

普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材

SHUIWEN SHUILI JISUAN

水文水利计算

主 编 徐冬梅 刘晓民



黄河水利出版社

普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材

水文水利计算

主 编	徐冬梅	刘晓民	
副主编	赵晓慎	王文川	赵雪花
	张高伟	张乃东	

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书根据当今水利发展的需要,与时俱进,较全面地反映了当今水文水利计算科学的新进展,能更好地满足我国水利建设的需要。全书共12章,主要包括:绪论、径流形成要素、水文信息采集与处理、水文统计基本知识、设计年径流及其年内分配、由流量资料推求设计洪水、流域产汇流分析计算、水库兴利调节计算、水库防洪调节计算、水电站水能计算、水电站及水库的主要参数选择、水库调度等。每章都配有思考题或习题。

本书可供水利类专业师生使用和水利工程技术及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水利计算/徐冬梅,刘晓民主编. —郑州:黄河水利出版社,2013.5

普通高等学校“十二五”省部级重点规划教材

ISBN 978-7-5509-0473-6

I. ①水… II. ①徐… ②刘… III. ①水文计算-高等学校-教材 ②水利计算-高等学校-教材 IV. ①P333 ②TV214

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第091870号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:郑州海华印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.75

字数:434千字

版次:2013年6月第1版

印数:1—3 100

印次:2013年6月第1次印刷

定价:36.00元

前 言

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,全国江河堤防长29.41万km,已建成各类水库87873座,水库总库容7162亿 m^3 ,有效灌溉面积万亩^①以上的灌区共5795处,农田有效灌溉面积2941.5万 hm^2 。水利水电工程的大规模建设对设计、施工、运行管理等水利水电专业人才的需求也更为迫切。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。

在这种背景下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。为此,黄河水利出版社组织相关任课教师结合多年的教学经验和工作实践,组织编写了本教材。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文计算理论和方法的一门科学,主要内容包括:绪论、径流形成要素、水文信息采集与处理、水文统计基本知识、设计年径流及其年内分配、由流量资料推求设计洪水、流域产汇流分析计算、水库兴利调节计算、水库防洪调节计算、水电站水能计算、水电站及水库的主要参数选择、水库调度等。本教材为高等学校的工程管理、农业水利工程及水文与水资源工程等水利类专业教材,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。

本教材由华北水利水电大学徐冬梅、内蒙古农业大学刘晓民任主编,由华北水利水电大学赵晓慎、王文川,太原理工大学赵雪花,南水北调中线干线工程建设管理局河南直管项目建设管理局张高伟,山东黄河河务局黄河河口管理局张乃东任副主编。具体分工为:第一至三章由刘晓民编写,第四、六、十二章由徐冬梅编写,第五、十章由张乃东编写,第七章、附表由赵晓慎、王文川编写,第八、十一章由张高伟编写,第九章由赵雪花编写。

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

2013年3月

^① 1亩=1/15 hm^2 。

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 水资源概述	(1)
第二节 水文水利计算的研究内容	(3)
第三节 水文现象的基本规律及水文学的研究方法	(5)
第四节 水文学的发展	(6)
第五节 水文水利计算在水利工程中的作用	(8)
思考题	(9)
第二章 径流形成要素	(10)
第一节 水文循环与水量平衡	(10)
第二节 河流与流域	(12)
第三节 降 水	(17)
第四节 蒸散发	(25)
第五节 土壤水、下渗和地下水	(29)
第六节 径 流	(32)
小 结	(36)
习题与思考题	(37)
第三章 水文信息采集与处理	(39)
第一节 水文测站与站网布设	(39)
第二节 水位观测	(41)
第三节 流量观测	(44)
第四节 河流泥沙测验与计算	(50)
第五节 水文调查与水文遥感	(53)
习题与思考题	(56)
第四章 水文统计基本知识	(57)
第一节 概 述	(57)
第二节 概率的基本概念	(58)
第三节 随机变量及其概率分布	(61)
第四节 常用的概率分布曲线	(65)
第五节 水文参数估计	(69)
第六节 水文频率计算适线法	(73)
第七节 相关分析	(81)
习题与思考题	(89)

第五章 设计年径流及其年内分配	(91)
第一节 年径流变化及其影响因素	(91)
第二节 具有长期实测径流资料时设计年径流的分析计算	(93)
第三节 有短期实测径流资料时设计年径流的分析计算	(99)
第四节 缺乏实测径流资料时设计年径流量的估算	(101)
习题与思考题	(105)
第六章 由流量资料推求设计洪水	(108)
第一节 概 述	(108)
第二节 设计洪峰流量及设计洪量的推求	(112)
第三节 设计洪水过程线的推求	(128)
第四节 入库设计洪水	(132)
第五节 分期设计洪水	(134)
第六节 设计洪水的地区组成	(135)
习题与思考题	(136)
第七章 流域产汇流分析计算	(139)
第一节 流域产流分析	(139)
第二节 蓄满产流的计算方法	(142)
第三节 超渗产流的计算方法	(148)
第四节 流域汇流分析	(154)
第五节 地面径流的汇流计算方法	(155)
第六节 地下径流的汇流计算方法	(171)
习题与思考题	(174)
第八章 水库兴利调节计算	(176)
第一节 水库特性	(176)
第二节 设计保证率	(182)
第三节 兴利调节分类	(185)
第四节 年调节水库兴利调节计算	(188)
第五节 多年调节兴利计算数理统计法	(200)
习题与思考题	(205)
第九章 水库防洪调节计算	(207)
第一节 概 述	(207)
第二节 水库调洪计算的基本原理	(209)
第三节 水库调洪计算的列表试算法	(212)
第四节 水库调洪计算的半图解法	(216)
第五节 水库调洪计算的简化三角形法	(219)
第六节 水库防洪计算	(220)
习题与思考题	(224)

第十章 水电站水能计算	(226)
第一节 水能利用	(226)
第二节 水能计算的目的和基本方法	(233)
第三节 水电站保证出力及多年平均发电量的计算	(237)
思考题	(242)
第十一章 水电站及水库的主要参数选择	(243)
第一节 电力系统的负荷及容量组成	(243)
第二节 水电站装机容量的选择	(249)
第三节 水电站水库正常蓄水位及死水位的选择	(258)
习题与思考题	(261)
第十二章 水库调度	(263)
第一节 水库调度的意义及调度图	(263)
第二节 水库的兴利调度	(265)
第三节 水库的防洪调度	(271)
思考题	(273)
附 表	(274)
附表 1 皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数 Φ_p 值表	(274)
附表 2 皮尔逊Ⅲ型曲线的模比系数 K_p 值表	(277)
附表 3 三点法用表—— S 与 C_s 关系表	(282)
附表 4 三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值的关系表	(284)
附表 5 瞬时单位线 S 曲线查用表(一)	(286)
附表 6 瞬时单位线 S 曲线查用表(二)	(288)
附表 7 瞬时单位线 S 曲线查用表(三)	(290)

第一章 绪 论

第一节 水资源概述

一、水资源的含义

水是一种重要的自然资源,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起,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,狭义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。

二、世界水资源概况

地球上的总储水量约为 13 860 亿 m^3 ,其中海洋水为 13 380 亿 m^3 ,约占全球总水量的 96.53%。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湖湖泊水(约占淡水总量的 0.27%)和地下水的一部分。从数字上可以看出,水是丰富的,但可利用的淡水资源是极其有限的。

当今世界的水资源分布十分不均。除欧洲因地理环境优越、水资源较为丰富外,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,逐渐对水资源危机形成共识。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 2 500 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生活水平的提高,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 2 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 151 mm。相比之下,大洋洲的澳大利亚最为干燥,与降水量 761 mm 相对的径流量仅为 39 mm,这是由澳大利亚有 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 7 300 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%。20 世纪 80 年代后期,全球淡水实际利用的数量大约每年 3 000 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。

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 1 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,农业用水量占总水量的比例由 1950 年的 78.2% 下降到 1985 年的 61.5%;而工业用水量与城市用水量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 多年来,全世界农业用水量增加了 2 倍、工业用水量增加了 7 倍,而生活用水增加的更多。

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。

我国多年平均水资源总量为 2.84 万亿 m^3 ,其中地表水资源量为 2.74 万亿 m^3 ,地下水资源量为 8 219 亿 m^3 ,地表水资源量与地下水资源量的重复计算量为 7 182 亿 m^3 。我国水资源总量占全球水资源总量的 6%,居世界第六位。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 2 240 m^3 ,仅为世界平均水平的 1/4、美国的 1/5,在世界上名列第 121 位,是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。

(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从东南沿海向西北内陆递减。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 $3\,300\text{ m}^3$,单位耕地水资源量为 $43\,860\text{ m}^3/\text{hm}^2$;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 740 m^3 ,单位耕地水资源量为 $5\,640\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。其中,西南诸河流域片水资源量最为丰富,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多、冬春少、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。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,废污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。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 水文水利计算的研究内容

水文学是研究自然界各种水体(大气水、地表水、地下水)的存在、分布、循环、运动等变化规律,物理及化学性质,以及水体对环境的影响和作用的学科。其研究的最终目的是利用这些规律为人类服务。

传统的水文学可概括为“测”、“报”、“算”三部分内容。“测”即水文测验,“报”即水文预报,“算”即水文水利计算,包括水文计算和水利计算两部分内容。

一、水文计算

水文计算是为水利工程的规划设计、施工和运行阶段提供水文数据的各类水文分析

和计算的总称。水文计算成果是对河川径流概率意义下的预估,是工程规划设计和施工的基础,是合理确定工程规模的依据。水文计算中常研究的水文变量包括设计年径流、年输沙量和设计洪水。主要从概率统计的角度测算工程实施中和完成后,很长时期内可能遇到的各种概率的水文现象的大小与过程。其主要内容包括:

(1)设计年径流及年内分配的推求:①基本资料信息的收集和复查;②年径流量的频率分析计算;③提供设计年径流的时程分配;④对分析成果进行合理性检查。

(2)设计洪水过程的推求:①基本资料信息的收集和复查;②洪峰流量及不同时段洪量的频率分析计算;③设计洪水过程线的分析计算;④成果的合理性检查。

例如:预测某水利工程千年一遇的设计洪峰流量有多大,千年一遇的设计洪水过程。千年一遇的设计洪峰流量即为特定概率的水文现象的大小,千年一遇的设计洪水过程即为特定概率的水文现象的过程,此处的水文现象即为洪水。

(3)施工期洪水的推求。

(4)设计年输沙量的推求。

二、水利计算

水利工程规划设计和运行中,为研究水资源的合理开发利用、研究水利工程对河川径流和水利条件的变化影响,评价工程的经济和环境效果等所进行的有关分析计算称为水利计算。水利计算成果是选择河流治理和开发方案,确定工程任务、工程规模、工程开发程序、工程运用方式等的依据。

水利计算是以水文计算和水文预报所提供的水文数据为基础,再加上用水、地形、地质、经济等方面的资料,通过分析计算完成以下主要任务:

(1)规划设计阶段。确定工程的规模(例如水库的库容)和水工建筑物的尺寸(例如坝高、溢洪道宽度等)。

(2)施工阶段。确定临时性水工建筑物的尺寸(例如围堰高度)。

(3)运用管理阶段。确定水库合理的运行方案(例如水库调度图的编制)。

各种水利工程中以水库工程的水利计算牵涉面最广,也最复杂,主要内容一般有:

(1)水库效益及效能的有关计算,即根据水库承担的水利任务及其主次关系,所进行的水库调洪计算和以径流调节计算为基础的水库供水调节计算、水能计算、水库群补偿调节计算、综合利用水库调节计算等。

(2)水库兴建后对河流及周围环境影响的有关计算,包括水库回水计算、水库冲淤计算,以及为评价环境影响所进行的有关计算。

(3)根据水库的具体情况,必要时还应进行下列专门计算,如水库放空计算、溃坝洪水计算、水库初期蓄水调节计算、水库冰凌分析计算等。

本教材由于学时有限,不可能包括上述全部内容。本教材中水利计算部分主要介绍水库兴利调节计算、水库防洪调节计算、水电站水能计算、水电站及水库的主要参数选择以及水库调度等内容。

综上所述,水文水利计算是运用水文学的理论和方法,定性和定量结合,分析研究陆面水文规律,预测未来水情变化,为合理开发利用水资源、科学治理水旱灾害和有效保护

生态环境提供依据。

第三节 水文现象的基本规律及水文学的研究方法

一、水文现象的基本规律

水文现象的基本规律包括确定性规律和随机性规律。

(一) 成因规律(确定性规律)

成因规律表示水文现象形成的内在因果关系,确定的成因和条件将对应于确定的结果。

例如:某河流断面,随着降雨径流量的增加,其相应水位有起涨的趋势,根据质量守恒原理可得:全球的多年平均降水量 = 全球的多年平均蒸发量;某流域一次暴雨过程扣除相应的损失过程 = 净雨过程;流域上一次暴雨过程所形成的净雨总量 = 本次降水所形成的流域出口断面的径流总量。

(二) 统计规律(随机性规律)

随机性即偶然性、不确定性。水文现象虽然有确定性规律,但并不是固定不变的,如河流每年有汛期、枯水期,但是各不相同。样本容量很大时,随机变量趋向于一个稳定的分布,或相关变量表现为稳定的相关关系。例如:河流某一断面的水位流量关系、某一流域的降雨径流关系,都具有一定的统计规律。

(三) 地区性规律

由于气候因素和地理因素具有地区性变化的特点,因此受其影响的水文现象在一定程度上具有地区性分布特点。若气候条件和自然地理条件相似,则同一水文现象在时空上的变化规律具有相似性。例如:我国南方湿润地区,降水量、径流量普遍丰沛,年内各月径流分配相对比较均匀;而北方干旱地区降水量少,径流量较少,年内分配极不均匀。正因为水文现象具有地区性规律,水文工作者常用降水等值线图、径流等值线图来研究其变化特性。

二、水文学的研究方法

根据水文现象的基本特征,水文学的基本研究方法相应地可分为三类,即成因分析法、数理统计法和地理综合法。

(一) 成因分析法

成因分析法即根据水文变化的成因规律,由其影响因素预报、预测水文情势的方法。如降雨径流预报法、河流洪水演算法等。

(二) 数理统计法

数理统计法即根据水文现象的统计规律,把水文现象当作随机变量,用概率论和数理统计的理论解决水文问题。

(三) 地理综合法

水文现象主要受气候因素的影响,而气候在地理分布上是有规律的,因此可以分析综合出某一地区水文现象的地区规律,找出经验公式或画出等值线图,用于解决无资料流域

的水文计算。

以上三种方法相辅相成、互为补充。实际的工程水文计算常常是多种方法综合使用,相辅相成。例如由暴雨资料推求设计洪水,就是先由数理统计法求设计暴雨,再按成因分析法将设计暴雨转化为设计洪水。因此,在实际运用中,应结合工程所在地的地区特点及水文资料特点,遵循“多种方法,综合分析,合理选用”的原则,以便为工程规划设计提供可靠的水文成果。

第四节 水文学的发展

水文学的发展,就是随着社会经济发展和水利工程发展的需要,从萌芽到成熟、由经验到理论逐步发展起来的。今后的发展仍将遵循这一规律更快地向前发展,以满足社会继续发展的需求。水文学的发展,大体可分为以下几个阶段。

一、萌芽时期(1400 年以前)

在一些古文明国家和地区,从历代古籍、文献、碑刻古迹和发掘的文物中,可以发现水文学科学萌发的一系列史实:古埃及在公元前 3500 ~ 公元前 300 年因灌溉引水开始观测尼罗河水位,至今还保存有公元前 2200 年所刻水尺的崖壁。中国古代的一些水利工程如都江堰、灵渠等建成后能较长期地发挥效益,都与运用水文知识有关,尤其是 2 000 年前建成的都江堰,至今仍在发挥巨大的效益。中国元始四年(公元 4 年)张戎最先提出的“以水攻沙”,对当时和后世治理黄河的影响甚大。中国的测雨可追溯到公元前 11 世纪以前的商代,甲骨文中有细雨、大雨和骤雨的分类。宋秦九韶在《数书九章》记有当时全国都有天池盆测雨量及测雪量的方法。北魏酈道元的《水经注》(公元 527 年)记述干支河流达 1 252 条之多,比欧洲同类水平的著作约早 1 000 年,是一部水文地理巨著。《吕氏春秋》(公元前 239 年)最先提出水文循环,完整地提出了水循环概念“云气西行云云然,冬夏不辍,水泉东流,日夜不休;上不竭,下不满,小为大,重为轻,圜道业”,至今尚为世界学术界所称道。

总的来说,这一时期中国的水文知识居于世界领先地位。

二、奠基时期(1400 ~ 1900 年)

14 ~ 16 世纪欧洲文艺复兴和 18 ~ 19 世纪工业革命给自然科学的发展带来很大影响。此时期水文方面雨量器、蒸发器和流速仪等一系列观测仪器的发明,为水文现象的实地观测、定量研究和科学实验提供了必要的条件。水文循环在观测和实验基础上得到验证,水文现象由概念描述深入到定量表达,为水文科学的建立奠定了基础。这一时期,水文学首先在西欧发展,后在北美兴起,并应用于实际。

1424 年中国开始全国统一制作和使用标准测雨器。1610 年意大利 B. 卡斯泰利提出了流量测量方法。英国雷恩发明了自记雨量计。1790 年法国 R. 活尔特曼发明了转子式流速仪。1870 年美国 T. G. 埃利斯发明了旋桨式流速仪。1885 年美国 W. G. 普赖斯发明了旋杯式流速仪,为水文定量观测和水文科学提供了有力的工具。

在欧洲,由于实测水文资料积累和实验研究的深入,揭示了一系列水文基本规律。在中国,徐霞客经过 28 年的野外考察,他的游记中关于岩溶地貌和水文地理的记述,早于国外同类著作近 300 年。18~19 世纪西欧产业革命促进城市、交通和工业发展,大量的水利建设要求解决各种设计中的水力计算问题,使水力学理论得到较大进步,由此又为一些水文规律的理论研究提供了有力的工具。水文学基本理论和方法逐步完善,使水文计算和水文预报水平得到提高,在工程建设和防洪中的效果日益显著,从而形成以水文计算和水文预报为主的新分支学科——应用水文学。总的来说,在这一时期中国水文科学进展比较缓慢。

三、应用水文学的兴起(1900~1950 年)

进入 20 世纪,特别是经过两次世界大战的破坏后,各国都致力于经济恢复和发展,迫切需要解决城市建设、动力开发、交通运输、工农业用水和防洪等水利工程中的一系列水文问题,促进了水文科学的迅速发展。此时期水文站网扩大,实测资料积累丰富,为水文分析研究提供了前所未有的条件,应用水文学取得了许多新进展。美国在这一时期取得的成果较多,处于领先地位。1900 年美国 J. A. 塞登提出了著名的塞登定律,为天然河道洪水演进提供了理论。1935 年美国 G. T. 麦卡锡提出的马斯京根法简化了河道的洪水演进计算。为适应工程设计和防洪要求,水文计算和水文预报方面提出了许多新的概念和方法:1914 年黑曾首先用正态概率格纸选配流量频率曲线。1924 年 H. A. 福斯特完整地提出了 P-Ⅲ 频率曲线的分析方法。W. 韦伯尔提出了经验频率计算公式。这些学者把概率论和数理统计引进了水文学。1932 年美国 L. R. K. 谢尔曼提出的单位过程线被誉为水文学进展的里程碑。1937 年美国 M. 贝纳德和 R. K. Jr. 林斯雷等提出可能最大降水/洪水方法。这些水文计算方法在实际应用中得到迅速推广,丰富了应用水文学。1936 年美国的 W. G. 霍伊特提出将随机过程引入水文计算,形成了随机水文学。此外,许多应用水文学著作的出版,标志着水文学进入了成熟阶段。

这一时期中国在停滞了数个世纪之后,开始从西方引进了新的水文科学,从事于中国江河水文学的研究。

四、水文学的现代特色与发展(1950 年以后)

20 世纪后期水文科学的发展出现了新的形势:首先,由于新技术特别是计算机的应用,使水文信息(实时资料)的获取、传递和处理大为方便迅速,节省了大量人力和时间。其次,由于工农业和城市的需要,应用水文学发展迅速。最后,由于生产和生活用水的增长,环境污染日趋严重,出现了水资源紧张局面,迫使水文学特别侧重于水资源研究,不仅注重水量还要注重水质;不仅注重洪水,还要注重枯水;不仅研究一条河流、一个流域的水文特性,还要研究跨流域、跨地区的水资源联合调度问题;不仅要研究短期、近期的水文预报,还要研究长期的水文趋势预估。从此,水文科学进入了一个现代化的新时代。

美国于 1971 年建立了水文资料库,能够在各州终端上获得全美任一地点的资料。20 世纪 80 年代前期先后发射 4 颗陆地卫星,取得了许多水文研究成果,并为国际服务。美国、英国和挪威等采用测深仪直接绘制断面图。这一时期,中国水文站网发展迅速,全国

基本站达 21 600 处,可以基本掌握全国各主要河流的水文情势;在长江、黄河等流域开始应用卫星图片和遥感技术研究水文及水资源问题。

20 世纪 50 年代,随着电子计算技术的发展,出现了许多水文数学模型,为水文科学的进一步发展开创了新途径。

1966 年美国 R. K. Jr. 林斯雷和 N. H. 克劳福法提出的斯坦福流域模型和美籍华人周文德在 20 世纪 60 ~ 70 年代提出的流域水文模型以及一系列的水文随机模型、水系统模型等,推动了水文预报和水资源系统分析的发展。自 20 世纪 50 年代初开始,中国也提出了具有中国特色的洪水预报方法。

调查、考证和分析历史洪水资料,以弥补实测资料的不足。除广泛调查历史洪水外,20 世纪 90 年代又发展了古洪水研究,利用放射性同位素 ^{14}C 获得全新世(约距今 10 000 年)以来的古洪水资料,在长江三峡、黄河小浪底等水利枢纽工程的洪水计算中取得了具有巨大意义的成果。20 世纪 70 年代以来,中国还相继编绘出版了《全国可能最大降水等值线图》和《全国暴雨参数等值线图》等,为中国的暴雨洪水研究和计算作出了贡献。

20 世纪 70 年代中期开展的国际水文合作,兴起了全球性的水文科学研究和国际水文十年计划(IHD)、世界气象组织(WMO)的业务水文计划(OHP)、联合国教科文组织国际水文计划(IHP)等。广泛的国际合作,促进了全球水文、水资源知识的交流,推动了水文科学的发展。

第五节 水文水利计算在水利工程中的作用

天然来水过程与生产、生活各环节的需水过程常常相互矛盾,而修建水利工程就是为了解决这一矛盾所采取的技术措施。水利工程在实施过程中,可划分为规划设计、施工和运行管理三个阶段,每个阶段都离不开水文水利计算。

一、规划设计阶段

在此阶段水文计算的主要任务是确定工程的规模。规模过大,造成工程投资上浪费;规模过小,又使水资源不能充分利用,也是一种浪费。如果标准过低,还将导致工程失事,造成工程本身和下游人民生命财产的巨大损失。在多沙河流上兴建水利工程还需估算蓄水引水工程的泥沙淤积量,以便考虑延长工程寿命的措施。水利工程的使用期限一般为几十年甚至百年以上,规划设计时,必须知道控制水体在使用期间的水文情势,提出作为工程设计依据的水文特征数值,例如:设计年径流量、设计洪峰流量、设计洪水过程线等。水文计算就是研究这类问题的学科。掌握控制水体的水文情势之后,以水情为基础,需要确定水利工程的工程规模、工程运用方式等,水利计算就是为此类问题服务的。

二、施工阶段

施工阶段水文计算的任务是确定临时性水工建筑物的规模,提供施工期设计洪水。水利工程工期一般较长,往往需要一个季度甚至几年,在施工期间必须对施工期水文情势有所了解。对水文情势的了解应包括两个方面:一方面是为了临时性建筑物如围堰、引水

隧洞或渠道等,须预报整个施工期的天然来水情势,而通常的水文和气象预报往往不能提供如此长期的预报,仍需通过水文计算来解决这个问题;另一方面,为了安排日常工作也必须了解近期更为确切的水情,这需要提供短期(如几天之内)的水文预报,水文预报是为解决这一类问题服务的。

三、运行管理阶段

运行管理阶段的主要任务在于使建成的工程充分发挥作用。为此需要了解未来一定时期的来水情况,以便编制水量调度方案,合理调度水量,充分发挥工程效益。此时需要由水文分析得到的长期平均情势结合水文预报的短期水情,基于水利计算的相应分析方法,从而提出最佳的调度运用方案。因此,水文预报和水利计算的工作就显得十分重要。例如:汛前根据洪水预报信息,在洪水来临之前,预先腾出库容拦蓄洪水,使水库安全度汛,下游免遭洪水灾害。到汛期结束时,及时拦蓄尾部洪水,以保证灌溉、发电等兴利用水需求。

规划设计水利工程大体可分为两大环节:

水文计算为第一个环节,其输入为基本水文气象资料,输出为当地可能出现的水文情势。水文计算的输出则是后继环节——水利计算的输入。水利计算由当地的水文情势、自然情况和国民经济对水资源开发的需求,研究各种设计方案的经济效益,从中选出最优方案,如图 1-1 所示。

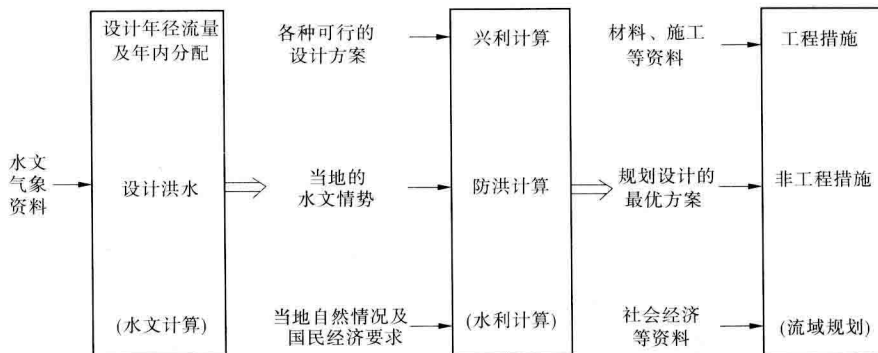


图 1-1 流域规划工作流程图

思考题

- 1-1 水文现象的基本特征及水文学的研究方法是什么?
- 1-2 水文水利计算在水利工程中有哪些作用?
- 1-3 如何理解水资源的含义和主要特点?
- 1-4 联系实际分析我国水资源的特点。
- 1-5 举例分析水文现象的基本特点。

第二章 径流形成要素

第一节 水文循环与水量平衡

一、自然界的水循环

(一) 水循环的概念

地球上的液态水和固态水在太阳辐射作用下蒸发而变成水汽,水汽被上升气流带离地面,并在空中飘移,在适当条件下凝结成固态水或液态水降落到地面,在重力作用下由高向低流动,直接或以径流的形式补给地球上的海洋、河流、湖泊、土壤水、地下水 and 生态水等,如此永不停止地反复循环,就是水循环的过程。简言之,地球上各种形态的水,在太阳辐射、地心引力等作用下,通过蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗以及径流等环节,不断地发生相态转换和周而复始运动的过程,称为水循环,如图 2-1 所示。形成水循环的外因是太阳辐射和地心引力,太阳辐射分布的不均匀性和海陆热力性质的差异造成空气的流动,为水汽的移动创造了条件。地心引力(重力)则促使水从高处向低处流动,从而实现了水循环。形成水循环的内因是水自身存在固、液、气的“三态”变化。

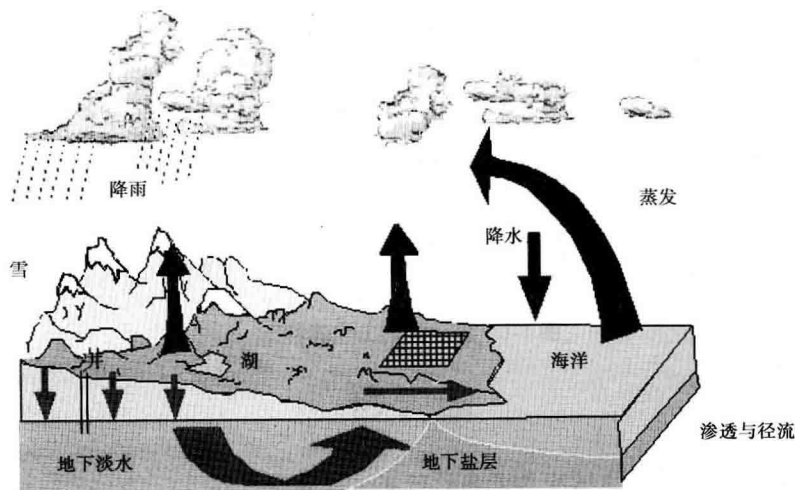


图 2-1 水循环示意图

(二) 水循环的分类

水循环按照发生的空间大致可以分为大循环、海洋内循环和陆地内循环三种(见图 2-2)。

大循环:从海洋表面蒸发的水汽,被气流输送到大陆上空,冷凝成水后落到陆面,除其