

其太館商

260747

岩石地基上重力坝 扬压力的确定

苏联 M.Б. 庚兹布尔格著
水利水电科学研究院译
水利电力出版社出版

061

前 言

坝或其他壅水建筑物地基内的扬压力是作用于建筑物上的主要外加荷重之一。如果说在软土(非岩性)地基上建筑物的扬压力的计算方面已经有了实际应用上足够精确的理论方法和试验方法的话,那么,修筑于岩石地基上的建筑物扬压力的计算方法现在还没有。

岩石地基上的扬压力强度只是在建筑物底部的两个点子上是精确地知道的,也就是上游底边点和下游底边点,在这里扬压力等于这两点上的测压管水头,这个水头在设计条件中是已知的。扬压力强度在这两点之间沿着建筑物整个宽度的变化取决于许多原因(例如:有无灌浆帷幕或其他帷幕及其工作的可靠性,有无排水设备及其工作强度,地基岩石裂缝的性质,等等),现在还没有理论上的计算方法;只能靠在已经建成的建筑物上的实地测量资料进行类推比拟来决定。为了求得可靠的结果,这种测量应该在长时期内经常地进行,而且从水库充水的时候就开始。

研究苏联建筑物扬压力的实测资料,以及已经公布的国外水坝的材料,可以对这个非常复杂的问题稍微弄清楚一点。

苏联对扬压力的研究还是在战前年代开始的,是在伏尔霍夫、斯兹兰及其他水坝上进行的。但是这一研究工作进行得不够系统,并且,到战争开始时实际上已停顿了。战后,维捷涅耶夫全苏水工科学研究所野外试验室,对列宁第聂伯水电站坝基的扬压力开始了大规模的研究。对这个坝的观测从1946年起直到现在,每星期都进行。现在那里有39个观测断面,共有320个测压管在进行观测。

从1954年开始在石山口水电站也进行了类似的研究。战后时期,在我国的其他水坝上(克古姆斯坝、什罗柯沃坝)也进行了扬压力的研究工作,但是规模没有那么大。

目 录

一、在野外条件下对揚压力的观测.....	4
测压管的构造和布置	4
测压管的观测仪器和设备	8
揚压力的观测	9
观测资料文件	10
观测资料的整理	12
二、苏联对揚压力的研究	15
列宁第聶伯水电站大坝的研究	15
石山口水电站大坝的研究	19
什罗柯沃水电站各建筑物的研究	22
下土洛馬水电站各建筑物的研究	23
达烏卡瓦河上克古姆斯水电站坝基揚压力的研究	23
伏尔霍夫水电站坝内揚压力的研究	25
斯茲兰坝基揚压力的研究	25
三、国外对揚压力的研究	26
美国早期对揚压力的研究	26
美国垦务局修建各坝的揚压力的研究	27
田納西流域工程局所修建各坝的揚压力的研究	32
美国其他坝和加拿大各坝的揚压力的研究	33
德国和奥地利对揚压力的研究	36
瑞士和意大利对揚压力的研究	39
法国对揚压力的研究	41
捷克斯洛伐克对揚压力的研究	42
瑞典对揚压力的研究	43
亚洲某一座坝的揚压力的研究	44
澳大利亚对揚压力的研究	44

四、观测資料的分析	45
上下游水位变化对坝基内揚压力强度的影响	45
灌漿帷幕的影响	47
排水設備的影响	50
地基局部破碎的影响	54
五、降低坝上揚压力的結構設施	56
向上游方向修筑突出物	56
修建寬結構縫	57
維尔荷士尔型坝	57
具有寬橫向排水道的重力坝	59
設置排水隧洞	59
六、关于計算各种类型重力坝中揚压力的建議	61
世界各国所采用的确定重力坝地基中設計揚压力值的方法	61
无灌漿帷幕也无排水設備时确定揚压力的計算关系式	63
有灌漿帷幕而无排水設備时确定揚压力的計算关系式	63
有地基排水設備而无灌漿帷幕时确定揚压力的計算关系式	63
既有灌漿帷幕也有排水設備时确定揚压力的計算关系式	64
确定其他結構形式重力坝揚压力的計算关系式	66

一、在野外条件下对揚压力的观测

测压管的构造和布置

要測量建筑物中的揚压力就得应用测压管。水工方面采用的测压管是由一个管子及进水头所組成的。金属管子通过建筑物埋設在比要测揚压力的平面稍低一些(根据测压管的构造而定)的地方。管子的上端引到能进行測量的地方。为了避免管子的堵塞,在管子的下端設有进水头。有很多种结构的进水头,其中最簡單而經实践証明很好的一种进水头是第聶伯式进水头(图1)。

从需要測量揚压力的平面上,向下鉆深为0.75米、直徑为150毫米左右的鉆孔。在鉆孔中插入外徑为50毫米的管子。直徑較小的管子不够結实,而且容易被堵塞住。而直徑較大的管子充水就較慢,因而使观测工作进行时較困难。测压管应该采用鍍鋅的管子。管子末端放在鉆孔底面以上0.25米的地方。管子下部打孔段(花管)长1.0米。孔眼的直徑为5~6毫米。鉆孔中的管子周圍、管子內以及管子下面用篩分好的粒徑为6~8毫米的卵石填充。管內、管四周及管底的卵石填充高度,須高出鉆孔底面1.25米。然后用1.5~2.0个大气压力的水压压紧卵石。再后,在鉆孔中测压管的周圍填入軟粘土小块約0.5米深。将管外的粘土用3~4个大气压力的水压压紧,这样就形成了止水塞。止水塞的上面用水泥浆充填,使测压管和建筑物的混凝土紧密地連結在一起。水泥浆是用1.5~2.0的大气压力送入鉆孔中的。

測壓管鑽孔的黏滷和測壓管的埋設必須在地基進行水泥灌漿結束以後進行(假如有灌漿的話)。否則，測壓管可能在灌漿時被堵塞住。埋設測壓管可以和筑壩平行地進行。在這種情況下測壓管逐漸接長，使得測壓管管子頂端總是適當地高出於混凝土澆注塊。埋設測壓管也可以在水壩修成後進行，但是這樣要黏滷得很深。

國內外的經驗指出，建築物修成後埋設的測壓管比較可靠，質量也較好，但是造價較高。

如果有必要在不同高程上測量滲透壓力時，為了減少黏滷工作，可以在一個鑽孔中埋設幾個測壓管，它們的進水頭設在不同的高程上(圖2)。

可能發生這樣的情況：測壓管中的水位將比管頂低。在這種情況時，測量測壓管中的水位必須借助於各種測深儀器來進行。

把測壓管引到廊道中時，可能會發生：測壓管水位將比管頂還高。在這種情況下，水可能從測壓管溢流出來，甚至可能噴射出來。此時，為了測量壓力就應該應用各種壓力計。

運用測壓管的經驗指出，它們很容易因為凍結而損壞。這首先是指引到露天地面的那些測壓管。為了防止測壓管凍結，測壓管必須保暖。測壓管的引出頭最好布置在專門的房屋里。

測壓管應該是絕直的；不允許有彎曲和用彎頭連接，否則很容易使測壓管失效(如什羅柯沃、卡馬、卡霍夫卡等水電站)。

埋設在一個測壓斷面的測壓管間的标准距離應該是5~8米。每個斷面上的測壓管數目最少為3個。

壅水建築物上測壓斷面的數目，由地基岩石的不均勻程度和其他許多因素決定。對於蘇聯的建築物來說，每隔一個結構

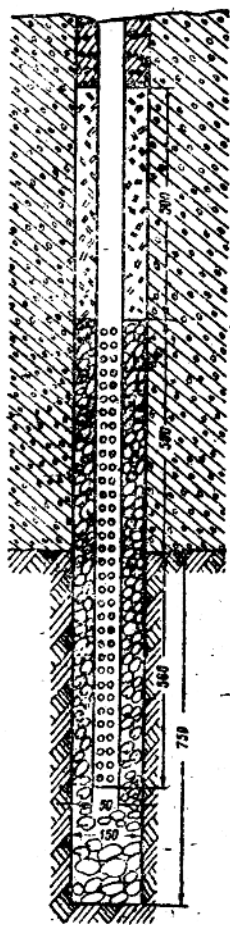


图 1 测压管的进水管头

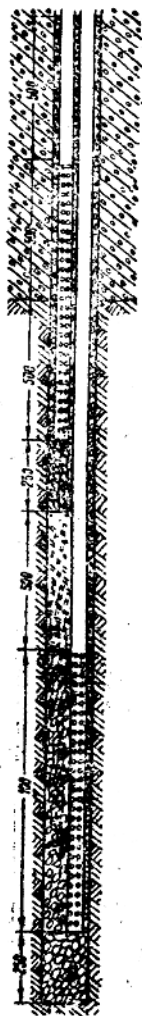


图 2 双测压管的进水管头

段(隔一个跨孔等等)布置一个断面是合理的,实际上也就是相隔30~40米。构造破碎带附近,测压断面应该布置得密一些。

除了一系列横向测压断面以外,布置一个纵向测压断面是合理的。这个断面的测压管间距为9~10米,顺着纵轴线布置,纵轴线位于灌浆帷幕轴线与排水孔轴线之间。纵轴的定线应该这样进行:使得横向断面的第一排(上游的)测压管包括在纵向断面中。

在坝的宽度很大时,在没有弯头连接时,要将测压管引到一个纵向廊道实际上是不可能的。因此,在这样的坝中最好把测压管引到专门的横向廊道中去,这些横向廊道和坝轴线垂直(图3)。同时,把这些横向廊道作为宣泄渗入坝身中而被排水系统淤集起来的水到下游去之用。

在重力拱坝中,测压断面按辐射线方向和坝轴线圆弧布置,其他的埋设原则和重力坝一样。

在把测压管引到廊道中时,最好将管道设置在廊道壁的小壁龛中,使得测压管的管子不妨碍在廊道中的交通。希望能作到,埋设测压管的横向廊道在下游水位升高时不致被淹没。假如不可能把廊道的底面作得高于下游洪水水位时,必须准备密闭的门,并考虑从廊道抽

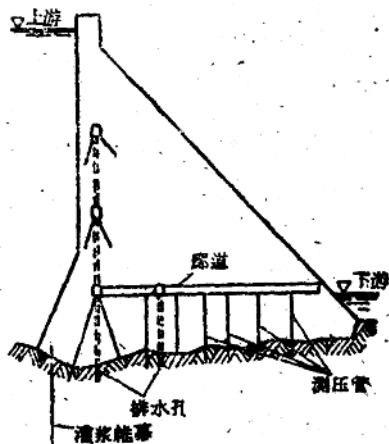


图3 重力坝中测压管标准布置图

水的可能性。

在运用过程中，个别测压管可能会失效。但是实际經驗指出，修复测压管很少是成功的。为了埋設新的测压管，最好钻凿新的钻孔，从观测廊道中钻凿，可以减小钻孔的深度。因此廊道的断面尺寸应该是 2.5×3.0 米，以便小型的岩心钻探机能在里面工作。

测压管的观测仪器和设备

对于不会发生溢水的测压管，管中水位高程可用构造不同的各种测深仪器来测量。

用测深仪器来测量的精度很高。甚至最简陋的水笛测深锤的精度也达 ± 0.05 米。在皮尺或专门的卷尺上装有电傳訊号的测深仪器的精度可达 ± 0.01 米。

对于可发生溢流的(有压的)测压管，可用压力計来进行测量。最可靠的是水銀压力計。这种压力計可保証精度 ± 0.01 米。但是水銀压力計很笨重，管理很不方便，因此实际上很少应用。最常用的是彈簧压力計。作为测量揚压力的只有精度为 0.2% 和 0.35% 級的标准彈簧压力計可用。

测压管中的压力还可以用遙测仪器来测量。С.Я.爱德曼曾在卡霍夫卡水电站采用过遙测压力計，它是由焊接在测压管頂部振弦式傳音测力計組成的。在国外普遍采用卡尔生测压仪，这是振弦式音响测压头和与它相連接的观测台。

应该注意，在安装压力計时，测压管有很小一点漏气或漏水都能严重地使仪器的讀数失真。因此，最好不用携带式的压力計，而在每个测压管上安一个固定的压力計。这个压力計只有在檢修时才拆下来。

如果测压管中水位比管口低的情况只在一年中某些时候发

生，而其余时间水从管口溢出来，这时压力计可做成能拆除的。

为了安装压力计，在测压管的上部装上一个金属塞子，再在上面安上细的 $\phi \frac{1}{4}$ "的黄铜管和压力计(图4)。细管上装有小阀门，可用来测量钻孔的流量(出水量)。

非溢流的测压管应该装上盖子。每个测压管应该有自己的号码。在一張专门的表上，对每一个测压管应该记上它主要的特征数据。

如果测压管有倾斜的话，那么在用测深锤测量非溢流测压管中的水位时，应该知道管的倾角是多少，以便进行相应的修正。

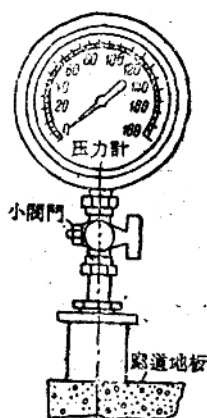


图4 压力计在测压管上安装图

测压管顶点的精确高程应该用水准测量加以确定。

测压力的观测

观测应该从水库充水时起就开始。在这段时间内，希望能查明水库水位上升和测压管中水位上升之间的关系。观测应该每星期进行两次。如果水库中水位上升的速度每昼夜超过1米时，应该每天进行观测。在这个时期不要测量测压管孔的出水量，以免影响水位观测的成果。

在水库充水结束后，观测工作可进行得较稀些，约一星期进行一次。建筑物运转了几年之后，其扬压力已完全稳定，测量工作可更稀些：一个月1~2次。

假如在建筑物的某一地段发现有随时间而变的不稳定的扬压力，那么，测量工作应该进行得更勤一些，有时甚至每天进

行。假如在坝上进行钻探或灌浆工作，那时观测工作每星期应不少于一次。假如发现测压管的讀数和上一次相差很大时，那么这个测压管应该在第二天再测。

压力計和测压管連接的地方应该以浸湿的方法来檢驗——接头处有气泡发生就証明是漏气的。

应该注意，在密实的岩石地基和灌浆帷幕很好的情况下，测压管的出水量可能是很小的。因此，在有压测压管中测量了出水量后，揚压力不是馬上全部恢复的。在这种情况下，揚压力的測量应该在測量了测压管钻孔出水量后至少一星期再进行，测出水量应该在测揚压力后立即进行，同时应该尽可能地取少量的水。

在用携带式压力計測量时，应该使仪器紧密的擰上，并在压力計指針停止轉动以后三分鐘再記其讀数。在用測深仪器測量水位时，应该測两次。如果两次讀数之差在0.15米以內时，則取两个讀数的平均值。如果誤差大于0.15米时，則应进行第三次校核性測量。

仪器应该进行檢驗：測深錘的尺子每年檢驗1~2次，压力計——两年进行一次校核。携带式压力計应该每年校核两次。

无压测压管如果怀疑其是否完好时，可进行注水試驗。測压管中注入几桶水，經過1.5~2.0昼夜以后重新測量水位高程。假如在这段時間內重新恢复到注水以前观测到的水位，那么测压管是完好的；否則，测压管就是被堵塞了，需要清洗。但是应该注意，清洗测压管不是經常能成功的。这样就應該埋設新的测压管。

观测資料文件

观测資料記入下列格式的現場記錄本上。

揚壓力測量現場記錄本

測壓管 編號	進行觀測時刻	壓力計上 讀 數	測深儀器的 測繩長度 (米)	備 注
17	1月13日15時15分	0.25大氣壓	—	記下讀數後曾測過出水量
23	1月13日15時35分	—	4.70	—

現場記錄本作為校核材料，一直保存到年底。

現場記錄本上的資料以後再抄寫到測壓管觀測記錄本上去，其格式如下：

第25號測壓管

地 點 埧上，第Ⅳ觀測断面
管子末端離迎水面的距離 5.0米
鉆孔直徑 51毫米
測量面的高程 +143.5
管頂高程 +159.35
管子傾斜角 3°

讀數 編號	讀 數 的 日 期 和 時 刻	觀測者姓名	壓力計 讀 數	測深錘的 測繩長度 (米)	測壓管中 的 水 位 (米)	備 注
17	4月15日13時15分	З.伊萬諾娃	—	11.38	+147.99	—
18	4月22日12時55分	К.弗洛羅娃	—	6.37	+153.00	—
19	6月14日13時30分	Х.伊萬諾夫	+0.99	—	+160.25	記下讀數後曾測過出水量

觀測記錄本的每一頁上均應有編號。記錄本作為校核材料檔案來保存。

假如測壓管損壞了，記錄本上應該記下損壞的日期，然後在記讀數的地方填上“損壞”字樣。修復測壓管後要重新用水准測量來確定管頂高程。

在用遙測壓力計時，現場記錄本就不用了，而觀測記錄本的格式稍有不同。

讀 數 編 號	記錄讀數 日 期	觀 測 者 姓 名	振蕩器 的讀數	壓 力 (米)	測壓管中的 假定水位 (米)	備 注

測壓管觀測中發現的一切現象，如冒氣、出現銹蝕泡沫等，都記錄在備注欄內。

觀測資料的整理

根據測壓管觀測的資料繪制水位變化過程曲綫。每一個断面所有測壓管的水位變化過程曲綫，往往繪在一張圖上，而且一般以時間為橫座標軸，其比例一天等於 1 毫米，而以測壓管中水位為縱座標。縱座標的比例往往根據水位變化的幅度來決定。對於中水頭的壩，1 米 = 2 厘米，對高水頭壩，1 米 = 1 厘米。

在這一張圖上，也以相同的比例繪出上下游水位的變化過程曲綫。

此外，在這些圖上也應該記載建築物運行過程中的特性時刻（鉆孔和灌漿工作，排水設備的開閉等）。圖 5 是這種圖表的一個例子。

根據同一的測量資料也畫出每月揚壓力過程圖。對於特性時刻（上下游最高和最低水位，重複灌漿的前後等），應該畫出剩餘揚壓力（滲透壓力）的所謂換算揚壓力分布圖。圖是這樣畫的：設橫座標為測壓管到迎水面的距離占地基寬度的百分數

$$x_i = \frac{d_i}{b} 100\%, \quad (1)$$

式中 x_i ——揚壓力分布图上横座标值的百分数;

d_i ——测压管到迎水面的距离;

b ——坝基的宽度。

設纵座标为测压管水位和下游水位之差占实际水头（即上下游水位差）的百分数

$$y_i = \frac{z_i - z_H}{z_s - z_H} 100\%, \quad (2)$$

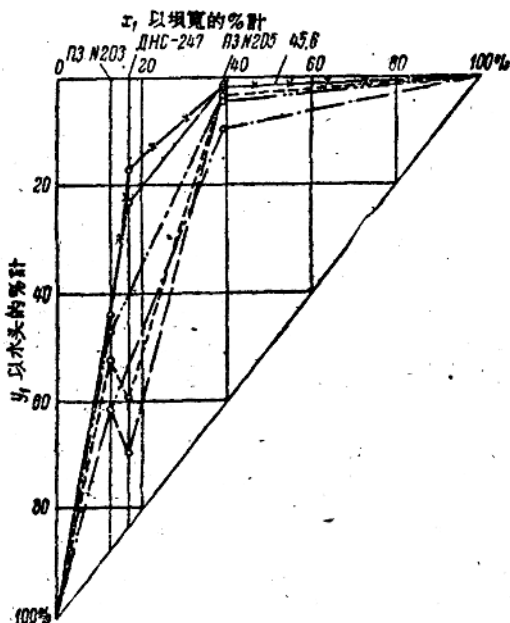


图6 换算揚压力分布图

式中 y_i ——揚壓力分布图上纵座标值的百分数;

z_s ——上游水位高程;

z_n ——下游水位高程;

z_t ——測压管水位高程。

如果比較各个时期的換算揚壓力分布图，就可以判断揚壓力的稳定性。在这里可以用系数 α_n 来作为判断的标准。

$$\alpha_n = \frac{u_n}{U_n}, \quad (3)$$

式中 u ——換算揚壓力分布图的面积;

U ——从 $(H_s - H_n) = 100\%$ 到零的三角形所表示的揚壓力分布图面积。

設横座标軸为日期，纵座标軸为系数 α_n ，我們就求得揚壓力强度变化图 $\alpha_n = \psi(t)$ 。如果 α_n 随着時間而增大，則証明帷幕或排水設備的情况不良。在正常的条件下系数 α_n 應該几乎是一个常数。图 6 所示为一个断面的一組換算揚壓力分布图。

二、苏联对揚壓力的研究

列宁第聶伯水电站大坝的研究

1931年在修建第聶伯水电站时，曾分別在第16（装2个測压管）和第20（装8个測压管）跨孔上設有測压断面。观测工作在这些断面上进行了好几年，但不久就停頓了。

1947年在修复被破坏的水电站时不得不重新研究第聶伯水电站坝基的揚壓力。最初，对坝身揚壓力的研究，特別是遭到破坏的跨孔，給予了主要的注意。1947年，在7个測压断面（35个測压管）和52个檢查观测孔中进行观测（这些孔打在沒有

設測压断面的跨孔和坝墩中)。

1948年, 由于在坝的混凝土和基岩接触处发现了很大的揚压力, 測压断面的数目增加到了23个, 共有91个測压管, 其中35个測压管在坝縫和坝的砌体中, 45个測压管在混凝土和基岩接触处, 而其余11个則深入基岩一定深度。此外, 还剩下19个檢查觀測孔能很好地工作。在这些測压管上所进行的觀測表明, 在坝的許多跨孔中, 揚压力比設計的要大得多。因此在1949年开始在具有大揚压力的地段进行灌浆以修复帷幕。除此以外, 根据技术科学副博士B.И.克拉夫佐夫的建議, 着手修建坝的排水設備。为此曾鉆凿了直徑130~150毫米的垂直排水孔, 其深度达到坝底以下4米。这些排水孔只有在对坝的稳定性不利的情況下才呈現开启状态。在1949年又曾补設了两个測压断面。这样, 一共有110个測压管和31个新鉆的排水觀測两用孔进行觀測(旧孔已停止觀測)。在每个断面一般有2个測压孔——上游孔和下游孔。在每个孔中有2个測压管(一个設在混凝土和岩石接触处, 另一个約在坝底以下4米处)。測压管孔系从上面的廊道进行鉆凿鉆孔, 和垂綫成一定的角度, 鉆凿是用岩心鉆机进行。測压断面上的測压管的一般布置見图7。

到1950年采用了图1所示的那种形式作为測压管进水头最后的結構形式。

一般說来, 所有各下游測压管的水位往往都比廊道底板的高程低, 因此用电測測深仪来測量水位。上游測压管大多数是溢流的, 压力是用携带式压力計来測定。

最初, 修复灌浆帷幕进行的深度不大——8米以下, 因为曾經假定混凝土和岩石接触地帶的帷幕的密实性遭到了破坏。觀測結果表明, 不太深的灌浆效果是很小的。利用实测的揚压力校核坝的抗滑稳定性結果表明, 抗滑稳定性的安全系数在坝