

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2021) 10-081-05 中图分类号: TN77

变频器在铅锌矿选厂渣浆泵中的应用

Research on Fuzzy Control Algorithm and Software Development for the Superheated Steam Temperature Control of Coal-Fired Power Plant

★ 陈葆, 郭靖 (陕西震奥鼎盛矿业有限公司, 陕西 宝鸡 721700)

摘要: 本文介绍了陕西震奥鼎盛矿业有限公司渣浆泵变频调速控制系统的节能原理及系统组成。经过详细的方案论证及合理的设备选型, 渣浆泵采用液位连锁变频多段速自动控制方式, 有效解决了采用手动控制渣浆泵起停存在的问题, 提升了生产工艺水平。通过实际数据分析, 渣浆泵变频调速系统运行稳定且节能效果显著, 具有明显的经济效益和社会效益。

关键词: 电气传动系统; 渣浆泵; 调速节能; 液位连锁; 多段速控制

Abstract: This article introduces the energy-saving application and system composition of adjustable speed electrical power drive system in slurry pump. After scheme demonstration and reasonable equipment selection, the liquid level interlocking frequency conversion multi-stage speed automatic control mode can effectively solve the problems existing in the manual control of the start and stop of the slurry pump and improve the production process level. Through the analysis of actual data, adjustable speed electrical power drive system of slurry pump runs stably and has remarkable energy-saving effect, and has obvious economic and social benefits.

Key words: Power drive system; Slurry pump; Adjustable speed and energy-saving; Liquid level interlock; Multi-stage speed control

1 前言

陕西震奥鼎盛矿业有限公司选厂工艺段有大量的渣浆泵设备, 早期安装投运的设备受限于技术条件及初期投资成本, 渣浆泵电机普遍采用工频直接起动或星三角(Δ -Y)降压起动方式, 值班人员观察沉淀池内液位的

高低, 手动起动或停止渣浆泵的运行。

在实际生产使用过程中, 渣浆泵电机由工频直接起动, 一方面起动时电流大, 对电网冲击大; 另一方面起动时对设备机械冲击较大, 影响水泵及管网的使用寿命。由于入池浆液流量不定, 人工值守过程中, 偶尔还会发生观察不及时没有起动渣浆泵导致沉淀池溢出或起动后忘记停泵导致泵吸空的情况。

为改善工艺使渣浆泵能够根据液位自动调节运行, 同时达到软起软停设备及节能的目的, 渣浆泵采用了变频器起动, 液位控制自动连锁的运行方式。

2 变频器的工作原理及调速节能原理

2.1 变频器的工作原理

变频器(Variable-frequency Drive, VFD)是应用变频技术与微电子技术的原理, 通过改变电机工作电源频率的方式来控制交流电动机变速运行的电力控制设备。

变频器主要采用交-直-交方式(VVVF变频或矢量控制变频), 先把工频交流电源通过整流器转换成直流电源, 然后再将直流电源转换成频率、电压均可控制的交流电源以供给电动机。它主要由整流部分、滤波部分、逆变部分及控制部分构成, 其中控制部分由主控单元、驱动单元、检测单元等组成, 如图1所示。

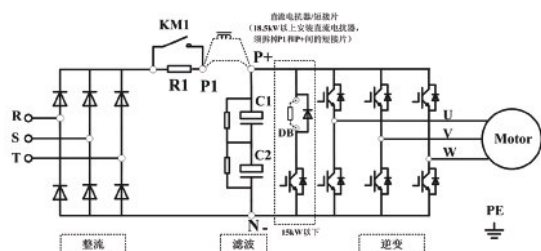


图1 通用低压变频器原理图

(1) 整流部分：将工作频率固定的交流电转换为直流电。

(2) 滤波部分：经整流器整流后的直流电压，含有电源6倍频率的脉动电压，此外逆变器产生的脉动电流也使直流电压产生波动。为了抑制电压波动，采用电容和电感吸收脉动电压（电流），并利用电容存储转换后的电能。

(3) 逆变部分：由绝缘栅双极型晶体管（IGBT）阵列组成电子开关，主控单元产生脉冲宽度调制（PWM）信号控制IGBT开通及关断，将直流电转化成不同频率、宽度、幅度的方波。

(4) 主控与驱动单元：按设定的程序工作，控制输出PWM信号的幅度与脉宽，使其叠加为近似正弦波的交流电，驱动交流电动机。

(5) 检测单元：检测主电路的电压、电流、温度等参数，当发生过载或过电压等异常时，为了防止逆变器和异步电动机损坏，使逆变器停止工作或抑制电压、电流值。

2.2 变频调速及节能原理

三相交流异步电机的转速如式（1）所示：

$$n=60f(1-s)p \quad (1)$$

其中， n 为异步电机转速；

f 为电机的电源频率；

s 为电机的转差率；

p 为电机极对数。

由上述公式可推导出，异步电动机的转速 n 与频率 f 成正比，只需要改变频率 f 即可改变电动机的转速 n 。

本项目中，铅锌矿选厂的渣浆泵属于一种二次方转矩负载，它具有如式（2）~（4）所示特点：

$$Q_2/Q_1=n_2/n_1 \quad (2)$$

$$H_2/H_1=(n_2/n_1)^2 \quad (3)$$

$$P_2/P_1=(n_2/n_1)^3 \quad (4)$$

式中， Q_1 、 Q_2 —流量， m^3/s ；

n_1 、 n_2 —转速， r/min ；

H_1 、 H_2 —扬程， m ；

P_1 、 P_2 —功率， kW 。

从这三个公式中可以明显看出，渣浆泵的流量与转速成正比，扬程与转速的二次方成正比，功率与转速的三次方成正比。当沉淀池内入池浆液流量不同时需要调节抽水速度，浆液入池多时快速抽水，浆液入池少时慢速抽水。通过变频运行调节来控制渣浆泵的转速，则所需功率以近似流量的三次方大幅度下降。

2.3 节能计算

根据GB12497《三相异步电动机经济运行》强制性国家标准实施监督指南中的计算公式，即：风机、泵类，采用挡板调节流量对应电机输入功率 P_L 与流量 Q 的关系如式（5）所示：

$$P_L = \left[0.45 + 0.55 \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^2 \right] P_e (kW) \quad (5)$$

式中， P_e —额定流量时电机输入功率， kW ；

Q_N —额定流量， m^3/s 。

若流量的调节范围 $(0.5 \sim 1) Q_N$ ，则调节电率如式

(6) 所示：

$$Ki = \frac{\Delta P_L}{P_L} = \frac{P_L - P_e \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^3}{P_L} = 1 - \frac{\left(\frac{Q}{Q_N} \right)^3}{0.45 + 0.55 \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^2} \quad (6)$$

上式表明采用变频调速后，电机消耗的功率与实际流量和额定流量比值的三次方成正比，即 $P_e \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^3$ ，再与采用挡板调节流量对应电机输入功率 P_L 相减后除以 P_L ，得电机在节流调节消耗的功率基础上计算的节能率。用相似性原理 $P \propto n^3$ 计算节能时，也应先计算原系统节流调节时消耗的电能，再与系统变频调速后消耗的电能相减，这正好是式（6）分子的表示式。因此，要准确地计算节能，需要使用式（5）计算系统节流调节时消耗的电能。

在人工调节阀门时，根据废水输入量不同，阀门的开度有大有小，渣浆泵的流量也不相同。将各个时段的流量加起来求出平均值大约为 $0.74Q_N$ ，由式（5）

$$P_L = [0.45 + 0.55 \left(\frac{Q}{Q_N} \right)^2] P_e = (0.45 + 0.55 \times 0.74^2) P_e = 0.75 P_e (kW)$$

由式（6）

$$K_i = 1 - \frac{(\frac{Q}{Q_N})^3}{0.45 + 0.55(\frac{Q}{Q_N})^2} = 1 - \frac{0.74^3}{0.45 + 0.55 \times 0.74^2} = 0.46$$

在考虑到变频器的效率为95%，则渣浆泵用变频调速后节电率在41%上下。改造完成用有功电度表进行计量，节能率在40%，与计算相差不大。

以160kW变频器为例，平均年运行时间为2640小时，则年节电量约为 $16.9 \times 10^4 \text{ kWh}$ ，相当于节约了60.84吨标准煤，同时减少二氧化碳（CO₂）排放168.49吨，二氧化硫（SO₂）5.07吨，氮氧化合物（NO_x）2.53吨；节约纯净水676吨，且在约1年运行周期内就可收回投资。

3 设备的选型及系统方案设计

3.1 变频器的选型

(1) 根据生产工艺要求，渣浆废液含有较多比重大于水的杂质，变频器不建议使用风机、水泵型专用变频器。为保障生产的连续可靠运行，尽量选择高性能重载型变频器，可以满足选厂较为恶劣的工业环境，同时重载型变频器过载能力强，运行更加可靠。

(2) 为满足控制系统的设计需要，要选用输入输出接口丰富且可自定义编程的变频器，变频器需内置多段速控制程序和PID控制程序，减少外围控制设备的使用，使系统尽可能得简洁可靠。

综上所述，在众多的变频器生产厂家中，选用了质量可靠、性价比较好的希望森兰SB70G系列高性能矢量控制变频器。

3.2 液位传感器的选型

测量液位的传感器有多种类型可供选择：超声波雷达液位传感器、浮球液位传感器、金属杆节点液位继电器。选厂沉淀池环境一般比较差，选择超声波雷达液位传感器虽然精度高，但容易受到环境的影响导致测量误差；沉淀池内液体杂质相对较多，浮球液位传感器容易被杂质卡死。而金属杆节点液位继电器有高、中、低三个（或多个）接点，对应渣浆池中的高、中、低三点液位。

综合考虑，现场工艺不需要精确地控制液位保持在恒定高度，只需要保持液位在一个范围内即可，所以选择不锈钢金属杆探头结合HHY11PG-A液位继电器测量沉淀池多个液位点即可。

3.3 系统方案设计

本期改造的是一台160kW三相异步电动机拖动的渣浆泵，变频器选用希望森兰SB70G160T4变频器。变频器安装在变频柜内，设备成套安装完整，系统功能接口齐全。

3.3.1 系统结构设计

现场改造施工中在沉淀池内按设计安装4根长短不一的不锈钢金属杆作为沉淀池液位检测装置，可以测定液位低低点、低点、高点、高高点，经过HHY11PG-A液位继电器转换为4个节点信号传输到SB70G变频器的多功能输入端子X3、X4、X5、X6上，变频控制柜在自动运转模式下会根据不同的节点信号运行不同的频率，控制水泵的转速达到液位保持的状态，系统结构如图2所示。

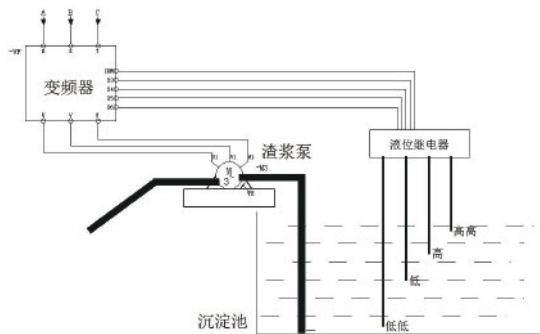


图2 系统结构图

3.3.2 一次系统方案设计

变频控制柜内安装电源进线塑壳断路器，便于对变频系统送电、断电操作及柜内安全检修操作，变频器直流P1、DC+之间串联接入直流电抗器，与变频器内部电容构成LC滤波回路，可极大地降低变频器输入端整流后的谐波，同时提高系统功率因数。柜内配置渣浆泵辅助设备冲洗泵、油泵电机、电机散热风机起停回路，电流测量、电压测量、照明、通风等辅助回路，构成完善的变频控制柜系统。其一次原理图如图3所示。

3.3.3 柜面布局设计

变频控制柜柜门上安装电流、电压显示仪表，工程师/现场操作人员可直观地查看电机运行状态。柜门安装紧急停机、启动、停止按钮，运行、故障状态指示灯以及本地调速电位器旋钮，可以手动对渣浆泵进行起停控制和转速调节，便于在设备调试过程中手动操作设备。柜门上从变频器本体引出安装变频器操作面板盒，

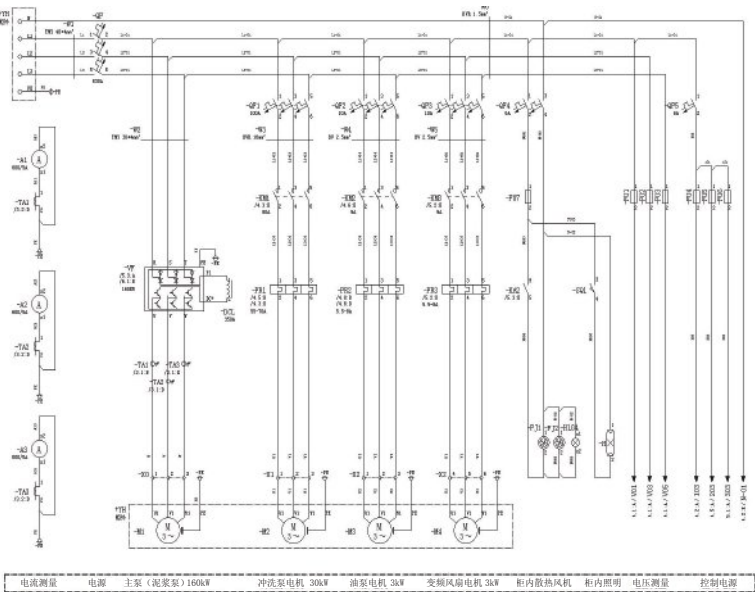


图3 一次原理图

工程师能够在不打开柜门的状态下查看和更改变频器的设备参数。柜门设置手动/自动模式选择开关，调试时选择手动模式操作，正常投运设备后切换到自动模式，由液位信号控制变频器的起停和速度调节。具体柜面元件布置如图4所示。

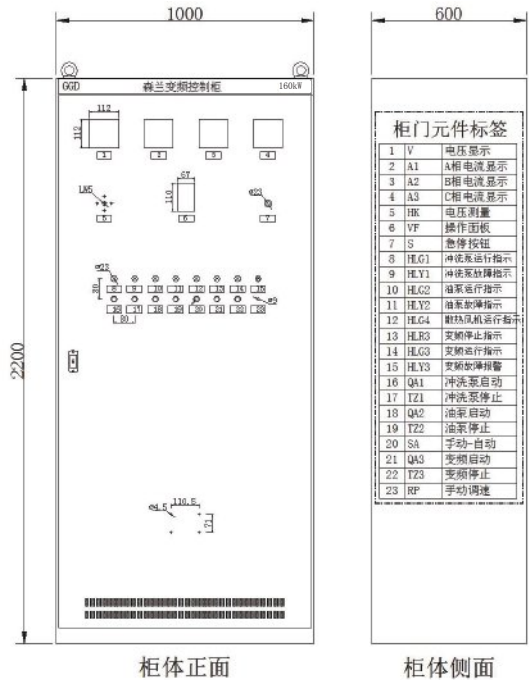


图4 柜面布置图

3.3.4 系统参数设置

根据系统设计方案，变频器接线图设计如图5所示，参数设置如表1所示。

表1 变频器参数设置

参数值	定值	说明
F0-02	1	设定变频器为外控端子起停模式
F1-00	80	设定启动加速时间为80s
F1-01	80	设定停止减速时间为80s
F4-00	16	定义X1端子输入有效时为紧急停机
F4-01	43	定义X2端子输入信号有效时变频器给定频率强制切换到A11电位器给定
F4-02	1	定义X3为变频器运行禁止
F4-03	2	定义X4为多段频率选择1
F4-04	3	定义X5为多段频率选择2
F4-05	4	定义X6为多段频率选择3
F4-06	38	定义FWD端子为正转起停命令
F4-17	1	定义多段速选择模式为直接选择
F4-18	20	定义1段速为20Hz
F4-19	35	定义2段速为35Hz
F4-20	50	定义3段速为50Hz

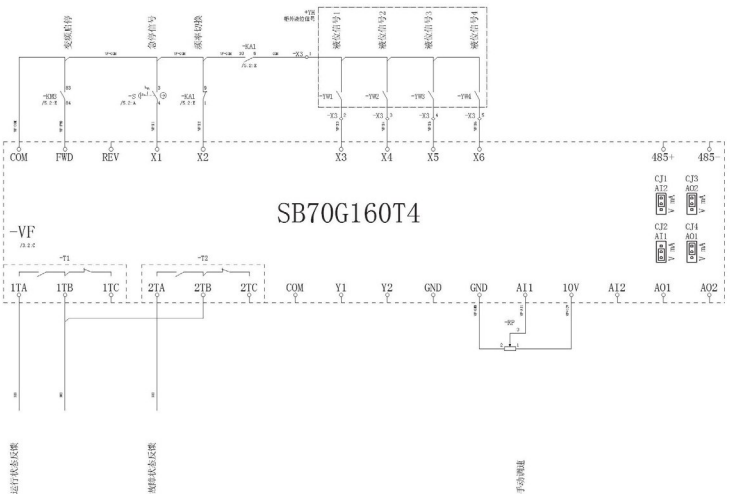


图5 变频器接线图

变频控制柜分为两种控制模式：

(1) 手动控制模式：手动对渣浆泵进行起停控制和转速调节，在设备调试过程中使用。

(2) 自动控制模式：自动对渣浆泵进行起停控制和转速调节，在设备投运过程中使用。

通过柜门上的手动/自动切换旋钮切换至自动控制模式。变频系统启动后，X6端子接入信号有效时，对应液位高高点，50Hz高速运行抽水；X5端子接入信号

有效时, 对应液位高点, 35Hz中速运行抽水; X4端子接入信号有效时, 对应液位低点, 1段速20Hz低速运行抽水; X3端子接入信号有效时, 对应为液位低低点, 变频器运行禁止, 连锁停泵。当入池水量增加, 液位上涨后, X3接入信号消失, 变频器依旧按照有效信号对应的转速运行, 如此循环就实现了渣浆泵采用液位连锁变频多段速自动控制方式。

注: 上述不同液位对应的变频器运行频率可根据实际需要灵活设置。

4 结论

以变频器替代星三角降压起动渣浆泵, 结合液位控制器自动控制变频器的运行频率, 达到了如下效果:

(1) 采用变频器起动水泵所需电流可以控制在电机额定电流以内, 解决了星三角起动时大电流对系统电网的冲击;

(2) 改进生产工艺, 降低了设备机械冲击, 减少了设备长期运行时的维保工作量;

(3) 采用调速电气传动控制技术后, 可以根据沉淀池液位高低灵活控制电机运行转速, 既不会池水外溢, 又可以极大地节约电能, 具有显著的经济效益和社会效益。

综上所述, 随着变频技术发展日趋成熟, 结合液位控制系统对矿选厂的生产工艺有极大改进, 给企业带来了良好的经济效益, 值得在厂内设备上推广使用。 **AP**

作者简介:

陈 葆 (1973-), 陕西西安人, 高级工程师, 学士, 现任职于陕西西北有色铅锌集团有限公司, 主要从事矿山机电设备的选型、安装、调试、维护改造及新技术的推广应用工作。

郭 靖 (1987-), 陕西西安人, 专科, 现任职于西安森兰电气有限公司, 主要从变频器及其相关自动化设备的设计、选型、调试、维护及变频器技术的应用工作。

参考文献:

- [1] 仲明振, 赵相宾. 低压变频器应用手册[Z]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 张燕宾. 变频器应用教程[Z]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [3] 吴忠智, 吴加林. 变频器应用手册[Z]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [4] SB70系列高性能矢量控制变频器用户手册.