

永磁同步高压电机在京唐烧结长皮带上的应用

韩勇敢

首钢京唐钢铁联合有限责任公司 河北 唐山 063200

摘要: 基于永磁电机系统构成, 重点说明其节能原理、技术特点及节能效果, 同时对永磁直驱同步高压电机与普通异步高、低压电机进行性能对比, 结合京唐烧结大型皮带机工艺设计特点, 进行烧结大型皮带机永磁同步高压电机直驱技术应用探讨。实践表明, 目前大型皮带机普通高低压异步电动机效率较低。而永磁同步电机比同容量异步电机效率提高 15% 以上, 且相同运行转速的情况下, 输出功率也比同容量异步电机高出 15% 以上, 整个驱动系统节能效率在 15%-30%。

关键词: 永磁同步电动机; 节能降耗; 提高效率; 分析结果

Application of permanent magnet synchronous high voltage motor in Jingtang sintering long belt

Yingyong Han

Shougang Jingtang Iron and Steel Joint Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063200

Abstract: Based on the structure of the permanent magnet motor system, the energy-saving principle, technical characteristics, and energy-saving effect are emphatically explained. At the same time, it compares the performance of permanent magnet direct drive synchronous high voltage motors with ordinary asynchronous high and low voltage motors. Combined with the process design characteristics of the Jingtang sinter large belt conveyor, the direct drive technology of permanent magnet synchronous high voltage motor for the sinter large belt conveyor was discussed. The practice shows that the efficiency of common high and low-voltage induction motors of large belt conveyors is low. The efficiency of a permanent magnet synchronous motor is more than 15% higher than that of an asynchronous motor with the same capacity, and under the condition of the same running speed, the output power is more than 15% higher than that of an asynchronous motor with the same capacity, and the energy saving efficiency of the whole drive system is 15%-30%.

Keywords: permanent magnet synchronous motor; Energy saving and consumption reduction; increase of efficiency; Analysis results

一、概述

首钢京唐钢铁联合有限责任公司炼铁部烧结作业区烧-2 皮带和烧-4 皮带长度均 481 米, 原采用两台低压电机同步驱动, 两台电机均由 1 台罗克韦尔 150-F970NBA 软启动器控制驱动。多次因变频器故障、低压电机断轴等造成皮带机停机。因电机带载启动能力不足, 皮带重停重启时频繁发生启动失败现象, 需现场扒料减载后再启动。两条大型皮带系统存在的问题给烧结生产组织带来很大影响。在此背景下, 2021 年 11 月和 2022 年 3 月分别对烧 2 皮带和烧 4 皮带进行永磁同步高压电机驱动改造。

二、永磁同步高压电动机节能原理及技术特点

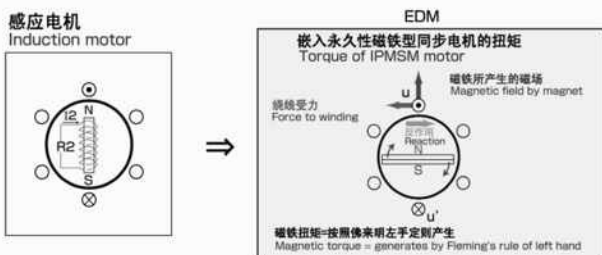
2.1 永磁同步电机节能原理

2.1.1 永磁同步高压电机转子损耗为零。

三相异步电动机定子绕组加对称电压后, 产生一个旋转气隙磁场, 转子绕组导体切割该磁场产生感应电势。由于转子绕

组处于短路状态会产生一个转子电流。转子电流与气隙磁场相互作用就产生电磁转矩, 从而驱动转子旋转。电动机的转速一定低于磁场同步转速, 因为只有这样转子导体才可以感应电势从而产生转子电流和电磁转矩。高低压异步电机是通过定子的旋转磁场在转子中产生的感应电流产生电磁转矩。电机转子并不直接产生磁场, 因此, 异步电机转子的转速一定是小于电机额定转速。异步电机转子是耗能体, 存在转子铁耗及转子铜耗以及谐波损耗, 转子损耗大于电机总损耗的 30%。异步电机有转差, 功率因数低, 定子电流大, 温升高。而永磁同步电机在电机转子内插入强磁铁, 定子绕组通入三相电流, 产生定子旋转磁场, 定子旋转磁场相对于转子在转子绕组内产生电流, 形成转子旋转磁场, 定子旋转磁场与转子旋转磁场相互作用产生转矩, 转子开始由静止开始加速转动。定子旋转磁场与转子旋转磁场相互作用的转矩将转子牵入到同步状态。永磁同步电机的转速 $n=60f/p$ 不变, 式中 n 为电机转速, p 为电机极对数, f 为设定频率。所以永磁电机定子铜耗下降, 转子铜耗为零, 风摩

耗下降。永磁同步高压电机无转差，功率因数高，定子电流小，温升低。



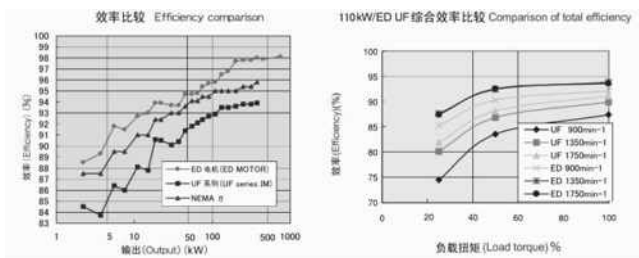
2.1.2 永磁同步高压电机损耗小。

永磁同步电机转子内镶嵌磁钢，磁场强度、磁密度大于异步感应电机的感应磁场，减少了电机定、转子作用面积，同样功率的电动机，电机中使用的硅钢片和铜线重量都大大减小，从而减少了电机自身的铁损、铜损和机械损耗。



2.1.3 永磁同步高压电机效率高

永磁同步电机不仅仅转子损耗为零，矽钢片比异步电动机的矽钢片的铁损耗要小一倍以上，异步电机是每公斤矽钢片厚度 0.5mm 铁损在 600W/Kg/左右、永磁同步电机是 0.35mm 铁损是 300W/Kg，而且用矽钢片的重量是同功率的 2/3,所以该电机的铁耗只有异步电机的 1/3。所以永磁同步电机多可以达到 IE4（国家能效标准 1 级）。同时高效区宽，永磁同步电机的转速达到额定转速时，效率达到 95%以上。而异步电动机额定转速时，效率只有 88%左右。效率对比如下：（ED 是永磁电机、UF 是异步普通异步电机、NEMA 是美国异步高效电机）



2.2 永磁同步电机技术特点

2.2.1 永磁同步电机功率因数高，电网品质因数高，无需加功率因数补偿器，永磁电机的转子使用的是永磁材料，不需要感应电流来产生磁场，定子绕组具有阻性负载的特点，电机的功率因数接近 1。永磁电机在 20%~120%额定负载范围内功率因数和工作效率都会处于较高的水平。永磁电机在负载较小工作时可以大大节约能耗；当电机在额定负载工作时，其功率因数是大于 0.98。

2.2.2 永磁电机是永磁体励磁，同步运转，不存在转速脉动。

2.2.3 根据需要永磁电机可以设计成高起动转矩（3 倍以上）、高过载能力，从而解决“大马拉小车”的现象。

2.2.4 体积小，重量轻

永磁同步电机的转子自带磁力，电机功率密度大，和相同功率的一般电机相比，该种电机的体积是一般普通电机的 60%左右，重量约是普通电机的 80%左右。

2.2.5 普通异步电机的无功电流一般约为额定电流的 0.5~0.7 倍，永磁同步电机无需励磁电流，无功电流永磁电机与异步电机相差 50%左右，实际运行电流比异步电机下降 15%左右；

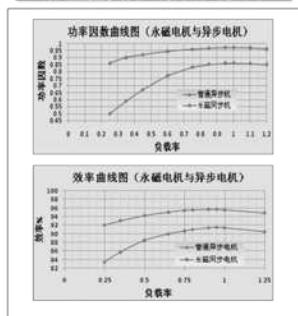
2.2.6 永磁电动机启动转矩大，启动速度快，日常维护费用降低,磁场强度稳定。

2.2.7 永磁电机可设计成变频器运行，也可以设计成直接启动，外形安装尺寸与目前广泛使用的异步电机相同，可全面替换异步电机；

2.2.8 电机的拓扑结构多，在广泛的范围和极端条件下直接满足机械装备的根本要求；

2.2.9 为了提高系统效率、缩短传动链、降低维护成本，可以设计制造高低速直驱永磁同步电动机，满足用户的更高要求。

某典型永磁同步电机与异步电机对比



普通异步电机在负载率<50%时，其运行效率和功率因数大幅度下降，永磁同步电机在负载率25%-120%时，其运行效率和功率因数变化不大，且运行效率>90%，功率因数>0.85，轻负载、变负载、满负载均节能效果显著。

三、永磁同步电机和异步电机的区别

序号	类别	异步电机	永磁电机
1	外形	低压电机按国标执行，所有接口尺寸基本一致	

尺寸		
2 性能	效率低, 功率因数低, 需要无功补偿。	效率高, 在 25~125%负载区间都能维持较高效率; 功率因数高, 无需无功补偿。
4 接线方式	Y/△	一般为 Y, 可以设计成 Y/△但需要特殊设计, 成本会增加。
6 启动方式	全压直启; 降压软启; 变频启动。	全压直启; 变频启动; 配套液力耦合器或磁力耦合器启动。
7 启动电流倍数	4~7Ie	低压 6~8 Ie; 高压 7~10 Ie
8 启动次数	冷态启动 3 次; 热态启动 2 次	冷态启动 2 次 (间隔 5min); 热态启动 1 次。
9 启动特点	启动转矩小、速度慢, 有转差。	启动时间短、速度快、启动转矩大, 无转差, 启动冲击大重载或转动惯量较大负载要注意传动系统和控制系统的配置。
11 维护	巡检维护简单, 更换部件工作熟悉, 易拆装	巡检维护与异步电机基本一样, 但更换部件较异步电机有差异。低压电机: 拆装较异步电机繁琐, 更换轴承建议单侧进行, 可抽芯; 高压电机: 内部设转子支撑更换轴承较方便, 但不能抽芯。

四、首钢京唐烧结烧 2 皮带和烧 4 皮带永磁同步高压电机改造前后节能效果对比:

4.1 永磁同步高压电机与低压电机驱动节能对比

首钢京唐烧结于 2021 年 12 月对总长 481m 烧-4 皮带 2 台低压异步电机 Y2-315L1-4 IP 2 × 160kW 同步双驱改造为 TYKK450-6 功率 355 千瓦的三相永磁同步高压电动机一用一备单驱动模式。原 2 台低压异步电动机额定电压为 AC380V, 运行电流为 338A, 功率因数为 0.89。永磁同步电动机额定电压 10KV,同负荷下实际运行电流为 9.4A, 运行效率 95.1%, 功率因数 0.96。采用永磁电动机降低了电机运行温度, 减少电机故障率和维护量, 驱动系统一用一备, 同时可以实现设备重停双驱动启动的功能, 改造后不但增大了烧-4 皮带的启动转矩, 同时解决了烧-4 皮带重启困难的问题, 还达到了烧 4 皮带节能减排高效运行目的。

4.1.1 2 台烧-4 皮带低压异步电机同步双驱改造为三相永磁同步电动机年效益计算

电机有功功率计算公式为: $P_{有功} = \sqrt{3}UI\cos\phi$; 无功功率的计算公式为: $P_{无功} = \sqrt{3}UI\sin\phi$; 电机无功功率引起电网有功功率损耗的计算公式为: $P_{损} = P_{无功} \times KQ$ (KQ 系数取 0.05); 综合年节电量: $\Delta P = \{ (P_{有改前} - P_{有改后}) + (P_{无改前} - P_{无改后}) \} \times \text{年运行时间}$ (按 8000 小时计算); 节电率 = $(P_{有改前} + P_{有损改前} - P_{有改后} - P_{有损改后}) / (P_{有改前} + P_{有损改前})$; 年节电费 (元) = $\Delta P \times \text{年运行时间} \times \text{工业用电单价}$ 。

4.1.2 按烧-4 皮带技术改造前、后电机实际运行参数为依据

进行计算:

改造前的异步电机有功功率: $P_{有 1} = 198.0KW$

改造前的异步电机无功功率: $PQ_1 = 99.5Kvar$

改造前异步电机无功功率引起电网有功功率损耗为: $P_{无 1} = 99.5 \times 0.05 = 5.0KW$

改造后的永磁电机有功功率: $P_{有 2} = 151.3KW$

改造后的永磁电机无功功率: $PQ_2 = 44.1Kvar$

改造后永磁电机无功功率引起电网有功功率损耗为: $P_{无 1} = 44.1 \times 0.05 = 2.2KW$

年综合节电量 $\Delta P = \{ (198.0 - 151.3) + (5.0 - 2.2) \} \times 8000 = 39.6$ 万 kWh

节电率 24%, 电费按照 0.5 元/kWh, 年节电费为 396000 × 0.5 = 19.8 万元。

4.1.2 按烧-4 皮带技术改造前、后电机实际运行参数为依据进行计算:

改造前的异步电机有功功率: $P_{有改前} = \sqrt{3}UI\cos\phi = 1.732 \times 0.38 \times 338 \times 0.89 = 198.0KW$

改造前的异步电机无功功率: $P_{无改前} = \sqrt{3}UI\sin\phi = 1.732 \times 0.38 \times 338 \times 0.48 = 99.5Kvar$

改造前异步电机无功功率引起电网有功功率损耗为: $P_{有损改前} = 99.5 \times 0.05 = 5.0KW$

改造后的永磁电机有功功率: $P_{有改后} = \sqrt{3}UI\cos\phi = 1.732 \times 10 \times 9.4 \times 0.96 = 156.3KW$

改造后的永磁电机无功功率: $P_{无改后} = \sqrt{3}UI\sin\phi = 1.732 \times 10 \times 9.4 \times 0.28 = 45.6Kvar$

改造后永磁电机无功功率引起电网有功功率损耗为: $P_{有损改后} = 45.6 \times 0.05 = 2.3KW$

节电率 = $(P_{有改前} + P_{有损改前} - P_{有改后} - P_{有损改后}) / (P_{有改前} + P_{有损改前}) = (198.0 + 5.0 - 156.3 - 2.3) / (198.0 + 5.0) = 21.9\%$; 年综合节约电量 $\Delta P = \{ (198.0 - 156.3) + (5.0 - 2.3) \} \times 8000 = 355200KW$

工业用电单价按照 0.5 元/kWh, 年节电效益为 355200 × 0.5 = 17.76 万元。



4.2 永磁同步高压电机与异步高压电机驱动节能对比

京唐公司烧结作业区于 2022 年 3 月对总长 481m 烧-2 皮

带 2 台低压异步电机同步双驱改造为 TYKK450-6 功率 355 千瓦的三相永磁同步电动机一用一备单驱动模式。改造前烧-2 皮带采用 2 台 YKK450-6 355KW 普通高压电机一用一备驱动方式, 额定电压 10KV, 功率因数 0.83, 额定电流 24A, 运行电流为 15.5 安培; 改造后, 烧-2 皮带永磁同步电动机额定电压 10KV, 运行效率 95.1%, 功率因数达到 0.96, 额定电流 22.4A, 同负荷下运行电流为 9.1 安培。

4.2.1 2 台烧-2 皮带低压异步电机同步双驱改造为三相永磁同步电动机年效益计算

电机有功功率计算公式为: $P_{\text{有用功}} = \sqrt{3}UI\cos\phi$; 无功功率的计算公式为: $P_{\text{无用功}} = \sqrt{3}UI\sin\phi$; 电机无功功率引起电网有功功率损耗的计算公式为: $P_{\text{无}} = P_{\text{无用功}} \times KQ$ (KQ 系数取 0.05); 综合年节电量: $\Delta P = \{ (P_{\text{有改前}} - P_{\text{有改后}}) + (P_{\text{无改前}} - P_{\text{无改后}}) \} \times \text{年运行时间}$ (按 8000 小时计算); 节电率 = $(P_{\text{有改前}} + P_{\text{有损改前}} - P_{\text{有改后}} - P_{\text{有损改后}}) / (P_{\text{有改前}} + P_{\text{无改前}})$; 年节电费 (元) = $\Delta P \times \text{年运行时间} \times \text{工业用电单价}$ 。

4.2.2 按烧-2 皮带技术改造前、后电机实际运行参数为依据进行计算:

改造前的异步电机有功功率: $P_{\text{有改前}} = \sqrt{3}UI\cos\phi = 1.732 \times 10 \times 15.5 \times 0.83 = 222.8\text{KW}$

改造前的异步电机无功功率: $P_{\text{无改前}} = \sqrt{3}UI\sin\phi = 1.732 \times 10 \times 15.5 \times 0.56 = 150.3\text{Kvar}$

改造前异步电机无功功率引起电网有功功率损耗为: $P_{\text{有损改前}} = 150.3 \times 0.05 = 7.5\text{KW}$

改造后的永磁电机有功功率: $P_{\text{有改后}} = \sqrt{3}UI\cos\phi = 1.732 \times 10 \times 9.1 \times 0.96 = 151.3\text{KW}$

改造后的永磁电机无功功率: $P_{\text{无改后}} = \sqrt{3}UI\sin\phi = 1.732 \times 10 \times 9.1 \times 0.28 = 44.1\text{Kvar}$

改造后永磁电机无功功率引起电网有功功率损耗为: $P_{\text{有}}$

损改后 = $44.1 \times 0.05 = 2.2\text{KW}$

节电率 = $(P_{\text{有改前}} + P_{\text{有损改前}} - P_{\text{有改后}} - P_{\text{有损改后}}) / (P_{\text{有改前}} + P_{\text{有损改前}}) = (222.8 + 7.5 - 151.3 - 2.2) / (222.8 + 7.5) = 33\%$;
年综合节约电量 $\Delta P = \{ (222.8 - 151.3) + (7.5 - 2.2) \} \times 8000 = 614400\text{KW}$

工业用电单价按照 0.5 元/1kWh, 年节电效益为 $614400 \times 0.5 = 30.7$ 万元。

五、结论

通过对首钢京唐烧-4 皮带和烧-2 皮带永磁同步电机一用一备驱动改造实施, 解决了烧-4 皮带和烧-2 皮带重启困难的问题; 达到了高压直驱永磁电机节能降耗的目的, 并取得明显节能降耗效果。说明永磁直驱同步高压电机与传统的低压异步电机和高压异步电机相比, 永磁同步电机减少了电能损耗, 节电效果良好。永磁直驱同步高压电机在大型皮带上具有一定的实用性。高压永磁电动机在大型皮带上的应用不仅能够符合国家节能减排政策, 还能够有效降低大型皮带设备电能, 提高企业经济效益, 具有广泛推广和应用价值。

参考文献:

- [1] 康兴东, 王东. 现代综合原料场新技术应用实践[J]. 烧结球团, 2017.
- [2] 路万林, 赵菁. 钢铁原料场管控一体化关键技术研究[J]. 冶金自动化, 2016.
- [3] 谷显革. 料场技术在某钢厂原料场工程中的应用[J]. 钢铁技术, 2015.
- [4] 贾好来, 武兴华. 矿用胶带输送机电机系统节能技术研究[J]. 机械开发管理, 2011.
- [5] 唐旭, 王秀和, 李莹等. 异步起动永磁同步电动机起动过程中永磁体退磁研究[J]. 电机工程学报, 2015.