

# 底欄柵式引水壩

B. B. 方捷耶夫 著

水利出版社

# 底欄柵式引水壩

B.B. 方捷耶夫 著

胡明龍 王毅 譯

江苏工业学院图书馆  
藏书章

水利出版社

1957年9月

本書論述了山区河道上底欄柵式引水壩的布置、構造和水力計算的特点，并闡明了这种引水壩在管理中的主要困难和防护的措施。

本書的讀者对象为水工設計工程师、水利工程管理技術人員以及水利工程学院、高等学校水利系的高年級学生。

### 底欄柵式引水壩

- 原 書 名 ВОДОЗАБОРНЫЕ ПЛОТИНЫ С ДОННЫМИ РЕШЕТКАМИ  
原 著 者 В.В.ФАНДЕЕВ  
原 出 版 处 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
原出版年份 1955  
譯 者 胡明龍 王 毅  
出 版 者 水利出版社(北京和平門內北新華街 35 号)  
北京市書刊出版業營業許可証出字第 080 号  
印 刷 者 水利出版社印刷厂(北京西城成方街 13 号)  
發 行 者 新華書店

88 千字 787×1092 1/32开 4 1/16 印張

1957 年 9 月第一版 北京第一次印刷 印数 1—3,000

統一書号: 15047.74 定价: (10)0.60元

# 目

# 錄

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 序 言 .....                  | ( 1 )   |
| 第一章 山区河流的水文情况 .....        | ( 3 )   |
| 1. 山区河流水文情况的特性 .....       | ( 3 )   |
| 2. 固体径流 .....              | ( 8 )   |
| 第二章 底欄柵式引水壩的構造 .....       | ( 11 )  |
| 3. 对山区河流上建筑引水壩提出的要求 .....  | ( 11 )  |
| 4. 引水樞紐的布置 .....           | ( 13 )  |
| 5. 壩 .....                 | ( 26 )  |
| 6. 欄柵和引水廊道的構造 .....        | ( 41 )  |
| 7. 冲沙室和進水建筑物 .....         | ( 52 )  |
| 8. 樞紐的泄水建筑物 .....          | ( 55 )  |
| 9. 底欄柵式引水壩在管理上的主要困难 .....  | ( 57 )  |
| 第三章 引水壩段的水力計算 .....        | ( 64 )  |
| 10. 計算引水壩段的一般原理 .....      | ( 64 )  |
| 11. 廊道內为無压流时欄柵尺寸的确定 .....  | ( 73 )  |
| 12. 無压流引水廊道水位曲綫的繪制 .....   | ( 84 )  |
| 13. 压力流廊道內水位和欄柵面積的計算 ..... | ( 95 )  |
| 14. 引水廊道过水能力的計算 .....      | ( 104 ) |
| 15. 計算实例 .....             | ( 107 ) |
| 参考文献 .....                 | ( 122 ) |

## 序 言

山区河流蘊藏着無窮的水力資源。若采用多年調節或季調節來利用山区河流全部徑流，則將會碰到許多巨大的困難，因為正如管理的經驗證明，在山区河流上的水庫會迅速地被泥沙所淤滿。因此對於山区河流，特別是山区小河的利用，通常都不采用調節徑流的方式，而廣泛采用引水建築物，以便形成水頭和取得具有某一保證率的流量。由於在枯水期的流量有限和引水時所必要的水位不能得到保證，因之在大多數的情況下都不能采用簡單而又經濟的無壩或丁壩式引水，而必須采用有壩引水。

在研究引水樞紐的型式時，必須考慮到樞紐中各個建築物的位置，使之能阻擋懸移質和堆移質流入干渠、引水渠或輸水管道。在山区小河上，在壩檻上安設引水廊道的低欄河壩，是引水壩中最適宜的一種型式。

這種引水壩有時就稱為提羅爾式<sup>●</sup>〔44〕或高加索式，但這一名稱未能體現出壩的構造，而僅說明這種壩最先所採用的地區。這種壩的最大特點，是引水廊道布置在橫跨河流的壩檻上，廊道上面還蓋設有欄柵。根據這一特點，這種壩應更正確的稱為：“在壩檻上設置有引水廊道的壩”，或者稱作“底欄柵式引水壩”。

---

● 提羅爾（Тироль）為奧地利西部省份之一——譯注。

我們現在所研究的引水壩，是以充滿泥沙的底層或接近底層的水中引水，因此這種引水壩的採用就有了局限性，即只能用在挾沙量小的河上。至於從表層引取較清的水時，則可採用其它類型的引水建築物。

1903年第一次在俄羅斯加格爾城郊的若厄克瓦爾河上建成了一座設有引水廊道的壩，用以引取河水流入水电站的引水渠。最近 10~15 年以來，這種類型的引水建築物在中亞細亞和高加索的山區小河上，得到極廣泛的採用。

蘇聯的各科學研究院，正在對這種壩的構造和計算問題進行研究。全蘇農業電氣化科學研究院第比利斯分院，對於引水建築物進行過多年的研究，並於 1951 年擬定了底欄柵式引水壩的設計指示書。哈薩克蘇維埃社會主義共和國科學院動力研究院水力實驗室、格魯吉亞水利技術與土壤改良科學研究院、莫斯科威廉士水利工程師學院和其它研究機構都對這種壩型進行過研究。

經常和仔細地觀測水工建築物，特別是保證從河裡向引水渠引水的建築物的狀態和工作狀況，對於正確管理水电站具有重大的意義。必須指出，現今運用中底欄柵式引水壩，並不能經常地保證引水壩順利地工作。因此研究和總結這種建築物的設計和管理經驗，對於生產部門是有所裨益的，因此編寫出本書介紹給讀者。承蒙 Ф.К. 季霍米羅夫工程師、評閱者 П.Г. 庫利科夫工程師和技術科學候補博士 Я.Н. 費列克謝爾講師的幫助，改正了本書原稿中的許多缺點，在此謹向他們致謝。

作者 • 1955 年 5 月於莫斯科。

# 第一章

## 山區河流的水文情况

### 1. 山区河流水文情况的特性

設計建筑在上游（山区）和中游（山麓）河段上的引水建筑物时，必須考慮山区河流的基本水文特性。茲將山区小河流中比較顯著的水文特性分述如下：

1. 一年中流量的变化很急剧，晝夜間的流量变化很大，洪水猛烈而歷时很短，枯水流量很小；
2. 水深随着流量的变化而發生很大的和迅速的变化；
3. 河流縱坡降很大，因而形成很大的流速，使洪水通过时常常引起河床的不穩定和变形；
4. 挟有大量的固体徑流，主要是推移質；
5. 河水湍急和河灘的存在，于是容易形成底水和水花；
6. 有泥石流（即山洪）。

現在我們來簡單地分析一下山区河流水文情况的特性。全年徑流量分布的特点与徑流形成的条件有关，特別与水源情况有关。大部山区河流，都發源于高山冰川地区。因有冰川的补給，使夏季的徑流比春季的要大。春季徑流最能說明多种补給的河流的主要特性，因为在这些河流的山区流域中，一年的積雪都是春季融化的。地質条件和集水区的地形也会影响流量和水位。陡峭的岩性河床或谷岸徑流匯集迅速，因此

在秋夏季內形成陡急的洪峯。高山水源的河流，在1~3个夏季月份中流过的徑流达全年徑流量的70~80%，而冬季徑流非常小。

大型山河的流量过程綫呈尖峯形，集水区是由拔海高程不同的地形区域所組成的。这种河流的大洪峯，是由于各种原因接連發生的洪水堆積而組成的。有关各种水源(水、雪、雨、地下水)对形成过程綫的影响的資料甚为缺乏。

H.H.法沃林〔37〕根据苏联山区和干旱区(克里米亞、北高加索山麓、南高加索和中亞細亞)的一百条小河和中等河流水文地質特性的研究，得出山区河流补給的大致分配如表一。

表 1

| 河 流       | 山区河流补給的分配(%) |     |     |     |
|-----------|--------------|-----|-----|-----|
|           | 地下水          | 雪 水 | 雨 水 | 冰 川 |
| 發源于冰川的河流  | 39           | 13  | 20  | 28  |
| 沒有冰川补給的河流 | 37           | 28  | 35  | —   |

形成洪水的水源(雪、雪山和冰川的融化，以及暴雨)决定了洪水的大小和頻率，下列情况势必增大冰雪补給的数量：1)冰雪融化期和暴雨降落期吻合时；2)河道网很發達；3)在河流及其支流上可能形成冰壩和冰壩的被冲毀；4)在河流及其支流上沒有蓄攔徑流的河灘窪地。

在山区河流上，洪峯的上漲和下落很迅速，有时甚至發生在几小时之內。这便引起水位急剧的漲落(3~5公尺)。



最大流量可达到枯水流量的 50~100 倍。晝夜流量的变化取决于上游冰雪融化的速度。在海拔 900~1,500 公尺高的山区小河上,夏季流量通常都在下午 2~5 时上漲,往后便逐渐减小。冬季流量的晝夜变化几乎难以察觉。

冬季内(从 10 月到 4 月間),有許多河流上游的徑流都很小,而某些年份由于冰川补給的中断,甚至完全断流。在比較靠近下游的河段上,因有地下水滲入河床,徑流重新恢复。由地表徑流补給的河流,在干旱季節内,流量达到極微小的数值。这种河流在夏季里也常常發生干涸。

表 2 为 H.H. 法沃林[37]的山区中小河流全年徑流量的大致分配。

表 2

| 河 流       | 全 年 徑 流 量 的 分 配 (%) |     |     |     |
|-----------|---------------------|-----|-----|-----|
|           | 春 季                 | 夏 季 | 秋 季 | 冬 季 |
| 發源于冰川的河流  | 26                  | 46  | 18  | 10  |
| 沒有冰川补給的河流 | 43                  | 15  | 14  | 28  |

山区河流上游河段的特点,是落差和流速都很大。C.B. 格里哥里耶夫[11]研究过許多小河的縱剖面,确定山区和山麓河流的特点是“对称縱剖面”,呈向下凹的双曲綫形的曲綫(圖 1a)。在近河口处,曲綫接近水平直綫。發源于山区的大河流,如捷烈克河、庫拉河和馬耳卡河,这种形狀的剖面顯現得很清楚。对于山区小河,如在南高加索的河流中,大多数的河流都是呈这种縱剖面;而在北高加索和克里米亞

的河流中，就甚为稀少。如具有这种剖面的薩耳吉尔河，其上游坡降为  $0.30 \sim 0.07$ ；中游坡降为  $0.03 \sim 0.02$ ；下游坡降减到  $0.006$  [19]。

第二种縱剖面形狀是“直綫”的。这种剖面形狀的特点是河流的落差变化成一直綫(圖16)。这种剖面在中亞細亞和高加索高山地区的小河(小捷連楚克河和尤尔坚-查依河等,长度在50公里以內)中最常碰到。

拔海2,000~3,000公尺的高山河流縱剖面呈拋物綫形。拋物綫的末端是高达数十或数百公尺的梯級(圖1B)。河口段的坡降异常陡峭，这是由于过去地質紀在巨大冰川的作用下引起侵蝕基準面(主要河流的河谷)的加深所致。山区河道縱剖面的階梯形狀，在很大程度上取决于泥石流的作用，以及在高瀑布河段內形成的山崩。

流經山谷的河道，因谷坡复盖着能够被冲走的土層，所以常發生泥石流。由于降暴雨以及積雪迅速融化(少有現象)，沿河流集水区的陡坡流下的水流，冲刷土壤的表層，把碎石(風化物)帶入河道，并淘刷堤岸土堆和樹根等。这些冲刷到河里的物質，以很大的流速順流而下。水流所挟帶的巨石、塊石和樹干，在峽谷內堆積成壩，有时抬高水位达10~12公尺。当堆積物一被冲毀时，形成具有巨大破坏力的山洪。因此这种山洪通常形成單个的洪峯，可能淹沒或損坏

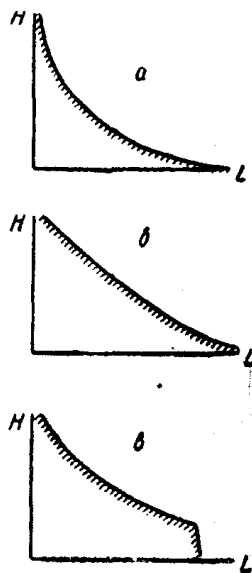


圖1 山区河流的縱剖面  
a—对称剖面；b—直綫剖面；  
b—河口梯形剖面。

河上的水工建築物。

山区河流冬季水情的特点是变化不定，同时沒有明顯的結冰过程。山区河流冬季水情的特点如下：

1. 急流和淺灘的存在因此容易形成底冰及冰花；
2. 流速很大，因此在大多数的河流上沒有冰复盖層；
3. 山区小河流可能發生局部的，有时甚至是全部的封冻現象（結冰期流量不大）。

温度下降愈低和嚴寒期愈長，產生冰花的过程就愈迅速，但在苏联南方的山区，嚴寒期和暖季通常是互相交替的，所以当嚴寒降臨之后，河上便周期性（波浪式的）出現冰花。基于这种气象因素（嚴寒期和暖季交替），河道結冰和冰花的流动在一年中發生2~3次或更多的次数。通常冰花最多的月份是一月和二月，有时是十二月。在嚴寒季節，各山区河道中都充滿着冰花，但各河道冰花的性質是很不相同的。这与河流的气候条件、河道及其支流的水文情况和河床形狀的特征有关。可以举兩条相鄰的河道，即大捷連楚克及其支流克亞法尔河的冰花性質的变化为例。在大捷連楚克河水电站中，由于河上冰花很多，使水工建築物的冬季管理遇到了很大的困难，冰花層把壩前的來水河床和壩的下游堵塞住，并形成冰壩。随水流進入引水道的冰花，有时复盖整个水面达40~45公分厚。离捷連楚克河水电站約15公里远的斯托罗热夫水电站，在壩的管理工作中就沒有遇到这种困难，从河道進入渠道的冰花是極少的。这是由于克亞法尔河的河床在冬季里有地下水滲入，因此河水比大捷連楚克河的河水温暖。

如水流的流速恆定，冰花則分散流动。当流速增大时，冰花就沉沒在水流中。小河上的冰花流量占水流流量的60%。在山区河流中，底冰的形成少于冰花、并且数量也很少。下

雪、起暴風雪以及在谷坡上風卷積雪時，雪即滾入河內，并形成“雪團”。在峽谷和灘淺的地方，“雪團”被阻塞起來成冰壩。

## 2. 固体徑流

山区河流的水文情况，特别是固体徑流的情况，是与集水区和河道流經的山谷，河床的地質構造以及地貌条件密切相关。山区河道的河床和河岸地質構造的特点，在于山区河段的河床，多半是由基岩或复盖河床的礫岩所構成。礫岩是由岩石碎塊和流域斜坡上的疏松沉積層所形成。河床兩岸通常很陡峭，有时河床是由有裂縫和滑动的岩石以及土壤構成。河灘及其台地通常是沒有的，即使有河灘也不很寬。在山区河流的出口处，河灘变闊了，河道沿着冲積層組成的河灘蜿蜒而行。非岩性土壤的河床，在巨大流速作用下，由于以下的因素而起变形：

- 1 ) 水流的坡降 ( 影响流速 ) ；
- 2 ) 組成河床的顆粒的粗度；
- 3 ) 流域的地質構造 ( 其中包括表土層 ) 和面積；
- 4 ) 流域的气候特征 ( 特别是暴雨的頻率 ) ；
- 5 ) 河流上有無人工建筑物；
- 6 ) 冰壩和冰塞的可能性。

山区和山麓河段的坡降是很大的 (  $0.005 \sim 0.3$  ) ，因此流速也很大。洪水时期水流的冲刷能力驟然增大。水流挟帶大塊的漂石、被淘刷落入河里的樹根和被冲刷或从流域坡地刷下的泥土。在山区河道中，研究泥沙，尤其研究推移質的运动特別重要。由于缺乏長期观测泥沙的資料，所以在許多山区河道上确定固体徑流量很困难。其实通常都沒有这种观

測資料，因此根据个别的觀測資料來确定推移質和懸移質的比例也有困难，因为这种比例不恆定，常随着水情（即流量和水位）而变化<sup>●</sup>。可以肯定，河道含沙的变化，是取决于冰川和山坡冰雪融化的速度、山崩、降雨和暴雨的强度，并取决于流域内各河段的自然地理条件和河床的冲刷等。

在瓦赫什河上，因 1949 年 7 月發生了一次 8~10 級的地震，C.M. 哥尔頓〔10〕引証了該河含沙量增大的資料：七月九日晝夜平均含沙量几乎达到 20 公斤/公方即增加了 2~3 倍。

由于这些因素，說明輸沙量并不与流量的大小形成一有規律的关系。根据許多的觀測，在同一水位下，洪峯上漲时的水流含沙量比下降时的水流含沙量大。

B.Л. 舒利次〔43〕指出，对于含沙量不多的中亞細亞的山区河流，如果固体徑流（或含沙量）与河流的比降，或者与其它的水力因素有关，根据現有的資料來看，也还不能把这种关系弄清楚。在山区河流中，含沙量的变化比流量的变化更为急剧，更为突然。最大含沙量常比平均含沙量大 60~100 倍。

中亞細亞的河流調查研究証明，在冰雪融化的 3~4 个月中，通过河流的推移質和懸移質达全部固体徑流的 75~90 %。在山区河流中，这一过程縮短到 20~30 天，甚至几晝夜。在山区河流出口段的輸沙能力随着河流比降的减小而降低，因此粗粒徑的泥沙就逐漸减少了，而細沙則逐漸增多。

在上游山区河流中構成河床的泥沙的粒徑，往往比下游河段河床的大。洪水期間在山区河段上，流速应足以挾帶推

---

● 水文气象总局出版的水文年刊上，載有測量固体徑流量的有关資料。

移質。枯水期的特点，是推移質的移动几乎完全停止，只有極小量的懸移質在移动。当然也并不是所有的河流上都如此。

在山麓河段上，一年大部分時間內都有推移質移动。因为这些河段上泥沙的粒徑比上游泥沙的粒徑小。在枯水期，因流量和流速很小，泥沙的移动便停止。如果对挟帶泥沙的水流進行若干年的觀測，通常就可以确定各种粒徑的泥沙开始移动时的最小流量。

河流所挟帶的懸移質与推移質之比，不僅随季節而变化，且与流量（也和流速有关）的变化有关。对于山河，通常可取用懸移質年徑流量的 10~20 % 作为年推移質量的平均数。

## 第二章

### 底欄柵式引水壩的構造

#### 3. 对山区河流上建築引水壩提出的要求

根据山区和山麓河段上河流的水文特性，可以歸納出对山区河流引水壩提出的几項基本要求：

1) 在所有可能產生的水位情況下和在枯水期引水系数（即在同一時間內引水流量与河水流量之比）达到 1 的情況下，应保證引取所需的流量；

2) 建築物縮減河流的过水断面应达到最小，以使得在筑壩后河道的原有状态不產生大的变化；

3) 保證水流平穩地流向建築物。还应尽可能在不寬的河床部分上進行引水。为使脫离主河床的水流不影响河水流入建築物，并在建築物前不致發生“搖擺”現象，必須建築導水堤或用其他方法整治上下游河床；

4) 由于流量不僅在一年之中，并且在晝夜間也有很大的变化，所以为了保證取得枯水流量，必須集中在某一河床部分進行引水，如在河心或河岸的一边；

5) 泥石流道上的建築物向上游外伸的結構（閘墩和岸墩），應該考慮到洪水期水流帶下的坚硬物体（沉木、漂石等）可能發生的冲击現象和因此而產生的附加动力；

6) 保證由引水建築物引進的懸移質沉積在沉沙池

內；

7) 在冲沙流量最小的情況下保證將推移質和懸移質从上游泄往下游；

8) 通过壩把漂浮物、冰和冰花泄到下游去；

9) 拥有良好和穩定的量水特性；

10) 引水建築物構造的复雜性（亦即建築物的造价）要与建築物的任务相称。山区小河上的引水建築物，通常是为了修建小型灌溉系統和小型水电站，因此引水建築物的造价应与灌溉系統的任务和水电站容量相称，并应相当低廉。

为了实现以上的要求，必須：

1) 壩应建筑在狹窄的河段上，壩檻应比平均河底高程稍高一点；

2) 壩体構造应能無阻的泄放漂浮物、推移質、冰花和冰；

3) 保證流入進水閘的懸移質和部分推移質的沉淀；

4) 在必要时应保證能引取全部枯水流量。

引水樞紐可以根据兩種不同的前提來設計。

第一种，根据控制灌溉面積或利用河水發電（或給水）的条件，已給出灌渠或引水道首端的水位高程。为了能在这一水位下保證引得所需的水量，必須在河上筑壩，形成相当的水头。因而在这种情况下，渠道的水位便决定壩的高度。在水头足够的情况下，可以在樞紐內建筑沉沙池。

第二种是不給出渠首水位。这时河中水位的抬高取决于枯水期內保證引取所需的流量。前面所述的对山区河流建築物的要求証明，壩檻最好尽可能修建得低一些，大約接近河底的平均高程。这时，因不能保證沉沙池的冲沙（水头不足），故沉沙池就必須布置在樞紐下游的渠道上。



壩前壅水高程的選擇，通常是在渠首或壓力前池的各種不同的水位下對引水壩和引水渠進行幾個方案的經濟技術計算來進行的。

但不論是根據那一種前提來設計，為了編制引水樞紐的設計，都必須具有以下的資料：

- 1 ) 樞紐地點和樞紐所在的河段的地形圖；
- 2 ) 在所設計的建築物所在的河段的縱剖面圖和樞紐地點的河道橫剖面圖；
- 3 ) 樞紐地點地質說明書和土壤的地質技術調查資料；
- 4 ) 水道的水位流量曲綫；
- 5 ) 渠道所需的流量曲綫；
- 6 ) 流量與河水水位以及渠首水位的關係曲綫；
- 7 ) 渠道的高程和平面布置（縱剖面和平麵圖）。

低壅水壩壩址主要根據河道直段的地形條件來選擇。對於低壅水壩，在選擇建築物的地點時，河床的地質構造沒有決定性的意義。因此引水樞紐地點的選定，除地形外，通常取決於控制的灌溉面積或供水區域的條件，或河道水能達到最大利用的條件。

設計引水樞紐所必須的勘測工作量，如地形測量、地質調查、水文測驗和水文勘測等，是由有關的規範決定的。

#### 4. 引水樞紐的布置

壩頂或壩檻內設有引水廊道的低水頭壅水壩，最適合於對山區小河上的壅水壩提出的要求。這種壩的特點是形狀如底檻或略高出河底的低檻，切斷河床或河床的一部分。從檻上溢過的水流，一部分或者全部通過欄柵流進引水廊道。欄