

# 城市道路交叉口信号控制中的黄灯问题

Amber Interval Design at Urban Signalized Intersections

李克平, 杨佩昆, 倪颖

(同济大学交通运输工程学院交通工程系, 上海 201804)

LI Ke-ping, YANG Pei-kun, NI Ying

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

**摘要:** 黄灯是保证信号过渡期间交叉口安全和效率的重要灯色。我国现有交通法规对黄灯信号规定不够明确, 交通管理部门在黄灯时长设置上缺乏统一规范并存在执法误区。以黄灯启亮时接近停止线的车辆为对象, 在减速停车和不停车通过两种选择下, 研究驾驶人行为、车辆运动情况以及如何正确决策。同时, 分析“黄灯困境”产生的原因, 并给出消除方法。指出黄灯时间不宜过短或过长, 综合比较德国、美国、日本黄灯时长计算方法并结合我国实际, 建议根据道路限速确定最小黄灯时间: 道路限速  $\leq 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时取 3 s, 道路限速为  $>40 \sim 70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时取 4 s。建议现行交通法规对黄灯的规定改为: “黄灯亮时, 接近停止线的车辆, 可以安全停车的应停车, 无法安全停车的应继续通行, 但须在黄灯时间内通过停止线”。

**Abstract:** Amber timing design plays an significant role in the safety and efficiency of intersections. However, the purpose of amber interval in a signal cycle is not clearly defined in the current traffic regulations. The lack of uniform design method for amber light causes lots of confusions in traffic operation and enforcement in China. This paper analyzes drivers' behav-

## 0 引言

“红灯停、绿灯行”是所有交通参与者耳熟能详的交通规则, 没有什么疑义。然而, 黄灯亮时应如何行车, 车辆能否越过停止线? “抢(闯)黄灯”是不是违法行为? 黄灯的作用是什么? 黄灯信号是否必要? 这些问题不仅大多数交通参与者不能正确回答, 甚至部分交通管理者都还有或多或少的误解。黄灯是道路交通信号控制中绿灯信号向

ior, vehicle movement and how to make a stop-or-go decision when vehicles approaching the stop line during amber interval. By discussing the causes of the dilemma zone, the paper outlines how to eliminate the dilemma zone by properly design the duration of amber interval. It is suggested that amber interval should be neither too long, nor too short. Based on the comparison of calculation methods for amber interval in Germany, U.S and Japan, the paper develops a calculation method based on the consideration of the unique traffic situation in China. Particularly, it is proposed that the minimum amber interval should be 3s for speed limit below 40 km/h, and 4s for speed limit between 40 km/h and 70 km/h. The paper also suggests to modify the current traffic regulation on amber

light definition so that on-set of a amber interval "Vehicles approaching the stop-line should be able to stop if they can do so safely, or to across the stop-line before red light starts".

**关键词:** 交通管理; 信号控制; 黄灯; 黄灯困境; 最小黄灯时间; 道路交通安全法

**Keywords:** traffic management; signal control; amber signal light; amber interval dilemma; minimum amber interval; road traffic safety regulation

中图分类号: U491.5<sup>4</sup>

文献标识码: A

收稿日期: 2010-06-11

**作者简介:** 李克平(1960—), 男, 上海人, 博士, 教授, 博士生导师, 同济大学中德交通研究中心主任, 主要研究方向: 交通信号控制、交叉口规划设计、微观交通仿真分析。

E-mail: keping\_li@vip.163.com

红灯信号过渡期间保证交叉口安全和效率的重要灯色。虽然黄灯时间占整个信号周期的比例很小,但却关乎生死。据统计,黄灯时间内发生的交通事故约占整个信号交叉口交通事故的50%以上<sup>[1]</sup>。

关于黄灯问题,联合国综合各国对交通信号灯通行权的规定,于1968年发布了《道路交通标志和交通信号协定》,其中规定:黄灯是一种警告信号,表示信号灯即将变为红灯,当红灯亮时,车辆不能进入交叉口<sup>[2]</sup>。1974年,欧洲18个国家参与,且美、加、澳、日等国派观察员参加的“欧洲各国交通部长联席会议”协议商定了《欧洲道路交通标志和信号协议》(European rules concerning road traffic signs and signals),其中规定:黄灯表示即将亮红灯,除黄灯刚亮时已经接近停止线而无法安全制动的车辆可以驶出停止线外,其他车辆应该停止<sup>[3]</sup>。该规定允许不能安全制动的车辆继续行驶通过交叉口。

然而,迄今为止,我国相关交通法律法规尚未就上述问题给出明确规定。2004年5月1日起施行的《中华人民共和国道路交通安全法》规定“黄灯表示警示”<sup>[4]</sup>,其《实施条例》第三十八条对黄灯的规定为“黄灯亮时,已越过停止线的车辆可以继续通行”<sup>[5]</sup>。《实施条例》仅对黄灯启亮时已越过停止线的车辆应如何行车做了规定,而对未越过停止线的车辆应如何行车缺少必要的说明。实际上,黄灯亮时已越过停止线的车辆是在绿灯信号时越线的,其交通行为完全正确,没有任何疑义;黄灯亮时接近停止线但还没有越过停止线的车辆才是黄灯问题的关键所在。

交通法规在黄灯问题方面的缺陷导致我国各地交管部门在信号灯设置及交通执法过程中难有统一标准,出现了“有法难依,违法难究”的尴尬局面。如某些地区交管部门规定“黄灯启亮时,若车辆在停止线以外,需要减速停车,否则按闯红灯处罚”。在责任认定方面,若机动车驾驶人黄灯期间抢行通过发生交通事故,将加重抢行一方的责任。有些地区,如青岛市为避免驾驶人“闯黄灯”,从2005年开始部分取消了机动车黄灯信号,用绿灯末期的绿灯闪烁信号警示驾驶人减速<sup>[1]</sup>。

本文以黄灯启亮时接近停止线的车辆为重点研究对象,分析黄灯信号可能产生的安全问题及

解决方法。通过综合比较国外黄灯时长计算方法,结合我国实际情况,给出最小黄灯时间的建议取值范围,并就交通法律法规的制定、交通管理与执法提出建议。

## 1 黄灯问题

黄灯是信号控制中绿灯向红灯的过渡信号。黄灯启亮,意在提示驾驶人准备停车或在红灯启亮前通过停止线。因此,黄灯启亮时接近停止线的车辆,驾驶人可有两种选择:减速停车(制动决策)和不停车通过(通过决策)。以下详细分析这两种选择对应的驾驶人行为、车辆运动情况及如何在不同条件下做出正确决策。

### 1.1 减速停车

驾驶人看到黄灯启亮后若决定减速停车,首先有一个感知-反应时间 $t_{re}$ ,即驾驶人从感知信号到决定制动到右脚从油门踏板上抬起并转移到制动踏板上的时间,其长短与驾驶人的生理和环境因素密切相关,如驾驶人的经验、年龄、身体状态(是否饮酒、疲劳驾驶)、情绪、车速等,国内外调查显示, $t_{re}$ 值为 $0.7\sim 1.0\text{ s}$ <sup>[6-9]</sup>,在此时间内,车辆将保持原有速度行驶一段距离 $s_{re}$ 。当驾驶人踩下制动踏板后,车辆由原行驶速度开始减速至停车,在制动时间内车辆驶过一段制动距离 $s_B$ ,其长短与车辆初始速度、制动强度及道路条件等有关。因此,黄灯启亮时,若驾驶人采取制动决策,对应的停车距离 $s_H$ 由反应距离 $s_{re}$ 和制动距离 $s_B$ 两部分组成

$$s_H = s_{re} + s_B, \quad (1)$$

如图1所示。图中 $s(t^*)$ 为黄灯启亮时车辆距停止线的距离, $t_G$ 为黄灯时间。

根据车辆的动力学特性,反应距离和制动距离的计算式分别为

$$s_{re} = v t_{re}, \quad (2)$$

$$s_B = \frac{v^2}{2b_v}, \quad (3)$$

式中: $v$ 为车辆行驶速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ ;  $b_v$ 为车辆制动减速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ 。图2是驾驶人感知-反应时间为 $1\text{ s}$ ,车辆制动减速度分别为 $2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ,  $3.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 时对应

的速度—停车距离曲线。

判断驾驶人制动决策正确与否的基本准则是: 停车后车辆是否超出停止线。若车辆距停止线的距离  $s(t^*)$  小于减速停车所需的停车距离  $s_H$ , 停车后车辆会超出停止线, 此时驾驶人制动决策错误。只有保证停车后车辆在停止线以内(这里“以内”是以进口道为立足点的表述), 制动决策才是正确的, 即满足  $s(t^*) \geq s_H$ 。因此, 某些地区交管部门的规定“黄灯启亮时, 在停止线以内的车辆, 都需要减速停车”不符合车辆行驶的基本物理规律。

### 1.2 不停车通过

黄灯启亮时, 若车辆速度较高, 并且已非常接近停止线, 在不超速的前提下, 驾驶人应采取通过决策, 使车辆在红灯启亮前通过停止线。即在黄灯时间内, 车辆将保持原行驶速度驶过一段距离  $s_F$ , 其时间和空间关系如图3所示。

$$s_F = v t_G, \quad (4)$$

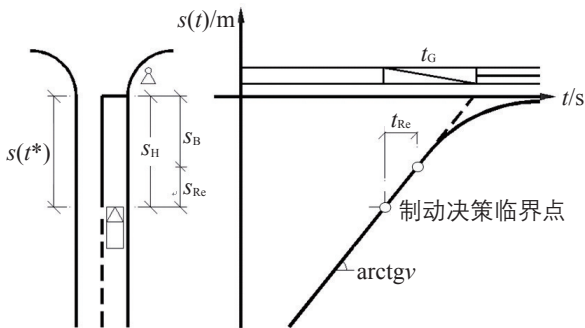


图1 制动决策相关计算示意图

Fig.1 Time-space diagram of "stop" decision

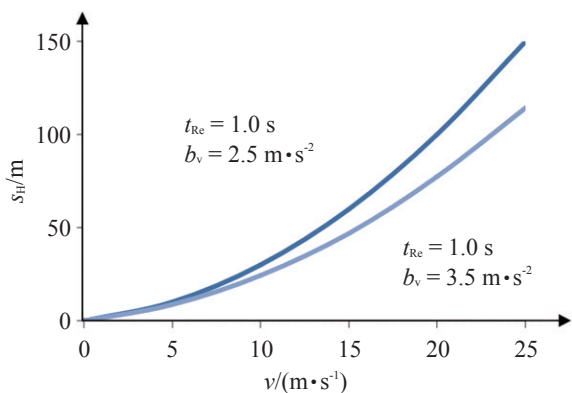


图2 制动决策下的速度—停车距离曲线

Fig.2 Speed-distance diagram under the decision of "stop"

式中:  $s_F$  为车辆按原行驶速度在黄灯时间内的行驶距离/m。

若黄灯启亮时车辆距停止线的距离  $s(t^*)$  大于黄灯时间内车辆的行驶距离  $s_F$ , 则车辆无法在红灯启亮前通过停止线。此时驾驶人若采取不停车通过决策, 则是错误的。只有黄灯启亮时车辆距停止线的距离  $s(t^*)$  不大于车辆在黄灯时间内的行驶距离  $s_F$  时, 才能保证车辆在不超速的前提下在红灯启亮前通过停止线, 即只有  $s(t^*) \leq s_F$  时, 不停车通过决策才是正确的。图4为黄灯时间分别为3 s, 4 s, 5 s时不同速度条件下车辆的行驶距离。某一速度下车辆距停止线的距离在斜线下方时通过决策才是正确的。

### 1.3 黄灯困境

图5为驾驶人决策判断简图。图5a“停车曲线”以上区域应采取“制动决策”; 图5b“通过曲线”以下区域应采取“通过决策”; 图5c中两种决策曲线相交包围的区域既可采取“制动决策”,

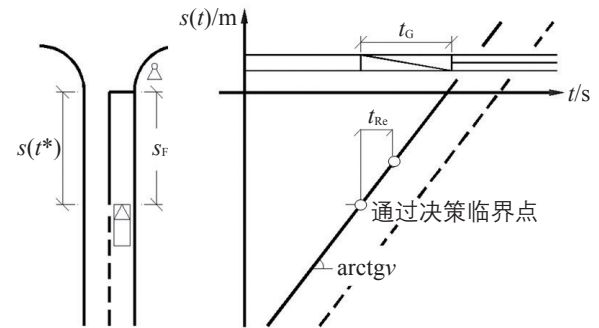


图3 通过决策相关计算示意图

Fig.3 Time-space diagram of "run" decision

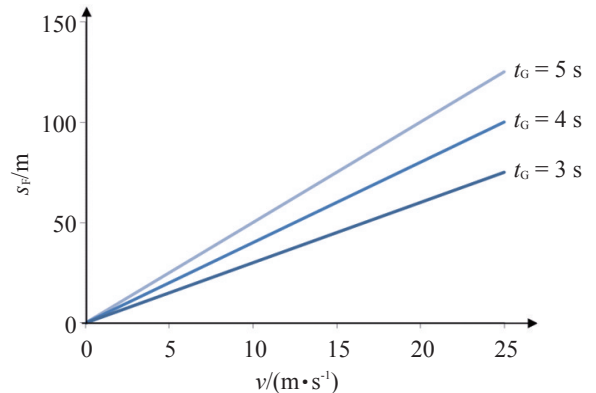


图4 通过决策下速度—行驶距离关系

Fig.4 Speed-distance diagram under the decision of "run"

也可采取“通过决策”，而曲线相交以外的区域即图中的阴影区域，无论采取哪种决策，都是不安全的，即驾驶人既无法安全地在停止线内停车，又无法在不超速的条件下在黄灯时间内通过停止线，从而造成了所谓的“黄灯困境”(yellow interval dilemma)，也被称作“进退两难区”(dilemma zone)。“进退两难区”是随车辆速度变化的动态区域，并非是一个可以在进口道地面上标出的固定区域，当两辆车位于进口道同一位置，但因其速度不同可能需作出不同的决策。文献[10]最早提出了“黄灯困境”，并指出黄灯困境

实质上是一种“交通规则”与“交通参与者理性行为”的冲突。为消除黄灯困境，即避免进退两难区出现，可采取的方法主要有两种：

1) 采用较长的黄灯时间。

由图6可知，随着黄灯时间延长，通过曲线斜率增大，通过曲线与停车曲线的交点随之推迟出现，进退两难区出现在车速较高的区域。因此，通过设置合适的黄灯时间，可以在一定的速度范围内消除进退两难区。

2) 根据道路限速不同采用不同的最小黄灯时间。

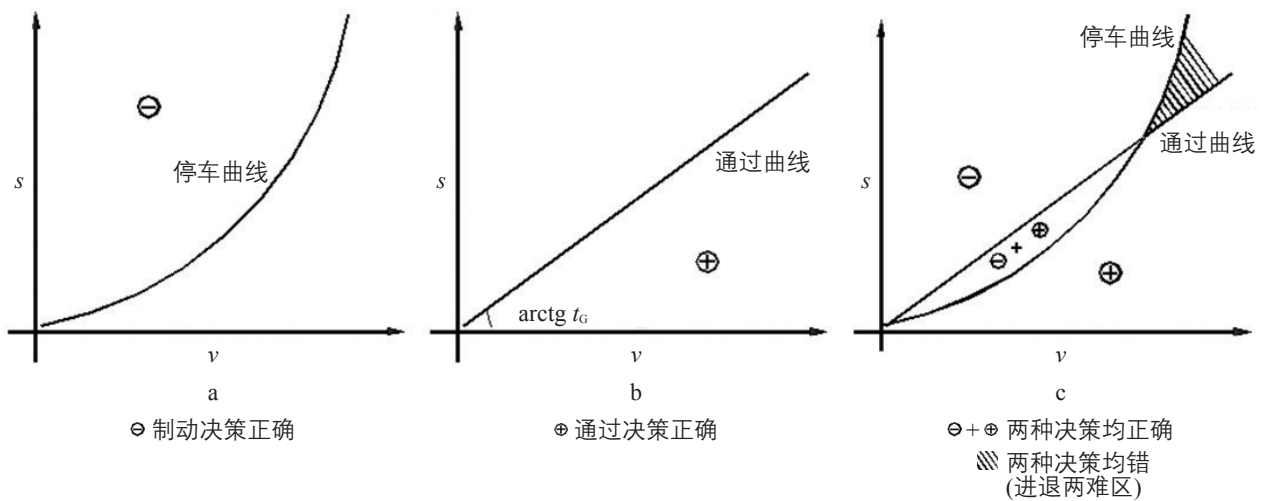


图5 驾驶人决策简图与“黄灯困境”示意图  
Fig.5 Drivers' decision and amber interval dilemma

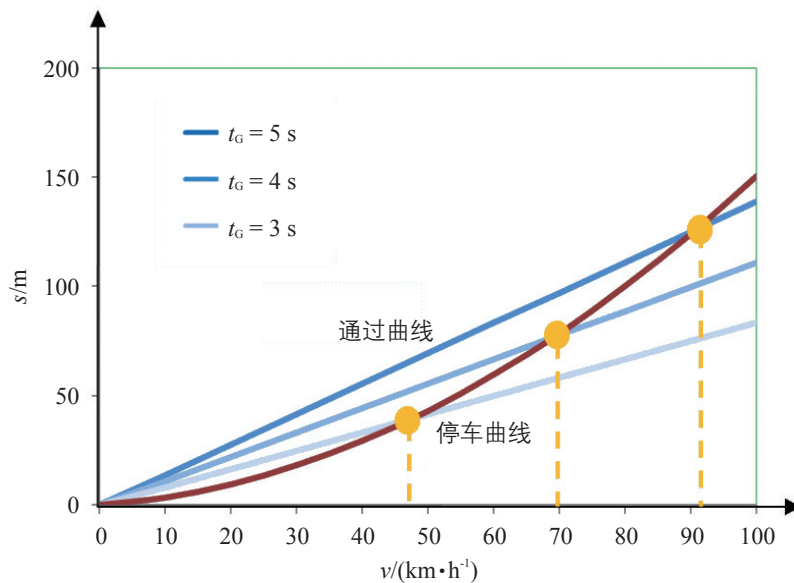


图6 黄灯时长与黄灯困境关系示意图  
Fig.6 Correlation between duration of amber time interval and amber interval dilemma

为保证不出现“进退两难区”, 需使“停车曲线”在“通过曲线”下方。其数学表达式为  $S_H \leq S_F$ , 即  $v t_{rc} + \frac{v^2}{2b_v} \leq v t_G$ , 则

$$t_G \geq \frac{v}{2b_v} + t_{rc}. \quad (5)$$

## 2 黄灯时长确定方法

### 2.1 国外黄灯时长计算方法

为避免出现黄灯困境, 合理设置黄灯时间至关重要。国外对黄灯问题的研究已基本成熟, 如德国、美国、日本等在现行信号控制规范中明确规定了黄灯时长计算方法, 并给出建议值。

#### 1) 德国。

德国交通信号控制现行规范按照式(5)计算最小黄灯时间, 其取值与道路限速、车辆制动减速度及驾驶人感知-反应时间有关, 一般  $t_{rc}$ 取 1 s,  $b_v$ 取  $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。道路限速小于  $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 对应的最小黄灯时间分别为 3 s, 4 s, 5 s<sup>[6]</sup>。

#### 2) 美国。

美国交通工程师协会 (Institute of Traffic Engineers, ITE)的交通工程师手册推荐黄灯时间计算式为<sup>[8]</sup>:

$$Y = \tau + \frac{v}{2(d + Gg)}, \quad (6)$$

式中:  $Y$ 为黄灯时间/s;  $\tau$ 为驾驶人感知-反应时间, 一般取 1 s;  $v$ 为车辆进入交叉口的速度( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 通过调查取 85%位速度或道路限速;  $d$ 为车辆制动减速度, 推荐值为  $3.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ;  $G$ 为重力加速度, 取  $9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ;  $g$ 为坡度/%, 上坡为正, 下坡为负。由式(6)计算得到的黄灯时间, 其最终结果取整

加 1。

#### 3) 日本。

日本交通工程师协会(Japan Society of Traffic Engineers, JSTE)交通信号控制手册中, 黄灯时间计算式为<sup>[9]</sup>:

$$Y = \tau + \frac{v}{2d}, \quad (7)$$

式中:  $\tau$ 为驾驶人感知-反应时间, 一般取 0.7 s;  $v$ 为车辆进入交叉口的速度( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ );  $d$ 为车辆制动减速度, 推荐值为  $3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。

### 2.2 黄灯时间算法讨论

为保证交通安全, 最小黄灯时间应由两部分组成: 驾驶人感知-反应时间和车辆制动时间(或车辆通过时间)。驾驶人感知-反应时间各国取值不一, 大多取 1.0 s。车辆制动时间与制动速度、减速度相关。制动速度取值应考虑最大限速值; 减速度取值各国存在一定差异, 取值范围为  $3.0 \sim 3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , 美国、日本取较低值, 德国取较高值。制动减速度值应是交通法规或车检部门规定的任何在公共道路上行驶的车辆必须满足的最小值。除此之外, 美国 ITE 提出在黄灯时间计算中考虑坡度修正, 上坡方向黄灯时间可稍短。按照各国规范中的计算公式, 分别计算不同道路限速( $30 \sim 80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ )下的最小黄灯时间(不考虑坡度影响), 见表 1。

德国、美国、日本的最小黄灯时间都不少于 3 s, 且最小黄灯时间随道路限速的提高而增加。我国《机动车运行安全技术条件》(GB 7258—2004)规定车辆的平均减速度应不小于  $3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ <sup>[11]</sup>。调查表明, 国内驾驶人感知-反应时间可取 0.8 s<sup>[12]</sup>, 从而根据道路限速确定最小黄灯时间为: 限速  $\leq 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 取 3 s; 限速  $> 40 \sim 70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 取 4 s。路段限

表 1 德国、美国、日本不同道路限速下的最小黄灯时间

Tab.1 Minimum duration of amber interval under various speed limits in Germany, United States and Japan

国家	限速/( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )					
	30	40	50	60	70	80
德国( $\tau = 1.0 \text{ s}, d = 3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )	3	3	3	4	4	5
美国( $\tau = 1.0 \text{ s}, d = 3.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )	3	3	4	4	5	5
日本( $\tau = 0.7 \text{ s}, d = 3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )	3	3	4	4	4	5

速高于  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  的道路, 接近交叉口时, 须将限速调整在  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  或以下, 才可设置信号灯。

实际采用的黄灯时间应满足最小黄灯时间的要求, 但也不宜过长。若黄灯时间过长, 前后跟驶车辆的驾驶人判断不同, 极易导致追尾事故; 同时, 黄灯时间利用率降低, 信号损失增加, 从而降低交叉口通行效率。所以, 信号控制交叉口进口道应设置最高允许车速, 如德国现行规范中规定为  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

### 3 结论

1) 建议现行交通法规对黄灯的规定改为: “黄灯亮时, 接近停止线的车辆, 可以安全停车的应停车, 无法安全停车的应继续通行, 但须在黄灯时间内通过停止线。”

2) 最小黄灯时间按限速取值: 限速  $\leq 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  时, 取 3 s; 限速  $>40\sim 70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  时, 取 4 s。

3) 在交通执法上, 应允许车辆在黄灯期间通过停止线, 但是必须严格规定不得超速, 严格禁止车辆在红灯期间通过停止线。

参考文献:

References:

- [1] 钱红波, 李克平. 绿灯间隔时间对交叉口交通安全的影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18 (6): 166 - 170.  
QIAN Hong-bo, LI Ke-ping. Study on the Influence

- of Green Traffic Light Intervals on the Crossing Traffic[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18 (6): 166 - 170.
- [2] 段里仁. 城市交通概论[M]. 北京: 北京出版社, 1984.
- [3] 吴兵, 李晔. 交通管理与控制(第四版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [4] 中华人民共和国道路交通安全法[S]. 北京: 第十届全国人民代表大会常务委员会, 2003.
- [5] 中华人民共和国道路交通安全法实施条例[S]. 北京: 中华人民共和国中央人民政府, 2004.
- [6] 德国道路与交通工程研究学会. 交通信号控制指南: 德国现行规范[M]. 李克平, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [7] Retzko H, Boltze M. Timing of Inter-green Periods at Signalized Intersections: the German Method[J]. ITE Journal, 1987, 7(1): 23 - 26.
- [8] Institute of Traffic Engineers. Manual of Traffic Signal Design[M]. Washington DC: ITE, 1998.
- [9] Japan Society of Traffic Engineers. Manual on Traffic Signal Control[M]. Tokyo: JSTE, 2006.
- [10] Gazis D, Herman R, Marududin A. The Problem of Amber Signal Light in Traffic Flow[J]. Operations Research, 1960, 8 (1): 112 - 132.
- [11] GB 7258—2004 机动车运行安全技术条件[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2004.
- [12] 徐吉谦, 过秀成, 等. 交通工程学基础[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001.

### 规划研究动态

#### 深圳市交通中心2009年度全国优秀城乡规划设计评选获奖项目

由深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司(以下简称“交通中心”)负责完成的《佛山市综合交通规划》获2009年度全国优秀城乡规划设计评选二等奖, 此前, 交通中心完成的“深圳市整体交通规划”曾获2007年度该奖项二等奖。

佛山市是广东省第三大城市, 《佛山市综合交通规划》是首个覆盖全市范围的交通规划。该规划制定了包含各类交通设施在内的“佛山市综合交通规划一张图”, 明确区域交通基础设施、

道路网络、交通枢纽、公交场站规模和布局, 已成为佛山市政府进行交通规划、建设、管理的纲领性文件。

近年来, 交通中心在立足做好深圳市交通规划设计咨询服务的同时, 也开始走出深圳, 积极推广深圳的交通规划经验, 先后承担东莞、佛山、江门、河源等10多个大中城市和澳门特别行政区的交通规划设计咨询项目。

(张晓春 林涛 吕北岳 供稿)