

多电机同步控制在多台水泵并列运行中的必要性

王启业

(华电电力科学研究院 浙江 杭州 310030)

摘要: 分析了热网循环水系统中并列运行的大功率水泵组电机转速不同步对泵组效率和运行振动的影响,提出了电机转速不同步会导致泵组整体效率下降以及水泵运行振动加剧,并对并联同步控制进行了仿真分析,验证了并联同步控制在多台泵并列运行中的可行性。在国家节能降耗的政策背景下,同步控制对热电厂降低厂用电率、优化水泵运行显得至关重要。

关键词: 循环水泵组效率; 并联同步控制; 节能降耗

Abstract: The influence of out - sync motor speed of high - power water pump in parallel operation on the efficiency of pump units and operation vibration is analyzed in the circulating water system of the heat supply network. It is proposed that the motor speed which is out of sync will lead to the reduced overall efficiency and excessive vibration of the pump units. The simulation analysis shows that the feasibility of parallel synchronization control is verified in the parallel operation of multiple pumps. In the context of energy conservation and consumption reduction policy, the synchronization control is of great importance to the reduction of auxiliary power rate and the optimization of pump operation.

Key words: efficiency of circulating pump units; parallel synchronization control; energy conservation and consumption reduction

中图分类号: TM763 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2015)02 - 0082 - 03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.02.019

0 引言

厂用电率作为电厂节能降耗的一个重要指标,不容被忽视。热电厂的厂用电率一般在 8% 左右^[1],厂内主要的耗电设备多为水泵和风机,其中大功率的给水泵、凝汽器循环水泵、热网循环泵及其凝结水泵都是多台并列运行,并留有备用泵,这些泵耗电量很大,占整个厂用电的比例达到 75%,因此,通过提高大功率水泵组的运行效率、降低其耗电量,来降低厂用电率显得尤为重要。

在水泵的性能实验中通过实验数据计算出泵的运行效率,运行效率低可直接反映出水泵电耗高,造成厂内水泵电耗高的原因主要有两个:一是泵选型不合理,主要表现在泵的设计扬程比实际扬程偏大很多,这种情况,可通过泵腔内叶轮改造使泵运行在高效区域;二是并列布置的泵组运行不合理导致泵组的整体效率下降,造成电耗增加。针对后者进行分析,通过国内某电厂热网水循环泵实验数据验证泵之间运行不同步导致泵组效率下降,并给出理论

分析,利用 MATLAB 仿真分析得出:并联同步控制可有效提升泵组运行效率。

1 热网水循环泵组性能实验

国内某热电厂热网首站配套 8 台热网循环泵,循环泵型号为 KQSN/J350 - M4/693,单极双吸离心泵,一拖一变频控制,设计为 6 用 2 备,最多实际运行数量为 7 台。供热末期对其中 4 台热网水循环泵进行了性能考核。

1.1 热网水循环泵组并列运行结构

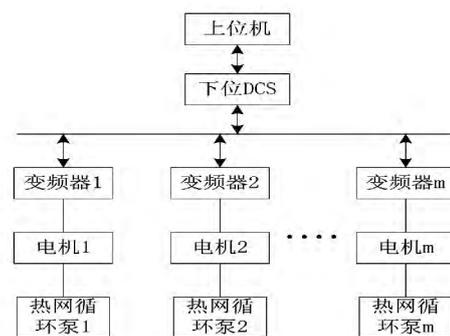


图 1 热网水循环泵的控制结构图

国内热电厂均采用DCS(集散控制)控制系统,厂内热网水循环泵的控制结构如图1所示。

1.2 热网循环泵参数及其实验参数

热网循环泵设计参数如表1所示。

表1 热网循环泵设计参数

参数名称	额定工况
流量/(t·h ⁻¹)	1 500.0
扬程/m	160.0
转速/(r·min ⁻¹)	1 480.0
泵的效率/%	75.0
必须汽蚀裕量(NPSHr)/m	5.5

性能实验分为5个工况进行,如表2所示。

表2 试验工况表

工况编号	工况说明	开始时间	结束时间
T01	4台循环泵变频器频率分别为43 Hz、40 Hz、47 Hz、41 Hz	11:25	11:55
T02	4台循环泵变频器频率均为40 Hz	12:10	12:40
T03	4台循环泵变频器频率均为38 Hz	12:50	13:20
T04	4台循环泵变频器频率均为35 Hz	13:30	14:00
T05	4台循环泵变频器频率均为33 Hz	14:10	14:40

实验数据记录如表3所示。

表3 实验数据记录

	T01	T02	T03	T04	T05
流量/(t·h ⁻¹)	4 769	4 623	4 306	4 049	3 758
扬程/m	76.8	71.5	67.0	57.9	51.0
电机轴功率/kW	2 653.4	2 110.9	1 821.2	1 447.8	1 211.3
泵效率/%	37.6	42.9	43.13	44.08	43.07

注:循环泵扬程设计偏离设计值过大,导致泵效率偏低。

1.3 实验数据分析

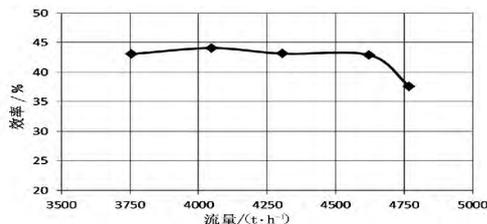


图2 热网循环泵组效率与流量的关系曲线

从图2中可以看出,泵组转速不同步(工况1:频率不同步)时,泵组的效率明显低于转速相同时的工况。实验中还发现,频率不同步的泵组中有2台泵振动明显加剧,主要是因为频率低的水泵被“抢水”,泵流量下降,进出口管路水流出现周期性喘息现象,导致泵的振动加剧,运行不稳定。

2 多电机同步控制方案

对多电机的同步控制研究,大致分为4种^[2]: (1)基于同一给定电压的并联运行方法,各电机的速度环采用同一给定电压,这种方法线路简单,实现容易,但启动同步跟随性好,抗负载扰动能力差; (2)基于同一给定电压的串联运行方法,以前一台电机的转速输出作为下一台电机的速度给定,这种方法简单易行,但启动过程跟随性能不是很理想,抗负载扰动不十分理想; (3)基于补偿原理的输出耦合控制方法,在各电机采用同一给定电压或以前一台电机的转速输出作为下一台电机的速度给定的基础上,比较主从电机的转速,其差值经补偿器加到从或主电机的控制输入端,这种方法使同步控制精度和抗负载扰动能力都得到了很大的提高,在实际应用中使用最广泛,补偿的方式方法不同效果也有差异; (4)基于现代控制理论的控制方法,这种控制方法主要是在前3种方法的基础之上将现代控制理论应用到控制器的设计和被控对象的模型辨识中。

鉴于上述几种同步控制方法实现难易程度不同,综合考虑电厂实际运行逻辑,提出将简单易实现的并联同步控制方法运用到热网水循环泵组的控制中,即所有电机给定同一转速,并联同步控制结构图如图3所示。

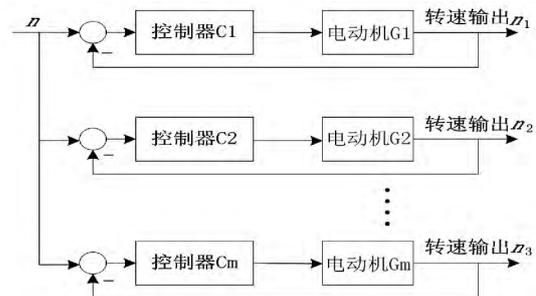


图3 并列同步控制结构图

3 模型设计与仿真分析

在实际运行中,拖动热网水循环泵的电动机采用大功率的三相异步交流电动机。交流电动机的动态数学模型是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统^[3]。在实际工程中大多运用矢量控制技术^[4],通过坐标变换,把交流电动机的定子电流分解成转矩分量和励磁分量,用来分别控制电动机的转矩和励磁,获得和直流电动机相仿的高动态性能,因此这里直接选取直流电动机来做仿真研究。

3.1 模型设计

选取直流电动机参数: 额定数据为 10 kW, 220 V, 55 A, 1000 r/min, 电枢电阻 $R_a = 0.5 \Omega$; 通过计算得出电动机的电动势系数 $C_e = 0.1925 \text{ V} \cdot \text{min}/\text{r}$, 取电枢回路总电阻 $R = 1 \Omega$, 飞轮惯量 $GD^2 = 10 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 通过计算得出电磁时间常数 $T_l = 0.017 \text{ s}$, 机电时间常数 $T_m = 0.075 \text{ s}$ 。

实际中同一型号电动机的参数通常都是略有差别, 取4台电机的电磁时间常数和机电时间常数如表4所示。

表4 各电机电磁时间常数和机电时间常数

	电机1	电机2	电机3	电机4
T_l/s	0.017	0.02	0.021	0.015
T_m/s	0.075	0.1	0.095	0.1

电动机的转速由变频器来调节, 将变频器中电力电子变换装置看作一阶惯性环节 $\frac{K_s}{T_s s + 1}$, 在直接转速给定下将变频器传递函数取为 $\frac{0.05}{s + 0.03}$ 。转速跟踪控制器选用 PI 调节满足无静差。

基于 Ziegler - Nichols 方法的 PID 整定^[5]: 该方法是基于稳定性分析的 PID 整定方法。整定比例系数的思想是, 首先置 $K_D = K_I = 0$, 然后增加 K_p , 直至系统开始振荡(即闭环系统极点在轴上)再将 K_p 乘以 0.6, 即为整定后的比例系数 K_p 。

整定公式如下。

$$K_p = 0.6K_m; K_D = \frac{K_p \pi}{4\omega_m}; K_I = \frac{K_p \omega_m}{\pi} \quad (2)$$

式中, K_m 为系统开始振荡的 K 值; ω_m 为振荡频率。

利用根轨迹法可以确定 K_m 和 ω_m 。对于给定的被控对象函数, 可以得到其根轨迹。对于穿越轴时的增益即为 K_m , 而此点的 ω 值即为 ω_m 。

通过 Ziegler - Nichols 方法的 PID 整定得到: $K_p = 14.2634$, $K_I = 0.4532$, $K_D = 0.1251$; 在仿真中将跟踪控制器传递函数取为 $\frac{14.26s + 0.45}{s}$ 。

3.2 仿真分析

给定电机转速为 1000 r/min, 4 台电机的转速曲线如图4所示。

从图4中可以看出仅在 1 s 以后, 4 台电机转速就都达到 1000 r/s, 速度同步性能相当好。

在 5 s 的时刻, 模拟两台电机的电源发生扰动, 即给电机 1 施加 +5 A 的阶跃负载电流, 给电机 2 施加 -5 A 的阶跃负载电流, 4 台电机的转动速度曲线如图5所示。

5 s 时电机 1 与电机 2 的速度曲线发生了变化,

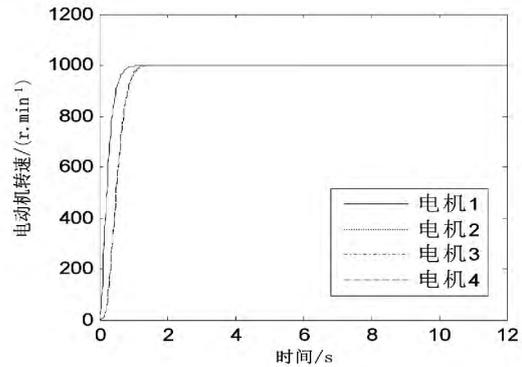


图4 载重恒定下4台电机转动速度曲线

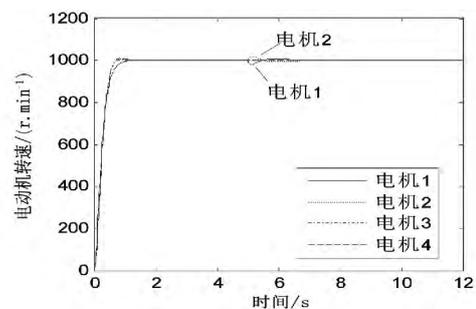


图5 电源扰动下4台电机转动速度曲线

如图5所示。它们的速度超调量为

$$\sigma\% = \frac{1070 - 1000}{1000} \times 100\% = 7\%$$

可以满足实际工程中对平稳性的要求, 恢复时间 $t_v = 2 \text{ s}$ 。

4 总结

通过性能实验验证了循环水泵转速不同会导致泵组整体效率下降、泵振动加剧, 并给出了理论分析。提出将并联同步控制运用于泵组的同步控制中, 可有效提升泵组的整体效率, 使泵运行更加稳定, 延长泵的使用寿命。建议国内热电厂推行这种控制方式, 进一步降低厂用电率, 降低热电厂运行成本, 同时达到“节能减排”的目的。

参考文献

- [1] 王林川. 电厂厂用电率及对策[J]. 东方电气评论, 2002, 16(3): 158.
- [2] 刘福才, 张学莲, 刘立伟. 多级电机传动系统同步控制理论与应用研究[J]. 控制工程, 2002, 9(4): 87-89.
- [3] 陈坚. 交流电机数学模型及调速系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [4] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 206.
- [5] 刘金琨. 先进PID控制 MATLAB 仿真(第2版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 86-87.

作者简介:

王启业(1985), 硕士研究生, 研究方向为电站控制与节能技术。

(收稿日期: 2014-11-11)