

文章编号:1671-6833(2013)04-0036-04

桥梁景观评价的集对分析模型

胡圣能

(华北水利水电大学 土木与交通学院,河南 郑州 450011)

摘要:考虑到桥梁景观评价过程中的不确定性和复杂性因素,基于集对分析理论,引入了能体现系统确定性与不确定性的同异反联系度(IDC)的计算公式,并建立了以桥梁景观为评价对象的集对分析模型(SPAM)。模型从两个层次阐明集对分析理论的具体意义并将多指标表达成一个从总体上衡量桥梁景观的5元联系数;利用层次分析法确定指标权重,从主客观两方面定量计算桥梁美观程度。将SPAM应用于葫芦河特大桥的景观评价。结果表明:就总指标来说,桥梁景观评价等级为“二级(良)”;就各个子系统来说,桥梁美学、造型和环境协调性相对好于其它三个指标。SPAM模型可以较好地处理研究对象中所包含的不确定性问题,将辩证性认知与定量性分析有机结合,是桥梁景观综合评价的一种新方法。

关键词:桥梁工程;景观评价;集对分析

中图分类号: U442 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.04.009

0 引言

随着技术的进步、经济的发展,人们对桥梁的美学要求与日俱增,从最初的满足基本通行问题逐渐转变为能否提供美观、安全、适用、经济的人性化交通问题,要求桥梁在满足自身交通功能的同时,更要注重美观、和谐等精神层次功能^[1-4]。桥梁景观包含了物质美学、使用心理、社会行为的各种要素及其相关关系,具有生态、美学和人文等多重功能要求^[5-6],是一个相对的概念,具有不确定性。国内外关于桥梁景观评价的研究成果较少,且大多是定性分析多,定量分析少,存在不同程度的评价标准不明确、难以综合考量客观景观环境和主观心理等缺陷^[7]。目前,桥梁景观评价通常采用专家宏观定性评价法,由于没有统一的评价标准,评价时主观性较强,难以达到真实的、科学的、令人十分满意的效果。

赵克勤曾提出了一种新的不确定性理论——集对分析理论(Set Pair Analysis, 简记 SPA),可以将不确定性的辩证性认知转换成明确的数学性问题^[8]。桥梁景观评价存在大量不确定性因素,笔

者运用集对分析理论,将桥梁景观评价指标和评价标准构成一个集对去研究其同异反联系,将多个指标系统表达成一个可以从总体上衡量桥梁美观程度的5元联系数,从而定量计算出不同层次的桥梁美观程度。这种评价方法易于理解、计算简单有效、方法客观合理、评价结果适用性强,是桥梁景观评价研究中重要的分析手段。

1 桥梁景观评价的集对分析模型

1.1 集对分析方法简介

集对分析的核心是集对构建和联系度计算。集对分析的原理是指在一定的问题背景下对一对向量集合 $H(A, B)$ 所具有的关系特性展开同一度、差异度、对立度3个方面的分析,并建立起这两个集合 A, B 在目标问题下的同异反联系度表达式。

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式中: μ 表示一个集对 $H(A, B)$ 下两个集合 A, B 的联系度; N 为集对特征总数; S 为集对中共有的特性数; P 为集对中相反的特征数; F 为两个集合

收稿日期:2012-10-20;修订日期:2012-11-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200331881236);陕西省交通科技项目(08-08R);华北水利水电大学高层次人才计划资助项目(2012-40794)

作者简介:胡圣能(1979-),男,河南信阳人,华北水利水电大学讲师,博士,主要从事道路景观、交通安全与道路路线设计技术研究, E-mail: hushengneng@sina.com.

中既不共有也不相互对立的特性数; $\frac{S}{N}, \frac{F}{N}, \frac{P}{N}$ 分别为两个集合在目的问题背景下的同一度、差异度、对立度; i 为差异度标识数, $i \in [-1, 1]$,反映不同层次的不确定性, i 越接近0系统所包含的不确定性信息越大; j 为对立度系数,一般 $j = -1$.另外,式(1)可以根据研究对象的不同,作不同层次的展开得到多元联系数.

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F_1}{N}i_1 + \frac{F_2}{N}i_2 + \dots + \frac{F_{n-2}}{N}i_{n-2} + \frac{P}{N}j, \quad (2)$$

简写为

$$\mu = a + b_1i_1 + b_2i_2 + \dots + b_{n-2}i_{n-2} + cj. \quad (3)$$

1.2 桥梁景观系统评价的集对分析模型

运用集对分析理论评价桥梁景观状况时,需将某桥梁的景观指标与构建的景观评价标准组合成一个集对,如果评价指标达到最优级别,认为是同一性联系,则 $\mu = 1$;若处于最劣的评价级别以下,认为是对立性联系,此时 $\mu = -1$;处于最优最劣评价级别范围之间时,认为是差异性联系,此时 $\mu = a + bi + cj$,且 $\mu \in (-1, 1)$,指标越接近最优评价级别, i 越接近1;越接近最劣评价级别, j 越接近-1,分布在这一范围内的评价指标时,桥梁景观程度具有较大的不确定性,如果对桥梁进行美化工作,则桥梁景观向好的方向转变,如果任由大自然剥蚀,那么桥梁景观将向坏的方向发展.

1.2.1 指标体系的建立

根据桥梁景观的功能情况,通过问卷调查、咨询专家以及经验判断,从系统、简明和可操作性的原则构建桥梁景观评价的指标体系,将桥梁景观评价指标分为美学、人文、色彩、造型、铺装、环境协调性等6个属性指标.利用人们对景观美学标准的趋同性,建立景观与审美的刺激-反映关系,

表2 指标层判断矩阵及权重值

Tab.2 Index layer judgment matrix and weight value

桥梁景观	美学	人文	色彩	造型	表面铺装	环境协调性	权重
美学	1	3	1	1/2	2	1	0.184 5
人文	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	0.084 5
色彩	1	2	1	1/2	2	1	0.172 5
造型	2	3	2	1	2	1	0.260 9
表面铺装	1/2	1	1/2	1/2	1	1/3	0.090 5
环境协调性	1	2	1	1	3	1	0.207 1

注: $\lambda_{max} = 6.111 0, CR = 0.017 6 < 0.1$,通过一致性检验.

1.2.3 桥梁景观评价集对分析模型构建

设评价对象空间 $A = \{\text{桥梁景观评价指标}\}$,属

将心理物理学信号检测方法应用到桥梁景观评价中来,通过测量公众对桥梁景观的审美态度,得到一个反映景观质量的量表,然后将该量表与各景观成分之间建立起数学关系,见图1.审美态度的测量采用评分法,将各评价指标的等级标准分为1级、2级、3级、4级、5级,分别对应于美学“优”、“良”、“普通”、“较差”和“差”5个级别,见表1.

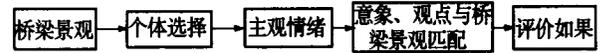


图1 心理物理学法的基本原理

Fig.1 Psychological physics research method basic principle

表1 景观主体的评价刻度

Tab.1 Landscape subject assessment scale

景观质量	1级/ 优	2级/ 良	3级/ 普通	4级/ 较差	5级/ 差
评价分值	5	4	3	2	1

1.2.2 指标权重的确定

桥梁景观评价指标权值的确定是一个多目标、多准则、多层次的复杂性问题,需要结合定性分析和定量分析,进行综合评价.经过比较,笔者选择层次分析法作为评价指标的赋权方法,首先将分析的问题层次化,建立递阶层次结构和两两判断矩阵,形成一个多因素的分析结构模型;然后求解判断矩阵,求得每一层的各元素对上一层元素的相对重要权重,最后通过综合重要度的计算形成对总目标的最终权重^[9-10].在桥梁景观评价体系中,目标层是桥梁景观,指标层是桥梁的美学、人文、色彩、造型、铺装、环境协调性等6个指标.综合相关专家的意见,用两两比较法给出了美学、人文、色彩、造型、铺装、环境协调性的重要性程度,详见表2.

性空间 $B = \{\text{桥梁景观评价等级}\}$, $m(1 \leq m \leq 5)$ 代表一级子系统, I_m 代表桥梁景观一级子系统评价

指标,设桥梁景观 I_m 的抽样值为 I_q ,评价等级为 n 级,从而可以建立一级子系统及总指标的桥梁景观系统评价的 n 元联系数 μ ,进而通过均分原则确定桥梁景观评价等级,具体步骤如图 2 所示。

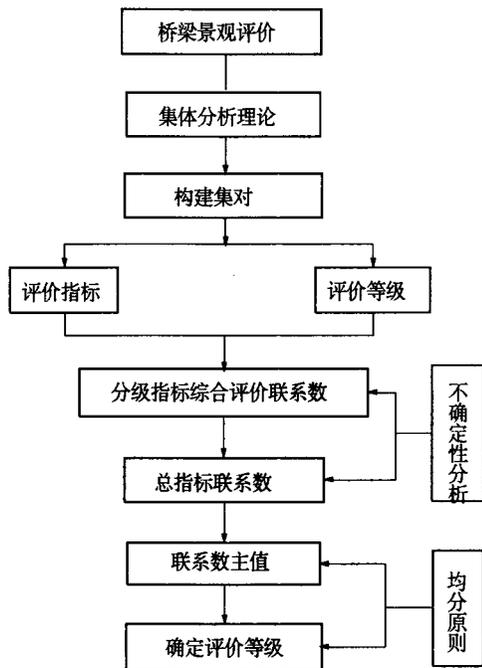


图 2 集对分析流程图

Fig. 2 Set pair analysis flow chart

(1) 一级指标的综合评价 5 元联系数的确定。

$$\mu = \begin{cases} 1 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j, & I_q \geq I_1; \\ \frac{I_q - I_2}{I_1 - I_2} + \frac{I_1 - I_q}{I_1 - I_2}i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j, & I_2 \leq I_q < I_1; \\ 0 + \frac{I_q - I_3}{I_2 - I_3}i_1 + \frac{I_2 - I_q}{I_2 - I_3}i_2 + 0i_3 + 0j, & I_3 \leq I_q < I_2; \\ 0 + 0i_1 + \frac{I_q - I_4}{I_3 - I_4}i_2 + \frac{I_3 - I_q}{I_3 - I_4}i_3 + 0j, & I_4 \leq I_q < I_3; \\ 0 + 0i_1 + 0i_2 + \frac{I_q - I_5}{I_4 - I_5}i_3 + \frac{I_4 - I_q}{I_4 - I_5}j, & I_5 \leq I_q < I_4. \end{cases} \quad (4)$$

式中: μ_m 代表一级指标综合评价的 5 元联系数; i_1, i_2, i_3 代表指标二级到四级标准的不确定性差异度系数; $j = -1$ 为对立系数,为 5 级指标的系数。

根据式(4)可知,桥梁景观状况和发展趋势的不同,各个指标的样本数据也会不同,计算出的联系数也会有变化,体现了桥梁景观评价过程中的不确定性。

(2) 总指标的综合评价 5 元联系数的确定。

$$\mu = r_1 + r_2i_1 + r_3i_2 + r_4i_3 + r_5j. \quad (5)$$

其中,

$$r_l = \sum_{m=1}^5 w_m r_{ml}, \quad 1 \leq l \leq n, \quad (6)$$

是桥梁景观评价的总指标相对 C_l 等级的联系度分量, w_m 为指标 I_m 的权重,显然

$$r_l \in [0, 1], \quad \sum_{l=1}^n r_l = 1.$$

式中: μ 代表桥梁景观总指标综合评价的 5 元联系数,即总指标的景观等级; r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 代表各级评价等级的相关系数; i_1, i_2, i_3 代表总指标与 2 级到 4 级标准的不确定性差异度系数; $j = -1$ 为对立系数,即 5 级指标的系数。

(3) 桥梁景观评价的 5 元联系数主值 $\hat{\mu}$. 由于 $\mu = r_1 + r_2i_1 + r_3i_2 + r_4i_3 + r_5j, \mu \in [-1, 1]$, 依据“均分原则”,将区间 $[-1, 1]$ 进行 4 等分,当 i_3, i_2, i_1, j 从左至右依次取 4 个分点值时得到的 5 元联系数的主值 $\hat{\mu}$:

$$\hat{\mu} = r_1 + \frac{r_2}{2} - \frac{r_4}{2} - r_5. \quad (7)$$

(4) 桥梁景观评价等级的确定. 在桥梁景观评价过程中,桥梁的美观程度是具有不确定性的模糊概念,而作为评价美观程度的等级标准,也应该是不确定的,应以区间数值作为其分级标准. 可运用联系数主值 $\hat{\mu}$ 确定桥梁景观的综合评价等级,则从右至左每个区间依次分布对应 C_1, C_2, \dots, C_5 共 5 个等级,即 1 级 $C_1 \leftrightarrow (0.6, 1]$ 、2 级 $C_2 \leftrightarrow (0.2, 0.6]$ 、3 级 $C_3 \leftrightarrow (-0.2, 0.2]$ 、4 级 $C_4 \leftrightarrow (-0.6, -0.2]$ 、5 级 $C_5 \leftrightarrow [-1, -0.6]$. 若计算得出的联系主值 $\hat{\mu}_i$ 在其中某等级区间内,则桥梁景观等级就属于 C_i 等级。

2 实例应用

葫芦河特大桥是黄延高速公路的一座特大桥,位于陕西黄土高原南部黄陵县境内,周围地形起伏变化,空间尺度相对较大,向上的视觉诱导力及动态感很强(见图 3)。大桥全长 1 468 m,主桥为 90 m + 3 × 160 m + 90 m 三向预应力混凝土、单箱单室变截面箱梁连续刚构结构,引桥为 6 × 50 m + 10 × 50 m 预应力混凝土连续 T 梁,主墩为双薄壁空心墩,最高墩达 138 m 高,由于跨径较大,梁体相对较低,较容易与周围环境协调. 表面采用无机材料的汽车漆进行涂装,增添了桥面的光泽度和耐久性,桥梁景观设计注重融入地域特色,宏

伟气势的桥梁与起伏状况的黄土高原浑然天成。

通过心理物理试验法,得出各评价指标的抽样值,见表 3。根据上文分析的集对分析基本步骤,从二个层次(一级指标、总指标)分别对葫芦河大桥景观进行不确定性的分析,并最终得出不同层次的桥梁景观评价等级,结果如下。

根据式(4)桥梁景观评价一级指标的综合评价五元联系数,综合各指标权重,用式(5)计算总指标的五元联系数:

$$\mu = 0.6525 + 0.263i_2 + 0.0845j.$$

根据“均分原则”,按照式(7)计算得总指标的综合评价联系主值 $\hat{\mu} = 0.568$,根据评价标准,

葫芦河大桥景观总体质量为“良”。

工程实际表明:基于集对分析理论的葫芦河大桥景观评价模型的计算结果和实际情况基本相符,方法合理、可操作性强。



图 3 葫芦河特大桥图

Fig 3 Diagram of Hulu river bridge

表 3 葫芦河大桥景观评价集对分析及质量等级

Tab.3 Hulu river bridge landscape assessment of set pair analysis and quality level

评价指标	评价值	集对分析模型	权重	联系主值	质量等级
桥梁美学	5	$\mu_1 = 1$	0.1845	$\hat{\mu}_1 = 1$	一级(优)
桥梁人文	1	$\mu_2 = j$	0.0845	$\hat{\mu}_2 = -1$	五级(差)
桥梁色彩	3	$\mu_3 = i_2$	0.1725	$\hat{\mu}_3 = 0$	三级(普通)
桥梁造型	5	$\mu_4 = 1$	0.2609	$\hat{\mu}_4 = 1$	一级(优)
桥梁铺装	3	$\mu_5 = i_2$	0.0905	$\hat{\mu}_5 = 0$	三级(普通)
桥梁与环境协调性	5	$\mu_6 = 1$	0.2071	$\hat{\mu}_6 = 1$	一级(优)

3 结论

(1)笔者在层次分析法确定指标权重的基础上,借助于集对分析理论,提出了建立在该理论基础上的桥梁景观评价新方法,从两个层次阐明桥梁景观评价过程中集对分析理论的具体意义,从而为桥梁景观评价提供了新途径.该方法能较好地处理“桥梁景观状况具有动态特征”这一不确定性问题,将研究问题的辩证性认知与定量分析有机结合起来,把桥梁景观系统处于不同层次上的信息做综合处理,从而使研究问题更趋深化。

(2)采用集对分析理论不仅可以确立桥梁景观子系统的景观等级,还可以将多个指标系统表示成一个总指标,通过计算桥梁景观总指标的综合评价联系数主值确定该桥梁景观质量的综合评价等级,定量计算出不同层次上的桥梁景观状况。

(3)用集对分析理论对桥梁景观进行评价的结果与定性分析的结果基本接近,说明该方法是科学合理性,为桥梁景观综合评价提供新途径。

参考文献:

[1] 胡圣能.高速公路景观规划与设计方法研究[D].

西安:长安大学公路学院,2011.

[2] 国外道路标准规范编译组.国外公路景观与环境设计指南[M].北京:人民交通出版社,2006.

[3] 钱国超,唐述虞.高速公路环境景观设计[M].北京:人民交通出版社,2009.

[4] 和丕壮.桥梁美学[M].北京:人民交通出版社,1999.

[5] JAMES R S, KIMBERLY L. P. Harlow C. L. guidelines for aesthetic design in freeway corridors[R]. Texas transportation institute; U. S. Department of Transportation Federal freeway Administration, 2001.

[6] WAYNE M D. Guidelines for freeway landscaping [M]. New Zealand,2002.

[7] 石栋强,赵永国,张毅.基于可持续发展理念的桥梁景观设计[J].中外公路,2009,29(4):359-361.

[8] 赵克勤.基于集对分析的方案评价决策矩阵与应用[J].系统工程.1994,12(4):67-72.

[9] 张斌.多目标系统决策的模糊集对分析方法[J].系统工程理论与实践.1997(12):109-115.

[10] 朱茵,孟志勇,阙叔愚.用层次分析法计算权重[J].北方交通大学学报.1999(05):123-126.

(下转第 49 页)

Absolute Stability Analysis of Neutral Lurie Systems with Time Delays

GAO Qian¹, LIU De-you¹, ZHU Zuo-jian¹, GAO Jin-lan²

(1. College of Science, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 2. College of Electrical Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: The absolute stability problem for neutral Lurie control systems with time delays is studied. By dividing the discrete delay interval into multiple segments and choosing proper Lyapunov – Krasovskii functions, two delay-dependent criteria for absolute stability of systems in infinite sector and finite sector were respectively derived. The derived stability criteria were both discrete delay dependent and neutral delay dependent. The proposed condition was in terms of a linear matrix inequality which can be easily solved with Matlab toolbox. Finally, numerical example demonstrates the validity and feasibility of the proposed criteria.

Key words: Lurie control system; delay dependent stability; neutral delay; linear matrix inequality

(上接第 39 页)

Set Pair Analysis Model for Bridge Landscape Assessment

HU Sheng-neng

(School of Civil Engineering & Communication, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: In view of uncertainty and complexity in the process of bridge landscape assessment, based on set pair analysis (SPA) theory, identity – discrepancy – contrary (IDC) connection degree formula which can embody certainties and uncertainties of the assessment system is introduced and set pair analysis model (SPAM) is established in bridge landscape assessment. The meaning of SPA applied to bridge landscape assessment in two levels is fully analyzed. All indexes can be summarized in five – member connection number. Analytic hierarchy process (AHP) is applied to calculate the weighing values in order that the artistic degree of the bridge can be calculated from the objective and subjective evaluations. As an example, Hulu river bridge is assessed with SPAM. The results show that: from the whole system, the artistic degree of the bridge is fine; from the subsystem, bridge esthetics, modeling and environment coordination are better than others. The results express the artistic degree of the bridge on different levels and different aspects. SPAM combines qualitative description with quantitative analysis and takes full advantage of uncertainty. It is a new model for the bridge landscape assessment.

Key words: bridge engineering; landscape assessment; set pair analysis