

采矿边坡治理中的生态修复技术与应用

宋 云

四川黄金集团有限公司 四川成都 610213

摘 要：随着采矿活动的持续进行，矿山开采引起的生态破坏问题越来越突出。由于长期受爆破和开挖等人为活动的影响，采场边坡原有植被遭到破坏，土壤结构退化，土壤侵蚀加剧，生态系统功能丧失。近年来，生态修复技术作为恢复矿山边坡生态功能的一种重要方法，已引起人们的广泛关注。科学合理的生态修复技术，不仅能够有效地改善矿山边坡的生态环境，而且能够促进矿区生态系统的稳定和恢复，达到矿山开采和生态保护的协调发展。

关键词：采矿；边坡治理；生态修复；技术应用

矿山边坡的生态恢复，不仅是恢复被破坏的生态系统，还能从整体上改善区域的生态环境。生态修复是一种模拟自然生态系统演替过程，综合运用多种生物、物理化学手段，促进植被恢复与土壤改良，达到提高边坡生态稳定性的目的。实践中，生态修复技术需综合考虑地质、气候、土壤特性及周边生态环境等因素，才能达到最佳修复效果。同时，该技术的应用涉及到生态学、土壤学、植物学、工程等多学科的交叉和交叉，探索更科学、更有效的修复方法，具有重要的理论和现实意义。因此，开展矿山边坡生态修复技术研究，对促进矿业可持续发展和生态环境保护具有重要意义。

一、采矿边坡治理中的生态修复重要性

（一）生态修复对恢复生态系统功能的关键作用

矿山开采对斜坡生态系统造成严重破坏，导致植被减少，土壤肥力下降，生物多样性下降^[1]。生态修复作为斜坡生态系统功能恢复的重要途径，可通过促进植被重建、土壤结构改良等途径提高其生态稳定性。植被恢复既可以减少土壤侵蚀，又可以通过根系固土，提高坡面的抗蚀能力。植物生长可改善土壤理化性质，提高土壤有机质含量，促进微生物活性，为其它有机体生存创造条件。生态修复是一种以生态系统重构为手段的生态修复方式，能够使边坡生态系统逐渐向自然状态回归，对维持区域生态平衡具有十分重要的意义。

（二）生态修复在水土保持与环境改善中的重要地位

采场边坡的生态恢复在保持水土、改善生态环境方面发挥着不可替代的作用。坡面植被破坏会引起严重的土壤侵蚀，特别是在雨强集中的地区。生态恢复是指通过植被重建、土壤改良等措施，有效地降低降雨对坡面

的侵蚀，减少坡面侵蚀，保护下游水体。此外，植被恢复也能吸收大气二氧化碳，释放氧气，改善当地气候状况，降低温室气体排放量。生态修复不仅可以改善边坡的生态环境，而且可以辐射周边地区的生态环境，提高整体的生态品质，为人类创造一个更健康、更宜居的生态环境。

（三）生态修复对生物多样性保护的积极影响

矿业活动对原有生态系统造成严重的破坏，致使大量动植物的栖息地丧失，使生物多样性急剧下降。生态修复是一种生态修复技术，它通过重建植被群落，改善土壤环境，为各种生物提供适宜的生存空间，促进生物多样性的恢复。随着植被恢复，生态系统逐步改善，坡面带内的植物种类将逐步增多，成为昆虫、鸟类、哺乳动物等的食物与栖息地。生态恢复既有利于坡头区生物多样性的保护与恢复，又能促进区域生物多样性的整体提升，这对维持生态系统完整与稳定、珍稀物种及生态脆弱区的保护具有重要意义。

二、采矿边坡治理中的生态修复技术应用

（一）植被混凝土生态修复技术的应用

应对坡面上的浮石、砾石和松散土层进行清理，保证坡面的平整和稳定，对有裂缝和沉陷的地方，采用浆砌石或混凝土充填进行加固，以提高边坡的整体稳定性。同时，根据边坡高度、坡度和地质情况，对锚杆、锚索进行加固处理。如采用锚杆加固，则根据设计要求钻孔，孔径一般取40~50 mm，孔深按边坡稳定计算2~3m，钻孔结束后，清除孔内石粉，安装锚杆，注浆，采用M20水泥砂浆，水灰比控制为0.45~0.55，锚杆间距一般在1.5~2m，呈梅花型布置，以保证锚固力满足设计要求。

边坡处理完成后,就是植物混凝土基底的制备。基质材料包括水泥、骨料、植物纤维、保水剂、肥料和植物种子。水泥用量为基材重量的10%~15%,选用32.5级普通硅酸盐水泥,不仅可以保证基材的强度,而且对植物根系的生长没有任何影响^[3]。骨料可选粒径为2~5毫米的砂石或河砂,其含量在60%~70%左右,构成骨架结构。植物纤维的加入量在5~10%时,可以选择秸秆、椰壳等纤维,以改善基材的保水性和透气性。保水剂的用量根据当地气候情况而定,一般在0.5%~1%之间,在干旱地区可以适当提高,选用高吸水性树脂。有机肥、复合肥各占3~5%,有机肥用腐熟的牛羊粪、NPK、NPK比1:1:1;植物种子选用本地乡土草本和灌木,如披碱草、沙打旺、柠条等。种子的用量根据种子的千粒重及发芽率而定,一般在20~30g/m²之间。将各组分按比例拌匀,加水拌匀,水灰比为0.3~0.4,搅拌成流动性浆体。在此基础上,采用特殊的喷射机,喷压0.3~0.5 MPa,喷距为1~1.5m,以保证基材和边坡的紧密结合。喷涂顺序为自下而上,分层喷涂,每层厚度控制在5cm以内,前一层完成后,再进行下一层的喷涂,喷层厚度为8~15cm。喷涂时,应随时检查底材的平整度和粘合性,如发现空孔或脱落应立即铲平,重新喷涂。在特殊情况下,如坡角、裂缝等,需要有针对性地喷涂,以保证被覆材料的均匀性。

(二) 客土喷播生态修复技术的应用

在采用客土喷播生态恢复技术之前,必须对矿山边坡进行细致的调查和预处理。根据边坡的坡度、高度、地质构造和风蚀度等因素,在坡度大于50°的情况下,采取削坡的方法将坡度降至30~45°,同时采取机械开挖和人工修整相结合的方法,保证坡面的平整度。对岩石表面的杂物和不稳定岩石进行清理,对局部凹陷和凸起用土方回填或整平,对于岩性坚硬的岩石,通过爆破或机械凿毛,使其表面粗糙度增加,凿毛深度为5~10cm,间距为20~30cm。根据水文条件,在边坡顶部设置一条30~40cm深、40~50cm深的截水沟^[4]。边坡底部设置50~60cm深60~70cm的排水沟,在沟底铺设碎石防渗层,以防止雨水冲刷边坡。进行土壤基质的准备和配比设计,其中包括耕土、腐殖土、泥炭土、改良剂、化肥、保水剂以及植物种子等。耕土比为3:1~2:1,以农田表土为耕作土,以林地表层为基质;在客土中添加泥炭土的比例为总质量的10%~20%,从而提高土壤的保水性和肥力。选择石灰和有机肥作为改良剂,根

据客土的酸碱度,在pH值为4~5的情况下,添加量为1~2kg/m²,pH值为5~6时,则为0.5~1kg/m²;有机肥施用量为5~10kg/m²,使用鸡粪作为有机肥。保水剂用量在0.5%~1%之间,选择丙烯酰胺作为保水剂;肥料以3~5kg/m²、NPK/NPK比15:15为宜。以狗牙根、高羊茅、紫花苜蓿和多花木兰为材料,采用草本/灌木比7:3、25~35 g/m²的适应性强、根系发达的品种为种子。把客土材料按一定比例拌匀,筛去石块、树根等杂物,备用。客土喷播施工采用专业喷播机,向搅拌罐中加入混合客土材料,按照水和客土1:1.5~1:2的比例加入,搅拌10~15分钟即可形成均匀的泥浆,泥浆粘度控制为18~22秒(用马氏漏斗粘度计)。喷头面向斜坡,由下而上、左右往复地进行喷射,厚度为5~10cm,喷射速度为2~3m²/min,喷射角度为45°~60°,保证客土均匀覆盖,不漏喷、不堆苗。在喷播过程中,根据坡比对喷播参数进行调整,对于坡度较大的地段,可适当加大喷播厚度和喷压,压力控制在0.4~0.6 MPa之间。喷播结束后,要进行覆盖养护,表面覆盖15~20克/m的无纺布或稻草帘,草帘厚度2~3cm,覆盖物边缘超过喷播区50cm,用U形钉固定,间隔30cm。

(三) 三维网植草生态修复技术的应用

在矿山边坡施工中,要做好边坡的准备工作,然后采用三维网植草生态修复技术。将坡面上的浮石、杂草和杂物清除干净,对坡面进行平整,对局部坑洼用素土进行回填和夯实,凸起处进行削平,达到1:1.5~1:2的坡度,以保证维网的铺设和植物的稳定生长。根据地质、水文条件设置排水设施,上部截水沟采用混凝土浇筑,沟宽20~30cm,深30~40cm;底部排水沟采用块石砌筑,沟宽40~50cm,深50~60cm,沟内设置反滤层,从下往上铺碎石10cm厚,粗砂5cm厚,起到防止水土流失的作用^[5]。采用三张网状结构网,高1.5~3cm,采用聚乙烯材料,网孔10~15毫米。铺设顺序为:从坡顶起,由上而下,紧密贴合坡面,不得起皱,无空鼓,搭接宽度不得小于10cm,采用U形钉或钢筋锚杆固定,U形钉采用直径6~8毫米的钢筋,长15~20cm,间距50~80cm,边与搭接处加密,间距30~40cm。固定时,以8~10cm深的U形钉垂直插入斜坡,以保证其牢固,铺设后检查网面平整度,对局部凸起的地方用U形钉进行固定。然后填土和种子播种,在3d网中填入肥沃疏松的耕作土或腐殖土,滤掉粒径大于5mm的颗粒,填土时,把土均匀地填入网孔中,厚度要超过3cm,填满后轻轻踩实,让土壤和维

网紧密结合在一起。采用撒播和条播两种播种方式,即种子与细砂按1:5的比例均匀洒于表土上,条播时,按行距15~20cm深开1~2cm的浅沟,把种子播进沟里。

(四) 锚杆格构框架生态修复技术的应用

锚杆网架结构生态修复技术需要采用钻探、物探等方法,获取地质资料,绘制边坡工程地质剖面。采用极限平衡方法和有限元方法对加固区进行稳定分析,确定加固区及加固范围。对格构式框架结构参数进行设计,锚杆直径22~28 mm,HRB400钢筋,长度按稳定度计算。深度2~3m,间距2~3m,呈梅花型布置;格构梁为20cm×30cm~30cm×40cm,间距2~3m,混凝土强度等级为C25~C30,梁内配有纵向钢筋和箍筋,纵向钢筋直径12~16 mm,箍筋直径6~8 mm,间距150~200 mm。接下去就是锚杆的施工,按照设计放样定位,孔位偏差在5cm以内^[6]。为防止雨水渗入,采用锚杆钻机钻孔,钻孔直径大于锚杆直径10~20 mm,钻孔方向垂直于边坡面或15~20度。钻孔深度误差为±5cm,钻孔结束后,用高压风清孔内的岩屑。将加工好的锚杆插入孔内,暴露出10~15cm的长度,用来连接格栅梁。注浆采用水灰比0.4~0.45的M25水泥浆,注浆压力0.3~0.5 MPa,由孔底开始灌浆,直到浆液溢出孔口为止。注浆完毕后,对锚杆进行养护,并用塑料膜覆盖,养护时间不少于7天,期间严禁与锚杆发生碰撞。在锚杆养护结束后,绑扎格构梁钢筋,按设计图制作钢筋,主筋和箍筋牢固连接,保护层厚度为3~4 cm。模板的安装,采用钢模或木模。模板接缝严密,防止漏浆。在进行混凝土浇筑前,先将边坡表面的杂物清理干净,并洒水保持湿润。混凝土为商品混凝土,坍落度在120~140 mm,为防止蜂窝麻面的产生,采用振动棒振捣密实。浇注完立即用塑料膜

或草帘覆盖养护,养护时间不少于14天,每日2~3次浇水,使混凝土表面保持湿润。

结束语

综上所述,生态恢复技术是矿山边坡治理的重要手段,不仅能有效地改善矿山边坡的生态环境,恢复其生态功能,而且对区域生态系统的稳定和可持续发展具有重要意义。未来,可结合更加精细的生态监测与评价方法,实现矿山边坡生态修复的科学化和高效化。同时,随着人们对生态环境保护意识的增强,矿山生态修复技术也会越来越广泛地应用于矿山开发的全过程,为实现矿业开发和生态保护的协调发展提供强有力的支撑。

参考文献

- [1] 李恩旺,鲁明星.SICOMINES铜钴矿含尾砂高大边坡稳定性分析及治理思路[J].矿业工程,2024,22(03):22~27.
- [2] 李聪聪,王佟,赵欣,李飞,蔺楠,江晓光,王伟超.边坡监测与治理技术在高寒矿区露天煤矿生态修复中的应用研究[J].中国矿业,2024,33(04):122~131.
- [3] 李新亮,张晓钢,韩琳琳.废弃矿山生态治理方案及边坡稳定性分析[J].煤炭技术,2024,43(05):256~260.
- [4] 李征.岩土工程勘察在矿山边坡治理中的重要性研究[J].世界有色金属,2024,(03):184~186.
- [5] 汪苏闽.地采矿山安全开采稳定性浅谈[J].世界有色金属,2023,(19):190~192.
- [6] 王荣祥.露天采矿回填区光伏发电项目的水土流失综合治理方案[J].太阳能,2022,(09):56~64.