

高次团粒喷播技术在宝泉抽水蓄能电站中的应用

姜利兵¹ 王 洋²

(1. 环境与移民工程院; 2. 宝泉抽水蓄能有限公司, 河南 新乡 453636)

【摘要】 在山区进行水电工程和公路等开发建设项目过程中, 边坡开挖后常常会形成大面积裸露的山体。在传统的施工工艺中, 为防止岩石风化并保持边坡稳定, 通常采用打锚杆、挂金属网, 喷混凝土的方式进行防护。这种传统的施工工艺在防护边坡的同时也阻断了生物生长的通道, 使大量的防护面成为寸草不生的人工荒漠。传统的施工工艺(打锚杆、挂金属网)与生物喷播(利用生物喷播代替原来的喷砼)相结合, 对裸露边坡进行生物修复无疑是今后的发展方向。本文以宝泉抽水蓄能电站裸露山体高次团粒喷播生态修复为例, 全面介绍了高次团粒喷播技术的原理、工序及特点, 希望对其它工程裸露山体的生态修复起到一定的借鉴作用。

【关键词】 高次团粒 裸露山体 生态修复

1 工程简况

河南国网宝泉抽水蓄能电站位于太行山南麓, 上水库位于峪河支流的东沟。水库在原来天然沟道的基础上开挖而成。上水库已经于 2008 年 4 月完工。上水库环库公路总长 1.99km, 除主坝和副坝段外, 全部为高边坡开挖段, 为了保持边坡的稳定, 除主坝右侧部分边坡没有喷护外, 其它全部进行了混凝土喷护, 喷护面积就达 58 550m²。通过打张拉锚杆、挂钢丝网、喷混凝土等工程防护措施, 起到防止边坡风化、稳定边坡的作用的同时, 也阻碍了裸露边坡自然修复的通道。大量的混凝土喷护面成为寸草不生的人造荒漠, 大大降低了生物恢复的可能性。造成生物量损失的同时, 还影响了周围的自然景观, 与上水库的一泓碧波形成了强烈的反差。

为了加快生态修复, 实现人与自然的和谐相处, 从 2008 年 3

月起，宝泉抽水蓄能有限公司引进高次团粒喷播技术对岩石边坡和砼喷护边坡进行了生态修复，喷播的主要区段为上库起闭机房东侧、上水库左右坝肩、地下厂房进厂交通洞口上方，共计完成生物喷播面积 14 490.6m²。目前，喷播区植被覆盖率已达 95%，生态修复效果已初见成效。

2 “高次团粒”喷播技术

2.1 喷播原理

高次团粒喷播技术是以岩质和土质边坡、瘠薄地、酸碱性土壤、裸露坡面、海岸堤坝等为主要施工对象，使用富含有机质和黏粒的客土材料，在喷播瞬间与团粒剂混合并在空气的作用下诱发团粒反应，形成与自然界表土具有相同高次团粒结构的人造绿化基盘，由于喷播瞬间会发生疏水反应，所以黏结力极强的绿化基盘牢固地吸附于坡面上，能抵抗雨蚀和风蚀，防止水土流失。

2.2 施工工序

本工程采用的“高次团粒”喷播技术的施工工序如下：清除坡面危石——开挖植生孔——铺设植生毯——铺设金属网——喷播——养护管理。

2.3 喷播材料

(1) 客土。黏土、砂、有机质比例适中，物理和化学稳定性好的改良土壤，经团粒反应后可以确保表土质量。

(2) 养生材：增加了最适合植物生长的缓释肥，为了增加土壤培养基的强度和保水性，加入复合性纤维。

(3) 土壤稳定剂。由天然植物性油脂的诱导体构成，施工时

对团粒反应起促进作用，形成稳定的植物生长基盘。

(4) 团粒剂。线状有机高分子，能再现最理想土壤形态。

(5) 植物纤维。植物纤维吸水性良好，添加后使土壤颗粒的连接作用更加紧密，对人造绿化基盘起加固作用。

(6) 种子。根据不同的绿化目标，选择不同种子的配合比，多选择抗性好，对环境承受能力强，适合本地生长的乡土种子。

根据宝泉抽水蓄能电站所在地区的气候特征、物种乡土化、多样化特征及本工程的绿化目标，选择了当地的乡土树种如臭椿、刺槐、火炬树、紫穗槐、胡枝子、马棘等，按照实验得出配合比，混合做为“高次团粒”喷播的种子，并用喷播设备将喷播材料分层喷播至喷播厚度。

2.4 喷播设备

喷播设备有两个罐体组成，容量为 5.0m³，水平送液能力为 300~400m，垂直送液能力为 80m，此设备为专用喷播设备，能使具有流动性的泥状材料从喷枪喷出的瞬间与团粒剂混合发生反应，并瞬间形成吸附性、稳定性强的表层土壤。

2009 年第 4 期黄河规划设计总第 150 期姜利兵等：高次团粒喷播技术在宝泉抽水蓄能电站中的应用

2.5 高次团粒湿式喷播技术特点

能够实现以上令人称奇的效果是因为这种绿化技术在理论观念、材料应用、施工工艺、设备研发、评价体系、后期效果等诸多方面，与园林绿化、液力喷播和客土喷播等传统技术相比，

具有本质的不同。“高次团粒”系列植被恢复与重建技术有以下特点：

(1)应用范围广泛。这种施工技术能够针对各种岩石、硬质土、砂质土、贫瘠地、酸性土壤、干旱地带、河岸堤坝等绿化较为困难的地方，采用特殊的材料和喷播机械，培育出理想的木本植物群落系统。能够较快的改善生态景观，一般半年内就能取得良好的绿化效果，两到三年内达到稳定效果，稳定后无需人工养护和干预，自身可以保持植物的自然演替功能，使之形成与周围环境相协调的绿色景观。

(2)喷播形成的绿化基盘具有绿化领域所需理想的“高次团粒”结构。这种结构既有保水性，又有透气性，适宜于植物生长，能有效的抵御雨蚀和风蚀，同时形成的稳定的植物根系以牢牢的固持土壤，保护边坡上的生长基质，防止边坡水土流失，同时可以达到恢复生态环境、绿化景观等综合效果。

(3)倡导播种绿化先进的绿化理念，而不是传统的植树绿化，施工材料环保，材料可以自然降解且无需施肥撒药，与厚层基材喷射植被护坡技术、人工植生槽、人工植生袋、喷混植生等边坡修复技术相比较起来，具有施工周期短养护管理工作量小等特点。

(4)遵照生态位原理^[1]，追求自然的、物种丰富的绿色生态环境。要求灌草立体配置、实现物种多样化，注重”植物群落”的概念。目前国内很多边坡防护及绿化方法，大多选用的是外来

的先锋物种，品种单一，由此造成的后果是种群结构不合理、易退化。从恢复生态学角度，以科学发展的眼光来看，裸露山体植被生态修复必须要考虑植物个体与种群之间的关系，既要迅速达到绿色效果，又要持久不衰，保持生物多样性，构成稳定的多物种的立体植被结构。而高次团粒喷播技术采取乔、灌、草相结合的方式绿化，使之尽量符合当地的植物群落结构，并走向本土化。

3 生态恢复效果评估

3.1 样方调查

为了评估生态修复效果，2009年9月20日分别在不同的喷播区域，根据朝向、坡度和喷播前边坡裸露情况，选取不同的样方对苗木生长情况进行了样方调查。调查结果见下表。

3.2 效果评估

从样方调查结果可以得出以下结论：

(1) 喷播后第一个生长季节内，乔、灌、草个体生长优势不突出，呈现齐头并进的局面；第二个生长季节，乔灌的个体优势充分显现出来；第三个生长季节，草本植物逐步退缩，植物种类以乔灌为主。

(2) 受当地气候、土壤的影响，乔灌优势种群以当地乡土树种为主。在宝泉抽水蓄能电站所在的南太行山地区，乔灌优势种以刺槐、火炬、臭椿、紫穗槐为代表。

(3) 植生毯具有很好的保水保肥性能，同时还可以增加土壤

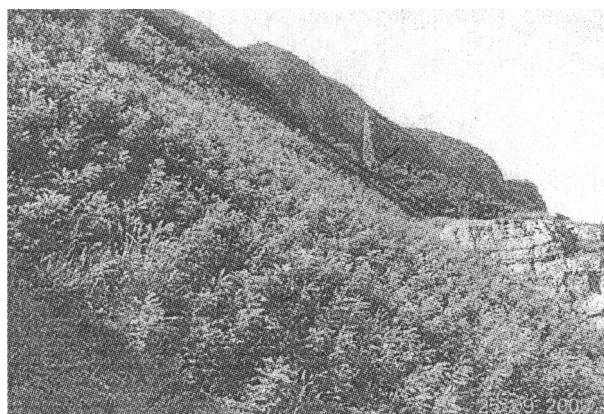
培养基强度，对生态修复效果具有举足轻重的作用。上水库左坝肩生态修复区以交通廊道为界分为东西两部分，该区域同一时间喷播，地形坡度又十分相似，但由于交通廊道以东铺设了植生毯，而以西区域没有铺设植生毯，植物长势差异很大。在 25m² 的调查区域内东侧有刺槐 120 株，平均株高 0.8m，长势喜人，效果较好(详见附图)。而西侧有刺槐 90 株，平均株高仅 0.45m。

(4) 直接在裸露岩石上进行挂网喷播与在喷砼面上进行凿洞喷播相比，前者的植物生长效果明显优于后者。在 2008 年 4 月份开始施工的试验段工程分别位于上水库右坝肩和上库起闭机房东侧，上水库右坝肩是岩石开挖后裸露的岩石边坡，没有进行喷砼防护。而上库起闭机房东侧却已经进行过砼砂浆喷护。在样方调查中，上水库右坝肩刺槐平均株高在 2.1~2.3m 之间，而上库起闭机房东侧刺槐平均株高仅 1.5m。除了阳坡、阴坡等光照、水分条件影响外，植物生长的土壤条件也起到了一定的作用。

件影响外,植物生长的土壤条件也起到了一定的作用。

表 不同区域样方调查结果

编号	位置	喷播面积 (m ²)	朝向	坡度	喷播 时间	样方调查情况
1	上库起闭 机房东侧		阴	85°		样方面积 32m × 3m, 刺槐 206 株、均高 1.5m; 火炬 104 株、均高 0.30m; 臭椿 58 株、均高 0.5m; 紫穗槐 193 株、均高 0.8m。 平均每 10 m ² 乔木 38 株, 灌木 20 株。
2	上水库右 坝值班房 东侧	3450	阳	80°	2008.4.1 ~ 2008.5.24	样方面积 7m × 3m, 刺槐 35 株、均高 2.1m; 火炬 23 株、均高 0.3m; 马棘 15 株、均高 0.5m。 平均每 10m ² 乔木 27 株, 灌木 7 株。
3	上水库右 坝值班房 西侧		阳	60°		样方面积 7m × 3m, 刺槐 50 株、均高 2.3m; 火炬 13 株、均高 0.2m; 马棘 8 株、均高 0.3m, 平均每 10 m ² 乔木 30 株, 灌木 3 株。
4	上水库左 坝间交通 廊道以西	4637	阴	50°	2008.9.25 ~ 2008.12.20	样方面积 5m × 5m, 刺槐 90 株、均高 0.45m, 火炬 35 株、均高 0.18m, 黑麦草 50 丛、均高 0.2m。 平均每 10 m ² 乔木 50 株, 草本 20 丛。
5	左坝间交 通廊道 以东	2000	半阴	38°		样方面积 5m × 5m, 刺槐 120 株, 均高 0.8m, 臭椿 50 株, 均高 0.28m。 平均每 10 m ² 乔木 68 株。
6	进厂交通 洞洞口 上方	4404	阳	30°		样方面积 7m × 3m, 刺槐 75 株、均高 1.3m, 紫穗槐 65 株, 均高 0.35m, 马棘 28 株, 均高 0.7m, 黑麦草 100 丛, 均高 0.3m。 平均每 10 m ² 乔木 35 株, 灌木 31 株。
				50°	2008.8.13 ~ 2008.9.12	样方面积 7m × 3m, 刺槐 85 株, 均高 2.2m, 紫穗槐 45 株, 均高 0.7m, 马棘 25 株, 均高 0.8m, 黑麦草 120 丛, 均高 0.3m, 臭椿 25 株, 均高 0.2m。 平均每 10 m ² 乔木 52 株, 灌木 33 株。
				45°		样方面积 7m × 3m, 刺槐 83 株, 均高 2.1m, 紫穗槐 35 株, 均高 0.6m, 黑麦草 110 丛, 均高 0.2m, 火炬 15 株, 均高 0.2m。 平均每 10 m ² 乔木 46 株, 灌木 16 株。



附图 上水库左坝间交通廊道以东高次团粒喷播效果图

(5) 喷播后一年内是养护关键时期,一年后植物根系已经深入岩土之中汲取水分,基本不需要进行养护。

4 结语

宝泉电站利用高次团粒喷播技术对上水库左坝间、进厂交通

洞洞脸上部裸露山体等部位进行生态恢复。工程实践证明，生态修复技术的综合应用在裸露山体的整治中具有广阔的应用前景^[2]。高次团粒喷播技术具有生态恢复周期短，后期不需要养护的特点，能真正实现对裸露山体的生态景观恢复，可最大限度地减少人工修复痕迹，使之与周围的山体景观和谐一致，使人感受到和谐的自然之美，具有较高的推广应用价值。

参考文献

[1] 许文年，夏振尧，戴方喜，等. 恢复生态学理论在岩质边坡绿化工程中的应用[J]. 中国水土保持，2005(4).

[2] 张艺，许文年，方艳芬. 三峡库湾香溪河生态环境研究进展[J]. 三峡大学学报：自然科学版，2007，29(1)：20—24.