

文章编号:1000-582X(2010)09-126-06

# GIS 支持下的公路生态环境评价

牛玉欣,许金良,杨宏志,贾兴利

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

**摘要:**通过 GIS(Geographic Information System)分析功能和熵权计算,研究公路生态环境质量问题。采用压力—状态—响应概念框架模型和专家咨询相结合的方法确定公路生态环境评价指标,对各评价指标进行无量纲化处理后,利用熵理论计算评价指标的权重,并建立公路生态环境质量评价模型。在 RS(Remote Sensing)和 GIS 支持下,分析青海省某公路生态环境现状,借用 MATLAB 工具计算各指标的熵值和熵权,并利用公路生态环境质量评价模型对该公路的生态环境质量进行定量分析。

**关键词:**公路;GIS;熵权;生态环境;评价

**中图分类号:**U491.2

**文献标志码:**A

## GIS-based eco-environmental quality evaluation of highway

NIU Yu-xin, XU Jin-liang, YANG Hong-zhi, JIA Xing-li

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, P. R. China)

**Abstract:** Through GIS spatial analysis and entropy calculation, the eco-environmental quality of highway is studied. By use of pressure-state-response model and expert advice method, the highway environment evaluation indexes are determined. The indexes are treated with dimensionless method. On the basis of entropy theory, the weight of evaluation indexes is calculated. Then, the eco-environmental quality evaluation model of highway is set up. Finally, supported by the RS and GIS, the status of ecological environment of a highway in Qinghai Province is analyzed. Using MATLAB tools, the entropy of each index's value and the entropy weight are calculated, and the ecological environment quality of the highway is researched by using the eco-environmental quality evaluation model.

**Key words:** highway; Geographic Information System (GIS); entropy weight; ecological environment; evaluation

公路建设运营产生的廊道效应改变了周围原有的物流、能流和信息流的传输模式,打破了生态系统原有的整体性和连续性,破坏了原有的生态系统平衡性<sup>[1]</sup>。随着建设资源节约型、环境友好型公路步伐的加快,如何协调公路建设与生态环境的关系、如

何改善公路生态环境质量成为亟待解决的问题<sup>[2-3]</sup>,而解决问题的关键在于及时准确的掌握公路生态环境的状况。

目前国内学者开展了大量的理论研究,初步建立了与 GIS(Geographic Information System)技术

收稿日期:2010-04-10

基金项目:山东省交通科技项目(2005R13)

作者简介:牛玉欣(1982-),女,长安大学博士研究生,主要从事道路测设新技术方向的研究。

许金良(联系人),男,长安大学教授,博士生导师,(E-mail)gl15@chd.edu.cn。

相结合的环境影响评价信息系统结构框架和公路生态环境质量监控系统,提高了环境保护工作的科学化和规范化水平。但系统仍处于初步设计阶段,且对各评价指标的研究多停留在定性分析层面,影响了评价结果的准确性,有待进一步的实践应用和完善。文章以熵理论为数学工具<sup>[4-8]</sup>,对评价指标进行量化分析;在GIS技术支持下,提出了公路生态环境评价在实际工程中的应用步骤,并以青海省某公路为例介绍GIS支持下的公路生态环境评价过程。

## 1 熵理论基础

### 1.1 熵理论

熵指的是体系的混乱程度,它在控制论、概率论、数论、天体物理、生命科学等领域都有重要应用,是各领域十分重要的参量。“熵”(entropy)一词出自希腊语“Εντροπια”(变化),表示变化的容量,由鲁道夫·克劳修斯(Rudolf Clausius)提出,并应用在热力学中。后来,克劳德·艾尔伍德·香农(Claude Elwood Shannon)第一次将熵的概念引入到信息论中来。

在信息论中,熵是系统无序程度的度量,它还可以度量数据所提供的有效信息量。信息熵越小,系统无序度越小,信息的效用值越大;信息熵越大,系统无序度越高,其信息的效用值越小<sup>[9]</sup>。

### 1.2 熵权理论

公路生态环境评价是一个多指标评价的问题,其评价指标具有动态性和系统性,主观赋权法往往受专家主观意识的影响而产生较大误差,且不能较好的反应各指标数据的相互关系。

熵权法是在客观条件下,综合各因素提供的信息量计算一个综合指标的数学方法。其基本过程是:根据各指标传递给决策者的信息量大小,由评价指标值构成判断矩阵,由此来确定指标权重。熵权法能尽量消除各因素权重的主观性,使评价结果更符合实际<sup>[10]</sup>。

## 2 公路生态环境评价模型

### 2.1 公路生态环境评价指标的选择

公路生态环境评价涉及到系统学、生态学和道路工程学等多学科的相关理论和方法,其评价指标体系应具有系统性、综合性、动态性和实用性。

压力—状态—响应框架模型是从指标产生的机

理方面着手构建评价指标体系的方法,通过原因—效应—响应的逻辑思维来构造评价指标。公路建设和运输等人类活动对公路生态系统施加压力<sup>[11-13]</sup>,产生一定的影响和破坏;公路生态系统因为受到压力而使自身的状态发生了改变,如植被覆盖率下降、水土流失加剧、生态退化等;有关公路管理部门根据状态的变化程度采取相应的措施,调整公路生态系统的状态趋于平衡健康。对公路生态环境进行评价的重点在于如实评价公路生态环境的状态。通过参阅文献、咨询相关专家及分析公路建设对生态环境的影响,选择表征公路生态环境质量的状态指标——植被覆盖度、土地利用类型、海拔高程、水土流失和物种多样性<sup>[6,14-18]</sup>。

### 2.2 数值的无量纲化处理

由于各评价指标具有不同的量纲,需通过标准化处理,将其变为无量纲数据进行评价分析。评价指标无量纲化处理的基本过程是:将某一个序列中指标相对最佳的值归一化为1,其余值以其与最佳值的比值或者是比值的倒数作为归一化后的值。基本公式为

$$1) r_i = \frac{E_i - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}}, \text{反映因子指数 } Y \text{ 随环境值 } E \text{ 增大而增大。}$$

$$2) r_i = 1 - \frac{E_i - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}}, \text{反映因子指数 } Y \text{ 随环境值 } E \text{ 的增大而减小。}$$

$E_i$  表征的是各状态指标在不同路段各监测点的现状值, $E_{\min}$ 、 $E_{\max}$  分别为各个指标的最小值和最大值, $r_i$  为评价指标无量纲化后的结果,取值范围为0~1。

植被覆盖度、土地利用类型和物种多样性属于越大越好型,采用1)中公式进行无量纲化;海拔高程和水土流失是越小越好型,采用2)中公式进行无量纲化。转化后的各个定量指标值范围为[0, 1]<sup>[19]</sup>。

进行无量纲化处理后,得到矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$  (式中  $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ )。

### 2.3 熵值法确定指标权重

对指标进行无量纲化处理后,依照熵权理论计算各指标的信息熵。对于 $(m, n)$ 评价问题,第 $i$ 个指标的熵 $H_i$ 可以定义为  $H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}$ , 式中,

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, k = \frac{1}{\ln n}。根据计算出的熵值,由公式$$

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} 计算 i 指标的熵权,各指标熵权满$$

足条件  $0 \leq \omega_i \leq 1$ , 且  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$  [10,20]。

## 2.4 评价模型

对植被覆盖度、土地利用类型、海拔高程、土壤侵蚀和物种多样性的归一化处理后,计算出各指标的熵权,分析研究区公路生态环境状况,由  $H = \sum_{i=1}^5 r_i \omega_i$  得出各路段(点)的生态环境质量指数 [6,18]。

## 3 实例分析

### 3.1 数据来源及处理

利用 Erdas 和 Arcgis 对研究区数据进行预处理。

1) 图像的拼接处理。研究区域覆盖了 38 幅 TM 遥感影像,首先利用 Erdas,选择控制点对每一幅影像进行几何精纠正,随后对图像进行拼接处理。

2) 投影校正。为了数据的处理与分析,采用高斯克列格投影对原始数据进行投影校正 [7,21]。

3) 选择评价区。按照路线走向,选择道路周围 200 m 范围内区域作为评价区分段设置监测点,并对测得数据进行裁剪。

### 3.2 公路生态环境现状分析

#### 3.2.1 植被覆盖度

将区域内原始的植被覆盖类型归并到乔、灌、草、农作物和无植被覆盖 5 种。由于植被指数反映植被覆盖度的分布,同时也反映植物生物量的高低,所以用植被指数定性和定量的评价植被覆盖及其生长状况 [20]。利用 Erdas 图象处理软件中的 indices 命令,提取植被指数。根据 Choudhury 和 Gillies 等研究的植被覆盖度  $F_c$  和植被指数 NDVI 的关系式  $F_c = N^*^2$ , 计算植被的覆盖度,式中,  $N^* = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_s - NDVI_0)$ ,  $NDVI_0$  为无植被覆盖像元的 NDVI,  $NDVI_s$  为全植被覆盖像元的 NDVI [22]。

根据所提取的植被指数,结合实地踏勘,将研究区的植被覆盖度划分为高植被覆盖度 ( $0.7 < NDVI < 1$ )、中植被覆盖度 ( $0.45 < NDVI < 0.7$ )、低

植被覆盖度 ( $0.25 < NDVI < 0.45$ )、极低植被覆盖度 ( $0 < NDVI < 0.25$ )、无植被覆盖 ( $-1 < NDVI < 0$ ) 5 个区域(如图 1 所示)。

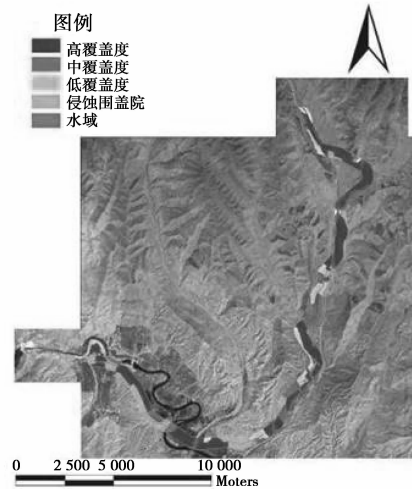


图 1 植被覆盖等级图

#### 3.2.2 土地利用类型

对原始的 TM 遥感影像处理后,并结合实地踏勘,将评价区土地利用类型共划分为耕地、灌木林地、草地、荒地、水域、建筑用地等 8 类,如图 2 所示 [23]。

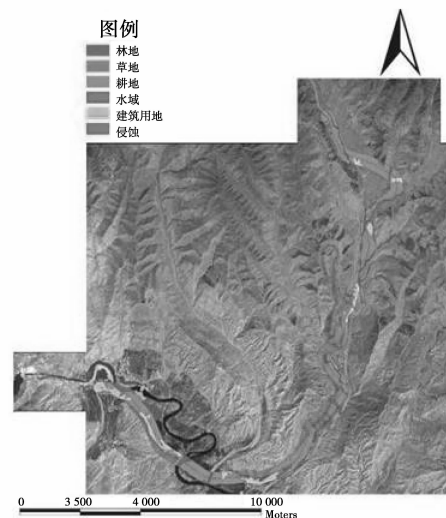


图 2 土地利用类型图

#### 3.2.3 土壤侵蚀

根据土壤侵蚀成因分析,将评价区土壤侵蚀类型分为 4 类,如图 3 所示。

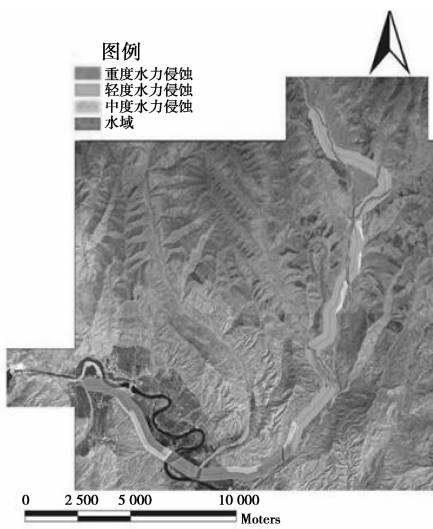


图 3 土壤侵蚀类型图

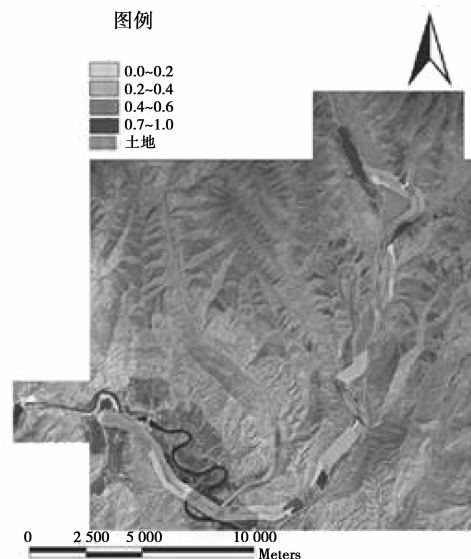


图 5 物种多样性图

### 3.2.4 海拔高程

以 1:10 万 DEM 数据为基础,利用 Arcgis 软件的空间分析功能,采用重采样的方法,使每个单元的分辨率是 100 m×100 m,并划分海拔高程为 5 个不同的等级,如图 4 所示<sup>[8,23-24]</sup>。

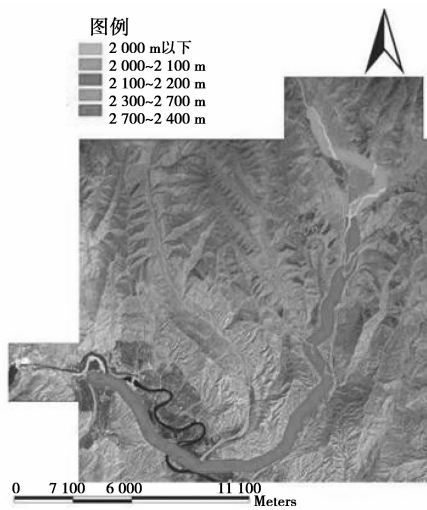


图 4 海拔高程图

### 3.2.5 物种多样性

通过对路线的实地调查和对有关历史数据、图片等资料的分析,选取动物(不包含水生动物)和植物做为物种多样性指示物种,采用 Simpson 多样性指数描述物种的多样性;根据物种的类型、分布生境、分布区域等资料,通过 GIS 的叠加功能得出物种多样性分布图,如图 5 所示。

### 3.3 熵权计算

通过对评价指标的归一化处理,利用熵权理论和计算公式对各个指标的权重进行计算,经 MATLAB 统计计算,各指标的熵值及权重见表 1。

表 1 公路生态环境各评价指标熵值及权重

计算结果	评价指标				
	植被覆盖度	土地利用类型	土壤侵蚀	海拔高程	物种多样性
熵值	0.87	0.92	0.89	0.95	0.79
熵权	0.22	0.14	0.19	0.09	0.36

### 3.4 质量指数

$$H = \sum_{i=1}^5 r_i w_i$$

由  $H = \sum_{i=1}^5 r_i w_i$  计算各路段(点)生态环境质量指数,并将公路生态环境健康状况划分为 5 个等级(见表 2)。各区在路线中的具体位置如图 6 所示。图 6 中  $H$  值大于等于 0.5 的区域为质量优良区,公路生态环境抗干扰能力较强; $H$  值在 0.35 和 0.5 之间的区域为质量一般区,抗干扰能力较弱,在公路建设和运营过程中需及时采取补偿和防护措施; $H$  值小于 0.35 的区域为质量较差区,该区域水域面积较大,植被覆盖度较低,且海拔相对较高,对公路建设活动较为敏感,一旦产生不利影响,短时间内极难恢复,必须采取适当的环境保护措施予以保护。

表 2 公路生态环境质量等级划分

级别	优	良	一般	较差	差
指数	$0.75 \leq H < 1$	$0.5 \leq H < 0.75$	$0.35 \leq H < 0.5$	$0.2 \leq H < 0.35$	$0 < H < 0.2$
状态	生物多样性、植被覆盖度好,土地利用类型以林地和草地为主,生态系统稳定	生物多样性、植被覆盖度较好,土地利用类型以林地和草甸为主,生态系统稳定	生物多样性一般,植被覆盖度中等水平,土地利用类型以草甸为主,偶有不适宜生物生存的制约因子出现	物种较少,植被覆盖较差,严重干旱少雨,存在较为明显限制生物生存的因素	条件较恶劣,植被稀疏,多为高寒山区,生物生存环境恶劣

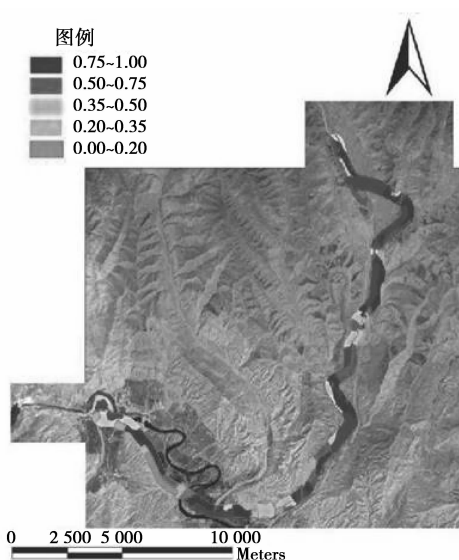


图 6 某公路生态环境质量分区图

## 4 结 语

应用遥感技术与地理信息系统技术,对公路建设和运营影响范围内区域的遥感数据进行空间信息的识别,分析该区域内土地利用、水土流失、植被覆盖度等自然环境因子,并结合国家基础地理信息库的高程数据,分析公路生态环境质量现状。通过建立公路生态环境评价模型,计算出影响区内生态环境质量指数及其空间分布情况。从空间统计分级结果看,公路走廊带多为生态环境质量优良区,路线南部和西部为生态环境较为敏感区,路线西南部为较为脆弱的地区。

### 参考文献:

- [1] 郑志华,崔宝军.高速公路评价区生态环境影响综合评价初探[J].交通部上海船舶运输科学研究所学报,2004,27(1):46-48.  
ZHENG ZHI-HUA, CUI BAO-JUN. Preliminary exploration on the integrated assessment of highway ecology and environment [J]. Journal of Shanghai

Scientific Research Institute of Shipping, 2004, 27(1): 46-48.

- [2] FARINA A. Principles and method in ecology [M]. London: Chapman and Hall, 1998.
- [3] 杨东,田娜,焦金鱼.甘肃省高速公路生态环境的可持续发展评价[J].西北师范大学学报:自然科学版,2007,43(5):102-107.  
YANG DONG, TIAN NA, JIAO JIN-YU. Analysis on sustainable development of the ecosystems of highways in Gansu province [J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2007, 43(5): 102-107.
- [4] 程胜高,鱼红霞,殷坤龙.高速公路生态环境评价的研究[J].环境保护,2000(8):21-23.  
CHENG SHENG-GAO, YU HONG-XIA, YIN KUN-LONG. Research for eco-environment effects on expressway [J]. Environmental Protection, 2000(8): 21-23.
- [5] ANSELIN A, MEIRE P M, ANSELIN L. Multicriteria techniques in ecological evaluation: an example using the analytical hierarchy process [J]. Biol Conserv, 1989, 49(3): 215-229.
- [6] 牛玉欣,陈红.基于GIS的高速公路生态环境质量监控系统研究[C]//2007第三届中国智能交通年会论文集,南京:东南大学出版社,2007.
- [7] 余艳红.空间信息技术在云南山地公路生态环境影响评价中的应用探讨[J].环境科学导刊,2007,26(2): 60-63.  
YU YAN-HONG. Application of spatial information technology on ecological environment impact assessment of highway construction in Yunnan mountain areas [J]. Environmental Science Survey, 2007, 26(2): 60-63.
- [8] 赵金平,焦述强.基于GIS技术环境影响评价的研究进展及展望[J].新疆地质,2004,22(4):395-399.  
ZHAO JIN-PING, JIAO SHU-QIANG. Progress of domestic and international research on GIS based environmental impact assessment [J]. Xinjiang

- Geology,2004,22(4):395-399.
- [9] 孟庆生. 信息论[M]. 西安:西安交通大学出版社,1989.
- [10] 邱菀华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [11] LORD D A. The state of cockburn sound;a pressure-state-response report [R]. Perth, West Australia; Cockburn Sound Management Council,2001.
- [12] DUMANSKI J, PIERI C. Application of the pressure-state-response framework for the land quality indicators (LQI) programme[EB/OL]. (1996-1-30)[2009-12-25] <http://www.fao.org/docrep/W4745E/w4745e08.htm>.
- [13] OECD Environment Directorate-State of the Environment Division. Using the pressure-state-response model to develop indicators of sustainability [EB/OL]. (2001-3-15) [2009-12-25] [http://destinet.ew.eea.europa.eu/tools/measurement\\_instruments/OECD\\_P-S-R\\_indicator\\_model.pdf](http://destinet.ew.eea.europa.eu/tools/measurement_instruments/OECD_P-S-R_indicator_model.pdf).
- [14] 交通部公路科学研究院. 公路建设项目环境影响评价规范(JTG B03-2006) [S]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [15] CHEN S P, YUE T X. Discussion on system method of studying global environmental change [J]. Journal of National Resources,2000,16(1):3-8.
- [16] 国家环境保护总局. 生态环境状况评价技术规范(试行)(HJ/T192-2006) [S]. 北京:中国环境科学出版社,2006.
- [17] AINONG L, ANGSHENG W, LIANG S L, et al. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS—A case study in the upper reaches of Minjiang River China [J]. Ecological Modelling,2006,192(1-2):175-187.
- [18] 中国国家海洋局. 2005年中国海洋环境质量公报 [EB/OL]. (2005-12-20)[2006-01-01] <http://www.soa.gov.cn/hygb/2005hyhj/>.
- [19] 孙熠,马少杰,时云峰. 公路路域生态环境评价研究:以绵阳至重庆公路绵阳至遂宁段为例[J]. 科技信息,2008,25(16):11-12.  
SUN YI, MA SHAO-JIE, SHI YUN-FENG. Study on ecological environment evaluation along highway-taking the part from Mianyang to Suining of the Mianyang-Chongqing highway as an example [J]. Science & Technology Information,2008,25(16):11-12.
- [20] 闫文周,顾连胜. 熵权决策法在工程评价中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报,2004,36(1):98-100.  
YAN WEN-ZHOU, GU LIAN-CHENG. Application of the method of entropy proportion in the engineering mark[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology,2004,36(1):98-100.
- [21] KLUNG P, TAYLOR M. Microncomputer-based-system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road works [J]. Comput Environ Urban Syst,1998,22(5):425-446.
- [22] 韩国杰. 甘肃公路自然环境评价指标及分区研究 [D]. 西安:长安大学,2008.
- [23] FOODY G M. Estimation of land coverage from a land cover classification derived from remotely sensed data[J]. Geo Journal,1995,36(4):361-370.
- [24] SCHUURMAN N. GIS: a short introduction [M]. Malden, MA:Blackwell Pub,2004.

(编辑 赵静)