

# 炎热多雨条件下岩坡喷混植草试验研究

庞永平<sup>1</sup>, 倪宏革<sup>1</sup>, 王星华<sup>2</sup>

(1. 鲁东大学 土木工程学院, 山东 烟台 264025; 2. 中南大学 土建学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** 岩质边坡上植草护坡, 是道路生态工程中的难点, 涉及岩坡的可耕植性、植物选型和基材优化配比组合等关键技术研究。以洛湛铁路娄底段边坡为例, 分析了铁路边坡的环境特点, 对风化岩坡的可耕植性参数进行了试验研究。通过室内播种试验, 由草种的根系生长及发芽率情况优选出适于护坡工程的最佳草种组合。通过室内正交试验, 对于基材主要组成成份进行了强度影响因素大小的数理统计分析, 得出在施工后一定时间内基于降雨周期的影响条件下所需采用的基材优化配比组合方案, 从而使基材强度值达到最大。最后通过厚层基材喷播、覆盖、后期管护等重点和难点技术的实施, 保证了炎热多雨条件下岩坡喷混植草的成功。

**关键词:** 喷混植草; 基材配比组合; 正交试验; 最佳草种组合

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0021-06

中图分类号: U418.9, U216.41

## Experimental Study of Mixly Spray for Rocky Slope Greening Under the Hot and Rainy Weather

PANG Yong-ping<sup>1</sup>, NI Hong-ge<sup>1</sup>, WANG Xing-hua<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China;

2. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410075, China)

**Abstract:** It is difficult to plant grass on rocky slope during road bio-technique construction, because the key techniques are related to the features of rocky slope, plant selection, and the optimization compound ratio of planting material. By taking the Loudi section of Louzhan Railway Line as an example, the environmental characteristics of the slope are analyzed and parameters correlated to slope vegetation protection for weathered rocky slope are studied. The grass composition based on laboratory seeding test is optimized by root growth and germination rate of grasses for slope protection. The influence of main component parts of planting material on its strength is analyzed according to laboratory normal experiment. The schemes for optimum compound ratio of planting material are achieved, which make its strength maximum in different periods of rainfall after construction. Technology of the spraying, the coverage, and the later period management are practiced to ensure the implementation of mixly spray for rocky slope greening under the hot and rainy weather successfully.

**Keywords:** mixly spray for slope greening; compound ratio of planting material; normal experiment; optimum grass composition

工程试验段—洛湛铁路娄底段位于湖南省中部, 属亚热带湿润季风气候, 冬季短, 但较寒冷, 春、夏之交多暴雨。平均气温 1 月 4 °C~8 °C, 7 月 26 °C~30 °C; 年平均气温 16.8 °C; 年平均降水量 1 890 mm; 月平均相对湿度 1 月 74%, 7 月 86%。

试验段 5 个边坡均为表面风化较严重的岩坡, 岩性有砂质板岩、石英砂岩、泥灰岩、花岗岩等, 坡度为 25°~35°不等, 具有浅层稳定性差、易风化剥落、坍塌

等特点, 边坡开挖后, 需采取措施, 防止边坡水土流失及浅层灾害。

生态护坡的目的是实现边坡稳定, 防止水土流失, 绿化坡面, 保护路域生态环境。考虑工程试验处于春、夏之交多暴雨的季节, 坡面易受雨水冲刷, 无植物生长所需的土壤环境, 难以供给植物生长所需的水分和养分, 经过多种方案比较, 选用锚杆挂网厚层基材喷混植草护坡方式进行施工。

厚层基材喷射植被护坡是通过在坡面喷附一层结构类似于自然土壤且能够贮存水分和养分的植物生长所需的基层材料,解决了岩石边坡无法生长植物的难题<sup>[1]</sup>。厚层基材喷射植被护坡主要由锚杆、网和基材混合物 3 部分组成。基材混合物由绿化基材、种植土、纤维和植被种子按一定的比例混合而成,其中绿化基材是本项技术的核心<sup>[2]</sup>。

本文主要通过系列试验研究炎热多雨条件下岩坡喷混植草技术参数,积累经验,为类似条件下植被护坡设计和施工养护提供经验参考。

## 1 开挖坡面特征及可耕植性参数分析

### 1.1 供试边坡地质概况

试验段 5 个边坡分别为 DK80+650—+720(北京局标段),DK87+175—+310(合东村东侧 2 号后方),DK87+370—+425(合东村东侧),DK88+918—+955(老虎石大桥)和 DK90—+648(光辉村 2 号隧道进口东侧)5 个段,分别以 1, 2, 3, 4, 5 号段表示。1 号段为低丘及谷地地形,谷地表层为砂黏土,多夹砾石、砂,褐灰色,软塑至硬塑,岩体强风化,多呈碎块状,厚度较薄,地下水丰富,主要为孔隙水和基岩裂隙水,水位埋藏浅;2, 3 号段为丘陵及谷地地形,地势起伏大,丘陵自然坡度陡,谷地表层为黏土、砂黏土,褐灰色,褐黄色,软塑,部分为砂类土,碎石类土,褐灰、灰褐色,硬塑,中密饱和,下伏基岩为板溪群变质砂岩,砂质板岩,溪水丰富,地下水主要为孔隙水和基岩裂隙水;4, 5 号段为丘陵及谷地地形,自然坡较陡,谷地表层为砂黏土,褐黄色、褐灰色,石炭系下统泥灰岩,石英砂岩,钙质砂岩,局部煤层,强至弱风化,溪水丰富,地下水主要为孔隙水和基岩裂隙水。在此区域中,岩质边坡除表层风化比较严重外,其内部结构比较完整。

### 1.2 供试边坡可耕植性参数分析

对每一试验段,取代表性的岩样进行粉碎后,过 80 目的筛,分析得出其化学成分并测定 pH 值、全氮量、有机质含量等相关数据,如表 1 所示<sup>[3]</sup>。

(1) 表 1 显示,5 个岩质边坡其 pH 值都在酸性范围之内,对草坪和植物生长不利,需要加以改良使 pH 值达到中性,即 6.5~7.5。据此在风化边坡表面掺加石灰,其掺量参考《铁路路基边坡绿色防护技术暂行规定》中条文说明,设计的石灰量依次分别为 30, 60, 50, 32, 27 kg/100 m<sup>2</sup>。

(2) 所取岩样的含氮量与有机质含量比较少,与其它主要成份相比,可基本忽略不计。由全氮量、氧化钾与五氧化二磷的含量测定可了解边坡潜在的氮、磷、钾的含量,以决定在基材中肥料的添加,以及后期

养护中的肥料的追加;根据暂行规定要求:生态护坡主要营养元素氮、磷、钾(N+K<sub>2</sub>O+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)含量≥4.0%,另外根据土壤学基本原理<sup>[4]</sup>,对于植物生长其 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K 大致比例为 1:6:1,根据上述数据,2 号边坡中的钾含量不足,其它边坡中的钾含量基本满足要求,5 个边坡氮、磷二种元素都明显不足。所以在基材所加入的复合肥料中,除 2 号边坡外,其它几个边坡中以氮、磷为主,钾肥少量即可。

表 1 岩样分析测试结果

测定内容	岩样号				
	1	2	3	4	5
总 Fe/ %	3.390	2.19	2.2	7.16	3.98
S/ %	0.033	0.71	0.88	0.30	0.08
SiO <sub>2</sub> / %	67.510	12.15	84.89	58.13	68.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / %	0.230	0.04	0.049	0.14	0.062
K <sub>2</sub> O/ %	3.680	0.31	2.08	5.09	3.12
CaO/ %	1.770	42.8	1.64	3.12	2.17
MgO/ %	1.270	4.79	2.45	2.4	0.59
FeO/ %	1.000	1.36	1.01	3.86	1.29
pH	6.280	5.32	5.64	6.18	6.47
全氮量/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.195	0.142	0.196	0.493	0.196
有机质含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	6.634	21.980	13.950	16.264	9.287

(3) 氧化钙与二氧化硅的含量的测定,主要是了解边坡中岩土是属于碳酸盐还是硅酸盐类。碳酸岩坡比较容易风化,对其稳定性更应该加以考虑。

(4) 全铁量及硫的含量的测定目的是了解岩体中硫化亚铁的含量,研究其对于植物根系的腐蚀作用,对于亚铁及硫含量大的岩样,必须注意植被生长中根系发育情况。

综上所述,5 个岩质边坡的土壤偏酸性,有机质含量低,肥效不足,氮、磷、钾含量低,属于非耕植土,需要加石灰和相应量的复合肥料改良才能满足植物生长。

## 2 植物配置方案试验

草种的优化选择必须适应当地的气候和土壤条件(水分、pH 值及土壤性质等);草种要抗寒、耐热、抗旱、耐贫瘠,耐粗放管理等;草种还要扩张性强,根系深,生长快,成坪快;草种必须多样性,兼有暖季型和冷季型,绿期长,多年生;能有可观赏的植物种类进行搭配;最好能就地取材,选用本地草种<sup>[5]</sup>。

### 2.1 草种的选择与室内试验

根据上述原则,结合工程现场的地质情况,确定高羊茅、白三叶、暖季型黑麦草、剪股颖、马蹄金、红三叶、画眉草、伞房决明、百喜草、狗芽根等 10 种草种进行试验,以选择生长状况比较好的草种进行组合<sup>[3]</sup>。本工程地处南方气候炎热,所以选取暖季型草种较多。

草种中冷季型的有: 白三叶, 抗寒, 耐湿润, 具有葡萄茎, 耐酸性强, 耐践踏; 高羊茅, 适于广泛的土壤类型, 有强的抗热和抗干旱性, 但不耐过分低温, 根系深, 极耐践踏, 极耐粗放管理; 画眉草, 多年生草本植物, 根系延伸性好, 特别耐旱, 耐土壤贫瘠, 生长快。

暖季型的有: 伞房决明, 常绿花灌木, 根系极深, 适于广泛的土壤类型, 抗病虫; 狗芽根, 具有根状茎和葡萄茎, 侵占性很强, 能迅速蔓延, 极耐践踏, 对土质要求不高, 较不耐旱, 易粗放管理; 剪股颖, 耐寒, 耐热, 耐土壤贫瘠, 适于土壤类型多, 保持水土能力强; 马蹄金, 适于土壤类型多, 耐土壤贫瘠, 抗热和抗寒, 具发达的葡萄茎; 暖季型黑麦草, 对土壤要求严格, 不耐旱, 侧根发达, 分枝力强, 花色美丽, 叶型好看, 生长

快, 花期长, 地面覆盖度高; 红三叶, 适于广泛的土壤类型, 耐践踏, 抗病虫; 百喜草, 多年生草本植物, 根系极深, 耐热, 耐寒, 耐旱, 耐修剪, 生长快。

对上述草种进行化学催化催芽处理。首先, 配备 0.5% 的 NaOH 溶液, 将种子浸入其中, 在刚开始的几个小时内, 利用棍子等进行搅拌, 在浸入 24 h 之后, 将其捞起, 再放入清水中浸泡 8 h 以上。进行处理后的种子大大地缩短了其发芽时间, 有利于植被的尽快生长<sup>[6]</sup>。

试验中, 选取每种草种各 100 粒, 进行完预处理后, 将其放入具有基材的花盆中播种, 每天都进行洒水养护, 观察每种草种的发芽时间, 并按一定的时间测量记录其根系长度<sup>[3]</sup>。试验结果数据如表 2。

表 2 不同草种发芽日期及在同一日期的发芽率和根系生长

草种	高羊茅	白三叶	黑麦草	剪股颖	马蹄金	红三叶	画眉草	伞房决明	百喜草	狗芽根	
下种时间	0323	0323	0323	0323	0323	0323	0323	0323	0323	0323	
发芽日期	0401	0403	0330	0401	0401	0402	0401	0331	0402	0403	
发芽率/ %	0408	85	43	85	20	18	45	23	30	60	87
	0417	91	56	90	32	35	60	43	44	85	92
	0501	92	60	90	35	35	60	45	47	85	92
	0602	92	60	90	37	35	60	48	51	85	92
根长/ cm	0408	2.6	1.1	4.4	0.7	2.9	1.6	0.8	2.5	2.3	0.6
	0417	3.9	3.1	7.1	2.1	3.2	2.5	2.3	7.5	4.1	3.5
	0501	6.1	5.4	8.3	3.5	5.3	4.5	4.1	9.1	6.6	6.7

## 2.2 最佳草种组合确定

由表 2 实验结果显示, 所选草种的发芽时间都比较接近; 从根系的生长发育情况(根长)来看, 草种的优劣情况依次为伞房决明、黑麦草、百喜草、高羊茅、狗芽根、马蹄金、白三叶、红三叶、画眉草和剪股颖; 发芽率的大小主要影响成坪的速度与成坪的质量(成坪后的覆盖率)。从同一日期下不同草种的发芽率来看, 草种的优劣情况依次为: 狗芽根、高羊茅、黑麦草、百喜草、红三叶、白三叶、伞房决明、画眉草、马蹄金、剪股颖。

据此, 要达到生态护坡中的覆盖率高、成坪速度快、根系较长而密, 且能适应冷暖季节交替的要求, 应选择高羊茅、黑麦草、百喜草、狗芽根这 4 种草种的组合。为了增加护坡植被的可观赏性, 可加入白三叶、红三叶和伞房决明这 3 种草种<sup>[3]</sup>。

上述草种的优化组合直接运用于洛湛铁路湖南段护坡工程, 取得了良好的生态效果。

## 3 生态基材组分正交试验

喷混植草中基材应有一定的强度, 能保持自身的稳定; 且要有一定的孔隙度, 使植物根系在其中能很

好的生长, 基材的 pH 值须保持在植物最适生长发育的范围内。

实际工程中, 所选的基材一般由土壤、腐植质有机物、混合肥、粗纤维、黏合剂、保水剂、水泥、pH 缓冲剂、水及植物种子等组成一个整体, 土壤在基材中占绝大部分, 它提供植物生长所必需的环境条件, 和水泥结合后参与与岩质边坡的胶结, 使基材作为一个整体而稳定。腐植质有机物、粗纤维主要作用是纸纤维和锯木屑在腐化之前保持基材内部具有一定的孔隙, 使植被根系能很好地在基材层形成一种类似三维结构的加筋层, 并能形成透水通道, 并在后期参与形成植物生长所需的肥料。

在实际施工中, 基材混合物喷射到坡面后, 考虑到天气变化等不利影响, 在坡面植被完全覆盖以前, 基材混合物应具备抵抗雨水侵蚀的能力<sup>[2]</sup>。这就要求设计基材配合比时, 寻求在未来不同的降雨期(基材龄期)内能够使基材自身强度达到最优的方案, 这是本试验需解决的核心问题。

### 3.1 基材选取的室内试验

#### 3.1.1 室内试验方案的选取 针对岩质生态护坡的

实际情况,根据经验,采用的室内试验主要考虑水、土壤、水泥、有机质与粗纤维的混合物等 4 个因素在不同的水平下对于基材强度的影响;保证在植物种子能够发芽的基础上,考虑各种因素的影响程度,进而选择 4 个因素的每个相对较好水平的基材成份配比组合,以寻求在不同时间段内使基材强度达到最优的方案<sup>[3]</sup>。所采用的因素与对应水平数见表 3。注意,该表中所采用基材的组成成分范围必须考虑其上下限合理性。比如,水泥,在超过其上限时植被种子就无法在其中生长发芽;又如,水,在小于其下限时,基材根本无法粘结,而超过其上限时,基材混合物在模子中 2 d 后根本无法成型。

表 3 正交试验的因素及水平 g/kg

因素 水平	水泥 (A)	土 (B)	腐植质 (C)	水 (D)
1	90	750	180	900
2	120	820	220	1 000
3	150	890	260	1 100
4	180	960	300	1 200

表 3 中,各因素的自由度之和为 12,根据统计理论,要求试验的次数大于  $13^{[7]}$ 。则在该试验中,选取的正交表为  $L_{16}(4^5)$ ,未考虑因素的交互作用,构成 16 组配比试验。考虑到试验误差因素 E,这样形成了五因素四水平的正交试验。

3.1.2 试验过程及结果 将所取的土壤粉碎,用 2.5 mm 的筛子过筛,去除粗颗粒,然后用天平称取每一试验号中所需的水泥、土和腐植质,将他们充分搅拌均匀,量取所需的水加入其中,进行充分的搅拌。完成之后,将混合物填充入 4 cm×4 cm×4 cm 的试模里,等过两天成型后,将试模拆除,然后置试样于水中养护。每一组试样做平行试验 3 次,分别测 3, 7, 14 和 28 d 的无侧限抗压强度值<sup>[3]</sup>(见表 4)。从表 4 中显示,随着时间的延长,16 组基材试验样品的强度是增大的。

### 3.2 试验数据的处理与分析

为了找出使基材强度较大的优化方案,分清各个因素对于指标影响的主次顺序,对取得的数据进行正交试验的极差分析。极差大的所对应的因素即为对指标影响大的因素,以龄期 7 d 正交试验的强度为例,对其进行极差分析,结果见表 5。表中  $K_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 代表的数字为各对应列下的第  $i$  个水平所对应的测试值之和。

根据表 5 极差的大小可知,对于基材龄期 7 d 无侧限抗压强度影响因素的主次依次为: A→B→C→D。由表 4 中可看出,如要取得较理想的 7 d 龄期强

度,根据不同因素下  $K_i$  值为最大的原则,选取最有利的各因素水平组合为  $A_2B_2C_2D_4$ ,依据表 1,即基材混合物基本配比由 120 g 水泥,820 g 土,220 g 腐植质和 1 200 g 水组成。同理,对于基材龄期 3 d 强度影响因素的主次依次为: A→B→C→D。如要使基材 3 d 的强度较理想的话,则选取组合  $A_2B_2C_1D_4$ 。由此可见,如天气状况不是很好,要求在施工后一周内基材就达到比较理想的强度,采用基材方案  $A_2B_2C_2D_4$ 。同理,对于基材强度 14 d 其影响大小因素主次依次为: A→C→B→D,对于基材强度 28 d 其影响大小因素主次依次为: A→C→D→B。如果在 14 d 内天气状况允许的情况下,则使基材施工后的强度值比较理想的优化方案为  $A_2B_2C_2D_3$ 。

表 4 试样无侧限抗压强度随时间变化关系 kPa

强度值 试样号	3 d 均值	7 d 均值	14 d 均值	28 d 均值
1	74.28	151.32	249.53	258.99
2	94.58	166.60	264.81	274.27
3	80.03	138.95	200.06	221.16
4	99.67	154.96	211.70	237.89
5	236.44	349.93	434.32	566.00
6	344.11	359.39	383.39	419.04
7	121.49	156.41	178.24	233.53
8	64.02	83.08	134.59	171.69
9	35.65	50.93	62.57	81.48
10	94.58	113.49	158.60	206.61
11	87.30	140.41	160.78	183.33
12	47.29	53.84	61.84	81.48
13	53.84	64.75	83.66	98.21
14	124.40	160.05	177.51	190.61
15	77.12	205.88	243.71	285.18
16	96.03	122.95	175.33	256.08

## 4 厚层基材喷播施工工艺的实施

气候情况影响基材的配比及取得护坡效果,工后的天气越好,就越有可能选取最能保证护坡强度的基材配比。因此,必须在施工前进行 2 周内和 3 d 内天气情况的调查,保证在施工期间不会下雨,工后 3 d 内不会有大的降雨。利用上述试验结果,结合天气条件,对厚层基材所需的草种、水泥、土、腐植质和水用量进行合适调配,便于混喷。

5 个试验段都采用在边坡的底部浆砌片石挡墙护坡,高度 1.5~2.0 m,工程段孔隙潜水和基岩裂隙水丰富,所以在边坡中加入了比较多的排水管。

表5 极差分析7 d强度因素影响

因素号 试验号	A	B	C	D	E	7 d 无侧限抗压 强度均值/ kPa
1	1	1	1	1	1	151.32
2	1	2	2	2	2	166.60
3	1	3	3	3	3	138.95
4	1	4	4	4	4	154.96
5	2	1	2	3	4	349.93
6	2	2	1	4	3	359.39
7	2	3	4	1	2	156.41
8	2	4	3	2	1	83.08
9	3	1	3	4	2	50.93
10	3	2	4	3	1	113.49
11	3	3	1	2	4	140.41
12	3	4	2	1	3	53.84
13	4	1	4	2	3	64.75
14	4	2	3	1	4	160.05
15	4	3	2	4	1	205.88
16	4	4	1	3	2	122.95
$K_1$	611.83	616.93	774.07	521.62	553.77	
$K_2$	948.81	799.53	776.25	454.84	496.89	
$K_3$	358.67	641.65	433.01	725.32	616.93	
$K_4$	553.63	414.83	489.61	771.16	805.35	
极差	147.53	96.17	85.81	79.08	77.12	

注:  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  分别表示各因素不同水平的平均值。

#### 4.1 边坡整修固定和基材喷播

将现有破碎松散且不平整的岩石边坡表面打毛, 拆除障碍物, 削平突出的石块; 补砌空洞, 对较大裂缝进行灌浆或勾缝处理; 在边坡松散空洞处和坡脚处设置一定数量的泄水孔。

岩质边坡安装的锚杆直径为 16 cm, 长 2 m, 呈梅花型布置, 间距约为 2.0~2.5 m, 锚杆头与坡面铁丝网连接, 另在锚杆间增加直径为 12 mm, 长 30 cm 的锚钉将铁丝网紧紧地固定在坡面上。采用 8 号镀锌铁丝编制成网眼为 3~5 cm 正方形。铁丝网的搭接长度一般不小于 0.3 m, 接头上每隔 0.4 m 绑扎一点, 呈三角形布置, 保证网与基层紧贴。

把设计的基材混合物、植被种子及所加入的复合肥按设计比入搅拌机搅拌, 搅拌时间不小于 1 min, 使基材各成份搅拌均匀; 用高压水冲洗受喷面, 湿润岩层表面, 确保基材与岩面的良好粘结, 使喷在其上的基材混合物基质比较均一; 埋设控制喷射厚度的标志, 确保基材混合物的厚度和喷射层的均匀性, 控制喷射厚 8~10 cm。采用二次喷射法, 第 1 次喷射一层不含种子的基材混合物, 然后喷射含种子基材混合物, 含种子层厚度为 2 cm 左右。喷射基材时喷头与受喷面应垂直, 宜保持 0.6~1.0 m 的距离。第 2 次

喷射基材混合物应在第一层混凝土终凝后进行。若终凝 1 h 后再喷射时, 应先用水清洗喷射层表面。

#### 4.2 后期养护

(1) 植被发芽期及生长成坪期, 对边坡进行 1~2 次喷水, 在高温天气, 增加喷水次数。供水时, 最适合的浇水时间在无风、湿度高、温度低的时候。浇水时考虑到同一边坡的不同坡高位置, 水分变化明显不同。

(2) 为了植被保温保湿, 施工完成后, 利用无纺布在喷射的基材层上进行覆盖。当植被基本成坪后, 再拆除无纺布。在养护前期 2 个星期内, 避免大暴雨冲蚀没有成形的基材。大雨前在边坡上覆盖上防雨水的塑料布。

(3) 养护过程中, 根据植被生长情况追加易溶性的氮、磷、钾肥为主肥料。在工程完成后 5、6 个月可根据观测植物生长情况进行施肥 1 次。

(4) 在山区, 还要特别注意家畜对于刚成长的植被的破坏。在养护管理阶段注意杂草的去除和植被病虫害的防治。

## 5 试验效果

(1) 从开始施工直至植被的成坪(覆盖率大于 85

%)需要将近一个多月,由于所选的草种中既有暖季型又有冷季型,从9月开始,植被开始更新,这之后,坡面的植被出现部分枯死,部分重新生长,在形成了此种年度性的变化之后,边坡的长期稳定性得到了保证,生态环境得到了恢复。生态护坡技术成本基本上在100~110元/m<sup>2</sup>,与其它的边坡防护技术相比,是一项投资少、有多方面好处的绿色防护工程技术。

(2)在进行观测的试验段中,也有一些教训。如在里程DK88+918~+955处,由于在施工中没有在大雨来前处理好岩坡表层风化物的稳定,造成了坡脚处小部分的风化层崩塌,过后在此处采用碎石混凝土护坡措施,造成了整体的不协调和视觉上的美感破坏。

## 6 结论

在创伤的石质边坡采用喷混植草生态治理方案进行生态防护,可以有效达到快速绿化美化沿线景观,保持水土的目的。

(1)开挖坡面特征及岩土理化指标测试分析结果直接影响生态护坡方案的确定,风化岩坡的可耕植性参数试验研究为植被护坡设计中土质改良、植物选型等提供了参考。

(2)通过室内播种试验,由草种的根系生长及发芽率情况优选出适于洛湛铁路湖南段护坡工程的最佳草种组合:高羊茅、黑麦草、百喜草、狗牙根这4种草种的组合。考虑护坡植被的可观赏性,可加入白三

叶、红三叶和伞房决明这3种草种。

(3)施工前的天气变化影响基材的配比及取得护坡效果。通过正交试验,对于基材的主要组成成份进行了强度影响因素的大小分析,得出在施工时和施工后一定时间内天气变化的条件下所需采用的基材混合物的优化配比方案,从而可使基材达到其强度值最优。这对于岩质边坡基材施工后的防雨水侵蚀和自身稳定具有重要意义。

(4)合理的边坡整修和挂网技术保证了种植基材喷播工艺的有效进行,最后细致的后期养护技术也确保了炎热多雨条件下岩坡喷混植草的成功。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张俊云,周德培,李绍才.厚层基材喷射护坡试验研究[J].水土保持通报,2001,21(4):44-46.
- [2] 周德培,张俊云.植被护坡工程技术[M].北京:人民交通出版社,2003:106-217.
- [3] 王星华,巢万里,倪宏革.洛湛铁路岩质边坡挂网喷锚植草技术研究[R].长沙:中南大学土建学院,2007.
- [4] 黄必志,曹文波,陈佐忠.草坪营养与施肥[M].北京:中国林业出版社,1999:148-151.
- [5] 王伯荪,彭少麟.植被生态学[M].北京:中国环境科学出版社,1997:121-152.
- [6] 解亚林,王晓林.南方高速公路生物防护工程的草种与施工方法[J].草原与草坪,2000(1):33-35.
- [7] 赵志新.正交试验原理[M].济南:山东科学技术出版社,1996:135-148.

## 欢迎投稿《International Journal of Sediment Research》

《International Journal of Sediment Research》(译名《国际泥沙研究》)是国际泥沙研究培训中心主办的纯英文版科技期刊,为季刊。自2007起成为SCI源刊,被SCI-E收录。《International Journal of Sediment Research》刊登内容有:泥沙运动力学、河床演变、地理学、地貌学、土壤侵蚀、流域产沙、水土保持、泥沙对环境及生态的影响、泥沙所引起的社会和经济问题评估等内容。竭诚欢迎相关人员投稿。

投稿地址:北京车公庄西路20号国际泥沙研究培训中心《国际泥沙研究》编辑部,

邮政编码:100048

传真:86-10-68411174

网 址: <http://www.waser.cn/journal/journal-main.asp>

电子邮箱: [sedimentpaper2004@yahoo.com.cn](mailto:sedimentpaper2004@yahoo.com.cn), [chyh@iwhr.com](mailto:chyh@iwhr.com), [yhchen1234@gmail.com](mailto:yhchen1234@gmail.com)

联系人:陈月红