



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

水工建筑物

水利水电工程技术专业

主编 高必仁



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

水 工 建 筑 物

(水利水电工程技术专业)

主 编 高必仁
责任主审 张勇传
审 稿 王德蜀
 熊文林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为全国中等职业学校（包括普通中专、成人中专、职业高中、技工学校等）“水利水电工程技术”专业的通用教材，全书共九章，包括：绪论、重力坝、拱坝、土石坝、水闸、河岸溢洪道、水工隧洞、渠系建筑物、水利枢纽布置等内容。

本书也可供中等职业学校其它有关专业的师生和水利工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

水工建筑物/高必仁主编. —北京：中国水利水电出版社，2003（2007重印）

中等职业教育国家规划教材. 水利水电工程技术专业
ISBN 978 - 7 - 5084 - 1333 - 4

I . 水… II . 高… III . 水工建筑物—专业学校—教材
IV . TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 018433 号

书 名	中等职业教育国家规划教材 水工建筑物 （水利水电工程技术专业）
作 者	主编 高必仁
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：（010）88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 11 印张 261 千字
版 次	2003 年 1 月第 1 版 2007 年 2 月第 3 次印刷
印 数	6101—9100 册
定 价	14.60 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

本书是中等职业学校重点专业“水利水电工程技术”专业的一门主干课程，是根据国家教育部“中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见”和2002年3月郑州“水利水电专业中等职业教育国家规划教材编写工作会议”精神，以及“水利水电工程技术”专业新的《水工建筑物》教学大纲编写的。

《水工建筑物》是一门专业课，按照教学大纲的要求，学生应掌握一般水工建筑物的工作特点、类型和构造原理；理解水工建筑物的设计基础知识。通过本课程学习，应使学生具备从事水利水电工程施工和管理所必需的水工建筑基本知识和基本技能。因其内容多、涉及面广、实践性强，在编写过程中，本着“少而精”和“淡化设计、计算，突出实践、实用”的原则，力求贯彻素质教育和能力本位思想，紧扣专业培养目标，尽量降低理论深度、难度，注重针对性、应用性与可操作性；力求体现中职教育特色和教学改革、创新精神，尽可能多地反映本专业发展动态和当前水利水电工程技术的新理论、新实践、新工艺、新方法，为学生形成综合职业能力和继续学习打下一定基础。

全书共分九章，其中第一、二、三、七章由河南省水利水电学校高必仁编写，第四、六章由山西省水利学校周爱玲编写，第五、八、九章由河南省水利水电学校孟小瑞编写。全书由河南省水利水电学校高必仁任主编。

本书在编写过程中，参考引用了一些院校、单位或个人编写的教材、资料或专著，并得到了全国水利中等职业教育研究会和中国水利水电出版社的大力支持和帮助。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定，由华中科技大学张勇传院士担任责任主审，武汉大学王德蜀、熊文林教授审稿，中国水利水电出版社另聘湖南省水利水电职业技术学院潘斌生主审了全稿，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中存在错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2002年8月



出版说明

前言

第一章 绪论	1
第一节 我国的水资源与水利工程建设	1
第二节 水利枢纽与水工建筑物	2
第三节 水工建筑物的特点与本课程的学习方法	4
第二章 重力坝	6
第一节 重力坝的特点和类型	6
第二节 重力坝的荷载及其组合	7
第三节 重力坝的抗滑稳定计算与应力分析	13
第四节 重力坝的剖面设计	23
第五节 溢流重力坝	25
第六节 重力坝的泄水孔	30
第七节 重力坝的材料及构造	32
第八节 重力坝的地基处理	37
第九节 碾压混凝土重力坝	40
第十节 其它型式重力坝	42
第三章 拱坝	45
第一节 拱坝的特点、类型和适用条件	45
第二节 拱坝布置	47
第三节 拱坝的荷载及荷载组合	49
第四节 拱坝应力与坝肩稳定分析	50
第五节 拱坝的泄洪	54
第六节 拱坝的构造和地基处理	56
第四章 土石坝	60
第一节 土石坝的特点和类型	60
第二节 土石坝的剖面与构造	62
第三节 土石坝的渗流计算	67
第四节 土石坝的稳定计算	70
第五节 土石坝的筑坝材料	75

第六节	土石坝的地基处理	76
第七节	混凝土面板堆石坝	79
第八节	土石坝与坝基、岸坡及其它建筑物的连接	82
第五章	水闸	84
第一节	水闸的类型与工作特点	84
第二节	闸孔尺寸的确定	86
第三节	水闸的消能防冲	89
第四节	水闸的防渗与排水	92
第五节	闸室的布置与构造	98
第六节	闸室稳定计算与地基处理	101
第七节	闸室结构计算	105
第八节	两岸连接建筑物的布置	110
第九节	闸门的型式与构造	112
第六章	河岸溢洪道	114
第一节	河岸溢洪道的类型和位置选择	114
第二节	正槽式溢洪道	115
第三节	侧槽式溢洪道	120
第七章	水工隧洞	122
第一节	水工隧洞的类型和工作特点	122
第二节	水工隧洞的选线与总体布置	122
第三节	水工隧洞各组成部分的形式及构造	125
第四节	隧洞的衬砌计算	131
第五节	坝下涵管	134
第八章	渠系建筑物	137
第一节	渠系建筑物的分类、功用及特点	137
第二节	渡槽的水力计算	137
第三节	渡槽的型式、布置和构造	139
第四节	梁式渡槽的结构计算	148
第五节	拱式渡槽的结构计算	151
第六节	其它渠系建筑物	154
第九章	水利枢纽布置	162
第一节	水利枢纽布置的任务和设计阶段	162
第二节	枢纽布置的一般原则与方案选定	163
第三节	蓄水枢纽与取水枢纽布置	164
参考文献		167

第一章 绪 论

第一节 我国的水资源与水利工程建设

一、我国的水资源

水是最宝贵的自然资源之一，是人类赖以生存和工农业生产中不可缺少的重要物资。我国河流众多，水资源丰富。据统计，流域面积在 1000km^2 以上的河流近 1600 条，长度在 1000km 以上的河流 20 余条；多年平均河川径流量 2.71 万亿 m^3 ，居世界第四位。水能蕴藏量达 6.8 亿 kW ，其中可开发利用的达 3.78 亿 kW ，居世界第一位。但由于我国人口众多，人均水资源占有量仅 2300m^3 ，相当于世界人均占有量的四分之一，居世界 109 位。因此，从人均水资源讲，我国又是一个严重缺水的国家。

由于我国幅员辽阔，自然地理条件相差悬殊，降水的时空分布很不均匀。大部分地区的降雨多集中在每年的 7、8、9 的三个月内，而且降雨强度大、时间集中，往往易造成洪涝灾害。降水的区域分布也很不均匀，长江流域和长江以南地区，水资源占全国总量的 80%，而黄河、淮河、海河三大流域的水资源仅占总量的 8%，这就必然会造成来水之间的矛盾，导致一些地区在枯水季节易出现干旱。因此我们必须认识水资源的分布规律，合理开发和保护水资源，使水资源最大限度地得到有效利用。

二、水利工程及其建设的主要成就

水利工程的根本任务是：兴水利，除水害。为了控制和利用水力资源，达到兴利除害的目的，就必须采取各种工程措施对自然界的水进行有效地控制和合理地调配。常用的水利工程措施有防洪工程、河道整治工程、农田水利工程、水力发电工程、供水与排水工程、航运及港口工程、环境水利工程及综合利用的水利工程等。

我国是历史悠久的文明古国，我们的祖先在水利工程建设方面取得了世人瞩目的光辉成就。至今正常发挥作用的长达 1800km 的黄河大堤，纵贯祖国南北全长 1794km 的京杭大运河，驰名世界的四川灌县都江堰分洪引水灌溉工程等，都可堪称中华民族的骄傲。但是，由于旧中国封建社会制度的束缚和反动统治阶级的压迫，水资源不仅未能很好地用来为人民造福，而且，还使广大劳动人民长期饱受水旱灾害之苦。

新中国成立以来，在中国共产党和人民政府的正确领导下，我国的水利事业有了巨大发展。目前已建成各类水库 8.6 万座，其中库容大于 1.0 亿 m^3 的大型水库 412 座，库容在 0.1 亿 ~ 1.0 亿 m^3 的中型水库 2634 座，总库容达 4600 亿 m^3 以上；灌溉面积已发展到 7 亿多亩，为农业的稳产高产做出了突出贡献；水电装机容量已达 6000 万 kW ，年发电量占全国年总发电量的 17%；修建和加固堤防 20 多万 km ，初步建立起防洪除涝保障系统；建成通航建筑物 800 多座，内河通航里程已达 10 万 km 以上。水利水电事业取得的成就，为我国经济建设和社会发展提供了必要的基础条件，在工农业生产、交通运输和保障人民

生活安全等方面，都发挥了巨大的作用。

随着水利工程建设的不断发展，我国的水利科学技术水平也迅速提高。在工程勘测、规划、结构设计、地基处理以及施工技术等方面，都取得了巨大进步和成功经验。例如，修建在岩溶地区的坝高 165m 的乌江渡拱型重力坝，成功地进行了地基处理；碧口水电站为心墙土石坝，坝高 101.8m，坝基处理采用混凝土防渗墙，最大深度达 65.4m；坝高 178m 的龙羊峡重力拱坝，成功地解决了坝肩稳定与泄流消能问题；坝高 178m 的天生桥一级水电站，采用的是混凝土面板堆石坝；不久前建成的坝高 80m 的甘肃龙首水电站，是世界上最薄的碾压混凝土拱坝；正在建设中的三峡水利枢纽工程，最大坝高 175m，总库容 393 亿 m^3 ，总装机容量 1820 万 kW，年发电量 846.8 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，到 2003 年可实现首批机组发电。这些成就的取得标志着我国的水利工程技术已跨入世界先进水平的行列。

第二节 水利枢纽与水工建筑物

一、水利枢纽

为了综合利用水利资源，达到防洪、灌溉、发电、供水、航运等目的，需要修建各种类型的水工建筑物，用来控制和支配水流，这些水工建筑物的综合体称为水利枢纽。

水利枢纽可分为蓄水枢纽和取水枢纽，但不论其任务如何，一般均包括挡水、泄水和取水三类建筑物，有的还包括发电和航运等专门建筑物。图 1-1 所示为丹江口水利枢纽布置图，是一座具有防洪、灌溉、发电、航运、渔业等综合效益的水利枢纽工程，由于其主要特征是拦截上游来水，并把它积蓄起来加以综合调配和利用，所以它是一座蓄水枢纽。其组成包括拦河坝、溢流坝、水电站取水系统及厂房、升船机和进水闸等水工建筑物。

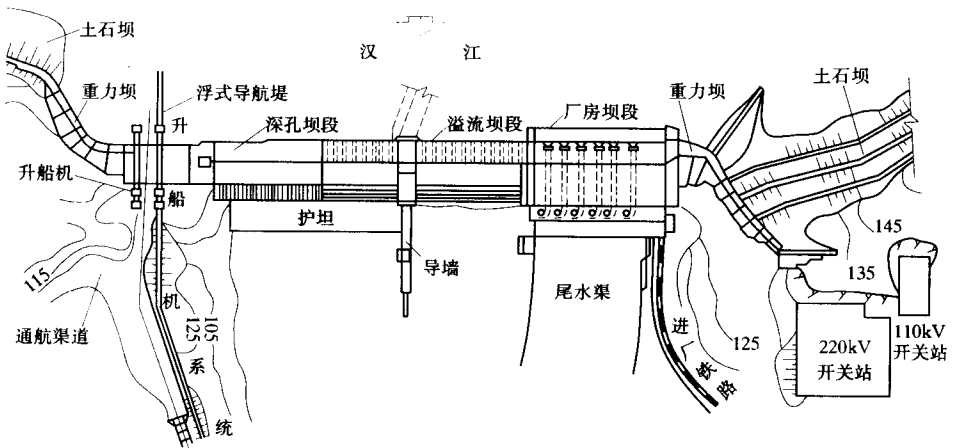


图 1-1 丹江口水利枢纽布置图

二、水工建筑物分类

水工建筑物按其在水利枢纽中所起的作用，可分为以下几类：

(1) 挡水建筑物。用以拦截河水、壅高水位或形成水库，如各种闸、坝和堤防等。

(2) 泄水建筑物。用以宣泄水库的多余水量，以保证大坝安全，如溢洪道、溢流坝、泄洪洞及泄水闸等。

(3) 输水建筑物。为灌溉、发电和供水需要，从水源向用水地点输水用的建筑物，如输水隧洞、渠道、引水管、渡槽等。

(4) 取水建筑物。即输水建筑物的首部建筑，如各种进水闸、深式进水口、扬水站等。

(5) 整治建筑物。用以调整河道水流条件，防止水流对河床产生破坏作用的建筑物，如丁坝、顺坝、导流堤、护岸等。

(6) 专门建筑物。为灌溉、发电、过坝、供水而兴建的建筑物，如电站厂房、调压井、船闸、升船机、鱼道、筏道、滤水池、沉沙池、量水堰等。

三、水利水电工程的分等和水利建筑物的分级

水利水电工程一般投资大、工期长，建设的成功和失败，对国民经济和人民生活将产生直接影响。但过分强调安全，势必会造成不必要的浪费，为使工程的安全性与其造价的经济合理性有机地统一起来，水利水电工程及所属建筑物必须进行分等和分级。

我国 SL252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》规定，水利水电枢纽工程按其规模、效益及在国民经济中的重要性分为五等，如表 1-1 所示。

表 1-1 水利水电工程分等指标

工程 等别	工程规模	水库总库容 (亿 m ³)	防 洪		治 涝	灌 溉	供 水	发 电
			保护城镇及 工矿企业 的重要性	保护农田 (万亩)	治涝面积 (万亩)	灌溉面积 (万亩)	供水对象 重要性	装机容量 (万 kW)
I	大(1)型	≥10	特别重要	≥500	≥200	≥150	特别重要	≥120
II	大(2)型	10~1.0	重 要	500~100	200~60	150~50	重 要	120~30
III	中 型	1.0~0.1	中 等	100~30	60~15	50~5	中 等	30~5
IV	小(1)型	0.1~0.01	一 般	30~5	15~3	5~0.5	一 般	5~1
V	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

注 1. 水库总库容指水库最高水位以下的静库容；

2. 治涝面积和灌溉面积均指设计面积。

对于综合利用的水利工程，当按各综合利用项目的分等指标确定的等别不同时，其工程等别应按其中最高等别确定。

水利水电工程中的永久性水工建筑物，指工程运行期间使用的建筑物。又分为主要建筑和次要建筑物，根据其所在工程的等别和建筑物的重要性分为五级，如表 1-2 所示。

采用表 1-2 确定永久性水工建筑物级别时，应注意以下几点：

(1) 失事后损失巨大和影响十分严重的水利水电工程的 2~5 级主要永久性水工建筑，经过论证并报主管部门批准，可提高一级；失事后造成损失不大的水利水电工程的 1~4 级主要永久性水工建筑，经过论证并报主管部门批准，可降低一级。

(2) 水库大坝按表 1-2 规定为 2、3 级的永久性水工建筑物，如坝高超过表 1-3 的规定指标，其级别可提高一级，但洪水标准可不提高。

(3) 当永久性水工建筑物基础的工程地质条件复杂或采用新型结构时, 对 2~5 级建筑物可提高一级设计, 但洪水标准可不提高。

临时性水工建筑物是指水利水电工程施工时所使用的建筑物。水利水电工程施工期间使用的临时性挡水和泄水建筑物级别, 根据保护对象的重要性、失事后果、使用年限和临时性建筑物的规模, 按表 1-4 确定。

表 1-2 永久性水工建筑物级别的划分

工程等级	主要建筑物	次要建筑物
I	1	3
II	2	3
III	3	4
IV	4	5
V	5	5

表 1-3 水库大坝坝级指标

级 别	坝 型	坝 高 (m)
2	土石坝	90
	混凝土坝、浆砌石坝	130
3	土石坝	70
	混凝土坝、浆砌石坝	100

表 1-4 临时性水工建筑物级别的划分

级别	保 护 对 象	失 事 后 果	使用年限 (年)	临时性水工建筑物规模	
				高度 (m)	库容 (亿 m ³)
3	有特殊要求的 1 级永久性水工建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟总工期及第一台(批)机组发电, 造成重大灾害和损失	>3	>50	>1.0
4	1、2 级永久性水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业、或影响工程总工期及第一台(批)机组发电而造成较大经济损失	3~1.5	50~15	1.0~0.1
5	3、4 级永久性水工建筑物	淹没基坑、但对总工期及第一台(批)机组发电影响不大, 经济损失较小	<1.5	<15	<0.1

当临时性水工建筑根据表 1-4 的分级指标分属不同级别时, 其级别按表中最高级别确定。但对三级临时性水工建筑物, 符合该级别规定的指标不得少于两项。

第三节 水工建筑物的特点与本课程的学习方法

一、水工建筑物的特点

水工建筑物由于水的作用和影响, 与其它建筑物相比有以下特点:

(1) 工作条件复杂。水的作用将产生各种作用力。建筑物挡水时, 作用有静水压力、风浪压力、浮托力、冰压力及渗透压力等, 将对建筑物的抗滑稳定产生不利影响; 同时, 还会在建筑物内部及地基中产生渗透水流, 可能产生渗透变形破坏。建筑物泄水时, 将产生动水压力, 高速水流还可能对建筑物产生空蚀、振动以及对河床产生冲刷。

(2) 施工条件艰巨。在河道中建造水工建筑物, 比陆地上的建筑物施工要艰巨得多, 首先要解决施工导流问题, 为工程建设创造施工空间; 其次是施工技术复杂, 如大体积混凝土施工的温控措施和复杂的地基处理; 第三是地下、水下工程多, 施工难度大。再加上工程量大, 截流、度汛要抢时间, 因此, 水工建筑物的施工条件是非常艰巨的。

(3) 对环境有多方面影响。大型水利枢纽的建设, 对人类社会将产生较大影响, 同时

由于改变了河流的自然条件，对生态环境、自然景观，甚至对区域气候等方面都会产生较大影响。有利的影响方面有：绿化环境，改良土壤，形成旅游和疗养场所，甚至发展成为新兴城市等。但也有不利的一面，由于库水位抬高，需要移民和迁建；库区周围地下水位升高，对矿井、铁路、农田等产生不良影响；甚至由水温、水质等因素使库区附近的生态平衡发生变化；对地震多发区，建水库后可能诱发地震；库尾的泥沙淤积，可能使航道恶化等。

（4）对国民经济的发展影响巨大。一个综合性的大型蓄水水利枢纽，其作用集防洪、发电、灌溉、供水、航运及改善环境于一身，建成运行后将产生巨大的经济效益和社会效益。但是，一旦失事将会给下游造成巨大的灾害，其后果不堪设想。

二、本课程的学习方法

水工建筑物是一门综合性和实践性都很强的专业课，学习中要密切联系已学过的专业基础课程和相关专业课程；注意掌握一般水工建筑物的特点、类型及构造原理，并注重理论联系实际，有条件的要多利用实物进行现场参观学习；通过作业、课程综合练习、实习等环节，锻炼和培养解决实际问题的能力。

第二章 重 力 坝

第一节 重力坝的特点和类型

一、重力坝的特点

重力坝是一种古老而应用广泛的坝型，通常修建在岩基上，一般用混凝土或浆砌石筑成。坝轴线一般为直线，垂直坝轴线方向设有伸缩缝，将坝体分为若干个独立坝段，以适应温度变化和地基不均匀沉陷。图 2-1 为重力坝示意图，坝的横剖面基本上是上游近于铅直的三角形，如图 2-2 所示。

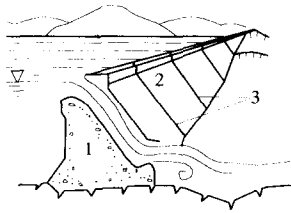


图 2-1 重力坝示意图
1—溢流坝段；2—非溢流
坝段；3—伸缩缝

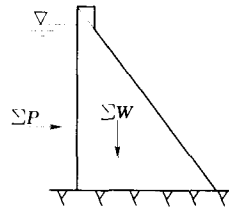


图 2-2 重力坝横剖面

重力坝承受荷载时，主要依靠自重保持坝体稳定和满足强度要求。因此，与其它坝型相比，具有以下特点：

(1) 泄洪和施工导流比较容易解决。重力坝所用材料抗冲能力较强，适于在坝顶溢流和在坝身设置泄水孔泄洪，施工期间用于导流。一般不需要在坝体以外另设溢洪道和泄洪隧洞。非常情况下，即使从非溢流坝顶溢过少量洪水，一般也不会导致坝体失事，这是重力坝的一个最大优点。

(2) 安全可靠，结构简单，便于施工。重力坝剖面尺寸大，筑坝材料强度高，耐久性好，抗冲、抗渗能力强，故安全性较高。而且结构较简单，放样、立模、混凝土浇筑和振捣都比较方便，有利于机械化施工。但由于剖面尺寸大，坝体内部应力通常较小，材料强度不能充分发挥。

(3) 对地形、地质条件的适应性较好。任何形状的河谷都可以修建重力坝。因为坝体作用于坝基面上的压应力不大，所以对地质条件的要求也比较低（与拱坝相比）。又因重力坝沿坝轴线方向被横缝分为若干个独立坝段，所以能较好适应各种非均质地基。

(4) 受扬压力的影响较大。重力坝挡水后，渗透水流将对坝体、坝基产生扬压力。由于坝体与坝基接触面较大，所以受扬压力的影响也大。扬压力将抵消部分坝体重量，对坝体稳定和应力情况不利。

(5) 水泥用量多，需采取温控措施。由于混凝土重力坝体积大、水泥用量多、水化热大，散热条件差，施工期间一般需采取温控措施降温、散热，控制裂缝和防止出现危害性裂缝，保证坝体施工质量。

二、重力坝的类型

重力坝按坝的高度可分为高坝、中坝、低坝三类。坝高大于 70m 的为高坝；30~70m 之间的为中坝；小于 30m 的为低坝。坝高系指坝基最低面（不包括局部深槽或井、洞）至坝顶路面的高度。

按筑坝材料可分为混凝土重力坝和浆砌石重力坝。重要的和较高的重力坝，多采用混凝土建造；中、低坝也可采用浆砌石建造。

按泄水条件可分为溢流坝和非溢流坝。坝体内设有泄水底孔的坝段和溢流坝段统称为泄水坝段，非溢流坝段也叫挡水坝段（图 2-1）。

按坝的结构形式可分为实体重力坝、宽缝重力坝（图 2-3）、空腹重力坝（图 2-4）等。

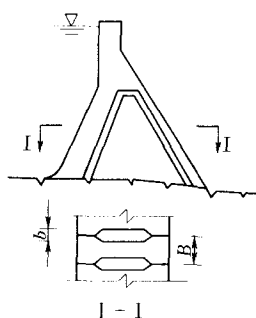


图 2-3 宽缝重力坝示意图

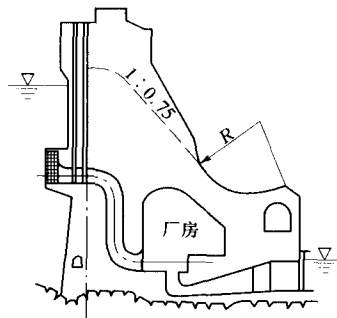


图 2-4 枫树水电站的空腹重力坝

第二节 重力坝的荷载及其组合

荷载也称作用。重力坝的主要荷载有：自重、水压力、扬压力、浪压力（或冰压力）、泥沙压力及地震荷载等。

一、荷载计算

1. 自重（包括永久设备重，如闸门、启闭机等）

$$G = \gamma_1 V \tag{2-1}$$

式中 G ——坝体自重，kN；

γ_1 ——筑坝材料重度，kN/m³；

V ——重力坝体积，m³。

2. 水压力

(1) 挡水坝段的静水压力。坝面上任意处的静水压强为 $p = \gamma Y$ ，其中 γ 为水的重度， Y 为计算点距水面深度。对于倾斜或有折坡的坝面，可将水压力分为水平水压力和垂直水压力分别计算（见图 2-5）。

(2) 溢流坝的水压力。溢流坝段的坝顶闸门关闭挡水时，静水压力计算同挡水坝段。泄水时，作用在上游坝面的水压力受到溢流的影响，可通过水工模型试验测定。在初步设

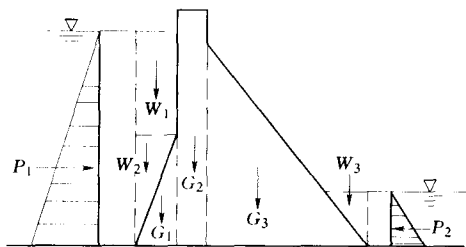


图 2-5 挡水坝的静水压力

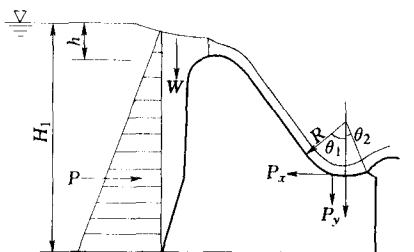


图 2-6 溢流坝的水压力

计和缺少实验条件时，可按式 (2-2) 近似计算 (图 2-6)。

$$P = \frac{1}{2} \gamma (H_1^2 - h^2) \quad (2-2)$$

式中 P ——单位坝长上的上游水平压力， kN/m ；

H_1 ——上游水深， m ；

h ——溢流坝顶水深， m ；

γ ——水的重度， kN/m^3 。

(3) 溢流坝下游反弧段的动水压力。可根据流体动量方程求得。单位坝长在该反弧段上动水压力的总水平分力 P_x 和总垂直分力 P_y 的计算公式如下：

$$P_x = \frac{\gamma q v}{g} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \quad (\text{kN}) \quad (2-3)$$

$$P_y = \frac{\gamma q v}{g} (\sin \theta_2 + \sin \theta_1) \quad (\text{kN}) \quad (2-4)$$

式中 q ——鼻坎处单宽流量， $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ ；

v ——反弧段上的平均流速， m/s ；

θ_1 、 θ_2 ——反弧段圆心竖线左、右的中心角。

P_x 、 P_y 的作用点可近似地认为作用在反弧段中央，其方向以图 2-6 所示为正。

3. 扬压力

(1) 坝基面上的扬压力。扬压力包括上、下游水位差产生的渗透压力和下游水深产生的浮托力两部分，其大小可按扬压力分布图形计算。影响扬压力分布图的因素很多，可根据坝基地质条件、降压措施、坝的结构形式分别选用扬压力图形。

1) 坝基设有防渗帷幕和排水幕的实体重力坝。防渗帷幕是在岩基中钻孔灌浆而成的，作用是阻拦渗水，消减水头；排水幕是一排由钻机钻成的排水孔，能使部分渗透水流自由排出，使渗透压力进一步降低，其扬压力分布情况如图 2-7 所示。矩形部分是下游水深 H_2 产生的浮托力，压强值为 γH_2 ，折线部分是上、下游水位差 H 产生的渗透压力，上游压强值为 γH ，下游

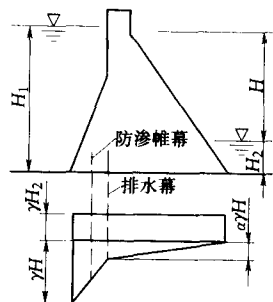


图 2-7 设有防渗帷幕排水幕的坝基扬压力

为零,排水幕处为 $\alpha\gamma H$ 。 α 为剩余水头系数,河床坝段采用 $\alpha = 0.25$,岸坡坝段采用 $\alpha = 0.35$ 。

(2) 采用抽排降压措施的实体重力坝。防渗帷幕和排水幕只能减小渗透压力,而不能降低浮托力。为了更有效地降低扬压力,可以在坝体廊道内设置排水系统、集水井和抽水设备,进行定时抽排,此时,坝基扬压力分布如图 2-8 所示。图中 α_1 为主排水幕处的扬压力剩余系数,取 $\alpha_1 = 0.2$; α_2 为坝基面上残余扬压力系数,可采用 0.5。

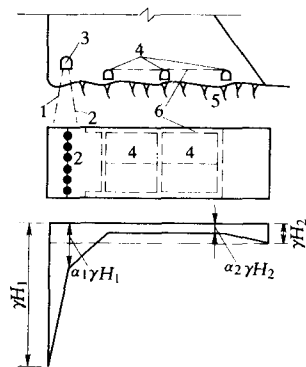


图 2-8 采用抽排降压措施的坝基面的扬压力

1—防渗帷幕; 2—主排水幕; 3—灌浆廊道;
4—纵向排水廊道; 5—基岩面; 6—横向排水

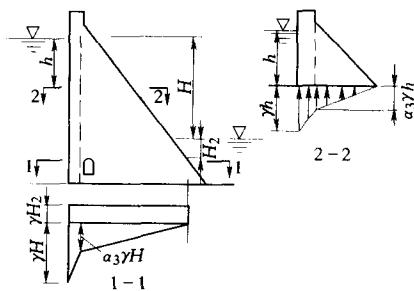


图 2-9 坝体内部的扬压力

(2) 坝体内部的扬压力。渗透水流除在坝基面产生渗透压力外,渗入坝体内部的水流也要产生渗透压力。为减小坝体内的渗透压力,常在坝体上游面附近的 3~5m 范围内,提高混凝土的防渗性能,形成防渗层,并在防渗层后设坝身排水管。但防渗层往往存在薄弱部位,所以,在坝体扬压力计算时,不考虑上游防渗层的作用,按图 2-9 所示的分布图进行计算。图中 α_3 取 0.2。当无坝身排水管时,渗透压力按三角形分布计算。

4. 泥沙压力

水库正常运用后,泥沙逐年淤积在坝前,对坝体产生泥沙压力。按淤沙年限 50~100 年估算出淤沙高程,参照经验数据,作主动土压力计算:

$$P_n = \frac{1}{2} \gamma_n h_n^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right) (\text{kN/m}) \quad (2-5)$$

式中 γ_n ——泥沙的浮重度,一般为 $6.5 \sim 9.0 \text{ kN/m}^3$;

h_n ——泥沙的淤积厚度, m;

φ_n ——泥沙的内摩擦角,淤积时间较长的粗颗粒泥沙,取 $\varphi_n = 18^\circ \sim 20^\circ$; 粘土质淤积物,取 $\varphi_n = 12^\circ \sim 14^\circ$; 极细的淤泥、粘土和胶质颗粒,取 $\varphi_n = 0^\circ$ 。

当坝体上游面倾斜时,垂直泥沙压力按作用在坝面上的土重计算。

5. 浪压力

(1) 波浪要素。水库水面在风的作用下产生波浪,波浪对坝面的冲击力称为浪压力。波浪要素包括波浪高度 $2h_l$,波浪长度 $2L_l$ 和波浪中心线超出静水面的高度 h_0 等(图

2-10)。对于山区峡谷水库，采用官厅水库公式计算 $2h_l$ 和 $2L_l$ ：

$$\frac{g(2h_l)}{V^2} = 0.0076 V^{-1/12} \left(\frac{gD}{V^2} \right)^{1/3} \quad (2-6)$$

$$\frac{g(2L_l)}{V^2} = 0.331 V^{-1/2.15} \left(\frac{gD}{V^2} \right)^{1/3.75} \quad (2-7)$$

上式中， $2h_l$ 为波浪高度 (m)。当 $gD/V^2 = 20 \sim 250$ 时，为累计频率 5% 的波高；当 $gD/V^2 = 250 \sim 1000$ 时，为累计频率 10% 的波高。计算浪压力时，规范规定应采用累计频率为 1% 的波高。对应于 5% 的波高，应乘以 1.24；对应于 10% 的波高，应乘以 1.41。 V 为计算风速 (m/s)，设计情况采用 50 年一遇风速，校核情况采用多年平均最大风速。 D 为吹程 (m)，可取坝前沿水面到水库对岸水面的最大直线距离；当水库水面特别狭长时，以 5 倍平均水面宽计算 (图 2-11)。

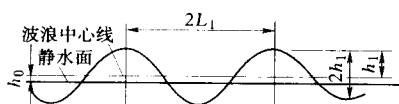


图 2-10 波浪要素

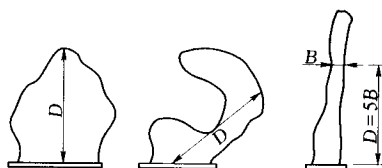


图 2-11 吹程

该式的适用范围是：吹程 $D < 20$ km，风速 $V < 20$ m/s。

波浪中心线高出静水位的高度 h_0 (见图 2-10) 按下式计算：

$$h_0 = \frac{4\pi h_l^2}{2L_l} \text{cth} \frac{\pi H_l}{L_l} \quad (\text{m}) \quad (2-8)$$

式中 H_l ——坝前水库水深，m；

cth——双曲线余切。

当 $H_l > L_l$ 时， $\text{cth} \frac{\pi H_l}{L_l} \approx 1.0$ ，上式可简化为

$$h_0 = \frac{4\pi h_l^2}{2L_l} \approx 0.61 h_l \quad (2-9)$$

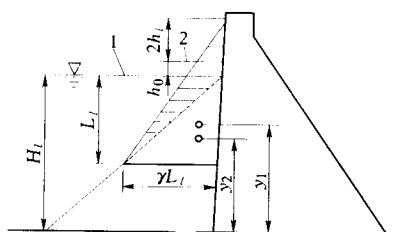


图 2-12 浪压力

1—水库静水位；2—波高中心线

(2) 浪压力。当重力坝迎水面为铅直或接近铅直时，波浪推进到坝前因受阻而壅高为驻波，其波高变为 $4h_l$ ，而波长不变，仍为 $2L_l$ ，此时波浪在静水位以上的高度为 $2h_l + h_0$ 。

当 $H_l > L_l$ ，且上游坝面陡于 1:1 时 (其它情况从略)，浪压力可按图 2-12 所示图形求得，计算公式如下：

$$P_l = \frac{\gamma(L_l + 2h_l + h_0)L_l}{2} - \frac{\gamma L_l^2}{2} \quad (2-10)$$