



桥梁设计与过程系列丛书
BRIDGE DESIGN METHODS AND PROCESSES

桥梁工程风险评估

RISK ASSESSMENT OF BRIDGE ENGINEERING

阮 欣 陈艾荣 石雪飞 编 著



人民交通出版社
China Communications Press

西部交通科技项目:

桥梁工程全寿命设计理论与方法(2004 318 822 25)

桥梁设计与方法丛书

Risk Assessment of Bridge Engineering

桥梁工程风险评估

阮 欣 陈艾荣 石雪飞 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容主要包括:桥梁工程风险研究的基本体系,桥梁事故的统计分析,桥梁风险损失模型研究,桥梁风险概率模型研究,桥梁风险评价和决策方法研究,桥梁工程保险策略和精算问题研究,桥梁风险评估的基本方法研究,桥梁多目标风险评估研究,桥梁公共安全问题评估研究。

本书可供从事桥梁施工、设计、保险及相关研究人员的阅读,也可供高等学校相关专业的研究生和高年级本科生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程风险评估/阮欣 陈艾荣 石雪飞编著. —北京:人民交通出版社,2008.7

ISBN 978-7-114-07214-7

I. 桥… II. 阮… III. 桥梁工程—风险分析 IV. U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 081252 号

桥梁设计与方法丛书

书 名:桥梁工程风险评估

著 作 者:阮 欣 陈艾荣 石雪飞

责任编辑:沈鸿雁 周高瞻

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010) 59757969

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京密东印刷有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:17.25

字 数:321 千

版 次:2008 年 7 月 第 1 版

印 次:2008 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07214-7

印 数:0001~3000 册

定 价:40.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前 言

近 20 年来,在公路建设高速发展和城市新改建大规模开展的有力推动下,公路和市政桥梁数目高速增长;与此同时,苏通大桥、润扬大桥、西堠门大桥、东海大桥、杭州湾大桥等一批世界级大桥工程相继建设我国桥梁工程“跨越式”的发展引起了世界的关注。

在桥梁建设飞速发展的同时,提高桥梁设计、施工、管理、维护的水平也日益成为我国桥梁工程界广泛关注和讨论的问题。这其中,如何使桥梁工程的决策尤其是工程关键问题的决策更加科学,特别是如何认识和应对在桥梁建设和使用过程中可能出现的不确定因素是比较有代表性和普遍意义的问题之一。近年来,风险评估方法逐渐进入研究者的视线,利用风险评估解决桥梁工程中的复杂决策问题,并基于风险管理处置这些问题成为解决这一问题的新思路。

风险的概念最早出现在 19 世纪末的西方经济领域中,并且在核工程、海洋工程、环境工程等诸多领域形成了比较系统的研究成果。1983 年国际桥梁与结构工程协会在丹麦召开学术会议,讨论桥梁船撞问题。这次会议形成的指南介绍了利用风险评估解决船撞桥梁设计的方法,正式将风险评估方法引入桥梁工程领域。但此后国际上有关桥梁风险评估的发展并不顺利,直到进入 21 世纪,各类国际会议重新开展关注风险评估方法在桥梁工程中的应用,相继召开了多次相关会议。在我国,2001 年起,以范立础院士为代表的一批专家开始提出桥梁全寿命设计、风险评估和保险等一些桥梁设计、管理新理念;2002 年上海市政工程局在崇明越江隧道工程可行性研究中,启动了工程风险评估专项研究,对包括全桥、全隧、桥隧结合等方案进行风险评估。该研究也标志着现代风险评估方法在我国桥梁工程领域应用的开端。

经过一段时间的摸索,国内桥梁工程界逐渐认识到,工程风险的内涵和外延非常丰富,桥梁风险评估可以从可行性研究阶段、设计阶段、施工阶段一直延伸到管养,甚至拆除阶段;而风险评估的方法也可以从专家调查、逻辑分析,延伸到结构可靠性分析。一时间,风险评估的工程意义和应用方法成为讨论的热点。

作者认为,这样的发展阶段是风险评估在桥梁工程中全面应用的必经过程。这一阶段的出现一方面说明风险评估的理论和方法体系具有深厚的内涵,同时



也预示着研究建立系统的桥梁工程风险评估理论和方法体系的紧迫性。

基于这一背景,从2002年起至2007年的近5年间,在多个纵向和横向科研工程应用项目的推动下,我们尝试开展了对桥梁风险评估的研究体系、理论方法、工程应用等问题的系统研究。本书是对这5年研究的一个总结,尝试提出一个桥梁工程风险评估的基本理论体系,并建立了桥梁风险评估的基本评估方法。

桥梁规划、设计、施工、使用、维修、拆除等与桥梁结构相关的、在桥梁全寿命各个过程中都可能出现的、对相关利益团体的既定目标造成影响的不确定事态,可称之为桥梁的风险事态,简称为桥梁风险。对与桥梁相关的潜在风险事态进行识别,以及对其影响程度、出现可能性等进行某种形式的量测,并对量测结果进行分析、比较、评价、处置,制定合理对策的过程称为桥梁风险评估。本文以建立桥梁风险评估研究的理论和实用方法体系为目标,在其基本理论体系、关键基础问题、基本评估方法等方面开展了系统的研究工作。

桥梁工程风险评估是内涵非常丰富的课题,它在桥梁工程中的应用也将随着工程界对风险概念的认识、对风险理念的认可、对风险评估方法的研究不断深入。本书仅是作者对这方面粗浅认识的一个总结,未能涉及桥梁风险评估的全部,且可能存在偏颇,不当之处,敬请读者指正。

本课题研究得到了中国工程院咨询项目“大型建筑工程风险评估和保险”(2004—1—008)、西部交通科技建设项目“桥梁工程全寿命设计理论和方法”等国家和省部级研究项目的资助,同时得到了杭州湾大桥工程指挥部、路桥集团第二公路工程局、南宁国研科技投资有限公司等单位的支持,使得研究成果能够在具体工程中得以应用,特此致谢!

作者

2007 秋 于同济园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 风险及工程风险评估发展历史简述	1
1.2 桥梁工程风险评估的历史与现状	5
1.3 桥梁风险评估中有待研究的问题	9
第 2 章 桥梁工程风险研究的基本体系	12
2.1 风险科学的理论与研究体系	12
2.2 桥梁工程风险研究基本体系	20
2.3 桥梁风险评估研究体系	28
2.4 基于风险的桥梁设计理论与方法体系	34
第 3 章 桥梁事故的统计分析	39
3.1 桥梁事故与风险评估的关系	39
3.2 桥梁事故的总体特征	40
3.3 典型桥梁事故分析	46
3.4 桥梁事故的统计分析	53
第 4 章 桥梁风险损失模型	69
4.1 桥梁风险损失的基本问题	69
4.2 结构损伤损失量测	76
4.3 人员伤亡损失量测	84
4.4 施工延误损失量测	92
4.5 通行延误损失量测	96
第 5 章 桥梁风险概率模型	103
5.1 桥梁风险概率模型的基本问题	103
5.2 风险事态基础概率的确定方法	107
5.3 损失发生概率的确定方法	113
5.4 风险概率的精细计算方法	124
第 6 章 桥梁风险评价和风险决策方法	127
6.1 桥梁风险决策的基本问题	127



6.2	基于满意准则的桥梁风险决策方法	135
6.3	基于最优准则的桥梁风险决策方法	140
6.4	考虑多目标影响的桥梁风险决策方法	146
第7章	桥梁工程保险策略及精算问题	154
7.1	工程保险基本问题	154
7.2	大型桥梁工程建设阶段保险	162
7.3	大型桥梁工程运营阶段保险	172
7.4	大桥工程保险精算模型初步研究	178
第8章	桥梁风险评估的基本方法	189
8.1	桥梁风险评估基本方法	189
8.2	某桥悬浇期间风影响风险评估	197
第9章	桥梁多目标风险评估	215
9.1	桥梁多目标风险评估方法	215
9.2	南宁大桥施工方案的多目标风险评价	218
第10章	桥梁公共安全风险评估	228
10.1	桥梁公共安全问题的提出	228
10.2	桥梁公共安全风险评估方法	231
10.3	杭州湾通道行车风安全的公共安全风险评估	246
参考文献		259



第 1 章 绪 论

进入 21 世纪,我国桥梁工程出现了“跨越式”发展:在大跨度和超大跨度桥梁建设方面,以主跨 1 088m 的苏通大桥、主跨 560m 的卢浦大桥等为代表的一批世界级桥梁相继进入了实施阶段;在大规模桥梁建设方面,东海大桥、杭州湾大桥等跨海桥梁相继建成通车;在城市桥梁建设方面,景观要素逐渐成为决定桥型的重要条件,一些造型独特、个性突出的桥梁相继出现;另外,城市改造的高速推进和高速公路的大规模建设也使得中小桥梁建设的数目成倍增长。

在桥梁建设飞速发展的同时,如何提高桥梁设计、施工、管理、维护的水平成为迫切需要解决的问题。这其中,如何使得桥梁工程的决策(尤其是工程关键问题的决策)更加科学,特别是如何认识和应对可能在桥梁建设和使用过程中发生的各类事故就是比较具有代表性和普遍意义的问题之一。近年来,风险评估方法逐渐进入到研究者视线,利用风险评估解决桥梁工程中复杂决策问题,并基于风险管理处置这些问题成为解决这一问题的新思路。

风险(Risk)的概念最早出现在 19 世纪末的西方经济领域中(雷胜强, 1996),随后在很多领域中迅速发展。就工程领域的应用来看,它已经在水坝结构(麻荣永, 2004)、海洋工程(张圣坤等, 2003)、环境工程(胡二邦, 2000)等很多领域形成了比较系统的研究成果。相比之下,风险理论和方法在桥梁工程的应用还处于起步阶段。本章首先对风险及其在工程领域中的应用进行简单的介绍,对国内外桥梁工程中有关风险研究进行综述,并在此基础上对桥梁工程风险研究在研究体系、理论、方法和工程应用等方面存在的问题进行了概括,并基于这些问题给出本书的总体框架。

1.1 风险及工程风险评估发展历史简述

1.1.1 风险基础研究概况

风险的概念最早出现在 19 世纪末的西方经济领域中。长期以来,对风险的研究一直存在偏重方法、忽视理论的问题。多数研究者(尤其是工程领域的研究



者)一直将风险评估作为方法问题,而不是作为一个科学问题来考虑;对于具体风险评估方法的研究也往往限于方法应用优化,而很少从系统的理论研究的层次去考虑。随着应用的不断深入,研究者逐渐发现,将风险仅作为方法理解和研究,越来越不能包容其深刻思想内涵,应该尝试建立其系统的理论框架,用科学的眼光重新审视风险问题。

直到目前为止,系统、完善的风险评估学科体系尚未形成,这方面研究仍然主要是在各个风险应用行业之间,主要依靠研究者的广泛交流,逐步推进。25年前,美国成立了风险分析协会(Society of Risk Analysis,简称为SRA),为风险评估研究者建立了一个交流的平台。目前,该协会已经发展成为包括生态风险评估、经济风险评估、工程风险评估、食品和水风险评估、风险交流、风险科学和法律等多个研究分会的大型学术研究机构,定期出版学术刊物、召开学术讨论会,吸纳各个领域的风险研究者进行广泛的学术交流,该协会已经成为国际风险研究权威组织之一。除此之外,哈佛大学、苏黎世工学院等许多知名大学也都成立了研究中心,但这些研究机构大都具有一定的学科偏向性,有浓重的学科背景色彩。

从学科体系的角度看,目前在风险科学方面基础性的研究主要集中在对风险概念理解、风险评估流程、风险感知等方面。其中风险概念的研究一直是热烈讨论的话题。Kaplan在1996年美国风险分析协会年会上指出(Kaplan,1997)“风险分析的概念过去一直是我们面临的一个难题,而且它还将继续困扰着我们”。风险分析协会成立后做的第一件事情就是组建一个专门委员会定义“风险”概念,经过4年的努力,该委员会放弃了对“风险”进行定义的初衷。它的最终报告指出“没有必要定义风险的概念”。这从一个侧面反映了对“风险”进行定义的难度。但笔者认为,“没有必要”的仅仅是“定义”风险,对风险基本概念的正确理解是进行风险评估研究的基础,这点是毋庸置疑的。从某种程度上看,对风险基本概念理解的模糊正是目前风险应用研究中的迫切需要解决的问题之一。在风险流程研究方面,虽然风险评估的基本流程早已确定,有研究机构甚至尝试给出了“标准流程”(AIRMIC,2002),但究竟通过怎样的方法和流程才更有利于提高评估的结果,尤其是反映风险承担者的真实意愿,一直是风险研究的关键问题之一。

总体看来,与工程、金融、医学、社会学等方面的广泛应用相比,风险基础理论方面的研究严重匮乏和滞后,风险科学的理论框架和基本体系尚不明确,这将在一定程度上影响风险评估的深入发展。



1.1.2 风险评估在工程领域的应用

工程领域中风险评估应用始自 20 世纪 70 年代的核工业。现代工程的复杂性、不确定性,以及逐渐成为工程分析方法主流的概率方法等给工程风险评估发展提供了良好的应用背景和发展前提。

1. 核工业风险评估(张圣坤,2000)

20 世纪 50 年代中期,研究者开始设想运用概率论方法分析核电厂的安全性,以便于从定量角度评估核电厂的安全性,找出核电厂设计、建造和运行中的薄弱环节,提出确保核电厂安全运行的改进建议。1973 年 3 月,美国三哩岛核电厂 2 号机组发生了严重事故,而事故的进展过程已在反应堆安全研究中有所预示。1975 年美国核管会完成了对其管辖的核电站的系统安全研究,发布了著名的 WASH-1400 报告,发展和建立了概率风险评价方法(Probability Risk Assessment),成为风险评估方法在核工业应用的里程碑事件。此后,针对不同的具体问题又相继提出了许多风险分析方法,集成的风险分析方法逐渐进入实际应用的阶段。但 1986 年前苏联切尔诺贝利核电站的灾难性事故表明,风险分析方法在实际工程应用中的进一步完善还是十分必要的。

2. 环境风险评估(胡二邦,2000)

环境风险评估主要考虑与重大工程项目联系在一起的突发性环境灾难事故,如爆炸、泄漏等,并以社会和环境的影响(而不是技术系统本身)为评估重点。印度博帕尔市农药厂事故后,世界银行的环境科学部很快颁布了关于“控制影响厂外人员和环境的重大危害事故”的导则(World Bank 1985a)和指南(World Bank 1985b)。此后,联合国环境规划署、欧盟、亚洲开发银行相继颁布文件,以法令的形式规定将重大危险源的风险评估固定下来;我国类似法规也于 20 世纪 90 年代初期发布。这些措施快速地推动了环境风险评估研究和应用的发展。

3. 船舶与海洋工程风险评估(张圣坤,2000)

20 世纪 70 年代后期,英国石油公司在海洋工程领域引入了风险分析方法;1981 年挪威石油管理部门颁布了海洋平台的安全评估规范,规范要求所有新的离岸设施在概念设计阶段必须进行定量风险评估(QRA),并于 1993 年再版该规范,使得其风险评估过程和方法更加规范。1992 年以后,英国所有的离岸油气装置的设计和现有离岸结构性能的再评估均引入了风险评估方法。1996 年在 Mars 张力腿平台的设计、建造和安装过程中成功地运用了风险评估和风险管理技术,通过分层模型和仿真技术进行了建造成本和进度的风险分析。近年来,国内船舶及海洋工程领域的风险评估和风险决策的研究与应用也在快速



发展。

4. 火灾风险评估(范维澄,2004)

20 世纪 80 年代开始,一些经济发达国家出现了许多超高、超大、设计新颖的建筑,这些建筑的防火设计用现行的设计规范无法解决,只能依靠基于性能的防火设计方法,由此揭开了火灾风险评估方法研究的序幕。目前已有近 13 个国家在这方面投入大量的经费,推动相关研究工作的进行。我国关于火灾风险评估的研究相对一些发达国家起步较晚,但近几年相关的研究工作日益活跃起来。特别是《国家重点基础研究发展计划》火灾动力学演化与防治基础(973)给予火灾风险评估研究很大的支持,确定了基于火灾动力学和小样本统计理论耦合的火灾风险评估方法研究方向。

5. 大坝风险评估(麻荣永,2004)

从 20 世纪 70 年代,几次严重的大坝事故促使许多国家加大了大坝安全研究的力度,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,由此拉开了大坝风险评估研究的序幕。1979 年美国发表大坝安全联邦导则,更是掀起了其国内关于大坝风险评估的热潮。我国关于水利工程防洪可靠性的研究是 20 世纪 80 年代才开始的,主要集中在水利随机模型、结构抗力随机模型等方面。90 年代后期,部分学者将模糊数学引入大坝风险评估研究,逐渐形成了大坝模糊风险评估的新研究方向。

6. 安全科学领域的风险评估

安全科学是研究人、机和环境之间的关系,以建立三者平衡共生为目的的科学。20 世纪 70 年代,对于安全问题的研究逐渐上升到学科的高度。传统经验型的研究方法已不能满足现代高风险的技术环境,风险评估在安全科学领域中的研究和应用逐渐发展起来。安全科学领域的风险评估发展至今,已经从对单一设备、设施或危险源的风险评价发展到了系统安全评价;评估方法从以定性为主的安全检查表发展到了定性、定量结合,甚至是全定量的评估。包括我国在内,对一些危险性较高的行业专门制定了风险评估规程,或是以安全检查表、安全评分表的形式强制进行简化的风险评估。

纵观上述工程风险评估研究历史和进展情况可见:20 世纪 70 年代是工程风险评估研究的启蒙时期,经过 80、90 年代的研究和应用,其价值逐步体现,目前各个工程领域的相关研究和应用逐渐成熟。虽然风险评估的目的是减少事故的发生,但重大灾害、严重事故往往是风险研究的重要推动力量,美国三哩岛核电厂、印度博帕尔市农药厂事故等在风险评估研究史上的作用不可或缺。随着研究应用的深入,风险评估正在回归其决策辅助工具的本色,研究者逐渐认识到



风险评估本身并不能推动领域内尖端研究的深入,解决悬而未决的难题,它更多的是通过对不确定性、未知性、模糊性进行科学的把握和处理后,提供决策辅助和支持意见。基于各个学科中原有的研究基础,各个领域中对风险概率的把握都要显著好于风险损失,风险损失计算水平与风险概率不相称正在成为风险评估进步和发展的瓶颈。风险评估方法是各个领域研究中的热点,但对风险评估基础理论方面研究的匮乏,正在成为风险评估向深层次应用发展的制约之一。

1.2 桥梁工程风险评估的历史与现状

1.2.1 桥梁生命周期中的风险

广义的风险可以理解为实现现实状态与预期之间的差异。在这样的广义定义下,桥梁生命全过程都受到潜在风险的威胁。

在规划阶段,桥梁方案的确定、桥位的选择等为其后续的建设、运营等带来极大的不确定性。这方面最为典型的例子是南京长江大桥。南京长江大桥的通航高度目前已经成为长江航道运力发掘的最为主要的限制条件之一,而这一高度的确定正是在大桥初期规划时确定的。规划阶段的风险往往具有很强的隐蔽性,造成的损失也往往最为巨大,其风险损失往往将由整个社会负担。

在设计阶段,将面临设计理论、计算模型、计算分析能力、工程师素质与责任心等各种风险。尤其是对于那些需要实现跨径突破、体系创新、结构创新的桥梁,设计风险更为明显。排除一些人为错误造成的风险,设计理论发展不完善往往是设计阶段最需要引起注意的风险。例如,为桥梁工程界熟知的塔科马桥风毁事故,引发事故的原因在设计阶段完全不为设计师所知,相关的桥梁气动理论在当时处于空白状态,使得该桥设计风险非常高,并最终酿成事故。设计风险损失可能由桥梁业主、设计单位等承担。

施工阶段的风险可能来自施工工艺、意外事故、自然灾害、人为灾害等多方面,施工阶段的事故是人们最为熟悉的风险事态,也是狭义风险定义下最为主要的风险事态。施工阶段的风险损失主要由施工单位、桥梁业主等承担,大多数施工阶段的风险能够通过严格管理、周密计划以及系统的风险管理方案得到很好的控制,这也成为桥梁风险评估和风险管理最为直接的应用领域。

桥梁使用阶段的风险主要来自意外事故、自然灾害、人为破坏等情况。当然,很多在规划、设计、施工阶段埋下的风险事态将最终在施工阶段发生,造成损失。在以往的体制下,使用阶段的风险损失往往都直接由桥梁业主承担,在当前



桥梁管理方式由政府管理向资本管理体制转换的环境下,这种模式给桥梁的运营者带来了极大的运营风险。如何通过合理的风险评估和管理体制,降低桥梁运营期间的风险和总体运营成本也是目前桥梁风险评估研究兴起的重要潜在原因。

在桥梁的拆除阶段,除了拆除桥梁可能造成事故引起风险事态以外,从全寿命设计观点看,桥梁拆除将引起环境、交通等方面的社会损失,而这些问题应该在规划、设计阶段就考虑进来,使得其全寿命成本最低,风险最小。

综上所述,桥梁生命周期内各个阶段蕴藏着潜在的风险,且相互联系、相互耦合,可能对社会、业主、设计、施工、管理、使用等各个方面造成损失。如何合理地控制桥梁生命周期的风险,平衡参与各方的利益,最大限度地降低总体成本成为桥梁工程领域新的研究课题。

1.2.2 国外桥梁风险评估历史与现状

明确地提出“风险”概念,并系统地利用风险评估方法来解决和处理大型桥梁工程的重大决策问题是从 20 世纪 80 年代初,由船桥碰撞问题首先开始,至今已有约 25 年历史。

1983 年 6 月,在丹麦哥本哈根召开了由国际桥梁和结构工程协会(International Association of Bridge and Structure Engineering)主办,以大海带跨海工程为背景,主题为“船只与桥梁和离岸结构的撞击”的学术会议。会议将桥梁和近海工程工程师、海上工程建筑师、海运专家、风险评估专家聚集在一起,收集和交换了这一领域的最新研究成果,组成了制定相关指南和学科综合研究报告的分委员会,并于 1991 年在列宁格勒召开的 IABSE 年会上通过了委员会的工作报告《交通船只与桥梁结构的相互影响:综述与指南》。

这一指南的内容包括了桥梁初步设计准则、船舶交通特性、船桥碰撞概率、碰撞力、结构响应、防护措施、民众防护、风险结构准则等内容。这一指南中明确了用风险方法处理船桥碰撞问题的总体思路,强调了船桥碰撞问题决策中的多目标性、不确定性,突出了其风险本质,并用一章的篇幅专门介绍了船桥碰撞的风险接受准则,形成了比较完整的基于风险的船桥碰撞问题研究体系。遗憾的是,虽然指南中给出了风险的实用定义(事件出现的概率和该事件结果的乘积),介绍了风险概率的计算和预测方法,也指出了船桥碰撞后果计算和预测的复杂性,但对事件后果的量化方法没有进行深入讨论,使得定量的风险评估在实际操作中仍有一定困难。

2001 年 CIB(International Council for Research and Innovation in Building



and Construction)中 WG32 小组,发布了题为:Risk Assessment and Risk Communication in Civil Engineering(CIB,2001)的研究报告,对结构工程风险评估方法进行了比较系统的总结和归纳,并且强调了在工程风险进行风险交流和综合多方面意见确定结构风险接受准则的重要性。CIB 的这一研究报告进一步强调了工程结构物的多重社会属性,明确了工程决策问题的多目标本质,而使得风险评估和风险决策在工程决策中的重要作用得以提升。CIB 报告的另一个贡献是:在风险接受准则中对经济准则进行了讨论,这也部分地反映了当时一些研究者试图将风险事件造成的损失作为结构全寿命费用的一部分来考虑,从而明确了将风险评估与结构全寿命研究结合起来的研究动向。当然,作为学术协会的建议性研究报告,其主要目的是引起研究者的注意,对风险评估过程中的一些具体内容没有深入展开,风险评估方法在具体工程中的应用也有待深入。

2001 年 3 月,IABSE、CIB、ECCS、fib、RILEM、JCSS、ESRA、CERRA 等多个国际性学术协会,在马耳他举办大型学术研讨会:Safety,Risk,And Reliability-Trends In Engineering,编辑了由 190 篇论文组成的论文集,有力地推动了风险评估在工程领域中的应用。马耳他会议标志着世界工程界对结构安全问题的认识达到了新的高度,风险评估成为工程决策辅助的重要工具,世界各国都在对各种结构系统的风险评估方法、各种典型风险事态下结构物的风险评估方法等进行积极研究。但从具体的研究内容看,专门针对桥梁的研究并不多。2005 年在葡萄牙里斯本召开的 IABSE2005 年会中,再次将风险评估专门作为大会的专题之一。

从具体的研究动向和内容看,针对桥梁工程中的船撞、大风、地震、火灾、车撞、蓄意破坏等很多问题都有进行风险评估的实例,但大多数研究是针对具体问题进行。基本的研究思路是基于概率方法分析风险事件发生的可能性,然后用定性的方法研究损失,并给出概念性的基本对策。对风险评估方法在桥梁工程中的应用研究相对较少,专门针对桥梁的比较系统的研究基本没有。总体看来,仍停留在具体问题的方法应用层次,尚未上升到系统方法和理论研究的程度。

1.2.3 我国桥梁风险评估历史与现状

马耳他会议以后,我国桥梁工程界开始关注桥梁风险评估问题。2002 年上海市市政工程局委托同济大学、中交集团四航院、香港奥亚纳公司(ARUP)组成联合体,对上海崇明越江工程进行工程可行性风险评估。该研究分 17 个专题,对施工和运营期间桥梁和隧道方案的各种风险进行了研究,其中与桥梁有关的



子课题为:

2. 地震对越江工程影响的风险评估;
5. 越江工程结构耐久性风险评估;
6. 桥梁抗风振风险评估;
7. 特大跨度桥梁施工期间工程风险评估(包括桥梁上部、下部结构);
8. 桥梁营运管理维护风险评估(包括抗腐蚀、超载等);
9. 通航船只相撞及通航船只撞击大桥的风险分析;
15. 恐怖袭击对越江通道的风险评估。

课题研究于 2003 年 8 月完成,并通过上海市政工程局组织的鉴定。该研究是我国首次明确的基于风险评估方法辅助大桥工程决策。研究涉及了大桥的抗风、抗震、船撞、施工、使用等各个方面,基本覆盖了桥梁研究的各个领域,有力地推动了我国桥梁风险评估研究。同时,研究中也暴露了一些问题,比如,各个子课题组对风险、工程风险的基本概念认识、采用的研究方法各异、风险接受准则和评价标准不统一等等。对桥梁风险评估问题进行系统的研究,形成系统、规范、便于使用的评估方法,研究制定系统的桥梁风险评估方法的必要性和迫切性在当时已有所显现。

2003 年,同济大学范立础院士提议的《大型建筑工程风险评价与保险研究》获得中国工程院咨询项目立项。该项目主要关注大型工程项目的风险评价方法及其保险策略,由范立础院士负责,陈肇元院士、董石磷院士及同济大学、清华大学、浙江大学多位教授参加。2004 年 8 月,刘志文在同济大学完成了题为《缆索承重桥梁的抗风风险评估》的博士论文,建立了缆索承重桥风致灾害风险评价体系,并对苏通大桥进行了实例研究。2004 年 9 月,张风华博士在同济大学完成博士后工作报告《大型建筑工程及城市风险评价与保险研究》,对以桥梁为代表的大型建筑工程及复杂城市体系进行了风险评价方法和保险研究,从而为大型建筑工程及城市进行风险管理提供了基本依据。2004 年底,由同济大学和中交公路规划设计院合作研究的交通部西部科技项目《桥梁工程全寿命设计理论与方法》项目获得批准。桥梁全寿命过程中,可能发生各种灾害性事件,并造成损失,将显著影响桥梁全寿命费用,因此,该项目将桥梁风险评估和损失估算也作为子课题之一进行深入研究。

在工程应用方面,2004 年 6 月南宁大桥业主委托同济大学对南宁大桥施工和使用期间的工程风险评估及其对策进行深入研究。该项研究中考虑的风险事态包括大风、地震、船撞、车撞、火灾、蓄意袭击等。2004 年 10 月,路桥集团第二公路工程局委托同济大学对苏通大桥南索塔施工过程进行风险评估并编制风险



管理手册。2005年同济大学在其承担的杭州湾行车安全研究及对策研究项目中,尝试利用风险评估和风险决策方法对大桥风障设置问题进行风险评估,并对设置方案进行风险决策。2007年上海城建集团委托同济大学针对常州高架工程开展施工过程风险评估和风险管理手册编制。

总体看来,在几次重大国际会议和重大工程的推动下,结构工程风险评估正日益得到重视,并蓬勃发展,但专注于桥梁方面的系统成果仍不多见。国内桥梁风险评估方面研究自2002年迅速起步,得到多个纵向课题资助,建立完整的研究体系框架,努力形成系统的研究成果和可操作性强的评估体系将是今后一段时间的主攻方向。

1.3 桥梁风险评估中有待研究的问题

从上述对桥梁工程风险评估研究历史和现状的综述可见:与风险评估在其他学科中应用和发展的情况一样,目前桥梁工程中风险评估的应用和研究在体系、方法和深度上还有很多工作需要深入。以下将从体系研究、基础理论研究、评估方法研究等方面,对桥梁风险评估中有待深入研究的问题进行归纳和总结。

1. 体系研究方面

体系研究是指研究确定桥梁工程风险评估的主要研究思路、研究方向、主要研究内容,明确各部分研究内容之间的相互关系,以指导深入开展的研究。目前在体系研究方面的问题主要体现在:

(1)对风险基本概念的内涵和外延等认识含糊,阻碍了风险方法在桥梁工程中的应用和发展。

(2)对风险基本流程的认识不够清晰,以至于没有充分发掘及发挥风险评估对实践的指导作用。

(3)对风险基本理论和桥梁工程计算分析理论之间的关系没有进行过系统研究,尚未开展有针对性的理论和方法研究,停留在方法应用阶段,基础理论和模型的匮乏,限制了应用水平的提高。

(4)对桥梁工程中有关风险的应用没有进行过系统的整理和分析,不利于桥梁风险水平的提高,也就不能给出桥梁风险研究的发展和研究方向。

总体看来,在体系研究方面缺乏一个基本的研究框架指导理论研究和方法应用的开展,这不仅不利于桥梁风险评估应用水平的提高,也影响了风险评估水平的提高和应用的深入。



2. 基础理论研究方面

目前桥梁工程中的风险评估大多是结合具体的问题进行,专门针对桥梁风险评估方法本身进行的基础理论模型研究几乎没有,基础模型的匮乏已经制约了桥梁风险评估水平的提高和应用的深入。从已有的研究成果和经验看,桥梁事故研究、桥梁风险损失模型、桥梁风险概率模型、桥梁风险决策模型、工程保险精算模型等几部分基础理论是建立桥梁风险评估体系所必需的。

事故模型研究主要是风险评估的基础工作。类似工程的灾害和事故经历是风险辨识过程中最重要的参考资料,也是进行精细化的结构损伤概率和灾害影响分析的基础。风险评估应用比较深入的领域往往有比较完善的灾害数据库支持,比如在海洋工程领域就有著名的 WASH 数据库。在桥梁工程方面的基础工作几乎处于空白状态亟须开展起来。

风险损失是风险评估的两大要素之一,对风险损失的关注和研究也是风险评估与单纯结构分析的重要区别。为了保证风险评估的准确性,风险损失评估和预测的精度应与风险概率相当,否则对风险概率的定量分析也将失去意义。目前桥梁风险损失模型的研究极为匮乏,基本处于定性评估的阶段,亟待充实。全定量损失模型,或是比较精细的定量定性结合的损失模型都是需要努力的研究方向。

风险概率研究是风险评估的另一大要素。风险概率需要综合考虑风险事态出现概率和风险损失发生概率,因此风险概率研究和风险损失研究密切相关。将风险概率与结构失效概率混为一谈是目前风险评估中认识的误区之一。如何结合桥梁工程中已有的概率分析方法基础和桥梁事故研究的成果提高风险概率研究的精度将是风险概率研究的主要任务。

风险评估过程的本质是决策辅助过程。决策模型研究是丰富评估方法、满足复杂条件下风险评估要求的必要手段,有利于从单纯方法应用的层次提高到根据需要灵活应用、创造新方法的层次。

工程保险是风险转移中的重要方法。桥梁风险评估能够得到迅速发展的重要原因之一就是工程保险的需求。因此,进行工程保险精算模型的深入研究对提高风险评估结果的实用价值和工程的指导意义都有积极的促进意义。

从目前的研究水平看,由于桥梁风险评估整体处于初步阶段,因此上述各个模型的研究都比较少,仅有的少数研究也是比较零散的,没有在统一的理论框架下进行系统的研究或整理。