沈抚高速公路路堑段边坡生态防护措施及效果评价

李东升[1],陆秀君[1],梁俊波[2],赵芷唯[1],王 涛[1],王礼男[1]

(1.沈阳农业大学,辽宁 沈阳 110000;2.辽宁省高速公路管理局,辽宁 沈阳 110000)

摘 要:应用AHP(层次分析法)对沈抚高速公路路堑边坡生态防护措施进行了定量分析和综合评价。其中栽植紫穗槐和客土栽植紫穗槐在土质和弱风化岩边坡防护中均具有较强的经济和生态效益,可作为辽宁省高速公路边坡的主要防护措施。

关键词:高度公路;边坡;生态防护;AHP法

中图分类号:TU 417.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2010)11-0131-03

生态护坡指"用活的植物或者植物与土木工程和非生命的植物材料相结合,以减轻坡面的不稳定性和侵蚀"[1],生态护坡以其较高的生态、经济和社会效益逐渐替代传统工程防护,并越来越受到人们的倡导和应用[2]。目前,国内外生态防护技术主要有:灌木栽植[3]、人工栽植或铺设草坪[4]、液压喷播、三维网喷播[5]、营养钵栽植、喷混生植、客土喷播[6]。辽宁省地形、地貌以丘陵和山地为主,在大规模高速公路建设当中形成了大量的裸露边坡,亟待恢复。为此,辽宁省高管局在沈抚高速公路修建过程中对路堑边坡生态防护进行了试验,取得了较好的效果,但并未对各试验方案进行定量的评价对比,现以该试验为依托,对其定量分析和综合对比,对各方案进行择优,为今后高速公路边坡防护做参考和技术指导。

1 生态防护措施与效果评价方法

1.1 试验地自然情况及试验坡面选择

沈抚高速公路地处辽宁东部,该地区属北温带季节风性大陆气候,年平均降雨量在750~850 mm,无霜期150 d左右,年平均气温为5~7℃,≥10℃积温平均为2 700~3 200℃,属丘陵地带。沈抚高速公路东西走向,全长75.709 km;路堑挖方段200余个,总长约31 km,路堑段风化程度比较低,多为土质边坡和弱风化岩石边坡。

全线除个别坡面为整体岩石段全部进行生态防护。本试验对土质坡面防护措施和弱风化岩坡面防护措施分别进行效果评价。不良土壤条件下,北向边坡良好的保水性更能适合植物的生长[7],而南向边坡对防护方案要求更加严格,为体现差距,选择南坡作为评价坡面;同时,考虑一致性,选择土边坡坡率约为1∶1,弱风化岩边坡坡率约为1∶0.75。

第一作者简介:李东升(1982-),男,辽宁阜新人,在读硕士,研究方向为林木种苗。E-mail:lidongsheng1125@163.com。

收稿日期:2010-03-11

1.2 生态防护措施

坡面生态防护措施共10种,每种措施栽植一种植物:客土栽植紫穗槐、客土栽植小火炬、客土栽植地锦、营养钵+紫穗槐、挂网喷播、栽植紫穗槐、栽植小火炬、栽植地锦、植草坪、六角空心砖+紫穗槐,下面对这10种防护措施进行说明。

1.2.1 客土栽植紫穗槐、客土栽植小火炬、客土栽植地锦 这3种防护措施植物均为1 a生,地径约为0.5 cm,地上部分保留10~15 cm,去枝叶。实践中,将客土程序进行简化,用20 cm×20 cm的泥球将根部包裹,刨坑栽植,在包裹过程中使根系尽量伸展。品字形栽植,株行距均为33 cm。对于坡率大于1∶1的坡面,采用坡顶定桩、吊绳防护的办法(似人工清洗楼体方法),保证栽植人员安全,可进行坡率在1∶0.75以下坡面的栽植。

1.2.2 营养钵+紫穗槐 所谓营养钵,是将客土栽植紫穗槐改进,是将土客在直径约10 cm的塑料透气容器中,选择紫穗槐的原因是劣质边坡土壤贫瘠、干旱,而紫穗槐为豆科植物、耐旱能力较强,且根系发达,4~5 a生的紫穗槐水平根可达到3~4 m,深1.5 m[8],并且相对于小火炬和地锦,其较为经济,苗木标准及密度同2.1。

1.2.3 挂网喷播 是工程措施与植物措施相结合的一种生态防护手段。主要方法是清除坡面杂物后挂铁丝网,将有机物和肥料、粘合剂、保水剂等倒入土壤中进行混拌,要求喷播厚度不低于10 cm;喷播植物为无芒雀麦、黑麦草、白三叶、早熟禾等10余种草种组合。

1.2.4 栽植紫穗槐、小火炬、地锦 这3种防护措施不需客土,直接栽植,苗木标准、密度及方法同2.1。

1.2.5 植草坪 平铺无芒雀麦草皮,用直径2~3 cm的木桩固定草皮,注意草坪与坡面密贴。

1.2.6 六角空心砖+紫穗槐 为防止水土流失,特别是坡度较大土质边坡而采用[9],将混凝土六角空心砖铺设在坡面,对空心部位进行填土后栽植紫穗槐,苗木标准及密度同2.1。

1.3 评价方法

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

层次分析法 AHP(Analytic Hierarchy Process)是美国著名运筹学家 Saaty T L 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种能够有效处理难以完全用定量方法分析复杂问题的有效手段。AHP 法在品种形状选择、植物资源评价、草种资源评价等发面都已进行广泛的应用[10-13]。

1.3.1　各指标权重值分析　层次结构模型的建立(见图 1)。层次单排序一致性检验:先得出各判断矩阵最大特征根 λ_{max};一致性指标 $CI=(\lambda_{max}-N)/(N-1)$,这里 N 为 A 的对角线元素之和,也为 A 的特征根之和;随机一致性指标 $RI=(CI_1+CI_2+\cdots CI_{500})/500$(随机构造的 500 个矩阵);$CR=CI/RI$,若 $CR<0.10$,则认为该矩阵具有满意的一致性。层次总排序一致性检验:以 $CR=\sum_{j=1}^{m}ajClj/\sum_{j=1}^{m}ajCRj$ 进行计算,得 $CR=0.072$,小于 0.10,认为该矩阵具有满意的一致性。

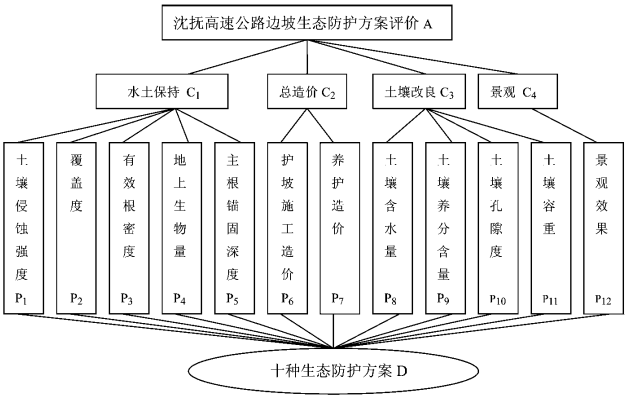

图 1　层次结构模型的建立

表 1　判断矩阵 A-C 及 W 值

A	C_1	C_2	C_3	C_4	W
C_1	1	2	5	6	0.49
C_2	1/2	1	4	5	0.35
C_3	1/5	1/4	1	2	0.10
C_4	1/6	1/5	1/2	1	0.06

表 2　判断矩阵 C_1-P 及 W 值

C_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	W
P_1	1	1	2	5	6	0.3663
P_2	1	1	2	3	5	0.3196
P_3	1/2	1/2	1	2	2	0.1609
P_4	1/5	1/3	1/2	1	1	0.0821
P_5	1/6	1/5	1/2	1	1	0.0712

表 3　判断矩阵 C_2-P 及 W 值

C_3	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	W
P_8	1	2	3	4	0.45
P_9	1/2	1	3	4	0.32
P_{10}	1/3	1/3	1	2	0.14
P_{11}	1/4	1/4	1/2	1	0.09

表 4　层次总排序表

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P	P_{11}	P_{12}
0.18	0.16	0.08	0.04	0.03	0.28	0.07	0.05	0.03	0.01	0.01	0.06

注:C_2-P 的 W 值,根据沈抚高速公路边坡绿化投资及养护费用比例得出,权重分别为 $P_6=0.8$、$P_7=0.2$。

表 5　层次单排序一致性检验

单排序	λ_{max}	CI	RI	CR
A-C	4.09	0.03	0.9	0.034
C_1-P	5.04	0.009	0.58	0.016
C_3-P	4.08	0.027	0.58	0.47

1.3.2　指标测量及其评分方法　各项指标测量方法:通过查阅养护资料和现场观测得出边坡侵蚀类型和覆盖度;由于根系庞大,采用部分挖根法测量有效根(≤1 mm)[14]生物量:距主根 40 cm 距离做圆,在三等分点处分别下挖(弱风化岩石坡面下挖 15 cm、土质坡面下挖 30 cm),下挖面积为 10 cm×10 cm,将根筛选、洗净、烘干,称重;全部收获法测定地上生物量(鲜重);米尺测量主根锚固深度;根据近 3 a 省内绿化工程施工清单及实际发生归纳出施工造价及养护造价;土壤改良均以同坡面未栽植物段做对比,得出差值,烘干法测量土壤含水量,消煮法测量全氮,环刀法测量土壤孔隙度和容重。评分方法共 4 种。侵蚀类型评分方法:根据整个边坡目前侵蚀状况进行评分,评分标准:Ⅰ级无侵蚀 100 分;Ⅱ级击溅侵蚀 90 分;Ⅲ级沟蚀 70 分;Ⅳ级细沟状侵蚀 50 分;Ⅴ级陷穴 30 分;Ⅵ级崩塌 10 分。覆盖度、有效根生物量、地上生物量及主根锚固深度评分方法:分值=$(A_i/A_{imax})\times100\%$;其中:$A_i$ 为各对比指标值;A_{imax} 为各对比中指标最大值。施工造价和养护造价评分方法:分值=$(I_i/I_{imax})\times100\%$;其中:$I_i$ 为各对比方案的造价值;I_{min} 为造价方案最低的造价值。景观效果评分方法:景观评价直接得分,分值由 2006 年交工及 2008 年竣工的验收专家观感评价和 20 套调查问卷得出,各占 50 分。

表 6　不同防护的坡面侵蚀强度、覆盖度、有效根生物量、主根锚固深度及地上生物量指标值测定

指标	坡面侵蚀强度	覆盖度/%	有效根生物量/g	主根锚固深度/cm	地上生物量/g
A	Ⅱ	89	0.78	65	745
B	Ⅱ	82	0.84	42	492
C	Ⅱ	85	0.51	30	497
D	Ⅰ	96	2.36	9	86.3
E	Ⅳ	10	0.86	11	26.7
F	Ⅲ	92	1.05	79	922
G	Ⅲ	89	1.17	56	577
H	Ⅱ	91	1.22	61	636
I	Ⅰ	93	2.16	6	78.4
J	Ⅲ	93	1.72	14	164

注:A:客土+小火炬;B:客土+紫穗槐;C:营养钵+紫穗槐;D:挂网喷播;E:客土+地锦;F:小火炬;G:紫穗槐;H:六角砖+紫穗槐;I:铺草坪;J:地锦。

表 7　不同防护的坡面景观效果评分及造价

方案	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
专家评分	89.8	87.3	88.5	93.4	79.6	92.1	91.3	92.3	94.2	91.6
问卷平均分	92.9	92.7	93.6	94.2	65.2	94.3	92.2	93.0	94.6	92.8
施工造价/元	9	4.5	4.8	90	4.8	6	1.8	60	25	3
养护造价/元	1.8	1.1	1.2	32	3.6	3.1	2.8	2.6	19	4.2

2　结果与分析

不同护坡方法对坡面侵蚀强度、覆盖度、有效根生物量、主根锚固深度及地上生物量的影响(见表 6)。不同护坡方法景观效果评分及施工、养护造价(见表 7)。不同护坡方法对土壤指标的影响(见表 8)。不同护坡方

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

法综合评价得分是根据AHP法得出的权重及试验结果进行综合评分。土质坡面防护方案排序:紫穗槐(77.5

表8 不同防护坡面的土壤指标变化量

防护	土壤含水量			土壤全氮量			土壤孔隙度			土壤容重		
方案	栽植	对比	差值	栽植	对比	差值	栽植	对比	差值	栽植	对比	差值
A	9.7	12.6	2.9	0.06	0.11	0.05	0.28	0.35	0.07	1.62	1.51	−0.11
B	8.9	12.2	3.3	0.08	0.14	0.06	0.24	0.3	0.06	1.61	1.46	−0.15
C	9.5	12.7	3.2	0.06	0.11	0.05	0.27	0.33	0.06	1.55	1.43	−0.12
D	10.3	13.9	3.6	0.09	0.13	0.04	0.26	0.35	0.09	1.57	1.4	−0.17
E	8.6	8.9	0.3	0.06	0.06	0	0.25	0.27	0.02	1.59	1.55	−0.04
F	13.5	18.1	4.6	0.11	0.23	0.12	0.34	0.44	0.1	1.36	1.21	−0.15
G	14.1	19.3	5.2	0.09	0.23	0.14	0.33	0.41	0.08	1.41	1.24	−0.17
H	13.8	19.4	5.6	0.09	0.22	0.13	0.39	0.48	0.09	1.39	1.2	−0.19
I	14.3	20.5	6.2	0.12	0.18	0.06	0.32	0.42	0.1	1.4	1.18	−0.22
J	13.6	17.9	4.3	0.1	0.2	0.1	0.35	0.43	0.08	1.38	1.31	−0.07

分>地锦(61.4分)>小火炬(59.4分)>六角砖+紫穗槐(58.9分)>铺草坪(57.6分);弱风化岩坡面防护方案排序:客土+紫穗槐(65.9分)>营养钵+紫穗槐(62.8分)>客土+小火炬(59.8分)>挂网喷播(54.5分)>客土+地锦(31.8分)。

3 讨论

通过综合评价结果可以得出以下结论并分析其原因:无论是土质坡面还是弱风化岩坡面,栽植紫穗槐坡面防护效果都大大高于其它几个防护坡面,主要因其较好的抗旱适应和分蘖能力,尤其相对于其它防护方案较为经济;而弱风化岩石坡面客土栽植紫穗槐相对于土质坡面水土保持并不是很理想,建议可以通过适当增加栽植密度来提高其覆盖率,防止水分蒸发,同时可增加根系量,更好达到水土保持效果;小火炬在水土保持指标方面优于紫穗槐,但其造价相对于紫穗槐较高,导致其最终分值的下降;地锦在土质条件、坡率小于1∶1条件下栽植效果较好,但因其根系较浅、固土能力较差,极其不适合在养分缺乏的岩石坡面进行栽植;挂网喷播和铺设草坪具有较高的水土保持能力和景观效果,但是对其养护需要进行较长期大量的投入,只可在部分重要景点少量应用。

、通过模型的建立和试验分析,量化了不同防护方案的各项评价指标,使防护效果的对比更加科学;同时,进一步证明了紫穗槐在不良条件下较强的适应力,从而为其进行坡面大面积绿化生产提供依据;国内一般对于边坡栽植植物坡率建议在1∶1以下,但该试验对坡率为1∶0.75的人工栽植弱风化岩边坡进行评价,仍然取得了较好的防护效果,拓宽了人工栽植弱风化岩石边坡的坡率范围,但在施工过程中,要做好防护措施,保证栽植安全;在坡率小于1∶1条件下,六角砖+紫穗槐由于造价较高,并未显示出它的优越性,但随着土质坡面坡度的增大,容易发生滑坡和坍塌,结合六角砖栽植植物将发挥越来越大的作用,但具体的适用坡率的范围有待进一步的试验论证。

参考文献

[1] Ministry of Works and Transport Use of Bio-Engineering in the Road Sector(Geo-Environmental Unit)[R]. Ne-pal: Ministry of Works and Transport, 1999.

[2] 冯俊德. 路基边坡植被护坡技术综述[J]. 路基工程, 2001(5): 20-23.

[3] 周德培, 张俊云. 植被防护工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003: 76-78.

[4] 余亿德, 卢和项, 汤葆莎. 福厦高速公路生物护坡草坪的建植与养护[J]. 草业科学, 2001, 18(5): 45-49.

[5] 舒翔, 杜鹃, 曹映泓, 等. 生态工程在高速公路岩石边坡防护工程中的应用[J]. 公路, 2001(7): 86-89.

[6] 周颖, 曹映泓. 高速公路路基边坡环境综合治理[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 455-458.

[7] 丁宁, 景卫清, 李振利, 等. 靖王高速公路路基两侧不同地形条件紫穗槐种群生长的差异[J]. 西部林业科学, 2008, 37(1): 112-118.

[8] 康艳萍, 曲森. 浅议公路土质边坡植树(紫穗槐)防护技术[J]. 黑龙江交通科技, 2007, 30(9): 58.

[9] 张飞, 陈静曦. 高速公路边坡生态防护浅析[J]. 土工基础, 2005, 19(5): 72-74.

[10] 黄启堂, 游水生, 黄榕辉, 等. 运用层次分析法评价木质藤本观赏植物资源[J]. 福建林学院学报, 1997, 17(3): 269-272.

[11] 乐新贵, 刘细燕, 杨帆. 层次分析法在防火林带树种选择上的应用[J]. 江西林业科技, 2002(2): 12-14.

[12] 刘玉莲, 殷学波. 樱花品种园艺学性状的综合评价[J]. 江苏农学院学报, 1996, 17(2): 39-43.

[13] 刘振虎, 卢欣石, 葛军. 利用层次分析法综合评价9个草坪品种的耐盐性[J]. 草地学报, 2002, 10(3): 207-211.

[14] 张俊云, 周德培, 李绍才. 高速公路岩石边坡绿化方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1400-1403.

Ecological Protection and Effectiveness Evaluation of Side Slope of the Cut Section in ShenFu Highway

LI Dong-sheng[1], LU Xiu-jun[1], LIANG Jun-bo[2], ZHAO Zhi-wei[1], WANG Tao[1], WANG Li-nan[1]

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110000; 2. Liaoning Province Highway Administration, Shenyang, Liaoning, 110000)

Abstract: In this paper, researchers use AHP to obtain ecological shelter arrangemen and effectiveness evaluation of the cut section in Shenfu highway. Studies had shown that planting Amorpha and planting Amorpha with other soil have stronger economic and ecological benefits in soil and weak weathered rock slope protection, it can be use as the main protective measures in Liaoning Province Highway.

Key words: AHP; highway; slope; ecological protection

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net