

北京地铁大兴机场线客流特征分析与 行车组织方案研究

孙继营 杨晓飞 刘晓庆 金艳萍 张 坤

(北京市轨道交通运营管理有限公司, 100068, 北京//第一作者, 工程师)

摘 要 北京地铁大兴机场线是为大兴机场旅客服务的机场轨道交通专线。基于大兴机场线的线路特点、客流类型、乘客乘车特征,以及线路客流与机场航空客流的关系,重点分析了该线客流 OD(起讫点)客运量的时空分布特点。结合该线列车的特点,提出将断面座席满载率作为评价该线行车组织方案的重要指标。基于客流分布特征制定了该线的混合编组行车组织方案,探索了开行大站车的可行性。

关键词 地铁; 机场轨道交通专线; 航空客流; 混合编组行车组织; 断面座席满载率

中图分类号 U293.13; U292

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.03.022

Analysis of Beijing Daxing Airport Express Passenger Flow Characteristics and Train Organization Scheme Study

SUN Jiying, YANG Xiaofei, LIU Xiaoqing, JIN Yanping, ZHANG Kun

Abstract Beijing Daxing Airport Express is an airport rail transit line specially for Daxing Airport passengers. Based on the line features, passenger flow types, passenger boarding characteristics and the relationship between line passenger flow and airport aviation passenger flow of the Daxing Airport Express, the spatiotemporal distribution characteristics of line OD (origin-destination) passenger flow are analyzed emphatically. Combined with the train characteristics of the line, the sectional seat load factor is proposed as an important index to evaluate the train organization scheme of Daxing Airport Express. Based on the passenger flow distribution characteristics, a mixed marshalling train operation organization scheme is formulated for Daxing Airport Express, and the feasibility of operating large station express train is explored.

Key words subway; airport rail transit express; aviation passenger flow; mixed marshalling train operation organization; sectional seat load factor

Author's address Beijing Metro Operation Administration Co., Ltd., 100068, Beijing, China

作为为大兴机场旅客提供运输服务的轨道交通专线,北京地铁大兴机场线(以下简称“大兴机场线”)实现了航空与城市轨道交通服务的良好对接,促进了航空客流与城市轨道交通客流的共同增长。本文结合该线的客流特点,探索具有机场轨道交通专线特色的行车组织方案。

1 大兴机场线客流特征分析

与一般城市轨道交通线路客流主要来自于周边的居民和工作人员^[1]有所不同,机场轨道交通专线大多服务于民航旅客,受机场到港和离港航班时刻的影响较大,且乘客普遍携带行李。通过分析大兴机场线乘客的乘车特征和客流分布,有助于找出线路的客流规律,为制定行车组织方案提供数据支撑。

1.1 大兴机场线乘客特点分析

1) 大兴机场线草桥站与草桥航站楼相连,便于离港乘客提前办理值机和行李托运。受行李托运的服务结束时间、草桥站地理位置及交通便捷性、乘客认知度等方面的影响,离港旅客选择在草桥航站楼托运行李、办理值机的比例较低。草桥航站楼办理托运行李的日均人数约占经由大兴机场线到达机场的日均客运量的 1.9%,占大兴机场日均出港旅客量的 0.7%;草桥航站楼办理值机的日均人数约占经由大兴机场线到达机场的日均客运量的 5.5%,占大兴机场日均出港旅客量的 1.9%。

2) 大兴机场线商务车乘客量较少。与北京地铁首都机场线和路网内其他线路的票制不同,大兴机场线采取普通车票和商务单程票的混合票制,即普通车票实行计程票制,根据乘车里程,票价分为 10 元、25 元及 35 元;商务单程票为单一票价 50 元。通过分析乘车数据,乘坐大兴机场线商务车的日均客运量约占该线日均客运量的 2.3%。

3) 大兴机场线与一般城市轨道交通线路的乘客类型差异较大,因此在票种使用方面也存在较大差异^[1]。目前北京地铁线网中,实体卡分为一卡通和一票通票,一卡通是具有储值功能的 IC 卡,一票通票为轨道交通专用票。大兴机场线乘客中,航空旅客占比较高,该部分乘客主要为进出北京的差旅人员,此类乘客选择使用一票通票的比例较大(约占 42%)。而线网内其他地铁线路通勤客流占比较高,此类乘客大多选择使用一卡通或手机二维码乘车,如图 1 所示。

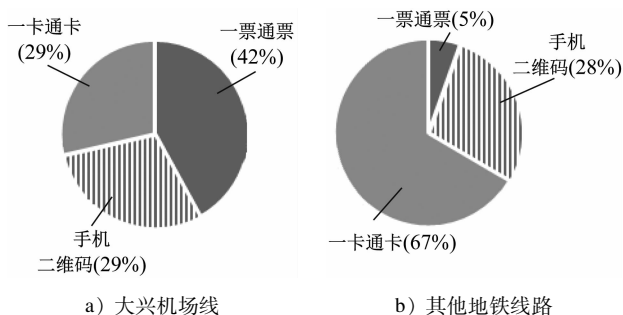


图 1 大兴机场线与北京其他地铁线路乘客使用票种的占比情况

Fig. 1 Proportion of ticket types used by passengers on Daxing Airport Express or other Beijing subway lines

1.2 大兴机场线客流与机场航空客流的关系

大兴机场投运后,随着大兴机场航空旅客量逐渐趋于平稳,大兴机场线客流与机场航空客流的变化趋势基本一致,两者之间的比例较为平稳,约为 1:3。

1.2.1 大兴机场站进站客流与机场到港客流关系

从大兴机场站客流产生的内部机理分析,该站的进站客流几乎全部为到达机场的航空旅客和接机人员。因此,航班到港时间是该站客流分布的主要影响因素之一^[2]。

选取某工作日客流数据进行分析。大兴机场到港航班分布情况及大兴机场站小时进站量分布如图 2 所示。由图 2 可知:进港航班量在 10:00—11:00、13:00—18:00 出现小高峰,在 22:00—23:00 达到全天进港航班量的最大值;大兴机场站的进站量在 10:00—12:00、14:00—19:00 出现高峰。大兴机场站进站客流量高峰与机场到港航班量高峰基本一致。

大兴机场目前航班量较少,几乎全部为近机位,所以到港旅客下机后经过通道到达机场航站楼

的时间差异较小。航班到港后,旅客由航站楼到达城市轨道交通站点所需的时间差异主要与乘客类型有关^[3]。根据航空旅客下机后换乘到轨道交通线路的走行路径不同,到港乘客主要分为 4 种类型:国内航班无托运行李乘客、国内航班有托运行李乘客、国际航班无托运行李乘客及国际航班有托运行李乘客^[4]。目前大兴机场的旅客主要为国内旅客,其中 75% 为国内航班无托运行李乘客,所以旅客从航站楼到达城市轨道交通车站的时间主要受国内无托运行李乘客的影响。据统计,大兴机场站乘客进站时间一般比到港时间晚 1.0 h。

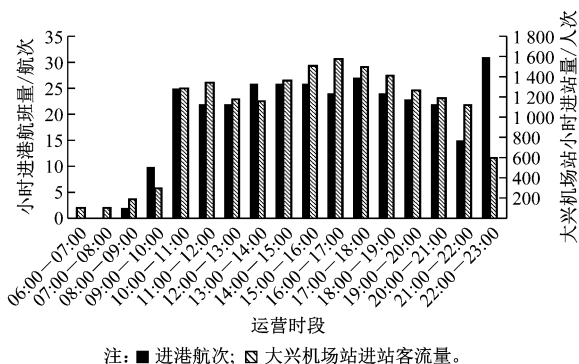


图 2 大兴机场站进站量和机场到港航班量全日分布情况

Fig. 2 Daily distribution of inbound flow at Daxing Airport Station and airport arrival flights

1.2.2 大兴机场站出站客流与机场出港客流关系

作为机场专线,大兴机场站的出站客流主要为去往机场的航空客流。如图 3 所示,大兴机场站的出站高峰时段为 18:00—19:00,该时段出站量占比为 9.2%;19:00—20:00 为机场航班出港小高峰。这

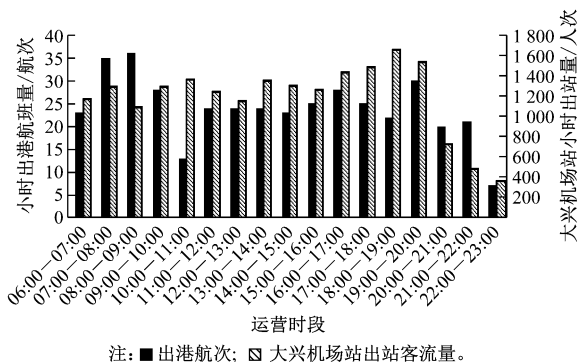


图 3 大兴机场站出站量和机场出港航班量全日分布情况

Fig. 3 Daily distribution of outbound flow at Daxing Airport Station and airport departure flights

是由于登机前有安检等一系列手续,旅客需要提前到达机场,所以 18:00—19:00 大兴机场站呈现出站高峰,符合实际情况。

由图 3 还可知,机场出港航班高峰时段为 07:00—10:00。由于 07:00—08:00 的航班过早,为预留沿途行程耗时及安检耗时,乘客一般会提前去机场,此出行可能会受到城市轨道交通开始运营时间的限制,因此该时段出行的旅客较少选择乘坐城市轨道交通。故大兴机场站的出站高峰并未出现在 06:00—07:00,而是在 07:00 以后。

大兴机场站航空客流的出站时间除了受出港旅客类型及出港时间的影响外,与航空旅客的出行习惯关系更为密切^[5]。据统计,大兴机场出港旅客在城市轨道交通机场站的出站时间一般比航班出港时间早 1.5 h。

1.3 大兴机场线客流时空分布特征

1.3.1 大兴机场线客流 OD(起讫点)分布特点

大兴机场线开通后客流逐步趋于平稳,其线路客流分布特征逐渐清晰。大兴机场线日均进站量约为 3.9 万人次,其中,大兴机场站和草桥站两个车站合计的日均进站量占比达 96%,线路客流呈现出明显的机场轨道交通专线特征。

表 1 为大兴机场线各站的 OD 分布情况。由表 1 可知:① 任意 2 个车站间的双向客运量均较为均衡;② 以大兴机场站为起/终点的客流约占全线总客运量的 95%,其中,草桥站与大兴机场站间的客运量占比为 92%,大兴新城站与大兴机场站间的客运量占比为 3%;③ 大兴新城站与草桥站之间的客流以通勤客流为主,仅占该线客运量的 5%。

表 1 大兴机场线各站日均客运量 OD 分布情况
Tab.1 Daily average OD passenger flow distribution of each Daxing Airport Express station

起点站	OD 客运量/(人次/d)		
	终点站为草桥站	终点站为大兴新城站	终点站为大兴机场站
草桥站		850	19 046
大兴新城站	919		647
大兴机场站	16 940	759	

进一步分析该线小时客流的 OD 特征。大兴机场站至草桥站方向为线路上行,由大兴机场站去往草桥站的小时 OD 客流占上行方向小时总 OD 客流的比例如图 4 所示。由图 4 可知:10:00—17:00 及

20:00—23:00 由大兴机场站去往草桥站的小时 OD 客运量占比超过 94%。

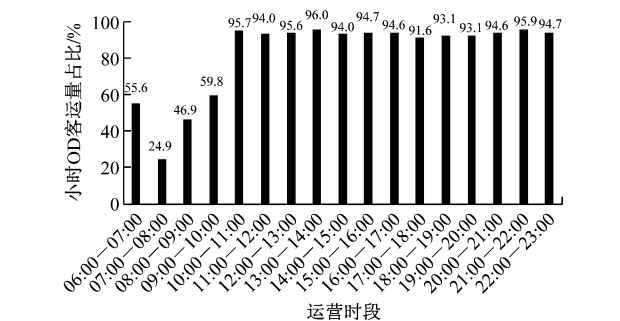


图 4 大兴机场站去往草桥站的小时 OD 客运量占上行方向小时 OD 总客运量的比例

Fig.4 Proportion of the hourly passenger OD flow from Daxing Airport Station to Caoqiao Station in the upward total hourly passenger OD flow

上行方向以大兴新城站为起点和终点的小时客流分布如图 5 所示。由图 5 可知:由大兴新城站去往草桥站的客运量在 06:00—09:00 较高,主要为通勤客流。在 10:00—14:00 及 20:00—23:00,上行方向由大兴机场站去往大兴新城站和由大兴新城站去往草桥站的 OD 客运量均较低。

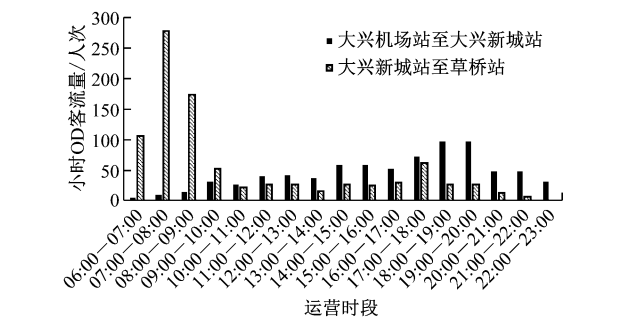


图 5 上行方向以大兴新城站为起终点的小时 OD 客运量分布

Fig.5 Distribution of hourly OD passenger flow distribution with Daxing Xincheng Station as the starting and ending point in upward direction

同理可得到由草桥站去往大兴机场站的小时 OD 客运量占下行方向小时 OD 总客运量的比例,如图 6 所示,09:00—12:00、13:00—16:00 由草桥站去往大兴机场站的 OD 客运量占比较高。

1.3.2 大兴机场线时空分布特点

草桥站和大兴机场站的小时进出站量分布如图 7 所示。由图 7 可知:大兴机场站的进站量与草桥站的出站量具有较强的一致性,二者的时间差为 0.5 h 左右(约为乘客的单程乘车时间),这与线路

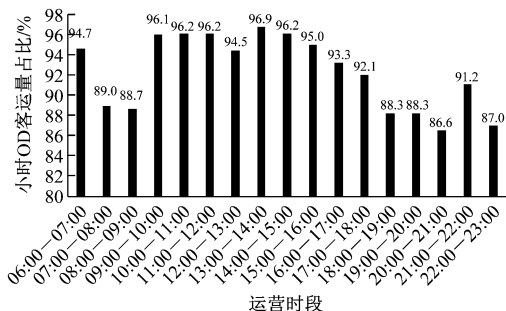


图6 草桥站去往大兴机场站的小时 OD 客运量占下行方向小时 OD 总客运量的比例

Fig. 6 Proportion of the hourly passenger OD flow from Caoqiao Station to Daxing Airport Station in the downward total hourly passenger OD flow

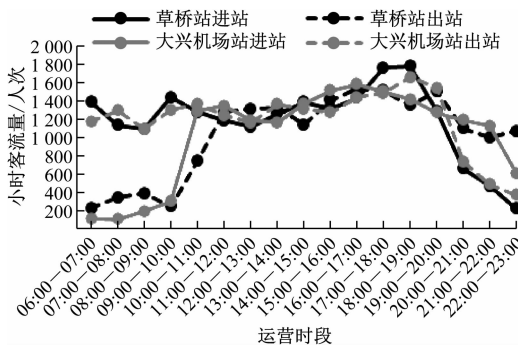


图7 草桥站和大兴机场站的小时进出站量分布

Fig. 7 Hourly inbound and outbound flow distribution of Caoqiao Station and Daxing Airport Station

客流 OD 量分布情况相吻合。大兴机场站的出站量和草桥站的进站量也具有类似的相关性特征。大兴新城站的进出站客流则呈现明显的通勤客流特征。

机场轨道交通专线的客流主要来自机场到港和离港的民航旅客^[6]。图8为大兴机场线的小时最大断面客流量分布情况,其在时间上往往呈现出较强的不均衡性。上行断面客流自11:00起至运营结束均处于较高水平,并在17:00—18:00达到最高。下行断面客流在06:00—08:00和13:00—20:00处于较高水平,并在17:00—18:00达到最高。该线的小时断面客流主要受航空客流的影响,在机场航班时刻不做较大调整的情况下,大兴机场线的上下行断面客流分布将基本维持现状。

2 大兴机场线行车组织方案研究

与常规城市轨道交通线路有所不同,大兴机场线的列车为市域D型车,最高运行时速达160 km。该线原规划方案中,线路开通初期的配属列车数为

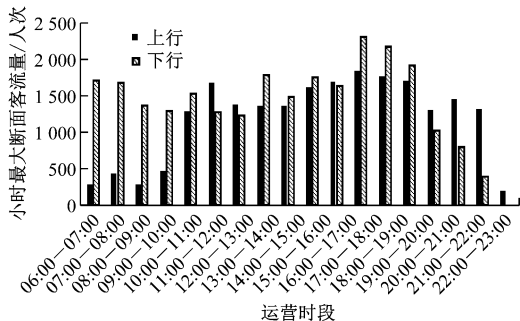


图8 大兴机场线小时最大断面客流量分布

Fig. 8 Distribution of hourly maximum sectional passenger flow of Daxing Airport Express

10列,每列车共有8节编组,包括7节载客车厢及1节行李车厢。为了缩短行车间隔、提高服务品质,同时降低运营列车在非高峰时间段内的运力冗余问题,在不增加列车数量的前提下,运营管理方将2列8节编组列车(以下简称“8编车”)进行拆分,变成4列4节编组列车(以下简称“4编车”)。由此,大兴机场线由单一编组运营模式转变为混合编组运营模式。

制定大兴机场线行车组织方案时,除了结合各时段线路客运需求、平衡线路运力资源外,还需考虑列车的特点和配属情况,确保乘客托运行李的运输时效。

2.1 确定混合编组列车正线行车的组织原则

考虑4编车的救援能力,1列8编车的前方或后方必须另有1列8编车,即8编车的前/后不可同时均为4编车。考虑行李运输的时效性,在行车间隔较大的情况下,始发站应避免连续发4编车,即4编车的前方及后方均应为8编车。

2.2 以列车座席满载率作为编制行车方案的依据

根据《北京轨道交通新机场线一期工程初步设计》,大兴机场线以全坐席作为乘坐的舒适度标准,线路的运力配置应在机场客流正常情况下按照全坐席考虑。本文依据GB/T 38374—2019《城市轨道交通运营指标体系》中断面满载率的定义及计算方法,定义断面座席满载率为单位时间内运营线路单向断面客流量与相应断面座席数的比值,并将其作为制定该线行车方案的主要依据之一。

断面满载率的计算式为:

$$\text{断面满载率} = \frac{\text{断面客流量}}{\text{断面运力}} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中,断面运力指单位时间内开行列车数与列车定员的乘积。根据式(1)可推导出断面 d 的座席满载率 P_d 的计算式为:

$$P_d = \frac{Q_d}{O_d} \times 100\% \tag{2}$$

式中：

- Q_d ——单位时间内经过断面 d 的客流量；
- O_d ——单位时间内经过断面 d 的列次合计的座席数。

式(2)中, Q_d 为单位时间开行列数与列车额定座席的乘积。由于大兴机场线是混合编组行车, O_d 由两部分组成:单位时间 4 编车的开行列数与 4 编车额定座席的乘积,以及单位时间 8 编车的开行列数与 8 编车额定座席的乘积,即:

$$O_d = D_4n_4 + D_8n_8 \tag{3}$$

式中：

- D_4 、 D_8 ——分别为 4 编车、8 编车的额定座席数；
- n_4 、 n_8 ——分别为单位时间内 4 编车、8 编车的开行列数。

按大兴机场线列车的设计条件,式(3)的 $D_4 = 187$ 席, $D_8 = 357$ 席。

2.3 确定小时开行列车数

$$n = \frac{Q_{\max}}{D_{\text{列}}\beta} \tag{4}$$

式中：

- n ——1 h 内应开行的列车数；
- Q_{\max} ——1 h 内的最大断面客流量；
- $D_{\text{列}}$ ——1 列车的额定座席数；
- β ——1 h 内的最大断面座席满载率。

通过式(4)可计算出在单一编组行车情况下的开行列数。混合编组情况下,需考虑不同编组列车可用数量和混合编组列车正线行车的组织原则,对 n_4 、 n_8 进行配置。

2.4 确定高峰和非高峰时段的行车间隔

设 1 h 内列车行车间隔为 $T_{\text{间}}$ (单位为 s),其计算式为：

$$T_{\text{间}} = \frac{3\ 600}{n} \tag{5}$$

将运营时段行车间隔细分为高峰时段行车间隔 $T_{\text{高,间}}$ (单位为 s) 和非高峰时段行车间隔 $T_{\text{非高,间}}$ (单位为 s),则有：

$$T_{\text{高,间}} = \frac{3\ 600}{n_{\text{高}}} \tag{6}$$

$$T_{\text{非高,间}} = \frac{3\ 600}{n_{\text{非高}}} \tag{7}$$

式中：

- $n_{\text{高}}$ ——高峰时段内每小时应开行的列车数^[7],列。

- $n_{\text{非高}}$ ——非高峰时段内每小时应开行的列车数^[7],列。

根据大兴机场线各时段的断面客流数据,11:00—19:00 的断面客流较高,高峰小时最大断面客流量为 2 306 人次/h。

基于以上原则,确定大兴机场线混合编组列车的正线行车组织方案如表 2 所示。该方案高峰时段的行车间隔为 8 min,非高峰时段的行车间隔为 9 min 20 s,上下行行车间隔相同。在 8 min 间隔下,每小时开行 4 编车 2 对、8 编车 5 对。在 9 min 20 s 行车间隔下,每小时开行 4 编车 1 对、8 编车 5 对。经计算可知,小时断面座席满载率为 61% ~ 99%,基本满足线路客运需求。

表 2 大兴机场线的小时行车间隔及断面座席满载率
Tab.2 Hourly operation interval and sectional seat load factor of Daxing Airport Express

运营时段	$T_{\text{间}}$	n_4 /对	n_8 /对	$P_d/\%$
06:00—07:00	9 min 20 s	1	5	81
07:00—08:00	9 min 20 s	1	5	79
08:00—09:00	9 min 20 s	1	5	64
09:00—10:00	9 min 20 s	1	5	61
10:00—11:00	9 min 20 s	1	5	72
11:00—12:00	8 min	2	5	72
12:00—13:00	8 min	2	5	59
13:00—14:00	8 min	2	5	77
14:00—15:00	8 min	2	5	64
15:00—16:00	8 min	2	5	75
16:00—17:00	8 min	2	5	72
17:00—18:00	8 min	2	5	99
18:00—19:00	8 min	2	5	93
19:00—20:00	9 min 20 s	1	5	90
20:00—21:00	9 min 20 s	1	5	61
21:00—22:00	9 min 20 s	1	5	68
22:00—23:00	9 min 20 s	1	5	62

断面座席满载率体现了断面内列车座席的平均利用情况。由于该线为等间隔发车,假设客流在单位时间内平均分布,则 4 编车的座席满载率将高于 8 编车的座席满载率。以 17:00—18:00 的客流数据为例,经计算,8 编车的座席满载率约为 87%,4 编车的座席满载率约为 167%,即存在 4 编车部分乘客无座的情况。

3 灵活多样的行车组织形式

为进一步提高大兴机场与市区之间客流的送达速度,降低 4 编车的座席满载率,本文进一步对草

桥站和大兴机场站之间开行大站车的可行性进行分析,由4编车承担大站车的运输任务,减少以大兴新城站为起终点的乘客量。

3.1 大站车开行背景

根据OD数据可知,以大兴新城站为起终点的乘客仅占全线客流的8%,因此,可选择在草桥站与大兴机场站间客运量较高、大兴新城站客运量较少的时段开行大站车,以提高大兴机场站与草桥站间的客流输送效率,同时减少对以大兴新城站为起终点的客流影响。

考虑该线的实际情况,在大兴机场线下行去往大兴机场站的乘客中,有较大比例为去往大兴机场的离港旅客。若在下行方向开行大站车,对线路发车时刻不清楚的旅客而言,可能会导致旅客在站内候车时间过长,容易造成误机。因此,在上行方向开行大站车更具有实际意义。

3.2 大站车行车组织方案分析

如上文分析,上行方向10:00—14:00、20:00—23:00时段内以大兴新城站为起终点的客运量较少,且由大兴机场站去往草桥站的客运量占上行方向客运量的比例较高。所以考虑在高峰时段11:00—14:00和非高峰时段20:00—23:00在上行方向开行大站车,线路的发车间隔不变,上行的4编车采取大兴机场站至草桥站直达开行的方式,8编车则维持既有开行方式。

此开行方案下,线路运力保持不变,上线列车数不变。11:00—14:00上行方向每1h开行2列大站车。对于大兴机场站而言,列车的发车间隔均为8min。对于大兴新城站,上行列车的发车间隔则有8min和16min两种情况。20:00—23:00上行方向每1h开行1列大站车,大兴机场站的列车发车间隔均为9min20s,大兴新城站上行列车的发车间隔则存在9min20s和18min40s两种情况。

大兴机场线开行大站车可提升旅客的送达速度,降低4编车的座席满载率,但以大兴新城站为起终点的乘客候车等待的时间可能较长。此外,与站站停列车相比,大站车的旅行时间减少幅度很有限。因此,在大兴机场线最小行车间隔进一步缩小后,大站车开行方案才更具有可实施性。

4 结语

轨道交通线路的客流特点是制定行车组织方案的重要依据。服务于机场旅客的机场轨道交通专线,其客流特征与一般城市轨道交通线路有所不

同。因此,需要对机场轨道交通专线的客流特征进行深入分析,考虑线路的配车特点、运力配置情况及乘客需求等因素,研究制定与机场轨道交通专线客流特征相匹配的开行方案,以提高乘客输送效率和线路服务水平。

参考文献

- [1] 北京交通发展研究院.北京市轨道交通大兴机场线(草桥—丽泽金融商务区)工程客流预测专题报告[R].北京:北京交通发展研究院,2018.
Beijing Transport Institute. Beijing Rail Transit Daxing Airport Express (Caoqiao—Lize Financial Business District) project passenger flow forecast report [R]. Beijing: Beijing Transport Institute, 2018.
- [2] 张晋,李松峰,王波.城市轨道交通机场线规划适应性研究[J].都市快轨交通,2019,32(6):38.
ZHANG Jin, LI Songfeng, WANG Bo. Planning adaptability of China's Airport rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(6): 38.
- [3] 杨群.轨道交通接入机场的时间与方式研究[D].成都:西南交通大学,2012.
YANG Qun. The timing and manner of study of rail transit access to the airport [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.
- [4] 郭桐君.轨道交通机场线规划方案对机场陆侧交通分担率的影响研究[D].北京:北京交通大学,2020.
GUO Tongjun. Impact of rail transit airport line planning scheme on airport ground access modal share[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [5] 龚晓磊.西安北至机场城际轨道交通线客流衔接分析[J].铁路运输与经济,2016,38(3):88.
GONG Xiaolei. Analysis on passenger flow connection of inter-city rail transit line from Xi'an north station to airport[J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(3): 88.
- [6] 北京城建设计发展集团股份有限公司.北京轨道交通新机场线一期工程初步设计[R].北京:北京城建设计发展集团股份有限公司,2016.
Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd. Preliminary design of Beijing rail transit new airport express phase I project[R]. Beijing: Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., 2016.
- [7] 鲁玉桐,李鹏,金艳萍,等.城市轨道交通不同编组列车行车组织方案编制方法研究:以北京大兴机场线为例[J].现代城市轨道交通,2021(7):82.
LU Yutong, LI Peng, JIN Yanping, et al. Study on formation method of train operation organization scheme for different train consist on urban rail transit[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021 (7): 82.

(收稿日期:2022-01-28)