

穿越轨道交通工程 风险评估及其控制

彭 华 著
蔡小培、白 雁 杨成永



科学出版社

穿越轨道交通工程 风险评估及其控制

彭 华 著
蔡小培 白 雁 杨成永

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书重点介绍穿越既有轨道交通工程风险评估的方法及其控制措施,包括理论分析和工程实践。全书从风险管理意义、风险管理概念、风险等级划分、风险识别、地铁结构和轨道变形机理、风险分析方法、风险控制等方面出发,对穿越既有轨道交通施工风险评估和控制做了详尽的分析,并结合典型工程实例对施工风险评估和控制流程做了具体的阐述。

本书可供从事地铁、铁路既有有线穿越工程的设计单位、施工单位、评估单位和监测单位的技术人员参考之用,亦可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

穿越轨道交通工程风险评估及其控制/彭华等著. —北京:科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-043352-7

I. 穿… II. 彭… III. 城市铁路-轨道交通-交通工程-风险评价
IV. U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 030453 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:彭 涛

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

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>

骏杰印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 2 月 第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 2 月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:265 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

近年来,我国轨道交通运输得到高速发展,形成了极具规模的网络,减少了人们出行和货物流通的时间,缩短了城市之间的距离;城市轨道交通作为快速、便捷的交通方式,大大缓解了城市的交通拥堵。然而,交通运输的高速发展是一把双刃剑:一方面,交通运输的发展对促进经济发展、社会进步至关重要;另一方面,已经运营或施工完成的轨道交通线路在某种程度上制约着周围地域其他基础设施的规划和建设。

我国是一个发展中国家,各项基础设施仍处在建设和完善中。新建的轨道交通、市政通道、市政管线、地下建筑物、高速公路等基础设施必然与既有轨道交通形成穿越关系,包括上穿、下穿和邻近等。穿越轨道交通工程就是指与轨道交通线路及其设施存在交叉、邻接关系并可能影响其安全的建设工程,具体指在轨道交通线路控制保护区内穿越平行、邻近、连接、占用轨道交通线路及其设施的各类工程。穿越工程的施工必然会对既有轨道交通产生一定的影响。如果对其风险认识不足或控制不利,轻则影响或损坏既有轨道交通设施,严重时甚至会危及行车安全,甚至带来巨大的经济损失、人员伤亡等。

就目前情况来看,穿越既有线路施工经验少,国内尚没有较成熟系统的理论和研究成果。为了保障城市轨道交通列车的正常运营,需要对轨道结构的变形进行严格控制,变形控制值一般以毫米计;高速铁路更是要求穿越施工引起线路沉降接近于零。

面对既有轨道交通对变形控制的严格要求,各项基础设施建设又势在必行,为了确保既有线路安全、有序地运营,同时保障各项基础设施建设顺利进行,我们编写了本书。本书从风险管理意义、风险管理概念、风险等级划分、风险识别、地铁结构和轨道变形机理、风险分析方法、风险控制等方面出发,对穿越既有轨道交通线路施工风险管理和控制做了较为详尽的分析,并结合典型实例对施工风险管理和控制流程做了具体的阐述。

本书是以彭华等为学科带头人带领的课题组近年来关于穿越城市轨道交通工程风险评估与控制理论和实践成果的总结。在本书写作过程中,高亮教授、肖宏副教授给予了大力的支持与帮助,北京市重大项目指挥部办公室杨广武总工程师、北京市交通委员会路政局孙壮志处长、北京市地铁运营有限公司周继波总工程师对全书进行了审阅。在本书的写作过程中,得到了北京市重大项目指挥部办公室、北

京市交通委员会路政局、北京铁路局、北京市基础设施投资有限公司、北京市地铁运营有限公司、北京京港地铁有限公司、北京市轨道交通建设管理有限公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、北京城建勘测设计研究院有限责任公司以及相关设计、施工和监测等单位的支持,在此一并表示感谢。

本书出版得到了国家自然科学基金(51278044)、北京市科技新星计划(XX2013012)、北京市高等学校青年英才计划项目(YETP0559)、北京交通大学轨道交通工程北京市重点实验室的资助。本书主要参考了北京地铁和北京铁路局穿越工程的相关资料,书后列了主要参考文献,但挂一漏万,对所有参考文献的原作者表示感谢。

感谢肖骁骐、杨文栋、邢烨炜、唐武、王春辉、温鹏飞、王辉、许奎、吴海洋、马文辉、董志勇、唐树贺、石建泽、刘云亮等为本书付出的辛勤劳动。

感谢北京市地铁运营有限公司技术部黄文明部长、刘志暘、高利宏,京港地铁公司吕方泉经理,北京市基础设施投资有限公司姚建石、刘寒迁,北京铁路局路外办魏毅强主任、曹全副主任、孟国清、张斌、陈天彦、王彦,北京环安工程检测有限责任公司杜小虎经理,没有他们的支持和帮助,本书是不可能完成的。

由于时间仓促,加之水平所限,不足之处在所难免,恳请广大读者指正,以便再版时修正。

作 者

2015年1月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 工程风险管理意义	2
1.3 工程风险管理研究现状	2
1.3.1 风险管理的发展	2
1.3.2 风险管理的国内外现状	3
1.3.3 风险管理在国内外工程领域发展	4
1.3.4 隧道施工风险管理研究现状	5
1.3.5 穿越轨道交通工程风险评估研究现状	8
1.3.6 国内外穿越轨道交通工程实例	11
1.4 本书的主要内容	14
第二章 工程的风险管理	15
2.1 工程风险概述	15
2.1.1 工程风险的定义	15
2.1.2 工程风险的主要特性	17
2.1.3 风险的分类	18
2.2 工程风险管理综述	19
2.2.1 风险管理的定义	19
2.2.2 风险管理的目标	20
2.2.3 风险管理的基本程序	21
2.3 工程风险管理的一般步骤	24
2.3.1 风险辨识	24
2.3.2 风险估计	24
2.3.3 风险评价	25
2.3.4 风险应对	26
2.3.5 风险监控	26
第三章 轨道交通结构变形机理	28
3.1 地下工程地质环境及围岩分级	28
3.1.1 概述	28

3.1.2	围岩结构分类	28
3.1.3	围岩初始应力场	29
3.1.4	自重应力场	30
3.1.5	构造应力场	31
3.1.6	影响围岩初始应力场的因素	31
3.2	盾构隧道施工对围岩及既有结构的影响	32
3.2.1	盾构施工原理	32
3.2.2	计算模型地质概况	33
3.2.3	计算模型与计算参数	33
3.2.4	计算方法	33
3.2.5	盾构隧道开挖后引起的土体位移	36
3.2.6	盾构隧道开挖后引起的土体应力	37
3.3	既有轨道交通结构变形分析	39
3.3.1	结构变形分析	39
3.3.2	轨道结构变形分析	41
3.3.3	轨道交通结构变形理论分析	42
第四章	工程的风险识别	44
4.1	风险事故统计分析	44
4.2	风险识别的原则	45
4.3	主要工程风险因素分析	46
4.4	穿越既有轨道交通工程风险因素分析	47
4.4.1	新建工程情况	47
4.4.2	水文地质条件	56
4.4.3	既有地铁结构现状	60
4.5	风险等级的划分	64
第五章	工程的风险分析	67
5.1	风险分析的基本概念	67
5.1.1	风险	67
5.1.2	风险分析	68
5.1.3	风险辨识	68
5.1.4	风险估计	68
5.1.5	风险评价	68
5.2	常用的风险分析方法	69
5.2.1	定性分析方法	69
5.2.2	定性定量分析方法	69

5.2.3 定量分析方法	71
5.3 风险故障树分析法概述	72
5.3.1 故障树分析法的优缺点	72
5.3.2 故障树中的常用符号及运算法则	73
5.3.3 故障树分析法的一般步骤	74
5.4 风险分析结论的构成	76
5.5 风险当量及其评价标准	77
5.5.1 风险当量和评价标准的定义	77
5.5.2 风险当量和评价标准的确定准则	77
5.5.3 各行业的评价标准	78
第六章 地铁穿越工程的风险控制	80
6.1 风险处理	80
6.2 穿越工程的主要风险控制措施	81
6.2.1 超前锚杆支护	81
6.2.2 注浆加固	82
6.2.3 管棚支护	83
6.2.4 千斤顶及型钢支撑	83
6.2.5 轨道防护措施	84
6.3 施工现场监测控制	84
6.3.1 监测的目的	84
6.3.2 监测的内容及方法	84
6.3.3 监测的要求	85
6.3.4 监测数据的处理和信息反馈	86
第七章 基坑开挖邻近既有地铁工程	87
7.1 工程概况	87
7.1.1 新建工程概况	87
7.1.2 既有地铁车站概况	88
7.1.3 新建科研办公楼基坑与地铁车站位置关系	90
7.1.4 工程地质及水文地质	90
7.2 风险识别	91
7.3 风险分析	91
7.3.1 计算模型	91
7.3.2 计算假定及参数的选取	92
7.3.3 既有车站结构变形分析	93
7.3.4 风险分析结论	97

7.4	风险控制措施	98
7.4.1	施工过程风险控制	98
7.4.2	监控测量保障措施	98
7.4.3	应急预案防范措施	98
第八章	市政地下通道下穿既有地铁区间	99
8.1	工程概况	99
8.1.1	市政地下通道工程概况	99
8.1.2	地铁 13 号线霍营站~立水桥站区间线路工程概况	102
8.1.3	霍营站新增地下通道与既有地铁 13 号线位置关系	102
8.1.4	工程地质及水文地质	103
8.2	风险辨识	104
8.3	风险分析	106
8.3.1	计算模型	106
8.3.2	计算假定与参数的选取	107
8.3.3	既有地铁结构变形分析	109
8.3.4	风险分析结论	110
8.4	风险控制措施	111
8.4.1	工程技术措施	111
8.4.2	监控量测	112
第九章	盾构隧道下穿既有铁路工程	113
9.1	天津地铁 2 号线盾构区间下穿京津城际	113
9.1.1	工程概况	113
9.1.2	风险识别	117
9.1.3	风险分析	118
9.1.4	风险控制措施	122
9.2	天津地铁 3 号线盾构区间下穿京津城际与京山铁路	123
9.2.1	工程概况	123
9.2.2	风险识别	129
9.2.3	风险分析	129
9.2.4	风险控制措施	135
第十章	盾构隧道下穿复杂铁路车站工程	137
10.1	工程概况	137
10.1.1	新建工程概况	137
10.1.2	既有车站概况	139
10.1.3	工程及水文地质	140

10.2 风险识别	145
10.2.1 前后广场联系通道	145
10.2.2 铁路站场股道路基和轨道结构	146
10.2.3 接触网杆	147
10.2.4 无柱雨棚基础	148
10.3 风险分析	151
10.3.1 计算模型	151
10.3.2 计算假定	153
10.3.3 既有车站结构变形分析	153
10.3.4 监测数据对比分析	161
10.3.5 风险分析结论	170
10.4 风险控制措施	171
10.4.1 施工过程风险控制	171
10.4.2 监控测量保障措施	172
10.4.3 应急预案防范措施	173
第十一章 大断面盾构下穿地铁车站工程	175
11.1 工程概况	175
11.1.1 新建工程概况	175
11.1.2 新建工程与地铁车站关系	177
11.1.3 工程地质及水文地质	177
11.2 风险识别	180
11.2.1 故障树的建立	180
11.2.2 求最小割集	182
11.2.3 基本事件的模糊分类	183
11.2.4 求基本事件的结构重要度系数	183
11.2.5 求顶事件的发生概率	184
11.2.6 求基本事件的概率重要度	185
11.2.7 求基本事件的临界重要度	185
11.3 风险分析	186
11.3.1 计算模型	186
11.3.2 计算假定及参数的选取	187
11.3.3 盾构开挖步模拟	187
11.3.4 既有地铁车站结构变形分析	188
11.3.5 既有地铁轨道结构变形分析	191
11.3.6 风险分析结论	194

11.4 风险控制措施.....	195
11.4.1 风险处理措施	195
11.4.2 监控量测	195
参考文献	199

第一章 绪 论

1.1 引 言

随着社会的快速发展和城市规模的不断扩大,轨道交通日益成为改善城市交通状况的重要手段。轨道交通以其运输效能高、低污染、低能耗,符合可持续发展等特点受到人们的青睐。

我国高速铁路的大规模建设和投入运营,大大缩短了城市之间的距离。以京沪高铁为例,其地处我国经济最为发达、综合经济实力最强、最具发展活力的东部地区,纵贯北京、天津、上海三大直辖市和河北、山东、安徽、江苏四省,直接联结 16 个人口超过 100 万的大城市。北京南站至上海虹桥站正线运营长度 1308.598km。京沪高速铁路全线为新建双线,设计时速 380km,共设置 24 个客运车站。在其建设时尽管预留了大量的穿越通道,但在通车运营后,还会有部分工程需要穿越京沪高铁,如北京地铁 10 号线二期盾构穿越其桥梁段、密涿高速下穿京沪高铁等。如何在保证高速铁路安全运营的条件下穿越是迫切需要解决的难题。

无论是建设速度,还是建设规模,中国已经成为世界上最大的轨道交通建设市场。以北京为例,截至 2014 年 1 月,北京地铁共有 17 条运营线路,包含 16 条地铁线路、1 条机场快轨,组成覆盖北京市 11 个辖区,拥有 273 座运营车站,总长 465km 运营线路的轨道交通系统。以客运量计算,北京地铁是国内最繁忙的城市轨道交通系统,亦是运营时间最久、乘客运载最多、早晚峰值最高的地铁线路。北京地铁是世界上规模最大的城市地铁系统之一,2015 年底北京将建成“三环、四横、五纵、七放射”的轨道交通网络,运营总里程达到 561km。预计至 2020 年,北京将建成轨道交通线路 31 条,其中地铁线路 28 条,总长 1050km,车站将近 450 个,形成“中心城棋盘式+新城放射式”的线网格局,线网规模达到世界领先水平。

地铁穿越工程建设中存在许多风险,开展地铁工程风险分析、评估及管理等方面的理论与实践应用的研究具有重大的意义。

既有轨道交通线路不同于一般建筑物,一般建筑物允许的变形或沉降数值相对较大,在保证列车正常运营的前提下,既有轨道交通结构变形一般情况下不受限,其主要受限于提供列车运行基础的轨道结构。一旦轨道几何形位(误差以毫米计)不能满足养护规范要求,就可能会危及行车安全。新建地铁施工本身存在很大的风险,如果不能很好地加以控制,在穿越既有轨道交通设施时,一旦发生事故,造成的损失将难以估计。

1.2 工程风险管理意义

目前,各大城市的地铁建设已从单线建设过渡到网络化建设,实现多线、多站的资源共享。它的实施将极大地优化土地资源、能源、车辆设备及运营管理。轨道网的形成,不可避免地产生线路的交叉布置。但由于两条邻近线路经常不是同期建设,出于对既有地铁的保护,工程风险分析以及邻近线的结构安全评估应运而生,得到了相关政府部门的高度重视。例如,铁道部制定了《铁路隧道风险评估与管理暂行规定》,中国土木工程学会、同济大学及相关单位联合编制了《地铁及地下工程建设风险管理指南》。

工程风险管理的内容包括工程风险的识别、估计、评价、处理和监测等,是一种主动控制方式,克服了传统工程管理以保险为单一风险应对策略的局限性,可以进一步保障项目目标的顺利实现。通过风险分析与管理,可使项目管理单位加深对各种风险因素的认识,极大地提高项目管理水平,有利于决策的科学性和合理性,降低决策的风险水平^[1]。

对于新建地铁隧道近距离穿越工程的研究,以往的研究类型相对单一,不够充分和深入。对于这类工程的处理结果要么采取过于保守的对策,如地铁限速甚至停运,造成很大的浪费;要么采取过于冒险或盲目的对策,造成较大的安全隐患。本书的目的是借鉴北京地铁和北京铁路局范围内轨道交通设施运营组织的特点,对风险等级判定、风险分析、控制指标及相关控制措施等多个方面进行系统、全面的分析和总结,为此类工程的风险管理提供理论依据和技术支持。

1.3 工程风险管理的研究现状

1.3.1 风险管理的发展

风险管理是近 20 年发展起来的一门综合性边缘学科,但据文献记载,古代时期人类在生产劳动中就认识到了风险因素的存在,以及由此引发的风险事故和风险损失。随着社会的发展,在经营规模日益增大的形势下产生了为减少风险损失进行风险管理的思想雏形。

18 世纪产业革命之后,法国学者法约尔在其著作《一般管理和工业管理》一书中,正式把风险管理思想引入企业经营领域。风险管理的基本思想是:经营主体对要保障的客体进行风险辨识、风险估算,再在风险分析的基础上,提出风险保障的目标,按目标的要求选择抵御风险的方式。

从 20 世纪 30 年代起,美国就出现了风险分析的研究与咨询活动。随着研究与实务活动的深入开展,有关的基本理论、基本观点、基本方法、理论模型和求解问

题的框架等内容逐步被管理专家认同和约定,学科范式日渐形成。

20 世纪 50 年代风险管理发展成一门科学。70 年代以后,美国成立了风险与保险协会,用风险管理的方式处置风险。多所大学为社会培养了风险管理的从业人员。目前,各发达国家的风险研究都是在美国理论体系的基础上发展的。

随着发展中国家经济社会发展的需求,风险管理研究与实务活动也从美、英、德、日等发达国家向发展中国家扩展。1987 年,为推动风险管理在发展中国家的推广和普及,联合国出版了关于风险管理的研究报告 *The Promotion of Risk Management in Developing Countries*^[2]。

1.3.2 风险管理的国内外现状

作为风险管理的发源地,美国在风险管理的职业教育培训方面是相当出色的。20 世纪 70 年代中期,全美的多数大学工商管理学院及保险系都已普遍开设了风险管理课程,为工商企业输送了大批专业人才。

与美国相比,英国的风险分析研究也有其自己的特色。英国除了有自己的成熟理论体系外,许多学者还注意把风险分析研究成果应用到大型的工程项目当中^[3]。此外,英国工商业界开展风险管理活动也十分活跃,设有工商业风险经营和保险协会、特许保险学会等,对推动本国的风险管理作出了卓越的贡献。英美两国在风险研究方面各有所长,且具有很强的互补性,代表了该学科领域的两个主流。

第二次世界大战后,美国的风险管理开始传入德国,德国的风险政策逐步被风险管理代替。虽然现代管理理论的创始人法约尔是法国人,但他并没有系统地研究风险问题。只是到了 20 世纪 70 年代,随着企业风险的复杂多样,以及风险费用的不断增加,法国才从美国引进风险管理理论,并在保险界传播开来。尽管法国的风险管理没有达到美、英、德那样的发达程度,但仍然取得了一定的成绩。

由于日本经济高速发展之后进入了动荡不定的时代,因而企业发展充满着风险。为了自身的生存和发展,日本开始广泛研究风险管理,并将其作为管理企业的科学方法。像英美一样,日本一些大学也开设了风险管理课程。日本继承了美国的“风险管理”模式,虽然起步较晚,但成果颇丰,逐渐形成了一套适合本国的理论体系。

发达国家在风险管理方面的丰硕成果对发展中国家的新兴工业有很强的吸引力。随着跨国公司的扩张和垄断资本的输出,风险管理也很自然地被带到了这些国家和地区。

在非洲沿海国家尼日利亚,风险管理的发展也极为迅速,并已取得了一些实际成果。1991 年,Irukwn 出版的 *Risk Management in Developing Country*,系统地阐述了风险管理的基本理论,并结合发展中国家的国情进行了剖析和说明。1994 年,尼日利亚还对全国的高速公路建设项目进行了系统的风险分析。

我国台湾的风险管理在 20 世纪 80 年代初期由美国传入。美籍华人段开龄博

士是美国风险管理运动的早期参与者之一。段博士在岛内发起并推动了风险管理运动,其间论文和著作颇多。在台湾,尤以宋明哲先生的《风险管理》一书最具有代表性。与美国不同的是,台湾的风险管理发源于该领域的研究和探讨,然后才影响到企业界。因此,尽管在学术界十分活跃,但在实际应用中成效并不显著。

在我国大陆,风险管理虽然刚刚起步,但已在大型工程项目建设(地铁工程、公路工程、水利工程等)、国际工程、金融、房地产等领域开展了应用研究,并取得了较为明显的实际效果。如今,风险管理研究已成为管理学科领域中一项重要的课题。

1.3.3 风险管理在国内外工程领域发展

西方发达国家在工程领域开展风险管理的研究和实践始于20世纪五六十年代。伴随着战后重建和大规模的工程建设投资,管理者越来越重视工程项目的管理问题。在工程风险管理的发展过程中,先后研究了多种工程项目风险评估技术,如早期的项目计划评审技术以及后来的敏感性分析和模拟技术等。通过多年的发展,工程项目风险管理已经由浅入深,由片面到全面,并逐步向系统化、专业化方向发展。

20世纪70年代,美国爱因斯坦将风险管理应用于隧道及地下工程领域,提出隧道工程风险分析的特点和应遵循的理念。随后风险管理的研究在欧美国家取得了一定的研究成果,并开始大量应用于实践。

另外,日本将在隧道工程中出现的安全事故进行了细致的统计分析,得到一些规律性的结论。2000年,赖利提出“隧道工程的建设过程就是全面的风险管理和风险分担的过程”的理念,他将地下结构工程会出现的主要风险总结为四类:造成人员伤亡或财产、经济损失的风险,造成项目造价增加的风险,造成工期延误的风险,以及造成不能满足设计、使用要求的风险。

我国香港地区的风险管理研究成果主要集中在岩土工程的应用。由于香港特定的地质情况,岩土工程问题非常严重,尤其是滑坡等地质灾害发生率高,因此,如何对岩土工程病害进行防治就成为风险研究的热点。虽然相关的成果很多,但主要是以可靠度理论作为依托,依然没有很好地实现环境、经济、技术相结合的风险定量研究。

相比之下,我国内地工程领域的风险管理研究起步较晚,从20世纪80年代才开始从美国等西方发达国家引入风险管理思想,当时主要以翻译国外著作为主。随着社会主义市场经济体制的完善,对风险管理的研究开始在学术界形成了一个热点,在工程领域逐步开展应用研究,取得了比较明显的效果,并以三峡工程为代表,在大型水利工程得到应用,并获得了一些基础性的资料。

清华大学的郭仲伟教授可以说是国内引入风险分析理论的主要代表,他在1987年撰写的《风险分析与决策》一书详细介绍了风险分析的理论和方法,对国内

外研究成果做了全面的综述,时至今日仍有极大的参考价值。天津大学于九如教授结合三峡工程风险分析成果,撰写了《投资项目风险分析》一书,为风险分析理论在大型工程中应用作了理论上的探讨。

近年来,我国风险管理理论研究的重点也已转移到风险定量分析上来,并取得了不少的成果。姜青舫在其《风险度量原理》一书中,对风险的定义提出了新的数学描述,结合效用理论,用数学的方法给出了风险度量的理论方法。邱苑华在其《管理决策与应用熵学》中提出将热力学中“熵”的概念引入风险评价和决策中来,为评价目标的不确定性提供了一种验证手段。

1.3.4 隧道施工风险管理研究现状

至于隧道工程的风险管理研究,由于我国的研究和实践时间都比较短,还处于发展阶段,因此,风险分析在隧道工程中的应用研究还比较少。但是,随着我国轨道交通的发展,这一领域受到了前所未有的关注,各大设计院、保险公司以及高校都在近些年开始了相关研究。

国外较早从事地下工程风险分析的代表人物是麻省理工学院(MIT)的爱因斯坦教授,其主要贡献是指出了隧道工程风险分析的特点和应遵循的理念^[4],诸如 *Geological Model for Tunnel Cost Modelle*、*Risk Analysis in Rock Engineering*、*Decision Aids in Tunneling*。

尼尔森等对复杂地层条件下的海底隧道的风险进行了相对深入的研究。

亨氏对穿越海峡隧道、穿越阿尔卑斯山的隧道如何进行风险评估进行了探讨。

斯达克等给出了几种地下工程风险评估与决策中可用的几种评估方法,有故障树法、专家调查法等,并且将风险分析技术应用于斯德哥尔摩环形公路隧道^[5]。

坎普曼运用风险评估技术为哥本哈根地铁工程提出了风险类型和具体的分类体系、风险减轻措施,然后使用蒙特卡罗方法和计算机电子表格来构建风险模型。

日本的佐藤久等给出了矿山法、盾构法和顶管法三种工法施工中发生灾害事故的统计资料。

布兰德的主要贡献在于隧道工程项目对环境影响的评估,给出了对环境影响的评估方法和程序,并将该研究成果应用于伦敦 Jubilee 线路延伸工程中,在线路规划阶段就计算出了沿线建筑物可能造成的损伤情况,并给出了相应的加固措施。

斯内尔和范·阿瑟尔特在考虑投资、工期和工程质量的前提下研究了阿姆斯特丹南北地铁线路设计和施工中的风险管理问题,提出“IPB(inventory of critical aspects, preventive measures, backup measures)”风险管理模型,来控制复杂的、技术性的地下工程设计和施工过程中的工期、造价和质量方面的风险,从而达到以下两个目标:通过实施具体的工程解决方案得到有利的因素,通过实施预防措施和规划备份措施达到连续降低风险的目的。

克拉克采用风险指数的评估方法对美国西雅图地下交通线工程规划和初步设计阶段进行了地质风险、合同风险、设计和施工风险的分析工作。

温特对贝突威盾构隧道在初步设计和投标阶段进行了广泛的风险分析,并通过详细分析设计和监控隧道工程的施工进行风险控制,介绍了风险管理在贝突威隧道各个阶段的应用过程及各阶段风险管理的任务和责任的主要承担者。

自 2004 年以来,安全、费用与风险已成为国际隧道协会、隧道及地下空间协会每年年会的主题。国际隧道协会颁布的《Guidelines for Tunneling Risk Management》为隧道工程风险管理提供了参照标准。

地下工程安全风险管理的应用研究在美国、欧洲正在积极开展,欧共体行政院于 1992 年发布了“欧共体就在临时或移动施工现场实施最低安全和健康要求的指令”,意大利政府于 1996 年由总统签字发布了相应的指令,有些国家已编写出隧道工程风险管理的规范和法规,具体包括:国际隧道及地下空间协会 2004 年发布的风险管理的指导方法,英国隧协和保险业协会于 2003 年 9 月联合发布的《英国隧道工程建设风险管理联合规范》,国际隧道工程保险集团(ITIG)于 2006 年 1 月发布的《隧道工程风险管理实践规程》^[6]。

安全风险管理的实际地下工程应用方面,主要由各个岩土工程咨询公司进行。如意大利 GeoDATA 公司针对地下工程施工风险管理推出了名为 GDMS(Geo-Data Master System)信息化管理平台。该系统运用 GIS 和 WEB 技术,由建筑物状态管理系统(Building Condition System,BCS)、建筑风险评估系统(Building Risk Assessment,BRA)、盾构数据管理系统(TBM Data Management,TDM)、监测数据管理系统(Monitoring Data Management,MDM)以及文档管理系统(Document Management System,DMS)5 个子系统构成,具备完善的风险管理方案,并在俄罗斯圣彼得堡、意大利罗马和圣地亚哥等地铁工程中得到应用^[7]。但在监测手段、施工管理等环节上,该系统不完全适合中国国情。由于涉及知识产权问题,应用该系统必须由该公司承接工程风险管理任务。中国台湾亚新工程顾问股份有限公司针对台湾地下工程施工安全问题开发出监测资料处理系统(IDEAL),该系统对监测数据有效性检查和处理考虑得比较全面,但监测信息的可视化功能较弱^[8]。

在国际上,安全风险管理工作发展趋势越来越明显:风险管理正成为大型项目发展中的一个例行程序;风险管理与项目管理日趋结合;为风险管理制定强制性的法规,特别是针对施工安全的法规。

国内最早接触隧道风险理论的学者是毛儒,他撰写了较多介绍发达国家隧道工程风险管理的动态和经验,简述风险管理的理念,以及各项过程的具体操作方法的论文。

近年来,众多学者对地下工程领域风险管理(风险源、风险识别、风险分析、风