

徐波,张楠,魏俊涛,等. 降雨天气对轨道交通客流量的波动影响研究[J]. 陕西气象,2023(6):59-63.

文章编号:1006-4354(2023)06-0059-05

# 降雨天气对轨道交通客流量的波动影响研究

徐波<sup>1</sup>,张楠<sup>1,2</sup>,魏俊涛<sup>1,2</sup>,杜萌萌<sup>1</sup>,张高健<sup>1</sup>

(1. 西安市气象局,西安 710016;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016)

**摘要:**利用2018—2019年西安轨道交通日客流量数据和同期气象数据,通过计算客流基准值和客流波动率分析降雨天气时轨道交通客流量的波动变化,并通过曲线拟合的方式建立降雨量与客流波动率之间的关系模型,探讨降雨对客流波动的影响规律及原因。结果表明:降雨量 $<10$  mm时,客流波动率集中在 $-0.1\sim 0.1$ 区域,且随着降雨的增大客流波动率有逐渐减小的趋势;当降雨量 $<15$  mm或 $\geq 15$  mm时,客流波动率与降雨量均有显著的负相关关系,但 $\geq 15$  mm时相关性更显著;当降雨量 $<15$  mm时,轨道交通客流量与降雨量有一定线性关系,总体随着降雨量增大波动率逐渐减小;在降雨量超过15 mm后客流波动呈现V型变化趋势。

**关键词:**降雨;客流量;波动率;影响研究

**中图分类号:**R122.26;U491

**文献标识码:**A

随着经济社会的快速发展和交通需求的不断增加,城市轨道交通不论是客运量还是线网规模都在逐年增加。轨道交通已经成为公共交通的重要组成部分,在城市公共交通中的地位也越来越重要。《城市轨道交通2021年度统计和分析报告》指出:2021年城市轨道交通客运量占公共交通运输总量的分担比率为43.4%,比2020年提升4.7%;2021年全国共有24个城市的累计运营线网规模达到100 km及以上,西安累计运营线网规模超过200 km,日均客运量超过200万人次。

轨道交通的客流量受到公休日、节假日、大型活动及雨雪等天气因素的影响产生一定波动。国内外研究发现<sup>[1-2]</sup>,湿度、风力和降水对公共交通客流量有显著影响,且市区地铁站点客流对天气变化更敏感。降雨天气直接影响着人们短期出行方式的选择,也间接影响着轨道交通客运量<sup>[3-4]</sup>。程涛等<sup>[5]</sup>对西安地铁运营客流分析发现,季节气

候的变化是西安地铁1号线客流发生波动的主要因素之一,2号线在非工作日受季节变化影响也较大。国内一些城市开展了天气因素对轨道交通客流的影响分析,其中对福州地铁客流研究发现,工作日和非工作日,降水、风寒指数等级等对地铁客流有显著影响,其中降水增加使得客流量减少<sup>[6]</sup>。分析南京市雨天对轨道交通客流的影响发现,小雨对轨道交通客流量无明显影响,中雨及以上降雨时轨道交通客流量才会发生明显的波动,呈现下降趋势,降雨量达到一定阈值时客流量不再变化,当降雨过大不会有轨道交通出行<sup>[7-8]</sup>。有以上地铁客流变化为例分析发现,降雨会造成进站客流的时间滞后性和堆积性,通勤出行需求越大的站点类型堆积效应越显著;虽然降雨事件对通勤客流总量影响不明显,但会造成局部空间区域和时点的客流激增<sup>[9]</sup>。还有研究<sup>[10]</sup>表明相较于气温、相对湿度、气压风速等,降雨在高峰和周末时段对地铁客流量的影响较大,对人们的地

收稿日期:2023-03-17

作者简介:徐波(1970—),男,汉族,陕西榆林人,工程师,主要从事应用气象研究。

通信作者:张楠(1984—),女,汉族,陕西西安人,硕士,高工,主要从事应用气象研究。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022G-26)

铁出行有较强负影响,降雨会导致周末地铁出行量下降。降水天气是影响轨道交通客流波动的重要天气因素。李军龙等在 2018 年<sup>[11]</sup>设计了一套雨雪天气下城市居民轨道交通出行相关行为调查和分析方法,将雨雪天气因素加入现有轨道交通相关理论和工程实践中,有利于掌握雨雪天气下居民出行生成规律,预测不同类型雨雪天气发生时客流波动,有助于提高规划运营管理水平。开展针对降水天气对城市轨道交通客流量影响的相关研究,归纳降水天气对轨道交通客流量波动的影响规律,可对公众安排出行和交通运营单位优化组织方案、提高运营效率提供科学、合理的指导。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料选取与预处理

轨道交通日客流量数据包括西安市 2018—2019 年 1 号线、2 号线、3 号线每日客流量数据,来源于西安市地铁线网中心。同期气象数据来自经过陕西省气象信息中心质控的观测数据全备的西安市自动站 57036 日降雨量数据。微量降雨即

24 h 降雨量小于 0.1 mm,考虑到微量降雨不会影响到轨道交通客流,故微量降水数据被剔除;同时剔除降雪日数据。

轨道交通客流量除了受到天气因素影响外,还很大程度受到节假日、大型活动、周末等影响,我国的春节、清明节、劳动节、端午节、中秋节、国庆节前后均会出现城市轨道客流的较大波动,会对研究降雨天气下的客流波动造成较大干扰,因此首先需对这些法定节假日的客流数据进行相应处理。客流数据序列的标准差表征其离散程度,对客流量数据序列统计分析发现,剔除节假日前 1 天、后 1 天及前后各 1 天的客流数据,时间序列的标准差均有减小;剔除节假日及前 1 天的客流数据,其时间序列的标准差降低更显著(表 1)。为了保证数据序列的稳定及样本量大小,确定剔除法定假日及前 1 天的客流数据,并在剔除数据后,应用九期平均法将剔除后的客流数据进行补充,保证样本量及客流的周期性。

表 1 剔除不同节假日天数的客流量标准差

剔除时间	节假日	节假日及之前 1 天	节假日及之后 1 天	节假日及前后各 1 天
标准差/人次	198 597	185 059	199 881	186 206

### 1.2 研究方法

九期移动平均法是被 Kalkstein 等人<sup>[12]</sup>引入的一种计算客流基准值的最常用的方法,在此基础上引入“客流偏差率”的概念。通过研究验证,此方法可有效避免非天气因素对客流的影响,并将其推广应用于地铁客流波动的计算。Singhal、李来成等<sup>[13-14]</sup>分别应用九期移动平均法计算了纽约和哈尔滨地铁客流的基准值,并验证了方法的有效性。九期平均法是计算当前客流的前后四周同一天的客流的均值,当出现非常态客流即降雨等不良天气情况则舍弃当前周客流数据并提取前一周或后一周的常态客流数据,直到满足全部九期数据<sup>[8]</sup>。全日客流基准值计算公式如下。

$$\bar{R}_t = \frac{\sum_{d=-4}^4 (R_t + 7d)}{9}, \quad (1)$$

式中 $\bar{R}_t$ 为第  $t$  日客流基准值,单位为人次; $R_t + 7d$ 为第  $t$  日前后第  $d$  周日客流,单位为人次。

日客流波动率指当日客流量与客流基准值的差值与客流基准值的百分比。日客流波动率能减少由于月、周、日、时变化对客流产生的影响,并减少基础设施、城市规划等变动对客流产生的影响,同时能准确量化天气因素对城市轨道客流产生的波动。在日客流基准值的基础上计算降雨日客流的波动率,可量化降雨强度影响城市轨道客流波动的情况。故在本研究中采用客流波动率分析降雨天气对城市轨道客流产生的波动,日客流波动率的计算公式如下。

$$L_t = \frac{R_t - \bar{R}_t}{\bar{R}_t}. \quad (2)$$

式中  $L_t$  为第  $t$  日客流波动率, $R_t$  为第  $t$  日客流量,单位为人次。

在此基础上分析不同等级降雨天气下的全日客流波动,及客流波动结果产生的原因,并通过曲线拟合建立降雨量与客流波动之间的关系模型。

## 2 客流基准值与客流波动率

轨道交通每日客流具有时间序列属性,是随着时间不断变化的,同时也受到人口、节假日、工作日、城市规划等非气象因素多方面的影响而发

生波动,为了排除降雨天气之外的影响因素,首先计算出日客流量的基准值。由西安日客流量数据时序散点图(图1)可见,客流量随着时间缓慢波动上升,但在节假日客流量出现突变;经过对数据筛选和剔除,及通过九期平均法的补充得出一组相对平稳序列,消除了因节假日等一些其他非天气因素产生的客流量突变。

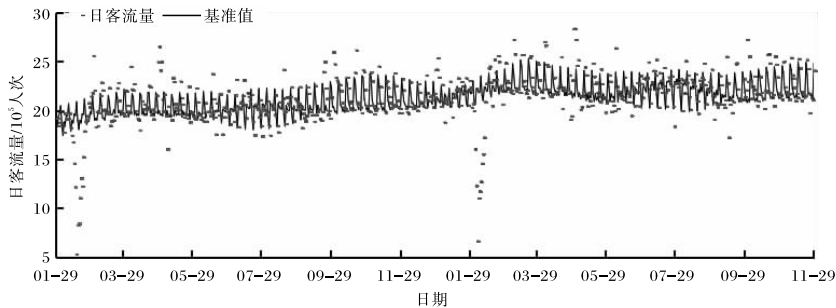


图1 2018—2019年西安地铁客流基准值与客流量时序分布图

在客流基准值的基础上,按照公式2计算出每日客流的波动率,来观察降雨天气对客流的波动影响。由图2可见,降雨量 $<10$  mm时客流波动率较多的集中在 $-0.1\sim 0.1$ 区域,随着降雨的增大客流波动率有逐渐减小的趋势。

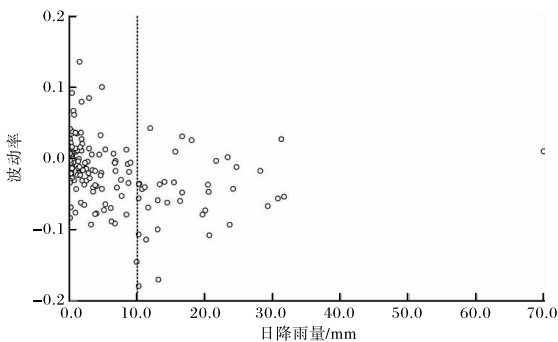


图2 2018—2019年西安降雨日地铁客流量波动率分布图

## 3 降雨量与客流波动率的相关性分析

《降水量等级》GB/T 28592—2012<sup>[15]</sup>将降雨量分为7个等级,包括微量降雨(零星小雨)、小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨及特大暴雨。通过对原数据追溯,发现由于时间序列较短,达到大雨到暴雨量级的日数较少,故将降雨等级分为小雨( $<10$  mm)和中雨以上( $\geq 10$  mm)两个等级。将按照上述两个等级划分的雨日与客流波动进行相关

分析,发现小雨量级降雨与客流的波动率有一定相关,中雨以上降雨与客流的波动无明显相关,因此该等级划分不适用于运用到对轨道交通客流波动影响的研究中。根据日降雨量与客流波动率的散点图及统计分析发现,将降雨量划分为 $<15$  mm和 $\geq 15$  mm两个等级时,降雨量与客流波动率均有显著的相关关系(表2)。

表2 不同降雨量等级与客流波动率的相关关系

降雨量/mm	$R$	$P$
$0 < r < 10$	$-0.279^{**}$	0.002
$r \geq 10$	$-0.261$	0.114
$0 < r < 15$	$-0.473^{**}$	0.000
$r \geq 15$	$-0.629^{**}$	0.002

注:\*\*表示在0.01水平上显著相关。

当降雨量 $<15$  mm或 $\geq 15$  mm时,客流波动率与降水量均有显著的负相关性,但 $\geq 15$  mm时相关性更显著。说明在降雨天气下,客流的波动率随着降雨的增大而下降,相对降雨量 $<15$  mm的降雨,降雨量 $\geq 15$  mm的降雨所造成的客流波动更大。

## 4 降雨量与客流波动率的模型拟合分析

应用SPSS软件,分别对降雨量在 $<15$  mm

和 $\geq 15$  mm 时这两类情况的降雨量和客流波动率进行曲线拟合,并讨论两种情况下客流波动率与降雨量的关系。拟合结果显示当日雨量 $< 15$  mm

时和当日雨量 $\geq 15$  mm 时降雨量和客流波动率的拟合结果分别是线性和三次模型拟合优度较好(表 3)。

表 3 模型汇总和参数估计值

模型名称	模型汇总					参数估计值			
	$R^2$	$F$	df1	df2	$P$	常数	$b_1$	$b_2$	$b_3$
线性( $< 15$ mm)	0.223	38.566	1	134	0.000	0.005	-0.001	/	/
三次( $\geq 15$ mm)	0.550	7.334	3	18	0.002	0.494	-0.056	0.002	-1.588E-005

根据散点图及模型拟合结果,分析归纳客流波动的规律和波动原因,降雨量 $< 15$  mm 时,客流波动率总体随着降雨量增大而减小,即实际客流量与客流基准值差值逐渐变小或者小于基准值,说明随着降雨量由小增大客流量也由增多逐渐减小;在降雨量超过 15 mm 后客流波动呈现 V 型变化,首先客流波动率由大逐渐减小,说明轨道交通的客流随着降雨增大而减小,当降水量超过 25 mm 时,虽然波动率值略有增大,但波动幅度较小,客流波动率基本位于 $-0.05 \sim 0.05$  区域,实际客流量与客流基准值接近,说明当降雨增大到一定程度,可能影响乘客出行与否,或者选择驾车等其他交通方式出行。

## 5 结论与讨论

(1)本研究在计算每日客流波动率的基础上,通过相关分析和曲线拟合的方式,探讨了降雨天气下降雨量对客流波动的影响关系。客流波动率与降雨量呈负相关关系,当降雨量 $\geq 15$  mm 时相关性更显著,说明客流的波动率随着降雨的增大而下降,但相对降雨量 $< 15$  mm 时,降雨量 $\geq 15$  mm 时所造成的客流波动更大。通过对降雨量在 $< 15$  mm 和 $\geq 15$  mm 时这两类情况的降雨量和客流波动率进行曲线拟合,表明降雨量小于 15 mm 时降雨与客流波动呈线性关系,降雨量超过 15 mm 时雨量大小与客流波动呈现 V 型变化,降雨天气轨道交通的客流总体随着雨量增大由增多逐渐下降;当降水量超过 25 mm 时,实际客流量与客流基准值接近,说明当降雨量 $> 25$  mm 时,可能影响了乘客的出行选择;而在降雨开始时或者降雨较小时可能选择轨道交通出行的

乘客有一定增加,轨道交通运营部门需要采取相应的应对措施来减缓因降雨天气导致的客运压力。

(2)降雨量与客流量波动率拟合模型在一定程度上能反映降雨与客流波动之间的关系,但还存在不足和一定限制,可能存在降雨分级后样本量偏少和其他影响客流波动的干扰因素如其他天气因素、轨道交通线路增加等原因。在未来希望补充更完整的客流量数据,在样本充足的基础上进一步研究综合气象因素对轨道交通客流量波动的影响,以期对后续恶劣天气条件下城市轨道交通客流预测奠定一定基础,对轨道交通运营及公众出行提供科学、合理的指导。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] KASHFI S A, BUNKER J M, YIGITCANLAR T. Modelling and analysing effects of complex seasonality and weather on an area's daily transit ridership rate [J]. Journal of Transport Geography, 2016, 54: 310-324.
- [3] 杜恒. 天气因素对轨道交通客流的影响[C]//2017 年中国城市交通规划年会论文集. 上海: 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会, 2017: 2410-2423.
- [4] 冯树民, 刘浩, 李来成. 雨雪天气下轨道交通客流预测模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2022, 54(9): 1-6.

- [5] 程涛,赵雯,杜丽娟. 西安地铁一号线运营初期客流分析及运输组织建议[C]//2015年中国城市轨道交通规划年会暨第28次学术研讨会论文集. 杭州:中国建筑工业出版社,2015:239.
- [6] 江世雄,蔡灿煌,林宇晨,等. 天气因素对福州地铁客流的影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021,21(3),268-274.
- [7] 周顺. 基于运营数据的南京轨道交通线路客流波动与降雨天气的关系研究[D]. 江苏:东南大学, 2016.
- [8] 娄树蓉. 降雨天气对城市轨道交通站点客流影响研究[D]. 江苏:东南大学, 2016.
- [9] 黄盛,李卫江,朱梦茹,等. 降雨事件对上海地铁通勤客流时空影响的精细尺度研究[J]. 地球信息科学学报,2022,24(2):249-262.
- [10] 许熲灵,付晓,汤君友,等. 天气因素对城市地铁客流时空分布的影响:基于智能交通卡数据的实证研究[J]. 地理科学进展, 2020,39(1):45-55.
- [11] 李军龙. 雨雪天气下居民轨道交通出行生成机理研究[D]. 江苏:东南大学,2018.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 李来成. 雨雪天气下的城市轨道交通客流波动规律与预测[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [15] 降水量等级:GB/T 28592—2012[S].

## 《陕西气象》2022年度优秀论文和好文章

### 优秀论文

- 弱天气系统下陕西暖区暴雨分型及其环境  
场特征 ..... 高维英
- 陕南两次西南涡引发的短时暴雨对比分析  
..... 李静睿
- 西安冬季不同环流形势下大气细颗粒物的  
输送特征研究 ..... 李培荣,  
姚 静,张煦庭,黄 鑫,刘菊菊,祁春娟
- 陕西省风蚀气候侵蚀力时空演变特征  
..... 雷杨娜,雷田旺,程 路

### 好文章

- 地基微波辐射计低空大气逆温探测能力分析  
..... 曹 梅,王 斌,任丹阳,杨亚利,白水成

- 退耕还林工程背景下延安植被覆盖时空变  
化及其对气候的响应 ..... 林隆超,王晓飞,  
刘延平,刘志超,王文波
- 华山大风的气候特征分析  
..... 武维刚,武麦凤,龙亚星
- 陕西苹果花期霜冻敏感性指标研究 ..... 刘 红,  
杨爱琴,孙智辉,刘志超,党晓东,都全胜
- 秦岭主峰太白山高山区气候季节划分  
..... 雷向杰,李亚丽,雷杨娜,于 冰
- 农业保险气象服务关键技术的应用与展望  
..... 张 勇,屈振江,刘 璐,梁 轶,罗 斌