

普通高等教育“十三五”规划教材

水文水利计算

主 编 原文林
副主编 马细霞 王慧亮
主 审 吴泽宁



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

水文水利计算

主 编 原文林
副主编 马细霞 王慧亮
主 审 吴泽宁



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书阐述了工程水文设计和水利计算的基本原理与方法,以流量与暴雨资料的审查、洪水频率分析计算、由流量资料推求设计洪水、由暴雨资料推求设计洪水、小流域设计暴雨及设计洪水计算、可能最大暴雨与可能最大洪水的推求、设计年径流及其年内分配等为水文计算的主要内容。同时,以水库兴利调节计算、水电站水能计算和水库防洪计算等为水利计算的主要内容。

本书为高等院校水文与水资源工程专业本科核心课程教材,也可供从事水文、水利工程管理,交通工程和市政工程专业的技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水利计算 / 原文林主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 12
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-6065-9

I. ①水… II. ①原… III. ①水文计算—高等学校—教材②水利计算—高等学校—教材 IV. ①P333②TV214

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第288616号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 水文水利计算 SHUIWEN SHUILI JISUAN
作 者	主 编 原文林 副主编 马细霞 王慧亮 主 审 吴泽宁
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10.5印张 249千字
版 次	2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水文水利计算是水文与水资源工程本科专业的核心课程。本书在参考与对比同类教材的基础上,根据郑州大学校内讲义与近年来的实际应用情况编写完成。在编写过程中,除征求有关师生的意见和吸收过去教材的编写经验以外,力求在保证论述学科的基本知识和基本计算方法的基础上,适当反映本科学领域的新内容。

本书共十章,按照64学时的教学课时编写。主要内容包括水文分析计算和水利计算两大部分,其中水文分析计算包括设计洪水的基本知识、由流量资料推求设计洪水、由暴雨资料推求设计洪水、小流域设计洪水计算、可能最大洪水计算、设计年径流及其年内分配等主要内容。水利计算包括水库兴利调节计算、水电站水能计算、水库防洪计算等内容。教材涵盖了水文及水资源工程水文水利计算的主体内容,取材丰富,用例翔实,体系完整,章节编排合理,适用于水利类相关专业的本(专)科教学使用,也可供工程技术人员参考。

本书由郑州大学原文林担任主编,马细霞与王慧亮参与编写。各章的编写人员为:第一章由原文林编写;第二章由原文林、王慧亮编写;第三章、第四章由原文林、马细霞编写;第五章、第六章由原文林、王慧亮编写;第七章、第八章、第九章由原文林编写;第十章由原文林、王慧亮编写。全书由原文林进行通稿,吴承君、王燕云、高倩雨、刘美琪、卢璐、宋汉振、付磊等研究生参与了书稿的整理与校正工作。

本书由郑州大学吴泽宁教授主审,主审人对书稿进行了认真细致的审查,并提出了许多建设性的修改意见,编者在此深表谢意。

本书在编写过程中主要引用和参考了由河海大学梁忠民等主编的《水文水利计算》(第2版)(中国水利水电出版社,2008年)、叶守泽主编的《水文水利计算》(水利电力出版社,1992年,2008年第9次印刷)等,同时还参阅和引用了有关院校和科研单位编写的相关教材、著作和技术文献,并在书末列

出了主要参考文献。

本书的编写和出版，得到了郑州大学教务处、郑州大学水利与环境学院以及中国水利水电出版社的大力支持，在此一并致谢。

限于编者水平，书中有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2017年6月

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 水文水利计算主要内容与工程应用	1
第二节 水文水利计算主要方法	2
第二章 设计洪水基本知识	4
第一节 防洪标准与设计洪水	4
第二节 入库设计洪水	8
第三节 分期设计洪水	9
第四节 设计洪水的地区组成	11
第三章 由流量资料推求设计洪水	12
第一节 洪水资料的分析与处理	12
第二节 洪水频率计算	14
第三节 洪水频率计算成果的合理性检查和抽样误差	22
第四节 设计洪水过程线的推求	23
第四章 由暴雨资料推求设计洪水	29
第一节 概述	29
第二节 暴雨资料的审查及暴雨特性分析	30
第三节 设计面暴雨量的计算	33
第四节 设计暴雨时空分配计算	36
第五节 由设计暴雨推求设计洪水	39
第五章 小流域设计洪水计算	48
第一节 概述	48
第二节 小流域设计暴雨的计算	48
第三节 由推理公式推求设计洪水	51
第四节 小流域设计洪水的地区经验公式法	57

第六章 可能最大暴雨与可能最大洪水	59
第一节 可能最大暴雨的基本知识	59
第二节 可能最大暴雨的估算方法	63
第三节 可能最大暴雨等值线图集的应用	65
第四节 可能最大洪水的推求	68
第七章 设计年径流及其年内分配	69
第一节 年径流变化及其影响因素分析	69
第二节 具有长期实测资料的设计年径流分析计算	72
第三节 具有短期实测资料的设计年径流分析计算	77
第四节 缺乏实测资料的设计年径流分析计算	80
第五节 日流量历时曲线	81
第八章 水库兴利调节计算	83
第一节 水库的工程特性	83
第二节 兴利调节的作用及分类	87
第三节 兴利调节原理	90
第四节 水库兴利调节计算	92
第九章 水电站水能计算	99
第一节 水能利用原理及开发利用方式	99
第二节 水电站设计保证率及设计典型年的选择	106
第三节 水电站保证出力和多年平均发电量的计算	108
第四节 电力系统容量组成及水电站运行方式	116
第五节 水电站装机容量的确定	124
第六节 水电站水库特征参数的确定	129
第七节 水电站水库调度图	133
第十章 水库防洪计算	138
第一节 水库防洪问题概述	138
第二节 水库调洪演算的基本原理及方法	141
第三节 水库防洪计算	146
附表	149
参考文献	159

第一章 绪 论

第一节 水文水利计算主要内容与工程应用

水文水利计算课程主要包括两部分的内容，即水文计算与水利计算。水文计算的主要任务是分析水文要素变化规律，为水利工程建设提供未来水文情势预估；水利计算的主要任务是拟定并选择安全可靠和经济合理的工程设计方案、规划设计参数和调度运行方式。

一、水文计算

水文计算是为防洪排涝、水资源开发利用和桥涵建筑等工程或非工程措施的规划、设计、施工和运行管理，提供水文数据的各种水文分析和计算的总称。其主要任务是估算工程在规划设计阶段、施工及运行期间，可能出现的水文设计特征值及其在时间和空间上的分布情况。

水文计算主要围绕“设计洪水”和“设计径流”两个主题，在该课程中对应的主要内容有流量与暴雨资料的审查、由流量资料推求设计洪水、由暴雨资料推求设计洪水、小流域设计暴雨及其设计洪水计算、可能最大暴雨与可能最大洪水推求、设计年径流及其年内分配计算。

二、水利计算

水利计算指的是水资源系统开发和治理中对河流等水体的水文情况、国民经济各部门用水需求、径流调节方式和经济论证等进行分析计算。通过水利计算获得的成果，可为建筑物的设计和设备工作状态的选择提供数据，以便确定建筑物的规模和设备的运行规程，同时也为各种水资源工程的投资和效益、用水部门正常工作的保证程度和工程修建后的效益等做经济分析、综合论证提供定量依据。

水利计算在本课程中将“水库”作为主要分析对象，对应的主要内容是在了解水库基本特性及水文计算提供的设计径流和设计洪水成果的基础上，进行水库兴利调节计算、水电站水能计算和水库防洪计算。

三、水文水利计算的工程应用

水利工程从修建到运用，一般要经过规划设计、施工和运行管理三个阶段，每个阶段均需进行水文水利计算，但各阶段由于承担的服务内容不同，计算任务不同，各有侧重点。

规划设计阶段水文水利计算的主要任务是为确定工程规模提供水文数据。由于水利工程的使用年限一般为几十年甚至百年以上，因此在规划设计时，应预估水利工程在未来整个运行期间可能出现的水文情势，以及根据可能出现的水文情势确定合理的开发利用方

式、工程规模和主要设计参数等。在该阶段水文计算的任务就是研究工程修建后，在长期的运行期限内的水文情势，提供作为工程设计依据的水文特征数值，例如设计年径流、设计洪水等。水利计算的任务则是根据设计水文数据，通过调节计算，选定工程枢纽参数，例如水库正常蓄水位、死水位、水电站装机容量等，并确定主要建筑物的尺寸与规模，例如坝高、溢洪道尺寸等，然后详细计算各项水利经济指标，通过经济论证分析，进行方案比选。

施工阶段水文水利计算的主要任务是为确定临时性水工建筑物（例如施工围堰、导流隧洞或导流渠等）的规模及初期运行方式提供相应计算成果。由于水利工程施工期限较长，一般需要一年以上，甚至数年之久，因此需要修建一些临时性建筑物进行导流和度汛。在该阶段，水文计算的主要任务是预估在整个施工期间可能出现的水文情势，在此基础上确定临时性建筑物的规模和尺寸。水利计算的任务主要是编制水利枢纽的初期运行计划或制定初期的运行调度图。

运行管理阶段水文水利计算的主要任务是根据面临时段来水情况的预报和预测，编制水量调度方案，通过科学合理调度，充分发挥工程效益，提高水资源和水能资源利用率。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，下游也免遭洪水灾害。到汛末时，又及时拦蓄尾部洪水，以保证灌溉、发电等方面的需求。此外，在工程运用期间随着水文资料的积累，还要经常复核和修正原设计的水文数据，通过调节计算，改进调度方案或对工程实行扩建、改建和除险加固等必要的改造。

第二节 水文水利计算主要方法

一、水文水利计算特点

水文水利计算的主要任务是分析水文要素变化规律，为水利工程的建设和运行管理提供未来水文情势预估。自然界水文现象的发生和发展过程，由于受气象要素和地质、地貌、植被等下垫面因素以及人类活动的影响，情况是十分复杂的。自然水文过程既有确定性，例如河流每年都具有洪水期和枯水期的周期性交替现象、冰雪水源河流则具有以日为周期的流量变化、受气候要素和地理要素具有地区性规律影响的水文现象也在一定程度上具有地区性的特点等；又存在不确定性，例如河流某断面各年出现的最大洪峰流量的大小和出现的具体时间不会完全相同等。自然水文过程的确定性，反映了事物的必然性；自然水文过程的不确定性，反映了事物的偶然性。因此，在解决水文水利计算的具体问题时，一般采用基于质量守恒、动量守恒、能量守恒的确定性数学物理方法和基于概率论、数理统计原理的统计方法，或者是两类方法的有机结合，共同解决水文要素预估、工程水文设计、调度运行方式确定中的技术问题。

二、水文计算方法

在我国水利水电工程设计中，目前是由规范统一规定工程的设计标准，进而确定相应的水文事件作为设计条件。在进行具体工程设计时，根据水利工程的规模、重要性及效益情况，按规范规定即可确定其等级和相应的设计标准，再采用相应方法进行工程设计计算。因此，对水文计算的具体要求应为推求工程运行期间，当地可能出现的符合设计标准的水文变量或水文过程。

从对水文计算的要求可以看出，其主要解决的是水文情势的预估问题，在采用的方法上目前主要有水文频率分析和水文气象成因分析两类途径。

水文频率分析方法将水文事件视为随机事件，其变化规律服从概率分布律，所以采用概率论和数理统计方法对未来水文情势进行概率预估。因此，可以采用水文频率分析方法对暴雨、洪水和径流进行概率预估，作为水利工程设计依据。

水文气象成因分析方法认为洪水现象是一种必然事件，取决于降雨和流域下垫面条件，所以可采用成因途径从降雨的物理机制研究洪水事件。对于一个具体流域，降水不可能是个无穷大值，应有其物理上限。该降水上限，习惯上成为可能最大暴雨（Probable Maximum Precipitation，简称 PMP），理论上可以通过气象科学的理论与方法进行计算分析。根据水文学方法将 PMP 转化为洪水，即为可能最大洪水（Probable Maximum Flood，简称 PMF），以此作为水利工程的设计依据。

除了传统的水文频率分析和 PMP/PMF 分析方法仍在不断完善外，水文计算方法的发展趋势主要表现在以下几方面：

- (1) 洪水风险分析的理论与方法研究。
- (2) 气候变化和人类活动对设计成果的影响。
- (3) 不确定性新理论与新方法的应用研究。

三、水利计算方法

除了水文计算需要采用概率预估的方法来解决水利计算的问题外，基于水量平衡原理的调节计算方法是水利计算的主要研究方法。按照具体问题的侧重点差异，调节计算可分为兴利调节计算、水能计算和洪水调节计算。

兴利调节计算主要有时历法和数理统计法两大类。时历法是先根据实测流量逐年逐时段进行调节计算，然后根据各年调节后的水利要素值，例如出库流量、水库水位或水库库容等绘制成频率曲线，最后根据设计保证率得出设计参数，即调节计算后频率分析的方法；数理统计法则先对原始流量系列进行数理统计分析，将其概化为几个统计特征值，然后再通过数学分析方法或图解法进行调节计算，求得设计保证率与水利要素值之间的关系，即先频率分析后调节计算的方法。

水电站水能计算主要依据为水量平衡原理。水能计算同兴利调节计算相比，由于受到流量和水头两个因素的共同影响，同时还受到水能利用方式、设备效率等因素的影响，计算方法通常较为复杂。目前水能计算常用的方法是试算法，通过试算法求得的成果进行保证出力和多年平均发电量分析、制定调度图等。

洪水调节计算同兴利调节计算相比较，主要原理相同，差别主要体现在计算时间尺度较小（通常取小时为计算时段），同时受水工建筑物规模限制还需考虑下泄能力的影响。洪水调节计算具体求解方法是以水量平衡计算和试算为基础，采用与兴利调节计算相同的方法。

上述方法均属于常规方法，随着水资源开发利用综合、整体的观点和策略，水利计算方法的发展趋势主要为以下几方面：

- (1) 多目标优化技术。
- (2) 水库群综合利用调度原则和模型求解方法。
- (3) 现代智能算法的应用研究。

第二章 设计洪水基本知识

第一节 防洪标准与设计洪水

一、防洪标准

在河流上筑坝建库能在防洪方面发挥很大的作用，但水库本身也承受着洪水的威胁，一旦洪水漫溢坝顶，将会造成严重灾害。为了处理好防洪问题，在设计水工建筑物时，若此洪水定得过大，则会使工程造价增多而不经济，但工程却比较安全；若此洪水定得过小，虽然工程造价降低，但遭受破坏的风险增大。如何选择对设计的水工建筑物较为合适的洪水作为依据，考虑在发生该洪水时能够保证建筑物本身以及下游地区和库区防洪的安全，涉及一个标准问题，称为设计标准。确定设计标准是一个非常复杂的问题，国际上尚无统一的设计标准。

在水工建筑物的设计中，除了考虑水工建筑物本身的防洪标准外，还要考虑下游防护对象的防洪标准。这里所谓的防洪标准又称为“地区防洪标准”，就是规定防护对象能防御多少年一遇的洪水，并当这种洪水发生时，通过下游河道的最大泄量不应超过河道的允许泄量（又称为安全泄量）或控制水位。地区防洪标准的拟订，应根据下游地区的河流条件、历史灾害情况和对政治、经济的影响，并结合下游防护对象的重要性来分析选定。

1. 水库防洪标准的确定

在河流上修建水库，通过其对洪水的拦洪削峰，可防止或减轻甚至消除水库下游地区的洪水灾害。但是，若遇特大洪水或调度运用不当，大坝失事也会形成远远超过天然洪水的溃坝洪水，如板桥水库 1975 年 8 月入库洪峰 $13100\text{m}^3/\text{s}$ ，溃坝流量竟达 $79000\text{m}^3/\text{s}$ ，对下游造成了极大的损失。因此，防洪设计中除考虑下游防护对象的防洪要求外，更应确保大坝安全。下游防洪要求和大坝等水工建筑物本身防洪安全要求，一般通过防洪设计标准（常用洪水发生频率或重现期表示）来体现。

水库自身安全标准是指设计水工建筑物所采用的洪水标准。水工建筑物的洪水标准分正常运用和非常运用两种情况。与前者相应的洪水称为设计洪水，与后者相应的洪水称为校核洪水。

水工建设物的洪水标准应按水利枢纽工程的“等”及建筑物的“级”，参照中华人民共和国水利部 2017 年颁发的 SL 252—2017《水利水电工程等级划分及洪水标准》的规定，确定其相应的洪水标准。该标准根据工程的规模、效益及在国民经济中的重要性将其划分为 5 等，见表 2-1；水利水电工程的永久性水工建筑物的级别又根据其在工程的等别和建筑物的重要性分为 5 级，见表 2-2。

表 2-1 水利水电工程分等指标

工程 等别	工程 规模	水库 总库容 /10 ⁸ m ³	防 洪			治 涝	灌 溉	供 水		发电
			保护 人口 /10 ⁴ 人	保护 农田 面积 /10 ⁴ 亩	保护区 当量经 济规模 /10 ⁴ 人	治涝 面积 /10 ⁴ 亩	灌溉 面积 /10 ⁴ 亩	供水 对象 重要性	年引 水量 /10 ⁸ m ³	发电 装机 容量 /MW
I	大(1)型	≥10	≥150	≥500	≥300	≥200	≥150	特别 重要	≥10	≥1200
II	大(2)型	<10, ≥1.0	<150, ≥50	<500, ≥100	<300, ≥100	<200, ≥60	<150, ≥50	重要	<10, ≥3	<1200, ≥300
III	中型	<1.0, ≥0.10	<50, ≥20	<100, ≥30	<100, ≥40	<60, ≥15	<50, ≥5	比较 重要	<3, ≥1	<300, ≥50
IV	小(1)型	<0.1, ≥0.01	<20, ≥5	<30, ≥5	<40, ≥10	<15, ≥3	<5, ≥3	一般	<1, ≥0.3	<50, ≥10
V	小(2)型	<0.01, ≥0.001	<5	<5	<10	<3	<3		<0.3	<10

表 2-2 永久性水工建筑物级别

工程等别	主要建筑物	次要建筑	工程等别	主要建筑物	次要建筑
I	1	3	IV	4	5
II	2	3	V	5	5
III	3	4			

根据水工建筑物的级别，该标准中还规定了相应的洪水标准，表 2-3 列出了山区、丘陵区水利水电工程永久性水工建筑物洪水标准。

表 2-3 山区、丘陵区水利水电工程永久性水工建筑物洪水标准

项 目		水工建筑物级别				
		1	2	3	4	5
设计/[重现期(年)]		1000~500	500~100	100~50	50~30	30~20
校核洪水标准 /[重现期(年)]	土石坝	可能最大洪水 (PMF) 或 10000~5000	5000~2000	2000~1000	1000~300	300~200
	混凝土坝、 浆砌石坝	5000~2000	2000~1000	1000~500	500~200	200~100

防洪保护对象的防洪标准，应根据防护对象的重要性、历次洪水灾害及其对政治经济的影响，按照国家规定的防洪标准范围，经分析论证后，与有关部门协商选定。

必须指出，对于水库安全标准一般应采用入库洪水，如因资料等方面的原因而改用坝址洪水时，应估计二者的差异对水库调洪计算结果的影响。防护对象防洪标准应采用防洪保护区相应河段控制断面的设计洪水，该设计洪水由水库坝址以上流域及坝址至控制断面之间的区间两部分洪水组成，应考虑二者的不同组合类型及其对水库调洪计算结果的影响。

2. 下游防护对象的防洪标准

下游防护对象的防洪标准根据防护对象的重要性选取。因为没有水库的安全，也就谈不上上下游防护对象的安全，因此上述水库防洪标准一般要高于防护对象的防洪标准，水库及下游防护区关系如图 2-1 所示。

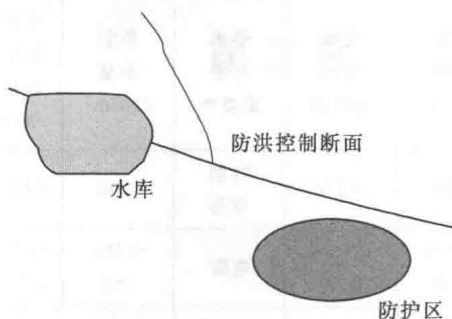


图 2-1 水库及下游防护区关系示意图

国家根据工程效益、政治及经济各方面的综合考虑，颁布了按工程规模分类的工程等别和按建筑物划分的防洪标准。我国 1978 年颁发了 SDJ 12—78《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准（山区、丘陵区部分）（试行）》，结合我国国情及工程实际经验，水利部又会同有关部门于 2014 年共同制

订了 GB 50201—2014《防洪标准》和水利部 2002 年颁发的 SL 252—2002《水利水电工程等级划分及洪水标准》作为强制性国家标准。防洪标准是一个关系到政治、经济、技术、风险和安全的极其复杂的问题，要综合分析、权衡利弊，根据国家规范合理选定。

二、设计洪水

1. 设计洪水的定义

由于流域内降雨或融雪，大量径流汇入河道，导致流量激增，水位上涨，这种水文现象，称为洪水。

在进行水利水电工程设计时，为了建筑物本身的安全和防护区的安全，必须按照某种标准的洪水进行设计，这种作为水工建筑物设计依据的洪水称为设计洪水。

一次设计洪水过程如图 2-2 所示，从起涨点 A 上涨，到达峰顶 B 后流量逐渐减小，到达 C 点退水结束，可用 3 个控制性要素加以描述，常称为洪水三要素。

(1) 设计洪水过程线，洪水从 A 到 B 点的时距 t_1 为涨水历时。从 B 到 C 点的时距 t_2 为退水历时。一般情况下， $t_2 > t_1$ 。 $T = t_2 + t_1$ ，称为洪水历时。

(2) 设计洪峰流量 Q_m (m^3/s)，简称设计洪峰，为设计洪水的最大流量，如图 2-2 中的 B 点对应的流量。

(3) 设计洪水总量 W (m^3)，简称设计洪量，为设计洪水的径流总量。如图 2-2 所示，流量过程线 ABC 下的面积就是洪水总量 W 。

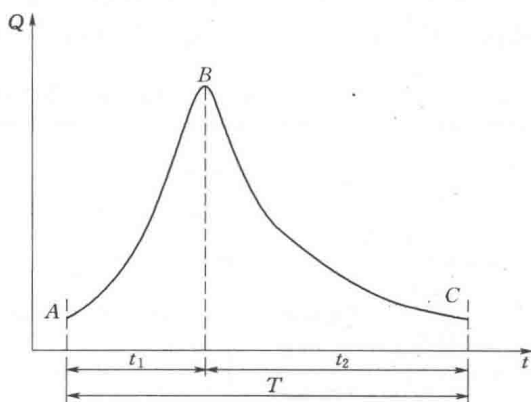


图 2-2 一次设计洪水过程线示意图

2. 设计洪水的分类

按工程性质不同，设计洪水分为水库设计洪水、下游防护对象设计洪水、施工设计洪水、堤防设计洪水、桥涵设计洪水等。

对于桥涵、堤防、调节性能小的水库，一般可只推求设计洪峰，如葛洲坝电站为低水头（设计水头 $H = 18.6\text{m}$ ）径流式电站，调节库容（15.8 亿 m^3 ）很小，只能起抬高水头

的作用,故其泄洪闸以设计洪峰流量($Q_m = 110000\text{m}^3/\text{s}$)控制。对于大型水库,调节性能高,可以洪量控制,即库容大小主要由洪水总量决定。如三峡水库,拦洪库容 300.2 亿 m^3 , 龙羊峡总库容 247 亿 m^3 , 丹江口总库容 209 亿 m^3 。一般水库都以洪峰和洪量同时控制。

三、设计洪水的计算途径

1. 设计洪水计算的研究历程

我国在解放初期兴建的一些水利工程中很多是采用历史上曾发生过的最大洪水或加上某一成数作为设计洪水。由于采用历史调查洪水加成数的方法作为设计洪水,具有明显的主观任意性,以及可能出现的洪水具有明显的随机性,因此在我国水利水电工程的设计规范中,目前已较少采用该计算方法。此法存在两方面的缺陷,一是没有考虑未来洪水超过历史最大洪水的可能性,使人们产生不安全感;二是对大小不同、重要性不同的工程采用一个标准,显然不合理。

以符合某一频率的洪水作为设计洪水,如百年一遇洪水、千年一遇洪水等。此法把洪水作为随机事件,根据概率理论由已发生的洪水来推估未来可能发生的符合某一频率标准的洪水作为设计洪水,它可以克服历史洪水加成数方法存在的缺点,根据工程的重要性和工程规模选择不同的标准,适用面较宽,在我国水利、电力、公路桥涵、航道、堤防设计中广泛应用。但用频率计算洪水,以频率规定防洪标准,仍有许多不足之处。如设计标准规定水库设计洪水的重现期是百年一遇或千年一遇,洪水超过这个标准的可能性虽然很小,但是仍然可能出现,因此水库的安全并不能确保,国内外曾发生过多起由于发生超标准的洪水而垮坝的事件。

因频率计算缺乏成因概念,如资料系列太短,用于推求稀遇洪水根据不足。且近年来,我国一再出现超标准的特大洪水,使设计标准一再提高。水文气象法从物理成因入手,根据水文气象要素推求一个特定流域在现代气候条件下,可能发生的最大洪水作为设计洪水。我国在水利水电工程等级划分及洪水标准中规定(见 SL 252—2017 规范):为了使重要的水库能够确保防洪安全,特别是采用土石坝的水库,除规定以频率作为标准外,还规定以可能最大洪水作为保证水库大坝安全的校核标准。

2. 设计洪水计算的常用途径

通常情况下,推求设计洪水(包括洪峰、洪量和洪水过程线)的常用途径主要有以下三类:

(1) 由流量资料推求设计洪水。该途径先求一定频率的设计洪峰流量和各时段的设计洪量,然后将所得的设计洪峰、洪量构成一个完整的设计洪水过程线。主要适用于水文资料比较充分的流域地区。

(2) 由暴雨资料推求设计洪水。该途径先求设计暴雨,再经产流计算和汇流计算,最后求出设计洪水。主要适用于雨量、水文资料比较匮乏的流域地区。

(3) 由水文气象资料推求设计洪水。该途径先分析天气形势和统计风速、露点、降水等气象资料,从而推求可能最大暴雨;然后再经产流、汇流计算求出可能最大洪水。主要适用于气象、大暴雨、水文资料比较充分的流域地区。

不论采用上述哪种途径来推求设计洪水,都要在工程所在断面附近进行洪水调查,其成果可用来参与计算,或作为分析论证的依据。上述三种推求设计洪水的计算途径并不彼

此排斥而是相辅相成的。在实际工作中通常根据资料的情况，平行使用不同的方法，而且对求得成果要通过综合分析才能合理选定。

第二节 入库设计洪水

一、入库设计洪水的定义

入库设计洪水是指符合某一设计标准的通过各种途径进入水库的洪水，它由入库断面洪水和入库区间洪水两部分组成。其中，入库断面洪水是水库回水末端附近干支流河道水文测站的测流断面，或某个设计断面以上的洪水；入库区间洪水又可分为陆面洪水和库面洪水两部分，其中，陆面洪水为入库断面以下，至水库周边以上的区间陆面面积所产生的洪水，库面洪水即库面降雨直接转为径流所产生的洪水。

入库洪水与坝址洪水的主要差异表现在以下几方面：

(1) 库区产流条件改变，使入库洪水的洪量增大。水库建成后，水库回水淹没区由原来的陆面变成水面，产流条件相应发生了变化。在洪水期间库面由陆地产流变为水库水面直接承纳降水，由原来的陆面蒸发损失变成水面蒸发损失。一般情况下，洪水期间库面的蒸发损失不大，可以忽略不计，而库区水面产流量比相应陆面要大。因此，同样的降水量下，建库后入库洪量比建库前洪量大，但随着时段的增长，这种差别会减小。

(2) 流域汇流时间缩短，入库洪峰流量出现时间提前，涨水段的洪量大增。建库后，洪水由干支流的回水末端和水库周边入库，洪水在库区的传播时间比原河道的传播时间缩短，洪峰出现的时间相应提前，而库面降水集中于涨水段，涨水时段的洪量增大。

(3) 河道被回水淹没成为库区。原河槽调蓄能力丧失，再加上干支流和区间陆面洪水常易遭遇，使得入库洪水的洪峰增高，峰形更尖瘦。据近年来对我国 32 座水库的分析，入库与坝址洪峰流量的比值在 1.01~1.54 之间。

二、入库洪水的计算

建库前，水库的入库洪水不能直接测得，一般是根据水库特点、资料条件，采用不同的方法分析计算。依据资料不同，可分为由流量资料推求入库洪水和由雨量资料推求入库洪水两种类型。

由流量推求入库洪水又可划分如下：

(1) 合成流量法。分别推算干支流和区间等各部分的洪水，然后演进到入库断面处，再同时刻叠加，即得入库洪水。这种方法概念明确，只要坝址以上干支流有实测资料，区间洪水估计得当，一般计算成果较满意。

(2) 马斯京根法。当汇入水库周边的支流较少，坝址处有实测水位流量资料，干支流入库点有部分实测资料时，可根据坝址洪水资料用马斯京根法，即反演进的方法推求入库洪水。这种方法对资料的要求较少，计算也比较简便。

(3) 槽蓄曲线法。当干支流缺乏实测洪水资料，但库区有较完整的地形资料时，可利用河道平面图和纵横断面图，根据不同流量的水面线（实测、调查或推算得来）绘制库区河段的槽蓄曲线，采用联解槽蓄曲线与水量平衡的方法，由坝址洪水推求入库洪水。本方法计算成果的可靠程度与槽蓄曲线的精度有关。

(4) 水量平衡法。水库建成后,可用坝前水库水位、库容曲线和出库流量等资料用水量平衡法推算入库洪水。计算式为

$$\bar{I} = \bar{Q} + \frac{\Delta V_{\text{损}}}{\Delta t} + \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2-1)$$

式中: \bar{I} 为时段平均入库流量, m^3/s ; \bar{Q} 为时段平均出库流量, m^3/s ; $\Delta V_{\text{损}}$ 为水库损失水量, m^3 ; ΔV 为时段始末水库蓄水量变化值, m^3 ; Δt 为计算时段, s 。

平均出库流量包括溢洪道流量、泄洪洞流量及发电流量等,也可采用坝下游实测流量资料作为出库流量;水库损失水量包括水库的水面蒸发和枢纽、库区渗漏损失等,一般情况下,在洪水期间,此项数值不大,可忽略不计;水库蓄水量变化值,一般可用时段始末的坝前水位和静库容曲线确定,如动库容(受库区流量的影响,库区水面线不是水平的,此时水库的库容称为动库容)较大,对推算洪水有显著影响,宜改用动库容曲线推算。

三、入库设计洪水的计算方法

按我国现行规范的规定,水利水电工程一般采用坝址设计洪水。但是,对具有水库的工程,当建库后产汇流条件有明显改变,采用坝址设计洪水对调洪影响较大时,应以入库设计洪水作为设计依据。入库设计洪水计算方法有以下两类。

1. 频率计算法

具有长期入库洪水系列及历史入库洪水资料时,可用频率计算法推求各种标准的入库设计洪水。入库洪水系列可根据资料情况的不同来选取。

(1) 当水库回水末端附近的干流和主要支流有长期洪水资料时,可用流量叠加法推求历年入库洪水。

(2) 当坝址洪水系列较长,而入库干支流资料缺乏时,可将一部分年份或整个坝址系列用马斯京根法或槽蓄曲线法,转换为入库洪水系列。若只推算部分年份的入库洪水时,可先根据推算的成果,建立入库洪水与坝址洪水的关系,根据上述关系将未推算的其余年份转换为入库洪水,与推算的年份共同组成入库洪水系列。

2. 根据坝址设计洪水推算入库设计洪水

由于资料条件的限制不能推算出入库洪水系列时,可先计算坝址各种设计标准的设计洪水,再用马斯京根法或槽蓄曲线法,将已计算的坝址设计洪水反演算得入库设计洪水。但根据实测资料分析的汇流参数或槽蓄曲线应用于稀遇的设计洪水时,应注意分析外延的合理性。

至于入库设计洪水过程线的推求,可选择某典型年的坝址实测洪水过程线,用前述方法推算该典型年的入库洪水过程,然后用坝址洪水设计值的倍比求得入库设计洪水过程线。

第三节 分期设计洪水

为了水库管理调度运用和施工期防洪的需要,必须计算分期设计洪水。所谓分期设计洪水是指一年中某个时段所拟定的设计洪水。计算分期设计洪水的方法是在分析流域洪水季节性规律的基础上,按照设计和管理要求,把整个年内划分为若干个分期,然后在分期的时段内,按年最大值法选样,进行频率计算。

一、洪水季节性变化规律分析和分期划分

划定分期洪水时，应对设计流域洪水季节性变化规律进行分析，并结合工程的要求来考虑。分析时要了解天气成因在季节上的差异，年内不同时期洪水峰量数值及特性（如均值、变差系数）的变化，全年最大洪水出现在各个季节的情况，以及不同季节洪水过程的形状等。同时，可根据本流域的资料，将历年各次洪水以洪峰发生日期或某一历时最大洪量的中间日期为横坐标，以相应洪水的峰量数值为纵坐标，点绘洪水年内分布图，并描绘平顺的外包线，如图 2-3 所示。如有调查的特大洪水，亦应点绘于图上。

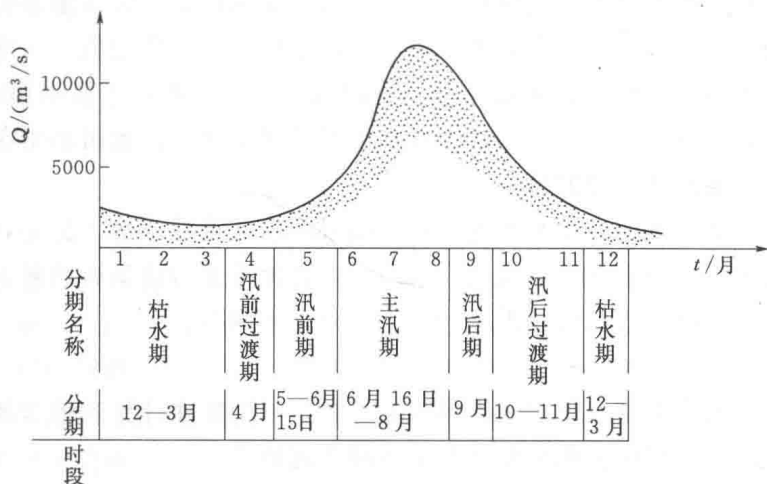


图 2-3 某水文站洪水年内分布及分期示意图

在天气成因分析和上述实测资料统计基础上，并考虑工程设计的要求，划定分期洪水的时段。

分期的一般原则为：尽可能根据不同成因的洪水，把全年划分为若干分期。

分期的起讫日期应根据流域洪水的季节变化规律，并考虑设计需要确定。分期不宜太短，一般以不短于 1 个月为宜。由于洪水出现的偶然性，各年分期洪水的最大值不一定正好在所定的分期内，可能往前或往后错开几天。因此，在用分期年最大选择时，有跨期和不跨期两种选择方法。跨期选择时，为了反映每个分期的洪水特征，跨期选择的日期不宜超过 5~10 日。

二、分期设计洪水的计算方法

(1) 分期划定后，分期洪水一般在规定时段内，按年最大值法选择。当一次洪水过程位于两个分期时，视其洪峰流量或时段洪量的主要部分位于何期，就作为该期的样本，不作重复选择。这种选取方法称为不跨期选择。

(2) 分期特大洪水的经验频率计算，应根据调查考证资料，结合实测系列分析，重新论证，合理调整。分期洪水的统计参数计算和配线方法与年最大洪水相同。对施工洪水，由于设计标准较低，当具有较长资料时，一般可由经验频率曲线查取设计值。

(3) 分期设计洪水过程线的推求。施工初期围堰往往以抵御洪峰为主，一般只要求设计洪峰流量；大坝合龙后，则以某个时段的设计洪量为主要控制，故要求设计洪峰和一定时段的设计洪量，如进行调洪，则需要设计洪水过程线。中小型工程的施工设计洪水，一