

井下变频电动机的节能控制研究

业巧云（晋能控股集团王村煤业有限责任公司，山西 大同 037000）

摘要：煤炭作为我国能源供给结构占比最高的类型，对社会经济稳定发展具有重要的保障作用。在煤炭企业生产体系中，井下综采工作效率和能耗水平不仅对企业经济效益具有直接性影响，同时也是影响煤炭供应的关键性因素。当前井下综采工作掘进体系节能降耗研究主要集中于变压器、输送机和电动机等方面。本文以变频电动机为主要研究对象，在简要概述电动机节能控制意义基础上，对技术原理进行简要分析，对节能控制技术应用进行简要说明，以此为相关工作开展提供参考。

关键词：煤矿；综采设备；电动机；节能

0 引言

煤矿井下作业环境相对较为恶劣，多数设备都要求达到小型化要求，具备良好抗粉尘、抗干扰能力，才能够确保作业现场安全稳定运行。在电动机应用发展中，性能提升和节能控制方面的研究主要是从两个方面入手：一是对材料进行优化，通过改变电动机中磁极和转子材料，能够提升系统运行水平，实现更大扭矩，以达到控制能耗目的。二是对电动机加设变频器，通过改变电流频率来控制电机转速。当前技术条件下，变频技术是主要的应用方式，并且在实际应用已经达到较高水平。

1 煤矿井下电动机节能控制技术改造意义

1.1 煤矿井下电动机节能控制技术现状

在煤矿生产机械化水平不断提升背景下，电能负荷也随之同步提升，在机电设备运行中，能源浪费现象也更加明显。异步电动机作为综采生产环节不可或缺的设备，在运行中不仅能耗损耗较为明显，在现有技术条件下，还存在负载不均衡状态下的浪费现象。以矿用风机为例，在运行中平均输出功率多数情形下仅能够达到最高输出功率的30%~40%左右。当前相关研究中，采用多种方面对电动机内部结构进行优化，尽量提升电动机运行效率，但是受制于技术层面限制，虽然能够达到一定的节能效果，但是在特殊工作环境下，仍无法达到能耗控制基本要求，对电力能源高水平利用所起到的促进作用较为有限。

1.2 变频电动机节能控制的意义

通常情形下，煤矿综采系统都是处于稳定运行状态，但是在出现生产计划调整或设备运行故障情形时，也会出现不同程度的轻载工况，使得电动机运行出现较为明显的能源浪费^[1]。做好电动机节能控制方面的研究，合理优化电动机运行状态，不仅是节能降耗水平提升的基本要求，更对综采作业能源利用效率提升、生态环境保护具有重要的促进意义。

2 变频电动机节能控制的效果分析

2.1 变频调速理想状态节能效果

变频电动机变频调速技术的应用，能够依据对应工况对电动机运行模式进行调整，有效降低电动机输出功

率的能耗，确保设备在节能状态下运行，尤其是在煤矿井下作业环节风机等负荷波动较大、转速变化较为频繁的工况条件下，能够达到良好节能效果。在实际设计中，电动机设备一般都是依据最大负荷条件进行选择，但是在实际运行中，实际负荷与最大负荷之间会存在较为明显的差异，如果是采用固定转速情况下，在实际负荷较小时，轴功率会造成明显损失。基于变频调速改造，能够较为好控制电动机在阀门及管路中的能量损耗，达到良好的节能控制效果。

2.2 变频调速实际状态节能效果

在当前各个行业节能降耗控制要求不断提升背景下，企业层面对电动机变频调速改造的重视程度不断提升，开始采用技术手段对电动机运行状态进行节能化调整。但是在实际运行中，由于多方面因素影响，通常会出现节能效果与预期效果存在偏差，甚至是出现总能耗增加的现象。这方面问题产生，主要是对电动机运行状态分析不够准确，负荷控制与实际运行要求之间产生偏差，不仅造成改造后节能措施无法达到理想状态，同时还带来不必要的成本投入。

2.3 变频调速节能效果的影响因素

综合分析电动机运行技术原理，变频调速节能效果欠缺，其影响因素主要包括如下方面：变频供电时电机的运行效率降低；开关设备自身产生的能耗控制不到位；电动机再生电能造成的浪费现象；谐波损耗；逆变算法应用不合理造成的附加能耗增加；不同运行工况下节能效果存在差异。因此在对变频电动机技能节能控制时，所采用的技术手段也应当以这些影响因素为基本出发点，充分利用现代技术，对其中对应的方面进行综合性技术改造，而不是单纯采用某一种方式处理，以确保最终改造效果接近于理想状态。

3 电动机交流变频调速节能技术分析

3.1 电动机节能技术改进思路

在电动机节能研究体系中，当前技术应用形式主要包括如下几种：一是采用电容补偿措施。在异步电动机运行中，电磁感应的固定运转模式，会造成负载配套匹配不到位，使得设备在部分时段处于轻载或空载状态。

采用集中补偿模式,具有投资成本低方面的优势,但是仅能够控制外部供电线路的损耗,无法对内部线路损耗控制产生作用,因此当前就地补偿模式成为研究的重要方向^[2]。二是对电动机的结构进行优化设计,采用新型材料和特殊工艺对结构进行优化,但是这种方式仅能够满足部分负载用户的节能控制要求,并且成本较高,不适宜普遍推广^[3]。三是调速节能工艺,也就是采用变频调速方式对电机运行状态进行调节,这种方法具有良好的节能控制效果,但是变频器成本相对较高,国内技术水平相对较为落后,使得实际运行中,变频器较容易出现故障,难以维修。将调压与调速装置相结合,采用电压调节方式来匹配负载变化,成为当前技术研究的热点,并且具有较为广阔的技术应用前景。

3.2 交流变频调速原理

基于异步电动机的转速原理,在调整电源频率情形下,就可以对电动机旋转速度进行调节,进而达到良好的节能目的。电动机在运行中要保持良好的运行状态,不仅需要具有足够的负载潜力,还应当确保磁路工作点稳定,不会发生异常变化。在电动机选型确定的情形下,电动机结构参数已经固定,要实现对磁通的控制,需要从电动机定子各相电动势和定子供电频率两个角度入手。通过对供电电源频率进行调整,能够较好的控制电动机旋转速度,确保在基准转速范围内,能够保持足够的机械特性,确保综采设备保持正常运行要求下,电动机能耗控制在最优化水平。

基于上述运行原理,在电动机型号确定情形下,定子势各相电动势有效值如下式所示:

$$E_1 = 4.44 f_1 W_1 K_1 \Phi_m$$

其中: W_1 = 定子每相串联匝数; K_1 = 基波绕组系数; Φ_m = 磁通量。

因此在对异步电动机进行节能改造时,应当充分考虑电压控制与供电频率和结合调整,以此才能够达到较好的控制效果。初步设计系统架构简图如图1所示。

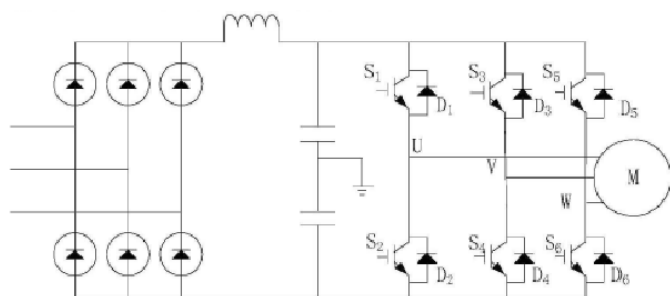


图1 异步电动机变频调速系统架构简图

基于风机运行原理,依照国家相关规范标准,在不考虑变频器输出谐波影响因素下,电动机运行效率主要受到控制频率、额定频率、额定转差率、电机最大转矩倍数、转速等参数影响。

3.3 电机效率变化节能效果分析

在电动机节能降耗控制措施中,对有变速运行需求的风机进行变频调速改造,是重要的技术措施类型,做好节能效果评估,同样会对技术改造投资必要性产生一定影响。在当前部分项目评估中,极少有关注变频前后电动机的效率变化因素,因而导致分析结果不够准确。因此在本研究中,综合考虑电动机效率对节能效果的影响,基于风机变频调速节能原理,对节能效果进行更为精准的评价。在风机系统运行中,在转速减小情形下,风机的风量、轴功率、压力等运行参数会明显降低,而风机运行效率则会对应提升,以此就能够达到良好的节能控制效果。因此在具体设计中,需要根据实际情况选择对应的公式对各项参数进行准确计算,以此才能够确保分析结果的有效性。同时,依据通常工业设计经验值,谐波会导致电动机总损耗增加30%左右,效率降低幅度达1%~3%之间。

基于某型号为1000kW的电动机为例,基于相应的计算方法对变频状态下电动机功率变化进行分析,可以看出在采用交流变频技术进行节能控制时,随着频率的不断降低,电动机的实际效率也逐渐降低,但是在低频运行状态下,效率降低速度会明显提升,因此在进行具体设计时,还必须考虑这方面技术因素影响,以确保节能效果能够达到设计要求。在变频改造后,电动机系统运行能耗主要受到变频电机效率、变频故障器及系统其他效率三个因素影响。本研究中选用的变频器额定效率值为94%~97%之间,在不同转速下变频器效率如表1所示。

表1 某型号电动机不同转速下的变频器效率

转矩 %	转速 %				
	20	40	60	80	100
20	73.9~85.6	84.5~94.6	89.0~93.9	91.2~95.1	92.7~95.9
40	84.3~90.9	90.9~95.4	92.9~95.9	94.6~96.4	95.3~96.7
60	88.1~92.4	93.0~95.4	94.9~96.2	95.8~96.7	96.1~96.9
80	92.8~94.0	94.0~95.5	95.5~96.3	96.2~96.8	96.6~96.8
100	91.3~93.1	94.2~95.6	95.9~96.2	96.3~96.4	96.3~96.5

基于上述数据可以看出,在转速提高时,变频效率也会随之提高;在相同转速下,转矩提高时,变频效率也随之提高,最高可以提升至96%以上。在转矩与转速达到最大值时,变频器使用效率明显提升。因此在实际运行中,应当尽量保持电动机处于高频工作状态,转速与扭矩保持最高运行值,才能够达到良好的节能控制效

果。

4 基于谐波抑制角度的节能控制技术

4.1 变频器谐波产生及节能控制必要性

在前述研究中,变频电动机节能控制是在不考虑谐波影响下实现的,但是在实际运行中,必然要考虑谐波影响,采用对应的控制技术消除谐波带来的影响,有效提升节能控制水平。谐波产生是由于变频器运行中,由于输入部分整流电路与输出部分逆变电路的转换过程中,电力电子开关器件高速运行状态下,会产生高次谐波电流。基于输入侧而言,变频器以 PWM 脉动方式与电网进行能量交换,在运行中会产生明显的电流畸变和电压下凹,以此会出现明显的谐波电流和谐波电压。在交流电源转换为直流电源整流电路过程中,只有在电源电压高于电容电压时,才能进行充电,其他时段则是放电,造成原本的正弦波中含有大量的谐波畸变。在变频器输入侧,由变频供电引起的正弦波畸变被称为是时间谐波,而电机本身定子绕组分布、定转子开槽等因素产生的谐波则被称为是空间谐波。

由于变频电动机运行原理,谐波现象是运行中必然存在的现象,尤其是在当前变频电动机结构设计不断复杂化情形下,虽然推动设备运行性能不断提升,但是由此带来的谐波现象愈加明显。谐波现象的存在,不仅对供电线路、周边电气设备正常运行造成影响,同时还会导致不同程度的损耗,因此还必须采用应对措施将谐波控制在最低水平,尽量减少由此带来的电能损耗,减少对设备稳定运行造成的影响。

4.2 变频器谐波的影响分析

变频电动机运行中,谐波所带来的影响是多方面的,在本课题研究中,主要考虑对损耗方面的影响。在谐波影响较为明显时,会使变压器产生附加损耗,导致设备运行过热,绝缘介质老化加速,使得设备运行产生较为明显的安全隐患。对于电动机而言,不仅会造成运行效率下降,还会使得发热现象较为明显,使用寿命达不到设计要求。在谐波扭矩较为明显时,还会造成电动机在低频段无法正常运行,出现加速无力或无法正常制动的现象。对于谐波损耗的具体评估,主要是从变频器谐波电流、输入侧谐波损耗、输出侧电动机附加损耗三个方面进行,以此为谐波抑制方法应用提供参考。

4.3 变频器谐波抑制方法

在当前变频器研发和选型过程中,谐波抑制已经成为重要的影响因素,结合谐波作用方式,抑制方法主要包括如下类型:一是选择 SPWM、SVPWM 等输出谐波较小的变频器,其原理是基于控制开关器件的通断,将逆变器输出的直流电压调制为一系列幅值等于直流电压的脉冲波。在感应电机运行中,输入电流与正弦电状态越接近,电磁转矩就越具有恒定性,而 SVPWM 能够将逆变器和感应电机作为整体对象进行控制,因而能够达到

较好转矩控制效果,尽量抑制谐波带来的影响。二是在输入侧进行谐波抑制,其方法是在变频器输入点前串联一台线路电抗器,能够将电流谐波畸变率大幅减低,从而起到良好的抑制作用。三是可以从线路电缆方面入手,对谐波进行有效控制,例如在电动机与变频器之间采用铠装电缆进行连接,在变频器连接处,尽量采用屏蔽线连接^[4]。四是可以采用抗射频干扰滤波器等设备,减少电磁辐射对变频器正常运行造成的影响。

5 变频电动机节能控制技术的发展方向

就整体上而言,我国变频电动机节能控制方面的研究还较为滞后,人工智能技术、传感技术的发展,为这方面技术研究思路拓展提供新的方向^[5]。在煤矿井下作业中,电压升降控制是节能措施的重要实现形式之一,电动机变频调速是主要的技术改造方式,在进行改造时,就可以基于 BP 神经网络算法,对电压运行变化值进行精准预测,以此能够有效降低系统运行中其他负面因素影响,有效避免电压升降带来的功率损耗,起到良好的节能控制效果^[6]。还有学者提出基于模拟退火算法,建立变频电动机二维模型,实现对 SVPWM 算法的优化,并对优化结果进行有限元仿真分析,同样是节能降耗措施研究的重要方法^[7]。因此在未来发展中,变频电动机节能控制研究将会朝向不断朝向智能化方向发展,技术水平将会不断提升。

6 结束语

煤矿井下变频电动机的节能控制研究,不仅对煤矿生产效率提升具有重要的促进作用,同时也是我国能源供应结构调整和生态环境保护的重要保障。在相关研究过程中,必须要强化新型智能化技术的应用,基于数据分析模式,对节能控制要求和实效进行精准界定,以此才能更好的控制电动机运行损耗,全面提升节能降耗控制水平。

参考文献:

- [1] 郭正阳. 矿用变频电动机节能效率分析 [J]. 煤, 2019, 28 (09): 102-103+105.
- [2] 温丽娟. 变频技术在煤矿井下带式输送机智能调速中的应用 [J]. 科技创新导报, 2019, 16(19): 20-21.
- [3] 刘维容. 浅析变频电动机在综采工作面刮板输送机的运用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(06): 106-107.
- [4] 赵建勇. 永磁变频电动机直驱带式输送机在煤矿井下的应用研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(24): 14-15.
- [5] 靳昌军, 周存燕. 永磁变频电动机直驱带式输送机在煤矿井下的应用研究 [J]. 价值工程, 2018, 37(31): 178-179.
- [6] 王福宁. 液偶调速电动机给水泵变频改造方案及节能潜力分析 [J]. 应用能源技术, 2018(07): 21-25.
- [7] 丁伟. 三相异步电动机变频调速控制方式及其节能原理 [J]. 中国金属通报, 2019(05): 133-134.