

实际运行环境下
城市公交时刻表的
优化设计

OPTIMIZATION
DESIGN

for urban bus timetable
in real operation environments



吴影辉 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

本书获国家自然科学基金青年项目(71601088)、江苏科技大学引进博士科研启动项目(1042931601)、东南大学博士后科研启动项目(1114000307)资助出版

吴影辉 著

实际运行环境下 城市公交时刻表的 优化设计

OPTIMIZATION DESIGN

for urban bus timetable
in real operation environments



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇江

图书在版编目(CIP)数据

实际运行环境下城市公交时刻表的优化设计 / 吴影
辉著. — 镇江 : 江苏大学出版社, 2017. 4
ISBN 978-7-5684-0458-7

I. ①实… II. ①吴… III. ①城市交通运输—公共交
通系统—时间表—最优设计—研究 IV. ①U492.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 061640 号

实际运行环境下城市公交时刻表的优化设计

Shiji Yunxing Huanjing Xia Chengshi Gongjiao Shikebiao De Youhua Sheji

著 者/吴影辉

责任编辑/吴昌兴

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/江苏凤凰数码印务有限公司

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/10.25

字 数/210 千字

版 次/2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0458-7

定 价/40.00 元



如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

随着社会经济快速发展和城镇化进程加快,居民出行需求和机动车拥有量急剧增加导致了城市交通拥堵。交通拥堵已成为很多城市面临的严峻问题。提高公交系统运营效率和服务质量是缓解交通拥堵的关键举措。一个有效的公交系统不仅节省运营成本,还能吸引更多的私家车出行者转向公交方式出行。公交系统的有效性在很大程度上取决于公交规划过程。公交规划过程是一个复杂且多阶段的决策问题,它一般包含线网规划、时刻表设计、车辆调度和驾驶员调度。因为整个规划过程涉及很多决策变量,且每个子问题都是 NP-hard 问题,可依次按顺序求解各个子问题,从而获得整个问题的解。公交时刻表设计是整个规划过程中最为复杂和关键的子问题,决策线路各车次的发车时间,不仅关系着公交服务质量,还影响后续车辆调度和驾驶员调度等子问题的求解。因此,研究公交时刻表设计方法来获得高质量的时刻表至关重要。在实际运营环境中,车辆行驶时间具有不确定性。为提高服务的可靠性,需要在时刻表设计中考虑不确定的车辆行驶时间。另外,现有的公交网络不可能给乘客提供点对点的服务,乘客在不同线路间换乘是普遍的现象。为减少乘客换乘等待时间,设计时刻表时要使得不同线路的车辆协同到达换乘站点,方便乘客换乘。

本书以公交企业对公交规划与运营管理的大框架为研究背景,在对公交规划过程中各子问题详细描述和公交时刻表设计优化方法研究综述的基础上,采用运筹学理论深入研究了不同场景下的公交时刻表设计问题,这些场景包括随机车辆行驶时间和运营策略比较分析、超时行驶费用和驻站策略、不固定发车间隔、时刻表中加入松弛时间和多目标。本书的主要研究内容如下:

(1) 考虑实际运营环境中车辆行驶时间的不确定性,研究了随机行驶时间情况下的公交线路时刻表设计问题和不同运行策略比较分析。以车辆到站准点偏差期望值最小为目标,构建了公交线路时刻表设计的一般期望值

模型。基于该模型,构建了4个分别嵌入不同运营策略(无运营策略、驾驶员调整车速策略、驻站策略和集成驾驶员调整车速和驻站的策略)的期望值模型。驾驶员调整车速策略就是激励驾驶员根据车辆到达当前站点的准点情况,尽量调整下一路段的行驶速度;驻站策略就是确保车辆的实际离站时间不能早于计划发车时间,晚点的车辆服务完乘客上下车后立即离站。这些模型包含期望值项和非线性约束,于是采用 Monte Carlo 仿真和不等式约束方法将期望值模型转化为线性优化模型,然后利用优化器 CPLEX 求解。通过算例计算,比较分析了不同运行策略对时刻表设计的影响。结果表明,相对于其他运行策略,驻站策略能极大地提高车辆到站准点率。最后,分析了不同运营策略的适用场景。

(2) 由于车辆行驶时间的不确定性,车辆常会超时行驶。在这种情况下,一方面公交公司要额外支付驾驶员的加班费用;另一方面,造成车辆晚点到达终点站,使得车辆不能准时执行返回车次,从而形成恶性延时循环。从系统费用的角度,构建了考虑超时行驶费用和驻站策略的公交线路时刻表设计模型。该模型考虑了运营者对车辆晚点到站或超时行驶费用的主观偏好。通过一个实际算例对模型中的参数进行了灵敏度分析。结果表明,车辆行驶时间的不确定性将极大地增加公交系统的运营成本,且系统总成本是车辆随机行驶时间方差的凸函数。

(3) 均匀发车间隔的公交时刻表无法满足不断变化的乘客需求,这将导致车辆的载客量不均衡;为减少乘客换乘等待时间,考虑同时决策整个公交网络各线路的时刻表。本书研究了不均匀发车间隔下的公交网络时刻表协同设计问题。使用数学不等式精确地描述了乘客的换乘等待时间,构建了以乘客总换乘等待时间最小为优化目标的混合整数规划模型,分析了可行解的空间结构和计算复杂性,并证明了该问题是 NP-hard 问题。基于模型特征的分析,设计了缩减求解空间的预处理方法,然后采用分支定界算法对预处理后的模型进行求解。通过计算不同算例,验证了求解方法和模型的有效性。

(4) 由于车辆行驶时间的不确定性,车辆不能严格按照计划的时刻到达换乘站点,这将导致乘客可能完全错过计划的换乘车次。本书研究了考虑加入松弛时间的公交网络时刻表协同设计问题;构建了求解该问题的随机混合整数优化模型,该模型考虑了车辆行驶时间的不确定性和松弛时间;分

析了模型特征和计算复杂性,并证明这是一个 NP-hard 问题;设计了求解该模型的嵌入局部搜索的改进遗传算法。通过计算一个实际算例,并将其与确定性模型相比,该模型得到的时刻表能减少乘客等待时间费用达 9.5%。当车上乘客与换乘乘客的数目之比小于 10 时,提出的模型是有效的。最后,通过计算不同规模的算例,进一步验证了模型和求解算法的有效性。结果表明,在不确定的运营环境下,将松弛时间加入时刻表中能降低乘客协同换乘的失败率,从而提高时刻表的可靠性使换乘乘客受益。

(5) 公交网络时刻表设计问题涉及多个目标,且这些目标相互冲突。设计一个全新的时刻表会对原有时刻表和乘客原有出行计划产生影响。本书研究了多目标公交网络时刻表协同设计问题。该问题考虑了对发车间隔敏感的乘客需求、不均匀发车间隔、服务规则性、灵活的协同换乘方式和原始时刻表。考虑决策者调整现有时刻表以使更多的乘客受益于平滑换乘服务,同时又担忧调整后的时刻表将打乱不换乘乘客已习惯的出行计划。为权衡受益于平滑换乘的总乘客数目和偏离现有发车时间的最大值,提出了求解该问题的多目标混合整数优化模型。本书分析了该多目标公交网络时刻表协同设计问题的可行解空间和计算复杂性,证明了这是 NP-hard 问题,且它的帕累托最优前沿是非凸的。因此,设计了基于非支配排序的多目标进化算法。实验表明,与枚举算法相比较,该算法能够在合理的时间内获得高质量的帕累托最优解集。

本书的研究契合政府积极倡导的“公交优先”政策和提高公交分担率的需求。研究成果不仅丰富和发展了公交时刻表设计问题的关键优化理论与求解算法,具有重要的学术价值,同时为公交企业设计开发智能公交运营决策支持系统,辅助公交企业进行科学决策,提供理论、方法和技术支持。更重要的是,该结果对实现提高公交服务质量和公交分担率,减轻交通拥挤和尾气排放,保护环境,提高城市形象,具有重要的现实意义、广泛的应用前景。

本书的研究工作得到国家自然科学基金青年项目(71601088)、江苏科技大学引进博士科研启动项目(1042931601)、东南大学博士后科研启动项目(1114000307)的支持,在此对上述基金评审机构一并致以谢意。

本书参考了大量国内外文献和研究成果,在此向相关作者表示诚挚的谢意。由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

第1章 绪 论 / 1

1.1 问题背景及研究工作的意义 / 1

1.2 研究目标与研究内容 / 4

1.2.1 研究目标 / 4

1.2.2 研究内容 / 5

1.3 研究的技术路线 / 6

1.4 主要研究成果 / 8

1.5 本章小结 / 10

第2章 公交时刻表设计问题的研究综述 / 11

2.1 公交规划过程的基本要素 / 11

2.2 公交规划过程相关问题的概述 / 15

2.3 公交时刻表构成要素 / 21

2.3.1 发车间隔方针 / 22

2.3.2 发车时间的灵活性 / 23

2.3.3 车辆行驶时间特征 / 24

2.3.4 协同换乘方式 / 24

2.3.5 时刻表设计的目标 / 25

2.4 公交时刻表设计问题的研究综述 / 27

2.4.1 公交线路时刻表设计综述 / 27

2.4.2 公交网络时刻表协同设计综述 / 29

2.4.3 现有研究的不足 / 32

2.5 本章小结 / 33

第3章 随机行驶时间下公交时刻表设计中不同运行策略比较分析 / 34

- 3.1 引言 / 34
- 3.2 随机行驶时间下公交时刻表设计 / 35
- 3.3 随机行驶时间下公交时刻表设计的一般模型 / 36
 - 3.3.1 符号定义 / 36
 - 3.3.2 随机行驶时间下公交时刻表设计的问题描述 / 37
 - 3.3.3 嵌入不同运行策略的随机行驶时间下公交时刻表设计模型 / 39
 - 3.3.4 不同运行策略的数学描述 / 40
- 3.4 基于 Monte Carlo 仿真的求解方法 / 42
- 3.5 考虑超时行驶费用和驻站策略的公交时刻表设计模型 / 44
- 3.6 实验算例与结果分析 / 46
 - 3.6.1 算例设计 / 46
 - 3.6.2 基于 Monte Carlo 仿真方法的收敛性 / 48
 - 3.6.3 不同运行策略对总时刻表偏差的影响 / 49
 - 3.6.4 不同运行策略对松弛时间的影响 / 50
 - 3.6.5 不同运行策略对线路计划行驶时间的影响 / 52
 - 3.6.6 参数灵敏度分析 / 53
- 3.7 本章小结 / 56

第4章 考虑不均匀发车间隔的公交时刻表协同设计优化方法 / 58

- 4.1 引言 / 58
- 4.2 考虑不均匀发车间隔的公交时刻表协同设计的数学模型 / 59
 - 4.2.1 问题描述 / 59
 - 4.2.2 符号定义 / 60
 - 4.2.3 车辆协同方式的定义 / 61
 - 4.2.4 换乘等待时间的数学描述 / 61
 - 4.2.5 数学模型 / 63

4.3	模型分析	/ 63
4.3.1	计算复杂性分析	/ 63
4.3.2	可行解的空间特征	/ 64
4.3.3	求解模型的预处理方法	/ 65
4.4	实验算例与结果分析	/ 66
4.4.1	算例设计	/ 66
4.4.2	实验与结果分析	/ 67
4.5	本章小结	/ 68
第5章	考虑加入松弛时间的公交时刻表协同设计优化方法	/ 69
5.1	引言	/ 69
5.2	考虑加入松弛时间的公交时刻表协同设计的数学模型	/ 70
5.2.1	问题的描述与假设	/ 70
5.2.2	符号定义	/ 72
5.2.3	车辆在换乘站点的发车时间	/ 74
5.2.4	不同类型乘客的等待时间	/ 75
5.2.5	随机混合整数规划模型	/ 76
5.3	模型分析和计算复杂性	/ 77
5.3.1	模型特征	/ 77
5.3.2	计算复杂性	/ 79
5.4	嵌入局部搜索的改进遗传算法设计	/ 80
5.4.1	遗传算法简介	/ 81
5.4.2	染色体编码	/ 82
5.4.3	初始种群的生成	/ 82
5.4.4	适值函数	/ 83
5.4.5	交叉操作	/ 84
5.4.6	变异操作	/ 85
5.4.7	精英保留策略	/ 85
5.4.8	局部搜索策略	/ 85

5.4.9	嵌入局部搜索的遗传算法总体实现过程	/ 86
5.5	实验算例与结果分析	/ 88
5.5.1	小规模算例与求解结果	/ 88
5.5.2	针对小规模算例模型的有效性分析	/ 91
5.5.3	不同类型乘客数对模型有效性的影响	/ 93
5.5.4	针对不同规模算例模型的有效性分析	/ 94
5.5.5	求解算法的性能分析	/ 95
5.6	本章小结	/ 96
第6章	多目标公交时刻表协同设计: 模型、复杂性和方法	/ 97
6.1	问题背景	/ 97
6.2	多目标优化问题求解算法概述	/ 99
6.3	多目标公交时刻表协同设计的数学模型	/ 100
6.3.1	问题描述与假设	/ 100
6.3.2	符号定义	/ 102
6.3.3	数学模型	/ 103
6.4	模型特征和计算复杂性	/ 104
6.4.1	模型特征	/ 104
6.4.2	计算复杂性	/ 107
6.4.3	帕累托前沿	/ 108
6.5	基于 NSGA - II 的求解算法设计	/ 110
6.5.1	NSGA - II 算法描述	/ 110
6.5.2	染色体编码	/ 112
6.5.3	解的评价与选择	/ 114
6.5.4	交叉	/ 114
6.5.5	变异	/ 115
6.5.6	父代与后代种群合并	/ 115
6.5.7	基于 NSGA - II 的算法流程	/ 116

6.6 实验算例 / 118

6.6.1 算例与参数设计 / 119

6.6.2 针对小规模算例算法的性能分析 / 120

6.6.3 针对实际公交网络算法的性能分析 / 124

6.6.4 发车间隔偏移量对帕累托解的影响 / 125

6.7 本章小结 / 126

第7章 总结与展望 / 127

7.1 研究工作总结 / 127

7.2 未来研究展望 / 129

参考文献 / 130

后记 / 151

绪 论

1.1 问题背景及研究工作的意义

随着社会经济的高速发展和城镇化进程的加快,居民的生活水平不断提高,社会活动日益繁忙,城市交通逐渐成为城市发展水平的重要标志。然而,人们对交通的需求越来越大,机动车拥有量急剧增加,人口、空间、资源和交通供需之间的矛盾日益加剧,导致城市交通拥堵。截至2014年底,中国机动车保有量达2.64亿辆,其中汽车1.54亿辆;机动车驾驶人突破3亿人,其中汽车驾驶人超过2.46亿人;小型载客汽车达1.17亿辆,其中私家车达1.05亿辆,占90.16%,与2013年相比增长19.89%;全国平均每百户家庭拥有25辆私家车,其中北京每百户家庭拥有63辆^[1]。以北京为例,居民每天上下班在路上消耗的时间为40.1 min,若遇到拥堵,则时间为62.3 min。北京每台机动车每月支付的道路拥堵成本在300~400元之间,若全市机动车保有量为450万辆,则年损失就高达216亿元^[2]。在道路拥堵的情况下,汽车排放的PM_{2.5}是顺畅行驶的5倍以上,进一步加剧雾霾天气的频发。据《2012年北京市环境状况公报》,机动车排放量已成北京市污染排放第1位,以PM_{2.5}为例,机动车排放量占比高达22.2%^[3]。由此可见,在一些大城市,交通拥挤、环境污染、出行不便等问题已成为制约城市可持续发展的主要瓶颈之一,并在很大程度上影响了城市经济进一步发展和居民生活水平的提高。

缓解城市交通拥堵已刻不容缓。实践证明,单纯依靠增加交通供给或限制道路使用的方法,不能从根本上解决交通拥堵问题^[4]。鉴于公共交通有运载量大、运送效率高、能量消耗低、污染少、成本低等优点^[2],许多专家

指出,优先发展城市公共交通是缓解交通拥堵的重要手段^[5-7]。政府也高度重视优先发展公共交通系统,如《交通运输“十二五”发展规划》提出城市公共交通发展目标:实施公共交通优先发展,大力发展城市公共交通系统,建立健全多层次、差别化的公共交通服务网络,形成便捷、高效、智能、环保的城市公交体系^[8]。城市公共交通系统由地铁、公交汽车(公交)、出租车等交通方式组成。地铁载客量大、准点率高、安全舒适,但造价高、建设周期长;出租车虽方便快捷、灵活,但其效率不高且加重道路资源的负担;而公交具有灵活性好、占地少、成本低、组织运营方便等优点。公交仍然是公共交通的主力军,在人们的出行活动中占据着重要的地位。一个有效的公交系统不仅节省系统的运营成本,还能吸引更多的私家车出行者转向公交方式出行。针对提高公交系统的运营效率和服务质量的研究一直是交通领域的热点。因此,改善公交系统的运营效率,提高公交的竞争力和吸引力,吸引更多的乘客选择公交方式出行是缓减城市交通拥堵的关键举措。

然而,当前大多数城市公交系统存在服务水平低、运营效率低等问题。一方面从服务质量上来说,公交车辆准点率低,串车现象严重,线路满载率较高和车内环境差,造成越来越少的乘客选择公交出行;另一方面从运营效率上来说,公交企业没有有效的运行计划和管理模式,资源利用不充分和亏损严重,造成车辆发车间隔越来越大,又会造成乘客较长的等车时间。两方面相互影响,使公交运营陷入恶性循环^[9]。这严重地影响了公交的服务质量、竞争力和吸引力,导致乘客流失。公交规划和运营计划不合理、欠优化是造成公交吸引力不足和公交企业亏损的重要原因^[2]。

因此,为提高公交运营效率和服务质量,必须对公交规划和运营计划进行优化调整。要在保证乘客出行方便的同时,兼顾公交企业的经济效益,以社会效益最大化为原则,科学合理地优化公交规划过程。然而,公交规划是一个复杂、多阶段的决策过程,它包含4个子问题^[10-14]:线路规划、时刻表设计、车辆调度和驾驶员调度。从计算复杂性的角度来说,每个子问题都是NP-hard问题^[13]。整个公交规划问题涉及很多决策变量和约束,很难建立数学模型,并且求解极其复杂,找不到有效的求解算法^[13]。普遍的做法是,按顺序依次求解各个子问题。公交时刻表设计是公交规划过程中最为复杂和关键的子问题。公交时刻表设计就是根据乘客需求确定线路的发车间隔或车

次到站时间。当乘客需求得不到满足时(客流量过大,车次较少),车辆停站时间增加,会造成车辆行驶延迟并滞后于时刻表,而且还将不可避免地陷入进一步延迟的过程中;相反,乘客需求过低时,则会出现车辆早于时刻表到达或离开站点^[12]。此外,公交时刻表是车辆调度和驾驶员调度的基础(输入),只有在获得最优时刻表的前提下,才能求得有效的车辆和驾驶员调度方案。由此可见,时刻表设计问题不仅关系公交服务质量,还影响接下来车辆调度和驾驶员调度等子问题的求解^[15]。因此,公交时刻表的设计质量对乘客服务质量和公交运营效率起到关键的作用。针对国内公交运营效率低和服务质量差的现状,有必要对公交时刻表设计问题进行深入研究。根据乘客的需求兼顾公交企业利益,建立公交时刻表设计模型和设计有效的求解算法,为公交运营者提供科学决策支持,从而提升公交吸引力、缓解交通拥堵,具有重要的理论和现实意义。

近年来,许多学者投入到公交时刻表设计问题的研究之中^[16-18]。尽管他们从不同角度入手建立了不同的数学模型,但为了求解和分析方便,这些模型根据搜集的客流信息、车辆容量和政策规定的最大发车间隔等因素优化线路的发车间隔或频率。这些模型通常假设车辆行驶时间是固定的,导致理论结果与实际运营场景往往存在较大的差距,并不能达到提高公交服务质量的目的。事实上,车辆行驶时间受实际运营环境的影响,如交通拥堵、恶劣天气及乘客时变需求等都会造成车辆行驶时间的不确定性^[19-21]。因此,车辆行驶时间不确定情况下,研究公交时刻表设计不仅更符合现实场景,而且能提高公交服务的可靠性。另外,为提高公交时刻表在实际运营环境中的性能,运营者往往会采用不同的车辆运行策略确保车辆按照计划时刻到达或离开站点。根据车辆在实际场景的运行特点,提出更有效的车辆运行策略,以及比较分析这些运行策略的适用范围为公交运营者的现场决策提供支持具有极强的指导和应用价值。

目前,国内公交企业采用的公交时刻表设计方法以单线路时刻表设计为主。在这种时刻表设计方法下,每条线路只根据各自线路的客流调查数据来制订发车时刻表,造成线路间时刻表缺乏协同。实际上,现有的公交网络不可能满足乘客的点对点服务,为了完成出行目的,乘客不得不在不同线路的车次间换乘^[22]。如果设计的时刻表没有考虑不同线路的车辆协同到达

换乘站点,将造成乘客较长的换乘等待时间,降低乘客对公交服务质量的满意度^[23-24]。公交网络时刻表协同设计方法克服了这个缺点,在满足单条线路客流需求的基础之上,最大程度地协同各线路车次的发车时间,方便乘客换乘,提高公交服务的整体质量。国外对公交网络时刻表协同设计问题的探索可以追溯到 20 世纪 70 年代^[25],而国内对公交网络时刻表协同设计问题的研究还处于理论探索阶段。国内公交运营的环境与国外有很大的差异,不能直接按照国外的时刻表设计模式。因此,针对国内公交企业的实际运营场景,研究公交网络时刻表协同设计问题对进一步发展公交时刻表设计方法和改善公交企业运营模式具有重要的意义。

本书以公交企业对公交规划与运营管理的大框架为研究背景,深入研究了实际运行环境下公交线路时刻表设计问题、公交网络时刻表协同设计问题和多目标公交网络时刻表协同设计问题,并建立了相应的数学模型和算法分别来对其进行求解。本书提出的优化模型和算法不仅具有较好的理论参考价值,更重要的是能够为公交运营者提供公交时刻表设计的技术和方法支持。以科学的角度和方法解决公交企业的运营者在实际中遇到的困难,辅助决策者从不同的角度进行决策,大大地缓解了决策者大量的重复性劳动,减少了决策时间,提高了决策效率及决策的灵活性和应变能力,从而帮助企业提高公交服务质量,减少运营成本,并最终提升公交竞争力和吸引力,吸引更多的乘客选择公交出行,进而提高公交系统的分担率,缓解城市交通拥堵。

1.2 研究目标与研究内容

1.2.1 研究目标

本书从提高公交服务质量和兼顾公交企业经济效益出发,对公交规划过程中最为关键的公交时刻表设计问题展开深入研究。针对现有关于公交时刻表设计研究中存在的不足,结合国内公交运营的实际场景,综合运用系统工程方法论和运筹学等相关知识构建新的数学模型,并设计有效的求解算法。提出的公交时刻表设计模型能综合考虑更多真实的因素,从而得到

一个更适合实际场景的决策,缩小理论与实际之间的差距,希望得到的理论结果能够迅速地应用在公交运营的实际环境中。为此,在公交线路时刻表设计中考虑车辆行驶时间的不确定性,设计不同的运营策略以提高车辆到站的准点率,建立嵌入不同运营策略的优化时刻表设计模型并设计求解算法。为方便乘客换乘,提高公交服务的整体质量,在不同场景下对公交网络时刻表协同设计进行描述与建模,并设计求解对应模型的启发式算法。这些研究将进一步丰富公交规划决策和运营管理理论,为运营者在公交时刻表设计中提供理论支持和方法指导,进而提高公交系统效率和服务质量。

1.2.2 研究内容

基于以上研究目的,本书主要在已有的优化理论和交通运营管理知识基础上,基于对公交时刻表构成要素的详细描述,重点研究了实际运营环境下公交时刻表设计问题。首先,构建了实际运营环境下公交线路时刻表设计问题的一般模型,分析不同运行策略对时刻表设计的影响。其次,考虑超时行驶时间对公交系统产生的额外成本,研究考虑超时行驶费用和驻站策略的公交线路时刻表设计模型。然后,在车辆随机行驶时间和方便乘客换乘的场景下,研究考虑加入松弛时间的公交网络时刻表协同设计问题。最后,构建了多目标公交网络时刻表协同设计模型。对上述模型进行数学特征和计算复杂性分析,并设计有效的求解方法或优化算法。

本书研究的具体内容如下:

(1) 公交规划过程相关问题描述和公交时刻表设计优化方法研究综述。

(2) 分析了随机车辆行驶时间情况下的公交时刻表设计问题的研究背景,建立了求解单线路公交时刻表设计问题的一般模型,建立了嵌入不同运营策略的4个随机期望值模型,并提出有效的求解方法。

(3) 从公交系统费用的角度,考虑超时行驶费用和驻站策略的公交线路时刻表设计问题描述和求解模型。

(4) 研究不均匀发车间隔下的公交网络时刻表协同设计问题的建模与求解方法。

(5) 在车辆行驶时间不确定条件下,描述考虑加入松弛时间的公交网络时刻表协同设计问题,建立随机混合整数规划模型与求解算法研究。

(6) 在决策者考虑调整现有时刻表发车时间的场景下,多目标公交网络时刻表协同设计问题描述、建模与求解算法研究。

1.3 研究的技术路线

本研究的总体设计采用系统工程的思想和方法,对各个问题进行循序渐进的研究。从服务可靠性和系统成本的角度分别研究公交线路时刻表设计问题,对典型的运营策略进行比较分析,然后集成不同的运营策略,研究其对公交时刻表设计的影响。将公交时刻表设计问题的对象从单线路扩展到网络,研究确定性环境下的公交网络时刻表协同设计问题;再引入不确定条件下的公交网络时刻表协同设计问题;最后从公交时刻表协同设计的单目标问题扩展到多目标问题。对每个问题采用定性描述和定量分析的方式,按照建模、求解算法设计、算例结果分析的思路进行研究。具体技术路线或思路如下:

首先,在大量查阅国内外文献和公交企业调研中,重点了解公交规划过程涉及的相关问题。对每个问题的因素、操作步骤和解决问题的关键点等进行深入地了解及思考,并结合实际运营环境中的重要因素和现有的研究去发现问题。公交规划过程是一个复杂且多阶段的决策问题,一般包括线网规划、时刻表设计、车辆调度和驾驶员调度。时刻表设计是最为关键的子问题,只有获得高质量的时刻表才能有效地运营公交系统。公交线路时刻表设计问题就是在一个计划时间段内(将一天的运营时间分为几个时间段)满足乘客的需求下,优化各车次到达站点的时间。在实际的运营环境中,车辆的行驶时间具有不确定性,车辆到站可靠性是评价公交服务质量的重要指标之一。因此,本书首先从服务可靠性的角度对公交线路时刻表设计问题进行分析,侧重于研究考虑车辆随机行驶时间情况下的公交线路时刻表设计方法。为确保车辆按照计划时刻表运行,运营者通常采用一些运营策略。在构建公交线路时刻表设计问题的一般模型基础上,提出在时刻表设计中嵌入不同的运营策略,并比较分析这些运营策略对时刻表设计的影响,以及得出这些运营策略的适用场景。虽然增加车辆行驶时间能提高车辆到站准点率,但较长的行驶时间增加了运营成本。因此,需要研究考虑超时行