

[变频控制]

基于PLC的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法

文/刘恒斌 姚铁旺 杨海波 张宇斌 冯冠伟
天津蓝巢电力检修有限公司

设计一种新的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法。分析火力发电厂循环水泵电动机变频控制特性，基于PLC技术设计循环水泵电动机变频控制平台，构建火力发电厂循环水泵电动机变频控制模型，实现火力发电厂低损耗循环水泵电动机变频控制，为后续优化控制提供参考。

火力发电厂指的是利用煤等相关的可燃物生产电能的基础工厂，可以进行有效的能量转换，为我国的电力输送做出了突出的贡献。循环水泵可以让水在闭合回路中循环运行，降低阻力损失，因被广泛地应用在各个火力发电厂中。循环水泵电动机经过变频控制后，可以根据网路总水流量规划最大流量值，并通过扬程法排除压力损失，完成发电。但常规的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法在控制过程中很容易受外界温差影响产生较高的电力损耗，不符合目前的控制需求，因此需要设计一种新的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法。

火力发电厂内部的负荷较高，必须要进行有效的变频控制才能降低电动机的综合损耗，控制发电成本，但常规的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法仅通过较传统的控制系统进行控制，尚未添加有效的变频控制硬件，因此其控制损耗电量始终较高。PLC是一种可编程序逻辑控制器，可以根据变频控制需求进行模拟转换，完成变频控制，降低控制电量损耗。因此本文基于PLC设计了新的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法。

基于PLC的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法

1. 分析火力发电厂循环水泵电动机变频控制特性

循环水泵电动机可以联合火力发电厂内的交流电动机完成驱动，涉及的变频控制因素较多，需分析火力发电厂循环水泵电动机的变频控制特性，最大程度上降低循环水泵电动机驱动能耗，计算循环水泵电动机的能量驱动参数计算式为

$$H = H_G + H_D \quad (1)$$

式中， H_G 代表循环水泵内静压； H_D 代表循环水泵内动压。

通过静压与动压的变换得到驱动功率计算式为

$$P = \frac{Q - H_G}{Q + H_D} \quad (2)$$

式中， Q 代表特定时间内输出功率的相应效率，在特定时间中，循环水泵电动机的变频控制特性始终满足有效的静压原则，即特定时间内循环水泵电动机内的输出功率与实际变频效果呈正相关。

当循环水泵内部电动机转速不变时， Q 值呈较大幅度增加，当循环水泵电动机转速发生改变， Q 值随之下降，得出循环水泵电动机的变频控制参计算式为

$$\begin{cases} Q_0 = a \left(\frac{n'}{n} \right) \\ H_0 = a \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \\ P_0 = a \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \end{cases} \quad (3)$$

式中, a 代表循环参数; n' 代表水泵电动机发电参数, n 代表控制常数。

由此可知, 循环水泵电动机在不同的环境下始终在进行动态改变, 基于此可以进一步计算循环水泵电动机的容量 P_s 计算式为

$$P_s = Q\rho H/1\,000\eta_1\eta_0 \quad (4)$$

式中, ρ 代表工质密度; η_1 代表转动装置效率; η_0 代表水泵效率。

将上述计算的参数代入到式(4)中可以得到不同条件影响下火力发电厂循环水泵电动机的变频控制特性, 作为后续的水泵电动机变频控制的基础。

2. 基于PLC设计循环水泵电动机变频控制平台

常规的循环水泵电动机变频控制方法仅使用较传统的控制系统进行控制, 控制电量损耗较高, 本文选取了PLC设计了有效的循环水泵电动机变频控制平台。

将PLC作为设计平台的硬件, 具有自动化控制功能, 随时采集处理循环水泵电动机变频控制过程中生成的相关控制指令, 进行有效控制。除此之外, PLC可以进行智能化逻辑控制, 操控变频控制时序, 避免循环水泵电动机空转, 降低循环水泵电动机的控制损耗。基于PLC设计的变频控制平台框图如图1所示。

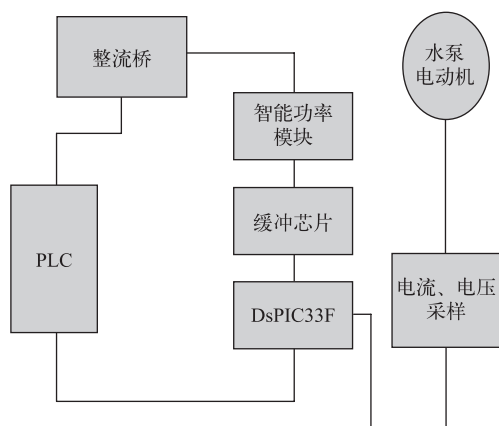


图1 循环水泵电动机变频控制平台结构

由图1可知, 变频控制平台主要以PLC为中心, 当水泵电动机工作时, 该系统可以使用端电压法完

成电动机电压采样, 估算此时算子的位置, 再使用智能功率模块和相关的缓冲芯片进行控制, 变频控制平台的主控制程序在开始控制前需要处理采集到的控制信息, 进行PLC滤波, 滤波式为

$$y = \frac{y(k)}{c+1} \quad (5)$$

式中, $y(k)$ 代表控制对象; c 代表控制次数。

根据滤波结果可以进一步计算PLC的控制参数 G , 表达式为

$$G = K_V \left(1 + \frac{1}{ST} \right) \quad (6)$$

式中, K_V 代表控制临界值; ST 代表控制参数。

此时进行变频控制的循环水泵电动机满足PI延迟控制函数 $g(x)$, 计算式为

$$g(x) = \frac{1}{2} \pi \cdot \frac{K_V}{1+sT} e \quad (7)$$

式中, sT 代表被控对象; e 代表控制器解析频率。

结合该延迟控制函数可以完成变频控制信息处理, 得到精确的DSC变频控制工作频率, 本文设计的循环水泵电动机变频控制平台设置了最大占空比, 即在每个PLC处理中心均可自动触发采样中断, 满足循环水泵电动机变频控制的节能需求。

3. 构建火力发电厂循环水泵电动机变频控制模型

实现火力发电厂循环水泵电动机变频控制的最后一步, 就是构建有效的火力发电厂循环水泵电动机变频控制模型, 由于循环水泵电动机的初始位置难以确定, 影响实际循环水泵电动机的变频控制效果。本文使用三段式启动法, 观察循环水泵电动机的运行同步状态, 构建循环水泵电动机PLC变频控制模型 E_D , 计算式为

$$E_D = y(n-1) + T_Q \quad (8)$$

式中, y 代表电流观测强度; n 代表电势差; T_Q 代表控制稳定性参数。

该模型在控制过程中受变频滤波作用影响, 经常产生较高的校正电压, 可能提高循环水泵电动机的电能损耗, 需要进行校正电压排除, 排除式 f 为

$$f = 1 - \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m \frac{E_D}{T_{PWM}} \quad (9)$$

式中, m 代表校正常数; E_D 代表未滤波校正电压; T_{PWM} 代表PWM转子运行参数。

此时还需结合校正电压的实际数值计算循环水泵电动机的转子角度 θ , 作为设计模型的计算参

数，计算式为

$$\theta = \arctan(-\frac{e_a}{e_b}) \tag{10}$$

式中， e_a 代表电动机电角速度； e_b 代表PWM周期。
 将该转子角度作为标准转子角度参考，可以提高模型的控制精确性，最大程度上降低火力发电厂循环水泵电动机的控制电量损耗，实现火力发电厂循环水泵电动机的节能变频控制。

实验

为了验证基于PLC的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法的控制效果，本文选取了符合实验需求的实验平台，将其与常规的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法对比并进行实验。

1. 实验准备

实验选取X火力发电厂编号为YKSLD1～YKSLD10的10个基础循环水泵电动机进行实验，为了保证实验的准确性，结合实验需求测试电动机保护定值。再使用高速保护法对选取的电动机进行改造，保证实验使用的水泵电动机在改造前后的基础零序TA保持不变。在正常运行状态下，改造后的循环水泵电动机的保护定值需与改造前一致，改造后YKSLD1～YKSLD10循环水泵电动机的相关参数见表1。

表1 循环水泵电动机参数

型号	YKSLD1～YKSLD10
额定功率/kW	18 00/1 400
额定电压/kV	6
额定电流/A	223/152
额定频率/Hz	50
功率因数	0.846
绝缘等级	F
转速/（r/min）	488/421
冷却方法	IC81W
冷却器换热额定容量/kW	40
冷却器运行水压/MPa	0.025
冷却器运行水消耗/（m³/h）	16.00

由表1可知，改造后的循环水泵电动机可以实时进行电流速断保护，降低电动机的过负荷风险，此时各个电动机的连接方式如图2所示。

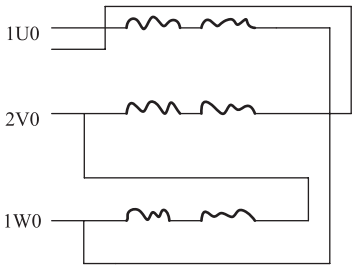


图2 循环水泵电动机连接方式

由图2可知，1U0代表循环水泵电动机的一级绕组，2V0代表循环水泵电动机的接头，1W0代表循环水泵电动机的连接片。选取的10个电动机均按上述连接方法连接，为了保证实验效果，在电动机连接后需进行保护整定，计算循环水泵电动机的最大发电电流 I ，计算式为

$$I = K_r K_s I_e \tag{11}$$

式中， K_r 代表整定可靠系数； K_s 代表起动电流参数； I_e 代表电流运行值。

结合循环水泵电动机的实际运行状态，可以计算实际反馈电流 I_{op} ，完成保护整定，计算公式为

$$I_{op} = K_{en} K_{fo} I_e \tag{12}$$

式中， K_{en} 代表反馈系数； K_{fo} 代表电动机起动电流倍数。

此时已经完成了基础准备工作，为了提高实验的准确性，本文选取TP613三相智能耗电量检测仪进行电能损耗检测，该电能检测仪的精度较高，使用MODBUS RTU、MQTT和DL645完成检测通信。此外，该三相智能耗电量检测仪支持谐波2～31次可检测三相电压、电流、有功、无功等30多种电参数，符合本实验的检测需求，可以作为后续实验的基础检测仪器。

2. 实验结果与讨论

使用本文设计的基于PLC的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法和常规的循环水泵电动机变频控制方法共同进行实验，对上述选取的YKSLD1～YKSLD10共10个基础循环水泵电动机进行变频控制，并使用TP613三相智能耗电量检测仪检测两种方法的控制损耗电量，实验结果见表2。

由表2可知，本文设计的基于PLC的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法的控制损耗电量较低，而常规的火力发电厂循环水泵电动机变频控制

方法的控制损耗电量较高,证明设计的变频控制方法的控制效果较好,具有节能性。

表2 实验结果 (单位: kWh)

基础循环水泵电动机	基于PLC的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法的控制损耗电量	常规的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法的控制损耗电量
YKSLD1	525.46	2 653.16
YKSLD2	685.45	3 651.44
YKSLD3	554.12	3 456.85
YKSLD4	546.49	4 265.15
YKSLD5	448.23	5 471.35
YKSLD6	596.52	2 485.49
YKSLD7	565.01	4 156.48
YKSLD8	351.14	2 188.56
YKSLD9	463.15	2 441.84
YKSLD10	521.98	3 154.12

结束语

循环水泵电动机是火力发电厂的重要组成部分,需要根据火力发电厂的运行负荷需求进行变频控制,但受外界环境温差变化的影响,常规的火力发电厂变频控制方法的控制损耗电力始终较高,不满足目前的控制节能需求。本文基于PLC设计了新的火力发电厂循环水泵电动机变频控制方法,结果表明,设计的循环水泵电动机变频控制方法的控制损耗电量较低,证明其控制效果较好,符合变频控制的节能需求,有一定的应用价值。

(收稿日期: 2022-07-14)

参考文献

[1] 刘峰,舒恺,钱凯,等. 直流微网DC/DC变换

器的虚拟直流电机控制策略研究[J]. 电网与清洁能源, 2022, 38(1): 31-39, 45.

[2] 闫鹏,周文,胡雪凯,等. 基于模糊PI的电动汽车无刷直流电机控制系统研究[J]. 河北电力技术, 2021, 40(6): 5-9, 30.

[3] 余洋,冯路婧,米增强,等. 基于增量反推控制的机械弹性储能用永磁同步电机控制方法[J]. 电机与控制学报, 2021, 25(12): 1-10.

[4] 年珩,王垚鑫,赵建勇,等. 基于自动代码生成的电力电子及电机控制教学实验平台设计[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(10): 220-226.

[5] 薛鹏,任鹏飞,张鹤羽,等. 基于布谷鸟算法的智能车驱动电机控制参数整定[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2021, 33(3): 50-53, 80.

[6] 梁梓鹏,胡斯登,李钊,等. 主从绕组电机驱动系统及控制策略研究[J]. 电工技术学报, 2021, 36(24): 5071-5080.

[7] 尹洪桥,易文俊,贾芳,等. 基于单神经元神经网络的无刷直流电机控制系统仿真[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(7): 2747-2753.

[8] 李振,吕志鹏,盛万兴,等. 基于虚拟同步电机控制的固态变压器对多控制类型分布式电源接入的适应性分析[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(9): 80-90.

[9] 刘壮,韩雪岩,高俊. 基于热固耦合的高速永磁电动机转子强度分析[J]. 电气技术, 2021, 260(5): 1-5, 101.

[10] 李义军,孙翼森,迟科华,等. 考虑负载特性的异步电动机参数辨识方法研究[J]. 电气应用, 2022, 41(6): 33-38.

