

场景目标导向的交通信号控制效能评价指标体系

刘东波^{1,2}, 树爱兵², 袁见³, 马万经³

(1.东南大学,江苏南京211189;2.公安部交通管理科学研究所,江苏无锡214151;3.同济大学,上海201804)

摘要:制定科学合理的交通信号控制效能评价指标体系,对于信号控制方案的综合测评与改善具有重大意义。由于不同场景的交通运行特征各异,以场景目标为导向进行指标选取有利于抓住主要矛盾、凝练关键评价指标。通过对交通场景的核心特征进行分析,将城市道路划分为多方式交通、非饱和交通、过饱和交通三大类共14种典型交通场景,并凝练基础性、系统性两大类共6类场景的信号控制目标。考虑完备性、实用性与可行性三项指标制定原则,针对每一个典型交通场景构建评价指标集。所构建的指标重视与交通场景、信号控制目标的紧密联系,具有更好的实际应用与推广能力,既适用于具体场景也适用于整体交通系统的综合评价。

关键词:智能交通系统;信号控制;交通场景;控制效能;评价指标

Evaluation System for Traffic Signal Design Based on Scenario Objectives

Liu Dongbo^{1,2}, Shu Aibing², Yuan Jian³, Ma Wanjing³

(1. Southeast University, Nanjing Jiangsu 211189, China; 2. Traffic Management Research Institute of Public Security Ministry, Wuxi Jiangsu 214151, China; 3. Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: It is critically important to develop an assessing system that is based on the scientific principles for the comprehensive evaluation and improvement of traffic signal control plan. Due to different operation characteristics associated with different signal design scenarios, the selection of evaluation indicators based on scenario objectives can better target the main problems with key evaluation indicators. Through analysis of the main characteristics of different scenarios, this paper groups urban road transportation into 14 typical traffic scenarios under three traffic conditions - multimode transportation, unsaturated traffic and oversaturated traffic flow, which leads to six signal control objectives under the fundamental and systematic classifications. Considering the principles of completeness, practicability and feasibility, the paper constructs the evaluation index for each typical traffic scenario. The constructed index attaches importance to the close connection with the scenario and the signal control target, and has better practical application and promotion capabilities, which is suitable for both specific scenarios and comprehensive evaluation.

Keywords: Intelligent Transportation Systems; signal control; traffic scenarios; control efficiency; evaluation indicators

收稿日期:2020-08-27

基金项目:国家重点研发计划项目“城市多模式交通系统协同控制关键技术与系统集成”(2018YFB1601000)

作者简介:刘东波(1975—),男,吉林大安人,硕士,研究员,副所长,主要研究方向:交通控制、交通工程。E-mail:dbliu@vip.sina.com

0 引言

道路交通拥堵作为当前困扰各大城市的主要社会问题之一,已经严重影响人们的日常生活、工作以及城市的可持续发展。根据公安部数据统计,截至2019年末,全国机动车保有量达3.48亿辆,其中汽车2.6亿

辆,且保持高速增长态势^[1]。道路交通拥堵日益严重,对城市交通控制水平提出了更高要求。

在这一背景下,亟须对城市交通信号控制效能进行客观、全面的评价,以反映实际应用效果,提供决策依据。一套完整的交通信号控制效能评价指标体系,是对整体交通

系统进行综合评价以及特定场景下交通信号控制方案提档升级与深化应用的基础。只有根据不同交通场景特征与控制目标差异化选取指标,才能精准反映信号控制效能,最大限度推动信号控制方案的改善和优化^[2]。

然而,现有针对交通信号控制的评价指标主要还是通过延误、排队长度、饱和度等直接进行评价。其评价结果体现的是交通运行状态,并不能体现信号控制方案的真实水平。一方面,目前各地主要凭借工程经验对道路交通信号控制效能进行主观化评价,导致多地信号控制应用效果参差不齐,无法形成方案实施—效果反馈—方案提升的良性循环发展。另一方面,对于“堵”“乱”等交通现象尚缺乏合理的分类,指标体系构建还不够完善。

1 现有评价指标分类

从指标类型角度考虑,现有交通评价指标主要分为两大类:第一类为规划设计类指标,反映交通设施供给水平,这类指标通常由国家部委或各地政府、专业部门发布;第二类为运行状态类指标,反映交通运行状况好坏,这类指标主要由以互联网公司为代表的研究机构、咨询公司推行。这两大类指标在交通发展的具体目标、理念上各有所侧重,从而在各自的框架下实现相关诉求。除此之外,还有安全类指标与排放类指标。下文将对规划设计类指标和交通运行状态类指标进行回顾分析。

1.1 规划设计类指标

规划设计类指标主要反映交通设施供给程度是否充足,多见于国家部委近些年相继发布的一系列考核指标、各地交通部门形成的技术指标体系,主要服务于规划设计方案的选优。

2017年8月,公安部、中央文明办、住房和城乡建设部、交通运输部在自2000年起实施的城市道路交通管理“畅通工程”和“文明交通行动计划”的基础上,在全国组织实施“城市道路交通文明畅通提升行动计划”^[3],在交通管理设施规范设置率、公交专用车道长度、公交信号优先覆盖率等层面提出相关发展目标。文献[4]从满足城市的生产运作需求、满足生态环境的可持续发展需要两个理念出发,在交通设施供给层面构建了详细的评价指标体系。在公共交通方面,

自2013年起,交通运输部推行“公交都市”考核,提出了《公交都市考核评价指标体系》^[5],对公交线网密度、专用车道设置率等设施方面均提出了相应考核指标。随后,交通运输部又于2016年底及2017年底相继发布了《城市公共汽电客车运营服务规范》(GB/T 22484—2016)^[6]、《城市公共交通发展水平评价指标体系》(GB/T 35654—2017)^[7],进一步完善了设施、服务质量层面的相关指标。

上述规划设计类指标考核往往通过政府组织、专家领衔、部门合作的组织模式,能够保证指标的科学性与专业性,这类指标在城市建设的各个阶段均发挥着重要作用^[4]。然而,随着大城市中心城区空间资源逐渐饱和,增加设施供给对缓解交通拥堵的作用越来越有限。且随着交通需求不断增长,交通控制策略将越来越成为未来交通治理的关键因素。

1.2 运行状态类指标

运行状态类指标通常能直观反映交通运行状况的好坏。交通运输部于2016年底发布了《城市交通运行状况评价规范》(GB/T 33171—2016)^[8],对交通量、自由流速度、平均行程速度等基础性运行状态类指标做了明确的定义,并将路段、路网的交通运行状况分别划分为五个等级。此外,常见的运行状态类指标还包括停车次数、排队长度、行程时间、平均延误等。除了相关标准规范之外,近年来,中国多家互联网企业依托大数据与交通状态感知技术优势,连续多年发布了交通拥堵报告。例如,高德地图2020年第二季度发布的《中国主要城市交通分析报告》^[9],从城市道路交通、公共汽车两个方面对交通运行状况进行评价:针对前者,提出路网高延时运行时间占比、路网高峰时段拥堵路段里程比、高峰时段平均速度等多项指标;针对后者,提出公共汽车全天运营速度、社会车辆与公共汽车车速比、全市全天公共汽车线路运营速度波动率三项指标。报告依托互联网大数据,相对通俗易懂,引发了广泛的舆论关注。

然而,运行状态特征值本质上是交通供给、交通需求相互影响的结果,是对拥堵现象的客观描述。并且各城市的交通设施供给、交通控制策略均存在差异。运行状态特征值虽然能够对比不同城市的拥堵严重程度,却难以分析信号控制效能高低,也就无

法给出有针对性的信号控制改善方案。

1.3 现有指标体系的不足

现有指标无法单独反映信号控制效能。实现这一目标的难点在于如何将交通运行状态特征与交通场景特征、具体控制策略有机结合，构建能够反映控制层面影响因素的评价指标。既有研究虽有所涉及，但仍存在以下两方面问题：

1) 场景目标导向不明显。

不同的场景有不同的控制目标，其对应的评价指标集也应有所侧重。而既有研究由于未细分场景及交通需求特征，所构建的评价指标体系无法反映具体场景的核心特征。

2) 信号控制类指标研究不充分。

信号控制的最终目的是通过有效利用时间资源提高交通效率。该类指标通常由具体控制策略与停车延误、停车次数、排队长度等运行状态类指标复合构成^[10]。文献[11]按照控制范围提出基于单点、干线、区域层面的信号控制系统评价指标，但所用指标均为运行状态类指标。公安部于2016年7月发布的《道路交通信号控制方式第2部分：通行状态与控制效益评估指标及方法》中的部分指标实现了与信号控制策略相关联，如绿灯启亮时刻及红灯启亮时刻最大排队长度^[12]等。文献[13]提出使用绿灯利用率(即1减去绿灯空放率)，结合排队长度、行车延误，作为单点交叉路的评价指标体系。文献[14]从效率、安全、环保三方面提出了包括冲突点面密度、污染物排放、噪声在内的信号控制策略综合评价体系。上述指标体系虽能对比两套信号控制方案的相对优劣，却无法针对一套方案给出控制水平高低的评价结果。

文献[2]从单点与干线两种空间范围出发，建立了问题导向的交叉路信号控制评价指标体系，针对信号控制中可能存在的问题构建相应指标，实现了对具体方案控制水平的统一评价。然而，上述指标体系未综合考虑场景特征及不同的交通需求。例如，低饱和度交叉路的主要控制目标为降低车均延误，此时绿灯空放率能够充分体现控制效能；而针对频现短时集聚的交叉路，需尽量避免排队溢流，因此排队溢流率就变成了关键指标。

因此，交通信号控制效能评价指标体系的构建离不开场景目标导向，且需综合考虑交通运行特征。

2 评价指标体系构建思路

2.1 整体思路

不同场景下的交通运行特征往往不同，对应的交通信号控制策略及实施效果也各有差异。因此，只有对城市中各种交通场景进行明确定义，所构建的指标才能更准确地反映信号控制效能并有效地指导相关部门进行控制方案改善。然而，目前并未有一套成熟的体系，将城市中各种“堵”“乱”的现象进行场景分类。

为实现对控制策略的精准评价，首先对城市道路的典型交通场景进行分类。从出行方式来看，除了社会车辆，还有公共汽车与非机动交通；从交通供需特征来看，包括非饱和与过饱和交通场景；从空间范围来看，交通信号控制覆盖的交通场景除了交叉路，还有若干个交叉路所组成的干线与片区。

评价指标体系构建思路主要分为三个层次：1)交通场景层：结合实际运行现状与交通控制方案，以不同出行方式、交通供需特征、空间范围大小为依据，进行典型交通场景划分；2)控制目标层：定义各个场景的控制目标并进行凝练；3)评价指标层：针对不同的交通场景，形成单个场景的评价指标集。最后综合形成交通信号控制水平评价指

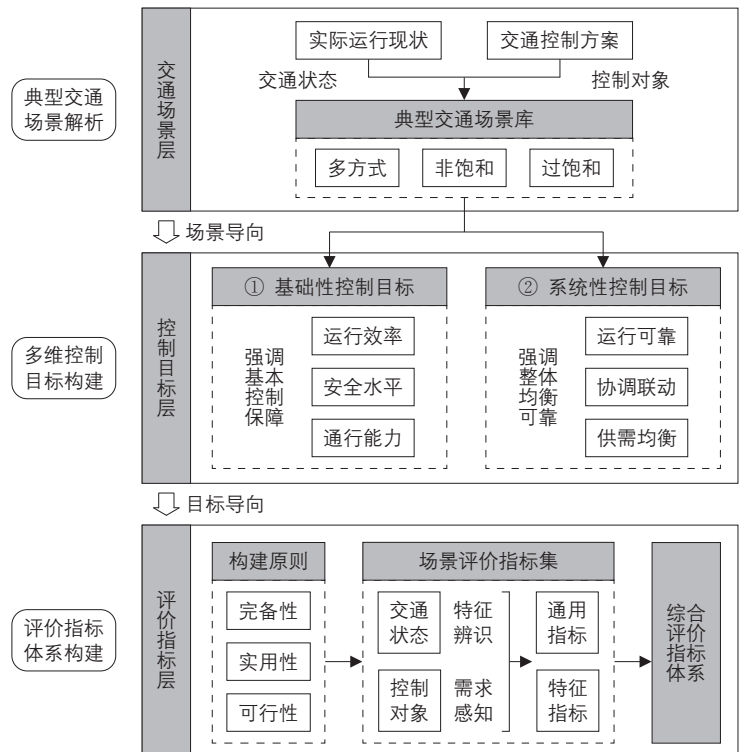


图1 交通信号控制效能评价指标体系构建技术路线

Fig.1 Techniques of building evaluation indicator system of traffic signal design

标体系，技术路线如图1所示。

2.2 指标选取原则

城市交通信号控制系统作为综合性系统，评价指标体系的建立应尽可能科学、全面和客观，具体应遵循以下原则：

1) 完备性原则：评价指标体系作为一个有机整体，应该能从不同场景、不同角度反映交通信号控制水平，并体现信号控制方案的优化潜能。

2) 实用性原则：开展交通信号控制水平评价工作的意义在于识别现有城市信号控制方案存在的问题并指导今后实际工作。因此，选取指标应便于理解，能直观、简便地说明问题，有利于实际推广。

3) 可行性原则：充分考虑日常工作中开展评价的可操作性，数据要易于采集，途径要切实可行，尽可能通过现代化的信息技术手段获取评价指标所需数据。

3 典型交通场景分析

3.1 典型交通场景划分

本文将按照出行方式、交通供需特征，将城市交通场景划分为多方式交通场景、非饱和场景、过饱和场景三个大类，并按照空

间范围大小、控制设施等具体细节，提炼出14种典型交通场景，形成典型城市道路交通场景库。具体划分方案如表1所示。

3.2 场景控制目标提炼

同一交通场景针对不同的交通需求与运行特征，也应对应不同的信号控制目标。例如，对于低饱和度交叉口，应尽量降低车均延误；对于短时集聚交叉口，应尽量避免排队溢流现象的发生。因此，除了定义交通场景，还有必要进一步梳理信号控制目标，并据此选取特征指标与通用指标，从而构成评价该类交通场景的指标集。

不同交通场景的信号控制目标分为基础性控制目标与系统性控制目标两大类，并进一步细分为6类具体控制目标。其中，基础性控制目标强调交通场景的基本控制保障，具体包括运行效率、安全水平、通行能力；系统性控制目标则强调交通场景整体的可靠性、协调性、均衡性。信号控制目标的名称及具体含义如表2所示。

4 交通信号控制效能评价指标体系

按照指标与场景特征的关联程度，将指标分为特征指标与通用指标。其中，特征指

表1 典型城市道路交通场景库及其核心特征

Tab.1 Typical urban road traffic scenario and the core characteristics

场景大类	典型场景库	场景核心特征
多方式交通场景	1 公交优先	公共汽车与社会车辆竞争时空资源
	2 非机动车	机非冲突易造成通行效率与安全水平下降
非饱和场景	3 低饱和度交叉口	交通需求低，易造成绿灯时间浪费及较高车均延误
	4 非饱和需求变化交叉口	由于需求随时间变化，易造成交叉口供需不匹配
	5 非饱和需求变化干线	由于需求随时间变化，易造成干线协调或非协调方向供需不匹配
	6 短时集聚交叉口	需求在短小时内快速上升，导致转向流量不均衡
	7 动态可变车道	早晚高峰时段潮汐现象导致城市交叉口转向交通需求与空间资源供给不匹配
过饱和场景	8 常发拥堵热点	单个交叉口常态性出现需求大于供给，造成拥堵
	9 常发拥堵片区	片区交叉口常态性出现需求大于供给，造成区域性拥堵
	10 通勤路径过饱和	早晚高峰时段常态性出现交通集聚现象，且双向交通流可能存在非对称性
	11 快速路上匝道路段	上匝道交通流与主线交通流争夺通行权，易造成主线拥堵或事故；匝道车辆排队溢出易影响地面交通流通行
	12 快速路下匝道路段	下匝道交通流与地面交通流争夺通行权，易造成地面交通拥堵；匝道车辆排队溢出易影响主线交通流通行
	13 短连线路段	短连线路段车辆易排队溢出至上游道路交叉口，造成路交叉口发生“死锁”现象
	14 进出城关键通道	早晚高峰时段流量大，饱和度高，拥堵缓行

标能够直观反映场景管控效能高低；通用指标则为常见运行状态类指标集中最相关的指标，同一种指标可能应用于多个场景。为确保指标的代表性与应用能力，每一类型指标数量不超过两个。

4.1 多方式交通场景

多方式交通场景包含公交优先与非机动交通两个场景。

1) 公交优先：公交优先策略的实施通常通过设置专用车道、信号优先两种形式实现。除了尽可能提升效率之外，还需要尽可能考虑乘客的体验，控制目标主要为提升运行可靠性、提升运行效率。

2) 非机动车交通：由于行人、非机动车通常直接暴露在机动车环境中，容易引发交通事故。此外，交叉口机非冲突也会严重影响非机动车的效率。因此，其控制目标主要为提升安全水平、提升运行效率。

针对上述场景特征，构建多方式交通场景评价指标集(见表3)。

4.2 非饱和交通场景

非饱和交通场景包含低饱和度交叉口、

非饱和需求变化交叉口、非饱和需求变化干线、短时集聚交叉口、动态可变车道共5种典型场景。

1) 低饱和度交叉口：场景特点是交通需求在大部分时段小于供给。其管控方案的关键在于尽量减少供需不匹配程度、降低车辆通过的平均延误。控制目标主要为提升供需均衡性、提升运行效率。

2) 非饱和需求变化交叉口：需求随时间变化易造成交叉口供需不匹配。其管控关键在于是否结合各时段内交通需求特征制定合理的配时方案。控制目标主要为提升运行效率、提升供需均衡性。

3) 非饱和需求变化干线：场景特征同非饱和需求变化交叉口类似，区别在于空间范围拓展至若干个连续交叉口，多交叉口之间需要协调联动。控制目标主要为提升联动协调性、提升运行效率。

4) 短时集聚交叉口：短时集聚现象指交通量在短时间内发生较大增长，造成交叉口某一或多个进口道产生排队甚至溢流。管控方案需快速应对交通量的突然变化，尽可能使集聚车辆快速通过交叉口，避免出现排队溢流。控制目标主要为提升运行可靠性。

表2 交通场景的信号控制目标分类

Tab.2 Categories of control targets to traffic scenario

总体目标	具体目标	解释说明
基础性控制目标	提升运行效率	提升系统运行效率以及出行者通行效率
	提升安全水平	降低事故发生风险或事故严重程度
	提升通行能力	提升交叉口的通行能力
系统性控制目标	提升运行可靠性	提升管控系统应对随机波动的适应能力
	提升联动协调性	提升多个协调道路交叉口的整体运行效率
	提升供需均衡性	提升时空资源供给与需求的匹配程度

表3 多方式交通场景评价指标集

Tab.3 Evaluation indicator set of multimode transportation

场景名称	控制目标	指标类型	指标名称	指标定义
公交优先	提升运行可靠性	特征指标	1-1 公共汽车到站准点率	在运行时时刻表规定范围内到站的公共汽车数量占整体到站公共汽车数量的比例
	提升运行效率	通用指标	1-2 交叉口不停车通过率	不停车通过交叉口的公共汽车数量占整体运营公共汽车数量的比例
	提升运行效率	通用指标	1-3 交叉口平均延误	公共汽车通过交叉口产生延误的平均值
非机动车交通	提升安全水平	特征指标	2-1 行人过街基本时长缺失值	行人过街所需绿灯时间超过实际绿灯时间的时长
	提升运行效率	通用指标	2-2 行人过街平均等待时间	行人从到达道路交叉口到进入人行横道所等待时间的平均值

5) 动态可变车道：可变车道能在不额外拓展道路空间资源的情况下，通过时空资源的动态分配，促进现有道路资源的充分利用。其管控关键在于及时并准确地调整时空资源供给，使之与需求尽可能匹配。控制目标主要为提升供需均衡性、提升运行效率。

针对上述场景特征，构建非饱和交通场景评价指标集(见表4)。

4.3 过饱和交通场景

过饱和交通场景包含常发拥堵热点、常发拥堵片区、通勤路径过饱和、快速路上匝道路段、快速路下匝道路段、短连线路段、进出城关键通道共7种典型场景。

1) 常发拥堵热点：指因常态性出现需求大于供给而造成拥堵的单个交叉口，具体表现为交叉口多个进口道行驶速度低、车辆排队长、平均延误大。控制目标主要为提升通行能力、提升运行效率。

2) 常发拥堵片区：指片区交叉口常态性出现需求大于供给造成区域性拥堵，片区内交叉口特征与常发拥堵热点相同。其管控关键在于快速将内部车辆疏导驶离拥堵区

域，同时避免车辆向片区内进一步集聚。控制目标主要为提升通行能力、提升运行效率。

3) 通勤路径过饱和：通勤路径在早晚高峰时段由于出现交通集聚而造成常态性交通过饱和。此外，由于部分城市职住分离日趋明显，双向交通需求在早晚高峰时段存在明显差异，造成通勤方向通行能力不足，单向过饱和。控制目标主要为提升供需均衡性、提升运行效率。

4) 快速路上匝道路段：快速路上匝道路交通与主线交通争夺通行权，易造成主线拥堵或事故；在需求过大、匝道车辆无法及时汇入时，上匝道可能发生排队溢出，进而影响地面交通的运行效率。控制目标主要为提升安全水平、提升运行可靠性、提升运行效率。

5) 快速路下匝道路段：快速路下匝道路交通与地面交通争夺通行权，易造成地面交通拥堵；在过饱和情况下，易出现车辆排队溢出，影响主线交通运行。控制目标主要为提升运行可靠性、提升运行效率。

6) 短连线路段：短连线路段两端由于空间距离近，一旦出现停车或车辆慢行，极

表4 非饱和交通场景评价指标集

Tab.4 Evaluation indicator set of unsaturated traffic flow

场景名称	控制目标	指标类型	指标名称	指标定义
低饱和度交叉口	提升供需均衡性	特征指标	3-1 绿灯空放率	交叉口绿灯期间无车辆通过停车线的时间与总绿灯时长的比值
	提升运行效率	通用指标	3-2 交叉口平均延误	车辆通过交叉口产生延误的平均值
非饱和需求变化交叉口	提升运行效率	特征指标	4-1 绿灯利用率	实际通过的车辆数占饱和流状态下能够通过车辆数的比例
	提升运行效率	通用指标	4-2 交叉口平均延误	车辆通过交叉口所产生延误的平均值
	提升供需均衡性	特征指标	4-3 流量—绿灯时长正相关系数	绿灯时长变化与关键流向流量变化的相关性
非饱和需求变化干线	提升联动协调性	特征指标	5-1 协调方向绿灯利用率	协调相位绿灯利用率的平均值
	提升运行效率	通用指标	5-2 协调方向停车次数	车辆通过协调干线停车次数的平均值
	提升运行效率	通用指标	5-3 协调方向平均延误	车辆通过干线协调方向所产生延误的平均值
短时集聚交叉口	提升运行可靠性	特征指标	6-1 排队溢流率	排队长度超过当前路段长度的信号周期数占有信号周期的比例
	提升运行可靠性	特征指标	6-2 集聚交通流消散时长	最大排队长度时刻起到排队消散所需时长
动态可变车道	提升供需均衡性	特征指标	7-1 直行左转饱和度之比	交叉口进口道直行与左转饱和度的比值
	提升运行效率	通用指标	7-2 进口道平均延误	车辆通过交叉口进口道所产生延误的平均值

易出现排队溢流现象。为避免上述现象发生，短连线两端相连交叉口的信号配时方案需要有较好的协调联动。控制目标主要为提升运行可靠性、提升联动协调性。

7) 进出城关键通道：通常为跨城市或城市与郊区之间的快速路，在通勤时段内常态性出现大量通勤交通集聚。显著特征为早晚高峰时段流量大，饱和度高，拥堵缓行。控制目标主要为提升运行可靠性、提升运行效率。

针对上述场景特征，构建过饱和和交通场景评价指标集(见表5)。

5 结语

为实现对交通信号控制效能的精准评价，对城市中典型交通场景进行了划分，形成多方式交通、非饱和交通、过饱和交通三

大类场景，并进一步细分形成包含14种具体场景的典型交通场景库。同时总结6类涵盖场景的信号控制目标。基于典型场景库，紧密结合场景的核心特征，构建单个场景的评价指标集。相比现有指标，本文提出的指标集围绕交通场景的核心特征构建，能够直接评价交通信号控制效能水平，具有更好的实际应用与推广能力，所形成的指标体系既适用于具体场景的城市交通信号控制效能的精细化评价，也适用于整体交通系统的综合评价。然而，指标体系的构建只是交通评价工作中的一环，指标测算与阈值确定、多指标权重赋值等内容仍有待进一步的研究。

参考文献：

References:

- [1] 人民网，公安部. 全国私家车保有量首次突破2亿辆 [EB/OL]. 2020[2020-08-15].

表5 过饱和和交通场景评价指标集

Tab.5 Evaluation indicator set of oversaturated traffic flow

场景名称	控制目标	指标类型	指标名称	指标定义
常发拥堵热点	提升通行能力	特征指标	8-1 交叉口通行能力	交叉口所有进口道单位时间内所能通过的最大交通量
	提升运行效率	通用指标	8-2 交叉口平均延误	车辆通过交叉口所产生延误的平均值
常发拥堵片区	提升通行能力	特征指标	9-1 片区最大流出率	单位时间内可以流出常发拥堵片区边界的最大交通量
	提升运行效率	通用指标	9-2 片区车辆平均行驶速度	常发拥堵片区边界范围内的车辆平均行驶速度
通勤路径过饱和	提升供需均衡性	特征指标	10-1 双向交通流饱和度之比	通勤路径在某一特定时段内，双向交通流饱和度的比值
	提升运行效率	通用指标	10-2 通勤方向平均行驶速度	通勤方向车辆平均行驶速度
快速路上匝道路段	提升安全水平	特征指标	11-1 合流区事故率	主线与上匝道合流区发生事故的车辆数与通过车辆总数的比值
	提升运行可靠性	特征指标	11-2 上匝道排队溢流率	排队长度超过上匝道长度的信号周期数占所有信号周期的比例，或出现排队溢流现象时长所占百分比
	提升运行效率	通用指标	11-3 合流区平均行驶速度	主线与上匝道合流区车辆的平均行驶速度
快速路下匝道路段	提升运行可靠性	特征指标	12-1 下匝道排队溢流率	排队长度超过下匝道路段长度的信号周期数占所有信号周期的比例
	提升运行效率	通用指标	12-2 地面道路交叉口平均延误	下匝道路段与地面衔接的交叉口的车辆平均延误
短连线路段	提升运行可靠性	特征指标	13-1 路段排队溢流率	短连线路段排队长度超过当前路段长度的时长占比
	提升联动协调性	特征指标	13-2 短连线停车次数	车辆通过短连线路段的平均停车次数
进出城关键通道	提升运行可靠性	特征指标	14-1 行程时间稳定性	通勤时段内车辆通过进出城关键通道的行程时间变异系数
	提升运行效率	通用指标	14-2 高峰方向平均行驶速度	通勤时段内进出城关键通道高峰方向车辆的平均行驶速度

- <http://auto.people.com.cn/n1/2020/0109/c1005-31540886.html>.
- [2] 陈蓓, 俞春辉, 马万经. 自适应交通信号控制评价方法研究及应用[C]//中国智能交通协会. 第十四届中国智能交通年会论文集. 北京: 中国工信出版集团, 电子工业出版社, 2019: 167-180.
- Chen Bei, Yu Chunhui, Ma Wanjing. Research and Application on Adaptive Traffic Signal Control Evaluation Method[C]//China Intelligent Transportation Systems Association. Paper Collection of the 14th Annual Conference of the Intelligent Transportation in China. Beijing: China Industry and Information Technology Publishing & Media Group, Publishing House of Electronics Industry, 2019: 167-180.
- [3] 陆化普. 从“畅通工程”到“文明畅通提升行动计划”: 走向交通管理科学化现代化的时代轨迹[J]. 汽车与安全, 2018(10): 76-81.
- Lu Huapu. From “Smooth Project” to “Smooth Action Plan for Civilization”: Moving Towards the Era of Scientific Modernization of Traffic Management[J]. Auto & Safety, 2018(10): 76-81.
- [4] 周志华, 欧阳剑, 景国胜. 城市交通健康发展决策评估指标框架研究[J]. 城市交通, 2020, 18(4): 101-106.
- Zhou Zhihua, Ouyang Jian, Jing Guosheng. Urban Transportation Decision-Making Evaluation Index System Based on Healthy Development Concept[J]. Urban Transport of China, 2020, 18(4): 101-106.
- [5] 魏贺, 戴冀峰. “公交都市”考核评价指标体系探讨[J]. 城市交通, 2014, 12(5): 18-25.
- Wei He, Dai Jifeng. Evaluation System for Public Transit Service in Transit-Oriented Urban Areas[J]. Urban Transport of China, 2014, 12(5): 18-25.
- [6] GB/T 22484—2016 城市公共汽车客运服务规范[S].
- GB/T 22484—2016 Passenger Transport Services Specifications for Urban Bus/Trolleybus [S].
- [7] GB/T 35654—2017 城市公共交通发展水平评价指标体系[S].
- GB/T 35654—2017 Evaluation Index System for City Public Transportation Development Performance[S].
- [8] GB/T 33171—2016 城市交通运行状况评价规范[S].
- GB/T 33171—2016 Specification for Urban Traffic Performance Evaluation[S].
- [9] 高德地图. 中国主要城市交通分析报告[R]. 北京: 高德地图, 2020.
- [10] 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(自然科学版), 2011, 39(6): 837-841.
- Gao Yunfeng, Xu Lihong, Wang Tao, et al. Dynamic Estimation Model on Performance Indexes of Signalized Intersection[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2011, 39(6): 837-841.
- [11] 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+76.
- Yuan Lei, Zu Yongchang, Wang Changjun. Evaluation Method of Urban Traffic Control [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2009, 27(2): 39-42+76.
- [12] 树爱兵, 刘东波, 张雷元, 等. 《道路交通信号控制方式第2部分: 通行状态与控制效益评估指标及方法》(GA/T 527.2—2016)解读[J]. 道路交通科学技术, 2017 (3): 53-55.
- [13] 吴仁良, 杨浩, 刘通. 道路交叉口信号控制效益评价指标及方法[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2019, 42(2): 37-43.
- Wu Renliang, Yang Hao, Liu Tong. Benefit Evaluation Index and Methods for Road Intersection Signal Control[J]. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition), 2019, 42(2): 37-43.
- [14] 赵星, 林灏, 刘艺, 等. 城市道路交叉口信号控制策略综合评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2020, 39(5), 7-13+31.
- Zhao Xing, Lin Hao, Liu Yi, et al. Comprehensive Evaluation of Signal Control Strategy at Urban Road Intersection[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2020, 39(5): 7-13+31.