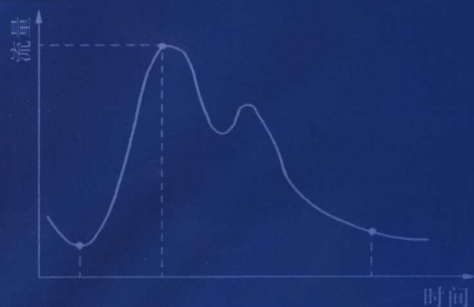
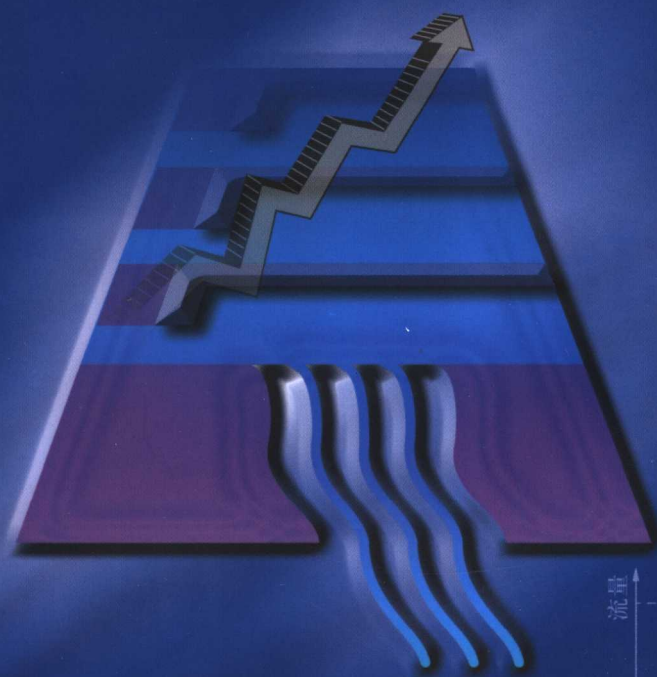


全国水利水电类高职高专统编教材

水文水利计算

刘洪波 主编



黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

水文水利计算

主 编 刘洪波

副主编 朱岐武 崔振才 菅瑞卿

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《水文水利计算》课程教学大纲编写完成的。全书共分九章,包括绪论、年径流的分析与计算、由流量资料推求设计洪水、由暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水、水库的兴利调节计算、水电站水能计算、水库防洪调节计算和水库调度等内容。着重阐明基本理论、基本概念和主要的计算方法。

本书可供高等职业院校、普通高等专科学校和成人高校水文水资源专业教学使用,还可供其他水利类专业和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水利计算/刘洪波主编. — 郑州:黄河水利出版社,2006.8

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 7-80734-106-8

I.水… II.刘… III.①水利工程—水文计算—高等学校:技术学校—教材②水利工程—水利计算—高等学校:技术学校—教材 IV.TV12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 091351 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:14.5

字数:335 千字

印数:1—3 100

版次:2006 年 8 月第 1 版

印次:2006 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-106-8/TV·468

定价:26.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本教材在编写过程中,认真贯彻高等职业技术教育教学改革的精神,力求做到基本概念准确,分析计算步骤清楚,文字简练,通俗易懂,注重实用性和可操作性。

全书共分九章,包括绪论、年径流的分析与计算、由流量资料推求设计洪水、由暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水、水库的兴利调节计算、水电站水能计算、水库防洪调节计算和水库调度等内容。着重阐明基本理论、基本概念和主要的计算方法。

本书可供高等职业技术学院、普通高等专科学校和成人高校水文水资源专业教学使用,还可供其他水利类专业和工程技术人员参考。

本书第一章、第三章(第一~三节)由黄河水利职业技术学院刘洪波编写;第二章由黄河水利职业技术学院菅瑞卿编写;第四章由山东水利职业学院崔振才编写;第五章、第六章(第一~三节)、附表 2 由安徽水利水电职业技术学院曹云玲编写;第三章(第四节)、第六章(第四、五节)、附表(1、3~5)由湖北水利水电职业技术学院孙荣鸿编写;第七章、第九章由朱岐武编写;第八章由水利部海委引滦工程管理局安婷、温立成编写。全书由刘洪波主编,朱岐武、崔振才、菅瑞卿副主编。

本书由刘洪波统稿,陈瑞裕主审。在编写过程中参考并引用了有关院校编写的教材和生产科研单位的技术文献资料,除部分已经列出外,其余未能一一注明,编者在此谨向他们表示衷心的感谢。

最后,我们恳请读者对本书存在的缺点和错误予以批评指正,以便今后修正。

编 者

2006 年 3 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 水资源	(1)
第二节 水文水利计算的作用和任务	(3)
第三节 水文水利计算的研究方法	(4)
第二章 年径流的分析与计算	(6)
第一节 概 述	(6)
第二节 影响年径流量的因素	(8)
第三节 径流资料的分析和处理	(9)
第四节 具有实测径流资料时设计年径流的分析与计算	(16)
第五节 缺乏实测径流资料时设计年径流的分析与计算	(26)
第六节 流量历时曲线	(32)
第七节 枯水径流的分析与计算	(33)
第三章 由流量资料推求设计洪水	(35)
第一节 概 述	(35)
第二节 洪峰流量及时段洪量的频率分析	(40)
第三节 设计洪水过程线的推求	(55)
第四节 设计洪水的其他问题	(59)
第四章 由暴雨资料推求设计洪水	(66)
第一节 概 述	(66)
第二节 设计暴雨的计算	(66)
第三节 设计净雨的推求	(70)
第四节 设计洪水过程线的推求	(75)
第五章 小流域设计洪水	(85)
第一节 概 述	(85)
第二节 设计暴雨的推求	(86)
第三节 推理公式法推求设计洪水	(88)
第四节 经验公式法推求设计洪水	(92)
第五节 调查洪水法推求设计洪水	(93)
第六章 水库兴利调节计算	(95)
第一节 水库特性	(95)
第二节 国民经济各用水部门的用水特性	(107)
第三节 水库死水位的确定	(116)

第四节	年调节水库兴利调节计算	(117)
第五节	多年调节水库兴利调节计算	(127)
第七章	水电站水能计算	(134)
第一节	概 述	(134)
第二节	电力系统的负荷与容量组成	(138)
第三节	水电站的保证出力 and 发电量计算	(139)
第四节	灌溉结合发电的水库水能计算	(148)
第五节	水电站装机容量的选择	(154)
第八章	水库防洪调节计算	(159)
第一节	水库的调洪作用和计算原理	(159)
第二节	无闸门控制的水库调洪计算	(162)
第三节	有闸门控制的水库调洪计算	(177)
第九章	水库调度	(186)
第一节	水库调度的意义、内容和任务	(186)
第二节	水库的兴利调度	(189)
第三节	水库的防洪调度	(193)
第四节	水库优化调度	(205)
附 表		(209)
附表 1	皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数 Φ_p 值表	(209)
附表 2	皮尔逊Ⅲ型频率曲线的模比系数 K_p 值表	(212)
附表 3	频率格纸的横坐标分格表	(221)
附表 4	三点法用表—— S 与 C_s 关系表	(221)
附表 5	三点法用表—— C_s 与有关 Φ_p 值的关系表	(223)
参考文献		(225)

第一章 绪 论

第一节 水资源

一、水资源的概念

水是人类生活与生产活动必不可少的自然资源。人类的产生、生存及进化,无一不与水密切相联。人类一切改造自然、发展生产的社会经济活动,都离不开水这一极其宝贵的自然资源。随着人口的增长、工农业生产的发展和人民生活水平的提高,人类对水资源的需求量也不断增长。

所谓水资源,广义上包括自然界所有的液态、气态和固态水体。我们通常所说的水资源是狭义概念,是指可供人们取用的、在一定时间内能够自然恢复和更新的地表及地下淡水量。

按水体所处空间位置,水资源可分为地表水资源和地下水资源。按水资源的作用可分为:江河、湖泊、井泉以及高山积雪、冰川等可供人类长期利用的水源资源;利用江河、湖泊等天然航道以及水库、运河等人工航道发展交通运输的水运资源;用来发展水产养殖以及旅游事业的水域资源;河川水流、沿海潮汐等所蕴藏的水能资源等。

二、水资源的特性

水资源不同于土地、矿藏等自然资源,有其独特的性质。

(1)循环性与有限性。我们把海洋、陆地上的降水和蒸发的垂向水分交换定义为小循环,海洋与陆地间的水分交换则称之为大循环,这种受太阳能量和地球引力影响的水循环将不断往复。循环的结果使得海洋水量长期保持平衡,陆地上的水体不断得以补给。参与全球水循环的动态水量为 57.7 万 km^3 ,约占地球总水储量的 0.04% 。这种无限循环和有限补给决定了水资源只有在一定数量限度内,才是取之不尽、用之不竭的。

(2)时空分布不均匀性。太阳与太阳系运动的规律以及地球表面的自然地理环境和人文环境,产生了复杂的地球气候和水文循环,使得水资源在地区分布上有丰水带、多水带、过渡带、少水带和干旱带之分。有的地区水贵如油,人畜很难生存;而有的地区水满为患,常常会受到洪水的危害,给生活和生产带来严重影响。在年际分布上,存在丰水年、平水年和枯水年,同时在年内还有明显的枯水期和丰水期,它们之间相差悬殊,极不均匀,给人类开发利用带来了困难,必须通过建造各种水利工程,对水资源进行再分配,才能满足人类的需要。

(3)用途广泛性和不可代替性。水资源是发展国民经济的重要生产资料,是国民经济建设的物质基础,几乎涉及到所有的国民经济部门。水资源作为生产资料的用水形式可分为两种类型:①耗损性用水,如工业供水、农业灌溉等,需要消耗或污染大部分水量;

②非耗损性用水,如水电、航运、水产、旅游和环境保护等部门,是利用其水能、水域、水体和水环境,不消耗水量或很少消耗水量。水资源又是生活资料,是维持生命和生态环境的保障,是万物赖以存在的必要条件。水资源是任何物质都不可代替的基础资源。

(4)有利性和有害性。水资源量的多寡,直接促进或制约国民经济建设,而大气降水(雨、雪、霜、雾等)的过少或过多,将会带来旱、涝、洪、凌、碱等自然灾害。水资源开发利用不当,也会引起人为灾害,如垮坝、污染、次生盐碱化、病菌传播、交通阻碍、地面沉陷和地震等。因此,水资源具有有利的一面,同时又具有有害的一面,水资源的开发利用应达到除水害、兴水利的双重目标。

三、我国水资源的特点

我国地域辽阔,地形复杂,总的地势西部高东部低。受太平洋影响大陆性季风气候显著。几千年来人们在这块古老的土地上休养生息,同时也干扰和破坏了自然的水土构成。因此,形成了我国水资源所具有的特点。

(1)总量可观,人均、亩均占有量少。我国水资源的主要补给来源是大气降水。据估算,我国多年平均年降水总量为 61 889 亿 m^3 ,折合平均水深约为 648 mm,低于全球陆面(834 mm)和亚洲陆面(740 mm)的多年平均降水深。我国水资源多年平均总量为 28 124 亿 m^3 ,折合水深为 284 mm,其中多年平均河川径流总量为 27 115 亿 m^3 ,占全球陆面径流总量的 5.8%。与世界各国相比,我国水资源总量居世界第六位,仅次于巴西、苏联、加拿大、美国和印度尼西亚五国。但按人口、耕地面积计算的平均占有量,则处于较低水平。人均占有量只相当于世界人均占有量的 1/4,居世界第 121 位,亩均占有量也只有世界平均水平的 1/2 左右。因此,我国是一个缺水的国家,计划用水、节约用水,将是我国必须坚持的长期基本国策之一。

(2)地区分布不均匀、时程变化大。水资源地区(空间)分布不均,主要是由降水量不均造成的。我国降水量从东南沿海向西北内陆递减,形成东南沿海雨量充沛,华北、西北地区缺雨少水的局面。长江以南降水量高于华北,更高于西北。全国有 45% 的土地面积年降水量小于 400 mm。从地表径流与耕地面积的关系来看,长江以北(不包括东北)河川径流只占全国的 8%,而耕地面积却占了全国的 1/2。其中海河流域的缺水问题极为突出。要解决这一问题,不少科学家认为只有跨流域、远距离、大规模地把长江水调往黄河以北、海河流域、京、津、唐地区,这就是中国正在规划并逐步实施的南水北调工程。水土资源组合不平衡的这一状况,使得我国水资源开发利用任务既复杂又艰巨。水资源时程(时间)变化大,也是因降水量不均造成的。我国降水量年内分配相对集中,年际变化大,而且连丰、连枯年份出现突出。我国大部分地区冬春寒冷少雨,夏季多雨。年降水量集中在汛期几个月或 1~2 个月。华北、东北、西北和西南地区雨季降水量占全年降水量的 70%~80%,而冬春雨雪稀少,往往发生春旱。东南各省雨季多集中在 4~6 月,降雨量占全年降水量的 50%~60%,在 7、8 月往往发生伏旱。少数北方地区甚至一次暴雨的降水量相当于几年的降水量。内蒙古自治区乌审旗 1977 年 8 月份的一次暴雨,10 h 降雨量等于常年降水量的 3.5 倍。多雨年份与少雨年份的降水量往往也相差几倍甚至几十倍。由于降水量年际变化大,导致河流的年径流量变化也大,如淮河(蚌埠站)丰水的 1921 年径

流量为 719 亿 m^3 , 是枯水的 1978 年 26.9 亿 m^3 的 26.7 倍。我国河流的年径流量在各年的变化幅度是南方小、北方大。多年的水文资料表明, 我国的主要河流都出现过连续枯水年和连续丰水年。一般情况下, 连续出现丰、枯水的历时北方比南方长, 径流量的增减幅度也是北方大于南方。由于雨量集中, 造成汛期水量过多, 一方面造成洪水威胁, 另一方面使大量宝贵的水资源流入海洋, 而非汛期则水量缺乏。这样就造成了总水量不能充分利用, 可利用的水量占水资源总的比例很小。

(3) 水土流失严重, 河流泥沙问题突出。水土流失严重的直接原因是森林覆盖率极低, 只有 12%, 居世界第 120 位。全国水土流失面积约为 150 万 km^2 , 占国土总面积的 1/6。每年流失泥沙 50 亿 t。据统计, 全国年输沙模数大于 1 000 t/km^2 的面积达 60 万 km^2 。黄河中游黄土高原地带, 是中国水土流失最严重的地区, 年输沙模数大于 5 000 t/km^2 的面积就有 14.3 万 km^2 , 局部地区高达 22 000 t/km^2 。水土流失造成了许多河流泥沙问题突出, 北方河流更为严重。

第二节 水文水利计算的作用和任务

为了合理控制利用水资源, 人类必须实施旨在兴利和除害两个方面水利工程或其他有效的工程措施。其中, 兴利的要求大致可归纳为灌溉、工业及市政民用水的供给、水力发电、水产养殖、水利环境保护、航运及风景区开发、旅游事业的发展等; 除害方面大致可归纳为对洪涝灾害、凌灾、盐碱和渍害及水污染等问题的治理工作。

为了合理地确定工程的规模, 指导工程的施工及工程建成后的管理运营工作, 就要求在工程修建以前的规划设计阶段, 对工程修建地河流未来的水情变化及其规律做出相应的估计。

例如, 在规划设计阶段, 对于水库工程来说, 需要对未来的河川径流及洪水做出预估, 如果将径流及洪水估算过大, 就会使工程规模太大, 造成投资上的浪费; 如果定得过低, 又会使水利资源不能得到充分的利用, 也是一种浪费。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。对于其他工程, 如铁道、公路等交通部门和跨河的桥梁、涵洞、工矿城镇的堤防工程等, 同样需要充分估计工程建成后的洪水规模, 以便对工程规模做出合理的决策。在多沙河流上兴建水利工程时, 还应分析挡、蓄、引水工程遇到的来沙情况, 估计未来工程运行期间的来沙量及泥沙淤积情况, 以采取相应的延长工程寿命的措施等。

在工程的施工阶段, 为了抗御施工期间可能遇到的洪水威胁, 需要合理确定所需修建的临时性建筑物(如围堰、导流建筑物等)的尺寸, 决定施工进度和编制施工计划, 也要求对施工期的洪水规律进行分析, 做出预估。

工程建成后的管理运行阶段, 则应预估一定时期内的来水情况, 以便合理编制水量调度方案及计划, 以最大限度地发挥工程的兴利、除害效益。此外, 对已建工程, 在必要时还应不断地复核和修改设计阶段的水文分析成果, 对工程的改建、扩建工作做出指导。

综上所述, 水文计算的任务就是通过对河流水情的分析研究, 提供河流未来长时期内的水文规律, 为工程规模的确定以及指导施工、运行和工程的改造、改建等提供科学依据;

水利计算则是在水文分析计算所提供的水文资料的基础上,综合研究水文规律及考虑上下游和国民经济各部门的用水要求,合理确定工程规模、分析工程效益和编制控制调度计划,以达到兴利除害的目的。

第三节 水文水利计算的研究方法

一、水文现象的基本规律

水文现象受多种因素的综合影响,其变化规律相当复杂,通过对水文现象的长期观测和分析研究,已经总结出其具有确定性、随机性及相似性等规律。

(一)水文现象的确定性规律

当一条河流的流域面积上降落一场暴雨,这条河流就会涨水,出现一次洪水过程。如果暴雨强度大,降雨历时长,笼罩面积大,则会出现较大的洪峰、洪量;反之,则洪水较小。这种因果关系一般是确定性的。再如,河流每年都有明显的汛期(洪水期)与非汛期(枯水期),两者周期性交替;冰雪补给的河流具有以日为周期的水量变化。产生这些现象的基本原因是地球的公转和自转。这也说明了水文现象具有客观的发生原因及其形成条件,服从确定性规律。

(二)水文现象的随机性规律

河流每年汛期都要出现数场洪水,洪水出现的时间每年是不固定的,洪峰流量的大小各场也不同,每年最大的洪峰流量各年也有所不同。这反映水文现象具有随机的特点。通过大量的观测资料可以发现,特大特小洪水流量出现机会均少,中等洪水出现机会较多,可以用随机性模型描述,即认为水文现象服从随机性规律。

(三)水文现象的相似性

水文现象的相似性是指在一定条件下的某些河流的水文现象的变化特征在一定程度上具有某种相似的性质。例如,处于同一气候及地理条件的两相邻流域,其来水过程的年内分配与年际变动具有同步的特性;又例如,湿润地区的河川径流的年内分配较为均匀,而干旱地区的河川径流的年内分配相对较为不均匀等。

此外,在水文现象的影响因素中,由于下垫面条件的差异,会使处于同一气候条件及地理位置下的不同流域的水文现象具有各自的特殊性。如山区河流与平原河流的洪水运动规律具有明显的差异,岩溶与非岩溶地区的河川径流变化特征不尽相同等。水文现象的这种伴随着相似出现的特殊性,与水文现象在时程变化上的周期性以及数值大小、出现机会的随机性是一种辩证统一的客观规律。

二、水文计算的研究方法

对应于水文现象的基本规律,水文分析与计算的研究方法有以下几种:

(1)成因分析法。利用水文现象的确定性规律解决水文问题的方法,称为成因分析法。当某种水文现象与其影响因素之间确定性关系较为明确时,可通过观测资料和实验数据,建立水文现象与影响因素之间的定量关系,从而求出比较确切的成果。

(2)数理统计法。数理统计法是根据水文现象的随机性,以概率理论为基础,运用数理统计方法,分析水文变量系列的统计规律,并进行概率预估,从而得出工程规划设计所需要的设计水文特征值的一种研究方法。数理统计法是水文计算的主要方法。

(3)地理综合法。某些水文现象及水文特征值具有地区性变化规律,可以用等值线图的方式将水文特征值的地区变化反映出来;或建立地区性的经验公式。水文计算中,可用此类等值线图或经验公式推求观测资料短缺地区的水文特征值,此即地理综合法。

以上3种研究方法,在解决实际问题时,常常同时并用,相辅相成。

三、水利计算的研究方法

水利计算的目的是在水文分析研究的基础上,结合工程的实际进行兴利、除害的综合利用计算,以提供工程规划设计和经济分析所必需的资料和数值,为最终论证并合理选定工程规模、建筑物型式和尺寸、计算所能获得的效益提供依据。计算中应遵循水量平衡原理。

第二章 年径流的分析与计算

第一节 概述

一、年径流的变化特性

在一个年度内通过河流某一断面的水量,称为这个断面以上流域的年径流量,简称年径流。年径流可以用年平均流量 Q (通常以 m^3/s 计)、年径流总量 W (通常以万 m^3 计)、年径流深 R (通常以 mm 计)和年径流模数 M (通常以 $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ 计)等特征值表示。

水文部门提供的年降水量、年径流量等水文要素资料,是按日历年统计的。而在水文水利计算中,年径流量通常是按水文年度或水利年度统计。水文年度是根据水文循环的规律来划分起讫日期,即以一年的雨季来临河水上涨为起点,到次年枯水期終了为终点。水利年度则是以水库开始蓄水的时间为起点,到次年供水结束为止。由于我国南北气候的差异,水文年度和水利年度的起讫日期并不一致,各地均有具体规定。

根据实测年径流资料的分析,年径流的变化有以下明显特性:一是年径流在年内是由汛期水量和枯水期水量组成的,但每年汛期和枯水期的起讫时间不一,历时长短不一,水量多少不一。各年的径流量和过程不会重复,具有偶然的特点。二是年径流在年与年之间的变化很大,这种变化叫年际变化。一般情况下,北方河流的年际变化较南方为大。根据水量的大小,大致可分为三种年型:年水量接近多年平均年径流量的年份称为平水年,年水量较多的年份称为丰水年,年水量较少的年份称为枯水年。三是年径流在多年期间还存在丰水年组和枯水年组的交替变化趋势。如松花江(哈尔滨站)1900~1907年和1917~1922年分别出现连续8年和连续6年的枯水段,也出现过连续7年的丰水段。黄河(陕县站)1922~1932年出现过连续11年的枯水段,1990~1998年黄河下游年年断流。连丰、连枯对水资源开发利用影响很大。

二、工程规模与来水、用水、保证率的关系

上述年径流量年际变化和年内分配的自然变化情势往往与用水部门的需求有矛盾。为了按时按量地满足用水部门的需水要求,必须兴建水利工程(如水库、闸坝、抽水站等),对天然径流加以人工调节,以改变天然径流过程,使其与用水的要求相适应。

设图2-1为某河流断面径流年内分配及相应用水分配示意图。图中 \bar{Q} 代表年平均流量,用水量为常数 q ,在丰水期内其来水有余,而在枯水期内则来水不足。为了保证在枯水期内能按要求供水,就必须将丰水期的多余水量储存于水库里以备使用。显然,对于来水年内丰枯变化较小的(a)情况,水库库容等于

$$V_1 = (q - Q_{\text{枯}})T_{\text{枯}} \quad (2-1)$$

由式(2-1)可知,为保证正常供水,所需水库库容的大小取决于天然径流(来水)和用

水量之间差异的大小,在用水确定的情况下,库容的大小取决于天然径流的大小。

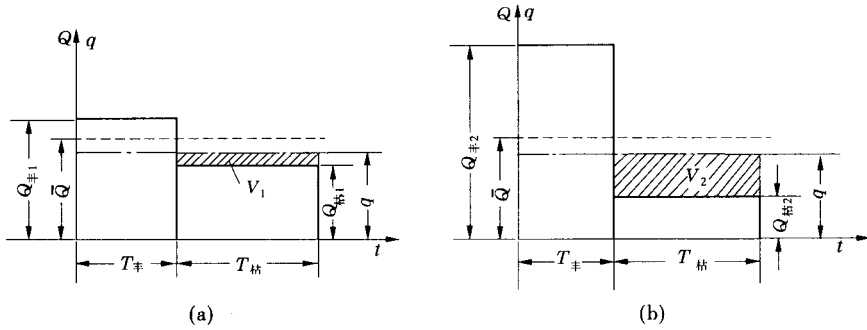


图 2-1 工程规模与来水、用水关系示意图

对于(b)情况,其来水总量与(a)情况相同(即年平均流量 \bar{Q} 相等),但其年内分配较(a)情况不均匀(即年内丰枯水差异程度较大),此时所需水库库容的大小等于

$$V_2 = (q - Q_{\#2}) T_{\text{reg}} \quad (2-2)$$

显然有 $V_2 > V_1$, 这表明,即便是年来水总量相同,但当年内分配不同时,对于相同用水量所需的水库库容是不相同的。由此类推,对于一定的用水量来说,由于各年的来水总量及年内分配各不相同,在不同的年份,为满足正常供水,所需的水库库容也是各不相同的。更何况,有些用水部门(如灌溉等)各年月日需求水量的差异是相当大的,如若某水利枢纽有 20 年的径流资料和用水资料,根据上述相同的原理,即可推求出所需的 20 个大小不同的库容 V_1, V_2, \dots, V_{20} , 为了保证每年正常供水,则所修建的水库库容应为其中最大的一个,但是,在工程的规划设计和应用中,要求 100% 的保证供水,往往是不经济的,有时甚至是不可能的。因此,实践中通常根据用水的要求、重要程度及地区的经济状况等因素,选择一个合适的供水保证程度,即供水保证率,作为工程规划设计的依据。供水保证率是用工程在长期运用中供水得到保证的时间与总运行时间的比值(采用百分比)来表示的。供水保证率,就是通常所称的设计保证率。不难想像,设计保证率越高,则供水得到保证的程度就越高,但其相应的工程规模也就越大。

由上可知,在规划设计阶段,水利工程的规模是由来水、用水矛盾的大小和希望解决矛盾的程度(即设计保证率)来决定的。也就是说,在规划设计阶段要分析工程规模、来水、用水、保证率四者间的关系,经过技术经济比较来确定工程规模。

三、年径流分析计算的任务

在水利工程设计中,设计保证率可根据用水要求和当地自然地理及经济条件,参考国家规范由有关部门合理确定。决定工程规模的主要因素是来水和用水。用水资料在第六章中介绍,本章的主要任务就是要分析研究年径流量的年际变化和年内分配规律,解决工程设计的主要依据——来水。

在实际工作中,由于水利工程开发方式和调节性能的差异,以及所采用的水利计算方法的不同,要求的年径流资料也不同。对于无调节性能的引水工程,要求提供历年(或代

表年)的逐日流量过程资料;对于有调节性能的蓄水工程,则要求提供历年(或代表年)的逐月(或旬)流量过程资料,供水利计算使用。

水文资料的情况又可分为三种,即具有长期实测径流资料、短期实测资料和缺乏资料三种情况。不同的情况有不同的计算方法,详见本章各节。

综上所述,年径流分析计算的目的就是为满足国民经济各部门的需水要求,提供在设计条件下的年径流资料。计算内容是推求在各种径流资料情况下的设计年径流量及其年内分配过程,用来预估未来工程运行期间的径流情势,并以此作为水库兴利调节计算的基本资料。

第二节 影响年径流量的因素

年径流量之所以年内、年际变化甚大,地区分布不均,可从影响年径流量的因素来分析。从流域水量平衡可知,年径流量的大小取决于年降水量、年蒸发量及流域水量变化程度。显然,降水及蒸发主要是气候因素起作用,流域蓄水状态主要是下垫面因素起作用。影响年径流因素的分析,对展延年径流系列、分析计算年径流量均有意义。

一、气候因素对年径流量的影响

气候因素中,年降水量与年蒸发量对年径流量的影响程度,随地理位置不同而有差异。在湿润地区,降水量较多,其中大部分形成了径流,年径流系数较高,年降水量与年径流量之间具有较密切的关系,说明年降水量对年径流量起着决定性作用,而流域蒸发的作用就相对较小。在干旱地区,降水量少,且极大部分耗于蒸发,年径流系数很低,年降水量与年径流量的关系不很密切,降水和蒸发都对年径流量起着相当大的作用。

二、下垫面因素对年径流量的影响

流域下垫面因素可以从两方面对年径流量进行影响,一方面通过流域蓄水能力的改变影响年径流量,另一方面通过对气候因素的影响间接地对年径流量发生作用。

(一)地形

地形对降雨有影响,降雨又影响着年径流量,因而是间接地发生作用。山地对水汽的运动有阻滞及抬升作用,年降水量随高程的增加而增加。山脉迎风坡的年降水量大于背风坡的年降水量。此外,气温随高程的增加而降低,因而蒸发量随高程的增加而减少,综合降雨及蒸发量两种因素的作用,致使年径流量有随高程的增加而增大的现象。但当高程增加到一定限度时,由于降雨量不再增加,因而年径流量也不再增加了。流域坡度对年径流量也有影响。坡度陡则降雨产流后,很快进入河槽,减少了水流在汇流过程中的蒸发机会,从而增加了年径流量。

(二)植被

流域内育草育林一般会使年径流量减少,使径流年内分配较前均匀(使枯季径流增加)。这是由于森林的林冠截留了一部分降水,耗于蒸发,森林的根系很强,增加了植物的蒸散发,从而使蒸发量增加,径流量减少。森林的枯枝落叶层及树木根系都使下渗能力加

强,土壤调蓄能力增加,使径流过程变缓。

(三)土壤和地质

土壤及透水层具有地下水库的调蓄作用,从而影响径流的年内分配。岩溶地区不仅起地下水库的作用,还因其形成不闭合流域,使年径流量与地面流域面积不匹配,有时过多,有时太少,影响径流年内分配及年际变化。

(四)湖泊和沼泽

湖泊和沼泽增加了流域的水面面积,经常有足够的水分蒸发,增加了蒸发量,从而使年径流量减少。较大的湖泊具有调蓄径流的能力,可减少径流年内及年际变化幅度。

(五)流域大小

大江大河流域面积较大,其地面及地下调蓄能力较小河为强。大江大河是许多中小河流汇集而来,各中小河流同一年份的丰枯变化不尽相同,对大江大河而言,得以互相补偿,致使年际变化和缓。

(六)水利工程

修建水库、闸堰等工程,旱地改水田、灌溉工程等一般使蒸发量增加,从而使年径流量减少。水库的强调整蓄作用改变了径流年内及年际变化规律。跨流域引水对年径流量作用也很明显,在推求设计年径流量时应予充分考虑。

第三节 径流资料的分析和处理

一、径流资料充分、不足和缺乏的一般概念

对具有相当长的系列,在系列中包括丰、平、枯的各种来水组合情况,并且能够反映设计断面径流长期变化的特征,通常称为具有充分实测资料,或称具有长期实测径流资料。当设计断面具有一定长度系列的观测资料,但尚不能全面反映长期来水规律的情势,但可通过一定的方法和手段对资料进行插补展延,并使其满足或达到具有长期资料的要求时,通常称之为资料不足,或叫做具有短期实测资料。当设计断面完全没有径流观测资料或虽具有一些观测资料但其系列长度过短,不但不能反映径流长期变化特征,而且也无法进行插补展延时,称之为缺乏资料。对于这三种不同的资料情况,在年径流的分析计算中需要分别进行不同的研究和处理。

二、年径流资料的审查和分析

年径流资料是设计年径流分析计算的依据,它直接关系到计算成果的精度,从而涉及到工程规模的大小和造价的多少。为了保证设计年径流计算成果的精度和合理性,必须审查年径流资料的可靠性、一致性和代表性。

(一)资料的可靠性审查

流量资料整编资料是年径流分析计算的最基本资料,所谓资料的可靠性是指所搜集到的资料的可靠程度,要求资料本身没错误,能客观、真实地反映实际发生的水文情况。径流资料通常是以“水文年鉴”的方式公布出版的,一般情况下,其资料是比较可靠的,但

仍不排除会有个别错误,应对其测验及整编方法进行审查。

(1)流速观测的方法、精度,流量计算的方法。如高水测流时浮标系数的采用过高或过低,均会导致汛期流量偏大或偏小。

(2)水位观测的方法、精度,水位过程线有无反常情况。

(3)水位~流量关系曲线的绘制及延长方法,历年水位流量关系曲线受河道变迁引起的变化情况。

(4)上下游站的水量应符合水量平衡原则。例如可用下式检验:

$$\sum_{i=1}^n W_i + \Delta W = W_{\text{下游}} \quad (2-3)$$

式中 W_i ——上游干支流各站年径流量;

ΔW ——区间年径流量;

$W_{\text{下游}}$ ——下游站年径流量。

(二)资料的一致性分析

应用数理统计方法的前提之一,是要求统计系列具有一致性。所谓资料的一致性,即要求组成系列的全部资料具有相同的成因,不同成因的资料不得作为同一统计系列。对年径流资料来说,其一致性是建立在断面所在流域的气候及下垫面条件的稳定性上的,当上述条件发生改变时,资料的一致性就遭到破坏。一般来说,气候条件的变化是相当缓慢的,在几十年乃至几百年间,可看成是稳定的。但下垫面条件则由于人类活动的影响,在不同的时期可能会发生显著的变化,以致使径流资料系列的一致性遭到破坏。引起下垫面条件变化的因素是多种多样的,通常有:

(1)在断面以上修建蓄水工程、引水工程,增加了蒸发损失及引走了原有的天然水量。

(2)大面积的旱地改水田,增加了流域内的蒸发损失水量。

(3)大面积的植树造林及其他水土保持生物措施,会引起大量拦截地表径流,改变地表、地下径流比例及断面径流的年内分配过程。

(4)流域内城市规模的扩大,道路、建筑物及城市人口的增加,会改变原来的产、汇流条件及增加工业及民用水量。

(5)跨流域的引入、引出水量。

这里要指出,如果流域下垫面条件没有明显的变化,可认为实测资料的成因具有一致性。对于物理成因明显不一致的系列,就不能直接应用数理统计方法进行频率分析,必须首先对其进行一致性修正后才可进行,一般将年径流资料修正到流域被大规模治理前的接近天然状态的水平,这项修正工作称为还原计算。

还原计算是一个复杂问题,常用水量平衡法、降雨径流相关法进行还原计算,可参考专门文献。

(三)资料的代表性分析

1. 水文资料代表性的一般概念

年径流系列的代表性,是指该样本系列与总体的接近程度,接近程度越高,则系列的代表性越好,频率计算成果的精度越高,所得成果的精度和质量就越高;反之较低。因此,资料代表性分析对衡量水文计算成果的质量具有重要的意义。

2. 代表性与抽样误差

水文现象的总体是一个无限总体,而目前在进行水文计算时所具备的资料系列,无论如何长,对总体来说只是一个样本。显然,样本的统计参数对总体来说,总存在一定的误差,这个误差就是抽样误差。现行水文计算的频率分析法是以样本的统计参数去推断总体的统计参数,从而预估未来的水文情势。在进行这种推断时,有必要分析考虑这一抽样误差。

由数理统计原理可知,用样本计算的某个参数 x_n 与总体参数 $x_{总}$ 之差为 $\Delta x = x_n - x_{总}$,其取值范围为 $[-\infty, \infty]$,它是一个随机变量,具有其分布,这种分布称为抽样分布。根据误差理论,当样本容量较大时,抽样分布通常服从正态分布,可用抽样分布中的均方差 σ 作为度量抽样误差的指标。而抽样分布的集中程度与样本容量的大小有关,样本容量越大,其抽样误差的分布越集中,当总体服从 P-III 型分布时,其抽样误差计算分别如下:

$$\text{绝对误差} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2-4)$$

$$\text{相对误差} \quad \sigma'_{\bar{x}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad (2-5)$$

$$\text{绝对误差} \quad \sigma_{C_v} = \frac{C_v}{\sqrt{2n}} \sqrt{1 + 2C_v^2 + \frac{3}{4}C_s^2 - 2C_v C_s} \quad (2-6)$$

$$\text{相对误差} \quad \sigma'_{C_v} = \frac{1}{\sqrt{2n}} \sqrt{1 + 2C_v^2 + \frac{3}{4}C_s^2 - 2C_v C_s} \quad (2-7)$$

$$\text{绝对误差} \quad \sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n} \left(1 + \frac{3}{2}C_s^2 + \frac{5}{16}C_s^4\right)} \quad (2-8)$$

$$\text{相对误差} \quad \sigma'_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} \left(1 + \frac{3}{2}C_s^2 + \frac{5}{16}C_s^4\right)} \quad (2-9)$$

当 $C_s = 2C_v$ 时各统计参数的相对抽样误差,由式(2-5)、式(2-7)、式(2-9)计算结果列于表 2-1。

表 2-1 统计参数的抽样误差(相对误差%)

参 数			\bar{x}				C_v				C_s				
			系列长度 n				100	50	25	10	100	50	25	10	100
C_v	0.1	误差	1	1	2	3	7	10	14	22	126	178	252	390	
	0.3		3	4	6	10	7	10	15	23	51	72	102	162	
	0.5		5	7	10	12	8	11	16	25	41	58	82	130	
	0.7		7	10	14	22	9	12	17	27	40	56	80	126	
	1.0		10	14	20	23	10	14	20	32	42	60	85	134	

由表 2-1 可得出如下结论:

\bar{x} 和 C_v 的抽样误差较小,而 C_s 的抽样误差特别大。如当 $n = 100$ 时, C_s 的误差仍在 40% ~ 126% 之间。目前水文资料系列一般都较短 ($n < 100$), 直接由资料计算的 C_s 值抽