

百万千瓦机组汽动引风机的控制策略及节能研究

王 骏

(江苏方天电力技术有限公司热能动力中心, 江苏 南京 211102)

摘 要:随着技术的进步, 机组的运行方式也在逐步地发生着改变, 汽轮机所驱动的引风机的顺序控制、运行方式还有自动调节方面都发生了较大的变化。为了能够更好的适应工程的应用, 就必须对控制策略进行适当的完善和修改, 进行必要的现场试验, 这样才能够保证机组的安全和稳定的运行。节能也是在改进和完善汽动引风机的过程中需要注意的问题。为了实现这个目的, 需要经过多次的调试和优化, 并进行相应的运行试验, 才能够使机组在降低厂用电率方面做出明显的改善, 才能够逐渐地使能源的消耗降到最低。本文就百万千瓦机组汽动引风机的控制策略及节能研究方面的问题进行讨论, 同时也为其他机组的改建和节能提供一个可以参考的资料。

关键词: 百万千瓦; 汽动引风机; 控制策略

0 引言

近些年来, 我国对节能减排方面的政策在逐步地完善, 强化节能减排的力度也在不断地加大, 火电机组厂用电率的指标已经严重地影响了电厂的发电经济性, 成为阻碍其经济发展的一个重要的因素。因此, 将燃煤电厂的锅炉引风机和脱硫系统的增压风机进行系统的合并, 而且在合并以后, 采用汽轮机来对引风机进行驱动不失为一种有效的方法。通过汽轮机来驱动的引风机在运行过程中, 其安全性能更高, 而且, 它的结构相对来说更加的紧凑, 自动化的水平有所提高, 最重要的是, 它的节能效果非常的显著, 是一种比较好的能源利用方式。某电厂的 1000MW 机组锅炉是哈尔滨锅炉厂有限责任公司制造的超超临界参数变压直流锅炉。其中两台引风机和脱硫系统的两台增压风机合并, 再由两台汽轮机进行驱动的引风机来替代^[1]。引风机型号 HA47436-8Z, 可调轴流式, 成都电力机械厂生产, 汽轮机型号 HNG40/32/20, 杭州汽轮机股份有限公司生产。其正常工作的汽源采用的是锅炉一级再热器出口蒸汽和汽轮机高压缸排汽的混合蒸汽, 启动和调试用汽为辅助蒸汽。汽轮机在控制上采用的是数字电液调节系统, 润滑油和调节用油都由汽轮机的独立供油装置来提供。本文将就汽轮机驱动引风机的自控策略和顺序控制进行论述。

1 汽轮机驱动引风机的运行方式

在风烟系统结构基础上, 引风机的入口处增加入口吸气门并连通大气, 引风机的出口处增加启动用调节门和启动用循环烟道插板门, 和另外一台引风机的入口连接起来, 具体情况如图 1。

1.1 调试期间关于引风机的启动

机组在基建的过程或者是大修和小修的过程中烟道并没有建立完全的时候, 需要将入口的吸气门打开, 然后利用涌入引风机的大气来启动和调试引风机。

1.2 机组启动过程中关于引风机的启动

在机组正常启动的过程中, 烟道两侧的通风可以同时建立, 对两台引风机同时启动。此外, 还可以在达到一定负荷时对第二台引风机进行启动, 然后再使其并列运行。

1.3 机组正常运行状态下, 关于引风机检修后的启动

检修后恢复运行时, 先将引风机出口的烟气挡板打开, 入口的挡板和静叶紧闭, 再打开启动用调节门, 使其处于一个固定的位置, 打开启动用循环烟道插板门, 使其处于全开的状态。当引风机汽轮机的转速达 2400r/min 时, 引风机入口的挡板打开, 再将启动用调节门和启动用烟道插板门关闭^[2]。将引风机的转速提高至正常运行的状态, 对两台引风机的静叶开度进行调节, 等两台引风机的出力达到一致后, 使两台引风机并列运行。

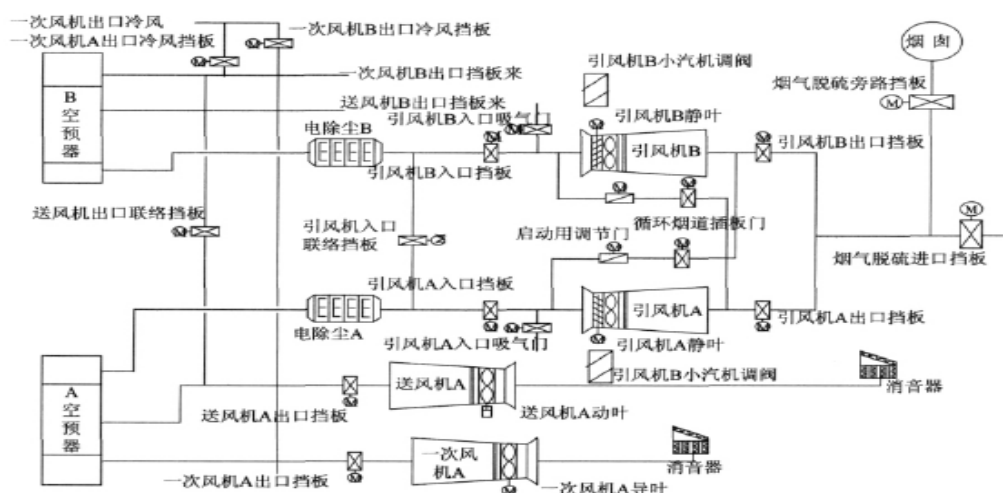


图 1 机组的风烟系统简图

2 汽轮机驱动引风机的顺序控制策略

2.1 对引风机启动顺序的控制

顺序启动的条件如下，具体参照如图 2。

- ①当引风机 A 停运时,或者引风机 A 和任何一台送风机都运行时;
- ②没有锅炉炉膛安全监控系统发送通风请求时;
- ③当引风机 B 停止运作时;
- ④当引风机 B 汽轮机的进汽压力和温度正常时,辅汽或冷再及一再的供汽门开启;
- ⑤当引风机 B 汽轮机轴封/真空系统维持正常运转时;
- ⑥当引风机 B 汽轮机循环水系统和油系统维持正常运转时;
- ⑦当引风机 B 汽轮机疏水门开启时。

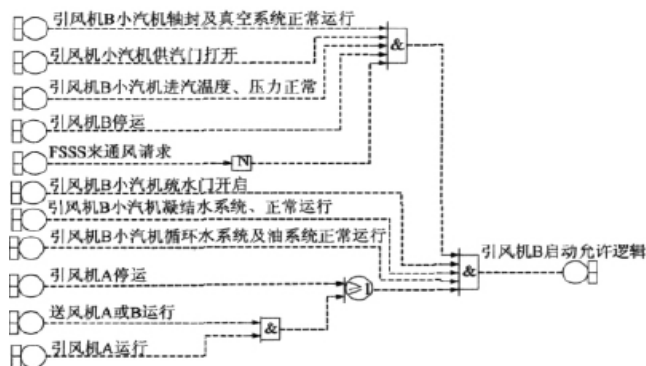


图 2 引风机顺序启动允许逻辑图

2.2 对引风机停止顺序的控制

顺序停止的允许条件如下, 具体见图 3。

- ①当磨煤机少于四台运行并且冷风联络门全部开启、送风机 A 运行时；
- ②当磨煤机全部停止运行时。

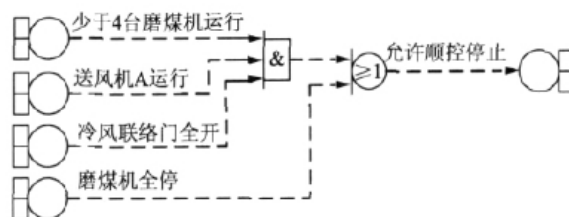


图 3 引风机顺序停止允许逻辑图

3 引风机汽轮机各项对应的系统配置

以泰州电厂的汽动引风机为例，其对应的水、油、汽的系统配置中，各个子系统的设置如下：

①烟气系统。同时为了充分利用现有#1、#2 炉引风机电动机和配电设备，增加机组启动的灵活性和运行可靠性，本项目每台机组配置 1 台与现有#2 炉引风机规范相同的约 50%容量电动启动引风机；

②蒸汽系统。国电泰州电厂一期 2×1000MW 机组为纯凝式发电机组，与常规背压式供热机组以热定电运行方式不同，机组首先需要满足电网供电要求，在此前提下对外供热：

③小机进汽系统。基于回热式小机驱动引风机技术,为了满足小机排汽对外供热参数的要求,小机供汽汽源采用锅炉一级再热器出口蒸汽。低负荷工况排汽温度高时,采用冷段混汽到小机正常进汽,调节热网供汽温度,提高供热经济性^[3];

④小机排汽系统。两台引风机小机排汽合成一路排汽母管后进入汽机房接入四抽管道排入除氧

器，同时在汽机房内对排汽母管设有至辅助蒸汽联络管的旁路，满足今后利用辅汽系统向外供热的需要。

⑤小机抽汽系统。每台小汽机设有一个抽汽口，两台小机的抽汽管道经流量测量装置合成一路抽汽母管后接入现有厂区供热管道。

⑥其它蒸汽管系。蒸汽系统另设以下管系、预暖及疏水管路、PCV 排汽管道（配消音器）、安全阀排汽管路、疏水扩容系统、临冲管；

⑦小机轴封及本体疏水系统。引风机汽轮机不需要外部轴封供汽。每台小机设一台轴封加热器，通过闭式水冷却轴封漏汽。引风机汽轮机本体疏水接到疏水扩容立管后，扩容蒸汽排入大气，疏水排入机组排水槽；

⑧润滑油及控制油系统。每台小汽轮机配备一套润滑系统。润滑油系统设有可靠的供油设备及辅助供油设备，在启动、停机、正常运行和事故工况下，满足引风机汽轮机的所有轴承的用油量及汽动引风机组设备所有轴承的用油。

4 汽动引风机的控制要求

引风机小机的正常运行转速应满足引风机的转速控制要求，引风机的转速应满足锅炉炉膛压力控制要求，汽动引风机的转速控制应满足与电动引风机并列运行的要求。

两台并列运行汽动风机的转速协调控制。当一台运行中的汽动引风机退出时，另一台运行中的汽动引风机的转速控制允许电动引风机启动并入运行。风机的最高转速不能超过风机的 TB 点选型转速（800rpm）。根据引风机小机启动、正常运行、停机工况，将背压控制分为以下四种模式。

4.1 暖管模式

在每台机组的两台引风机小机均未进汽时，可选择通过汽轮机旁路加快供汽管道暖管，并对排汽管道进行暖管。两台引风机小机的旁路可同步开启，也可选择任一路单独开启。在旁路暖管工况，引风机小机排汽口电动闸阀关闭，排汽供除氧器旁路调节阀全开，旁路暖管阀开度控制在汽轮机背压不超过设定值（1.1MPa）的最大开度，且温升不超过设定值（10℃/min）。旁路阀开启时，当旁路阀前蒸汽温度超过 380℃时，开启旁路减温水调节阀，控制旁路阀后蒸汽温度为 350℃。

4.2 冲转模式

引风机小机冲转前，小机排汽口电动闸阀关闭，PCV 阀全开。冲转开始，小机主调门控制转速，汽轮机背压由 PCV 阀控制。小机暖机结束前，维持背压在设定值（0.3MPa）。当小机暖机完成，开启排汽口电动闸阀，缓慢关闭 PCV 阀，通过排汽总管上的旁路调节阀控制引风机小机排汽背压。

4.3 回热模式

排汽母管至热网供热关闭时，对应引风机小机的背压控制执行回热模式，为滑压运行方式。小机排汽背压和除氧器压力通过排汽至供热蒸汽调节阀、排汽至辅助蒸汽调节阀、排汽至除氧器旁路调节阀、小机抽汽至厂区辅汽调节阀等阀门联锁保护。

4.4 供热模式

辅助蒸汽供热的最大量为 90t/h。当供热量需求超过 90t/h 时，通过炉后专设供热管道直接供热。当热网有 1.5MPa 以上热负荷需求时，从小机抽汽口高压供热管道供出。

5 关于炉膛负压的控制方法

控制上，汽轮机转速调节和引风机静叶调节在结构上都存在双回路控制。启动引风机后，转速达 200r/min 时，静叶开至 5% 并保持，转速达 3000r/min 后，投入遥控，静叶控制投入，对炉膛的负压进行自动调节^[4]。

随着负荷不断增加，引风机出力不断变大，两台引风机静叶的开度都大于 70% 时，负压的静叶控制回路切换至转速控制回路并自动投入，静叶的开度保持不变。引风机单台运行时，切换到转速控制回路的判断条件是所运行的引风机的开度大于 70%。降负荷时，两台引风机中的任何一台引风机的转速小于 3000r/min，其控制回路就会切换至静叶调节并自动投入，转速维持不变。机组正常运行处于转速控制下，启动和停止过程则切换至静叶控制。此外，在转速的控制回路上，还有能够快速降负荷控制的平衡回路。

5.1 静叶的调节

控制回路上，采用的是单回路比例加积分的控制方法，同时，将送风机动叶开度指令引入到引风机静叶指令的前馈，保证其转速在 3000r/min 下，对负压进行调节。这一回路对机组启动和停止过程的低负荷阶段进行调节。

5.2 转速的调节

两台引风机静叶的开度都大于 70% 时, 对炉膛负压的控制切换至转速回路, 该回路采用的是串级控制, 主调节器用来控制炉膛负压的偏差, 输出的指令当做 MEH 中小汽轮机的转速副回路的设定, 在主调节器中, 将送风机动叶开度指令函数引入作为引风机转速的设定前馈^[5]。这一回路对机组正常运行状态阶段进行调节。

5.3 引风机 RB 的控制策略

引风机的转速控制回路中存在引风机在跳闸情况下的平衡回路。引风机或送风机 RB 发生时, 将单侧的送引风机的运行保留。此时引风机的调节速度应和送风机的保持一致。因此送风机动叶连开时, 引风机的转速变化保持在 600r/min², 可以有效地维持炉膛内部的负压值的稳定。

6 汽动引风机控制策略的关键点及其难点

控制上, 不单单需要对引风机静叶进行调节, 对于汽轮机的转速也需要进行调节, 在实践中, 其变化相对来说比较复杂。自动方式之下, 两个控制回路当中的调节器, 其中只有一个是处在调节状态的。此外, 在转速的控制下, 其调节器的参数整定是串级控制的方式。而且在主回路控制炉膛负压时, 不仅要保持负压的稳定性, 调节副回路转速时也必须保证其快速性。

将上述观点充分的实现, 存在一定的难度。首先, 运行状况存在很多变化且较为复杂, 包含了多种运行方式, 比如, 单侧运行、启动过程和并列运行等, 对于机组的控制来说, 提出了更高的要求; 其次, 保证两台引风机的出力处于一个均衡的状态, 要求机械角度和静叶开度指示相互对应, 对应于机组运行时要求的 75% 开度的位置上^[6]。只有保证两台引风机的出力一致, 才能够使上述的控制结构的切换正确合理。此外, 如果两侧引风机出力不能相互持平的话, 还将对机组两侧的排烟温度产生影响。

RB 控制策略中, 机组正常运行时, 引风机的控制方式是转速控制方式, 调节较快, 控制方面, 应留意单侧运行的送引风机快开过程中的相互平衡。进行转速调节的引风机应增加指令的变化率, 保证其结构的平衡, 并且将送风机和引风机的出力保持一致的水平上。

7 变负荷时炉膛负压的控制曲线

在机组的正常运行范围之内, 两台引风机被投入到转速的控制回路, 其调节曲线如图 4 所示, 图中右侧的纵坐标数值按照从上到下的顺序分别表示 1~9 所对应的值, 机组连续将负荷从 1000MW 降到 700MW, 其负荷的变化率是 10MW/min, 在整个过程中, 炉膛的压力偏差都在 $\pm 80\text{Pa}$ 以内。用汽轮机的转速调节对炉内的负压进行调节, 在各种工况之下, 其调节稳定、快速、准确, 可以满足机组运行的要求。

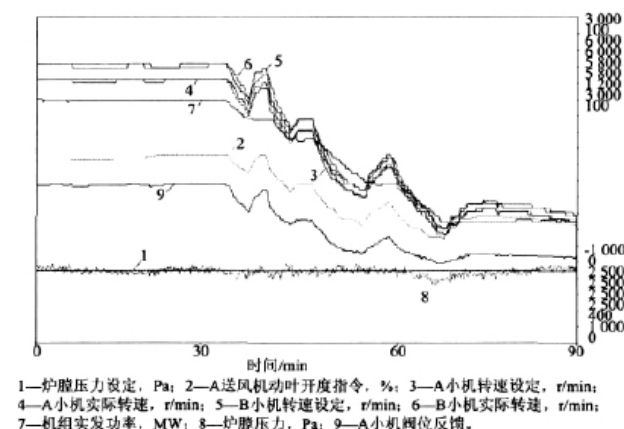


图 4 机组的炉膛负压调节曲线图

8 弗留格尔公式

对于汽动引风机来说, 弗留格尔公式显得尤为重要, 在汽轮机的运行过程中, 可以对其内部的工况进行计算, 从而判断出汽轮机内部的缺陷和故障。还能够对汽轮机运行的安全性和经济性进行判断, 在现实的应用当中, 它可以体现在两个方面。

①弗留格尔公式可以在不同的流量下, 推算出各级的级前压力, 从而求出各级的压差, 这样就可以确定相应的功率, 从而判定零件的效率和受力的状况^[7]。

②对汽轮机的通流部分进行监视, 看其工作状况是否正常。在已知的流量或功率的条件下, 判断运行状态下, 各级前压力是不是符合弗留格尔公式, 以此来判断通流的面积是否改变了。

将弗留格尔公式运用在汽动引风机的控制策略当中, 可以有效地提高其经济效率, 对于节能方面的应用有很积极的作用。

9 结束语

通过对汽动引风机的启动进行调试和对其带负荷及满负荷进行试运行,以及相关的试验,表明汽动引风机的控制策略对于各个工况的运行需求都可以很好的满足。它可以保证机组运行的安全性,还能够为机组运行的经济性提供新的思路,开辟新的道路。通过汽轮机来驱动引风机代替电动引风机和电动脱硫增压风机更能够获得良好的经济效益。

参考文献:

- [1] 王延博,张伟江.华能海门电厂 2 号 1036MW 机组振动故障诊断及处理[J].热力发电,2011(07).
- [2] 蔡娜,李地,常连生.电厂中高稳定性节能轴流风机的实验研究[J].中国电机工程学报,2011(01).
- [3] 吴阿峰,李明伟,黄涛,等.烟气脱硝技术及其技术经济分析[J].中国电力,2010(11).

- [4] 赵志丹,宋太纪,陈志刚.AGC 控制功能优化研究[J].热力发电,2010(22).
- [5] 赵志丹,陈志刚,郝德锋.火电机组 RB 控制策略及其试验中应注意的问题[J].热力发电,2010(22).
- [6] 孙叶柱,孙伟鹏,江永.1036MW 机组汽动引风机控制策略优化及其深度节能研究[J].中国电机工程学报,2011(01).
- [7] 张晓玲.1000MW 机组中小汽机驱动引风机的系统配置[J].湖北电力, 2011(04):37-41.

作者简介:

王 骏 (1978-), 江苏丹阳人, 硕士研究生, 热能工程专业, 高级工程师, 主要研究火电及联合循环机组启动调试, 技术改造, 性能试验和运行优化工作等, E-mail: aries_wj@126.com。

Research on million kilowatts unit steam-driven fan control strategies and energy consumption

Wang Jun

Jiangsu Frontier Power Technology Co Ltd Thermal Power Center, Nanjing, 211102, China

Abstract: As technology advances and the unit's operating mode changes gradually, turbine-driven fan's sequence control, operation mode and automatic adjustment have undergone great changes. To be able to adapt to engineering applications, it is necessary for appropriate control strategies to improve and modify. And it's necessary for field tests to keep the unit in safe and stable operation. Energy saving in improving and perfecting the process of steam-driven fan issues also needs attention. To achieve this goal, we need repeated tuning and optimization, and the corresponding operation test. By the methods mentioned above, we can make significant improvements in reducing the unit power consumption rate and gradually minimize the energy consumption. In this paper, million kilowatts unit steam-driven fan control strategies and energy efficiency research issues are discussed, as well as to provide a reference information for the reconstruction and energy consumption of other units.

Keyword: million kilowatts; steam-driven fan; control strategy