

海洋环境燃气轮机新型除盐空气滤器应用实践

罗俊飞

中海石油（中国）有限公司湛江分公司 广东湛江 524057

摘要：轻型工业燃气轮机常用于海上采油平台作为发电使用，多数时候采用油田的伴生天然气作为燃料以降低燃料成本。在运行过程中，海上多盐高温空气长期进入透平各级叶片，与天然气一起进行燃烧，这就会造成叶片表面腐蚀加剧，严重影响透平叶片使用寿命。所以除掉海洋环境中空气中的盐分，对保障透平机组的长期稳定运行和延长叶片使用寿命至关重要。通过新型的低速除盐空气过滤器的精准选型、改造应用，最终大大提升机组叶片使用寿命。

关键词：燃气轮机；叶片；腐蚀；低速过滤器

引言

轻型工业燃气轮机常用于海上采油平台作为发电使用，并且多数时候均采用油田的伴生天然气作为燃料以降低燃料成本。在运行过程中，海上多盐高温空气长期进入透平各级叶片，与天然气一起进行燃烧，这就会造成叶片表面腐蚀加剧，严重影响透平叶片使用寿命。所以除掉海洋环境中空气中的盐分，对保障透平机组的长期稳定运行和延长叶片使用寿命至关重要。

燃气涡轮发动机主要由压气机、燃烧室，和燃气涡轮（即透平）发动机三大部件组成。在其压气机和燃气涡轮部分，都是有动叶片和静叶片旋转形成的空气强制流动。在此过程中，空气对叶片有强烈的冲刷作用，当空气中含盐过高时，则会对叶片造成缓慢且不可逆的腐蚀。本文讨论通过采用新型的低速除盐空气过滤器的使用，将大大提升机组叶片使用寿命。

一、海上采油平台常用燃气轮机结构原理

燃气轮机通过压气机将外界的空气吸入并压缩，升压后的空气被导入燃烧室内与燃料混合并燃烧，从燃烧室出来的燃气再引入三级涡轮中膨胀做功，最后以输出功率的形式通过减速齿轮箱来驱动交流同步发电机，从而发出所需的电功率。由于采用了轴流式气动热力设计，从而给装置提供了相对较高的效率。但在其压气机和燃气涡轮部分，空气流动速度较大，并且都是有动叶片和

静叶片旋转形成的空气强制流动。在此过程中，空气对叶片有强烈的冲刷作用，当空气中含盐过高时，则会对叶片造成缓慢且不可逆的腐蚀。

燃气轮机通常结构紧凑，由压气机，燃烧室和涡轮机三大基本部分所构成。外界的空气首先被抽吸进入燃气轮机的空气入口，然后由轴流式的压气机进行压缩，被压缩的空气以连续流的形式直接进入燃气室内，此时燃料（油或气）也被喷入其中充满有压缩空气的环形燃烧室内。燃气轮机处于起动运转期间，这种燃料与空气的混合物被点火装置点着后进行充分的燃烧，并维持一个足够长的时间。具有一定压力的热燃气从燃烧室被导入涡轮机中并在其中进行膨胀进而驱动涡轮高速旋转，这时处在涡轮机中热燃气的温度和压力均降低了，也就是说，燃料的能量被转化成了涡轮机的旋转功，并通过输出轴往外输出。

二、透平叶片腐蚀原因分析

为了达到理想的燃烧配比和稳定的运行，燃气轮机运行中需要吸入大量的空气。其中参加燃烧的空气量大约是压缩空气总量的四分之一，其余四分之三的空气则被用来冷却燃烧室并与燃烧产物进行混合去降低处在涡轮机第一级叶轮入的燃气温度，以此来保持燃烧室和涡轮机这两部分的金属所经受的温度处于设计控制的水平，从而保证构成它们的零部件达到使用寿命的目标。

由于空气摄入量极大，即使空气中含盐量绝对值并不高，但在没有采用低速除盐过滤器前，透平机组投运后，透平叶片侵蚀损坏频率加快，通过内窥镜观察发现，在更换空气过滤器后叶片表面在较短的时间内就积

作者简介：罗俊飞（1988-）男，汉族，四川泸州人，本科，工程师，研究方向：热能与动力工程专业。

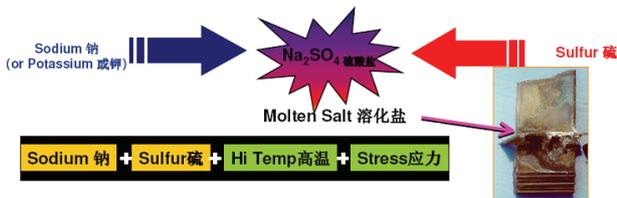
垢现象较为明显，采用缩短水洗周期的方法在一定程度上解决了叶片表面积垢侵蚀的问题，但要彻底改善现象需要对问题的根本进行分析解决。

该透平运行环境在厂家的环境评估中被评为恶劣环境，所谓恶劣环境主要是指温度高盐度高，那么叶片的热侵蚀现象就会较为严重，同时对空气过滤器的要求就比较高，而目前使用的厂家出厂配备空气过滤器对于空气中盐分以及微型颗粒的过滤效果较差，而且使用寿命短，在一定程度上对叶片的热侵蚀防护效果不佳。

透平机组所受侵蚀最严重的当属热腐蚀。热腐蚀是由透平的热部件上例如硫酸钠等常见融化盐造成，热腐蚀的危害是加速分解叶片上合金氧化保护层，并最终加速氧化腐蚀。海上环境盐度较高，温度常年较高，海上燃气轮机发电需要克服恶劣环境带来的严重影响，尤其是热腐蚀。在恶劣环境中要保证机组的高效运行并尽可能的减少热腐蚀就要求我们有过滤级别高的空气过滤器系统和抗腐蚀的叶片以及高质量的叶片材料和涂层，同时也需要我们现场提供清洁的燃料。

Hot Corrosion Damage Mechanism 热腐蚀的损坏成因

- Caused by Formation of Molten Salts in Turbine Hot Section
由透平热部件上形成的融化盐造成
- Sodium Sulfate (Na_2SO_4) Most Common Molten Salt
最常见的融化盐是硫酸钠
- Breaks Down Protective Oxide on Blade Alloys
分解叶片合金上的氧化保护层
- End Result Accelerated Oxidation Damage 最终导致加速氧化损坏

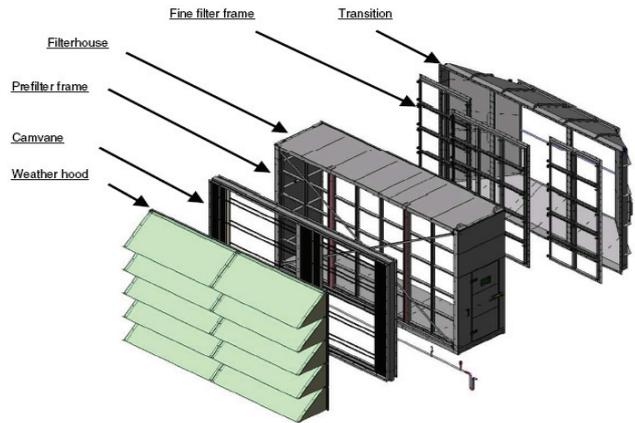


图一 叶片在盐份受热情况下的腐蚀原理图

三、新型低速除盐过滤器的选型应用

在进行相关的数据分析以及初步计算后决定更换新型中速空气过滤器，新型过滤器分为三级防护过滤，对于空气中的含盐颗粒等有害物质实行三层过滤，净化后的空气效果明显，并且更换后叶片在较长的时间内都比较干净，过滤器使用寿命也极大提高，更换周期较长减少了维保工作量。

新型过滤器是综合了对机组的实际效益以及经济性的考虑研究，对于提高机组运行有极大的意义同时对于厂家机组在不同环境条件下改善机组运行情况和效率有着极大的研究意义，对于南海西部环境下机组的高效运行有较高价值的推广。

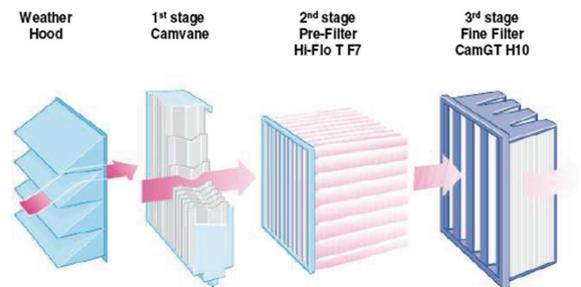


图二 传统透平空气过滤器结构图

空气过滤器系统最初的作用是为了保护燃气轮机和它的相关旋转部件免于进入机组的空气中污染物的侵害，包括尘垢、盐分以及其他有害物质。进入机器内部的颗粒物会造成燃气轮机内部结构的腐蚀和磨损，而一些微米级别的微型颗粒则更是造成燃气轮机叶片和冷却系统腐蚀磨损的最主要的原因。这些侵蚀和损坏将直接降低机组的运行效率，对机组的运行和寿命都造成不可逆的损失。

因此，需要首先明确空气过滤器的过滤性能和效果，同时基于机组性能参数和使用环境来适配合适的过滤器，这其中包括测试空气盐度、风速、过滤器的使用寿命等各项指标。在使用原有厂家配备的过滤器系统，叶片的腐蚀程度以及破坏频率越来越高，结合对热腐蚀的腐蚀源分析，对空气过滤器系统最终进行一个综合评估，而经过环境中盐度的取样分析以及这近六年来过滤器的维保周期和使用寿命，结合经济效益，最终决定更换为过滤效果更优异的中速空气过滤系统。

中速空气过滤系统对比旧的过滤系统，分三级过滤，第一层百叶可以防止雨雪以及较大异物入侵，第二级预过滤可防止水珠尤其是对盐分的过滤效果较为显著，第三级终过滤对小型干盐、灰尘以及水分具有较明显的过滤作用。



图三 新型空气过滤器结构图

在选定新型过滤器后，再通过改造原有空气进口过滤器结构，实现无损替换安装。经过一段时间的使用测试，新适配的中速过滤器系统效果较为明显，经过运行观察，发现只有极少的空气进气道以及叶片表面极少污垢出现；在机组定期水洗时，观察发现排水清洁程度也有显著提升，说明新型空气过滤器明显提高了进入机组的空气洁净程度，水洗周期时长也从3000小时提升到了4000小时。

总结

本技术实践完成了新型过滤器的原理分析、选型和应用，主要的技术特点和思路在于：

1. 对于透平叶片热腐蚀严重的现象进行了彻底分析和讨论，并最终通过分析腐蚀源并结合油田所处环境特点得出热腐蚀的主要原因。

2. 结合应用海域盐度较高的特点，分析得到过滤器对于盐分等微型颗粒的过滤效果不理想，并最终确定更换新型过滤器。

3. 通过现场实际条件的分析对比，并结合经济性选择最优化的过滤器，并设计施工方案。主要创新在于通过深层分析解决了近来叶片腐蚀现象较为严重的问题。

实践效果：经过长期的测试，换装新型低速空气过滤器后，叶片表面比较干净在很长一段时间内都没有积垢，空气质量高，机组效率有所提高，机组叶片水洗周

期也延长了30%，达4000小时。

同时，项目的经济效益显著：相比旧的过滤器系统，新的过滤器使用寿命较长过滤效果突出，减少了维保工作量和维保成本，同时相比旧的开放式过滤器，新的过滤器使用新型封闭式外罩也大大减少了腐蚀生锈，这将大大减少防腐的工作量，从一定程度上节省了开支。机组的叶片寿命大大延长，机组的水洗周期也显著延长了30%，运行稳定性明显提高。新型过滤器的应用对于提高机组的效率，以及加强对机组叶片的保护具有重要意义，在海油环境中应用具有较好的推广价值。

参考文献

[1] 应雨龙, 李靖超, 庞景隆, 余特, 刘扬. 基于热力模型的燃气轮机气路故障预测诊断研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2019(03)

[2] 孟凡刚, 黄延忠, 冯永志, 刘占生. 重型燃气轮机转子不对中故障动力学数值仿真研究[J]. 热能动力工程, 2021

[3] 默静飞, 邹鹏飞, 胡龙兵. 重型燃气轮机高温部件试验全场主流空气系统仿真分析[J]. 热能动力工程, 2021

[4] 苏志峰, 杨权, 林金平, 周扬. 煤化工浓盐水零排放处理工艺的应用研究[J]. 广东化工, 2020

[5] 宋英豪, 陈瑞芳, 熊娅, 贾立敏. 基于零排放浓盐水处理技术的发展[J]. 环境工程, 2013