

永磁同步电机直驱带式输送机在镇城底矿的应用

张志红（西山煤电集团有限责任公司镇城底矿，山西 太原 030053）

摘要：镇城底矿针对井下带式输送机输送距离长，运量大的特点，在22213工作面采用智能永磁直驱系统对带式输送机进行改造。并从系统的功能、变频器选型和运行故障监测等方面进行阐述。经运行取得良好效果，实践证明：永磁同步变频直驱系统具有结构简单、节能降耗、启动转矩大、过载能力强、噪音低等优点，且大幅减少工人劳动强度，具有显著的社会与经济效益。

关键词：带式输送机；永磁同步电机；可编程控制器；智能控制系统

矿用带式输送机作为煤炭采掘工作过程中极为重要的输送设备，是煤炭企业正常生产作业的重要保障。控制系统作为矿用带式输送机重要组成部分，其控制技术的先进性直接关系到带式输送机的工作效率，必须引起高度重视。当前服役的矿用带式输送机多采用的是恒转速控制，运行过程存在皮带转速与运煤量不匹配问题，运行时存在抖动情况，制约了矿用带式输送机效率的进一步提升。为提高带式输送机的运行稳定性，实现节能降耗的目标，镇城底矿对22213工作面带式输送机采用永磁直驱电机进行优化改造。

1 永磁直驱控制系统的功能

永磁同步电机直驱带式输送机系统由永磁直驱电机、永磁同步变频器系统和输送机机头构成，较传统带式输送机系统相比，减少减速机、液力耦合器等，系统通过变频器控制永磁同步电动机直接驱动传动滚筒，实现了动力由多级传动机构到一级传动机构的传递。矿井工作面的带式输送机，往往都是参照工作面的采掘生产能力选定；但是，实际运行工况下为达到负载低、转速大扭矩要求，采用异步电机+齿轮减速机的方式。永磁直驱系统的创新应用替换传统的机械驱动装置中异步电机、减速器和液力耦合器的作用，可直接产生驱动力，具有结构简化、效率高、便于维护的优点。

2 永磁直驱控制系统优点

2.1 启动转矩大，过载能力强

采用异步电动机驱动的带式输送机启动转矩是额定转矩的130%，不能实现满载启动，而永磁直驱系统启动转矩是额定转矩的两倍，在满载或者过载时，可直接启动，避免因堵转、过载而造成的电机损坏。

2.2 节能降耗

永磁直驱系统的能耗常规在95%以上，能耗达到国际IE4，综合节能效率比传统驱动系统提高了20%以上。在大幅度提高运行效率时，达到节能降耗目标。

2.3 结构简单，维护成本低

永磁直驱系统无需减速机，机械软起装置；在实际使用中无需更换润滑油、检修齿轮箱，能够节约使用成本、降低维护工作量。

2.4 驱动系统智能化

永磁直驱系统运用无传感器矢量控制技术（SVC）

变频启动，能够实现系统传动的缓慢匀速启动，避免了电机启动的瞬间大电流给电网带来的冲击，以及转矩波动给传动系统带来的机械冲击，由此降低了系统的电网故障和机械故障。

3 永磁同步电机的设计选型

3.1 永磁同步电机选型计算

电机转速 n 的确定：

$$n = \text{皮带机带速} (v) * 60 / 3.14 / \text{驱动滚筒直径} (D)$$

皮带机所需驱动转矩 T 的确定：

$$T = \text{安全系数} (K) * 9550 * \text{轴功率} (P) / \text{电机转速} (n)$$

通过计算，我们可以得出皮带机总体所需转矩，根据驱动电机的数量，计算出单台电机的转矩，然后即可对照永磁电机选型表，选出满足需求的永磁电机的规格。

3.2 电气控制系统选型

永磁同步电动机需配备矿用隔爆兼本质安全型低压交流变频器，该变频器选型依据为电机功率的1.2倍左右；同时，还具有电机温度动态监测功能。

4 电机运行故障分析

4.1 两电平变频器故障现象

永磁同步电动机在运行过程中如出现电机温度高、异常震动现象，基本可确定电机出现绕组匝间短路。而这种故障，是由于采用两电平变频器存在谐波严重、电压尖峰较高等问题导致。

4.2 两电平变频器分析

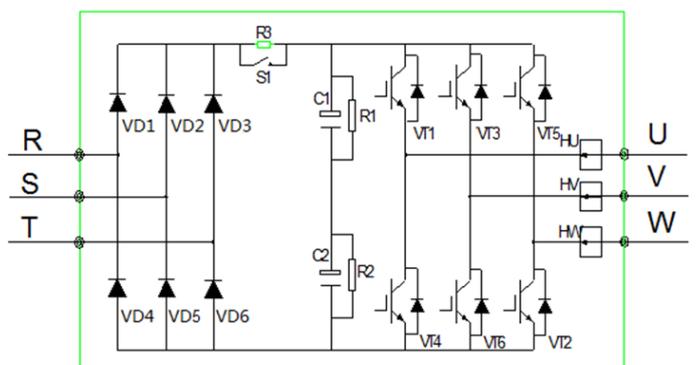


图1 两电平电路拓扑结构图

两电平变频器由于其电路结构简单，得到应用广泛。但是其存在输出电压的 du/dt 大，所含低次谐波分量相对较高等缺点。三相输入电压经整流滤波后，通过

PWM 控制等方法使开关元器件 IGBT 高速导通和关断。电压源型两电平变频器的基本结构如图 1 所示。

变频器输出的脉宽调制电压波形为固定幅值的矩形波脉冲电压，脉冲频率是按正弦规律变化的矩形波脉冲电压在为产生滤波时通过电缆来传输，并在电机的接线端子产生强大电压，使电机承受电压尖峰。

电压尖峰现象可通过输出电压的谐波在传输线上的行波理论作解释，变频器输出的电压波形和正弦交流电压波形不同，而是具有极快上升沿和极快下降沿的方波。当通过电缆传输介质将电能传送到电动机时，电缆两端会产生波的反射与折射，反射程度受变频器、电缆和电动机的波阻抗的影响。尖峰过电压容易引起变频牵引电机内部局部放电的发生。局部放电对绝缘的破坏作用可能导致变频电机绝缘过早失效。

因此，PWM 控制两电平逆变器输出电压产生电压尖峰危害很大，随开关频率升高，电压上升时间的缩短，局部放电次数增加且放电行为加剧，从而导致电动机绕组绝缘的老化更为严重，缩短电机的使用寿命，甚至在薄弱环节击穿、损坏电机。

4.3 三电平变频器介绍

两电平变频器仍存在众多不足，而且其在高压领域由于受电子元器件的限制很难得到应用，当前行业，变频器朝着高压多电平发展的趋势。其中中点箝位式三电平拓扑是一种较好的实现方式。如图 2 所示为其基本电路结构图。

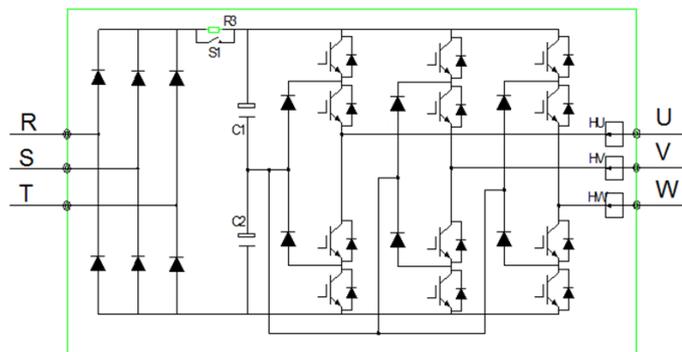


图 2 三电平电路拓扑结构图

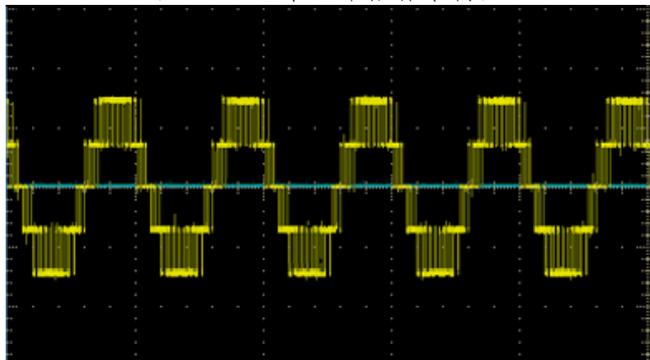


图 3 三电平结构输出波形效果图

三电平变频器具有：输出电压或电流波形接近正弦，谐波分量小；减少电磁干扰难题，一次动作的 dv/dt 只有普通两电平的 $1/(M-1)$ ，每个开关器件承受的直流侧电压值为两电平的一半；开关频率降低，损耗小；电压

尖峰减小，有利于电机可靠稳定运行的优点。

通过三电平结构输出波形效果图 3，可知与两电平变频器相比，三电平变频器的输出波形更接近于正弦波，谐波含量明显得到减少。

三电平变频器每个 IGBT 上承受的电压为两电平的一半，其电压尖峰也得到有效的降低。由此可见，在电压尖峰方面，三电平变频器效果显著。

4.4 匝间短路的研究处理

为避免短路故障的发生可采取以下处理措施：加强永磁同步电机的绝缘处理，在容易引起电压尖峰造成匝间短路的线圈处加强绝缘处理；采用多电平结构可有效降低变频器的电压阶跃；同时，加强电机的散热处理。

4.5 三电平变频器应用分析

①三相功率平衡略差及从机过压问题。由于主机工作在速度控制模式，从机工作在转矩控制模式，极易出现空载多驱功率平衡性能不好和从机报过压故障等问题；②减速过压问题。为避免电动机停止过快对皮带、逆止器等设备造成机械冲击损伤，故停车方式采用减速停车，但此时改造皮带为主运中间转运皮带，其前方有煤仓，为避免出现堆煤等现象，必须在较短时间内减速停车完成。

4.6 三电平变频器故障分析及解决措施

①功率平衡略差及从机过压分析。在实际的运行中，从机运行的速度受到两个因素影响：系统设定最大速度（上限频率决定）和负载转矩。上限频率是由变频器设定参数决定。当从机负载转矩小于主机通过 CAN 总线设定的转矩时，速度上升；反之，则速度降低。当主机发送给从机的转矩大于负载转矩，并且运行速度达到最大允许速度时，因受速度限制此时主机给定的转矩从机不能响应。会造成主从机功率不平衡，引发过压现象；②减速过压分析。变频器驱动电机减速运行，若减速过快，动能变成电能，反充到变频器中造成变频器过压。特别是矢量控制中，在不考虑过压的情况下，变频器会尽可能大的输出发电转矩以最快速度减速，在此过程中非常容易产生过压保护；③解决措施。针对功率平衡略差和从机过压问题，需要经过计算仿真和反复论证，在程序中加入控制算法，在减速停车时对发电转矩进行限制，从源头上抑制电动机发电，从而避免发电功率过大，回馈到母线造成过压故障。

5 结论

镇城底矿针对原有带式输送机驱动系统存在的问题，采用永磁直驱系统进行优化改造，经改造后大幅提高带式输送机的运行效率，同时系统具有结构简单，启动转矩大，高效节能，噪音低，起动平稳，使用方便，人工维护量小等特点，既解决了重载启动困难等问题，同时还实现 35% 的节能效果。

参考文献：

- [1] 田永超, 杨晓敏. 永磁同步变频直驱系统在煤矿井下胶带输送机中的应用 [J]. 能源与环保, 2017(08):186-189.