

# 基于空间参数的思小美丽公路视觉景观评价研究

吕光耀<sup>1</sup>, 陶蓉蓉<sup>2</sup>, 齐君<sup>3</sup>, 曾莉<sup>1</sup>

(1.淮阴师范学院, 江苏 淮安 223300; 2.盐城师范学院, 江苏 盐城 224299;

3.西南林业大学, 昆明 650224)

**摘要:** **目的** 基于公路景观形式美价值与视觉空间感知要素, 总结归纳出可视率、绿视率、空间开敞度、空间形态指数与空间信息熵5个空间参数, 并对云南省思小美丽公路展开视觉景观评价, 以期提升公路沿线视觉景观质量。**方法** 利用 GoPro 相机进行公路景观采集, 并借助 PS 软件合成成人眼视野范围照片作为基础评价材料, 再利用 GIS、OpenCV 等软件对其进行空间参数维度的考量。**结论** 思小美丽公路视觉景观呈现出极不均衡的空间参数结构; 且存在游憩服务设施配备不足、部分路段植物养护不佳, 缺乏管理及沿途景观信息缺少地方特色的主要问题。基于空间参数的公路视觉景观评价是对我国公路建设转型研究的积极回应, 可为今后云南省开展公路美化绿化工程提供实际参考, 也可为全国美丽公路的景观规划设计提供借鉴。

**关键词:** 空间参数; 视觉景观评价; 思小美丽公路; 公路景观规划设计

**中图分类号:** TB472; J525 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)02-0316-13

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.02.036

## Visual Landscape Evaluation of the Si-Xiao Expressway Based on Spatial Parameters

LYU Guang-yao<sup>1</sup>, TAO Rong-rong<sup>2</sup>, QI Jun<sup>3</sup>, ZENG Li<sup>1</sup>

(1. Huaiyin Normal University, Jiangsu Huai'an 223300, China; 2. Yancheng Normal University, Jiangsu Yancheng 224299, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**ABSTRACT:** The work aims to summarize the five spatial parameters of visibility, visible green index, space openness, spatial shape index and spatial information entropy on the basis of the aesthetic value of expressway landscape form and visual space perception elements and carry out visual landscape evaluation on the Si-Xiao Expressway in Yunnan Province, in order to improve the visual landscape quality along the expressway. GoPro camera was used to collect expressway landscapes, and PS software was applied to synthesize photos in the field of view of the human eye as the basic material for evaluation. With the help of GIS, OpenCV and other software, the dimensions of spatial parameters were considered. The spatial parameter structure of visual landscape of the Si-Xiao Expressway is extremely unbalanced. Some problems are found along the Si-Xiao Expressway, including insufficient recreation service facilities, poor plant maintenance in some sections, inadequate management and lack of local characteristics of landscape information along the expressway, etc. The evaluation of expressway visual landscape based on spatial parameters is the most active attempt to practice the research of expressway construction transformation in China. It can provide practical reference for expressway beautification and greening projects in Yunnan Province in the future, and can also provide reference for landscape planning and design of beautiful highways in China.

**KEY WORDS:** spatial parameters; visual landscape evaluation; Si-Xiao Expressway; expressway landscape planning and design

收稿日期: 2022-08-18

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(51908477); 国家社科基金艺术学项目(21BH164); 国家自然科学基金青年项目(51808249)

作者简介: 吕光耀(1996—), 男, 博士生, 助教, 主要研究方向为风景园林规划设计、社会文化地理学。

通信作者: 曾莉(1982—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为乡村景观保护与利用、乡村振兴策略、社会文化地理学。

公路是服务社会、服务经济、服务公众的重要基础设施,近年来随着人们审美意识的普遍提高,以及公路建设中生态问题与地方经济发展问题矛盾的日渐尖锐,“美丽公路”“主题线路”“绿色公路”等一系列以“交通+”价值叠加理念为本底的线性旅游风景道(Scenic Byways)应运而生。作为西方风景道规划设计理念的本土实践,美丽公路并不等同于一般的公路景观绿化,其强调路域景观空间的融合利用,要求遵从山水生态环境特征。尽管国内对美丽公路尚未有统一明确的定义,但纵观各省市的宣传推广仍可对其一管而窥全豹,美丽公路即为一条能最大限度地实现因地制宜、崇尚自然、安全可靠、生态环保、服务提质且兼具经济性、生态性、和谐性、服务性特征的公路。

在当今景观规划设计研究领域,视觉景观评价(Landscape Visual Evaluation)是公路研究的主流,旨在通过科学评估公路景观质量来实现公路景观规划设计<sup>[1-3]</sup>。在评价方法与技术应用方面,公路视觉景观评价研究存在着主观分析(公众范式)与客观分析(专家范式)并行发展的趋势<sup>[4-5]</sup>。前者较为强调公众在景观分析评价中的作用,常利用照片、PPT、调查问卷、访谈等方法揭示其对视觉景观质量的价值取向<sup>[6]</sup>;而客观分析在土地利用规划、景观规划管理领域应用较多,其主要是利用数字模型(计算机图像技术、GIS、三维可视化等)对景观中的地形、水体、公路等物质因素进行基于客观数据的考量<sup>[7]</sup>。客观分析过程虽实现了视觉景观质量与生物多样性、社会文化资源等的有机整合,但因其得出的景观质量与景观基本元素(线、形、色、质)、“景观多样性”等之间未表现出显著相关性<sup>[4]</sup>,而受到一些质疑与批评。

在现代化、全球化社会背景下,以交通体系为主要发展基础之一的旅游业呈井喷式发展状态。然而在景观规划师看来,当前旅游业的快速发展与公路视觉景观建设进程很难称得上完全匹配,“粗放型”公路建设模式仍普遍存在,且大部分项目过程由于缺少设计专业知识的参与指导,易形成“千城同路”的视觉景观效果。同时,在国内公路景观相关研究中<sup>[8-10]</sup>,仍有较多研究将目光投至某一具体的公路景观要素上,拘泥于细节化的景观要素配置及公路附属设施的美化绿化,较少关注公路景观服务对象的动态视觉特征,从而忽略了外部景观空间对公路视觉景观质量的重要性。另外,现有公路景观研究其评价指标或多数强调心理感受取向评价,或多以宏观视角展开生态格局空间分析,缺乏从微观角度去客观探讨公路视觉景观空间属性。视觉景观空间作为能为公路景观服务主体提供舒适感受的基底,以其为研究切入点分析公路景观,对丰富当前公路景观评价的方法、理论大有裨益。

## 1 概念辨析

### 1.1 空间参数

景观空间本身是无限的,但正因为各类实体景观元素的“侵占”与搭配组合,才使景观空间被恰如其分地限定,从而提供了可供量化分析的可能。参数(Parameter)是一个变量,泛指用来控制随其变化而变化的其它量<sup>[11]</sup>。本文援引参数本义并提出“空间参数”的概念,用其表述能控制景观空间的变量。

### 1.2 视觉景观评价

视觉是人最重要的感觉。根据视觉心理学理论可知,视觉形成过程即为对客观存在个体感知的过程;景观评价过程即为个人或群体以某种标准对感知到的景观价值进行判断的过程。因此从客观意义上讲,对景观的评价首先是对其视觉景观质量进行评价<sup>[5]</sup>。视觉景观评价是一个现状评价的概念,其不同于景观生态评价,是指基于景观感知者的视觉,重点从视域内景观外貌的美学质量、空间特征等方面对景观展开评价。

## 2 研究区概况与数据

### 2.1 研究区概况

思小美丽公路(又称思小公路)位于云南省西南部,全长97.7 km,始于普洱市思茅区南郊,止于景洪市勐养镇,从北至南串联起南屏镇、思茅镇、普文镇、大渡岗乡与勐养镇。该公路有37 km经过热带雨林,18 km穿越小勐养自然保护区实验区,是国内唯一一条穿过国家级热带雨林自然保护区的高速公路,同时也是云南省美丽公路之一的昆磨高速公路的重要组成部分。其以高原山地、雨林风光的自然景观为主,沿途旅游资源众多,景色撩人。自通车以来,思小美丽公路上“车在林中走,人在画中游”的真实景观写照越发得到游人的认可,其可称得上是云南省践行美丽公路建设理念的典型代表<sup>[12-13]</sup>。

### 2.2 数据收集与处理

#### 2.2.1 收集项目与范围

本研究以驶入、驶出思小美丽公路的路口处之间的路段作为具体的研究范围,遵从以1 km为基准的等距离评测法,拍摄思小美丽公路往返两程沿线的景观。同时,依靠GoPro8运动相机的GPS定位功能,获取每一张照片的地理位置信息。往返两程共记录211个拍摄点。

#### 2.2.2 收集方式

以往视觉景观评价研究中所用到的评价材料——照片,其涉及范围普遍较小,并未能达到人眼视野范围,这在一定程度上降低了评价材料的客观性与完整

性和评级结果的真实性。本文决定更新评价材料，即通过多相机镜头及图像处理技术捕捉、合成能达到人眼视野范围的大视野照片。

人站于某一点，在头部与两眼保持不动的情况下，人眼可觉察到的水平面与垂直面内所有的空间范围为双眼直接视野。其中，正常情况下，在水平位上以眼球为中心，单眼（左眼或右眼）视野范围为向脸颊内侧 60°，脸颊外侧 90°，总共 150°；在垂直位上以眼球为中心，上方是 55°，下方是 70°，总共 125°<sup>[14]</sup>。双眼直接视野中垂直视野不变，水平视野有 180°，但有 120°属双眼共同拥有，是双眼视觉功能所在<sup>[15]</sup>，见图 1。

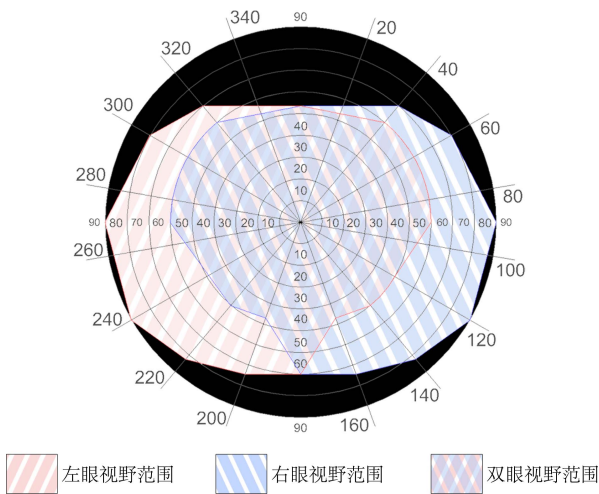


图 1 光刺激下的左眼、右眼与双眼直接范围图  
Fig.1 Direct range maps of left eye, right eye and double eyes under light stimulation

本文使用的拍摄设备为 GoPro HERO8 BLACK 运动相机（以下简称 Go8），其在拍摄照片场景中具有宽、线性、窄三种模式。为追求拍摄出的照片对实地景物的高度还原，笔者采用能拍摄出无畸变照片的

线性模式来捕捉公路路域景观。已知人双眼在水平位上的视野范围为 180°，在垂直位上的视野范围为 125°；在线性模式下 Go8 镜头的具体视野范围为：水平位上是 104°，垂直位上是 90°（利用镜头实验推导，因过程复杂，在此不做过多赘述），若想以相机镜头模拟人眼视野，则需 4 台 Go8 相机同时操作。经计算，水平位上的 2 台 Go8 相机之间需重合 28°才能达到 180°；垂直位上的 2 台 Go8 相机之间需重合 55°才能达到 125°，见图 2。

### 2.2.3 处理与表达

#### 2.2.3.1 人眼视野范围照片的合成

“Photomerge”是 Photoshop 中的“全景图像合成”命令，其能将水平平铺和垂直平铺的多张照片合并成一张全景照片。在拍摄过程中，因高速公路的特殊性而无法停车进行拍照，故将 4 个运动相机固定在车盖处，此做法又不得不将车拍进画面中。因此，本研究统一利用与公路色调相近的灰色色块来掩盖车子所在区域，掩盖的面积应计算为公路面积。将合成后的全景照片与人眼直接视野范围图进行叠加。并在全景照片上等比例放大人眼直接视野范围图，并使其左、右两侧与全景照片左、右两侧相重合，同时将视野中点置于全景照片垂直中线与公路尽头所在水平线的交点上，然后删除视野范围以外的部分。如此便可得到一张人眼视野范围照片，即本研究所需的思小美丽公路视觉景观评价材料（见图 3）。

#### 2.2.3.2 照片编号

在 Photoshop 中对 211 组照片分别进行合成操作，剔除掉无法合成的照片后，共得到 196 张有效照片。公路是跨越行政区域的庞大系统，思小美丽公路的直接管辖方为云南省交通运输厅，其面对全省复杂的道路交通体系，往往会督导地方单位（如乡镇人民政府、街道办事处等）来进行公路环境的修缮管理。

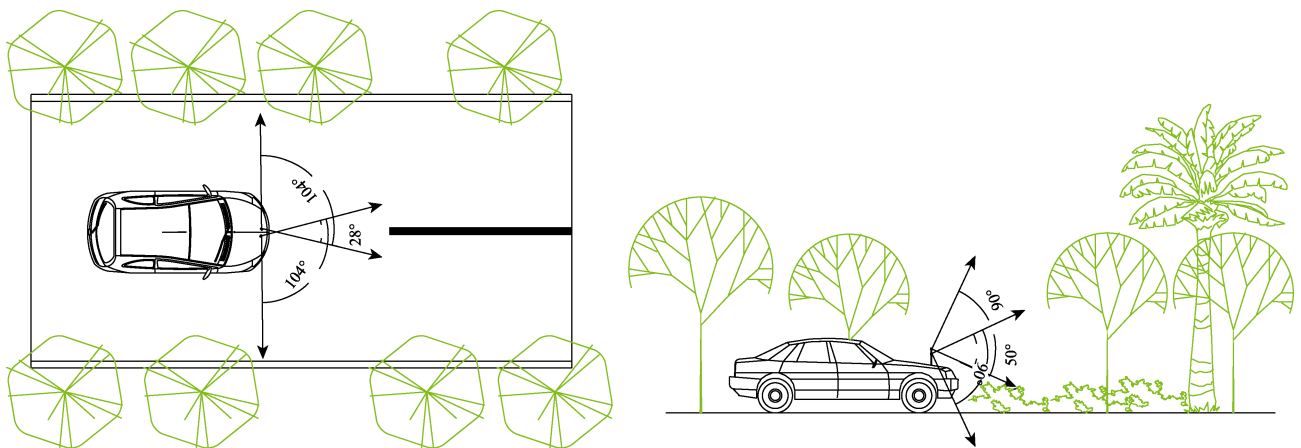


图 2 4 台 Go8 相机的相互关系  
Fig.2 Relationship among 4 Go8 cameras

此外, 近年来国内外路学研究领域的学者们开始将路视为社会文化现象, 探讨其建设与使用过程中与地方社会文化系统的复杂关系, “地方”由研究中的背景书写逐渐转变为重要的分析对象<sup>[16]</sup>。因此, 基于以上

两点, 以文章可能产生的现实指导意义和便于下一步研究的开展, 本文以我国行政区划分方式对照片拍摄点所在区域进行编号, 大、小写英文字母表示拍摄点所在区域, 数字由小至大表示沿线拍摄次序, 见表 1。

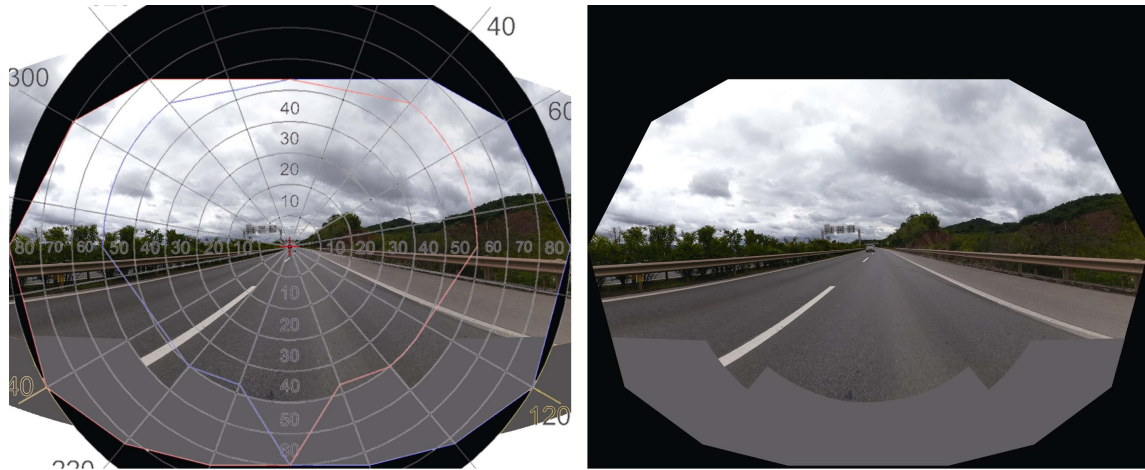


图 3 全景照片与人眼视野范围图的叠加 (左)、人眼视野范围照片 (右)  
Fig.3 Superposition of panoramic photo and visual field map of human eyes (left) and photo of the visual field of the human eye (right)

表 1 所摄照片编号方式  
Tab.1 Numbering method of photos

行车方向	拍摄点所在区域	照片编号	地理坐标信息	
			经度	纬度
思茅区→ 勐养镇	南屏镇 (A)	A-001 .....	100°57'19.65095" .....	22°49' 23.13524" .....
	思茅镇 (B)	B-003 .....	100°57'14.42915" .....	22°48' 19.51956" .....
	普文镇 (C)	C-033 .....	101°1'12.86579" .....	22°35' 20.73839" .....
	大渡岗乡 (D)	D-062 .....	100°59'30.94054" .....	22°24' 46.16042" .....
	勐养镇 (E)	E-088 .....	100°53'28.00751" .....	22°13'46.39115" .....
勐养镇 → 思茅区	勐养镇 (e)	e-001 .....	100°54'11.31515" .....	22°5'0.06395" .....
	大渡岗乡 (d)	d-014 .....	100°52'20.62665" .....	22°10'34.94852" .....
	普文镇 (c)	c-048 .....	100°59'47.54723" .....	22°25'17.13288" .....
	南屏镇 (a)	a-075 .....	101°1'4.00692" .....	22°35'28.33691" .....
	思茅镇 (b)	b-101 .....	100°56'43.55519" .....	22°46'23.89223" .....

### 3 空间参数评价方法的研究设计

#### 3.1 基础理论

心理学研究证实,人在进行无意识视知觉活动时表现出多种优势效应,视觉整体优先性便是其中之一<sup>[5,17]</sup>。在行车过程中,驾驶员出于安全考虑会时不时地对公路景观做全景式扫描观察,目的是形成一个驾驶视觉环境以便对自身驾驶行为做出判断,此时驾驶员对景观空间的整体感知都优于对景观细节的把控。另外,日常人眼接受到的视觉信息通常超过人脑可处理的上限,因此人眼视觉系统在长久进化过程中,已形成一种视觉注意机制(Visual Attention Mechanism)来有效过滤和处理人眼所接受到的大量信息<sup>[18]</sup>。如在城市公路上开车,人眼能看到楼房建筑、广告牌、路灯、行道树或来往车辆等多种多样的复杂信息,但正是因为视觉注意机制作用,视觉系统会自动识别与自身行为关联性较强的视觉对象(道路、来往车辆等),并保留公路景观中最有轮廓、最具特征的关键性信息(如异形建筑),另外一些具有特殊刺激的信息(高炮广告牌)也会被保留。综上所述,视觉整体优先性与视觉注意机制理论佐证了本研究从景观空间视角进行公路视觉景观评价的合理性,并提示了笔者在构建公路视觉景观评价体系时,应着重关注引起驾驶员视觉印象的景观空间基本结构和特征;而且在空间参数筛选时,不必过多地纠结各种景观细节,应强调其对整体性空间的分析评价能力。这也符合当前在视觉组织规律研究中有较高说服力的格式塔心理学的完形思想<sup>[5]</sup>。

对公路景观的认识与评价离不开对其价值的探讨。公路景观虽很大程度上仅服务于车内景观感知主体,但由于个体差异,常导致其对公路景观价值的理解判若云泥。因此,基于主体共性,即忽略个体复杂性,从主体生存发展需要角度解读公路景观价值构成便成为学者探寻公路景观价值的重要出路。人的需要包括物质需要与精神需要,而这两部分看重的形式美价值反映的是事物是否符合人的审美需求<sup>[19]</sup>,从这点出发,其构成了认识和判断公路景观价值的基本立场。而形式美价值常用的统一性、独特性、多样性评价标准自然也成为了本文空间参数选取的重要参考,见表2。

表2 公路景观中的形式美价值评价标准  
Tab.2 Evaluation criteria of formal aesthetics value in expressway landscape

评价标准	释义
统一性	描述公路景观各要素在形式上的共同特征及其呈现出的连续节奏或韵律关系
独特性	易被识别且与周围景观不同的某种景观形式
多样性	公路景观各要素在形式、色彩、质地等在可识别层面的多元与丰富

#### 3.2 构建空间参数评价体系

公路景观是种视觉动态景观,其在人眼中呈现出动态连续的景观空间转换效果,于景观感知主体而言是种视觉美学<sup>[20]</sup>。研究表明,公路视觉景观空间感知要素可分为视觉主体要素、视觉协调要素和视觉变化要素三类,三者共同表征公路景观空间视觉美学意义,造就出具有形式美感的公路景观空间<sup>[21-22]</sup>。其中,公路本身及其视域景观中的所有线条、形式、色彩和质地构成了公路视觉景观主体要素;视觉协调要素是公路景观的组织艺术,人对视觉主体要素的感知通常受到视觉协调要素,即对比、节奏、序列与轴线的控制;而视觉变化要素是指在行车过程中,景观感知主体因某种关系而可感知到不同的公路景观内容,这种关系即为视觉变化要素。基于公路景观形式美价值标准,根据公路视觉空间感知要素的划分和相关视觉景观评价研究,本文综合筛选出绿视率(Visible Green Index)、空间信息熵(Spatial Information Entropy)、空间形态指数(Spatial Shape Index)、可视率(Visibility)与空间开敞度(Space Openness)5个空间参数,各参数与各视觉空间感知要素的相关关系,见图4。

#### 3.3 各空间参数的解释含义

##### 3.3.1 可视率

在公路景观中,依据视点确定其通视距离能覆盖的面积范围,对充分挖掘沿线风景资源至关重要,同时,确定公路驾乘人员所见视域也有利于合理控制公路路域景观。可视率反映的是公路景观空间中的通视程度,是对人眼所能看到的外部空间范围的直接表达<sup>[10]</sup>,其具体计算公式如下:

$$V = \frac{A_v}{A_D} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, $V$ 表示可视率; $A_v$ 表示可见区域面积; $A_D$ 表示可见区域面积与不可见区域面积的总和。

##### 3.3.2 绿视率

色彩是景观的固有属性。绿视率作为三维空间绿化指标,指的是植物(多指绿色植物,包含用以绿化的有色植物)在人眼视野范围内所占的比例<sup>[23]</sup>。在公路中,绿视率越高,越能营造出舒适宜人的视觉景观空间,并带给人积极的情绪与愉悦的心理感受<sup>[24]</sup>,其具体计算公式如下:

$$G = \frac{A_p}{A_v} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中, $G$ 表示绿视率; $A_p$ 表示人眼视野范围照片中所有的绿色植物(包括彩色叶植物)面积,但不包括植物主干; $A_v$ 表示整个视野面积。

##### 3.3.3 空间开敞度

空间本是无限制的,因为景观实体的“侵入”才形成了有限的外部空间。在公路景观视野空间中,不仅



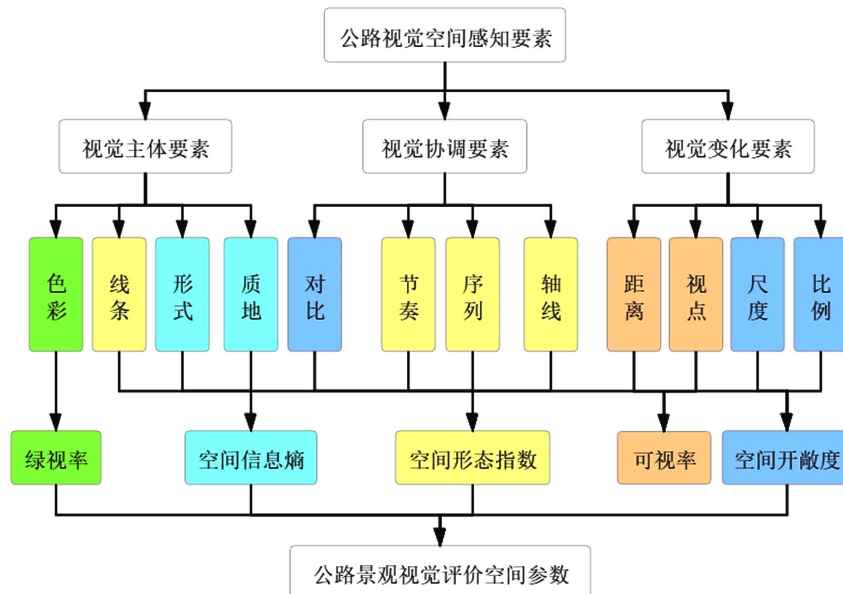


图 4 空间参数的提取思路  
Fig.4 Extraction idea of spatial parameters

存在着乔灌木、挡土墙、标识牌等实体景观元素, 还存在着天空、公路、水体等“虚”景观元素。它们出于驾车安全或视觉美的考量相互搭配营造出静谧郁闭或明亮开阔的空间感受, 而这种感受的变化通常控制在所视实体景观整体视觉空间的尺度强弱对比中, 也就是说实体景观元素与“虚”景观元素会在有限的视野空间内相互影响, 此消彼长。纵观思小美丽公路所摄照片, 各类实体景观元素较为庞杂, 难以统计分析, 而天空、道路两类“虚”景观元素在视野中所占面积最多。为此, 本文选择天空与道路这类“虚”景观元素作为其主要量化目标进行分析研究。

有学者<sup>[25]</sup>曾提出天空可视比(天空所占视野面积)与天际线比例是量化其视域开阔程度的重要指标, 而后有学者<sup>[26]</sup>指出, 没有被遮挡的地面也应是影响开敞度的指标之一。因此, 结合以往道路景观空间开敞度的研究和实际得到的案例视野照片进行分析, 决定采取以下三个指标共同说明本研究中公路景观空间开敞度应如何量化。

1) 天空可视比。天空作为公路景观空间中的顶界面, 其透明无遮挡, 给观者一种深远广阔的感觉。在人眼视野中, 天空面积与驾乘人员的舒适程度有着直接关系<sup>[25]</sup>。天空面积与视野面积存在比例关系, 其影响着人眼对公路景观空间开敞度的评价。人眼所视天空面积越大, 表明公路景观空间开敞度越高, 其具体计算公式如下:

$$S_v = \frac{A_s}{A_v} \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中,  $S_v$ 表示天空可视比;  $A_s$ 表示视觉空间中天空面积;  $A_v$ 表示整个视野面积。

2) 天际线比例。公路景观中的天际线是指地物

要素与景观地形以天空为背景的连续画面, 是空间中三维景观元素叠加而成的二维视觉平面景观。天际线比例对驾乘人员的观测距离和观测范围有一定影响, 其值越高, 驾乘人员的视野范围越广, 视域也就越开阔<sup>[25]</sup>。

$$S_L = \frac{W_s}{W_v} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中,  $S_L$ 表示天际线比例;  $W_s$ 表示视觉空间中天际线的最大宽度;  $W_v$ 则表示整个视野的最大宽度。

3) 道路比例。与天空性质相似, 在公路景观空间中, 公路路面平坦顺畅, 使人产生一种“空”的感觉, 也是影响空间开敞度的另一要素。道路比例越高, 表明空间开敞度越高<sup>[26]</sup>。

$$R_o = \frac{A_R}{A_v} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中,  $R_o$ 表示道路比例;  $A_R$ 表示视觉空间中的道路总面积;  $A_v$ 表示整个视野面积。

在确定与空间开敞度相关的三个二级指标的量化公式后, 需确定各指标的权重。本研究采用在风景园林景观评价中使用较多的熵值赋权法来对各指标进行权重赋值, 其原理是利用各指标数据变化的差异性来判别各指标权重<sup>[25]</sup>。在获取各指标的权重后, 便可得到最终的空间开敞度, 量化公式如下:

$$O = \sum_{i=1}^m W_i X_{ij} \quad (6)$$

式(6)中,  $O$ 表示空间开敞度的具体数值;  $W_i$ 表示第*i*各指标的权重;  $X_{ij}$ 表示第*j*个观测点的第*i*个评价指标的具体数值;  $m$ 指的是评价指标数量, 在本文中  $m=1, 2, 3$ 。

3.3.4 空间形态指数

公路景观是动态三维空间景观,其立面景观的节奏与序列差异通常表现在具体的立面景观轮廓变化中,而空间形态指数即是对作为围合界面、拥有复杂外轮廓线的立面景观量化参数,反映了视觉空间中公路景观外观的复杂程度。在景观形态研究中,形态指数是景观形态分维数测算指标之一,通过测算某一景观形状与相同面积的圆或正方形之间的偏离程度来表征景观形状复杂程度<sup>[27]</sup>,其具体计算公式如下:

$$M = 0.25 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \tag{7}$$

式(7)中,  $M$  表示空间形态指数;  $P$  表示此视觉空间中,作为围合界面的立面景观的轮廓周长;  $A$  则表示立面景观的面积。

3.3.5 空间信息熵

在景观特征分析中可借助“熵”值来描述景观形态信息量<sup>[27-28]</sup>,在本研究中,提出空间信息熵这一空间参数来量化公路视觉空间中景观形态所含的信息量,其值越高,说明该空间中信息量越大,景观元素(细节)种类越丰富、数量越多,其具体计算公式如下:

$$D = \frac{N}{(P_1N) \times (P_2N) \times \dots \times (P_kN)} \tag{8}$$

$$S = K^* \ln D \tag{9}$$

式(8)中,  $D$  表示概率;  $N$  表示公路景观空间中各实体景观各种景观元素种类及其数量,包括分隔带、路灯、标识牌等的数量总和;而  $P_1、P_2 \dots P_k$  表示每一类元素数量占总元素数量的百分比。已知信息熵( $S$ )与概率( $D$ )的自然对数成正比关系<sup>[28]</sup>,故空间信息熵的量化公式,见式(9),其中,  $K^*$  为常数,在本研究中不考虑热力学单位,只取其数值  $1.38 \times 10^{-6}$  计算。

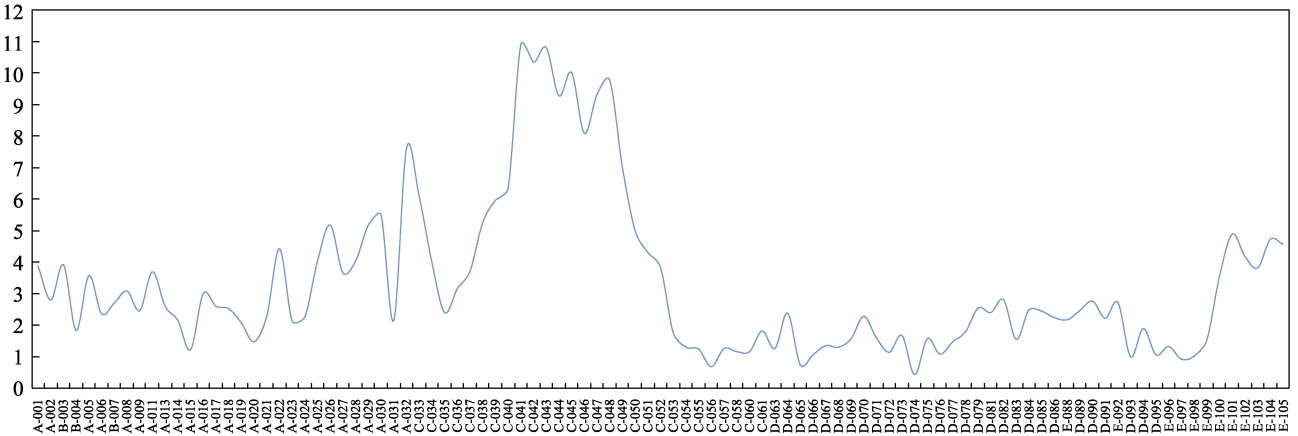
4 公路视觉景观评价结果与分析

4.1 可视率结果与分析

基于 GIS 空间分析平台,选择路域 3 km 作为可视率的分析范围,利用 196 张人眼视野范围照片拍摄点的地理坐标信息,结合调研区数字高程模型,绘制出 196 张可视域结果二制图,然后利用公式(1)计算出各拍摄点的可视率数值。

依据思小美丽公路的可视率变化折线图(见图5)可看出无论是自思茅驶向勐养,还是自勐养驶向思茅,普文镇(编号 C 与 c)路域皆有最高的可视率。综合其路域两侧高程图(见图6)来看,思小美丽公

可视率变化折线图(思茅→勐养方向)



可视率变化折线图(勐养→思茅方向)

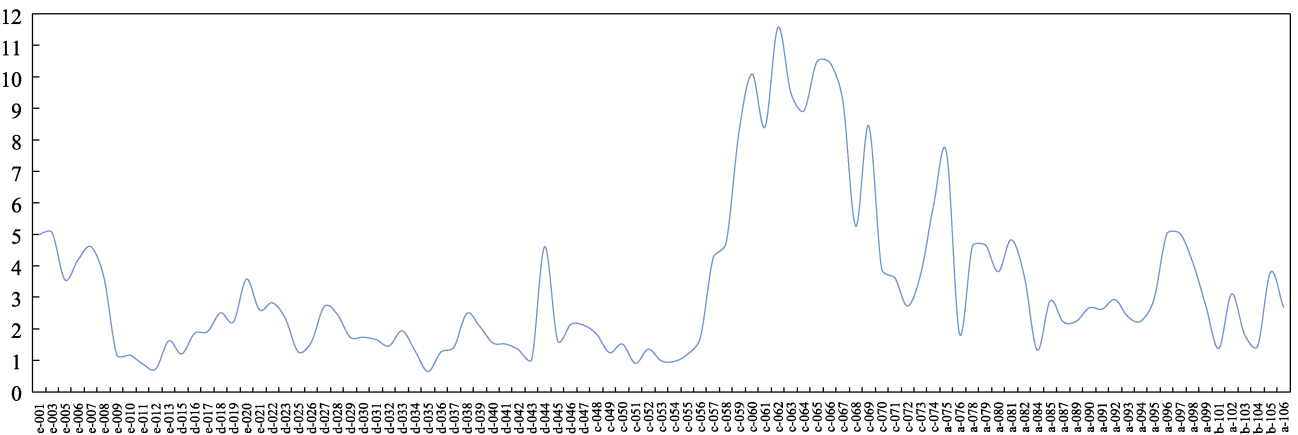


图5 思小美丽公路可视率变化折线图

Fig.5 Line chart of visibility value change of Si-Xiao Expressway

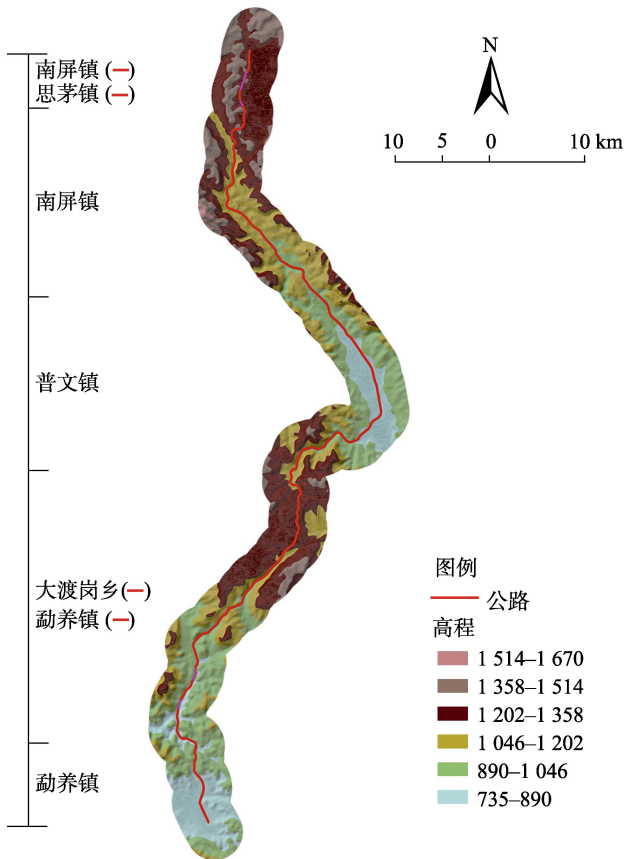


图 6 思小美丽公路路域高程图  
Fig.6 Elevation map of road area of Si-Xiao Expressway

路在普文镇区域的高程范围相对来说最低且地形变化较少, 高程范围由近及远主要集中在 735—890、890—1 046 两个等级之间。另外, 约有 2/3 的路段处于平坦的坝子之中, 其余 1/3 路段则位于密林峡谷中。因此, 普文镇不仅拥有良好的通视情况, 而且拥有两种截然不同的景观视域空间, 可在此合理增设观景台位置, 既可欣赏到形态各异的群山, 也可远眺安静美好的小城景色, 营造出视觉空间多变的驾车趣味。

#### 4.2 绿视率结果与分析

基于 Photoshop 图像处理软件, 对 196 张人眼视野范围照片进行目视解译, 同时利用公式 (2) 对其绿视率进行测算, 得出各个照片的详细数据。

研究发现, 思小美丽公路绿视率变化较大, 数值起伏明显, 在研究范围内整体呈现出以大渡岗乡为中心, 向南、北方向放射状降低的地域空间特征。结合思小美丽公路卫星图与所摄照片进行分析 (见图 7), 位于大渡岗乡 (如 D-073)、勐养镇 (如 e-009) 的公路中, 约有 2/3 的路程穿过茂密的雨林, 其中乔木林立, 灌木茂盛, 再加上公路自身系统的绿化美化, 因此造就了最高的绿视率; 经过普文镇 (如 C-045) 的高速公路中约有一半的里程位于平坦宽阔的村镇区域, 这一部分路域两侧农田广布, 有时能近观村寨房屋林立, 因此在驾乘人员视野范围空间内, 植物仅以公路自身绿化为主, 自然绿视率相对较低。南屏镇 (如

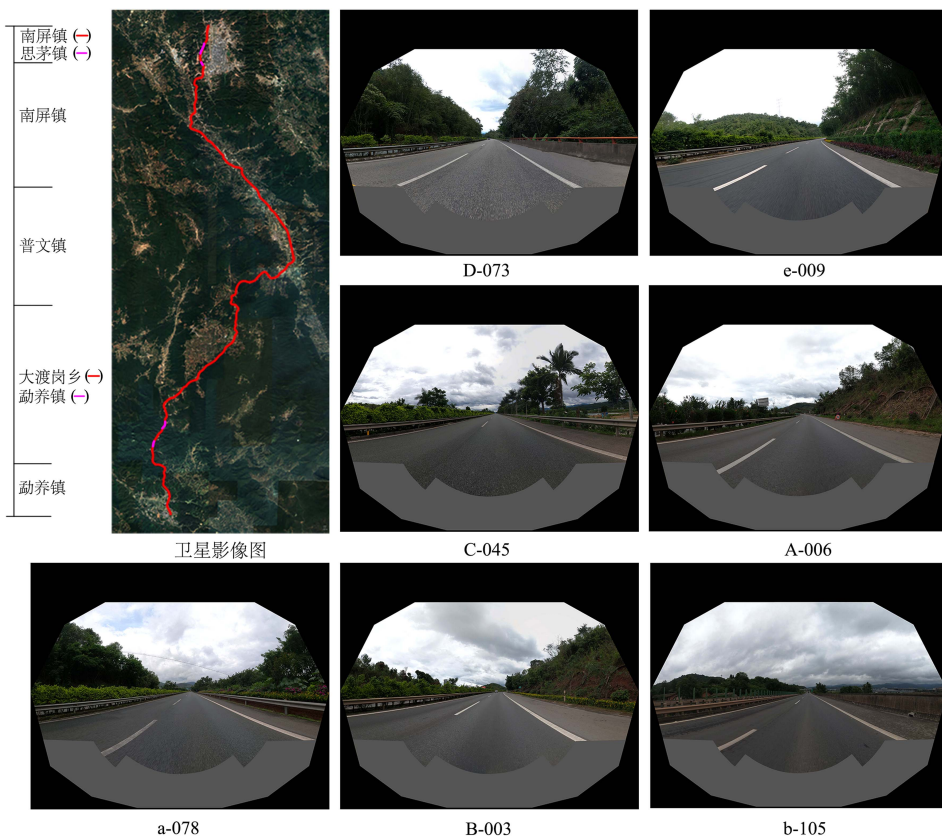


图 7 思小美丽公路卫星影像图与所摄照片  
Fig.7 Satellite image of Si-Xiao Expressway and photos taken



A-006)已较为靠近普洱市区,半自然景观特征明显,所以其整体绿视率均值偏低。思茅镇(如b-105)是普洱市委、市政府所在地,商业化严重,其整体绿视率均值最低。思小美丽公路始于普洱市思茅,但在思茅区北部路段的植物配植略显生硬,且较多区域的灌木生长不佳,作为驶入“国家森林城市”——景洪市的首要路段,此区域的公路植物景观显然未开启令人期待的“热带雨林公路”序幕。因此,在公路绿化美化工程启动时应加强此区域植物配置搭配组合,及时削弱人工商业痕迹,积极提升、完善“生态旅游公路”“美丽公路”的旅游形象。

### 4.3 空间开敞度结果与分析

#### 4.3.1 空间开敞度相关指标权重计算结果

基于196张人眼视野范围照片,利用公式(3)——(5)测算每一张照片中的天空可视比、天际线比例与道路比例三个指标,得出原始基础数据;然后将其导入SPSS进行标准化处理,其目的是使原始基础数据取得相同的量纲和数量级;其次对其进行熵的计算以便确定各指标的权重。结果如表3所示,其中,天际线比例指标权重(52.21%)最高,天空可视比指标

权重(44.89%)次之,道路比例指标权重(2.90%)最低。在统计分析过程中,各相关指标数值的相对差异程度代表了其自身对空间开敞度的影响程度。天际线比例与天空可视比指标权重较高,在一定程度上,表明了196个拍摄点在天际线比例与天空可视比方面相对差异程度较大;道路比例指标权重最低,说明了196个拍摄点在道路比例上的相对差异程度小,导致了其对空间开敞度所起的作用也最小。

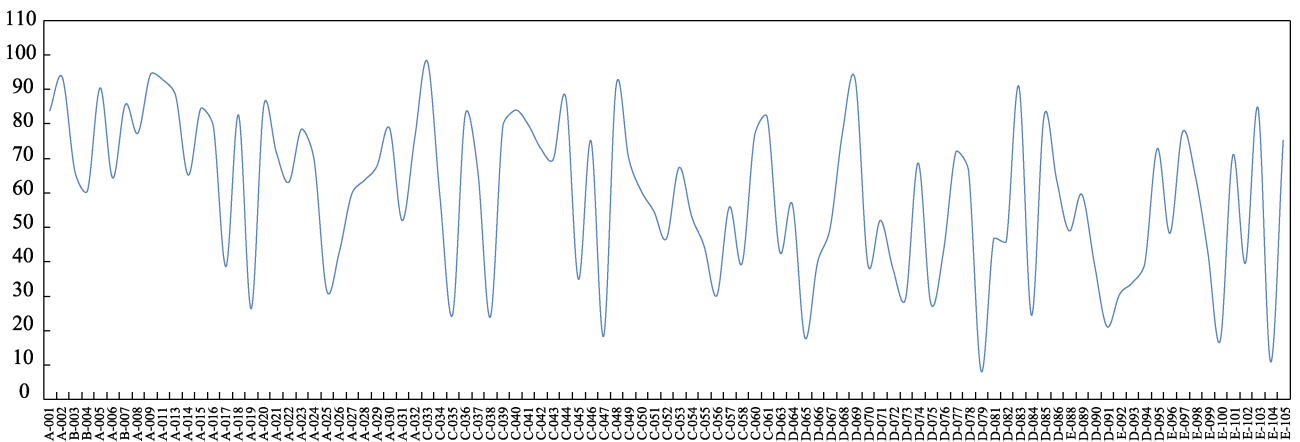
表3 熵值法计算权重结果汇总表  
Tab.3 Summary of weight results calculated by entropy method

项(相关指标)	信息熵值	信息效用值	权重/%
天空可视比	0.9819	0.018 1	44.89
天际线比例	0.9790	0.021 0	52.21
道路比例	0.9988	0.001 2	2.90

#### 4.3.2 空间开敞度计算结果与分析

结合各指标权重值,同时利用公式(6)计算出思小美丽公路中各个拍摄点的空间开敞度。图8是思小美丽公路的空间开敞度变化折线图,图9是其所涉

空间开敞度变化折线图(思茅→勐养方向)



空间开敞度变化折线图(勐养→思茅方向)

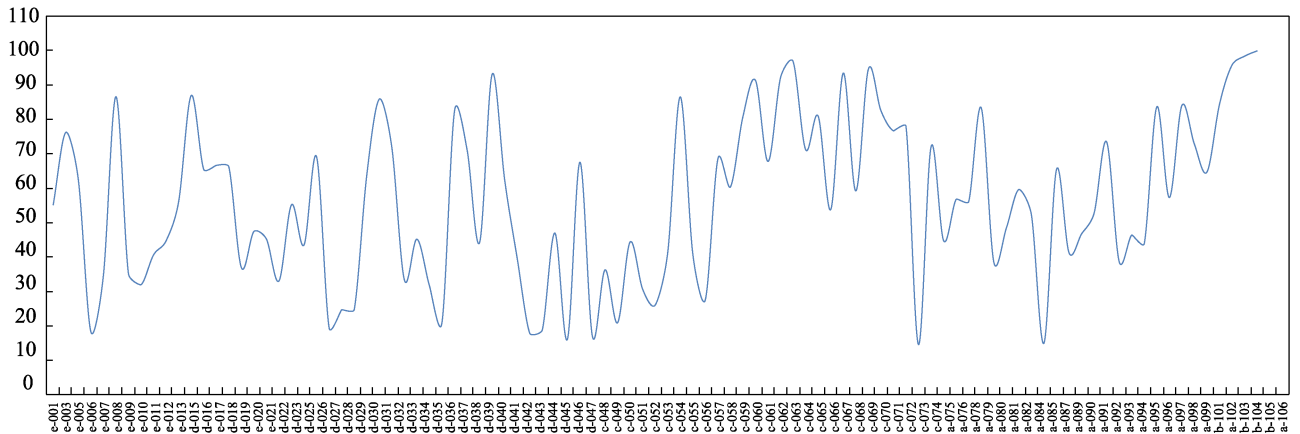


图8 思小高速公路空间开敞度数值变化折线图

Fig.8 Line chart of space openness value change of Si-Xiao Expressway

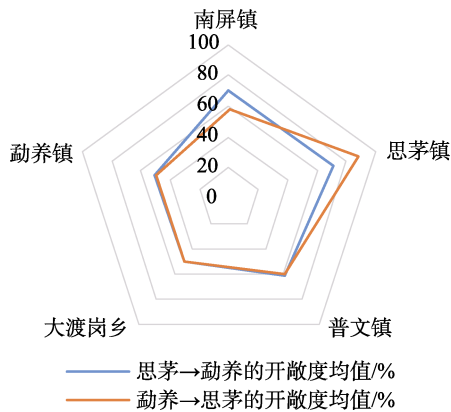


图 9 思小高速公路所涉及乡镇的开敞度均值雷达图  
Fig.9 Radar chart of space openness average of villages and towns involved in Si-Xiao Expressway

及乡镇的开敞度均值雷达图。从折线图来看,公路全程的开敞度变化较为剧烈,最高值与最小值相差甚至达到 91.72%。从各乡镇空间开敞度的均值情况来看,勐养镇与大渡岗乡排名最低近乎持平,稍高一点的是普文镇,此三乡镇往返两程的空间开敞度均值也几乎相同。而思茅镇的空间开敞度均值大于南屏镇的空间开敞度均值。整体来看,自思茅至南屏、普文,再到大渡岗乡和勐养镇,思小美丽公路的空间开敞度均值呈现出一种递减趋势。思茅镇境内的公路里程相对而言最短,亦最靠近城区,路域东侧大面积的农田为驾乘人员提供了充足的视觉开敞空间;驶入南屏镇,路域两侧地形平坦,目光所及近处大部分为农田与村寨,尽管时有起伏的山丘,但总体上仍有较多处开敞明朗的视觉空间;景洪市的普文镇、大渡岗乡与勐养镇雨林众多,公路借其自然环境地理优势,充分尊重路域山水草木,在保留每处植物的同时为驾乘人员营造出众多安静、幽美的视觉空间,体现出雨林公路的特质。同时,因普文镇境内公路约有 2/3 的路程位于平坦的坝子地带,因此,其空间开敞度略高于大渡岗乡与勐养镇。

#### 4.4 空间形态指数结果与分析

基于 Photoshop 图像处理软件与 Python 语言环境的 OpenCV 库,分别测算出立面景观的面积与周长,然后利用公式(7)计算出 196 张人眼视野范围照片中空间形态指数的详细数据。研究发现,自思茅驶向勐养时,公路空间形态指数的总值更大,同时,各数据个体的离散程度更大,即在此方向上,公路景观空间中的景观形状更加复杂,线条更加多变。此外,思茅镇空间形态指数的均值最高,其次是普文镇、南屏镇,大渡岗乡与勐养镇则排在末位,其数值几乎持平。

为进一步分析思小美丽公路景观的空间形态特征,本研究以 1.00 为基准,在去除空间形态指数最大值与最小值之后(减少由极端值造成的误差),将表 4 中空间形态指数详细数值划分为 7 个区间段,并

得出每个区间段所涉及照片个数占总照片个数的百分比。可发现在思小美丽公路上,空间形态指数数值主要集中在 5.01~6.00 和 4.00~5.00,其百分比分别达到了 38.14%和 29.90%;其次集中在 6.01~7.00,其百分比为 18.56%;在 7.01~8.00 和 8.01~9.00 分布相差不大,其百分比分别为 5.67%与 4.12%;然后在 9.01~10.00 分布较少,占 2.58%;在 10.01~11.00 分布的空间形态指数最少,仅为 1.03%。由此组数据可得出,思小美丽公路空间形态指数的高密度分布区间主要在 4.00~6.00。另外,表 3 中的代表性图片选取的是相对应区间内的、空间形态指数在此区间段内最中间的一张经 PS 处理后的立面景观图片,从上至下空间形态指数具体数值为 4.74、5.34、6.27、7.68、8.27、9.29 与 10.27。由此发现,随着空间形态指数的增大,景观外轮廓形状越复杂,整体视觉空间由完整趋于零碎。

表 4 思小美丽公路空间形态指数分布  
Tab.4 Spatial shape index distribution of Si-Xiao Expressway

空间形态指数数值区间段	拍摄点个数	百分比/%	代表性图片
4.00 ≤ 数值 ≤ 5.00	58	29.90	
5.00 < 数值 ≤ 6.00	74	38.14	
6.00 < 数值 ≤ 7.00	36	18.56	
7.00 < 数值 ≤ 8.00	11	5.67	
8.00 < 数值 ≤ 9.00	8	4.12	
9.00 < 数值 ≤ 10.00	5	2.58	
10.00 < 数值 ≤ 11.00	2	1.03	

#### 4.5 空间信息熵结果与分析

对 196 张人眼视野范围照片与沿途所录制视频进行目视解译,统计各类型景观元素实际数量,并代

入公式(8) — (9) 分别进行概率与空间信息熵的计算。

在5个乡镇中,自思茅驶向勐养时所测算的空间信息熵数值皆大于自勐养驶向思茅时的空间信息熵数值。另外,南屏镇与思茅镇拥有最高的空间信息熵均值,且两者数据接近;其次是普文镇与勐养镇,两者数据相差不大,而大渡岗乡则排在末位(见图10)。空间信息熵表示的是此视觉空间内,景观元素的数量、种类的多样性与丰富度<sup>[28]</sup>。景观哲学认为,信息熵作为流通于景观空间中的能量,能通过人眼视觉的吸收、感受转化为饱含情趣、安全、兴奋等积极感性参数的“情感熵”<sup>[27]</sup>。因此,信息熵的高低与此空间对人眼视觉的吸引程度息息相关<sup>[28]</sup>。也就是说,南屏镇与思茅镇的景观元素最多,人眼所要处理的信息也更多,对驾乘人员的视觉吸引程度也最强;而大渡岗乡的景观元素类型最少,人眼要处理的信息更少,相对而言驾乘人员在其中会得到平静且淡然的心理感受。

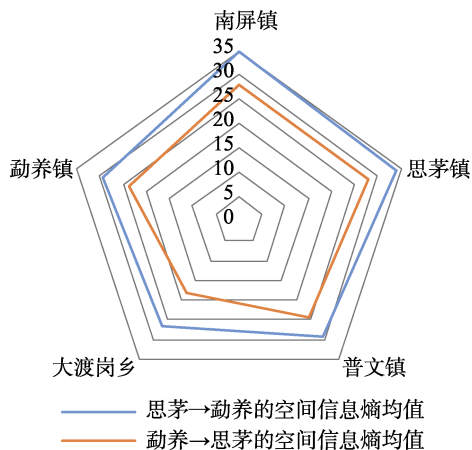


图10 空间信息熵均值雷达图  
Fig.10 Radar chart of spatial information entropy average of villages and towns

#### 4.6 综合评价分析

利用SPSS软件对测算出的5个空间参数详细数值进行相关性分析,以便理解各参数间的相互关系。研究发现,空间参数之间是环环相扣、有连锁效应的关系,其在一方面得到明显改善后,另一方面也会发生相应的变化。具体表现为:可视率与空间形态指数之间有显著的、最强的正相关关系;绿视率与空间开敞度之间有显著的、最强的负相关关系,与可视率之间有显著的、最弱的负相关关系;空间开敞度、空间信息熵与空间形态指数之间分别有显著的、较强的正相关关系;空间形态指数、空间信息熵与绿视率之间分别有显著的、较强的负相关关系。这提醒在开展思小美丽公路美化绿化工程时,应注意方式方法,因地制宜地寻求相应规划方案,切忌“一刀切”的常规公路景观打造模式。

此外,为更好地解读思小美丽公路视觉景观空

间,基于测算出的可视率、绿视率、空间开敞度、空间形态指数与空间信息熵的详细数值信息,统计出其途径的5个乡镇的各空间参数均值(见表5),可发现各个乡镇呈现出极不均衡的空间参数结构。美丽公路的可持续发展建设,从来不是管辖单位的一个政策、一个文件便可实现的,其背后需要多元主体耦合互动共同献计献策,因此归纳出思小美丽公路途径的5个地段的视觉景观空间特点,更有利于因地制宜地展开后续道路景观规划、养护等行动。

表5 5个乡镇的空间参数均值汇总  
Tab.5 Summary of average spatial parameters of 5 towns

空间参数	南屏镇	思茅镇	普文镇	大渡岗乡	勐养镇
可视率/%	3.34	2.47	5.23	1.82	2.90
绿视率/%	19.62	14.02	21.17	24.17	23.07
空间开敞度/%	64.04	79.34	61.15	49.68	50.57
空间形态指数	5.96	6.67	6.43	5.19	5.34
空间信息熵	31.46	30.98	26.93	22.31	26.53

1) 思茅镇路段,该路段拥有最低的绿视率均值和最高的空间开敞度均值。因靠近普洱市城区,该区域商业建筑较多,人工气息浓郁,部分路段植物长势较差,尽管能为驾乘人员提供充足的开敞空间,但在某程度上也削弱了“热带雨林公路”的形象特征。因此,该路段需加强对植物的养护管理,丰富公路植物的配植组合,使全程绿视率保持在均衡的区间范围内,满足驾乘人员对雨林自然风光的期待。

2) 南屏镇路段,该路段拥有最高的空间信息熵均值。说明该区域路域景观丰富多样,但结合实际调研发现部分路段景观信息与公路定位并不统一。硕大、庞杂的广告牌与出现在多处的独栋现代化建筑不仅美感欠佳,且其传达的空间信息与区域形象、地域特色完全背道而驰。因此,此路段在今后美化绿化过程中应明晰景观空间所传达的最主要信息,摒弃或整改不和谐因素,使整个景观空间在符合公路自身定位的基础上能保持统一的情感传达。

3) 普文镇路段,该路段拥有最高的可视率。沿线坝子、高山、雨林,是重要的热带雨林风光过渡段。此区域驾乘人员通视情况良好、景观类型较多,另外,该路段自北向南地势逐渐升高,视觉空间丰富多变。因此,借可视率与空间开敞度等评价指标结果,可有效选择观景之位,提供给驾乘人员更多享受自然、领略美景的机会和空间,从而达到巧借自然之美,展现出车移景异的视觉效果。

4) 大渡岗乡路段,该区域拥有最高的绿视率均值和最低的空间形态指数均值。说明此路段沿线植物长势较好,树木浓郁隐蔽且具有较简单完整的外轮廓线条,形成了独具地域特色的热带雨林风光,是最能展现雨林公路景观特质的路段。在今后的美化绿化过程中应继续保持此路段的特色,加强色彩维护,凸显

雨林风光体验价值。

5) 勐养镇路段,各方面较为平均,但拥有较高的空间信息熵均值。与南屏镇情况相似,勐养镇在思小美丽公路的最南端,距离西双版纳傣族自治州政府所在地景洪市较近,随之距离的缩短,公路景观空间中人工设施也在逐渐增多,此区域的空间信息熵也表现为拥有较多与公路定位不一致的景观信息特征。因此,后期美化绿化工程应逐步消除本路段的不和谐景观信息,可提取、利用傣族文化符号来进行相应替换,突出地域人文特色。

## 5 结语

公路建设向线性旅游风景道路的转型与自驾游旅游业态的兴盛,致使各类型的驾乘人员已不仅满足于公路的安全、舒适、快速、便捷等基本要求,而且更加希望领略到独具地域特色的高品质美丽公路。本文从一种量化分析的角度提出了基于空间参数的美丽公路视觉景观评价方法,基于公路景观形式美价值标准及以往研究,选取可视率、绿视率、空间开敞度、空间形态指数与空间信息熵五个空间参数,对思小美丽公路视觉景观空间展开评价。根据评价结果,建议今后公路美化绿化工程应因地制宜,结合各空间参数具体数值展开相应规划设计,以此提高公路景观的观赏性,以及强化其激发游人兴趣、展现地方特色等功能。

本研究是基于动态驾车行驶下的公路视觉景观评价,目前学科领域内对动态观测评价景观空间的研究文献较少,评价体系还不太健全。本文仅是在相关方面进行初探讨,仍需今后大量研究进行理论支撑。同时期待在后续研究中,一方面,可利用计算机编程设计出基于空间参数的美丽公路视觉景观评价系统,并与仿真模拟技术相结合,实现美丽公路视觉景观评价的可视化处理。另一方面,可结合路学研究中对社会文化理论的关注,解读思小美丽公路景观空间建设与地方空间、权利、认同感知等的关系。

## 参考文献:

- [1] CLAY G R, SMIDT R K. Assessing the Validity and Reliability of Descriptor Variables Used in Scenic Highway Analysis[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 66(4): 239-255.
- [2] CHAMBERLAIN B C, MEITNER M J. A Route-Based Visibility Analysis for Landscape Management[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 111: 13-24.
- [3] KOŁODZIEJ A. Landscape Routes as an Infrastructural Core of Cultural Landscapes; Their Distinctive Role for the Character of Region[J]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 245: 1-8.
- [4] 王保忠,王保明,何平. 景观资源美学评价的理论与方法[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1733-1739. WANG Bao-zhong, WANG Bao-ming, HE Ping. Aesthetics Theory and Method of Landscape Resource Assessment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1733-1739.
- [5] 韩君伟. 步行街道景观视觉评价研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018. HAN Jun-wei. A Visual Evaluation Study for Walking Streetscape[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [6] SEZEN I, YILMAZ S. Visual Assessment for the Evaluation of Erzurum- Bayburt-of Highway as Scenic Road[J]. *Scientific Research and Essays*, 2010, 5(4): 366-377.
- [7] JIANG Li-ke, KANG Jian, SCHROTH O. Prediction of the Visual Impact of Motorways Using GIS[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2015, 55: 229-232.
- [8] 徐斌,董海燕,沈建华. 高速公路沿线自然景观评价方法的构建[J]. *中国园林*, 2011, 27(3): 69-72. XU Bin, DONG Hai-yan, SHEN Jian-hua. Establishment of the Evaluation of Natural Landscape along Highway[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2011, 27(3): 69-72.
- [9] 周雄飞. 湘西旅游公路景观资源利用研究[J]. *公路工程*, 2020, 45(3): 223-228. ZHOU Xiong-fei. Study on Utilization of Landscape Resources of Xiangxi Tourism Highway[J]. *Highway Engineering*, 2020, 45(3): 223-228.
- [10] 程逸楠,苏光,秦晓春,等. 基于景观生态学的旅游公路路域景观现状与生态敏感性研究[J]. *中国园林*, 2020, 36(1): 113-117. CHENG Yi-nan, SU Guang, QIN Xiao-chun, et al. Study on Landscape Status and Ecological Sensitivity of Tourism Highway Roads Based on Landscape Ecology[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2020, 36(1): 113-117.
- [11] 袁旻洋. 基于耦合原理的参数化风景园林规划设计机制研究[D]. 南京: 东南大学, 2016. YUAN Yang-yang. Research on Parametric Landscape Planning and Design Mechanism Based on Coupling Theory[D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [12] 中国高速网. “美丽高速行”推荐路线: 思小美丽公路[EB/OL]. (2016-07-09)[2019-12-15]. <http://news.cngaosu.com/wenhua/whdt/2016/07/51640.html>. China High Speed Network. Recommended route of "Meili Expressway": Sixiao Meili Highway[EB/OL]. (2016-07-09)[2019-12-15]. <http://news.cngaosu.com/wenhua/whdt/2016/07/51640.html>.
- [13] 哔哩哔哩. 思小美丽公路[EB/OL]. (2020-05-11)[2020-06-19]. <https://www.bilibili.com/video/BV1tt4y117f8?from=search&seid=11501070618960303670>. Bilibili. Sixiaomei Highway[EB/OL]. (2020-05-11)[2020-06-19]. <https://www.bilibili.com/video/BV1tt4y117f8?from=search&seid=11501070618960303670>.



- from= search& seid= 11501070618960303670.
- [14] 国家技术监督局. 人类工效学——视觉信息作业基础术语: GB/T12984—91[S]. 北京: 国家技术监督局, 1991: 20.  
The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Ergonomics: Basic Terms of Visual Information Operation: GB/T12984—91[S]. Beijing: The State Bureau of Quality and Technical Supervision, 1991: 20.
- [15] 葛坚, 王宁利, 黎晓新, 等. 眼科学: 第3版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 644. GE Jian, WANG Ning-li, LI Xiao-xin, et al. Ophthalmology (3rd Edition)[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2015: 644.
- [16] 周清. 质地理论——一种关于视知觉的心理物理理论[J]. 生物化学与生物物理进展, 1988, 15(4): 242-247. ZHOU Qing. Texture Theory—a Psychophysical Theory About Visual Perception[J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1988, 15(4): 242-247.
- [17] 薛熙明. 道路社会文化研究: 基于路学与流动性的思考[J]. 人文地理, 2020, 35(5): 1-7.  
XUE Xi-ming. The Socio-Cultural Research on Road: Based on the Thinking of Roadology and Mobility[J]. Human Geography, 2020, 35(5): 1-7.
- [18] 刘滨谊, 范榕. 景观空间视觉吸引要素及其机制研究[J]. 中国园林, 2013, 29(5): 5-10.  
LIU Bin-yi, FAN Rong. Research on Visual Attraction Elements and Mechanism of Landscape Space[J]. Chinese Landscape Architecture, 2013, 29(5): 5-10.
- [19] 肖健. 滨水景观走廊空间指数分析方法研究——以空间开敞度和干扰度指数分析为例[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.  
XIAO Jian. A Study on Analysis Method of Spatial Index of Waterfront Landscape Corridors: Take Index Analysis of Spatial Openness and Spatial Interference for Example[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [20] 汤振兴. 高速公路与沿线景观协调性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.  
TANG Zhen-xing. Research on Harmony between Expressway and Landscape along the Route[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [21] 冯志慧. 基于驾驶员认知特征和视觉特性的高速公路景观设计方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.  
FENG Zhi-hui. Study on Freeway Landscape Design Method Based on Drivers' Cognitive and Visual Characteristics[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [22] 秦晓春. 公路景观评价的感知理论与方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2008.  
QIN Xiao-chun. Study in Perception Theory and Method of Highway Landscape Assessment[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2008.
- [23] 郑凌予, 蒲海霞, 江泽平. 基于绿视率的城市公园空间满意度调查研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(4): 199-204.  
ZHENG Ling-yu, PU Hai-xia, JIANG Ze-ping. A Study on Spatial Satisfaction of Urban Parks Based on Visible Green Index[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2020, 44(4): 199-204.
- [24] 李明霞. 基于绿视率的城市街道步行空间绿量视觉评估——以北京市轴线为例[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2018.  
LI Ming-xia. Visual Evaluation of Green Quantity In-walking Space of City Street Based on Green Visual Rate—a Case Study of Beijing Axis[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2018.
- [25] 李雪莹, 齐童, 刘传安, 等. 绿道景观美学质量分析模型研究——以北京三山五园绿道为实证对象[J]. 现代城市研究, 2018, 33(4): 45-55.  
LI Xue-ying, QI Tong, LIU Chua-nan, et al. The Research on Analysis Model of Landscape Aesthetics Quality: A Case of Three Hills and Five Gardens Greenway in Beijing[J]. Modern Urban Research, 2018, 33(4): 45-55.
- [26] 张成明. 景观空间开敞度的量化[J]. 中国园林, 2019, 35(1): 102-106.  
ZHANG Cheng-ming. Quantification of Landscape Space Openness[J]. Chinese Landscape Architecture, 2019, 35(1): 102-106.
- [27] 季宪. 中东铁路干线铁路遗产景观形态特征研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.  
JI Xian. Research on Morphological Characteristics of Railway Heritage Landscape of the Trunk Chinese Eastern Railway[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [28] 王紫雯, 吴赛男, 李琼. 城市休闲场所的空间魅力与景观特征的量化研究——以杭州六公园“湖畔居”露天茶馆为例[J]. 建筑学报, 2010(S1): 22-27.  
WANG Zi-wen, WU Sai-nan, LI Qiong. The Research on the Application of Landscape Character Quantification Indexes for Measuring Spatial Attractions of Urban Leisure Places: a Case Study on the Hupanju Tea Yard in the Lakeside Area of Hangzhou[J]. Architectural Journal, 2010(S1): 22-27.

责任编辑: 陈作