

某核电站启动锅炉的电气设计和调试中问题的解决

张清江, 孙世峰, 戴 悦, 刘克大

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 根据某核电站在技术条件、安全性和可靠性对启动锅炉的电气设计的特殊要求, 以及启动锅炉的负荷性质和容量大小, 提出启动锅炉的电气设计的方案。该电气设计采用三相五线制交流 380 V 双电源进线, 每路进线电源带一段母线, 两段母线间设母联开关; 针对成组电动机的自启动进行校验; 调试过程中出现进线断路器不定时跳闸, 从原理上分析产生问题的原因, 并针对调试中出现的问题, 提出了在三相五线制电气系统中解决零线共用形成环流问题的方法。

关 键 词: 核电站; 启动锅炉; 电气设备; 三相五线制; 四极开关; 零线

中图分类号: TM621.7; TK229 文献标识码: B

引 言

启动锅炉是核电站的主要辅助配套工程之一, 主要用于新装核电机组辅机的调试试验, 以保障核电机组调试的顺利进行。本文研究的启动锅炉一方面用在核电汽轮机机组的启动和停堆时, 向核电厂辅助蒸汽系统提供辅助蒸汽; 另一方面在采暖期向换热站提供采暖用蒸汽。电气系统就是为启动锅炉的辅机及控制、照明等提供安全可靠的电源而设置的。

1 电气系统设计条件及技术要求

1.1 电源进线

由两台 800 kVA 变压器的低压侧供电, 其型号、参数: SLC-800/6, Y, yn12; 阻抗电压 6%; 6/0.4 kV, 3 相, 50 Hz; 供电距离 180 m; 原有厂用公共负荷 540 kVA。

1.2 技术要求

- (1) 锅炉辅机系统既能集中控制, 又能就地手动控制;
- (2) 辅机按满足成组自启动的要求考虑;
- (3) 电源进线断路器采用四极(AH 型)开关, 并具有漏电保护、过电压保护等功能;

- (4) 全部电气设备采用湿热型产品(TH 型);
- (5) 配电回路应有满足系统安全运行的电气保护措施。

2 电气系统的设计和工作原理

2.1 电气一次系统的设计

电气系统采用三相五线制, 动力和照明共用母线接线方式。根据工艺、可靠性、安全性和有关设计规程的要求, 电气一次系统采用按炉分段的接线原则, 每台锅炉对应一段母线。锅炉房电源分别从核电站厂区两台 800 kVA 变压器处的低压侧引接, 配电系统采用 380/220 V 三相五线制供电。两段母线互为备用, 母线间设母联开关。正常情况下母联开关断开, 两段母线分裂运行, 当一段母线失电时, 断开此段母线电源进线断路器, 母联开关自动投入, 恢复对该段母线的供电。启动锅炉电气一次系统图如图 1 所示。

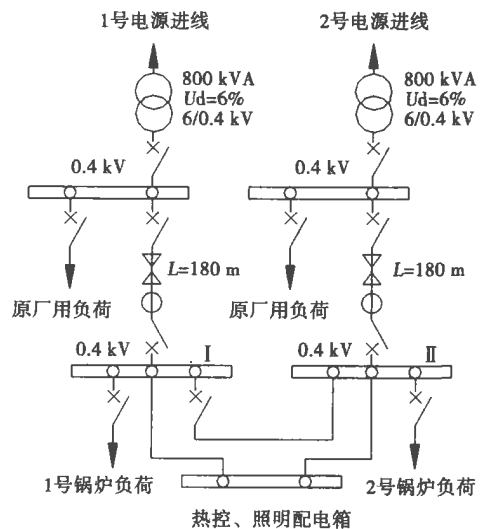


图 1 启动锅炉电气一次系统图

收稿日期: 2005-01-24; 修订日期: 2006-08-09

作者简介: 张清江(1967-)男, 黑龙江五常人, 哈尔滨·第七〇三研究所高级工程师。

2.2 自启动时母线电压的计算和校验

按最严重的运行条件校验,即原厂区公用变压器满负荷成组自启动,启动容量 800 kVA,原厂区公用系统负荷 540 kVA,剩余为锅炉房负荷即 800 kVA - 540 kVA = 260 kVA,如果母线剩余电压能满足自启动要求,则其它运行方式都能满足。

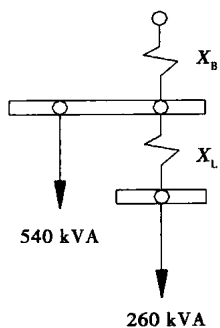


图 2 成组自启动等值电路

成组自启动等值电路如图 2 所示。

(1) 电抗的计算公式:

$$\text{变压器电抗 } X_B = 1.1 \frac{U_d / \% S_{2B}}{100 S_B}$$

$$\text{电缆线路电抗 } X_L = \frac{X L S_j}{2 \cdot 1000 U_j^2}$$

其中: $U_d \%$ —变压器的阻抗电压百分值; S_{2B} —变压器低压绕组的额定容量, kVA; S_B —变压器额定容量, kVA; X —1 000 m 的电抗; L —电缆的长度, m; S_j —变压器基准容量, MVA; U_j —母线的基准电压, kV。

$$X_B = 1.1 \times 6 / 100 \times 800 / 800 = 0.066$$

$$X_L = \frac{0.072}{2} \times \frac{180}{1000} \times \frac{0.8}{0.38^2} = 0.0359$$

(2) 合成负荷的计算公式:

$$S = S_0 + S_{qz}, S_{qz} = \frac{K_{qz} \sum P_{e,d}}{S_{2B} \eta_d \cos \varphi_d}$$

其中: S —合成负荷(标么值); S_0 —自启动前厂用电源已带的负荷(标么值), 取 $S_0 = 0$; S_{qz} —自启动容量(标么值); K_{qz} —自启动电流倍数, 取 $K_{qz} = 5$; $\sum P_{e,d}$ —参加自启动的电动机额定功率总和, kW; $\eta_d \cos \varphi_d$ —电动机的额定效率和额定功率因数的乘积, 取 0.8。

$$S_1 = 0 + \frac{5 \times 800}{800 \times 0.8} = 6.25$$

$$S_2 = 0 + \frac{5 \times 260}{800 \times 0.8} = 2.0313$$

(3) 母线电压的计算公式:

$$U_m = U_0 / (1 + S X)$$

其中: U_m —电动机成组自启动时的厂用母线电压(标么值); U_0 —厂用母线上的空载电压(标么值)取

$$1.05; U_{m1} = \frac{1.05}{1 + 6.25 \times 0.066} = 0.7434; U_{m2} =$$

$$\frac{0.7434}{1 + 2.0313 \times 0.0359} = 0.6929.$$

原厂用 380 V 母线剩余电压为 $U_{m1} = 74.34\%$, 至锅炉 380 V 母线剩余电压为 $U_{m2} = 69.29\%$, 均大于成组起动的最低母线电压的 60% 的要求, 可以采用直接启动方式。

2.3 控制保护及二次线路

为提高电气系统的可靠性,控制、保护、二次回路及开关的操作采用 220 V 直流电源,选择一套 65 Ah, 220 V 免维护铅酸电池直流系统作为控制、保护及开关操作回路的直流电源。

电源进线设有短路、过流、过电压和零序及漏电保护。照明及其它配电回路设有短路及漏电保护。

电动机控制采用二级控制的方式,即热工控制台上集中自动、手动启停控制,配电盘前手动操作。同时在现场设紧急停车按钮。电动机回路设有短路、过载及欠压保护。

3 调试过程中发现的问题及处理

从临时变压器的低压侧引接同一电源两回路进行模拟调试,即采用一个电源带一段母线和一个电源带两段母线调试的方式,结果比较正常。当每回路带一段母线同时工作时,结果发现电源进线处的零序保护继电器不定时的动作,引起电源进线开关跳闸,而且两处进线开关跳闸的次序不定,对电气系统的设计和现场电气设备的检查没有发现问题,那么问题出在哪呢?通过下面的分析即可明晰。

故障状态的工作原理图如图 3 所示,在照明、热控制配电系统中,经常要用到 220 V 交流电源,这一电源是从 380 V 电源取一相线和零线所得到的,为保证热控、照明电源的可靠性,一般采用双电源连锁自投方式供电,设计中供电回路的断路器 K_1 、 K_2 、接触器 C_1 、 C_2 按常规采用了 3 组主触点控制方式,电源分、合时只切断了相线,没有切断零线。这就为事故跳闸留下隐患,采用临时变压器调试时,由于只引入了一路电源,零线形不成环流,所以调试正常;在采用同一电源的两回路调试时,由于 K_1 、 K_2 、 C_1 、 C_2 没有切断零线,这样 220 V 单相负荷就可能在两回进线电源的零线中通过电流,当该电流达到零序保护的的动作值时,保护就会启动,从而导致进线电源开关 K_4 或 K_5 的跳闸(见图 3 中的虚线)。

处理的办法将该回路所有的断路器、接触器改为四极,就能切断零序电流的通路。通过现场的改装后,实际运行中没有在出现跳闸的现象。

(下转第 83 页)

响的综合结果。采用进口导流器调节时, 气流的预旋所损耗的能量部分转化成声能而有增加噪声的趋势; 当流量减小时, 气流径向速度降低, 对叶片冲击减弱而使旋涡噪声降低, 因此噪声的变化不会很大。但由于改变导流器开度, 使气流进入叶轮时容易产生预旋, 造成叶轮出口气流失速, 产生紊流, 使风机产生声腔共鸣噪声, 导致 A 声级噪声突然上升。如导流器为 60% 开度, 流量大于 $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (83% 额定流量) 时, 噪声值突然上升, 远高于其它开度下的噪声。

与出口节流调节相比, 采用进口导流器调节, 其噪声总体水平降低, 但降低幅度较小, 如流量为 $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (40% 额定流量) 和 $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (90% 额定流量), 15% 和 45% 开度时的噪声分别降低了 2.5 dB 和 1.8 dB; 而在有些流量下, 导流器开度的减小反而增大了噪声。与变速调节相比, 采用导流器调节时的噪声明显偏高。采用变速调节时, 风机噪声随转速的减小始终呈现降低趋势; 当风机转速在 1 250 r/min 及以下时, 风机的噪声已低于 60% 开度时的噪声水平, 随着转速的进一步降低, 在满足风机负荷的前提下, 噪声将有更大幅度的降低; 另外, 变速调节的节能效果也优于导流器调节^[1]。因此, 总体比较变工况下的 3 种调节方式, 无论从经济性还是从降低噪声特性方面, 变速调节的综合性能最优, 进口导流器调节次之; 出口节流调节最差。

3 结 论

在分析离心式风机噪声成因的基础上, 对电站

中广泛使用 G4-73No. 8D 型大型离心式风机进行了出口节流调节、进口导流器调节和变速调节 3 种方式下的噪声特性测试, 得出:

(1) 采用出口节流调节, 当流量从 $5.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (接近额定流量) 逐渐减小时, A 声级噪声明显升高; 采用进口导流器调节, 噪声降低幅度平均为 0.5 dB, 最大为 2.0 dB, 在某些流量范围内, 导流器开度的减小反而导致噪声有所提高; 采用变速调节时, 噪声随转速的减小始终呈现降低趋势, 噪声等级有了大幅度的降低, 在满足风机出力的情况下, 噪声最大可降低 7.8~9.6 dB, 噪声得到有效明显的控制。

(2) 综合比较以上 3 种调节方式下的噪声特性和经济性能, 变速调节最优, 进口导流器调节次之; 出口节流调节最差。本文的研究结果可为电厂离心风机的调节运行提供了一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 安连锁. 泵与风机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 刘秋洪, 祁大同, 曹淑珍. 风机降噪研究的现状与分析[J]. 流体机械, 2001, 29(2): 29-32.
- [3] 王嘉冰, 区颖达. 多翼离心风机的内流特性及其噪声研究[J]. 流体机械, 2004, 32(4): 29-33.
- [4] 刘雅琴. 风机工况调节中的噪声特性[J]. 噪声与振动控制, 1997(3): 33-35.
- [5] 王学军, 蔡建程, 祁大同, 等. T9-19No. 4A 离心风机蜗壳振动及相应噪声的计算与测量研究[J]. 流体机械, 2004, 32(6): 1-4.
- [6] 张碧泉. 前向型叶片高压离心风机噪声控制的治理研究[J]. 噪声与振动控制, 2004(2): 27-29

(何静芳 编辑)

(上接第 74 页)

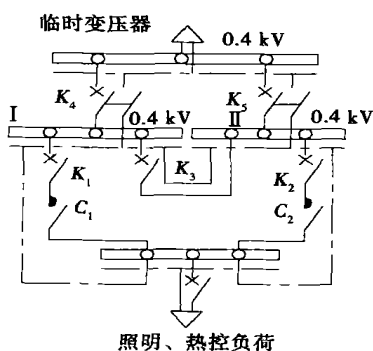


图 3 故障状态的工作原理图

4 结 论

核电站启动锅炉的电气设计方案和注意事项:

(1) 核电站启动锅炉的电气系统设计采用双电源进线、双母线供电的三相五线制方式;

(2) 小容量成组启动电动机通过进行自校验, 可以进行直接起动;

(3) 为了避免零线共用形成环流的问题, 电气回路中所有的断路器、接触器都要为四极。

参考文献:

- [1] 范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [2] DL/T5153-2002 火力发电厂厂用电设计技术规定[S].
- [3] GB 50052-95. 供配电系统设计规范[S].

(辉 编辑)

某核电站启动锅炉的电气设计和调试中问题的解决= **Resolution of Problems Involved in the Electrical System Design and Commissioning Tests of Pre-operational Test Boilers for a Nuclear Power Plant**[刊, 汉]/ZHANG Qing-jiang, SUN Shi-feng, DAI Yue, et al (Harbin No.703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(1). — 73~74, 83

In accordance with the special requirements for the design of the electrical system of pre-operational test boilers for a nuclear power plant, proposed was a design scheme for the pertinent electrical system. The special requirements include the relevant technical conditions, safety and reliability of the boiler electrical system as well as the loading nature and capacity of the pre-operational test boilers. The design of the electrical system adopts a three-phase five-wire system of AC 380 V dual power source lead-in wires with each lead-in wire power source incorporating a section of busbar and a bus coupler being provided between any two sections of the busbar. Moreover, the motors in groups would undergo a check inspection through a self start-up. During the commissioning test, occasional trips occurred to the lead-in wire circuit-breakers. The causes of such problems were analyzed from the perspective of underlying principles. As regards the problems emerging in the commissioning test, proposed was a method to solve the problem through the formation of a ring current by the use of a common zero line in the three-phase five-wire electrical system. **Key words:** nuclear power station, start-up boiler, electrical equipment, three phase five wire system, four-pole switch, zero line

周向前弯轴流风扇转子叶顶泄漏流动研究= **Research Findings Concerning Blade-tip Leaking Flow in Circumferential Forward-skewed Axial-flow Fan Rotors**[刊, 汉]/ LI Yang, OU Yang-hua, DU Zhao-hui (College of Mechanical and Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(1). — 75~79

With a blade wheel of a low-pressure axial flow fan having three typical circumferential forward-skewed angles (forward-skewed angles of 1.27, 8.3 and 25 degrees) serving as an object of study, a numerical calculation was conducted of a three-dimensional viscous flow field along with a testing and measurement of the outlet loss. The calculation results are in comparatively good agreement with the measured ones. The results show that with an increase in the circumferential forward-skewed angle of blades, the starting location of the blade-tip leaking vortex will shift backward along the blade chord, gradually approaching the trailing edge of the blades. The vortex intensity will not increase all along but show a sign of weakening as influenced by the blade wake after a certain forward-skewed angle has been reached. The foregoing reflects that for a wheel with a big forward-skewed angle, the flow in the blade-tip area becomes more complicated, and meanwhile the factors influencing the top-end loss will multiply, including leaking vortex, secondary vortex, wake, and mutual mingling and dilution. **Key words:** low-pressure axial flow fan, circumferential forward-skew, blade-tip leaking flow, wake

大型离心式风机变工况调节中噪声特性的实验研究= **Experimental Study of Noise Characteristics of a Large-sized Centrifugal Fan During its Off-design Regulation Process**[刊, 汉]/ LI Chun-xi, LEI Yong, WANG Song-ling, et al (Education Ministry Key Laboratory on Condition Monitoring and Control of Power Plant Equipment, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(1). — 80~83

Nowadays, the centrifugal fans used in large-sized power plants universally suffer from a high noise level. Noise reduction has become a pressing task in environmental protection. An experimental study of noise characteristics of a Model G4-73No.8D large-sized centrifugal fan was conducted in three respects: outlet throttle regulation, flow-guide regulation and variable speed regulation. Noise characteristic curves under off-design conditions were obtained. The experiments show that when the flow rate falls, the noise level under the outlet throttle regulation mode will rise somewhat and that under the flow guide regulation mode fall slightly. But, by contrast, the noise level at certain opening degrees of the flow guide will somehow go up and that under the variable speed regulation mode will drop by a great margin, thus making it possible to effectively control the noise level. When viewed from the aspect of noise reduction and cost-effectiveness, the variable speed regulation offers an optimum overall performance. **Key words:** centrifugal fan, noise, throttle regulation,