

广西某石灰石矿山高陡边坡生态复绿设计及施工

莫孙庆¹, 寇景铮^{2*}, 皮桥辉², 钟云娜²

¹广西基础勘察工程有限责任公司, 广西 桂林

²桂林理工大学, 广西 桂林

收稿日期: 2022年9月4日; 录用日期: 2022年10月3日; 发布日期: 2022年10月11日

摘要

按照创新、协调、绿色、共享的发展理念及“绿水青山就是金山银山”、山水林田湖草是一个生命共同体, 矿山地质环境恢复治理及生态修复将是今后工程人的一个重点发展方向。石灰石采石场高陡边坡的生态复绿是一个较大的系统工程, 与大石山区的石漠化治理一脉相承, 值得开展相关的研究工作。本文通过一个高差达111.30 m、边坡坡脚长320 m、整体坡度50°、8级台阶高陡石灰岩矿山采石场边坡的生态复绿设计与施工的实践展开研究, 对同类矿山高陡边坡的矿山生态复绿设计与施工有着极强的指导意义。

关键词

危岩, 锚杆 + 挂网喷砼加固, 主动防护网危岩加固, V形槽, 植物配置, 灌溉系统

Design and Construction of Ecological Restoration of High and Steep Slopes in a Limestone Mine in Guangxi

Sunqing Mo¹, Jingzheng Kou^{2*}, Qiaohui Pi², Yunna Zhong²

¹Guangxi Foundation Survey Engineering Co., Ltd., Guilin Guangxi

²Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Sep. 4th, 2022; accepted: Oct. 3rd, 2022; published: Oct. 11th, 2022

Abstract

According to the development concept of innovation, coordination, green and sharing, “green wa-
*通讯作者。

文章引用: 莫孙庆, 寇景铮, 皮桥辉, 钟云娜. 广西某石灰石矿山高陡边坡生态复绿设计及施工[J]. 矿山工程, 2022, 10(4): 371-381. DOI: 10.12677/me.2022.104042

ter and green mountains are golden mountains and silver mountains”, mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasses are a community of life, mine geological environment restoration and ecological restoration will be a key development direction for engineers in the future. The ecological greening of high and steep slopes of limestone quarries is a large systematic project, which is in the same line with the control of rocky desertification in Dashishan area, and it is necessary to carry out relevant research work. This paper studies the practice of the ecological greening design and construction of the quarry slope of a high and steep limestone mine with an elevation difference of 111.30 m, a slope toe length of 320 m, an overall slope of 50°, and 8 steps, which has a strong guiding significance for the ecological greening design and construction of the high and steep slopes of similar mines.

Keywords

Dangerous Rock, Anchor Bolt + Mesh Shotcrete Reinforcement, Reinforcement of Dangerous Rock with Active Protective Net, V-Shaped Groove, Plant Configuration, Irrigation System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的快速发展，石材需求量越来越大，带动城市周围石场的广泛兴起。石场通过挖山取石，破坏了当地植被，遗留下大量的裸露山体缺口，不仅影响城市景观，还导致生态环境恶化，严重威胁了居民的生命财产安全[1] [2] [3] [4]。众多案例表明，对高边坡采取及时有效的防护与治理措施是非常重要的。若对高边坡处治不当，极易使其因失稳而形成滑坡，一旦出现滑坡，其所造成的经济损失和社会影响是相当严重的，且其后期的治理也相当棘手。因此，采石场的生态重建受到广泛重视，成为恢复生态学研究的重要内容之一[5]。

众多实践表明，边坡工程是公路建设和山区城镇建设的重大课题，已经引起各方面的高度重视。对边坡工程开展系统深入研究，主要涉及工程措施[6]、恢复演变[7] [8]、土壤改良[9] [10]等，并取得了一定成效。提出切实可行的解决方法、解决途径和解决对策，这将具有重大的社会效益和工程理论价值。

裸露的边坡具有以下特点：一是边坡表面土壤、水分以及有机质缺乏，水土流失程度严重，自然条件下植被极难恢复；二是治理难度大，治理措施的技术含量高，治理投入大；三是大面积裸露山体将影响局部生态环境的健康发展，影响区域植被间的信息以及能量等流通，同时容易发生滑塌、滚(落)石等地质灾害，给人民群众的生命及财产安全带来极大的隐患。

治理这些裸露的边坡，我们一般采用了浆砌石、锚喷支护等加固的方法，但采用这类方法加固的边坡往往呈现出一片毫无生气的灰白色，并往往让人感到沉闷。按照可持续发展和环境保护的观点，就必须要对这些裸露的边坡进行生态修复。而裸露边坡的生态修复则是项系统的、综合的过程，是一项集岩土工程学、植物学、土壤学、恢复生态学、水土保持学和景观生态学等诸学科于一体的综合性的科学技术，它既需要保证裸露山体的稳定性、安全性，又能逐步建立起一个健康、稳定、可持续发展的生态系统。

经过 10 年实践，“绿水青山就是金山银山”科学论断引发的生态红利和生态理念在中国大地裂变出

强大正能量。在绿水青山中受益的老百姓由最初的要我做变为我要做，并迸发出更大的生态自觉。

人改变了环境，环境又反过来改变了人。从最初的被动做到今天的主动，如今矿山复绿工程就是绿水青山就是金山银山的最佳佐证。

2. 工程地质概况

2.1. 工程概况

某矿区地形为中山地形，地势较陡，地貌为峰丛谷地地貌，矿区海拔标高 117.86~342.77 m，相对高差 224.91 m。该采石场矿山采用自上而下的分台阶露天开采。矿山经过多年的开采，已开挖至标高 217 m 平台，狗头山现状开采边坡整体呈三角形，坡脚高程为 217.20 m，坡顶标高为 328.50 m，高差 111.30 m，边坡坡脚长 320 m，坡向 239°，整体坡度 50°，目前，边坡已开采形成 7 个台阶平台及 8 个台阶边坡，其中，马道平台整体较为平坦，宽度 2.4~11.8 m。8 个岩质边坡坡度较陡，坡度在 50°~76°，高 11.1~15.5 m，为中~微风化灰岩，边坡节理较裂隙发育(见图 1)。矿区还将继续往下开采。本次边坡治理与生态复绿设计与施工为 217 m 高程以上采矿边坡。山体开采边坡裸露面积约 21,547 m²；开采边坡斜坡上有危岩体 6 处，体积约 399.1 m³，危岩带 5 处，体积约为 1400 m³。山体未破损处生长有灌木丛，植被覆盖率约 60%~70%；经开采后，矿区内的开采面基岩出露，无植被覆盖。

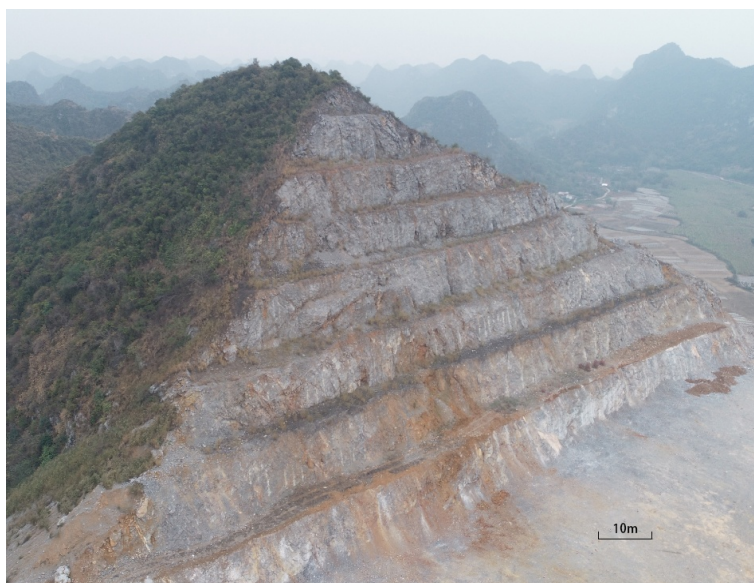


Figure 1. Limestone mine slope photo
图 1. 石灰岩矿山边坡照片

2.2. 场地地质环境条件

项目区出露的地层有第四系(Q₃^{dl+el})残坡积黏土，下伏基岩为上泥盆系上统(D₃)灰岩。

第四系(Q₃^{dl+el})黏土：分布在石灰岩山脚下的平缓坡地，黄 - 黄褐色，土体较致密，偶见裂隙，有光泽，摇振反应无，干强度高，韧性高，土质较细腻均一，局部为含砾黏土，底部略呈花斑状。该层主要分布于项目区山脚下平缓坡地，厚度小于 20 m。本次治理边坡未有该层土出露。据地区建筑经验，该层土重度为 1.8 g/cm³；内摩擦角 ϕ 在 13°~18°间，黏聚力 C 在 15 kPa~80 kPa 间，压缩系数 Es 在 0.11~0.21 MPa⁻¹ 间。根据实地调查，除山脚积存有较厚的残坡积土层外，山坡多为陡壁，土壤只零星分布于岩沟或岩隙中，呈褐黄色或黄褐色，有机质含量丰富，据采集的标本分析结果，表土最高达 26%，

一般也在 6%以上,有良好的团粒构造,质地系为粘壤质,呈微酸性-微碱性反应,土壤 PH 值 6.6~7.8,就土壤的醋酸钠溶液分析结果,土壤中可溶性铝质含量特低,而可溶性钙、镁、磷、硝酸态氮的含量都较丰富。

泥盆系上统灰岩(D₃):大面积分布在矿区内的山体处,呈单斜层状产出,倾向 320°~360°,倾角 25°~32°。按单层厚度和颜色等特征划分为上、下两段。

1) 下段(D₃₁):位于未分上泥盆统(D₃)的下部,岩性以灰~深灰色厚层状泥粉晶灰岩为主,夹少量灰白色白云岩。岩层呈单斜层状产出,厚层状结构,块状构造,层间结合紧密,层面较清楚,倾向 320°~350°,倾角 25°~32°,下部相对上部较缓,由上而下渐变的变化规律较为明显,一般产状 335°∠27°,产状较稳定。该层未见底,控制厚 458 m。

2) 上段(D₃₂):位于未分上泥盆统(D₃)的上部、石灰岩山体的北部,以灰-深灰色厚层状泥粉晶灰岩为主;底部为灰色中厚层状泥粉晶灰岩。岩层呈单斜层状产出,厚层状结构,块状构造,层间结合紧密,层面较清楚,倾向 320°~360°,倾角 28°~32°;下部相对上部较缓,一般产状 346°∠30°,产状较稳定。该层控制厚 100 m。底部的灰色中厚层状泥粉晶灰岩作为标志层与其下部的下段(D₃₁)地层分开,呈整合接触关系。

矿区地层呈单斜层状产出,产状较稳定,320°~360°∠25°~32°,未见明显的褶皱、断裂构造,节理裂隙发育程度较低,以张性为主,部分为剪切,节理走向以北东向为主,局部为北西向,节理面近直立,一般地表张开,部分充填粘土和碎石,部分为方解石脉充填,深部大部闭合或由白色方解石脉和黄褐色铁泥质胶结。

该矿层及其底板呈单斜层状产出,倾向 320°~360°,倾角 25°~32°,产状较稳定,单层厚度以厚层为主,少量中厚层,层理较清楚,单层间结合紧密牢固。矿石坚硬性脆,部分为方解石脉充填,敲击呈贝壳状断口。岩矿石均未风化蚀变。矿石抗压强度平行层面 62.8~79.1 MPa,平均 71.3 MPa,垂直层面 57.3~84.0 MPa,平均 71.6 MPa,岩石重度约 2.6 t/m³。

项目区内地下水以接受大气降水补给为主,地下水类型为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶裂隙溶洞水;各类型地下水沿各自的赋存空间自高处向低处运移。受项目区地形影响,地下水接受大气降水补给后,迅速向斜坡下部运移。松散层孔隙水多以沿岩土界面运移,一部分进入溶蚀裂隙、溶洞和地下岩溶管道补给碳酸盐岩岩溶裂隙溶洞水。矿区地下水埋深在 130 m 标高以下,该层地下水沿溶隙、溶洞运移,向西侧运移,最终排泄于西侧的右江中。

2.3. 矿区植被生长情况

矿区地处亚热带,原生性的森林植被为亚热带常绿阔叶林,主要由樟科、壳斗科、茶科、金缕梅科、木兰科等树种所组成,青冈栎、化香、荷木、马尾松等也是森林中的重要组成树种。矿区的自然植被丰富,绿化美化树种资源众多,可根据不同的自然条件与树种生态习性,进行树种的合理布局,充分发挥本地树种资源优势。

右江河岸以丛生竹类为主,还有枫杨、乌桕等落叶阔叶乔木等,竹类与落叶树共同组成河岸主要植被景观。

草丛由低山丘陵旱生草地、四旁地杂草草地和田埂杂草草地组成。其中低山丘陵旱生草地种类有黄背茅、臭根子草、水蔗草、画眉草、鸭嘴草等;四旁地杂草草地种类有蜈蚣草、狗牙根、黄茅等;田埂杂草草地种类有马唐属、牛鞭草属、雀稗属、狗尾草属及蟋蟀草、棕叶茅等。

根据现场调查,矿山现状开采边坡原始山体植被覆盖率在 60%~70%之间;植被以株高小于 3 m 的龙须藤、石山榕、红叶继木及竹节草为主。

3. 研究区难点及主要问题

矿山生态环境存在诸多问题, 矿业开发在带来巨大财富的同时, 也产生了许多负效应。可大致划分为以下四大种类。

1) 地质灾害问题。某矿山开采基本为露天开采, 采用斜坡式作业, 致使开采后形成的残留边坡陡峭、近乎直立, 坡面高度最大高差达 110 米, 宕口四壁因采掘而变得参差不齐, 裸露的危岩、险石众多, 部分开采面为顺层开采, 且有软弱夹层分布, 崩塌、滑坡极易发生。

2) 破坏地下水资源。采矿使地下水均衡系统得到破坏, 导致部分区域地下水、地表水渗漏, 有的地区地下水水位下降达几米甚至数十米, 造成大面积疏干漏斗, 引起地表严重缺水, 影响农作物生长, 进而影响到人们的生产和生活, 引发了许多经济和社会问题。

3) 破坏地貌景观。矿山开采对山体和自然景观破坏严重, 如大量建筑石材露天开采, 造成森林植被破坏, 基岩裸露, 使得昔日青山绿地成为荒山秃岭, 尤其在交通干线和城市周边的露天矿山开采, 产生许多负面影响。

4) 废弃物污染。这是矿山开采过程中最为常见的一种污染方式, 矿石有质量高低之分, 开采过程中无可避免地会产生大量废渣、废石, 为节省成本, 相关工作人员往往选择就地遗弃。更别提我国大量小矿山并未配备排石产和尾矿库, 损耗严重。

该矿山现存主要问题为露天开采后遗留的大量危岩、险石治理, 及后续该区域生态植被复绿。

4. 危岩治理方案

1) 人工清除: 对危岩采用人工清除对坡面碎石进行人工搬运清除, 要求在施工阶段对整体坡面全部进行碎石清理, 防治松散细碎的岩石下落形成小型崩塌, 威胁下方施工人员及机械设备。对勘查中的 WY1~WY6 共 6 处危岩, 总体积 399.1 m³ 采用人工清除处理。

人力锤击楔裂法主要是针对危岩带或者体积较大, 底部失去支撑且基本与母岩分离的危岩体。如危岩体积大、底部无支撑, 采用主动网或被动网均无法有效的网固或拦截, 因此, 采取人力锤击楔裂法施工, 操作简单, 一劳永逸。从危岩体顶部自上而下逐层往下钻眼、破碎、清理岩块, 将清除后的危岩块放置于安全地带, 防止次生灾害的发生。危岩清除后对原位置或者周围岩体存在的影响岩体稳定性的裂缝进行裂缝封填。

为保证安全和便于施工, 应搭建脚手架及工作平台, 脚手架顶部应高于工作平台 1.5 m 以上且应超过危岩体顶部。工作平台应采用钢管紧靠危岩体搭建, 与危岩体地不应在同一个平面, 且与山体、脚手架可靠连接并成封闭状, 底板和四周应采用符合安全要求的材料进行满铺, 防止碎裂岩块的冲击和下落。工作平台钢管与山体之间应采用地锚连接。应将清理下的碎石人工搬运至山脚, 禁止直接抛石。

人工清除前应对危岩体进行临时防护网防护。临时防护网宜采 C20 长 2 m 的临时锚杆(灌注 C20 细石砼)在危岩体四周按间距 2.0 m 进行布设, 再以 $\phi 12$ 钢丝绳连接 GPS2 钢丝网覆盖于危岩体上进行临时防护。在临时防护网布设后, 使用大锤锤击的方法使危岩通过楔裂作用而开裂、解体。岩体开裂后宜采用风镐、大锤解小, 并搬运至安全地带。

2) GPS2 型主动防护网: 在边坡上 5 处危岩带(边坡破碎面), 采用 GPS2 型主动防护网加固。要求先搭建脚手架对边坡松动岩体清除, 坡面修顺, 再进行锚杆施工, 锚杆水平及竖向间距均为 2 m, 边坡锚杆长 3 m(端头设弯钩 0.4 m), 成孔孔径为 110 mm, 锚杆为钢绳 2 $\phi 16$, 锚杆与水平方向夹角取 15 度, 锚固段要求进入中-微风化岩不小于 1.00 m, 采用一次注浆工艺, 全孔灌注 M30 水泥浆, 灌满为止。

在危岩带四周(特别是两侧)按已施工好的锚杆间距, 用冷拔低碳钢 $\Phi 18$ mm 钢绞线(钢丝绳)与两侧锚杆绕危岩体捆绑锁紧, 同时用 GPS2 主动网固结包裹(图 2)。



Figure 2. Dangerous rock active protection net
图 2. 危岩主动防护网

3) 锚杆 + 挂网喷砂护坡: 边坡底中部岩溶发育区域已被黏性充填满, 在遇到强降雨时, 局部发生塌方, 本次设计采用锚杆 + 挂网喷砂护坡。要求先对已塌方岩溶洞充填物进行清除, 坡面修整保持坡面平顺, 再搭建脚手架进行锚杆施工, 锚杆水平及竖向间距均为 3 m, 边坡锚杆长 3 m (端头设弯钩 0.4 m), 成孔孔径为 110 mm, 锚杆为 HRB400 ϕ 25 钢筋 1 根, 锚杆与水平方向夹角取 15 度, 采用一次注浆工艺, 全孔灌注 M30 水泥浆, 灌满为止。

锚杆施工完毕后进行挂网喷射砂。钢筋网片为 HPB335 型 $\Phi 8@200 \times 200$, 在与锚杆头双面焊接处加横纵向增加两根加劲筋(HRB4000 型) $\phi 14$, 与锚杆头焊接牢固, 按水平和竖向间距 2.00 m 布设 $\phi 50$ mm 泄水孔, 喷射 C20 混凝土, 厚度为 100 mm。经测量计算, 坡面清理方量 561.84 m³, 锚杆根数为 184 根, 挂网喷砂面积为 1872.8 m²。

5. 生态复绿设计

坚持科学发展, 最大限度地避免或减轻采矿活动引发的矿山环境地质问题, 减少对地质环境的影响和破坏, 减轻对地形地貌景观的影响和破坏, 最大限度地修复矿山地质环境。恢复狗头山的绿水青山面貌, 为当地提供良好的生态环境, 使当地经济科学、和谐和可持续发展, 努力达到一个安全、卫生、舒适的生活环境并造福于后人。

矿区已开采形成 7 个台阶平台及 8 个台阶平台边坡, 其中, 台阶平台整体较平坦, 宽度 2.4~11.8 m, 表层覆盖有 0.3~0.5 m 土层, 但碎石含量较高, 约占 20%~40%, 不利于植物生长, 可采用拦土埂 + 覆土复绿, 8 个台阶边坡坡度较陡, 主要为中~微风化灰岩, 边坡局部节理裂隙发育。考虑到造价与施工工艺及以后的维护问题, 本次矿山边坡生态复绿采用马道平台拦土埂 + 覆土复绿与边坡 V 形槽(槽式复绿) + 挂网喷播复绿。

1) 坡体台阶拦土埂 + 覆土复绿

拦土埂 + 覆土复绿布设在马道平台上, 平台整体较为平坦, 宽度 2.4~11.8 m, 覆盖有厚约 0.3~0.5 m 的碎石土, 碎石含量较高, 不利于植物生长, 故本次设计选择在平台布设一道拦土埂, 之后于拦土埂内覆土种植植物。

拦土埂距离马道平台外边缘 2.0 m, 放好线后人工开挖 0.3 m 宽的基槽, 挖深 0.3 m (在此深度内遇灰

岩的不必再挖), 然后进行水泥砖墙砌筑, 水泥砖尺寸 $240 \times 115 \times 90$ mm, 强度等级 10 MPa; 采用 M10 水泥砂浆砌筑, 墙厚 240 mm, 拦土埂高出平台地面 0.5 m; 砖墙与基槽间空隙采用碎石土回填夯实。

拦土埂砌筑完后进行马道平台覆表土, 覆表土厚度 0.50 m, 之后于拦土埂内种植榕树系列灌木、种植爬山虎三角梅攀爬植物、并喷播小灌木草籽。

2) V 形槽复绿

主要用于开采场陡立采面修复, 在每一级坡体中部通过岩锚 + 现浇钢筋砼板于岩壁上布置 V 形板槽, 于 V 形板槽内覆土种植攀爬植物及喷播草籽绿化。V 形板锚杆设主锚杆及水平拉结锚杆, 均采用 HRB400 钢筋, 主锚杆采用 $\phi 25$ 钢筋@1.00 m, 锚入完整岩体不少于 1.0 m, 外露段长 0.70 m; 水平拉结锚杆采用 $\phi 14$ 钢筋@5.00 m, 锚入完整岩体不少于 0.6 m, 外露段要求拉结到 V 形板外侧主筋上且弯钩进主筋不少于 300 mm; 所有锚杆孔径为 $\phi 90$, 采用锚杆钻机成孔, 锚固用砂浆强度等级 M30, 所有锚杆需在孔中间布设。局部遇边坡凹凸不平的 V 形板外缘尽量平整, 适当调整锚杆长度, 局部增加 V 形板宽度, 以平齐美观为前提。V 形板厚 80 mm, 出挑 700 mm, 板与水平方向夹角约 50° , 板内水平分布筋采用 5 根 HRB400 $\phi 14$ 钢筋, 通长布筋, 与主锚杆筋焊接连接; 水平通长筋下方配置竖向筋, 采用 5 根 HRB400 $\phi 14$ 钢筋, 在两个主锚杆筋间按@250 布设, 长 $L = 700$ mm, 与水平筋焊接连接。水平拉结锚杆筋与横向钢筋单面焊接连接。每道 V 形板采用支模浇灌 C20 砼。V 形槽在覆土前在槽内铺上 1.0 mm HDPE 土工膜用以涵养水源, 土工膜接口搭接不少于 30 cm, 土工膜应以包裹覆土范围为宜; V 形槽与马道平台间边坡挂绿色钢塑土工格栅网以供爬藤植物攀爬, 采用膨胀螺栓(I 型 M16 \times 175, 锚入完整岩 100 mm, 打孔孔径 22 mm; 纵横向间距@2.0 m)支撑土工格栅网, 膨胀螺栓与土工格栅交叉处用 15 号铁线绑牢固。V 形槽与马道平台间边坡为了达到良好的绿化效果, 要求边坡存在的凹槽及裂隙因地制宜填入混入草籽的表土, 种籽配比: 狗牙根 10 g + 黑麦草 10 g + 紫穗槐 3 g + 多花木兰 3 g; 26 g/m^2 , 使边坡达到良好的复绿效果(图 3)。



Figure 3. Slope V-groove and step planting groove
图 3. 边坡 V 形槽及台阶种植槽

3) 植物种植

采用栽植方式进行复绿, V 形槽沿槽中按间距 0.5 m 爬山虎、龙须藤、三角梅(三者交互种植); 槽内土壤撒播一些草、灌木种子, 种子含量 26 g/m^2 , 配比: 狗牙根 10 g + 黑麦草 10 g + 紫穗槐 3 g + 多花

木兰 3 g。马道平台：靠岩壁侧及靠拦土埂侧按间距 0.5 m 种植爬山虎、龙须藤、三角梅(三者交互种植)；槽中布设一排小乔木，采用间隔 2 m 种植 1 株的方式布置石山榕、铺地榕、小叶榕等小乔木(按照每 4 平方米一株)。槽内土壤撒播一些草、灌木种子，种子配比为：狗牙根 10 g+ 黑麦草 10 g+ 紫穗槐 3 g+ 多花木兰 3 g(每平米 26 g)。

宜优先选用株高不超过 40 cm 的带根幼苗，当采用种条扦插或压条的方式栽植时，种条宜从 1~3 年生枝条的中下段截取，长度宜根据生根快慢控制在 10~20 cm，并保护好种条顶端的第一个侧芽或顶芽(图 4)。



Figure 4. Planting with soil cover on the steps
图 4. 台阶覆土种植

6. 灌溉系统设计的方式比选

高效节水灌溉现有的灌溉模式主要分为低压管道灌溉、喷灌和微灌，下面主要从节约用水角度和最经济角度对低压管道灌溉、喷灌和微灌这三种形式进行方案比较，见下表 1。

Table 1. Comparison and selection of low-pressure pipeline irrigation, sprinkler irrigation and micro-irrigation
表 1. 低压管道灌、喷灌和微灌方案比选

模式	优点	缺点
微灌	1) 省水。微灌按作物需水要求适时适量地灌水，仅湿润根区附近的土壤，因而显著减少灌溉水损失。 2) 省工。微灌是管网供水，操作方便，劳动效率高，而且便于总动控制，因而可明显节省劳力，同时微灌是局部灌溉，大部分地表保持干燥，减少了杂草的生长，也就减少了用于除草的劳力和除草剂费用，肥料和药剂可通过微灌系统与灌溉水一起直接施到根系附近的土壤中，不需人工作业。 3) 节能。微灌灌水器的工作压力一般为 50~150 kpa，比喷灌低得多，又因微灌比地面灌省水，对提水灌溉来说意味着减少了能耗。灌水均匀。微灌系统能够做到有效地控制每个灌水器的出水流量，因而灌水均匀度高，一般可达 85%以上。 4) 增产。微灌能适时适量地向作物根去供水供肥，为作物根系活动层土壤创造良好的水、热、气、养分环境，因而可实现高产稳产，提高产品质量。 5) 对土壤和地形的适应性强。微灌采用压力管道将水输送到每棵作物的根部附近，可以在任何复杂的地形条件下有效工作。	灌水器容易堵塞。灌水器出口很小，易被水中的矿物质或有机物堵塞，如果使用维护不当，会使整个系统无法正常工作，甚至报废。 投资较高。因为微灌消耗设备及材料较多，相比渠道灌溉投资高。

Continued

1) 省水。喷灌可以控制喷水量和灌水均匀性,避免地面灌时容易产生的地面径流和深层渗漏损失,因而可以提高水力效率,节约灌溉用水。增产。喷灌可以采用较小灌水定额对作物进行浅浇勤灌,便于严格控制土壤成分,使之与作物生长需水更适应,喷灌对耕作层土壤不产生机械破坏作用,可保持土壤团粒结构,使之土壤疏松、空隙多、通气条件好,促进养分分解、微生物活跃,提高土壤肥力,喷灌可以调节田间小气候,增加近地表层温度,夏季可降温,冬季可防霜冻,还可淋洗茎叶上的尘土,促进呼吸和光合作用,因而给农作物创造了良好的生活环境,促进作物生长发育,达到增产的目的。

2) 省工。喷灌可以实现高度的解析恶化,大大提高生产效率,尤其是采用自动化操纵的喷灌系统,更可节省大量的劳动力。喷灌取消了田间的输水沟渠,减少了杂草生长,免除了整修沟渠和清除杂草的工作,喷灌还可以结合施化肥和农药,也可节省大量的劳动。

3) 省地。喷灌管道输水,无需田间的灌水沟渠和畦埂,一般情况下,干、支、斗、农、毛渠占地约 10%~15%,相比较,喷灌可节地 7%~10%。

投资较高。喷灌对设备的耐压要求高,因而设备投资高。喷灌受风和空气湿度影响大。当风速在 5.5~7.9 m/s 即四级风以上,能吹散水滴,使灌溉均匀性大大降低,飘移损失也会增大。空气湿度过低时,蒸发损失加大。耗能较大。为了使喷头运转和达到灌水均匀,必须给水一定压力,除自压喷灌系统外,喷灌系统都需要加压,消耗一定的能源。

1) 省水。通过管道输水至田间,避免从水源至田间输水蒸发损失。省工。可以实现高度的机械化,大大提高生产效率尤其是采用自动化操纵的灌溉系统,更可节省大量的劳动力。灌溉取消了田间的输水沟渠,减少了杂草生长,免除整修沟渠的清除杂草的工作。

2) 节能。低压管道灌溉给水栓的工作压力一般为 20~50 kpa,比喷灌、微灌低的多。省地。低压管道灌溉管道输水,无需田间的灌水沟渠,一般情况下,干、支渠占地约 10%,相比较,低压管道灌溉可节约地 7%左右。

3) 投资较低。低压管道灌溉投资比喷灌、微灌低。

田间采用畦灌、沟灌,水利用系数比微灌低,特别是坡度较大的坡耕地,易造成水土流失。

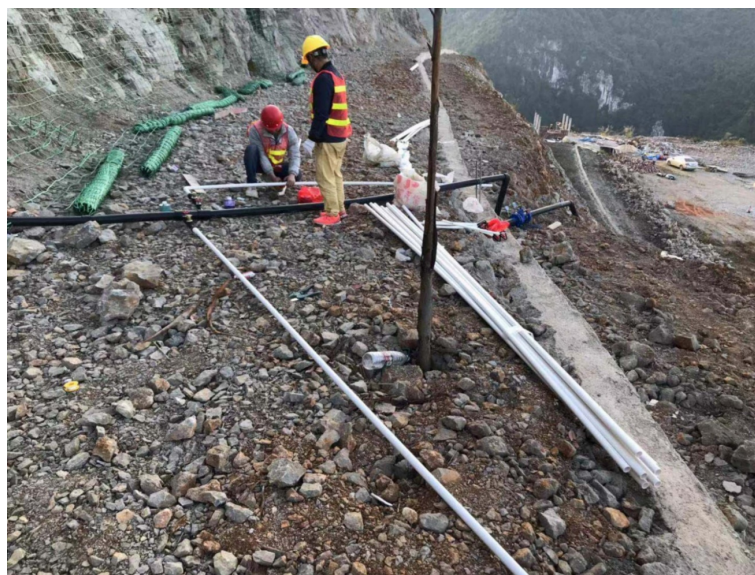


Figure 5. Step plumbing
图 5. 台阶水管铺设

由表 1 可知,微灌是管网供水,操作方便,劳动效率高,而且便于总控制,因而可明显节省劳力,同时微灌是局部灌溉,大部分地表保持干燥,肥料和药剂可通过微灌系统与灌溉水一起直接施到根系附近的土壤中,不需人工作业。微灌系统管理简单,操作方便,不需要太多的人力物力即可完成高效节水的灌溉目的。本次灌溉系统采用微灌系统。

7. 灌溉系统总体布置

本矿区灌溉管道系统采用阶梯式管道铺设如图 5, 该灌片灌溉面积 21,547 m², 水源为矿区的生活区的市政自来水, 本工程拟采用二级提水方式, 即设计两座梯级泵站来满足灌溉用水需求, 用于复绿工程治理灌溉用水。一级泵站位于水源点附近, 水源接自矿区预留的市政自来水管, 新增一台加压泵, 通过干管 3 (DN100, 壁厚 4.5 钢管) 沿着上山公路埋设至复绿工程的边坡脚的水池 3 供水, 在水池 3 的位置新建一个泵房, 新增两台加压泵, 分别加压后通过两条不同的管子向水池 2 和水池 1 供水, 即干管 2 (DN75, 公称压力为 0.8 MPa 的 PE 管) 向水池 2 供水, 干管 1 (DN63, 公称压力为 0.8 MPa 的 PE 管) 向水池 1 供水, 当水被引至高位水池之后, 再通过自流向灌溉系统的配水管供水, 本次设计配水管分三级, 即主管、支管和供水末端, 这三级管网形成梳齿状管网。根据业主要求及现场踏勘研究决定, 本次设计采两种灌溉方式, 即马道平台采用微喷灌溉, 岩质边坡采用滴灌的灌溉, 因为该项目区面积较小, 又加上采用两种灌溉方式, 故本次设计就分为两个轮灌组——马道平台的微喷为轮灌组 1, 岩质边坡的滴灌为轮灌组 2。本次设计的系统输配水干管尽可能的沿现有道路布置。

8. 结论

1) 采石场边坡生态复绿需依山就势、因地制宜进行。如对边坡的修整避免大挖大填, 对危岩及岩溶发育区的治理可灵活采用清除、锚杆挂网喷砼支护或主动防护网的方式进行处理, 所采用的处理方式本着安全、经济、易于施工、避免灾害扩大的原则采用。

2) 对高陡石灰岩采石场边坡以自然复绿为主, 尽量利用台阶及缓坡进行复绿, 对陡坡的裂隙发育区、凹坑发育区可采用挂网喷播草籽或穴种草籽的方式进行复绿, 适当增加 V 形槽种植爬藤类植物; 其余的高陡边坡可采用挂网下方种植爬藤类植物攀爬绿化。

3) 高陡石灰岩矿山生态复绿是一个值得探讨的课题, 如何能像天然的石山那样长出茂盛的植被且生生不息, 如何让喷播的混合土能牢固的黏在岩壁上不怕风吹雨淋, 如何能让种植的绿植茁壮成长, 如何能保证养护期过后绿植仍生生不息, 都将是今后值得研究的课题。

致 谢

感谢华润集团公司资金支持!

参考文献

- [1] 邢路平. 深圳盐田港大水坑东信石场裸露边坡复绿工程设计探讨[J]. 亚热带水土保持, 2018, 30(1): 58-61.
- [2] 孙钦花. 徐州采石场废弃地生态修复和景观重建[J]. 中国园艺文摘, 2010, 26(1): 82-83.
- [3] 陆勇, 刘晓宇, 陆炳炎, 缪燕, 张一丹, 李冬林. 江阴市花山废弃采石场生态复绿效果研究[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(4): 16-20.
- [4] 唐欣, 向佐湘, 倪海满. 植被混凝土在采石场生态恢复中的应用[J]. 草业科学, 2011, 28(1): 74-76.
- [5] 杨振意, 薛立, 许建新. 采石场废弃地的生态重建研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5264-5274.
- [6] 周顺涛, 辜彬, 蔡胜, 寒烟. 挡土翼工法在石质边坡生态恢复中的应用研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2): 188-191. <https://doi.org/10.13961/j.cnki.stbctb.2009.02.045>
- [7] 袁剑刚, 周先叶, 陈彦, 凡玲, 杨中艺. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J]. 生态学报, 2005(6): 1517-1522.
- [8] 韩芳, 李传荣, 孙明高, 范迎新, 赵飞, 路姗姗, 付裕. 废弃采石场植被自然恢复初期群落的结构特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2008(2): 35-39+49.
- [9] Oliveira, G., Nunes, A., Clemente, A. and Correia, O. (2011) Effect of Substrate Treatments on Survival and Growth of Mediterranean Shrubs in a Revegetated Quarry: An Eight-Year Study. *Ecological Engineering*, 37, 255-259.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.015>
- [10] Maisto, G., de Marco, A., de Nicola, F., *et al.* (2010) Suitability of Two Types of Organic Wastes for the Growth of Sclerophyllous Shrubs on Limestone Debris: A Mesocosm Trial. *Science of the Total Environment*, **408**, 1508-1514.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.041>