

苏联A. B. 格里申著

水利樞紐的施工导流 和基坑圍护

任汝述 顧家龙譯

電力工業出版社

內 容 提 要

本書研究在建造水利樞紐時施工導流方案的選擇，圍堰的構造、計算和建造方法，排水的實施，以及施工導流和基坑圍護的實例。這些問題在蘇聯的技術文獻中講的很少，而在水利工程中具有實際意義。

本書供建造水电站及河川水工建築物的技術員和工程師參考；同時也可作為高等學校水工和水能專業學生的教學參考書。

А. В. ГРИШИН

ПРОПУСК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТОВ И ОГРАЖДЕНИЕ
КОТЛОВАНОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОУЗЛОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАНИЕ МОСКВА 1950

水利樞紐的施工導流和基坑圍護

根據蘇聯國立動力出版社1950年莫斯科版翻譯

任汝述 顧家龍譯

7378103

電力工業出版社出版(北京復興門外金鈴)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 4 $\frac{1}{4}$ 印張 * 90千字

1958年1月北京第1版

1958年1月北京第1次印刷(0001—1,400冊)

統一書號: 15036·630 定價(第10類)0.60元

作者序

在建造水利樞紐的建築物的工作中，施工導流和基坑圍護乃是極其複雜和非常專門的工作，在建造水利樞紐的總工程量中，它們所佔的比重很大。它們不僅影響建築工程的一般組織，而且影響到主要建築物的構造和佈置方案。因而，關於這一或那一施工導流方案問題的解決，具有極重大的意義。

雖然，水工建設的經驗很豐富，但是對導流和基坑圍護方面的問題還研究得很不夠；而且這方面的文獻也很少。圍堰方面現有的一些著作認為，圍堰和施工導流問題之間沒有應有的連系。某些文獻資料對個別一些施工導流問題的論述是不一致的，有時甚至是錯誤的。

在本書中，作者根據個人的實際經驗和對水利工程方面的文獻與總結材料的研究，試圖對建造水利樞紐時的基坑圍護和施工導流問題作出系統的探討。本書首先根據蘇聯豐富的水工建設經驗；同時，作者還利用了一部分從外國建設中得來的資料。這樣做的目的，主要是想反映在各種不同的自然條件下建造水利樞紐的經驗。這些資料可能會使蘇聯的水工和水能方面的技術人員發生一定的興趣。

技術科學副博士 С. И. 勃里諾夫、水力發電設計院總工程師 П. И. 瓦西連柯、工程師 А. А. 斯捷潘柯夫、工程師 И. С. 拉賓諾維奇和工程師 А. А. 盧金柯等曾參加本書的審閱和校對工作，作者僅向他們致以衷心的謝意。

目 录

作者序

緒論.....	4
§ 1. 施工导流問題对建造水利樞紐的意义.....	4
§ 2. 施工导流与基坑圍护方法的發展簡介.....	6
第一章 影响导流方案选择的各種因素.....	9
§ 3. 影响导流方案选择的主要因素.....	9
§ 4. 水文条件的影响.....	10
§ 5. 地質和水文地質条件的影响.....	14
§ 6. 地形条件的影响.....	16
§ 7. 水利樞紐建筑物的構造及其总体佈置与导流方法 的相互关系.....	17
§ 8. 主要工程的施工組織与导流方法的关系.....	21
§ 9. 施工期間保証河流綜合利用.....	26
第二章 計算施工流量的选择.....	27
§ 10. 計算施工流量及决定其选择的因素.....	27
§ 11. 选择計算施工流量的技术經濟計算原理.....	31
第三章 施工导流方法.....	37
§ 12. 施工导流方法的分类.....	37
§ 13. 用位於河床外的导水建筑物导流的方法.....	38
§ 14. 在河床內导引施工流量的建筑物分段建造法.....	46
§ 15. 經過圍堰和水利樞紐的主要建筑物导流.....	52
第四章 近代的圍堰構造、圍堰的計算和建造方法	59
§ 16. 圍堰的構造和型式.....	59

§ 17. 圍堰的平面佈置和防止縱向圍堰的冲毀	74
§ 18. 圍堰頂高的決定	78
§ 19. 建造圍堰的施工組織特点	79
§ 20. 圍堰各種型式的比較及其構造和建造方法的一般趨勢	83
第五章 圍堰与导水建筑物的运用以及对导流所引起	
起的失事的分析	87
§ 21. 圍堰和导水建筑物的运用	87
§ 22. 对导流所引起的失事的分析	89
第六章 基坑排水和开挖	94
§ 23. 排水的一般概念	94
§ 24. 基坑抽水	96
§ 25. 保持基坑干燥	97
§ 26. 开挖基坑的施工組織特点	98
第七章 水利樞紐的施工导流和基坑圍护实例	99
§ 27. 在具有岩石河床的平原大河上建造水利樞紐 (当壩頂的位置高时)	99
§ 28. 在具有岩石河床的山区河流上建造水利樞紐 (当壩頂的位置高且有槽式溢洪道时)	113
§ 29. 在河床由礫石構成的山区河流上建造水利樞紐 (低檻壩)	116
§ 30. 在經過調节的、岩石河床的河流上建造水利樞紐 (低檻壩)	119
§ 31. 在經過調节的、河床由軟土構成的通航河流上建造 水利樞紐(低檻壩)	125
附录	130
参考文献	133
地名及水电站名称对照表	134

緒 論

§ 1. 施工导流問題对建造水利樞紐的意义

水利樞紐的建設工程与其他建設工程(工業与民用建筑等)不同,它不得不在或多或少与建設地点的河流狀況有关的条件下进行,这是因为工程要在河床上施工,而且在施工过程中,河流的天然狀況要受到严重的破坏和改变。那时,河流不得不被縮窄、攔阻、或导入其他河床中。同时,为了在施工期間內河流綜合利用的条件不受破坏,必須保證河流流量能从正在建造水利樞紐的地点宣洩。

因此,在河流上建造水工建筑物时,除了各种类别的施工組織問題以外,發生了施工导流的專門問題,它對於工程的成功与否,有極重大的意义。正确地解决导流問題,能加快工程进度並降低工程造价;解决得不正确,就会增加造价和延緩工期,在个别情况下,甚至会引起严重的失事。如果在工程开工之前,对导流問題不加仔細研究,則往往引起工程施工方法的根本改变,並相应地增加費用,在第31节所举的例子中曾有过这种情形。

奥格河上白奥姆脫壩严重失事的原因,是由於在圍堰構造不善的情况下,沒有正确地解决施工导流問題[文献5]。这个壩是在从兩岸用圍堰同时縮窄沙質河床的情况下施工的。双排板樁圍堰的板樁打入沙土內的深度不够,造成了基坑中严重的滲漏,这就使工程变得复杂,並延緩了工期,工程进行了四年(1911~1914年),經過很大困难才建成的壩,很快

又遭到了失事。

从表 1 的資料中可以看出,水利樞紐的建筑工程总造价中(沒有包括輸电綫路、变电站和永久性交通运输建筑物的造价),与施工导流和基坑圍护有关的工程,就佔了很大的比重,而且还没有把失事所引起的損失考虑在內。

表 1

次序	水 电 站 名 称	圍堰与排水的工程費用佔樞紐建筑工程总造价的百分数
1	列宁第聂伯水电站(不包括船閘)	6.1 (不包括排水)
2	西茲朗水电站	12
3	上杜拉水电站	11.9
4	切卡馬加水电站(美国)	8.2
5	維里尔水电站(美国)	3.9
6	彼克維克水电站(美国)	5.0

經驗証明,施工导流条件不但影响工程的施工設計;同时还影响水利樞紐的建筑物的佈置,甚至还影响到建筑物的構造型式的選擇。因此早在初步設計中選擇樞紐地址及其建筑物的总体佈置时,就應該考虑到施工导流条件。在技术設計阶段,对这个問題就應該研究得更为仔細,而且在非常重要的和复杂的情况下,要进行專門的實驗研究。經驗指出:由於避免了施工过程中巨大的返工浪費,这笔实验費用可以得到多倍的偿还。

施工导流方法往往决定了建造水利樞紐的基本施工方案,如第 27 节的例子中所示。必須特別指出导流問題与水利樞紐的建筑物基础的建造方法之間的有机連系,特別是在开敞式基坑中建造基础时,圍堰的佈置、構造和尺寸主要取決於导流条件。

为了要正确地解决导流問題,研究和总结河川水工建設

的經驗就具有重大的意义;同时,对事故的發生、对特殊困难及其消除方法等等的分析,也具有極大的实际价值。

§ 2. 施工导流与基坑圍护方法的發展簡介

远在十三世紀时,在俄国为了安裝水磨就开始了形式簡陋的水利樞紐建設。到了十八世紀,水利樞紐建設已具有很大的規模,当时的水力設備已成为俄国年輕工業的动力基地。以后,由於水力原动机被蒸汽原动机部分地取代了,致使水利樞紐的建設稍有停滯。到十九世紀末叶,为了綜合開發、利用河流,水利樞紐建設重又获得發展;而在苏維埃政权时代,水利樞紐建設达到了極其宏偉的規模。随着水利樞紐建設事業的發展,施工导流方法也得到了改进。

在十九世紀末叶以前,水利樞紐是建筑在不大的河流上,並且大多数是建筑在河流的上游段。在俄国十八世紀当时認為規模巨大的水利建設就是这一类,这一类水利建設在烏拉尔地区特別發达。因此十八世紀六十年代末,該地区大約有150个屬於政府或私人的拥有水力設備的工厂,將其中直到目前尚被使用着的一些典型的水力設備,列於表2。

表 2

次序	建築物名称	建造年代	壩造成的水头 公尺	河流流量 立方公尺/秒
1	杜拉河上的壩	1793年	10.0	} 3~600
2	白河上的壩	1762年	10.5	
3	涅依瓦河上的壩	1825年	7.4	

十九世紀以前,想在俄国的大河上做水利工程的嘗試,最終都归於失敗了。众所周知,远在十六世紀时,就曾初次嘗試着利用伏尔霍夫河的能量以推动当时最大的水磨磨盤,其方

法是把部分河流流量导引到取水口和渠道中，該渠道系用縱向的木籠牆从河床中分隔出来的。水磨和木籠牆有效工作的時間很短，其后就被第一次洪水所破坏[文献9]。

在十八世紀时已經採用木籠和板樁以攔断河流。当时建筑壩的技术操作方法一般是这样的：用不大的木籠縮窄壩址上游的河道，然后在各木籠之間用水平橫木加固，同时这些橫木亦可作为板樁樁列的导梁；板樁樁列打入后，河流即被攔断，此时，施工流量即由早已造好的洩水建筑物宣洩；最后，在形成的靜水內填筑壩身。

於十九世紀末叶和二十世紀初叶，在開發和利用賽克絲納河、北頓涅茨河、奥格河以及調节伏尔加河河源的过程中，积累了大量的水工建設的經驗。当时的水工技术具有下列一些特点：

a) 广泛地採用分段法来建造建筑物的基础，並在河床范圍內导流；

6) 建造密实式木籠圍堰、板樁式和支架式圍堰，其最大水头可达6~7公尺；

b) 基坑排水系採用單發動机的活塞式水泵。

在偉大的十月革命以后，苏联完成了許多巨大的水利工程，在这段时期內，苏联工程师對於施工导流問題获得了十分丰富的經驗。当时除在中等河流上建設水电站外，並在國內最大的河流上，例如在伏尔加河、第聶伯河、伏尔霍夫河上建造了許多水利樞紐。

从伏尔霍夫水利樞紐建設中，取得了在复杂的、冬季冰封的河流上建造水利樞紐的初步經驗。在伏尔霍夫工程中，建造基础有二个方法：使用沉箱基础和开敞式基坑中建造基础。开敞式基坑用高达10公尺的木籠圍堰加以保护，採取各

种方法(如利用被圍堰及壩墩所縮窄的河床、深洩水孔、水輪机的尾水管及尾水管上端的座环)宣洩施工流量。

在第聶伯建設工程中,国内第一次採用了計算水头高达12公尺的、用鋼板樁做盖面的透空式木籠圍堰。在多水河流上用梳齿法建成了水头37.5公尺的混凝土高壩。

在斯維爾工程中,木籠圍堰成功地被安置在軟基上,並第一次採用往流水中拋填混凝土塊和石塊的方法来堵塞圍堰間的缺口。在契爾契克工程中,成功地利用了施工渠道导流,其后該渠道用往流水中拋石的方法予以堵塞。

在伏尔加河上的水利樞紐的建設工程中,在流量很多、水位差很大、並有大量流冰的条件下,广泛地採用了木籠圍堰保护基坑,並用往流水中拋石的方法断流。

由於从上述一些巨大的水电站建設中获得了經驗,苏联工程师掌握了在大河上(無論是在岩基或軟基上)建造水利樞紐的方法;此外,与施工导流及基坑圍护有关的施工技术本身,亦大大地向前推进了一步。採用鋼板樁做盖面的透空式木籠圍堰具有特殊的价值,因为这种圍堰在大河上是圍护基坑的有效工具(如在第聶伯和斯維爾水利樞紐建設中採用过)。基坑排水已开始採用强大的、由电动机开动的离心式水泵。往流水中拋石断流的方法已被广泛地应用在施工实践中。在試驗室中研究水利樞紐施工时的水力条件,已积累了大量的經驗[文献3]。在很多次的試驗室的研究和丰富的实际的水力樞紐施工經驗的研究基础上,創立了一門新的“工程水力学”学科,且.И.巴甫洛夫斯基院士称之为“施工水力学”。

国外水电建設經驗中,可以提出来的有:在土壤易被冲刷和滲流强烈的条件下攔断河流(密西西比河、但尼司河);在水流流速很大(达9.0公尺/秒)的河流(薩格維涅伊河)上施工

[文献 2 和 16]。

第一章 影响导流方案选择的各种因素

§ 3. 影响导流方案选择的主要因素

选择正确的施工导流方案,是设计水利建筑物时极其复杂的问题之一,在很多水力枢纽的设计中,这一问题是被长期研究的对象。例如,第聂伯水电站和伊尔得谢水电站曾经拟定了几个导流方案,并且引起了权威专家们对这个问题的讨论,还在试验室中进行了实验研究。

选择合理的导流方案的复杂性,是由于必须顾及许多错综复杂的影响因素而引起的。首先必须重视自然特性——水文、地质和地形的特性以及河流的特征。具有综合的国民经济意义的河流,往往要求在施工期间内,保证能继续利用河流以进行出力、通航、航运、供水和灌溉等。所设计的建筑物的特性,特别是水头的高低、泄水建筑物在高程和平面上的布置等,对施工导流都有极大的影响。

建造水利建筑物,首先是建造壅的施工组织、施工顺序和施工进度,在很大程度上取决于施工导流的要求,特别是在用分段法建造水利建筑物,以及用梳齿法建造混凝土壅时。同时,导流方法与基坑围护、基坑排水以及基坑开挖的方法之间有着密切的联系,工程施工的胜利和不出事故,在极大的程度上完全取决于导流方案的正确解决,取决于围堰的布置、构造和完成的质量。

因此,解决导流问题的原始资料是:河流的自然条件,对该建筑地区内的河流加以综合利用的各个国民经济部门所提

出的要求,以及施工的技术可能性。編制导流方案,必須在設計过程中,應該和建筑物的总体佈置、建筑物的構造以及建造方法等密切地連系起来考虑。

确定影响导流方法的因素和估計这些因素对导流方法的影响程度等方面有关的問題,在文献里所談到的观点並不是总是正确的。例如某些作者認為:“河流的流量越大,由壩所造成的水头越高,則經過壩址或經過水利樞紐的建筑物宣洩流量的措施也就愈复杂,而建造壩本身以及临时圍堰所需的工期也就愈長”^①。这种把影响因素仅归結为流量和水头兩点的說法,不能正确闡明决定着导流措施的全部因素。仅仅只注意到河流流量大小的影响,而不同时考虑到河流水文狀況的全部特点,是錯誤的。

水头大小影响导流措施的复杂性,並不如某些作者所得出的定义那么簡單。例如当施工流量从隧洞或底孔宣洩时,建筑物水头的大小,不会在本質上影响导流措施的复杂性。

这些作者还企圖按壩的高低(低水头、中水头、高水头)区分导流方法,也是完全不恰当的。他們建議用下列方法导流:建造低水头的壩,採用边側渠道或旧河道;建造中水头的壩,採用以梳齿法或底孔法来完建的分段法;建造高水头的壩,利用导水隧洞。决不能遵循这种使导流方法的选择只取決於壩的高低的建議,因为要合理的解决这个問題必須顧及上述的所有因素。

§ 4. 水文条件的影响

河流的水文特征,在頗大的程度內,乃是決定水利樞紐施

① 伯魯达斯道夫、鮑罗廷、比林、格拉道夫著:“水利土壤改良工程的施工”第一篇第十八章第254頁,1941年苏联农業出版社出版。

工期間的洩水任务以何种方法来解决的極為重要的因素。为了做出合理的导流方案,要求預先仔細地研究河流的流量大小、河流的天然深度与流速大小、河流流量与水位的情况以及冬季的情况等。

在偶然有水的干谷中筑壩,在干旱季节施工一般不存在导流問題。当河流流量不大,可以用蓄水或經過建筑物地点用渡槽、管道等导流的簡單办法来解决。在多水河道中筑壩,导流問題極為复杂;往往由於对水文因素的估計不足,而在樞紐施工期間,引起施工方法的根本改变。例如在萊茵河上建造肯伯司水电站以及薩格維涅伊河上建造阿伊-馬林水电站时,曾經發生过这种情况[文献2]。

研究河流的天然情况,可以查明河流天然的和人工的調节程度;根据調节的程度,导流条件可以發生劇烈的改变。所有的河流都可以按其調节性划分为下列几类: a) 河流有天然的逕流調节,由湖泊(如斯維尔、安加拉、萊茵河)或由山上的冰雪(如契尔契克河)供水; б) 河流沒有天然的調节(如第聶伯、伏尔加、頓河); B) 帶有調节逕流用的首部建筑物的河流——渠道。

表3中列出了苏联某些大河的最大流量与最小流量的比值以及水位变化的幅度。

表3

次序	河 流 名 称	最大流量与最小流量的比值	水位变化的幅度(公尺)
1	斯維尔河斯維尔水电站站址	12	6.65
2	伏尔霍夫河伏尔霍夫水电站站址	50	7.0
3	契尔契克河契尔契克水电站站址	40	4.7
4	第聶伯河第聶伯水电站站址	81	9.9
5	伏尔加河雷宾水电站站址	136	13.5

自然,河流的調節愈大,施工导流也就愈容易、愈安全;反之河流水位如經常劇烈上漲,施工导流就复杂了,这一点在雨量特多的中小河流中特別常見(例如在索契)。研究河流洪水的漲率也很重要,在山区河道(例如在巴克桑、但立克、索契等地)随着洪水的到来,水位劇烈上漲,沿着河流好像掀起了具有破坏性的波濤。

根据河流的水文特性,导流条件是各式各样的,但整个說来,苏联的經過各种不同气候地帶的河流,比西欧天然調節性大的河流,其导流困难更大。在苏联某些地区,特別是在西部、西北部及中亞細亞,那里的河流具有天然的調節性,施工导流的困难就較少。

苏联南部和西部地区的河流,由於气候温和,冬季环境不起重要作用,可是这些河流的浮冰現象常常造成水电站在施工上以及今后在运轉上的复杂性。在苏联北部、东部和中部的河流上建造水利樞紐,冬季环境有特別重大的意义,必須十分重視和仔細研究它們,例如建造伏尔霍夫水电站时,由於冰壩之故,建筑物的基础曾几度遭到淹沒;因而由於冰壩而可能壅高的水位,在研究导流問題时必須加以注意。

在施工时,必須非常重視保証流冰的安全宣洩,因为对流冰宣洩条件估計不足,往往会引起失事,而有时要根本改变导流方案,例如在設計伊尔得謝水电站时,經過实验室的洩冰檢驗以后,放棄了用施工渠道导流的方案。在建造伏尔加河上的水电站(雷宾、烏格里奇)时,浮冰曾造成了巨大的困难。流冰情况在烏拉尔的河流中非常严重,特別是在杜拉河上。必須从兩方面考虑流冰的問題:首先必須保証有足够的工作寬度洩冰,並且預防河床中的临时建筑物因冰凌堆积和摩擦造成的损坏;其次应考虑在圍堰的上游或下游形成的、並造成壅

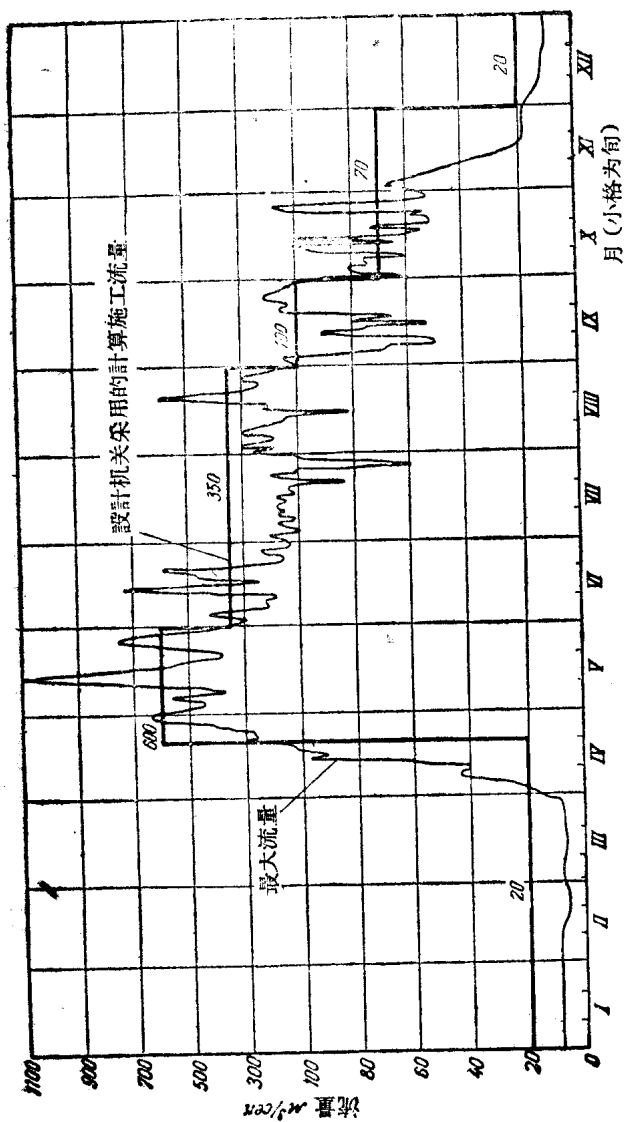


圖 1 根据多年观测資料而繪制的河流最大流量的包絡綫和計算施工流量曲綫

水的流冰壅塞現象所可能引起的后果：一旦冰塞潰決，會發生破壞性的、挾帶着巨大冰塊的波濤。

在苏联水工建設實踐中，水文資料的整編工作直到目前为止，尚不能完全顧及建筑人員所提出的特殊要求。水文計算追求的目的，通常是为了查明建筑地点河流的水能——經濟特性，因而研究河流的情况也相应地从这一观点的角度出發，因此經常局限於研究观测期中特征年的旬平均流量和月平均流量的变化，而計算洩水孔口所必需的最大流量，一般都沒有詳細地按月研究。为了正确地論証和選擇計算施工流量，必須具有：特性年的日平均流量、圖1所示的多年最大流量的包絡綫以及不同重现度下的最大流量的日程曲綫（圖2）。流域面积不大的河流不但有春汛，而且还有夏季洪水，因此不但必須決定春汛的理論累积頻度，而是還必須決定雨洪的理論累积頻度。

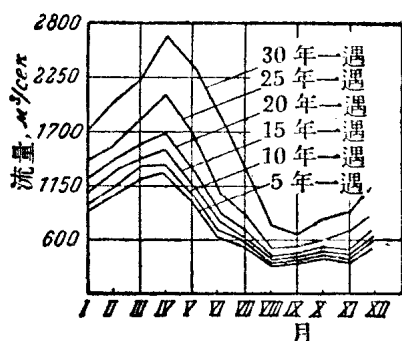


圖2 按月繪制的各种重现度的最大流量曲綫

§ 5. 地質和水文地質条件的影响

地質条件对水利樞紐施工时河流流量的宣洩有極大的影响，因为它决定了：a) 河道可能縮窄的范圍，在这范圍內可保障河岸与河底不受冲刷、圍堰及临时桥梁的墩台不被冲毀；b) 利用施工隧洞或渠道导流的可能性；c) 圍堰的構造及其填筑和修建的方法。

为要正确地解决施工导流問題,不仅和樞紐建筑物基础的岩盤深度与性質有关,而且和复盖在岩盤以上的、形成天然河底的岩層特性也有关系,因为临时建筑物(圍堰、临时桥梁的墩台和过水建筑物)常常不是佈置在岩盤上,而是合理地放置在复盖於岩盤上的河流沉积土上。有兩種基本的情况: a) 河底由岩石岩盤所形成,或其上有一層不厚的沉积土層; 6) 河床由軟土岩盤所形成,或是在岩石岩盤上复盖着一層很厚的河流沉积土。

当其他条件相同时,岩石岩盤的河床跟冲积土的河床或其他容易被冲刷的軟岩盤的河床比較起来,可以縮窄的較多;因此,在这种条件下一般用分段法来建造建筑物,而很少用渠道导流,也很少用全部或一部分位於河岸上的主要洩水建筑物来导流。可是,后兩種导流方法在軟基上却是常常採用的。建筑物的基础如果是岩石,一般可以使导流容易,因为在这种情况下,沒有冲刷河床及冲毀临时建筑物的危險。

如果对水利樞紐建造地点的地質構造和土壤的地質技术特性的估計和研究不足,可能引起严重的困难:如引起滲漏、基坑淹沒和其他事故;在排水上化費过多的电力,以及往往迫使改变所採用的施工計劃等。例如在萊茵河上建造阿夫古司脫維里恆水电站时(1908~1912年),由於發現用水泵抽水不可能把基坑弄干,因而改变了工程的施工方法。該建筑物的基础下面的岩盤有裂縫,是易於透水的石灰岩,於是只好放棄在开敞式基坑中建造基础的方法,而改用沉箱法施工。

伏尔霍夫壩採用沉箱法建造基础的理由之一,也是怕排水难以对付,因为事先估計基础下的層狀石灰岩會發生巨大的滲漏。但水利樞紐建筑的实际經驗表明,这个顧慮原来是多余的。