

文章编号: 0258-0926(2015)S1-0139-04; doi: 10.13832/j.jnpe.2015.S1.0139

方家山核电厂模拟机楼空调机组改造

张甘兴, 张国庆

中核核电运行管理有限公司, 浙江海盐, 314300

摘要: 在调试模拟机楼恒温恒湿机时, 主控室和计算机房的 4 台恒温恒湿机组运行时出现控制频繁, 对机组安全和寿命存在很大隐患; 同时, 在 4 台压缩机运行时, 为了恒温, 加热器又满功率开启, 导致电能严重浪费。通过改造解决了这些问题, 使恒温恒湿机组运行稳定。

关键词: 核电厂; 压缩机控制方式; 运行稳定

中图分类号: TL38⁺6 **文献标志码:** A

Alteration of Air Conditioning Units in Simulator Building of Fangjiashan Nuclear Power Plant

Zhang Ganxing, Zhang Guoqing

CNNP Nuclear Power Operations Management Co., Ltd., Haiyan, Zhejiang, 314300, China

Abstract: During the commissioning of the thermostatic and humid static air conditioning unit (THACU), four THACUs in MCR and computer room are turned on and off frequently, which will threaten the safety and life span of the units. Meanwhile, when the four THACUs are in operation, the heater is running at 100% power to keep the environment under a constant temperature, which causes a serious waste of electrical power. Through the alteration, the problems are solved and the THACUs can operate properly and stably.

Key words: Nuclear power plant, Compressor control mode, Stable operation

0 前言

模拟机楼 DWC 通风系统于 2012 年 5 月试运行后, 发现主控室和计算机房的 4 台恒温恒湿机组运行时存在如下问题:

(1) 每台恒温恒湿机组均配有 4 个压缩机, 2 个压缩机 1 组, 50%、100% 两级控制; 在运行时至少 2 台压缩机运行, 当需要除湿时, 4 台压缩机运行; 不要除湿时, 其中 2 台压缩机停运。这样, 压缩机控制频繁, 每小时压缩机控制次数多达十几次; 同时在 4 台压缩机运行时, 为了恒温, 加热器又 100% 开启, 导致电能严重浪费。

(2) 冬季机组运行无法满足房间湿度 55%±10% 的设计要求。机组加湿器 100% 运行时, 房间湿度 30%~40%, 达不到设计要求; 对方家

山百万千瓦级机组模拟机的安全运行带来不利影响。

为了彻底解决恒温恒湿机组存在的上述问题, 研究认为: 产生上述问题的主要原因是压缩机控制方式不合理, 存在严重的功率不匹配。冬季机组运行时湿度过低, 是因为加湿量不足。经反复论证, 确定了 4 台机组进行技术改造的具体方案。即更改压缩机的控制方式, 由 50%、100% 的 2 级控制、更改成 25%、50%、75%、100% 的 4 级控制方式。

1 原设计方案介绍

机组 1 号、2 号供主控室模拟室 1。该模拟室面积比较大 (260 m²), 采用“一用一备”设计;

收稿日期: 2015-03-26; 修回日期: 2015-06-22

作者简介: 张甘兴 (1982—), 男, 高级工程师, 现从事核岛厂房通风、冷冻系统调试工作

该机组出现问题比较少,温度、湿度精度基本能满足要求;夏季压缩机频繁启动的次数也少。机组3号、4号供主计算机模拟室2。该模拟室面积很小(60 m²),采用“一用一备”设计;该机组出现问题比较多,温湿度精度波动大;夏季压缩机频繁启动的次数也多,不节能运行。4台机组都采用机组DFG125HN,制冷量为124.5 kW,风量22500 m³/h,机外静压450 Pa,电加热器为72 kW(一组为固定,另一组为比例型);加湿器15 kg/h(比例型)。各系统经半年多的试运行发现原设计存在以下问题:

(1)主机计算机模拟室2存在问题:室内负荷很小(机组选型达到1.85 kW/m²,现场只有4台低压控制柜,散热负荷很低),空间面积少(下出风,顶回风,楼层不足3 m,会造成风短路),与机组明显不匹配,造成机组运行过程中温湿度变化太快、控制比较困难、温湿度波动大、能耗较大。

(2)机组压缩机能量调节只有2档(采用4个9 kW压缩机,2个9 kW压缩机并联为一个系统,共2个系统),导致温湿度精度的控制也会受影响。特别是在过渡季节,因蒸发器排管和叉排设计的关系和受新风工况波动的影响,有时会出现开1个系统除不了湿,开2个系统温度和湿度又下降太快,需大功率的电加热进行加热和加湿器进行加湿,造成能量的浪费和工况的不稳定。

针对上述两点,弥补因工程设计不匹配问题,对机组进行制冷系统的整改。

2 机组整改的空气处理理论计算结果

2.1 夏季

当室外工况为干球温度35.7、相对湿度58.4%(按杭州设计工况),新风取10%(新风风量占总风量的比例为10%),室内工况的设定值为干球温度22、相对湿度55%时,机组回风工况的混合点为干球温度23.31,相对湿度55.52%,机组只需制冷,不需除湿。开单系统的1~2个压缩机,机组最大制冷量为68 kW,出风温度(15.85)高于回风工况的露点温度(14.54),机组满足空气处理条件和节能运行条件。

当室外工况为干球温度37、相对湿度90%(按湿度极限工况),新风取10%,室内工况的

设定值为干球温度22、相对湿度55%时,机组回风工况的混合点为干球温度23.41、相对湿度60.5%,机组需制冷和除湿。开两个系统的3个压缩机时,机组制冷量为100 kW,出风温度(15.58)低于回风工况的露点温度(15.86),机组满足空气处理条件和节能运行条件。

2.2 冬季

当室外温度为-4、相对湿度56%(按杭州设计工况),新风取10%,室内工况的设定值为干球温度20、相对湿度55%时,此时机组回风工况的混合点为干球温度17.4、相对湿度54.8%,机组只需制热,不需除湿。不开压缩机系统,开电加热(必要时还要开加湿),机组满足空气处理条件和节能运行条件。

当室外温度为-4、相对湿度90%(按湿度极限工况),新风取10%,室内工况的设定值为干球温度20、相对湿度55%时,此时机组回风工况的混合点为干球温度17.4、相对湿度56%,机组只需制热,不需除湿。不开压缩机系统,只开电加热(必要时还要开加湿),机组满足空气处理条件和节能运行条件。

2.3 过渡季节

当室外温度为22、相对湿度为55%,新风取10%,室内工况的设定值为干球温度22、相对湿度55%时,当实际房间温度23或相对湿度59%(50%)时,机组回风工况的混合点为干球温度22.9、相对湿度59.13%,机组只需制冷,不需除湿。开单系统的1~2个压缩机,机组最大制冷量为68 kW,出风温度(15.7)高于回风工况的露点温度(15.08),机组满足空气处理条件和节能运行条件。

当室外温度为22、相对湿度55%,新风取10%,室内工况的设定值为干球温度22、相对湿度55%时,当实际房间温度23或相对湿度59%时,机组回风工况的混合点为干球温度22.9、相对湿度59.13%,机组需制冷和除湿。开两个系统的3个压缩机时,机组制冷量为100 kW,出风温度(14.02)低于回风工况的露点温度(15.08),机组满足空气处理条件和节能运行条件。

当室外温度为22、相对湿度55%,新风取10%,室内工况的设定值为干球温度22、相对湿度55%时,当实际房间温度21或相对湿度

59%时, 机组回风工况的混合点为干球温度 21.1、相对湿度 59.13%, 机组需加热和除湿。开电加热(必要时还要开加湿), 以满足空气处理条件和节能运行条件。

当室外温度为 22、相对湿度 55%, 新风取 10%, 室内工况的设定值为干球温度 22、相对湿度 55%时, 当实际房间温度 21 或相对湿度 50%时, 机组回风工况的混合点为干球温度 21.1、相对湿度 50.9%, 机组需加热加湿。不开压缩机系统, 开电加热和加湿, 机组满足空气处理条件和节能运行条件。

3 控制方案改进

改进原则: 增加压缩机的能量等级; 由原来的 3 个能量调节等级 (0、50%、100%) 整改为 5 个能量调节等级 (0、25%、50%、75%、100%), 使机组运行更平稳更易控制。每个室外机 (1 台机组有 2 个室外机) 的 1 个系统增加 1 个电磁阀和 1 个单向阀。室内机经过计算和校对不作调整, 但整改时每个系统需要增加润滑油, 以保证压缩机的回油问题。

进行全部改动, 包括电路图、程序; 允许并联压缩机能单台开启, 需要结合增加电磁阀来实现; 当并联压缩机单台开启时, 电磁阀不得电 (常闭状态); 当并联中另一台开启时, 电磁阀得电。目的实现冷凝器与压缩机匹配运行, 确保回油和压力建立。

经过第 1 次整改, 发现系统与程序验证存在不足, 仍需要改进。即, 当一个系统中一台压缩机运行的时候, 机组运行正常, 当这个系统另一台压缩机也启动的时候, 出现了缺油现象。

控制改进方案见图 1。

A 到 B: 机组在启动时, 风机启动, 判断压缩机需要上载, 1 号系统 2 台并联压缩机启动。B

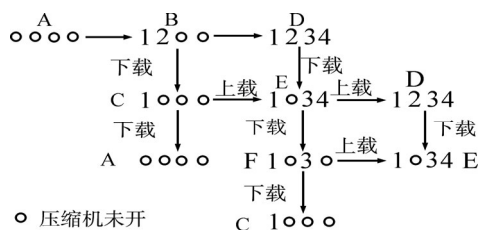


图 1 控制改进方案

Fig. 1 Control Improvement Scheme

1~4 为压缩机序号; A~F 为压缩机运行状态; 图 2 同理

到 C: 当需要卸载时, 卸载其中 1 台。B 到 D: 当需要上载时, 上载另一个系统的 2 台压缩机。C 到 E: 当需要上载时, 上载另一个系统的 2 台压缩机。D 到 E: 当需要卸载时, 根据 2 个系统运行时间长短来判断卸载那个系统中的 1 台压缩机。C 到 A: 当需要卸载时, 停止所有压缩机, 回到状态 A。E 到 D: 当需要上载时, 停止系统中单独运行 1 台压缩机系统, 180 s 后 2 台压缩机同时启动。E 到 F: 当需要卸载时, 卸载系统里的 1 台压缩机 (根据压缩机运行时间长短判断卸载那台压缩机)。D 到 E: 当需要卸载时, 根据压缩机运行时间长短判断卸载 1 台压缩机。F 到 E: 当需要上载时, 根据已卸载压缩时间, 来判断启动的压缩机, 启动方式参照 E 到 D。F 到 C: 当需要卸载时, 根据运行时间长短, 来判断卸载的压缩机。

4 改造结果

当机组整改完毕, 每个系统增加 1 L 润滑油, 开始加氟调试, 由于当天的空气湿度比较大 (大于 55%), 温度比较低 (低于 21)。所以调试先采用单系统模拟进行, 让冷凝侧电磁阀处于得电状态, 设置系统 1 高压故障, 运行系统 2 (该系统装有油视镜, 便于判断)。设定温度为 21, 湿度为 60%; 系统 2 的 2 台压缩机同时启动运行, 压力正常, 声音正常, 油位也正常; 当温度降到 20.5、湿度为 58% 时, 其中 1 台压缩机自动卸载, 只运行 1 台压缩机, 压力正常, 声音正常, 油位也正常, 当温度降到 19.8、湿度为 55.3% 时, 压缩机正常停机。用同样的方法验证系统 1, 情况正常。

为了验证压缩机的上载情况, 重新设定工况, 而且把压缩机上载的时间缓冲由原来的 180 s 更改为 60 s。即当一个压缩机正常运行时, 要上载另一压缩机, 先停掉运行的压缩机, 等 60 s 后再同时启动 2 个压缩机; 结果发现运行正常, 声音正常, 油位也正常。同样的方法, 把缓冲的时间更改为 5 s, 结果情况正常, 最后直接上载, 发现运行情况正常, 即压力、声音、油位正常。

接下来开机运行, 初设定温度为 21、湿度为 55%, 运行 0.5 h 后, 开始调整温湿度, 验证控制方案中各状态点的压缩机上下载情况, 发现运行正常, 程序也没有问题。但在调试过程中出

表 1 改造前后结果对比
Table 1 Compare of before and after Alteration

条件	整改前	整改后	节能比例
当机组只需加热时($t < 21$, 相对湿度 $< 60\%$)	先投入比例型 1 组电加热, 不够再投入固定型电加热, 再由比例型进行调节	先投入比例型电加热, 不够再投入额定型电加热, 有比例型进行调节	0%
当机组只需加湿时($21 < t < 23$, 相对湿度 $< 50\%$)	投入比例加湿器加湿	投入比例加湿器加湿	0%
当机组只需制冷时($t > 23$, $50\% < \text{相对湿度} < 60\%$)	至少启动 2 个压缩机, 或 4 个压缩机	可以启动 1 个压缩机或 2 个压缩机	压缩机节能 50%/75%
当机组需要制冷除湿时($t > 23$, 相对湿度 $> 60\%$)	当湿度负荷大时需要开 4 个压缩机 (100%) 制冷除湿, 这是制冷量达到 125kW, 除湿量达到 54.8kg/h, 与房间负荷不匹配, 需投入较大负荷的电加热进行加热补充	当湿度负荷大时可实现 75% 的能量调节, 只开 3 个压缩机制冷量达到 98 kW, 除湿量达到 32.7 kg/h 与房间负荷比较匹配, 可减少加热的投入	压缩机节能 25% 电加热节能 38% 加湿器节能 40%

现了两个新问题：原方案当由状态 C 上载到状态 E 再下载到状态 F 时, 由于上载的负荷太大和平衡判断的时间关系, 出现了工况变化太快, 温湿度无法控制在目标值以内, 造成温湿度波动太大；由于原来对压缩机的控制无法做明确的判断, 所以原方案中的 1 号压缩机处于长期运行的状态, 这会严重影响 1 号压缩机的寿命, 对于常年运行的恒温恒湿机更为不利。因而再次调整现场对机组的控制方案和控制程序, 见图 2。调整和调试后机组运行正常。

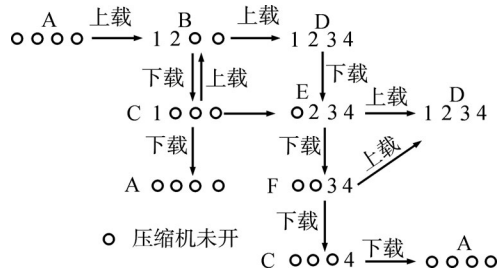


图 2 调整控制方案后的流程图
Fig. 2 Adjusted Control Scheme

A 到 B：机组在启动时, 风机启动, 判断压缩机需要上载, 1 号系统 2 台并联压缩机启动。B 到 C：当需要卸载时, 卸载 2 号压缩机。C 到 B：当需要上载时, 上载 2 号压缩机。B 到 D：当需要上载时, 上载另一个系统的 2 台压缩机。D 到 E：当需要卸载时, 卸载 1 号压缩机。C 到 A：当

需要卸载时, 停止所有压缩机, 回到状态 A。E 到 D：当需要上载时, 上载 1 号压缩机。E 到 F：当需要卸载时, 卸载 2 号压缩机。F 到 D：当需要上载时, 上载 1 号系统的 2 台压缩机。F 到 G：当需要卸载时, 卸载 3 号压缩机。G 到 A：需要卸载时, 停止所有压缩机, 回到状态 A。其他 3 台恒温恒湿机组也全部改造完成, 目前均运行工况良好。由于机组是恒温恒湿机, 而且全年运行, 需要同时制冷和除湿的时间比较长, 故增加压缩机能量等级后机组的运行节能效果尤为明显, 预计整机全年能节省 35% 以上。改造前后机组性能对比见表 1 (以回风工况设定干球温度 t 为 22 ± 1 , 相对湿度为 $55\% \pm 5\%$)。

5 结束语

一年多的运行实践证明：经过能量等级精细化改造后, 设备运行故障率大大降低, 运行平稳, 机房温湿度控制更稳定和精确, 为方家山核电厂操纵员的培训提供了良好的环境, 也更好地保护了各电子设备的安全运行。

参考文献：

[1] 孙德宇, 冯铁栓. 空调冷负荷计算方法及软件比对及改进研究[J]. 暖通空调. 2012, 42(7): 54-62.

(责任编辑：王中强)