

占道作业区平面指标对市政道路通行能力的影响与分级适应性对策研究

蒋 旭

(合肥市规划设计研究院, 安徽 合肥 230041)

摘 要: 城市道路占道作业作为城市建设和维护中的临时交通组织方式, 常因占用机动车道、非机动车道及人行道空间, 直接影响道路通行能力与交通安全。针对上述问题, 首先从车道减少、圆曲线半径不足、车道宽度不足、慢行系统考量不足等多方面分析了占道作业区对通行能力的影响机理, 并揭示了多指标之间的非线性耦合放大效应。在此基础上, 提出了基于“交通需求-空间约束-经济成本”的分级适应性设计对策。研究成果可为占道作业区科学的交通组织提供理论依据与实践参考, 有助于缓解交通拥堵、提升路网运行效率、降低安全隐患。

关键词: 占道作业区; 平面指标; 通行能力; 交通组织; 圆曲线半径; 车道宽度; 慢行系统

中图分类号: TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0343-05

Research on Impact of Planar Indicators of Road-Occupying Operation Areas on Traffic Capacity of Municipal Roads and Hierarchical Adaptive Countermeasures

JIANG Xu

(Hefei Urban Planning and Design Institute, Hefei 230041, China)

Abstract: Urban road occupation operations, as a temporary traffic organization method in urban construction and maintenance, often directly affect road traffic capacity and traffic safety by occupying the space of motor vehicle lanes, non-motored vehicle lanes and sidewalks. To address the above issues, the influence mechanism of the road-occupying operation area on the traffic capacity is first analyzed from multiple aspects of lane reduction, insufficient radius of the circular curve, insufficient lane width, and insufficient consideration of the slow traffic system. And the non-linear coupling and amplification effects among these multiple indicators are revealed. On this basis, a hierarchical adaptive design countermeasure based on “traffic demand - spatial constraints - economic cost” is proposed. The research results can provide a theoretical basis and practical reference for the scientific organization of traffic in road-occupying operation areas, helping relieve the traffic congestion, improve the operational efficiency of the road network and reduce the potential safety hazards.

Keywords: road-occupying operation area; planar indicators; traffic capacity; traffic organization; circular curve radius; lane width; slow-moving traffic system

0 引 言

城市道路占道作业是城市建设和维护中的常见现象, 其直接占用机动车道、非机动车道及人行道空间, 导致车道数量减少、车道宽度变窄、机非混行等问题, 严重影响道路的通行能力^[1]。

据统计, 2024年仅合肥市主城区占道作业施工的市政项目多达59个; 2025年为50项, 平均一周一项。

占道作业直接改变各类交通的空间条件^[2], 例如车道数减少、车道宽度变窄、平面曲线半径不足、非机动车与人行空间被压缩等, 降低了道路的通行能力。作业区路段通行能力降低, 来往车辆、非机动车与行人、施工机械和人员进出、路侧护栏构成了一个复杂的交通环境, 导致车辆被迫出现合流、跟车等运行状态, 容易出现交通拥堵, 路网运行效率下降,

收稿日期: 2026-03-12

基金项目: 安徽省住房城乡建设科学技术计划项目(2023-YF095)

作者简介: 蒋旭(1988—), 男, 学士, 高级工程师, 从事城市道路与交通设计工作。

安全隐患增加。

因此,科学分析占道作业区平面指标对通行能力的量化影响^[3],并提出针对性对策,对提升城市交通临时组织^[4]的安全性及效率具有重要意义。既有研究多聚焦于单一指标的线性影响或规范标准的罗列,对多指标耦合效应、经济性权衡及极端受限场景的适应性关注不足。

本文通过揭示占道作业区多平面指标之间的耦合放大效应,提出基于“交通需求-空间约束-经济成本”三角平衡的分级适应性设计方法,并引入弹性设计区概念,为极端受限条件下的占道作业提供虽不符合规范但可验证的安全过渡方案。

1 平面指标对通行能力的影响分析

城市道路施工占道作业区作为临时交通组织空间^[5],其平面线形指标直接影响施工安全与通行效率^[6]。以下从车道减少、圆曲线半径不足、车道宽度不足及慢行系统考虑不足等多方面展开分析。

1.1 车道减少

车道数量是决定道路通行能力的关键因素^[7]。占道作业导致原有车道被占用,车道数减少,通行截面收缩,车流密度增加,车速下降^[8],极易形成瓶颈路段。尤其在高峰时段,车道减少会引发车辆排队和延误增长,甚至引发区域性拥堵。若未设置合理的交通引导与分流措施,还会导致车辆频繁变道、合流,增加事故风险。通过公式计算,针对不同车道减少情况^[9]的通行能力折减率如表1所示。

表1 不同车道减少情况下通行能力折减率

车道减少情况 (单向)	原车道数	剩余 车道数	通行能力 折减率/%
减少1车道	3	2	21~28
减少1车道	2	1	32~43
减少2车道	4	2	38~47
减少2车道	3	1	52~61

1.2 圆曲线半径不足

占道作业区平面线形设计需遵循动态适应原则,核心指标涵盖平曲线半径、缓和曲线长度及视距三角区。对比多个城市施工案例发现,临时车道常受场地限制,最小平曲线半径很多不满足规范要求。经合肥某工程实测显示,采用40 m曲线半径时,渣土车等大型车辆后轮轨迹偏移量可达1.2 m,严重侵占相邻车道空间;小型车辆侵占相邻车道频率高达81%。半径不足还会导致车辆转弯速度降低、视距受限,易引发侧滑、碰撞等事故。

1.3 机动车道宽度不足

机动车道宽度直接影响车辆行驶的侧向净宽与心理安全感^[10]。占道作业区常因空间受限压缩车道宽度,尤其是大型车或混行车道宽度不足时,车辆通行姿态受限,驾驶员心理压力增大^[11],容易产生减速、犹豫等行为,降低路段整体通行效率。宽度不足还会导致非机动车与行人空间被挤压,机非冲突加剧,安全隐患上升。

当施工围挡紧贴车道边缘时,侧向净宽不足,驾驶员会产生“侧壁效应”^[12],本能地减速并向内侧偏移。据现场观测数据统计,围挡距车道边缘小于0.25 m时,平均速度下降9%~15%,速度标准差增大30%以上,表明驾驶行为一致性显著恶化。

1.4 慢行系统考虑不足

城市作业区多位于城市内部,周边开发强度大,慢行交通需求高,而目前占道作业安全相关规范大都参照公路体系,对非机动车、行人考虑较少。工程实践中往往为了保证车道数而牺牲非机动车和行人通行空间^[13],通行净宽不足,引发机非混行、人非混行^[14],既增加了非机动车与行人的交通危险,又使机动车行驶环境更加复杂。根据合肥某工程实地观测,非机动车道宽度为1.5 m时,非机动车侵占机动车道通行的比例达到32%,导致机动车道通行能力额外下降18%~22%。

1.5 多指标耦合放大效应

值得关注的是,上述指标并非独立作用。当车道减少与宽度不足同时出现时,车辆横向净宽与纵向密度双重受限,仿真显示其通行能力折减率比单一指标叠加值高出12%~18%。例如,3车道减为2车道且宽度由3.5 m压缩至3.0 m时,通行能力折减率达41%,而单一指标预测值仅为33%。这种非线性放大效应在现行规范与多数研究中未被充分量化,是导致实际占道作业区拥堵程度超预期的关键原因。同样,半径不足与宽度压缩同时存在时,大型车轨迹偏移与侧壁效应相互叠加,事故风险提升更为显著。

1.6 通行能力折减计算模型与仿真验证方法

为量化上述影响,本文建立以下理论计算模型,并采用VISSIM进行微观仿真验证。

1.6.1 基础通行能力折减模型

占道作业区实际通行能力可表示为:

$$Q_x = C_b \times N \times f_w \times f_e \times f_m$$

式中: C_b 为基本路段单车道通行能力(按40 km/h标

准,取 1 650 pcu/h); N 为车道数,根据表 1 取中值(如 2 车道减为 1 车道,取 0.625); f_w 为车道宽度折减系数,参考 HCM 2010^[3]及实测数据,宽度 3.0 m 时取 0.92,2.8 m 时取 0.85; f_c 为圆曲线折减系数,根据半径及大型车比例确定,半径 40 m 时取 0.85; f_m 为机非混行折减系数,根据非机动车侵占率确定,取 0.80~0.95。

1.6.2 VISSIM 仿真设置与校准

以合肥市某双向 6 车道主干道为例,构建长 600 m 的占道作业区 VISSIM 模型。

路网与车型:设置 3 车道(作业区压缩为 2 车道,宽度 3.0 m),大型车比例 10%,非机动车道宽 1.5 m(设机非物理隔离)。

交通需求:输入晚高峰流量(单车道 1 650 pcu/h)。

驾驶行为参数:采用 Wiedemann 99 跟驰模型。关键校准参数为:CC0(停车间距)取 1.5 m,CC1(车头时距)取 1.2 s,CC2(跟车距离波动)取 4.0 m。

期望速度分布:40±10 km/h。

校准依据:以合肥市某同类占道工程实测平均车速(22.5 km/h)与排队长度(220 m)为目标值。通过反复迭代调整 CC1 与期望速度分布,使仿真输出与实测数据的相对误差控制在±5%以内,验证了模型的有效性。

2 分级适应性设计对策与量化指标体系

针对常规对策新颖性不足、费用敏感性高的问题,本文提出基于“交通需求-空间约束-经济成本”三角平衡的分级响应框架。与既有研究的根本区别在于,该框架将每一级对策转化为基于明确阈值判定的“可计算、可判别”的指标体系,具体如下。

2.1 基础级对策:规范符合性设计

判别条件:占道时长>30 d,或高峰小时 $V/C > 0.85$,或有大型车通行需求>20%。

“通行能力补偿”原则:在机动车交通量较大、易发生拥堵的作业区,若占用车道,则优先通过调整标线或临时拓建等方式补偿一条车道^[15],以维持原有通行能力。若无法实现,则考虑提升邻近平行道路的通行能力,并制定绕行分流的“平行补偿”方案。

圆曲线半径及加宽:折点及渐变段过渡应尽可能平滑、顺直,满足规范^[16]对最小半径与停车视距的要求;当半径不足时按标准进行车道加宽。

机动车道最小宽度:参照规范^[16-18],用地严重受限且限速≤40 km/h、无大型车时,最小宽度可采用 3.0 m;交叉口进口道困难情况下可降至 3.0 m,极端

受限时小客车专用道不应小于 2.80 m。

慢行系统宽度:在现代城市交通中,非机动车的构成已发生了根本性变化,电动自行车占据了主导地位^[19],故其通行有着更高的需求。非机动车道与人行道应满足规范^[20]并提高标准,特殊情况下合并设置宽度不宜小于 4.5 m,用地受限时取 3.0 m,局部极小流量可压缩至 2.5 m,不得小于 2.0 m。

通过 VISSIM 以合肥市某工程为例,在双 6 车道正常封闭与“通行能力补偿”条件下输入高峰期流量进行仿真,可使通行能力提升约 39%,平均延误下降 38.8%,结果如表 2 所示。

表 2 不同封闭条件下路段通行能力对比

指标	正常封闭	通行能力补偿	改善幅度
原车道数	3	3	—
占用情况	封闭 1 车道	封闭 1 车道,外侧补偿	—
剩余车道数	2	3	+50%
通行能力/(pcu·h ⁻¹)	1 795	2 495	+39%
平均速度/(km·h ⁻¹)	22.5	28.6	+27.1%
平均延误/(s·veh ⁻¹)	85	52	-38.8%
排队长度/m	220	160	-27.3%

2.2 优化级对策:动态权衡与边际效益优选

判别条件:不满足基础级判别条件,即占道时长 7~30 d 且 $0.7 < V/C \leq 0.85$ 且大型车比例<20%。

在基础级无法实施或成本过高时,应进行边际效益分析。以“通行能力补偿”为例:

当占道后剩余车道通行能力与需求流量之比(V/C)>0.85,且占道时长>7 d,实施“通行能力补偿”的延误降低效益约为 33 s/veh,成本约 12~20 万元/km,估算 BCR≈1:2.8;

当 $V/C < 0.7$ 或占道时长<7 d,实施“通行能力补偿”的 BCR 较低(约 1:4.2)。若不外拓车道进行补偿,仅采用诱导绕行+渠化改善的改善方式,成本能降低约 5~18 万元/km,BCR 更高,约为 1:2.3。

据此提出决策矩阵,选择效益更高的方式,如表 3 所示。

2.3 弹性级对策:弹性设计区方案

判定条件:用地严重受限,无法满足规范最小值(如小客车车道需<2.8 m),且同时满足以下 4 项量化准入条件。

传统规范在此类场景下失去适用基础。本文提出弹性设计区概念,在同时满足以下 4 项附加条件

表 3 占道作业对策决策矩阵

占道时长	V/C 比	大型车比例	推荐对策	预期通行能力折减改善
短 (<7 d)	<0.7	任意	诱导绕行+标线优化	10% ~ 15%
中 (7 ~ 30 d)	0.70 ~ 0.85	<20%	局部加宽+信号协调	20% ~ 25%
长 (>30 d)	>0.85	任意	占一还一	30% ~ 40%

的前提下,允许机动车道宽度采用 2.5 ~ 2.8 m。

(1) 限速≤30 km/h(《城市道路工程设计规范》中支路最低设计速度);

(2) 采用硬质隔离(如混凝土护栏)与强制减速设施(如减速带、隆声带)(驾驶员侧壁效应的心理阈值研究及安徽省地方标准^[20]);

(3) 设置动态限高与声光警示系统(预警触发距离≥25 m,基于驾驶员反应时间 3 s 及 30 km/h 速度计算);

(4) 占道时长≤30 d,且无大型车,基于经济性分析,超过此期限则基础级对策的 BCR 反超)。

此类“弹性设计”通行能力较规范最小值仅下降 6% ~ 9%,但可避免完全封闭道路引发的路网瘫痪。该方案已在合肥市茗香路施工封闭方案中试点应用(双向 2 车道,宽度 2.5 m,限速 20 km/h,硬质隔离+智能警示,时长 30 d,无大型车通行需求),监测期内无事故,且周边路网未出现严重拥堵。该方案为极端受限条件下的占道作业提供了一条可行路径。

3 关键参数敏感性分析

为验证所提模型与对策的鲁棒性,本章针对不同占道时长、交通量及车型比例进行 VISSIM 仿真对比分析。

3.1 不同占道时长的对策效果对比

以 V/C=0.9、大型车比例 15% 的场景为例,对比“占一还一”(基础级)与“仅诱导”(优化级降级方案)在占道时长分别为 7、30、90 d 下的综合效益(延误总损失降低值减去实施成本)。如图 1 所示,仿真结果表明:

7 d:两方案综合效益接近,但“仅诱导”方案因成本低略优。

30 d:“占一还一”方案的综合效益超出“仅诱导”方案约 22%。

90 d:“占一还一”方案的综合效益超出“仅诱导”方案超过 60%,验证了表 3 决策矩阵中时长阈值

的合理性。

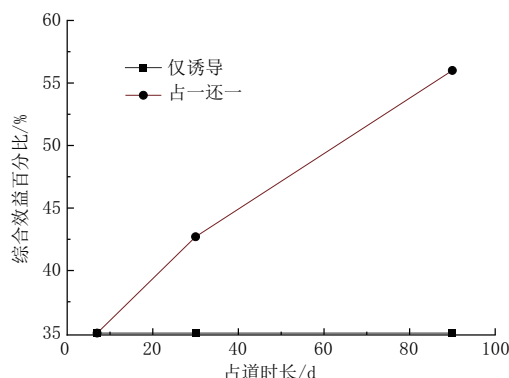


图 1 不同占道时长方案综合效益对比图

3.2 不同交通量下的性能敏感性

在占道时长 30 d、大型车比例 15% 的固定背景下,改变输入流量(V/C 从 0.6 到 1.0),评估基础级对策(占一还一)相对于无对策(仅简单封闭)的通行能力提升率,如图 2 所示。

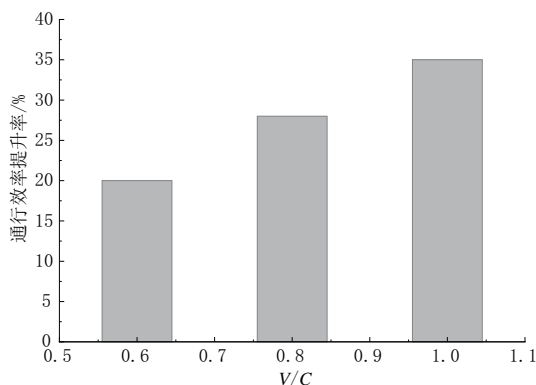


图 2 不同 V/C 值通行能力提升率对比图

3.3 不同车型比例下的性能敏感性

在占道时长 30 d、V/C=0.85 的背景下,比较大型车比例为 0%、10%、20%、30% 时,弹性级对策(2.5 m 窄车道+限速+硬隔离)相对于规范最小值(3.0 m)方案的安全性与效率。

大型车=0%:窄车道方案通行能力为规范方案的 93%,事故率为 0(模拟数据)。

大型车=10%:窄车道方案通行能力骤降至规范方案的 79%,且仿真中出现大型车频繁骑线行驶,刮擦事故风险显著升高。

大型车≥20%:模型无法收敛,通行能力崩溃。这为弹性级对策中“无大型车”的硬性阈值提供了强有力的量化支撑。

4 对策经济性与适用边界研究

建议优先评估外围绕行可行性(成本最低、社会影响小);其次,采用“通行能力补偿”与弹性设计相

结合的组合方案,避免在低流量短时占道场景下过度投入。

常用对策的估算成本^[21]与通行能力提升效果如表 4 所示。

表 4 常用对策经济性与效果对比

对策方案	估算成本/ (万元·km ⁻¹)	通行能力提 升率	适用场景
占一还一	15 ~ 25	30%~40%	长占道、高流量、有 拓建空间
外围绕行诱导	3 ~ 8	10% ~ 20%	有平行替代路网、短 中期占道
车道压缩+限速	0.5 ~ 2.0	5% ~ 10%	极短时、低流量、无 大型车
弹性设计区 (2.5 ~ 2.8 m)	8 ~ 12	20% ~ 25%	用地严重受限、无法 绕行、无大型车

5 结 语

城市道路占道作业区平面指标的合理设计是保障临时交通组织安全、高效运行的关键。本文通过量化分析车道减少、圆曲线半径不足、车道宽度压缩及慢行系统侵占对通行能力的影响,首次揭示了多指标之间的非线性耦合放大效应。

基于此,本文突破常规对策的静态规定,提出了基于量化判定指标的分级适应性设计框架(基础级-优化级-弹性级),建立了通行能力折减理论模型与 VISSIM 仿真验证方法。其中,量化决策矩阵与弹性设计区的准入条件,为现有规范未覆盖的工程场景提供了可操作的、边际效益导向的方案。

通过不同占道时长、交通量及车型比例的敏感性对比分析,对所提阈值与决策规则进行了验证。经济性讨论进一步增强了所提对策的工程落地性。本研究可有效缓解大多数工况下占道作业对通行能力的负面影响,提升城市交通系统的韧性与适应性。未来应进一步结合实时交通数据与强化学习算法,开发占道作业区动态自适应设计工具,实现“千路千面”的精细化管理。

参考文献:

[1] 刘岩.基于交通特征的占道作业安全设施设置方法研究[J].四川

- 建材,2025,51(3):238-240.
- [2] 邵长桥,郭杰.基于等效通行能力的施工区交通影响评价方法[J].科学技术与工程,2023,23(20):8873-8880.
- [3] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2010[M]. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2010.
- [4] 朱彬.浅析城市道路施工期临时交通组织[J].城市道桥与防洪,2013(8):201-203;393.
- [5] 江越云.城市干道占道施工对道路交通影响及交通组织方法优化——以福州市轨道交通东街口站占道施工为例[J].福建交通科技,2022(6):99-102.
- [6] 吕强华,广晓平.城市道路施工期间交通组织设计方法研究[J].甘肃科技纵横,2019,48(3):47-50.
- [7] 程国柱,周传森,别一鸣.占道施工影响下区域路网容量计算与关键路段识别方法[J].哈尔滨工业大学学报,2024,56(3):126-135;142.
- [8] 裴玉龙,何庆龄,徐慧智,等.城市道路占道施工条件下基于速度-流量的交通疏解预测模型[J].公路交通科技,2023,40(1):200-207;270.
- [9] 于玲,姜丝雨,孙宝芸.不同车道被占用时通行能力的影响因素分析[J].中外公路,2019,39(1):287-291.
- [10] 曾强,吴献,王雪松,等.道路作业区驾驶行为与交通安全研究综述[J/OL].中国公路学报,2025:1-23(2025-12-08)[2026-03-11].<https://link.cnki.net/urlid/61.1313.U.20251208.1505.017>.
- [11] 乔建刚,李士宣,刘伟璐,刘卫勇.驾驶员心率变化与改扩建道路弯坡比和行车速度差关系[J].福州大学学报(自然科学版),2020,48(1):105-109.
- [12] 李振江,万利,吴涛,等.隧道侧壁效应下的交通流粘滞特性建模[J].吉林大学学报(信息科学版),2022,40(6):937-945.
- [13] 樊春艳,钟奇,申明亮,等.城市水环境治理工程占道施工交通疏解方案研究[J].中国农村水利水电,2018(11):120-123.
- [14] 范文婷.地铁占道施工区对交叉口混合车流通行能力影响的模型研究[J].公路工程,2018,43(5):74-78.
- [15] 安文娟,谯志.城市干道占道施工交通组织方法研究——以重庆鹅公岩大桥钢桥面翻修施工交通组织为例[J].公路交通技术,2014(4):153-157;163.
- [16] CJJ 37—2012 城市道路工程设计规范[S].
- [17] JTG B01—2014 公路工程技术标准[S].
- [18] CJJ 152—2010 城市道路交叉口设计规程[S].
- [19] 张骏,郑楠,黄崇轩.城市中心区非机动车系统设计优化与探索[J].北京航空航天大学学报,2019,45(6):1218-1231.
- [20] DB34/T 4717—2024 城市道路占道作业交通安全防护技术规范[S].
- [21] 徐丽萍,邓明君.道路全封闭施工期交通组织方案综合成本分析方法[J].昆明理工大学学报,2020,45(6):159-167.