

广州地铁 6 号线列车交路方案的优化

肖霖川 吴思倩

(广州地铁集团有限公司鱼珠车辆段,510700,广州//第一作者,工程师)

摘要 基于广州地铁 6 号线的客运量和满载率情况,从交路匹配、客运需求等角度分别构建了以大交路开行为基础和以小交路开行为基础的列车交路优化方案。经分析得到了折返点位置选取、折返时间、行车间隔、运转周期等两组行车组织参数,为广州地铁 6 号线的行车组织提出改进建议,为地铁列车的合理开行和车辆配备等工作提供参考。

关键词 地铁列车;运行交路;断面客流

中图分类号 U292.4:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.03.044

Optimization of Train Operation Routing Scheme for Guangzhou Metro Line 6

XIAO Jichuan, WU Siqian

Abstract According to the passenger volume and the full load rate of Guangzhou metro Line 6, the train routing optimization schemes based on large-scale and small-scale routes are constructed respectively from aspects of route matching and passenger transport demands. Through calculation, two sets of organization parameters, including the location selection of turning-back point, turning-back time, running interval and operation cycle are obtained. This research provides suggestions for the organization of Guangzhou metro Line 6 improvement, also references for the rational metro operation and vehicle allocation.

Key words metro vehicle; operation routing; cross-section passenger flow

Author's address Yuzhu Depot of Guangzhou Metro Group Co.,

Ltd., 510700, Guangzhou, China

广州地铁 6 号线自二期段开通时起,全线在每日高峰期和中峰期时(07:30—21:50)采用大小交路嵌套模式运行。其中,大交路为浔峰岗站至香雪站,小交路为浔峰岗站至长湓站,且大小交路列车比例按 2:1 组织,即每两班长线车开出后,第三班列车为短线车。

针对逐渐增加的 6 号线二期客流情况,本文主要研究 6 号线应如何调整运能、优化运行交路,在兼顾经济效益和社会效益的前提下,提高运力与客流的匹配度,从而提升客流拥堵段的运输能力。

1 广州地铁 6 号线客流情况分析

1.1 日均总客运量

6 号线全长 41.81 km,共设车站 32 座(其中沙河站不投入运营服务)。本文以 2018 年 12 月的客流数据进行分析,6 号线日均进站客运量为 53.80 万人次,日均换乘客运量(仅指换入客运量)为 35.93 万人次,日均总客运量为 89.73 万人次。浔峰岗站至长湓站区段日均总客运量为 75.37 万人次,占 6 号线总客运量的 87.3%。各站日均总客运量(换乘客运量包含进站客运量、换入客运量和换出客运量)如图 1 所示。

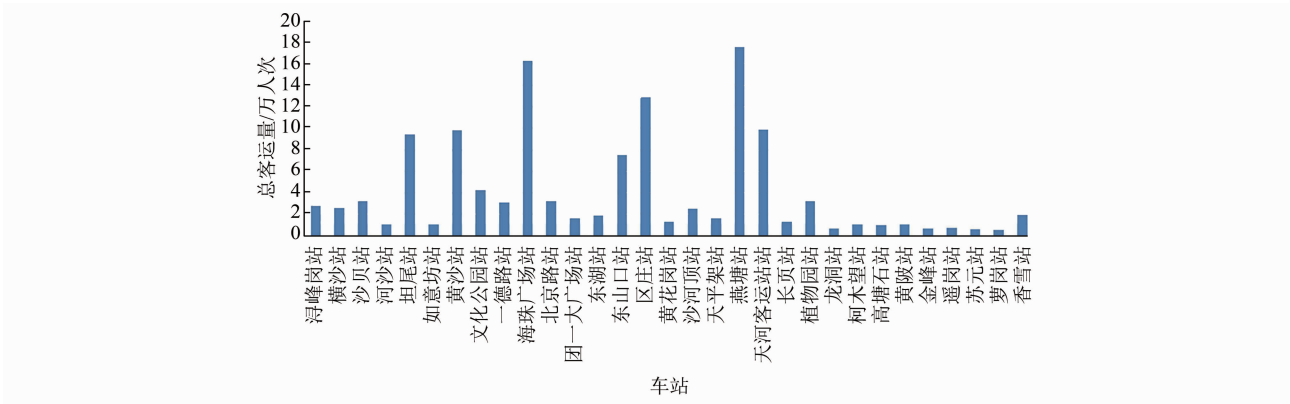


图 1 2018 年 12 月广州地铁 6 号线各站日均总客运量

1.2 高峰期断面客流量和满载率分析

广州地铁6号线高峰期断面客流量及满载率情况如表1所示。

本文基于以上时间段,选取工作日早、晚高峰断面客流数据进行分析,分析结果如图2~3所示。上行早高峰共有3个区段的断面客流大于运能,分别是河沙站—坦尾站区段、坦尾站—如意坊站区段、如意坊站—黄沙站区段;下行早高峰共有2个区段的断面客流大于运能,为天河客运站—长湴站区

段和长湴站—植物园站区段。上行晚高峰仅长湴站—植物园站区段的断面客流大于运能;下行晚高峰满载率均低于100%。

从图2~3可见,6号线的客流潮汐现象突出,上行早高峰和下行晚高峰断面客流趋势线类似,下行早高峰与上行晚高峰断面客流情况类似。另外,6号线上行最大峰值区间的不均衡系数约为1.97,存在明显的不均衡性。

表1 广州地铁6号线客流高峰期断面客流量及列车满载率情况

方向	日期	时段	区段	运输能力/人次	断面客流/人次	满载率/%
上行	2018-12-03	07:45—08:00	如意坊站—黄沙站	4 616	5 358	116.07
下行	2018-12-04	08:15—08:30	长湴站—天河客运站	4 371	5 228	119.61

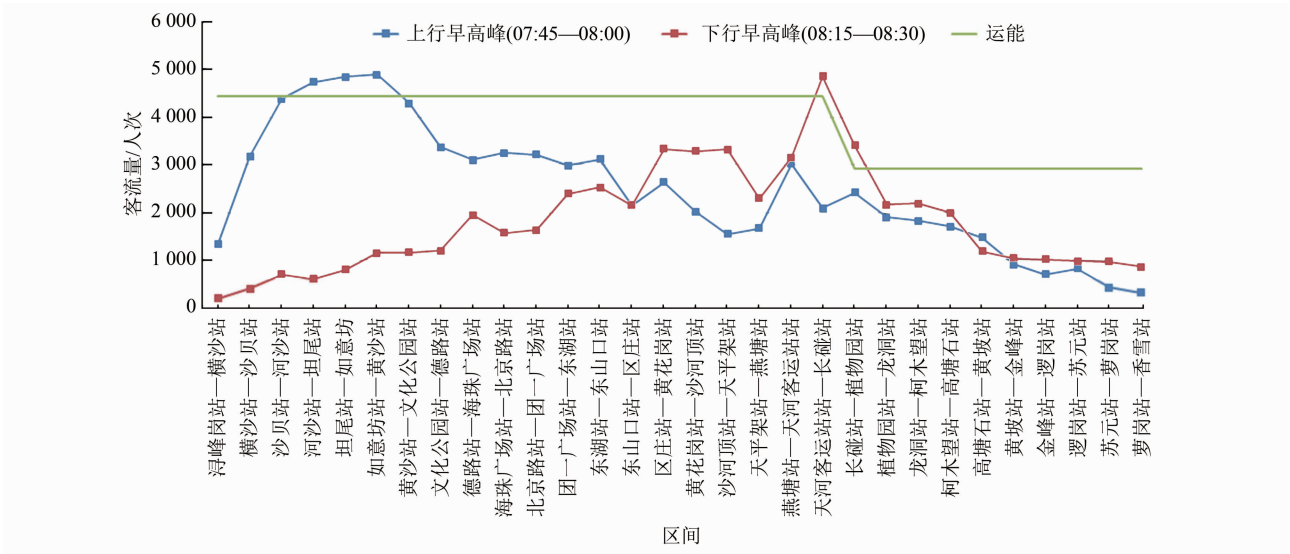


图2 广州地铁6号线12月早高峰时段各区间的日均断面客流

2 广州地铁6号线大小交路优化方案

针对大小交路客运组织的优化进程,国内已经有了不少的实施方案。文献[2]通过分析大小交路模式下大交路列车和小交路列车的运行影响因素,在满足均衡行车的条件下,构建了以大交路开行为基础,运用车底数最小为目标的列车大小交路开行方案优化模型。本文借助此模型,分别建立了以大交路和小交路为前提的最小运用车底数的列车大小交路开行方案优化模型,并结合6号线的实际行车参数,对比得到小交路折返站的最佳位置及其他行车参数的取值。

由于早高峰浔峰岗站、横沙站、沙贝站已采用客流控制的方式减少站台等候的人数,以降低满载

率,所以6号线适合小交路的一个折返点在线路的一端(即浔峰岗站),另一个折返点在大交路的中间站,其方案如图4所示。而6号线具备折返功能的车站有浔峰岗站、坦尾站、如意坊站、东湖站、黄花岗站、长湴站、植物园站、柯木塱站、黄陂站、苏元站、香雪站等11个车站,所以本文只考虑将除6号线首末站外的9个车站作为小交路的终点。

由于早高峰是6号线断面客流最大的时段,故采用早高峰时段为研究时间段。根据6号线车站数字编码,设浔峰岗站编号为1,依此类推,香雪站编号为32,设小交路的折返站为 x 车站,满足 $1 \leq x \leq 32$,且 x 为自然数。已知6号线列车定员为918人,早高峰时段为07:45—08:45,时长为60 min,平均折返时间为230 s。

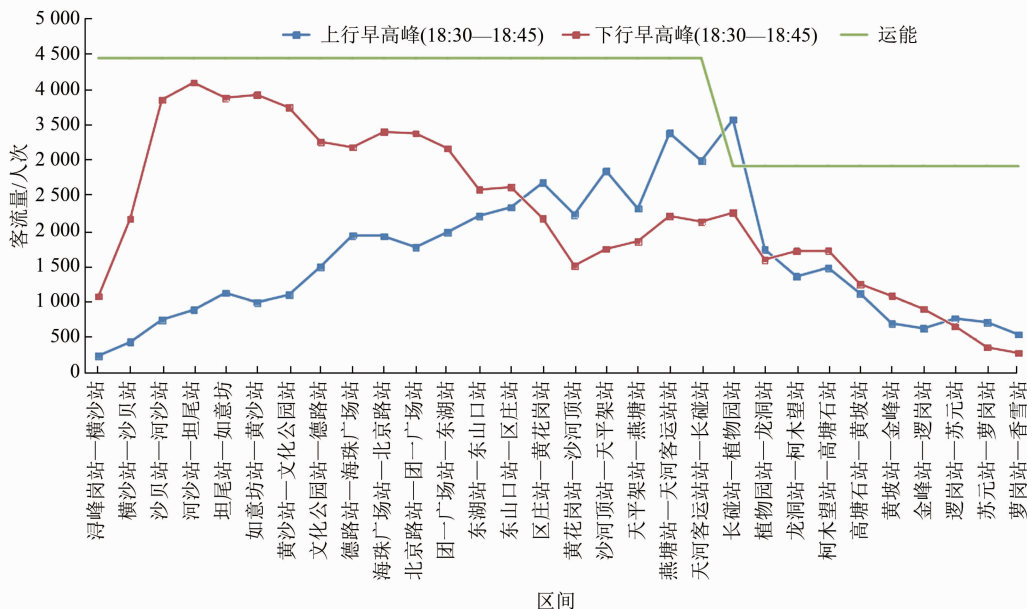


图3 广州地铁6号线12月晚高峰时段各区间日均断面客流

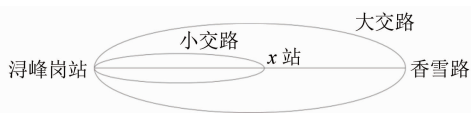


图4 6号线大小交路嵌套方式

6号线共需准备的运用车组数 $N_{\text{总}}$ 由大交路运用车组数 $N_{\text{大}}$ 及小交路运用车组数 $N_{\text{小}}$ 组成,即:

$$N_{\text{总}} = N_{\text{大}} + N_{\text{小}} \quad (1)$$

$N_{\text{大}}$ 需根据非重合段具体的客流需求来判断, $N_{\text{小}}$ 则由小交路内断面客流量决定,然后减去小交路中被大交路承担的部分车组数。确定 N_{x_0} 为运用车组数最少的目标车组数,设小交路终点为 x_0 站,则应满足下述规则:

$$N_{x_0} = \min \{N_1, N_2, \dots, N_x, \dots\} \quad (2)$$

在拟定开行方案时,还需要考虑到其他行车因素,如最小追踪间隔等。因此,需要对其他行车参数进行分析。

2.1 以大交路开行为基础的列车交路方案

2.1.1 大交路的行车间隔

大交路内的开行对数 $n_{\text{大}}$ 由大交路非重合段的最大断面客流来确定。设非重合段的最大断面客流为 $P_{\text{大,max}}$,则:

$$n_{\text{大}} = \frac{P_{\text{大,max}}}{c \cdot \beta} \quad (3)$$

式中:

c ——列车定员;

β ——载客率,本文选取 100%。

大交路行车间隔 $I_{\text{大}}$ 要考虑本线路的最大行车间隔和最小行车间隔。最大行车间隔按照广州地铁的相关规定,需小于 10 min;而 6 号线最小行车间隔为 2 min 59 s,即 $179 \text{ s} \leq I_{\text{大}} \leq 600 \text{ s}$,则有:

$$I_{\text{大}} = \min \left\{ \max \left\{ \frac{t}{n_{\text{大}}}, 179 \right\}, 600 \right\} \quad (4)$$

式中:

t ——早高峰时段,即 07:45—08:45,计 3 600 s。

2.1.2 调整小交路行车间隔

小交路开行对数 $n_{\text{小}}$ 和小交路行车间隔 $I_{\text{小}}$ 由小交路非重合段的最大断面客流 $P_{\text{小,min}}$ 决定,仍需考虑最大行车间隔和最小行车间隔,则有:

$$n_{\text{小}} = \frac{P_{\text{小,max}}}{c \cdot \beta} \quad (5)$$

$$I_{\text{小}} = \min \left\{ \max \left\{ \frac{t}{n_{\text{小}}}, 179 \right\}, 600 \right\} \quad (6)$$

在重合段运行时,为避免行车冲突,大交路的行车间隔应为小交路行车间隔的整数倍^[1],因此,大交路和小交路的行车间隔关系式为:

$$I_{\text{小}} = \frac{I_{\text{大}}}{d_1} \quad (7)$$

其中, d_1 为正整数。

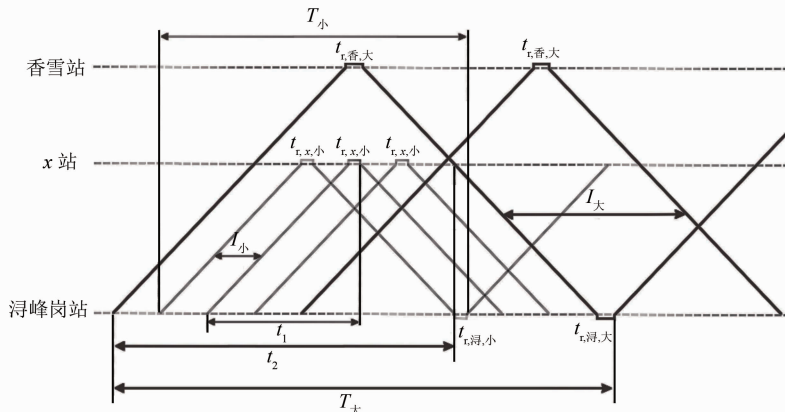
2.1.3 调整小交路周转时间

假定列车在各站的停站时间和各个区段的旅行时间不变,在此模型中,小交路周转时间的调整

主要为列车在折返站的折返总时间。因此需调整上行小交路终点站的折返时间。

设小交路浔峰岗站的折返时间为 $t_{r,浔,小}$, 小交路 x 站的折返时间为 $t_{r,x,小}$, 大交路浔峰岗站的折返

时间为 $t_{r,浔,大}$, 大交路香雪站的折返时间为 $t_{r,香,大}$, 且这 4 个折返时间均不大于平均标准折返时间 t_r 。在均衡行车条件下, 列车运行图如图 5 所示。



注: $T_{小}$ 表示小交路周转时间; $T_{大}$ 表示大交路周转时间; t_1 表示上行小交路列车从浔峰岗站发车时刻起, 到该列车在小交路终点站 x 站的下行发车时刻止; t_2 为上行大交路列车从浔峰岗站发车时刻起, 到该列车下行在 x 站发车时刻止

图5 广州地铁6号线列车运行图

如图5所示, 将小交路运行线向右平移若干个 $I_{小}$, 在折返站 x 的下行线发车时刻与大交路下行列车的发车时间重合, 这样小交路的下行线被大交路下行线替代, 同时该小交路恰巧也被另一条大交路的上行线替代。为了满足以上条件, 可设 t_1 与 t_2 的差值为 $I_{小}$ 的整数倍, 即满足:

$$t_2 - t_1 = \left(\sum_1^{32} t_{上} + t_{r,香,大} + \sum_x^{32} t_{下} \right) - \left(\sum_1^x t_{上} + t_{r,x,小} \right) = d_2 \cdot I_{小} \quad (8)$$

$$d_2 / d_1 = d_3 \quad (9)$$

$\sum_1^{32} t_{上}$ ——从浔峰岗站到香雪站的上行旅行时间, 包括各站(除浔峰岗站外)的停站时间;

$\sum_x^{32} t_{下}$ ——从香雪站到小交路折返站 x 的下行旅行时间;

$\sum_1^x t_{上}$ ——从小交路浔峰岗站到 x 站的上行旅行时间。

其中, d_2, d_3 为正整数; $t_{r,香,大} = t_{r,x,小} = 230$ s。

均衡行车的另一个必要条件为小交路周转时间是大交路行车间隔的整数倍。即:

$$T_{小} = d_4 \cdot I_{大} \quad (10)$$

其中, d_4 为正整数。

另由图5可知:

$$T_{小} = \sum_1^x t_{上} + \sum_1^x t_{下} + t_{r,x,小} + t_{r,浔,小} \quad (11)$$

2.1.4 确定其他运营参数

本文以大交路为基础, 大交路的周转时间不再进行调整, 总时间由上下行的旅行时间和两端折返站的折返时间组成, 即:

$$T_{大} = \sum_1^{32} t_{上} + \sum_1^{32} t_{下} + t_{r,浔,大} + t_{r,香,大} \quad (12)$$

综上所述, 根据大小交路的周转时间和行车间隔, 可以得到大小交路分别所需要的车底数。大交路的列车在小交路运行时, 大交路列车承担了小交路的客流, 所以小交路的车组数需减去被大交路承担的车组数, 即:

$$N_{大} = \left\lceil \frac{T_{大}}{I_{大}} \right\rceil \quad (13)$$

$$N_{小} = \left\lceil \frac{T_{小}}{I_{小}} \right\rceil - \left\lceil \frac{T_{小}}{I_{大}} \right\rceil \quad (14)$$

以大交路开行为基础的算法流程如图6所示。

2.2 以小交路开行为基础的列车交路方案

以小交路开行为基础的优化模型与以大交路开行为基础的优化模型, 算法上基本一致, 但需调整大交路的行车参数。其算法流程图如图6所示。

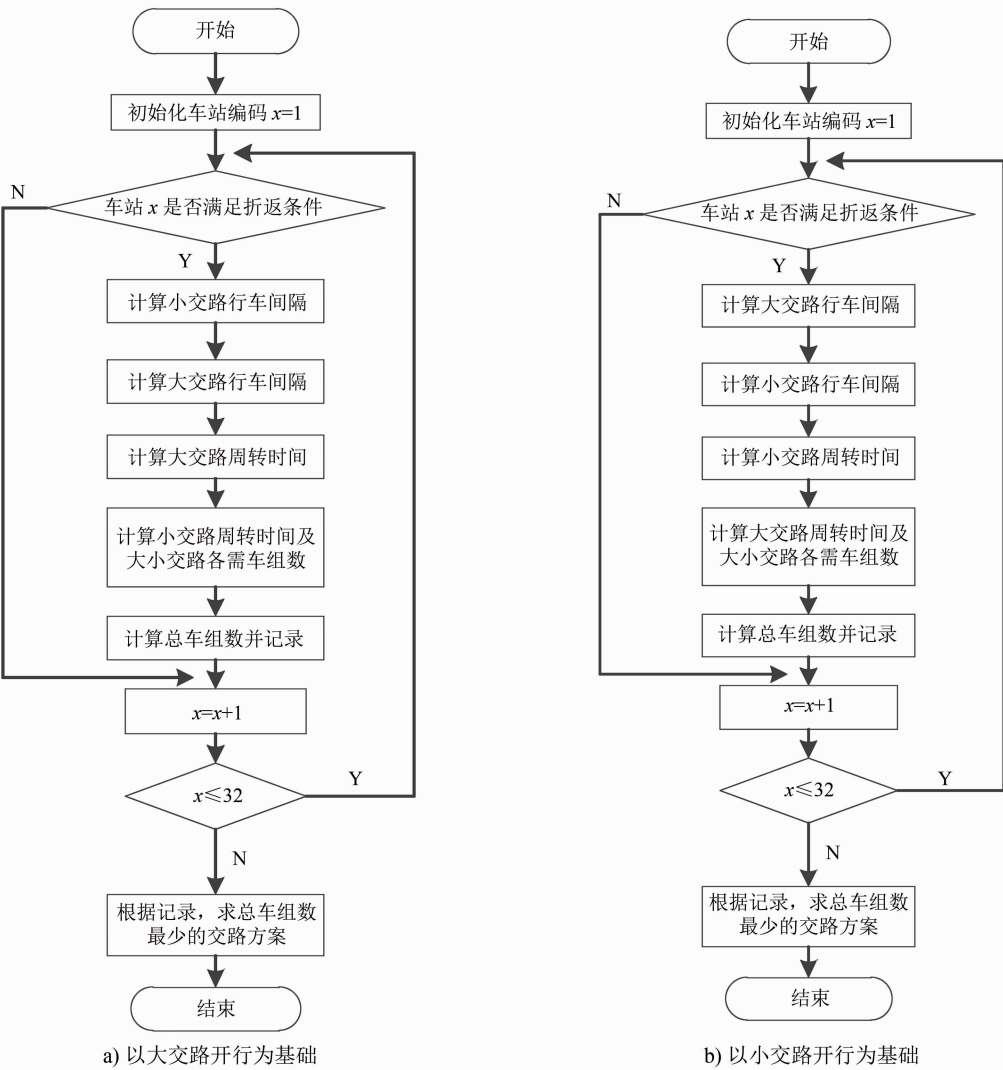


图 6 最优车组模型算法流程图

3 两种模型运算结果

根据图 6 的流程,经计算,两种模型均在黄陂站

作为小交路一端终点站,且大小交路的开行比例为 3:1 时取得最优解。具体结果如表 2 所示。

表 2 两种模型最优解结果

模型类型	大交路的 行车间隔/s	大交路 周转时间/s	小交路的 行车间隔/s	小交路 周转时间/s	折返 时间/s	大交路运用 车底数/组	小交路运用 车底数/组	总车 组数/组	满载率情况
以大交路开行为基础	600	9 518	200	8 416	736	16	28	44	满载率最高值达 111.1%
以小交路开行为基础	540	9 754	180	7 910	466	18	29	47	满载率为 100%

注:以大交路开行为基础的模型折返站为香雪站;以小交路开行为基础的模型折返站为黄陂站

计算结果显示,在 07:45—08:45 的早高峰时段内,在以大交路开行为基础的前提下,需要 16 组大交路车底和 28 组小交路车底,共 44 组车底。其小交路的行车间隔为 200 s、周转时间为 8 416 s,对应大交路的行车间隔为 600 s、周转时间为 9 518 s,但此运行方案不能满足重合段的断面尖峰客流,在如

意坊站—黄沙站区段高峰小时满载率为 111.1%。

以小交路开行为基础来调整大交路的行车参数,得到 47 组车组数,其中小交路为 18 组、行车间隔为 180 s、周转时间为 7 910 s,对应的大交路需 29 组车底数、行车间隔为 540 s、周转时间为 9 754 s。

以上结果表明,在均衡行车的前提下,以最少

车底数为目标,6 号线可以根据备用车的情况调整运行方案,若以黄陂站为小交路折返站,则选择以小交路开行为基础的模型。

4 结语

本文针对行车客流时间的不均衡分布问题,在均衡行车、满足现客流的情况下,建立大小交路开行对数模型,为优化 6 号线大小交路开行方案及列车采购方案提供了参考。

参考文献

[1] 徐瑞华,陈菁菁,杜世敏.城市轨道交通多种列车交路模式下的通过能力和车底运用研究[J].铁道学报,2005(4): 6.

[2] 白广争,郭进,杨扬,等.大小交路嵌套方式下城市轨道交通列车最优车组数开行方案[J].城市轨道交通研究,2015(3): 45.

[3] 白广争.城市轨道交通网络化行车组织优化相关问题研究[D].成都:西南交通大学,2015.

[4] 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.

[5] 黄树明,屈明月.城市轨道交通多重嵌套列车车底固定使用方案及计算[J].城市轨道交通研究,2013(7): 81.

[6] 许得杰.城市轨道交通大小交路列车开行方案优化研究[D].北京:北京交通大学,2016.

[7] 田晟,马美娜,杨锦明.基于大小交路优化的地铁行车组织方案[J].交通信息与安全,2017(1): 112.

[8] 陈垚,毛保华,柏赞,等.城市轨道交通多交路模式下中间折返站能力分析[J].交通运输系统工程与信息,2017(3): 150.

[9] 刘芳.城市轨道交通网络下的复杂交路形式研究[C]//中国土木工程学会.2015 中国(天津)区域轨道交通发展及装备关键技术论坛暨 24 届地铁学术交流会论文集.天津:中国土木工程学会,2015:190.

[10] 李俊芳,王柄达.城市轨道交通典型交路形式分析[J].铁道运输与经济,2009(10): 54.

[11] 杜延帅.客流波动下城市轨道交通运输组织关键技术研究[D].成都:西南交通大学,2017.

[12] 李茜.城市轨道交通客流时空分布特性及线路运能与客流匹配方法研究[D].北京:北京交通大学,2017.

[13] 史芮嘉.城市轨道交通系统输送能力利用率测算及优化研究[D].北京:北京交通大学,2017.

[14] 崔鸣.广州地铁六号线大、小交路行车调整研究[J].科技创新与应用,2018(16): 69.

[15] 李金帮.广州地铁 6 号线浔峰岗停车场列车出场能力分析[J].城市轨道交通研究,2015(6): 144.

(收稿日期:2019-05-05)

西安地铁凭“一码通”通行

为进一步加强西安市交通行业疫情防控工作,积极应对复工复产的客流增长,更好地保障市民安全健康出行,根据西安市疫情防控指挥部关于在全市范围内全面应用西安市个人电子识别码(以下简称“一码通”)的有关工作安排,西安市轨道集团主动对接市大数据局,积极做好地铁场景应用,截至 3 月 1 日,地铁车站、出入口二维码制作、张贴和车站组织流程测试已全部到位。从 3 月 2 日起,西安地铁开始全面实行“一码通”乘客扫码乘车,乘客进站前需提前注册西安市“一码通”,使用微信扫描出入口/通道张贴的二维码,向车站工作人员展示生成页面,经测温合格、安检后进站乘车。

- 具体操作如下:
- 第一步,提前注册西安市“一码通”。
- 第二步,进入车站时,使用微信扫一扫功能,扫描车站出入口、通道或测温点处的二维码。
- 第三步,向车站工作人员出示扫描后的页面,若为绿色、黄色,经测温合格、安检后进站乘车;若为红色,现场将予以劝离。

- 温馨提示:
1. 按照西安市“一码通”工作进度安排,目前地铁场景“一码通”扫码仅支持微信用户,暂不支持其他扫码方式。
2. 为了乘客在西安地铁出行便捷,在进入地铁车站时,提前扫描车站出入口、通道或测温点处的二维码。
3. 未注册“一码通”的老人、小孩,按照疫情防控要求,凭身份证等有效证件,经测温合格通过人工登记,安检后方可乘车。

(摘自 2020 年 3 月 2 日中国城市轨道交通协会网,西安地铁报道)