

可调整抽汽投入方法的探讨及实践

(广东省电力试验研究所, 广州 510600) 田丰 余天龙 苏雷涛

摘要: 针对国内几种典型可调整抽汽的结构和原理, 分析了其结构特点, 对抽汽投入过程中的现象及投入方法进行了探讨, 并提出一种正确、科学的投入方法, 实践应用效果显著, 对解决国内普遍存在的抽汽投入困难问题的解决具有积极的指导作用。

关键词: 汽轮机; 调节系统; 调压系统; 可调整抽汽

中图分类号: TK267 文献标识码: B

1 前言

热电式汽轮机在供电的同时可提供一定参数的工业生产所需蒸汽, 做到能源的综合利用, 经济效益显著。因此, 在各工业部门得到了越来越广泛的应用。但国内的普遍情况是在抽汽的投入过程中经常出现抽汽室压力、调节阀油动机、负荷等各参数的摆动, 严重时由于投入初期幅度过大而导致失败, 甚至停机和事故的发生, 例如某厂6 MW机组调试时, 第一次试投抽汽, 当时机组负荷2.5 MW, 主汽压、汽温、凝汽器真空等参数均正常, 但将调压器投入起控制作用时, 高、中压调节汽门油动机即开始大幅摆动, 抽汽室压力在0.2~0.8 MPa之间来回摆动, 频率大约在0.6~1.1 Hz之间, 机组负荷最大达8 MW, 短时无法使之稳定, 只好将调压器切除。如果在投入抽汽的过程中, 由于抽汽室压力的大幅摆动而导致抽汽管道安全门动作, 则情形更加严峻。实践表明, 在投入过程中掌握科学的投入方法, 仔细操作, 抽汽的投入过程是不会发生参数大幅度摆动的。

2 国内调压系统的典型结构和原理

2.1 哈尔滨汽轮机厂采用的调压系统由三部分组成: 压力感受机构为带喷嘴的薄膜钢带系统, 信号管上设有针阀与抽汽室相通; 带切换开关的喷嘴移动机构, 设计为调压器投入及解列时用; 相应的电校正回路变送器装置。抽汽压力的变化, 通过薄膜的作

用, 使钢带弯曲度发生变化, 随即改变它与喷嘴之间的间隙, 从而改变控制油压, 使综合滑阀控制高、中压油动机二次脉动油压的变化, 达到控制抽汽压力的作用。

2.2 上海汽轮机厂的调压器为杠杆碟阀式, 分为压力的感受机构和脉冲油压的发生机构两部分。波形管感受到的压力作用与平衡弹簧及静反馈弹簧的紧力共同作用于调压器杠杆, 通过杠杆控制错油门, 使小油动机带动十字头摆动, 从而改变1、2号脉冲油的泄油口, 它们共同控制高、中压油动机的开度, 从而达到控制抽汽压力的目的。上汽厂调压器在结构上设置一手动限制杆, 可以在调压器投入时起到辅助控制的作用, 在活塞上还设有可调整节流螺塞, 改变泄油面积, 从而可以改善系统的稳定性。

2.3 青岛汽轮机厂、南京汽轮机厂和北京重型机械厂生产的机型调压系统与调速系统类似, 抽汽室的压力作用于调压器底部的波形管上, 控制1、2号脉冲油压的泄油口, 抽汽压力变化时引起调压器滑阀的移动, 从而改变了1、2号脉冲油压, 控制高、中压油动机的开度, 进而控制抽汽室压力。该型全液压系统的放大系统对转速来说由直接脉冲和放大脉冲两部分组成, 情况较为复杂, 称为脉冲迭加系统。机组并入电网后, 转速保持不变, 此时, 只有调压器动作引起的放大脉冲。另外, 在调压器滑阀的下部设有限制块手轮, 用于将调压器投入和切除时用。

3 投入方法及摆动原因分析

3.1 抽汽的投入过程是将抽汽室的压力信号通往调压器, 同时使调压器产生作用, 从而形成一个闭环反馈控制系统, 此时的控制对象是抽汽室的蒸汽容积。抽汽压力的控制原理见图1。

3.2 哈汽厂机型投入抽汽时, 缓慢左旋调压器手轮,

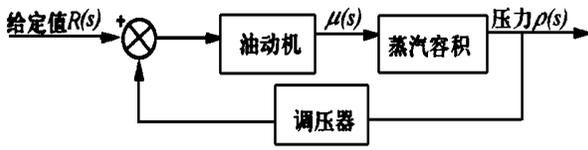


图 1 抽汽压力调节原理示意图

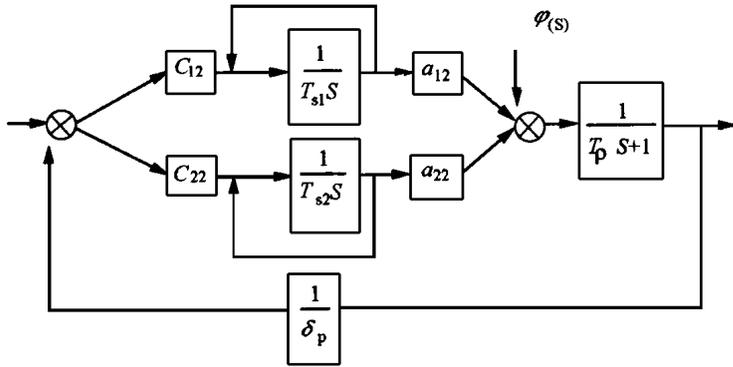


图 2 机组并网运行时调压回路方框图

首先是切换开关将油动机滑阀下的脉动油压通往综合滑阀,使脉动油压接受调压器的控制。此时,调压系统已投入,抽汽压力接受控制。但由于手轮控制的喷嘴间隙较大,相当于调压回路的压力给定值 $R(s)$ 很小,抽汽室压力的反馈信号 $\rho(s)/\delta_p$ 远大于给定值,中压油动机仍然处于全开的状态,再继续左旋调压器手轮时,抽汽室压力缓缓升高。此类型的机组在实践中投入抽汽的初期,压力的摆动现象较少。从上面的分析可以看到,由于在投入调压器时,调压系统的给定值 $R(s)$ 很小,摇调压器手轮的过程实际上是增加给定值。

3.3 上汽厂机型的调压器在投入时,首先将限制杆限制小油动机处于最低位,调压器手轮处于低限。当将抽汽室信号管上的截止阀打开时,调压器已投入作用,压力给定值为调压器的低限 $R_1(s)$ 。而此时由于中压油动机处于全开位置,抽汽管的反馈信号 $\rho(s)/\delta_p$ 很小,调压器的作用是力图使高压油动机开大,中压油动机关小,由于限制杆的作用,调整门无法动作,再缓慢退限制杆,调整门动作,抽汽压力逐渐升高。当限制杆不再起作用时,调压系统即投入工作。由于上汽厂机型设计了调压器的限制杆,在投入抽汽的过程中产生辅助控制作用,只要退限制杆的过程缓慢进行,抽汽压力亦不会发生较大幅度的摆动。

3.4 青汽、南汽厂机型投入时,按下液动阀上部的按块,使 1、2 号脉动油压接受调压器排油口的控制,

打开输入抽汽压力脉冲信号阀门,徐徐打开第二脉冲油节流孔建立 2 号脉冲油压,将调压器侧面的手轮缓缓转至“投入”位置,进而由调压器手轮控制抽汽压力,调压器滑阀逐渐由底部凸轮限制的状态转入由上部弹簧及下部波纹管压力控制,压力的摆动现象时有发生。此类机型在投入抽汽初期容易发生抽汽压力的摆动,其根本原因在于引入的抽汽压力信号与调压器给定值不等,而调压器滑阀底部的限制凸轮型线设计不尽理想,调压器滑阀在不平衡力的作用下产生二阶阻尼振荡,经过放大,导致较大幅度的压力摆动。

3.5 一些电厂在投入抽汽时,有意将信号管的手动阀关小,以期减小投入初期调整门的摆动,事实上这样不仅不能达到目的,相反,恶化了调压系统的调节品质。

3.6 调压、调速系统动态过渡过程可以按如下方程组描述:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} = a_{11}\mu_1 + a_{12}\mu_2 - R_1$$

$$T_p \frac{d\rho}{dt} + \rho = a_{21}\mu_1 - a_{22}\mu_2 - R_2$$

$$\sigma = c_{11}(\lambda_1 - \zeta_1) + c_{12}(\lambda_2 - \zeta_2) - \mu_1$$

$$\sigma_2 = c_{21}(\lambda_1 - \zeta_1) - c_{22}(\lambda_2 - \zeta_2) - \mu_2$$

$$T_{s1} \frac{d\mu_1}{dt} = \sigma_1$$

$$T_{s2} \frac{d\mu_2}{dt} = \sigma_2$$

$$\zeta_1 = \frac{\varphi}{\delta_\varphi}$$

$$\zeta_2 = \frac{\rho}{\delta_\rho}$$

在投入抽汽时,机组处于并网带一定负荷的状态,转速维持 3 000 r/min 不变,同步器滑阀位置一定,此时抽汽调节方框图如图 2。

假如调节系统满足严格的动态和静态自整,在调压器突然投入的情况下,由于给定值与抽汽室信号的不等,必然存在一个调节过程,它的品质与压力不等率 δ_p 、抽汽室容积时间常数 T_p 等参数有关,图 3 是假设给定值与信号值之间相差 0.3 时的仿真结果。从图 3 看到,调门的摆动达 9.2%,压力相对值变化达 3.3%。事实上动态自整 ($T_{s1} + T_{p1} = T_{s2} + T_{p2}$) 很少能满足要求,而静态的自整亦只是大致的自整。厂家在设计时,一般将 ρ_c 至 ϕ 的解耦满足得好些, ϕ 至 ρ 要求相对降低,使实际因负荷因素的介入情况

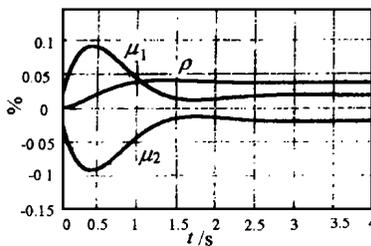


图 3 压力反馈信号与给定时间常数的大小视值相差 0.3 时的仿真结果

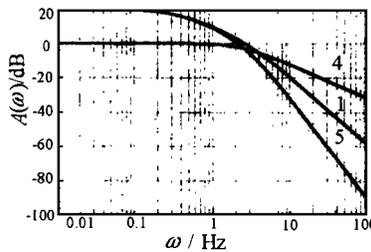


图 4 调压系统的开环幅频特性

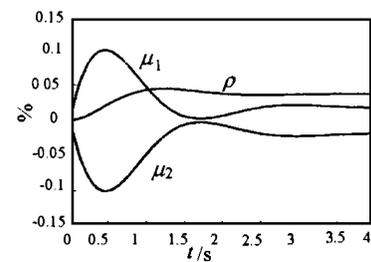


图 5 串入惯性环节后的仿真结果

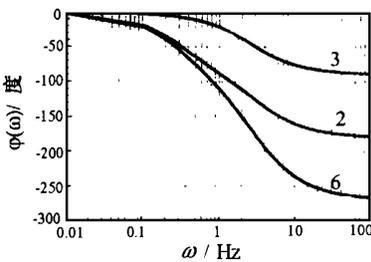


图 6 调压系统的开环相频特性

更为恶劣。若将调压信号管的手动阀门关小,将蒸汽在容积中的特性看作一多变过程,这相当于在压力反馈回路中串联一惯性环节,其时间常数的大小视阀门后管道、波纹管容积及手动门开度而定,手动门关得越小,则时间常数越大。调压回路的开环幅相频率特性见图 4 曲线 1 和图 6 曲线 2, 惯性环节的幅相频率特性如图 4 曲线 4 和图 6 曲线 3, 总的频率特性如图 4 曲线 5 和图 6 曲线 6。串入一惯性环节后,使调压回路的稳定余量 γ 从 56° 下降到 21° , 时域的仿真特性见图 5。将图 3 与图 5 对比看到,由于惯性环节的引入,加剧了调压系统的摆动。若手动门关得太小,时间常数更大,结果可能导致系统不稳定。

科学的投入方法

4.1 从上面的分析看到,

在调压器投入过程中,调压系统摆动的根本原因是调压器低限位置对应的抽汽压力与实际抽汽压力不等,从而产生一个调节过程。哈汽、上汽厂机型由于通过辅助手段,使投入过程中这一矛盾得以缓解,在投入时须缓慢摇调压器手轮和退限制杆。青汽厂、南汽厂机型在将调压器手柄投入时,必须进行,否则会导致调压系统的摆动。

4.2 对于投入初期产生较大幅度摆动的机组,针对给定值与抽汽室压力不等的矛盾,可以借助于热工用压力模拟装置,笔者应用此法在某机组上进行试验,非常奏效。具体如下:

4.2.1 将压力信号排大气管接临时管接头,接至压力校验台,通波纹管针阀打开,抽汽室手动门关闭,其间通清水。

4.2.2 利用压力校验台产生高于调压器调整范围的压力值,维持此压力,注意压力须在波纹管承受的范围之内。

4.2.3 将调压器置投入位置,观察此时中压油动机应仍然处于全开的状态。

4.2.4 缓慢降低模拟压力值,注意观察中压油动机开始关小,同时记录抽汽室压力,直至找出某工况点,此时的抽汽室压力值等于或略高于压力校验装置的的压力值。

4.2.5 维持压力模拟装置的的压力,缓慢将压力信号管上的手动阀打开,逐渐关闭排大气手动门,此时调压器正常投入,观察抽汽压力、油动机的摆动均很小。

5 关于抽汽管道安全门的整定

5.1 当安全门动作时,若调压系统处于闭环状态,瞬间管道排汽量增大,将产生剧烈的负荷扰动 $\phi(s)$,这不同于正常负荷的缓慢变动,会引起调压系统的摆动,若调节品质不尽理想,自整特性不好,将会引发其他的问题。从自动控制原理可知,负荷扰动与给定值扰动对调节对象产生的作用具有相同的衰减率和波动频率。因此,建立在安全门校验时,调压系统尽量处于开环的状态。

5.2 对于上汽厂机型,可将抽汽管道上的信号阀门关闭,排大气门开启,使反馈压力作用保持 0,再用限制杆缓缓增加压力;对于青汽、南汽厂的机型,可借助于压力模拟装置,哈汽厂机型若调节品质较好,退调压器手轮动作迅速,可直接用调压器手轮进行。

6 结论及建议

(1) 调压系统在投入初期产生的摆动现象源于给定值与抽汽室压力之间的差异,猛然将调压器投入,会产生一个调节过程,引起摆动。消除这一现象的根本方法是投入时尽量使它们相等。当然由于调节

(下转第 441 页)

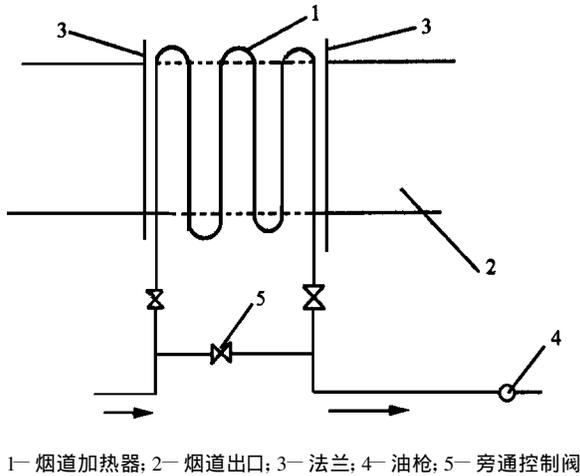


图3

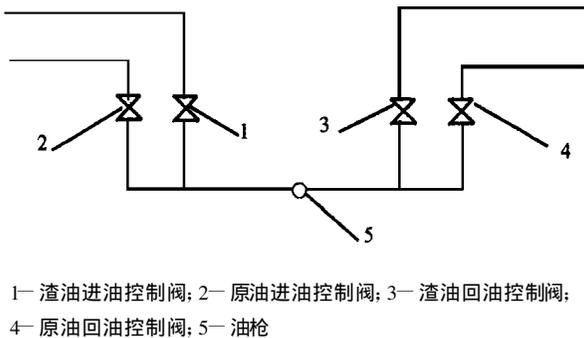


图4

点以上, 以避免低温腐蚀对烟道加热器的损害。

(5) 严格执行年检制度, 及时更新设备。

3.3 针对二次启运难问题的工艺改造

3.3.1 双电源供电

为锅炉房设置两套供电系统, 两系统互为备用

电源, 当锅炉房停电时, 备用电路迅速合闸投入, 从而保证短小时内重新恢复锅炉运转。

3.3.2 双油系供油

由于渣油正常输供温度须达 120°C 以上, 而原油仅在 60°C 即可方便输供; 考虑锅炉停运后, 渣油将很快降温至 120°C 以下, 而原油延滞时间较长, 故可并行设置原、渣油两套供油系统 (如图4), 在二次启运时, 先对蒸汽炉投入原油运行, 以生产蒸汽对渣油加温, 当渣油具备输供条件后, 即对热水炉投入渣油运行, 并将蒸汽炉切换为渣油, 从而全面恢复渣油运行。

4 推广应用效果

几年来, 以上措施先后在胜利油田多处推广应用, 运行效果一直良好, 成功保证了供暖系统的安全经济运行。

(1) 较好解决了沸罐、雾化不良及二次启运难等输供渣油所存在的突出实际问题。

(2) 节能指标逐年上升, 目前已实现年节约原油1万余吨。

(3) 经环保部门检测, 环保指标均达到国家标准。

(4) 锅炉热效率明显提高, 出力明显增强。

(5) 同燃用原油相比, 锅炉腐蚀程度未出现加重趋势。

(渠源 编辑)

(上接第438页)

回路的品质差而引发的摆动属于一种故障, 其根本原因应从各个方面, 如压力不等率、油动机时间常数、排油管道、静态、动态自整关系等综合考虑进而消除。

(2) 安全门校验时, 将产生一负荷扰动源, 建议处于开环的状态进行。

(3) 对于青汽、南汽厂机型建议借鉴上汽厂机型限制杆的作用, 改进调压器投入手柄, 严格设计其转角与行程之间的关系, 尤其在最末段, 使之保持线性的关系。或者改进结构, 不经过转换, 直接用一限制杆达到目的。

(4) 抽汽投入初期, 不应用关小信号管道上调整门

的方法来减小其摆动, 除非调压系统严重故障, 相角余量为负, 系统本身不稳定, 串联一惯性环节后可以使之保持一定的稳定性。

参考文献:

- [1] 翁思义. 自动控制系统计算机仿真与辅助设计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1987. 6.
- [2] 叶荣学. 汽轮机调节[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987. 5.
- [3] 倪维斗, 徐基豫. 自动调节原理与透平机械自动调节[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981. 9.
- [4] 哈尔滨汽轮机厂. 汽轮机调节系统的设计[M]. 北京: 电力工业出版社, 1980. 1.

(复 编辑)

layer in a circulating fluidized bed boiler serving as an object under investigation a simulation study has been conducted. The results of the study indicate that the proposed system features a good robustness and a high anti-interference ability with respect to the error of the model. **Key words:** neural network, internal model control, circulating fluidized bed boiler

75 t/h 烟煤锅炉改烧无烟煤 = **The Modification of a 75 t/h Bituminous Coal-fired Boiler for Adaptation to Burning Anthracite Coal** [刊, 汉] / CHEN Gang, QIU Ji-hua, LI Fu-jin (Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(4). — 432 ~ 433

Through a renewed design and layout of its burners a 75 t/h bituminous coal-fired boiler has undergone a technical modification for adaptation to operating on anthracite coal. Coupled with other relevant structural changes the modified boiler has achieved a stable combustion regime at 60% of rated load without resorting to fuel oil for combustion support when operating on anthracite. **Key words:** boiler, burner with a stable combustion cavity, combustion stability, pulverized-coal burning

某进口船用燃气轮机滑油代用品试验分析 = **Experimental Analysis of a Replacement for Imported Lub Oil Used for a Marine Gas Turbine** [刊, 汉] / SUN Xiang-long (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(4). — 434 ~ 435

Performance tests were performed of a Chinese-made lub oil (HP-8AGB439-90) for aircraft jet engines with regard to such a variety of properties as resistance to oxidation corrosion and lubricating capacity, evaporation function, foam generation, and absence of any undesirable influence to rubber, etc. The above-cited lub oil was also compared with an imported one in respect of quality. Its use and test for a duration of 150 hours on an imported gas turbine engine have shown highly promising results, testifying to the fact that it can well be used to replace the imported marine lub oil (ГОСТ 1028999-79). **Key words:** lub oil, test, physical and chemical index, analysis

可调整抽汽投入方法的探讨及实践 = **An Exploratory Study of the Method for Putting into Operation an Adjustable Steam Extraction and Its Practical Use** [刊, 汉] / TIAN Feng, YU Tian-long, SU Lei-tao (Guangdong Provincial Electrical Power Test Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510600) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(4). — 436 ~ 438, 441

An analysis was conducted of the construction features and operating principles of some typical types of adjustable turbine extraction method currently in use in the People's Republic of China. Discussed and explored in detail were the phenomena involved in the steam extraction process and the methods for putting into operation the steam extraction. Moreover, the authors have proposed an accurate and scientific method for putting into operation the steam extraction, which turned out to be highly effective in practical use. The information reported in the present paper can serve as a guide for dealing with problems and difficulties prevalent in China concerning the implementation of an adjustable steam extraction. **Key words:** steam turbine, regulation system, pressure adjustment system, adjustable steam extraction

对燃油锅炉渣油供油系统的工艺改进 = **Technological Improvement of a Residual Oil Supply System for an Oil-fired Boiler** [刊, 汉] / JIN Jing-hua (Shenzhong Community Thermal Energy Management Section of Shandong Provincial Dongyin Shengli Oil Field, Dongyin, Shandong, China, Post Code: 257000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(4). — 439 ~ 441

Proposed in this paper are a series of effective measures aimed at improving the residual oil supply system of oil-fired boilers and resolving some commonly occurring problems related to the burning of residual oil in such boilers. **Key words:** oil-fired boiler, residual oil, oil supply system, technological improvement