

CHENGSHIGUIDAOJIAOTONG ZHINENGHUAYUNYINGGUANLI YANJIU

城市轨道交通智能化运营管理研究

吴忠 夏志杰 编著 汪泓 主审



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

上海市“十二五”内涵规划项目成果(0852011XKZY15)

上海市科委部分地方院校能力建设专项资助(09220502900)

城市轨道交通智能化 运营管理研究

吴 忠 夏志杰 编著

汪 泓 主审



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书在介绍现代城市轨道交通定义、特征的基础上,详细讲解智能交通系统及其运营管理,深入讲解城市轨道交通智能化管理的高新技术以及轨道交通数据采集与处理、智能化调度管理、控制和智能诱导的协同研究、信息服务、智能化应急管理和综合评价等内容,适合用作高等院校相关专业本科及研究生的教材,也可供同行业研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通智能化运营管理研究 / 吴忠, 夏志杰编著. — 上海: 同济大学出版社, 2013. 5

ISBN 978-7-5608-5140-2

I. ①城… II. ①吴… ②夏… III. ①城市铁路—
轨道交通—运营管理—研究 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 071921 号

上海市“十二五”内涵规划项目成果(0852011XKZY15)

上海市科委部分地方院校能力建设专项资助(09220502900)

城市轨道交通智能化运营管理研究

吴 忠 夏志杰 编著 汪 泓 主审

责任编辑 陈佳蔚 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址: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

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 9.75

字 数 243 000

印 数 1—1 100

版 次 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5140-2

定 价 35.00 元



前言

随着城市规模和人口的不断扩大,道路交通堵塞、空气和噪声污染等问题的日益严重,20 世纪初以来,轨道交通因其运量大、速度快、时间准、污染少等独特优势而备受世界各大城市的青睐,许多人口密集的大都市逐渐将轨道交通的建设视为解决大城市交通问题的有效途径。

城市轨道交通运营管理是对城市轨道交通运营过程计划、组织、实施、控制及评价的结果和服务创造密切相关的各项管理工作的总称,城市轨道交通网络化运营系统间关联度高、各线路间联络密切、网络运营规模大、客流组织复杂度高的特点,以及运营主体对运营成本和运营效率的要求等,必然催生了对城市轨道交通运营管理信息化和智能化的迫切需求。

本书是上海市科委部分地方院校能力建设专项资助项目“上海轨道交通信息集成平台研究”(编号:09220502900)的部分研究成果,主要从对城市轨道交通运营数据分析处理的角度讨论对轨道交通运营管理智能化的实现问题,包括探讨与城市轨道交通运营管理相关的数据集成技术、数据挖掘技术、基于业务需求的各类决策支持技术等。具体地,除了第 1 章的概述性研究外,第 2 章讨论了城市轨道交通信息集成平台的构建;第 3 章讨论了城市轨道交通数据挖掘技术;第 4 章讨论了面向应急管理的轨道交通信息处理及决策支持技术;第 5 章讨论了城市轨道交通出行智能优化技术;第 6 章讨论了城市轨道交通客流预测技术;第 7 章讨论了城市轨道交通票务清分技术;第 8 章讨论了城市轨道交通网络化运营支撑系统运行可靠性技术。在每一章节,除了理论研究之外,都以上海轨道交通运营为例对本书讨论的技术做了深入的应用分析。

本书的完成得益于整个课题组成员的努力,特别是课题组成员刘升、李红艳、高圣国、阎瑞霞对本书内容有直接贡献,参与编写了本书的第 3 章、第 5 章、第 6 章

和第7章,特此对他们的辛苦工作表示感谢。

本书在撰写过程中,得到了国家教育部管理科学与工程教学指导委员会副主任委员、上海市宝山区区长、上海工程技术大学管理学院院长汪泓教授的关心和支持,初稿完成后,她又在百忙之中拨冗审阅了全书。项目组其他老师也对本书的完成提出了很多宝贵的修改意见,在此一并表示感谢!

本书在编写过程中,参阅和整理了大量的中外文献资料,在此对文献的作者表示衷心的感谢!

由于编者水平和时间有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者提出宝贵意见,并批评指正。

编著者

于上海工程技术大学

2013年2月

目 录

前 言

第 1 章	城市轨道交通运营管理	1
1.1	城市轨道交通建设和运营管理概述	1
1.1.1	我国城市轨道交通建设概况	1
1.1.2	城市轨道交通运营特点分析	3
1.1.3	我国城市轨道交通运营存在的问题和困难	4
1.2	城市轨道交通运营管理的智能化	6
1.2.1	城市轨道交通运营智能化对管理的需求	6
1.2.2	城市轨道交通运营管理智能化技术	7
	本章小结	9
第 2 章	城市轨道交通运营管理信息集成平台研究	10
2.1	信息集成平台的相关实现技术	10
2.1.1	XML 技术	10
2.1.2	SOA 技术	11
2.1.3	Web 服务技术	12
2.2	城市轨道交通信息集成平台设计	14
2.2.1	城市轨道交通信息集成平台总体设计思想	14
2.2.2	城市轨道交通信息集成应用架构和逻辑架构	15
	本章小结	18
第 3 章	城市轨道交通数据挖掘关键技术研究	19
3.1	城市轨道交通数据挖掘分析	19
3.1.1	城市轨道交通数据挖掘的特点	19
3.1.2	基于粗糙集论域扩展理论的数据挖掘研究现状	20

3.2	双论域粗糙集理论	22
3.2.1	双论域粗糙集近似算子	22
3.2.2	双论域粗糙集的性质	25
3.2.3	双论域粗糙集的属性约简	27
3.2.4	双论域粗糙集的不确定性度量	30
3.3	基于双论域粗糙集的城轨数据挖掘模型	36
3.3.1	基于双论域粗糙集的城轨数据挖掘步骤	36
3.3.2	基于双论域粗糙集数据挖掘模型的特点	38
	本章小结	39
第4章	基于信息集成的城市轨道交通应急管理研究	40
4.1	城市轨道交通突发事件应急管理	40
4.1.1	城市轨道交通突发事件应急管理研究综述	40
4.1.2	城市轨道交通突发事件应急管理的信息流	41
4.2	面向应急管理的城轨交通信息集成及处理框架	42
4.2.1	数据集成模型	43
4.2.2	数据挖掘模型	44
4.2.3	应急决策模型	45
4.3	城市轨道交通突发事件应急救援	46
4.3.1	城市轨道交通突发事件的分类、分级	46
4.3.2	救援等级的响应的动态模糊分级算法	47
4.4	案例研究	51
	本章小结	54
第5章	城市轨道交通出行优化研究	55
5.1	蚁群优化算法	55
5.1.1	基本蚁群算法的机制原理	57
5.1.2	基本蚁群算法的系统学特征	57
5.2	蚁群算法的各类改进算法	58
5.2.1	群体空间上的进化:蚁群系统	58
5.2.2	蚁群算法的改进模型	60
5.3	上海市轨道交通路径优化系统仿真	61
5.3.1	上海轨道交通状况简单分析	61
5.3.2	上海轨道交通出行优化系统的设计与实现	62
5.3.3	系统开发平台简介	62
	本章小结	65

第 6 章	城市轨道交通客流预测问题研究	66
6.1	预测方法介绍	66
6.1.1	小波分析	66
6.1.2	AR 模型的概念及思想	67
6.1.3	BP 人工神经网络	67
6.1.4	灰色模型	70
6.1.5	预测方法的应用	72
6.2	上海地铁一号线莘庄地铁站客流量预测	77
6.2.1	小波分析及 AR 模型建立	77
6.2.2	人工神经网络分析	81
6.2.3	灰色模型 GM(1, 1) 预测	83
6.3	上海轨道交通 9 号线站点客流特征分析	85
6.3.1	客流的特征分析方法介绍	85
6.3.2	对于客流的相关数据分析	87
6.3.3	上海轨道交通 9 号线肇家浜路客流特征分析	97
	本章小结	103
第 7 章	城市轨道交通客流清分问题研究	104
7.1	客流分配问题	104
7.2	城市轨道交通传统清分方法	105
7.2.1	最短路清分	106
7.2.2	多路径清分	106
7.3	城市轨道交通清分模型	106
7.3.1	路径的随机时间分布	106
7.3.2	清分比例划分	107
7.3.3	密度函数	108
7.3.4	特殊情况	109
7.4	模拟验证	109
	本章小结	112
第 8 章	城市轨道交通运营支撑系统运行可靠性研究	114
8.1	信息系统运行可靠性理论	114
8.1.1	信息系统运行可靠性评估及预测	114
8.1.2	信息系统故障检测技术	115
8.1.3	信息系统故障源分析技术	116
8.1.4	系统自修复技术	117

8.1.5	自治计算技术	119
8.2	基于 IT 审计的信息系统运行可靠性评估及预测模型	120
8.2.1	审计证据获取与定量转换	121
8.2.2	IT 审计的理论基础	122
8.2.3	基于审计证据的系统可靠性评估	124
8.2.4	基于审计证据的系统可靠性预测模型	125
8.2.5	模型案例分析	125
8.3	模型的系统实现	127
8.3.1	数据库设计	128
8.3.2	窗体应用程序设计	129
8.4	系统运行故障检测和自修复的理论基础	133
8.4.1	系统故障检测的理论模型	133
8.4.2	系统故障分类	134
8.5	系统运行故障自修复系统框架	136
8.5.1	应用程序故障管理器模块	137
8.5.2	组件故障管理器模块	137
8.5.3	CFM 和 AFM 中的故障分析	138
8.6	系统运行故障自修复方法	139
8.6.1	基于规则异常的故障分析方法	139
8.6.2	系统组件操作的检测和分析	139
8.6.3	系统运行故障异常响应算法	142
8.6.4	拜占庭式故障修复方法	143
	本章小结	144
	参考文献	146

第1章

城市轨道交通运营管理

随着中国城市化进程的快速发展,城市规模不断扩大,社会经济活动日益频繁,交通需求不断增长,城市交通面临的土地资源短缺、空气污染、交通拥堵等问题愈加突出。优先发展公共交通成为有效缓解一系列城市交通问题的一个重要措施,而城市轨道交通以其大容量、高速度、安全可靠、准点舒适等特点,成为了城市居民出行首选的公共交通方式,已成为我国城市综合交通运输体系中的骨干力量。

1.1 城市轨道交通建设和运营管理概述

1.1.1 我国城市轨道交通建设概况

城市轨道交通是指具有固定线路,铺设固定轨道,配备运输车辆及服务设施等的公共交通设施。“城市轨道交通”是一个包含范围较大的概念,在国际上没有统一的定义。一般而言,广义的城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征,是城市公共客运交通系统中具有中等以上运量的轨道交通系统(有别于道路交通),主要为城市内(有别于城际铁路,但可涵盖郊区及城市圈范围)公共客运服务,是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

城市轨道交通系统作为城市综合交通体系中的一个组成部分,其自身特点决定了这种交通方式具有明显的优势。城市轨道交通对城市发展主要有三大方面的作用:一是大大提高城市交通供给水平,缓解大城市日益拥挤的道路交通;二是引导城市格局按规划意图发展,支持大型新区建设;三是通过对轨道交通的巨大投入,从源头为城市经济链注入活力,并通过巨大的社会效益提高整个城市的综合价值。

随着城市汽车数量的增加,道路交通堵塞、空气和噪声污染等问题的日益严重,20 世纪初以来,轨道交通因其运量大、速度快、时间准、污染少等独特优势而备受世界各大城市的青睐,许多人口密集的大都市逐渐将注意力转移到轨道交通上来,并逐步成为解决大城市交通问题的有效途径^[1]。在我国,近年来伴随着城市化发展和城市规模的扩大,人们对城市交通和环境问题提出了更高的要求,轨道交通开始越来越受到各个城市管理者的关注,纷纷提出各自发展轨道交通的设想与规划。

我国城市轨道交通建设发展具有明显的阶段性特征,可大致划分为单线式建设、网络化建设和体系化建设三个阶段^[2]。

1. 单线式建设(1965—2002)

在 1965—2002 年期间,各城市轨道交通项目建设基本上只从线路自身考虑,处于“重线路、轻网络、无体系”的单线式建设阶段,城市轨道交通建设发展尚处于较低水平。单线式建设着眼于线路本身,从线路内部不同专业系统之间,实施纵向一维线性式建设。单线式建设为建线路而建线路,使线路单独化,既不利于线路本身建设,也不利于网络系统建设,更不利于网络体系建设。线路式建设的城市轨道交通工程项目是一个功能不够完善、品质不高的单独化线路系统,其形成的城市轨道交通系统是一个线路单独化的线路“组群”,不能完全适应国内众多城市轨道交通的大规模集中建设和运营的形势。因此,单线式建设需要向网络化建设方向发展。

2. 网络化建设(2003—2007)

2003 年,国务院办公厅颁布了《关于加快城市快速轨道交通建设管理的通知》(国办发[2003]81 号文),根据该通知精神,我国城市轨道交通在项目建设实施之前,需编制《城市轨道交通近期建设规划》。这是我国城市轨道交通建设发展的一个重要里程碑,也标志着我国城市轨道交通进入“先网络、后线路”的网络化建设发展阶段。

网络化建设的内涵是“串联组合、互联互通、整合共享”,即不仅在纵向上完成线路内部各专业系统的串联组合,还在横向上完成不同线路各专业系统的互联互通与整合共享。

网络化建设立足于网络系统高度,从线路内部不同专业系统之间和不同线路相同专业系统之间,实施纵横二维平面式建设,使线路网络化,实现“线、面”的结合,有利于线路本身建设,也有利于网络系统建设,如图 1-1 所示。网络化建设的城市轨道交通工程项目,是一个功能较完善、品质较高的网络化线路系统,其形成的城市轨道交通系统是一个网络化系统。

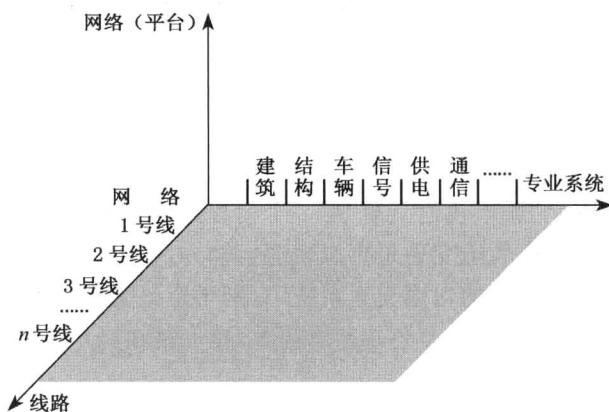


图 1-1 纵横二维平面结构的网络系统

3. 体系化建设(2007 年至今)

体系化建设的内涵是“串联组合,互联互通,整合共享,上联下通,集中统一”,即不仅在纵向上完成线路内部不同专业系统的串联组合,还在横向上完成不同线路同一专业系统的互联互通与整合共享,而且在竖向上完成各专业系统与网络运营系统的上联下通与集中统一。

体系化建设是站在网络体系高度,从线路内部各专业系统之间、不同线路各专业系统之间,以及各专业系统与网络运营系统之间,实施纵横竖三维立体化建设,为建体系而建线路,使线路体系化,实现“线、面、体”的结合,更有利于线路本身建设和网络体系建设,如图 1-2 所示。

体系化涵盖网络化,高于网络化,体系化建设的城市轨道交通工程项目是一个功能完善、品质优良的体系化线路系统,其形成的城市轨道交通系统是一个完整的网络化体系。

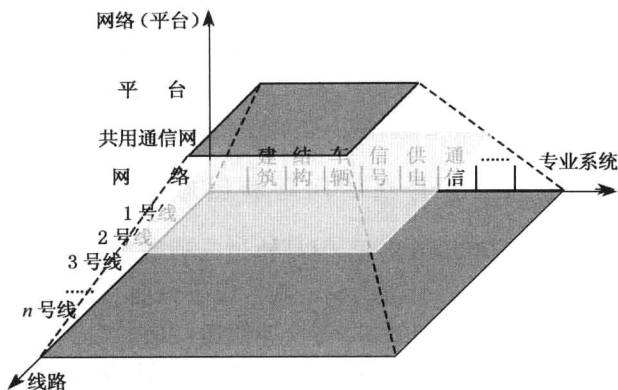


图 1-2 纵横竖三维立体结构的网络体系

1.1.2 城市轨道交通运营特点分析

城市轨道交通运营管理是对城市轨道交通运营过程计划、组织、实施、控制及评价的结果和服务创造密切相关的各项管理工作的总称。要研究城市轨道交通的运营管理,首先有必要分析其运营特点。简单说来,城市轨道交通的运营特点分列如下^[3]。

(1) 城市轨道交通的线路构造比较简单,线路数量小,行车模式比较单一,基本不存在会让与越行,一旦列车发生故障,将会对后行列车造成严重影响,有可能致使整个线路瘫痪。

(2) 对城市轨道交通系统的运输组织而言,其特点是多样化和高密度化。运输组织的多样化,是指根据节假日和重大活动适时地调整运输计划并付诸实施。这就要求建立在线实时的运输计划系统,即运行图系统,实现小时级计划的调整。与此同时,在上下班的高峰期实现列车的高密度运行是必须的,如 120 s 的运行间隔。由于列车追踪间隔比较小,当遇到列车晚点时间过多时,列车运行调整将比较困难。

(3) 城市轨道交通运行环境比较封闭,受干扰小,但设备故障不易被发现,一旦故障发生又不易被排除,因此,城市轨道交通事故破坏性严重,需对整体线路设备状态进行实时监控。城市轨道交通线一般都要延伸十几公里或几十公里,连接十几个或几十个车站。全线实现自动化,就需要在车站建立局域网监控车站设备,在全线建立城域网监控管理全线的运营。城轨有区域连锁监控和全线整体监控,因此,不但在调度室设有全程监控台,区域连锁站也设有站内监控台。

(4) 城市轨道交通与铁路相比,有一个显著的不同,那就是铁路的站内有多股道,而城市轨道交通的车站没有分岔,只在运营线上停车和上、下旅客。在大多数车站上并不设置道岔,甚至也不设置地面信号机,如上海地铁 1 号线,仅在 4 个连锁站及 1 个车辆段上设置道岔及地面信号机。因此,城市轨道交通不像铁路那样各站单独设置连锁系统,而是采用区域连锁方式,即一套连锁系统控制多个车站。

(5) 由于城市轨道交通的线路长度、站间距离都较短,列车种类单一,行车时刻表的规律

性很强,列车日复一日地按照同一运行计划周而复始地运行。因此,在城市轨道交通的信号系统内,通常都包含有进路自动排列功能,即按事先预定的程序自动排列进路,只有运行图变更时才有工人工介入。

(6) 城市轨道交通要求各专业必须协调运作,全线信息共享,具有较强的抗灾害能力、交通指挥能力和调度能力。因此,轨道交通系统应实现综合监控、协调管理,满足轨道交通现代化管理的要求,保证旅客安全和设备安全,保证高效运转。

1.1.3 我国城市轨道交通运营存在的问题和困难

客观上我国需要大力发展城市轨道交通,但是轨道交通系统运营中存在的诸多问题却制约着我国城市轨道交通的发展。这些问题主要表现在以下方面:首先,城市轨道交通庞大的建设资金、后期的运营及维护中投入的大量补贴资金和偿还巨额的银行贷款利息,使得政府和企业不堪重负;其次,国内城市轨道交通亏损严重,几乎没有盈利,很难吸收民间资本,因此资金不足问题十分普遍;第三,缺乏有效的管理体制和经营模式。除了香港、新加坡等少数几个城市的轨道交通实现盈利以外,世界上大多数地铁都处于严重亏损状态。而城市轨道交通运营管理则又面临着新的挑战^[4]。

1. 网络运营管理规模大

当前,我国的城市轨道交通已经进入了快速发展时期,随着城市轨道交通新线的不断建设和投入使用,北京、上海、广州等特大城市轨道交通路网已经初具规模,网络化特征日益凸显,城市轨道交通开始进入网络化发展时代。

以上海为例,截至2011年底,上海轨道交通已开通运营11条线路、280座车站,运营里程达425 km,线网规模居全国之首,在世界上名列前茅,日均客流量达570万人。上海城市轨道交通网络结构复杂、线路多、车站多、运营里程长、客流需求量大,运行车辆规模大,网络车辆基地类型多、数量大,主变电站等设施、设备多,呈现出网络化运营的新特征,也给网络化运营管理提出了新的要求。

2. 系统运行关联度高

城市轨道交通网络系统运行的关联度主要体现在换乘枢纽、共线运营、系统互通、资源共享、应急保障等五个方面。

1) 网络结构的关联

在网络化运营条件下,网络中的多条线路在同一节点上相互关联,对整个线网规划的稳定性起到了锚固作用。同时,网络中一条线路上也具有多个换乘车站,与不同线路相互关联。由于网络中多线换乘枢纽数量较多,为了高效率输送乘客,各条线路在换乘枢纽运营管理方面,存在着相互协调配合的需求。

2) 运行模式的关联

上海轨道交通线路间的相关性不仅体现在网络自身的物理结构上,还由于共线运营、互通运营等灵活的列车运行方式,进一步增强运行线路间的相互关联度。日趋丰富的运营组织形式,在提高网络连通性和可达性的同时,大大增加了线路间的关联度。上海城市轨道交通线路具有分期建设、逐步延伸的建设特点,因此运行方式也采用逐步过渡的模式,在不同运营时期,线路间的关联方式和关联区域也将发生改变,线路间呈现出动态关联的特性。

3) 系统互通的关联

为了提高运营效率,城市轨道交通都规划建立全网统一的传输和交换系统,通过网络联络通道规划实现网络在相同车型组群内部连通、组群间连通、不同车型组群间连通、网络外部与铁路相连等“四个层次”的连通,系统的互通使得整个轨道交通网络成为一个整体。

4) 资源共享的关联

通过控制中心、车辆基地、主变电站、车辆共享、大型机具设备、换乘车站机电设备等多方面的共享,在实现资源利用高度共享与集约化使用的同时,各专业系统和各线路间的关联也更加紧密。因此,各种资源的利用和设施、设备的占用都存在相互影响和相互制约的关系。

5) 应急保障的关联

在设施、设备运行过程中,由于突发故障或人为操作失误,影响了轨道交通的正常运营或直接造成无法运营时,为了提升应急抢修效率,通过集中利用网络资源进行抢修工作,能够有效降低应急抢修的响应时间。

3. 网络客流换乘路径多

由于线路之间的关联度高,线路之间又存在多个车站相互交叉衔接,因此大大提高了整个网络的连通度,为乘客在两站之间出行提供了多条路径选择的可能。乘客可以根据出行目的、出行习惯、线路运能的差异而选择不同的出行路径。如上海目前有13条线路,可实现一票换乘,乘客的出行优化及诱导成为了一个值得研究的重要课题。

4. 物流管理运作难度高

城轨交通物流管理通过采购备品备件和物资材料,进行合理仓储,并及时供给至检修和抢修作业现场,保证维护管理的顺畅运作,其运作具有以下特点:其一,网络备品备件和物资材料数量大、种类多;其二,网络物流仓储设施分散设置、功能多样;其三,网络物流管理动态波动性强。

备品备件一般由上游供应商提供,由于供应商多、供应水平存在差异,必然导致物料供应存在波动性,应急抢修、列车救援等紧急事件也将引起物料需求计划的突发波动,这在一定程度上也增加了运作难度。此外,网络物流管理属于过程管理,对备品备件和物资材料从采购进入网络,到仓储、装卸搬运、配送、供给使用,直至废弃退出网络的全过程进行管理,这种“链式”运作的网络物流管理,各个环节波动性将逐级递加,具有明显的“鞭子效应”,进一步增加了运作难度。

5. 维护管理的复杂性强

城轨交通网络维护管理主要包括网络车辆检修、综合维修、应急抢修、安全监控、计量检校等功能。随着网络规模不断扩大,运营线路不断增多,运营设施、设备的数量和种类将大幅增加,直接引起网络检修维护作业量的提升。不同设施、设备的技术属性存在差异,采用不同的方式进行检修维护,需要对规模庞大的网络检修维护作业进行合理筹划,实现信息化管理。

1) 检修体制与维修模式复杂

在网络化运营阶段,检修体制与维修模式将呈现多元化发展和多方式共存的趋势。检修体制将逐步在现有计划性预防修和故障修的基础上,发展为状态修和均衡修。维修模式也将存在自主修、委外修和合作修等多种类型。检修体制的不断发展完善、维修模式的多样化必将

促进维修专业化细分的不断深入以及维修作业标准规范的建立,从而引起维修业务流程的增多,使得网络维护管理趋于复杂。

2) 网络维护设施分散设置、功能多样

网络维护设施主要包括车辆检修设施和综合维修设施。车辆检修设施根据功能不同可划分为架大修基地、更新改造基地、部件维修基地、日常维修基地等多种类型,综合维修设施可划分为综合维修中心和综合维修分站。在网络化运营条件下,应克服空间距离的限制以及功能多样化的制约,对分散设置、功能多样的网络维护设施进行统筹管理,实时掌握设施的检修维护作业情况,制定网络统一的检修维护作业计划、标准和规范。

6. 突发事件影响范围广

从近年来国内外城市轨道交通公共安全状况来看,在保障城市轨道交通公共安全方面,严重的设备故障将对正常运营带来较大的影响,特别是在网络化运营的条件下,此类事件的影响范围将更广,影响程度将更大。

在单线运营阶段,突发事件的影响仅局限于单条线路范围,进入网络化运营阶段后,不同线路间通过接轨站或换乘站相互关联,突发事件的影响将在更广的范围内传播,影响局部线网甚至是整个网络的运行。网络化运营条件下各线路间的关联性强,突发事件影响的扩散将更为突出,某一线路发生较为严重的突发事件都可能会产生对另一相联线路的连带影响,重新恢复运营秩序的调整难度较大。

1.2 城市轨道交通运营管理的智能化

1.2.1 城市轨道交通运营智能化对管理的需求

为了使城市轨道交通网络运营形成一个有机整体,有效实现网络化运行调度、应急指挥、票务清分、检修维护、资产管理、信息管理等工作,需要对各种网络资源进行整合并实现信息化和智能化管理,构建网络化运营系统,满足网络化运营基本需求,提升网络运转效率^[5]。

1. 网络化运营信息需要集成并实现信息共享

轨道交通网络化运营条件下,为使整个网络有序、高效、安全可靠运行,及时获取并共享相关信息十分重要,在发生紧急情况时,为尽快采取应急处置方案提供保证。与此同时,轨道交通网络还需具有统一对外联系、传递和收集信息的窗口,保持与其他部门的沟通,并共享信息。这些信息主要包括各线路的实时视频信息、综合监控信息以及相关的报警信息等。网络信息共享的重点是对网络内外信息的统一规划和合理利用,在轨道交通外部应考虑与上海市应急联动中心、市政府公网、城市道路监控等联网和信息共享;在轨道交通内部应考虑利用各控制中心的统一协调能力和信息的互联互通。

2. 运营部门实现统一协调管理、为乘客提供高质量服务

城市轨道交通网络化运营管理,一方面要充分实现轨道交通系统运营的高效率和低成本,另一方面要为乘客提供安全、快速、准点、舒适和人性化的高质量服务。而这一目标则必然要通过客流需求与运输能力供给的协调、网状线路移动设备资源配置的协调和网络化列车运行

时刻的协调等几个方面来实现。为此,从路网运营管理的角度有必要进一步提高网络客流分析预测的准确性、线网运力资源配置的均衡性、网络列车运行的协调性,从而提升网络化运营管理的水平,更好地发挥轨道交通网络系统的整体能力和综合效益,实现运营的高效、安全和可靠。

在轨道交通网络中,各条线路之间会形成相当数量的换乘节点,为更好地方便乘客出行,提高网络的运输效率,采取各条线路间“一票换乘”的运营模式是网络化运营的必然趋势,也是应对大量换乘客流的有效手段。如果各条线路分属不同的投资和运营主体,还会产生如何将票务收入在不同主体之间进行清分的问题。

3. 运营维护实现专业、高效及自动化的需求

很多城市的轨道交通已进入网络化运营阶段,网络化维护管理特征日益明显,迫切需要从网络角度梳理各项检修维护业务流程,进行网络维护资源的统一定义和调配、网络维修计划的统一协调、网络抢修的统一调度、网络计量仪器的统一检定校准,确保网络维护的全覆盖和网络化管理;需要建立信息化和知识化的维护系统作支撑,实现对故障原因和流程缺陷进行总结分析,不断优化,促进维护流程改造以及故障体系、标准体系的更新,提升网络维护业务运作水平;同时要求系统具有智能化功能,实现维护事件的自动处理、维护业务的自动生成、维修工单的自动流转等功能,提高网络维护管理的效率和准确性。

4. 突发事件应急实现迅速响应、联动处置的需求

网络运营条件下突发事件影响扩散的速度快、强度高。城市轨道交通某条线路或某个车站发生异常情况,其影响可能扩散到相衔接的线路,如果突发事件影响的强度较高,还可能引发连锁反应,将其影响进一步扩大。网络运营条件下,突发事件的应急处置往往会涉及相互关联的多条线路,在处置过程中为了及时应对,需要就近利用其他线路的有效资源,而且要求各专业系统相互配合,当事态较为严重时,还需要地面公共、消防、公安等外部资源的支持。城市轨道交通突发事件的应急处置具有跨线路、跨专业、跨部门、跨行业的特点,应急处置需要与各相关系统相互衔接,整体联动,才能最大程度发挥各系统的功能。因此,需要建设集中统一的网络运营协调及应急指挥系统,与现有各系统相互衔接,与多部门实现联动,发挥整体优势,满足网络突发事件快速响应、高效处置的需求。

1.2.2 城市轨道交通运营管理智能化技术

轨道交通运营管理的重要任务是决策,决策的前提是信息,而信息是通过数据处理得到的,因此从数据分析处理的角度去讨论对轨道交通运营管理的支持是合理和必须的。而数据分析处理的技术包括数据集成技术、数据挖掘技术、基于业务的决策支持技术等。本书中我们选择了六类技术进行讨论,并以上海轨道交通运营为例做了深入的应用分析。本书研究的内容是与轨道交通运营管理的信息资源流向相对应的,如图 1-3 所示。

1. 城市轨道交通信息集成及数据挖掘技术

信息集成平台是提供各智能子系统相互联系、统一信息源的重要工具,是实现集成化城市轨道交通系统整合的有力的技术依托。信息集成平台的建设可以使整个城市轨道交通系统形成一个运营、管理的有机整体,提高调度指挥和运营管理的集约化水平以及社会服务水平,而对集成后数据的挖掘则可以更好地利用集成信息为管理和决策服务。

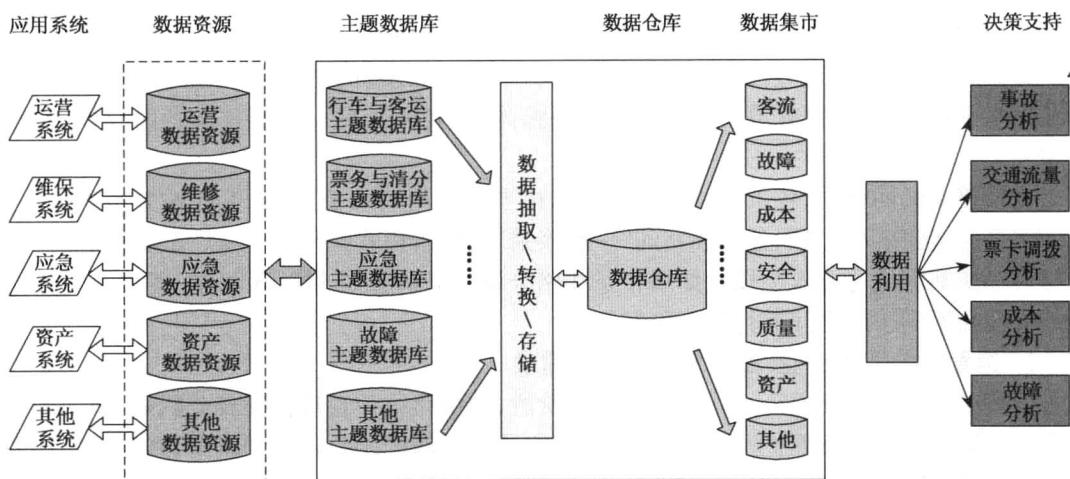


图 1-3 轨道交通运营管理的信息资源流向图

在本书第 2 章和第 3 章中,将讨论城市轨道交通信息集成框架、技术架构和逻辑架构模型,并提出一种新的数据挖掘算法——双论域粗糙集。通过比较分析已有粗糙集的论域扩展模型,利用特征函数构建新的粗糙集的论域扩展模型——双论域粗糙集;根据构造的双论域粗糙集上、下近似算子,定义双论域粗糙集的基本概念并研究双论域粗糙集的不确定性度量等性质。

2. 面向应急管理的城市轨道交通信息处理及决策支持技术

城市轨道交通网络运营条件下突发事件影响扩散的速度快、强度高,应急处置具有跨线路、跨专业、跨部门、跨行业的特点,需要轨道交通运营各专业系统相互配合及地面公共、消防、公安等外部资源的支持。因此,建设面向应急管理的城市轨道交通信息集成平台,实现信息收集、集成及分析,以满足网络突发事件快速响应、高效处置的需要,是目前城市轨道交通应急管理工作的迫切需求。

本书的第 4 章,我们主要讨论了以下问题:①综合对轨道交通突发事件应急管理数据集成、数据挖掘及决策支持的分析,构建轨道交通突发事件应急管理信息集成及处理框架;②针对应急决策五个大类任务中,根据不同突发事件种类和性质再细分为对应不同突发事件或不同功能的阶段任务,每个阶段任务均有相应的应急决策模型,提出基于模型组合链的应急决策框架;③给出了轨道交通突发事件应急决策的动态模糊分析算法。

3. 城市轨道交通出行智能优化技术

目前,面对规模越来越大的城市交通网络,路径寻优的效率问题使得传统的基于纯数学理论的最优路径算法面临新的挑战,图论方法,如 Dijkstra 算法, A^* 算法和数学规划方法计算时间长,计算量大,难以满足交通诱导的实时性要求。而传统的静态路径诱导根据几何距离、道路质量为路阻计算最优路径,不能客观描述现实交通网络的时变性。因此,加强城市轨道交通多模式及多目标智能诱导优化方法研究具有十分重要的理论意义和实用价值,将有助于轨道交通和常规公交的协调优化调度,大大缩短人们的出行时间,提高舒适度,从而提高公交系统的服务水平和公共交通的吸引力,刺激城市公交的发展,优化城市居民出行结构,形成统一的都市客运体系。

本书的第 5 章,在讨论了大量相关算法资料的基础上,对蚁群优化算法的性能进行全面的