

# 水利工程地質的基本知識 (續)

姜 達 權

## 三、壩址及水庫工程地質問題

### (一) 地形地貌及物理地質現象與水利工程

#### 1. 地形、地貌與水利工程

地形就是地球表面的高低起伏的形態或形狀。地形的生成與發展有着外在的因素，如氣候變化等所引起的風化侵蝕等。而主要的還是受着內在的因素如岩石的性質與地質構造的控制。一

種地形的產生與發展受着岩石的性質、地質構造及氣候等內在與外在條件的影響，有着一定的法則。研究地形的發生和發展的法則的科學就叫做地貌學。

例如砂岩與頁岩互層，砂岩抵抗侵蝕之能力較頁岩為強，所以在傾角平緩的向斜或背斜層軸部常造成方山地形。在傾斜較小的地方則造成一面坡緩一面坡陡的單面山地形。在傾角較大的地

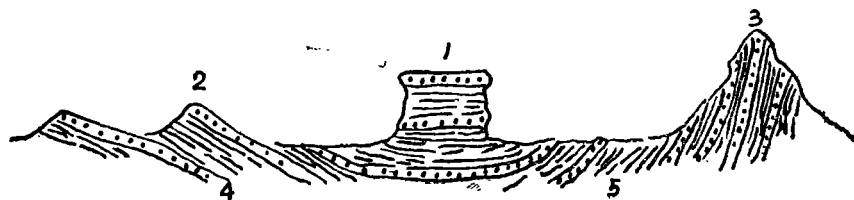


圖 2 1.方山地形；2.單面山地形；3.豬脊山地形；4.砂岩；5.頁岩

方則造成中間聳立的豬脊山地形（圖2）。

地形地貌是決定一個壩的工程數量、壩形和施工難易的主要因素之一。爲了瞭解構成現代物理地質現象，以及河谷的生成歷史，在工程地質勘察過程中，應特別注意地貌的勘察工作，在河谷內，這一勘察工作包括說明河上台地的高度、寬度、表面形態，台地特性（如陡峭、平緩、穩固、滑動等），台地的組成及含水性、邊坡的穩固性如山崩岩錐等。

山谷河流區域，應確定河谷的生成型式，是構造的還是侵蝕的河流。在喀斯特地形區域應研究喀斯特的形態、性質、和範圍、地下水循環的路綫等。

例如官廳水庫已經放棄的第一號壩址。右岸在地形上是山丘連綿，壩長較短，但是經過研究，知道這個右岸山丘的下面是一個埋藏谷①，壩軸因之要延長。

岸壁陡的河谷並不一定是剖面面積最小的

河谷。在施工佈置上也是比較困難的。如以黃河某區域的幾個計劃壩址加以比較即很明顯，有一個計劃壩址兩岸壁立，交通路綫無法直達工地，另一個計劃壩址兩岸坡度較緩，施工公路可以直達工地，在剖面面積方面，壩高同爲海拔相等，但一個壩址的剖面面積爲與另一個壩址的剖面面積是不相同的。

#### 2. 根據河流的發育歷史選擇壩址

河流的發育主要的受着岩石性質與地質構造的控制。河流切過堅硬的岩石多成峽谷，流過鬆軟岩層則形成兩岸坡度較緩V形河谷。

河流在幼年時期下切力量較向兩岸旁蝕的力量大，河谷多成V形。發展至壯年期則逐漸向兩岸侵蝕，產生蛇曲現象，河谷加寬，兩岸坡度變緩，谷底斷平，到老年期則旁蝕力量大於下切力

①姜達權等：永定河官廳水庫工程計劃壩址工程地質勘察報告 1951年3月

量，淤積大於侵蝕，河道時常改變，兩岸多為沖積台地，若干丘陵散佈於廣大的沖積平原之上。河谷的形狀逐漸加寬可以下圖表示之（圖3）。

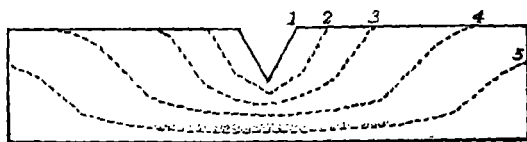


圖3 表示河牀隨河流的發育逐漸加寬的情況

一條河流可根據其發育情況及各段所具有河谷性質分成若干工程地質區，如在大的區分方面長江可分為上游峽谷區、中游盆地、三峽區及下游平原區等四大區，其中在水力開發方面以在第一及三大區選擇築壩地點較為有利。

幼年期河流坡陡流急，水頭大而控制流域面積小。建築水庫則利於發電而防洪效益不大。河床狹窄，適宜於建築混凝土壩。掩蓋層少，建築土壩則多或感土料不足。

壯年期河谷稍寬，比降較緩，因蛇曲旁蝕作用，常在地形上造成山間盆地，形成建造水庫蓄水的有利條件，水頭不如幼年期河谷，但控制流域面積增大，流量增多，故建築水庫在發電、防洪、灌溉、航運各方面效益均佳。可以建築混凝土壩，又因沖積台地增多，掩蓋層加厚，亦有數量足夠的土料可供建築土壩之用，到壯年晚期接近老年期河谷則常在平原邊緣存在着一些綿延起伏的丘陵，腹地寬廣，控制流域面積大。發電量小。河谷寬闊，建造混凝土壩極不經濟。沖積平原上有大量的土料，可就地取材建造土壩，水庫周邊因遭受長期的侵蝕，地形上常有缺口，壩高亦受限制。

### 3. 喀斯特地形與水利工程

喀斯特地形原係指存在於石灰岩區域具有石林、溶洞、溶斗、天橋、暗河等特徵的地形而言。實際上在鈣質膠結的砂頁岩區域或黃土區域亦具有同樣的地形特徵，鈣質膠結砂頁岩所造成的喀斯特地形以福建赤石等地最為典型<sup>①</sup>。

我們對於生存在這幾種不同的岩層區域中的喀斯特地形的發展應有不同的看法，石灰岩區域的喀斯特地形的發展速度在地質時代上是快的，但是以人的生命歷史來計算就是慢的，鈣質膠結

的砂頁岩中的喀斯特地形的發展較石灰岩區域快，而在黃土區域則更快。黃土區域中的一個溶斗，在一場豪雨之後可以擴大幾倍。喀斯特地形對水利工程建設的不利程度是與它們的發展的快慢有很大的關係的，石灰岩喀斯特地區，工程地質勘察必須瞭解全部的溶洞分佈和性質，以便進行處理。喀斯特地形的發育是由於碳酸鈣類岩層經水的作用溶解而成，如果把所有已經存在的溶洞都找到了，堵塞了，築壩以後也少與水接觸，自然不會再發展下去了。

### 4. 山崩

山崩是嚴重影響水利工程建設的物理地質現象之一。大規模的山崩可以堵塞河流；如1933年8月25日四川疊溪地震，山崩堆積物阻塞岷江河谷，造成臨時的天然水庫<sup>②</sup>。如山崩發生於水工建築物附近，將使建築物遭受破壞。

根據山崩的發展情況，山崩可以分成三種<sup>③</sup>：

正在發展的

穩定的

已停止發展的

正在發展的山崩，崩落的堆積物上無草無樹，大堆石塊裸露堆積於地面，說明山崩發生不久，並且將繼續崩落。穩定的山崩是指不久以前曾發生過山崩，目前已暫時穩定，沒有繼續發展。這種山崩的堆積物上生有小的灌木和草。穩定的山崩是指已往發生的山崩，但是已經很久沒有繼續發展。這種山崩的堆積物上長滿了樹木和草。這些種山崩最值得注意的正在發展中的山崩。

## （二）岩石性質與水利工程

### 1. 花崗岩及其他侵入岩與水利工程

花崗岩及正長岩，閃長岩等侵入岩，都是較好的基礎岩石。承壓力平均為1000—2300公斤/平方公分。工程地質勘察中所應注意的問題是風化帶的深度、斷層、節理、擠壓帶及變換帶等。

①陳愷：福建板頭系及其上下岩層，福建省土壤地質調查所專報第一號。

丘捷、楊錫光，福建邵武縣地質礦產。福建省土壤地質調查所。

②常隆慶：四川疊溪地震調查記。地質記評，第三卷，第三期，1958年，第二六七頁

③瓦庫連克：工程地質學講義，中央鐵道部地質訓練班，1953年3月，第十三頁。

花崗岩及其他侵入岩顆粒粗、含長石、雲母等礦物較多者易於風化。

花崗岩及其他侵入岩中常有斷層及節理，使得岩石被切割成各種塊狀。這些裂縫都是可以用灌漿的辦法來處理的。

## 2. 玄武岩及其他噴出岩與水利工程

噴出岩大部成不甚規則的層狀，具孔隙。玄武岩則往往有柱狀節理承壓力平均為1000—3500公斤/平方公分，這些岩層中的孔隙和節理均可以灌漿處理，但是如果水庫係以玄武岩為底時，則不易處理，而使水庫失去效用。例如美國依太阿吉羅米水庫，水庫底為火山灰，其下部為碎裂的玄武岩，水庫充水後浸過火山灰造成一漏斗，直達玄武岩，終至水庫乾涸。

## 3. 片麻岩、板岩及其他變質岩與水利工程

變質岩均具片理或劈理且易坍塌，這些片理或劈理的方向是值得注意的。台灣霧社水壩的輸水隧道原係沿板岩劈理開鑿，隨鑿隨塌，必須改變方向斜切劈理開鑿。變質岩沿片理或劈理的承壓力與垂直片理劈理的承壓力不等。沿劈理是滲漏的通路，但是並不是不可以處理的。風化帶的深度是變質岩區域內一個很值得注意的工程地質問題。山東洮河引河工程中，變質岩的風化帶深達20公尺以上。

## 4. 石灰岩及易溶岩石與水利工程

屬於這一類的岩層有石灰岩、大理岩、白雲岩、石膏及岩鹽。正如前面喀斯特地形部分已經談到的，工程地質勘察對於這些岩層的看待是不相同的。而其中最值得注意的是最易溶解的石膏與岩鹽。是水利工程上應該避免的。

石灰岩平均承壓力為500—1500公斤/平方公分。石灰岩除溶洞及漏水問題須加注意外；另一應予注意的即滑動問題。石灰岩常夾有頁岩薄層。此種頁岩薄層易因泥漿化而發生滑動，美國田納西的納斯維爾水庫，即在1920年因薄層石灰岩中夾有頁岩薄層而發生滑動以致塌毀。

## 5. 砂岩與礫岩與水利工程

砂岩與礫岩的堅實度視其膠結物的性質而不同。鈣質膠結者較泥質膠結者好。承壓力平均為

100—1500公斤/平方公分。膠結不良的砂岩礫岩易於瓦解。砂岩中常易存在節理，亦常與頁岩交互成層，強度之不均一及漏水是應該注意的問題。有些砂岩礫岩中含有一定量的水溶鹽類，水溶鹽類含量的多寡不但影響到漏水與基礎強度，並且對於水庫淤積亦有害無利。

## 6. 頁岩與水利工程

頁岩區域所應注意的問題是承壓力與滑動，沉陷及基礎處理。頁岩浸水後易於泥漿化而產生滑動，施工期間因頁岩浸水而在表面產生一層泥漿薄膜，使得混凝土不易與基礎岩石結合。頁岩中亦常含一定量的水溶鹽類。

## (三) 地質構造與水利工程

### 1. 斷層、節理與水利工程

岩層多具裂縫。沿這些裂縫如無錯動謂之節理。斷層是指有錯動的裂縫而言。造成節理的原因很多，主要的是因熱力，化學或機械的影響而產生的張力，擠壓力或凝聚力作用而造成。斷層是在斷層面的兩邊顯示地層的位移。一個斷層可以成為狹窄的斷層線，或者可以包含很多破碎岩石成寬數百公尺的斷層帶。斷層帶中的破碎岩石有的膠結良好成為堅實的角礫岩，有的未曾膠結仍呈疏鬆狀態。斷層對於水利工程的影響的嚴重性不在於位移的大小，而在於斷層的寬窄與斷層帶中破碎岩石的膠結是否堅實。

斷寬或節理是地殼的弱綫，如果膠結不良，可以沿之發生滲漏。如果發生地震，可能沿之再發生錯動以致破壞建築物。因此，工程地質勘察須徹底瞭解斷層的性質和地震情況。

關於節理所須注意的問題是滲漏情況，不過大部分的節理都是可以灌漿處理的。

### 2. 褶皺與水利工程

背斜層如走向橫切河床則壩址位於背斜軸的上游翼較下游翼好(圖4)，如為向斜層則壩址位於向斜軸的下游翼較上游翼好(圖5)以避免壩址基礎岩層因向下游傾斜而沿層面發生可能的滲漏與滑動。若壩址位於背斜層軸部則軸部的碎裂情況是需要研究的主要問題。因背斜層軸常存在一些張開節理與斷層。

## (四) 水文地質與水利工程

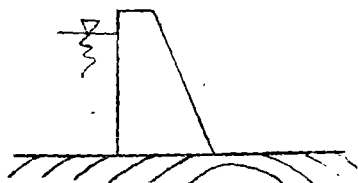


圖 4

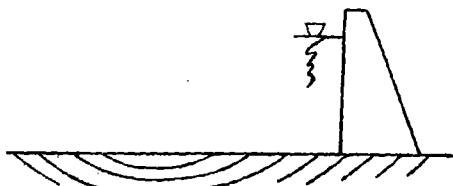


圖 5

研究一個水利工程區域的水文地質時，須注意下列主要問題：

1. 地下水的產狀與化學成分；
2. 地下水的運動情況；
3. 地下水位季節性的變化；
4. 地下水位提高後對工礦、農業的影響。

築壩以後，水庫充水，水庫之蓄水向下滲透而與地下水匯合，常使地下水之落差有所改變（圖 6）。如水庫蓄水面低於地下水的分水嶺，水庫中的蓄水不但不致滲漏，地下水亦將流入水庫中。在老的地下水面與新的地下水面之間造成地

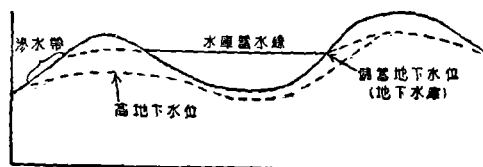


圖 6

下水庫。新產生的地下水庫的容積與水庫水位的高低和原地下水位的落差及水庫水位的變更及地下水的流速有關，並非僅僅與地層的孔隙有關。

如水庫水位高於地下水之分水嶺，含水層將成為地下溢水道，在水庫邊緣分水嶺之外即可發現滲漏。滲漏量視岩石性質而異；組織細緻的岩石滲漏不致太大，若岩層有大的孔隙或洞穴，滲漏量就很大，因滲漏的關係，地下水的分水嶺亦將隨之降低。

水庫區域中如有泉水，表示地下水流向水庫盆地。如泉水甚大，必須注意其流出的壓力，因為水庫充水之後地下水的流向常改向相反的方向。

水庫周邊之滲漏與岩層性質有密切關係。經過玄武岩或其他不溶解的岩石時，地下水流量常保持一定或稍增大，通過易溶岩層如岩鹽、石膏及石灰岩等，因岩層的被溶解，或洞穴中沉積物的被搬運他去，滲漏將逐漸增大。如果所通過的為卵石、礫石，將因細顆粒物質的先被搬運他去而增大滲漏，甚至可能因此而發生塌方（續完）。

（上接第22頁）

生的。這裏沒有有孔蟲遺體，也沒有有機質的遺跡，海綠石的生成，可能和生物沒有什麼聯繫。

### 8. 經濟上的意義

海綠石的經濟意義，主要是含有鉀質。鉀的用處很多，如作肥料、染色、用製肥皂、玻璃、瓷器、火柴、照像及化學、醫學藥品等，同時也是重要的國防物資，可以作炸藥。而鉀的來源却是不多，主要的來自岩鹽和鹽丘中。缺少鉀質的國家甚至燒木成灰來取鉀質。

蘆縣的海綠石中含鉀質多少沒有經過分析就不得而知了。量是很少的，不够成礦。但是它的意義是有的，就是根據這樣一個線索，可以去找海綠石層厚而量多的地方。因為蘆縣有，別的地

方同樣層位也應該有。

另外的意義就是海綠石層中含有磷質，溶於硝酸，加上鉬酸銨有黃色沉澱。這就告訴我們震旦紀地層中，也有磷礦。根據磷礦富集的規律，在震旦紀中去找，也許會找到豐富的磷礦。

### 9. 結束語

從震旦紀海綠石的發現，使我們知道震旦紀的海也還是鹹水。共生的石英圓粒指示出風成沉積有可能在震旦紀地層中找到。同時也知道震旦紀地層中，有含鉀和磷的可能。而海綠石本身的生成和有機物沒有什麼關係，也得到一個新的佐證。這個推測是否正確，將來會有事實來證明的。提出的動機只不過供普查的同志們參考，免得失之交臂。