

某燃机电站运行故障分析及改进研究

潘春霖 孙远伟 郑伟

中国航发燃气轮机有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 文章重点介绍了首台某燃机电站运行及出现的故障情况。通过对运行过程及故障现象的深入剖析, 找出产生故障的原因所在, 在借鉴其他燃气轮机成熟结构的基础上, 制定结构改进方案, 能够解决此次燃机运行故障问题, 保证燃机运行可靠。

[关键词] 燃气轮机; 离合器; 滚棒; 棘轮; 棘爪

DOI: 10.33142/sca.v3i3.2041

中图分类号: TM621

文献标识码: A

Analysis and Improvement of Operation Failure of A Gas Turbine Power Station

PAN Chunlin, SUN Yuanwei, ZHENG Wei

AECC Gas Turbine Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: This paper focuses on the operation and failure of the first gas turbine electrical and mechanical station. Through the in-depth analysis of the operation process and fault phenomenon, find out the cause of the fault. Based on the mature structure of other gas turbines, develop a structural improvement plan, which can solve the problem of gas turbine operation fault and ensure the reliability of gas turbine operation.

Keywords: gas turbine; clutch; roller; ratchet; pawl

引言

燃气轮机作为需要长期工作的动力装置, 整机运行可靠尤其重要。燃气轮机经过厂内试车后要经过电站带负荷考核运行, 验证长期稳定运行能力。某燃气轮机作为黎明公司首次自主研发的航改型燃气轮机, 经过厂内多次性能试验及结构改进后确定了燃气轮机性能指标。燃气轮机在大庆北压电站进行长试考核验证其工作可靠性。在燃机运行过程发现多起由于结构不完善引起的燃气轮机紧急停机故障。经过现场分析数据, 部件返厂后通过制定修理方案并贯彻修理措施得到合理解决。

本文对某燃机结构作一简要介绍, 并对在电站运行过程中出现的故障做出深入剖析, 查找问题所在, 借鉴其他航空发动机及燃气轮机成熟结构, 对燃气轮机起动系统进行大量结构改进, 通过改进后在电站进行整机试验结果可以判定燃机结构改进可以长期工作问题。

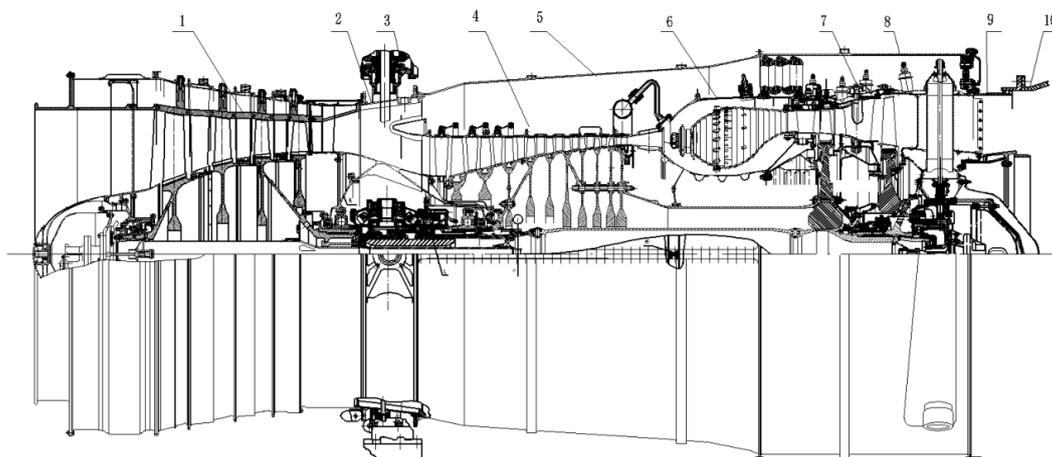
1 燃气轮机结构简介

某燃机是我公司首次独立研制的国内具有自主知识产权的航改型燃气轮机。该燃机利用某退役大修发动机改制而成, 整机结构及性能继承了母型机工作可靠、性能优异的特点, 同时由于燃机降工况使用, 利用退役发动机, 零件利用率达 70%, 研制成本低, 燃机面向国内市场后, 燃机竞争力强, 修理及配套优势明显。它的研制成功填补我公司自主研发航改型燃气轮机的空白, 同时解决了国产航改型燃机成本高、性能指标低, 国内市场竞争不强的难题。

与某退役大修发动机相比, 改制后的某燃气轮机燃气发生器主要结构变化体现在: 取消地面不用的加力、喷口及相关附件, 低压压气机切顶, 新设计天然气燃烧室, 增加涡轮通流面积, 外涵道增加堵盖, 增加内、外涵掺混孔, 改进燃机支撑方式等(燃气发生器结构见图 1)^[1]。

在起动方式上取消原发动机用涡轮起动机连接柔轴带动发动机高压转子的方式, 进而采用液压马达起动, 使用滚棒式超越离合器带动燃气轮机, 当燃机点火成功稳定工作后, 液压马达通过离合器与燃气轮机上部减速器轴脱离, 燃气轮机由涡轮带转。

通过匹配相应的动力涡轮, 组成某燃气轮机。经过多次厂内试验, 某燃机满足在原航机 95% 工况下, 保证燃机功率 12MW, 效率 31%^[2]。



1-低压压气机； 2-中介机匣； 3-上部减速器； 4-高压压气机； 5-外涵道前机匣； 6-燃烧室； 7-涡轮； 8-外涵道后机匣； 9-涨圈式过渡段； 10-动力涡轮。

图1 某燃气轮机燃气发生器结构图

2 某燃机电站运行故障情况介绍

某燃气轮机电站运行期间发生两起典型故障。

2.1 故障一

在燃机电站运行初期，燃机经过多次起动后，突然某次液压马达起动后燃气轮机高压转子未转动，盘车正常，听液压马达附近有异常声响，证明离合器出现故障，无法正常带动燃气轮机高压转子转动。

离合器返厂分解后发现滚棒磨损严重，已由设计要求直径 9mm，磨至直径最小 7mm，黄铜保持架已变形，离合器外套内表面与滚棒配合表面局部已磨出约 0.5mm 深的沟，前、后辅助轴承出现卡滞现象。

由于现场运行紧急，重新制造离合器周期较长，因此未对离合器结构作深入分析，仅更换新的滚棒及前、辅助轴承。初步分析滚棒磨损由于润滑不畅造成的，因此增加后辅助轴承润滑油路。在更换修理后的离合器后燃气轮机工作正常。

2.2 故障二

某燃气轮机在大庆电站某次正常停机后再次起动并网，运行仅 5 小时后突然燃机前、后支点振动瞬时加大，燃气轮机振动突然增大，前、后支点振动分别突升到 4.9g, 4.5g, 之后又分别降至 1g, 2g (见图 2) (燃机前、后支点振动正常工作应控制在 3g 以下)，燃机继续运行一段时间后，运行人员听见异常声响，进入燃机箱体后发现液压马达脱落，液压马达进油管焊缝位置断开，液压马达与上部减速器转接部位发现明火，灭火后燃气轮机下台。超越离合器、液压马达连同上部减速器返厂进行分解修理。

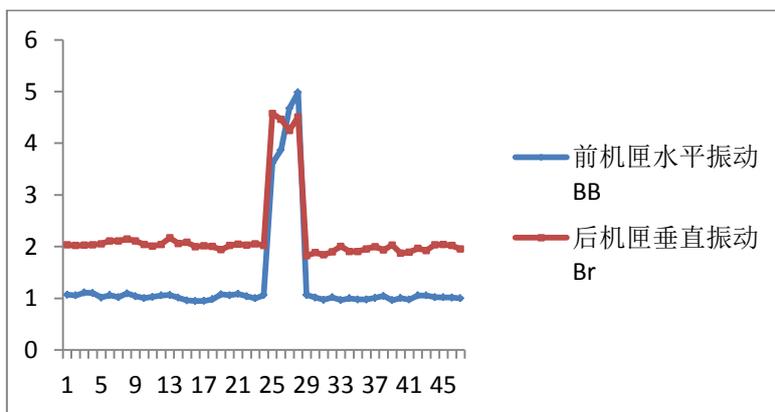


图2 燃机前、后支点部分振动数据

离合器及上部减速器经过分解后发现存在如下故障：

液压马达转接机匣内表面磨损严重，回油管挤压变形，机匣内有残留物（经确认是离合器前轴承滚动体及保持架）（见图 3）。

离合器前轴承仅有内、外圈跑道，未见滚动体及保持架（见图 4）。



图 3 液压马达转接机匣内残留物



图 4 离合器前轴承

液压马达与离合器转接轴外套齿出现明显打伤痕迹（见图 5）。

螺栓螺纹表面基本磨平（见图 6）。



图 5 液压马达与离合器转接轴



图 6 液压马达连接螺栓

离合器外圈与滚棒的配合面磨损较严重，表面产生了剥落现象（见图 7）。

离合器后辅助轴承保持架损坏，滚动体在跑道内串动（见图 8）。



图 7 离合器外圈



图 8 离合器后辅助轴承

保持架掉块，保持架内的滚棒磨损比较严重；凸轮 9 的尖边严重变形（见图 9）。



图 9 离合器保持架、凸轮及滚棒

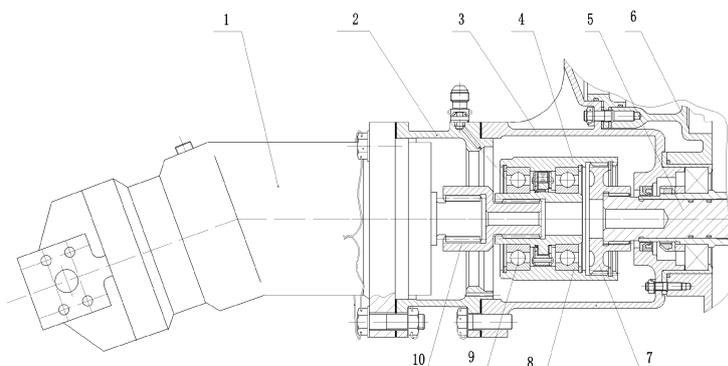
3 故障原因分析

3.1 某燃气轮机起动系统及离合器改前结构设计思路

某燃气轮机起动系统主要由液压马达 1、转接机匣 2、3、滚棒式离合器 4、传动轴 10 及辅助轴承 8、9 等组成（见图 10）。

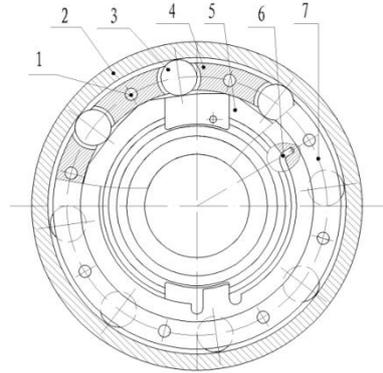
在燃气轮机起动时，通过液压马达 1 带转，花键套齿传扭，带动传动轴 10，传动轴 10 一端为外花键与离合器 4 内花键啮合传动，带动离合器 4 内的凸轮转动，将滚棒落入外圈与凸轮之间小楔角内并夹紧，这样离合器外圈、传动齿轮 7 及上部减速器输出轴 5 通过花键套齿联动，进而通过上部减速器 6 的传动机构，带动高压压气机转子转动。

在液压马达升至一定转速后，液压马达产生的扭矩将不足以带动燃气轮机继续升转，燃气轮机转子升转的扭矩一部份将由涡轮做功来承担，此时燃气轮机高压转子转速继续升高，上部减速器输出轴带动离合器外圈转速会逐渐超过凸轮，这样凸轮就带着滚棒从凸轮工作位置跑到非工作位置，滚棒不能楔紧而松脱，这样离合器外圈就和凸轮脱开了。此时，离合器外圈与凸轮之间会产生相对运动，通过放置在离合器内的前、后辅助轴承 8、9 带转工作，液压马达转速会逐渐下降直至完全停止转动（滚棒式离合器结构见图 11）。



1-液压马达； 2-转接机匣 1； 3-转接机匣 2； 4-离合器； 5-输出轴； 6-上部减速器； 7-传动齿轮； 8-后辅助轴承； 9-前辅助轴承； 10-传动轴。

图 10 某燃机起动系统原结构



1-铆钉； 2-离合器外圈； 3-滚棒； 4-保持架； 5-凸轮； 6-弓形弹簧； 7-垫圈。

图 11 滚棒式离合器结构

3.2 故障原因分析

经过这两起事故，我们对某燃机起动系统结构进行深入研究分析。

首先，对液压马达带转不成功的故障（故障一）进行分析，离合器外圈、滚棒和凸轮，在起动过程中，滚棒与外圈及凸轮楔紧，没有相对运动，在滚棒大小及凸轮外表面、外圈内表面都正常的情况下，能够保证起动可靠。但在正常工作时离合器滚棒会脱离外圈，与凸轮及外圈会产生相对运动，滚棒式离合器在脱开后，需持续供油润滑，离合器外圈与滚珠之间有相互接触，产生磨损，这种磨损比较均匀，磨损后仍能保持圆柱形。在润滑效果差或者长时间高转速的工作情况下滚棒可能会磨损严重，并且离合器外圈也有可能磨损严重，直接影响离合器寿命，造成起动不成功的现象。

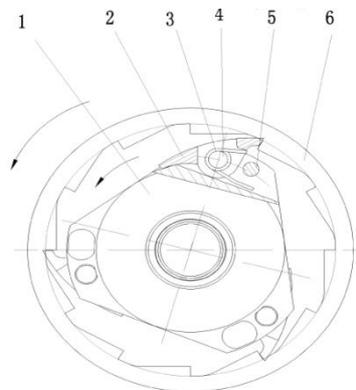
其次，对液压马达脱落，离合器冲击严重的故障（故障二）进行分析，主要是液压马达与离合器存在过多转接件，液压马达装在离合器机匣上配合精度不高，装配偏心及连接件松动导致辅助轴承在长期工作中处于偏心受力状态，加速轴承磨损，在轴承失效后，离合器凸轮没有支撑，由离合器外圈带动滚棒及凸轮运转，使离合器与液压马达处于严重偏心运转，长时间工作导致液压马达受到很大的扭转力矩，作用到液压马达连接螺栓上导致螺栓断裂，液压马达脱落^[3]。

经过上述分析，发现某燃机起动系统在结构上存在严重缺陷，其采用的滚棒离合器在工作中外圈与滚棒及凸轮相对运动的状态，这样会加速滚棒及辅助轴承的磨损，不适合长期工作。

4 结构改进方案

4.1 研究其他发动机离合器结构

经查找资料，滚棒式离合器在某批产发动机上得到应用，但工作原理与某燃气轮机不同。



1-拨轮； 2-棘爪； 3-扭转弹簧； 4-销子； 5-轴； 6-棘轮。

图 12 棘轮离合器

某批产发动机起动原理为：当发动机起动时，通过起动发电机带动发动机高压转子，起动发电机处于“起动状态”，此时棘轮离合器起到传动作用，棘轮为主动轮，通过棘爪带动拨轮旋转。棘爪在扭转弹簧作用下，处在棘轮爪槽内，而滚棒离合器处于脱开状态，此时滚棒离合器外圈为主动件且转速高，凸轮转速较低，滚棒不能楔紧，三者均有相对运动。当发动机进入工作状态时，起动发电机转为“发电状态”，发动机高压转子带动发电机，此时滚棒离合器投入工作，起到传动作用，凸轮变为主动轮，带动滚棒与外圈楔紧，此时，棘爪及拨轮为主动轮，经过增速后棘爪转速逐渐超过棘轮后，棘爪开始打滑，当转速达到某一数值后，棘爪退出棘轮槽，离合器处于脱开状态（滚棒式离合器见图 11，棘轮离合器见图 12）^[4]。

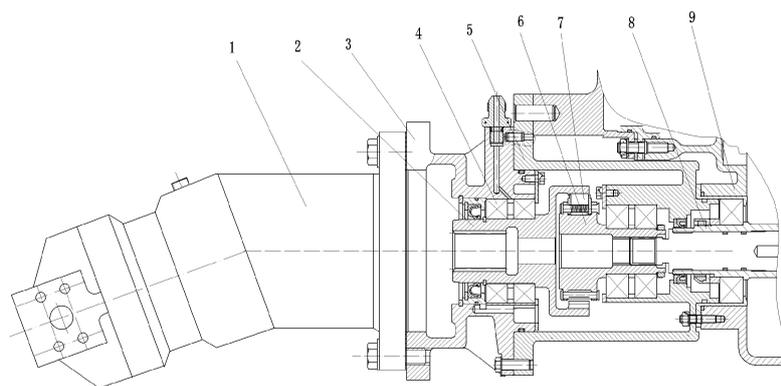
通过对上述过程分析发现，某批产发动机在起动状态下使用棘轮离合器，在运行状态下脱开，而滚棒离合器正好相反，可以使滚棒离合器在短时间内（起动状态）磨损，长时间（工作状态）处于“楔紧状态”，这能够有效的避免滚棒的磨损，提高了可靠性。

4.2 离合器结构改进方案

经查，其他航改型燃气轮机如 QD128 及某小档功率燃机均采用棘轮离合器和器，工作时棘爪与棘轮完全脱开，保证工作可靠，缺点在于工作噪音大。

经过对某燃机离合器结构的深入分析及调查其他发动机及燃机的起动方式，决定改进结构采用棘爪式离合器。结构方案技术成熟度高，能快速投入使用，降低设计风险。

结构方案为：利用 QD128 燃机棘爪、拨轮及扭转弹簧，新设计棘轮，转接机匣、辅助支承及上部减速器输出轴，减少转接件及传动距离，保证起动及工作可靠。



1-液压马达； 2-棘轮； 3-转接机匣 1； 4-辅助轴承； 5-转接机匣 2； 6-拨轮； 7-棘爪； 8-上部减速器输出轴； 9-上部减速器

图 13 某燃机改后离合器

5 结论

本文对首台某燃气轮机在电站的运行情况及典型故障作深入分析，发现原某燃气轮机起动系统结构上存在较大问题，原滚棒式离合器结构按工作原理长期使用存在可靠性隐患，另外，从滚棒离合器自身特点上要求加工及安装精度要求较高，如不满足，使用寿命将大大缩短。

通过借鉴已有成熟技术，市场应用的其他发动机或燃气轮机的起动系统，使用棘爪式离合器代替原滚棒离合器结构，保证起动及长期工作可靠。方案目前正在实施过程中，在外场实际应用中还需进一步考核工作可靠性。

[参考文献]

[1]姜东坡,赵俊明.某燃机第二台验证机设计技术状态[J].汽轮机技术,2014(5).

[2]周素荃,吕永.某燃气轮机研制情况总结[J].中国科技信息,2012(9).

[3]张效伟,朱惠人.航空发动机强度计算[J].热能动力工程,2008(1).

作者简介：潘春霖（1987.10-），男，毕业院校：大连理工大学，现就职单位：中国航发燃气轮机有限公司。