

文章编号:1671-6833(2020)04-0007-05

# 基于修正通行能力的道路出入口位置优化方法

严亚丹,李 杨,仝 佩

(郑州大学 土木工程学院,河南 郑州 450001)

**摘 要:**作为城市道路路段上的典型接入点,出入口的数量是影响道路通行能力的重要因素。首先分析了出入口干扰对路段通行能力的影响,将出入口数量因素采用最外侧车道出入口物理修正系数进行表征,出入口处车辆的驶入和驶出产生的减速跟驰、变換车道等影响采用横向折减系数进行表征,并进而提出了综合修正系数,构建了考虑出入口干扰的路段通行能力半解析计算模型。其次,结合出入口与交叉口的距离、出入口间距等约束条件,以修正后的通行能力之和最大为目标函数,提出了出入口位置优化方法。最后以郑州市某居住区为例进行了方法验证和实例应用。计算结果表明,为使居住区周边道路的通行能力之和最大,出入口应优先设置于等级较低的城市道路路段中点处;随着出入口数量的增加,出入口接入道路应由低等级道路向高等级道路依次选择;当城市道路等级相同时,应优先选择车道数较少的道路。

**关键词:**出入口位置;路段通行能力;修正系数;居住区

**中图分类号:** U491 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2020.01.009

## 0 引言

与交叉口的交通运行不同,出入口是城市道路路段上的重要接入点,其数量及间距是城市道路路段通行能力的重要影响因素之一。为此,GB/T 36670—2018《城市道路交通组织设计规范》<sup>[1]</sup>规定,出入口数量不宜过多,并保持适当间距,且应根据实际采取让行、右进右出等交通组织方式。GB/T 51328—2018《城市综合交通体系规划标准》<sup>[2]</sup>提出,车辆通过固定的接入点进入沿线用地时,接入点密度为 2~3 个/km。但这些规定均为定性描述或者建议,从而导致在工程实践中,由于交通影响分析时缺少量化的评价方法,使得经常存在路段出入口数量过多、间距偏小亦或位置不尽合理的情况,严重影响道路交通的运行,导致通行能力降低,道路功能实现程度低。

国内外关于路段通行能力折减的问题研究较多,然而均未考虑出入口数量的影响。Chen 等<sup>[3]</sup>研究了混合车流对左转机动车道通行能力的影响;邓社军等<sup>[4-5]</sup>研究了单个路外停车出入口的车辆从最右侧车道右转驶离主路进入停车场的过

程对于上游运行车辆的影响区长度,以及路外停车驶入对主路路段交通流的影响模型;唐伯明等<sup>[6]</sup>研究了车辆进出不同方式及不同规模停车场时对路段通行能力的影响;Cao 等<sup>[7]</sup>研究了路边停车对路段通行能力的影响;秦丽辉等<sup>[8-9]</sup>提出了城市干路路段实际通行能力计算与服务水平评价的平行式公交停靠数量修正系数与阈值建议,并采用回归分析的方法计算了城市干路路段实际通行能力的路侧自行车数量修正系数。亦有研究侧重于交通组织的优化设计,以期提高道路路段的通行能力。蔡建荣等<sup>[10]</sup>基于通行能力的折减程度建立了可变车道的优化方法,以解决潮汐现象所引起的交通拥堵及道路资源闲置问题。Tang 等<sup>[11]</sup>建立了考虑道路通行能力的宏观交通流模型。

基于此,笔者构建了出入口影响下的路段通行能力的计算模型,并将其应用于出入口位置优化中,以为出入口位置的设置提供技术支持。

## 1 考虑出入口干扰的路段通行能力

在城市道路的路段上设置出入口,出入口车道与路段邻近车道(简称为最外侧车道)形成交

收稿日期:2019-03-12;修订日期:2019-10-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51678535);河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2018GGJS004)

作者简介:严亚丹(1986—),女,河南周口人,郑州大学副教授,博士,主要从事交通规划与管理方面的工作,E-mail:yanyadan@zzu.edu.cn。

叉,使该车道的设计连续交通流变为间断交通流,导致基本通行能力的折减,且在同一路段上出入口设置越多,基本通行能力折减愈大。将该影响采用最外侧车道出入口物理修正系数进行表征。

在交通运行阶段,当某出入口有车辆驶入和驶出时,将导致最外侧车道上的车辆发生减速跟驰、变换车道等行为,干扰交通流的正常运行,并将进而影响其临近车道,且依次往内,乃至影响靠近中央分隔带的最内侧车道。该影响程度依次递减,且随出入口的增加而加强。将其采用横向折减系数进行表征。

### 1.1 最外侧车道出入口物理修正系数

当路段上设置有接入点时,其最外侧车道将在纵向被物理划分为两个或多个串联子车道。即假设某路段上有  $n$  个车道,由内至最外侧分别记为车道 1、车道 2、…、车道  $n$ 。该路段设置有  $m$  个出入口,则其最外侧车道  $n$  被分隔为  $m+1$  个串联子车道单元,则可根据串联单元逻辑关系,计算该最外侧车道考虑接入点设置影响的通行能力物理折减系数为:

$$f_n^m = \prod_{k=1}^{m+1} \frac{l_k}{L}, \quad (1)$$

式中:  $L$  为路段长度;  $l_k$  为外车道第  $k$  子车道的长度,  $l_1 + l_2 + \dots + l_k + \dots + l_{m+1} = L$ 。

### 1.2 车道通行能力综合修正系数

将路段上第  $i$  车道的横向折减系数记为  $\alpha_i$ , 计算公式为:

$$\alpha_i = \frac{q_i}{Q_i}, \quad (2)$$

式中:  $q_i$  为车道  $i$  上受到某出入口处驶入和驶出车辆影响而发生减速跟驰、变换车道等行为的车辆总数;  $Q_i$  为车道  $i$  上的交通量。

可采用无人机或者摄像机进行实地调查,录制出入口附近及上、下游车辆运行状况的视频,通过车辆行为采集系统分析软件从视频中提取速度、加/减速度、行驶轨迹等车辆行为参数。通过参数分析判识受到出入口驶入驶出交通流影响的车道  $i$  上的车辆行为,包括减速跟驰、减速通过、停车等待、变换车道等,从而统计得到  $q_i$ 。  $Q_i$  则可直接通过统计车道  $i$  上的交通量得到。已有研究<sup>[5]</sup>发现,出入口上游 40~70 m 处车辆速度波动较大。故可取出入口上、下游 70 m 内的车辆运行状况作为实地调查范围。

路段上设置  $m$  个出入口,根据各车道所受到的物理影响和横向影响,可求得路段上第  $i$  车道

的通行能力综合修正系数为:

$$f_i' = (1 - \alpha_i) f_n^m. \quad (3)$$

### 1.3 修正后的路段通行能力

考虑出入口干扰影响下的车道  $i$  的实际通行能力  $C_i'$  为:

$$C_i' = f_i' \cdot C_i, \quad (4)$$

式中:  $C_i$  为车道  $i$  在没有出入口干扰影响下的基本通行能力。

单条车道基本通行能力的计算可采用停车线法<sup>[12]</sup>,即:

$$C_i = \frac{3\ 600}{h_i}, \quad (5)$$

式中:  $h_i$  为饱和车头时距。

路段通行能力  $C$  为:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i' = \sum_{i=1}^n f_i' \cdot C_i = \sum_{i=1}^n (1 - \alpha_i) \cdot f_n^m \cdot C_i = \sum_{i=1}^n (1 - \alpha_i) \cdot \prod_{k=1}^{m+1} \frac{l_k}{L} \cdot C_i. \quad (6)$$

## 2 道路出入口位置优化模型

### 2.1 目标函数

城市道路分为快速路、主干路、次干路、支路 4 个等级。其中,快速路全部控制出入,不设住宅、商业设施、单位等出入口。出入口一般沿主干路、次干路、支路设置。受 CJJ 152—2010《城市道路交叉口设计规程》<sup>[13]</sup> 约束,交叉口附近禁止设置出入口,其禁止设置区域长度与城市道路路段等级相关。

如图 1 所示,选取某居住区、商业设施或单位及其周围道路作为研究对象。变量为出入口的数量与设置位置,即假设在路段 1、路段 2、路段 3、路段 4 上选择设置  $g(g \geq 1)$  个出入口。各路段上出入口的数量分别为  $g_1, g_2, g_3, g_4$ , 即  $g = g_1 + g_2 + g_3 + g_4$ 。图 1 中的虚线为禁止设置出入口的区域。目标函数为在设置  $g(g \geq 1)$  个出入口的情况下,周围道路的通行能力之和  $Z$  最大,即:

$$\max Z = \sum_{s=1}^4 C_s, \quad (7)$$

式中:  $C_s$  为路段  $s(s = 1, 2, 3, 4)$  受到出入口干扰影响后的修正通行能力,采用式(6)进行计算。

### 2.2 约束条件

(1)出入口与城市道路交叉口停止线的距离。CJJ 152—2010《城市道路交叉口设计规程》第 4.2.17 条规定了交叉口附近地块或建筑物出入口的设置要求:①主干路上,距平面交叉口

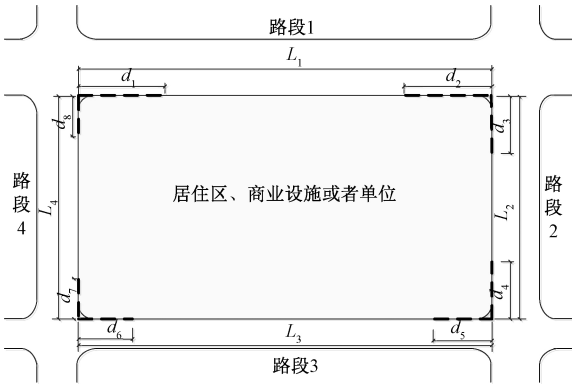


图 1 居住区、商业设施或单位及其周围道路

Figure 1 Residential area, commercial facilities or units and their surrounding urban roads

停止线不应小于 100 m,且应右进右出;②次干路上,距平面交叉口停止线不应小于 80 m,且应右进右出;③支路上,距离与干路相交的平面交叉口停止线不应小于 50 m,距离同支路相交的平面交叉口不应小于 30 m。即出入口的位置应满足:

$$d \geq D, \tag{8}$$

式中: $d$  为出入口距离平面交叉口停止线的长度。当出入口位于主干路路段时, $D=100\text{ m}$ ;当出入口位于次干路路段时, $D=80\text{ m}$ ;当出入口位于支路路段且该支路与干路相交时, $D=50\text{ m}$ ;当出入口位于支路路段且该支路与支路相交时, $D=30\text{ m}$ 。

(2)出入口间距要求。GB/T 51328—2018《城市综合交通体系规划标准》<sup>[2]</sup> 规定,主干路、次干路为沿线用地服务时,接入点密度为 2~3 个/km。故主干路、次干路上出入口间距不宜小于 500 m,而支路以服务功能为主,直接为沿线用地服务,其接入点密度可适当提高。则出入口间距应满足:

$$d_e \geq 500\text{ m}, \tag{9}$$

式中: $d_e$  为主干路或次干路路段上相邻出入口之间的距离。

3 实例分析

选取郑州市某居住区作为分析对象,如图 2 所示。周围 4 条道路分别为长椿路(主干路)、翠竹街(主干路)、石楠路(次干路)、金菊街(支路)。各条道路的断面形式、车道数等基本参数如表 1 所示。基本通行能力通过实地调查获得的饱和车头时距计算得到。各路段的起、终点距离交叉口停止线的距离,可通过测距仪进行实地测量得到,如表 2 所示。

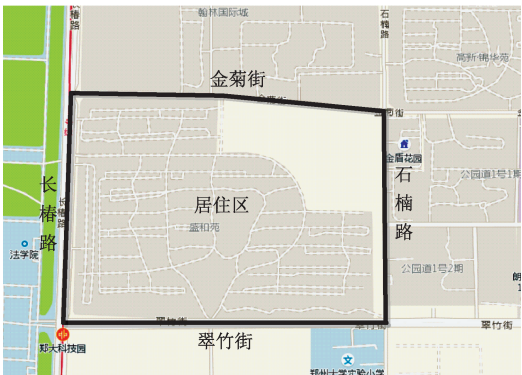


图 2 居住区位置

Figure 2 Location of the studied residential area

表 1 居住区周围城市道路基本参数

Table 1 Basic parameters of urban roads surrounding the studied residential area

道路名称	道路等级	断面形式	双向车道数	路段长度/m	基本通行能力/(pcu·h <sup>-1</sup> )
长椿路	主干路	四幅路	6	621	4 201
翠竹街	主干路	三幅路	4	877	2 570
石楠路	次干路	单幅路	2	569	1 098
金菊街	支路	单幅路	2	859	922

表 2 道路出入口位置的距离约束

Table 2 Distance constraints of road access points m

路段名称	路段起终点与交叉口停止线的距离		出入口与交叉口停止线的距离约束值	
	出口道方向	进口道方向	出口道方向	进口道方向
长椿路	22	20	100	100
翠竹街	32	14	100	100
石楠路	24	16	80	80
金菊街	15	32	50	50

道路出入口与城市道路交叉口停止线的距离约束值参考规范要求,主干路、次干路、支路分别为 100 m、80 m 和 50 m。采用无人机在高空录制视频,拍摄各出入口处驶入、驶出车辆对主路交通流运行的干扰情况,计算得到不同车道位置的平均横向折减系数见表 3。

基于式(1)~(7),以及出入口与城市道路交叉口停止线的距离、出入口间距约束条件,以长椿路与翠竹街的交叉口为坐标原点(0,0),以 5 m 为单位步长,构建坐标体系。出入口的位置点均只能在周围 4 条道路上选取,采用 Python 语言编写程序,计算出入口数量  $g=1$ 、 $g=2$ 、 $g=3$ 、 $g=4$  时,各出入口的最优设置位置。

表 3 横向折减系数

Table 3 Average transverse reduction coefficient

车道位置	长椿路	翠竹街	石楠路	金菊街
内侧车道	0.010	0.064	—	—
中间车道	0.064	—	—	—
最外侧车道	0.110	0.110	0.110	0.110

当  $g = 1$ , 即居住区设置 1 个出入口时,可接入道路有 4 条。计算结果表明,当出入口设置于金菊街(支路)的中点位置处时,居住区周边路网的通行能力之和最大,通行能力降低比例仅为 7.86%。将其与设置于其他 3 条道路中点位置的方案进行对比,如表 4 所示,发现当设置于长椿路(主干路)的中点位置时,降低比例达到 20% 以上。与 CJJ 37—2012《城市道路工程设计规范》<sup>[14]</sup>中的“主干路两侧不宜设置吸引大量车流、人流的公共建筑物的出入口”一致,表明方法可行。

表 4 设置 1 个出入口时的不同方案对比

Table 4 Comparison of different scenarios when one access is set up

方案	目标函数 值/( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ )	通行能力降低 量/( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ )	降低比 例/%
金菊街的中点	8 074	717	8.15
石楠路的中点	7 937	854	9.71
翠竹街的中点	7 260	1 531	17.41
长椿路的中点	6 908	1 883	21.42

当居住区拟设置 2 个出入口时,计算结果为将其分别设置于金菊街(支路)的 3 等分点处,此时通行能力之和降低比例为 9.45%,如表 5 所示。如若要求将 2 个出入口设置在不同道路路段上,则宜选择 1 个位于金菊街(支路)的中点,1 个位于石楠路(次干路)的中点。

表 5 设置 2 个出入口时的不同方案对比

Table 5 Comparison of different scenarios when two accesses are set up

出入口位置	目标函数 数值/ ( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ )	通行能力 降低量/ ( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ )	降低比 例/%
2 个分别位于金菊街的 3 等分点	7 960	830	9.45
1 个位于金菊街的中点, 1 个位于石楠路的中点	7 221	1 570	17.87
1 个位于金菊街的中点, 1 个位于翠竹街的中点	6 544	2 247	25.57
1 个位于金菊街的中点, 1 个位于长椿路的中点	6 191	2 600	29.57

当居住区设置 3 个出入口时,最优方案:将 2 个出入口设置于金菊街(支路)的 3 等分点处,1 个出入口设置于石楠路(次干路)的中点处。此时,居住区周边道路的通行能力之和最大,通行能力降低 19.16%。

当居住区设置 4 个出入口时,最优方案为在 3 个出入口时最优方案的基础上,在翠竹街(主干路)的中点设置第 4 个出入口,此时通行能力降低 36.57%。

不同出入口数量情况下的最优出入口设置位置如图 3 所示。

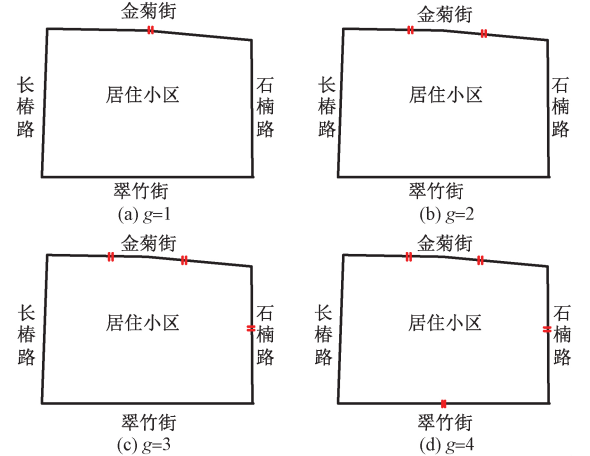


图 3 不同数量出入口情况下的最优接入位置

Figure 3 Optimum location of different number of accesses

4 结论

分析了道路出入口处车辆的驶入和驶出对主路路段通行能力的影响机理,采用半解析的方式构建了考虑出入口干扰的路段通行能力模型。进而考虑出入口与交叉口的距离、出入口的间距等约束条件,提出了基于通行能力修正的出入口位置优化方法。主要研究结论如下:

- (1)为使居住区周边道路的通行能力之和最大,出入口应优先设置于等级较低的路段中点处。
- (2)随着出入口设置数量的增加,出入口的位置宜由低等级道路向高等级道路依次布设。
- (3)当城市道路等级相同时,宜优先选择在车道数较少的道路路段设置出入口。

后续拟构建受出入口影响的车辆数与出入口路段上流量、出入口处进出交通量之间相关关系的数学模型,并将其与统计分析值进行对比,以进一步梳理不同流向交通流之间的影响特征。此外,未来可采用 VISSIM 模拟手段,构建不同出入口设置位置情况下的路段交通流微观仿真模型,结合通行能力指标,对笔者所提出的优化方法进

行多方位验证。

参考文献:

[1] 中国国家标准化管理委员会.城市道路交通组织设计规范:GB/T 36670—2018 [S].北京:中国标准出版社,2018.

[2] 中国城市规划设计研究院.城市综合交通体系规划标准:GB/T 51328—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

[3] CHEN J X, WANG W, LI Z B, et al. Dispersion effect in left-turning bicycle traffic and its influence on capacity of left-turning vehicles at signalized intersections[J]. Transportation research board, 2014, 2468(1): 38-46.

[4] 邓社军,叶晓飞,陈峻.路外停车右转驶入对主路上游车流影响的动态长度模型[J].公路交通科技, 2014, 31(3): 125-132.

[5] 邓社军,叶晓飞,陈峻.路外停车驶入对出入口交通流影响模型[J].哈尔滨工业大学学报, 2016, 48(3): 101-107.

[6] 唐伯明,王卫军,刘唐志,等.停车场建设规模对道路通行能力影响的分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(2): 100-104.

[7] CAO Y, YANG Z Z, ZUO Z Y. The effect of curb parking on road capacity and traffic safety [J]. European transport research review, 2017, 9(1):4.

[8] 秦丽辉,裴玉龙,汪恩良.公交停靠影响下的城市干路通行能力与服务水平[J].哈尔滨工业大学学报, 2017,49(9): 90-96.

[9] 秦丽辉,裴玉龙,白崇喜.自行车干扰下的城市干路路段通行能力与服务水平[J].哈尔滨工业大学学报, 2018, 50(9): 61-67.

[10] 蔡建荣,黄汝晴,黄中祥.考虑通行能力折减的可变车道优化[J].中南大学学报(自然科学版), 2018, 49(7): 1838-1844.

[11] TANG T Q, SHI W F, YANG X B, et al. A macro traffic flow model accounting for road capacity and reliability analysis[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2013, 392(24): 6300-6306.

[12] 徐吉谦,陈学武.交通工程总论[M].3版.北京:人民交通出版社,2008.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市道路交叉口设计规程:CJJ 152—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[14] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市道路工程设计规范:CJJ 37—2012 [S]. 2016 年版.北京:中国建筑工业出版社,2016.

Optimization Method of Road Access Location Based on Modified Capacity

YAN Yadan, LI Yang, TONG Pei

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Access point was important part of urban road sections. The number of entrances and exits was a main influencing factor on urban road capacity. Firstly, the influence of entrances and exits on capacity of a road section was analyzed. Effects caused by the number of entrances and exits was represented by the physical modification coefficient of entrances and exits on the outermost lane. Speed reduction and lane changing effects caused by the entering and exiting of vehicles on entrances and exits were represented by the transverse reduction coefficient. Furthermore, the comprehensive modification factor was proposed. Considering influences of entrances and exits, a calculating model of road section capacity was constructed. Secondly, taking into account the distance between access points and intersections, access spacing constraints, using the maximum sum of modified capacities as the objective function, an optimization method for access location was proposed. Finally, a residential area in Zhengzhou city was taken as an example to testify the feasibility. Results showed that in order to maximize the sum of modified capacities of roads around the residential area, accesses should be preferentially set in the middle of low-grade urban road sections. With the number of access increasing, the access roads should be selected from low-grade roads to high-grade roads in sequence. When road grades were same, priority should be given to roads with fewer lanes.

**Key words:** access location; urban road section capacity; modification factor; residential area