



高等学校规划教材

水工建筑物

SHUIGONG JIANZHUWU

沈长松 王世夏 林益才 刘晓青 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TV6/17

2008

高等学校规划教材

水 工 建 筑 物

沈长松 王世夏 林益才 刘晓青 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是高等学校规划教材,是水利水电工程专业主要专业课《水工建筑物》课程教学用书。全书共分15章,包括:总论,水工结构上的作用,水工水力学问题和水力设计,岩基上的重力坝,拱坝,支墩坝,土石坝,河岸溢洪道,水工隧洞,土基上的闸坝,水工闸门,过坝建筑物,渠首及渠系建筑物,水利枢纽布置,水工建筑物的安全监控及运行管理。每章附有复习思考题。

本书可作为水利类专业及其他专业师生教学参考书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物 / 沈长松等编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5084-5240-1

I. 水… II. 沈… III. 水工建筑物—高等学校—教材
IV. TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002717 号

书 名	高等学校规划教材 水工建筑物
作 者	沈长松 王世夏 林益才 刘晓青 编著
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 39 印张 925 千字
版 次	2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	63.00 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

前 言

本书为水利水电工程专业本科教学用书，也可供专业科技人员阅读参考。河海大学水利水电工程专业创建于1952年，是我国同类专业中建立最早、培养学生最多的专业之一，2002~2003年先后被评为河海大学品牌专业、江苏省品牌专业，“水工建筑物”是该专业的主干专业课之一。然而近十多年来，河海大学水工课程所用的教材仍是左东启、王世夏、林益才主编，河海大学出版社1995年7月出版的《水工建筑物》（上、下册），内容相对有过时之处；其次，原教材篇幅过大（分上、下两册），难以在计划课时内讲完；第三，作为水工建筑物教材编写人和现在或曾经在教学第一线的授课教师，深感从20世纪50年代起就一直沿用前苏联水工教材按各种典型建筑物逐一论述的章节体系，似有必要予以适当调整和改进，以求更好地适应当今大学生水工建筑物课程教学的实际需要。基于上述原因，故撰写较为精练的新教材。

本书作为新教材得已编写成功，自然源于我们多年教学经验和科研成果的积累。在1995~2000年五年间先后出版的三部书，直接成为新撰写本书的引用素材。这三部书是：①左东启、王世夏、林益才三人主编，河海大学出版社1995~1996年出版的《水工建筑物》（水工专业教材），全书十六章，执笔编写者有王世夏、林益才、董利川、沈长松、任旭华、张敬楼、金忠青、王德信、吕泰仁九人；②林益才主编，中国水利水电出版社1997年出版，已多次印刷的《水工建筑物》（水利类非水工专业教材），全书十二章，执笔编写者有林益才、沈长松、任德林、王世夏、张敬楼、陶栋修六人；③王世夏编著，中国水利水电出版社2000年出版的《水工设计的理论和方法》（水工科技专著），全书共八章，内容和章节体系新颖，得到水利水电系统科技人员和高校师生的好评，获2002年度教育部科技进步二等奖。特别是第三本书，凝聚了王世夏教授几十年来在水工水力学研究领域的成果。

基于对上述三书的扬长避短、推陈出新、删繁就简和补漏拾遗，新完稿的本书共分十五章。与原教材相比，本书分章标题所含内容及顺序已作了很大的改进；①设计方法既能与GB 50199—94《水利水电工程结构可靠度设计

统一标准》相衔接，又能兼容一些仍在执行中沿用安全系数法的水工结构设计规范；②将普遍性的设计理论和设计方法，包括结构可靠度设计、分项系数极限状态设计和结构优化设计等内容俱已充实到首章之中；③将水工结构上的作用（荷载）专列第二章论述；④考虑到水工建筑物设计都与水有关，而优良的水工设计通常首先要解决的也是体形布置的水力设计问题，为此将各种水头下各种泄水建筑物设计所应解决的问题以全书篇幅最大的第三章先行讨论；⑤有了前三章之后，第四至第十五章内容就可避免各章之间的重复而着重论述各章自有的特色问题，小到结构和细部构造的设计，大到建筑物和水利枢纽的整体布置与安全运行，尽在其中。以上新教材的内容安排顺序，不仅调整了沿用多年的原教材章节体系，而且新章节分别讨论的问题是按其科技属性划分的，避免了不必要的重复；按新体系组织教学，既大致符合水工设计工作中“先设后计”的顺序，也较符合人们从宏观考察到细节深入的认识规律。

本书各章分工负责撰写者如下：第一、二、三、八、九、十三章由王世夏撰写；第四、十二、十四章由林益才撰写；第五、六、七、十一、十五章由沈长松撰写；第十章由刘晓青撰写。全书经沈长松、王世夏、林益才统编审定。

本教材在组织撰写和审稿过程中得到唐洪武教授、胡明教授和水工教研组教师的大力支持与热情帮助，刘忆、张晓悦、吝江峰、陈建龙等也参加了本教材的文字录入与图片处理工作，特向他们深致谢意。

本教材在编写过程中，参考了兄弟院校不同版本的水工建筑物教材和有关论著等，已在参考文献中列出，作者在此一并致谢。

限于作者水平，本书不可避免地存在一些缺点和疏漏，敬请读者批评指正。

作 者

2007年10月于河海大学

目 录

前言

第一章 总论	1
第一节 水资源与水利建设	1
第二节 水利枢纽和水利建筑物	2
第三节 河川水利枢纽对环境的影响	9
第四节 水利枢纽与水利建筑物的等级划分	10
第五节 水利结构可靠度设计原理	12
第六节 分项系数极限状态设计方法	25
第七节 水利建筑物的优化设计	30
第八节 水利科技问题的研究途径	39
复习思考题	40
第二章 水利结构上的作用	41
第一节 作用分类和作用效应组合	41
第二节 重力和水压力	41
第三节 扬压力	47
第四节 土压力和淤沙压力	50
第五节 波浪与浪压力	55
第六节 冰压力	62
第七节 混凝土结构所受的温度作用	64
第八节 地震作用	71
复习思考题	76
第三章 水利水力学问题和水利设计	77
第一节 堰坝水流和堰型选择	77
第二节 急流冲击波问题和陡槽水力设计	86
第三节 深式泄水孔洞的水力设计	93
第四节 高速水流边壁的蚀损和防蚀设计	100
第五节 高速水流掺气和掺气减蚀抗磨	111
第六节 泄水建筑物下游消能防冲	124
复习思考题	157

第四章 岩基上的重力坝	159
第一节 概述	159
第二节 重力坝的稳定分析	165
第三节 重力坝的应力分析	173
第四节 非溢流重力坝的剖面设计	186
第五节 溢流重力坝和坝身泄水孔	188
第六节 重力坝的材料与构造	198
第七节 重力坝的地基处理	210
第八节 宽缝重力坝与空腹重力坝	216
第九节 碾压混凝土重力坝	219
复习思考题	224
第五章 拱坝	226
第一节 概述	226
第二节 拱坝布置	239
第三节 拱坝应力分析	246
第四节 拱座稳定分析	264
第五节 拱坝的材料、构造及地基处理	272
复习思考题	276
第六章 支墩坝	278
第一节 概述	278
第二节 平板坝	279
第三节 连拱坝	282
第四节 大头坝	287
第五节 支墩坝坝身过水设施	294
复习思考题	295
第七章 土石坝	296
第一节 概述	296
第二节 土石坝的剖面和基本构造	301
第三节 土石坝的筑坝材料	310
第四节 土石坝的渗流分析	314
第五节 土石坝的稳定分析	322
第六节 土石坝应力应变分析	331
第七节 土石坝的裂缝及其控制	338
第八节 土石坝的地基处理	343
第九节 混凝土面板堆石坝	352
复习思考题	364

第八章 河岸溢洪道	365
第一节 概述	365
第二节 正槽溢洪道	366
第三节 侧槽溢洪道	378
第四节 其他形式的溢洪道	382
复习思考题	385
第九章 水工隧洞	387
第一节 概述	387
第二节 水工隧洞的选线与总体布置	388
第三节 水工隧洞的进口段	392
第四节 水工隧洞的洞身段	396
第五节 水工隧洞的出口段	402
第六节 水工隧洞围岩应力分布和稳定性判别	404
第七节 水工隧洞衬砌受力分析	411
第八节 水工隧洞衬砌结构计算	414
第九节 无衬砌隧洞和围岩的喷锚支护	429
复习思考题	435
第十章 土基上的闸坝	436
第一节 水闸概述	436
第二节 闸孔布置及消能防冲设施	439
第三节 闸基渗流分析与防渗设施	444
第四节 闸室布置与构造	456
第五节 闸室和闸基的稳定分析	461
第六节 闸室结构计算	465
第七节 水闸与两岸连接结构设计 with 计算	475
第八节 水闸地基处理	483
第九节 软基上的混凝土溢流坝	484
第十节 橡胶坝	487
复习思考题	490
第十一章 水工闸门	492
第一节 概述	492
第二节 平面闸门	497
第三节 弧形闸门	501
第四节 闸门的止水	503
第五节 闸门的启闭力和启闭设备	506
第六节 水力自控翻板闸门	511
复习思考题	517

第十二章 过坝建筑物	518
第一节 船闸.....	518
第二节 升船机.....	530
第三节 过木建筑物.....	533
第四节 过鱼建筑物.....	536
复习思考题	542
第十三章 渠首和渠系建筑物	543
第一节 取水河段的床沙运动和冲淤平衡.....	543
第二节 无坝取水渠首.....	548
第三节 有坝取水渠首.....	551
第四节 渠道及其上建筑物.....	558
复习思考题	570
第十四章 水利枢纽布置	571
第一节 水利枢纽设计阶段.....	571
第二节 水利枢纽布置.....	573
第三节 水利枢纽布置实例.....	577
复习思考题	583
第十五章 水工建筑物安全监控及运行管理	584
第一节 水工建筑物安全监控.....	584
第二节 水工建筑物的养护与维修.....	604
第三节 水工建筑物运行管理.....	607
复习思考题	613
参考文献	614

第一章 总 论

第一节 水资源与水利建设

一、水资源

存在于大自然中的水是一种重要的资源，因为它是生命和工农业生产必需的物质，不可须臾或缺；它是发展航运交通以及水产事业必要的介质；它在自然循环过程中是一种可利用的和可再生的重要能源；它也是改善环境和发展旅游事业的必要条件。

地球上的总水量很大，约为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，但绝大部分是海洋中的咸水，其中通过大气循环，以降水、径流方式在陆地运行的淡水，相对就很少了，只占 2.5%。全球年径流总量为 4.7×10^5 亿 m^3 ，按全球人口计，人均约为 9000 m^3 ，这是最重要的一部分水，但这部分水在时间和空间上的分布极不均匀。我国幅员辽阔，河流也不少（流域面积超过 1000 km^2 的大河有 1598 条），年径流总量约 2.78×10^4 亿 m^3 ，而按人口平均，仅约相当于全球平均数的 1/4。所以，从人均意义上说，我国的水资源并不丰富。而降水、径流在时间和地域上的分布也很不均衡。不同地区之间，南方一日雨量可远超过西北全年降水量；同一地区，一次暴雨可超过多年平均年降水量，这就导致我国各地历史上洪、涝、旱灾害频发。由此可见，大力治水，根除水旱灾害，进而充分开发利用珍贵的水资源是何等重要！

虽然我国水的人均拥有量不算多，但由于从青藏高原到海平面之间的巨大落差，我国可用于发电的水能资源却十分丰富。全国水能理论蕴藏量达 $6.94 \times 10^8 \text{ kW}$ ，其中可开发的达 $4.02 \times 10^8 \text{ kW}$ ，年发电量可达 $19100 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 以上，这些数字均居世界首位。因此，利用这一优势，大搞水力发电，对解决能源问题具有决定性意义。

二、水利建设

远古以来，我国人民曾为治理水患、开发水利，进行过长期的英勇奋斗，取得了辉煌的业绩，至今还有一些纪元前修建的水利工程在为我们服务。如秦代李冰主持修建的岷江都江堰分洪灌溉工程，一直是成都平原农业稳产高产的保证，堪称中华民族的骄傲之一。但由于长期封建统治，特别是 19 世纪中叶以来半封建半殖民地的社会形态，人民群众的力量与智慧受到压抑，生产力低下，科学技术落后，水利设施失修，灾害频仍，水利事业处于停滞状态。例如 1928 年遍及全国的旱灾，灾民人数占当时全国人口的 1/4；1931 年、1933 年、1935 年、1939 年，长江、淮河、黄河、汉水及海河的洪灾，也都使人民生命财产蒙受了极大的损失。

中华人民共和国成立后，我国的水利建设才有了较大的发展。经过 50 多年的努力，全国整修和兴建了约 27 万 km 的堤防；普遍疏浚整治了排水河道，开辟了海河和淮河的排洪通道；兴建了 86000 多座水库，面积 10000 亩以上的灌区 2500 多处；水电站装机容量

量从 1949 年的 16.3 万 kW 发展到目前的超过 1 亿 kW；灌溉面积从 2.4 亿亩增至 7 亿亩以上，3.4 亿亩的易涝耕地中有 2/3 得到了初步治理，1.1 亿亩盐碱地已改良 1/2 以上；为城市、工业供水及农牧区人、畜饮水提供了相当数量的水源；为工农业生产和人民生活提供了电能及其他综合利用效益。

尽管如此，水利建设的差距还很大。首先，我国大江大河的防洪问题还没有真正解决，许多中小河流也未根治，随着河流两岸经济建设的发展，一旦发生洪灾，造成的损失将越来越大。第二，我国农业目前仍在很大程度上受制于自然地理和气候条件，如不进一步大修水利以提高抗御自然灾害的能力，很难实现逐年增产。第三，工业和城市用水增长速度比农业更快，有些沿海城市已出现淡水供应困难，水利建设不加快，水源紧缺将日益成为限制我国生产和生活提高的重大障碍。第四，我国丰富的水能资源已开发量占可开发量的比例还相当低，与世界上一些发达国家相比，差距更为突出。由于水能资源是一种清洁的可再生能源，且未开发前又是不可蓄积的能源，故世界各工业化国家都优先开发水电，我国也理当如此。

值得指出的是，目前在某些水利大国出现了一些妨碍和阻止加强水利建设的非常片面的观点与论调，最突出的是以保护水环境为由来反对开发利用水资源。这种论点的片面性是把水利建设和环境保护完全对立起来。实际上，水环境保护应是水利建设的组成部分，国内外由于水利建设事业的进展，合理开发利用水资源的同时大大改善了当地水环境的工程实例比比皆是。当然，大型水利工程的兴建确也会对环境产生不利影响（参见本章第三节），但对此应取正确的态度，将保护和改善水环境问题作为水利科学技术问题之一进行研究。

第二节 水利枢纽和水工建筑物

一、基本概念

水工建筑物就是在水的静力或动力作用下工作，并与水发生相互影响的各种建筑物。对于开发河川水资源来说，常需在河流适当地段集中修建几种不同类型与功能的水工建筑物，以控制水流，并便于协调运行和管理，这一多种水工建筑物组成的综合体就称为水利枢纽。

水利枢纽的规划、设计、施工和运行管理应尽量遵循综合利用水资源的原则。为实现多种目标而兴建的水利枢纽，建成后能满足国民经济不同部门的需要，称为综合利用水利枢纽；以某一单项目标为主而兴建的水利枢纽，虽同时可能还有其他综合利用效益，则常冠以主要目标之名，如防洪枢纽、水力发电枢纽、航运枢纽、取水枢纽等。水利枢纽随修建地点的地理条件不同，有山区、丘陵区水利枢纽和平原、滨海地区水利枢纽之分；随枢纽上下游水位差的不同，有高、中、低水头之分，一般以水头 70m 以上者为高水头枢纽，30~70m 者为中水头枢纽，30m 以下者为低水头枢纽。

因自然因素、开发目标的不同，水利枢纽的组成建筑物可以是各式各样的。

1. 龙羊峡水力发电枢纽

图 1-1 为黄河干流上以发电为主，兼有防洪、灌溉等综合利用效益的龙羊峡水力发

电枢纽平面布置图。其主要建筑物包括：

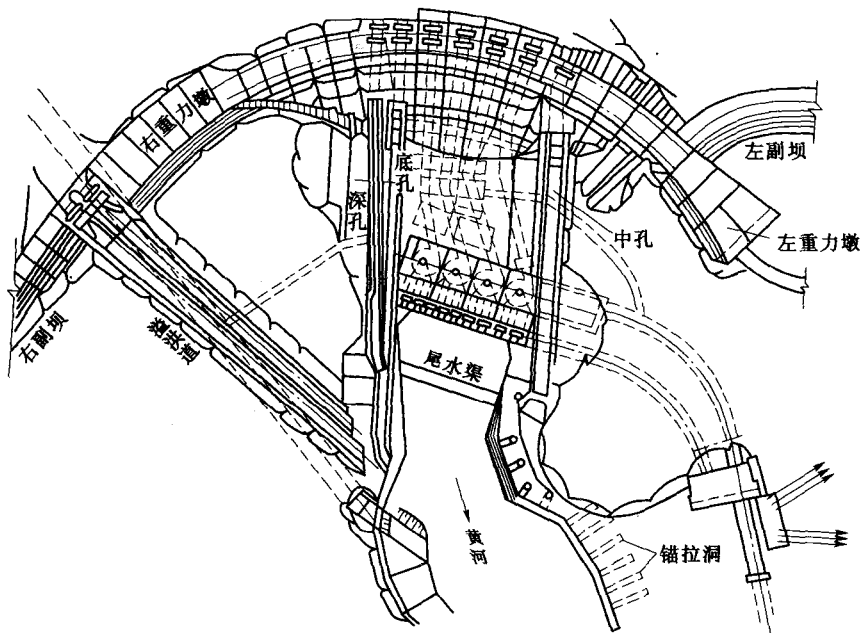


图 1-1 龙羊峡水电站平面布置图

(1) 拦河坝。由重力拱坝（主坝）、左右重力墩（即重力坝）以及左右岸副坝组成，主坝从坝基最低开挖高程 2432m 至坝顶高程 2610m，最大坝高 178m，从而使上游可形成一个总库容达 247 亿 m^3 的水库。

(2) 溢洪道。位于右岸，溢流堰顶高程为 2585.5m，设 2 孔，每孔净宽 12m，弧形闸门控制。

(3) 左泄水中孔。穿过主坝 6 号坝段，进口底部高程 2540m，出口设 8m×9m 弧形闸门控制，与溢洪道共同承担主要泄洪任务。

(4) 右泄水深孔和底孔。分别穿过主坝 12 号和 11 号坝段，进口底部高程分别为 2505m 和 2480m，主要用于枢纽初期蓄水时向下游供水、泄洪以及后期必要时放空水库和排沙。

(5) 坝后式水电站。4 台单机容量 32 万 kW 的水轮发电机组，总装机容量 128 万 kW。

2. 碧口水电站

图 1-2 为甘肃省白龙江碧口水电站，其组成建筑物包括：

(1) 心墙土石坝。最大坝高 101m，用以拦河壅水、蓄水，形成库容 5.16 亿 m^3 的水库。

(2) 溢洪道。用以宣泄水库多余洪水。

(3) 泄洪隧洞。左右岸各有一条，可与溢洪道共同承担泄洪任务，而且可在库水位较低时提前泄洪，其中右岸泄洪洞施工期兼作导流洞。

(4) 排沙隧洞。用以排除部分水库泥沙，延长水库寿命。

(5) 水电站引水建筑物。包括引水隧洞、调压井和压力钢管等。

(6) 水电站厂房。内装单机容量 10 万 kW 的水轮发电机组 3 台, 总装机容量 30 万 kW。

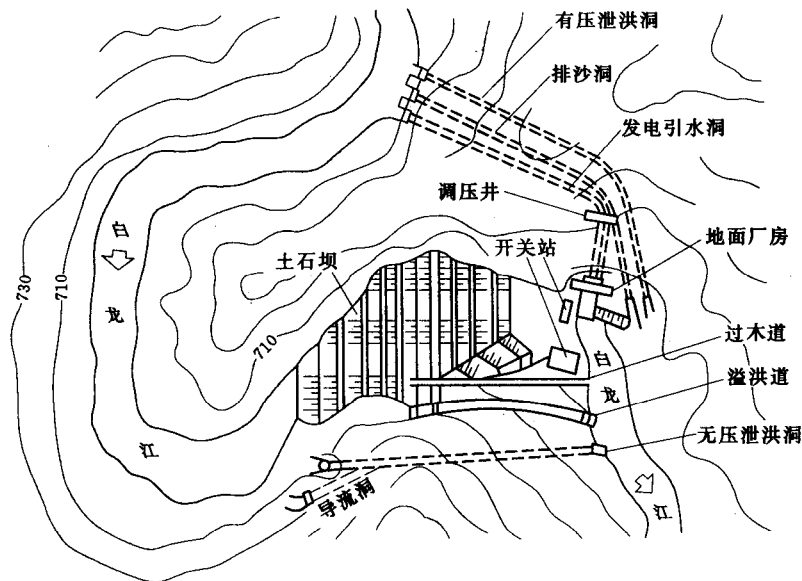


图 1-2 碧口水电站平面布置图

此外, 还有供木材过坝的过木道以及供右岸农田灌溉的引水管道 (图 1-2 中未示出) 等。

以上两例都是山区、丘陵区高水头枢纽, 但拦河坝及相应各组成建筑物差别很大。

3. 葛洲坝水利枢纽

图 1-3 为长江干流上著名的葛洲坝水利枢纽平面布置图。这是一座低水头大流量的枢纽, 兼有径流发电、航运和为上游三峡枢纽进行反调节的综合效益。其主要建筑物包括:

(1) 二江泄水闸。是枢纽控制水流的主要建筑物, 共 27 孔, 每孔净宽 12m, 高 24m, 弧形闸门控制, 闭门时拦截江流, 稳定上游水位 (库容 15.8 亿 m^3 , 无调洪性能), 开门时泄水, 排沙防淤, 满足河势要求, 最大泄流量为 $83900 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2) 船闸。共有 3 座, 以保证长江航运, 1 号船闸位于大江, 2 号、3 号船闸位于三江。1 号、2 号船闸的闸室有效长度均为 280m, 净宽 34m, 槛上最小水深 5m, 是我国目前最大的船闸。3 号船闸闸室有效长度为 120m, 净宽 18m, 槛上最小水深 3.5m。1 号、2 号船闸可通过 1.2 万~1.6 万 t 船队, 一次过闸时间 51~57min; 3 号船闸可通过 3000t 以下船队, 一次过闸时间 40min。

(3) 河床式水电站。设计水头 18.6m, 分设于泄水闸两侧, 其中二江电厂装有单机容量 17 万 kW 的水轮发电机组 2 台和单机容量 12.5 万 kW 的机组 5 台, 大江电厂装有单机容量 12.5 万 kW 的机组 14 台, 水电站总装机容量 271.5 万 kW。厂房兼起挡水作用。

(4) 冲沙闸。分设于与主流分开后的两条独立人工航道上, 其中三江航道设 6 孔, 大江航道设 9 孔, 采用“静水通航, 动水冲沙”的运行方式, 防止航道淤积。具体运行条件是: 通航期间, 航道内为静水; 汛期、汛末及低水期根据实际航道淤积情况, 开闸拉沙、

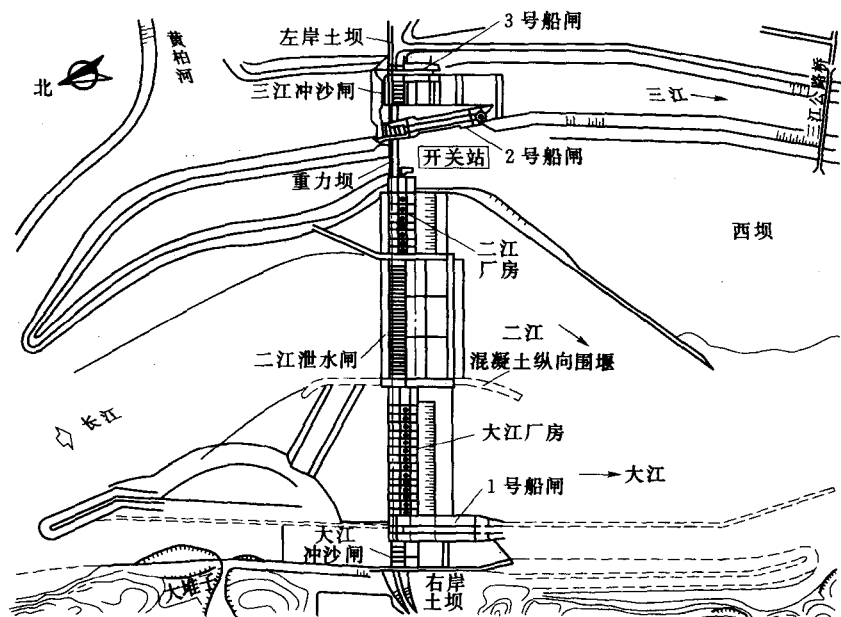


图 1-3 葛洲坝水利枢纽平面布置图

冲沙。实践表明效果良好。此外，在两个电厂的进水口前均设置了导沙坎，在厂房底部还设置了排沙底孔，进一步加强了防沙、排沙效果。

4. 三峡工程

下面介绍我国已经建成的、当今世界最大的水利枢纽工程——长江三峡工程。该工程具有防洪、发电、航运等综合效益，枢纽布置如图 1-4 所示。

三峡工程坝址位于宜昌市三斗坪，在已建成的葛洲坝水利枢纽上游约 40km。坝址基岩为坚硬完整的花岗岩，适于建高坝。坝址处河谷较开阔，岸坡较平缓，江中有中堡岛顺江分布。这些条件有利于大流量泄洪坝段、大容量电站坝段和大尺寸通航建筑物沿坝轴线并列布置与运行，且便于施工和分期导流。

三峡枢纽的主要建筑物由大坝、水电站、通航建筑物三大部分组成。拦河大坝为混凝土重力坝，坝轴线全长 2309.47m，坝顶高程 185m，正常蓄水位 175m。大坝的泄洪坝段居河床中部，前缘总长 483m，共设有 23 个深孔和 22 个表孔。深孔每孔净宽 7m，高 9m，进口孔底高程 90m；表孔每孔净宽 8m，堰顶高程 158m，即总净宽 176m 的溢流重力坝，溢流坝的闸墩厚达 13m，因为深孔在其下部穿过。深孔在进口闸门控制段下游通过断面突扩成为无压孔，表孔和深孔都采用鼻坎挑流消能，全坝最大泄洪能力为 $11.6 \text{ 万 m}^3/\text{s}$ 。

水电站采用坝后式，分设左、右两组厂房。左岸厂房全长 643.6m，安装 14 台水轮发电机组；右岸厂房全长 584.2m，安装 12 台水轮发电机组。全电站 26 台机组均为单机容量 70 万 kW 的混流式水轮发电机，总装机容量为 1820 万 kW，年平均发电量为 846.8 亿 kW·h。

通航建筑物包括船闸和升船机。船闸为双线五级连续梯级船闸，单级闸室的有效尺寸

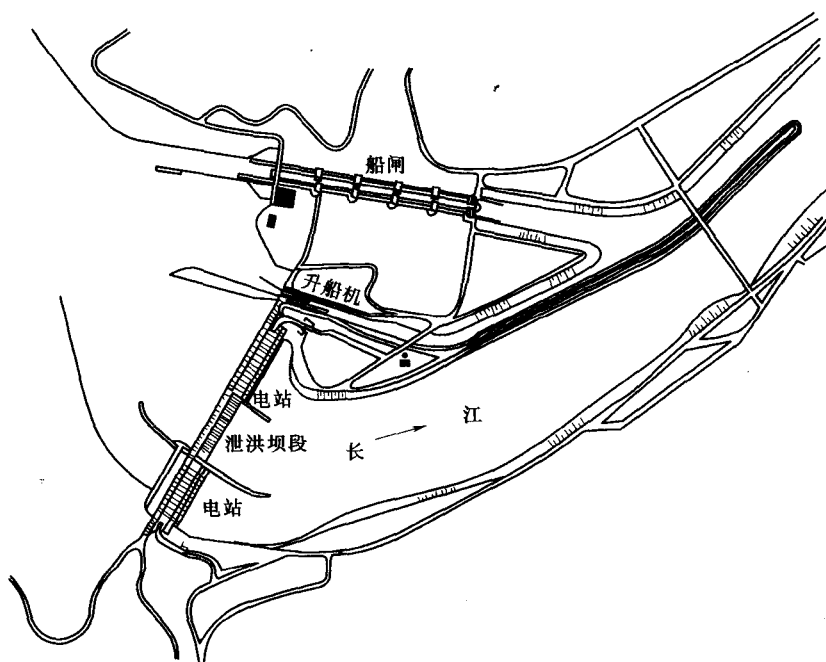


图 1-4 三峡工程枢纽布置图

为 $280\text{m} \times 34\text{m} \times 5\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 坎上水深), 可通过万吨级船队。升船机为单线一级垂直提升式, 承船厢有效尺寸为 $120\text{m} \times 18\text{m} \times 3.5\text{m}$, 一次可通过一条 3000t 级的客货轮。施工期设一级临时船闸通航, 闸室有效尺寸为 $240\text{m} \times 24\text{m} \times 4\text{m}$ 。

三峡枢纽建成后将有巨大效益。首先是防洪效益。由于其地理位置优越, 控制流域面积可达 100 万 km^2 ; 水库防洪库容为 221.5 亿 m^3 , 可使荆江河段防洪标准从 10 年一遇提高到百年一遇; 遇千年一遇或更大洪水, 配合分洪、蓄洪工程的运用, 可防止荆江大堤溃决, 减轻中下游洪灾损失和对武汉市的洪水威胁, 并为洞庭湖区的根治创造条件。

三峡水电站提供的可靠、廉价、清洁和可再生的能源, 每年约可替代原煤 4000 万~5000 万 t, 对其供电地区的经济发展和减少环境污染可起重大作用。

三峡水库将显著改善宜昌至重庆的 660km 航道, 万吨级船队可上达重庆港, 航道单向通过能力可由 1000 万 t 提高到 5000 万 t。经水库调节, 宜昌下游枯水季最小流量可从 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 提高到 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 以上, 显著改善了通航条件。

三峡水库也确有对环境、生态等不利影响和移民、淹没损失等问题。但权衡利弊, 还是利远大于弊。

二、水工建筑物的分类

上面介绍的水利枢纽实例中, 我们虽已提到了多种水工建筑物, 但并未包括水工建筑物的全部。事实上, 水利工程并不总是以集中兴建于一处的若干建筑物组成的水利枢纽来体现的, 有时仅指一个单项水工建筑物, 有时又可包括沿一条河流很长范围内或甚至很大面积区域内的许多水工建筑物。即使就河川水利枢纽而言, 在不同河流以及河流不同部位所建的枢纽, 其组成建筑物也千差万别。按功用通常可分为以下几类。

1. 挡水建筑物

拦截或约束水流,并可承受一定水头作用的建筑物,如蓄水或壅水的各种拦河坝,修筑于江河两岸以抗洪的堤防、施工围堰等。

2. 泄水建筑物

排泄水库、湖泊、河渠等多余水量,以保证挡水建筑物和其他建筑物安全,或为必要时降低库水位乃至放空水库而设置的建筑物,如设于河床的溢流坝、泄水闸、泄水孔,设于河岸的溢洪道、泄水隧洞等。

3. 输水建筑物

为灌溉、发电、城市或工业给水等需要,将水自水源或某处送至另一处或用户的建筑物。其中直接自水源输水的也称引水建筑物,如引水隧洞、引水涵管、渠道、渡槽、倒虹吸管、输水涵洞等。

4. 取水建筑物

位于引水建筑物首部的建筑物,如取水口、进水闸、扬水站等。

5. 整治建筑物

改善河道水流条件、调整河势、稳定河槽、维护航道和保护河岸的各种建筑物,如丁坝、顺坝、潜坝、导流堤、防波堤、护岸等。

6. 专门性水工建筑物

为水利工程中某些特定的单项任务而设置的建筑物,如专用于水电站的前池、调压室、压力管道、厂房,专用于通航过坝的船闸、升船机、鱼道、筏道,专用于给水防沙的沉沙池等。相对专门性水工建筑物而言,前面5类建筑物也可统称为一般性水工建筑物。

实际上,不少水工建筑物的功用并非单一的,如溢流坝、泄水闸都兼具挡水与泄水功能,又如作为专门性水工建筑物的河床式水电站厂房也是挡水建筑物。

水工建筑物按使用期限还可分为永久性建筑物和临时性建筑物。永久性建筑物是指工程运行期间长期使用的建筑物,根据其重要性又分为主要建筑物和次要建筑物。前者指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物,如拦河坝、溢洪道、引水建筑物、水电站厂房等;后者指失事后不致造成下游灾害,对工程效益影响不大并易于修复的建筑物,如挡土墙、导流墙、工作桥及护岸等。临时性建筑物是指工程施工期间使用的建筑物,如施工围堰等。

三、水工建筑物的特点

水工建筑物,特别是河川水利枢纽的主要水工建筑物,往往是效益大、工程量和造价大、对国民经济的影响也大。与一般土木工程建筑物不同,水工建筑物具有下列特点。

1. 工作条件的复杂性

水工建筑物工作条件的复杂性主要是由于水的作用。水对挡水建筑物有静水压力,其值随建筑物挡水高度的加大而剧增,为此建筑物必须有足够的水平抵抗力和稳定性。此外,水面有波浪,将给建筑物附加波浪压力;水面结冰时,将附加冰压力;发生地震时,将附加水的地震激荡力;水流经建筑物时,也会产生各种动水压力,都必须计及。

建筑物上下游的水头差,会导致建筑物及其地基内的渗流。渗流会引起对建筑物稳定不利的渗透压力;渗流也可能引起建筑物及地基的渗透变形破坏;过大的渗流量会造成水

库的严重漏水。为此建造水工建筑物要妥善解决防渗和渗流控制问题。

高速水流通过泄水建筑物时可能出现自掺气、负压、空化、空蚀和冲击波等现象；强烈的紊流脉动会引起轻型结构的振动；挟沙水流对建筑物边壁还有磨蚀作用；挑射水流在空中会导致对周围建筑物有严重影响的雾化；通过建筑物的水流多余动能对下游河床有冲刷作用，甚至影响建筑物本身的安全。为此，兴建泄水建筑物，特别是高水头泄水建筑物时，要注意解决高速水流可能带来的一系列问题，并做好消能防冲设计。

除上述主要作用外，还要注意水的其他可能作用。例如，当水具有侵蚀性时，会使混凝土结构中的石灰质溶解，破坏材料的强度和耐久性；与水接触的水工钢结构易发生严重锈蚀；在寒冷地区的建筑物及地基将有一系列冰冻问题要解决。

2. 设计选型的独特性

水工建筑物的型式、构造和尺寸，与建筑物所在地的地形、地质、水文等条件密切相关。例如，规模和效益大致相仿的两座坝，由于地质条件优劣的不同，两者的型式、尺寸和造价都会迥然不同。由于自然条件千差万别，因而水工建筑物设计选型总是只能按各自的特征进行。除非规模特别小，一般不能采用定型设计，当然这不排除水工建筑物中某些结构部件的标准化。

3. 施工建造的艰巨性

在河川上建造水工建筑物，比陆地上的土木工程施工困难、复杂得多。主要困难是解决施工导流问题，即必须迫使河川水流按特定通道下泄，以截断河流，便于施工时不受水流的干扰，创造最好的施工空间；要进行很深的地基开挖和复杂的地基处理，有时还须水下施工；施工进度往往要和洪水“赛跑”，在特定的时间内完成巨大的工程量，将建筑物修筑到拦洪高程。

4. 失事后果的严重性

水工建筑物如失事会产生严重后果。特别是拦河坝，如失事溃决，则会给下游带来灾难性乃至毁灭性的后果，这在国内外都不乏惨重实例。据统计，大坝失事最主要的原因，一是洪水漫顶，二是坝基或结构出问题，两者各占失事总数的 $1/3$ 左右。应当指出，有些水工建筑物的失事与某些自然因素或当时人们的认识能力与技术水平限制有关，也有些是不重视勘测、试验研究或施工质量欠佳所致，后者尤应杜绝。

四、现代水工建筑物的发展

由于流体力学、岩土力学、结构理论和计算技术的发展，以及新型材料、大型机械、设备制造能力的提高和施工技术的进步，因此有了以高坝为代表的现代水工建筑物的发展。

在混凝土坝方面，我国于 20 世纪 50 年代即全部依靠自己的力量，设计、施工、建造了装机容量为 66 万 kW 的新安江水电站宽缝重力坝，其最大坝高 102m，溢流坝与坝后厂房顶溢流式水电站结合，枢纽布置非常紧凑，为我国大型水利工程建设开创了良好的先例。随后，建成了多座坝高 100m 上下的各型混凝土坝。20 世纪 60 年代，在黄河干流强地震区建成了坝高 147m 的刘家峡水电站实体重力坝，在解决高坝技术以及相应高水头泄水建筑物高速水流问题方面取得了相当大的进展和宝贵的经验。70 年代，在石灰岩岩溶地区建成了坝高 165m 的乌江渡拱形重力坝，成功地处理了岩溶地基。80 年代，在著名的