



高等学校教材

水利计算及水资源规划

河海大学 叶秉如 主编



高等学校教材

水利计算及水资源规划

河海大学 叶秉如 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了水利计算及水资源规划的理论 and 实践。从径流调节资料的收集到水资源规划和开发实施作了详细的讨论,并且介绍了近年来发展中的新课题、新方法。本书适合水利系统从事水文、水资源开发与利用的技术人员以及大专院校的师生学习参考之用。

图书在版编目 (CIP) 数据

水利计算及水资源规划/叶秉如主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2003

高等学校教材

ISBN 7-5084-1418-7

I. 水… II. 叶… III. ①水利计算-高等学校-教材②水资源管理-高等学校-教材 IV. TV21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 014139 号

高 等 学 校 教 材

水利计算及水资源规划

海河大学 叶秉如 主编

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路 6 号 100044)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京市兴怀印刷厂印刷

*

787mm×1092mm 16 开本 12.25 印张 276 千字

1995 年 4 月第 1 版 2006 年 7 月第 5 次印刷

印数 7131—8630 册

ISBN 7-5084-1418-7/TV·316

(原 ISBN 7-120-02139-7/TV·825)

定价 17.00 元

前 言

本教材是根据高等学校水利水电类教学委员会 1990 年编制的教材选题和编审出版规划及相应的水利计算和水资源规划课程教学大纲而编写的，主要适用于陆地水文专业、水文水资源及水环境专业、水资源规划及利用专业的课程教学，也可供相近专业及水利工程技术人员参考。

全书除绪论外共分八章，包括：水库和基本资料、径流调节理论和方法、水电站水能计算、防洪计算、综合利用水库调度、水利工程经济分析、水资源（系统）规划和水库群调度，以及水利计算及水资源规划的专门问题。其中第一至七章为基本部分；第八章则属于扩大和反映新发展的内容。

本教材是在 80 年代原教材的基础上，一方面更新和充实反映水资源利用近代发展和学科进展的一些新内容，另一方面加强了规划有关的一些知识。全书在篇幅上较原教材更为精简，以期能体现加强基础和突出重点。

全书由叶秉如主编。参加编写的人员有：裘庆芴（第三、五章）、鲁子林（第六章）、许静仪（第一章）、邱旭光（第四章）。许静仪参加了书稿的整理工作。

本书由长江水利委员会薛世仪高级工程师（教授级）主审。主审人在一丝不苟、细致审阅全部书稿的基础上，根据其长期从事专业工作所积累的丰富经验，提出了对本书各章不少宝贵的修正、改进意见和补充内容，使本教材质量的提高裨益良多。编者借此致以衷心的感谢。

本书编写过程中，曾参考、引用了不少国内外有关的一些交流文献、书刊和科研报告，因其范围较广，除部分已经列出外，其余未能一一注明，特此一并致意。

编 者

1994 年 2 月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一节 水资源的特点及其合理利用	1
第二节 径流调节的概念和意义	2
第三节 水资源利用的近代发展和水利系统的概念	3
第四节 水利计算和水资源规划的任务、内容和作用	4
第一章 径流调节基本资料及水库特征	7
第一节 国民经济各用水部门的需水特性和要求	8
第二节 水库的设计标准和设计保证率	14
第三节 水库的特性曲线、特征水位和特征库容	17
第四节 水库的水量损失	22
第五节 库区淹没、漫溢和水库淤积	24
第六节 水库的环境影响	27
第二章 径流(量)的调节计算	29
第一节 径流调节的分类	29
第二节 径流(量)调节计算原理及基本方法	30
第三节 年调节水库调节流量与有效库容的关系	31
第四节 年(季)调节水库保证供水量与设计库容的关系	39
第五节 时历法多年调节计算	41
第六节 数理统计(机率理论)在径流调节中的应用	43
第七节 合成总库容法	48
第八节 直接总库容法	55
第三章 水电站水能计算	59
第一节 水能计算的基本方程和主要方法	59
第二节 电力系统及其容量组成	66
第三节 水电站水库消落深度、保证出力和多年平均电能计算	71
第四节 水电站装机容量选择	76
第五节 水电站水库调度图	80
第六节 无调节水电站水能计算	83
第七节 抽水蓄能电站简述	85
第四章 水库洪水调节计算	87
第一节 概述	87
第二节 水库调洪演算方法	91
第三节 无闸门控制的水库防洪水利计算	97

第四节	有闸门控制的水库防洪水利计算	98
第五章	水库综合利用水利计算及其调度图	110
第一节	概述	110
第二节	综合利用水库调节计算	111
第三节	综合利用水库兴利调度	114
第四节	综合利用水库防洪兴利联合调度	116
第六章	水利工程经济分析和参数选择	120
第一节	概述	120
第二节	资金的时间价值及基本折算公式	122
第三节	经济评价参数	127
第四节	水利建设项目经济评价方法	129
第五节	不确定性分析	135
第六节	水库参数选择	138
第七章	水资源(系统)规划及水库群调度	145
第一节	水资源(系统)规划的涵义、任务和内容	145
第二节	库群规划和调度问题总述	148
第三节	水电站库群的补偿调节和蓄放水次序	152
第四节	水资源系统的优化规划和调度及求解途径简介	161
第五节	河流开发中梯级布置方案的编制和比较选择	172
第八章	水利计算及水资源规划的专门问题	176
第一节	水资源优化分配	176
第二节	水资源系统多目标规划方法简介	183
参考文献		190

绪 论

第一节 水资源的特点及其合理利用

水资源,包括河流、湖泊、地下水等,是除土地之外,与人类的生活、生产关系最为密切,也是最为宝贵的自然资源。从古迄今,水资源(或称水利资源)的开发利用,历来是各国人民在生产建设和科学实践中的重要课题。

河川水利资源与其他资源相比,具有明显的一些特点。为了合理开发利用国家的水利资源,必须认识和摸清这些特点。关于水资源的重要特点,概括起来有以下几个方面。

(1) 水利和水害的两重性。众所周知,江河水流既能为国民经济建设服务,也会带来洪水、旱涝等灾害。在河流上兴建水利工程,譬如修建水库,一方面可以用于兴利(灌溉、发电、给水、旅游等)和防洪,另一方面也引起库区农田、森林、矿藏淹没、人口迁移和可能的对环境生态的某些有利和不利的影响。

(2) 综合利用。许多国民经济部门利用水的方式是各不相同的,可分耗水和用水两种。例如,农业灌溉和工业、民用供水都消耗一定的水量,故称耗水或需水量。水电站只用水的能量,航运和渔业也主要是利用水体环境,它们都不消耗水量或消耗很少。因此,修建水库常能同时满足几个用水部门的需要,进行库容和水量的综合利用。也就是“一库多用和一水多效”。当然,某些部门之间有时在用水量 and 用水时间上存在一定的矛盾;而在兴利用水部门和防洪之间,也多半存在库容利用上的矛盾。

(3) 水资源的再生性。不像矿藏等资源之有固定储量,水利资源由于自然界水文循环的周期特性,作为“生产和生活原料”来看,它是年年取用,岁岁复生的。例如水电站的动力原料是河川径流,它年年供应不竭,故称再生性能源,而火电站则要每年大量耗用国家有限而宝贵的煤和石油储存。

(4) 水流的随机可变性。河川水流不论是一年之内或年际的变化都往往很大,变化的趋势通常也难以确切预测(故有所谓“水文的随机性和不确定性”)。这个自然情况给水利工程的合理设计和建成后的合理运行,都带来一定的复杂性甚至风险性。

(5) 水利资源的地区性和整体性。首先,所谓地区性是:一方面,水资源的蕴藏量其分布情况和变化特性常因地区自然条件不同而不同。另一方面,水利资源的开发和河流治理方式、重点,也因地区自然条件和社会经济情况的不同而常有差别。譬如,我国西南地区,河流多,坡降大,水量充沛,蕴藏着丰富的水力资源,因此开发水电和通航常较重要。而在北方淮河、海河、辽河等丘陵和平原地区河流,则防洪、排涝和农业灌溉问题就比较突出。其次,所谓整体性是指:水由上游到下游穿流各处。因此水资源问题,无论是水量、水质,或防洪、兴利,都具有上下(游)、左右(岸),各地区、各部门间的相互影响极为错综复杂的关系。正因为这样,才有“水资源系统”或“水利系统”这些新的名词。

(6) 某种意义的不可取代性。如生活用水的需求、农作物的生长, 无水即无生命, 无水即无产量。

以上这些说明了水资源的主要特性及其在自然状态下的某些缺陷。如何掌握这些特性, 改造其缺陷, 进而发挥其在经济上和社会环境效益上的巨大作用, 为社会主义建设服务, 便是水文水利工作者在科学和建设的实践中所面对和需要解决的重大任务。

由于水资源的上述特点, 所以为了进行有效的开发利用, 容易推知, 一个重要的基本的手段就是对于天然径流的人工控制或人工调节。这也就是我们进一步要说明的径流调节的概念和意义。

第二节 径流调节的概念和意义

在天然条件下, 水资源特别是河川径流, 由于其形成因素(如降雨、气温等)的变化特性, 因此在年与年间, 季与季间水量都不同。这种变化常常是相当大的。例如, 用丰水年的年径流量(以年径流模比系数 k 表示)与枯水年的比值来衡量不均匀性, 则淮河的蚌埠站为

$$\frac{K_{\max}}{K_{\min}} = \frac{3.50}{0.26} = 13.5 \text{ 倍}$$

滹沱河此值为 14.0 倍, 永定河为 7.4 倍。即使比较稳定的珠江(北江)仍有 1.5 倍。如果以洪峰流量与最小枯水流量相比, 则变化更为悬殊。例如, 黄河三门峡建库前最小流量小于 $200\text{m}^3/\text{s}$, 而最大洪峰流量实测可达 $23\,500\text{m}^3/\text{s}$, 相差达 120 余倍。长江下游大通站此值为 15 倍, 虽比较小, 而其支流如嘉陵江下游北碚站和清江搬鱼咀站, 则分别复达 150 余倍和 650 余倍。

河川水量的这种巨大的变化, 对于配合各用水部门的需要, 进行有效的经济利用是非常不利的。因为大多数的用水部门都要求有比较固定的用水数量和供水时间, 这些往往与来水的天然情况不能恰好吻合。例如, 我国很多流域在水稻插秧期需水较多, 而这时河川流量却往往很少。由于这种种情况, 为了尽可能充分地利用河流的水量兴利, 就需要发挥人类的主观能动作用, 人工地把天然径流进行再分配。另一方面, 从防灾的角度来说, 由于河川径流年内变化的巨大不均匀性, 极大部分水量往往集中于汛期(几周或几个月)内流过。而河槽宣泄能力有限, 就往往引起洪水泛滥。为了减轻洪涝灾害, 也需要对河川径流进行控制和调节。

这就是所谓径流调节。其涵义, 概括地说便是“借建造水利工程——坝和水库, 来控制 and 重新分配河川径流的变化, 人工地增加或减少某一时期的流量, 来适应各用水部门的需要这种措施的总称”。或者说, 也就是: “由建造水库, 就可通过蓄和调来改变径流的天然状态, 解决供与需的矛盾, 达到兴利除害的目的。”

上述这种控制和调节径流的措施, 作为改造河流、开发河川水利的重要途径, 常常还和河道本身的控制、改造, 如集中落差, 整治河道甚至引河开渠等河道规划相结合来进行。

但是径流调节的涵义, 并不只限于上述在时间上的再分配, 也包括地区之间的补偿。由

于在自然状况下水资源在地区分布上亦有不平衡性,与国民经济的需要常不适应。例如,我国华北和西北地区雨量较少,而耕地多;长江以南则水量丰沛,而耕地面积相对较少,水土资源不相平衡。因此也有在大范围内进行水量调配以丰补缺的必要性。这就是跨流域引水的问题。如引(长)江济黄(河)、济淮(河),引松济辽,引滦济津,以至引水改造沙漠等。

综上所述,对于径流调节的涵义或其任务,可理解为:协调来水和用水在时间和地区上的矛盾和不一致,以及统一协调各用水部门之间的矛盾要求。而这种技术途径的全部意义在于:只有通过河流的人工改造,控制和调节天然径流(包括落差),才能更好地发挥河流的潜力,提高水资源的开发利用价值,进行水资源的有效管理,兴利除害。

第三节 水资源利用的近代发展 和水利系统的概念

流域的水利资源,包括地面和地下水源,河流的上中下游和干支流各个部分,其拥有的水量、水能和水质,是社会的一种重要而又宝贵的财富。它们作为一个有机联系的完整系统,对国家的经济建设和生活环境起着不可替代的作用。在第二次世界大战以后,特别是近30多年来,随着全球性人口增长和都市化现象的兴起,工农业生产的迅速发展,水资源的需求大幅度增加,水质和环境问题也日益突出。不少地方水资源紧缺,出现水质污染,甚至水荒和公害,导致对水资源的综合开发和综合管理的要求,不仅愈来愈广泛复杂,而且愈来愈迫切。一些地区和城市甚至已成为经济和社会发展的重要制约因素。

上面这种对水资源开发利用要求的新发展,概括起来便是:从性质上讲,已经从单纯的对水量水能的需求,发展到对水质和水环境的规划和保护控制要求,从除害兴利,发展到防害兴利。从地域范围讲,已从一个河段,一条河流,扩大到整个河系流域,甚至跨流域的开发治理。从服务部门讲,已从传统的农业灌溉、电力、给水、航运,扩大到环境,社会经济和社会福利方面。因此,典型的水资源开发管理问题,往往涉及广大的地区内,众多的河流、土地上,多个工程,多项开发目标,多种约束,多种内外和相互影响构成的完整系统。这就是水资源系统的规划或优化规划。它是人工控制和改造河流,进行径流时空调节的最新发展。

水资源系统的上述规划,是一个如此复杂的问题,因此从水利计算与规划这一环节来说,也必然需要一种与之相适应的新途径来分析和求解。从我国的情况来看,目前不少流域上水库大坝愈建愈多;全河整体的梯级开发和调度,以至跨流调水调电等,也多有需要。水源环境的保护,即水质污染问题,在一些河流已多有出现。因此,以前用于单一河段,单一水库及仅为经济开发目标的规划思想和设计方法,看来已不能很好适应,而需要从流域或库群整体的观点和对水资源利用控制的多用途(multipurpose)、多目标(multiobjective)的全面要求,来分析和研究水资源的统一规划和管理。这里的所谓“多用途”是指水利工程建设的服务对象和利用受益的部门,如防洪、水力发电、灌溉、航运等。而“多目标”则是指各利用水部门的具体生产开发目标,如水力发电的电能和出力,灌溉、

给水的供水量或保证供水量等。

谈到现代意义的水资源管理或所谓水资源系统的规划、设计和控制运用，它已牵涉社会和环境问题。因此，其内容、意义、目标等，已都更为广泛。从学科角度来说，已不是作为纯粹工程性质的所谓技术科学的一部分（如土建工程等），而是在一定程度上，已从工程技术的水平，提高、扩展到了在水圈和地圈范围内，人类规划自身环境，进行国土整治的更高境界和水平。

水利系统中，作为核心环节的常常是多个水库所形成的水库群。因此，水库群的优化规划或水库群的优化调度问题，往往是水利系统规划和管理的关键部分。当在流域范围出现一些梯级库群后，由于它们在水文、水利、电力上互有联系，在径流调节和供水供电上就可以进行水文补偿和库容补偿，以互通有无。因此，进行库群统一规划和联合调度，就足以使水资源的开发利用效益大大提高。利用快速电算机和系统分析方法，通过数学模型进行库群优化规划，以及在实际操作中结合自动收集水文气象资料和自动控制技术，进行库群（或水利系统）优化调度，实际上就是水资源管理发展方向的核心内容。

以上这些水利计算和水资源开发利用方面新的内容，虽然还处于形成和发展阶段，但是具有重要的发展意义，因此已是一个水文水利工作者在掌握课程的传统的基本内容之余，所应该重点了解和重视的问题。

第四节 水利计算和水资源规划 的任务、内容和作用

在河流上兴建水库枢纽工程进行径流调节是改造自然水资源的重要措施。要实现这一措施必须对河流的水文情况，用水部门的要求，径流调节的方案和效果，以及技术经济论证等有关问题进行分析和计算，以便提出在各种方案下经济合理的水利设备大小、位置及其工作情况的设计。这就是水利计算的主要内容。而在广大的流域范围内或大行政区划内，配合国民经济的发展需要，根据综合利用水资源和整体效益最佳的原则，研究各地段水资源情况和特定的防害兴利要求，拟定出开发治理河流的若干方案，包括各项水利工程（特别是水库群）的整体布置，它们的规模、尺寸、功能和效益的计算分析，最后从经济、社会和环境三方面效益影响的综合比较和权衡，来选出最佳（或满意）的开发利用方案，这就是水资源规划的主要内容。水利计算和水资源规划（简称水利计算和规划）的上述内容是为水利工程的兴建，对其在政治、经济、技术上进行可行性的综合论证，或进行几个方案间的优劣比较，所不可缺少的。水资源的开发利用愈发展，对径流调节和综合利用的要求愈高，则水利计算与规划这一环节的作用也就愈显著。

水利计算和水资源规划是各项水利工程建设在规划时的一个经常需要的重要环节。水利计算的成果，一方面是水工建筑物设计的依据，对决定坝高、溢洪道和渠道尺寸、水电站容量，以及这些建筑物和设备的运行规则，起着重要的作用；另一方面又为工程的经济评价（效益）和环境影响分析等的综合论证，提供以定量为主的基本数据（如投资和效益大小，保证程度，工程影响和后果等等）。具体地说，就水利计算和水资源规划而言，其基

本任务一般包括下列四个方面。

(1) 根据国民经济当前或一定发展阶段(常以某某水平年表示)对本流域(或本河段)开发任务的要求,经过各种计算和包括经济、社会、政治、环境等多方面的综合分析、比较,配合其他专业部门,拟定适当的开发方式,确定骨干工程的规模或主要参数。这些参数随开发任务(或用途)不同而有所不同。常见的有坝高、库容及各特征蓄水位,溢洪道型式及尺寸,引水渠道断面大小,水电站装机容量,抽水机的马力等。

(2) 确定或阐明能由水利措施获得的水利效益。例如,供给各用水部门的水量和能量的多寡及其质量(保证程度),包括水电站的保证出力和年发电量、灌溉水量,保证的航深,以及防洪治涝的解决程度或能达到的防治标准,等等。

(3) 编制水利枢纽的控制运用规则和水库调度图表,以保证在选定的建筑物参数的基础上,在实际运行时能获得最大可能的水利经济效益。有时,还须提供水库未来多年工作情况的一些总的统计数字和图表。例如,多年中各年供给用户的水量、弃水,水库上下游水位的变动过程等等。这些通常是根据历史水文资料作为模拟未来的系列而计算和得出的。

(4) 水库建造所引起的对环境影响和后果的估算、预测。水库的建造,除能达到预期的经济目的外,同时也引起开发河段及附近地区自然情况和生态的变化。例如:①引起库区的淹没和库边土地的浸没。②引起库内泥沙淤积,风浪增剧,和坝下游的河床冲刷。③由于水电站日调节,引起下游水流波动,影响航运及取木建筑物的工作;在回水变动区,可能引起库尾浅滩形态的变化;洪水时库区整个汇流情况亦改变。④建造水库使蒸发渗漏增加,使水质状况、水温情势发生变化,并可能影响库内外附近的生态平衡和局部气候。这些派生的现象,它们对环境和社会的影响,在水利计算中根据具体情况需要,亦应作适当的考虑和阐述。

水利计算既然是实现水利措施的有机组成部分,因此在整个规划设计阶段都是必须进行的。不过在不同阶段,计算注意的重点和详略程度有所不同。

以最主要的河流水利开发为例,在最初的流域规划阶段,中心问题在于明确流域开发的方向,拟定初步的全面开发方案,通过对水文和用水需要的分析,用水量平衡及调节计算,求出各种可能方案下,水量和落差的分配利用方式及其对效益的影响,以便最后在经济比较及综合分析的基础上确定最佳的开发方案和相应的水利效益,并研究选定第一期工程的地址。

在初步设计阶段,水利计算的任务主要是为了确定某一水利枢纽的位置及其规模(如正常蓄水位高程、死水位、装机容量等主要参数的分析与选择),进一步论证这一具体的工程目标在投资建设上的可能性与合理性,求出工程的经济效益与设备效用的基本情况,估计工程建成后的不利影响和防止、处理的办法。对于上述水利水电工程的设计工作,国家主管部门拟定有一些技术法规,如《水利建设项目经济评价规范》,《水利水电工程动能设计规范》(1977)^①等,作为具体设计各项工程时的统一依据。

在最后的技术设计和施工详图阶段,需要最后复核或核定水利设备的主要参数,进一

^① 《水利动能设计规范》目前正在根据建设的新形势重新修订,《水利计算》新规范亦已在修订之中。

步分析和编制设备各部分（如水库、溢洪道、取水口、渠道、水电站等）在施工、运用，甚至远期发展中的工作情况，计算确定的经济效益。此外，也常须拟定初期运行调度计划及运行规程。

在近十几年来，鉴于大中型水利工程投资建设的决策上的重要地位和复杂性，故已经规定于规划之后，在初设之前，专设可行性研究阶段。对于水利基本建设程序的上述重要规定和水资源规划的详细内容，将于第七章中进一步说明。

上述各设计阶段水利计算的任务与内容，体现了对开发水利资源的复杂问题，如何由全面的综合分析，到各个具体部分的设计确定。这种逐步收敛的方法，使每一阶段勘测设计工作，前后紧密联系，并各有明确目的，是一套从战略到战术，从原则到具体的严密联系的科学方法。这一生产程序对大中流域的水利开发来说，是必不可少的步骤。

本课程作为水资源开发利用技术科学的一个部分，着重介绍与水利计算和水资源规划有关的一般概念、原理和常用的计算方法。特别是以水库（群）为中心的径流利用和调节计算的基本原理和方法，以及有关水库设计和参数选择的最基本的知识。它与本专业的其他课程，特别是水文分析与计算、水利工程基础等具有十分密切的相互联系。为了对水资源开发利用的新趋向有一个初步的了解，课程中对水利系统的优化规划调度问题，以及一些专门的水资源规划问题，亦将概略地有所阐述。

第一章 径流调节基本资料及水库特征

径流调节是通过水库操作使来水过程适应需水过程的要求。因此,调节计算所需的基本资料,也就包括河川径流特性、用水部门的需水特性、以及水库特性等三方面资料。

河川径流特性方面的资料是径流调节计算的基本数据。由于水文现象的随机性和多变性,不可能对水库整个运行时期,几十年甚至上百年的未来河川情势,进行长期预测。因此水库设计中,通常只有按以往的径流资料来估计未来的水文情势和来水特性,即假定未来的径流变化可用过去实测的或模拟的径流系列来代表。

用水部门对需水的要求,是进行径流调节计算的另一方面的依据。为确定此需水要求,就有必要了解规划地区的工业、农业、矿业、地区动力、交通、渔业、旅游业等情况,以及这些部门当前和远景的发展计划。同时,还应了解各用水部门的需水特性,它们对水质、水量、保证程度、引水地点和用水时间等要求。

水库特性方面的资料,包括水库的面积、容积特性,水库的蒸发损失和渗漏损失,淤积以及水库的淹没和浸没等。这些水库特性的资料一般需要根据库区地形资料和水文地质查勘资料,以及一些淹没和浸没损失的社会调查材料来分析确定。

基本资料是一切水利水电工程设计和运用的根本依据,直接影响设计成果的质量。因此,必须一方面十分重视其可靠性和正确性,另一方面,根据不同的设计阶段,力求有必要的广泛性和详尽程度。

关于径流调节的来水资料,在水文分析与计算课中已有详细说明,故这里不再专门介绍,仅作一些概括性提示如下。

兴利调节计算需要蓄丰水补枯水,应用的水文资料,除了坝址断面多年的实测流量系列外,还常用一些流量的统计特征,如多年平均径流量、年径流量的多年变化,以及年径流的年内分配过程。防洪调节计算应用的水文资料,是最大洪峰流量、洪水总量、洪水变化规律(C_v 、 C_s)以及洪水过程线。

有了大量足够的水文资料,可以推算出未来的径流情况,作为水利工程规划、设计的水文资料依据。目前,因水利计算有时历法、数理统计法等不同方法,故其所需的水文资料也有相应的要求。

时历法:认为在水利工程未来运行期间,河流的水量、年内变化和年间变化情况,大致同以往一样。以这样的假定作为水利工程设计的依据,就可以应用以往实测连续若干年的水文资料进行调节计算,然后再对所得成果进行统计分析和选择,以满足工程设计的要求。

数理统计法:它的假定与前法同,但对某一河流的径流多年变化规律是以频率曲线来体现,因此推广于水利工程未来运行期间水文规律时,就用频率曲线的三个统计参数 Q_0 、 C_v 、 C_s 概括和代表。在进行调节计算时,先进行水文资料的频率计算。由于统计参数,只

是概括了径流的多年变化情况，而对年内变化，则需要选择适当的典型年内过程线，加以缩放，得到设计过程线，随后进行调节计算，这是与时历法不同之点。至于设计过程线，可分丰水年的、平水年的和枯水年的几种，随设计任务不同而选择。

第一节 国民经济各用水部门的 需水特性和要求

国民经济各用水部门在利用河川径流量方面，有着多种形式：如居民及工业的给水，农业的灌溉，水电站的发电，天然河道及渠化河道中的通航与木材的浮运，鱼道和鱼塘的操作，以及废水净化及水上游乐等。这些用水部门，不论是直接耗用水量，或仅利用水的某种性质，都要求有一定的供水数量及供水程序的保证。在供水不足时，便会影响工作或对生产引起不利。

用水的需要，是随河流所在地区而不同。它主要取决于流域内的国民经济的主要形式，工矿、农业的分布及种类，水陆交通运输情况，动力经济状况，城市及居民点的分布，洪涝旱灾情等。因此，需要了解这些部门以及整个国民经济的发展计划，才能定出流域或水库地区各用水部门的当前和未来的用水需要。由于水利措施非短期可建成，其服务年限也较久，故用水需要不是针对眼前情况，而应当充分估计未来用水需要的增长水平，定出工程完工投入运用后若干年（工程能较充分发挥作用时，如五年后）的需求水平作为设计第一期工程的依据。同时，以工程运用更长一些年数后（如十年和十五年后）的需求水平作为设计校核和作为假想远景发展的指导参考性数据。

用水的需要，虽然各部门各有特点，不尽相同，但也有一些共同的基本特点。

首先，很多用水部门，在某一定的用水（用电）量和供水程序条件下，工作是最有成效的，生产率是最高的。例如，给水（供水）、供电以及灌溉，都有各自的最佳消费情况。这种使用水（电）单位处在最佳生产状态时所需要的单位产品用水量（或用电量），又称为需水定额，乘以总产量得总需水量。另外，需水量的多少，常随生产规模的扩大而有渐进性的变化。再如，某些企业对需水有周期性变化的要求。这种周期性的变化可以表现为：因季节变换对经济活动所造成的季节变化的影响，因昼夜的交替所引起的日变化或因工作日与休息日的区别所致的周变化。

在设计规划水库时，对需水渐进性的变化，可用不同阶段的用水水平来处理。而逐时逐季的变化则用月平均需水量，结合一套各季的典型日用水量（或电力负荷）图来表示。

在遇到特别干旱的年份，河川的枯季径流量很小时，对用户要维持正常的供水量，不仅十分困难，而且在经济上往往也不合理。因此，除了最佳供水情况之外，还要研究缩减供水的影响和可能的范围。它的主要依据是，一方面因供水不足引起国民经济某部门生产计划的破坏所造成的损失，或该部门用后备装置来弥补和调剂时所需的额外投资费用的大小；另一方面，由于特别枯水期允许供水量有一定的缩减，而使水利设备不必造得很大，减少了部分投资费用。这样经济上损失的或其他额外投资的费用与水利工程投资费用的减少，两者经济上的比较、权衡，就可确定缩减用水的合理范围及其经济影响。

以上介绍了各用水部门对用水要求的共同基本点,下面就各用水部门特点分别介绍。

一、给水

指城市或农村的民用给水与工业用水。现代化工业企业,需要大量生产用水,用于制造产品、冷却设备、冲洗和排除废物以及生产蒸汽等等。工业用水量常按产品的用水定额来计算。例如:炼1t钢铁用水定额为 $100\sim 165\text{m}^3$,生产1t石油用水定额为 3.5m^3 ,生产1吨纺织物用水定额为 $100\sim 600\text{m}^3$ 等。生活用水标准常按每一居民的每天用水量表示,我国城市居民平均的日用水量在 $90\sim 200\text{l}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 范围内变化。

给水的要求,不但要有足够的水量,而且应符合水质的要求。它的特点如下:

(1) 对水质的要求较高。居民用水和以水为原料的工业用水,对水的气味、溶解质的组成和含量,以及微生物的数量,都有一定的要求,不应超过规定的数值。

(2) 给水有日与年的周期变化。民用给水及工业用水有日周期的变化,它是靠水厂的蓄水池调节来适应的,而年内变化较小,一般夏天较多,冬天较少。

(3) 要求供水的保证程度较高。因为供水的中断对人民生活造成很大的不便。对工业用水如缺少过多,例如超过 $15\%\sim 20\%$ 以上,也会影响主要车间的工作,引起减产或停工,造成较大的损失。工业缺水所引起的损失,可以每缺 1m^3 的水引起的生产损失值来衡量。

工业给水中,作为生产原料的用水,其比重通常不大,多数是作为工艺用水,这些用水的特点是它并不消耗水量。因此,在水源供应紧张地区,应考虑工业排放水的循环利用,特别是对一些用水量大的工厂,如凝汽式火电厂、造纸厂等。这对于减轻水源的各种污染(热污染、有害物污染等),保护水质,更具有重要的意义。

随着生产的发展和都市化倾向,近年来城市给水的重要性日渐增加,特别是华北和一些滨海缺水城市,给水问题往往十分突出。

二、农业灌溉用水

农作物的生长除了养分及空气之外,还要有适宜的水分。适宜的水分,不仅是供给作物生长的需要,而且能调节土壤中的水分、养料和热状态。农作物的适宜水分的保持,除了大气的有效降水补给之外,还需从农田水利措施中不断提供补充,以弥补天然降水在时间和数量上的不足,这就是农业的灌溉用水。

为了适时适量地进行灌溉,必须掌握农作物田间需水规律。田间需水量因农作物种类,因时、因地而不同。农作物在整个生产过程中,需要浇灌的次数叫灌水次数,每次的浇灌水量叫灌水定额,所有各次浇灌水量的总和叫灌溉定额。灌水定额和灌溉定额的单位用 m^3/mu 或 m^3/hm^2 来表示。农作物在一定干旱程度、土壤性质和农业技术条件下,达到高产稳产目的需要的灌水次数、灌水方式、灌水时间、灌水定额和灌溉定额的总和叫灌溉制度,它是规划设计灌区和水库的基本依据之一。例如,辽宁省种植棉花,在一般干旱年份,在壤土情况下的灌水次数为3次。第1次在6月中旬出现花蕾时,灌水定额为 $500\text{m}^3/\text{mu}$;第2次在7月中旬开花期,灌水定额为 $500\text{m}^3/\text{mu}$;第3次在7月下旬到8月下旬棉花结铃期,灌水定额为 $500\text{m}^3/\text{mu}$;总的灌水量即灌溉定额为 $1500\text{m}^3/\text{mu}$ 。在实际工作中认真总结科学实践和群众经验,在理论分析指导下结合灌区的具体条件来规定灌溉制定,是一种行之有效的办法。

各种农作物的灌溉制度确定后,如已知灌区的灌溉面积及各种农作物种植面积的百分比,则可定出灌区灌溉用水量及灌水时间。这样计算所得水量(或用流量表示)称为净需水量。灌溉水量通过渠道系统输送到田间的过程中,由于渗漏、蒸发以及管理方面等原因,会产生输水损失,其中主要是渗漏损失。因此,渠道实际引用流量(或引用水量)称为毛流量 $Q_{\text{毛}}$ (或毛水量 $W_{\text{毛}}$),将大于净流量 $Q_{\text{净}}$ (或净水量 $W_{\text{净}}$),如下式:

$$Q_{\text{毛}} = \frac{Q_{\text{净}}}{\eta}, \text{或 } W_{\text{毛}} = \frac{W_{\text{净}}}{\eta} \quad (1-1)$$

式中 η ——渠系水利用系数,其值取决于灌区大小、渠道的土壤性质、有无防渗措施、渠道长度及其横断面大小与水深、渠道工作间断程度及管理方法等。根据我国各灌区多年观测结果,管理较好的大型灌区渠系水利用系数约为 0.6。

已知灌区用水量、灌水时间,并通过调查研究,确定渠系水利用系数后,即可求得灌区渠道的引水流量过程线(图 1-1),过程线与横坐标轴包围的面积即为灌区渠道引水量。

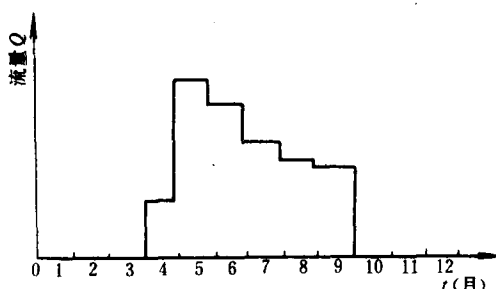


图 1-1 灌区渠首引水流量过程线

对于一个灌区,所需灌溉总水量的大小及用水过程,通常取决于两个因素。一个是灌区面积及农作物的组成,另一个是灌区降雨量的多少,以及在年内分配的情况。如湿润年份,降水量多,蒸发量小,灌溉水量较小;在干旱年份,降水量少,蒸发量大,作物的需水较多,灌溉用水也大。灌溉用水有以下几点特点:

(1) 具有明显的季节性。作物生长的季节性,要求灌溉供水有季节性的变化,一般是夏多冬少。

(2) 灌溉用水量具有多变性。降水量的年际和年内变化不同且各年不一,所以灌溉用水不像其他用水部门,如给水、航运、发电等具有较固定的用水量。

(3) 灌溉对缺水的适应性比其他用水部门大。作物收获量不仅与水量的充足与否有关,也与农业其他措施有关。当水量不足时,常常可采用适当的耕作措施,仍能保持正常产量或减少损失,因此灌溉用水的保证率较其他用水部门为低。

三、水力发电用水

水电站是利用河流的集中落差和控制水量,使水的位能通过水轮机和发电机转变为电能,以满足用电户的需要。因此,电能需求的各种特性,以及落差等情况,决定了水电站的需水特性。

1. 电能变化特性

用电户对用电的需要各有不同,决定了电能需求的日变化、周变化和季变化。照明用电具有明显的日变化和年内变化,农业用电有明显的季节性。而工业用电四季变化不大,若采用假日轮休的措施后,则周变化也可明显减少,其日变化则视工厂采用几班生产而不同。

在供电范围内,根据各用电部门的电能需要进行综合,以描绘用电在年内逐日、逐时

的变化特性。表示一日内各小时用电变化的阶梯形曲线叫日负荷图。表示一年内各月用电变化的过程线叫年负荷图。日负荷图或年负荷图的面积代表日电能或年电能。年负荷图一般采用日最大 (N'')、最小 (N') 负荷年变化曲线和日 (或月) 平均负荷 ($\bar{N}$) 年变化曲线表示 (图 1-2)。

2. 水电站的需水特性

有了电力负荷图,再根据水电站所应担任的部分,确定水电站应发的电量,通过出力公式

$$N = \gamma QH \quad (\text{kgf} \cdot \text{m/s}) \quad (1-2)$$

可化为水电站的需水图。

式中 γ ——水容重 ($=1000 \text{ kg/m}^3$);

Q ——发电流量,单位为 m^3/s ;

H ——落差,单位为 m ;

N ——出力,单位为 $\text{kgf} \cdot \text{m/s}$ 。

而工程中, N 的常用单位为千瓦 (kW), 故式 (1-2) 需经单位换算, 因 $1\text{kW} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$, 于是

$$N = \frac{1000}{102} QH = 9.80 QH \quad (\text{kW}) \quad (1-3)$$

故发电流量

$$Q = \frac{102N}{1000H} = \frac{1}{9.80} \frac{N}{H} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可知, 当出力 N 为一定值时, 不同的落差所需要的流量是不同的。落差大时, 所需要的流量 Q 小, 落差小时, 则所耗用的流量大。水电站能发出的电力 (简称出力) 还与水轮机的效率 $\eta_{\text{水}}$ 以及发电机的效率 $\eta_{\text{电}}$ 有关。因此实际的出力公式为

$$N = 9.8 \eta_{\text{水}} \eta_{\text{电}} QH = kQH \quad (1-5)$$

式中 N ——出力, 单位为 kW ;

k ——效率系数和单位换算常数的综合, 专称为出力系数, 实用上常取为 $7.5 \sim 8.8$ 。

对小而旧的机组, k 值可达 7.4 甚至更低。

其他符号及单位同式 (1-2)。

水电站需水的另一特性是: 当有其他电源配备时可根据河川径流丰枯程度, 在较大的范围内变动用水量, 水多时多用, 水少时少用, 称此为灵活的需水图 (二级需水)。这种用水灵活性可使径流利用率提高。尤其在水电站参加电力系统运转, 当河川径流量较丰时, 可以多发电, 从而节省系统中火电站的煤耗。

当水量不足而引起供电不足, 迫使部分用户供电中断或受限制, 所造成的损失因用户的性质不同而不同。例如, 对照明用电或对工业用电的中断与限制, 都会造成程度不同的损失。所以水电站所要求的需水保证程度取决于用户的性质。

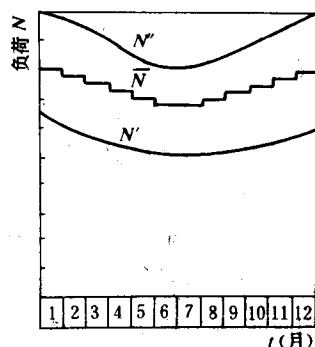


图 1-2 年负荷图

N'' ——日最大负荷曲线;

N' ——日最小负荷曲线;

$\bar{N}$ ——月平均负荷曲线