

城市道路平面交叉口交通空间规划设计方法

Methods for Spatial Layout Design of Urban Street at-Grade Intersections

孙明正¹ 杨晓光²

1. 北京交通发展研究中心, 北京 100053; 2. 同济大学交通工程系, 上海 200092)

SUN Mingzheng¹, YANG Xiaoguang²

1. Beijing Transportation Research Center, Beijing 100053, China; 2. Department of Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

摘要: 在回顾我国交通工程发展历程的基础上, 提出了目前工作中的一个遗漏环节——交通设计。通过对目前交叉口空间设计范围以及设计中存在问题的分析, 提出在我国机动车与非机动车混行严重的情况下, 合理的交叉口空间设计思想, 和以满足效率、安全和环境指标为目的的交通设计方法和设计流程。对在设计中如何考虑路网饱和度均衡、交通流运行顺畅、舒适、道路资源充分利用、安全、环境协调等因素给予了详细的分析论述。并通过实例说明交叉口空间设计方法的应用, 对交叉口空间设计中空间尺度的不合理认识给予了回应。

Abstract: By review of practices of traffic engineering in China, it was found that traffic design, a key element of traffic engineering, is missing in our current routines. Through an analysis of problems existing in intersection design scope and the design per se, and under the conditions of the heavily mixed motor and non-motor traffic in China, this paper presents some ideas for intersection layout design. The design methods and procedures proposed here are intended to meet the requirements of operation efficiency, safety, and environmental considerations. Issues regarding how to balance v/c ratios of road network, to smooth and comfort traffic movements, to make full use of road resources, to improve safety, and to coordinate environmental problems are discussed in details. An example is included to explain how to use these methods, together with a response to the misunderstanding of the intersection spatial layout design methods.

关键词: 交叉口; 交通设计; 混合交通流; 饱和度; 安全

Key words: intersection; traffic design; mixed traffic flow; saturation; safety

中图分类号: U491.23 文献标识码: A

收稿日期: 2005-05-13

基金项目: 国家自然科学基金——通用“中国科学研究基金”资助项目(编号: 70122201/G0114)

作者简介: 孙明正, 男, 硕士, 北京交通发展研究中心工程师, 主要研究方向: 交通规划。

E-mail: sunmz@bjtrc.org.cn

伴随着我国交通工程学20余年的发展, 交通工程学的基本理念和技术得到了广泛的推广应用。城市交通基础设施的建设越加重视其前期的工作, 交通规划已纳入决策流程。在交通管理层面, 交通管理规划工作也在诸多城市展开, 更有不少城市正在计划发展最先进的智能交通系统(ITS)。然而, 长期以来, 交通设施的建设更多关注的是土木工程层面的问题, 而对设施功能及如何使用重视不足, 导致设施建成后引发不少无法满足交通运行的问题, 单靠后期管理措施无法取得既有交通设施的最大利用效率。当前实践证明, 良好的规划与付诸实施之间缺乏一个基于交通规划理念, 面向实际问题的中间技术环节——交通设计^[1]。交通设计是实现交通设施效益费用比最大化的关键。交通设计涵盖的内容十分丰富, 本文主要结合我国道路交叉口混合交通的特点, 对平面交叉口通行空间提出合理的设计方法。

1 交叉口空间的限定

传统的交叉口空间概念是由机动车停车线断面围成的区域, 如图1a。当车辆接近交叉口时, 由于转向的需求, 车辆运行状态发生变化, 在车速降低的同时, 开始变更车道, 寻求自己通过交叉口时的目标车道。因此, 将交叉口空间限定在交通流运行状态发生变化的断面围成的区域, 即交叉口进出口道展宽起始位置内的区域是比较合理的^[2], 如图1b。本文基于此限定展开讨论。

2 现状问题分析

在目前的交叉口空间设计中, 一般都将交叉口范围

压缩的很小,这是以机动车为本的交通思路,可以使交叉口内机动车的冲突区域减小,有利于行车安全。但面对自行车与机动车的混合行驶,加上行人过街交通流,交叉口内的交通流向和秩序就变得十分复杂。结果往往是机动车、非机动车和行人在交叉口内无序的通行,在正常的信号灯两相位放行条件下,在交叉口的局部范围内,会出现机动车、非机动车、行人在多个点上存在冲突和交织,如图2所示。主要问题分析如下:

1) 左转自行车由于启动较快,干扰同相位的直行机动车,后续到达的左转自行车寻找空隙穿越直行机动车流,不仅影响直行机动车的通行效率,而且本身的安全性降低;

2) 自行车群进入交叉口内部后形成超越自行车道宽度的膨胀流,对直行机动车形成侧向干扰;

3) 右转机动车通常不受信号灯控制,与直行自行车存在冲突;

4) 右转机动车威胁过街行人安全;

5) 对向左转机动车威胁直行自行车与过街行人的安全;

6) 由于行人过街速度明显低于机动车,绿末的行人无法安全过街;

7) 当A向人行横道上有行人或非机动车通行时,D向的右转车只有在图中(3)的位置上停下来等待通行机会,此时,由于人行道连在一起,D向的行人通行空间受到停下来的右转车辆的侵占。同时,对于直右混行车道,会阻碍直行车的通行。

由上述问题可见,机动车与自行车、行人的交织和冲突,一方面降低了交叉口的通行能力,引起交叉口秩序的混乱,另一方面则对过街自行车、行人的安全造成了威胁,成为交叉口交通事故的主要隐患之一。

3 交叉口空间优化设计思路

3.1 交叉口空间尺度的不同认识

规划层面的认识:由于城市土地的使用受限,交叉口规划时富裕的空间不多。

管理层面的认识:在目前的交叉口空间设计中,认为交叉口范围越小越好。这样不仅可以压缩冲突区域范围,同时还能减少相位之间的损失时间。常见的设计方法是沿路缘石划一条直线作为人行过街横道的内侧边线,再向外侧偏移一个人行道宽度作为外侧边线,构成行人过街横道,再加上车道的功能划分,就完成了交叉口的设计。我国绝大多数城市交通流是混合交通流,机动车、自行车、行人混杂在一起,交叉口范围越大,越不适合管理,同时也没有足够的警力来维持秩序。

交通工程层面的认识:从交通流的运行条件考虑,使不同类型的交通流相互分离,运行干扰最小。

3.2 交叉口空间设计优化目标

由于对交叉口空间尺度认识存在分歧,有必要建立交叉口空间设计的目标函数,来优化交叉口的空间设计。

① 建立交叉口效益函数 $M = \sum T_i \cdot a_i \cdot A_i$, 其

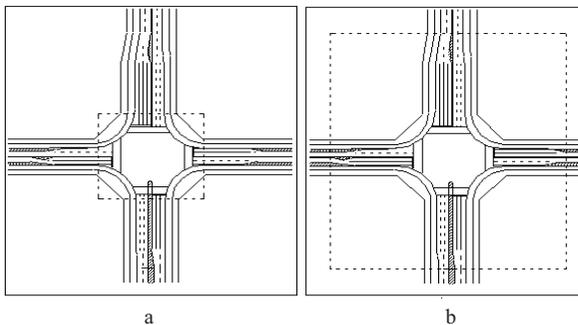


图1 交叉口设计空间范围
Fig.1 Intersection design area

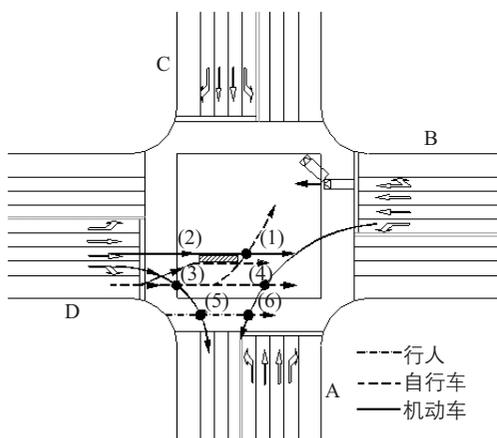


图2 交叉口常见设计问题示意图
Fig.2 Ordinary problems of intersection space

中： M 为交叉口综合效益； i 为交叉口效益影响因素； A_i 为 i 的效益值，如交通效率、交通安全、交通环境等； a_i 为 i 的对应权重； T_i 为 i 的效益因子。

② 优化目标函数

$$\text{MAX } \theta = \frac{M}{C} = \frac{\sum_i T_i \cdot a_i \cdot A_i}{\sum_i C_i},$$

约束条件为满足交叉口混合交通流的行驶要求。其中， C 为交叉口建设或改造总费用， C_i 为对应 A_i 的建设或改造总费用。

3.3 交叉口空间设计效益因素分析

3.3.1 交通效率

1) 均衡路网饱和度

车辆通过交叉口的有效时间仅相当于路段通行时间的一半左右，所以交叉口进口道上每条车道的通行能力相当于路段通行能力的一半。这是平面交叉口成为城市道路网络中“大瓶颈”的主要原因。因此，使平面交叉口进口道通行能力与其上游路段通行能力相匹配，是道路设施效率得以发挥的关键。

2) 实现交通流运行顺畅

合理划分交叉口通行空间，明确、各股交通流运行轨迹^[3]，才能使机动车、自行车、行人，左转、直行、右转车流各行其道，配合合理的交通信号控制方案，实现混合交通流运行顺畅。

3) 提高交通设施的舒适性

自行车道、人行道的无障碍设计，明确、合理的道路标志标线，完善的附属设施设计等，是人性化设计理念的体现^[3]。

4) 充分利用道路资源

此处道路资源不仅包括空间上的资源，而且是将空间设计与控制管理相结合的时空资源，因地制宜、因时制宜。

3.3.2 提高交通安全

对于机动车来说，需要保证其转弯半径和视距。在混合交通流中，由于自行车和行人是交通中的弱势群体，保证其安全性尤为重要。安全设计主要是将交通流的渠化与交通信号控制结合在一起，将空间上存在冲突的各股交通流在时间上分离开来。

3.3.3 交通与环境和谐

交通景观是城市整体景观的重要组成部分，也是交通与环境协调的体现。传统的道路景观主要表现为道路线形、街旁建筑、空间设施、小品绿化等，现代城市景观的评价将连续交通流的线形美和新交通体系作为一个重要方面引入^[4]。而合理的交通设计与管理，增强交通流的连续性，减少机动车在交叉口的延误，从而减少废气、噪声、震动等污染，正是交通与环境相协调的深层次考虑。

4 交叉口空间设计流程与方法

交叉口空间设计就是要确定交叉口各种交通流的合理通行空间、通行权及其通行规则，使交通流安全、有序地运行，充分利用交叉口的时间和空间资源。

4.1 交叉口空间设计流程

交叉口空间的交通组织应从内向外依次布置，以保障各种交通流合理的通行空间。同时，交叉口的空间设计应与信号控制方案紧密结合，才能使空间资源的分配更具目的性，产生最大的交通效益。交叉口空间设计顺序如图3所示。其中，机动车停车线的确定要综合机动车流运行要求、自行车与行人的通行空间等因素来确定。

4.2 交叉口空间设计方法

4.2.1 规划建设交叉口设计原则

对于新建道路交叉口，应贯穿自行车与行人通行空间统一考虑的理念，合理的空间布局方案是：自行车与行人通行空间处于同一平面，设施之间用行道树进行简单隔离，行道树之间互通；机动车路面与自行车分离，通过绿化与自行车通行空间进行分隔。这种理念使机动车与自行车在交叉口上的混杂程度大大降低，同时使得自行车通行空间和行人通行空间可以互相利用。见图4。

4.2.2 建成交叉口的改善设计原则

建成交叉口由于其空间上的拓展余地已经很小，故改造设计的重点在于尽量实现机动车与自行车、行人的分离，充分挖掘现有道路资源，使道路资源的使用效率最大化。

4.2.3 交叉口空间设计方法

1) 通行能力匹配设计

按进口道通行能力与路段相匹配的原则,应增加进口道的车道数,以弥补通行时间的损失。具体增加的车道数要视各进口道流入交通的实际需求情况(各流向流量)等加以确定,见表1。同时,出口车道数不应少于每个进口道的该流向车道数。

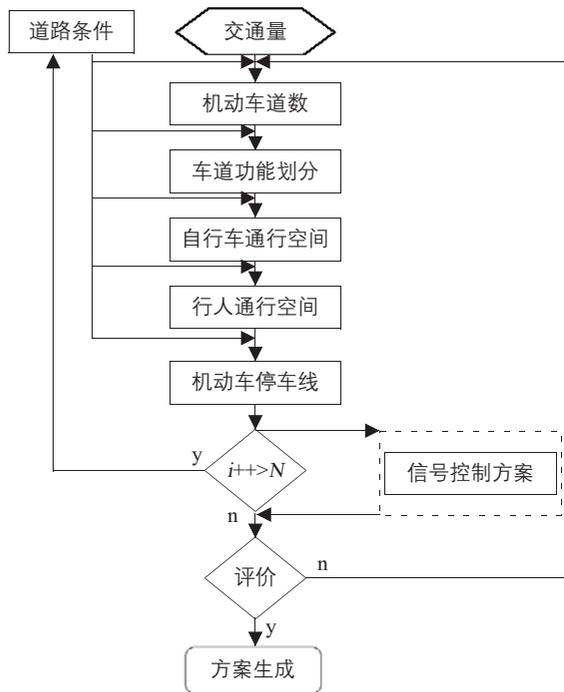


图3 交叉口空间设计流程图

Fig.3 Intersection space design flow chart

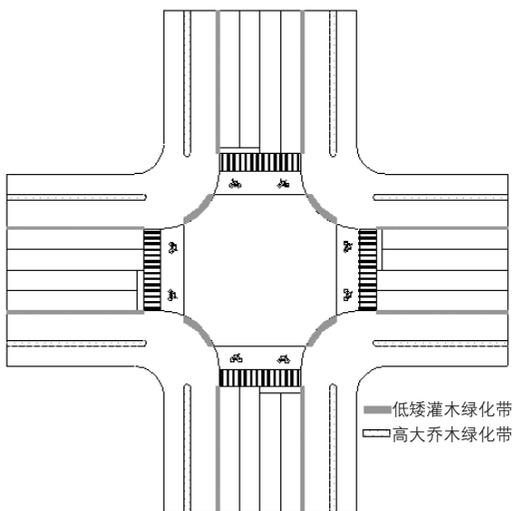


图4 新建交叉口布局模式图

Fig.4 Overall arrangement mode of the new intersection

2) 交通流空间运行秩序

① 机动车通行空间

通过地面划线或交通岛的形式,将每一股交通流的通行区域明确化,使车流各行其道。渠化路线应简单明了,根据各流向车流的安全行驶轨迹设计。交叉口内把各流向的交通流行驶轨迹所需空间之外的多余面积用标线或实体构筑成导向交通岛。导向交通岛间导流车道的宽度应适当,避免因过宽所引起的车辆并行、抢道现象。

② 自行车与行人通行空间

针对目前我国城市道路多为三块板的现象,混合交通流在交叉口合理的渠化方法是将自行车与行人过街通行区域并行设置,与机动车分离,避免左转自行车随机动车直接斜穿交叉口,通过二次过街实现左转^[1,5],如图5所示。

对于道路等级较低、断面较窄的一块板道路,自行车流与机动车流交织,干扰严重,可采用自行车提前待行的方法,设计自行车与机动车前后分开的双停车线,避免自行车主流与机动车的交织与冲突,在一定程度上缓解交通流混杂,见图6。

3) 通行效率设计

通行效率设计主要是从几何设计的角度保证车流运行的顺畅。

① 满足左转车辆的转弯半径

以交叉口一角为例,说明满足左转车最小转弯半径的人行横道位置的确定方法。

对于正交道路,取任一角;斜交道路,取交角为锐角的一角,设交角为 α ,如图7所示。连接道路转角圆心O与弧线中点B,圆心到左转车进口道左侧车道中心线的距离设为 d_1 ,到左转车出口道左侧车道中心线的距离设为 d_2 ,判断 $\min[d_1, d_2]$ 与左转最小转弯半径 R_{\min} 的关系:

当 $\min[d_1, d_2] \geq R_{\min}$ 时,沿OB方向截取线段 \overline{OA} ,长度 $L \geq [\min[d_1, d_2] - R_{\min}] \cdot \cot \frac{\theta}{2}$; 当 $\min[d_1, d_2] \leq R_{\min}$

时,沿BO延长线方向截取线段 \overline{OA} ,长度 $L \geq [R_{\min} - \min[d_1, d_2]] \cdot \cot \frac{\theta}{2}$,得到A点。从A点向两相交道路中心线作垂线,即为人行横道的内侧边线。图中, $\min[R_1, R_2]$

$\geq R_{\min}$ 满足左转最小转弯半径的要求。

②右转车储车空间的设计

人行道位置靠近交叉口中心，当右转机动车在相交道路的人行横道前受阻时，车辆就停在本向的人行横道上，这样即侵害了绿尾行人过街的通行空间，同时也阻挡了直右混行车道中的直行车，还会给本向的非机动车通行带来很大的不便。为此，可将人行横道适当后移，在两条相交的人行横道之间留出一个小汽车的停车间距，这样可大大降低右转机动车对行人和直行机动车以及非机动车的干扰。具体确定方法见文

表1 车道匹配情况

Tab.1 The matching lane number of intersection entrance and road link

路段车道数(单向)	1	2	3	4
进口车道数	2	3~4	4~6	6~8

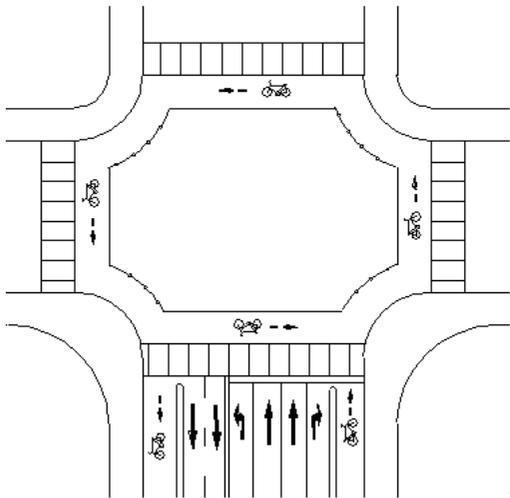


图5 自行车左转二次过街设计图

Fig.5 Design of the left turning bicycle by two times of waiting

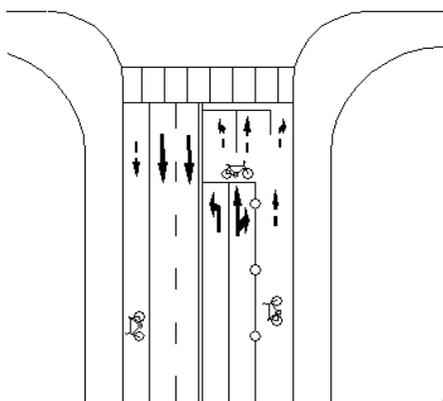


图6 交叉口双停车线设计

Fig.6 Two stop lines design for bicycle and automobile

献[5]。

③ 自行车膨胀流的处理

当自行车在交叉口排队时，间距很小，排队紧密，而当自行车在停车线驶出时，由于安全行驶的需要，其前后左右的间距均需加大，形成膨胀流。故在交叉口空间处理上应考虑自行车通过交叉口时的膨胀宽度。即在直行机动车与自行车通行区域之间留出一定的安全空间，以消除影响。

4) 交通安全设计

在机动车道较多、人行过街横道过长时，绿灯末期行人无法安全通过，应在道路中央进出口道之间辟出一定宽度的区域，作为过街行人安全待行区。过街行人安全待行区的宽度应不小于2 m，最小不得小于1.5 m，否则起不到安全待行的作用。具体设计方法为：

① 有中央分隔带的道路，利用分隔带做安全待行区，并保留端部1~2 m的分隔带，对驻足的行人起保护作用。

② 无中央分隔带的道路，应压缩进出口车道宽，设置安全待行区，并以彩色涂料醒目标出。机动车进出口道压缩宽度计算方法为：设进、出口车道数各为 n_{in} 、 n_{out} ，原车道宽为 W_i 、 W_j ，设置行人待行区后，人行道后的进、出口车道宽度为：

$$W'_i = W_i - \frac{D_s}{2n_{in}}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{in}$$

$$W'_j = W_j - \frac{D_s}{2n_{out}}, \quad j = 1, 2, \dots, n_{out}$$

式中 D_s 为过街行人安全待行区宽度，m。用S形弧线平

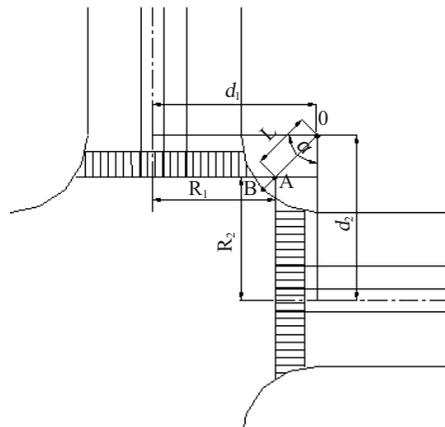


图7 交叉口设计要素图

Fig.7 Intersection space design elements

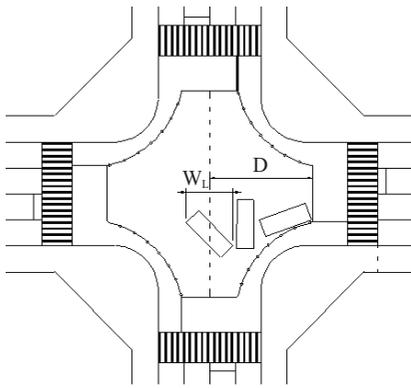


图8 单进口道交叉口设计要素图

Fig.8 Design elements of one entrance lane intersection

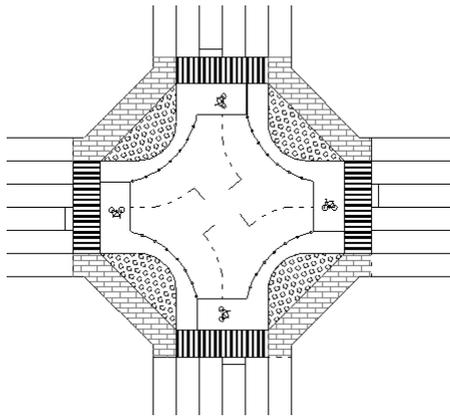


图9 单进口道交叉口平面设计图

Fig.9 Plane design of one entrance lane intersection

顺连接于原车道线。在安全区的端部设置用于保护安全区的防护栏或防护墩,以确保行人在绿灯末期无法一次过街时在路中安全驻足。

5) 附属设施布置空间设计

自行车与人行道的无障碍设计和各种管线的布设位置不应使交通流运行通道上产生物理障碍。

6) 与环境协调的设计

动静统一协调的交通环境,构成优美的城市景观,交通存在于城市之中是为了输送和联系,这种运动创造了视觉感受的运动美。交通流运行轨迹平滑、柔顺,不仅便于交通管理,还能提高道路设施的利用效率。

5 交叉口设计示例

小进口道交叉口通行能力研究^[6]表明:当交叉口

内部空间小,左转在交叉口内待行时,后续直行车辆在绕行空间不足情况下的交叉口饱和流量是充足情况下的15%。基于上面的结论,提出单进口道交叉口的交通设计方法。

此方法是按照最恶劣的条件进行考虑,即1辆左转机动车和1辆右转机动车,为避免让对向直行车和同向过街的自行车与行人,在交叉口内同时待行时,满足后续直行机动车的通行。

设机动车车身长与宽分别为 a 和 b ,见图8。左转机动车的待行空间宽度 $W_L = \frac{\sqrt{2}}{2}(a+b)$,右转机动车的待行空间宽度取 a ,车间距取0.5 m,因此,从道路中心线计,机动车横向的通行区域宽度应为:

$$D = \frac{W_L}{2} + a + b + 1 = \frac{4 + \sqrt{2}}{4}(a + b) + 1.$$

因此,可以确定自行车和行人过街横道的横向起点距道路中心线的距离为 D 。具体设计见图9。

6 结语

本文对目前交叉口空间设计范围及设计中存在的问题进行了分析,提出了合理的交叉口空间设计顺序。在各种交通流通行空间安排得当的前提下,从安全和便捷的角度,提出了交叉口空间具体的设计方法。

参考文献

1. 杨晓光,等.城市道路交通设计指南[M].北京:人民交通出版社,2003
2. DGJ-96-2001 J10099-2001 城市道路平面交叉口规划与设计规程[S]
3. (社)交通工学研究会,编.平面交叉の□□と□□[M].日本:交通工学研究会,平成元年
4. 胡德瑞,张天亮.现代交通对城市景观的影响[A].世界大城市交通[C].北京:中国城市规划设计研究院交通所,情报所,1986.38~46
5. 段进宇,杨晓光.城市道路信号控制平面交叉口的交通设计[A].中国土木工程学会第七届年会论文集[C].上海:同济大学出版社,1995
6. 彭国雄.小交叉口进口道通行能力的分析[R].上海:同济大学,1981