

501-1 工程坝基的泥化板岩夹层问题

吕 濂

501 电站坝基的泥化板岩夹层问题是这里工程地质勘探工作中的一大漏洞和教训。从问题的经过和造成的后果来说都是这里的地质和水工设计人员必须吸取的严重教训，因此在水电系统内几乎是各单位都知道的一件事了，当然自然界不会给我们许多有百利而无一害水工基地，而问题是在于我们如何细心的探明和正视这些不利的因素，以便用科学的方法来创造有利的条件使建筑物获得稳固的基础，总的来说在施工以前必须要搞清基础的一切情况。现在来谈谈在我們的工程地质工作中所造成泥化板岩问题的具体经过，并介绍一下在采取试件和作剪力试验的教训。

一、水坝基地质条件

这个电站的水坝是大孔口式的高水头（坝高60公尺）的钢筋混凝土重力坝，对地质条件的要求是比较严格的。水力枢纽的基础岩层为古生代中下泥盆纪的地层，层位斜向上游倾斜，倾角 25° — 30° ，与坝体成垂直方向（正向上游倾斜）的假倾角为 14° ，岩性坚硬，组织致密其平均抗压强度在1000 公斤/公分²以上，具微裂隙性，局部有裂隙承压水出现，在构造上比较简单，惟在此坚硬的岩层中夹有一连续成层分布的泥化板岩夹层，造成工程地质条件上的大弱点以致造成501电站的泥化板岩问题，兹将该区岩层由上而下简介如下。

第一层，泥盆纪的紫色砂岩与紫色板岩互层，可钻性为6级（以12级分类的标准计），平均抗压强度700公斤/公分²左右，因在坝区内分布高程很高，不是水坝的主要地基岩石。

第二层，泥盆纪的糜状石英砂岩（稍有变质，内有部分石英结晶，可称石英岩），可钻性为8级，平均抗压强度1900公斤/公分²左右，岩层厚度20公尺以上，为水坝的主要地基岩层。

第三层，泥盆纪的石英砂岩，可钻性为9级，平均抗压强度1800公斤/公分²左右，岩层厚度10公尺左右，亦为水坝的主要地基岩层。

第四层，接触变质的泥盆纪砂岩与板岩，可钻性为6级，平均抗压强度为900公斤/公分²左右，岩层厚度10公尺左右，不与坝体直接接触，这层岩层以下为

中生代白垩纪的花岗岩基。

栏河坝系建造在泥盆纪的岩石地基上，除右岸坝头有一小部分地基为紫色砂岩与紫色板岩互层的岩层外，其余均为糜状石英砂岩和石英砂岩两种岩层，且绝大多数为糜状石英砂岩，这种岩层的特性是在部分层面间夹有薄层呈尖灭现象（凸镜体状）的灰绿色板岩，一般厚度5—10公分，且有不足1公分者。在近地表者表面多有微泥化现象，另外尚有一层连续成层的灰绿色板岩夹层，其厚为30—80公分因地下水沿层面长期剧烈活动的结果使其上部有10公分左右已泥化成灰白和黄红色的粘土（即泥化板岩夹层），紧接泥化者有数公分为半泥化和严重风化碎块，下部尚完整。

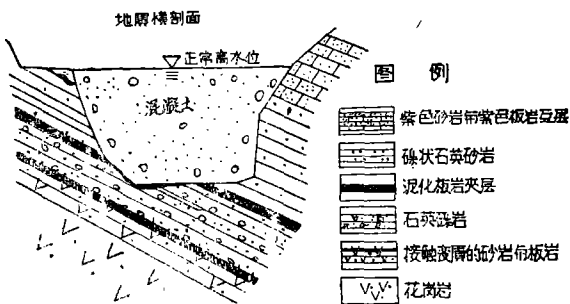


图 1. 地质剖面图

这层泥化板岩夹层在基坑的右岸部分因低于设计开挖线高程未挖去。水坝地基的地层及泥化板岩分布情况见图1'和2。

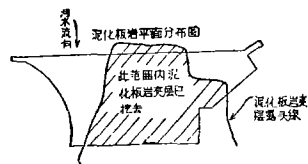


图 2. 泥化板岩平面分布图

二、造成泥化板岩问题的具体经过

泥化板岩夹层第一次的发现是早在1954年7月份初步设计阶段时期，当时是从一个钻孔内取出了不完整的泥化物质岩心，同年的10月在另一个钻孔内又一次的发现，并曾作图研究过一次，到1955年元月又在同一个钻孔内第三次的发现，这时就根据以上三孔的资料作过一个剖面图结果证实该三孔的泥化板岩夹层为同一层，但由于泥化物质的岩心取得不够完整地质

人員誤認為嚴重風化的板岩夾層，到同年2月向水电总局黃育賢总工程师彙報这个情况时他指出这是泥化板岩夾層，地質人員从此才改称为泥化板岩夾層，在同年的三月又为了証实這個問題曾选用以上三孔作群孔压水試驗，其方法是其中一孔为主孔進行压水，其余二孔同时观测变化，在試驗时当主孔压力增至五个大气压力时其余二孔承压水由无色变到土黄和紅色，且湧水量也有顯著增大，就在同月地質同志向專家彙報时提到以上三孔的泥化板岩夾層为同一層，但未能作为一个嚴重的問題提出，專家在布置勘探工作的建議时指出应对坝基範圍內，基坑高程以下的每一層不同岩層都要進行試驗，研究它的物理技術特性，并指出河里要有一孔用于鑽，意思是要獲得軟弱岩層的完整岩心。在技術設計階段时，河里选用了一孔用于鑽進行，在孔深达到相当于泥化板岩高程时，因承压水出現，观测迴水为土紅色（未取出泥化物質岩心），与过鑽孔的泥化板岩迴水相似，但因該区岩石的節理面上均粘附有紅色的氧化鉄質，迴水亦呈这种顏色，故誤認為是節理內氧化鉄質的迴水，并在另一孔內也同样的誤認了。后来又在另一个孔內相当于泥化板岩高程处取出了泥化物質与碎塊砂岩和板岩混合的物質，但因此孔正穿过一斷層，因此又誤認為斷層角礫岩。后来又在一个鑽孔內因套管脚未封死，未接到鑽探迴水，没有观测到任何現象。到編制技術設計地質剖面圖时，水文地質同志們为了划分地下水的層次（不是証論泥化板岩夾層的危害性）就把这層泥化板岩和其他几層真正呈尖滅現象的板岩夾層分別作为連續成層看待，以作为承压水的頂板和底板隔水岩層。作工程地質的同志們在研究這個問題时，則从地表大片露头看所有板岩夾層均呈尖滅現象（泥化板岩夾層地表无露头），再由鑽孔資料来分析，各孔的板岩夾層按岩層傾角均不能連为完整夾層（这是因为各孔高程測量的精度不高和岩層傾角稍有变化之故），因此在技術設計的工程地質剖面圖上就把各板岩夾層以尖滅現象來表示，这就是在勘探过程中对泥化板岩夾層所發現而被忽視了的一系列現象。在1955年3月基坑开挖时首先在左岸發現了泥化板岩夾層，其厚度为50—80公分，上部10公分左右已泥化成粘土，当时作施工地質的同志認為这是技術設計的工程地質剖面圖上未表示的現象，且从板岩的厚度來推断不可能在一个小的範圍內即尖滅，但对其危害性又認識不足不敢作出結論，为了慎重起見就請总局住工地的总工程师，設計总工程师，地質工程师以及施工方面的有关負責工程師到現場察看研究，結果大家認為岩層傾向上游且泥化板岩夾層上部有近10公尺的砂岩，問題不大，若

要挖掉不但工程量大，且影响施工進度，故同意留在地基下面，不久北京設計院（該电站的設計机关）要去了一批泥化板岩标本作物理力学性質試驗，并且該院的主要負責地質工程师也到工地來親眼看过这泥化板岩，到1956年3月全部基坑开挖結束，由开挖的过程中証实了这層泥化板岩夾層在基坑範圍內是連續成層分布的，且在靠右岸有一部分地基的泥化板岩夾層因高程低于設計开挖綫1—13公尺左右而未挖去，这时为了对泥化板岩作出最后的結論，作施工地質的同志又請住工地的設計代表組負責工程師，地質工程师及施工的有关負責工程師到現場進行研究，当时地質人員僅建議設計工程师最好挖去，但无泥化板岩的物理力学性質試驗数据提供研究，設計工程师仍然認為岩層傾向上游問題不大，而施工工程师主要是考慮施工進度，最后設計工程师同意把这層泥化板岩夾層留在坝基，工地作施工地質的同志当时就把这个決定報到北京設計院也未見答复，約經一个月后基坑的泥化板岩夾層才全被混凝土澆蓋，这个电站坝基的泥化板岩夾層就在上述情况下被忽視的而造成了“501电站的泥化板岩問題”。

三、泥化板岩嚴重性的發現和發現后的三个階段

泥化板岩夾層对水坝的嚴重危害性在于它是一个危險的滑动面且摩擦系数很小，其最可能的滑动面为：

- A. 砂岩和泥化板岩夾層的接觸面；
- B. 泥化板岩夾層的本身；
- C. 嚴重風化板岩和半風化或新鮮板岩的接觸面。

在設計水坝时進行坝体穩定性計算所采用的基岩摩擦系数 $\text{tg}\varphi=0.4$ ，而北京設計院1955年12月向工地要去的泥化板岩夾層試件标本所得出的摩擦系数 $\text{tg}\varphi=0.19$ ，据了解这个数据是1956年4月送到北京設計院501—1水工組的，但他們并未能提及过這個問題，直到同年7月工地地質人員到北京知道后向專家彙報了才發現这是一个嚴重問題，但这时坝已筑成数十公尺高了，随之北京設計院及其他直接有关單位的人員就叫喊起泥化板岩夾層的問題嚴重，这就是501泥化板岩夾層問題的開始。這個問題顯然是嚴重的，但在这發現的初期口喊嚴重的人頗多，而積極想出措施来解决这嚴重問題的人却是極少，并有部分人本來早就知道這個問題而硬說根本不知道此事，另外还有一种人是生硬的否定基坑开挖时的地質記錄，說是坝基內板岩未泥化，这就是發現后的第一个階段。

第二个階段是采取泥化板岩試件做物理力学性質試

驗的階段，在基坑內的泥化板岩從基坑開挖的原始記錄，和開挖期間取出的標本來看本來是各處基本相同的，但領導進行試驗的地質同志似乎是因為問題的嚴重而不敢相信這些原始資料，硬要坚持必須用昂高的代價在已筑成的壩下用鑽探和其他方法取樣作試驗，說是只有那個地方的試件作出的試驗數據才能代表那個地方的摩擦係數，結果在經濟和時間上都造成一些浪費。泥化板岩最後得出來的數據為：

$$1. \begin{cases} \operatorname{tg} f = 0.24. \\ C = 0.13. \end{cases} \quad 2. \begin{cases} \operatorname{tg} f = 0.25. \\ C = 0.08. \end{cases}$$

地質專家建議分塊（按澆搗混凝土的分塊）進行穩定性計算，若泥化板岩面積占有所在該塊總面積的45%，則採用以上兩組數據進行計算，若小於45%，則採用試驗所得數據的加權平均值進行計算。設計人員根據這個原則計算的結果問題不太大，因此又有人認為這個問題在第一個階段說得那麼嚴重是有些過火了。

第三個階段，本年三月初水電總局李局長同五位專家來到工地，專家聽過地質同志的彙報和現場察看後，一位老年的專家（科學院士）認為泥化板岩夾層是一個危險的滑動面，水庫蓄水後泥化物質達到飽和，水壩體即失去穩定性而可能導致滑動，因此必須在已筑好的壩下沿垂直壩方向和平行壩的方向用人工的方法（不用爆炸以免影響混凝土結構）各打一平洞挖去一部分泥化板岩，然後用混凝土回填以增強泥化板岩

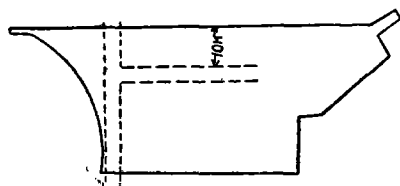


圖 3. 擬控平洞剖面示意圖

夾層上下岩層的抗剪強度和切斷滲漏水對泥化板岩的漫蝕道路（平行壩方向的平

洞在迎水面下10公尺），具體布置可見如下示意圖：

這一工作據目前初步估計需要近一年的時間

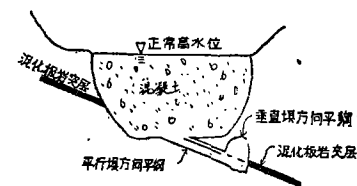


圖 4. 擬控平洞位置示意圖

才能完成，因此大家又認為泥化板岩的問題嚴重了。

四、個人的主觀看法

泥化板岩問題的造成無疑的是我們在工程地質工作中的一大漏洞和錯誤，我認為在這樣的情況下造成了這種嚴重不良後果的原因除去勘測，設計和施工等

方面對泥化板岩夾層的認識水平不夠外尚有如下因素：

1. 過分的強調了岩層傾向上游，對不利的因素不能正確的認識和細心的研究。

2. 對專家建議體會不深和請教不夠，早在初步設計階段時專家就指出必須對壩區基坑高程以下範圍內的每一種岩石作試驗，詳細的研究物理技術特性，可是我們在工程地質試驗中所採取的大批岩石試件都是堅硬的新鮮岩石試件，而對多次由鑽孔內發現的泥化板岩夾層並未作過一個試件，並且把基坑開挖後的泥化板岩也不及時向專家彙報。

3. 試驗與需要脫節，早在初步設計階段的開始專家曾建議要設立工地試驗室，可是我們的各種試驗工作始終是把試件送到幾千里以外的武漢和北京去試驗，一般需要三個月左右的時間才能見到成果，例如這裡的泥化板岩試件1955年12月送到北京，到次年的7月還是工地的同志到北京才看到成果。

4. 對觀測鑽探迴水的認識不夠，該區是有承壓水的地區，以鑽孔迴水數量的增減來尋找承壓水的出水口位置當然是一個較好的方法，但是我們僅把迴水的觀測來解決這個問題，因此對有泥化板岩的各鑽孔不能從迴水的顏色（泥化板岩的水為灰白色或土紅色的泥水）結合岩心和鑽探感應來研究不易獲得岩心的軟弱夾層。

5. 官僚主義的危害，基坑有泥化板岩夾層的基礎是在1956年4月底才澆上混凝土，可是早在三月底工地用書面彙報了泥化板岩夾層具體情況和分布位置，並請示若干問題而終不見答复；泥化板岩的試件是早在1955年12月用電報要工地送到了北京，到4月才試驗出 $\operatorname{tg} f = 0.19$ ，但奇怪的是這個危險的數據在設計領導機關三個月之久未見提及。當專家指出問題的嚴重性後在初期階段部分主要負責人反說對此事不了解，並有個別負責人責怪工地不及時彙報。

五、採取試件和作剪力試驗的一點教訓

泥化板岩問題的嚴重性發現後即決定在基坑內取樣作物理力學性試驗，在開挖過程中由基坑範圍內各處的泥化板岩露頭觀察泥化物質的情況均基本相同，但由於問題的嚴重和對這項工作缺乏經驗，因此認為必須在不同的地段採取原狀試件作出的試驗才能代表那一個地段的真實情況，因此決定在大壩廊道內用鑽機來採取試件，雖鑽探的同志們採取了各種措施但因泥化物質的本身軟弱且厚度很薄，不用沖洗鑽進也被鑽探機械的震動而破了，結果各孔均未能取出泥化物

質的原狀岩心。

在剪力試驗方面，我們使用的是長春和北京水電設計院製造的單剪儀，共作如下五種試驗：

A. 泥化板岩的原狀試驗。

B. 砂岩的夾泥試驗（所夾之泥是通過 0.3 及 0.15 公厘篩的制备擾動土）。

C. 砂岩的夾泥試驗（所夾之泥通過 0.6, 1, 及 1.2 公厘篩的制备擾動土）。

D. 泥化物質的本身抗剪試驗（過 0.3 及 0.15 公厘篩的制备擾動土樣）。

E. 泥化物質的本身抗剪試驗（過 0.6, 1, 及 1.2 公厘篩的制备擾動土樣）。

從以上的試驗結果得出了如下結論：

1. 不能採用保持天然結構土樣的試驗成果。因為

原狀土樣中，除細顆粒及粘土顆粒之外，還有一部分半泥化半風化和嚴重風化的大顆粒。這些大顆粒的直徑大於剪力盒間的剪隙，因此，在進行原狀土樣剪力試驗時，並不只是產生小顆粒的純摩擦，而且還有大顆粒本身的抗剪斷作用，因而使得出的數據大大增高，且有忽大忽小的現象。

2. 通過 0.6, 1, 及 1.2 公厘篩的制备土樣本身的或夾於砂岩間的試驗，用剪力儀的縫過小，其得出的結果是不甚可靠的。

3. 在全部得出的泥化板岩剪力試驗數據中，比較正確的而且比較能代表這裡工程地質條件的是通過 0.3 及 0.15 公厘篩的擾動土樣本身的，及夾在砂岩中間的剪力試驗。而在我們的全部試驗中，確偏重於保持天然結構的原狀土樣剪力試驗。

關於混合抽水試驗分層計算方法的探討

葛 亮 韜

一、前 言

在水文地質勘探工作中，一個抽水試驗鑽孔往往不只是揭穿和試驗一個含水層，而在許多情況下，都需要揭穿和試驗兩個或兩個以上的含水層。為了對這些含水層的含水性進行分別了解，通常是按照試驗含水層的順序，將含水層按次用套管隔離起來。這樣就需要付出很大的人力、物力和時間，尤其當鑽孔深度很大，穿過的含水層層數很多時，在施工技術上更顯得特別困難，有時簡直無法施工。

此外，在含水層呈層狀結構時（即一個含水層系由數個透水性不同的岩層所組成時），或數個含水層彼此之間有極活躍的水力聯繫時，想用套管隔離的辦法來達到分層了解透水性的目的，也是很困難的。再如抽斷層帶的水時，要想預先知道斷層帶的準確深度，從而進行上部岩層的隔離，也不是經常可以辦到的。

由於以上原因，水文地質工作者們曾試圖用混合抽水的辦法來解決隔離含水層的困難。所謂混合抽水，就是首先將第一含水層（假設含水層由上而下編號）進行單獨抽水，然後將第一、第二含水層進行混合抽水，再將第一、第二和第三含水層進行總的混合抽水。或者反過來，先進行一、二、三含水層混合抽水，再進行一、二的混合抽水，最後進行第一含水層的單獨抽水。將混合抽水的結果，通過某種分析和計

算，以得出各含水層的透水性來。這樣，就省去了隔離含水層這一艱巨複雜而耗費繁重的工作過程。

可是，直到目前為止，對這一具有重大實際意義的課題，還很少有人進行過系統的研究，甚至連公開的討論也進行的不多。首先，除了當各含水層的靜止水頭相同時，可以利用舒爾采的層狀潛水層的流量公式，及卡明斯基的不均勻地層的平行於層地下水運動公式來分層計算各含水層的透水性外，在一般情況下（即各含水層的水頭彼此不同時），都還缺少適當的公式可以利用。其次，在分層混合抽水的施工方法上也缺乏研究，往往使抽水結果無法分析。因此，許多水文地質工作者，對於分層混合抽水的应用一般都不感興趣，他們即使在不得已時而採用了分層混合抽水，但對預期效果，總是不抱樂觀，有些人則認為，在各含水層水頭大致相同，但透水性亦近似的條件下，可以採用混合抽水，否則不宜採用。這些，都嚴重地阻礙了混合抽水的實際应用。

筆者，對於混合抽水這一問題，曾作過一些推敲，茲願將對這一問題的體會提供出來，作為同志們在研究這一問題時的參考。希望對本文存在的錯誤，予以批評和指正。

二、混合抽水時流量與水位降低關係曲綫的研究