

中国现代科学全书·水利工程

CHINESE ENCYCLOPEADIC SERIES OF MODERN SCIENCES

HYDRAULIC ENGINEERING

水工结构工程

HYDRAULIC STRUCTURE ENGINEERING

麦家焯 陈 铁 编著



中国环境科学出版社

中国现代科学全书·水利工程

水工结构工程

麦家焯 陈 铁 编著

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

水工结构工程/麦家焯,陈铁编著,一北京:中国环境科学出版社,2003.12

(中国现代科学全书·水利工程)

ISBN 7-80163-791-7

I. 水... II. ①麦... ②陈... III. 水工建筑物
IV. TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 110684 号

水工结构工程

麦家焯 陈 铁 编著

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址:<http://www.cesp.cn>
电 话:010-67113409

印 刷 唐山丰电印务有限公司印刷
经 销 各地新华书店
版 次 2003 年 12 月第一版
印 次 2005 年 5 月第一次印刷
印 数 1-2500
开 本 850×1168 1/32
印 张 17
字 数 442 千字
定 价 50.00 元

【版权所有,请勿翻印、转载,违者必究】

内 容 简 介

水工结构工程学(科)研究的对象是水工结构建筑物,它是在水利水电工程长期实践的基础上经过总结积累,并应用数学、力学等基础理论和其他很多方面的学科理论来提高而逐渐形成的学科理论。本书虽然也参考部分参考书和百科全书,但不同于这两类书籍,而主要内容是总结水工结构工程及其学科自古至今的发展过程,着重突出新中国成立以来经过半个世纪的努力,在水工结构工程建设和学科理论方面所取得的发展和成就,并对21世纪水工结构工程及其学科发展作一展望,以促进我国今后水利水电工程能更好、更快地建设和发展。本书内容力求深入浅出,适合水工结构专业大学本科毕业的、从事水利水电工程设计、施工、科研、教学、技术行政管理工作的以及水工结构专业的研究生阅读。

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编	胡 绳	钱伟长	吴阶平	周光召
	许嘉璐	罗豪才	季羨林	王大珩
	郑必坚			
主 编	姜士林	郭德宏	刘 政	程湘清
	卞晋平	王洛林	许智宏	白春礼
	卢良恕	徐 诚	王洪峻	明立志

水利工程卷编辑委员会

主 编	董曾南
编辑委员	(以姓氏笔画为序)
	王兴奎 麦家煊 李仲奎
	杨永全 薛鸿超

作者简介

麦家焯,清华大学教授,男,籍贯广东台山,1944年7月出生。1968年清华大学本科毕业后从事水电工程施工、设计与科研工作,涉及到的主要建筑物有拱坝、重力坝、土石坝、地下厂房、隧洞等。1981年清华大学水工结构专业硕士研究生毕业后留校任教,从事教学、科研和设计等工作。讲授课程主要有:计算机语言、水工建筑物、公路与城市道路工程、桥梁工程等。从事科研和设计工作主要有:混凝土坝温度场、温度应力计算和温控研究;水工建筑物抗震设计与研究;地下厂房和隧洞衬砌受力和稳定的研究;水下岩塞爆破的设计和研发;坝基稳定和地应力研究;堆石坝面板防裂和抗裂研究;碾压混凝土拱坝的设计和研发等。先后在国内核心刊物和国际会议论文集上发表了上述研究内容的论文23篇。此外还亲自编制一千至一万句的电算程序5个,完成研究报告9篇,亲自计算和设计的图纸200多张。

《水利工程》卷编写说明

1998年春,我接受了清华大学水利水电工程系的委托,承担《中国现代科学全书》的《水利工程》卷的主编。《中国现代科学全书》是在全国人大常委会办公厅研究室、全国政协研究室、中共中央党校教研部、中国现代文化研究中心的共同组织下进行编辑工作的。其目标为系统地、全面地概述现代自然科学和社会科学各学科的建设、发展及其学术研究成果,为繁荣和发展我国的科学文化事业,提高全民族的科学文化素质,增进我国与世界各国之间的科学文化交流服务。显然,这是一项迎接21世纪的科学文化建设工程。

1998年5月28日由全国人大常委会办公厅研究室主持召开了第一次编撰工作会议。全国人民代表大会常务委员会副委员长布赫和中国人民政治协商会议全国委员会副主席钱伟长、罗豪才等参加了会议,讨论了这套规模宏大的全书的编撰方针与原则。根据《中国现代科学全书》编委会的卷目规划大纲,全书分12个门类,690卷。其中《水利工程》卷属于工学门类,又包括五个分卷,分别是《水力学》、《河流动力学》、《水工结构工程》、《水利水电工程》、《海岸及近海工程》。水利工程对我国具有特殊的重要性,这几卷的内容尚不能反映水利工程学科的全貌(如水文水资源已被归入《水文学》卷中),但由于卷数的限制,只能遵守《中国现代科学全书》编委会的决定。

1998年夏,经多方酝酿确定了《水利工程》卷各分卷主编:

《工程水力学》	四川大学杨永全教授
《河流动力学》	清华大学王兴奎教授
《水工结构工程》	清华大学麦家煊教授

《水利水电工程》 清华大学李仲奎教授

《海岸及近海工程》 河海大学薛鸿超教授

由以上五位教授和我本人共同组成《中国现代科学全书》的《水利工程》卷的编委会。经过五位教授辛勤努力,2000年初各卷书稿陆续完成,并由编委会分别聘请国内知名专家对书稿进行了审定。但是由于《中国现代科学全书》出版经费发生始料未及的变故,因而出版工作迟迟未能落实。直至2003年中期,经各卷主编多方筹措,并在《中国现代科学全书》编委会办公室协助下,出版工作方得以实施。现在这五卷书即将出版,实在是一件来之不易、值得高兴的事。

这五卷著作共同的特点是,它们都反映了本门学科国内外最新成就,密切结合我国实际,并对本门学科在21世纪的发展前景进行了深入分析与展望。因此我深信,这五卷书不仅对水利专业人士是很宝贵的参考书,而且对于希望了解水利事业的非专业人士也是极为有益的。

历经6年时间,这五卷著作终于出版面世了,我怀着衷心的喜悦再一次对所有参加编著的学者以及《中国现代科学全书》编委会办公室及出版社的努力表示深深的感谢与敬意。

董曾南

2004年6月30日

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 水工结构工程及水利枢纽	(1)
第二节 水利枢纽工程的重要作用、意义 和对周围环境的影响	(5)
第三节 我国水利工程的起源和发展历史	(16)
第四节 水工结构工程学科理论概述	(31)
第二章 重力坝	(53)
第一节 重力坝的特点	(53)
第二节 重力坝设计理论的发展概况	(56)
第三节 作用在重力坝上的荷载	(62)
第四节 重力坝的应力分析	(75)
第五节 重力坝的稳定分析	(101)
第六节 重力坝的断面设计和优化设计	(128)
第七节 混凝土重力坝的温度控制	(142)
第八节 碾压混凝土筑坝技术和碾压混凝土重力坝	(157)
第九节 其它类型重力坝	(169)
第十节 重力坝的泄水建筑物	(179)
第三章 拱 坝	(198)
第一节 拱坝的特点	(198)
第二节 拱坝及其设计理论的发展概况	(199)

第三节	作用在拱坝上的荷载与荷载组合	(206)
第四节	拱坝的应力分析	(214)
第五节	拱坝地基的稳定分析	(240)
第六节	拱坝的体形布置、优化设计和计算机辅助 设计	(251)
第七节	拱坝的地基处理	(264)
第八节	拱坝泄洪建筑物的布置与消能	(273)
第四章	土石坝	(282)
第一节	土石坝的分类和设计要求	(282)
第二节	土石坝的发展历史和特点	(285)
第三节	土石坝的渗流分析	(295)
第四节	土石坝的稳定分析	(299)
第五节	土石坝的应力应变分析	(305)
第六节	土石坝的位移、沉降与裂缝分析	(321)
第七节	土石坝的地基处理	(334)
第八节	土石坝的抗震设计	(348)
第九节	混凝土面板堆石坝	(360)
第十节	土石坝的坝型选择和优化设计	(368)
第五章	其它水工建筑物	(372)
第一节	支墩坝	(372)
第二节	岸边溢洪道	(378)
第三节	水工隧洞	(381)
第四节	堤 坝	(403)
第五节	水 闸	(410)
第六节	船闸和升船机	(425)
第七节	闸 门	(433)

第八节	过木建筑物和过鱼设施	(442)
第九节	渠首及渠系建筑物	(447)
第六章	21 世纪水工结构工程的展望	(462)
第一节	南水北调工程	(463)
第二节	西部水电资源的大开发	(470)
第三节	21 世纪我国水利水电工程的艰巨性和基本 要求	(473)
第四节	21 世纪水工结构工程学科的发展趋势	(475)
编后语	(516)
参考文献	(517)

第一章 概 述

第一节 水工结构工程及水利枢纽

一、水工结构的分类及其作用

水工结构或水工建筑物按其功能分为多目标通用性的一般水工建筑物和单一目标的专门水工建筑物。一般水工建筑物有：挡水建筑物、泄水建筑物、输水建筑物、取水建筑物和整治建筑物等。

挡水建筑物主要有：大坝、河堤、海塘、水闸（关下闸门也可当作挡水建筑物）等等。它们的主要作用是蓄水或挡水，一方面可以拦蓄洪水或暂时不用的河水，以备在需要用水的时候放水、供水；另一方面利用挡水建筑物可以提高其上游水位，加大发电出力或在高处引水以便灌溉高程较高的土地，有的河道由于挡水提高水位淹没了急流险滩而大大地改善了航运条件。河堤、海塘还可用来抵挡洪水或海潮的袭击，保护人民的生命财产。

泄水建筑物一般指：溢洪道、溢流坝、泄洪洞、泄水孔和水闸等。它们的主要作用是：宣泄洪水或排放冰凌，以防漫顶冲坏坝体、河堤和地基等；在汛前和汛期放水使上游水位下降至限制水位，增加防洪库容，以达到防洪的目的；为了检修、排沙或保坝而放水使上游水位下降至某一数值，等等。

输水建筑物是为灌溉、发电、供水等用途需要从上游向下游输水的水工结构物，如：引水隧洞、引水涵管、坝内输水孔或输水管、渠道、渡槽、倒虹吸等等。

取水建筑物是输水建筑物的首部结构，如：引水隧洞或坝身输

水孔的进口段、灌溉渠首、进水闸、扬水站等等。

整治建筑物是用来改善河道的水流条件、调整水流对河床及河岸的作用、防护波浪和水流的冲刷而做的结构,如:丁坝、顺坝、导流堤、护坡、护岸等等。

专门水工建筑物是专为某种需要而兴建的建筑物,如:专为发电用的压力前池、调压井、电站厂房等;专为灌溉用的沉沙池、冲沙闸等;专为过坝用的船闸、升船机、鱼道、过木道等等。

在以上各种功能的水工建筑物中,有些是相互通用的,一个建筑物的功能有多种,并非单一,难以严格区分其类型。例如:各种溢流坝既是挡水建筑物,又是泄水建筑物;水闸既能挡水,又能泄水,有时还可作为灌溉渠首或供水工程的取水建筑物;有些泄水隧洞或泄水孔既可作施工导流用,又可泄洪,还可放水通过河道或引至渠道输送给下游工业和生活用水以及灌溉用水,等等。

水工结构还可按不同的特点分类。例如挡水建筑物中的大坝,可从以下几方面来分类:(1)按筑坝材料分为:土石坝、混凝土坝、浆砌石坝、钢筋混凝土坝、橡胶坝、木坝等等;(2)按结构受力特点分为:重力坝、拱坝、支墩坝等;(3)按溢流与否分为:溢流坝和非溢流坝等等。

水工结构工程学科专门研究上述各种结构物的受力特性、稳定性、抗渗性、耐久性、经济和技术可行性等内容。这一学科的发展离不开工程实践的需要和发展。

二、水利枢纽

为综合利用水利资源,达到防洪、蓄水、发电、灌溉、给水、航运、养殖等目的,需建造不同类型的水工结构物(如挡水、泄水、输水以及电站等其它专门建筑物),它们的综合体称为水利枢纽。

例如:举世瞩目的三峡水利枢纽工程主要任务和效益是防洪、发电和航运,所以,泄洪坝、水电站厂房和船闸是三峡水利枢纽不

可缺少的三项主要建筑物(其平面位置如图 1-1 所示),其中泄洪坝设置表孔、深孔和底孔等泄水建筑物,厂房坝段设置坝后式厂房、发电引水管及其进口取水建筑物等。

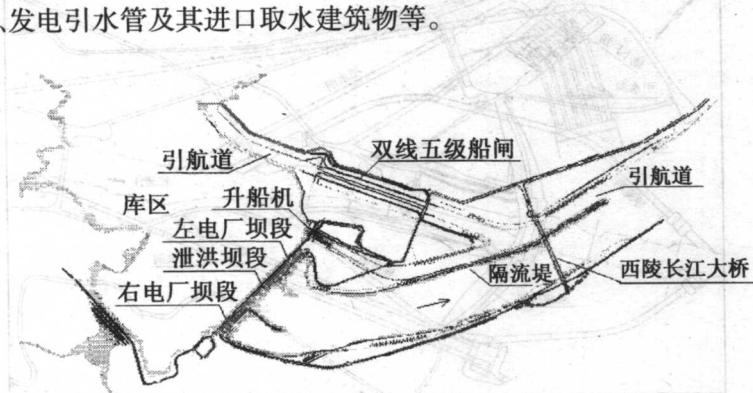


图 1-1 三峡水利枢纽平面布置简图

又如,在长江上游的主要支流雅砻江上建造的二滩水利枢纽工程的挡水建筑物为一座 240m 高的双曲拱坝(参见图 1-2);拱坝坝身设置 7 个泄洪表孔、6 个中孔和 4 个底孔;另外在右岸加两条泄洪隧洞;在左岸则布置地下电站,设置进口取水建筑物、引水隧洞、地下厂房和尾水洞等;在两岸各布置一条导流隧洞。

再如,黄河小浪底水利枢纽工程主要由一座黏土斜心墙堆石坝和在左岸的导流洞、泄洪洞、排沙洞、地下电站等组成;其中地下电站还包括取水建筑物、引水隧洞、地下厂房和尾水洞等建筑物。

水利枢纽工程由于其地理位置不同,它所控制的流域面积不同,年径流量、洪峰、洪量以及洪水过程不相同,因而各个水利枢纽的用途和效益等都很不相同;又由于地形、地质和筑坝材料等条件是千差万别的,因而组成水利枢纽的水工结构的种类、数量、高低、大小和规模等,也都各不相同。

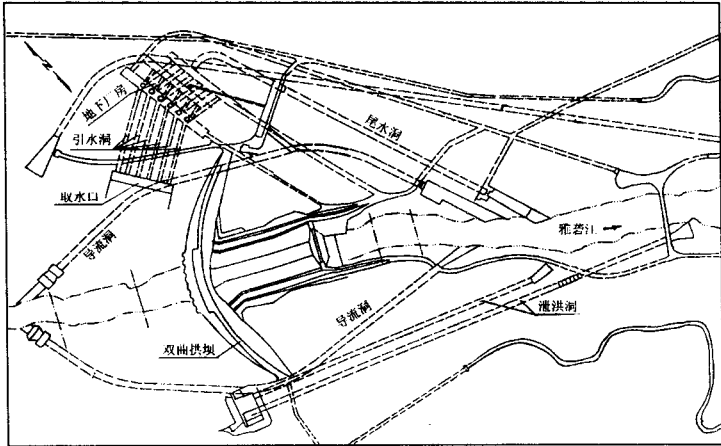


图 1-2 二滩水电站水利枢纽布置图

就拿上述的三个例子来说,三峡水利枢纽位于长江的中游,而长江又是世界上第三大河流,而且一年四季雨水及河流水量都很充沛,三峡水利枢纽控制上游流域面积 10^6km^2 ,在坝址处多年平均流量为 $14300\text{m}^3/\text{s}$,多年平均年径流量为 4510 亿 m^3 。所以,在选择坝址时,既要选在地质条件好的地点,还要尽量选在河谷很宽的位置,既要有足够长的泄洪坝段,又能尽量地多腾出位置修建坝后式电站厂房,经几十年的勘察和比较工作,最后选择三斗坪坝址,而不是一般人们所想象的选在河谷窄的地点。如果选在河谷窄的位置,泄洪坝段较短,可能满足不了泄洪的要求,也无法修建船闸,如果把 26 台、每台 70 万 kW 的机组都布置在地下,这在技术上难度很大,在经济上是很不合算的,总造价反而贵很多。

二滩水利枢纽则远在三峡上游的一条支流雅砻江上,其水量比三峡小得多,多年平均流量为 $1680\text{m}^3/\text{s}$,为了获得大的水能或

电能,只有抬高上游水位,也就需要选择地质条件好的、河谷很窄的坝址来修建高拱坝。由于河谷很窄,又要泄洪,很难布置坝后式电站,而引水式电站因厂房离坝很远需要很长的引水隧洞,只好采用地下厂房方案。这是二滩水电站与三峡水电站从坝型到厂房都很不相同的一些特点。

黄河小浪底水利枢纽的大坝挡水建筑物则由于坝址地质条件和当地材料条件而采用黏土斜心墙坝。从安全运行考虑,土石坝本身不该布置泄洪建筑物和输水建筑物。对比两岸的地形地质条件,选择在左岸布置导流、泄洪、输水和地下厂房等建筑物。

从上述三项枢纽工程可以想象到其它所有的水利枢纽工程,无论在设计、施工或运行管理方面都找不到完完全全相重复的两个水利枢纽。即使是某一个具体的水工结构物,其周围的水文、地形、地质、边界温度和受力等条件,建造的初始条件(包括基础的初应力或初应变、初始温度等)和结构大小尺寸等等都很难达到全部相同的。所以,对每一项水利枢纽工程以及组成该枢纽的每一个水工结构物,都需要认真地做大量的研究工作和计算工作,以达到安全、经济和便于运行等目的。

第二节 水利枢纽工程的重要作用、意义和对周围环境的影响

一、水利枢纽工程的作用和意义

水既是自然界一切生命赖以生存的不可缺少的物质,又是人类社会向前发展的非常重要的资源。

过去,人们常常讲:“鱼儿离不开水”。其实,不只是鱼,一切动植物生命都离不开水,因为组成动植物的细胞离不开水,人体70%的成分是水。科学考察说明了,在宇宙凡是没有水的所有星

球,都不存在单细胞或多细胞生物,更谈不上像地球当今名目这么繁多的生命物种了。

人类社会的进步离不开生产力的发展,水是生产力发展的非常重要的资源。如果没有水,种不了庄稼和其它植物,也无法饲养禽畜,就谈不上农业生产和畜牧业生产。随着工业生产的发展,也越来越显出工业用水和城市供水的重要性。如果没有水,人类不可能有今天这么高度的生产力和物质财富。

大自然并非按照人类的愿望来提供用水,人们需要某一地区在某一时间下雨,但却偏偏不下雨,或者将雨水下到别的不需要下雨的地区;而在其它下雨过多的地区,人们希望它暂停下雨,它却偏偏下个没完没了,甚至暴雨成灾,洪水泛滥,给人类带来很大的灾难和损失。目前人类的科学技术还未达到调动天空雨云并控制降雨的水平,大力兴建水利工程是解决这类问题、避免或尽量减小这些损失的主要途径之一。人们可以修筑大坝水库,拦蓄洪水,避免或减轻其下游地区的洪水灾害;然后在需要用水的时候,放水发电、灌溉或给城市供水和工业用水,做到除害兴利、一举几得。所以,水利水电工程的效益往往是多种多样综合在一起的,很少是单一的。为便于叙述,这里暂分开单独书写于下。

(一)防洪

大多数水利工程兼有防洪效益,尤其是堤坝工程,在汛期总得或多或少拦蓄一些洪水,有些水库总库容很大,在汛前或汛期放水,把水位降到很低,以腾出很大的防洪库容,其防洪效益就大些;有些水库则相反,总库容很小,或为了多发电,在汛期保持高水位,防洪库容较小,防洪效益就很小。在我国防洪的任务还很艰巨,1998年夏季长江和松花江流域长时间降雨,洪水泛滥,给两岸人民带来很大的损失,其影响之大,在今后相当长的一段时间里,人们是不会忘记的。在我国,一些大江大河还可以建造很多水库,既可以利用大量的水能来发电,又可以担负很大的防洪任务。