



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

国家“十三五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列

总主编 钱七虎 副总主编 朱合华 黄宏伟

城市轨道交通轨道结构检测与修理

许玉德 李海峰 周宇 杨新文 李新国 编著





国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

国家“十三五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列

总主编 钱七虎 副总主编 朱合华 黄宏伟

城市轨道交通轨道结构 检测与修理

许玉德 李海锋 周宇 杨新文 李新国 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

上海市高校服务国家重大战略出版工程入选项目

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通轨道结构检测与修理/许玉德等编著. —上海:
同济大学出版社, 2018. 11

城市地下空间出版工程. 运营与维护管理系列/钱七虎主编

ISBN 978-7-5608-8082-2

I. ①城… II. ①许… III. ①城市铁路—轨道(铁路)—结构—
检测 ②城市铁路—轨道(铁路)—维修 IV. ①U239.5 ②U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 185331 号

城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列

城市轨道交通轨道结构检测与修理

许玉德 李海锋 周 宇 杨新文 李新国 编著

出 品 人: 华春荣

策 划: 杨宁霞 胡 毅

责任编辑: 陆克丽霞

责任校对: 徐春莲

封面设计: 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店

排版制作 南京月叶图文制作有限公司

印 刷 上海安兴汇东纸业有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 23.25

字 数 580 000

版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-8082-2

定 价 140.00 元

版权所有 侵权必究 印装问题 负责调换

内 容 提 要

本书为国家“十三五”重点图书出版规划项目、国家出版基金资助项目、上海市高校服务国家重大战略出版工程入选项目。

全书从城市轨道交通工务管理的内容和特点入手,重点阐述了城市轨道交通工务管理过程中涉及的轨道结构及其部件状态的检测理论和方法、轨道结构状态的分析和评估策略与方法、轨道噪声与振动的检测与分析、轨道交通运营安全风险评估等内容。全书内容反映了目前城市轨道交通轨道结构检测、数据分析与决策技术和风险评估等方面的研究成果和工程实践总结,对深化城市轨道交通工务管理的内涵和实践,提升对城市轨道交通工务管理与决策的重视程度,实现城市轨道交通的安全、平稳、协调发展均具有重要的参考意义。

本书可供从事城市轨道交通规划、设计、运营与管理以及政府相关部门的有关人员学习与参考,也可供高等院校土木、交通、车辆等相关专业的师生使用。

“城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列”编委会

学术顾问

叶可明 中国工程院院士
孙 钧 中国科学院院士
郑颖人 中国工程院院士
顾金才 中国工程院院士
蔡美峰 中国工程院院士

总主编

钱七虎

副总主编

朱合华 黄宏伟

编委(以姓氏笔画为序)

朱合华 许玉德 杨新安 束 昱
张 旭 倪丽萍 黄宏伟 谢雄耀

作者简介

许玉德 博士,同济大学交通运输工程学院教授,博士生导师,上海市土木工程学会理事、上海市土木工程学会铁道工程专业委员会副主任委员。主要从事高速铁路基础设施的养护维修、重载铁路钢轨的修理和城市轨道交通运营安全评价的研究工作。先后主持和参加国家自然科学基金、国家 863 项目、国家科技支撑计划、铁道部科技开发计划等项目 60 余项,发表论文 120 余篇,其中被 SCI, EI, ISTP 收录 60 余篇,出版著作 6 部,获得软件著作权 8 项。研究成果多次获中国铁道学会科学技术奖、上海铁路局科学技术进步奖等奖项。

李海锋 博士,同济大学交通运输工程学院副教授、同济大学浙江学院交通研究所所长,硕士生导师,上海市土木工程学会铁道工程专业委员会委员,英国帝国理工学院访问学者。主要从事轨道结构与管理、轨道交通设施管理集成技术与方法、磁浮交通线路设计和维护集成化技术等方面的教学和科研工作。主持或作为骨干成员参与国家级、省部级科研项目 30 余项,发表论文 40 余篇,出版著作 6 部,获得软件著作权 8 项。研究成果多次获中国铁道学会科学技术奖、上海铁路局科学技术进步奖等奖项。

周 宇 同济大学交通运输工程学院副教授,博士生导师,上海市土木工程学会铁道工程专业委员会委员、国际华人交通运输协会会员。主要从事轨道结构分析、轮轨关系、钢轨养修和轨道智能监测等方面的研究工作。主持和参与国家自然科学基金、教育部高等学校博士学科点专项科研基金、铁道部课题及其他项目近 30 项,发表论文 50 余篇,其中被 SCI, EI 收录 20 余篇,编写教材 2 部,获专利 6 项。研究成果获中国铁道学会科学技术进步奖、上海市优秀工程咨询成果奖、上海铁路局科学技术进步奖等奖项。

杨新文 同济大学交通运输工程学院副教授,博士生导师,英国南安普顿大学声与振动研究所访问学者,国家自然科学基金评审专家,*Vehicle System Dynamics*, *Wear* 等杂志审稿专家。主要从事铁路轨道结构与养护维修、铁路噪声与振动、轮轨关系、列车与线路系统动力学的研究工作。先后主持和参与国家自然科学基金、国家 863 项目、教育部重点科研项目、铁道部科技开发计划和城市轨道交通领域等项目 30 余项,发表论文 70 余篇,其中被 SCI, EI, ISTP 收录 60 余篇,出版著作 4 部,获国家发明专利 4 项。研究成果获上海市科技进步一等奖等奖项。

李新国 高级实验师,同济大学交通运输工程学院铁道工程实验室主任。主要从事道路与铁道工程专业实验与测试相关的教学与研究工作。主持或参与完成国家级、省部级、企业级等项目 40 余项,发表论文 10 余篇,出版著作 1 部。

总序

PREFACE

国际隧道与地下空间协会指出,21世纪是人类走向地下空间的世纪。科学技术的飞速发展,城市居住人口迅猛增长,随之而来的城市中心可利用土地资源有限、能源紧缺、环境污染、交通拥堵等诸多影响城市可持续发展的问題,都使我国城市的发展趋向于对城市地下空间的开发利用。地下空间的开发利用是城市发展到一定阶段的产物,国外开发地下空间起步较早,自1863年伦敦地铁开通到现在已有150余年。中国的城市地下空间开发利用源于20世纪50年代的人防工程,目前已步入快速发展阶段。当前,我国正处在城市化发展时期,城市的加速发展迫使人们对城市地下空间的开发利用步伐加快。无疑21世纪将是我国城市向纵深方向发展的时代,今后20年乃至更长的时间,将是中国城市地下空间开发建设和利用的高峰期。

地下空间是城市十分巨大而丰富的空间资源。它包含土地多重化利用的城市各种地下商业、停车库、地下仓储物流及人防工程,包含能大力缓解城市交通拥挤和减少环境污染的城市地下轨道交通和城市地下快速路隧道,包含作为城市生命线的各类管线和市政隧道,如城市防洪的地下水道、供水及电缆隧道等地下建筑空间。可以看到,城市地下空间的开发利用对城市紧缺土地的多重利用、有效改善地面交通、节约能源及改善环境污染起着重要作用。通过对地下空间的开发利用,人类能够享受到更多的蓝天白云、清新的空气和明媚的阳光,逐渐达到人与自然的和谐。

尽管地下空间具有恒温性、恒湿性、隐蔽性、隔热性等特点,但相对于地上空间,地下空间的开发和利用一般周期比较长、建设成本比较高、建成后其改造或改建的可能性比较小,因此对地下空间的开发利用在多方论证、谨慎决策的同时,必须要有完整的技术理论体系给予支持。同时,由于地下空间是修建在土体或岩石中的地下构筑物,具有隐蔽性特点,与地面联络通道有限,且其周围邻近很多具有敏感性的各类建(构)筑物(如地铁、房屋、道路、管线等)。这些特点使得地下空间在开发和利用中,在缺乏充分的地质勘察、不当的设计和施工条件下,所引起的重大灾害事故时有发生。近年来,国内外在地下空间建设中的灾害事故(2004年新加坡地铁施工事故、2009年德国科隆地铁塌方、2003年上海地铁4号线事故、2008年杭州地铁建设事故等),以及运营中的火灾(2003年韩国大邱地铁火灾、2006年美国芝加哥地铁事故等)、断电(2011年上海地铁

10 号线追尾事故等)等造成的影响至今仍给社会带来极大的负面效应。因此,在开发利用地下空间的过程中,需要有深厚的专业理论和科学的技术方法来指导。在我国城市地下空间开发建设步入“快车道”的背景下,目前市场上的书籍还远远不能满足现阶段这方面的迫切需要,系统的、具有引领性的技术类丛书更感匮乏。

目前,城市地下空间开发亟待建立科学的风险控制体系和有针对性的监管办法,“城市地下空间出版工程”这套丛书着眼于国家未来的发展方向,按照城市地下空间资源安全开发利用与维护管理的全过程进行规划,借鉴国际、国内城市地下空间开发的研究成果并结合实际案例,以城市地下交通、地下市政公用、地下公共服务、地下防空防灾、地下仓储物流、地下工业生产、地下能源环保、地下文物保护等设施为对象,分别从地下空间开发利用的管理法规与投融资、资源评估与开发利用规划、城市地下空间设计、城市地下空间施工和城市地下空间的安全防灾与运营管理等多个方面进行组织策划,这些内容分而有深度、合而成系统,涵盖了目前地下空间开发利用的全套知识体系,其中不乏反映发达国家在这一领域的科研及工程应用成果,涉及国家相关法律法规的解读,设计施工理论和方法,灾害风险评估与预警以及智能化、综合信息等,以期成为我国未来开发利用地下空间较为完整的理论指导体系。综上所述,丛书具有学术上、技术上的前瞻性和重大的工程实践意义。

本套丛书被列为“十二五”“十三五”时期国家重点图书出版规划项目。丛书的理论研究成果来自国家重点基础研究发展计划(973 计划)、国家高技术研究发展计划(863 计划)、“十一五”国家科技支撑计划、“十二五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金项目、上海市科委科技攻关项目、上海市科委科技创新行动计划等科研项目。同时,丛书的出版得到了国家出版基金的支持。

由于地下空间开发利用在我国的许多城市已经开始,而开发建设中的新情况、新问题也在不断出现,本丛书难以在有限时间内涵盖所有新情况与新问题,书中疏漏、不当之处在所难免,恳请广大读者不吝指正。

刘七虎

■ 前 言 ■

FOREWORD

随着城市建设的快速发展,越来越多的轨道交通投入运营,大大地缓解了大、中城市交通拥堵问题,轨道交通作为城市交通骨干的作用和效果日益凸显。与此同时,作为轨道交通重要的安全保障设备设施之一的轨道结构日益受到严峻的挑战,轨道结构检测、养护维修的理论和方法及管理手段等亦在不断更新、完善和提升。

本书总结概括了城市轨道交通发展趋势和工务管理特点,结合作者多年城市轨道交通工务管理相关研究成果和工程实践经验,系统分析了城市轨道交通轨道结构组成、轨道部件状态与结构动力特性的检测技术和方法、养护维修管理与辅助决策体系和方法、轨道振动和噪声检测与对策,以及轨道交通运营安全风险评估等方面的理论和方法。

本书共分9章,主要内容安排如下:

第1章绪论,简要介绍了城市轨道交通的定义、类型、特点及其发展历程,然后通过分析轨道交通的专业构成,重点引入工务管理这一概念,继而针对城市轨道交通轨道结构的发展与特点及其维修体系做了深入的阐释。

第2章城市轨道交通轨道结构,首先介绍了轨道的分类、组成部件和几何形位等基本概念,然后分别就城市轨道交通轨道结构中的钢轨、扣件、轨枕、道床、道岔和钢轨伸缩调节器等部件进行了系统的梳理,较全面地反映了当前城市轨道交通轨道结构的设备配置情况及其选用要求等。

第3章轨道几何不平顺检测与修理,从轨道几何形位的基本概念入手,分析了检测原理和方法,阐述了轨道几何不平顺的随机特性及其分析和预测方法,结合轨道几何不平顺管理要求和标准,介绍了当前最新的检养修一体化概念和方法。

第4章轨道部件状态检测与修理,以钢轨和道岔这两大轨道部件为分析对象,首先介绍了典型的钢轨伤损类型、针对性的检测技术和评价方法以及可行的修理技术等内容,分析了钢轨合理选型、科学使用和全寿命管理的重要性,然后介绍了城市轨道交通道岔的检测与维护要求,提炼了道岔状态维护和评价的方法。

第5章无缝线路状态检测与修理,简要介绍了无缝线路的类型和特点及其技术特征,分析了无缝线路温度力的检测方法、锁定轨温衰减原因、钢轨无缝化焊接技术和无

缝线路状态的模糊评定方法和修理对策。

第6章轨道振动和噪声检测与对策,在综述城市轨道交通噪声和振动产生的原因、分类方式及其影响的基础上,结合工程实例,介绍了轨道交通噪声和振动的检测方法、噪声等级分析评估与标准,进而提出了降低城市轨道交通噪声和振动的对策。

第7章轨道结构动力测试技术,介绍了轨道结构动力测试的内容、原理和方法,并结合具体的案例做了细致的说明。

第8章轨道养护维修决策技术与方法,在分析轨道状态与维护管理关系的基础上,针对轨道状态分析和评估及其管理中的典型问题,如检测数据源及其预处理、轨道状态数据分析和决策评估方法、轨道维修辅助决策系统等,结合实例做了具体的分析和阐释。

第9章轨道交通运营安全风险评估,在简要分析国内外轨道交通领域运营安全风险评估的研究基础上,结合上海和A市风险评估的不同策略和方法,系统梳理了轨道交通土建专业相关的运营风险,形成了包括土建系统等在内的轨道交通各专业的常见风险点。

本书由许玉德、李海锋、周宇、杨新文和李新国等共同编著,负责书中各章节的内容编写。各章节主要撰写人员为:第1章和第5章由许玉德、李海锋撰写;第2章由中铁第一勘察设计院集团有限公司周虎利和刘杰撰写;第3章和第9章由许玉德撰写;第4章由周宇、李海锋撰写;第6章由杨新文撰写;第7章由李新国撰写;第8章由李海锋撰写。全书的章节安排和统稿由许玉德和李海锋负责。另外,研究生李凤煜、刘婉怡、严道斌等参与了部分章节内容的讨论和编写。在此谨向每一位为本书的编写做出贡献的人表示衷心的感谢。书中还部分引用了国内外同行学者的一些研究成果,在此一并致谢。

本书的组织和撰写,得到了同济大学、上海铁路局、上海申通地铁集团等单位的大力支持和帮助,在此谨表谢意。同时,特别感谢同济大学出版社对本书出版的大力支持和无私帮助。

本书尚有许多方面的研究分析有待进一步深入和完善,纰漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2017年9月于同济大学

目 录

CONTENTS

总序
前言

| | | |
|----------|-------------------------|----|
| 1 | 绪论 | 1 |
| 1.1 | 城市轨道交通的概念 | 2 |
| 1.1.1 | 城市轨道交通的定义 | 2 |
| 1.1.2 | 城市轨道交通的类型 | 2 |
| 1.1.3 | 城市轨道交通的特点 | 2 |
| 1.1.4 | 城市轨道交通的发展 | 5 |
| 1.2 | 城市轨道交通工务管理 | 10 |
| 1.2.1 | 城市轨道交通系统专业构成 | 10 |
| 1.2.2 | 轨道结构发展与特点 | 10 |
| 1.2.3 | 轨道结构养护维修 | 14 |
| 2 | 城市轨道交通轨道结构 | 17 |
| 2.1 | 轨道构成 | 18 |
| 2.1.1 | 概述 | 18 |
| 2.1.2 | 轨道类型 | 18 |
| 2.1.3 | 轨道主要部件的作用 | 19 |
| 2.1.4 | 轨道几何尺寸 | 21 |
| 2.2 | 钢轨 | 23 |
| 2.2.1 | 概述 | 23 |
| 2.2.2 | 钢轨的类型 | 24 |
| 2.2.3 | 钢轨的参数 | 24 |
| 2.2.4 | 钢轨的选型 | 26 |
| 2.2.5 | 钢轨接头 | 28 |

| | | |
|----------|---------------------------|-----------|
| 2.2.6 | 异型钢轨 | 40 |
| 2.3 | 扣件 | 41 |
| 2.3.1 | 概述 | 41 |
| 2.3.2 | 扣件的分类 | 42 |
| 2.3.3 | 正线扣件 | 43 |
| 2.3.4 | 场段扣件 | 49 |
| 2.3.5 | 减振系列扣件 | 50 |
| 2.3.6 | 扣件防锈 | 52 |
| 2.4 | 轨枕 | 53 |
| 2.4.1 | 概述 | 53 |
| 2.4.2 | 混凝土枕 | 54 |
| 2.4.3 | 木枕 | 57 |
| 2.4.4 | 合成轨枕 | 57 |
| 2.4.5 | 钢枕 | 57 |
| 2.4.6 | 减振弹性轨枕 | 58 |
| 2.5 | 道床 | 58 |
| 2.5.1 | 概述 | 58 |
| 2.5.2 | 正线无砟整体道床 | 59 |
| 2.5.3 | 场段道床 | 61 |
| 2.5.4 | 减振道床 | 62 |
| 2.5.5 | 道床排水 | 65 |
| 2.5.6 | 道床耐久性 | 66 |
| 2.6 | 道岔及伸缩调节器 | 67 |
| 2.6.1 | 道岔 | 67 |
| 2.6.2 | 伸缩调节器 | 72 |
| 3 | 轨道几何不平顺检测与修理 | 75 |
| 3.1 | 概述 | 76 |
| 3.2 | 轨道几何不平顺检测 | 79 |
| 3.2.1 | 弦测法检测原理 | 79 |
| 3.2.2 | 惯性基准法检测原理 | 82 |
| 3.2.3 | 动态检测设备 | 84 |
| 3.3 | 轨道几何不平顺状态分析与评价 | 85 |
| 3.3.1 | 轨道几何不平顺波长特征 | 85 |
| 3.3.2 | 轨道几何不平顺分析方法 | 87 |

| | | |
|-------|----------------------|-----|
| 3.3.3 | 轨道几何不平顺的预测 | 91 |
| 3.3.4 | 轨道几何不平顺管理标准 | 102 |
| 3.4 | 轨道几何不平顺修理 | 106 |
| 3.4.1 | 轨道几何不平顺的修理方法 | 106 |
| 3.4.2 | 轨道几何不平顺的检养修一体化 | 113 |
| 3.4.3 | 线路修程与修制 | 116 |

4 轨道部件状态检测与修理 121

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 4.1 | 概述 | 122 |
| 4.2 | 钢轨状态检测与修理 | 125 |
| 4.2.1 | 钢轨伤损类型 | 125 |
| 4.2.2 | 钢轨状态检测 | 133 |
| 4.2.3 | 钢轨状态评价 | 153 |
| 4.2.4 | 钢轨状态修理 | 160 |
| 4.3 | 道岔状态检测与修理 | 166 |
| 4.3.1 | 道岔状态检测 | 166 |
| 4.3.2 | 道岔保养与维修 | 166 |

5 无缝线路状态检测与修理 173

| | | |
|-------|---------------------|-----|
| 5.1 | 无缝线路的特点 | 174 |
| 5.1.1 | 无缝线路的类型 | 174 |
| 5.1.2 | 无缝线路纵向受力分析 | 174 |
| 5.1.3 | 无缝线路稳定分析 | 177 |
| 5.2 | 无缝线路纵向力测试 | 179 |
| 5.2.1 | 温度应力测试难点 | 179 |
| 5.2.2 | 无缝线路纵向力测定方法简析 | 179 |
| 5.3 | 锁定轨温衰减分析 | 181 |
| 5.3.1 | 锁定轨温衰减数据的统计分析 | 181 |
| 5.3.2 | 锁定轨温衰减的原因分析 | 186 |
| 5.4 | 无缝线路的焊接 | 187 |
| 5.4.1 | 闪光焊焊接技术 | 187 |
| 5.4.2 | 气压焊焊接技术 | 191 |
| 5.4.3 | 电弧焊焊接技术 | 193 |
| 5.4.4 | 铝热焊焊接技术 | 195 |
| 5.5 | 无缝线路的评估与修理 | 196 |

| | | |
|----------|---------------------|------------|
| 5.5.1 | 无缝线路的质量状态评估 | 196 |
| 5.5.2 | 无缝线路的修理 | 206 |
| 6 | 轨道振动和噪声检测与对策 | 211 |
| 6.1 | 概述 | 212 |
| 6.1.1 | 轨道交通振动与噪声产生的原因 | 212 |
| 6.1.2 | 轨道振动与噪声的分类 | 213 |
| 6.1.3 | 轨道振动与噪声的影响分析 | 214 |
| 6.2 | 轨道交通振动与噪声检测 | 217 |
| 6.2.1 | 轨道振动的检测 | 217 |
| 6.2.2 | 轨道噪声的检测 | 219 |
| 6.2.3 | 轨道交通振动与噪声的评价标准 | 220 |
| 6.2.4 | 轨道振动与噪声的数据分析方法与应用 | 225 |
| 6.2.5 | 轨道交通振动测试分析 | 226 |
| 6.2.6 | 轨道交通噪声测试分析 | 237 |
| 6.3 | 轨道振动与噪声对策 | 238 |
| 6.3.1 | 降低轨道振动的对策 | 238 |
| 6.3.2 | 降低轨道噪声的对策 | 239 |
| 7 | 轨道结构动力测试技术 | 243 |
| 7.1 | 轨道结构动力测试 | 244 |
| 7.1.1 | 垂直力的测试 | 244 |
| 7.1.2 | 水平力的测试 | 250 |
| 7.1.3 | 纵向力的测试 | 252 |
| 7.2 | 位移测试 | 258 |
| 7.2.1 | 簧片式位移传感器 | 258 |
| 7.2.2 | 弹簧组合式位移传感器 | 260 |
| 7.3 | 振动加速度测试 | 260 |
| 7.4 | 现场测试案例 | 262 |
| 7.4.1 | 概述 | 262 |
| 7.4.2 | 测试条件及仪器 | 262 |
| 7.4.3 | 波形分析及数据处理方法 | 265 |
| 7.4.4 | 列车运行安全性分析 | 268 |
| 7.4.5 | 钢轨位移分析 | 273 |
| 7.4.6 | 振动特性分析 | 275 |

| | | |
|----------|----------------------|-----|
| 7.4.7 | 结论 | 277 |
| 8 | 轨道养护维修决策技术与方法 | 279 |
| 8.1 | 概述 | 280 |
| 8.2 | 数据源及其预处理 | 281 |
| 8.2.1 | 数据源分类及其格式 | 281 |
| 8.2.2 | 数据预处理 | 284 |
| 8.3 | 轨道状态数据分析与评估决策方法 | 286 |
| 8.3.1 | 轨道几何不平顺的概率推移分析 | 286 |
| 8.3.2 | 钢轨波磨数据的分析与评估 | 289 |
| 8.3.3 | 综合养护计划的辅助决策方法 | 297 |
| 8.4 | 轨道养护维修辅助决策管理系统 | 304 |
| 8.4.1 | 轨道养护维修辅助决策系统概况 | 304 |
| 8.4.2 | 轨道养护维修辅助决策系统设计 | 307 |
| 8.4.3 | 上海城市轨道交通工务管理系统 | 308 |
| 9 | 轨道交通运营安全风险评估 | 317 |
| 9.1 | 概述 | 318 |
| 9.2 | 轨道交通运营安全风险评估内容 | 324 |
| 9.2.1 | 上海市轨道交通运营安全风险评估内容 | 325 |
| 9.2.2 | 轨道交通安全运营千分制评估内容 | 328 |
| 9.3 | 轨道交通运营风险评估流程 | 331 |
| 9.3.1 | 轨道交通运营风险总体评估流程 | 331 |
| 9.3.2 | 轨道交通土建系统运营安全风险评估流程 | 332 |
| 9.4 | 轨道交通运营安全风险评估结果与分析 | 345 |
| 9.4.1 | 总体评价 | 346 |
| 9.4.2 | 土建专业存在的风险点与建议 | 346 |
| 9.4.3 | 整改建议 | 347 |
| | 参考文献 | 348 |
| | 索引 | 353 |

1 绪 论