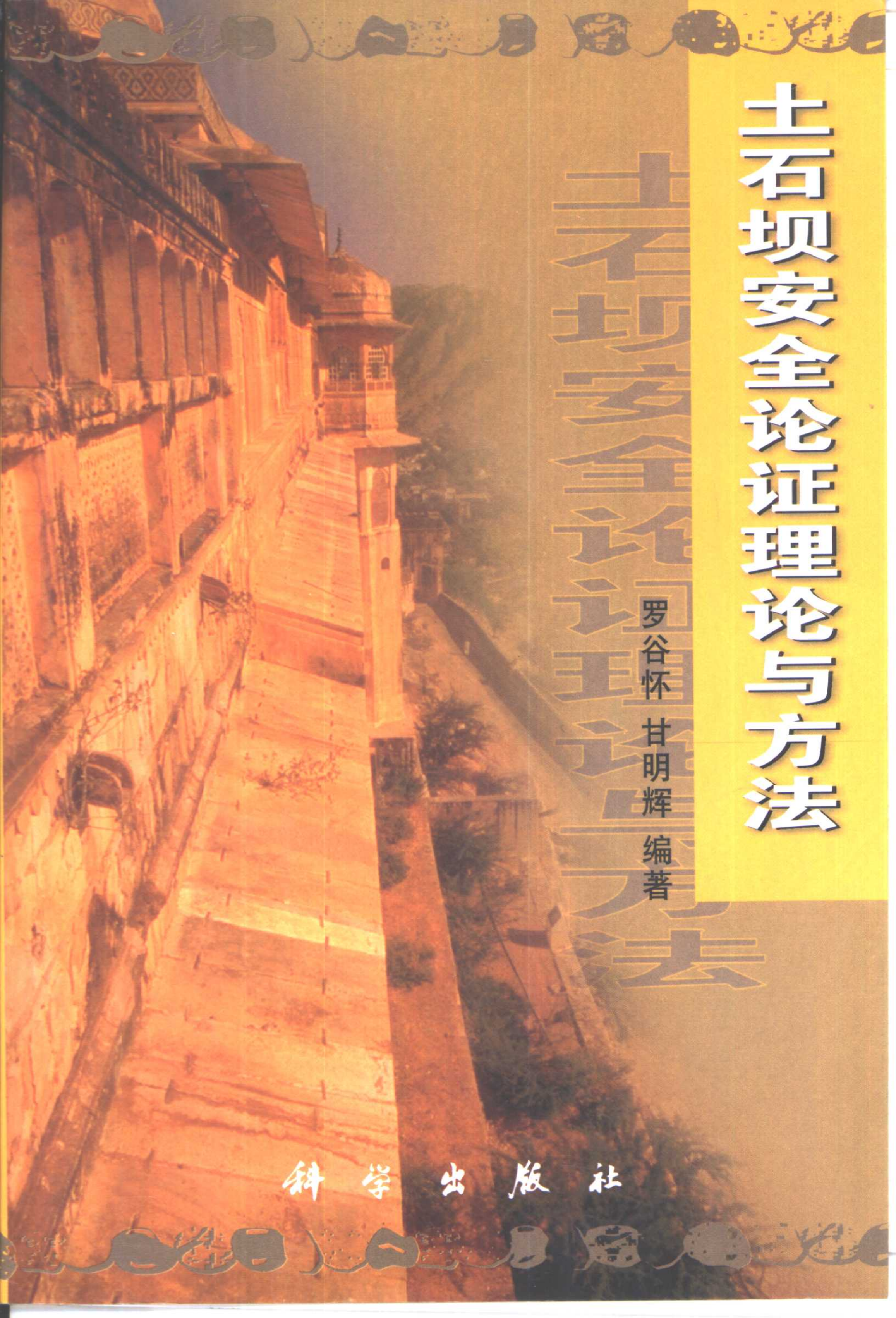




土石坝安全论证理论与方法

罗谷怀 甘明辉 编著

科学出版社

土石坝安全论证理论与方法

罗谷怀 甘明辉 编著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书介绍土石坝安全论证的有关理论与方法。主要内容有:洪水复核及防洪分析、渗流计算分析、应力应变分析、坝坡稳定计算分析、主要建筑物结构安全复核、抗震安全复核、安全分析计算程序及实践实例,特别对目前国内较为先进的安全分析计算程序作了简要的介绍。

全书通俗易懂、理论与方法浅显实用、可操作性强,可供抗洪、防洪第一线的工程技术人员、土石坝设计和维护的技术人员以及大专院校相关专业的师生参考。

土石坝安全论证理论与方法

罗谷怀 甘明辉 编著

责任编辑 徐一帆

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

武汉大学出版社印刷总厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2001年8月第一版 开本:850×1168 1/32

2001年8月第一次印刷 印张:12

印数:1—1 000 字数:317 000

ISBN 7-03-009706-8/IV·20

定价:21.50 元

序

新中国成立以来,我国兴建了 15m 以上的大坝 1.8 万余座,其中绝大多数是土石坝。这些大坝在国民经济和社会发展中已经而且正在发挥着重要的作用。但是,由于各种原因(如当时水文资料的短缺、筑坝技术的限制、施工质量的影响、自然环境的作用等),加之运行年龄已达 30~50 年,因此,许多大坝存在不同程度的安全隐患,大坝安全问题越来越受到国家的重视和人们的关注。一些调查资料显示,我国 20 世纪 50~60 年代修建的许多土石坝已成为“病坝”或“险坝”,由此造成的经济损失数以亿计,亟待进行安全论证和安全改造。

大坝安全是关系到国计民生的大事,世界各国对大坝安全历来十分重视。我国先后成立了水利部大坝安全管理中心等全国性的大坝安全管理机构,颁布了一系列涉及大坝安全问题的法规和文件,对大坝安全定期检查、大坝安全论证、大坝安全改造等问题作出了明确而且严格的规定。水利部已经开始对所属大坝(主要为土石坝)开展全面的安全论证工作,并计划陆续投入大量的人力和资金,对病、险大坝进行安全改造。土石坝安全论证工作已经成为一项关系国民经济建设、具有重要理论价值和现实意义、需要从理论和实践上进行认真研究的重大课题。

本书作者长期从事土石坝安全论证工作,具有雄厚的理论知识,积累了丰富的实践经验,已经形成了一套系统的、完整的土石坝安全论证的理论和方法。本书对土石坝安全论证中的水库洪水复核、土石坝渗流计算、应力应变分析、坝坡稳定分析、溢洪道及水工隧洞结构复核以及土石坝抗震分析等问题进行了全面、深入的研究,并对湖南省黄石水库大坝安全论证成果进行了详细介绍,资料丰富,内容翔实,是一部具有很高学术水平、蕴含宝贵工程经验

的土石坝安全论证专著,填补了我国在这方面的空白。本书的出版,对目前正在全国范围内开展的土石坝安全论证工作具有良好的指导作用,必将为改善我国的大坝安全状况作出重要贡献。是以欣然为序。

中国工程院院士

張勇傳

2000年10月于华中科技大学

前 言

随着社会的进步和国民经济的发展,人们对大坝的安全,尤其是五六十年代建成的土石坝的运行安全愈来愈关注。特别是1998年的大洪水后,各级水行政主管部门都十分重视土石坝的安全分析工作,水利部先后颁发了有关文件及《大坝安全分析导则》等指导性文献。各省、市、自治区先后组织设计、施工、科研、管理等单位对土石坝进行相关安全分析工作。为使该工作更加系统、科学、严谨、有效,作者在总结过去十余年理论研究成果和实际工作经验的基础上,提出了土石坝安全论证的理论与方法,以期今后的大坝安全分析工作做出贡献。

作者于1991年开始从事大坝安全论证工作,现已完成湖南、广东等地160余座大坝安全论证工作。渗流是安全论证的核心内容。传统的固定网格法,一定程度上可以解决许多实际问题,但同时也存在着缺陷和不足之处。安全论证期间我对土石坝的渗流分析进行了大量的实用化研究,提出了稳定渗流和非稳定渗流分析的新方法,为正确分析土石坝的渗流场,建立了稳定渗流和非稳定渗流的反分析理论。结合安全论证的其他工作,形成了一套完整的适用于大坝安全论证的体系。本书系统地介绍了大坝安全论证工作所需各方面的理论和方法,也介绍了作者工作中成功的经验,对作者在渗流方面的研究成果和对湖南省黄石水库大坝安全论证成果进行了较为详细的介绍。

本书共分为八章,第一章对洪水复核的基本理论和方法进行了介绍,包括防洪风险分析。第二章介绍了渗流观测资料整理方面的方法和经验,基于渗流计算的基本理论,提出了渗流分析的新方法和渗流反演分析的理论。第三章在总结土石坝变形的一般规律后,介绍了土石坝变形分析的理论和方法。第四章为稳定分析

的理论和方法及步骤等内容。第五章是其他主要建筑物安全复核方面的内容。第六章为考虑地震影响后土石坝的稳定分析的理论和方法。第七章介绍在安全论证中采用的程序软件包,包括洪水计算、渗流、变形、应力应变、建筑物结构安全、抗震以及以上各种计算的前后处理等计算软件的编制和使用说明,参数的选取及计算注意事项等,本章均作了较为系统的说明。第八章对湖南省黄石水库大坝安全论证成果进行了介绍。

本书的完成得到了各方面的大力支持,在此一并表示感谢。作者特别要感谢华中科技大学张勇传院士,他在百忙之中仔细阅读了书稿,提出了宝贵的意见,并为本书作序。感谢湖南省水利厅宓维孝、陈次武、彭文斌高工为本书的主体框架和许多细部编写提供了宝贵的建议,感谢武汉大学彭华博士、何金平博士的大力支持。

罗谷怀

2001年3月

目 录

1. 洪水复核及防洪经验分析	1
1.1 洪水标准	1
1.2 设计洪水的推求	3
1.3 调洪演算	10
1.4 防洪高程复核	11
1.5 防洪风险分析	16
2. 渗流计算分析	21
2.1 渗流计算分析的主要内容及目的	21
2.2 渗流观测资料的整理与初步分析	23
2.3 渗流计算分析的基本理论	25
2.4 渗流反演分析的理论及模型	33
2.5 渗流稳定与渗流控制	42
3. 应力应变分析	48
3.1 土石坝变形的一般规律	48
3.2 土石坝变形的计算分析方法	60
4. 坝坡稳定计算分析	70
4.1 坝坡稳定计算的基本理论	70
4.2 边坡稳定计算的基本方法	73
4.3 确定抗剪强度方面的几个问题	87
4.4 确定强度指标和分析方法的具体步骤	97
5. 主要建筑物结构安全复核	104
5.1 溢洪道的结构安全复核	104
5.2 水工隧洞的结构安全复核	113
6. 抗震安全复核	116
6.1 地震烈度的确定	116
6.2 抗震计算理论	118
6.3 主、副坝抗震稳定分析	119

6.4 溢洪道的抗震稳定复核 126

7. 安全分析计算程序 133

8. 实例:湖南省黄石水库大坝安全论证 160

8.1 黄石水库基本情况简介 160

8.2 黄石水库大坝安全论证工作的主要作法 169

8.3 黄石水库大坝安全论证综合意见 172

8.4 黄石水库大坝设计施工资料简编 204

8.5 黄石水库主坝原型观测资料的整理与初步分析 216

8.6 黄石水库大坝土工实验报告 254

8.7 黄石水库大坝现场检查报告 261

8.8 黄石水库设计洪水复核及防洪安全校核 284

8.9 黄石水库主坝渗透分析报告 305

8.10 黄石水库主坝稳定计算分析 321

8.11 黄石水库主坝变形及裂缝分析 332

8.12 黄石水库溢洪道泄洪能力及闸墩裂缝分析报告 346

8.13 黄石水库大坝左岸隧洞结构安全复核 363

1

洪水复核及防洪经验分析

本章的主要内容包括确定建筑物的等级及防洪标准;通过水文气象观测资料推求设计洪水,并经过调洪演算确定各种特征水位;校核坝顶高程及溢洪道控制段顶部高程是否满足规范要求;最后作出防洪风险图,为防洪调度决策提供依据。

1.1 洪水标准

1.1.1 工程等级的划分

水利水电枢纽工程,根据其工程规模、效益和其在国民经济中的重要性,可以分为5等,其等别按表1-1确定。然后根据工程的等别、作用和重要性分为5级,其级别按表1-2的规定确定。

表 1-1 水利水电枢纽工程的等别

工程 等别	水 库		防 洪		治 涝	灌 溉	供 水	水 电 站
	工程 规模	总 库 容 (10^8m^3)	城镇及工 矿企业的 重 要 性	保护 农田 (万 亩)	治涝 面积 (万 亩)	灌溉 面积 (万 亩)	城镇及工 矿企业的 重 要 性	装机 容量 (10^4kW)
I	大(1)型	>10	特别重要	>500	>200	>1500	特别重要	>120
II	大(2)型	10~1.0	重 要	500~100	200~60	150~50	重 要	120~30
III	中 型	1.0~0.10	中 等	100~30	60~15	50~5	中 等	30~5
IV	小(1)型	0.10~0.01	一 般	30~5	15~3	5~0.5	一 般	5~1
V	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

表 1-2 水工建筑物的级别

工程等别	永久性水工建筑物级别		临时性水工建筑物级别
	主要建筑物	次要建筑物	
I	1	3	4
II	2	3	4
III	3	4	5
IV	4	5	5
V	5	5	

1.1.2 洪水标准的确定

土石坝工程的防洪标准,根据以上确定的建筑物的等级,按表 1-3 确定。

表 1-3 土石坝工程防洪标准

建筑物级别		1	2	3	4	5
防洪标准 [重现期(年)]	设计	1000~500	500~100	100~50	50~30	30~20
	校核	可按最大洪水 PFM 或 10000~5000	5000 ~2000	2000 ~1000	1000 ~300	300 ~200

土石坝遭遇洪水漫顶,其后果严重,它的防洪标准一般应高于其他坝型,特别是在其下游又有重要的城镇或工矿企业等设施,坝一旦失事,将对下游造成重大灾害,为保证下游的安全或具有较高的安全度,规范^[1]规定各级建筑物的校核防洪标准可提高一级。其中“1 级建筑物的校核防洪标准,应采用可能最大洪水(PMF)或 10000 年一遇”。

低水头的水库枢纽工程,下游没有重要的城镇或工矿企业等设施的,枢纽万一失事,损失不大,对这类挡水和泄水建筑物,其防洪标准太高似无太大的必要。规范^[1]规定“经过专门论证并报主管部门批准,其校核防洪标准可降低一级”。

1.2 设计洪水的推求

设计洪水的计算,包括洪峰流量、时段洪量、洪水过程线等,根据资料条件,可采用以下一种或几种方法进行计算。

(1) 坝址或其上、下游邻近地点具有 30 年以上实测和插补延长洪水流量资料,并有调查历史洪水时,应采用频率分析法计算设计洪水。

(2) 工程所在地区具有 30 年以上实测和插补延长暴雨资料,并有暴雨洪水对应关系时,可采用频率分析法计算设计暴雨,推算设计洪水。

(3) 工程所在流域内洪水和暴雨资料均短缺时,可利用邻近地区实测或调查暴雨和洪水资料,进行地区综合分析,估算设计洪水。

以上(1)、(2)属有资料地区设计洪水的推求,(3)属于无资料地区设计洪水的推求。

1.2.1 有资料地区设计洪水的推求

关于有资料地区设计洪水的推求,规范[2]、[3]已作了较为详尽、系统的阐述,这里只作一些简要的说明。

1. 基本资料的收集与整理分析

基本资料的收集与整理分析包括资料的搜集与复核,洪水和暴雨资料的插补延长,以及历史洪水和暴雨的调查与考证。

基本资料是洪水分析计算的基础。应当根据流域自然地理特性、工程特点及设计洪水计算方法,搜集整理有关资料。一类是流域自然地理特性及与产汇流有关的河道特征资料,如流域及工程地理位置、流域面积、地形、河长、坡度等;一类是分析计算设计洪水所直接引用的资料,如暴雨、洪水、历史洪水资料、产汇流分析成果、洪水特性等。

当流域内治理开发程度较高,影响了洪水资料的一致性,需要还原时,应搜集流域内已建、在建的中、小型水库及引水、提水、水

土保持等方面的资料。并对所搜集的资料进行系统的整理分析。

2. 根据流量资料计算设计洪水

(1) 洪水系列。频率计算中的洪峰流量和不同的时段的洪量系列,应由每年最大值组成。当洪水特性在一年内随季节或成因明显不同时,可分别进行选择统计,但划分不宜过细。

(2) 经验频率。在 n 项连续洪水系列中,按大小顺序排位的第 m 项洪水的经验频率 P_m ,可采用下列数学期望公式计算:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (1-1)$$

在调查考证期 N 年中有特大洪水 a 个,其中有 L 个发生在 n 项连续系列内,这类不连续洪水系列中各项洪水的经验频率可采用下列数学期望公式计算。

1) a 个特大洪水的经验频率为

$$P_m = \frac{M}{N+1} \quad m = 1, 2, \dots, a \quad (1-2)$$

2) $n-L$ 个连续洪水的经验频率为

$$P_m = \frac{a}{N+1} + \left(1 - \frac{a}{N+1}\right) \frac{m-L}{n-L+1} \quad m = L+1, \dots, n \quad (1-3)$$

或
$$P_m = \frac{m}{n+1} \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (1-4)$$

3. 频率曲线统计参数及设计值

频率曲线的线型一般应采用皮尔逊Ⅲ型。特殊情况,经分析论证后也可采用其他线型。频率曲线的统计参数采用均值 $\bar{X}$ 、变差系数 C_v 和偏态系数 C_s 表示。统计参数的估计可按下列步骤进行。

(1) 采用矩阵法或其他参数估计法,初步估算统计参数。

(2) 采用适线法调整初步估算的统计参数。调整时,可选定目标函数求解统计参数,也可采用经验适线法。当采用经验适线法时,应尽可能拟合全部点据,拟合不好时,可侧重考虑较可靠的大洪水点据。

(3) 适线调整后的统计参数应根据本站洪峰、不同时段洪量

统计参数和设计值的变化规律,以及上下游、干支流和邻近流域各站的成果进行合理性检查,必要时可作适当调整。

4. 设计洪水过程线

设计洪水过程线应选资料较为可靠、具有代表性、对工程防洪运用较不利的大洪水作为典型,采用放大典型洪水过程线的方法推求。

放大典型洪水过程线时,可根据工程和流域洪水特性,采用下列方法。

(1) 同频率放大法。按设计洪峰及一个或几个时段洪量同频率控制放大典型洪水,也可按几个时段洪量同频率控制放大,所选用的时段2~3个为宜。

(2) 同倍比放大法。按设计洪峰或某一时段设计洪量控制,以同一倍比放大典型洪水。

5. 入库设计洪水

历年或典型年的入库洪水,可根据资料条件选用下列方法分析计算。

(1) 流量叠加法。在水库周边附近有水文站,其控制面积占坝址以上面积的比重较大、资料较完整可靠时,可分干支流、区间陆面和库面分别推算分区的入库洪水,再叠加为集中的入库洪水。当干流及支流有实测水文资料,干、支流水文站以下至坝址未控区间有雨量资料时可用此法。

(2) 流量反演法。汇入库区的支流洪水所占比重较小时,可采用马斯京干法或槽蓄曲线法推算入库洪水。

(3) 水量平衡法。对于已建水库,可根据水库下泄流量及水库蓄水量的变化反推入库洪水。

6. 根据设计暴雨资料推算设计洪水

(1) 设计暴雨。当设计流域内具有一定雨量资料时,一般假定设计暴雨与相应的设计洪水同频率,而由设计暴雨推算设计洪水。设计暴雨包括设计流域各种历时的面平均雨量、设计暴雨的时程分配、设计暴雨在流域面上的分布图形。在计算设计暴雨时

应根据流域特性、资料条件及计算设计洪水需要,确定设计暴雨的计算内容。

1) 流域各种历时设计面平均暴雨量根据流域面积大小和资料条件,可采用以下方法计算。

① 当流域各种历时面平均暴雨量系列较长时,应采用暴雨频率分析的方法直接计算。

② 当流域面积较小,各种历时面平均暴雨量系列短缺时,可用相应历时的设计点暴雨量和暴雨点面关系间接计算。

暴雨点面关系,一般应采用本地区综合的定点定面关系,当资料条件不具备时也可借用动点动面关系,但应设法作适当修正。

③ 当流域面积很小时,可用设计点暴雨作为流域设计面平均暴雨量。

2) 工程复核所需的种种历时设计点暴雨量。目前国内大多数地区的短历时雨量观测资料已积累了二三十年或更长,其系列可供频率分析之用。在这种条件下,应尽可能不再沿用以往将24h设计雨量配暴雨递减指数 n 来推求短历时的设计雨量的方法。当缺乏自记雨量记录或人工观测雨量分段较少,需要采用24h设计雨量 n 值推求设计短历时雨量时,应注意了解雨强随历时变化曲线的拐点数和拐点位置,分析 n 值的合理性,估计常遇暴雨 n 值和稀遇暴雨 n 值的差异及其对推求短历时暴雨的影响。

(2) 可能最大暴雨。可能最大暴雨的推求,一般使用当地暴雨放大法或暴雨移置法。

放大暴雨时,应根据所选暴雨的具体情况,确定放大方法和放大指标。

1) 当所选暴雨为罕见特大暴雨时,可只作水汽因子放大。以地面露点作为水汽因子指标,应分析地面露点在时间和地区上的代表性。

2) 当所选暴雨非罕见特大暴雨,动力因子与暴雨有正相关趋势时,可作水汽和动力因子放大。放大时应分析上述因子的合理组合。对风速指标应分析代表站风速在时间及空间上的代表性。

放大时应根据因子的物理特性,选用暴雨过程中实测资料的最大值或重现期为 50 年的数值作为放大指标。

移置暴雨时必须研究移置的可能性。设计流域与移置暴雨发生地区应有相似的天气、气候、地形条件。暴雨移置时,应根据地理位置、地形条件的差异对暴雨进行移置改正。

(3) 产汇流计算。产流和汇流计算应根据设计流域的水文特性、流域特征和资料条件,选用不同的方法。产流计算可采用暴雨径流相关与扣损等方法。汇流计算可采用单位线、河网汇流曲线等方法。如流域面积较小可用推理公式计算。当资料条件允许时,也可采用流域模型进行计算(如新安江三水源模型等)。

1.2.2 无资料地区设计洪水的推求

我国大多数水库,由于管理和资金等方面的原因,一般都未设水文观测站,即无流量资料,有的还无雨量资料。基本上都属于无资料的水库,在洪水复核过程中,我们只能按无资料地区小流域设计洪水推求的方法对水库的洪水进行复核,即用推理公式法推求设计洪水。

1. 推理公式的概化假定和基本形式

推理公式是把流域上的产汇流条件均匀概化以后,从水流的连续和运动方程直接推出计算流域出口断面洪峰流量的公式,它采用的主要概化假定有:①流域汇流时间 τ 内的净雨强度 i_t 不变,即可用平均净雨强度 i_τ 来表达;②汇流面积 $\frac{d\omega(\tau)}{d\tau}$ [即汇流面积 $\omega(\tau)$ 随时间的变化率] 概化为矩形,而且沿程的汇流速度不变。在这两个概化假定条件下,洪峰流量是由全汇流面积参与形成,即通常所说的全汇流面积选峰的概念。

根据径流成因公式,洪峰流量应出现在汇流面积曲线与相应净雨过程对应乘积之和为最大时,即

$$Q_m = \left| \int_{t-\tau} \left(\frac{d\omega(\tau)}{d\tau} \right) i_{t-\tau} d\tau \right|_{\max} \quad (1-5)$$

按上述假定,公式(1-5)可改写成

$$Q_m = 0.278 \left(\frac{R}{t} \right) \times F \quad (1-6)$$

式中: Q_m 为洪峰流量(m^3/s);

R 为单一洪峰的净雨(mm);

F 为流域面积(km^2);

τ 为汇流时间(h);

0.278 为单位换算系数。

利用流域的平均汇流速度综合反映坡面汇流和河道汇流的特性,并采用 $V_r = mJ^\alpha Q_m$ 形式,则流域的汇流历时 τ 为

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^\alpha Q_m} \quad (1-7)$$

式中: L 为沿主河从出口断面至分水岭的最长距离(km);

J 为沿流程 L 的平均比降;

m 为经验性的汇流参数;

α, β 为经验性指数。

上述公式即为推理公式的基本形式,它包含了反映流域供水情况的净雨过程和水流运动情况的汇流过程。

2. 洪峰流量的计算

应用上述公式解算洪峰流量常用图解试算法。该法是适用于各种形式的雨量历时关系表达式和不同的扣除损失与入渗过程的方法。根据已知的某频率的净雨过程,自最大净雨强度开始向前后相邻时段连续累加,并除以相应的历时,得时段平均最大净雨强度 Rt/t ,点绘 $Rt/t \sim t$ 相关线,再根据已知的流域特征值和汇流参数 m 进行试算。

3. 洪水过程线

应用推理公式法求出设计洪峰流量以后,尚需选配洪水过程线,一般采用概化过程线法。

(1) 地表径流过程

$$\sum Q_i = \frac{R_{\text{上}} F}{3.6 \Delta t} \quad \Delta Q_{\text{地}}(t) = M(t) \times \sum Q_i \quad (1-8)$$