

天津地铁的客流特征与列车开行方案优化*

张 标¹ 王多龙¹ 王宇钦¹ 王鹤天² 尹浩东^{3**}

(1. 天津市地下铁道运营有限公司,300022,天津;
2. 北京京投亿雅捷交通科技有限公司,100044,北京;
3. 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室,100044,北京//第一作者,高级工程师)

摘 要 客流特征是影响列车开行方案编制的核心因素,亦是列车开行方案编制的理论依据。通过分析天津地铁线网客流时间和空间特征,提出线网早晚高峰列车开行计划的优化方案,运用计算机仿真的方法对现有列车开行方案和优化后列车开行方案进行对比,发现优化后的列车开行方案不仅能够满足乘客的出行需求,还能提升地铁线网的服务水平和运营效率。

关键词 地铁; 客流特征; 列车开行方案; 服务水平

中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.08.007

Passenger Flow Characteristics and Train Operation Scheme Optimization of Tianjin Metro

ZHANG Biao, WANG Duolong, WANG Yuqin, WANG Hetian, YIN Haodong

Abstract Characteristics of passenger flow are the core factors influencing the train plan preparation, at the same time the theoretical foundation for the train plan. Through analyzing time and space characteristics of passenger flow in Tianjin metro network, an optimal morning and evening peak train operation plan is proposed. Then, the original train operation plan and the optimal train operation plan are comparatively simulated, it is found that the optimal train operation plan can not only meet the passenger travel demands, but also promote service quality and operation efficiency of the metro network.

Key words metro; characteristics of passenger flow; train operation scheme; service quality

First-author's address Tianjin Metro Operation Co., Ltd., 300022, Tianjin, China

目前,天津地铁已经进入网络化运营时代,已运营线路为 1、2、3、6、9 号线,总长 182.3 km,有 119 座车站(其中有 7 座换乘站)。天津地铁采用成对、

单一交路、站站停的列车开行方案,不仅已无法满足高峰时段日益增长的客流出行需求,还容易造成运能与运量不匹配,从而导致运力资源的浪费。因此,有必要针对路网客流特征进行分析,通过挖掘 AFC(自动售检票)系统票卡数据来分析客流的时空特征,并以此为基础,提出路网列车运行组织优化建议。

1 天津地铁线网客流特征

本文以 2018 年 4 月 2 日至 4 月 15 日作为研究期,以 AFC 系统票卡数据为基础,进行挖掘分析与处理。

1.1 客流量的时间特征

1.1.1 全日分时客流量分布特征

天津地铁在研究期内的工作日和双休日客流量如图 1 及图 2 所示。由图 1 及图 2 可知,工作日全天分时客流量曲线呈双峰型,双休日全天分时客流量曲线呈单峰型。工作日乘客出行的早高峰时段是 7:00—9:00,晚高峰时段是 17:00—19:00。而双休日乘客时间约束性不强,出行高峰较工作日延后,且逐渐向内靠拢,呈现单峰型。

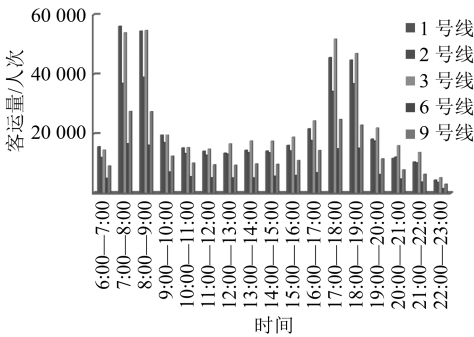


图 1 天津地铁各线路工作日客流量分布图

* 中央高校基本科研业务费人才基金项目(2019RC033);** 通信作者

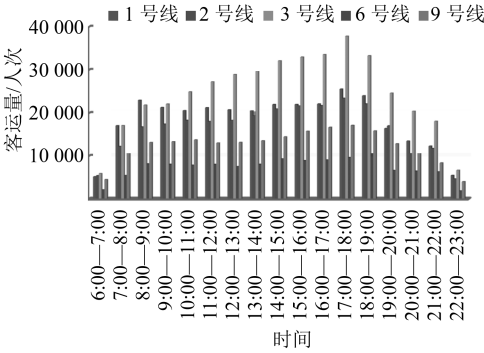


图2 天津地铁各线路双休日客流量分布图

1.1.2 高峰时段的客流量分布特征

以天津地铁1号线上行方向为例,提取早高峰时段的客流数据,如图3所示。由图3可见:客流高峰时段是7:20—8:40;高峰区段是勤俭道站—小白楼站;在断面客流量最大的西南角站—二纬路站,最大的10 min断面客流达3 953人次。晚高峰的客流量分布特征与早高峰正好相反。

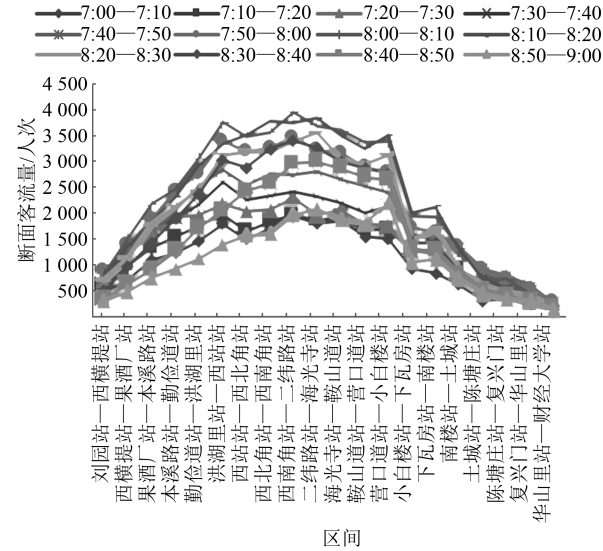


图3 天津地铁1号线各区间早高峰时段的10 min断面客流量分布

1.2 客流量分布的空间特征

1.2.1 早晚高峰上下行方向的断面客流量分布特征
各条线路走向不同,其沿线土地利用开发程度也不同,线路上各站点的客流量也不尽相同。尤其在早晚高峰时段内,上下行方向的断面客流量差异明显,有明显不平衡性。天津地铁1、3号线早高峰断面客流量分布如图4所示。由图4可见,天津地铁1、3号线,早高峰时段上行方向的断面客流量均较大,晚高峰时段下行方向的断面客流量较大。根据这一分布特征,天津地铁路网在早晚高峰时段可

选择上下行不成对或嵌套交路的列车开行方案。

1.2.2 上下行方向断面客流量分布特征

路网各线路上下行方向上的最大断面客流量关系可采用上下行方向不平衡系数描述:

α₁ = (max{P_{max,上}, P_{max,下}} / (P_{max,上} + P_{max,下}) / 2) (1)

式中:

- α₁——上下行方向客流不平衡系数;
- P_{max,上}——上行方向最大断面客流量;
- P_{max,下}——下行方向最大断面客流量。

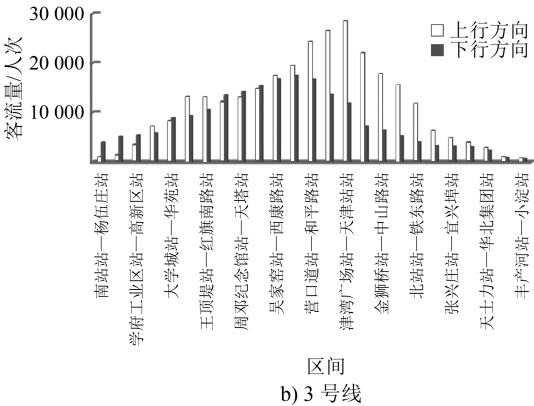
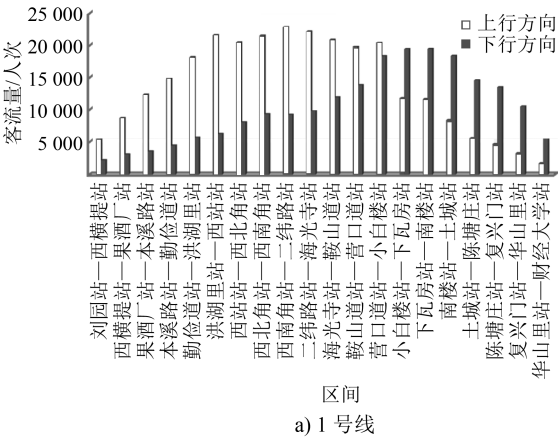


图4 天津地铁1、3号线早高峰断面客流

α₁ 趋向于1 则说明上下方向客流量较均衡。根据式(1)计算天津地铁各线路早晚高峰上下行方向客流不平衡系数,结果如表1所示。

表1 天津地铁各线路早晚高峰上下行方向的α ₁		
线路	早高峰 α ₁	晚高峰 α ₁
1 号线	1.080	1.080
2 号线	1.087	1.084
3 号线	1.239	1.213
6 号线	1.204	1.265
9 号线	1.066	1.014

1.3 线路满载率情况

为更直观体现天津地铁路网客流分布情况,本研究构建了天津地铁的客流量分布仿真系统,将线网某个工作日全运营时段的 OD(起讫)客流和列车开行方案输入系统,得到运营时段路网线路满载率图。早高峰时段的天津地铁线路满载率,情况如图 5 所示。其中线路越粗表示区间满载率越高。由此可知,在 7:45—8:15 时段内,天津地铁 1 号线在勤俭道站—土城站区段内满载率过高,3 号线在金狮桥站—吴家窑站区段内满载率过高。

因此有必要对 1、3 号线列车开行方案进行优化调整,以满足乘客出行需求,提高早高峰时段的服务水平和乘客乘车的舒适性。



图 5 天津地铁线网早高峰线路负荷情况

2 天津地铁线网列车开行方案优化

基于天津地铁的客流量特征分析,本研究采用仿真方法对天津地铁工作日早晚高峰时段的列车开行方案优化结果进行验证。

2.1 线网各线路列车开行方案

目前,天津地铁线网共配置 185 列列车,其中 9 号线列车为 4 节编组,其它线路列车均为 6 节编组。天津地铁各线路配置车底数如表 2 所示。天津地铁各线路日常按工作日和双休日分别使用 2 种列车开行方案,均采用成对、周期性、大交路形式。其中,工作日的上线列车数及列车间隔如表 3 所示。

表 2 天津地铁线网各线路配置车底数

线路	1 号线	2 号线	3 号线	6 号线	9 号线
车底数/列	44	27	31	46	38

表 3 天津地铁线网各线路工作日列车上线数及间隔

线路	高峰	上线数/列	平均行车间隔/min	最小行车间隔/min	车辆段列车数/列	停车场列车数/列
1 号线	早	24	4.5	4	12	12
	晚	24	4.5	4	12	12
2 号线	早	17	6.1	6	9	8
	晚	16	6.5	6	9	7
3 号线	早	25	5.1	4.5	15	10
	晚	25	5.1	5	15	10
6 号线	早	26	6.15	6	18	8
	晚	26	6.15	6	18	8
9 号线	早	24	6	4.5	14	10
	晚	24	6	5	14	10

2.2 列车开行方案优化

由早晚高峰上下行断面客流量分布特征可知,1、3 号线早高峰时段的上行方向客流量较大,晚高峰时段的下行方向客流量较大。本文以 1、3 号线为例研究列车开行方案的优化。结合各线路早晚高峰时段线路满载率情况分析,1、3 号线宜可采用上下行非成对列车开行方案,即早高峰时段缩小上行方向行车间隔,晚高峰时段缩小下行方向的行车间隔。

由于车辆段和停车场(以下简为“段场”)在设计和规划上考虑的功能不同,故段场在容纳列车数量存在差异,1、3 号线段场的实际可上线列车数如表 4 所示。

表 4 天津地铁 1、3 号线段场实际可上线列车数

线路	车辆段列车数/列	停车场列车数/列	列车数合计/列
1 号线	24	13	37
3 号线	21	10	31

在早高峰时段,1、3 号线的停车场列车即使全部上线,也难以满足上行方向的客流量需求。故需在不增加上线列车数量的前提下,对 1、3 号线早晚高峰列车开行方案进行优化。考虑到车辆段列车数量充足,本文提出了上下行非成对的大小交路行车方案作为优化方案,如图 6 所示。

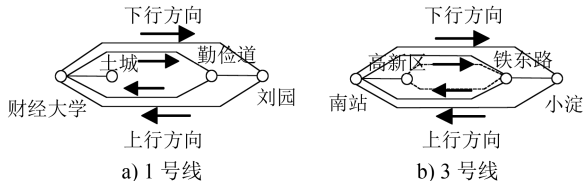


图 6 天津地铁 1、3 号线的大小交路行车方案

根据早晚高峰时段的线路负荷情况分析:7:50—8:20 时段需要增加上行方向行车密度;17:50—18:10 时段需要增加下行方向行车密度。

2.2.1 早高峰列车开行方案优化

由于 1 号线受到刘园停车场容纳能力限制,早高峰时段考虑从财经大学站至勤俭道站小交路运行 4 列,进而缩短上行行车间隔。同样,3 号线在早高峰时段从南站至铁东路站小交路运行 4 列,将优化运行图与 OD 客流输入仿真系统,运行早高峰时段后输出仿真结果,如图 7 所示。

从图 7 可以看出,天津地铁 1、3 号线的线路满载率较优化前有大幅下降。优化前后的 1、3 号线早高峰线路满载率对比如图 8 所示。早高峰时段通过调整列车运行交路及上下行方向列车行车密度,在不增加上线列车数量的前提下,降低了线路满载率,进而提高了乘客乘车的舒适性。



图 7 天津地铁早高峰路网线路优化后满载率情况

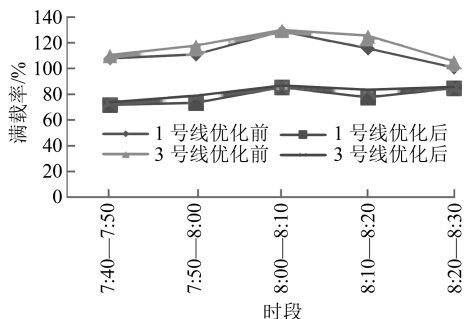


图 8 早高峰时段优化前后的 1、3 号线满载率对比图

2.2.2 晚高峰列车开行方案优化

晚高峰时段 1、3 号线下行方向客流较大。在 1

号线晚高峰从财经大学站增加 4 列车,加密下行行车密度;在 3 号线晚高峰从高新区至铁东路站运行 4 列。仿真得到优化前后的 1、3 号线早高峰线路满载率对比如图 9 所示。由图 9 可见,天津地铁 1、3 号线的线路满载率较优化前有大幅下降。

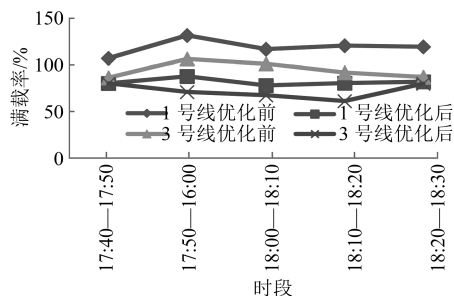


图 9 晚高峰时段优化前后对比图

早晚高峰时段列车开行方案优化后,虽然在勤俭道站、高新区站和铁东路站增加了客运组织难度,包括车站清客和解释工作,但从路网运营整体效率、线路负荷均衡性和乘车舒适性等方面都是有所提高,并且为路网日后大小交路套跑积累客运组织和行车组织经验。

3 结语

本文结合日常工作中的难题及路网实际情况,通过对天津地铁现有线网客流特征的分析,优化了工作日早晚高峰时段的列车开行方案,期望为其他类似城市的客流量分析及列车开行方案优化提供参考。

参考文献

- [1] 徐行方,李旭辉,蒲琪,等. 上海轨道交通 1 号线运营负荷分析与评价[J]. 城市轨道交通研究, 2014(10): 42.
- [2] 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.
- [3] 程晓青. 成都轨道交通 10 号线一期工程客流特征与开行方案分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016(6): 75.
- [4] 王多龙,李得伟. 天津地铁客流发展规律及特征分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016(7): 40.
- [5] 王媛媛,倪少权. 城市轨道交通大小交路模式列车开行方案的优化[J]. 铁道学报, 2013(7): 1.
- [6] 许得杰,曾俊伟,麻存瑞,陈绍宽. 考虑满载率均衡性的大小交路列车开行方案优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017(6): 185.
- [7] 张黎璋. 深圳地铁线网客流分析及与运行图匹配措施研究, 城市轨道交通研究, 2012(7): 94.
- [8] 李得伟,禹丹丹,张颜,等. 基于旅客行为微观仿真的大型铁路客运站售票设备配置方案评估研究,铁道学报, 2013(2): 1.

(收稿日期:2018-09-27)