

某型燃气轮机高工况突发停机故障分析研究

岳 彭¹, 臧 军², 魏昌森², 李金奇²

(1. 海军装备部驻无锡地区军事代表室, 江苏 无锡 214151;

2. 中国船舶集团公司第七〇三研究所无锡分部, 江苏 无锡 214151)

摘 要:对某型燃气轮机实际运行过程中出现的高工况突发停机故障案例进行分析,从燃气轮机运行原理及控制原理出发,总结出了故障处置方案。对可能造成燃气轮机高工况停机的方面进行分析,提出了运行维护相关事项,对燃气轮机预防故障发生、维护可靠稳定运行具有建设性意义。

关 键 词:燃气轮机;运行;故障

中图分类号:TK477

文献标志码:B

文章编号:1009-2889(2020)03-0057-04

燃气轮机作为一种动力源,广泛应用于机车、发电、工业驱动、船舶动力等方面^[1]。某型燃气轮机主要由低压压气机、高压压气机、动力涡轮三轴结构构成。燃气轮机完成工作后或出现故障时,应执行停机程序。停机类型主要包括正常停机、手动紧急停机、故障保护停机。

正常停机指燃气轮机完成工作后,当按下正常停机按钮后,燃气轮机从使用工况降至空负荷工况,在空负荷工况运行规定时间后,关闭燃料供应阀等一系列电磁阀动作,完成停机程序。燃气轮机的正常停机是燃气轮机的主要停机类型,用于保证燃气轮机的均匀冷却。

手动紧急停机指在必要的情况下需要燃气轮机运行人员立刻停机,如当维护人员有危险时、发现燃气轮机出现非正常工作的噪声时、有燃油或者滑油大量泄露时、在工作的燃气轮机上不可能灭火时等突发情况,手动紧急停机是燃气轮机在任意工况,且在没有空负荷工况冷却的情况下快速停机。

故障保护停机指当燃气轮机某一指标不满足运行要求出现安全隐患时,为了保护机组的安全,燃气轮机进行故障停机保护,如起动过程滑油回油压力低停机保护、起动过程燃气超温停机保护、起动过程点火失败停机保护、工况运行后动力涡轮超速停机

保护等情况,故障停机保护也是燃气轮机在任意工况下,且在没有空负荷工况冷却的情况下快速停机。

正常停机是使用最多的停机方式,在燃气轮机实际运行过程中,出现过包含起动过程中的故障保护停机、工况运行中的故障保护停机在内的多次案例,故障保护停机是出现过最多的非正常停机。

燃气轮机长时间高工况运行时,当出现突发停机故障,如故障保护停机或人为手动停机时,燃气轮机外机匣与大气接触散热快,而内部高压涡轮、低压涡轮等旋转热部件散热较慢,如果不做任何处置,热胀冷缩作用将会造成内部旋转热部件与机匣接触,出现转子卡滞现象,进而造成转子热弯曲。因此,在各类停机中,燃气轮机高工况运行突发紧急停机破坏性最大,严重影响到机组的运行稳定性。针对燃气轮机动静碰磨问题,文献[2]以 M701F 燃气轮机为对象进行了详尽的分析。

1 高工况运行突发停机故障案例

1.1 故障现象

某台燃气轮机在 1.0 工况运行十余个小时后监控系统突发动力涡轮超速保护报警,燃气轮机执行停机程序。停机后运行人员查询历史数据发现,动力涡轮转速出现波动,如图 1 所示,动力涡轮转速超

收稿日期:2020-03-26

作者简介:岳彭(1982—),男,江苏徐州人,硕士,从事舰船主动力装备技术工作;通信作者:魏昌森(1989—),男,安徽淮北人,硕士,从事燃气轮机调试及试验工作,E-mail:weiicm@163.com。

出停机限值。动力涡轮拖动的水力测功器转速与动力涡轮转速显示一致,也出现转速波动的现象。在停机过程中,高压转子及低压转子平稳下降。

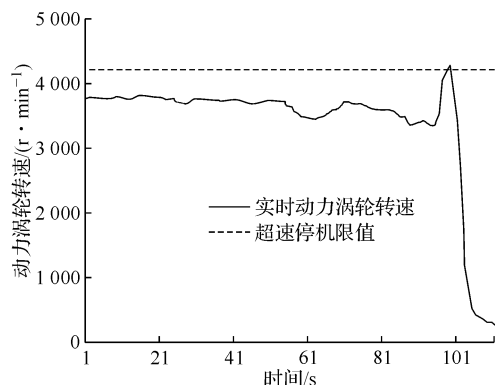


图1 动力涡轮转速变化图

1.2 故障分析及处置

上述停机后,运行人员进行了以下分析及处置:

(1) 根据故障现象,针对动力涡轮转速及其所拖动的水力测功器转速均未出现波动,且两者转速一致,排除动力涡轮转速测量系统出现故障。动力涡轮实际转速出现了超速现象,以致触发燃气轮机动力涡轮超速停机保护。

(2) 运行人员遥控操作水力测功器进水阀门随指令动作情况,检查发现水力测功器进水阀门在 40° 指令时,实际阀门在 $35^\circ \sim 45^\circ$ 的开度区间来回波动,依据该现象,运行人员判断在上述1.0工况时,由于进水阀门处于 40° 的开指令,而进水阀门实际开度存在波动现象,当进水阀门实际开度小于 40° 时,水力测功器进水量减少,从而造成动力涡轮转速升高,当动力涡轮转速超过 $4\,200\text{ r/min}$ 的停机保护值时,触发了动力涡轮超速停机保护。因此该故障判断为水力测功器进水阀门开度异常,导致动力涡轮转速波动超限停机。

(3) 低压压气机转子、高压压气机转子转速平滑下降,运行人员判断低压涡轮及高压涡轮在停机过程中与燃气轮机外机匣尚未发生动静接触的现象,同时本次1.0工况触发紧急停机是因为水力测功器进水阀门开度异常引起,因此可紧急启动燃气轮机至空负荷工况。

(4) 运行人员完成规定起机检查后,第一时间再次启动燃气轮机。高工况停机下的燃气轮机没有空负荷工况的冷却,燃气温度仍较高,若不采取措施,在启动燃气轮机过程中将会出现燃气超温现象,进而引发起动过程燃气超温停机故障,将再次触发

故障停机保护。为避免出现启动过程超温停机保护,运行人员通过手动燃料剧减按钮,拉低油门来减少燃油供应量,启动过程燃油压力及燃气温度如图2、图3所示。

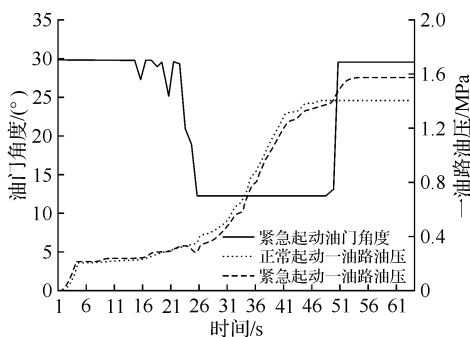


图2 燃气轮机紧急启动燃油图

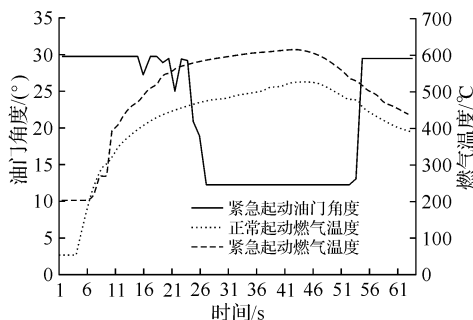


图3 燃气轮机紧急启动燃气温度图

启动过程合理地控制燃油量,燃气轮机顺利进入空负荷工况,空负荷工况运行20 min后正常停机,从而避免了高工况停机后由于高压涡轮、低压涡轮及外机匣冷却不均匀,造成动静接触、转子出现卡滞的故障。

2 突发停机故障分析及处置策略

当燃气轮机发生高工况停机后,为保护机组,应正确处置高工况停机故障,如果处理不当,不仅不能避免转子卡滞的故障,而且可能给机组带来二次故障损害。依据燃气轮机结构原理、启动供油原理、运行原理,并结合多次燃气轮机高工况突发停机处置成功的案例分析,当故障发生时,应进行以下分析处置:

(1) 关注停机过程低压转子、高压转子惰转时间是否减少,监听燃气轮机是否有异常刮擦杂音。

(2) 迅速判断燃气轮机停机原因,是否可以快速排除故障,是否具备再次紧急启动的条件,是否可以适当改变以满足启动连锁使之具备启动条件,比如当发生冷却空气挡板或通风挡板关闭造成的燃气轮机高工况突发停机,可第一时间将冷却空气挡板

或通风挡板控制方式由遥控切到手动,手动打开,为再次紧急起动创造条件。

(3) 若停机过程中转子转动情况未发现异常,同时具备再次起动条件,应在停机过程中,抓住时机完成备车条件,当起动连锁条件通过后,立即起动燃气轮机。高工况停机由于机体未经过冷却,停机后燃气温度存在较高的情况,如果措施不当,起动过程极易出现燃气超温故障保护停机,给机组带来二次损伤。燃气轮机紧急起动控制系统发出点火指令、燃油阀开指令后,由于机组内部过热,因此燃油极易着火。点火成功后,会出现燃气温度快速升高的现象,此时应密切关注燃气温度上升速率,通过手动按

下燃料剧减按钮,油门控制系统快速拉低油门,来减少燃油供应量以减缓燃气温度快速上升趋势,如图 3 所示,当燃气温度达到峰值开始下降后,为保证燃气轮机顺利进入空负荷,此时应手动取消燃料剧减控制方式,恢复原燃油供应。顺利起动进入空负荷工况的燃气轮机,在空负荷工况运行正常停机程序规定的冷却时间后正常停机,从而消除了高工况突发停机后可能造成的转子卡滞故障。在起动过程中,应严密监视转子升速,若出现转速异常降低,可判断为转子出现卡滞现象,此时应手动紧急停机,终止起动,处置流程如图 4 所示。

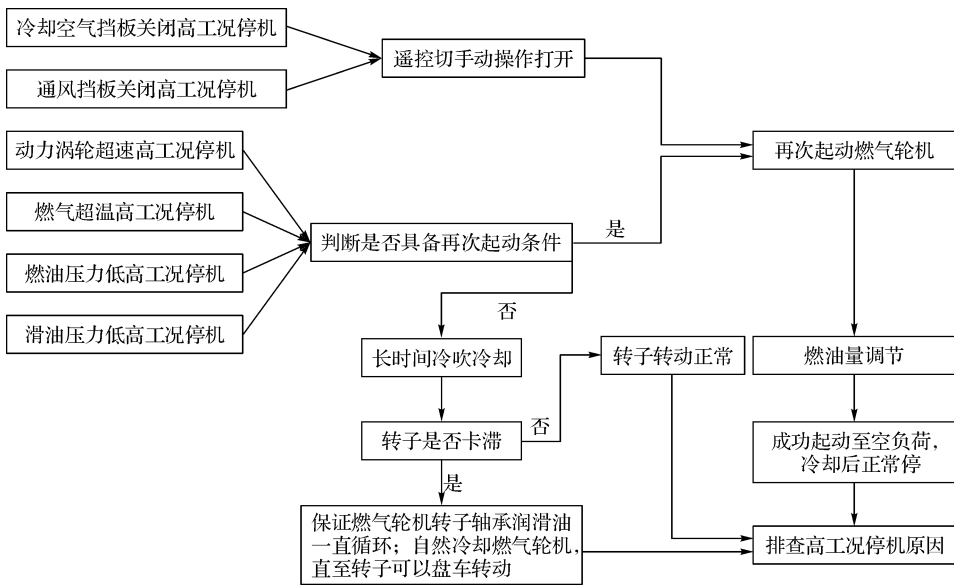


图 4 燃气轮机高工况突发停机故障处置流程

(4) 若燃气轮机高工况停机后,不具备再次起动条件,应立即对燃气轮机进行两次工艺冷吹长时间冷却通流部分,同时冷吹过程密切关注转子转速是否比正常转速偏低,是否有异常噪声,若出现转子卡滞现象应立即紧急停机。若燃气轮机出现转子卡滞,应保持机组滑油循环的正常工作,保证滑油循环冷却转子轴承。根据经验,一般卡滞几个小时后,检查低压压气机、高压压气机转子能否正常手动盘车。当转子可以盘动后,应密切关注是否存在叶片与机匣刮擦声,若有刮擦声,应确保机组继续自然冷却。若转子盘车恢复正常,应进行两次冷吹,关注低压、高压转子转速以及惰转时间是否正常。当滑油中无金属屑、燃气轮机出口滑油温度不超限、冷吹情况正常等检查确认后,方可再次起动燃气轮机。

高工况停机故障,故障具有非预期性。当故障发生时,处置故障路径应明确,故障点应定位准确,

以在最短的时间内快速排除故障,维护燃气轮机可靠运行。同时为避免故障的发生,应加强预防性维护工作^[3-4]。

3 预防突发停机故障维护策略

在燃气轮机高工况运行中,主要有燃油压力低停机保护、滑油压力低停机保护、动力涡轮超速停机保护、燃气超温停机保护、冷却空气挡板关闭高工况停机、通风挡板关闭停机保护。为预防燃气轮机高工况突发停机故障,应对可能造成燃气轮机停机的方面加强维护。

(1) 为预防滑油压力低、燃油压力低停机故障,应加强运行巡视:确保各油道管线无泄漏点,保证滑油箱、燃油箱液位在规定区间;密切关注机组进口燃油压力调节阀工作状态,防止调节阀工作异常,以致燃油压力过低造成停机;关注油滤污染情况,当滤器

前后压差较大时,应及时更换。

(2) 动力涡轮周向设有三根转速传感器,任何一个转速测量超限均会造成停机。为防止转速测量故障,应定期对转速测量系统进行预防性检查,如转速传感器处端子接线情况及转速信号传输线路情况检查^[5]。关注动力涡轮负载状态,如水力测功器进出水阀门异常均会导致进出水流量的变化,从而影响动力涡轮转速变化。定期对进出水阀门系统进行检查,确保进出水阀门工作的稳定性,当运行过程中进出水阀门出现异常情况,应及时降工况,排除故障后方可恢复高工况运行。

(3) 为防止燃气温度超限,运行时应注意严禁超负荷运行;当夏季环境较高时,在燃气温度允许的条件下保证使用功率的输出;定期对热电偶测温系统进行检查,防止温度测量故障造成停机。

(4) 为保护箱装体内机组及各控制零部件的冷却,设有通风挡板、冷却空气挡板关闭停机保护。应定期对通风挡板系统、冷却空气挡板系统进行检查,每次开机前务必操作试验开、关情况。根据以往故障案例,运行过程中应关注挡板工作所需的压缩空气气压,避免气管泄露造成气压意外降低,同时对挡板开位置反馈信号线路进行定期维护检查,防止线

路松动给运行带来安全隐患。

4 总结

本文从某型燃气轮机运行原理和长期运行经验出发,对机组出现的高工况突发停机故障进行总结分析,为燃气轮机高工况突发停机故障提出了处置策略。同时对燃气轮机高工况运行中可能造成突发停机的因素进行分析,并提出了相关处置措施,可通过相关维护策略来避免停机故障的发生,对燃气轮机预防故障发生、维护可靠稳定运行具有建设性意义。

参考文献:

- [1] 李孝堂. 燃气轮机的发展及中国的困局 [J]. 航空发动机, 2011, 37(3): 1-7.
- [2] 石翠霞, 王新年. M701F 燃气轮机检修过程中透平动静碰磨的分析与处理 [J]. 燃气轮机技术, 2017, 30(2): 54-57.
- [3] 汤建华, 张义农. 基于燃气轮机可靠性的维修策略 [J]. 舰船科学技术, 2012, 34(6): 141-143.
- [4] 刘云生, 敖晨阳, 吴 玥. LM2500 舰用燃气轮机使用维修特点分析及启示 [J]. 舰船科学技术, 2016, 38(增刊 1): 139-141.
- [5] 魏昌森, 蔡其波, 朱嵘嘉. 某工业型燃气轮机转速故障分析 [J]. 燃气轮机技术, 2011, 37(3): 1-7.

Analysis and Research on Sudden Shutdown Failure of a Certain Gas Turbine under High Operating Conditions

Yue Peng¹, Zang Jun², Wei Changmiao², Li Jinqi²

- (1. Military Representative Office of Naval Equipment Department in Wuxi Area, Jiangsu Wuxi 214151, China;
2. Wuxi Division of No. 703 Research Institute of CSSC, Jiangsu Wuxi 214151, China)

Abstract: This paper analyzes the cases of high-operating sudden shutdown failures that occur during the actual operation of a certain type of gas turbines. Based on the gas turbine operating principle and control principle, the fault treatment plan is summarized. The aspects that may cause shutdown of gas turbine under high operating conditions are analyzed, and relevant matters of operation and maintenance are put forward, which has constructive and practical significance for preventing the occurrence of faults and maintaining reliable and stable operation of gas turbine.

Key words: gas turbine; operation; failures