

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.03.010

引用格式:肖乐,王朝健,王丽.十字路口电动二轮车事故严重程度影响因素分析[J].公路与汽运,2024,40(3):47-52.

Citation: XIAO Le, WANG Chaojian, WANG Li. Analysis of influencing factors of accident severity of electric two-wheeler at crossroads[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(3): 47-52.

十字路口电动二轮车事故严重程度影响因素分析

肖乐¹, 王朝健², 王丽³

(1.四川城市职业学院, 四川 成都 610039; 2.四川三河职业学院, 四川 泸州 646200;

3.西华大学 汽车与交通学院, 四川 成都 610039)

摘要:为研究十字路口电动二轮车事故严重程度影响因素,分析人、车、路、环境与十字路口事故严重程度之间的关系,以国家车辆事故深度调查体系(National Automobile Accident In-Depth Investigation System, NAIS)中 198 起十字路口事故数据为样本,分析该类事故严重程度的时间和空间分布特性,将事故伤亡作为因变量,通过共线性、平行性检验选取 12 个因素作为自变量构建有序 Logit 回归模型,分析事故严重程度的影响因素。结果表明,机动车驾驶员性别、电动自行车驾驶员年龄、路口信号灯状态和路灯状态、碰撞形式、限速措施、事故发生时段均显著影响交通事故严重程度;路口无信号灯、无路灯对事故严重程度影响最大,碰撞形式、事故发生时段和电动自行车驾驶员年龄的影响次之。

关键词:交通安全;交通事故;十字路口;电动二轮车;事故严重程度

中图分类号:U491.31

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)03-0047-06

道路交叉口是多种交通流汇集与冲突的关键区域。据统计,中国电动自行车驾驶人的死亡人数约占交通事故总人数的 14%^[1],研究十字路口电动自行车事故严重程度影响因素对事故预防具有重要意义。赵丹等分析了农村公路交叉口事故形态和事故严重程度与环境、道路、设施、车型和违法行为特征的相关性,并识别了显著影响因素。文献[3-6]采用计量经济学模型、数据挖掘方法、列联分析方法分析机动车与非机动车事故严重程度影响因素,结果表明非机动车骑行者受教育程度、机动车与非机动车类型和时段是死亡事故的重要影响因素。温惠英等以英国单车事故数据为样本构建多项式 Logit 模型,分析了交叉口单车事故严重程度影响因素^[7]。柯星安等分析电动自行车事故数据的异质性,并构建 Logistic 回归模型与树型贝叶斯网络分析电动自行车事故严重程度影响因素,结果表明右转和追尾碰撞对事故严重程度具有异质影响,电动自行车与右转的大中型车辆发生追尾碰撞的死亡事故概率最高^[8]。Islam S.等构建随机参数 Logistic 模型,分析农村和城市道路中摩托车事故严重程度影响因素,并对比因素间的差异性^[9]。马景峰等选取 17 个事故潜在影响因素,采用 Logit 模型和偏比例优势模

型进行拟合度对比分析,量化各因素对事故严重性的影响^[10]。Xing Y. X.等构建广义线性模型,分析时空、环境及骑行者属性等因素对电动自行车和人力自行车事故严重性的影响^[11]。王卫杰等运用 Logistic 回归模型分析电动自行车骑车人伤害程度影响因素,结果表明夜间无照明、机动车道、违反信号控制、男性驾驶员等显著影响事故严重程度,其中大中型货车和夜间无照明对骑车人的影响最显著^[12]。李英帅等收集某市电动自行车交通事故数据,构建随机森林模型分析影响交通事故严重程度的因素,结果表明车辆间事故类型、受伤部位、道路物理隔离类型等显著影响事故严重程度^[13]。现有对电动自行车事故严重程度影响因素的分析多采用国外开源数据或国内某个特定地区的事故数据,难以反映具有中国特色的道路交通事故特征,且很少对典型路段进行深入研究,导致分析结论针对性不足、要素选取考虑不全面。鉴于此,本文统计并分析国家车辆事故深度调查体系(National Automobile Accident In-Depth Investigation System, NAIS)中十字路口电动二轮车事故数据,在分析该类事故时间与空间分布特性的基础上,构建有序 Logit 回归模型辨识典型十字路口电动二轮车事故严重程度影

响因素,为预防十字路口电动二轮车事故提供理论支撑。

1 数据来源及事故特性分析

1.1 数据来源

路口事故数据来源于 NAIS 体系,该体系主要采集具有中国道路交通事故特征的深度数据,并建立汽车主被动安全研究的基础数据库。从建立至今

已收集 6 000 多例交通事故案例,覆盖东北、华南、西南、华北、华东等 7 个地区,数据完整、详细,对交通事故研究具有较高价值^[14]。本文选取十字路口的事故数据,剔除并清洗信息记录不全数据后,得到 198 起电动自行车事故数据。

1.2 十字路口事故时间特性分析

对选取的 198 起事故数据的时间特性进行分析,结果见图 1、图 2。

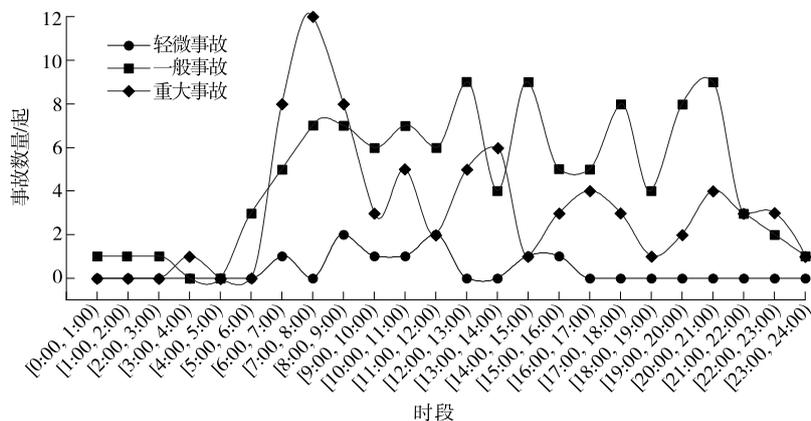


图 1 十字路口电动二轮车事故的小时分布

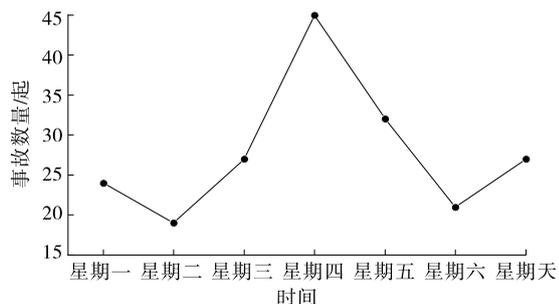


图 2 十字路口电动二轮车事故的星期分布

由图 1 可知:电动二轮车不同严重程度事故的小时分布呈现双峰波动性,但高峰时刻和波动性存在一定差异。轻微事故的波动较缓慢;重大事故的双高峰较明显,第一次高峰时段为[7:00,8:00),第二次高峰时段为[13:00,14:00);一般事故的高峰时段为[12:00,13:00)、[14:00,15:00),其余时段为平峰段。

由图 2 可知:一周中电动二轮车事故数量呈 W 形,周一一周四逐渐增加,周四发生的事故数最多,高达 45 起,其中重大事故占比为 40%,周五逐渐下降,与工作日所具有的大流量和高密度的通勤交通时间分布息息相关。

1.3 十字路口事故空间特性分析

十字路口电动自行车事故的空间分布见图 3。

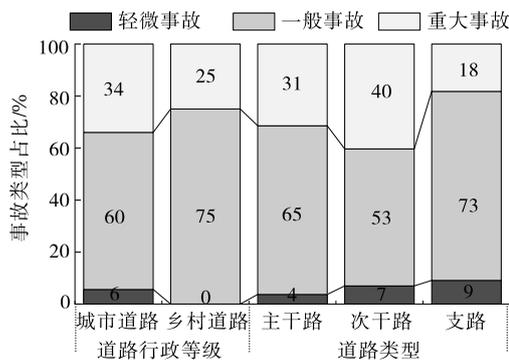


图 3 十字路口电动自行车事故的空间分布

从事故发生的道路行政等级来看,城市道路和乡村道路的不同严重程度事故分布规律存在一定差异,城市道路上发生重大交通事故的概率大于乡村道路,乡村道路上发生的事故更多为一般事故。这与两者之间的道路交通设施配置、交通冲突和交通流量等密切相关。从道路类型分布来看,支路上发生电动二轮车轻微事故和一般事故的概率高于次干路和主干路,次干路上发生重大事故的概率最大,主干路次之。这与城市支路的行驶里程大、监控设备少、慢行交通居多有关,更容易发生一般交通事故,而主干路和次干路由于交通冲突多、行车速度快,其事故严重程度比支路大。可根据事故空间分布特性合理布置道路监控设备,提高十字路口的安全水平。

2 研究方法及变量选取

2.1 有序 Logit 模型构建

有序 Logit 回归模型是逻辑回归模型中的一种,与二分类 Logit 模型不同的是它允许对变量进行等级分类。本文按事故严重程度将十字路口电动二轮车事故分为 3 个等级,可作为定序变量进行分析,故采用有序 Logit 回归模型分析事故严重程度影响因素。

将因变量取值设为轻微事故=1,一般事故=2,重大事故=3,则有序 Logit 回归模型的基本形式如下:

$$\ln \left[\frac{P(Y_i \leq j | X)}{1 - P(Y_i \leq j | X)} \right] = \alpha_j + \sum_{m=1}^M \beta_{jm} x_m \quad (1)$$

式中:因变量 Y_i 包含 j 个等级,表示电动二轮车事故严重程度; X 为自变量, $X = x_1, x_2, \dots, x_m$; $P(Y_i \leq j | X)$ 为累积概率,且 $P(Y_i \leq j | X) = 1$; α_j 为第 j 个等级的截距; M 为自变量数量; β_{jm} 为自变量的回归系数。

有序 Logit 的概率模型为:

$$P(Y_i \leq j | X) = \frac{\exp(\alpha_j + \sum_{m=1}^M \beta_{jm} x_m)}{1 + \exp(\alpha_j + \sum_{m=1}^M \beta_{jm} x_m)} \quad (2)$$

利用有序 Logit 模型进行分析时,模型要满足

比例优势假设,若不能满足该假设,模型会产生错误的参数估计结果。

2.2 变量选取

(1) 因变量。对 198 起交通事故数据进行统计分析,原始数据的事故严重程度按人员伤亡状态划分为轻伤、重伤、死亡(死亡 1 人及以上)。根据数据特征及国内外关于电动自行车事故严重程度的划分情况,将事故严重程度由低到高划分为轻微事故(仅轻伤)、一般事故(重伤,无死亡)、重大事故(死亡 1 人及以上)3 个等级。因变量编码及描述见表 1。

表 1 因变量编码

事故特性	变量名称	取值	比例/%
	轻微事故	1	5.05
事故严重程度	一般事故	2	57.07
	重大事故	3	37.88

(2) 自变量。根据十字路口事故特征,参考相关研究中选取的十字路口事故影响因素,从机动车驾驶员、电动二轮车驾驶员、道路特征、环境特征 4 个维度选取 12 个离散型参数,分别为天气状况、事故发生时段、路口信号灯状态、对向机动车隔离状况、路灯状态、路表潮湿湿度、限速措施状况、碰撞形式、机动车驾驶员性别、电动自行车驾驶员年龄、电动自行车驾驶员性别、电动自行车驾驶员是否戴头盔。自变量编码及描述见表 2。

表 2 自变量设置说明

变量名称	变量代码	变量类型	变量定义
天气状况	X_1	绝对值自变量	1=晴;2=阴;3=雨;4*=雪/雾
事故发生时段	X_2	绝对值自变量	1=日间;2=夜间;3*=晨昏
路口信号灯状态	X_3	绝对值自变量	0=无;1*=有
对向机动车隔离状况	X_4	绝对值自变量	0=无;1*=有
路灯状态	X_5	绝对值自变量	0=无;1*=有
路表潮湿湿度	X_6	绝对值自变量	1=湿/积雪;2*=干
限速措施状况	X_7	绝对值自变量	0=无;1*=有
碰撞形式	X_8	绝对值自变量	1=正面碰撞;2*=侧面碰撞
机动车驾驶员性别	X_9	绝对值自变量	0=女性;1*=男性
电动自行车驾驶员年龄	X_{10}	绝对值自变量	1≤24岁;2=(24,34]岁;3=(34,44]岁;4=(44,54]岁; 5=(54,64]岁;6*>64岁
电动自行车驾驶员性别	X_{11}	绝对值自变量	0=女性;1*=男性
电动自行车驾驶员是否戴头盔	X_{12}	绝对值自变量	0=否;1*=是

注:*为变量对照组。

3 有序 Logit 模型结果分析

3.1 模型适用性检验

(1) 多重共线性检验。在使用有序 Logit 模型之前,对变量的多重共线性进行检验,采用方差膨胀因子对 12 个变量进行检验。方差膨胀因子 F_{VIF} 是容忍度的倒数,若其值为 0~10,则表示变量间无多重共线性。由检验结果(见表 3)可知变量间无多重共线性。

表 3 变量的多重共线性检验结果

变量编码	容差	F_{VIF}	变量编码	容差	F_{VIF}
X_1	0.469	2.132	X_7	0.821	1.218
X_2	0.576	1.737	X_8	0.950	1.052
X_3	0.757	1.321	X_9	0.889	1.125
X_4	0.774	1.291	X_{10}	0.898	1.114
X_5	0.587	1.703	X_{11}	0.910	1.099
X_6	0.486	2.057	X_{12}	0.886	1.129

(2) 平行性检验。如表 4 所示,卡方值为 20.276,显著性水平 p 为 $0.378 > 0.05$,接受原假设,该模型合适。

表 4 模型的平行性检验结果

模型	-2 对数似然值	卡方值	自由度	显著性 p 值
零假设	237.826	—	—	—
广义	217.550	20.276	19	0.378

(3) 拟合优度检验。采用卡方统计量进行拟合优度检验,检验模型的可靠性。根据模型因变量分布,计算各因变量类别的期望频数,并与实际观察频数进行对比,根据实际值和观测值的差异检验模型的拟合优度。结果显示显著性水平小于 0.05,模型的拟合优度较好。

3.2 结果分析

有序 Logit 模型估计结果见表 5。将某个自变量的取值分别固定为当前类别和参照类别,从机动车驾驶员属性、车辆类型、道路特征、环境 4 个方面对 12 个影响因素进行分析。

(1) 机动车驾驶员属性因素分析。机动车女性驾驶员因素对事故严重程度会产生显著负影响。以男性驾驶员事故严重程度为参照,驾驶员为女性的偏回归系数为 -0.827,优势比为 0.437,说明女性驾

表 5 有序 Logit 模型估计结果

自变量	偏回归系数 β	优势比 $\exp(\beta)$	显著性
晴	1.056	2.875	0.143
阴	0.698	2.010	0.320
雨/雪/雾	0.000	—	—
日间	-1.223	0.294	0.093
夜间	1.136	3.114	0.199
晨昏	0.000	—	—
没有信号灯	0.961	2.614	0.073
仅有直行信号灯	1.522	4.581	0.001
既有直行又有转弯信号灯	0.000	—	—
无机动车隔离	-0.937	0.392	0.280
有机机动车隔离	0.000	—	—
无路灯	1.829	6.228	0.043
有路灯	0.000	—	—
路面干燥	1.176	3.241	0.104
路面湿润	0.000	—	—
无限速措施	-1.889	0.151	0.001
有限速措施	0.000	—	—
正面碰撞	0.754	2.125	0.031
侧面碰撞	0.000	—	—
机动车驾驶员为女性	-0.827	0.437	0.097
机动车驾驶员为男性	0.000	—	—
电动自行车驾驶员年龄 ≤ 24 岁	-2.472	0.084	0.018
电动自行车驾驶员年龄为 (24, 34] 岁	-1.262	0.283	0.037
电动自行车驾驶员年龄为 (34, 44] 岁	-0.863	0.422	0.184
电动自行车驾驶员年龄为 (44, 54] 岁	-1.412	0.244	0.009
电动自行车驾驶员年龄为 (54, 64] 岁	-1.220	0.295	0.020
电动自行车驾驶员年龄 > 64 岁	0.000	—	—
电动自行车驾驶员为女性	-0.419	0.658	0.265
电动自行车驾驶员为男性	0.000	—	—
未戴头盔	-0.234	0.791	0.654
戴头盔	0.000	—	—

驶员造成的事故严重程度小于男性驾驶员,事故严重程度降低43.7%。相关研究发现,由于女性驾驶员驾车时更沉稳,情绪波动较小,且其事故类型多集中于轻微碰撞和剐蹭等^[15],造成死亡或重伤事故的概率降低。

(2) 电动二轮车驾驶员属性因素分析。年龄小于24岁的电动自行车驾驶员与事故严重程度呈显著负影响,偏回归系数为-2.472,优势比为0.084,与年龄大于64岁的驾驶员相比,年龄小于24岁的驾驶员的死亡事故概率降低8.4%;年龄为34~44岁的电动自行车驾驶员与事故严重程度的偏回归系数为-0.863,优势比为0.422,与年龄大于64岁的驾驶员相比,其造成的事故严重程度最小,发生死亡事故的概率降低42.2%。由于老年人的自我保护能力较弱,在发生紧急情况时反应速度比年轻人慢且身体状况不佳,一旦发生交通事故,事故会比较严重^[16]。可以根据驾驶员年龄进行多样化教育,提高其事故应急处理能力。

(3) 道路特征因素分析。在5%统计水平下,有路灯状态与事故严重程度呈显著正影响,无路灯状态的偏回归系数为1.829,优势比为6.228,以有路灯为参照,无路灯条件下十字路口事故严重程度上升622.8%。信号灯状态与事故严重程度呈显著正影响,以既有直行又有转弯信号灯为参照,没有信号灯的偏回归系数为0.961,优势比为2.614,事故严重程度上升261.4%。可见,完善的道路交通控制设施对降低事故严重程度非常重要。无限速措施和机动车隔离带道路的偏回归系数分别为-1.889、-0.937,优势比分别为0.151、0.392,相较于有限速措施和隔离带道路,无限速措施和机动车隔离带道路的事故严重程度分别降低15.1%、39.2%。根据对弱势道路使用者的相关研究^[17],由于没有设置中央隔离带和限速设施,道路状况较复杂,驾驶员会更加谨慎,车速较慢,因而事故严重程度降低,这种现象称为“风险补偿”。

(4) 车辆特征、环境因素分析。正面碰撞会显著影响人员伤亡,造成人员死亡的概率比侧面碰撞高212.5%,这是由于正面碰撞过程中电动二轮车驾驶员容易受到致命伤害,说明碰撞位置对道路交通事故严重性影响显著。事故发生时间显著影响事故严重程度,以事故发生在晨昏为参照,日间、夜间的偏回归系数分别为-1.223、1.136,其中日间与事故严重程度呈显著负相关,相比于晨昏,日间发生的交

通事故严重程度更轻,事故严重程度降低29.4%。可在十字路口事故高发地增设照明装置,提高通行可视性,从而降低事故发生概率。

4 结论

本文以NAIS数据库中十字路口事故数据为样本,在分析电动自行车事故时间、空间分布特性的基础上,从机动车驾驶员、电动二轮车驾驶员、道路特征、环境特征4个方面选取12个变量构建有序Logit回归模型,分析影响电动二轮车事故严重程度的因素。主要结论如下:

(1) 十字路口电动二轮车在星期四发生的事故数最多;[7:00,8:00)、[13:00,14:00)时段是发生重大事故的高峰;城市道路上发生重大交通事故的概率高于乡村道路,其中支路更易发生一般事故。

(2) 机动车驾驶员性别、电动自行车驾驶员年龄、路口信号灯状态、路灯状态、碰撞形式、限速措施、事故发生时段显著影响事故严重程度。

(3) 路口无信号灯、无路灯对事故严重程度影响最大,其次是碰撞形式、事故发生时段、电动自行车驾驶员年龄。

参考文献:

- [1] 韩天园,吕凯光,许江超,等.基于APRIORI-TAN的交通事故伤害分析与预测[J].中国安全生产科学技术,2021,17(8):50-56.
- [2] 赵丹,马社强,张雨萌,等.农村公路交叉口交通事故特征关联性与风险因素分析[J].中国安全科学学报,2020,30(7):146-151.
- [3] 肖乐.基于NAIS数据的交叉口车-车事故严重程度影响因素分析[J].公路与汽运,2022(6):37-40.
- [4] 刘鑫,肖乐,金思雨.基于NAIS的高速公路严重交通事故特征及致因分析[J].公路与汽运,2022(5):32-37.
- [5] 柴浩男,马彬,李鹏辉,等.机动车与非机动车事故严重度多因素影响分析[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2022,37(6):38-45+56.
- [6] 吴楚恩,罗世奎,巫立明,等.考虑交通事故时空效应的高速公路交通事故严重程度预测[J].公路与汽运,2023(4):22-27+34.
- [7] 温惠英,汤左滢.道路交叉口单车事故严重程度影响因素分析[J].公路工程,2019,44(2):55-61+102.
- [8] 柯星安,丁立民,赵丹.基于Logistic-TAN的电动自行车交通事故严重程度影响因素分析[J].中国人民公安大学学报(自然科学版),2023,29(2):47-54.
- [9] ISLAM S, BROWN J. A comparative injury severity

analysis of motorcycle at-fault crashes on rural and urban roadways in Alabama[J]. Accident; Analysis and Prevention, 2017, 108: 163-171.

[10] 马景峰,任刚,李豪杰,等.电动自行车与机动车事故严重性影响因素分析[J].交通运输系统工程与信息, 2022, 22(2): 337-348.

[11] XING Y X, SUN Z Y, WANG D. Investigating influence factors on injury severity of electric and non-electric bicycle crashes in Beijing[C]//2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE). September 11-13, 2020, Beijing, China. IEEE, 2020: 606-610.

[12] 王卫杰,沈轩霆,王贵彬,等.电动自行车骑行者事故伤害程度影响因素分析[J].中国安全科学学报, 2019, 29(2): 20-25.

[13] 李英帅,张旭,王卫杰,等.基于随机森林的电动自行车

骑行者事故伤害程度影响因素分析[J].交通运输系统工程与信息, 2021, 21(1): 196-200.

[14] 蒋骏,王朝健,李晓艳.面向 AEB 测试的汽车与不同二轮车典型事故场景构建[J].公路与汽运, 2023(2): 32-39.

[15] 周红梅,蔡曼,卢健明,等.基于 DBQ 的女性危险驾驶行为影响因素分析[J].物流技术, 2016, 35(11): 115-120.

[16] 巩建国,刘晓晨,纂聪,等.老年驾驶人驾驶安全特性与事故预防对策研究[J].综合运输, 2023, 45(1): 34-38.

[17] 董傲然,王长帅,秦丹,等.机动车-行人事故中行人伤害严重程度分析[J].中国安全科学学报, 2020, 30(11): 141-147.

收稿日期: 2023-07-23

(上接第 36 页)

用基向量线性表达, Jaya-ESN 法中存在的延迟效应大大减少。

综上,本文方法的预测精度优于另外 3 种方法,表明同时采用基向量线性表达和进行 ESN 模型参数优化有助于提高短时交通流预测精度。

5 结语

本文提出一种基于基向量线性表达的多步交通流预测方法,将交通流的预测问题转化为各个基向量组合系数的预测问题,依次针对各个基向量建立相应组合系数的 ESN 预测模型,并采用 Jaya 算法分别寻找最佳模型参数。算例结果表明, Jaya 算法简单高效,能快速找到各个 ESN 模型的最佳参数。此外,本文方法可以实现与每个周期内(本文为 1 d)采样点数量一致的多步交通流预测,且预测精度优于历史均值法、ESN 法和 Jaya-ESN 法。

参考文献:

[1] 陈晓利,蒋淘金,张磊.基于 UP-Alinea 的重庆市多车道汇入智能控制算法研究[J].公路与汽运, 2022(2): 22-26.

[2] 李翠,张春雨.快速路上交通事件所致延迟的实时预测[J].公路与汽运, 2022(1): 26-28.

[3] 马秋芳.改进 PSO 优化的 BP 神经网络短时交通流预测[J].计算机仿真, 2019, 36(4): 94-98+323.

[4] 温惠英,曹正.基于时延特性的短时动态交通流预测模型研究[J].计算机仿真, 2021, 38(6): 93-97.

[5] ZHANG W B, YU Y H, QI Y, et al. Short-term traffic flow prediction based on spatio-temporal analysis and CNN deep learning[J]. Transportmetrica A: Transport Science, 2019, 15(2): 1688-1711.

[6] 杨飞,方滨兴,王春露,等.基于小波和回声状态网络的交通流多步预测模型[J].吉林大学学报(工学版), 2013, 43(3): 646-653.

[7] 万玉龙,李新春,周红标.基于 WPD-PSO-ESN 的短期交通流预测[J].公路交通科技, 2019, 36(8): 144-151.

[8] 马莹莹,靳雪振.基于 EEMD 和小波阈值的短时交通流预测研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版), 2022, 41(6): 22-29.

[9] 李慧,奚园园,马宇鑫,等.融合 PCA 和 ESN 的交通流周期预测模型[J].西安电子科技大学学报, 2019, 46(1): 20-26.

[10] VENKATA RAO R. Jaya: a simple and new optimization algorithm for solving con-strained and unconstrained optimization problems[J]. International Journal of Industrial Engineering Computations, 2016, 7(1): 19-34.

收稿日期: 2023-08-06