

公路边坡植被恢复质量评价指标及方法研究

贾致荣^{1,2}, 张玮¹

(1. 山东理工大学 建筑工程学院, 山东 淄博 255049; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 边坡植被恢复是解决高速公路建设所造成的环境破坏问题的重要手段之一, 已受到人们的普遍重视。但是, 对坡面植被恢复质量的评价尚没有统一、公认的指标体系。基于恢复生态学和美学的理念, 在分析坡面植被功能的基础上, 参考道路工程、植物生态学、恢复生态学、草地生态学、水土保持学、景观学等理论, 提出了绿期、盖度、多度、截流量、综合抗性、根系稳定效果、景观优美度、管理水平 8 个重要评价指标, 并给出了各指标的量化计算办法。利用 AHP 评判矩阵计算了各评价指标的权重。根据坡面植被群落的演替规律, 提出了建议的评价时间, 得出了坡面植被恢复质量的评价值, 确定了质量等级。结合 2008 年奥运公路——济南至青岛高速公路南线工程, 进行了实例分析。

关键词: 环境工程; 边坡植被恢复; 评价指标; 评价方法

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2008)01-0115-04 **中图分类号:** X171.4, U416.1+4

Evaluation Index and Method of Re-vegetation Quality on Highway Slope

JIA Zhi-rong^{1,2}, ZHANG Wei¹

(1. School of Architectural Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China;

2. Key Laboratory of Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: As an important method of solving the environmental problems caused by the construction of expressway, slope re-vegetation attracts much attention. However, an evaluation index system for the quality of slope re-vegetation that can be accepted by experts is not available. Based on the thoughts of restoration ecology and aesthetics and the analysis of functions of slope vegetation, eight important evaluation indexes of green period, coverage, richness degree, interception flux, comprehensive resistance, stabilizing effect of root system, beauty degree of landscape, and management level were presented and calculation method for each index was proposed using the theory of road engineering, vegetation ecology, restoration ecology, grass ecology, soil and water conservation, and landscape science. The weight of each index was determined by means of the Analytic Hierarchy Process judging matrix. Based on the succession law of slope vegetation community, proposed evaluation time was given, evaluation score of slope re-vegetation was calculated, and quality grade was determined. Finally, the Ji 'nan—Qingdao expressway II, which will serve 2008 Beijing Olympic Games, was also introduced as a case study.

Keywords: environmental engineering; slope re-vegetation; evaluation index; evaluation method

高速公路的建设, 尤其是山区高速公路的建设, 经常开挖大量的山体, 形成大面积的裸露边坡, 破坏原有的植被层, 造成了一系列生态环境问题。如水土流失、滑坡、泥石流、局部小气候的恶化及生物链破坏等。长期以来, 边坡稳定问题得到了普遍重视, 但是对坡面植被恢复进行生态、美学等方面的综合研究开展较少。

坡面植被恢复过程涉及道路工程、植物生态学、恢复生态学、草地生态学、水土保持学、景观学等多学科的理论。为了正确地评价坡面植被的质量, 弥补不同学科各自片面地对植被恢复所进行的孤立研究的缺陷, 防止“一年绿, 两年黄, 三年枯, 四年死”现象的频繁发生, 建立坡面植被恢复的质量评价指标体系是非常必要的。

收稿日期: 2007-09-11 修回日期: 2007-11-05

资助项目: 山东理工大学科技基金(2006 KJ M09)

作者简介: 贾致荣(1968—), 男(汉族), 山东省滨州市人, 副教授, 博士生, 主要研究道路与环境工程。E-mail: jiazhr@126.com。

1 评价指标和方法

1.1 评价思路和适宜的时间

评价思路是:按照系统性、科学性、简明性、可获取性、可测性、可比性、独立性及重要性的原则,征求多学科专家意见和参考其它文献资料^[1-4],确定评价指标,根据各指标与植被功能之间的紧密程度构建层次分析模型,计算各指标的权重系数,分别计算各指标值,然后进行归一化处理,通过计算,得到坡面植被的最终质量评分。

根据实际观测,一般从实施坡面绿化开始一个生长年后,绿化品种对环境的适应性和物种彼此之间的竞争性决定了物种在群落中的优势。坡面绿化形成的植被改善了坡面小气候和土壤微环境,为乡土植物的入侵创造了一个比较适应的生长环境。第 2~3 a 以后,边坡植物群落出现两种演替结果。一种是进展演替。植被个体数量增加,群落结构复杂化,群落利用自然界的生产力不断增强,边坡生态单元系统稳定,趋于一个动态平衡。表现为植被恢复效果好,护坡功能稳定发挥。另一种是逆行演替。植物数量减少,群落结构单一化,利用自然界的生产力降低,群落不稳定,表现为坡面的次生裸地面积增加,土壤侵蚀严重,局部生态环境恶化,边坡植被恢复工程失败。因此对于坡面植被质量评价的最佳时间是群落内种群密度和物种数量相对稳定的时期^[4]。一般来讲,人工植被在 2~3 个生长年以后的评价结果基本能反映对象的真实性。因此,可以将绿化后的第 2 a 或第 3 a 作为评价年。当然,只要边坡植被的恢复年份相同,相互比较的结果就有一定的说服力。

1.2 评价指标

1.2.1 绿期(C_1) 指绿化植物一年中保持绿色的天数。采用目测法,从树冠上 2/3 的叶片凋零开始计算灌木的枯黄,从枝顶端有 3 片以上叶片萌发开始计算返青;从植株外观颜色变为黄色开始计算草本的枯黄,从外观转绿开始计算返青^[1]。

1.2.2 盖度(C_2) 采用垂直盖度值,用单位面积内植被覆盖可绿化地表的百分数表示。盖度值能客观地反映植物的地上部分生物量,它对于防止坡面侵蚀和降低地表径流有直接作用。

当然,100%的绿化覆盖度有时是不适宜的。比如,从景观设计角度出发,有的岩石需要刻意裸露才能体现特殊的自然美。

1.2.3 多度(C_3) 为坡面生态系统中分盖度大于 10%的绿化乔、灌、草等的种类数。多度可以反映群落的稳定性。一个单一物种的绿化坡面,其抗逆性很

差,容易退化,群落不稳定。只有随着种间竞争和群落的自然演替,物种丰富到一定程度,群落才能够趋于稳定。

1.2.4 综合抗性(C_4) 为植株抗旱性、抗寒性、抗病性和耐贫瘠能力的综合表现。尤其是抗旱性和耐贫瘠能力,是影响坡面绿化效果的重要制约因素。根据植株的直观表现,人为地划分为 5 个等级,用 9 分制表示:9~7 分,好;7~5 分,较好;5~3 分,一般;3~2 分,差;2~0 分,极差。

1.2.5 截流量(C_5) 为植被截留降雨的量,分为灌木截流量和草本植物截流量。截流量对边坡水土流失有影响,采用 Horton R. E. 的经验公式计算。

$$I = a + bX^n$$

式中: I ——截流量(mm); X ——某一次降雨量(mm); a, b, n ——系数,根据植物种类而定。灌木时 $a=1.0, b=0.8, n=0.5$;阔叶型草本时 $a=0.5, b=0.5, n=0.5$;细叶型草本(主要指禾本科类)时 $a=0.5, b=0.15, n=0.5$ ^[5]。

1.2.6 根系稳定效果(C_6) 为边坡安全系数的提高值。植物根系的力学加筋与锚固作用,植物的蒸腾排水效应等对边坡的稳定性产生一定的影响^[6]。一方面可以通过对浅根加固的土进行现场剪切试验,得到的根土复合体的粘聚力 c 和内摩擦角 ϕ 来计算 C_6 ;另一方面也可以测定根的抗拉强度和根土面积比,通过建立植物根与土相互作用的加筋力学模型,来计算 C_6 。可以借助 FLAC 等软件计算。

1.2.7 景观优美度(C_7) 为坡面植被所给予个人的美学意义上的主观满足程度。坡面植物景观影响到行车的舒适性和安全性。国内外对于高等级公路景观评价的研究尚处于探索阶段,对坡面植物景观的评价目前更没有成熟的指标体系及评价方法。经过权衡,选用 SD 法对坡面植物景观优美度进行了定量评价。

SD 法是由 C. E. Osgood 在 1957 年提出的一种心理测定方法,又称感受记录法,它通过言语尺度进行心理感受的测定。总参与评价的人数为 20~50 人左右。评价尺度采用 7 段制^[7]。用作评价的部分形容词对见表 1。

1.2.8 养护管理水平(C_8) 为植被维持费用与水平的综合反映。分为 6 级(10 分制):一级为低投入,高水平,9~10 分;二级为低投入,中水平,7~8;三级为中投入,高水平,6~7 分;四级为中投入,中水平,5~6 分;五级为高投入,高水平,3~5 分;六级为高投入,中、低水平,0~3 分。采用模糊评判的方法确定等级。

表 1 SD 评价的部分形容词对

SD 因子形容词	评价得分	形容词对
(色相)单调的	1~7	丰富的
(季相变化)不显著的	1~7	显著的
(明暗对比)不恰当的	1~7	恰当的
(色纯度)暗淡的	1~7	鲜艳的
(大小搭配)不合理的	1~7	合理的
(高低配合)不恰当的	1~7	恰当的
(肌理)不明显的	1~7	明显的
(形态)丑的	1~7	美的
(空间变化)单调的	1~7	丰富的
(气味)难闻的	1~7	清新的

1.3 各评价指标权重计算

利用美国运筹学家、匹兹堡大学教授 T.L. Saaty 提出的 AHP 法确定各指标在综合评分中的权重^[8]。采用 1~9 比率标度法对不同指标进行两两比较,得到评判矩阵 A(见表 2)。利用和积法进行评判矩阵一致性检验。各评价指标的权重结果见表 3。

表 2 评判矩阵 A

指标	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
C ₁	1.00	0.33	2.00	0.25	1.00	1.00	0.20	2.00
C ₂	3.00	1.00	5.00	0.33	3.00	3.00	1.00	5.00
C ₃	0.50	0.20	1.00	0.17	0.50	0.50	0.20	1.00
C ₄	4.00	3.00	6.00	1.00	3.00	3.00	1.00	6.00
C ₅	1.00	0.33	2.00	0.33	1.00	1.00	0.33	2.00
C ₆	1.00	0.33	2.00	0.33	1.00	1.00	0.33	2.00
C ₇	5.00	1.00	5.00	1.00	3.00	3.00	1.00	5.00
C ₈	0.50	0.20	1.00	0.17	0.50	0.50	0.20	1.00

表 3 各指标的权重计算结果

指标	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
权重	0.069	0.194	0.040	0.274	0.076	0.076	0.233	0.040

一致性检验的结果为:判断矩阵最大特征根_{max} = 8.14。一致性指标 $C_I = 0.0195 < 1.41$, 一致性比例 $C_R = 0.0139 < 0.1$, 一致性检验通过。

1.4 综合评分计算

(1) 用极差标准法进行数据无量纲化处理,标准型无量纲化的公式为

$$R_i = \frac{x_i - b_i}{a_i - b_i}, \quad b_i < x_i < a_i \quad (1)$$

(当 $x_i = a_i, R_i = 1$; 当 $x_i = b_i, R_i = 0$)

$$R_i = \frac{a_i - x_i}{a_i - b_i}, \quad b_i < x_i < a_i \quad (2)$$

(当 $x_i = b_i, R_i = 1$; 当 $x_i = a_i, R_i = 0$)

式中: a_i, b_i ——分别为第 i 个指标的上、下限;

R_i ——基础数据无量纲化之后的结果,其取值范围为 0~1,它表示该指标值距离理想状态值的接近程度。 C_1, \dots, C_7 采用公式(1)进行处理, C_8 采用公式(2)进行处理。

(2) 指标的上下限。参考相关研究^[4],确定各评价指标的上下限。结果见表 4。

表 4 各指标上下限取值

指标	上限	下限	确定方法
绿期	365	0	
盖度/ %	100	0	C_5, C_6 的上下限,根据各
多度	10	1	方案的实际值计算确定。
综合抗性	9	0	降雨量采用该地区的最
景观优美度	7	1	大降雨量的 10 a 平均值。
管理水平	10	0	

(3) 评价结果。坡面绿化质量的综合值为

$$S = \sum_{i=1}^8 R_i \cdot W_i$$

式中: S ——综合值; W_i ——第 i 个指标的权重。

为了更直观地评价结果的好坏,根据 S 值大小划分 5 个质量等级,见表 5。

表 5 质量等级

等级	优	良	一般	差	极差
S 值	> 0.75	0.75~0.55	0.55~0.40	0.40~0.20	< 0.20

2 工程实例介绍

济(南)一青(岛)高速公路南线是山东省重点建设的高速公路,也是为 2008 年奥运会服务的高速公路。该路途经山东沂蒙山区,约 3/4 的路线位于山岭重丘区,路堑段长,坡面植被对周围环境影响大。为了选择出满足典型示范工程要求的方案,优化坡面绿化配置,利用本评价方法对拟采用的坡面方案进行了评价(其中,方案 7 进行了专门的景观设计),评价参考地点选择在与济青南线坡面设计方案相同的类似道路,各评价指标的取值及简要评价结果见表 6。

从表 6 可见,简单的坡面造绿运动取得的效果普遍较差,而较好的边坡绿化效果是通过采用乡土植物,进行景观效果优化,并采用与周围地形相协调的坡形(不能是简单的平面)才达到的。采用乡土植物,既能适应当地的自然环境,减少养护费用,又能取得景观的协调,是该工程项目推荐采用的绿化配置。

为了提升景观效果,该工程项目对边坡上沿、坡面、坡脚等处绿化进行了综合设计。如边坡上沿栽植迎春花(*Jasminum nudiflorum*)、五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)、连翘(*Forsythia suspensa*)

等,坡脚处种植圆柏 (*Sabina chinensis*)、黑松 (*Pinus thunbergii*)、爬山虎 (*Parthenocissus tricuspidata*) 等,坡面草种选用结缕草 (*Zoysia japonica*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、野牛草 (*Buchloe dactyloides*)、高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 等,坡面花卉选用大金

鸡菊 (*Coreopsis lanceolata*)、石竹 (*Dianthus chinensis*)、黄花菜 (*Hemerocallis citrina*) 等,坡面灌木选用锦鸡儿 (*Caragana sinica*)、红花锦鸡儿 (*C. rosea*)、迎春花 (*Jasminum nudiflorum*) 等,取得了良好的效果。

表 6 植被恢复方案对比

方案	措施概述	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	S	主要问题	质量
1	六棱砖+结缕草	180	40	1	6	1.92	0	4	6	0.43	盖度小,植被单一,砖体裸露	一般
2	拱形骨架+结缕草	180	60	1	6	1.92	0	3.8	6	0.47	盖度小,植被单一,骨架裸露	一般
3	三维网	260	70	3	5	1.92	0	4.4	3	0.49	外来草籽,抗性差,植被单一	一般
4	园林式	270	85	5	5	5.24	0	6.2	5	0.65	养护费用高,与环境协调性差	良
5	人工坡面+自然绿化	210	60	6	8	1.92	0	5.4	7	0.62	植被恢复缓慢	良
6	框格+乡土草灌混合	230	70	7	8	8.59	0	5.9	9	0.75	乡土草籽及灌木缺乏商业开发	优
7	灵活的坡形+乡土草灌花	230	70	7	8	8.59	0	6.5	9	0.78	乡土草籽及灌木缺乏商业开发	优

3 结语

对高速公路进行坡面植被恢复质量评价的目的是为了更好地明确边坡绿化的任务,提升坡面绿化的理念,选择出合理的植被恢复方案,提高坡面植被的质量。由于坡面植被恢复涉及多学科的理论,本文相应地提出了绿期等 8 项指标,从生态恢复、景观建设和坡面防护等多方面来评价坡面植被的质量。该评价体系的建立,虽具有一定的现实意义,但随着对坡面植被恢复研究的深入,评价指标和模型还需要不断地加以修正和完善,各指标的计算办法尚有待优化。

[参 考 文 献]

- [1] 边秀举,张训忠. 草坪学基础[M]. 北京: 中国建材工业出版社,2005:10—30.
- [2] 孙书存,包维楷. 恢复生态学[M]. 北京: 化学工业出版社,2005:128—170.

社,2005:128—170.

- [3] 杨春时. 美学[M]. 北京: 高等教育出版社,2004:5—10.
- [4] 胥晓刚. 高速公路路域生态恢复研究[D]. 四川农业大学博士学位论文,2004.
- [5] Horton R E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1940,5: 399—417.
- [6] Daniele C, Enrico C. Contribution of vegetation to slope stability: An overview of experimental studies carried out on different types of plants[C]// Proceedings of the Sessions of the Geo-Frontiers 2005 Congress. Austin: ASCE,2005:1—12.
- [7] 章俊华. 规划设计学中的调查分析法 16 - SD 法[J]. 中国园林,2004, 20(10):54—59.
- [8] 汪树玉,刘国华. 系统分析[M]. 杭州:浙江大学出版社,2002:316—327.

(上接第 109 页)

致谢:本研究参考、借鉴了由中国科学院南京地理与湖泊研究所承担的《安徽省沿江城市群发展规划研究报告》的部分内容,谨此致谢!

[参 考 文 献]

- [1] 马克明,傅伯杰,黎晓亚,等. 区域生态安全格局:概念与理论基础[J]. 生态学报,2004,24(4):761—768.
- [2] 黎晓亚,马克明,傅伯杰,等. 区域生态安全格局:设计原则与方法[J]. 生态学报,2004,24(5):1055—1062.
- [3] 左伟,周慧珍,王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤,2003(1):1—6.
- [4] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报,1999,19(1):8—15.
- [5] Forman R T. Landmosaics: the Ecology of Landscapes and Regions [M]. Cambridge: Cambridge University Press,1995.

- [6] 方淑波,肖笃宁,安树青. 基于土地利用分析的兰州市城市区域生态安全格局研究[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2284—2290.
- [7] 关文彬,谢春华,马克明,等. 景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径[J]. 生态学报,2003,23(1):64—73.
- [8] 王棒,关文彬,吴建安,等. 生物多样性保护的区域生态安全格局评价手段—GAP 分析[J]. 水土保持研究,2006,13(1):192—196.
- [9] 徐海根. 自然保护区生态安全设计的理论与方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2000.
- [10] 肖笃宁,陈文波,郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报,2002,13(3):354—358.
- [11] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability[J]. Ecology,1997,77:350—363.