

畸形交叉口安全风险评估及调优研究

彭翔

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 交叉口作为城市道路交通疏散的关键节点,直接影响着路网的通行效率和安全性,评估畸形交叉口的安全风险状况至关重要。为此,首先基于形态学特征对畸形交叉口进行分类,深入剖析其交通安全风险特征;其次基于“人-车-路-环境”系统,构建了量化风险评估方法;最后以某典型X形交叉口为实证案例,从车道功能优化、慢行系统完善、交通设施升级和智慧管控等多个维度实施调优策略,使交叉口安全水平和通行效率得到了显著提升,同时为同类节点改造提供了较好的实践经验。

关键词: 畸形交叉口;风险评估;调优

中图分类号: U491

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0012-05

Research on Safety Risk Assessment and Adjustment Optimization of Irregular Intersections

PENG Xiang

[Tongji University Architectural Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: As the key nodes for urban road traffic evacuation, the intersections directly influence the traffic efficiency and safety of road network. Assessing the safety risks of irregular intersections is essential. Therefore, the irregular intersections are firstly classified based on morphological characteristics, and the traffic safety risk features are deeply analyzed. Secondly, a quantitative risk assessment method is established based on the "human - vehicle - road - environment" system. Finally, taking a typical X-shaped intersection as a case study, the optimization strategies are implemented from the multiple dimensions including lane function optimization, non-motorized system improvement, traffic facility upgrading and intelligent management control, which makes the safety level and traffic efficiency of intersections obviously improved, and also provides the better practical experience for the reconstruction of the similar nodes.

Keywords: irregular intersection; risk assessment; adjustment and optimization

0 引言

城市道路交叉口作为交通集散的咽喉之地,直接影响着路网的通行效率、服务水平和安全性。建设过程中,受道路两侧地形地物、用地属性、地块开发、上位规划等条件限制,城市交通网络内会形成畸形交叉口。在畸形交叉口范围内,由于存在视距不足、行驶轨迹不顺畅、交通流向不清晰、路权划分不合理等问题,容易引起交通运行混乱,拥堵及安全问题突出。我国交叉口交通事故数量虽然逐年减少,但万车死亡率远高于同时期的美国、德国、日本等发达国家^[1]。

目前国内外研究者主要从渠化设计、信号控制、冲突分析等方面来提升畸形交叉口的通行能力和安全水平。李晨等^[2-4]采取工程改造、交通渠化和交通组织优化等多策略融合方法,通过充分挖掘畸形交叉口的交通潜力来提升交叉口的服务水平;李劲夫等^[5]基于交通流线特征和冲突理论,分析了多路畸形交叉口的问题及拥堵成因,并提出了对应的交通组织渠化原则和方法;谭振霞等^[6]运用时空整合优化方法,精细化设计了畸形交叉口的信号协调控制方案,有效提升了交通运行秩序和安全。

综上所述,目前国内外学者更多地基于定性层面提出畸形交叉口改造方案,而缺少量化的分析,难以精细化制定改善策略。量化分析畸形交叉口风险水平并运用交通工程学理论,精细化、系统化地改造畸形交叉口,可以更加有效地减少冲突,提升运

收稿日期: 2025-05-08

作者简介: 彭翔(1993—),男,硕士,工程师,从事道路设计工作。

营效率,降低事故率。

本文首先分析畸形交叉口的类别及其典型道路特征,并识别交通运行特征;然后基于“人-车-路-环境”系统制定风险评估指标;最后以某 X 形交叉口为例,评估交通安全风险水平并提出最大集约化的改造措施。

1 分类及其交通运行风险

1.1 分类及其特征

根据相交道路数量及其形态,将畸形交叉口分为 3 路交叉口、4 路交叉口和多路交叉口类型^[7](见图 1)。

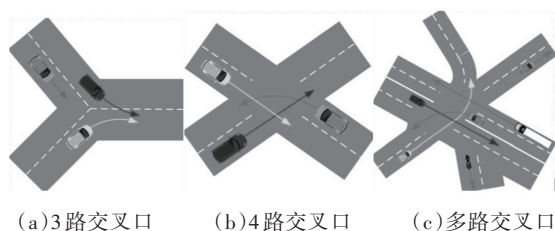


图 1 畸形交叉口分类

(1) 3 路交叉口。3 路畸形交叉口,是由 1 条道路与另外 2 条道路形成非正交、小交角的 Y 形交叉口,导致其存在转弯半径较小和视距受限等问题。

(2) 4 路交叉口。4 路畸形交叉口的几何形态大致呈 X 形,导致其存在布局不规则,转弯角度不均衡,交通流向不易辨识和视距受限等问题。

(3) 多路交叉口。多路畸形交叉口即复合型交叉口,是由 5 条或 5 条以上道路相交而成,由于其道路数量多,导致其存在交叉角度不规则,几何形状复杂,交通流向复杂,冲突点多等问题。

1.2 交通运行风险分析

畸形交叉口因特殊的几何元素组成、复杂的交通组织等,导致其交通运行特征复杂多变、拥堵指数高且风险不可控。

(1) 视距不足。畸形交叉口的几何形态不规则,局部象限交叉角度过小,导致其转弯半径设计受限,视距不足,增加驾驶人的操作难度和心理压力,如减速、换道、转向行为频繁异常,可能因判断失误而引发交通事故。

(2) 交通流向复杂,通行效率低,拥堵指数高。畸形交叉口交通流向复杂,进出口对位关系不清晰,不同方向车流进入交叉口后轨迹多变,冲突点多且分散,叠加行人和非机动车等慢行系统的无规则穿行,将严重降低弱势群体的安全性,同时严重影响通行效率,造成拥堵。

2 风险评估方法

畸形交叉口安全风险水平高,量化分析其风险度对控制区域范围安全具有重要意义。交通安全作为多因素、多层面的复杂系统,需要综合考虑人、车、路、环境等因素及其相互作用。本节基于“人-车-路-环境”系统,构建了畸形交叉口风险评估指标,以实现对接口安全度的量化分析,便于精准全面地辅助交叉口系统化改造。

畸形交叉口相比于常规交叉口,其最大区别在于道路形态的差异。因此,风险评估过程中需更多关注道路本体,兼顾人、车、环境指标。

2.1 道路本体

(1) 几何构造。畸形交叉口的几何面积较同断面宽度的正交交叉口大,造成车辆运行距离、行人步行跨度大,容易引发车流、人流混杂问题。以畸形交叉口实际面积 M_1 与同断面正交交叉口的理论面积 M_2 之比来衡量交叉口的几何构造尺度,以判定交叉口的风险水平。通常认为 $M_1 / M_2 = 1.1 \sim 1.2$ 时是比较合理的,该比值越大,交叉口区域安全风险越高^[8]。

(2) 交叉角度。根据《城市道路交叉口设计规程》(CJJ 152—2010),新建平面交叉口不得出现交角小于 70° (特殊困难时为 45°) 的斜交交叉口。交叉角度越小,视线越差,交通组织与管理难度越高。

(3) 路口偏角。路口偏角指的是交叉口范围内相对的 2 条道路中心线之间的夹角,偏角一般以 $3^\circ \sim 5^\circ$ 为宜,偏角越大,视线、车流行驶平顺性越差^[9]。

(4) 路口偏移程度。路口偏移程度是指相对的 2 条道路中心线的偏移距离。当进出口道的偏移距离较远时,容易导致出口位置超出驾驶人的视野范围,行车轨迹复杂,安全风险高。

(5) 车道分配状况。道路的车道分配和机非隔离状况可分为 4 种典型配置:一是完善型配置,各方向均设有专用机动车道并实施严格的机非物理隔离;二是标准型配置,在主要方向设置专用车道并实行机非隔离,次要方向可能合并车道,机非物理隔离;三是混合型配置,部分方向设置专用车道但未实施机非隔离;四是基础型配置,未设置方向专用车道且完全机非混行。不同配置类型的差异将直接影响道路的通行效率和安全性能。

(6) 交通控制方式。交叉口的交通控制方式包括全无控制、主路优先控制、定时信号控制、感应信号控制、自适应信号控制等方式。控制方式的合理

性、智慧程度也将影响交叉口的通行效率与安全。

(7)交通安全设施。畸形交叉口对于交通安全设施设置的需求更为严格,如渠化设施、导流设施、标志标线等,其设置是否具有针对性、有效性,决定着交叉口的风险程度。

2.2 交通参与者行为

交叉口作为机动车、非机动车和行人集散的重要节点,交通环境复杂,人的行为对交通安全的影响不可忽视。本文重点考虑心理、生理健康的交通参与者驶入畸形交叉口后的行为特征。据统计,86.29%的道路交通事故因违法导致^[10]。本文选择道路参与者的行为特征为评估指标,即以交通参与者法规的遵守程度评价其对交叉口的行车安全影响。

2.3 车辆运行状况

据统计,因机动车车辆故障引发的交通事故占比约3.63%,故障类型包括制动失效、转向失效等,且制动不良占故障总数的41.96%^[10]。本文以车辆状态特征为评估指标,衡量车辆对交叉口的安全影响。

2.4 交通运行环境

影响交叉口安全的外界环境因素主要为自然环境,包括能见度降低、路面湿滑的雨雾冰雪等不良天气。考虑环境因素在行车过程中不可控制,本文以交通环境状况为指标,评估其对交叉口安全水平的影响。交通环境状况按照路面湿滑程度、能见度等指标分为正常天气、雾天、雨天以及冰雪天气。

评估指标表见表1。

表1 评估指标表

一级指标	二级指标	评价等级			
		I	II	III	IV
路	几何构造	<1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	>2
	交叉角度	>70°	60°~70°	45°~60°	<45°
	路口偏角	<3°	3°~5°	5~10°	>10°
	路口偏移程度	<1个车道	1~2个车道	2~3个车道	>3个车道
	车道分配状况	各方向均设置专用车道且机非隔离	主要方向设置专用车道且机非隔离	主要方向有专用车道且机非混行	各方向无专用车道且机非混行
	交通控制方式	感应/自适应控制	定时信号控制	主路优先控制	全无控制
	交通安全设施	完善	较为完善	基本完善	不完善
人	交通行为特征	严格遵守	基本遵守	部分遵守	不遵守
车	车辆状态特征	优秀	良好	中等	较差
环境	交通环境状况	正常天气	雾天	雨天	冰雪天气

3 设计案例

本文以某城市X型交叉口为例(见图2)。



图2 现状路口航拍图

首先利用上述风险指标,重点从道路角度系统分析现状问题,并针对性地提出改善设计方案,提升路段通行能力和服务水平,并降低交通事故诱发率。

3.1 现状交叉口安全分析及评估

现状交叉口主要存在以下问题:

(1)几何构造。该畸形交叉口的几何面积约6 475 m²,同断面宽度的正交交叉口的面积约3 997 m²,

比值约1.62。

(2)交叉口角度过小。主路和被交路的交叉角度为33°。

(3)路口偏角。现状路口主路与被交路相对方向的中心线未发生偏移。

(4)路口偏移程度。现状路口车道未发生明显偏移。

(5)车道分配状况。现状主路为双向6车道,车道按照“直左+直行+直右”进行分配,整体采用“主要方向设置专用车道且机非混行”的组织方式,被交路采用单车道机非混行的组织方式。

(6)交通控制方式。交叉路口采用定时信号控制策略,受交叉口几何形态的差异,信号灯的视认性差,朝向不合理,驾驶人较难辨认信号灯的控制方向。

(7)交通安全设施。现状道路的标志标线基本缺失,路口内缺少车辆路径导流标识、行人过街保护措施,渠化设施不完善。

(8)交通行为特征。根据现场调研,行人存在因路面标线不清晰导致过街路径混乱、部分非机动车因信号灯不清晰导致闯红灯,部分行人或机动车能够遵守交通规则。

(9)车辆状态特征。车辆状况整体良好,故障率低。

(10)交通环境状况。项目所在区域气候良好,车辆运行环境极端恶劣气候环境概率低。

对 I、II、III、IV 这 4 个风险评级进行赋值,其中 I 级赋值 90 分,II 级赋值 80 分,III 级赋值 70 分,IV 级赋值 60 分^[8]。

案例现状交叉口评估结果见表 2。

表 2 案例现状交叉口评估结果

一级指标	二级指标	评价结果	赋分结果
路	几何构造	III (1.62)	70
	交叉角度	IV (33°)	60
	路口偏角	I (<3°)	90
	路口偏移程度	I (<1 个车道)	90
	车道分配状况	IV	60
	交通控制方式	II	80
	交通安全设施	IV	60
人	交通行为特征	III	70
车	车辆状态特征	I	90
环境	交通环境状况	I	90

由表 2 可知,各指标赋值后的总分为 760 分,平均值为 76 分,现状路口安全风险等级为 III 级。

3.2 优化方案及评估

考虑现状交叉口周边建筑无法拆除及道路线形无法调整,本次优化无法对道路进行结构性优化,主要基于道路及行人交通行为特征方面存在的问题,针对性地给出对应的优化方案,具体如下:

(1)车道分配状况。主路在交叉口范围内拓宽车道布局,按照“专右+直行+专左掉头”的分配方式,人行和非机动车道采用人非共板的结构形式,并在两者之间利用行道树进行软隔离,以保证慢行系统安全。被交路南进口设置“直行+专右”车道,北进口设置“专右+直行+专左”车道。优化后,各方向均设置专用车道且主路机非隔离。

(2)交通控制方式。交叉路口采用自适应信号控制方式,信号灯设置于进口道正前方,驾驶人可以较好地辨认信号灯的控制方向。

(3)交通安全设施。优化后的道路交通标志标线系统完善,路口内增加车辆路径导流标识、行人过街保护措施,且在东进口、南进口设置右转渠化岛,

渠化设施完善。

(4)交通行为特征。根据现场调研,优化后行人过街路径清晰有序,非机动车因给予专用路权,行车秩序高,未出现闯红灯、占用机动车道或人行道的问题。

优化后车道的标准断面见图 3。优化方案及其效果图见图 4、图 5。

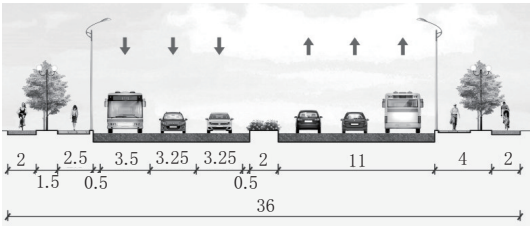


图 3 优化后车道的标准断面(单位:m)

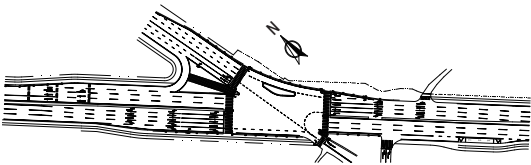


图 4 优化方案

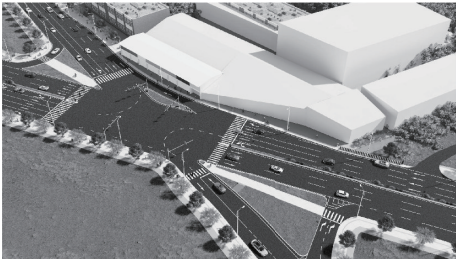


图 5 优化方案效果图

优化后的评估结果见表 3。计算各指标赋值后的总分为 850 分,平均值为 85 分,优化后的路口安全风险等级为 II 级。

优化后的方案相比于现状交叉口,主路与被交路通过精细化的车道设计,使各方向均设有专用车道,明确车流路径,减少交织冲突,且主路采用“机非隔离、人非软隔离”的双重防护措施并设置二次过街设施,以保证慢行系统安全;交叉口范围内通过设置完善的交通标志标线和智慧的自适应交通控制系统,使得车行路径清晰有序。优化后的交叉口平均得分从 76 分提高至 85 分,风险等级从 III 级降低至 II 级,改造效果明显。

4 结 语

本文针对畸形交叉口的交通安全问题,首先基于形态学特征对畸形交叉口进行分类,深入剖析其交通安全风险特征;其次,构建了基于“人-车-路-

表3 优化后评估结果

一级指标	二级指标	评价结果	赋分结果
路	几何构造	Ⅲ (1.62)	70
	交叉角度	Ⅳ (33°)	60
	路口偏角	I (<3°)	90
	路口偏移程度	I (<1 个车道)	90
	车道分配状况	I	90
	交通控制方式	I	90
	交通安全设施	I	90
人	交通行为特征	I	90
车	车辆状态特征	I	90
环境	交通环境状况	I	90

环境”系统的定量化风险评估方法;最后,以某典型X形交叉口为实证案例,从车道功能优化、慢行系统完善、交通设施升级和智慧管控技术应用等多个维度实施综合改造。改造后的交叉口安全水平提升显著,通行效率提高明显,为同类节点改造提供了可复制、可推广的技术方案和实践经验。

参考文献:

[1] 徐道祥. 基于交通冲突理论的城市道路交叉口评价与优化[D]. 大连:大连交通大学,2023.

[2] 李晨. 城市道路畸形平面交叉口改造方案研究与实践[J]. 城市道桥与防洪,2018(11):35-39.

[3] 李庆印,李衬衬,谢中教. 畸形交叉口交通组织优化设计[C]//第15届中国智能交通年会论文集. 深圳:中国智能交通协会,2021:1-11.

[4] 田旺龙. 老城区畸形交叉口改造设计与实践研究——以西安市人民路与丰京路交叉口为例[J]. 城市道桥与防洪,2022(11):16-21.

[5] 李劲夫,胡少帅,向健. 多路畸形交叉口交通组织渠化设计研究[J]. 公路与汽运,2019(6):30-33.

[6] 谭振霞,徐辉. 畸形交叉口交通时空整合优化设计研究与实践[C]//第10届中国智能交通年会优秀论文集. 无锡:中国智能交通协会,2018:73-80.

[7] L. Wei, Z. Li, J. Gong, C. Gong and J. Li. Autonomous driving strategies at intersections: Scenarios, state-of-the-art, and future outlooks[C]//2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). Indianapolis: IEEE, 2021: 44-51.

[8] 金海英. 城市道路畸形交叉口安全性评价与优化设计[C]//2022世界交通运输大会(WTC2022)论文集. 武汉:人民交通出版社,2022:2182-2188.

[9] 徐耀赐. 交叉路口的安全风险因素有哪些,安全风险改善的基本策略是什么[J]. 汽车与安全,2019(2):96-103.

[10] 高铁男,巩建强. 我国道路交通事故特征及致因分析[J]. 安全与环境学报,2023,23(11):4013-4023.