

离子型稀土原地浸矿废弃矿山生态修复技术研究与应用

卢小能 彭阳

江西环境工程职业学院 生态建设与环境保护学院 江西 赣州 341000

【摘要】离子型稀土原地浸矿技术是目前离子型稀土开采的主要方法之一,但该技术易造成土壤酸化、氨氮超标、植被破坏、水土流失等环境问题,严重制约生态可持续发展。针对离子型稀土开采技术现状,以“生态恢复”为出发点,通过实验室试验和现场工程治理,采取地形整治、土壤改良、植被恢复、截排水工程和养护监测,结果表明废弃稀土矿区生态系统和功能在人为干预下正向演替。

【关键词】离子型稀土; 废弃矿山; 生态修复; 治理

离子型稀土矿因富含中、重稀土元素,是高科技与材料科学领域不可替代的“硬核”原材料,直接影响着光学仪器、电子、航空航天、核能等高新技术产业发展的速度和水平,是国家重要战略物资和大国博弈的重要材料之一^[1-2]。

目前,离子型稀土矿开采主要采用原地浸出采矿技术,该技术以硫酸铵作浸矿剂浸出稀土^[3],即通过注液井向矿层注入浸矿剂,浸矿剂选择性地浸出土壤中的稀土元素,生成可溶性稀土化合物进入到浸出母液中,通过收集浸出母液再进行除杂、沉淀得到稀土氧化物。在矿山开采过程中,为保证置离子型稀土从矿层充分浸出,一方面使浸矿剂硫酸铵溶液的浓度保持在一个较高的水平,另一方面保障充分的反应时间,通常原地浸矿持续时间超过6个月。然而,反应剩余的硫酸铵浸矿剂属于强酸弱碱盐,在一定条件下会发生水解反应生成 H^+ ,其涉及的反应如下: $NH_4^+ + H_2O = NH_3 \cdot H_2O + H^+$,这使得矿山所在地表土壤呈现酸性,直接影响地表植被生长甚至枯死,加剧矿区地表植被的破坏。此外,离子型稀土矿的开采需要挖掘注液井和集液槽,整个挖掘过程将会破坏矿山所在区域地表约1/3的植被,在造成矿山地貌和原始景观破坏的同时,还易引发水土流失和山体滑坡等次生灾害。为解决离子型稀土原地浸矿带来的土壤酸化、植被破坏、水土流失、山体滑坡等生态环境问题,文中以安远县某离子型稀土原地浸矿废弃矿山为试点,通过土壤改良、地形整治、植被恢复、截排水工程和养护监测等手段进行试验探究,以期为同类型废弃离子型稀土矿山生态修复提供参考。

1 离子型稀土矿山生态环境问题现状

1.1 地形地貌景观植被破坏

离子型稀土原地浸矿注液井的开挖和大量硫酸铵浸矿剂的加注,致使原始地形地貌严重破坏,地形地貌景观破坏主要表现为原生植被的破坏、地表强风化表土层的剥离、悬崖陡壁突生。开采后大量的尾砂、废石堆砌,在雨水的冲刷作用下形成冲沟、泥流、洼地等,形成沟壑纵横的现状,后续将进一步地威胁、破坏矿区下游的原始地形地貌。

1.2 土地资源破坏

离子型稀土矿山土地资源破坏主要表现在,开采前先将开挖区及附近的植被、软土进行处理,砍伐树木,焚烧杂草灌木,除去表层上的有机土壤,这使得植被遭到大量破坏,使矿区及周边土壤的水土保持能力急剧下降;开采过程中,在原地貌上大面积修筑堆浸场、沉淀池、工棚等构筑物造成土层结构破坏,使植物失去生存条件,加速了水土流失的速率;离子型稀土开采后,在山坡大量堆积废土、废石,侵占原有自然土地,有的废石土会转运到山谷或地势低洼地带,随着雨水的冲击,大部分尾砂、废石被冲刷带走,形成壕沟,在一定程度上也造成了严重的水土流失。这些被破坏的土地如果依靠自然恢复,最少需要几十年乃至更长时间。

1.3 土壤含水层的破坏

离子型稀土开采根据工艺原理的不同,土壤含水层破坏的形式也不尽相同。一是池浸、堆浸开采工艺,因这类工艺开采必然会对山体地貌进行大规模改变和搬运,矿体由于主要赋存于风化层内,因此部分山体强风

通讯作者:卢小能(1986-),男,硕士,工程师,主要从事有色金属矿山生态修复技术的研究。

化层被挖空,基岩裸露,导致赋存于强风化层中的风化网状裂隙水水力循环改变,水体直接沿坡面流出或疏干,造成水源枯竭和破坏。二是原地浸矿开采工艺,该工艺原理将浸矿剂直接注入地层,虽然在稀土开采过程中一定程度上保持了原始矿山地形地貌,但采矿过程中一旦设计、控制或操作不当,将不可控地导致浸矿剂渗入到地下水或流入地表水中,造成水体严重污染。

1.4 水土流失

离子型稀土矿山堆浸区因堆浸土体松散裸露,受雨水冲刷易导致水土流失难以使植被生长。矿区水土流失主要发生在采矿取土开挖面及尾砂堆积区,前者因人为扰动程度较小,土体较为密实,水土流失量较少,但松散缺乏营养层,植被难以恢复;后者因受人为扰动程度较大,土体较为松散,且地势相对较低,较易遭受冲蚀。经现场调查发现,取土开挖面接近稳定,而尾砂堆进行人工处理后,则水土流失严重,沟谷深可达1~7m,并进一步产生次一级的冲沟,形成谷中谷。同时,大量的泥沙沿沟谷流至下游,造成农田淤积、河道堵塞,危害人民生命财产安全。图1为待修复区水土流失形貌。



图1 待修复区水土流失形貌

1.5 各类次生地质灾害频发

离子型稀土矿区常见的主要的地质灾害有崩塌、滑坡和泥石流等。崩塌和滑坡一般分布于矿区的采剥区和堆浸区不稳定边坡处,而泥石流则易发与矿区下游山谷或沟口处,存有松散堆积物,在强降雨天气时易形成泥石流。通过野外调查发现,矿区内在降雨作用下出现滑坡、水土流失现象,滑坡方量体积不等,部分矿区坡脚为公路或居民区,直接对人民生命财产构成极大威胁。此外,部分矿区沟谷纵横,场地内堆积了数十万方的废弃矿渣,未经压实或处理的矿渣在强降雨作用下将产生滑坡、崩塌,并与迅速汇集的雨水汇合形成泥流,对周边河溪和农田产生严重危害。

2 修复技术方法

修复过程立足于废弃离子型稀土矿生态环境现状,以“生态恢复”为出发点,通过实验室试验和现场工程整治为主要措施,采取地形整治、土壤改良、植被恢复、

截排水工程和养护监测,逐步恢复废弃稀土矿区土壤原有的生态功能,重建矿区生态系统,使之在人为干预下正向演替。

2.1 地形整治

治理区因无序开采,区内原始地形地貌破坏严重,场地完整性差,采剥场后缘残留陡坎高度1~8m、坡度30~70°,尾砂堆无序堆放,土体松散凌乱,受地表水冲刷,冲沟发育,形成的沟谷深度1~3m不等,并有进一步加剧趋势。为达到矿山生态环境恢复效果,需对采剥场、尾砂堆积和淤积区等植被破坏区域依据实际地形进行土地平整。整平种植区主要以表面整平、清理,尽量避免大开大挖、便于植被种植管护的原则,平均平整厚度约为0.2m,平整后需进行土壤改良和植被复绿。整治对象主要为矿区内部较为平坦的场地,对凹凸的地形表面进行扒平,土方尽量在场地内消化平整,多余土方用于堆积区冲沟、沉淀池进行回填。清坡复绿区整治对象主要为各矿区的尾砂堆积边坡。矿区内有大量尾砂堆积于矿区及周边山坡上,厚度一般在1~7m不等,部分堆积边坡在雨水冲刷下形成沟谷并不断向后缘发展,治理方案将对堆积的尾砂进行扒平、整平,为后续浆砌片石骨架植草、椰丝草毯护坡、人工植草做准备。图2为待修复地形整治图。



图2 待修复地形整治图

2.2 土壤改良

在完成待修复区地形整治后,对待修复区域土壤进行综合取样分析,分别测定其pH、Eh和NH₃-N值,测定结果与原生土壤值进行对比,制定土壤修复配方。经实验室试验表明,本场地采用复合土壤改良剂,分别添加生物发酵有机肥、熟石灰、沸石粉和生物碳,比例为4:3:1:0.3土壤改良效果最佳。为改善土壤性状、结构,提高土壤肥力,改善植物生存土壤环境,以便达到植被恢复最佳效果,拟对采剥区、堆浸区按每亩1.5吨的复合土壤改良剂进行土壤改良,采用人工播撒的方式将土壤改良剂均匀拌入表土(地面以下20cm以内土层),使其充分与表层土混合反应。

2.3 植被恢复

植被恢复采取林灌草相结合的方式,对拟治理点的

采剥区和堆浸区边坡采用椰丝草毯护坡进行复绿, 平台内撒播草籽。对拟治理区内较平坦的区域, 进行扒平后挖穴、覆种植土后种植苗木, 树种根据当地植被生长和种植情况, 选择抗旱、耐涝、耐脊, 有良好适应性和抗逆力的苗木。苗木种植密度设计为 2.0m (株距) × 2.0m (行距), 按照每亩种植 120 株左右为适宜。在各治理区范围内撒播喜阴喜阳混植草籽覆盖, 灌草籽为多花木兰、狗尾草、芒草、芒萁、高羊茅、刺槐、火棘、海桐、狗芽根、野菊等当地特有草种按比例进行混合播撒, 经实验室试验研究表明混合草籽比例为 2:1.5:1.5:1:1:0.5:0.6:0.5:0.4:0.2, 平台每平方米撒播混合草籽 0.2kg/m², 边坡每平方米撒播混合草籽 0.1kg/m² 为最佳。

2.4 截排水工程

待修复区根据当地地表汇水流量及实际地形地貌整体综合规划, 做到“水流通畅, 分流合理”, 遵循横截、纵排的原则, 一般沿坡顶后缘布置横向截水沟, 不同高程水平的多级平台边缘布置纵向联络排水沟, 治理区内地表径流通过纵横交叉的截排网络最终排向治理区地势低洼处的管网或自然沟谷; 截排水沟采取混凝土现浇 C20 砼, 板厚 15cm, 砌筑前先用人工打夯机夯实基底, 夯实系数不小于 0.9; 沟底设 8cm 砂垫层。沿排水沟走向每隔 10m 留设一道伸缩缝, 缝宽 2cm, 缝内填塞沥青棉麻防渗。

2.5 养护监测

待修复区域经地形整治、土壤改良、植被恢复和截排水工程后, 为确保边坡及挖方边坡的稳定性, 沟谷物源稳定性、土地复垦与植物绿化的效果等, 当撒播混植草籽出苗后, 待生长到 2 ~ 5 cm 时可揭掉遮盖物, 每 3 天喷洒水 1 次, 喷淋洒水时要确保水量充沛、均匀、全面, 直到植物生长覆盖整个治理区域。定期对修复区土壤和植被进行监测, 主要包括土壤 pH、NH₃-N、护坡的稳定性和植物修复的综合效果。

3 修复效果

待修复区域经过 16 个月后, 经现场勘查和取土壤

实验室检测, 修复区生态修复取得了较好的效果 (图 3 为修复后形貌图), 主要表现为: (1) 通过地形整治和土壤改良后植被生长良好, 土壤酸化得到有效控制, 土壤含量氮氮降至略高于原生土壤平均水平; (2) 地形整治和截排水工程形成了稳定的生态护坡, 护坡经历了数次暴雨仍然完好无损, 有效阻断了修复区域水土流失和各类次生地质灾害的发生; (3) 撒播的混合草籽和筛选苗木长势良好, 未来将给当地带来一定的经济效益; (4) 林草措施的实施, 使得土壤环境、水质条件也将逐步得到改善和恢复, 能有效防范地质灾害给矿区周边村民带来的安全隐患。



图 3 离子型稀土矿山修复后形貌

离子型稀土矿开采无论采用池浸、堆浸或原地浸矿技术, 在开采过程中都将带来一定的环境破坏和污染问题, 对当地生态环境安全构成威胁, 阻碍当地生态文明建设。因此加强离子型稀土废弃矿山生态修复技术与工程实践具有重要意义。根据废弃离子型稀土矿山破坏及污染现状, 以“生态恢复”为出发点, 通过实验室试验和现场工程治理, 在人为干预下正向演替, 重建矿区生态系统。

【参考文献】

- [1] 张绪武. 中国稀土产业财税政策优化研究 [D]. 北京: 中国财政科学研究院, 2018.
- [2] 张优灵, 高银留, 尹荔松. 我国稀土无机转光剂的研究进展 [J]. 化工进展, 2014, 33(A01): 258-260.
- [3] 王浩林, 王强强, 王礼平等. 广东某稀土浸出试验与除杂化学分析 [J]. 矿产综合利用, 2018(1): 61-65.