

矿山复垦中的多功能生态湿地构建与设计

刘琳子

江苏省矿产地质调查大队 江苏 南京 210000

摘要：矿山开采引发的生态破坏与环境污染问题亟待解决，构建多功能生态湿地成为矿山复垦的关键路径。本文从生态修复、水资源循环、生物多样性恢复及可持续发展需求出发，系统阐述了生态湿地的构建原则。设计框架涵盖选址布局、水文土壤改良及生态单元构建技术，通过植物-微生物-水生动物协同作用实现污染物净化与生态服务功能叠加。提出政策法规完善、技术研发创新及长效监测机制等保障措施，为矿山生态修复提供科学范式。

关键词：矿山复垦中；多功能生态湿地；构建；设计

引言：多功能生态湿地作为一种仿自然生态系统，通过模拟自然湿地功能，可同步解决污染治理、水资源短缺及生物多样性衰退问题。其构建以生态修复为核心，兼顾景观营造与人文服务，形成“生态-经济-社会”复合价值体系。本文以矿山复垦为背景，分析多功能生态湿地的必要性，提出系统性设计原则与技术路径，旨在通过科学规划与工程实践，将废弃矿山转化为具有自我调节能力的生态单元，为全球类似环境治理提供理论支撑与实践方案。

1 矿山复垦中的多功能生态湿地构建的必要性

构建多功能生态湿地，成为矿山复垦中解决环境问题、实现可持续发展的关键举措。以下将从多个方面阐述其必要性：①应对矿山生态破坏。大量的露天开采使得地表植被被破坏，土壤结构受损，进而引发水土流失。矿山废弃物的堆积不仅占用大量土地，还会释放重金属、酸碱污染物等有害物质，污染周边土壤和水体。如金属矿山开采产生的尾矿中常含有铅、镉、汞等重金属，渗入地下后会污染地下水，对周边居民的饮水安全构成威胁。而生态湿地具有强大的生态修复功能，其丰富的植物群落和微生物可以吸附、降解污染物，改善土壤和水体质量，对受损生态环境进行有效修复。②实现水资源循环利用的。传统的矿山排水直接排放，不仅造成水资源的浪费，还会加剧水体污染。多功能生态湿地通过构建合理的水系和植物系统，能够对矿山废水进行有效净化。湿地植物可以吸收水中的氮、磷等营养物质，微生物则能够分解有机污染物，经过湿地处理后的水可以达到回用标准，用于矿山降尘、绿化灌溉等，实现水资源的循环利用，缓解矿区水资源短缺问题。③恢复生物多样性。多功能生态湿地通过模拟自然湿地生态系统，营造出多样化的生境，为各类生物提供适宜的生存环境。湿地中的水生植物、挺水植物、浮游生物等构

成复杂的食物网，吸引鸟类、鱼类等生物栖息繁衍，促进生物多样性的恢复，使矿区生态系统逐渐向良性方向发展。④促进矿区可持续发展。修复后的生态湿地不仅改善了矿区生态环境，还可以开发为生态公园、科普教育基地等，发展生态旅游，创造经济价值^[1]。良好的生态环境也能提升矿区的吸引力，吸引人才和投资，带动周边地区的经济发展，实现生态效益、经济效益和社会效益的统一。

2 多功能生态湿地构建原则

多功能生态湿地构建需遵循系统性、科学性原则，平衡生态修复与社会经济需求，具体如下：①生态优先。在构建过程中，充分调研区域气候、水文、土壤条件，模拟自然湿地的生态过程，选择乡土植物构建植被群落，避免外来物种入侵。通过科学配置湿地植物、微生物与水生动物，形成稳定的食物链与生态循环，确保湿地生态系统具备自我调节能力，实现污染物净化、生物多样性保育等基础生态功能。②因地制宜。根据矿山废弃地的地形地貌、污染类型及程度，制定差异化构建方案。如针对重金属污染严重区域，优先采用超富集植物联合微生物修复技术；针对地形起伏大的矿区，利用地形高差设计阶梯式湿地单元，实现雨水收集与净化。避免“一刀切”式设计，确保湿地系统与场地条件高度适配，提升修复效率与可持续性。③功能协同。在满足水质净化、生态修复等基本功能的基础上，叠加景观营造、科普教育、生态旅游等衍生功能。通过湿地植物的季相变化设计景观节点，或设置生态步道、科普标识，将生态湿地转化为兼具生态价值与人文属性的公共空间，促进矿区生态资源向经济价值转化。④技术可行。避免过度依赖高成本、高能耗的工程技术，优先采用自然生态修复手段。建立湿地生态系统的长期监测机制，实时掌握水质、生物群落等关键指标变化，动态调整管

理策略,确保湿地功能的持续性与稳定性。⑤多方参与。政府负责政策引导与监管,企业提供资金与技术支持,社区居民参与湿地管护与监督^[2]。通过建立利益共享机制,增强各方责任感,形成长效管护模式,保障湿地构建与运营的可持续性。

3 多功能生态湿地的设计框架与技术路径

3.1 选址与空间布局设计

选址与空间布局作需综合考量自然条件与功能需求,为后续建设奠定科学基础。在选址阶段,充分利用地理信息系统(GIS)技术,对矿山废弃地的地形地貌、水文条件、土壤类型及污染分布进行空间分析与叠加评价。地形方面,优先选择地势低洼、排水不畅区域,此类区域天然具备积水成湿的条件,能够降低工程改造成本;水文上,需分析区域水系走向、地下水位及径流路径,确保湿地选址具备良好的水源补给与排水条件,同时与周边水系形成有效连通,保障水体流动性,增强污染物稀释与净化能力。针对污染集中区域布局湿地,可有效拦截污染径流,减少污染物扩散风险。

空间布局设计需遵循功能分区与协同原则,将湿地划分为预处理区、核心净化区与景观缓冲带三大功能单元。预处理区作为湿地的“前置关卡”,主要通过设置沉淀池、格栅等设施,对流入湿地的水体进行初步处理,去除泥沙、悬浮物等大颗粒污染物,降低核心净化区处理负荷。核心净化区作为湿地的核心功能区,依据污染物类型与处理需求,通过科学配置植物群落与微生物系统,实现对重金属、有机物等污染物的深度净化。景观缓冲带位于湿地外围,融合生态与人文需求,通过种植观赏性植物、构建生态步道与休憩空间,将湿地生态修复功能与景观游憩功能相结合,提升湿地的社会服务价值。各功能区之间通过水系串联与地形过渡,形成层次分明、功能互补的空间结构,确保湿地系统高效运行。

3.2 水文与土壤系统设计

水文与土壤系统设计需紧密结合矿山废弃地特殊环境条件。在水文系统设计中,水位调控机制的构建尤为重要。通过设置调节池、溢流堰、闸坝等水利设施,建立动态水位管理体系。依据季节变化、降雨量及湿地功能需求,灵活调整水位高度,确保湿地植物根系处于适宜水分环境:水位过高易导致植物根系缺氧腐烂,水位过低则影响植物生长与污染物净化效果。优化水系水流路径,采用蜿蜒曲折的河道设计与多样化的水流形态(如跌水、漫流),延长水流在湿地内的停留时间,增加水体与植物、微生物的接触面积,强化污染物的吸附、降解过程。

土壤系统设计聚焦于结构改良与污染治理双重目标。矿山废弃地普遍存在土壤贫瘠、重金属污染等问题,需通过物理、化学与生物手段进行综合修复。物理改良方面,通过深翻、平整土地,改善土壤通气性与透水性;化学改良则采用添加石灰、生物炭等固化剂,对土壤中的重金属进行稳定化处理,降低其生物有效性与迁移性。通过添加有机肥、秸秆、腐殖质等物质,提升土壤有机质含量,改善土壤保水保肥能力,为湿地植物生长提供良好基质。根据不同植物对土壤条件的需求,分层配置土壤基质,如表层铺设富含有机质的种植土,底层填充透水性良好的砂砾石,形成适宜植物根系生长与污染物净化的土壤环境。

3.3 生态单元构建技术

生态单元构建是实现湿地多功能的核心路径,涵盖以下植物配置、微生物修复与水生动物引入三大技术体系。①植物配置需遵循适地适种原则,优先选用耐污染、适应性强的乡土植物,结合湿地不同区域的水位条件与功能需求,构建多层次、复合型植物群落。在浅水区,种植芦苇、香蒲、菖蒲等挺水植物,其发达的根系可拦截污染物、吸附重金属,同时为微生物提供附着载体;深水区则配置苦草、黑藻、狐尾藻等沉水植物,通过光合作用释放氧气,改善水体溶解氧含量,提升水质透明度。注重植物的季相变化与景观搭配,通过不同花期、叶色植物的组合,增强湿地生态美学价值。②微生物修复技术通过强化湿地土著微生物活性或引入特定功能菌株,提升污染物降解效率。针对矿山废水中的重金属与有机污染物,筛选具有吸附、转化功能的微生物(如重金属抗性菌、有机污染物降解菌),通过接种、营养调控等方式促进其在湿地环境中的生长繁殖。优化湿地溶解氧、pH值等环境条件,为微生物提供适宜的生存环境,实现污染物的生物转化与去除。③水生动物的引入则有助于构建完整的湿地食物网,通过投放鱼类、贝类、螺类等水生生物,控制藻类生长,减少富营养化风险;水生动物的活动可促进水体流动与物质循环,维持湿地生态系统平衡,提升生物多样性水平^[3]。通过植物、微生物与水生动物的协同作用,增强湿地生态系统的自我维持与自我修复能力,实现生态、环境与社会效益的有机统一。

4 矿山复垦中生态湿地构建与设计的保障措施

4.1 健全政策法规与标准体系

相关规定是生态湿地构建的顶层保障,需构建涵盖规划、建设、运营全流程的制度框架。①完善矿山复垦相关规定,明确生态湿地在矿山生态修复中的法定地

位,强制要求矿山企业将湿地构建纳入复垦方案,并通过法律条款约束企业履行生态修复责任。②制定生态湿地建设技术规范与验收标准,细化选址、设计、施工等环节的技术要求,明确水质净化效率、生物多样性恢复等量化指标,为工程实施提供统一参照。(3)建立生态补偿机制,对积极开展湿地复垦、生态效益显著的企业给予税收减免或财政补贴,对未达标的企业实施处罚,形成“激励+约束”的政策导向。推动跨区域、跨部门协同治理政策,打破行政壁垒,促进生态湿地与周边流域生态保护规划的衔接,保障区域生态系统的完整性。

4.2 强化技术研发与人才支撑

技术创新与专业人才是生态湿地科学构建的核心驱动力。在技术研发层面,加大对矿山生态修复关键技术的攻关力度,重点突破重金属高效固化、高污染废水深度净化、极端环境下湿地植物培育等难题。鼓励高校、科研机构与企业联合开展产学研合作,建立矿山湿地修复技术研发平台,加速科研成果转化应用。引入数字化技术提升设计与管理水平,利用地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)进行场地分析与动态监测,借助计算机模拟技术优化湿地水文、植物配置等设计方案,实现精准化、智能化建设。

人才队伍建设方面,加强生态修复领域专业人才培养,在高校增设矿山生态修复、湿地工程等相关专业或课程,强化理论与实践结合的教学模式。针对在职人员开展定期技术培训,普及最新的湿地构建技术与管理方法。此外,建立专家咨询机制,邀请生态、环境、工程等领域专家组成顾问团队,为湿地设计、施工及运营提供技术指导,确保工程符合科学规范与实际需求。

4.3 完善长效管理与监测机制

长效管理与动态监测是保障生态湿地持续发挥功能的关键。在管理机制上,建立多方参与的协同管理模式,明确政府部门的监管职责、企业的建设维护责任以及社区居民的监督权利,形成权责清晰的管理体系。制

定湿地运营维护手册,细化日常巡检、植物养护、设施维修等工作流程与标准,确保湿地系统稳定运行。探索市场化运营模式,通过引入专业环保企业或采用PPP模式,解决长期运维资金短缺问题,提升管理效率。

监测体系建设需构建“地面监测+远程监控”的立体化网络。在湿地关键点位布设水质传感器、气象站、生物多样性监测设备,实时采集水位、水质、植被覆盖度等数据;利用无人机、卫星遥感技术定期获取湿地生态系统的宏观变化信息^[4]。通过大数据分析 & 模型预测,及时掌握湿地运行状态,对水质恶化、植物退化等异常情况进行预警,并据此调整管理策略。建立监测数据共享平台,促进政府、企业、科研机构间的数据流通,为湿地的优化设计与科学管理提供数据支撑。

结束语:本文构建的多功能生态湿地体系,通过生态优先的顶层设计、因地制宜的技术路径及多方协同的保障机制,实现了矿山废弃地生态价值与经济价值的双重提升。该模式可有效修复重金属污染、改善水环境质量,并为区域生物多样性恢复提供栖息地。设计中的模块化功能分区与智慧监测系统,增强了湿地对气候变化的适应性,保障了长期运行稳定性。需进一步深化政企社协同治理模式,结合数字化技术优化运维效率,推动矿山生态湿地成为碳中和目标下的典型示范工程,助力全球矿业绿色转型与可持续发展。

参考文献

- [1]郭启明.矿山废弃土地复垦研究现状及生态重建构想[J].南方农机,2019,50(13):85-87.
- [2]张亚波.矿山废弃土地复垦研究现状及生态重建构想[J].绿色科技,2019(4):81-82.
- [3]李渊,刘双全,刘华驹.矿山土地复垦与生态恢复治理方法分析与探索[J].住宅与房地产,2020(03):281-282.
- [4]古琳,王志坤.基于矿山土地复垦与生态恢复治理方法分析[J].世界有色金属,2019(17):182-183.