

国家自然科学基金重大项目 (NO. 50099620)

国家自然科学基金重点项目 (NO. 50539030)

水利部重大创新项目 (NO. SCX2002-09)

风险分析 在水利工程中的应用

Fengxian Fenxi Zai Shuili Gongcheng Zhong De Yingyong

陈进 黄薇 程卫帅 编著

长江出版社

国家自然科学基金重大项目 (NO. 50099620)

国家自然科学基金重点项目 (NO. 50539030)

水利部重大创新项目 (NO. SCX2002-09)

风险分析 在水利工程中的应用

Fengxian Fenxi Zai Shuili Gongcheng Zhong De Yingyong

陈进 黄薇 程卫帅 编著

长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

风险分析在水利工程中的应用/陈进,黄薇,程卫帅编著. —武汉:长江出版社,2006.3

ISBN 7-80708-078-7

I. 风... II. ①陈...②黄...③程... III. 水利工程—风险分析
IV. TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 159106 号

风险分析在水利工程中的应用

陈进 黄薇 程卫帅 编著

责任编辑:高伟

技术编辑:王秀忠

装帧设计:刘斯佳

责任校对:李海振

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市汉口解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:通山县九宫印务有限公司

规 格:880mm×1230mm 1/32

12.5 印张 320 千字

版 次:2006 年 3 月第 1 版

2006 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-80708-078-7/TV·28

定 价:32.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

前 言

风险的概念最早出现在 19 世纪末西方经济学领域中,目前在国内外已广泛应用于经济学、社会学、工程科学、环境科学和灾害学等领域。在我国,风险分析的研究和应用相对较晚,主要原因是:风险分析不仅是一门自然科学,也是一门社会科学,它涉及经济学、管理学及其他人文科学;在计划经济时代,我国建设项目的投资主体主要是政府,管理社会事务也主要是通过行政的方法,建设项目的风险也主要由政府承担,社会和个人的风险意识淡薄,一些人将风险看做贬义词,害怕风险,甚至不承认风险。随着我国社会主义市场经济的全面发展,建设项目投资渠道呈现出多元化局面,业主和商业银行更加关注投资风险,力求规避风险,确保项目安全和资金安全。在洪水、地震、非典、禽流感等自然灾害发生时,或突发公共事件出现时,政府也开始运用风险管理方法,针对不同类型、不同等级的风险,采取不同的应急方案或措施。在土木工程中,特别是在水利工程中,荷载、抗力和设计方法的不确定性决定了任何建筑物都存在失效甚至遭到破坏的可能性,所以,以概论统计学为基础的可靠度理论已经在土木工程领域广泛应用。因此,风险分析的研究和应用对于我国经济社会全面发展和生态环境保护都具有十分重要的理论价值和应用前景。

本书是作者十多年来进行水利工程可靠度及风险分析研究的成果总结,特别是汇集了国家自然科学基金重大项目“洪水特性与减灾方法研究”(No. 50099620)、国家自然科学基金重点项目“复杂条件下高拱坝的失效破坏机理和安全评估”(No. 50539030)和水利部重大创新项目“跨流域长距离引调水工程系统风险分析和安全保障关键技术

研究”(No. SCX2002—09)的研究成果。

本书分为两大部分,第1章到第3章为风险分析的基本理论,主要从思路和方法论的角度论述风险分析的基本概念、基本理论及在水利工程中的应用领域及存在的问题;第4章到第7章为结合科研项目 and 实际工程完成的研究成果,主要介绍风险分析在系统工程、防洪工程、调水工程和水工建筑物等方面的应用,以发表的论文形式给出。

书中第一部分由陈进、黄薇和程卫帅共同编写,第二部分由作者和项目组成员:浙江大学金伟良教授、吴剑国教授、张爱晖副教授及其学生,河海大学刘宁教授、长江科学院周小文,陈进的博士研究生贾超、陈艳和硕士研究生程卫帅、王海伟等共同完成。

风险分析涉及的学科多,问题复杂,在理论上和实际应用中还很不成熟,作者试图从理念上介绍风险分析在水利工程中的应用及存在的问题,限于作者的水平和能力,书中还存在许多错误和不足之处,敬请读者批评指正。

本书的出版得到了水利部重大创新项目(No. SCX2002—09)的资助,同时得到了长江科学院和长江出版社的大力支持;长江科学院丁茜在项目的申请和管理中做了大量工作,在此一并表示感谢。

编者

2006. 2

目 录

第一部分 理论篇

第 1 章 绪论	(3)
1.1 概述	(3)
1.2 国内外研究和应用现状	(4)
1.3 风险的认识	(9)
1.4 风险分析的主要内容	(13)
第 2 章 风险分析的基本理论	(14)
2.1 风险定义	(14)
2.2 风险识别	(15)
2.3 风险估算	(16)
2.4 风险评价	(22)
2.5 风险转移	(23)
2.6 风险决策与管理	(26)

第 3 章 风险分析的应用领域 (28)

3.1 洪水风险图 (28)

3.2 防灾减灾 (33)

3.3 水工建筑物设计 (35)

3.4 结构体系与工程体系 (38)

3.5 风险管理及在水资源综合利用中的应用 (39)

第二部分 实践篇

第 4 章 系统风险分析 (47)

重力坝系统可靠度研究方法的探讨 (47)

结构系统可靠性计算的方向概率法 (57)

调水工程系统建筑物风险相关系数推求方法 (65)

基于可靠度的工程风险决策初探 (74)

第 5 章 风险分析在防洪工程中的应用 (84)

防洪工程系统风险分析方法探讨 (84)

防洪体系系统风险评估模型研究 (92)

防洪体系系统失事率评估方法探讨 (104)

山洪灾害风险度评价技术综述 (113)

典型防洪工程水位之间的相关性分析 (124)

长江与黄河历史洪水对比	(130)
地质特征轨迹的出露概率研究	(137)
第 6 章 风险分析在调水工程中的应用	(145)
跨流域长距离引调水工程系统的风险及对策	(145)
跨流域调水工程的失效模式及影响分析	(154)
跨流域调水工程失效概率的模糊事件树分析方法	(163)
渡槽结构在罕遇地震作用下的抗震性能分析	(172)
下承式桁架拱渡槽的结构可靠度分析	(179)
Kriging 法在大区域场地砂土液化范围判别中的应用研究	(187)
地震作用下土坡可靠度风险分析	(194)
南水北调中线工程某引水渠坡稳定的可靠性分析	(202)
调水系统中关键建筑物的重要性权重的确定方法	(211)
澧河段梁式渡槽桩承载力极限状态可靠度分析	(218)
南水北调中线工程渡槽结构风险分析	(225)
南水北调中线工程风险分析的若干工程问题	(236)
第 7 章 风险分析在水工结构及建筑结构中的应用 ...	(243)
考虑损伤情况下结构风险损失模型的研究	(243)
水工结构功能优化设计中设防荷载参数的选择	(251)
水利枢纽工程功能设计中有关风险分析体系的建立	(256)
水工结构功能设计综合分析——全寿命期内的影响因素初探	(265)

矩形渡槽槽身可靠度的敏感性分析	(276)
丹江口水库某坝段系统可靠度分析	(284)
多因素作用下结构的风险分析	(294)
工程结构维护时间的决策研究	(302)
用方向加速法求解结构的可靠度指标	(311)
相关性对结构系统可靠度的影响	(317)
水工结构目标安全度确定方法探讨	(324)
三峡厂房和溢流坝段可靠度分析	(331)
构皮滩双曲拱坝坝肩稳定安全度研究	(338)
混凝土重力坝抗滑稳定安全系数与安全度探讨	(346)
大坝(岩基)稳定性计算方法的探讨	(357)
对大坝安全度若干问题的探讨	(372)
 论文出处	 (385)
参考文献	(388)

第一部分

理论篇

第1章 绪论

1.1 概述

世界充满着不确定性,自然界中的水循环、热循环、碳循环、生态循环及环境变化等都充满着不确定性。在人类社会,历史、经济、政治、文化等也充满着不确定性,不确定性就孕育着风险,风险来自于不确定性。人类自诞生以来,无时无刻不面临着风险,同时也不知不觉地进行着风险识别、风险评估和风险决策,实际上这都是在进行风险分析。

风险是自然界的不确定性与人类社会耦合形成的,风险因素可能来自自然界,也可能来自人类社会,但风险产生的危害的对象主要是人类社会。在人类出现以前,自然界中的洪水、地震等自然现象也频繁发生,但由于没有人类,也就无所谓风险。所以,风险是对人类社会而言的,当洪水、地震等自然现象对人类产生危险或伤害时,就会形成风险或灾害。因而,风险分析具有自然和社会双重属性,是自然科学和社会科学交叉的学科。

风险分析的对象十分广泛,包括自然灾害分析、工程设计、建设和管理、产品设计、银行投资、保险设计、系统工程和政府管理,等等。风险分析的主要内容是判断风险产生的原因和因素,估算风险的大小,评估风险可能带来的影响和损失,然后采取措施减小风险或转移风险。风险分析的目的是评价风险和预测风险,在安全与经济之间取得平衡,采取综合应对措施,将不确定的因素变成为可预见或可控的事

物,通过风险管理和制度化建设将风险减小到最低程度或使其按预定方案转移。

风险分析对于经济社会发展和生态与环境的保护有重要作用。在土木和水利工程领域,风险分析的作用是在工程安全与投资之间寻找平衡点,工程设计过程就是在满足国家法律和技术标准规定的安全要求的前提下,设计出经济上可接受和环境友好的建筑物。在进行水利工程规划、设计和建设前所做的环境影响评价,实际上就是在做建设项目对生态与环境风险的分析。建设项目的可行性研究、初步设计、技术设计和施工设计的过程实际上也是在进行分析。由于经济投入的有限性和自然因素的不确定性,任何建筑物都有失效或遭到破坏的风险。对于概率小或风险小的事件,用工程措施来解决是不经济的,主要靠风险管理,如安全监测、维修计划和应急方案来减小或转移风险。

1.2 国内外的研究和应用现状

风险的概念虽然很早就提出来了,但其作为一门学科只有几十年的发展历史。风险的概念最早出现在 19 世纪末西方经济学领域中。1895 年,美国经济学家 J. Haynes 在其著作《Risk as an Economic Factor》中将风险定义为损失的概率;1901 年 A. H. 威雷特在其博士论文《风险及保险的经济理论》中认为风险是关于不愿发生事件的不确定性之客观体现;奈特则认为风险是“可测定的不确定性”,而“不可测定的不确定性”才是真正意义上的不确定性;Williams 的风险定义是,在给定情况下的特定时间内,那些可能发生的结果间的差异;罗祖德认为风险是指某种损失的不确定性;日本学者 Saburo Ikeda 认为风险是由于自然或人类的行为所导致的不利事件发生的可能性,并强调风险由两部分组成:不利事件发生的概率及造成的后果;国际地质科学联合会(IUGS)滑坡研究组风险评价委员会把风险定义为对健康(Health)、财产(Property)和环境(Environment)不利事件发生的概率

及可能后果的严重程度,用发生概率与可能后果的乘积来表示,即 $Risk = Probability \times Consequences$ 。目前普遍认为,风险应包含3个基本要素:不利事件、不利事件发生的概率和不利事件所导致的损失。

在工业和工程技术领域,风险分析是从产品的可靠性和建筑物的可靠性设计和研究开始的。可靠性理论的研究在20世纪30年代就开始了,当时主要是围绕飞机失效问题开展研究的,德国在第二次世界大战期间针对V-1导弹的可靠性首先开展研究。20世纪50年代,美国在朝鲜战争中发现不可靠设备的维护费用很大,开始按失效概率、寿命期望和成功率等概念研究武器和装备元件的可靠性。20世纪60年代,可靠性理论开始在机械、电气、液压元件和航空等领域应用。20世纪70年代,风险分析开始在核电站、化学工业和银行投资等领域应用。

在西方发达国家,对于重要投资项目或大型系统工程,由于许多不确定性因素导致投资存在风险,无一例外地都要进行风险分析,像APOLLO登月计划、原子弹工程、航天工程等,甚至一个新产品的投资项目,都要进行风险分析。

近30年来,可靠性理论迅速发展,几乎在各个工业领域中都得到了广泛的应用。在结构工程应用领域,自从1946年Freudenthal提出“结构的安全度”概念以来,人们已经充分认识到实际工程的随机因素,将概率分析和概率设计的思想引入工程设计和建设中。1997年在日本京都市召开了结构安全性和可靠性国际会议,所涉及的内容十分丰富,其中奥地利Innsbruck大学的Schueller做了题为《结构可靠度的研究进展》的特邀报告。1997年底,《结构安全性》(Structure Safety)国际期刊的编委们联合撰写了题为《计算随机力学的研究动态》一文,从多个角度综述了计算随机力学的最新研究进展。1998年在上海召开的中美日三国土木与基础工程系统交流大会上,又有多位国际知名专家如美国南加利福尼亚大学的Shinozuka、日本武藏工业大学的星谷胜以及香港科技大学的邓汉忠等学者作了内容广泛的报告。1999年在澳大利亚召开了第八届统计概率应用国际会议,该会议的主

题之一就是探讨将工程可靠性理论及概率分析方法引入设计规范的修改和基于全概率理论进行结构设计的研究。

在水利工程中,洪水风险分析早已在国内外的水工建筑物的规划和设计中应用,美国从 20 世纪 50 年代末就开始绘制洪水风险图。20 世纪 70 年代初期,洪华生(Ang A. H. S)、颜本琦(Yen B. C.)、邓汉忠(Tang W. H.)等以雨水排水系统为例,将水力不确定性与水文内在随机性综合考虑,首先介绍了风险及可靠度分析在防洪系统上应用的可行性。颜本琦和邓汉忠(1976 年)在详细分析了涵洞排水量不确定性、雨强不确定性和设计流量不确定性的基础上,研究建立风险-安全系数关系。Mays L. W. (1979 年)基于水文不确定性的一阶分析、预计损失的评估和优化等概念,在涵洞的优化设计中综合考虑了水文、水流和经济的风险,认为 Bayes 方法是另一种解决此类问题的方法。堤防河道的行洪失事可以分为漫顶、边坡失稳、管涌、风浪冲刷侵蚀 4 种类型。其中,漫顶和管涌与洪峰流量有关,边坡失稳与洪峰流量和水位过程线有关,风浪冲刷侵蚀与洪峰流量和水位有关。Tung Y-K. 和 Mays L. W. (1981 年)分静态和时变两种情况,考虑了水文、水力的不确定性,建立了漫堤风险模型,提出了风险安全系数概念,两人(1981 年)又研究了堤防系统优化设计的方法和模型中耦合风险的概念,对于不确定性的考虑主要反映在期望损失函数之中。Duckstein L. 和 Bogardi I. (1981 年)总结了两类水利工程系统的风险:一是普通防洪堤,包含 4 种失事风险模式,以解析方法求得其失事概率;另一类是交汇河段处的防洪堤,其漫顶失事与主流水位和支流水位的二元分布有关,用水力计算和蒙特卡罗(Monte Carlo, MC)法求得其失事概率。Tung Y-K. (1990 年)以堤防系统设计为例,详细研究了水工结构基于风险的优化设计中水文的不确定性、参数的不确定性以及水力的不确定性。朱元铎(1989 年)从剖析水文和水流风险因素入手,一方面考虑长江上游洪水来量的可能变化,另一方面考虑长江南京段水流特性的可能变化,采用随机组合法综合各种风险因素对下关水文站年最大水位的作用,通过频率组合求得超过现行设计洪水位的风险,并估

算出相应各种设计标准的设计洪水位。冯平和李润苗(1994年)假定河段的水流形态不变、防洪堤的承载能力确定,分析了水库保护区内的防洪堤水文风险因素。姜树海(1995年)将随机初值条件、随机系数和随机作用项引入到河道水面线过程的推求中,以随机微分方程进行河道行洪的风险分析。朱元铎、韩国宏等(1995年)主要从水文风险要素的辨识入手,采用概率组合法,建立了南水北调中线工程总干渠洪水水毁风险计算的框架,并提出了二维复合事件的风险计算模型,解决了各交叉建筑物水毁事件之间的相关性,简化了大型串联系统风险计算的复杂性。赵永军、冯平等(1998年)计算了河道堤坝仅由水流参数出现偏差而失事的概率,认为对于防洪标准较高的河道,应重视因水流参数偏差引起的水流风险。梁在潮、李泰来(2001年)从堤防防洪能力的角度出发,讨论了洪水位作用下的风险度。

在水库大坝的风险分析方面,大坝防洪风险或称为水库泄洪风险,是一种综合风险。近年来,国内外许多学者致力于这方面的研究,提出了一些方法,如极限状态法、全概率法、随机微分方程法及随机模拟法。其中,极限状态法以最大入库洪峰流量等于溢洪道泄流能力为极限状态计算泄洪风险率,由于不考虑调洪库容的防洪作用,影响了其结果的合理性;全概率法则必须给出随机变量联合概率分布函数,对简单情况较为适用;随机微分方程法将整个调洪过程中水库蓄洪量或库水位视为一个随机过程,通过求解随机微分方程,获得不同时刻库水位的随机分布,然后计算泄洪风险率大小,这种方法假定水库蓄洪量围绕其均值过程线作随机游走,其概率分布服从正态分布,然后分别求出其均方解和解过程的概率密度,使用水文界常用的随机模拟法研究大坝防洪风险问题。Loucks D. P.、Stedinger J. R. 等(1981年)通过分析来水洪量与防洪库容之间的关系,得出了在一定防洪库容的情况下不同洪量所造成的损失。Yazicigil H.、Houck M. H. 等(1983年)对入库洪水与最大库容之间的关系进行了分析,认为根据现有典型年设计洪水所计算的水库最高防洪水位,会因所选典型年洪水并不恶劣而使水库存在出现相当大的超校核洪水位的风险。谢崇宝、

袁宏源等(1997年)较全面地分析了水库防洪风险计算中存在的水文、水力及水位-库容关系的不确定性,探讨了其分布及参数的确定方法,研究了水库防洪全面风险率模型的应用问题。徐向阳、余晓珍等(1998年)在制作江苏省大中型水库校核洪水和溃坝洪水风险图中,先进行了两种洪水的淹没计算,后对洪水淹没损失加以评估,最后采用大比例尺地形图勾绘洪水风险图。姜树海等(1998年)认为诸多随机和模糊的不确定性因素均未能定量引入大坝安全分析中,带有一定的片面性和局限性,建立了漫坝失事的随机模糊风险分析模型,以实现大坝防洪能力的定量化;后在1999年采用事故树方法,逐层讨论了漫坝事故的形成,定量给出了相应的防洪风险率。万俊、陈惠源等(2000年)针对水库汛期蓄水运用问题提出了上游库区淹没、下游遭受洪灾及威胁大坝安全3类非期望事件,并分别对它们进行风险损失分析,为选择合理的拦蓄水位方案提供了依据。

我国结构可靠性理论的研究起步相对较晚,20世纪60年代曾广泛开展结构安全度的研究与讨论,70年代开始将半经验半概率方法(水准Ⅰ法)用于6种结构设计的规范,80年代在我国兴起了结构可靠度研究和应用的热潮,出版了大量有关结构可靠性理论的专著,研究结果被应用到许多大型工程中。此外,建筑、铁路、公路、水运和水利五大部门还联合编制了“工程结构可靠度设计统一标准”。1992年在河海大学召开的工程结构可靠性全国第三届学术讨论会议再一次把我国的结构可靠性研究推向高潮。1994年国家技术监督管理局和建设部联合发布了GB 50199—94《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》。1995年在西安又成功地召开了工程结构可靠性全国第四届学术讨论会,标志着可靠度研究仍然保持着持续发展的良好势头。2002年11月在长江科学院成功召开的工程结构可靠性全国第五届学术讨论会,对近年来的研究是一次很好的总结,其特色在于开始重视可靠性研究领域中的适用性的研究和应用。至今,在我国土木、水利工程应用领域,可靠性理论已经经历了20多年。在这20年里,一方面,工程可靠性理论在众多工程领域中得到了检验;另一方面,通过反复认