

露天矿山高陡边坡支护技术研究

胡寅 陆诗慧 陈浩然 许添宝

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 露天矿山高陡边坡支护对保障矿山安全生产意义重大。本文先阐述露天矿山高陡边坡支护核心技术体系, 涵盖技术分类、构成要素与适配性要求; 接着介绍刚性、柔性及复合支护关键技术应用; 随后说明施工关键环节, 包括前期准备、工艺流程、操作要点与过程管控; 最后提出技术应用核心要点, 涉及与地质条件适配、结构设计、质量管控及长期稳定性保障。通过构建完整体系, 为露天矿山高陡边坡支护提供全面指导。

关键词: 露天矿山; 高陡边坡; 支护技术; 施工环节; 稳定性保障

引言: 露天矿山开采过程中, 高陡边坡的形成带来诸多安全隐患, 如滑坡、崩塌等地质灾害, 严重威胁矿山作业人员生命安全与设备财产安全, 制约矿山正常生产运营。在此背景下, 高陡边坡支护技术成为保障矿山安全生产的关键环节。深入研究露天矿山高陡边坡支护技术, 构建科学合理的支护体系, 精准应用各类支护技术, 严格把控施工环节与质量, 对提升边坡稳定性、降低地质灾害风险、实现矿山安全高效开采具有不可忽视的重要作用。

1 露天矿山高陡边坡支护核心技术体系

1.1 高陡边坡支护技术分类

高陡边坡支护技术分类围绕支护作用机理与应用场景构建, 各类技术定位清晰、功能互补, 形成完整的支护技术体系^[1]。主动支护技术通过主动施加作用力约束边坡岩土体变形, 增强岩土体自身稳定性, 常见类型包括锚杆支护、锚索支护、喷锚支护及土钉支护, 适配不同地质条件下的边坡加固需求。被动支护技术通过设置防护结构抵御边坡岩土体滑动, 拦截边坡落石与坍塌体, 主要包括挡土墙、抗滑桩、护坡网及格构支护等, 侧重边坡灾害的被动防控。复合支护技术结合主动与被动支护技术的优势, 根据边坡地质条件与受力特征组合应用, 提升支护效果的稳定性与可靠性, 适配复杂地质条件下的高陡边坡支护需求。

1.2 支护技术核心构成要素

支护技术核心构成要素相互支撑、缺一不可, 共同奠定支护体系稳定运行的基础, 支撑支护技术充分发挥加固、防护作用。支护材料是核心基础, 需具备足够的强度、耐久性与抗腐蚀性, 适配露天矿山复杂的自然环境与受力条件, 保障支护结构长期稳定。支护结构是功能载体, 需根据支护技术类型优化结构设计, 确保结构布局合理、受力均匀, 能够有效约束边坡岩土体变形或

拦截灾害体。施工工艺是落地保障, 规范的施工流程的精准的施工操作, 能够确保支护材料与边坡岩土体有效结合, 充分发挥支护结构的功能, 避免施工偏差影响支护效果。监测反馈模块是优化支撑, 通过采集支护结构运行状态与边坡变形数据, 为支护技术优化与维护提供数据依据。

1.3 支护技术适配性核心要求

支护技术适配性核心要求聚焦支护技术与露天矿山高陡边坡实际工况的精准匹配, 是保障支护技术有效发挥作用的关键准则。适配要求需结合边坡地质条件, 分析岩土体性质、岩层结构及地下水分布, 选择适配的支护技术类型与结构形式, 避免支护技术与地质条件脱节。需兼顾边坡受力特征与变形规律, 根据边坡受力大小、变形趋势, 优化支护技术参数与施工方案, 确保支护结构能够有效抵御边坡受力、约束边坡变形。需适配露天矿山生产工况, 结合矿山开采进度、作业环境, 选择施工便捷、适配生产节奏的支护技术, 平衡支护效果与生产效率, 同时兼顾自然环境因素, 确保支护技术能够适应露天矿山风雨、温差等环境变化, 保障支护结构长期稳定。

2 露天矿山高陡边坡支护关键技术应用

2.1 刚性支护技术应用

刚性支护技术应用以高强度、高刚度支护结构为核心, 通过抵御边坡岩土体变形、承受边坡荷载实现加固防护, 适配岩土体强度较低、变形量较小的高陡边坡工况。锚杆(索)支护技术通过将锚杆(索)植入边坡岩土体内部, 与岩土体形成整体受力体系, 传递边坡荷载至深层稳定岩土体, 约束岩土体变形, 增强边坡整体稳定性。需优化锚杆(索)长度、间距及锚固深度, 确保与岩土体有效结合, 充分发挥承载与约束作用^[2]。喷射混凝土支护技术通过向边坡坡面喷射高强度混凝土, 形成致密防护层, 封闭边坡岩土体, 防止岩土体风化剥落,

同时增强坡面整体性,抵御坡面局部坍塌。需控制喷射厚度与强度,确保防护层与坡面紧密贴合,提升支护可靠性。挡土墙支护技术通过在边坡坡脚设置刚性挡墙结构,拦截边坡岩土体滑动,承受边坡侧向压力,限制边坡变形范围。需优化挡墙设计参数,保障结构强度与稳定性,适配边坡荷载特征,实现被动防护。

2.2 柔性支护技术应用

柔性支护技术应用以柔性结构为载体,通过自身变形适应边坡岩土体位移,分散边坡荷载,兼具防护与缓冲作用,适配岩土体变形量较大、地质条件复杂的高陡边坡工况。锚索框架支护技术结合锚索的锚固力与框架结构的约束作用,通过框架将边坡岩土体分割为独立单元,利用锚索传递荷载,约束边坡整体变形,同时减少坡面岩土体剥落,兼顾加固与防护功能。格构梁支护技术通过设置网格状刚性梁结构,覆盖边坡坡面,将坡面岩土体固定,分散坡面荷载,引导边坡排水,减少雨水对坡面的侵蚀,同时增强坡面整体性,适配坡面起伏较大的高陡边坡。柔性网支护技术通过铺设高强度柔性网覆盖边坡坡面,拦截边坡落石、坍塌体,缓冲落石冲击,同时允许边坡岩土体小幅变形,避免支护结构因变形过大损坏,适配易发生落石灾害的高陡边坡。

2.3 复合支护技术应用

复合支护技术应用结合刚性与柔性支护技术的优势,根据边坡地质条件与受力特征组合适配,实现优势互补,提升支护效果的稳定性与可靠性,适配复杂地质条件下的高陡边坡支护需求。刚性与柔性组合支护技术整合刚性支护的承载能力与柔性支护的变形适应性,通过刚性结构抵御主要荷载,柔性结构适应岩土体变形,减少支护结构应力集中,避免支护失效,适配岩土体变形不均匀的高陡边坡。多工艺协同支护技术融合多种支护工艺的核心优势,结合锚杆(索)锚固、喷射混凝土封闭、柔性网防护等工艺,针对边坡不同部位的受力与变形特征针对性应用,形成全方位、多层次的支护体系,强化边坡整体稳定性。

3 露天矿山高陡边坡支护施工关键环节

3.1 支护施工前期准备

支护施工前期准备是保障施工顺利开展的前提,聚焦施工基础条件梳理与准备工作落实。需全面梳理边坡地质条件与受力特征,结合支护技术选型方案,明确施工技术要求与质量标准。做好施工场地清理,平整作业区域,清理边坡坡面浮石、杂物,消除施工安全隐患。筹备施工所需材料、设备与人员,确保材料规格、性能符合支护要求,设备调试到位、运行正常,人员具备相应施

工资质与操作能力。同时做好施工技术交底,明确各岗位施工职责与操作规范,确保施工人员掌握施工核心要求,为后续施工奠定坚实基础。

3.2 支护施工工艺流程

支护施工工艺流程需遵循规范化、有序化原则,结合支护技术类型优化流程设计,确保各工序衔接顺畅、施工高效。流程始于坡面清理与修整,通过修整边坡坡面,确保坡面平整、坡度符合设计要求,为支护结构施工创造条件^[3]。随后开展支护材料处理与安装,根据支护技术要求,对锚杆、锚索、混凝土等材料进行预处理,规范完成材料安装与固定。后续进行支护结构强化施工,如喷射混凝土、铺设柔性网等,确保支护结构与边坡岩土体有效结合。最后完成施工收尾工作,清理施工场地,整理施工资料,形成完整施工记录,保障施工流程闭环。

3.3 支护施工关键操作要点

支护施工关键操作要点聚焦各施工工序的核心操作,规范操作流程、把控操作精度,避免操作偏差影响支护质量。坡面修整需控制坡面坡度与平整度,确保坡面无明显凸起、凹陷,为支护结构贴合提供保障。锚杆(索)安装需精准控制植入深度、间距与角度,确保锚固牢固,与岩土体充分结合,发挥锚固作用。喷射混凝土需控制喷射厚度、强度与均匀度,确保防护层致密、平整,与坡面紧密贴合,防止岩土体风化剥落。柔性支护安装需确保网体张拉到位、固定牢固,无松动、破损,充分发挥拦截与缓冲作用。

3.4 支护施工过程管控

支护施工过程管控聚焦施工质量、施工安全与施工进度全方位管控,确保施工过程规范有序。质量管控需实时检查各工序施工质量,重点核查材料性能、安装精度与施工工艺,及时发现并整改施工偏差,确保支护施工质量符合设计标准。安全管控需强化施工现场安全管理,设置安全防护设施,规范施工人员操作行为,防范高空坠落、落石等安全风险,保障施工人员人身安全。进度管控需结合矿山生产节奏,优化施工计划,合理调配人力、物力、财力,确保施工进度有序推进,平衡施工进度与施工质量,避免盲目赶工导致的质量与安全问题。

4 露天矿山高陡边坡支护技术应用核心要点

4.1 支护技术与边坡地质条件适配要点

支护技术与边坡地质条件适配要点是支护技术有效发挥作用的前提,聚焦支护技术与边坡地质状况的精准匹配,规避技术与实际工况脱节导致的支护失效^[4]。需全面分析边坡岩土体性质,明确岩土体强度、整体性及风化程度,选择适配的支护技术类型与结构形式,确保支

护技术能够针对性解决岩土体存在的稳定性问题。梳理边坡岩层结构与地下水分布,结合岩层产状、裂隙发育情况及地下水渗透特征,优化支护技术参数,强化支护结构对岩层滑动与地下水侵蚀的防控能力。适配边坡高差与坡度特征,根据边坡陡峭程度与高差大小,调整支护结构强度与布局,确保支护技术能够有效抵御边坡荷载,约束边坡变形。

4.2 支护结构设计核心要点

支护结构设计核心要点聚焦支护结构的合理性与可靠性,结合边坡受力特征与支护技术类型,优化结构设计,确保支护结构能够充分发挥加固与防护功能。需结合边坡荷载特征,精准计算边坡侧向压力、岩土体下滑力等关键荷载参数,以此为依据确定支护结构的强度、尺寸与布局,避免结构设计不足导致的支护失效。优化支护结构与岩土体的结合方式,确保支护结构能够与边坡岩土体紧密衔接,形成整体受力体系,提升支护结构的承载能力与约束效果。

4.3 支护施工质量管控要点

支护施工质量管控要点是保障支护技术落地效果的核心,贯穿支护施工全流程,聚焦施工各环节的质量把控,规避施工偏差影响支护质量。强化施工材料质量管控,严格把控支护材料的规格、性能与质量,做好材料进场检验与预处理工作,确保材料符合支护设计要求与行业标准,为施工质量奠定基础。规范施工工序管控,严格遵循施工工艺流程,把控各工序施工精度,重点管控锚杆(索)植入、喷射混凝土、柔性网铺设等关键工序的操作质量,避免操作不规范导致的质量隐患。加强施工过程质量检查,实时核查施工参数与施工效果,及时发现并整改施工偏差,确保支护施工质量符合设计标准,形成施工质量管控闭环。

4.4 支护技术长期稳定性保障要点

支护技术长期稳定性保障要点聚焦支护结构长期运行效果,应对露天矿山复杂自然环境与边坡动态变化,确保支护技术持续发挥稳定防控作用。建立完善的支护监测体系,实时采集支护结构运行状态、边坡变形及岩土体受力数据,及时捕捉异常变化,为支护维护与优化提供数据依据。加强支护结构日常维护,定期检查支护结构的完整性与可靠性,及时处理结构松动、破损、腐蚀等问题,延长支护结构使用寿命^[5]。适配边坡动态变化,结合矿山开采进度与边坡地质条件演变,优化支护技术与维护方案,及时补充加固措施,规避边坡变形加剧导致的支护失效,保障支护技术长期稳定发挥作用。

结束语

露天矿山高陡边坡支护技术的研究与应用是一项系统且长期的工作。从构建完整的支护核心技术体系,到精准应用各类关键支护技术,再到严格把控施工关键环节以及注重技术应用核心要点,每个环节都紧密相连、缺一不可。只有全面落实这些工作,才能确保露天矿山高陡边坡支护技术充分发挥作用,有效提升边坡稳定性,保障矿山生产安全有序进行,为露天矿山的可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 颜红迪,费汉强,李佳盛.降雨对露天矿山高陡边坡稳定性的弱化效应研究[J].采矿技术,2023,23(4):120-125.
- [2] 刘武.断层影响下露天矿边坡稳定性分析及优化[J].露天采矿技术,2022,37(6):82-85.
- [3] 李志强,王晓婷,陈伟.露天矿山高陡边坡稳定性控制与预裂爆破技术研究[J].矿业工程技术,2023,45(3):58-65.
- [4] 张鹏,赵俊杰,刘伟.预裂爆破在露天矿山边坡控制中的应用分析[J].现代采矿技术,2022,38(5):72-79.
- [5] 陈明,徐建国,高志远.露天矿山爆破振动控制与预裂爆破优化研究[J].岩土工程与矿山安全,2023,35(2):33-41.