 3.0 及 3.2cm) 及 L 波段 (波長 25cm)，影像比例尺一般在 1/100,000 及 1/250,000 之間由於解像力及幾何精確度之限制，使用頻率不若航空照片之普遍。但雷達波能穿透雲層，且夜間亦可獲得影像，在天氣不好的地方，雷達影像是一種調查不連續面很有用的資料。

4.4 熱紅外線掃描系統

熱紅外線影像記錄目標體放射之輻射能，與目標體之溫度有密切關係。感測器可安置在飛機上或人造衛星上，感測波長在 3.0 及 20 μ m 之間，基於大氣影響，4.5~5.5 μ m 及 8.5~13.5 μ m 為最常用的兩個電磁波段。

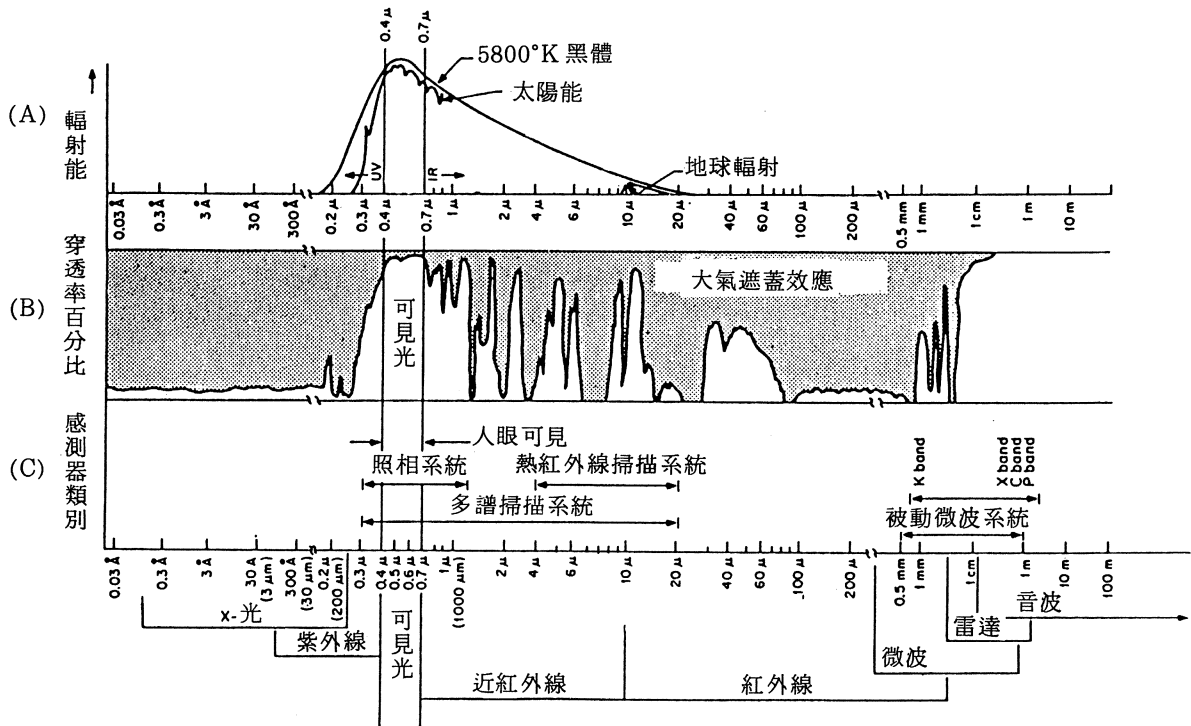
由於水及不同岩性所放射之輻射能有所不同，熱紅外線影像有用來分辨不同岩層及

偵測地質構造。例如在夜間熱紅外線夜間影像上，密度高的玄武岩顯得熱，密度低的粉砂岩顯得冷，而輻射能低的線形異常，則可能是斷層所在，這是因為存在於斷層帶的水分蒸發，吸熱後的結果。

因為解像力、幾何精確度及立體效果上的限制，熱紅外線影像在工址探查上之應用，不若航空照片之普遍。

五、航照地質判讀

工址探查應用上，在所有遙測影像中，以航空照片的使用頻率最高，此乃進行航照地質判讀可獲得地質材料、地質構造以及坍塌等很多有用的工程地質資料。因為航空照片具有相當高的解像力及幾何精確度，比例



圖二 輻射能、大氣遮蓋效應，遙測感測器及電磁波譜
(Way, 1978, 取材自 Hunt, 1984)

尺也相當的大，並且可觀察立體起伏，地面地形及地物之細節可觀察得非常清楚，可正確顯示(1)地形起伏形狀；(2)水系及沖蝕特性；(3)植生；(4)地面色調，及(5)人造物等，而地質材料在相同的環境下，經過相同的地質作用常常具有相同的地貌，經過不同的地質作用，則常常呈現不同的地貌，因此航空照片內之地質特性，可由不同之特徵例如水系型態、沖蝕溝等之縱橫剖面、地面色調、特殊地形起伏形狀及其相關性等顯現出來，以下簡述岩石、地表堆積物及塹方之航照特性。

5.1 岩石之航照特性

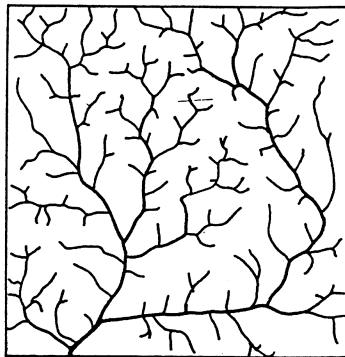
岩石依成因可分為沈積岩、火成岩及變質岩三大類。

5.1.1 沈積岩

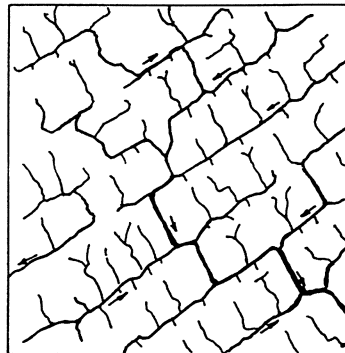
地表地層經過風化侵蝕作用後之沈積物，經由壓密、膠結等作用，固化成為岩石，是為碎屑性沈積岩，主要岩石種類為礫岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、頁岩及石灰岩等，產狀以層狀為主。

沈積岩除了碎屑性沈積岩外，尚包括從海水中經化學作用沈澱而成或經由生物作用所造成的蒸發岩及石灰岩。

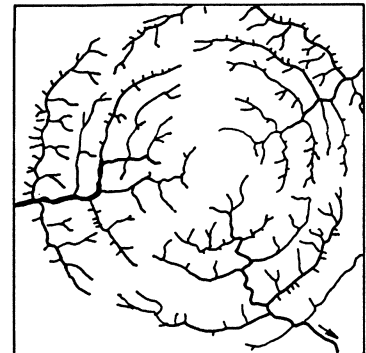
礫岩及砂岩，一般為淡灰色或淡黃色，在黑自航照上，呈現淺至中度的灰色調。由於抗蝕性相當強，常常造成豚背山、單面山或方山頂上的覆蓋層。地表水系稀疏，水平岩層常呈現樹枝狀水系型態（圖三），褶皺及傾斜之礫岩或砂岩，因常與抗蝕性弱之頁岩互層，水系型態常呈格子狀（圖三），地



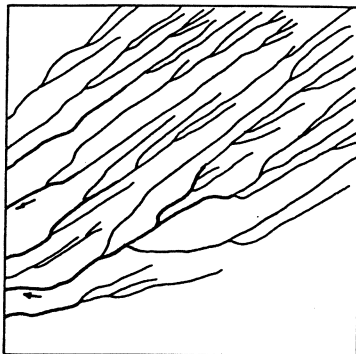
典型的樹枝狀水系



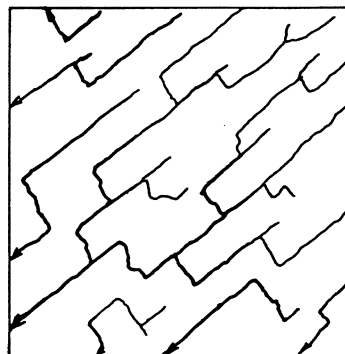
格子狀水系



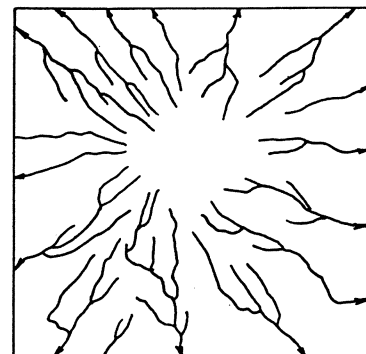
典型的環狀水系



典型的平行水系



典型的直角狀水系

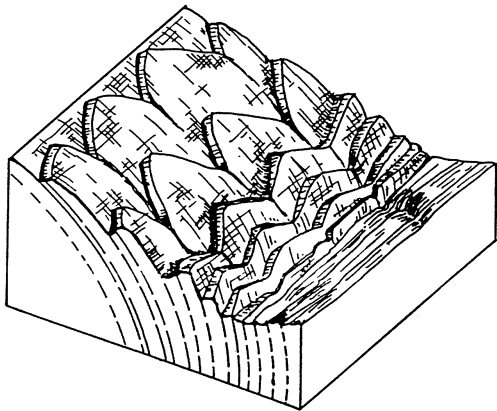


離心型放射狀水系

圖三 水系的基本型態（取自林朝宗，1988）

形則形成熨斗形地形面（圖四），極易在航照上，決定岩層的走向和傾斜。

粉砂岩、頁岩及泥岩主要由細小顆粒的石英、長石及黏土礦物所組成、透水性低，常形成高密度水系。因常含相當量的有機物質，一般為灰色或暗灰色，在黑白航照上呈深灰色或黑色色調。頁岩對水之抗蝕性差，在溫帶及熱帶地區，常形成平緩的地形。



圖四 熨斗形地形面（取自林朝宗，1988）

喀斯特 (Karst) 地形為石灰岩地區特有的地形，喀斯特為南斯拉夫語，原義為無水的荒野，水流以地下水流為主，地表上滿佈落水洞 (Sink hole)。落水洞之形成是因為石灰岩之化學組成主要為碳酸鈣，易溶於酸性溶液中，而空氣中之二氧化碳常溶在雨水中，使雨水略帶酸性，因此在潮濕地區，酸性的雨水可將石灰岩加以溶解，尤其是石灰岩的裂隙相交處，因透水性高，雨水常常經過，溶解更加迅速，極易在該處形成落水洞。

蒸發岩類例如鹽岩極易溶於水，只有在乾燥的地區，才能大規模的露出地表，純的蒸氣岩類為白色，在黑白航照上呈淺色調，鹽丘含有大量的蒸發岩，上覆的地層在地形

上為穹窿狀的圓丘，這種地形常具有放射狀或環狀水系（圖三）。

5.1.2 火成岩

火成岩係地球內部高溫的岩漿，在地球內部慢慢冷卻或噴發到地表後急速冷卻凝固而成。依成因可分為深成岩、半深成岩及火山岩三大類。

深成岩及半深成岩之主要岩石為酸性的花崗岩、微花崗岩、中性的閃長岩和微閃長岩，以及基性和超基性的輝長岩、粗粒玄武岩和橄欖岩，主要產狀為岩基 (Batholith)，岩幹 (Stock)，岩蓋 (Lacolith)，岩床 (Sill) 和岩脈 (Dyke) 等（圖五），

岩基為很大的火成岩體，岩性上一般為花崗岩，花崗岩之質地非常均勻，呈塊狀，與碎屑性沈積岩之層狀外觀，大不相同。節理不發達時，由於質地均勻，抗蝕性強，水系常呈現疏密度的樹枝狀水系。節理發達時，水系型態受節理控制，呈現平行狀或直角狀水系。礦物組成上含有多量的石英及長石等淺色礦物，外觀為淺灰、淡紅或淡綠，在黑白航照上呈淺色調至中灰色調。風化後岩石之顏色及航照上之色調稍深。

岩脈為橫切岩層狀構造成或切過其他火成岩之火成岩侵入體，在大規模火成岩體邊緣的岩脈常呈放射狀或環狀排列，由於其抗蝕性經常與圍岩不同，當其抗蝕性較圍岩為高時，凸出成牆，反之則凹下成溝，因此在航照上極易辨識。

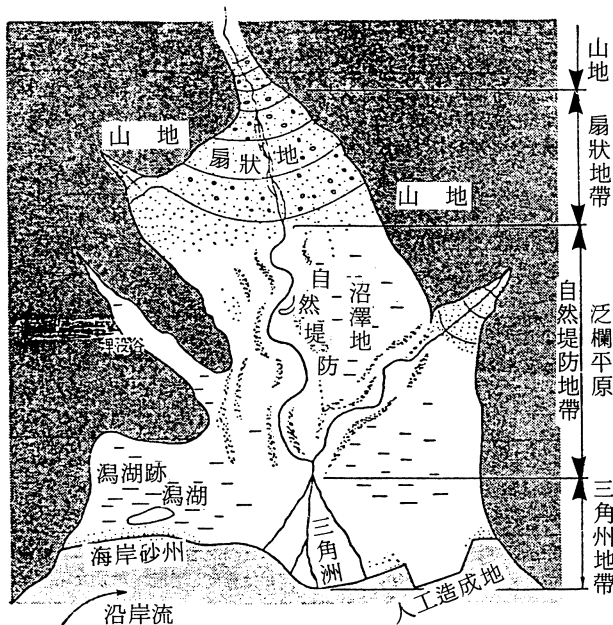
輝長岩、粗粒玄武岩及橄欖岩等基性或超基性岩石，因含有大量深灰色至黑色的鐵鎂礦物，在航照上顯示深色調。

閃長岩及微閃長岩等中性火成岩，其礦物組成介於酸性及基性火成岩之間，航照特性亦介於其間。

到他處堆積，形成沖積層、風積層或冰積層等沈積物。

地表堆積物，因成因上的不同，常常具有特定的產狀與土壤組成，而不同性質的土壤，常常具有特定的水系型態、沖蝕特性以及土壤色調，因此，極易由航照上判讀。

圖六為沖積平原的地形模式圖，沖積扇一般由砂礫夾雜泥砂組成；地層厚，呈扁平半圓錐狀，河流呈辮子狀（網狀）。泛濫平原上之河流常呈曲流或網流，曲流兩岸常有砂土質的自然堤，自然堤外常有沼澤地及河道改道後所遺留下的牛軛湖，沼澤地一般由軟弱的腐植土、粉土及黏土所組成。三角洲沈積層一般由細砂及黏土組成，位於河口附近，土層厚，水系型態呈樹枝狀或平行狀。海岸砂洲一般由砂及礫組成，在黑白航照上色調淺，由於透水性良好，雖然地下水位高，常常沒有河流發育。瀉湖一般由軟弱的腐植土、粉土及黏土所組成，在黑白航照上，色調深。



圖六 沖積平原之地形模式圖（取自日本土質工學會，1984）

水系及沖蝕溝之斷面，常與土壤組成有密切關係，一般而言，黏土質土壤呈現細而密的樹枝狀水系，沖蝕溝斷面呈現淺盤形。砂土質土壤呈現寬而疏的樹枝狀水系，沖蝕溝斷面傾向V字形。粉土質土壤之水系介於黏土質及砂土質土壤之間，沖蝕溝斷面呈現U字形。

5.3 坍方之航照特性

傾斜地表面下的地層。受重力之影響，具有向下及向外移動的傾向，若此傾向能被地層的抗剪強度所阻抗，則該斜波面穩定，否則即發生坍方。

坍方發生後在地表面常常造成地形、植生、或其他自然或人造物的改變，因此在地面上留下很多坍方的特徵，這些特徵極易在適當比例尺的航空照片上觀察認定，今以旋轉滑動為例，加以說明。

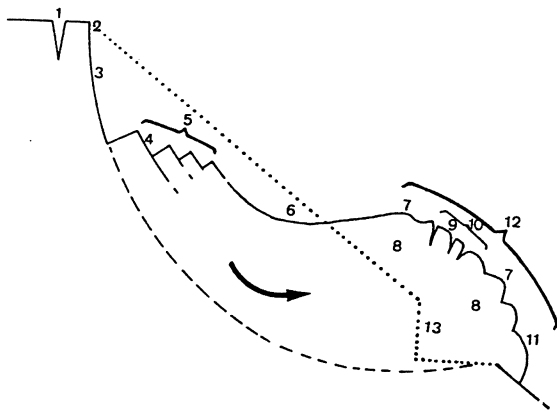
圖七為理想化之旋轉滑動剖面示意圖，旋轉滑動整體上呈湯匙形。坍頂有張力裂縫、主崩崖及次崩崖，平面上為弧形，剛坍滑的主崩崖及次崩崖，沒有植生，地層裸露，在航照上色調淺至明亮。坍趾處地層隆起形成圓丘狀地形，若坍趾處有河流、道路或電線桿經過，則河流、道路或電線桿之線形亦隨之變形。坍體之兩側呈現雁行排列之剪力裂縫。坍頂及坍趾之間的中間部分。由於坍趾隆起，地形變平，甚至凹陷，水分易於聚集，比較潮濕，植生茂密，航照色調上深暗。

利用航照來調查坍方，有下列優點：

- (1) 航照提供廣域之全景及立體效果。
- (2) 新坍方之界限，可從航照上直接勾劃出來。
- (3) 地表及接近地表之水路，可從航照上追

踪。

- (4) 水系、地形及其他能顯示坍方之自然及人造物特徵，在般照上相當明顯。
- (5) 坍方的細節，在野外調查時，常被植生所遮蓋，航空照片上則不然。
- (6) 土層及岩層能在不擾動的情況下，加以觀察及評估。
- (7) 地質及地形特徵之連續性及重覆性，容易在航照上觀察，有助於坍方之辨識。
- (8) 野外勘查路線及地表及地下探查計劃，均可藉航照加以有效規劃。
- (9) 新拍攝航照與歷年航照之比較觀察，可瞭解坍方隨時間之漸進發展。



- S—1 張力裂縫
- S—2 主崖
- S—3 裸土／裸岩
- S—4 次崖
- S—5 雁行排列之次崖
- S—6 排水不良或積水
- S—7 橫向隆起
- S—8 擾動之土石
- S—9 橫向張力裂縫
- S—10 雁行排列橫向張力裂縫
- S—11 傾斜之樹籬
- S—12 圓丘狀地形
- S—13 河流切割或道路開挖

圖七 理想化之旋轉滑動剖面示意圖
(取自劉進金, 1984)

六、航照地質判讀案例

6.1 美國加州 Fish Creek Mt. 及 Split Mt. 之航照地質判讀

圖八為美國加州 Fish Creek Mt. 及 Split Mt. 之航照地質判釋圖，圖中可分出花崗岩、石膏岩、先石膏層沈積岩、後石膏層沈積岩、老沖積層及新沖積層等六種航照地質單位，判釋步驟為

(1) 辨識航照地質單位

花崗岩之航照特徵為塊狀沒有層理、色調暗、節理多。石膏層呈顯著白色層狀、色調淺且明亮，在航照上非常顯著。介於石膏層與花崗岩之間的層狀地層為砂岩及礫岩，歸類為先石膏層沈積岩，覆蓋在石膏層上的層狀地層為礫岩及頁岩，歸類為後石膏層沈積岩。在河谷上之沖積層，可依色調及高差，分成兩個地質單位、色調暗，位置高的沖積層為老沖積層，色調淡，充填河谷低處者為新沖積層。

(2) 研判地質構造

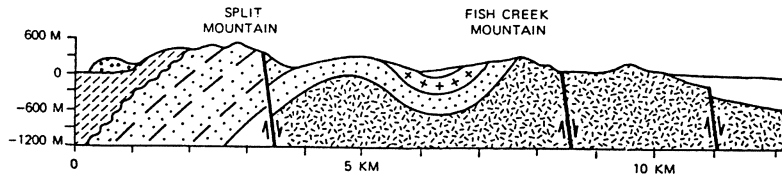
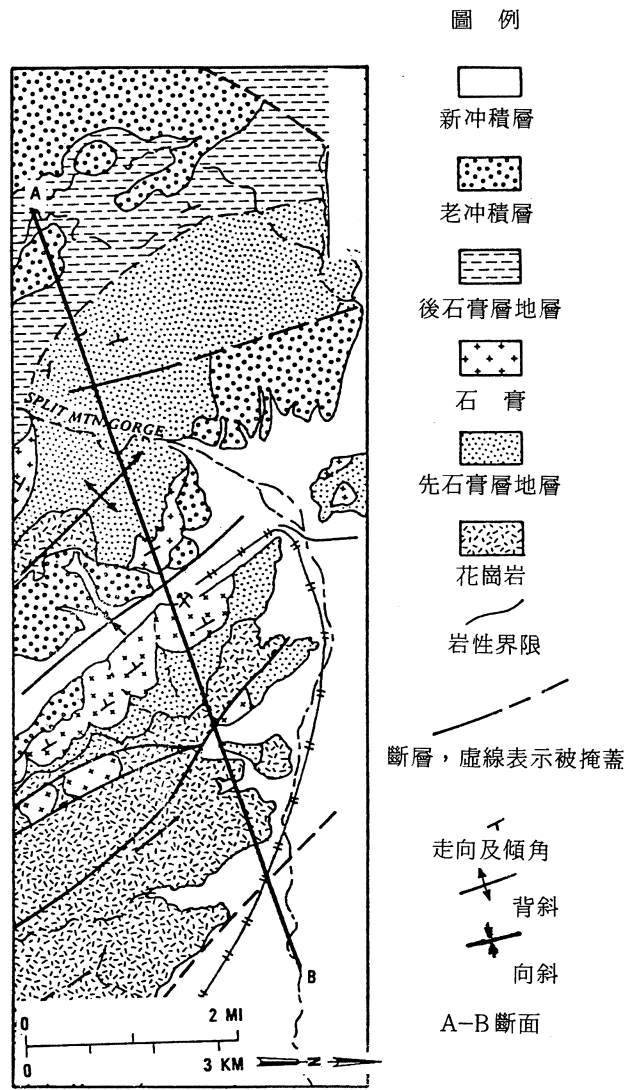
由石膏層傾斜之位態（走向及傾斜），可判釋出一個向斜及一個背斜構造存在，另外由地形上之航照線形（例如花崗岩區之斷層線崖），及不同岩性之接觸關係（例如石膏層與花崗岩），可判釋出幾條斷層。

(3) 關鍵地區之野外查證

航照地質判釋圖為依據判釋者個人之學識經驗，主觀判斷而得之資料，資料內容是否經過野外查證，應該在判釋圖上註明，以供使用者瞭解資料之可靠度。

6.2 台灣嘉南平原之航照地質判讀

由航照上所表現不同的色調對比、水系、沖蝕特性、植生及地質材料的產狀（分佈形狀的特性及相互間之關係），可將現代表層堆積物加以判釋，例如孫習之(1971)，對



圖八 美國加州 Fish Creek Mountain and Split Mountain 航照地質判釋圖 (取自 Sabins, 1978)

新營至嘉義平原區的航照地質判釋，即可分出紅土沖積扇層、台南層、三角洲沈積層、潟湖及沼澤沈積層、近海砂洲沈積層及台地堆積層等。

表層堆積物之航照地質判釋成果，在工程應用上具有相當大的價值，此乃；(1)特定沈積地層，具有特定的工程性質，可用來考慮可能發生的工程問題，例如潟湖及沼澤沈積層，一般由軟弱的腐植土、粉土及黏土所組成，為極軟弱地盤，需要考慮承载力不足及地盤塑性變形沉陷等工程問題。沖積扇層，一般由砂礫夾雜土砂組成，河流網狀，需注意河流水流不安定，有受壓含水層存在以及冲刷等工程問題，(2)分佈範圍所勾劃出之不同地質材料區帶分佈，為規劃代表性樣品採樣工作，估算工程設計參數的重要依據。

6.3 台灣北部煤礦廢石堆之航照地質判讀

台灣北部煤礦廢石堆的堆置方式，主要有兩種，一種是利用台車運送，造成平台式的堆積，另一種是利用輸送帶，造成錐狀堆積。由於沒有經過適當夯實，也沒有膠結，僅是石塊、土壤及煤屑混在一起，極易產生坍方。

在植生上，剛堆放之廢石堆草木尚未生成，黑白航照上色調淺，較老的廢石堆，先長草，再長樹。對於開採中之煤礦，航照上甚至可看到台車軌道或輸送帶。

至台灣省礦務局查閱煤礦坑口位置，是調查台北煤礦廢石堆分佈之重要工作之一，由於廢石堆之位置與坑口位置相離不遠，坑口位置可用來驗證判釋資料之可靠性，並可用來查核有無遺漏。

七、結 語

遙測影像依感測器之不同，可分成照相系統、多譜掃描系統、雷達系統及熱紅外線

系統等四大類，影像之地質判釋是工址探查的重要項目之一，妥善加以運用，可使工址探查更經濟、有效及可靠。

地質材料在相同的環境下經過相同的地質作用，常常具有相同的地貌，經過不同的地質作用，則常常呈現不同的地貌。因此，地質特性常可由不同的特徵，例如水系型態、沖蝕溝之縱橫剖面、特殊地形起伏形狀及其相關性等顯現出來。

由於航空照片具有相當高的解像力及幾何精確度，比例尺也相當的大，並且可觀察立體起伏，地面地形及地物之細節可觀察得非常清楚，經由航照地質判讀可獲得地質材料、地質構造以及坍方等方面的工程地質資料，在目前所有遙測影像中，航空照片的使用頻率最高。

地質材料的產狀（分佈形狀的特性及相互間的關係）、水系、沖蝕特性、色調、及植生，是航照地質判讀的重要因子。

遙測影像之地質判釋係依據判釋者個人之學識經驗經由主觀判斷而得，判釋之品質及可靠度與判釋者對當地地質情況的了解程度有密切關係，因此，藉著地面地質調查，以及研究有關報告和地質圖幅，了解當地之地質情形，是判釋者的主要工作之一，判釋之資料，是否經過野外查證，應該在判釋圖上註明，以供使用者瞭解判釋資料之可靠性。

利用航照來調查坍方，有其特有的優點，對於大型坍方之偵測，更是效果顯著，值得多加利用。

參考文獻

- 王鑫(1984) 遙測技術簡介，遙感探測，第四期，第1~4頁，行政院農委會遙測小組發行。
- 林朝宗(1988) 遙測影像判釋在構造地質研究的應用，中國文化大學出版部，96頁。
- 潘國樑(1984) 遙測——工程地質之調查工具，遙

- 感探測，第四期，第141~151頁，行政院農委會遙測小組發行，
- 孫習之(1971) 台灣省新營至嘉義平原區航照地質之研究，台灣石油地質，第八號，第65~75頁。
- 劉進金、鄭文哲(1983) 台灣各種遙測系統及其在工程地質調查的應用潛力、鑛冶，第27卷，第3期，第120~131頁。
- 劉進金(1984) 航照在工程地質上之應用——崩塌調查之實例，遙感探測，第四期，第97~123頁，行政院農委會遙測小組發行。
- 謝仁馨(1983) 航照判讀，中華民國航空測量及遙感探測學會出版，264頁。
- 土質工學會(1984) 建設計畫と地形・地質，237頁。
- 石井康夫(1980) 建設工事の保安地質學，土木工學社，422頁。
- BELCHER, D.J. (1943) "The Engineering Significance of Soil Patterns", *Highway Research Board Proceedings*, v.23, pp. 569-598.
- IAEG (1987) "Report of The IAEG Commission on Site Investigations", *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, pp. 185-222.
- HUNT, R.E. (1984) "Geotechnical Engineering Investigation Manual", McGraw Hill, Inc., New York, 983p.
- RIB, H.T., and LIANG, T. (1978) "Recognition and Identification, in Landslides Analysis and Control" — *National Academy of Sciences, Washington D.C., Special Report No. 176*, pp. 34-80.
- SABINS, F.F. Jr. (1978) *Remote Sensing*, W.H. Freeman, San Francisco, 426p.