

高等学校教材

# 水利工程施工

第三版

武汉水利电力大学 袁光裕 主编

BE3



高等学校教材

---

# 水利工程施工

(第三版)

武汉水利电力大学 袁光裕 主编

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本教材是在 1985 年 10 月第二版的基础上进行修订的。全书对于原有的内容作了部分的增删及修改。全书除绪论外共有九章,包括施工导流、爆破工程、基础工程、土石坝工程、混凝土坝工程、地下建筑工程、施工总组织、经营管理和施工管理。

本书可作为高等院校水利水电工程建筑专业的教材及其它水利工程专业的教学参考书,也可供水利水电工程技术人员参考。

## 高等学校教材 水利工程施工

(第三版)

武汉水利电力大学 袁光裕 主编

\*

中国水利水电出版社 出版  
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路 6 号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京密云新升印刷厂印刷

\*

787×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 411 千字

1980 年 6 月第一版 1985 年 10 月第二版

1996 年 6 月第三版 2001 年 5 月北京第七次印刷

印数 61301—69300 册

ISBN 7-80124-804-X/TV·403

(原 ISBN 7-120-02251-2/TV·898)

定价 22.50 元

## 第一版前言

本教材是根据 1978~1981 年高等学校水利电力类教材编审出版规划组织编写的。

全书除绪论外共七章，包括施工过程中的水流控制、爆破工程、基础工程、土石坝工程、混凝土坝工程、地下建筑工程及施工总组织等。本教材主要按单位建筑物施工为体系进行编写，着重阐述水利水电工程中有代表性的建筑物的施工方法、施工技术和施工组织等问题，并适当列入了主要工种施工工艺方面的问题，对于施工机械和设备，仅结合建筑物施工作业简要叙述。本教材的编写分工是：

|                |          |     |
|----------------|----------|-----|
| 绪论             | 武汉水利电力大学 | 吴国栋 |
| 第一章 施工过程中的水流控制 | 武汉水利电力大学 | 夏明耀 |
| 第二章 爆破工程       | 成都科学技术大学 | 熊达成 |
| 第三章 基础工程       | 武汉水利电力大学 | 袁光裕 |
| 第四章 土石坝工程      | 成都科学技术大学 | 王民寿 |
| 第五章 混凝土坝工程     | 成都科学技术大学 | 刘浩吾 |
| 第六章 地下建筑工程     | 武汉水利电力大学 | 颜其照 |
| 第七章 施工总组织      | 武汉水利电力大学 | 袁光裕 |

1979 年 4 月，在成都召开了审稿会议。审稿单位有天津大学、华东水利学院、西北农学院和北京水利规划设计院以及其它兄弟院校和工程单位，由天津大学主审。

审稿会议议定，由主审单位天津大学吕元平、主编单位武汉水利电力学院袁光裕和成都科学技术大学熊达成三同志会同对全书进行修改、补充和统稿。

编审过程中，许多兄弟院校和工程单位的同志，对原稿提出了很多宝贵意见；另外还有许多同志为教材抄写与绘图进行了辛勤的劳动，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平的限制，书中难免存在缺点和错误，在使用本教材过程中，希望给以指正。

编 者

1979 年 7 月

## 第二版修订说明

本教材是根据 1982 年 11 月高等学校水利水电类专业教材编审委员会审订的水利水电工程建筑专业《水利工程施工》教学大纲及 1983~1987 年高等学校水利电力类专业教材编审出版规划进行修订的。

修订以后的《水利工程施工》，与 1980 年第一版比较，全书总的体系没有显著变动，只是更加突出了施工技术、施工组织和管理的内容。此次修订，按照教学大纲的要求，对全书原有的内容进行了精简、调整、改写和增补。属于精简内容、局部修改的有施工过程中的水流控制和基础工程两章；属于调整节次、精简改写的有爆破工程、土石坝工程、混凝土坝工程、地下建筑工程、施工总组织等五章；属于调整增补的内容有施工管理和经济一章。进行以上修订，主要是为了使教材更加符合少而精的精神，和加强施工管理、施工经济的要求，使教材内容与教学时数相协调。

参加修订工作的同志有武汉水利电力学院袁光裕副教授、夏明耀副教授，成都科学技术大学王民寿副教授。具体执笔分工是：

|                |     |
|----------------|-----|
| 绪论             | 袁光裕 |
| 第一章 施工过程中的水流控制 | 夏明耀 |
| 第二章 爆破工程       | 王民寿 |
| 第三章 基础工程       | 袁光裕 |
| 第四章 土石坝工程      | 王民寿 |
| 第五章 混凝土坝工程     | 王民寿 |
| 第六章 地下建筑工程     | 袁光裕 |
| 第七章 施工总组织      | 袁光裕 |
| 第八章 施工管理和经济    | 袁光裕 |

主编是武汉水利电力学院袁光裕，主审是天津大学吕元平教授。

水利工程施工是实践性、综合性很强的一门学科，施工课的教学需要随着施工实践的发展不断地更新。参加本教材修订的同志虽在这方面作了一些努力，但限于水平，难免存在有错误和疏漏，热切希望批评指正。

编 者

1984 年 9 月

### 第三版修订说明

本教材自第一版问世以来，已有十几个春秋了。在教学第一线从事水利工程施工教学工作的广大教师，对本教材给予了极大的关心和爱护。他们或直言相告，或书面指点，既有鼓励，也有批评，为本教材提供了许多切身的经验和体会，指出了存在的问题和不足，为教材的改进提方案出主意，使我们得到巨大的鞭策和力量。

我们几个具体执笔的同志，在学习和消化上述意见的基础上拟定了编写要求和编写大纲，根据编写学时（70学时）的限制，对教材内容进行了调整和增补。

从总体来看，本教材仍以水利水电枢纽工程及其有代表性的建筑物为主要对象，着重介绍它们的施工技术、施工组织、施工管理的基本原理和基本方法，这和前两版并无显著差异。但是，近几年来，由于基本建设管理体制的改革，新工艺、新技术、新设备的应用，新经验、新方法的推行，有必要对有关章节的内容进行适当的调整和增补。

这次修订增加的内容主要有：第一章，明槽导流；第二章，拆除爆破技术；第三章，岩基锚固技术、软基振冲技术；第四章，面板堆石坝施工；第五章，碾压混凝土施工；第八章，经营管理等。与此同时，在不影响教材科学性、系统性的原则下，对原有的一些内容作了一定的删节和调整，以期保持合理的篇幅。

参加这次修订工作的同志及其分工是：

|            |     |
|------------|-----|
| 绪论         | 袁光裕 |
| 第一章 施工导流   | 夏明耀 |
| 第二章 爆破工程   | 王民寿 |
| 第三章 基础工程   | 袁光裕 |
| 第四章 土石坝工程  | 王民寿 |
| 第五章 混凝土坝工程 | 王民寿 |
| 第六章 地下建筑工程 | 夏明耀 |
| 第七章 施工总组织  | 袁光裕 |
| 第八章 经营管理   | 袁光裕 |
| 第九章 施工管理   | 袁光裕 |

主编是袁光裕教授，主审是吕元平教授。

再次恳请从事施工教学的教师以及广大读者继续给我们以支持和批评。

编 者

1995年9月

# 目 录

第三版修订说明

第二版修订说明

第一版前言

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 绪论              | 1   |
| 第一章 施工导流        | 4   |
| 第一节 施工导流的基本方法   | 4   |
| 第二节 围堰工程        | 11  |
| 第三节 导流设计流量的确定   | 21  |
| 第四节 导流方案的选择     | 24  |
| 第五节 截流工程        | 30  |
| 第六节 拦洪渡汛        | 36  |
| 第七节 蓄水计划与封堵技术   | 39  |
| 第八节 基坑排水        | 41  |
| 参考文献            | 47  |
| 第二章 爆破工程        | 48  |
| 第一节 爆破基本原理及药量计算 | 48  |
| 第二节 爆破的基本方法     | 51  |
| 第三节 特种爆破技术      | 54  |
| 第四节 钻孔机具和爆破器材   | 60  |
| 第五节 爆破安全控制      | 67  |
| 参考文献            | 71  |
| 第三章 基础工程        | 72  |
| 第一节 基础开挖        | 72  |
| 第二节 岩基灌浆        | 75  |
| 第三节 岩基锚固        | 84  |
| 第四节 砂砾地基灌浆      | 85  |
| 第五节 防渗墙施工       | 88  |
| 第六节 振冲加固        | 94  |
| 参考文献            | 97  |
| 第四章 土石坝工程       | 98  |
| 第一节 土石料场规划      | 98  |
| 第二节 土石坝的综合机械化施工 | 99  |
| 第三节 坝面作业        | 107 |
| 第四节 土石坝施工的质量控制  | 115 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第五节 面板堆石坝施工 .....     | 117 |
| 第六节 土石坝的冬雨季施工 .....   | 123 |
| 参考文献 .....            | 126 |
| 第五章 混凝土坝工程 .....      | 128 |
| 第一节 骨料料场规划和生产加工 ..... | 128 |
| 第二节 模板和钢筋作业 .....     | 138 |
| 第三节 混凝土的制备 .....      | 146 |
| 第四节 混凝土的运输方案 .....    | 150 |
| 第五节 混凝土的浇筑和养护 .....   | 161 |
| 第六节 碾压混凝土施工 .....     | 164 |
| 第七节 混凝土的温度控制 .....    | 171 |
| 第八节 混凝土的冬夏季作业 .....   | 179 |
| 参考文献 .....            | 182 |
| 第六章 地下建筑工程 .....      | 184 |
| 第一节 地下建筑工程的施工程序 ..... | 184 |
| 第二节 钻孔爆破法开挖 .....     | 190 |
| 第三节 掘进机开挖 .....       | 199 |
| 第四节 衬砌施工 .....        | 201 |
| 第五节 喷锚支护 .....        | 205 |
| 第六节 地下工程施工辅助作业 .....  | 214 |
| 参考文献 .....            | 217 |
| 第七章 施工总组织 .....       | 218 |
| 第一节 基本建设程序 .....      | 218 |
| 第二节 施工组织设计 .....      | 221 |
| 第三节 施工进度计划 .....      | 224 |
| 第四节 施工总体布置 .....      | 241 |
| 参考文献 .....            | 247 |
| 第八章 经营管理 .....        | 248 |
| 第一节 经营方式 .....        | 248 |
| 第二节 经营目标 .....        | 249 |
| 第三节 招标投标 .....        | 250 |
| 第四节 投标策略 .....        | 255 |
| 第五节 工程概预算 .....       | 264 |
| 参考文献 .....            | 271 |
| 第九章 施工管理 .....        | 272 |
| 第一节 目标管理 .....        | 272 |
| 第二节 计划管理 .....        | 274 |
| 第三节 质量管理 .....        | 276 |
| 第四节 成本管理 .....        | 279 |
| 参考文献 .....            | 282 |



# 绪 论

《水利工程施工》是一门理论与实践紧密结合的专业课。它是在总结国内外水利水电建设先进经验的基础上，从施工机械、施工技术、施工组织与管理等方面，研究多快好省地进行水利水电建设基本规律的一门学科。

水利水电建设，可概括分为规划、设计和施工等阶段。各个阶段既有分工，又有联系，相辅相成。施工应以规划、设计的成果为依据；而规划和设计又要考虑施工方面的要求，并受施工实践的检验。另外，规划、设计和施工都应充分重视建成以后运用管理方面的需要。在几个阶段中，施工起着将规划、设计方案转变为工程实体的作用。

水利工程施工这门学科的主要特征是实践性和综合性。前者要求通过施工实践，检验规划设计的方案，使工程完建并投入运用，这就要求理论结合实际，因时因地分析问题和解决问题；后者要求在施工过程中，既要领会规划设计的意图，又要根据施工条件和水利水电建设的方针政策，优质快速地进行工程建设，这就要求综合运用与水利水电建设有关的科学技术和组织管理方面的经验和知识，使问题得到完满的解决。

## 一、水利工程施工的任务和特点

水利工程施工的主要任务可归纳如下：

1) 依据设计、合同任务和有关部门的要求，根据工程所在地区的自然条件，当地社会经济状况，设备、材料和人力等资源的供应情况以及工程特点，编制切实可行的施工组织设计。

2) 按照施工组织设计，做好施工准备，加强施工管理，有计划地组织施工，保证施工质量，合理使用建设资金多快好省地全面完成施工任务。

3) 在施工过程中开展观测、试验和研究工作，促进水利水电建设科学技术的发展。

根据国内外水利水电建设的实践，水利工程施工的特点，突出反映在水流控制上。

水利工程施工常在河流上进行，受水文、气象、地形、地质等因素影响很大。在河流上施工，不可避免地要控制水流，进行施工导流，以保证工程施工的顺利进行。在冬季、夏季或冰冻、降雪、雨天施工时，则必须采取相应的措施，避免气候影响的干扰，保证施工质量和施工进度。

河流上修建的挡水建筑物，关系着下游千百万人民生命财产的安全。工程施工的质量，不但会影响建筑物的寿命和效益，而且会影响改建和维修的费用；更严重的是一旦失事，对国民经济及生命财产会带来不可弥补的损失。因此，水利工程施工必须保证施工质量。

在河流上修建水利工程，常涉及到许多部门的利益，如防洪、发电、航运、灌溉、工业与城市用水等。这就必须全面规划、统筹兼顾，因而增加了施工的复杂性。

水利水电工程往往位于交通不便的山区，施工准备工作量大，不仅要修建场内外交通道路和为施工服务的辅助企业，而且要修建办公和生活用房。因此，必须十分重视施工准

备工作的组织，使之既满足施工要求又减少工程投资。

水利水电枢纽工程常由许多单项工程所组成，布置比较集中，工程量大、工种多，施工强度高，再加上地形条件方面的限制，容易发生施工干扰。因此，需要统筹规划，重视现场施工的组织和管理，运用系统工程学的原理，因时因地选择最优的施工方案。

水利工程施工过程中爆破作业、地下作业、水上水下作业和高空作业等，常常平行交叉进行，对施工安全非常不利。因此，必须十分注意安全施工，采取有效的措施，防止事故的发生。

## 二、我国水利工程施工的成就与展望

在我国历史上，水利建设成就卓著。几千年来，勤劳勇敢的中国人民，修建了许多兴利除害的水利工程，积累了丰富的宝贵的施工经验。公元前 250 年以前修建的四川都江堰水利工程，按“乘势利导，因时制宜”的原则，发挥了防洪和灌溉的巨大效益。用现代系统工程的观点来分析，该工程在结构布局、施工措施、维修管理制度等方面都是相当成功的。此外，在截流堵口工程中所使用的杗槎围堰、草土围堰、捆厢埽进占、捆厢埽结合柳石枕进占、柳占枕护底以及平堵与立堵相结合的施工技术，至今还为各地工程所沿用。

解放以后，在党和政府的正确领导下，我国水利水电建设事业取得了辉煌的成就。有计划有步骤地开展了大江大河的综合治理；修建了一大批综合利用的水利枢纽工程和大型水电站，如辽宁省大伙房、北京市密云、浙江省新安江、湖南省柘溪、湖北省丹江口和葛洲坝、甘肃省刘家峡、四川省龚嘴、青海省龙羊峡等工程；建成了一些大型灌区和机电排灌工程；中小型水利水电工程也得到了蓬勃发展。

随着水利水电建设事业的发展，施工机械的装备能力迅速增长，已经具有实现高强度快速施工的能力；施工技术水平不断提高，进行了长江、黄河等大江大河的截流，采用了光面爆破、预裂爆破、岩塞爆破、振冲加固、化学灌浆、防渗墙、预应力锚索、钢模、滑模、人工制砂、碾压混凝土施工等新技术新工艺；土石坝工程、混凝土坝工程和地下工程的综合机械化组织管理水平逐步提高。水利工程施工学科的发展，为水利水电事业展示出一片广阔的前景。

在取得巨大成就的同时，我国的水利水电建设也付出过沉重的代价。如由于违反基本建设的程序，不遵循施工的科学规律，不按照经济规律办事，使水利水电建设事业遭受相当大的损失。我国目前大容量高效率多功能的施工机械，其通用化、系列化、自动化的程度还不高，利用率并不充分；新技术、新工艺的研究推广和使用不够普遍；施工组织管理水平不高；各种施工规范、规章制度、定额法规等的基础工作比较薄弱。

为了实现我国经济建设的战略目标，加快水利水电建设的步伐，必须认真总结过去的经验和教训，在学习和引进国外先进技术、科学管理方法的同时，发扬自力更生、艰苦奋斗的精神，迎头赶上，走出一条适合我国国情的水利水电工程施工科学技术发展的道路。

## 三、水利工程施工组织与管理的基本原则

总结以往水利工程施工的经验，在施工组织与管理方面，必须遵循以下主要原则。

(1) 全面贯彻多快好省的施工原则 在工程建设中应该根据需求和可能，尽快地完成优质、高产、低消耗的工程，任何片面强调某个方面而忽视另一个方面的做法都是错误的，

都会造成不良后果。

(2) 按基本建设程序办事 水利工程施工应该遵照基本建设的程序,做好勘测、规划、设计等前期工作,按照经过批准的施工组织设计与设计图纸,在做好施工准备的基础上进行施工。在施工过程中,如果需要变动工程规模和技术标准,应事先取得建设单位的同意和有关领导的批准。

(3) 按系统工程的原理合理组织工程施工 从系統工程的观点看,任何一项水利水电工程的施工,可以看作是一个大系统,包括若干子系统。在这个系统中,主体工程的施工和附属、配套工程的施工,建筑工程和安装工程,前方现场施工和后方辅助生产、后勤供应,勘测设计科学研究和施工的配合,以及各工种的协调问题等等,构成了一个有机整体,围绕着统一的目标进行活动。按系统工程原理合理组织工程施工,就是要使上述各项活动,在总体上最优化,使这些活动在时间上互相协调,在空间上互不干扰,密切配合。

(4) 实行科学管理 水利工程施工应和其他基本建设部门一样,实行科学管理,建立强有力的现代生产指挥系统,按经济规律办企业,建立和健全各种规章制度,明确岗位责任,奖罚分明,充分调动各方面的积极因素。

(5) 一切从实际出发遵从施工的科学规律 一切施工活动,必须根据当时当地实际情况,按照施工的科学规律,采取相应的措施。脱离具体的施工条件,违反施工的科学规律,必将导致工程失败甚至产生严重的后果。

要做好人力物力的综合平衡,实现均衡、连续、有节奏地施工。

#### 四、本课程的主要内容和特点

本课程是一门实践性综合性很强的专业课。根据这一特点,本教材着重阐述水利水电枢纽工程及其有代表性的水工建筑物的施工程序、施工方案、施工方法和施工组织管理等方面的基本原理。

在本教材中,施工导流和施工总组织两章是以整个枢纽工程为对象,介绍枢纽工程的施工程序、施工组织设计的基本内容和要求;爆破工程和基础工程两章,由于和水利水电枢纽工程各单项工程的施工都有关联,故单独列章,集中阐明其原理和方法,至于它们的应用,则应与具体的施工对象联系起来进行考虑;枢纽工程中有代表性的建筑物,选择了土石坝、混凝土坝和地下建筑工程三类建筑物,其中,土石坝中以碾压式土坝为主,混凝土坝中以大体积混凝土重力坝为主,地下建筑工程中以平洞为主,通过对这些建筑物施工的介绍,举一反三,藉以说明各类单项工程施工的特点、原理和方法;经营管理和施工管理两章,主要着眼于施工企业的经营、管理活动,阐述现代管理的原理和方法。

本教材以阐述施工技术、施工组织管理的基本原理和基本方法为主,对于施工机械,由于学时和篇幅的限制,仅结合施工技术、施工方案的论述作适当介绍。

根据教材的内容和特点,学习时应着眼于掌握基本概念、基本原理、基本方法,并配合生产实习、课堂作业、毕业设计等其他教学环节来运用所学的知识,这样才能有效地掌握本课程的内容。

# 第一章 施 工 导 流

在河流上修建水工建筑物，施工期间往往与通航、筏运、渔业、灌溉或水电站运行等水资源综合利用的要求发生矛盾。

水利水电工程整个施工过程中的施工导流，广义上说可以概括为采取“导、截、拦、蓄、泄”等工程措施来解决施工和水流蓄泄之间的矛盾，避免水流对水工建筑物施工的不利影响，把河水流量全部或部分地导向下游或拦蓄起来，以保证干地施工和施工期不影响或尽可能少影响水资源的综合利用。

施工导流设计的主要任务是：要周密地分析研究水文、地形、地质、水文地质、枢纽布置及施工条件等基本资料，在保证上述要求的前提下，选定导流标准，划分导流时段，确定导流设计流量；选择导流方案及导流建筑物的型式；确定导流建筑物的布置、构造及尺寸；拟定导流建筑物的修建、拆除、堵塞的施工方法以及截断河床水流、拦洪渡汛和基坑排水等措施。正确合理的施工导流，可以加快施工进度，降低工程造价，否则会使工程施工遇到意外的障碍，拖延工期，增加投资，甚至会引起工程失事。

## 第一节 施工导流的基本方法

河流上修建水利水电工程时，为了使水工建筑物能在干地上进行施工，需要用围堰围护基坑，并将河水引向预定的泄水通道往下游宣泄。这就是施工导流。

施工导流的基本方法，大体上可分为两类：一类是分段围堰法导流，水流通过被束窄的河床、坝体底孔、缺口或明槽等往下游宣泄；另一类是全段围堰法导流，水流通过河床外的临时或永久的隧洞、明渠或河床内的涵管等往下游宣泄。

### 一、分段围堰法导流

分段围堰法亦称分期围堰法，就是用围堰将水工建筑物分段分期围护起来进行施工的方法。图 1-1 所示为两段两期导流的例子。首先在右岸进行第一期工程的施工，河水由左岸的束窄河床宣泄。一般情况下，在修建第一期工程时，为使水电站、船闸早日投入运行，满足初期发电和施工通航的要求，应优先考虑先建造水电站、船闸，并在建筑物内预留底孔或缺口。到第二期工程施工时，河水即经由这些底孔或缺口等下泄。对于临时底孔，在工程接近完工或需要蓄水时要加以封堵。

所谓分段，就是在空间上用围堰将建筑物分成若干施工段进行施工。所谓分期，就是在时间上将导流分为若干时期。图 1-2 所示为导流分期和围堰分段的几种情况，从图中可以看出，导流的分期数和围堰的分段数并不一定相同。因为在同一导流分期中，建筑物可以在一段围堰内施工，也可以同时在两段围堰中施工。必须指出，段数分得愈多，围堰工程量愈大，施工也愈复杂；同样，期数分得愈多，工期有可能拖得愈长。因此，在工程实践

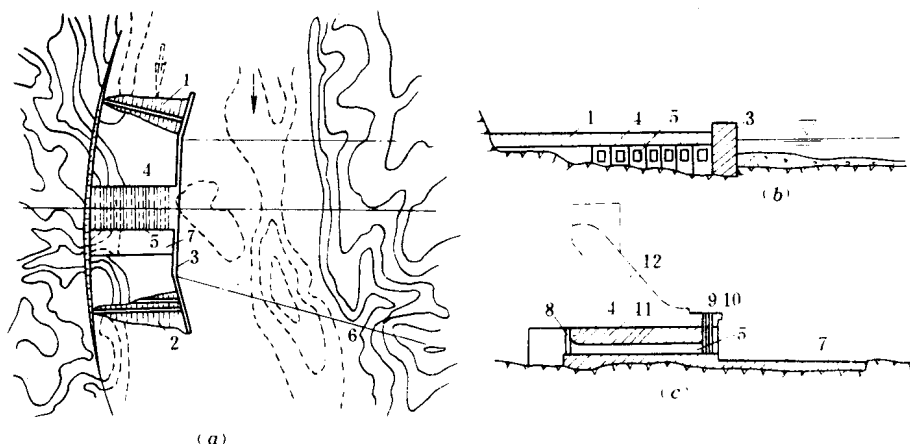


图 1-1 分段围堰法导流

(a) 平面图; (b) 下游立视图; (c) 导流底孔纵断面图

1—一期上游横向围堰; 2—一期下游横向围堰; 3—一、二期纵向围堰; 4—预留缺口; 5—导流底孔;

6—二期上下游围堰轴线; 7—护坦; 8—封堵闸门槽; 9—工作闸门槽; 10—事故闸门槽;

11—已浇筑的混凝土坝体; 12—未浇筑的混凝土坝体

中,二段二期导流采用得最多。只有在比较宽阔的通航河道上施工,不允许断航或其它特殊情况下,才采用多段多期导流方法。

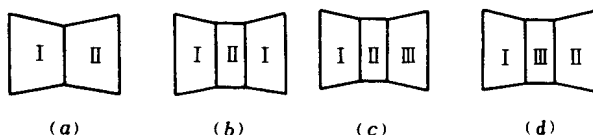


图 1-2 导流分期与围堰分段示意图

(a) 两段两期; (b) 三段两期; (c) 三段三期; (d) 三段三期

采用分段围堰法导流时,纵向围堰位置的确定,也就是河床束窄程度的选择是关键性问题之一。在确定纵向围堰的位置或选择河床的束窄程度时,应重视下列问题:束窄河床的流速要考虑施工通航、筏运、围堰和河床防冲等的要求,不能超过允许流速;各段主体工程的工程量、施工强度要比较均衡;便于布置后期导流用的泄水建筑物,不致使后期围堰过高或截流落差过大,造成截流困难。

束窄河床段的允许流速,一般取决于围堰及河床的抗冲允许流速;但在某些情况下,也可以允许河床被适当刷深,或预先将河床挖深、扩宽,采取防冲措施。在通航河道上,束窄河段的流速、水面比降、水深及河宽等还应与当地航运部门共同协商研究来确定。

河床束窄程度可用下式表示:

$$K = \frac{A_2}{A_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中  $K$ ——河床束窄程度,简称束窄度,%;

$A_2$ ——围堰和基坑所占的过水面积,  $m^2$ ;

$A_1$ ——原河床的过水面积,  $m^2$ 。

国内外一些工程的  $K$  值取用范围约在 40%~70% 之间,如表 1-1 所列。

束窄段河床的平均流速，可粗略按下式确定：

$$v_c = \frac{Q}{\epsilon (A_1 - A_2)} \quad (1-2)$$

式中  $v_c$ ——束窄段河床的平均流速，m/s；

$Q$ ——导流设计流量，m<sup>3</sup>/s；

$\epsilon$ ——侧收缩系数；单侧收缩时采用 0.95，两侧收缩时采用 0.90。

表 1-1 一些工程河床束窄程度值

| 工 程 名 称   | 河床束窄程度 (%) | 工 程 名 称        | 河床束窄程度 (%) |
|-----------|------------|----------------|------------|
| 丹江口 (湖北省) | 58         | 古比雪夫 (前苏联)     | 60         |
| 青铜峡 (宁夏区) | 70         | 布拉茨克 (前苏联)     | 65         |
| 大 化 (广西区) | 40         | 克拉斯诺雅尔斯克 (前苏联) | 50         |
| 西 津 (广西区) | 60         | 萨扬-舒申斯克 (前苏联)  | 58         |

由于围堰将河床束窄，破坏了河流原来的水流状态，在束窄段前产生水位壅高（见图 1-3），其壅高值可由下式估算：

$$z = \frac{v_c^2}{\phi^2 2g} - \frac{v_0^2}{2g} \quad (1-3)$$

式中  $z$ ——壅高，m；

$\phi$ ——流速系数，随围堰的平面布置形式而定；当其平面布置为矩形时， $\phi=0.75\sim 0.85$ ；为梯形时， $\phi=0.80\sim 0.85$ ；有导流墙时， $\phi=0.85\sim 0.90$ ；

$v_0$ ——行近流速，m/s；

$g$ ——重力加速度，等于 9.81，m/s<sup>2</sup>。

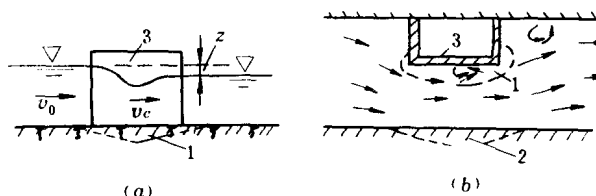


图 1-3 分段围堰束窄段水力计算图

(a) 剖面图；(b) 平面图

1、2—冲刷地段；3—围堰

分段围堰法导流一般适用于河床宽、流量大、施工期较长的工程，尤其在通航河流和冰凌严重的河流上。这种导流方法的导流费用较低，国内外一些大、中型水利水电工程采用较广。例如，我国湖北省葛洲坝、江西省万安、辽宁省桓仁、浙江省富春江等枢纽施工中，都采用过这种导流方法。分段围堰法导流，

前期都利用束窄的原河道导流，后期要通过事先修建的泄水道导流，常见的有以下几种。

#### 1. 底孔导流

底孔导流时，应事先在混凝土坝体内修好临时底孔或永久底孔（见图 1-1），导流时让全部或部分导流流量通过底孔宣泄到下游，保证工程继续施工。如系临时底孔，则在工程接近完工或需要蓄水时加以封堵。这种导流方法在分段分期修建混凝土坝时用得较普遍。

采用临时底孔时，底孔的尺寸、数目和布置，要通过相应的水力学计算决定。其中底孔的尺寸在很大程度上取决于导流的任务（过水、过木、过船、过鱼），以及水工建筑物的结构特点和封堵用闸门设备的类型。底孔的布置应满足截流、围堰工程以及本身封堵等的

要求。如底坎高程布置较高，截流时落差就大，围堰也高，但封堵时的水头较低，封堵就容易些。一般底孔的底坎高程应布置在枯水位之下，以保证枯水期泄水。当底孔数目较多时，可以把底孔布置在不同高程，封堵时从最低高程的底孔堵起，这样可以减少封堵时所承受的水压力。

临时底孔的断面多采用矩形，为了改善孔周的应力状况，也可采用有圆角的矩形。按水工结构要求，孔口尺寸应尽量小，但若导流流量较大或有其他要求时，也有采用尺寸较大的底孔，如表 1-2 所示。

表 1-2 一些水利水电工程导流底孔尺寸

| 工 程 名 称   | 底孔尺寸 (宽×高, m) | 工 程 名 称  | 底孔尺寸 (宽×高, m) |
|-----------|---------------|----------|---------------|
| 新安江 (浙江省) | 10×13         | 凤滩 (湖南省) | 6×10          |
| 柘溪 (湖南省)  | 8×10          | 伊泰普 (巴西) | 6.7×22        |

底孔导流的优点是挡水建筑物上部的施工可以不受水流干扰，有利于均衡连续施工，这对修建高坝特别有利。若坝体内设有永久底孔可用来导流时，更为理想。底孔导流的缺点是：由于坝体内设置了临时底孔，使钢材用量增加；如果封堵质量不好，会削弱坝的整体性，还可能漏水；在导流过程中，底孔有被漂浮物堵塞的危险；封堵时，由于水头较高，安放闸门及止水等均较困难。

## 2. 坝体缺口导流

混凝土坝施工过程中，当汛期河水暴涨暴落，其它导流建筑物又不足以宣泄全部流量时，为了不影响施工进度，使大坝在涨水时仍能继续施工，可以在未建成的坝体上预留缺口（见图 1-1），以便配合其它导流建筑物宣泄洪峰流量，待洪峰过后，上游水位回落，再继续修筑缺口。所留缺口的宽度和高度取决于导流设计流量、其它泄水建筑物的泄水能力、建筑物的结构特点和施工条件等。采用底坎高程不同的缺口时，为避免高低缺口单宽泄量相差过大而引起高缺口向低缺口的侧向泄流，造成斜向卷流，使压力分布不匀，需要适当控制高低缺口间的高差。根据柘溪工程的经验，其高差以不超过 4~6m 为宜。

在修建混凝土坝，特别是大体积混凝土坝时，由于这种导流方法比较简单，常被采用。

## 3. 明槽导流

分段围堰法导流，当河水较深或河床覆盖层较厚时，纵向围堰的修筑是十分困难的。若河床一侧的河滩基岩较高且岸坡稳定又不太高陡时，中后期采用明槽导流是较为合适的。所谓明槽导流（见图 1-4），就是在第一期围堰围护下先修建导流明槽，河水由缩窄河床宣泄，导流明槽河床侧的边墙常用作第二期的纵向围堰；第二期工程施工时，河水即经由导流明槽下泄。

明槽导流在国内外一些大、中型水利水电工程中采用较广。例如，我国广西的岩滩、陕西省的安康、四川省的映秀湾及宁夏的大柳树等。导流流量最大的明槽为巴西的伊泰普，其槽长 2000m，进口宽 150m，槽身宽 100m，底坡 2.5‰，最大泄量为 35000m<sup>3</sup>/s。

导流明槽设计时，必须重视下述问题。

(1) 明槽的糙率 它不但关系到槽身尺寸的大小、导流造价的高低，而且关系到整个

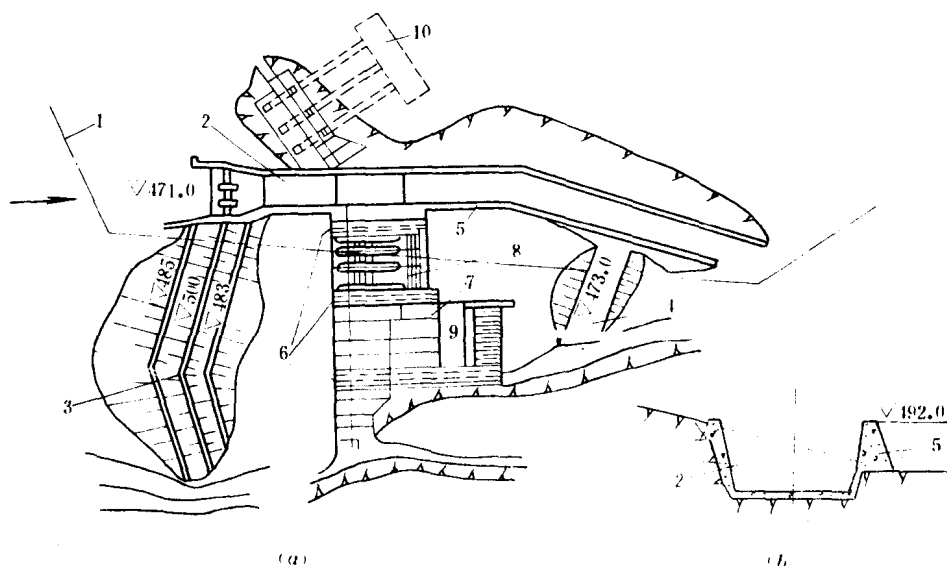


图 1-4 四川省龚嘴水电站明槽导流

(a) 平面图; (b) 剖面图

1—一期围堰轴线; 2—导流明槽; 3—二期上游横向围堰; 4—二期下游横向围堰; 5—二期纵向围堰;  
6—导流底孔; 7—非溢流坝段; 8—溢流坝段; 9—坝后式厂房; 10—地下式厂房

工程导流能否顺利进行, 需要认真对待。特别是在岩层中开挖不加衬砌的明槽, 往往对糙率  $n$  值估计偏低。例如柘溪水电站的导流明槽, 设计导流流量是  $2700\text{m}^3/\text{s}$ , 但实际只能宣泄  $2100\text{m}^3/\text{s}$ 。因为设计的糙率  $n$  为 0.03, 而实测结果,  $n$  达  $0.037\sim 0.042$ 。为确保导流计划的实施, 应进行模型试验验证, 并严格控制施工质量。

(2) 明槽的出口消能 明槽的泄流量较大, 而槽宽相对较窄。例如, 四川省铜街子水电站的导流明槽, 净宽仅 60m, 泄量为  $9200\text{m}^3/\text{s}$ , 单宽泄量达  $153\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ , 槽底纵坡又为 0.01 的陡坡, 因之对明槽出口附近河床覆盖层的冲刷威胁很大, 为此在明槽的末端设置了消力墩及消力坎等以消杀能量。

(3) 导流明槽尽可能与永久性建筑物相结合 例如贵州省与广西交界处南盘江上的天生桥二级水电站, 布置在右岸的导流明槽, 设计成与永久建筑物中的引水明渠、取水口及引水隧洞明管段相结合, 使导流工程的费用大为降低。整个导流明槽由三段组成: 前段, 从导流明槽进口 (拦砂坎) 至坝轴线, 直接利用永久引水明渠, 长 212m, 平均底宽 65m, 为了形成导流明槽进口, 拦砂坎只浇闸墩, 底板以上的溢流堰安排在后期浇筑; 中段, 由引水隧洞取水口和明管段组成, 长 124m, 底宽 50m, 为了形成明槽, 明管段仅浇筑左边墙和右岸护坡, 明管段本身混凝土留至后期施工; 后段, 专为导流需要而设置的明槽, 长 174m, 底宽 50~40m。三段总长 510m, 其布置见图 1-5 所示。

上述三种后期导流方式, 一般只适用于混凝土坝, 特别是重力式混凝土坝枢纽。至于土石坝或非重力式混凝土坝枢纽, 若采用分段围堰导流, 常与河床外的隧洞导流、明渠导



流等方式相配合。

## 二、全段围堰法导流

全段围堰法导流，就是在河床主体工程的上下游各建一道拦河围堰，使河水经河床以外的临时泄水道或永久泄水建筑物下泄。主体工程建成或接近建成时，再将临时泄水道封堵。

采用这种导流方式，当在大湖泊出口处修建闸坝时，有可能只筑上游围堰，将施工期间的全部来水拦蓄于湖泊中；另外，在坡降很陡的山区河道上，若泄水道出口的水位低于基坑处河床高程时，也无需修建下游围堰。

全段围堰法导流，其泄水道类型有以下几种。

### 1. 隧洞导流

隧洞导流（见图 1-6）是在河岸中开挖隧洞，在基坑上下游修筑围堰，河水经由隧洞下泄。

导流隧洞的布置，决定于地形、地质、枢纽布置以及水流条件等因素。具体要求和土工隧洞

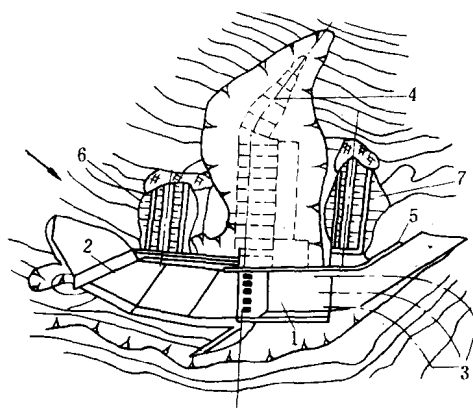


图 1-5 天生桥二级水电站工程

导流明槽布置图

- 1—导流明槽；2—拦砂坎；3—1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>引水隧洞轴线；4—坝轴线；5—纵向围堰（导流明槽左边墙）；6—二期上游围堰；7—二期下游围堰

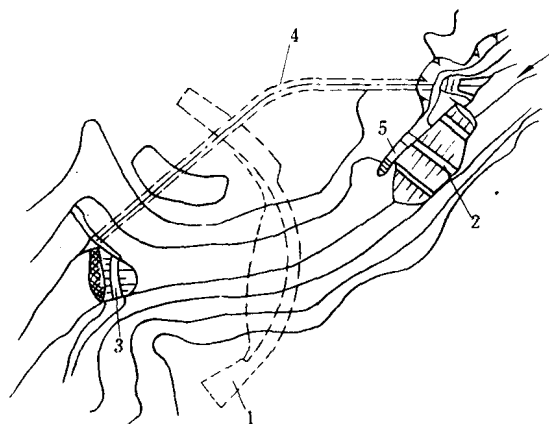


图 1-6 青海省龙羊峡水电站隧洞导流

- 1—混凝土坝；2—上游围堰；3—下游围堰；4—导流隧洞；5—临时溢洪道

类似。但必须指出，为了提高隧洞单位面积的泄流能力，减小洞径，应注意改善隧洞的过流条件。隧洞进出口应与上下游水流相衔接，与河道主流的交角以  $30^\circ$  左右为宜；隧洞最好布置成直线，若有弯道，其转弯半径以大于五倍洞宽为宜，否则，因离心力作用会产生横波，或因流线折断而产生局部真空，影响隧洞泄流。隧洞进出口与上下游围堰之间要有适当距离，一般宜大于 50m，以防隧洞进出口水流冲刷围堰的迎水面。如河北省官厅水库洞口离截流围堰太近，堰体防渗层受进洞主流冲刷，致使两次截流闭气未获成功。一般导流临时隧洞，若地质条件良好，多不作专门衬砌。

为降低糙率，应推广光面爆破，以提高泄量，降低隧洞造价。一般说，糙率  $n$  值减小 7%~15%，可使隧洞造价降低 2%~6%。

一般山区河流，河谷狭窄，两岸地形陡峻，山岩坚实，采用隧洞导流较为普遍。但由于隧洞的泄水能力有限，汛期洪水宣泄常需另找出路，如允许基坑淹没或与其它导流建筑物联合泄流。隧洞是造价比较昂贵和施工比较复杂的建筑物，所以导流隧洞最好与永久隧洞相结合，统一布置，进行设计。通常永久隧洞的进口高程较高，而导流隧洞的进口高程