



REASON模型 在盾构施工中的应用

张永亮 罗俊 蔡嗣经 著



中国劳动社会保障出版社

REASON模型 在盾构施工中的应用

张永亮 罗俊 蔡嗣经 著



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

REASON 模型在盾构施工中的应用/张永亮, 罗俊, 蔡嗣经
著. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2015

ISBN 978-7-5167-2157-5

I. ①R… II. ①张… ②罗… ③蔡… III. ①隧道施工-盾构
法 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 286153 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

890 毫米×1240 毫米 32 开本 7.5 印张 134 千字

2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定价: 20.00 元

读者服务部电话: (010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话: (010) 64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 80497374

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版
图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者奖励。

举报电话: (010) 64954652

内容简介

盾构施工工程是一个多部门、多领域的复杂系统，其施工过程中的风险存在诸多不确定性，而这种不确定性在很大程度上来自人为因素，而目前盾构施工工程的风险管理重点只集中在施工现场的客观条件，往往忽略了人为因素及潜在的组织因素的影响，缺乏切实有助于实际风险控制的动态风险评价及相应措施控制体系。针对上述问题，本书将 REASON 模型引入盾构施工风险管理当中，并以此为基础对盾构施工风险分析模型、风险评价方法、风险管理信息化实现进行了研究。

首先，对历史盾构施工事故进行统计分析，对盾构施工事故的发生机理和事故种类进行了归纳总结，在此基础上对盾构隧道工程风险和施工过程中的人为过错进行了分析。

其次，将主要用于航空、海运领域风险事故分析的 REASON 模型引入盾构施工风险管理当中，针对盾构施工风险管理的特点，建立了盾构施工风险分析 REASON 模型，并对模型内各层次的要素集进行了提取；利用 SHEL 模型对模型内各要素与人为因素的关系界面进行了分析；在对盾构施工历史事故进行归纳总结的基础上构建盾构施工常见事故树，并依此

建立了盾构施工事故致因规则库。

再次，依托建立的 REASON 模型，对盾构施工前的工程风险评价方法和施工过程中的风险漏洞识别方法进行了深入的研究，建立了静动结合的盾构施工风险评价体系。

最后，在上述理论研究成果的基础上，提出构建盾构施工风险管理信息系统。在对实际工程项目进行需求调研的基础上，完成对系统服务对象、系统功能、系统数据的需求分析；在需求分析的基础上完成对系统逻辑结构、物理结构、功能架构的设计，实现对系统数据库、系统界面及系统业务逻辑的设计，并对系统运行机制进行了分析。

前 言

城市地铁隧道主要应用盾构法施工，且都在市区内施工，地面是大量的车辆、人流以及林立的建构筑物，地层中各类管线密集，施工过程稍有偏差，可能造成的人身财产损害和社会影响将不可估量。

由于我国轨道交通和安全学科的起步都相对较晚，盾构施工过程中的安全管理工作的系统性、科学性相对较低，导致事故频发。针对上述问题，进行基于人为因素的风险分析和理论及管理理论及方法的研究显得日益迫切。

本书依托天津地下直径线工程及新建京津城际延伸线解放路隧道工程，对盾构施工过程中的风险管理理论进行研究，并与计算机及信息技术结合，研发盾构施工风险管理平台，从而达到提高管理效率、规避工程风险、提高经济效益的目的。

本书在撰写过程中得到了青岛理工大学王在泉教授、王旭春教授的悉心指导，中国矿业大学吴迪、福州大学黄萍、河北联合大学董宪伟、研究生逢桦鹏、张宇琪等也为本书的研究工作做出了许多贡献。在此，本人对他们为本书所做出的重要贡献表示衷心的感谢。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目“金属矿山深井湿热治理及二次资源循环利用一体化研究”(编号:51204100)、山东省科技发展计划项目“山东省金属矿山矿井地热水循环利用关键技术研究”(编号:2014GSF116020)、山东省高等学校科技发展计划项目“胶东半岛金属矿山地温效应调控风流温度的节能机理研究”(编号:J14LH03)、青岛市科技计划资助项目“胶东半岛金属矿山深部开采地热资源转换利用关键技术研究”(编号:14-2-4-95-jch)等资助,在此表示感谢。

最后,还要衷心感谢本书所引用的参考资料的所有作者,感谢编辑出版人员对本书的出版所付出的努力。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2015年12月

目 录

1. 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 基本概念与研究范畴	5
1.2.1 基本术语定义	5
1.2.2 研究范畴	7
1.3 主要研究内容及章节分布	8
1.4 研究方法	11
2. 国内外研究现状	12
2.1 盾构技术发展概述	12
2.2 国内外风险管理发展情况	15
2.2.1 国外风险管理发展情况	15
2.2.2 国内风险管理发展情况	17
2.3 国内外隧道工程风险管理研究现状	19
2.3.1 国外隧道工程风险管理研究现状	19
2.3.2 国内隧道工程风险管理研究现状	21

2.4 国内外工程中人为因素研究现状	24
2.4.1 国外人为因素研究现状	25
2.4.2 国内人为因素研究现状	32
2.5 国内外盾构施工风险管理软件开发及应用现状	36
2.5.1 国外开发及应用情况	36
2.5.2 国内开发及应用情况	37
2.6 小结	39
 3. 盾构施工风险识别	 42
3.1 盾构施工风险事故分析	42
3.1.1 盾构施工事故分析与风险分析的关系	42
3.1.2 盾构施工事故典型案例分析	43
3.1.3 盾构施工事故统计分析	49
3.1.4 风险事故分析结论	52
3.2 盾构施工风险因素识别	55
3.2.1 风险因素识别原则	55
3.2.2 风险因素识别依据	56
3.2.3 风险因素识别	56
3.3 盾构施工中的人为差错分析	58
3.3.1 人为差错的概念	58
3.3.2 盾构施工过程中的人为差错	59
3.3.3 人为差错的特点分析及其分类	61

3.3.4 人为差错影响因素分析	62
3.4 实际工程人为差错具体影响因素调查分析	64
3.5 小结	66
4. 基于 REASON 模型的盾构施工风险分析模型研究	68
4.1 REASON 模型简介	68
4.1.1 REASON 模型的提出	68
4.1.2 现有改进的 REASON 模型	70
4.1.3 REASON 模型盾构施工风险管理中的适用性 分析	71
4.2 盾构施工风险管理 REASON 模型	73
4.2.1 模型层次划分	73
4.2.2 模型各层要素	75
4.3 人为因素对各层要素影响分析	83
4.3.1 SHEL 模型简介	83
4.3.2 盾构施工工程人为因素对其他要素影响 模型	84
4.4 基于 REASON 及 SHEL 模型的风险因素归集	86
4.5 基于事故树的要素作用关系研究	89
4.5.1 盾构施工事故树编制	89
4.5.2 故障树定性分析及致因规则库的建立	94
4.6 小结	95

5. 盾构施工风险评价体系研究	96
5.1 盾构施工前风险评价方法研究	96
5.1.1 施工前风险评价的内涵及意义	96
5.1.2 评价指标体系的构建	97
5.1.3 风险评价方法研究	102
5.1.4 实例分析	113
5.2 盾构施工过程动态风险识别模式研究	135
5.2.1 盾构施工过程风险漏洞动态识别网络图的 构建	135
5.2.2 盾构施工过程风险漏洞动态搜索模式研究 ...	138
5.2.3 节点状态识别方法	144
5.3 盾构施工过程风险控制措施	146
5.3.1 建立完善的监管机制	146
5.3.2 关键环节控制措施	148
5.3.3 建立合理的监测机制	152
5.3.4 建立完善的应急机制	153
5.4 小结	158
6. 盾构施工风险管理信息系统设计	159
6.1 系统设计目标与设计原则	159
6.2 系统开发技术	161

6.3 系统需求分析	165
6.3.1 系统服务对象分析	165
6.3.2 系统功能需求分析	166
6.3.3 信息时效性、安全性管理	171
6.3.4 系统性能需求	172
6.4 系统总体设计	172
6.4.1 系统逻辑框架设计	172
6.4.2 系统物理结构设计	174
6.4.3 系统功能架构设计	174
6.5 系统数据库设计	180
6.6 系统运行保障体系	181
6.6.1 系统风险闭环管理理念	181
6.6.2 基于盾构施工风险管理信息系统的管理 组织架构	181
6.7 小结	182
7. 结论	183
7.1 研究总结	183
7.2 主要创新点	184
7.3 研究展望	185
参考文献	186

附录	203
附录 A 盾构施工风险因素清单	203
附录 B 盾构施工现场作业人员影响因素调查问卷	209
附录 C 盾构施工事故致因规则库	211
附录 D 盾构施工风险评价指标调查问卷	220

1. 绪 论

1.1 研究背景及意义

随着国家城市化进程的加快,城市人口急剧膨胀,城区土地资源也变得十分紧缺,人们日益增长的交通出行需求与日益拥堵的城市地面交通之间的矛盾也变得尤为突出,开发利用城市地下空间已成为解决城市道路交通问题的一种重要手段,也是城市现代化进程中的必然趋势。

地下轨道交通作为地下空间开发利用的重要一环,已经进入快速发展时期。据发改委统计,截至 2013 年年末,中国已有 17 个城市建成轨道交通,运营里程 2 077 千米。2014 年,建设轨道交通项目的城市有 27 个,总投资 1.23 万亿元。2013 年,中国城市轨道交通的投资超过 2 200 亿元,比 2012 年增加 400 亿元。预计 2015 年,中国将有 19 个城市拥有地铁,总里程将达到 2 366 千米。与此同时,随着城市地下铁路直径线、客运专线市区隧道等城市地下铁路的建设,城市地下轨道交通建设工

程在规模和数量上都处于高速发展阶段^[1-5]，如图 1—1 所示。

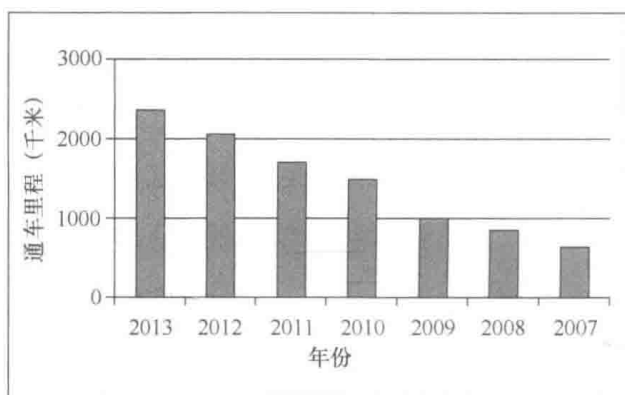


图 1—1 历年地铁通车里程统计

目前，我国城市地下交通隧道的开挖主要采用盾构机掘进的方法实现。盾构法具有以下特点^[1,6,7]：

- (1) 对周边环境及现行地面交通的影响较小。
- (2) 隧道开挖、出渣、衬砌拼装等主要工序均靠机械实现，自动化程度和可靠性较高。
- (3) 施工过程中需要投入的劳动力远远小于其他开挖方法，生产效率较高。
- (4) 由于是在地下封闭施工，受外界气候条件影响较小。

但是，任何形式的隧道开挖都会不可避免地对土体的原有平衡状态产生破坏，形成对土体的扰动，直至达到新的平衡。而主要应用盾构法施工的城市地铁隧道大都在市区内施工，由于地面有大量的车辆、人流以及林立的建构筑物，地层中各类

管线密集, 因此, 一旦施工过程稍有偏差, 可能造成的人身财产损害和社会影响将不可估量^[8]。据统计, 2003—2011 年, 地铁施工事故由最初的每年不足 5 起上升到每年最多超过 15 起, 如图 1—2 所示。虽然随着建设部《地铁及地下工程建设风险管理指南》的颁布和实施, 近两年重大施工事故的次数已相对降低, 但是事故依旧频发。

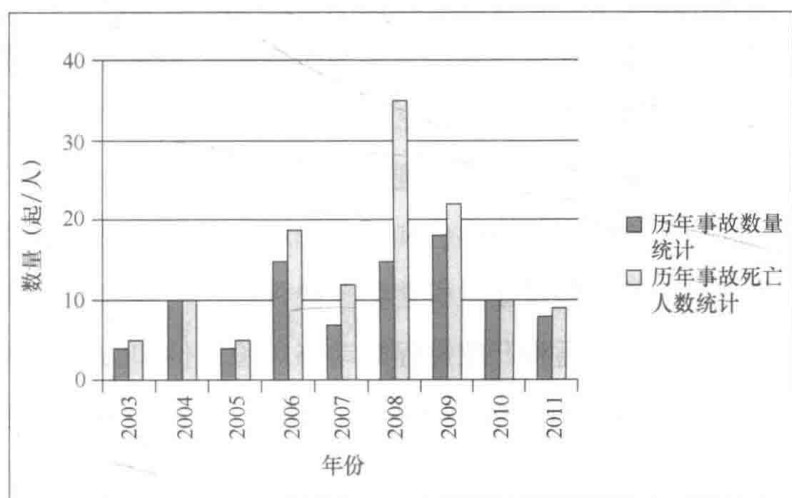


图 1—2 历年事故及死亡人数统计

据美国统计数据显示, 超过 80% 的事故由人的不安全行为造成, 10% 的事故由人的不安全行为和物的不安全状态共同造成, 只有不到 10% 的事故由非人为因素直接造成; 而在由人的不安全行为直接造成的事故当中, 很大一部分是由于施工管理的组织因素间接造成的。

虽然我国已成为国际上地铁建设的最大市场,但是由于我国轨道交通和安全学科的起步都相对较晚,盾构施工过程中的安全管理工作的系统性、科学性相对较低,导致事故频发。究其原因,我国的地下轨道交通施工过程中存在以下问题^[9]:

(1) 盾构施工过程中,甲方、各标段施工方、监理方、监测方等参建单位众多,由于管理理念、施工经验、管理水平不一,给施工留下了不容忽视的安全隐患。

(2) 现有施工安全管理的制度及相关部门职能较为完善,但是制度与制度、部门与部门之间的交叉区域往往存在安全盲点,没有形成一个系统化的管理模式。

(3) 在盾构施工风险评价和安全管理方面仍然缺乏成套的体系和理论,往往停留在工程整体风险评价、可靠度计算等方面,没有形成关于盾构开挖过程的动态风险评价和安全管理的体系,且现有理论研究成果多脱离实际,不能在实际工程中应用。

(4) 对人为因素的理论研究较少,在实际工程当中又缺乏对人为因素的重视,一旦找到事故责任人所出差错的证据,则认为事故的主要原因已经查清,依此落实责任和处罚,往往忽略了影响行为人的潜在组织因素。建立在这种基础上的风险评价并不能反映工程真实的风险状态。

针对上述问题,进行基于人为因素的风险分析和理论及方法的研究显得日益迫切。为此,本书依托天津地下直径线