

高 等 学 校 教 材

# 水 利 计 算

华东水利学院 叶秉如 主编

水 利 电 力 出 版 社

高等学校教材

# 水利计算

华东水利学院 叶秉如 主编

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本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,水利经济计算,库群和水利系统规划,以及水利计算的一些专门问题。前六章为基础部分,后两章为扩大、加深或反映新发展的内容。

本书为高等学校陆地水文专业、水文水资源专业教材,也可供相近专业师生及水利工程技术人员参考。

高等学校教材

水利计算

华东水利学院 叶秉如 主编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 14.25印张 322千字

1985年5月第一版 1985年5月北京第一次印刷

印数0001—9320册 定价2.95元

书号 15143·5672

## 前 言

本教材是根据高等学校水利水电类教材编审委员会1982年编制的教材编写计划及相应的水利计算课程教学大纲而编写的，主要适用于陆地水文专业、水文水资源专业的课程教学，也可供相近专业及水利工程技术人員参考。

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，水利经济计算，库群和水利系统规划，以及水利计算的一些专门问题。其中第一至第六章为基本部分；第七、八章则属于扩大、加深或反映新发展的内容。

全书由叶秉如主编。参加编写的有：张永平（第五章）、程文辉（第二章）、裘庆芴（第三、五章）、鲁子林（第四章）、许静仪、毛永康（第一章）。许静仪参加了书稿的整理工作。

本书系由长江流域规划办公室薛世仪高级工程师负责主审。在审稿过程中，提出了很多修正和补充意见，编者特表示深切感谢。

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 1984年7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       | 7   |
| 第二节 径流调节计算所需的来水资料           | 13  |
| 第三节 水库的设计标准和设计保证率           | 15  |
| 第四节 水库的面积及容积特性              | 17  |
| 第五节 水库的特征水位和相应的库容           | 20  |
| 第六节 水库的水量损失                 | 22  |
| 第七节 水库的淹没、浸没和其他后果           | 25  |
| 第八节 水库的淤积及其特点               | 26  |
| 第二章 径流(量)的调节计算              | 30  |
| 第一节 径流调节的分类                 | 30  |
| 第二节 径流(量)调节计算原理及基本方法        | 31  |
| 第三节 年调节水库调节流量与有效库容的关系       | 32  |
| 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               | 43  |
| 第六节 数理统计(机率理论)在径流调节中的应用     | 46  |
| 第七节 合成总库容法                  | 51  |
| 第八节 直接总库容法                  | 59  |
| 第九节 随机资料模拟生成                | 63  |
| 第三章 水电站水能计算                 | 67  |
| 第一节 水能调节计算的基本方程和主要方法        | 67  |
| 第二节 电力系统及其容量组成              | 74  |
| 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 | 79  |
| 第四节 水电站装机容量选择               | 85  |
| 第五节 水电站水库调度图                | 91  |
| 第六节 无调节水电站水能计算              | 95  |
| 第七节 水电站日调节影响及抽水蓄能电厂特点       | 96  |
| 第四章 水库洪水调节计算                | 101 |
| 第一节 概述                      | 101 |

|             |                               |            |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 第二节         | 水库调洪演算方法 .....                | 105        |
| 第三节         | 水库防洪水利计算 .....                | 110        |
| 第四节         | 水库防洪计算中的几个问题 .....            | 120        |
| <b>第五章</b>  | <b>水库综合利用调节计算和调度图 .....</b>   | <b>124</b> |
| 第一节         | 概述 .....                      | 124        |
| 第二节         | 综合利用水库调节计算 .....              | 125        |
| 第三节         | 综合利用水库的兴利调度 .....             | 129        |
| 第四节         | 综合利用水库的防洪调度及防洪兴利联合调度 .....    | 131        |
| 第五节         | 多年调节综合利用水库计算和分期洪水调节问题简述 ..... | 133        |
| <b>第六章</b>  | <b>水利工程经济分析和参数选择 .....</b>    | <b>136</b> |
| 第一节         | 水利工程经济分析计算的目的和方案选择的一般概念 ..... | 136        |
| 第二节         | 水利枢纽的建设投资、运行费和效益估算 .....      | 138        |
| 第三节         | 方案评价比较的准则和方法 .....            | 143        |
| 第四节         | 水库正常蓄水位的选择 .....              | 151        |
| 第五节         | 死水位的选择及其它 .....               | 155        |
| <b>第七章</b>  | <b>库群调节和水利系统规划问题 .....</b>    | <b>158</b> |
| 第一节         | 库群规划调度问题总述 .....              | 158        |
| 第二节         | 非发电梯级水库的水利计算和调度 .....         | 160        |
| 第三节         | 水电站库群的补偿调节和蓄放水次序 .....        | 163        |
| 第四节         | 水库群洪水调节计算 .....               | 177        |
| 第五节         | 水利系统(库群)的优化规划和调度及求解途径简介 ..... | 180        |
| 第六节         | 河流开发中梯级布置方案的编制及比较选择 .....     | 185        |
| <b>第八章</b>  | <b>水利计算专门问题 .....</b>         | <b>190</b> |
| 第一节         | 多沙河流水库调度 .....                | 190        |
| 第二节         | 水库的水质现象和管理问题 .....            | 194        |
| 第三节         | 溃坝洪水计算 .....                  | 209        |
| <b>参考文献</b> | .....                         | 217        |
| [附]         | 求多年调节库容的线解图(斯瓦尼泽等作) .....     | 219        |

# 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）具有水利和水害的两重性。如所周知，江河水流既能为国民经济建设服务，也会带来洪水、内涝等灾害。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、给水等）和防洪，但也引起库区农田、森林、矿藏淹没和人口迁移等不利影响。

（2）可以综合利用。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，故称耗水或需水者。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和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，也可能存在库容利用上的矛盾。

（3）水（径流）资源可以循环利用。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作用，作为“生产和生活原料”来看，它是取之不尽，用之不竭的。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）水流是随时间而变化，且变化难测。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，都带来一定的困难和复杂性。但是任何自然现象和规律总是可以认识的。随着人类对水文变化规律的日益掌握，也就能够使水资源蕴藏和变化情况，愈益确切了解，并更有效地为国家经济建设服务。在这一方面，它仍较煤或石油等其他能源（不易勘探，难以可靠估算）情况要好，因为水资源的平均数量是较易获知的。

（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的重点，也因地区自然条件和社会经济情况的不同而各有差别。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为首

要。而在淮河、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。

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，因此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，水利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

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

滦沱河此值为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米<sup>3</sup>/秒，而最大洪峰流量实测可达23500米<sup>3</sup>/秒，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个月流过。而河槽宣泄能力有限，就每每引起洪水泛滥。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。更简洁地说，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，整治河床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，就大范围说（小范围亦有此情况）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径流调节，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。这种地区间的径流补偿调节，其影响范围和经济意义往往更大，不过工程投资一般也更可观。

应该说，径流调节的涵义，实际上不仅如上述。广义的径流调节还可以包括在整个流域内，人类对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。这些措施广泛开展的地区，也足以显著改变流域径流形成的条件，有利于防洪兴利。不过这种称之为广义的径流调节的作用，范围广泛，情况多样，需要大量的调查对比资料和特定的综合估算方法。一般把它归之为水文分析中人类活动影响的估算问题。在本课程中，我们主要阐述前两种以水库为中心的狭义的径流调节问题。

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，特别是近二十多年来，随着工农业生产、交通运输事业的飞速发展和人口的不断增长，水资源的紧张情况和环境问题日益突出。不少地方出现水资源不足，水质污染，甚至水荒和公害。导致对水资源的综合利用和综合管理的要求，也就愈来愈迫切，愈来愈广泛复杂。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，发展到对水质的规划控制要求；从防灾兴利，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，已经从传统的农业灌溉、电力、给水、航运，扩大到环境、社会经济和社会福利方面。因此，典型的水资源的开发管理问题，往往涉及广大的地区范围内，众多的河流、土地上，多个工程，多项开发目标，多种约束，多种影响构成的完整系统。这就是所谓水

利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。显然这是一个在水利技术学科的理论上和实践上都极为复杂的问题。

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，有广泛性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；河流水系间水文水力和用水需要的相互关系的错综复杂性（如长江、黄河上游的西电东输，云电外送及南水北调等）也愈来愈突出；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全面要求，来分析和研究水资源的统一规划和管理。电算机使用的飞速发展，也为用这种“系统”的观点和系统分析的技术来研究流域规划问题创造了必要的条件。

谈到现代意义的水资源管理或所谓水利系统的规划、设计和控制运用，它已牵涉到社会和环境问题。因此，比以往水利开发之仅局限于水利水电工程范围者，其内容、意义、目标都更为广泛。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，过渡到了环境规划的水平。我国南水北调工程的整体或局部性规划都牵涉到很多方面，就是一个很好的例证。

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 水利计算的任务、内容和作用

在河流上兴建水库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的大小、位置及其工作情况的设计。这就是水利计算与规划（或统称水利计算）的主要内容。水利计算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提高，则水利计算与规划这一环节的作用也就愈显著。

水利计算是各项水利工程建设在规划设计时的一个经常需要的中间环节。它以水文分析和综合利用要求的研究为基础,通过水利计算这一环节,提出建筑物结构设计和工程经济分析所必须的基本资料、数据。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程,起着重要的作用;另一方面又为工程的经济评价(效益)和经济分析,甚至综合论证,提供定量的基本数据(如投资和效益大小,保证程度,工程影响和后果等等)。详细地说,水利计算的基本任务一般包括下列四个方面。

(1)从国民经济当前或一定发展阶段对本流域(或本河段)开发任务的要求,经过各种计算和综合分析、比较,拟定最适当的水利措施的开发形式和开发程序,并确定水工建筑物的基本尺寸,例如坝高、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程和水库调度图表,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的改变。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,风浪现象的改变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,影响航运及取水建筑物的工作;由于回水变动,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。这些派生的现象在水利计算中根据具体情况需要,亦应作适当的考虑。

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,并通过可行性研究选定第一期工程的地址。这里主要应该遵循两个规划原则,即从全流域考虑的整体观点和在各用水部门间贯彻水量和水库综合利用的原则。大中河流自然情况非常复杂,它同社会经济的关系也是多种多样的。如果不弄清这些方面,并作出全面的全局性开发安排,便会使局部地区工程的选择带有盲目性,甚至影响全河的合理开发,造成经济上的浪费和困难。这一阶段的水利计算的任务,是在配合其他设计部门,在充分查勘的基础上,研究流域水利开发的方向和轮廓,并具体地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的基础上,确定最佳的开发

方案和相应的水利效益<sup>①</sup>。

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、装机容量等主要参变数的分析与选择），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规范性文件，如《水利水电工程水利动能设计规范》（1977），《电力工程经济分析暂行条例》（1982）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，需要最后核定水利设备的主要参数，进一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。

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规划调度问题，以及一些专门的水利计算问题，亦将概略地有所阐述。

---

<sup>①</sup> 在水质问题比较重要的地区，河流的开发规划，尚应结合水质规划、水质控制来进行。

# 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来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，也就包括三个方面，即：关于河川径流特性，水利部门的用水特性，以及水库特性等。

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水文情势，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。

水利部门对于用水的要求，是进行径流调节计算的另一方面的依据。为确定此用水要求，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用水特性，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，水库中的蒸发和渗漏损失，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勘察资料，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。

## 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，以及废水净化和水上游乐等。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，是随河流所在的地区而不同。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成，其服务年份也较久，故用水需要不是针对眼前情况，而应充分估计未来用水需要的增长水平，定出建筑物完工投入运用后五年的需求水平作为设计第一期工程的依据。同时，以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很不合理。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。这样经济上损失的或额外投资的费用与水利工程投资的减少,二者经济上的比较、权衡,就可确定缩减用水的合理范围及其经济影响。

在缩减供水时所引起的减产或经济损失,一方面与缩减的水量、次数及持续时间有关;另一方面也与企业生产特性有关。设 $Q_B$ 为正常供水量,实际供水量为 $Q$ ,若缩减的水量( $Q_B - Q$ )较大,次数较频繁,而且持续时间较长,则其破坏的程度愈深,所引起的经济损失也愈大。设以 $S$ (元/时间)表示单位时间的损失值(称损失率),则它显然与缩减的水量具有正比的关系,即 $S = S(Q)$ 曲线。对多数用水部门,其图形如图1-1。

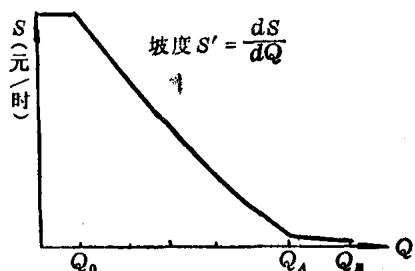


图 1-1 缩减水量与损失之关系——损失率  $S$  曲线

由图1-1可知,在 $Q_B - Q_A$ 这一段,即缩减水量不大时,其损失值不大,因为未影响到生产率的下落。但当超过 $Q_A$ 时,其损失率剧增。图1-1 仅是一个示意图,对各用水企业有各种不同的关系图。因此,对各用水单位的缩减水量、次数以及持续时间要慎重考虑,而且要区别各用水企业的轻重缓急,妥善处理,以达到损失最小的目的。损失率 $S \sim Q$ 曲线从理论上讲是一种重要的水利特性,它在较大程度上决定着水利设备的尺寸和利用方式。但是要

具体作出此类曲线,并在实际中应用,目前还不易办到。

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1吨钢铁用水定额为 $100\sim 165\text{米}^3$ ，生产1米棉布用水定额为 $28\sim 50$ 升等等。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 $90\sim 200$ 升/人·日范围内变化。

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 $1\text{米}^3$ 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。农作物在整个生长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 $\text{米}^3/\text{亩}$ 或者 $\text{米}^3/\text{公顷}$ 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溉定额、灌溉次数和灌水时间总合叫灌溉制度，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 $500\text{米}^3/\text{公顷}$ ，第2次在7月中旬开花期，灌水定额为 $500\text{米}^3/\text{公顷}$ ，第3次在7月下旬到8月下旬棉花结铃期，灌水定额为 $500\text{米}^3/\text{公顷}$ ，总的灌水量即灌溉定额为 $1500\text{米}^3/\text{公顷}$ 。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度，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称为毛流量 $Q_{毛}$ ，将大于净流量 $Q_{净}$ ，如下式：

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

式中 $\eta$ 为渠道系统有效利用系数，决定于渠道的土壤性质、有无防渗措施，渠道长度，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的有效利用系数约为0.6。

已知灌区用水量、灌水时间，并通过调查研究，确定渠系有效利用系数后，即可求得

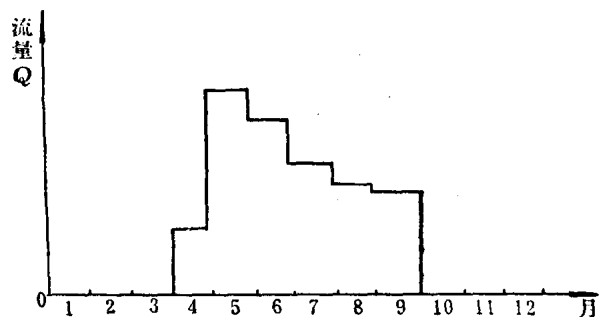


图 1-2 灌区渠首引水流量过程线

灌区渠道的引用水量和引水流量过程线（图1-2），过程线下的面积即为灌区渠道的引用水量。

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。灌溉用水有以下几个特点：

（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而各年不一，所以灌溉用水不象其他用水部门，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它用水部门为低。

### 三、水力发电用水

水电站是利用河流的集中落差和控制其水量，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，通称年负荷图和日负荷图。每昼夜各小时用电以千瓦表示的阶梯形曲线，称日负荷图。表示年内各月用电变化的，称为年负荷图。负荷图的面积代表总电能。在水利设计计算中常用的设计资料，是日最大负荷（ $N''$ ）的年变化曲线和日（或月）平均负荷（ $\bar{N}$ ）年变化曲线（图1-3）。

## 2. 水电站的需水特性

有了电力负荷图，再根据水电站所应承担的部分，确定水电站应发的电量，通过出力公式  $N = \gamma QH$ ，可化为水电站的需水图。式中  $\gamma$  为水容重（ $=1000$  千克/米<sup>3</sup>）， $H$  为落差（米）， $N$  的单位千克·米/秒，因  $1$  千瓦  $=102$  千克·米/秒，得

$$N = \frac{1000}{102} QH$$

故需水量为

$$Q = \frac{102N}{1000H} = \frac{1}{9.80} \frac{N}{H}$$

(1-2)

由式(1-2)可知，当出力  $N$  为一定时，不同的落差所需要的水量是不同的。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

$$N = 9.8 \eta_{\text{水}} \eta_{\text{电}} QH = KQH \text{ (千瓦)} \quad (1-3)$$

式中  $N$  以千瓦表示， $K$  为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。式中其他符号及单位同式(1-2)。

水电站需水的另一特性是，当有其他电源配合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。尤其当水电站参加电力系统运转时，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。

当水库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，对照明或其他次要用电户所引起的损失较小，而对工业用电的中断或限制，则会造成较大的损失。所以水电站所要求的用水保证程度取决于用户的性质。

## 四、航 运 用 水

内河航运较铁路、公路等其他运输方式的成本低、运输量大。在大河航道干线上，水运成本仅是铁路的  $1/2 \sim 1/3$ ，是公路汽车运输的  $1/20 \sim 1/25$ 。在小河中，水运成本也比汽车运输低，为其  $1/6 \sim 1/10$ 。因此，在有条件的地方尽量发展内河航运，对国民经济有重要意义。

但天然河道因浅滩、急流、礁石等，常使航道受阻，或因在枯水季节河道水量减少，

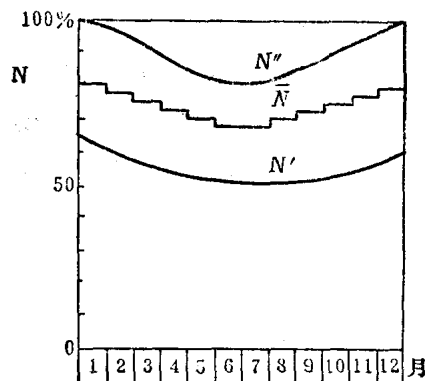


图 1-3 日最大（ $N''$ ）、最小（ $N'$ ）与月平均负荷（ $\bar{N}$ ）的年内变化图