

地形學之應用價值

劉鴻喜

地形 (Land forms) 為組成地理環境的重要一環，如對地形學缺乏基本的認識，則所有的地理考察、地質調查甚至工程設計，都將缺乏基本上的依據。討論地形學的應用價值者，稱為應用地形學 (Applied Geomorphology)，本文之討論亦可視為應用地形學概論。

壹、地形學和地理學的關係

地理學為研究人類活動和自然環境之間相互關係的科學。如欲瞭解人類如何適應及利用自然環境，必須先要瞭解自然環境本身。研究自然環境的地理學稱為自然地理學 (Physical Geography)，而地形學和氣候學則為自然地理學的兩大基石，二者如輔車相依，互有影響。例如人類最適於在平原地區活動，但廣大的乾燥平原則人煙稀少，這是氣候對地形的影響；而地形由於迎風和背風之不同，對於氣候亦有重大的影響，一山之隔，兩側氣候相差懸殊，南美洲南端安地斯山脈西側的智利南部，雨量豐富，如瓦第維亞 (Valdivia) 年雨量達二六六一公厘，菲利克斯港 (Bahia Felix) 的雨天多達三二五，成為世界上最著名的雨港，而山脈東側阿根廷南部的巴塔哥尼亞 (Patagonia) 高原，則為一片沙漠，全年雨量不足二百公厘，因之雙方的地理景觀和人類活動，均發生極大的差異。

地理學研究的主要目標之一為區域設計 (一)。當從事區域設計工作時，一區地形背景首應加以考慮，優點應該儘量發揮，缺點須設法補救，則此區前途定可呈現光明。瑞士地處阿爾卑斯深山，面積狹小，地多不毛，但竟能成為歐洲樂園，其對地形的利用至少有下列幾點：

一、宣佈為永久中立國，使瑞士成為歐洲各國富豪戰時的避難所；為保持其超然地位，迄未加入聯合國，瑞士崎嶇山地地形對於中立國地位之保持頗有裨益。

二、美化境內冰蝕湖泊，發展觀光旅遊事業，吸引各國遊客；利用冬季積雪及冰河地形，增加滑雪及穿越冰河底部遊戲，使觀光客獲得別處少有的娛樂。

三、率先電化火車，使登山旅客少受煤煙之苦，且電機車登山力強，可達較高山腰，節省旅客精力，增加遊覽興趣。

四、因境內缺乏煤及石油動力資源，乃利用高大的河流落差來開發水電以供應發展工業的動力。

地表最適於人類生活及生產的區域，應為平原及盆地，但沖積平原（如長江中下游）和冰積土平原（如美國中北部）的

性質截然不同；湖相沉積盆地（如四川盆地）也和陷落構造盆地（如準噶爾盆地）儼然有別。臺灣昔日曾為地向斜（Geosync-line），沉沒於淺海，故有石灰岩沉積及珊瑚礁堆積，一旦隆起成陸，這些石灰岩及隆起珊瑚礁俱為燒製水泥的主要原料，臺灣能發展水泥工業基本的條件在此。褶曲山地區背斜及穹窿構造加上油苗露頭，意味着一個潛在的油田區；而一個深厚的砂岩向斜層往往蘊有大量的地下水。美國洛磯山以東的達科他區砂岩層厚達三十公尺，其上又有厚達數百公尺的頁岩掩覆，因而形成一個範圍廣大的自流井區，農業特以灌溉，牲畜賴以飲用，遂使該區農牧業獲得長足的發展。單面山（Cuestas）地形利於軍事作戰；火山地區每富蘊金屬礦產，多礦質溫泉，易於形成礦業及觀光聚落。凡此皆為根據地形學原理所獲得的地理知識，堪為衡量區域價值的一助（二）。

貳、地形學在水文上的應用

（一）河流地形的水文

一般說來，沖積平原及盆地地區的地下水蘊藏量比較豐富，但實際上各區地下水的含蘊量仍大有不同。臺灣濁水溪沖積扇，嘉南平原和屏東平原三區地下水的含量以濁水溪沖積扇為最多，嘉南平原最少。濁水溪沖積扇即彰化雲林地區，自民國四十七—五〇年期內，共鑽深水井三〇二口，其中出水量最佳者為沖積扇中部，如位在西螺鎮上的二〇六號井，每分鐘出水量二二〇〇加侖，折合每日可達一二〇〇〇噸；出水量最少的為接近山麓的扇柄部分，斗六區可為代表，該區五十口水井平均每井僅為七七二G、P、M、（每分鐘加侖數），檢討斗六區實際出水量少於原計劃水量的原因，約有下列三點：

一、斗六區接近山脚，地多斷層，斷層可將地下水面截斷，使地下水格外潛入地下，不易鑽探。
二、斗六沖積層內多有大型礫石掩埋，既易漏水，復不利於施工，以致費時多，出水少，和沖積扇的中下游地區相較，頗不經濟。

三、斗六既在扇柄部分，地下水多順斜坡下流至濁水溪下游，致使斗六區所蘊的地下水量較西側下游為少。

嘉南平原的地下水蘊藏量較濁水溪區為少之原因，是因為嘉南平原上的沖積物質顆粒過於細小，粘土層特別深厚，礫石層甚薄，故蘊水能力甚差，根據探測結果，八掌溪以北地區出水量稍好，平均為一〇〇——二〇〇G、P、M、八掌溪以南出水量更差，每分鐘僅數十加侖，因之嘉南平原冬季雖極乾旱，然而地下水的開發却毫無希望（三）。

盆地地形如臺北盆地，其地下水亦甚複雜，這是因為臺北盆地在發育過程中地變頻仍，地形發育常遭中斷，故甚複雜。依照臺北盆地的發育，其上部地層的排列自地表向下應為：（1）現代河流沖積層，（2）含泥炭層，（3）松山層，（4）林口層，（5）南

港層，(6)公館凝灰岩層。此六層因地變關係，排列並不整齊，根據鑽井紀錄顯示(四)，由六張犁經公館至景美一帶，地表沖積層之下即為公館凝灰岩層，此類火成岩層孔隙小，含水性能低，礦物成份高，鐵質尤多，故不利於地下水的開發；該層本應深藏於林口層之下，為何會衝近地表？明顯表示在六張犁之下有一逆斷層，使原在下方的公館凝灰岩層上掩覆在較新地層之上；至於松山層係由粘土層及火山灰層為主，岩粒孔隙度特小，故含水性能亦劣；因此，目前臺北市區的三十三口深井所分佈的地區俱在新生南北路以西之區，亦即是俱在林口層中取水，臺北市自來水廠曾在松山區一再試鑽，均告失敗。由此可見一地的地形發育史若能研究透澈，則對於一切有關地形的設施，均可收事半功倍之效。

臺灣中部日月潭水庫係利用地形上的差異興建的巨大水利工程。日月潭原為埔里盆地羣中唯一尚未乾涸的湖水盆地，當時湖面海拔高度為七二六·五公尺，面積約五·四方公里(四)，臺電當局鑒於日月潭盆地地形勢完整，利於蓄水發電，乃在盆地東側山後武界地方築壩攔截濁水溪，並將大山鑿通，形成引水隧道，將濁水溪水引入日月潭，使潭水面提高至七五〇公尺，所蓄水量可供大觀，鉅工兩電廠發電達十二萬瓩。

(二)石灰岩地形的水文

石灰岩易被溶蝕，因之地表水最易經由石灰岩層向下滲透，石灰岩的滲透性有先天的及後天的兩種，先天的稱為原生滲透性(P_{Primary permeability})，是當岩石初成時在石灰質沉積層中所生成的交錯孔隙；後天的叫做次生或獲得滲透性(Secondary of Acquired permeability)，是由地殼變形使岩層發生裂隙及節理或受溶解作用使原生孔隙擴大而成。次生滲透性的大小和地勢起伏關係密切，愈是地勢低窪之區或谷地，所滲透的深度愈大。若石灰岩層具有高度的原生滲透性，再加上次生滲透性，在地層中可以形成許多溶蝕洞穴，則在這種石灰岩區鑿井取水，得水甚易；反之，若石灰岩層緻密厚實，原生滲透性甚小，地下水的運動全靠次生的洞穴孔隙，在此種情況下如開鑿水井，其井位必須垂直穿過地下水道始可獲得大量水源，否則將成乾井。石灰岩區的水源因富含重碳酸鈣Ca(HCO₃)₂等物質，往往不宜於飲用，但可灌溉農田，四川嘉陵江下游溫塘峽中有北溫泉，附近居民飲用泉水，初住之人，易患腹瀉，即因水中含有多量基性礦物之故。

石灰岩層因易於滲透，故不宜在石灰岩層之上建築水庫，否則將得不償失。美國印第安那州布隆明頓(Bloomington)早期的市區給水建設經過，可以說明主其事者因缺乏地形學知識所造成的困擾(五)。初期市民飲水係使用私有水井及水槽，隨後市民漸多，市政當局乃在鎮西一個喀斯特泉(Karst spring)的下方，建築水壩攔截此泉成蓄水庫，成立該市第一座自來水廠，可惜此庫下方盡屬石灰岩區，溶蝕水道甚多，致所蓄水量大部滲入地下，故自水庫建成之日，從未能將水貯滿，

壩上溢洪道形同虛設，市民常感水量短絀，最後市政當局終於接納專家建議，在城東北方河谷中另建攔水壩，該河谷因已下切至石灰岩層以下，河底現為相當不透水的泥質岩層，故宜於建壩蓄水，壩成之後，新水庫面積甚大，水量豐富，該市給水問題始告徹底解決。

在喀斯特地形區所含蘊水量的多寡視喀斯特地形循環發育的階段而有不同。當喀斯特發育的早期，其含水情況和其他地形區的情況相仿，無大差別，因此時地表逕流甫行潛入地下，水量未豐；迨喀斯特地形繼續發育，地表逕流及地面河水進入地下者日多，地下水蘊量漸豐，經由地下流出的喀斯特泉漸多，逐漸構成當地的主要水源，這些泉水的水量相當充沛，但水質未必甚佳，尤其是大雨之後，雨水經溶穴 (Solution opening) 及吞口 (Swallow hole) 由地面直接進入地下，未經地層過濾，往往水質混濁，並多污染，不宜逕行利用。

叁、地形學在工程設計上的應用

(一) 在公路建設方面

公路線的決定雖然受到政治、軍事、文化及經濟各項因素的影響，但它在建築上却和地形的關係甚為密切。由於地形的性質不同，其在建路工程上所引起的問題也有差異。大屯火山羣為圓錐形山丘，形成輻射狀水系，各溪多獨立入海，故沿山公路橋樑特多，計自淡水至三芝建橋十五座，三芝至石門十一座，石門至金山有橋十二座，金山至野柳十七座，合共達五十五座，而淡水至野柳長僅四十五公里，平均每公里竟有橋一·二座。至於崇山峻嶺，地勢起伏劇烈，公路的建築需要開闢大量的涵洞和隧道，公路在山區盤旋上下，既費工又費時。貴州高原經河流切割後，形成深澗峭谷，公路由谷底如欲攀登山頂，往往需要迂繞數十匝，我國西南公路上晴隆 (安南) 附近的二十四盤最為險阻。臺灣橫貫公路由天祥至太魯閣一段即有隧道達八十七處之多。山區公路由於：(1) 地勢陡峻，(2) 寒暑變化劇烈；(3) 山區雨雪特別豐沛等因素，極易發生山崩土滑等質量耗損 (Mass-Wasting) 現象，使公路常受阻礙，減低公路效用，增加維護費用，在山區築路欲完全避免這些困難殆不可能，但可利用地形的知識儘量減少困難。如將公路線沿山谷及沖積扇修築，路傍岩質鬆軟及地下水豐富的崖壁宜早築護壁，以防土石滑落；山路路基並宜避免建在排水不良及地基鬆軟之區，以防路基崩坍。

平原地形坦蕩，修建公路似無困難，而在事實上則不然。例如我國黃淮平原區，地勢雖然平坦，而路基却極鬆軟，土質以黃土及砂土為主，缺乏築路必備的砂礫石塊，此種泥土路面，晴時塵土飛揚，雨時泥濘不堪，行旅為之裹足。又如長江中下游平原區，河溪縱橫，港汊紛歧，公路修建所需的橋樑及涵洞特多，若更有湖泊羅布，將益增築路困難，因河流尚可築橋

，湖面廣闊，勢難橫渡，是以環繞洞庭湖千餘公里內無公路（六）。

我國西北黃土原所遭受的地形限制實兼具山地及平原雙重缺點。我國黃土原的發育屬於壯年切割高原，登原四望，平行浩博，茫茫若土海，幾忘四周即為深溝峽谷；迨入溝底，所見却是土山四障，谷深崖峭，形勢大異。公路經此區域為避免過於升降無定，常盤登於嶺路之上，所謂嶺路即為已受剝蝕的高原面，但因重要城市及村鎮多位於低下的河谷平川，公路必須經過，因之一次升降常達數百公尺，谷中常有切割臺地，公路過此，跨越不易，架橋亦有困難，自甘肅定西至紅土峯間計二十餘公里，竟有九溝十八坡之多，其不利於公路的建築，可以想見。黃土原不惟地形起伏劇烈，土質亦甚鬆軟，黃土以細砂為主，石礫缺乏，抗壓力甚弱，乾時易成塵土，濕時則成泥漿，抗戰時期的西北公路被形容為『乾天一爐香，雨天一醬缸』，由西安至蘭州的西蘭公路夙有『稀爛公路』之譏。

路底土層若排水不良，部份地下水份遭受擠壓及毛細管作用，可以經由路面接縫或裂隙處上升至路面，這種現象叫做幫浦作用（Pumping），地下水上升，路面之下將有空隙，易於引起路面破裂，故條件良好的公路底部土壤應呈粒狀構造，地下水面宜低下。今年五月二日甫行通車的北基新路，於行車二日後，路面破裂竟達十四處，即因工程人員未能預先注意此種地形缺點之故。石灰岩地區陷穴（Sink hole）密佈，一旦大雨沛降，地表逕流和由陷穴中溢出的洪水可將路面完全淹沒，使交通中斷，故在石灰岩區築路時，需將高地削平，低地填塞，始可維持經常的行車；如在石灰岩區建築橋墩，亦須特別防止橋墩四周的石灰岩被溶蝕擴大，使橋墩孤立或下沉，招致橋樑坍塌。

（二）在壩址選擇方面

地形學家布里安（K. Bryan）曾經指出，建築一座蓄水庫的壩堰，在地形及地質方面須注意下列五項（七）：

- 一、適當大小的不漏水盆地。若盆地下方漏水，則庫水不易貯滿；若盆地邊緣漏水，容易招致坍塌，形成災禍。
- 二、盆地出口宜狹窄，建壩經濟，省工省料。石門水庫建壩於大崙崙溪上的第三石門，即取其兩山夾峙，地勢逼狹，但因石門兩側山頭岩石風化已深，岩質鬆軟多隙縫，故必須灌漿加固，以防庫水滲漏，此項灌漿工程既增加建壩費用，又延緩建壩時間，為石門水庫工程的一大缺點。
- 三、水庫上游泥沙物質宜少，以免沉積過多，減短水庫壽命。普通一座蓄水庫的壽命可以使用一百年，若壽命過短，則不合經濟原則。
- 四、若所建為土石壩，附近的粘土及石礫物質應充分。水庫大壩可分二類，一為鋼筋混凝土拱形壩（Concrete arch

(156)

dam), 1 爲土石壩 (Earth-rock dam), 前者壩薄、省時、省工, 但材料價高, 建此類壩必須壩側山嶺岩層牢固堅實, 否則牽引力不足, 可致大壩坍塌; 土石壩壩基寬厚, 粘土爲心, 不漏水, 可以抵抗水庫滿水時所產生的強大壓力, 壩身無坍塌之虞, 此類壩既以土石爲主, 材料費廉, 但需土方及石方甚多, 費工費時。我國石門大壩最初設計原爲混凝土拱形壩, 後以山石鬆軟, 乃變更設計改爲土石壩, 以策安全。

五、石灰岩地區應儘量避免興建水庫, 以防庫水滲漏, 得不償失。因石灰岩本身即具有高度溶蝕特性, 建築水庫後, 靜水壓力大增, 將格外增加庫水向下滲漏的特性。

四、地形學在經濟地質上的應用

一九四八年美國地質學家麥金斯基 (H. E. McKinstry) 在其礦冶地質學 (八) 中, 對於應用地形學原理作爲探礦的工具, 曾有詳細的論述。大致言之, 利用地形學知識來尋求礦物可分三方面:

- 一、有些礦物的沉積可以直接由地形態表現出來。
- 二、一區的地形顯示出某一種地質構造, 而該種地質構造又利於某些礦物的積聚。
- 三、對於一區的地形史若能澈底瞭解, 可對當地的自然狀況獲得深刻的認識, 有助於判斷該區是否有礦藏蘊積其間。

(一) 礦體在地面的表現

一部份礦物由於它的特殊性質, 可以直接表現在地形上, 如礦物露頭。風化殘餘等都可自地表面直接觀察出來。有些礦物因爲特別堅硬耐蝕, 可以聳立成山脊。如我國的錫礦脈因抗蝕力強, 多位在南嶺山脈的山脊部份; 澳洲布洛肯山 (Broken hill) 的鉛鋅礦脈也形成一條山脊; 美國蘇必略湖頂端的巨大鐵礦, 亦和米沙比山脈 (Mesabi range) 相伴存在, 號稱鐵山脈 (Iron range)。礦脈露頭亦可表現於低窪地區, 如美國亞利桑那州奧特曼 (Oatman) 和加拿大的比福雷 (Beaverdell) 區的方解石礦脈, 均位在低窪地區。礦體易受氧化, 當氧化作用進行時, 礦壁礦床的容積都有損失, 上方因缺乏支持, 往往易致坍塌, 上方的岩石碎片紛紛下落掩蓋於礦體之上, 四周則由未曾斷裂的岩層環繞, 作爲礦體氧化崩坍的範圍, 這種情形稱爲礦化滑落 (Mineralization slump)。墨西哥的莫加達山 (Sierra Mojada) 和美國亞利桑那州的畢士比 (Bisbee) 區, 都有這種現象 (九)。魏色 (E. Wisser) 氏稱此種礦化滑落的效用爲氧化下沉 (Oxidation Subsidence)。應用這種礦體沉降

徵象作實地礦區探勘的結果，其中十九處地表有氧化下沉現象，下方亦有礦體存在；另有四處上有氧化下沉跡象，下方無礦體存在，可見根據這種跡象探礦的實用效果甚高。麥考生 (I. W. Malcolmson) 曾對墨西哥北部考胡拉州 (Coahuila) 莫加達山區的氧化下沉效用加以敘述：「有許多碎裂的石灰岩，覆蓋在碳酸鉛礦之上，這種碎裂顯然是因礦體受氧化作用而下沉，遂使石灰岩頂坍塌所致，崩裂的範圍甚大，盡是有稜角的岩石碎片。」麥氏最後一語，表示並非因石灰岩溶蝕而坍塌。因溶蝕後的石灰岩多呈渾圓，缺乏稜角。

(二) 風化殘餘和礦床尋勘

有幾種重要的礦物是現代或古代地形循環中的風化殘餘 (Weathering residues)，若欲尋勘這些礦物，必需利用地形學的知識。粘土礦、灰華礦、鋁土礦以及一些鎂鋁礦物，都是風化的殘餘物質。這些風化殘餘可以積存在近代風化面上，也可埋藏在地下的古代風化面上。當地形發育初期，這些風化殘餘物質或尚未形成，或猶未被移運集中沉積在一處，故風化殘餘的堆積多發育在地形循環的晚期。地層上的不整合面往往是古老的準平原面，或近於準平原面，其上常有殘餘礦物留存，第三紀殘存的侵蝕面上，也可發現有若干礦物殘留。鋁土的生成方式有二，一為未被溶解的礫土物質殘渣，積存在石灰岩及白雲岩中；一為由礫土物質直接風化生成。不拘它是由那一種方式形成，鋁土都是一種風化殘餘物。如美國阿肯色州的鋁土礦物沉積於始新統的風化侵蝕面上，是逕由霞石正長岩 (Nephelite Syenite) 風化所成。因此一地如有殘存的準平原面或不整合面，可能有風化殘餘礦物沉積其上。二次大戰期間，美國有一家鋁業公司急需鋁礬土煉鋁，該公司地質師根據此項推論，乃組隊至海地島探勘該島上的侵蝕面，結果在一九四三年竟在海地島上發現了鋁礬土礦 (五)。

(三) 地形學原理在沖積礦床上的應用

礦物經由流水沖積作用再集中在一起，有它一定的地形過程。沖積礦床可以生成在河谷，海灘及冰河槽等地，而在河谷中所沉積者為最常見，也最重要。我國長江上游的幹支流上均有砂金，臺灣金銅礦脈未被發現前，首先在基隆河中發現沖積的砂金，其後人們順着基隆河向上游探索，結果發現了山金。砂金在河床中蘊藏最豐富的地方常在河床中高低起伏甚大之區，因河水在該處受阻，易致沉積之故。因此河床中的壺穴 (Pot holes)，每為蘊藏金砂的處所。著名的南非金銅鑽主產於瓦爾 (Vaal) 及橘河 (Orange R.) 流域，也是河流沖積礦床；美國加州和阿拉斯加的海灘礦床 (Beach placer) 中，蘊有大量砂金；臺灣北部金山沿海沙灘上則可淘洗磁鐵礦 (Fe_3O_4) 可供冶鐵，刻正由國軍退除役官兵淘洗開發；印度錫蘭

(158)

海灘上可採鉛石 (Zircon)，鉛石俗稱錫蘭鑽，可製耳環、戒指，其價值僅次於藍寶石 (Sapphire)。這些海灘礦床的礦脈或在沿海山區經由河流冲刷搬運而帶至海灘；或由海底波浪携捲至海灘沉積而成。

參考文獻

- (一) 劉鴻喜：自然地理學第一章（商務印書館發行。）
- (二) 劉鴻喜：地形學原理第十二章（師大講義）
- (三) 劉鴻喜：臺灣地下水之研究（臺灣銀行季刊十四卷三期）
- (四) 林朝榮：臺灣地形（臺灣省文獻委員會出版）
- (五) W. D. Thornbury：Principles of Geomorphology, pp.553-556, John Wiley & Sons, Inc. N. Y.
- (六) 林文英：中國公路地質概論（地質論評三卷五期）
- (七) Kirk Bryan：Geology of reservoir and dam sites, U. S. Geological Survey Water Supply Paper 597, pp.1-33
- (八) H. E. McKinstrey：Mining Geology, Prentice-Hall Book Co. N. Y. pp.219-232
- (九) E. Wisser：Oxidation Subsidence at Bisbee, Econ. Geology 22, pp.761-790