

深圳城市轨道交通 工程风险分析与安全评价

SHENZHEN CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
GONGCHENG FENGXIAN FENXI YU ANQUAN PINGJIA

林茂德 肖 民 何 理 编著
黎忠文 石杰红 胥 旋



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

深圳城市轨道交通工程 风险分析与安全评价

SHENZHEN CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GONGCHENG
FENGXIAN FENXI YU ANQUAN PINGJIA

林茂德 肖 民 何 理 编著
黎忠文 石杰红 胥 旋



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 简 介

本书共7章,收录了国内外城市轨道交通典型事故案例,总结了我国城市轨道交通建设和运营过程中存在的主要风险,提出了适用于城市轨道交通工程的风险评价技术及体系。

本书可为从事城市轨道交通安全管理及安全评价的人员提供参考,也可作为高等院校安全工程、交通安全工程及其他相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

深圳城市轨道交通工程风险分析与安全评价 / 林茂德等编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015.1

ISBN 978-7-114-12054-1

I. ①深… II. ①林… III. ①城市铁路—铁路工程—风险分析—深圳市 ②城市铁路—铁路工程—安全评价—深圳市 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第027176号

书 名:深圳城市轨道交通工程风险分析与安全评价
著 者:林茂德 肖 民 何 理 黎忠文 石杰红 胥 旋
责任编辑:刘彩云 谢海龙
出版发行:人民交通出版社股份有限公司
地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号
网 址:<http://www.ccpres.com.cn>
销售电话:(010)59757973
总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部
经 销:各地新华书店
印 刷:北京市密东印刷有限公司
开 本:720×960 1/16
印 张:15
字 数:163千
版 次:2015年4月 第1版
印 次:2015年4月 第1次印刷
书 号:ISBN 978-7-114-12054-1
定 价:56.00元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

前 言

我国城市轨道交通建设已进入快速发展阶段,截止到2014年7月,我国内地共有22座城市的轨道交通线路投入运营,总运营里程达2631km。我国城市轨道交通在发展过程中普遍面临着工期紧张、任务繁重、人才短缺等问题,安全事故时有发生。因此,城市轨道交通工程的风险管控越来越受到关注。

结合深圳城市轨道交通工程安全评价工作实践,本书收录了国内外城市轨道交通典型事故案例,总结了我国城市轨道交通建设和运营过程中存在的主要风险,提出了适用于城市轨道交通工程的风险评价技术及体系。撰写过程中,中国安全生产科学研究院的钟茂华、史聪灵、伍彬彬、赵晨等同志对本书提出了宝贵意见,同时,受“十二五”国家科技支撑计划(2012BAK24B02、2012BAK27B03-03)、国家自然科学基金(51274176、71203201、51425404)等项目资质,在此一并致谢!

我国城市轨道交通工程发展迅速,新技术、新工艺、新产品不断涌现,书中阐述难免有不足之处,敬请批评指正!

作者

2014年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 深圳城市轨道交通发展概况	1
1.1.1 深圳城市轨道交通线网规划	1
1.1.2 深圳城市轨道交通建设现状	3
1.1.3 深圳城市轨道交通运营现状	5
1.1.4 深圳城市轨道交通技术特点	8
1.2 城市轨道交通安全评价现状	12
第2章 深圳城市轨道交通工程风险分析	14
2.1 国内外城市轨道交通工程典型事故案例统计与分析	14
2.1.1 国内外城市轨道交通工程典型事故案例分析	14
2.1.2 城市轨道交通工程建设期间事故统计分析	25
2.1.3 城市轨道交通工程运营事故统计分析	28
2.2 施工过程中的危险因素分析	32
2.2.1 盾构法施工危险因素分析	32
2.2.2 暗挖法施工危险因素分析	33
2.2.3 明挖法施工危险因素分析	34
2.2.4 围护结构施工危险因素分析	34
2.2.5 高架线施工危险因素分析	35
2.2.6 施工环境保护危险因素分析	35
2.2.7 地下管线危险因素分析	36
2.2.8 临近建筑、构筑物危险因素分析	37
2.3 运营过程中的危险因素分析	37
2.3.1 行车危险因素分析	37
2.3.2 线路及轨道危险因素分析	41
2.3.3 车站危险有害因素分析	42
2.3.4 供电系统危险有害因素分析	45
2.3.5 通风排烟系统危险有害因素分析	53

2.3.6	给排水系统危险有害因素分析	54
2.3.7	通信信号系统危险有害因素分析	54
2.3.8	防灾报警系统危险因素分析	56
2.3.9	自动售检票系统危险有害因素分析	57
2.3.10	屏蔽门系统危险有害因素分析	57
2.3.11	控制中心危险因素分析	58
2.3.12	车辆基地危险因素分析	58
2.4	自然灾害危险因素分析	60
2.4.1	地质危险因素分析	60
2.4.2	地震危险因素分析	61
2.4.3	台风、暴雨危险因素分析	62
2.4.4	雷电危险因素分析	63
2.4.5	高温、高湿危险因素分析	65
2.4.6	大雾、灰霾危险因素分析	65
2.5	社会环境危险因素分析	65
2.6	作业场所有害因素分析	66
2.6.1	噪声有害因素分析	66
2.6.2	振动有害因素分析	67
2.6.3	辐射有害因素分析	68
2.6.4	有毒有害气体分析	68
第3章	城市轨道交通工程安全评价体系	69
3.1	城市轨道交通工程安全条件论证评价	69
3.2	城市轨道交通工程安全预评价	70
3.2.1	安全预评价内容	70
3.2.2	安全预评价方法	72
3.3	城市轨道交通工程施工安全评价	74
3.4	城市轨道交通工程试运营前安全评价	76
3.4.1	试运营前安全评价内容研究	76
3.4.2	试运营前安全评价所选用的评价方法	79
3.5	城市轨道交通工程安全验收评价	81
3.5.1	安全验收评价内容研究	81
3.5.2	安全验收评价所选用的评价方法	82

3.6	城市轨道交通工程运营安全现状评价	83
3.6.1	运营安全现状评价内容研究	83
3.6.2	运营安全现状评价所选用的评价方法	84
第4章	城市轨道交通火灾风险评价方法及工程示范	85
4.1	城市轨道交通火灾风险评价方法	85
4.1.1	城市轨道交通工程火灾特殊性分析	85
4.1.2	城市轨道交通工程火灾安全评价技术简介	86
4.1.3	城市轨道交通工程火灾安全评价技术程序	92
4.2	城市轨道交通火灾风险评价示范应用	93
4.2.1	模拟选择车站的基本情况	93
4.2.2	火灾模拟计算的设置	96
4.2.3	结论与建议	100
第5章	城市轨道交通地压稳定性安全评价方法及工程示范	102
5.1	城市轨道交通地压稳定性安全评价方法	102
5.1.1	城市轨道交通工程地压稳定性安全评价内容	102
5.1.2	城市轨道交通工程地压稳定性安全评价技术简介	102
5.1.3	城市轨道交通工程地压稳定性安全评价技术程序	104
5.2	深圳地铁5号线工程大剧院站地压稳定性安全评价	105
5.2.1	概述	105
5.2.2	研究内容	108
5.2.3	模型建立与参数选取	109
5.2.4	岩土沉积构造作用过程	112
5.2.5	深圳地铁5号线大剧院站施工地表沉降分析	112
5.2.6	围护结构稳定性分析	118
5.2.7	车站建成后结构稳定性分析	121
5.2.8	深圳地铁5号线大剧院站施工对1号线影响	128
5.2.9	运营阶段结构稳定性分析	130
5.2.10	结论和建议	135
5.3	深圳地铁6号线工程松岗站地压稳定性安全评价	139
5.3.1	概述	139
5.3.2	研究内容	144
5.3.3	模型建立与参数选取	144

5.3.4	松岗站建设地表沉降分析	149
5.3.5	围护结构稳定性分析	151
5.3.6	建成后结构稳定性分析	154
5.3.7	运营阶段结构稳定性分析	160
5.3.8	结论和建议	164
第6章	城市轨道交通人员疏散风险评价方法及工程示范	168
6.1	城市轨道交通人员疏散风险安全评价方法	168
6.1.1	人员疏散计算的相关规范设计要求	168
6.1.2	人员疏散基础理论研究	170
6.2	深圳地铁5号线大学城站人员疏散风险安全评价	174
6.2.1	深圳地铁5号线工程疏散设计	174
6.2.2	人员疏散风险安全评价典型车站选取	175
6.2.3	人员疏散模拟的参数设置	175
6.2.4	人员疏散模拟计算结果及分析	183
6.2.5	人员疏散模拟结论	188
6.3	深圳地铁3号线通新岭站人员疏散风险安全评价	188
6.3.1	深圳地铁3号线西延段工程的疏散设计	188
6.3.2	典型车站选取	190
6.3.3	人员疏散模拟的参数设置	190
6.3.4	人员疏散模拟计算结果及分析	196
6.3.5	人员疏散模拟结论	198
第7章	城市轨道交通人员行为评价方法及工程示范	201
7.1	城市轨道交通人员行为评价方法	201
7.1.1	城市轨道交通乘客及工作人员安全调查问卷设计方案	201
7.1.2	城市轨道交通乘客及工作人员安全评价内容	209
7.2	城市轨道交通人员行为评价示范应用	209
7.2.1	乘客安全调查问卷分析评价	210
7.2.2	站务人员应急能力调查问卷分析评价	223
7.2.2	深圳地铁5号线安全调查问卷分析结论	225
参考文献	227



第1章 绪论

1.1 深圳城市轨道交通发展概况

深圳市是珠江三角洲的核心城市之一,是香港与内地陆路联系的必经之路。全市总面积 2020km²,土地总面积 1952.84km²,截至 2013 年底,深圳常住人口为 1062.89 万,人口密度约 5292 人/km²。2013 年全市生产总值达 14500.23 亿元,全口径公共财政收入 4818 亿元,其中地方公共财政预算收入达 1731 亿元。无论是从经济实力、人口规模,还是从区位独特优势考虑,深圳市发展城市轨道交通都是必要和可行的。

1.1.1 深圳城市轨道交通线网规划

1998 年原国家计划委员会批准深圳市政府《深港罗湖、皇岗/落马洲口岸旅客过境轨道接驳工程》项目建议书,工程获得立项,并更名为“深圳地铁一期工程”。

根据 2010 年获得国务院正式批复的深圳市城市总体规划(2010—2020 年)中编制的《深圳市城市轨道交通规划》,深圳市轨道交通线网远景规划方案由组团快线、城市干线、局域线三层次共 16 条城市轨道交通线路组成(图 1-1),合计城市轨道交通远景规划线路总

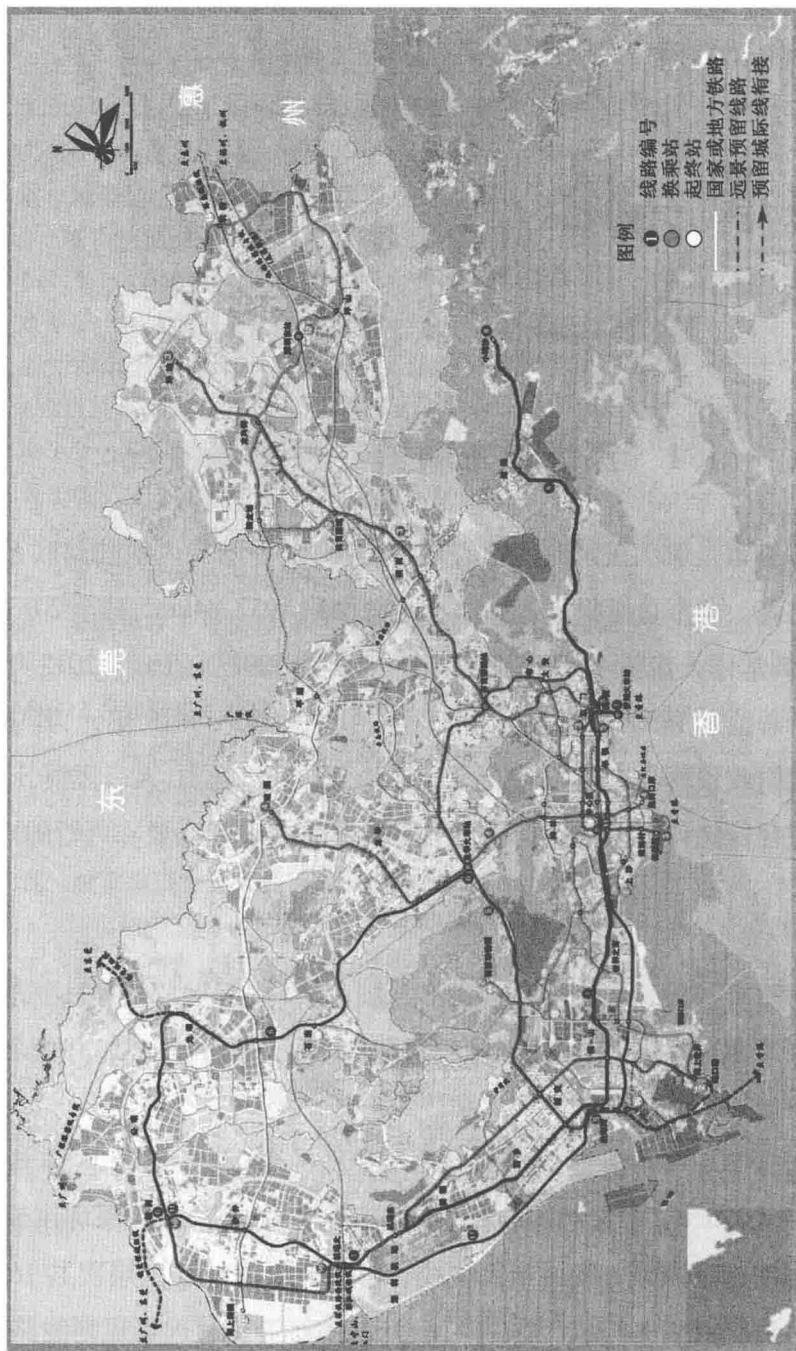


图1-1 深圳城市轨道交通远景规划方案示意图

长约 596.9km,共设车站 369 座。深圳城市轨道交通远景线路网密度全市约 $0.3\text{km}/\text{km}^2$,中心城区线网密度约 $1.18\text{km}/\text{km}^2$ 。

根据 2011 年国家发展和改革委员会(简称:国家发改委)关于《深圳市城市轨道交通近期建设规划(2011—2016 年)》的批复,深圳城市轨道交通近期建设规划(2011—2016 年)包括机场线(11 号线)、西丽线(7 号线)、梅林线(9 号线)、光明线(6 号线)、盐田线(8 号线,根据前期工作准备情况,适时建设)共 5 条线路,合计 169.6km,新设车站 95 座(图 1-2),简称“深圳地铁三期工程”。近期建设规划实施后,深圳城市轨道交通线路将达到 10 条,通车里程将达到约 348km,其中中心城区里程将达到 194km,线网密度为 $1.03\text{km}/\text{km}^2$ 。预计到 2016 年,深圳城市轨道交通承担客运量占公共交通承担客运量的比例将达到 38%。

1.1.2 深圳城市轨道交通建设现状

深圳城市轨道交通经过了一期、二期建设,目前正在进行三期工程建设的城市轨道交通规划线路有 3 条,分别是 7 号线(西丽线)、9 号线(梅林线)和 11 号线(机场线)。这三条线路全部采用 BT 模式建设。

1) 深圳地铁机场线(11 号线)

深圳地铁 11 号线由南至北穿过深圳市福田区、南山区和宝安区,连接福田中心区、南山中心区、前海中心区、宝安中心区、机场、福永、沙井和松岗等地。线路起于福田中心区福田站,止于松岗碧头站。全长 51.9km,设 18 座车站,其中地下站 14 座、高架站 4 座。初、近、远期均采用 8 辆编组 A 型车的运营组织方案,最高运行时速为 $120\text{km}/\text{h}$,牵引供电制式采用 DC1500V 架空刚性接触网。于 2011 年 12 月 29 日前期工程动工,预计于 2016 年 6 月 30 日前投入试运营。

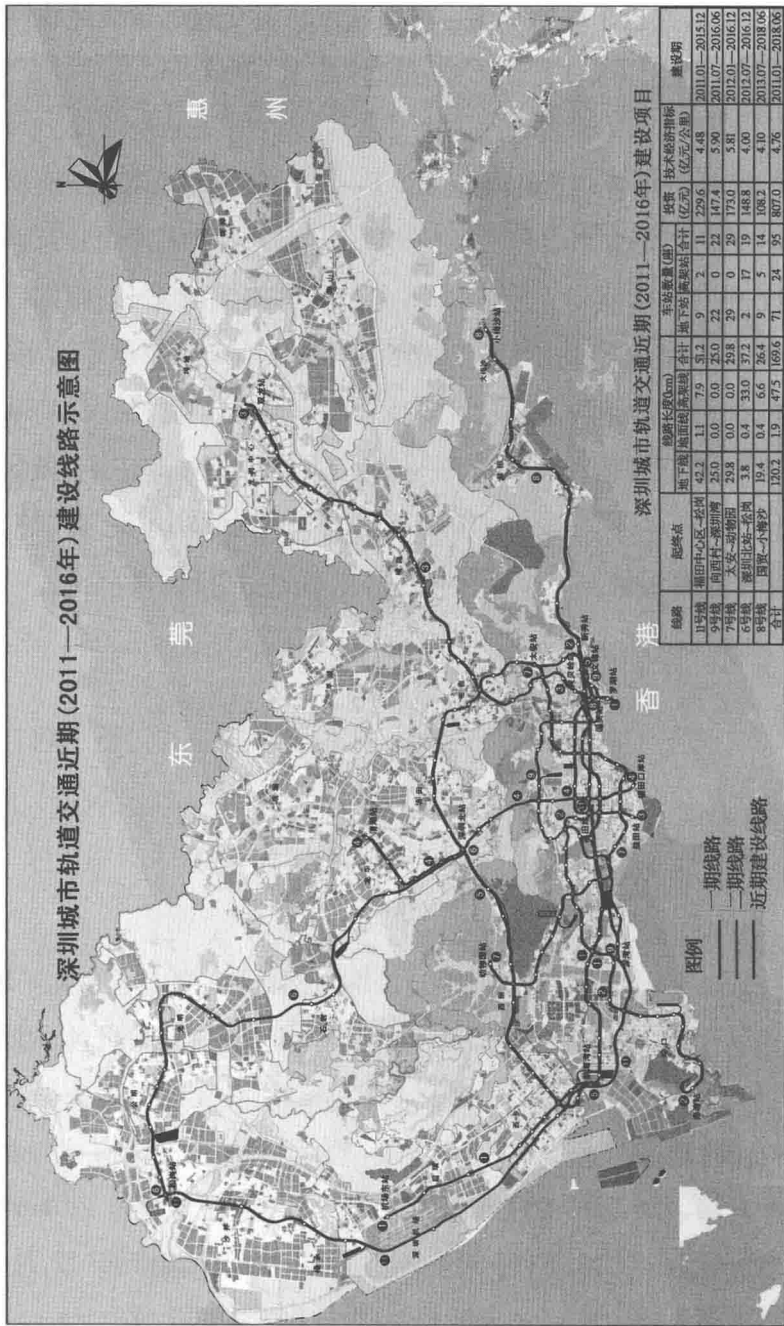


图1-2 深圳城市轨道交通近期(2011—2016年)建设线路示意图

2) 深圳地铁西丽线(7号线)

深圳地铁7号线连接布心、田贝、笋岗、华强北、福田南、车公庙、龙珠、西丽等片区,是联系特区内主要居住区与就业区的局域线。东西向横穿深圳市区,线路布局呈“V”形,是深圳城市轨道交通线网中的局域线。线路起于南山区的西丽湖站,止于罗湖区的太安站,全长约30.2km,设28座车站,全部为地下车站,其中13座为换乘站。初、近、远期均采用6辆编组A型车的运营组织方案,最高运行时速为80km/h,牵引供电制式采用DC1500V架空刚性接触网。于2012年10月23日开工,预计于2016年12月30日前投入试运营。

3) 深圳地铁9号线(梅林线)

9号线连接深圳湾、车公庙、农园、景田、梅林、银湖、泥岗、红岭、人民南、文锦等片区,是中心城区内主要居住区与就业区之间联系的局域线,沿线为较高密度建成区,主要服务通勤客流。线路自罗湖区文锦站至南山区深湾站,规划线路全长约25.0km,设22座车站,全为地下站。初、近、远期均采用6辆编组A型车的运营组织方案,最高运行时速为80km/h,牵引供电制式采用DC1500V架空刚性接触网。预计于2016年12月30日前投入试运营。

1.1.3 深圳城市轨道交通运营现状

深圳城市轨道交通工程经过一、二期,已经建成运营5条线路共178km,其中1号、2号、3号、5号线由深圳市地铁集团有限公司营运,4号线由港铁(深圳)公司营运(图1-3)。

(1)深圳城市轨道交通1号线(罗宝线)一期工程(罗湖站—世界之窗站)于2004年12月28日,续建试验段(科技园站、深大站)于

2009年9月28日开通试运营,续建工程(深大站—机场东站)于2011年6月15日开通试运营,线路全长40.979km,2个车辆段(前海、竹子林),30个车站(地下站28座、高架站2座)。车辆采用6辆编组A型车,最高运行时速为80km/h,行车间隔高峰3.5min,平峰6min。

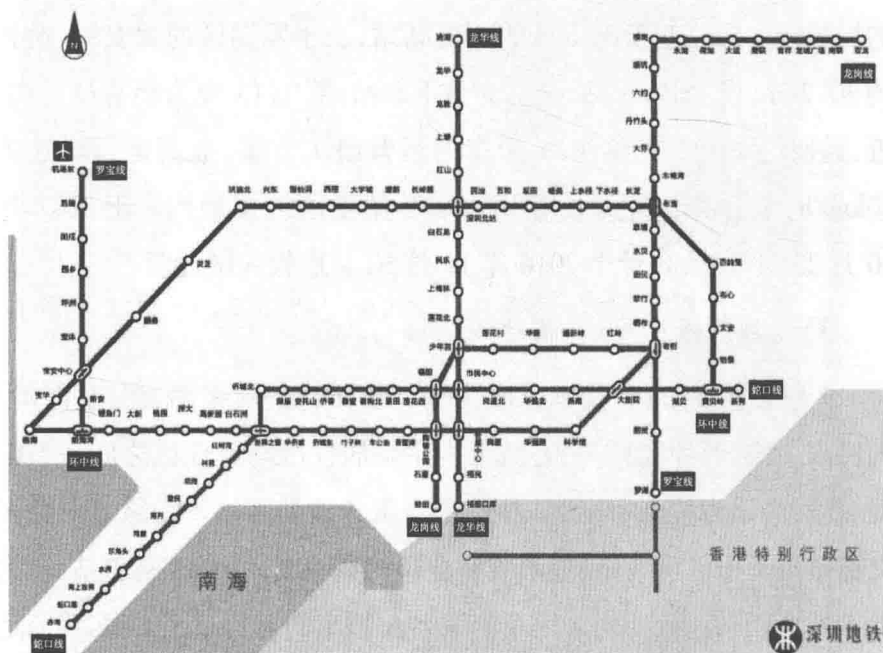


图 1-3 深圳城市轨道交通运营线网示意图

(2)深圳城市轨道交通2号线(蛇口线)初期工程(世界之窗站—赤湾站)于2010年12月28日开通试运营,东延段工程(世界之窗站—新秀站)于2011年6月28日开通试运营,线路全长35.748km,1个车辆段,1个停车场,29个车站。车辆采用6辆编组A型车,最高运行时速为80km/h,行车间隔高峰6min,平峰8min。

(3)深圳城市轨道交通3号线(龙岗线)一期工程高架段(双龙站—草埔站)于2010年12月28日开通试运营,西延段与(草埔站—益田站)于2011年6月28日开通试运营,线路全长41.7km,1个车辆

段,1个停车场,30个车站。车辆采用6辆编组B型车,最高运行时速为100km/h,行车间隔高峰8min,平峰10min,高峰小交路3.5min、大交路7min。

(4)深圳市轨道交通4号线(龙华线)一期工程(福田口岸站—少年宫站)于2004年12月28日,二期工程(少年宫站—清湖站)于2011年6月28日开通试运营,线路全长20.3km,共设车站15座(高架10座),设龙华车辆段,车辆采用4/6辆编组A型车,最高运行时速为80km/h,行车间隔高峰2.5min,平峰6min。

(5)深圳城市轨道交通5号线(环中线)于2011年6月22日全线开通试运营,线路全长40.001km,1个车辆段,1个停车场,27个车站。车辆采用6辆编组A型车,最高运行时速为80km/h,行车间隔高峰6min,平峰8min。

深圳市地铁集团有限公司(简称:深圳地铁)始终坚持“以人为本、安全第一”的方针和“安全、正点、热情、周到”的服务理念,运营管理工作通过了质量、环境、职业安全健康管理体系认证,荣获了2013年深圳“市长质量奖”鼓励奖,多次获得深圳市服务窗口行业公众满意度第一名,实现了单线运营向线网运营的平稳过渡。截至2014年2月27日,实现安全运营3348天。中国安全生产科学研究院对深圳地铁1、2、3、5号线安全设施竣工验收的评价报告认为,深圳地铁1号、2号、3号、5号线的安全设备设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用;安全生产管理措施和安全生产规章制度齐全;事故应急体系完善;安全生产条件满足国家现行安全生产法律法规、标准、行政规章、规范的要求。柏诚(亚洲)有限公司2013年对深圳地铁运营安全评估报告认为,深圳地铁运营服务水平已逐步接近香港地铁、新加坡地铁、台北捷运等国际先进地铁系统。

1.1.4 深圳城市轨道交通技术特点

深圳城市轨道交通主要用自主创新的装备建成运营了 178km 的轨道交通线路。深圳城市轨道交通装备国产化从零起步,到自主化、信息化创新,实现了以信息化技术为突破口的应用创新,所有装备系统均进行了不同程度的集成创新,拥有多项自主知识产权,其中关键的应用软件均自主研发,所采用的硬件和零部件的平均国产化率达到 70% 以上,并在装备整体的信息化水平和功能方面实现了超越。从运营验证的整合数据表获悉,信息化创新装备的效果体现在运营的安全性、可靠性、节能性、经济性等方面的领先优势明显。其中,与运营安全密切相关的创新技术和项目简介如下。

1) 信息化深度集成的地铁综合监控系统

1998 年底,深圳地铁首次提出创建地铁综合监控系统的要求,将电力自动监控(SCADA)、机电设备监控(EMCS)和防灾报警(FAS)三大信息化控制系统集成创新为一体,形成了信息共享的设备系统监控平台。该系统将地铁车站、隧道区间、变电站等各类机电设备系统完整地集成到同一网络平台和软件平台上,数据和信息在统一的数据库内共享,实现统一人机界面的全面监控和设备系统的联动高效运作,提高了运营安全性。该系统与信号、AFC 等若干系统互联实现设备自动联动,并且火灾报警系统与车站环控系统紧密结合,火灾自动报警在车站、隧道及电缆通道实现了全覆盖,同时,将报警和救灾的两个过程实现自动联动功能,从而保证地铁发生火灾报警后,系统能自动启动火源部位的排风排烟系统,实现自动预防和控制火灾的效果,为避免地铁火灾带来的重大人员伤亡,提供自动防火的本质化安全保障。

2) 深圳地铁消防设计研究

深圳地铁消防设计研究(2010—2011年)由深圳地铁、深圳市公安消防局、中国科技大学火灾国家重点实验室三家协作完成,2010年7月通过专家评审,并通过研究编制了《地铁工程烟气控制与人员疏散系统设计导则》和《地铁车站消防系统验收评定规程》,开发了新型热烟测试装置。本项目通过研究确定了深圳地铁典型火灾场景及功率,提出了对上盖物业的综合车辆段、地铁多条线换乘站与综合交通枢纽的消防安全技术要求,提出了地铁列车火灾人员安全应急技术要求与策略,为地铁工程消防安全设计导则和地铁工程消防安全系统验收评定规程的补充完善提供技术支持。《地铁工程烟气控制与人员疏散系统设计导则》和《地铁车站消防系统验收评定规程》是深圳地铁二期工程建设重要的设计技术标准和消防验收标准,保障了广大乘客的生命和财产安全。

3) 感温光纤预警系统

深圳地铁在国内率先提出要在隧道和电缆通道敷设感温光纤预警系统的要求,并主导创新应用了我国自主研发的感温光纤与预警系统,实现了地铁火灾预警系统的全覆盖。与综合监控系统互联后,使自动灭火控制系统首次在地铁中实现了覆盖车站、隧道、电缆通道、设备房和工作间的灭火预警、报警和救火的全自动监控。该系统的信息化创新应用,保证了动态监控地铁内部不因火灾而发生大规模群死群伤的事故。

4) 惰性气体灭火系统

为了将灭火系统覆盖地铁的设备房间和区域,并在灭火时不损坏电气设备,深圳地铁在国内第一个主导创新应用了我国自主研发的惰