



工业和信息化部“十二五”规划教材

城市轨道交通网络化 运营优化理论与方法

Chengshi Guidao Jiaotong Wangluohua Yuning Youhua Lilun Yu Fangfa

徐永能 周竹萍 胡文斌 编著
李旭宏 曹从咏 主审



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

城市轨道交通网络化 运营优化理论与方法

徐永能 周竹萍 胡文斌 编著
李旭宏 曹从咏 主审

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了国内外城市轨道交通网络化运营优化理论与方法的发展现状、基本类型与相关技术经济特性；通过对轨道交通网络化运营组织模式、设备维保模式和多模式公交网络下城市轨道交通系统功能定位的剖析，系统地阐明了多模式公交状态下公共交通结构演化规律和城市轨道交通系统网络可靠性评估；详细介绍了城市轨道交通系统在网络化条件下运营安全保障体系、城市轨道交通设施设备 RAMS(可靠性、安全性、维修性和可用性)规划与控制体系、网络化运营的票务政策体系、设施设备维保模式创新体系等的基本方法与相关技术要求。书中还结合编写组多年来在城市轨道交通应用领域大量的科研实践，简要介绍了城市轨道交通系统领域未来的发展趋势及 RAMS 管理领域中大量可行性分析优化方法与应用实例。

本书既可作为高等院校交通工程专业、轨道交通信号与控制专业、交通运输专业、土木工程专业及其他相关专业硕士研究生的教材或专业教师的教学参考书，也可作为从事轨道交通网络化系统规划与设计的工程技术人员参考资料和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通网络化运营优化理论与方法 / 徐永能，周竹萍，胡文斌编著. -- 北京：北京航空航天大学出版社，2015.7

ISBN 978 - 7 - 5124 - 1851 - 6

I. ①城… II. ①徐… ②周… ③胡… III. ①城市铁路—交通网—运营管理—研究 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 167235 号

版权所有，侵权必究。

城市轨道交通网络化运营优化理论与方法

徐永能 周竹萍 胡文斌 编著

李旭宏 曹从咏 主审

责任编辑 张少扬

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:14.25 字数:365 千字

2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 1851 - 6 定价:35.00 元

前 言

随着我国城市轨道交通的发展,不少城市的城市轨道交通系统运营实体正逐步从单一线路模式转变为网络化线路模式,如何在网络化条件下做好轨道交通系统的运营组织与管理等工作备受关注。总体来看,我国轨道交通网络化运营组织目前还是建立在单线或局部的运营经验基础上。网络化运营的研究成果比较零散,对许多关键问题的研究与认识也不够深入,可以说还未能形成完整的理论与方法体系。

在此背景下,本书系统研究了城市轨道交通网络化运营优化理论与方法,以期对提高我国城市轨道交通运营的组织水平,促进城市轨道交通健康、有序的发展产生重要的指导意义。

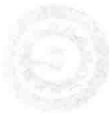
本书系统地介绍了国内外城市轨道交通网络化运营优化理论与方法的发展现状、基本类型与相关技术经济特性;通过对轨道交通网络化运营组织模式、设备维保模式和多模式公交网络下城市轨道交通系统功能定位的剖析,系统地阐明了多模式公交状态下公共交通结构演化规律和城市轨道交通系统网络可靠性评估,详细介绍了城市轨道交通系统在网络化条件下运营安全保障体系、城市轨道交通设施设备 RAMS(可靠性、安全性、维修性和可用性)规划与控制体系、网络化运营的票务政策体系、设施设备维保模式创新体系等的基本方法与相关技术要求。书中还结合编写组多年来在城市轨道交通应用领域大量的科研实践,简要介绍了城市轨道交通系统领域未来的发展趋势及 RAMS 管理领域中大量可行性分析优化方法与应用实例。

本书由徐永能、周竹萍编著,李旭宏、曹从咏主审。本书凝结了南京理工大学交通运输工程学科和电气工程学科各位老师、研究生的辛勤劳动、教学经验以及科研实践,在此一并表示衷心的感谢!本书参阅了大量国内外资料,未能一一列出,借此向这些著作和文献资料的原作者们表示衷心的感谢!

本书由国家自然科学基金项目“基于行为机理分析的行人过街安全提升方法研究”(51308298)、住房与城乡建设部科学技术项目“基于行为机理的行人过街设施设置依据与方法研究”(2013—K5—20)和中国博士后科学基金项目(2014M561653)资助。

作 者

2015年6月



目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 城市轨道交通网络化运营的特点	1
1.1.1 网络化运营客流特征	2
1.1.2 网络化运营换乘特性	3
1.1.3 网络化运营组织管理特性	4
1.1.4 网络化运营设备维护特性	5
1.2 城市轨道交通网络化运营行车组织模式	6
1.2.1 分段运营	7
1.2.2 多交路运营	7
1.2.3 快慢车结合运营	7
1.2.4 共线运营	8
1.3 城市轨道交通网络化运营筹备关键技术	8
1.3.1 接驳公共交通规划与组织	8
1.3.2 站内外导向标识规划与设计	10
1.3.3 网络化票务政策的制定与实施	11
1.3.4 城市轨道交通设施设备维保技术创新与应用	12
1.3.5 多系统总联调接口管理	14
复习思考题	19
第 2 章 城市轨道交通网络化运营组织	20
2.1 网络资源运营共享技术	20
2.1.1 人力资源共享	21
2.1.2 运营设备与设施资源共享	25
2.1.3 检修设施与设备资源共享	28
2.2 跨线乘客换乘组织	30
2.2.1 换乘客流组织方式	31
2.2.2 换乘方式适应性分析	34
2.3 列车过轨运输组织	38
2.3.1 过轨运输组织特点	39
2.3.2 过轨运输组织模式类型划分	39
2.3.3 过轨运输组织模式的适用性分析	40
2.4 共线条件下的列车运行组织	41
2.4.1 共线运营组织技术	41



2.4.2 共线运营适用性分析	42
2.4.3 共线运营方案制定方法	42
2.5 多交路列车运营组织	44
2.5.1 多交路运营组织方式划分	45
2.5.2 多交路运营适用性分析	46
2.6 快慢列车结合运行组织	48
2.6.1 快慢列车结合运营类型	49
2.6.2 快慢列车结合运营适用性分析	50
2.6.3 快慢列车开行方案确定方法	50
复习思考题	51
第3章 多模式城市公交网络结构演化规律	52
3.1 多模式公交网络与乘客出行特征分析	52
3.1.1 多模式公交网络结构特征	52
3.1.2 多模式公交网络抽象数据模型构建	55
3.1.3 多模式公交网络出行特征分析	59
3.2 多模式公交网络结构发展的趋势及内部关系	63
3.2.1 城市多模式公交发展趋势	63
3.2.2 多模式公交网络的合作关系	64
3.2.3 多模式公交网络的竞争关系	66
3.3 多模式公交网络结构演化模型	67
3.3.1 基于耗散结构理论的公交结构演化模型	67
3.3.2 演化趋势的阶段论及验证	72
复习思考题	75
第4章 城市轨道交通系统网络服务可靠性评估	76
4.1 轨道交通网络服务可靠性	76
4.1.1 轨道交通网络服务可靠性的定义	76
4.1.2 轨道交通网络服务可靠性的内涵	76
4.2 轨道交通网络服务可靠性测度指标	79
4.2.1 指标选取原则	79
4.2.2 指标具体含义	79
4.3 轨道交通网络服务可靠性分析与评估	82
4.3.1 网络服务可靠性算法	82
4.3.2 网络服务可靠性评价	83
4.4 城市交通出行时间波动性的描述与评价	84
4.4.1 出行时间波动性的定义与分类	84
4.4.2 出行时间波动性的影响因素分析	84
4.4.3 出行时间波动性的表征指标分析	85



4.4.4 基于云模型的出行时间波动性表征方法	89
4.4.5 基于云模型的出行时间波动性评价	92
复习思考题	96
第5章 城市轨道交通网络化运营的票务政策及决策	97
5.1 城市轨道交通网络收入分配方法	97
5.1.1 国内外主要城市的清分方式	97
5.1.2 影响清分的主要因素	98
5.2 清分原则与清分方法	100
5.2.1 有障碍换乘条件下的清分方法	101
5.2.2 无障碍换乘条件下的清分方法	102
5.3 网络化运营的票务清分清算技术	105
5.3.1 网络化票务清分清算的 AFC 系统	105
5.3.2 网络化票款清算流程	106
5.3.3 网络化运营环境下的票款清算	108
5.4 网络化运营票价票制的制定及票价听证	110
5.4.1 网络化运营票价研究	110
5.4.2 网络化运营票价定价模型研究	116
5.4.3 网络化运营票价听证研究	119
5.4.4 网络化票务运营与城市交通卡接口研究	121
复习思考题	122
第6章 城市轨道交通网络化运营设施设备 RAMS 规划设计	123
6.1 城市轨道交通网络化运营设施设备 RAMS 控制策略	123
6.1.1 RAMS 的概念	123
6.1.2 引进 RAMS 的必要性	126
6.1.3 ALARP 及可容忍性风险	127
6.1.4 RAMS 管理流程	128
6.2 城市轨道交通网络化运营设施设备全生命周期管理	129
6.2.1 城市轨道交通系统设施设备系统的组成	129
6.2.2 轨道交通设施设备的生命周期	130
6.2.3 LCC 技术	132
6.3 城市轨道交通危险源识别与控制	134
6.3.1 城市轨道交通危险源识别	134
6.3.2 城市轨道交通主要危险因素及分析	137
复习思考题	144
第7章 城市轨道交通网络化车辆维修模式创新与实践	145
7.1 城市轨道交通网络化车辆维修模式发展趋势分析	145



7.1.1	国内外城市轨道交通车辆维保发展历程与现状	145
7.1.2	维保观念变革	148
7.1.3	全生命、全过程、全员维保模式发展趋势	150
7.2	城市轨道交通网络化车辆维修决策支持理论与方法	152
7.2.1	市场化维保战略决策理论与方法	152
7.2.2	车辆可靠性分析、预测以及分配理论与方法	155
7.2.3	车辆状态预警模型构建	156
7.2.4	车辆安全寿命预测模型构建	158
7.3	城市轨道交通网络化车辆维修决策优化理论与方法	159
7.3.1	车辆维修修程优化理论与方法	159
7.3.2	车辆维修流程优化理论与方法	161
7.3.3	车辆维修周期优化理论与方法	163
7.3.4	车辆维修资源配置与优化	167
7.4	城市轨道交通网络化车辆维修决策评估理论与方法	170
7.4.1	价值工程评估方法	170
7.4.2	满意准则模型评估方法	173
7.4.3	车辆 RAMS 综合评估方法	174
	复习思考题	177
第 8 章	城市轨道交通网络化运营节能控制技术	178
8.1	轨道交通节能研究现状	178
8.1.1	超级电容节能	179
8.1.2	逆变装置节能	181
8.2	列车优化运行节能	183
8.2.1	列车节能的操纵方法	183
8.2.2	惰行控制	183
8.3	调节列车停站时间节能	188
8.3.1	概述	188
8.3.2	城市轨道交通直流牵引供电仿真模型	189
8.3.3	时变电网络系统模型及其算法实现	194
8.3.4	遗传算法调节停站时间	197
8.3.5	算例分析	199
	复习思考题	200
第 9 章	我国城市轨道交通系统发展的展望	201
9.1	城市轨道交通发展趋势	201
9.1.1	世界城市轨道交通发展趋势	201
9.1.2	我国城市轨道交通发展趋势	203
9.1.3	我国城市轨道交通发展目标	204



9.2 城市轨道交通的可持续发展策略	205
9.2.1 可持续发展的定义	205
9.2.2 可持续发展管理政策的不足	205
9.2.3 可持续发展的技术政策	206
9.2.4 城市轨道交通可持续发展建议	207
复习思考题	212
参考文献	213

第1章 绪论

1.1 城市轨道交通网络化运营的特点

随着城市化进程的迅速推进以及大城市人口的急剧膨胀,城市交通需求与交通供给的矛盾日益突出,导致交通拥堵,伴生交通安全、环境污染、交通能耗等问题,已成为世界各国普遍面临的社会问题,严重影响着城市的经济建设和运转效率,并成为制约城市可持续发展的主要瓶颈。因此,优先发展公共交通成为有效缓解城市交通问题的首选。城市轨道交通以其大运量、低能耗、高效率、高环保的特有优势,在大城市公共交通体系中占有重要地位。布局合理、公众欢迎的轨道交通已成为城市交通现代化的重要标志之一。

21世纪以来,我国各大城市的轨道交通已经进入一个新的快速发展时期,以北京、上海、广州为代表的一批大城市先后规划了较大规模的远景线网并相继建设与投入运营。迄今为止,全世界已经有超过120个城市建成了地铁系统。我国以1969年10月北京地铁一期工程投入试运营为标志,至2014年11月,国内有22个城市已建成轨道交通系统,15个城市正在建设轨道交通。线路总数达到82条,线路总长度2552公里。“十二五”期间,我国城市轨道交通迎来了一个建设高潮,28座城市的共90条线路的建设规划已获得政府批准,总里程超过2700公里,总投资预算达到18720亿元。在这样巨大的建设规模和超快的发展速度下,必然面临建设投入、运营管理等方面的挑战,需要轨道交通从业人员高度重视,以保证我国城市轨道交通建设的可持续发展。根据国务院国办发[2003]81号文件提出的建设城市轨道交通的3个指标,即城市人口超300万人、GDP超1000亿元、地方财政一般预算收入超100亿元,目前全国有近50个城市符合条件,我国轨道交通发展潜力巨大。伴随着北京奥运会、上海世博会、广州亚运会的筹备与承办,这3个城市已经成为我国内地城市轨道交通网络化运营的先驱,2010年年底运营里程均超过了200公里。

2003年,北京市对城市轨道交通线网进行了第五轮调整,编制完成了《北京城市轨道交通线网调整规划(2050年)》,规划线网由22条线路组成(其中城市轨道交通线路16条,轻轨线路6条),规划线路总长度700.6公里。2010年12月,开通运营的线路有1号线、2号线、八通线、4号线、5号线、13号线、10号线一期、奥运支线、机场轨道线、亦庄线、房山线、昌平线、大兴线以及15号线14条线路,运营总里程达到336公里。截至2013年年底,北京地铁共有17条线路运营,全网运营线路总长465公里,车站共计231座。

2007年,上海市对城市轨道交通线网进行了最新一轮的调整,编制完成了《上海城市轨道交通线网规划(2020年)》,规划线网由18条线路组成,规划线路总长度877公里;到2010年6月,开通运营的线路有1~10号线以及13号线等11条线路,运营总里程达到410公里。截至2013年年底,上海地铁共有12条线路开通运营,全网运营线路总长467公里,车站共计303座。

2008年,广州市对城市轨道交通线网也进行了最新一轮的调整,编制完成了《广州市轨道交通线网规划(2040年)》,规划线网由20条线路组成,规划线路总长度761公里。到2010年



11月,开通运营的线路有1~5号线、广佛线等共计8条线路,运营总里程236公里。截至2013年年底,广州地铁共有9条线路开通运营,总长260.5公里,共164座车站。

我国的轨道交通建设虽然始于20世纪60年代,但在很长一段时期内,由于开通的轨道交通线路数量少,各城市均以单线模式进行城市轨道交通线路运营组织。随着轨道交通网络规模的扩大,这种运营组织模式已难以适应网络化的运营需求。

网络化运营是指在由多线路组成的城市轨道交通线网上建立,旨在有效满足出行者的需要,安全的、可持续的运输组织方法与经营行为的总称。相对于单条线路下的独立运营来说,网络化运营实际上是在城市轨道交通系统规模发展到由若干条轨道交通线路有经有纬、交错衔接形成整体的“网络”状态时,系统强调自身整体功能和规模效应的一种客观发展要求。

线网是城市轨道交通网络化运营的基础设施。从整体看,线网本身的物理结构形态,决定了网络的服务区域与辐射范围;从局部看,线路中的渡线、折返线、出入线、联络线等基础设施的设置情况,从根本上制约着网络化运营组织方法与技术的应用。同时,服务对象的实际需求是确定网络化运营组织方法的基本依据,即列车开行方案必须适应线网覆盖区域内不同客流特征。

1.1.1 网络化运营客流特征

轨道交通网络的运输能力,必须与其服务区域内的客流相适应,同时兼顾地域空间、时间的适应性要求。轨道交通线网运营组织方法也需要与城市空间、土地利用、客流分布等相适配,以保障各条线路组合或合作形成统一的高效运营整体。

1.1.1.1 连接市郊线路的客流空间分布特征

一般而言,一条城市轨道交通线路上客流的分布可通过车站乘降人数和线路断面客流量体现。由于轨道交通线网中的线路途经区域的用地性质不同,线路覆盖区域内的客流集散点的数量和规模不同,导致了线路各个车站的乘降人数不同,从而形成了线路单向各个断面的客流的不均衡性。

此外,客流分布还会受到线路本身的设置情况的影响,如沿线车站、换乘车站的位置及其站间距,线路中单线、共线、平行线、环线的设置等,这些都是轨道交通客流分布的重要影响因素。

轨道交通线网中,线路单向各个断面客流的不均衡系数可按式(1-1)计算。

$$\alpha_k = A_{\max} / \left(\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n} \right) \quad (1-1)$$

式中, α_k 为单向断面客流不均衡系数; i 为断面序号; A 为单向断面客流量(单位:人次); n 为单向全线断面数(单位:个)。

网络规模扩大过程中,部分线路的一端或两端可能延伸到城市的近郊区甚至远郊区,从而出现一端连接市中心区,一端连接郊区,或贯穿市区而两端连接郊区的线路。与中心区线路相比,这类线路客流空间分布有以下几个特征。

1. 全线客流不均衡,呈凸型或单向增减分布

这类线路的客流空间分布与一般轨道交通线路的相同点在于它同样受到用地性质差异而出现客流空间分布不均衡的现象。

差异在于:中心区的线路上,这种不均衡的现象一般并不沿着线路的走向出现规律的递增



或者递减;在连接郊区的城市轨道交通线路上,断面客流和乘客乘降量总体出现较为明显的单向递增或者递减,这是由于市区客流与郊区客流特征的巨大差异造成的。一般而言,单向最高断面流量出现在市区的边缘区域。

2. 高峰时段断面客流的潮汐特征明显

连接郊区的城市轨道交通线路上,早晚高峰通勤客流的影响尤为突出,同时由于行程较远,出行时间较长,断面客流的潮汐现象比市区线路更加明显且持续时间更长。

从沿线车站乘客乘降量来看,其分布的曲线特征和最高点与全日的断面客流潮汐特征呈基本吻合的变化趋势。

3. 各区段客流交换量不均衡

根据断面客流情况,将断面客流量相近的各站间划为同一个区段。研究各区段的客流OD(Origin and Destination,交通出行量)特征,进而分析各区段客流交换量。该指标可以进一步反映线路客流空间分布的不均衡性。根据客流交换性质,可以从两两区段间的交换量、区段内部的交换量以及两者之和的总交换量这三个方面来考查各区段的客流交换特征。由于市区客流与郊区客流的明显差异,一般而言,区段间的最大客流交换量出现在这两个区段之间。交换总量最大的区段,一般位于城市的边缘区,即市区客流与郊区客流的结合部。

区段客流交换量是设定长短交路、快慢车结合运营方案的基本依据。

1.1.1.2 线网中区域客流的的空间分布特征

城市轨道交通网络从市区逐渐扩展到整个市域,必须将客流空间分布特征由单条线路推广到整个线网,从网络运行的层面探讨线路客流的的空间分布特征。

线网中每条线路(特别是连接郊区的城市轨道交通线路)具有不同方向的客流空间分布特征,综合在一起即表现出线网的总体客流空间分布特征。

在特大城市或都市圈,发达的城市轨道交通线网覆盖范围遍及整个市域。通过单条线路客流空间分布不均衡性研究,确定连接郊区的城市轨道交通各线路的最高流量客流断面,将这些断面在线网中联系起来,往往会形成围绕城市中心区的一个闭合环线或大弧度曲线。

在这个环线上,同时也是断面客流发生骤变的“临界面”,往往作为设定分段区间、长短交路的依据。

1.1.2 网络化运营换乘特性

换乘是城市轨道交通线网中的一个重要内容,通过分析换乘客流的结构和数量,特别是换乘客流的来源与换乘目的,从而确认换乘节点乘客的换乘路径,是研究换乘客流组织、设计换乘方案的基本前提。

换乘客流可以分为线网内换乘和线网外换乘两类,对于后者,主要还可以分为公交换乘客流、自行车接驳客流以及较小部分的小汽车转移客流三类客流。

线网内换乘是网络化运营需要重点研究的对象,也是网络化运营组织的主要服务对象。线网内重大枢纽的客流结构,特别是换乘客流占到站客流的比例,是决定换乘组织重点客流以及设定套跑交路、过轨运输、站停方案的基本依据。

法国巴黎市中心区的沙特莱(Chatelet - Les - Halles)车站是巴黎轨道交通中最具代表意义的换乘站,该车站是3条区域快线(RER - A、B、D)的换乘车站,同时周边还有5条城市轨道交通线路(M1、M4、M7、M11、M14)的车站。沙特莱车站的线路交汇情况如图1-1所示。沙



特莱车站 2007 年的客流统计数据如图 1-2 所示。

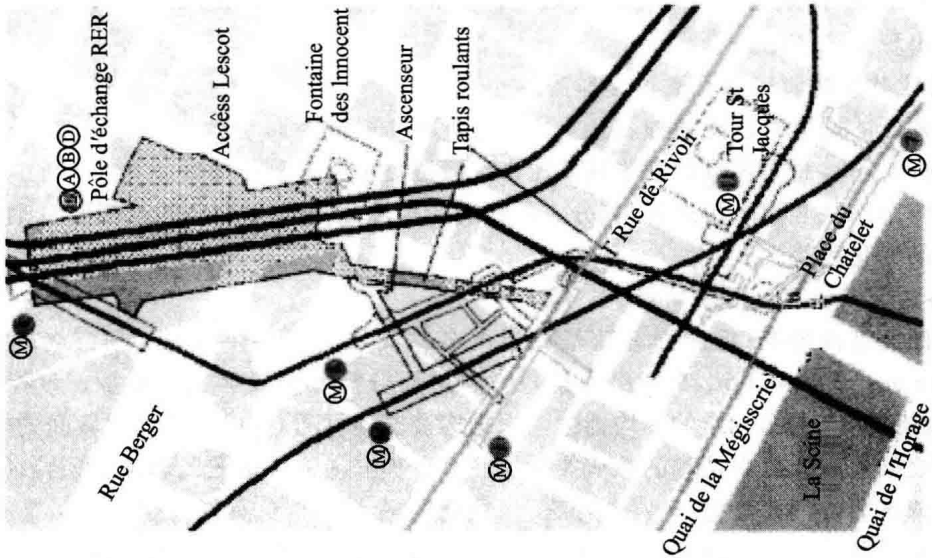


图 1-1 沙特莱车站线路交汇示意图

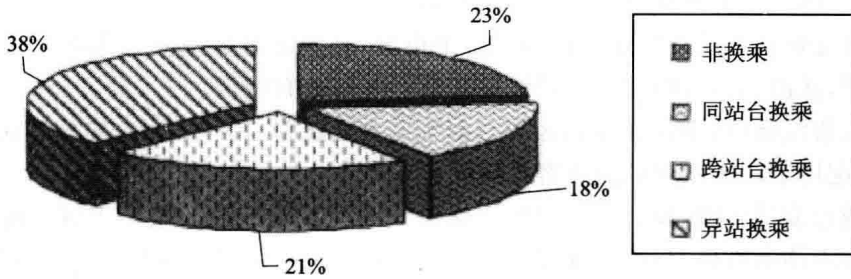


图 1-2 沙特莱车站的客流结构

该换乘车站发生吸引的日客流为 51.5 万人次。其中,11.9 万人次(23%)出入车站,为非换乘客流;9.2 万人次(18%)在同一座岛式站台的不同方向实现换乘;11.0 万人次(21%)在 RER-A、B、D 线之间进行跨台同层换乘;19.4 万人次(38%)在 RER-A、B、D 与 5 条城市轨道交通线之间换乘。

上述日客流量中,39%为区域快线 RER 线网内的换乘,38%为 RER 线网与周边城市轨道交通线网的换乘。沙特莱车站通过 4 站台同层换乘,保证了换乘效率;为提高换乘效率,在沙特莱车站与 5 个城市轨道交通站之间专门开设了换乘通道并设置了自动人行道。

1.1.3 网络化运营组织管理特性

19 世纪以来,西方发达国家形成了众多以国际化大都市为核心,联合周边城市的都市圈,如日本东京都市圈、英国伦敦都市圈等,它们都拥有运营组织管理模式独具特色的都市圈轨道交通系统。进入 21 世纪以来,我国城市化进程不断加速,北京、上海、广州等大城市的规模不断扩张,作为公共交通骨干的城市轨道交通网络不断完善,形成了独具地方特色的轨道交通网络运营管理模式。



网络化运营组织管理模式是城市轨道交通建设发展模式的重要方面。不同运营组织管理模式深刻影响着都市圈轨道交通建设和发展方式,探讨运营组织管理模式的类型及适应性,必然是在一定的投资建设模式机制环境下进行探讨。

美、日、英、法、韩等发达国家的城市轨道交通建设,是基于国家私有制经济体制,呈现不同的融资体制特点。

① 在法律上明确界定政府对轨道交通的监管权限。重心不是根据国家轨道交通特点去制定专门的法律,而是关注和规范政府对整个运输市场的监管行为。

② 投资主体多元化、融资渠道社会化。通过调整国家对铁路的政策,重新定位国家与铁路的关系;把科技含量高、符合时代发展要求的项目作为国有资本对铁路投资的重点;按市场化的运作使铁路建设的投资领域呈现出多元化。

③ 广泛采取项目融资筹集资金。普遍采用项目融资的方式拓宽融资渠道,扩大轨道交通项目的投融资规模。融资形式包括债券、银行与特许经营合同等。

④ 多种形式的政府补贴。政府补贴一般可以分为固定金额的补贴及按运输量给予的补贴。

纵观国外典型都市圈轨道交通的投资建设,主要有财政贷款、土地开发权益的利用、企业债券、国债、国内银行贷款、民间资金、项目融资、国际金融组织(多边国际组织)贷款、融资租赁等纷繁复杂的投融资形式。在我国,长期的以公有制为主体的经济体制和国民收入分配体制,以及由其决定的政府与城市轨道交通企业是“父与子”的关系、政企不分的体制,使得各种融资方法均有局限,最终形成了“政府建设轨道交通”的运营管理模式。

对网络化运营组织管理模式的研究,主要包含两方面内容:一是运营公司的企业组织模式,这一内容决定了运营公司的管理运作;二是运营公司的行车组织模式,这一内容则决定了企业进行生产经营的基本业务——列车开行方案的制定;同时,这两方面内容相辅相成地影响着轨道网络运营组织效率。

1.1.4 网络化运营设备维护特性

快速建设与开通运营地铁线路的现状常给建设与运营团队施加太大的压力,使得准备运营和维修的时间大大缩减,有时甚至常被忽略。在城市轨道交通工程的建设过程中,现有的建设安全管理细则尚未完善。对于轨道交通的所有设备,更是没有足够的窗口时间进行所有的维修作业。即使对设备设施开展了必要的计划预防修、委外维修和状态维修等维修模式的专题研究,但由于检维修设施和场地等原因,仍不足以开展全部的维修作业和员工技能练兵。网络化运营条件下,设备维护具有鲜明的特点,如图 1-3 所示。

如图 1-3 所示的网络化设备维护特点,都增加了日后轨道交通运营的风险系数,尤其影响轨道交通运营的关键设备(如车辆、供电、信号、轨道等设备),一旦由于设备欠修或过修造成严重的事故后果,必然会产生恶劣的社会影响。特别是对于轨道交通关键设备,必须在运营过程中引入状态监测设备和开展循序渐进的以可靠性为中心的 RAMS(可靠性、可用性、维修性和安全性)系统分析,才能确保轨道交通系统设备在动态运营、现场反复作业中始终关注轨道交通关键设备的可靠性、安全性和风险性变化特征。同时将运营过程中出现的重大设计缺陷、整改专项、设备采购缺陷和设备维护缺陷等方面的技术问题适时反馈到建设部门和新线筹建部门,以便从设备全生命周期范围内持续关注设施设备的技术状态,该项工作势必对建设、运

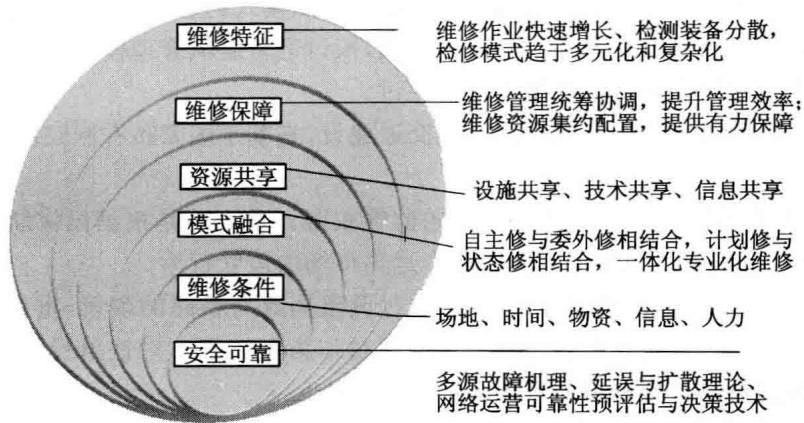


图 1-3 网络化设备维护的特点

营筹备以及后续的运用造成巨大的压力。

1.2 城市轨道交通网络化运营行车组织模式

实现都市圈轨道交通网络在各个圈层的互联互通,是都市圈轨道交通系统的建设目标之一。

市区交通需求与市郊交通需求差异明显,对于连接都市区外围与市区的市郊铁路(通勤铁路)而言,除出行总量上的差异外,时段上的差异更大。市郊交通需求的交通时段性强,客流量几乎全部集中在早晚通勤通学的高峰时段,而市区内即使平峰时段也有持续不断的轨道交通客运需求。

作为一种大型区域内的运输系统,都市圈轨道交通系统特别是市郊铁路,既要考虑到城市公共交通需求,又要兼顾到市郊客运需求,因此,它应该兼容市郊铁路和市区轨道交通两种行车组织模式。

评价轨道交通运营指标主要有以下 2 个方面。

1. 车辆辅助运营规模

根据列车非载客运行公里数来计算,它反映了列车进出车辆段过程的便捷性以及运营所需辅助设备规模。这个指标可以通过进出车辆段的距离(调车线的长度)得出,将车辆总数与非载客运营里程的乘积作为指标计算结果。

2. 车辆运营规模

根据列车的数量来计算,用来反映满足一定运输需求所需要的列车、线路等设备规模,将车辆总数与载客运营里程的乘积作为指标计算结果。

可见,上述指标均与可用列车数量,即行车方式息息相关。因此,从运营管理的角度考虑,要实现互联互通,不仅要求在体制上保障都市圈轨道交通的运营公司采用适宜的企业组织模式,还要求各运营公司建立起一套可行的行车组织模式。综合国外典型都市圈轨道交通互联互通的实践经验,适用于都市圈轨道交通的行车组织运营模式主要包括分段运营、多交路运营、快慢车结合运营、换乘运营、共线运营、过轨运营和可变编组运营共 7 种,本书只从分段运营、多交路运营、快慢车结合运营、共线运营 4 方面进行详细阐述。



1.2.1 分段运营

分段运营是传统的运营组织模式,也是非网络化条件下最经典的运输组织方式。从客流特征上来看,市郊铁路的客流特征主要为中心城区段与郊区段客流量差别很大。在这种客流特征下,若采用贯通运营的单一交路方式,必然造成郊区段运能的较大浪费;中心城区段与郊区段客流量差别越大,浪费就越明显,对于尚未发展成熟的我国都市圈,这一情况将更为突出。因此,从运能的有效利用以及降低建设和运营成本角度,分段运营基本适用于大部分的市郊铁路,特别是直接进入市区的市郊线。

在对市郊客流的成分和所占比例进行分析的基础上,确定分段运营的区间。在中心城区段按城市轨道交通模式建设和运营,而在郊区段采用既能满足客流需求,又能降低建设成本的轨道交通制式(如市郊铁路制式)。在中心城区与郊区的结合部分选择合适的换乘点(为了满足换乘的要求,可以采用连续设置平行换乘站的方法来增加换乘能力),中心城区段和郊区段分别采用不同的编组、时刻表运行,以保证在高峰时段通勤客流的交通需求。

1.2.2 多交路运营

在确定运营分段的基础上,针对各个客流断点的特征,开行多种交路形式的列车,在不同的区间不同的时段采用不同的运营交路,称为多交路运营。

以巴黎市郊铁路网为例。各圈层的市郊铁路列车的发车间隔分为几种:距巴黎市中心15分钟半径范围内,发车间隔为15分钟;距巴黎市中心15~30公里半径范围内,发车间隔为30分钟;距巴黎市中心30公里半径以外的,发车间隔为60分钟。高峰时段,发车频率根据运量需要确定,一般为平峰时段的2倍,特殊情况下可达4倍,发车间隔相应缩短至2分钟。

1.2.3 快慢车结合运营

快慢车结合运营指部分列车不停车通过某些中间站的运营组织方式。越站列车可以缩短长距离出行乘客的出行时间。特别对于市郊铁路,通勤客流占有一定的比例,将这些客流从郊区运送到中心城区的主要客流集散点,或从中心城区的主要客流集散点运送到郊区,越站可以更好地适应客流的这一需求。

站站停运营可以满足所有乘客的出行需求,但是对于长距离出行的乘客必然要花费更多的时间,且在早晚高峰时段通勤乘客的旅行速度将低于越站运营方式,不利于缓解高峰时段的客流压力。

当然,考虑到建设轨道交通的线路必然是出行距离多样的区域,越站运营和站站停运营分别满足乘客的不同出行需求,根据以人为本的经营思路,两者的结合才能适应这一需求。因此,在有条件的情况下应尽量采用越站运营和站站停运营结合的方式。

在国外典型都市圈的轨道交通线网中,有大量的越站运营结合站站停运营的成功案例。如东京都市圈的JR中央线和JR总武线,这两条并行的线路由东至西横贯山手线环线的中部(即并行横穿东京市区),并连接东京市区的两大枢纽站东京车站和新宿车站。其中,JR中央线除清早和深夜时间之外,采用越站运营(快速运行),从东京车站到新宿车站仅需要15分钟。JR总武线是市郊铁路衔接的线路,在东京都内与中央线并行的区间内,采用站站停运营,满足了区间短途客运需求。



1.2.4 共线运营

共线运营指某一运营公司所辖运行线路不完全相同的列车共用某段线路的运行组织方式。共线运营一般是同一运营公司所属的、相互衔接的不同轨道交通线路上,列车交路从一条线路跨越到另一条线路,从而与该线路上的原有交路共用某一区段的运营组织技术。某些场合下,一条线路在末端因满足不同出行方向需求而形成的不同方向的列车共用中心城区线路的方式(通常称支线运营)也是一种共线运营形式。

1.3 城市轨道交通网络化运营筹备关键技术

轨道交通网络化运营工作是一项系统工程,涉及诸多关键技术,而各个关键点之间也具有相互关联、相互制约的关系,仅靠某项关键技术的突破,并不能保证整个网络化运营过程的安全与可靠。因此,还需要紧紧围绕网络化运营工作目标,将各项关键技术进行系统集成与创新,形成整体技术优势,为网络化运营服务,来实现综合效益。

1.3.1 接驳公共交通运输规划与组织

城市轨道交通是整个城市交通系统的骨干,大城市的交通必须向以快速轨道交通为主体的多层次综合客运体系发展,这已经是不争的事实。城市轨道交通系统虽然具有快速、大运力、可靠性高、自动化等特性,但其建设经费巨大,仅适用于主干性交通运输,可达性较低。正是由于轨道交通可达性相对较低,使轨道交通乘客需要借助其他交通方式来与轨道交通进行接驳。

所谓轨道交通接驳方式即轨道出行乘客在轨道出行两端,到达轨道站点和离开轨道站点所采用的辅助交通方式,通常可以采用的交通工具或方式包括:常规公交、出租车、私家车、自行车和步行。

轨道交通接驳源于轨道交通出行,是轨道出行的派生需求。轨道交通接驳方式选择在确定的时段内是相对稳定的,除了受交通供给条件的影响外,宏观的影响因素是社会发展与经济水平,生产力布局与资源分布,城市的规模、用地模式与布局形态等。

从出行者的角度考虑,出行需求以及接驳需求不是一种最终需求,而是派生需求,人们的出行都是为了实现一定的目的,出行只是一种实现个人目的的手段。

相对于轨道出行量、流动量这些出行需求而言,各种接驳方式承担的客运量、周转量,在时空分布上都源自基本需求,但又不完全取决于基本需求,其大小与分布状况还受到交通运输方式、运输组织及道路设施等因素的直接影响。即使在确定的时段内,也会随着空间位置的不同而不同,呈现出空间上的不稳定性。

1.3.1.1 影响轨道交通接驳方式选择的因素研究

近年,国内外研究人员从多个角度对于轨道接驳方式进行了研究。研究表明,交通工具的使用与否,是居民出行选择的结果。相对于轨道乘客而言,在出行选择交通方式时主要考虑以下因素,这些因素同时也是影响轨道乘客辅助交通方式交通构成的主要因素。

1. 接驳距离和时间

接驳距离主要由轨道交通出行者的出发地和轨道交通的空间布局决定,它对乘客的出行