

Development Mechanism and Organization Method
of Urban and Rural Transit

城乡公共客运 发展机理与组织方法

过秀成 姜晓红 杨 洁 著



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

城乡公共客运发展机理与组织方法

过秀成 姜晓红 杨 洁 著



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

内 容 提 要

本书通过分析城乡公共客运发展影响因素、阶段特征,构建城乡公交统筹发展策略、服务均等化指标体系。详细论述面向服务均等化的城乡公交网络组织、线路组织、车型配置、车辆调度、同步换乘设计等问题,提出相应方法与关键技术,研究了城乡公交绩效评价及管理、城乡公交发展法治保障。结合工程案例对城乡公共客运组织方法进行了应用研究。

本书可供交通运输工程领域的教学、科研、管理人员使用,亦可作为城市规划与交通运输大专院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

城乡公共客运发展机理与组织方法 / 过秀成, 姜晓红, 杨洁著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016. 10

ISBN 978-7-114-13387-9

I. ①城… II. ①过… ②姜… ③杨… III. ①公路运输—旅客运输—城乡规划—研究 IV. ①U492.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 245024 号

书 名: 城乡公共客运发展机理与组织方法

著 作 者: 过秀成 姜晓红 杨 洁

责任编辑: 张 鑫

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.ccpres.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

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 14.75

字 数: 324 千

版 次: 2016 年 10 月 第 1 版

印 次: 2016 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13387-9

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

随着城市化进程的推进,区域道路等交通基础设施建设的完善,城乡居民出行需求的日益增长,统筹协调城市与农村地区的公共交通体系,完善城乡公共客运功能、规模、结构规划,提升绩效管理水平与法治保障水平,对统筹城乡公共客运基础设施、经营管理以及政策体制,提高城乡公共交通服务水平,支撑和引导城乡统筹发展具有重要的现实意义。

东南大学过秀成教授课题组在城乡公共客运交通规划与运营组织方面的研究持续了十多年。2000年起,在江苏宿迁市、泰州市等新设立的中等城市开展市域范围内公共客运交通规划,初探中心城区辐射外围城乡一体的大公交系统构建问题;2004~2006年对江苏吴江市、靖江市,浙江海盐县、宁海县开展城乡统筹发展的区域公共客运交通规划与组织模式研究,具体研究分级公交网络体系构建、衔接枢纽场站布局、城镇班线公交化改造及城乡公共客运一体化评价指标体系等内容;2006~2007年开展现代有轨电车、快速公交在南京地区适用性研究;2007~2008年对南京市江宁区、浦口区开展大都市郊区与主城区城乡公共交通规划,研究中心城区与外围区域衔接、区内城乡公交一体化规划及运行组织问题;2008~2011年,开展安徽省滁州市、宣城市公共交通规划,对江苏省泰州市、镇江市、宿迁市开展面向城市化、机动化快速发展背景下新一轮的公共交通规划,深化研究城乡一体的公共交通服务体系构建,并对无锡市公交场站布局规划与设计展开研究。这些研究成果形成了《城乡公共客运规划与组织》(清华大学出版社,2011年)一书。

2011年以来依托国家社会科学基金重大项目“现代城市交通发展的制度平台与法律保障机制研究”(编号:11&ZD160),江苏省交通运输科技项目“快速城市化地区城乡公共客运运行组织优化研究”(编号:09R02),“江苏省城市绿色交通体系发展技术政策研究”(编号:09R03),江苏省法学会2014年度法学研究青年课题“城乡公共客运服务均等化法律规制研究”(编号:SFH2014C07),江苏省普通高校研究生科研创新计划项目“城乡公交片区线路组织与运行”,南京市江

宁区软科学研究项目“南京市江宁区城乡公共交通统筹发展策略研究”等课题研究,以及轨道交通运营初期公共交通系统优化方法、现代有轨电车组织与安全保障技术等实践研究,形成了新型城镇化背景下推进城乡公共服务均等化的城乡公共客运网络组织方法与技术、绩效评价方法、法治化建设等成果。

本专著以需求多样化、服务均等化、组织高效化、运营企业化、管理法治化为目标,以认知提升、方法优化、制度设计、机制推进为途径,从建设、组织、运营、管理四个层面研究了城乡公共客运发展机理、面向服务均等化的城乡公共客运组织方法与关键技术、城乡公共客运绩效评价及管理、城乡公共客运发展法治化,分析了城乡公共客运发展基础条件与阶段特征,提出了面向服务均等化的城乡公交线路组织系统构建方法、城乡公交网络组织规划方法、城乡公交线路发车间隔优化与组合调度组织模型、城乡公交线路联运组织方法、城乡公交网络同步换乘系统设计方法、城乡公交绩效评价模型、法治保障提升对策等。全书共13章,第1、2、3章由过秀成撰写,第4、5章由过秀成、姜晓红撰写,第6、7、8、9、10、13章由姜晓红撰写,第11章由过秀成、杨洁撰写,第12章由杨洁撰写。

感谢为本书做出贡献的吴鹏、张媛媛、孙华强、杨煜琪、胡斌、顾克东、宋昌娟、温旭丽、相伟、沈巍、殷凤军、芮建秋、顾志兵、吴能萍、王丁、马兰、李岩、吴才锐、刘超平、马超、张晔、祝伟、姜玉佳等。尤其感谢姜晓红博士在面向服务均等化的城乡公共客运组织方法与技术等方面的持续研究与拓展,以及杨洁博士、严亚丹博士、过利超博士生、窦雪萍博士生、龚小林博士生、李家斌硕士、奚振平硕士、胡婷婷硕士生、陶涛硕士生、沈涵瑕硕士生等在城乡公交理论研究与实践中所付出的艰辛努力和所贡献的智慧力量。同时感谢南京市江宁区科技局、镇江市交通运输局在项目研究过程中给予的支持。感谢在本书成稿阶段东南大学胡婷婷及南京林业大学过宇亮在资料收集、材料整理、文字校对和图表绘制等方面所做的工作。本书在研究与撰写过程中参考了大量国内外文献与著作,在此谨向原著作者表示崇高的敬意和由衷的感谢!

由于作者的时间和水平所限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

电子信箱 seuguo@163.com。

著 者
于江苏南京

第1章 绪论	1
1.1 背景与意义	1
1.2 既有研究综述	2
1.3 相关概念	14
1.4 研究内容	15
1.5 本章小结	18
第2章 城乡公共客运发展影响因素	19
2.1 城镇社会经济发展	19
2.2 城镇空间拓展	22
2.3 交通网络建设	26
2.4 本章小结	32
第3章 城乡公共客运统筹发展策略	33
3.1 统筹发展存在的问题	33
3.2 统筹发展策略	35
3.3 市场运营方式	37
3.4 班线公交化	40
3.5 出行需求变化	42
3.6 统筹发展实践	49
3.7 本章小结	53
第4章 城乡公交服务均等化发展指标体系	54
4.1 城乡公交服务均等化内容与特征	54
4.2 城乡公交服务均等化发展指标体系	56
4.3 本章小结	62
第5章 面向服务均等化的城乡公交组织系统构建	63
5.1 城乡公交组织内容与目标	63
5.2 城乡公交组织系统设计	64
5.3 城乡公交组织系统构建战略	65
5.4 城乡公交组织系统构建策略	69
5.5 本章小结	71

第6章 城乡公交网络组织规划技术	72
6.1 公交网络演变与衔接组织	72
6.2 城乡公交线网布局特征	76
6.3 城乡公交网络组织	80
6.4 本章小结	86
第7章 城乡公交线路组织形式与车型配置策略	87
7.1 城乡公交服务形式	87
7.2 城乡公交线路组织形式	89
7.3 城乡公交需求响应式组织系统设计	95
7.4 城乡公交车型配置策略	103
7.5 本章小结	106
第8章 城乡公交线路发车间隔优化与组合调度模型	107
8.1 城镇公交干线发车间隔测算公式	107
8.2 镇村公交支线发车间隔策略	109
8.3 全程车发车间隔优化模型	109
8.4 全程车与车站快车组合调度模型	117
8.5 本章小结	126
第9章 城乡公交线路联运组织方法	128
9.1 城乡公交片区组织构建	128
9.2 城乡公交多线联运组织形式	129
9.3 基于联运的运力配置	131
9.4 实证分析	134
9.5 本章小结	138
第10章 城乡公交网络同步换乘系统设计关键技术	139
10.1 城乡公交网络同步换乘需求	139
10.2 城乡公交网络同步换乘系统设计关键技术	141
10.3 城乡公交网络同步换乘系统设计	148
10.4 本章小结	152
第11章 城乡公交绩效评价及管理	153
11.1 绩效评价内涵及对象	153
11.2 城乡公交政府管理绩效评价	156
11.3 城乡公交企业运营绩效评价	158
11.4 城乡公交线路运营绩效评价	163
11.5 城乡公交绩效管理提升提升对策	166
11.6 本章小结	172

第 12 章 城乡公共客运发展法治化	173
12.1 国家与地方法治实践	173
12.2 发展理念进阶过程	178
12.3 城乡客运规制对象	179
12.4 经营主体身份及经营权授予	181
12.5 政府监管与扶持	184
12.6 法治体系完善方向	189
12.7 本章小结	190
第 13 章 城乡公交发展与组织实例——以镇江市为例	191
13.1 发展特征	191
13.2 发展目标	191
13.3 网络组织	193
13.4 运力组织	206
13.5 运营与考核管理	211
13.6 本章小结	215
参考文献	216

第1章

绪论

1.1 背景与意义

我国正处于城镇化、工业化、信息化和农业现代化四位一体发展阶段,致力在城乡规划、基础设施、公共服务等方面推进一体化,促进城乡要素平等交换和公共资源均衡配置,积极推动城乡发展一体化与城乡基本公共服务均等化。城乡公共客运是城乡综合运输系统的重要组成部分,承担城乡间的主要客流运输任务,成为城乡一体化发展的基础保障。

在城乡统筹发展背景下,国家和地方政府相继出台多项政策与办法,有力地促进城乡公共客运统筹发展。2003年交通部组织开展农村客运网络化试点工程^①,加快农村客运设施建设,促进公司化经营,加强安全管理与市场管理。2005年提出积极扶持城乡之间的公共交通发展,引导城市公共交通向农村延伸服务^②。2008年交通部大部制改革前后,提出多项税费减免、补贴政策与机制,增强城乡公共客运可持续发展能力^③;同时推进农村客运班线公交化改造,推动城乡客运协调发展。2011年以来,交通运输部积极推进城乡道路客运一体化,对分级客运网络构建及顺畅衔接、乡镇班车通达率、公交化运行率均提出要求^④,强调促进城市内外交通便利衔接和城乡公共交通一体化发展^⑤。2014年底交通运输部部署开展城乡道路客运一体化发展水平评价工作,制定一体化发展水平评价指标体系、评价规范以评估一体化建设水平^⑥。现阶段新型城镇化发展要求维护城乡居民利益,实现城乡公共服务均等化。

农村客运在解决通达问题基础上,逐步发展为网络化、集约化运营,进而实现城乡公共客运统筹发展、区域公共交通一体化。在推进农村客运网络化阶段,各地区制定农村客运站、候车亭、招呼站建设规划,农村客运网络规划,车辆运力投放规划等系列规划,在线网规划技术、设施建设、运营管理、政策扶持等方面积累经验,继而为实现城乡客运统筹发展,研究城乡一体的公共客运交通服务体系构建,包括分级公交网络体系构建、衔接枢纽场站布局、运力配置、城镇班线公交化改造、城乡公共客运一体化评价方法等提供帮助。城乡公交

① 参见《关于加快发展农村客运和开展农村客运网络化试点工程的通知》(交公路发[2003]96号)。

② 参见《关于优先发展城市公共交通意见的通知》(国办发[2005]46号)。

③ 参见《关于促进道路运输业又好又快发展的若干意见》(交公路发[2007]610号)、《国务院关于实施成品油价格和税费改革的通知》(国发[2008]37号)、《关于成品油价格和税费改革后进一步完善种粮农民部分困难群体和公益性行业补贴机制的通知》(财建[2009]1号)、《城乡道路客运成品油价格补助专项资金管理暂行办法》(财建[2009]1008号)。

④ 参见《关于积极推进城乡道路客运一体化发展的意见》(交运发[2011]490号)。

⑤ 参见《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》(国发[2012]64号)。

⑥ 参见《城乡道路客运一体化发展水平评价指标体系》、《城乡道路客运一体化发展水平评价规范》。

线路布局、场站布局、车辆配置等设施建设的不断投入与推进,提高了城乡公交网络覆盖率,为提升城乡居民出行可达性、公交服务均等化奠定了基础。在促进城乡基本公共服务均等化的实践中,各地通过构建城乡公交一体化网络、完善公交设施建设、提高公交镇村通达率,促进城乡公交服务均等化。

城乡公交网络实现了从通达到网络化覆盖镇村,然而在服务的时间覆盖方面仍存在差距。由于运营企业经营成本及当地政府财政投入的限制,城乡公交线路只能配置较少的运营车辆,其发车间隔通常比城市公交长,影响居民出行便利性。城乡公交线路潮汐性、客流不均匀等特征明显,尚未改变或优化传统全程车运行组织形式,尚需提供灵活的组织形式,以提高乘客出行便捷性与企业运营效益。为适应城镇空间地域差异性、城乡公交乘客出行需求多样性,服务城区、镇、村居民的城乡公交线路车辆需提供不同的行车组织形式,以提高空间与时间的覆盖率,为城乡居民提供更加均等化的城乡公交服务。

在城乡公交发展过程中,政府、企业与公众间利益诉求的不一致也阻碍了城乡公共客运市场的发展,这与客观、公正的绩效评估机制以及合理、公平的法律保障制度的缺失有关。研究并加强城乡公交绩效评价制度,有助于为政府考核企业经营水平、出台公交优先财政补贴政策,企业调整与配置公交线路场站资源等重要决策提供依据;强化城乡公共客运法治保障建设,是促进城乡客运资源分配的公平正义、保障城乡居民的基本出行权与发展权、缩小城乡社会经济发展差距的必然要求。

客观分析城乡公共客运发展关键影响因素、系统演变机理是城乡公共客运规划、建设、管理的基础。现阶段城乡公交发展应以构建资源均衡配置及运行高效的城乡公交组织系统为目标,提升服务质量、服务均等化。因此,研究新型城镇化背景下面向公共服务均等化的城乡公交组织方法,建立有效的城乡公交绩效管理制度,推进法治保障,对促进新型城镇化发展、城乡基本公共服务均等化具有重要的现实意义。

1.2 既有研究综述

1.2.1 国外研究现状

欧美国家地方政府不断探索如何提供均等的基本公共服务^[1-2],发起“治理运动”、“新公共管理运动”,推动公共服务的多元化模式,为民众提供均等的基本公共服务^[3-7],强化政府的公共服务职能。由于国外城乡差距相对较小,城乡发展一体化程度较高,提及的“农村公共产品”只是将其作为公共产品分布的地域概念讨论。针对郊区公共交通发展模式、组织方式多样的特点,国外学者侧重从郊区客运网络组织、网络结构设计、低密度地区公交线路组织要求及形式、发车频率确定、大站快车调度模型、公交网络同步换乘系统设计方面开展郊区公交组织方法的研究。

(1) 客运网络组织

大多数城市直接通过交通干道连接市郊地区,吸引市民去居住,从而形成新型的城市郊

区或卫星城镇,交通基础设施也同步或先导性地进行规划建设^[8]。

如英国伦敦的交通体系十分完善,服务网络覆盖大伦敦地区以及与其相连接的周边郊区乡镇,其郊区客运发展主要是依靠国铁运输,并辅以小汽车或公共汽车,形成多方式一体化综合交通运输体系。伦敦市郊区的市域铁路(国铁)承担了郊区大量的长距离通勤出行,与地铁线路共同编织形成高密度的轨道交通线网。

以洛杉矶为代表的美国城市的发展是典型的小汽车引导城市用地低密度蔓延的模式,城市及郊区和乡镇的交通主要是以小汽车交通为主。农村地区的公交服务多为向老人(视力不好者)、低收入者(不能支付汽车保险等支出)、残疾人(公交车有专门的轮椅停靠位置,并有可移动挡板供轮椅上下车)及年轻人(未达考驾照的年龄者)等提供的公益性服务,服务形式有定时发班、需求响应式。

新加坡轨道交通(地铁、轻轨)与公交车、出租车一体化发展,形成多模式公交系统。地铁提供骨干线服务,服务于中长距离的出行,连接商业中心,承担了连接各中心和地区间客流走廊上的大部分客流,覆盖全国主要的市中心和城镇中心;轻轨连接地铁站点与主要居住区和商业区,是地铁的补充与拓展;公交系统用于填补轨道交通与私人交通间的空白;出租车作为补充,服务于高消费人群或时间紧急的出行。公交线路有多种类型:干线提供长距离公交服务,连接各城镇与工业区、市中心区;支线多为短距离线路,为新城镇的居住区的通勤者提供与城镇中心及附近换乘站点、地铁站点的衔接服务;另有特快线路、短程线路、镇内线、高价服务线路、夜间线路等。普通公交线路以数字标明,如90、101等。特快线路多是连接距离较远的两个商贸或居住中心,提供较为直达快速的服务,较为节约时间,以5开头;也有快线是在原有路线上只停大站而不停小站,线路以e结尾,如10e、97e。短程线路通常是在上下班高峰方向或只经过普通线路的一部分,是为了分流繁忙时间客流而提供的特殊线路,以数字加字母A、B或C标明,如上学高峰的95A、95C,放学高峰的95B等,A、B、C等字母表示短程线路经过普通线路的不同段。镇内线在公交支线的汇集点为城镇内的各社区间提供直达联系,以及运送乘客至公交换乘站及地铁站点,以加强镇内出行联系,减少社区间出行换乘。高价公交线路提供更为直接和舒适的公交出行。夜间线路则是为了方便午夜之后才下班的乘客,在午夜12点到凌晨4点半之间提供服务,票价也较贵^[11]。

库里蒂巴是巴西南部一个中等规模的城市,在应对城市交通拥堵问题时,其采用快速公交(简称BRT)为主导的运输体系。库里蒂巴沿BRT轴线是高密度和高容积的土地开发模式,而其城市都市区则为低密度、低容积的用地布局。库里蒂巴都市区人口密度较低,规划者仍然为其准备了便捷的公交服务。库里蒂巴市的综合公共交通系统将不同公共汽车线路在物理上和运营上统一为网络。物理上的结合,即将不同的公共汽车线路通过换乘站连接在一起,乘客可以在不同的线路间进行方便的换乘。库里蒂巴一体化的公共交通系统线路功能等级清晰,便于识别,主要由以下不同服务功能的线路构成。快速线由红色双铰接车辆运营,连接市中心区与一体化的枢纽站,在专用道上运行,进出站通过圆筒车站实现;区际线由绿色车辆运营,包括单机长车和铰接式车辆,连接周边几个城市区域和一体化枢纽站,不到达中心区;直达线由银色单机车辆运营,平均站距3km,进出站通过圆筒车站,作为快速线

及区际线路的补充线;主干线由黄色车辆运营,包括标准式、长车及铰接式三种类型,连接一体化的车站与中心区,使用一般道路;常规线路由黄色车辆运营,包括标准式和小型车两种类型,连接周边城市与中心区;驳运线由橙色车辆运营,包括标准式和铰接式两种类型,连接一体化枢纽站及附近地区。库里蒂巴综合公共交通系统内,共设有三类车站,即管式车站、公交枢纽站和传统车站。33 个公交枢纽站多位于综合公共交通网络的轴线上,分为中转式、终端式。终端式的公交枢纽站则位于结构轴线道路的末端,配建有大型的基础设施,以集散城市周围地区与市中心间更多的运输量。公交枢纽站的典型结构是双向各一个站台,快线公交车、区际线和支线的公交车停驶在站台,乘客可实现同向换乘和对向换乘。直达线从平行公交专用道的单行线到达换乘站,驶入车站另一侧的辅道,停靠管式站台,乘客从车辆左侧车门下车进入管式车站内,通过乘客通道,可以很容易地到达与其他公交线路换乘的站台。库里蒂巴市的公共汽车通过车身颜色来表明线路的等级、服务功能及服务区域^[12]。

(2) 公交网络结构设计研究

对于公交网络组织、线网结构设计方面的研究主要集中在公交线路的网络组织形式(如放射状、方格网等)、如何进行公交线路的分级分层实现不同的运输功能。一直以来,公共交通运输系统设计为固定线路组织形式,乘客到达设计好的公交站点乘车。学者研究公交网络设计问题,寻求运营成本最小化的城市公共交通系统结构^[13-15]。Bernard 提出了放射型的网络系统^[16];Wirasinghe 等进行了公交走廊的设计^[17];Newell 应用中枢辐射网络分析了公交网络结构问题^[18];Ceder 研究了平衡运营成本与公交服务水平、提高两者关系的公交线路站距和发车频率的确定^[19];Van Nes 设计了多模式公交分级网络,分别定位于线公交、快速公交、轨道交通线网的功能与服务水平,提出应解决不同公交方式在换乘点的衔接问题^[20];Carlos 提出了混合公交网络结构,确定不同公交方式运行组织下合适的发车间隔,这种网络结构由中心区的网格线网和外围区的中枢辐射网络结构构成,揭示了何种公交运输方式和网络结构能够以最少的费用完成运输任务,研究发现越是基础设施造价昂贵的运输方式,越是需要构建中枢轴辐式网络^[21],在连接相同数目的场站时,轴辐式网络可大幅减少直接相连的路线数,比直通网络更为经济,是具有规模经济的网络;Estrada 提出了依据城市规划设计混合公交网络^[22];Felix Laube 设计了放射状长途运输网络作为主网络、换乘网络作为次网络、高密度建成区循环运行的第三层方格网络来构成整个公交网络^[23]。

(3) 低密度地区公交线路行车组织

为保证可达性,要求线网空间覆盖良好,如悉尼公交规划指导中要求 15 个大都市区公交必须覆盖 90% 居住人口,通勤时段、高峰时段、周末白天时段铁路线/区域线 400m 范围内必须配置公交线,其余时段 800m 范围内必须配置公交线。然而当运营成本/补贴受限时,特别是在客运需求较低的地区,实现了空间可达性之后,只能配置较低的发车频率。线网空间覆盖率和发车频率的设置即成为规划中必须平衡的一个矛盾,必须在两者中寻求妥协,同时多样化的出行需求要求服务更加弹性。弹性线路服务即在线路停靠站点、时刻表、配车等中的一项或是某几项选择较弹性的服务,在没有固定线路或是固定停靠点的情况下,也能够它的服务区域内接送乘客运行。比较典型的即需求响应式公交服务(Demand Responsive

Transit, 简称 DRT)^[24-27]、机动式辅助客运系统 (Mobility Allowance Shuttle Transit, 简称 MAST)。DRT 源自美国, 随后推广至西方国家, 在欧美等发达国家已经得到了长足发展, 在系统设计、运营服务设计等方面研究成熟; Quadrioglio 对 MAST 关键技术有较多研究^[28-29]。在发展中国家客运需求较低的地区, 多采用小型公交车 (minibus) 服务方式为中产阶级提供便捷公交服务^[30]。研究多指出弹性服务能很好地提高可达性与服务效率^[31], 也研究了具体客运需求密度达到多少时, 采取弹性服务比固定线路形式对运营者更有利。Quadrioglio 建立模型, 选取长 2km、宽 0.5km 区域内喂给线路, 通过比较客运需求在 23 ~ 42 乘客/(h · km²) 范围内, 喂给线路采取固定行驶线路组织与需求响应式组织两种方式下乘客出行的步行时间、等待时间与乘车时间, 找到从固定行驶线路组织到需求响应式组织变换时, 客运量需求的临界点, 以指导运营者更好地提供服务^[32]; 随后确定客运量需求的临界范围 10 ~ 50 乘客/(h · km²), 此范围内下午高峰时段内采取需求响应式组织方式对运营者更有利^[33]; Nourbakhsh、Ouyang 设计了一种由中心区的网格线网和外围区的中枢辐射网络结构构成的混合网络弹性服务系统, 以运营企业与乘客出行成本两者的总成本最小为优化目标, 确定合适的网络布局、线路布设、发车频率, 且通过比较固定线路、弹性线路、出租三种组织形式下的总成本, 得到每种形式的适用范围, 在中低密度客运需求下, 弹性线路组织的总成本是最低的^[34]。

(4) 公交线路发车频率研究

发车频率的确定是公交线路组织的基础, 现有研究多结合公交线路布局设计与发车频率的确定来同步设计公交网络, 早期研究则多将其视为独立阶段来考虑。Furth 和 Wilson 提出四种方法来确定公交线路发车间隔^[35]: ①由政府监管部门设定发车间隔 (policy headway), 对最小服务频率提出要求; ②依据公交高峰时段客流、运力配置限制来确定发车间隔; ③保证一定运营成本收益比的发车间隔; ④保证乘客乘车公里数或公交车辆每小时行驶公里数达到预期的发车间隔。Ceder 也提出四种方法: ①依据公交线路日最大客流断面的总客流量与平均客流量确定发车间隔; ②针对所有断面、所有时间段内最大客流量确定发车间隔; ③依据载客公里数限定发车间隔的最小、最大值; ④发车间隔保证超过期望拥挤值的公交线路长度小于某个比例^[36]。

关于公交线路发车间隔问题的优化目标函数选择, 早期以优化成本目标为主。Hurdle 提出考虑运营商和出行者费用的总成本费用函数, 得到多条接运公交线路的设计与发车间隔^[37]; Schonfeld、Kual、Chien、Wirasinghe、Lee、Spasovic 等人的研究均借鉴了 Hurdle 的研究思路^[38]; Koutsopoulos 假定乘客出行时间、车辆维修费用在运营不同时段内是变化的, 构建以满足驾驶员工资成本、车辆配置成本及运营成本为约束条件的优化模型, 求解不同出行需求下公交网络的多时段发车频率问题^[39]; Leblanc 构建了基于方式划分、公交配流的优化模型来确定不同类型公交线路的发车频率^[40]; Banks 对比固定公交需求与需求变化的公交线路发车间隔优化方法^[41]: 能够提供无约束情形下的精确解析解, 最优发车间隔与运营时间及成本的平方根成正比, 与乘客等待费用、时间及乘客数的平方根成反比, 无法求得有约束条件下最优发车间隔的解析解; Wirasinghe 提出发车频率与乘客等待时间及车辆运营成本之比

的平方根成正比^[42];Yan 等综合考虑乘客出行需求和车辆数来构建发车间隔优化模型,随后考虑了市场需求的不确定性与乘客出行选择行为^[43];Valoux 采用成本核算法,综合考虑公交车辆与司售人员的调度优化问题^[44];Dong 等以乘客候车时间最短、运营效益最大为目标构建公交调度优化模型^[45];Dessouky 等以所有乘客候车时间最短为目标构建优化模型,统计分析了公交车延误分布规律,提出高密度客流、低密度客流公交线路的延误对策,并拓展研究同一站点的多条公交线路^[46];Ali Haghani 等研究线路行程时间制约下的大规模公交车辆调度问题^[47];Zhao 等研究基于乘客的费用最小化,优化公交车辆数的发车间隔,设计适用于大规模网络的求解算法^[48]。

随着对公交出行服务质量的更多关注,研究中加以考虑公交车辆拥挤度、公交服务水平和乘客满意度。Kim 提出应加以测算乘客在车内的拥挤费用^[49];Zhang 加以考虑乘客在车内的满意度^[50];Yan 构建鲁棒优化模型设计基于时间控制点的公交线路时刻表^[51-53]。

(5) 公交大站快车调度研究

Ercolano、Furth and Day、Vuchic、Ahmed M 等研究推荐大站快车或直达车能有效节省运行时间、运营车辆总数^[54-57];Vijayaraghavan 研究了在一条线路上减少所需运营公交车辆的两种方法:区间车和快车,对车辆分配方法及其使用效果进行了图形化的分析^[58];Ben-Akiva 研究发现高品质快车服务的运行效果堪比较轻轨服务,正常服务基础上加以快车服务,可以明显改善乘客的出行,美国波哥大的 Transmilenio、圣地亚哥的 Transantiago、洛杉矶的 Metro Rapid、芝加哥的 CTA 等地的快车服务取得良好效果,乘客满意度有所提高^[59-62]。

对于快车停靠站的研究,多局限于基于现状的出行需求,依靠数学模型进行求解(Afanasiev and Liberman)^[63],Crout、Vuchic 认为必须在高客运量需求的站点提供快车服务,快车站间距也应是正常服务站间距的若干倍^[64,56]:800 ~ 1 600m (Conlon、Furth and Day、Silverman et al.),或是 450m (Crout);Crout 研究推荐大站点应靠近换乘枢纽,且双向同时设站以防乘客迷惑,设置大站必须综合考虑乘客出行时间节约与快车服务的最大化利用^[64];Ercolano 认为出行者出行时间节约至少 5min,且使服务效果达到最优^[65];Paul R. Tétreault 以加拿大蒙特利尔即将提供快车服务的 67 路公交为例,运用 AVL、APC 数据与个人出行数据,分别依据公交换乘枢纽站、断面不平衡系数、OD 对客流量大小,模拟分析这三种选择快车停靠站点方法的使用效果,预估行程时间、平均步行距离,推荐综合考虑线路客流方向不平衡性、主要客流集散点与站间距,以设置最大化减少行程时间的快车站点^[66]。

研究主要涉及区间车、大站快车以及组合行车形式下,给定公交网络、OD 矩阵情况下的发车间隔优化设计。Furth 以在可能的最小车队规模和最小乘客等候时间之间寻求平衡为目标,研究区间车组织形式在多种公交出行模式条件下的调度方法,其区间选择由全程车和区间车之间的时刻表偏离程度决定^[67];Fernández 等学者,设计双层规划模型加以考虑车辆容量约束^[68];Ceder 运用逆差函数理论,构建了加开大站快车或区间车的公交优化调度模型^[69],调度模式定义为区间车或大站快车的发车频率与全程车发车频率的比例,采用不同的模型来表征不同调度模式;Carola Leiva 提出考虑车辆容量、换乘成本、出行成本、企业运营成本的公交走廊内快车线路集的发车频率及车型选择优化方法,对比分析不同出行需求 OD

量对应的快车服务效果,得到乘客平均出行距离越长,或是需求变化越大,其优化效果越明显的结论^[70];Dell Site、Filippi 提出在弹性需求条件下公交车辆运行优化模型,将区间点的位置、全程车和区间车之间的发车时间偏离、发车偏离和费用作为决策变量,间接表示车辆大小,针对不同时段、不同需求分别进行计算,得到不同时段具有不同发车频率和发车时间偏离的结论,而其他变量都有一个确定的最优值^[71]。

实时调度策略研究方面,Huddart 采取区间车避免车辆过多串车的策略,车辆应从发生串车的方向调整到反方向行车计划的间隔中^[72];Strathman 提出所选择的区间车应该是乘客数量较少,跟前后车间隔较小的车辆^[73];Shen、Wilson 提出一种用确定型混合整数规划问题表示的轨道交通系统的扰动控制模型,用于检验几种引入的实时控制方法^[74]。

(6) 公交线路协同换乘设计

北美与欧洲城市中低密度地区从 20 世纪七八十年代起,多采用同步换乘系统协调网络并使乘客轻松换乘^[75]。同步换乘系统由公交线路、一个或多个公交换乘枢纽构成,多条线路的车辆同时到达换乘枢纽,停站一定时间后,车辆几乎同时离开公交枢纽,方便乘客轻松换乘^[2]。在加拿大亚伯大省埃德蒙顿,同步换乘系统首次应用于城市公交系统,此后在加拿大温哥华等地也进行了实施应用。美国密歇根州安阿伯市同步换乘系统取代拨号叫车服务,吸引更多乘客并节省运营成本。纽约州拿所、宾夕法尼亚州诺里斯设置同步换乘系统换乘中心协调公交车与铁路时刻表。随后美国许多地区像科罗拉多州、俄勒冈州波特兰、华盛顿州塔克马、加州萨克拉门多等地也采用了同步换乘系统^[77]。弗吉尼亚州的“直接换乘”公交网络潮汐式服务,利用购物中心作为公交车换乘枢纽,采用支线小型公交车在小区内运营,按照由无线台协调的脉冲式时刻表运营。西雅图将设计好的同步换乘网络与“固定来/灵活去”的服务结合,小型公交车依照时刻表准时离开公交枢纽,将乘客运送至灵活运营区域,乘客下车后,小型公交车沿着支路街道的固定线路返回公交枢纽。北美很多低密度城市,由于小汽车的竞争、公交线路发车间隔长的原因,公交线路时刻表若不协同设计,将会导致线路间换乘不便、等待时间长,自 1970 年以来,同步换乘系统的引入,提升了网络协调并使乘客轻松换乘^[75]。

不同服务方式,包括铁路、有轨电车、公交车、出租等在网络中都实现无缝联运,航空运输、多式联运货运系统也普遍采用同步换乘系统提高系统可靠性^[76]。欧洲城市在多模式客运系统中普遍采用同步换乘系统,火车、公交、船舶、其他本地或长距离公共交通运输方式不仅有固定的时刻表,而且联运方式之间设置较少的换乘时间。例如,德国、荷兰、瑞士等国的市际、区域轨道交通系统设计每隔 60min、30min 或 15min 进行同步换乘^[76]。北美许多航线的运行也基于此思路:在一个或几个枢纽机场,各方向的航班每隔 30~60min 集中到达,约 1h 后再集中出发飞往不同的目的地。研究多集中于系统换乘枢纽选址与设计、时刻表设计、同步换乘系统运营控制策略的研究^[76-78]。

1.2.2 国内研究现状

国内城乡公交线路组织方法的研究集中于城乡公交网络结构设计、城乡公交与城区公

交线路衔接组织、城乡公交线路行车组织形式、城市公交行车组织技术(发车频率的确定、区间车/大站快车调度技术)方面。

(1) 城乡公共服务均等化

实现城乡基本公共服务均等化是新阶段统筹城乡发展的重点,也是推进城乡一体化的关键^[79-80]。国内关于基本公共服务均等化的研究较多,大部分的观点认为基本公共服务的“均等化”不是完全的平均,而是一个相对的概念,在具体界定上有不同看法^[81-82]。丁元竹侧重强调政府应为居民享有基本公共服务提供保障,即中央政府通过制定相关的基本公共服务国家标准(设施标准、设备标准等),在财政上确保负责提供服务的地方政府具有均等支付这些基本公共服务的能力^[84];马国贤将基本公共服务均等化在各国的做法总结为人均财力的均等化、公共服务均等化和基本公共服务最低公平三种模式,并认为基本公共服务最低公平是最适合我国的模式^[85];邱需恩认为,基本公共服务均等化是公共财政的基本目标之一,是政府要为社会公众提供基本的、在不同阶段具有不同标准的、最终大致均等的公共物品和公共服务,但基本公共服务均等化不是平均化^[86];贾康则强调“均等化”的动态性,实现基本公共服务均等化是分层次、分阶段的动态过程,从起始到成熟,公共服务均等化要经历不同的阶段,在每个阶段其具体的重点、目标及表现是不同的,当前我国公共服务均等化应首先将工作重点定位于实现区域公共服务均等化^[87]。总结以上学者关于均等化研究的成果,可以得到以下结论:①社会的大多数成员享有基本公共服务的机会应该均等;②基本公共服务均等化最终体现为结果相对公正;③基本公共服务均等化是动态过程。

山东大学王谦对城乡基本公共服务均等化的内涵、实现路径做了相关研究。界定城乡基本公共服务均等化的内涵为:以政府为主体,以农村为重点,在城乡间合理配置公共服务资源,向城乡居民提供与其需求相适应的、不同阶段有不同标准的、最终大致均等的公共服务,使城乡居民在享受公共服务的数量、质量和可及性方面都大体相当^[88]。基于新农村公共服务与城市公共服务的差别,区分城乡共需型公共服务与城乡差异型公共服务。城乡共需型公共服务指农村居民与城市居民共同需要,具有同等意义的公共服务,也是对社会公众的生存和发展具有基础作用的公共服务,如公共安全、基础教育、基本医疗卫生、社会保障等^[88]。城乡差异型公共服务是指由于城乡经济社会发展状况、地域环境、人文风俗等方面的不同,农村居民与城市居民在需求方面存在差异的公共服务,将公共交通系统归为满足城市居民需要的城市公共服务项目;在城乡共需型服务方面应实行均等供给,差异型公共服务方面应实行差异性供给,将城乡公共服务差距控制在合理的、可接受范围之内^[88]。城乡公共服务均等化要分层次分阶段进行,不同阶段有不同的均等化标准 and 目标^[89]。在实现底线公共服务均等化基础上逐步实现基本公共服务均等化,其中包含公共交通服务,进而增加城乡非基本公共服务的供给^[90-92]。

南京大学张京祥等对城乡基本公共服务设施均等化发展的界定、发展特征、发展途径、服务均等化规划技术等方面有较多研究^[93],研究认为城乡基本公共服务设施的均等化是服务均等化的中间环节、供给均等到结果均等的转化环节,以资源供给的均等化为前提,直接决定服务结果的均等化^[94];衡量均等化的要素包含质量、规模和距离,从服务受体视角,主

要是质量和距离^[95];快速的城市化进程导致城乡基本公共服务设施的形式均等与后果均等之间产生严重的矛盾,针对不同区域发展的初始阶段特征,有选择地运用过程手段在后果均等与形式均等之间进行调节,结合城市化不同阶段特征,分均匀阶段、均衡阶段、均质阶段实现均等化^[96-97]。中国城市规划设计研究院王宏远等探讨城乡统筹中的基本公共服务均等化规划技术,将基本公共服务均等化问题转化为具有基本公共服务能力的服务节点相对于居民点的空间可达性问题;通过合理调整区域的居民点分布、道路交通情况、服务节点分布等三个变量,找到适应地区情、资源配置效率较高的基本公共服务均等化水平提升策略^[98]。东南大学王兴平等研究农村基本公共服务设施均等化内涵与方法,提出均等化空间布局应是公平与效率相互协调的^[99],基本公共服务设施体系的构建应适应农村社会经济发展水平、居民需求,另外引入空间分析方法对基本公共服务设施布局进行优化调整,加以考虑农村人口密度、公共设施服务半径等要素^[100]。同济大学李晔提出城市公共交通服务均等化的内涵:其核心是机会均等,全体公民都能公平可及地获得大致均等的公共交通服务,而不是简单地平均化和无差异化^[101]。

对于单项基本公共服务均等化水平,如教育、医疗,学者多从服务资源供给、享受机会、服务结果等方面进行评价。各地实践中多提出通过构建城乡公交一体化网络、完善公交设施建设、提高公交镇村通达率,促进城乡公交服务均等化^[102-103]。长安大学张丰焰利用递阶模糊综合评价法,从公共产品属性和公共服务水平两个方面评价城乡客运公共服务的均等化程度,提出城乡统筹发展导向下的农村公路客运发展的目标和实现途径;从政府直接投资、政府间接投资、客运经营者提供以及乘客自身承担四方面评价公共属性;从舒适性、经济性、安全性以及便捷性四方面评价服务水平^[104]。

(2) 城乡公交网络组织

东南大学过秀成等于2000年率先在江苏宿迁市、泰州市等新设立的中等城市开展市域范围内公共客运交通规划,初探中心城区辐射外围城乡一体的大公交系统构建问题;2004~2006年对江苏吴江市、靖江市,浙江海盐县、宁海县开展城乡统筹发展的区域公共客运交通规划与组织模式,具体研究分级公交网络体系构建、衔接枢纽场站布局、城镇班线公交化改造及城乡公共客运一体化评价指标体系等内容;2007~2008年对南京市江宁区、浦口区开展大都市郊区与主城区城乡公共客运交通规划,重点研究中心城区与外围区域衔接、区内城乡公交一体化规划及运行组织问题;2008年至今,开展安徽省滁州市、宣城市公共客运交通规划,对江苏省泰州市、镇江市、宿迁市开展面向城市化、机动化快速发展背景下新一轮的公共客运交通规划,深化研究城乡一体的公共客运服务体系构建。以课题研究以及系列项目实践成果为基础^[105-106],形成了城乡公交规划理论与技术、公交运营组织理论等成果^[107-110]。对公交一体化系统构建^[111]、公交走廊甄别^[111]等方面形成研究成果。提出城乡公交线网组织是在线路空间布局已经确定基础上,结合城乡公交客流时空动态特征,确定运营方式、线网衔接组织形式、线路行车组织方式,分级优化线路发车频率、配置车型、调配运力,有效整合运力资源^[109]。

城乡公交网络结构方面的研究集中在分析公交线路分级分类,提出相应的配置标准与