

三菱燃机 FGH 控制方式及异常工况分析

陈攀峰 万国彬
(浙能金华燃机发电有限责任公司 浙江 金华 321000)

摘要: 本文介绍三菱 M701F4 型燃气轮机天然气加热器 (FGH) 相关控制方式, 进而对启动中出现的给水流量低和停机后管道水击进行分析。可对同类型 9F 级燃气联合循环机组的运行提供参考。

关键词: M701F4 燃机; FGH; 流量低; 水击

0 引言

常山 #1 机组, 由一台 M701F4(G324A) 型燃气轮机、一台 NG-M701F4-R 型余热锅炉、一台 TC2F-35.4 型蒸汽轮机和一台 QFR-480-2-21.5 型发电机组组成。由东方汽轮机有限公司生产的 TC2F-35.4 型高中压合缸、双排气、单轴再热凝汽式蒸汽轮机作为汽轮机。

1 简介

三菱 M701F4 采用 FGH (Fuel Gas Heater), 即将天然气加热器安装在天然气前置模块中, 从而进一步提高燃机的效率^[1]。同时, 为了提升天然气的温度, 采用余热锅炉中压省煤器出口给水的方式, 燃气为加热器的壳侧, 加热水在管侧。天然气在规定的工况下被持续加热到 200℃。FGH 的热源由中压省煤器出口的给水提供 (中压省煤器出口压力在 5.7MPa, 温度 245℃), 经过 FGH 水侧进口气动阀 A 和 B, 最终流向线路 1 的余热锅炉低压省煤器或线路 2 的凝汽器, 这一过程需要经过 FGH 进行换热。其中, 当高负荷运行状态时, 流向线路 1; 低负荷运行或启动过程时, 流向线路 2, 流量控制阀负责切换线路 1 与线路 2 (FCV-1、FCV-2) 进行控制。燃气的温度需要通过 FGH 天然气侧的一个三通阀来进行控制, FGH 系统如图 1 所示。

2 FGH 系统各阀门控制及保护简介

2.1 燃气温控阀

FGH 天然气温度通过一只燃气三通阀控制, 取用 GTMFCLCSO (燃机实际负荷

/ 经过大气温度和压力计算得出的燃机负荷最大值) 为控制信号, 当燃机转速 14CFGH (2250r/min) 置 1 前一直保持 -5% 开度指令。天然气经过三通阀旁路, 不进入 FGH 加热器。随着转速上升, 信号 GTMFCLCSO 与燃气温度函数关系见图 2。GTMFCLCSO 达到 20 以上后对应的天然气温度控制值为 100℃开始上升。当控

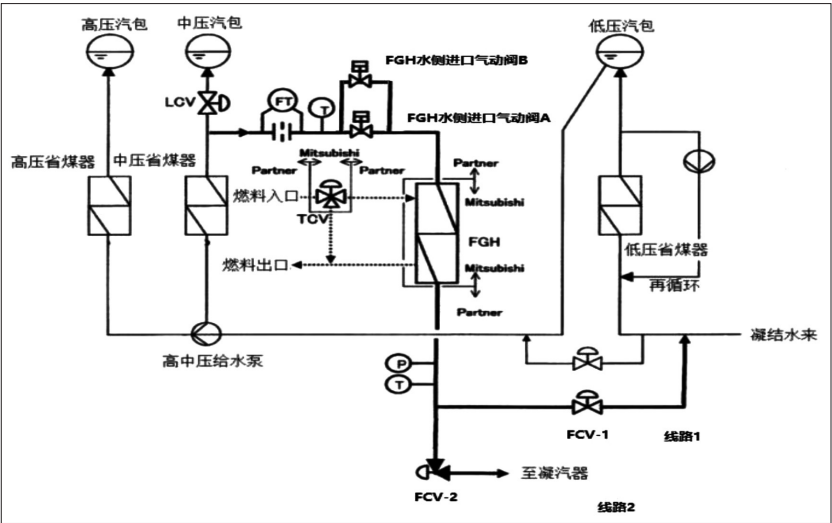


图 1 FGH 系统图

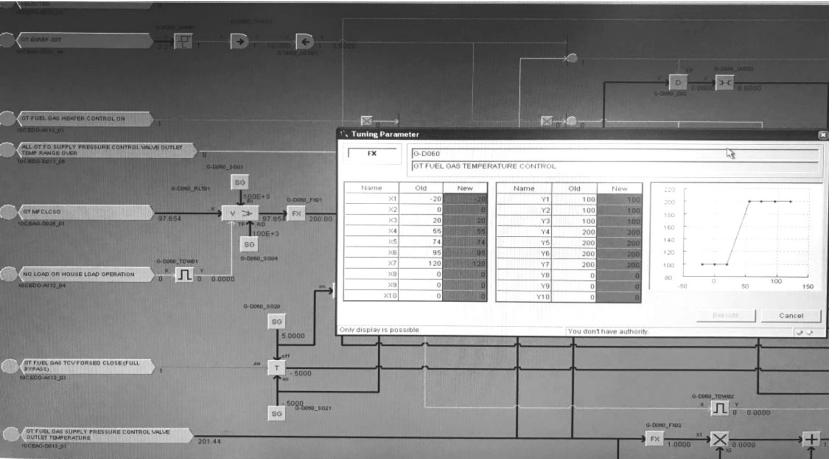


图 2 GTMFCLCSO 与燃气温度函数关系

制信号 GTMFCLCSO 达到 55 后，控制燃气压力控制阀后燃气温度到 200℃，正常运行时，燃气温度保持并稳定在 200℃^[2]。

2.2 FGH 回凝汽器调阀

当燃机在启动过程或低负荷（125MW）以下运行时，FGH 回水至凝汽侧，设定相应的燃机复合函数可以实现对 FGH 回水流量的控制。FGH 回凝汽器调阀开度为了满足 FGH 回水流量设定，实际测得的 FGH 流量经 FGH 进口水温修正后，若小于 0.7×FGH 回水流量设定（图 3），即 FGH 进口水量过低的情况下，TCS（燃机透平控制系统）便会触发报警系统（如启动时需要满足 19.5×0.7=13.65t/h 流量）。

2.3 FGH 回余热锅炉调阀

当满足以下条件：

- (1) 燃机负荷 > 125MW ；
- (2) FGH 出口温度 < 140℃ 。

FGH 回凝汽器调阀（FCV-2）流量控制切至 FGH 回余热锅炉调阀（FCV-1）流量控制。实际测得的 FGH 流量经 FGH 进口水温修正后，若小于 0.7×FGH 回水流量设定（图 3），燃机透平控制系统（TCS）触发 FGH 进口水量低的报警。（如 150MW 负荷时需要满足 22.5×0.7=15.75t/h 流量）。

2.4 FGH 水侧进口气动阀 A、B

燃机发启动令后，机组转速上升，FGH 水侧进口气动阀 B 自动打开，FGH 水侧进口气动阀开启请求允许后延时 60s 且 FGH 水侧压力达到 4.5MPa。FGH 水侧进口气动阀 A 自动打开（图 4）。燃机熄火打闸时 FGH 回水至凝汽器调阀关闭，并延时 600s 关闭 FGH 水侧气动阀 A、B，FGH 退出运行。

2.5 保护设置

天然气在加热器的壳侧，加热水在管侧。管侧压力高于壳侧压力，当 FGH 水侧管道泄漏。壳侧有 4 个液位变送器。其中一个从加热器中心线向下计量 550mm 用于液位高报警，同时触发闭锁启动。其他三个从加热器中心线向下计量 476mm 用于液位高高跳机（三取二）^[3]。正常运行时当液位高报警发出时，燃机仍可继续运行。当液位继续升高到跳机液位（三取二）时，判断为天然气加热器内部水侧管道破裂，燃机遮断。因此，为了防止天然气加热器的气侧进水而进入燃烧器，关闭 FGH 水

侧进口气动阀 A 和 B。

FGH 进水流量低。FGH 进口将 FGH 流量进行水温修正后，如果水量低于 0.7×FGH 炉侧回水流量设定值，燃机透平控制系统（TCS）触发报警，提示操作人员 FGH 进口水量过低。

燃气压力控制阀后温度低。燃气压力调节阀后温度 10MBP02CT001/002 两个测点取高值 -GTMFCLCSO 对应的温度值（该温度值是 GTMFCLCSO 的函数 G-C019_FX03）大于 0 触发报警，当燃气压力控制阀后温度高于对应 GTMFCLCSO 的温度值 20℃时，报警复归，见表 1。

FGH 出口天然气经过燃气终端过滤器、燃气截止阀、燃气压力调节阀 A 和 B、天然气流量控制阀（主 A、主 B、顶环、值班）进入燃机。当天然气燃气压力调节阀后温度低 RUNBACK（自动减负荷简称 RB），VERY FAST（非常快速负荷变化率，450MW/min）的 RB^[3]。动作条件：燃机负荷大于 165MW 或者

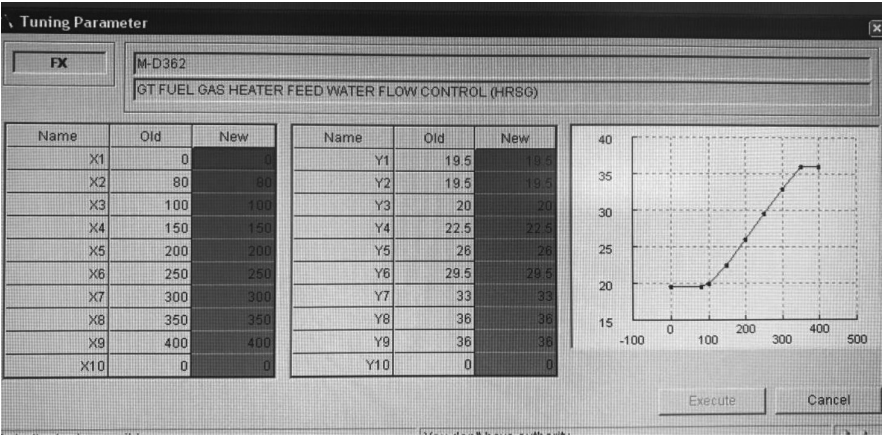


图 3 FGH 回水流量设定

表 1 MFCLCSO 与天然气温度函数 FX 对照表

70℃	70℃	70℃	120℃	120℃	120℃
-20%	0%	65%	90%	100%	120%

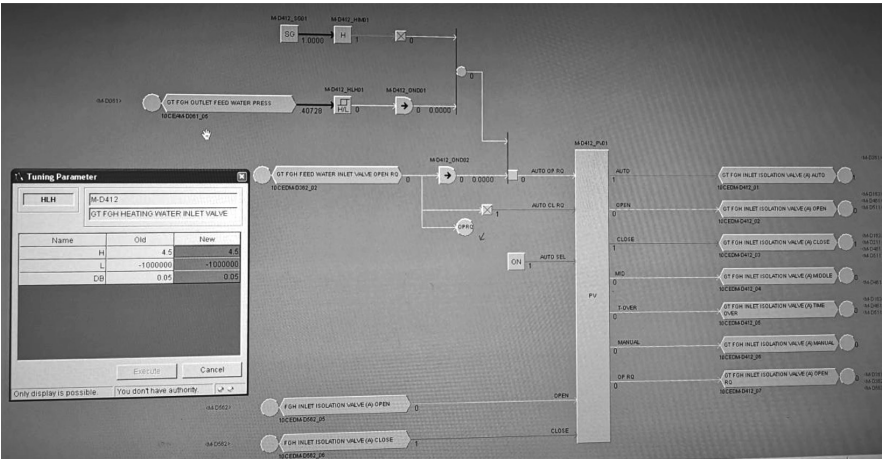


图 4 FGH 水侧气动阀 A、B 控制逻辑

GTMFCLCSO 大于 88% 的情况下,如果压力调节阀后温度 10MBP02CT001/002 的平均值小于 GTMFCLCSO 对应的温度值(该温度值是 GTMFCLCSO 的函数 G-C019_FX01)或燃气压力调压阀后所有温度测点故障。当燃气压力控制阀后温度高于对应 GTMFCLCSO

表 2 MFCLCSO 与天然气温度函数 FX 对照表

50℃	50℃	50℃	100℃	100℃	100℃
-20%	0%	65%	90%	100%	120%

的温度值 +4℃时, RB 复归, 见表 2。
燃气压力控制阀后天然气温度高, 高于 240℃ 触发温度高报警。

燃气压力控制阀后天然气温度高于 250℃, 触发 MIDDLE (中等负荷变化率, 90MW/min) 的 RB。当温度低于 246℃ 延时 5s 复归。

一旦发生机组 RUNBACK 保护, 机组将自动撤出 ALR ON。就算 RB 复归, 也需重新选择 ALR ON, 才能自动负荷调节。

3 故障分析

燃机启动时 FGH 进水流量低。在燃机启动过程中, 以下任意条件满足时, 燃机自动停运 SFC, 燃机启动失败:

- (1) TCA 给水温度大于 60℃、流量小于 32.3t/h ;
- (2) FGH 进水流量小于 13.65t/h ;
- (3) 汽机低缸冷却蒸汽压力与温度都不满足最低标准, 即温度低于 160℃, 蒸汽压力低于 0.3MPa (条件不满足, 报警发出后 “ON” 转 “OFF” 延时 30s) ;
- (4) 燃机壳体冷却空气关断阀、供气阀在 “开” 位。

某日燃机启动过程中, 机组转速 700r/min, 高、中压给水泵出口中压给水压力 4.8MPa, FGH 水侧进口气动阀 B 自动打开向 FGH 水侧系统充压, FGH 水侧压力达到 4.5MPa 以上再打开 FGH 水侧进口气动阀 A, 此时 FGH 回凝汽器调阀、FGH 回余热锅炉调阀均在关闭状态。但在启动时 FGH 水侧压力始终在

3.95MPa, FGH 水侧进口气动阀 A 开启条件不满足未打开, FGH 进水流量小于 13.65t/h, 在点火前 30s 强制逻辑打开 FGH 水侧进口气动阀 A, TCS 操作员站手动打开 FGH 回凝汽器调阀操作。FGH 进水流量上升满足燃机点火条件, 避免机组启动失败。随后检查发现 FGH 回凝汽器调阀关闭后存在内漏现象, FGH 水侧系统充压时不能快速降压, 中压给水压力设定偏低。如中压汽包水位低需要补水时, 中压给水压力下降也可能造成 FGH 水侧系统充压压力不足。应对措施在机组启动前, 可以手动开启 FGH 水侧进口气动阀 B 对 FGH 充满水, 使 FGH 出口压力在机组发启动令后很快满足 FGH 水侧进口气动阀 A 开启条件自动开启条件。

停机盘车投入后, 凝结水泵停运, FGH 回水至余热锅炉调阀后至逆止阀区域发生水击现象。水击区域 (图 5) ; 当机组进入停机阶段, 燃机负荷下降, 控制信号 GTMFCLCSO 从 55% 至 20% 的过程中, 燃气温控阀的设定值将从 200℃ 降至 100℃, 使其经过 FGH 的主路逐渐关小, 旁路逐渐开大, 天然气换热量降低, 而此时 FGH 给水流量未减少, 从而使回炉侧水温度上升。机组正常运行时, FGH 水侧出口温度 67℃ ; 机组停运后, FGH 水侧出口温度会逐渐上升 (最高至 208℃), 直至停机后 1h 一直保持在 180℃ 以上, 压力 2.2MPa。FGH 水侧进口气动阀 A、FGH 水侧进口气动阀 B、FGH 回水至凝汽器调阀、FGH 回水至余热锅炉调阀, 以上四个阀门均保持在 “关闭” 状态。FGH 回水至余热锅炉调阀后逆止阀安装在距该阀大约 40m 远处, FGH 回水管道与距地面 13m 高处的低压给水管路汇合, 其中 FGH 回水逆止阀距低压给水管路汇合处垂直距离大约

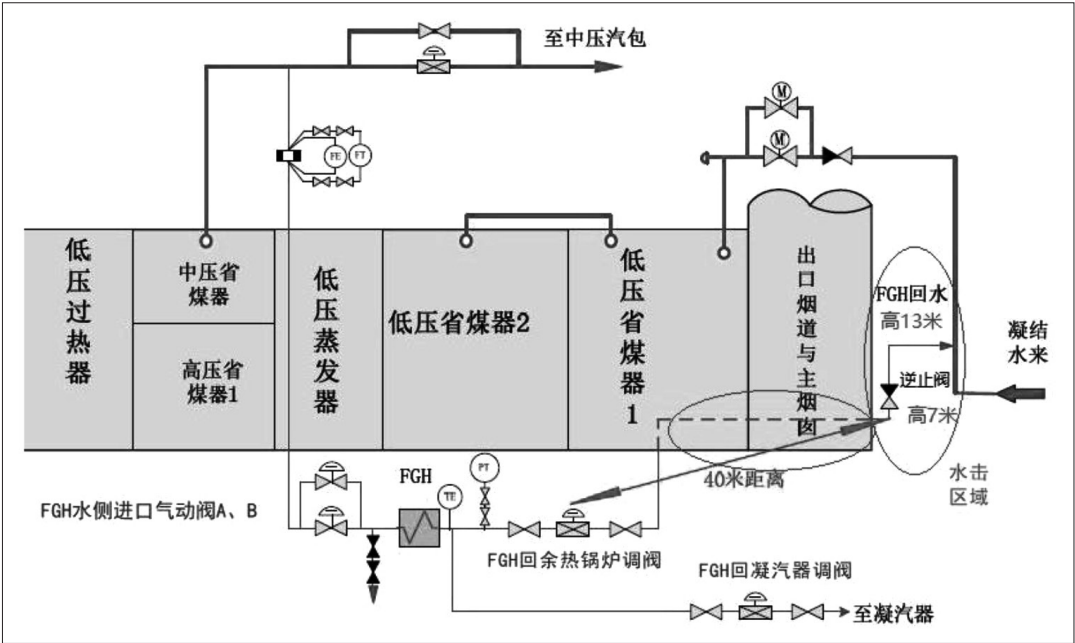


图 5 FGH 系统现场简图

为7m处(图5),当凝结水泵停运,低压给水管道中的存水会倒流至凝汽器,FGH回水逆止阀仅承受接近0.1MPa左右静止水压,FGH回水通过逆止门进入低压给水管道,压力下降发生汽化形成了汽水混合物,从而造成管道水击现象。

随后检查FGH回余热锅炉调阀发现有轻微泄漏,并进行重新定位检查,消除内漏;计划将FGH回水至余热锅炉调阀后逆止阀移位至调节阀后附近,并在调节阀以及逆止阀后增加疏水点并实现远控功能,如发生水击及时利用该点进行泄压。

4 结语

综上所述,深度了解三菱M701F4燃气侧和水侧系统的运行与控制方式,可以有效帮助相关操作人员全面了解FGH系统,并进一步明确FGH系统启停机过程中所出现的各类突发情况,及时制定相应的处理措

施。此外,FGH回余热锅炉调阀与FGH回凝汽器调阀使用频率高,做好日常维护保养。FGH系统流量变送器、压力变送器测点参与燃机保护,做好室外测点保温,防止极端天气时出现异常。

参考文献:

- [1] 杨顺虎. 燃气蒸汽联合循环发电设备及运行 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 常山燃气轮机控制设定 [Z]. 2012: 143-147.
- [3] M701F4 燃气-蒸汽联合循环机组运行维护手册: 第四分册 机组运行规程 [Z]. 2012: 101-102.

作者简介: 陈攀峰(1981.10-), 男, 汉族, 浙江金华人, 本科, 工程师, 研究方向: 9F燃机运行; 万国彬(1990.08-), 男, 汉族, 吉林松原人, 本科, 工程师, 研究方向: 9F燃机运行。

(上接第48页)

对比常规技术,该技术的优势体现在三个方面:首先,对专用对接装置进行研发和应用,确保胶带更换环节对接的精确性,能够很好地保障胶带更换的质量;其次,对于更换的胶带卷,设置专门的承载设施,能够实现有效保护,减少卷扬机牵引环节对胶带的损伤;最后,通过旧胶带代替牵引绳的方式,解决了卷扬机牵引困难的问题,也能够减少旧胶带拆除以及新胶带安装所需的时间^[10]。

5 结语

总而言之,带式输送机在港口运输中有着十分广泛的应用,对带式输送机胶带维修技术进行深入研究,可以对现阶段带式输送机维修工作中存在的维修难题进行解决,提高维修作业的效率,保障维修的效果,延长胶带的使用寿命,确保带式输送机能够始终处于稳定运行的状态,切实保障港口运输作业的安全。不仅如此,新技术和新设备的使用,也可以有效地降低维修成本,帮助港口企业更好地适应市场发展要求,促进企业经济效益的提高。

参考文献:

- [1] 李鑫. 煤矿胶带机跑偏故障机理及对策 [J]. 矿业装备, 2022(05): 276-278.

- [2] 梁宾. 关于选煤厂胶带机安装调试故障处理探讨 [J]. 矿业装备, 2022(04): 256-257.
- [3] 熊念强, 文锋, 李清, 等. 带式输送机胶带撕裂检测技术综述 [J]. 煤炭工程, 2022, 54(07): 79-85.
- [4] 高飞. 皮带输送机的维修与保养研究 [J]. 当代化工研究, 2022(11): 6-8.
- [5] 许峰. 井下皮带机跑偏原因分析及纠偏方法探讨 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(05): 336-337.
- [6] 张都. 矿带式输送机胶带纵向撕裂保护系统的应用 [J]. 矿业装备, 2022(02): 248-249.
- [7] 原峰. 皮带机防撕裂保护装置的设计探析 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(02): 120-121.
- [8] 吴晓明. 煤矿皮带机跑偏机理与防护措施 [J]. 能源与节能, 2022(01): 215-216.
- [9] 刘鹏. 煤矿带式输送机维修管理模式及发展趋势 [J]. 矿业装备, 2020(06): 70-71.
- [10] 刘宏岗. 矿井胶带运输系统日常运行中的维护与管理之论 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(07): 69-70.

作者简介: 杨占虎(1989.01-), 男, 满族, 河北秦皇岛人, 本科, 工程师, 研究方向: 港口机电设备。