

# 高次团粒喷播技术在废弃矿山岩质边坡生态修复中的应用

徐冬冬 王旭 吕晓建

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 长期矿山开采形成了大量高陡裸露边坡,造成山体生态环境破坏、大气污染、水土流失等,矿山生态治理修复迫在眉睫,高次团粒喷播技术在矿山生态修复领域利用广泛。本文以北京房山区某村北部山区废弃矿山为例,利用高次团粒喷播技术进行矿山边坡生态修复,主要从高次团粒喷播技术原理、技术优势、适用条件、施工工艺流程及技术要点等方面进行简要介绍,为同类矿山生态修复提供借鉴。

**[关键词]** 高次团粒喷播; 岩质边坡; 生态修复

**[中图分类号]** TD167; X171.4

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 2097-2423(2023)02-0076-04

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.02.016

## 0 前言

早期掠夺式矿山开采一度成为当地村民的主要经济来源,但长期采矿活动造成山体生态环境大面积破坏,原有山体面目全非,地貌景观破坏、大气扬尘及水土流失现象日益严重;采矿形成了大量高陡岩质边坡,并极易产生崩塌等地质灾害隐患,给当地生态建设及当地村民人居环境带来极不利的影[1-2]。目前,矿山岩质边坡生态修复技术措施较多,主要包括挂网客土喷播技术、生态毯、森林毯技术、植被混凝土技术、高次团粒喷播技术等[3],其中高次团粒喷播技术具有快速构建生态系统的优点被广泛用于矿山边坡生态修复工程。

## 1 高次团粒喷播技术原理及技术优势

### 1.1 高次团粒喷播技术原理

高次团粒喷播技术主要以高陡边坡为施工对象,利用专用的喷播设备将富含黏土、砂、有机质、粘

合剂、保水剂、植物种子等的客土材料喷播到边坡上,在喷播瞬间客土材料与团粒剂混合并发生“团粒反应”,形成与自然界表土具有相同团粒结构的“土壤培养基”-优粒结构,为植物生长提供充足的肥力,从而促使边坡快速构建理想的植物群落[4]。边坡生态修复如图1所示。

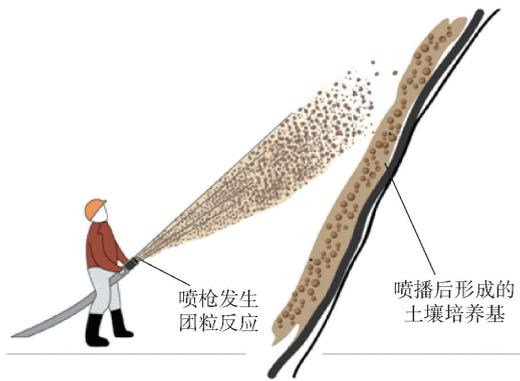


图1 高次团粒喷播技术边坡生态恢复示意图

### 1.2 高次团粒喷播技术优势及适用条件

**技术优势:**1)从种子开始营造自然式木本植物生态群落;2)采用专用的土壤喷播设备,制备具有“团粒结构”的培养基,稳定性强,适合木本植物生长;3)土壤培养基具备抗雨水冲刷和风蚀作用,可有效预防水土流失;4)边坡植被群落效果好,能自然更新演替,可持续性强;5)后期管护费用较低[5]。

高次团粒喷播技术主要适用于常规技术难以绿化的区域,如各种高陡岩质及土质边坡、斜坡屋面、混凝土、堤坝、构筑物等斜面、水土流失区域或立地

**[收稿日期]** 2022-10-22

**[作者简介]** 徐冬冬,男,河北保定人,硕士,工程师,主要从事土壤修复、矿山生态修复治理、地质灾害治理等技术工作。

**[引用格式]** 徐冬冬,王旭,吕晓建.高次团粒喷播技术在废弃矿山岩质边坡生态修复中的应用[J].绿色矿冶,2023,39(2):76-79.

条件恶劣地区,坡度小于 $65^\circ$ 的边坡。

## 2 工程实践

### 2.1 工程概况

#### 2.1.1 自然地理

项目区位于北京房山区某村北部山区,该区域属典型暖温带半湿润、半干旱大陆性气候,四季分明,年均气温为 $12.6^\circ\text{C}$ ,年均降雨 $600\text{ mm}$ ,年均风速 $1.8\text{ m/s}$ ,主导风向为南,区内山间分布一些沟谷,沟内无水,地貌属构造剥蚀地貌,主要为低山及沟谷,最大高差 $447\text{ m}$ ,出露地层主要为青白口系灰岩、(石英)砂岩,寒武系白云岩、砂岩和奥陶系白云岩等。

#### 2.1.2 项目区地质环境现状及问题

该区内矿山已开采多年,长期的采矿活动对矿山生态环境、地貌景观造成了严重破坏,形成多处裸露边坡,大多为岩质边坡,坡面坡度为 $50^\circ\sim 70^\circ$ ,岩层产状 $45^\circ\angle 36^\circ$ ,多数为斜向坡,节理裂隙较发育,发育2组节理,产状分别为 $(60^\circ\sim 70^\circ)\angle(83^\circ\sim 88^\circ)$ 、 $(221^\circ\sim 225^\circ)\angle(85^\circ\sim 87^\circ)$ ,边坡整体稳定性较好。矿山地质环境问题主要为潜在崩塌隐患、地貌景观破坏及土地资源占压等。项目区现状如图2所示。



图2 项目区现状

### 2.2 施工工艺流程及技术要点

该地区破坏严重,山体残缺,边坡较陡,土壤贫瘠,水土流失严重,应用其他技术方法难于达到恢复效果,而高次团粒喷播技术应用范围广泛,适用于常规技术难以生态恢复的地方(包括各种高陡岩质、贫瘠地边坡等)的恢复植被,具有耐侵蚀性强,绿化效果好,养护时间短、成本低等优势,因此该地区的生态修复采用高次团粒喷播技术。工艺流程如下:修坡整形→坡面清理→铺设金属网、打锚固件→团粒喷播→养护管理<sup>[6]</sup>。

#### 2.2.1 修坡整形

采用高次团粒喷播技术喷播前需保证边坡安全、稳定,坡面需进行修整以满足喷播的设计要求。不稳定边坡需先采取工程措施(卸载或支护)使坡

面达到稳定后喷播。若边坡坡度大或边坡形态较原山体改变明显,宜在条件允许的前提下,适当放缓坡度,将坡度修整到 $65^\circ$ 以下,为植被恢复创造良好的生长环境,并与周边生态环境相协调。

#### 2.2.2 坡面清理

采用人工或机械方式清理坡面危石、浮石、杂物等,在消除地灾隐患的同时保留原生树木。清坡完成后由专业技术人员重新评估边坡的稳定性,若边坡稳定则进行下一步施工。坡顶及坡面上汇水较大部位宜修建截排水沟,将坡面、坡顶汇水排出,避免雨水冲刷坡面以保证边坡安全和绿化效果。

#### 2.2.3 铺设金属网

坡面清理完成后边坡开始铺设金属网,丝径 $\Phi 2\text{ mm}$ ,网孔 $60\text{ mm}\times 60\text{ mm}$ ,相邻网网片搭接宽度 $100\text{ mm}$ ,边坡上部边缘网铺设向外延展 $800\text{ mm}$ 。铁丝网之间的,搭接处用锚固件固定,间距为 $500\text{ mm}$ ;金属网使用锚固件固定,主锚固件与次锚固件搭配使用,主锚固件宜用于坡顶、搭接或主要受力处,其他位置可用次锚固件<sup>[7]</sup>。

主锚固件采用直径 $\Phi 14$ 螺纹钢,入岩深度 $550\text{ mm}$ ,主锚杆整体间距 $2.0\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ 。次锚固件采用直径 $\Phi 10$ 螺纹钢,入岩长度为 $350\text{ mm}$ ,次锚杆整体间距 $1.0\text{ m}\times 1.0\text{ m}$ ,坡面次锚杆主要用于对坡面形态变化处进行锚固;锚钉外露 $30\sim 40\text{ mm}$ ,金属网距坡面 $20\sim 30\text{ mm}$ 处与锚钉绑扎。锚固件需用电钻钻孔后打入岩石,呈梅花状或不规则形状布设,均匀分布不能成直线;对个别不平顺的坡面,必须增加锚钉密度。锚固件数量为 $1\text{ 支}/\text{m}^2$ 。

锚固件如难以将网体牢固固定至边坡上,应进行特殊设计。金属网应与坡面服帖保持设计喷播厚度 $2/3$ 的间距。边坡起伏较大时,金属网宜贴近坡面铺设并固定;边坡较平坦时,应利用垫块把金属网垫起,垫块厚度宜为设计喷播厚度的 $2/3$ 。

#### 2.2.4 团粒喷播

本工程对满足要求的边坡坡面进行高次团粒喷播,个别陡峭坡面裸露,营造自然景观。边坡喷播2层,首先在坡面喷播基底层喷播 $7\text{ cm}$ 厚的植生混凝土,作为植物生长的基础层;然后在上面喷播混合后的种子团粒层,喷播厚度为 $3\text{ cm}$ ,总喷播厚度 $10\text{ cm}$ <sup>[8]</sup>。喷播后边坡表面能迅速形成吸附能力强、稳定性好的土壤培养基,既能预防坡面水土流失,又适合植被生态系统快速重建。高次团粒喷播绿化断

面如图3所示。

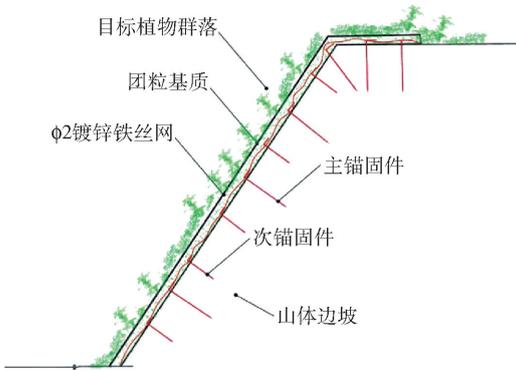


图3 高次团粒喷播绿化断面图

#### 2.2.4.1 植物选择

植被护坡主要依靠植物根茎与土壤间的附着力及根茎间的相互缠绕来达到固坡及边坡生态重建的目的。边坡生态修复在选择植物种类时要坚持生物多样性,营建乔、灌、草结合的多树种、多结构、多功能的复层生态景观群落,有效增加绿量和绿叶面积,挖掘单位面积上的潜在生态力,提高叶面积指数。生态修复优选耐贫瘠、抗逆性强、具有固氮作用、绿期长、多年生的乡土物种,并应与矿区周边未破坏区域植被群落和谐统一。本工程生态修复选择的植物种类为刺槐、臭椿、荆条、紫穗槐、高羊茅、黑麦草、紫苜蓿。边坡植物种类选择及特性见表1。

表1 边坡生态修复植物种类选择表

植物名称	种属	植物特性
刺槐	豆科、刺槐属植物、落叶乔木	根系浅而发达,抗风性差,适应性强,固沙保土,抗化学烟雾、生长快、萌芽力强、固氮、速生树种
臭椿	苦木科臭椿属落叶乔木	耐寒、耐旱、抗病性强、成活率高、适应性强、易繁殖、速生树种
荆条	马鞭草科牡荆亚科植物、落叶灌木	抗旱耐寒、适应性强、根系发达、固氮能力强、优良乡土灌木
紫穗槐	豆科落叶灌木	耐贫瘠、耐水湿和轻度盐碱土,抗逆性强,根系发达,抗风强、固氮、改土作用强、速生物种
高羊茅	禾本科、羊茅亚属草本植物	适应性强、抗逆性强、耐酸、耐瘠薄、抗病性强
黑麦草	黑麦草属草本地被	生长快、分蘖多、耐湿不耐寒、须根发达,入土不深覆盖地面、保持水土
紫苜蓿	豆科、苜蓿属草本地被	根系发达、固氮、适应性强、保持水土、再生能力强

#### 2.2.4.2 土壤培养基

高次团粒喷播核心技术为土壤培养基。培养基主要由种植土、草炭、锯末或稻草纤维(谷壳)、钙镁磷、复合肥、高次团粒剂、种子等按照一定的配比组成。其中,种植土选用红壤或黄壤,草炭优选泥炭以增加基材的团粒性,加强基材保水性、保肥性等;复合肥具有营养含量高、物理性能好等优点,为植物生长提供所需的养分;稻草谷壳等木纤维需经特殊加工,对增加有机质含量、防止水土流失等具有不可替代的作用;高次团粒剂能让基材在喷播瞬间与空气发生作用,发生团粒反应,形成与自然界表土具有相同性质的生长基质。土壤培养基理化技术指标见表2。

#### 2.2.4.3 喷播设备

高次团粒喷播设备不同于其他的喷播设备,为专用喷播机,本次采用的型号为HKP-120型,其他机械设备包括团粒剂反应输送机、小型挖机、柴油发电机组、粉碎冲击钻、风钻、养护车等。

#### 2.2.5 养护管理

喷播施工结束后应及时铺盖无纺布(或稻草

表2 土壤培养基的理化技术指标表

指标	要求
pH	5.5~7.5
有效持水量/%	≥40
总孔隙度/%	≥40
有机质/%	≥5
全氮/ $g \cdot kg^{-1}$	≥1.0
全磷/ $g \cdot kg^{-1}$	≥1.0
全钾/ $g \cdot kg^{-1}$	≥10.0
容重(假密度)/ $g \cdot cm^{-3}$	0.5~1.2
电导率(EC)/ $ms \cdot cm^{-1}$	0.4~3.0
阳离子交换量(CEC)/(me/100g)	≥15

帘)保温保湿,对坡面植物进行浇水养护,并适时进行施肥和防治病虫害,施肥坚持“多次少量”的原则,病虫害防治本着预防为主、因地因时制宜、因植被制宜进行防治的原则。喷播完成后一个月,全面检查植被生长状况,对生长明显不均匀的位置予以补播。工程养护管理期为一年,后期无须养护。

#### 2.3 治理效果

工程施工2年后,矿山边坡植被恢复效果良好,

初步形成了乔、灌、草相结合的植物生物群落(图4~图5。),高次团粒喷播技术在该工程的成功实施,不仅消除了地质灾害隐患,而且改善了矿区地形地貌景观、视觉污染、水土流失等环境问题。



图4 边坡植被恢复施工前



图5 边坡植被恢复施工后

### 3 结束语

实践证明,高次团粒喷播技术在北京房山区某村北部山区废弃矿山生态修复治理实施中可行,实现了边坡生态修复的目的。项目的实施消除了崩塌等地质灾害隐患,有效改善了项目区生态环境。

高次团粒喷播技术具有适应范围广、施工周期短、成本低、后期养护少、可快速实现绿化效果等特点,该技术的成功应用为同类矿山生态修复提供了借鉴,为该技术在矿山生态修复治理的广泛应用奠定了基础。

#### [参考文献]

- [1] 李超. 高次团粒喷播技术在废弃矿山地质环境恢复治理工程实施中的应用[J]. 建筑科技, 2020(3): 107 - 110.
- [2] 梁新民, 刘明权, 张爱民, 等. 无废、无尾生态智能矿山建设模式探讨[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(2): 66 - 77.
- [3] 徐冬冬. 边坡生态修复技术探讨[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(3): 78 - 81.
- [4] 包海丽. 浅谈高次团粒客土喷播边坡裸岩植被恢复[J]. 农业与技术, 2019, 39(11): 54 - 55.
- [5] 王建飞, 卢金阁, 武鹏程, 等. 浅谈高次团粒喷播技术在河口村水库工程中的应用[J]. 房地产导刊, 2017(20), 79.
- [6] 单士锋, 李振武. 客土喷播技术在铜陵市废弃矿山治理中的应用[J]. 现代矿冶, 2020, 36(6), 213 - 215, 219.
- [7] 胡光鹏, 魏森. 高次团粒喷播技术与植被混凝土喷播技术的比较[J]. 科教导刊 - 电子版, 2015(11): 152.
- [8] 王鹏杰. 高次团粒喷播生态防护施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2015(8): 78 - 80.

## Application of High-order Pellet Spray Seeding Technology in Ecological Restoration of Abandoned Mine Rock Slope

XU Dongdong, WANG Xu, LV Xiaojian

**Abstract:** The long-term mining has formed a large number of high and steep exposed slopes, resulting in the destruction of mountain ecological environment, air pollution, water and soil loss, etc. the task of mine ecological governance is imminent. High-order aggregate spraying technology is widely used in the field of mine ecological restoration. Taking the abandoned mine in the northern mountainous area of Fangshan District as an example, this paper used the high-order pellet spraying technology to carry out the ecological restoration of mine slope, mainly introduced the principle, technical advantages, applicable conditions, construction process and technical points of high-order pellet spraying technology, so as to provide reference for the ecological restoration of similar mines.

**Key words:** high-order pellet spraying; rock slope; ecological restoration