

露天矿山边坡治理的“喷砼飘台”技术试验及效果

郑思光, 赵志杰

(河北省地矿局第二地质大队, 河北 唐山 063000)

摘要: 由于矿产资源及采石场存在的不规范开采, 造成了山体裸露、植被破坏、水土流失、扬尘滚石, 且存在着地质灾害等安全隐患。国家和各级地方政府都高度重视矿山的生态恢复, 在矿山生态恢复治理中因开采形成的高陡边坡常见的传统治理方法主要为削坡, 即由上而下阶梯式完成坡面的削整, 再进行平台及坡面绿化, 但该施工方法受矿山的规范开采影响, 存在着一定的施工难度, 工程量较大, 同时会进一步对生态环境造成破坏, 且坡脚栽植绿化植物完全覆盖坡面时间较长。鉴于这些情况, 创新试验了“一种矿山环境恢复治理的喷砼飘台结构”(简称“喷砼飘台”)新技术, 通过现场的技术攻关试验, 解决了矿山及采石场生态恢复治理中高陡峭边坡施工难的技术问题, 减少了对生态环境的破坏。简易迅速的施工, 见效快, 同时对地质灾害隐患也进行了有效的治理。

关键词: 喷砼飘台; 矿山环境; 边坡治理; 锚杆; 绿化

中图分类号: P642.2; TD824.7; X14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2020)03-0080-08

Technical test and results of “shotcrete floating platform” for slope treatment at the open pit mine

ZHENG Siguang, ZHAO Zhijie

(No.2 Geological Team of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: There are some safety risks such as exposure of the mountain, vegetation damage, soil erosion, rolling dust, geological hazards due to the irregular exploitation of mineral resources and quarries. The state and local governments at all levels attach great importance to the ecological restoration for mines. In the ecological recovery and management for mines, traditional treatment for high and steep slopes from mining is mainly slope grading; that is, the slope is trimmed from the top to the bottom, and then the platform and the slope are greened. However, with this method, there is some construction difficulty, and a large amount of work due irregular mining operations; meanwhile, it will further damage the ecological environment, and it takes a longer time to cover the slope with green plants. In view of these circumstances, a new type of technology called “shotcrete floating platform for the restoration of the mining environment” (in short “shotcrete floating platform”) was innovatively developed. Field experiments demonstrated that it solved the technical difficulty in high steep slope treatment for ecological recovery at the mines and quarries, and reduced additional destruction of the ecological environment with simple and rapid construction, and quick effect; at the same time it provided effective control of geological hazards.

Key words: shotcrete floating platform; mine environment; slope treatment; anchor; greening

0 引言

近年来, 国家和各级地方政府高度重视露天矿山地质环境治理和生态恢复工作, 但因废弃露天矿山裸露的岩质边坡一般坡度很大, 难以实现覆土绿化, 即使采用客土喷播法也会发生脱落、雨水冲刷等

危害现象, 废弃矿山高陡岩质边坡治理恢复仍是一个世界性的难题^[1-2]。

为了解决露天矿山地质环境治理中的技术难题, 我单位实施了燕山矿山环境治理技术攻关试验, 选取了具有典型代表性的河北省滦县榛子镇文喜采

收稿日期: 2019-12-23 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2020.03.014

基金项目: 河北省科技厅 2017 年重点研发项目“河北山地生态修复产业化模式构建及关键技术研究及示范(主项目)——基于雨水边坡的裸露岩体植被快速覆盖技术研究与示范(子课题)”(编号: 17236801D-5)

作者简介: 郑思光, 男, 汉族, 1980 年生, 高级工程师, 土木工程、水资源及其利用专业, 长期从事水工环地质、地灾防治、矿山环境治理、岩土及探矿工程工作, 河北省唐山市路北区北新西道 157 号, siguang103@163.com。

引用格式: 郑思光, 赵志杰. 露天矿山边坡治理的“喷砼飘台”技术试验及效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(3): 80-87.

ZHENG Siguang, ZHAO Zhijie. Technical test and results of “shotcrete floating platform” for slope treatment at the open pit mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3): 80-87.

石场废弃矿区作为试验技术攻关示范基地。该废弃矿山南邻京沈高速,东傍迁西支线高速,南眺津秦高铁,北距国道 102 线 500 m 左右,因数十年的无序开采,过量的土石剥离造成了大范围的石灰岩白茬断面,山体绿植景观被严重破坏,从远处望去,一片狼

藉。矿山露天开采产生的采坑面积过大,且边坡陡峭,地质环境复杂,治理难度较大,尤其是崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害时刻危及着周边村民的生命财产安全,整个矿区亟待治理^[3-4]。治理区位置详见图 1。

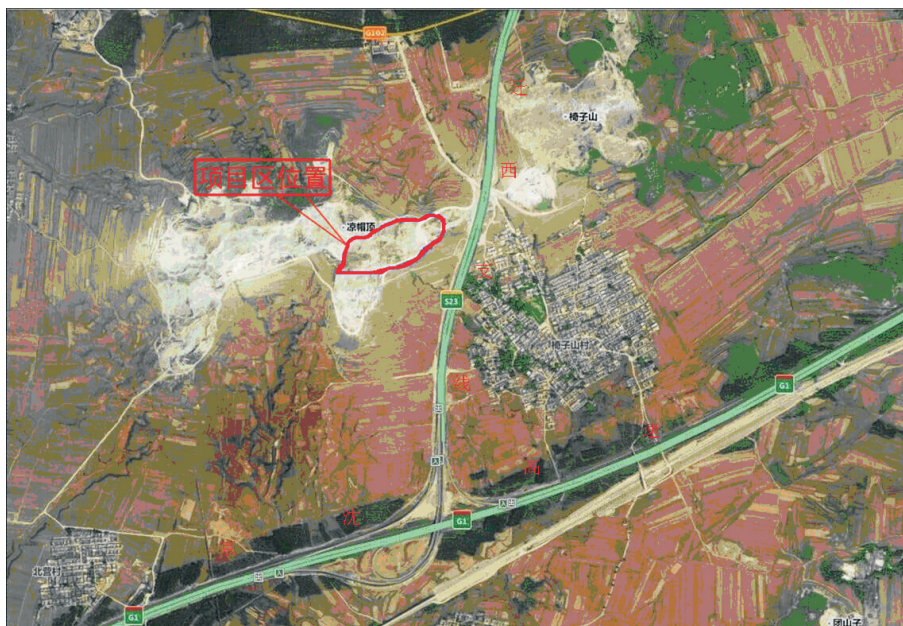


图 1 项目区交通影像图

Fig.1 Traffic image of the project area

通过我队技术团队搜集大量的相关基础资料,创新治理技术和方法,并结合部分高校的研究和建议,根据现状提出了切实可行的规划方案,试验了“一种矿山环境恢复治理的喷砼飘台结构”(以下简称“喷砼飘台”)新技术,通过现场的技术攻关试验,取得了实质性效果,使文喜采石场露天废弃矿山发生了翻天覆地的变化^[5-6]。

1 基本概况

1.1 主要目的

在调查了解项目区地质环境条件的基础上,针对露天矿山高陡边坡的特殊地形地貌,实施“喷砼飘台”治理技术,通过在文喜采石场试验区的试验应用验证,为今后同类型的矿山地质环境治理项目提供了有力的技术支持,为政府及相关部门和矿山企业进行矿山地质环境治理提供了技术参考。筛选出的矿山环境治理施工方法,面向燕山、太行山地区矿山环境治理和生态恢复项目推广应用^[7]。

1.2 勘查设计依据

- (1)《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2009);
- (2)《工程测量规范》(GB 50026—2008);
- (3)《国家三角测量规范标准》(GB/T 17942—2000);
- (4)《地质勘探安全规程》(国家安全生产行业标准 AQ 2004—2005);
- (5)《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002);
- (6)《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013);
- (7)《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001);
- (8)《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010);
- (9)《岩土工程手册》(《岩土工程手册》编写委员会,1994);
- (10)《建筑边坡工程规范》(GB 50330—2002);
- (11)《矿山地质环境保护与治理恢复方案编制规范》(DZ/T 0223—2011);
- (12)《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)。

1.3 “喷砼飘台”技术治理前情况

本次“喷砼飘台”治理技术试验应用位置位于治理区的中部,北高南低,顶部最大标高 132 m,底部最低标高 98 m,分为上下两部分。其中上部边坡坡度较缓,平均坡度约 38° ,在 132 m 标高分布有一个平台,平台表面起伏较大,上部缓边坡坡面较为破碎,堆积有大量碎石,基本无植被覆盖;下部边坡坡度陡峭,其中边坡西部坡度 $44^\circ\sim 52^\circ$,中部坡度 $58^\circ\sim 72^\circ$,东部坡度 $30^\circ\sim 35^\circ$,边坡总长度约 180 m,边坡松石较多,局部存在危岩。在 114 m 标高处分布一个平台,平台堆积有少量碎石。坡面岩石裂隙较发育,风化程度较弱,局部存在浮石。坡底堆有少量碎石,分布少量植被。地质环境问题突出,治理前现状详见图 2、图 3。



图 2 边坡中部治理前(镜像西北)

Fig.2 Central part of the slope before treatment (mirror image of the northwest)



图 3 边坡东部治理前(镜像东北)

Fig.3 East part of the slope before treatment (mirror image in the northeast)

2 “喷砼飘台”治理技术

2.1 设计思路及工艺

(1)首先坡顶平台打锚杆。用电锤在坡顶选择完整的岩石钻孔后,灌入水泥浆,插入钢筋锚杆,作为人工清理坡面危石险石的安全绳的固定点(锚杆

直径 18 mm,长度 $L=50$ cm)。在坡顶系好安全带后,将坡顶边缘的破碎险石清除后,再沿坡面由上至下清除危岩险石。选用建筑用钢管满坡面搭设双排脚手架。内排脚手架与坡面的间距为 1.5 m 以上,两排脚手架的间距为 2 m,每层高 2 m。在作业层铺设固定木脚手板。脚手架高度超出坡面约 1.5 m,并和坡顶的固定锚杆连接,以确保施工安全。为方便作业,飘台由上至下逐层施做。每段飘台的长度为 3 m。首先在顶层飘台的预定位置进行锚杆钻孔,注浆后安装锚杆。锚杆采用不低于 $\varnothing 20$ mm 的螺纹钢,入岩深度 $L=1.5$ m,全长锚固。锚杆外露端部进行连接焊接。

(2)喷砼飘台结构制作。飘台基础支模不低于 C25 砼浇筑后,安装侧面网片(网片钢筋为直径 10 mm,横纵间距 150 mm)。飘台基础上安装波形模板,波形模板和钢筋网片预留 20 mm 的保护层,并每段飘台预留 $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 排水孔。安装波形模板时可采取临时措施,防止其滑塌。然后进行不低于 C25 喷砼施工,喷砼厚度 ≤ 8 cm。在飘台内底部先铺设厚度 ≤ 15 cm 中粗砂,然后铺设土工布,再将拌好的营养种植土填实并种植植物。

2.2 飘台治理工程布置

在治理区 +104 m 平台中部陡坡设置飘台治理工程,飘台总长度约 125 m。首先采用人工清理边坡上的大块浮石,清理面积 630 m^2 ,总清理方量 300 m^3 。废石可用于砌筑挡墙或回填采坑。之后在边坡上打设岩层锚杆及拉筋,之后浇筑混凝土侧面及底面挡板。设置飘台以外的区域喷射细石混凝土,以防止岩石表面风化。飘台布置详见图 4。

2.3 喷砼飘台结构设计

因地制宜,选取现场岩壁凹陷位置开凿修筑人工植生槽,向人工植生槽内栽植藤本植物。

为保证边坡治理效果,尽最大程度结合地形的同时,按照约 2 m 高的落差开凿修筑人工植生槽,人工植生槽壁厚保证 10 cm 厚,蓄土厚度达 50 cm 厚;对于较为光滑不利于蓄土区域,采取钻孔辅助的形式。

现场坡面选择完整稳定的岩石进行钻孔,注浆后安装锚杆,锚杆采用 $\varnothing 22$ mm 的螺纹钢, $L=2$ m,全长锚固。锚杆外露端部进行连接焊接。挂盆基础支模喷砼 C25 后,安装侧面网片(网片钢筋为盘条 6.5 mm, $@20\text{ mm}\times 20\text{ mm}$)喷砼达到一定强

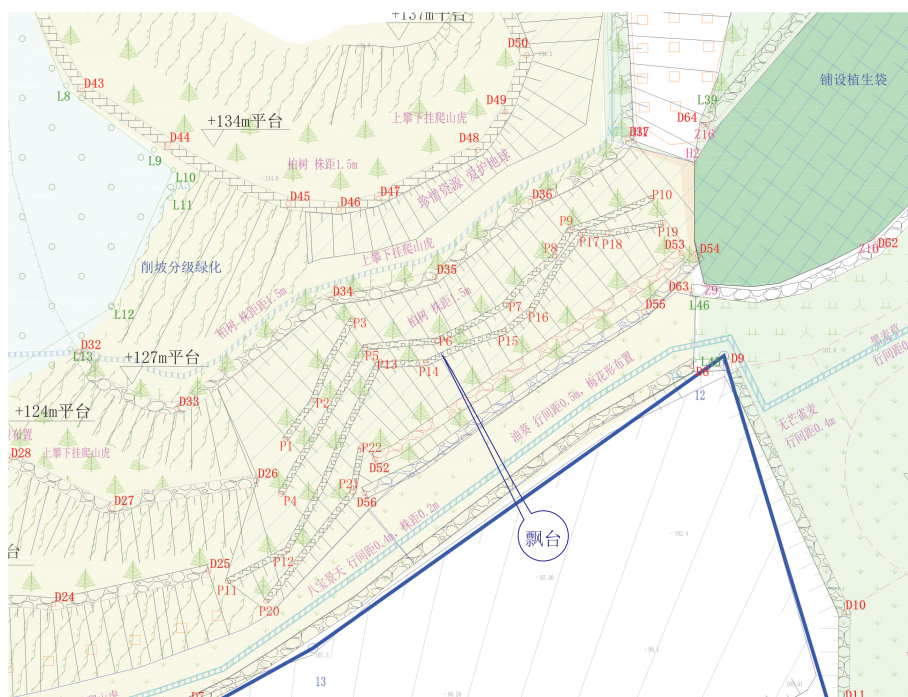


图 4 飘台工程平面布置示意图
Fig.4 Plan layout of the floating platform

度后,挂盆内蓄土,拆除脚手架进行爬山虎的种植和养护。详见边坡飘台示意图 5、喷砼飘台剖面结构图 6。

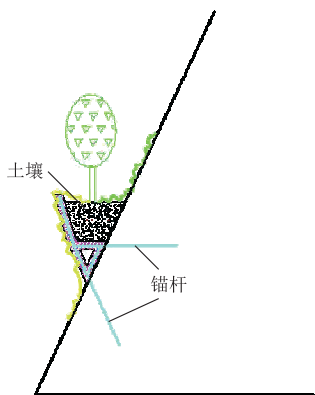
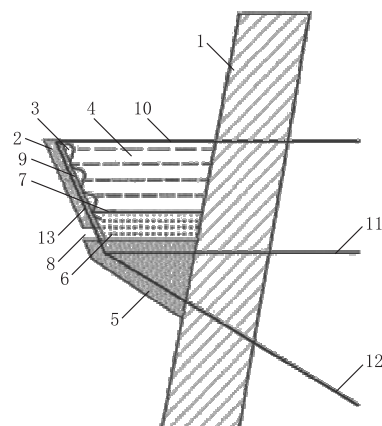


图 5 边坡飘台示意图
Fig.5 Schematic diagram of the slope floating platform

基本技术方案是:飘台基础支架固定在边坡围岩上,飘台基础支架的底部设置在砼浇筑层内,砼浇筑层与边坡围岩相邻;飘台基础支架上设有钢筋网,钢筋网的周围设有喷砼层;波形模板设置在喷砼层的内侧,位于砼浇筑层的上方;砼浇筑层、波形模板与边坡围岩之间构成飘台结构,飘台结构底部设有排水孔,飘台结构内从下向上依次设有中粗砂、土工布和种植土^[8-13]。



1—边坡围岩;2—喷砼层;3—波形模板;4—种植土;5—砼浇筑层;6—中粗砂;7—土工布;8—排水孔;9—钢筋网;10—横锚杆一;11—横锚杆二;12—斜锚杆一;13—斜锚杆二

图 6 喷砼飘台剖面结构图
Fig.6 Cross-section of the shotcrete floating platform

2.4 飘台结构计算

2.4.1 计算要求

根据承载能力极限状态(强度)和正常使用极限状态(刚度)的要求,进行承载力计算和抗倾覆验算。计算时,将飘台的安全等级定为二级(破坏后后果严重,建筑物类型属于一般的建筑物),其重要性系数 $\gamma_0 = 1.0$ 。

飘台上的载荷有恒载(包括自重、蓄土重和植物

的重量)、雪荷载、均布活荷载、施工和检修集中荷载。以上荷载中,均布活荷载与雪荷载不同时考虑,取两者中大值。施工集中荷载与均布活荷载不同时考虑,每一个集中荷载值为1.0 kN,进行承载力计算时,沿飘台每1 m考虑一个集中荷载;进行抗倾覆验算时,沿飘台每隔3 m考虑一个。

2.4.2 承载能力计算

2.4.2.1 基本资料

为简化计算,可将飘台看作一悬挑结构,简化后飘台底板外挑长度为0.9 m,飘台底板厚度为0.1 m,跨度为3 m。混凝土强度等级为C25,受力钢筋采用HRB335级、构造钢筋采用HPB235级,环境类别为二类a。飘台上断面的宽度为1.2~1.5 m。

各参数取值如下:

飘台底板外挑长度 $b_1=0.9$ m;

飘台底板厚度 $h_1=0.1$ m;

飘台上断面的宽度 $b_2=1.5$ m;

钢筋混凝土重度 $\gamma_1=25$ kN/m³;

蓄土重度 $\gamma_2=19$ kN/m³;

蓄土厚度 $h_2=1$ m;

每延米飘台底板重力 $G_1=h_1\gamma_1b_1=0.1\times 25\times 0.9=2.25$ kN/m;

每延米飘台蓄土重力 $G_2=h_2\gamma_2(b_1+b_2)/2=1\times 19\times (0.9+1.5)/2=22.8$ kN/m;

每延米端部钢筋混凝土板重力 $G_3=2.5$ kN/m;

活荷载标准值 $q_k=0.7$ kN/m²;

端部的施工或检修集中荷载标准值 $P=1.0$ kN;

永久荷载分项系数 $\gamma_G=1.2$;

活荷载分项系数 $\gamma_Q=1.4$ 。

2.4.2.2 内力计算

飘台底板悬臂根部最大弯矩按均布活荷载和施工检修荷载两种情况考虑,即:

$$M_1=0.5\gamma_G(G_1+G_2)b_1+\gamma_GG_3b_1+0.5\gamma_Qq_kb_1^2$$

$$M_2=0.5\gamma_G(G_1+G_2)b_1+\gamma_GG_3b_1+\gamma_QPb_1$$

式中: M_1 ——均布活荷载作用下每延米飘台底板悬臂根部最大弯矩; M_2 ——施工检修荷载作用下每延米飘台底板悬臂根部最大弯矩。

计算得: $M_1=16.62$ kN·m/m, $M_2=17.487$ kN·m/m。因为可变荷载的两种情况不同时考虑,所以最大弯矩值取 $M=17.487$ kN·m/m。

2.4.2.3 截面设计

由环境类别为二类a、混凝土强度等级为C25,保护层的最小厚度为25 mm。设 $a_s=30$ mm(受拉区边缘到受拉钢筋合力作用点的距离),飘台的有效厚度为 $h_0=70$ mm,混凝土轴心抗压强度设计值 $f_c=11.9$ N/mm²,混凝土轴心抗拉强度设计值 $f_t=1.27$ N/mm²,普通钢筋抗拉强度设计值 $f_y=300$ N/mm², $\alpha_1=1.0$ (系数,当混凝土强度等级不超过C50时,取1.0), $\xi_b=0.550$ (相对界限受压区高度:界限受压区高度与有效高度的比值,当混凝土强度不超过C50,钢筋等级为HRB335时,取0.550)。则:

$$\alpha_s=\frac{M}{\alpha_1f_cbh_0^2}=\frac{17.487\times 10^6}{1.0\times 11.9\times 1000\times 70^2}=0.2999$$

$$\xi=1-\sqrt{1-2\alpha_s}=1-\sqrt{1-2\times 0.2999}=0.3674$$

$$\begin{aligned}\gamma_s &=0.5\times(1+\sqrt{1-2\alpha_s}) \\ &=0.5\times(1+\sqrt{1-2\times 0.2999}) \\ &=0.8163\end{aligned}$$

$$A_s=\frac{M}{f_y\gamma_sh_0}=\frac{17.487\times 10^6}{300\times 0.8163\times 70}=1020.1\text{ mm}^2$$

式中: α_s ——截面抵抗弯矩系数; b ——单位截面宽度,取1000 mm; γ_s ——内力臂系数; ξ ——相对受压区高度,受压区高度与有效高度的比值; A_s ——单位长度受力钢筋截面设计值,mm²。

在飘台的实际施工中,每延米飘台纵向受力筋为3根 $\varnothing 22$ mm钢筋,受力钢筋的截面积 A_s 实际为1140 mm²,大于单位长度受力钢筋截面设计值1020.1 mm²,受力钢筋面积满足要求。

验算适用条件:

(1)为了防止将飘台设计成超筋构件,要求构件截面的受压区高度 x 不得超过其界限受压区高度 x_b :

$$x=\xi h_0=0.3678\times 70=25.75\text{ mm}<x_b=\xi_b h_0=0.550\times 70=38.5\text{ mm},\text{受压区高度满足要求。}$$

(2)为防止将飘台设计成少筋构件,要求飘台的配筋率不得低于 $\rho_{\min}\times h/h_0$, ρ_{\min} 取0.2%和45% f_t/f_y 最大值。

$$\begin{aligned}\rho &=\frac{A_s}{bh_0}=\frac{1140}{1000\times 70}=1.629\%>\rho_{\min}\frac{h}{h_0} \\ &=0.45\times\frac{f_t h}{f_y h_0}=0.45\times\frac{1.27\times 100}{300\times 70}=0.272\%\end{aligned}$$

同时, $\rho>0.2\%(h/h_0)=0.286\%$,配筋率满足

要求。

式中: x ——受压区高度,mm; x_b ——界限受压区高度,mm; ρ ——构件配筋率; ρ_{\min} ——构件最小配筋率。

2.4.3 抗倾覆计算

由于飘台的受力钢筋采用的是全锚固方式且上覆岩层厚度较厚,可以确保飘台不侧翻,所以无需进行抗倾覆计算,这也可以从飘台施工后的稳定程度得到验证^[14]。

2.5 喷砼飘台治理绿化实施措施

2.5.1 坡面清理及加固

由于该工程石场基质为较坚硬的灰岩,表层微一中风化,采取工程措施前需要对整个坡面进行清理排险,用电锤在高陡边坡坡顶选择完整的岩石钻孔后,灌入水泥浆,插入钢筋锚杆,作为人工清理坡面危石险石的安全绳的固定点,去掉浮石、碎裂岩、松动岩块、楔形岩、活动性危岩等,排除各种安全隐患和险情并平整坡面,使工程措施能够深入坚固岩层,确保坡面施工的安全性。坡面清理工作是整个坡面绿化的基础工作之一。在清理坡面后拉钢筋网并在坡面上整体喷一层混凝土起加固作用。

2.5.2 建造飘台

边坡修整加固后在预先设定的位置钻孔,安装锚固钢筋,然后在孔内注入砂浆。等砂浆达到一定强度后开始实施钢筋的焊接连接工作,形成钢筋骨架,而后吊装安装模板,加设钢筋后浇筑混凝土形成飘台构造,养护到设计强度。

由于飘台的受力钢筋采用的是全锚固方式且上覆岩层厚度较厚,可以确保飘台不侧翻,所以无需进行抗倾覆计算,这也可以从飘台施工后的稳定程度得到验证。

2.5.3 种植植物

用土壤、有机质、复合肥、保水剂、生物肥等配制成适合植物生长的植生基质,置于飘台植生台中,而后栽种刺柏、爬山虎等小乔木和攀爬类植物。坡面布设微喷装置,视环境变化情况适当浇水养护。

2.5.4 植被后期管理

根据飘台上种植的植物生长特性,结合以往的研究成果,按照爬山虎生长在水、肥、土壤、日照等环境影响因子对植物生长促进指标进行水肥一体化监测,并进行精确管理,优化水肥控制模型,保证植物快速覆盖。

2.5.5 后期监测

飘台施工完成后,需对其变形参数进行监测,这是因为随边坡表层岩体的持续风化作用,受力钢筋与岩体的锚固力将被削弱,这将对飘台的整体稳定性产生不利影响。

3 “喷砼飘台”治理技术覆绿特点

飘台覆绿法对坡度大、开采面高的石壁,可在剖面上按一定间距(每隔 10~15 m)插钢棒悬空架设水平种植台或预制特种花盆,加入配方土壤后种植上攀下援藤本植物。由于藤本植物在石壁上爬行速度受限,也可在坡面拉网或搭架,使这些植株借助网架向各个方向攀援,以达到快速、高效和全方位的整体复绿效果。

3.1 技术要点

(1)确定种植台体积。种植台的大小设计和施工是复绿成功的关键。体积小则容纳土壤过少,影响植物生长,而且覆盖面积也达不到;体积过大则土壤容量过多,造成投资浪费。规格一般是 0.5~1 m³。

(2)拉网搭架。针对坡面和地形特点搭网支架,以利于植物攀爬。

(3)种植。填充较为质轻、保水性好、肥效长的配方土壤,上攀藤本植物可选用爬山虎、地锦、凌霄、扶芳藤、常春藤等,下援或向四周爬行的藤本植物可选用蟠琪菊、蛇葡萄、珊瑚藤、炮仗花等。

3.2 养护管理特点

初期应注意水肥管理,对搭建的网、架整体稳定性要求高。

3.3 优点

种植台可使基质免受雨水的冲刷,保水保肥效果好;待植物长成后,除在干旱季节适当浇水外,其余时间可不进行养护。另外,攀援植物能很好地覆盖石壁表面,栽植面积小,这是其它乔灌木或草本植物所无法实现的。同时可根据周围环境选用与之相对应的品种,达到协调一致的目的。立体绿化和整体绿化效果明显。

3.4 缺点

施工难度大,费用高,安全性差,要求土壤有良好的保水性,前期养护要精细。若植株依附网架生长,则对边坡的稳定起不到大的作用。

3.5 适用范围

适用范围广,特别适用于坡度大、落差大的岩壁坡面,城镇周边以及重要交通线可视范围内、石质较硬、需要在1~2年内基本复绿的露天采矿场。

4 “喷砣飘台”治理效果

4.1 生态复绿效果

种植刺柏、爬山虎等小乔木和攀爬类植物后,依据其生长情况喷灌,生长1个月后长势见好,3个月后爬山虎等开始长出吸盘并沿岩壁攀爬,爬山虎通过吸盘可沿裸露边坡牢固的向上和向下两个方向攀爬,生长速度很快。半年后边坡植物覆盖率明显提高,基本实现了裸露岩质边坡绿化快速覆盖,为矿区裸露岩质边坡迅速实现生态恢复提供了一种可行的快速复绿方案。边坡复绿效果如图7所示。



图7 边坡治理效果图
Fig.7 Slope after treatment

由图7可以看出飘台法在裸露岩质边坡实现快速绿化上效果极为显著。同时解决了矿山及采石场生态恢复治理中高陡边坡施工难的技术问题,减少生态环境的进一步破坏,简易迅速的施工,见效快,也可对地质灾害隐患进行有效的治理。

4.2 高陡边坡治理效果对比

露天矿山环境治理工作中最大的难题——高陡边坡复绿,通过我们研制试验的“喷砣飘台”治理技术实现了突破,解决了大坡度裸露岩质边坡覆土难、无法存水、难实现植物品种垂直层次等问题,克服了高陡边坡无土、无水、坡度大、生态环境恶劣难题,实

现了裸露岩体快速绿化的效果。治理前后边坡效果详见图8、图9。



图8 边坡治理前
Fig.8 Slope before treatment



图9 边坡治理后
Fig.9 Slope after treatment

5 结论

(1)“喷砣飘台”治理技术在裸露岩质边坡植被快速覆盖上的应用,解决了大坡度裸露岩质边坡覆土难、无法存水、垂直绿化难等问题,为裸露岩质边坡快速绿化提供了植物生长必须的养分,因此裸露岩质边坡生态恢复过程中因地制宜地采用飘台技术改善了岩质边坡生态环境恶劣的情况,实现了快速绿化。

(2)“喷砣飘台”治理技术攻关试验研究过程中按照承载能力极限状态计算对飘台进行了稳定性设计,保证了工程中飘台的稳定性以及抗倾覆能力。这一设计思路确保了飘台在裸露岩质边坡快速绿化覆盖中取得了安全、高效、迅速、理想的效果。

(3)高陡边坡裸露岩体植被快速覆盖的保障措施之一就是植被的水肥供应,通过采用飘台结构治理技术实现了水肥控制模型建立及精确控制,保证了植被的快速覆盖,爬山虎的年生长长度可达4 m

左右,为植被的快速覆盖提供了水肥供应。

(4)“喷砼飘台”治理技术有效地解决了矿山及采石场生态恢复治理中高陡峭边坡施工难的技术问题,从而减少生态环境的进一步破坏,简易迅速的施工,降低施工的工程量、低成本、易推广、见效快,同时对地质灾害安全隐患也可有效治理。

(5)“喷砼飘台”技术在 70° 以上甚至“反坡”的矿山高陡边坡地质环境治理中能实现结构稳定、乔藤结合、快速复绿、景观独好的效果,为燕山矿山环境治理裸露边坡生态修复提供了切实可行的治理技术^[15]。

参考文献 (References):

- [1] 黄敬军. 废弃采石场岩质边坡绿化技术及废弃地开发利用探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(3): 69-72.
HUANG Jingjun. Application of bio-engineering on abandoned rock-quarry slopes and utilization of abandoned land[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(3): 69-72.
- [2] 十八大以来重要文献选编(上册)[M]. 北京: 中央文献出版社, 2014.
Selection of important literatures since the 18th National Congress of the Communist Party of China (Volume 1)[M]. Beijing: Central Party Literature Press, 2014.
- [3] 汤惠君, 胡振琪. 试论采石场的生态恢复[J]. 中国矿业, 2004, 13(7): 38-42.
TANG Huijun, HU Zhenqi. On the ecological restoration of quarry[J]. China Mining Magazine, 2004, 13(7): 38-42.
- [4] 廖晓瑾, 杨望涛, 夏骥, 等. 客土喷播绿化技术在岩石边坡上的应用[J]. 公路与汽运, 2003(4): 52-53.
LIAO Xiaojin, YANG Wangtao, XIA Ji, et al. Bought-soil spray seeding technology for the rock slope[J]. Highways & Automotive Applications, 2003(4): 52-53.
- [5] 陆子锋. 深圳市裸露山体缺口整治技术探讨[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 55-56, 73.
LU Zifeng. Harness techniques of mountain bare gap of Shenzhen City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2002, 22(5): 55-56, 73.
- [6] 王琳琳. 废弃采石场植被恢复设计标准与景观研究——以蜈蚣蚕采石场边坡治理及复绿工程为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
WANG Linlin. Vegetation restoration design standard and landscape research for abandoned quarries—a case history of slope treatment and green restoration project of Wugong'ao Quarry[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [7] 孙超, 许文年, 周明涛, 等. 防冲刷基材生态护坡技术的研究与应用[J]. 水利水电技术, 2009, 40(1): 37-40.
SUN Chao, XU Wennian, ZHOU Mingtao, et al. Application and study on technique of ecological slope-protection with preventing erosion basis material[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(1): 37-40.
- [8] 王忠强. 攀援植物爬山虎生长特性及其在高陡岩面植被恢复中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
WANG Zhongqiang. Growth characteristics of the climbing plant "Parthenocissus" and its application in vegetation restoration for high and steep rock surfaces[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [9] 朱徐富. 爬山虎垂直绿化生态效应的初步研究[J]. 江苏绿化, 1994(4): 9-10.
ZHU Xufu. Preliminary study on ecological effect of parthenocissus in vertical greening[J]. Jiangsu Greening, 1994(4): 9-10.
- [10] 周琼, 许建新, 秦永宏, 等. 黄石市岩质边坡生态修复综合技术应用探讨[J]. 中国水利, 2011(2): 36-38.
ZHOU Qiong, XU Jianxin, QIN Yonghong, et al. Discussion on application of ecology repair comprehensive technology in Huangshi City[J]. China Water Resources, 2011(2): 36-38.
- [11] 戴娜. 北京市采石迹地生态恢复与景观构建[J]. 林业资源管理, 2014(3): 51-55.
DAI Na. Ecological restoration and landscape construction of the abandoned quarries in Beijing[J]. Forest Resources Management, 2014(3): 51-55.
- [12] 史茂君, 杨禄兵. 瀑布沟水电站淹没区右岸公路边坡综合治理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 62-64.
SHI Maojun, YANG Lubing. Comprehensive treatment of side slope in highway of Pubugou Hydropower Station submerging area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(12): 62-64.
- [13] 邹开富, 徐文斌. 种植槽技术在高陡边坡生态环境治理中的应用探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(9): 71-73.
KUAI Kaifu, XU Wenbin. Application discussion on planting slot technology in high-steep slope ecological environment treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(9): 71-73.
- [14] 郑思光, 张博文, 鲁明星. 裸露岩体快速覆盖技术下飘台稳定性分析[J]. 现代矿业, 2017(7): 18-20.
ZHENG Siguang, ZHANG Bowen, LU Mingxing. Stability analysis of the floating platform under rapid covering of exposed rock mass[J]. Modern Mining, 2017(7): 18-20.
- [15] 孙廷仁, 张闻璟. 破损山体治理新思路[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(3): 53-57.
SUN Tingren, ZHANG Wenjing. New method of damaged mountain treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(3): 53-57.

(编辑 王建华)