

文章编号: 1009-6000(2022)07-0029-06
中图分类号: U491 文献标识码: B
doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2022.07.005

基金项目: 国家自然科学基金项目(51978617)。

作者简介: 邓一凌, 浙江工业大学设计与建筑学院副教授, 硕士生导师, 研究方向为交通运输规划与管理;
纪桂林, 浙江工业大学设计与建筑学院硕士研究生。

天气因素对公交客流量的影响研究

Impact of Weather on Transit Ridership

邓一凌 纪桂林
DENG Yiling JI Guilin

摘要:

公交客流量是公交企业在经营中最关注的经济指标, 研究天气因素对公交客流量的影响可以帮助公交企业提前应对天气变化造成的公交客流量波动。利用 2014 年 8—12 月广州市 6 路公交的刷卡数据和日平均及小时天气数据, 将公交客流量残差作为因变量, 气温、天气状况、风力作为自变量, 基于多元线性回归方法分别建立经常性乘客和偶发性乘客的工作日、休息日公交日客流量和小时客流量模型。研究发现, 天气对公交客流量的影响随着乘客类型(经常性/偶发性)的不同、出行模式(工作日/休息日)的不同呈现明显的差异性: 小雨、中雨/大雨会显著降低公交客流量, 休息日相比工作日、偶发性乘客相比经常性乘客更加明显; 雷阵雨会显著增加偶发性乘客的公交客流量, 但对于经常性乘客的影响不显著; 气温、多云、阴、雾对公交客流量的影响仅在小时模型中显著。最后从公交运营、公交站点设计及站点周边步行环境设计等方面提出了应对不利天气的建议。

关键词:

城市交通; 天气; 公交客流量; 公交卡数据; 多元线性回归

Abstract: Transit ridership is the most important economic indicator in the operation of public transit enterprises. Understanding the impact of weather on transit ridership can help transit enterprises deal with ridership fluctuations caused by weather change. With the IC card data of Bus No.6 in Guangzhou and the daily average and hour weather data of Guangzhou from August to December 2014, the day and hour ridership models for regular and occasional passengers in weekdays and weekends were developed using multivariate linear regression. Ridership residuals are taken as the dependent variable; temperature, weather conditions, and wind are taken as the independent variables. This study found that the effect of weather on ridership is significantly different between regular and occasional passengers and between weekdays and weekends. Light and moderate/heavy rain significantly reduce ridership, which is more obvious in weekdays than in weekends and for occasional passengers than for regular passengers. Thundershower significantly increases the ridership of occasional passengers but insignificantly impacts the ridership of regular passengers. The effects of temperature, cloudy, overcast, and fog on ridership are only significant in the hour models. This study concludes with recommendations for dealing with adverse weather conditions in terms of bus operations, bus stop design, and the design of the walking environment around bus stops.

Key words: urban traffic; weather; transit ridership; transit smart card data; multivariate linear regression

0 引言

优先发展公共交通, 构建便捷、可靠、舒适的公共交通系统, 是缓解交通拥堵、改善民生、促进社会公平的有效途径。公交客流量不仅反映了公交服务的惠及人群, 是城市公交发

展水平的直接体现, 也决定了公交企业的票款收入, 是企业经营中重要的经济指标。准确地预测公交客流量有助于科学地开展公交规划和运营管理。影响公交客流量的因素很多, 比如公交线网组织、站点布局、车辆调度、

票制票价等公交系统内部因素，以及城市规模、经济发展水平、人口与就业分布等外部因素。这些因素决定了公交客流量的总体水平，因此在城市公共交通规划中被广泛关注。另外，天气、节假日、重大活动、突发性交通事故、路段维修等环境因素也会对公交客流量造成影响。但与内外部因素在短期内较为稳定的特征不同，环境因素会在短期内发生变化，是造成公交客流量波动的主要原因，在公共交通运营管理中需要时常关注。在所有环境因素中，天气所包含的影响因素最多、变化频率最快、影响范围最大、影响机理也最为复杂。

国内关于公交客流量预测的研究较多，但更侧重于分析内外部因素对于公交客流量总体水平的影响^[1-3]。即使开展公交客流量的短时预测，也大多是使用公交客流量的时序数据，采用时序分析模型，并不考虑温度、降水、风力等天气的影响^[4-6]。天气对于公交客流量影响的研究较少。刘欣彤在公交客流量的短时预测中加入了降雨的影响，但并没有考虑温度、风力等其他天气因素。另外由于采用的SVM-KNN模型本身具有黑箱性，致使无法直观看出降雨对公交客流量的影响程度^[7]。刘雪琴尽管在公交客流量预测模型中考虑了降雨、温度、风力等天气因素，但其将日平均天气数据用于小时公交客流量的预测，忽略了一日内天气变化的影响^[8]。两人的研究均缺乏对乘客特征的分析 and 分类。

国外关于天气对交通出行影响的研究多关注小汽车和慢行交通，而对公共交通则关注较少^[9-10]。但即使在不多的公共交通研究中，天气对公交客流量的影响结论也并不一致。奥特沃特等在美国犹他州盐湖城开展的公交乘客调查表明，当有其他交通方式可供选择时，12%的乘客在遇到不适宜的天气时，选择不乘坐公交出行^[11]。阿拉纳等使用休息日的公交客流数据研究了天气对于休闲购物等弹性出行的影响，发现降雨和风力的减小、气温的上升会同时增加刷卡和付现乘客的公交客流量^[12]。斯托弗等在美国华

盛顿州皮尔斯郡开展的研究表明，大风（春、秋、冬季）低温和降雪（冬季）、降雨（所有季节）等不利天气会降低公交客流量^[13]。学者们在美国芝加哥的研究表明，降雨会同减少公交和地铁客流量，降雪和大风仅会减少公交客流量，气温升高和大雾会同时增加公交和地铁客流量，与日常温度相比的低温或高温对公交和地铁客流量的影响可以忽略^[14]。科恩等使用美国纽约15年的公交日客流量数据和天气数据建立横截面回归模型，发现天气对客流量的影响程度会因为交通方式（公交或地铁）、日期（工作日或休息日）、季节的不同而有所差异。冬季的降雨和降雪会降低公交和地铁的客流量，但研究没有考虑风力、气温、雾等其他天气因素^[15]。卡尔斯坦等研究了气团对美国芝加哥、旧金山湾区、新泽西北部的影响，发现干燥、舒适天气时的公交客流量显著高于潮湿、寒冷天气时的公交客流量^[16]，但是不利天气并不总是引起公交客流量下降。哈塔克等在比利时布鲁塞尔的研究发现不利天气时公交客流量反而上升^[17]。奥黑姆等对挪威卑尔根的研究发现，对特定的人群和区域，降雨和公交客流量存在正相关，大风和高温会使人们在对小汽车、自行车、步行、公共交通的选择中更倾向于公共交通，但风力和气温对公交客流量的影响与降雨相比更弱^[18]。

国内外的研究尚存在一定的局限：一方面由于数据的制约，大多数研究仅关注日平均天气状况对日公交客流量的影响，既忽略了天气和公交客流量在一天中的变化情况，也忽略了不同乘客类别的影响；另一方面，由于地域、文化等原因，个人出行行为和出行偏好不同国家与地区间会存在显著的差异，美国和欧洲的研究结论无法直接借鉴至国内，而国内的相关研究非常少，研究结论也尚未取得共识。针对上述问题，本次研究使用2014年8—12月广州市6路公交的刷卡数据和日平均及小时天气数据，使用刷卡次数细分公交乘客，分别建立经常性乘客和偶发性乘客的工作日、

休息日公交日客流量模型和工作日、休息日公交小时客流量模型，详细研究天气对公交客流量的影响。研究旨在丰富国内关于天气对公交客流量影响的认知，更好地为公共交通运营调度提供有效信息。

1 公交IC卡数据分析及乘客分类

城市公交IC卡存储了乘客使用公交系统的交易数据，除计费外，也被广泛应用于城市公交系统分析，比如客流OD分析、运营状况评估、公交系统优化等^[19-21]。

公交线路按照等级划分一般分为干线和支线，其中干线承担公交骨架功能。从干线中选取客流大且稳定的广州市6路公交作为本次分析的对象。6路公交运行时间为6点15分至22点，全长15.4km，途经20个站点，连接天河、越秀、荔湾3个区，途径地均为商业、办公、行政、教体、居住等人流集中区域，并与地铁1号线、5号线、6号线分别形成多站的换乘。研究所用的公交刷卡数据为乘客在2014年8月到12月共5个月（153天）6路公交共84辆公交车上全部的刷卡记录，总计含1619278名乘客、4857644条刷卡数据。数据字段包括：线路名称、刷卡终端ID、卡片ID、发卡地、交易时间、卡类型。乘客中持有普通卡的占78.5%，持老人卡的占13.5%，持学生卡的占6.8%，持残疾、员工、治安监督等其他卡的占1.2%。5个月中人均刷卡次数为3.00次，其中普通卡乘客为2.96次，学生卡乘客为2.95次，老人卡乘客为3.22次，其他卡乘客为3.64次，占比最高的普通卡、老人卡、学生卡乘客的人均刷卡次数都非常接近总人均刷卡次数。对应的天气数据有两种：一种以天为单位，记录日期、白天和夜间的气温、天气状况、风向风力的信息；另一种以小时为单位，记录日期、时间、气温、露点、湿度、气压、能见度、天气状况、风向风力的信息。

图1上方的曲线为5个月内公交客流量的时间序列，从图中可以看出，休息日的公交客流量小于工作日，但

波动性较大、周期性不明显。利用逐笔的公交刷卡数据细分乘客进而找出周期性。不同乘客的刷卡次数有明显差异，5个月内刷卡最少的乘客刷卡1次，刷卡最多的乘客刷卡416次，99.5%的乘客刷卡少于42次。通过选取自然间断点，将5个月内刷卡次数多于或等于14次的乘客定义为经常性乘客，少于14次的乘客定义为偶发性乘客。尽管经常性乘客在总乘客中仅占3.0%，但其公交出行次数在总公交出行次数中占比为30.5%。两类乘客的公交客流量时间序列如图1中间和下方的曲线所示。从图中可以看出经常性乘客的公交客流量存在以周为单位的周期性规律，而偶发性乘客的公交客流量波动性较大，没有周期性规律，因此造成了两者叠加后的总公交客流量周期性不明显。中秋节、国庆节等节假日的影响也很大，会大幅降低公交客流量。

分别将经常性乘客和偶发性乘客的刷卡记录以天为单位（周一至周日）和以小时为单位（6点到22点）进行聚合，图2、图3为相应的热力图和柱状图。从图2、图3上方的柱状图可以看到，经常性乘客刷卡主要集中在早晚高峰，偶发性乘客则相对平均。对比图2、图3左侧的柱状图发现，经常性乘客在工作日的刷卡次数显著高于在休息日的刷卡次数，偶发性乘客在工作日和休息日的刷卡次数差异不大。对比图2、图3的热力图进一步印证了上述论断，经常性乘客刷卡主要集中在工作日的7点和8点，其次是工作日的17点和18点；偶发性乘客刷卡则比较平均，工作日的8点和17点略高于其他时段。因此判断经常性乘客的出行目的以通勤为主，而偶发性乘客的出行目的更加多样，两类乘客对公交的依赖程度也有显著差异，有必要将两类乘客分开建模。

2 天气因素对公交客流量的影响建模

模型的因变量为公交客流量残差，定义为实际的日（或小时）公交客流量与移动平滑估计的日（或小时）

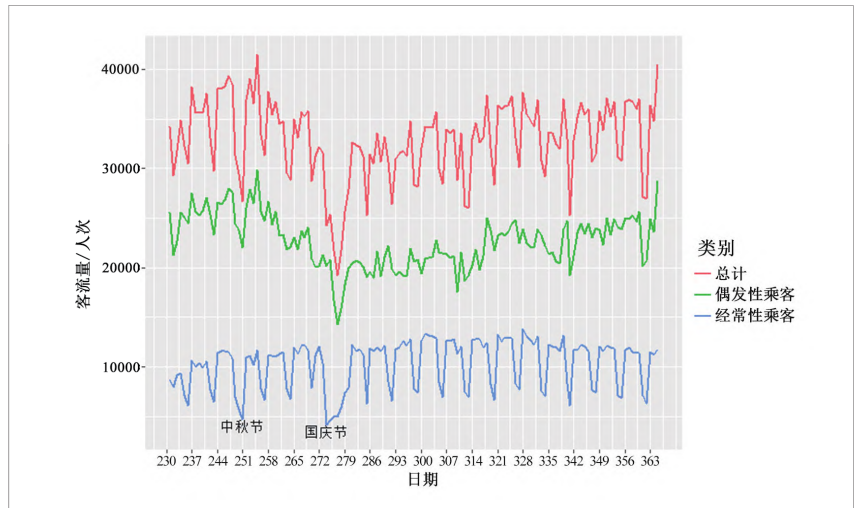


图1 经常性和偶发性乘客的公交客流量时间序列

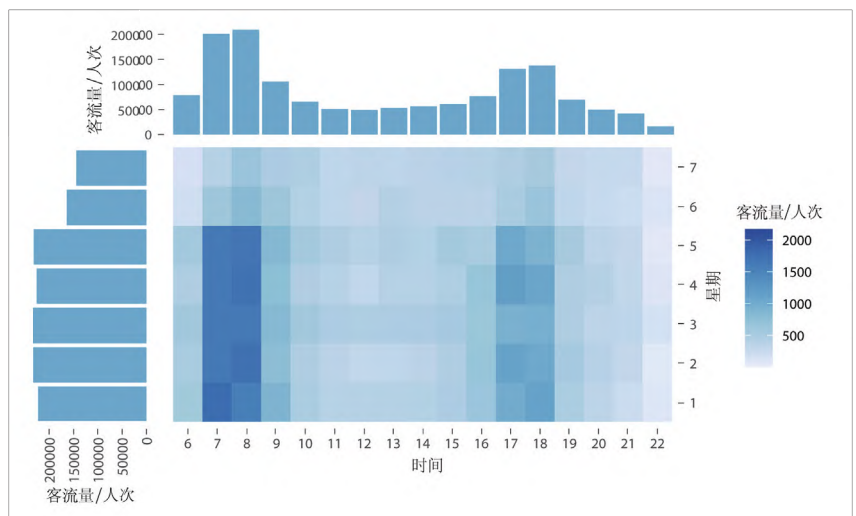


图2 经常性乘客刷卡时间分布

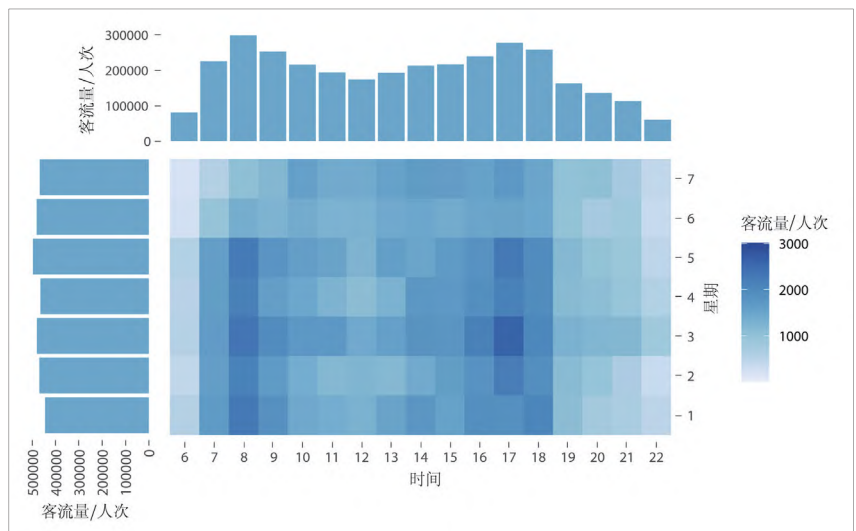


图3 偶发性乘客刷卡时间分布

公交客流量之间的差值。其中移动平滑估计的日公交客流量为当日、之前两周同一日、之后两周同一日共5项公交日客流量的均值，如果中间有公休日或调休日，则略过该周，往前或往后再计一周。移动平滑估计的小时客流量与之类似，为之前两周同一日同一小时、当日该小时、之后两周同一日同一小时共5项公交小时客流量的均值。移动平滑估计的公交客流量是实际公交客流量的无偏估计。以往研究中一般将日公交客流量或日公交客流量与前一日公交客流量的差值作为因变量，相比之下采用公交客流量残差作为因变量能够排除非天气因素的影响，比如一天中不同小时的差异、一周中不同日的差异、一年中不同季节的差异等。图4为除去中秋节和国庆节等公休日后实际、平滑、残余的日公交客流量时间序列。上方和中间的两条浅色线分别为偶发性乘客和经常性乘客的实际日公交客流量，深色线为相应的移动平滑估计的日公交客流量，对比看出移动平滑估计对经常性乘客日公交客流量拟合较好。下方两条曲线中，浅色线偶发性乘客日公交客流量的残差的波动幅度要远大于深色线经常性乘客日公交客流量的残差，初步判断天气对于偶发性乘客的影响较大，也进一步印证了将两类乘客分别建模的必要性。

日公交客流量模型采用日平均天气数据。将白天的气温、天气状况、风力等天气数据进行描述性统计分析，如表1所示，并从中筛选自变量。气温为连续变量，直接作为自变量。天气状况共7类，由于大雨和中雨的天数较少，考虑模型参数估计的可靠性，将其合并为一类。进而将天气状况转化为5个哑元变量，均以晴为0值。风力共4类，将3~4级、微风转3~4级、3级合并为一类，4~5级单独为一类，转化为1个哑元变量。

小时公交客流量模型采用小时天气数据，考虑6路公交运营时间，每天选取6点到23点共计18个小时。将气温、天气状况、风速等天气数据进行描述性统计分析，如表2所示，

并从中筛选自变量。气温为连续变量，直接作为自变量。天气状况共7类，与日平均天气数据相比，多了“雾”这一类，因此将天气状况转化为6个哑元变量，均以晴为0值。风速为连续变量，大于等于8.0m/s为劲风，对应风力为4~5级。考虑与日平均天气数据相对应，以8.0m/s为分界线，对风速进行分类，转化为1个哑元变量。

公交客流量残差为连续变量，对连续变量建模有多种模型可供选择比如多元线性回归、支持向量机、神经网络等。本次研究一方面旨在得到用于预测公交客流量残差的模型，另一方面也特别关注自变量的解释性因此排除支持向量机和神经网络等黑箱方法，采用多元线性回归模型，分别建立经常性乘客与偶发性乘客的工作日日公交客流量、休息日日公交客流量、工作日公交小时客流量、休息

日公交小时客流量等8个模型。休息日仅为正常双休日，不包括公休日和调休日。模型形式如下：

$$\Delta Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \varepsilon$$

式中：Y是公交客流量残差为常量，X₁为气温，X₂为是否多云，X₃为是否阴天，X₄为是否小雨，X₅为是否中雨/大雨，X₆为是否雷阵雨，X₇为是否劲风，β₁~β₇为需要估计系数，ε是误差项。

3 模型结果分析

采用最小二乘法对全部8个线性回归模型分别进行两次参数估计，第一次估计时纳入全部自变量，第二次估计时从中去除不显著的自变量，最终结果如表3所示。尽管8个模型调整后的R²均不高，但对模型进行F检验的结果表明所有模型都是显著的。

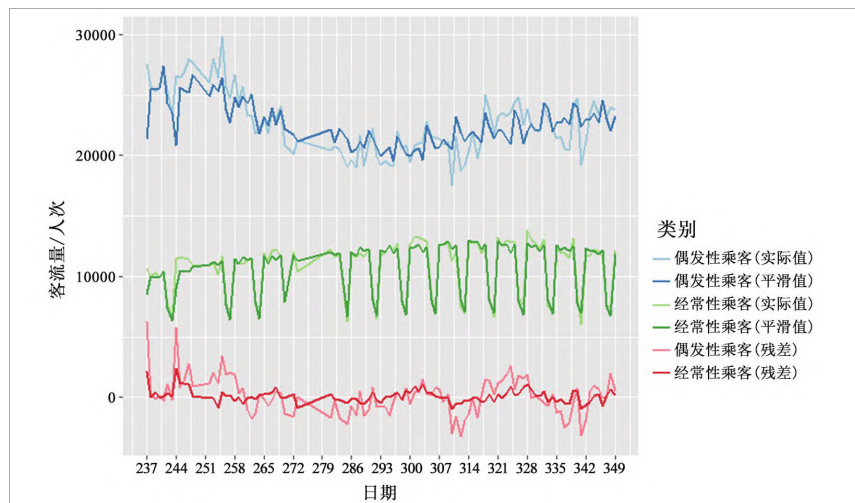


图4 实际、平滑、残余的公交客流量时间序列

表1 日平均天气数据描述性统计分析

气温/	最小值	最大值	均值	标准差			
	13	36	30	6.4			
天气状况/d	大雨	中雨	小雨	雷阵雨	阴	多云	晴
	5	2	13	18	11	55	49
风力/d	4-5级	3-4级	微风转3-4级	3级			
	4	10	138	1			

表2 小时天气数据描述性统计分析

气温/	最小值	最大值	均值	标准差			
	6.0	38.0	25.1	6.7			
天气状况/h	中雨	小雨	雷阵雨	阴	多云	晴	雾
	3	216	11	123	1076	1071	250
风速/(m/s)	最小值	最大值	均值	标准差			
	1.0	11.0	2.7	2.0			

国外对天气研究调整后的 R^2 也大都在 0.05~0.30 之间^[22-23]。

3.1 休息日和工作日对比

无论是经常性乘客还是偶发性乘客，休息日模型比工作日模型调整后的 R^2 更高，表明天气对休息日的公交客流量残差更有解释力。从影响程度来说，当小雨、中雨/大雨时，休息日公交客流量下降的比例要高于工作日。由于工作日主要是通勤等刚性出行、休息日主要是休闲购物等弹性出行，也间接说明了天气对弹性出行的影响更大。比较降雨量大小对于公交客流量的影响发现，并不总是雨量越大，公交客流量下降就越多。工作日时，小雨的影响程度更大；休息日时中雨/大雨的影响程度更大。原因可能是工作日主要为刚性出行，中雨/大雨相比小雨，会有更多的步行、自行车出行转移到公交，因此中雨/大雨时公交客流量的下降程度反而没有小雨时大。而休息日主要为弹性出行，降雨量越大，出行者出行的意愿越低，因此中雨/大雨时公交客流量的下降程度比小雨时更大。

3.2 经常性乘客和偶发性乘客对比

降雨对偶发性乘客的影响程度要大于经常性乘客，在工作日尤为明

显。由于经常性乘客与偶发性乘客相比，通勤出行占比更大，公交偏好程度更高，造成了工作日时降雨对经常性乘客的影响相对较小；而当休息日时，尽管排除了通勤出行的影响，但由于公交偏好程度不同，降雨对经常性乘客的影响程度总体上仍然略小于偶发性乘客。雷阵雨会显著增加偶发性乘客的公交客流量，但对经常性乘客的影响不显著。原因可能是由于雷阵雨突然性较大，使得一些出行者临时选择公交出行，因此偶发性乘客的数量增加，其公交客流量也相应增加。

3.3 日模型和小时模型对比

日模型和小时模型中均显著的变量为是否小雨、是否中雨/大雨，与公交客流量呈现负相关。均不显著的变量为是否大风。是否多云、是否阴、是否雾等变量仅在部分小时模型中显著，与公交客流量呈现负相关，且对偶发性乘客影响更大。气温仅在小时模型中对偶发性乘客显著，与公交客流量呈现正相关，但影响程度较小。小时模型中更多的变量呈现显著特征，反映了以往的研究中仅以日平均天气数据作为自变量，对日公交客流量或小时公交客流量建模确实会忽略一些天气因素的影响。接近 90% 的变量在

小时模型中的边际效应大于其在日模型中的边际效应，进一步反映了使用日平均天气数据作为自变量会在一定程度上低估天气对公交客流量带来的影响。

4 结论

论文研究了气温、天气状况、风力对公交客流量的影响，提出的模型能够根据天气因素预测公交客流量的波动。与以往研究相比，本研究一方面使用了公交刷卡数据对乘客进行细分，更好地解释了天气对于不同的乘客类型、不同的出行目的的影响；另一方面使用了小时天气数据，更加精准地反映天气对于小时客流量的影响。研究成果可用于辅助公交企业的运营决策，以应对不利天气带来的公交客流量变化、运行成本增加、服务水平下降等问题。具体来说，公交企业在制定应对不利天气的公交运营策略时应区分工作日和休息日。工作日刚性出行占比较大，不利天气下城市出行总量下降不大，公交客流量也下降较少，此时应注重降低不利天气对公交运行时间可靠性的影响，避免不利天气导致的公交服务水平下降的问题。而休息日弹性出行占比较高，不利天

表3 模型估计结果

模型类型	日模型				小时模型			
	工作日		休息日		工作日		休息日	
乘客类型	经常性	偶发性	经常性	偶发性	经常性	偶发性	经常性	偶发性
截距	161.8*	151.4	87.1	272.6	8.4***	-28.3	7.1**	-70.5 ^a
气温	—	—	—	—	—	1.6* (-0.1%)	—	3.7** (-0.3%)
多云	—	—	—	—	—	—	-7.8* (-2.0%)	-60.4* (-4.9%)
阴	—	—	—	—	-20.1* (-3.2%)	-91.9*** (-7.1%)	—	-26.7* (-2.2%)
雾	NA	NA	NA	NA	-13.6* (-2.1%)	-42.9*** (-3.3%)	—	—
小雨	-548.2* (-4.8%)	-1759.3** (-7.6%)	-536.8 ^a (-7.6%)	-1688.2 ^a (-7.5%)	-32.0*** (-5.0%)	-96.8*** (-7.6%)	-32.4*** (-8.4%)	-85.0*** (-6.9%)
中雨/ 大雨	-382.9 ^a (-3.3%)	-1226.8 ^a (-5.3%)	-647.3 ^a (-9.2%)	-3459.4* (-15.4%)	-24.9** (-3.9%)	-72.9*** (-5.7%)	-36.5*** (-9.4%)	-162.0*** (-13.2%)
雷阵雨	—	1817.3* (7.9%)	—	—	—	148.6 ^a (11.6%)	—	—
劲风	—	—	—	—	—	—	—	—
调整后R ²	0.157	0.295	0.259	0.331	0.072	0.110	0.092	0.178
模型F	3.096	6.443	3.452	4.802	11.780	32.320	9.846	17.740

注：显著性水平标记与p值的对应关系分别为：***为0-0.001，**为0.001-0.01，*为0.01-0.05，a为0.05-0.1；括号内数值为自变量的边际效应，即自变量变化1个单位后因变量的变化比例；“—”表示该自变量不显著；“NA”表示模型中没有该自变量。

气下城市出行总量和公交客流量下降均较为明显,此时可以考虑降低公交车发车频率以匹配公交客流量,但应通过信息化手段提供公交车辆的实时位置和到站时间信息,减少乘客的等待时间。

不利天气对于乘客公交出行意愿的影响主要体现在乘客步行到站离站和站点候车两个阶段。降雨较多的城市在对公交站点周边步行环境进行设计时应考虑采用乔木绿化、独立的上盖、建筑挑檐、骑楼、外墙檐篷、内部公共通道等多种形式形成连续、便捷的避雨系统。在公交站点设计时也应考虑降低不利天气对乘客候车的影响。候车亭应采用有顶盖的设计样式,能够为乘客提供遮风避雨的短暂停留场所,同时还应考虑老年人、残疾人等特殊人群的不同需求。公交站牌宜采用多面设计,并提供公交车辆的实时位置和到站时间信息。公交站点等候区、停车位及临近车道应注重排水设计,避免等候区湿滑造成乘客摔倒,也避免进站的公交车和途经的机动车溅起水花影响候车乘客。港湾式停靠站的设置也能够起到在空间上阻隔候车乘客和途经机动车溅起的水花的作用。

天气因素对于公共交通的影响相比其他交通方式更加复杂,不利天气不仅会影响乘客的出行意愿,也会影响乘客的出行方式选择。乘客可能从自行车等交通方式转移至公共交通,也可能从公共交通转移至小汽车或出租车等交通方式。本文属于集计层面的研究,未来可以进一步结合人工问卷或访谈调查,开展非集计层面的研究,纳入个人属性、家庭情况、出行偏好等因素解释天气造成乘客公交出行行为变化的原因。

参考文献:

[1] 高咏玲,杨浩.城市公交客流影响因素的改进灰色一致关联分析[J].交通运输系统工程与信息,2007(6):102-108.
[2] 贾佃通.快速公交客流影响因素分析及宏观预测模型研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.

[3] 郭玉坤,李永政.国外公共交通导向型城市发展研究综述:基于建筑环境对公共交通客流量影响的视角[J].城市问题,2014(7):26-31.
[4] 张春辉,宋瑞,孙杨.基于卡尔曼滤波的公交站点短时客流预测[J].交通运输系统工程与信息,2011(4):154-159.
[5] 崔文.基于短时客流预测的公交区域调度优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
[6] 董海洋.公交客流实时分析与短时预测研究[D].大连:大连理工大学,2013.
[7] 刘欣彤.降雨天气条件下短时公交客流预测研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
[8] 刘雪琴.基于交通一卡通大数据的公交客流分析与预测[D].广州:广东工业大学,2016.
[9] LIU C, SUSILO Y O, KARLSTR M A. Weather variability and travel behaviour: what we know and what we do not know[J]. Transport reviews, 2017: 1-27.
[10] CLARK A F, SCOTT D M, YIANNAKOULIAS N. Examining the relationship between active travel, weather, and the built environment: a multilevel approach using a GPS-enhanced dataset[J]. Transportation, 2013: 1-14.
[11] OUTWATER M L, SPITZ G, LOBB J, et al. Characteristics of premium transit services that affect mode choice[J]. Transportation, 2011, 38(4): 605-623.
[12] ARANA P, CABEZUDO S, PEALBA M. Influence of weather conditions on transit ridership: a statistical study using data from smartcards[J]. Transportation research part A: policy and practice, 2014, 59: 1-12.
[13] STOVER V W, MCCORMACK E D. The impact of weather on bus ridership in Pierce county, Washington [J]. Journal of public transportation, 2012, 15(1): 95-110.
[14] GUO Z, WILSON N, RAHBEE A. Impact of weather on transit ridership in Chicago, Illinois[J]. Transportation research record: journal of the transportation research board, 2007, 2034: 3-10.
[15] COHEN J E, WILLIAMS A, CRAVO V. The impact of weather on transit revenue in New York city[C]//88th Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2009.
[16] KALKSTEIN A J, KUBY M, GERRITY D, et al. An analysis of air mass effects on rail ridership in three US cities[J]. Journal of transport geography, 2009, 17(3): 198-207.
[17] KHATTAK A J, DE PALMA A. The impact

of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: a survey of brussels commuters[J]. Transportation research part A: policy and practice, 1997, 31(3): 181-203.
[18] AAHEIM H A, HAUGE K E. Impacts of climate change on travel habits: a national assessment based on individual choices[R]. Oslo: Center for International Climate and Environmental Research, 2005.
[19] 陈锋,刘剑锋.基于IC卡数据的公交客流特征分析:以北京市为例[J].城市交通,2016(1):51-58.
[20] 龙瀛,孙立君,陶遂.基于公共交通智能卡数据的城市研究综述[J].城市规划学刊,2015(3):70-77.
[21] 李林波,姜屿,王婧,等.基于数据融合的公交客流规模测算方法[J].城市交通,2016(1):43-50.
[22] ZHOU M, WANG D, LI Q, et al. Impacts of weather on public transport ridership: results from mining data from different sources[J]. Transportation research part C: emerging technologies, 2017, 75: 17-29.
[23] SINGHAL A, KAMGA C, YAZICI A. Impact of weather on urban transit ridership[J]. Transportation research part A: policy and practice, 2014, 69: 379-391.