

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2019.02.016

# 基于拥堵时空特征的区域分类与评价方法研究

李泽钧<sup>1</sup>, 邸小建<sup>2</sup>, 翁剑成<sup>2</sup>, 王晶晶<sup>3</sup>

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 北京市交通工程重点实验室 (北京工业大学), 北京 100124;  
3. 北京市交通运行监测调度中心, 北京 100073)

**摘要:** 利用现有监测手段开展区域交通综合整治, 科学设置交通分级预警标准是北京市缓堵工作的重要目标。为了直观性评价缓堵工作的治理效果, 并及时识别路网运行效率低下的区域, 以北京市25个出行热点区域作为研究对象, 借助区域交通运行指数, 解析热点区域的路网运行拥堵特征。应用系统聚类方法, 发现依据区域拥堵特征可将研究区域划分为复合型、双峰型、晚延型3种类型, 并对比分析不同类型下的区域路网运行状态。在此基础上, 充分考虑拥堵时空特征构建区域拥堵评价模型, 确定了包含红色预警、橙色预警、黄色预警的三级预警分级标准, 量化地反映区域路网运行状态在一段时期内的综合性评价。结合应用案例分析, 结果表明, 复合型区域全天运行状态处于中度拥堵等级的累计时长最高, 为373 min。双峰型区域在平峰时段路网拥堵状态恢复较快, 日均严重拥堵时长仅有36 min。晚延型区域的早晚高峰路网运行状态差异最大, 该类地区的日均早高峰拥堵时长最短, 而日均晚高峰拥堵时间却最长。并且, 由拥堵评价得分显示, 该类型地区在工作日及非工作日期间均易出现预警需求。特别是朝阳北路地区, 工作日区域拥堵评价得分仅为74.8分, 已达到橙色预警状态, 路网运行压力较大, 应在缓堵工作中优先作为重点关注对象。

**关键词:** 交通工程; 拥堵评价; 系统聚类; 交通指数; 区域分类; 路网运行

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2019) 02-0121-07

## Regional Classification and Evaluation Method Based on Congestion Temporal-spatial Characteristics

LI Ze-jun<sup>1</sup>, DI Xiao-jian<sup>2</sup>, WENG Jian-cheng<sup>2</sup>, WANG Jing-jing<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;  
2. Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;  
3. Beijing Municipal Transportation Operations Coordination Center, Beijing 100073, China)

**Abstract:** Using the existing monitoring means to carry out regional traffic comprehensive regulation and setting up traffic pre-warning standards scientifically are important goals of easing the traffic congestion in Beijing. In order to evaluate the effect of easing traffic congestion intuitively and identify the area with low performance in time, taking 25 travelling hot spots in Beijing as the research object, the traffic congestion characteristics of the hot spots are analyzed with the help of the regional traffic operation index. By using the system clustering method, it is found that regional diversified congestion characteristics present multiple mode, double peak mode and evening peak prolonged mode in the concerned regions. The operating states of regional road network under different types are analyzed comparatively. On this basis, taking full consideration of the temporal-spatial characteristics of congestion, the regional congestion evaluation model is established, and the 3-level pre-warning criterion including red alert, orange alert and yellow alert is

收稿日期: 2017-08-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51578028); 国家自然科学基金国际合作项目 (61420106005)

作者简介: 李泽钧 (1981-), 男, 北京人, 博士研究生. (13910899516@139.com)

determined. In this way, the operational state of regional road network within a certain time period can be evaluated quantitatively. Combining with the application case analysis, the result shows that (1) The highest cumulative time of the moderate congestion level is in multiple mode region and it is 373 min in whole day. (2) The road network congestion in the double peak mode region recovered rapidly in the period of off-peak, the daily average cumulative time of serious congestion is just 36 min. (3) Evening peak prolonged mode regions have the greatest different road operational states in morning peak and evening peak. In these regions, the daily average cumulative time of congestion in morning peak is the shortest, while in evening peak it is the longest. In addition, the score of regional congestion evaluation shows that these regions usually have alert demand during working days and non-working days. Especially in Chaoyang North Road area, the score of regional congestion evaluation is 74.8 only during working days, which has reached the orange alert state. The road network is under great pressure and should be given priority in the scheme of easing the traffic congestion.

**Key words:** traffic engineering; congestion evaluation; system clustering; traffic index; regional classification; road network operation

## 0 引言

为进一步改善北京市交通运行状况,全面提升交通治理能力,不断提高交通服务水平,有效缓解城市交通拥堵,《2017年北京市缓解交通拥堵行动计划》(以下简称“计划”)正式发布。计划中明确提出中心城区路网交通指数控制在5.7左右,开展区域交通综合整治,改善交通环境的主要目标。城市路网作为一个城市交通道路系统的血脉,如若不能准确掌握拥堵特征,路网运行效率低下,城市的正常运转以及市民出行必然会受到严重的影响。

交通运行指数通常是对路网交通总体运行状况进行量化评估的综合性指标。各个国家或城市基于自身道路运行特征选取不同角度构建交通运行指数模型<sup>[1-3]</sup>。我国将路段运行速度划分为畅通、基本畅通、轻度拥堵、中度拥堵和严重拥堵5个等级,基于严重拥堵里程比计算交通运行指数,数值越高表明交通拥堵状况越严重<sup>[4]</sup>。交通拥堵延时指数用于描述高峰时段城市居民平均一次出行的实际旅行时间与自由流状态下旅行时间之比,拥堵延时指数越高表明公众出行需花费非拥堵状态下越多的时间才能到达目的地<sup>[5]</sup>。多项研究证明,各类拥堵评价指标可从城市路网整体角度对路网整体运行状态进行监测和评价,并为宏观交通政策评估、交通状态研判等工作提供数据支撑<sup>[6-9]</sup>。

国内外对路网运行状态的研究基础较为深厚。美国公路通行能力手册(HCM)<sup>[10]</sup>中利用饱和度、交叉口延误和服务水平实现了对道路运行质量的综合评价。王来军<sup>[11]</sup>建立包含饱和度、平均延误、行

驶速率和二次排队率4项指标的城市道路运行状况评价指标体系,并构建城市道路交通拥堵度的计算模型。黄艳国<sup>[12]</sup>等人考虑路网元素在路网中的道路等级以及影响作用的重要程度,建立了反映区域路网交通状态指数的综合判别模型,确定路网交通状态级别。孙超<sup>[13]</sup>选取交叉口进口饱和度和对应路段平均行程速度作为路网状态评价的基本参数,进而对路网整体交通状态及路口可达性等进行评价。李彦瑾<sup>[14]</sup>等人利用点的连通度与边的网络效率等指标量化了突发拥挤导致的城市路网的脆弱性变化。然而,大多数路网运行状态评价角度较为微观,评价过程较为复杂,无法简单直观地呈现路网在一定周期内运行状态的评价。并且这种单一化的指数评价指标不适用于综合地反映中长期维度下的城市路网运行状况。

针对上述问题,本研究以区域交通指数作为数据基础,开展区域拥堵特征聚类分析及区域路网运行状态评价研究,掌握不同区域拥堵特征模式,识别路网运行效率长期不佳的区域,为缓堵治理对象的确定提供理论支撑。对缓解拥堵措施及交通发展政策的制订提供有力支持和保障,更切合“计划”提出的发展目标,具有重要的现实意义。

## 1 重点区域划分与选取

北京市交通运行指数除了以全网为监测对象外,还有针对城六区、环线区域的细化监测。随着研究的不断深入,不难发现以上研究范围过大,不适用于反映某个局部地区的路网运行状态。考虑到区域之间的时空运行特征存在较大差别,利用针对

局部区域的交通指数可以更精细化地描述路网交通运行状态,同时也能更准确地掌握由区域类型特点的不同所带来的区域交通指数的时变特征。

参考文献[15]提出的基于空间相关性分析的路网评价区域划分方法,在传统交通小区划分的基础上充分考虑了相邻区域单元之间的空间关联性和相互影响,将相同空间类的相邻交通网格进行一定程度的聚合,实现路网评价区域的划分,作为计算区域交通指数的对象基础。并在北京市五环内选取25个出行热点区域开展后续研究,具体包括:北京站、北京西站、国贸、金融街、西单、西直门、奥林匹克中心区、香山等,涵盖交通服务区、商务办公区、商业贸易区、人文自然区等多种用地类型。

2 基于拥堵时空特征的区域分类

由于25个重点区域用地属性、经济基础、社会结构不同,区域路网运行特性呈现出多层次性和不平衡性。为了更准确地分析各地区路网拥堵特征,选取拥堵特征评价指标,分别从不同角度对各区域的路网状态进行度量。将拥堵特征相近的区域作为一个整体,实现基于路网运行拥堵特征的区域聚类,进而对比分析不同类型下的区域路网运行状态。

2.1 确定拥堵特征指标

拥堵特征指标的选取原则主要基于以下两点:第一,选择独立性较强的指标。所选指标至少能在一定程度上反映路网运行某一方面基本特征;第二,重视可操作性和实用性。所选指标均为可度量指标,且便于横向和纵向比较。因此,拥堵特征指标最终的选取结果如表1所示。

表1 拥堵特征指标选取

Tab.1 Selected congestion characteristics indexes

| 序号 | 特征指标      | 观测时段                           | 区域交通指数满足条件  |
|----|-----------|--------------------------------|-------------|
| 1  | 开始拥堵时间    | —                              | [6.0, 10.0] |
| 2  | 结束拥堵时间    | —                              | [6.0, 10.0] |
| 3  | 日均交通指数峰值  | 5:00-23:00                     | [0, 10.0]   |
| 4  | 日均早高峰拥堵时长 | 工作日: 7:00-9:00 <sup>[16]</sup> | [6.0, 10.0] |
|    |           | 非工作日: 10:00-12:00              |             |
| 5  | 日均晚高峰拥堵时长 | 工作日: 17:00-19:00               | [6.0, 10.0] |
|    |           | 非工作日: 16:00-18:00              |             |
| 6  | 日均中度拥堵时长  | 5:00-23:00                     | [6.0, 8.0]  |
| 7  | 日均严重拥堵时长  | 5:00-23:00                     | [8.0, 10.0] |

利用2016年4月数据,除“开始拥堵时间”和“结束拥堵时间”外,其余5项特征指标的主要统计量如表2所示:

表2 五项特征指标主要统计量

Tab.2 Main statistics of 5 characteristic indexes

| 序号 | 特征指标          | 最小值    | 最大值    | 均值     | 标准差   |
|----|---------------|--------|--------|--------|-------|
| 1  | 日均交通指数峰值      | 7.8    | 8.7    | 8.2    | 0.24  |
| 2  | 日均早高峰拥堵时长/min | 28.27  | 70.52  | 57.93  | 11.23 |
| 3  | 日均晚高峰拥堵时长/min | 50.00  | 112.40 | 90.52  | 14.44 |
| 4  | 日均中度拥堵时长/min  | 230.54 | 481.30 | 360.00 | 72.00 |
| 5  | 日均严重拥堵时长/min  | 19.14  | 217.24 | 82.84  | 52.15 |

在25个区域中,各区域日交通指数峰值和高峰期间的拥堵时长波动较小,而全天不同拥堵状态下的时长差异较大。安定门日交通指数峰值最高,为8.7。晚高峰路网拥堵程度比早高峰严重,北京西站,在早高峰期间交通指数6.0以上的时长最大,约为71 min;朝阳北路区域在晚高峰期间拥堵时长最高,为112 min;在全天范围内,中度拥堵时长最大值为国贸区域481 min,最小值为开阳桥231 min;而严重拥堵时长最大值为朝阳北路217 min,最小值为菜户营19 min。

一天中的开始拥堵时间和最后拥堵时间可以反映区域交通指数的潮汐性特征。为了便于分析,研究中把5:00至23:00分成7个时间段,即早高峰前夕(05:00-07:00),早高峰时段(07:00-09:00),平峰时段(09:00-15:00),晚高峰前夕(15:00-17:00),晚高峰时段(17:00-19:00),晚高峰后期(19:00-21:00)和夜间(21:00-23:00)。在此基础上,统计出每个区域在2016年4月每日开始拥堵时间和结束拥堵时间在7个时间段中的分布情况,并提取最频繁时间段作为表示开始拥堵时间和结束拥堵时间的特征值。

通过分析发现,香山区域和月坛开始拥堵时间处于早高峰前夕(05:00-07:00)时段,其余地区的开始拥堵时间均处于早高峰期间。而拥堵结束时间大多分布在晚高峰时段、晚高峰后期和夜间时段,其中,朝阳北路、朝阳门、东直门、建国门等地区拥堵状态持续时间较长,在21:00以后区域交通指数才有逐渐下降趋势。

2.2 聚类分析方法

聚类分析是数据挖掘的重要方法,通过无监督学习的过程实现了对互相之间毫无联系的样本点数据的归类。而系统聚类法(Hierarchical clustering methods,也称层次聚类法)由于类与类之间的距离计算方法灵活多样,可适应不同的要求,是目前实践中使用最多的聚类方法<sup>[17]</sup>。其基本思路是:先将各个样品各看成一类,然后规定类与类之间的距离,

选择距离最小的一对合并成新的类,计算新类与其他类之间的距离。并重复以上过程,直至所有的样品合为一类为止。在此过程中,可利用单连接法、平均连接法、组平均连接法与离差平方和法作为类与类之间的距离计算方法。

本研究选取离差平方和法 (Ward's Method) 计算类与类之间的距离,使得同类地区间的离差平方和较小,而类与类之间离差平方和较大。

### 2.3 聚类分析过程及结果

#### (1) 数据预处理

由于不同指标的取值差异较大,所以先对原始数据进行标准化处理,以避免指标值差异过大对分类结果产生影响。有必要进行标准化处理的指标为:日交通指数峰值、早高峰拥堵时长、晚高峰拥堵时长、中度拥堵时长和严重拥堵时长。该 5 类指标均为对小者为优的成本型指标,即数值越小越好的指标,标准化处理公式如下:

$$Y_{ij} = \frac{\max x_j - X_{ij}}{\max x_j - \min x_j}, \quad (1)$$

式中,  $X_{ij}$  为第  $i$  个对象的第  $j$  个指标值;  $Y_{ij}$  为第  $i$  个对象的第  $j$  个指标标准化后的值;  $\max x_j$  为第  $j$  个指标下各评价样本属性值的最大值;  $\min x_j$  为第  $j$  个指标下各评价样本属性值的最小值;

#### (2) 确定聚类类别数目

在对原始数据进行无量纲化处理后,对 25 个区域进行系统聚类分析,通过离差平方和法计算类与类之间的距离。观察碎石图可知,如图 1 所示,随着类的不断凝聚、类数目的不断减少,系数的变化幅度逐渐增大。在聚成 3 类之前,相邻系数变化幅度较小,但到 3 类后,变化幅度迅速增大。因此,考虑将 25 个区域聚成 3 类。

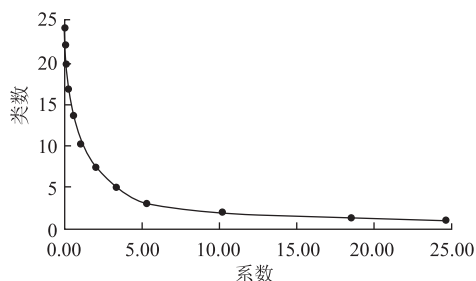


图 1 区域拥堵状态特征的聚类分析碎石图

Fig. 1 Scree plot of clustering analysis on regional congestion state characteristics

#### (3) 聚类结果分析

最终将 25 个重点区域划分为 3 种类型,区域拥

堵特征分别呈现复合型、双峰型和晚延型特点。具体分类结果见图 2 和表 3。

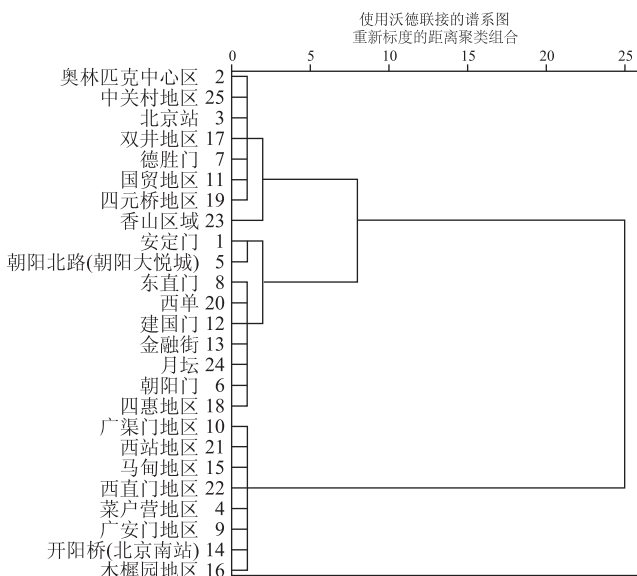


图 2 区域拥堵状态特征的系统聚类分析结果

Fig. 2 Hierarchical clustering result of regional congestion state characteristics

表 3 区域拥堵状态特征的系统聚类分析结果

Tab. 3 Hierarchical clustering result of regional congestion state characteristics

| 类别  | 区域                                 | 个数 |
|-----|------------------------------------|----|
| 复合型 | 奥林匹克中心区、北京站、德胜门、国贸、双井、四元桥、香山区域、中关村 | 8  |
| 双峰型 | 菜户营、广安门、广渠门、开阳桥、马甸地区、木樨园、北京西站、西直门  | 8  |
| 晚延型 | 安定门、朝阳北路、朝阳门、东直门、建国门、金融街、四惠、西单、月坛  | 9  |

复合型区域的用地类型最丰富,包括自然人文用地、商务办公用地、交通服务用地及商业贸易用地。交通指数的时空特征主要为早晚双高峰特征比较明显,但随着晚高峰的结束,路网压力并没有迅速恢复,而是在 19:00—21:00 期间逐渐缓和。此类地区全天处于中度拥堵运行状态最为严重,累计持续时长为 373 min。

双峰型区域早晚双高峰特征十分明显,在早、晚高峰期间路网压力较大,但随着高峰时段的消退,路网状态恢复较快。在 3 类区域中此类地区日均晚高峰拥堵时长、全日中度拥堵时长和严重拥堵时长均为最短水平,其中日均严重拥堵时长仅有 36 min。

晚延型区域主要为晚高峰时段严重延长的商业贸易型区域,在 21:00 以后区域交通指数仍会出现高于 6.0 的情况。此类地区位于商业气息浓厚的繁

华地段,在晚高峰期间,区域内出行者既会发生通勤出行又会发生娱乐休闲出行,不同目的的出行行为出现叠加现象,进而加大交通压力,从而引发晚高峰时段延长的现象。在早高峰期间该类地区交通压力较小,日均早高峰拥堵时长仅为48 min,在3类区域中时长最短。而在晚高峰期间,该类地区的拥堵时间最长,为98 min,早晚高峰路网运行状态差异较大。

随后对各特征指标的平均数的差异进行检验,如表4所示。除“拥堵开始时间”外,均达到显著水平,这说明分类结果比较有效,分类后各指标均可较好地反映出不同类别区域之间的差异关系。

表4 拥堵特征指标平均数差异检验结果

Tab. 4 Test result of difference between averages of congestion characteristics indexes

| 拥堵特征指标      | 平方和       | 自由度 | 均方    | F 检验值   | 显著性   |
|-------------|-----------|-----|-------|---------|-------|
| 日交通指数<br>峰值 | 组间 0.600  | 2   | 0.300 | 14.145  | 0.000 |
|             | 组内 0.466  | 22  | 0.021 |         |       |
|             | 总计 1.066  | 24  |       |         |       |
| 早高峰拥堵<br>时长 | 组间 0.671  | 2   | 0.335 | 7.201   | 0.004 |
|             | 组内 1.025  | 22  | 0.047 |         |       |
|             | 总计 1.695  | 24  |       |         |       |
| 晚高峰拥堵<br>时长 | 组间 0.465  | 2   | 0.232 | 6.237   | 0.007 |
|             | 组内 0.820  | 22  | 0.037 |         |       |
|             | 总计 1.285  | 24  |       |         |       |
| 中度拥堵<br>时间  | 组间 0.847  | 2   | 0.424 | 8.244   | 0.002 |
|             | 组内 1.131  | 22  | 0.051 |         |       |
|             | 总计 1.978  | 24  |       |         |       |
| 严重拥堵<br>时间  | 组间 0.722  | 2   | 0.361 | 8.433   | 0.002 |
|             | 组内 0.941  | 22  | 0.043 |         |       |
|             | 总计 1.663  | 24  |       |         |       |
| 拥堵开始<br>时间  | 组间 0.071  | 2   | 0.036 | 0.880   | 0.429 |
|             | 组内 0.889  | 22  | 0.040 |         |       |
|             | 总计 0.960  | 24  |       |         |       |
| 拥堵结束<br>时间  | 组间 16.071 | 2   | 8.036 | 198.880 | 0.000 |
|             | 组内 0.889  | 22  | 0.040 |         |       |
|             | 总计 16.960 | 24  |       |         |       |

### 3 区域拥堵评价方法

在上述基于路网运行拥堵特征指标的区域聚类结果分析基础上,利用区域拥堵评价模型计算各区域在一定时段内的拥堵评价得分,量化地反映区域路网运行状态的综合性评价,并制定预警分级标准。一方面可对缓堵工作的治理效果进行直观性评价,另一方面可及时识别路网运行效率低下的区域,确定拥堵治理对象,尽早实施疏堵工作计划。

#### 3.1 构建区域拥堵评价模型

北京市的道路交通运行指数计算主要考虑了空间维度的影响因素<sup>[16]</sup>,在此基础上,区域拥堵评价模型加入时间维度评价指标——拥堵时间百分比,其意指一定时间段内,拥堵发生时间占总时间的百分比,反映一定时段内交通拥堵的时间影响范围<sup>[18]</sup>。考虑到在中度拥堵的情况下,出行者的出行时间要比畅通时多耗时0.8至1.0倍,而严重拥堵是出行者和管理者最不希望发生、最希望及时了解的交通状况。因此,在构建区域拥堵评价模型的过程中,选择中度拥堵和严重拥堵作为重点考察的交通拥堵状态,分别计算两种拥堵级别下的拥堵时间百分比,并对指标赋予不同权重,计算公式如下所示:

$$Con_{,i} = 100 - [a \times R_{m,i} + (1 - a) \times R_{h,i}] \times 100, \quad (2)$$

式中, $i=1, 2, \dots, 25$ ,  $Con_{,i}$ 为第*i*个区域的拥堵评价得分,  $Con_{,i} \in [0, 100]$ ;  $R_{m,i}$ 为第*i*个区域中度拥堵状态下的拥堵时间占比;  $R_{h,i}$ 为第*i*个区域严重拥堵状态下的拥堵时间占比;  $a$ 为贡献率系数,非工作日情况下,  $a = \frac{7.0}{7.0+9.0} = 0.4375$ ; 工作日情况下,

$$a = \frac{\bar{x}_n}{\bar{x}_n + \bar{y}_n}, \quad (3)$$

式中,  $n=1, 2, \dots, 12$ ,  $\bar{x}_n$ 为第*n*月全路网中度拥堵状态下的平均交通指数;  $\bar{y}_n$ 为第*n*月全路网严重拥堵状态下的平均交通指数。

通过上述模型可对各区域分别计算在工作日、非工作日期间的区域拥堵评价得分,该得分反映的是区域一段时间内路网运行状态的综合性评价。评价得分越低代表该区域拥堵时间占比越高、拥堵时间持续越长。结合如表5所示的路网运行状态预警分级标准及时识别高危拥堵点,确定预警对象,尽早实施疏堵工作计划。

若某区域的预警等级在一定周期内(连续3个月)一直处于较高等级,则该区域应被列为缓堵工作的重点对象。

表5 路网运行状态预警分级标准

Tab. 5 Pre-warning criterion of road network operation states

| 预警分级 | 拥堵评价得分<br>$Con_{,i}$    | 含义               |
|------|-------------------------|------------------|
| 红色预警 | $Con_{,i} < 60$         | 红色预警为预警最高等级,该等级下 |
| 橙色预警 | $60 \leq Con_{,i} < 75$ | 区域路网运行状态差,拥堵程度高、 |
| 黄色预警 | $75 \leq Con_{,i} < 85$ | 持续时间长,严重影响出行效率   |

### 3.2 区域评价应用案例

本研究对2016年第3季度(7月-9月)25个重点区域拥堵评价得分情况进行分析,对3类地区路网运行特点进行量化描述。在工作日期间,北京市全路网拥堵评价得分平均为92.43;非工作日期间全路网拥堵评价得分平均为98.1。虽整体路网运行状态良好,无预警情况,但各区域的路网运行状态在第3季度体现出不同特征。

工作日期间,共有13个区域发生预警需求。如图3所示,朝阳北路和四惠在7月出现橙色预警,其余地区均为黄色预警。第3季度区域拥堵评价平均得分较低的区域为朝阳北路、朝阳门和四惠,平均得分分别为74.8、77.8分和76.4分,即将或已经达到橙色预警,是区域路网运行压力较大的高风险区域。同时,这3个地区均为晚延型区域。在发生预警的13个地区中,有53.84%的区域为晚延型区域。

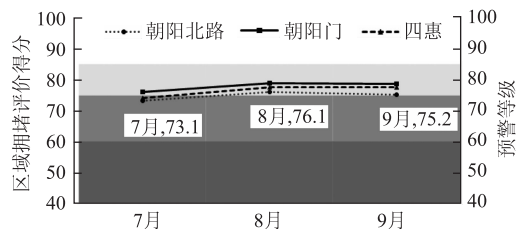


图3 第3季度工作日期间高风险预警区域拥堵评价得分

Fig.3 Scores of regional congestion evaluation during workdays in the third quarter

非工作日期间各区域路网运行状况与工作日相比有较大改善。如图4所示,预警需求主要集中在休闲娱乐商圈,同样以晚延型区域为主。朝阳北路拥堵状态平均得分最低,为79.7分,有极大可能发展为橙色预警。四惠和西单拥堵评价平均得分在85分左右,是黄色预警的潜在危险区域。

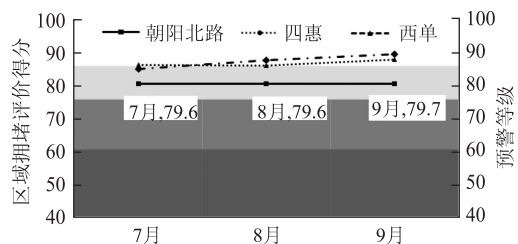


图4 第3季度非工作日期间高风险预警区域拥堵评价得分

Fig.4 Scores of regional congestion evaluation during non-workdays in the third quarter

通过对重点区域路网运行状态评价的持续观测,发现晚延型区域较易出现持续型预警需求,即工作日及非工作日期间路网运行均面临较大压力。复合型区

域具有通勤型预警需求,即工作日拥堵评价得分长期明显低于非工作日,导致工作日期间达到不同程度的预警级别,非工作日无预警需求。香山、奥林匹克中心区、木樨园具有旅游景点、大型商圈的区域属性,体现出非通勤型预警特点,即非工作日的拥堵评价得分明显低于工作日期间。由此可见,晚延型区域是最易出现预警需求的地区,应在缓堵计划中优先考虑。

### 4 结论

本研究基于区域交通运行指数,对25个出行热点区域进行聚类分析,将其划分为复合型、双峰型、晚延型3种类型,更细化地掌握不同类型区域所呈现出的拥堵特征差异。在此基础上,综合考虑交通运行拥堵等级和持续时间,构建区域拥堵评价模型。划分拥堵预警分级标准,识别路网运行效率长期不佳的区域,为缓堵治理对象的确定提供理论支撑,这对于有效缓解局部及整体路网交通拥堵具有重要作用。本研究发现朝阳北路区域呈现持续性预警需求,在工作日和非工作日期间分别出现橙色预警及黄色预警,应在缓堵工作中作为重点关注区域。在未来的研究工作中,还应完善区域交通指数监测范围,关注预警区域的拥堵成因,进一步提出解决方案。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 王璐媛,于雷,孙建平,等. 交通运行指数的研究与应用综述[J]. 交通信息与安全, 2016, 34(3): 1-9.  
WANG Lu-yuan, YU Lei, SUN Jian-ping, et al. An Overview of Studies and Applications on Traffic Performance Index [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2016, 34(3): 1-9.
- [2] BOARNET M, KIM E, PARKANY E. Measuring Traffic Congestion [J]. Transportation Research Record, 1998, 1634: 93-99.
- [3] 迟骋. 北京市路段交通拥堵评价体系研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.  
CHI Cheng. Research on Traffic Congestion Evaluation System of Sections in Beijing [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.
- [4] 邢珊珊,谷远利,沈立杰,等. 基于速度的城市快速路交通拥堵预测研究[J]. 交通信息与安全, 2016, 34(2): 48-54.  
XING Shan-shan, GU Yuan-li, SHEN Li-jie, et al. A Traffic Congestion Prediction Model Based on Vehicle Speed of Urban Expressways [J]. Journal of Transport

- Information and Safety, 2016, 34 (2): 48-54.
- [5] 董振宁,周琦,陈水平,等.基于出行轨迹的城市交通拥堵程度评价[C]//第九届中国智能交通年会论文集.北京:中国智能交通协会,2014:466-472.  
DONG Zhen-ning, ZHOU Qi, CHEN Shui-ping, et al. Evaluation Method of Urban Traffic Congestion Based on Trace [C] // Proceedings of the Ninth China Annual Conference on ITS. Beijing: China Intelligent Transportation Systems Association, 2014: 466-472.
- [6] 刘思宁.基于交通拥堵指数的交通拥堵模式聚类分析[D].北京:北京交通大学,2016.  
LIU Si-ning. Clustering of Traffic Congestion Patterns Based on Traffic Congestion Index [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [7] 蒋寅,万涛,曹伯虎.天津市交通指数及其在双限政策评估中的应用[J].城市交通,2015,13(6):46-52.  
JIANG Yin, WAN Tao, CAO Bo-hu. Traffic Index of Tianjin and Its Application in Evaluation of Vehicle Purchase Rationing Policy and Vehicle Usage Restriction Policy [J]. Urban Transport of China, 2015, 13 (6): 46-52.
- [8] 韦清波,何兆成,郑喜双,等.考虑多因素的城市道路交通拥堵指数预测研究[J].交通运输系统工程与信息,2017,17(1):74-81.  
WEI Qing-bo, HE Zhao-cheng, ZHENG Xi-shuang, et al. Prediction of Urban Traffic Performance Index Considering Multiple Factors [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2017, 17 (1): 74-81.
- [9] LENG J Q, ZHAI J, LI Q W, et al. Construction of Road Network Vulnerability Evaluation Index Based on General Travel Cost [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2017, 493: 421-429.
- [10] 美国交通研究委员会.道路通行能力手册[M].北京:人民交通出版社,2007.  
Transportation Research Board. Highway Capacity Manual [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [11] 王来军,许晓楠,张昕越,等.基于广义径向基神经网络的城道路运行状况评价[J].长安大学学报:自然科学版,2015,35(4):103-111.  
WANG Lai-jun, XU Xiao-nan, ZHANG Xin-yue, et al. Evaluation of City Road Running Condition Based on GRBF Neural Network [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2015, 35 (4): 103-111.
- [12] 黄艳国,宋二猛,钟建新.城市区域路网交通状态分析与评价方法[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2017,36(12):91-96.  
HUANG Yan-guo, SONG Er-meng, ZHONG Jian-xin. Analysis and Evaluation Method for Traffic State of Urban Regional Road Network [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2017, 36 (12): 91-96.
- [13] 孙超,王波,张云龙,等.基于一种交通状态系数的城市路网交通状态评价研究[J].公路交通科技,2011,28(5):113-120.  
SUN Chao, WANG Bo, ZHANG Yun-long, et al. Research on Urban Traffic Network State Evaluation Based on a Traffic Network State Coefficient [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (5): 113-120.
- [14] 李彦瑾,罗霞,车国鹏.突发拥挤条件下城市道路网络脆弱性识别[J].公路交通科技,2017,34(5):129-136.  
LI Yan-jin, LUO Xia, CHE Guo-peng. Vulnerability Identification of Urban Road Network under Abrupt Congestion Condition [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34 (5): 129-136.
- [15] 邹文杰.城市路网运行质量影响模型研究[D].北京:北京工业大学,2012.  
ZOU Wen-jie. Study on Influence Model of Urban Road Network Operation Quality [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012.
- [16] DB11/T 785—2011,城市道路交通运行评价指标体系[S].  
DB11/T 785—2011, Urban Road Traffic Performance Index [S].
- [17] 胡雷芳.五种常用系统聚类分析方法及其比较[J].浙江统计,2007(4):11-13.  
HU Lei-fang. Comparative Analysis on the Five Usual Clustering Analysis Method [J]. Zhejiang Statistics, 2007 (4): 11-13.
- [18] 朱琳,于雷,宋国华,等.基于浮动车数据的交通拥堵时间维度特征[J].北京交通大学学报,2011,35(6):7-12.  
ZHU Lin, YU Lei, SONG Guo-hua, et al. Temporal Characteristics of Traffic Congestion Duration Based on Floating Car Data [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2011, 35 (6): 7-12.