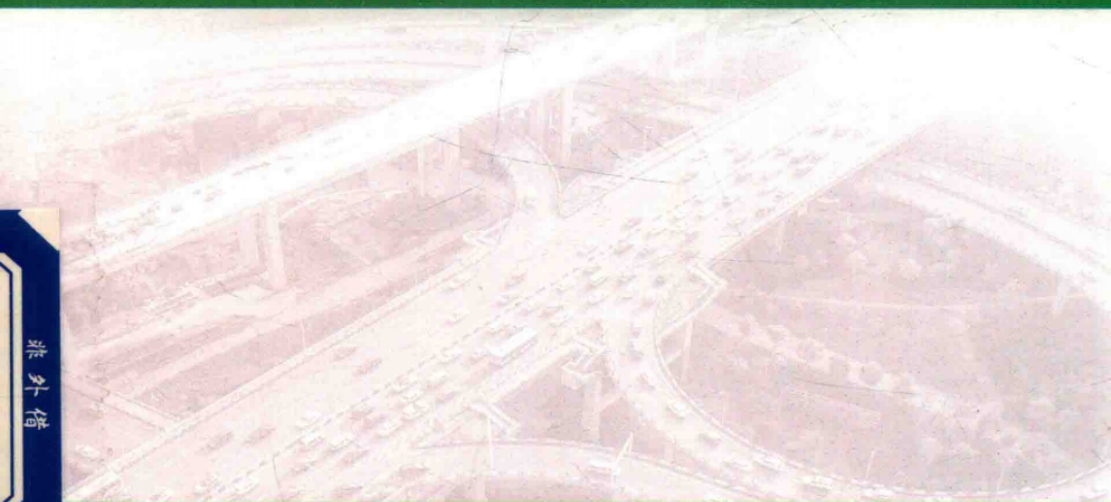




城市轨道交通 运营安全预警与应急保障 技术研究

黎新华 丛丛 李俊辉 著



非外借



西南交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通运营安全预警与应急保障技术研究 /
黎新华, 丛丛, 李俊辉著. —成都: 西南交通大学出版社,
2019.6

ISBN 978-7-5643-6968-2

I. ①城… II. ①黎… ②丛… ③李… III. ①城市铁
路-交通运输安全-预警系统-研究②城市铁路-交通运
输安全-应急对策-研究 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第132393号

城市轨道交通运营安全预警与
应急保障技术研究

黎新华
丛丛
李俊辉

著

责任编辑 李晓辉
封面设计 原谋书装

印张 14.25 字数 248千

成品尺寸 170 mm × 230 mm

版次 2019年6月第1版

印次 2019年6月第1次

印刷 四川煤田地质制图印刷厂

书号 ISBN 978-7-5643-6968-2

出版发行 西南交通大学出版社

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

地址 四川省成都市二环路北一段111号
西南交通大学创新大厦21楼

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

定价 80.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

城市轨道交通事业在我国正大力发展。城市轨道交通进入网络化运营以后，社会对城市轨道交通运营的安全预警与应急保障技术的需求逐渐迫切。2017年7月，科技部、交通运输部联合制定了《“十三五”交通领域科技创新专项规划》，重点明确了要“突破轨道交通系统运营状态全息化智能感知、快速辨识、风险评估、预警和处置技术”。

在上述背景下，一些学者对城市轨道交通运营安全预警的相关技术进行了研究和实践，取得了不少成果。本书在总结国内外相关研究成果的基础上，通过对珠三角地区城市轨道交通线路运营现状的调研，建立了城市轨道交通车站、线路和网络的预警指标体系及预警控制阈值，并综合概率神经网络、RBF神经网络、BP神经网络、Elman神经网络等智能数据分析算法，对城市轨道交通车站、线路和路网进行安全预警研究，提出了城市轨道交通运营安全预警与应急保障系统的框架体系，从而实现对城市轨道交通从车站、线路到路网信息进行实时动态预警及对突发事件的应急管理，以期为路网运营条件下城市轨道交通的正常运营提供安全保障和决策分析。

全书由广东交通职业技术学院黎新华、丛丛、李俊辉共同撰写，主要内容来自广东省教育厅2017年度科研项目“基于多AGent动态协调模型的城市轨道交通运营安全预警研究”（项目编号2017GkQNCX017）、广东省教育厅2018年度科研项目“基于多源信

息融合算法的城市轨道交通运营风险识别及应急决策研究”(课题编号 2018GkQNCX040)、广东省交通厅科技项目“城市轨道交通运营安全预警及应急保障技术研究”的相关研究成果。

希望本书的出版对城市轨道交通运营安全预警及应急保障相关技术的研究起到一定的借鉴作用。城市轨道交通运营具有复杂性,作者的水平也有限,书中难免有不完善之处,恳请广大专家、学者批评指正。在本书撰写过程中,参考过的文献已尽可能一一列出,但由于文献资料较多,部分文献也因来自互联网而无法确定出处,因此疏漏在所难免,在此先表歉意,并向所有参考文献的作者表示衷心感谢。

作 者

2019年5月于广州

城市轨道交通运营安全预警关键理论和技术的研究

第 1 章 概 述	2
1.1 研究背景	2
1.2 研究依据	3
1.3 研究的主要内容	3
1.4 研究的目标	5
1.5 研究思路和技术路线	5
1.6 研究现状	8
第 2 章 城市轨道交通运营事故调研分析	15
2.1 城市轨道交通运营事故分类	15
2.2 城市轨道交通运营事故调研分析	21
第 3 章 城市轨道交通运营安全预警指标体系及其阈值研究	26
3.1 城市轨道交通运营安全影响因素分析	26
3.2 城市轨道交通车站安全预警指标及预警阈值的确定	33
3.3 城市轨道交通线路运营安全预警指标体系构建	39
3.4 基于线路强度的路网安全综合指数融合指标	41
第 4 章 城市轨道交通运营安全预警技术研究	43
4.1 基于概率神经网络的城市轨道交通车站客流预警研究	43
4.2 基于多信息融合技术的城市轨道交通车站运营安全 综合预警研究	51

4.3	基于 OWA 算子和 BP 神经网络的城市轨道交通线路安全综合预警研究	59
4.4	城市轨道交通运营安全预警系统研究	65
4.5	基于 Elman 神经网络的城市轨道交通车站客流负荷预警研究	71
4.6	基于 RBF 神经网络的城市轨道交通线路负荷预警研究	78

城市轨道交通运营安全预警及应急保障系统框架设计

第 5 章	城市轨道交通运营安全预警及应急保障系统概述	88
5.1	城市轨道交通应急保障系统的定义	88
5.2	城市轨道交通应急保障系统的定位	89
5.3	城市轨道交通应急保障系统建设目标	91
第 6 章	国内外突发事件应急系统现状	92
6.1	国外突发事件应急系统实践现状	92
6.2	国内突发事件应急系统研究现状	98
第 7 章	城市轨道交通应急保障系统需求分析	107
7.1	用户及业务需求	107
7.2	系统的功能需求	109
7.3	系统的数据需求和性能需求	111
第 8 章	城市轨道交通运营安全及应急保障系统的内容	113
8.1	系统建设的基本原则	113
8.2	系统建设的内容	114
第 9 章	城市轨道交通运营安全及应急保障系统结构	116
9.1	系统体系结构	116
9.2	系统层次结构	117
9.3	系统应用模式	120

9.4 系统功能结构	121
------------------	-----

城市轨道交通突发事件应急保障研究

第 10 章 城市轨道交通应急保障体系	124
10.1 应急管理组织体系	124
10.2 应急预案体系	127
10.3 应急响应等级与条件	128
10.4 突发事件应急处置流程	131
第 11 章 城市轨道交通典型突发事件应急预案编制实例	134
11.1 公司层面的专项应急预案（以广州地铁运营事业总部特殊气象及自然灾害应急预案为例）	134
11.2 车站层面的应急预案（以深圳地铁大客流和车站火灾应急事件处理预案为例）	163
参考文献	180
附录：地铁车站应急预案	188

城市轨道交通运营安全预警
关键理论和技术的研究

第1章 概述

1.1 研究背景

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020年)明确提出“构建以城市轨道交通为骨架的城市公共综合交通体系……有条件的大城市和城市群地区应优先发展轨道交通。”我国城市轨道交通事业走向快速发展之路。

在城市轨道交通的发展过程中,安全问题始终不容忽视。由于城市轨道交通系统通常处于地下或高架线路上,环境封闭,人员密集和资产集中,安全隐患极大。地下线路空间狭小,通风排烟设备布设困难,疏散逃生受到极大限制,特别是发生火灾或爆炸事故时不易逃生,救援活动难以展开。参与城市轨道交通的人员流量很大,疏散道路狭窄且数量有限,发生事故后局面难以被迅速控制,如果不做好研究和准备往往就会造成重大损失和影响。

城市轨道交通的安全管理可分为建设环节的安全管理和运营环节的安全管理两部分。由于城市轨道交通运营中人、设备等存在不确定性,狭长、封闭的地下空间和密集的人流都会导致救援工作难以开展,因此运营环节的安全管理是本书的主要着眼点。

城市轨道交通系统是一个复杂的系统,要维持其正常运行需要城市轨道交通信号、车辆、控制、行车指挥等各子系统间密切配合。任何一个子系统出现故障都会给大系统带来影响,甚至出现连锁反应。

以提高城市轨道交通运营安全管理水平为目标,广东省《交通运输科技发展“十二五”规划》提出要重点研发“城市轨道交通运营预警与应急保障关键技术”。课题组认真分析了已有的相关研究成果,认为目前这些研究成果大多集中在城市轨道交通运营的管理模式、安全管理及安全评价等方面,缺少对城市轨道交通运营安全预警及应急保障技术方面的系统研究。随着多地城市轨道交通的建设和投入运营,尤其是在城市轨道交通进入网络化运营以后,人们对城市轨道交通运营安全预警与应急保障技术的需求会逐渐迫切,这也是保障城市轨道交通健康、可持续发展的重要支撑。本书从现状分析入手,在解读相关政策的基础上,以实现城市轨道交通的可持续性发展为目的,

在尽可能准确把握城市轨道交通运营安全预警及应急保障技术需求的前提下,借鉴国内外安全预警技术及应急系统和相关平台的经验,分析其利弊,辅以广州市城市轨道交通运营安全管理实践,形成最终成果。

1.2 研究依据

在城市轨道交通大发展的背景下,如何确保城市轨道交通的运营安全是城市轨道交通运营企业、行业管理部门以及广大乘客非常关心的问题。对于城市轨道交通运营企业来说,通过本研究,可在实际工作中进一步提高安全管理水平,降低事故发生概率,减少事故损失,从而在确保系统运营安全的同时,为人们提供更良好的出行体验。对行业管理部门而言,本研究成果可对加强城市轨道交通运营安全的评价、监督、管理等方面提供可行的建议和技术支持。对乘客来说,安全出行是乘客选择交通方式的一个重要参考项,也是乘客选择交通方式的一个关键因素。因此,本研究的依据来自行业的市场需求。

1.3 研究的主要内容

本书选择广州地铁典型线路、车站作为试验对象,综合运用安全工程、信息系统工程、计算机技术以及管理工程等方面的基本理论开展研究。

城市轨道交通运营安全预警建立在安全预警指标体系的基础上。通过建立车站、线路、路网层层递进的城市轨道交通运营安全预警指标,综合典型城市的城市轨道交通运营安全现状资料提出控制阈值,基于概率神经网络对线网、线路、车站运营安全状态进行预警,同时也对突发事件的应急保障技术进行较为深入的研究。

1.3.1 城市轨道交通运营安全预警及应急保障关键理论和技术

1. 城市轨道交通运营安全影响因素分析

这里结合广州城市轨道交通运营安全实际情况,通过对历史资料与事故案例的分析与统计,基于多源信息融合技术对城市轨道交通运营安全的要素进行聚类分析。

2. 城市轨道交通运营安全预警指标的筛选

研究思路上,根据城市轨道交通运营事故的致因分析,进一步研究预警指标的筛选技术,用尽可能少的指标尽量全面地反映城市轨道交通运营安全状态。我们拟将预警指标分为静态和动态两种,其中静态指标根据历史数据统计出来,动态指标通过实时监测获得(如客流量、气候等),并研究各指标与城市轨道交通运营安全状态的相关性;同时为了全面性与客观性,在指标的筛选中,以车站为基础,向上拓展到线路、线网的安全预警指标。

3. 城市轨道交通运营安全预警指标体系和预警阈值的研究

在深入分析城市轨道交通运营安全影响因素的基础上,结合广州地铁运营的实际情况,系统地提出城市轨道交通运营安全预警指标体系,并对各指标的数据获取、计算、统计方法以及对应的预警阈值确定进行理论与技术相结合的研究,最后提出可操作性强的实施方法。

以客流单项指标为例,达到对应的预警阈值就给出不同的预警方案。如超载预警,会给出乘客换乘意见、行车组织调整与疏导客流方案等。

4. 基于概率神经网络的城市轨道交通运营安全预警技术研究

在预警指标体系的基础上,结合预警阈值,利用概率神经网络对城市轨道交通车站、线路和线网进行安全综合预警,并建立预警结果与应急策略的触发机制。

概率神经网络是一种分类网络,其核心思想是贝叶斯决策理论、Parzen窗概率密度估计方法,在模式识别及模式分类领域有着广泛的应用。本书可综合各单项预警指标及预警阈值,不需确定各指标权重,输出预警结果。

5. 城市轨道交通应急保障技术研究

以城市轨道交通突发事件应急管理流程为核心,构建应急保障体系,实现应急管理、应急预案的管理、应急信息的快速发布、应急物资的调配机制等。

1.3.2 城市轨道交通运营安全预警及应急保障系统的框架体系设计

本书将研究成果应用于城市轨道交通运营安全管理实践,结合理论研究成果提出城市轨道交通运营安全预警与应急保障系统的框架体系。

1. 系统需求分析

系统主要面向城市轨道交通运营企业的基层车站、安全管理部门,方便其日常的安全生产管理工作和分析,方便全面掌控所辖各地铁车站、线路、线网的运营安全状态,并有序采取对应措施。

2. 系统原理分析

以本书提出的预警指标筛选、预警指标体系、预警指标控制阈值以及基于概率神经网络的预警技术为核心,以历史记录和实际采集数据为依托,实现城市轨道交通运营安全预警及应急保障的计算机操作自动化、智能化。

3. 系统功能设计

系统主要由城市轨道交通运营事故信息统计模块、设备故障维护信息模块、人员管理模块、预警指标数据录入模块、应急预案管理模块、应急物资管理模块等构成,能够实现对车站、线路和线网预警结果的分级显示,并能根据每种预警结果自动生成行动策略。

1.4 研究的目标

(1) 为城市轨道交通运营企业强化日常安全管理、提高安全管理水平提供技术支持。基于研究成果,找到运营事故的成因并结合历史和实时数据,通过预警模型对车站、线路和线网进行安全状态监控和预警,得出行动方案。

(2) 促进城市轨道交通运营企业和行业主管部门的联动机制。本研究在应急保障技术方面,如应急预案、应急物资调动的优化等提供可行性建议。

1.5 研究思路和技术路线

1.5.1 研究思路

研究组由广东交通职业技术学院、广州地下铁道总公司成员组成。为保证各项任务落到实处,将采取协同工作形式开展研究。研究单位双方充分建

立协调沟通机制、例行会议制度和问题处理机制等，确保双方人员合理分工，能顺利分解并落实具体的工作任务。双方共同组织调研，在进展中采用并行和交叉推进的方法，有效缩短研究路径，节省研究时间；同时错开同类工作，避免资源浪费。通过建立例行会议制度和例行报告制度，严格控制工作质量和进度，不断更新研究资料，集成资源，交流研究思路和成果，发现问题、解决问题、研究对策、总结经验，促成研究方案的合理性、可行性、前瞻性和可持续性。

总体的实施方案：调研国内典型城市的轨道交通运营安全影响因素、运营事故成因，构建面向车站、线路、路网的不同层次的城市轨道交通运营安全预警指标体系和控制阈值；在预警指标体系的基础上，研究基于概率神经网络的预警模型，构建应急保障技术平台；并以广州市为例，对城市轨道交通运营安全预警及应急保障系统进行系统框架体系设计。

具体研究方案如下。

1. 资料收集与调查试验工作

大量查阅和收集国内外与城市轨道交通运营安全评价指标、预警系统、应急救援管理、应急预案等有关的技术资料，掌握研究动态与进展，有针对性地拟订关键技术的解决方案，为研究工作打好基础和创造条件。

2. 进行城市轨道交通运营安全预警技术研究

结合广州城市轨道交通运营安全管理实际现状，通过调研获得城市轨道交通运营安全影响因素，并参考国际地铁协会公布的运营评价指标体系，从中选取适合监测和容易量化的指标，并利用概率神经网络对预警指标建模，实现预警信息的输出。

3. 进行城市轨道交通运营应急保障技术研究

通过对城市轨道交通突发事件应急指挥机构、应急物资调控、应急工作流程、应急预案的管理进行研究，探索实现应急保障的快速响应机制。

4. 设计城市轨道交通运营安全预警及应急保障系统的框架体系

以广州地铁为样本，对城市轨道交通运营安全预警及应急保障系统的系统需求、系统体系架构、功能等进行设计。

1.5.2 技术路线

城市轨道交通运营安全预警及应急保障技术研究的总体思路为：调研国内城市轨道交通运营安全的现状及典型事故的案例，借鉴国外典型国家城市轨道交通运营安全评价指标、应急救援机制，以广东省城市轨道交通大发展为契机，构建城市轨道交通运营安全预警指标体系，提出城市轨道交通运营安全预警控制阈值和预警模型。具体分为以下 10 个步骤，如图 1-1 所示。

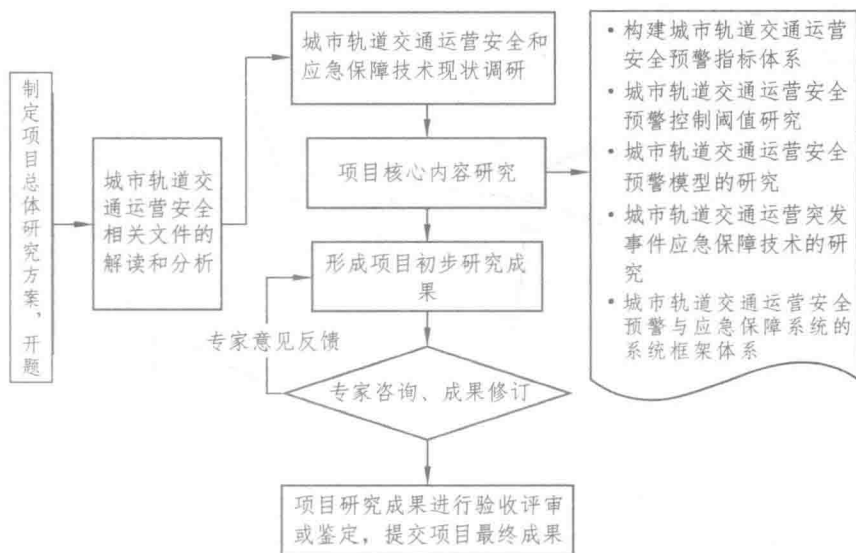


图 1-1 研究技术路线图

(1) 制订总体研究方案。在对广东省城市轨道交通发展现状、轨道交通运营安全现状进行深入调研的基础上，制订总体研究方案，确定需求、主要研究内容和具体实施方案。

(2) 进行城市轨道交通运营安全现状的调研与分析。调研当前城市轨道交通运营安全管理存在的问题，基于多源信息融合技术对各类运营事故进行聚类分析，从而确定运营安全的主要影响因素。

(3) 构建城市轨道交通运营安全预警指标体系。结合广州地铁实际情况，参考国际地铁协会对地铁运营公司的考核评价指标，分车站、线路、线网三个层次，按照容易监测、容易量化的原则，构建预警指标体系。

(4) 进行城市轨道交通运营安全预警控制阈值的研究。对国内外典型地

铁公司运营安全资料和数据进行梳理,提炼出能如实反映城市轨道交通运营企业现状的安全预警控制阈值。

(5) 进行城市轨道交通运营安全预警模型的研究。利用概率神经网络在预测、评价方面的优势,结合预警指标体系,构建预警模型,实现对动态指标数据的实时预警结果输出。

(6) 进行城市轨道交通运营突发事件应急保障技术的研究。构建应急保障的指挥体系、应急管理流程、应急物资调配、应急预案管理,构建轨道交通企业与交通运输管理部门之间运营安全信息快速通报机制、运输企业和交通运输管理部门对轨道安全快速反应机制。

(7) 提出城市轨道交通运营安全预警与应急保障系统的系统框架体系,对系统需求、系统体系架构、功能等进行设计。

(8) 形成初步研究成果。通过对调研资料和核心内容的研究,撰写初稿,提交初步研究成果。

(9) 初稿经专家咨询和市场调研反馈,完善修订,形成送审稿。

(10) 结合评审意见修正,提交最终成果。

1.6 研究现状

1.6.1 国内外研究现状

国内外对城市轨道交通运营安全方面的研究主要有轨道交通安全管理体系构建、城市轨道交通行业监管、轨道交通安全评价指标体系和方法、城市轨道交通运营安全预警、城市轨道交通应急管理等。目前相关研究的进展可以归纳为以下几方面。

1. 轨道交通安全管理体系和监管

在轨道交通安全管理体系方面,崔艳萍等(2005)从系统的角度挖掘导致事故发生的管理缺陷原因,提出保证轨道交通安全的根本出路在于建立现代企业安全管理体系,研讨了安全管理系统的运行机理,规范了保证系统、控制系统、信息系统贯穿在全过程管理的功能和作用,提出以信息系统为基础的旨在对安全生产进行事前、事中、事后控制的安全管理体系,并对该体系的结构和内容进行了分析和讨论。张瑜(2005)从安全管理的宏观指导、

结构分析、操作方式三个层面出发,提出了城市轨道交通运营安全管理模式。该模式将运营安全管理分解为计划、实施、校验、评审4个单元,并依据理论维、目标维、控制维的不同需求提出上述4个单元的基本管理要素。陈铁等(2004)以信息系统为基础,旨在对安全生产进行事前、事中、事后控制,并对该体系的结构和内容进行分析和讨论。张殿业等(2004)基于系统论的观点,从事故预防、安全保障以及事故应急救援角度,构建了城市轨道交通安全研究的框架结构体系,探讨了事故预防、安全保障、事故应急救援的理论体系、技术体系、管理体系及法规标准体系。侯景雷(2006)通过分析我国当前城市轨道交通存在的问题及采取的安全监管措施,进而提出解决轨道交通建设、运营安全管理问题的长效机制。邢佳蕊(2008)分析了城市轨道交通系统存在的安全问题,从系统的角度挖掘导致事故发生的原因,认为提高轨道交通安全性的方法在于完善设施设备,提高技术水平,完善城市轨道交通安全管理体制,提高职工专业知识和受训程度,提高乘客的安全意识和逃生能力。莫蔚然(2007)通过对国内外地铁运营管理现状的综述及广州地铁运营管理现状的分析,对广州地铁发展中运营管理所面临的服务质量、安全管理和设备维护等问题进行探讨,对地铁运营管理中的服务质量、安全管理和设备维修保养管理模式等三方面重点进行研究和思考。

在城市轨道交通安全监管方面,刘云(2011)建立了施工单位与监管部门之间的博弈模型,分析博弈模型的基本假设条件、监管成本、监管部门被惩罚期望值、不进行安全投入社会损失期望值、施工单位安全投入,以及不进行安全投入单位损失期望值对博弈结论的影响,最终得出了4条影响施工单位进行安全投入的关键结论,并在此基础上,提出了我国轨道交通工程建设安全监管对策。王晓宇等(2011)分析了英国的城市轨道交通监管法律和监管构架,认为安全认证、认可和授权是英国轨道交通监管的核心内容。监管框架包括交通运输部、铁路条例办公室和女王陛下的轨道交通督查机构。安全认证分为运营和基础设施管理,并构成了从安全设计、建设、运营、维护的全程安全认证和监管,以及从内部组织的安全审查到专业机构 ORR-HMR 对其的安全评估;还分析了事故调查和处理的方式和内容,认为轨道交通的安全法规建设和安全认证制度是当前我国城市轨道交通建设的紧要任务。陈燕申(2012)提出借鉴英国的经验,建立我国城市轨道交通安全认证、许可制度,强调制度应具有的程序化、不断更新、法规执行具体化、安全审计的落实和持续性等关键特征。蒋玉琨(2012)根据行业自身特点和发达国家城市轨道交通运营管理经验,提出可以引入第三方咨询机构的监管模式。政府

通过第三方的评估和认证,实施对城市轨道交通运营的科学、有效和常态化的监管。沈秀芳等(2010)搜集分析国内外典型城市轨道交通网络化运营监管情况,吸取对上海轨道交通有借鉴意义的经验,对照国际地铁协会6大领域、36项运营绩效指标,分析上海城市轨道交通网络化运营现状,并着重就安全运营监管和服务质量监管两大方面提出推进建议,为政府部门制订政策和宏观协调服务提供依据。

2. 城市轨道交通安全评价

何理等(2009)依据现行安全评价标准的要求,结合自身实际工作,对城市轨道交通工程安全预警评价、试运营前安全评价、安全验收评价,及运营安全现状评价工作的主要内容和评价重点进行了分析研究,提出了城市轨道交通工程安全评价体系。燕飞(2010)对安全目标采用系统造成的每位乘客在单位旅行时间内可能出现伤亡的概率进行衡量,并给出基于危险源分析的安全评价方法和安全生命周期中的评价要点。丁烈云等(2010)阐述了安全标准体系构建原则,建立了城市轨道交通安全技术、安全管理、安全行为3个子体系构成的安全标准体系结构模型,明确了安全基础标准、通用标准、专用标准体系层次及其具体控制内容,剖析了我国现有城市轨道交通安全标准体系,为指导城市轨道交通工程安全标准化建设提供依据。李世伟(2012)基于系统安全工程理论,研究国内外城市轨道交通运营安全风险评价体系,并根据城市轨道交通运营的特点和运营标准,比较全面系统地构建城市轨道交通运营安全风险评价指标体系。为了弥补现有城市轨道交通运营安全评价方法的不足,建立以可拓法为核心的城市轨道交通运营安全评价模型。郭湛等(2011)以轨道交通系统安全性的要求为依据,基于层次分析法(AHP),从列车自身安全性、列车与其他系统的接口和安全保障系统3个方面构建由14个评价指标组成的轨道交通安全性评价指标体系模型。肖雪梅等(2011)针对城市轨道交通的特点以及城市轨道交通运营安全评价研究现状,从人、机、环、管4个方面分析影响城市轨道交通路网安全运营的要素及其相互作用关系。在此基础上,基于复杂网络理论构建一个能够描述安全要素耦合作用关系的城市轨道交通路网运营安全层次化网络模型,通过对模型的形式化描述及统计参数分析,采用自底向上、微观和宏观相结合的方法,揭示城市轨道交通路网运营的安全演化机理。最后将上述研究内容和安全熵理论相结合,采用局部和整体相结合的方法,构建城市轨道交通路网运营安全评价模型。蔡国强等(2007)提出了一种量化的基于决策树的轨道交通安全评估方