

技工学校教材



# 水工建筑物及水电站概论

水利电力部第十四工程局技工学校 聂磊 编

水利电力出版社

JIGONG XUEXIAO JIAOCAI

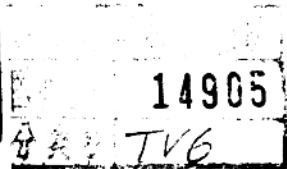
技工学校教材

水工建筑物及水电站概论

水

1684

社



014997 水利部信息所

技工学校教材

# 水工建筑物及水电站概论

水利电力部第十四工程局技工学校 景 磊 编

水利电力出版社

2W66/33

技工学校教材

**水工建筑物及水电站概论**

水利电力部第十四工程局技工学校 张磊 编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 21.25印张 484千字

1987年6月第一版 1987年6月北京第一次印刷

印数0901—7170册 定价3.05元

书号 15143·6371

# 前 言

本教材是根据《1983~1987年技工学校水电类教材编审出版规划》及1982年7月水电部颁水利电力技工学校水工建筑专业《水工建筑物及水电站概论》教学大纲进行编写的。

本教材力图适应技工学校教学特点及学生的认识水平，形成与大、中专同类教材不同的风格，在教材体系及内容安排上作了一些尝试。即根据教学大纲的基本要求，将涉及到的水力学、水文学、工程地质等基础知识与水工建筑物、水电站等专业课的主要内容融为一体，使得本课程成为技工学校水工建筑专业的一门专业基础课，旨在介绍有关水力发电以及大中型水力发电工程的基本概念和常识，同时，对我国在实践中取得的经验和国外水平及发展前景也作适当的介绍。

教材首先讲述水力发电在我国能源开发中的地位，水力发电所涉及到的水力学、水文学概念，水力发电的原理；然后在介绍水力发电枢纽全貌的基础上，以水力发电中的水流路径为线索，逐一讲述大中型水力发电工程中，挡水坝——引水系统——水力发电厂三大部分的一系列水工建筑物及其设施。力求深入浅出，通俗易懂，既坚持少而精的原则，又尽可能照顾全面，以便于教师根据教学大纲的要求，结合本地区、本学校的实际情况进行取舍。

本教材由水电部第十一工程局技校王立达工程师主审，他对于教材编写自始至终给予极大的关注并提出了宝贵的修改意见。此外，水电部第十四工程局颜瑞佛工程师也提了不少积极的建议，有关兄弟技校的同行们参加了本教材编写大纲的讨论，对教材的风格作了有意义的探讨，在此一并致谢！

因本人水平有限，编写时间又很仓促，诚恳希望读者指出本教材存在的缺点和错误。

编 者

一九八五年十二月

# 目 录

## 前 言

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一章 绪 论               | 1   |
| 第一节 水能的优越性及其在我国能源中的地位 | 1   |
| 第二节 我国水电建设的伟大成就和奋斗目标  | 3   |
| 第二章 水力发电中的水力学概念       | 12  |
| 第一节 静水压强              | 12  |
| 第二节 水流运动状态            | 22  |
| 第三节 水流运动的规律           | 27  |
| 第四节 水头损失              | 36  |
| 第五节 水工建筑物中的高速水流问题     | 45  |
| 第六节 水工建筑物中的渗流问题       | 50  |
| 第三章 河流的开发与水力发电        | 57  |
| 第一节 河流的水文特点           | 57  |
| 第二节 河流水利资源的综合利用       | 67  |
| 第三节 水力发电原理            | 73  |
| 第四节 水电站的基本类型          | 77  |
| 第五节 电力系统中的水电站         | 83  |
| 第四章 水力发电枢纽            | 88  |
| 第一节 水力发电枢纽实例          | 88  |
| 第二节 水电站的组成建筑物         | 96  |
| 第三节 水力发电枢纽的勘测设计施工与管理  | 99  |
| 第五章 重力坝               | 106 |
| 第一节 挡水坝概述             | 106 |
| 第二节 重力坝的工作特点和类型       | 109 |
| 第三节 重力坝的主要荷载及其组合      | 111 |
| 第四节 重力坝的安全            | 115 |
| 第五节 重力坝的剖面            | 118 |
| 第六节 重力坝的坝身泄水及其闸门      | 124 |
| 第七节 重力坝的材料及构造         | 133 |
| 第八节 重力坝的地基处理          | 140 |
| 第九节 其他型式重力坝           | 146 |
| 第六章 拱坝                | 151 |
| 第一节 拱坝的工作特点           | 151 |
| 第二节 拱坝的地形地质条件及类型      | 155 |
| 第三节 拱坝的荷载及应力分析方法简介    | 166 |

|     |                              |     |
|-----|------------------------------|-----|
| 第四节 | 拱坝的布置 .....                  | 165 |
| 第五节 | 拱坝的坝身泄水 .....                | 169 |
| 第六节 | 拱坝的构造及地基处理 .....             | 174 |
| 第七节 | 国内外拱坝发展概况与趋向 .....           | 179 |
| 第七章 | 土石坝 .....                    | 185 |
| 第一节 | 土的物理力学性质 .....               | 185 |
| 第二节 | 土石坝概述 .....                  | 192 |
| 第三节 | 土石坝的剖面尺寸及构造 .....            | 197 |
| 第四节 | 筑坝土石料 .....                  | 204 |
| 第五节 | 土坝的渗流分析及稳定分析概念 .....         | 207 |
| 第六节 | 土石坝的地基处理 .....               | 209 |
| 第七节 | 堆石坝 .....                    | 215 |
| 第八章 | 水电站引水系统 .....                | 219 |
| 第一节 | 概述 .....                     | 219 |
| 第二节 | 水电站有压进水管 .....               | 223 |
| 第三节 | 水电站引水隧洞 .....                | 223 |
| 第四节 | 调压室 .....                    | 235 |
| 第五节 | 水电站的高压管道 .....               | 246 |
| 第九章 | 水力发电厂 .....                  | 259 |
| 第一节 | 水力发电厂的作用组成及厂房类型 .....        | 259 |
| 第二节 | 水力发电厂的主要设备<br>——水轮发电机组 ..... | 262 |
| 第三节 | 水力发电厂的辅助设备 .....             | 281 |
| 第四节 | 水力发电厂的布置要求 .....             | 284 |
| 第五节 | 水电站厂房的结构特点 .....             | 297 |
| 第六节 | 水电站厂房的施工过程 .....             | 305 |
| 第七节 | 地下厂房 .....                   | 307 |
| 第八节 | 尾水道 .....                    | 312 |
| 第十章 | 其他水电站建筑物 .....               | 315 |
| 第一节 | 溢洪道 .....                    | 315 |
| 第二节 | 过坝建筑物 .....                  | 324 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 水能的优越性及其在我国能源中的地位

自然界存在着多种能源。河川水流中、潮汐和海浪里都蕴藏着巨大的能量，这些能量是可供人类利用的廉价能源之一，是一种宝贵的物质财富，我们通常称之为水能或水力资源。河川水能是本课程研究的对象。天然的河川水能，如不加以利用，就会白白消耗在克服水流摩擦阻力、冲刷河床、搬运泥沙等方面，这是一种很大的浪费。因此，如何以最有效和最经济合理的方式开发水力资源，兴建各种水力站和水电站，将自然界的水能转变为机械能和电能，用来为四化建设和改善人民的物质生活条件服务，就成为人类征服自然和改造自然的一项伟大斗争。

### 一、水能利用的发展概况

人类在生产实践中，很早就知道利用水能了。二千多年以前我国劳动人民就发明了水车、水磨等简单的水力机械。

我国最早关于利用水力机械的文字记载出现在汉朝，距今已有一千九百多年。当时的水力机械有水碓、水磨、水车等。欧洲国家在六世纪左右才开始制造出这些水力机械。

在十八世纪末，欧洲许多国家先后进行了工业革命，水力原动机在当时的生产中占有重要的地位。但是，发明蒸气机后，水力机械就为它所代替。这是因为当时的水力机械都是将水能转变为机械能直接带动生产机械而加以利用的。这种水力机械力量小、效率低、又无法将能量输送到较远的地方去，从而限制了水力机械的发展，而蒸汽机则可以不受限制地安装在任何地方。

近代水轮机的科学理论，是于十八世纪由著名的数学家欧拉创立的。在俄国、法国、美国和捷克等国家，又先后出现了各种型式的水轮机。在水轮机发展的同时，于十九世纪中、末叶，相继发明了发电机和高压输电技术，于是水力发电事业得到了迅速的发展，在全世界的电力工业中，水力发电所占的地位越来越重要。

### 二、水能的优越性及其在我国能源中的地位

进入二十世纪后，水电事业有了更大的发展。特别是近二十年来，随着水电勘测、设计、科研和施工技术的提高，现代化施工机械的采用，大型水轮发电机组和超高压远距离输电技术的发展，国外兴建的大型水电站越来越多，据统计，1950年装机100万kW以上的大型水电站仅有2座，至1976年，已建和正在施工的就达109座。我国的情况亦是如此。其原因在于水力发电较之其它发电型式有着一系列的优越性。

#### (一) 水能是我国三大常规一次能源之一

国际上对于能源通常有“一次”和“二次”之分。一次能源，是从自然界直接开发来的，如煤、石油、天然气、核能、太阳能、水能和风能等等。二次能源是从自然界开发后

再经人工加工改造而来的，如汽油和电等等。水能属于一次能源，电能属于二次能源，水电则是一次能源转化为二次能源。

我国幅员辽阔，地形高差大，降水量较多，众多河流蕴藏着丰富的水能资源。经1977年至1980年的全面普查，统计水能蕴藏量在1万kW以上的河流共3019条，包括部分1万kW以下的河流，统计全国（未包括台湾省）水能理论蕴藏量为6.8亿kW，合每年5.9万亿kW·h；可能开发的水电总装机容量为3.7亿kW，每年可发电量1.9万亿kW·h，居世界首位，相当于火电厂每年消耗7亿t标准煤，或10亿t原煤，或5亿t原油。如仅按100年计算，即相当于1000亿t原煤，或500亿t原油，数量十分可观。这还没考虑到煤和石油的开采系统问题。由此可见，我国把水能与煤炭、石油并列为三大常规一次能源，具有极为重要的意义。

我国的煤炭储量也很丰富，居世界第三位。石油蕴藏量在广泛勘探中，也大有希望。但是煤、油、气除可当作一般能源外，还是重要的化工原料和战略资源，用它作燃料烧掉非常可惜，而且当前利用这些燃料的热效率又相当低。因此，尽可能利用我国大量尚未开发的水能，来代替一部分宝贵的矿物能源，以便留给子孙后代，是需要从长计议、全面考虑的一个战略问题。

### （二）水能资源是技术经济条件最好的可再生能源

水能资源是随着水循环（降水——径流——蒸发——降水）周而复始地不断再生的能源。而煤、油、气、铀等矿藏能源，是经过亿万年的地质变迁而形成的，不易再生，一般称为不可再生的能源。这种能源每个国家或地区有一定的储量，开发利用掉一部分，储量就减少一部分，总是越用越少。水能资源则不然，不去开发利用它就等于浪费能源，真可谓“滚滚江水向东流，流的都是煤和油”。我们开发利用它就是让自然资源为人民造福，而且可以长期利用，不会减少。

其它可再生能源，如太阳能、风能、潮汐能、波浪能等，它们在地区分布上很分散，在时间上很不稳定，对其开发利用尚在研究试验阶段，开发成本非常高。而水力发电是技术上已经完全成熟、百余年来行之有效的常规可再生能源，其经济性也比其它能源为优越，应当首先得到开发利用。

我国近年来能源供应十分紧张，今后相当时期内还难以根本改变这种局面。电力工业是煤炭和石油的大用户，煤炭和石油供应不足将会限制电力工业的发展。能源和电力供应状况决定了我国今后经济发展的速度。以水电代油电，以水电带煤电，是缓和我国石油和煤炭供应紧张的有效措施。

### （三）水电建设是一次能源和二次能源同时完成

兴建水电站是把水能这个一次能源同时转变成二次能源——电力，相当于兴建煤矿、运煤铁路和火电厂的全过程。如果这样来考虑基建投资和工期，则两者差不多。

水电站是一次性建设的能源，建成后利用天然的水能发电，不需花费燃料。兴建时是密集型劳动，所需劳动力较多，但建成后运行中所花劳动很少，总的劳动生产率较高。而煤矿、运煤铁路和火电厂在建成后，运行过程中还要不断开拓工作面，挖煤、运煤、烧煤、出灰，要不断花费劳动，总的劳动生产率较低。从煤炭开采、洗选、运输到火电厂运行中的厂用电，能量损耗和消费也较水电站（包括输电损失在内）为大。

在国民经济长期计划综合平衡中，需要把水电开发与煤炭石油那样当作一次能源，而且把水电当作可以同时变为二次能源来考虑，从而把水电建设搞上去。

#### （四）水能是一种廉价的能源

水电站一旦建设起来，就可以源源不断地把自然界的水能转变为电能。在运行中不需要天天不断地供应燃料，日常运行所需要的只是对土建工程设施和机电设备的保养、维修费用和运行人员的工资支出。因此水电站单位kW电的发电成本远比火电站为低。从国际上的经验来看，凡是水电比重高的国家和地区，其电价总是较低些。

廉价的水电往往对一个地区（甚至一个国家）的经济发展产生重大的影响，特别是对一些耗电多的工业。挪威的电气化学和电气冶炼工业，美国的中部和西北部的原子能工业，都是以廉价的水电为支柱而发展起来的。我国有色金属和稀有金属的矿藏十分丰富，如铝、镁、铅、锌、铜、钒、钛等藏量都很多，而且大部分矿藏分布在西部和南部水能资源丰富的地方。我国化工原料矿藏资源也很丰富，如磷、石灰石、炼焦煤等，无烟煤藏量也很多。这些原料的开采耗电很多，它们的生产成本很大程度决定于电价。水电的开发，可以促进我国耗电工业的发展，并为国家赚取外汇。

#### （五）水能是干净的能源，综合利用好处多

水能是三大常规一次能源中最干净的能源，对空气和水都不污染，这是一个很大的优点。建设水电站对环境的影响，有不利的方面，也有有利的方面，最大的问题是水库淹没农田和居民迁移，在我国地少人多的情况下，需要慎重对待，尽可能减少淹没损失。同时对过船、过鱼、过木，都需作适当安排。建设水电站对生态影响过去注意不够，今后应予以重视。

在我国经济发展至本世纪末工农业年总产值翻两番的总目标下，水力发电作为一次能源开发和电力工业的一个组成部分，应当尽可能多作贡献。

目前，我国水能资源的开发利用程度按电价算仅约4.5%，水能在总的一次能源生产中所占比重也仅4%左右。这两个数字与世界各国相比都是较低的，也比一些发展中国家低，例如巴西分别为13%和27%。

我国优先开发水电有很多有利条件，初步设想，到公元2000年，我国可能开发水能资源的利用程度，可由现在的4%相应增长至13%以上，水能占一次能源总产量的比重，可由4%提高到8%左右，水电在总发电量中的比重，应比1974年至1983年内水电比重平均21.6%略有提高。

## 第二节 我国水电建设的伟大成就和奋斗目标

### 一、伟大的成就

我们伟大的社会主义祖国已经走过了三十多年的历程，虽然道路曲折，但成绩巨大，前途光明。我国经济建设事业蓬勃发展，祖国的面貌发生了很大的变化，水电建设事业也得到迅速发展。现在，我国已经走上了现代化大规模建设的道路，进一步加速水能资源的开发进程，将为祖国的四化建设作出更大贡献。

旧中国在帝国主义、封建主义和官僚资本主义的长期统治下，沦为一个半殖民地半封建性质的国家。工农业生产和文化科学技术落后，人民生活贫困，旧中国的电力工业也不可避免地带有殖民地、半殖民地的性质。中国最早的火力发电是由外国人于1882年在上海租界建立了上海电光公司，安装了一台供应16盏弧光灯的发电机。举办水力发电还要比火力发电晚30年，始于1912年，在离云南昆明40km的螳螂川上建成石龙坝水电站，电站安装两台240kW的水轮发电机组，设计和设备也都是外国人搞的。从上海第一台发电机开始，到1949年新中国成立，旧中国搞了68年电力工业，全国年发电量仅43亿kW·h，平均每人每年仅8.6kW·h。设备残缺不全，分布极不均匀，边远省区几乎没有电，全国农村更是处在点蜡烛和油灯的时代。

1949年中华人民共和国成立了，党中央国务院十分重视电力工业的发展，党和国家领导人亲自主持会议，制定办电方针，亲临大江大河视察，研讨治理长江、黄河和开发水力资源的规划。三十多年来，电力工业从小到大，从沿海到内地、从城市到乡村，从完全依靠外国搞设计、施工和提供设备到基本立足国内，得到了蓬勃的发展，一套完整的、初具规模的电力工业体系迅速建立起来了。现在全国五天的发电量就超过旧中国全年的发电量，已由解放初期占世界第二十五位上升到第六位，即仅次于美国、苏联、日本、西德和加拿大。

我国是世界上水能资源最丰富的国家，但旧中国水电建设的发展极为缓慢。自1912年修建第一座小水电站起，到1949年解放时，全国水电装机只有16.3万kW，年发电量只有7.1亿kW·h。而到1983年底，全国已建成大、中、小型水电站近9万座，总装机容量已达2416万kW，年发电量达864亿kW·h，分别相当于建国初期的148倍和122倍；累计发电8082亿kW·h，等于为国家节省4.85亿t原煤，对支援工农业生产的发展起了重要作用。

回顾三十多年来水电建设的历程，我们取得的成就主要体现在以下几个方面。

首先是查清了我国的水能资源。在1955年和1977年，我们先后两次进行了全国性的水能资源普查工作，特别是第二次普查，主要目的是查清我国实际可能开发的水能资源情况，经过广泛动员，集中力量，历时三年才完成了普查任务，达到了预定的工作深度和成果精度。在普查的基础上，先后编制了长江、黄河、淮河、海河、珠江、辽河及松花江等七大江河的规划报告、技术经济报告或规划要点。同时与各大江河流域规划紧密配合，对水能资源丰富的各重点河流、河段，如红水河、黄河上游、长江干流和支流中的汉江、沱江、乌江、岷江、大渡河等，进一步编拟了近期开发规划。由于有河流规划作指导，在龙溪河、古田溪、以礼河、猫跳河、西洱河、浑江等河流上成功地进行了全流域的梯级开发；在黄河上游刘家峡至青铜峡段也连续修建了4座水电站，都取得了较好的经济效益。

其次，培养壮大了水电建设队伍，发展了技术装备，并通过工程实践，逐步提高了科学技术水平。我们已经在各大江河上成功地修建了新安江、三门峡、丹江口、刘家峡、龚咀、乌江渡等大型水电站。其中，修建在岩溶地区的乌江渡水电站，最大坝高为165m，帷幕灌浆最大深度达200m，灌浆压力达588N/cm<sup>2</sup>；装机116万kW的刘家峡水电站，最大坝高为147m，单机容量为30万kW，地下厂房最大开挖跨度为31m；凤滩水电站空腹重

力拱坝,最大坝高112m,坝内腹腔为 $255.8 \times 20.5 \times 40.1\text{m}$ ;碧口水电站土石坝最大坝高为101m,混凝土防渗墙最大深度为65.5m。还有,已建成的以礼河三级水电站,最高水头为629m;渔子溪一级、西洱河一级和南桤河三级水电站的引水隧洞长度都在8km以上。这些都是我们已经取得的成就。

当前我国正在建设中的大型水电站有14座。其中,修建在长江干流上的葛洲坝工程,装机271.5万kW,1981年已成功地进行了大江截流,现在二江电站已经全部投产,大江工程正在顺利进展;修建在黄河上游被称为“龙头”的龙羊峡水电站,重力拱坝最大坝高为177m,最大库容为247亿 $\text{m}^3$ ,机组单机容量为32万kW;东江水电站混凝土双曲拱坝最大坝高为157m;鲁布格水电站堆石坝最大坝高101m;白山水电站装机150万kW(包括二期60万kW),其地下厂房断面达 $121 \times 24 \times 54\text{m}$ ,现已投产2台机组共60万kW。还有天生桥二级水电站的三条引水隧洞,洞径8.7m,每条直线长9.52km,将采用掘进机开挖,等等。这些都说明我国水电建设的技术将有进一步发展。我国装机10万kW以上的已建和在建水电站分布情况见图1-1及表1-1。

通过上述一系列工程建设的实践,我们在水电建设的科技领域中,对于坝工建筑、坝基处理、高速水流泄洪消能、地下工程开挖、大流量的截流和导流施工以及大型闸门与水轮发电机组的设计、制造、安装等方面,都取得了成功的经验,促进了科学技术的发展,有些方面已接近世界水平。

第三,提高了对水电发展规律的认识,积累了经验,主要有:

(1)要切实做好河流的统一规划工作和水电建设的布局安排,明确树立优先开发水电的战略思想。为取得水能资源开发最大的综合效益,必须切实加强河流的统一规划工作,认真做好全面安排,妥善处理好发电、防洪、灌溉、航运、水产、城市与工业供水等各方面的关系。

(2)应根据我国国情制订相应的发展水电的技术经济政策,贯彻以大型为骨干,大、中、小相结合的方针,并采取有效措施,以充分发挥各方面开发水电的积极性。大型骨干水电站具有巨大的综合效益,是我们的重点开发对象;开发小水电投资少,见效快,有利于解决广大农村的迫切用电需要。

(3)必须尊重科学,重视调查研究,坚持基本建设程序,认真做好前期工作,按合理工期组织施工,确保工程质量。要牢固树立“百年大计,质量第一”的思想,加强设计的监督作用,提倡严细的施工工艺作风。

(4)必须明确以提高经济效益为中心的指导思想,加强队伍建设,不断提高水电建设队伍的素质。要抓好设计方案的优选;加强施工管理,提高劳动生产率,降低消耗,缩短工期,节约投资;提高经营思想,提倡竞争,鼓励先进,增强队伍活力。

(5)必须大力推进科学技术的发展,努力提高水电建设的水平和管理水平。三十多年来,我国水电科学技术已取得很大进步,但是与世界先进水平相比,还有相当的差距。我们的管理水平、劳动生产率、装备生产率、设备使用率等都还比较低,差距很大,必须努力缩小这个差距。为此,特别需要重视人才的培养,积极学习和引进国外先进技术,加强智力开发。

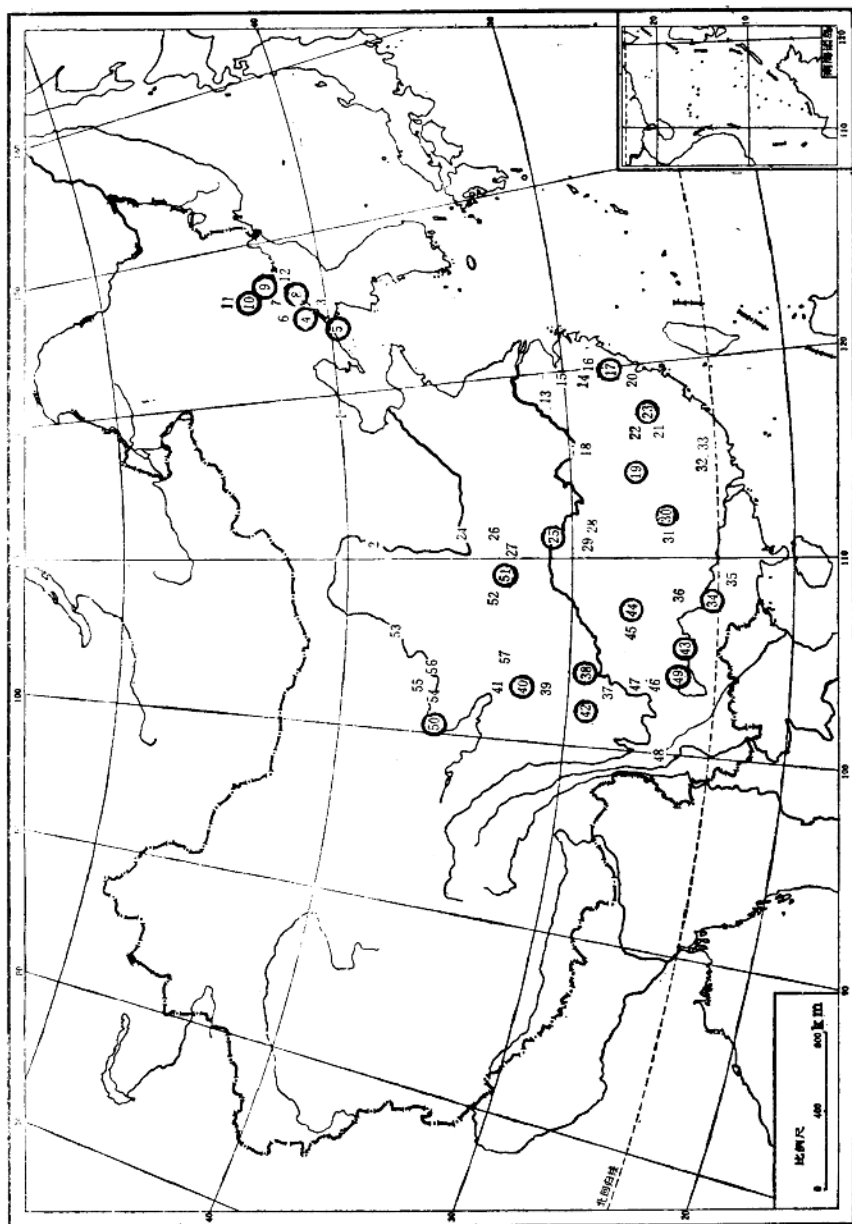


图 1-1 装机10kW以上的已建和在建水电站

注：下带○为已建水电站，带○为在建水电站。编号和表1-1对应。

表 1-1

装机10万kW以上的已建和在建水电站

| 编<br>号 | 电站名称   | 所在河流  | 装 机<br>容 量<br>(万kW) | 设 计 年<br>发 电 量<br>(亿kW·h) | 编<br>号 | 电站名称      | 所在河流  | 装 机<br>容 量<br>(万kW) | 设 计 年<br>发 电 量<br>(亿kW·h) |
|--------|--------|-------|---------------------|---------------------------|--------|-----------|-------|---------------------|---------------------------|
| 1      | 潘 家 口  | 滦 河   | 15.0                | 3.7                       | 30     | 东 江       | 来 水   | 50                  | 13.21                     |
| 2      | 天 桥    | 黄 河   | 12.8                | 6.23                      | 31     | 双 牌       | 温 水   | 13.5                | 6.2                       |
| 3      | 水 丰*   | 鸭 绿 江 | 63/2                | 39.3/2                    | 32     | 新 丰 江     | 新 丰 江 | 29.25               | 11.8                      |
| ④      | 水丰(扩建) | 鸭 绿 江 | 13.5                | 0.85                      | 33     | 枫 树 坝     | 东 江   | 15                  | 6.06                      |
| ⑤      | 太 平 湾* | 鸭 绿 江 | 19/2                | 7.7/2                     | 34     | 大 化       | 红 水 河 | 40                  | 20.6                      |
| 6      | 桓 仁    | 浑 江   | 22.25               | 4.97                      | 35     | 西 律       | 郁 江   | 23.44               | 10.43                     |
| 7      | 太 平 哨  | 浑 江   | 16                  | 4.3                       | 36     | 麻 石       | 融 江   | 10                  | 4.5                       |
| ⑧      | 老 虎 哨* | 鸭 绿 江 | 39/2                | 12/2                      | 37     | 龚 咀       | 大 渡 河 | 70                  | 35.3                      |
| ⑨      | 白 山    | 第二松花江 | 90                  | 20                        | 38     | 铜 街 子     | 大 渡 河 | 60                  | 32.1                      |
| ⑩      | 红 石    | 第二松花江 | 20                  | 4.4                       | 39     | 渔子溪一级     | 渔 子 溪 | 16                  | 9.9                       |
| 11     | 丰 满    | 第二松花江 | 55.4                | 18.9                      | 40     | 渔子溪二级     | 渔 子 溪 | 16                  | 8.9                       |
| 12     | 云 峰*   | 鸭 绿 江 | 40/2                | 17.5/2                    | 41     | 映 秀 湾     | 岷 江   | 13.5                | 7.13                      |
| 13     | 陈 村    | 青 弋 江 | 15                  | 3.18                      | 42     | 南 桤 河 三 级 | 南 桤 河 | 12                  | 6.35                      |
| 14     | 新 安 江  | 新 安 江 | 66.25               | 18.6                      | ④3     | 天生桥二级     | 南 盘 江 | 80                  | 46.7                      |
| 15     | 富 春 江  | 富 春 江 | 29.72               | 9.23                      | 44     | 乌 江 渡     | 乌 江   | 63                  | 33.4                      |
| 16     | 湖 南 镇  | 乌 溪 江 | 17                  | 5.4                       | 45     | 猫跳河五级     | 猫 跳 河 | 10.2                | 3.83                      |
| ①7     | 紧 水 滩  | 匪 江   | 20                  | 5.1                       | 46     | 以礼河三级     | 以 礼 河 | 14.4                | 7.16                      |
| 18     | 柘 林    | 修 水   | 18                  | 6.3                       | 47     | 以礼河四级     | 以 礼 河 | 14.4                | 7.19                      |
| ①9     | 万 安    | 赣 江   | 40                  | 10.5                      | 48     | 西洱河一级     | 西 洱 河 | 10.5                | 4.41                      |
| 20     | 古田溪二级  | 古 田 溪 | 13                  | 4.42                      | ④9     | 鲁 布 格     | 黄 泥 河 | 60                  | 27.5                      |
| 21     | 安 砂    | 九 龙 溪 | 11.35               | 6.14                      | 50     | 龙 羊 峡     | 黄 河   | 128                 | 60                        |
| 22     | 池 潭    | 金 溪   | 10                  | 4.88                      | 51     | 安 康       | 汉 水   | 80                  | 28.5                      |
| 23     | 沙 溪 口  | 沙 溪 江 | 30                  | 9.1                       | 52     | 石 泉       | 汉 水   | 13.5                | 6.5                       |
| 24     | 三 门 峡  | 黄 河   | 25                  | 13.9                      | 53     | 青 铜 峡     | 黄 河   | 27.2                | 12.8                      |
| 25     | 葛 洲 坝  | 长 江   | 271.5               | 140                       | 54     | 刘 家 峡     | 黄 河   | 116                 | 57                        |
| 26     | 丹 江 口  | 汉 水   | 90                  | 38.8                      | 55     | 盐 锅 峡     | 黄 河   | 35.2                | 17                        |
| 27     | 黄 龙 滩  | 堵 河   | 15                  | 7.59                      | 56     | 八 盘 峡     | 黄 河   | 18                  | 10.94                     |
| 28     | 柘 溪    | 资 水   | 44.75               | 22.9                      | 57     | 碧 口       | 白 龙 江 | 30                  | 14.63                     |
| 29     | 凤 滩    | 西 水   | 40                  | 20.8                      |        |           |       |                     |                           |

\* 按中朝两国各半统计。

在三十多年的水电建设发展过程中，我们也曾走过曲折的道路，特别是在“大跃进”和十年动乱时期，受“左”的路线干扰，影响了水电建设的正常发展，这些教训值得认真记取。

## 二、奋斗目标

### (一) 我国的水能资源及其评价

#### 1. 水能资源及其分布

如前所述，我国众多的河流蕴藏着丰富的水能资源。水能蕴藏量取决于河道的落差及径流。我国地势西高东低，由西南部的青藏高原向东逐步下降，而降水量则由东南向西北逐步减少，西部地区河流落差大，南部地区径流丰富，形成水能资源在地区分布上的不均匀性。

河流的水能理论蕴藏量系根据各河流所有落差及全部天然径流求出。由于技术上和经

济上种种条件限制,不可能全部得到利用。统计全国可能开发的水能资源,总装机容量3.7亿kW,年发电量1.9万亿kW·h。在地区分布上,与理论水能蕴藏量一样很不平衡。西南地区比重较大,大部分集中在该地区靠近东部,距离川、云、贵三省的用电中心相当近,向华中和华北输电距离不算太远。西北地区主要集中在黄河上游,偏于该地区的东部,距离用电中心也不是太远。在广大的西藏、新疆、内蒙古等人口稀少的边远地区,所有可能开发的水能资源并不多,分地区统计见表1-2。

表 1-2 全国可能开发水能资源分地区统计表  
(单站装机容量500kW以上)

| 地 区 | 可 能 开 发 水 电 站    |                    | 电站占全国比重<br>(%) |
|-----|------------------|--------------------|----------------|
|     | 装 机 容 量<br>(万kW) | 年 发 电 量<br>(亿kW·h) |                |
| 西 南 | 23234            | 13050              | 67.8           |
| 中 南 | 6744             | 2974               | 15.5           |
| 西 北 | 4194             | 1905               | 9.9            |
| 华 东 | 1790             | 688                | 3.6            |
| 东 北 | 1199             | 384                | 2.0            |
| 华 北 | 692              | 232                | 1.2            |
| 合 计 | 37823            | 19233              | 100.0          |

我国的水能资源分布不均,与煤炭和石油资源的分布情况可以相互配合。总的讲,南方水多,北方煤多;内地水多,沿海油多。各大区中,西南、中南、华北、西北都有较丰富的能源,而华东和东北的能源较缺。

## 2. 对各地区可能开发水能资源的评价

### 西南地区

西南地区的水能资源,主要集中在金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、澜沧江等河流上。

(1) 金沙江 金沙江是长江在宜宾以上的干流,径流充沛,落差大而集中。曾经勘探研究过,从虎跳峡至宜宾河段,上段在云南北部,下段流经云南和四川边境,经规划可能开发8座大型水电站,共计装机容量4567万kW,年发电量2521亿kW·h,是我国可能开发水能资源最为集中的河段。本河段各梯级电站具有一定的径流调节能力,而水库淹地与移民数量不大。但各级坝址大都位于深山峡谷之中,有的地震烈度较高。而且工程规模较大,应安排在后期来建设。

(2) 雅砻江 雅砻江是金沙江的一大支流,也是我国水能资源最集中的河流之一。工程地质条件较好,具有建高坝的条件,而淹没损失很小。下游的二滩及桐子林水电站距渡口市仅约40km,交通方便,供应攀枝花钢铁公司冶炼钒钛所需大量廉价电力,是个理想地点。这两个坝址是当前重点勘探对象。中游有一个大河湾,打隧洞16km,裁弯取直可取得落差300m,在其上游可再建高坝水库,调节径流和发电,但目前交通条件较差。上述4座水电站共可装机近1000万kW,除可向附近地区供电外,可考虑向华东输电,距离约1700km,采用超高压直流输电,国外已有这样的先例。

(3) 大渡河 大渡河是岷江的大支流, 径流丰沛而稳定, 落差也很大。上中游属高山峡谷区, 工程地质条件一般较好, 但有些坝址覆盖较厚, 地震烈度较高。多数坝址的交通条件比较方便, 建库淹没损失较小, 但库容不大, 调节性能不太好。该河下段已建龚咀水电站, 正建铜街子水电站。在中游拟建各梯级电站, 距成都仅160~240km, 地理位置适中。

(4) 乌江 乌江为长江南岸的大支流, 大部分在贵州境内, 下游经四川注入长江。大部分基岩强度高, 覆盖浅, 具有若干建高坝的坝址, 且建库后淹没损失不大。主要问题是石灰岩地区岩溶发育, 要注意坝址及水库防渗问题。已建有乌江渡水电站。近期拟建的对象为上游的东风水电站和下游四川境内的彭水电站。

(5) 澜沧江 澜沧江为东南亚国际河流湄公河上游。沿河多为峡谷, 河谷深切, 径流充沛, 有较好的地形、地质条件, 可兴建高坝, 淹没损失小。云南境内中游河段规划的各级电站距昆明、渡口等负荷中心不远, 均在250km以内, 交通较方便。有两个坝址漫湾和小湾均在勘探研究中, 近期拟建漫湾水电站。

#### 中南地区

(1) 长江干流 长江干流正在建葛洲坝水电站, 是一座低水头径流电站, 装机容量很大, 枯水期出力较少。因受航运限制水位不能急剧变动, 所以它不能调峰。规划中的三峡工程, 将是一座巨型水电站。

(2) 湖南省洞庭水系 湘、资、沅、澧诸水, 可能开发的水电站不少, 一般来说, 交通条件及施工条件较好, 距负荷中心较近。如在资水上已建柘溪水电站, 沅水支流酉水已建凤滩水电站以及湘江支流东江正建的东江水电站和其他一些中型水电站。

(3) 湖北省的汉江中下游 已建丹江口水电站和支流上一些水电站。清江最近拟开发。这里石灰岩地区的岩溶问题较复杂。

(4) 河南省黄河下游 已建三门峡电站, 拟建小浪底电站, 但泥沙太多, 水轮机及水工建筑物的磨损都较麻烦。

(5) 两广地区的珠江流域 东江已基本开发, 北江水能资源不多, 主要水能资源在西江, 而以红水河干流最为集中, 且开发条件最好。红水河干流地形、地质条件好, 交通方便, 上游河段有兴建大型调节水库的条件, 中下游宜于修建中低水头电站。本河段可建10座梯级电站(包括南盘江广西与贵州边界上的天生桥电站), 总装机容量超过1000万kW。现正建大化水电站和天生桥电站, 并陆续修建其他工程。它们可以供电广西和广东, 发展广西的炼铝和其他有色金属工业。

#### 西北地区

可能开发的水能资源以黄河干流的龙羊峡至青铜峡河段最为集中。本河段地形束放相间, 具有许多优良坝址。龙羊峡、刘家峡、黑山峡3座大型水库分别位于本河段的上、中、下游, 对径流可进行较充分的调节, 径流利用率高, 供电可靠程度高, 还有防洪、灌溉、给水等综合利用效益。各梯级电站工程量、水库淹没损失也较小。单位kW投资为我国各地区中最少的。

现已建成刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡4座大水电站, 对西北地区的供电起了很

大作用。正在上游建具有多年调节水库的龙羊峡水电站，并在研究下一个兴建的工程。该地区16级水电站如全部建起来，共有装机容量1200余万kW，除供电本地区外，可考虑向华北送电，与火电相配合。

陕西省的汉江上游可建一些大中型水电站。已建成的石泉水电站，坝址地质条件较好。正在建的安康水电站坝址地质条件较差。另外还有几个坝址条件一般。

#### 华东地区

可能开发水电站主要集中于福建、浙江、江西三省，以福建最为丰富。本地区大型电站不多，以中小型电站居多数。一般来说，交通条件和地质条件均较好，但淹没问题较大。除已建成一批大中型水电站外，闽江、瓯江、赣江等河流尚待开发。

#### 东北地区

已建和在建水电站较多，已开发26%，待开发水电站除黑龙江干流位于中苏边界，近期难以开发外，其他分布于南部的第二松花江、鸭绿江及北部的牡丹江和嫩江，一般距用电中心较近，交通尚方便。但大都为中型电站，造价较高。在能源较缺的东北地区也值得开发。

#### 华北地区

黄河中游纵贯山西、陕西两省交界处，本河段地理位置适中，但水少沙多，一些较大电站（如龙门）工程量大，问题复杂。海河、滦河流域可能开发水能资源主要分布于各支流山峡段，如滦河、永定河、白河等，还有一些电站可供开发，距用电中心近，但电站规模较小。

总之，我国的水力资源十分丰富，但开发还很不够，在可开发的3.7亿kW装机容量中，已发电容量为2416万kW，开发程度仅有6%（见图1-2）。

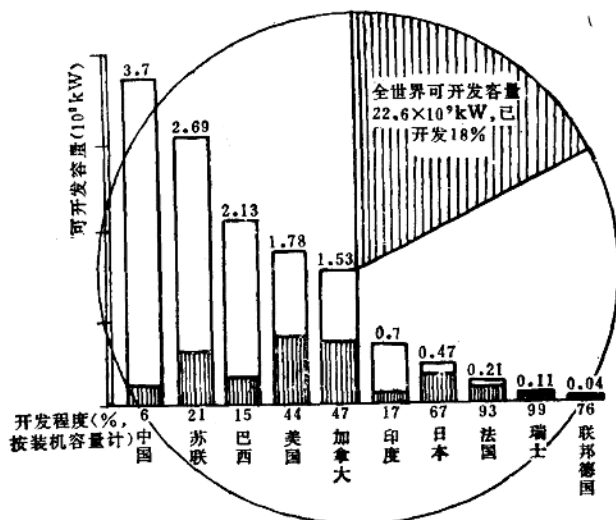


图 1-2 我国水能资源开发程度和世界一些国家的比较 (1982年初资料)

## (二) 水电建设者面临着光荣而艰巨的任务

三十多年来我国水电建设所取得的成绩是巨大的,已经为今后的工作打下了基础,准备了条件。为实现到本世纪末工农业总产值翻两番的宏伟目标,电力建设发展速度至少应当与国民经济发展同步,并要力争快一些。水电是电力建设的重要组成部分,更应优先开发。我们的奋斗目标是:在1980年水电装机2032万kW、年发电量580亿kW·h的基础上,到2000年达到水电装机8000万kW、年发电量2500亿kW·h,力争实现翻两番。

按这个奋斗目标,除在建工程外,水电开发的重点将集中在红水河流域、黄河上游、长江中上游干支流,以及澜沧江等水能资源集中的“富矿”地区;在华东、中南和东北地区也将继续修建一些大中型水电站。我国东部负荷集中地区的抽水蓄能电站将有所发展,一些已建成的大型水电站还将进一步扩大装机和进行技术改造。

在这些即将兴建的大型水电站中,有许多宏伟的工程项目。如举世闻名的三峡工程,总装机容量为1300万kW,主体工程混凝土量达2000多万 $m^3$ ,多级船闸提升高度为107m,泄洪能力11万 $m^3/s$ ,都将达到世界水平。雅砻江二滩水电站混凝土拱坝高达245m;天生桥一级水电站土石坝高达180m;还有龙滩、构皮滩、拉西瓦等水电站的大坝坝高都将超过200m。三峡和二滩水电站水轮发电机组单机容量将达到50~60万kW。这些都标志着我国水电建设必将进入一个新的发展阶段。

随着这些宏伟工程的修建,给我们提出了一系列复杂的技术课题。如关于200m以上高混凝土坝和150m以上高土石坝的设计与施工;近百米深的覆盖层坝基防渗处理;大跨度和上百万立方米的地下厂房和隧洞开挖;上万立方米每秒大流量的导流工程;上千万千瓦的电站厂房的设计和施工,以及单机容量50万kW以上的大机组制造与安装;还有交流500kV、750kV和直流 $\pm 500kV$ 超高压输变电线的设备等等,都有待于我们组织攻关,努力突破,取得水电科学技术发展的新成就。展望未来,摆在我们面前的任务将是十分光荣和艰巨的。

为加速水电开发,除了积极开辟投资渠道和增加水电投资比重外,对我们来说,还必须以提高经济效益为中心,努力选择最优建设方案,缩短建设周期,降低工程造价。

光辉的成就令人鼓舞,宏伟的目标催人奋进,祖国的四化建设急需电力,丰富的水力资源等待我们去开发。水力发电,大有可为!光荣的水电建设者们应该胸怀远大目标,脚踏实地;面向未来,刻苦学习,努力攀登水电科学技术新高峰!