

《水力发电工程进展》丛书

主编单位 电力工业部西北勘测设计研究院
河 海 大 学

水电站工程水文

王维第 朱元牲 王锐琛 编著



河海大学出版社

数字图书馆
PDG

丛 书 序 言

中国幅员辽阔,江河密布,水能资源总蕴藏量 6.76 亿 kW,可开发装机容量 3.78 亿 kW,均居世界首位,预计截止 1995 年底,水电总装机将达 5000 万 kW,年装机容量已超过 300 万 kW。一批超大型和大型水电站如长江三峡水电站(1820 万 kW),雅砻江二滩水电站(330 万 kW),黄河李家峡水电站(220 万 kW)正在动工兴建;中、小型水电站星罗棋布。以十二大水电基地为重点的流域水电规划,正在加紧进行。随着我国国民经济的迅速发展,水能资源的开发前景十分广阔,并已进入了一个新的发展阶段。

在长期的水电建设实践中,广大科技人员累积了丰富的实践经验,科研、设计单位与高等院校也提出了一批高水平的科研成果,推动了水电工程的不断发展和创新。但这些宝贵经验的相当一部分,尚未及编入规程规范、教科书或工程手册。为了促进水电工程科学技术的发展和学术水平的提高,组织高校与建设部门的学者、专家联合编写一套系统地介绍国内外水电工程中新理论、新技术、新方法、新进展的丛书,实属我国科技出版事业中一项极有意义的开拓工作。有鉴于此,电力部水利部西北勘测设计研究院与河海大学双方合作商定,在近几年中,陆续出版一套具有反映大中型水电站中的关键技术问题和新科技水平并突出联系实际为特色的《水力发电工程进展》丛书。

本丛书由一系列水电建设科技专题分册组成,选题范围是水电勘测、规划、设计、施工、管理等各领域中的关键性技术专题。从选题到编写,丛书特别注意针对性和适用性两条原则。因此,本丛书可用作有关专业的生产、教学、科研人员和高年级本科生、研究生的重要参考书,也可作为科技人员的实用进修和培训用书。

《水力发电工程进展》丛书的第一批,将陆续出版《水电站工程水文》、《土石坝变形与稳定分析及抗震》、《水力机械优化设计及计算机辅助分析》、《混凝土面板堆石坝》、《水利水电工程泥沙》以及《梯级水电站的优化》等分册。第二批书目正在拟定。各分册的作者都是长期从事水电建设实践、科学研究的专家和学者,他们长期在水电科技领域辛勤耕耘,积累了丰富的经验,掌握了大量第一手资料,并熟悉国内外水电科技的最新进展。因此,本丛书从各个侧面反映了水电工程中已经较为成熟的先进经验。相信这套丛书的出版,对于实现我国本世纪内和进入二十一世纪大规模开发水电工程的宏伟目标,必将产生重要的影响和作用。我乐观其成,爰志数语以为介绍。

潘 家 铮

1995 年 12 月于中国工程院

《水力发电工程进展》丛书编委会

顾 问:朱尔明 许百立

主 任 委 员:左东启

副主任委员:石瑞芳 张庆堂 王世泽

委 员:(按姓氏笔画为序)干 城 王世泽

王维第 左东启 石瑞芳 朱元牲

刘文雪 刘启钊 张庆堂 陈 飞

杨松柏 邴凤山 姜弘道 查一民

夏季华 解启庚

秘 书:高渭文

序

从本世纪 50 年代以来在不到四十年的时间内,中国大陆上出现了大批水电站,其中不乏装机容量超过百万千瓦的大水电站,而这些水电站的规划设计和施工,都是我国广大水电技术人员自己进行的。这些从实践中成长起来的水电队伍以及他们在和自然斗争中积累起来的丰富经验是十分宝贵的。这本书的完成就反映了其中一个侧面,一些从事多年水电站设计和管理的实际工作者和牢记教育要密切结合我国实际的教育工作者把他们在水文设计方面经验的结晶贡献给广大读者。书中凝聚了我国在这方面工作的经验和智慧,基本反映了我国在水电站设计和管理方面水文工作的水平,对丰富并充实我国水文科学的宝库,促进水文科学的发展,有着积极的作用。

水文学在其发展过程中经历了地理水文学和工程水文学的不同途径。从本世纪初各国在大规模发展水利水电工程的同时,工程水文学不断发展壮大,在很大程度上丰富并充实了水文学的内容。我国的科研技术人员在几十年的丰富实践中也作出了不朽的贡献。他们从一开始就注意到不能机械地照搬照抄外国的方法,而总是不忘把外国东西结合我国实际情况进行检验,并在工作中不断摸索发展,吸取其合理部分并摒弃其糟粕,根据我国的实际情况来建立起具有我国特色的理论和方法。本书的作者们正是从这一点出发,努力从我国实践中寻求答案,对国内外已经过大量实践证明并行之有效的办法,仍然结合在我国实际应用中的体会进行总结阐述,这就使本书从形式到内容都具有其特有的风格。由于本书主要是针对水电站建设中的水文问题,因此不同于一般的工程水文学。这种专门针对水电建设、目标性较强的工程水文学的写法在我国也属首创。但其很大部分是针对水库建设,因此本书对广大水利工作者同样具有很高的参考价值。

工程水文学迄今仍是一个正在不断发展的学科,特别是随计算技术、遥感技术的发展,以及在科学领域不断涌现的新进展,在工程水文学领域也在不断充实并发展新的理论和方法。这本书记叙了在我国实践中已经应用的比较成熟的经验,而新的领域还有待于我国广大科技工作者去探索。在这之前,充分认识前人已经走过的路,熟悉并掌握他们的经验是非常必要的。我们需要进一步创造具有我国特色的理论和方法,对这些工作,我们寄厚望于正献身于水文生产、设计、教学和科研战线的广大同志们,特别是当前年青力壮的一代。但是,学习外国经验也好,学习前人经验也好,同样不能机械照搬,而要密切结合科学技术的最新进展,通过大量实践的检验,真正建立起新的理论和方法,这样才能保证我国的水文科学能更好、更快、更健康地向前发展,并在世界知识之林中占有一定的席位。对此,愿和大家一道共勉之。

陈家琦

1993 年 11 月

前 言

本书为《水力发电工程进展丛书》中的一册。根据丛书的编写计划,要求撰写一本反映水电站工程水文工作全貌的专著。

水电站工程水文属于工程水文学,但具有反映水电站专有的特点。结合专业,重点突出,增补新的内容,强调水电工程实践,是本书编写的中心思想。因此,作者希望它能具有下列一些特色。

第一是它的专业性。同一个水文要素,对不同的工程来说,其设计要求和侧重点,可能有很大差异。一个有发电任务的水库,和只有防洪和灌溉任务的水库,在调度上有很大区别。不同类型的水电站,对设计径流的分析计算,也有不同的要求,如年径流及其季节分配的成果,一般只适用于年调节水电站;对只具有旬或日调节能力的径流式水电站,则需要1~7天最小流量的分析成果;而对于多年调节水电站,还需要年际干旱持续的径流分析。随着梯级水电站的大量涌现,水库群的洪水地区组成,就变得更加突出,需要有与此相应的、更合理的计算方法,而在梯级连续开发中的施工设计洪水,还与上游水电站的水库调洪、发电有密切的经济联系,需要进行综合分析比较,确定合理的设计方案。其他如水电站的洪水预报、水库排沙等问题,均与水电站的运行密切相关;水电站厂坝区的水位流量关系,除受河道特性的制约外,还与施工堆渣以及射流增差效果等因素有关,要针对性地加以考虑。上述举例以及其他一些特殊问题,在一般的工程水文学中都是不常见到的内容。

第二是它的综合性。本书以水文分析计算为重点,也尽可能包括水电规划、设计、施工、运行中所需要的其他有关工程水文的全部重要内容。在现有的工程水文学中,一般以径流、洪水和暴雨分析计算为主,而对于水电工程所需要的另外一些内容,如水库泥沙分析计算,水电站水文预报以及水电站下游的不稳定流计算等,还需另外参阅其他的专业书籍,这就带来了许多的不便。本书试图弥补这一方面的不足,扩大了有关的内容,希望做到一册在手,基本上可以满足全面参考的需要。

第三是它的探索性。近年来在工程水文学的科技方面,有不少新的进展,如在频率分析、随机过程、风险分析、年际水文干旱的持续性分析、区间洪水组合分析、设计洪水的地区综合、可能最大暴雨和可能最大洪水估算、人类活动影响分析、随机模拟技术以及电算的应用等,均有一些新的经验和新的成果,本书都作了适当介绍。其中有些经验和观点,虽然可能还不很成熟,本书也有所论述,希能引起读者们进一步深入探讨的兴趣。对一些过于专门的课题,限于篇幅,只能略有涉及,但列出了有关文献,可供参考。

最后是它的实践性。本书注重理论联系实际和在水电专业方面的实用性,并列出了较多的工程实例以资参考。此外,还对我国丰富的水能资源状况和水电建设的成就,也概括地加以介绍并进行了展望。

随着我国各方面经济建设发展的需要,已经出现了一批专业性很强的工程水文专著,例如《小流域暴雨洪水计算》、《可能最大暴雨与洪水》、《城市水文学》、《桥涵工程水文》,等等,都是在一个特定的领域里,弥补了一般工程水文学的不足。本书也是在这方面作一次新的尝

试。由于经验不足,资料搜集不很全面,加以篇幅限制,对一些有关的内容,如水文预报、水库泥沙、河道不稳定流等,其本身都是很大的课题,在本书中不可能过细介绍;对一些常识性的水文知识,往往直接地加以引用,不再从概念和定义谈起,更不能一一给出算例,这也是专著和教科书、手册等的区别所在。本书的缺点、错误和疏漏之处在所难免,竭诚欢迎读者的批评和指正。

本书系集体创作,除主编们承担了主要撰写任务外,还特邀了一些专家、学者撰写某些章节。其中前言、第一、二、四、七章由王维第撰写,第三章由朱元牲、林益冬撰写,第五章由孙汉贤、王维第撰写,第六章由王锐琛、孙汉贤撰写,第八章由王家祁撰写,第九章由冯焱、王维第、杨赉斐撰写,第十章由吴孝仁撰写,第十一章由孙汉贤、王毅撰写,第十二章由王维第、王锐琛撰写,第十三、十四章由朱元牲撰写。全书由王维第、朱元牲、王锐琛分工汇编,最后由王维第统稿。

本书由陈家琦教授主审,提出了许多宝贵意见,并为本书作序;石瑞芳、夏季华、陈飞三位教授级高工,也在百忙中抽空看阅了书稿,提出了不少中肯建议,作者们对此都表示衷心的感谢。本书在编写过程中,获得了电力工业部西北勘测设计研究院和河海大学的大力支持和帮助,谨在此一并深致谢意。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 世界水能资源	(1)
第二节 中国水能资源	(1)
第三节 中国的水电建设	(3)
第四节 水电站工程水文的内容	(5)
第五节 有待继续深入研究的问题	(7)
第二章 基本资料 and 基础工作	(9)
第一节 基本资料的搜集和审查	(9)
第二节 水文资料的插补、延长和还原	(10)
第三节 稀遇暴雨、洪水和枯水的调查	(13)
第四节 专用水文站设置	(19)
第三章 基本概念和基础理论	(21)
第一节 水文循环及水量平衡	(21)
第二节 径流形成及其分析原理	(24)
第三节 水文频率分析原理	(35)
第四节 相关分析与假设检验原理	(51)
第五节 随机过程基础	(64)
第六节 以风险分析为基础的水电工程设计	(72)
第四章 水电站与水库工程特性和水库水量平衡	(81)
第一节 水电站工程特性	(81)
第二节 水库工程特性	(82)
第三节 水库水量平衡	(85)
第四节 水库调蓄演算	(88)
第五章 设计径流分析计算	(91)
第一节 目的和内容	(91)
第二节 设计径流的确定	(91)
第三节 年际水文干旱的持续性分析	(96)
第四节 径流系列的随机模拟	(102)
第五节 枯水流量计算	(111)
第六章 设计洪水分析计算	(116)
第一节 概述	(116)
第二节 单一水库的设计洪水计算	(118)
第三节 梯级水库的设计洪水计算	(128)

第四节	洪水过程线的随机模拟·····	(144)
第五节	分期洪水与施工设计洪水计算·····	(147)
第七章	通过设计暴雨推求设计洪水·····	(156)
第一节	概说·····	(156)
第二节	设计暴雨分析计算·····	(156)
第三节	设计净雨分析计算·····	(167)
第四节	根据暴雨和洪水资料的设计洪水分析计算·····	(180)
第五节	短缺资料地区的设计洪水计算·····	(191)
第八章	可能最大暴雨和洪水的估算·····	(201)
第一节	基础工作·····	(201)
第二节	PMP 的一般估算方法·····	(202)
第三节	PMP 的地区综合·····	(210)
第四节	热带地区与干旱地区的 PMP 估算·····	(213)
第五节	PMP 的时面雨型·····	(215)
第六节	PMP 成果的合理性检查·····	(218)
第七节	可能最大洪水的估算·····	(224)
第九章	水电站水文预报·····	(229)
第一节	洪水预报·····	(229)
第二节	径流预报·····	(237)
第三节	冰情预报·····	(239)
第十章	水库泥沙分析计算·····	(247)
第一节	水库淤积规律和工程泥沙问题·····	(247)
第二节	水库淤积计算·····	(253)
第三节	水库排沙·····	(361)
第四节	水库回水计算·····	(265)
第十一章	水电站下游河道不稳定流计算·····	(267)
第一节	溃坝洪水计算·····	(267)
第二节	水电站下游河道不稳定流计算·····	(276)
第十二章	水电站厂坝区的水位流量关系·····	(280)
第一节	天然情况下坝址 $H \sim Q$ 关系·····	(280)
第二节	工程修建对 $H \sim Q$ 关系的影响·····	(280)
第三节	设计条件下 $H \sim Q$ 关系曲线·····	(282)
第四节	应用举例·····	(283)
第十三章	人类活动影响分析·····	(287)
第一节	水环境和水文循环的演变·····	(287)
第二节	影响水文循环的人类活动·····	(287)
第三节	根据水量平衡原理的还原或修正·····	(292)

第十四章 电算技术的应用.....	(298)
第一节 概述.....	(298)
第二节 国内研制的程序软件个例.....	(299)
第三节 美国工程水文中心的软件包.....	(303)
附录	(308)
附表 1 皮尔逊Ⅲ型曲线模比系数 K_p 值表	(309)
附表 2 瞬时单位线 $S(t)$ 曲线查用表	(321)
附表 3 1000hPa 面到指定气压面之间可降水量表	(331)
附表 4 地面(1000hPa)到指定高度间可降水量表	(333)
附表 5 天然河道糙率表	(335)

第一章 绪 论

水能是一种清洁、廉价、再生性能源,为能源构成的一个重要组成部分,向为各国所重视而竞相开发。中国的水能资源富甲全球,在开发方面已经取得了重要进展,并正在加速进行。

第一节 世界水能资源

根据世界能源会议 1980 年调查的全球水能资源材料^[1-1],全球水能资源的理论蕴藏量为 44.28 万亿 kW·h/年,其中技术上可开发的水能资源为 19.39 万亿 kW·h,其地区分布见表 1-1。可见按洲际分布,亚洲的水能资源理论蕴藏量和可开发的水能资源均占世界首位。其次为非洲、拉丁美洲和北美。

按国家分布的可开发水能资源,根据世界能源会议 1974 年的《能源调查》,见表 1-2。中国在可开发容量和可开发年发电量方面,均明显地居世界第一位。

表 1-1 按洲际分布的水能资源统计表

洲 别	水能资源理论蕴藏量		技术可开发水能资源	
	万亿 kW·h/年	比重(%)	万亿 kW·h/年	比重(%)
亚 洲	16.486	34.2	5.35	27.5
非 洲	10.118	21.0	3.14	16.2
拉丁美洲	5.67	11.8	3.78	19.5
北 美 洲	6.15	12.8	3.12	16.1
欧 洲	4.36	9.0	1.43	7.4
大 洋 洲	1.50	3.1	0.39	2.0
前 苏 联	3.94	8.1	2.19	11.3
总 计	48.22	100	19.40	100

注:转引自《中国水利百科全书》,水利电力出版社,1991。

第二节 中国水能资源^[1-2]

中国幅员广阔,在 960 余万 km² 的国土面积上,分布着众多的河流,蕴藏着丰富的水能资源。据统计,流域面积在 1000km² 以上的河流,全国有 1600 余条;平均年降水深度 648mm,降水总量约 6.19 万亿 m³;河川径流总量约 2.71 万亿 m³。中国的地形,海拔高程在 500m 以下的低丘、平原区占国土面积的 16%;500~1000m 的低山丘陵区占 19%,1000~2000m 的中高山区占 28%,2000~5000m 的高山高原区占 18%,5000m 以上的特高山区占 19%。径流丰沛,地形有利,为我国水能资源的开发,提供了良好的自然条件。

根据 1977~1980 年第三次全国水力资源普查成果^[1-3],全国水能蕴藏量为 6.76 亿 kW(包括台湾省为 6.91 亿 kW),其中可开发的装机容量为 3.78 亿 kW(包括台湾省为 3.83 亿

kW),均占世界的首位。按流域及自然区域统计的水能蕴藏量及可能开发的装机容量见表1—3;按行政区划的统计值见表1—4。

表 1—2 一些国家可开发水能资源统计表

国 别	可开发水电总容量(万 kW)	可开发年发电量(亿 kW · h/年)	每平方公里可开发水电容量(kW)	每人可开发水电容量(kW)
中 国	37853	19233	39.4	0.37
前 苏 联	26900	10950	12.0	0.98
巴 西	21300	12000	25.0	1.61
美 国	17860	7015	19.1	0.75
加 拿 大	15290	5352	15.3	6.08
扎 伊 尔	13200	6600	56.1	4.99
印 度	8400	4500	28.2	0.11
哥伦比亚	5000	3000	43.9	1.92
阿 根 廷	4810	1910	17.3	1.60
日 本	3339	1360	88.6	0.28
印 尼	3000	1500	15.8	0.18
挪 威	2960	1210	91.4	7.15
西 班 牙	2932	675	58.0	0.76
法 国	2100	630	38.4	0.38
墨 西 哥	2030	994	10.3	0.26
瑞 典	2010	950	44.6	2.41
意 大 利	1920	506	63.7	0.34
奥 地 利	1852	492	220.5	2.45

注:资料来源同表1—1。

表 1—3 按流域(片)统计的水能蕴藏量及可能开发量

流域及区域	水能蕴藏量		可能开发			
	(万 kW)	占全国(%)	装机 (万 kW)	占全国 (%)	年发电量 (亿 kW · h)	占全国(%)
长 江	26801.77	38.8	19724.33	51.6	10274.98	53.1
黄 河	4054.80	5.9	2800.39	7.3	1169.91	6.0
珠 江	3348.37	4.8	2485.02	6.5	1124.78	5.8
海 滦 河	294.30	0.4	213.48	0.6	51.68	0.3
淮 河	114.96	0.2	66.01	0.2	18.94	0.1
东北诸河	1530.60	2.2	1307.75	3.6	439.42	2.3
东南沿海诸河	2066.78	3.0	1389.68	3.6	547.41	2.8
西南国际诸河	9690.15	14.0	3768.41	9.8	2098.68	10.8
西藏诸河	15974.33	23.1	5038.23	13.2	2968.58	15.3
内陆及新疆诸河	3698.55	5.4	996.94	2.6	538.66	2.8
台湾诸河	1500.00	2.2	400.00	1.0	130.00	0.7
全国合计	69104.71	100	38253.24	100	19363.04	100

资料来源:根据《中国水力发电年鉴》,1984年资料,并补充了台湾诸河。

表 1—4 按行政区划统计的水能蕴藏量及可能开发量

地 区	水能蕴藏量		可能开发			
	(万 kW)	占全国 (%)	装机 (万 kW)	占全国 (%)	年发电量 (亿 kW·h)	占全国 (%)
华 北	1229.93	1.8	691.98	1.8	232.25	1.2
东 北	1212.66	1.8	1199.45	3.1	383.91	2.0
华 东	4504.88	6.5	2190.22	5.7	827.94	4.3
中 南	6408.37	9.3	6743.49	17.6	2973.65	15.3
其中湖北	1823.13	2.6	3309.47	8.7	1493.84	7.7
西 南	47331.18	68.5	23234.33	60.8	13050.36	67.4
其中四川	15036.78	21.8	9166.51	24.0	5152.91	26.6
云南	10364.00	15.0	7116.79	18.6	3944.53	20.4
西藏	20055.93	29.0	5659.27	14.8	3300.48	17.0
西 北	8417.69	12.2	4193.77	11.0	1904.93	9.8
其中新疆	3355.43	4.9	853.51	2.2	459.75	2.4
青海	2153.66	3.1	1799.08	4.7	772.08	4.0
全 国	69104.71	100	38253.24	100	19363.04	100

资料来源:同表 1—3。

可以看到,中国水能资源的地区分布是很不平衡的。按流域统计,长江流域的水能资源最为丰富,其蕴藏量和可开发量分别占全国的 38.8%和 53.1%。按地区统计,西南地区高居全国之首,其蕴藏量占全国的 68.5%;其次为西北地区,占 12.2%;中南地区占 9.3%;其他地区所占比例很小。可开发年发电量,西南占 67.4%;中南占 15.3%;西北占 9.8%。按省区统计,蕴藏量以西藏最高,占全国的 29.0%;其次为四川和云南,分别占 21.8%和 15.0%。可开发年发电量四川最高,占 26.6%;其次为云南和西藏,分别占 20.4%和 17.0%。和其他国家比较起来,中国水电的开发条件也是十分优越的。可开发的装机容量和年发电量,均居世界首位。

第三节 中国的水电建设^{[1-3][1-4][1-5]}

尽管我国的水力资源富甲天下,但到全国解放前夕,全国的水电总装机容量只有 36 万 kW,与可能开发的水资源量相比,开发还不到 0.1%,可以说基本上尚未开发。全国解放以后,我国的水电工业几乎是白手起家发展起来的。截止 1994 年的统计资料,全国水电总装机容量为 4903 万 kW,年发电量 1668 亿 kW·h,历年的发展情况,列如表 1—5 和图 1—1,发展速度还是比较快的。但已开发的装机容量,还只占可开发装机的 12.8%,开发潜力还是很大的。

根据国家制定的《国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要》,“要重视水电建设,认真贯彻大中小相结合、梯级开发和综合利用的方针。要在水力资源丰富的黄河上游、长江干支流和红水河流域加快水电的开发”。结合我国水能资源分布和国民经济发展需要的实际情况,已规划制定了全国范围的十二大水电基地,作为水电开发的战略布局,其简要情况列于表 1—6。

表 1—5 中国各时期水电的装机容量和年发电量

年 份	水电装机 容量 (万 kW)	水电占水火电 总装机容量 (%)	年增长率 (%)	水电年发 电量 (亿 kW·h)	水电占水火电 总年发电量 (%)	年增长率 (%)
1949	36.0	17.6		12.0	24.5	
1952	38.5	18.6	2.3	18.3	23.4	17.5
1957	101.90	22.0	33.2	48.20	24.9	32.7
1962	237.87	18.2	26.7	90.42	19.7	17.5
1965	301.96	20.0	9.0	104.14	15.4	5.1
1970	623.50	26.2	21.3	204.58	17.7	19.3
1975	1342.80	30.9	23.1	476.30	24.3	26.6
1980	2031.80	30.9	10.3	582.11	19.4	4.4
1981	2193.34	31.7	3.0	655.46	22.2	12.6
1982	2295.93	31.7	4.7	743.99	22.7	13.5
1983	2416.46	31.6	5.2	863.57	24.6	16.1
1984	2559.97	32.0	5.9	867.84	23.0	0.5
1985	2641.50	30.3	3.2	923.74	22.5	6.4
1986	2754.24	29.4	4.3	944.80	21.0	6.1
1987	3019.32	29.3	9.6	1002.29	20.2	8.9
1988	3269.81	28.3	7.7	1091.77	20.0	8.5
1989	3458.33	27.3	5.8	1184.54	20.3	8.5
1990	3604.55	26.1	4.2	1263.50	20.3	6.7
1991	3788.35	25.0	5.1	1248.45	18.4	-1.1
1994	4903.00	24.5	9.8	1668.00	18.0	11.2

资料来源:根据《中国水力发电年鉴》1984、1990、1992。

十二大水电基地的可开发装机总容量为 21047.25 万 kW,占全国可开发装机总容量的 56%,可见在水电开发中占有举足轻重的地位。

在已建成的水电站中,超过 100 万 kW 的巨型水电站有湖北省的葛洲坝水电站,装机 271.5 万 kW;青海省的龙羊峡水电站,装机 128 万 kW;甘肃省的刘家峡水电站,装机 116 万 kW;广州抽水蓄能电站,装机 120 万 kW。在建的超过 100 万 kW 的有长江三峡超大型水电站,装机 1768 万 kW;四川省的二滩水电站,装机 330 万 kW;青海省的李家峡水电站,装机 200 万 kW;云南省的漫湾水电站,装机 150 万 kW;福建省的水口水电站,装机 140 万 kW;广西和贵州省的天生桥水电站,装机 132 万 kW;广西省的岩滩水电站,装机 121 万 kW;湖南省的五强溪水电站,装机 120 万 kW;湖北省的隔河岩水电站,装机 120 万 kW 以及河南省的小浪底水电站,装机 180 万 kW。建国以来已建成的百万 kW 级以上的水电站,总共 4 座,装机 635.5 万 kW,而现在开工的就有 10 座,装机 3261 万 kW,增长规模可见一

斑。

中型水电站也在加速建设。由于其单站的规模较小,投资较省,见效较快,国家给予了特殊的优惠政策,以资鼓励。

小型水电站(≤ 2.5 万 kW)适合于地方自办,更是雨后春笋,发展很快。截止 1991 年底,全国小水电装机容量已达 1385 万 kW,占全国水电装机总容量的 36.6%,成为水力发电的重要组成部分。

根据宏观规划,我国的水电装机容量,到 2000 年将达到 7000~8000 万 kW。即使达到了原定翻两番的最高目标,即 8000 万 kW,也还只占到可能开发装机的 21%左右,仍然还有大量的水能资源,可以进行长期持续的开发,前景是十分广阔的。

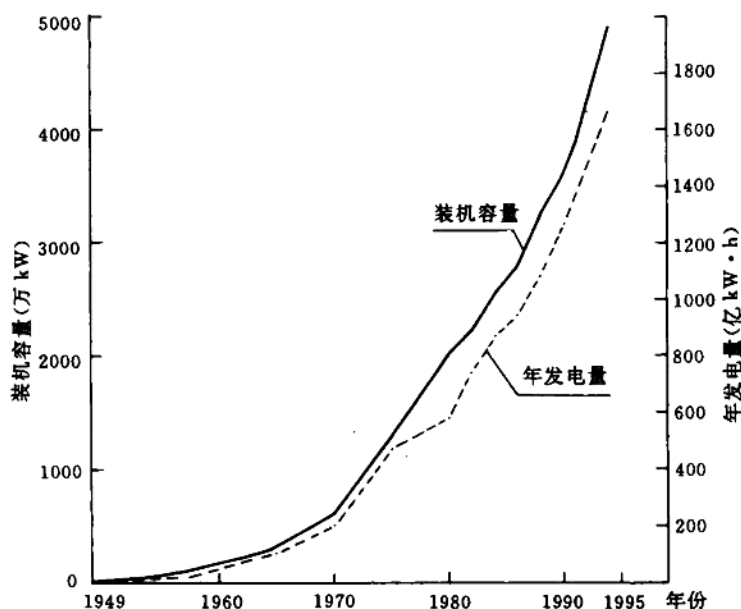


图 1-1 中国水电装机容量和年发电量增长情况

第四节 水电站工程水文的内容

水电站工程水文的内容以水文分析计算为主,旁及水文站网、水文测验、水文预报、水库泥沙等有关内容,具有很大的综合特性。

一、专用水文站网和水文测验

在流域水能规划和水电站规划、设计、施工、运行中,其水文资料主要来自国家水文站网。但国家水文站网的密度和布点位置,往往不能满足流域(或河段)水能规划设计的具体要求,在大多数情况下,需要建设一些专用水文站点以补不足,并和国家水文站网中的有关水文站点,组成专用水文站网。专用水文站网的规划、设置和水文测验,是水电站水文专业的重要组成部分。具体要求见本书第二章第四节专用水文站设置。

表 1-6 十二大水电基地情况汇总表

基地名称	范围	总规模		其中已建和在建	
		装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)
合计		21047.25	9945.06	3083.59	1308.75
1. 金沙江	石鼓—宜宾	4789.00	2610.80	0	0
2. 雅砻江	两河口—河口	1940.00	1181.40	330.00	170.80
3. 大渡河		1805.50	1009.60	130.00	66.28
4. 乌 江	干流	867.50	418.38	121.50	67.70
5. 长江上游	宜宾—宜昌, 清江	2831.60	1359.90	391.50	189.90
6. 南盘江、红水河		1312.00	532.90	358.00	164.40
7. 澜沧江干流	云南省境	2137.00	1093.96	125.00	67.10
8. 黄河上游	龙羊峡—青铜峡	1415.48	507.93	528.80	216.82
9. 黄河中游	河口镇—禹门口	609.20	192.90	12.80	6.10
10. 湘 西	沅、资、沅、清水江	791.60	316.90	216.50	104.56
11. 闽浙赣		1416.82	411.71	476.04	156.19
12. 东 北		1131.55	308.68	393.45	98.90

注:引自《中国水力发电年鉴》,水利电力出版社,1992。

二、水文分析计算

水文分析计算是水电站工程水文中的一项重点工作,内容包括:

(一)设计径流

设计径流包括年径流、时段径流以及时段最小径流和年际持续径流干旱的频率分析及其分配情况,是进行水库径流调节、水能设计和水电站运行设计的重要依据。不同情况的水电站,设计径流的内容和深度有所不同。例如具有多年调节性能的水库,除对年径流及其年内分配一般性分析外,还应年际持续的径流干旱即连续枯水段进行深入的分析;而没有或很小调节库容的径流式电站,则对时段最小径流的分析要求较高。

(二)设计洪水

设计洪水包括洪峰流量、时段洪量的频率分析以及设计洪水过程线的拟定,是确定大坝设计标准和各级防洪标准的关键性指标。当需要通过设计暴雨推求设计洪水时,还应进行设计暴雨和相应的产流、汇流分析计算。当水库面积相对较大,对天然来水过程有较大的附加影响时,需要进行入库洪水计算。小汇水面积的设计洪水,除为小水电站本身直接采用外,一些大中型电站的施工现场,对一些小河沟的防洪设计,也经常遇到这类问题。

(三)厂坝区水位流量关系

为配合水电站规划、设计、施工和运行的需要,对厂坝区的一些特定断面,应提出工程修建前后的水位流量关系。这种关系由于施工(如堆渣)和工程特性(如射流增差)的影响,有时变得相当复杂。

(四)水库调蓄演算

水库调蓄演算包括调洪演算和径流调节演算。在调洪演算中,需要根据设计入库洪水、

工程泄洪能力和水库调洪规则,推算出库流量过程和水库在各种设计洪水标准时的最高水位,作为确定水库防洪库容或水库淹没、移民的依据。径流调节计算则是确定电站水能指标和水库综合利用不可缺少的工作内容。

(五)水库水量平衡

包括水库入流、出流以及各种损失量的分析计算,对一些大中型水电站有重要意义。其中的各种损失量,如蒸发损失、水库渗漏以及结冰损失等,往往由于缺乏实际观测资料,不得不采用间接的方法分析确定。

三、水文预报

水文预报是水电站施工和运行期间的一项极为重要的水文工作,直接关系到电站施工和运行的安全和效益。其中又分为洪水预报和枯季径流预报。洪水预报重点为短期实时预报,为工程度汛服务;枯季径流预报除短期实时预报外,还注意中长期的径流预测,以制定水电站运行计划。与此有关的,还有河槽汇流和水力学计算的工作内容。此外,根据具体情况,还需要进行一些特殊项目的预报,如多沙河流上的来沙量预报、异重流预报,是水库适时排沙的重要依据;又如在冰冻河流上的冰情预报以及库区塌岸的预测预报等,都有很重要的实际意义。

四、泥沙分析计算

在多沙河流上,泥沙淤积是影响水库使用年限和电站效益的关键性问题,因而在水电站的规划设计中占有重要地位。水电站水库的泥沙分析计算,包括设计入库沙量和颗粒分析、水库淤积的形态、速度和部位以及排沙防淤的措施等,其目的是尽量延长水库的使用年限和更大地发挥水电站的发电效益和水库的综合利用效益。与此相联系的问题还有水库淤积回水计算,由此可以确定库尾和库周水位抬高带来的影响和库区移民、淹没的范围。根据需要有时还要进行水库蓄水后的塌岸估算以及下游河道的冲淤估算。

五、其 他

除上述的主要项目外,还有其他一些水文工作,如库区气象要素的统计分析、冰情分析、水质分析、下游不稳定流分析以及溃坝洪水分析等,视具体情况而定。

第五节 有待继续深入研究的问题

在水电站工程水文中,通过大量的工程实践,已经积累了比较丰富的经验。但是,仍有不少问题,有待继续深入探索、研究和推进。例如,可以列举出下列一些问题。

1. 基本资料搜集方面 一个很大的课题是解决短缺资料的问题。目前这类地区的面积还占有很大的比重,应从技术上、体制上积极地研究解决。例如加强水文调查,完善定点观测与定期调查相结合的制度(站、队结合是一种可行的办法),健全无人值守站点,推广自记化、远传化和遥测、遥感技术,重视水文考古工作,等等,对加速开发新的水能资源有重要意义。

2. 统计分析方法方面 近年来对水文频率分析,有了不少进展,提供了一批新的研究成果,引起了很大的学术兴趣,但具体应用于生产实践,尚存在分歧意见,有待加强综合性分

析研究,以便在实用上推进一步。随机模拟技术,用途日益扩大,但仍有不同看法,需要对它的应用范围、条件性和适用性,继续进行深入探讨,逐步作出明确的规定或建议,以便更好地应用于工程实践。风险分析逐渐引起了人们的注意,但在工程水文中尚处于起步阶段,有待进一步加强研究和应用。

3. 设计径流方面 人类活动包括小型蓄水、提水工程,水土保持工程,小流域治理工程,以及大中型水库工程和灌溉工程,不同程度地影响了径流的自然规律。其中除对大中型工程可以逐个地进行水文还原以外,对其他几项的影响,以其活动方式的多样化(塘坝、梯田、植树、种草、小流域综合治理等),很难准确地加以定量。特别是,这种极为广泛的群众性的水利水保活动,方兴未艾,情况还在不断发展之中,给径流分析计算带来了很大困难。年际水文干旱持续的频率分析,对多年调节水电站来说至关重要,虽已有初步经验,但研究深度还远远不够。

4. 设计洪水方面 梯级水库群的设计洪水,虽已有一些经验,但对于复杂情况下的洪水地区组成,仍有继续深入研究的必要。可能最大暴雨和可能最大洪水分析估算中的任意性问题,特别是对缺乏高空气象资料的地区,迄今尚未有可靠的解决办法。

5. 水库淤积和下游河道冲淤分析计算方面 不同方法的成果,往往有显著差异;推移质的估算尤为粗略,均有待研究改进。人类活动减沙效益的定量分析,虽已有较多的研究,但仍然没有获得满意的解决。

6. 水情预报方面 关键是提高灾害性暴雨洪水预见期和预报精度的问题,其次是增进中长期预报的准确度问题。如能较准确地作出年或季的入库径流预报,对于提高径流调度水平和水电站的经济效益,都将有重要的意义。

7. 计算手段方面 电子计算机的应用,还有待进一步普及;特别是大型的、综合性高功能的流域水文分析计算软件包的研制和应用,还处于起步阶段,需要大力提倡和推动。

在列举的上述问题中,有的牵涉面较广,还需要其他部门(如气象部门)或学科(如水文预报)的配合与协作,共同努力加以改进。有的问题,如水利水保对径流的影响,将是一个长期的科研项目,它将随着水利水保工程的不断发展,逐步加深认识和求得解决。

参 考 文 献

- [1-1] 中国水利百科编委会,中国水利百科全书,水利电力出版社,1991。
- [1-2] 水电部水文局,中国水资源评价,水利电力出版社,1987。
- [1-3] 中国水力发电年鉴编辑部,中国水力发电年鉴(1949~1983),水力发电杂志社,1984。
- [1-4] 中国水力发电年鉴编辑部,中国水力发电年鉴(1984~1988),学术书刊出版社,1990。
- [1-5] 中国水力发电年鉴编辑部,中国水力发电年鉴(1989~1991),水利电力出版社,1992。