

DOI: 10.19479/j.2095-719x.2501001

城市区域路网交通运行状态评价 ——以天津市华苑高新技术产业园区为例

李东虹¹, 马艳¹, 黄文静¹, 田宗忠²

(1. 天津城建大学, 天津 300384; 2. 内华达大学, 内华达里诺 89557)

摘要:为提高城市区域路网交通运行状态评价的准确性,选取平均行程速度、时间占有率、交叉口饱和度、每车平均延误、平均最大排队长度作为评价指标,将城市区域路网交通运行状态划分为优良差劣4个等级。考虑不同时间节点对路网交通整体运行状态影响的差异,应用基于动态综合评价的城市区域路网交通运行状态评价方法,对天津市高新区路网进行动态评价。结合现行规范标准确定各评价指标的阈值,根据实测交通数据确定不同时段路网交通状态等级;根据评价结果提出关键路段交叉口信号优化方案,应用动态综合评价法对仿真结果进行验证。结果表明本文提出的评价指标与评价方法可有效判别区域路网交通运行状态。

关键词:交通工程; 城市交通; 区域路网; 交通状态; 综合评价

中图分类号:U491 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-719X(2025)01-0001-07

Evaluation on Traffic Operation Status of Road Network in Urban Areas: A Case Study of Tianjin High-tech Zone

LI Donghong¹, MA Yan², HUANG Wenjing¹, TIAN Zongzhong³

(1. Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 2. University of Nevada, Nevada Reno 89557, U.S.A.)

Abstract: To improve the accuracy of the evaluation on the traffic operation status of the road network in urban areas, the average travel speed, time occupancy, intersection saturation, average delay per vehicle, and average maximum queue length were selected as the evaluation indicators, and the traffic operation status of the road network in urban areas was divided into four levels: excellent, good, average and poor. Considering the differences in the influence of different time nodes on the overall operation status of road network traffic, this study applied the evaluation method of urban regional road network traffic operation status based on dynamic comprehensive evaluation to dynamically evaluate the road network of Tianjin High-tech Zone. Combined with the current norms and standards, the threshold limit value of each evaluation index was determined, and the traffic status level of the road network at different times was determined according to the measured traffic data. According to the evaluation results, the signal optimization scheme of key road sections was proposed, and the dynamic comprehensive evaluation method was applied to verify the simulation results. The results show that the evaluation index and evaluation method proposed in this paper can effectively determine the traffic operation status of regional road network.

Key words: traffic engineering; urban traffic; regional road network; traffic status; comprehensive evaluation

城市高新区道路服务人群主要为上班族,其特点是早晚高峰拥堵,平峰时人流量和机动车流量少;早晚高峰时道路实际交通量接近饱和甚至超饱和,此时表现出的问题是道路通行能力无法适应高峰时期的交通量,导致交叉口拥堵、排队和延误现象大幅增加,且交叉口服务水平下降;而非早晚高峰时段交通量较

低,但是路段交通受停车占道影响较大,道路通行能力严重下降,依然存在拥挤堵塞和排队现象。

因此,要解决高新区交通拥堵问题,需根据高峰和平峰时的交通特性,对区域内不同时段道路交通状态进行动态评估,对存在问题较大的交叉口提出对应的解决方案。通过准确把握路网交通运行状态,为制

收稿日期:2023-03-08;修订日期:2023-03-17

作者简介:李东虹(1997—),女,陕西渭南人,天津城建大学硕士生。

定有效的交通管理控制方案提供依据。

对于城市区域路网交通状态的判别和评价,一种常见的方法是选取合适的评价指标然后建立交通状态评价模型. 常见的评价指标有交叉口饱和度、交叉口延误、交叉口排队长度、交叉口均衡度、路段平均行程速度、时间占有率、路段可达性等,评价方法主要有模糊综合层次分析法、CM 聚类算法等. 如凌墨^[1]使用交叉口饱和度、交叉口延误、交叉口排队长度、交叉口均衡度、路段出行时间、路段停车次数、路段出行时间离散度等 7 个指标,建立了基于加权平均的路网运行状态评价方法. 孙超^[2]选取了路口饱和度、路段平均行程速度、可达性和连通性 4 个区域路网评价指标建立城市道路交通状态评价指标体系. 张帆^[3]选取平均交通量、平均速度和时间占有率作为判别城市道路交通状态的参数,提出了基于遗传模拟退火算法改进 CM 聚类算法的城市道路交通状态分类算法. 庄劲松等^[4]采用时间占有率、平均速度、车辆平均延误、饱和度和最大排队长度作为评价指标,使用模糊综合层次分析判别方法建立了模糊综合判别模型. 田世艳等^[5]使用平均行程速度和平均行车时间延误作为路段状态评价指标,应用模糊综合判别理论完成了评价时段内道路交通状态的判别. 许伦辉等^[6]选取了路段的平均速度和交叉口的排队长度两个评价路段交通状态的指标,综合模糊综合评价方法对路段交通状态的畅通程度做出评价. 陈义华等^[7-8]选择路段平均行程速度、路段时间占有率、交叉口饱和度、每车平均延误、平均最大排队长度 5 个评价指标,建立了基于 AHP-模糊综合评判的交通状态判别模型.

以上关于路网内交叉口和路段运行状态评价指标的研究成果较多,但是目前的研究成果在应用过程中依然存在一些问题. 从评价指标来看,虽然评价指标众多,但是由于部分评价指标的数据不易直接获取,且评价标准缺乏科学依据,导致评价结果不准确;从评价方法来看,目前的评价方法多为针对高峰时段

交通状态的评价,评价结果不能反映出道路全时段的交通状态. 因此,本文结合实地交通状况调查,合理选取评价指标,制定科学的评价标准,采用动态综合评价法对区域道路交通状态进行动态评价.

1 高新区道路及交通概况

1.1 高新区路网状况

评价区域为天津市华苑高新技术产业园区,区域外围由外环西路、复康路、简阳路及迎水道 4 条路组成,如图 1 所示(图中 A~Q 等大写字母表示交叉口,SN1~SN5 表示南北向 5 条路段、EW1~EW4 表示东西向 4 条路段). 此区域以商业办公为主,仅有少部分公寓区和社区医院. 该区域在早晚高峰区间交通量较大,车辆拥堵现象严重,该区域拥堵溢出严重影响相邻主干道交通.

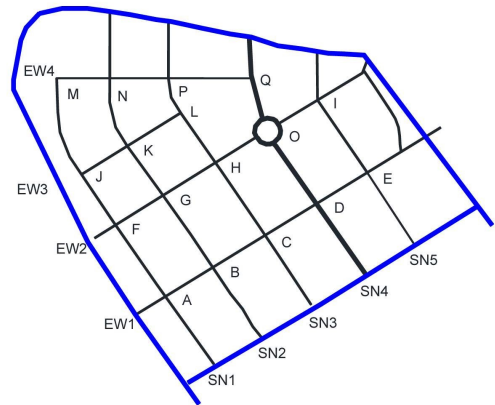


图 1 天津市华苑高新技术产业园区路网图

1.2 道路条件

天津市高新区路网中东西向及南北向 9 条道路的条件如表 1 所示,表 1 中各交叉口进口道车道功能如表 2 所示.(表 1 中 C、E、J、L、M、P 交叉口车道功能同 A;K、N 交叉口车道功能同 B;Q 交叉口车道功能同 D;、H 交叉口车道功能同 I.)

表 1 道路几何条件

道路名称	道路等级	断面形式	交叉口数量/个	车道
物华道 EW1	支路	一块板	5(A、B、C、D、E)	双向两车道
开华道 EW2	主干路	一块板	5(F、G、H、O、I)	双向四车道
工华道 EW3	支路	一块板	3(J、K、L)	双向两车道
华天道 EW4	支路	一块板	3(M、N、P)	双向两车道
梓苑路 SN1	支路	一块板	4(A、F、G、M)	双向两车道
榕苑路 SN2	支路	两块板	4(B、G、K、N)	双向四车道
桂苑路 SN3	支路	一块板	4(C、H、L、P)	双向两车道
梅苑路 SN4	主干路	一块板+两块板	2(D、O)	双向六车道
兰苑路 SN5	支路	一块板	2(E、I)	双向两车道

表2 高新区路网交叉口车道功能

交叉口	东进口	西进口	南进口	北进口
A				
B				
D				
G				
O				
I				

1.3 停车情况

高新区路网由梅苑路、开华道两条主干道和兰苑路、桂苑路、榕苑路等支路组成,支路的两侧均设置有停车区域,但是违停现象依旧非常严重(见图2),交叉口和路段均存在违规占道,且占道达50%,使得部分路段仅有一条车道供双向车辆行驶,道路的通行能力严重下降。



(a) 交叉口



(b) 路段

图2 车辆在交叉口和路段违停现象

2 动态综合评价

本文选取动态综合评价方法对区域内道路交通状态进行评价,该方法具有时序特征,权重的客观性强,能较好地反映出路网交通运行状态随时间的动态变化情况,同时避免了指标间的相关性影响权重变化的情况。对城市区域路网的交通运行状态进行动态综合评价的流程图如图3所示。根据动态综合评价流程图,对高新区路网的交通运行状态进行评价^[9]。

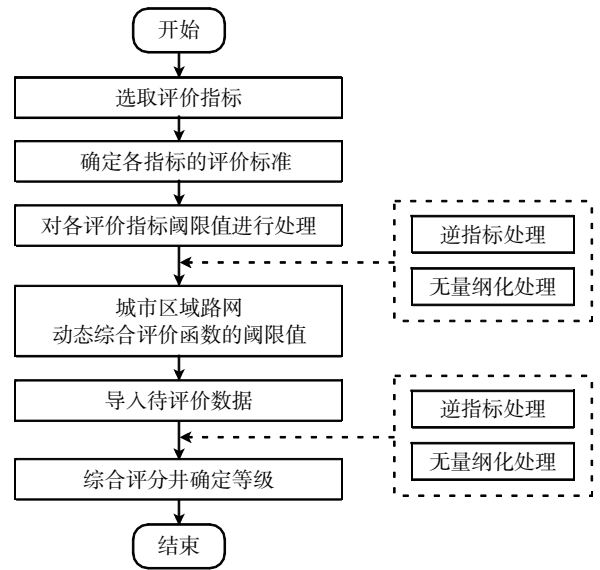


图3 动态综合评价流程图

2.1 选取评价指标

区域路网交通运行状态评价指标选取的科学性与合理性直接影响评价结果。根据实用性、有效性、可比性、实时性原则,结合天津市高新区道路交通流的运行特点,选取了平均行程速度、时间占有率、交叉口饱和度、每车平均延误、平均最大排队长度等5个指标,各指标的定义和计算公式如下。

(1) 平均行程速度

平均行程速度是车辆通过某一路段时,路段长度与行程时间的比值,计算公式如下

$$V = \frac{L \times N}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (1)$$

式中: L 为路段的总长度,m; N 为调查时间里的小时交通量,pcu/h; t_i 为调查时间里通过路段的第*i*辆车所需的行程时间,s。

(2) 时间占有率

时间占有率 R 指在一定的观测时间内,交通检测器被车辆占用的时间与观测总时间的比值,计算公式如下

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T} \quad (2)$$

式中: R_t 为时间占有率,%; t_i 为第*i*辆车通过观测断面所用的时间,s; T 为测定时长,s; n 为观测断面在测定时间内通过的车辆数。

车辆的时间占有率反映了从车辆占用时间开始的道路拥挤,它与交通流量和车辆的长短以及地点车速有关。

(3) 交叉口饱和度

信号交叉口饱和度 x 与交叉口的实际交通流量和通行能力有关,计算公式如下

$$x = V/C \tag{3}$$

式中: V 为交叉口实际交通流量,pcu; C 为交叉口通行能力.

(4) 每车平均延误

每车平均延误 D 指高峰时期所有车辆在交叉口延误段长度内实际行驶时间与在该段路长度内按畅行速度行驶时间之差的平均值,计算公式如下

$$D = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-y)} + \frac{S^2}{2q(1-S)} - 0.65 \left(\frac{c}{q^0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{(2+5A)} \tag{4}$$

式中: c 为信号周期时长, s ; λ 为绿信比; y 为流入交通量与饱和交通量的比值; q 为流入交通量,pcu; S 为交叉口饱和度.

(5) 平均最大排队长度

平均最大排队长度 L 为各周期最大排队长度的平均值,计算公式如下

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n} \tag{5}$$

$$L_i = \begin{cases} 2qt_r & \text{非饱和时期} \\ \frac{2qt_r + 0.25\beta(S-1)}{S} & \text{饱和时期} \end{cases} \tag{6}$$

式中: L_i 为第 i 周期的最大排队长度; q_i 为第 i 周期的车辆到达流率; t_r 为红灯时长; β 为到达分布系数,通常取 2.0; S 为饱和度.

2.2 确定指标评价标准

根据国内外已有研究成果,结合国内现行相关标准和规范,分析各评价指标的阈限值,确定各指标的评价标准.

2.2.1 平均行程速度的阈限值

参考我国公安部制定的《城市道路交通管理评价指标体系》(2019年版),根据其中的平均车速分级(见表3)确定平均行程速度对应于各种状态的阈值.定义:平均行程速度 $V > 25$ 为优, $V \in [19, 25)$ 为良, $V \in [16, 19)$ 为差, $V < 16$ 为劣.

表3 高峰时段建成区主干道平均车速分级 km/h

评价标准等级	1	2	3	4	5
平均车速	[25,30]	[22,25)	[19,22)	[16,19)	[0,16)

2.2.2 时间占有率的阈限值

基于占有率的交通状态划分如表4所示.

定义:时间占有率 $R < 15$ 为优, $R \in [15, 20)$ 为良, $R \in [20, 25)$ 为差, $R > 25$ 为劣.

表4 基于占有率的交通状态划分阈值

交通状态	畅通	缓慢	拥挤
主干路	< 18	$(18, 30)$	≥ 30

2.2.3 交叉口饱和度的阈限值

根据《城市道路工程设计规范 CJJ37—2012》中信号交叉口服务水平分级(见表5),对应于交叉口饱和度、每车平均延误、平均最大排队长度这3个指标的各种状态阈值.

定义:饱和度 $x < 0.6$ 是优, $x \in [0.6, 0.8)$ 为良, $x \in [0.8, 0.9)$ 为差, $x > 0.9$ 为劣.

表5 我国信号交叉口建议的服务水平分级标准

服务水平	一级	二级	三级	四级
控制延误/(s·veh ⁻¹)	< 30	30~50	50~60	> 60
负荷度	< 0.6	0.6~0.8	0.8~0.9	> 0.9
排队长度/m	< 30	30~80	80~100	> 100

2.2.4 每车平均延误的阈限值

根据表5中与延误时间指标相对应的服务水平分级标准确定每车平均延误对应于各种状态的阈值.定义:每车平均延误 $D < 30$ 为优, $D \in [30, 50)$ 为良, $D \in [50, 60)$ 为差, $D > 60$ 为劣.

2.2.5 平均最大排队长度的阈限值

根据表5中与排队长度指标相对应的服务水平分级标准确定平均最大排队长度对应于各种状态的阈值.定义: $L < 30$ 为优, $L \in [30, 80)$ 为良, $L \in [80, 100)$ 为差, $L > 100$ 为劣.

综上所述,交通运行状态各指标的评价标准表如表6所示.

表6 交通运行状态各指标的评价标准

等级	优	良	差	劣
平均行程速度/(km·h ⁻¹)	> 25	[19,25)	[16,19)	< 16
时间占有率	< 15	[15,20)	[20,25)	> 25
交叉口饱和度	< 0.6	[0.6,0.8)	[0.8,0.9)	> 0.9
每车平均延误/s	< 30	[30,50)	[50,60)	> 60
平均最大排队长度/m	< 30	[30,80)	[80,100)	> 100

2.3 评价流程

根据图3动态综合评价流程图开展评价.

2.3.1 对各评价指标阈限值进行处理

根据表5可以得到各评价指标阈限值的原始值,如表7所示.由于路段平均车速经过逆指标处理以后的数量级偏小,不利于评价指标的比较,因此可考虑

把结果放大 100 倍, 即 $v' = 100/v$. 表 8 即经过逆指标处理之后的各指标阈值. 对各评价指标的阈值处理过程包括对其进行无量纲化处理, 此时采用极值处理法可最大程度确保处理后的指标值在正常范围内. 对于各指标在最差状态下的极值无法得到时, 在不影响评价结果的前提下, 拟设定各评价指标的最值, 当实际指标值超出最值时, 取最值进行状态分类评价^[10]. 各评价指标的极值取值如表 9 所示.

表 7 各评价指标阈值的原始值

评价指标	X^*	X^{**}	X^{***}
平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	25	19	16
时间占有率	15	20	25
交叉口饱和度	0.6	0.8	0.9
每车平均延误/s	30	50	60
平均最大排队长度/m	30	80	100

表 8 各评价指标阈值的逆指标处理后计算值

评价指标	X^*	X^{**}	X^{***}
平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	4	5.263	6.25
时间占有率	15	20	25
交叉口饱和度	0.6	0.8	0.9
每车平均延误/s	30	50	60
平均最大排队长度/m	30	80	100

表 9 各评价指标极值

评价指标	平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	时间占有率	交叉口饱和度	每车平均延误/s	平均最大排队长度/m
极大值 M_j	40	100	1	100	200
极小值 m_j	10	10	0	0	0

对平均行程速度进行逆指标处理后, 得到该指标的极值为: $m_i = 2.5, M_i = 10$ (见表 10). 采用极值法对各评价指标的阈值进行无量纲化处理, 结果如表 11 所示.

表 10 评价指标各级阈值的逆指标处理后计算值

评价指标	m_j	X^*	X^{**}	X^{***}	M_j
平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	2.5	4	5.263	6.25	10
时间占有率	10	15	20	25	100
交叉口饱和度	0	0.6	0.8	0.9	1
每车平均延误/s	0	30	50	60	100
平均最大排队长度/m	0	30	80	100	200

表 11 评价指标各级阈值的无量纲化处理后计算值

评价指标	m_j	X^*	X^{**}	X^{***}	M_j
平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	0	0.2	0.368	0.5	1
时间占有率	0	0.056	0.111	0.167	1
交叉口饱和度	0	0.6	0.8	0.9	1
每车平均延误/s	0	0.3	0.5	0.6	1
平均最大排队长度/m	0	0.15	0.4	0.5	1

2.3.2 计算城市区域路网动态综合评价函数的阈限值
根据表 11, 计算得到综合评价函数的阈限值如表 12 所示. 对比各评价指标的标准分级表可得到:

当 $y \leq 0.516$ 时, 路网交通运行状态属于优状态;

当 $0.516 < y \leq 1.198$ 时, 路网交通运行状态属于良状态;

当 $1.198 < y \leq 1.698$ 时, 路网交通运行状态属于差状态;

当 $y > 1.698$ 时, 路网交通运行状态属于劣状态.

表 12 城市区域路网动态综合评价函数的阈限值

阈限类别	$(r^*)^2$	$(r^{**})^2$	$(r^{***})^2$
阈限值	0.516	1.198	1.698

3 实例应用

以天津市滨海新区高新技术产业园区路网为例, 实地调查区域内各路段及交叉口交通参数, 采用 VISSIM 仿真软件对路网交通进行仿真分析, 在此基础上进行路网交通运行状态评价. 针对评价结果提出改善建议, 并对改善后的交通效果进行验证.

3.1 仿真参数设定

VISSIM 仿真的对象为路网内全部路段, 以下以榕苑路为例. 仿真模型参数如下: 行车道宽度 $2\text{ m} \times 3.5\text{ m}$, 中央分隔带宽度 1.5 m , 车型比例按小汽车: 大型车 = $0.9 : 0.1$, 路段限速 30 km/h .

在 VISSIM 中建立路段模型后, 调整车辆属性参数, 设置各类检测器, 仿真后输出指标.

3.2 路段动态综合评价

根据动态综合评价流程图, 结合仿真的指标结果, 对 SN3 路段的交通运行状态进行方案评价, 各评价指标的处理过程见表 13-15.

表 13 SN3 交通运行状态评价指标原始值

平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	时间占有率	交叉口饱和度	每车平均延误/s	平均最大排队长度/m
13	24	0.78	55	75

表 14 SN3 交通运行状态评价指标的逆指标处理后计算值

平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	时间占有率	交叉口饱和度	每车平均延误/s	平均最大排队长度/m
7.69	24	0.78	55	75

表 15 SN3 交通运行状态评价指标的无量纲化处理后计算值

平均行程速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	时间占有率	交叉口饱和度	每车平均延误/s	平均最大排队长度/m
0.69	0.16	0.78	0.55	0.38

将预处理后的各指标值带入综合评价函数公式计算可得

$$y = \sum_{i=1}^m x_i^2 = 1.56$$

根据表 12 城市区域路网动态综合评价函数的阈值,则有 $1.198 < y = 1.56 < 1.698$, 即 SN3 交通运行状态属于差. 其他路段的综合评价结果见表 16 和图 4.

表 16 各路段的综合评价结果(改善前)

路段名称	综合评价值			评价等级		
	7:30	8:00	8:30	7:30	8:00	8:30
EW1	1.31	1.13	0.73	差	良	良
EW2	0.83	1.72	1.24	良	劣	差
EW3	1.10	1.42	0.89	良	差	良
EW4	0.52	1.45	0.53	良	差	良
SN1	0.79	0.79	1.23	良	良	差
SN2	1.61	1.06	0.86	差	良	良
SN3	1.56	1.73	1.64	差	劣	差
SN4	0.87	0.75	0.82	良	良	良
SN5	0.55	0.66	0.60	良	良	良
均值	1.00	1.19	0.93	良	良	良

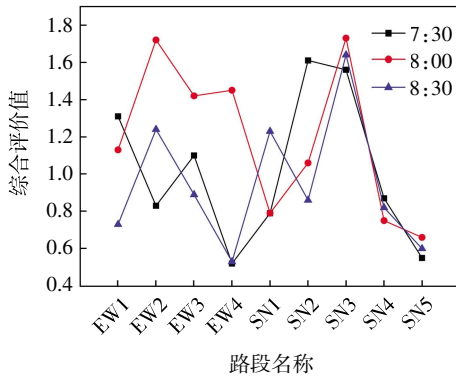


图 4 各路段的综合评价结果(改善前)

3.3 改善效果评估

通过表 16 可以明显发现,在早高峰期间大部分路段交通都较为拥堵,运行状况差,特别是 SN3 路段. 分析发现 SN3 与 EW1 路段相交的 C 交叉口拥堵现象尤为明显. 现状 C 交叉口信号配时如图 5 所示,可以通过优化 C 交叉口的信号配时,优化后的信号配时如图 6 所示. 同时规范路边停车行为,使道路更加通畅,路网交通运行状态更好.

改造后的路段交通运行状态综合评价结果如表 17 和图 7 所示.

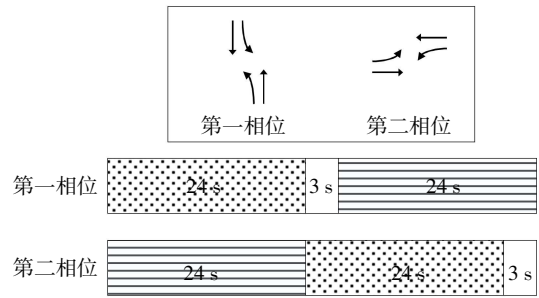


图 5 现状 C 交叉口信号配时图

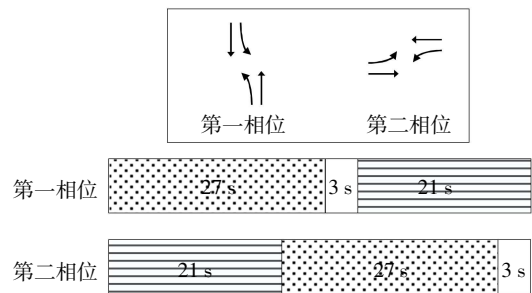


图 6 优化后 C 交叉口信号配时图

表 17 各路段的综合评价结果(改善后)

路段名称	综合评价值			评价等级		
	7:30	8:00	8:30	7:30	8:00	8:30
EW1	1.23	1.04	0.70	差	良	良
EW2	0.81	1.60	1.20	良	差	差
EW3	1.06	1.38	0.82	良	差	良
EW4	0.48	1.38	0.46	优	差	优
SN1	0.75	0.75	1.15	良	良	良
SN2	1.55	1.01	0.79	差	良	良
SN3	1.46	1.54	1.55	差	差	差
SN4	0.83	0.71	0.77	良	良	良
SN5	0.58	0.63	0.53	良	良	良
均值	0.97	1.12	0.89	良	良	良

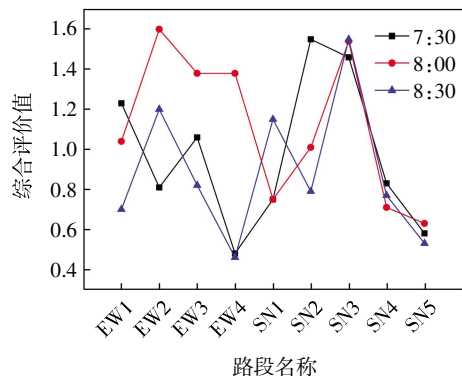


图 7 各路段综合评价结果图(改善后)

4 结 语

通过分析区域路网交通特性,合理选取评价指标,以现行标准和规范要求为基础,科学量化各评价指标的阈限值,划分了区域路网交通运行状态等级,实现了路网交通运行状态的有效判别.研究成果可有效判别区域路网交通运行状态,为城市区域道路交通管理与控制提供科学依据.

参考文献:

- [1] 凌 墨. 城市路网运行状态综合评价指标权值优化[D]. 南京:东南大学,2021.
- [2] 孙 超. 城市道路交通状态评价分析研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.
- [3] 张 帆. 基于 SAGA-FCM 的城市道路交通状态判别方法研究[D]. 长春:吉林大学,2019.
- [4] 庄劲松,曲大义,曹俊业,等. 基于模糊综合层次分析法的道路交通运行状态判别[J]. 青岛理工大学学报,2015,36(6):103-110.
- [5] 田世艳,刘伟铭. 基于模糊综合评价的路段实时交通状态判别方法研究[J]. 科学技术与工程,2010,10(29):7206-7210.
- [6] 许伦辉,吴彩芬,邝先验,等. 基于层次分析的交通状态模糊综合评价方法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2015,33(2):1-8.
- [7] 陈义华,晏承玲. 基于 FAHP 和模糊综合评判的交通状态判别模型[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2012,26(11):109-114.
- [8] 晏承玲. 基于模糊理论的城市道路交通状态判别研究[D]. 重庆:重庆大学,2013.
- [9] 亓会杰. 高速公路改扩建期间施工路段通行能力研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [10] 李永义. 高速公路施工路段交通组织方案设计与评价研究[D]. 南京:东南大学,2006.