

# 壹、地質圖、工程地質圖

謝 敬 義\*

## 一、前 言

所謂地質圖係將某一地區之地質資料以圖解形式加以顯現出來之圖面。一幅精良的地質圖可以讓人一看該圖即能大致瞭解該圖面範圍內的岩層分佈、地層層序、以及地質構造等特性。許多工程地質學的教科書上常列有不同名稱的地質圖，如工程地質圖、水文地質圖、以及災害地質圖等。事實上，地質圖並不應有所謂工程地質圖、水文地質圖或災害地質圖等之劃分。地質圖應該是一個相當廣泛的名稱，依據使用該圖的目的可劃分許多不同的名稱，正如地質學亦為一包羅廣泛的地球科學，其研究領域包括岩石學、礦物學、古生物學、地層學等等其他的相關部門。地質圖之所以有各種不同名稱的主要原因，其實是因依地質調查目的的重點所在及其製作精度而予以劃分者。而地質圖的精度係依據以製作地質圖之地形圖之精度以及地質調查資料收集之精細程度而定（有關地質圖之精度問題以下將再作詳細之討論）。本文所討論的地質圖為目前工程規劃與設計時經常須加以參考之地質資料。

## 二、地質圖的種類

如前言所述，依據使用的目的以及製作地質圖時所採用地圖比例尺大小及精度，地質圖大致可分為以下數種：

### 2.1 基岩地質圖

此種地質圖多為顯示第四紀以前之岩層分佈、地質構造等地質情況之基本地質圖。

\*台灣電力公司專業地質師

對於第四紀以後之地質資料除了範圍廣大或厚層沖積扇以及台地堆積層等在地形上與地質演變過程有關者，在此種地質圖中尚有顯現外，一般之表土層均未在圖內顯示。基岩地質圖多屬小比例尺之圖幅，其涵蓋範圍均甚廣大。例如：經濟部所出版的台灣省地質圖（圖一），其比例尺為1/500,000，屬於一種地質概要圖（Synoptic Map），可供廣域地質構造演變研究之參考。最常採用的基岩地質圖，其比例尺多為1/10,000至1/50,000之圖幅。例如經濟部中央地質調查所所出版的台灣地區各區域地質圖幅即屬此類。此種地質圖大多根據1/10,000至1/50,000之地形圖，經野外踏勘所得之地質資料，以地質師之專業知識，透過研判與分析後所繪製而成之地質圖。此種地質圖常因現場調查時，收集地質資料之露頭多寡以及地質師專業素養等而發生不同的地質解釋。因此，有時同一區域經不同的地質師調查結果而產生不同的地質圖，此種現象在地質學界是一種普遍而正常的現象。由於地質資料不斷的增加，地質圖的修正乃是必然的結果。我們大致可以這樣認定，同一區域內，較新版本的地質圖應該比舊版本或前人所製作的地質圖較為精確。同一區域內，大比例尺之地質圖其獲取之地質資料應該較小比例尺者更為詳細。為了顯示地質構造情況，除了基岩地質平面圖之外，常附有沿某一剖面足以顯示該區域地質構造演變之地質剖面圖。此種地質剖面圖係根據地質平面圖之解釋繪製而成者。對於隧道工程之規劃，此類地質剖面圖之用途，助益甚大。



## 2.2 露頭地質圖

露頭地質圖屬於局部性之地質詳圖。此種地質圖係將繪圖範圍內，將實際地質之出露情況，包括前述第四紀前後之岩層以及表層土壤之分佈等描繪在地形圖上。此類地質圖大多集中在特定之局部地區，例如某一水力開發計畫之壩址、進出水口、平壓塔附近，山區道路工程高坡開挖地區、輸電線鐵塔塔基、油槽、以及山坡地大型社區開發等對工程規劃、設計所需之地質調查對象。一般所謂的工程地質圖概係指此類地質圖而言。此種地質圖的比例尺均較大，大約為 $1/500$ 至 $1/2000$ 左右。由於要求的精度較高，因此常須配合其他地質調查結果所得之地質資料加以綜合分析與研判而繪製而成。此種為特定工程計畫之目的所製作之地質圖，對大地工程師在規劃設計時幫助最大。因此，Zaruba 及 Mencl (1973) 認為工程地質圖應該包括三種圖幅，一為前述之基岩地質圖，二為水文地質圖，三為記錄地質圖 (Documentation Map)。其中二三兩種地質圖即屬本節所指之露頭地質圖。所謂水文地質圖係將地表有關水文資料，如泉水位置，透水性地盤以及水系分佈、地表水流向、水樣採集地點等資料加以整理彙編而成之地質圖。而記錄地質圖係將岩盤出露情況，包括試坑、濠溝、直井等開挖面實際地質出露情況以平面展開圖形式所繪製而成之地質圖。如圖二及圖三為德基大壩壩址之平面露頭地質圖及兩岸壩座基礎開挖地質圖。另外一種所謂災害潛在區地質圖，嚴格而言，並不屬於地質圖，而應歸類於工程分區圖，為社區開發時，土地利用之一種規範標準。

## 2.3 構造等高線圖

### ( Structure Contours Map)

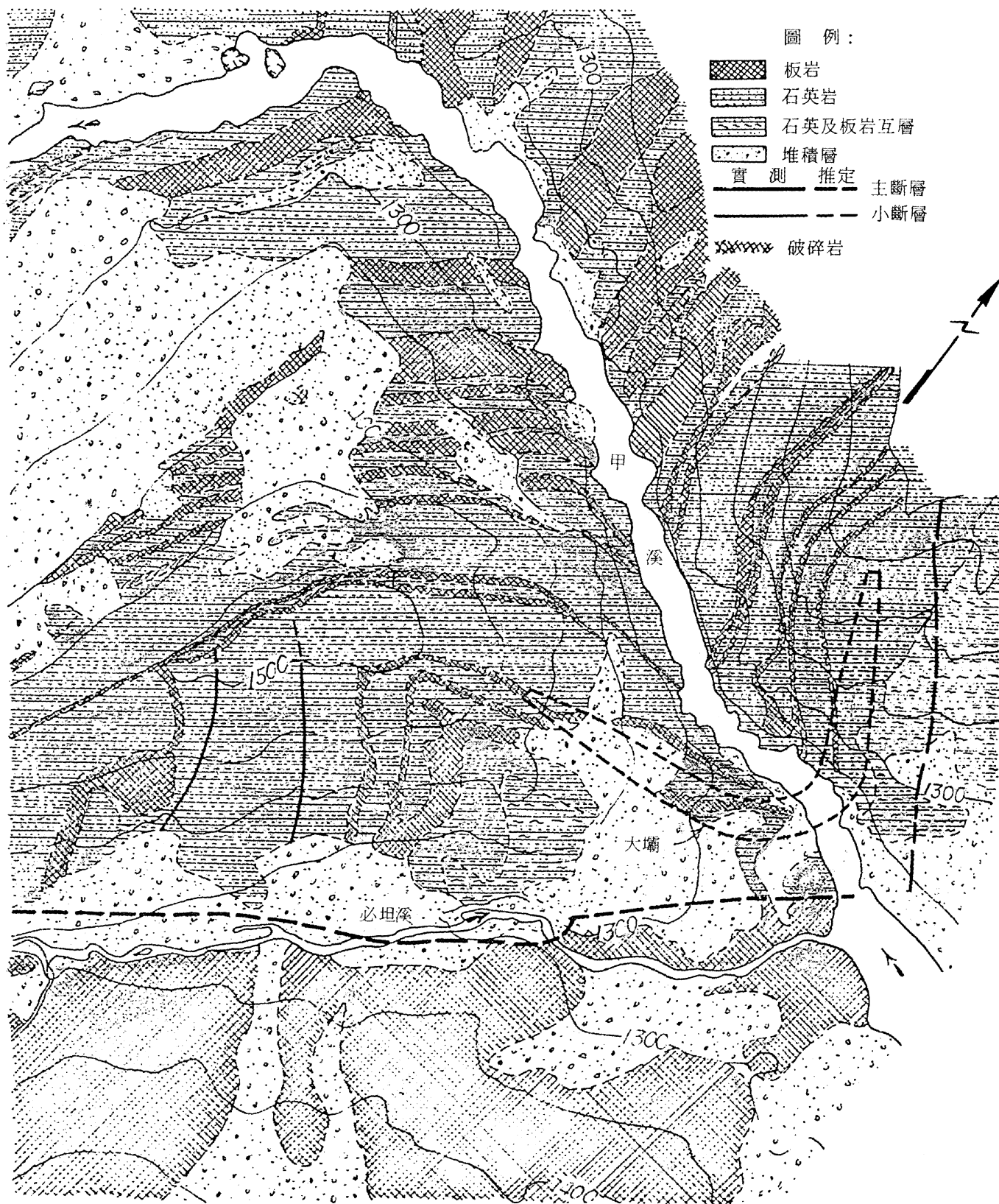
在構造地質學上，為顯示地下某一特定地層之構造形態，將該地層之層面以等高線表示其延伸分佈情況之一種地質圖。對於構造單純而無變化之地層而言，若走向傾斜沒有變化，則該地層之構造等高線呈互相平行

之直線，直線的方向即代表該地層之走向，而垂直於等高線方向之傾斜即代表該地層之傾角。由於地層在地質演變的過程當中，因褶皺及斷層作用的影響，某一地層之走向與傾斜常隨不同地點而發生變化，因此其構造等高線圖亦隨地層之變化而顯現與地形等高線一樣的曲線變化。等高線上任何一點之切線方向代表地層在該點之走向。圖四為複雜地質構造情況之構造等高線地質圖，此類地質圖對於石油地質探勘及煤礦地質之研究甚有助益。

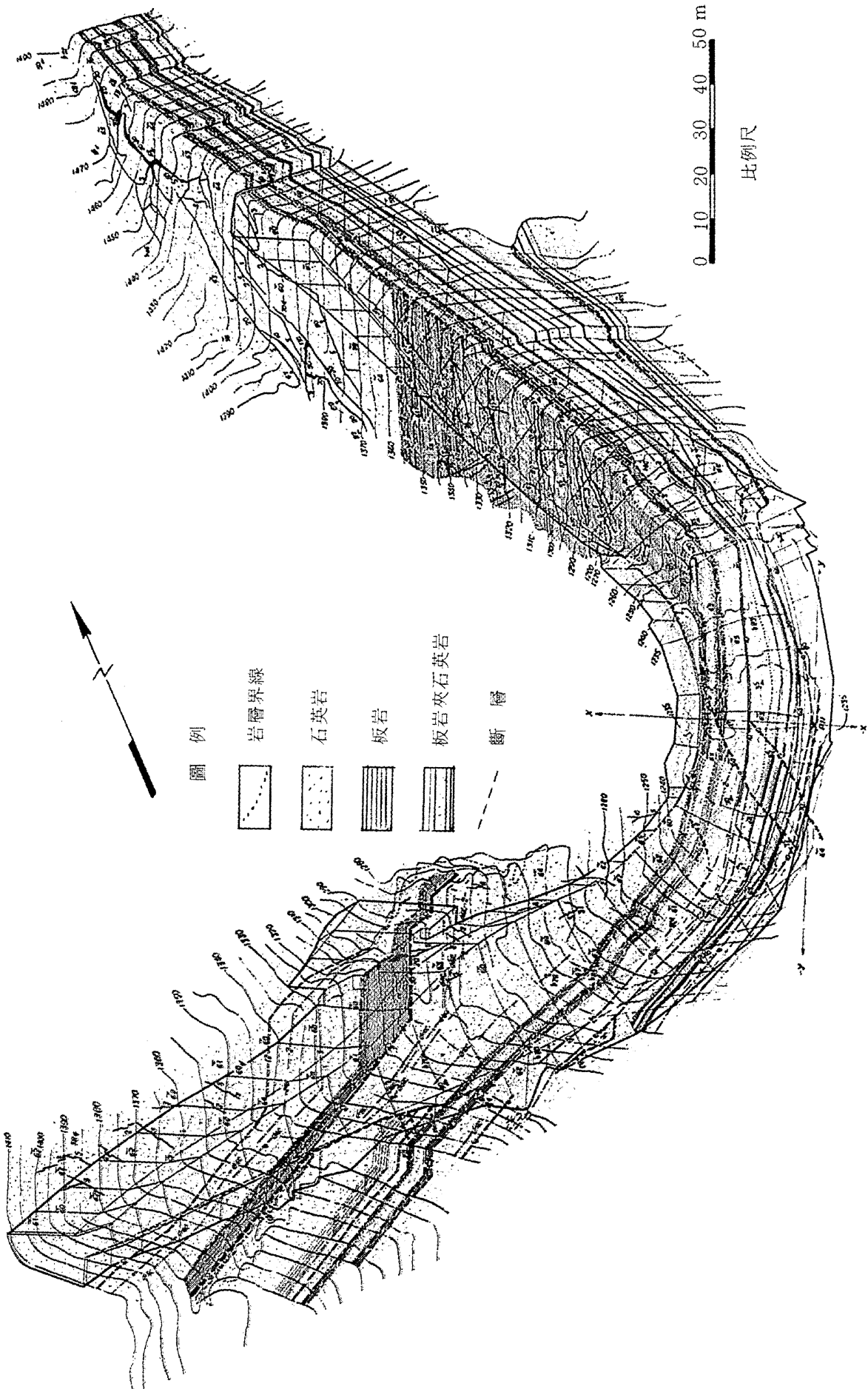
在工程地質的應用上，我們也可以利用構造等高線地質圖的特性，標示某一地區土壤覆蓋層與岩盤界面之地下分佈情況。在範圍較為廣大的深基礎以及高坡開挖工程中，由於土方與岩方開挖單價相差極大，為了精確估計土方與岩方之數量，土木工程師可以要求地質師提供覆蓋層與岩盤界面為特定構造面，製作岩盤界面之構造等高線地質圖。有了精確詳細的岩盤面構造等高線地質圖，配合地形等高線，根據設計開挖線，即可精確估算土方與岩方之數量。對於地下水之探勘，若有足夠的地下水及地質資料，亦可製作某一特定含水層之構造等高線地質圖，對於地下水之開發甚有幫助。因此構造等高線地質圖為地質資料綜合研判所得之結果，其精度之可靠性依地質資料收集之多寡以及分析研判之結果而定。

## 三、 地質圖的精度問題

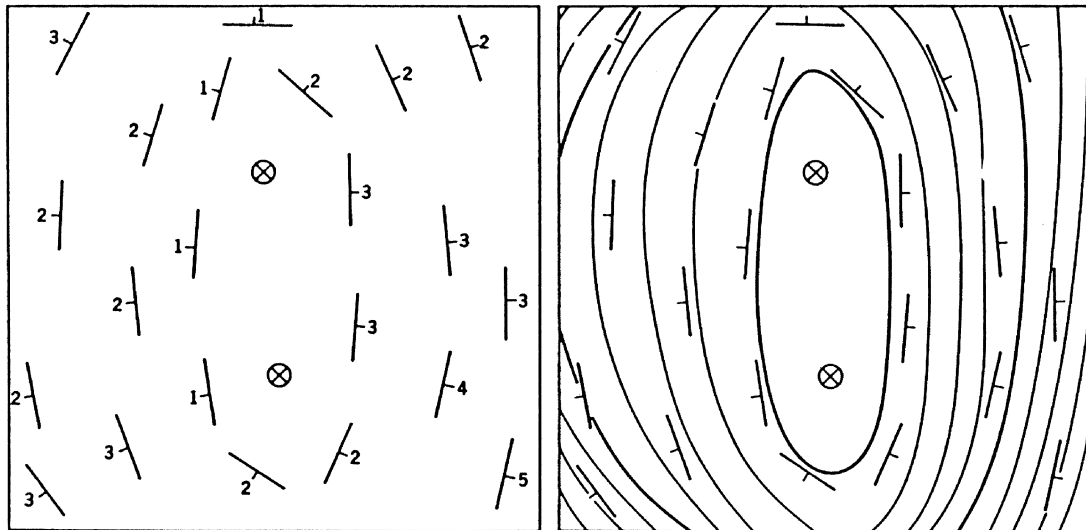
筆者在二十餘年的工作當中，常遭遇一些有關工程地質的有趣問題。往往有不少從事於土木工程同仁拿着一張經濟部所出版的台灣省地質圖 (比例尺 $1/250,000$ ) 或一些小比例尺的區域基岩地質圖 (比例尺 $1/20,000 \sim 1/50,000$ )，指著圖上的某些斷層線或某一特定的岩層問說這條斷層位於輸電線電塔的附近，會不會影響鐵塔的安全？地質圖上所顯示的頁岩層是否適於重型結構物的基礎？顯然的，能夠提出這些問題表示這些土木工程師均具有基本的工程地質知識。事實上，在 $1/250,000$ 的地質圖上



圖二 德基壩址地質平面圖



圖三 德基大壩兩岸基礎開挖地質平面圖



圖四 (a) 地層之走向傾斜

(b) 所顯示地層之等高線 (After Badgley, 1959)

，圖上 1 公厘的長度，就等於 250 公尺，預定某一結構物的位置距圖上斷層線 1 公厘就有 250 公尺之遠，更何況預定結構物的位置通常大都由大比例尺之規劃圖上描繪在小比例尺的地質圖上，在轉繪的過程當中難免可能產生誤差。因此，在使用小比例尺的地質圖時，對規劃中的任何工程均可能產生甚大的困擾。而前述另一個有關小比例尺地質圖上所顯示的岩層說明並不代表在該處即全屬該岩層。在基岩地質圖中，一般的表層土壤並未顯示在圖上，預定結構物的地點也許在現場上，其表土層可能深達 10 餘公尺。而基岩地質圖中，尤以小比例尺之圖幅，寬度較小的岩層均未顯示在地質圖上。以上問題的存在，就是地質圖的精度問題。

地質圖的精度係指製作地質圖時，地質資料收集的精密程度以及所依據地形圖的實際精度而言。筆者在實際繪製地質圖時，常要求規劃或施工單位的同仁提供某一大比例尺（例如 1 / 500）的地形圖以供現場調查之用，所獲得的地形圖確是 1 / 500，但是，是由小比例尺如 1 / 2,000 或更小比例尺的地形圖，經放大影印後而得者。並非這種經放大倍數所得的大比例尺地形圖地質師無法使用，而是將來地質資料在圖上所顯現的位置與現場的實際位置可能產生較大的誤差。因此，由 1 / 5,000 地形圖放大為 1 / 500

之地形圖，並不代表其精度為 1 / 500，若以此種放大地形圖由地質師製作大比例尺之地質圖時，常發生事倍功半的結果。茲舉一例加以說明，製作 1 / 100 的地質圖，在現場上，10 公分以上的岩層變化，圖上寬度至少 1 公厘以上，地質師均須加以記錄描繪，若為更大比例尺的地質圖，如 1 / 20，則任何約在 2 公分的地質變化，地質師都必須詳加記錄，甚至任何一不連續面的延伸位置與長度都可以詳細記載，若無精度相當的地形圖加以配合，則地質資料投繪在不良的地形圖上即屬枉然。大比例尺的地形圖與小比例尺的地形圖，在測量時，其取點及平差的過程顯然是不同的，所得地形圖的可靠性亦有差別。相反的，製作小比例尺，如 1 / 25,000 之地質圖，岩層厚度在 25 公尺以下之變化，圖上均無法顯示，因此地質師在收集資料時將較為簡略。對於地質師而言，小比例尺的地質圖製作較為簡易。過去在大陸製作小比例尺的地質圖，因為幅員遼闊，因此有個笑話說，若在大陸製作 1 / 500,000 或 1 / 1,000,000 之地質圖可騎着馬或駕吉普車帶望遠鏡進行地質調查。

由以上的說明可知，地質圖的精確度與可靠性，除了地質師收集地質資料之精密程度外，尚須有精確的地形圖加以配合，兩者缺一不可。

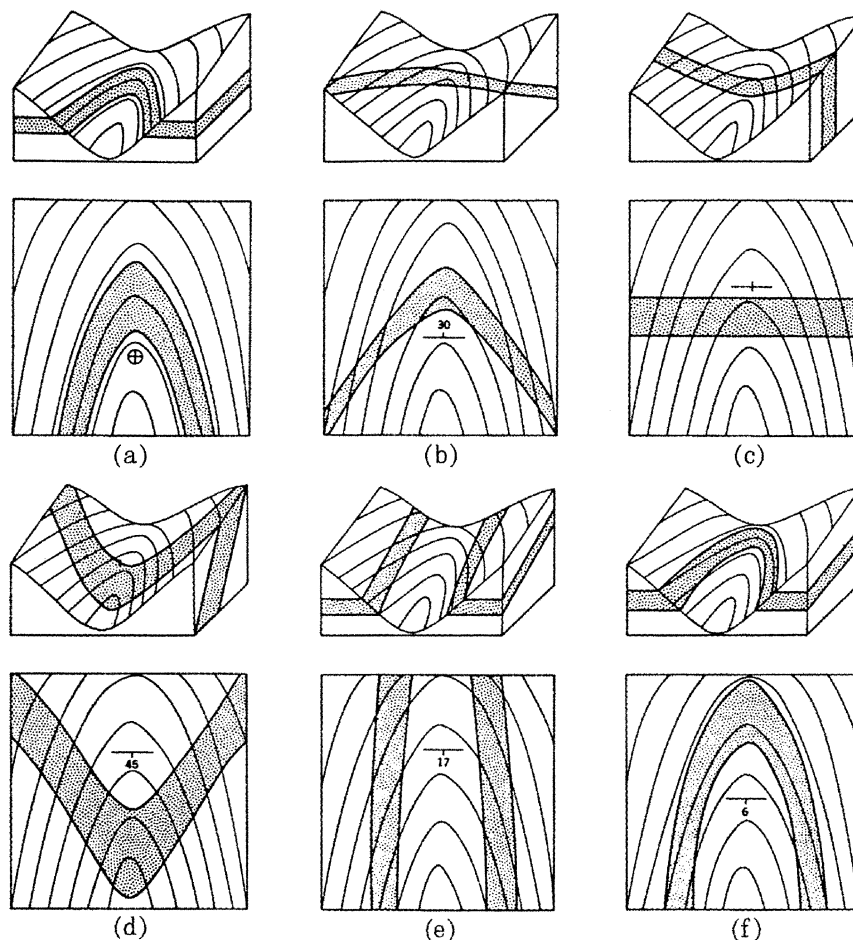


## 四、地質圖的製作

### 4.1 基岩地質圖

由於表層土壤之存在，使得基岩之露頭無法全部露出地表。因此，製作基岩地質圖時，僅能根據部份基岩露頭之地質資料，經過專業地質知識加以研判與分析後，對某一地區之地質情況作全盤性之解釋。為了顯示地層分佈及地質構造與地面起伏之關係，在製作地質圖時，地層露頭所測得之走向傾斜以及其岩性構造等資料越詳細，將來所據以繪製的地質圖可靠性愈大。一般而言，地層是一個具有某一厚度的層狀體，假如地表為一平面，則地層與地面相交之界線將呈一規則帶狀之分佈。因地殼表面之地形係由起伏不平之山谷與山嶺所組成之曲面。因此，地層與起伏不平之曲面，在地表所呈現之地層分佈即為不規則之帶狀分佈。地層與地形起伏之關係可自圖五中所示之所謂 V 字型法則

(V's Rule) 加以說明。圖五(a)係代表某一水平地層，不論在地形如何複雜之地區，該地層在地表所顯示者，均沿地形等高線出露。若為一傾斜地層，其傾向與地形坡向相反時，則與地形等高線呈一開放型倒 V 字分佈出露如圖五(b)；若為一垂直地層，則呈與地層走向平行之帶狀分佈，如圖五(c)所示；若地層傾向與地形坡向相同時，視地層傾角與地形坡向之坡角之大小，各呈 V 字型、或互相平行之帶狀分佈，以及封閉型之 V 字分佈，如圖五(d)圖五(e)及圖五(f)。此種地層與地形之關係僅在某一山谷之局部地區所顯現之分佈情況。由於實際之地形狀況甚為複雜，因此，製作地質圖時，若無詳細露頭可資測定地層之走向傾斜及其他地質資料時，在無露頭地區，僅能根據附近某一已知地層部分露頭之走向傾斜資料，以作圖法預測該地層在附近之出露情況。如圖六所示，地形圖



圖五 地層出露與地形等高線之關係——V's 法則

上右下方之 Z 點為某一地層上限在標高 1150 公尺處之露頭，其走向為東西向，向北傾斜 20 度。由簡易圖解法，即可預測此一地層與地形圖上其他等高線上出露之分佈情況。其法如圖中右側方格所示，延長 Z 點之走向方向劃一線段，並以地形圖中等高線間距離之比例長度（本例等高線之間距為 50 公尺）劃分間隔，在此橫向線段之間隔任取一點代表 Z 點之位置，在其兩測之間隔代表地形等高線之高程起伏，過 Z 點作一斜線與垂直方向呈傾角 20 度。在橫向劃分間隔所作垂線與該斜線相交之點（打“。”部份）即代表以 Z 點為準（標高 1150 公尺）向上或向下在傾向方向前進之水平距離（s）。如圖中 Z 點右側第一個交點即代表標高 1100 公尺處，自左側地形圖內 Z 點向下至標高 1100 公尺向傾向方向之水平距離。因此，由該點向左沿走向方向之直線上，凡與等高線 1100 公尺相交之點即代表地層在標高 1100 公尺之出露地點。同理，該地層在 1050 公尺處亦可獲取在 1050 公尺等高線之交點。由各點相連即為該地層上限之分佈情況。該地層之下限在標高 1150 公尺之露頭（地形圖中右上側打“x”處），假定其走向傾斜均未改變，利用相同的作圖法，即可求出該地層下限界面之延伸分佈。圖六中所顯示之陰影部份即為該地層在地表上出露情況（表層土壤不計）。此種作圖法

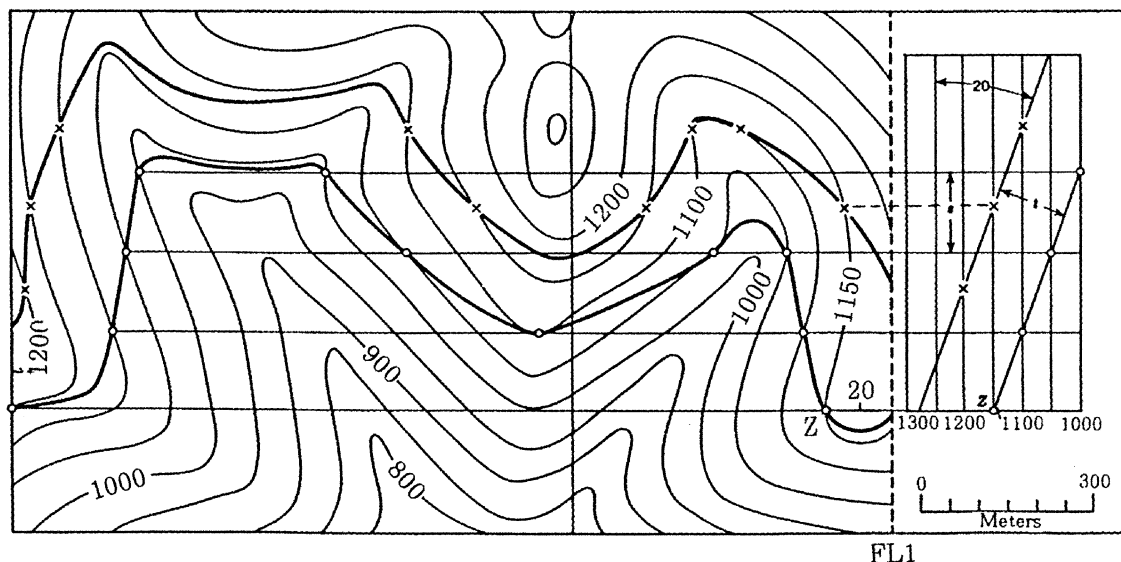
係在露頭稀少，而且地層之走向傾斜均未改變之原則下，預測地層之分佈。事實上，地層之走向傾斜可能因斷層或褶皺構造之影響而改變走向與傾斜，因此，地質師在製作地質圖時，應儘可能找出某一岩性特殊之標準層（Key Bed），利用可能之露頭，以追蹤法，再配合前述之作圖法，分析研究地層之分佈與構造。若僅利用少數之露頭資料，以作圖法所繪製而成之地質圖，可能產生相當大的誤差。

#### 4.2 露頭地質圖

露頭地質圖實際上為一種地表地質出露情況之測量圖，製作此類地質圖，有時尚須借助於經緯儀等測量儀器，與地上物之測量頗為相似。因此，此種地質圖的精度要求較高。因此，此種地質圖的可靠性與所使用的地形圖的精度息息相關。對於前述之記錄地質圖，如直井、橫坑或濠溝等開挖剖面之地質記錄，則係由三向度之立體空間，經展開後顯示在一平面上，其圖示法均有各種不同的方式。圖七為某一供作現場載重試驗之直井，開挖後之地質展開圖。

#### 4.3 構造等高線圖

構造等高線圖係根據已知之地質資料經研判分析後所得之結果。因此，製作構造等

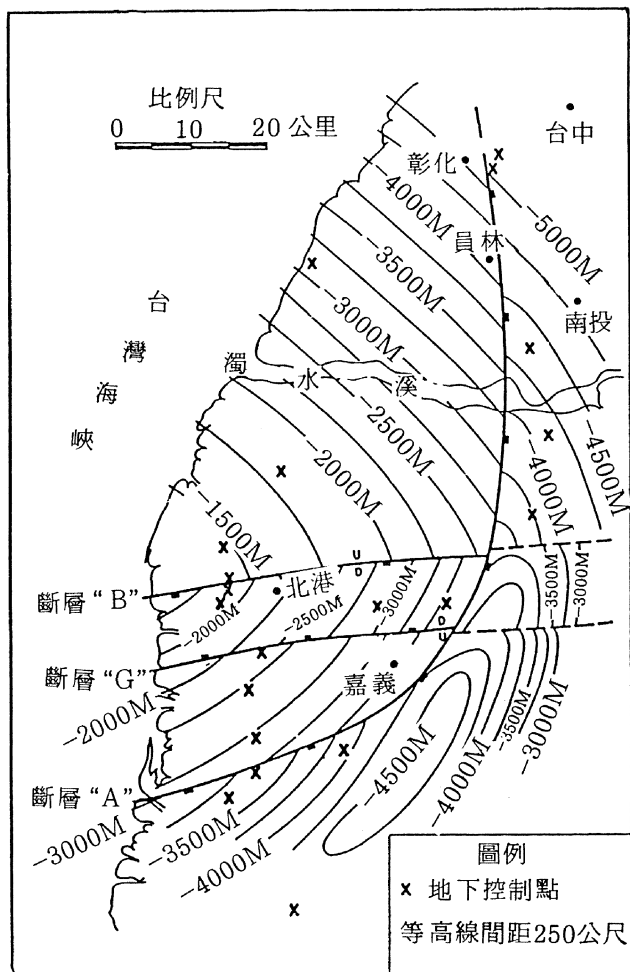


圖六 地層出露圖解法





高線圖必須先有詳細的地質資料，所得的結果其可靠性方能提高。為獲取詳細地質資料，須進行詳細的地質探查，因此地質探查計畫的擬定相當重要。在大地工程的應用上，若欲獲取某一地區地下岩盤面之構造等高線地質圖，通常多以地質鑽探的方法，在該地區以方格狀之分佈 (Grid Pattern) 鑽取岩心，研判各鑽孔之岩盤深度，由全部鑽孔岩盤面之深度資料，利用地形測量學上兩點



圖八 嘉義雲林平原前中新世基盤面之構造等高線圖 (湯振輝, 1977)

高差間之差補法 (Interpolation) 即可繪出構造等高線圖。鑽孔數愈多，所得之結果愈精確，正如地形測量時，取點愈多，地形等高線愈精確的道理相同。若在一範圍廣大地區，鑽孔數愈多，則所耗之調查費用愈高。為彌補鑽孔與鑽孔間之地質資料，可以利用折射震測法，求取地下速度層之分佈，配合鑽探地質資料，亦可獲取相當精確之構造等高線圖。圖八為石油公司在嘉義雲林地區，經鑽孔及震測所得結果，所繪出之前中新世基盤面之構造等高線地質圖。

## 五、結語

一幅良好的地質圖可以讓使用該地質圖的工程人員一目了然該圖範圍內之地質情況。進行工程規劃時，可收事半功倍之效。精確可靠之地質圖，可減少工程設計變更之可能性，並避免工程施工時發生意外災害。阻礙工程之進行。為了製作精良的地質圖，事先需有詳細的地質探查計畫，為了獲取詳細的地質資料，須進行詳細的地質探查。進行地質探查時，除了須具備可靠精確的地形圖外，尚須由地質知識豐富的專業人員擔任。如此，最後所得的地質圖方具有可靠的精確度。

## 參考文獻

- 台灣電力公司達見工程處 (1974) 德基大壩工程竣工報告第一冊，470頁。
- RAGAN, DONAL M. (1973) *Structural Geology*, John Wiley.
- ZARUBA, Quido and MENCL (1976) *Engineering Geology*, P.19-P.26.