

城市快速路灯光照明动态信息感知研究

高于程<sup>1</sup>, 曾超<sup>2</sup>, 白婧荣<sup>3</sup>

(1.淮阴工学院 建筑工程学院, 江苏 淮安 223003;2.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074;

3.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074)

**摘要:** 通过实车试验对城市快速路照明和驾驶速度之间的耦合关系进行分析,结果表明,运行速度为 80 km/h 左右时道路照明体验感最佳,运行速度超过该路段的第 85%分位速度值  $v_{85}$  时车速越高则要求的照明值也越高;分别选取耦合协调度模型和熵权 TOPSIS 模型对驾驶员感应照度与反馈行驶速度适应模型进行评价,得到车辆运行速度为 80~100 km/h 时评价得分最高,耦合协调程度最好;建议路管公司加强对灯具的维护和行道树的修剪,选取双光源灯具,在不影响照明均匀度的情况下,可选择在车辆稀少的时段关闭一个光源,以降低能源消耗。

**关键词:** 交通工程;城市快速路;灯光照明;耦合协调度模型;熵权 TOPSIS 模型;实车试验

中图分类号:U491.5

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)04-0043-05

调查数据显示,夜间交通事故约为白天的 3 倍,良好的道路照明可使城市道路交通事故下降 30%,深入分析道路光环境和夜间照明对提高夜间行车安全具有重要作用。城市快速路夜间光环境是一个受各种因素综合影响的动态系统,不仅包括路灯等人造光源,还包括各种指路交通标志、诱导标志和道路外侧光源,城市快速路照明不仅要满足日常照明要求,还应结合道路周围环境提升城市形象,同时照明的高效利用可降低道路照明的能源消耗。该文在夜间城市快速路进行实车试验,获得不同驾驶速度、驾驶视认距离和道路照明之间的定量数据,评价城市快速路照明环境,分析道路照明、驾驶行为和照明高效利用程度之间的关系,提高驾驶员夜间行驶安全性和驾驶舒适性,节约能源。

1 城市快速路夜间照明条件分析

1.1 照明系统光环境结构组成

光环境作为物理环境的一部分,包含室内和室

外光环境系统,根据光源种类可分为天然光和人工光 2 种。它不仅要满足物理学要求,还要满足人们的生理、心理需求及不同程度的审美和社会要求。城市快速路照明不仅发挥着城市夜景照明功能,还是城市文化的展示空间。照明方式主要有单侧布灯、双侧交错布灯、双侧对称布灯、中央(横向悬索)布灯和中央对称布灯等,选择合适的照明方式,对提高照明能源利用效率和城市空间艺术感具有重要意义。

《城市道路照明设计标准》要求根据光照强度、均匀度、环境比和诱导性等设计道路光环境。光照强度  $E$  是入射在表面某一点上的光通量除以该元素的面积[见式(1)、式(2)],有水平照度和垂直照度之分。环境比  $SR$  为机动车道路缘石外侧带状区域内的平均水平照度与路缘石内侧等宽度机动车道上平均水平照度之比。诱导性表现为驾驶员受到照明系统影响的诱导效果,主要受照明设施布设方式、光色、光强和间隔等影响。各指标的标准值见表 1。

表 1 机动车道照明标准值

级别	道路类型	路面亮度				路面照度			眩光限制 阈值增量 $T_1$ 最大初 始值/%	环境比 $SR$ 最 小值
		平均亮度 $L_{av}/$ ( $cd \cdot m^{-2}$ )		总均匀 度 $U_0$	纵向均 匀度 $U_1$	平均照度 $E_{av}$ 维持值/lux		均匀度 $U_E$		
		低档值	高档值	最小值	最小值	低档值	高档值	最小值		
I	快速路主干路	1.50	2.00	0.4	0.7	20	30	0.4	10	0.5
II	次干路	1.00	1.50	0.4	0.5	15	20	0.4	10	0.5
III	支路	0.50	0.75	0.4	—	8	10	0.3	15	—

注:平均照度仅适用于沥青路面,若为水泥砼路面,平均照度值相应降低约 30%;各项数值仅适用于干燥路面;通向大型公共建筑的主要道路、位于市中心和商业中心的道路执行 I 级照明。

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (1)$$

$$E_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2)$$

式中:  $d\phi$  为光通量;  $dA$  为工作面面积;  $E_{av}$  为平均照度;  $E_i$  为各测点的照度(lux);  $n$  为测量数。

## 1.2 快速路照明光环境影响因素

城市快速路是城市道路的主动脉,承担着大部分城市机动车出行,其车速快、车流量大,一旦发生事故,后果严重甚至影响区域通行能力。快速路夜间照明光环境对驾驶员驾驶生理和心理有着重要影响,故快速路照明要求标准较高。城市快速路照明光环境的直接影响因素包括照明灯具类型、光源颜色和亮度等,间接影响因素包括指路交通标志、诱导标志、道路横向宽度和车辆特征等。道路照明的光源主要有高压钠灯、金卤灯和LED灯等,根据规范,快速路、主干路需采用截光型、半截光型灯具,宜采用高压钠灯,也可选择发光二极管灯或陶瓷金属卤化物灯。道路照明传统光源的光色是白黄光和白光。现有道路交通指路标志多为主动发光标志牌,借用路灯和车灯等光线投射到标志牌上达到主动发光效果,灯具的延伸长度可确定有效的道路照明宽度。夜间眩光是指城市中各种照明或非照明光源产生的光干扰,灯具亮度和照度过大时,驾驶员会产生极不舒适的眩光。等效光幕亮度是指在车内测量得到的适应亮度,即考虑汽车挡风玻璃影响的适应亮度。由于汽车挡风玻璃的影响较小,且对于既定的汽车,其影响是恒定的。

## 2 试验方案

### 2.1 试验路段

选取重庆市内环快速路东环立交—人和立交路段作为试验路段,其基本情况见表2。该道路的灯具布设方式为双侧对称与中心对称组合布灯,其缺点是在弯道处驾驶员无法准确识别灯杆左右位置,导致较远处视觉导向性较差。试验时间为夜间23:30—00:30,道路周边光源基本关闭。试验车辆为夜间道路使用率较高的出租车,试验设备为照度计和行车记录仪,照度计的高度为小轿车驾驶员视线所在高度,利用相机录取速度仪表盘获取实时速度数据。驾驶员按照日常习惯自然驾驶,夜间受到照明亮度的影响,视线范围在车辆前方150 m以

内,故测量区域为距照度计150 m范围(见图1)。

表2 试验路的基本情况

项目	基本情况	项目	基本情况
道路等级	快速路	布灯方式	双侧对称
车道数量	双向八车道	灯杆高度/m	10
路面铺装	沥青路面	光源类型	高压钠灯
车辆状况	交通量大	光源颜色	白色+黄色

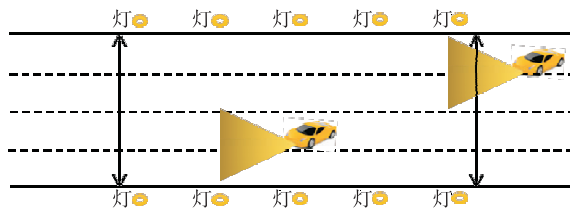


图1 试验路场景

### 2.2 试验过程

为探究车辆行驶速度、驾驶车辆内部光照强度和驾驶员视认行为三者的耦合关系,选取3名出租车驾驶员,从东环匝道口驶入内环快速路,再从人和立交下匝道由西行方向换为东行方向,途经五童立交调转方向,最后驶出东环立交(见图2、图3),分别统计以60、80和100 km/h速度行驶的距离,用照度计测量并记录驾驶室内驾驶员感受到的光照强度,同时选取不同地点测量实际道路照明光照强度。



图2 试验路西行方向



图3 试验路东行方向

### 2.3 试验数据预处理

异常值是指明显偏离所属样本绝大部分观测值的值,它会扭曲X和Y之间的相关关系、回归关系等,异常值较多或异常稍大时会直接扭曲结论。采用SPSS软件,采用散点图图示法对异常值进行检测,并对缺失数字按照平均值进行补充。驾驶室内照明强度小于零和大于30 lux的值、行驶速度小于

40 km/h 和大于 110 km/h 的值视为异常值。

### 3 照度感应差异特性分析与适应模型构建

#### 3.1 不同速度下驾驶室内照度感应差异特性分析

##### 3.1.1 描述统计

按照统计数据发生的频率绘制直方图(见图4),从中可见大部分数据在 20% 范围内,数据质量较高。

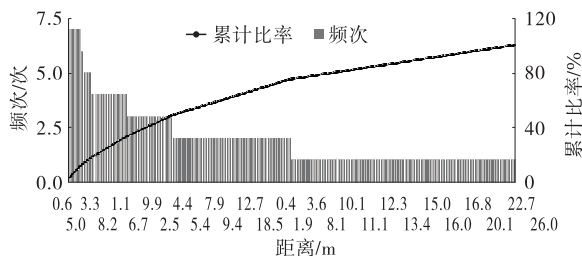


图4 照度的帕累托图

如表3所示,速度在 60 km/h 及以下时,驾驶室内照度的中位数为 7.100 lux,样本标准差为 6.107 lux;速度为 80~100 km/h 时,驾驶室内照度的中位数为 8.405 lux,样本标准差为 8.455 lux;速度为 100~110 km/h 时,驾驶室内照度的中位数为 6.450 lux,样本标准差为 4.098 lux。速度 60 km/h 及以下和 100~110 km/h 对应的驾驶室内照度最大值超过平均值的 3 个标准差,说明数据波动较大,相对于平均值,使用中位数描述整体水平更适合。

表3 不同速度下驾驶室内照度值分布描述统计量

车速/ (km · h <sup>-1</sup> )	样本量/ 个	照度/lux				
		平均值	标准差	中位数	最小值	最大值
≤60	330	8.512	6.107	7.100	0.000	27.800
80~100	130	10.347	8.455	8.405	0.200	29.600
100~110	180	6.806	4.098	6.450	0.000	19.200

##### 3.1.2 不同速度下驾驶室内照明强度变化

将各车速下样本数据绘制成散点图(见图5~8)。从图5~8可看出:车速为 100~110 km/h 时驾驶员感受到的照明亮度较低,部分驾驶员选择打开车灯增加道路前方亮度。各车速下,驾驶员感受到的照度大都处于低值,结合描述统计结果,速度为 80 km/h 左右时道路照明体验感最佳。运行速度超过该路段的第 85% 分位速度值  $v_{85}$  时,车速越高,要求的照明值也越高。

快速路夜间良好照明条件是保障夜间交通出行安全的重要前提。通过对现场测试数据的分析,发现内环快速路的照明由于受到车行道两侧树木遮挡

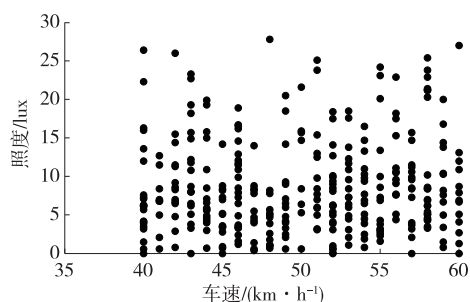


图5 速度 60 km/h 及以下对应的照度散点图

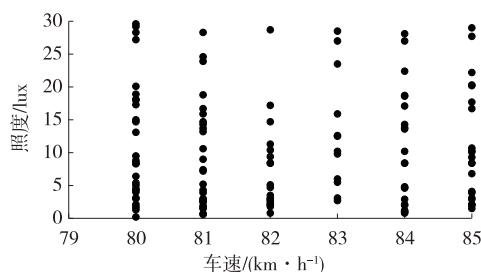


图6 速度 80~100 km/h 对应的照度散点图

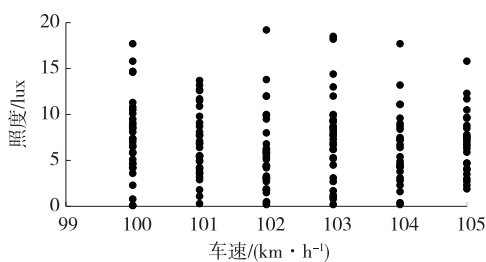


图7 速度 100~110 km/h 及以上对应的照度散点图

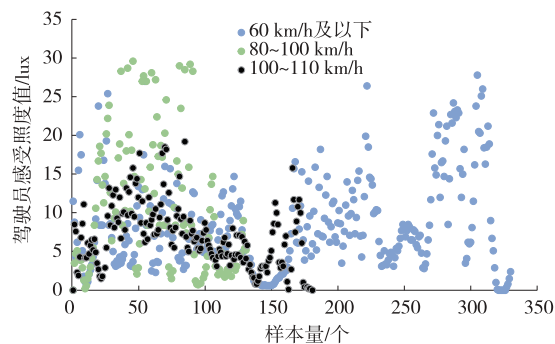


图8 不同运行状态下驾驶员感受照度值

和匝道两侧灯具数量较少等因素的影响,在均匀度与环境比方面参差不齐,还有很大提升空间。

#### 3.2 驾驶员感应照度与反馈行驶速度适应模型

##### 3.2.1 耦合协调度模型

耦合协调度是指不同度量系统之间各组因素在可持续发展过程中的相互影响作用,可反映车辆以不同速度行驶过程中驾驶员感受到的照明强度的适应性程度。耦合协调度模型用于分析事物的协调发

展水平,其中耦合度  $C$ 、协调指数  $T$ 、耦合协调度  $D$  的计算公式见式(3)~(5),根据  $D$  值和协调等级划分标准(见表4)得出耦合协调程度。

$$C = \left[ \frac{Av}{(0.5A + 0.5v)^2} \right]^2 \quad (3)$$

$$T = 0.5(A + v) \quad (4)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (5)$$

式中: $v$  为速度水平指数; $A$  为驾驶员感受到的照度水平指数。

表4 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度 $D$	协调等级	耦合协调程度
(0.0,0.1)	1	极度失调
[0.1,0.2)	2	严重失调
[0.2,0.3)	3	中度失调
[0.3,0.4)	4	轻度失调
[0.4,0.5)	5	濒临失调
[0.5,0.6)	6	勉强协调
[0.6,0.7)	7	初级协调
[0.7,0.8)	8	中级协调
[0.8,0.9)	9	良好协调
[0.9,1.0)	10	优质协调

文中选取的指标在数量和单位上差异较大,需通过式(6)将具有实际含义的数据转变成只有指示意义而没有实际含义的无量纲值。

$$N_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (6)$$

式中: $N_{ij}$  为指标归一化值; $x_{ij}$  为各指标变量值。

将实测数据带入耦合协调度模型进行计算,得:车速为 80~100 km/h 时,耦合协调程度最好,为初级协调;车速在 60 km/h 及以下和 100~110 km/h 时,为勉强协调(见表5、图9)。夜间驾车驾驶员视觉的光环境获取主要来自道路照明,依靠车行道两侧灯光照明获取道路信息和周围车辆信息,从而作出判断和决策。内环快速路两侧灯具缺乏维护、被树木遮挡、路灯散射的光纤与叠加不均,驾驶员获取的照明均匀度较低,直接影响驾驶员的视觉负荷,因而该路段的总体耦合协调程度较低。

表5 不同速度下驾驶室内照度值耦合协调度计算结果

速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	耦合度 $C$	协调指 数 $T$	耦合协 调度 $D$	协调 等级	耦合协 调程度
≤60	0.977	0.272	0.516	6	勉强协调
80~100	0.997	0.378	0.614	7	初级协调
100~110	0.970	0.350	0.583	6	勉强协调

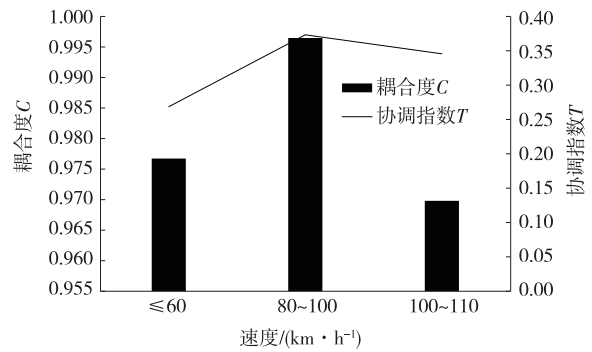


图9 不同速度下耦合度与协调指数的变化

### 3.2.2 熵权 TOPSIS 模型

熵权 TOPSIS 法将评价指标问题列成矩阵,通过矩阵归一化确定最理想状态方案解和最差状态方案解,计算并对比每个被评价对象与这2个解之间的距离,得出最优对象解,最优选择对象的特征与最理想方案解最近。步骤如下:

(1) 构建评价矩阵。假设有  $m$  个需要评价的情形,评价指标为  $n$  个,第  $i$  种情形下第  $j$  个指标值为  $x_{ij}$ ,则初始矩阵  $X$  为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(2) 按式(8)进行数据归一化,得到规范化矩阵  $R$ [见式(9)]。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n) \quad (8)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

(3) 确定指标权重。运用熵的原理确定指标权重,可较好地避免主观因素的影响。各指标的决策信息熵值  $E$  按式(10)计算,第  $j$  个指标的差异度  $D_j$ 、权重因子  $W_j$  分别按式(11)、式(12)计算。

$$E = -s \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln r_{ij} \quad (j=1,2,\cdots,n), s = \frac{1}{mn} \quad (10)$$

$$D_j = 1 - E_j \quad (j=1,2,\cdots,n) \quad (11)$$

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (j=1,2,\cdots,n) \quad (12)$$

(4) 构建加权判断矩阵。将各指标的权重因子  $W_j$  引入规范化矩阵  $R$ , 构建加权判断矩阵  $V$ :

$$V=W_j \times R=\begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

(5) 分别按式(14)、式(15)计算正、负理想解。

$$A^+=\{v_1^+, v_2^+, \cdots, v_n^+\}=\{(\max v_{ij} | j \in I), (\min v_{ij} | j \in I)\} \quad (14)$$

$$A^-=\{v_1^-, v_2^-, \cdots, v_n^-\}=\{(\min v_{ij} | j \in I), (\max v_{ij} | j \in I)\} \quad (15)$$

(6) 按式(16)、式(17)计算欧式距离。

$$D^+=d_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (16)$$

$$D^-=d_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (17)$$

(7) 按式(18)计算 TOPSIS 评价值, 对评价指标大小进行排序。

$$C=r_i^*=\frac{d_i^-}{d_i^++d_i^-} \quad (18)$$

通过对测量数据进行熵权 TOPSIS 模型计算, 根据评价指标的正、负理想解  $A^+$  和  $A^-$  (见表 6), 计算出评价对象与正、负理想解的距离值  $D^+$  和  $D^-$ , 得到评价指标的排序(见表 7)。

表 6 TOPSIS 评价正、负理想解

指标	正理想解 $A^+$	负理想解 $A^-$
速度	0.436	0.214
照度	0.405	0.265

表 7 TOPSIS 评价计算结果

速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	正理想解 距离 $D^+$	负理想解 距离 $D^-$	相对接 近度 $C$	排序 结果
≤60	0.234	0.066	0.22	3
80~100	0.086	0.196	0.696	1
100~110	0.140	0.222	0.613	2

由表 7 可知: 车速为 80~100 km/h 时, 驾驶员感应照度与反馈行驶速度的耦合协调程度最好, 其次为车速为 100~110 km/h 时。与耦合度协调模型计算结果一致。

## 4 结论和建议

(1) 城市快速路照明光环境的直接影响因素包括照明灯具类型、光源颜色和亮度等, 间接影响因素

包括指路交通标志、诱导标志、道路横向宽度和车辆特征等。采用实车试验方法采集车辆运行速度与驾驶员室内感知照明程度数据进行分析, 得到速度 60 km/h 及以下和 100~110 km/h 对应的驾驶员室内照度值波动较大, 速度为 80 km/h 左右时道路照明体验感最佳。速度超过该路段的  $v_{85}$  时, 车速越高, 要求的照明值也越高。

(2) 选取耦合协调度模型和熵权 TOPSIS 模型构建驾驶员感应照度与反馈行驶速度适应模型, 模型计算结果如下: 车速为 80~100 km/h 时耦合协调程度最好, 为初级协调; 车速在 60 km/h 及以下和 100~110 km/h 时, 为勉强协调。该路段的总体耦合协调程度较低。

(3) 内环快速路的行车速度较高, 包含匝道处, 灯具设置需按高标准照度设计。要从道路照明电气节能目标出发, 充分结合道路特点和照明要求选择合理的灯具, 建议选取双光源灯具, 在不影响照明均匀度的情况下, 可选择在车辆稀少时关闭一个光源, 以降低能源消耗。同时路管公司加强对灯具的维护和行道树的修剪。

## 参考文献:

- [1] 李景色, 李铁楠. 修订我国《城市道路照明设计标准》中的几个问题(之二)[J]. 照明工程学报, 2004, 15(1): 35—37.
- [2] SALVATORE C, FRANCESCO C, FRANCESCO D, et al. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 47: 1016—1033.
- [3] 尉颖琪, 王咏笑, 王洁, 等. 城市景观照明的国际经验及其对中国的启示[J]. 照明工程学报, 2015, 26(3): 1—6.
- [4] 翁季. 机动车交通道路照明设计标准研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [5] 王鹏展, 陈大华. 眩光控制分析及其在道路照明中的运用[J]. 灯与照明, 2009, 33(3): 1—4.
- [6] 赵海天. 一种低灯位多维道路照明方式: CN102798065A [P]. 2012—11—28.
- [7] 赵海天, 赖冠华, 邝志斌, 等. 高速公路照明效率实验研究[J]. 深圳大学学报(理工版), 2014, 31(6): 618—625.
- [8] 程国柱, 李德欢, 吴立新, 等. 城市道路人行横道处照明指标的确定[J]. 吉林大学学报(工学版), 2014, 44(5): 1308—1314.
- [9] 徐晓冰, 张勇, 王建平, 等. 一种道路照明光源的光视光

(下转第 55 页)

险高、周期长等问题,利用GIS强大的空间数据与属性数据分析功能,基于Dijkstra算法原理,对地质选线计算机程序化进行研究。工程实例应用证明,基于Dijkstra算法原理,利用GIS软件平台辅助公路地质选线的方法可行。综合费用数据模型中虽然考虑了背景工程的典型因素,但实际应用时可根据实际工程需要进行调整、扩充,可为其他领域拓展提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 李红艳,赵风云.浅谈工程地质选线对山区高等级公路工程造价的影响措施[J].山东工业技术,2013(13):45—45.
- [2] 张喆.宝兰高铁天水北山滑坡群地质选线研究与工程实例[J].铁道标准设计,2020(7):17—21.
- [3] 徐海峰.GPS—RTK技术在公路勘测设计与路线施工放样中的应用[J].技术与市场,2020,27(6):124—125.
- [4] 唐克斯,王芳,BAT-ERDENE Tsedev,等.基于DEM数据对典型草原地貌特征提取与分析[J].内蒙古科技与经济,2020(9):50—51+54.
- [5] 武小年,奚玉昂,张润莲.DEM中基于遗传与蚁群的混合路径规划算法[J].计算机应用研究,2020,37(9):2694—2697.
- [6] 杨柏林.基于ArcGIS和RPSO的铁(公)路三维空间智能选线系统的研发[D].长沙:中南大学,2012.
- [7] 杨柳,张帆,周盛,等.基于3S技术的公路绿色选线方法与实践[J].公路,2020(4):74—78.
- [8] 安海堂,刘平,滕伟福.MapGis与AHP法在新疆某油气管线工程地质选线中的应用研究[J].地质灾害与环境保护,2009,20(4):106—109.
- [9] 郭海东,韩峰.基于GIS的不良地质区域线路方案优选

方法研究[J].铁路计算机应用,2017,26(11):1—4.

- [10] 刘朵,覃发超.基于栅格数据最优路径的汶川县公路选线分析[J].产业创新研究,2018(4):41—44.
- [11] 张美玉,简琤峰,侯向辉,等.Dijkstra算法在多约束农产品配送最优路径中的研究应用[J].浙江工业大学学报,2012,40(3):321—325.
- [12] 王小会,薛延刚,李晓青.基于Dijkstra算法过必经点的最短路径设计[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2020,36(3):68—73.
- [13] 谢帅帅.基于GIS最优路径技术的铁路选线研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [14] 李志博.基于GIS的铁路走向辅助决策系统研究[D].兰州:兰州交通大学,2016.
- [15] 严锋.山区高速公路工程地质选线研究[D].西安:长安大学,2014.
- [16] 孙启亮.不良地质区域高速公路路线方案优选方法研究[D].西安:长安大学,2011.
- [17] 周燕宁,郭凤香.基于层次分析法—熵权法的常规公交系统可持续发展评价[J].科学技术与工程,2019,19(19):288—294.
- [18] 黄光耀,罗慧.山区高速公路选线要点及实例分析[J].公路与汽运,2018(5):34—36.
- [19] 王道强.基于经济决策的高速公路路线方案评价模型[J].公路与汽运,2019(2):144—148.
- [20] 孙卫星,胡圣武.基于GIS技术的公路综合选线方法的研究[J].测绘科学,2009(增刊1):94—96.
- [21] 黄雄.基于GIS空间分析的道路选线技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2006.

收稿日期:2020—10—09

\*\*\*\*\*  
(上接第47页)

- 效模型研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2015,38(2):161—165.
- [10] 韩帅,卢茜,丁屹峰.晴雨天气城市道路照明效果研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(3):50—53.
- [11] 杨翠,王少飞.CIE《道路隧道和地下通道照明指南》介绍[J].公路,2017(2):123—128.
- [12] 王旭东,许晶,徐慧,等.城市道路夜间照明与行道树相互影响探析[J].中国园林,2019,35(9):120—123.
- [13] 段玉良,孙巧燕.公路隧道低位引道照明应用探讨[J].公路,2019(8):333—337.
- [14] 中国建筑科学研究院,安徽鲁班建设投资集团有限公

司.城市道路照明设计标准:CJJ 45—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

- [15] 杨盼盼,王念秦,郭有金,等.城镇化与地质环境耦合协调时空演化分析:以临潼区为例[J].科学技术与工程,2020,20(9):3790—3797.
- [16] 王金祥,赵树恩,杨其芝,等.基于博弈论组合赋权TOPSIS法的汽车碰撞危险态势评估[J].科学技术与工程,2020,20(8):3315—3322.
- [17] 刘唐志,白婧荣,聂舒磊,等.基于熵权物元的互通立交出口匝道安全评价研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(10):95—101.

收稿日期:2021—01—27