 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i6.10644

Research on Green and Low-Carbon Civil Engineering Construction Technology System and Ecological Synergy Mechanism for Simandu Iron Mine

Shiyun Zhou

Overseas Engineering Branch of China Railway Fifth Bureau Group, Guiyang, Guizhou, 550003, China

Abstract

Against the backdrop of global resource development and green transition, large-scale mining civil construction faces multiple constraints including energy conservation, carbon reduction, efficient resource utilization, and ecological protection. The civil engineering construction at Simandu Iron Mine involves road networks, site leveling, foundation works, temporary structures, and supporting facilities, accompanied by massive earthwork mobilization, clustered machinery operations, long-distance material transportation, and surface ecological disturbances, exhibiting characteristics of high energy consumption, high emissions, and heightened environmental sensitivity. This study analyzes core constraints of green and low-carbon construction, explores technical system frameworks for construction organization, material utilization, energy allocation, machinery scheduling, process control, and ecological restoration, and proposes institutional, spatial, procedural, and accountability coordination mechanisms. The research concludes that green and low-carbon construction should be supported by full-cycle management and systematic integration, guided by ecological protection as a prerequisite, and achieved through synchronized development of technical systems and ecological synergy. This approach effectively enhances resource utilization efficiency, carbon emission control, and environmental adaptability, providing reference for green construction practices in large-scale mining projects.

Keywords

Simandou Iron Mine; green and low-carbon; civil engineering construction

西芒杜铁矿绿色低碳土建施工技术体系构建与生态协同机制研究

周时运

中铁五局集团海外工程分公司，中国 · 贵州 贵阳 550003

摘　要

在全球资源开发与绿色转型背景下，大型矿山土建施工面临节能降碳、资源高效利用与生态保护等多重约束。西芒杜铁矿土建施工涉及道路、场坪、基础、临建及配套设施建设，并伴随大体量土石方调配、机械集群作业、材料长距离运输和地表生态扰动，呈现高能耗、高排放和高环境敏感特征。文章分析绿色低碳施工核心约束，探讨施工组织、材料利用、能源配置、机械调度、过程控制与生态修复的技术体系构建，并提出制度、空间、过程与责任协同机制。研究认为，绿色低碳施工应以全周期管理和系统集成为支撑，以生态保护前置为导向，通过技术体系与生态协同同步构建，有效提升资源利用效率、碳排放控制和环境适应能力，为大型矿业项目绿色建设提供参考。

关键词

西芒杜铁矿；绿色低碳；土建施工

1 引言

矿山开发是资源保障体系中的重要组成部分，但其建设活动往往伴随较高的能源消耗、材料消耗和生态扰动，尤其在土建施工阶段，这种影响更加集中。西芒杜铁矿建设规模大、工序复杂、区域跨度广，土建施工既承担场地整备、道路修筑、基础施工和附属工程建设等任务，也承受着地表破坏、水土流失、扬尘噪声和施工排放控制等压力。传统矿山土建施工更关注工期、成本与进度，对碳排放核算、低碳技术集成和生态过程保护重视不足，导致施工活动中存在资源利用粗放、管理链条分割及修复措施滞后等问题。随着绿色矿山建设理念不断深化，土建施工不再只是工程实施环节，而逐渐成为矿山全生命周期绿色治理的重要起点。围绕

【作者简介】周时运（1990–），男，中国湖南湘乡人，本科，高级工程师，从事市政、公路工程、机场和铁矿土建工程研究。

西芒杜铁矿构建绿色低碳土建施工技术体系，并探索与生态保护相匹配的协同机制，对于推动项目建设方式转型、提高环境治理水平和增强工程可持续性具有较强现实意义。

2 西芒杜铁矿绿色低碳土建施工的现实需求与基本特征

2.1 大型矿山土建施工碳排放与资源消耗特征突出

与一般工业项目相比，大型铁矿土建施工呈现工程量大、作业连续性强和资源投入密集等特征[1]。西芒杜铁矿在场地平整、道路施工、构筑物基础、临建设施及排水边坡防护等环节中，需要大量使用水泥、钢材、砂石骨料及土石方回填材料，同时配套投入挖掘设备、运输车辆、压实机械和临时供能系统。这些环节共同构成了较高的直接与间接碳排放。材料生产过程中的隐含碳排放、机械燃油消耗产生的运行排放、运输组织中的能源消耗以及临建设施运维中的电力消耗，使土建施工成为矿山建设早期排放最集中的阶段之一。由此可见，西芒杜铁矿若要实现绿色建设目标，必须将土建施工纳入低碳治理的核心范围，而不能仅将其视作前期准备活动。

2.2 施工活动与生态扰动之间存在高度耦合关系

矿山土建施工不仅改变场地形态，也会重塑局部生态格局。清表、挖方、填方、便道开辟和弃渣堆置等活动，可能造成植被覆盖降低、地表径流路径改变、土壤结构破坏和生境碎片化加剧。若施工范围控制不严、排水系统布设滞后或临时占地恢复不足，扰动影响会随作业面扩展而逐步累积。西芒杜铁矿建设区域涉及复杂地表条件，施工面多、运输线长，一旦缺乏生态前置保护，后期修复成本和环境风险都会明显上升。正因如此，绿色低碳施工不能只关注能耗和排放指标，还必须把生态扰动控制纳入统一框架，使工程实施与生态保护同步规划、同步推进。

2.3 绿色低碳施工体系构建需要全周期视角支撑

传统施工管理往往以单工序、单目标控制为主，容易出现设计、施工、环保与修复相互分离的情况。西芒杜铁矿土建施工若仍沿用这种模式，就可能在局部工艺优化的同时忽视整体资源浪费和环境累积影响。绿色低碳施工体系的构建应突破单一技术改造思路，从前期策划、施工组织、材料选择、机械配置、能源利用、过程监测到阶段性修复形成完整链条。全周期视角意味着不仅关注施工当期排放，还关注材料来源、周转效率、临时设施拆除后的利用方式以及施工结束后的生态恢复成效。只有把各阶段关系打通，技术体系才能具备真正的系统性和持续性。

3 西芒杜铁矿绿色低碳土建施工技术体系的核心构成

3.1 以施工组织优化为基础的源头减排技术

源头减排是绿色低碳施工的首要环节，其关键在于通过组织优化减少不必要的资源消耗。西芒杜铁矿土建工程可在施工总平面布置阶段统筹便道、堆场、拌合站、弃渣区和临建设施位置，尽量缩短运输半径，减少重复倒运和临时道路无序延伸。通过分区施工、流水衔接和共享临建设施的方式，可以降低施工准备过程中的额外投入。对于土石方工程，应强化挖填平衡分析，优先实现区域内调配，减少外运与外购量。对关键工序的时序安排进行统筹，还可降低设备待机和窝工现象，提高机械利用率[2]。施工组织优化虽然不直接表现为某一种低碳装备，却是降低整体排放强度和提升资源效率的重要基础。

3.2 以低碳材料与循环利用为重点的资源替代技术

材料减碳是土建施工技术体系中的核心板块。针对道路基层、附属构筑物和非关键承载部位，可根据工程适用性推广低熟料胶凝材料、再生骨料混凝土和工业副产物掺和体系，降低传统高碳材料的使用比例。对于施工过程产生的部分土石方、碎石料和拆除料，可通过分类堆存、筛分处理和性能评估，用于回填、整形、基层铺筑及临时场地修复，实现资源再利用。模板、钢构件、围挡和临时设施材料也应建立周转管理机制，提升重复使用次数。这样既减少新材料采购产生的隐含碳排放，也缓解弃置压力和环境占地问题。资源替代技术的价值，在于将施工材料管理由一次性消耗逻辑转向循环利用逻辑。

3.3 以机械节能与能源配置为支撑的过程控制技术

西芒杜铁矿土建施工机械数量多、功率大，是施工阶段直接排放的重要来源。围绕这一特点，应构建以设备选型优化、运行状态管理和能源结构调整为核心的过程控制技术体系。项目可优先配置能效较高的施工机械，减少高油耗老旧设备长周期运行；建立设备点检与保养制度，防止因燃烧效率下降、液压系统异常和空载待机导致能源浪费；通过作业面协调减少机械等待与重复移动，提高单机作业有效时间。对于临建营地和固定施工点，还可结合条件引入更清洁的供能方式，降低传统高排放能源依赖。机械节能与能源配置技术的实质，是通过过程精细化管理把能耗控制嵌入日常施工运行，而不是单纯依赖事后统计和考核。

4 西芒杜铁矿绿色低碳土建施工技术体系的实施路径

4.1 构建面向全流程的低碳施工策划机制

技术体系要真正落地，必须先形成系统化策划机制。西芒杜铁矿土建施工可在项目启动阶段建立覆盖设计、施工、物资、设备和环保部门的联合策划机制，对排放热点、资源消耗节点和生态敏感区进行同步识别。基于施工内容和空间分布特点，形成分阶段低碳施工方案，明确土石方调配策略、材料替代目标、设备能源管控要求和阶段修复时序。低碳策划不应附属于一般施工方案，而应与工期计划、成本控制和环境保护方案并列设置，使其成为工程实施的基础约束之一。只有前期策划到位，后续技术应用才不会停留在零

散尝试层面。

4.2 构建面向现场运行的动态监测与调整机制

绿色低碳施工不是静态实施过程，而是需要根据现场变化不断调整。施工过程中应围绕机械油耗、材料消耗、运输距离、弃渣量、临建能耗和生态扰动面积等指标建立动态监测机制，及时掌握高耗能工序和异常波动环节。对于数据反映出的低效组织、无效运输和资源浪费问题，应结合周计划、月计划进行快速优化。动态监测的意义不仅在于记录排放，更在于通过持续反馈推动现场管理改进。例如，当某一作业面因道路绕行导致运输能耗升高时，应及时优化路线；当某类材料利用率偏低时，应调整配料和周转方案。通过监测、分析与纠偏形成闭环，技术体系才能具有持续有效的执行力。

4.3 构建面向阶段转换的修复衔接机制

土建施工往往具有明显的阶段性，一些区域在主体施工结束后会进入暂时闲置或等待后续安装阶段。若这些区域长期裸露，不仅会增加水土流失与扬尘风险，也意味着前期扰动得不到及时缓解[3]。为此，应建立施工与修复的衔接机制，对已完成作业的边坡、临时堆场、弃渣区和便道边缘及时实施整形、覆盖、排水处理和阶段性复绿。这样既能控制生态影响扩大，也可减少后期集中治理时再次投入大量机械和材料所带来的额外排放。修复衔接机制强调“边施工、边治理、边恢复”，是实现绿色低碳施工与生态保护协同推进的重要实践路径。

5 西芒杜铁矿生态协同机制的构建重点

5.1 建立生态敏感区识别与空间协同机制

生态协同的核心在于对施工空间进行科学差异化管理。西芒杜铁矿土建施工应在开工前充分结合区域地形、水系、植被分布及敏感生境，对施工区域划定严格保护区、重点控制区与一般施工区，形成空间分级管控体系。在施工布局设计中，应合理控制清表边界、便道宽度、堆场选址及弃渣场布置，避免施工活动对敏感区域造成过度侵扰。空间协同机制能够将生态保护要求前置到施工规划阶段，使低碳技术应用与生态约束在同一空间框架内同步运行，避免出现减排路径与生态避让相互冲突的情况。这种空间分级与协同管控方式不仅为后续施工组织提供明确边界，也为环境风险管理、材料调度和施工节奏控制奠定基础，从而在保障施工效率的同时实现生态敏感区域的有效保护。

5.2 建立施工过程生态保护与低碳措施联动机制

在土建施工过程中，多项施工措施同时具有减排和生态保护的双重效果，关键在于实现整合与协同。例如，优化运输路线既能减少能源消耗，也能降低对地表的扰动；表土分层剥离并就地保存，不仅减少后期外运和外购种植土排放，也为复绿提供原生材料；弃渣资源化利用既减少处置量，又利于场地整形和边坡恢复。生态协同机制应关注这些措施的联动点，将原本分散于施工、环保和物资管理的操作重新整合，形成一项措施多重目标的实施逻辑。通过这种整合，不仅能够提升管理效率和资源利用率，也减少各部门各自为政带来的浪费，同时为低碳技术在施工全过程中的有效应用提供支撑，使绿色施工理念得以在具体操作中落地，形成经济、环境和施工效益的协同优化。

5.3 建立责任协同与考核协同的管理机制

技术体系的完善若缺乏责任与考核支撑，绿色低碳目标难以持续实现。西芒杜铁矿应建立覆盖项目管理层、施工班组、设备管理人员及环保专责人员的责任协同机制，将碳减排和生态保护目标分解至具体岗位，明确任务边界与协作关系，形成多层次管理闭环。考核机制应避免将低碳指标与生态指标割裂设置，而应构建综合评价体系，将材料利用率、能源消耗强度、扰动面积控制及阶段恢复成效纳入统一考核，以强化责任落实和绩效驱动。通过责任协同与考核协同，施工团队能够将绿色低碳目标从理念层面转化为具体执行行为，使技术体系在施工现场得以落地和持续优化，增强施工管理的稳定性和可靠性，为大型矿山项目绿色低碳建设提供制度保障和实践路径。

6 结语

西芒杜铁矿绿色低碳土建施工技术体系构建与生态协同机制研究，体现了矿山建设从传统粗放施工向系统化绿色建造转变的现实要求。面对施工规模大、材料投入高、机械运行强和生态扰动广等特征，单纯依靠某一项节能设备或局部环保措施，难以从根本上改善土建施工的高排放与高扰动问题。只有在全周期视角下，将施工组织优化、低碳材料替代、机械节能控制、动态监测反馈和阶段性修复等内容整合为完整技术体系，并以空间协同、过程协同、责任协同和考核协同机制加以保障，才能真正实现低碳施工与生态保护的统一。未来，大型矿山项目土建施工应进一步强化数字化管理、精细化核算与多专业联动，不断提升绿色低碳技术体系的适应性和可复制性，为绿色矿山建设与国际工程可持续发展提供更具实践价值的路径支持。

参考文献

[1] 高长涛,超细铁矿粉高炉炉料绿色低碳制备技术与应用.山西省,太原钢铁(集团)有限公司,2024-12-15.

[2] 刘伟,周文鹏.浅谈司家营研山铁矿三系列项目土建施工与设备安装相结合的研究与应用[J].信息化建设,2016,(05):156.

[3] 杏山铁矿低碳高效开采技术研究与应用[J].中国冶金,2024,34(05):136.