



城市

轨道交通系统 安全保障体系研究与应用

刘卡丁 主编

中国建筑工业出版社

城市轨道交通系统 安全保障体系研究与应用

刘卡丁 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通系统安全保障体系研究与应用/刘卡丁

主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-112-13750-3

I. ①城… II. ①刘… III. ①城市铁路-交通运输
安全-安全管理体系-研究-中国 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 226664 号

随着经济社会的快速发展, 人民群众对城市公共交通的需求日益增加, 我国城市轨道交通进入快速发展时期。城市轨道交通对改善城市出行条件、缓解交通拥堵、提升城市功能发挥了重要作用。确保城市轨道交通安全, 是保证人民群众生命财产安全、维护社会稳定的需要, 是大力发展城市公共交通、切实改善民生的需要, 也是提高投资效益、促进经济社会健康发展的需要。

本书针对国外城市轨道交通系统安全保障工作的成功经验和存在问题, 结合我国城市轨道交通的实际特点, 从法规、管理和技术三个层面研究并构建了城市轨道交通系统安全保障体系。主要内容包括城市轨道交通系统安全法规与标准体系、城市轨道交通系统安全保障管理体制、城市轨道交通系统安全风险管理和安全过程控制方法等, 并对深圳地铁 3 号线系统安全保障工作的组织与实施应用情况进行了介绍。本书的出版对于建立和完善我国城市轨道交通系统安全保障体系, 提高城市轨道交通系统安全性和可靠性等具有重要的意义。

责任编辑: 张 晶

责任设计: 张 虹

责任校对: 姜小莲 王雪竹

城市轨道交通系统安全保障体系研究与应用

刘卡丁 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 插页: 3 字数: 429 千字

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-13750-3
(21502)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

城市轨道交通系统安全保障体系研究与应用

编委会主任：王 敏

编委会副主任：杨少林 秦国栋 刘卡丁 杜心言 徐向明
肖世雄 张建华

主 编：刘卡丁

副主编：秦国栋 扈 森 杜心言 张中安 方昌福
张佐汉 胡 江 张 波 骆汉宾

参 编：（按姓氏笔画排序）：

马程光	叶 冲	叶 峰	仲学凯	向 骏
邬志卫	庄祝明	刘 璐	刘鸿瑞	汪一鸣
孙 峻	严礼奎	李兰青	吴贤国	吴林科
张西林	张素燕	陆定中	陈罄超	苗彦英
林惠中	徐光强	陶树本	熊 建	

序

城市轨道交通是长期处于高速运转的复杂的大系统，与城市经济发展和居民生活密切相关。我国的城市轨道交通建设目前正在超速发展，取得了举世瞩目的成绩。但由于历史发展以及其他各方面原因，在建设和运营过程中出现了不少安全隐患，导致事故频发。严峻的安全现状，日益受到政府和各方面的高度重视。

城市轨道交通具有环境条件复杂多变、列车运行速度快、空间封闭和客流密集、使用寿命周期长等特点。一旦发生意外事故，伤亡损失往往非常惨重。因此充分认识城市轨道交通安全工作的特殊性、复杂性、脆弱性、重要性和长期性，做好城市轨道交通建设和运营的安全工作，是一件关系到人民生命财产的安全，关系到国家经济发展及社会和谐稳定的大事，也是一件功在当代、荫及后世的大事。

由住房和城乡建设部中国城市规划设计研究院地铁与轻轨研究中心、深圳市地铁三号线投资有限公司发起，与中铁集团第二勘察设计院、上海志励轨道交通科技有限公司等单位合作，经过几年的辛勤工作，共同完成了“城市轨道交通系统安全保障体系研究开发”课题项目，并在深圳地铁3号线成功应用。

本书记录和总结了研究小组历时3年多的研究过程、研究范围和研究成果。课题组开展了“国内外城市轨道交通系统安全保障体系现状与分析”、“城市轨道交通系统安全保障体系组织架构研究”、“城市轨道交通系统安全保障体系工作内容研究”、“城市轨道交通系统安全保障体系工作方法研究”、“深圳市地铁3号线系统安全保障工作实践”、“城市轨道交通系统安全保障体系风险管理软件开发”等6个专题的研究，取得了丰硕成果。

本书将课题组对国内外城市轨道交通的安全系统保障体系工作的成功经验和存在问题的大量调查和分析工作，以及根据我国城市轨道交通的实际情况，为尽快建立和完善适合我国国情的城市轨道交通系统安全保障体系的法规和管理框架的研究工作进行了系统整理和归纳。研究课程提出了在城市轨道交通全生命周期的安全过程控制与安全认证相结合的基本方针，并初步拟订了在建设和运营过程中的具体工作方法，体现了“安全第一，预防为主”的思想，为政府部门进一步制定城市轨道交通安全政策、法规奠定了坚实的基础，是一项有深远意义的研究成果。本书都给予了详细的叙述。

深圳市地铁3号线工程项目引入先进的风险管理理念，在国内首先开展项目系统安全保障的科研工作。并结合工程实践进行了“系统安全过程控制”的应用研究，用于指导项目实施，基本上实现了工程建设各主要阶段对项目全过程的安全监

控，与目前普遍采用的传统安全管理工作模式相比，其科学性、系统性和可操作性有重大突破和改善。为工程后阶段的系统联调、验收、开通试运营和安全认证做好了充分的技术准备，也为国内其他城市轨道交通开展安全保障工作积累了宝贵的经验。

中国工程院院士

施仲衡

2011年2月

目录

Contents

1 城市轨道交通系统安全保障概述	1
1.1 我国城市轨道交通发展现状	1
1.2 城市轨道交通安全面临的挑战	6
1.3 城市轨道交通系统安全的内涵	9
1.4 城市轨道交通系统安全保障现状	13
1.5 城市轨道交通系统安全保障体系的构成	18
1.6 城市轨道交通系统安全保障体系框架	21
2 国外城市轨道交通安全保障体系	27
2.1 美国城市轨道交通系统安全保障体系	27
2.2 英国城市轨道交通系统安全保障体系	32
2.3 德国城市轨道交通系统安全保障体系	41
2.4 日本城市轨道交通系统安全保障体系	47
2.5 欧盟城市轨道交通系统安全主要标准	58
2.6 国外城市轨道交通系统安全保障总结	60
3 城市轨道交通系统安全法规与标准体系	67
3.1 城市轨道交通系统安全法律法规体系	67
3.2 城市轨道交通系统安全标准体系	80
3.3 城市轨道交通系统安全法规与标准体系问题及建议	88
4 城市轨道交通系统安全保障管理体制	93
4.1 城市轨道交通系统安全保障模式	93
4.2 城市轨道交通系统安全保障体系组织架构	97
4.3 城市轨道交通系统安全评价机制	101

4.4	城市轨道交通关键设备安全认证机制	113
4.5	城市轨道交通系统安全管理其他制度	115
5	城市轨道交通系统安全风险管理办法	119
5.1	风险管理概述	119
5.2	城市轨道交通系统安全风险源及其识别方法	123
5.3	城市轨道交通系统安全风险评价方法	135
5.4	城市轨道交通系统安全风险减低与消除方法	145
5.5	城市轨道交通系统安全风险管理与实施	148
6	城市轨道交通系统安全过程控制及方法	153
6.1	城市轨道交通系统的生命周期	153
6.2	规划阶段系统安全过程控制方法	158
6.3	建造阶段系统安全过程控制方法	161
6.4	运营阶段系统安全过程控制方法	163
7	深圳地铁3号线系统安全保障工作的组织	167
7.1	深圳地铁3号线工程系统安全保障概述	167
7.2	深圳地铁3号线工程系统总体安全计划	170
7.3	深圳地铁3号线工程系统安全保证总控程序	178
7.4	深圳地铁3号线工程安全风险管理与总控程序	194
8	深圳地铁3号线系统安全保障工作的实施	201
8.1	深圳地铁3号线工程初步设计危害分析	201
8.2	深圳地铁3号线工程初步设计安全审查	209
8.3	深圳地铁3号线工程安全预评价	214
8.4	深圳地铁3号线项目投融资及项目实施风险因素评估	222
8.5	深圳地铁3号线工程施工图设计阶段危害分析	229
8.6	深圳市城市轨道交通系统安全风险管理软件	234
9	研究结论与建议	243
9.1	结论	243
9.2	建议	246

名词与术语

249

附表与附图

253

参考文献

261

1.1 我国城市轨道交通发展现状

1.1.1 城市轨道交通发展背景

随着我国经济的稳健、快速发展,城市人口迅猛增加,城镇化水平显著提高,城市交通问题已经成为制约城市发展的“瓶颈”。在许多大中城市,常规公交已经难以满足城市居民出行的要求,尽管政府投入大量资金,仍不能有效缓解城市交通的堵塞。如北京市内的立交桥不仅在中国堪称第一,在世界各大城市中也是屈指可数。即便如此,北京的交通状况依然严峻。城市车辆行驶速度已从 20 年前的 40km/h 下降到目前的 14km/h。毫无疑问,我国大力发展城市公共交通已迫在眉睫,这对实现城市可持续发展具有重要的意义。

城市轨道交通是一种集约化的交通方式,可以有效节约能源和土地资源。城市轨道交通一般采用电力牵引,具有低污染、大运量、集中化运输的特点,每运送一位乘客所产生的污染大大低于其他交通方式。因此城市轨道交通建设被公认为是解决城市交通问题的首要选择,也是引导城市可持续发展、迈向国际先进大都市行列的主要途径。目前世界上已有百余座城市共建设了轨道交通线 7000 多 km。其中,东京接近 2000km,年乘客 100 亿人次;伦敦 408km;巴黎共有 15 条线路,全长 199km,已占公交份额的 70%;纽约则有 27 条地铁,全长 443km;莫斯科有 9 条地铁,全长 243km,日搭乘量达 800 多万人。

城市轨道交通包括:有轨电车、轻轨、地铁、单轨、磁悬浮和城市铁路等型式。城市轨道交通与其他交通工具的功能比较如表 1-1 所示。

城市各类交通工具功能比较

表 1-1

交通工具	最高/平均速度(km/h)	运客能力(万人次/h)	平均站距(km)	建设周期(年)
公共汽车	<60/10~20	1~2	1.2~2	
快速公交	60/10~25	1~2	1.2~2	
有轨电车	<60/15~20	0.6~0.8	0.3~0.8	2~3
地铁	80~120/35~40	3~7	0.8~2	3~4
轻轨	80~120/20~30	1.5~3.5	0.8~1.5	2~3
单轨	60~80/35~40	1.5~3	1~2	2~3
中低速磁悬浮	80~120/50~70	2~2.5	>2.5	2~3
城市铁路	80~120/60	4~8	2~2.5	
轿车	110/40	—	—	

资料来源：陈宗器，我国轨道交通建设历程，电器工业，2009(7)：26-29

根据发达国家的经验，人均国民收入达到 1200~1300 美元是建设城市轨道交通的起步点，人均国民收入达到 2500 美元，轨道交通将进入大规模建设的时期。目前我国东部发达城市和省会城市人均国民收入基本上已达到第二阶段水平，加快发展轨道交通建设的时期已经来临。

1.1.2 我国城市轨道交通的发展历程

20 世纪 50 年代，我国开始筹建城市轨道交通，但直到 40 年后的 90 年代初才真正全面推进建设城市轨道交通。目前，我国 34 个人口过百万人的特大城市中，有 28 个城市正在建设和筹建城市轨道交通，形成兴建城市轨道交通的热潮。

我国第一条投入运营的地铁是北京地铁 1 号线，1965 年 7 月 1 日动工，从北京站至苹果园共有 17 座车站，全长 23.6 公里。北京地铁 1 号线采用地面大开挖方式施工，工程量很大。北京地铁 1 号线工期历时 4 年，于 1969 年 10 月 1 日通车。随后几年，受文革干扰，地铁建设停顿下来。改革开放后，我国又相继建设了北京地铁 2 号线以及天津地铁 1 号线，分别在 1982 年和 1984 年投入运营。

随着我国经济的快速发展，为缓解城市交通拥挤，许多城市相继开展了轨道交通规划和建设。进入上世纪 90 年代，中国各大城市掀起一股“轨道交通热”，投资规模不断攀升。其中，上海地铁 1 号线采用国际融资方式建设，累计利用德国贷款 4.6 亿马克，美国贷款 2300 万美元，法国贷款 2150 万美元。此外，广州、天津等地轨道交通建设相继展开。

为了遏制各地过度的“轨道交通热”，降低工程造价，1999 年国家计委制定了《关于城市轨道交通设备国产化的实施意见》。该文件明确规定，各地申报城市轨道交通建设项目，设备国产化率必须达到 70% 以上，否则不予立项。2003 年，国务院办公厅发布通知规定只有地方财政收入达到 100 亿元，GDP 达到 1000 亿元，市区人口达 300 万人，单线流量 3 万人以上的城市，才有资格申请地铁立项；地方财政收入达 60 亿元，GDP 达 600 亿元，市区人口达 150 万人，单线流量 1 万人以上

的城市,才有资格申请轻轨立项。

随着这些文件的出台,轨道交通建设开始进入了健康发展的轨道。轨道交通建设国产化率不断提升,建设规模得到了有效控制。随着国产化率的提升,车辆费用所占比例降为10%~15%,通信信号系统费用降为总造价的5%~10%。地铁造价由20世纪90年代初每1km 7亿元下降到上世纪90年代末的每1km 5亿元,轻轨每1km造价由4亿元降为2亿元。

1.1.3 我国城市轨道交通建设现状

近年来,随着经济社会的快速发展,人民群众对城市公共交通的需求日益增加,我国城市轨道交通进入快速发展时期,建设规模之大和速度之快在国际上尚无先例,特别是2009年以来,城市轨道交通建设进一步加快,对改善城市出行条件、缓解交通拥堵、提升城市功能发挥了重要作用。

“十一五”期间,我国城市轨道交通建设不断发展。全国2006年投入运营的轨道交通线有6条(包括延伸线),2007年投入运营的有5条,2008年投入运营的有3条。截至2008年年底,已有北京、上海、广州、深圳等10座城市的30条城市轨道交通线路建成运营,运营里程已达813.7km,已建成城市轨道交通线路及里程如表1-2所示。其中,运营里程最长的上海已达235km,北京达198km,广州超过117km。

我国已建成城市轨道交通线路及里程

表 1-2

城市名称	项目名称	线路长度(km)	建成年份
北京	地铁1号线	31.44	1969/1999
	地铁2号线	23.1	1982
	地铁5号线	27.6	2007
	地铁10号线	26.2	2008
	奥运支线	5.9	2008
	机场线	27.3	2008
	城市铁路(13号线)	40.95	2003
	八通线	18.95	2003
上海	轨道交通1号线	33.7	1995/1997/2004
	轨道交通2号线	25.3	2000/2006
	轨道交通3号线	40.3	2000/2006
	轨道交通4号线	33.6	2003/2007
	轨道交通5号线	17.2	2005
	轨道交通6号线	33	2007
	轨道交通8号线	22.4	2007
	轨道交通9号线	31.1	2007
天津	津滨轻轨1期	45.4	2003
	地铁1号线	26.2	1984/2005/2006

续表

城市名称	项目名称	线路长度(km)	建成年份
重庆	轨道交通 2 号线	19.15	2005
广州	地铁 1 号线	18.5	1999
	地铁 2 号线	18.2	2003
	地铁 3 号线	36.7	2005/2006
	地铁 4 号线	36.2	2005/2006
大连	快轨 3 号线	49.15	2004
长春	轻轨 1、2 号线	31.96	2002/2006
南京	地铁 1 号线 1 期	21.7	2005
武汉	轨道 1 号线 1 期	10.23	2004
深圳	地铁 1 期	21.9	2004

资料来源：陈宗器，我国轨道交通建设历程，电器工业，2009(7)：26-29

在金融危机的影响下，为了拉动内需，轨道交通建设速度和规模进一步扩大。截至 2010 年 11 月，全国 25 个城市在建线路达到 58 条、约 1618km，比 2009 年增加约 220km，其中北京在建里程接近 300km，上海、深圳在建里程超过 100km。仅 2010 年就有上海 5 条，广州 6 条，南京、沈阳、成都各 1 条线路建成试运营。至 2010 年底，全国已有 12 个城市建成并投入运营线路总计 40 条，总里程约 1240km，比 2008 年增加约 60%。

截至 2010 年 9 月，国务院已批准 28 个城市的轨道交通近期建设规划，共计 99 条线路、2812.19km，总投资 11366.92 亿元，还有一些城市正在开展规划研究工作。部分城市轨道交通建设规划如表 1-3 所示。

部分城市轨道交通近期建设规划

表 1-3

城市名称	规划年度	线路(条)	长度(km)	总投资(亿元)	单位投资(亿元/km)
北京	2006~2015	15	447.4	1636	3.66
上海	2005~2012	10	389	1439	3.70
广州	2005~2010	7	127.66	487.01	3.81
深圳	2003~2010	5	120.7	364.3	3.02
南京	2004~2015	3	97.6	368.3	3.77
杭州	2004~2010	2	82.2	355.7	4.33
重庆	2004~2012	3	82	242	2.95
武汉	2004~2013	3	59.74	237.22	3.97
成都	2004~2013	2	54.18	197.18	3.64
天津	2003~2010	2	51.1	209.6	3.51
西安	2006~2015	2	50.3	179.5	3.57
苏州	2003~2010	2	47.4	165	3.48

续表

城市名称	规划年度	线路(条)	长度(km)	总投资(亿元)	单位投资(亿元/km)
哈尔滨	2004~2013	2	45.53	163	3.58
沈阳	2004~2010	2	40.85	171.8	4.21
长春	2004~2010	2	37.5	38.98	1.04
合计		62	1773.16	6234.59	3.52

资料来源：陈宗器，我国轨道交通建设历程，电器工业，2009(7)：26-29

预计到2015年前后，将有19个城市建成72条线路、2230km的城市轨道交通系统，总投资约7990亿元。至2020年，京、沪、穗三地的城市轨道交通运营里程都将超过500km，国内三大城市轨道交通的远景规划都有望突破1000km。2050年全国规划建设轨道交通网络的城市将达到25个，总里程高达5000km。

1.1.4 城市轨道交通建设的特点

与其他交通方式相比，城市轨道交通建设项目具有以下特点。

(1) 具有较为明显的规模经济特性

城市轨道交通建设需要高额的资本投入，由于投资规模大，回收周期长，投资成本高，分摊到每人每次乘客上的固定成本也较高。而每增加1人次乘客所带来的可变成本增量却相对较低。随着网络系统规模的扩大，乘客数量增加的速度更快，可以不断摊铺固定成本，从而降低生产成本。因此，城市轨道交通规模经济特性十分明显。

(2) 具有显著的资产专用特性

资产专用性是指在不牺牲资产所具有的生产用途的条件下，可用于不同用途以及由不同使用者利用的程度。城市轨道交通基础设施的线路、车站、通信和车辆等设备，具有高度的资产专用性和高额的沉没成本，一经完成则不能用于其他用途。这些成本的补偿依赖于城市轨道交通项目客流量的多少，以及项目能否持久地获得收益。资产专用特性要求城市轨道交通项目必须具有良好的可持续性，实现可持续发展，才能保证成本回收和综合效益的实现。

(3) 需要多个专业之间的协调特性

城市轨道交通项目的规划、设计、建设和运营等各个阶段，涉及交通学、工程项目管理、社会学、经济学、管理学和环境学等多门综合学科的知识，需要多专业、多行业、多企业的相互配合。城市轨道交通项目中的各个行业共同依存于互相控制的资源，形成互惠的合作关系。专业协调特性体现了城市轨道交通项目可持续性问题的复杂性和综合性。

(4) 具有明显的公益性特征

城市轨道交通是大型城市基础设施，为社会生产和居民生活提供基础服务，属于准公共项目，具有非常显著的公益性。一方面，轨道交通能使其服务对象和影响

范围内的其他项目效益提高,且效益的内涵丰富、种类繁多,包含社会、经济和环境等各个方面;另一方面,轨道交通的定价不能完全采用市场法则,也不能完全通过供求关系来调整票价。

1.2 城市轨道交通安全面临的挑战

1.2.1 城市轨道交通安全管理特殊性

确保城市轨道交通质量安全,是保证人民群众生命财产安全、维护社会稳定的要求,是大力发展城市公共交通、切实改善民生的要求,是提高投资效益、促进经济社会健康发展的要求。与其他工程建设项目相比,城市轨道交通项目在安全管理方面具有自身显著的特点,主要表现在以下方面。

(1) 项目组织协调复杂

城市轨道交通项目建设规模和投资巨大。一个城市的轨道交通线网一般有百余千米至数百千米,同时在建的项目工点数可达数十个,每千米造价达3亿~5亿元人民币。城市轨道交通建设参与单位多,建设、运营过程中所产生的信息量大,组织协调工作繁重。与此同时,城市轨道交通项目一般都面临着较大的工期压力,项目建设周期短,安全生产面临较大压力。如一些地方为了抢速度而倒排工期,设计、施工、调试时间不够充分,容易留下安全隐患。

(2) 多种制式和系统并存

我国轨道交通已拥有大运量的地铁系统、城市高架轨道交通系统、高架跨座式单轨系统和中小运量的地面轻轨系统,另外还有高速磁浮系统、快速市郊铁路系统等,形成了多种制式和系统并存的格局。大量技术和设备是从不同的国家进口,如上海地铁1号线主要设备是从德国进口的;广州地铁1号线主要设备从德国、日本、美国、英国等国家引进的;重庆轻轨线主要设备从日本引进的。进口设备虽然技术先进,但由于来自不同的国家,给运营、维修和安全管理带来了难度。

(3) 建设管理技术能力要求高

城市轨道交通建设和运营几乎涉及现代土木工程、机电设备工程的所有高新技术领域。现代控制、现代通信和现代网络等技术广泛应用,而国内城市轨道交通建设及运营的技术处于摸索探寻阶段。城市轨道交通建设、运营管理需要与当前建设和运营技术力量之间存在矛盾。由于很多城市同时上马城市轨道交通项目,相对当前的建设规模,曾参与过轨道交通勘察、设计、施工和运营管理的技术力量短缺,缺乏高端人才和富有经验的骨干人才。有些线路的部分施工单位是首次从事地铁建设,导致轨道交通安全建设和运营安全风险加大。

此外,我国的城市轨道交通在安全投入方面还不够充分。安全工作是一项系统工程,涉及管理、技术、资金等诸多要素。安全水平与人、财、物的投入成正比,要达到可控的安全标准,必须保证充足的投入。尽管工程项目概算中考虑了安全生

产的相关费用,但相比城市轨道交通项目安全建设和运营的特殊性,这一比例目前仍然较低。经调查,国外城市轨道交通系统安全过程控制占总费用的比例一般在千分之五左右,而目前国内占总费用比例尚不足千分之一,远不能达到系统安全过程控制的投入要求。

1.2.2 城市轨道交通系统安全工程概述

如前文所述,城市轨道交通由于涉及诸多行业、专业,由众多的设备系统构成,从建设到运营管理涉及诸多的环节。其自身的复杂性,对建设、运营管理等诸多方面都提出了较高的安全性要求。单一产品、单一阶段以及单一部门的安全并不能保证城市轨道交通总体安全管理目标的实现。实现城市轨道交通安全的主要目标应当是追求城市轨道交通的系统安全。从系统的观点,引入系统安全工程的理念,面向城市轨道交通全生命周期的风险控制,已经成为国内外城市轨道交通安全管理的发展趋势和重要手段。

系统一词源于希腊语,指由相互作用、相互依存的若干元素结合而成的具有特定功能的有机整体。作为一个系统,应当具备六个特征:整体性、相关性、目的性、层次性、综合性和环境适应性。其中,整体效应是系统最重要的特征,系统的整体具有组成部分在孤立状态时所没有的新性质,如新的特性、新的功能、新的行为等。因此,当从系统角度分析问题和解决问题时,应把重点放在整体效应上。

系统安全起源于20世纪50年代到60年代美国研制民兵式洲际导弹的过程中,它是人们为解决复杂系统的整体性和安全性问题而开发、研究出来的安全理论和方法体系。系统安全是指在系统生命期内应用系统安全工程和系统安全管理方法,辨识系统中的危险源,并采取控制措施使其危险性最小,从而使系统在规定的性能、时间和成本范围内达到最佳的安全程度。系统安全的定义将控制和合理性结合在一起,是指在运行有效性、时间、成本及其他限制下确定的,在系统寿命期的各阶段均可达到的最优安全程度。系统安全创新了安全观念,体现在以下方面:

- (1) 安全的相对性;
- (2) 安全贯穿于系统的整个生命期间;
- (3) 危险源是事故发生的根本原因;
- (4) 系统可靠性和系统安全性相辅相成。

系统安全要求在一个新系统构思阶段就必须考虑其安全性问题,制定并开始执行安全工作规划,把系统安全工作贯穿于整个系统生命期间,直到系统报废为止。系统安全的基本内容就是辨识系统中的危险源,采取措施消除和控制系统中的危险源。危险源是可能导致事故的潜在的不安全因素,系统中存在的危险源是事故发生的根本原因。在新系统的构思、可行性论证、设计、制造、试运转、运转、维修直到废弃的各个阶段都要辨识、评价、控制系统中的危险源。

采用系统工程方法保障系统安全的工作称之为系统安全工程(system safety en-

gineering, SSE)。系统安全工程是以系统工程的方法研究、解决生产过程中的安全问题,预防事故和经济损失发生的一门新技术学科。系统安全工程是指采用系统工程方法,识别、分析、评价系统中的危险性,根据其结果调整工艺、设备、操作、管理、生产周期和投资等因素,使系统可能发生的事故得到控制,并使系统安全性达到最好的状态。其工作任务包括以下主要方面:

(1) 系统安全分析

为了充分认识系统中存在的危险性,要对系统进行细致的分析。根据需要可以进行不同深度的分析,可以是初步的或详细的,定性的或定量的。根据文献统计,系统安全分析方法多达70~80种,要完成一个准确的分析应根据系统的特点选择和综合使用各种分析方法,取长补短。系统安全分析的方法主要分为以下两类:

1) 定性分析。主要有系统检查法(安全检查表)等。

2) 定量分析。主要有危险性预先分析法(PHA)、故障类型及影响分析法(FMEA)、事件树分析法(ETA)、故障树分析法(FTA)等。

(2) 系统安全评价

系统安全分析的目的就是为了进行安全评价。通过分析了解系统中潜在的危险和薄弱环节、发生事故的概率和可能的严重程度等,都是进行评价的依据。决策者可以根据评价的结果选择技术路线,领导和监督机构可以根据评价结果督促企业改进安全状况。

(3) 安全控制

即采取安全措施,根据评价的结果对系统进行调整,对薄弱环节加以修正。

城市轨道交通系统安全工程就是采用系统安全工程理论和方法,通过系统安全分析、系统安全评价以及系统安全控制等手段和技术,保证实现城市轨道交通的系统安全。这也是当前城市轨道交通安全管理的主要任务。

1.2.3 城市轨道交通系统安全目标

当前,系统安全工程逐渐在国内外城市轨道交通中得到广泛应用。一些国家按照系统安全工程的要求制定了相应的法律法规和标准。其中,最典型的代表即欧盟的EN 50126标准,它为整个欧盟地区的铁路部门和铁路支柱产业提供了统一的轨道交通系统安全工程方法。

在借鉴国内外先进理论和经验的基础上,城市轨道交通系统安全的目标可以概括为通过系统安全工程的方法,保证实现城市轨道交通的可靠性、可用性、可维护性和安全性。通常情况下,可靠性、可用性、可维护性和安全性由其英文单词 Reliability、Availability、Maintainability、Safety的首字母缩写词RAMS表示。其具体含义如下所示:

(1) 可靠性:在给定时间间隔或给定工作次数的条件下,城市轨道交通系统能够完成所要求功能的可能性。

(2) 可用性:在给定提供外部资源的情况下,城市轨道交通系统能在给定的条