

# 矿产资源勘查与生态修复一体化技术体系构建及案例分析

刘德彬 许兵

山东省地矿工程勘察院 山东济南 250000

**摘要:** 矿产资源是工业发展的物质根基,其开发利用在推动经济增长时,也破坏了地表生态、地下水资源及区域生物多样性。在生态文明建设和“双碳”战略背景下,传统“先开发、后治理”“重勘查、轻修复”的矿业模式难以继,向绿色、低碳、循环转型成行业共识。但当前矿业活动中,地质勘查与矿山生态修复常被割裂,勘查数据未有效服务后续修复,致使修复工程缺乏针对性,成本高、效果差。为此,本文探讨构建矿产资源勘查与生态修复一体化技术体系,打破二者技术壁垒,实现全生命周期绿色管控。文章阐述了体系构建的理论逻辑与核心原则,剖析了关键技术链条,并结合某金属矿山案例,验证了勘查初期融入修复设计理念的可行性与成效。该模式能从源头控制生态扰动,降低成本,提升生态自我恢复能力,为绿色矿山建设提供技术范式与决策依据。

**关键词:** 矿产资源;绿色勘查;生态修复;一体化技术体系;全生命周期管理

## 引言

矿产资源是保障国家安全与国民经济建设的重要基石,其开发为工业化提供动力,但也造成了沉重生态代价。历史上,矿山企业重短期效益,忽视地质勘查对环境的影响,缺乏将勘查资料用于生态修复的意识,导致矿区植被破坏、水土流失等问题频发。如今,“绿水青山就是金山银山”理念深入人心,绿色矿山建设标准不断完善,协调资源开发与环境保护成为矿业重大课题。传统矿山生态修复侧重末端治理,难度大、成本高且方案难精准。将生态修复理念前移至勘查阶段,构建一体化技术体系,实现全过程闭环管理,是破解矿业环保困境的必然选择,可推动开发与保护协同共生。

## 一、矿产资源勘查与生态修复一体化的理论逻辑与构建原则

### (一) 全生命周期管理的理论基础

矿产资源勘查与生态修复一体化技术体系的构建,深植于循环经济学与全生命周期评价(LCA)理论之中。在传统的线性矿业经济模式下,矿产资源的流动遵循“勘查—开采—加工—消费—废弃”的单向路径,末端治理模式虽在一定程度上缓解了污染,但未触及资源利用方式的本质变革。一体化技术体系则强调将矿业活动视为一个有机的生命周期,生态保护不应仅是开采结束后的补救措施,而应贯穿于矿产资源的发现、评价、开采及闭坑的全过程。在这一理论框架下,勘查阶段不

仅承担着查明矿产储量的任务,更肩负着对矿区生态环境进行本底调查与承载力评估的使命。通过建立从预查、普查、详查到勘探的完整环境数据链条,为后期的矿山设计、开采工艺选择及生态修复工程提供详实、连续的科学依据。这种全生命周期的管理视角,促使矿业活动从被动应对环境问题转向主动规避环境风险,从根本上改变了矿业与生态对立的局面。

### (二) 生态优先与保护优先的导向原则

坚持生态优先、保护优先是构建一体化技术体系的根本遵循与核心导向。在部署地质工作时,必须将环境承载力作为刚性约束,置于经济效益分析之前。这意味着在技术体系的设计与实施中,对于生态红线区、水源涵养区、地质遗迹保护区等环境敏感区域,应建立严格的准入机制与负面清单制度,限制甚至禁止高强度的勘查活动。构建过程中,需贯彻“在保护中开发,在开发中保护”的原则,将生态环境成本纳入技术方案比选的核心指标体系。无论是在勘查网的布设、槽探工程的施工,还是钻探机场的选址,都需进行多方案的环境影响比选,择优选择对地表扰动最小、植被破坏最少的环境友好型路径。通过制度性的约束与技术性的规范,促使矿业活动主动适应生态环境的内在规律,确保资源开发不逾越生态底线。

### (三) 系统性与整体性协同原则

矿产资源勘查与生态修复是一个涉及地质学、采矿工程、环境科学、土壤学、水文学及生态学等多学科交

叉的复杂系统工程。一体化技术体系的构建必须遵循系统性与整体性协同原则，打破单一学科视野的局限，实现多学科技术的深度融合。这就要求在技术集成上，不仅要关注地质找矿的技术指标，更要统筹考虑地形重塑、土壤重构、植被恢复及景观重建等修复工程的技术需求。例如，在勘查阶段获取的岩土体物理力学参数、地层结构信息及水文地质数据，不仅用于矿体评价，更应作为后期矿山边坡稳定性分析、地下水资源保护及土地复垦工程设计的依据。通过构建“地质勘查—环境监测—生态修复”的有机整体，实现数据共享与流程协同，从而提升技术体系的整体效能与综合效益，避免出现“勘查不管修复，修复不顾勘查”的脱节现象。

## 二、一体化技术体系的核心框架与关键技术支撑

### （一）绿色勘查技术与源头减抗控制机制

绿色勘查技术体系是一体化技术体系的先导环节，其核心在于通过技术创新实现地质找矿与环境保护的双赢。在勘查手段上，大力推广“以钻代槽”、航空遥感、深部地球物理探测及无人机测绘等技术，旨在大幅减少地表大规模开挖的槽探、坑探工程，从源头降低对地表植被和土层结构的破坏。对于必须施工的地表工程，采用模块化、轻便化、可搬运的钻探设备，并引入便携式土壤修复机与生态护坡技术，做到“施工一段、恢复一段”，将生态影响控制在最小范围内。在钻探过程中，全面推广使用无毒、无害、可降解的环保型钻井液，建立完善的泥浆循环净化与固液分离系统，防止废液渗漏污染地表水与土壤。此外，利用高分卫星遥感与无人机巡检技术，对勘查现场的植被恢复率、土壤侵蚀模数进行实时动态监控，确保勘查活动始终处于可控的生态扰动阈值之内，真正落实“绿色勘查”的环保承诺。

### （二）矿山生态环境精准诊断与评估技术

精准的诊断与评估是制定科学修复方案的前提与基础。依托一体化技术体系，应在矿产勘查阶段同步开展高精度的矿山生态环境本底调查。利用高分辨率卫星遥感、激光雷达及三维激光扫描技术，构建矿区高精度数字地形模型（DEM），精确识别潜在的地质灾害隐患点、地形地貌特征及生态系统脆弱区。同时，系统采集矿区土壤、水系沉积物及地表水样品，运用化学分析与光谱分析技术，查明重金属含量、pH值、有机质含量及土壤肥力等关键理化指标，建立矿区环境污染与生态质量数据库。结合地理信息系统与地统计学分析方法，开展矿山生态环境质量综合评价与生态损毁预测，明确矿区生

态损毁的类型、面积、程度及演变趋势。这一阶段的精准诊断，为后续的分类施策、靶向修复提供了坚实的科学依据，避免了修复工程的盲目性与资源的无效投入，确保修复措施“药到病除”。

## 三、一体化技术体系的实施路径与工程策略

### （一）勘查阶段的地质环境一体化调查模式

实施路径的起点在于将生态修复要素深度融入矿产勘查的全过程。在矿产预查与普查阶段，应同步部署地质找矿与环境地质调查工作，实行“双轨制”作业。地质填图人员在记录地质构造、矿化线索的同时，需详细记录地形地貌特征、植被类型、覆盖率、土壤层厚度及水土流失状况等生态要素，编制专门的矿山生态环境图系。针对不同勘查阶段，制定差异化的环境保护措施。在详查与勘探阶段，开展钻探与坑探工程时，应同步采集岩芯进行地球化学分析，查明伴生有害元素的赋存状态、含量及迁移规律，预测开采后可能产生的酸性矿山废水风险与重金属污染范围。通过这种一体化调查模式，形成地质资料与环境资料并重的综合成果报告，从源头上消除因地质资料不全、环境底数不清导致的后续修复难题，为矿山总体规划提供全方位的数据支撑。

### （二）开采过程中的动态修复与同步治理策略

传统的矿山修复往往滞后于开采进程，导致生态赤字长期累积，最终治理难度呈几何级数增加。一体化技术体系倡导“边开采、边治理、边恢复”的动态修复策略。依据勘查阶段获取的地质环境数据，编制分阶段的矿山地质环境保护与土地复垦方案，并将其作为开采设计的强制性组成部分。在采矿作业过程中，充分利用矿山开采剥离的表土资源，进行单独堆存与妥善养护，作为后期土地复垦的珍贵土源。对于已形成的采空区、排土场及废石场，及时开展地形整治、植被重建与水土保持工程。例如，在排土场堆置过程中，通过控制堆放坡度、分层压实及构建内部排水系统，防止边坡失稳引发滑坡泥石流，并同步种植耐旱、耐贫瘠的先锋植物进行固土护坡。这种动态修复模式将庞大的生态修复工程分解在开采周期的各个阶段，有效降低了单一时期的治理压力与资金投入，缩短了生态恢复周期，使矿山生态系统在服务期内始终保持一定的功能水平。

### （三）闭坑后的生态功能整体提升与长效监管

矿山闭坑并不意味着生态修复的终结，而是生态系统服务功能整体提升的新起点。在这一阶段，一体化技术体系侧重于生态系统的自我维持能力构建与生物多样

性的恢复。基于前期的环境监测数据与修复效果评估,对修复区域进行精细化的土壤改良,施加有机肥、生物炭或微生物菌剂,改善土壤理化性质,提高土壤肥力与微生物活性。依据近自然林业与生态学原理,筛选适应当地气候与土壤条件的乡土植物物种,模拟自然群落结构进行乔、灌、草复层种植,构建结构复杂、物种丰富的稳定植被群落,增强生态系统的抗逆性与稳定性。同时,建立人工湿地或生态廊道,增强矿区的景观连接度,为野生动物提供栖息地。建立完善的长效监管机制,定期对矿区水质、土壤及植被生长状况进行监测与评估,对生态系统不稳定的区域进行微调与优化,最终实现废弃矿山向绿水青山的彻底转变,使其融入区域生态安全格局。

#### 四、典型案例分析:某金属矿山的绿色勘查与生态修复实践

##### (一) 项目背景与生态环境挑战

以我国西南地区某多金属矿山为例,该矿区地处高山峡谷地带,地形陡峭,切割强烈,植被覆盖率高,属于典型的生态脆弱区。该矿山成矿地质条件优越,但以往粗放的勘查活动留下了大量的探槽、剥土及废弃钻机平台,导致地表植被大面积破坏,原生土壤层流失严重,水土流失强烈,部分区域甚至出现了浅层滑坡与泥石流隐患。此外,勘查遗留的废渣随意堆放,在雨水淋滤作用下导致下游水体出现重金属超标现象,严重威胁着长江上游的生态安全与当地居民的生产生活。为解决这一难题,改变传统的勘查开发模式,项目组决定引入矿产资源勘查与生态修复一体化技术体系,旨在在实现深部找矿突破的同时,最大程度地保护并修复矿区生态环境,探索一条绿色矿业发展的新路径。

##### (二) 一体化技术体系的应用成效

在该项目中,技术团队首先采用了“航空高光谱遥感+地面高密度电法+广域电磁法”的深部找矿组合技术,替代了传统的大面积槽探工程,大幅减少了地表开挖量,直接避让了生态敏感区与地质灾害隐患点。对于必须施工的钻孔,采用全液压便携式模块化钻机,并结合履带式运输平台,减少了对林地的砍伐。施工中全面实施“泥浆不落地”处理工艺,配备移动式污水处理站,确保钻井液全部循环利用或达标处理。勘查结束后,

立即利用钻探产生的废渣回填废弃的探槽,并利用储存的表土进行覆盖,撒播草籽进行复绿。在生态修复阶段,依据前期地质资料,构建了“截排水沟+植生孔+锚杆格构+植被混凝土”的综合防护体系,有效治理了高陡边坡。同时,筛选当地耐性植物如芒草、刺槐、爬山虎进行复绿,植被成活率达到95%以上。经过三年的持续监测,矿区水土流失量降低了80%,水体环境质量恢复至地表水Ⅲ类标准,不仅探明了新增金属资源储量,更让矿区生态系统得到了根本性修复,实现了经济效益与生态效益的显著提升。

#### 结语

构建矿产资源勘查与生态修复一体化技术体系,是新时代矿业绿色低碳发展、人与自然和谐共生的必由之路。理论探讨与案例分析显示,将生态保护理念融入地质勘查全程,打破技术壁垒,构建涵盖源头减扰、过程控制、末端修复与长效监测的全链条体系,可有效化解矿业开发与环境保护的矛盾。该体系从源头利用勘查数据指导修复,实现开发与保护协同。未来,随着人工智能等前沿技术融入,体系将更智能、精准、标准。我们需完善标准规范与管理机制,加强技术研发推广,鼓励企业探索应用,为美丽中国建设和国家能源资源安全提供支撑。

#### 参考文献

- [1]陈芝聪,卢方欣,蔡图,等.绿色矿山背景下露天矿山开采与修复管控研究[J/OL].有色金属(矿山部分),1-15[2026-01-08].
- [2]张向阳,张宗文,邹天远,等.基于文献计量学的矿山污染治理和生态修复研究现状及发展趋势[J].环境污染与防治,2025,47(10):123-134.
- [3]陈宇,杨华本,籍哲羽,等.中国东北浅覆盖区地质矿产绿色勘查实践与应用研究[J].黑龙江国土资源,2025,23(09):46-54.
- [4]李文涛,王亮.我国绿色矿山政策与建设发展动态分析[J].绿色矿山,2025,3(02):64-73.
- [5]石子立.废弃矿山地质环境治理中的关键地质问题研究[D].安徽理工大学,2025.000529.