

城市道路交叉口精细化规划设计与控制管理

李克平, 倪 颖

(同济大学交通运输工程学院交通工程系, 上海 201804)

摘要: 中国城市道路交叉口规划设计、控制管理普遍采用简单化处理方法, 导致交通运行中的诸多问题。面向中国城市交叉口交通组成复杂、交通行为随意性和不确定性高的特点, 指出有必要突破传统观念, 区别化、具体化、人性化地处理交叉口各向、各类交通流, 从而提高交通安全和运行效率。以交通岛以及导行线的设计为例, 探讨交叉口规划设计的精细化。围绕通行能力校验和信号控制分析, 阐述交叉口精细化控制管理的基本内容。最后, 以四川省眉山市某交叉口为例, 阐述复杂交叉口精细化处理的基本思路和设计要点。

关键词: 城市道路; 交叉口; 精细化; 规划设计; 控制管理

Detailed Planning, Design and Travel Control for Urban Intersections

Li Keping, Ni Ying

(Department of Traffic Engineering, School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The current methods used in urban intersection planning and design in China are too simple to handle the complicated traffic flows, which has resulted many traffic operation problems. Confronted with complicated, highly random and uncertain traffic flow characteristics at intersections, there is an urgent need to improve intersection design methods in China. The new methods must abandon the old one-size-fit-all concept, recognize specific characteristics at each individual location, and provide the user-oriented design details on how to guide all traffic flows efficiently and safely. Using a traffic island and pavement marking design as a case study, this paper discusses the detailed planning at intersections. Focusing on capacity analysis and signal control design, the paper illustrates the basic contents of intersection traffic control and management in detail. Finally, taking an intersection in Meishan, Sichuan as an example, the paper discusses the principles and key elements for detailed planning and control of complex intersections.

Keywords: urban roadway; intersections; refinement; control and management

收稿日期: 2014-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目“信号交叉口行人过街风险评估模型研究(51308411)”; 国家自然科学基金重点项目“演变中的现代城市道路交通系统集成设计基础理论与方法”(51238008)

作者简介: 李克平(1960—), 男, 上海人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 城市道路交通规划设计与控制、交通仿真建模与分析。E-mail: keping_li@vip.163.com

中国城市道路交通经过近 30 年快速、粗放式发展, 从满足城市交通基本需求来说, 已经有了长足的进步。但是精细化程度与国际先进水平相比, 尚存在较大差距。尤其是城市道路交叉口, 在规划设计和控制管理等方面的精细化值得研究。粗放型的规划与管理导致交通无序混乱、效率低、安全无保障。精细化才是节约用地、保障安全、提高效率的必经之路。

1 精细化的概念与内涵

从 20 世纪四五十年代开始, 欧美发达国家先后研究制定了一系列交叉口规划设计和控制管理方面的工程和技术规范, 例如德国在这方面的交通工程规范达 80 多本。相比之下, 中国在此领域的工程规范严重缺失, 现有的交叉口规划设计、运行管理普遍采用简单化处理的方法套用某些固定模式。

事实上，道路交通组成复杂、交通行为具有随意性和不确定性，导致交通效率低和交通安全问题。例如，交叉口空间规划不合理，片面强调对称，看似工整，一旦车流增加便暴露出交通效率和安全等方面的问题；交叉口冲突区域面积过大，车道不匹配，进口道展宽不足，路缘石半径过大，实体(交通岛和绿化带)或划线渠化不够，标志缺乏或设置不规范，无障碍设施流于形式，对行人过街设施规划不足，对非机动车过街空间规划缺乏考虑，在空间规划设计上很少考虑甚至不考虑对交通流的动态适应性等。同时，城市道路交叉口信号控制基本停留在简单定时多时段水平上，由于对基本问题认识不足，存在很多误区，例如对信号灯色及形式的理解和使用不当，信号周期的选用过长，绿灯间隔时间的概念不明确，对区域自适应控制模式盲目迷信等。

精细化是一种精益求精的理念和态度，主要体现在设计要素的全面性和设计粒度的细致性上。对交叉口进行精细化的规划设计和控制管理要求交通工程师突破模式化、同质化、表面化的观念，充分结合道路交通实际情况，采取区别化、具体化、人性化的理念，对各要素的考虑更加全面、细致和深入。

在交叉口规划设计中，应根据实际交通需求和车流行进流线的要求进行合理的车道功能划分和进口道展宽设计，并通过反复调整获得最优方案；设置安全岛时，应充分考虑不同车辆在直行或转向过程中的空间需求，并仔细校核交通岛相关设计参数，避免出现车辆压岛的问题。此外，精细化的规划设计要求在交叉口范围内，细致划分各类交通流(机动车、公共汽车、非机动车、行人等)的通行空间范围，宜通过不同的地面铺装(特别是人行道和非机动车道)、划线或设置隔离设施标识其边界；尤其重要的是在交叉口中间的冲突区域，通过地面划线为不同类别、不同流向的交通流以明确的引导。图1为德国某城市交叉口规划设计成果，可视为交叉口精细化规划设计的典型案例。

在交叉口控制管理中，应在对各类、各向交通流以及交通流之间的冲突进行细致梳理和分析的基础上，在不同等级、不同功能的道路和交叉口对机动车、公共汽车、行人与非机动车采取区别化的控制策略，并且根据实际交通流的特征采取合理的相位结构，如有效的相位搭接与嵌套等。

2 交叉口规划设计的精细化

城市道路交叉口精细化规划设计的内容

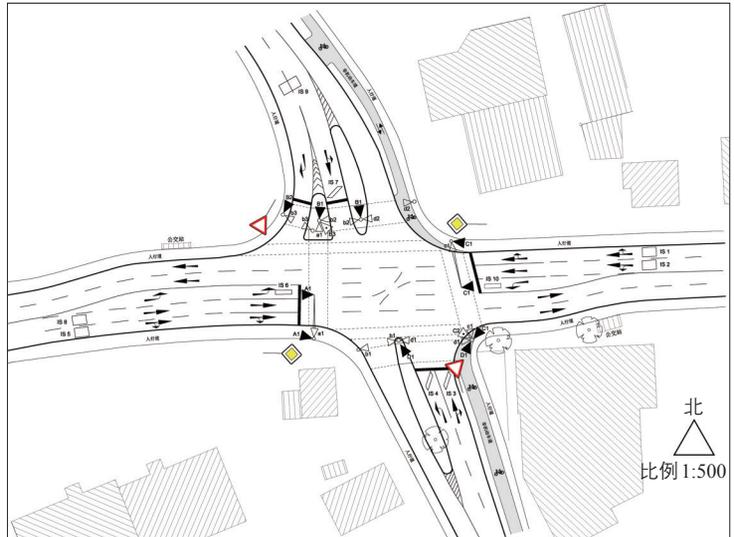
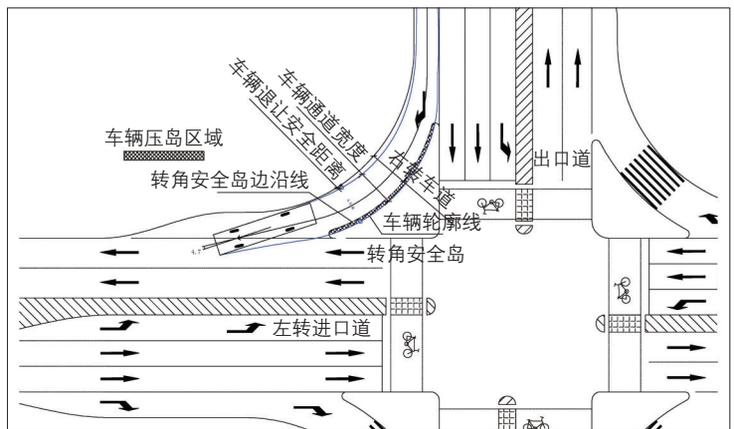


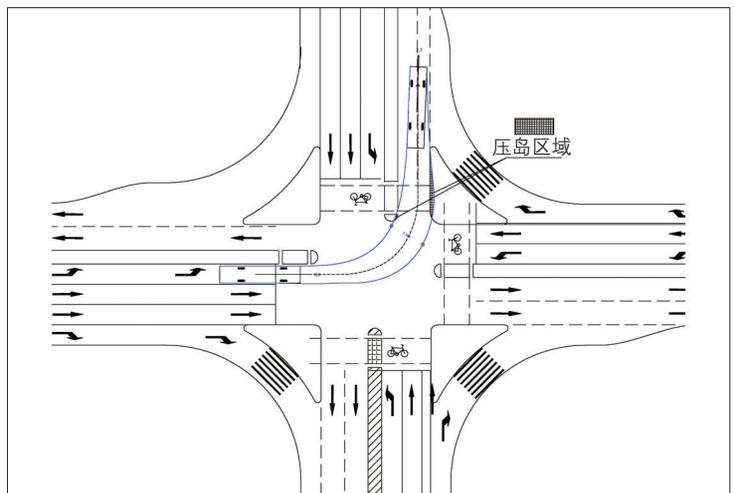
图1 德国某城市交叉口设计

Fig.1 Intersection design in a Germany city

资料来源：德国罗森海姆市(Rosenheim)交通改善设计报告。



a 右转弯车辆压岛



b 左转弯车辆压岛

图2 转弯车辆压岛示意

Fig.2 Illustration of turning vehicles impacting intersection islands

资料来源：文献[2]。

较多, 本文以交通岛和交叉口导行线的精细化设计为例进行阐述。

2.1 交通岛精细化设计

中国较多城市在交叉口设计中设置了转角交通岛, 随着交通工程师设计理念的更新以及有关规范的强制要求, 不少城市还在信号控制交叉口人行横道中加设安全岛。然而从实际运行情况来看, 转角交通岛和行人过街安全岛若设置不当, 可能导致转弯车辆压岛的问题^[1]。例如, 右转专用车道拓宽宽度不够时, 可能导致右转车辆压岛(见图2a); 由于交叉口出口道方向转角岛的设置位置距离交叉口进口过近, 或出口道宽度不够, 导



图3 德国某城市交叉口交通岛设置
Fig.3 Traffic islands design at a city in Germany
资料来源: 谷歌地图

致车辆左转半径不足压上转角岛, 还有可能出现与对向左转轨迹重叠等问题(见图2b)。

为充分发挥交通岛渠化交通及保护行人的功能, 同时避免车辆撞岛的安全隐患, 需要对交通岛的关键设计参数进行研究。本文通过提取与分析交叉口各流向的实际轨迹, 综合考虑交叉口类型、设计车型与车速、交叉口几何尺寸等因素, 确定不同交叉口类型、转弯半径条件下交通岛关键设计参数, 见表1。

实际上, 交通岛的主要作用在于引导交通流, 因此可不拘泥于特定形式。图3为德国某城市道路交叉口内部不同形式的交通岛。图片下方两个交通岛为转角交通岛, 用于渠化右转机动车, 并为行人和非机动车提供过街通道; 各条道路中央设有水滴形交通岛, 交叉口中央设有导流线, 可很好地引导机动车交通流安全、顺畅运行。

2.2 导行线精细化设计

在交叉口内部施画机动车导行线、将非机动车通道进行彩色沥青铺装等也是精细化设计的重要内容(见图4)。在交叉口内部为机动车施画十字导行线或Y形导行线, 一方面可以规范机动车的行驶轨迹、提高驾驶的平顺性和舒适性, 另一方面也可提高交叉口行车的安全性, 特别是在一些复杂交叉口、畸形交叉口、有桥墩或其他障碍物导致视距

表1 交叉口交通岛关键设计参数

Tab.1 Key parameters of traffic island design

交叉口类型	转弯半径 R	W_1	L	W_2	信号控制方式	S_1	S_2	S_3	图示
次-次	12	5.47	5.50	6.80	单侧左转	最小值 9.85	最小值 14.3		
			9.90	5.40		推荐值 15.2	推荐值 21.3		
	20	4.85	5.50	9.95	同时左转			最小值 23.9	
			9.90	6.40		25.2	3.50	推荐值 26.3	
主-主	17	5.05	5.50	8.70	单侧左转	最小值 14.35	最小值 20.25		
			9.90	5.90		推荐值 17.25	推荐值 24.8b 5		
	25	4.50	5.50	12.20	同时左转			最小值 27.3	
			9.90	8.05		21.80	4.35	推荐值 28.0	
			29.00	3.50					

不良的交叉口。进口道与出口道位置偏离的情况下，导行线可有效引导车辆行驶进入正确的车道，避免车辆因驶入错误车道导致事故发生。

3 交叉口控制管理的精细化

3.1 通行能力精细化校验

通行能力和饱和度是评价交叉口服务水平的重要指标。传统的通行能力和饱和度计算方法主要应用于运行阶段，从交叉口各进

口方向、各相位入手计算进口道通行能力和相位饱和度，而在规划阶段则缺少有效的指导方法。

其实，冲突点(区域)才是制约整个交叉口通行能力的关键，其通行能力不足导致车辆在交叉口内部积压、交叉口拥堵甚至瘫痪。本文提出基于关键冲突车流的交叉口通行能力快速精细化检验模型和交叉口饱和度计算方法，克服传统方法只能在运行阶段计算各进口道通行能力和相位饱和度的问题。

一个典型交叉口范围内的主要冲突可归



a 十字导行线

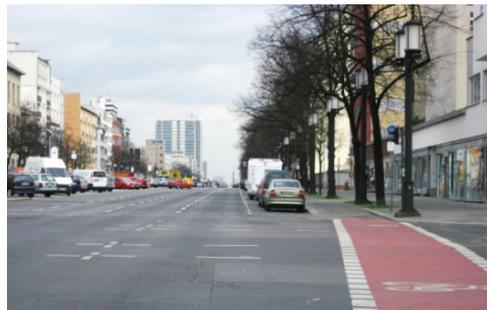
资料来源：谷歌全球眼



b 环形交叉口的导行线



c 进出口道错位时的导行线

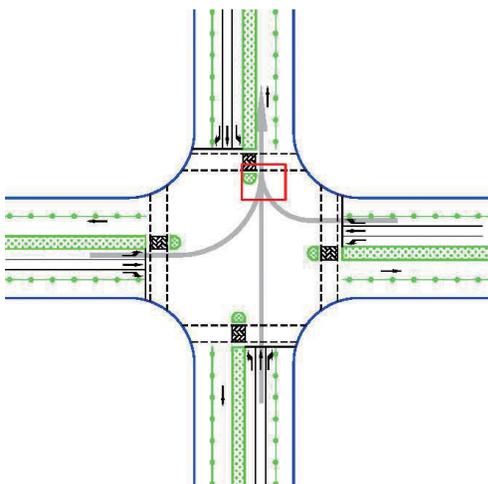


d 非机动车通道的彩色沥青铺装

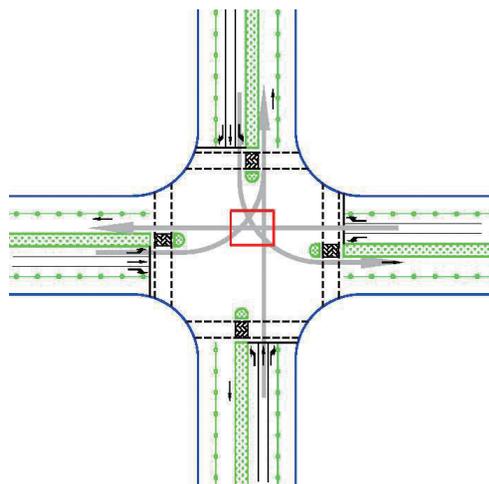
资料来源：谷歌全球眼

图4 交叉口导行线

Fig.4 Pavement markings at intersection



a 出口道的交通冲突



b 交叉口内部的交通冲突

图5 典型十字交叉口的交通冲突

Fig.5 Traffic conflicts at a typical intersection

纳为两大类：1)出口道附近，其他3个进口分别汇入的左直右车流冲突(见图 5a)，4个出口道对应4组冲突；2)交叉口内部垂直方向直行、左转共4股车流之间的冲突(见图 5b)，4股车流中任意2股都不能同时放行，该类冲突共有4组^[1]。因此，一个典型十字交叉路口的冲突车流组合共有8组，如表2所示。

在多股车流冲突的区域，应检验各冲突方向的流量是否与该冲突区域的通行能力相匹配，即是否满足

$$\sum Q < \frac{C - \sum t_z}{C} \times 3600 \times t_B \quad (1)$$

式中：Q 为各冲突车流流量/辆；C 为信号周期/s； t_z 为绿灯间隔时间/s； t_B 为平均饱和和车头时距/(s·辆⁻¹)。

该方法在考虑交叉口安全和效率相关关系的基础上，能快速精细化识别制约交叉口通行能力的关键车流组合，从而调整车道功能划分和车道数，并能在规划阶段对交叉口服务水平进行评价。

3.2 信号控制精细化分析

在信号控制方面，绿灯间隔时间的精细化计算、行人信号控制策略以及区别化的转弯车辆控制策略等均是交叉口精细化控制管理的重要内容，具体可参见文献[3-4]。

4 交叉口精细化设计案例

本文以四川省眉山市某交叉口规划设计

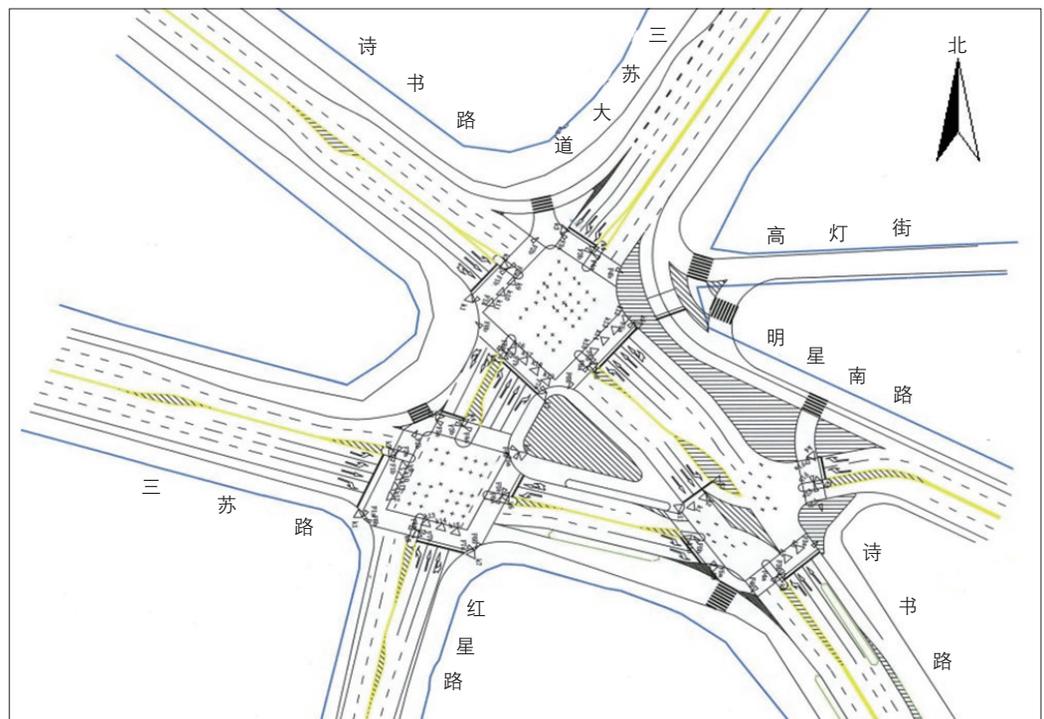


图6 交叉口精细化设计案例
Fig.6 Example of detailed intersection design

表2 典型十字交叉口冲突车流组合
Tab.2 Combination of conflicted traffic flow

车流组合	出口道交通冲突组合				交叉口内部的交通冲突组合				图示
					2	2	3	3	① ② ③
车流编号	1	2	3	4	5	6	6	5	⑫ ⑪ ⑩
	5	6	7	8	9	9	8	8	④ ⑤ ⑥
	9	10	11	12	12	11	11	12	⑨ ⑧ ⑦

与控制管理为例^[5](见图6), 简要介绍复杂交叉口精细化处理的基本思路与设计要点。

首先, 将畸形交叉口分解成3个具有明显行车轨迹交叉空间的交叉口, 通过流线分析, 在交叉口内部设置交通岛、施画导行线, 有效渠化交通流, 引导车辆安全平顺通行。然后确定交叉口的主要流向, 包括诗书路双向, 红星路—三苏大道双向, 以及三苏路—三苏大道方向等, 信号控制设计中应考虑上述方向的协调, 特别是短连线交叉口处应避免车辆排队溢出。此外, 还需要考虑交叉口范围内存在公共汽车站(三苏路—红星路交叉口东进口和东出口), 通过信号控制和交通标志设计, 尽量引导机动车交通流由该交叉口的北出口左转弯, 从而在短间距交叉口内减少社会车辆运行与公共汽车停靠之间的相互干扰, 有利于提高乘客的安全性。经过对交叉口空间渠化和信号周期进行仔细分析和规划设计, 采用微观仿真工具对其整体进行仿真分析、评价和优化, 使各个方向的通行需求都能够得到妥善兼顾, 最后才能得到比较理想的运行效果。

5 结语

对城市道路交叉口的研究和实践永无止境, 特别是在精细化规划设计和控制管理的道路上, 没有最好, 只有更好。希望有更多的学者、工程技术人员投入到这一领域的研究和实践中; 希望政府各管理部门更加重视道路交叉口这个“弹丸之地”, 培育公平、

合理、可持续发展的技术市场, 提高中国城市交通规划设计和运行管理的水平。

参考文献:

References:

- [1] 戴京国. 基于车辆行驶轨迹线的交叉口安全岛位置研究[D]. 上海: 同济大学, 2010.
- [2] 李克平, 杨佩昆, 倪颖. 城市道路交叉口信号控制中的黄灯问题[J]. 城市交通, 2010, 8(4): 67-72.
Li Keping, Yang Peikun, Ni Ying. Amber Interval Design at Urban Signalized Intersections[J]. Urban Transport of China, 2010, 8(4): 67-72.
- [3] 倪颖, 李克平. 基于关键冲突车流的交叉口饱和度计算及应用[J]. 武汉理工大学学报(交通工程与科学版), 2010, 34(1): 31-34.
Ni Ying, Li Keping. Degree of Saturation of Intersections Based on Critical Conflicting Flows[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering), 2010, 34(1): 31-34.
- [4] 李克平, 倪颖. 信号控制交叉口行人过街交通组织与控制[J]. 城市交通, 2011, 9(1): 65-71.
Li Keping, Ni Ying. Pedestrian Traffic Control at Signalized Intersections[J]. Urban Transport of China, 2011, 9(1): 65-71.
- [5] 李克平, 缪立新, 王靓, 等. 复杂交通流交通控制设计、设备研制及工程示范建设项目研究报告[R]. 眉山: 眉山市人民政府, 2005.

(上接第81页)

- [5] Lee Di Milia. Shift Work, Sleepiness and Long Distance Driving[J]. Transportation Research Part F, 2006, 9(4): 278-285.
- [6] 桑晓. 北京公交车驾驶员心理疲劳测评研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2011.
- [7] 盛海涛. 不同休息模式对驾驶疲劳影响的研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2009.
- [8] 王金彪. 德国道路交通管理经验及借鉴意见[J]. 道路交通管理, 2013(7): 62-64.
- [9] Feyer A M, Williamson A, Friswell R. Balancing Work and Rest to Combat Driver Fatigue: An Investigation of Two-up Driving in Australia [J]. Accident Analysis and Prevention, 1997, 29(4): 541-553.
- [10] Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, et al. Quantification of Sleepiness: A New Approach [J]. Psychophysiology, 2007, 10(4): 431-436.
- [11] 翟博韬. 营运长途客车驾驶员疲劳累积实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [12] 于兴玲, 王民, 张立材. 基于PERCLOS的驾驶员眼睛状态检测方法[J]. 微计算机信息, 2007(14): 251-253.
Yu Xingling, Wang Min, Zhang Licai. Driver's Eye State Detection Method Using PERCLOS [J]. Control & Automation, 2007(14): 251-253.