



普通高等教育“十二五”规划教材

水利水电规划

主 编 王文川
副主编 赵晓慎 徐冬梅
孙艳伟 刘 蕾



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

水利水电规划

主 编 王文川
副主编 赵晓慎 徐冬梅
孙艳伟 刘 蕾

内 容 提 要

本教材为水利学科专业“十二五”规划教材和全国水利行业规划教材,是根据当今水利发展的需要,较全面地反映了当代水文水利计算科学的新进展,更具科学性、实践性,能较好地满足我国水利建设的需要。全书除绪论外共分七章,水资源的综合利用,兴利调节,洪水调节,水能计算,水电站及水库的主要参数选择,水库群的水利水能计算,水库调度。

本教材为高等学校水利水电工程、工程管理、农业水利工程、水文与水资源专业的核心教材,也适用于城市给水排水工程、水务工程等专业师生阅读,并可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电规划 / 王文川主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 1
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-0431-8

I. ①水… II. ①王… III. ①水利规划—高等学校—教材②水力发电工程—水利规划—高等学校—教材 IV. ①TV212

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第304586号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 水利水电规划
作 者	主编 王文川 副主编 赵晓慎 徐冬梅 孙艳伟 刘蕾
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10.5印张 249千字
版 次	2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	22.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水是生命之源、生产之要、生态之基，水利是经济社会发展的基本条件、基础支撑、重要保障，兴水利、除水害历来是治国安邦的大事。2011年1月，中共中央、国务院以中发〔2011〕1号文件印发了《关于加快水利改革发展的决定》，从经济社会发展全局出发，科学阐述了水利发展的阶段性特征和战略地位，明确提出了水利改革发展的指导思想和主要原则。2011年7月，中央召开了水利工作会议，对贯彻落实2011年中央1号文件进行了全面部署，在“十二五”期间，要针对水利发展中的突出问题和重点薄弱环节，紧密围绕全面建设小康社会和加快转变经济发展方式要求，把水利作为国家基础设施建设的优先领域，通过深化水利改革、加快水利基础设施建设、加强水资源管理，不断提升水利服务于经济社会发展的综合能力，为促进经济长期平稳较快发展和全面建设小康社会提供坚实的水利保障。

近年来，我国水利事业得到快速发展，水利建设大规模展开，水利基础设施建设获得迅猛发展。截至2010年，全国江河堤防29.41万km，已建成各类水库87873座，水库总库容7162亿 m^3 ，有效灌溉面积达万亩以上的灌区共5795处，农田有效灌溉面积29415千公顷。水利水电工程的大规模建设使得对设计、施工、运行管理等水利水电专业人才的需求也更为迫切。如何更好地培养适应现今水利水电事业发展的优秀人才，成为水利水电专业院校共同面临的课题。

为配合专业规范的实施和当今水利发展的需要，华北水利水电学院水文水资源教研相关任课教师结合多年的课堂教学经验和工作实践，组织编写了《水利水电规划》这门教材。它是水利类专业的一门重要的专业基础课，是为工程规划设计、施工建设及运行管理提供水利计算方法的一门科学，主要内容包括：水资源综合利用，兴利调节，洪水调节，水能计算，水电站及水库的主要参数选择，水库群的水利水能计算，水库调度等。本教材适用对象为

高等院校水利水电工程、农业水利工程、工程管理、水文学及水资源等专业的教学参考书，也可为水利水电工程技术人员参考使用。

本教材由华北水利水电学院王文川任主编，由赵晓慎、徐冬梅、孙艳伟、刘蕾任副主编。

编者参阅并引用了大量的教材、专著，在此对这些文献的作者们表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中难免出现不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2012年6月

于郑州

目 录

前言

绪论	1
第一节 水资源概述	1
第二节 水能资源概述	6
第三节 我国水利水电建设的成就和展望	7
第四节 水利水电规划课程的任务及主要内容	9
第一章 水资源的综合利用	10
第一节 水资源综合利用的原则	10
第二节 主要用水部门的用水特点	12
第三节 各水利部门间的矛盾及其协调	23
第二章 兴利调节	27
第一节 水库特性	27
第二节 兴利调节分类	34
第三节 设计保证率	37
第四节 设计代表期	40
第五节 兴利调节计算原理	41
第六节 年调节水库兴利调节时历列表法	42
第七节 多年调节计算的概率法	57
第三章 洪水调节	63
第一节 防洪措施	63
第二节 防洪标准	66
第三节 水库调洪的过程与任务	66
第四节 水库调洪计算的原理	67
第五节 水库调洪计算的列表试算法	71
第六节 水库调洪计算的半图解法	74
第七节 水库调洪计算的简化三角形法	77
第八节 其他情况下的水库调洪计算	78

第四章 水能计算	84
第一节 水能利用的基本原理	84
第二节 水能资源的基本开发方式	87
第三节 水能计算的目的是基本方法	93
第四节 水电站保证出力的计算	99
第五节 水电站多年平均发电量计算	107
第五章 水电站及水库的主要参数选择	109
第一节 电力系统的负荷图	109
第二节 电力系统及电站的容量组成	113
第三节 水电站在电力系统中的运行方式	115
第四节 水电站装机容量选择	119
第五节 以发电为主的水库特征水位的选择	129
第六章 水库群的水利水能计算	133
第一节 概述	133
第二节 梯级水库的水利水能计算	134
第三节 并联水库群的径流电力补偿调节计算	139
第四节 水库群的蓄放水次序	142
第七章 水库调度	146
第一节 水库调度的意义及调度图	146
第二节 水库的兴利调度	147
第三节 水库的防洪调度	154
第四节 水库优化调度	156
参考文献	161

绪 论

第一节 水资源概述

一、水资源的概念和特点

水是工农业生产过程中不可替代的资源，从人们认识到水是一种具有多种用途的宝贵资源，对水资源（或水利资源）的含义就存在着不同的见解。水资源通常指逐年可以恢复和更新的淡水，而大气降水是它的补给来源。从广义上讲，水资源是指地球上所有的水体，而我们所提的水资源是指陆地上可以利用的淡水资源，它包括江河、湖泊、泉、积雪、冰川、大气水、土壤水以及地下水等可供长期利用的水源。直到 1977 年，联合国召开水会议后，联合国教科文组织和世界气象组织共同提出了水资源的含义：“水资源是指可以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。”

水资源供需矛盾产生的原因之一，主要是自然状态下水资源的某些特性与人类的需求不相适应。因此，要充分利用、合理开发水资源，就必须首先了解水资源的特性。水资源特性概括起来有以下几点。

1. 流动性

水资源（特别是流域地表水资源）具有很强的流动性，这是水资源的最普遍特性。水的物质形态在常温下是一种流体，总是从能量高的地方向能量低的地方流动。受地心引力的作用，水从高处向低处流动，由此形成河川径流。河川径流是大气水循环的重要环节。这一特点，为人类开发利用提供了方便，也为水资源管理增加了困难。因此，对它的开发利用要采用工程技术手段进行拦蓄和控制。

2. 循环性

水资源与其他矿产资源不同之处在于其在循环过程中不断地恢复和更新。水循环过程是无限的，同时，水循环受太阳辐射等条件的制约，每年更新的水量又是有限的，而且自然界中各种水体的循环周期不同，在定量估计水资源时，随统计时段的不同，水资源的恢复量也不同，这反映出水资源有动态资源的特点。

3. 有限性

水资源处在不断的消耗和补充过程中，在某种意义上水资源具有“取之不尽”的特点，恢复性强。虽然地球上的水资源总量十分巨大——大约有 1.386 亿 km^3 ，但是其中的 96.6% 为人类无法直接饮用的海水。即使在余下的不足 4% 的淡水中，还有 68.7% 被储存在极地冰帽和冰川中，另外 30.1% 的土壤水和地下水也不能为人类利用。真正能够被人类直接利用的淡水资源仅占全球总水量的 0.00768%。从水量动态平衡的观点来看，某一期间的水量消耗量应接近于该期间的水量补给量，否则将会破坏水平衡，造成一系列不良

的环境问题。可见，水循环过程是无限的，水资源的储量是有限的，并非取之不尽、用之不竭。

4. 关联性

水资源是生态环境的基本要素，是生态环境系统结构与功能的组成部分。水以其存在形态与系统内部各要素之间发生着有机联系，构成生态系统的形态结构。另外，由于水资源是母体资源，水对自然和社会的存在与发展，比其他可替代资源显得更为重要和珍贵，水资源状况的重大改变，（如形态、数量、质量、水事活动等变化）将引起自然和人类行为的相应变化，具有极强的关联性。

5. 随机性

自然界中可更新的水资源主要来源于大气降水和融雪水，虽然地球上每年的降水基本上是一个常量，但由于受气象水文要素影响，大气降水和融雪水在时间上、空间上存在着随机性，水资源的产生、运动和形态转化在时间和空间上呈现出随机特性。水资源分布存在明显的时空不均匀性，且差异很大。例如对于某一区域，有丰水年、平水年、枯水年之分，有连枯、连丰的情况，一年当中有枯水期、丰水期。而且这种变化是随机的，它只符合统计规律。

6. 不均匀性

水资源在自然界中具有一定的时间和空间分布。时空分布的不均匀性是水资源的又一特性。全球水资源的分布表现为大洋洲的径流模数为 $51.0\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，亚洲仅为 $10.5\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，最高的和最低的相差数倍或数十倍。水资源时空分布不均匀的特点，给水资源的管理工作带来了很大的难度。一方面可能造成旱涝灾害频繁，农业收成不稳定和水资源供需矛盾紧张；另一方面会大大加重了水资源持续开发利用在生态环境保护、经济技术投入等方面的难度。

7. 利害二重性

水过多过量会带来水灾、洪灾、涝灾，过少会出现旱灾，损坏了则污染环境，破坏生态。而土地、森林、矿产等资源是越多越好，越富积越好。一方面水是重要的资源，另一方面水又是自然资源的重要组成部分，是环境生命的血液，它兼有资源与环境的双重作用，水若被污染，不仅损坏了环境，也失去了资源作用。

8. 不可替代性

水资源在人类生活、维持生态系统完整性和物种的多样性中所起的作用，任何其他自然资源都无法替代。水资源对社会经济有多种用途，除极少数的生产部门（像水力发电生产的电能、水路交通的运输）外，其他资源是无法替代的。所以，水资源是一种战略性物资。

9. 利用方式多样性

为了满足需求，人类对同一水体可以从不同的角度加以利用，比如利用水的浮托力发展航运，利用水体中的营养物质从事水产养殖与捕捞，利用河流湖泊形成的景观发展旅游娱乐，利用水体的自净能力改善环境，利用水的热容量为火力发电、化工生产提供冷却媒介，利用水能发电，这些都不消耗水量。另一方面，市政供水、工业用水、灌溉等则要消耗水量且影响水质。再者，防洪与兴利既是矛盾的，又是统一的，将洪水存蓄起来，既减

缓洪涝灾害，又为兴利储备了水源。水资源通过水库调蓄可以综合利用。

10. 社会共享性

水资源不仅仅是一种简单的经济商品，它属于整个社会，是整个人类的共同财富。许多社会都把水赋予了特殊的文化、宗教和社会含义，因而拒绝进行商品化分配。博尔丁指出，“水作为宗教仪式纯洁的象征所具有的神圣性使其在一定程度上免受市场肮脏理念的影响”。在许多国家的文化理念中，文化、宗教等非经济因素对于水资源管理制度的选择发挥了异常大的作用，一些宗教如伊斯兰教甚至禁止依靠市场力量调控水的分配。

国际社会认识到，获得水的权利是人的一项基本权利。国际水与环境会议宣称，“重要的是首先承认以能够付得起的价格获得清洁的水和卫生条件是每个人的基本权利”。在一些干旱地区，作物的灌溉是粮食生产的根本。在我国的西部一些地区，水资源不仅决定了人们的生活质量，而且决定经济发展水平，对水资源的占有成为他们最基本的生存权利。

二、世界水资源概况

地球上的总储水量约为 13860 亿 m^3 ，其中海洋水为 13380 亿 m^3 ，约占全球总水量的 96.5%。在余下的水量中地表水占 1.78%，地下水占 1.69%。人类主要利用的淡水约 350 亿 m^3 ，在全球总储水量中只占 2.53%。在这极少的淡水资源中，又有 69.56% 被冻结在南极和北极的冰盖以及高山冰川、永冻积雪中，难以利用。同时深层地下水补充缓慢，开采后难以恢复，通常不作为可利用水资源。人类真正能够直接利用的淡水资源是江河湖泊水（约占淡水总量的 0.27%）和地下水中的一部分。从数字上可看出，水是丰富的，但可利用的淡水资源是极其有限的。若把一桶水比为地球上的水，可用的淡水只有几滴。

当今世界的水资源分布十分不均。除了欧洲因地理环境优越、水资源较为丰富以外，其他各洲都不同程度地存在一些严重缺水地区，最为明显的是非洲撒哈拉以南的内陆国家，那里几乎没有一个国家不存在严重缺水的问题；在亚洲也存在类似问题。按地区分布，巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果等 9 个国家的淡水资源占了世界淡水资源的 60%。世界上很多国家和地区都存在严重缺水问题，世界各国开始对水问题给予前所未有的重视，逐渐对水资源危机达成共识。1995 年 8 月世界银行调查统计报告公布：拥有世界人口 40% 的 26 个国家正面临水资源危机，这些国家的农业、工业和人民的健康受到严重威胁；发展中国家约有 10 亿人喝不到清洁水，17 亿人没有良好的卫生设施，80% 的疾病由饮用不洁水引起，并造成每年 2500 万人死亡。1999 年“世界水日”，联合国发出警告，随着人类生产的发展和水平的提高，世界用水量正以每年 5% 的速度递增，每 15 年用水总量就翻一番，除非各国政府采取有力措施，否则，在 2025 年前，地球上将有 1/2 以上的人口面临淡水资源危机，1/3 以上的人口得不到清洁的饮用水。水资源的短缺已成为当今全球性的社会和经济发展的主要制约因素。

世界各地自然条件不同，降水和径流相差也很大。年降水量以大洋洲（不包括澳大利亚）的诸岛最多；其次是南美洲，那里大部分地区位于赤道气候区内，水循环十分活跃，降水量和径流量均为全球平均值的两倍以上。欧洲、亚洲和北美洲与世界平均水平相接近，而非洲大陆是世界上最为干燥地区之一，虽然其降水量与世界平均值相接近，但由于

沙漠面积大，蒸发强烈，径流量仅为 151mm。相比之下大洋洲的澳大利亚最为干燥，与降水量 761mm 相对其径流量仅为 39mm，这是由于澳大利亚约有 2/3 地区为荒漠、半荒漠所致。全球每年水资源降落在大陆上的降水量约为 110 万亿 m^3 ，扣除大气蒸发和被植物吸收的水量，世界上江河径流量约为 42.7 万亿 m^3 ，按 1995 年的世界人口计算，每人每年可获得的平均水量为 7300 m^3 。由于世界人口不断增加，这一平均数已较 1970 年下降了 37%。80 年代后期全球淡水实际利用的数量大约每年 3000 亿 m^3 ，占可利用总量的 1%~3%，但是随着人口的增长及人均收入的增加，人们对水资源的消耗量也以亿合计数增长。

据统计，世界五大洲的淡水资源总量为 488254 亿 m^3 ，人均占有量为 8520 m^3 。水资源分布在全球范围内极不均匀，亚洲人均占有量仅为 4440 m^3 ，约为世界人均占有量的一半，是人均占有量最高的大洋洲的 1/13，而中国水资源总量为 28124 亿 m^3 ，但人均占有量尚不及 2700 m^3 ，只相当于世界平均数的 1/4。

人类在早期对水资源的开发利用，主要是在农业、航运、水产养殖等方面，而用于工业和城市生活的水量很少，直到 20 世纪初，工业和城市生活用水仍只占总用水量的 12% 左右。随着世界人口的高速增长以及工农业生产的发展，水资源的消耗量越来越大。世界用水量逐年增长，1900~1975 年间，每年以 3%~5% 的速度递增，即每 20 年左右增长一倍。随着人类文明的进步，对水资源的需要量越来越大，1985 年用水量为 1950 年的 3.5 倍。其中农业用水占总水量的比例由 1950 年的 78.2% 下降到 1985 年的 61.5%；而工业用水与城市用水占总用水量的比例由 1950 年的 22.7% 增加到 1985 年的 34.6%。但可供人类使用的水资源却不会增加；甚至会因人为的污染等因素而使其质量变差，可利用数量减少。加之，世界淡水资源的分布极不均匀，人们居住的地理位置与水的分布又不相称，使水资源的供应与需求之间的矛盾很大，尤其是在工业和人口集中的城市，这个矛盾更加突出。据统计，近 40 年来，全世界农业用水量仅增加了 2 倍、工业用水增加了 7 倍，而生活用水增加得更多。

三、我国水资源概况和特点

我国地域辽阔，国土面积达 960 万 km^2 ，处于季风气候区域。受热带、太平洋低纬度上温暖而潮湿气团的影响以及西南印度洋和东北鄂霍次克海的水蒸气影响，我国水资源形成了以下几个特点。

1. 水资源总量多，但人均、单位面积少

根据最新的全国水资源综合规划成果，我国多年平均年水资源总量为 2.84 万亿 m^3 ，其中地表水资源量为 2.74 万亿 m^3 ，地下水资源量 8219 亿 m^3 ，地表水资源与地下水资源量重复计算量 7182 亿 m^3 。我国水资源总量占全球水资源的 6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，居世界第四位。从表面上看，我国淡水资源相对比较丰富，属于丰水国家，但我国人口基数和耕地面积基数大，人均只有 2240 m^3 ，仅为世界平均水平的 1/4、美国的 1/5，在世界上名列 121 位，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。按照国际公认的标准，人均水资源低于 3000 m^3 为轻度缺水；人均水资源低于 2000 m^3 为中度缺水；人均水资源低于 1000 m^3 为严重缺水；人均水资源低于 500 m^3 为极度缺水。中国目前有 16 个省（自治区、直辖市）人均水资源量（不包括过境水）低于严重缺水线，有 6 个省、自治区

(宁夏、河北、山东、河南、山西、江苏)人均水资源量低于 500m^3 。

2. 水资源地区分布不均, 水土资源配置不平衡

受海陆位置、水汽来源、地形地貌等因素的影响, 我国水资源地区分布总趋势是从东南沿海向西北内陆递减。按照年降水量和年径流深的大小, 可将全国划分为5个地带: 多雨—丰水带, 湿润—多水带, 半湿润—过渡带, 半干旱—少水带, 干旱—缺水带。其中多雨—丰水带的年降水量大于 1600mm , 年径流深超过 800mm ; 而干旱—缺水带的年降水量少于 200mm , 年径流深不足 10mm , 水资源地区分布极不均匀。

我国水资源的地域分布与人口和耕地的分布很不相适应。南方水资源总量占全国的 81% , 人口占全国的 54.4% , 耕地面积只占全国的 39.7% , 人均水资源量为 3300m^3 , 单位耕地水资源量为 $43860\text{m}^3/\text{hm}^2$; 北方(不含内陆区)水资源总量占全国的 14.4% , 人口占全国的 43.3% , 耕地面积占全国的 54.9% , 人均水资源量为 740m^3 , 单位耕地水资源量为 $5640\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。其中, 西南诸河流域片水资源最为丰富, 而海河流域片水资源最为匮乏。内流区域(区域面积占全国总面积的 35.4%)人均、单位耕地水资源量虽然不少, 但有人居住的地区水资源有限, 也存在水量不足问题。

3. 水资源时间分配不均, 年际、年内变化大, 水旱灾害频繁

季风气候地区的降水具有夏秋降水多、冬春降水少、年际变化大的特征。我国大部分地区受季风影响明显, 降水量、径流量的年际和年内变化较大, 而且干旱地区的变化一般大于湿润地区。南方地区最大年降水量一般是最小年降水量的 $2\sim 4$ 倍, 北方地区一般为 $3\sim 6$ 倍; 南方地区最大年径流量一般是最小年径流量的 $2\sim 4$ 倍, 北方地区一般为 $3\sim 8$ 倍。水量的年内分配也不均衡, 主要集中在汛期。汛期的水量占年水量的比重, 从长江以南地区的 60% 左右($4\sim 7$ 月), 到华北平原等部分地区河流的 80% 以上($6\sim 9$ 月)。大部分水资源量集中在汛期以洪水的形式出现, 利用困难, 且易造成洪涝灾害。近一个世纪以来, 受气候变化和人类活动的影响, 我国水旱灾害更加频繁。近年来, 特别是2010年西南地区发生特大干旱、多个省份遭受洪涝灾害、部分地方突发严重山洪泥石流灾害, 造成了巨大损失。水旱灾害频繁仍是中华民族的心腹大患。

4. 水土流失和泥沙淤积严重

由于自然条件和长期以来人类活动的结果, 我国森林覆盖率低, 水土流失严重。据统计, 到1992年全国水土流失面积已扩大到 367 万 km^2 , 占全国陆地总面积的 38.2% 。我国平均每年从山地、丘陵被河流带走的泥沙约 35 亿 t , 其中, 直接入海的泥沙约 18.5 亿 t , 占全国河流输沙量的 53% ; 流出国境的泥沙约 2.5 亿 t , 占全国的 7% ; 约有 14 亿 t 泥沙淤积在流域中, 包括下游平原河道、湖泊、水库或引入灌区、分蓄洪区等。黄河是中国泥沙最多的河流, 也是世界罕见的多沙河流, 年平均含沙量和年输沙总量均居世界大河的首位, 年平均输沙量多达 16.1 亿 t 。

5. 天然水质好, 但人为污染严重

我国河流的天然水质是相当好的, 但由于人口的不断增长和工业的迅速发展, 废水的排放量增加很快, 水体污染日趋严重。1999年废污水日排放量达 606 亿 t , 80% 以上的废污水未经任何处理直接排入水域, 使河流、湖泊遭受了不同程度的污染。根据1999年水质监测结果, 全国 11 万 km 长的河流中有 37.6% 的河流被污染(IV类水质以

上),被调查的 24 个湖泊中有 9 个受到严重污染,5 个湖泊部分水体受到污染。水资源污染后失去了使用价值,严重的甚至破坏生态平衡,造成水资源的污染性短缺,加剧了缺水的危机。

第二节 水能资源概述

一、水能资源

水能资源指水体的动能、势能和压力能等能量资源。自由流动的天然河流的出力和能量,称为河流潜在的水能资源,或称水力资源。

广义的水能资源包括河流水能、潮汐水能、波浪能、海流能等能量资源;狭义的水能资源指河流的水能资源。水能是一种可再生能源。到 20 世纪 90 年代初,河流水能是人类大规模利用的水能资源,潮汐水能也得到了成功的利用,波浪能和海流能资源则正在进行开发研究。

构成水能资源的最基本条件是水流的落差(水从高处降落到低处时的水位差),流量大,落差大,所包含的能量就大,即蕴藏的水能资源大。全世界江河的理论水能资源为 48.2 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{年}$,技术上可开发的水能资源为 19.3 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。中国的江河水能理论蕴藏量为 6.91 亿 kW ,每年可发电 6 万多亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,可开发的水能资源约 3.82 亿 kW ,年发电量 1.9 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

二、我国水能资源蕴藏量及分布特点

我国不论是水能资源蕴藏量,还是可能开发的水能资源,都居世界第一位。截至 2010 年,全国水电总装机容量已达到 21340 万 kW ,约占全国电力总装机容量的 23%。我国的水能资源曾经于 1980 年进行了全国普查,以后又进行了全国复查,根据国家发展改革委 2005 年发布的全国水能资源复查成果,我国大陆水能资源理论蕴藏量在 1 万 kW 及以上河流上的水能资源理论蕴藏量年电量为 60829 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,平均功率为 69440 万 kW ;理论蕴藏量在 1 万 kW 及以上河流上单站装机容量 500 kW 及以上水电站的技术可开发装机容量为 54164 万 kW ,年发电量为 24740 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,其中经济可开发水电站装机容量 40179 万 kW ,年发电量 17534 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,分别占技术可开发装机容量和年发电量的 74.2%和 70.9%。

水能资源是有限的自然资源、清洁和可再生的能源资源,是我国仅次于煤炭资源的第二大能源资源。也是支撑我国经济发展的战略资源。水能资源在我国的分布具有以下几个特点。

1. 水能资源地域分布极其不均,需要水电“西电东送”

由于我国幅员辽阔,地形与雨量差异较大,因而形成水能资源在地域分布上的不平衡,水能资源分布是西部多、东部少。按照技术可开发装机容量统计,我国经济相对落后的西部大开发地区云、贵、川、渝、陕、甘、宁、青、新、藏、桂、蒙等 12 个省(自治区、直辖市)水能资源约占全国总量的 81.46%,特别是西南地区云、贵、川、渝、藏就占 66.70%;其次是中部的黑、吉、晋、豫、鄂、湘、皖、赣等 8 个省占 13.66%;而经济发达、用电负荷集中的东部辽、京、津、冀、鲁、苏、浙、沪、粤、闽、琼等 11 个省

(自治区、直辖市) 仅占 4.88%。我国的经济是东部相对发达、西部相对落后, 因此西部水能资源开发除了西部电力市场自身需求以外, 还要考虑东部市场, 实行水电的“西电东送”。

2. 水能资源时间分布不均, 需要建设水库进行调节

我国位于亚欧大陆的东南部, 濒临世界上最大的海洋, 使我国具有明显的季风气候特点, 因此大多数河流年内、年际径流分布不均, 丰、枯季节流量相差悬殊, 需要建设调节性能好的水库, 对径流进行调节。这样才能提高水电的总体发电质量, 以更好地适应电力市场的需要。

3. 水能资源较集中地分布在大江大河干流, 便于建立水电基地实行战略性集中开发

水能资源富集于金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江、长江上游、南盘江红水河、黄河上游、湘西、闽浙赣、东北、黄河北干流以及怒江等水电基地, 其总装机容量约占全国技术可开发量的 50.9%。特别是地处西部的金沙江中下游干流总装机规模 58580MW, 长江上游干流 33197MW, 长江上游的支流雅砻江、大渡河以及黄河上游、澜沧江、怒江的规模都超过 20000MW, 乌江、南盘江红水河的规模也超过 10000MW。这些河流水能资源集中, 有利于实现流域、梯级、滚动开发, 有利于建成大型的水电基地, 有利于充分发挥水能资源的规模效益实施“西电东送”。

第三节 我国水利水电建设的成就和展望

我国是世界上利用水能最早的国家, 早在三四千年前就开始利用水力磨面、舂米、提水灌溉。利用水力发电, 是 20 世纪初从建设小水电开始的。1905 年日本人在台北附近的新店溪支流上兴建了龟山水电站。我国自己兴建的第一座水电站, 是位于云南昆明滇池出口—海口上的石龙坝水电站, 于 1910 年动工, 1912 年建成发电, 为清末官商合办, 装机 5 台, 容量 480kW, 后扩建为 2920kW; 1949 年新中国成立后, 另安装了 2×3000 kW 机组, 并易名为昆明第四电厂。之后的几十年, 由于旧中国的贫穷落后, 我国的水电几乎没有得到什么发展。到 1949 年, 500kW 及以下的小水电只有 33 处, 发电装机容量 3634kW; 包括日本人为了进一步掠夺我国而建设但未建完且留有众多质量隐患的丰满水电站在内, 全国的水电装机容量仅为 16.3 万 kW, 年发电量只有 7 亿 kW·h, 在当时分别居世界的第 25 位和第 23 位。

1949 年新中国成立后, 我国的水电得到了很好的发展。

一个世纪, 特别是新中国成立以来, 经过几代水电建设者的艰苦努力, 中国的水电建设从小到大、从弱到强不断发展壮大。改革开放以来, 水电建设更是迅猛发展, 工程规模不断扩大。20 世纪 50~60 年代初, 主要修复丰满大坝和电站, 续建龙溪河、古田等小型工程, 着手开发一些中小型水电 (如官厅、梅山、黄坛口、流溪河等电站)。在 20 世纪 50 年代后期条件逐步成熟后, 对一些河流进行了梯级开发, 如狮子滩、盐锅峡、拓溪、新丰江、新安江、西津和猫跳河、以礼河等工程。20 世纪 60 年代中期到 70 年代末这段时期内开工的有龚嘴、映秀湾、乌江渡、碧口、凤滩、龙羊峡、白山、大化等工程。20 世纪 70 年代初, 第一座装机容量超过 1000MW 的刘家峡水电站投产。20 世纪 80 年代容量 2715MW 的葛洲坝水电站建成, 之后一系列大水电站相继建设, 容量 18200MW 的三

峡工程也于 1994 年正式开工；到 2000 年底，全国规模超过 1000MW 已建和在建的大水电站（不包括蓄能电站）已有 18 座。

世纪之交，中国政府提出了西部大开发的战略，为中国西部水电发展提供了新的契机。除长江干流上三峡水电站外，在长江重要支流雅砻江、大渡河、乌江上均已建成或正在建设巨型水电站；黄河上游龙羊峡至青铜峡河段、澜沧江、南盘江、红水河均已建成或正在建成一批百万千瓦以上的骨干水电站。这些河流或河段水力资源的开发，为西部大开发和“西电东送”拉开了序幕。洪家渡、龙滩、小湾、公伯峡、三板溪等水电站的开工建设又为 21 世纪我国的水电开发拉开了新的序幕。2004 年我国水电装机容量突破 1 亿 kW，成为名副其实的水电生产大国。与此同时，一批 300 万 kW 以上级别的大型水电站如金沙江溪洛渡、向家坝、四川锦屏一级、青海拉西瓦等相继开工建设或即将开工建设。2007 年，国家仅在建的 150 万 kW 以上大型水电站就达 14 个，总装机容量超过 7600 万 kW。至 2007 年，全国水力资源开发程度已超过 30%，其中以长江流域中上游地区的水电开发最具成效。目前，湖北、四川、云南三省装机容量和发电量均居全国前三位，担负着“西电东送”的重要角色。同样作为“西电东送”首批项目的贵州洪家渡、引子渡、乌江渡（扩机）工程于 2000 年底开工。此后的广西龙滩水电站、云南小湾、青海公伯峡、新疆吉林台水电站等也相继开工建设，加快了西电东送工程计划的实施，促进了中国水电事业的大发展。

到 2015 年，常规水电装机容量将达到 27100 万 kW，占电力总装机容量的 28.6%，开发程度达 50%；到 2020 年，常规水电装机容量将达到 32800 万 kW，占电力总装机容量的 28.5%，开发程度达 60%。

按规模划分，大中型常规水电将在 2005 年底装机 7636 万 kW 的基础上，在“十一五”、“十二五”和“十三五”期间分别需要投产 6764 万 kW、6450 万 kW 和 4450 万 kW。到 2015 年和 2020 年末，全国大中型常规水电站总规模将分别达到 20850 万 kW 和 25300 万 kW；小型水电站（装机容量 5 万 kW 以下电站）2005 年底装机容量 3794 万 kW，以后按每年 250 万 kW 左右投产，到 2010 年、2015 年和 2020 年末，全国小型水电站总规模将分别达到 5000 万 kW、6250 万 kW 和 7500 万 kW。

到 2020 年，在全国水电发展到 32800 万 kW 规模时，东部地区开发总规模将达到 2900 万 kW，占全国的 9%，水力资源基本开发完毕；中部地区总规模为 7200 万 kW，占全国的 22%，其开发程度达到 90% 以上；西部地区总规模为 22700 万 kW，占全国的 69%，其开发程度达到 51.5%，其中，四川、云南、贵州的水电开发总规模分别为 7600 万 kW、6280 万 kW 和 1830 万 kW，开发程度分别为 63.3%、61.6% 和 94%。

按 13 大水电基地划分，到 2015 年和 2020 年，13 大水电基地的总体开发程度分别达到 55% 和 70%。其中，至 2015 年末，金沙江中下游、雅砻江、大渡河、澜沧江和怒江水电基地开发程度分别达到 29.1%、57.0%、68.5%、57.4% 和 14.0%；至 2020 年末，金沙江中下游、雅砻江、大渡河、澜沧江和怒江水电基地开发程度达到 54.9%、72.9%、86.9%、76.4% 和 33.7%。

根据全国水电电源规划及“西电东送”规划研究成果分析，至 2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年，初步安排全国水电“西电东送”总容量分别为 1980 万 kW、4440 万

kW、8750 万 kW 和 10650 万 kW，其中，南部通道“西电东送”总容量分别为 880 万 kW、1440 万 kW、2430 万 kW 和 3260 万 kW，中部通道“西电东送”总容量分别为 1100 万 kW、2850 万 kW、6020 万 kW、7090 万 kW，北部通道“西电东送”总容量分别为 0 万 kW、150 万 kW、300 万 kW、300 万 kW。扣去 2004 年前已有的水电“西电东送”容量约 1470 万 kW（天生桥一、二级，云电外送，川电外送和三峡、葛洲坝等），上述各水平年全国水电“西电东送”累计增加外送容量分别为 510 万 kW、2970 万 kW、7280 万 kW 和 9180 万 kW。

至 2020 年，13 大水电基地规划水电工程绝大部分已开工建设，结转 2020~2030 年投产容量约 4000 万 kW。从 2020 年开始，水电开发的主战场逐渐向金沙江、澜沧江和怒江上游转移，从而启动具有战略意义的“藏电外送”工程。

第四节 水利水电规划课程的任务及主要内容

“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，以使学生毕业后，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。

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，以及拟定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，也不是单一用途地运行着，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，和其他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。

本教材绪论主要介绍水资源的概念以及特点、世界水资源概况、我国水资源概况以及特点、水能资源的概念、我国水能资源蕴藏量及特点、我国水利水电建设的成就和展望等；第一章主要介绍了水资源综合利用的原则、主要用水部门的用水特点以及各水利部门之间的矛盾及其协调等；第二章~第五章主要介绍了兴利调节计算、洪水调节计算、水能计算、水电站及水库的主要参数选择等；第六章和第七章则介绍了水库群的水利水能计算以及水库调度的基本理论和基本方法等。

第一章 水资源的综合利用

第一节 水资源综合利用的原则

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