

信号交叉口排队消散特性实证对比

唐克双¹, 董可然¹, 黄志荣², 王 奋¹

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 深圳市龙岗区城市建设投资有限公司, 广东 深圳 518172)

摘要: 对中国上海和天津 2 个城市的 11 条直行车道的数据分析表明, 信号交叉口的排队消散过程可分为三个阶段, 即启动阶段、稳定阶段和上升阶段。与日本名古屋 17 条直行车道的数据进行对比, 分析了两国案例城市排队消散特性的异同。结果表明, 我国案例城市的饱和车头时距较大(0.05 s), 饱和流率较小($80 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$), 启动损失较大(0.83 s), 大车的折算系数是日本的 1.07 倍; 但 3 个城市排队消散过程都出现了末尾车头时距的下降且相关参数分别服从相同分布。最后, 以上海市一个典型交叉口为例比较了两国案例城市的排队消散特性对信号配时与通行效率的影响。

关键词: 信号交叉口; 排队消散特性; 对比研究; 饱和流率
中图分类号: U491.1 **文献标志码:** A

A Comparative Study of Queue Discharge Characteristics at Signalized Intersections

TANG Keshuang¹, DONG Keran¹, HUANG Zhirong²,
WANG Fen¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. City Construction Investment Co. Ltd. of Longgang District, Shenzhen 518172, China)

Abstract: This paper analyzed queue discharge characteristics of 11 straight-ahead lanes at signalized intersections in Shanghai and Tianjin, China. The results show that the discharge process of queuing vehicles can be divided into three distinctive stages, i. e., the start-up stage, the stable stage and the rising stage. The similarities and differences in queue discharge patterns were then compared with 17 straight-ahead lanes in Nagoya, Japan. The results show that, in China, the average saturation headway was 0.05s larger, the average saturation flow rate was $80 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ lower, the average start-up lost time was 0.83s shorter, and the passenger car equivalent was 7% larger. However, the headways compression phenomenon and the distribution of discharge flow factors were found to be similar in the three cities.

Finally, one typical intersection in Shanghai was selected as the test site to analyze the impacts of different queue discharge patterns on signal timing and operational efficiency.

Key words: signalized intersections; queue discharge characteristics; comparative study; saturation flow rate

对于信号控制交叉口的排队消散过程, 传统理论认为, 绿灯启亮后排队消散流率迅速上升并达到最大值, 随后维持该最大值直到排队车辆完全消散, 并将这一稳定的最大值定义为饱和流率^[1]。这一理论构成了《美国通行能力手册 (Highway Capacity Manual, HCM)》^[2]中饱和流率、损失时间等参数求解的基础, 在 HCM2010 中认为在第 4 辆排队车辆之后消散流率达到稳定最大值。

然而, 近几年国外学者的相关研究却发现了不同与传统的排队消散过程: 排队末尾消散流率出现增加或减小。例如, Lee 等^[3]和 Tang 等^[4]分别基于在韩国和日本交叉口采集的数据发现了排队末尾消散流率增加的现象。Li 等^[5]则通过美国夏威夷的交叉口数据分析表明左转车道消散流率有增加趋势而直行车道却有下降趋势。根据台湾和纽约交叉口的调查数据, Lin 等^[6-8]发现消散流率并没有完全稳定而是在持续上升。Boumediene 等^[9]则论证了饱和流率与相位时长的关系。Chodur 等^[10]评估了非稳定排队消散流率在通行能力估计和信号配时中产生的误差。

我国城市道路交叉口在交通组成、驾驶行为、几何渠化、交通组织和信号控制等方面与国外存在较大差异, 普遍存在机非混行、倒计时信号控制、不规范的驾驶行为等现象, 具有一定的独特性。这些因素都可能对排队消散特性造成较大影响。如, 我国现行规范《城市道路交叉口规划规范》(GB 50647—

2011)^[11](以下简称《规范》)根据特大城市,东部沿海地区、大城市、省会、单列市,中小城市、山区及积雪地区的城市 3 种城市类型设定的直行车道的基本饱和流率分别为 1750,1650,1550 pcu · h⁻¹, 普遍小于澳大利亚道路研究委员会(Australian Road Research Board, ARRB)、加拿大《信号控制交叉口通行能力导则(Canadian Capacity Guide for Signalized Intersection)》第 3 版、HCM2010 等发达国家规范中的推荐值^[12]。

国内学者常以 HCM 的排队消散特性为基础来分析某一交通特征对排队消散特性的影响,而缺乏对于排队消散全过程变化特征的分析。例如,李克平等^[13]深入分析了绿灯时长对直行车道饱和流率的影响。吴震等^[14]验证了右转车道饱和流率可采用车道宽度与转弯半径的二元线性回归模型求解。Liu 等^[15]则分析了我国倒计时信号控制对直行和左转车道排队消散特性的影响。周晨静等^[16]针对我国城市信号交叉口机非混行这一特征,研究了自行车对直行车辆车头时距的影响。此外,我国信号交叉口的规范和手册中对基本饱和流率、影响因素、通行能力求解方法等方面进行了较多的研究。例如,《城市道路交通规划设计规范》(GB 50220—95)^[17]制定了城市道路交叉口的规划通行能力与车辆折算系数;中国公路学会编制的《交通工程手册》^[18]中对运用“停车线法”估计通行能力进行了详细介绍;《城市道路平面交叉口规划与设计规程》(DGJ08-96—2001)^[19](以下简称《上海规程》)推荐了上海市的基本饱和流率与修正系数,并规定了启动损失的观测方法;《规范》^[11]中推荐了城市信号交叉口的基本饱和流率、修正系数,并规定了车型折算系数。

综上所述,虽然国外学者对城市信号控制交叉口排队消散特性进行了大量研究,但针对我国交通环境下排队消散过程变化特征的研究略显不足,并缺乏我国与其他国家排队消散特性的比较研究。因此,本文选择上海和天津 2 个城市为案例,通过实证数据研究了我国典型道路交通环境下的排队消散特性,并与日本名古屋市的数据进行对比,分析了两国案例城市排队消散过程和特征的差异性。最后,选择上海市一个典型交叉口作为分析对象,评价了两国案例城市排队消散特性对信号配时和交叉口通行效率的影响。

1 数据采集与整理

为了减小信号交叉口车道宽度、交通组成等混

杂因素对鉴别排队消散特性的影响并保证观测交叉口具有类似的几何特性与交通状况,参考《规范》中关于基本交通条件的设置^[11],本文实际观测中的中日案例城市交叉口符合以下条件:

- (1) 交叉口位于非中心商务区。
- (2) 车道宽度不小于 2.75 m,进口道无坡度。
- (3) 公交停靠站距停车线距离大于 150 m,交叉口附近无路边停车。
- (4) 非机动车和行人有足够的行驶空间并与机动车道有物理分割。
- (5) 交通流以小型车为主,大型车比例较低。
- (6) 进口道有充足的车辆排队空间,且上下游交叉口无排队溢出。

在国内选择 5 个交叉口,其中 3 个位于上海市,2 个位于天津市,共 11 条直行车道 252 个信号周期;从日本名古屋选取了 10 个满足上述要求的交叉口,共 17 条直行车道 560 个信号周期的数据。观测的交叉口与车道概况见表 1。

本文采用视频摄像的方法记录交叉口车流运行状况。采集的数据主要为直行车道的连续饱和和车头时距。车头时距的计算方法为机动车后轴通过停车线的时刻减去前一辆机动车后轴通过停车线的时刻。第一个车头时距为绿灯启亮至第一辆车的后轴通过停车线时所经过的时间间隔。

剔除异常值后,从中国案例城市交叉口录像中得到 7 897 个车头时距,日本名古屋交叉口录像中得到 7 453 个车头时距。

2 我国案例城市排队消散特性的鉴别

图 1 为我国案例城市交叉口 11 条直行车道的车辆排队位置对应的平均车头时距的变化趋势,从中可以观测到两个明显特征:

第一,消散车头时距在第 8~10 辆排队车辆处达到相对稳定,该值约为 2.0 s(折合成消散流率为 1 800 pcu · h⁻¹)。而现行的主流规范中则认为消散车辆更早达到稳定车头时距,如 HCM2010 中认为车头时距在第 4 辆车之后达到稳定值^[2]。这表明使用传统理论描述上海、天津的信号交叉口排队消散过程可能低估启动损失时间。

第二,排队末尾车辆的车头时距显著下降。大约在第 35 辆排队车辆之后平均车头时距下降到 1.8 s 左右(即消散流率为 2000 pcu · h⁻¹)。这与前言中 Lee 等^[3]和 Tang 等^[4]观测到的现象是一致的。

表 1 观测交叉口与车道概况

Tab.1 Summary of observed intersections and lanes

国别	交叉口	编号	进口道	车道配置	车道宽度/m	大车比例/%	周期长度/s	绿灯时长/s	样本数
中国	曲阳路中山北二路(上海)	1	北	TR-L-□-L	3.40	2.4	200	84	38
	武宁路兰溪路(上海)	2	东	TR-□-T-T	3.10	3.9	235	107	23
		3	东	TR-T-□-T	3.20	2.6			
	曹阳路武宁路(上海)	4	西	R-T-T-□-L	3.00	3.5	240	92	21
	鞍山道卫津路(天津)	5	北	TR-□-T-L	3.00	0.5	240	79	22
		6	北	TR-T-□-L	3.20	0.3			
		7	南	□-T-T-L	2.90	11.0			
		8	南	T-□-T-L	2.90	1.1			
		9	南	T-T-□-L	3.00	1.0			
	南京路卫津路(天津)	10	北	TR-□-T-T-L-L	3.00	8.0	264	58	23
		11	北	TR-T-□-T-L-L	3.20	1.1			
11		北	TR-T-□-T-L-L	3.20	1.1	25			
日本	Yotsuyadori	1	南	TL-□-R	3.00	1.0	130	34	53
	Tashirohondori	2	南	TL-□-R	3.00	3.0	150	66	33
		3	北	TL-□-R	3.00	3.0			
	Tokushige	4	东	TL-□-R	2.75	2.0	100	48	26
	Takabata	5	南	L-□-R	3.00	5.0	132	41	21
	Sawakami	6	南	L-□-T-R	3.00	3.0	130	67	18
	Gokiso	7	南	TL-□-T-R	2.75	7.0	140	62	30
		8		TL-T-□-R	2.75	9.0			
	Imaike	9	东	TL-□-T-R	3.00	9.0	140	48	45
		10		TL-T-□-R	3.00	4.0			
	Nishioosu	11	北	TL-□-T-R	3.00	6.0	160	60	20
		12		TL-T-□-R	3.00	7.0			
	Kobari	13	南	TL-□-T-R	3.00	3.0	150	80	18
		14		TL-T-□-R	3.00	4.0			
	Ogawa	15	北	L-□-T-T-R	2.75	4.0	160	45	64
		16		L-T-□-T-R	2.75	4.0			
		17		L-T-T-□-R	2.75	2.0			

注:中国为右行规则,日本为左行规则;R代表右转专用车道;TR代表直右混行车道;T代表直行车道;L代表左转专用车道;TL代表直左混行车道;一个信号周期为一个样本;□代表观测车道。

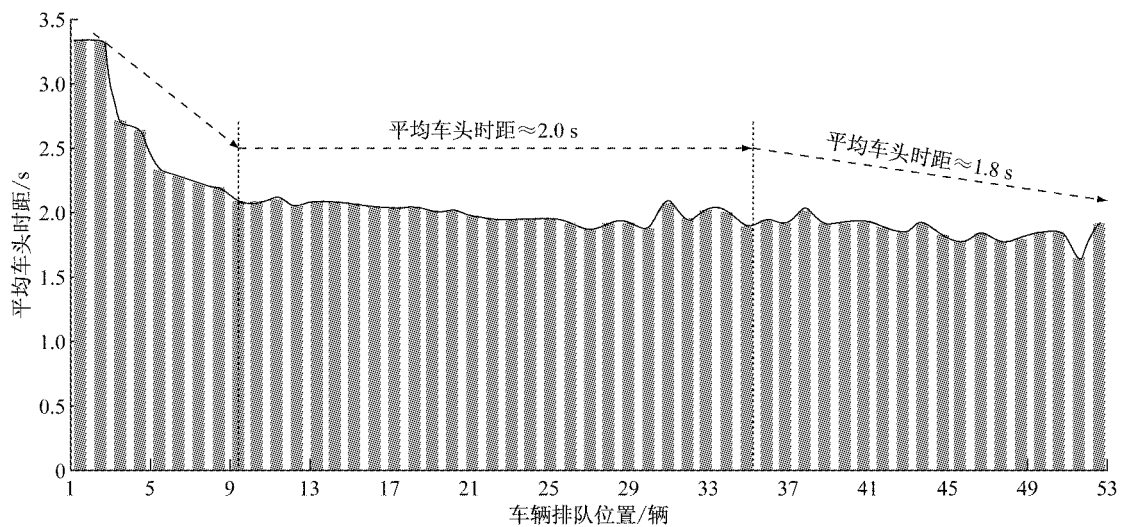


图 1 相对于排队位置的平均车头时距

Fig.1 Average discharge headways towards queue position

K-S(Kolmogorov-Smirnov) 检验表明,同一交叉路口的不同车道的车头时距分布无显著差异. 故图 2 以交叉口为组别分析了每 10 s 间隔的排队消散流率的变化趋势. 其中最后一个时间间隔为相位转换时间,包括 3 s 的绿闪+3 s 黄灯+1 s 或 2 s 的全红时间. 从图中可以看出,在第 1 个到第 3 个 10 s 时间间隔之间,消散流率处在快速上升的阶段,并在 20~30 s 间隔左右达到了相对稳定值. 然后消散流率维持这一相对稳定值并在最后一个时间间隔出现了明显上升.

图 1 和图 2 反映的现象是一致的. 可将我国案例城市信号交叉路口的排队消散过程分为三个阶段: 启动阶段,稳定阶段和上升阶段. 启动阶段中排队车辆开始消散,消散流率快速上升,该阶段是从绿灯启亮到大约 30 s 绿灯时刻的时间间隔. 随后排队消散流率进入稳定阶段. 消散流率在绿灯间隔时间内出现了显著的上升,该时间阶段称为上升阶段.

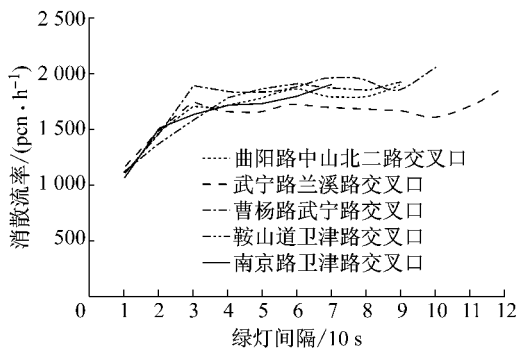


图 2 10 s 绿灯间隔观测到的消散流率
Fig.2 Observed discharge flow rates of 10 s green light interval

3 中日案例城市排队消散特性比较

图 3 比较了两国案例城市信号交叉口前 15 辆排队车辆的车头时距分布区间与变化趋势(由于日本部分车道缺少第 1 个车头时距数据,故从第 2 个车头时距开始比较).

由图 3 可知,我国案例城市同一排队位置车辆的平均车头时距较大,排队消散流率要低于名古屋. 但也可以看到两国案例城市的消散车头时距都经历了启动阶段与稳定阶段,名古屋的车头时距大约在第 5,6 辆排队位置达到了相对稳定,而上海和天津则在第 8~10 辆左右.

为比较两国案例城市排队末尾车辆车头时距的变化情况,基于 HCM2010,使用前 12 辆车求解饱和

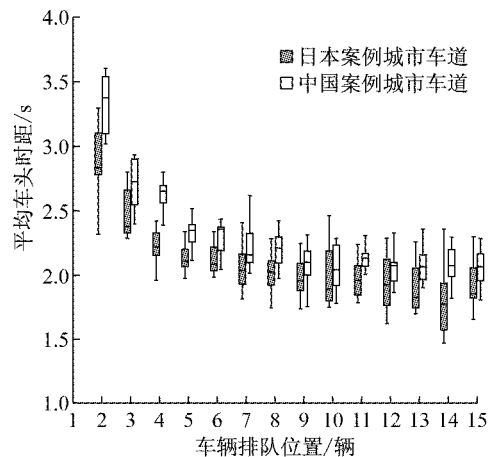


图 3 前 15 个排队车辆的车头时距比较

Fig.3 Comparison headways of first 15 vehicles

车头时距^[2]. 将排队车辆分为两段,第一段为第 5 到第 12 辆排队车辆,其车头时距的均值以 \bar{H}_1 表示,第二段为自第 12 辆以后的排队车辆,其车头时距的均值以 \bar{H}_2 表示. 具体的公式如下:

$$\bar{H}_1 = (h_5 + h_6 + \dots + h_{12})/8 \quad (1)$$

$$\bar{H}_2 = (h_{13} + h_{14} + \dots + h_n)/(n - 12) \quad (2)$$

式中: h_i 为第 i 个排队位置车辆的车头时距, s ; n 为总排队车辆数,辆.

根据以上公式,以周期为单位,对两国案例城市的 \bar{H}_1 、 \bar{H}_2 进行比较,比较结果见表 2.

表 2 排队末尾车辆车头时距下降趋势比较

Tab.2 Comparison of headways of last vehicles

参数	上海、天津			名古屋		
	均值/ s	标准 差/s	样本 数	均值/ s	标准 差/s	样本 数
\bar{H}_1	2.18	0.23	252	2.04	0.23	560
\bar{H}_2	1.99	0.16	252	1.86	0.33	404
$\bar{H}_1 - \bar{H}_2$	0.19	0.25	252	0.18	0.37	404
t 检验				11.50		
自由度				251		
显著性				0		

由表 2 可知,两国案例城市的 \bar{H}_2 显著地小于 \bar{H}_1 . 因此,可认为 3 个案例城市排队末尾车辆车头时距都出现了下降趋势.

3.1 排队消散特性相关参数的比较

本文对比分析了两国案例城市排队消散特性下饱和流率、启动损失等参数的异同. 采用 HCM2010 中的计算公式^[2]:

$$h_s = (h_5 + h_6 + \dots + h_n)/(n - 4) \quad (3)$$

$$S_0 = 3600/h_s \quad (4)$$

$$L_s = \sum_{i=1}^4 h_i - \frac{4}{n-4} \sum_{i=5}^n h_i \quad (5)$$

式(3)~(5)中: h_s 为饱和车头时距, s; n 为总排队车辆数, 辆; S_0 为饱和流率, $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$; L_s 为启动损失, s; h_i 为第 i 个排队位置车辆的车头时距, s.

从表 3 可知,相较于名古屋的参数值,我国案例城市的饱和车头时距略大(相差 0.05 s),饱和流率较小(相差 80 $\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$),启动损失较大(相差 0.83 s). 这表明我国案例城市信号交叉口的通行效率低于日本. 通过对相关参数的中值、平均值、偏度、峰度、Shapiro-Wilk 检验(W 检验)的分析表明,两国案例城市排队消散特性相关参数均服从以下分布:饱和车头时距更符合对数正态分布;饱和流率更符合正态分布;启动损失符合正态分布.

表 3 排队消散特性相关参数统计比较
Tab.3 Comparison of parameters of queue discharge patterns

统计参数	饱和车头时距/s		饱和流率/ ($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$)		启动损失/s	
	上海 天津	名古屋	上海 天津	名古屋	上海 天津	名古屋
平均值	2.05	2.00	1 765.00	1 845.00	3.65	2.82
中值	2.05	1.98	1 759.00	1 850.00	3.56	2.64
标准差	0.14	0.21	124.37	197.74	1.95	1.89
最小值	1.61	1.48	1 489.00	1 286.00	-0.40	-1.50
最大值	2.42	2.82	2 240.00	2 441.00	9.41	10.82
偏度	0.14	0.57	0.28	0	0.27	0.58
峰度	-0.08	0.28	0.25	-0.23	-0.18	0.65
正态检验	0.60	0	0.21	0.86	0.78	0.18
对数正态检验	0.79	0.13	0.80	0.01		
均值差异	0.05		-80.00		0.83	
样本数	252	560	252	560	235	532

信号交叉口的排队消散特性也受车辆类型的影响,所以在求解饱和和流率等参数时常将大型车折算成标准车辆. 本文观测交叉口均在市区,大型车以公交车、中型货车和长途客车为主,其中公交车占绝大多数. 本文采用车头时距计算法计算大型车折算系数,以周期为研究单位,计算公式如式(6). 结果的统计分析和分布检验见表 4.

$$P_{bj} = \frac{\bar{h}_{bj}}{\bar{h}_{pj}} \quad (6)$$

$$\bar{P}_h = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{bj} \quad (7)$$

式(6),(7)中: P_{bj} 为第 j 个周期大型车的折算系数; \bar{h}_{bj} 为第 j 个周期大型车的平均车头时距, s; \bar{h}_{pj} 为第 j 个周期小型车的平均车头时距, s; \bar{P}_h 为大型车折算系数; n 为观测周期数.

从表 4 可以看出,我国案例城市大型车的折算系数为 1.48,是名古屋的 1.07 倍,故我国案例城市

交通环境下大型车与小型车的差异更为明显,当在相同混合车流比例与服务水平下,实际通过车辆数要少于名古屋. 此外,两国案例城市的大型车折算系数的平均值都大于中值,偏度和峰度都大于 1.00,表明该参数符合右偏态分布. 基于 Shapiro-Wilk 检验(W 检验)表明,两国案例城市的大型车折算系数符合对数正态分布.

表 4 大型车折算系数比较

Tab.4 Comparison of passenger car equivalent

统计参数	大型车折算系数	
	上海、天津	名古屋
平均值	1.48	1.38
中值	1.39	1.34
标准差	0.40	0.33
偏度	1.30	1.07
峰度	2.26	2.54
正态检验	0	0
对数正态检验	0.32	0.09
样本数	114	256

3.2 排队消散特性对信号配时方案的影响

排队消散特性将影响到交叉口通行效率与信号控制. 以上海市曹杨路武宁路交叉口为例分析排队消散特性下信号配时、通行能力与服务水平. 交叉口布局示意图见图 4.

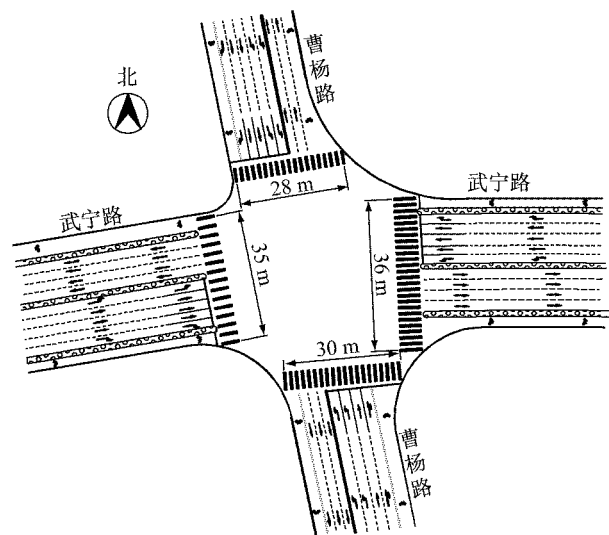


图 4 交叉口布局示意图

Fig.4 Sketch of intersection layout

交叉口各进口道的设计流量与大型车比例以西进口实测值为基准设定,交叉口的基础流量见表 5.

本文依照《上海规程》^[19]进行信号配时的计算. 交叉口采用常规四相位控制方案,绿灯间隔时间取 5 s,饱和流率、启动损失、大车折算系数采用表 3 和表 4 中的实测值. 其中最佳周期时长与最短绿灯时长的计算公式如下:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (8)$$

$$g_{\min} = 7 + \frac{L_p}{v_p} - I \quad (9)$$

式(8), (9)中: C_0 为最佳周期时长, s; L 为信号总损失时间, s; Y 为最大流量比之和; g_{\min} 为最短绿灯时长, s; L_p 为行人过街长度, m; v_p 为行人过街步速, 取 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; I 为绿灯间隔时间, s.

表 5 交叉口基础流量

Tab. 5 Basic traffic volumes of intersections

进口道	符号	车道功能	流向	设计流量/ (veh · h ⁻¹)	大型车 比例/%
南	NB	TR-T-L-L*	左转	450	10
			直行	420	5
			直右	250	20
北	SB	R-T-T-L-L*	左转	450	10
			直行	800	5
			右转	600	16
东	WB	R-T-T-T-L*	左转	200	10
			直行	1 150	5
			右转	600	16
西	EB	R-T-T-T-L*	左转	200	10
			直行	1 150	5
			右转	600	16

注: * 代表拓展车道.

最终得到的信号配时结果见表 6.

由表 6 可知, 我国案例城市排队消散特性下的交叉口最佳周期时长为 185 s, 远大于日本的 136 s. 表明在相同的交通流量下, 我国案例城市排队消散特性需要更长的消散时间, 这可能是导致我国交叉口信号周期较长的原因之一.

表 6 交叉口信号配时

Tab. 6 Signal timing of intersections

相位	排队消散特性下绿灯时长/s	
	上海、天津	名古屋
相位一: 南北直行	53	38
相位二: 南北左转	32	23
相位三: 东西直行	49	34
相位四: 东西左转	31	21
绿灯间隔时间/s	20	20
信号周期/s	185	136

根据信号配时结果, 依照《上海规程》^[19] 的计算表明, 中日案例城市排队消散特性下案例交叉口的整体通行能力分别为 7 815 和 7 945 pcu · h⁻¹, 即上海、天津的通行能力小 130 pcu · h⁻¹, 如果采用相同的信号周期, 这一差值将会变得更大; 延误分析时假定无初始排队, 不考虑右转与直右车道, 我国案例城市排队消散特性下的交叉口延误为 40 s(服务水平为 D 级), 而名古屋排队消散特性下的交叉口延误为

29 s(服务水平为 C 级). 所以, 我国案例城市信号交叉口的排队消散特性导致了交叉口通行效率较低.

我国案例城市排队消散特性与日本名古屋的差异与不同的驾驶行为、车辆特性、交通条件等都有关系. 结合本文 15 个实证交叉口, 将主要原因归结为以下方面: 我国城市道路交叉口规划设计偏重道路工程设计, 对交通功能的重视不足, 如观测交叉口几何面积普遍大于名古屋观测交叉口, 大型交叉口内部空间较大, 干扰较多, 可能是造成消散车辆达到饱和和流率状态时间较长、启动损失增加的原因之一. 此外, 我国案例城市交叉口车辆类型复杂、车辆性能差异大, 并有大量的非机动车与行人, 也可能是造成车辆排队中队首若干车辆延误增大的原因之一; 同时, 交通参与者的素质、驾驶员的驾驶熟练程度和交叉口交通运行管理水平等因素也会影响机动车流的排队消散特性.

提高我国信号交叉口排队消散特性是一项系统工程, 针对本文的研究结论, 主要提出以下建议: 优化交叉口交通组织, 完善交叉口内的过街安全岛、交通标志、标线等交通渠化设计, 减少机动车排队消散过程中的随机干扰因素, 最大限度发挥既有道路设施的通行效率; 优化混合交通流的时空资源分配, 例如采用考虑非机动车特性的绿灯间隔时间设计和针对交叉口的行人、非机动车流量设置合理的右转车信号控制等, 以减少行人和非机动车交通对机动车排队消散过程的影响; 由于我国案例城市信号交叉口的启动损失时间较大, 达到饱和和流率状态时间较长, 因此在计算最优信号周期和信号配时时, 需要考虑这些参数的影响, 设置最优的信号配时方案, 在保证通行能力的前提下, 减少控制延误; 由于我国案例城市排队消散过程末尾出现车头时距的下降现象, 即在相位切换阶段依然存在部分车辆跟随前车驶入交叉口的情况, 因此应根据交叉口的几何特征适当增加相位切换时的清空时间(全红时间), 以降低驶入交叉口的车辆与下一相位进入交通流的碰撞风险, 同时也应进一步加强交通执法与驾驶员教育等.

4 结语

本文通过实证数据对比分析了中日两国 3 个城市的信号交叉口车辆排队消散特性的异同. 结果表明, 两国案例城市信号交叉口的排队消散过程都可以分为三个阶段: 启动阶段, 稳定阶段和上升阶段, 但我国案例城市在第 8~10 辆排队车辆左右才达到

稳定阶段,要晚于日本案例交叉口.我国案例城市信号交叉口的排队消散特性相关参数饱和车头时距、饱和流率、启动损失、大车折算系数都劣于日本,而两国的这些参数又分别服从相同分布.我国案例城市信号交叉口的排队消散特性也导致了交叉口信号周期较长、通行能力不足、服务水平较低.最后,本文分析了导致两国案例城市排队消散特性差异的原因,并给出了提高我国案例城市交叉口运行效率的建议.

参考文献:

- [1] Transportation and Road Research Laboratory. A method of measuring saturation flow at traffic signals[M]. London: HM Stationery Office, 1963.
- [2] Transportation Research Board. Highway capacity manual: 2010[M]. Washington D C: Transportation Research Board, 2010.
- [3] Lee H S, Do T W. Saturation headway of through movement at signalized intersections in urban area [J]. Journal of Transportation Research Society of Korea, 2002, 20(5): 23.
- [4] Tang K, Nakamura H. An analysis on saturation flow rate and its variability [C/CD]//Proceedings of the 11th World Conference on Transportation Research. Berkeley: [s. n.], 2007.
- [5] Li H, Prevedouros P. Detailed observations of saturation headways and start-up lost times[J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2002 (1802): 44.
- [6] Lin F B, Tseng P Y, Su C W. Variations in queue discharge patterns and their implications in analysis of signalized intersections[J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2004 (1883): 192.
- [7] Lin F B, Thomas D. Headway compression during queue discharge at signalized intersections [J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2005 (1920): 81.
- [8] Lin F B, Chang C W, Tseng P Y. Errors in analyses for capacity and timing design of signalized intersections in absence of steady queue discharge rates[J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2007 (2027): 85.
- [9] Boumediene A, Brahimi K, Belguesmia N, *et al.* Saturation flow versus green time at two-stage signal controlled intersections[J]. Transport, 2009, 24(4): 288.
- [10] Chodur J, Ostrowski K, Tracz M. Impact of saturation flow changes on performance of traffic lanes at signalized intersections [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011, 16: 600.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50647—2011 城市道路交叉口规划规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2011. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50647-2011 Code for planning of intersections on urban roads [S]. Beijing: China Planning Press, 2011.
- [12] 杨小文, 李克平. 国标确定信号控制交叉口规划通行能力的方法[J]. 城市交通, 2013, 11(3): 8. YANG Xiaowen, LI Keping. Methodologies for determining the capacity of signalized intersections in the national standard in China [J]. Urban Transport of China, 2013, 11(3): 8.
- [13] 李克平, 盖松雪. 信号控制交叉口周期时长对饱和和流量的影响研究[J]. 城市道桥与防洪, 2007, 9: 6. LI Keping, GAI Songxue. Research on the influence of cycle time on saturation at signalized intersection[J]. City Bridges and Flood, 2007, 9: 6.
- [14] 吴震, 杨晓光. 信号交叉口右转车道饱和和流量研究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2008, 36(1): 37. WU Zhen, YANG Xiaoguang. Research on saturation on flow of right-turning lane at signalized intersection [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2008, 36(1): 37.
- [15] Liu P, Yu H, Wang W, *et al.* Evaluating the effects of signal countdown timers on queue discharge characteristics at signalized intersections in China[J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2012 (2286): 39.
- [16] 周晨静, 荣建, 冯星宇. 直行自行车对信号交叉口直行机动车交通流运行的干扰分析[J]. 道路交通与安全, 2014, 2: 9. ZHOU Chenjing, RONG Jian, FENG Xingyu. Analysis of bicycles interfering motor vehicle traffic flow on straight lane at signalized intersection[J]. Road Traffic and Safety, 2014, 2: 9.
- [17] 中华人民共和国建设部. GB 50220—95 城市道路交通规划设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 1995. Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB 50220-95 Code for transport planning on urban road [S]. Beijing: China Planning Press, 1995.
- [18] 中国公路学会《交通工程手册》编委. 交通工程手册[M]. 北京:人民交通出版社, 1997. China Highway and Transportation Society 《Traffic Engineering Manual》 Editorial Board. Traffic engineering manual [M]. Beijing: China Communications Press, 1997.
- [19] 上海市城乡建设和交通委员会. DGJ08-96—2001 城市道路平面交叉口规划与设计规程[S]. 上海:上海市建筑建材业市场管理总站, 2001. Shanghai Construction and Communications Commission. DGJ08-96—2001 Design regulations for at-grade intersections on urban street [S]. Shanghai: Shanghai Construction and Materials Administration Station, 2001.