

[变频器]

金徽矿业磨机同步电动机起动可靠性应用与研究

文/金徽矿业股份有限公司 何晶晶 常玉春

介绍了金徽矿业磨机同步电动机配电及起动方式，分析了磨机高压同步电动机起动存在问题的原因，提出了提高电动机起动可靠性的针对性技改设计。通过对金徽矿业变频器起动球磨机同步电动机的投切工频问题针对性技术改造，保留了原来经济高效的电气设计，提高了可靠性。

金徽矿业磨矿系统配置现状

金徽矿业选矿磨矿系统采用两段磨矿：一段磨矿采用 $\phi 7.0 \times 3.5$ m 半自磨机配置 10 kV、2 500 kW 同步电动机，电动机定子额定电流 169.6 A，励磁电流 267.10 A；二段磨矿采用 $\phi 5.03 \times 8.5$ m 湿式溢流型磨机配置 10 kV、3 500 kW 同步电动机，电动机定子额定电流 236.4 A，励磁电流 267.3 A。两台磨机高压同步电动机起动方式相同，均为变频器起动并采用同步投励方式，即电动机在得电同时在转子中加入励磁电流。磨机采用重载起动，即先把高压电动机输出轴与小齿轮轴连接部利用气动离合器充气抱闸连成一体，然后起动电动机拖动小齿轮旋转带动磨机转动。

两台同步电动机的电气配置采用 1 台高压变频器对半自磨和球磨机高压同步电动机的主电动机实行 1 拖 2 的起动模式，磨矿系统变频器 1 拖 2 电气配置图如图 1 所示，通过 PLC 控制器对变频器与 2 台同步电动机连接的各条变频运行线路和球磨机高压同步电动机

工频运行线路的断路器分时切换操控，完成变频起动球磨机同步电动机投切工频运行，变频器二次起动半自磨机同步电动机并拖动运行。工作原理为：首先连通高压断路器 QF₁ 和变频器输出给球磨机高压同步电动机的 QF₄，利用高压变频器把球磨机高压同步电动机无极平滑起动到 50 Hz，通过变频器的电压检测回路输出锁相成功信号给 PLC 控制器，PLC 控制器确认锁相成功信号并延时 2~3 s 后输出变频切换为工频的动作信号，闭合工频高压断路器 QF₂ 并延时 15 ms 断开变频器输出断路器 QF₄，完成球磨机高压同步电动机变频起动切换工频运行，变频器完成起动后停止运行。PLC 控制器延时 10 min 后再次允许变频器起动半自磨机高压同步电动机，直接闭合 QF₃ 实现变频起动并拖动运行，变频器一直拖动半自磨电动机并调频运行。这种电气设计的突出优点是电气回路配置极其简练，断路器和变频器的数量最少成本控制最佳，变频器作用发挥最大，以最简线路实现了 2 台磨机高压同步电动机分别平滑起动和半自磨机的变频运行。

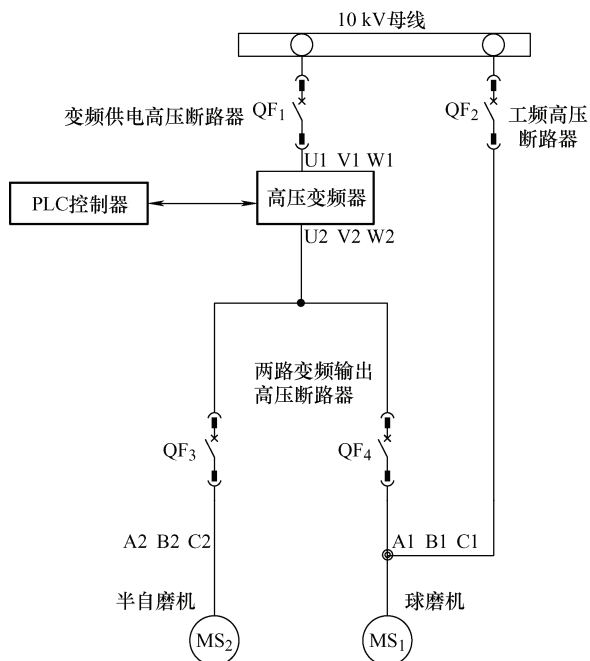


图 1 磨矿系统变频器 1 拖 2 电气配置图

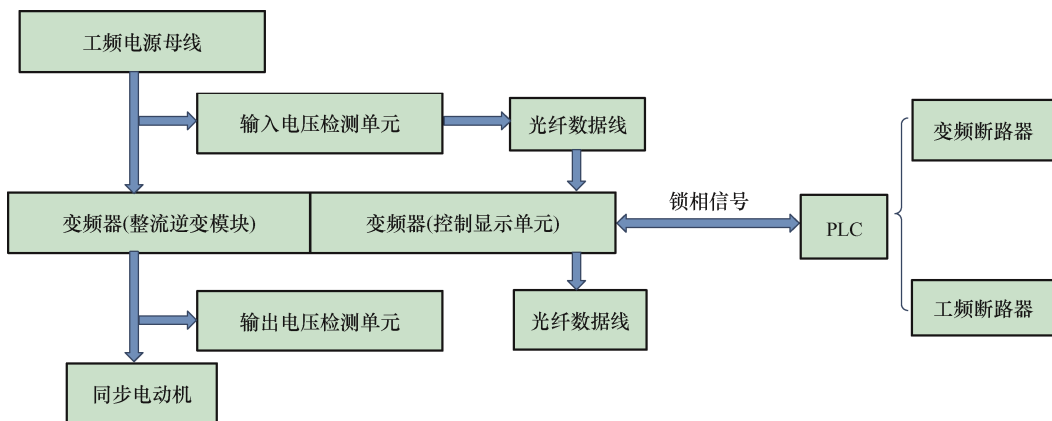


图 2 变频器转换工频工作原理框图

变频器 1 拖 2 起动磨机同步电动机过程的关键环节是球磨机同步电动机变频起动到 50 Hz 后转换为工频运行，使变频器停止运行再次起动半自磨机。变频转工频的过程利用了合康高压变频器的变频工频无扰切换专利技术。变频器转换工频工作原理框图如图 2 所示，通过电压检测单元实时检测变频器的输出电压的各参数和工频电源母线供电电压的各参数，比较其异同，当同相电压幅值小于 $10\text{ kV} \times 5\%$ 和同相相位差小于 5° 时，变频器控制器输出锁相成功信号给 PLC，PLC 接收到锁相成功信号延时 2~3 s，判定信号准确稳定输出变频切换为工频的动作信号，闭合工频断路器，断开变频输出断路器使电动机切换到工频运行，实现电动机变频运行与工频运行之间的切换。

存在的问题

问题主要表现为变频器在起动球磨机同步电动机时在达到 50 Hz 后无法稳定获取锁相信号，无法投切工频运行，需要多次重复起动才能完成锁相成功和变频投切工频，球磨机同步电动机的多次起动造成了电能浪费、电动机损伤和生产开机起动时间的不可控制，给生产带来极大的不确定性。究其原因主要是两方面：一是变频器的电压检测单元对输出电压与 10 kV 工频电源母线供电输入电压的幅值和相位的检测不准确；二是光纤线路传输及端子连接信号衰减和 A/D 转换准确度，信号传输

转换不准确。导致在实际运行中锁相信号的成功概率只能达到 80% 左右，为此进行必要的技术改造提高磨机同步电动机起动可靠性势在必行。

技术改造

根据原因分析主要从两个方面进行技术改造：一是针对变频器锁相成功率偏低的现状，对变频器的电压检测单元和信号传输通道进行冗余，增加一套电压检测和变频器控制器的信号接收通道，两路电压信号同时进行判定只要有一个满足锁相相位和幅值要求的成功条件，就给 PLC 输出允许断路器切换的信号，实现工变频切

换；二是增加自耦变压器降压起动球磨机同步电动机风险应急旁路，在变频器切换工频无法完成时，确保能够起动球磨机。技改配电电气设计图如图 3 所示。

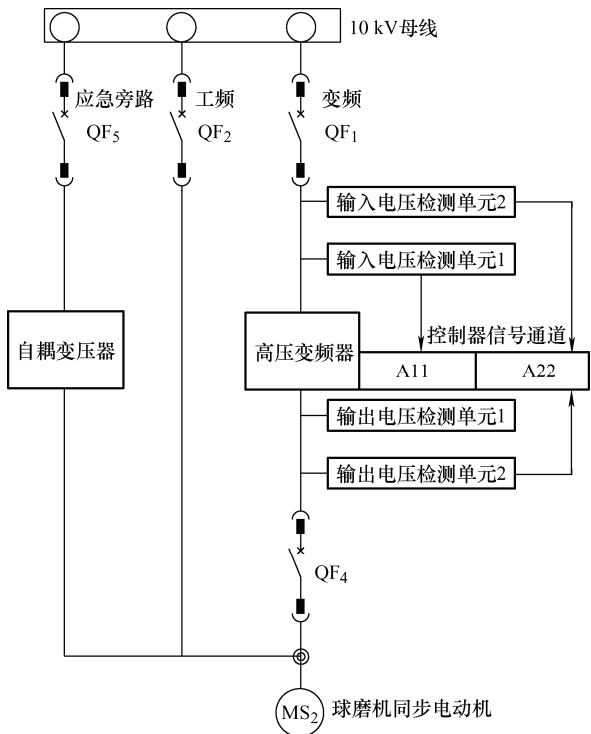


图 3 球磨机同步电动机技改配电电气设计图

与原来电气配置比较，此次技改设计保留了原来一台变频器起动两台磨机的高效设计，半自磨机的变频拖动运行回路不变，只是从起动球磨机同步电动机的可靠性角度入手解决问题。一是把变频器锁相信号检测传输单元由单路扩展为双路，提高信号容错率；二是增加一台自耦变压器和一台高压断路器 5QF 构造风险应急旁路，形成冗余热备用。通过这样的设计改造，变频器的锁相信号检测成功概率提升 1 倍，与应急旁路叠加后球磨机同步电动机的起动可靠性提高了 2 倍。

结束语

通过对金徽矿业变频器起动球磨机同步电动机的投切工频问题针对性技术改造，既保留了原来经济高效的电气设计，又提高了可靠性，满足了生产需要，对大型磨机电动机的可靠起动应用具有较大的推广借鉴意义。EA

(收稿日期：2021.01.23)

(上接第 62 页)

在自动控制上，在分流挡板的上一级皮带机上，安装激光扫描检测带式输送机上的煤流截面，通过积分运算，得出入厂煤瞬时煤量。为满足控制需要，该装置应采用一类激光，分辨率 0.050，响应时间 0.1 s，扫描频率不小于 15 Hz。分流挡板角度检测传感器则固定在分流挡板的驱动臂上。煤量和角度以 4~20 mA 模拟量信号传送至输煤程控。由于皮带机的速率是不变的，所检测的煤量流至分流挡板的时间也是不变的。根据入厂煤量的大小，每个流量区间对应不同的分流挡板角度。考虑到不同的落煤筒结构和煤流进入分流挡板上方的不规则流向，挡板角度的设定必须根据实际情况试验确定，编写分流挡板的角度控制程序，实现自动闭环控制。使得分流上仓时，上仓设备的平均负载接近设备的额定出力。

结束语

自 2011 年 3 月开始，斗轮机自动取料系统和分流挡板角度控制系统在乐电公司陆续投运，并在实际应用中不断创新改进，该公司近十年来的输煤单耗趋势曲线如图 3 所示。

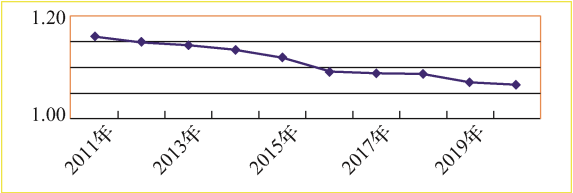


图 3 输煤单耗趋势曲线

上仓系统的负载调控日趋平稳可靠，电动机效率稳步上升，安全经济效益不断显现。EA

(收稿日期：2021.03.22)