

基于生态修复的矿山废水处理与回用模式探讨

李茹会 徐文行

云南华联锌铟股份有限公司 云南 文山 663701

【摘要】：露天金属矿山开采过程中产生的废水含有高浓度重金属离子与悬浮物，若未经有效治理将造成严重生态破坏。基于生态修复理念，构建“自然净化—人工强化—循环回用”相结合的矿山废水处理与回用模式，可在削减污染负荷的同时促进生态系统自我修复。通过引入湿地系统、植物修复、微生物强化与生态基质过滤等多级耦合技术，实现矿山废水的稳定净化与资源化利用。该模式以生态功能恢复为核心，将水质改善与生态重建相结合，兼顾经济效益与环境可持续性，为露天金属矿山废水分管理提供了系统化、可持续的技术路径。

【关键词】：生态修复；露天金属矿山；废水处理；循环回用；生态系统

DOI:10.12417/2811-0536.26.01.047

引言

露天金属矿山的快速开发推动了资源利用，却同时带来了显著的生态环境压力。矿山废水作为主要污染源，其复杂成分与高负荷特征使传统处理工艺难以兼顾稳定性与经济性。近年来，生态修复理念被引入矿山水环境治理领域，通过模拟自然生态系统的自净机制，实现污染削减与生态恢复的双重目标。生态修复不仅强调水质净化，更注重系统内部能量流与物质循环的优化，为废水处理与回用提供了新的思路和模式基础。

1 露天金属矿山废水的生态环境问题与治理困境

露天金属矿山在开采和选矿过程中产生的废水具有高污染负荷和复杂化学特征，主要含有铜、锌、铅、镉等重金属离子以及酸性矿山排水、悬浮颗粒和残余浮选药剂。这些物质在矿区径流作用下进入地表水体或渗入地下水系统，易导致水体酸化、金属富集和生态系统结构失衡。受地质条件与降雨侵蚀影响，废水排放呈现周期性和突发性，给生态环境造成持续胁迫。部分矿区因缺乏科学的排水与收集体系，导致矿坑积水富含重金属沉积物，生态风险不断累积。废水中的硫化物氧化反应还会加剧酸性水形成，破坏土壤理化性质，影响植被恢复和生物多样性维持。

传统废水治理工艺多以化学沉淀、中和及物理吸附为主，但在复杂矿山地形及高流量条件下，处理效果稳定性不足。高昂的药剂成本与污泥处置压力使部分矿区难以长期维持运行。常规处理模式往往忽视系统性的生态恢复，造成“治水不治生态”的局面。部分地区在治理后仍出现水体重金属再释放和二次污染现象，表明仅依靠工程化措施难以实现水环境的可持续改善。矿山废水的高空间异质性和时序变化也使得单一技术路径难以适应动态生态需求，亟需引入多要素

耦合与生态自修复机制。

在生态环境保护要求不断提高的背景下，矿山废水治理面临从污染控制向生态系统修复转变的挑战。生态修复理念强调利用生物、微生物及自然基质的协同作用，重建水体与生态界面之间的物质循环与能量流动。通过恢复湿地生态、构建植物修复系统和优化生态基质结构，可在削减污染物的同时促进生态功能恢复。这一思路突破了传统处理模式的局限，将废水处理与生态重构有机结合，为露天金属矿山实现资源化利用与环境协调发展提供了新的理论支撑与技术方向。

2 基于生态修复理念的矿山废水处理与回用技术体系构建

基于生态修复理念的矿山废水处理与回用技术体系构建，核心在于通过自然生态过程与人工干预的协同作用，形成“源头削减—生态净化—循环利用”的多级耦合系统。矿山废水中含有多种难降解无机污染物和酸性成分，通过构建人工湿地与生态塘相结合的复合净化系统，可利用植物根系吸附、微生物降解及基质过滤等多重机制实现污染物去除。湿地植物如芦苇、香蒲、水葱等在吸收重金属和促进氧化还原反应方面表现出良好稳定性，结合铁锰氧化膜基质可进一步强化重金属沉淀与固定。生态塘区则承担水力调节和微生物强化反应的功能，通过生物膜反应和氧化还原界面过程改善废水理化特征，实现系统的自维持运行。

在技术体系的构建过程中，强调生物、化学与物理作用的协同强化。通过引入功能型微生物群落与生物强化填料，促进重金属离子与硫酸根离子的还原反应，降低废水中溶解态污染物含量。植物与微生物的互作关系形成稳定的生态修复界面，微生物可分解有机物并为植物根系提供营养物质，从而提升系统净化

效率。为增强生态系统的抗冲击能力，可在水流路径中设置生态滤床与分级沉降区，实现流量调控与水质均化。该技术体系不仅具备较高的污染物去除率，还可通过生物体和基质的自我调节作用保持长期稳定运行，减少人工维护和能源消耗。

在废水处理的基础上，回用体系的建立体现了资源化与生态化的统一。经处理后的水体可作为矿区除尘、绿化灌溉或生态湿地补水使用，实现内部水循环与生态平衡。通过在系统末端设置生态景观湿地，不仅起到深度净化作用，还能恢复区域生态功能，改善矿区微气候环境。整个技术体系以生态修复为核心理念，将“污染控制—水质改善—生态恢复—资源回用”有机衔接，实现了工程技术与生态学原理的融合。该模式在露天金属矿山的应用，既体现了绿色低碳发展的方向，又为矿区水资源管理提供了可持续的系统化解决路径。

3 构建生态循环型矿山水环境管理模式的实践与成效分析

构建生态循环型矿山水环境管理模式，是实现矿山可持续发展的重要路径。这一模式以系统生态学为理论基础，以废水治理、生态修复与资源回用为核心目标，通过多要素耦合实现污染削减与生态平衡共生。管理体系中引入生态循环理念，将矿山废水、雨水径流与生态补水纳入统一调控框架，构建“污染源控制—生态净化—再生利用—系统反馈”的闭环机制。通过在矿区布设分区式湿地群、生态塘及生物滞留区，水体在多介质、多生物环境中循环净化，形成具有自调节能力的生态系统。系统在运行过程中兼顾地形特征与水动力条件，利用自然能量流动与生物多样性维持，实现废水的长期稳定治理与生态功能恢复。

在实际应用中，生态循环型矿山水环境管理模式

表现出显著的生态与工程成效。通过构建多级生态净化单元，矿区废水中重金属离子、悬浮物及有机污染物得到有效去除，出水水质稳定达到回用标准。生态湿地系统在运行中形成植物—微生物—基质三维共生结构，显著提升系统的净化效率和抗冲击能力。通过实时监测与动态调控，可实现水质的阶段性优化与生态系统自我修复的良性循环。在部分试点矿山，回用水比例已超过70%，同时湿地周边生态植被恢复率明显提高，局部区域水体生物群落多样性显著上升，表明该模式不仅在污染控制方面具备技术可行性，也在生态恢复层面取得显著成果。

该管理模式的推广与实践体现了从单一治理向综合管理的转变。通过建立生态监测体系和数据驱动的决策平台，对水体理化参数、生态指标及生物群落结构进行持续跟踪，实现动态管理与系统优化。生态循环理念的引入使矿山废水处理由“末端治理”向“全过程管理”延伸，将污染防控、资源利用与生态修复融为一体。该模式在不同类型的露天金属矿山中均展现出良好的适应性与可复制性，不仅显著降低了污染物排放强度，也重塑了矿区生态格局。通过多层次生态单元的协同作用，实现了水环境质量提升、生态系统稳定与资源高效利用的统一，充分展现出生态修复驱动下的现代矿山水环境管理新格局。

4 结语

生态修复理念的引入为露天金属矿山废水治理与资源回用提供了系统化思路。通过构建生态循环型管理模式，将污染控制、生态修复与资源利用有机结合，实现了从工程治理向生态重建的转变。该模式不仅提升了矿山水环境质量，还促进了生态系统的自我恢复与区域可持续发展。以自然规律为导向的技术体系为矿山生态文明建设提供了科学支撑，也为复杂矿区环境治理提供了可推广的范例。

参考文献：

- [1] 王立新.基于生态修复的矿山废水治理技术研究[J].环境工程学报,2021,15(4):1221-1230.
- [2] 陈海峰.露天矿山废水处理与生态恢复模式探讨[J].有色金属科学与工程,2020,11(6):89-96.
- [3] 李志强.矿山生态修复与废水循环利用技术体系构建[J].中国矿业,2022,31(3):45-52.