

官
方
期
賣

171371

基本館藏

水工建筑物 下游河流的运动

苏联 И. И. 列維著



水利电力出版社

序 言

苏联水力工程建设的不断高涨，迫切地要求在渗流、土力学、工程水力学以及河流动力学方面的科学研究迅速向前发展。

河道水利枢纽下游的水流运动问题，对于枢纽的正确设计和运用有着重大意义。该处复杂的水力学现象以及与其有关的造床情况，对于水利枢纽的设计有着重大影响。目前，在拟制设计书时，已不能仅限于决定上下游的衔接情况而根据它来判断建筑物工作的可靠性和运用的稳定性。在现代建筑物中，单宽流量和流速要超过天然河流很多倍，在河底和沿岸会发生大的冲刷；在很多场合下会发生折冲水流，猛烈冲刷河槽，致使船舶进入船闸的条件变得完全不适合。

为了保护建筑物和河岸不受淘刷，必须把很长的一段河槽进行加固；在选择消能设备和过水长度时，必须明确建筑物下游河段中的水流情况和水利枢纽的运用条件。

苏联的水利技术科学，在解决所提出问题的道路上，已经获得巨大的成就。远在1932—1933年，苏联的优秀学者，河流水力学的创始者H.M.别尔那德基就已研究出绘制河道水流平面图的理论（参考文献1和2）；这种理论，在以后H.T.麦列申科和C.H.努梅罗夫（参考文献3和4）以及Г.И.苏霍梅尔的著作中得到了发展。本书著者和技术科学副博士A.Г.索洛维耶娃共同研究出在有迴溜区时绘制水流平面图的理论，并研究出发生折冲水流的条件及其防止办法（参考文献5和6）。

关于消能问题，建筑物下边压力脉动和流速脉动问题，以及河槽局部冲刷问题，也有人进行了深入的研究。在M.З.阿布拉莫夫（参考文献18），A.Д.沙瓦连斯基（参考文献7），Д.И.库明（参考文献8和9），H.A.普列奥布拉任斯基（参考文献10），A.H.拉赫马诺夫，本书著者，以及其他一些研究人员的著作里，都谈到建筑物下边流速大脉动和压力大脉动的逐渐消灭以及大脉动对河槽冲刷的影响问题。由于这些研究，才能有意識地设计消能措施及规定河槽的加固长度。可以

大胆地这样断言，在世界实践中，首先是依靠苏联学者的创作，才创立水力学中新的一章——消能理论。

B. C. 巴烏姆加尔特教授也完成了极其重大的工作，他研究出选择水利枢纽的主要参变数（过水长度，上下游衔接型式，护坦设置高度）的方法和防止渗透的措施。

在М. М. 格里兴，А. А. 莫洛索夫，Е. А. 札馬林，Ф. Ф. 古濱，Д. Я. 索柯洛夫和И. В. 叶基阿查洛夫的著名著作里，討論了在不同自然条件下水利枢纽的合理佈置問題及其型式的選擇問題〔参考文献 25—28〕。所有这些著作，在設計許多偉大的建筑工程以及其他經過苏联共产党第19次党代表大会規定建造的大型水利枢纽时，已經直接应用过，並且因此节省了不少資金。对于研究如何正确管理水利枢纽而言，他們的作用也是不小的。

由于大量材料的积累，要求儘速地將它們加以綜合，以便能把計算水流的新方法更快地应用于水利建設的實踐中。

在本書中討論四類問題。

开始（第一章和第二章）叙述河道水利枢纽的规划及其管理情况。这里打算將我們水利建設中的經驗加以系統化，並从各个观点，特别是从建筑物如何合理运用的观点以及下游水流情况对于水利枢纽佈置影响的观点，来評定在工程实践中解决問題所用方法的价值；在这方面，本書著者並遵循苏联大型河道水利枢纽中所采用的基本观念，这些观念在上述М. М. 格里兴，Е. А. 札馬林，Ф. Ф. 古濱，А. А. 莫洛索夫等教授的著作中亦有所闡述。

第二类（第三章至第八章）是研究水利枢纽下游河流动的問題，即建筑物下边消能的問題，水流逐渐扩散的問題，决定折冲水流形状及其发生条件的問題以及消除折冲水流措施的問題；这是本書的主要部分。

其后（第九章和第十章）討論建筑物下游河槽近处和远处的冲刷問題。

最后两章（第十一章和第十二章）研究合理运用的条件以及設計大型河道水利枢纽时的一些技術經濟問題。

目 录

序言

第一章 研究的问题 6

- § 1. 水工建筑物下游河段的水流运动问题对于水利工程实践的意义 6
- § 2. 在收缩的过水长度情况下, 河道水利枢纽下游发生的现象 8
- § 3. 水电站下游发生的现象 14
- § 4. 研究的问题 16

第二章 河道水利枢纽的几种布置方式及其运用情况

- § 5. 河道水利枢纽组成部分概说 18
- § 6. 设置在平原河道岸边的水利枢纽及其运用情况 20
- § 7. 平原河道水利枢纽的其他布置方式及其运用情况 24
- § 8. 水利枢纽中各种建筑物分开布置的特别情形 29
- § 9. 高水头拦河水利枢纽 33
- § 10. 河道的灌溉水力枢纽及其运用情况 39
- § 11. 通航河道上的复杂的灌溉水力枢纽 45
- § 12. 基本结论 47

第三章 水工建筑物下游的消能

- ✓ § 13. 水工建筑物消能现象的本质 48
- ~ § 14. 水跃和海漫上水流状态的一些水力特性 56
- § 15. 护坦下游的消能 63
- § 16. 在消能段中水底压力的脉动 69
- § 17. 消能设备对于上下游衔接的影响 71
- § 18. 在三元问题情况中的水跃 (H.T. 麦列申科的解法) 74
- § 19. 在三元问题情况中共轭水深的决定 78
- § 20. 在三元问题中的面流式上下游衔接情况 81
- § 21. 关于上下游衔接三元情况下淹没水跃的补充说明 85

第四章 海漫上的水流运动

- ✓ § 22. 在水平海漫上的水流运动 91

第五章 水工建筑物下游水流在无折冲现象时的扩散情况

- § 23. 河流水力学的平面问题 98
- § 24. 别尔那德斯基所建议的河流水力学平面问题的方程式 100
- § 25. 计及侧面上切应力的流束运动方程式 106
- ✓ § 26. 平面上水流扩散实验研究的基本结论 111

✓ 第六章 扩散水流的形状和长度的近似决定

- § 27. 论问题的近似解法 117
- § 28. 近似决定扩散水流形状和长度的计算式 120

第七章 水流平面图的作法

- § 29. 水流边界区宽度上水流平面图的作法 126
- § 30. 用有限差量法作成水流平面图 128
- § 31. 河道水流平面图的作图程序。理论计算与试验资料的比较 132
- ✓ § 32. 河道水利枢纽下游水流扩散的算例 140

第八章 水利枢纽下游的折冲水流及其防止

- § 33. 折冲水流的形式和成因 147
- § 34. 建筑物运用不善所引起的折冲水流 150
- § 35. 采用分水墙和分水堤以防止折冲水流 153
- § 36. 防止折冲水流的结构方面的措施 159
- § 37. 大型水利枢纽下游的措施 163

✓ 第九章 水利枢纽下游河槽的演变

- § 38. 建筑物下游河槽冲刷的一般性质 166
- § 39. 建筑物下边局部冲刷的性质 167
- § 40. 护坦下边水流的冲刷能力 170
- § 41. 在缓慢改变的水流状态中的不冲流速 174
- § 42. 护坦下边河槽冲刷的试验研究 175

§ 43. 护坦下边河槽冲刷深度和河槽护面长度的决定	181
§ 44. 在面流式的上下游衔接情况下的河槽冲刷	183
§ 45. 水流扩散段上的河槽冲刷	187

第十章 河道水利枢纽下游水位的降低

§ 46. 现象的一般性质	195
§ 47. 冲刷河槽中的缓慢改变的水流运动	197
§ 48. 河槽变形方程式的近似解法	200
§ 49. 下游水位降低的近似决定法	202
✓ § 50. 下游河槽冲刷形状的决定法	208
§ 51. 基本结论	212

第十一章 用水工建筑物孔口上闸门的启闭来防止河底冲刷和河槽护面损坏

§ 52. 水工建筑物闸门启闭的任务	212
§ 53. 水工建筑物闸门启闭的水力学问题	214
§ 54. 在底流式上下游衔接情况下水工建筑物泄水孔的运用图的决定	217
§ 55. 在底流式上下游衔接情况下闸门启闭计算举例	221
§ 56. 在面流式上下游衔接情况下水工建筑物工作孔容许数的决定	224
§ 57. 在面流式上下游衔接情况下闸门启闭计算举例	227
§ 58. 水电站泄水流量的限制	228

第十二章 建筑物过水长度的选择

§ 59. 影响选择过水长度的因素	230
§ 60. 决定过水长度的方法	233

结 论	235
-----	-----

参考文献	237
------	-----

第一章 研究的問題

§ 1. 水工建築物下游河段的水流運動問題 對於水利工程實踐的意義

社会主义水利事業中的最重要問題之一，就是水利資源的綜合利用，而苏联的水利資源是很丰富的。

在建造河道上的巨大水工建築物時，我們面前會有一連串的問題，即河道水能的利用，水道運輸的保證，農業區域的灌溉，以及工業的供水。雖然這些水利部門中的每一部門，對於將要修建在河道上的水工建築物，都各有其特別要求，但是所有水利部門的共同要求也必須給予滿足，因此就提出了某些共同的問題；其中最重要的問題之一，就是建造水庫，以保證調節河道的流量。

在苏联修建的河道水利樞紐中，多數具有足以對逕流進行年調節或多年調節的水庫。謝爾巴科夫、古比雪夫、卡霍夫卡、斯大林格勒、斯維爾、齊姆良、諾沃西比爾斯克和其他的一些水利樞紐就是這樣。在枯水年和秋冬時期，當水電站需要最大水量的時候，水庫就保證在實際情況下，尽可能增加河道的流量。此外，在夏季的平水時期，河道中的大船行駛是極困難的，這時水庫又把水放到下游河道中，以便通航。在種植作物的全部時期中，水庫按照需要的水量，放水供給灌溉系統。在河道上建造的大型水庫，從本質上改變了河道上游和下游的情況，使河流形成若干個湖段，而在上下兩湖（水庫）之間，則是壅水不很大或微有壅水的河段，直接連到建築物的下游方面。由於這種緣故，以及由於流量狀況本質上的變化，河道的造床過程在新的情況之下，將按照與在自然情況下不同的另一種方式進行。

在湖狀的河段中，河槽上將出現逐漸而極緩慢的淤積，水面有些昇高。在沒有壅水的河段中，造床過程將要顯著地緩和些，這是因為流量增減變化的程度，照例要較在自然情況下減小很多的緣故；河槽變形最大的洪水持續期間也就縮短。惟有在下面幾種情況之下，即一

种是在水利樞紐的下游預計不会再有任何水工建築物的时候，例如在卡霍夫卡和斯大林格勒水电站下游的情况，另一种是在下游建築物的施工要经过相当长时期的时候，在水利樞紐的下游，才能由于河槽被冲刷而发生河底和水面显然降低的现象。水利工程师們都很熟悉，这种现象的发生，主要是由于经过建築物放出的水已经没有懸移質和推移質泥沙的缘故（因为泥沙将要长期沉积在水庫里）。在平原河道里，这种现象的程度不大，但不能不加以考虑，因为它对于所设计的建築物是有某些影响的。

在山区和山麓区的河段，河槽的淤积发生很快，所以下游水位的降低就覺得更显著而重要。在设计水工建築物的时候，特别是在选择消能设备的时候，应当注意这种现象；同样，在决定水电站的水头和决定水輪机和下游閘首的檻在下游水面以下的深度的时候，亦应注意。

河道状况最显著的變化，发生在紧接建築物的地方。現代洩水建築物通常仅佔河道寬度的一部分，随着水电站大小的不同而把天然河槽收縮到二分之一或三分之一，或者更窄一些。由于这种情况，经过建築物流出的河水，其比能和单寬流量与自然情况下相比较，是很大的，因而在河槽中易于造成显著的冲刷，水流的扩散也比较緩慢。同时，为了保证在通到船閘的进路上有不大的流速（特别是横向分速），就必须使船閘进口离开建築物的軸綫，因而也增加了水利樞紐的造价。在设计水工建築物 and 护岸工程时，应当注意到河槽冲刷的可能。另外也必须預計到建築物使用管理的情况，因为这对于怎样选择结构的型式以保证水利樞紐下游具有良好的水流情况，是有影响的。

从以上所述，我們就可以得出結論，设计河道水工建築物时必须正确地計算出建築物下游将要发生的现象。关于水利樞紐的佈置，建築物基本尺寸的选择，以及其构造形式等問題，在有不少的場合，都是通过實驗室精密地研究了这些水利樞紐下游河段水流运动情况之后，才获得合理解决的。

目前已经到了这样的時候，应当把这些水流运动情况的研究加以綜合，並研究出适当的計算方法，以便工程师在设计水利樞紐的开始

阶段，就能正确地提出並解决上述的一般問題。在佈置水利樞紐时所发生的主要問題之一，就是怎样选择过水长度（即过水淨寬的尺度——譯者）的問題。必須指出，这一問題直到目前为止还没有得到适当的解决。在設計的實踐中，祇有在很少的場合是有选择溢流坝长度和水电站溢流能力的論証的。照例祇是首先选定坝的长度；直到后来，才考查清楚应当对于建筑物采取那些措施，以免在其下游发生不良的現象。这些措施的费用，先前是没有估計到的，但实际上往往在建筑物的全部工程費中佔据很可觀的数目。試想，如果在設計工作的开始阶段中，即在解决水利樞紐佈置和选择建筑物的基本尺寸的时候，就已考虑到水利樞紐下游河水运动的情况，那末所采用的解决办法就会是更有根据的而且会正确些，因而也可使国家节省很多的建設資金。

本書的任务是把設計和运用大型水工建筑物的經驗加以总结，並把总体設計以及計算下游一切水流情况的方法，加以研究。

§2. 在收縮的过水長度情况下，河道水利樞紐 下游发生的現象

現代的河道水利樞紐，是由非溢流的和溢流的坝、水电站、以及船閘所組成。除此以外，还設置有进水閘，以便放水到灌溉系統里去。現代水电站的特点，是在其建筑物中設置有洩水孔，用以排洩洪水，並且依靠喷射尾水的作用来提高水輪机的有效水头。这些洩水孔的运用决定于水电站的使用条件；照例是在水位相当高的时候排水，因此上下游的衔接是属于面流式衔接的性質；同时，水电站尾水管深入到下游最低水位的下面，也促成了这一点。但是在海漫（其高程規定接近于天然河底高程）上的流速，和坝的下边的流速，都可能很大，这是因为經過水电站洩出的单寬流量很大的緣故。

在許多地質条件有利的場合，水电站和坝上的单寬流量，可以达到50~60立方公尺/秒。但是苏联平原河道的单寬流量，在自然情况之下，縱使在极大洪水的时候，也不超过20~25立方公尺/秒（山区的河道不超过15~20立方公尺/秒）。如果注意到这一点，当然就会顧慮到在水利樞紐下游发生折冲水流和冲刷的危險。最不利的，是在

河道下游水位較低时，把較大的流量集中在建筑物一部分地段排洩的情况，这种情况在坝和水电站都会发生。

流量集中，不仅使得在护坝上的上下游衔接极其复杂化，並且也在一定場合，引起折冲水流。产生折冲水流的主要原因之一，是在洩水地段的水位，較之外圍地方（即形成迴溜区域）的水位为低；由于水位的差異，所以迴溜区域的水就要侵入行經水流区，而使水流过水断面縮窄，因此单寬流量和流速都較不产生折冲水流的二元水流为大。这类折冲水流情况見图1。

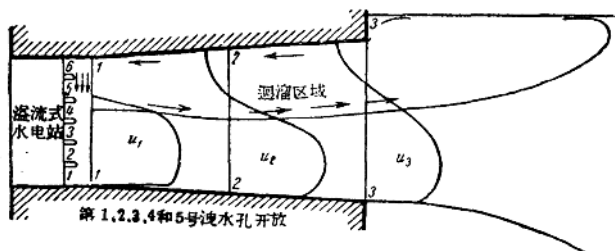


图1 当水流集中在溢流式水电站的一部分邻近孔洩出时，下游的水流情况

管理河道水利樞紐的經驗表明，在大多数的場合中，折冲水流是发生在把建筑物的一部分洩水孔完全开启而且下游水位低的时候，或者是发生在开启的孔沿坝軸綫分配不适当的时候。这种现象早就被人注意到了，H.H.巴甫洛夫斯基院士〔参考文献11〕远在1934年，就已主張对于水利樞紐的运用管理，必須有合理的规划，以避免护面遭受破坏和河槽受到危險性的冲刷。巴甫洛夫斯基院士认为水利樞紐洩水孔合理运用的基本要求，应当是不容許在建筑物的下游有远驅式水跃，並且为了預防其发生起見，他提出了必要的規定，即拦河坝的全部洩水孔应当均匀开启，而且溢洪道的单寬流量应当受到限制，須与下游水位相适应。

Б.Е.維捷涅耶夫院士注意到，在水工建筑物的管理实践中，会遇到有不开启拦河坝全数洩水孔的这种必要，所以他曾經堅決要求，必

須制定出适当的規章，以指示管理人員如何預防折冲水流的发生。首先在下述一些情况中就会遇到有不开启全数洩水孔的必要：一种情况是建筑物的洩水孔极多（例如第聶伯水电站的坝和伏尔加河的一些坝）；另一种情况是必需在下游水位的一定范围内，把某些閘孔关闭，以避免岸墩或分水牆受到淘刷。但另一方面我們也不能不顧到管理人員在尽可能十足开启洩水孔时的工作便利，例如在放走飄浮物或浮冰时常常要有这样的便利，特别是在採用单层平板閘門的場合。在这种場合，就产生一項特別任务，即保証上下游呈面流式銜接的状况，以免冰块打击护坦底和溢洪道本身。

不要忘記，溢流堰的过水长度，通常是按照根据机率理論推算的最大洪水进行計算的（超量机率为0.1%至1%，視建筑物的級別而定），所以其长度往往超过排洩普通洪水所需的长度很多。还有，在山区河道上修造水工建筑物时，为了解决避免泥沙淤积的問題，当洪水远未达到最大的时候，也可能需要把坝的个别的閘孔十足开启。

因为这些緣故，所以必須研究建筑物下游水流运动的問題，以及水流在下游狭窄段上集中的可能性。图2表示一个建筑物的模型經過几个（5个）並排的洩水孔放水的情况；水流通过閘孔时受到收縮，流速达到5~6公尺/秒，水流的扩散极为緩慢。在船閘进路下口处的流速大到3~4公尺/秒，因此在实际上不能通航。

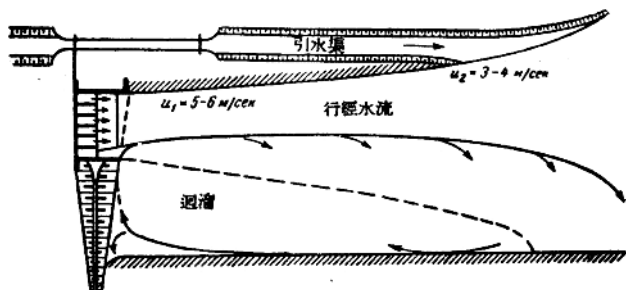


图2 当有壅滯存在时，水流的收縮情况

为了把下游水流的情况改好些，必須把經過建築物的流量分佈在其全部过水长度上，即把全数洩水孔一齐开启，而每个洩水孔並不充足。实验証明，在这种情况下，折冲水流的影响就要減輕，而流速則減小到原有流速的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 。

在过水长度过于收縮而又必需排洩全部洪水流量的时候，情形就更坏了；在这种場合，水流在建築物的范围内，已不可能进一步扩散，因此，下游河槽可能发生很大的冲刷，而船隻駛近船閘的条件就可能完全不适合。

为了消除这些不利的現象，必需採取特別的設施，以保証水流在护坦上更快地扩散和避免折冲水流的发生。最初发现这种現象是在沃尔霍夫水电站；在此处的水电站厂房和船閘之間設置有洩水建築物，其洩水孔頗深，在排洩洪水的时候就有这种現象。当水流从建築物的出口洩出时，发生偏斜的水跃，並且以接近临界情况的流速冲向铁路橋的边墩；水流的扩散极緩慢，因此边墩开始受到淘刷而发生倒塌的危險。

沙巴涅耶夫教授曾受到委託，要他研究出防止折冲水流的結構型式；他在詳細研究以后，提出了逐漸扩散的靜水池結構，池中备有曲綫式的底檻，以保証水流按照规定的方向扩散（图3）。

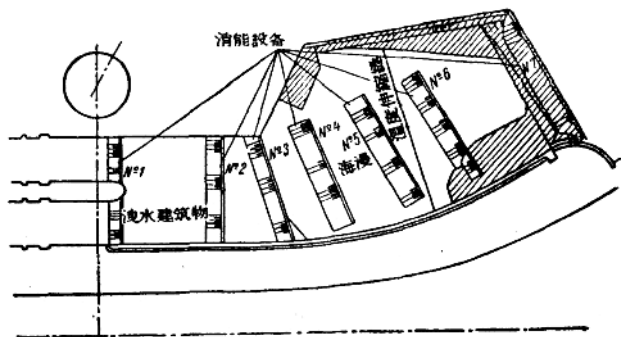


图3 曲綫式底檻的消能設備平面图

这种导流底槛装置的效用，是由于其每一个底槛上都有水位的降落；特别重要的是，在最后的底槛上也有水位的降落（虽然並不很大），这样就可以防止迴溜区域的水从侧面侵入，同时也就消除了使下游水流情况恶化的河道水流收缩。

在另一场合，实验室工作人员〔参考文献12〕设置了兼有扩散槛功用的大体积的消能设备，当单宽流量极大时（达到60~70立方公尺/秒），则採用两排高达6~8公尺的消力墩，藉此促成静水池上水位的降落而发生很有效的消能作用；消力墩在平面上的方向，要佈置适当，靠此达到使水流扩散並且流向对岸的目的（图4）。

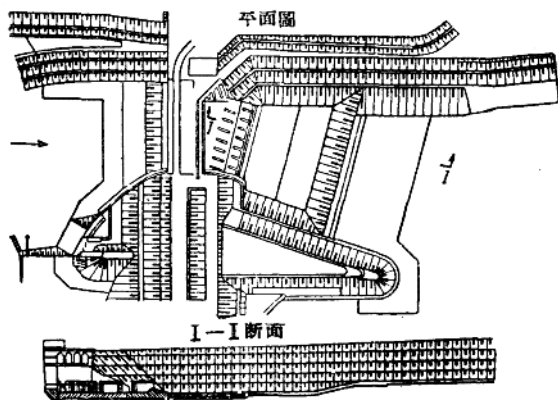


图4 由两排大体积的消力墩作成的消能设备

上述的两个例子证明，要想正确的解决洩水建筑物设计的主要问题，水利枢纽下游水流运动情况的了解是如何重要。

如果一个水利枢纽和一个水电站，一起佔着河槽的很大部分，例如水电站在右岸而船閘在左岸，则在模型试验中的现象，骤然看来，会觉得是完全特殊的。图5表示这个水利枢纽的佈置，以及当流量集中于和水电站相连的几个邻近洩水孔时，在下游发生折冲水流的情形；由于在水电站的尾水出口和在拦河坝上开启的洩水孔的下边，这

两处的水面高程相差很大，所以下游的水流突然轉折，而朝着填上关闭的洩水孔的方面，流向設置着船閘和其下游引渠的左岸。在填上关闭的洩水孔的面前，其压力远較在水电站方面为低；在水电站方面，发生强有力的迴溜，这就阻礙了填下的水流，而沿着河道左岸船閘引水渠堤岸的流速，則超过了5公尺/秒，引起堤岸的淘刷。

但是，适当地輪流开启和关闭洩水孔，靠此把流量分配在填的全部过水长度上，这样就能够使折冲水流停止发生（图6）；在这种情况下，压力的降低仅出現于下洩的射流的范围內；虽然靠此方法达到的流速分佈仍是不均匀的，但是水流的扩散已很迅速。此时，水流的扩散角已是很大，这是由于其側面水流的紊动过程，对于水流产生强有力的作用的緣故。

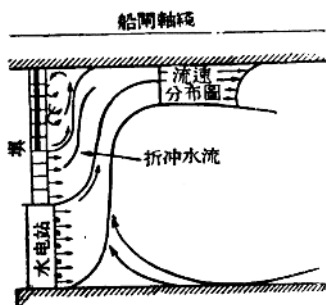


图5 当洩水流集中在水电站附近时發生的折冲水流情况

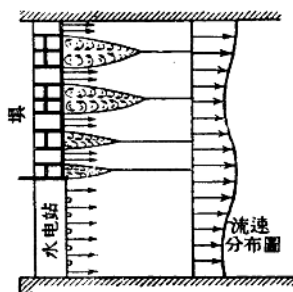


图6 洩水流散沿填的全部过水长度适当分佈的情况

上面所述的例子表明，研究在不需要把填上全数洩水孔开启的情况下水利樞紐的正确运用方式，是多么重要。应当記着，經過建築物排洩的普通洪水，其流量远不及据以决定拦河坝长度的洪水量为大；但是也有不少时候，有些設計工作者在考虑了最大洪水时的上下游銜接情况之后，就認為其設計任务已經完成。其实，这种設計方法是完全不对的；因为年洪水远較計算的最大洪水为小，所以必需仔細研究出，怎样使这种小洪水流过建築物而不許其形成折冲水流，並同

時能預防建築物的工作情況過分繁重（例如經過一個或兩個十足開啟的閘孔放水）的合理方案。

§ 3. 水电站下游發生的現象

現時明顯地出現了建造所謂聯合式水电站（在此式水电站廠房範圍內排洩洪水，在下文中都譯為排洪式水电站——譯者）的一種趨勢，經過這種建築物的洩水量是很大的；如果注意到這種趨勢，則問題還要加深研究。在現時所建築的大型水电站中，至少是在我們平原河道上的，沒有一個不是接受了這種觀念的（例如卡馬、古比雪夫、卡霍夫卡、斯大林格勒、諾沃西比爾斯克等水电站）。

在水电站附近的河岸上，通常造有昇壓變電所。當經過水电站排洩洪水時，沿岸的流速可能是極高的，所以需要修築很長的護岸工程，以防沖刷。

討論到水电站下邊可能發生的現象時，我們也應當注意到水电站在電力網中的作用情況。大家都知道，在大多數場合中，水电站是電力系統中的峯荷電廠，這是由於晝夜調節水流可能性很大的緣故。前面早已說過，河道式水电站往往同時造有大型水庫，這種水庫有年調節和多年調節水流的作用，所以實際上不僅僅限於有可能晝夜調節水流。因為有這種情況，所以在秋冬時期，下游水位低落，水电站通常是在一晝夜的一部分時間中，用全部機組發電的。當採用現代強有力的機組的時候，水电站洩入下游的單寬流量達到12~16立方公尺/秒；但是要注意到，當低水位時，河中水深不過4~5公尺，所以流速就有3~4公尺/秒。這樣高的流速，在大多數的平原河道（其河床是由沙土，粘壤土組成的，在較好的場合是由堆石組成的），可能使水电站的基礎受到淘刷。

在洪水時，洩水建築物將與水輪機同時洩水；下游水位大大昇高，單寬流量也可能相應地有顯著增加。所以，只有在夏季的平水期，水电站下游的流速才是較小的；而在一年中的其餘全部時期，流速都是極大的；所以要設法保護水电站廠房，使其免受淘刷，並且要在變電所、變電所的通路或船閘引水渠的全部岸綫以內，做有護岸

工程(图7)。

此时必须查明经过水电站放入河道下游的水流运动情况；应当注意一点，即在流速很高的时候，水电站方面的压力，可能较在溢流坝和非溢流坝下边的侧面迴溜区域的压力为低，并且水流还有可能收缩，这是由于有水从迴溜区域侵入，而且在正对着升压变电所的一段河道里，单宽流量和流速都有增加的缘故。

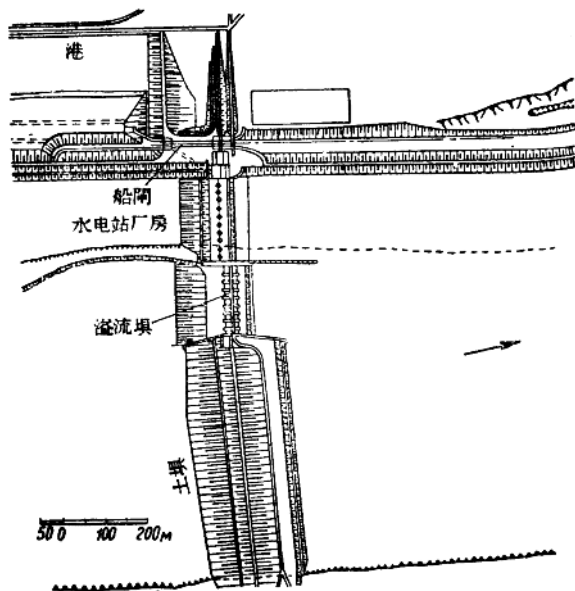


图7 排洪式水电站示意图

对于排洪式水电站的运用，至今还没有什么经验；但是在设计材料中越来越频繁地看到这样的企图，即儘可能在洪水开始的时候，就使水电站的洩水孔开始放水。此时，就必须仔细研究，经过水电站而洩入河道下游的强大急流的情况是怎样的；显然，在下游的某一定

水位时，上下游的衔接情况大为恶化，而我們所盼望的面流式衔接情况是可能不会实现的。

要在什么样的河水流量和下游水位时开始经过水电站排洩洪水方为适当，关于这个问题，应当在每一个别场合，联系到水利枢纽下游的水流运动情况而加以研究。必须对于建筑物的使用管理妥当安排，以免在河槽和河岸的加固方面用款过多，并且防止船閘下游引水渠情况的恶化。

经过水电站和溢流坝同时放水的问题是颇为复杂的。这时在水利枢纽下游发生的折冲水流现象，以及经过两处各别建筑物放出两道水流的扩散情况，在目前还极少研究；但是，在这种情况下，上面所说的一切意见显然仍是适用的，并且在每一具体场合，必须对于下游可能发生的现象有一概念，以确定它对于设计水利枢纽的影响程度。

§ 4. 研究的问题

现在我们打算综合上面所说的，并且把应当在本节中提出的那些问题确定下来。

我們得出的主要结论是这样的，即在设计现代大型水利枢纽时，不可以只根据地质、地形和水文的资料以及在建筑物本身会发生的水力现象，来设计建筑物；不能不注意到经过建筑物而进入水利枢纽下游的水流运动情况。必须明瞭这几件事，即：经过建筑物的某一部分放水，对于下游的水流运动将引起怎样后果；此时河槽的冲刷将是怎样；需要采取怎样的措施来防止折冲水流，并保护建筑物与河岸，免受淘刷。

必须明瞭，在冬季实行昼夜调节的情况中，以及在洩水孔放出洪水的时候，水电站的工作将产生怎样的后果；必须查明船閘下游引水渠的水流情况，以保证正常的通航。

所有这些问题的研究，都需要分别考虑一些独立的问题。其中最重要的是：（1）建筑物下游河槽局部冲刷的研究；（2）水利枢纽下游水流扩散情况和发生冲刷情况的研究；（3）形成折冲水流的条件的研究。