

引用格式:谭人华,王艳慧,关鸿亮.基于GIS与模糊层次分析法的景观视觉资源综合评价[J].地球信息科学学报,2019,21(5):663-674. [Tan R H, Wang Y H, Guan H L. Comprehensive evaluation of landscape visual resources based on GIS and FAHP[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(5):663-674.] DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180640

基于GIS与模糊层次分析法的景观视觉资源综合评价

谭人华^{1,2,3},王艳慧^{1,2,3},关鸿亮^{1,2,3*}

1. 首都师范大学 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室,北京 100048;2. 首都师范大学 三维信息获取与应用教育部重点实验室,北京 100048;3. 首都师范大学 城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地,北京 100048

Comprehensive Evaluation of Landscape Visual Resources based on GIS and FAHP

TAN Renhua^{1,2,3}, WANG Yanhui^{1,2,3}, GUAN Hongliang^{1,2,3*}

1. Beijing Key Laboratory of Environment and Geographic Information System, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Key Laboratory of 3-Dimensional Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 3. State Key Laboratory Incubation Base of Urban Environmental Processes and Digital Simulation, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract: Landscape visual resource assessment is important to effectively and reasonably evaluate the value of landscape visual sources. Previous studies on landscape visual resource assessment mainly focus on subjective evaluation and scores by experts or tourists, while few studies are on quantitative evaluation of landscape visual resources. To help close the gap, this study proposed a comprehensive evaluation method of landscape visual resources based on GIS and FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) to objectively reveal the distribution characteristics and influencing factors of landscape visual resources from holistic and single-factor perspectives. Specifically, the study integrated basic visual elements and landscape visual sensitivity elements (e.g., sight, viewshed, relative distance sensitivity, relative slope sensitivity, environment contrast) to design an evaluation indicator system from the perspective of comprehensive quantitative evaluation of landscape vision. Then, adopting GIS spatial econometrics analysis and FAHP, the study calculated the comprehensive visual index to objectively reveal the distribution characteristics of landscape visual resources and their influencing factors from the holistic perspective and the single factor perspective. Taking Mount Tai as the research area, the test results show that: (1) from the single factor perspective, Yuhuangding, Tianzhufeng, and Bixiaci have the highest scores in terms of viewshed, relative slope sensitivity, and relative distance sensitivity; and (2) from the holistic perspective, Yu Huang Ding has the highest visual index (0.819) and Tao Hua Yu has the lowest one (0.180). In

收稿日期:2018-12-04;修回日期:2019-02-28.

基金项目:国家自然科学基金项目(41771157);国家重点研发计划项目(2018YFB0505400);北京市长城学者资助项目(CIT&TCD20190328);全国统计科学研究重点项目(2018LZ27);北京市教委科研计划一般项目(KM201810028014);首都师范大学青年燕京学者项目和科技创新服务能力建设-基本科研业务费(科研类)(19530050178)资助。[**Fundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41771157; National Key R&D Program of China, No.2018YFB0505400; Great Wall Scholars Program, No.CIT&TCD20190328; Key Research Projects of National Statistical Science of China, No.2018LZ27; Research Project of Beijing Municipal Education Committee, No.KM201810028014; Young Yanjing Scholar Project of Capital Normal University, and Capacity Building for Sci-Tech Innovation-Fundamental Scientific Research Funds, No.19530050178.]

作者简介:谭人华(1996-),男,山东临沂人,硕士生,研究方向为GIS方法与应用。E-mail: tam35921@126.com

*通讯作者:关鸿亮(1969-),男,湖北仙桃人,博士,教授,主要从事测绘地理信息高新技术研究。E-mail: hlguan@cnu.edu.cn

addition, the value of visual index is also affected by altitude, distribution of spots, and routes, etc. Compared to some traditional evaluation models that relies on tourists or experts' subjective opinion, this study proposed a new perspective of objective quantitative assessment to evaluate the landscape visual resources by combining a comprehensive evaluation index system and a evaluation model. Verification results indicate that this study builds a new research idea and a research method for quantitative description and assessment of landscape visual resources, showing better reliability and advancement. Our findings also provide objective references and decision supports for the comprehensive development planning of scenic spot development and protection. Meanwhile, in this study, landscape visual resources were mainly discussed from the perspective of GIS, while the real assessment effects of landscape vision were often affected by many complex factors. Therefore, how to establish a more synthetical and quantitative assessment system to measure and evaluate landscape visual resources is one of the most important next steps to be done in the future.

Key words: viewshed analysis; visual sensitivity; spatial analysis; Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP); landscape visual source; landscape visual assessment; Taishan Scenic Area

***Corresponding author:** GUAN Hongliang, E-mail: hlguan@cnu.edu.cn

摘要:景观视觉评价是评判景观视觉资源价值的重要方式。本研究从景观视觉的综合定量评价角度出发,设计基于基本视觉元素与景观视觉敏感度的综合评价指标体系,提出一种基于GIS空间分析与模糊层次分析法的景观视觉综合评价方法,利用综合视觉指数分别从整体视角和单因子视角客观揭示景观视觉资源的分布特征及其影响因素。以泰山风景区为研究区的实验结果显示:单因子视角中,玉皇顶、天烛峰、碧霞祠等景点分别在视域范围、相对坡度敏感度、相对距离敏感度等侧面具有最高的评分。综合视角下,景观视觉指数最高的景点为玉皇顶(0.819),最低的景点为桃花峪(0.180)。通过与基于用户打分的景点评价结果的对比,验证了本方法的可靠性与先进性,为量化描述与评价景观视觉资源提供了一种新的研究思路和研究方法,也为景区综合发展规划及景点的开发保护提供了客观的参考依据和决策支持。

关键词:视域分析;视觉敏感度;空间分析;模糊层次分析法;景观视觉;景观视觉评价;泰山风景区

1 引言

如何提高景区景观的质量,为游客创造更加优越的游览条件,加强景区规划的科学与合理性,也是促进旅游业发展,满足人民美好生活需求的一部分。游客在游览风景的过程中,其视觉体验的好坏直接影响着景区景点的质量,因此可以利用景观视觉评价的方法,综合分析不同视觉影响因素来评价景点视觉质量,从而可以为景点及其周边景观的布局、发展规划、保护提出参考建议和科学依据。

自20世纪60年代开始,国内外许多学者通过系统性量化方法来评判景观价值,并逐步建立了如美国林业局风景视觉管理系统VMS(Visual Management System)、联邦公路视觉影响评价VIA(Visual Impact Assessment)等系统^[1]的景观视觉资源评价与管理体制;诞生了环境评判模型^[2]、美景度评估法^[3]、景观比较判断模型^[4]等方法体系,然而这些评价方法多为基于人为评价打分制的定性分析,在其评价结果的客观性与科学性上有待完善。随着GIS、RS技术开始普及,景观视觉评价与GIS结合

后,应用领域也得到了扩展。利用GIS的空间分析功能,国内外许多学者从景观可见度、视觉连通度、视觉脆弱度、视觉敏感度等研究角度出发^[5-7],在已有的定性评价体系的基础上运用了层次分析法^[8-10]、模糊综合评价^[11]、因子综合叠加法^[12]等定量方法进行景观视觉评价。21世纪以来,国际上对景观视觉资源的研究已经扩展至地理学、林学、旅游学、心理学等不同领域^[13],许多专家就如何从不同角度量化描述景观视觉影响、建立景观视觉指标体系等方面开展研究^[14]。但目前许多研究只是从景观视觉的某一角度出发,从某个侧面反映景观的单一维度视觉特征。而视觉评价作为一个具有美学、心理学、生态学与地理学范畴的综合评价,仍缺少一个具有全面性与统一性标准的完善评价体系。因此,如何从多个角度评价景观视觉、如何利用设计更加具有科学性的评价指标一直是值得探究与讨论的话题。

在此背景下,本文以综合定量评价景观视觉,并设计一个具有科学性与客观性的评价体系为出发点^[15],设计基于基本视觉元素与景观视觉敏感度

的综合评价指标体系,构建基于GIS空间分析与模糊层次分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)的景观视觉综合评价模型,利用综合视觉指数分别从整体视角和单因子视角客观揭示景观视觉资源的分布特征及其影响因素。为量化描述与评价景观视觉资源提供新的研究思路。

2 研究方法

本文从视觉的角度出发,以泰山风景区为研究区,建立了视域、视线、相对距离敏感度、相对坡度敏感度、景观关注度、环境对比度、视频敏感度7项指标,利用GIS的空间分析功能提取各指标值,并运用FAHP法得到各指标权重,最终通过标准化后的指标值与权重的加权运算得到了19个景点的景观视觉指数。

2.1 景观视觉评价指标设计

为了多角度综合评价景观视觉,使其评价结果更加科学与准确,参考以往的研究经验并结合研究区的特点^[16],本文基于指标选取的科学性、表征性、独立性、数据可获取性等基本原则,综合考虑景点视野范围、视线连通性、观赏距离、观赏角度、公众关注度、景观对比度等景区规划与景点设计参考因素,建立了包括基本视觉元素与视觉敏感度两大维度共7项基础指标的评价指标体系。

2.1.1 基本视觉元素

(1)视线(S):视线是一条从观察点引出至被观察物体的一条虚拟的直线。在GIS的可视性分析中,往往基于数字高程模型,通过从观察点向另一个观察点引出视线,由视线是否会被两点间的地形所遮挡来判断两点的通视性^[17]。在本研究的视觉评价中,视线被用于判断景点之间视野的连通性,若两景点互为可视,则景点视线连通性强。

(2)视域(V):视域是指以观察点为圆心得到的一定区域内的可视范围。在GIS的视域分析中,以视点(或者线与面)为轴心,沿数据边缘以顺时针的形式扫描,以两点间的视线分割为一个表现地形高低起伏的剖面,逐点检测所选择的点与扫描目标的点之间的通视性,若通视便赋该点的属性值为1并绘线,否则赋该点的属性值为0并断开^[18]。最终形成一个以离散格网形式分布,通过格网的属性值表现可视性的矩阵,称为可视矩阵,通过可视矩阵在地图上的表达可以直观得到可视区域面积^[19]。本

研究中通过可视域面积可以判断不同景点的视域范围及特征来表征景点视野的开阔性。

2.1.2 景观视觉敏感度

景观视觉敏感度综合反映了景观在视域范围内的重要性与受关注的程度。它与景观自身的物理特征、位置特征以及周围的环境有关。景观视觉敏感度的衡量往往由距离因素、视角因素、醒目度因素与视觉频率因素4个方面构成,它们可以分别具体表征为相对距离敏感度、相对坡度敏感度、景观醒目度与视频敏感度^[20]。景观视觉敏感度高,说明景观更能够吸引游客的目光,因此其对于景观视觉资源的评价与分析具有重要的意义。基于此,本文构建以下4个景观视觉敏感度衡量指标:

(1)相对距离敏感度(S_d):相对距离敏感度以距离来衡量景观视觉距离变化而产生的效果。直观地说当景观与观景者的距离越近,景观就越清晰,越能够吸引观景者的目光,因此距离越近,景观的视觉敏感度就越大。本研究中采用缓冲区分析的方法,参考往常研究并结合研究区特点,以500 m以内的景点作为近景,500~1500 m的景点作为中景,大于1500的景点作为远景^[21],建立分级缓冲区,分别统计位于近景与位于中景范围内游道的长度,取位于近景范围内游道长度的权重为1,中景范围内的游道长度权重为0.5,进行加权相加最终得到相对距离敏感度。

$$S_d = d_1 \times 1 + d_2 \times 0.5 \quad (1)$$

式中: d_1, d_2 分别为位于近景范围内与中景范围内游道的长度。

(2)相对坡度敏感度(S_a):相对坡度敏感度与景观自身的高度和游客的观景视线角度有关。景观的相对坡度越大,观景者的视线仰角越大,景观带给游客的视觉冲击就越大,景观视觉敏感度越高。本研究中用游客视线与景观表面的夹角来表示 S_a ,基于研究区的地形特征,可以认为游客观景主要是以平视和仰视为主,因此可以用观察点至景点位置相对距离与水平距离间夹角的正弦值来表示相对坡度敏感度。

$$S_a = \sin \alpha \quad (0^\circ < \alpha < 90^\circ) \quad (2)$$

式中: α 为游客位置至景点位置的相对距离与游客位置至景点位置的水平距离的夹角。考虑每个景点的实地占地面积,这里通过邻域分析,通过景点周围5×5栅格的平均坡度的正弦值来表示该景点的坡度敏感度。

(3)景观醒目度(Sn):景观的醒目度往往由景观自身特点及其周边环境因素所决定,具体可以表现为景观的公众关注度(Ad)与环境对比度(Ec)。公众关注度由景观自身的性质决定,景观的公众关注度高,说明景观更能吸引住游客,景观视觉敏感度就高。在景区中,往往在出入口位置以及换乘点等具有特殊职能的景点中,游客会逗留更长的时间。因此当景点作为入口、终点、换乘点时,各自将具有相对较大的公众关注度。景观环境对比度和景观与周边的环境特点有关,景观的环境对比度高,在游客的视线中该景观更加引人注目,景观视觉敏感度就越高。景观与环境对比度可以表现为一种目标亮度与背景亮度之间差异的度量,可以用景观相对于周围环境的亮度率来计算。由于研究区自然度较高且植被茂密,为了突出景观与环境的对比差异,这里使用基于遥感图像波段计算实现的NDVI数据,利用景点位置NDVI值与通过邻域分析得到的景点可视范围内NDVI均值之差的绝对值表现景点的环境对比度。

环境对比度计算公式:

$$Sn = Ad \times w_1 + Ec \times w_2 \quad (3)$$

$$Ec = |L1 - L| \quad (4)$$

式中: Ad 和 Ec 分别为公众关注度与对比度指数; w_1 与 w_2 为二者权重; $L1$ 与 L 为景点位置NDVI与景点视域范围内的平均NDVI。

(4)视频敏感度(St):视频敏感度是基于游客看到景观的时间与频率建立的,是该景观在游客视线中出现的几率。游客在景观的可视范围内逗留的时间越长,景观越容易被游客注意,因此景观视觉敏感度就越高。视频敏感度可以用景观在游客视域中出现的时间与总时间的比值来衡量。假设游客沿着主要游览道路以匀速的方式移动,则视频敏感度的大小与视域范围内道路长度和总游览道路长度的比值有关,通过GIS的叠加分析与统计分析,得到景点视域范围内道路的长度。

$$St = T_i / T = T_i \times v / T \times v = S_i / S \quad (5)$$

式中: T_i 和 T 分别为在该路线上游客可以看到景观的时间与游览该路线的总时间; V 为游客的移动速度; S_i 和 S 为视域范围内游道的长度和游道总长度。

2.2 基于FAHP的景观视觉评价指标权重测算

AHP层次分析法(Analytic Hierarchy Process)由匹兹堡大学的Saaty教授提出,主要通过定性与定

量相结合的分析方法来进行最佳方案选择与决策等工作,但由于层次分析法需要检验判断矩阵的一致性,该过程操作繁琐复杂;且该方法没有考虑到人类思维的模糊性,专家在决策某条因子时,仅考虑“0”和“1”两种极端状况,主观性较强。为解决上述问题,提高决策的科学性与合理性,有专家引入了模糊层次分析FAHP(Fuzzy AHP)法^[22]。这种方法通过优先关系来确定各因子的相对重要性,进而建立模糊一致性矩阵,并由此来确定各因子的权重。

FAHP法是在AHP法的基础上,引入模糊思想,从而产生具有模糊偏好信息的层次结构的决策问题,它是在层次分析法的基础上,通过优先关系来确定各因子的相对重要性,进而建立模糊一致矩阵,并由此来确定各因子的权重的方法。它作为模糊数学思想与层次分析法的结合,能够降低信息的重叠率,是决策更加准确科学。综上所述,结合FAHP法的特点与本研究的目的,决定采用这种方法来决定各因子权重。

2.2.1 构建优先关系矩阵

本研究采用了姚敏、张森提出的0-1标度法^[23],其具体标度及解释如表1所示。虽然它是基于AHP法讨论的,但是通过这种方法最终构造出的矩阵是模糊互补矩阵,所以将其视为模糊标度^[24]。通过0-1标度法来构建出各因子之间的优先关系矩阵,进而将其转化为模糊一致矩阵,从而更加定量化、精确化地表示具有主观性与模糊性的决策问题。

表1 0-1标度法因子优先性关系

Tab. 1 Priority relationship of factors on 0-1 scale

标度	重要性(因子A相较于因子B)
0	A因子不如B因子重要
0.5	A因子与B因子同等重要
1	A因子比B因子重要

这里以景观视觉敏感度的因子为例,采用0-1标度法,通过专家的意见为各因子建立优先性关系,进而构建优先关系矩阵,如表2所示。

2.2.2 构建模糊一致矩阵

设 $R=(r_{ij})n \times n$ 为模糊互补判断矩阵,其按行求和的结果为 P_i ,则通过以下数学变换转化公式,最终可以得到模糊一致矩阵 P ^[25]:

$$P_i = \sum_{k=1}^n r_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$P_{ij} = \frac{P_i - P_j}{2 \times n} + 0.5 \quad (7)$$

表2 泰山风景区景观视觉敏感度优先关系矩阵

Tab. 2 Priority relationship matrix of landscape's visual sensitivities of Mount Tai

视觉敏感度	相对距离敏感度	相对坡度敏感度	视频敏感度	醒目度敏感度
相对距离敏感度	0.5	1	1	0
相对坡度敏感度	0	0.5	1	0
视频敏感度	0	0	0.5	0
醒目度敏感度	1	1	1	0.5

$$P=(P_{ij})n \times n \tag{8}$$

式中: P_i 为每行因子优先性标度之和; P_{ij} 为模糊一致矩阵各因子标度值; P 为模糊一致矩阵; n 为参与权重建立的因子总数。

基于优先关系矩阵与转化公式,得到视觉敏感度的模糊一致矩阵,如表3所示。

2.2.3 构建权重

模糊一致矩阵的基础上,利用以下公式即可得出权重 w 。

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n P_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{j=1}^n \left(\prod_{j=1}^n P_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (i=1, 2, \cdots, n) \tag{9}$$

$$w=[w_1 \ w_2 \cdots w_n]T \tag{10}$$

式中: w_i 为第 i 个因子的权重; w 为总权重。

通过模糊一致矩阵,结合计算权重的公式,即可得到视觉敏感度4项因子的权重值:

$$w_i=[0.26, 0.24, 0.22, 0.28] \tag{11}$$

通过对其他因子进行上述过程的权重计算,最终得到各因子的权重如表4所示。

2.3 因子数据标准化

由于通过实验得出的各因子数据大小不一,为提高结果的科学性与准确性,确立统一的指标值并用于加权计算,这里采用离差标准化的方法,将各项数据按比例缩放扩大至0~1的区间:

$$y_i = \frac{x_i - x_m}{x_M - x_m} \tag{12}$$

式中: x_M 为区间内的最大值, x_m 为区间内的最小值。

2.4 景观视觉综合指数的计算

景观视觉综合指数是结合视域、视线、相对距离敏感度、相对坡度敏感度、公众关注度、环境对比度、视频敏感度7个因子综合评价后,从综合角度反应一个景点视觉效果好坏的一个定量值,其数值越高,说明景点的综合视觉效果越好。通过标准化后

表3 泰山风景区景观视觉敏感度模糊一致矩阵

Tab. 3 Fuzzy consistency matrix of landscape's visual sensitivities of Mount Tai

视觉敏感度	相对距离敏感度	相对坡度敏感度	视频敏感度	醒目度敏感度
相对距离敏感度	0.500	0.625	0.750	0.375
相对坡度敏感度	0.375	0.500	0.625	0.250
视频敏感度	0.250	0.375	0.500	0.125
醒目度敏感度	0.625	0.750	0.875	0.500

表4 泰山风景区景观视觉评价因子权重

Tab. 4 Weights of the landscape visual assessment factors of Mount Tai

目标层	系统层	指标层	次级指标	权重
景观视觉评价指数	基本视觉元素(0.37)	可视面积比例(0.5)		0.185
		可视景点数目(0.5)		0.185
	视觉敏感度(0.63)	相对距离敏感度(0.26)		0.164
		相对坡度敏感度(0.24)		0.151
		视频敏感度(0.22)		0.139
		醒目度(0.28)	景点关注度(0.5)	0.088
			植被遮挡度(0.5)	0.088

的各因子数值与各权重加权后求和,可以得到每个景点的景观视觉指数(VI)。

$$VI = Sd \times w_1 + Sa \times w_2 + Sn \times w_3 + St \times w_4 + V \times w_5 + S \times w_6 \quad (13)$$

$$Sn = (Ad \times w_7 + Ec \times w_8) \quad (14)$$

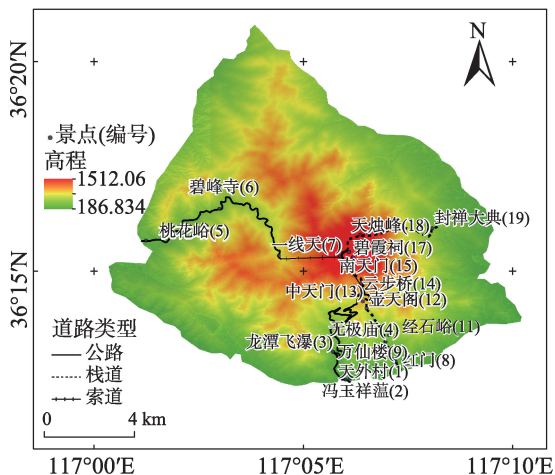
式中:VI为景观视觉综合指数;Sd为相对距离敏感度;Sa为相对坡度敏感度;Sn为醒目度;St为视频敏感度;V为视域面积比例;S为可视景点数目;Ad为景点公众关注度;Ec为环境对比度; w_1 – w_8 分别为以上因子对应的权重。

3 方法验证

3.1 研究区选取和数据源

为验证本文方法的可靠性与先进性,本文选取泰山风景区作为研究区。泰山位于山东省中部的泰安市,坐落在泰安、济南、淄博三市之间。其坐标为(117°6'E, 36°16'N),占地为24 200 hm²,主峰玉皇顶海拔1545 m。泰山的地质构造较为复杂,其构造类型囊括了从寒武纪到中生代的发育,以断裂为主要特征,有着断块掀斜抬升的特点。得益于其超过千米的海拔高度,泰山上下的气候呈现出了十分直观的垂直变化,山脚属于温带季风气候,山顶三季如春,冬季寒冷。泰山有着丰富的水资源,储水量达30.43亿m³[26]。研究区概况如图1所示。

本文所用数据包括:研究区泰山风景区总体规划图(包括规划总图,综合现状图,游览规划图,道路交通规划图),来源于中国泰山名胜区官方网站;泰山



注:景点名称后括号内为景点编号,本文以该编号代替景点。

图1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

风景区著名景点用户评分(来源于携程官方网站统计数据)。泰山风景区遥感影像(来源于地理空间数据云 Landsat 8 卫星数据产品,数据标识 LC812203 52018043LGN00),泰山风景区数字高程数据(来源于地理空间数据云 GDEMDEM 30 m 分辨率数字高程数据,数据标识 ASTGTM_N36E116)。数据预处理工作包括:对遥感影像进行裁剪与拉伸,对DEM数据进行裁剪,对二者进行投影变换,并以遥感影像为底图,结合泰山风景区总规划图与 Google Earth 的定位功能选出了19个主要景点与四条主要游览路线进行矢量化,如图1所示。

3.2 结果分析

3.2.1 景观视觉单因子分析结果

(1) 基本视觉元素分析结果

运用GIS的可视分析与视域分析的功能,得到每个景点的视域范围以及各景点视域内可见景点的数目,如图2所示:

以景点位置为视点,从视域的角度出发:由于研究区特殊的山地地貌,以所有景点为视点得出的可视总面积只占研究区总面积的27.7%,但游览路线的大部分路段都位于可视面积内,因此从整体上可以反应沿游览路线移动,能得到较好的观景效果。景点中可见区域面积最大的景点是16,占到了总研究区面积的5.5%;可视面积最小的景点是14,占据总研究区面积的0.2%。

从视线的角度出发:因为研究区特殊的山地地貌,地势较为陡峭,因此景点的可视性受地形起伏的影响较大,景点的整体视线连通性较差。景点中可视景点数目最多的景点有11、12、17,可见景点数目为2个。从结果可以看出,景点间的视线连通性不仅与研究区地形有关,还受到景点的分布特征影响,景点之间分布密集,且景点之间的地形趋于平缓时,景点间的视线有较好的连通性。

(2) 相对距离敏感度

结合相对距离敏感度的分析结果图3可以看出,相对距离敏感度最高的景点为13号(中天门),13–17号景点的相对距离敏感度要高于其他景点的相对距离敏感度,结合这些景点在研究区的地理位置可以看出,这几个景点所在区域不仅海拔高度较高、靠近主要道路,它们还都位于主要道路的交汇处,由于不同的道路交织与其近景范围内而使其距离敏感度更高;其次4号景点的相对距离敏感度也较高,从图中可以看到其近景范围中道路蜿蜒曲折从而增加

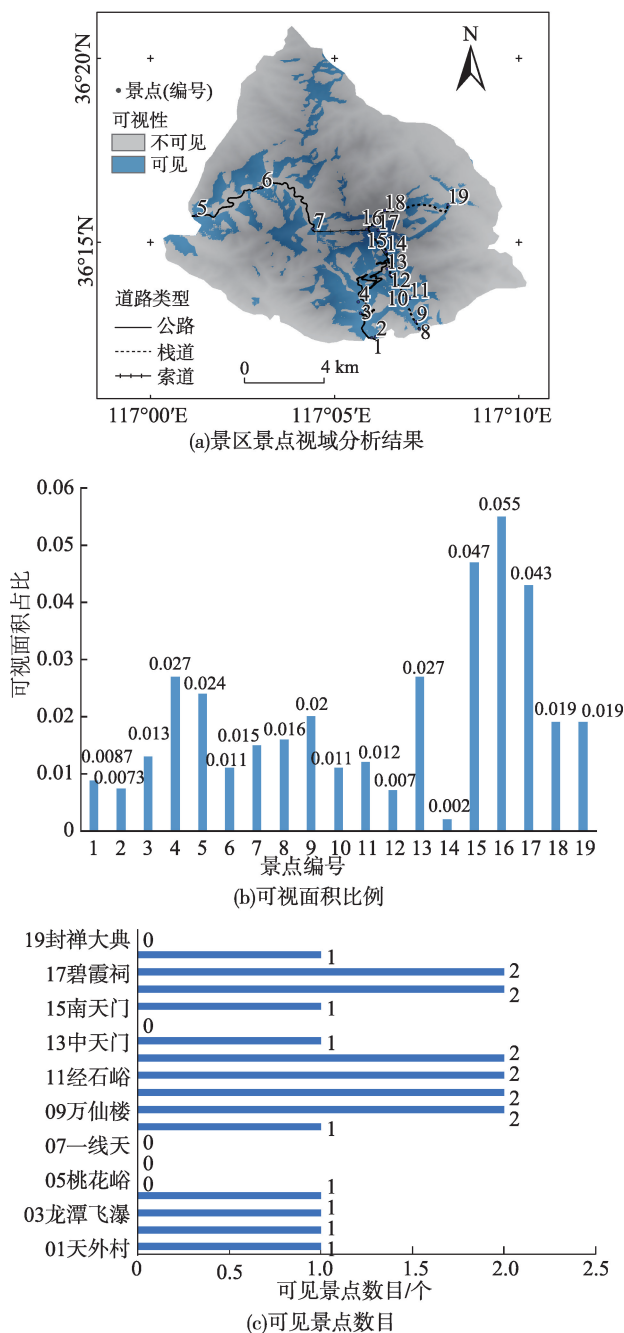


图2 泰山风景区视域及景点可视性分析结果

Fig. 2 Visibility analysis and viewshed analysis results of Mount Tai

了其相对距离敏感度。综上所述,单从距离的角度出发,当景点更加靠近游客的游览路线时,其轮廓与造型也会更加清晰,在不同的视距区间内,景点的相对距离敏感度受到道路自身轨迹与布局的影响。

(3) 相对坡度敏感度

基于研究区数字高程模型建立坡度图而得到相对坡度敏感度,结果如图4所示。

研究区由于主要地形为山地,整体上坡度跨度较

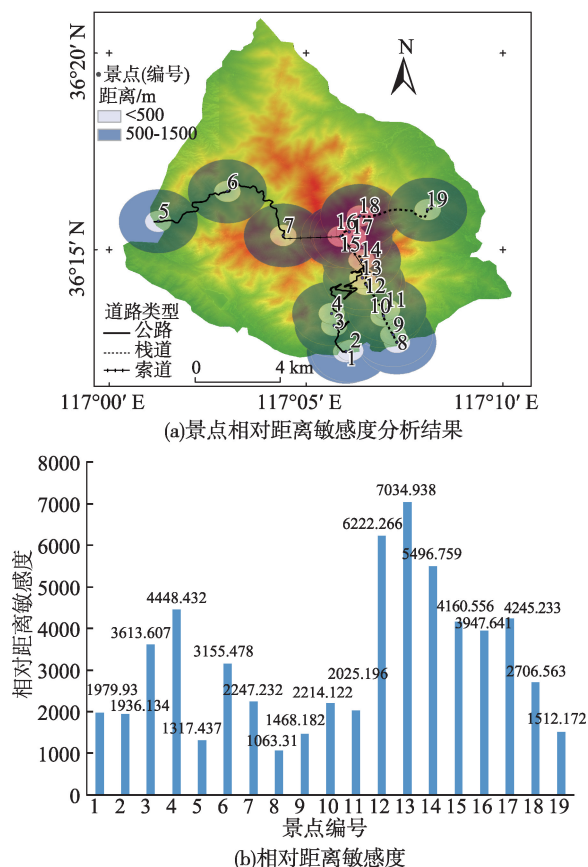


图3 泰山风景区各景点相对距离敏感度分析结果

Fig. 3 Each scenic spot's sensitivity to distance of Mount Tai

大且分布不均,大多数景点与道路路段地势较为陡峭。这里假设游客沿路线向山顶运动,视线为平视与仰视,用各景点的相对坡度表示相对坡度敏感度。结合图与表可以看出,相对坡度敏感度最高达景点为18号,该景点地理位置海拔较高且周边地势峰峦环绕,地势陡峭;相对坡度敏感度较低的景点如1号与5号皆位于山脚下,地势平坦开阔。当景点位于坡度较大的位置时,其带给观景者的视觉效果会更加震撼。

(4) 视频敏感度

通过视频敏感度分析结果图5可以看出,视频敏感度最高的景点为17号,视频敏感度最低的景点为6号;景观间视频敏感度整体差值较大,部分景点被游客注意的几率较小,从而在一定程度上影响了它的视觉敏感度。

(5) 景观醒目度

环境对比度分析结果如图6所示,环境对比度最高的景点是18号,17号景点的环境对比度与18号接近,5号景点的环境对比度最低,且远低于大多数景点;整体而言景点的环境对比度大小相对平均,这也与研究区自然度较高的环境有关。

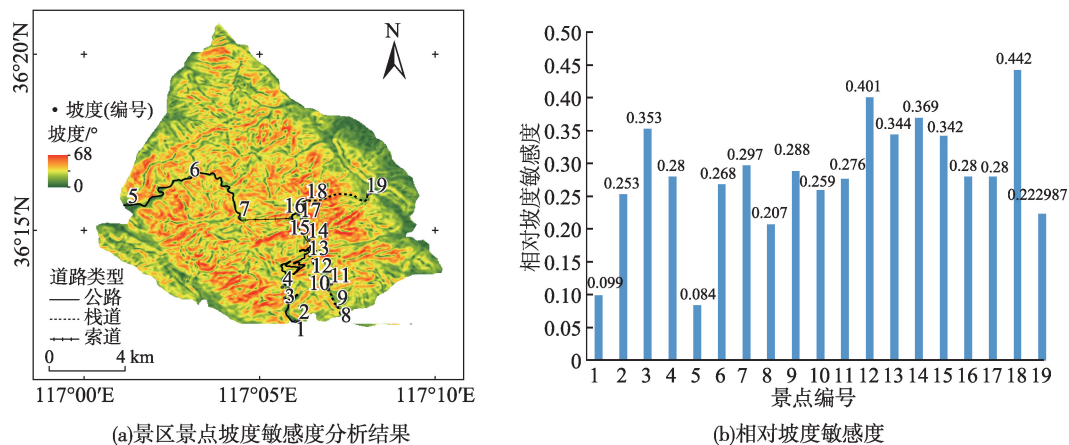


图4 泰山风景区相对坡度敏感度分析结果

Fig. 4 Each scenic spot's sensitivity to slope of Mount Tai

景点关注度的评价结果如表5所示。游客会在景点的入口、终点以及换乘点等位置更久的逗留,位于这些特殊地点周边的景点会更多受到游客的关注。

3.2.2 景观视觉综合分析结果及评价

经过标准化前后的各项因子值如表6所示。

通过FAHP法求得的各因子权重与标准化后各因子数值进行加权求和,最终得到各因子的景观视觉指数如图7所示。

从图7中得知,16号景点拥有最高的景观视觉指数,该景点位于整个研究区海拔较高的地段,且为各游览路线的终点,同时视野开阔,周边景点较密集,是具有优秀的视觉效果,能够吸引大量游客的景点;视觉敏感度最低的5号景点,由于地段较为偏远,海拔较低使其可视面积有限,周围没有其他景点,虽然作为风景区的入口之一,但只有一条游览路线经过,景观视觉敏感度总体也较低,因此缺

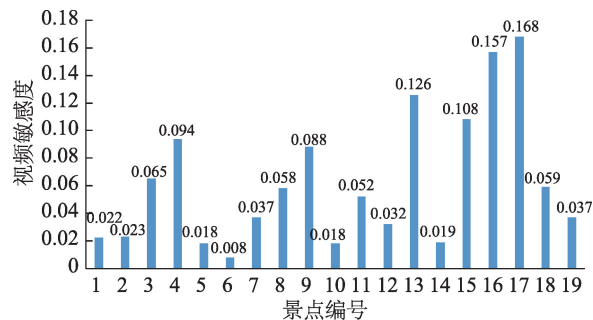


图5 泰山风景区视频敏感度分析结果

Fig. 5 Each scenic spot's sensitivity to visibility frequency of Mount Tai

乏吸引力。

整体来看每个景点间的视觉指数有较大的差异,16、17、13、15、12等景点具有较高视觉指数,而5、6、2、7、14等景点的视觉指数得分较低。结合其各单项因子的得分来看,当某景点的各项单项指标

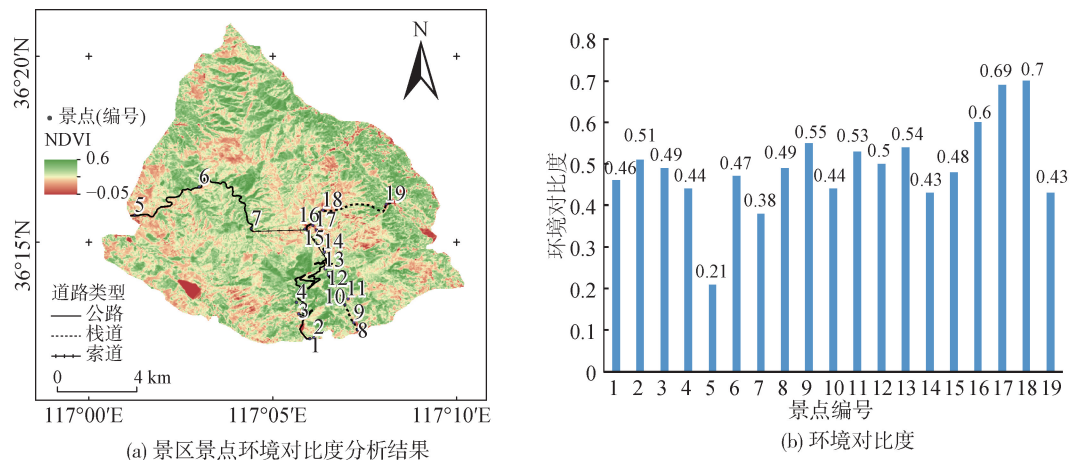


图6 泰山风景区环境对比度分析结果

Fig. 6 Each scenic spot's sensitivity to environmental contrast of Mount Tai

表5 泰山风景区景点关注度得分

Tab. 5 Each scenic spot's score of attention degree of Mount Tai

编号	景点名称	交通职能	得分	编号	景点名称	交通职能	得分
01	天外村	入口	1	11	经石峪	无	0
02	冯玉祥墓	无	0	12	壶天阁	无	0
03	龙潭飞瀑	无	0	13	中天门	换乘点	0.5
04	无极庙	无	0	14	云步桥	无	0
05	桃花峪	入口	0.5	15	南天门	换乘点	0.5
06	碧峰寺	无	0	16	玉皇顶	终点	1
07	一线天	换乘点	0.5	17	碧霞祠	无	0
08	红门	入口	1	18	天烛峰	无	0
09	万仙楼	无	0	19	封禅大典	入口	1
10	斗母宫	无	0				

表6 泰山风景区景点视觉评价因子(标准化前/后)

Tab. 6 Landscape visual assessment factors of Mount Tai (before/after standardization)

编号	名称	V1/V2	S1/S2	Sd1/Sd2	Sa1/Sa2	St1/St2	Ad1/Ad2	Ec1/Ec2
01	天外村	0.87/0.1264	1.0/0.5	1979.930/0.1535	0.099/0.0428	0.022/0.0875	2.0/1.0	0.46/0.5100
02	冯玉祥墓	0.73/0.1000	1.0/0.5	1936.134/0.1462	0.253/0.4716	0.023/0.0938	0/0	0.54/0.6735
03	龙潭飞瀑	1.30/0.2075	1.0/0.5	3613.607/0.4271	0.353/0.7514	0.065/0.3563	0/0	0.49/0.5714
04	无极庙	2.70/0.4717	1.0/0.5	4448.432/0.5669	0.280/0.5489	0.094/0.5375	0/0	0.44/0.4694
05	桃花峪	2.40/0.4151	0/0	1317.437/0.0426	0.084/0.0000	0.018/0.0625	2.0/1.0	0.21/0.0000
06	碧峰寺	1.10/0.1698	0/0	3155.478/0.3504	0.268/0.5154	0.008/0.0000	0/0	0.47/0.5306
07	一线天	1.50/0.2453	0/0	2247.232/0.1983	0.297/0.5961	0.037/0.1813	1.0/0.5	0.38/0.3469
08	红门	1.60/0.2642	1.0/0.5	1063.310/0.0000	0.207/0.3447	0.058/0.3125	2.0/1.0	0.49/0.5714
09	万仙楼	2.00/0.3396	2.0/1.0	1468.182/0.0678	0.288/0.5711	0.088/0.5000	0/0	0.55/0.6939
10	斗母宫	1.10/0.1698	2.0/1.0	2214.122/0.1927	0.259/0.4881	0.018/0.0625	0/0	0.44/0.4694
11	经石峪	1.20/0.1887	2.0/1.0	2025.196/0.1611	0.276/0.5369	0.052/0.2750	0/0	0.53/0.6531
12	壶天阁	0.70/0.0943	2.0/1.0	6222.266/0.8639	0.401/0.8852	0.032/0.1500	0/0	0.50/0.5918
13	中天门	2.70/0.4717	1.0/0.5	7034.938/1.0000	0.345/0.7281	0.126/0.7375	1.0/0.5	0.54/0.6735
14	云步桥	0.20/0.0000	0/0	5496.759/0.7424	0.369/0.7959	0.019/0.0688	0/0	0.43/0.4490
15	南天门	4.70/0.8491	1.0/0.5	4160.556/0.5187	0.342/0.7192	0.108/0.6250	1.0/0.5	0.48/0.5510
16	玉皇顶	5.50/1.0000	2.0/1.0	3947.641/0.4830	0.280/0.5482	0.157/0.9313	2.0/1.0	0.60/0.7959
17	碧霞祠	4.30/0.7736	2.0/1.0	4245.233/0.5328	0.279/0.5477	0.168/1.0000	0/0	0.69/0.9796
18	天烛峰	1.80/0.3019	1.0/0.5	2706.563/0.2752	0.442/1.0000	0.059/0.3188	0/0	0.70/1.0000
19	封禅大典	1.90/0.3208	0/0	1512.172/0.0752	0.223/0.3887	0.037/0.1813	2.0/1.0	0.43/0.4490

注：因子符号后的“1”与“2”分别表示进行标准化前与标准化后的因子值。

都有一定的且均衡的得分时,景点具有较高的视觉指数。而其中有一致两项因子得分较低时,即使其他因子拥有较高评分,其景观视觉指数依旧较低。这也表现了景观视觉指数受到多个因子的作用,衡量了景点的综合视觉效果。

3.3 方法对比

为验证本文研究方法的可靠性,此处借助由携

程 App 获取的对应研究区景点的游客打分数据进行对比验证,二者的对比如表7所示。

通过表7可以看出,如玉皇顶、南天门、万仙楼、天外村等景点的景观视觉指数排名与用户打分排名较一致,在这些景点中,景观视觉指数能够较好地反应景点自身的观赏价值与游客吸引力;而如中天门、一线天等景点其景观视觉指数的与用户打分排名差距相对较大,这也侧面反映了景点的综合特

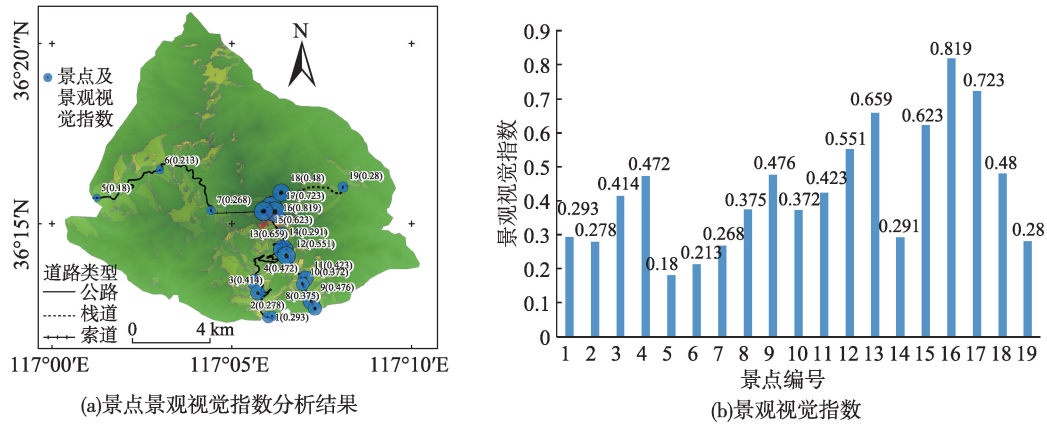


图7 泰山风景区景点视觉指数最终得分

Fig. 7 Each scenic spot's final score of the landscape visual assessment index of Mount Tai

表7 泰山风景区各景点景观视觉指数与用户打分排名

Tab. 7 Rankings of the Visual Index and the users' assessment for each scenic spot of Mount Tai

景点名称	景观视觉指数排名	用户打分排名	景点名称	景观视觉指数排名	用户打分排名	景点名称	景观视觉指数排名	用户打分排名
天外村	10	11	一线天	18	9	中天门	8	2
冯玉祥墓	14	17	红门	9	10	云步桥	15	12
龙潭飞瀑	12	16	万仙楼	7	8	南天门	4	3
无极庙	13	18	斗母宫	5	14	玉皇顶	1	1
桃花峪	17	13	经石峪	6	4	碧霞祠	2	6
碧峰寺	19	19	壶天阁	3	7	天烛峰	11	5
						封禅大典	16	15

征不仅仅在于视觉方面,还受其他因素制约,因此影响了用户的评分。综合对比结果来看,大多数景点的视觉指数排名与用户评价排名差距较小,因此从游客主观评价的角度,可以判断景观视觉指数从一定程度上能够反应景点的真实吸引力。

4 结论与讨论

本研究从景观视觉的综合定量评价角度出发,设计基于基本视觉元素与景观视觉敏感度的综合评价指标体系,提出了一种基于GIS空间分析与模糊层次分析法的景观视觉综合评价方法,利用综合视觉指数分别从整体视角和单因子视角客观揭示景观视觉资源的分布特征及其影响因素。

在实例分析中,以泰山风景区为研究区的分析结果表明:①从单因子角度分析,视域范围最大的景点为16号景点玉皇顶,为5.5%。可见景点数目最多的景点为经石峪、壶天阁、碧霞祠,相对距离敏感度最高的景点为中天门,相对坡度敏感度最高的

景点为天烛峰,视频敏感度最高的景点为碧霞祠,环境对比度最高的景点为天烛峰。②综合视角的分析表明综合视觉指数最高的景点为玉皇顶,为0.819;最低的景点为桃花峪,为0.180,相比于传统的基于游客主观感知或专家打分的评价方法^[27],本研究从景观视觉客观定量评价的角度切入,通过构建综合评价指标体系和评价模型实现了旅游资源的定量综合评价。从验证结果来看,本研究提出的方法能够较好的反应景点的真实吸引力,具有较好的可靠性与科学性,也为该领域的研究提供了一种新的方法与思路,也为景区综合发展规划及景点的开发保护提供了客观的参考依据和决策支持。当然,研究尚有一些不足有待完善:本文主要从GIS的研究角度与方法对景观视觉资源展开讨论,而景观视觉的真实效果往往受到多方面的复杂的因素影响,比如游客真实心理感受、景观自身与物理条件的变化等其他领域范畴,所以如何采用更加科学的方法,构建一个更加全面、完备的评价体系来衡量与评定景观视觉资源将是今后研究的努力方向。

参考文献(References):

- [1] Ode Asa, Tveit M S, Fry G. Capturing landscape visual character using indicators: Touching base with landscape Aesthetic Theory[J]. Landscape Research, 2008,33(1):89-117.
- [2] 齐童,王亚娟,王卫华.国际视觉景观研究评述[J].地理科学进展,2013,32(6):975-983. [Qi T, Wang Y J, Wang W H. A review on visual landscape study in foreign countries [J]. Progress in Geography, 2013,32(6):975-983.]
- [3] 裘亦书.基于GIS技术的景观视觉质量评价研究——以四川省九寨沟为例[D].上海:上海师范大学,2013. [Qi Y S. The study of landscape visual quality assessments based on GIS technology: A case study on Jiuzhaigou in Sichuan Province[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2013.]
- [4] 贾翠霞.基于GIS和遥感的景观视觉资源评价——以黄帝陵风景名胜区为例[D].西安:西安建筑科技大学,2010. [Jia C X. Visual resource of landscape estimating based on GIS and RS: Case of the Mausoleum of Huangdi [D]. Xian: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.]
- [5] 李月辉,周锐,冯秀,等.基于DEM的辽宁省猴石森林公园的视域分析[J].林业科学,2008,44(1):95-100. [Li Y H, Zhou R, Feng X, et al. Viewshed analysis of viewing point in Houshi Forest Park[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008,44(1):95-100.]
- [6] 韩芳,杨兆萍.基于GIS空间视域分析的观景游线选址适宜性研究——以喀纳斯自然保护区神仙湾为例[C]//地理学核心问题与主线——中国地理学会2011年学术年会,2011. [Han F, Yang Z P. A study on suitability of site selection based on GIS viewshed analysis: Case of Shenxian Bay in Kanas Nature Reserve[C]. The Core Issues and Main Line of Geography, 2011.]
- [7] 齐津达,傅伟聪,李炜,等.基于GIS与SBE法的旗山国家森林公园景观视觉评价[J].西北林学院学报,2015,30(2):245-250. [Bo W C, Li W, Qi J D, et al. Landscape visual evaluation of Qishan National Forest Park based on GIS and SBE method[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015,30(2):245-250.]
- [8] 范榕.运用层次分析法分析景观空间视觉吸引要素评价指标[J].中国城市林业,2016,14(1):74-77. [Fan R. Evaluation of visual attraction of landscape spaces using Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2016,14(1):74-77.]
- [9] 齐增湘,徐卫华,肖志成.基于GIS的秦岭山系视觉景观评价[J].广东农业科学,2012,39(11):15-18. [Qi Z X, Xu W H, Xiao Z C. Evaluation of visual landscape based on GIS in Qinling Mountains[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012,39(11):15-18.]
- [10] 吴榛,王浩,范榕.紫金山国家森林公园景观视觉评价[J].西北林学院学报,2017(3):277-283. [Fan R, Wang H, Wu Z. Landscape visual evaluation of Zijin mountain national forest park[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017(3):277-283.]
- [11] 李俊英,胡远满,闫红伟.基于景观视觉敏感度的棋盘山生态旅游适宜性评价[J].西北林学院学报,2010,25(5):194-198. [Li J Y, Hu Y M, Yan H W. Ecological suitability evaluation for eco-tourism in Qipanshan area based on landscape visual sensitivity[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010,25(5):194-198.]
- [12] 张强,潘辉,王燕玲,等.基于GIS的城市山地公园视觉景观评价技术及实证[J].林业资源管理,2016(4):128-133. [Pan H, Wang Y H, Zhang Q, et al. Evaluation technology and demonstration of visual landscape of urban mountain park based on GIS[J]. Forest Resources Management, 2016(4):128-133.]
- [13] 吕志宏,张芸香,郭晋平,等.基于GIS的代县赵果观森林公园景观生态评价研究[J].农学学报,2018,8(7):46-55. [Guo J P, Lu Z H, Zhang Y X, et al. Landscape ecological assessment of Zhaogaoguan Forest Park in Daixian based on GIS[J]. Journal of Agriculture, 2018,8(7):46-55.]
- [14] Daniel T C. Whither scenic beauty? Visual landscape quality assessment in the 21st century[J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 54(1-4):280-281.
- [15] 李雪莹,齐童,张国庆,等.国内外视觉景观影响评价综述[J].首都师范大学学报(自然科学版),2017(5):62-69. [Li X Y, Qi T, Zhang G Q, et al. A summary of domestic and foreign visual landscape impact assessment[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition), 2017(5):62-69.]
- [16] 张雪莹,张正勇,刘琳.新疆冰雪旅游资源适宜性评价研究[J].地球信息科学学报,2018,20(11):1604-1612. [Zhang X Y, Zhang Z Y, Liu L. Suitability evaluation of ice and snow tourism resources in Xinjiang[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(11):1604-1612.]
- [17] 王晓辉,黄勇.基于GIS的风景区索道建设项目空间视域分析方法研究[J].安徽农业科学,2013(25):10386-10388. [Huang Y, Wang X H. Analysis based on the space as the domain of GIS scenic areas cableway construction projects[J]. Journal of Anhui Agriculture, 2013(25):10386-10388.]
- [18] 应申.空间可视分析的关键技术和应用研究[D].武汉:武汉大学,2005. [Ying S. Key techniques and applications of spatial visibility analysis[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005.]
- [19] 贾翔,李莉,李琪,等.基于GIS和可视性分析的鄯善县烽

- 燧系统研究[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2017,36(2):13-22. [Li L, Li Q, Jia X, et al. The visibility analysis of Beacon Tower System based on GI sand viewshed analysis in Shanshan County[J]. Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition), 2017,36(2):13-22.]
- [20] 旷莉珠.峡谷型风景区景观视觉敏感度评价研究[D].重庆:西南大学,2015. [Kuang L Z. Research of canyon scenic spot's landscape visual sensitivity evaluation[D]. Chongqing: Southwest University, 2015.]
- [21] 张艳军,曾咄.GIS技术在景观视觉分析中的应用[J].地理空间信息,2008,6(4):87-89. [Zhang Y Z, Zeng H. Application of GIS to visual landscape analysis[J]. Geospatial Information, 2008,6(4):87-89.]
- [22] 兰继斌,徐扬,霍良安,等.模糊层次分析法权重研究[J].系统工程理论与实践,2006,26(9):107-112. [Lan J B, Xu Y, Huo L A, et al. Research on the priorities of Fuzzy Analytical hierarchy process[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2006,26(9):107-112.]
- [23] 姚敏,张森,徐昊.模糊性的度量及其应用[J].系统工程与电子技术,1998(1):44-46. [Xu H, Yao M, Zhang S. A measures of fuzziness and their applications[J]. Systems Engineering and Electronics, 1998(1):44-46.]
- [24] 覃柏英.FAHP的标度系统与排序方法研究[D].南宁:广西大学,2005. [Qin B Y. The research of scale system and ranking method of FAHP[D]. Nanning: Guangxi University, 2005.]
- [25] 刘雪.基于GIS的矿山环境质量评价——以新疆五彩湾煤矿为例[D].北京:中国地质大学(北京),2018. [Liu X. Evaluation of environmental quality based on GIS: Take Wucaiwan Coal Mine in Xinjiang as an example[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018.]
- [26] 刘敏.泰山风景名胜区景观资源评价和景观营造研究[D].泰安:山东农业大学,2012. [Liu M. Research on evaluation and construction of landscape resource in Mount Tai[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.]
- [27] 王莹莹,王英杰,戈大专,等.典型贫困山区旅游景点可达性评价方法研究[J].地球信息科学学报,2018,20(7):91-100. [Wang Y Y, Wang Y J, Ge D Z, et al. Accessibility of scenic spots in typical poverty-stricken mountainous areas[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(7): 91-100.]