

文章编号: 1002-0268 (2004) 02-0103-03

# 公交线路发车频率优化模型

陈茜, 牛学勤, 陈学武, 王炜  
(东南大学, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 公交运营调度是整个公交企业管理业务的核心。提高我国城市公交的运营调度水平, 是改善城市公交服务质量、提高公交吸引力的重要途径。本文分别从公交乘客利益和公交企业利益角度分析了公交线路调度问题, 建立了以企业效益满意程度最高、乘客等待抱怨程度最低、乘客拥挤抱怨程度最低为目标的公交车辆发车频率的多目标优化模型, 兼顾了乘客和企业经营者双方利益。进一步结合南京市公交调查数据进行了优化计算, 证明模型具有较强的实用性。

**关键词:** 公交线路; 调度; 客流量; 发车频率

中图分类号: U491.1<sup>+</sup>7

文献标识码: A

## Bus Service Frequency Optimal Model

CHEN Qian, NIU Xue-qing, CHEN Xue-wu, WANG Wei

(Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096 China)

**Abstract:** Bus dispatching is the key of public transport management. To enhance the level of public transport dispatching management is an important means of improving the service quality of urban public transport and attracting bus passengers. This paper analyzes urban bus dispatching in terms of service quality and efficiency and builds bus service frequency optimal model, with multitarget optimization model to passengers' satisfaction as well as for the benefit of the bus corporation. The model is applied in bus route of Nanjing based on local bus service survey data and proved to be useful.

**Key words:** Bus route; Dispatch; Transport volume; Frequency

### 1 问题分析

行车时刻表的制定是城市公共交通企业管理的重要基础工作之一。如何经济、合理地使用车辆, 解决运量和运能的矛盾, 挖掘车辆潜力, 缓解客流拥挤, 是制定行车计划的目标。<sup>[1]</sup>

#### 1.1 乘客需求分析

通过在苏州、扬州、昆山、张家港等城市的公交调查发现, 车内拥挤程度、行车准时性、等车时间长短、乘坐是否方便是居民公交出行最为关注的主要问题。其中车内拥挤度、等车时间主要和公交调度相关, 可以从安排车辆运营角度考虑乘客需求, 减少拥挤和等待, 这就要求车辆足够多。但无论从企业运作、

经济效益考虑, 还是考虑道路条件限制, 都不可能达到理想要求。因此, 行车计划只能在一定程度上满足乘客需求。

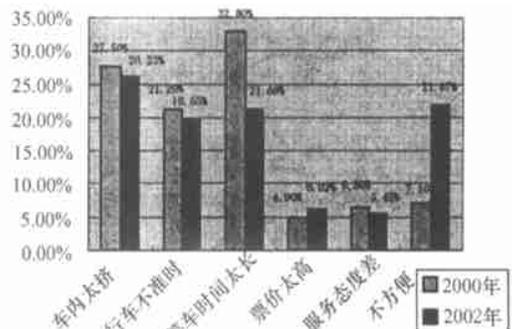


图1 苏州市民对公交存在主要问题的看法

收稿日期: 2002-12-19

基金项目: 国家十五科技攻关项目资助

作者简介: 陈茜 (1978-), 女, 江苏淮安人, 硕士研究生, 研究方向为交通运输规划与管理。

### 1.2 公交企业效益需求

公共交通是劳动密集型行业，决定了企业运作的成本是非常高的。企业每年要承担车辆的投入、维修、保养、人员工资、企业管理费用等一系列费用，而主要收益只来自乘客的票款收入。公交是一种面向工薪阶层的大众交通方式，其票价是按低标准确定的。要提高企业的效益，只能通过降低成本，主要是减少车辆、人员的投入，但又是以牺牲一定的乘客利益为代价的。

综上所述，乘客需求和公交企业需求是一对矛盾，满足乘客需求会牺牲企业利益，以企业利益为重又会损失乘客利益。因此，找到二者的平衡点，制定相应的行车计划，是调度优化的关键。

## 2 发车频率优化模型

### 2.1 模型假设

1. 考虑单行情况；
2. 乘客在任何时段内各站点上下客流情况及断面客流量已知；
3. 线路上的公交车为同一型号，公交车会按调度表准时到站和出站；
4. 根据全线客流划分时段，同一时段内发车间隔相等；
5. 同一时段内乘客上下车满足均匀分布；
6. 全程票价统一；
7. 服务水平较高，乘客不存在滞留情况。

### 2.2 变量定义

$l$  为全线客流划分为  $l$  个时段； $T_j$  为每个时段的时间间隔， $\min$ ； $n_j$  为每个时段的发车次数； $t_j$  为各时段发车间隔， $\min$ ， $t_j = \frac{T_j}{n_j}$ ； $m$  为全线单向  $m$  个站点； $ml_k$  为各站点间距； $p_{kj}$  为  $T_j$  时段内各断面客流量； $pu_{ij}$  为  $T_j$  时段单位时间内各站点上客量； $pp$  为全天总客流， $pp = \sum_j \sum_i pu_{ij}$ ； $np$  为每辆车额载； $lr$  为最低满载率； $hr$  为最大满载率； $tr$  为乘客能接受的满载率上限； $mp_j$  为最大客流断面通过量， $mp_j = \max_k p_{kj}$ ； $mt_j$  为  $T_j$  时段最大发车间隔； $ht_j$  为  $T_j$  时段乘客接受的等车时间上限； $c1$  为公交车辆单边行驶的费用，元； $c2$  为票价，元； $bp$  为抱怨等待的乘客数， $bp = \sum_j \sum_i pu_{ij}$ ，if  $t_j > ht_j$ ； $bl$  为抱怨拥挤的路段长度， $bl = \sum_k \sum_j p_{kj} \cdot ml_k$ ，if  $p_{kj} > n_j \cdot np \cdot tr$ ，其中， $i$  为第  $i$  个站点， $i = 1, \dots, m$ ； $j$  为第  $j$  个时段， $j =$

$1, \dots, l$ ； $k$  为第  $k$  个断面， $k = 1, \dots, m-1$ 。

### 2.3 模型建立

本文选取企业满意度最大、乘客等待抱怨程度最小、拥挤抱怨程度最小 3 个目标，分别用 3 个百分数指标来描述：

(1) 企业的效益成本比

$$w_1 = \frac{c2 \cdot pp - c1 \cdot \sum_j n_j}{c1 \cdot \sum_j n_j} \times 100\%$$

(2) 等待抱怨百分比

$$w_2 = \frac{bp}{pp} \times 100\%$$

(3) 拥挤里程所占百分比

$$w_3 = \frac{bl}{\sum_k \sum_j p_{kj} \cdot ml_k} \times 100\%$$

通过以上分析，建立 3 目标函数： $\max w_1$ 、 $\min w_2$  和  $\min w_3$ 。为便于计算，引入 3 个非负加权因子  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ ，将 3 目标函数转化为单目标函数

$$\min W = \min (-\lambda_1 \cdot w_1 + \lambda_2 \cdot w_2 + \lambda_3 \cdot w_3)$$

$W$  为衡量乘客和企业不满意程度的综合指标， $\min W$  表明优化目标是使得乘客和企业的综合不满意程度最低。加权因子  $\lambda_i$  的取值由企业管理者确定，针对不同线路，不同目标，可采用不同的取值加以比较。

为确保解的可行性，考虑建立如下约束条件：

(1) 运营收益能维持线路正常运营开支，平均满

$$\text{载率不能低于最低满载率 } \frac{\sum_{k=1}^{m-1} p_{kj}}{n_j \cdot np} \geq lr ;$$

(2) 乘客在站台等待时间不超过一定的时间上限： $t_j \leq mt_j$ ；

(3) 不存在乘客滞留（见假设 7）： $n_j \cdot hr \cdot np \geq mp_j$ 。

综合得到发车频率优化模型如下

$$\min W = \min \left[ -\lambda_1 \times \frac{c2 \cdot pp - c1 \cdot \sum_j n_j}{c1 \cdot \sum_j n_j} \times 100\% + \lambda_2 \times \frac{bp}{pp} \times 100\% + \lambda_3 \times \frac{bl}{\sum_k \sum_j p_{kj} \cdot ml_k} \times 100\% \right]$$

$$\text{s. t. } \max \left( \frac{T_j}{mt_j}, \frac{mp_j}{hr \cdot np} \right) \leq n_j \leq \frac{\sum_{k=1}^{m-1} p_{kj}}{lr \cdot np}$$

上述模型是一个典型的非线性优化 (NP) 问题。寻优的初值取实际调度的经验值，这样保证在初值附

近的一个邻域内, 总能找到一个  $\ddot{n}_j$ , 使得  $W(\ddot{n}_j) \leq W(n_j)$ , 该局部最优解完全可以作为实际问题的近似最优解。借助 Matlab 数学工具, 通过最优化搜索很容易求得  $\ddot{n}_j$ 。

### 3 实例应用

企业编制行车时刻表时, 最关注的是投入的运力和实际需求是否能最大程度地吻合, 尤其是对最大客流断面、最大客流需求站点的把握。客流需求集中的断面是调度的关键控制点, 这里的供需矛盾解决了, 也就解决了大部分乘客的需求。本模型的建立充分考虑到数据采集的可能性, 为依据不完整的客流数据编制行车时刻表提供了解决方法, 使得在客流数据采集手段落后的今天乃至今后相当一段时间、相当一部分城市, 应用较为先进的思路优化行车调度问题成为可能。

表 1 给出了南京市 54W 公交线路 2002 年 9 月 2

南京市 54W 公交线路驻站客流调查数据 (2002.09.02)

表 1

站距	上行: 化工厂—中山码头				下行: 中山码头—化工厂			
	晓庄	中央门北站	金桥市场	大桥南路	大桥南路	金桥市场	中央门北站	晓庄
	4.85	1.43	1.71	1.71	1.43	4.85		
6: 00—6: 30	44	30	9	5	40	18	26	0
6: 30—7: 00	57	58	7	2	82	69	64	32
7: 00—7: 30	74	40	18	18	80	75	127	80
7: 30—8: 00	120	47	9	9	47	69	101	60
8: 00—8: 30	79	50	6	5	80	49	136	64
8: 30—9: 00	62	62	10	16	34	15	75	12
9: 00—9: 30	90	68	13	28	11	35	34	15
9: 30—10: 00	63	61	33	38	1	55	23	8
10: 00—10: 30	15	51	28	24	9	43	41	11
10: 30—11: 00	29	51	12	37	3	34	31	11
11: 00—11: 30	18	38	14	16	6	42	33	8
11: 30—12: 00	18	43	23	23	3	40	21	3
12: 00—12: 30	12	35	15	37	10	24	21	9
12: 30—13: 00	22	29	15	36	2	65	28	22
13: 00—13: 30	14	53	15	18	6	19	17	19
13: 30—14: 00	31	49	23	20	2	38	14	4
14: 00—14: 30	21	64	23	29	4	20	17	10
14: 30—15: 00	31	74	18	27	6	41	43	18
15: 00—15: 30	31	45	12	28	4	88	26	19
15: 30—16: 00	28	70	11	21	0	40	43	27
16: 00—16: 30	54	41	15	27	2	43	22	10
16: 30—17: 00	82	33	23	38	0	70	15	35
17: 00—17: 30	75	93	27	49	3	100	71	24
17: 30—18: 00	47	47	29	25	0	87	29	42
18: 00—18: 30	26	52	41	55	8	48	27	24
18: 30—19: 00	31	41	20	30	6	32	14	17
19: 00—19: 30	33	27	11	29	2	28	17	12
19: 30—20: 00	15	24	11	22	2	27	17	6
20: 00—20: 30	18	11	6	28	0	15	20	5
20: 30—21: 00	24	37	6	26	2	22	17	9

(下转第 108 页)

产生的车体倾斜角为最大可能的车体倾斜角,加之路面的横坡或纵坡,此时车组最易发生横向失稳。

### 1.3 运输车辆的通过能力

(1) 路面负载能力 大件运输的载重吨位一般较大,必须考虑运输过程中路面的负载能力。在建立数学模型时,采用荷载效应比较法,将不同车型的荷载等相关参数与标准荷载进行比较。如果影响道路弯沉的各主要参数均小于许用值则视为可以安全通过。

(2) 横坡和纵坡通过能力 在车辆稳定性中可以计算出货物在各种捆扎方式下的最大横向和纵向倾斜角,如果这个角度小于标准规定的角度,则认为可以安全通过横坡和纵坡。其中纵坡通过能力还要考虑挂车液压悬挂油缸的行程。

(3) 弯道通过能力 弯道通过能力主要采用的是道路参数比较法。通过弯道数据,与车组最小转弯半径等数据进行比较以确定车辆是否能安全通过。

根据《公路工程技术标准》中规定的桥梁设计与验算荷载,运用载荷比较法、载荷效应比较法和结构验算法,以确定运输过程中桥梁的通过能力。

根据《公路工程技术标准》中规定的公路设计的限界标准尺寸,综合车辆本身的外形尺寸以及运输货物的外形尺寸,即可判定是否可以安全通过。

## 2 大件运输计算机决策系统开发

把公路大件运输决策系统分为4个大的功能模

块:运输车辆的可靠性、运输车辆的稳定性、运输车辆的通过能力及数据库维护。其中,运输车辆的可靠性涵盖牵引车选型、牵引车配重计算、挂车的受力与变形校核、挂车拼接校核等子模块;运输车辆的稳定性包括捆扎方式的稳定性、液压系统稳定性、横向稳定性、纵向稳定性及塌点稳定性等子模块;运输车辆通过能力包括道路通过能力、桥梁通过能力及运输车辆外形通过能力等子模块;数据库包括运输车辆(牵引车和挂车)数据库、道路参数数据库、桥梁参数数据库等。前3大功能模块中的已知参数均可通过访问数据库得到。

根据上述模型和程序基本流程,开发出了大件运输计算机决策系统。前端界面采用VB语言开发,后台数据库采用Microsoft Access建立,系统数据维护十分方便,可随时修改或增减车辆、道路、桥梁等基本数据。计算结果采用数字、文字和图形结合起来表示,直观、友好、方便。

### 参考文献:

- [1] 陆文娟. 大件运输质量保证体系[J]. 汽车运输, 2000(11): 7-8.
- [2] 赵贺强, 张伟. 汽车列车的组合形式及应用[J]. 专用汽车, 2000(2): 38-39.
- [3] 成凯, 黄海东, 秦四成. 大吨位可拼装式挂车的液压悬架系统[J]. 专用汽车, 1995(10): 48-53.
- [4] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [5] 高延龄. 汽车运用工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.

(上接第105页) 模型优化结果 表2

时段	上行: 化工厂—中山码头		下行: 中山码头—化工厂	
	发车次数	发车间隔(min)	发车次数	发车间隔(min)
6:00—8:30	36.8	4	38.0	4
8:30—12:00	26.8	8	28.0	8
12:00—16:00	18.4	13	18.6	13
16:00—19:00	26.8	7	28.0	6
19:00—21:00	9.2	13	8.7	14

### 4 模型评价

模型同时兼顾了企业和乘客的双方利益,充分考虑了线路运行的可能性,对客流的处理采用了分时段的思路,使得模型简单便于操作。模型考虑到客流的方向性差异,利于车辆资源充分利用,也便于区域调度安排组织。充分考虑到客流数据的可获得性,使模型在调度的任何发展阶段都具有一定的通用性。通过实例验证,模型可靠稳定,可用做实际生产中编制行车时刻表的依据。

模型中假设同一时段内乘客上下车满足均匀分布,乘客不存在滞留情况,与实际情况存在差异,但考虑到我国城市公交发车频率(尤其是高峰时段)较高,可以认

为该假设不影响模型的实用性,可以通过细化客流时段划分以减轻满足客流不均匀分布造成的影响。此外,对不同的目标函数的权重选取有待进一步研究,对于各断面分布差异大的客流线路需要采取大站快车、区间车等特殊调度手段的线路模型中没有包含。

本文提出的发车频率优化模型只是从计划制定角度的一个方面加以优化,计划的制定还有很多重要环节,要从企业管理组织、人员安排等多角度考虑。同时,计划的执行要充分结合道路交通状况、车辆行驶情况,做出实时的现场调整,以适应不断变化的需求,有待进一步探讨。

### 参考文献:

- [1] 北京市公共交通公司, 北方交通大学. 城市公共交通运营调度管理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [2] 王伟, 杨新苗, 陈学武, 等. 城市公共交通系统规划与管理技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 吕鹏, 等. 公交车调度[J]. 工程数学学报, 2002(19).
- [4] 许波, 刘征. Matlab工程数学应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.