



- 中国水利教育协会
- 高等学校水利类专业教学指导委员会 共同组织编审
- 中国水利水电出版社

全国水利行业“十三五”规划教材
“十二五”江苏省高等学校重点教材

水利计算

主 编 河海大学 钟平安 王建群
主 审 河海大学 董增川



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



- 中国水利教育协会
- 高等学校水利类专业教学指导委员会 共同组织编审
- 中国水利水电出版社

全国水利行业“十三五”规划教材

“十二五”江苏省高等学校重点教材 (教材编号: 2015-2-056)

水 利 计 算

主编 河海大学 钟平安 王建群

主审 河海大学 董增川



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为全国水利行业规划教材,也是江苏省 2015 年重点立项教材。书中阐述了水利工程水利计算的基本原理与方法,包括:绪论、径流调节与水库特征、需水量计算与预测、径流(量)调节计算、灌溉工程水利计算、水电站水能计算、防洪工程水利计算、综合利用水库水利计算、水库群调节计算等内容。

本书为高等院校水文与水资源工程专业本科核心课程教材,也可供从事水文、水资源、水能开发利用、水利工程设计与管理、市政工程等领域的专业技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利计算 / 钟平安, 王建群主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 6
全国水利行业“十三五”规划教材 “十二五”江苏省高等学校重点教材
ISBN 978-7-5170-4512-0

I. ①水… II. ①钟… ②王… III. ①水利计算—高等学校—教材 IV. ①TV214

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第198293号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材 “十二五”江苏省高等学校重点教材 水利计算
作 者	主编 河海大学 钟平安 王建群 主审 河海大学 董增川
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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.75印张 350千字
版 次	2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	32.00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

水利计算是水利水电工程规划、设计、运行管理的重要环节。其主要任务是根据水利工程所在江河的自然条件,河流特点,经济、社会、环境、生态等发展要求,以及水资源开发利用经济、技术可能性,按照安全性、可靠性和经济性最佳原则,为河流治理和开发方案的选择,水利水电工程的任务和规模、特征值和运用方式的确定,以及工程经济分析和综合论证等提供依据。

本书以高等院校水文与水资源工程专业本科学生为教学对象,依据水利计算的上述任务和要求,较为系统地介绍了径流调节的基础知识和水利计算的基本方法。在归纳不同需求共性规律的基础上,将全书分成九章:第一章绪论,阐述了水利计算的任务和研究方法进展;第二章径流调节与水库特征,介绍了径流调节内涵、所需资料和水库基础知识;第三章需水量计算与预测,介绍了各类经济社会需水的计算与预测方法;第四章径流(量)调节计算,介绍了以水量供需平衡的一类水库的调节计算原理与方法;第五章灌溉工程水利计算,介绍了各类灌溉工程水利计算任务和方法;第六章水电站水能计算,介绍了水能开发利用原理,以及水电站动能指标的确定方法;第七章防洪工程水利计算,介绍了水库洪水调节原理、水库防洪特征水位的计算方法,以及其他防洪工程的水利计算方法;第八章综合利用水库水利计算,介绍了多目标开发水库设计原理和调节计算方法;第九章水库群调节计算,介绍了不同类型的水库群系统的供水、水能和洪水联合调节的原理与计算方法。全书筛选的内容尽量体现本科生培养目标,尽可能遵循《水利工程水利计算规范》的基本要求。

本书由河海大学水文水资源学院水利计算课程组的相关教师负责编写。由钟平安教授,王建群教授担任主编;董增川教授担任主审。各章编写人员如下:第一章,钟平安、王建群;第二章,万新宇;第三章,任黎、孙营营;第四章,钟平安、徐斌;第五章,王建群、任黎;第六章,钟平安、万新宇、徐斌;第七章,陆宝宏、孙营营;第八章,钟平安;第九章,王建群。

本书为全国水利行业规划教材,获得江苏省2015年重点教材立项。在编写过程中,主要引用和参考了叶秉如主编的《水利计算及水资源规划》(水利

电力出版社，1995 年），鲁子林主编的《水利计算》（河海大学出版社，2003 年），梁忠民、钟平安、华家鹏等主编的《水文水利计算（第 2 版）》（中国水利水电出版社，2008 年）。同时还参阅和引述了其他相关的技术资料。本书的出版，得到了河海大学水文水资源学院、中国水利水电出版社的大力支持，编者在此一并致谢。

由于编者水平有限，错误在所难免。若发现书中错误之处敬请函告：江苏省南京市西康路 1 号河海大学水文水资源学院钟平安，邮编 210098；或发邮件 Email: pazhong @hhu. edu. cn。谨致感谢！

编者

2016 年 6 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 中国水资源及其开发利用	1
第二节 中国洪水灾害及其治理	2
第三节 水利计算任务与内容	3
第四节 主要研究方法及其进展	5
第五节 本书主要内容	7
参考文献	7
第二章 径流调节与水库特征	9
第一节 径流调节概述	9
第二节 径流调节的来水资料	12
第三节 径流调节的需水资料	13
第四节 水库特性曲线	16
第五节 水库设计标准与设计保证率	18
第六节 水库特征水位与特征库容	23
参考文献	25
第三章 需水量计算与预测	26
第一节 工业需水量的计算与预测	26
第二节 灌溉用水量的计算与预测	36
第三节 生态需水量计算与预测	50
第四节 其他用水的计算与预测	54
参考文献	57
第四章 径流(量)调节计算	58
第一节 年调节水库径流调节计算方法	58
第二节 年调节水库水量损失计算	71
第三节 年调节水库保证调节流量与设计库容之间的关系	76
第四节 时历法多年调节计算	78
第五节 数理统计在径流调节中的应用	84
第六节 数理统计法多年调节计算	87
参考文献	101

第五章 灌溉工程水利计算	102
第一节 概述	102
第二节 引水灌溉工程水利计算	105
第三节 蓄水灌溉工程水利计算	108
第四节 提水灌溉工程水利计算	113
第五节 地下水灌溉工程水利计算	115
参考文献	120
第六章 水电站水能计算	121
第一节 概述	121
第二节 电力系统的负荷及其容量组成	126
第三节 保证出力和多年平均年发电量计算	131
第四节 水电站装机容量选择	138
第五节 水电站水库调度图	147
第六节 抽水蓄能电站简介	152
参考文献	154
第七章 防洪工程水利计算	155
第一节 概述	155
第二节 水库防洪水利计算	160
第三节 水库防洪计算有关问题的补充说明	170
第四节 堤防防洪水利计算	173
第五节 分（蓄）洪工程水利计算	182
第六节 溃坝洪水计算	184
参考文献	186
第八章 综合利用水库水利计算	188
第一节 防洪与兴利关系的处理	188
第二节 防洪与兴利联合调度图绘制	190
第三节 综合利用水库兴利调节计算	194
第四节 综合利用水库兴利调度图绘制	196
第五节 综合利用水库正常蓄水位与死水位选择	199
参考文献	206
第九章 水库群调节计算	207
第一节 概述	207
第二节 供水水库群调节计算	208
第三节 水电站水库群补偿调节	210
第四节 水库群洪水调节计算	220
参考文献	223
思考练习题	224

第一章 绪 论

第一节 中国水资源及其开发利用

水资源是社会进步、经济发展和环境改善不可替代的自然资源。由于多方面综合因素的影响,中国水资源供需矛盾显得十分突出,局部地区水资源问题已成为制约其进一步发展的主要因素。中国的水资源问题,在国际上也引起广泛关注,尤其是水资源紧缺有可能引起的粮食安全问题。以水资源可持续利用支撑社会经济的可持续发展,系统解决水资源问题,已成为全社会的共识,并采取了积极的行动。

根据 1956—2000 年同步资料系列计算,中国多年平均降水深约为 650mm,年降水量为 61786 亿 m^3 ,全国水资源总量为 28412 亿 m^3 ,其中地表水资源量为 27375 亿 m^3 ,约占水资源总量的 96%,地表水资源与地下水资源量之间不重复计算的水量为 1037 亿 m^3 ,约占水资源总量的 4%。

中国水资源在空间分布上,具有南方多、北方少,山区多、平原少的空间分布特征。400mm 降水深等值线以西大部分地区干旱少雨,面积约占全国的 42%,其中年降水深 200mm 以下面积约占全国的 26%;400mm 降水深等值线以东面积约占全国的 58%,其中降水深 800mm 以上面积约占全国的 30%。南方地区面积占全国的 36%,多年平均年降水量占全国的 68%,多年平均地表水资源量占全国的 84%;北方地区面积占全国的 64%,多年平均年降水量仅约占全国的 32%,多年平均地表水资源量占全国的 16%;山丘区面积约占全国的 72%,多年平均降水量占全国的 85%,多年平均地表水资源量约占全国的 93%;平原及盆地面积约占全国的 28%,多年平均年降水量占全国的 15%,其多年平均地表水资源量仅占全国的 7%。年径流深由东南的 2000mm 向西北递减至 5mm。

在时间分配上,水资源年内集中程度高,南方地区大部分测站多年平均连续最大 4 个月(5—8 月)降水量约为多年平均年降水量的 55%,河川径流量占全年的 50%~70%;北方地区多年平均连续最大 4 个月(6—9 月)降水绝大部分测站超过多年平均年降水量的 70%,河川径流量占全年的比例一般在 60%~80%,其中华北、东北、西北内陆河的局部地区可达 80%以上,部分测站甚至超过 90%。受季风气候影响,中国水资源年际变化大,南方地区年降水量最大值与最小值的比值,一般为 2~3,最大年径流量与最小年径流量的比值,一般在 5 倍以下;北方地区年降水量最大值与最小值的比值,一般为 3~6,最大年径流量与最小年径流量的比值可达 10 倍以上。各地降水普遍存在连丰和连枯现象,其中北方地区尤为明显,北方地区大多数雨量站连丰、连枯年段年数一般为 2~6 年和 4~7 年;南方地区大多数雨量站连丰、连枯年段年数一般均为 3~7 年。

由于近 20 年来,中国气候和下垫面状况较以往均有显著的改变,导致水资源数量发

生了一定的变化,对比 1980—2000 年系列(近期下垫面条件)与 1956—1979 年系列(代表 20 世纪 70 年代下垫面条件),就全国而言,降水量变化不大,地表水资源量和水资源总量略有增加。南方地区河川径流量和水资源总量增加幅度接近 4%;北方部分地区降水偏少,水资源量减少明显,以黄河、淮河、海河和辽河区最为显著,4 个水资源一级区合计降水量减少 6%,河川径流量减少 17%,水资源总量减少 12%,其中海河区降水量减少 10%、河川径流量减少 41%、水资源总量减少 25%,淮河区山东半岛降水量减少 16%、河川径流量减少 52%、水资源总量减少 32%。地下水资源量从全国地下水资源量来看,1980—2000 年系列与 1956—1979 年系列总量变化不大,变幅为 -0.83% 。

一方面,水资源数量在减少,另一方面,水资源需求却在增加。1949 年中国总用水量仅 1031 亿 m^3 ,人均用水量 187 m^3 ;1959 年增至 2048 亿 m^3 ,人均用水量 316 m^3 ;1965 年增至 2744 亿 m^3 ,人均用水量 378 m^3 ;1980 年达 4408 亿 m^3 ,人均用水量 449 m^3 。1980—2000 年,中国总用水量仍处于增长态势,2000 年全国总用水量为 5628 亿 m^3 ,其中农业用水量 3861 亿 m^3 、工业用水量 1160 亿 m^3 、生活用水量 607 亿 m^3 ,2000 年用水量比 1980 年增加 1220 亿 m^3 。2010 年,全国总用水量为 6213 亿 m^3 ,其中农业用水量 4168 亿 m^3 、工业用水量 1203 亿 m^3 、居民生活用水量 474 亿 m^3 、建筑业用水 19.9 亿 m^3 、第三产业用水 342.1 亿 m^3 、生态环境用水 106.4 亿 m^3 ,2010 年用水量比 2000 年增加 585 亿 m^3 。

为了解决水资源供需矛盾,截止到 2010 年,全国已建成大中小型水库 9.8 万多座,塘坝等工程 457 万座,蓄水工程总库容达 9626 亿 m^3 。从整体看,中国蓄水工程对天然径流的调蓄控制能力低于美国、加拿大、俄罗斯、墨西哥等水资源开发利用水平较高的国家,但北方地区蓄水工程对径流的调节能力较强,海河、黄河和辽河 3 个水资源一级区蓄水工程总库容,均大于多年平均年径流量,兴利库容约占多年平均年径流量的 55%~70%。

第二节 中国洪水灾害及其治理

我国是世界上洪涝灾害最为频繁和严重的国家之一,洪涝灾害对社会经济造成的损失占据各种自然灾害的首位。导致我国洪水灾害分布广、面积大、频次高、灾情重的影响因素是多方面的,在自然地理方面,我国地处亚洲东部,太平洋西岸,纬度横跨北纬 $22^\circ\sim 53^\circ$,自然环境差异大,具有产生严重自然灾害的自然地理条件,西高东低独特的地理位置和地形条件使全国约有 60% 的国土存在着不同类型和不同程度的洪涝灾害;在水文气象方面,我国季风气候显著,受东南、西南季风的影响,降雨时空分布极不均匀,汛期 4 个月集中全年雨量的 60%~80%,长江以南地区汛期 4 个月降雨量占全年的 50%~60%,华北、东北、西南地区,多雨期 4 个月雨量可占全年的 70%~80%,热带风暴和台风常常深入内地产生特大暴雨造成洪涝灾害。总体上,东部地区的洪水主要由暴雨、台风和风暴潮形成,西部地区主要由融雪和局部的暴雨形成。

洪水是一种自然现象,但洪水灾害与人类活动有着密切关系,我国 50% 以上的人口、70% 以上的工农业总产值集中于七大江河中下游约 100 万 km^2 的土地上,这些地区地面

高程多在洪水位以下，加之水土资源组合不平衡，水土资源利用上的不合理，造成洪涝灾害频繁；人类对自然的过度干预，加重了洪涝灾害发生的频度和强度。一方面，二氧化碳等温室气体增加使全球变暖，从而改变大气环流、气候和水旱灾害；另一方面，人类活动改变下垫面的属性（如对草原、森林的破坏）影响区域气候和洪水发生，具体表现为：①毁林开荒破坏大量森林植被，导致水土流失，降低了对水旱灾害的缓冲作用；②盲目与水争地，使河道变窄，湖泊淤积，导致蓄洪、滞洪面积缩小，泄洪能力和湖泊调节洪水能力降低。仅长江中下游地区，近几十年来，由于不合理的围垦而消亡的湖泊达 1000 余个，湖泊面积与库容大幅度减少，例如洞庭湖 1925 年面积达 6000km^2 ，到 1949 年只剩 4350km^2 ，1958 年减少到 3141km^2 ，1978 年仅存 2691km^2 ，湖水容积从 1949 年的 293 亿 m^3 ，下降到 1978 年的 174 亿 m^3 ，减少幅度达到 40.6%。长江下游河道及太湖地区由于盲目围垦，已减少蓄洪面积 520km^2 ，致使 1991 年大水到来之时不得不炸堤分洪。

1990 年到 20 世纪末，水灾有愈演愈烈之势，1991 年水灾损失 779 亿元，1994 年达 1797 亿元，1995 年为 1653 亿元，1996 年达 2200 亿元，1998 年竟达 2700 亿元。

为了减轻洪水的侵害，我国开展了以防洪减灾为主要目的的大规模水利工程建设，大多数流域已形成了包括堤防、水库、分蓄洪工程、河道整治工程的防洪工程体系。至 2010 年，已建成水库 9.8 万多座，其中大型水库 756 座；已建各类堤防超 41.3 万 km ，其中 5 级及以上主要堤防 27.5 万 km ；开辟临时分蓄洪区约 100 处，可分蓄洪水 1000 多亿 m^3 。

第三节 水利计算任务与内容

水利计算是工程水文的重要组成部分，水利计算的根本任务就是为水利工程建设拟定并选择经济合理和可靠的工程设计方案、规划设计参数和调度运行方式。

流域开发与水利工程建设过程中，都必须经历规划设计、施工及运行管理三个阶段（图 1-1）。不同阶段的水利计算承担不同的服务内容。

规划设计阶段水利计算的主要任务是合理地确定工程措施的规模。倘使规模定得过大，将会造成投资上的浪费；如果定得过小又会使水利资源不能得到充分的利用，造成资源浪费，或需水量得不到保证，影响社会经济发展；对于防洪措施，还可能造成工程失事，甚至对人民的生命财产酿成巨大的损失。严格来说，规划设计方案实施后，所在流域的天然水文情势必将有相应的改变，因此，在规划设计阶段中还需要预估这部分变化。

施工阶段的任务是将规划设计好的建筑物建成，将各项非工程措施付诸实施。由于水利工程施工期限一般较长，往往需要一个季度以上，甚至长达数年之久，所以需要修建一些临时性建筑物，如围堰、引水隧洞或渠道等。这样，在水文计算预先估计整个施工期间可能出现的来水情势的基础上，确定这些临时性工程的规模和尺寸。同时，在这一阶段，需要根据未来施工期间的水情变化和工程进度计划，通过水利计算确定水利工程枢纽的初期运行计划和调度方案。在具体施工期间，再结合短期的（例如几天甚至几小时）水文预报，实时进行施工安排和组织调度。

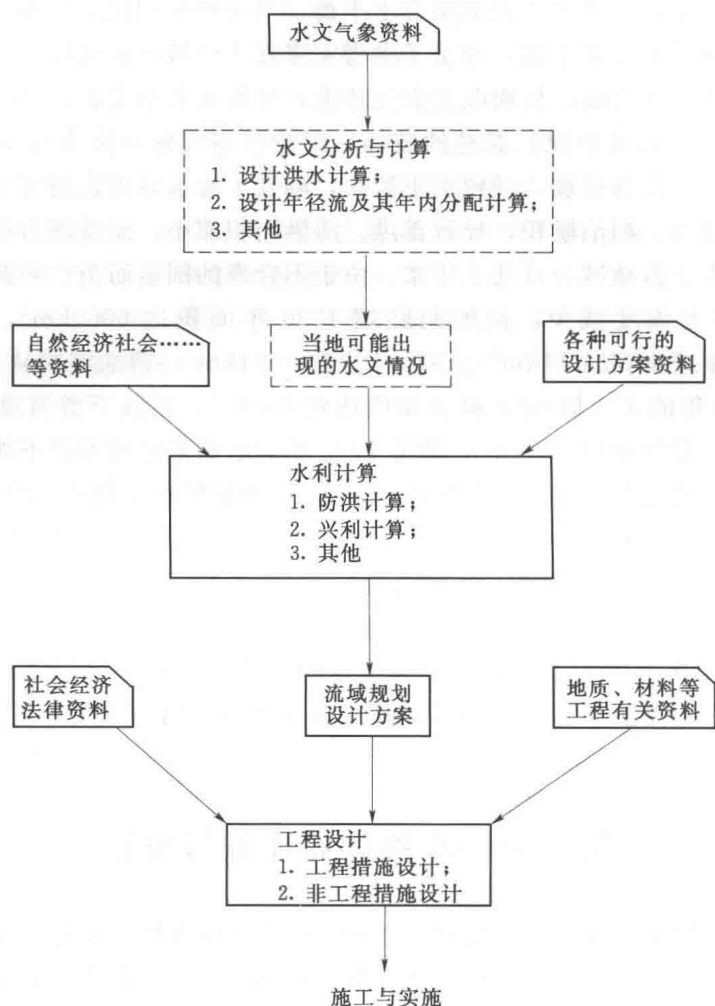


图 1-1 流域综合开发规划设计实施工作流程图

管理运用阶段的主要任务在于充分发挥已成水利措施的作用。为此就需要知道未来一定时期内的来水情况，以便确定最经济合理的调度运用方案。这一阶段对于水文工作的要求，就是根据水文分析计算获得未来长期内可能出现的水文情势，再考虑到水文预报所提供的较短期内的实时预报，通过水利计算拟定出实时的最佳调度运用方案，保证获得最大的社会和经济效益。

国民经济还有许多部门，诸如工矿企业、城市建设、交通运输，尤其是农林水利建设，都需要了解有关的水情变化状况并确定合理的规划设计和调度运行方案。譬如工矿企业必须解决工业用水的水源问题；城市建设必须解决供水、排洪及排污等问题；在交通运输方面，由于铁路、公路往往需要跨越江河，因而必须研究这些江河的水情变化规律，并合理确定有关建筑物的尺寸，如桥梁的高度、涵洞的大小等；在农、林、水利建设方面，诸如灌溉、排水、防洪、发电等等，更需要了解和掌握水情变化规律，并在此基础上正确拟定经济合理的工程措施。此外，不仅在进行基本建设时如此，对于已成的水利工程的调度运用，同样有必要了解水情的未来变化情况，拟定调度运行

策略,使现有工程发挥较大的效用。总而言之,国民经济建设从多方面对水利计算学科提出了任务和要求。

第四节 主要研究方法及其进展

基于水量平衡原理的调节计算方法是水利计算的主要研究方法。按照研究的对象和重点,调节计算可分为洪水调节和枯水调节,洪水调节主要解决防洪问题,枯水调节重点解决兴利问题。调节计算过程中必须兼顾工程或规划方案的经济性、安全性和可靠性要求,在研究方法上有传统方法与近代系统分析方法之分。

对于综合利用水利工程,传统调节计算方法在处理多目标问题时往往选择一个主要目标,例如发电为主、灌溉为主、城镇供水为主等,其他次要目标在兴利调节过程中则简化处理,例如对于水量不大但很重要的需水部门,可选择在来水扣除的方法处理(百分之百地满足)。

兴利调节计算,需要供需两方面的信息,径流系列(来水)资料由水文分析计算提供,需水量必须结合国民经济、社会和生态环境保护规模与发展状况确定,在以需定供的水利系统中,一般水利工程建设在解决供需矛盾时,都要求有一定的预见性,需水量不以现状实际用水为基础,而是采用设计水平年的需水为基础,需水预测精度是影响工程经济性和可靠性的重要因素,预测结果偏小,工程很快达到设计供水能力,因而也很快就不能满足受水区域的需水要求,从而使供水保证率下降,工程丧失供水可靠性;反之,预测结果偏大,工程长时间达不到设计效益,建设资金积压,造成经济损失,经济性下降甚至丧失。需水预测是一项十分复杂和困难的工作,目前大都分类预测,根据不同用户的用水特点和需水影响因素采用不同的预测方法,常用的方法有趋势预测、指标(定额)预测、重复利用率提高法、弹性系数法等。

灌溉、城镇供水等只要求水利工程在特定的时间提供特定数量的水量,属于水量调节的范畴。水量调节计算方法可分为时历法和数理统计法两大类。

时历法是先根据实测流量过程逐年逐时段进行调节计算,然后将各年调节后的水利要素值(例如调节流量、水位或库容等)绘制成频率曲线,最后根据设计保证率得出相应水利要素的设计值,简言之,时历法是先调节计算后频率统计的方法。时历法根据资料情况和计算深度要求又有长系列与典型年法之分,长系列对计算结果作频率分析,得到设计值,其保证率概念明确,在条件许可时,是首选之方法。典型年法以来水的频率代替设计保证率,忽略了供需平衡中“过程”组合,由于来水年内分配影响,往往来水的频率与设计保证率不完全一致。

数理统计法则先对原始流量系列进行数理统计分析,将其概化为几个统计特征值,然后再通过数学分析法或图解法进行调节计算,求得设计保证率与水利要素值之间的关系,也就是先频率统计后调节计算的方法。对于多年调节水库设计,数理统计法可以一定程度上克服径流系列不够长,或即使有较长期的水文资料,多年调节中水库蓄满、放空的次数也不够多的缺陷。根据概率组合理论推求水库的供水保证率、水库多年蓄水量变化和弃水情况等,理论上较为完善;数理统计方法采用相对值计算,便于计算成果处理和概括,以

及在不同河流上、不同水库间的计算成果的综合或推广应用。为了得到多年调节所必需的连续枯水年的不同组合,实用中常根据历史资料建立随机模型,通过随机试验的方法人工生成足够长的水文系列,供调节计算使用。

水电站水能计算属于水能调节的范畴。水能调节计算比水量调节计算复杂,水能的大小同时受到水量与水头两个因素的共同影响,水能开发的效益还与开发方式以及设备的效率等密切相关。水能计算全过程围绕水量平衡、电力平衡和电量平衡展开,计算方法上,由于水量平衡方程与出力方程组成的方程组无法得到解析解,所以,试算是水能计算中常用的求解方法,在保证出力计算、调度图绘制、多年平均电能计算等许多方面都需要试算,而且根据问题的性质还有顺时序与逆时序的差别。

洪水调节本质上属于水量调节,与兴利水量调节相比,有两点差别:①计算时段变小,洪水调节时段长一般以小时为量级;②在特定的时段调节计算时必须考虑泄流能力的影响。具体求解方法以水量平衡计算和试算为基础,与兴利计算基本相同。

目前水资源的利用愈来愈趋向多单元、多目标发展,规模、范围日益增大。但水资源又不能无限制地满足需求,许多矛盾需要协调,需要整体、综合地考虑。现代意义的水资源规划与管理,已经牵涉到社会和环境问题,故已经不是作为纯粹工程性质的所谓技术科学的一部分,而是在一定程度上已经从工程技术的水平提高到了环境规划的水平。因此现代意义的水资源的开发、利用或水利系统的规划、设计和管理运用,其内容、意义、目标都比传统更为广泛。

近代水资源开发利用综合、整体的观点和策略,引起了水资源研究方法的3个重要进展,即:①产生了多目标优化、矛盾决策的思想原则和求解技术;②流域库群系统整体优化的原则和方法;③大系统分层和分解协调优化技术。

水资源的综合利用,即如何处理在规划和管理的优化决策中多个目标或多个优化准则的问题,这些目标各式各样,多半是不可公度(如发电量和灌溉的农作物产量间),甚至有些是不能定量而只能定性。于是引入系统科学中的多目标规划的理论和方法应用于水资源系统的规划和管理中。

流域或区域范围的水资源问题,往往是一个庞大复杂的系统。例如流域干支流的梯级库群、兴利除害的各种水利水电开发管理目标、地表地下水各种水源的联合共用等。为了使这样的大系统能易于优化求解,利用大系统的分层和分解协调技术常常是非常有利和必要的。

一个流域或地区水资源开发利用的整体性的概念和特性,导致了系统工程和系统分析方法逐渐在水资源领域得到应用和不断发展。系统分析是一种组织管理“各种类型的系统”的规划、研制和使用的具有普遍意义的科学方法。它能更全面深入地进行水资源利用的分析研究,提高水利系统规划、管理的水平和效益。

随着大型水利系统的形成,水质、土地资源、环境质量等问题愈来愈重要,因此,规划水利系统时不仅要着眼工程和水利经济效益,还要考虑对社会和环境的影响,在决策时应充分顾及或协调各方面的合理要求和意见,因而应用系统分析的方法来研究水资源成为水资源开发利用课题的新方向。

第五节 本书主要内容

本书针对上述问题,精选出一些主要内容共分九章进行编写。第一章主要对水利计算的任务、方法及内容进行介绍;第二章至第九章介绍需水量的计算与预测、年月经流调节计算以及径流调节原理在灌溉、发电和防洪工程中的应用问题。整体内容组成及逻辑关系大致见图 1-2。

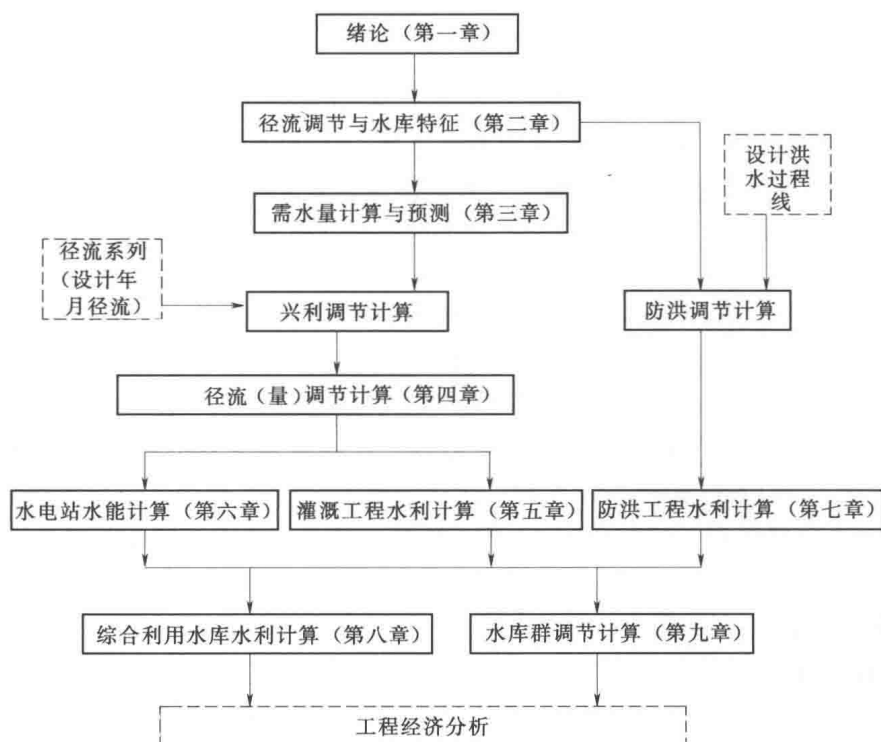


图 1-2 水利计算内容组成图

参 考 文 献

- [1] 国家防汛抗旱总指挥部办公室,水利部南京水文水资源研究所.中国水旱灾害 [M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [2] 水利部水利水电规划设计总院.中国水资源及其开发利用调查评价 [M].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [3] 中华人民共和国水利部,中华人民共和国国家统计局.第一次全国水利普查公报 [M].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [4] 梁忠民,钟平安,华家鹏.水文水利计算 (第2版) [M].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [5] 刘光文.水文分析与计算 [M].北京:中国水利水电出版社,1989.
- [6] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告 [M].北京:中国水利水电出版社,2001.

- [7] Maidment D R. . Handbook of Hydrology [M]. McGRAW - HILL, INC. 1992.
- [8] 中华人民共和国水利部 . 水利水电工程设计洪水计算规范 (SL 44—2006), 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [9] 中华人民共和国水利部 . 水利工程水利计算规范 (SL 104—95), 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

第二章 径流调节与水库特征

第一节 径流调节概述

一、径流调节的涵义

我国汛期 4 个月集中全年雨量的 60%~80%。年内各月径流量相差更大,浙江省乌溪江湖南镇站 1968 年 6 月经流量为 11 月经流量的 66.8 倍;1969 年 7 月经流量为 12 月经流量的 25.6 倍。如从短历时暴雨量看,则变化更为悬殊,黄河三门峡建库前最小流量小于 $200\text{m}^3/\text{s}$,而最大实测洪峰流量可达 $23500\text{m}^3/\text{s}$,相差达 120 倍;1960 年 7 月内蒙古商都一次暴雨,4h 降水量 600mm,相当于当地常年全年降水量的 1.5 倍;1977 年 8 月内蒙古乌审旗的一次暴雨,10h 降水量达 1400mm,相当于当地常年全年降水量的 3.5 倍。

降水量和径流量的年际变化也很大,北京 1959 年降水量 (1406mm) 是 1891 年 (168.5mm) 的 8.34 倍。淮河蚌埠站 1921 年年径流 (719 亿 m^3) 是 1978 年 (26.9 亿 m^3) 的 26.7 倍。此外,从实际资料看,我国主要江河都出现过连续枯水年和连续丰水年。松花江哈尔滨站,出现过连续 11 年 (1898—1908 年) 和连续 13 年 (1916—1928 年) 的枯水期,13 年枯水期平均年径流量比正常年份减小达 40%;哈尔滨站也出现过连续 7 年 (1960—1966 年) 的丰水期,平均年径流量比正常年份多 32%,并且在 1956 年、1957 年连续发生了该站自 1898 年有记录以来最大的两次洪水。黄河陕县站出现过连续 11 年 (1922—1932 年) 的枯水期,其平均年径流量比正常年份减少 24%;长江、闽江、珠江也都出现过连续六七年的少水期。

降雨径流除上述时间上分配不均外,空间上的分布也极不均匀,我国水资源分布情况见表 2-1。就大范围说,我国华北和西北地区雨量较少,而耕地较多;长江以南地区水量丰沛,而耕地面积相对较少;西南边疆水资源相当丰富,但人口和耕地却很少,需水量不大。全国水土资源很不平衡,长江流域及其以南地区的耕地占全国耕地面积的 38%,而河川径流量占全国 83%;黄河、淮河、海河、辽河 4 河流域内耕地面积占全国 42%,但河川年径流量只占全国 8%。全国 600 多个城市中有 300 多个城市缺水,114 个城市严重缺水,其中北方地区和沿海城市尤为突出,农村仍有几千万人饮用水问题尚未解决。有些地方水源不足已成为影响人民生活和社会经济发展的严重问题。

河川径流在时间上分布不均匀,往往难以满足用水部门的需要,使总水量不能充分利用。大多数用水部门 (例如灌溉、发电、航运等) 都有特定的过程要求,天然径流过程往往与需水过程不能吻合。例如,我国很多流域在水稻插秧期需水较多,而这时河川径流量却往往很少;冬季发电需水量较多,而一般河流都处于枯水期。为充分利用河川径流,就需要兴建水利工程,人为地将天然径流在时间方面重新进行分配,以满足各水利部门对水量的需要。从防灾的角度考虑,由于河川径流年内大部分水量往往集中于汛期几个月,而

河槽宣泄能力有限，常造成洪水泛滥，为了减轻洪涝灾害，也需要对河川径流进行控制和调节。除在时间上进行径流调节外，还需要通过跨流域调水工程在地区上进行径流调节，例如南水北调、引江济黄、引松济辽、引滦入津等。

表 2-1 我国水资源一级区水资源情况表

水资源一级区	降水量 /亿 m ³	地表水资源量 /亿 m ³	地下水资源量 /亿 m ³		水资源总量 /亿 m ³	产水系数	人均水资源总量 / m ³	单位国土面积水资源总量 (产水模数) /(万 m ³ /km ²)	单位耕地面积水资源总量 /(m ³ /亩)
			资源量	其中不重复量					
松花江区	4719	1296	478	196	1492	0.32	2333	15.96	544
辽河区	1713	408	203	90	498	0.29	909	15.86	445
海河区	1712	216	235	154	370	0.22	293	11.57	213
黄河区	3555	594	378	113	707	0.20	647	8.89	290
淮河区	2767	677	397	239	916	0.33	457	27.77	347
长江区	19370	9857	2492	102	9960	0.51	2246	55.87	2001
其中太湖流域	434	161	53	16	177	0.41	456	48.07	727
东南诸河区	4372	2654	665	27	2681	0.61	2899	109.63	4640
珠江区	8972	4723	1163	14	4737	0.53	3193	81.82	2837
西南诸河区	9186	5775	1440		5775	0.63	29298	68.42	10509
西北诸河区	5421	1174	770	102	1276	0.24	4663	3.79	1305
北方地区	19886	4365	2459	894	5259	0.26	903	8.68	451
南方地区	41900	23010	5760	143	23153	0.55	3302	67.10	2948
全国	61786	27375	8219	1037	28412	0.46	2195	29.89	1437

注 人均水资源总量、单位耕地面积水资源总量未含台湾省和香港及澳门特别行政区。

狭义的径流调节涵义：通过建造水利工程（闸坝和水库等），控制和重新分配河川径流，人为地增减某一时期或某一地区的水量，以适应各用水部门的需要。更简洁地说，就是通过兴建蓄水和调节工程，调节和改变径流的天然状态，解决供需矛盾，达到兴利除害的目的。

广义的径流调节涵义：人类对整个流域面上（包括地面及地下）径流自然过程的一切有意识的干涉。例如流域上众多的群众性水利工程的蓄水、拦水、引水措施，各种农林措施和水土保持工程等，其目的都在于拦蓄地表径流，增加流域入渗，以防止水土流失，有利于防洪和兴利。这种广义的径流调节情况多样，对广义的径流情况分析计算需要大量调查对比资料和采用特定的综合估算方法。一般可把它归为水文分析中人类活动对径流影响的估算问题。

本章主要阐述以水库为中心的狭义的径流调节。