

# 矿山排土场边坡生态修复土壤改良及植物种选择

辛田军 徐仁山

江西省勘察设计研究院有限公司

**摘要:**采用污泥覆盖技术,综合利用矿采区酸性水治理过程中产生的污泥,掺混“土壤改良剂”,减少污泥处理费用,并达到弃渣基质改良的效果,将PH值为3左右的矿渣堆改良达到6左右,减少运输环节,降低生态修复成本提高废物利用率,减少二次污染。选择抗酸、抗重金属、抗瘠薄、抗干旱的植被系统来稳固坡面,快速复绿,改善土壤生态环境,形成接近自然的生态体系,建立四季常绿的景观生态系统。

**关键词:**生态修复;土壤改良;复绿;生态环境

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.105

## 一、工程概况

该矿山为露天矿,其排土场边坡主要为弃土堆填而成,堆填时间约2年,成分主要以千枚岩风化碎块石为主,含少量黏土。边坡坡度约45°,边坡高度约13m。坡面完全裸露,未见植被生长痕迹(图1),据测试坡面渗水PH值约为3。为恢复林草生长的生态环境,要求以施工方便、因地制宜、对环境影响小、经济合理的形式快速实现复绿。选择坡面修整+土壤改良+截(排)水+客土喷播的修复技术方法对边坡进行林草地生态修复。

## 二、修复方案

根据治理区地形地貌、岩土层体征及分布,结合场地施工条件和周边环境特点,遵循技术可行、经济合理、施工方便、环境协调的原则,通过分析论证,结合以往类似工程经验最终确定的综合治理方案为:坡面修整+土壤改良+截(排)水+客土喷播(图1)。

利用裸露边坡现有的坡面进行适当修整,修整坡面沟槽、松动岩块、浮石等,对坡面转角和坡面突出的岩体棱角进行修整,使之呈弧形状,保证坡面顺滑,坡面要求达到基本平整,产生的土石方全部回填至坡脚<sup>[1]</sup>。

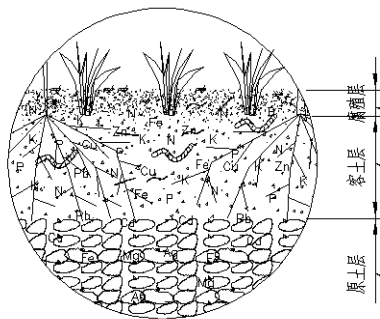


图1 修复工程剖面示意图

对修整后的坡面进行消毒中和处理,消毒工作主要采用石灰粉等碱性剂、有机复合物为原材料,中和坡面土壤的酸性。加入土壤改良剂中和酸性土壤,调整土壤PH值,螯合重金属,增加土壤水分和肥力。

修坡后完善截(排)水系统,排水沟因地制宜,合

理有序的分流水源,既防止边坡侵蚀,又有效阻断边坡周边地表集水。

选择多品种、多层次超积累植物进行植物栽培。选择根系发达、抗寒抗旱、抗贫瘠的植被系统来稳固坡面,改善土壤生态环境,形成接近自然的生态体系,建立四季常绿的景观生态系统。

## 三、土壤改良

### (一) 治理区土壤分析

#### 1. 土壤酸碱性问题

矿山为有色金属矿,矿脉中含有大量金属硫化物,但在开采提炼过程中不能充分提纯处理而遗留在废渣中,废渣在露天堆积能迅速产酸,污染土质。酸性土质直接影响植物生长,植物能正常生长的范围在PH5~7之间,耐酸植物在PH4~5之间保持良好生长,当PH<4时,大多数植物不能正常生长。另一方面,废渣堆PH值一般为3左右,为强腐蚀性酸性。因此,土壤改良要满足生态修复想过,必须采取有效的针对性措施,以中和强酸性,减少酸性物质的产生。

#### 2. 土壤营养成分问题

边坡表层以风化岩石碎块为主,含少量黏性土,表层未见植物生长痕迹,表明场地内除强酸影响外,还存在土壤营养成分不足现象。营养养分对植物生长的限制主要是由于土壤中N和P这两种元素供应不足,导致幼苗生长不良死亡,它直接影响植物幼苗根系生长,在幼苗根系生长受到抑制后,植物茎叶生长所需的水分、营养无法吸取,进而抑制植物光合作用,长期发展植物逐渐枯萎死亡。营养成分的缺乏是制约本地植物生长发展的重要因素。本场地土壤结构性差,有机质含量及植物生长必需的养分元素(尤其是氮磷钾)不足,重金属毒性强,且岩石边坡易受到强烈阳光的高温及辐射,岩石坡面植物易灼伤茎叶,不利于植物生长从而制约了植物的定居生长<sup>[2]</sup>。因此,为系统提供稳定充足的养分,是在土壤改良过程中必须重视的重要问题,也是植被成功恢复的重要前提。

#### 3. 土壤中金属污染的问题

矿区矿脉中富含金属铜,同时也含大量的钼、金、银、铁、锌等重金属元素,目前采矿设备对铜、钼、金、银提纯较多,但废弃矿渣中仍有部分铜、金、银、钼和大量铁、锌等金属元素,但这些金属元素直接影响植物的光合作用、呼吸作用、营养吸取、生长繁殖等各种生理过程,在分子、细胞、组织和器官等各层面引起伤害,在重金属的毒害作用下,轻者生长发育不良,重则不能完全生长致死<sup>[3]</sup>。重金属的植物毒性与重金属物种、浓度、作用时间、形态、植物物种、发育时期,以及各种生态因子都密切相关<sup>[4]</sup>。生长于矿渣堆中的植物根系活力受到严重抑制,植物不能利用基质中的养分,叶绿素的合成也受到显著影响,并导致明显的白化和矮

化症状，从而严重影响植物生长。因此，对于本场地而言，其所含的大量金属元素对植物有非常高的毒性，可以限制植物生长，因此在土壤改良中，对土壤的重金属毒性，应采取有效策略降低重金属毒性。

4. 微生物产酸的问题

铜矿开采过程中，矿石中的硫不稳定，在水、空气、细菌的作用下发生氧化、分解及溶浸作用。根据PH的变化分为3个阶段，第1阶段PH接近4.5，第2阶段PH为2.5~4.5，第3阶段PH≤2.5。各阶段硫化矿物、水、氧是参与反应的物质，微生物（细菌）、氧化还原电位、温度等是反应条件。

矿渣堆微生物群落主要以各类产酸菌为主，缺乏参与碳、氮等重要营养元素循环的各种功能类群。土壤微生物作为土壤中一个非常重要的组成成分，对矿山复垦土壤肥力的形成以及植物生长起着至关重要的作用。产酸菌的比例过高会加速土壤酸化，在土壤改良中必须采取切实措施降低产酸菌丰度，再次发生酸化现象，各类功能菌群的缺乏，会影响整个土壤的正常物质代谢过程<sup>[5]</sup>。很多矿业废弃地在土壤改良修复后会出现返酸现

象，但最根本的原因是忽略了微生物的重要作用，对微生物群落缺乏了解，未能及时采取有效措施降低产酸菌。






(二) 土壤改良方案

本场地土壤改良的核心就是治酸、增加土壤营养成分。目前，矿山开采区有酸水处理系统，结合“以废治废”，综合利用矿山采区酸性水处理过程中产生的污泥，采用污泥混合“土壤改良剂”作为植生土壤基质（表1），因地制宜，经济有效。

采区酸性水处理过程中产生的污泥适用于矿区边坡生态修复，其弱碱性可中和部分坡面岩石的酸性，且不产酸，避免了可能的产酸风险。同时，由于污泥中含有大量的钙，可以在一定程度上降低重金属对植物的毒害作用。针对污泥营养成分如氮、磷等元素缺乏，以及污泥颗粒细小、物理结构不良、极易板结，微生物少，碳、氮、磷等元素循环相关微生物不足的特点，通过添加改良材料，从而改善其物理结构增加营养成分引入有益功能微生物进行污泥改良。污泥直接运输至边坡现场，提高废物利用率，减少二次污染。

表 1 土壤改良剂材料及用量

单位: kg/m<sup>2</sup>

序号	名称	图片	数量	作用	备注
1	土壤改良剂 1号		7.5	可消灭土壤中的细菌，改善土壤性质，为有益微生物创造条件，加速土壤中有机物质的分解	
2	土壤改良基质 2号		7.0	具有矿化作用、腐殖化作用，是土壤养分的主要来源，可以促进土壤结构形成，改善土壤物理性质，改变土壤孔隙度，提高土壤蓄水能力，增加土壤的肥力，提高土壤缓冲性能	
3	土壤改良剂 3号		0.003	用于拌种或蘸根，具有直接或间接改良土壤、恢复地力、预防土传病害、维持根系微生物区系平衡、分解有毒害物质等作用。此外，还可以改良土壤、保护生态环境	
4	土壤改良剂 4号		0.16	具有养分含量高、副成分少、物理性状好等优点，为植物提供全面营养，且肥效长，可增加和更新土壤有机质，促进微生物繁殖，改善土壤的理化性质和生物活性	
5	土壤污染改性修复 重金属吸附剂		0.03	保水、吸水能力特别强，有效降低土壤中水分的蒸发速率，提高土壤的最大保水量，保证植物生存生长所需水分	

四、植物选择

在考虑植物生物学特性、生态习性、立地条件及气候等因素的基础上，选择适宜的抗酸、抗寒、抗重金属、抗瘠薄、抗旱、生产力高、对土壤改良功能强、环境效益好的草本植物种类为先锋植物种类。其中，最主要的就是超积累植物（表2）。超积累植物可超量积累一种或多种重金属元素，通过超积累植物选择，可满足

植物水土保持、耐酸、就地生态建设、生物多样性等要求。

(1)满足生态学要求：所选植物品种在矿区周边发现野生品种，直接说明所选品种适合就地种植。按照“因地制宜”的原则，品种首选本土植物，前期选择生长速度、再生能力强、易繁殖、固氮能力强的禾本科植物、豆科、植物菊科植物作为先锋植物，适合重金属污染土

壤的修复植物，快速形成先锋群落、快速覆盖地表迅速稳固表层，满足生物多样性和群落稳定性要求。

(2)满足耐性要求：所选植物均为耐酸、耐重金属、耐贫瘠、耐干旱植物，所选植物品种可适应本地强酸，重金属、干旱等条件，正常生长、达到恢复生态的目的。因此，植物品种选择满足耐性要求。

(3)满足水土保持要求：前期选择生长速度、再生能力强、易繁殖、固氮能力强的禾本科植物、豆科、植物菊科植物作为先锋植物，适合重金属污染土壤的修复植物，迅速形成先锋群落、迅速覆盖地表，迅速稳固表层，先锋植物能适应早期恶劣的环境条件，快速生长，形成覆盖植被，控制酸化，改善早期土壤条件，迅速控制水土流失，为以后长期定居植物提供适宜的生长环

境。

(4)满足植物成活后不需养护、不退化要求：利用微生物实现土壤环境良性循环，形成良性循环后场地存在完整的生态系统，植物成活后不需养护、不退化。发挥微生物在生态系统中的作用，人工引种微生物，采取多种措施营造微生物的生长环境利用固氮植物与微生物共同作用，加快土壤熟化进程，形成自循环的生态系统完成初等植物向高等植物的进化，形成长期稳定的植物群落系统。微生物可在生命活动期间将空气中的惰性氮转化为植物可直接吸收的离子氮。利用固氮植物、固氮微生物种群与植物根系的相互作用，实现土壤环境的良性循环。

### 五、修复效果

表2 植物种选择及播种量

单位：g/m<sup>2</sup>

序号	名称	习性特性	播种量	备注
1	狗牙根	适于生长在排水较好、肥沃、较细的土壤上。要求土壤PH值为5.5-7.5。较耐淹，水淹下生长变慢；耐重金属性也较好 <sup>[6]</sup>	5	
2	波斯菊	喜光植物，喜光，耐贫瘠土壤，忌肥，土壤过分肥沃，忌炎热，忌积水，对夏季高温不适应，不耐寒 <sup>[7]</sup>	3	
3	宽叶雀稗	喜高温多雨的气候和土壤肥沃排水良好的地方，宽叶雀稗性生长，在干旱贫瘠的红、黄壤坡地亦能生长	5	
4	刺槐	喜土层深厚、肥沃、疏松、湿润的壤土、沙质壤土、沙土或黏壤土，在中性土、酸性土上都可以正常生长	20	
5	银合欢	适应土壤条件范围很广，以中性至微碱性土壤最好，在酸性红壤土上仍能生长，适应PH值5.0~8.0 <sup>[8]</sup>	10	
6	火棘	喜强光，耐贫瘠，抗干旱，对土壤要求不严，而以排水良好、湿润、疏松的中性或微酸性壤土为好	3	
7	中华山蓼	生山坡、山谷路旁，海拔1600-3800m	2	
8	多花木兰	适宜在南温带及亚热带中低海拔地区栽培，夏季高温，雨量充足的地区，生长最旺，在PH4.5-7.0的红壤、黄壤和紫红壤土上	10	



图2 治理区边坡修复半年前后实景

(1)通过合成的土壤改良剂，改良了土壤的物化性质，改良了保水保肥性能和作物产量，边坡土壤改良后PH值达到6.0左右。

(2)污泥覆盖技术的应用，减少了运输环节，降低了生态修复成本，提高了废物利用率，减少了二次污染。整体提高边坡保水性，很好地改善植物的生长环境，具有较高的经济效益。

(3)选择耐酸、耐重金属、抗瘠薄、抗旱植被系统来稳固坡面，快速复绿，改善土壤生态环境，使其形成接近自然的生态体系，构建四季常绿的景观生态系统。方案实施后经过半年养护，坡面成效明显，一片青翠（图2）。

### 六、结语

矿山露天开采对自然环境破坏，进而引发滑坡、崩塌等地质灾害。排土场压占，降雨淋滤，土壤污染，造

成土壤结构及微生物的损害，导致土壤肥力退化。通过对排土场的整形、改良、覆土、排水系统整治、植物重建的方式，达到边坡治理和生态修复，是一种较为简易、经济、快速恢复的修复方法。工程实施后，修复效果明显，生态环境得到改善。矿山改良和植被重建工程是值得提倡的方法。

### 参考文献

[1]李峰, 孙宝水, 袁修锦. 常州市武进区雪堰镇仁庄关闭露采矿山地质环境治理工程探讨[J]. 地下水, 2018, 40(06): 152-154.

[2]李国平. 德兴铜矿富家坞采区边坡生态恢复工程实践[J]. 铜业工程, 2018(06): 14-16+35.

[3]董洪霞. 黑土—蔬菜体系中锆的传输动力学研究[D]. 吉林农业大学, 2005.

[4]黄五星. 兼性金属型植物齿果酸模生物量分配变异及其机制[D]. 武汉大学, 2011.

[5]占幼鸿. 浅谈有色金属矿业废弃地的生态恢复[J]. 矿冶, 2018, 27(02): 96-100.

[6]戴艳辉. 防冲刷边坡生态固化技术室内试验研究[D]. 长沙理工大学, 2012.

[7]徐鸿虹. 红色旅游视角下的乡镇滨河公园设计——以福建三明将乐县南口乡为例[J]. 江西建材, 2020(12): 264-265.

[8]黄万斌, 郗丽萍. 银合欢育苗造林技术[J]. 绿色科技, 2019(05): 71-72.