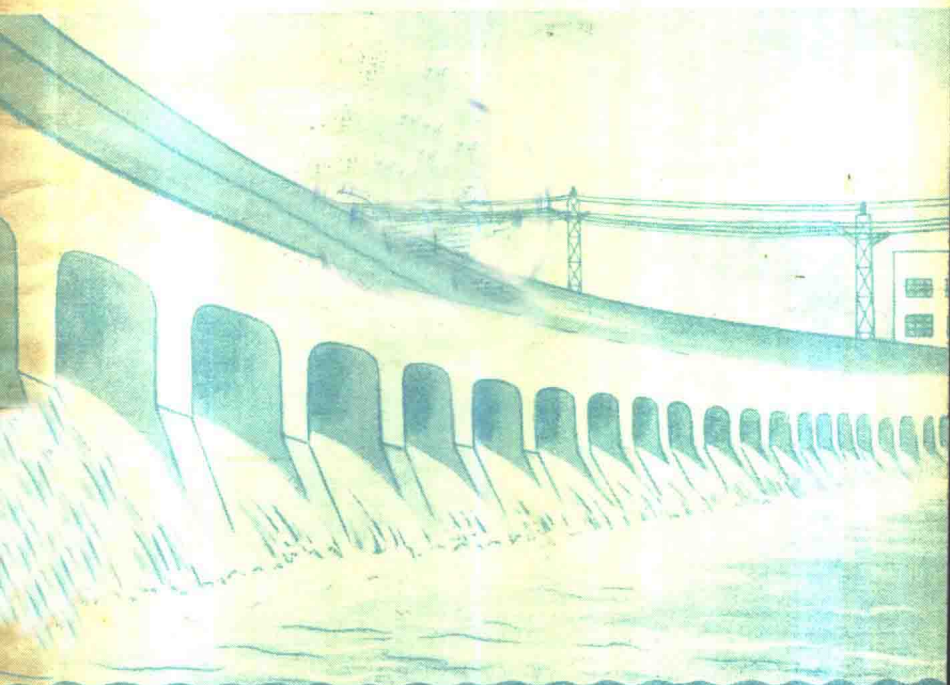


地下水壅水与水庫滲透 水文地質計算

H. H. 賓德曼 著



地質出版社

地 質 出 版 社

編輯：唐連江、左全農 技術編輯：李璧如

校 對：程 靜、張曉光

全苏礦山工程技術科学協會水文地質分会

共產主義偉大建築工程指南
水利工程建設的水文地質計算

地下水壅水与水庫滲透水文地質計算

H. H. 賓德曼著

地質出版社

1956·北京

Н. Н. БИНДЕМАН
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
РАСЧЕТЫ
ПОДПОРА ГРУНТОВЫХ ВОД
И ФИЛЬТРАЦИИ
ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ
УГЛЕТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1951

本書係根據蘇聯國立煤礦科技書籍出版社出版的賓德曼(Н. Н. Биндеман)所著:“地下水壅水和水庫滲透的水文地質計算”一書 1951 版譯出。

本書闡述了水庫沿岸地帶地下水壅水的計算方法,以及在地下水穩定和不穩定流條件下水庫滲透損失的計算方法。本書可供水利工程師、土質改良工程師以及進行水利工程勘测工作的地質工程師作參考之用。

本書由水利部專家工作室武壬戌同志翻譯,並經張澤楨、張振邦兩同志校閱。

地下水壅水与水庫滲

書号15038-166 透水文地質計算 58000字

著 者 Н. Н. 賓 德 曼

譯 者 水 利 部 專 家 工 作 室

出 版 者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可証出字第零伍零号

發 行 者 新 華 書 店

印 刷 者 地 質 印 刷 廠

北京廣安門內教子胡同甲32号

印數(京)1—3700册 一九五六年三月北京第一版

定價(8)0.38元 一九五六年三月第一次印刷

開本31"×43" 1/32 印張2号

目 錄

原 序.....	4
緒 言.....	5
一、地下水壅水与水庫滲透現象的一般特性.....	7
二、地下水壅水的計算.....	11
1. 均匀層中固定壅水的確定.....	12
(a) 不透水層位置水平時的壅水計算.....	12
(b) 不透水層位置傾斜時的壅水計算.....	20
2. 不均匀層中固定壅水的測定.....	25
3. 計算固定壅水的一些方法問題.....	31
4. 地下水壅水的形成.....	35
三、水庫滲透損失的計算.....	48
1. 水庫經常滲透流量之確定.....	50
2. 作為水庫水量平衡組成部分的經常滲透損失之確定.....	56
3. 水庫臨時滲透損失的確定.....	63
(a) 庫底飽和的滲透損失.....	63
(b) 河流無地下水補給時庫岸的飽和損失.....	65
(b) 在地下水進水條件下的庫岸飽和.....	76
(c) 在複雜的水文地質條件下庫岸飽和損失的計算.....	77

原 序

爲了从科學技術上幫助那些爲偉大的共產主義建設而進行勘測的工程地質工作者，全蘇礦山工程技術科學協會水文地質分會（Гидрогеологическая секция Всесоюзного научного инженерно-технического горного общества）曾在莫斯科組織了關於水力工程建築中水文地質計算方法的講座，計有以下的專題：

1. 地下水壅水及水庫滲透之水文地質計算；
2. 壩基及其周圍滲透的水文地質計算；
3. 防洪防淹區排水的水文地質計算；
4. 水渠滲透、灌溉地區地下水水位升高之水文地質計算；
5. 基坑湧水量及地下水水位人工降低之水文地質計算；
6. 用抽水、灌水和壓水測定岩石透水性的方法；
7. 預測地下水動態的水動力學原理。

爲了使在勘測隊及野外地質隊工作的工程地質工作者們能直接在自己的實際工作中運用這演講材料，茲將每個專題的演講文印成單行本。

本書敘述的乃是賓德曼（Н.Н.Биндеман）於1951年4月所作的第一個專題，即關於“地下水壅水和水庫滲透的水文地質計算”的講演文全部內容。

礦山協會將以感激的心情來接受對本書的所有批評和意見。來信請寄：莫斯科，弗拉基米羅夫街6號11室（Москва, проезд Владимира, д.6, комн.11）。

全蘇礦山工程技術科學協會

水文地質分會主席

謝苗諾夫（М.П.Семенов）

緒 言

在伏爾加河、頓河、德聶伯河以及阿姆河上，於空前未有的短時期內修築的許多巨型水壩，構成了世界上最大的水庫，庫岸的總長達數千公里。

爲了實現斯大林改造大自然的計劃，我國人民正在蘇聯歐洲部分中部及南部各省的河流上與峽谷中修建着大量的水庫，以便蓄洪及灌溉農田。

由於水庫的修建，因而根本地改變了河流沿岸地帶的地下水動態。

由於修建水庫而造成的地下水水位的升高可能使水庫兩岸各個地段遭致浸沒（地下室、坑道的淹沒，農田的過濕等）。此外，作爲建築物基礎的黏土質岩石與黃土的濕度的增加能使其工程地質特性惡化。爲了防止浸沒，必須採取適當的措施——修建排水設備。在編製防止浸沒的計劃時，必須對浸沒地區的範圍與浸沒發生的時間等具有確切的水文地質預測。

水庫不僅能引起地下水的壅水，而且在很多情況下這種變化甚至也能大到嚴重地影響庫水的平衡。實際上，由於築壩而造成河中水位的任何升高，必將引起在一定時期內的水庫滲透，因爲水庫水位比河流沿岸地區的地下水位高。只有庫底及其兩岸是由不透水的岩石構成時才屬例外。如對於建築在流量很大的河流上的大型水庫這種滲透並不可怕，因爲它一般佔河流流量的百分數極小。但對於小河流，特別是對於並非常年有水的峽谷，庫水損失對水庫水量的平衡會有顯

著的影响。水文地質師在設計書中務必作出關於水庫滲透損失數值的結論，根據這個結論應規定（如有必要）一些適當的防滲措施，或採取將壩址遷移到水文地質條件較為有利的河段上的決定。

因此，地下水壅水及水庫滲透的問題，在我們的時代裏，具有巨大的國民經濟意義。只有根據水文地質勘測和与其相应的水文地質計算，才能預測這些現象，而這些也正是本講題中所要闡述的問題。

一、地下水壅水与 水庫滲透現象的一般特性

在水庫沿岸範圍內，必須分成三個地帶，每一地帶的地下水壅水和水庫滲透情況均有不同的特徵。

在直接与壩毗鄰的地區內，由於河中壅水的結果，水將由水庫繞壩向下游流動。這種地帶通常稱為壩周圍滲透帶。

在離壩稍遠的地方，地下水就已不受下游的影響。在此地帶內，如從平面上來看，地下水的流綫的位置與建庫前的位置區別是很小的，也就是說地下水的流綫大致是相互平行的（平面流）^①。

在上述二地區（壩周圍滲透地帶和不受下游影響的地帶）之間，有一過渡地區，在此地區範圍內，雖也受下游一些影響，但並不發生庫水向下游滲透的現象。在這一地區內，地下水之流綫在平面上是曲折的，即河谷方向與流綫方向之間的角度將減小。因此，地下水對庫岸單位長度的補給量同樣也要減小。在壅水計算時，如不考慮這種情況，並將過渡地區中的壅水現象視為“平面”課題予以研究，則常使所得的地下水壅水值略為偏大。這時，進行壅水計算的斷面距壩址越近，則偏差的程度也就越大。由於同樣原因，從“平面”課題上進行的水庫滲透流量計算所得的滲透損失數值就將偏小。

① 所有液體質點均平行於一平面流動，且其速度與距該平面的距離無關，此種地下水流稱為地下水平面流。

本書暫不研究在下游影响範圍內（壩周圍滲漏帶與過渡帶）所發生的地下水壅水和水庫滲透現象，因為這些問題屬於專門的論題，將由魏里金（Н.Н.Веригин）闡述之。表現受下游影响的庫岸之長度通常是不大的，在水庫其他部分的範圍內，則可將預測地下水壅水和水庫滲透損失的課題視作“平面”課題，這便是本書中所採用的方法。

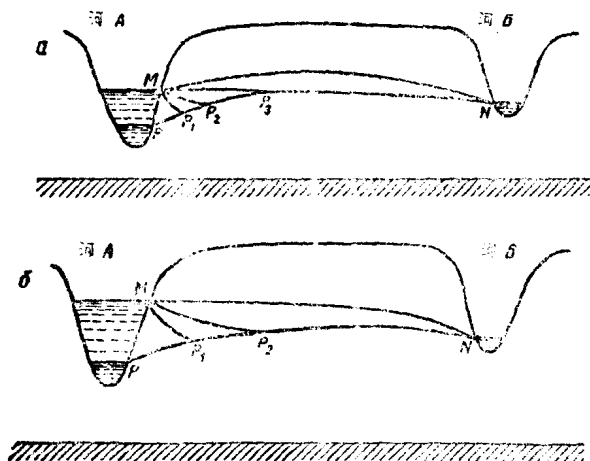


圖 1 НПГ——正常壅水位

現在研究在某一河間地段內形成地下水壅水的情形（圖 1）。該地段在修建水庫前就已具有由於降水下滲而形成的地下水分水嶺。在河谷 A 中修建了一個水庫後，河中水位的上升，使地下水水位就由原來的位置 PN 逐漸移到 MP_1N ， MP_2N 等位置上，這樣地下水表面就成為下凹的，下凹部分逐漸被來自水庫的滲水或來自含水層補給區的水流所充滿。在某些情況下，經過一定的時間，這一現象便消失了，而地下水復又成為水庫的補給來源（圖 1a）；在另一些情況下，

則發生庫水向鄰谷滲透的現象（圖 16）。

地下水壅水形成時期的特點是：在整個河間地段內，地下水水位是不斷上升的。這時，其上升速度係隨時間的增加而逐漸減小。同時，地下水水位也由於在年循環中降水對地下水補給得不均勻而不斷發生周期性的變化。因而，降落曲綫的前進運動（上升）與漲落運動是相結合的，而作為地下水動態因素的前進運動的作用則逐漸相對地減小，漲落運動的作用則相對地增大。

所謂“固定”位置，即指在壅水形成過程中降落曲綫的極限位置而言。從理論上來說，此極限必須經過無限長的時間方可達到。因為降落曲綫向此極限運動的速度是不斷地減小，漸趨於零的。在實際水文地質條件下（在這種條件下，必須注意在氣象因素影響下所形成的地下水位周期性變化的現象），降落曲綫經過一定的時間幾乎完全接近於本身的極限，以致地下水水位的變化幅度甚至較降落曲綫距其極限位置的距離為大。在這種情況下，可以認為地下水的壅水已經完成了。

水庫滲流量的數值係隨時間的增加而逐漸減小，並且也趨近於某一極限。這種情況可用以下諸例說明。假定水庫建於河谷 A 上，且河谷 A 與河谷 B 間的地下水水位是水平的。水庫的修建將引起水向兩岸滲透，同時因滲流坡降逐漸減小（圖 2a），滲透流量亦將減小。在水流達到鄰谷之後，經過一定的時間降落曲綫及滲流量即已趨穩定。該示意圖中流量隨時間的變化如圖 2b 所示。如果壅水後河谷間仍保有地下水分水嶺（如圖 3a），則流量隨時間的變化將如圖 3b 曲綫所示。經過一定的時間，水庫滲透流量逐漸減小而終至於零（此瞬間與沿岸地區地下水下凹部分的充滿是相應的），此後則為負值，亦即水庫又復補水，同時流量也將趨於某一

固定數值。

“固定”壅水與水庫經常滲透的水文地質計算應按地下水穩定流的公式計算，而地下水壅水和水庫隨時間變化的滲透則應按地下水不穩定流方程式計算。

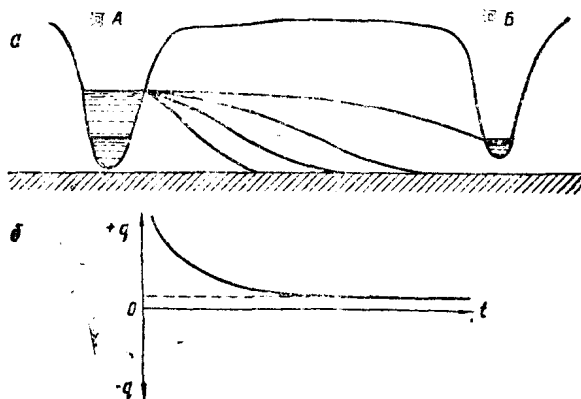


圖 2

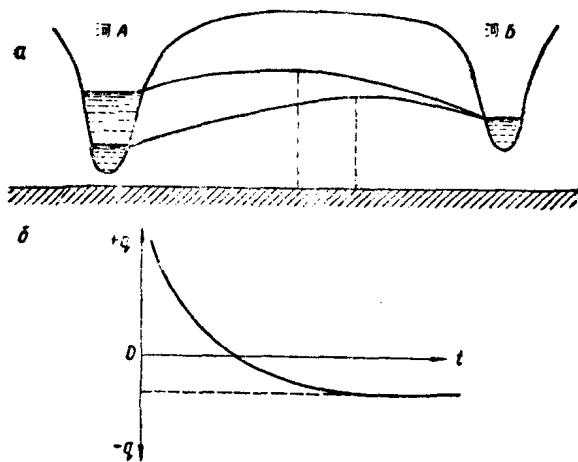


圖 3

二、地下水壅水的計算

在很多情況下，不進行水文地質計算，而只根據地質——水文地質測量或設計水庫之庫岸查勘資料，也能決定地下水不能浸沒水庫沿岸地區這一問題。這些情況如下：

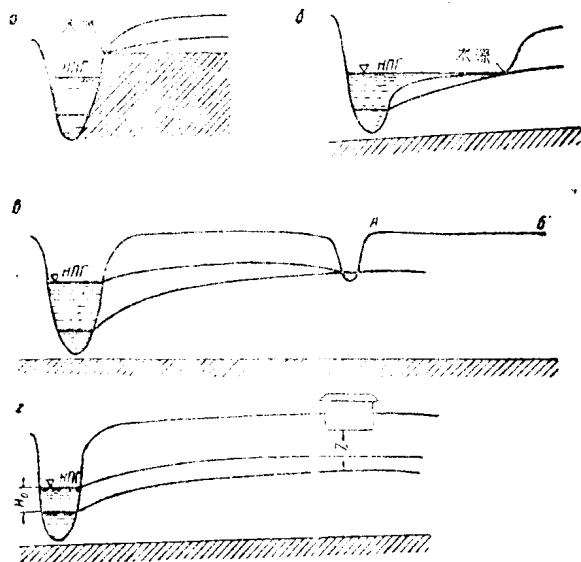


圖 4

(1) 谷坡是由不透水岩層構成，同時不透水岩層頂部高程高於水庫的正常壅水位(нормальный подпорный горизонт, 簡寫 НПГ) (圖 4a)。

(2) 谷坡上泉水(或與地下水出口有關的沼澤)係由庫水位處或者庫水位以上流出。

(3) 在國民經濟上很有價值的地段(地段 $A-B$) 與水庫之間有一經常有水的峽谷, 且水面高程等於或高於水庫的正常壅水位(圖 4 α);

(4) 在有價值的農田和建築物基礎等以下的地下水深度(Z) 大於水庫壅水 H_0 (圖 4 β)。

此一問題很容易証明: 以代表壅水前地下水流量的可。

我們知道

$$q = KmI \quad (1)$$

式中 K ——岩層的滲透係數;

m ——欲研究之斷面與河岸之間的含水層的平均厚度。

I ——地下水流量的平均坡降。

建庫後, 流向水庫的地下水流量的不可能比壅水前該水流的流量為大。同時, 在水庫壅水時地下水水流的厚度將增大, 因而, 在壅水後, 水流的坡降即應減小, 這可由公式(1) 中很明顯地看出。換言之, 壅水後地下水水位的上升經常比河流中壅水的數值為小。因而, 假定在建築物基礎以下的地下水深度為 8 公尺, 而河流中壅水深度為 6 公尺, 則地下水不可能達到建築物的基脚。

1. 均勻層中固定壅水的確定

a. 不透水層位置水平時的壅水計算

不透水層位置水平時, 計算地下水壅水就應利用卡明斯基教授所得出的公式。這些公式在理論上的意義是很重要的, 它不僅可用來計算壅水, 而且也可用來確定水庫的滲透

流量。因此，學習這些公式的結論是有益的。

設河谷 A 與 B 間地段內，地下水是由降水滲透補給的。於河谷 A 與 B 內計劃修建水庫，需要演算地下水壅水的固定曲線方程式。我們視水庫 A 的水邊綫為開始斷面，水庫 B 的水邊綫為終止斷面。開始斷面與終止斷面的間距為 L (圖 5)。

壅水前，在開始斷面上的含水層厚度為 h_1 ，終止斷面上為 h_2 。與水庫 A 之水邊綫距離為 x 處的含水層厚度以 h 表示。在開始斷面上，地下水流為 q ，與該斷面距離為 x 處的流量為 q_x 。流量 q 與 q_x 可正可負，係視地下水流動方向與 x 軸方向一致或相反而定。

流量 q 與 q_x 的關係如下式：

$$q_x = q + Wx, \quad (2)$$

式中 W ——滲透量，即在單位時間內通過地表單位面積向地下水滲透的水量。

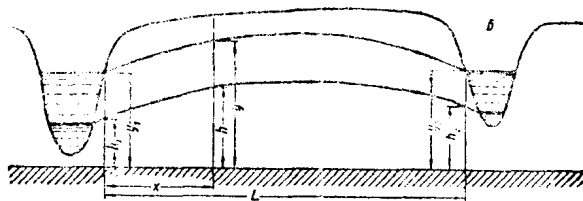


圖 5

同上，按裘布依的微分方程式：

$$q_x = -Kh \frac{dh}{dx}, \quad (3)$$

負號係因水流方向與 x 軸方向相反。應當着重指出，如果斷面 h 位於地下水分水嶺的另一側，則公式 (3) 也是正確的。實際上，在這種情況下流量應為正值（水流方向與橫

座標軸方向一致)，坡降 $\frac{dh}{dx}$ 為負值。因為，在這一地段上

（分水嶺另側） h 值將隨 x 的增大而減小。

令公式（1）與（2）的右端相等，即得：

$$-Kh \frac{dh}{dx} = q + Wx$$

分離變數並積分之

$$\int_{h_1}^h -h dh = \frac{q}{K} \int_0^x dx + \frac{W}{K} \int_0^x x \cdot dx,$$

$$\frac{h_1^2 - h^2}{2} = \frac{q}{K} x + \frac{Wx^2}{2K}. \quad (4)$$

假定 $x = L$ 時， $h = h_2$ ，即得：

$$q = K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} - \frac{WL}{2}. \quad (5)$$

將上式中的 q 式代入公式（4），即得壅水前地下水的降落曲線方程式：

$$h^2 = h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} x + \frac{W}{K} Lx - \frac{W}{K} x^2. \quad (6)$$

河流 A 與 B 壅水時，地下水的降落曲線方程式與上式相似，可寫成：

$$y^2 = y_1^2 - \frac{y_1^2 - y_2^2}{L} x + \frac{W}{K} Lx - \frac{W}{K} x^2, \quad (7)$$

式中 y —— 壅水時與河流之距離為 x 處地下水水流的未知厚

度(圖5);

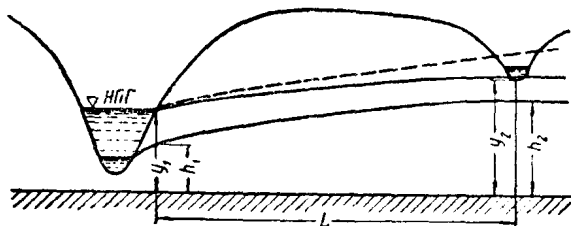
y_1 ——壅水時開始斷面(河A)上含水層的厚度;

y_2 ——壅水時開始斷面(河B)上含水層的厚度;

由(7)式減去(6)式,即得降落曲綫方程式

$$y^2 = h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L} + (y_2^2 - h_2^2) \frac{x}{L} \quad (8)$$

公式(8)是降落曲綫方程式的最普通形式。這一公式



(8)对在壅水擴展區域內有峽谷存在, 峽谷處地下水位在壅水前較谷底為低, 在壅水時升至谷底, 而使峽谷成為地下水之排水溝(圖6)的情況下也是適用的。在此情況下計算的办法是利用公式(8)測定乾峽谷斷面在壅水時之地下水水位。為此, 必須在峽谷中鑽孔, 確定 h 值。如果計算所得壅水時之降落曲綫在谷底以上(如圖6之虛綫), 則應重新計算峽谷與河流A之間的降落曲綫, 並將峽谷綫在不透水層以上之高度作為公式(8)中之 y_2 值, 將水庫A水邊綫與峽谷之間距作為 L 值。實際上, 上述情況是不可能的, 因為水若流入峽谷則必沿其綫流動。計算峽谷另側之降落曲綫時, 可採用峽谷之綫作為起始斷面。

如果河谷A及B的壅水現象均係同一水壩造成, 則 $y_1 = y_2$ 。此時, 公式(8)將簡化成下式: