

# 传统干路与单向二分路通行能力和延误对比

苏镜荣<sup>1</sup>, 唐 翀<sup>1</sup>, 程德勇<sup>2</sup>

(1. 深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司云南分院, 云南 昆明 650011; 2. 昆明市规划设计研究院, 云南 昆明 650011)

**摘要:** 单向交通是解决城市交通拥堵问题最有效和可行的措施之一。有必要对单向二分路的通行能力和延误进行定量分析, 客观评估单向二分路的实施效果和应用前景。引入等效交叉口概念, 采用美国《道路通行能力手册》(HCM2010)的方法, 分别对双向4车道、6车道和8车道三种不同等级的传统干路交叉口与采用单向二分路后等效交叉口进行对比, 并通过VISSIM软件进行仿真验证。结果表明: 传统干路采用单向二分路后, 等效交叉口的通行能力提高约31%~40%; 当传统干路交叉口饱和度小于0.8时, 等效交叉口的延误可减少42%~62%; 当传统干路交叉口饱和度大于0.8时, 等效交叉口的延误减少效果将更加明显。通过仿真对延误计算结果进行验证, 误差不超过10%, 说明计算结果可靠有效。以双向6车道传统干路交叉口为例, 仿真显示采用单向二分路后等效交叉口的尾气排放量(CO, NO<sub>x</sub>, VOC)和燃油消耗量下降规律相同, 均下降45%~59%。因此, 单向二分路具有明显的优势和应用价值。

**关键词:** 干路; 单向二分路; 通行能力; 延误

Road Capacity and Traffic Delay at Signalized Intersection on Traditional Arterial Road and One-Way Couplet Road

Su Jingrong<sup>1</sup>, Tang Chong<sup>1</sup>, Cheng Deyong<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., Kunming Yunnan 650011, China; 2. Kunming Planning Design & Research Institute, Kunming Yunnan 650011, China)

**Abstract:** One-way traffic is one of the most effective and feasible measures to relieve urban traffic congestion. It is necessary to carry out quantitative analysis on capacity and delay of the one-way couplet road and objectively evaluate the performance and application prospect of one-way couplet road. Based on the concept of equivalent intersection and *Highway Capacity Manual* (HCM2010), this paper compares the performance of three different types of intersections, namely, two-way four-lanes, six-lanes and eight-lanes intersections after using one-way couplet road. The results of simulation by VISSIM show that the capacity of the equivalent intersection increases by 31%-40% on one-way couplet road compared to traditional arterial road. When the saturation of traditional arterial road intersection is less than 0.8, the delay of the equivalent intersection can be reduced by 42%-62%, while the saturation is greater than 0.8, the delay reduction will be more obvious. The delay simulation results show that the calculation results are reliable and effective while the error is within 10%. Taking the six-lanes traditional arterial road intersection as an example, the simulation results show that the exhaust emissions (CO, NO<sub>x</sub>, VOC) and fuel consumption at the equivalent intersection have the same decreasing after the one-way couplet road is adopted, both of which reduced by 45%-59%. Therefore, one-way couplet road has obvious advantages and application value.

**Keywords:** arterial road; one-way couplet road; capacity; delay

收稿日期: 2018-11-14

作者简介: 苏镜荣(1982—), 男, 云南鹤庆人, 硕士, 注册城乡规划师, 高级工程师, 副院长, 主要研究方向: 交通规划、交通工程。E-mail: 396667397@qq.com

## 0 引言

随着城市社会经济的发展, 以及城镇化和机动化的快速推进, 城市空间不断拓展,

出行距离和出行强度不断提升, 交通拥堵日趋严重。这已成为政府和社会关注的热点、焦点和难点问题。各大城市都在积极寻求交通治理之道, 纷纷从规划、建设、运行、管

理和政策等方面综合施策，并逐渐意识到要解决城市交通问题必须从规划源头进行治理，即转变城市发展和交通发展理念，以及转变城市道路布局理念和交通组织方式。

2016年2月出台的《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》在优化街区道路网结构方面，提出要树立“窄马路、密路网”的城市道路布局理念，并积极采用单行道路方式组织交通，为今后的城市道路规划指明了方向。

根据国内外实践经验，单向交通是解决城市交通拥堵问题最有效和可行的措施之一<sup>[1]</sup>。它可大幅提升城市道路的利用率，提高车流速度和车流量，减少延误，均衡交通流，降低交通事故，并利于实施各交叉口间交通信号协调控制。相应的研究文献较多，有的关注单向交通综合评价体系<sup>[2-3]</sup>，有的关注单向交通组织方案设计<sup>[4-6]</sup>，有的关注单向交通信号配时方法<sup>[7]</sup>。单向二分路是单向交通组织的一种形式，主要面向交通规划阶段打造“窄马路、密路网”的小街区路网模式而采用的一种规划措施，除文献<sup>[8-9]</sup>对单向二分路的概念和总体效益进行研究外，其他相关研究文献较少<sup>[10-11]</sup>。

通行能力和延误是评估道路交叉口容量、服务水平与通行效率的两个重要指标，如何提高交叉口通行能力、减少交叉口延误是城市道路规划、建设和管理追求的目标。通行能力是指在通常的道路、交通和管制条件下，在一定时段内人或车辆通过车道或道路中某一点或均匀断面的合理期望最大小时流率<sup>[12]</sup>。道路交叉口通行能力分析有很多，较为常用的有3种，分别是美国《道路通行能力手册》(HCM2010)(以下均为该版本)饱和流率模型、停车线法和冲突点法<sup>[13-14]</sup>。延误是衡量间断流设施性能的关键性指标<sup>[12]</sup>，也是评价交叉口服务水平和通行效率的一个重要指标。信号交叉口延误是由于交叉口处信号控制引起交通流间断而损失的车辆行驶时间<sup>[15]</sup>，用控制延误表示，是停车延误和加减速引起的损失时间之和<sup>[16]</sup>。信号交叉口延误分析方法较为常用的有3种：1)调查观测法，主要有点样本法和抽样追踪法；2)模型计算法，主要有英国TRRL的韦伯斯特(Webster)模型和美国《道路通行能力手册》的延误模型；3)交通仿真法，主要是利用德国PTV公司研发的VISSIM软件进行

仿真<sup>[17-19]</sup>。

城市干路是影响道路网容量和效率的关键，也是道路交叉口信号控制的主要对象。以往研究虽然对传统双向通行干路以及单向通行干路的通行能力和延误进行过对比，但基本都是以既有道路体系的交通组织优化为前提，而在道路规划阶段对单向交通组织的研究相对不足，以至于在规划阶段普遍忽略单向交通组织的应用，更没有基于“窄马路、密路网”城市道路布局理念下对单向二分路干路与传统双向通行干路的通行能力和延误进行比较。

美国《道路通行能力手册》不仅可以用来分析交叉口的通行能力，而且可以分析交叉口的延误。因此，为统一分析方法，本文采用美国《道路通行能力手册》方法。在对传统双向通行干路与单向二分路干路的特征进行分析的基础上，对传统双向通行干路与单向二分路干路的通行能力和延误进行详细比较，并利用VISSIM软件对美国《道路通行能力手册》计算结果进行仿真验证。

## 1 基本概念与分析方法

### 1.1 基本概念和特征

传统干路是指依据《城市道路交通规划设计规范》(GB 50220—95)进行规划、设计和实施的干路，包括主干路和次干路。其特征是：采用双向交通组织，道路宽度40~60 m，街区尺度宜人，干路网密度 $2.0\sim 2.6\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ ，呈“宽马路、稀路网”模式；双向4~8车道，交叉口交通集聚度高，进口通过展宽设计增加车道条数，交叉口冲突点多；一般采用4相位控制，信号周期长，人行横道距离长，行人过街不方便(见图1a)。

单向二分路是指两条平行反向的单行道路，通常设置于市中心街道格网中，二分路中的两条单行道一般分布在一个边长100~200 m的街区两侧<sup>[8]</sup>。作为一种特殊的单向交通组织，单向二分路一般应用于城市干路，公共汽车、私人汽车均采用单向交通组织，非机动车道单向或双向设置，人行道双向设置。单向二分路干路也可以理解为将传统双向通行干路一分为二后形成的。其特征是：采用单向交通组织，需要两条平行道路配对单行，每条单行道宽度20~30 m，街区尺度宜人，干路网密度提高一倍，可达

4.0~5.2 km·km<sup>2</sup>，道路网呈“窄马路、密路网”模式，单向2~4车道，交叉口数量为传统干路的4倍，交通相对分散，进口一般不展宽也不增加车道条数，交叉口冲突点少，一般采用2相位控制，信号周期短，人行横道距离短，行人过街方便(见图1b)。传统干路与单向二分路干路的特征对比具体见表1。

通过特征分析可以看出，两者的干路功能是等效的。在道路面积基本不变的情况下，传统干路采用单向二分路可以有效缩小单条干路的宽度，并增加一倍的干路网密度，从而可以细分地块，提高道路网的可达性和渗透性，同时将原来大型的干路交叉口拆分为四个小型交叉口，起到均衡交通流的效果。因此，单向二分路是实现“窄马路、密路网”小街区城市道路布局模式的重要措施。

### 1.2 等效交叉口分析

对于城市道路，信号控制交叉口是制约通行能力和影响延误的主要节点。为了便于

比较传统干路与采用单向二分路后对应交叉口的通行能力和延误，定义传统干路对应的单向二分路为等效干路，传统干路交叉口对应的单向二分路交叉口为等效交叉口(见图2)，以相同截面和相同面积的虚线框表示等效交叉口。

传统干路交叉口有A, B, C, D 4个进口，对应A', B', C', D' 4个出口(见图2a)，其通行能力和延误计算较为简单。

单向二分路等效交叉口则由4个小型交叉口①, ②, ③, ④共同构成，同样有A, B, C, D 4个进口和A', B', C', D' 4个出口(见图2b)。其通行能力计算较为简单，分别为4个进口的通行能力之和。其延误计算则相对复杂，因为等效交叉口中包含4个小型交叉口，需要把各个流向经过4个小型交叉口的延误进行叠加。以A进口为例，右转A→B'只需通过①一个交叉口即可实现，只产生1次延误；直行A→C'需要通过①, ②两个交叉口实现，产生2次延误；左转A→D'则需要通过①, ②, ③三个交叉口才能实

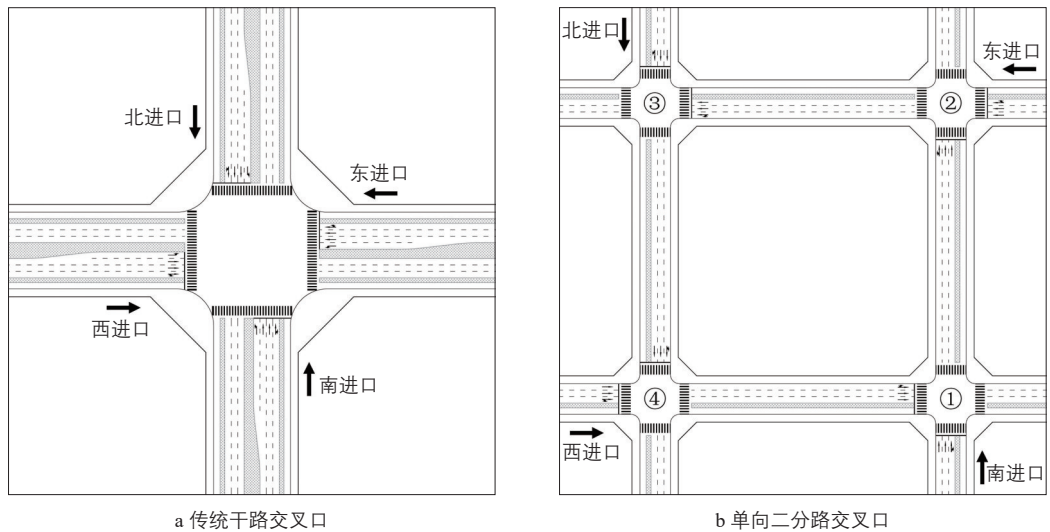


图1 传统干路交叉口与单向二分路交叉口特征对比

Fig.1 Comparison of characteristic of traditional arterial road intersection and one-way couplet road intersections

表1 传统干路与单向二分路的特征对比

Tab.1 Comparison of characteristic of traditional arterial road and one-way couplet road

道路类型	交通组织	路网模式	道路宽度/m	干路网密度/(km·km <sup>2</sup> )	车道数/条	交叉口交通聚集度	交叉口展宽情况	十字形交叉口信号相位	信号周期	斑马线长度
传统干路	双向	宽马路、稀路网	40~60	2.0~2.6	4~8	高	展宽	4	长	长
单向二分路干路	单向	窄马路、密路网	20~30	4.0~5.2	2~4	低	不展宽	2	短	短

现,产生3次延误。

### 1.3 基本假定

为了更好地反映传统干路交叉口与单向二分路等效交叉口的通行能力和延误对比情况,将传统干路细分为双向4车道干路(干路类型I)、双向6车道干路(干路类型II)和双向8车道干路(干路类型III),对应的单向二分路等效干路细分为单向2车道二分路(二分路类型I)、单向3车道二分路(二分路类型II)和单向4车道二分路(二分路类型III)。在计算分析中,根据传统干路与单向二分路的特征,做如下基本假定:

1) 传统干路在交叉口进口均通过展宽增加一个专用左转车道,进口车道数比路段增加1个车道;单向二分路遵循“窄马路、密路网”的规划设计思想,在交叉口进口处不进行展宽,进口车道数与路段保持一致。

2) 传统干路交叉口和单向二分路等效交叉口各个进口的道路、交通和信号条件完全相同,即交叉口通行能力为任意进口通行能力的4倍,交叉口延误与进口延误一致。

3) 单向二分路等效交叉口包含的4个小型交叉口的道路、交通和信号条件也完全相同,即4个小型交叉口的延误相等,并且与任意小型交叉口的进口延误一致。

4) 所有交叉口进口的右转与直行共用最右车道,受直行信号控制,与直行车道视为一个车道组;单向二分路涉及左转的交叉口,进口左转与直行共用最左车道,受直行信号控制,与直行车道视为一个车道组。

5) 所有交叉口均不考虑非机动车和行人对机动车交通的影响。

## 2 通行能力对比

根据《道路通行能力手册》,交叉口通行能力计算可分步进行。先计算每个车道组通行能力,再通过相加计算一个进口乃至整个交叉口的通行能力。车道组的通行能力

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C}, \quad (1)$$

式中:  $c_i$  为车道组  $i$  的通行能力/( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $s_i$  为车道组  $i$  的饱和流率/( $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $g_i$  为车道组  $i$  的有效绿灯时间/s;  $C$  为信号周期长度/s;  $\frac{g_i}{C}$  为车道组  $i$  的绿信比。

为了分析传统干路与采用单向二分路后等效交叉口的通行能力,在上述假定的基础上,对涉及交叉口通行能力计算的参数进行如下假定(见表2):

1) 传统干路交叉口均为4相位,干路类型I, II和III的信号周期分别取120 s, 150 s和180 s(保障直行相位满足行人过街最短时间要求),各个进口直行相位和左转相位的时间比为3:2;单向二分路交叉口均为2相位,信号周期统一取60 s。

2) 绿灯间隔时间( $Y$ )与交叉口的大小有关,传统干路交叉口较大,绿灯间隔时间统一取5 s,其中黄灯时间3 s,全红时间2 s;单向二分路交叉口较小,绿灯间隔时间统一取4 s,其中黄灯时间3 s,全红时间1 s。

3) 所有直行车道饱和和流率( $s_i$ )统一取

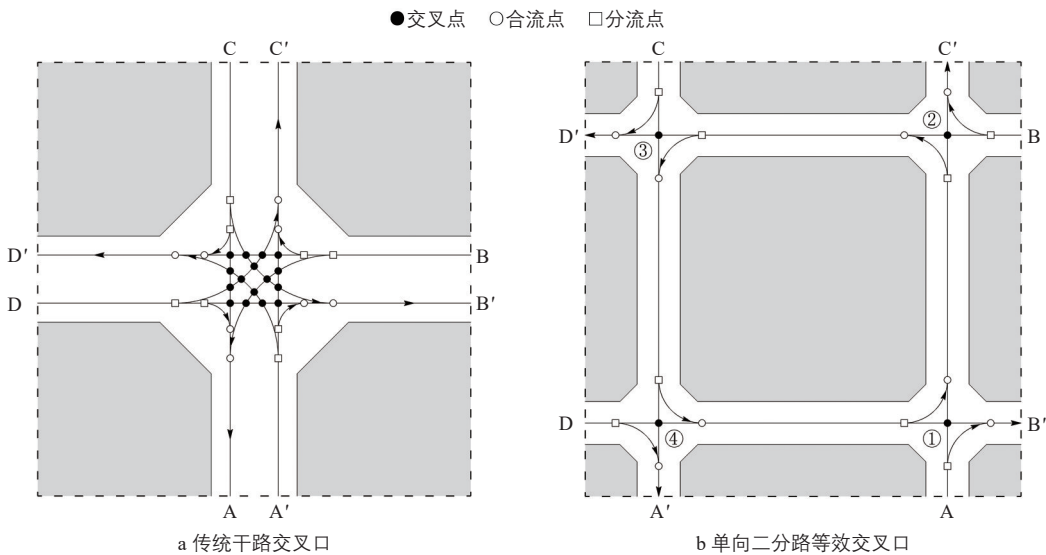


图2 不同交叉口冲突点特征对比

Fig.2 Comparison of traffic conflict points at different intersections



表2 信号控制交叉口通行能力计算相关参数假定

Tab.2 Parameters of capacity calculation at signalized intersections

交叉口类型	相位	信号周期/s	绿灯间隔时间/s	直行相位绿灯时间/s	左转相位绿灯时间/s	直行相位绿信比	左转相位绿信比	直行车道饱和和流率/(pcu·h <sup>-1</sup> )	直右车道、直左车道、左转专用车道饱和和流率/(pcu·h <sup>-1</sup> )
传统干路交叉口	I类	4	120	5	30	0.250	0.167	1 800	1 710
	II类	4	150	5	39	0.260	0.173	1 800	1 710
	III类	4	180	5	48	0.267	0.178	1 800	1 710
单向二分路交叉口	2	60	4	26	无	0.433	无	1 800	1 710

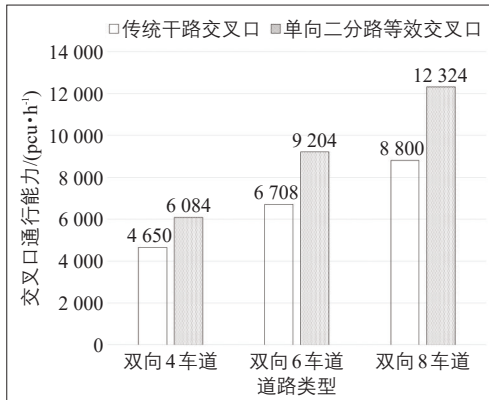


图3 信号控制交叉口通行能力对比

Fig.3 Comparison of capacity at signalized intersections

1 800 pcu·h<sup>-1</sup>；所有直右车道、直左车道、左转专用车道饱和流率( $s_i$ )取直行车道饱和流率的0.95倍，即1 710 pcu·h<sup>-1</sup>。

根据公式(1)及相关参数假定，对三种类型传统干路交叉口与对应的单向二分路等效交叉口分别进行通行能力计算(见图3)。计算结果表明，单向二分路等效交叉口的通行能力有大幅提高，提高31%~40%，且传统干路的车道数越多，单向二分路等效交叉口的通行能力提高幅度越大。究其原因，主要是单向二分路信号交叉口只有2相位，车道组的绿信比大幅提高。因此，尽管传统干路交叉口的进口增加了1个车道，但单向二分路等效交叉口的通行能力仍然增加许多。

在实际规划应用中，相交干路很难实现两个方向均为单向二分路的理想情况，可能会存在一条干路保留传统双向通行，一条干路采用单向二分路的情况。根据等效交叉口的原理及上面的假设条件，以双向6车道干路为例，其中只有一条干路采用单向二分路后，等效交叉口通行能力提高约19%(每个交叉口按三相位控制，信号周期取100 s)，与两条干路均采用单向二分路的效果(提高37%)基本折半。

### 3 延误对比

根据《道路通行能力手册》，信号控制交叉口每辆车的平均控制延误计算可分步进行。先计算每个车道组每辆车的平均控制延误，再通过加权平均法(用车道组的流量加权计算)计算一个进口乃至整个交叉口的平均控制延误。车道组每辆车的平均控制延误计算公式如下：

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3, \quad (2)$$

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]}, \quad (3)$$

$$d_2 = 900T \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right], \quad (4)$$

式中： $d$ 为车道组每辆车的平均控制延误/(s·pcu<sup>-1</sup>)； $d_1$ 为均匀控制延误/(s·pcu<sup>-1</sup>)，表示车辆均匀到达时的延误； $PF$ 为均匀控制延误信号联动修正系数，表示信号联动控制的影响； $d_2$ 为增量延误/(s·pcu<sup>-1</sup>)，是由于车辆随机到达和过饱和和排队引起的延误； $d_3$ 为初始排队延误/(s·pcu<sup>-1</sup>)，表示由于在分析时段开始时排队车辆而对分析时段内所有车辆引起的延误； $X$ 为饱和度； $T$ 为分析时段(0.25 h或1 h)； $k$ 为感应控制的增量延误修正系数，用于描述信号控制器类型对延误的影响，对于定时信号控制， $k=0.5$ ； $I$ 为交叉口上游汇入或限流的增量延误修正系数，考虑上游信号过滤后到达车辆的影响，对于独立交叉口， $I=1.0$ 。

一个进口乃至整个交叉口每辆车的平均控制延误

$$d_A = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i}, \quad (5)$$

式中： $d_A$ 为A进口每辆车的平均控制延误/(s·pcu<sup>-1</sup>)； $d_i$ 为A进口中车道组*i*的延误/

(s·pcu<sup>-1</sup>);  $v_i$  为车道组  $i$  的流量/(pcu·h<sup>-1</sup>)。

根据上面对单向二分路等效交叉口的分析和基本假定, ①, ②, ③, ④4个小型交叉口的平均控制延误一致, 即  $d_{①}=d_{②}=d_{③}=d_{④}$ , 每个进口的右转车辆产生1次延误, 其平均控制延误  $d_r=d_{①}$ , 直行车辆产生2次延误, 其平均控制延误  $d_s=d_{①}+d_{②}=2d_{①}$ , 左转车辆产生3次延误, 其平均控制延误  $d_l=d_{①}+d_{②}+d_{③}=3d_{①}$ 。根据公式(5), 单向二分路等效交叉口A进口每辆车通过等效交叉口的平均控制延误(也即等效交叉口的平均控制延误)

$$d_i = d_A = \frac{d_{①}\lambda_r v_A + 2d_{①}\lambda_s v_A + 3d_{①}\lambda_l v_A}{v_A}, \quad (6)$$

$$= (\lambda_r + 2\lambda_s + 3\lambda_l)d_{①}$$

式中:  $d_i$  为单向二分路等效交叉口的平均控制延误/(s·pcu<sup>-1</sup>);  $v_A$  为A进口的总车流量/(pcu·h<sup>-1</sup>);  $v_r$  为A进口右转车辆的流量/(pcu·h<sup>-1</sup>);  $v_s$  为A进口直行车辆的流量/(pcu·h<sup>-1</sup>);  $v_l$  为A进口左转车辆的流量/(pcu·h<sup>-1</sup>);  $d_{①}$  为等效交叉口当中小型交叉口①的平均控制延误/(pcu·h<sup>-1</sup>);  $\lambda_r$  为A进口右转车辆占进口总流量的比例/%;  $\lambda_s$  为A进口直行车辆占进口总流量的比例/%;  $\lambda_l$  为A进口左转车辆占进口总流量的比例/%。

为了分析传统干路交叉口与单向二分路等效交叉口的平均控制延误, 在上述假定的

基础上, 对涉及交叉口延误计算的参数进行如下假定:

1) 所有交叉口均不受信号联动控制影响, 统一取  $PF=1.0$ ; 所有交叉口均为独立交叉口, 统一取  $k=0.5$ ; 所有交叉口均为定时信号控制, 统一取  $I=1.0$ 。

2) 所有交叉口延误均不考虑初始排队延误, 统一取  $d_3=0$ ; 分析时段统一取  $T=1\text{h}$ (与交通仿真时段一致)。

3) 所有交叉口进口左转车流量比例取15%、右转车流量比例取15%、直行车流量比例取70%。则通过公式(6)可知  $d_A=2d_{①}$ , 即单向二分路等效交叉口平均控制延误为等效交叉口内任意小型交叉口平均控制延误的2倍。

根据上述计算公式及相关参数假定, 对各类交叉口在不同交通量的情况下进行延误计算(见表3)。计算结果表明, 传统干路采用单向二分路后等效交叉口的延误有大幅减少。

1) 当传统干路交叉口饱和度小于0.8时, 传统干路采用单向二分路后等效交叉口的延误可减少42%~62%, 且传统干路的车道数越多, 采用单向二分路后等效交叉口的延误减少幅度越大。

2) 当传统干路交叉口饱和度大于0.8时, 传统干路采用单向二分路后等效交叉口的延误减少效果将更加明显。

表3 传统干路交叉口与单向二分路等效交叉口延误对比

Tab.3 Comparison of delay between traditional arterial road intersections and the equivalent one-way couplet road intersections

进口流量/(pcu·h <sup>-1</sup> )	双向4车道干路			双向6车道干路			双向8车道干路		
	传统交叉口延误/s	单向二分路等效交叉口延误/s	延误减少幅度/%	传统交叉口延误/s	单向二分路等效交叉口延误/s	延误减少幅度/%	传统交叉口延误/s	单向二分路等效交叉口延误/s	延误减少幅度/%
200	37.0	20.8	44	44.2	20.2	54	51.6	19.9	61
400	39.6	22.6	43	45.9	21.2	54	53.0	20.6	61
600	43.0	24.8	42	47.8	22.3	53	54.6	21.3	61
800	48.9	27.6	44	50.0	23.5	53	56.3	22.1	61
1 000	77.7	31.5	59	52.7	25.0	53	58.2	23.0	60
1 200				56.3	26.6	53	63.1	23.9	60
1 400				62.4	28.6	54	63.1	25.0	60
1 600				90.4	31.2	65	66.6	27.5	61
1 800							72.5	27.5	62
2 000							85.5	29.0	66

注: 以交叉口进口任意车道组饱和度趋近1.0时停止计算。

究其原因,主要是单向二分路交叉口信号周期大幅减少,车道组的绿信比大幅提高,通行能力大幅提高,相同流量下饱和度大幅下降。因此,尽管单向二分路等效交叉口内有4个小型交叉口,通过等效交叉口的车辆平均需要通过2个小型交叉口,其延误相当于2个小型交叉口的延误之和,但单向二分路等效交叉口每辆车的平均控制延误仍然要比传统干路交叉口每辆车的平均控制延误减少许多。

由于单向交通比较容易组织绿波交通,单向二分路等效交叉口每辆车的平均控制延误还有进一步大幅减少的可能。

同理,以双向6车道传统干路交叉口为例,当饱和度小于0.8时,其中只有一条干路采用单向二分路后,等效交叉口延误减少仅为19%~21%(每个交叉口按三相位控制,信号周期取100s),与两条干路均采用单向二分路的效果(减少53%~54%)有较大折减。其中,单向二分路方向延误比传统交叉口减少约34%~37%,而保留双向通行的干路方向因通过两个信号灯而产生的累加延误基本与传统干路交叉口持平,减少幅度仅为0%~8%。若想进一步减少延误,可以将保留双向通行的干路限制左转,简化信号相位,每个交叉口按2相位控制,左转通过路段调头或通过街区绕行实现,则可以大幅提高等效交叉口的通行能力和通行效率。

《翡翠城市:面向中国智慧绿色发展的规划指南》<sup>[8]</sup>和《TOD在中国:面向低碳城市的土地使用与交通规划设计指南》<sup>[9]</sup>两本

书均对单向二分路规划及交通运行效益进行了定性和定量分析。通过选取1.5~2.0 km的干路轴带进行交通仿真评估,得出的结论与本文一致,即采用单向二分路可以大幅提升城市干路网的通行能力和通行效率。

#### 4 仿真实验

利用VISSIM交通仿真软件,以双向6车道传统干路交叉口与对应的单向二分路等效交叉口为例,对平均控制延误、燃油消耗量和尾气排放量3个效益评价指标进行仿真测试和验证,评估传统干路采用单向二分路后带来的交通效益。为减少仿真中的随机性,设计10个随机数种子,进行10次仿真,每次仿真时间为3 600 s,并将10次仿真结果进行平均得到最终仿真结果。通过仿真可知:

1) 延误的仿真值与计算值的误差不超过10%,验证前文关于延误的计算结果具有较高的可靠性(见图4)。

2) 双向6车道传统干路交叉口采用单向二分路后等效交叉口的CO尾气排放量有大幅下降,当双向6车道传统干路交叉口饱和度小于0.8时,可下降45%~48%;当饱和度大于0.8时,下降幅度可达59%(见图5)。同理,其他尾气排放量( $\text{NO}_x$ 、VOC)也呈同样的规律。

3) 双向6车道传统干路交叉口采用单向二分路后等效交叉口的燃油消耗量有大幅下降,下降幅度与尾气排放量呈同样的规律(见图6)。

#### 5 结语

传统干路采用单向二分路后,在道路面积基本不变的情况下,单条干路的宽度降低了一半,而干路网的密度却提高了一倍,这是实现“窄马路、密路网”道路布局模式的有效方法。

传统干路采用单向二分路后,等效交叉口的通行能力显著提高,而延误却显著减少。单向二分路若采用绿波控制,延误还将进一步大幅减少。同时,尾气排放量和能耗均有大幅下降。因此,单向二分路将极大提高道路网容量和机动车(包括公共汽车)通行效率,在道路网规划中具有明显优势和推广应用价值,并将对道路网规划和城市规划产

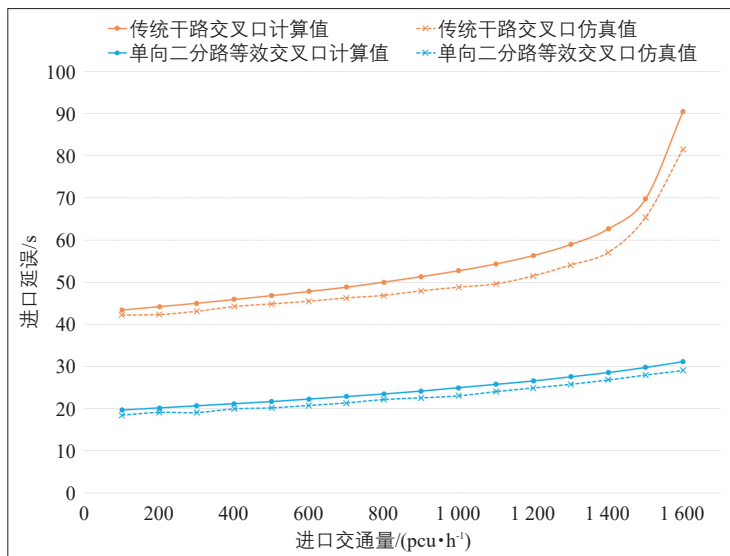


图4 计算值与仿真值对比

Fig.4 Comparison between calculated value and simulation value

生变革性影响，带来巨大的社会、经济和环境效益。同时也将对非机动车和行人交通带来巨大变化，具体的定量变化对比有待进一步研究。

单向二分路适用于新规划建设的城市中心区和高强度开发片区。由于其对道路间距、路网密度有较高要求，并需要两条等宽的平行道路才能实施，因此，单向二分路不适用于建成区、郊区、低强度开发区、大学校园、工业仓储物流园区以及对开发地块有一定面积规模要求的区域。

参考文献：

References:

- [1] 武小康. 单向交通规划方案的路网容量判别法[J]. 科技信息, 2011(27): 347-348.
- [2] 郭龙. 城市道路单向交通系统评价体系研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [3] 王玉娥. 城市道路单向交通方案技术评价研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.  
Wang Yu'e. Research on the Evaluation System of One-Way Roadway Technology[D]. Changsha: Hunan University, 2008.
- [4] 朱桃丽. 城市道路单向交通规划方案设计研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.  
Zhu Taoli. Research on the Design of One-Way Roadway[D]. Changsha: Hunan University, 2007.
- [5] 王国晓, 杨涛, 陆原, 等. 城市中心地区单向交通系统研究[J]. 城市交通, 2006, 4(5): 50-54.  
Wang Guoxiao, Yang Tao, Lu Yuan, et al. Developing One-Way Street Systems in Urban Core-Areas[J]. Urban Transport of China, 2006, 4(5): 50-54.
- [6] 王玉. 大城市单向交通组织优化模型构建与求解算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.  
Wang Yu. Study on One-Way Traffic Organization Optimization Model and Algorithm of Big Cities[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [7] 卓亚娟. 城市干道单行系统信号配时方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.  
Zhuo Yajuan. Study on Signal Control of City Roads One-Way Network[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [8] 卡尔索普事务所, 宇恒可持续交通研究中心, 高觅工程顾问公司. 翡翠城市: 面向中国智慧绿色发展的规划指南[M]. 北京: 中

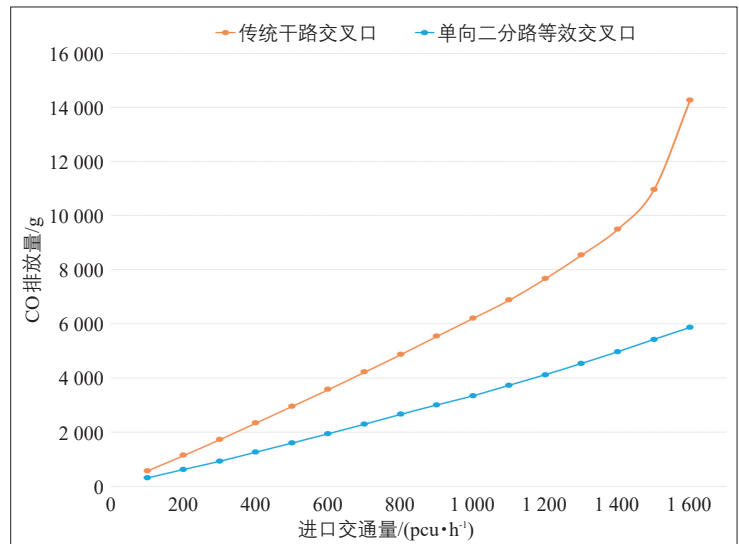


图5 CO排放量对比

Fig.5 Comparison of CO emission

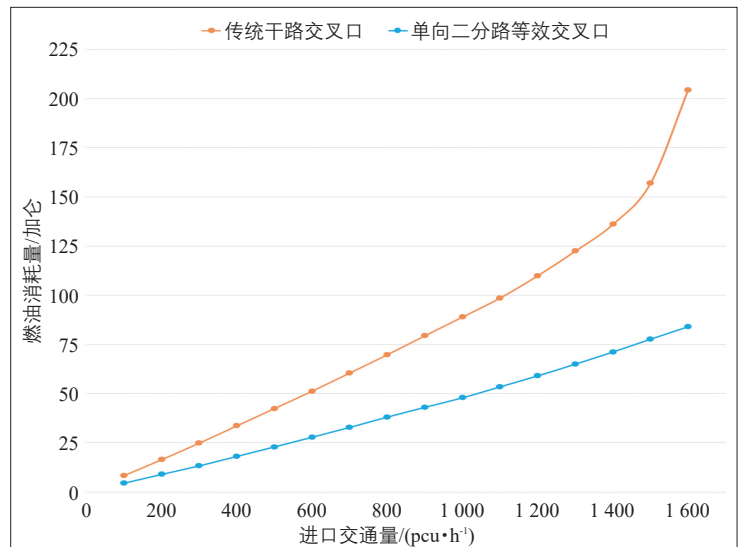


图6 燃油消耗量对比

Fig.6 Comparison of fuel consumption

国建筑工业出版社, 2017.

- [9] 彼得·卡尔索普, 杨保军, 张泉, 等. TOD在中国: 面向低碳城市的土地使用与交通规划设计指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [10] 张廷. “单向二分路”在道路设计中的应用[J]. 中国标准化, 2017(16): 154-155.
- [11] 程子烨, 曹勇, 王治. 基于单向二分路的综合开发模式探索[J]. 城市交通, 2017, 15(6): 28-33+16.  
Cheng Ziye, Cao Yong, Wang Zhi. Comprehensive Development Based on One-Way Couplet[J]. Urban Transport of China, 2017, 15(6): 28-33+16.

(下转第134页)