

# 煤矿地面机电系统能效优化技术研究

魏 锋 武 琳

枣庄矿业(集团)有限责任公司滨湖煤矿 山东 枣庄 277100

**摘 要:** 本文围绕煤矿地面机电系统能效优化技术展开。先概述其系统组成与功能,分析运行特点和能耗分布。接着阐述能效评估方法,包括建立能效指标体系和介绍评估模型及计算方法。重点探讨了能效优化的关键技术,涵盖设备节能改造、系统运行优化和能源回收利用等方面。

**关键词:** 煤矿; 地面机电系统; 能效优化

引言: 随着煤矿行业的发展,能源效率问题日益凸显。煤矿地面机电系统作为重要的能耗环节,其能效优化具有重要意义。然而,当前该系统存在能耗过高、运行效率低下等问题。因此,深入研究其能效优化技术,对于降低煤矿运营成本、实现可持续发展至关重要。

## 1 煤矿地面机电系统概述

### 1.1 系统组成及功能

(1) 提升系统: 提升系统是连接井下与地面的关键通道。它通常由提升机(如缠绕式提升机、摩擦式提升机)、电动机、减速机、卷筒、钢丝绳、罐笼或箕斗等组成。其主要功能是将井下开采的煤炭、矸石以及作业人员、设备和材料等安全、快速地运输到地面,同时将地面的物资和人员输送到井下指定位置。提升系统的性能直接影响着煤矿的生产效率和人员安全,是煤矿生产中的关键环节。

(2) 通风系统: 通风系统由通风机(包括主通风机和局部通风机)、风道、通风网络、通风设施(如风门、风窗等)组成。通风系统的主要功能是持续为地下矿井提供新鲜的空气流,用以稀释有害气体(例如瓦斯、一氧化碳等)和粉尘,调节矿井内部的温度与湿度,为工作人员营造一个适宜的工作环境。此外,该系统还用于预防瓦斯爆炸等潜在的安全事故。(3) 压风系统: 压风系统一般由空气压缩机、干燥净化装置、储气罐、输气管道及风动工具等构成。其主要功能是为井下的各种风动工具(如凿岩机、风镐、风钻等)和设备提供稳定、清洁的压缩空气动力,满足井下采掘、支护等作业的需求。

(4) 排水系统: 排水系统包括水泵(离心式水泵、潜水泵等)、排水管道、水仓及相关控制装置。其主要职责是及时排除井下涌水,防止矿井被淹,保证井下作业的正常进行。

(5) 供电系统: 由变电站、输电线路、开关柜、变

压器等组成,负责将外部电源引入煤矿,并进行合理的分配和变换,为整个煤矿地面和井下的设备提供稳定可靠的电力供应。

(6) 运输系统: 主要包括带式输送机、刮板输送机、机车等设备,用于将煤炭从井口运输到煤仓或选煤厂,以及在地面进行煤炭的转运和储存。

### 1.2 运行特点和能耗分布

#### 1.2.1 运行特点

(1) 可靠性要求高: 由于煤矿生产的特殊性,任意一个子系统的失效都可以引起整个生产流程的停顿,或者发生重大安全事故,所以各子系统都需要具有较高的可靠性和稳定性。(2) 季节性影响: 在不同的季节,由于气温、湿度等环境因素的变化,对通风、排水等系统的运行要求会有所不同。例如,夏季气温高,通风系统需要加大风量以降低井下温度;雨季时,排水系统的负荷会显著增加。(3) 动态变化: 随着煤矿开采的推进,矿井深度、开采范围、采掘面数量等不断变化,各子系统的运行参数和负荷也需要相应地调整和优化。

#### 1.2.2 能耗分布:

(1) 提升系统: 能耗主要集中在电动机的驱动过程,特别是在提升重物和高速运行时。此外,提升系统的频繁启动和制动也会造成较大的能量损耗。(2) 通风系统: 通风机的运行能耗占比较大,其能耗与通风阻力、风量需求密切相关。通风网络的不合理设计或通风设施的故障可能导致通风阻力增大,从而增加能耗。

(3) 压风系统: 空气压缩机的运行效率对能耗影响显著。压缩过程中的热量损失、泄漏以及不合理的加载卸载控制都会导致能源浪费。(4) 排水系统: 水泵的扬程和流量决定了能耗大小。如果排水管道阻力大、水仓容积不足或水泵选型不当,都会增加排水系统的能耗。

(5) 供电系统: 线路损耗、变压器的空载损耗和负载损耗等都会造成一定的能量损失。同时,电力设备的低功

率因数运行也会降低电能的利用效率。

## 2 煤矿地面机电系统能效评估方法

### 2.1 能效指标体系的建立

能效评估的首要任务是建立科学合理的指标体系，以全面、准确地反映煤矿地面机电系统的能源利用效率。以下是一些常用于评估能效的关键指标：

#### 2.1.1 设备效率

(1) 电机效率：电机作为许多机电设备的动力源，其效率直接影响整个系统的能耗。通过测量输入功率和输出功率，计算电机的效率，以评估电机的运行性能。

(2) 水泵效率：水泵在排水系统中起着关键作用，其效率取决于流量、扬程和轴功率。高效率的水泵能够在相同的工作条件下，以更低的能耗实现更大的排水量。

#### 2.1.2 系统综合能耗

综合考虑整个地面机电系统在一定时间内消耗的各种能源（如电能、煤炭、燃油等），按照相应的能源折算标准，将其统一转换为标准煤的消耗量。这一指标能够直观地反映系统的总体能源消耗水平。

#### 2.1.3 能源利用率

计算系统输出的有效能量与输入的总能量之比，如通风系统中有效风量与通风机输入能量的比值，能够反映系统在能源转化和利用过程中的效率损失。此外，还可以包括功率因数、单位产品能耗、设备运行时间利用率等指标，从不同角度评估系统的能效状况。

## 2.2 评估模型和计算方法

为了对煤矿地面机电系统的能效进行准确评估，需要采用合适的评估模型和计算方法。以下介绍几种常见的模型和方法：

### 2.2.1 热力学模型

基于热力学定律，分析系统中能量的传递、转化和损失过程。例如，对于通风系统，可以通过热力学第一定律和第二定律，计算通风过程中的能量损失和熵增，从而评估系统的能效。

### 2.2.2 数学优化模型

利用线性规划、非线性规划等数学方法，建立以能效最大化为目标函数，同时考虑系统运行约束条件（如设备性能限制、流量压力要求等）的优化模型。通过求解优化模型，得到系统的最优运行参数和能效水平。

具体的计算方法和步骤通常包括以下几个方面：

(1) 数据采集：收集系统运行的相关数据，如设备参数、运行工况、能源消耗等。(2) 模型建立：根据所选的评估模型，将采集的数据代入模型中，建立数学表达式。(3) 求解计算：运用相应的数学求解算法或软

件，求解模型，得到评估结果。(4) 结果分析：对计算得到的能效评估结果进行分析，找出影响能效的关键因素和潜在的节能空间。

运用建立的能效评估模型和计算方法，对采集的数据进行处理和分析。得到评估结果后，与行业标准或同类先进系统进行对比，找出能效低下的环节和设备。

## 3 能效优化的关键技术

### 3.1 设备节能改造技术

在煤矿地面机电系统中，电机和变压器等主要能耗设备的节能改造对于提高整个系统的能效具有重要意义。以下是针对这些设备的一些节能改造技术措施及其实施效果：

#### 3.1.1 电机节能改造

(1) 高效电机替代：将老旧、低效的电机更换为高效节能电机。高效电机采用了优化的设计和先进的制造工艺，具有更高的效率和功率因数。例如，使用YE3系列高效电机，相比传统电机，效率可提高2%-8%，从而显著降低能耗。

(2) 变频调速技术应用：通过安装变频器，根据负载变化实时调整电机的转速。在煤矿通风系统和排水系统中，采用变频调速可以在低负荷时降低电机转速，减少功率消耗。据实际应用案例，变频调速可节能20%-50%。

(3) 电机绕组优化：对电机绕组进行重新设计和改造，采用优质的电磁线和合理的绕组结构，降低电机的铜损和铁损，提高电机效率。

#### 3.1.2 变压器节能改造

(1) 选用节能型变压器：如S11、S13等新型节能变压器，相比传统的变压器，其空载损耗和负载损耗显著降低。以S13型变压器为例，其空载损耗比S9型变压器降低约30%。(2) 合理配置变压器容量：根据实际负载情况，选择合适容量的变压器，避免“大马拉小车”现象，提高变压器的负载率，使其工作在高效区间。通常变压器的负载率在70%-85%时效率较高。(3) 无功补偿装置安装：在变压器低压侧安装无功补偿装置，提高功率因数，减少无功电流在变压器和线路中的传输损耗。无功补偿可使变压器的功率因数提高到0.95以上，降低线路和变压器的损耗10%-20%。

实施这些节能改造技术措施后，可以带来以下显著效果：

第一，降低能源消耗：直接减少电机和变压器的运行能耗，为煤矿企业节省大量的电费支出。

第二，提高设备运行：为了提高设备的运行效率，降低设备的磨损和故障率至关重要。延长设备的使用寿命和

减少维修成本是关键措施,有助于提升设备整体性能。

第三,提高系统稳定性:节能改造后的设备运行更加稳定可靠,减少了因设备故障导致的生产中断,保障了煤矿的正常生产秩序。

第四,环境效益:降低能源消耗等同于减少温室气体和其他污染物的排放,这对环境保护具有积极影响。

### 3.2 系统运行优化技术

#### 3.2.1 优化调度算法

优化调度算法是根据系统的运行需求和设备特性,制定最优的设备运行计划。其目标是在满足生产要求的前提下,最大程度地降低能耗和提高设备利用率。

(1) 基于规则的调度算法:根据经验和预设的规则来安排设备的运行。例如,在通风系统中,可以设定当井下瓦斯浓度低于一定阈值时,降低通风机的运行频率;在排水系统中,当水位低于警戒值时,减少水泵的运行数量。(2) 数学规划调度算法:通过建立数学模型,将能耗、设备运行时间、生产任务等因素转化为约束条件和目标函数,然后使用求解算法得出最优调度方案。例如,在提升系统中,可以建立以最小能耗为目标,同时满足运输量和设备运行限制的线性规划模型。

(3) 智能优化调度算法:利用人工智能技术,如遗传算法、粒子群优化算法等,对复杂的系统进行优化调度。这些算法能够在大规模的解空间中搜索最优解,适应系统的动态变化。例如,对于压风系统,可以使用遗传算法来优化空气压缩机的启停时间和运行压力。

#### 3.2.2 负荷平衡控制

负荷平衡控制旨在确保系统中各个设备的负荷均匀分布,避免部分设备过载而其他设备轻载运行的情况,从而提高系统的整体效率和稳定性。在设备的关键部位安装传感器,实时采集电流、电压、功率等参数,反馈到控制系统。控制系统根据这些数据判断设备的负荷情况,并进行相应的调整。利用历史数据和预测模型,对未来的负荷变化进行预测。在此基础上提前调整设备的运行状态,以实现负荷的平衡。例如,根据煤矿生产计划和历史用电量数据,预测未来一段时间内的用电负荷,提前调整设备的运行参数。通过采用优化调度算法和负荷平衡控制技术,通过提升煤矿地面机电系统的运作效率,能够减少能源消耗,并增加设备的使用寿命,为煤矿企业带来显著的经济效益和环境效益。

### 3.3 能源回收利用技术

在煤矿地面机电系统中,存在着丰富的余热、余压能源,通过有效的回收利用方法和技术应用,可以实现能源的高效利用和节能减排。

#### 3.3.1 余热回收利用方法

(1) 热交换器回收:利用热交换器将高温余热传递给低温介质,实现热能的回收。例如,在煤矿的锅炉房,高温烟气可以通过热交换器加热水,用于供暖或工业生产。(2) 余热锅炉回收:将余热引入余热锅炉,产生蒸汽用于发电或其他工艺过程。例如,在煤矿的瓦斯发电系统中,内燃机的尾气余热可通过余热锅炉产生蒸汽驱动汽轮机发电。(3) 热管技术回收:热管具有高效的传热性能,可用于回收分散的、低温的余热。如在煤矿的电气设备室,利用热管技术回收设备散热的余热,用于预热新风。

#### 3.3.2 余压回收利用方法

(1) 透平膨胀机回收:透平膨胀机可以用来回收压力能并将其转换为机械能。例如,在煤矿的压风系统中,压缩空气在降压使用时,利用透平膨胀机回收压力能可以驱动发电机发电。(2) 液力耦合器回收:在传动系统中,利用液力耦合器实现动力传递和余压回收。比如在煤矿的带式输送机系统中,通过液力耦合器回收物料输送过程中的余压,降低电机的能耗。(3) 能量回收泵回收:在液体输送系统中,采用能量回收泵将高压液体的能量回收利用。如在煤矿的排水系统中,利用能量回收泵将排水的余压转化为有用的扬程,为了提高电机效率,减少电机的铜损和铁损至关重要。

### 结语

通过对煤矿地面机电系统的深入研究,明确了其组成、运行特点和能耗状况,建立了能效评估方法,并探讨了关键的能效优化技术。但能效优化是一个持续的过程,未来还需进一步研究新技术、新方法。同时要加强管理和政策支持,以实现煤矿地面机电系统能效的持续提升,推动煤矿行业的绿色发展和高效运行。

### 参考文献

- [1]李华.煤矿地面机电系统节能技术应用研究[J].能源与节能,2020(08):149-150.
- [2]王强.煤矿地面机电设备节能优化策略探讨[J].当代化工研究,2020(19):153-154.
- [3]张敏.煤矿地面机电系统能效评估与优化措施分析[M].北京:煤炭工业出版社,2020.