

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.12.012

石家庄正定国际机场航空旅客分布特征识别

——基于手机信令数据的研究^①

姚海芳¹, 路紫¹, 刘劲松²

1. 河北师范大学 旅游系, 石家庄 050024; 2. 河北师范大学 数学与信息科学学院, 石家庄 050024

摘要: 航空旅客分布特征及出行行为是航空网络布局、机场集疏运体系规划的基础, 以石家庄市正定国际机场为研究对象, 基于手机信令数据对该机场的航空旅客分布特征进行了识别, 并对其影响因素进行了剖析. 研究发现: ① 该机场的航空旅客主要来源于河北省(占 60%左右), 其次是北京市, 但所占比例有限(约为 6%~7%). ② 该机场进港、出港旅客的空间分布呈现出以石家庄市为核心的辐射扩张模式, 具有明显的交通指向性, 说明机场集疏运网络对航空旅客的分布具有重要贡献. ③ 统计分析表明, 进港、出港航班数量与进港、出港旅客数量呈显著正相关关系($p < 0.001$), 且进港、出港旅客 24 h 动态分布特征与航班时刻结构变化同步性较高, 这表明航班时刻结构是影响其变化的主要因素, 优化航班时刻资源可以吸引更多远距离航空旅客, 进而提高该机场的客运量.

关键词: 手机信令数据; 航空旅客; 分布特征; 石家庄正定国际机场

中图分类号: K909

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)12-0084-09

随着高铁的快速发展, 机场与机场、机场与高铁之间竞争日益激烈^[1-2]. 在此背景下, 研究机场航空旅客的分布特征、出行行为变化成为机场管理者、市场决策者以及政府基础设施投资决策者共同关心的问题. 航空旅客出行行为一直是交通地理学和行为地理学关注的内容, 在该方面成果较多也较为成熟^[3-7], 而关于航空旅客空间分布特征的研究相对匮乏. 以往学者^[8-10]主要通过问卷调查方法, 利用航空旅客的客源地与行政单元空间匹配, 得到航空旅客的空间分布格局. 由于问卷调查数据数量有限、获取费时费力^[11], 其在分析进出港旅客空间分布格局的动态性、时效性方面, 不能满足研究要求. 有学者^[12-13]通过等时圈法划定机场腹地范围, 进而研究腹地范围内的人口结构、密度分布、经济发展水平等, 但是其分析的人口数据多来自统计年鉴的行政区划的总人口, 并非真实航空旅客, 这必然使分析结果在客观性上有所遗憾. 移动通信的普及使得获取大量的、动态的、带有地理位置信息的个人数据成为可能, 且在城市空间结构^[14]、职住空间分布^[15]、居民出行行为^[16-17]等方面得到了广泛的应用, 为研究航空旅客的空间分布提供了新的数据来源.

石家庄正定国际机场(Shijiazhuang Zhengding International Airport, IATA: SJW, ICAO: ZBSJ)位于中国河北省石家庄市正定县, 距市区 32 km, 为 4E 级民用国际机场, 是京津冀城市群的重要空中门户、北京首都机场的备降机场、区域航空枢纽、中国北方重要的国际航空货运中转基地. 该机场于 1995 年 2 月 18

① 收稿日期: 2018-09-12

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究项目(BJ2018038); 河北省自然科学基金项目(D2019205090); 国家自然科学基金面上项目(41671138).

作者简介: 姚海芳(1984—), 女, 讲师, 博士, 主要从事交通运输地理与区域发展等方面的研究.

通信作者: 路紫, 教授, 博士研究生导师.

日正式开航. 1996 年 3 月, 正式对外开放, 2008 年 7 月, 更名为“石家庄正定国际机场”. 10 余年来, 该机场的旅客吞吐量和货邮吞吐量都呈上升趋势, 2006—2017 年, 旅客吞吐量由 63.02 万人增至 958.29 万人次, 货邮吞吐量由 1.2 万 t 增至 4.10 万 t. 但是在京津冀机场群中, 石家庄正定国际机场的客运量仅占 4%, 北京首都机场占 83%, 发展极不平衡^[18]. 2019 年底北京新机场的建成使用, 势必对该机场的客运量造成新的影响. 了解石家庄正定国际机场的航空旅客空间分布特征, 可以帮助航空公司、机场管理者充分开发利用本机场腹地, 同时做好与相邻机场的沟通协调工作, 进而促进机场群协调发展.

本文以石家庄正定国际机场(以下简称石家庄机场)为研究对象, 基于手机信令数据对石家庄机场航空旅客的分布特征进行识别, 并对其影响因素进行深入剖析, 以期为航空网络布局及机场集疏运优化提供支持 and 帮助.

1 数据与方法

1.1 数据来源与处理

1.1.1 手机信令数据

本文采用河北联通 2018 年 7 月 2 日至 8 日连续一周的手机信令数据, 该数据包括经加密的唯一用户识别码(用户 ID)、信令类型、时间戳、信令发生时手机的经度、信令发生时手机的纬度、用户所属省市县等内容; 利用 MySQL 数据库对手机信令数据进行统计分析, 统计发现, 每天捕捉到的出现在石家庄机场的日均手机识别号为 8 500~9 900 个, 每日平均信令数据约 52~63 万条.

1.1.2 其他数据

除手机信令数据外, 本文还涉及京津冀区域的交通网络数据以及石家庄机场 2018 年 7 月的航班时刻数据. 交通网络数据包括京津冀区域的高铁、普铁等铁路数据以及高速、国道、省道、县道等公路数据, 数据来自 1:100 万全国基础地理数据库(<http://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W>); 主要使用 ArcGIS 软件对京津冀区域内的交通网络数据进行提取, 并构建道路网络系统. 石家庄机场 2018 年 7 月的航班时刻数据来自河北机场管理集团有限公司官方网站(<http://www.hebeairport.cn/hbskb.html>).

1.2 研究方法

1.2.1 航空旅客判定方法

航空旅客判定流程见图 1. 首先需要进行数据的预处理, 包括去除属性值为空的数据(如用户 ID、时间戳、经纬度等属性为空的数据)、重复数据(完全一致的数据)、漂移数据(以 1 s 为单位, 如果该用户连续 2 个轨迹点之间的距离超过 1 km, 则认为存在漂移数据)等. 在数据预处理的基础上, 设定航空旅客判定规则, 识别出港旅客和进港旅客. 河北联通在石家庄机场每日获取手机信令条数均值为 57 万条, 每日获取的手机识别号为 9 200 个, 经统计发现, 在 7 月 2 日至 8 日, 这些手机识别号仅出现 1 次所占比例为 83.49%, 出现 2 次及以上的比例为 16.51%. 鉴于本文重在分析研究进港、出港旅客时空分布特征, 而非航空旅客数量估算, 为简化航空旅客筛选规则, 本文仅使用出现 1 次的手机识别号, 具体流程为: 对每一个手机用户进行统计, 如果其在 7 月 2 日至 8 日出现的天数为 1 d, 则认为该用户为航空旅客, 并对该手机用户加以标识; 以日为单位, 统计每一个航空旅客手机信令记录的开始时间、开始经度、开始纬度、结束时间、结束经度、结束纬度; 如果该航空旅客结束经纬度在机场及其附近 5 km 以内, 而开始经纬度没有在机场及其附近 5 km 内, 则判定其为出港旅客; 如果该航空旅客开始经纬度在机场及其附近 5 km 以内, 而结束经纬度没有在机场及其附近 5 km 内, 则判定其为进港旅客; 如果该航空旅客开始经纬度、结束经纬度都在机场及其附近 5 km 内, 则判定其为中转旅客.

1.2.2 核密度分析法

核密度分析法是手机信令数据可视化常见的方法. 核密度估计(Kernel Density Estimation)方法基本原理是以每一个样点 x 为中心, 通过核函数计算出每个样点在指定半径范围内对各个栅格单元中心点的密度贡献值. 搜索半径范围内的栅格单元中心点距离样点越近, 其样点的密度贡献值越大. 最终生成的核密

度图, 可以显示样点的空间集聚情况^[19-20]. 核密度分析公式如下:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

式中: $f_n(x)$ 为估计点要素的核密度; x 为估计点要素的值; x_i 为阈值范围内任一点要素的值; k 为核密度方程; h 为阈值; n 为阈值范围内的要素数; d 为数据维度; $x-x_i$ 为 x 与 x_i 的距离.

除此以外, 本文还用到了统计分析方法、空间分析法等常见方法, 这里不再赘述其计算原理.

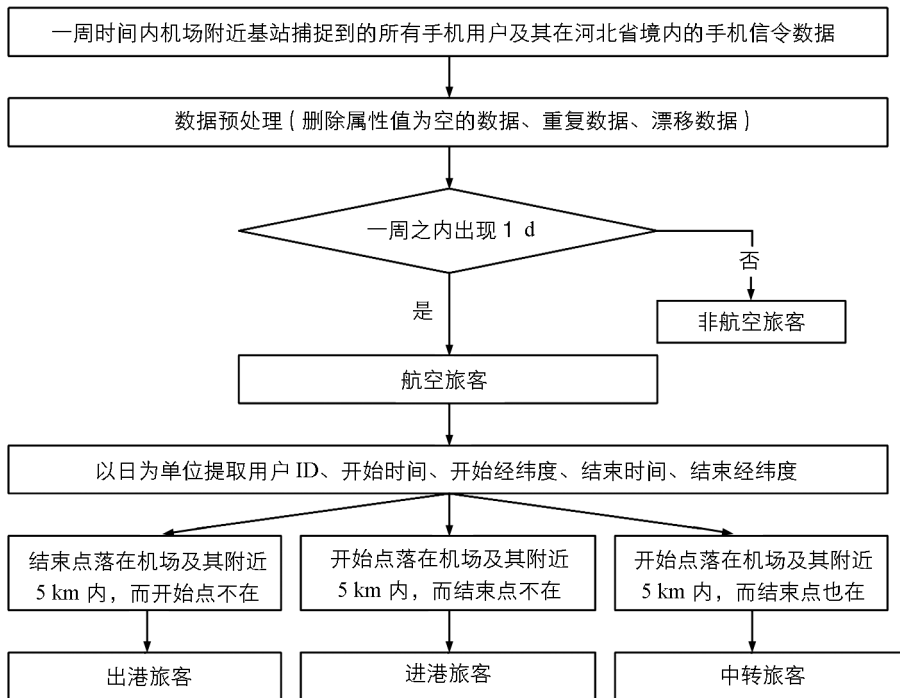


图 1 航空旅客判定流程图

2 航空旅客空间分布特征分析

2.1 出港旅客空间分布特征

利用上述航空旅客判别方法识别出港旅客, 并对出港旅客在各省分布情况进行统计(表 1), 统计发现, 出港旅客主要位于河北省, 所占比例为 65.7%; 其次为北京市, 所占比例为 5.64%; 广东省排在第三位, 所占比例为 2.54%, 其他省份所占比例较少. 这说明河北省是石家庄机场主要的服务市场, 随着“京津冀协同发展”以及北京—石家庄“空铁联运”等政策、措施的引领、鼓励, 石家庄机场承接了部分北京旅客, 在疏解北京首都机场的客运压力方面起到一定的作用, 但是所占比例有限.

利用 ArcGIS 10.2 软件实现出港旅客的空间映射. 由于河北省捕捉到的手机信令数据缺少用户在外省的经纬度信息, 本文仅以河北省为研究区域, 分析石家庄机场出港旅客的空间分布情况. 对出港旅客进行核密度分析, 发现出港旅客在空间分布特征上呈现出以石家庄市为核心的辐射扩张模式^[18], 主要辐射区域除石家庄市外, 还包括保定、衡水、邢台和邯郸. 出港旅客的热点区域主要集中在石家庄市辖区、保定市辖区、邢台市辖区、衡水市辖区、邯郸市辖区, 次热点区域主要围绕石家庄机场的集疏运体系分布, 如石家庄周边区县、石家庄—邢台—邯郸、石家庄—保定—北京. 造成该现象的主要原因是石家庄机场近年来地面集疏运体系得了较快发展, 除高速、高铁等基础设施外, 还开通了市内机场大巴, 新建了数条省内直通车线路.

2.2 进港旅客空间分布特征

同理, 在识别进港旅客的基础上, 对进港旅客在各省分布情况进行统计(表 1), 发现进港的空间分布特征与出港旅客极为相似. 进港旅客也主要位于河北省, 所占比例为 59.69%; 其次为北京市, 所占比例为

6.97%；广东省排在第三位，所占比例为 2.97%，其他省份所占比例较少。对进港旅客进行核密度分析，发现进港旅客同样呈现出以石家庄市为核心的辐射扩张模式^[18]。主要辐射区域包括石家庄市、保定、衡水、邢台和邯郸。进港旅客的热点区域也主要集中在城市辖区，如石家庄市辖区、保定市辖区、邢台市辖区、衡水市辖区、邯郸市辖区；次热点区域主要围绕石家庄机场的集疏运体系分布。出港、进港旅客空间分布特征的相似性说明出港的出发地与进港旅客的目的地是大体一致的。

表 1 进港、出港旅客各省市分布表

省 市	出港旅客/%	进港旅客/%	省 份	出港旅客/%	进港旅客/%
内蒙古	1.62	1.95	湖南	0.34	0.36
北京市	5.64	6.97	江西	0.20	0.30
天津市	1.23	1.60	河南	0.65	0.80
山东	1.19	1.67	西藏	0.04	0.02
河北	65.70	59.69	四川	1.33	1.47
山西	1.66	2.77	重庆市	1.04	1.12
安徽	0.42	0.53	陕西	0.74	0.85
上海市	1.81	2.10	贵州	0.52	0.57
江苏	1.06	1.12	云南	0.47	0.71
浙江	1.58	1.70	甘肃	0.38	0.26
福建	0.75	0.84	宁夏	0.22	0.20
海南	0.84	0.85	新疆	1.17	1.20
广东	2.54	2.97	吉林	2.23	2.52
广西	0.37	0.38	辽宁	2.07	1.96
青海	0.10	0.12	黑龙江	1.57	1.83
湖北	0.54	0.56			

3 航空旅客时间动态特征分析

3.1 出港旅客时间动态分布

以 1 h 为时间单元，将各时间段记录到的出港手机用户进行空间化，并利用核密度和 ArcGIS 的 Zonal 方法分析石家庄机场一天 24 h 内出港旅客的空间变化(图 2 和表 2)。由图和表可以看出，石家庄机场的出港旅客空间分布具有明显的差异，从时间动态性方面来看，出港旅客分布范围呈现以石家庄机场为核心逐渐扩大的现象，具体表现为：0：00—4：00，出港旅客分布范围极小；4：00—7：00，出港旅客分布范围以石家庄机场为核心逐渐扩大，由石家庄机场扩大到石家庄市城区、保定市城区等，其中，主要热点区域为石家庄市城区；7：00—24：00，分布范围延伸到张家口、承德等地，但主要分布在石家庄—邢台—邯郸、石家庄—保定—北京、石家庄—衡水等交通要道沿线区县。可见，石家庄机场出港旅客空间分布经历了由一核向多核不断扩张的现象，即最开始是石家庄市城区，随后延伸到保定市城区、衡水市城区、邯郸市城区、邢台市城区，以及张家口城区和承德城区等，呈现多核并存现象。

3.2 进港旅客时间动态分布

以 1 h 为时间单元，将各时间段记录到的进港手机用户进行空间可视化，并利用核密度和 ArcGIS 的 Zonal 方法分析石家庄机场一天 24 h 内进港旅客的空间变化(图 2 和表 2)。各时段石家庄机场进港旅客的空间分布也具有明显的差异，从时间动态性方面来看，进港旅客的疏散范围经历了“大一一小一大”的反复循环，即以石家庄机场为核心逐渐变小，其后又以机场为核心逐渐扩大，而后再变小，接着再扩大的循环现象。具体表现为：0：00—1：00，进港旅客疏散范围分布极大，除石家庄周边区县外，还有邯郸市辖区、邢台市辖区、衡水市辖区、保定市辖区、张家口、承德等区域，随后进港旅客空间范围逐渐变小，热度降低，在 4：00—5：00 达到第一个低谷，此时段过后，其疏散范围逐渐扩张，热度也随之上升；20：00—21：00 以

后, 进港旅客疏散范围又开始收缩, 至 22:00—23:00, 疏散范围小至一个低谷, 主要分布在石家庄市城区及周边区县, 以及石家庄—保定—邢台交通要道沿线区域; 23:00 过后, 进港旅客疏散范围又持续增大, 待来日 1:00 达到最大值。

表 2 进港、出港旅客时间动态特征表

时间段	出港旅客涉及市域	进港旅客涉及市域
0:00—1:00	石家庄	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、廊坊、沧州、秦皇岛、唐山、张家口、承德
1:00—2:00	石家庄	石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、沧州、廊坊、承德
2:00—3:00	石家庄	石家庄、保定、邢台、沧州、邯郸、衡水、廊坊、唐山、张家口
3:00—4:00	石家庄	石家庄、沧州、保定、廊坊、邯郸、邢台、衡水、承德
4:00—5:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、张家口、承德
5:00—6:00	石家庄、保定、邢台、邯郸	石家庄、邢台、秦皇岛、保定、衡水、沧州、承德、张家口、廊坊
6:00—7:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、廊坊	石家庄、保定、秦皇岛、邢台、邯郸、承德、衡水、唐山、张家口、沧州
7:00—8:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、廊坊、邯郸、张家口	石家庄、衡水、保定、秦皇岛、沧州、邢台、邯郸、承德、张家口
8:00—9:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、廊坊、邯郸、张家口	石家庄、衡水、保定、邢台、沧州、邯郸、廊坊、承德、张家口
9:00—10:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、保定	石家庄、邢台、保定、衡水、邯郸、沧州、廊坊、秦皇岛、承德、张家口、唐山
10:00—11:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、廊坊、张家口	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、廊坊、秦皇岛、承德、张家口
11:00—12:00	石家庄、保定、衡水、邢台、廊坊、沧州、邯郸、张家口	石家庄、保定、衡水、邢台、廊坊、邯郸、沧州、唐山、张家口、承德、秦皇岛
12:00—13:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、张家口、廊坊、承德	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、廊坊、张家口、唐山、承德
13:00—14:00	石家庄、衡水、保定、邢台、邯郸、沧州、廊坊、张家口、承德、保定	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、张家口、承德
14:00—15:00	石家庄、保定、衡水、邯郸、邢台、沧州、廊坊、张家口、承德	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、廊坊、张家口、秦皇岛、承德
15:00—16:00	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、廊坊、秦皇岛、承德、张家口	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、廊坊、张家口、承德、唐山
16:00—17:00	石家庄、衡水、保定、邢台、邯郸、沧州、廊坊、唐山、张家口、承德、秦皇岛	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、廊坊、张家口
17:00—18:00	石家庄、保定、邢台、衡水、沧州、邯郸、廊坊、张家口、秦皇岛、承德	石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、廊坊、沧州、张家口、承德
18:00—19:00	石家庄、衡水、保定、邢台、沧州、邯郸、廊坊、秦皇岛、承德、张家口	石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、沧州、张家口、承德、廊坊
19:00—20:00	石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、沧州、廊坊、秦皇岛、承德、张家口、唐山	石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、沧州、廊坊、承德

续表 2

时间段	出港旅客涉及市域	进港旅客涉及市域
20:00—21:00	石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、廊坊、秦皇岛、唐山、张家口、承德	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、廊坊、张家口
21:00—22:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、廊坊、秦皇岛、张家口、唐山、承德	石家庄、保定、邢台、衡水、沧州
22:00—23:00	石家庄、衡水、保定、邢台、邯郸、沧州、廊坊、秦皇岛、唐山、张家口、承德	石家庄、保定、邢台
23:00—24:00	石家庄、保定、衡水、邢台、沧州、邯郸、廊坊、承德、秦皇岛、张家口、唐山	石家庄、保定、邢台、衡水、廊坊、沧州、邯郸、秦皇岛、张家口

4 讨论

4.1 空间分布特征影响因素

如前所述,进港、出港旅客主要来自河北省。在河北省内,进港、出港旅客主要分布在石家庄市辖区、保定市辖区、邢台市辖区、邯郸市辖区以及石家庄周边区县。且进港、出港旅客主要沿石家庄机场交通集疏运网络分布,如石家庄—保定—北京、石家庄—邢台—邯郸、石家庄—衡水等铁路和高速比较发达的交通要道,以及石家庄周边区县等距离石家庄机场较为近的区域。

本文从定量角度分析机场集疏运网络对进港、出港旅客空间分布格局的影响,并基于京津冀区域的高铁、普铁、高速、国道、省道、县道构建成道路网络系统,使用等时圈法划定石家庄机场的腹地范围。考虑到不同道路的实际运行速度对可达性的影响,按照高铁 250 km/h、普铁 90 km/h、高速 120 km/h、国道 70 km/h、省道 60 km/h、县道 40 km/h、乡道 30 km/h 的标准,对道路交通网络进行空间距离到时间成本的转化,一般而言,我国常选取 90 min 作为阈值来衡量机场集疏运网络的可达性,如果旅客到达机场的时候超过 90 min,则旅客选择该机场的概率会降低。据此,本文以 90 min 作为阈值生成石家庄机场的腹地范围,并将空间化的进港、出港旅客与机场 90 min 腹地范围进行叠加,结果发现,90 min 等时圈内覆盖出港旅客比例为 98.0%,进港旅客数量达到 97.9%,说明进港、出港旅客主要分布在机场集疏运网络通达性较大的地方,交通是影响进港、出港旅客空间分布的主要因素。

4.2 时间分布特征影响因素

从进港、出港旅客时间分布特征分析可以看出,石家庄机场进港、出港旅客空间分布格局在 24 h 内存在明显的差异,这与该机场的航班时刻结构密切相关。基于石家庄机场 2018 年 7 月的航班时刻表,点绘进港、出港航班时刻分布图(图 3),可以看出,石家庄机场出港航班总体分布为早上时刻(5:00—7:00)、早上黄金(7:00—8:00)、上午低谷(8:00—11:00)、中午黄金(11:00—16:00)、下午低谷(16:00—17:00)、晚高峰(17:00—21:00)、晚低谷(21:00—23:00)7 个时间段,并未出现深夜红眼航班(23:00—5:00)。其中早上黄金时段所占航班百分比最高,为 16.5%。除深夜红眼

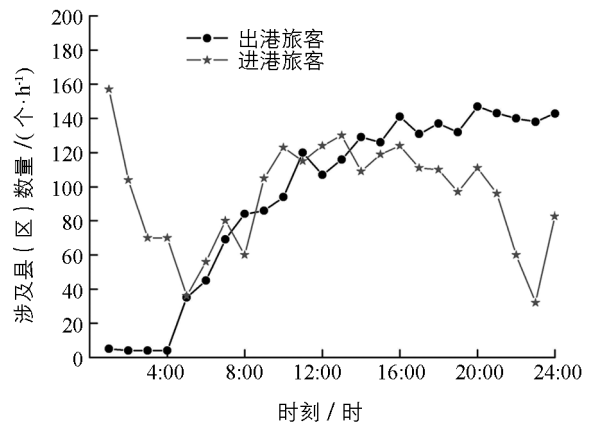


图 2 进港、出港旅客时间动态特征图

航班外, 其出港航班时刻结构与其他机场的出港时刻分布特征基本一致. 进港航班时刻主要集中在 9:00 至次日凌晨的 1:00, 其中, 12:00—13:00 所占比例最高, 为 9.6%, 其次为 0:00—1:00, 所占比例为 8.5%, 在 2:00—9:00 时间段没有航班进港.

统计一天 24 h 各时段进港、出港旅客数量, 并点绘进港出港航班数量与进出港旅客数量关系图(图 4), 可以看出, 进港航班数量与进港旅客数量呈显著正相关关系(R 值为 0.645), 同样, 出港航班数量与出港航班旅客数量也呈现显著的正相关关系(R 值为 0.753), 且二者均通过了 95% 的显著性水平检验($p < 0.001$). 这说明航班时刻结构对进港、出港航空旅客数量有着重要的作用, 对于进港旅客数量而言, 其贡献率为 64.5%, 对于出港旅客而言, 其贡献率高达 75.3%.

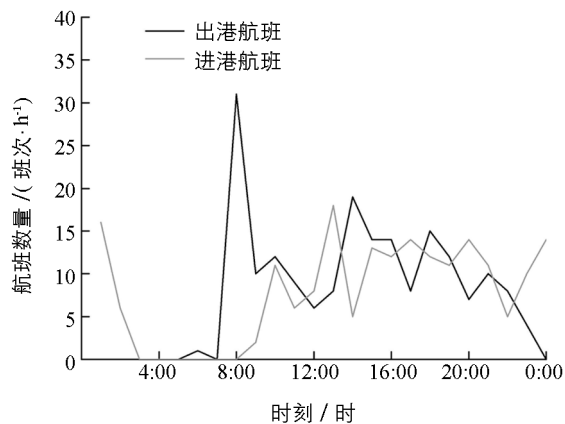
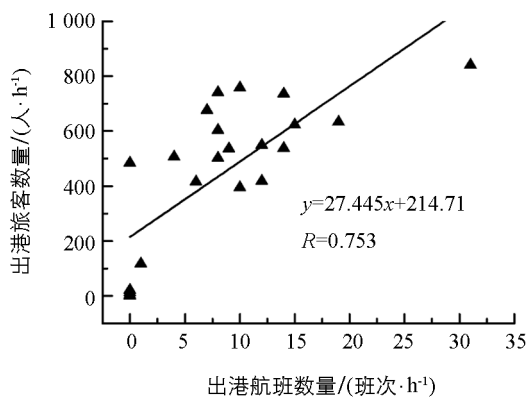
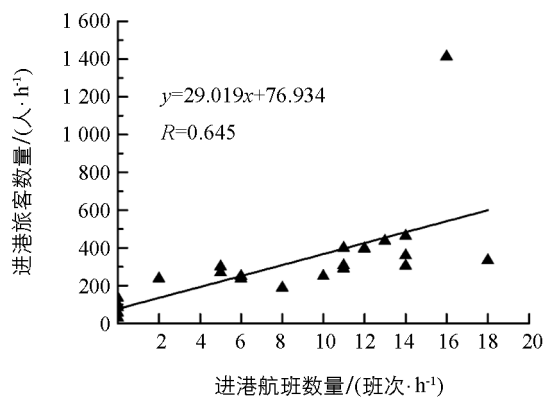


图 3 航班时刻分布图



(a) 出港



(b) 进港

图 4 航班与旅客数量关系图

对比前述进港旅客空间特征, 可以发现其与各时段进港航班结构有着直接的关系. 具体表现为: 0:00—1:00, 进港旅客疏散范围分布极大, 主要原因是该时间段进港航班集中, 约占一天内进港航班的 8.5%; 2:00—7:00, 随着进港航班数量降低, 进港旅客疏散范围逐渐变小, 在 4:00—5:00 达到第一个低谷; 8:00—21:00, 进港航班的数量开始增加, 进港旅客疏散分布范围也以石家庄机场为核心继续扩大; 至 22:00—23:00 时段, 疏散范围进入第二个低谷, 23:00 过后, 进港旅客疏散范围又持续增大, 待来日 1:00 达到最大值. 造成以上现象的原因是自 21:00 后, 进港航班先是出现一个低谷, 此后进港航班持续增加, 从 22:00 至次日凌晨 2:00, 进港航班数量占一天总量的 24.5%, 正是进港航班时刻的变化导致进港旅客疏散范围呈以上现象.

同理, 出港旅客的空间分布范围与出港航班结构密切相关. 在 0:00—4:00 时间段出港航班数量为 0, 出港旅客空间分布范围也在该时间段达到极小值; 5:00 以后, 随着出港航班数量的增加, 出港旅客分布范围以石家庄机场为核心逐渐扩大. 值得注意的是石家庄机场在 23:00 之后并未出港航班, 但是 23:00—24:00 的出港旅客分布范围却很大, 且密度较高, 这一方面可能是航班未能按时起飞, 出港旅客延迟离开机场, 另一方面是由于该机场在 22:00—24:00 有大量进港航班.

5 结论

1) 石家庄正定国际机场的航空旅客主要来源于河北省, 所占比例为 60% 左右, 其次是北京市, 占比 6%~7%. 这说明河北省是石家庄机场主要的服务市场, 随着“京津冀协同发展”、北京—石家庄“空铁联

运”等政策、措施的引领、鼓励,该机场承接了部分北京旅客,在疏解北京首都机场的客运压力方面起到一定的作用,但是所占比例有限。

2) 石家庄正定国际机场进港、出港旅客的空间分布呈现出以石家庄市为核心的辐射扩张模式,具有明显的交通指向性,主要沿石家庄及所辖县区,以及石家庄—邢台—邯郸、石家庄—保定—北京、石家庄—衡水等交通主干道,说明机场集疏运网络对航空旅客的分布具有重要贡献。

3) 统计分析表明,进港、出港航班数量与进港、出港旅客数量呈显著正相关关系($p < 0.001$),且进港、出港旅客 24 h 动态分布特征与航班时刻结构变化同步性较高,这表明航班时刻结构是影响其变化的主要因素,优化航班时刻资源可以吸引更多远距离航空旅客,进而提高该机场的客运量。

综上所述,手机信令数据在研究机场进出港旅客空间分布的动态性、时效性方面具有独特的优势。通过手机信令数据分析,可以实时获得机场进港、出港旅客时空动态分布格局,这对机场管理者、航空公司经营者、政府基础设施投资决策者布局航空运输网络、优化机场集疏运系统具有重要的意义和价值。虽然手机信令数据具有样本量大、时实、连续等优点,但其数据精度较低,只能依赖手机信令数据依附的基站位置信息实现空间化,难以精确判定航空旅客位置。本文利用手机信令数据对机场进出港旅客空间分布动态格局及影响因素研究进行了初步探索,仅分析了航班时刻结构和交通网络对机场进出港旅客空间分布格局的影响,对其它要素如机票价格、航空旅客的机场选择意愿等未进行剖析,下一步可以尝试融合问卷调查数据,将手机信令数据和同期问卷调查数据有机融合,在揭示现象的同时深刻理解现象背后的机理。

参考文献:

- [1] AMY M. KIM, MEGAN S. RYERSON. A Long Drive: Interregional Airport Passenger “leakage” in the U. S [J]. *Tourism Management*, 2018, 65: 237-244.
- [2] FU Q, KIM A M. Supply-and-Demand Models for Exploring Relationships Between Smaller Airports and Neighboring Hub Airports in the U. S [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2016, 52: 67-79.
- [3] LEUNG A, YEN B T H, GUI L. Why Passengers’ Geo-Demographic Characteristics Matter to Airport Marketing [J]. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 2017, 34(6): 833-850.
- [4] AUGUSTYNYIAK W, OLIPRA L. The Potential Catchment Area of Polish Regional Airports [J]. *Journal of International Studies*, 2014, 7(3): 144-154.
- [5] LIESHOUT R. Measuring the Size of an Airport’s CA [J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 25(12): 27-34.
- [6] SUAUA-SANCHEZ P, BURGHOUWT G, PALLARES-BARBERA M. An Appraisal of the CORINE Land Cover Database in Airport Catchment Area Analysis Using a GIS Approach [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2014, 34(1): 12-16.
- [7] PASHA M, HICKMAN M. Airport Ground Accessibility: Review and Assessment[EB/OL]. (2016-11-30) [2018-09-01]. <https://www.researchgate.net/publication/311067234>.
- [8] TRZEPACZ P. Methods for the Delimitation of Airport Catchment Areas [M]//Trzepacz P. *Polish Airports in Transition 2004—2013: Chapter V*. Polish: Instytut Rozwoju Miast, 2014: 81-96.
- [9] LIAN J I, RØNNEVIK J. Airport Competition-Regional Airports Losing Ground to Main Airports [J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(1): 85-92.
- [10] PALISKA D, DROBNE S, BORRUSO G, et al. Passengers’ Airport Choice and Airports’ Catchment Area Analysis in Cross-Border Upper Adriatic Multi-Airport Region [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2016, 57: 143-154.
- [11] WANG Z, HE S Y, LEUNG Y. Applying Mobile Phone Data to Travel Behaviour Research: A Literature Review [J]. *Travel Behaviour and Society*, 2018, 11: 141-155.
- [12] 王姣娥, 金凤君, 孙 炜, 等. 中国机场体系的空间格局及其服务水平 [J]. *地理学报*, 2006, 61(8): 829-838.
- [13] 李亚飞, 刘高换, 黄 翀, 等. 京津冀地区民用机场交通可达性空间特征分析 [J]. *世界地理研究*, 2016, 25(6): 57-65.
- [14] 丁 亮, 钮心毅, 宋小冬. 上海中心城就业中心体系测度——基于手机信令数据的研究 [J]. *地理学报*, 2016, 71(3): 484-499.

- [15] 田金玲, 王 德, 谢栋灿, 等. 上海市典型就业区的通勤特征分析与模式总结——张江、金桥和陆家嘴的案例比较 [J]. 地理研究, 2017, 36(1): 134-148.
- [16] 李祖芬, 于 雷, 高 永, 等. 基于手机信令定位数据的居民出行时空分布特征提取方法 [J]. 交通运输研究, 2016, 2(1): 51-57.
- [17] 钟炜菁, 王 德, 谢栋灿, 等. 上海市人口分布与空间活动的动态特征研究——基于手机信令数据的探索 [J]. 地理研究, 2017, 36(5): 972-984.
- [18] 姚海芳, 路 紫, 刘劲松. 基于手机信令数据的石家庄机场腹地测算 [J]. 科学技术与工程, 2019, 19(2): 248-255.
- [19] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法 [J]. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939.
- [20] 沈体雁, 周 麟, 王利伟, 等. 服务业区位选择的交通网络指向研究——以北京城市中心区为例 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(8): 947-956.

Identification of Air Passenger Distribution Characteristics at Shijiazhuang Zhengding International Airport ——A Study Based on Mobile Phone Signaling Data

YAO Hai-fang¹, LU Zi¹, LIU Jin-song²

1. School of Tourism, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China;

2. College of Mathematics and Information Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China

Abstract: The characteristics of air passenger distribution and travel behavior are the basis of air network layout and airport transportation system planning. Previous studies have focused more on air passenger travel behavior and less on distribution characteristics. Taking the Shijiazhuang Zhengding International Airport as an example, this paper identified the characteristics of air passenger distribution in the airport based on mobile phone signaling data and analyzed its influencing factors. The results showed that Shijiazhuang Airport air passengers came mainly from Hebei province (accounting for about 60% of the total), followed by those from Beijing (accounting for about 6%~7%). The spatial distribution of the inbound and outbound passengers of Shijiazhuang Airport exhibited a radiation expansion mode with Shijiazhuang as the core, which had an obvious traffic directivity, indicating that the ground access of the airport had an important contribution to the distribution of air passengers. The number of inbound and outbound flights was in a highly significant positive correlation with the number of inbound and outbound passengers ($p < 0.001$), and the characteristics of 24-hour dynamic distribution of inbound and outbound passengers were highly synchronized with the changes of flight time structure thus indicating that the structure of flight time is the main factor affecting the distribution changes. In order to improve the passenger capacity of the Shijiazhuang Airport, the resources of flight time should be optimized so as to attract more long-distance air passengers.

Key words: cellphone signaling data; air passenger; distribution pattern; Shijiazhuang Zhengding International Airport