

# 先进的进气处理可改善燃气轮机性能

[美] 贾森·麦坎西

**[提要]** 首先确保不让微粒和腐蚀性物质进入涡轮机,以便防止涡轮机受到磨损、沾污和腐蚀,从而减少维修保养。增加空气的湿度有助于提高功率输出。

**主题词:** 燃气轮机 进气过滤器

进气过滤被用来保护燃气轮机、防止燃气轮机沾污、腐蚀或受到外来物的损坏。所提到的这些现象中的任何一种都会使燃气轮机效率降低或输出功率减少,或二者都受到损失,并使部件性能下降。有时用进气调节来降低燃气轮机进气温度,提高湿度和密度,从而加大机器的输出功率。

为了从现有的机器中发掘其性能的每一份潜力,从而降低成本,机械传动和发电机传动用燃气轮机的主人们正在对进气过滤和调节进行进一步的研究。选择适当的设备就意味着确定出周围环境特性,然后在下面两点之间进行权衡,即:系统复杂程度和投资费用有所增长;和由于维修保养和停机时间减少,潜在地降低了运行成本。

## 环 境

对沙漠地区、沿海地区和相对湿度高的地区,都需在一开始就进行专门分析。沙漠地区有可能是古代海底,含有盐分和其它具有腐蚀性的碱分。沙漠风暴还使环境中的沙和脏物的含量异常的高。

沿海地区的空气中自然含盐量很高。湿度低时,空气中的盐粒一般在2微米以下,如在上游未被清除,则将深入到燃气轮机燃烧室各级中去。如果周围湿度高,盐晶体潮解,体积可增大到10微米或更大。

空气中其它污染源就不这么明显。靠近

采石场、建筑工地、雪暴、煤堆、花粉、叶子、绵长的雨季,甚至涡轮机本身或近旁装置的排气等等,都能引起问题,必须在选择进气装置以前,估计到这些因素。

## 影 响

导致压气机沾污的污染物完全来自进气,而导致涡轮沾污的污染物则可能来自进气、燃料添加剂,或为控制氧化氮排放而喷进的流体。

压气机沾污通常是由直径5微米或更小的微粒造成的。燃气轮机供应商估计了一个沾污指标,它使压气机流量减少5%,这时压气机效率将降低2—5%,燃气轮机的输出功率约减少10%。

高的相对湿度可加速沾污过程。由于第一列叶片前的加速过程,其静温降低。如果产生凝结,灰尘微粒则成为凝结的核心,加速了积垢的形成。

引起磨蚀的颗粒比引起沾污的颗粒大,其直径通常大于10微米。直径大于20微米的颗粒的含量高会加速磨蚀过程。在沙漠地区发生尘暴时,周围空气中的含尘量高达200 ppm(即万分之二),95%的颗粒大于10微米。

进气中所含的元素,如钒、铅等,可导致高温腐蚀(Power期刊专门报告“解决电站的腐蚀问题”1983.4)。涡轮叶片对高温腐蚀最为敏感。同样,许多工业场所四周

空气中的盐、无机酸和侵蚀性酸性气体与水结合，引起压气机叶片湿的低温（含水）腐蚀。

被进气处理系统清除的腐蚀性物质的量取决于从所有进入点进入到涡轮机的总量和制造厂商所制定的规范。

## 設 备

一些早期的燃气轮机过滤器是固定的涂油滤芯。后来采用了油槽过滤器，带状的金属滤芯在一个油槽中不停地旋转通过。这些设备需要经常大量的维护保养，在寒冷恶劣的气候中容易冻结和阻塞，并且还易于将油挟带到涡轮机中。

以油为基础的过滤器之后出现了塑料制造的流动介质滚动式过滤器。这种装置采用了两个滚筒，一个装纳未使用过的滚动的过滤介质，另一个装纳已用过的介质。过滤器介质的送进随着所记录的通过过滤器的压降而变化。

在这同时被采用的还有惯性过滤器。这种过滤器至今仍被普遍应用。其功能主要是清除多达99%的大于10微米的颗粒，以便防止磨蚀。

如今，普遍采用的是深床或表面型的高效或障碍式过滤器，以惯性的方法清除10微

米以下的颗粒。为了延长过滤介质的寿命，有时采用二级和三级系统。第一级清除大于10微米的颗粒；中间级是一个便宜的预过滤器，用以减轻最后一级高效过滤元件的负荷，延长其更换周期。

障碍式过滤器可以清除大多数直径在5微米以下的颗粒。它们的过滤元件一般是各种形状的纸制滤芯，如平板式或圆柱式滤筒。有时过滤介质是有褶的，以增加每单位容积的收尘面积。过滤元件可以是易处理的或是自身清洗的。

俄克拉何马州比弗的埃尔帕索天然气公司的工程师们用一个增大自身清洗进气过滤系统来保护一机械传动用的燃气轮机，以便承受恶劣的气候条件，如大尘暴、雪暴、以及 $-23.4^{\circ}\text{C}(-10^{\circ}\text{F})-40.6^{\circ}\text{C}(105^{\circ}\text{F})$ 的温度变化。该燃气轮机用于驱动管线输送的天然气压气机。

在没有安装此新型过滤器以前，该发动机配备的是油槽式过滤器。但这种过滤器带来了维护保养方面的问题。自从一年前安装了新型过滤器以后，由于压降较低，降低了维护保养率，并增加了效率。即使在严寒的气候条件下，也达到这样的效果，由于它具有自身清洗这一特性，其压降始终是低的。

载有灰尘的空气通过气候防护罩(图1)

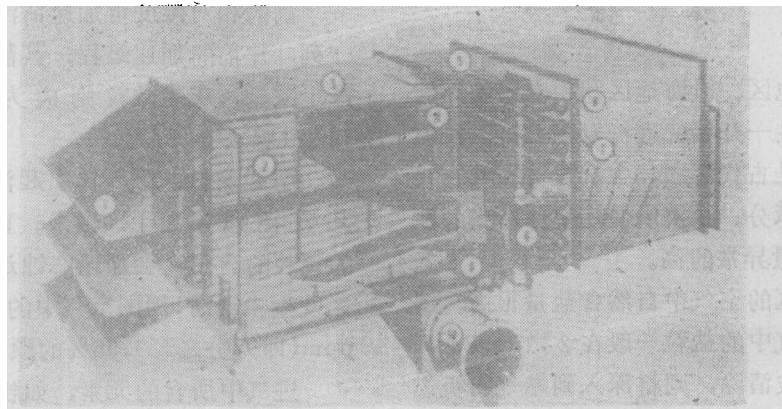


图1 过滤板式过滤系统 具有用压缩空气进行自身清洗循环的特性，其机械结构可防止已收集的灰尘再被挟带进发动机

1. 气候防护罩
2. 板式过滤器
3. 外壳
4. 文氏管
5. 清洁空气的集气室
6. 电磁阀
7. 空气阀
8. 吹风管
9. 金属管道
10. 卸尘管

进入进口，然后通过安装在罩内的板式过滤器。清洁的空气通过文氏管进入到清洁空气集气室，最后进入到燃气轮机。

自身清洗循环是由一固态印刷电路计时器控制的。计时器激励电磁阀，电磁阀启动空气阀，使压缩空气强力脉冲气流不断通过清洁空气集气室中水平的吹风管。吹风管上的孔口引导压缩空气水平通过文氏管，进入过滤器腔室，将灰尘脏物从滤芯中吹出，以保证连续不断的运行。

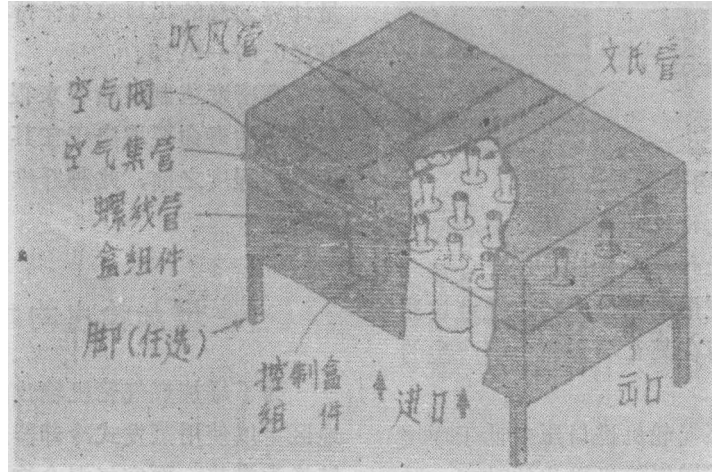


图2 自身清洗障碍式过滤系统 在恶劣的沙漠环境中取代了三级过滤系统

流径向地向上和向内通过滤筒，然后向上通过文氏管，最后进入燃气轮机。

随着脏物不断积聚在圆柱形滤筒的表面，压降也逐渐增高。当压降达到预定限值（典型为高于新的、清洁的滤筒压降 $25.4\text{ mm}—38.099\text{ mm}$ 水柱）时，自动脉冲清洗程序即被启动。在任何情况下每次清洗多少个滤芯、以及两次清洗之间的间隔是经过选择的，以保证气流不产生明显的畸变。

在归阿拉伯美利坚石油公司（Aramco）所有的燃气轮机上，有几个这样的过滤装置已运行约五年了，是在沙特阿拉伯达兰的相当恶劣的环境下运行的。它们取代了三级过滤系统，主要是因为三级过滤系统不能在尘暴时提供充分的保护，每次尘暴后都得

在清洗机构中还有一个二次空气循环回路，由数个槽、穴、斜槽和一个风扇组成。这一循环回路从燃气轮机进口处抽出滤芯中吹出的颗粒，并把它们排入大气，从而防止在清洗过程中再将灰尘挟带到发动机中去。

图2示出另一种自身清洗的障碍式过滤系统。在这一装置中，高效圆柱形滤筒安装在一块水平板的底部，垂直向下悬挂在板上。清洁空气集气室内每个滤筒上面都有一个文氏管流量喷嘴。正常运行时，环境空气

更换预过滤器，而且剧烈的或长时间的风暴使最终一级过滤元件负载过量，工作失效。

Aramco 和过滤系统供应厂家对头两年的运行成本进行了计算（以美元/每点火小时为单位），结果为其成本是带有可更换滤芯的三级障碍式过滤系统运行成本的三分之一。

在世界各地以及美国，还有许多其它装置在运行。在灰尘湿度大、粘度大的地方的一些装置上，高效过滤器的自身清洗特性非常差。

最近，在位于沙漠/沿海环境下的一个铝熔炼厂的一台燃气轮机上安装了一个脉冲喷射纤维过滤器（图3）。以前，惯性过滤器不足以防止磨蚀和沾污，而自身清洗障碍式过、

滤装置的纸质滤芯迁到周围环境中的硫化物氯化物和氟化物则变质,需六个月更换一次。

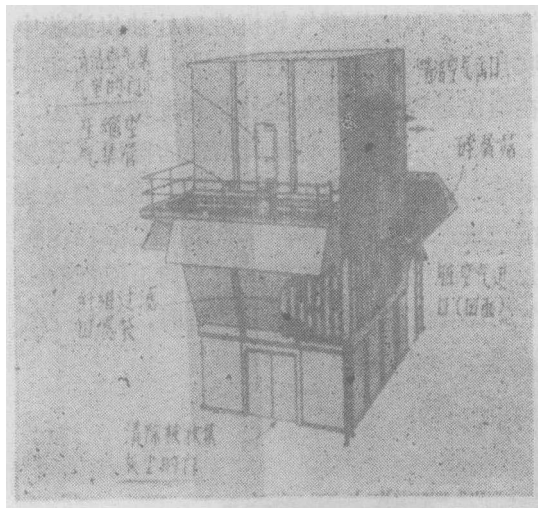


图3 均衡纤维过滤器

已用于燃气轮机进气处理,  
但需进行一些修改

为了在这一应用中取得成功,纤维过滤器必须解决一些与在其它场合应用中产生的不同的问题:

▲**压降** 使燃气轮机进口压力低于环境压力,从而降低了燃气轮机输出的功率。脉冲喷射过滤装置工作时的压力降超过127mm(5英寸)水柱,而障碍式过滤器工作时压力降的范围为76.2—101.6mm(3—4英寸)水柱。

▲**集尘效果** 一般不能满足要求。

▲**细屑** 是环境条件下空气中的颗粒,其中按重量计算可能有50%是3微米或3微米以下。这么小的颗粒很容易被再挟带起来,透过纤维,使过滤袋堵塞,从而引起高的压降。

▲**空间限制** 要求脉冲喷射过滤装置必须在高表面速度下运行,以适应与纸质滤筒过滤装置相同的安装空间。穿透率和压降的增长与速度成正比。

由于上述问题,在设计液压系统和选择纤维时需格外注意。

图3示出的装置最明显的一个特点是其

进口的布置。进口被安排在顶部和侧部,而不是底部。其优点是:细粒与气体向下和向内并流;内部漏斗为排泄细屑提供了必要的静止区;进口提高可减少地面污染;整圆周进口防止了气流以高速度冲击到滤袋上。

经过4000小时的运行后(这4000小时包括关键的自然环境现象,如尘暴、沙暴、暴雨、以及长时间高度潮湿),在一段时间内平均压降为3.2英寸水柱,在此期间不需清洗或更换过滤袋。在整个进口负荷范围内,以重量计算的总的出口负荷保持不变,约为百万分之0.07—0.13。

高密度毡制聚酯看来很适于这一应用,但滤袋的寿命要取决于在其渗透性低到不能接受的程度之前,此种纤维能经受住多少次清洗。

## 增加输出的功率

为了增加燃气轮机输出的功率,在某些地区可以使用蒸发式冷却器。冷却器将显热转换为潜热,而空气混合物总的热量不发生变化,这就提高了空气的湿度和密度。这一方法还可以减少氧化氮的排放,有助于去除可溶污染物。

一个精炼厂最近为了解决一个影响生产流程的因素,在一台机械传动用燃气轮机的上游安装了一个蒸发式冷却器。这台燃气轮机在热天或由于其它加工处理装置吹来热气而使环境温度超过120F时,不能保持其所要求的功率,因而就得降低从动装置的供料率。使用蒸发冷却器以后,可使燃气轮机进口的空气温度保持在48.9℃(120F)以下。

蒸发冷却器的工作效率为90%。通过提高进口空气密度而又不改变进入燃气轮机的空气的总热量,就可以将发动机效率提高20%。

冷却器中空气与水的接触是在一有水槽箱中实现的。这一设计便于使水从装置的前

# 顶端壁轮廓成型对环状涡轮喷咀导叶内 三维流场的影响：第一部分——试验研究

[比利时] E. Boletis

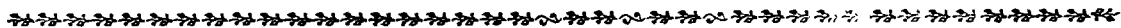
【提要】顶端壁轮廓成型是改进低展弦比涡轮叶片性能最有效的方法之一。鉴于几何参数的宽广变化，看来唯有通过实际了解三维流场，才使我们有可能评价特定的端壁成型的可能得益。本文对一台具有子午面顶端壁轮廓成型的低速、低展弦比、高度转折环状涡轮喷咀导叶，介绍了它的三维流动试验研究。本试验的结果与以前在具有同样叶片和叶栅几何参数，但具有圆柱形端壁环状的涡轮喷咀导叶研究结果进行了比较，从而评价了顶部轮廓成型所带来的重大影响。在此同时，本文的试验研究为与先进的理论计算方法进行比较，提供了充分的三维试验例证。在从叶列远上游到下游的5个轴向平面内，利用双头四孔压力探针针对流动进行了测量，以等值线图和按节距平均的展向分布形式介绍了这些试验结果。

## 一 前 言

在低展弦比设计的高压涡轮中，二次流损失往往具有叶型损失同样的数量级，甚至成为主要的损失。

需要根据减少总损失的要求，对涡轮设计的若干方面进行重新审查并使其最佳；从而表明，考虑环状通流部分的形状是很重要的。子午面顶端壁轮廓成型作为减少涡轮静子叶片内总损失的一种有效的工具，首先是由苏联莫斯科动力学院的杰依其教授在六十年代提出的。根据杰依其的研究，该方法的

得益在于增加了叶片通道的收敛度，减少了叶片通道前半部节距方向的压力梯度，以及对叶片尾缘区域展向静压分布产生了积极的影响。鉴于几何参数的宽广变化，看来唯有通过实际了解三维流场，才使我们有可能评价特定的端壁轮廓成型的可能得益。本文对一台具有子午面顶端壁轮廓成型的低速、低展弦比、高度转折的环状涡轮静子叶栅，介绍了它的三维流动试验研究。本试验的结果与以前在具有同样叶片和叶栅几何参数，但具有圆柱形端壁的环状涡轮静子叶栅研究结果进行了比较，从而评价了顶部轮廓成型所



面流到后面。此水箱开式的流路设计将积存的无机物和灰尘冲出本系统，使空气的压降减到最少，小于15mm(0.6英寸)水柱。

水从上部介质分配座上面的水分配联箱导入。联箱内两列上流孔使堵塞的可能性降至最低，从而提供了均匀的水分配。分配管上面的一个半球形挡流板使水向下流到分配座上。

蒸发冷却器也被应用于潮湿地区。例如，它们已被指定用于得克萨斯州休斯敦的一

个大型燃气轮机联合循环发电装置中。密执安州未德兰的道氏化学公司在其位于路易斯安那州普莱克明的一个联合循环装置上安装了蒸发式冷却器，但在得克萨斯州弗里波特的大型联合循环综合设备上却未使用。这表明，经济上的考虑是在潮湿地区使用还是不使用这种冷却器的决定因素。

## 参 考 文 献 略

(原稿照录自“J. Power”1985.9.译明校)