

# 堤防建设最佳洪水标准研究概述

熊义泳 陈 述 姚文武

(南昌工程学院 江西 南昌 330029)

摘要 介绍堤防建设最佳洪水标准研究的起因、发展过程与运用情况。着重说明现代防洪理念、策略和一种改进风险经济分析的决策方法。

关键词 堤防工程 洪水标准 运用研究

中图分类号 :TV871 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2009)S1-0062-03

## 1 问题的提出

堤防建设是指按规划新建、改建、灾后重建以及加固或加高加固堤防的建筑工程。

1998 年长江发生特大洪水之后 ,关于堤防工程的建设受到国内越来越多专家和学者的关注。堤防建设最重要的问题是安全决策 ,而安全决策的本质则是确定设防标准 ,正确处理堤防工程建设中安全与经济的矛盾。因此 ,选择堤防建设最佳洪水标准就是选择堤防工程的最佳建设方案 ,有关堤防建设最佳洪水标准的研究也就是堤防工程的优化设计研究。

传统的确定设计洪水标准的方法是采用《防洪标准》和《堤防工程设计规范》<sup>[1-2]</sup> (以下简称《规范》)规定的方法。由于影响洪水标准的因素很多 ,考虑到我国幅员辽阔 ,自然地理条件差异很大 ,《规范》<sup>[1-2]</sup>给出的设计洪水标准只是一个上、下限 ,同时还允许提高或降低一级。但是如何根据实际情况选择合适的洪水标准 (即最佳洪水标准) ,一直是水利工作者长期思考的一个问题。

## 2 早期的洪水标准研究

为了妥善解决堤防建设中安全与经济的矛盾 ,找到堤防建设的最佳洪水标准 ,早就有人分析过国内外的防洪标准。研究表明 ,美国、印度等国的防洪标准较高 ,日本等国洪水标准较低 ,但可靠度较大 ,即使是土石坝漫顶 ,也未必垮坝。我国现行洪水标准 ,基本上相当于各国的平均水平。

根据国内外洪水标准比较<sup>[3-4]</sup>、历史洪水资料分析 ,以及几次洪水标准的调整 ,国内不少专家学者研

究认为 ,我国《防洪规范》的洪水标准已趋近完善合理。预期现行《防洪规范》以及洪水标准会指导一个较长的历史时期。

现行《规范》规定的堤防洪水标准不是合理与不合理的问题 ,而是怎样在规范规定的范围内取一个较合适的洪水标准问题。由于影响洪水及洪灾损失的因素很多 ,而且这些因素都具有不确定性。因此只能用风险分析的方法进行安全决策 (确定合适的洪水标准)。有专家认为 ,早期的通用洪水标准是第一代洪水标准 ,现行的按工程规模、防洪对象确定的洪水标准属第二代洪水标准。由于现行规范按工程规模、垮坝 (溃堤)造成损失的划分都比较粗糙 ,今后 ,在现行规范基础上 ,采用可靠度理论 (即基于风险理论)分析的最佳洪水标准 ,将有可能成为第三代洪水标准。

## 3 现代防洪理念

### 3.1 正确认识洪水

洪水是一种致灾因子 ,更是一种宝贵的水资源。由于影响洪水灾害的因素非常复杂 ,就目前人们的认识水平还不能完全认识洪水规律。因此要完全不发生洪水灾害是不可能的。人类要有承受一定洪灾风险损失的心理准备。当洪灾发生时 ,能正确接受洪灾损失事实 ,正确对待洪水灾害。

### 3.2 防洪减灾策略

洪水灾害并非都是完全自然发生的 ,人类的活动 (如过度开发、消耗能源、破坏环境等)是导致近年来洪水灾害损失急剧上升的主要原因。人类必须以科学的态度从长远和全局的利益考虑 ,既要建坝筑

堤适当地控制洪水,改造自然;又要主动地适应洪水,让洪水有序地存储在水库或湖泊里,有序地在正常河道内出流。人与自然和谐相处,人与水和谐相处,这就是现代防洪减灾的根本策略与核心理念<sup>[5]</sup>。

### 3.3 洪灾分类与防洪减灾目标

洪水灾害主要有3个方面:①经济损失。如农业损失、个人财产损失等;②生命损失。如不能用货币来量化的损失,如人的生命损失等;③社会、生态环境损失。如洪水对人体健康与精神方面的伤害,对社会与自然环境的负面影响等。

在传统的洪水安全决策中,由于生命与环境难以用货币量化,因此比较重视经济利益。而现代防洪理念,则是以人为本,在确定防洪减灾目标时,更强调保障生命安全,保护生态环境,追求社会、经济与环境的综合效应最佳。

### 3.4 防洪减灾的基本途径

#### 3.4.1 保护生态环境

由于世界气候变暖,空气中的水蒸气能量更大,从而有可能使暴雨更频繁、强烈,如2008年的缅甸大水。从宏观上讲,保护环境就是减少暴雨造成特大洪水的可能性。讲防洪减灾首先是保护生态环境。国务院提出的“封山植树、退耕还林、退田还湖、平垸行洪、以工代赈、移民建镇、加固干堤、疏缓河道”的综合治理方针,就是要保护环境,保护人类,力求人与自然、人与水和谐相处。在人的生命得到充分重视、环境得到保护的前提下搞防洪工程建设才有意义。

#### 3.4.2 工程措施与非工程措施相结合

堤防工程是一种抗御洪水的工具,但是,要有效地抵抗洪水,减少洪水灾害,还必须科学地管理工程,使工程措施与非工程措施相结合。在堤防工程的建设中,工程措施与非工程措施结合的方法是选择合适的洪水标准,也就是选择堤防建设最佳洪水标准。根据这种理念,制定合理的防洪方案和洪水调度方案,确保标准内防洪安全,在遇超标洪水的情况下将洪灾损失减少到最低的程度,使防洪成本最低,防洪综合效益最高。

#### 3.4.3 科学的防洪安全决策

由于影响洪水及洪水灾害的因素很多,而且都带有不确定性,因此,堤防工程的安全决策只能是风险决策,只能用风险理论(可靠度理论)分析最佳洪水标准。用先进的科学理论指导防洪工作,也是取得防洪减灾胜利的基本保证。

## 4 堤防建设最佳洪水标准的分析方法

### 4.1 现代防洪安全决策的方法

现代防洪安全决策的方法主要有以概率为基础

的风险校核方法、风险经济分析方法和允许风险分析方法。选择堤防建设最佳洪水标准的方法主要是风险经济分析方法。

20世纪末,有人提出了基于可靠度的与堤防设计洪水位有关的3类堤防建设决策模型<sup>[6]</sup>,为后来建立堤防工程最佳洪水标准的分析方法奠定了理论基础<sup>[7]</sup>。经过一段时间的研究完善,形成了当今分析堤防建设最佳洪水标准的改进风险经济方法。

### 4.2 改进风险经济分析方法

堤防工程的改进风险经济分析方法,首先要求所选的洪水标准在现行《规范》规定的范围之内,它的目的不仅仅在于合法、可行,更重要的是提供一个广泛的、可以被公众接受的安全水平。除了满足规范要求外,还要采取措施关爱人的生命,保护生态环境,使生命损失与环境损失降低到一个更低的水平。方案比较时,要求用经济代价使比较的各个方案的生命损失与环境损失期望值相同或相近;在相同或相近的生命损失、环境损失的基础上,再比较经济指标,从而可得出一个社会、经济、环境综合最优的洪水标准或堤防建设方案。

## 5 风险分析的计算内容与计算方法

风险是事件发生的概率与产生后果的乘积。对防洪工程而言,风险包括水文风险、水力风险和水工结构系统的风险等。在堤防工程的改进风险经济分析方法中,也就是在选择堤防建设最佳洪水标准中,要求计算堤防工程的风险率和堤防工程失事(溃坝决堤)产生的洪灾损失,计算工程造价与管理费用等。工程造价与管理费用的计算都比较成熟,需要说明的是风险率与洪灾损失的计算问题。

### 5.1 风险率的计算问题

#### 5.1.1 关于水文风险率的分析

对水文风险率,吕振前等<sup>[8]</sup>曾做过研究。结果表明,对观察资料与洪水调查资料都欠缺的水利工程,计算小频率大洪水的风险率较高,甚至偏差很大,可信度低,对小流域或中小型堤防工程,设计标准一般不高;在实测水温资料充足的条件下,求大频率小洪水时的水文计算风险率较小,理论计算的洪水大小与实际发生的洪水大小十分接近。因此,对小流域、保护范围小以及设防标准不是很高的堤防工程,可不考虑水文计算风险。

#### 5.1.2 关于水流的水力风险率

国内有人对水力计算的风险做过分析<sup>[9]</sup>,对中小型水利工程,水力风险率很小,可以不计,因此在小型堤防工程优化设计(即堤防建设最佳洪水标准的分析)中也不考虑水力计算风险问题。

### 5.1.3 关于水工结构系统的风险率

对堤防结构系统的可靠度,有较多的专家学者做过此项研究<sup>[10]</sup>。堤防工程一般采用土工结构,失效的原因主要来自3个方面:超标洪水、抗滑稳定与渗透稳定。早期人们对堤段断面的超标洪水、抗滑稳定的风险率研究较多。如今,不仅对堤段某个断面,而且对整段堤防结构系统采用可靠度理论、模糊数学进行分析,已经有了比较成熟的计算方法<sup>[11-12]</sup>。对土工结构系统可靠性的近似计算也有人做过研究。美国陆军水道工程兵团提出的土堤结构失效近似风险模型与精确计算风险模型的最终计算结果相差不大。因此,在堤防工程最佳洪水标准的分析中(也就是堤防工程优化设计的方案比较中),可以采用简化方法计算堤防工程风险率;对复杂堤防工程进行安全评价时,采用精确方法计算才有明显的优越性<sup>[5]</sup>。

### 5.2 洪灾损失评估与研究

洪灾损失的评估包括洪灾经济损失评估、生命损失评估和社会、生态环境损失的评估。

有关洪灾经济损失评估的方法前人已作过较多的研究。常用的经济损失评估方法有面上计算方法、专门计算方法和分类计算方法。在计算堤防洪灾经济损失期望值时,传统计算方法往往忽视结构可靠性,这是传统计算方法与风险分析方法的根本区别。有人提出了一种基于可靠性的洪灾经济损失期望值的计算方法<sup>[13]</sup>,既可电算,也可手算,比较适合在中、小圩区堤防优化设计中运用。为了减少经济损失评估繁杂的工作量,提高估算精度,很多专家学者研究易损性与损失率。有关生命损失,目前国内研究的成果还不多,生命损失评估常采用国外研究成果。姜树海等<sup>[5]</sup>介绍的 Dekay M 公式与国内一些洪灾案例比较符合。关于社会、环境损失,按传统的观点,难以用货币量化,一般用定性的方法描述。其实,对洪水灾害造成的社会、环境损失,有些也可以用货币来描述,如对灾区人员安置、防疫检疫、重建水毁工程、恢复原有环境等都是要付出经济代价的。

近年来,国内学者在洪灾易损性与生命损失的研究方面取得了一些长足进步,打破了生命损失估算只有国外公式、没有适合本土公式的尴尬局面。为正确评估洪灾损失,促进最佳洪水标准的运用作出了贡献<sup>[14]</sup>。

### 5.3 防洪系统的安全决策

对单一的、相对较独立的防洪系统,只要对本系统进行定量的风险分析,即可进行决策,得出最佳洪水标准。对一个流域(或区域)的设防标准,则要分清本系统(子系统)在整个系统(主系统)的地位与作

用。要通过适当提高某些子系统、特别是关键子系统的防洪标准,或采用分洪滞洪措施减轻其他系统的防洪压力,从而提高整个系统的防洪安全与防洪效益,则风险分析应是对总系统进行定量风险分析。追求总系统的防洪综合效益最佳,分洪区的洪灾损失从其他防洪子系统的效益中得到补偿。

## 6 结 语

a. 对防洪安全体系而言,要做好防洪减灾工作,就要精心做好防洪规划和洪水调度2个方面的工作。在防洪规划阶段,要根据区域经济社会发展状况,选择堤防建设最佳洪水标准(设防标准),并定期地不断地修订和完善区域的防洪工程措施方案和非工程措施方案。本文主要探讨解决防洪规划阶段堤防工程优化设计的问题。在防洪调度阶段,要根据洪水预报制定和完善建立在风险分析基础上的洪水调度准则,以充分发挥各类工程子系统的防洪潜能,保证整个区域的防洪风险率最小,以取得最佳的防洪经济效益和社会效益。有关洪水调度的优化设计,研究历史很长,成果也较多。

b. 最佳洪水标准采用的风险分析方法是一项牵涉较多学科的综合技术。这项技术包括可靠性理论、数学、水文学、水力学、水工结构、工程经济等学科,该方法不仅可以用于堤防工程建设,也可用于其他水利或国民经济建设项目。因此,在发展和运用的过程中争论也较多。目前这种方法仅在部分国家或地区得到运用,国内在少数防洪工程中得到运用,需要得到相关部门领导、专家学者的关心与大力支持,完善这种优化设计方法,推广这种风险分析理论,促进水利和其他国民经济事业的发展。

### 参考文献:

- [1] GB 50201—94, 防洪标准[S].
- [2] GB 50286—98, 堤防工程设计规范[S].
- [3] 肖义. 水库大坝防洪安全标准及风险研究[D]. 武汉:武汉大学, 2004.
- [4] 王国安. 对我国水库设计洪水及标准问题研究的主要成果[J]. 北京:人民黄河, 1994, 17(5): 42-48.
- [5] 姜树海, 范子武, 吴时强. 洪灾风险评估和防洪安全决策[M]. 中国水利水电出版社, 2005.
- [6] 张俊芝, 高延红, 王立. 基于可靠度的堤防工程加高加固决策模型[J]. 工程力学(增刊), 1999, 661-665.
- [7] 熊义泳, 谢涛, 章宝华. 关于堤防工程最佳洪水标准的探索[J]. 南昌水专学报, 2002, 21(3): 5-8.
- [8] 吕振前, 杨卯弟, 辛忠礼, 等. 设计洪水标准与频率计算方法的统计试验研究[J]. 水利学报, 1987(1): 1-7.

(下转第70页)

度等。

a. 腐蚀性。溶解氧对金属的腐蚀性随金属而异。溶解氧的含量越高,对钢铁的腐蚀性就越强;当水中的氧和二氧化碳含量较高时,铜的腐蚀速率也会加快;水中游离二氧化碳浓度的变化,影响碳酸盐的结垢;氯离子的浓度过高,会引起系统管道的局部腐蚀。建议:水的 pH 值应为 6.5~8.5,否则应设有相应的水处理设备。

b. 结垢。水中的钙镁离子易在换热器表面析出沉积,形成水垢,严重影响换热器的换热效果,从而影响热泵机组的运行效率。地下水中的二价铁离子易在换热器表面凝聚沉积,促使碳酸钙沉淀,加剧了水垢的形成。二价铁离子遇氧氧化,在碱性条件下易形成氢氧化铁絮状物沉积而阻塞管道,影响机组的正常运行。建议:水源 CaO 含量应小于 200 mg/L,以避免水结垢;水矿化度小于 350 mg/L 时,可以不加板式换热器,当矿化度为 350~500 mg/L 时应安装不锈钢板式换热器,当矿化度大于 500 mg/L 时应安装抗腐蚀性强的钛合金板式换热器。

c. 混浊度和含砂量。地下水的混浊度高会在系统中形成沉积,阻塞管道,影响机组的正常运行。地下水中较高的含砂量会对机组管道和阀门造成磨损,并加快钢材的腐蚀速度,严重影响机组的使用寿命。通过分析,当水中含沙量较高时( $>1/20$ 万),可在水源水管路中设置旋流除砂器或沉淀除砂池,以避免造成机组和管路磨损和堵塞;当混浊度大于 20 mg/L 时应安装净水器加以过滤。

## 2.4 地面沉降问题

在设计水源热泵空调系统和进行水资源论证时,应充分考虑地下水位变化、抽灌井的井距对建筑物沉降的影响。地面沉降是多种因素综合作用的结果,既有自然因素也有过量开采地下水 and 大规模城市建设等人为因素。水源热泵空调系统在大规模应用时,可能发生地下水位变化引起的地面沉降。地面沉降的方式主要有 2 种:①在大面积推广此系统时,未能实现地下水的完全回灌,造成深层承压水资源的严重浪费,以至于抽灌场地及周边的地下水位降低,黏土层由于释水压密而造成地面沉降。②抽灌井井距过短,抽灌井较大的水位差形成较大的地下水流速,含水层中细颗粒介质被水流携带而出,含水层中的介质坍塌重组而造成地面沉降。

对于水源热泵系统,井的布局是至关重要的,因为井群的建筑具有不可改动性,而井群的正常运行对于水源热泵系统的作用又是非常重要的。首先要根据当地的水文地质资料,确定所取含水层、机井深度。防止地表污水通过抽水井和回灌井污染地下

水。为延长井的使用寿命,抽水井和回灌井要采用抽灌轮换方式设计。

## 3 结 语

重点探讨了水源热泵系统中存在的回灌堵塞问题、热污染问题、腐蚀和水质问题以及地面沉降问题,并给出了具体的解决办法。这些问题中以回灌堵塞问题最为突出,设计和建设过程中应给予高度重视,重点解决,保证水源热泵系统长久稳定的运行。

### 参考文献:

[1] 刘兴中,范新.水源热泵系统介绍[EB/OL].[2008-03-10].2008.2. <http://www.zhileng.com>.2003.  
[2] 李先瑞.水源热泵——一种经济、节能、可靠的空调能源方式[EB/OL].[2008-03-10].2008.2. <http://www.zhileng.com>.2003.  
[3] 水源热泵系统的组成[EB/OL].[2008-03-10].2008.2. <http://www.zhileng.com>.2004.

(收稿日期 2009-04-02 编辑 方宇彤)

(上接第 6264 页)

[9] 赵永军,冯平.河道防洪堤坝水流风险的估算[J].河海大学学报:自然科学版,1998(3):36-39.  
[10] 王卓甫,章志强,杨高升.防洪堤结构风险计算模型探讨[J].水利学报,1998(7):61-67.  
[11] 高延红.现有堤坝地基渗透稳定可靠性研究及加固方案分析[J].浙江工业大学学报,2007,35(1):82-86.  
[12] 张俊芝,邹传仁.服役堤坝边坡稳定最危险滑动面的可靠度分析[J].中国农村水利水电,2007(10):54-57.  
[13] 樊启宙.堤防建设最佳洪水标准的运用研究报告[R].南昌:江西省科技厅,2008.  
[14] 彭友文.混凝土重力坝风险评价模型及预警性指标的研究[R].南京:河海大学,2008.

(收稿日期 2008-09-02 编辑 方宇彤)

