

城市过江通道施工期交通影响分析

——以橘子洲大桥为例

谢冰¹, 史晓琼¹, 薛浩楠²

(1. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410008; 2. 新疆交通规划勘察设计院)

摘要:城市过江通道在高峰期极易造成拥堵,严重影响周边路网的运行效率,已成为城市交通的瓶颈之地。针对过江通道在施工期间会增加路网的交通负荷,提出一种过江通道施工期交通影响分析思路和方法。首先结合路阻函数和干道合围法确定交通影响范围,其次运用手机信令分析方法获取车流 OD 分布,识别主要分流通道与分向分流比例。然后计算由于施工需向周边通道分流转移的交通量,根据通行能力和现状饱和度获得周边通道的剩余交通容量。接着预测转移交通量在路网上的分配情况,对比分流前后的路网饱和度。最后对橘子洲大桥施工项目展开实例研究,调查橘子洲大桥周边路网设施和交通运行现状,基于既有施工封闭方案进行交通影响分析。结果表明:夜间半幅和整幅封闭方案下的路网整体运行较顺畅,交通影响可接受;日间整幅封闭机动车道方案下的周边过江通道均为超饱和状态,交通影响不可接受;24 h 半幅封闭人行道方案下的部分疏散通道接近饱和状态,其他道路交通压力增长不明显;实施“三桥两隧”限行方案后的橘子洲大桥周边通道交通压力得到明显缓解,饱和度和较限行前大幅度降低,整体运行较为顺畅。

关键词: 交通管理; 过江通道; 施工期; 交通影响分析; 转移交通量

对于沿江发展的城市,完善的过江通道是跨江发展的重要保障。随着机动化和城市化的不断推进,过江车辆急剧增加,高峰时期过江通道的拥堵会严重影响整个路网的运行效率,目前已成为城市交通的瓶颈之地。此外,建设年限较早跨江大桥的桥面铺装还出现了不同程度的病害,影响了行车安全性与舒适性。为提升桥梁的通行能力,缓解城市交通拥堵,减少后期养护成本,对过江通道进行提质改造迫在眉睫。过江通道在施工期间会迫使出行者绕行至其他通道过江,增加了影响区域内路网的交通负荷,因此有必要对施工期过江通道对周围道路交通的影响进行分析。

目前中国对于过江通道施工期交通影响分析的研究尚处于起步阶段,关于大型市政工程施工交通影响分析的研究大多是围绕城市道路或轨道交通。Arash Olia 等提出采用车联网信息系统实现车辆与基础设施之间的互联互通,可避免车辆行驶至施工区域;Ahmed Al-Kaisy 等统计了加拿大多伦多市加丁纳高速公路上的大量交通流数据,发现施工区路段的通行能力存在显著差异;王志强等针对城市高架道路,提

出了不同施工过程的交通组织方法,并应用到武汉市二环线施工项目中,达到了预期的效果;王东炜等基于系统可靠度的思想,提出了地铁施工期间的路网可靠度算法,并以郑州地铁 2 号线为例进行分析。针对城市过江通道施工的研究较少,使得现在往往依靠管理者的经验来制定过江通道的施工和交通组织方案,普遍以定性为主,存在着主观性,缺少相关的定量研究。已有的研究主要是侧重于提出过江通道施工期的交通组织方案,没有对过江通道施工期的交通影响分析展开研究。

基于现有研究,该文以城市过江通道施工期交通影响分析为研究对象,从交通影响范围的确定、转移交通量的生成与分配等方面,系统性地提出一种过江通道施工期交通影响分析思路和方法。

1 过江通道施工期交通影响分析思路

过江通道施工期交通影响分析包括交通影响范围的确定、转移交通量的生成、转移交通量的分配 3 个步

骤,如图 1 所示。具体思路如下:

(1) 交通影响范围的确定

先根据过江通道施工项目所在区域的路网结构和交通特性,基于居民的出行特征采用结合路阻函数和干道合围的方法确定核心影响区和外围影响区,再运用手机信令分析方法获取过江通道影响范围内车流 OD 分布,进而识别主要分流通道与分方向的分流比例。

(2) 转移交通量的生成

先根据车道宽度、非机动车和行人交通、施工大型

车混入等因素,分析施工对过江通道通行能力的影响,计算由于施工需向周边通道分流转移的交通量,具体包括转移交通总量和分方向转移交通量,再基于过江通道周边的替代通道及其他道路的通行能力,推算剩余交通容量。

(3) 转移交通量的分配

预测流量在影响范围内路网上的分配情况,根据现状与施工期分流后的交通量和饱和度指标,分析施工对周边通道及路网的影响程度。

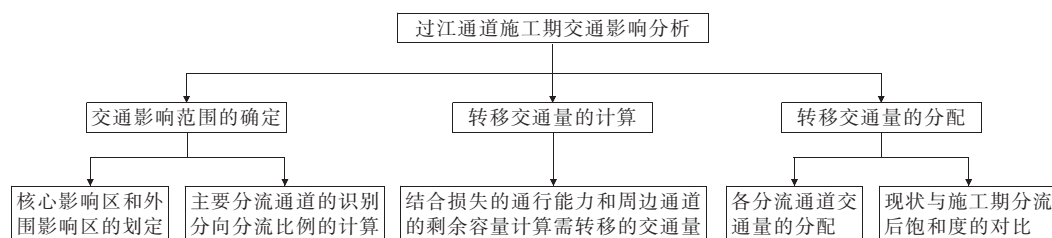


图 1 交通影响分析思路

2 过江通道施工期交通影响分析方法

2.1 交通影响范围的确定

(1) 核心影响区和外围影响区的划定

交通影响范围指由于受施工区域影响的交通流的辐射范围,可分为核心影响区和外围影响区,常用的交通影响范围确定方法有经验法、圈层外推法和烟雨模型法等,但这些方法存在主观性强、假设条件太多、参数标定较困难等缺陷。该文提出一种结合路阻函数和干道合围的方法来确定交通影响范围,基本思想是先计算交通影响范围半径,再结合城市实际干道布局综合确定核心影响区和外围影响区。设第 h 种出行方式的交通影响范围半径为 r_h ,用式(1)表示:

$$r_h = f_h \times T \times \alpha \times \beta \quad (1)$$

式中: f_h 为第 h 种出行方式的路阻函数值(km/h); h 为出行方式(1,2,3 分别表示私家车、出租车和公交车); T 为居民可接受的最长出行时间(h); α 为施工规模等级系数; β 为路网折算系数。

在确定单一出行方式交通影响范围的基础上,根据施工区域周边各种交通方式的分担率,对影响范围半径进行加权平均,将加权值最大的作为交通影响范围半径 r ,用式(2)表示:

$$r = \max\{r_h \times \omega_h\} / \omega_h \quad (2)$$

式中: ω_h 为第 h 种出行方式的权重。

通过分析施工路段邻近区域周围的交叉口,比较

施工前后施工路段以及周边道路和交叉口的交通流量,该文提出的交通影响范围确定方法的核心在于各相关参数的选取。其中不同出行方式的路阻函数值、可接受的最长出行时间和各种出行方式权重可根据居民出行调查结果得到,施工规模等级系数按照道路施工周期和范围综合确定,路网折算系数通常与实际道路路网结构相关。

(2) 主要分流通道的识别及分方向分流比例的计算

主要分流通道的识别及分方向分流比例的计算需要首先获取跨江车流 OD 分布,针对传统 OD 调查时间成本投入大、可靠性差、样本量有限等缺陷,该文基于手机信令获取并分析过江通道影响范围内的出行者 OD 分布特征,具有精度高、样本量大、连续性好等优点。其主要思路是:首先采集路网和运营商基站扇区分布信息,其次将基站覆盖和道路进行匹配与拟合,形成高速公路、快速路、城市主次干道的扇区与道路的对对应关系,然后对采集到的数据进行过滤和格式化,剔除缺失了重要字段和重复冗余的数据,最后通过筛查得到跨江车流 OD 数据。在对手机信令数据进行跨江车流出行行为分析时,关键是要识别手机用户出行轨迹点的状态,进而获得跨江车流的 OD 信息,再通过分析 OD 数据,进一步识别出主要分流通道,获得各方向的分流比例。

出行轨迹点状态分为停留状态和运动状态两种,该文利用同一个手机用户在相邻时间定位点之间的距离和设定的距离阈值进行比较,从而判断出行轨迹点

状态,同时剔除运动状态的点,剩余停留状态的点可形成出行轨迹线,以此获取跨江车流的 OD。设 i 时刻和 j 时刻的状态分别为 l_i 和 l_j , i 时刻与 j 时刻之间的距离为 s_{ij} ,设定的空间距离阈值为 s ,轨迹点状态的判定步骤如下:

步骤 1:初始化每个手机用户的状态均为停留状态,设定 s 并计算 s_{ij} 。

步骤 2:判断 l_i 是否为停留状态,若是,则转到步骤 3,若不是,则转到步骤 4。

步骤 3:判断 s_{ij} 是否小于 s ,若是,则 l_j 为停留状态,若不是,则 l_j 为移动状态。

步骤 4:判断 s_{ij} 是否小于 s ,若是,则 l_i 和 l_j 均为停留状态,若不是,则 l_i 和 l_j 均为移动状态。

2.2 转移交通量的生成

转移交通量的生成是指根据过江通道因施工而损失的通行能力,结合周边通道的剩余容量计算需转移的交通量。其中转移交通总量为现状交通量与通道通行能力的差值,分方向转移交通量为转移交通总量按分向比例进行折算,周边通道剩余容量可根据过江通道周边道路的通行能力和现状饱和度进行计算。因此,关键问题是确定因过江通道施工而折损的通行能力以及需转移的交通量。

关于过江通道施工占用道路的范围,可将施工封闭方案分为双向封闭和半幅封闭两种类型。其中双向封闭会阻断现有交通,施工期过江通道的通行能力为 0。半幅封闭不仅会使得通行能力减半,而且由于受到车道宽度、非机动车和行人交通、施工大型车混入等因素的影响,通行能力减半后仍会进一步折减。设半幅封闭施工方案下过江通道的实际通行能力为 c_s ,由式(3)表示,需转移的交通量为 v_t ,由式(4)表示。

$$c_s = c_j \times k_f \times k_r \times k_v \times k_d \times k_w \tag{3}$$

$$v_t = v_m - c_s \tag{4}$$

式中: c_j 为减半后的过江通道基本通行能力(pcu/h); k_f 为非机动车修正系数; k_r 为行人修正系数; k_v 为大型车混入率修正系数; k_d 为驾驶员适应性修正系数; k_w 为车道宽度修正系数; v_m 为过江通道未施工时的现状交通量(pcu)。

2.3 转移交通量的分配

(1) 各分流通道交通量的分配

将过江通道因施工需分流的交通量分配到影响区域内的其他道路上,该文提出一种基于随机用户均衡的配流模型,假设过江通道施工影响范围内的 OD 需求总量不变,在各个交叉口每个进口道均设有左转、右

转和直行车道,且不计右转车辆的延误。模型如下:

$$\min f = \frac{1}{\theta} \sum_r \sum_s \sum_{x \in X_{rs}} f_x^{rs} \ln f_x^{rs} + \sum_m \int_0^{u_m} t_m(\omega) d\omega + \sum_{mn} \int_0^{v_{mn}} d_{mn}(\omega) d\omega \tag{5}$$

$$\sum_{x \in X_{rs}} f_x^{rs} = q_{rs}, \forall r, s, x \tag{6}$$

$$f_x^{rs} \geq 0, \forall r, s, x \in X_{rs} \tag{7}$$

$$u_m = \sum_r \sum_s \sum_{x \in X_{rs}} f_x^{rs} \varphi_{m,x}^{rs}, \forall m, r, s, x \tag{8}$$

$$v_{mn} = \sum_r \sum_s \sum_{x \in X_{rs}} f_x^{rs} \varphi_{mn,x}^{rs}, \forall m, n, r, s, x \tag{9}$$

$$t_m = t_0(y_m)[1 + \gamma(y_m/c_m)^\delta] \tag{10}$$

$$d_{mn} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g_{mn}}{c}\right)^2}{1 - [\min(1, s_{mn}) \frac{g_{mn}}{c}]} + 900t \cdot [(s_{mn} - 1) + \sqrt{(s_{mn} - 1)^2 + \frac{8kly_{mn}}{c_{mn}t}}] \tag{11}$$

式中: θ 为出行者对路况信息的了解程度,一般采用极大似然法标定; t_m 为车辆在路段 m 上的行驶时间; y_m 为路段 m 上的交通量; y_{mn} 为流向 mn 上的交通量; q_{rs} 为从 r 到 s 的 OD 交通量; f_x^{rs} 为 OD 对之间在路径 x 上的交通量; $\varphi_{m,x}^{rs}$ 为路段—路径系数(若路段 m 在连接 r 与 s 的 OD 对之间的路径 x 上,则 $\varphi_{m,x}^{rs} = 1$,否则 $\varphi_{m,x}^{rs} = 0$); $\phi_{mn,x}^{rs}$ 为流向—路径系数(若路段 m 一路段 n 在连接 r 与 s 的 OD 对之间的路径 x 上,则 $\phi_{mn,x}^{rs} = 1$,否则 $\phi_{mn,x}^{rs} = 0$); d_{mn} 为路段 m 上的交通量流向路段 n 时的交叉口延误时间; g_{mn} 为流向 mn 的有效绿灯时间; s_{mn} 为流向 mn 的车道组饱和度; c_{mn} 为流向 mn 的车道组通行能力; c 为信号周期时长; t 为分析时长。

(2) 现状与施工期分流后饱和度的对比

将不同施工方案下分流后的路网饱和度与现状情况进行对比,分析过江通道施工期对区域内路网的交通影响,判断交通车流状态的负载程度,城市道路路段及交叉口服务水平判定标准见表 1。

表 1 路段及交叉口服务水平判定标准

服务水平	饱和度(V/C)	交通流情况描述
A	≤ 0.25	自由交通流
B	(0.25 0.50]	稳定车流,稍有延误
C	(0.50 0.70]	稳定车流,能接受的延误
D	(0.70 0.85]	接近不稳定车流,有较大的延误
E	(0.85 0.95]	不稳定车流,交通拥堵,延误较大
F	≥ 0.95	强制性车流

3 实例分析

3.1 项目概述

橘子洲大桥是长沙市最早建设的跨湘江大桥,地处城市中心区域,东临五一大道,西接枫林一路,串联橘子洲公园、岳麓山景区、西湖文化园、梅溪湖新区,一直是长沙最繁忙的过江通道之一。为解决当前橘子洲大桥桥面坑洼较多,影响车辆安全通行等问题,需要对桥梁进行升级改造,既有施工封闭方案如表 2 所示。为配合橘子洲大桥封闭施工,采取“三桥两隧”限行方

案,限行通道为福元路大桥、银盆岭大桥、猴子石大桥、南湖路隧道和营盘路隧道,限行时间为 07:00—22:00。下文具体分析不同封闭方案和是否采取限行措施情况下对周边路网的交通影响。

3.2 现状交通调查

(1) 现状路网设施

橘子洲大桥全长 1 250 m,桥面净宽 20 m,其中车行道 14 m,双向四车道,两侧人行道各 3 m。周边共有过江通道 7 条,快速路 4 条,主干路 20 条,次干路 7 条,如表 3 所示。

表 2 既有施工封闭方案

阶段	封闭时间/d	封闭方案	阶段	封闭时间/d	封闭方案
1	4	白天通行,夜间封闭南半幅机动车道	5	18	白天通行,夜间封闭北半幅机动车道
2	4	白天通行,夜间封闭北半幅机动车道	6	15	全天候封闭南半幅人行道
3	6	全天候整幅全封闭机动车道	7	15	全天候封闭北半幅人行道
4	18	白天通行,夜间封闭南半幅机动车道			

表 3 橘子洲大桥周边过江通道及主要道路情况

类型	过江通道及主要道路名称(典型路段双向车道数)
过江通道	三汊矶大桥(6)、福元路大桥(6)、银盆岭大桥(4)、银盘路隧道(4)、橘子洲大桥(4)、南湖路隧道(4)、猴子石大桥(6)、湘府路大桥(6)
快速路	东二环(8)、南二环(8)、西二环(10)、北二环(8)
主干路	福元路(6)、岳麓大道(12)、银杉路(6)、开福大道(6)、三一大道(8/10)、桐梓坡路(6)、咸嘉湖路(6)、晚报大道(8)、枫林路(6)、五一大道(10)、人民路(6/8)、城南路(6)、劳动路(6)、金星路(10)、潇湘大道(6)、湘江大道(8)、书院路(6)、芙蓉路(8)、韶山路(8)、车站路(4)
次干路	黄兴路(6)、八一路(4)、解放路(4/6)、曙光路(2/4)、白沙路(2/4/6)、南湖路(4)、麓山南路(4)

(2) 现状路网交通运行
根据连续一周的交通量观测,城区内主要过湘江

通道的高峰小时交通量及饱和度如表 4 所示,现状早高峰路网运行情况如图 2(a)所示。

表 4 过江通道高峰小时交通量及饱和度

过江通道名称	高峰小时交通量/(pcu · h ⁻¹)	饱和度	过江通道名称	高峰小时交通量/(pcu · h ⁻¹)	饱和度
三汊矶大桥	7317	0.76	橘子洲大桥	5460	0.97
福元路大桥	5943	0.71	南湖路隧道	4150	0.74
银盆岭大桥	6134	0.95	猴子石大桥	9659	0.97
营盘路隧道	4750	0.85	湘府路大桥	7274	0.80

3.3 交通影响分析

(1) 交通影响范围的确定

根据 2.1 节关于核心影响区和外围影响区的划定方法,首先根据长沙市居民出行调查结果得到各种交

通方式的路阻函数值和不同出行目的下居民可接受的最长出行时间,然后通过分析橘子洲大桥提质改造施工方案确定施工规模等级系数,由于长沙市中心城区的路网结构较不规则,因此该文采用棋盘式路网的折算系数进行计算,最终划定橘子洲大桥提质改造施工

期间的核心影响区为芙蓉路、南湖路隧道、阜埠河路、麓山路、枫林路、金星路、岳麓大道和三一大道围合的区域,外围影响区为东二环、南二环、西二环、北二环围合的范围,如图 2(b)所示。

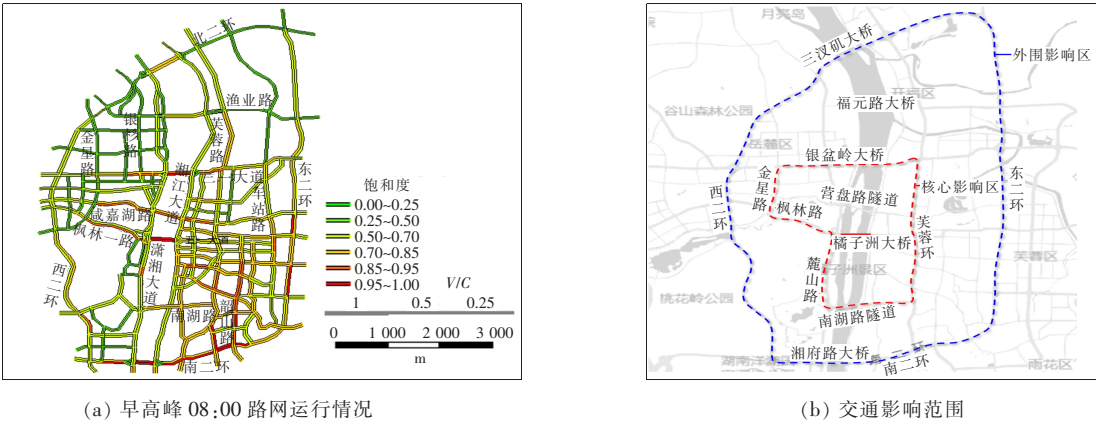


图 2 现状早高峰路网运行情况及交通影响范围

根据 2.1 节中关于主要分流通道的识别及分向分流比例的计算方法,首先采集长沙市中心城区路网和运营商基站扇区分布信息,得到路网与基站扇区的对应关系,其次采用手机信令方法对长沙市居民出行和机动车出行 OD 数据进行调查,得到长沙市跨江车流的 OD 分布,然后对数据进行处理,剔除缺失、有误和重复冗余的数据,接着以湘江为东西方向界线,橘子洲大桥为南北方向界线,针对橘子洲大桥周边的 7 个跨湘江通道,分析跨江车流的 OD 出行分布特征,最后得出通过橘子洲大桥的车流 OD 绝大多数位于福元路大

桥以南、湘府路大桥以北的区域。橘子洲大桥南北两侧邻近的两条过江通道具有较大程度的替代性,南湖路隧道和营盘路隧道将承担主要的分流任务。经测算,以橘子洲大桥为界限,南部与北部交通生成量之比约为 6 : 4,即设定南北分流比例为 6 : 4。

(2) 转移交通量的生成

根据 2.2 节关于转移交通量的生成方法,通过对现状交通调查数据的分析,得到各封闭方案下需转移的交通量,如表 5 所示。

表 5 各封闭方案下橘子洲大桥需转移的交通量

封闭方案	分方向	需转移的交通量/(pcu · h ⁻¹)	封闭方案	分方向	需转移的交通量/(pcu · h ⁻¹)
夜间半幅封闭 机动车道	南侧	940	夜间整幅封闭 机动车道	南侧	2450
	北侧	626		北侧	1 716
	总量	1 566		总量	4 166
日间整幅封闭 机动车道	南侧	3276	24 h 封闭 半幅人行道	南侧	455
	北侧	2184		北侧	304
	总量	5460		总量	759

结合现状影响区内各条主要道路的流量及饱和度,测算出不同施工方案下周边主要分流通道高峰期的剩余交通容量,其中夜间半幅和整幅封闭机动车道情况下周边通道的剩余交通容量充足,橘子洲大桥周

边南湖路隧道、营盘路隧道均为自由流,可满足分流要求。日间整幅封闭机动车道和 24 h 封闭半幅人行道情况下的周边通道剩余交通容量如表 6 所示。

表 6 部分封闭方案下周边通道剩余交通容量

封闭方案	分方向	通道剩余容量/(pcu·h ⁻¹)	封闭方案	分方向	通道剩余容量/(pcu·h ⁻¹)
日间整幅封闭 机动车道	南侧	1 751	24 h 封闭 半幅人行道	南侧	876
	北侧	1 167		北侧	584
	总量	2 918		总量	1 460

(3) 转移交通量的分配

根据 2.3 节关于转移交通量的分配方法,将转移的交通量加载到周边道路上,得到不同封闭方案下橘子洲大桥交通疏解后的路网交通分配结果。

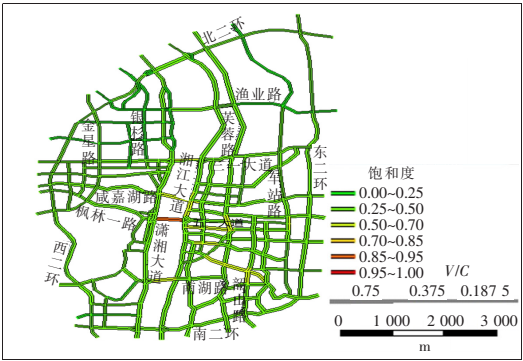
在夜间半幅封闭机动车道方案下,橘子洲大桥饱和度和有所增加,但仍处于较为畅通的状态,周边路网运行顺畅,交通影响可接受,如图 3(a)所示。

在夜间整幅封闭机动车道方案下,橘子洲大桥周边的营盘路隧道和南湖路隧道饱和度有较大的增加,增幅分别达到 47.92%和 76.19%,但路网整体运行较顺畅,交通影响可接受,如图 3(b)所示。

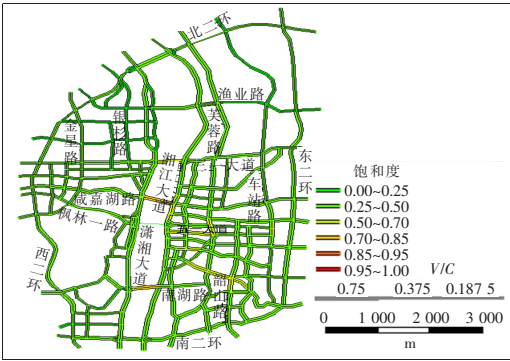
在日间整幅封闭机动车道方案下,橘子洲大桥施工对自身及周边通道影响非常明显,周边过江通道均为超饱和状态,其中营盘路隧道和南湖路隧道饱和度增幅分别为 47.30%和 29.41%,对橘子洲大桥两端衔

接道路及分流转换道路的影响非常明显,受分流影响五一大道和枫林一路的饱和度有所降低,咸嘉湖路、岳麓大道、南二环等部分路段的饱和度超过 0.95,潇湘中路、湘江中路、芙蓉路等道路的交通压力明显增长,对外围影响区的银杉路、金星路等也有一定的影响,路网整体运行不顺畅,交通影响不可接受,见图 3(c)。

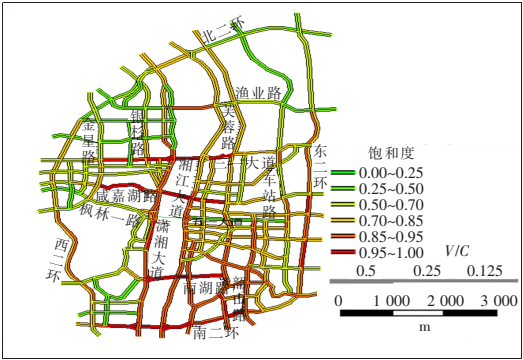
在 24 h 封闭半幅人行道方案下,橘子洲大桥对自身及周边通道有一定影响,部分疏解通道接近饱和状态,其中营盘路隧道和南湖路隧道饱和度涨幅分别为 5.88%和 10.81%,对橘子洲大桥两端衔接道路及分流转换道路的影响较小,受分流影响五一大道和枫林一路的饱和度有小幅度的降低,南湖路、三一大道、南二环等部分路段的饱和度有一定程度增长,潇湘中路、湘江中路、三一大道等道路交通压力增长不明显,饱和度增长幅度均在 6%以内,如图 3(d)所示。



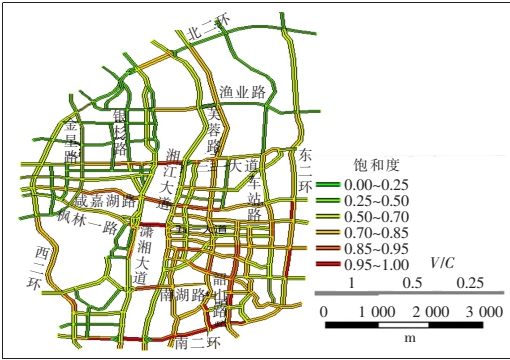
(a) 夜间半幅封闭机动车道(22:00)



(b) 夜间整幅封闭机动车道(22:00)



(c) 日间整幅封闭机动车道(08:00)



(d) 24 h 封闭半幅人行道(08:00)

图 3 不同封闭方案下的路网运行情况

在实施“三桥两隧”限行方案的情况下,由于整个核心影响区的过江交通将受到施工影响,部分车辆会绕行至湘府路大桥和三汊矶大桥,部分车主会放弃绕行转向公共交通等其他交通方式出行,通过测算限行后过江通道交通量会减少约 35%。橘子洲大桥周边通道得到明显缓解,饱和度较限行前大幅度降低,整体运行较为顺畅,但三汊矶大桥受绕行交通量影响,饱和度有所增大,达到 0.95。橘子洲大桥两端衔接道路及分流转换道路交通压力明显下降,五一大道、枫林一路、咸嘉湖路、南二环等道路的饱和度均在 0.7 以下,潇湘中路、湘江中路、书院路等核心影响区内的其他道路交通压力均有所降低,银杉路、金星路等外围影响区的道路交通运行较为顺畅,如图 4 所示。

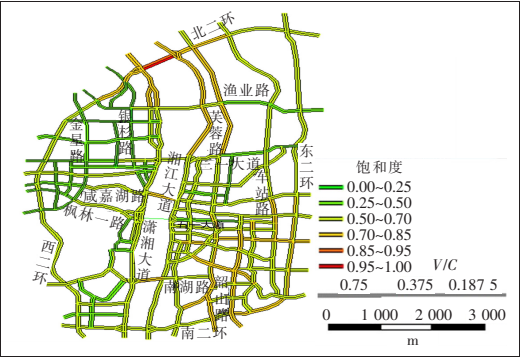


图 4 “三桥两隧”限行情况下路网运行情况

根据以上分析,在配合“三桥两隧”限行措施下的施工封闭方案交通影响最小,因此采取限行措施情况下的施工方案。

4 结论

(1) 基于现有关于施工项目交通影响分析的相关研究,结合过江通道施工期的交通特性及居民出行特征,提出了交通影响范围的确定、车流 OD 分布特征的分析、转移交通量的生成、转移交通量的分配等一系列交通影响分析方法。

(2) 运用该文提出的交通影响分析方法体系,对橘子洲大桥封闭施工项目进行了实例研究,分析结果表明所提出的方法合理可行,为城市过江通道施工封闭方案的比选提供了理论支撑,具有一定的实用性和

参考价值。

(3) 该文仅分析了单个过江通道施工的情形,还可以针对多个过江通道同时施工的情况展开研究,转移交通的配流模型还可根据分流情况进行细化,实例分析中只给出了部分施工方法,对于其他施工种类的分析有待进一步研究。

参考文献:

[1] 鲍微飞. 拥江发展城市过江交通体系的研究——以马鞍山过江通道研究为例[J]. 现代城市, 2019(1).

[2] 朱耀兵. 城市重要桥梁施工期间交通组织研究——以厦门市海沧大桥为例[J]. 交通标准化, 2014(19).

[3] 潘福全, 亓荣杰, 罗淑兰, 等. 轨道交通施工点对周边道路交通影响分析及交通组织优化研究[J]. 青岛理工大学学报, 2018(4).

[4] Ding M, Zhang C, Yan J, et al. Key Factors Analysis of Work Zone Safety and Mobility Based on Micro-Simulation[J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2013, 96:582-590.

[5] Soriguera F, Martinez I, Sala M, et al. Effects of Low Speed Limits on Freeway Traffic Flow[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(6): 985-996.

[6] 聂华波. 地铁施工对城市道路交通影响分析[J]. 交通信息与安全, 2011(6).

[7] Olia A, Genders W, Razavi S N. Microsimulation-Based Impact Assessment of the Vehicle-to-Vehicle (V2V) System for Work Zone Safety[J]. GEN, 2013.

[8] 王志强, 刘金, 余世英, 等. 高架道路(桥)施工期交通组织方法研究及应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015(6).

[9] 王东炜, 袁聚亮, 方佳, 等. 基于系统可靠度的地铁站点施工交通影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014(2).

[10] 刘樟伟. 路网条件受限下过江通道两侧衔接规划研究[C]. 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会 2017 年中国城市交通规划年会论文集, 2017.

[11] 郑世琦. 城市过江通道施工期影响区域交通组织方法研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文, 2016.

[12] 姜康, 石章鹏, 陈熹, 等. 基于服务水平的道路施工交通影响范围确定方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016(4).