

城市轨道交通网络运营 理论与应用

Theory and Application for Urban Rail Transit Network Operation

汪 波◎著



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

科技北京百名领军人才培养工程资助

Theory and Application for Urban Rail Transit
Network Operation

城市轨道交通网络运营理论与应用

汪 波 著



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

内 容 提 要

本书共分10章,理论与实践相结合,主要介绍了城市轨道交通网络运营面临的问题、发展现状、客流分析、客流预测、能力分析与计算、运输计划编制、首末班车时间优化、周期化运行运输组织模式、周期事件安排问题、运力优化配置与列车运行图编制等内容。

本书可供城市轨道交通运营管理人员学习使用,也可供高等院校相关专业师生选用。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通网络运营理论与应用 / 汪波著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2014. 8
ISBN 978-7-114-11473-1

I. ①城… II. ①汪… III. ①城市铁路—轨道交通—交通网—运营管理 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128016 号

书 名:城市轨道交通网络运营理论与应用

著 作 者:汪 波

责任编辑:郭红蕊

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.ccpress.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

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.75

字 数:316千

版 次:2014年8月 第1版

印 次:2014年8月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11473-1

印 数:0001—3000册

定 价:39.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

Foreword 序

城市轨道交通运量大、方便、快捷,城市轨道交通的使用不仅彰显城市的品位,同时也不失为解决城市日益复杂的交通问题的“一剂良药”。

我国城市轨道交通建设起步虽晚,但近十几年来得到快速发展,成为世界城市轨道交通行业的后起之秀。以北京为例,2000 年仅有 2 条城市轨道交通线路,运营里程 54km,日客运量不足 100 万人次;到 2013 年底,北京城市轨道交通已发展成为含 17 条线路、运营里程达 465km 的复杂网络,2013 年 3 月 8 日最大日客运量首次突破 1 000 万人次,北京城市轨道交通网络已经成为世界规模最大的城市轨道交通网络之一。目前,我国上海、广州和深圳等地的城市轨道交通网络也在迅速发展。

城市轨道交通线路交织成网,对网络运营管理的科学化和精细化提出了更高的要求。应该看到,我国很多城市的轨道交通建设虽然发展迅猛,但其运营方式尤其是网络运营管理方式却相对落后,比如我们轨道交通网络的规划设计水平、列车运行的灵活性、运营效率、运营服务水平等方面都与国外发达城市存在着一定的差距,这些因素会束缚我国城市轨道交通甚至城市将来的科学发展。可喜的是,我国已经有学者、城市轨道交通管理者意识到了存在的问题,开始尝试对此进行探索和研究,并取得了一定的成果。

汪波从事城市轨道交通运营的研究与实践有十余年时间,他将平时工作和研究中遇到的问题和自己的想法一点点积累,形成了本书——《城市轨道交通网络运营理论与应用》。本书从城市轨道交通的特点、实际运营条件、网络运营的本质出发,对城市轨道交通网络客流统计分析、网络运输能力评估、网络运输计划编制等一系列问题进行了理论与实践方面的探索,提出了解决城市轨道交通网络运营若干问题的理论和应用案例。

随着城市轨道交通网络化进程的不断推进,“如何经营好城市轨道交通”变得越来越重要,希望有更多的管理与研究人员关注这方面的问题,努力探索我国城市轨道交通网络运营管理的科学规律,进一步提高运营管理水平。

中国工程院院士 汪波

2014 年 1 月

Preface 前言

城市轨道交通因其具有运量大、快速准时、安全高效、节能环保、节约土地资源等优点而在全世界范围内得到快速发展。目前,世界各大城市轨道交通系统已由单一线路发展成为纵横交错、经纬贯穿的轨道交通网络。城市轨道交通运营的总发展趋势呈现出网络结构复杂,客运运量大,突发事件传播快、影响大等发展态势,对现代城市发展的影响将越来越大。我国北京、上海等大城市的城市轨道交通发展已经进入了网络化发展阶段,什么是网络化运营、如何解决网络化运营带来的新矛盾、网络化发展的方向是什么,是现阶段所有城市轨道交通运营管理者必须尽快回答的问题。因此,开展网络化条件下的城市轨道交通网络运营理论、技术与方法研究显得尤其重要。

城市轨道交通网络运营是网络化发展的重要组成部分。目前,国内外相关研究领域已对网络条件下的票款清算、客流统计、共线运行、多交路运行等相关组织方法与实施技术进行了不同程度的探讨,然而总体上没有形成从单一线路到网络、从理论探讨到综合运用的网络化运营管理体系。

本书首先分析了城市轨道交通网络化运营条件特点;介绍了世界一些主要城市的轨道交通发展进程与运营特点;研究了网络化条件下的客流特征、清分与统计分析;研究了短期客流预测、新线接入既有网络客流预测与突发事件客流预测方法;研究了不同设备、设施、系统支持下的线网运输能力计算和分析方法。

其次,本书系统阐述了城市轨道交通运输计划编制的主要内容,研究了城市轨道交通网络首末班车时间制定的优化方法,探讨了城市轨道交通网络末班车延误的调整原则和方法。

再次,本书考虑城市轨道交通运营的特点,从提高运营效率和服务水平出发,提出了基于周期化运行的城市轨道交通运营模式,研究了周期事件安排问题(PESP)理论在城市轨道交通运营的运用。

最后,本书为解决城市客流与城市轨道交通运能矛盾愈发突出的问题,考虑网络结构、网络客流特征以及运营服务水平,研究了城市轨道交通网络运力配置计划制定及优化的方法;考虑优化线间衔接关系,借助周期事件排序理论研究了城市轨道交通网络列车运行图的编制方法。

本书围绕城市轨道交通网络运营特点开展理论研究,对城市轨道交通网络运营相关的关键问题进行分析,形成体系的网络运营关键理论、可操作的方法。本书各章节尽量以北京城市轨道交通网络运营为背景,力求将城市轨道交通网络运营的前沿理论与



实际的运营需求相结合,在向城市轨道交通运营学习者阐述网络运营管理理论的同时,也为广大城市轨道交通运营从业者提供了解决实际问题的一些实用思路和方法。

我要感谢中国工程院施仲衡院士和北京交通大学韩宝明教授对本书写作给予的细致指导,感谢施院士在百忙之中为本书作序;感谢“科技北京百名领军人才培养工程”对本书的资助;我还要感谢北京市交通委员会、北京市基础设施投资有限公司、北京市交通信息中心、北京市轨道交通指挥中心、北京市交通运行监测调度中心的领导和同行们对我的大力支持和帮助。

受限于我的视野与能力,本书一定有许多不足之处,请各位专家学者以及同行们多多指正。如果这本书的内容能够引起大家对城市轨道交通网络运营的兴趣或者讨论,我将甚感荣幸。

汪 波

2014 年 4 月 18 日于北京

Contents 目录

第 1 章 城市轨道交通网络运营面临的问题	1
1 城市轨道交通网络运营的内容	1
2 城市轨道交通网络运营的关键问题	2
3 本章小结	11
第 2 章 世界城市轨道交通网络运营发展现状	12
1 北京	12
2 上海	16
3 广州	19
4 香港	22
5 东京	24
6 纽约	29
7 华盛顿	33
8 伦敦	35
9 巴黎	39
10 马德里	42
11 本章小结	45
第 3 章 城市轨道交通网络客流分析	46
1 城市轨道交通网络客流特征	46
2 城市轨道交通网络客流清分基本方法	52
3 城市轨道交通网络客流统计分析	59
4 城市轨道交通断面客流特征分析	65
5 本章小结	69
第 4 章 城市轨道交通网络客流预测	70
1 短期客流预测	71



2	新线接入客流预测	77
3	突发事件客流预测	85
4	本章小结	94
第5章 城市轨道交通能力分析与计算		95
1	城市轨道交通能力概述	95
2	城市轨道交通车站承载能力	96
3	城市轨道交通线路运输能力	103
4	城市轨道交通网络综合协调运输能力	107
5	城市轨道交通能力计算算例	110
6	本章小结	122
第6章 城市轨道交通运输计划编制		123
1	城市轨道交通运输计划内容	123
2	城市轨道交通首末班车时间计划	124
3	城市轨道交通列车运行模式	126
4	城市轨道交通全日运力配置计划	127
5	城市轨道交通列车运行图	129
6	本章小结	137
第7章 城市轨道交通网络首末班车时间优化		138
1	城市轨道交通网络首末班车时间衔接优化模型	138
2	网络末班车延误调整研究	146
3	北京城市轨道交通首末班车时间衔接案例分析	149
4	本章小结	158
第8章 周期化运行运输组织模式		159
1	列车周期化运行的概念	159
2	周期化运行模式在世界范围内的运用	160
3	周期化运行模式优点	169
4	周期化运行模式应具备的条件	170
5	我国城市轨道交通周期化模式的可行性	172
6	本章小结	172
第9章 周期事件安排问题(PESP)理论		173
1	周期事件安排问题	173
2	PESP 的特性	176
3	周期势差模型	180



4 PESP 理论运用于周期运行图铺画的适用性	183
5 本章小结	184
第 10 章 城市轨道交通网络运力优化配置与列车运行图编制	185
1 城市轨道交通网络运力优化配置	185
2 城市轨道交通网络列车运行图编制	198
3 运力优化配置与运行图编制方法研究与应用前景	205
4 本章小结	206
参考文献	207

第 1 章 城市轨道交通网络运营 面临的问题

城市轨道交通(Urban Rail Transit)是一个范围较大的概念,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和技术特征的大运量城市公共交通系统。根据建设方式和标准、运输能力、服务对象的不同,可以将城市轨道交通分为有轨电车、轻轨、地铁等几种类别。

城市轨道交通具有运量大、速度快、安全、准点、保护环境、节约能源和用地等特点。随着世界范围内城市化进程的加速,人们的出行需求增多,机动车带来的环境问题日益显著,越来越多的城市建设者和管理者认识到:优先发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统,是解决城市交通问题的必由之路。

城市轨道交通网络运营是以复杂的城市轨道交通网络(含有圈或者两个以上换乘车站)和较大的客流量为基础,以线路间客流叠加作用明显、列车运行关联度高、突发事件容易传播和放大为特征,以不断提高网络整体通行能力、合理匹配网络资源、提高运输效率和安全水平为目的的一系列城市轨道交通组织管理过程。城市轨道交通网络运营包含网络客运组织、网络行车组织和网络运营服务三部分内容。

随着城市轨道交通网络规模的扩大,城市轨道交通服务对象不再仅仅是一条线路各站点吸引范围内的客流,而且还包括经换乘站由其他线路进入的客流,因此,线路间相互关联度的增强直接导致网络客流的演化规律更加复杂。由于居民出行需求迅速攀升,城市轨道交通的客流量明显增大,网络客流呈现高密度、高强度、阶段性的特点,原有单线运营管理模式、运输组织方法愈发显现出不足,难以适应以客流、车流在轨道交通网络时间和空间上分布为特点的网络运营。本章将从人、车和服务三个角度来分析城市轨道交通进入网络运营阶段后面临的问题及对策。

1 城市轨道交通网络运营的内容

城市轨道交通网络运营包含客运组织、行车组织、运营服务,其内容、理论方法和目的可以从人、车和服务三个角度进行分析,如图 1-1-1 所示。

城市轨道交通网络运营中人的因素对应的是客运组织方法,客运组织包括客流统计分析、客流预测和客运方案等内容。客流统计分析涉及的理论方法为客流清分方法,其目的在于通过清分模型获得城市轨道交通网络清分客流 OD 信息,进行灵活复杂的客流统计分析;客流预测涉及的理论方法为各种客流预测模型,其目的在于结合客流统计分析结果,利用各种客流预测模型,对城市轨道交通网络客流进行预测和客流仿真;客运方案是结合城市轨道



交通网络客流信息和客流预测结果,采用仿真等手段,对城市轨道交通系统进行评估,提出科学的客运组织方案。

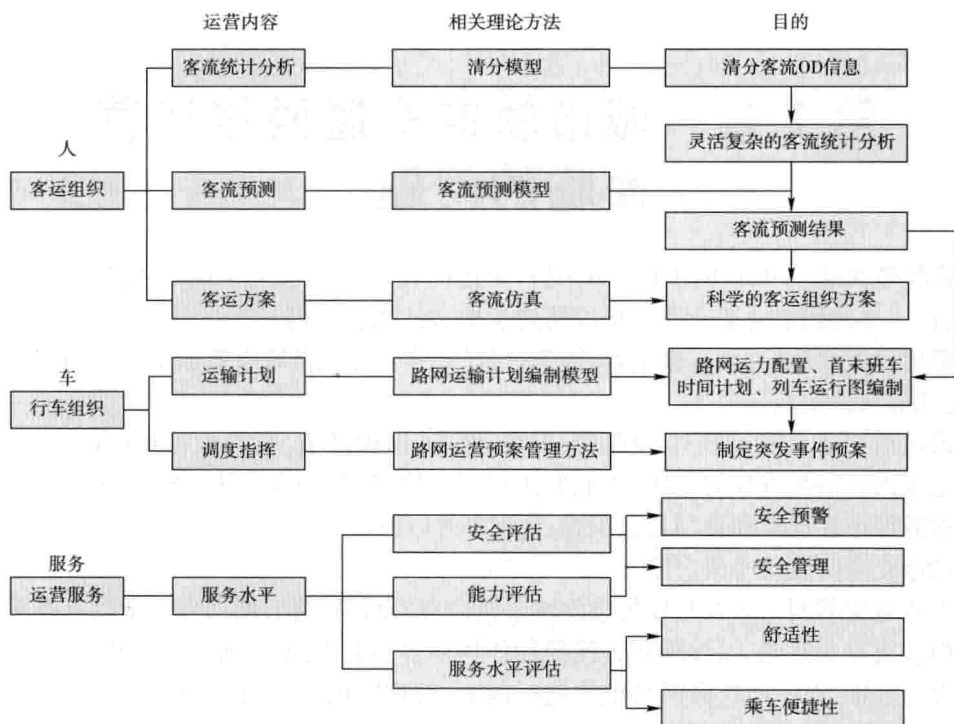


图 1-1-1 城市轨道交通网络运营内容、理论、目的及其关系

车的因素对应的是行车组织方法,行车组织的运营内容包括运输计划和调度指挥。运输计划涉及的理论方法是网络运输计划编制模型,其目的在于结合客流预测结果,根据网络运输计划编制模型,提出科学、最优的首末班车时间计划、网络运力配置计划及网络列车运行图编制计划;调度指挥涉及的理论方法是网络运营预案管理方法,其目的在于通过相关流程、方法研究,制定突发事件预案。

服务因素对应的是服务水平,其涉及的理论方法分别是安全评估、能力评估、服务水平评估。安全评估和能力评估为安全预警和安全管理提供了理论支持,服务水平评估主要考虑乘客的舒适性和乘车便捷性。

2 城市轨道交通网络运营的关键问题

城市轨道交通网络运营面临很多问题,研究相关理论方法是解决城市轨道交通网络运营的关键。

城市轨道交通网络运营是由单线运营发展而来的。在城市轨道交通单线运营时代,由于线路结构简单,客流吸引范围有限,客运组织和行车组织相对比较简单,服务水平较好控制;相对于单线运营管理模式,由于城市轨道交通网络结构的日益复杂,在一定时期内客流量将持续增长,造成客流规律多变、客流统计困难、行车计划编制和行车组织调整困难、安全



运营风险大等诸多问题。另外,随着参与城市轨道交通出行人数和时间的增多,人们对城市轨道交通运营服务的需求也在不断增长。因此,城市轨道交通网络运营将面临越来越多的棘手问题。城市轨道交通关键问题主要包括:客流清分、客流统计与分析、客流预测、能力分析等,表 1-2-1 是城市轨道交通单线情况和网络条件下运营关键问题的比较分析。

城市轨道交通运营关键问题

表 1-2-1

关键问题		单线运营	网络运营
客流清分		不存在或较简单	网络清分客流难度大;跨线运营条件;线间客流分配;复杂清分模型或方法
客流统计与分析		指标单一	客流统计分析难度变大;由于存在换乘,相应指标数量增加;运量本身也增加
客流预测		波动小	新线及既有线客流预测复杂;覆盖面大,影响因素多;变化复杂,规律很难掌握
能力分析		车站、线路	车站、线路、网络及相互间影响关系
运营模式		单一、实施方便	各线客流基础不同,模式复杂,由于线间客流互相影响,实施也有难度
运输计划	首末班车时间计划	简单,无需考虑	需考虑邻线及全网络运营效率与服务水平
	运力配置计划	邻线影响	
	列车运行图编制	—	
运营服务、运营评估		简单	服务范围大,标准高,运营评估内容繁多;评估体系建设工作量大

本节结合城市轨道交通运营的实际情况,对表 1-2-1 所述城市轨道交通网络运营的关键问题进行逐一说明。

2.1 客流清分

随着城市轨道交通网络结构的不断复杂化,客流量不断攀升,OD 路径多样化程度明显加深,对网络客流统计方法的精细化要求和统计结果的准确化要求将不断提高,加大了网络客流清分统计的难度。

单线运营情况下的城市轨道交通由于线路和运营企业单一,不存在客流在线路内的清分问题。而城市轨道交通形成网络后,一方面要计算各运营线路的断面客流情况,为下一步的客流统计分析、编制与客流合理匹配的运输计划等工作做好准备;另一方面,在网络一票通行的条件下,需根据旅客出行过程在线路间的分配情况,对不同运营主体间、线路间的票款进行重新分配。

以北京城市轨道交通发展情况为例(表 1-2-2),在 2002 年之前,北京地铁仅有 1 号线、2 号线两条线路,运营里程 54km,由北京市地铁运营有限公司一家单位负责运营,因此不存在客流清分问题;而到了 2013 年 6 月,随着网络规模的扩大,地铁运营线路已由 2 条变为 17 条,运营里程发展到 456km,并由北京市地铁运营有限公司和北京京港地铁有限公司两家运营商负责运营。因此,产生了在不同公司间、不同线路间客流、客票精细分配的问题。

城市轨道交通网络规模越复杂,换乘节点越多,客流清分越困难。针对这种情况,需定



期开展客流调查,综合考虑旅客在网络中选择“较短费用”(如时间、票价、方便程度等)原则以及实际客流 OD 发生量,建立能够适应网络结构变化和运营条件变化的动态客流清分模型,保证网络客流清分结果的准确性。

北京市城市轨道交通发展情况

表 1-2-2

时 间	运 营 线 路	线路数目	运营里程(km)	运 营 商
2002 年前	1 号线、2 号线	2	54	北京市地铁运营有限公司
2013 年	1 号线、2 号线、4 号线、5 号线、6 号线、8 号线、9 号线、10 号线、13 号线、14 号线、15 号线、大兴线、昌平线、亦庄线、房山线、八通线、机场专线	17	465	北京市地铁运营有限公司、北京京港地铁有限公司

对于成网条件下的客流清分方法的讨论,将在本书第 3 章详细阐述。

2.2 客流统计与分析

较准确地掌握客流的分布特点和发展情况,是城市轨道交通网络综合规划、运营管理的重要基础,也是工作中的难点。城市轨道交通进入网络运营阶段后,网络中大量的换乘站将独立运行的线路连接成一个网,为乘客在网络中有序地流动提供了物理条件。同时,网络自动售检票技术实现了乘客的一票换乘,为乘客在网络中有序流动提供了技术条件。在网络运营条件下,乘客出行路径具有多选性,这种多选性使城市轨道交通网络运营客流的统计与分析更趋于复杂。

在单线运营模式下,客流统计与分析指标相对简单,客流分析维度单一,主要分析指标有进站量、出站量、换乘量、客运量、断面客流量等。在网络运营模式下的客流统计指标数量繁多,客流分析的维度更多,需从时间、空间、不同的线路类型、不同的运营阶段等多角度对网络客流进行综合分析,其客流统计分析指标包括进站量、出站量、客运量、换乘量、换乘系数、线路断面客流量(线路日断面流量、小时断面流量)、客流方向不均衡系数(上下行两个方向断面流量的最大值与上下行最大断面流量均值的比值)、线路平均运距(全日平均运距和高峰小时平均运距)、线路客流量高峰小时系数(线路高峰小时客流量与全日客流量比值)、线路客流量(线路的总乘车人次,包括线路小时客流量、日客流量)、网络客流量(网络中各线客流量之和,包括小时网络客流量、日网络客流量)、线路高峰小时单向最大断面等,使得客流统计与分析的内容更多、难度更大。另外,在网络运营模式下,不仅客流统计与分析指标繁多,指标内容的计算难度也随着网络的复杂化而增加。如上面提到的客运量指标(反映一段时间内运送乘客的数量),在单线运营时,客运量等于线路的进站量,即本线进、本线出的乘客人次;在网络运营条件下,网络客运量是各线路客运量之和,线路客运量包括本线进本线出乘客人次、本线进其他线出乘客人次、它线进本线出乘客人次以及途径本线乘客。

在网络运营条件下,城市轨道交通客流的显著特点是网络客运量增长趋势十分明显。例如,2007 年 10 月 7 日北京城市轨道交通 5 号线开通后,伴随着公交低票价的执行,北京城市轨道交通客流的网络增长趋势明显,日均客运量从 2007 年的不到 200 万人次猛增至 2012 年的 700 万人次。由于网络运营指标与各站、线路运营指标之间不是简单的线性关系,网络



客流分析的复杂性和难度都很大。

本书将于第3章详细阐述城市轨道交通网络条件下客流统计与分析方法。

2.3 客流预测

城市轨道交通网络发展起来后,各线路之间的相互关联度会大大增强,客流的波动性和叠加性会使掌握网络客流规律更加困难。

随着城市轨道交通网络的大型化和复杂化,研究针对网络运营条件下的轨道客流预测理论和方法,实现城市轨道交通客流需求及其动态演化趋势的全面而精确的预测,对于城市轨道交通网络客流分析、运输计划编制以及其他网络运营决策具有重要意义。

网络运营条件下,由于网络覆盖面大,影响客流产生、时间空间分布的因素在增加,因此,不同线路的客流发展变化的趋势也会不同。以北京城市轨道交通为例,贯穿商业区的1号线、2号线与主要服务于居住区的13号线、15号线的进出站量的变化、断面客流量的变化规律相差很大,如1号线双休日全天分时最大断面客流量早晚高峰相对明显,15号线双休日全天分时最大断面客流量变化相对平稳,如图1-2-1所示。

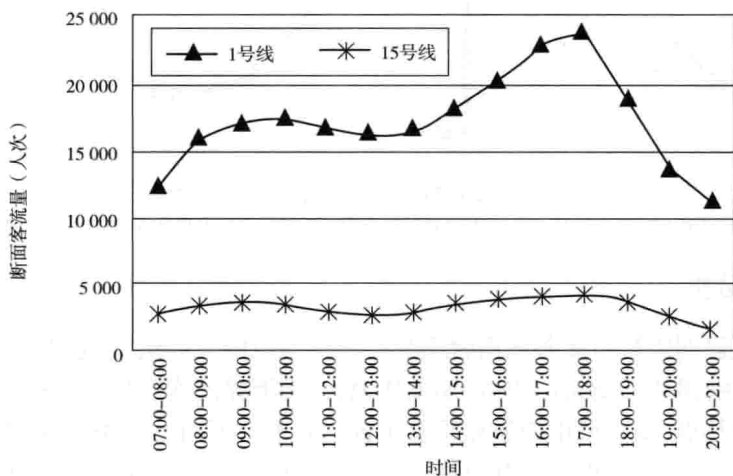


图1-2-1 北京城市轨道交通1号线、15号线双休日全天分时最大断面客流量(2011年7月)

新线接入、突发事件等原因造成网络拓扑结构的改变,也进一步加大了网络客流预测的难度。以北京城市轨道交通为例,2010年底开通的昌平线(5条郊区线之一)对与之直接衔接的13号线客流产生的影响很大,而对亦庄线、5号线、大兴线等物理位置较远的线路客流产生的影响较小,如图1-2-2所示。

因此,在城市布局、网络结构不断动态变化的同时,仅凭客运市场调查和研究,了解区域综合交通规划、客运市场构成,掌握新线投入前的乘客构成以及乘客需求,分析不同票制票价下的客流灵敏度,从宏观层面来把握整体客流变化的规律和趋势,来预测和把握今后各关键换乘站、新线乃至整个网络的客流情况,具有很大的难度。应该结合网络结构、网络客流历史数据,研究不同预测方法,对城市轨道交通网络客流的动态发展趋势做出较为科学的预测和分析,使之能够更好地服务于站线选择、行车计划编制。

本书将于第4章详细阐述城市轨道交通网络客流预测的理论与方法。

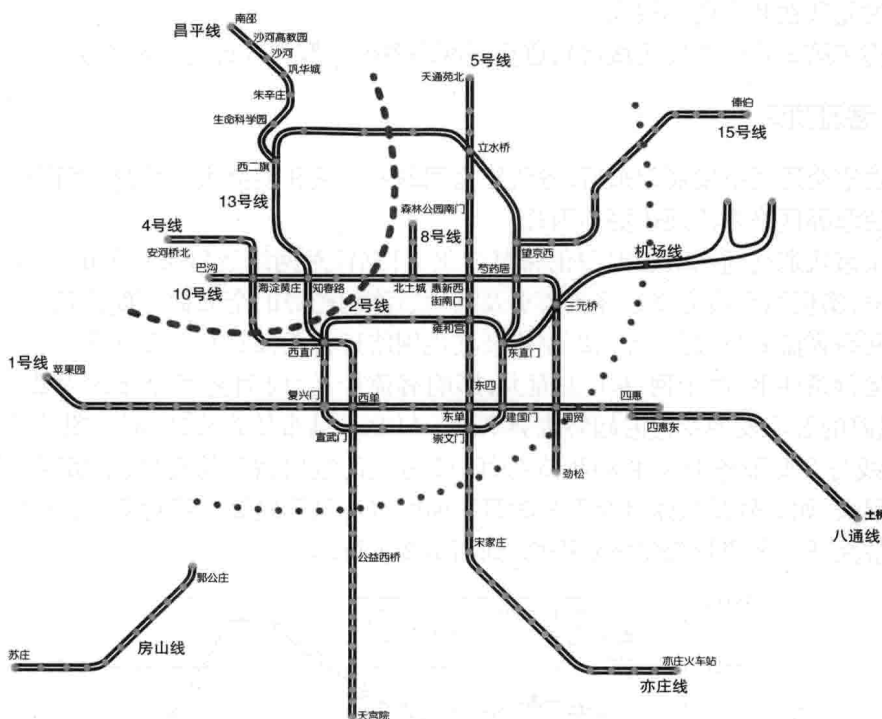


图 1-2-2 北京轨道交通昌平线影响范围示意图

(小圈范围内车站为昌平线客流主要目的地,大圈范围内车站为昌平线客流次要目的地)

2.4 能力分析

城市轨道交通网络是由多条城市轨道交通线路组成的大容量、快速客运系统,通过城市轨道交通车站与线路相互衔接和连接,形成规模大、功能强的客运网络,线路之间实现互联、互通、互动、资源共享,满足城市交通和乘客出行的需求。不同于单条线路管理,形成网络的庞大系统需要多层次、多方面的综合协调。对于构成网络的各条线路,承担相应区域的客流输送任务,线路之间可能存在客流吸引和竞争,在网络密度较高时尤为明显。但是系统的综合运输能力不是简单地多条线路子系统能力的叠加,而是

受线路间相互影响关系的共同制约。网络系统构成的基本要素是多个“点”和多段“线”,其运输能力往往受制于“点”的瓶颈处,可以说是由“点”系统和“线”系统的最小能力决定的。

在城市轨道交通网络运营条件下,网络能力的发挥受线与线间能力的制约。以北京城市轨道交通为例,由于早高峰期间 13 号线下行回龙观至知春路区段满载率过高,使得西二旗站下行站台列车可上车人数大大减少,直接制约了昌平线能力的提升,进而限制了该区域运输能力的发挥(图 1-2-3)。



图 1-2-3 北京轨道交通网络能力受制约示意图



又如,与北京城市轨道交通1号线平行的6号线开通后,在缓解了1号线客流情况的同时,由于增加了网络东西向连通性,也提高了北京城市轨道交通整个网络的运输能力(图1-2-4)。

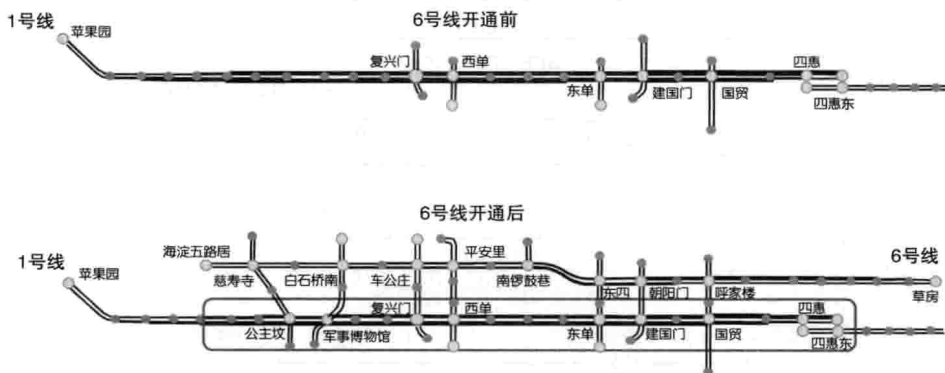


图 1-2-4 网络能力提升示意图

关于轨道交通运输能力的具体分析,本书将于第5章详细阐述。

2.5 运营模式

在城市轨道交通网络运营条件下,由于各线客流特点不同、线路基础不同,每条线可采用的运营模式不尽相同。同样运营条件下,选择不同的运营模式,将得到完全不同的运营效果。

在线路条件、客流特征、车辆配属、运能配置等因素影响下,北京城市轨道交通网络呈现出运行交路复杂多样的特征,各线路列车运行交路会随着实际情况进行不断调整。例如,北京城市轨道交通5号线具备大屯路东至蒲黄榆间小交路运营条件,理论上5号线可采用“大屯路东至蒲黄榆间小交路+大交路”的运营模式,如图1-2-5a)所示;但由于早高峰期间,客流多集中于5号线北部,因此只能采取“天通苑至蒲黄榆的小交路+大交路”的运营模式,增加线路北段的运力,如图1-2-5b)所示;然而随着亦庄线的开通,由于5号线南端客流量持续增大,“天通苑至蒲黄榆的小交路+大交路”的运营模式已不能满足南段客流增长的需求,因此5号线后来不得不采取大交路的运营模式,如图1-2-5c)所示。

另外,由于城市轨道交通客流量大,列车开行种类单一,可以考虑在城市轨道交通采用周期化的运营模式。所谓周期化运行,是指列车在各时段以基本相同的列车到发时刻、越行秩序等规律运行。此列车运行模式一方面极大利用了站线能力,乘客乘坐列车非常方便;另一方面,由于列车运行的规律性,缩小了各项运力配置约束范围,很大程度地简化了运力优化配置的难度,可以通过建立离散优化模型对大规模网络的运力配置进行快速、精确地求解。

本书将于第8章和第9章详细阐述列车周期化运行的相关理论与方法。

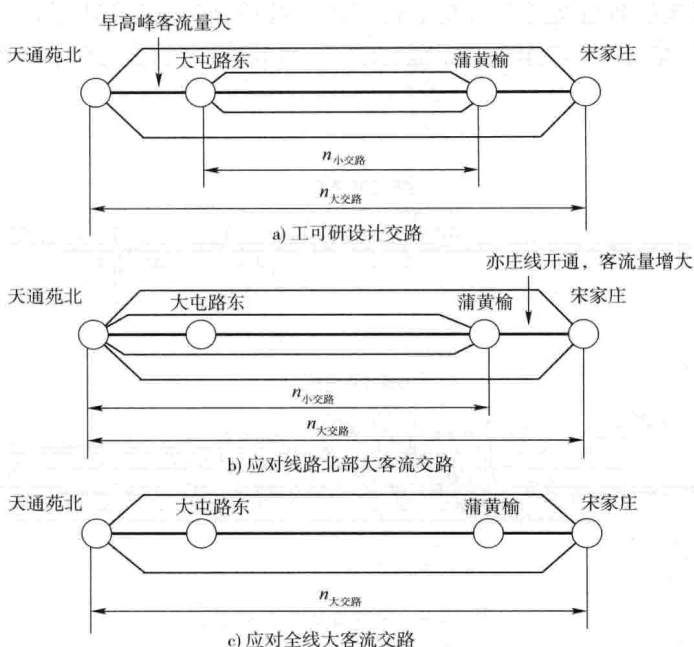


图 1-2-5 北京城市轨道交通 5 号线运营模式演进示意图

2.6 网络运输计划编制

考虑到现实网络条件及诸多不确定复杂因素,网络中的列车在不同线路、车站的开行全部获得最优组织方案是难以实现的。尤其对于多线交汇的大型换乘站,既要满足衔接线路间的换乘时间与各自列车到站时间的匹配,以减少乘客等待时间,又需兼顾多条线路的列车不同时在站停留,避免因客流大量集聚而增大车站设施资源的负荷,降低服务水平。而当某一换乘站满足以上要求得到最佳组织方案,在列车区间运行时间、中间站停时间一定时,受线路分布、换乘站结构等的影响,很可能会与该站邻接的其他换乘站的最优方案产生矛盾。

因此,应该将城市轨道交通运输计划的编制分成城市轨道交通首末班车时间计划、运力配置计划、列车运行图编制三个方面来进行研究。

2.6.1 首末班车时间计划

单线运营情况下的城市轨道交通由于线路单一,不存在首末班车时间计划问题。在城市轨道交通网络运营条件下,需要协调各线路的时间。首班列车衔接的目标是使早间市郊区域的客流经换乘后能够尽快乘坐所需列车进入市区范围从事日常工作,市郊区域的首班车开行时间应相对早于网络中心线路。末班列车衔接的目标是保证晚间市区范围的客流经换乘后,可搭乘到市郊线路的列车返程,即要求郊区线路末班车的终止时间晚于市区内的列车。

北京城市轨道交通网络呈“井”字形布局,换乘站及换乘方向众多,有两线换乘、三线换乘车站,首末班车时间计划编制非常复杂。由于城市轨道交通列车运行时间、站停时间一般为刚性设置,使得解决该问题尤为困难。所以,需要制定网络首末班车时间衔接规则,研究