

# RR 燃气轮机发电机启动故障排除分析

杜震

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司 广东 深圳 518000)

**摘要:** 燃气轮机发电机组具有快速启动和灵活的调峰性能,在电网峰谷负荷波动大的情况下有着重要的调峰作用。燃气轮机启动过程复杂,是最容易产生故障的一个环节。燃机启动的成功率直接影响着机组能否快速满足电网的需要和机组的经济运行,了解和掌握燃气轮机的启动特性具有重要的意义。本文对RR燃气轮机发电机一次典型的启动故障进行了描述,分析影响燃机启动成功率的各种因素并提出有效的解决方法,这些方法在处理RR燃气轮机发电机启动故障具有代表性。

**关键词:** 燃气轮机;启动;液压伺服器;燃油分配阀;喘振

## 0 引言

随着我国对绿色发展的不断重视,燃气轮机作为新型的动力能源设备,具有热效率较高、运行安全可靠、污染较低等优点,对燃气轮机发电的应用越来越多。某海上石油平台有两台RR燃气轮机发电机,型号Alison 501-KB5,最大输出额定功率3714kW,设计额定转速14600r/min。

燃气轮机发电机是以连续流动的气体为工质,将燃料的化学能首先转变为动力机械能,再通过发电机转化为电能。燃气轮机发电机由燃气轮机、发电机、控制保护系统、电气系统、燃油系统、润滑油系统、进气系统、排气系统和通风系统等组成。燃气轮机发电机的工作原理:压气机连续地从大气中吸入空气并将其压缩,在此过程将压气机的旋转机械能转变为气体的压力势能;压缩后的空气进入燃烧室,与喷入的燃料(气态或液态)混合后燃烧,形成高温燃气,在此过程将燃料的化学能转换为气体的内能;高温高压的燃气流入到透平中膨胀做功,推动透平涡轮高速旋转,在此过程气体的内能转换为旋转的机械能;一部分旋转机械能带动压气机叶轮旋转,另一部分旋转机械能作为燃气轮机的输出机械功驱动发电机发电。

## 1 RR 燃气轮机发电机启动系统组成

该燃气轮机发电机启动系统由液压启动系统、进排气系统、仪表气系统、燃油系统、控制系统、点火系统和数据采集系统等组成。

## 2 RR 燃气轮机发电机启动工作过程简述

燃气轮机的启动必须要在外部启动设备的帮助下完成启动装置驱动燃气轮机的转子从零转速升到点火转

速。点火时燃气轮机透平所做的功还不能带动整个轴系转动,需要启动装置继续拖动转子升速,使燃气轮机达到并超过自持转速。

RR燃气轮机的启动设备主要是启动柴油机带动液压泵以及液压马达,在起机过程中它们的任务是带动燃气轮机转子上升到脱扣转速而后退出工作。在按下启动按钮后,液压启动系统按照控制系统的指令,进行逐步升高液压系统的压力,当液压压力达到一定值时,液压马达开始旋转,并通过超速离合器驱动燃气轮机齿轮箱,从而带动燃气轮机压气机旋转,当燃气轮机转数达到供油转数时,燃油系统接受控制系统的指令,按照既定供油曲线进行供油,当燃气轮机的转数达到点火转数时,点火系统投入工作,燃油在燃烧筒内形成连续燃烧,液压马达与燃烧推力最终将燃气轮机驱动至额定转速,当燃气轮机转数达到额定转速且稳定工作时,液压系统停机,燃气轮机发电机组启动成功。

## 3 RR 燃气轮机发电机透平转速对应启动节点

### 3.1 第一阶段——盘车扫气阶段

(1) 0 ~ 3600r/min时,启动柴油机高转速(2900r/min)运转,此阶段可验证液压系统是否正常;

(2) 盘车至3600r/min后,启动柴油机切换至低转速(1100r/min)运转,液压系统压力归零,燃气轮机转速下降至1800r/min,此后燃气轮机进入下一启动阶段。

### 3.2 第二阶段——启动点火燃烧阶段

(1) 1800 ~ 2200r/min时,启动柴油机切换至高转速(2900r/min)运转,带动液压系统驱动燃气轮机;

(2) 2200 ~ 8400r/min时,启动柴油机持续高转速(2900r/min)运转,燃气轮机燃油油路打开,点火系统启动,开始点火;

(3) 8400r/min时, 启动柴油机停止运转, 点火结束(需在60s内达到8400r/min), 燃油连续燃烧;

(4) 12500r/min时, bleed valve关闭;

(5) 14600r/min时, 启动成功(需在90s内达到14600r/min)。

#### 4 启动中故障现象及处理过程

2019年6月, 某平台一台RR燃气轮机发电机出现启动故障, 排查及处理过程如下。

第一步, 燃气轮机启动柴油机启动正常, 启动柴油机低速盘车时转速1100r/min, 高速盘车转速2900r/min, 符合要求, 但燃气轮机转速上升至600r/min后不能继续上升, 无法完成燃气轮机盘车及启动。

原因分析如下:

(1) FZ-70 液压控制电磁阀自动控制失效;

(2) F-72 滤器堵塞, 伺服回路压力不足, 造成FZ-70 液压控制电磁阀无法动作;

(3) 液压泵泵效降低, 无法让液压系统建立足够的液压压力(最大约5000psi);

(4) 超速离合器失效。

处理过程如下:

(1) 排查电磁阀FZ-70的控制电路, 现场测量电磁阀驱动机构电压12V, 满足要求;

(2) 排查柴油机液压油控制电磁阀FZ-70自身问题, 阀位动作不到位需要人为干预, 手动控制FZ-70 液压控制电磁阀(该阀预留有手动控制手柄, 按照说明书要求可进行手动控制), 液压泵出口连接压力表, 检测液压压力能达到5000psi, 燃气轮机转速可上升至3800r/min, 液压系统达到盘车启动要求。由此也可以同时排除液压泵及超速离合器故障;

(3) 更换F-72 滤器滤芯, 在液压控制电磁阀FZ-70 入口安装压力表, 检测伺服压力一直维持在590psi, 满足要求;

(4) 手动控制释放后, FZ-70 液压控制电磁阀无法自动恢复到中位;

(5) 拆解FZ-70 电磁阀, 发现液压油进入驱动电磁机构(无备件更换), 清洗内部滤器, 疏通内部油道, 调节中位, 回装后试机仍不能完成自动控制, 但在手动控制释放后可自动回中位, 液压系统也能满足启动要求, 决定采用手动调节该控制电磁阀。

第二步, 手动调节FZ-70 液压控制电磁阀, 燃气轮机启动柴油机可带动燃气轮机完成第一阶段盘车过程, 但在燃气轮机第二启动阶段时, 燃气轮机实现点火, 燃气温度上升, 燃油系统压力逐步上升, 但当燃气轮机转速接近5300r/min时, 燃气轮机转速提升减

缓, 同时出现“Liquid Valve Out of Limit”及“GG STAGNATION”重故障报警, 燃气轮机关停。

查阅报警参数: “Liquid Valve Out of Limit”对应Liquid Control Valve故障; “GG Stagnation”报警值, 要求燃气轮机转速提升不小于40r/min/s。

原因分析:

(1) Liquid Control Valve失效, 未实现根据转速调节燃油进油量, 导致燃油不足, 无法形成连续燃烧, 转速上升过慢;

(2) 点火系统故障, 无法持续点火;

(3) 辅助气路故障, 燃油雾化不良;

(4) 燃油系统出现故障, 导致供油不足;

(5) 喷油嘴积碳, 雾化不良;

(6) bleed valve未打开, 导致燃气轮机转速提升缓慢。

处理过程:

(1) 现场检查确认Liquid Control Valve, 发现该阀电气控制部分有燃油泄漏, 更换新备件;

(2) 辅助气系统在启动过程中起辅助推动透平涡轮及油嘴雾化的作用, 对辅助气系统压力进行监测, 并拆检进气单向阀: 燃气轮机启动过程中, 辅助进气压力120psi, 减压压力70psi, 辅助气系统控制阀均动作正常, 启动过程中燃气轮机转速在2200r/min时, 减压压力为65psi, 拆检喷嘴前端辅助气进气单向阀清洁, 进行测试, 均正常并无卡阻现象;

(3) 点火回路及火花塞检查均正常, 点火时测量ECU输出IO卡件(24VDC)3通道送出电压只有11V, 达不到24V, 不能驱动24VDC的RA3接触器动作, 更换ECU, 测量输出IO卡件(24VDC)3通道电压24V, 满足要求;

(4) 启动过程中, 实时监控燃油系统各压力数值: ①燃油进口压力表PI-15压力约为20psi, 机带燃油泵出口压力表PI-14压力在关断前可达180psi; ②检查FLOW DEVIDE VALVE燃油分配阀, 阀芯轻微卡滞。清洁内部阀芯, 进行压力测试(当压力为160Psi时, 主油路即可打开, 实施供油), 动作正常; ③检查辅油路系统排放控制电磁阀(PY19), 现场检测电磁阀PY19控制回路正常, 电磁阀开、关到位, 工作正常, 对回路电压进行监测, 控制动作电压(24VDC), 对控制继电器(RA1、RA18)拆下来进行测试, 继电器触点动作正常; ④排查现场燃油关断电磁阀(PY14), 现场检测电磁阀PY14控制回路正常, 以及电磁阀开、关到位, 工作正常, 对回路电压进行监测, 控制动作电压(24VDC), 对控制继电器(RA1、RD1A)拆下来进行测试, 动作正常;

(5) 检查喷嘴: 根据燃气轮机点火温度探头数据显示, 初步判断2#油嘴堵塞, 拆解该油嘴, 发现有轻微

积碳,更换新油嘴。

(6) 检查燃气轮机压气机 bleed valve 阀门:该阀门在燃气轮机转速低于 12500r/min 时一直保持打开,使透平转速能快速提升,快速越过压气机低流量高压力所产生的喘振区,避免喘振发生。

在压气机运行特性曲线的左侧有条喘振边界线,如果流经压气机的空气流量减小到一定程度而使运行工况进入到喘振边界线的左侧,则整台压气机就不能正常工作,此时,空气流量就会出现波动,忽大忽小,压力出现脉动,时高时低。严重时甚至会出现气流从压气的进口处倒流的现象,同时还会伴有低频的怒吼声响,还可能使机组产生剧烈的振动,这种现象称为喘振现象。

外接仪表气检查确认,该阀门动作正常,排除该原因。

第三步,启动柴油机,在第二启动阶段带动燃气轮机转速上升至 5600r,燃气轮机转速提升减缓,同时出现“GOVERNOR S/D”及“GG STAGNATION”,重故障报警,燃气轮机停车。根据以往燃气轮机运转经验,“GOVERNOR S/D”属于综合报警,以上出现的两个报警主要是由于“GG STAGNATION”造成关停。由此判断燃气轮机转速提升依然不能满足 40r/min/s。

原因分析:

(1) FZ-70 液压控制电磁阀阀杆转动角度不够,造成液压泵斜盘角度调节不到位,虽然液压系统出口压力满足要求,但流量达不到要求,在快速加速阶段不能满足启动斜率;

(2) FZ-70 手动调节与自动启动程序匹配不合适。

处理过程:

(1) 调节 FZ-70 液压控制电磁阀限位螺杆,增加调节行程;

(2) 对比分析液压系统压力变化:

对比分析以往启动过程中液压系统压力变化全过程(视频文件记录),发现在燃气轮机转速 3000r/min 以上时,液压系统并不是一直保持在 5000psi,而是在 3000 ~ 5000psi 之间摆动,并且随着转速上升摆动降低至 1500psi,稳定至点火结束。

经过对比分析,改变手动调节方式,使之更加接近 FZ-70 液压控制电磁阀自动控制模式,在启动第二阶段之初,应调节该控制阀阀杆至最大行程,使液压系统压力保持在 5000psi(最大值),当燃气轮机转速超过 3000r/min 时,应控制液压系统压力在 3000 ~ 5000psi 之间摆动,并随燃气轮机转速上升最终稳定在 1500psi 至点火结束。

第四步,启动中燃气轮机转速上升至 12500r/min 后,透平室高温报警,燃气轮机出现“重故障”报警,随即关停。

原因分析:

(1) 通风系统故障,透平室进/排气风扇未打开;  
(2) bleed valve 未关闭,致使压气机内高温气体从该阀门窜出,造成透平室高温。

处理过程:

(1) 检查通风系统,进排气风扇开/关正常;

(2) 检查 bleedvalve 系统:bleed valve 分别位于压气机第 5 级和第 10 级,共 8 个,当转速达到 12500r/min 后,速度感应阀动作,从压气机 14 级出来的压缩空气经过滤清过滤后引入 bleed valve,关闭该阀;

(3) 外接仪表气检查 8 个 Bleed valve,均能正常动作;

(4) 拆解滤器,发现滤芯脏堵,导致从压气机 14 级出来的压缩空气无法引入关闭 bleed valve,更换滤芯,清洁速度感应阀内部,重新回装。

经过以上操作,该燃气轮机发电机成功启动。

## 5 结语

在查找 RR 燃气轮机发电机启动故障中,要把握节点,思路清晰,因“时”制宜,比如 bleed valve 故障,在启动之初和启动中燃气轮机达到 12500r/min 两种不同的情况下,所导致的结果截然不同,前者导致转速爬升缓慢,后者导致透平室高温。本文采用的故障排除方法,是根据燃气轮机发电机启动过程中,在不同转速条件下对应各个系统相应的动作,详尽分析各种可能导致启动失败的原因,从而找出故障点,对于在燃气轮机发电机启动过程中准确判断故障、快速处理故障提具有重要的指导意义。

文章所采用的方法仅供同行们参考,不足之处请给予指正。由于经验不足,在国内燃用 RR 燃气轮机运行方面又没有很多现成的经验可以借鉴,为此在今后的日常运行中,应加强对机组设备性能、运行特性和检修工艺等方面进行更深入的研究,提高燃气轮机发电机组安全运行水平。

## 参考文献:

- [1] 魏昌淼. 燃气轮机启动过程典型故障综述 [J]. 燃气轮机技术, 2018(2): 7-11.
- [2] 朱维军. 某型船用燃气轮机启动过程故障分析 [J]. 燃气轮机技术, 2013(1): 5-8.
- [3] 谢春玲. 燃气轮机故障诊断技术研究综述与展望 [J]. 汽轮机技术, 2010(1): 1-3.
- [4] 李作琨. 燃气轮机在海洋石油平台上的应用 [J]. 中国修船, 2008(4): 55-58.

**作者简介:**杜震(1987.03-),男,汉族,湖北宜昌人,本科,中级工程师,研究方向:海洋石油平台机械设备管理。