

# 道路交叉口信号控制效益评价指标及方法

吴仁良, 杨 浩, 刘 通

(无锡市公安局, 江苏 无锡 214000)

[摘要] 目前我国在道路交通信号控制的效益评价方面缺少统一标准, 各地对交叉口信号控制效益的评价主要通过经验判断, 缺少量化分析. 首先, 总结分析了国内外现有研究的各类交通信号控制评价指标及方法, 在此基础上, 综合选取交叉口关键车道排队长度、平均行车延误和绿灯利用率等指标, 并针对高峰、平峰等不同时段的评价目标设置各项指标权重. 然后, 采用加权平均法综合计算交叉口信号控制效益指数, 依据指数值确定对应的效益等级. 最后, 选取无锡市梁清路与隐秀路交叉口进行实地评测应用. 结果显示, 采用本文方法进行交叉口信号控制效益评价, 实现了各项指标的量化分析, 评价结论与实际情况较为吻合.

[关键词] 道路交叉口, 控制效益, 评价指标, 排队长度, 绿灯利用率, 行车延误

[中图分类号] U491 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2019)02-0037-07

## Benefit Evaluation Index and Methods for Road Intersection Signal Control

Wu Renliang, Yang Hao, Liu Tong

(Wuxi Department of Public Security, Wuxi 214000, China)

**Abstract:** At present, there are lack of unified benefit evaluation index and methods for road traffic signal control in China. The benefits of intersection signal control are most evaluated by the subjective judgement. Without the quantitative analysis, the conclusions of the evaluating are not scientific and reasonable. Firstly, the existing domestic and foreign research of the benefit evaluation index and methods for intersection signal control were summarized and analyzed, based on that, the indicators such as queue length of critical lane, average travel delay, and utilization rate of green light were selected to evaluate the benefit, and the weight of different indicators were determined by the control demand for different time periods, such as peak and average peak. Then, a weighted average method was used to evaluate the benefit of the signal control for isolated intersection, by which the different grades of integrated benefit of signal control were determined. Finally, the tests were done at the intersection of Liangqing Road and Yingxiu Road, Binhu District of Wuxi City. The results show that the method is suitable for evaluating the benefit of signal control for isolated intersection, which realized the quantitative analysis of the indicators, and whose evaluation results were in good agreement with the actual situation.

**Key words:** road intersection, benefit of signal control, evaluation index, queue length, availability of green time, control delay

在城市路网中, 道路与道路相交形成交叉口. 交叉口是道路系统的重要组成部分, 是交通咽喉所在, 其对整个路网的通行能力具有决定性作用. 为了提高路网的通行能力和服务水平, 必须对交叉口通行的时空资源进行合理配置, 关键是对交叉口进行系统性评价, 找准交叉口改善的目标和方向. 因此, 在交叉口空间布局已定的情况下, 对时间资源利用即信号控制的合理性、有效性评价, 则显得极为重要. 同时, 通过对信号控制的评价, 可以为城市交叉口的组织管理与信号控制改善等提供技术支持, 减少不合理的通行时间配置, 提高交叉口的交通运行效率. 本文通过调查分析表征交叉口交通运行状况的相关指标, 在国内外现有研究基础上, 针对交叉口信号控制, 选取合适指标建立控制效益评价指标体系, 采用加权平均法和优序图法, 量化测评信号控制效益等级.

收稿日期: 2018-11-16.

通讯联系人: 吴仁良, 交通指挥中心主任, 研究方向: 智能交通管理, 交管信息化. E-mail: wurl999@189.cn

## 1 国内外研究现状

随着智能交通技术的广泛应用,交通信号控制技术得到大规模发展. 据统计,截止2014年底,全国共有7.4万个信号灯控制交叉口,灯控率达到43.1%<sup>[1]</sup>. 各地应用的信号控制系统种类多样<sup>[2]</sup>,控制手段存在定时、感应、自适应、干线协调以及区域控制等多种方式,应用水平参差不齐,应用效果和适应性需要进一步评估验证. 由于我国缺少统一的交通信号控制效益评价标准,各地主要凭经验对道路交叉口信号控制的好坏进行评价,缺少量化分析,不够科学合理. 亟需建立一套科学、客观、实用的交叉口信号控制效益评估体系,为应用和发展交通信号控制技术提供支持.

以国外来说,美国以控制延误作为信号交叉口服务水平的评价标准<sup>[3]</sup>,德国采用停车次数、延误、行程时间以及排队长度等指标进行综合测算控制效益<sup>[4]</sup>,日本以车流量与通行能力的比值(V/C)来划分服务水平等级<sup>[5]</sup>. 国外的这些评价标准在评价的全面性、适应性等方面与我国的实际需求相差较大,不能直接照搬使用. 国内一些科研机构和大专院校对道路交通信号控制效益评估进行了理论研究,提出交通负荷、平均延误、停车次数、油耗、尾气排放和平均噪音等评价指标,以及加权平均法、层级分析法、主成分分析法、TOPSIS法以及蒙特卡罗模拟综合评价法等评价方法<sup>[6-12]</sup>,从道路通行效率、服务水平、安全性和环境影响等不同方面进行评价. 从可操作性和实用性角度看,多数指标和方法仍停留在理论测试或应用验证阶段,未形成统一标准. 公安部在《城市道路交通管理评价指标体系》中制定了灯控率、交叉口阻塞率、延误和车速等类似指标<sup>[13]</sup>,但其主要适用于评价交通秩序管理的整体效益水平,并不适合单个交叉口的信号控制效益评价.

## 2 评价指标及方法

### 2.1 评价指标选取

#### 2.1.1 评价原则

系统工程学中的评价是指对系统的价值进行分析和量化评定. 交叉口本身是一个系统,应按照客观性、实用性和可操作性等原则进行评价.

- (1)充分性:需要通过不同角度全面反映评估目标的情况;
- (2)客观性:能通过非系统本身的渠道获得数据,便于第三方独立机构进行评价;
- (3)可测性:需要对指标进行定量化计算,而不仅仅是定性的分析,因此所选择的指标应是可量化的;
- (4)可比性:评价指标应具有普遍的统计意义,使得评价结果能够实现横向和纵向比较;

(5)可操作性:在满足评价目的的前提下,从交叉口交通实际情况出发,评价指标概念要清晰,表达方式要简洁易懂,数据来源要易于采集,操作途径要切实可行,要充分考虑到日常操作中的方便程度,并尽可能采用现代信息技术手段实现评价目的.

#### 2.1.2 影响因素分析

交通流在道路交叉口形成交集,由于信号控制的作用,各个方向的交通流会出现等待情况,由路段上的连续流演变成间断流,从而产生排队长度、延误时间和停车率等数据. 一般而言,这些数据取决于车辆的到达率和交叉口各个进口道的通过能力. 而车辆的到达率和通过能力都是随着时间而变化,但是在较长的时间段内总的到达率和通过能力基本稳定不变. 从因果关系来说,是交叉口的冲突使得采用信号控制,势必造成进口道车辆的排队,因而造成延误时间和停车率. 后者成为交通控制评价的直观评价指标,而排队长度是计算这两个指标的前提.

#### 2.1.3 指标选取过程

综合国内外研究文献<sup>[14-15]</sup>,可供选择的评价指标分为四类:第一类是交通需求类指标,包括流量、占有率和饱和度等;第二类是畅通性指标,包括停车次数、排队长度、平均速度和通行时间等;第三类是服务水平类指标,包括平均延误、通行能力、绿灯利用率、油耗和排放等;第四类是安全性指标,包括行人、非机动车与机动车冲突次数和事故次数等.

按照评价目标和原则,第一类指标反映的是交通出行的需求量,与交通控制效果好坏没有直接关系;第四类指标需要借助其他系统,通过长时间调查分析才能获得数据. 这二类指标均不适用于本研究. 在第

二类指标中,停车次数、平均速度和通行时间等指标主要用于评估道路或路段的交通畅通状态,不适合交叉口信号控制效益评估;第三类指标中,通行能力主要由道路等级、车道宽度等环境因素决定,道路建成以后基本固定,与信号控制无关。其他指标如油耗、排放等在实际操作中不方便测量,用视频或人工调查等普通方法难以获取相关数据,而绿灯利用率这一指标主要来自于实际应用,各地交通管理部门应用频次较多,加之该指标较为通俗易懂且容易获得。因此,本文选取排队长度、行车延误和绿灯利用率 3 个指标组成评价指标体系。

## 2.2 单项评价

### 2.2.1 单项评价指标

#### (1) 关键车道排队长度

关键车道是对整个交叉口通行能力和信号配时设计起决定作用的进口车道。关键车道排队长度用红灯期间交叉口各个方向关键车道车辆排队长度的平均值表示。计算公式如下:

$$V = (2.0 \times V_l + V_s) \times \bar{l}_{veh}, \quad (1)$$

式中:  $V$  为排队长度(m);  $V_l$  为排队的大车数量(辆);  $V_s$  为排队的小车数量(辆);  $\bar{l}_{veh}$  为标准小客车平均长度(m/辆)。按照《城市道路交通管理评价指标体系》<sup>[12]</sup>,将信号控制效益分为优、良、中、合格、差 5 个等级。通过选择不同类型城市、不同等级的道路交叉口进行实践分析和仿真验证,关键车道排队长度与控制效益之间的对应关系见表 1。

表 1 关键车道排队长度与信号控制效益指数的对应关系

Table 1 Relationship of queue length of critical lane and benefit index for signal control

控制效益等级	优	良	中	合格	差
评估指数	[90,100]	[80,90)	[60,80)	[40,60)	[0,40)
关键车道排队长度/m	<30	30~48	48~60	60~90	≥90

#### (2) 平均行车延误

行车延误是指车辆受信号控制影响通过交叉口而产生的额外行程时间,能够反映交叉口的服务水平。车道平均行车延误用该车道上车辆的总停驶等待时间与总通过车辆数的比值表示:

$$\bar{D} = \frac{T_s}{V_s + V_R}, \quad (2)$$

式中:  $\bar{D}$  为平均延误(s/辆);  $T_s$  为总停驶等待时间;  $V_s$  为停驶车辆数(辆);  $V_R$  为非停驶车辆数(辆)。

平均行车延误与控制效益之间的对应关系见表 2。

表 2 平均行车延误与信号控制效益指数的对应关系

Table 2 Relationship of average travel delay and benefit index for signal control

控制效益等级	优	良	中	合格	差
评估指数	[90,100]	[80,90)	[60,80)	[40,60)	[0,40)
平均行车延误/(s/辆)	<10	10~20	20~35	35~55	≥55

#### (3) 绿灯利用率

绿灯利用时间是指信号控制交叉口绿灯期间各个进口道有车辆通过停车线的时间。绿灯利用率是绿灯利用时间与总绿灯时长的比值,该指标能反映交叉口绿灯配时的合理性。

绿灯利用时间计算如下:

$$G_{a,i} = h_{si} \cdot V_i, \quad (3)$$

绿灯利用率为:

$$W_R = \frac{\sum G_{a,i}}{\sum G_i} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:  $W_R$  为绿灯利用率;  $G_{a,i}$  为第  $i$  个调查时段内的绿灯利用时间;  $G_i$  为信号配时绿灯时间(s);  $h_{si}$  为第  $i$  个调查时段内绿灯启亮时,放行方向前 3~5 辆车平均车头时距(s);  $V_i$  为第  $i$  个调查时段内通过的车辆数(s)。

绿灯利用率与控制效益之间的对应关系见表 3。

表 3 绿灯利用率与信号控制效益指数的对应关系

Table 3 Relationship of utilization rate of green light and benefit index for signal control

控制效益等级	优	良	中	合格	差
评估指数	[ 90,100]	[ 80,90)	[ 60,80)	[ 40,60)	[ 0,40)
绿灯利用率/%	>90	80~90	70~80	50~70	≤50

2.2.2 单项指数计算

单项指标对应的控制效益指数采用线性插值的方法计算得出：

$$p_i=y_{i1}+\frac{(y_{i2}-y_{i1})}{(x_{i2}-x_{i1})}(x_i-x_{i1}), \tag{5}$$

式中： $p_i$  为第  $i$  个指标评估得出的指数值，保留小数点一位； $x_i$  为第  $i$  个指标的调查值； $x_{i1}$  为第  $i$  个指标调查值对应的下限阈值； $x_{i2}$  为第  $i$  个指标调查值对应的上限阈值； $y_{i1}$  为第  $i$  个指标对应指数的下限阈值； $y_{i2}$  为第  $i$  个指标对应指数的上限阈值。

2.3 综合评价

按照系统工程学的观点，系统是按一定的秩序和内部联系组合成的整体。交叉口信号控制效益作为一个整体系统，其内部各部分是彼此联系、互相影响的。孤立的考虑单个因素的评价指标，很难确定交叉口整体控制效益的优劣。采用系统工程学的加权评价法和优序图法，有利于交叉口之间横向、纵向比较。其中，加权评价法用于计算综合指数，优序图法用于确定指标权重。

2.3.1 加权评价法

采用常用的加权平均法，首先列出单个指标值，其次确定各指标的权重，然后进行加权平均得到综合指数。基于多个指标的综合评估指数计算采用以下公式：

$$P=\sum_{i=1}^n p_i \cdot w_i, \tag{6}$$

式中： $P$  为综合交通状态指数，按照“四舍五入”取整。 $p_i$  为第  $i$  个指标评估得出的交通状态指数； $w_i$  为第  $i$  个指标的权重； $n$  为选取的指标个数。

2.3.2 优序图法

由于不同指标的重要性已知，同时考虑权重设置的不确定性，指标权重系数的确定采用专家评分法中的优序图法<sup>[16]</sup>，通过对多个指标进行两两相对比较，最后给出重要性次序或者优先次序。若  $A$  指标比  $B$  指标优，则评分为 1，否则评分为 0；若  $A$  指标与  $B$  指标相比，优劣相当，则评分为 0.5；当  $A$  指标与  $A$  指标比时，直接在表格中填入 0.5。指标的权重为该指标的评分值与所有指标的总评分值之比。

评价指标的重要性取决于不同时段的评价目标。高峰期的评价目标是交叉口的排队和拥堵情况，按照以上方法，关键车道排队长度指标的重要性高于平均行车延误和绿灯利用率指标，其排序结果和权重计算见表 4。

表 4 高峰期评价指标权重计算表

Table 4 Weigh computation of evaluation index at peak time

指标名称	关键车道排队长度/m	平均行车延误/(s/辆)	绿灯利用率/%	得分	权重
关键车道排队长度/m	0.5	1	1	2.5	0.56
平均行车延误/(s/辆)	0	0.5	1	1.5	0.33
绿灯利用率/%	0	0	0.5	0.5	0.11

平峰期的评价目标是交叉口的车辆停车和配时效率情况，平均行车延误和绿灯利用率指标的重要性高于关键车道排队长度指标，其排序结果和权重计算见表 5。

表 5 平峰期评价指标权重计算表

Table 5 Weigh computation of evaluation index at average peak time

指标名称	关键车道排队长度/m	平均行车延误/(s/辆)	绿灯利用率/%	得分	权重
关键车道排队长度/m	0.5	0	0	0.5	0.11
平均行车延误/(s/辆)	1	0.5	1	2.5	0.56
绿灯利用率/%	1	0	0.5	1.5	0.33

## 2.4 数据调查

### 2.4.1 数据调查方法

一般数据调查方法有人工定点调查、系统抽样和实测车跟驰等方式. 人工定点调查需要在交叉口每个进口方向都配置调查人员,所需人力成本高,不适合长期评价;系统抽样调查主要通过调取信号控制、流量检测和视频监控等系统的数据进行分析计算,数据依赖于路面交通检测设备,一旦设备出现故障,调查结果将会出现极大偏差,此外,一些城市道路交叉口并未安装检测器或视频监控等设备,这种情况下就无法使用系统抽样调查. 综合考虑成本和适用范围等因素,本文采用视频录像方式,即在交叉口各进口方向使用便携式视频采集设备,记录交通通行视频图像,然后将视频图像下载到计算机,利用离线视频分析软件,对视频图像进行分析,提取交通流特征参数进行评测.

### 2.4.2 调查步骤

第一步:确定待评估的城市道路交叉口,利用便携式视频采集设备记录下各个进口方向交通视频图像;

第二步:用离线视频分析软件分析视频录像获取控制效益评价所需的各项指标数据,包括交叉口各个进口方向、车道的排队长度、绿灯利用率和车辆延误等;

第三步:针对高峰、平峰等不同时段,重复第一、二步,并记录下每次调查的信息;

第四步:计算各项指标数据,具体方法为:

关键车道排队长度:以 15 min 为分析周期,分析每个进口方向关键车道红灯期间排队的大车和小车数,按照式(1)获得排队长度.

平均行车延误:分析路口各个方向关键进口道的非停驶车辆数、停驶车辆数和停驶车辆等待时间,按照式(2)获得平均行车延误.

绿灯利用率:分析每个信号周期绿灯亮时对应放行方向关键进口道第 3-5 辆车的平均车头时距,按照式(3)计算得到绿灯利用时间,再按照式(4)用总的绿灯利用时间除以总的绿灯配时时间得到绿灯利用率.

## 3 实地测评应用

### 3.1 测评对象

选择无锡市滨湖区梁清路与隐秀路交叉口进行评测,该交叉口为典型十字路口,见图 1.



图 1 无锡市梁清路-隐秀路交叉口位置及示意图

Fig. 1 Intersection of Liangqing Road and Yingxiu Road, Binhu District of Wuxi City

采用视频录像的方法调查各类评价指标数据,分析工作日应用感应控制技术前后的交叉口控制效益情况. 测试日期为 2017 年 8 月 9 日(应用前)和 2017 年 8 月 10 日(应用后),测试时段为下午平峰时段(15:00-16:00)、高峰时段(17:30-18:30).

### 3.2 原始数据

经过两天测试,得到数据如表 6~8 所示.



表 6 关键车道排队长度数据

Table 6 Length data of queue length of critical lane

m

时间		应用前				应用后			
		东	南	西	北	东	南	西	北
平峰	0~15 min	47.3	28.1	27.8	17.6	31.3	24.0	33.9	17.0
	15~30 min	45.9	29.6	32.9	14.8	38.2	20.3	27.9	17.7
	30~45 min	43.8	26.9	30.2	21.4	35.6	33.1	23.5	19.2
	45~60 min	47.0	29.0	39.5	17.4	39.7	21.0	25.9	14.9
	平均	46.0	28.4	32.6	17.8	36.2	24.6	27.8	17.2
	最大	46.0				36.2			
高峰	0~15 min	58.6	23.4	61.4	41.8	32.0	28.1	55.7	38.0
	15~30 min	38.7	20.2	59.2	36.1	36.4	26.6	42.0	36.3
	30~45 min	58.3	30.5	65.4	38.3	38.8	28.2	58.9	39.6
	45~60 min	39.6	35.5	64.0	36.6	36.0	29.9	43.4	37.3
	平均	48.8	27.4	62.5	38.2	35.8	28.2	50.0	37.8
	最大	62.5				50.0			

表 7 平均行车延误数据

Table 7 Data of average travel delay

s/辆

时间	调查内容	应用前				应用后			
		东	南	西	北	东	南	西	北
平峰	停驶车辆数	382	83	329	55	291	54	205	35
	非停驶车辆数	194	85	239	37	249	108	349	87
	总停驶等待时间/s	31 219	5 813	28 002	3 597	20 412	3 564	13 551	2 306
	单进口平均延误/(s/辆)	54.2	34.6	59.3	39.1	37.8	22.0	24.1	18.9
	总平均延误/(s/辆)	46.8				25.7			
高峰	停驶车辆数	652	148	579	138	427	111	358	153
	非停驶车辆数	208	128	189	90	355	142	394	159
	总停驶等待时间/s	68 542	11 150	60 826	10 374	44 887	8 349	37 600	11 482
	单进口平均延误/(s/辆)	79.7	40.4	79.2	45.5	57.4	33.0	50.0	36.8
	总平均延误/(s/辆)	61.2				44.3			

表 8 每信号周期绿灯利用率数据

Table 8 Data of utilization rate of green light per siganl period

%

时间	调查内容	应用前				应用后			
		东	南	西	北	东	南	西	北
平峰	信号配时绿灯时间/s	25	20	25	20	30	18	30	18
	平均车头时距/s	3.47	3.06	3.1	3.6	3.05	2.49	2.8	2.95
	平均通过车辆数	6	5	7	4	9	6	10	5
	绿灯利用时间/s	20.8	15.3	21.7	14.4	27.5	14.9	28.0	14.8
	单进口绿灯利用率/%	83.5	76.4	86.8	72.5	91.6	83.1	94.3	82.2
	平均绿灯利用率/%	79.8				87.8			
高峰	信号配时绿灯时间/s	48	24	48	24	52	20	52	20
	平均车头时距/s	2.83	2.70	3.05	3.18	2.80	2.21	2.66	2.50
	平均通过车辆数	15	7	14	6	18	8	19	7
	绿灯利用时间/s	42.5	18.9	42.7	19.1	50.4	17.7	50.5	17.5
	单进口绿灯利用率/%	88.4	78.8	89.2	79.6	96.7	88.5	97.4	87.4
	平均绿灯利用率/%	84.0				92.5			

3.3 评估计算

综合以上计算,获得数据如表 9 所示.

表 9 测试交叉口各项控制效益评价指标数据

Table 9 Evaluation index of benefit of control for testing intersection

时段	关键车道排队长度/m		平均行车延误/(s/辆)		绿灯利用率/%	
	应用前	应用后	应用前	应用后	应用前	应用后
平峰	46.0	36.2	46.8	25.7	79.8	87.8
高峰	62.5	50.0	61.2	44.3	84.0	92.5

对照表 2,采用式(5)线性插值的方法计算得出控制效益指数,然后按照式(6)加权平均法对交叉口控制效益进行综合测评.具体结果如表 10 所示.

表 10 测试交叉口控制效益评价指标和评价结果

Table 10 Evaluation index and result of benefit of control for testing intersection

时段	关键车道排队长度/m		平均行车延误/(s/辆)		绿灯利用率/%		综合指数		评价等级	
	应用前	应用后	应用前	应用后	应用前	应用后	应用前	应用后	应用前	应用后
平峰	81.1	86.5	43.2	72.4	77.6	87.8	58.7	79.0	中	良
高峰	56.2	73.3	34.5	50.7	84.0	92.5	52.1	67.9	合格	中

从表 10 可以看出,应用感应控制技术后,交叉口的整体控制效益有较大幅度提高,其中平峰期的控制效益由“中等”上升为“良好”,评估指数提高了 20.3%;高峰期的控制效益由“合格”上升为“中等”,评估指数提高了 15.8%;综合对比应用前后评价结果,平峰期使用感应控制的效果比高峰期更佳,这表明了本文采用加权平均方法的有效性.

## 4 结束语

本文在现有研究基础上,综合选取交叉口关键车道排队长度、平均行车延误和绿灯利用率等指标,并结合高峰、平峰不同时段控制需求,提出各项指标的权重;采用加权平均法综合计算交叉口控制效益指数,依据指数值确定对应的效益等级.通过实地测评应用,采用本文提出的方法进行交叉口信号控制效益评价,实现了各项指标的量化分析,评价结论与实际情况较为吻合.由于条件制约,该方法测试范围和对象均具有一定的局限性.下一步需结合多种因素对各项指标和权重进行修正,选择更多交叉口进行测试,提高方法的普适性.

### [参考文献]

- [1] 公安部交通管理局.“十二五”道路交通安全管理科技信息化发展规划[R].北京:公安部交通管理局,2011.
- [2] 王晶,盛建平,杨厚云.中国交通信号控制系统的现状分析及发展思考[J].工业控制计算机,2014,27(4):33-35.
- [3] Federal Highway Administration. Traffic signal timing manual (TSTM) 2008[R]. Washington DC, U.S.: Department of Transportation, 2008.
- [4] [德]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.
- [5] [日]交通工程研究会.平面交叉口的规划与设计[M].刘春华,刘憬,译.北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [6] 刘永红,廖瀚博,余志,等.基于环境影响的交叉口控制方式综合评估研究[J].中山大学学报(自然科学版),2013,52(1):12-16.
- [7] 王璐,蔡铭.基于交通噪声与延误的平面交叉口综合评价[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2012,36(6):1260-1264.
- [8] 郑玉兴,勾丽杰.基于多参数逻辑运算的城市平交道口交通信号控制与评价[J].北方交通,2009,8:106-109.
- [9] 苑雷,祖永昶,王长君.城市交通信号控制系统评价方法研究[J].交通信息与安全,2009,27(2):39-42.
- [10] 姚树申,齐攀.城市交叉口信号控制评价指标浅析[J].科技信息,2009,13:543-545.
- [11] 高云峰,徐立鸿,汪涛,等.交叉口信号控制方案评价指标动态估计模型[J].同济大学学报,2011,39(6):837-841.
- [12] 罗霞,刘澜,刘海旭.交通管理与控制[M].2版.北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [13] 公安部交通管理局.城市道路交通管理评价指标体系[R].北京:公安部交通管理局,2012.
- [14] 黄键.山地城市道路交通控制评价指标体系研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
- [15] 王锦锦.改进交叉口性能评价及多目标优化配时研究[D].重庆:重庆大学,2012.
- [16] 严广乐,张宁,刘媛华.系统工程[M].北京:机械工业出版社,2008.

[责任编辑:陆炳新]