



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

水电站

(第2版)

袁俊森 主编
杨邦柱 吴伟民 主审



黄河水利出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

SHUIDIANZHAN

组稿编辑 王路平
责任编辑 田丽萍
封面设计 谢 萍
责任校对 景泽龙
责任监制 常红昕

ISBN 978-7-80734-774-3



9 787807 347743 >

定价：38.00 元

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

水 电 站

(第2版)

主 编	袁俊森		
副主编	刘进宝	杨慧丽	汤能见
	陶永霞	谈云波	邢广彦
主 审	杨邦柱	吴伟民	

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是按照国家对高职高专人才培养的规格要求及高职高专教学特点编写完成的。本书共分十二章,对水轮机的类型、构造、选型计算及水电站建筑物的布置设计进行了全面系统的介绍,包括水轮机和水电站建筑物及水电站厂房施工三部分。水轮机部分主要包括水轮机类型与构造、能量损失及汽蚀、特性曲线与选型、调速设备等内容;水电站建筑物部分主要包括进水和引水建筑物布置、水电站压力水管、水电站水击与调压室、水电站厂房厂区布置设计等内容;水电站厂房施工部分主要包括水电站厂房施工程序和一、二期混凝土的施工方法等内容。

本书为高职高专院校水利水电建筑工程专业的教材,并可作为有关专业的教学参考书,还可供相关工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站/袁俊森主编. —2版. —郑州:黄河水利出版社,
2010.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 774 - 3

I. ①水… II. ①袁… III. ①水力发电站 - 高等学校 -
教材 IV. ①TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 000660 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.5

字数:400 千字

印数:12 101—16 200

版次:2002 年 7 月第 1 版

印次:2010 年 4 月第 4 次印刷

2010 年 4 月第 2 版

定价:38.00 元

再版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,以及教育部对普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的具体要求组织编写的。

全书共十二章,对水轮机的类型、构造、选型计算及水电站建筑物的布置设计进行了全面系统的介绍,包括水轮机和水电站建筑物及水电站厂房施工三部分。水轮机部分主要包括水轮机类型与构造、水轮机能量损失及汽蚀、水轮机特性曲线与选型、水轮机调速设备等内容;水电站建筑物部分主要包括进水和引水建筑物布置、水电站压力水管、水电站水击与调压室、水电站厂房厂区布置设计等内容;水电站厂房施工部分主要包括水电站厂房施工程序和一、二期混凝土的施工方法等内容。此外,为了便于学生在教学实训活动中查询资料,在附录中编录了部分实训参考资料。

本书在编写过程中,编者对水电工程设计和施工单位生产一线技术人员进行了广泛调查和研讨,针对高等职业技术教育特点,力求深入浅出,概念准确,文字通俗易懂,便于自学,密切联系工程实际,重点突出高职高专专业教学的工学结合特色,打破知识系统性,注重学生实践应用能力的培养。

本书编写人员及编写分工如下:黄河水利职业技术学院袁俊森(第一章、第十章的第四节、附录);黄河水利职业技术学院陶永霞(第二章);华北水利水电学院水利职业学院杨慧丽(第三章);黄河水利职业技术学院曹明伟(第四章的第一节~第四节);湖北大禹水电安装有限公司谈云波(第五章);黄河水利职业技术学院邢广彦(第六章、第四章的第五节);黄河水利职业技术学院万晓丹(第七章);浙江同济科技职业学院刘进宝(第八章);黑龙江农垦农业职业技术学院靳鹏(第九章);福建水利电力职业技术学院李雪娇(第十章的第一节~第三节);杨凌职业技术学院万亮婷(第十一章);长江工程职业技术学院汤能见(第十二章)。

全书由袁俊森担任主编并统稿,由刘进宝、杨慧丽、汤能见、陶永霞、谈云波、邢广彦担任副主编,由黄河水利职业技术学院杨邦柱和福建水利电力职业技术学院吴伟民担任主审。

本书在编写过程中,得到了有关院校领导、水电工程设计和施工单位生产一线技术人员的热情帮助与大力支持,参考与引用了有关文献、资料的部分内容,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请广大读者对本书存在的缺点及错误提出批评和指正意见。

编 者

2009年7月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 我国水能资源概况	(1)
第二节 水电站电能生产过程及特点	(6)
第三节 水能资源的开发方式及水电站的基本类型	(9)
第二章 水轮机类型与构造	(16)
第一节 水轮机基本类型、特点、适用条件	(16)
第二节 反击型水轮机的主要过流部件	(21)
第三节 冲击型水轮机的主要过流部件	(38)
第四节 水轮机的参数、牌号、标称直径	(40)
第三章 水轮机能量损失及汽蚀	(44)
第一节 水流在转轮中的运动及基本方程	(44)
第二节 水轮机的能量损失及效率	(45)
第三节 水轮机汽蚀、吸出高度与安装高程	(46)
第四章 水轮机的特性曲线与选型	(52)
第一节 水轮机的相似律	(52)
第二节 水轮机的单位参数与比转速	(54)
第三节 水轮机特性曲线	(56)
第四节 模型水轮机的修正	(60)
第五节 水轮机的选择	(62)
第五章 水轮机调速设备	(80)
第一节 水轮机调节的任务与途径	(80)
第二节 水轮机调速设备组成、类型及选择	(81)
第六章 水电站进水、引水建筑物布置	(87)
第一节 进水建筑物布置	(87)
第二节 引水建筑物布置	(104)
第七章 水电站的压力水管	(123)
第一节 压力水管综述	(123)
第二节 明钢管的构造、附件及敷设方式	(130)
第三节 明钢管的支承结构	(136)
第四节 分岔管	(138)
第五节 钢筋混凝土管	(140)

第八章 水电站水击及调压室	(145)
第一节 水击现象及水击波的传播速度	(145)
第二节 水击最大值的计算	(150)
第三节 机组调节保证计算	(163)
第四节 改善调节保证的措施	(166)
第五节 调压室	(168)
第九章 水电站厂房的基本类型与厂区布置	(178)
第一节 水电站厂房的功用、组成与基本类型	(178)
第二节 厂区布置	(186)
第十章 立式机组地面厂房布置设计	(192)
第一节 立式机组厂房设备布置	(192)
第二节 立式机组地面厂房主要尺寸的确定	(208)
第三节 水电站副厂房	(213)
第四节 地面厂房的结构设计原理	(217)
第十一章 地下厂房	(226)
第一节 概 述	(226)
第二节 地下厂房枢纽布置及厂内布置特点	(228)
第三节 地下厂房的布置	(232)
第四节 地下厂房的防潮、通风和照明	(237)
第五节 地下厂房的开挖与支护	(238)
第十二章 水电站厂房施工	(240)
第一节 厂房施工特点及混凝土分期	(240)
第二节 厂房混凝土施工	(241)
第三节 厂房二期混凝土施工	(247)
第四节 厂房上部结构施工	(249)
附 录	(251)
附录一 尾水管尺寸	(251)
附录二 水轮机的主要综合特性曲线	(257)
附录三 水轮机暂行型谱	(261)
附录四 国内部分水轮发电机和双绕组变压器外形尺寸	(263)
附录五 75 ~ 250 t 桥式起重机参考尺寸	(270)
参考文献	(274)

第一章 绪 论

能源是国民经济重要的基础资源,是人类生产和生活必需的基本物质保障,是社会进步最为重要的物质基础,人均能耗被看做是国家与地区贫富的标志。煤炭、石油、天然气是非再生能源,称为一次能源。我国一次能源人均可采储量远低于世界平均水平。

据 2006 年《BP 世界能源统计年鉴》披露,以目前的开采速度计算,全球石油总储量只可供应 40 年,天然气总储量只可供应 63 年。煤炭储量略为丰富,也不过供应 147 年左右。国土资源部对我国油气田的储量进行的初步统计结果表明:截至 2006 年年底,全国石油剩余经济可采储量 20.43 亿 t,天然气剩余经济可采储量 2.449 万亿 m^3 ,煤炭剩余经济可采储量 1 145 亿 t。如维持现在的产量,石油仅可供应 11 年、天然气仅可供应 42 年、煤炭仅可供应 48 年生产之用。目前,我国已成为世界第二大能源生产国和能源消费国,随着经济的发展和人民生活水平的提高,我国能源需求将继续增长。在经济快速发展的今天,能源的承载力问题越来越突出。尽管专家对中国煤炭、石油、天然气的资源量和储量说法尚不一致,但我们最终都要面对一次能源枯竭的那一天。能源的最终目标必然是:以可再生能源代替石化燃料的一次能源。水能资源是可再生资源。我国具有丰富的水能资源,开发利用水能资源的主要形式是修建水电站,根据我国的水能资源特点,兴建水电站进行水力发电对于我国能源战略的调整具有重要的意义。

第一节 我国水能资源概况

一、我国水能资源蕴藏量

在江河海洋的水流中,蕴藏着巨大的水能资源。我国幅员辽阔,江河纵横,是世界上水能资源最丰富的国家,且具有发展水电事业的优越自然条件。根据 2005 年的全国水能资源复查结果,我国的水能资源理论蕴藏量 6.94 亿 kW,技术可开发容量 5.42 亿 kW,经济可开发容量 4.02 亿 kW。不论是水能资源蕴藏量,还是可开发的水能资源量,都居世界第一位。在我国的水能资源中,小水电资源不仅蕴藏量大,而且分布面宽,全国 2 300 多个县中,有 1 104 个县的小水电可开发资源超过 1 万 kW,其中有 470 个县有 1 万~3 万 kW,有 500 个县可达 3 万~10 万 kW,有 134 个县达 10 万 kW 以上。这些小水电资源多集中于国家电网供电范围以外的地方,开发条件非常有利。据 2003 年世界水能大会估计,世界小水电可开发资源为 1.2 亿~1.44 亿 kW,而我国可开发的小水电资源若以原统计数 7 000 万 kW 计,占世界一半左右。此外,我国还具有丰富的潮汐水能资源,可开发的潮汐水能资源约 2 100 万 kW,相当于年发电量 580 亿 kWh。

二、我国水能资源特点

从我国水能资源蕴藏分布及开发利用的现状来看,我国水能资源具有以下特点。

(一) 蕴藏丰富,分布不均

我国水能资源蕴藏量世界第一,但特殊的地形条件使得其在时空的分布上很不均衡。在时间上,夏秋季4~5个月的径流量占全年的60%~70%,冬春季径流量很少;在空间上,我国水能资源西多东少,大部分集中于西南地区。在全国可开发的水能资源中,东部的华东、东北、华北三大区一共仅占6.8%,中南地区占15.5%,西北地区占9.9%,西南地区占67.8%。其中,除西藏外,川、云、贵三省占全国的50.7%,70%以上的大型水电站和80%以上的特大型水电站集中分布在云、贵、川、藏西南四省。

(二) 开发率低,发展迅速

由于种种原因,尽管我国水能资源非常丰富,但与发达国家相比,我国的水能资源开发利用程度并不高。截至2007年年底,我国水电装机容量才达到了1.29亿kW,其开发率仅达到33%,世界其他国家的利用程度远远高于我国(美国水电资源已开发约82%,日本约84%,加拿大约65%,德国约73%,法国、挪威、瑞士也均在80%以上)。虽然我国水能资源开发利用程度较低,但其发展速度是非常迅速的。1949年新中国成立之初,全国水电站装机容量仅36万kW。新中国成立后,水电事业得到了蓬勃发展,特别是党的十一届三中全会以来,水电发展的速度更快,建成了一大批大中型水力发电站。我国的三峡水电站,装机容量1820万kW,单机容量70万kW,是目前世界上最大的水利水电工程。

(三) 前景宏伟

利用自然界可再生的水能进行发电,为工农业服务,可节省大量的一次能源(如煤、天然气、石油等)。由于我国水能资源丰富,开发利用程度较低,所以水能开发利用、修建水电站有着光辉的前景。

为了有效、合理地开发利用这些资源,我国经过数次规划,形成了现在的十三大水电基地。工程总投资2万亿元以上,工程期限为1989~2050年。

1. 金沙江水电基地

金沙江分为上、中、下游三个河段,总装机容量6338万kW,其中在建电站有:金安桥(250万kW)、向家坝(600万kW)和溪洛渡(1260万kW);正在进行可行性研究的电站有:观音岩(300万kW)、白鹤滩(1250万kW),正在进行预可行性研究的有:上虎跳(280万kW)、两家人(400万kW)、梨园(228万kW)、阿海(210万kW)、龙开口(180万kW)、鲁地拉(210万kW)、乌东德(740万kW),上游的日冕电站(180万kW)和托顶电站(250万kW)正在进行勘察。

2. 雅砻江水电基地

雅砻江是金沙江的最大支流。按初步规划方案,干流自温波寺以下至河口拟定了21个梯级,总装机容量2265万kW。其中两河口以下初拟分11级开发,装机容量共1940万kW,是干流的重点开发河段。特别是大河湾以下的河段,拟分锦屏一级、锦屏二级、官地、二滩、桐子林5级开发,装机容量1110万kW,开发目标单一,无其他综合利用要求,

技术经济指标优越。二滩水电站是 20 世纪中国建成的最大水电站,总装机容量 330 万 kW,年发电 170 亿 kWh。

3. 大渡河水电基地

大渡河是岷江的最大支流,全长 1 062 km,从河源至河口天然落差 4 175 m,水能资源蕴藏量 3 132 万 kW,可开发装机容量 2 348 万 kW。大渡河的水能资源主要蕴藏在双江口至铜街子河段,该段河道长 593 km,天然落差 1 837 m,水能资源蕴藏量 1 748 万 kW。大渡河干流双江口至铜街子段规划为独松、马奈、季家河坝、猴子岩、长河坝、冷竹关、泸定、硬梁包、大岗山、龙头石、老鹰岩、瀑布沟、深溪沟、枕头坝、龚嘴、铜街子等 16 级开发方案,共利用落差 1 771 m,总装机容量 1 805.5 万 kW。在 16 个梯级中,龚嘴水电站已按“高坝设计,低坝施工”的要求建成。

4. 乌江水电基地

乌江是长江上游右岸最大的一条支流,有南北两源,从南源至河口全长 1 037 km,天然落差 2 124 m,水能资源的理论蕴藏量 1 043 万 kW,其中干流 580 万 kW。经过多年勘测工作,各主要梯级的工程地质问题、岩溶防渗处理和建坝条件初步查明。1988 年 8 月审查通过的《乌江干流规划报告》拟定了北源洪家渡,南源普定、引子渡,两源汇口以下东风、索风营、乌江渡、构皮滩、思林、沙沱、彭水、银盘、白马 12 级开发方案,总装机容量 867.5 万 kW。其中,乌江渡水电站已于 1982 年建成(待上游洪家渡和东风水电站建成后可扩建到 105 万 kW),洪家渡、构皮滩、彭水 3 个水电站在建。

5. 长江上游水电基地

长江上游宜宾至宜昌段(通称川江)全长 1 040 km,总落差 220 m。本河段的开发,结合下游堤防及分洪等多种防洪措施,可解决长江中下游的洪水灾害,改善川江和中下游的航运,并为南水北调创造条件。据规划,长江干流宜宾至宜昌段拟分石碛、朱杨溪、小南海、三峡、葛洲坝 5 级开发,总装机容量 2 542.5 万 kW。其中,三峡工程位于湖北省宜昌境内,是本河段的重点工程,装机容量 1 820 万 kW。

清江是长江中游的重要支流,自湖北省恩施至长滩 250 km 间有落差 380 m。清江拟分水布垭、隔河岩和高坝洲 3 级开发,总装机容量 289.1 万 kW。隔河岩水电站位于湖北省长阳县境内,装机容量 120 万 kW;高坝洲水电站位于湖北省宜都,装机容量 20 万 kW。

6. 南盘江、红水河水电基地

红水河为珠江水系西江上游干流,其上源南盘江在贵州省蔗香与北盘江汇合后称红水河。红水河干流在广西石龙三江口与柳江汇合后称黔江。南盘江全长 927 km,总落差 1 854 m,其中天生桥至纳贡段河长仅 18.4 km,集中落差达 184 m。红水河全长 659 km,落差 254 m;黔江长 123 km,有著名的大藤峡谷。南盘江、红水河规划拟重点开发的兴义至桂平河段,长 1 143 km,落差 692 m,水能蕴藏量约 860 万 kW。由国家能源委员会和国家计划委员会主持审查通过的《红水河综合利用规划报告》,提出了全河段按天生桥一级、天生桥二级、平班、龙滩、岩滩、大化、百龙滩、恶滩、桥巩和大藤峡的 10 级开发方案,总装机容量 1 252 万 kW,保证出力 338.82 万 kW,年发电量 504.1 亿 kWh。

7. 澜沧江干流水电基地

澜沧江发源于青海省,在我国境内长 2 000 km,落差约 5 000 m,水能资源蕴藏量约

3 656万 kW,其中干流约 2 545 万 kW。干流从布衣至南腊河口全长 1 240 km,落差 1 780 m,水能蕴藏量约 1 800 万 kW。据初步规划,干流分 14 级开发,其中:上游河段(布衣—铁门坎)分溜筒江、佳碧、乌弄龙、托巴、黄登和铁门坎 6 级开发,总装机容量 706 万 kW;中、下游河段(铁门坎—临沧江桥—南腊河口)按功果桥、小湾、漫湾、大朝山、糯扎渡、景洪、橄榄坝和勐松 8 级方案开发,总装机容量 1 431 万 kW。

8. 黄河上游水电基地

黄河上游龙羊峡至青铜峡河段,全长 1 023 km,总落差 1 465 m,水能资源蕴藏量 1 133 万 kW。规划分龙羊峡、拉西瓦、李家峡、公伯峡、积石峡、寺沟峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、小峡、大峡、乌金峡、小观音、大柳树、沙坡头、青铜峡 16 个梯级(如取大柳树高坝方案则为 15 级)开发,总利用水头 111.8 m,装机容量 1 415.48 万 kW,龙羊峡、刘家峡、小观音(或大柳树)三大水库分别处于本河段的首、中、尾部有利的地理位置。目前本河段已建刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡、龙羊峡、李家峡 6 座电站,继李家峡水电站之后,规划建议安排大峡、黑山峡、公伯峡、拉西瓦等水电站的建设。

9. 黄河中游水电基地

黄河中游从托克托至花园口河段,是水能资源比较丰富、梯级电站比较集中、具有较大综合利用效益的河段。梯级开发区段全长 1 222 km,落差 893 m,初步规划为 10~12 个梯级,即万家寨、龙口、天桥、前北会、罗峪口、碛口、古贤、军渡、三交、龙门、三门峡、小浪底和西霞院。其中,龙口和碛口河段均有一级开发和二级开发两个方案。按 10 个梯级开发计算,总装机容量为 645 万 kW。

10. 湘西水电基地

湘西水电基地包括湖南省西部沅水、澧水和资水流域。水能资源蕴藏量总计 1 000 万 kW,规划总装机容量 661.30 万 kW。

沅水全长 1 050 km,有酉水、漵水等 7 条支流,干支流水能资源蕴藏量达 538 万 kW。按初步规划方案,沅水干流拟分托口、洪江、安江、虎皮溪、大伏潭、五强溪、凌津滩 7 级开发,总装机容量 223 万 kW。支流上装机规模在 2.5 万 kW 以上的水电站共有 9 处,总装机容量 120.53 万 kW,其中酉水上的凤滩水电站已建成 40 万 kW。

澧水全长 389 km,落差 1 439 m,主要支流有漂水和潞水。澧水干流拟分凉水口、鱼潭、花岩、木龙滩、宜冲桥、岩泊渡、茶林河、三江口、艳洲 9 级开发,总装机容量 45.42 万 kW,其中三江口水电站已建成。支流漂水分黄虎港、新街、中军渡、皂市 4 级开发,电站总装机容量 35.1 万 kW;支流潞水分淋溪河、江哑、关门岩、长潭河 4 级开发,电站总装机容量 129.4 万 kW。

资水全长 674 km,水能资源蕴藏量 184 万 kW,可开发的大中型水电站总装机容量 107 万 kW。资水的开发方案是:拓溪(44.75 万 kW)以上主要梯级水电站有犬木塘、洞口塘、筱溪 3 处,总装机容量 16.6 万 kW;拓溪以下有敷溪口、金塘冲、马迹塘、白竹州、修山等 5 级水电站,总装机容量 46.5 万 kW。拓溪和马迹塘两水电站已建成。

11. 闽、浙、赣水电基地

闽、浙、赣水电基地包括福建、浙江和江西三省,水能资源理论蕴藏量约 2 330 万 kW,可能开发装机容量约 1 680 万 kW。各省情况如下:

(1)福建省水能资源理论蕴藏量 1 046 万 kW,可开发装机容量 705 万 kW。按初步开发方案,福建省可开发大中型水电站 59 座,总装机容量 616 万 kW。其中已建成的主要电站有闽江流域的古田溪 4 个梯级、安砂、池潭、沙溪口、水口、水东、街面等,汀江上的永定(棉花滩)(60 万 kW)、金山(4 万 kW),穆阳溪上的芹山(6 万 kW)、周宁(25 万 kW)。

(2)浙江省水能资源理论蕴藏量 606 万 kW。按初步开发方案,浙江省可开发大中型水电站 22 座,装机容量 431 万 kW。其中已建成的主要水电站有新安江、富春江、湖南镇、黄坛口、紧水滩、石塘和枫树岭。还拟扩建新安江、湖南镇、黄坛口等水电站,扩机规模分别为 90.25 万 kW、10.0 万 kW、5.2 万 kW。

(3)江西省水能资源理论蕴藏量约 682 万 kW。按初步开发方案,江西省可开发大中型水电站 37 座,装机容量 370 万 kW。其中已建成的主要水电站有柘林、上犹江和万安。根据径流电站补偿的需要,柘林水电站拟扩建 20 万 kW。根据 1990 年 10 月国家计委批复的《江西省赣江流域规划报告》,赣江中下游干流河段按万安、泰和、石虎塘、峡江、永泰、龙头山 6 个梯级进行开发。

12. 东北水电基地

东北水电基地包括黑龙江干流界河段、牡丹江干流、第二松花江上游、鸭绿江流域(含浑江干流)和嫩江流域,规划总装机容量 1 131.55 万 kW,年发电量 308.68 亿 kWh。

(1)黑龙江干流界河段:黑龙江干流全长 2 890 km,天然落差 313 m,水能资源蕴藏量(640/2)万 kW。黑龙江上、中游为中俄两国界河段。目前,中方就黑龙江上、中游具有开发条件的 8 个坝段,组成了 9 个梯级开发比较方案,进行分析比较,初步规划的总装机容量为(820/2)万 kW。黑龙江梯级开发尚处于规划阶段。

(2)牡丹江干流:牡丹江干流全长 705 km,天然落差 869 m,可开发水能资源总装机容量 107.1 万 kW,现已开发 13.2 万 kW(其中包括镜泊湖水电站 9.6 万 kW,另有几座小型水电站)。牡丹江下游柴河至长江屯之间,规划有莲花、二道沟、长江屯 3 级开发方案,总装机容量 82 万 kW,占待开发资源 93.9 万 kW 的 87%。

(3)第二松花江上游:第二松花江上游河道总长 803 km,天然落差 1 556 m,其中可利用落差 613.7 m。丰满水电站以上流域的水能资源理论蕴藏量为 138.16 万 kW,可开发的水电站站点有 58 个,装机容量 381.24 万 kW,现已开发水电站 13 座,装机容量 246.33 万 kW,占可开发装机容量的 65%。其中,规模较大的有第二松花江干流上的丰满、红石、白山 3 座水电站,共装机 242.4 万 kW(含丰满扩机 17 万 kW),占已开发装机容量的 98%。

(4)鸭绿江流域(含浑江干流):鸭绿江干流为中、朝两国界河,干流水能资源蕴藏量约(212.5/2)万 kW。干流从长白县至入海口,经中、朝双方共同规划,目前共有 12 个梯级,即南尖头、上崴子、十三道沟、十二道湾、九道沟、临江、云峰、黄柏、渭源、水丰、太平湾、义州,电站总装机容量(253.3/2)万 kW。其中:已建成的大中型水电站有云峰、渭源、太平湾、水丰 4 座,进行初步设计的有临江和义州 2 座水电站,6 座水电站总计装机容量(228/2)万 kW。

(5)嫩江流域:嫩江为松花江的上源,从发源地至三岔河口全长 1 106 km。据初步规

划,可开发3万~25万kW的梯级水电站15座,总装机容量126.6万kW。对于干流嫩江镇以上的上游河段,目前初步推荐卧都河、窝里河、固固河、库莫屯4级开发方案,固固河水电站为第一期工程,装机容量17.5万kW;干流中段(嫩江镇至布西)的布西水利枢纽,是一个以灌溉、防洪为主,结合发电的大型综合利用工程,也是北水南调工程的重要水源工程。该枢纽水库总库容为63.12亿 m^3 ,电站装机容量25万kW,年发电量6.60亿kWh。

13. 怒江水电基地

怒江是云南省五大干流之一。中下游(干流松塔以下至中缅边界)共规划11级电站,装机容量2132万kW,年发电量1029.6亿kWh,目前尚未开发。

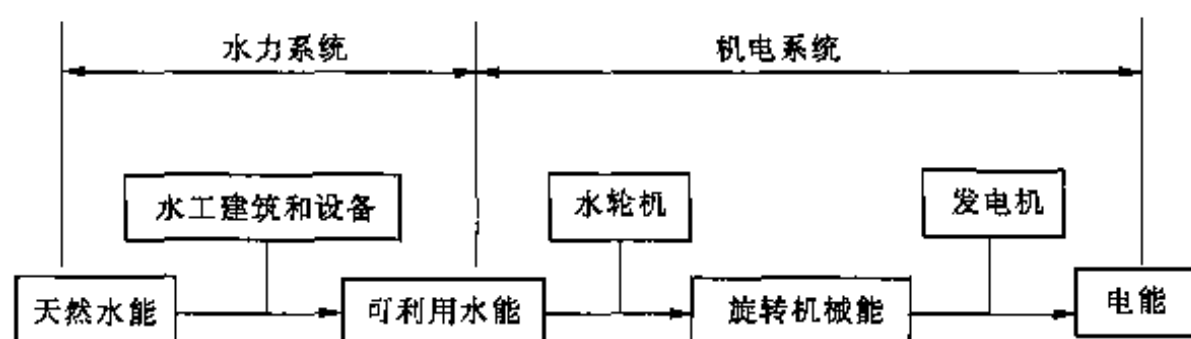
在环境问题日益受到世界性重视的今天,水能资源的开发利用更加受到重视,即使是水能资源开发充分的国家,也都又重新研究过去认为不值得开发的水能资源。显而易见,对于水能资源蕴藏丰富的我国来说,其水力发电事业有着宏伟的发展前景。

第二节 水电站电能生产过程及特点

一、水电站电能生产过程

水电站相当于将水能转变成电能的一个工厂,水能(水头和流量)相当于这个工厂的生产原料,电能相当于其生产的产品,水轮机和发电机是水电站最主要的设备。

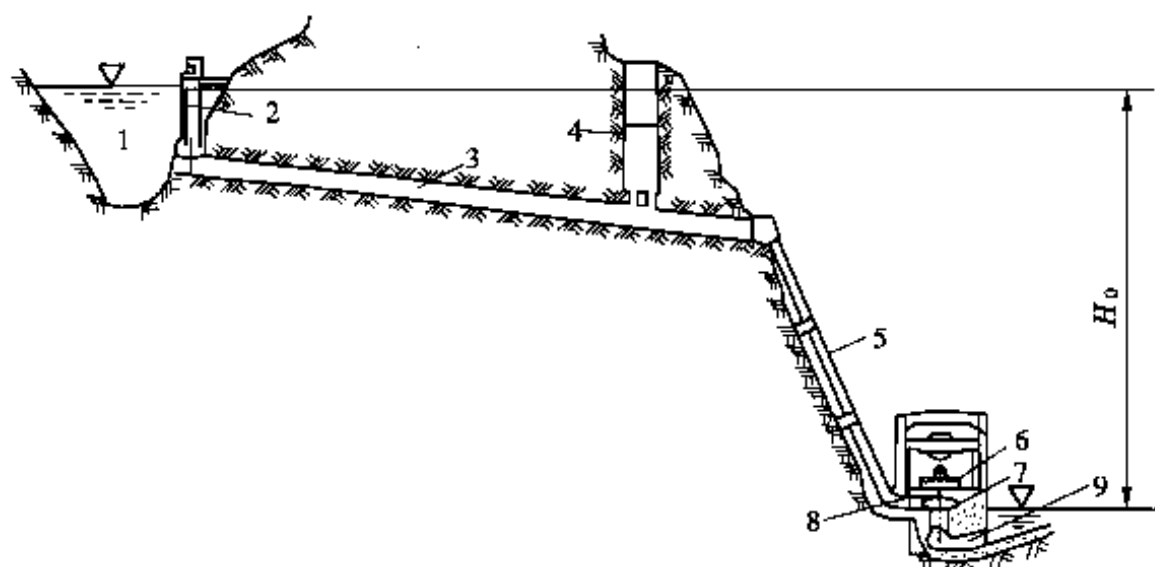
水电站生产电能的过程是有压水流通过水轮机,将水能转变为旋转机械能,水轮机又带动水轮发电机转动,再将旋转机械能转变为电能。水轮机和发电机合起来称为水轮发电机组,简称机组。其生产电能的过程如下:



水轮机 + 水轮发电机 = 水轮发电机组(机组)

利用天然水资源中的水能进行发电的方式就称为水力发电,它是现代电力生产的重要方式之一,也是开发利用天然水能资源的重要方式。

如图1-1所示,在水库中的水体具有较大的位能,当水体通过隧洞、压力水管流经安装在水电站厂房内的水轮机时,水流带动水轮机转轮旋转,此时水能转变为旋转机械能。水轮机转轮带动发电机转子旋转切割磁力线,在发电机的定子绕组上就产生感应电动势,一旦发电机和外电路接通,就可供电。这样,旋转机械能又转变为电能。水电站就是为实现上述能量的连续转换而修建的水工建筑物及其所安装的水轮发电设备和附属设备的总体。



1—水库;2—进水建筑物;3—隧洞;4—调压室;5—压力钢管;
6—发电机;7—水轮机;8—蝶阀;9—泄水道

图 1-1 水电站示意图

二、水电站的出力及发电量计算

如图 1-1 所示,水电站上、下游水位差称为水电站的静水头,设水电站某时刻的静水头为 H_0 ,在时间 t 内有体积为 V 的水体经水轮机排入下游。若不考虑进出口水流动能变化和能量损失,则体积为 V 的水体在时间 t 内向水电站所供给的能量即是水体所减少的位能,单位时间内水体向水电站所供给的能量称为水电站的理论出力 N_t ,水电站出力的单位用 kW 表示,则有

$$N_t = \gamma V H_0 / t = \gamma Q H_0 = 9.81 Q H_0 \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中 γ ——水的容重, $\gamma = 9.81 \text{ kN/m}^3$;

Q ——水轮机流量, m^3/s , $Q = V/t$;

H_0 ——水电站上、下游水位差,称为水电站的静水头, $H_0 = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}$, m。

水头和流量是构成水能的两个基本要素,是水电站动力特性的重要表征。实际上,在由水能到电能的转变过程中,一方面作用于水轮机上的水头并非水电站的静水头 H_0 ,而是水电站的静水头 H_0 扣除水轮机前引水系统的水头损失 Δh 后的水头,该水头称为水轮机的工作水头。另一方面,还不可避免地会产生各种能量损失,包括水力(水头)损失、容积(流量)损失和机械损失。因此,水电站的实际出力要小于理论出力。若设水电站实际出力为 N ,水轮发电机组的总效率为 η_T ,则水电站实际出力 N 应由下式计算

$$N = 9.81 \eta_T Q (H_0 - \Delta h) = 9.81 \eta_T Q H \quad (1-2)$$

式中 H ——水轮机的工作水头, m;

η_T ——水轮发电机组总效率。

水轮发电机组总效率 η_T 的大小与设备类型、性能、机组传动方式、机组工作状态等因素有关,同时也受设备生产和安装工艺质量的影响,在初步计算中可近似地认为总效率 η_T 是一个常数。若令 $K = 9.81 \eta_T$,则式(1-2)可写为

$$N = K Q H \quad (1-3)$$

式中 K ——水电站的出力系数,对于大中型水电站, K 值可取为 8.0 ~ 8.5;对中小型水

电站, K 值一般取为 6.5 ~ 8.0。

水电站的发电量 E 是指水电站在一定时段内发出的电能总量, 单位是 kWh。对于较短的时段, 如日、月等, 发电量 E 可由该时段内的电站平均出力 $\bar{N}$ 和该时段的小时数 T 相乘得出, 即

$$E = \bar{N}T \quad (1-4)$$

对于较长的时段, 如季、年等, 可由式(1-4)先计算该季或年内各日(或月)的发电量, 然后相加得出。

三、水力发电的特点

水力发电供应电能区别于其他能源, 具有以下特点。

(一) 水能的再生

水能来自河川天然径流, 而河川天然径流主要是由自然界气、水循环形成的, 水的循环使水能可以再生循环使用, 故水能称为“再生能源”。“再生能源”在能源建设中具有独特的地位。

(二) 水资源可综合利用

水力发电只利用水流中的能量, 不消耗水量。因此, 水资源可综合利用, 除发电外, 可同时兼得防洪、灌溉、航运、供水、水产养殖、旅游等方面的效益, 进行多目标开发。

(三) 水能的调节

电能不能储存, 生产和消费是同时完成的。水能则可存在水库里, 根据电力系统的要求进行生产, 水库相当于电力系统的能量储存仓库。水库的调节提高了电力系统对负荷的调节能力, 增加了供电的可靠性与灵活性。

(四) 水力发电的可逆性

把位于高处的水体引向低处的水轮机可进行发电, 将水能转换成电能; 反过来, 把位于低处的水体通过电动抽水机利用电力系统电能送到高处的水库储存, 将电能又转换成了水能。利用水力发电的这种可逆性修建抽水蓄能电站, 对提高电力系统的负荷调节能力具有独特的作用。

(五) 机组工作的灵活性

水力发电的机组设备简单, 操作灵活可靠, 增减负荷十分方便, 可根据用户的需要, 迅速启动或停机, 易于实现自动化, 最适于承担电力系统的调峰、调频任务和完成事故备用、负荷调整等功能, 可增加电力系统的可靠性, 动态效益突出。水电站是电力系统动态负荷的主要承担者。

(六) 水力发电生产成本低、效率高

水力发电不消耗燃料, 不需要开采和运输燃料所投入的大量人力、设施, 设备简单, 运行人员少, 厂用电少, 设备使用寿命长, 运行维修费用低。所以, 水电站的电能生产成本低廉, 只有火电站的 $1/5 \sim 1/8$, 且水电站的能源利用率高, 可达 85% 以上, 而火电站燃煤热效率只有 40% 左右。

(七) 不污染环境

水力发电不污染环境, 只是利用了径流中的水能, 既不消耗水量, 也不耗费一次性能

源资源,不会造成对环境的污染;而燃煤火电站,每燃烧1 t 原煤需排放 SO_2 30 kg 左右,排放颗粒粉尘 30 kg 以上。据全国 50 座大中型燃煤电厂统计,90% 的电厂排放 SO_2 的浓度超过 860 mg/m^3 ,污染非常严重。在越来越重视世界性环境问题的今天,加快我国水电建设,提高水电比例,对减少环境污染有着极其重要的意义。

第三节 水能资源的开发方式及水电站的基本类型

水资源的开发利用所涉及的国民经济部门较广,包括水力发电、灌溉排涝、工业供水、生活供水、航运、水产养殖、环境生态及洪水控制等。在江河上兴建工程时必须全面考虑各方面的要求,以取得国民经济最大综合效益。本书仅介绍水力发电的开发利用问题,其他方面的内容请见有关方面文献。

一、水能资源的开发方式

由上节内容可知,构成水能的两个基本要素是水头和流量,水电站的水头一般是通过适当的工程措施,将分散在一定河段上的自然落差集中起来而形成的。就集中落差形成水头的措施而言,水能资源的开发方式可分为坝式、引水式和混合式三种基本方式。此外,还有开发利用海洋潮汐水能的潮汐开发方式。

(一) 坝式开发

在河流峡谷处,拦河筑坝,坝前壅水,在坝址处集中落差形成水头,这种水能开发方式称为坝式开发。坝式开发的基本原理在于:筑坝挡水,汇集水量,形成水库。坝前壅水水面线的坡降远小于原河道天然水面线的坡降,因而库内水流速度变得甚小,水流流动过程中的能量损耗大减,原河段的水流势能得到恢复,分散的落差积聚起来,在坝址处形成水电站的集中水头。在坝址处引取水库上游的水,通过水电站厂房里的水轮发电机组发电后,将尾水引至坝下游原河道。

坝式开发的水头取决于坝高,显然坝越高,水头也越大。但坝高常受地形、地质、水库淹没、工程投资等条件的限制。目前,坝式开发的最大水头只接近于 300 m。

坝式开发的显著优点是:由于形成蓄水库,可以用来调节流量,水电站引用流量大,电站规模也大,水能利用程度也较充分。此外,坝式开发因有蓄水库,故综合利用效益高,可同时解决防洪和其他兴利部门的水利问题。目前,世界上装机规模超过 200 万 kW 的巨型水电站大都是坝式开发。

当然,由于坝的工程量一般较大,尤其是形成蓄水库会带来淹没问题,造成库区土地、森林、矿产等的淹没损失和城镇居民搬迁安置工作的困难,所以坝式开发的水电站一般投资大,工期长,造价高。

坝式开发方式适用于河道坡降较缓、流量较大、有筑坝建库条件的河段。

(二) 引水式开发

在河流坡降较陡的河段上游,通过人工建造的引水道(明渠、隧洞、管道等)引水到河段下游来集中落差,再经高压管道,引水至厂房。这种水能开发方式称为引水式开发。用来集中落差形成水头的引水道可以是无压的(如明渠、无压隧洞等),也可以是有压的(如

压力隧洞、压力管道等)。引水式开发由于引水道的坡降(或流速)小于原河道的坡降(或流速),因而随着引水道的延长,逐渐集中水头。显然,引水道越长、坡降越小,集中的水头也越大。当然,引水道坡降不宜太小,否则引水流速过小,引取一定流量时就要求很大的过水断面,从而造成引水建筑物造价的不经济。

与坝式开发相比,引水式开发集中落差形成的水头相对较高,由于无水库,不存在淹没损失,工程量一般较小,所以单位造价也往往较低。

引水式开发适用于河道坡降较大、流量较小的山区河段。裁弯引水和跨流域引水常采用有压引水隧洞集中落差。

(三) 混合式开发

在一个河段上,同时采用坝和有压引水道共同集中落差形成水头的开发方式称为混合式开发。坝集中一部分落差后,再通过有压引水道(隧洞)集中坝后河段的另一部分落差。

混合式开发因有蓄水库可调节径流,所以具有坝式开发和引水式开发的优点,但必须具备合适的条件。一般来说,河段前部有筑坝建库条件,后部坡降大(如有急流或大河湾),宜采用混合式开发。

(四) 潮汐水能开发

潮汐现象是地球表面的海水因受日、月引力而产生的周期性升降运动。从上次涨潮到下次涨潮(或落潮到落潮)之间相隔的时间约为 12 小时 25 分钟,该时间称为潮汐运动的周期(或称潮期)。每一次涨潮(或落潮)水位升降的幅度称为潮差,其大小因时因地而异。利用海洋涨、落潮所形成的水位差引海水发电的方式称为潮汐开发。

潮差一般只有几米,水头很低,引用的流量可以很大。潮汐开发方式由于需横跨海湾或河口建坝形成湾内水库,所以一般投资较大,施工较难,工期也较长。

潮汐水能的开发有单库单向、单库双向和双库等多种,需要结合具体地形、潮差等条件进行开发。

需要说明的是:抽水蓄能发电不是水能资源开发的方式。它不是为开发水能资源向系统提供电能,而是以水体为储能介质,起调节电能作用的一种水能利用方式。

二、水电站的基本类型

根据水能开发方式的不同,水电站有不同的类型。

(一) 坝式水电站

采用坝式开发修建的水电站称为坝式水电站。坝式水电站按大坝和水电站厂房相对位置的不同又可分为河床式、坝后式、坝内式、溢流式等,在实际工程中,较常采用的坝式水电站是河床式水电站和坝后式水电站。

1. 河床式水电站

如图 1-2 所示,河床式水电站多建造在中、下游河道纵坡平缓的河段上,为避免大量淹没,坝建得较低,故水头较小。大中型河床式水电站水头一般为 25 m 以下,一般不超过 30~40 m;中小型水电站水头一般为 10 m 以下。其引用流量一般都较大,属于低水头大流量型水电站。其特点是:厂房与坝(或闸)一起建在河床上,厂房本身承受上游水压力,并成为挡水建筑物的一部分,一般不设专门的引水管道,水流直接从厂房上游进水口进入