

隔爆三相永磁同步电动机在煤矿开采中的应用分析

陈历均

(冀中能源股份有限公司东庞矿西庞井 河北 邢台 054200)

摘要: 本文主要叙述了隔爆三相永磁同步电动机在冀中能源股份有限公司东庞矿西庞井北翼皮带大巷的两部皮带进行升级改造项目中的应用。将两部使用4台125kW的DSB-125型电机配合液力耦合器、减速机为动力的DSJ1080/1000型胶带输送机改造升级为一部使用BPJ-200/1140K变频开关控制两台125kW隔爆三相永磁同步电动机为动力的皮带机, BPJ-200/1140K变频开关可以使皮带机电能利用率大幅提升,在顺利实现节能降耗的同时,完成减岗减员,推动矿井安全稳定可持续发展,具有较大的推广价值。

关键词: 皮带机改造; 永磁同步电动机; 煤矿开采

1 应用背景

近年来,由于科技的发展,相关行业对电机控制特性的要求越来越高,其中永磁同步电动机因其构造简洁、体积小巧、工作效率高及其良好的稳定性而被应用于煤矿开采等复杂环境中。由于近年来稀土材料的应用,永磁同步电动机的效率获得了显著提升。永磁体在充磁后能够成为稳定的电磁,拥有优良的励磁特点,而且比电励磁更轻、更稳定,同时也降低了能量损耗^[1]。西庞井北翼皮带大巷全长1198m,最大坡度13°,平均坡度8°,锚喷支护。安装有两部使用4台DSB-125型电机配合液力耦合器、减速机为动力的DSJ1080/1000型胶带输送机。冀中能源股份公司东庞矿西庞井积极响应股份公司的号召,全力推进“增节降”活动,采用先进的节能技术,不断更新升级现有设备,提升能源利用率,达到节能减碳、节约成本的双重发展目标,为社会发展做出了积极贡献。西庞井技术部门着手北翼皮带大巷的两部皮带进行升级改造项目,将两部使用4台125kW电机配合减速机为动力的DSJ1080/1000型胶带输送机改造升级为一部使用BPJ-200/1140K变频开关控制两台STYB125-2.5-1000(1140)隔爆三相永磁同步电动机为动力的皮带机。BPJ-200/1140K变频开关控制隔爆三相永磁同步电动机可以使皮带机电能利用率大幅提升。

2 永磁同步电动机概述

2.1 永磁同步电动机的发展历程

电动机是一个电磁设备,它利用磁性将电能转化

为机械能,其中磁性则是其中非常重要的部分。获取磁性的方式有多种,其中一种是利用电流来实现。电励磁电机是一种特殊的电器,它由一个专门用来产生电流磁性的绕组,以及一个持续不断的能量供应系统组成,以确保电流的正常流动。由于采用永磁体来获取电磁,能够简化系统的内部结构,并且永磁体在充磁后具备永久性的磁力,因此不需要外部能源的供应,有效地减少了电能的消耗。20世纪50年代,关于永磁同步电动机的研究便开始了,但由于其昂贵的稀有金属材料,以及高温不可逆退磁等技术难题,使得它一直无法被大规模应用和推广。我国是一个有着丰厚永磁材料自然资源的国度,其储量超过其他各国总数的四倍,使我国在永磁同步电动机发展上具有较大的先天优势。永磁同步电动机在各行各业都具有广阔的应用前景,可以利用我国丰富的稀土资源优势,着力开发和推广以稀土永磁电机为典型的各类永磁设备,尤其是永磁同步电动机,近三年来,其应用越来越普及^[2]。

2.2 永磁同步电动机的工作原理

永磁同步电动机是一种由定子绕组、转子鼠笼绕组和永磁体组成的电动机。定子绕组、转子鼠笼绕组和永磁体之间通过三相对称电流作用,形成定子转动电磁,使转动从停止位置开始,加快转动,进而实现发电机的高效运行。当转动加快到近似相同速度时,由于永磁磁场和定子转动电磁的速度不同,会形成交变力矩,导致力矩变化,进而使转动陷入同步运行阶段。此时,定子转动电磁的速度略大于永磁磁场,进而导致力矩变化,最终实现力矩的平衡。

永磁同步电动机通过转动定子绕组实现启动，当转动绕组终止工作时，永磁体和定子绕组之间的电磁作用形成驱动力，进而实现发电机的运行。

西庞井 STYB125-2.5-1000 (1140) 隔爆三相永磁同步电动机设计为外转子，转子内部采用磁钢形成磁路，筒体为钢板焊接，筒体表面铸胶，机轴由辐板、轴套等构成空腔，轴设计为空心轴，接通水路，构成电滚筒的散热系统。定子线圈被固定在机轴的轴套上，而且设备连接盒内或垂直导向的连接端子应当达到 GB/T 3836.3-2021《爆炸性环境 第 3 部分：由增安型“e”保护的 设备》的要求，以确保电器间距和爬电间距的准确性。设备的螺纹隔爆接合面具有防止自行脱落的措施。机轴采用空心设计，供电引线从接地盒穿过空芯轴，与导线相连，制动盘位于端盖的外边沿，以确保安全操作。隔爆三相永磁同步电动机结构示意图如图 1 所示。

2.3 异步电动机与永磁同步电动机的性能比较

2.3.1 异步电动机的优缺点

优点：(1) 矿用异步电动机绝大部分为三相异步电动机，三相异步电动机启动后运行平稳，性能较好；(2) 异步电动机结构相对简单，制造容易，购买和后期维护成本较低，在各个领域均得到了广泛的应用；(3) 由于异步电动机具有极高的温度耐受性，因

此不需要安装特殊的散热器，只需要安装普通的冷却风扇就可以满足其散热需求^[3]。

缺点：(1) 由于开启力矩不大，无法满足用户带载荷开启的需求。尽管目前有多种方案可以解决这一问题，但大多数是通过增大电机的输出功率容积提升其开启力矩，这样就会导致“大马拉车辆”的出现，不仅加大了购置机械设备的投入，而且在长期使用中会因为低负荷运转而耗费巨大电能，这显然是不经济的。(2) 起动电流较大，明显增加了供电变压器的容积，而且多线路的影响也更大。(3) 大转矩的驱动力不足以应对经常出现的短时过负荷的负载，因此需要采取其他措施解决问题。(4) 由于异步电动机无法直接与驱动装置连接，因此通常采用液力耦合器实现传动，但这会增加设备的投入，而且液力耦合器的传动效率较低，也会消耗电力。此外，加装液力耦合器后，发电机组的运行可靠性会大幅降低，维修也会变得更加麻烦。(5) 异步电动机调速困难。

2.3.2 永磁同步电动机的优缺点

优点：(1) 功率因数高，启动性能好；(2) 利用永磁材料制作的磁极，磁能较高，可以得到较高的磁通密度系数，因此，在同等条件下，永磁同步电动机与普通的异步电动机相比，尺寸更小、质量更

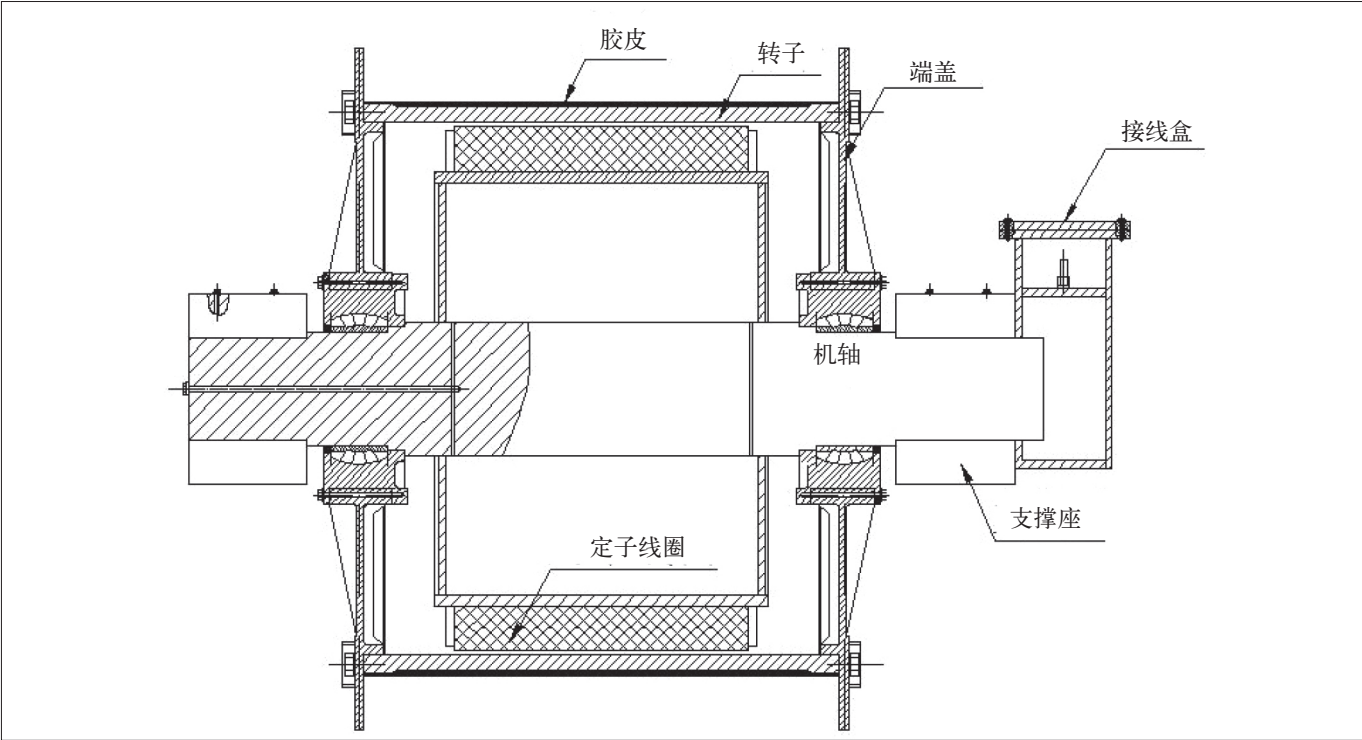


图 1 隔爆三相永磁同步电动机结构示意图

轻,而且能量损耗更少,噪声也小;(3)永磁同步电动机可以通过变频开关控制,使电能利用率大幅提升,可对电动机的调速、输出功率进行精确控制;(4)永磁同步电动机由于启动和运行性能好,无需额外的传动装置(皮带机使用的传统异步电动机则需要配合液力耦合器、专业减速机使用),输出功率无损耗;(5)永磁同步电动机后期维护作业简单、维护成本相对较低^[4]。

缺点:(1)永磁同步电动机制造时采用稀土材料制作永磁体,制造成本相对较高,且需要安装与之相匹配的变频控制开关,初期投入较大;(2)永磁同步电动机的金属永磁体在高温、强震动的情况下容易出现永久退磁的情况,对冷却系统和防震保护要求较高;(3)使用了金属永磁体做磁极,在矿山使用时电动机机体上容易附着矿尘,影响永磁同步电动机的散热功效,增加轴承处的磨损速度等。

3 隔爆三相永磁同步电动机应用的具体做法

3.1 北翼皮带大巷皮带机改造

(1)拆除北翼皮带大巷一部皮带机电机、减速机和两个主轴,再将张紧装置松开,拆除一部皮带机尾架。同时拆除北翼皮带大巷二部皮带机头架、电机、减速机、张紧装置。最后在一部皮带机机尾架、二部皮带机头段位置安装皮带机底座与中梁管,将两部皮带整合为一部皮带。

(2)使用北翼皮带大巷一部皮带机头上方的两组专用起吊锚杆将两台 STYB125-2.5-1000 (1140) 隔爆三相永磁同步电动机吊装在原一部皮带装主轴位置。将与之配套的电机冷却系统、制动装置安装在皮带机头硐室内,包括冷却水过滤装置、冷却水箱、冷却泵、制动液压油泵及各种管路系统等。机头设备安装完毕后启动张紧绞车,将皮带机张紧,确保张紧力符合要求。

(3)BPJ-200/1140K 变频开关的安装及相关参数的设定。在北翼轨道大巷巷道口浇筑施工一个 10m×0.5m 的平台用于 BPJ-200/1140K 变频开关的安装。将 BPJ-200/1140K 变频开关变频器直接与 50Hz、三相 1140V 的交流电源相连。变频器内部的逆变器将电流由交-直转换成了直流电,输出端则直接与永磁直流电机相连。在智能控制系统中,变频器是一种重要的设备,它可以根据不同的机械负载条件,通过 PLC 产生的模拟值信息,达到对电动机

速度的准确调节,从而达到不同功率输出。确保皮带巷能在各种情况下平稳运行。

3.2 皮带机的试运转

皮带机改造完毕后进行试运转。试运转前要对皮带机进行全面检查,检查项目有皮带机的各类保护是否灵敏可靠、电滚筒的安装及紧固件是否牢固完好、电滚筒的外表面有无影响隔爆性能和正常运转的损伤、电源电缆的连接是否正确牢固、水冷却系统是否完好可靠、液压泵等制动装置是否完好可靠、电滚筒空载起动和运转是否正常等。确认无误后方可联系上、下部皮带机司机,待上部皮带机开机后方可启动皮带机进行试运转。电滚筒与运输机装配后,应先经空车运行,观察有无不正常之噪声,三相电流是否平衡,是否有有害之振动和轴承升温过高等现象。

3.3 设备起吊的安全措施

(1)在安装设备时,应当选择专门的起吊锚杆,而不能采用巷道支撑锚杆。为了确保安全,应选用 $\phi 22 \times 2400\text{mm}$ 螺纹钢锚杆,每孔配三卷 CK2335 树脂药卷,外露长度为 200mm,每两根为一组。

(2)在吊装机械构件之前和之后,工作人员不得站在起挂点下面,并且在起挂点附近 10m 范围内禁止任何其他工作人员停留或经过。

(3)起吊前,必须检查起吊物的固定情况,确认安全后方可起吊。拉导链人员必须站在安全的位置,确保顶板完好、退路畅通,并且设备不会歪斜或滑动。在使用回柱车起吊时,司机应该避免正对钢丝绳进行操作,而是站在回柱车一侧的安全区域进行操作。在开车前,应确保绳道和三角区域内没有人停留。

(4)在起吊前,应先通过试吊,将设备吊起 50 ~ 100mm,检查导链(滑轮)悬挂点及重物中心等是否正常,如果没有反常,则可以接着起吊。否则,需要先抛弃起吊物,加以处置,然后再重复实施试吊,最后才能正式起吊。

(5)在起吊流程中,严禁使用手或脚来校正已被重物紧固的钢筋绳和吊具,一旦出现钢筋绳松动或者响声特殊,应立即暂停起吊,并将货物下放接受必要的处置。

(6)当使用导链时,应确保拉链的走向与链轮的走向保持一致,以避免出现掉链或卡链的情况。

(7)在起吊过程中,应确保设备的高度符合现场安装要求,并且严禁将其长时间悬挂在空中。

(8) 在起吊流程中,要牢牢把握起吊物,动作要稳定,绝不能猛拉硬拽。

3.4 STYB125-2.5-1000 (1140) 隔爆三相永磁同步电动机的维护

(1) 永磁电滚筒的启动和运行,由其配套的变频器控制,可实现低速大转矩启动,运行过程中可调速,配套控制变频器需具备温度监视和过热保护功能,一般变频器预设线圈温度 $\geq 90^{\circ}\text{C}$ 自动报停。

(2) 每天应使用 1000V 兆欧表测量电动机绕组对机座的绝缘电阻,其精度必须达到 $1.14\text{M}\Omega$ 以上。否则须进行干燥,直至电阻值高于 $1.14\text{M}\Omega$ 为止。

(3) 电滚筒的轴承要定期 (3 个月) 换注二硫化钼润滑脂。

(4) 电滚筒拆装应使用专用工具,禁止野蛮操作。

3.5 经济效益

前期设备采购两台 STYB125-2.5-1000 (1140) 隔爆三相永磁同步电动机和与之配套的 BPJ-200/1140K 变频开关,总共投入 195.7 万元;北翼皮带大巷改造项目劳动力人数 95 人,按照每个人工 300 元计, $95 \times 300 + 195.7 = 198.55$ 万元。北翼皮带大巷皮带机改造完毕后,2022 年同比减少 216.5 万元的电费支出,并完成减岗减员每天 4 人次,实现经济效益 61.55 万元。

4 结语

北翼轨道大巷两部皮带机进行升级改造后,将两部使用 4 台 125kW 电机配合减速机为动力的 DSJ1080/1000 型胶带输送机改造升级为一部使用

BPJ-200/1140K 变频开关控制两台 STYB125-2.5-1000 (1140) 隔爆三相永磁同步电动机为动力的皮带机。BPJ-200/1140K 变频开关控制隔爆三相永磁同步电动机可以使皮带机电能利用率大幅提升,省去减速器、联轴器等机械零部件,传动效率高,故障点减少,且节省了皮带机硐室空间。

永磁同步电滚筒具有经济运行范围宽的特点,效率在较大的负载变化范围平坦变化。20% 额定负载时,效率在 80% 以上,功率因数高,适合运输皮带等负载不断变化的场合,节能效果好。皮带机升级改造后能耗从原来的 $500\text{kW} \cdot \text{h}$ 降低为 $217.5\text{kW} \cdot \text{h}$ (平均输出功率),仅在 2022 年就同比减少 216.5 万元的电费支出,取得了较大的经济效益。在顺利实现了节能降耗的同时,完成减岗减员,推动矿井持续稳定健康发展,社会效益深远,具有较大的推广价值。

参考文献:

- [1] 吕从鑫,汪波,陈静波,等. 永磁同步电机控制策略综述与展望 [J]. 电气传动自动化,2022,44(04):1-10.
- [2] 王海滨. 高压永磁同步电动机应用与研究 [J]. 中文信息,2015(09):273-274.
- [3] 徐文鹏,于野,张雨. 高压大功率永磁同步电动机直驱技术在港口带式输送机上的应用 [J]. 起重运输机械,2019(13):119-123.
- [4] 郑大伟. 永磁同步电机无传感器直接转矩滑模控制研究 [D]. 邯郸:河北工程大学,2019.