



高等学校教材

水能利用

(第三版)

西安理工大学 黄强 主编



高 等 学 校 教 材

水 能 利 用

(第三版)

西安理工大学 黄强 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共分六章,前四章为水电站的水能规划部分,主要讲述水资源综合利用的原理和方式;河川径流统计分析和计算;径流调节;水能计算;电力系统的有关知识;水电站经济评价;水电站主要参数选择;水电站厂内经济运行和水库调度等。后两章为水电站建筑物部分,着重讲述水电站水利枢纽及其主要建筑物的特性;水电站发电厂房的布置、运行、结构形式和设计方面的基本知识。

本书是“水电站动力设备”专业水能利用课的教材,也可供有关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水能利用/黄强主编. —3版. —北京:中国水利水电出版社, 1998

高等学校教材

ISBN 7-80124-657-8

I. 水… II. 黄… III. ①水力能源-利用-高等学校-教材②水力发电站-水力发电工程-高等学校-教材 IV. TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 03750 号

书 名	高等学校教材 水能利用 (第三版)
作 者	西安理工大学 黄强 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	机械工业出版社京丰印刷厂印刷
规 格	787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 288 千字
版 次	1981 年 7 月第一版 1986 年 11 月第二版 1998 年 10 月第三版 1998 年 10 月北京第五次印刷
印 数	15241—17240 册
定 价	12.40 元

第三版前言

本教材是根据水利部下发的“1990~1995年高等学校水利水电类专业本科研究生教材选题和编审出版规划”编写的，并参照本次教材编审小组会上讨论通过的教材编写大纲进行编写的。

本教材是以陕西机械学院（现更名为西安理工大学）颜竹丘主编的《水能利用》第二版教材（1986出版）为基础进行修订的。在编写过程中广泛征求了多所高校从事该课程教授的教师，及近几届毕业生的意见。为了使第三版教材更具系统性，反映新的信息和水电科技进步和发展，拓宽专业知识面，适应专业改造的需要，在学时减少的情况下，一方面对教材的章节和内容作了适当的调整和删减，另一方面增加了一些新内容，对某些不足之处作了适当的补充和更新，并加以精练和系统。例如，将原教材中“工程水文基本知识”一章缩编成一节；增加了水电站群的径流调节和水能计算；修改更新了水电站经济计算一节内容；将原教材“水库调度”一章扩编改名为“水电站经济运行”，内容包括水电站厂内经济运行和水库调度，鉴于各校均已开设《系统工程》课，故增加了一些简单的优化方法应用；对水电站枢纽和水电站厂房部分作了精简和资料更新；附录的水能电算程序重新编制，使之结构化，增强通用性，并配合教材中水库优化调度的算法，给出了应用程序及实例。总之，在此轮教材编写中，注重基本概念、基本理论和方法的论述，以及对复杂问题的分析和新的解决思路的介绍。

本书原定由颜竹丘教授任主编。在编写教材过程中，由于颜竹丘教授于1992年3月不幸病逝，教材的编写工作一直处于停止状态。1995年8月，专业教学委员会和中国水利水电出版社对该教材的编写给予了极大的关心和帮助，并于同年10月决定由西安理工大学黄强负责继续完成书稿。在颜教授家人的协助和领导同事们的关怀、鼓励下，本教材初稿于1996年1月历经磨难终于完成。在此，我们向专业教学委员会、中国水利水电出版社以及颜教授的家人表示衷心的感谢。同时，我们深切地怀念颜先生对本教材所付出的大量辛勤劳动。我们为痛失一位良师益友，水能界失去一位著名的学者、专家，表示沉痛悼念。

本教材由黄强编写绪论、第一章、第三章（除第七节）、附录；刘恩锡编写第二章、第三章第七节；田峰巍编写第四章；陆文祺编写第五章、第六章；解建仓参加了第一章、第二章的编写。全书由黄强主编。

本书由武汉水利电力大学冯尚友主审，冯尚友教授对教材提出了许多宝贵意见，这对教材上质量、上水平有很大帮助，编者表示衷心感谢。此外，还要感谢对本教材编写和出版给予支持、关心的所有同志。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，希望读者批评指正。

编 者

1996年1月

第一版前言

本书是根据原水利电力部 1978 年召开的“水电站动力设备”专业教学计划、教材编审会议的决定和《水能利用》教材编写讨论会所拟定的大纲编写的。

本书着重于《水能利用》学科基本理论和基本技术的系统论述，并结合“水电站动力设备”专业的特点而有所侧重。全书取材力求反映我国当前水电建设的水平。为便于教学，书中的内容除章节的划分作了较合理的安排外，部分内容采用小号字排印，由各院校在教学时酌情取舍。

参加本书编写的同志有：华中工学院黎献勇（绪论，第一章），西北农学院颜竹丘（第二、三章），武汉水利电力学院孙培华（第四、五、六、七章）。由孙培华任主编，黎献勇负责主审。

本书的编写是以武汉水利电力学院自编的讲义为基础，并参考和引用国内有关单位和院校提供的资料和讲义。在编写过程中，武汉水利电力学院冯尚友同志曾给予指导，冯秉超同志协助完成图稿工作。在此一并表示谢意。

限于我们的学识水平，本书一定有不少缺点和错误，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1979 年 11 月

第 二 版 前 言

本教材是根据修订的水电站动力设备专业（本科四年制）教学计划和教材编写大纲进行编写的，于 1983 年 10 月在水电站教材编审小组会上讨论通过。

本教材是以武汉水利电力学院、西北农学院、华中工学院合编的《水能利用》（1981 年出版）为基础进行重编的。一方面由于学时减少，在内容上作了适当的调整和精简；另一方面对某些不足之处作了适当的补充和更新，如工程水文基本知识加强了，列为第一章讲述；增加了考虑资金时间价值的经济计算方法；在水库调度中增加了优化调度的概念；在水能计算中应用电算，作为附录放在最后，各院校可酌情取舍；对水电站的有压引水建筑物系统有所加强；水电站厂房突出了地面厂房布置设计等。

本教材的编写工作，绪论、第二、三、四和五章由陕西机械学院颜竹丘编写，第一章由陕西机械学院刘恩锡编写，第六、七章由河海大学陆文祺编写，附录电算程序由陕西机械学院黄强编写。全书由陕西机械学院颜竹丘主编，河海大学伍正诚主审。

对于本教材中的缺点和意见，希望读者批评指正，意见请寄西安市陕西机械学院工程水文及水能利用教研室。

编 者

1985 年 7 月

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
绪 论	1
第一章 水能资源的开发利用	5
第一节 水资源的综合利用	5
第二节 水力发电	7
第三节 水能资源的开发方式	10
第四节 河流的综合利用规划和梯级开发	16
第二章 径流调节	19
第一节 河川径流	19
第二节 水库特性	32
第三节 设计保证率 and 设计代表期	37
第四节 径流调节的作用及分类	39
第五节 径流调节计算的时历列表法	42
第三章 水能计算及水电站主要参数选择	51
第一节 水能计算的目的和基本方法	51
第二节 水电站的保证出力和多年平均年发电量计算	58
第三节 水电站群的径流调节和水能计算	60
第四节 电力系统的负荷及容量组成	63
第五节 电力系统中各类电站的工作特性	67
第六节 水电站在电力系统中的运行方式	69
第七节 水电站经济评价	72
第八节 水电站装机容量的选择	80
第九节 水电站水库正常蓄水位和死水位选择简介	87
第四章 水电站经济运行	92
第一节 水电站经济运行的基本内容	92
第二节 水电站厂内经济运行	93
第三节 水电站水库调度	103
第五章 水电站水利枢纽概述	118
第一节 概述	118
第二节 挡水建筑物——坝	121
第三节 泄水建筑物	125

第四节	水电站引水建筑物	127
第五节	通航、筏运、过鱼等建筑物	134
第六章	水电站发电厂房	136
第一节	水电站厂房的基本类型	136
第二节	厂区建筑物及水电站厂房的组成	136
第三节	地面厂房下部块体结构的布置及其主要尺寸的决定	144
第四节	厂房发电机层及电气设备、机械控制设备的布置	146
第五节	厂房内的起重设备、装配场及对外交通	150
第六节	厂房内油、气、水系统的布置及采光、通风等问题	152
第七节	主厂房轮廓尺寸的决定	154
第八节	厂区布置	155
第九节	其他类型的厂房	157
附录一	年调节水电站水能电算程序	170
附录二	水库优化调度程序	183
参考文献		191

绪 论

一、水能利用的特点及其作用

众所周知，水是自然界万物赖以生存的基本物质之一，而水文循环所形成的地表、地下水，称为水资源，它是人类最宝贵的自然资源。其中，河川水流、海浪、潮汐等蕴藏着巨大的动能和势能，称之为水能，它是大自然赋予人类的一种清洁、廉价能源，又专门地称之为水能资源。

地球上的能源形形色色，大体可分三类：一类是来自地球以外的能量，主要是太阳能；另一类是地球本身蕴藏的能量，如煤、石油、天然气、核能、河川水能、地热能等；还有一类是地球与其他天体相互作用而产生的能量，如潮汐能、风能等。这三类能源是自然形成的，常称为一次能源。而由天然能源加工转化而成的能源，如机械能、电能等，又称二次能源。在一次能源中，太阳能、风能和水电等是由核聚变、核裂变及地球与月球的运动产生的，称为再生能源，而煤、石油、天然气等为地球矿藏，生成年代长久，储量有限，愈用愈少，称之为不可再生能源或有限能源。在二次能源中，电能是最便于使用和输送的能源，也是国民经济发展的动力和命脉。

水能资源早在 3000 多年前就为人类所认识和开发利用，如发明水车、水磨，利用水力提水灌溉和碾米磨粉。但是，利用水能产生电能是近代才开始的。1878 年，在德国建成了世界上第一座水电站，成功地把水能转变成了电能，从而为水能利用开辟了广阔前景。

“水能利用”是一门研究如何开发利用水能资源的专门技术科学。水能利用的主要形式是利用水能生产电能。因此，水能利用一般指水力发电。

水力发电需要修建一系列的水工建筑物和水电站建筑物，集中水流落差，形成水库，控制和引导水流通过水轮机，将水能转变成为旋转的机械能，再由水轮机带动发电机转动，从而发出电能，然后经过配电和变电设备升压后送往电力系统，再供给用户。因此，水电站是为开发利用水能资源，将水能转变成电能而修建的工程建筑物和机械、电气设备的综合体，是利用水能生产电能的基地。

目前，在我国的电力工业中，火电站占 74%（指容量），水电站占 25%，核电站不足 1%，还有极少量的风力、地热、潮汐等发电站。由于水电站机组启动迅速，出力调整快，运行操作灵便，因而水电是电力系统中最好的调峰、调频和事故备用电源。水电站与火电站、核电站等相互补充，调剂余缺，使得水能资源获得了比较充分的利用，火电和核电机组得以稳定运行，所以其作用和经济效益是十分巨大的。

此外，水力发电还有许多突出的优点：水力发电不需要消耗有限的矿藏能源，水能资源可以循环利用、物美价廉，水电设备简单、运行和工作人员较少，所以发电成本低、效率高；水电可以借助于建修的水库，调节蓄贮水能，提高供电的灵活性和经济性；利用水库还可以综合解决防洪、灌溉、发电、供水、航运等部门之间的用水矛盾和需求，所以其综合利用效益高；水力发电不产生污染，而且在电站、水库建成后，对改善气候和自然环

境、发展旅游事业都大有裨益。

当然，水力发电也存在一些不利因素：在洪枯流量相差悬殊的河流上，或为了综合利用，需建高坝大库进行水利水能调节，往往淹没和浸没损失较大，需大量移民；土建工程量较大，使得一次投资较大、工期较长；水力发电受地形、地质等条件的限制；河流泥沙、天然径流变化等对其影响比较大等。但是，由此带来的问题随着水电科技的进步和经济的发展，总是可以得到解决的。

由于水能资源是高效、清洁、可再生、廉价的能源，对国民经济发展起着巨大的推动作用，所以优先开发水电，加快水电建设，是客观所必需的，也是世界各国开发利用能源的重要经验。

二、我国水能资源的分布及其开发利用

我国幅员辽阔，河流众多，总长度达 42 万多 km，流域面积在 100 km² 以上的河流就有 5000 多条，还有星罗棋布的湖泊；水能蕴藏量极为丰富，仅河川水能资源，估算就为 6.76 亿 kW，居世界首位。可能开发利用的容量约为 3.79 亿 kW，年发电量约为 1.9 万亿 kW·h，每年人均 1583 kW·h（按 12 亿人口）。全国水能资源分布概况，可参看表 0-1。

表 0-1 全国各地区水能蕴藏量及可能开发水能量

地 区	水 能 蕴 藏 量			可能开发水能资源		
	出 力 (万 kW)	发 电 量 (亿 kW·h/年)	占全国比重 (%)	装机容量 (万 kW)	发 电 量 (亿 kW·h/年)	占全国比重 (%)
全 国	67604.71	59221.8	100	37853.24	19233.04	100
华北地区	1922.93	1077.4	1.8	691.98	232.25	1.2
东北地区	1212.66	1062.3	18	1199.45	383.91	2.0
华东地区	3004.88	2632.3	4.4	1790.22	687.94	3.6
中南地区	6408.37	5613.8	9.5	6743.49	2973.65	15.5
西南地区	47331.18	41462.1	70.0	23234.33	13050.36	67.8
西北地区	8417.69	7373.9	12.5	4193.77	1904.93	9.9

注 1. 本表中水能蕴藏量一项是按 1 万 kW 以上的河流及部分 1 万 kW 以下的河流统计的结果（不包括台湾省）。

2. 可能开发水能资源一项是按单站 500 kW 以上电站统计的结果。

3. 占全国比重一项是按年发电量计算的。

由表 0-1 可以看出，我国的水能资源分布极不均匀，但与其他能源配合开发却极为有利。例如，西南地区缺煤而水能资源丰富；华北内蒙古地区水能资源较少，但煤炭丰富；沿海地区河川水能资源不多，却有大量的潮汐能源。再与石油及其他能源配合，构成了极其雄厚的能源储备系统。这是我国采取因地制宜开发利用能源方针的重要条件。

根据能源分布情况，“九五”期间我国发展电力工业的方针是：“因地制宜，水火并举，优先发展水电，大力发展火电，适当发展核电。”这个方针是符合我国实际情况的，对加速我国电力工业的发展，尤其是优先开发水电、加快水电建设将起到十分重要的作用。

建国以来，我国水电建设发展很快。旧中国只修建了一些小型水电站，装机容量仅有 12000 kW，包括东北日伪时期修建的丰满水电站在内，也只有 16 万 kW，年发电量只有 7 亿 kW·h，在当时分别居世界的第二十五位和第二十三位。到 1981 年底，水电站装机容量达到 2100 多万 kW，年发电量 655 亿 kW·h，分别上升到占世界的第六位和第八位；比旧

中国水电装机容量增加了 130 多倍, 年发电量增加 93 倍多。自 1987 年以来, 我国水电装机容量和年发电量就均已上升到世界的第四位, 仅次于美国、俄罗斯和加拿大。到 1994 年底, 我国水电装机达 4850 万 kW, 年发电量 1704 亿 kW·h, 分别占可能开发水能资源的约 12.8% 和 8%。但是, 开发程度与我国十分丰富的水能资源相比, 发展水平还很不相称。世界水能总蕴藏量为 50.5 亿 kW, 其中可能开发利用的约为 22.6 亿 kW。到 1990 年底, 世界水电装机容量达 6.3 亿 kW, 开发利用程度达 28%, 有许多国家已高达 40% 以上, 如法国、瑞士达 100%。我国水电开发利用程度与世界发达国家相比差距很大, 比世界平均水平还低很多。这说明我国水能资源开发利用的远景还十分广阔, 要赶上世界平均水平, 还需加倍努力。

目前世界上已建成的最大水电站是巴西和巴拉圭合建的伊泰普水电站, 装机容量达 1260 万 kW, 其单机容量为 70 万 kW。国外在开发水能资源、建设水电站方面的发展趋势是: 提高单机容量, 扩大水电站规模; 提高水电站自动化和管理运行水平; 大力发展抽水蓄能电站; 提高水电容量的比重; 运用系统科学的理论和方法, 研究水电站群、水电能源系统的规划设计和运行管理, 以及研究利用新的水能资源等。

据统计, 我国可建 25 万 kW 以上的大型水电站有 203 座, 其中 200 万 kW 以上的特大型水电站就有 33 座。现已建成的大型水电站有几十座, 其中装机容量超过 100 万 kW 的水电站有刘家峡 (116 万 kW)、葛洲坝 (271.5 万 kW)、龙羊峡 (128 万 kW)、白山 (150 万 kW) 等。目前在建的大型水电站还有十几座, 其中长江三峡水电站是目前世界上最大的, 电站装机 26 台, 每台 70 万 kW, 共装机 1820 万 kW, 年发电量 847 亿 kW·h, 总库容 393 亿 m³。

我国有许多河流的地形、地质条件良好。有不少峡谷地带, 流量大而落差集中, 可以用较小的工程量和投资建设水电站。例如, 世界上水能资源最富集的三个河段, 有两个位于我国。一个是非洲的扎伊尔河下游段, 长 300 km, 设计三级巨型电站, 其总装机容量达 6850 万 kW, 年发电量 5060 亿 kW·h, 平均每公里年发电量 16.9 亿 kW·h; 一个是我国的雅鲁藏布江大河湾, 长 260 km, 河湾直线距离仅 35 km, 有落差 2350 m, 若一级开发, 则建造的墨脱水电站装机容量达 4380 万 kW, 年发电量 2630 亿 kW·h, 8 级开发时, 总装机容量达 4682 万 kW, 年发电量 2810 亿 kW·h; 另一个是金沙江中下游河段, 长 1500 km, 规划建 10 级大型水电站, 共计装机容量 6400 万 kW, 年发电量 3102 亿 kW·h。

根据到 20 世纪末国民经济再翻一番的奋斗目标, 我国“九五”计划制定, 到 2000 年要使水电装机容量达到 8000 万 kW, 年发电量达 2400 亿 kW·h。由此, 电力工业已确定水电重点抓好“两江两河”的开发, 即长江中上游干支流、澜沧江、黄河上游和红水河。并逐步实现将优质的水电西电东送, 逐步缓解电力供应紧张的局面, 提高供电质量, 以适应国民经济高速发展的需要。

为了担负起这一伟大的水电建设任务, 我们一定要认真钻研有关理论和技术知识, 学习掌握现代科学技术, 牢固树立为祖国的水电事业做贡献的远大理想, 为发挥我国水能资源优势, 尽快使我国进入世界先进行列而努力奋斗。

三、本课程的任务和主要内容

“水能利用”是“水电站动力设备”专业的一门专业课程。根据专业的培养目标, 本课

程设置的目的是使学生在水电站方面获得比较系统、完整的基本知识。为此，本课程的主要内容有：水能开发利用的原理和方式；径流调节计算；水能计算与水电站主要参数选择；水电站经济运行；水电站水工建筑物及水电站的厂房布置等。

本课程的水能部分为规划性内容，涉及面较广，概念较多。除有具体的计算方法外，多为分析和论述，学习时要注意这些特点。

与本课程关系比较密切的课程有“水力学”、“工程水文学”、“水轮机”和“水电站电气设备”等。

第一章 水能资源的开发利用

第一节 水资源的综合利用

一、水资源综合利用的原则

水资源是国家的宝贵财富，它有多方面的开发利用价值。与水资源关系密切的部门有：水力发电、农业灌溉、防洪与排涝、工业和城镇供水、航运、水产养殖、水生态环境保护、旅游等。因此，在开发利用河流水资源时，要从整个国民经济可持续发展和环境保护的需要出发，全面考虑、统筹兼顾，尽可能满足各有关部门的需要，贯彻“综合利用”的原则，开发和利用水资源，以利于人类社会的生存和发展。

水资源综合利用的原则是按照国家对环境保护、社会经济可持续发展战略方针，充分地开发利用国家的水资源，来满足社会各部门对水的需求，又不能对未来的开发利用能力构成危害，在环境、生态保护符合国家规定的条件下，获取最大社会经济和环境综合效益。为此，应力争做到“一库多用”、“一水多用”、“一物多能”等。例如：水库防洪与兴利库容的结合使用；一定的水量先用于发电或航运（它们只利用水能或浮力而不耗水），再用于灌溉或工业和居民给水（它们用水且耗水）；同一水工建筑物要有多种功能，如泄水底孔（或隧洞）兼有泄洪、下游供水、放空水库和施工导流等多种作用。因此，综合利用不是简单地相加，而是有机地结合，综合满足多方面的需要。

由于综合利用各有关部门自身的特点和用水要求不同，这些要求既有一致的方面，又有矛盾的方面，其间存在着错综复杂的关系。因此，必须从整体利益出发，在集中统一领导下，根据实际情况，分清综合利用的主次任务和轻重缓急，妥善处理相互之间的矛盾关系，如此才能合理解决水资源的综合利用问题。

二、各水利部门的用水要求及相互关系

1. 水力发电

开发利用河流水资源时，水力发电通常是一个重要部门。水力发电可提供大量廉价的电力，有力地促进了国民经济的发展。水力发电只利用水流所含的能量，本身不消耗水量，发电后的尾水可供下游其他部门使用，使之发挥综合利用效益。

水力发电通常要修筑挡水坝，坝用以集中河段的落差，并形成水库，水库可以调节流量，拦蓄洪水，为综合利用提供保证。

水电站通常参加电力系统运行，与其他电站联合供电。发电用水取决于用电要求，一年内变化较为均匀。但水电站是一个比较灵活的需水用户，除要求保证的发电流量外，遇丰水季节，还可以多发电量，以节省电力系统的煤耗。

2. 灌溉

农田灌溉是个耗水部门，它要消耗水量。每亩农田灌溉耗水定额与灌溉方式、作物种类、土壤性质等有关。自水源引取的水量，灌溉以后大部分消耗掉了，只有很少一部分水经渗漏回归到下游河里。灌溉属季节性用水户，年内用水变化大，各年的灌溉用水量也有

差别。

灌溉有自流灌溉和提水灌溉两种方式。通常多采用自流灌溉方式，但自流灌溉对水源的位置和引水高程的要求严格；提水灌溉则有较大的灵活性。采用何种灌溉方式，应根据具体条件决定。

灌溉是个耗水大用户，它与其他需水部门之间的矛盾也最突出。如自水电站上游取水灌溉，将降低水电站的出力和发电量；如自水电站下游取水，可先发电后灌溉，但发电与灌溉在用水时间和需水量方面存在一定矛盾，需合理协调和处理。

3. 防洪

我国河流多属雨源型河流，若发生洪水，易造成灾害，大都要求修建水库解决防洪问题。防洪与兴利都要求水库蓄水以调节径流，但在实际运用时常发生争夺库容的矛盾。原因是水文气象预报精度不高，还不能准确预知何时来多大洪水，如预报有大洪水，实际洪水不来或比预报值小，汛末蓄不满水库，就会影响到未来枯水季节的兴利用水。在水库规划设计和实际运用中，如何掌握河流的水文规律，按照规定的防洪标准，结合洪水预报，通过合理的水库调度，争取防洪与兴利有更多的结合库容，是一个重要的研究课题。

4. 工业和城镇供水

供水也是个耗水部门。它是个常年性的用水户，但用水量比较均匀。同灌溉一样，当自上游取水时，要减少发电用水。一般供水量相对于发电用水量来说是不大的，但它十分重要，必须优先给予满足。工业和城镇供水仍有一部分要回归河中，但已变成污水，应作处理，以免污染水流，以利于水环境保护和生态平衡。

5. 航运

航运是个非耗水部门。它既不耗水也不引走水量，仅要求河道中能经常保持一定的通航水深。河中水深可通过水库泄放某一固定流量来维持，局部河段也可采取清除险滩等整治措施。与陆运相比，水运的优点是货运量大，运费便宜。

在开发利用河流水能资源时，应对航运给予重视。修建水利枢纽后，应改善航运条件和扩大河流的通航能力，提高船只吨位，以适应航运发展的要求。同时，必须考虑船只过坝设施，如建造船闸或升船机等通航建筑物，以保证枢纽上下游之间的通航。

船闸用水不能用来发电，但它一般的需水量不大。航运与发电的矛盾主要表现在用水方式上，航运要求固定放流，将限制水电站的有利工作方式，影响水电站的效益。

以上五个需水部门是水资源综合利用的主要目标。一个水利水电工程应该建设成具备哪几个开发目标，它们之间的主次关系如何，应根据当地的具体情况，通过不同方案的分析，才能确定。至于水库养殖、木材流放、旅游和环境等目标必须充分考虑，在有利于环境和生态的条件下，发挥工程的综合利用最大效益。现介绍一个已建的水利工程，以说明综合利用效益。

[实例] 湖北省丹江口水利枢纽总体布置如图 1-1 所示。该水利枢纽是按照水资源综合利用原则建成的我国大型水利工程之一。水库担负着防洪、发电、灌溉、航运等任务，综合利用效益显著，可分述如下。

(1) 防洪。汉江在历史上有记录的最大洪水发生在 1935 年 7 月，相当于百年一遇的大洪水。当时受灾人口 370 万，淹死 8 万人，淹没农田 670 万亩。现在如再遇 1935 年型洪水，

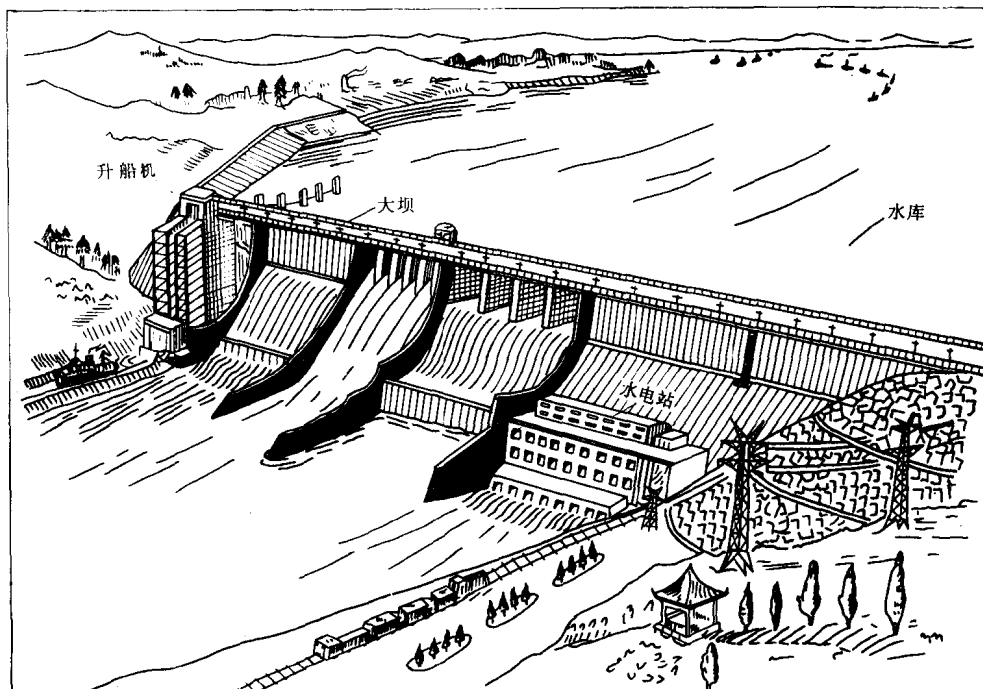


图 1-1 丹江口水利枢纽总体布置示意图

有丹江口水库拦蓄，配合下游分洪措施，可使汉江下游江汉平原免受灾害。

(2) 发电。丹江口水电站总装机容量 90 万 kW，年发电量 43.6 亿 kW·h，向华中电力系统提供了大量的廉价电力，并承担了系统调峰、调频等任务。

(3) 灌溉。从水库引水可灌溉湖北和河南两省农田，初期为 360 万亩，后期为 1100 万亩，对当地农业生产起了很大作用。但由于灌溉，减少年发电量 4.4 亿 kW·h。

(4) 航运。水库内可形成 220 km 的深水航道，150 t 驳船可全年通航。由水库调节使下游航道最小流量提高到 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ，可通行 150~300 t 的船只。大坝右端建有可吊运 150 t 驳船的升船机，计划货运年通过能力为 1000 万 t。

(5) 养殖。丹江口水库总库容为 209 亿 m^3 ，水域面积很大，平均库面面积约 80 万亩，若以亩产 5 kg 计算，年产鱼量可达 4000 t。

第二节 水 力 发 电

一、水力发电的原理及基本方程式

天然河流中蕴藏着水能，它在水流流动过程中以克服摩阻、冲刷河床、挟带泥沙等形式分散地消耗掉。水力发电就是利用这白白消耗掉的水能来产生电能。如图 1-2 表示的任一河段，取上断面 1-1 和下断面 2-2，它们之间的距离，即河段长度为 L (m)，坡降为 i 。假定在 T (s) 时段内有 W (m^3) 的水量流过两断面，则按伯努利方程，两断面水流能量之差即为该河段的潜在水能，即水体 W 在 L 河段所具有的能量为

$$\begin{aligned}
E_{1,2} &= E_1 - E_2 = \gamma W \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \gamma W \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \\
&= \gamma W \left(Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \\
&\approx \gamma W H_{1,2}
\end{aligned} \tag{1-1}$$

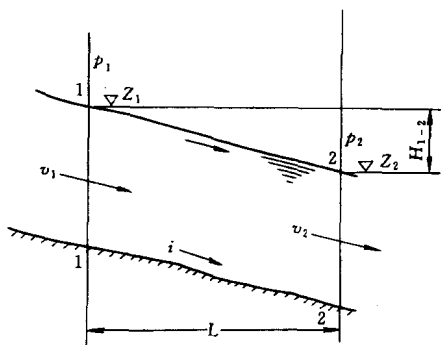


图 1-2 河段的潜在水能

式中, γ 为水的容重 ($\gamma = 1000 \times 9.81 \text{ N/m}^3$); p_1 、 p_2 为大气压强, 可认为相等; $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ 、 $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ 为流速水头或动能, 其差值也相对微小, 可忽略不计; $H_{1,2}$ 为两断面的水位差, 即称落差或水头。

式 (1-1) 表明, 构成河流水能资源的两个基本要素是河中水量 W 和河段落差 $H_{1,2}$ 。河中通过的水量愈大, 河段的坡降愈陡, 蕴藏的水能就愈大。

能量 $E_{1,2}$ 的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$, 与功的单位一致, 表示 T 时段内流过水量 W 所做的功。单位时间内的作功能力叫功率, 工程上常称为出力或容量, 用 N 表示, 则该河段的平均出力为

$$N_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{T} = \gamma \frac{W}{T} H_{1,2} = \gamma Q H_{1,2} \quad (\text{N} \cdot \text{m/s}) \tag{1-2}$$

式中, $Q = W/T$ 表示时段 T 内的平均流量, 以 m^3/s 计。

在电力工业中, 习惯用 kW 作出力单位。因 $1 \text{ kW} = 1000 \text{ N} \cdot \text{m/s}$ 。故式 (1-2) 可表示为

$$N_{1,2} = 9.81 Q H_{1,2} \quad (\text{kW}) \tag{1-3}$$

能量常称电量, 以 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 为单位 (或称度) 于是

$$E_{1,2} = 9.81 Q H_{1,2} \left(\frac{T}{3600} \right) = 0.0027 W H_{1,2} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \tag{1-4}$$

式 (1-3) 和式 (1-4) 便是计算水流出力和能量的基本公式。

由式 (1-3) 和式 (1-4) 算出的天然水流出力和能量, 是水电站可用的输入水能, 而水电站的输出电力系指发电机定子端线送出的出力和发电量。水电站从天然水能到生产电能的过程中, 不可避免地会引起各种损失。首先水电站在集中河段落差时有落差损失 ΔH , 在水流经过引水建筑物及水电站各种附属设备 (如拦污栅、阀门等) 时又有水头损失 Σh , 所以水电站所能有效利用的净水头为 $H = H_{1,2} - \Delta H - \Sigma h$ 。其次, 在水库、水工建筑物、水电站厂房等处尚有蒸发、渗漏、弃水等水量损失, 这些损失记为 $\Sigma \Delta Q$, 因此水电站所能有效利用的净发电流量 $Q = Q_1 - \Sigma \Delta Q$ (Q_1 为进入水库的天然流量)。此外, 水电站把水能转化为电能时有功率损失, 用水轮机效率 η_r 和发电机效率 η_g 来表示, 则水电站的效率 $\eta = \eta_r \eta_g$ 。因此, 水电站的实际出力和发电量计算公式为

$$N = 9.81 \eta Q H \quad (\text{kW}) \tag{1-5}$$

$$E = 0.0027 \eta W H \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \tag{1-6}$$

水电站的效率因水轮机和发电机的类型和参数而不同, 且随其工况而改变。初步计算时机组尚未选定, 常假定效率为常数, 并令 $k = 9.81 \eta$, 可得水电站出力的简化计算公式为

$$N = kQH \quad (\text{kW}) \quad (1-7)$$

式中, k 称为出力系数, 其值凭经验或参照同类型已建电站的资料拟定。一般对大型水电站 ($N > 25$ 万 kW) 取 $k = 8.5$; 对中型水电站 ($N = 2.5 \sim 25$ 万 kW), 取 $k = 8.0 \sim 8.5$; 对小型水电站 ($N < 2.5$ 万 kW), 取 $k = 6.0 \sim 8.0$ 。待机组选定时, 再合理分析计算出 η 值, 并作出修正。

二、河流水能资源蕴藏量估算

要进行一条河流水能资源的评价和开发利用, 必须事先勘测和估算河流天然蕴藏的水能资源。为此, 需要对全河进行必要的勘测工作, 收集有关的地理、地形、地质、水文、气象和社会、经济等方面的资料, 然后应用式 (1-3) 分段估算各河段蕴藏的水能, 绘制出如图 1-3 所示的河流水能蕴藏图。绘图的主要步骤如下。

(1) 从河口到河源, 沿河长 (L) 方向测量枯水水面的高程 (Z), 作出沿河水面高程变化线 $Z-L$ 。

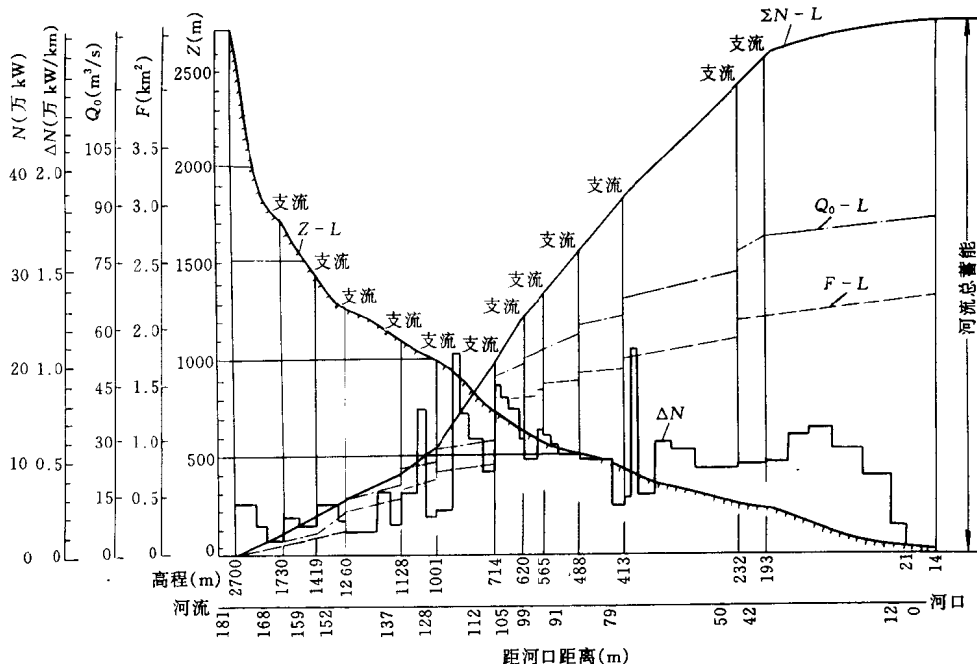


图 1-3 河流水能蕴藏图

(2) 沿河长将河流分为若干段。分段原则为: 较大的支流汇合处, 河道坡降较大变化处, 优良坝址处, 有重要城镇和农田等限制淹没处。得出各河段的长度 ΔL 。

(3) 计算河流各断面处所控制的流域面积 F 和多年平均流量 Q_0 , 并绘制 $F-L$ 和 Q_0-L 线。

(4) 估算各河段的水能蕴藏量。计算时, 考虑到河段两断面处流量不同, 可取其平均值计算河段水流出力, 即

$$N = 9.81 \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) H \quad (\text{kW}) \quad (1-8)$$