

# 尾矿库闭库后土地复垦技术方案及对策研究

罗昌民 姚 斌

重钢西昌矿业有限公司 四川凉山 615041

**摘要：**尾矿库闭库后的土地复垦不仅是环境修复的迫切需求，更是实现矿区生态安全与可持续发展的关键环节。本文系统梳理了尾矿库闭库背景及土地复垦的现实需求，深入剖析土壤污染、土地利用限制和复垦管理的复杂难题。针对这些问题，提出了基于土壤改良、生态植被建设、水土保持和监测评价等多维度的技术措施，强调复垦过程中的技术集成与管理协同。特别关注复垦后土地的长期维护，提出持续管理策略以确保复垦效果稳固。通过创新思维与技术整合，文章为尾矿库闭库土地复垦提供了具有操作性的解决方案，助力矿区实现环境与经济的双重平衡。

**关键词：**尾矿库闭库；土地复垦；土壤改良；生态恢复；持续管理

## 引言

尾矿库作为矿产资源开采的副产物，其闭库后的环境风险和土地复垦问题日益突出。矿区地质结构和土壤条件复杂，长期的尾矿堆积导致土壤质量下降，生态功能受损，土地使用受限，严重制约了区域的可持续发展。土地复垦不仅是恢复生态环境的技术任务，更关乎社会责任与资源合理利用。科学有效的复垦策略需兼顾生态修复、土地功能恢复及管理机制创新，既要求技术层面的精准施策，也依赖政策和管理体系的支持。本文立足尾矿库闭库后的实际困境，剖析核心问题，探讨土地复垦的系统技术措施与管理策略，力图在环境安全与经济利用之间寻求平衡点，推动矿区生态文明建设向纵深发展。

## 一、尾矿库闭库及土地复垦基本情况

### 1. 尾矿库闭库的背景介绍

矿山企业尾矿库闭库是对生产环节的一种终结，也是企业生态环境管理的关键环节。“尾矿库闭库”是矿山的安全生产风险结束之时，也是企业社会性的责任与担当之时。尾矿库的建设，必定会遗留出难以预见的土地问题和水资源安全问题，对矿山开采形成的大量尾矿进行处理，是与新政策、生态环境监管责任下，对矿山遗留矿产资源的再利用，对矿区未来可持续发展过程中的先知、预见性行动。

**作者简介：**罗昌民（1971-）男，汉族，四川宜宾人，本科，高级工程师，研究方向为冶金矿山工程技术、工程管理。

## 2. 土地复垦的需求分析

土地复垦需求特征。尾矿库闭库后土地的需求十分多样，存在农业生产、工业开发、人居环境需求等多种特征，直接后果是对尾矿堆积区域土地造成了高度的退化，土地生态系统和人文系统的结构发生变化，造成的后果直接影响到当地土地的农业生产、林业生产以及生态功能的恢复，复垦的根本性需求是为了恢复土地生产和生态功能、保障区域的生态安全，避免出现二次环境风险问题，此外，社会经济因素使复垦成为矿区社区对土地资源重新利用的必要途径，复垦问题纳入社会稳定的重要工程，复垦需求应基于科学评估与精准匹配，既要体现生态价值也要体现经济效益价值。

## 二、尾矿库闭库后存在的主要问题

### 1. 土壤污染及其成因探讨

尾矿库土壤污染现状严重，污染物主要为重金属及有毒化学物质，是尾矿的矿物残留物质及开采辅助化学剂，污染元素在长期暴露风化水的冲蚀下，对周围土地和水体造成广泛的影响，破坏了土壤的结构，土壤肥力严重降低，还有部分重金属元素以易生物利用状态存在，影响植物生长和生态环境安全。尾矿库堆积不均匀、防护不足引起扩散，管理不当使得尾矿库周围渗滤液时常泄漏，很难从根本上控制尾矿污染现状。由于污染源多，治理困难且耗时长，为尾矿库污染问题的控制造成了很大挑战。

### 2. 土地利用限制及环境影响

尾矿库闭库后，土地的结构疏松、承载能力不强，因此利用其作为土地的功能非常有限。一般农业生产以及土地作为建筑承载的利用很难在尾矿库的闭库后实现，

土地利用功能受限阻碍了经济的恢复。尾矿堆积区域改变水文的特性,引起积水、径流等区域,易对周围生态环境造成不良影响。尾矿库堆积区生物多样性丧失,生态系统恢复很困难,很难实现自然的生态修复,导致其生态环境退化迹象非常明显。作为环境功能的土地生态环境得不到有效体现,其对区域气候的影响和水土保持能力减弱,地区易发生洪灾和滑坡等。尾矿库闭库后的功能受限与区域的生态环境退化形成一个恶性循环局面,对其后的闭库后期土地利用与环境治理问题解决具有较大的难度。

### 3. 复垦过程中技术与管理难题

复垦的技术瓶颈主要体现在污染修复技术和土壤重建技术2个方面。污染物稳定和污染迁移的控制要在不同矿物组成下设计复杂的修复技术方案,且修复效果评价时间长,技术成本高;土壤重建和植被重建技术受到土壤理化性质差、养分少的限制,常规复垦技术难以控制;复垦管理涉及的部门多,资金投入不足、监管机制不健全和复垦实施难度大,造成复垦进展缓慢和复垦效果不佳;由于管理体制和复垦技术方案不协调,复垦过程中资源整合效率低,难以持续形成闭库后土地利用体系<sup>[1]</sup>。

## 三、尾矿库闭库后土地复垦关键技术措施

### 1. 土壤改良技术的应用要点

现有尾矿库闭库后的土壤质量较低劣,因此土壤修复以基本实现土壤的生态功能为出发点,技术措施需要同时从物理、化学和生物3个方面进行综合施加,形成多方位、立体的修复措施。在物理修复方面,主要是通过机耕、耙疏、掺入有机肥料等手段改善土壤的结构和空气含水量以及水容量、渗透量,提高后期的生物活性的实现条件;化学修复是为了针对土壤中存在的常见的重金属元素如Cu、Zn、Cd、Hg、Pb、As和V等的超常积累和土壤酸碱度不平衡等指标进行改善,以石灰、磷酸盐以及各种腐殖质等来进行修复,对酸碱度(PH)进行调整,同时补充各类养分,降低重金属毒害性的影响;在生物修复方面,主要是选择适当的微生物菌和菌根,通过土壤营养和有机物质分解和养分释放进行提高,以实现微生物和土壤生态系统活性的增加,提高生态修复的可能。技术措施的设计需要有针对性地根据具体的矿山和尾矿结构进行选择和应用,不要一味的采取一刀切的方法。在土壤修复中,需要针对土壤修复的类型进行分区处理,然后通过层状填土与覆盖相结合的方式,实现隔离和治理的综合促进;设计技术措施多步递进,初

级阶段针对快速恢复土壤的理化性质,中期间接实现修复土壤的化学性质,后期实现促进土壤生物性质的恢复,以确保修复过程中的持续性和稳定性;针对土壤修复,建立监测方案,实现相关指标的动态监控,在需要的时候对技术措施进行针对性的调控。生态风险敏感区还应结合防渗及稳定剂技术阻断污染物的扩散及次生的环境污染<sup>[2]</sup>。以科学的土壤修复方法为依托,可有效改善闭库尾矿土壤的理化性质,创设利于植物生长的条件,为复垦后的人工生态系统建设打基础。土壤修复应与后期生态植被建设相配套,成为技术流程中的重要一环,以利于复垦整体效率和可持续性的实现。

### 2. 生态植被建设技术方案

生态植生是尾矿库土地复垦关键技术,要以土壤改良的基础设计为参考,选好合适的植物类型与配置形式,充分发挥生态系统功能的重建。选植物要以乡土优势、深根性、对土地生态条件较敏感、耐低温等能力较强的先锋植被为主,同时满足植物丰富的多样性和空间复杂性结构,从而防止出现单一的植物生态脆弱状态;尽量设置多层植被,包括草本、灌木、乔木,植物群落层次的不同与叠加实现生态系统的多样性。设计恢复技术要有植生恢复系统化与阶梯性处理,要考虑种植区域及地块分层播种,对不同的区域实行不同的养护措施,不能一概而论。若有些地区属于干旱、盐碱严重的地区,增加使用一些生物手段,如菌根技术与植物激素等,提高植物的抗逆能力;配合机械方法、人工种植,选择适当时机,确定一个适宜的密度播撒;合理布设植物,达到植物能快速成活与成荫的目的,合理铺设覆盖物或生态毯,保护水土流失,提供土壤表层小生态环境的条件<sup>[3]</sup>。恢复措施的管理要以植物为考虑对象,也不能忽视植生群落及土壤微生物群落的同步演替,对植被的生长与生命监测以及生物多样性都要进行定期的调查,再根据调查数据动态恢复调整养护管理手段,防碍有害病害的产生、避免植被群落的生态失调状态。

### 3. 水土保持与排水系统设计

库后土地利用功能保持包括对尾矿库水土保持系统以及排水设施的构建,在设计上应以有效拦截径流及控制土壤冲蚀为出发点,合理调配库内水循环,保证植物根系获取所需的水分,防止冲蚀。在排水设计上以沟系为主体,在考虑地形、地质、降雨及土壤透水系数时进行分层次、分区布局,构建逐级水土保持模式,在易受侵蚀和冲刷部位,综合应用护坡、挡土墙、植被格室等方式,增强土壤抗蚀性能。此外,排水设计要求既要满

足排水功能性，又重视与环境的协调性，针对尾堆表层透水性差导致的雨水浸润造成的土壤盐碱化以及尾库渗漏等因素，进行多层排水设计，采用明渠、暗管、透水等结合形式，确保水能够顺利排走且不会对植物根系造成损害，同时在工程设计中加入储水、释水功能，在干旱时期对植物生长进行有效补充，重点应对夏季暴雨可能产生的雨季冲刷及滑塌隐患，在适宜位置开设紧急放水口，避免降雨对库表层土壤造成局部积水损坏的情况。在工程设计与施工中，应以低扰动的工程建设为核心，保证土壤结构基本不受到影响及减小工程建设带来的附加损伤，同时建立与之相匹配的长期运行养护体制，安排动态的观测和检查，在库区动态变化中及时观测水土保持、排水设施情况，及时作出应对和补救<sup>[4]</sup>。合理有效地进行水土资源利用与保护，确保土地复垦的生态环境以及工程安全。

#### 4. 土地复垦效果监测与评价

复垦效果评价需要包含多个评价因子，主要包括复垦土壤理化特性、复垦区域内潜在污染物水平、复垦植被覆盖度等指标，多维度评价复垦区内生态环境的恢复程度；需要克服时间上的短期思维，因此复垦效果评价的方案中，除常规的某一时段的样点调查外，复垦区域效果评价也需要一段时间内（如数年）的纵向样点调查。此外，可以以区域内生态环境原生水平作为判别尺度，进行定量化评价。采用遥感技术和无人机监测等信息采集手段，结合复垦效果评价的要求进行大面积、高频次的监测及信息数据采集，并提升复垦效果评价的空间分辨精度和速度。在数据处理的过程中，可通过统计学方法进行相关数据的统计分析，为复垦效果评价寻找主要影响因子，实现针对性的技术方案动态调控。评价的过程中也应加强各学科之间的相互融合，如生态学评价、土壤学评价、环境化学评价之间通过相互融合构建联合评价模型，从而实现定量的权重分配和多目标的综合评价。除技术之外，亦可以结合公众参与度的评价方法，如借助复垦范围内当地群众和社会第三方机构或组织的监督，完成基于区域内群众认知度的复垦效果的定性定量评价。

#### 5. 复垦后土地的持续管理措施

持续管理的策略核心是构建复垦土地的动态保护与利用机制。应设计分阶段的管理框架，涵盖土地使用规划、生态保护和风险防控三条主线。土地使用规划需要根据复垦地的不同生态恢复阶段，灵活调整土地利用类

型和强度，避免单一利用模式带来的生态压力。生态保护措施必须配备生物多样性维护和水土保持技术，强化对复垦区微环境的持续支持，保障生态系统功能稳定。风险防控方面，重点布置监测预警系统，对土壤侵蚀、重金属迁移及水质变化进行实时监控，及时识别潜在隐患。管理制度上，应推进“政府主导、企业参与、社区共管”的多元主体协作机制。明确责任分工，建立激励约束并行的管理机制，通过政策支持与资金保障确保管理措施的落地。引入市场化运作模式，例如生态补偿和绿色信贷，激发社会资本参与复垦后土地维护，增强资金持续性。技术支撑层面，利用信息化平台实现管理数据的集成与共享，提高管理效率与透明度。定期开展管理效果评估，推动管理体系的迭代升级，使复垦后的土地能够在动态环境中保持健康、稳定的利用状态。持续管理不仅是生态修复的延续，更是土地资源价值实现的保障。管理措施需贴合地方实际和生态承载力，避免管理一刀切，确保复垦土地在社会经济与环境效益之间达成最优平衡。

#### 结束语

因此尾矿库闭库后土地复垦不仅是一个多因素多变量的环境——技术——管理——社会的复杂系统工程，也需要先进的土地复垦工程技术、科学的土地复垦管理体系和长效机制。土壤整治技术与生态植被营建技术应该作为尾矿库闭库后土地复垦的关键技术保障，水土保持设计和排水措施的设计是尾矿库闭库后土地复垦工程稳定的保障，持续的动态监测与评估系统是尾矿库闭库后土地复垦是否可控或可调的条件，后续永久管理是复垦后矿区永续开发的持续保障。

#### 参考文献

- [1] 潘显卓. 榕江县八蒙梯矿尾矿库闭库治理设计及保障措施[J]. 石化技术, 2024, 31(7): 304-306.
- [2] 黄雷. 论尾矿库闭库后环境保护及土地再生利用[J]. 中国金属通报, 2023(1): 213-215.
- [3] 彭欣, 崔云霞, 赵修齐, 赵慕, 等. 南京市某闭库铜矿尾矿库土地再利用风险评估[J]. 环境影响评价, 2023, 45(4): 65-72.
- [4] 殷亚秋, 夏南, 丁晓东, 等. 海南岛尾矿库遥感调查与综合治理建议[J]. 世界有色金属, 2023(10): 139-141.