

复杂交通条件下的交叉口交通组织优化研究 ——以镇海区逸夫路-风华路交叉口为例

范新科¹, 宛岩^{1,2}, 吴楠榛³, 王韩麒¹, 杨勇俊³, 王龙健², 邢海锋¹

(1. 宁波宁工交通工程设计咨询有限公司, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波工程学院 建筑与交通工程学院, 浙江 宁波 315211;
3. 宁波市公安局镇海分局交通警察大队, 浙江 宁波 315202.)

摘要: 为了提升复杂交通条件下交叉口的安全韧性与通行效率, 以镇海区逸夫路-风华路交叉口为例, 基于交叉口混合交通流的运行特征, 系统分析复杂交通环境下对交叉口通行安全与秩序的影响, 研究提出以“多车型协调组织、全要素安全管控”为核心的交通组织优化框架, 从人非过街空间重构、车道功能动态优化、信号配时精准调节、科技监管网络构建等方面提出优化措施。交通组织优化方案实施后, 交叉口平峰时段饱和度由0.41降至0.40, 车均延误减少8.7%, 行人及非机动车违法率从80%骤降至5%; 晚高峰饱和度由0.52降至0.48, 排队长度缩短18.6%, 各类车辆冲突点减少42%, 验证了复杂交通条件下综合优化方案的有效性, 为同类交叉口治理提供参考。

关键词: 复杂交通条件; 安全韧性; 交通组织优化; 车道功能设计; 信号配时优化

中图分类号: U491.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0089-06

Research on Optimization of Traffic Organization for Intersections under Complex Traffic Conditions in Zhenhai District

FAN Xinke¹, WAN Yan^{1,2}, WU Nanzhen³, WANG Hanqi¹, YANG Yongjun³, WANG Longjian²,
XING Haifeng¹

(1. Ningbo Ningong Traffic Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Ningbo 315211, China; 2. Ningbo University of Technology, Ningbo 315211, China; 3. Traffic Police Brigade of Zhenhai Branch of Ningbo Public Security Bureau, Ningbo 315202, China)

Abstract: To upgrade the safety resilience and traffic efficiency of intersections under complex traffic conditions, taking the Yifu Road - Fenghua Road intersection in Zhenhai District as an example, based on the operational characteristics of mixed traffic flow at the intersection, the impacts on traffic safety and order at the intersection in a complex traffic environment are systematically analyzed. It is proposed that a traffic organization optimization framework is centered on "multi-vehicle type coordinated organization and all-element safety control". The optimization measures are put forward from aspects such as the reconstruction of pedestrian and non-motored vehicle crossing spaces, dynamic optimization of lane functions, precise adjustment of signal timing, and construction of a scientific and technological supervision network. After the implementation of the traffic organization optimization scheme, the saturation during off-peak hours at the intersection decreases from 0.41 to 0.40, the average vehicle delay is reduced by 8.7%, and the violation rate of pedestrians and non-motored vehicles drops sharply from 80% to 5%. During the evening peak, the saturation decreases from 0.52 to 0.48, the queue length is shortened by 18.6%, and the conflict points of various vehicles are reduced by 42%, which verifies the effectiveness of the comprehensive optimization scheme under complex traffic conditions and provides a reference for the governance of similar intersections.

Keywords: complex traffic conditions; safety resilience; traffic organization optimization; lane function design; signal timing optimization

0 引言

近年来,随着互联网经济的快速发展,外卖市场规模不断扩大,外卖配送行业迅速崛起,已成为新产业、新业态、新模式就业群体的重要组成部分^[1]。目

收稿日期: 2025-04-01

基金项目: 浙江省建设厅2024年建设科研项目(2024K296);
2025年度第一批宁波市住房和城乡建设领域科技研发类课题(34)

作者简介: 范新科(1990—),男,学士,高级工程师,从事交通组织设计、信号优化工作。

前,外卖配送主要依靠外卖配送员骑电动自行车^[2]来实现订单货物的配送。当前主流的外卖平台有美团外卖、饿了么、宅急送等,各大平台日活跃配送员数量在百万人次以上。虽然外卖配送给人们的生活带来了极大的便利,但是受配送时间的限制,外卖配送员为了尽快将订单货物交到顾客手上,骑乘电动自行车在城市道路上争分夺秒,由此而来的逆向行驶、分心骑行、超速骑行和闯红灯等违法行为屡见不鲜,对道路交通安全管理造成了极大的影响^[3]。但是目前针对外卖骑手的交通安全研究较少,已有的文献^[4-6]通常从骑行风险影响因素、配送安全影响、外卖配送员交通行为分析等角度进行研究。与此同时,在城市建设过程中,工程车辆担负着重要的运输功能^[7],通常工程车辆按照通行证规定的路线行驶,以此减少对周边区域的影响。但在实际中,工程车辆驾驶员为了追求效率,不按通行证规定的行驶路线及道路的限速要求,常常出现超载、超速、闯红灯等交通违法行为,给道路交通安全管理带来了极大的挑战。从而导致交叉口交通流呈现“车型多元化、需求差异化、冲突复杂化”的显著特征。以外卖配送车辆、工程车辆为代表的特殊交通流与常规机动车、非机动车、行人交织混行,导致交叉口通行效率与安全水平显著下降。

交叉口是两条或两条以上道路的交会处,也是车辆、行人交通汇集、转向和疏散的必经之处^[8]。在交叉口处,不仅需要关注机动车的通行效率,还要关注非机动车及行人的通行安全。逸夫路-风华路交叉口作为宁波市北高教园区与渣土运输通道的关键节点,日均通过外卖配送车辆约3 000辆次、工程车辆2 500~2 800辆次,同时叠加高校师生、社区居民等多元交通需求,形成典型的复杂交通场景。本文以该交叉口为案例,构建“现状诊断-问题识别-方案设计-效果验证”的研究框架,重点解决多车型混行冲突、信号配时失衡、安全设施不足等问题,为复杂交通环境下的交叉口治理提供理论与实践支撑。

1 复杂交通条件下交叉口安全通行的影响

1.1 外卖配送车辆的影响

外卖配送通常以电动自行车作为主要交通工具,数量众多且灵活性高,其对交叉口安全通行的影响主要体现在以下几个方面。

(1) 行驶速度不稳定

外卖配送通常具有时效性要求,且外卖平台的

“超时赔付”承诺和“好评差评”星级服务使得送餐人员薪酬与接单数量、配送时长挂钩,在这种利益驱动下,外卖骑手为了抢单、送单以及为了尽快送达订单,往往会忽视交通安全,在道路上高速行驶或频繁变道,影响其他车辆的正常行驶^[9]。

(2) 行驶路径选择多

外卖配送车辆通常会选择最短路径^[10]进行配送,这可能导致部分交叉口的交通流量集中,而其他交叉口的交通流量相对较少。此外,外卖配送车辆为了寻找最佳的行驶路径,通常采取见缝插针式的驾驶行为,使得外卖配送车辆的轨迹难以判断,对交叉口的交通秩序产生了不良影响。

(3) 停车行为欠规范

为了方便取餐和送餐,外卖配送车辆往往在交叉口附近随意停车,占用行车道和人行道,影响交通秩序。

(4) 交通违法现象多

外卖骑手在交叉口的闯红灯率、逆行率、使用手机比率较高^[11],这些违规行为严重影响了交叉口的交通秩序和安全,增加了交通事故的发生概率。闯红灯行为可能导致与正常行驶的车辆发生碰撞;逆行则容易造成交通秩序的混乱;使用手机则会分散骑手的注意力,降低对周围交通环境的感知能力^[12]。

1.2 工程车辆的影响

工程车辆一般体积较大、载重较高^[13],其对交叉口的通行有以下影响。

(1) 交通违法现象多

通常工程车辆的经济效益与运载量挂钩,在经济利益驱动下,快马加鞭、多拉快跑成为常态,由此引发的超载、超速、闯红灯、违规变道等交通违法行为频发,对交叉口的通行安全造成了极大的隐患。

(2) 行驶速度较缓慢

由于工程车辆的载重量大,在交叉口起步相对较慢,且工程车通常这可能导致后续车辆排队等待时间延长,降低交叉口的通行效率。

(3) 转弯半径要求高

工程车辆的车身较长,在交叉口转弯时需要较大的转弯半径,在转弯过程中存在内轮差现象。此外,工程车辆存在较大的视线盲区,在驾驶员的疏忽下极易引发交通事故。

1.3 复杂交通条件下交叉口存在的问题

在复杂交通条件下交叉口的运行主要存在以下问题。

(1)通行秩序混乱

由于不同类型车辆的行驶特点和需求不同,在交叉口容易出现混乱的交通秩序。例如,外卖配送车辆可能会在工程车辆之间穿梭通行,工程车辆在转弯时也可能会影响外卖配送车辆的行驶路线。

(2)安全隐患增多

工程车内轮差导致的盲区与外卖车“见缝插针”行驶习惯,大大增加了交叉口的交通安全隐患,同时也提高了交通事故潜在风险增,一旦发生交通事故,可能会造成严重的人员伤亡和财产损失。

(3)管理难度加大

由于外卖配送车辆及工程车辆都是追求时间与效率至上,在经济利益的驱动下,在通过交叉口时通常会抱有侥幸心理,从而产生闯红灯、逆行、超载、超速等违法行为,且由于缺乏有效的管理手段,难以对外卖配送车辆及工程车辆产生约束效力,管理难度较大。

2 复杂交通条件下交叉口安全韧性提升方法

2.1 优化思路

遵循“空间重构-信号优化-科技赋能”的原则,构建多维度优化体系。

空间维度:通过车道功能优化调整、人非空间拓展,减少不同车型的物理冲突。

时间维度:基于交通流时空分布特征,实施动态信号配时。

管理维度:利用智能监控技术,建立特殊车辆监管系统。

2.2 优化措施

(1)人非慢行一体设计^[14]

为了确保行人和非机动车的通行安全,对交叉口采用慢行一体化交通组织设计,引导非机动车二次过街,同时增加行人和非机动车等候空间,保障行人和非机动车安全。

(2)工程车辆定道定速

为了规范工程车辆的驾驶行为,在交叉口及上下游路段设置工程车辆指定车道,对工程车进行定道定速管理,不仅可以降低不同车流之间的相互干扰,还可以减少由于工程车辆并排行驶造成的视距盲区现象,提高通行安全性。

(3)过街时间充分保障^[15]

充分考虑行人及非机动车的过街需求,保证行人及非机动车过街时间,降低由于等待时间过长造

成的闯红灯现象,降低行人及非机动车发生事故的

(4)科技严管违法行为

利用科技设施对外卖配送车辆及工程车辆进行严管,加大对各类违法行为的抓拍及处罚力度,规范行车秩序,保障道路安全、有序、畅通。

3 案例分析

3.1 交叉口现状分析

3.1.1 交叉口概况

逸夫路-风华路交叉口位于宁波市北高教园区的东侧,周边交通吸引点主要有宁波大学、宁波工程学院、纺织学院和中科院宁波材料所等高校,另外还有豪城码头、云创小镇和三官堂油库等。其中豪城码头为现宁波最大渣土码头,日均服务2 500~2 800车次,这导致风华路渣土车比例较高。云创小镇现状是北高教园区乃至镇海片最大的步行街区,同时也是年轻人最喜欢的步行街区,街区内分布大量受年轻人追捧且喜爱的餐饮店,导致外卖配送员比例高于其他区块(见图1)。



图1 风华路周边交通概况

交叉口现状北口为3左+2右+1非机动车道,西口为1左+3直+1公交优先+1左+1直+1非机动车道,东口为1调头+3直+1公交优先+1直右+1右+1非机动车道(见图2)。



图2 交叉口现状交通组织

3.1.2 交叉口流量

(1)非机动车流量

对交叉口非机动车流量(见图3至图5)的调查发现,交叉口在中午用餐前1 h,即10:30—11:30,属

于外卖车辆的高峰期,大量的外卖配送车辆在交叉口西进口调头,同时因风华路存在中央绿化带的情况,导致在外卖配送高峰时段,大量配送车在西进口逆行。

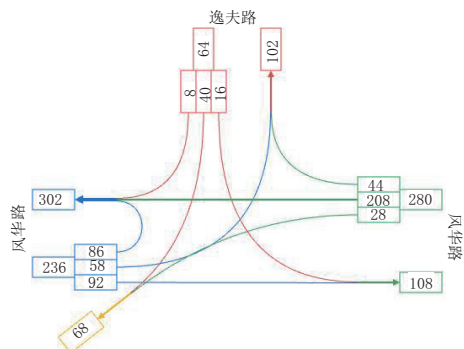


图3 早高峰(7:00—8:00)非机动车流量(单位:pcu/h)

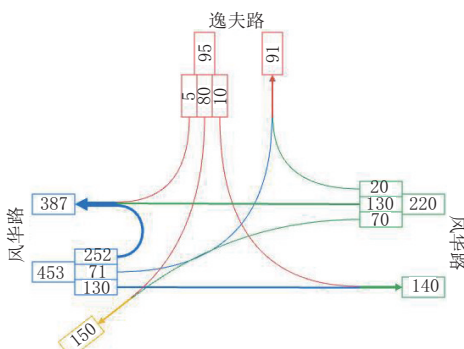


图4 平峰(10:30—11:30)非机动车流量(单位:pcu/h)

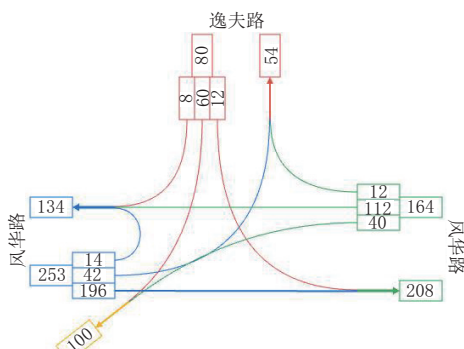


图5 平峰(12:00—13:00)非机动车流量(单位:pcu/h)

(2) 机动车流量

通过现状流量调查,交叉口交通流量较大,饱和度和早晚高峰和平峰相差不大,约为0.4~0.5,逸夫路整体流量较小,早晚高峰和平峰相差较小,约为200 pcu/h,以风华路流量为主,其中西进口饱和度在早高峰较高,约为0.5,东进口饱和度在平峰较大,在0.6左右;西进口掉头需求较大,早晚高峰掉头车辆大于左转车辆,平峰掉头车辆和左转车辆基本持平(见图6至图8)。

在大小车比例中,交叉口货车占比较高,约占37%,以风华路为主,逸夫路几乎没有,其中平峰时

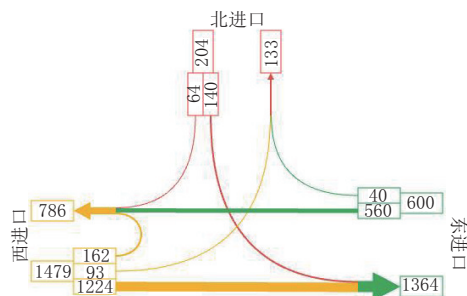


图6 早高峰(7:00—8:00)机动车流量(单位:pcu/h)

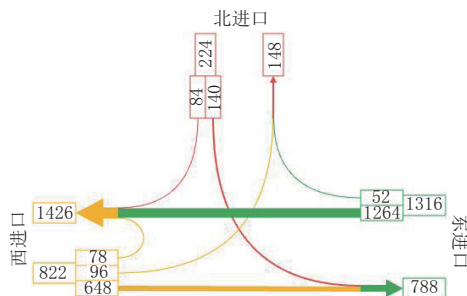


图7 平峰(12:00—13:00)机动车流量(单位:pcu/h)

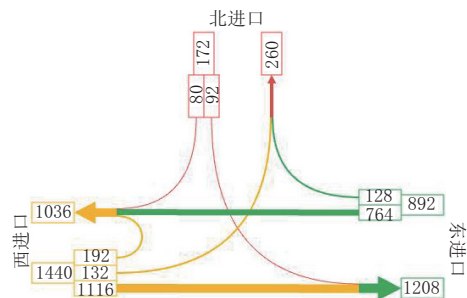


图8 晚高峰(17:00—18:00)机动车流量(单位:pcu/h)

段,东进口货车占比高达47.4%,货车比例中渣土车的比例高达80%。

根据高德地图数据显示(见图9),该交叉口整体运行情况较好,在早晚高峰排队长度较短,延误指数较低,路口评级均在B级水平。

平峰			早晚高峰		
风华路辅路与逸夫路路口			风华路辅路与逸夫路路口		
路口评级	B	路口状态	B	路口状态	B
排队长度	31 m	排队次数	43 m	排队次数	43 m
延误指数	0.4	延误指数	0.4	延误指数	0.4
延误指数	16.39	延误指数	16.65	延误指数	16.65
(a) 平峰时段			(b) 早晚高峰时段		

图9 风华路-逸夫路交叉口高德数据

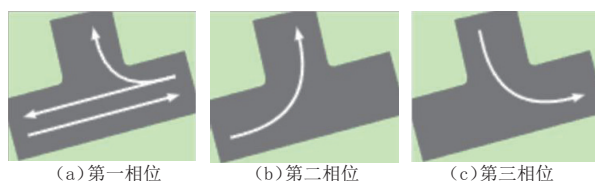
3.1.3 交叉口配时

交叉口配时方案,按照早晚高峰、平峰、夜间共分为6个时段,共有4个配时方案,方案中相位和相序均一致,最大周期为125 s,最小周期为100 s(见图10至图13)。

3.2 现状问题分析

(1) 人非等候空间不足

现状斑马线宽度为6 m,但在中央绿化带处因桥墩和绿化的影响,仅为3 m左右,无法满足非机动车



(a)第一相位 (b)第二相位 (c)第三相位

图10 交叉口信号相位图

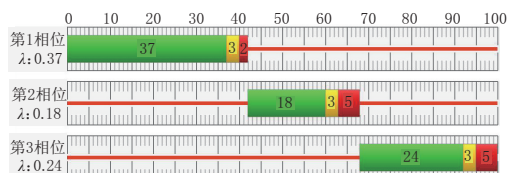


图11 22:00—5:00 配时方案

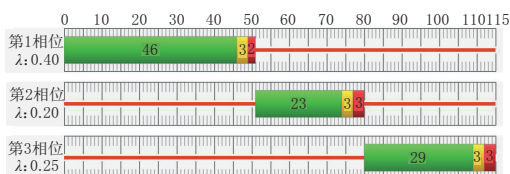


图12 5:00—7:00、8:30—16:30、18:30—22:00 配时方案

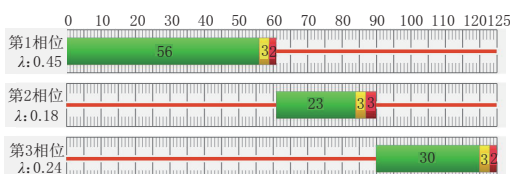


图13 7:00—8:30、16:30—18:30 配时方案

和行人通行需求,且因中央绿化带处设置了大理石车挡,电瓶车很容易磕碰,进一步降低非机动车通行意愿。

(2)信号配时不尽合理

虽然交叉口行人虽然实行二次过街,但绿灯时间太短,仅为16 s,无法通过宽度为25 m的半幅道路,很多行人、非机动车被迫闯红灯。此外,行人红灯等待时间过长,需要等待99 s,超出心理预期,进一步加剧行人和非机动车闯红灯的现象。

(3)冲突明显隐患较大

交叉口未实行慢行交通一体化,在交叉口西口左转放行时,存在左转和掉头的非机动车与左转和掉头的机动车存在很大的冲突,共计9个冲突点,且在外侧车道还存在89路、367路、387路等大型公交车掉头情况,交通安全隐患严重。

(4)桥墩影响视距不足

交叉口东西方向均存在行车视距不足的情况,其中西口桥墩和交通标志遮挡,东口虽然按照国标要求设置了Z字形过街,但因桥墩和变电箱的影响,反而造成视线遮挡。

(5)周边影响掉头量大

受到周边业态及云创小镇的地理位置影响,周边学校及小区分布情况主要集中在西北侧,从而导

致外卖配送员的行驶需求为东南侧往西北侧,同时因风华路(庄市大道—逸夫路)全线中央绿化带,无其他开口,导致云创小镇出来的车辆和外卖配送车辆都需要在逸夫路口进行掉头。

(6)大型车辆占比较高

现状受豪城码头、三官堂油库的影响,风华路上工程车辆、危化品运输车占比较高,交通管理难度大。交叉口虽然设置了工程车指定车道,但部分工程车不按指定车道行驶较多,存在并排行驶情况,甚至部分工程车会驶入公交优先道。

3.3 优化措施

本次优化按照降隐患、保安全为总体目标,采用微改造、扩空间、加视距、减冲突、优信号、强管理的交通组织思路,具体优化方法措施。

(1)优化人非过街,增加等候空间

减少西口和北口车道分布,硬化中央绿化带空间,对交叉口采用慢行一体化简易改造,增大行人和非机动车等候空间(见图14、图15),保障行人和非机动车安全。

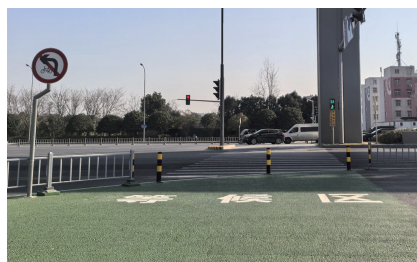


图14 等候区设置示意1



图15 等候区设置示意2

调整西口车道分布,将原内侧左转车道,调整至外侧,设置1个掉头车道和1个左转加掉头车道,减少因车辆掉头所产生的交通冲突(见图16、图17)。

(2)优化信号配时,保障行人过街

结合外卖配送高峰时段,优化调整交叉口在外卖派送高峰时段信号配时方案,增大南北向行人过街时间,确保行人和非机动车过街时间充足(见图18)。

(3)强化科技管理,严管特殊车辆



图16 增设预告标志



图17 调整导向标志

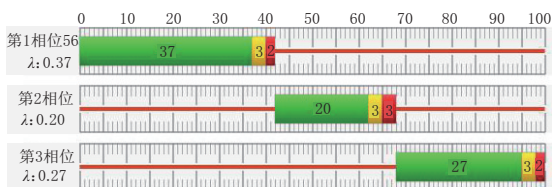


图18 外卖高峰时段信号配时方案

根据前后交叉口情况,优化调整工程车指定车道位置,同时新增非机动车闯红灯抓拍系统,对行人和非机动车闯红灯等违法行为进行严管(见图19)。

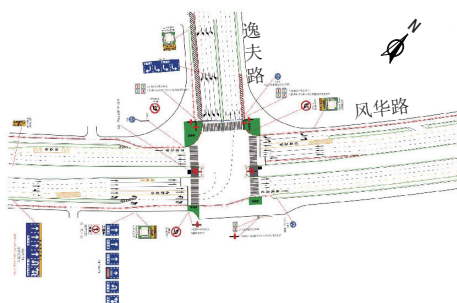


图19 交叉口交通组织方案示意图

3.4 效果评价

为对比优化前后交叉口的运行特征,选取饱和度、车均延误、平均停车次数、行人及非机动车违法率作为评价指标,可以发现,在交通组织方案实施之后,经过一段时间的稳定运行,交叉口的通行状况得到明显改善。其中平峰时段饱和度由0.41下降到0.4,车均延误时间由16.39下降为14.96,平均停车次数由0.4次减少为0.3次,排队长度由31 m下降到28 m,行人及非机动车违法率由80%下降到5%;晚高峰时段交叉口的饱和度由0.52下降到0.48,车均延误时间由16.65下降为15.68,平均停车次数未发

生明显改变,排队长度由43 m下降到35 m,行人及非机动车违法率由60%下降到1%(见表1)。

表1 交叉口优化前后指标对比

评价指标	平峰		晚高峰	
	优化前	优化后	优化前	优化后
饱和度	0.41	0.40	0.52	0.48
平均延误	16.39	14.96	16.65	15.68
平均停车次数	0.4	0.3	0.4	0.4
排队长度/m	31	28	43	35
行人及非机动车违法率/%	80	5	60	1

通过上述分析可以看出,交叉口在安全水平显著提升,行人及非机动车违法率降幅超90%,工程车与外卖车冲突事故零发生,验证了“空间隔离+科技监管”的有效性;通行效率稳中有升,虽饱和度与延误降幅较小,但车道功能优化减少了变道延误,排队长度缩短提升了车辆通过效率;管理效能大幅增强,智能监管系统使违法抓拍率显著提升,工程车定道定速遵守率明显提升,实现从“被动应对”到“主动管控”的转变(见图20)。



图20 方案完成之后航拍图

4 结 语

复杂交通条件下的交叉口治理需突破单一车型管控思维,构建“空间—时间—管理”协同的优化体系。本研究通过逸夫路-风华路交叉口的实践表明:多车型混行场景下,车道功能动态调整、信号配时精准匹配、科技监管网络构建是提升交叉口安全韧性的关键路径。未来可进一步探索基于车路协同的动态交通组织技术,为智慧交通背景下的交叉口治理提供更优解。

参考文献:

- [1] 周高祥,柴树山,胡雁宾,等.新业态下外卖骑手交通安全分析及对策研究[J].道路交通管理,2022(2):50-53.
- [2] 张娜.电动自行车道路交通安全管理优化研究[J].中国储运,2025(3):39.
- [3] 张凡.信号交叉口外卖电动车违规过街行为研究[D].西安:长安大学,2020.

(下转第105页)