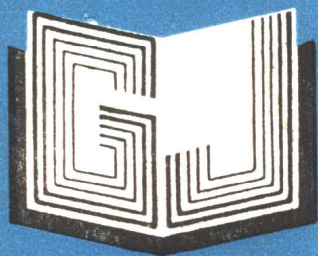


990084



高等学校教材



水利水电规划

第二版

河海大学 周之豪

沈曾源

清华大学 施熙灿

天津大学 李惕先

合编

2
32



990084

高等学校教材

水利水能规划

(第二版)

河海大学 周之豪

沈曾源

清华大学 施熙灿

天津大学 李惕先

合编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书在介绍水资源综合利用的基础上,着重介绍兴利径流调节、洪水调节、经济计算与评价、水电站及水库主要参数选择的原理和方法。同时,还介绍了水库群的水利水能计算和水库调度方面的基本知识。

本书为高等学校水利水电工程建筑专业的必修课教材,可供水资源水文、水资源技术经济、农田水利工程和水资源规划与利用等专业教学参考,也可供水利水电技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水利水能规划/周之豪等编. —2版. —北京:中国水利水电出版社, 1996
高等学校教材

ISBN 7-80124-255-6

I. 水… I. 周… III. ①水利规划-高等学校-教材 ②水力能源-水利
资源开发-水利规划-高等学校-教材 IV. TV21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 17455 号

书 名	高等学校教材 水利水能规划 (第二版) 河海大学 周之豪
作 者	沈曾源 合编 清华大学 施熙灿 天津大学 李惕先
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	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 12 印张 275 千字
版 次	1986 年 11 月第一版 1997 年 5 月第二版 1997 年 5 月北京第四次印刷
印 数	0001—2970 册
定 价	9.40 元

第一版前言

水利水电工程建筑专业（简称水工专业）教学计划中的工程水文和水利水能规划两门课，1981年前曾合称为水文及水利水电规划课程，与其相应的第一轮统编教材是《水文及水利水电规划》，此教材分上、下两册：上册为《工程水文》、下册为《水利水电规划》，于1981年2月出版。

1982年12月水电部在南京召开高等学校水利水电类专业教材编审委员会正副主任扩大会议。会议审定各专业的教学计划时，一致同意将《工程水文》及《水利水电规划》分开设课，并将后者改称为《水利水能规划》。同时，会上讨论“1983~1987年教材编审出版规划”（即第二轮教材出版规划）时，同意将第一轮教材《水文及水利水电规划》下册修订再版，作为水工专业“水利水能规划”课程的统编教材。

由于本教材的编写学时（42学时）仅为第一轮教材的 $\frac{3}{4}$ ，计划稿面字数（16.8万）仅为第一轮的二分之一，因此，修订教材时不得不对教材内容作较多的删节，这样才有可能对课程内容作必要的充实与更新。我们通过调查研究，广泛征求意见后，才提出教材编写大纲。1983年10月在天津大学召开的“水电站教材编审小组”扩大会议上，对编写大纲进行了充分的讨论，强调在教材中应结合专业要求，着重介绍水利水能规划方面的基本理论、基本知识和基本计算方法，较深的内容只能在专业选修课中再作介绍。

本教材由河海大学周之豪负责主编。清华大学施熙灿、天津大学李惕先、河海大学沈曾源参加编写。各章修订人为：绪论、第七章和第八章由周之豪编写；第一章和第三章由沈曾源编写；第二章由李惕先编写；第四章、第五章和第六章由施熙灿编写。

本教材由中国水力发电工程学会理事长、清华大学水利系施嘉炀教授主审。施嘉炀教授对教材提出了许多宝贵意见，这对提高教材质量很有帮助，编者表示衷心感谢。此外，还要感谢向编者提供资料、提出意见和建议以及关心本教材编写、出版的所有同志。

对于教材中的不足之处，希望读者批评指正，提出改进意见，并函寄南京市河海大学水力发电工程系。

编 者

1985年11月

第二版前言

本书是水利水电工程建筑专业（简称水工专业，亦称水建专业）必修课“水利水能规划”（有些学校称为“水利水电规划”）的教材。该课程在1981年前曾和工程水文合在一起称“水文及水利水电规划”，其相应教材是《水文及水利水电规划》，分为上、下两册，上册为《工程水文》，下册为《水利水电规划》。水利水能规划课程单独设置后，在第二轮教材出版规划（1983~1987年）中的相应教材就是《水利水能规划》，1986年出版。

《水利水能规划》从1986年出版发行以来，得到使用单位的一致好评，因此在1992年优秀教材评选活动中同时得到水利部和电力工业部的奖励。正因为如此，我们在编写第三轮教材时，仍以第二轮教材为基础进行修订，修订教材时，吸取了《中华人民共和国水法》和新出版或修订再版的有关规程规范中的新规定，并且尽可能地更新或补充了有关资料，当然，也改正了原教材中存在的不当之处。

本教材由河海大学周之豪、沈曾源，清华大学施熙灿，天津大学李惕先等四位教授合编，周之豪负责统稿。各章编写人为：周之豪编写绪论、第七章和第八章；沈曾源编写第一章和第三章；第二章由李惕先编写；施熙灿编写第四、五、六章。

需要说明：第三轮教材出版规划中本教材的主审人仍为中国水力发电工程学会名誉理事长、清华大学教授施嘉炆先生。施老对本教材体系的完善、重点的把握、内容的取舍都提出了很多有益的意见，对我们编者的工作有很大的帮助，我们一直铭记在心，并表示由衷的感谢。这次实在由于他年事已高，不能再为我们审阅教材，经他推荐并由水利部科教司最后确定，本教材由清华大学林翔岳教授主审。林教授对教材送审稿认真审阅，提出了许多好意见，编者们表示衷心感谢。此外，我们仍要感谢关心和支持本教材编写、出版的所有领导、同行专家和编辑同志。

对于教材中的不足之处，希望读者批评，并提出改进意见。

编者

1996.6.1

目 录

第一版前言	
第二版前言	
绪 论	1
第一章 水资源的综合利用	7
第一节 概述	7
第二节 水力发电	8
第三节 防洪与治涝	11
第四节 灌溉	13
第五节 其他水利部门	17
第六节 水利水能规划的主要内容	21
第七节 各水利部门间的矛盾及其协调	22
第二章 兴利调节	26
第一节 水库特性	26
第二节 兴利调节分类	33
第三节 设计保证率	35
第四节 设计代表期	37
第五节 兴利调节计算	39
第六节 兴利调节时历列表法	40
第七节 兴利调节时历图解法	49
第八节 多年调节计算的概率法	62
第三章 洪水调节	69
第一节 水库调洪的任务与防洪标准	69
第二节 水库调洪计算的原理	70
第三节 水库调洪计算的列表试算法	72
第四节 水库调洪计算的半图解法	75
第五节 其他情况下的水库调洪计算	78
第四章 水利水电经济计算与评价	84
第一节 水利水电经济计算的任务和内容	84
第二节 资金的时间价值及其计算公式	85
第三节 国民经济评价	91
第四节 财务评价	94
第五节 方案比较方法	100
第六节 综合利用水利工程的投资分摊	101
第五章 水能计算及水电站在电力系统中的运行方式	106
第一节 水能计算的目的与内容	106

第二节	电力系统的负荷图	110
第三节	电力系统的容量组成及各类电站的工作特性	114
第四节	水电站在电力系统中的运行方式	119
第六章	水电站及水库的主要参数选择	125
第一节	水电站装机容量选择	125
第二节	以发电为主的水库特征水位的选择	137
第七章	水库群的水利水能计算	150
第一节	概述	150
第二节	梯级水库的水利水能计算	151
第三节	并联水库群的径流电力补偿调节计算	155
第四节	水库群的蓄放水次序	159
第八章	水库调度	162
第一节	水库调度的意义及调度图	162
第二节	水库的兴利调度	163
第三节	水库的防洪调度	169
第四节	水库优化调度简介	172
附 录	考虑资金时间价值的折算因子表	176

绪 论

一、水资源的涵义和特点

水是人类生活和生产劳动必不可少的重要物质。从人们认识到水是一种具有多种用途的宝贵资源起,就认真考虑水资源的正确涵义。对水资源的正确涵义存在着不同的见解,直到1977年联合国召开的水会议后,联合国教科文组织和世界气象组织共同提出了水资源的涵义:“水资源是指可资利用或有可能被利用的水源,这种水源应当有足够的数量和可用的质量,并在某一地点为满足某种用途而得以利用。”这一涵义为联合国经社理事会所采纳。

作为重要资源的水必须具有可以更新补充,可供永续开发利用这样一种不同于其他矿物资源的特点。因此,作为参加水的供需关系分析中的水资源,应当主要指不断通过蒸发、降水、径流的形式参与全球水循环平衡活动的、人类可以控制、开发利用的动态水源。

关于水资源的特点,择要列举以下几点:

(1) 流动性。所有的水都是流动的,大气水、地表水、地下水可以相互转化。因此,水资源难以按地区或城乡的界限硬性分割,而只应按流域、自然单元进行开发、利用和管理。

(2) 多用途性。水资源是具有多种用途的自然资源,水量、水能、水体均各有用途。人们对水的利用十分广泛,主要的用水部门有:①农业(包括林、牧、副业)生产用水;②工业生产用水;③城镇居民生活用水;④水力发电用水;⑤船筏水运用水;⑥水产养殖用水;⑦水利环境保护等。

(3) 公共性。许多部门都需要利用水,这就使水资源具有了公共性,它应为社会所有,共同合理使用。各单位在引水、蓄水、排水过程中会引起种种矛盾,所以《中华人民共和国水法》(1988年7月1日起施行)第十二条明确规定处理这种公共性的一般性准则是:任何单位和个人引水、蓄水、排水,不得损害公共利益和他人合法权益。

(4) 永续性。处在自然界水循环中的水具有可以更新补充、可供永续开发利用的特点,所以计算水资源量、水能资源量时(尤其是和别的不能永续使用的资源进行比较时),不能只看到一年内的数量。

(5) 利与害的两重性。水作为重要资源给人类带来各种利益,但当水量集中得过快、过多时,又会形成洪涝灾害,给人类带来严重灾难。人类在开发利用水资源的过程中,一定要用其利、避其害。“除水害、兴水利”是我们水利工作者的光荣使命。

二、我国的水资源和水能资源

水资源大体上包括江河、湖泊、井泉以及高山积雪、冰川等可供长期利用的水源;河川水流、沿海潮汐等所蕴藏的天然水能;江河、湖泊、海港等可供发展水运事业的天然航道以及可用来发展水产养殖事业的天然水域等等。其中天然水能又专门称为水能资源,它是一种重要的廉价能源。上面提到的用水部门中,水力发电是一个特殊的用水部门,它利用天然水能生产电能,是发展国民经济的重要能源之一。发过电之后下泄的水量,仍可以供给其他用水部门利用。

我国水资源蕴藏量,从总量来看是比较丰富的。流域面积在 100 km^2 以上的河流有 5000 多条,河流总长度约有 42 万多 km ,还有众多的天然湖泊。我国水资源总量为 28124 亿 m^3 ,其中河川径流量 27115 亿 m^3 ,居世界第 6 位。表 0-1 为根据 1956~1979 年资料得出的“全国各流域片(分区)年降水量、径流量统计表”。

表 0-1 全国各流域片(分区)年降水量、径流量统计表

流域片名称	平均年降水量 (mm)	平均年径流深 (mm)	50%保证率年径流量 (10^8 m^3)	75%保证率年径流量 (10^8 m^3)	径流均值占全国百分数 (%)
黑龙江流域片	495.5	129.1	1119.0	863.0	4.3
辽河流域片	551.0	141.1	472.0	380.0	1.8
海河、滦河流域片	559.8	90.5	268.0	199.0	1.1
黄河流域片	464.4	83.2	642.0	563.0	2.4
淮河流域片	859.6	225.1	689.0	496.0	2.7
长江流域片	1070.5	526.0	9417.0	8656.0	35.1
珠江流域片	1544.3	806.9	4640.0	4120.0	17.3
浙闽台诸河片	1758.1	1066.3	2507.0	2097.0	9.4
西南诸河片	1097.7	687.5	5853.0	5380.0	21.6
内陆诸河片	153.9	32.0	1060.0	1004.0	3.9
额尔齐斯河流域	394.5	189.6	97.0	78.0	0.4

注 1. 流域片包括本流域以外的附近小流域。

2. 所有径流量都已还原至天然情况。

3. 本表资料摘自《技术经济手册》(水利卷),1990年12月出版。

我国可通航的内河水道总里程达 16 万 km ,还有 2 万多公里长的海岸线,有许多优良的不冻海湾可供建设海港。

我国河湖可供淡水水产养殖的水面面积约有 7 万 km^2 ,沿海还有大面积的海岸水产养殖场可供利用。

我国水能资源极其丰富,居世界首位已是公认的事实。仅河川水能资源的蕴藏量就有约 6.8 亿 kW (按多年平均流量估算)。我国的海洋水能资源也很丰富,仅潮汐资源一项,初步估算有 1.1 亿 kW 。应该说明,水能资源蕴藏量中可能开发利用的仅是其中的一部分。根据普查资料,单站装机 1 万 kW 以上的可能开发水电站共 1946 座,总装机容量可达 3.6 亿 kW 。

我国水能资源的分布,按地区划分,集中在西部地区,京广铁路以西占全国的 90% 以上,其中以西南地区为最多,占全国的 70%;其次为中南及西北地区,分别约占 10% 及 13% 左右。按流域划分,以举世闻名的长江为最多,约占全国的 40%。特别值得一提的是长江上的三峡水利枢纽,除有巨大的防洪效益和航运效益外,水电站装机容量可达 1768 万 kW (设计蓄水位为 175 m 时)。

应该指出,我国水资源总量虽较丰富,但从人均占有量来看,是不容乐观的,仅居世界第 88 位,按耕地亩均占有量计算,约相当于世界平均数的 $2/3$ 。特别是由于季风气候的影响,我国水资源具有地区、时程分配上不均匀和变率大的特点。水资源比较集中于长江、珠江及西南国际水系。它的地区分布与人口、耕地的分布不相适应。从全国范围来说,南方水多,水资源总量占全国的 81%,人口占全国的 54.7%,耕地只占全国的 35.9%;北方

(不含内陆区)水资源总量只占全国的 14.4%，耕地却占全国的 58.3%，人口占全国的 43.2%。这种分布不相适应的情况是水资源开发利用中的一个突出问题。

水资源在时程分配上的不均，常会在不同地区形成洪、涝、旱灾，给国民经济和人民生命财产带来严重损失。因此，在开发利用水资源的同时，还必须十分重视防洪与治涝问题。

要兴水利、除水害，就要兴建一系列的水利工程。为某一单独水利部门服务的水利工程，称为单用途水利工程，如防洪工程、水电工程等。同时为好几个水利部门服务的工程，称为综合利用水利工程。

三、我国水利水电建设的成就和展望

“水利”是人类在充分掌握水的客观变化规律的前提下，采用各种工程措施和非工程措施，以及经济、行政、法制等手段，对自然界水循环过程中的水进行调节控制、开发利用和保护管理的各项工作的总称。其目的是避免或尽可能减轻水旱灾害，供给人类生活和生产活动必需的水（符合水质标准）和动力（直接利用或转换成电力后利用），以及提供其他服务。因此，水利建设包括的范围是很广的，应该也包括水电建设。鉴于水电建设有其特别的重要意义，故常并列称为水利水电建设。有的工具书中将“利用工程所在地的水土资源开展的养殖业、种植业、旅游业等的开发建设”也包括在水利建设中。这样水利建设的涵义就更广泛了。

我国历史悠久，通过长期的生产斗争，逐步积累了大量兴水利、除水害的宝贵经验，陆续兴建了不少举世闻名的水利工程。例如：四川岷江上的都江堰（建于公元前 256～前 251 年）、纵贯南北的大运河（始建于公元前 486 年，亦称京杭运河）和沟通湘江与漓江的灵渠（公元前 219 年，亦称兴安运河）等。在水能的利用方面，早在 2000～3000 年前，在我国已经出现了用来磨粉和提水灌溉的水磨、筒车等古老的水力机械。但几千年的封建制度极大地阻滞了我国水利科技事业的发展。而且水资源和水利工程常被统治阶级以及侵略者所霸占，用来作为剥削、压迫、甚至屠杀人民的工具。远的不说，就说日本帝国主义侵占我国东北时期强迫我国人民在松花江上修建的丰满水电站，修建期间被折磨迫害而惨死在工地的中国工人达数万人，侵略者用水电站发出的电力制造军火，进一步镇压、侵略我国人民；再如，1938 年 6 月国民党军队为了自己逃命，非但不抵抗日本侵略军，竟炸开黄河花园口大堤，以致淹没了 3000 万亩土地，淹死 80 多万无辜群众，受害人口达 1250 余万，这一罪行是极为骇人听闻的。

解放前全国仅有大型水库 6 座、中型水库 17 座，实在是少得可怜。

新中国成立以后，党和政府十分重视水利水电建设，有计划地积极防治水旱灾害，开发利用水资源。先后有计划地开始综合治理黄河、淮河、海河等灾害较多的水系，同时又对水资源较丰富的长江、珠江等流域分期进行综合开发，取得了显著成就。兹列举以下一些数据，以说明建设成就：

(1) 截至 1988 年止，共建成大型水库 355 座，总库容 3252 亿 m^3 ；中型水库 2462 座，总库容 681 亿 m^3 。

(2) 全国水力发电装机 3269 万 kW（1988 年底），其中水利系统管理的水电装机 1369 万 kW。

- (3) 截至 1988 年止, 修建大型水闸 300 座, 中型水闸 2060 座。
- (4) 修建堤防长度 20.3 万 km, 保护耕地面积达 4.85 亿亩 (1988 年底)。
- (5) 修建固定排灌站 46.1 万处, 排灌机械保有量达 6437 万 kW。
- (6) 截至 1988 年, 有效灌溉面积 7.2 亿亩, 已占耕地面积的 50%; 旱涝保收面积 5 亿余亩。
- (7) 截至 1988 年止, 全国主要由中小水电供电的县 (市) 有 717 个, 占全国行政区划数的 31%; 全国主要由小水电供电的乡占全国行政区划数的 36%。
- (8) 黄河、淮河、海滦河、长江、珠江、辽河和松花江等七大江河的防洪标准普遍得到提高。

以上这些建设成就对抗御水旱灾害、夺取农业丰收、促进工业发展、提高人民生活水平, 都起了极为重要的作用。

我国国家计委产业政策司编的《产业手册》中提出: “产业是从事国民经济中同一性质的生产或其他社会经济活动的企业、事业单位、机关团体和个人的总和。各产业之间有不同程度的联系, 其总和构成国民经济整体。” 根据这个比较广义的产业定义, 水利完全应该是一个独立的产业。但是, 几十年来, 水利一直被认为是在农业领域里 “除害兴利” 的一个不可缺少的行业。毛泽东同志的 “水利是农业的命脉” 这句名言, 已为广大群众所熟悉, 成为人们认识水利的重要性、重视水利的依据。在产业划分中, 没有水利产业的独立地位。

在当前国民经济和社会有很大发展的实际情况下, 应该把水利放在什么样的位置呢? 《中华人民共和国国民经济和社会发展规划和第八个五年计划纲要》中明确指出: “要把水利作为国民经济的基础产业, 放在重要战略地位。” 根据这个重要精神, 《纲要》中把水利产业摆在与农业、能源工业、交通运输业和邮电通讯业、原材料工业等基础产业同等重要的地位。

把水利作为国民经济的基础产业提高到整个国民经济发展的战略地位上, 这是对水利事业的重要作用在认识上的重要突破也是总结数十年经验教训得出的正确结论。

一般地说, 基础产业具有以下几个明确特点:

- (1) 存在的不可缺性和效益的社会性;
- (2) 建设的长期性和发展的超前性;
- (3) 规划的全局性和统一管理的必要性。

水利的重要性及其效益的社会性问题是比较容易理解的。关于建设的长期性问题可从以下几方面的需要来看:

- (1) 逐步提高防洪标准、抗旱能力的需要;
- (2) 解决水资源供不应求问题的需要;
- (3) 解决水利工程老化问题的需要;
- (4) 防治水污染问题的需要;
- (5) 进一步开发利用水电、航运、水产、滩涂等资源的需要。

至于水利事业发展的超前性问题, 这是由水利建设牵涉的因素多, 而且许多因素具有明显的不确定性, 水利建设需要的资金比较多, 要分期分批安排建设, 以及水利工程的工程量一般较大、施工条件较差、施工期较长等特点决定的。

关于规划的全局性和统一管理的必要性，这是由水利的重要性、水资源的特点等所决定的。《中华人民共和国水法》第十一条中包含有以下几点精神：

- (1) 开发利用水资源和防治水害，应当按流域或者区域进行统一规划；
- (2) 国家确定的重要江河的流域综合利用规划，由国务院水行政主管部门会同有关部门和有关省、市、自治区编制，报国务院批准；
- (3) 综合规划应与国土规划相协调，兼顾各地区、各行业的需要；
- (4) 经批准的规划是开发利用水资源和防治水害工作的基本依据。

《水法》中规定了水资源实行国家统一管理和分级、分部门管理相结合的原则。

从以上简要说明来看，把水利作为国民经济的基础产业是完全正确的。今后更要以提高经济效益为中心，开创水利工作新局面，更好地为实现工农业总产值翻两番提供防洪和水资源保证。

优先发展水电是世界各国能源开发中的一条重要经验，不论水能资源较多而矿物燃料资源较少的国家，还是水能资源较少而矿物燃料资源较多的国家，都是优先发展水电。只有当水利资源开发程度较高时，才不得不多建火电、核电。我国水能资源较为丰富，开发条件比较优越，开发潜力很大。因此，尽快把水电搞上去，应是我国能源建设和加速发展国民经济的一项重大措施。在开发水电的同时，要特别注意防治水害和水资源的综合利用，为供水、航运和农、林、牧、渔业的发展服务。

四、水利水能规划课程的任务和主要内容

“水利水能规划”是水利水电工程建筑专业的一门专业课。它的任务是让学生在掌握工程水文内容的基础上，学习水利水电规划的基本理论、基本知识，初步掌握这方面的分析计算方法，使学生毕业后，经过一段生产实际的锻炼能参加这方面的工作。对从事水利水电工程设计、施工和管理的工程技术人员来说，掌握必要的规划知识也是很必要的。正因为本门课程比较重要，所以许多学校把它列为水力发电专业硕士研究生的入学考试课程之一。

本课程的主要内容是根据国民经济发展对开发利用水资源提出的实际要求以及水资源本身的特点和客观情况，并根据《中华人民共和国水法》的规定，研究如何经济合理地综合治理河流、综合开发水资源，确定水利水电工程的合理开发方式、开发规模和可以获得的效益，以及拟订水利水电工程的合适运用方式等。

应该指出，随着生产的发展和建设事业的发展，水利水电规划工作愈来愈复杂。这是因为：水利水电工程已不是单独地存在着，为单一用途而运行着，而往往是许多工程组合在一块为若干目的而联合运行，而且水电站又是电力系统的组成部分，和其它类型电站组合在一块联合运行。有些地区还要研究地面水资源与地下水资源的统一开发问题。此外，抽水蓄能电站建设、潮汐电站建设也日益提上日程。电子计算机的普及对一些传统的计算方法也有很大的冲击。这些新的情况对高等学校教材编写提出了值得研究的普遍问题。

我们经过认真思考，认为：教材编写受到学时数和编写字数的限制，应该贯彻“少而精”的原则，教材中只能介绍最必需的基本理论、基本知识和基本计算方法。学生掌握这些基本内容后，对今后参加水利水电规划的生产实际工作，研制比较复杂的数学模型（确定目标函数和各种约束条件）以及编制计算机程序是很有帮助的。至于抽水蓄能电站规划、

潮汐电站规划或海洋能开发利用、水库群优化调度等专门问题，应开设选修课，另编专门的选修课教材。

各章教材的时间分配为：绪论 1~2 学时，第一章 4~5 学时，第二章 11~12 学时，第三章 4~5 学时，第四章 4 学时，第五章 6~7 学时，第六章 6~7 学时，第七章 3~4 学时，第八章 3~4 学时，合计 42~50 学时。具体时间分配可由任课教师根据各校教学计划安排的时数确定。

第一章 水资源的综合利用

第一节 概 述

由于降水量在年内和年际分布的不均匀性,雨水较丰年份常会出现暴雨和霪雨,以致某些地区或河段在短期内汇集了过多的径流不能迅速排出而形成洪涝灾害。所以,自古以来,除水害就成为水利事业中的首要任务。人们在除水害的同时,千方百计地为各种不同的目的去兴建各种水利工程,以求充分利用水资源。于是,除水害兴水利就构成整个水利事业,包括防洪、治涝、水力发电、灌溉、航运、木材浮运、给水、渔业和水利环境保护等。各种不同的水利工程,无非是根据上述某一项或某几项的需要而兴建的。

不同的兴利部门,对水资源的利用方式各不相同。例如,灌溉、给水要耗用水量,发电只利用水能,航运则依靠水的浮载能力。这就有可能也有必要使同一河流或同一地区的水资源,同时满足几个水利部门的需要,并且将除水害和兴水利结合起来统筹解决。这种开发水资源的方式,就称为水资源的综合利用。我国大多数大中型水利工程在不同程度上实现了水资源的综合利用。例如,汉江的丹江口水利枢纽就是一个例子。它能大大减轻汉江中下游广大地区的洪灾;给鄂西北、豫西南数百万亩农田提供灌溉水源;为鄂、豫两省工农业提供 90 万 kW 的廉价电力;水库内可形成 220 km 长的深水航道,并大大改善下游河道的通航条件;辽阔的水库库区还可发展渔业,每年出产数百万斤淡水鱼;等等。实际上,水资源综合利用是我国水利建设的一项重要原则,能够使宝贵的水资源得到比较充分的利用,以较少的代价取得较大的综合效益。我们在进行水利水能规划时,必须重视这一重要原则。

然而,由于人们认识上的局限性、片面性,以及囿于局部利益等原因,我国有些大中型水利工程,尽管很具备水资源综合利用的有利条件,却仍然在这方面存在某种缺陷。例如,有些拦河闸坝忽视了过船、过木、过鱼的需要;有些水电站的水库没有兼顾灌溉或下游防洪的要求;等等。

在水资源综合利用方面,环境保护与生态平衡常被人们忽视。修建大中型水利工程常常要集中大量人力、资金、设备,并耗用大量建筑材料;工程本身常需占用大片土地,特别是水库常造成大面积的淹没;此外,水利工程是人们改造自然的一种重要手段,必然对河流的水文情况产生重大的影响;等等。人们通过实践,逐步认识到忽视这类问题会给国家和人民带来巨大损失。例如,某些位于林区的水利工地,由于忽视森林资源的保护,几年施工期间就造成工地周围童山濯濯。因此,我们在进行水利水能规划时,还必须尽量避免工程对自然环境和生态可能产生的不良影响。

各河流的自然条件千变万化,各地区需水的内容和要求也差异很大,而且各水利部门间还不可避免地存在一定的矛盾(见第七节)。因此,要做好水资源的综合利用,就必须从当地的客观自然条件和用水部门的实际需要出发,抓住主要矛盾,从国民经济总利益最大

的角度来考虑, 因时因地制宜地来制定水利水能规划。切忌凭主观愿望盲目决定, 尤其不应只顾局部利益而使整个国民经济遭受不应有的损失。

第二节 水 力 发 电

一、水力发电的基本原理

水力发电是利用天然水能(水能资源)生产电能的水利部门。河川径流相对于海平面而言(或相对于某基准面)具有一定的势能。因径流有一定流速, 就具有一定的动能。这种势能和动能组合成一定的水能——水体所含的机械能。

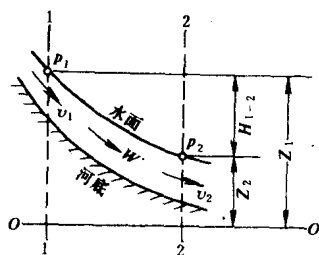


图 1-1 水能与落差

在地球引力(重力)作用下, 河水不断向下游流动。在流动过程中, 河水因克服流动阻力、冲蚀河床、挟带泥沙等, 使所含水能分散地消耗掉了。水力发电的任务, 就是要利用这些被无益消耗掉的水能来生产电能。如图 1-1 所示, 表示一任意河段, 其首尾断面分别为断面 1-1 和断面 2-2。若取 $O-O$ 为基准面, 则按伯努利方程, 流经首尾两断面的单位重量水体所消耗掉的水能应为

$$H = (Z_1 - Z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (1-1)$$

但是, 大气压强 p_1 与 p_2 近似地相等, 流速水头 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ 与 $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ 的差值也相对地微小而可忽略不计。于是, 这一单位重量水体的水能就可近似地用落差 H_{1-2} 来表示, $H_{1-2} = Z_1 - Z_2$, 即首尾两断面间的水位差。

若以 Q 表示 t 秒内流经此河段的平均流量 (m^3/s), γ 表示水的单位重量 (通常取 $\gamma = 9807 \text{ N/m}^3$), 则在 t 秒内流经此河段的水体重量应是 $\gamma W = \gamma Q t$ 。于是, 在 t 秒内此河段上消耗掉的水能为

$$E_{1-2} = \gamma Q t H_{1-2} = 9807 Q t H_{1-2} \quad (\text{J})$$

但是, 在电力工业中, 习惯于用 “ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ” (或称 “度”) 为能量的单位, $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。于是, 在 T 小时内此河段上消耗掉的水能

$$E_{1-2} = \frac{1}{367.1} H_{1-2} Q t (\text{kW} \cdot \text{h}) = 9.81 H_{1-2} Q T (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-2)$$

此即代表该河段所蕴藏的水能资源, 它分散在河段的各微小长度上。要开发利用这许多微小长度上的水能资源, 首先需将它们集中起来, 并尽量减少其无益消耗。然后, 引取集中了水能的水流去转动水轮发电机组, 在机组转动的过程中, 将水能转变为电能。这里, 发生变化的只是水能, 而水流本身并没有消耗, 仍能为下游用水部门利用。上述这种河川水能, 因降水而陆续得到补给, 使水能资源成为不会枯竭的再生性能源。

在电力工业中, 电站发出的电力功率称为出力, 因而也用河川水流出力来表示水能资源。水流出力是单位时间内的水能。所以, 在图 1-1 中所表示的河段上, 水流出力为

$$N_{1-2} = \frac{E_{1-2}}{T} = 9.81 Q H_{1-2} (\text{kW}) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 常被用来计算河流的水能资源蕴藏量。

二、河川水能资源蕴藏量的估算和我国水能资源概况

由式 (1-3) 可见, 落差和流量是决定水能资源蕴藏量的两项要素。因为单位长度河段的落差 (即河流纵比降) 和流量都是沿河长而变化的, 所以在实际估算河流水能资源蕴藏量时, 常沿河长分段计算水流出力, 然后逐段累加以求全河总水流出力。在分段时, 应注意将支流汇入等流量有较大变化处以及河流纵比降有较大变化处 (特别是局部的急滩和瀑布等), 划分为单独的计算河段。在计算中, 流量取首尾断面流量的平均值。根据多年平均流量 Q_0 计算所得的水流出力 N_0 , 称为水能资源蕴藏量。

为估算河流蕴藏的水能资源, 应对河流水文、地形和流域面积等进行勘测和调查, 然后按式 (1-3) 进行计算 (如表 1-1), 并将计算结果绘成如图 1-2 的蕴藏图。表 1-1 和图 1-2 乃是掌握河流水能资源分布情况并研究其合理开发的重要资料。水能资源的普查和估算, 由国家专门机构统一组织进行, 并正式公布。根据 1980 年 10 月资料 (如表 1-2), 我国河川水能资源蕴藏量达 6.76 亿 kW, 其相应的年水能约为 6 万亿 kW·h, 居世界首位。

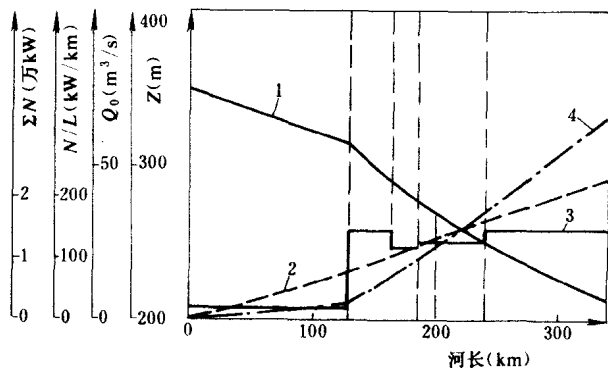


图 1-2 水能资源蕴藏量示意图

1—河底高程 Z (m); 2—流量 Q_0 (m^3/s); 3—单位长度出力 N/L (kW/km); 4—累积出力 ΣN (万 kW)

从表 1-2 可以看出两点:

(1) 经济上合理而技术上又便于开发的水能资源, 大约只有理论值的一半多一些, 有些资源河段因受客观条件限制而无法利用;

(2) 西南地区的水能资源占全国 70%, 其中蜀滇黔三省水能资源占全国的 40.3%, 而仅西藏自治区就占全国的 29.7%。

我国东部和中部人口比较集中, 工农业生产较为发达, 水能资源就开发较多。西南地区水能资源虽极丰富, 但开发尚少, 潜力甚大。

表 1-1

某河水能资源蕴藏量计算示例

断面序号	高程 Z (m)	落差 H (m)	间距 L (km)	断面处流量 Q_i (m^3/s)	河段平均流量 Q_0 (m^3/s)	河段水流出力 N_0 (kW)	单位长度水流出力 N_0/L (kW/km)	水流出力累积值 ΣN_0 (kW)
1	350	35	129	0	8	2750	21	2750
2	315	27	34	16	18.5	5000	147	7750
3	288	10	19	21	23	2250	118	10000
4	278	26	60	25	29.5	7650	128	17650
5	252	39	100	34	40	15300	153	32950
6	213			46				

表 1-2

全国各地区水能资源蕴藏量及可能开发量统计表

地 区	理论蕴藏量 (万 kW)	占全国比重 (%)	可能开发量 (万 kW)	占全国比重 (%)	备 注
西 南	47331	70.0	23234	67.8	按发电量值计算占全国比重 缺台湾省资料
西 北	8418	12.5	4194	9.9	
中 南	6408	9.5	6744	15.5	
东 北	1213	1.8	1199	2.0	
华 东	3005	4.4	1790	3.6	
华 北	1230	1.8	692	1.2	
全国总计	67605	100.0	37853	100.0	

注 此表数据摘自《水力发电》，1981年第2期。

三、河川水能资源的基本开发方式

要开发利用河川水能资源，首先要将分散的天然河川水能集中起来。由于落差是单位重量水体的位能，而河段中流过的水体重量又与河段平均流量成正比，所以集中水能的方法就表现为集中落差和引取流量的方式，见式 (1-2) 和式 (1-3)。根据开发河段的自然条件之不同，集中水能的方式主要有以下几类 (图 1-3)。

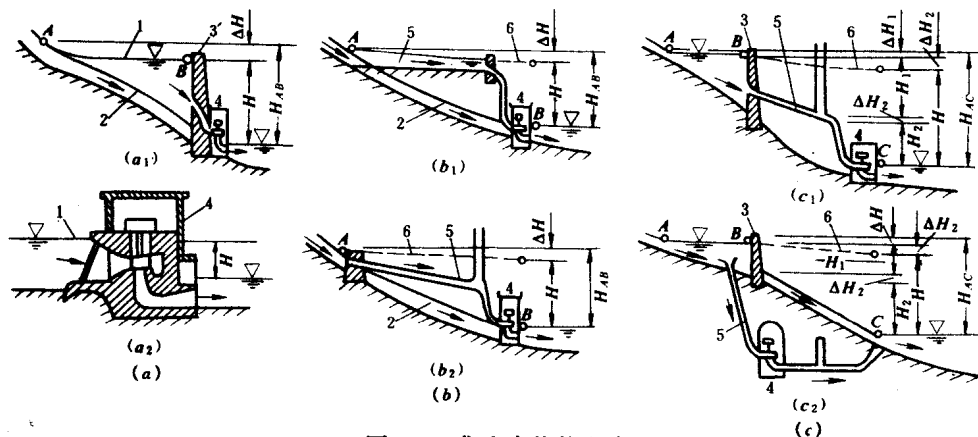


图 1-3 集中水能的方式

(a) 坝式；(b) 引水式；(c) 混合式

1—抬高后的水位；2—原河；3—坝；4—电站厂房；5—引水道；6—能坡线

1. 坝式 (或称抬水式)

拦河筑坝或闸来抬高开发河段水位，使原河段的落差 H_{AB} 集中到坝址处，从而获得水电站的水头 H 。所引取的平均流量为坝址处的平均流量 Q_B ，即河段末的平均流量。显然， Q_B 要比河段首 A 处的平均流量 Q_A 要大些。由于筑坝抬高水位而在 A 处形成回水段，因而有落差损失 $\Delta H = H_{AB} - H$ 。坝址上游 A 、 B 之间常因形成水库而发生淹没。若淹没损失相对不大，有可能筑中、高坝抬水，来获得较大的水头。这种水电站称为坝后式水电站 [图 1-3 (a₁)]，其厂房建在坝下游侧，不承受坝上游面的水压力。若地形、地质等条件不允许筑高坝，也可筑低坝或水闸来获得较低水头，此时常利用水电站厂房作为挡水建筑物的一部分，使厂房承受坝上游侧的水压力，如图 1-3 (a₂)。这种水电站称为河床式水电站。坝式开发方式有时可以形成比较大的水库，因而使水电站能进行径流调节，成为蓄水式水电站。