

高等学校教材

水利计算

武汉水利电力学院 袁作新 主编

水利电力出版社

高等学校教材

水利计算

武汉水利电力学院 袁作新 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为高等学校农田水利工程专业的通用教材。全书共七章，除第一章绪论外，第二、三、四章主要为灌溉水库在规划设计阶段的水利水能计算，第六、七章为灌溉水库在运用管理阶段的水利计算，第五章简述水利工程经济计算问题。

本书也可供其它相近专业师生和水利工程技术人員参考。

高等学校教材

水 利 计 算

武汉水利电力学院 袁作新 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 10印张 223千字

1987年6月第一版 1987年6月北京第一次印刷

印数0001—9670册 定价1.70元

书号 15143·6362

前 言

本教材是按照1982年11月在南京召开的高等学校水利水电类专业教材编审委员会工作会议上所审定的农水专业水利计算课程的教学大纲编写的,适用于农田水利工程专业,也可供其它水利类专业师生和水利工程技术人員参考。

全书共七章,按40学时编写。第一章绪论,除介绍水利计算课程的基本性质和主要内容外,按教学大纲的要求,还介绍了一些我国水资源分布及开发利用条件、中小河流综合利用规划和水库工程对环境影响等方面的问题。第二、三、四章主要为灌溉水库在规划设计阶段的水利水能计算,第六、七章为灌溉水库在运用管理阶段的水利计算,第五章扼要地介绍了水利工程经济计算问题,是水库规划设计阶段水利水能计算的补充和继续。为便于学生在学习过程中复习和思考,在每章的末尾附有一定数量的复习思考题。

本书第一、三、六、七章由武汉水利电力学院袁作新编写,第二章由河海大学许静仪编写,第四章由武汉水利电力学院雒文生编写,第五章由武汉水利电力学院吴建春编写。袁作新担任全书的主编及定稿工作。

本书第一稿编出后,曾于1984年春季在武汉水利电力学院农田水利工程专业81级试用,并通过信函征求了出版社责任编辑、一些高等院校和工程单位的意见,又于1984年6月在武汉召开了有华东水利学院、成都科技大学、西北农学院、郑州工学院、太原工业大学、沈阳农学院及武汉水利电力学院等院校代表参加的讨论会,对本书第一稿进行了认真的讨论,这些,对教材质量的提高都有很大帮助。

本书由河海大学叶秉如教授主审。在审稿过程中,对本书的第二稿提出了很多修正和补充意见,编者深表感谢。

由于我国水利事业和水利科学的发展,本书得以主要参考国内的文献和书籍写成。对这些文献和书籍的作者和著者,编者表示衷心的感谢。

最后,我们诚恳地希望读者对本书存在的缺点和错误提出宝贵意见,以便修改时加以改进。

编 者

1985年9月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水利计算及其在农田水利建设中的作用, 本课程的任务及主要内容	1
第二节 国民经济各部门的用水特性, 我国水资源分布及其开发利用条件	1
第三节 水资源的综合利用	3
第四节 水库工程对环境的影响	5
复习思考题	7
第二章 灌溉水库的兴利调节计算	8
第一节 水库的特性曲线及特征水位	8
第二节 灌溉设计标准	12
第三节 水库死水位选择	13
第四节 年调节水库兴利调节计算	15
第五节 多年调节水库兴利调节计算的长系列时历法	26
第六节 多年调节水库兴利调节计算的数理统计法	30
复习思考题	40
第三章 小型水电站的水能计算	42
第一节 水能利用的基本知识	42
第二节 水电站的设计保证率	45
第三节 电力系统的负荷及其容量组成	46
第四节 小型水电站保证出力的计算	49
第五节 小型水电站多年平均发电量的计算	60
第六节 小型水电站装机容量的选择	62
复习思考题	68
第四章 水库防洪计算	70
第一节 概述	70
第二节 水库调洪计算的原理和方法	73
第三节 溢洪道不设闸时水库的防洪计算	84
第四节 溢洪道设闸时水库的防洪计算	88
第五节 水库下游防洪控制点的洪水地区组成及设计洪水的计算	91
第六节 溃坝洪水计算	94
第七节 入库洪水计算	97
第八节 水库防洪能力复核	105
复习思考题	106
第五章 水利工程经济计算	108

第一节 水利工程经济计算的目的与任务	108
第二节 工程费用及其计算	108
第三节 水库工程防洪和灌溉效益计算	109
第四节 水利工程经济计算	111
第五节 水库参数选择	117
复习思考题	119
第六章 灌溉水库汛期控制运用	120
第一节 水库汛期控制运用计划的编制	120
第二节 中小型水库的抗洪能力图	133
第三节 多沙河流水库的控制运用	134
复习思考题	137
第七章 灌溉水库兴利控制运用	138
第一节 灌溉水库年度供水计划的编制	138
第二节 灌溉水库兴利调度图的编制和应用	142
第三节 中小型水库简易供水计划	147
第四节 综合利用水库的调度	149
复习思考题	151
参考文献	152

第一章 绪 论

第一节 水利计算及其在农田水利建设中的作用， 本课程的任务及主要内容

农田水利工程是水利工程的一个重要分支，其目的在于通过工程设施来调节和改变农田水分状况和地区水利条件，使之符合发展农业生产的需要。农田水利工程包括蓄水工程、引水工程、提水工程、防洪排涝工程等，这些工程从修建到运用，一般要经过规划设计、施工、管理三个阶段，每一阶段都需要进行水文工作和水利计算工作，而且各阶段水文和水利计算的任务都不相同。

水文工作中的水文计算和水文预报，它们提供工程在各阶段所需要的水文数据，而水利计算就是以这些数据作基础，再加上用水、地形、地质、经济等方面的资料，通过分析计算，定出工程的规模（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——在规划设计阶段；定出临时性水工建筑物的尺寸（如围堰高度）——在施工阶段；以及编制水量调度方案——在运用管理阶段。不论是兴利计算还是防洪计算，水文工作和水利计算工作都是密切联系的，对中小型工程来说这两项工作则常常是同时进行。

本课程是农田水利工程专业的一门专业性的技术基础课，其主要内容为灌溉水库在规划和运用阶段的水利计算的基本理论和基本方法，这些都是一个农田水利工程师在工作中所必需掌握的。“工程水文学”应是与本课程联系最密切的一门先修课程。

水利计算作为一门应用学科，它的出现和发展是与水利工程尤其是水库工程的出现和发展分不开的。早期只是简单的水量平衡计算，继而增加了概率统计分析和随机分析，然后又引进了经济分析方法，并对工程的经济性和安全性两个方面的问题进行权衡并研究对策。随着社会、经济和科学技术的发展，水利计算面临着愈来愈复杂的问题，因此，从本世纪五十年代，在水利计算中就开始应用系统分析方法，力求在复杂的问题中求得规划设计或调度运行的最优方案。本教材由于学时所限，不可能包括上述全部内容，如有需要，可阅读有关的专门书籍。

第二节 国民经济各部门的用水特性，我国水资源分布 及其开发利用条件

水是人类生活与生产劳动所不可少的物质。人们对水的利用十分广泛，但大体上可以归纳为以下几类：①农业（以及林、牧业）生产用水，主要是农田灌溉，是大量消耗水的部门。在目前，我国农业用水占总用水量的88%，据估计，到本世纪末，农业用水仍将超过总用水量的80%。②水产养殖，主要是养鱼，基本上不耗水，而是利用河湖、水库等水

体空间或其它水面为水产养殖场所；③工业生产用水，是消耗水的部门，但其中一部分可以循环使用；④城镇居民生活用水，主要是消耗清水，所耗水的大部分将作为污水排除；⑤水能利用，主要是水力发电，基本上不耗水，而是利用河流或潮汐等天然水流的能量；⑥航运，即船筏水运，也不耗水，而是利用江河、湖泊等作为水运的航道；⑦风景区建设和旅游事业开发，也消耗一定的水量；等等。

正是因为人类对水的需要和利用是如此广泛和不可缺少，这就使地面的和地下的水源成为一种重要的自然资源，称为水资源。广义的水资源大体上包括：江河、湖泊、井泉以及高山积雪、冰川等可供长期利用的水源；河川水流、沿海潮汐所蕴藏的天然水能；江河、湖泊、海港等可供发展水运的天然航道；以及可用来发展水产养殖事业的天然水域；等等。但是，一般情况下所说的水资源是指除海洋以外的陆地上的地面水和地下水的可供开发的部分。

我国河流众多，总长度约达42万km，流域面积在100km²以上的就有5万多条。在1980年和1981年，水利部组织了全国范围的水资源调查工作，于1981年10月汇总了全国的调查成果，并做了初步分析^[14]。调查结果表明，全国河川平均年径流总量为26380亿m³，折合成径流深为276mm。其中七大江河的年径流量分别为：松花江777、辽河145、海河217、黄河686、淮河458、长江9600、珠江3380亿m³，共占全国总量的57.9%。全国多年平均年地下水补给量为7718亿m³。因为河川径流量中已包括了大部分地下水补给量，扣除重复计算的水量，全国地面、地下水资源总量为每年平均27210亿m³。为了反映全国水资源条件的地区差别和便于进行水量平衡和供需平衡关系的分析，全国按主要江河水系划分为十大片及一个副区（额尔齐斯河），各区的水资源总量计算如表1-1。

表 1-1 全 国 水 资 源 总 表 （多年平均）

分 片 名 称	面 积 (km ²)	河 川 径 流 量		地 下 水 补 给 量 (亿m ³)	河川径流加地 下水补给量 (亿m ³)	重复水量 (亿m ³)	水 资 源 总 量 (亿m ³)
		(亿m ³)	(mm)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
黑龙江流域片	896756	1192	133	552	1744	355	1389
辽河流域片	345207	486	141	229	715	134	581
海滦河流域片	319029	292	92	277	569	163	406
黄河流域片	794712	688	87	422	1110	348	762
淮河流域片	327443	766	234	454	1220	196	1024
长江流域片	1808500	9600	531	2130	11730	2130	9600
闽台诸河片	241155	2714	1125	575	3289	575	2714
珠江流域片	578141	4739	820	960	5699	960	4739
西南诸河片	844138	4684	555	1115	5799	1115	4684
内陆诸河片	3354289	1116	33	945	2061	854	1207
副区(额尔齐斯河)	50000	103	207	59	162	58	104
全 国 总 计	9559370	26380	276	7718	34098	6888	27210

从表 1-1 可以计算出：在我国水资源总量中，河川径流量占96.9%，但河川径流在时间上的分配是不均匀的，有季变化和年变化（工程水文学课程中已详细讲过），这种变化

与工农业生产和人民生活的用水要求常常发生矛盾。要解决这种矛盾，最有效的办法是修建水库，把多水年份或多水季节的水蓄起来，并在需要时从水库放出，通过蓄和放来改变径流的天然状况，达到兴利除害的目的，这就是径流调节。水库工程的径流调节是本书的中心内容，读者将陆续在以后各章中学到。

从表1-1还可以看出：我国水资源在地区上的分布很不均匀，南方浙闽台、长江、珠江、西南诸河四片，处在丰水、多水地带，水量丰富。四片的多年平均水资源总量为21737亿 m^3 ，约占全国总水量的79.9%，但面积和耕地都只占全国的36.3%。北方黑龙江、辽河、黄、海、淮、内陆河（包括额尔齐斯河）六片，处在过渡、少水、干旱地带，水量较少。六片的多年平均水资源总量仅5473亿 m^3 ，约占全国水量的20.1%，但面积和耕地都占全国的63.7%。北方水少，耕地多；南方水多，耕地少。水土资源地区分布的不平衡，必然会给我农业生产的发 展增加困难。

根据1978~1979年资料初步估计，全国农牧业、工业、城市生活以及其它用水，总毛用水量为4500亿 m^3 ，约占全国正常年水资源总量的17%。展望未来，到本世纪末，全国农牧业和城市工业用水等的总需水量可能达到7000亿 m^3 左右，约占全国水资源总量的26%，从全国来看，我国水资源可以满足2000年用水水平的需要。但由于水土资源分布不均衡，北方水资源贫乏的黄、淮、海、辽四个地区，估计未来遇到中等干旱年（相当于四年一遇）每年缺水约4~5百亿 m^3 。这些地区工业比重大，耕地面积多，目前水资源利用程度已比较高，当地水资源可以开发的潜力不太大，水资源已成为这些地区工农业发展的控制因素，除了节约用水、合理调整全国工农业布局、采用灌溉新技术、充分利用当地水资源外，从长远来看，还必须从外流域调水，才能解决这些地区的缺水问题。打通长江到黄河南岸的输水线路的南水北调东线第一期工程，不久即将开始动工。这项工程完工后，不仅可以改善苏、皖、鲁三省有关地区的供水条件，还可以使大运河通航到山东济宁，便利了这一地区的物资运输。南方水资源虽然丰富，但有些地区（山丘区、高原区、滨海地区）水资源的开发利用条件也很困难，要充分利用当地水资源，还必须修建相当数量的蓄水、引水和提水工程，才能满足未来用水增长的需要。

第三节 水资源的综合利用

一、水资源综合利用的基本原则

人类对水资源的利用，广义地包括兴利和除害两个方面。在兴利方面，如第二节所述，大体上又包括了七个方面。在除害方面，一是要减轻由于洪水泛滥而引起的灾害，这就是防洪；另一个是要减轻平原低洼地区由于雨水的积聚不能及时排除而引起的灾害，这就是治涝。由于兴利除害的各个方面对水资源的利用和处理方式不同，这就有可能也有必要使同一河流或同一地区的水资源，尽量同时满足几个不同部门的用水需要，例如灌溉和发电就可同时受益，并且可以将除水害与兴水利结合起来统筹解决，做到一水多用，一库多用，综合利用。我国大多数大中型水利工程在不同程度上是实现了水资源综合利用的。例如，汉江丹江口水利枢纽就是一项综合利用汉江水资源的大型水利工程。它能有效地控

制汉江上游的洪水，减轻汉江中下游广大地区频繁的洪水灾害；给鄂西北、豫西南的严重缺水地区数百万亩农田提供丰富的灌溉水源；水电厂装机90万kW，为湖北、河南两省工农业生产提供廉价电力；在它的水库内，形成长220km的深水航道，并改善下游650km河道的通航条件；辽阔的水库水面还可以发展水产养殖，每年能生产数百万斤淡水鱼。水资源综合利用是水利建设的一项重要原则，它能够使宝贵的水资源得到比较充分的利用，以较少的代价取得较大的综合效益，我们在进行水利建设的规划设计时，应尽量遵循这一原则。

在水资源综合利用方面，环境保护和生态平衡问题，已越来越受到人们的重视。水利工程是人类改造自然的一种手段，必然将对河流的水文情势及工程范围内和附近的自然环境产生重大影响，忽视这类问题有时会给国家和人民带来难以弥补的损失。关于水库工程对环境的影响详见第四节。

二、中小河流综合利用规划

在农田水利建设中，中小河流综合利用规划是广泛应用水利计算知识的一项水利规划任务。通过编制规划，可以摸清河流的特点，以及国民经济有关部门对治理和开发河流的迫切要求；并将这些要求协调地结合在一个统一的规划里，提出满足这些要求的技术措施，充分发挥流域内水土资源的作用；还可解决上下游、左右岸，以及相邻地区水利建设之间的矛盾，做到统筹兼顾，适当安排，达到联合治水、团结治水的目的。在大河系中，中小河流的综合利用规划，有助于解决大江大河流域规划中难以照顾到的局部地区性问题，更好地实现大河综合利用规划的各项任务。

中小河流综合利用规划的基本内容，一般包括以下四个方面：①确定规划方针和开发治理任务；②制定综合利用规划方案；③进行方案比较，选定较优方案；④推荐近期工程。由于各条河流的情况有很大不同，所以治理和开发的任务也有很大差别。一定要通过认真调查研究，正确掌握所规划河流的自然规律（特别是对多洪水、多泥沙和有其它特殊性质的河流），才能对治理和开发任务做出合理的决定。例如，对西北黄土高原这样水土流失严重、气候干燥地区的中小河流，一般应以水土保持和发展灌溉为规划重点。又如，对山低坡缓、耕地成片、土地潜力大，但水源短缺的丘陵山区，水资源的开发应以灌溉为主，兴建水库蓄水，塘库串联，充分利用当地径流或从邻近流域跨流域引水，以解决水源不足问题，形成比较完整的水利系统。再如，对山高坡陡、河谷狭窄、耕地分散、落差比较集中的山区河流，水资源的开发应以发电为主，至于山区的灌溉，则应因地制宜、小型多样，分散解决。

制订中小河流综合利用规划是一项很复杂、同时又是很细致的工作，必须把本专业的各门专业课，例如农田水利学、水工建筑物、水泵及水泵站、农村水电站等都学完后才能全面理解，深刻领会，在这里只要求学生树立一个统一规划、综合治理的思想，但它并不是本课程的主要内容。下面举一个流域综合开发的例子。

[例 1-1] 锦江流域位于广东省珠江三角洲西南部的潭江上游恩平县境内，流域面积1450km²。锦江是县内的一条主要河流，横贯县境，长128km，河床比降1/2250。锦江流域雨量多集中于4~9月，水源丰沛。平均年雨量2514mm，最大年雨量3835mm；平均年

径流总量21.29亿 m^3 ，最大年径流总量33.87亿 m^3 ；多年平均流量67.5 m^3/s ，实测最大洪峰流量3870 m^3/s （约相当于20年一遇），最小枯水流量0.003 m^3/s 。

过去，流域内水、旱灾害严重。1969年开始，县人民政府发动全县人民对锦江开展全面治理，综合开发。到目前为止，已在锦江流域建成大、中、小型水库134座，可蓄水7亿 m^3 ，控制集雨面积达678 km^2 ，占整个流域面积的47%。在灌溉、排涝方面已初步形成了一个以大、中型水库为骨干，小型水库为基础，蓄、引、提相结合的锦江南北两大灌溉网，保证了全县40多万亩农田的灌溉用水。为了加大泄水量，疏通了下游合山峡谷，修建防洪堤围153 km 。此外，还兴建了电排站73座，装机容量达7700 kW ，可及时排除内涝渍水，使10万亩低洼易涝农田解除了洪涝灾害。

为了充分利用水力资源，治水结合办电，现已建成以锦江电站为骨干的小型水电站137座，总装机容量达37000 kW （其中干流建成7个梯级电站，装机容量29700 kW ），年发电量达1.2亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，并与国家大电网相联，把电力送到广大农村，使全县95%以上人口都用上了电，给农村提供了廉价能源。

干流中、下游的四个梯级电站，都设有可通航50t机动船的船闸，各级水位抬高，首尾衔接，使通航能力大大提高，年运输量达20万t。

第四节 水库工程对环境的影响

建国后已建成大、中、小型水库86000多座，其中大、中型2600多座。这些水库在防洪、灌溉、发电、航运、养鱼、城市及工业供水、旅游等方面起到了巨大的作用，但有些水库也给环境带来了一些不利影响。作为一个水利工作者，在水库规划、设计、施工、运用管理当中，必须既看到水库除害兴利的一面，也要看到修建水库给地区自然界平衡会带来不利影响的一面。水库工程的建设，必须做到经济合理、技术先进，但同时也必须考虑水库对环境的不利影响，采取适当措施，以防止或减轻这种影响。我国现已规定，在水利工程的规划设计中都应有环境影响评价的篇章。

水库的兴利除害作用及其规划设计是本课程的中心内容，将在有关章节中分别讨论，本节只着重讲一些（不是全部）水库可能出现的不利影响，以引起读者注意。

一、水库对自然环境的影响

1. 水库淤积和下游河道冲刷

在多沙河流上兴建水库，将有大量泥沙淤积在库内。水库淤积严重时，不仅会淤满死库容，还可以减小兴利库容，淤高回水末端，降低防洪标准及缩短水库的使用年限。解决泥沙淤积的最好办法，是逐步做好水库上游流域的水土保持工作，这是治沙的根本措施。

某些水库由于蓄水拦沙，下泄清水，改变了下游河道的水沙条件，使下游河道发生冲刷。黄河在三门峡水库以下，于1960年9月至1964年10月共冲走泥沙23亿t，花园口至高村段，河槽下切并展宽，河滩地发生坍塌现象。

2. 水文状态及水质的变化

修建水库将改变水文状态。根据水库的不同用途，水流得到调节或反调节，从而河中

径流得到部分或全部控制。以发电为主且水库较大时，其年内供水的分布比较均匀。居民生活及航运用水一般地也为均匀供水。而灌溉为主的水库则年内供水不均匀。担任峰荷或具有日调节性能的水库，将使下游水位和流量发生波动，不利于航运与取水建筑物的正常工作。

水库蓄水抬高了地下水位，可能引起库岸坍塌。我国北方水库的黄土岸边，往往因水库蓄水及水位骤然降落而坍塌。此种坍塌不仅增加水库的淤积量，严重的还将威胁岸边居民安全，损失耕地，并破坏邻近公路和铁路的路基。抬高地下水位，还会引起浸没危害，影响库周林木、果树及农作物的生长，降低或破坏建筑物的稳定性。抬高地下水位，还可以使邻近库区的土地沼泽化、盐碱化，使耕地荒废或减产。

由于水库库区的沉积作用，可使浑浊水澄清，改善水质。但水库往往存在更复杂的物理化学和生物等方面的过程而使水质发生不同性质的变化。

3. 对局地气候的影响

除个别情况外，即使是大型水库，对局部地区的气温也只有微弱的影响。但建库后水库水面的蒸发量比建库前的陆面蒸发量(包括植物散发量)显著增加，使进入空气的水汽增多，调节了太阳辐射，对局部地区的降水可略有改变。我国南方的大型水库，大都夏季水面较建库前凉，气层稳定，大气对流作用减弱，降水减少；冬季则水面相对较暖，气层不稳定，降水增加，致使年降水量和降水量的年内分配都可以发生变化。

4. 对地震条件的影响

水库蓄水初期可能诱发地震，在地震区的大型水库尤其容易发生。为了防止这种现象，必须在水库蓄水过程中进行地震监测，如有微震发生，则水库蓄水位的抬高要特别小心，缓慢进行。

二、水库对人类生活的影响

1. 水库淹没

兴建水库造成库区人口迁移，土地、文物古迹、矿藏及其它设施的淹没，以及工矿企业、铁路、公路、电力线路和通讯线路的改建。水库淹没问题，不仅关系到水利工程规模的正确选定，也关系到库区移民的生产、生活和地区经济的恢复与发展。

2. 修建水库对下游人类生活的影响

(1) 引水式水电站及其它引水工程(如跨流域引水等)可能使原河道出现断流脱水段，影响当地的工农业及人畜用水。脱水段与上述水库淹没问题的处理同样重要。

(2) 大坝失事将对下游造成极大的灾害。这在国内外都有许多惨痛的例子。大坝失事的原因是多方面的，例如调度运用方面的错误、洪水计算成果偏小、结构设计不合理、施工质量差、遭遇特大超标准洪水、泄洪设备失灵或出故障、人为或野兽的破坏等。在地震活动区，遇大地震时大坝也有失事的危险。

为了减少大坝失事对下游的危害，除尽可能杜绝上述原因外，必须估计垮坝的影响范围、洪水演进时间和洪水位，并制订应急的撤退居民和重要物资的计划。

3. 水库污染

水库污染多是由人为的因素引起的，如水库上游的工业废水、耕地施放化肥和有毒农

药的灌溉回归水和生活污水等，由河道进入水库造成水质恶化。在水库规划设计和运用管理阶段，都要估计并设法控制这种由于人类活动对水库水质所产生的不利影响，务使水中有害物质的含量不超过国家所规定的标准。

4. 助长传染疾病的可能性

水库蓄水水面增大，库周加长，如管理不善，形成大面积浅水区，水草茂盛，疟蚊及钉螺易于生长，便增加疟疾和血吸虫等疾病的传染危险。

三、水库对鱼类资源的影响

水库蓄水后，与原河面相比，库面增大，流速缓慢，改变了鱼类的生态环境。喜流动的鱼类因为条件改变，将逐渐减少或移到库区上游。故水库适宜人工放养鱼苗，使适宜在静水或缓流中生活的鱼类能够迅速繁殖。当原有河流有珍贵鱼类回游上溯产卵时，兴建大坝后就截断了此种鱼类的溯游通路，因此需要研究修建过鱼设备的必要性。

四、水库对航运和筏运的影响

修建水库，一般都会改善上下游的通航条件。但大坝不仅阻挡了水流，同时也阻碍了河道的通航和竹、木流放，这就应当在建坝的同时考虑修建通航建筑物(如船闸、升船机)及筏道等的可能性。

复习思考题

- 1-1 本课程的性质、任务和主要内容各如何？
- 1-2 南水北调工程是解决北方缺水的有效办法，但科学界和工程界为什么还有不同的意见？
- 1-3 你如何理解“一水多用，一库多用”？
- 1-4 中小河流综合利用规划包括哪些基本内容？
- 1-5 修建水库对人类有很大好处，但也可以给环境带来不利影响，你如何权衡其利弊？

第二章 灌溉水库的兴利调节计算

天然河道中, 径流变化很大, 在修建水库前, 由于天然径流的变化没有控制, 所以不能满足国民经济各用水部门在时间上和数量上对水流利用的要求, 而产生矛盾。例如在大水年或汛期, 洪水泛滥成灾, 需要防洪; 在干旱年或枯水期, 河流中的水量往往不能满足农田灌溉的需要; 又如在冬季, 一般用电量较大, 水电站发电用水较多, 但河中的水量却较少; 等等, 这些都反映来水与用水之间的矛盾。所谓径流调节, 是指修建一些专门的水工建筑物(如坝、水库、渠道等), 来控制河川径流的变化, 按照用水需要人为地把河川径流在时间上和地区上重新加以分配。

水库调节径流的作用是: 当来水大于用水要求时, 把多余的水蓄在水库中, 而当来水小于用水要求时, 由水库补充放水来满足用水要求。由于来水和用水都有一定的周期性变化规律, 使水库的充蓄与泄放也有一定的周期性变化。水库从库空开始蓄水, 蓄满以后又放空, 放空以后又蓄满, 这样循环不断。水库由空到满, 再到空, 循环一次所经历的时间, 称为调节周期。由于水库大小和调节任务的不同, 按调节周期的长短可分为日调节、周调节、年调节和多年调节, 灌溉水库一般只有年调节和多年调节。

河川天然来水在一年中有洪水期和枯水期的变化, 农田用水只在作物生长期才需要灌溉, 洪水期和非灌溉季节水量有多余, 而灌溉季节水量又不足, 需要把一年中洪水期和非灌溉季节多余的水量蓄存起来, 以备灌溉季节用, 这种在一年内进行的径流重新分配, 称为年调节, 其调节周期为一年。当某年的年用水量大于年来水量时, 需要跨年度调节, 必须把丰水年多余的水量蓄存起来, 用以补充枯水年的水量不足, 因此水库并不是每年放空或蓄满, 水库完全运行一次需要经过几年甚至十几年, 称为多年调节。相对于一定河流来水而言, 水库蓄水容积越大, 它调节的周期就越长, 调节径流的程度也越高。

第一节 水库的特性曲线及特征水位

一、水库特性曲线

在河流上筑坝形成了水库, 坝筑得越高, 水库的容积(即库容)就越大。在不同的河流上, 即使相同的坝高, 其库容也不相同, 这主要与库区内的地形有关。一般用来反映水库地形特性的曲线称为水库特性曲线, 有水库水位与面积关系曲线及水库水位与容积关系曲线, 简称水库面积曲线及容积曲线, 它们是径流调节计算不可缺少的基本资料。

1. 水库面积曲线

面积曲线可根据库区地形图, 用求积仪或数方格法, 在等高线与坝轴线所围成的闭合地形图(如图2-1)上量计不同高程的水库面积, 以水位为纵坐标, 以水库面积为横坐标, 点绘成水位~面积关系曲线, 如图2-2中的 $Z \sim A$ 曲线。在平原河流及山区河流上建水库,

因库盆形状及河道坡度不同, 其 $Z \sim A$ 曲线的性质也不相同。平原河流水库面积随水位增加而很快增加, 面积曲线的坡度较小; 山区河流水库面积随水位增加较慢, 面积曲线的坡度较大。

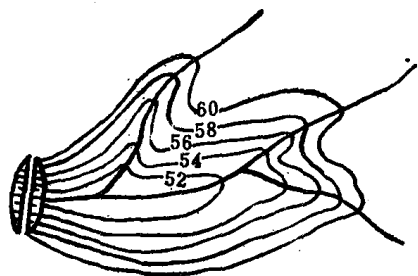


图 2-1 某水库库区地形图

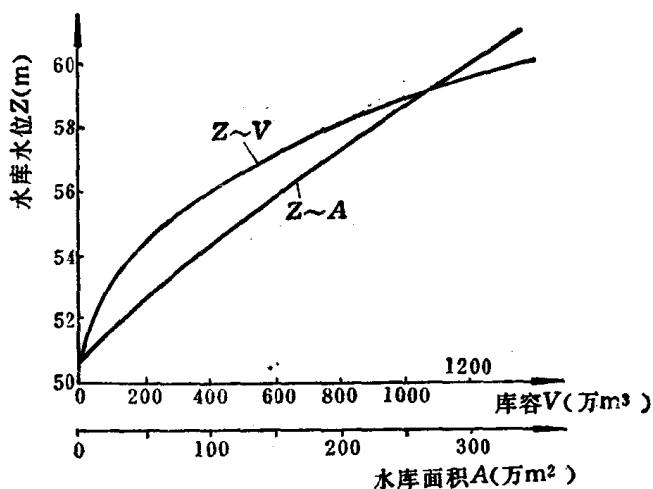


图 2-2 某水库水位~容积、水位~面积关系曲线

2. 水库容积曲线

水库容积曲线是面积曲线的积分曲线, 即水位 Z 与累积容积 (即库容) V 的关系曲线。分别计算各相邻高程间隔内的部分容积, 自河底向上累加得相应水位的累计容积, 即可绘出水位~容积曲线, 如图2-2中的 $Z \sim V$ 曲线。按下式计算容积:

$$V = \int_{Z_0}^Z A dZ \quad (2-1)$$

或

$$V = \sum_{Z_0}^Z \bar{A} \Delta Z = \sum_{Z_0}^Z \Delta V \quad (2-2)$$

而

$$\bar{A} = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)$$

或按较精确的公式:

$$\bar{A} = \frac{1}{3}(A_1 + \sqrt{A_1 A_2} + A_2) \quad (2-3)$$

式中 V —— 水库容积 (m^3);

ΔZ —— 相邻两水位间的水层深度或等高距 (m);

A_1 、 A_2 及 $\bar{A}$ —— 相邻水位的水库面积及二者的平均值 (m^2);

ΔV —— 与 ΔZ 相应的容积 (m^3);

Z_0 —— 库底高程 (m).

用地形资料绘制水库特性曲线的计算举例如表2-1。

由上述方法计算的水库容积, 是假定入库流量为零时, 水库水面为水平的情况, 称为静水容积, 简称静库容。静库容能满足一般水库规划设计要求, 对于大的湖泊式水库, 流速甚小时, 水面曲线接近水平, 仅回水尾端稍上翘, 故以静库容计算, 误差不大。

表 2-1

某 水 库 库 容 计 算 表

水 位 Z (m)	水 面 面 积 A (万m^2)	平 均 面 积 $\bar{A}$ (万m^2)	高 差 ΔZ (m)	分 层 库 容 ΔV (万m^3)	累 计 库 容 V (万m^3)
50.5	0				0
51	8.1	2.7	0.5	1.4	1.4
52	32.0	18.7	1.0	18.7	20.1
53	60.0	45.3	1.0	45.3	65.4
54	90.8	74.9	1.0	74.9	140.3
55	123	106.5	1.0	106.5	246.8
56	157	139.7	1.0	139.7	386.5
57	192	174.3	1.0	174.3	560.8
58	228	209.7	1.0	209.7	770.5
59	265	246.3	1.0	246.3	1016.8
60	302	283.3	1.0	283.3	1300.1

对于大型河川式水库，回水影响甚远，在洪水调节计算及淹没计算中，因入库流量大、流速大而形成的水面曲线并非水平，这时若仍按水库水面为水平计算，则误差较大，故应按动水容积来计算，即除静库容外，还有一部分楔形蓄量，见图2-3阴影部分。由这样上翘的水面曲线所构成的容积为动水容积（即静库容加楔形蓄量），简称动库容。

动库容曲线的绘制方法是：在可能出现的洪水范围内拟定各种入库流量，对某个人库流量假定不同的坝前水位，根据水力学公式，推求出一组以某入库流量为参数的水面曲线，并计算相应的库容，计算至回水末端止，然后以水位为纵坐标，以入库流量为参数，以库容为横坐标，绘制动水容积曲线，即动库容曲线，如图2-4所示。

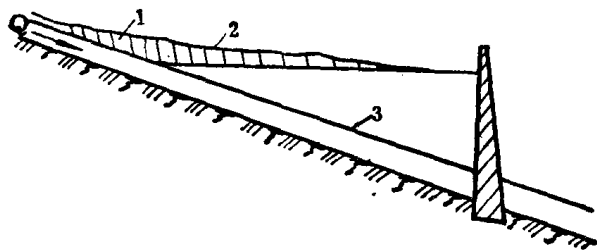


图 2-3 水库动库容示意图

1—楔形蓄量；2—入库流量为 Q 时的水库水面线；3—流量为 Q 的河流水面线

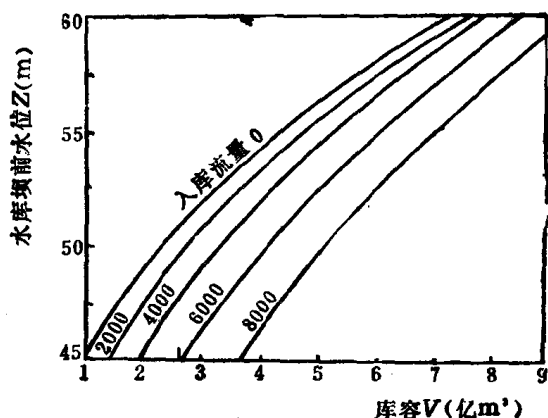


图 2-4 水库动库容曲线

二、水库的特征水位和特征库容

反映水库工作状况的水位称为特征水位。特征水位及其相应库容体现着水库利用和正常工作的各种特定要求，是规划设计阶段确定主要水工建筑物尺寸（如坝高、溢洪道宽度）及估算工程效益的基本依据。这些特征水位和相应库容有：

1. 死水位（ $Z_{死}$ ）和死库容（ $V_{死}$ ）

在正常运行的情况下，允许水库消落的最低水位，称为死水位。年调节水库在设计枯水年时放空，所谓放空，并不是指水库水位降落到库底，而是指降落到死水位，死水位以下的库容称为死库容。

2. 正常蓄水位（ $Z_{蓄}$ ）和兴利库容（ $V_{兴}$ ）

正常蓄水位是指水库在正常运行的情况下，满足设计的兴利要求在供水期开始时应蓄到的水位。正常蓄水位与死水位之间的库容称为兴利库容，正常蓄水位与死水位之间的深度称为消落深度。如水库采用自由式溢洪的无闸门溢洪道，溢洪道的堰顶高程就是正常蓄水位，见图2-5。如水库溢洪道上装有闸门，水库的正常蓄水位一般就是闸门关闭时的门顶理论高程，实际的门顶还要高一些，见图2-6。

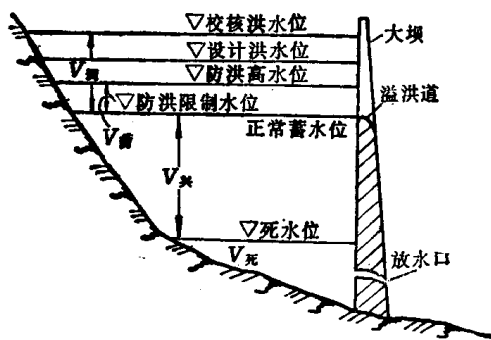


图 2-5 水库特征水位及特征库容示意
（防洪与兴利不结合）

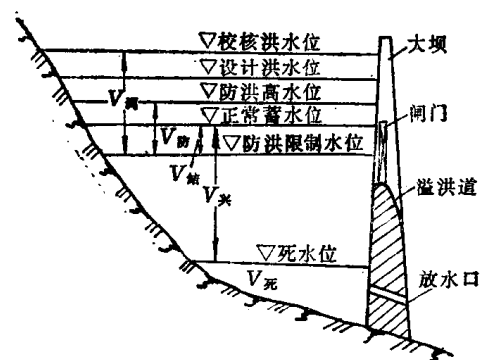


图 2-6 水库特征水位及特征库容示意
（防洪与兴利部分结合）

3. 防洪限制水位（ $Z_{限}$ ）和结合库容（ $V_{结}$ ）

水库在汛期洪水未到前允许蓄水的上限水位，称为防洪限制水位。这个水位以上的库容是作为滞蓄洪水的库容，只有在发生洪水时，为了滞洪，水库水位才允许超过防洪限制水位，当洪水消退时，水库应尽快地泄洪，使水库水位迅速回降到防洪限制水位。在进行水库设计时，通常应根据洪水特性和水文预报条件，尽可能把防洪限制水位定在正常蓄水位之下，腾出部分兴利库容以容纳洪水，并在汛末拦蓄部分洪水尾巴以蓄满兴利库容。在这种情况下，防洪限制水位与正常蓄水位之间的库容，称为结合库容，兼作防洪与兴利之用，以减少专门的防洪库容。当然，水库溢洪道上装设闸门是设置结合库容的必要条件。

4. 防洪高水位（ $Z_{防}$ ）和防洪库容（ $V_{防}$ ）

当水库下游有防洪要求时，下游防洪要求的设计洪水经水库调节后所达到的最高库水位，称为防洪高水位。它至防洪限制水位之间的库容称为防洪库容。

5. 设计洪水水位（ $Z_{设}$ ）

当发生枢纽设计洪水时，该洪水从防洪限制水位经水库调节后所达到的最高水位称为