

# 纵向岭谷区高速公路沿线生态系统健康评价

刘杰, 陈帆, 耿海清, 仇昕昕, 蔡斌彬

(环境保护部 环境工程评估中心, 北京 100012)

**摘要:** 将生态系统健康理论引入路边生态系统, 选择纵向岭谷区大保(大理—保山)和思小(思茅—小勐养)两段高速公路作为案例工程, 采用生态系统距离指数、协调指数和健康指数对高速公路沿线生态系统的健康状态进行了尝试性评价, 进而分析了高速公路建设对沿线生态系统健康的影响。结果表明, 高速公路建设对沿线生态系统健康产生了一定程度的影响, 其影响范围可能在 200 m 内, 且距离高速公路越近, 其影响强度越大; 不同地理位置和地貌条件下高速公路建设对沿线生态系统健康的影响强度不同, 大保高速公路的影响作用强于思小高速公路(除山腰路段沿线 0~50 m), 不同地貌条件下其影响程度的强弱比较满足: 山腰>山顶。

**关键词:** 生态系统; 健康评价; 高速公路沿线; 纵向岭谷区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0031-06

中图分类号: X171, U417

## Ecosystem Health Assessment on Highway Roadsides in Longitudinal Range-Gorge Region

LIU Jie, CHEN Fan, GENG Hai-qing, QIU Xi-xi, CAI Bin-bin

(Appraisal Center for Environment & Engineering, State Environment Protection Administration, Beijing 10012, China)

**Abstract:** The concept of ecosystem health is introduced in highway roadside ecosystem by taking Dabao Highway (from Dali City to Baoshan City) and Sixiao Highway (from Simao City to Xiaomengyang Town) in the longitudinal range-gorge region as examples. Distance index, coordination index, and health index are adopted and ecosystem health state on highway roadside is assessed. Then the effect caused by highway construction on the roadside ecosystem health is analyzed. Results indicate that highway construction has dramatic effects on highway roadside ecosystem health, with affected scope mostly within 200 m. The nearer to the road, the harder the effect is. The affecting degrees on highway roadside ecosystem health under different landforms caused by the two selected highways are obviously different. The degree of Dabao Highway is higher than that of Sixiao highway, except the ecosystem within 0—50 m to road on mountainside section. The compared result between different landforms shows the order of mountaintop> mountainside.

**Keywords:** ecosystem; health assessment; highway roadside; longitudinal range-gorge region

高速公路建设将产生植被破坏、环境污染、地质灾害、隔离生物种群、生境破碎和水土流失等生态影响<sup>[6]</sup>, 并能通过影响周边地区的政策导向和人类行为方式, 导致更为严重的生态问题<sup>[7-8]</sup>。高速公路建设干扰下, 沿线生态系统中的个体、种群和群落等层次的生物组分, 地貌、土壤和气候等环境因子都将发生一定程度的改变, 并将最终表现为对沿线生态系统健康程度和生态完整性的损害<sup>[9]</sup>。生态系统健康是 20 世纪 70 年代末从“生态系统医学”(ecosystem medicine)角度提出的新兴生态系统管理概念, 由于其能够刻画可持续的人类未来本质, 自 20 世纪 90 年代以来日渐成为生态学的研究热点<sup>[10-11]</sup>; 生态系统健康评价是对生态

系统健康状态进行定量分析的方法, 能够反映受到干扰后生态系统的变化趋势<sup>[12]</sup>。可见, 生态系统健康评价的提出和发展, 为定量评价高速公路建设干扰下沿线多层次生态变化的整体状态提供了借鉴。本研究从生态系统健康入手, 将高速公路建设在个体、种群和群落等层次上产生的生态影响纳入到生态系统结构与功能框架体系, 通过评价沿线生态系统的健康状态的变化以分析公路建设对其产生的影响, 将对定量研究高速公路建设的综合影响提供有益借鉴。

### 1 研究区与案例工程

以西南纵向岭谷区的大保(大理—保山)和思小

(思茅—小勐养)2 段高速公路为案例工程。纵向岭谷区是指位于我国西南、与青藏高原隆升直接相关联的横断山及毗邻的南北走向山系河谷区,以其沿南北向发育、东西向分布的巨大山系和深切河谷构成了全球独特的高山峡谷景观<sup>[13-14]</sup>。大保高速公路东西走向,横穿纵向岭谷并位于山脉与河流的上游,全线地形峰峦重叠,坡陡谷深,海拔高差 1 445 m,建成通车近 20 a;思小高速公路南北走向,顺延纵向岭谷并位于山脉河流下游,全线为河流切割的山原地形,地势由北向南倾斜,相对平缓,海拔高差 595 m,已经建成通车不足 5 a。可见,两条公路处于不同的生命期,沿线地形、地貌具有典型性,其建设基本能反映研究区高速公路建设的特征。

2 评价指标体系与指标测定

2.1 评价指标体系构建

基于自然生态系统的健康评价思路,按照 P—R—S (压力—状态—响应)模式,应用层次分析法原理,构建高速公路沿线生态系统健康评价指标体系。

应用 SPSS 12.0 计算了所有获取指标的特征值、贡献率和累积贡献率,从正、负两个方向选取了 3 个方面(压力、状态和响应)中对应的载荷值较大的因子;以累计贡献率 85%为标准,筛选出了 24 个具体指标(表 1)。对于指标体系中最后一层各个指标在其所在上一层指标体系中的权重,采用差值平均法进行了修正(以贡献率为基础,将非主成分所占比重按照主成分贡献率大小进行分配),其它层次的指标权重采用专家估计法确定。案例工程沿线生态系统健康评价指标体系、各个指标的影响权重的确定结果见表 1。

2.2 评价指标的测定

2.2.1 样线与样地设置 在大保和思小两条高速公路的山坡和山顶路段沿线各选择 1 条样线(表 2),样线垂直公路走向。在各条样线上,将公路沿线 0~50 m,50~100 m 和 100~200 m 分别作为 3 个独立样地;对照样地远离公路(1 500 m 以外),其坡度、坡向以及群落类型与测定样点相近。

表 1 高速公路沿线生态系统健康评价指标、标准和基准

| 子系统      | 子系统特征值与权重                         |            |                                  | 二级或者三级指标  |  | 标准    | 基准    | 权重   |
|----------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|---|--|-------|-------|------|
| 压力<br>指标 | 占方差比例 17%<br>累计百分数 23%<br>权重 20%  |            |                                  | 1 与高速公路距离(平均)/m                                     |  | 200   | 0     | 0.45 |
|          |                                   |            |                                  | 2 地形坡度/(°)  |  | 0.04  | 0.02  | 0.29 |
|          |                                   |            |                                  | 3(样线中点)距路基垂直高度/m                                    |  | 90    | 0     | 0.17 |
|          |                                   |            |                                  | 4 车流影响程度[噪声 dB(A)]                                  |  | 0.025 | 0.01  | 0.09 |
| 状态<br>指标 | 占方差比例 64%<br>指数<br>权重 60%         | 结构变化<br>指数 | 占方差比例 54%<br>累计百分数 54%<br>权重 50% | 5 森林覆盖率/%   |  | 85    | 20    | 0.19 |
|          |                                   |            |                                  | 6 垂直分层(层)   |  | 4     | 0     | 0.17 |
|          |                                   |            |                                  | 7 物种多样性指数(Simpson 指数)                               |  | 0.4   | 0.1   | 0.15 |
|          |                                   |            |                                  | 8 水平格局(聚块指数)  |  | 0.34  | 0.05  | 0.13 |
|          |                                   |            |                                  | 9 优势种数量/种   |  | 13    | 0     | 0.12 |
|          |                                   |            |                                  | 10 亚优势种数/种  |  | 12    | 0     | 0.10 |
|          |                                   |            |                                  | 11 群落演替程度   |  | 3     | 1     | 0.08 |
|          |                                   |            |                                  | 12 土壤重金属(铅)/(g·kg <sup>-1</sup> )                   |  | 0.041 | 0.005 | 0.06 |
|          |                                   |            |                                  | 13 乔木生物量/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )     |  | 229   | 60    | 0.26 |
|          |                                   |            |                                  | 14 土壤质地优劣度  |  | 4     | 0.2   | 0.19 |
|          |                                   |            |                                  | 15 地形与气候适宜度   |  | 4     | 0     | 0.15 |
|          |                                   |            |                                  | 16 土壤有机质/%  |  | 35    | 10    | 0.15 |
|          |                                   |            |                                  | 17 灌草植物生物量/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )   |  | 5.3   | 1.5   | 0.09 |
|          |                                   |            |                                  | 18 建群乔木光合速率/(mg·dm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |  | 20.3  | 5.5   | 0.07 |
|          |                                   |            |                                  | 19 建群灌木光合速率/(mg·dm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |  | 3.1   | 2.5   | 0.06 |
|          |                                   |            |                                  | 20 建群草本光合速率/(mg·dm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |  | 41.9  | 5.5   | 0.03 |
| 响应<br>指标 | 占方差比例 19%<br>累计百分数 100%<br>权重 20% |            |                                  | 21 动植物保护措施完善程度                                      |  | 4     | 0     | 0.25 |
|          |                                   |            |                                  | 22 水土保持工程完善程度                                       |  | 4     | 0     | 0.25 |
|          |                                   |            |                                  | 23 区域生态恢复与保护程度                                      |  | 4     | 0     | 0.25 |
|          |                                   |            |                                  | 24 景观恢复状况   |  | 4     | 0     | 0.25 |

2.2.2 选定指标测定 在各个选定样地及其参照样地中,记录其坡度、坡向等生境状况;对于群落演替阶段采用专家估测法定性确定,1 为先锋阶段,2 为过渡阶段,3 为稳定阶段;对于土壤质地优劣度、地形与气候适宜度、动植物保护措施完善程度、水土保持工程完善程度、景观恢复状况等指标而言,采用专家打分法进行确定,1 表示差,2 表示一般,3 表示较好,4 表示好。

在各个样地分别设置 10 m×10 m 的乔木样方 5 个,5 m×5 m 的灌木样方 5 个,1 m×1 m 的草本样方 5 个,实测乔木胸径、树高、枝下高和冠幅,记录其生长状况;记录乔木、灌木和草本植物的名称,同时调查其密度、盖度、高度、频度、多度和覆盖度等指标。

表 2 选定样线的基本情况

| 路段与样线 |      | 样线中心经纬度                 | 海拔/ m | 地 形     | 植被类型        |
|-------|------|-------------------------|-------|---------|-------------|
| 大保公路  | 样线 1 | 25°02′1″N; 99°43′05″E   | 2 278 | 山顶凹坡    | 针阔混交林, 自然植被 |
|       | 参照 1 | 25°02′14″N; 99°43′05″E  | 2 194 | 25°~30° |             |
|       | 样线 2 | 25°27′12″N; 99°23′.37″E | 1 944 | 山腰平坡    | 常绿阔野林, 自然植被 |
|       | 参照 2 | 25°27′29″N; 99°23′.37″E | 1 950 | 28°~33° |             |
| 思小公路  | 样线 3 | 23°06′44″N; 102°46′2″E  | 1 970 | 山顶凸坡    | 常绿阔叶林, 自然植被 |
|       | 参照 3 | 23°06′47″N; 102°46′2″E  | 1 931 | 20°~22° |             |
|       | 样线 4 | 23°04′36″N; 102°44′36″E | 1 585 | 山腰平坡    | 常绿阔叶林, 自然植被 |
|       | 参照 4 | 23°04′36″N; 102°44′36″E | 1 498 | 27°~30° |             |

3 路边生态系统健康评价

3.1 评价模型选择

采用生态系统距离指数、协调指数和健康指数评价高速公路沿线生态系统健康状态。

3.1.1 生态系统距离指数 (1) 生态要素距离指数 (公式 2)

$$R_i^n = \frac{R_i^n(r) - R_i^n(w)}{R_i^n(p) - R_i^n(w)} \tag{2}$$

式中:  $R_i^n(p)$ ——第  $n$  层第  $i$  个指标的目标值,即生态系统要素的参照状态;  $R_i^n(r)$ ——第  $n$  层第  $i$  个指标的现实值;  $R_i^n(w)$ ——第  $n$  层第  $i$  个指标基准值;  $R_i^n$ ——为第  $n$  层第  $i$  个指标的标准化健康指数值;  $n$ ——指标所处的级数。

(2) 生态系统距离指数。在对要素指标距离指数进行分析的基础上,对生态系统指标进行等级间整合(公式 3)。

$$DI_i^k = \sum_{j=1}^m DI_{ij}^{k+1} W_{ij}^{k+1} (k \neq n), DI_i^k = R_i^n (k = n) \tag{3}$$

式中:  $DI_i^k$ ——生态系统第  $k$  级第  $i$  个指标的距离指数;  $DI_{i+1}^{k+1}$ ——第  $k$  级第  $i$  个指标在第  $k+1$  等级中第  $j$  个子指标的距离指数;  $W_{i+1}^{k+1}$ ——第  $k$  级第  $i$  个指标在第  $k+1$  等级中第  $j$  个子指标的权重系数,表示第  $j$  个指标在指向第  $k$  级第  $i$  个指标的第  $k+1$  等级所有指标中的优先等级;  $n$ ——生态系统健康评价指标体系的等

级数;  $m$ ——指标体系中指向第  $l$  级的指标数。

3.1.2 生态系统协调指数 在距离指数评价基础上,将协调指数作为评补充的评价指标(公式 4)。

$$W_l = 1.248\ 2 \times (-5.577\ 4 + D)^2 \tag{1}$$

式中:  $W_l$ ——乔木生物量;  $D$ ——胸径。

采用 LI-6400 便携式光合仪利用自然光照和开放气路,在野外对各样地中优势乔木、灌木和草本植物种进行不离体测定(高大乔木取树枝离体后 2 min 内测定)。各类植物选择两种优势种,每种选 3 株,每株选 3 片向阳、成熟、健康叶片,重复测定 3 次,取平均值<sup>[9]</sup>。

CI=  $\frac{2}{n \times (n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \left\{ \frac{4 \times f(i) \times f(j)}{[f(i) + f(j)]^2} \right\}^m$  (4)

式中: CI——生态系统协调指数;  $n$ ——生态系统系统要素的个数;  $f(i)$ ——第  $i$  个系统或要素的距离指数;  $f(j)$ ——第  $j$  个系统或要素的距离指数;  $i, j$ ——系统或要素标号; ( $i \neq j$ );  $m$ ——调节系数,  $m \geq 2$ 。

3.1.3 生态系统健康指数 采用“加权连乘法”求算生态系统的健康指数(公式 5)。

$$I_H = I_D^\alpha \cdot I_C^\beta \tag{5}$$

式中:  $I_H$ ——系统健康指数;  $I_D^\alpha$ ——距离指数;  $I_C^\beta$ ——协调指数;  $\alpha, \beta$ ——权重。

3.2 评价标准与基准的确定

3.2.1 指标标准 评价标准确定采取以下几种方法。(1) 参照点法。是本研究选用的主要方法;(2) 历史资料法。主要采用环评与初设资料;(3) 借鉴国家标准。主要用于土壤污染指标;(4) 相关研究成果。如影响范围等;(5) 公众参与和专家评判。主要用于定性指标的确定。各个选定指标评价标准的确定结果见表 1。

3.2.2 评价基准 各个评价指标评价基准的其确定原则为:高速公路建设引起的可能(可有可无)影响,

其基准值取 0; 对于其必然影响, 其基准值取所有测定数据中的最小值; 按照此原则, 各指标评价基准的确定结果见表 1。

3.2.3 生态系统健康程度的划分 为了由健康指数判断生态系统系统所处的健康状态, 参照其它人工干扰下生态系统健康评价标准<sup>[16]</sup>, 充分考虑了路边生态系统的复合性和发展要求, 确定了其分级标准(健康: 0.9~1.0; 较健康: 0.8~0.9; 亚健康: 0.6~0.8; 不健康: 0.3~0.6; 病态: 0~0.3)。

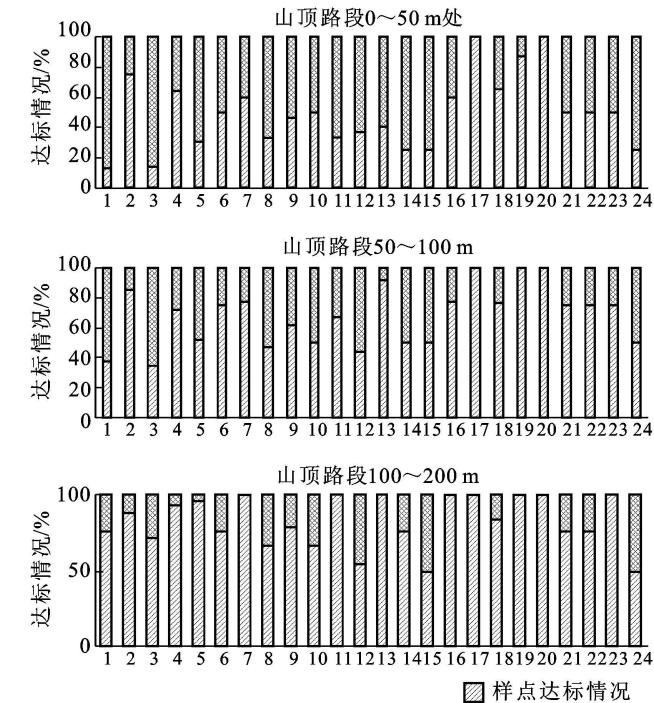


图 1 大保公路沿线各评价指标的达标情况(横坐标刻度均为样点号)

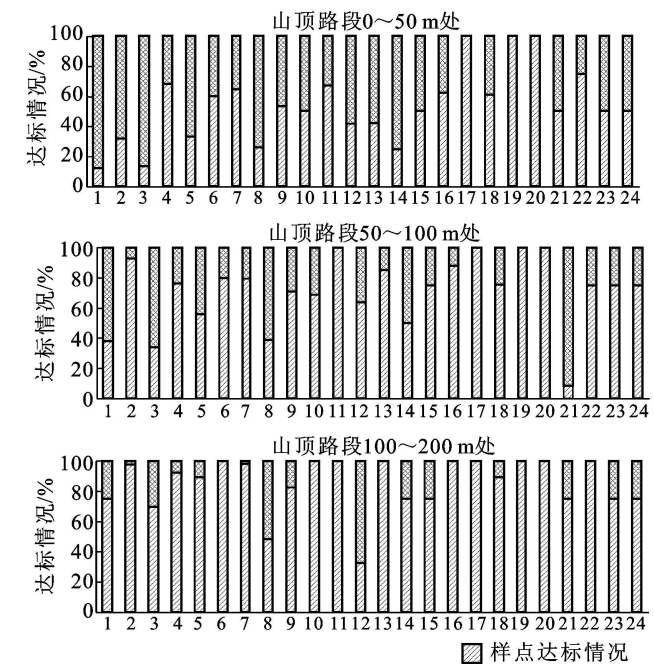


图 2 思小公路沿线各评价指标的达标情况(横坐标刻度均为样点号)

### 3.3 评价结果分析

3.3.1 各指标达标情况分析 为了能够整合选定的 24 个指标以表征公路沿线生态系统的整体状态, 需使得各个指标大小与公路干扰强弱的对应关系相同, 故此本研究对于土壤含铅量( $\mu\text{g/g}$ )及各个生态系统所在生境的平均坡度( $^{\circ}$ )两个指标, 对其测定结果的倒数进行了分析。

不同地貌条件下, 两条选定的高速公路沿线不同距离处各个评价指标的达标情况见图 1—2。

从图 1—2 可以看出, 两条选定高速公路沿线不同距离处的各个生态系统中各个评价指标都受到了一定程度的影响。与相应标准比较, 大部分指标(约 90%)呈现降低趋势, 不能达到标准要求; 少数指标(约 10%)的测定值高于相应标准, 主要为灌草植物的光合效率等指标, 随着临近公路呈现增高趋势。对比而言, 在垂直高速公路方向上, 距离公路越远的生态系统中达标指标数量越多, 不能达标的各个评价指标的测定值与其相应标准值的差异也越小; 同时大保与思小高速公路沿线相同貌条件下、距离公路相同距离处各个生态系统的各评价指标相比, 前者指标的达标率明显低于后者, 各个不能达标的评价指标与其相应标准的差值明显大于后者; 山腰路段与山顶路段相比, 在公路沿线相同距离处的生态系统中各指标的达标情况前者明显逊于后者; 这种分布特征与公路建设干扰强度的分布完全一致, 说明高速公路建设是导致沿线生态系统中各个生态指标变化的重要原因。

3.3.2 生态系统健康指数结果分析 取  $m=2$ (调节系数), 同时根据高速公路沿线各个生态系统中各个指标的达标情况, 即生态系统发育程度的重要性(距离指数)远低于系统之间的均衡发展(协调指数), 取  $\alpha=0.3$ ,  $\beta=0.7$ , 两条选定高速公路沿线的各生态系统中各个子系统的距离指数、协调指数和健康指数的计算结果见表 3, 生态系统整体健康评价结果见表 4。

由表 3—4 可以看出: (1) 在选定的两条高速公路沿线不同距离处的各个生态系统中, 各个子系统的

距离指数(0.22~0.89)、各个生态系统的整体距离指数(0.27~0.84)、协调指数(0.58~1)和健康指数(0.27~0.95)都有随着距离高速公路渐远而逐渐增高的趋势, 说明高速公路建设对沿线生态系统健康产生了影响, 距离高速公路越近, 影响强度越大。(2) 4 条选定的样线上, 在距离高速公路 0~50 m 处, 思小高速山腰路段的生态系统健康程度均为不健康, 其它 3 个生态系统为亚健康(0.66~0.75), 经过现场考察可知, 思小高速山腰路段沿线 0~50 m 处原为临时施工场地, 受到了人类强烈的干扰尚未完全恢复; 在距离高速公路 50~100 m 处, 思小山顶路段处生态系统健康程度为健康(0.90), 其它为较健康(0.81~0.86), 原因是思小山顶路段沿线水热条件好且坡度不大, 植被恢复周期快; 距离高速公路 100~200 m 处, 各生态系统的健康程度均为健康(0.91~0.95), 说明高速公路道建设对其影响不大。可见研究区高速公路建设对沿线生态系统健康的影响范围很可能在 200 m 内。(3) 地理位置和地貌条件的不同对高速公路沿线各生态系统健康程度的影响明显, 大保高速对相同地貌条件下(山腰或者山顶)相应位置上(距离高速公路相同距离处)的生态系统健康的影响程度大于思小高速; 不同地貌条件下影响强度满足: 山腰>山顶。另外, 公路建成时间与车流量等具体情况的不同, 也可能是影响路边生态系统健康程度的因素之一, 但此类影响的发生多通过汽车尾气污染间接所致, 其作用机理复杂并涉及尺度转换问题, 需今后做进一步研究。

表 3 高速公路沿线生态系统中各子系统的距离指数

| 路段             | 地貌条件   | 山 顶    |          |           | 山 腰       |        |          |
|----------------|--------|--------|----------|-----------|-----------|--------|----------|
|                | 生态系统位置 | 0~50 m | 50~100 m | 100~200 m | 100~200 m | 0~50 m | 50~100 m |
| 大保<br>高速<br>公路 | 干扰子系统  | 0.22   | 0.48     | 0.76      | 0.22      | 0.47   | 0.73     |
|                | 状态子系统  | 0.35   | 0.59     | 0.81      | 0.30      | 0.58   | 0.81     |
|                | 响应子系统  | 0.44   | 0.69     | 0.75      | 0.25      | 0.44   | 0.63     |
| 思小<br>高速<br>公路 | 干扰子系统  | 0.31   | 0.57     | 0.81      | 0.17      | 0.58   | 0.86     |
|                | 状态子系统  | 0.50   | 0.80     | 0.82      | 0.47      | 0.75   | 0.89     |
|                | 响应子系统  | 0.56   | 0.69     | 0.81      | 0.38      | 0.50   | 0.69     |

表 4 高速公路沿线各生态系统的整体距离指数、协调指数与健康指数

| 路段             | 地貌条件   | 山 顶    |          |           | 山 腰    |          |           |
|----------------|--------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|
|                | 生态系统位置 | 0~50 m | 50~100 m | 100~200 m | 0~50 m | 50~100 m | 100~200 m |
| 大保<br>高速<br>公路 | 距离指数   | 0.34   | 0.59     | 0.80      | 0.27   | 0.53     | 0.74      |
|                | 协调指数   | 0.88   | 0.96     | 1         | 0.97   | 0.98     | 0.99      |
|                | 健康指数   | 0.66   | 0.83     | 0.94      | 0.66   | 0.81     | 0.91      |
|                | 健康程度分级 | 亚健康    | 较健康      | 健康        | 亚健康    | 较健康      | 健康        |
| 思小<br>高速<br>公路 | 距离指数   | 0.47   | 0.73     | 0.83      | 0.39   | 0.67     | 0.8       |
|                | 协调指数   | 0.91   | 0.98     | 1         | 0.65   | 0.96     | 0.99      |
|                | 健康指数   | 0.75   | 0.90     | 0.95      | 0.58   | 0.86     | 0.94      |
|                | 健康程度分级 | 亚健康    | 健康       | 健康        | 不健康    | 较健康      | 健康        |

## 4 结 论

(1) 公路建设干扰下, 沿线生态系统中的个体、种群和群落等层次的生物组分, 地貌、土壤和气候等环境因子都将发生一定程度的改变, 并将最终表现为对沿线生态系统健康程度和生态完整性的损害<sup>[12]</sup>。一般情况下, 生态系统整体健康状态的改变是衡量公路建设生态影响强度的重要表征。生态系统健康评价是对生态系统健康状态进行定量分析的方法, 能够反映受到公路建设干扰后生态系统的变化趋势。本研究引入生态系统健康理论对高速公路建设的生态效应进行了评价, 评价过程中将高速公路建设干扰下的个体、种群与群落变化统一纳入了生态系统健康评价不同层次的指标体系, 从而实现了多层次生态效应评价的整合<sup>[17]</sup>。

(2) 两条选定的高速公路沿线不同距离处各生态系统的健康评价指标都受到了一定程度的影响, 两条高速公路沿线不同距离处的各个生态系统中, 各子系统的距离指数、生态系统的整体距离指数、协调指数和健康指数都有随着距离高速公路渐远而逐渐增高的趋势, 说明高速公路建设对沿线生态系统健康产生了影响, 距离高速公路越近, 影响强度越大。就采用各个指数的变化而言, 虽然不完全相同, 但其整体趋势一致。究其原因, 生态系统距离指数主要表征的是系统整体状态, 而生态系统协调指数中主要表征系统内部组分关系, 二者有区别也有联系, 共同决定了生态系统的整体健康状态。

(3) 公路沿线不同距离处受到公路干扰程度大小不同<sup>[18]</sup>。在距离高速公路 0~50 m 处, 思小山路段的生态系统健康程度均为不健康, 其它 3 个生态系统为亚健康; 在距离高速公路 50~100 m 处, 思小山顶路段处生态系统健康程度为健康, 其它为较健康; 距离高速公路 100~200 m 处, 各生态系统的健康程度均为健康, 说明高速公路对生态系统健康的影响范围很可能在 200 m 内。此外, 地理位置和地貌条件对高速公路沿线各生态系统健康程度的影响明显, 大保高速对相同地貌条件下(山腰或者山顶)相应位置上(距离高速公路相同距离处)的生态系统健康的影响程度基本大于思小高速(除山腰路段 0~50 m), 不同地貌条件比较满足: 山腰>山顶。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Lydia P, Olander F N, Scatena W L. Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto

- Rico[ J ]. Silver Forest Ecology and Management, 1998, 109: 33-49.
- [ 2 ] Canters K, Piepers A, Hendriks H A, et al. Proceedings of the international conference on habitat fragmentation and infrastructure in Maastricht & DenHague Delft[ J ]. Ministry of Transport, 1995, 15: 61-69.
- [ 3 ] 陈辉, 李双成, 郑度. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响[ J ]. 山地学报, 2003, 21(5): 559-567.
- [ 4 ] 其其格, 闫宏伟. 高速公路对通过区的环境影响研究进展[ J ]. 北华大学学报: 自然科学版, 2001, 2(2): 173-178.
- [ 5 ] 刘杰, 崔保山, 董世魁, 等. 纵向岭谷区高速公路建设对沿线植物生物量的影响[ J ]. 生态学报, 2006, 26(1): 83-90.
- [ 6 ] 朱建军, 杨志峰, 崔保山, 等. 纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[ J ]. 生态学报, 2006, 26(1): 146-153.
- [ 7 ] 曹力媛. 高速公路建设的生态环境问题及对策研究[ J ]. 山西交通科技, 2002(2): 7-8.
- [ 8 ] 闫百兴, 刘景双. 高速公路建设对环境的影响分析[ J ]. 农村生态环境, 1997, 13(4): 20-24.
- [ 9 ] 刘杰, 崔保山, 董世魁, 等. 公路建设干扰下的生态系统变化及其机理[ J ]. 水土保持通报, 2006, 26(2): 31-36.
- [ 10 ] 李瑾, 安树青, 程小莉, 等. 生态系统健康评价的研究进展[ J ]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 641-647.
- [ 11 ] Patten B C, Costanza R. Logical interrelations between four sustainability parameters: Stability, continuation, longevity and health[ J ]. Ecosystem Health, 1997, 3(3): 136-142.
- [ 12 ] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌. 浅析生态系统健康评价研究现状[ J ]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(5): 539-541.
- [ 13 ] 何大明, 吴绍洪, 彭华, 等. 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究[ J ]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 338-344.
- [ 14 ] 吴绍洪, 戴尔阜, 何大明. 我国西南纵向岭谷区环境与发展问题初步研究[ J ]. 地理科学进展, 2005, 24(1): 31-40.
- [ 15 ] 林思祖, 杨梅, 曹子林, 等. 不同强度人为干扰对马尾松地上部分生物量及生产力的影响[ J ]. 西北植物学报, 2004, 24(3): 516-522.
- [ 16 ] 杨士弘. 城市生态环境学[ M ]. 北京: 科学出版社, 2003: 255.
- [ 17 ] 胡延兰, 杨志峰, 何孟常. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用[ J ]. 环境科学学报, 2002, 25(2): 269-274.
- [ 18 ] 刘杰, 崔保山, 董世魁, 等. 纵向岭谷区高速公路建设对沿线植物光合速率影响的定量研究[ J ]. 科学通报, 2006, 51(S): 48-55.