

水利水电工程 施工过程中的水流控制

FLOW DIVERSION AND
CONTROL DURING HYDRAULIC
ENGINEERING CONSTRUCTION

王民寿 编

成 都 科 学 技 术 大 学
四川省水力发电工程学会施工专业委员会

**水利水电工程
施工过程中的水流控制**

FLOW DIVERSION AND
CONTROL DURING HYDRAULIC
ENGINEERING CONSTRUCTION

第一节 概述.....

第二节 施工导流的水工模型试验.....

编 者 的 话

本书原名《水利水电工程施工导流、截流及基坑排水设计》。原书印出后，全国两百多个单位索取。由于印数有限，湖南詹水利水运勘测设计院又将全书翻印。近两年来又有不少单位来函索取，但已无存书。为了满足广大水利工程技术人员和大专院校水利类专业师生的需要，编者对全书进行了改写，体系作了调整，校正了前稿，并进一步充实了大量国内外的工程实际资料。改写后，易名为《水利水电工程施工过程中的水流控制》。

本书以施工导流的规划设计为主，同时也对导流工程建筑物的施工和科研的内容及要求作了简要介绍。全书着重于设计标准和设计方案的选择及工程实效的分析对比。特别是对国内外一些工程的主要经验，贯穿于全书的各有关部分进行了介绍。鉴于大中型水利水电工程的导、截流工程设计都以水工模型实验的成果为主要依据，水力学计算仅作参考，加之有关施工水力学已有专著和手册，故本书中有关水力学计算部分较简略。然而，对施工过程中的水流控制特有的问题着墨较多，且介绍了有关模型试验和原型观测的要求和注意问题。由于国内许多工程导截流方案布置在我校编写的《水利水电工程施工导流图集》（水利出版社1982年出版）一书中已有系统介绍，本书另增补了不少国外资料，供读者参考。本书纳入的计算实例，力求尊重工程设计单位的原设计成果，通过实例侧重介绍设计方法。引用的有些成果尚属中间成果，除对次要部分作了少量删节外，未做大的更改。倘读者发现计算理论和方法有不够严谨之处，请自行定正。

本书可作大、中专水利水电工程施工、水工、农水专业教学和毕业设计的参考书，也可作为专题教学的补充教材，同时也可供水利水电工程设计、施工和科研人员参考。

本书的出版曾蒙我校水利系及水工教研组领导的关心及四川省水力发电工程学会施工专业委员会、水电部第七工程局樊增祥副局长、曲世江付主任、陈刚工程师的热情支持。

本书在改写中，三三〇工程局岳荣寿副总工程师、沈晋阁、傅万绪工程师，葛洲坝水电工程学院盘石副院长、华东水利学院汪龙腾副教授、长江流域规划办公室于壮石、王子勤工程师、建字 650 部队王华僧工程师、水电部西北勘测设计院谢仁信工程师、中南勘测设计院晏以懋工程师、成都勘测设计院杨立樵、雷巡益、余启文工程师、水电部第九工程局勘测设计院陈德川工程师和四川省水利勘测设计院陈兴良工程师等十分关心，有的同志提供了一些资料，有的同志提出了一些宝贵的建议。本书初稿曾由我校熊达成教授校稿，本书的修改还得到石磊、魏茂光老师工作上积极的支持，本书的校样和描贴图由易平、肖芳敏老师和张小明同志热情帮助完成。本书的出版和发行工作得到我校教材科、印刷厂的领导和全体职工的大力支持和协助。在此，编者对以上同志表示衷心感谢。

限于改写时间短促，编写水平有限，错误、缺点在所难免。敬请读者批评指正。

编者 王民寿 1983. 春

目 录

第一章 施工过程中的水流控制	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 施工导流设计的基本资料和设计需要提交的成果	(2)
第二章 施工导流	(5)
第一节 施工导流方式及适用条件	(5)
第二节 施工导流的设计标准	(9)
第三章 施工导流方案布置及水力计算	(19)
第一节 分期围堰导流方案布置和水力计算	(19)
第二节 导流底孔的布置及水力计算	(32)
第三节 坝体预留缺口导流布置及水力计算	(42)
第四节 明渠导流方案布置及水力计算	(46)
第五节 隧洞导流方案布置及水力计算	(57)
第六节 涵洞及渡槽导流	(79)
第七节 影响施工导流方案的因素和导流方案的选择	(80)
第四章 拦洪渡汛和封孔蓄水	(91)
第一节 坝体拦洪标准和渡汛措施	(91)
第二节 封孔蓄水的时间和标准	(101)
第三节 封孔的方式和施工技术	(103)
第四节 封孔闸门及其选型	(110)
第五节 封孔期对下游的供水措施和堵头设计	(114)
第五章 围堰工程	(117)
第一节 围堰的分类、工作特点及其对堰体结构的要求	(117)
第二节 各种围堰的结构型式、适用条件及其选择	(118)
第三节 围堰设计	(144)
第四节 围堰的施工、事故、维护和拆除	(162)
第六章 截流工程设计	(170)
第一节 概述	(170)
第二节 截流方案及其选择	(174)
第三节 截流设计标准、龙口及戗堤设计	(182)
第四节 截流抛投料的抗冲稳定、种类、规格和数量的确定	(197)
第五节 截流流量的分配规律及改善截流条件的措施	(207)
第七章 施工导流、截流的水工模型试验研究和原型观测	(216)

第一章 施工过程的水流控制设计综述

第一节 概 述

修建位于河床上的水工建筑物, 在施工过程中, 一般必须使天然迳流部分或全部改道。利用围堰或永久水工建筑物的已成部分保护下形成基坑, 排水后进行干地施工。随着永久建筑物施工位置的变化, 天然迳流通过的部位也在发生变化。具体说来, 为了方便施工, 随着施工的时间和空间的变化, 必须使河道的天然来水, 按人们设计预定的部位泄向下游。这些导流泄水建筑物, 根据实际情况, 可以专设, 也可与永久建筑物相结合; 可以是经旁侧的明渠、隧洞、渡槽, 也可以是经过建筑物内部的底孔、涵洞、闸孔、预留的缺口、梳齿或水电站厂房内的过水流动; 显然, 也可安排被束窄的河床导流、为了将河道水流逼进泄水道, 同时围护基坑进行排水, 必须利用围堰或部分已成永久挡水建筑物挡水。截流却是改流的前提, 是施工从局部转向全面的转折。为了保证汛期施工的安全, 尚应研究、实施拦洪渡汛的措施。为了按期或提前使工程受益, 必须及时地进行封孔、蓄水。为了保证蓄水过程下游综合用水的要求, 所以, 蓄水的过程, 必须相应解决按时、按量的给水问题。总之, 导流、截流、挡水、排水、渡汛、蓄水和给水的过程, 就是施工过程对水流控制的过程, 也就是人们能动地解决施工和水流矛盾的时空变化过程。因此, 要把握水利水电工程施工的主动权, 保证多、快、好、省、安全地进行施工, 就必须在施工过程中合理解决导、截、挡、排、渡、蓄和给的关系。时时处处正确处理施工和水流的矛盾。

由此可见, 施工过程的水流控制是一个全局性的, 根本性的, 战略性的问题。它影响坝址、坝型的选择和水工建筑物及其枢纽布置的合理性。实践表明, 已定的坝址、坝型和枢纽布置影响施工导流方案; 而施工导流方案的现实性与合理性又反过来影响坝址, 坝型选择及枢纽布置。五十年代进行长江三峡坝址选择时, 曾就南津关和三斗坪两坝址进行比较。虽然前者坝轴线短, 坝体工程量小, 距后方基地近, 器材、物资、设备供应方便, 终因河谷太窄, 地下建筑工程量特大; 水深、流急, 导、截流难以实现而放弃。潘家口水利枢纽工程在坝轴线选择时充分考虑了方便施工, 有利导流, 选择了坝体工程量尽管较大, 但施工场地开阔的下坝线, 并充分利用枯期导流, 从而加快了施工进度。葛洲坝工程枢纽布置设计中除认真考虑各种水工要求外, 而且充分考虑并满足施工导截流的各种要求。这充分说明, 导流的规划设计, 不仅影响坝址、坝型选择及枢纽布置; 而且影响施工布置、施工进度和工程投资。同时说明一条好的坝线, 一个好的枢纽布置方案, 要从水工和施工的总的要求来衡量, 需要水工和施工人员共同努力来实现。

施工过程水流控制的好坏还直接影响工程的安危。因导流规划不合理, 导流工程设计和施工质量事故而引起工程失事, 造成重大的政治、经济损失不乏其例。一九五八年动工的四川紫坪铺水电站, 最初采用隧洞导流方案。后因导流隧洞施工遇到复杂的地质

问题,引起严重事故被迫改为明渠导流。而导流明渠设计布置又有不当之处,加之施工质量又差,终被洪水冲毁,使整个工程废弃至今。巴基斯坦塔贝拉工程已接近完工时,因2号导流洞发生破坏性事故,使工程受益时间推后一年,仅就修复工程的经济损失就高达6500万美元。

施工过程中对水流的控制,对国民经济及水利资源的综合利用也有直接影响。葛洲坝工程施工过程中利用围堰壅水发电、通航;龚咀电站施工中利用明渠、底孔漂木。美国德沃歇克坝导流设计中全面考虑并解决了施工中放木、过鱼、防洪及蓄水中对下游给水等一系列问题。很明显,在施工导流的规划设计中,必须要有全局观点;没有全局观点,是设计不出一个好的导流方案来的。

从“吴人万弩射潮”的年代,夏禹和李冰治水以来,从黄河到长江,历代劳动人民对江河水流控制积累了丰富的经验。解放后,随着我国水利水电事业日新月异地向前发展,兴建了数以万计的水利水电工程。在各种水文、地形、地质的江河上,成功地进行了一系列的导截流工程。万里长江第一坝——葛洲坝水利枢纽的建设,标志着我国无论从设计、科研和施工等各方面,对施工过程中水流控制的理论和实践都进入了一个崭新的阶段。将这些理论和实践经验加以总结,同时学习国外之所长,取长补短,有助于施工这门学科日臻完善,同时,有利于推动我国的水利水电建设事业进一步向前发展。

第二节 施工导流设计的基本资料和设计

需要提交的成果

一、导流设计所需要的基本资料

在进行施工导流设计前,应全面收集设计所需的基本资料,其内容包括:水文、气象、地形、地质、水工设计、建材及机具设备供应,以及有关技术经济政策和有关工程施工的文件、指示精神等。其资料细目如下:

(一) 气象、水文资料

1. 坝址附近的最高、最低和平均气温,出现的时间和历时的长短;
2. 坝址附近的湿度、风向、风力以及出现最大风力时的风向;
3. 历年降雨量、多年平均降雨量,分月降雨量及平均降雨日数、最大暴雨强度、最大一次暴雨量、发生时间和历时的长短;
4. 对于北方河道,有关冰冻期、结冰厚度。流冰期冰块的大小和尺寸、流冰量、流冰期水位流量的变化,流冰持续的时间;
5. 坝址处河道历年最大、最小及平均流量资料,发生的日期;
6. 坝址处典型水文年(丰水年、中水年、枯水年)的年来水量及分月流量资料;
7. 邻近水文站历年实测水位流量记录,如本流域实测记录短缺,需收集邻近河道水位、流量及气象资料分析其相关关系进行插补;
8. 分析整理坝址处10%、5%的月旬平均流量,5%、2%、1%分时段的流量资料;0.5%、0.1%和0.01%的洪峰流量资料及洪峰过程线;
9. 坝址处水位流量关系曲线。如河床比降较大,而导流挡水及泄水建筑物的进出

口与之相距较远，则需按比降推求其进出口的水位流量关系。倘河床地形复杂，则需建议有关部门在有代表性的部位补设水尺观测；

10. 坝址以上各支流的流量分配及其变化的规律。回水区河道沿程糙率；

11. 泥沙总量及单位含量。分月输砂量、粒径及其分配规律。

(二) 坝区地形、地质条件

1. 坝区 1/1000 和 1/500 地形图，也可补充 1/2000 和 1/200 地形图。地形图比例尺的大小，视工程和结构尺寸大小，地形开阔程度及设计阶段而定；

2. 坝的正常水位以下，特别是施工中可能出现的最高水位以下的水位库容的关系曲线。水库各阶段淹没范围的统计资料；

3. 库区内崩塌滑坡体的资料；

4. 坝区河床地质纵横剖面图；

5. 坝区河床盖层的钻孔资料、沿孔深颗粒级配组成，单位吸水率及渗透系数。覆盖层内的孤崩石及大漂石尺寸；

6. 坝区两岸地质构造及渗透资料。

(三) 水工建筑物的设计资料

1. 枢纽的总平面布置图；

2. 各单项建筑物设计图及分项工程量统计；

3. 可供利用的导流过水建筑物的细部图；

4. 永久水工建筑物采用的闸门及启闭设备情况。

(四) 当地建筑材料的资料

1. 各种当地材料，主要指砂石、粘土、石料的分布、料场的平面位置、高程，开采及运输条件、蕴藏量大小，开采层及盖山的厚度、颗粒级配及杂质含量等；

2. 各种建筑材料的物理力学性能试验指标；

3. 勘探部门对料场的选用和开采的意见。

(五) 其它有关的资料

1. 国家对本工程开工和完建的时间要求；

2. 下游航运、灌溉、工业及生活用水的要求；

3. 本工程分阶段的蓄水要求；

4. 国家有关对工程施工的政策、指示；

5. 施工队伍的技术水平及分阶段提供劳力、物资、器材设备的计划；

6. 国家可能提供的施工机械设备的技术性能和数量(包括已有设备和新购设备)；

7. 对外交通运输的方式和能力、转运车站、码头的仓库的分布及吞吐量；

8. 国家建委和水电部对施工定额、单价及各种概预算指标及有关技术经济政策及规定；

9. 建设银行对工程投资及拨款的意见；

10. 坝址下游工农业生产及城镇分布、高程及防洪能力。

二、设计的内容及成果

施工导流设计的内容及其提供的成果与设计阶段密切相关。就两阶段设计而言

(一) 初步设计阶段：本阶段施工导流设计，主要是充分论证并确定导流的设计标准、导流设计方案和导流工程投资和与导流方案密切配合的施工总进度计划。本阶段设计的具体内容和提交的成果要求如下：

1. 确定导流建筑物设计的等级及设计流量；
2. 确定各导流时段的导流方式，论证比较围堰及导流泄水建筑物的型式和布置的合理性；
3. 计算并绘制各期导流泄水建筑物的泄水曲线，对于拦蓄库容较大，泄水建筑物泄量不等于来水流量的工程，尚须通过调洪演算确定泄水流量和围堰相应的挡水高程；
4. 计算各个拟定导流方案的各期围堰及泄水建筑物的工程量及工程造价；
5. 拟定导流方案的各主要工种工程施工的有效天数，计算其分期强度，并合理安排其施工总进度计划；
6. 绘制各导流方案泄水建筑物封堵时的水库水位上升的历时曲线，并确定蓄水计划；
7. 绘制各导流方案及截流方案的布置图，围堰及各泄水建筑物的剖面图；
8. 绘制围堰合龙及抛投分区的各种图表，并标明各方案的设计参数及所需各种截流材料的工程数量；
9. 绘制各导流方案的技术经济的综合比较表，从施工的可靠性、合理性、经济性、通过各种数据、指标进行比较，最后提出选定方案。

(二) 技施设计阶段：本阶段设计在初步设计确定的方案的基础上，通过进一步的水工模型试验调整和修正导流的挡水和泄水建筑物的位置和尺寸，通过结构计算确定细部尺寸及其配筋，并绘制施工图。

1. 绘制经调整修正后的选定方案的总体布置图，并用座标和桩号表示建筑物的控制轮廓；
2. 进行围堰及导流泄水建筑物的结构计算，确定其准确尺寸并绘制施工结构详图；
3. 列出各导流泄水建筑物和各部围堰（上游、下游、纵向）各期材料型号规格及用量明细表；
4. 确定各期围堰及导流泄水建筑物的结构尺寸和施工方法，绘制施工方法布置及施工程序图，并列出相应采用的施工机械的设备和数量；
5. 落实蓄水计划及分期移民计划。根据需要绘制各期导流的典型回水曲线；
6. 通过进一步的截流模型试验，落实确定各种抛投材料的类型、粒径及备料数量，落实龙口宽度、位置和裹头护底措施，落实截流方式及采用的主要机械设备的型号和数量；
7. 确定围堰闭气和施工排水措施，选定排水设备的型号、数量并绘制分期基坑排水图；
8. 编写技施设计说明书并修正落实分项工程施工进度安排和工程施工总进度计划；
9. 编制导截流工程的全部预算或修正概算；
10. 列出导截流工程所需要的各种材料消耗计划。



第二章 施工导流

进行施工导流设计时，应根据所收集的基本资料，拟定可能选用的导流方式，确定导流设计标准、划分导流时段，确定设计施工流量，着手导流方案布置，进行导流的水力计算，确定导流挡水和泄水建筑物的位置和尺寸，通过技术经济比较，选定技术上可靠，经济上合理的导流方案。

第一节 施工导流方式及其适用条件

根据水利水电工程施工阶段的不同，可将施工导流分为初期导流及后期导流。初期导流方式，常采用分期河床内导流和一次围堰河床外导流。后期导流方式，可用坝内预留的梳齿、底孔、缺口、或涵洞导流，也可经过厂房的过水流道导流，也可由岸边的隧洞导流完建。

一、初期导流方式

(一) 分期导流，又称分段围堰导流

所谓分期，就是从时间上将控制水流的过程划分为若干时期，所谓分段，就是将拟建的永久建筑物圈围成若干施工地段。国内外采用分期导流多用二期三段（如图内的三门峡、新安江、葛洲坝等导流工程）图 2-1 为葛洲坝工程两期两段导流方案布置：

有时，因河床特宽，或航运不允许中断等特殊要求，或因分两期两段施工力量仍不适应施工强度要求者，则采用多期多段。导流如富春江水电站并拟采用二段二期导流，后分析二期施工的力量不适应施工强度的要求，从而改为三期三段围堰

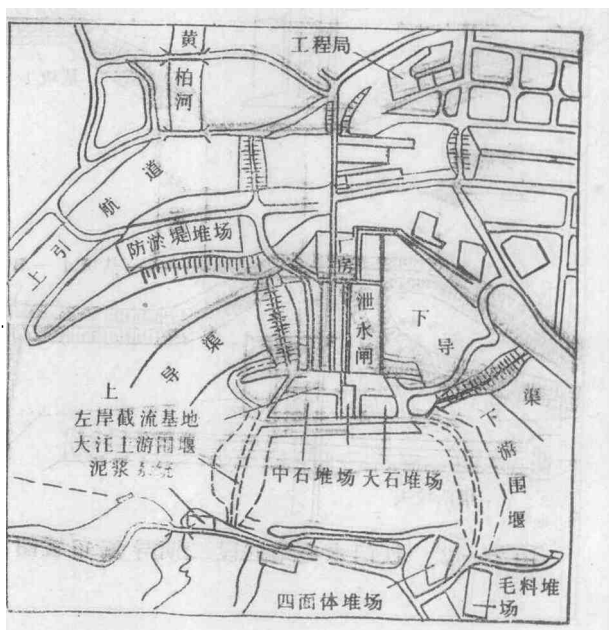


图 2-1 葛洲坝工程导流方案布置图

导流，结果加快了施工进度。其布置如图 2-2。莱茵河上的肯伯司水电站为了满足通航要求，分为八期施工。

由于在同一导流分期中，可以在一段围堰内施工，也可以同时在几段围堰内施工。所以，有时导流分期和围堰分段数不等。如罗马尼亚和南斯拉夫联合兴建的铁门电站、沿多瑙河的两侧各布置有一座厂房和船闸，为使两国发电、通航都能相继受益，故一期围堰先围左右两侧，二期再围主河槽的溢流坝。这就构成了三段围堰，两期施工的导流方式。如图 2-3〔85〕

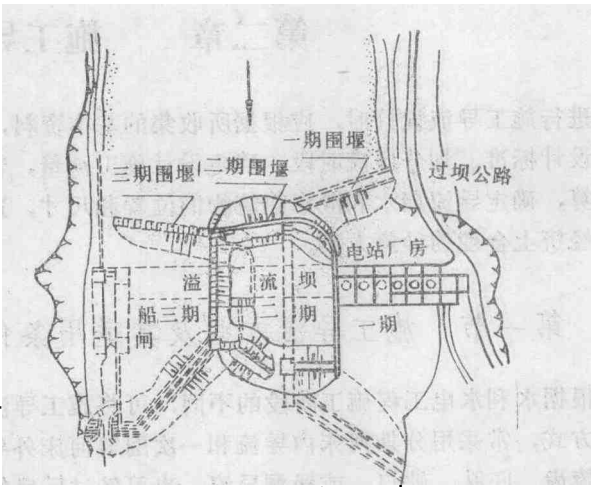


图 2-2 富春江水电站三期三段围堰布置

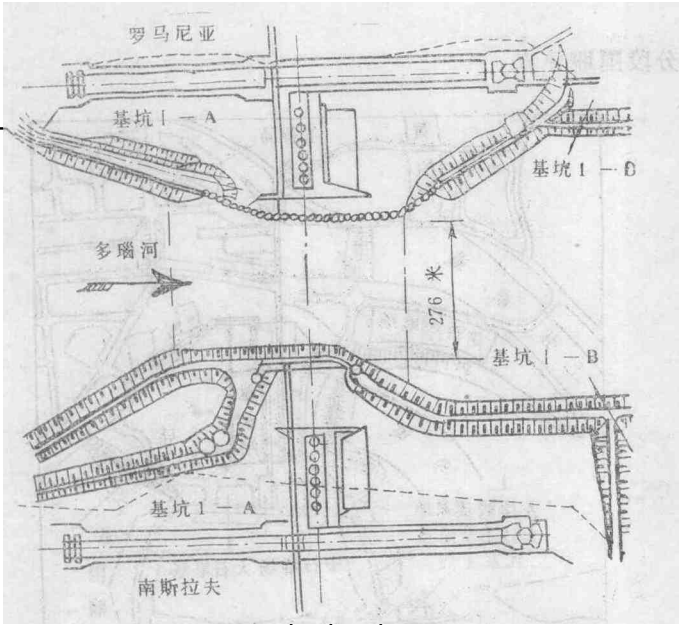


图 2-3 铁门水电站三段二期导流布置图

分期导流一般适用平原河道或河谷较宽的山区河道。

(二) 一次围堰导流，又称断流围堰导流

这种导流方式的布置特征是上下游围堰拦断河床形成基坑，天然河道的来水由河床外的隧洞、明渠、渡槽导泄向下游。这种导流方式，又可根据导流时段划分不同，围堰断流的时间不等，又可分为

1. 全年断流围堰，筑高围堰挡汛期洪水，基坑内可全年施工。这种方式适用于基

坑工作量很大，或基坑工作量虽然不很大，但不全年施工不能满足上级规定的工期者。全年挡水围堰导流工程十分艰巨。如印度的乌凯坝，为了创造基坑全年施工的条件，挖了一条能通过 49,500 秒立米流量的导流明渠进行全年导流。

2. 枯期断流围堰，筑低围堰挡枯水，汛期利用坝体挡水的工程。显然这只适用于基坑工作量不大的工程，设计确有把握在汛前能将坝体部分抢到拦洪高程以上，形成临时挡水断面者。无疑，这种导流方式，大大减少了围堰工程量。

一次围堰导流，国内多用于河床狭窄，基坑工作面不大、水深、流急、复盖层较深难于修筑纵向围堰，实现分期导流的地方。随着施工机械化程度，施工技术水平的提高。为了争取工期，在较宽阔的河道，开凿规模巨大的旁侧泄水道，实现一次围堰导流的工程逐渐增多，如巴西的伊泰普电站的大明渠导流（图2-4）；巴基斯坦曼格拉坝利用五条9.1米的发电隧洞导流，如图2-5。

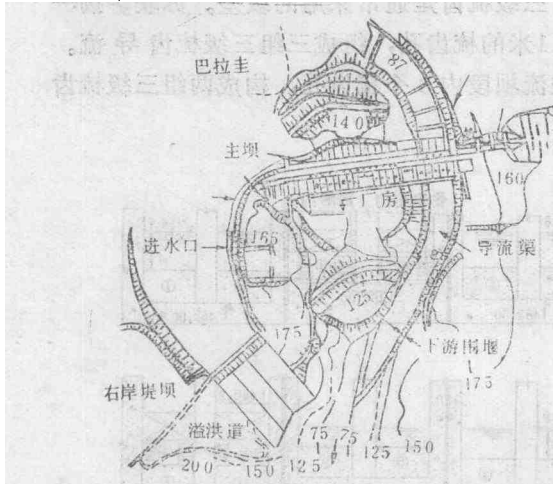


图2-4 伊泰普大明渠导流

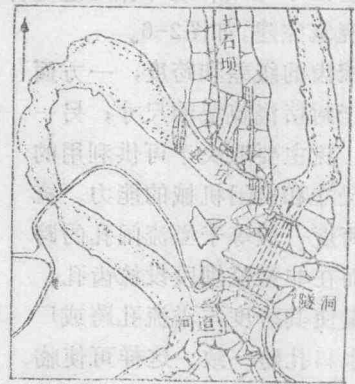


图2-5 曼格拉坝隧洞导流

（三）过水围堰，淹没基坑导流。

无论是分期围堰，还是一次围堰，当天然河道水位变幅很大，一个枯水季节又不能将坝体抢筑到拦洪高程以上时，倘要利用围堰挡汛期洪水，势必要修筑很高的围堰。不仅投资巨大，往往一个枯水期也很难实现。这时将围堰筑成过水围堰，保证枯期基坑施工，汛期围堰溢流过水，允许淹没基坑，损失一定的工期。其结果是降低了挡水和泄水建筑的工程投资和赢得施工过程防洪渡汛的主动权。特别是当采用很高的不过水围堰（特别是土石围堰），拦洪库容很大的情况，若遇超标洪水，上游淹没范围很大，万一围堰溃决对下游的威胁更大，事前没有作基坑过水的打算，洪水临头，往往陷于被动。所以无论国内、国外，无论分期，还是一次围堰，当洪枯水位变幅大时，采用过水围堰，允许淹没基坑的导流方式的工程逐渐增多，不仅围护的主体工程是混凝土和圬工建筑物采用，而且土石坝工程采取一定保护措施也采用。四川升钟水库土坝施工采用了低围堰淹没基坑的方式。〔42〕、〔86〕，苏联努列克高土坝的施工，为了建造高达65米的不过水围堰，施工过程形成20多米的过水围堰，1966年洪期，堰顶水层厚5米，溢流量高达1860秒立方米，没有引起根本性的破坏，保证汛后迅速加高至预定高程。〔36〕

二、后期完建工程的导流方式

后期导流，应根据初期导流的特点，结合主体工程允许过水的条件，水库蓄水的时间和要求，以及工程具备的封堵技术条件通盘考虑。

(一) 梳齿导流

在第一期工程建坝时，预先浇筑一定数量的梳齿缺口。各缺口底部高程呈一定的等差数列。在浇筑坝体二期混凝土时，水流由预留的梳齿缺口宣泄，并采用交替堵塞、逐步上升，直至工程全部完建的施工方法。

梳齿孔的数目和各期的封闭高程，根据各期的设计流量要求的过水面积来确定。当 K 为梳齿的级数（即一个循环浇筑组梳齿的孔数），显然每次应封堵浇筑 $1/K$ 部分。 $K=2$ 称为二级梳齿； $K=3$ 称为三级梳齿。三级梳齿是通常采用的级差。苏联萨扬—舒申斯克水电站的完建期导流，由 9 个 5.3×11 米的梳齿孔，组成三组三级梳齿导流。我国古田水电站后期导流是通过分设在 8 个溢流坝段内 6 个梳齿孔，构成两组三级梳齿轮流浇筑完建，如图 2-6。

梳齿的级差和跨度，一方面取决于封堵浇筑块的尺寸；另一方面，更主要取决于可供利用的闸门尺寸和启闭机械的能力。梳齿的跨度一般等于溢流闸孔的跨度，而在非溢流坝段设梳齿孔，应尽量使其跨度与溢流孔跨或厂房进水口孔跨一致。这样可使临时封堵用闸门与永久闸门结合使用。梳齿跨度，一般不超过 $15 \sim 20$ 米。如闸墩跨度大于这个尺寸，须另加中墩，这就增加了坝体结构的复杂性。

梳齿导流完建仅适用允许过水的混凝土坝和浆砌石坝，要求边施工边蓄水的工程，有利于工程提前受益。但毕竟因为需要在坝内开设许多梳齿孔，增设许多门槽，还需要许多大尺寸的闸门，且施工干扰大，故国内外工程都使用较少。

(二) 底孔和缺口导流

后期导流，可经过坝内专设的底孔或永久的排砂、泄洪、放空孔宣泄施工洪水。有时，梳齿和底孔导流可结合使用，前期为梳齿，后期加盖形成底孔进行导流，施工简便、干扰小，不需要移装闸门。但一般泄流量不太大，对来水流量大的河道，可配合坝体预留缺口泄洪，汛后再封堵缺口、蓄水时再逐步封堵底孔。采用底孔法进行后期导流、灵活主动，国内外施工都积累了丰富的经验。图 2-7 为底孔和缺口导流。

(三) 未完建的厂房导流

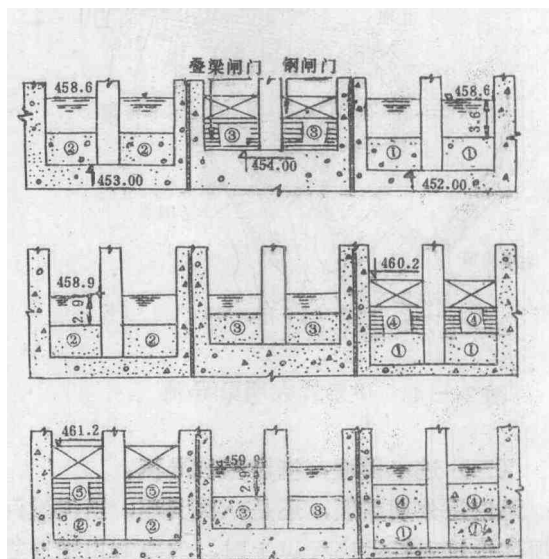


图 2-6 古田水电站后期梳齿导流

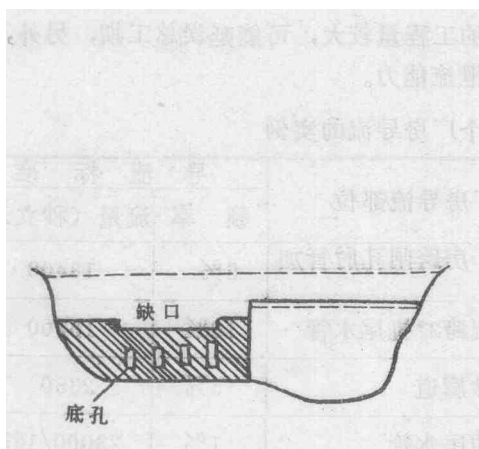


图 2-7 底孔缺口联合导流

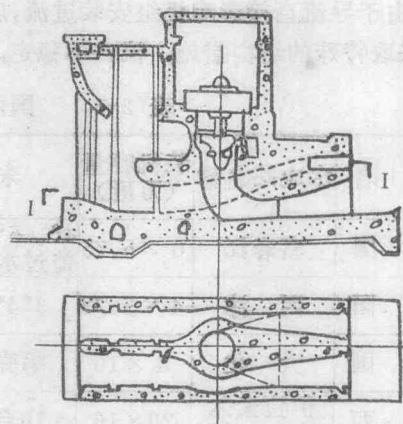


图 2-8 通过设在尾水管上部的泄水底孔导流

河床式水电站多为低水头大流量的发电站。本身具有进口离程低，过流量大的特点，因此利用其过水流道(蜗壳及尾水管)以及附设于机组段水下的泄水排砂底孔进行导流是完全可能的。有无可能利用未完建的厂房进行导流，应结合不同的枢纽工程所在地的水文、地质、机组容量和特性以及施工的技术条件和工期要求是否允许等，综合研究确定。

国内外通过未完建的厂房导流的较多，表 2-1 为部分国内外采用厂房导流的实例。但就其导流的过水通道来划分，不外乎有三种。

1. 通过厂房段的泄水排砂底孔导流，底孔可设在尾水管上部(如图 2-8)。多在与永久的混合式厂房泄洪排砂孔结合使用。由于泄水条件好，施工比较简便，遗留的后期工作量不大，且又有利于排砂，所以使用较多。

2. 通过泄水底孔进口段，经设在尾水管锥形体内的临时孔口进入尾水管导流(如图 2-9)这种导流方式，不妨碍水电站厂房其它部分的施工和电站主要设备的安装、埋设。尽管尾水管后壁的底孔是开启的，导流后需封堵，但由于工作量不大，且施工并不困难，故采用也较多。

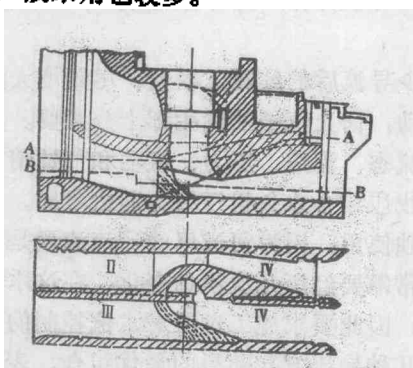


图 2-9 通过临时底孔及尾水管导流

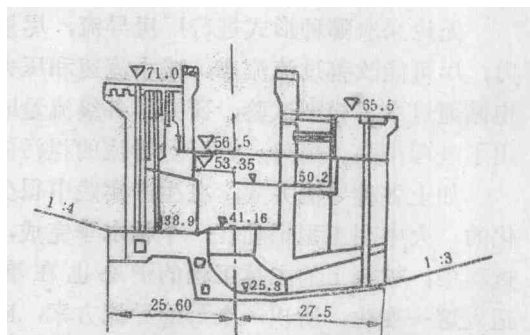


图 2-10 通过蜗壳及尾水管导流

3. 通过未完建的蜗壳及尾水管导流，(如图 2-10)为国内西津水电站 2 号机组段导

流,由于导流直接影响机组安装过流,后遗留的工程量较大,可能延误总工期,另外,如不采取特殊的结构措施,流态不稳定,影响泄流能力。

表 2-1 国内外几个厂房导流的实例

编号	国 名	水电站名称	装机容量 (万千瓦)	未完建厂房导流部位	导 流 标 准	
					频 率	流量 (秒立米)
1	中 国	富春江	6 × 5.75	4*、5*、6*厂房跨闸孔肘管加盖过水	5%	18400
2	中 国	西 津	4 × 5.72	3*4*机导流跨2*机尾水管	10%	15700
3	中 国	大 化	4 × 10	蜗壳及冲砂廊道	5%	2350
4	巴 西	伊拉索尔 台 娜	20 × 16	16台机组的尾水管	1%	23000/12500
5	苏 联	古比雪夫	230	厂房尾水管	5%	51700
6	苏 联	斯大林格勒	253	厂房底孔	5%	47800

4. 通过厂房跨闸孔导流,在未完建的厂房内,将尾水管的肘管加盖密封形成闸孔过流。导流流量大,但导流时影响安装,导流后遗留的工程量较大。国内富春江水电站的4、5、6号机组跨、西津水电站8、4号机组跨就采用这种导流方式。

巴基斯坦曼格拉坝利用五条直径9.1米的发电隧洞导流,而隧洞出口水流经过厂房基础。设计者将未完建的厂房防洪墙改成临时消力墙,墙后铺护混凝土并加消力墩,形成消力池,其后再用块石笼保护,成功地解决了隧洞出口的消能问题。可以算作厂房导流的特殊形式。如图6-48。

无论采取哪种形式进行厂房导流,尽量减少导流后的续建工程量、尽量增大泄流能力,尽可能改善过流流态,减小流速和压力脉动,防止气蚀的发生都十分必要。大化水电站通过水工模型试验,研究了各级流量时的流态、流速、压力、振动和气蚀情况,提出了处理措施。另外,对厂房导流的拦污问题也应结合永久拦污结构通盘考虑。

如上各种导流方式,在生产实践中很少单独使用,因为河道里的迳流流量是随机变化的,大中型工程很难在一个枯水季完成,通常需要经历几次洪枯变化,在这水文变化过程中,被施工的主体工程的形象也在变化,因此要求施工过程对水流控制的方式也适应这一变化,所以一个好的导流方案,应是几种导流方式随机的最优组合。表2-2提供了国内外不同坝型、不同自然条件的若干实际工程的导流方案的组合方式,可供借

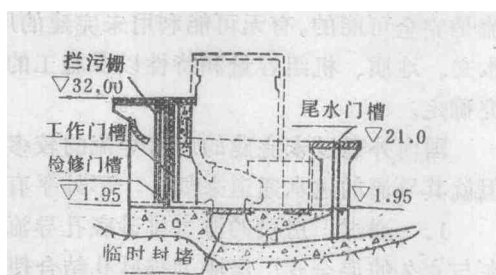


图 2-11 富春江由机组跨导流

表 2-2 国内外若干工程导流方案的导流方式组合

国名	枢纽名称	坝型	最大坝高(米)	各施工阶段的导流方式			
				一	二	三	四
中国	新安江	混凝土重力坝	105	被束窄的左岸河床	右岸底孔	右岸底孔	底孔完工
中国	龚嘴	混凝土重力坝	85	右岸束窄河床	左岸明渠	坝内底孔	底孔完工
中国	岩屋潭	浆砌石空腹重力坝	66	原河床	右岸明渠	坝内底孔坝体缺口	底孔完工
中国	乌江渡	拱形重力坝	165	原河床	右岸隧洞坝体缺口	右岸隧洞坝内底孔	溢流坝中孔放空洞、泄洪洞
中国	柘溪	双支墩大头坝	104	原河床	明渠导流	明渠隧洞坝体缺口	底孔完工
中国	古田	双支墩大头坝	58.4	被束窄的右岸河床	坝内底孔	坝内底孔坝体缺口	梳齿完工
中国	磨子潭	混凝土肋墩坝	82	被束窄的右岸河床	坝内涵洞	涵洞及左岸隧洞	隧洞完工
中国	梅山	连拱坝	88	原河床	右岸隧洞	隧洞及坝体缺口	隧洞完工
中国	富春江	闸坝及河床式	46	被束窄的右岸河床	束窄的右岸河床及 8 个机组段	3 个机组段 7 个溢流孔	溢流孔
中国	石门	混凝土拱坝	88	被束窄的河床	右岸隧洞导流	导流隧洞和永久底孔	永久底孔完工
中国	桓仁	支墩坝	78.5	左岸河床	右岸梳齿段	左岸底孔	底孔和缺口底孔完工
中国	升钟	土坝	75	右岸砌石涵管明渠导流	过水围堰	导流洞泄流	放空隧洞和导流洞同时泄流
中国	大伙房	土坝	48	围北段河槽水走枯水河槽	围南河槽中部枯水河槽导流	隧洞导流	隧洞完工
中国	狮子滩	堆石坝	52	原河床	右岸涵洞	坝体缺口泄洪	涵洞完工
中国	百花	堆石坝	49	原河床	明渠导流	涵洞及隧洞	隧洞完工
巴西	伊泰普	支墩坝堆石坝	185 70 30	原河床	明渠底孔	明渠底孔	底孔完工
巴西	伊拉索尔娜	重力坝堆石坝	90 78	被束窄的右侧河床	未完建厂房导流	未完建厂房及溢流坝过流	溢流坝过流完工
苏联	库尔普塞	重力坝	113	原河床	右岸隧洞	右岸隧洞及底孔	底孔完工
苏联	托克托古里	混凝土重力坝	215	原河床	隧洞导流	隧洞及过水围堰	隧洞完工
苏联	萨·扬舒申斯克	重力拱坝	242	被束窄的左侧河床	梳齿导流孔	导流底孔	底孔完工
南罗摩洛哥	铁门	重力坝	60	束窄的河床	底孔电站机组孔口船闸及运行机组	底孔溢流坝电站机组及孔口	底孔完工
摩洛哥	阿尔马拉	支墩坝堆石坝	82 30	原河床挖左岸明渠	左岸明渠导流二年	封堵左岸明渠底孔导流	底孔完工
巴斯坦	塔贝拉	斜心墙土石坝	143	原河床	明渠导流	五条隧洞导流	隧洞导流完工

巴基斯坦	曼格拉	斜心墙土石坝	138	原河床	明渠导流	四条隧洞导流	隧洞完建
美国	德沃歇克	混凝土重力坝	218	原河床	隧洞导流	坝上临时孔口	坝上泄洪孔
印度	斯里萨姆	土石重力坝	131.06	原河床	明渠隧洞导流	明渠隧洞坝体缺口	隧洞完建

对于高坝大库的枢纽工程，后期导流往往比中、低坝施工后期导流复杂得多，随着坝体的升高，导流及泄洪出路的安排，涉及的因素也得多，这就要求后期导流规划有个正确的原则，统筹兼顾，全面安排。现以坝高 165 米的乌江渡水电站，重编初步设计的后期导流规划为例，介绍如下 [16]

后期导流规划主要考虑以下原则：

① 后期导流规划应符合多快好省的精神，力争工程施工在进度快，质量好的同时，尽可能节省导流费用。

② 充分利用已建初期导流建筑物和尽量利用永久泄水建筑物进行导流和渲泄洪水。并减少对九级滩页岩的冲刷。（九级滩页岩是近坝趾下不远的一层软弱页岩。编者注）

③ 满足 78 年发电的施工进度要求，尽可能避免或减少导流与主体工程施工之间的干扰，为提前发电创造有利条件。

根据上述原则和 78 年发电进度要求，当大坝浇出低水面高程以后，每年汛期要预留一个缺口过水，以便汛期仍能浇筑其他坝段的混凝土。现将各年枯、洪水季导流程序汇总于表 2-3（原表 7-11）

表 2-3 乌江渡水电站后期施工导流程序一览表

导流时段		导流流量	上游水位	下游水位	总下泄量	导流及泄洪水流出路
起 年、月	止 年、月	(秒立米)	(米)	(米)	(秒立米)	
73年	~75年4月	1,500	650	630	1,320	导流隧洞单独导流
75.5	75.10	9,360	660.5	654.0	9,360	隧洞与堰顶联合泄流
76.11	76.4	1,500	650	630	1,320	导流隧洞单独导流
76.5	76.10	11,000	662.0	656.2	11,000	隧洞与堰顶联合泄流
76.11	77.4	2,500	660	635.0	2,200	隧洞+底孔
77.5	77.10	11,000	699.0	656.2	10,500	隧洞+底孔+放空洞+ 滑雪道+缺口
77.11	78.4	2800	690.0	634.7	2,300	隧洞封堵；底孔+放空洞
78.5	78.9	10,900	712.0	656.0	10,000	底孔+放空洞+滑雪道+缺口坝段
78.10	79.5	2,500	720	634.5	2,200	底孔封堵； 放空洞+中孔+发电引水管
79.6	79.9	11,000	740	656.0	10,000	放空洞+中孔+滑雪道+缺口坝段

79.10	80.5	2,000	730	633.5	1,800	放空洞+中孔+发电引水管
80.6	80.10	9,600	750	652.0	9,000	溢流坝+中孔+放空洞+泄洪隧洞

注：表 2-3 中的泄水道系指该工程的泄雪式溢洪道。

第二节 施工导流的设计标准

施工导流的设计标准，系指设计导流挡水和泄水建筑物规模的洪水标准。这个设计洪水流量标准取得太高，势必所设计的导流挡水和泄水建筑物的规模过大、投资太大，且完建这些临时建筑物的时间过长，从而延误工期，甚至难于在一个枯水季节完建；反之，若这个标准取得太低，又不能确保工程施工的安全，使工程施工陷于被动，必将造成更大的损失。所以对导流设计标准的选择，应根据工程施工的主客观条件，统筹规划，全面分析、慎重确定。所谓主观条件，系指施工队伍的技术水平，机械化程度，可能提供的劳力、器材、物资、材料的质量和数量。所谓客观条件，系指所围护的主体工程的等级、规模、结构的复杂程度以及天然河道的水文特点、地形、地质条件和工程上下游工农业生产情况，人口密集程度等。其中以被围护的主体工程的等级、类型和施工年限的长短、河道的水文特性最重要。既然导流标准是事关全局的大事，拟就国内外习用的方法全面介绍如下：

一、导流标准的选择方法

(一) 频率法：苏联和我国1978年以前的规范习用频率法。这种方法的设计施工洪水流量是根据选择的设计频率确定。其方法是依据永久建筑物的设计等级，确定临时性导流建筑物的级别。再根据临时性建筑物的级别，确定相应的设计频率。水工建筑物永久性和临时性的级别对应关系如下：

表 2-4 水工建筑物的级别

工程等别	永久性水工建筑物的级别		临时性水工建筑物的级别
	主要建筑物	次要建筑物	
I	I	II	IV
II	II	III	IV
III	III	IV	V
IV	IV	V	V
V	V	V	

表 2-5 临时性水工建筑物设计频率

运用情况	洪水频率(%)			
	I 级	II 级	IV 级	V 级
正常(设计)	1.0	2.0	5.0	10.0
非常(校核)	0.5	1.0	2.0	5.0