

矿物加工工程中的高效节能策略

高敬文 杨朝志

河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿 山西 忻州 034000

摘要:为响应煤矿行业低碳转型需求,降低加工环节能耗成本,本文聚焦煤矿加工全流程,分析能耗构成、影响因素及节能潜力,提出针对性高效节能策略。从破碎磨矿、分选、脱水及辅助系统四大关键环节,明确设备升级、工艺优化、智能调控等实操措施,同时探讨智能化技术在能耗监测、参数优化及无人值守中的应用路径。研究构建了“环节管控+智能赋能”的节能体系,可精准定位能耗浪费点、提升能源利用率,为煤矿加工企业实现节能降耗与效益提升提供实操参考,助力行业绿色可持续发展。

关键词:矿物加工;煤矿;节能策略;智能化

引言:在双碳目标引领与煤矿行业提质增效要求下,加工环节高能耗问题成为制约企业发展的核心瓶颈。当前煤矿加工能耗集中于破碎磨矿、分选等环节,受原矿性质、设备工况及工艺设计影响,存在设备低效、能源浪费等痛点。节能改造既是企业降低运营成本的内在需求,也是践行绿色发展理念的必然选择。本文基于煤矿加工实际,系统梳理能耗规律,探索关键环节节能策略与智能化应用路径,为煤矿加工工程节能升级提供技术支撑与实践方向。

1 煤矿加工工程能耗构成及节能潜力分析

1.1 核心环节能耗分布

煤矿加工工程能耗集中于四大核心环节,其中破碎磨矿环节占比最高,达总能耗的40%-60%,球磨机、破碎机等设备因长时间高负荷运转,电能消耗显著。分选环节能耗占比15%-25%,重介分选系统的介质循环泵、跳汰机的风机及浮选机的搅拌装置是主要能耗源,尤其重介系统介质回收过程需额外消耗电能与水资源。脱水环节能耗占比10%-18%,节能型过滤机、离心机虽已逐步推广,但传统设备脱水效率低、能耗偏高问题仍存在于部分老旧煤矿。辅助系统(风机、水泵、压缩空气设备)能耗占比8%-12%,设备泄漏、负载不匹配等问题易造成能耗浪费。各环节能耗并非孤立存在,存在联动影响,精准掌握该分布规律,是后续针对性开展节能改造、实现全流程能耗管控的重要前提。

1.2 煤矿加工能耗影响因素

原矿性质是基础影响因素,煤矿原煤硬度、粒度组成及灰分含量直接决定破碎磨矿难度,硬煤及大块原煤需消耗更多电能破碎,高灰分原煤则增加分选环节的药剂与能耗投入。设备工况对能耗影响显著,老旧设备因效率衰减、部件磨损,能耗较新型节能设备高20%-30%,

而设备负载不稳定、空转率过高也会造成能源浪费。工艺设计合理性至关重要,传统单一磨矿、分选流程能耗偏高,缺乏预处理与联合工艺优化的生产线,难以实现能耗与效率的平衡,同时工艺参数设定不当也会加剧能耗损耗。

1.3 煤矿加工节能潜力评估方法

采用统计分析法,收集煤矿加工各环节能耗数据,结合生产产量、原矿指标等参数,核算单位产品能耗,定位高能耗环节。运用能量平衡法,对破碎磨矿、分选等环节进行能量输入与输出核算,分析能量损耗节点,量化节能潜力。借助对标法,对比同类型先进煤矿的能耗指标,结合自身生产条件,明确能耗差距及可优化空间。实际应用中,可通过现场测试设备运行参数、排查能耗浪费点,结合历史生产数据建模分析,为后续节能改造提供精准依据,确保评估结果贴合煤矿实操需求^[1]。

2 煤矿加工关键环节节能策略

2.1 煤矿破碎磨矿环节高效节能技术策略

破碎磨矿作为煤矿加工能耗核心环节,要从设备、工艺、系统控制三方面落实节能策略,精准降低单位能耗。(1)优化设备选型与升级改造。选用大型化、高效能破碎设备,替代传统中小型破碎机,减少设备台数与启停频次,提升单位时间处理量的同时降低单位能耗;更换低耗球磨机,搭配高效衬板与研磨介质,优化介质配比与填充率,降低研磨过程中的能量损耗。对老旧破碎磨矿设备进行针对性改造,修复磨损部件、优化传动系统,减少机械摩擦能耗,提升设备运行效率。(2)改进破碎磨矿工艺流程。推行“多碎少磨”工艺,强化预筛分环节,提前分离合格粒度物料,减少进入磨矿系统的物料量,降低磨矿负荷;采用阶段磨矿工艺,根据不同粒度物料的研磨需求,分阶段设置研磨参数,避免过度研磨

造成的能量浪费。整合破碎与磨矿环节,实现物料连续化处理,减少中间转运过程中的能量损耗与物料流失。(3)强化系统智能调控与负荷匹配。引入智能调速技术,根据原煤供给量与粒度变化,实时调节破碎机、球磨机的转速,实现设备负载动态匹配,避免空转或超负荷运行;搭建破碎磨矿系统联动控制平台,协调各设备运行参数,确保各环节产能均衡,减少因产能不匹配导致的能耗冗余。优化润滑系统,选用高效节能润滑剂,降低设备运转阻力,进一步缩减能耗。(4)控制入料条件与物料预处理。提前对原煤进行分级处理,剔除大块矸石与杂质,避免杂质对破碎磨矿设备的磨损与能耗增加;合理控制入料粒度均匀性,避免因粒度波动过大导致设备负荷突变,维持设备稳定运行状态,降低能耗波动。

2.2 煤矿分选环节节能优化策略

结合煤矿分选工艺特点,针对性优化重介、跳汰、浮选及干法分选系统,通过工艺调整与设备改造实现节能目标。(1)重介分选系统节能优化。优化介质循环系统,提升介质回收率,减少新介质补充量,降低介质消耗与相关能耗;选用低耗、高稳定性重介质,优化介质配比,提升分选效率的同时减少介质循环泵的运行负荷。改进介质净化回收设备,提升脱介筛、磁选机的工作效率,减少介质流失,降低循环系统的能耗投入。(2)跳汰与浮选工艺节能调整。跳汰分选环节,优化风量、风压参数,根据原煤性质精准调控跳汰频率与振幅,避免风量风压过高造成的能源浪费,同时保证分选效果;改进跳汰机进气系统,减少漏气现象,提升风能利用率。浮选环节,优化药剂添加方案,采用高效复合型浮选药剂,减少药剂用量,降低药剂消耗带来的间接能耗;调控浮选机搅拌速度与充气量,实现气、液、固三相高效混合,提升浮选效率,缩短浮选时间以节约能耗。(3)干法分选技术优化应用。针对缺水地区或低灰分原煤,推广干法分选工艺,规避湿法分选的水资源消耗与废水处理能耗;优化干法分选设备的分选参数,提升分选精度,减少后续再加工环节的能耗。改进干法分选设备的密封性能,减少粉尘外溢,降低除尘系统的能耗压力。(4)分选设备运行优化。定期对分选设备进行检修维护,清理设备内部积料与杂质,减少设备运行阻力;优化设备启停流程,避免频繁启停造成的能耗浪费,实现分选设备连续稳定运行。合理规划分选流程,根据原煤品质分批次分选,提升设备负载率,降低单位产品能耗^[2]。

2.3 煤矿脱水环节节能技术与工艺改进

围绕脱水设备升级、工艺优化与废水循环,构建脱水环节节能体系,减少能耗与水资源浪费。(1)高效脱

水设备选型与改造。选用节能型过滤机、离心机替代传统脱水设备,提升脱水效率,缩短脱水时间,降低单位物料脱水能耗;对现有脱水设备进行改造,优化过滤介质与脱水参数,提升滤饼含水率控制精度,减少二次脱水环节。升级脱水设备的传动系统与控制系统,实现自动化调节,避免人工操作不当导致的能耗冗余。(2)脱水工艺串联与一体化优化。推行预浓缩-过滤一体化流程,提前对矿浆进行浓缩处理,减少进入过滤设备的矿浆量,降低过滤设备负荷;优化脱水环节衔接,实现浓缩、过滤、干燥等工序的连续化运行,减少中间转运能耗。合理设置脱水阶段参数,根据矿浆浓度、粒度分布调整脱水压力、温度等指标,避免过度脱水造成的能源浪费。(3)脱水废水循环利用与能耗协同控制。搭建脱水废水回收循环系统,将过滤、离心分离产生的废水处理后,回用于分选、除尘等环节,减少新鲜水补充量与废水处理能耗;优化废水处理工艺,简化处理流程,降低废水处理过程中的药剂消耗与电能消耗。实现脱水系统与其他环节的能耗协同,根据整体能耗情况动态调整脱水设备运行参数,确保全局能耗最优。(4)脱水辅助系统节能优化。优化脱水设备的加热系统,采用余热利用或高效加热方式,替代传统电加热,降低加热能耗;改进设备密封性能,减少热量流失,提升能源利用率。合理规划脱水设备布局,缩短物料与废水输送距离,减少输送泵的运行能耗。

2.4 煤矿加工辅助系统节能改造策略

辅助系统虽单环节能耗占比不高,但整体覆盖范围广,通过系统性改造可实现显著节能效果,重点聚焦风机、水泵、压缩空气及余热利用等方面。(1)风机、水泵系统节能改造。对各环节风机、水泵进行变频改造,安装变频调速装置,根据实际运行需求动态调节转速,避免设备恒速运行造成的能耗浪费;优化风机、水泵的运行参数,匹配对应环节的产能需求,减少空载、轻载运行时间。定期清理设备叶轮、管道积尘与水垢,减少运行阻力,提升设备运行效率;更换低效老旧风机、水泵,选用高效节能型设备,从源头降低能耗。(2)压缩空气系统节能优化。开展压缩空气系统泄漏排查与治理,对管道接口、阀门等部位进行密封处理,减少空气泄漏,降低压缩机负荷;优化压缩机运行参数,根据用气需求调整排气压力,避免压力过高造成的能源浪费。合理布局压缩空气管道,缩短输送距离,减少压力损失;选用高效干燥设备,降低压缩空气干燥环节的能耗,同时提升空气质量以保护后续设备。(3)余热回收与梯级利用。梳理煤矿加工过程中的余热来源,包括磨矿设备散热、脱水加热余热、电机运行余热等,搭建余热回收系统,将余

热收集后用于车间供暖、矿浆预热等环节，替代传统供暖与加热设备，降低能耗。优化余热梯级利用流程，根据余热温度、热量大小合理分配用途，提升余热利用率，实现能源分级高效利用。(4) 辅助系统智能化管控。搭建辅助系统能耗监测平台，实时采集风机、水泵、压缩机等设备的运行参数与能耗数据，精准定位能耗浪费点；引入智能调控系统，实现各辅助设备的联动控制，根据加工环节产能变化自动调整运行状态，确保辅助系统与主工艺高效适配。建立设备定期维护制度，通过规范维护延长设备使用寿命，维持设备高效节能运行状态，避免因设备故障导致的能耗激增^[3]。

3 智能化技术在煤矿加工节能中的应用

3.1 能耗实时监测与大数据分析平台搭建

搭建覆盖煤矿加工全流程的能耗实时监测与大数据分析平台，实现能耗数据精准管控与节能方向精准定位。(1) 拓宽监测覆盖范围，针对破碎磨矿、分选、脱水及辅助系统，部署高精度能耗采集终端，实时捕捉设备电流、电压、功率及介质消耗、水资源用量等多维度数据，确保数据采集无死角、无延迟，为节能分析提供完整数据支撑。(2) 强化大数据分析能力，通过平台算法对海量能耗数据进行分类处理、趋势研判，精准识别能耗异常波动节点与高能耗环节，生成能耗分析报告与节能优化建议。同时搭建数据共享机制，实现能耗数据与生产参数联动分析，为后续智能调控提供数据依据。

3.2 智能优化控制系统在分选、磨矿环节的应用

依托智能优化控制系统，实现分选、磨矿环节参数动态适配，以精准调控替代人工操作，降低无效能耗。(1) 在磨矿环节，系统结合原煤性质、入料量及能耗数据，自动调节破碎机转速、球磨机介质填充率与研磨时间，实现负载动态匹配，避免过度研磨或空载运行，维持磨矿系统在最优能耗状态下运转。(2) 在分选环节，系统实时反馈分选效果与能耗参数，自动优化重介循环泵压力、跳汰机风量风压及浮选药剂添加量，协调各设备运行参

数，在保证分选精度的前提下，最大限度降低分选环节单位能耗，提升能源利用效率。

3.3 无人化值守对加工系统能耗的优化作用

推行无人化值守模式，通过自动化运行与智能管控，减少人为操作偏差，实现加工系统能耗精细化控制。(1) 优化设备启停与运行管控，无人化系统按生产计划自动启停设备，规避人工操作导致的频繁启停、负载失衡等能耗浪费问题，维持系统连续稳定运行，降低单位产品能耗。(2) 强化设备运维与能耗协同，系统实时监测设备运行状态，提前预警设备故障隐患，避免因设备故障导致的能耗激增，同时结合能耗数据自动调整运维周期，通过精准运维保障设备始终处于高效节能运行状态，进一步压缩能耗冗余^[4]。

结束语：本文围绕煤矿加工工程高效节能目标，形成了覆盖核心环节与智能应用的完整策略体系，兼顾技术实操性与行业适配性，可有效解决加工环节能耗偏高问题。从工艺优化到智能赋能的多维措施，为煤矿企业搭建了清晰的节能改造框架。未来需进一步推动节能技术与智能化深度融合，优化适配不同原煤特性的节能方案。持续深化节能管理与技术创新，将为煤矿行业实现低碳转型、提升核心竞争力注入持久动力，助力构建绿色高效的加工体系。

参考文献：

- [1]牟景成.煤矿节能减排的相关问题探讨[J].清洗世界,2024,40(10):178-180.
- [2]王雪娇,吴婷,邱丹,易亮.论述矿物加工工程技术发展和研究新领域[J].世界有色金属,2023,(18):226-228.
- [3]田田.矿物加工工程技术发展与探析[J].山西化工,2023,43(06):33-34+38.
- [4]张勇,朱宏政,朱金波,王传真.矿物加工工程数学模型在智能化选矿背景下的应用分析[J].山西焦煤科技,2024,48(5):18-20+54.