



普通高等教育“十二五”规划教材

水能利用

主 编 方国华

副主编 周红梅 高玉琴



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 能 利 用

主 编 方国华

副主编 周红梅 高玉琴



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是为了适应我国水能资源开发利用的实际需要而编写的。在简要介绍工程水文基本知识和水资源综合利用概念的基础上,着重介绍了水能资源开发利用的原理和方式、水库特性及分类、兴利调节计算、水库洪水调节计算、水能计算及水电站在电力系统中的运行方式、水电站及水库主要参数选择、水库群水利水能计算、水利枢纽及其建筑物、水电站厂房设计和水电站经济运行等内容。

本书的编写紧密结合我国水电建设的实际情况和经验,内容新颖,剪系统性强,理论联系实际;适宜于作为高等院校热能动力工程专业“水电站动力设备”方向水能利用课程教材,也可供相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 / 方国华主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1155-2

I. ①水… II. ①方… III. ①水电资源—资源利用—高等学校—教材 IV. ①TV7

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第187218号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 水能利用
作 者	主编 方国华 副主编 周红梅 高玉琴
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.75印张 420千字
版 次	2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00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

水电是清洁的、无污染的再生性绿色能源，优先开发水电是世界各国在能源开发利用过程中总结出来的一条宝贵经验。我国的水能资源丰富，理论蕴藏量和可开发利用量均居世界首位。合理开发利用水能资源对优化我国能源结构、促进整个国民经济的健康持续发展具有极为重要的作用和意义。

为了满足我国水能资源开发利用工作的需要，在总结多年教学和实际工作经验的基础上，编写了《水能利用》一书。全书共有十章内容，另有绪论和附表。第一章为工程水文基本知识；第二章至第七章为水能规划；第八章、第九章为水利枢纽及其建筑物、水电站厂房设计；第十章为水电站经济运行。

本书绪论、第一章至第六章由方国华编写；第八章、第九章由周红梅编写；第七章、第十章由高玉琴编写。全书由方国华统稿。

本书的编写，参考和引用了一些相关专业书籍的论述，编者在此向有关人员致以衷心的感谢。

限于时间和水平，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 11 月

目录

前言

绪论	1
第一章 工程水文基本知识	9
第一节 水文的基本概念	9
第二节 设计年径流量的分析计算	12
第三节 设计洪水	24
思考题与习题	29
第二章 水资源的综合利用	32
第一节 概述	32
第二节 水力发电	39
第三节 水能资源的开发方式	41
第四节 河流的综合利用规划和梯级开发	46
思考题与习题	49
第三章 兴利调节	50
第一节 水库特性	50
第二节 兴利调节分类	56
第三节 设计保证率 and 设计代表期	59
第四节 兴利调节计算原理	63
第五节 兴利调节时历列表法	65
第六节 兴利调节时历图解法	75
思考题与习题	90
第四章 水库洪水调节计算	93
第一节 水库调洪的任务与防洪标准	93
第二节 水库调洪计算的原理与方法	95
第三节 其他情况下的水库调洪计算	101
思考题与习题	105

第五章 水能计算及水电站在电力系统中的运行方式	107
第一节 水能计算的目的与内容	107
第二节 水电站保证出力与多年平均年发电量计算	110
第三节 电力系统的负荷图	114
第四节 电力系统的容量组成及各类电站的工作特性	120
第五节 水电站在电力系统中的运行方式	124
第六节 水电站经济评价	129
思考题与习题	132
第六章 水电站及水库主要参数的选择	135
第一节 水电站装机容量的选择	135
第二节 以发电为主的水库特征水位的选择	154
第三节 防洪特征水位选择	170
第四节 水电站及水库主要参数选择的程序简介	175
思考题与习题	176
第七章 水库群水利水能计算	179
第一节 水库群的分类及补偿特性	179
第二节 水电站水库群的径流调节和水能计算	180
第三节 水电站水库群参数选择	188
第四节 水库群蓄放水次序	191
思考题	193
第八章 水利枢纽及其建筑物	194
第一节 水利枢纽及其布置原则	194
第二节 挡水建筑物	201
第三节 泄水建筑物	212
第四节 水电站输水系统	224
思考题与习题	230
第九章 水电站厂房	231
第一节 水电站厂房的组成	231
第二节 引水式地面厂房的布置	233
第三节 其他类型厂房的布置	246
思考题与习题	250
第十章 水电站经济运行	251
第一节 水电站经济运行的基本内容	251
第二节 水电站厂内经济运行	252
第三节 水电站水库调度	256
第四节 具有综合利用任务的水电站水库调度	265

第五节 水电站水库优化调度简介	268
思考题	272
附表	273
参考文献	277

绪 论

一、我国水资源概况

众所周知，水是地球上生命的来源，是人类和一切生物赖以生存的物质基础。由水文循环所形成的能为人类开发利用的地表、地下淡水，称为水资源，它是人类最宝贵的自然资源。

地球上水很多，但能称为水资源的量极为稀少。全球水储量约 13.85×10^9 亿 m^3 。其中，海洋等咸水占 97.5%，约 13.51×10^9 亿 m^3 ；而淡水储量包括冰川与永久积雪、地下淡水、河流等水体，只占总储量的 2.5%，约 0.35×10^9 亿 m^3 。其中，人类难以利用的，如冰川和永久积雪、永冻地层中的冰就占淡水总储量的 69.5%；难以利用的深层地下淡水量占 30.1%；可供人类开发利用的水资源不足 1%，只占淡水的极少部分。

我国幅员辽阔，江河众多，流域面积在 100km^2 以上的河流有 5 万多条，还有大量天然湖泊，河流总长度约为 42 万多 km。我国水资源总量丰富，年降水总量为 61889 亿 m^3 ，多年平均年地表水资源量（即河川径流量）为 27115 亿 m^3 ，多年平均年地下水资源量为 8288 亿 m^3 ，扣除重复计算量以后，全国多年平均年水资源总量为 28124 亿 m^3 ，居世界第六位。但是，我国人口众多，人均年占有水资源量仅有 2185m^3 ，只有世界平均水平的 $1/4$ ，已被联合国列为 13 个贫水国家之一。如果从单位耕地面积水量来看，也远远小于世界平均水平。我们用全世界 7.2% 的耕地，养育着全球 $1/5$ 的人口，可以看出我国水土资源与实际需求之间的矛盾十分尖锐。

二、水能利用的特点及作用

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再生、清洁、廉价的能源，又专门称之为水能资源。

地球上的能源形形色色，大体可分为四类：第一类是来自地球以外天体的能量，主要是太阳的辐射能，此外，还有其他恒星或天体发射到地球上的各种宇宙射线的能量；第二类是地球本身蕴藏的能量，如煤、石油、天然气、核能、水能、地热能等；第三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；第四类是利用地球上生物产生的能量，如沼气、薪柴等，称为生物质能。前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，称为二次能源。在一次能源中，太阳能、生物质能、风能和水电等是由核聚变、核裂变，利用生物制能技术以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，生成年代久远、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。

早在 3000 多年前,水能资源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,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。我国第一座水电站——云南石龙坝水电站建成于 1912 年,比德国晚了近半个世纪。

“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枢纽。

水力发电有许多突出的优点:①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;②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;③水电可以借助于建好的水库,调节蓄储水能,提高供电的灵活性和经济性;④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;⑤水力发电不产生污染,而且在水电站、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。

此外,水力发电也存在一些缺点:①在洪枯流量相差悬殊的河流上,为了综合利用,需建高坝大库进行径流调节,往往淹没和浸没损失较大,需大量移民;②土建工程量较大,使得一次投资较大、工期较长;③水力发电受地形、地质等条件的限制;④河流泥沙、天然径流变化等对其影响比较大等;大型水利工程有可能导致生态环境的破坏,水土流失、水质污染等问题也是不容忽视的。因此,开发水电要选择合适的坝址,要进行环境影响评价,对移民安置、土地损失、水土流失、水质、水陆生物、人体健康、上下游水文条件、水库综合利用、文化遗产等方面的影响进行分析研究,并要进行详细的环境保护和水土保持方案的设计。

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。

三、我国水能资源的分布及特点

我国地域辽阔、江河众多,径流丰沛、落差巨大,蕴藏着极为丰富的水能资源。世界水能资源分为理论蕴藏量、技术可开发量、已经和正在开发量。而我国的水能资源划分为理论蕴藏量、技术可开发量、经济可开发量、已经和正在开发量四项。水能资源理论蕴藏量是指河川或湖泊的天然水能能量(年水量与水头的乘积),以年发电量和平均功率表示。技术可开发量是指河川或湖泊在当前技术水平条件下可开发利用的资源量(年发电量和装机容量)。经济可开发量是指河川或湖泊在当前技术经济条件下,具有经济开发价值的资源量(年发电量和装机容量),即与其他能源相比具有竞争力,且没有制约性环境问题和制约性水库淹没处理问题的资源量。已经和正在开发量是指已经建成或正在建设之中的水

电站资源量（年发电量和装机容量）。

世界水能总蕴藏量为 5050000MW，其中技术可开发利用量约为 2260000MW，年发电量达 14.4 万亿 kW·h。

我国先后进行了四次大规模的全国水能资源普查（1950 年、1955 年、1980 年、2005 年）。2005 年第四次发布的复查成果见表 0-1~表 0-3。

表 0-1 我国水能资源蕴藏量

项 目	多年平均年发电量 (亿 kW·h)	装 机 容 量 (MW)	水 电 站 数 (座)
理论蕴藏量	60829	694400	
技术可开发量	24740	541640	13286+28/2
经济可开发量	17534	401795	11653+27/2
已经和正在开发量	5259	130980	6053+4/2

注 表中数值统计范围为理论蕴藏量 10MW 及以上河流和这些河流上单站装机容量 0.5MW 及以上的水电站，未含我国香港、澳门、台湾地区数据，统计至 2001 年年底。

表 0-2 我国水能资源分省（自治区、直辖市）统计结果

序号	省（自治区、直辖市）	技术可开发量			经济可开发量			已 开 发 量			开发程度 (%)
		电站数量 (座)	装机容量 (MW)	年发电量 (亿 kW·h)	电站数量 (座)	装机容量 (MW)	年发电量 (亿 kW·h)	电站数量 (座)	装机容量 (MW)	年发电量 (亿 kW·h)	
1	北京、天津、河北	179+1/2	1751	37	104+1/2	1251	25	65+1/2	687	15	39
2	山西	169+7/2	4020	121	149+7/2	3974	119	59+3/2	943	29	24
3	内蒙古	103+10/2	2625	73	82+10/2	2567	72	24+2/2	737	19	28
4	辽宁	200+3/2	1767	60	171+3/2	1729	59	68+2/2	1360	47	77
5	吉林	188+14/2	5116	118	157+14/2	5042	115	71+2/2	3883	79	76
6	黑龙江	166+11/2	8162	238	111+11/2	7227	212	41+1/2	972	20	12
7	上海	22	58	2	14	22	1	14	22	1	39
	江苏										
8	浙江	1070+4/2	6644	161	1067+4/2	6613	161	651	4424	105	67
9	安徽	157	1074	30	144	996	27	65	613	17	57
10	福建	1031+4/2	9980	352	1027+4/2	9698	245	482	5808	213	58
11	江西	533	5163	171	448	4162	138	255	2037	61	40
12	山东	50	64	2	37	51	1	21	35	1	54
13	河南	214+3/2	2881	97	137+3/2	2726	91	83+2/2	2331	77	81
14	湖北	704+2/2	35541	1386	649+2/2	35356	1380	326	31476	1257	89
15	湖南	967+2/2	12021	486	769+2/2	11350	458	448+1/2	6857	282	57
16	广东	1051	5401	198	970	4879	178	672	3435	124	64

续表

序号	省（自治区、直辖市）	技术可开发量			经济可开发量			已 开 发 量			开发程度（%）
		电站数量（座）	装机容量（MW）	年发电量（亿 kW·h）	电站数量（座）	装机容量（MW）	年发电量（亿 kW·h）	电站数量（座）	装机容量（MW）	年发电量（亿 kW·h）	
17	海南	85	761	21	82	711	20	54	453	13	60
18	广西	821+5/2	18914	809	759+5/2	18575	795	410+3/2	12334	525	65
19	四川	1992+27/2	120040	6122	1836+19/2	103271	5233	756+2/2	16301	861	14
20	重庆	421	9808	416	323	8196	378	194	1557	67	16
21	贵州	574+27/2	19488	778	448+26/2	18981	752	194+7/2	10190	370	52
22	云南	769+27/2	101939	4919	729+25/2	97950	4713	470+3/2	11258	539	11
23	西藏	333+5/2	110004	5760	191	8350	376	82	457	16	1
24	陕西	343+6/2	6624	222	312+6/2	6502	217	134+1/2	1901	69	29
25	甘肃	310+11/2	10625	444	195+10/2	9009	370	85+2/2	3692	164	35
26	青海	229+12/2	23140	913	170+8/2	15479	555	96+2/2	5083	206	22
27	宁夏	10+1/2	1458	59	10+1/2	1458	59	5	429	19	29
28	新疆	518	16565	713	495	15671	683	213	1707	60	10
合计		13286+28/2	541640	24740	11653+27/2	401795	17534	6053+4/2	130980	5259	24

注 表中未包含我国香港、澳门、台湾地区数据。

表 0-3 我国各流域水能蕴藏量

流 域	理论蕴藏量		技术可开发量			经济可开发量		
	年发电量（亿 kW·h）	平均功率（MW）	电站数量（座）	装机容量（MW）	年发电量（亿 kW·h）	电站数量（座）	装机容量（MW）	年发电量（亿 kW·h）
长江流域	24336	277808	5748	256273	11879	4968	228319	10498
黄河流域	3794	43312	535	37343	1361	482	31648	1111
珠江流域	2824	32237	1757	31288	1354	1538	30021	1298
海河流域	248	2830	295	2030	48	210	1510	35
淮河流域	98	1119	185	656	19	135	557	16
东北诸河	1455	16607	644+26/2	16821	465	510+26/2	15729	434
东南沿海诸河	1776	20275	2558+1/2	19075	593	2532+1/2	18648	581
西南国际诸河	8630	98517	609+1/2	75015	3732	532	55594	2684
雅鲁藏布江及西藏其他河流	14035	160215	243	84664	4483	130	2596	120
北方内陆及新疆诸河	3634	41479	712	18472	806	616	1717	756
合计	60829	694400	13286+28/2	541640	24740	11650+27/2	401795	17534

注 表中未包含我国香港、澳门、台湾地区数据。

根据 2005 年的普查结果,我国的水能资源总量,包括理论蕴藏量、技术可开发量等均居世界首位。我国大陆水能资源理论蕴藏量在 10MW 以上的河流共 3886 条,其理论蕴藏量为 694000MW,年发电量为 6.08 万亿 kW·h;技术可开发量为 542000MW,年发电量为 2.47 万亿 kW·h;经济可开发量为 402000MW,年发电量为 1.75 万亿 kW·h。

全国水能资源技术可开发量最富集的三个省(自治区)排序为:四川第一、西藏第二、云南第三,其装机容量分别为 120040MW、110004MW 和 101939MW,分别占全国技术可开发量的 22%、20%和 19%。全国江河水能资源技术可开发量排序前三位为:长江流域 256273MW、雅鲁藏布江流域 67850MW、黄河流域 37343MW,分别占全国技术可开发量的 47%、13%和 7%。

全国农村水力资源 ($0.1\text{MW} \leq \text{单站装机容量} \leq 50\text{MW}$) 可开发装机容量为 128000MW。其中,第四次复查(10MW 以上河流, $0.5\text{MW} \leq \text{单站装机容量} \leq 50\text{MW}$) 的小水电资源可开发装机容量 65210MW,补充复查增加 62790MW。我国农村小水电资源点多面广,遍及全国 30 个省(自治区、直辖市) 1600 多个县(市、区),主要集中在西部地区。截至 2010 年年底,全国建成小水电站 44815 座,装机容量 5925 万 kW,占全国水电装机容量的 28%。星罗棋布的小水电站给广大农村和乡镇带来了光明。全国 1/2 的国土、1/3 的县市、1/4 的人口主要依靠小水电供电,累计解决了 3 亿多人口的用电问题。

根据 2005 年发布的我国台湾水能资源复查结果,其理论蕴藏量 11652MW,年发电量 1021.7 亿 kW·h;技术可开发量 5048MW,年发电量 201.5 亿 kW·h;经济可开发量 3835MW,年发电量 138.3 亿 kW·h。

我国水能资源分布极不均匀,但能源分布比较有利,西南、中南地区缺煤、少油,但水能丰富;东北、华北地区水能资源虽少,但煤、石油较多;西北地区煤、油资源丰富,水能储量适中;华东地区缺煤,水能资源不多,但近海石油、潮汐能源丰富。

我国水能资源除总量丰富,居世界首位外,还具有以下鲜明特点。

(1) 水能资源在地域分布上极不均衡。从总体来看,西部多(占 81.46%)、东部少,水能资源相对集中在西南地区(占 66.70%),而经济发达、能源需求量大的东部地区水力资源量极小。因此,西部水能资源开发除了满足西部电力市场自身需求以外,更重要的是要考虑东部市场,实施“西电东送”战略。

(2) 水能资源时间分布不均。大多数河流年内、年际径流分布不均,丰、枯季节流量相差较大,需要建设调节性能好的水库,对径流进行调节,缓解水电供应的丰枯矛盾,提高水电的总体供电质量。

(3) 水能资源集中于大江大河干流。水能资源主要富集于金沙江、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 51%,占经济可开发量的 80%,有利于集中开发和“西电东送”。

(4) 大型水电站装机容量比重大。技术可开发 300MW 以上的大型水电站虽然只有 263 座+国际界河 10 座,但占 71.76%。其中,1000MW 以上特大型水电站有 111 座+国际界河电站 10 座,占 50%。

四、我国及世界水能资源的开发利用

1949 年新中国成立以来,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 12000kW,包括东北日伪时期修建的丰满水电站在内,也只有 160MW,年发电量只有 7 亿 kW·h,装机容量和年发电量在当时分别居世界的第二十五位和第二十三位。但自 1987 年以来,我国水电装机容量和年发电量发展迅速,至 2012 年 4 月,全国水电装机容量已突破 2.3 亿 kW,居世界第一。2011 年全年发电量达 6205 亿 kW·h,预计到 2015 年末,水电装机容量将达到 271000MW,水电开发程度将达到 50%。

除水力发电事业大为进步外,我国水库大坝等水利设施建设也蒸蒸日上。至 2010 年年底,全国已累计建成各类水库 87873 座,水库总库容达 7162 亿 m³,其中大型水库 552 座,总库容 5594 亿 m³,占全部总库容的 78.1%;中型水库 3269 座,总库容 930 亿 m³,占全部总库容的 13.0%。至 2008 年年底,中国 30m 以上的已建和在建大坝共有 5191 座,其中 100m 以上 142 座。全国大中型水库大坝安全达标率为 91.6%。

从世界范围看,2008 年全球水电总发电量 30450 亿 kW·h,占经济可开发量 87280 亿 kW·h 的 39.5%。另根据 2008 年的统计数据,世界上有 16 个国家依靠水电为其提供 90% 以上的能源,如挪威、阿尔巴尼亚等国;有 49 个国家依靠水电提供 50% 以上的能源,如巴西、加拿大、瑞士、瑞典等国。全世界水电的发电量占有发电量总和的 17%,水电总装机容量达 8.48 亿 kW。

至 2007 年,全球水库有效库容约为 4 万亿 m³,约相当于世界河流年径流量的 73%,水库总面积为 50 万 km²,约相当于地球天然湖面的 1/3。至 2005 年年底,世界大坝总数已超过 50000 座,分布在 140 多个国家中,世界上已建 30m 以上大坝数量最多的五个国家依次是:中国(4685 座)、美国(1533 座)、日本(1075 座)、西班牙(517 座)、印度(515 座)。目前水电装机容量排在前五名的水电站是:中国三峡(18200MW),巴西和巴拉圭合建的伊泰普(12600MW),中国溪洛渡(12600MW),委内瑞拉的古里(10000MW),巴西的图库鲁伊(8400MW)。

从水电资源的开发程度看,发达国家水电平均开发程度在 60% 以上,其中,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、瑞士等均在 80% 以上。近年来我国水利水电事业虽然取得了长足的发展,但是水电开发利用程度与世界发达国家相比差距仍很大,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。

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来建设水电站。例如,世界上水能资源最富集的三个河段,有两个位于我国。一个是我国的雅鲁藏布江大河湾,长 260km,河湾直线距离仅 35km,有落差 2350m。若一级开发,则建造的墨脱水电站装机容量达 43800MW,年发电量 2630 亿 kW·h;八级开发时,总装机容量达 46820MW,年发电量 2810 亿 kW·h。另一个是金沙江中下游河段,长 1500km,规划建十级大型水电站,总装机容量 64000MW,年发电量 3102 亿 kW·h。此外,还有非洲的扎伊尔河下游,长 300km,设计三级巨型电站,其总装机容量达 68500MW,年发电量 5060 亿 kW·h,平均每公里年发电量 16.9 亿 kW·h。

我国大、中、小型水电站的划分标准为：大型水电站装机容量 300MW 及以上；中型水电站装机容量 50MW 及以上，小于 300MW；小型水电站装机容量 0.5MW 及以上，小于 50MW。据统计，我国可建 2000MW 以上的特大型水电站就有 33 座。现在已经开发和正在开发的水电站有葛洲坝（2715MW）、李家峡（2000MW）、三峡（18200MW）、二滩（3300MW）、溪洛渡（12600MW）、向家坝（6000MW）、龙滩（4200MW）、小湾（4200MW）、构皮滩（3000MW）、瀑布沟（3600MW）、拉西瓦（4200MW）、锦屏一级（3600MW）、锦屏二级（4400MW）等。

世界在开发水能资源、建设水电站方面的发展趋势是：①提高单机容量，扩大水电站规模；②提高水电站自动化和管理运行水平；③大力发展抽水蓄能电站；④提高水电容量的比重；⑤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管理运行，以及研究利用新的清洁、再生能源等。

从表 0-4 中可以看出，2010 年全国装机容量水电占了 22.17%，火电占 73.44%，核电占 1.12%，风电占 3.23%；2010 年年发电量中水电占 16.23%，火电占 80.76%，核电占 1.82%，风电占 1.18%。

地球上储藏的化石能源有限，现有的石油、天然气只能维持 50 年左右，煤炭也只能维持不超过 200 年。因此，未来能源开发的重点将是再生能源。除大力开发水能资源外，重点将转移到风电和太阳能发电等。我国风能理论蕴藏量为 3226000MW，居世界第一位。可开发利用的储量约 1000000MW，其中陆地约 253000MW，海上约 750000MW。我国风电目前已处在大规模开发阶段，前景看好。

为了节约能源资源、保护环境，更好地满足经济和社会发展对能源的需求，国家鼓励和支持水能资源的合理有序开发。按照能源中长期发展规划，到 2020 年常规水电装机容量将达到 328000MW，占电力总装机容量的 28.6%，水电开发程度将达到 60%。

表 0-4 全国 2010 年装机容量及年发电量

项 目	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)	装机容量百分比 (%)	年发电量百分比 (%)
水电	21340	6863	22.17	16.23
火电	70663	34145	73.44	80.76
核电	1082	768	1.12	1.82
风电	3107	501	3.23	1.18
合计	96219	42280	100	100

注 1. 总装机容量数据还包括太阳能、潮汐、柴油等其他能源发电装机容量。

2. 表中未包含我国香港、澳门、台湾地区数据。

五、本课程的主要任务与内容

水能利用的任务是在掌握工程水文内容的基础上，学习水能资源开发利用的基本理论、基本知识，初步掌握这方面的分析计算方法，以使毕业生毕业后，经过一段时间的生产实际锻炼能参加这方面的工作。对从事水利水电工程施工和管理的工程技术人员来说，掌

握必要的水能规划设计知识也是很有必要的。本课程的主要内容有：工程水文基本知识，水资源的综合利用，水库兴利调节和洪水调节计算，水能计算及水电站在电力系统中的运行方式，水电站及水库的主要参数选择，水库群水利水能计算，水利枢纽及其建筑物，水电站厂房和水电站经济运行等。

与本书关系比较密切的课程有《水力学》《工程水文学》《工程经济》《水轮机》和《水电站电气设备》等。

思 考 题

1. 我国水利水能资源的分布如何？总蕴藏量多少？可开发的水能资源有多少？
2. 我国开发水能资源有何有利条件？
3. 我国水利水电建设及能源开发利用方针政策是什么？
4. 我国南方和北方河流有什么差别？开发中有何利弊？
5. 简述我国水能资源开发所取得的成就。

第一章 工程水文基本知识

为了合理有效地开发利用水资源和水能资源，在水电站及其他水利工程的规划设计和管理工作，必须进行水文水利计算，需要很好地掌握工程水文学的知识；水文资料，特别是其中的河川径流资料，是进行水文水利计算的基本依据。为此，本章专门介绍工程水文的基本知识，主要包括水文的基本概念、设计年径流量的分析计算和设计洪水过程线的推求等内容。

第一节 水文的基本概念

一、水循环及河川径流

空中水汽凝结后以降水（如雨、雪等）形式降落至地面，部分入渗至地下。由地面及地下注入河川，这些从河川中流出的水通称径流。在流域出口断面处量测到径流的水量称为径流量。

研究径流的变化规律，首先必须了解自然界的水循环。地球上的水分主要存在于地表面上、地表面下以及大气层中三个方面。由于太阳辐射热及地球引力的作用，地球上各部分的水分不断交替运行着。地球表面的水受到太阳辐射热的作用蒸发变为水汽，被气流带到空中，在适当的条件下凝结成水，以降水形式落到地面。降落到地面的水一部分蒸发，另一部分汇入河道流至海洋，这种周而复始的循环过程称为水循环。形成水循环的内因是水的物理特性，因为水随着温度的不同，以固体、液体和气体三种形态出现，因而使水分在循环过程中有转移、交换的可能。外因是太阳辐射热和地球引力。太阳辐射热是地表热能的主要源泉，它促使冰雪融化、水分蒸发、空气流动等，因而是水分循环的动力；地球引力是促使地面水流流归海洋的动力。除此而外，水循环路线的构成和性质，流域的地质、地貌、土壤植被情况，对水循环也有一定的影响。

二、河流及流域

（一）河流

一条河流沿水流方向自高向低可分为河源、上游、中游、下游和河口等。这些以及与此有关的名称分别叙述如下。

（1）河源：河流的发源地。泉水、沼泽、湖泊等常是河流的源头。

（2）上游：河流的上段，它直接与河源相接，其特征是落差大，河谷窄、下切力强、水流急。

（3）中游：在上游之下，河道的纵坡被水流冲刷得逐渐变缓。水流下切力衰退而旁蚀

力量增强。因此，河槽逐渐变宽和曲折。

(4) 下游：河流的下段，河谷宽、坡度缓、流速小、浅滩沙洲多。

(5) 河口：河流流入大海、湖泊及与其他河流汇合之处，也就是一条河流之终点。

(6) 河长：自河源（河流最初具有表面水流形状的地点）至河口的河道水面中心线的长度称为河长。可用曲线计或分规在适当比例的地形图上量得。

(7) 河系：河流的干支流、溪涧、小沟和湖泊等组成脉络相通的系统称为河系，又称水系。河系根据干支流的分布状况可分为扇形河系、羽形河系、平行河系和混合河系等四种几何形态。

(8) 河谷：河流延伸的地形低洼处，可以排泄水的地方称河谷。

(9) 河槽：河谷谷底过水的部分为河槽。河槽的横断面，一般是指与水流方向相垂直的剖面，它的下界为河底，两侧为河槽的斜坡，上界为水面线，故又称为过水断面。

(10) 河流的比降：有河流纵比降与河流横比降之分。

(11) 河流纵比降：河段两端水面（或河底）的高程差称落差。河源与河口两处水面的高程差称总落差。单位河长的落差称纵比降。

当河段纵断面近于直线时，比降按下式计算为

$$J = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{\Delta h}{L} \quad (1-1)$$

式中 J ——河流纵比降；

h_1 、 h_2 ——河段上下游两端水面的高程，m；

L ——河段的长度，m。

(12) 河流横比降：对于河道中的水流，因为地球自转，而产生偏转力及河湾处的离心力。因此河流横断面的水面不是绝对水平的，而有一横比降。

(二) 流域

流域是指河流的集水区域，即把地面和地下的径流汇入河流并补给河流的区域称为流域。流域的周界称为分水岭。

河川径流的变化与流域特征有关。在不同的流域上河川径流过程各有不同。

流域特征分几何特征及自然地理特征。几何特征，如流域面积的大小、形状及流域面积随着河长的增加等；而自然地理特征也是反映径流区域性变化的重要指标，如流域的地理位置、地形、气候特征，流域的土壤及地质、植被以及流域内的湖泊率和沼泽率等。

人类在流域内对自然地理的改造活动有各种水利措施、水土保持和农业措施。这些活动可以改变水循环的路线和水循环要素。径流形成过程也必然随之发生变化。

三、河川径流的表示方法及其基本特性

(一) 径流的表示方法和度量单位

常用的径流表示方法和度量单位有以下几种。

(1) 流量 Q ：单位时间内流过某断面的水体积称为流量，以 m^3/s 计。根据某一断面各个时刻 t 测得的流量 Q ，可绘得流量过程线 $Q=f(t)$ 。各个时刻的流量是指该时刻的瞬时流量。此外，还可以求得日平均流量、月平均流量、年平均流量及多年平均流量值。