

湖北省社会公益出版专项资金资助项目

KUAI SU GONGJIAO (BRT)



快速公交(BRT)

运行基础理论及换乘关键技术研究

YUNXING JICHU LILUN JI HUANCHENG GUANJIAN JISHU YANJIU

蔡志理 著



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

湖北省社会公益出版专项资金资助项目

快速公交(BRT)运行基础理论 及换乘关键技术研究

蔡志理 著

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

快速公交(BRT)运行基础理论及换乘关键技术研究/蔡志理著. —武汉:武汉理工大学出版社,2016.11

ISBN 978-7-5629-5419-4

I. ①快… II. ①蔡… III. ①公共汽车-快速公交-交通运输管理-研究 IV. ①U492.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 269862 号

项目负责人:王兆国

责任校对:刘 凯

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销 者:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:9.25

字 数:237 千字

版 次:2016 年 11 月第 1 版

印 次:2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元

责 任 编 辑:汪浪涛

装 帧 设 计:芳华时代



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

前 言

随着世界各国城市化进程的不断推进和城市机动车保有量的迅速增加,城市交通拥堵加剧,交通事故增多,能源消耗上升,城市环境恶化,交通已成为制约大中型城市经济发展的重要因素。大力发展公共交通已经成为解决城市交通问题的根本途径之一。目前,我国大中型城市的公交系统发展相对滞后,特别是常规公交系统,其服务水平、准点率、舒适性、方便性等都难以满足人们的出行需求,而城市轨道交通网络覆盖率低,各种公交方式的衔接和配合不够完善,导致公交出行率远低于发达国家同类城市。鉴于上述问题,最近十几年,一种新型的客运交通方式——快速公交(BRT)系统在我国城市如雨后春笋般发展起来。BRT系统是一种以常规公交为基础,以地面道路网为支撑,结合现代巴士技术,摄取轨道交通优点,并获得一定时空优先权(包括开设公交专用道和设置公交信号优先)和政策优先支持的一种新型城市公交系统,它既保持了常规公交的灵活性、经济性和便利性,又具有城市轨道交通容量较大、速度较快的特点。

城市BRT系统是目前国际公交领域关注的热点问题之一,也是解决我国城市交通拥堵的有效途径。然而,与其突飞猛进的建设相比,BRT系统的运行特性、机理、评价体系及换乘系统等方面的基础研究严重滞后,影响了其后期发展及运营效能的发挥。鉴于我国的国情及混合交通的特点,国外现有的BRT应用技术与控制策略不能完全适用于我国的实际需要,而目前我国在该领域内的研究较少。为此,结合我国的实际情况,开展适合我国特点的BRT系统基础理论与应用技术的研究是十分必要的,这对于我国BRT系统的发展与建设具有重要的指导意义和实际应用价值。

本著作是在山东交通学院蔡志理教授主持的山东省自然科学基金项目——“快速公交运行基础理论及换乘关键技术研究”(项目编号:ZR2010EL034)成果的基础之上,经过总结、提炼后完成的。旨在揭示城市BRT系统运行特性与机理,构建运行评价指标体系,研究换乘关键技术,形成一种适合我国国情的BRT运行特性分析理论与方法,为今后BRT系统的合理规划及科学运营管理奠定理论与技术基础。本著作中包括有BRT运行特性及主要指标分布规律、BRT运行机理及关键影响因素分析、BRT运行特性数学模型、BRT运行评价指标体系及其评价方法、BRT换乘关键技术等方面的研究成果内容。

在项目研究和本著作的撰写过程中,盐城工学院韦凌翔老师,青岛理工大学邴其春博士,山东交通学院张萌萌教授、陈建岭副教授、高超副教授、李炜博士,吉林大学杨聚芬博士,河南工业大学段宇州博士,以及山东交通学院张宁硕士等做了大量的工作,张梦启、刘光祥、刘焕峰、徐亚辉等在山东交通学院攻读学士学位期间开展了大量前期数据采集与整理等工作,山东交通学院孙晓胧、陈英东、杨丽平、周琦、张弛等参与了书稿的校对工作。在著作的出版过程中,得到武汉理工大学出版社的大力支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。同时,对本著作参考文献中书籍和学术论文的作者以及对本著作给予支持、帮助的所有老师和朋友们表示真挚的谢意!

鉴于作者水平有限,书中难免有疏漏或者不妥之处,敬请读者批评指正!

蔡志理

2015年12月25日

目 录

1 绪论	(1)
1.1 BRT 发展历程概述	(1)
1.2 开展 BRT 方面研究的意义	(2)
1.3 国内外 BRT 研究现状	(2)
1.3.1 国外 BRT 研究现状	(2)
1.3.2 国内 BRT 研究现状	(4)
1.4 研究内容及研究方案	(5)
1.4.1 研究内容	(5)
1.4.2 研究方案	(6)
1.5 结论与展望	(7)
1.5.1 本书的特色与创新之处	(7)
1.5.2 研究展望	(8)
2 BRT 系统概述	(9)
2.1 BRT 系统的构成	(9)
2.1.1 BRT 专用道	(10)
2.1.2 BRT 专用站	(10)
2.1.3 新型 BRT 豪华车辆	(11)
2.1.4 BRT 线路	(12)
2.1.5 BRT 智能运营保障体系	(12)
2.2 BRT 系统的特点	(13)
2.2.1 BRT 系统的优势	(13)
2.2.2 BRT 系统的局限性	(16)
2.3 BRT 系统的功能定位	(16)
2.3.1 城市公共交通系统的辅助功能	(16)
2.3.2 城市公共交通系统的主体功能	(17)
2.3.3 轨道交通的补充、过渡、延伸及衔接功能	(17)
2.4 BRT 系统运营形式分析	(17)
2.4.1 BRT 成为整个公交的主体	(17)
2.4.2 BRT 应用于地铁或轻轨的延伸	(17)
2.4.3 BRT 作为今后建设地铁或轻轨的过渡交通方式	(17)
2.4.4 BRT 与地铁和轻轨的混合使用	(18)
2.4.5 独立式的 BRT 系统	(18)

2.5	BRT 系统的适用性分析	(18)
2.6	本章小结	(18)
3	BRT 系统运行特性及主要指标的分布规律	(19)
3.1	BRT 运行特性分析的相关理论	(19)
3.1.1	描述集中趋势的统计量	(19)
3.1.2	描述离散程度的统计量	(20)
3.1.3	描述总体分布形态的统计量	(21)
3.2	BRT 系统运行特性分析	(22)
3.2.1	不同专用道 BRT 的运行特性分析	(22)
3.2.2	不同交叉口信号控制 BRT 的运行特性分析	(24)
3.2.3	不同站点 BRT 的运行特性分析	(25)
3.2.4	BRT 的运行速度分析	(29)
3.2.5	站点车辆停车时间分析	(30)
3.2.6	车头时距分布特征分析	(31)
3.2.7	运行延误分析	(31)
3.3	BRT 系统数据采集方案设计	(32)
3.3.1	目标线路的选择与线路特点	(32)
3.3.2	数据采集方案的设计	(33)
3.3.3	数据采集方案的实施	(34)
3.4	BRT 系统主要指标分布规律分析	(35)
3.4.1	BRT 系统运行特性影响因素	(35)
3.4.2	BRT 系统运行效率对比分析	(36)
3.4.3	快速公交系统延误对比分析	(41)
3.5	本章小结	(42)
4	BRT 系统运行机理及关键影响因素分析	(43)
4.1	数据采集方案设计及数据处理	(43)
4.1.1	数据采集目的	(43)
4.1.2	数据采集仪器	(43)
4.1.3	数据采集的方法与步骤	(43)
4.1.4	数据采集方案的实施	(43)
4.1.5	基础数据处理及实验数据转换	(43)
4.1.6	各运行速度及站台延误数据处理	(44)
4.2	目标线路的选择与线路特点	(45)
4.2.1	目标线路的选择	(45)
4.2.2	BRT-1 线路特点	(45)
4.2.3	BRT-3 线路特点	(45)
4.3	行车速度特性对比及运行机理分析	(46)

4.3.1	BRT-1 与 BRT-3 线路各自速度特性及运行机理分析	(46)
4.3.2	BRT-3 速度分布特性分析	(50)
4.3.3	BRT-3 速度特性对比及运行机理分析	(53)
4.3.4	区间行程速度的显著性差异分析	(55)
4.4	BRT 系统延误特性分析	(55)
4.4.1	一般性统计规律分析	(55)
4.4.2	分布特性与规律分析	(58)
4.4.3	延误特性对比及运行机理分析	(60)
4.4.4	延误的显著性差异分析	(63)
4.5	BRT 系统关键影响因素分析	(65)
4.5.1	运行特性评价指标与理论基础	(65)
4.5.2	目标线路的选择及评价指标的确定	(66)
4.5.3	数据来源及关键因素分析	(68)
4.5.4	对 BRT 运行的分析与建议	(70)
4.6	本章小结	(71)
5	BRT 系统运行特性数学模型的构建	(73)
5.1	站点间行程速度及全程行程速度预测模型的构建	(73)
5.1.1	站点间行程速度预测模型的构建	(73)
5.1.2	全程行程速度预测模型的构建	(75)
5.2	地点速度分布数学模型的构建	(76)
5.3	车头时距分布特性分析模型的构建	(80)
5.4	停站延误、交叉口延误及准点率计算模型的构建	(82)
5.4.1	停站延误计算模型的构建	(82)
5.4.2	交叉口延误计算模型的构建	(84)
5.4.3	准点率的计算模型的构建	(84)
5.5	模型的评价	(85)
5.5.1	模型的优缺点分析	(85)
5.5.2	模型的改进意见	(85)
5.6	本章小结	(86)
6	BRT 系统运行评价指标体系及评价方法研究	(87)
6.1	评价指标选取的原则	(87)
6.2	宏观层面指标体系的构建	(87)
6.2.1	指标的选取	(88)
6.2.2	指标体系的构建	(89)
6.3	微观层面指标体系的构建	(90)
6.3.1	指标的选取	(90)
6.3.2	微观层面指标体系的构建	(93)

6.4	评价方法分析	(94)
6.5	BRT 系统评价案例	(94)
6.5.1	济南市 BRT 系统现状分析	(94)
6.5.2	层次分析法案例	(96)
6.5.3	模糊综合评价案例	(103)
6.5.4	改进建议及措施	(106)
6.6	本章小结	(107)
7	BRT 系统换乘关键技术研究	(108)
7.1	BRT 系统运营特性与客流特性分析	(108)
7.1.1	BRT 的基本运行特性	(108)
7.1.2	BRT 站点的交通组织特性	(110)
7.1.3	BRT 客流基本特性	(110)
7.2	BRT 系统与其他交通方式的换乘分析	(110)
7.2.1	与对外交通方式的换乘分析	(111)
7.2.2	与对内交通方式的换乘分析	(112)
7.3	BRT 系统乘客换乘需求特性分析	(115)
7.3.1	换乘的必要性分析	(115)
7.3.2	BRT 乘客换乘的影响因素分析	(116)
7.3.3	乘客换乘需求量预测方法	(117)
7.3.4	案例分析	(120)
7.4	BRT 系统换乘站规划研究	(124)
7.4.1	换乘站与其他交通方式站间距的确定	(125)
7.4.2	换乘站数量的确定	(127)
7.4.3	换乘站规模的确定	(128)
7.4.4	换乘站选址的确定	(129)
7.5	本章小结	(129)
8	结论与展望	(131)
8.1	本书的特色与创新之处	(131)
8.2	展望	(131)
	参考文献	(133)

1

绪论

1.1 BRT 发展历程概述

美国 20 世纪 30 年代首先提出快速公交(BRT)理念。20 世纪 70 年代中期南美洲一些城市开始大规模建设 BRT,随后 BRT 在世界上其他国家得到了广泛的应用。在快速公交的研究方面最具代表性的是美国和德国。

国内很多学者主要对 BRT 应用的可能性进行了研究。徐康明(2003)论述了 BRT 系统的要素、实时优势和运用形式等;陈雪明(2003)对中国城市应用 BRT 问题进行了探讨;郑连勇(2003)对成都 BRT 发展战略进行了研究,提出未来的 BRT 线网以放射形为主、环形为辅的思想;胡润洲(2003)将 BRT 和轨道交通的投资、效益进行对比,提出在经济能力不允许建设轨道交通之前,可以依靠 BRT 系统承担骨干交通重任;陈钦水(2004)提出了“分级规划、分区布线”的 BRT 网络规划方法,并建立了一套公交线网规划的评价指标体系;安健等(2007,2008)以给定的公共交通出行起讫点为前提,提出在既有城市公交线网条件下对 BRT 线网进行优化设计的方法;刘杨等(2006)选取运行车速和准点率作为城市 BRT 的运行指标,提出了实现 BRT 运营指标的城市干道协调控制设计方法;徐康明等(2006)对不同公交系统车站运营模式的特征、乘客上下车速度和车辆停靠时间进行了定量对比分析,探讨了车站运营模式对乘客、公交企业和社会效益的影响;胡兴华等(2006)提出了基于运行图的 BRT 运营系统的概念,通过技术和管理方面的改进,提高了系统的运行效率;孙传姣等(2007)分析了 BRT 的运营管理特点,对 BRT 运营模式选择、人员配备、车辆调度等问题进行了研究;吴家庆等(2007)从道路交通系统、公交服务水平和乘客满意度三方面分析了 BRT 的运营效果;陈明明等(2006)从单个 BRT 系统的绩效评价、多个 BRT 系统的比较评价、BRT 与其他公交方式的比较评价和不同时期 BRT 系统的比较评价等方面分别建立了不同评价指标体系,并提出了 BRT 系统的评价方法;冯浚等(2013)基于 GI/G/1 排队论模型和车站有效停靠泊位数构建了 BRT 系统通行能力计算方法,其参数设置涉及影响 BRT 系统通行能力的各种因素;吴楠(2013)提出 BRT 的核心理念是道路资源的重新分配,保障 BRT 的专用路权是建设和运营 BRT 的重中之重。

由国内研究来看,主要侧重于 BRT 的适应性、应用条件和投资效益等方面,也有学者对评价指标体系进行了研究,然而针对 BRT 运行特性、机理及运行状况评价一体化的研究,目前未见公开发表的研究成果。

虽然 BRT 在南美国家出现已有三十多年,但世界各国真正开始重视只是近十几年来发生的事情,我国最近几年才开始关注。由于受到重视的时间不长,国内外有关 BRT 方面的研究文献不多,有关其运行特性方面的研究文献更为少见。

此外,鉴于我国的国情及混合交通的特点,国外现有的 BRT 应用技术与控制策略不能完全满足我国的实际需要,而目前我国在该领域内的研究较少。因此,结合我国的实际情况,开展适合我国特点的 BRT 系统基础理论与应用技术研究是十分必要的,这对于我国 BRT 系统的发展与建设具有重要的指导意义和实际应用价值。

1.2 开展 BRT 方面研究的意义

城市 BRT(Bus Rapid Transit, BRT)是目前国际公交领域关注的热点问题之一,也是解决城市交通拥挤的有效途径。由于 BRT 具有独特的专用道、专用站、新型豪华客车、运营线路和智能运营保障系统,使其成为一种介于普通公交和轻轨交通之间的新型公交模式,表现出既不同于普通公交,也不同于轨道交通的独特运行特性与规律。

近些年,我国处于大力发展城市 BRT 的重要时期,许多大城市陆续建成 BRT 并投入运营,还有更多的城市正在规划建设中。目前,我国的 BRT 运营管理方式主要是借鉴国外的先进经验和国内普通公交的成熟管理方法,缺乏针对我国国情的 BRT 运行特性分析和基础科学研究。这种状况与我国 BRT 蓬勃发展的形势很不相适应,在一定程度上将会影响和制约我国 BRT 的后续效能的有效发挥。因此,开展该项基础科学研究具有重要意义。

(1)可通过对我国各大城市现有 BRT 系统运行特性的研究,全面掌握我国 BRT 的运行形态、特点、机理和分布规律等,为今后我国 BRT 的合理规划与高效运营提供理论指导;

(2)可构建一系列 BRT 运行特性的计算模型或预测模型,建立适合我国国情的 BRT 运行特性分析方法,为后续研究奠定理论基础;

(3)构建科学、完善的 BRT 运行评价体系,为提升 BRT 的服务质量,实现科学化、规范化管理提供理论支持和技术保障。

1.3 国内外 BRT 研究现状

1.3.1 国外 BRT 研究现状

国外的一些交通研究机构和公司曾对 BRT 系统进行过综合性的研究,其中的代表是美国的交通研究委员会和德国技术合作公司。

(1)美国的交通研究委员会于 2003 年发布了关于 BRT 的研究报告(Transit Cooperative Research Program Report 90)。该报告分为两册,第一册名为“Bus Rapid Transit Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit”,该分册介绍了分布在北美洲、欧洲、南美洲的部分国家和澳大利亚等地的 26 个城市的 BRT 系统,每个案例都从机构安排、系统设计、运营情况、效益费用等方面进行阐述。第二册名为“Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines”,该分册对 BRT 运营所需的公交专用道、站台、交叉口优先信号、车辆、智能公交技术等进行了详细的论述,是 BRT 实施的指导手册。

(2)德国技术合作公司在 2003 年发布了《快速公共汽车运营系统》资料手册,介绍了 BRT 系统规划的内容,包括规划前期分析、确定走廊线路位置、车站保养厂设计、智能公交和车辆技术、用地规划以及财务计划等。2004 年,该公司又发布了《BRT 规划指导》报告,对 BRT 规划

进行了更为详细的阐述。该报告将整个过程分为 10 个部分,分别是前期准备、资料分析、听取公众意见、运营管理、财务计划、设施建设、采用先进技术、与其他交通系统整合、项目影响分析和实施计划等。

(3)Sislak 曾对 BRT 与轻轨进行了造价方面的对比,得出的结论是 BRT 可以比轻轨节省 40%~70% 的建设费用,而且两者的服务水平相近,因而 BRT 可以作为轻轨的替代物。

(4)Baltes 论述了他对迈阿密和奥兰多两个城市的 BRT 系统所做的调研,通过对调查数据的统计分析,发现乘客对 BRT 的满意程度较高,BRT 服务水平大大超过了常规公交系统。

(5)Martinez 研究了 BRT 作为轨道线路的延长线,两者联合运输的可能性,通过对秘鲁利马的居民进行意向调查,研究了交通模型中时间价值等参数的选取,为预测 BRT 系统的客运量提供了帮助。

(6)Papandreou 对洛杉矶威尔谢大街上的 BRT 项目进行了评估,得出的结论如下:实施 BRT 后乘客量增加很明显,车速增快使得行程时间大大缩短。由于吸引了大量的乘客,BRT 很快会达到容量上限,因此需要考虑建设地铁的可能性。

(7)Barker 针对美国出现的 BRT 建设热潮,提出联邦政府应对 BRT 项目采取资助策略。

(8)Abdeighany 提出了一种动态交通分配模拟建模的框架,用以在城市交通网络中评估和规划 BRT 设施。该模型考虑了公交专用道、大站快车服务、交叉口信号优先以及站点设置等因素,对于评估 BRT 运营有着较好的效果。

(9)Holeman 提出了一种多准则的评价方法来选择适合布设 BRT 的走廊。该方法考虑了客运量、出行节约时间、与现有交通服务的冲突三个因素,在此基础上进行方案的综合评价。

(10)Yin 和 Miller 认为 BRT 是一个整合了车辆、站台、专用道和智能公交等概念的系统,同时具有很大的灵活性,并研究了在建设资金、规章制度、客运走廊等外部条件约束下,如何配置各个要素以使系统效益最大化的方法,并给出了实例。

(11)Castilho 针对 BRT 站点的客运能力建立了数学模型,并进行了模拟仿真研究,发现 BRT 站点需求的随机性对站点的客运能力有很大程度的影响,建议在系统设计阶段要做类似的分析研究。

(12)2001 年国际能源署的研究报告“未来的城市公共车,实现全球的可持续发展”中论述了拉丁美洲成功的 BRT 系统,并将其与其他公交方式进行比较,详述了未来的公交车辆可能采用的清洁燃料和先进技术,并设想了改善公交车辆技术能够减少能源消耗、降低污染所得到的效益。后续的研究将多集中于 BRT 的车辆、车站、服务、标识设计、规划等问题。

(13)2003 年 Jianping WU 在“Analysis of Traffic at Pre-Signalized Intersections”一文介绍了一种预信号交叉口的设计方法,进一步扩充了交叉口处理的方法。

(14)2006 年 Grahna Currie 介绍并分析了 BRT 在澳大利亚的应用和发展前景。同年,Stephen Falbel 叙述了 BRT 在纽约都市圈的发展情况,指出 BRT 必然提高公交分担率。

从以上文献可以看出,国外对 BRT 系统的研究范围较广,既有对系统的整体分析,也有关于 BRT 某个方面的具体研究,并且特别侧重于 BRT 的运营设施、服务水平、财务计划和项目评估等方面的研究。

1.3.2 国内 BRT 研究现状

根据研究的需要,本书从公交专用道、公交停靠站、交叉口设施、BRT 运行特性四个方面对国内在 BRT 系统方面的研究进行介绍。

(1) 公交专用道的研究

2004 年,杨晓光、阴炳成在《公共汽车交通专用道及其停靠站最佳布置方法》中针对国内外常用的路边型和路中型公交专用道布置模式,对比不同条件下公交车的车均延误差异,论证了公交专用道的最佳位置。

2005 年,陆虎在《BRT 专用道基本特性的研究》中对我国 BRT 发展模式进行了一定的思考,提出了 BRT 专用道分级的概念、内部交通流特性以及专用道布设对其他交通系统的影响,在此基础上全面考察了几种专用道基本类型布设的特点和适用范围。

2006 年,杨运平在《巴士 BRT 系统专用道设置与路口优先通行技术研究》中对 BRT 系统应用当中的两个关键技术——BRT 专用道(包括 BRT 停靠站)设置、BRT 路口优先通行技术进行了研究,论述了 BRT 专用道七种不同类型的优缺点和使用范围,根据车辆到达特性运用排队论方法提出停靠泊位数计算模型,并就 BRT 与其他出行方式的协调问题进行了初步探讨。

2006 年,叶欣、陈学武、李文勇在《城市公共交通专用道的设置研究与应用》中阐明了设置城市公交专用道的可行性和必要性。并结合常州市道路结构和交通特性,具体介绍了公交专用道及公交停靠站的设计方案。

2008 年,白玉、杨晓光等在《公交专用进口道对信号控制交叉口通行能力的影响》中通过对公交专用道设置前后交叉口及整条道路在通行能力、交叉口延误和饱和度等方面变化的分析,对公交专用道的交通效益进行了评价。

2010 年,张勇、白子建在《BRT 专用车道路面结构分析与组合设计》中总结和分析了 BRT 专用车道的车辙等病害及其产生原因。在此基础上,对沥青路面结构进行了力学分析,确定半刚性路面结构最大剪应力区和抗车辙区范围,为路面抗车辙设计提供依据。根据 BRT 系统的运行特点,针对性地提出了 BRT 车道路面结构组合设计和材料选择,并推荐了适合 BRT 运行特点的 SMA+ATB 和 AC+PCC 两种路面结构方案。

(2) 公交停靠站的研究

2004 年,杨晓光、阴炳成在《公共汽车交通专用道及其停靠站最佳布置方法》中重点分析了路中型专用道的中途停靠站设置于交叉口进口道和出口道的两种模式,通过建立公交车车均延误模型及交通仿真分析,论证了停靠站的最佳布置位置。

2009 年,毛子珍在《快速公交(BRT)停靠站设计探讨》中就 BRT 停靠站设置及其规模设计进行了探讨,结合深圳市笋岗路 BRT 设计,详细介绍了停靠站的设置位置及其规模设计,并提出站台设计的基本要求。

(3) 交叉口设施的研究

2010 年,王会彬、马国雄、张玉轻、韩可率在《基于 BRT 优先的交叉口信号优化设计研究》中论述了基于预信号控制 BRT 车辆优先通行的进口道设置方法、BRT 车辆停靠规则、主信号停车线与预信号停车线之间距离的确定,对主、预信号相互协调设计和十字路口 BRT 优先通行权的设置进行了深入研究。

2004年,张卫华、陆化普、刘强在《实施城市快速公交(BRT)的平面交叉口处理技术》中对保障BRT实施效果的平面交叉口处理技术进行了探讨,包括对公交专用进口道技术及其设置方法、公交优先的预信号控制技术及其设置方法、公交优先感应信号控制技术及其适应性等进行详细的分析。

(4)BRT运行特性的研究

2010年,王田田、张汝华在《济南市BRT速度运行及特性分析》中研究评价了济南BRT速度运行情况,解析BRT的形式特征及时间-距离变化规律,从而分析延误的发生点、产生的原因及影响程度。

2010年,蔡志理、高超、邴其春在《济南市BRT-1线路行车速度特性分析》中系统分析了BRT-1线路中各站间行程速度及全程运营速度的统计特征及分布规律。

2012年,蔡志理在《BRT专用道形式对其运行效率的影响研究》中选取了包含有四段不同专用道形式的济南市BRT-3线路为研究对象,通过实时采集各区段和站间的运行数据,运用数理统计方法和多元分析理论,对该线路中不同区段和站间的BRT车辆运行效率、该线路具有的车辆配置、信号配时以及道路基础条件的特点对BRT运行效率的差异性、不同区段上交叉口停车延误和停靠站延误进行对比分析。

2012年,蔡志理在《同线路BRT与常规公交速度特性对比分析》中针对济南市北园大街上BRT-1线路及沿线常规公交的运行特点,采用跟车法和车牌照法相结合的方式,采集了该线路上BRT和常规公交的行车速度数据,对比分析了两者在站间行驶速度、行程速度和运营速度上的特性差异,并对BRT-1和同线路常规公交的区间运营速度进行了正态拟合优度检验和两独立样本的非参数检验。综合分析表明:同线路上的BRT与常规公交相比,其速度特性总体上具有较明显优势,且两者的区间运营速度分布存在着显著性差异。

2014年,蔡志理在《BRT运行特性的关键影响因素分析》中为研究BRT系统运行特征与其制约因素之间的内在关系和潜在规律,选取了包含有多段不同专用道形式的济南市BRT-3运行线路为研究对象。综合分析表明:影响BRT系统运行的关键影响因素是交叉口影响因子、站台停靠影响因子和车路综合影响因子,针对定量分析的结果提出了改进与完善的意见和建议。

由国内研究来看,主要侧重于BRT的适应性、应用条件和投资效益等方面。但在BRT运行特性、机理、运行状况评价及换乘关键技术一体化方面,目前未见完善的研究成果。因此,开展适合我国特点的BRT系统基础理论与应用技术研究是十分必要的。

1.4 研究内容及研究方案

1.4.1 研究内容

(1)BRT的运行特性及主要指标的分布规律

BRT的运行特性及主要指标的分布规律是本研究的基础。为此,拟详细研究如下内容:

①不同专用道形式(路中式、路侧式、次路侧式、单侧双向式、单侧单向式、逆向式和BRT专用路共7种)、不同运营组织方式(干支结合式、复合式)、不同站点功能(首末站、中途停靠

站、换乘站)、不同站间距、不同站台布设形式(路边式、港湾式、岛侧式和岛式站台)、不同交叉口信号控制方式、不同调度水平、不同时段(高峰、平峰)、不同气象条件(冰、雪、雨、雾、冻)以及不同客流量需求等情况下 BRT 的运行特性;

②BRT 的车速(地点速度、行驶速度、站点间行程速度和全程行程速度等)、延误(停靠站延误、交叉口延误等)及微观车头时距等指标在时间和空间上的分布规律。

(2)BRT 运行机理及关键影响因素分析

揭示 BRT 对应于不同本质特征和外在表象的运行机理;利用数据挖掘技术和因素分析法等最新理论和技术,深入分析影响 BRT 运行特性的关键因素,挖掘不同运行特征与影响因素(或因子)间潜在的关系和导致其显著差异的原因,探索改善 BRT 运行特性的方法与途径。

(3)BRT 运行特性数学模型的构建

综合运用数理分析法、最优控制理论、人工神经网络和支持向量机技术等,构建地点速度分布数学模型,构建站点间行程速度、全程行程速度预测模型,构建停靠站延误、交叉口延误及准点率计算模型,构建微观车头时距在时空上的分布特性分析模型等。

(4)BRT 运行评价指标体系和评价方法研究

结合我国的国情和各城市 BRT 的特点,科学合理地构建 BRT 运行评价指标体系和评价方法,重点研究针对不同专用道形式、不同运营组织方式、不同站间距和站台布设形式、不同信号控制方式、不同客流需求、不同调度水平以及不同时段、不同道路与气象条件等情况的 BRT 运行评价指标体系与评价方法的建立,并针对典型城市的 BRT 运行状况给出评价应用和对比分析。

(5)BRT 换乘关键技术研究

针对 BRT 与不同交通方式的换乘关键技术进行分析,构建基于最少换乘次数、最小交通阻抗及总体效益最优相结合的最优路径模型,建立换乘站间距、数量、规模、网络最优路径模型。

1.4.2 研究方案

首先,针对不同的专用道形式、不同的运营组织方式和不同站台布设方式等情况,采用跟车实测与模拟仿真相结合的方式采集 BRT 的运行数据;然后,进行数据预处理和基础数据处理,并经分析、提炼、平滑处理后获取 BRT 的基本运行形态与特征;在此基础上,开展 BRT 的运行特性和主要指标分布规律研究,揭示内在运行机理;再利用数据挖掘技术和因素分析法等分析影响 BRT 运行特性的关键因素;利用数理统计方法等构建速度、延误、车头时距运行指标等计算模型和预测模型,并给出验证;最后,构建 BRT 运行效果的评价指标体系和评价方法,给出提高 BRT 运行特性的优化方案与策略。本研究的技术路线如图 1.1 所示。

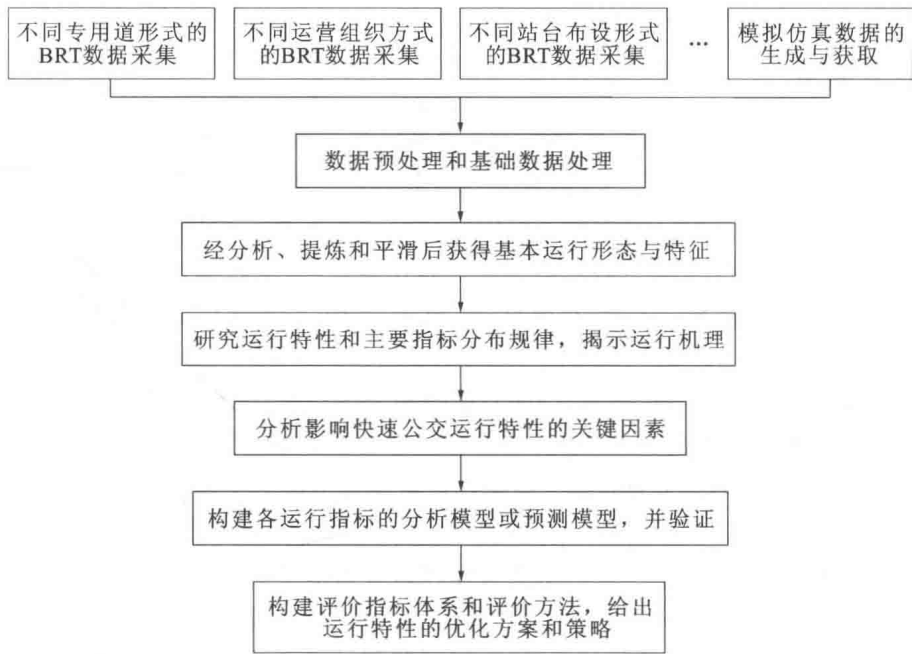


图 1.1 技术路线

1.5 结论与展望

BRT 是一种新型的交通工具,其诸多优点越来越受到各国的青睐,因此备受推广,已经有许多国家成功运营多年,技术已经成熟。中国自引入 BRT 以来,发展迅速,目前已在很多城市中投入运营。但是,BRT 在中国还属于初级阶段,还需在更多的实践经验的基础上寻求更适合我国城市实际情况的方案。本书在总结国内外 BRT 研究理论与实践的基础上,对 BRT 的运行特性及主要指标的分布规律、BRT 运行机理及关键影响因素、BRT 运行特性数学模型、BRT 运行评价指标体系和评价方法以及 BRT 换乘关键技术进行了全面系统的研究与分析,从而揭示了城市 BRT 运行特性与机理,构建运行评价指标体系,为今后 BRT 系统的合理规划及科学运营管理奠定了理论与技术基础。本项目的成果可作为城市管理决策者、交通技术人员的参考工具,希望能对关注可持续交通和公共交通的专业人员有所帮助。

1.5.1 本书的特色与创新之处

- (1)首次针对不同专用道形式、不同运营管理模式、不同的时段和气象条件等各种情况,对我国各大城市 BRT 的基本运行形态与特征进行了系统分析,给出了其主要指标的分布规律,揭示 BRT 的运行机理,为今后我国 BRT 的合理规划与科学运营管理提供了理论依据。
- (2)创新性地提出结合我国国情和各大城市 BRT 的特点,构建我国 BRT 运行速度、延误、车头时距和准点率等计算模型和预测模型,为 BRT 的速度和延误等指标的定量分析提供科学实用的计算依据。
- (3)首次提出利用数据挖掘技术和因素分析法等理论与方法,分析影响 BRT 运行特性的关键因素,挖掘不同运行特征与影响因素间潜在的关系,探索提高 BRT 运行特性的方法

与途径。

1.5.2 研究展望

几十年来,BRT 在世界范围的不少城市中得到了广泛的应用,特别是在南美洲的部分城市及地区取得了很好的应用效果。作为发展中国家的中国,发展及建设 BRT 系统符合建设资源节约型社会的需求,并且在一定程度上可以带动经济的发展。国内的一些大城市已经建立了 BRT 系统,而如何将 BRT 系统融入城市的交通发展之中,从而构建和谐智慧的城市,这些都是急需解决和研究的问题。以笔者拙见,未来关于 BRT 系统的研究主要包括以下几个方面。

(1)BRT 系统相关运行机理研究。BRT 系统相关运行机理的研究仍然是未来几年 BRT 系统研究的一个热点。一方面,相对于其他交通运输方式,BRT 系统作为一种新生事物必然会引起社会的广泛关注;另一方面,BRT 系统作为从国外引进的一种交通方式,难以适应中国的交通状况,甚至会出现一些“水土不服”的现象。这两方面原因说明 BRT 系统相关运行机理研究仍然是研究的热点,也希望广大科研人员能在这方面取得新的突破。

(2)BRT 系统与城市公交系统的衔接问题研究。交通问题是一个系统问题。BRT 系统作为城市公交系统的重要组成成分与子系统,研究其与城市公交系统的衔接问题对城市交通健康有序发展具有重要指导意义。

(3)BRT 系统在解决城市交通拥堵问题中处于何种角色以及在治堵中如何发挥其独特优势。现在交通拥堵问题日益严重,BRT 系统是一种大运量交通方式,合理地构建 BRT 系统网络布局可以有效地打通城市交通走廊,进而有效地缓解城市主干路的交通压力。

(4)BRT 系统的安全性与智能化研究。BRT 相对于普通公交,其运行速度、载客量以及交叉口运行特性都存在着安全隐患;此外,在 BRT 系统运用智能化的控制技术,可以更好地保障其优先需求。

2

BRT 系统概述

快速公交系统(Bus Rapid Transit)简称 BRT 系统,是一种介于快速轨道交通(Rapid Rail Transit,RRT)与常规公交(Normal Bus Transit,NBT)之间的新型公共客运系统,是一种大运量交通方式,通常也被人称作“地面上的地铁系统”。它是利用现代化公交技术配合智能交通和运营管理,开辟公交专用道路和建造新式公交车站,实现轨道交通运营服务,以达到轻轨服务水准的一种独特的城市客运系统。

2.1 BRT 系统的构成

BRT 系统有五大基本组成部分:BRT 专用道、BRT 专用站、新型 BRT 豪华车辆、BRT 线路及 BRT 智能运营保障体系,其基本组成和运营情况如图 2.1 所示。只有这五大组成部分共同整合在一起,才能真正发挥出 BRT 系统在运营速度、运营能力、服务质量、服务水平等方面的综合最佳效益。

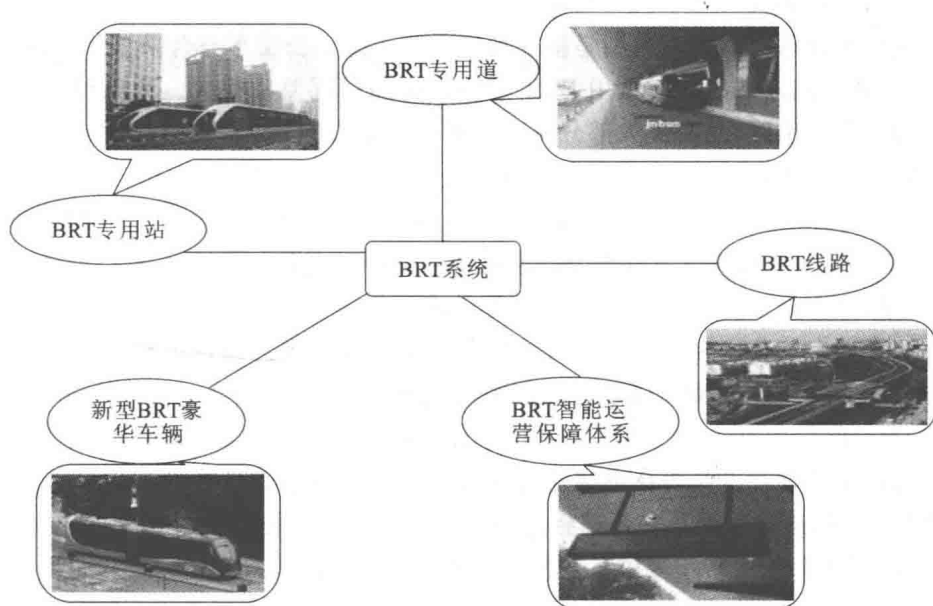


图 2.1 BRT 系统基本组成和运营情况示意图