

麻荣永 著

土石坝风险 分析方法及应用



科学出版社
www.sciencep.com

土石坝风险分析方法及应用

麻荣永 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了:国内外风险分析研究的进展;风险分析的基础理论,包括风险分析的基本概念、风险分析的概率统计基础、传统风险分析的计算方法、模糊理论与模糊风险等;土石坝风险分析方法及其应用,包括土石坝枢纽与土石坝构造、土石坝事故及风险识别、土石坝坝坡失稳风险分析方法及应用、土石坝漫坝风险分析方法及应用、土石坝模糊风险分析方法及应用。

本书可供水利水电工程、水文学及水资源、安全与环境等专业的本科生、研究生和从事水利水电工程规划和运行管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土石坝风险分析方法及应用/麻荣永著. —北京:科学出版社,2004
ISBN 7-03-012994-6

I. 土… I. 麻… III. 土石坝-风险分析 N. TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014526 号

责任编辑:刘剑波/责任校对:曹 茹
责任印制:吕春珉/封面设计:东方上林工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年5月第一次印刷 印张:16 3/4

印数:1—2 500 字数:328 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

无论是在大自然还是在人类社会中,风险都是普遍存在的,“天有不测风云,人有旦夕祸福”,这句话指出了风险存在的普遍性和客观性。由于客观世界的复杂性和人类认识世界的局限性,人们在生产和生活的各种活动和决策中都不可避免地受着事物不确定性的影响,都不可避免地要冒或多或少的风险。水利水电工程系统技术复杂,投资巨大,影响面广,受自然和社会的不确定性因素影响众多,工程一旦失事,将会给国家和人民生命财产安全造成极其严重的损害。因此,在水利水电工程的建设和运行管理活动中,注意进行风险分析和评价,避免风险的发生或减轻风险损失是十分必要的。

在我国已建成的 8.6 万座大、中、小型水利水电工程中,水库大坝 90% 以上为土石坝。据资料统计,土石坝漫坝和坝体失稳是土石坝失事的两个主要原因。世界上约有 1/3 的土石坝失事是因洪水漫坝造成的。我国从 1950 年到 1990 年因洪水漫坝失事的大坝共有 1147 座,约占同期大坝失事总数的 46.6%。国外因大坝滑坡和塌方造成垮坝的占同期垮坝总数的 14.2%;国内因大坝滑坡和塌方造成垮坝的占同期垮坝总数的 38%。在大坝失事事故中,土石坝所占比例高达 70.5%。目前我国的绝大部分土石坝已运行了近 50 年,即将达到其正常使用年限,病险水库量大面广,且逐年增多,因此,加强对土石坝水库进行风险分析和风险评价的研究,为土石坝水库工程的除险加固提供科学的决策依据,很有理论意义和实际意义。

国外的风险分析开始于 20 世纪 60 年代。1973 年,风险分析开始在水利工程中应用。国内风险分析及其在水利工程中的应用研究始于 20 世纪 80 年代末。可见,风险分析的研究和应用在国内外历史都不长,是一个新学科。尽管风险分析研究和应用取得很大的进展,国内外学者发表了许多有关风险分析的论文,但风险分析方面的专著还不多见,特别是风险分析在水利水电工程应用方面的专著还没见到。作者对风险分析的研究始于 1995 年,至今已有 9 年的时间,结合工程实际,开始是研究城市河流洪水风险,接着研究土石坝的滑坡和漫坝风险、土石坝模糊风险分析的理论和方法,取得了一系列的理论成果,并将它们应用于工程实际,取得了很好的效果。本书系统地介绍了风险分析的基本理论、基本概念和基本方法,同时介绍了模糊风险的新理论和新方法,并详细给出了传统风险分析方法和模糊风险分析方法在土石坝水库工程中的应用,便于有关科技人员和大专院校师生参考。

在课题研究过程中,我的研究生刘玉恒、莫崇勋、李兵、黄海燕、陈春等人给予了大力协助,在此对他们的工作表示衷心的感谢!同时,对参考文献的作者致以诚挚的谢意!

由于作者水平有限,在风险分析方面的研究和应用还有待进一步深入,加之时间仓促,本书难免有错漏之处。敬请读者批评指正。

麻荣永

2004年3月

于广西大学

目 录

前 言

第一章 概述	1
1-1 引言	1
1-2 传统风险分析概况	2
1-3 模糊风险分析进展	7
第二章 风险分析的理论基础	9
2-1 风险分析的基本概念	9
2-2 风险的属性与分类	22
2-3 风险成本及其负担	26
2-4 风险分析的目的、内容与程序	27
2-5 不确定性分析	33
2-6 失事损失问题	35
2-7 关于风险标准	38
第三章 风险分析的概率统计基础	40
3-1 事件与概率	40
3-2 事件与概率的运算性质	44
3-3 条件概率与独立性	46
3-4 随机变量及特征值	49
3-5 风险分析常用的概率分布	52
3-6 随机变量概率分布中参数的估计	61
3-7 随机变量分布类型的假设检验	69
第四章 常用的风险计算方法	73
4-1 重现期方法	73
4-2 直接积分法	74
4-3 蒙特卡罗方法	74
4-4 均值一次二阶矩方法(MFOSM)	80
4-5 改进的一次二阶矩方法(AFOSM)	81
4-6 JC 法	85

4-7 实用分析法	88
4-8 优化法	89
第五章 模糊理论与模糊风险	92
5-1 模糊集论的基本概念	92
5-2 模糊关系及其运算	103
5-3 风险的模糊性	119
5-4 模糊风险模型	120
5-5 模糊风险模型的求解	123
第六章 土石坝枢纽与土石坝构造	127
6-1 土石坝的发展概况	127
6-2 土石坝的枢纽布置	137
6-3 土石坝坝型选择	142
6-4 土石坝的构造	147
第七章 土石坝枢纽事故及风险识别	162
7-1 土石坝事故	162
7-2 溃坝失事的类型及原因	167
7-3 溃坝的危害与教训	172
7-4 非溃坝性事故的类型及原因	174
7-5 土石坝安全现状	177
7-6 土石坝水库枢纽风险识别	181
第八章 土石坝坝坡失稳风险分析方法及应用	184
8-1 土石坝坝坡失稳故障树	184
8-2 土石坝失稳的不确定性分析和处理	185
8-3 下游坝坡失稳风险模型	186
8-4 坝坡失稳风险的蒙特卡罗算法	187
8-5 澄碧河水库大坝坝坡失稳风险研究	192
第九章 土石坝漫坝风险分析方法及应用	204
9-1 土石坝的漫坝风险模型	204
9-2 漫坝风险模型的求解方法	209
9-3 澄碧河水库漫坝风险研究	211
9-4 澄碧河水库基于分期洪水调度的漫坝风险研究	233
第十章 土石坝模糊风险分析方法及应用	240
10-1 土石坝工程枢纽的模糊风险识别	240

10-2	土石坝漫坝模糊风险分析方法	241
10-3	澄碧河水库大坝漫坝模糊风险研究	244
10-4	土石坝坝体失稳模糊风险分析方法	248
10-5	澄碧河水库大坝坝体失稳模糊风险研究	251
结语		256
参考文献		257

第一章 概 述

1-1 引 言

无论是在自然界还是在人类社会中,风险都是普遍存在的,“天有不测风云,人有旦夕祸福”,这句话指出了风险存在的普遍性和客观性。由于客观世界的复杂性和人类认识的局限性,人类活动和决策都不可避免地受不确定性的影响,因而不可避免地冒着一定的风险。水利工程建设和运行管理也不例外,特别是近代水利工程更是如此,所以对水利工程进行风险分析或评估是十分必要的。

中华人民共和国成立以来,我国已建成大、中、小型水库 8.6 万座,总库容超过 4500 万亿 m^3 ,水库数量居世界之首。这些水库在我国国民经济基础产业中占有重要地位,为防洪、发电、灌溉、供水及水产养殖等方面创造了巨大的社会财富和经济效益;然而大坝一旦失事,又将给国家和人民的生命财产安全带来不可估量的损失。例如 1975 年河南板桥土石坝失事,淹没农田 113.3 万 km^2 ,受灾人口 1190 万,死亡 2.6 万人。因此大坝安全问题,一直受到国内外坝工界的普遍关注。

大坝设计及运行的安全可靠性的能力,而作用于大坝上的荷载和大坝的抗力均随时间改变而改变,即存在随机性,因此大坝存在失事风险。以风险分析来对大坝失事进行研究是非常合理的,因大坝失事的各影响因素都具有随机性,应用风险分析理论能较好地反映这种不确定性。传统的风险分析,以概率论和数理统计的知识仅考虑了不确定性中的随机性,而在不确定性中还包含有模糊性。由于大坝系统的复杂性,许多输入-输出关系在现实识别中只能表达为模糊关系,且从数据的采集到得出计算结果,整个过程存在着大量模糊性,绝对的“非此即彼”不能准确地描述大坝系统的客观现实,存在着“亦此亦彼”的模糊现象,不能用 1 真或 0 假两值逻辑来刻画,而需用区间 $[0,1]$ 中的多值(或连续值)来表达。模糊数学理论正适用于系统的这种不确定性,可用隶属函数来描述边界不清的过渡问题及受多因素影响的复杂系统的不确定性问题。在进行大坝风险研究时,必须同时考虑各因素的随机性和模糊性,进行大坝模糊风险分析。模糊风险分析就是用模糊系统的观点与模糊集的理论与方法进行风险分析。

据资料统计,目前世界上约 1/3 的大坝失事是因洪水漫坝造成的。我国在 20 世纪 50~90 年代,洪水漫坝失事的大坝共有 1147 座,约占同期大坝失事总数的 46.6%;国外因大坝滑坡和塌方造成垮坝的占垮坝总数的 14.2%,国内因大坝滑坡和塌方造成垮坝的占垮坝总数的 38.0%。这说明,漫坝与坝体失稳是大坝失事的两个最重要的原因,而在大坝失事事故中,土石坝所占比例高达 70.5%,且由于

历史原因,我国已建大坝中 90%以上为土石坝,多数已达到或即将达到其正常使用年限,因此研究土石坝漫坝失事和坝体失稳风险和模糊风险显得十分重要。

本书基于模糊数学和概率论的知识,分析确定土石坝漫坝失事与坝体失稳的原因,综合运用可靠性数学、水力学、水文学、土力学等相关学科理论,考虑各种失事影响因素的不确定性,介绍土石坝的风险分析方法及其应用,同时建立模糊风险分析的基础理论和计算方法,并应用到实际工程中去,计算土石坝漫坝失事与坝体失稳的模糊风险,并做出安全评判。

1-2 传统风险分析概况

风险分析是研究系统在一定条件下完成其预定功能所承担的风险,包括确定系统的失事概率和失事后果;而可靠性分析是研究系统在一定条件下完成其预定功能的能力,即确定系统的可靠度。可见可靠性分析与风险分析是分别从正反两方面去研究问题,单从概率角度分析,它们存在着互补关系。风险与可靠性问题的研究,始于 20 世纪 30~40 年代,人们运用概率论研究机器设备的维修问题。后来,风险分析和可靠性理论不断完善充实,逐步成为一门应用科学。

对可靠性的零星研究早在第一次世界大战后就已经开始,当时主要是应用统计手段研究飞机性能的可靠性和必要的安全规范。早期的可靠性数学模型的发展是在第二次世界大战期间,德国将可靠度理论应用于 V-1 导弹发射成功率的研究。20 世纪 50 年代,美国成立了专门研究机构,开展对宇航、核领域、电子系统的可靠度研究。60 年代出现了新的可靠性技术,更广泛地应用于各种专门用途。随后,可靠性研究方兴未艾,应用日益广泛,可靠性分析已成为人类生产实践的一个重要组成部分。土木结构方面的可靠性研究始于 20 世纪 50 年代初。在初创时期,美国的 A. M. Freudenthat 和前苏联学者斯特列律茨基,尔然尼采等做出了较大贡献,并在 A. M. Freudenthat 的倡议下于 1969 年在华盛顿召开了第一届国际结构安全性和可靠性会议,随后又连续召开了几次会议。需要指出的是,关于一次二阶矩(包括可靠指标的概念)一整套分析理论和方法主要是 C. A. Cornell, A. H. S. Ang, N. C. Lind, R. Rackwitz 和 A. N. Shinozuku 等人所做的贡献。

风险分析在国外开始于 20 世纪 60 年代末、70 年代初。当时由于几起严重的大坝失事,促使许多国家如美国、前苏联等开展大坝防洪风险研究。1973 年美国土木工程师协会发表了一篇用风险分析方法对溢洪道设计进行重新评估的检查报告,由此拉开了风险分析的序幕。1976 年美国提堂坝和 1977 年 Taccoa Fall 相继失事后,美国政府于 1979 年发表了大坝安全联邦导则(FCCST),其中有关评价与大坝设计、坝址选择有关的不确定性的风险决策分析引人注目。根据这个建议,联邦紧急管理机构(FEMA)和斯坦福大学、垦务局、曼彻斯特研究院等与他人合作开始特别关注大坝安全问题的风险分析方法。在 80 年代初,伴随着培训活动和研讨

班(即斯坦福大学-Mit 系列),出现了许多新的风险分析刊物,引起了工程界的注意。现在已经有一批经过教育、具有研究和应用能力的工程师工作在这一领域,他们不仅将风险分析方法视作处理由不确定性带来的风险的分析方法,而且更重要的是将这些方法引入工程和经济决策之中。

水利工程方面的风险研究晚于结构可靠性研究,主要是由于水利工程防洪系统涉及的自然因素较多,无法通过人工试验测验其随机性,受历史资料限制,不易获得其随机性规律,而且变量之间多为非线性、非解析函数关系,系统内部关系复杂,难以用数学模型精确描述,但在借鉴结构可靠性研究成果的基础上,经过许多研究人员的努力,水利工程防洪研究取得了明显的进展。在此领域中做出重要贡献的有 A. H. S. Ang, E. F. Wond, B. C. Yen, L. M. Mays, C. A. Corneil, R. Racknita, W. H. Tang 等。在 1989 年国际水利学协会大会和讨论会上,这个问题已成为与会者颇为关注的一个热点。1991 年召开的国际水利学研究协会大会上还专门召开关于可靠性和风险分析的讨论会,极大地促进了这一领域研究的发展。

国内开展水利工程防洪可靠性的研究是 20 世纪 80 年代才开始的,尽管如此也取得了一批成果。水利工程防洪风险研究包括:① 抗力和作用的随机性研究:洪水、风浪的随机分布规律和分布参数的确定,PMF 值的估算及其对应的重现期研究,泄流能力及其影响因素的随机性研究,库容不确定性研究。② 风险模型与估算方法研究:风险模型的建立,风险的计算方法和数值计算手段。③ 灵敏度分析:即各种因素对风险影响程度的分析。④ 风险标准的研究:确定恰当的风险标准,使其既能被社会公众所接受,又具有较好的经济效益,包括投资-效益-风险分析、社会公众心理调查、政策研究等。⑤ 系统分析和事故树分析研究:将系统理论、事故树分析手段应用于水利工程系统之中,分析其结构、组织,使总风险分解成单项风险时,不重叠、不遗漏。

国内外有关风险分析的研究成果如下。

1-2-1 国际方面

1969 年, Otto Pfastette 在论述溢洪道设计的经济问题时,就提出大坝失事风险应由大坝失事概率和失事后果来确定。

1970 年, B. C. Yen 教授提出对设计标准为 T , 年一遇的洪水, 建筑物使用年限为 N 年时, 失事风险为

$$\bar{R}_N = P\{X > Q\} = 1 - (1 - 1/T)^N$$

但它只是考虑了水文在年际间的随机性。

1971 年, B. C. Yen 和 A. H. S. Ang 论述了风险分析方法, 把不确定性划分为主观不确定性和客观不确定性, 提出了在缺乏资料时处理不确定性的方法。

1972 年, W. H. Tang 和 B. C. Yen 首次提出了综合风险的概念, 即同时考虑洪水及泄流不确定性, 计算了排水涵洞的风险, 虽然在计算过程中采用了简化手段,

但在方法上却向前迈进了重要的一步。

1973年,美国土木工程师协会组织的工作委员会重新估算了已建大坝的泄流能力,并提出了风险费用的概念。在该委员会提交的报告中认为,泄流能力应取风险费用与年费用之和为最小时的泄流能力。该报告确定泄流能力时只考虑了经济因素和水文因素的不确定性,而实际上,泄流能力的确定应综合考虑政治、经济、社会、技术等方面的因素。

1976年,Rackwitz首次把一次二阶矩法应用于防洪风险的计算,1977年CIRIA报告对该方法做了详细的介绍。

1977年,E. F. Wood计算了由洪水引起的堤防漫顶风险。

1979年,F. E. Fahlbusch对大坝的失事风险标准进行了研究,认为大坝所承担的风险依赖于下游居民的稠密程度与失事后的财产损失。

1980年和1983年,Yeon-Kong Tung, Larry W. May和Han-Lin Lee先后提出了考虑洪水重复发生情况的“动态”风险模型,首次把洪水看成是时间序列的“动态”分布过程。

1982年,S. T. Cheng, B. C. Yen和W. H. Tang在考虑了水文、水力两方面的不确定性情况下,估计了漫坝风险,并对风险标准做了进一步的研究。

1984年,Y. Y. Haimes等运用多目标风险分割方法对水资源规划进行了研究,把政治、法律、社会因素看做约束条件考虑在内,对工程进行风险效益损失的综合研究,以确定工程的规模和泄流能力,首次把风险分析理论应用到水资源系统规划中去。

1987年,M. R. Leach等研究了各单项目标风险的灵敏性,提出了处理各单项目标风险方法,即分割风险的方法与界限。

1988年,Y. Y. Haimes, R. Petrakian, P. O. Karlsson, J. Mitsiopoulos运用风险分割方法,研究了有关大坝失事的小概率即后果严重事件的概率。此外还对洪水频率的外推进行了细致的分析,提出超过100年一遇的洪水并不全部满足P-III分布。

1990年,A. Afshar, M. A. Marino在总结前人研究成果的基础上,阐述了利用风险分析设计溢洪道最优泄流能力的方法。

1992年5月,在中国台北召开的第六届国际随机水力学学术研讨会上,E. J. Plate做了题为“水力学中的随机设计:更为广泛应用的概念”的主旨报告,B. C. Yen做了题为“水力学中的随机考虑”的应邀报告,G. Meon发表了题为“大坝洪水漫顶的概率”的论文。

1995年,G. M. Salmon和D. N. D. Hartford提出了大坝安全风险评估的要点,指出了风险评估应提供的成果,对公众可接受的风险标准进行了研究,但没有指出进行风险评估时不确定性因素的处理方法和失事概率的计算方法。

1996年,G. M. Salmon和D. N. D. Hartford在回顾了传统的大坝安全分类方

法——增长危险分类法的基础上,着重介绍了加拿大的大坝安全准则和 B. C. Hydro 公司的容许风险标准及其风险分析过程,并以此论述了风险在大坝安全监测和管理中的作用。

1997 年, Martin W, McCann, Jr. 总结了大坝安全风险分析的历史,阐述了大坝风险评估在过去 20 多年里由热变冷,再由冷变热的过程及这些变化发生的原因。对不确定性进行了定义。最后指出了目前在风险评估领域存在的问题,即:

- (1) 缺乏经验。
- (2) 缺乏完成风险评估的工程基础或指导。
- (3) 急需进行大坝安全风险评估的实践。
- (4) 预测失效概率方面的困难。
- (5) 指定风险标准(包括公众风险和经济风险)。

1997 年 10 月, Chassem Habibagabi 提出预测某一水库诱发地震的震级的关键在于对水库坝址处进行地震风险分析。文中提出用一种基于运用放射基本原理的人工神经网络来进行风险分析,该网络具有两个输入端口,一个用来输入水库蓄水的最大深度,另一个用于输入水库的几何特性。

2000 年 3 月, H. Kreuzer 指出风险分析是在不确定的情况下响应决策的方法。不确定性在大坝的生命周期中是普遍存在的,可能比其他任何一种土木建筑更普遍:地质、水资源管理、地震和洪水、施工计划、成本与融资、大坝安全管理与下游风险。将工程判断转化为数据时的偶然性差错,由在替代方案中允许进行合理选择的可能性所补偿,并且由量化成本与风险之间的比较方案的透明度来衡量。然而,误用和误差也有缺陷。进而从正反两方面阐述了一些观点的精华。

2001 年 5 月, F. Lemperiere 阐明了大坝风险分析的重要性,探讨了哪种分析适合于哪种大坝,以及这种分析的费用和有效性程度。

2002 年 5 月, William. A. Fraser 通过对坝区地质演化历史的考查,分析地壳活动的活跃度,以此来决定坝基失稳风险的大小及级别。

1-2-2 国内方面

1988 年,郭子中、徐祖信分析了开敞式溢洪道水力设计中的各种不确定性,提出了开敞式溢洪道泄洪风险的计算模型,首次将结构可靠度计算中广泛采用的 JC 法用于泄洪风险的计算。

1990 年,朱元铎分析了长江南京段设计洪水位的变化情况,最后用风险分析方法合理地确定设计水位。

1991 年 1 月,金明探讨了水力不确定性及其在防洪泄洪风险分析中的影响,指出仅仅考虑水文风险会低估防洪泄洪系统的全面风险。

1991 年 3 月,陈肇和、李其军研究了针对水文系列的土石坝漫坝风险;其后,1991 年 10 月,姜树海研究了针对单场设计洪水的泄洪风险。

1991年12月,吴世伟在讨论风险、风险损失和风险标准等概念的基础上,研究了水工结构风险分析的概率计算方法和风险损失的估算方法,较详细地给出了国际大坝安全委员会对已建坝失效概率的统计成果。

1994年3月,姜树海将随机微分方程运用于水库的调洪演算,该方程能正确地反映各种不确定性因素对库水位过程的影响,使防洪风险分析建立在科学的基础上。

1995年3月,冯平、纪恩福、卢永兰等探讨了水库下游保护区内洪水淹没损失的计算方法。

1995年7月,冯平、陈根福等对岗南水库超汛限蓄水位蓄水的风险进行了分析。通过风险效益分析合理确定汛限水位。

1996年,杨百银、陈风兰进行了水库泄洪布置方案的风险分析,对泄洪风险计算中的JC法与MC法进行了分析比较。

1997年4月,谢崇宝、袁宏源、郭元裕等针对实际水库,考虑防洪库容的滞洪削峰作用,研究了水库防洪全面风险率模型的应用问题。

1998年5月,赵永军、冯平等把水文风险与水流风险分开,根据风险理论给出一种考虑水流风险因子的风险分析方法,探讨了河道防洪堤坝仅因水流参数出现偏差而失事的概率。

1999年2月,周宜红、肖焕雄等通过对三峡工程大江截流施工过程中水文、水力等不确定性因素的分析,指出了施工截流的风险本质,计算动态风险率,并提出了风险控制措施。

1999年3月,章志强、王卓甫、杨高升等对影响长江南京段防洪堤结构稳定的不确定性做了初步分析,提出了防洪堤工程失稳风险计算的数学模型,具体计算了长江南京段防洪堤工程失稳风险的大小。

1999年5月,姜树海分析了防洪设计标准的内涵及其对大坝防洪安全的影响,采用事故树分析方法逐层顺序讨论了漫坝失事的形成,最后定量给出相应的防洪风险率,并在此基础上讨论了合理选择大坝防洪设计标准的原则和方法。

2000年4月,吴时强、吴修峰、徐世凯、姜树海基于随机微分方程的堤防设计风险分析方法,提出了用可靠度来设计堤防高程,可最有效地发挥工程的防洪作用。

2000年6月,张闻胜、董秀颖、刘金清从水文风险、水力风险、经济风险、风险决策和洪水保险分析等5个方面,总结归纳了国内外洪水风险分析定性描述与定量分析的研究成果,阐述了目前各项研究的进展成果与存在的问题,为我国的防洪减灾工作提出了一些有益的建议。

2001年3月,刘俊萍、田峰巍、黄强讨论了水库洪水调度中洪水风险计算方法,分析了影响泄洪风险的不确定性因素,给出了随机变量的分布函数与参数。

2001年4月,胡国华、夏军基于概率论和灰色系统理论方法,定义了灰色概

率、灰色概率分布、灰色概率密度、灰色期望及灰色方差等基本概念,针对系统的随机不确定性和灰色不确定性,建立了风险分析的灰色-随机风险率方法。在该方法中,作者将风险率的不确定性归因于系统的灰色不确定性,将系统性能函数变量的分布处理成灰色概率分布,并用灰色-随机风险来量化系统失效的风险性。最后,将灰色-随机风险率转换成一般的随机风险率,进而用改进一次二阶矩法进行计算。

2001年6月,王本德、徐玉英将标准风险评估方法应用到水库洪水标准的风险分析中,以柴河水库为例,说明水库洪水标准的风险分析方法是可行的,具有推广价值。

2001年10月,陈进、黄薇从风险分析的角度研究流域防洪体系的组成、影响因素及其风险分析方法,包括系统破坏概率和洪灾损失的估算、非工程措施对减小系统风险的影响等,并结合长江中游防洪工程的特点,探讨防洪体系的组成,研究表明:通过系统风险分析,可以将防洪工程的安全性、经济性和社会性相结合,为防洪决策支持系统的建立服务。

2002年3月,陶涛、付湘、纪昌明着重对区域水资源供需风险分析做了研究,论述了风险评估的定义,指出它是由风险发生的概率、风险发生的程度以及风险因子之间的关系决定,并且分别论述了这三者的意义,接着研究了风险协调关系的定义及特点,从这两个方面出发,全面分析了区域水资源供需方面的风险。

2002年9月,胡志根、刘全、贺昌海等运用蒙特卡罗方法模拟施工洪水入库过程和导流建筑物泄流的随机性,通过仿真分析确定上游围堰前水位变化过程及其分布函数。在此基础上,根据导流建筑物的设计规模确定导流系统的风险。

1-3 模糊风险分析进展

自1965年查德发表了《模糊集合论》后,许多研究者开始用模糊方法处理风险问题。

1-3-1 国际方面

1984年Schmucher提出了用合并子系统的模糊风险来计算整个系统的模糊风险的典型技术。1992年Machiast和Skikos提出了风源点模糊风险指数的计算机化方法。这种方法建立在启发式规则矩阵的基础上,该矩阵表达了风速、频率和风险值的语言术语间的关系。Machiast和Skikos定义的这一矩阵显示了如何结合代表风速及其发生频率的两个独立信息集合以产生组合风险水平,根据这些极端风险事件和矩阵,可计算出隶属度和风险指数结果。1994年,Jablonowski提出的模糊公式开辟了实现风险分析过程计算机化的道路。他将风险定义为概率(p)和损失(l)的组合,公式如下:

$$\langle \text{RISK}_{p,l} \rangle = \langle \text{POSIBLE}_{p,l} \rangle \cap \langle \text{SIGNICANT FINANCAIL IMPACT}_{p,l} \rangle$$

式中, $\langle \rangle$ 代表模糊集; $\cap$ 是集合相交符号。其中,可能性和显著经济影响的模糊集相交被定义为二者相乘,合并风险因素便可以得到概率-损失空间的风险定义。其结果以三维隶属函数形式出现。在此定义的基础上,等值线,如同地形图上的等值线,可用于显示风险的隶属度。考虑到损失概率自身的计算是不精确的和模糊的,并将风险定义的模糊性同承受意外损失的概率度量的模糊本质相结合,Jablonowski给出了所谓的模糊风险轮廓,建议用神经网络模型学习模糊风险,以帮助选择对新风险源的保险政策限度。为处理决策者对结果和外部因素有模糊和不完备信息的决策问题,1994年 Delgado, Verdegayt Vilar 提出了建立在模糊风险区间(梯形的隶属函数被认为是模糊风险区间)基础上的基本决策原则。

1-3-2 国内方面

1998年姜树海建立了漫坝失事的随机模糊风险分析模型,提出了大坝防洪安全风险计算的原则、方法及适用条件。1998年鞠鲁粤应用模糊数学理论,建立了模糊故障模式、影响及致命度分析语言,确定了模糊风险评判法则,形成了完整的故障模式、影响及模糊风险分析方法。1999年沈国柱根据风险模糊集理论的不同风险内涵,介绍了三种不同的风险模糊分析方法,对风险模糊综合评判法在风险分析过程中的基本应用做了初步讨论,从而提示出风险模糊现象的有限范围特征及其定性定量相结合的风险分析方法。1999年白海玲、黄崇福分析了自然灾害风险的本质含义,提出自然灾害分析的瓶颈在于系统的复杂性,解决或缓解这一问题的途径之一是用模糊系统的观点看待自然灾害风险,进行模糊风险分析。2001年左其亭、吴泽宁基于模糊概率、风险分析计算方法,从定量的角度对带有模糊性的风险问题进行了研究,提出了模糊风险率、模糊风险度的概念及计算模型。

第二章 风险分析的理论基础

2-1 风险分析的基本概念

2-1-1 作用与抗力

“作用”是指作用于研究对象之上并使研究对象产生内力、位移甚至破坏或失事的动力,而“抗力”是指研究对象抵抗破坏或失事的能力。“作用”与“抗力”是两个抽象化的概念,对不同的研究对象、不同的失事形式,它们所代表的物理含义是不同的。如在土石坝漫坝风险分析中,“作用”是坝前库水位,“抗力”为坝顶高程。在土石坝坝坡失稳风险分析中,“作用”是坝坡的滑动力矩或坝前库水位,“抗力”为坝坡抵抗滑动的力矩。而在某些结构分析中,“作用”则是结构构件的内力、位移等,而“抗力”则为构件的极限内力、极限强度、刚度以及抗滑力、抗倾力矩等。

2-1-2 结构可靠度与极限状态

结构在规定的工作时间内与规定的工作条件下完成预定功能的概率称为结构的可靠度。这里规定的时间,指的是结构的设计基准期,如大坝,一般规定使用期为50~100年;规定的条件,指的是设计预先确定的结构的各种施工和使用条件。完成各项功能的标志则由极限状态来衡量。结构整体或部分在超过某状态时,结构就不能满足设计规定的某一功能的要求的这种状态,称为结构的极限状态。极限状态是区分结构工作状态为可靠或不可靠的标志。

结构的极限状态一般可分为如下三类:

1. 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力,或达到不适于继续承载的变形。

当结构出现了下列状态之一时,即认为超过了承载能力极限状态:

(1) 整个结构或某一部分作为刚体失去平衡(如坝体或挡土墙的滑动、倾覆等)。

(2) 结构构件或连接处因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏);或因很大塑性变形而不适于继续承载。

(3) 结构变为机构。

(4) 结构或结构构件丧失稳定(如压屈等)。