

基于计算机视觉感知的绍兴古桥美景度研究

俞越¹, 董 或¹, 朱娉婷², 温日琨²

(1. 绍兴市城乡规划建设管理中心, 浙江 绍兴 312000; 2. 浙江农林大学风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

摘 要: 绍兴古桥是大运河文化遗产的重要载体之一, 其景观美学价值亟待科学评估与保护。为系统探究绍兴古桥美景度的视觉形成机制, 选取具有代表性的绍兴迎恩桥、玉龙桥、百花桥与新桥作为研究对象, 通过量化分析4座桥梁的色彩特征、天际线变化指数与空间虚实比, 阐释影响绍兴古桥美景度和景观风貌的关键视觉要素。结果显示: 迎恩桥和百花桥在色彩协调、天际线韵律和空间虚实关系方面都优于玉龙桥和新桥。这一结论说明, 桥梁景观的美学品质源于色彩、天际线变化与空间虚实关系的协同作用, 而非单一视觉要素的凸显。美景度较高的古桥普遍具有色彩稳定性强、饱和度适中偏高(S 为50~110)、动态范围宽广的特点; 其天际线富有韵律感, 整体天际线变化指数为100~150; 景观空间以虚体元素为主导, 虚实比维持在1:1~5:2。

关键词: 绍兴古桥; 桥梁美景度; 色彩; 天际线; 虚实比; 计算机视觉感知

中图分类号: TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)05-0063-07

Research on Scenic Beauty of Shaoxing Ancient Bridge Based on Computer Vision Perception

YU Yue¹, DONG Yu¹, ZHU Pingting², WEN Rikun²

(1. Shaoxing Urban and Rural Planning and Management Center, Shaoxing 312000, China; 2. Zhejiang College of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: As important carriers of the Grand Canal cultural heritage, the ancient bridges of Shaoxing possess the landscape aesthetic values that urgently require scientific evaluation and protection. To systematically explore the visual formation mechanism of ancient bridge aesthetics in Shaoxing, the representative bridges including Yingen Bridge, Yulong Bridge, Baihua Bridge and Xinqiao Bridge are selected as study subjects. By quantitatively analyzing the color characteristics, skyline change index and spatial virtual-real ratio of four bridges, the key visual elements affecting the beauty and landscape style of the bridges are explained. The results indicate that Yingen Bridge and Baihua Bridge outperform Yulong Bridge and Xinqiao Bridge in terms of color coordination, skyline rhythm and the relationship between the real and the virtual in space. The conclusion shows that the aesthetic quality of bridge landscapes stems from the synergistic effect of color, skyline changes and the relationship between virtual and real spaces, rather than the highlighting of a single visual element. Ancient bridges with high aesthetic appeal generally exhibit strong color stability, moderate saturation (S ranging from 50 to 110), and a wide dynamic range. The skyline contours display rhythmic patterns, with overall skyline change indices ranging between 100 and 150. And in the landscape space, the void elements dominate and the ratio of virtual to real is maintained at 1:1 to 5:2.

Keywords: ancient bridges in Shaoxing; beautiful scenery of bridge; color; skyline; ratio of virtual to real; computer vision perception

0 引 言

绍兴古桥作为中国大运河文化遗产的核心载体, 承载着千年水乡的物质记忆与精神传承。其凭借独特的造型、材质与色彩, 与周边的自然水系、建筑及人文环境相得益彰, 共同营造出宁静、典雅且富有诗意的景观氛围。古桥景观所蕴含的韵律感与空间层次感, 充分展现出江南水乡独有的婉约之美。这不仅是对中国传统美学中自然与人文和谐共生理

收稿日期: 2025-09-24

基金项目: 绍兴市桥梁风貌提升专项研究项目(2024ZJ239-201-001)

作者简介: 俞越(1980—), 男, 学士, 高级工程师, 从事规划编制管理工作。

通信作者: 温日琨(1976—), 女, 博士, 副教授、硕士生导师, 从事建筑与环境、风景园林的生态化与数字化、风景园林遗产研究工作。电子信箱: wenrk@zafu.edu.cn

念的生动诠释,还为人们带来极高的审美享受。

关于古桥景观的研究,国内外学者已展开多维度探索,并形成了一系列成果。贾世桢等^[1]依托圆明园《四十景图》和清代“样式雷”图档,系统梳理了圆明园中古桥景观的造景要素和具体类别,为古典园林古桥景观的现代传承、设计及相关研究提供了参考。Juliya N等^[2]提出采用量化方法来评估古桥景观的美学价值,并结合视频生态学原理,优化古桥与视觉环境的互动关系,为技术驱动的美学设计提供了新思路。综合来看,当前国内古桥景观研究多聚焦于历史脉络的梳理与景观要素的定性分析,其量化研究相对较少。在美景度研究中,胡桢等^[3]通过层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP),构建美景度评价体系,并结合专家打分,对植物景观美景度进行量化分析。黎俊仪等^[4]运用虚拟现实技术,结合问卷访谈,获取公众的审美评价,并利用图像语义分割技术,实现要素的量化分解。该领域主要是采用层次分析法、美景度评价法(Scenic Beauty Estimation, SBE)和语义差别法(Semantic Differential Method, SD)等进行美景度评价研究。

数字化的发展,对客观环境的认知提出了新要求。利用计算机视觉来量化分析景观图像的方法,如语义分割和色彩量化,逐渐在景观研究领域得到广泛应用。例如,马薛骑等^[5]从网络照片数据反映的景观意象特征和感知偏好角度,提出通过 Google Cloud Vision 提供的在线机器学习算法,分析公众对景观意象的感知特征,为利用图像大数据识别景观偏好的相关研究提供了思路。Shen 等^[6]对植物群落的色彩特征进行研究,并根据 Moon-Spencer 的色彩调和理论,定量评价植物群落与外部环境的色彩调和程度与适宜程度。

当前,桥梁美景度评价主要依赖专家描述、问卷调查等主观方法,缺乏对视觉特征与空间关联的客观量化分析。为此,计算机辅助技术提供了一种新的思路,但相关研究稍显不足。因此,本文以绍兴古桥为研究对象,通过实地踏勘与影像采集,采用多维量化方法,结合风景园林与桥梁景观美学理论,分析其景观风貌现状,并从色彩协调、天际线韵律、空间虚实关系等方面指出其景观风貌存在的问题,以期桥梁景观优化提供科学支撑,促进桥梁与城市风貌的有机融合。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象选取与图像数据采集

本术选取绍兴古桥中的迎恩桥、玉龙桥、百花桥

与新桥作为代表性的研究对象。这4座古桥具备非常高的历史与文化价值,是绍兴水乡风貌的杰出代表。迎恩桥与玉龙桥属单孔拱桥(见图1),百花桥与新桥则为3孔拱桥,研究对象有效涵盖了绍兴古桥中具有代表性的拱桥形式。4座古桥均坐落于绍兴越城区古城风貌保护核心区域,并处于相似的自然与人文环境中,保证了桥梁景观美学评价在同一基准下进行,从而增强了研究成果的科学性与实践指导意义。



图1 绍兴古桥研究对象

本研究中的桥梁图像数据来源于实地拍摄。针对4座样本桥梁,本研究分别采集桥梁整体、上游与下游3个视角的图像。为保障研究数据的准确性与可比性,在拍摄桥梁整体景观风貌时,研究人员将设备高度固定为1.5 m,并始终保持26 mm焦距、 $f/1.8 \sim f/2.4$ 光圈、 $1/200 \sim 1/100$ 快门速度,以及100~200感光度,从而确保所有照片在构图、景深和清晰度上一致。桥梁整体风貌照片的拍摄立足点按照拍摄距离与桥梁跨度的比例1:2确定,允许 $\pm 1 \sim 2$ m的微调,从而保证取景完整且景观要素齐全。在拍摄桥梁上游和下游的景观风貌时,研究人员将相机置于桥梁正中心位置进行拍摄。此外,所有图像均为日间晴朗天气下采集,从而最大限度地减少光照变化对色彩特征的干扰,提高色彩量化的准确性与样本的可比性。

1.2 数据分析方法

1.2.1 色彩特征数据采集与分析

本研究采用HSV(色相Hue、饱和度Saturation、亮度Value)颜色空间定量分析方法,首先将研究对象的图像进行预处理^[7](见图2),消除光线差异带来的基础参数偏差,包括曝光不均、白平衡偏移等;然后在HSV颜色空间中提取色相(H)、饱和度(S)和亮度(V)3个主要参数;最后通过均值与标准差分析以及

直方图分析,对这些数据进行处理与解读。

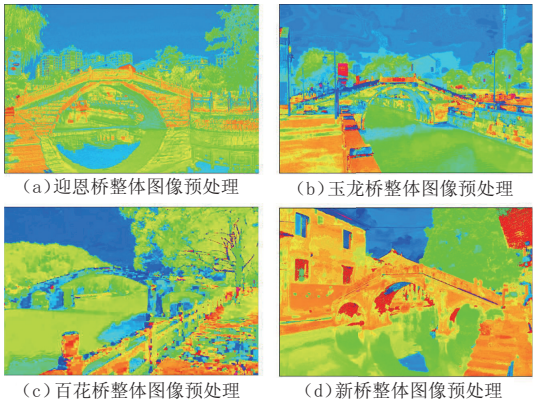


图 2 桥梁图像预处理为 HSV 颜色空间

1.2.2 天际线变化指数计算

韩君伟等^[8]在天际线量化研究中,将沿街各建筑顶部轮廓线高度的标准差作为天际线变化指数。参照此量化方法,本研究将桥梁景观空间内天际线相对高度的标准差作为天际线变化指数。研究首先基于 Photoshop 平台,对照片中的桥梁景观天际线进行提取^[9];然后以照片底部为基准轴,建立二维坐标系,并将天际线矢量化坐标转换为相对高程值;最后提取桥梁轮廓关键节点的垂直坐标数据,并计算各时段点位高度的标准差,从而得到天际线变化指数。其数学表达^[8]如下:

$$H=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(H_i-\mu)^2}$$
 (1)

式中: H 为天际线变化指数; H_i 为相对高程; μ 为均值; N 为坐标点数量。

1.2.3 桥梁虚实比计算

在桥梁景观的二维构图中,虚实元素关系构成了视觉感知的基础。实体元素是指具有明确的形态和视觉质量的物质性构成要素,如山体、建筑、桥梁、植物和硬质环境。这些实体元素通过材质、体量和空间位置,成为景面中的视觉锚点和支撑。虚体元素包括具有通透特质且视觉轻盈的非物质形态部分^[10](见表 1)。虚体元素的作用在于模糊物质边界,通过弱化物质性,赋予景观更多的层次感与意境感,使得整个景面呈现“显与隐”“重与轻”的视觉对话。

本研究采用 SegFormer^[11]模型,对绍兴桥梁景观元素进行图像语义分割,并选取了 Cityscapes 数据集^[12]。研究通过语义分割技术,对 4 座桥梁样本在二维景面中的实体与虚体元素进行像素级分类。计算公式如下:

表 1 二维景面的虚实要素

实体要素	虚体要素
山体	水面
建筑	天空
植物	云朵
桥梁	倒影
硬质驳岸	空透空间

$$Y=y_e/P\times100\%$$
 (2)

$$X=x_e/P\times100\%$$
 (3)

$$Z=X/Y$$
 (4)

式中: Y 为实体元素占比; y_e 为实体像素数; P 为总像素数; X 为虚体元素占比; x_e 为虚体像素数; Z 为虚实比。

2 绍兴古桥美景度对比分析结果

2.1 桥梁景观色彩特征和意向表现

由图 3 可知,在色相(H)方面,单孔迎恩桥的 H 值主要集中于 40~100 区段。在整体直方图中, H 在 50 和 90 处出现双峰,像素数均在 50 万像素以上,且分布连续。在上游和下游取样直方图中, H 的峰值位置一致,说明其色彩表现稳定。而单孔玉龙桥的 H 值分布较为分散,在整体直方图中, H 在 30~40 区段和 100~110 区段出现不规则峰值,像素数最高接近 70 万像素。但在上游与下游取样直方图中, H 的峰值波动较大,部分峰值消失或偏移 10~20 个数值,表明玉龙桥的色彩表现随环境光线的变化而变化,稳定性不足。

在饱和度(S)方面,单孔迎恩桥的 S 值集中于 40~120 区段。在整体直方图中, S 在 60~90 区段附近出现明显峰值,在上游和下游取样直方图中, S 的峰值保持稳定,说明色彩饱和度中等偏高,层次感较强。单孔玉龙桥则表现出明显的低饱和度特征。在整体直方图中,在 0~40 区段, S 的峰值像素数超过 25 万像素,而中高饱和区($S>100$)的像素数不足 5 万。在上游和下游取样直方图中,玉龙桥的低饱和峰值仍然占据主导地位,但整体波动显著,表明其色彩容易显得灰淡、单一。

在亮度(V)方面,单孔迎恩桥的 V 值分布范围广,在 20~250 区段都有明显的像素分布。在整体直方图中, V 在 80~120 区段形成稳定峰值,在高亮段(230~250)仍有超过 10 万像素堆积,表明迎恩桥的亮暗层次均衡。在迎恩桥上游与下游取样直方图中, V 的动态范围依旧完整,视觉层次感稳定。而单孔玉龙桥的亮度分布更倾向于两极化。在整体直方

图中,低亮度段(40~60)的峰值超过9万像素,高亮度段(230~250)的峰值接近18万像素,但中间亮度段(120~180)无明显峰值。在上游与下游取样直方图中,这种“两头大、中间空”的趋势依然存在,导致画面虽然对比强烈,但层次感不足。

在图3所示的另一组桥梁对比中,在色相(H)方面,3孔百花桥的H值集中分布于40~110区段。H在50和100处分别呈现约55万像素与52万像素的均衡峰值。在上游和下游取样直方图中,H的峰值位置一致,说明其具有良好的色彩稳定性。相较之下,3孔新桥的H值虽然在100处的峰值高达75万~80万像素,但在上游和下游取样直方图中,峰值波动显著,部分峰值偏移10~20个数值,表明其色彩易受光照变化的影响。

在饱和度(S)方面,百花桥的S值集中于40~120区段。S在60~80区段与100~120区段分别具有10万~11万像素与6万~8万像素的峰值,层次丰富且分布稳定。而新桥的S值主要集中于0~50区段。S在20处的峰值超过30万像素。在上游和下游取样直方图中,S的峰值差异显著,部分下降过半,

画面易显灰淡。

在亮度(V)方面,百花桥的V值分布范围广,在80~120区段与高亮区段(240~250)均有明显的像素堆积,且动态范围完整,细节层次在不同光照下仍保持良好。新桥的V值则呈现明显的两极化分布,低亮度区段(40~60)与高亮度区段(230~250)分别具有9万像素与18万像素的高峰,中间亮度段缺失,且在上游和下游取样直方图中,该趋势加剧,导致画面缺乏自然过渡。

通过对桥梁整体、上游和下游3处风貌取样的标准化对比,可以发现,迎恩桥在色相、饱和度和亮度3个维度上都表现出良好的稳定性和层次感,即使在不同光照条件下,其依然保持和谐的视觉效果。玉龙桥则在3个维度上均表现出过度集中或过度分散的特征:色相峰值波动大,饱和度低且不稳定,亮度两极化严重。百花桥在3个维度上均表现出稳定、均衡和层次丰富的特征。新桥的色彩特征数据虽然在个别峰值处的像素数更高,但整体过于集中,且在上游和下游取样直方图中,峰值波动明显,缺乏一致性。

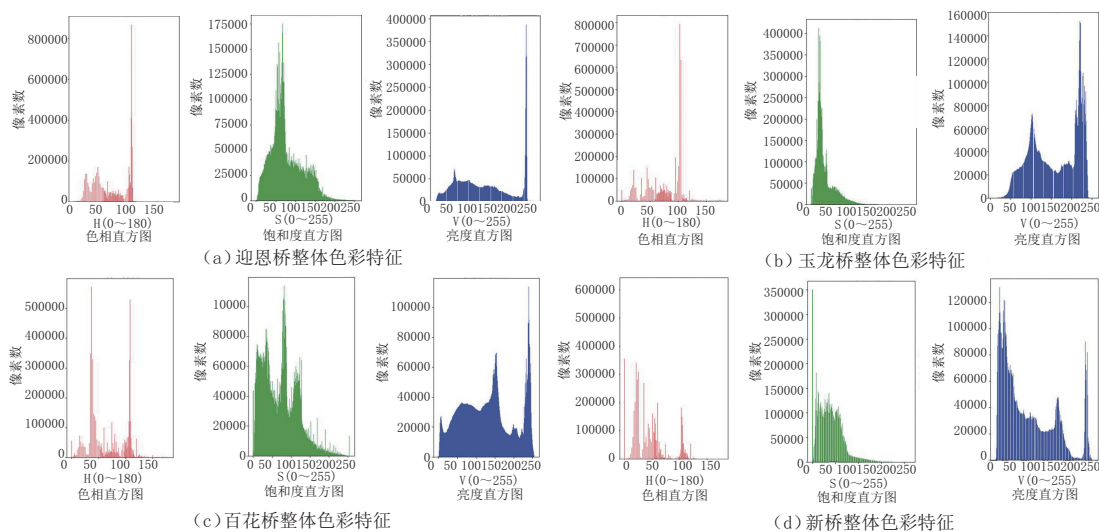


图3 桥梁色彩特征值直方图

2.2 桥梁天际线变化指数与景观韵律

由图4和表2可以发现,第一组单孔迎恩桥整体的天际线变化指数为106.7 mm,体现了其天际线具有强烈的动态变化。桥体景观远借城市建筑群及周边自然植被的轮廓,在坐标点1、12、13处形成峰值,并与坐标点8处的谷值形成鲜明对比,塑造了层次丰富的景观效果。迎恩桥上游坐标点的高程为578~792 mm,坐标点11与坐标点5的高差显著,进一步印证了远景建筑和植物树冠轮廓线对整体天际线变化的贡献。由于迎恩桥下游毗邻古城墙,其高程值从

坐标点1至坐标点13趋于平稳,天际线变化指数仅为13.7 mm,体现出历史建成环境对景观空间内天际线变化的限制。

而单孔玉龙桥整体的天际线变化指数为61.6 mm,天际线整体较为平缓,视觉动态较弱。桥梁本体与周边建筑、植被缺乏形态呼应和空间衔接,未能形成相互映衬的天际线节奏。其坐标点高程集中在500~600 mm,变化幅度有限。尽管玉龙桥上游和下游天际线因远景建筑群和行道树的映衬,具有一定的变化和节奏感,但这些外围要素未能与桥梁本体及其

近景空间形成有效融合。

在第二组对比组合(见图4和表2)中,3孔百花桥的整体天际线变化指数为142.1 mm,天际线相对高程值在435~802区段呈现强烈波动。这一起伏特征与桥梁两岸丰富的绿化景观密切相关,堤岸柳树与香樟构成的林冠线丰富了天际线,并与远处的居民建筑轮廓相互映衬,共同形成层次丰富、蕴含自然韵律的天际线。百花桥上游和下游天际线较为柔和,主要由低矮民居与公园植被构成。

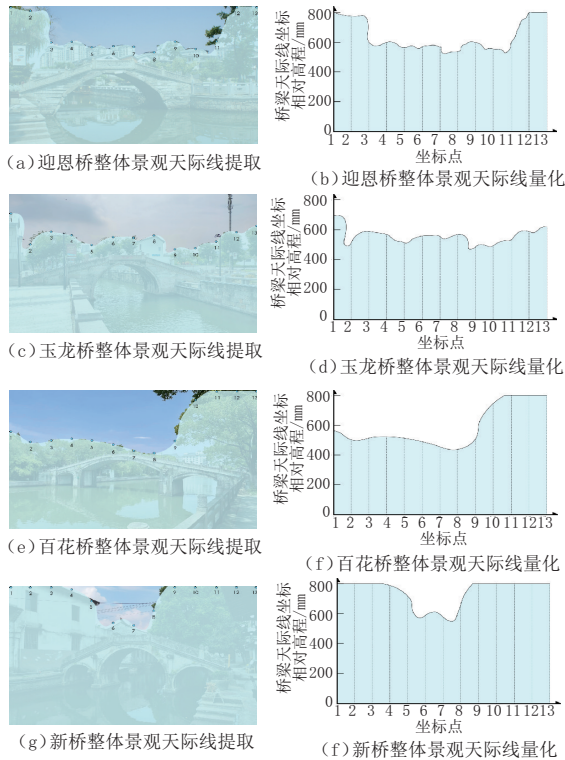


图4 桥梁天际线提取与量化图

表2 古桥天际线变化指数

桥梁名称	拍摄角度	天际线变化指数/mm
迎恩桥	整体	106.7
	上游	62.2
	下游	13.7
玉龙桥	整体	61.6
	上游	96.8
	下游	71.5
百花桥	整体	142.1
	上游	51.4
	下游	58.3
新桥	整体	84.8
	上游	104.5
	下游	56.7

而3孔新桥的整体天际线变化指数为84.8 mm,其天际线坐标点相对高程为487~802 mm,分布极不均衡。由于周边古建筑距离过近,又受到植被影响,天际线被严重遮挡,坐标点1~3处与坐标点9~

12处形成多处平台,天际线整体变化幅度有限,视觉通透性差。新桥上游天际线变化指数虽然较高,但主要是由于视域内的香樟冠幅巨大且周边建筑迫近,景观空间中的天际线被切割与遮蔽,影响了整体美观性。新桥下游天际线坐标点8处的峰值与坐标点9处的谷值形成对比,个别植物元素导致局部天际线陡升,破坏了整体的连贯性与舒缓感。

综上所述,迎恩桥通过将城市远景、自然植被与古建筑有机结合,形成了富有节奏与韵律美的天际线景观。百花桥两岸的植被层次优美,并与远处的建筑群恰当衔接,形成的天际线变化层次丰富。玉龙桥与周边环境要素缺乏协调性与连续性,导致天际线高程变化未能有效转化为积极的景观体验。新桥则因植物冠幅遮蔽、建筑过近及局部乔木过高,天际线缺乏节奏变化,整体景观效果受到明显制约。量化数据分析表明,天际线变化的丰富性与和谐程度,直接关系到桥梁景观的视觉质量与美学价值。

2.3 桥梁虚实比与空间感知

清代蒋和在《学画杂论》中提出:“十分之三在天地布置得宜,十分之七在云烟锁断。”其本质是通过虚实比例的动态平衡来调控视觉张力与心理体验。理想美的虚实配比遵循实体和虚体占比约为3:7(即虚实比为2.333:1),形成“实不壅塞、虚不空泛”的视觉平衡状态^[13]。

在第一组(见图5和表3)单孔桥梁虚实比对比研究中,迎恩桥的实体元素占比为46.92%,虚体元素占比为50.74%,虚实比为1.081:1。该桥梁的虚体略高于实体,整体景观趋向通透、开朗。桥体与天空、水面元素协调共存。其上游视角的虚实比为0.420:1,实体显著占据主导地位,结构体量感强。下游视角的虚实比为0.758:1,趋于均衡。尽管其实体占比高于30%^[13],但通过周围植物的布置,巧妙地结合“实中有虚”,使结构的稳定性与空间通透性达到平衡。

玉龙桥的整体虚实比为0.963:1,实体感较强。这主要归因于桥梁周边环境存在严重的硬化化现象,它导致实体元素在视域平视处过度集中。其下游视角的虚实比降至0.407:1,实体感强,产生了强烈的视觉压迫感。上游视角的虚实比则恢复至0.894:1,重建虚实互渗的视觉秩序,与下游视角形成鲜明的反差。玉龙桥整体景观呈现“实体居中、两端失衡”的格局。这与追求“虚实相生、空灵秀润”的江南水乡美学存在显著差异。

在第二组(见图5和表3)3孔桥梁的虚实比对比

研究中,百花桥整体、上游及下游视角的虚实比均大于1,综合比值为2.457:1,是4座研究对象中虚体特征最为突出的。这表明:以通透的桥孔、水面与天空构成画面的主体,将桥梁实体作为点缀,并轻盈地融入环境,无论何种视角看,均可营造出空灵、开放的景观意象。

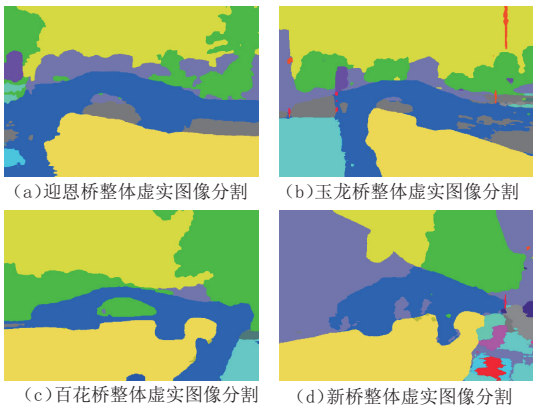


图5 桥梁语义分割结果图

表3 桥梁景观虚实比

桥梁名称	拍摄视角	实体元素占比/%	虚体元素占比/%	虚实比	综合虚实比
迎恩桥	整体	46.920	50.738	1.081:1	0.753:1
	上游	64.664	27.132	0.420:1	
	下游	56.180	42.605	0.758:1	
玉龙桥	整体	50.693	48.799	0.963:1	0.754:1
	上游	47.440	42.403	0.894:1	
	下游	70.969	28.878	0.407:1	
百花桥	整体	39.915	60.070	1.505:1	2.457:1
	上游	21.045	76.661	3.643:1	
	下游	30.901	68.747	2.225:1	
新桥	整体	59.959	34.237	0.571:1	0.736:1
	上游	68.447	31.390	0.459:1	
	下游	42.955	50.632	1.179:1	

新桥呈现出与百花桥截然不同的特征,在其整体和上游视角中,由于建筑物与植物的遮挡范围广,实体元素占据主导地位,导致整体视觉观感较为壅塞。下游视角的虚实比上升至1.179:1,虚体略高于实体,在一定程度上缓解了实体过量带来的沉闷感。综合来看,尽管下游视角的虚实关系有所调整,但新桥的景观仍呈现出封闭感强烈的核心特征。

迎恩桥借助植物设计,实现“实中有虚”,平衡了结构稳定与空间通透感。玉龙桥实体感较强,受周边环境硬质化程度高的影响,在不同视角下均呈现出明显的虚实失衡特征。百花桥虚体特征最鲜明,桥体轻盈地融入环境,整体虚实和谐。新桥以实体为主导,视觉上的封闭感较强,上游视角的封闭感与

压迫感尤为显著。这一分析结果证实:在二维景观中,虚实关系量化研究对桥梁景观的美景度评价具有重要意义。合理的虚实配比,既能优化视觉形式,也是地域文化基因在景观构图中的显性表达。

3 讨论

本研究通过量化分析绍兴4座代表性古桥的景观色彩特征、天际线变化指数和空间虚实比,阐释了影响其美景度和景观风貌的关键视觉要素。研究结果不仅验证了传统美学原则的科学性,还揭示了在特定的地域文化语境下,景观要素的量化特征与主观审美体验之间存在显著关系(见表4)。

研究发现,迎恩桥与百花桥在色相、饱和度与亮度方面均表现出高稳定性与中等偏高饱和度,动态范围宽广。在两者上游和下游的取样直方图中,色彩的峰值稳定、分布连续,受光照的影响较小,体现出层次丰富的和谐统一,与周边环境形成持久视觉协调。该结果契合色彩地理学中关于“地域景观色彩具有特定‘色域’与‘特征值’”的观点,表明这种色彩格局是自然环境与人文活动长期互动形成的结果^[14]。迎恩桥与百花桥的色彩特征,正是绍兴水乡“粉墙黛瓦、碧水蓝天”这一经典色彩图谱的映照。

天际线变化指数被明确列为量化视觉属性的核心指标之一,其能有效反映街道景观的视觉质量^[8]。杨俊宴等^[15]在城市整体景观形象评价指标体系研究中指出,天际线美观量化因子指数数值越高,评价越好。本研究结果与该结论相似,即在桥梁整体景观空间中,天际线变化指数高,天际线起伏显著且节奏多变,各要素协调融合,则桥梁的美景度较高。

虚实比作为评判绍兴古桥景观美景度的核心形式法则,本质上是通过量化实体与虚体的空间占比,来揭示景观与地域文脉的契合程度。这与冀海玲^[16]关于“园林留白是通过有形与无形对比表达情感的设计语言”的观点相契合。在绍兴水乡这一特定地域文化语境中,水乡的景观基因是“水”,其灵魂在于通透与灵动。因此,以虚体元素为主导的构图,更能彰显绍兴的地域特色并呈现出美感;反之,过度增强实体感的因素会破坏这一地域特色。

4 结论

本研究从色彩特征、天际线变化指数与视觉虚实比3个维度,系统评估绍兴4座古桥的景观美景度。结果表明,美景度并非依赖单一视觉要素的凸

表 4 多维度下桥梁景观美景度的归纳评价

维度	桥梁景观空间内表现	综合评价
色彩特征	迎恩桥、百花桥色彩层次丰富;玉龙桥、新桥色彩波动大、饱和度低、亮度两极化	色彩的稳定性与层次感有助于形成和谐统一的视觉印象,又利于环境的融入
天际线变化指数	迎恩桥、百花桥天际线变化丰富;玉龙桥、新桥起伏平缓或受遮挡,通透性不足	连续而有节奏的天际线,可增强景观空间的深度感与视觉节奏
空间虚实比	迎恩桥、百花桥虚实平衡,空间开朗;玉龙桥、新桥偏实体、封闭感强	虚实协调是塑造空间轻盈感与视觉舒适度的关键

显,而是3大要素协同作用的结果。理想的古桥景观风貌应以3大要素的协同为支撑,即在色彩上具备高稳定性、中等偏高饱和度(S 为50~110)与宽广的动态范围,从而形成耐久且和谐的视觉印象;天际线应呈现丰富而有机的韵律,整体天际线变化指数为100~150 mm;空间构图应遵循地域文脉主导的虚实平衡,虚实比维持在1:1~5:2,以实现结构量感与空间通透性的统一。建议将色彩特征、天际线变化指数与虚实空间评估纳入城市规划审批材料,并依据桥梁材质与形态制定差异化的保护策略,并设定相关视觉阈值。

本研究未充分分析文化背景与建造技术等综合因素,后续可探索视觉指标与自然、人文及技术要素间的内在关联,构建融合客观数据与人文解释的综合评价模型,以提升桥梁景观优化的科学性与文化适应性。

参考文献:

[1] 贾世桢,孟祥彬,秦柯. 圆明园景观遗产中桥梁景观研究[J]. 华中建筑, 2022, 40(3): 154-159.

[2] Neustroeva J, Ovchinnikov I. Aesthetics of a bridge structure as one of the ways to improve its quality[J]. Russian journal of transport engineering, 2020, 7(1): 6-10.

[3] 胡华,覃伟. 文旅背景下城市公园植物景观美景度评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(8): 189-200.

[4] 黎俊仪,林盈芳,董建文,等. 语义分割技术下的城市滨水绿地美景度评价研究:以福州西湖公园、左海公园为例[J]. 中国园林, 2022, 38(10): 92-97.

[5] 马薛骑,裘鸿菲. 基于网络照片数据与 Auto ML 模型的湖泊公园景观意象特征及感知偏好研究[J]. 中国园林, 2022, 38(10): 86-91.

[6] Shen S, Yao Y, Li C. Quantitative study on landscape colors of plant communities in urban parks based on natural color system and M-S theory in Nanjing, China[J]. Color research and application, 2021, 47(1): 152-163.

[7] 齐子吟,李君铁,贺哲,等. 城市街道景观色彩对游客情感感知影响:基于街景图像的研究[J]. 地球信息科学学报, 2024, 26(2): 514-529.

[8] 韩君伟,董靓. 街道景观视觉评价量化指标及其有效性分析[J]. 西南交通大学学报, 2015, 50(4): 764-769.

[9] 杨俊宴,孙欣,熊伟婷. 都市立面:城市天际轮廓景观及评价体系建构[J]. 规划师, 2015, 31(3): 94-100.

[10] 华海镜,金荷仙,陈海萍. 园林中的虚景[J]. 中国园林, 2003, 19(11): 60-61.

[11] Qiu C, Li H, Guo W, et al. Transferring transformer-based models for cross-area building extraction from remote sensing images[J]. IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, 2022, 15: 4104-4116.

[12] Cordts M, Omran M, Ramos S, et al. The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding[J]. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), 2016: 3213-3223.

[13] 史文舒. “画园通法”视野下园林空间“形”与“态”分析:以苏州私家园林为例[D]. 天津:天津大学, 2023.

[14] Zhang Z, Qie G, Wang C, et al. Relationship between forest color characteristics and scenic beauty: case study analyzing pictures of mountainous forests at sloped positions in Jiuzhai valley, China[J]. Forests, 2017, 8(3): 63.

[15] 杨俊宴,潘奕巍,史北祥. 基于眺望评价模型的城市整体景观形象研究:以香港为例[J]. 城市规划学刊, 2013(5): 106-112.

[16] 冀海玲. 留白艺术在现代景观设计中的应用[J]. 作家, 2012(16): 261-262.