

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.05.012

基于客流时空分布的城市轨道交通线路行车计划优化方案

王树文^{1,2}

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037; 2. 云南建轨道交通投资建设有限公司, 昆明 650000)

摘要: 城市轨道交通发展往往需经历新线开通、客流增长、运能不足几个阶段。城市轨道交通进入网络化运营后, 客流会大幅增长且变化多样, 从而使得运营组织难度也大幅增加, 因此深入分析、掌握城市轨道交通客流的时空分布特性, 根据其特性优化全日行车计划, 对于城市轨道交通提高运营效率、运营质量具有重要的意义。重点分析城市轨道交通客流时空分布的具体特性, 提出行车间隔及开行对数优化模型, 并利用有序样品最优分割法对运营时段进行划分, 从而达到优化全日行车计划的目的。

关键词: 城市轨道交通; 全日行车计划; 客流; 有序样品最优分割法

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2019)05-0069-07

Optimization Scheme of the Urban Rail Transit Line Driving Plan Based on Temporal and Spatial Passenger Flow Distribution

WANG Shuwen

(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Limited, Beijing 100037; 2. Operation Department, Yunnan UCD Railway Transportation Investment and Construction Co., Ltd., Kunming 650000)

Abstract: The development of urban rail transit often goes through several stages, such as new line opening, passenger flow growth, and insufficient transportation capacity. When it enters the network operation stage, passenger flow will significantly increase and change, which makes operational organization more difficult. Hence, the temporal and spatial distribution characteristics of urban rail transit passenger flow are analyzed in detail. According to these characteristics, optimizing the full-day driving plan is of great significance for improving the operational efficiency and operational quality of urban rail transit. This paper focuses on the analysis of the temporal and spatial passenger flow distribution characteristics; proposes the driving interval and logarithm optimization model; and uses the optimal cut method for orderly samples to divide the operational time and achieve the purpose of optimizing the full-day operation plan.

Keywords: urban rail transit; full-day train operation plan; passenger flow; method of optimal cut for orderly samples

为有效解决城市交通拥堵问题, 近年来, 我国城市轨道交通得到了快速发展。截至 2017 年 12 月 31 日, 中国内地已有北京、上海、广州、昆明、南京、成都、深圳等 34 个城市拥有轨道交通运营线路, 运营

总里程为 5 033 km, 在建里程超过 6 200 km^[1]。城市轨道交通线路的投运, 减轻了城市交通压力, 优化了城市公共交通体系结构, 缓冲了城市交通拥堵。很多城市轨道交通均已进入网络化运营阶段, 客流量较大且具有明显的变化特征。结合客流的时空分布特性, 研究建立了城市轨道交通线路行车计划优化模型, 并举例分析。

收稿日期: 2019-01-21 修回日期: 2019-03-01

作者简介: 王树文, 男, 大学本科, 工程师, 主要从事城市轨道交通运营管理, 1512466311@qq.com

1 城市轨道交通客流时空分布特性

1.1 客流的时间分布特性

1.1.1 客流分布

1.1.1.1 一日内各时段的客流分布

城市轨道交通运营时间内各小时的客流分布是不一致的,根据运营时段内各小时的客流所占比例绘制客流分布图,其客流主要有单峰、双峰、全峰、突峰、无峰5种类型^[2],其中单峰型和双峰型最为常见,单峰型一般出现在工作日及节假日,双峰型一般出现在工作日。

以昆明地铁3号线为例说明客流的时间分布情况。3号线位于昆明主城区内的东西发展轴线上,是市区东西走向的骨干线,分别穿越西山区、高新区、五华区、盘龙区、官渡区,沿线经过了大批商业中心、居住成熟区、居住新区、大型交通枢纽、城市中心广场,线路长度23.6 km,初期设计预测客运量37.45万人次/d。通过对3号线以30 min为单位的工作日、双休日客流进行统计分析,得到3号线某工作日、双休日的进站客流时间分布图。工作日进站客流时间分布(双峰型)如图1所示;双休日进站客流时间分布(单峰型)如图2所示。

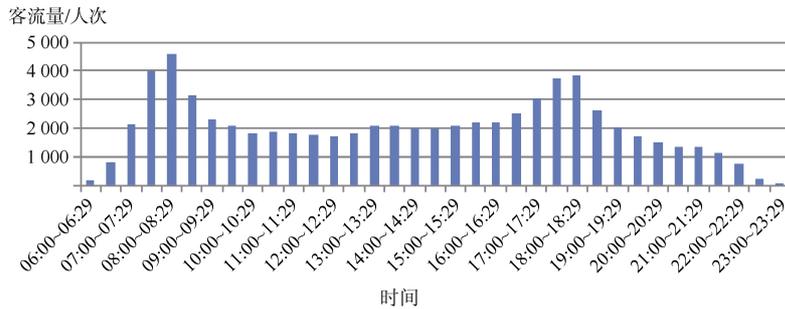


图1 昆明地铁3号线工作日进站客流时间分布(双峰型)

Fig. 1 Time distribution of inbound passenger flow on weekdays of Line 3 (bimodal)

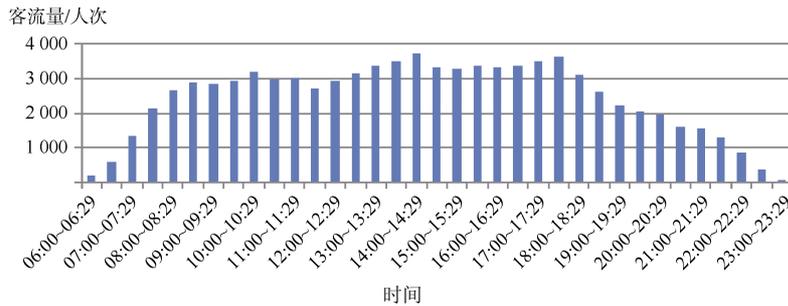


图2 昆明地铁3号线双休日进站客流时间分布(单峰型)

Fig. 2 Time distribution of inbound passenger flow on weekends of Line 3 (single peak type)

1.1.1.2 一周内每日的客流分布

若该线路经过较多的商业网点或者临近旅游景点,工作日客流往往较双休日客流低;若该线路以通勤、通学为主,工作日客流往往较双休日大。为充分合理地进行运输组织,城市轨道交通企业会针对工作日、双休日编制不同的列车运行图。

1.1.1.3 季节性或短期性客流的变化

随着季节性的变化,城市轨道交通客流也会有一定的变化。例如,每年的学校开学及放假时,客流会有增幅;每年春节期间往往客流相对较低,除夕当天一般会达到全年的最低客流。当然城市轨道交通也会因为沿线举行大型活动或天气突变导致客

流短时剧增。

1.1.2 客流的时间不均衡性

客流在时间上的不均衡性,一般用时间不均衡指数 α_t 表示,计算公式为

$$\alpha_t = \frac{A_{\max}}{H \sum_{i=1} A_i / H} \quad (1)$$

式中: A_{\max} 为单向最大断面客流量; A_i 为单向分时最大断面客流量; H 为全日营业小时数量。 α_t 越趋近于1,表明客流分布越均衡, α_t 值越大,表明客流越不均衡。当 $\alpha_t \geq 2$ 时,各时段客流分布不均衡程度较大。

例如,昆明地铁3号线某工作日,全日上行、下行小时最大断面客流量分别为4377人次/h、3741人次/h,全日上行、下行各小时最大断面客流总和的均值分别为1848人次/h、1743人次/h。结合式(1)可计算得出

3号线上行、下行的时间不均衡系数 α_t 分别为2.37、2.15,说明3号线工作日各时段客流分布不均衡程度较大。昆明地铁3号线工作日各时段上下行最大断面客流量分布情况如图3所示。

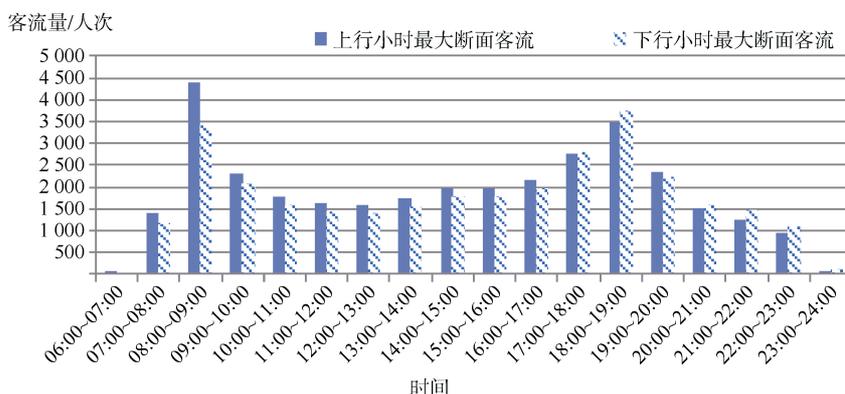


图3 3号线工作日各时段上下行最大断面客流量分布

Fig. 3 Distribution of maximum cross-sectional passenger flow in the upper and lower reaches on weekdays of Line 3

1.2 客流的空间分布特性

城市轨道交通客流在不同的站点、不同区段具有不同的特性^[3],具体如下。

1.2.1 客流分布

根据线路上下行方向客流分布情况,将城市轨道交通线路客流在方向上的分布类型分为双向型和单向型两种^[4]。

1) 双向型:上行、下行单位时段内客流接近,一般为市区线。

2) 单向型:上行、下行单位时段内客流相差较大,一般为市郊线。

1.2.2 上下行方向客流的不均衡特征

通常情况下,用上下行方向不均衡系数 α_f 对上下

行方向客流的不均衡程度进行呈现,计算公式为

$$\alpha_f = \frac{2 \max(A_{\max}^{\uparrow}, A_{\max}^{\downarrow})}{(A_{\max}^{\uparrow} + A_{\max}^{\downarrow})} \quad (2)$$

式中: α_f 为上下行方向客流不均衡系数; A_{\max}^{\uparrow} 、 A_{\max}^{\downarrow} 分别为上行、下行小时最大断面客流量,人次。当 α_f 趋于1时,表示上下行方向客流接近,当 α_f 较大时,表示上下行方向客流相差较大^[5]。例如,昆明地铁3号线某工作日高峰时段(8:00—9:00)上行、下行的最大断面客流量分别为4377人次/h、3421人次/h。经计算3号线 α_f 为1.12,说明3号线高峰时段上下行客流较为均衡。3号线工作日高峰小时上下各区间断面客流量分布如图4所示。

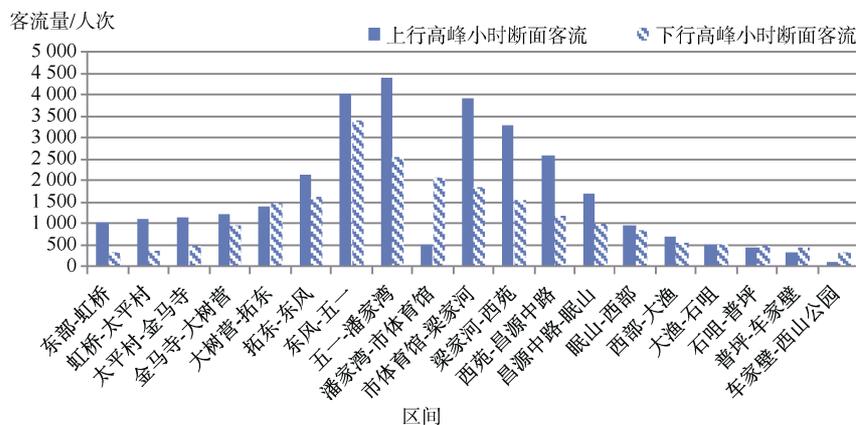


图4 3号线工作日高峰小时上下各区间断面客流量分布

Fig. 4 Distribution of passenger flow in each section of Line 3 during peak hours on weekdays

1.2.3 线路断面客流的不均衡特性

城市轨道交通线路各断面客流分布的差异性可用断面客流不均衡系数 α_d 来体现。

$$\alpha_d = \frac{A_{\max}}{\sum_{j=1}^n A_j / n} \quad (3)$$

式中： A_j 表示单位时段内，第 j 个区间断面的客流量； n 表示区间数量，计算时可整体计算，也可分上下行进行计算。断面不均衡系数 α_d 越趋近于1，则断面客流越均衡，线路单向客流空间分布越均衡； α_d 越大，则断面客流越不均衡，线路单向客流空间分布越不均衡^[6]。例如，昆明地铁3号线共20个站，单向19个区间，某工作日高峰时段(8:00—9:00)上行、下行最大断面客流量分别为4377人次/h、3741人次/h，上行、下行区间平均断面客流量分别为1656人次/h、1164人次/h。结合式(3)计算得到，3号线上行、下行 α_d 分别为2.64、3.21，说明3号线高峰小时上行、下行的断面客流不均衡程度较大，且3号线下行的不均衡性较上行大。

2 基于不同客流特性的运输组织方法

城市轨道交通客流常常在时间、空间上呈现出不同的特性，针对不同的特性，可通过以下方法优化运输组织：

1) 针对不同客流时间分布特点的运输组织方法。根据客流情况确定合理的全日行车计划，不同时段进行不同的行车间隔，尽可能使运能与运量匹配，既满足客流的需求，又不造成运能浪费。为保证服务水平及国家规范要求，行车间隔应控制在10 min以内^[7]。理论上可以在非高峰时段组织小编组列车运行，缩短行车间隔、提高满载率，但这种方法在实际运营过程中存在很多问题，基本不采用^[8]。

2) 针对不同客流空间分布特点的运输组织方法。上下行客流不均衡系数 α_f 较大($\alpha_f \geq 1.2$)时，可针对性地组织不均衡运输，提高运能与运量的匹配性；对高峰小时断面不均衡系数 α_d 较大的线路($\alpha_d \geq 1.5$)，可组织大小交路，提高车辆运用效率。对于高峰小时断面不均衡系数 α_d 较大的市郊线，可采用快慢车组合运行方案^[9]，提高服务效率，节省乘客出行时间，但该运输组织对线路前期配线设置及运营管理水平要求较高。

3 基于客流时空分布特点的全日行车计划优化

城市轨道交通全日行车计划依据各小时最大断面客流量来确定，为满足一定的服务水平，设定一定的满载率限制，结合列车定员载客的运能，即可计算出各时段的开行对数及行车间隔，从而得到全日行车计划^[10]。全日行车计划是列车运行图编制的基础^[11]，结合传统的计算方法，利用新的模型对全日行车计划进行优化。

3.1 行车间隔及列车开行对数模型

为提高全日行车计划的精度，以30 min为单位对行车间隔及列车开行对数进行研究，具体如下：

3.1.1 假设条件

- 1) 列车站站停车，为单一交路。
- 2) 列车停站标尺及运行标尺不变。
- 3) 列车数量足够，可满足运行图需求。
- 4) 列车编组固定，额定载客量固定，不存在混跑。
- 5) 为保证服务水平，列车满载率不超过 R^{λ} ，最大行车间隔不超过10 min。
- 6) 确定的行车间隔需介于 I_{\min} 与 I_{\max} 之间， I_{\min} 、 I_{\max} 分别为系统能实现的最小行车间隔、乘客所能承受的最大行车间隔。
- 7) 列车定员载客人数(AW2:座客+6人/m²)为 C 人。

3.1.2 行车间隔确定

用 λ 表示全运营时间内长度为30 min的某个时段， $\lambda \in (1, 2, 3, 4, \dots, \lambda_{\max})$ 。用 n 表示某车站， $P_{n,n+1}^{\lambda}$ 、 $Q_{n,n+1}^{\lambda}$ 、 $I_{n,n+1}^{\lambda}$ 分别代表 λ 时段内 n 与 $n+1$ 站间的断面客流量、开行对数、行车间隔， λ 时段内各区间所需的开行对数、行车间隔如下：

$$Q_{n,n+1}^{\lambda} = \left\lceil \frac{P_{n,n+1}^{\lambda}}{CR^{\lambda}} \right\rceil \quad (4)$$

$$I_{n,n+1}^{\lambda} = \frac{1800}{Q_{n,n+1}^{\lambda}} \quad (5)$$

其中 $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整函数。

λ 时段内的行车间隔 $I^{\lambda} = \min\{I_{1,2}^{\lambda}, I_{2,3}^{\lambda}, \dots, I_{n-1,n}^{\lambda}, I_{n,n-1}^{\lambda}, \dots, I_{2,1}^{\lambda}\}$ 。得到各时段初始解 I^{λ} 后，需进一步检查最小行车间隔及最大行车间隔的约束条件。

- 1) 当 $I^{\lambda} > I_{\max}$ 时，此时应以 I_{\max} 作为该时段的行

车间隔。

2) 当 $I^\lambda < I_{\min}$ 时, 应以 I_{\min} 作为该时段的行车间隔。

3) 当 $I_{\min} \leq I^\lambda \leq I_{\max}$ 时, 利用式(5)计算出该时段的行车间隔。

按以上步骤, 可以计算出全日各 30 min 的行车间隔计划, 同时也可推算出对应单位时间内的列车开行对数。

该方法可以将上下行看作一个整体进行推算, 也可针对上下行分别制订全日行车计划, 并针对不同时段适当拟合。

3.2 运营时段优化

根据客流计算出每 30 min 的行车间隔, 若严格按照计算出的行车间隔组织列车运行, 则列车出入场段或收发车较为频繁, 不利于行车组织且会影响到场内施工的正常开展, 为此需要将各时间段进行最优分割, 划分成为几个较大的时段, 并且在大气段内的行车间隔相同。

采用有序样品最优分割法^[12], 根据计算出的各时段的初始行车间隔进行分割, 视计算出的各时段行车间隔为一组有序样品, 有序样品最优分割法分割可以使同一类样品偏差尽可能小。首先, 将 λ 个时段的行车间隔顺序编号为 $I^1, I^2, \dots, I^{\lambda_{\max}}$, 设 $i, j \in \{1, 2, 3, \dots, \lambda_{\max}\}$ 。

3.2.1 类的直径

设一类 G 包含的样品有 $\{I^i, I^{i+1}, \dots, I^j\}$ ($j > i$), 简记为 $G = \{i, i+1, \dots, j\}$, 则该类的直径 $D(i, j)$ 及 i 至 j 时段的平均数 \bar{I}_{ij} 计算如下:

$$D(i, j) = \sum_{t=i}^j (I^t - \bar{I}_{ij})^2 \quad (6)$$

$$\bar{I}_{ij} = \frac{1}{j-i+1} \sum_{t=i}^j I^t \quad (7)$$

类的直径表示该类中数据的离散程度, 即同一时段内 30 min 的行车间隔数据的离散程度。

3.2.2 损失函数

该类的损失函数为

$$L[b(\lambda_{\max}, K)] = \sum_{t=1}^K D(i_t, i_{t+1} - 1) \quad (8)$$

当 K, λ_{\max} 固定时, $L[b(\lambda_{\max}, K)]$ 越小, 分类越

合理。记 $P(\lambda_{\max}, K)$ 是损失函数达到极小值的分类法。最小误差函数的递推公式为

$$\begin{aligned} L[P(\lambda_{\max}, 2)] &= \min_{2 \leq j \leq \lambda_{\max}} \{D(1, j-1) + D(j, \lambda_{\max})\} \\ L[P(\lambda_{\max}, k)] &= \min_{k \leq j \leq \lambda_{\max}} \{L[P(j-1, k-1)] + D(j, \lambda_{\max})\} \\ L[P(\lambda_{\max}, K)] &= \min_{K \leq j \leq \lambda_{\max}} \{L[P(j-1, K-1)] + D(j, \lambda_{\max})\} \end{aligned} \quad (9)$$

由式(9)知, 要将 λ_{\max} 个样品按 K 类最优分割, 应建立在将 $j-1$ 个样品最优分割为 $K-1$ 类的基础上。根据递推公式算出最小误差函数值, 最后根据最小误差函数值将样品分割。

3.2.3 求最优解

若分类数 $K(1 < K < \lambda_{\max})$ 已知, 求 $P(\lambda_{\max}, K)$, 使得在损失函数意义下达到最小, 求解方法如下:

1) 使最小误差函数值达到最小的分割点 j_k , 即

$$L[P(\lambda_{\max}, K)] = L[P(j_k - 1, K - 1)] + D(j_k, \lambda_{\max}) \quad (10)$$

2) 得到 K 类 $G_K = \{j_K, j_K + 1, \dots, \lambda_{\max}\}$, 找 j_{K-1} 使其满足下式

$$L[P(j_K - 1, K - 1)] = L[P(j_{K-1} - 1, K - 2)] + D(j_{K-1}, j_K - 1) \quad (11)$$

得到第 $K-1$ 类 $G_{K-1} = \{j_{K-1}, j_{K-1} + 1, \dots, j_K - 1\}$ 。

同理可以求得所有类 $G_1, G_2, G_3, \dots, G_K$, 最优解 $P(\lambda_{\max}, K) = \{G_1, G_2, \dots, G_K\}$ 。

3) 将划分后的最小行车间隔作为该段的最终行车间隔。将划分的时段用 $[t_k, t_{k+1}]$ 表示, $k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$ 。划分后各时段行车间隔用 I^k 表示。

4 算例分析

以昆明地铁 1、2 号线首期工程(不含 1 号线支线)为例进行算例分析。1、2 号线首期工程连接昆明北市区、主城中心区、主城南部城区与呈贡新区, 为城市南北走向的骨干线, 线路全长 42 km, 初期设计预测客运量为 67.78 万人次/d。设 β_i 为 75%, 系统可实现的追踪最小行车间隔 $I_{\min}=120$ s, 为保证一定的服务水平, 满足相关国家标准, $I_{\max}=600$ s, $C=1460$ 人/列, 取 2016 年 11 月某工作日客流为样本, 结合式(4)和式(5)计算, 并按照给定的约束条件进行取值, 得到运营时段每 30 min 对应的计划开行对数及行车间隔, 具体见表 1。

表1 1、2号线首期工程工作日全日行车计划(初步计划)

Tab. 1 Weekday full-time driving plan for the first phase of Lines 1 and 2 (preliminary plan)

序号	运营时段	30 min 最大断面 客流量/人次	计划开行对数 计算值/对	开行对数 取整值/对	计划行车间隔 计算值/min	行车间隔 取值/min
1	06: 30—06: 59	142	0.130	1	30	10
2	07: 00—07: 29	825	0.753	1	30	10
3	07: 30—07: 59	2 773	2.532	3	10	10
4	08: 00—08: 29	6 050	5.525	6	5	5
5	08: 30—08: 59	6 643	6.067	7	4.29	4.29
6	09: 00—09: 29	3 416	3.120	4	7.5	7.5
7	09: 30—09: 59	2 629	2.401	3	10	10
8	10: 00—10: 29	2 281	2.083	3	10	10
9	10: 30—10: 59	2 199	2.008	3	10	10
10	11: 00—11: 29	2 018	1.843	2	15	10
11	11: 30—11: 59	2 085	1.904	2	15	10
12	12: 00—12: 29	1 860	1.699	2	15	10
13	12: 30—12: 59	2 044	1.867	2	15	10
14	13: 00—13: 29	2 017	1.842	2	15	10
15	13: 30—13: 59	2 439	2.227	3	10	10
16	14: 00—14: 29	2 344	2.141	3	10	10
17	14: 30—14: 59	2 563	2.341	3	10	10
18	15: 00—15: 29	2 610	2.384	3	10	10
19	15: 30—15: 59	2 345	2.142	3	10	10
20	16: 00—16: 29	2 616	2.389	3	10	10
21	16: 30—16: 59	2 829	2.584	3	10	10
22	17: 00—17: 29	3 081	2.814	3	10	10
23	17: 30—17: 59	4 430	4.046	5	6	6
24	18: 00—18: 29	4 953	4.523	5	6	6
25	18: 30—18: 59	5 380	4.913	5	6	6
26	19: 00—19: 29	3 630	3.315	4	7.5	7.5
27	19: 30—19: 59	2 510	2.292	3	10	10
28	20: 00—20: 29	2 123	1.939	2	15	10
29	20: 30—20: 59	1 723	1.574	2	15	10
30	21: 00—21: 29	1 691	1.544	2	15	10
31	21: 30—21: 59	1 757	1.605	2	15	10
32	22: 00—22: 29	1 616	1.476	2	15	10
33	22: 30—22: 59	1 273	1.163	2	15	10
34	23: 00—23: 29	441	0.403	1	30	10

表1中序号(即时间段的编号)依次为1, 2, 3, ..., 34, 每个编号序列对应固定的行车间隔取值即样品, 鉴于计算数据量较大, 采用DPS统计分析软件进行计算。城市轨道交通运营时段不可划分过多, 运营时段控制在10类以内, 经DPS统计分析软件计算34个样品10类及以下的误差函数值、最优分割见表2。

工作日客流特征往往有明显的早晚高峰, 一般可分为低峰、平峰、早高峰、平峰、晚高峰、平峰、低峰(7个时间段), 或者平峰(含早低峰)、早高峰、平峰、晚高峰、平峰(含晚低峰)(5个时间段), 原则上同一时段行车间隔相同, 行车间隔取该时段的最小行车间隔, 结合表1、表2可得出, 划分为5个时间段和7个时

间段的具体划分结果及行车间隔见表 3。

表 2 有序样品最优分割结果

Tab. 2 Optimal segmentation results of ordered samples

分类数	误差函数	最优分割结果
2	2.5000	1-6, 7-34
3	1.5577	1-3, 4-5, 6-34
4	1.1182	1-6, 7-22, 23-26, 27-34
5	0.2262	1-3, 4-6, 7-22, 23-26, 27-34
6	0.0595	1-3, 4-5, 6, 7-22, 23-26, 27-34
7	0.0077	1-3, 4-5, 6, 7-22, 23-25, 26, 27-34
8	0.0000	1-3, 4, 5, 6, 7-22, 23-25, 26, 27-34
9	0.0000	1-2, 3, 4, 5, 6, 7-22, 23-25, 26, 27-34
10	0.0000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7-22, 23-25, 26, 27-34

从表 3 中可以看出, 最优分割为 5 段时段, 高低峰行车间隔相差较大, 实际执行的过程中也存在一定的时间缩放过渡, 而划分为 7 段, 行车间隔可以更好地过渡, 因此最优分割为 7 段时相对较优。将全运营时段划分为 7 段, 结合表 3, 经计算, 1、2 号线首期工程(不含 1 号线支线)全日行车计划见表 4。

表 4 1、2 号线首期工程(不含支线)全日行车计划(优化后)

Tab. 4 Full-time driving plan for the first phase of Line 1 and Line 2 (excluding branch lines) (optimized plan)

序号	运营时段	行车间隔/min	开行对数/对	序号	运营时段	行车间隔/min	开行对数/对
1	06: 30—06: 59	10	6	18	15: 00—15: 29	10	6
2	07: 00—07: 29	10	6	19	15: 30—15: 59	10	6
3	07: 30—07: 59	10	6	20	16: 00—16: 29	10	6
4	08: 00—08: 29	4.29	14	21	16: 30—16: 59	10	6
5	08: 30—08: 59	4.29	14	22	17: 00—17: 29	10	6
6	09: 00—09: 29	7.5	8	23	17: 30—17: 59	6	10
7	09: 30—09: 59	10	6	24	18: 00—18: 29	6	10
8	10: 00—10: 29	10	6	25	18: 30—18: 59	6	10
9	10: 30—10: 59	10	6	26	19: 00—19: 29	7.5	8
10	11: 00—11: 29	10	6	27	19: 30—19: 59	10	6
11	11: 30—11: 59	10	6	28	20: 00—20: 29	10	6
12	12: 00—12: 29	10	6	29	20: 30—20: 59	10	6
13	12: 30—12: 59	10	6	30	21: 00—21: 29	10	6
14	13: 00—13: 29	10	6	31	21: 30—21: 59	10	6
15	13: 30—13: 59	10	6	32	22: 00—22: 29	10	6
16	14: 00—14: 29	10	6	33	22: 30—22: 59	10	6
17	14: 30—14: 59	10	6	34	23: 00—23: 29	10	6

参考文献

[1] 周晓勤. 中国城市轨道交通的发展现状及机遇[J]. 城市轨道交通, 2018, 32(10): 25.

表 3 工作日时段最优分割及行车间隔计划

Tab. 3 Optimal segmentation and driving interval plan during weekdays

最优分割为 7 段			最优分割为 5 段		
分段	运营时段	行车间隔/min	分段	运营时段	行车间隔/min
1	06: 30—07: 59	10	1	06: 30—07: 59	10
2	08: 00—08: 59	4.29	2	08: 00—09: 29	4.29
3	09: 00—09: 29	7.5	3	09: 30—17: 29	10
3	09: 30—17: 29	10	4	17: 30—19: 29	6
5	17: 30—18: 59	6	5	19: 30—23: 29	10
6	19: 00—19: 29	7.5			
7	19: 30—23: 29	10			

5 结语

通过对城市轨道交通客流时空分布特征进行深入分析, 就分布形态及相应的时间、空间不均衡系数进行计算验证, 针对不同的客流时空分布特点提出了针对性的运输组织办法, 最后提出了基于客流时空分布特点的全日行车计划优化方法, 并举例验证。利用该方法可以进一步延伸扩展, 对多交路、多方向的行车计划进行优化。

[2] 程晓青. 城市轨道交通运营组织相关技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.

(下转第 90 页)