电气自动化节能技术在有色金属矿山中的应用分析

朝鲁门

(新巴尔虎右旗荣达矿业有限责任公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021300)

摘要 电气自动化节能技术是提高有色金属矿山能源利用效率、降低生产成本的重要手段。本文从矿山电力系统优化控制、能量回收利用、电气传动系统节能优化三个方面系统分析了有色金属矿山电气自动化节能的关键技术, 通过构建矿山电气自动化能效评估体系, 建立能效评估指标、模型与方法, 开发能效管理平台, 为矿山能效提升提供决策依据; 结合铜矿选矿厂和铅锌矿采区两个典型案例, 分析了关键节能技术的应用效果, 证实了有色金属矿山电气自动化节能技术的可行性和经济性。研究成果旨在为有色金属矿山节能提供理论指导和实践参考。

关键词 有色金属矿山; 电气自动化; 节能技术; 能效评估

中图分类号: TD85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.10.012

0 引言

有色金属矿山是国民经济的重要基础产业, 但同时也面临着能源消耗高、环境污染重等问题。随着能源价格不断上涨和环保压力日益增大, 节能降耗已成为有色金属矿山可持续发展的必由之路。电气自动化技术作为矿山生产的关键支撑, 在提升能源利用效率、优化生产工艺流程等方面发挥着不可替代的作用。通过对有色金属矿山电气自动化节能技术的研究与应用, 不仅能够实现矿山生产高效化、清洁化, 还将为行业的转型升级和绿色发展提供新的动力。

1 有色金属矿山电气自动化节能关键技术

1.1 矿山电力系统优化控制技术

1.1.1 矿山供配电网络优化配置

矿山供配电网络优化配置是提升矿区电力系统能源利用效率、保障供电安全可靠的关键举措。通过分析矿区电力负荷特性, 优选供电电压等级和变压器参数, 合理规划线路布局, 并引入配电自动化技术, 可有效降低线损, 提高供电质量和可靠性。同时, 采用电力需求侧管理和分布式能源, 在满足生产需求的同时实现电力梯级利用。运用现代配电网规划理论和智能算法优化供配电方案, 建立全生命周期的能效管理体系, 为矿山供配电网络的节能运行提供可靠支撑。

1.1.2 电气设备智能控制策略

电气设备智能控制策略是提高矿山电气自动化系统运行效率、降低能源消耗的有效途径。对提升机、压缩机等大型设备采用基于负荷预测和能耗模型的多

目标优化控制, 可在保证设备性能的同时最小化能耗。选矿设备可实施故障诊断与质量反馈的自适应控制, 提高处理效率, 降低电耗。对风机、水泵等采用模糊PID等智能调速策略, 可显著减少能量损耗。通过构建设备全生命周期能效管理平台, 集成设备参数、能耗数据和工况需求, 形成能效全景图, 为设备节能控制提供最优决策。

1.1.3 无功优化与谐波治理

无功优化与谐波治理是保障矿山电力系统安全稳定、提高电能质量的两大关键技术。采用动态无功补偿装置, 匹配智能优化算法, 可实现无功功率的精准调控, 提高功率因数, 降低线损^[1]。针对变频器等非线性负载产生的谐波问题, 综合利用有源、无源滤波等多种手段, 配合专家规则库和工况识别, 可有效抑制特定次谐波, 降低谐波含量, 减少设备损耗。在保证电能质量的前提下, 协同优化有功、无功功率调度, 并结合电价政策进行动态优化, 可实现矿山电力系统的节能增效。

1.2 能量回收利用技术

1.2.1 电机能量再生回馈技术

电机能量再生回馈技术是在电机制动或减速过程中, 将机械能转化为电能并回馈电网, 实现能源梯级利用的方法。矿山提升机、皮带机等频繁启停或调速设备采用电力再生装置, 可有效回收30%以上的制动能量。针对矿用电机的苛刻工况, 再生装置需采取多重保护措施, 确保可靠运行。在能量利用方面, 应结

合矿区负荷和用电特点,合理配置储能装置和能量转换装置,并借助电力市场化交易机制,在确保再生能源高效利用的同时,创造良好的经济效益。

1.2.2 提升机 / 皮带输送机制动能量回收

提升机和皮带输送机的频繁启停和空载下放会造成大量能量浪费。采用液压蓄能与电力再生相结合的复合储能回收系统,可有效回收制动和下滑过程的动能与势能。利用蓄能器存储制动能量,再经液压马达驱动发电机,将能量转化为电能,供给再启动和爬坡阶段。引入飞轮储能、超级电容等新型储能装置,可进一步提高制动能量利用率^[2]。综合考虑回收能量特性和设备工况需求,优化储能装置配置和能量管理策略,在确保设备安全平稳运行的同时,可使峰值功率降低 20% 以上,显著削减电费支出。

1.2.3 余热余压利用技术

矿山选矿和冶炼等环节普遍存在余热余压资源,合理开发利用可节约大量化石能源。采用吸收式换热、有机朗肯循环等工艺,对低品位余热进行梯级回收和综合利用,转化为电能、蒸汽或热水。对含能气体,通过能量回收透平、煤气发电等有效利用其压力能和化学能,替代部分外购电力。优化矿区能源系统构型,推动不同工序间的能源耦合与梯级利用。以“源—网—荷—储”协同为理念,结合能源供需预测和调度优化,构建能源一体化管控平台,实现能源流的实时优化配置,最大限度地提高能源效率。

1.3 电气传动系统节能优化技术

1.3.1 高效节能电机的应用

高效节能电机是《能源效率标识管理办法》中明确的节能产品,与普通电机相比可节电 3% ~ 20%。永磁同步电机以其效率高、功率密度大、调速范围宽等优势,在矿山机械领域得到广泛应用。针对不同负载,量身定制高效电机,匹配精准高效控制策略,可在满足设备性能需求的同时最小化能耗。变频调速场合宜选用一体化高效电机,可显著降低系统能耗。应建立健全电机能效等级评价标准,加大节能电机推广力度,加快淘汰低效电机,引领行业电气传动系统节能升级。

1.3.2 变频调速技术与软启动技术

变频调速技术通过调节电源频率实现无级调速,根据负载需求动态优化转速,在满足工艺要求的同时最小化能耗,可节电 30%。矿山通风机、水泵、卷扬机等设备广泛采用变频调速。高压大功率变频调速一体机将变频器与电机集成设计,可靠性高,适用性强。多电平拓扑、电压空间矢量调制等先进技术改善了变频器输出电压质量。针对矿山苛刻工况,变频调速装

置需重点加强防尘防潮等措施,确保可靠运行。变频调速与能量反馈、软启动技术联合应用日益普及,应优选传动系统能效控制策略,建立全寿命周期管理,促进装备节能增效。

1.3.3 能耗在线监测与自适应控制

能耗在线监测是矿山电气节能控制的基础。采用高精度电能表、在线监测终端等,对电压、电流、功率、电量、谐波等关键参数进行连续采集分析,形成能耗数据一张图,为能效评估和优化提供数据支撑。在监测基础上,运用大数据分析等技术,刻画能耗模式,诊断能效短板,为制定节能策略提供决策依据^[3]。构建基于能耗预测的自适应节能控制系统,针对设备工况、生产调度等需求,动态寻优,使能源利用效率最大化。采用智能算法对通风机、选矿设备实施在线优化控制,在满足生产需求的同时最小化能耗,将是矿山智能化升级的重要方向。

2 矿山电气自动化能效评估体系构建

2.1 能效评估指标体系

能效评估指标体系的科学构建是开展矿山电气自动化能效评估的关键基础,其指标选取的全面性与合理性、权重设置的准确性与动态性、评价结果的可量化与可操作性,都将直接影响到后续能效评估工作的有效开展。单位产品能耗指标从宏观层面衡量矿山整体能源利用效率,通过对单位矿石开采、选矿、冶炼等生产环节的电力消耗强度进行纵向剖析,评价矿山能源利用的经济合理性。电气系统效率指标则侧重于供电、变配电、电力电子装置、电气传动等具体环节的能量转换效率,重点评估电能流动与转换过程中的各种损耗。自动化水平指标则立足智能化视角,综合考量矿山电气自动化的覆盖广度、控制精度、优化效果等多方面因素,反映矿山生产过程中进一步节能增效的潜力空间。科学设置各类指标的权重分配,构建多层次、动态化的指标评价体系,并结合实时采集数据予以量化考核,可为矿山能效水平的持续提升提供可靠抓手。

2.2 能效评估模型与方法

能效评估工作的有序开展离不开评估模型的精准构建和评估方法的科学选择,唯有在准确全面的数据支撑、细致合理的逻辑分析、前沿高效的技术手段等多维度保障下,能效评估结果的可靠性和指导性才能得以确保。针对提升机、球磨机、破碎机等关键耗能设备,亟须在机理分析与数据挖掘相互印证的基础上,构建涵盖能耗、工况、控制参数的多元映射模型,实

现设备能效的动态评估、故障诊断与未来预测^[4]。在电气系统能流分析方面,可充分利用有向图、矩阵等数学建模工具,形成网络化的能量流动与转换仿真模型,结合现场测量数据与仿真推演分析,准确计算系统各环节的电能损耗,找出能源利用薄弱点。通过对标分析同类先进矿山的能效管理经验,深入剖析本矿山能效差距,综合运用层次分析、数据包络分析等方法,在兼顾技术经济因素下评估节能潜力。

2.3 能效管理平台开发

能效管理信息化、智能化平台的研发与应用是推动矿山电气自动化能效提升行动落地见效的现实保障,集数据采集监测、能效分析评估、能效管控优化等功能于一体的管理平台,将能效静态评价和动态管理有机结合,为科学开展能效提升工作提供了必要的技术支持。在数据采集与监测方面,通过在矿山供配电、生产设备、辅助系统等位置布置智能电表、传感网等物联网终端,结合工业以太网和大数据平台,实现电能参数、工艺参数、设备状态等数据的自动采集与实时传输^[5]。在能效分析与评估方面,平台集成数据挖掘、统计分析、专家诊断等功能,形成设备、车间、系统、矿区等不同层级能效画像,直观展示能效缺陷。在能效管控与优化方面,综合需求响应、智能调度、自适应控制等手段,结合能效评价结果,制定差异化节能策略,实现能源系统协同优化与实时闭环管理。

3 典型矿山电气自动化节能案例分析

在经过系统梳理有色金属矿山电气自动化节能的关键技术后,本文将从铜矿选矿厂和铅锌矿采区两个具有代表性的实际案例出发,深入剖析节能技改措施在实际应用中取得的成效。通过对工艺特点、供电系统、关键技术应用、节能效果、环境效益等维度的分析,力求为同类型矿山的节能实践提供可资借鉴的经验与启示。

3.1 铜矿选矿厂案例

某铜矿选矿厂电气自动化节能改造的成功实践为同类型矿山提供了宝贵经验和借鉴。针对选矿生产工艺流程的特点,电气系统采用分级配电、分区控制的总体架构,实现了供电系统的可靠性与灵活性的统一。在关键节能技术应用方面,选矿厂重点对球磨机、浮选机等大功率设备实施了变频调速改造,通过工艺需求驱动的智能控制策略优化,在满足生产工况的前提下最大限度地降低能耗。同时,选用高效永磁同步电机替代传统感应电机,提高了系统运行效率。节能改造后,选矿厂综合电耗下降15%以上,电费支出大幅

减少,取得了显著的经济效益^[6]。与此同时,该选矿厂还积极推行能源管理体系建设,完善能源计量与统计制度,为持续深化节能工作奠定了坚实的基础。

3.2 铅锌矿采区案例

某铅锌矿采区通过电气自动化节能技术的综合应用,在提升矿山能源利用效率、改善生态环境质量等方面取得了显著成效。针对该矿采用中深孔留矿采矿法的特点,供电系统进行了扩容改造,提高了供电可靠性和灵活性。在此基础上,对关键耗能设备提升机、空压机等实施了节能优化。提升机采用永磁同步电机拖动,配套再生制动能量回馈装置,在保证提升效率的同时实现能量梯级利用。空压机优化压力调节方式,采用多台小容量机组协同运行,根据风量需求实现优化调度。节能改造实施后,采区提升系统能耗下降20%以上,空压系统能耗降低25%左右,在减少电力成本支出的同时,每年可实现二氧化碳减排数百吨,为矿区低碳、绿色、可持续发展贡献了重要力量^[7]。

4 结束语

有色金属矿山电气自动化节能是一项复杂的系统工程,需要从技术研发、能效管理、实践应用等多个维度协同推进。未来,随着智能化、数字化技术的不断发展,基于大数据、人工智能的节能优化控制将成为突破方向。同时,加强能源管理体系建设,完善能效评估标准,构建多方参与的节能激励机制,对于促进节能技术的推广应用也至关重要。矿山企业应积极践行绿色发展理念,加大节能技术改造力度,在生产效益与环境效益的协同提升中实现高质量发展。

参考文献:

- [1] 王磊.基于PLC技术的矿山机械破碎机电气自动化控制技术[J].电气技术与经济,2024(11):171-174.
- [2] 王辉,王次苏.电气自动化技术应用于煤矿机械设备中的价值[J].中国设备工程,2024(21):234-236.
- [3] 何珍亮.煤炭矿山电气自动化控制中智能化技术的价值及实践[J].中国自动识别技术,2024(05):56-59.
- [4] 丁彤.电气自动化技术在金矿生产中的应用分析[J].世界有色金属,2024(19):19-21.
- [5] 付蓉.关于计算机与人工智能技术在矿山电气自动化控制中的应用[J].世界有色金属,2020(01):25-26.
- [6] 刘强.浅论电气工程及其自动化控制中PLC技术的应用[J].中国设备工程,2019(13):143-144.
- [7] 刘大欣.矿山自动化的现状及未来发展趋势[J].世界有色金属,2022(20):50-52.