

# 重型燃机烧原油或渣油的技术分析

罗斯丁 (胜利石油管理局电力公司)

〔摘要〕本文分析讨论重型燃机燃用原油、渣油等劣质燃料的适应能力,劣质燃料中的有害元素对燃机的危害机理,以及烧原油、渣油的燃机应采取的特殊措施。

关键词 重型燃气轮机 燃烧 劣质燃料

分类号 TK478.9

## 1 重型燃机燃用劣质油的过去和现状

燃气轮机烧劣质油的研究几乎与燃气轮机的发展有同样的历史,早在50年代美国的GE公司就积累了很多燃机烧劣质油(包括原油、渣油和混合油)的经验。在50年代,GE公司制造的燃机中有78台是用于烧劣质油的,其中有11台用于发电厂,9台用于输油管线的,5台用于铁路机车,1台供船用动力,功率为5 000—15 000 kW不等,燃气温度约为780℃,总共运行的小时数约有270万小时。

在同一时期,英国的JBE公司也取得了同样重要的经验,制造了约69台燃机用于烧劣质油,也取得了200万小时以上的运行经验。

统计至1983年,GE公司出厂的3570台燃机中有300台用于烧劣质油的;JBE公司出厂的燃机中则有271台是用于烧劣质油的。据法国阿尔斯通公司的统计,到1993年,他们出厂的燃机中也有100台是用于烧劣质油的。目前在世界各地运行的燃气轮机中,烧劣质油的燃机所占的比例为(8—9)%。

虽然烧劣质油的燃机所占的比例比较小,但是有关燃机烧劣质油的技术,无论在理

论方面还是实际经验都是比较成熟的,这些技术包含了设计和改造适应烧劣质油的燃机电厂,劣质油燃料的处理,以及烧劣质油的燃机电厂的特殊运行和维护。

## 2 劣质燃油中的微量元素对燃机的危害

燃油中的有些微量元素对燃机的影响是相当严重的,有的腐蚀热通道金属、缩短部件寿命,有的是积垢影响机组出力,有的则两者兼而有之。燃油中典型有害的微量元素主要有以下几种。

2.1 Na和K对燃机的危害主要是腐蚀热通道金属,严重缩短热通道部件的寿命。Na和K对燃机危害的机理基本是一样的,在此我们仅以Na为例来分析。

Na在燃气中一般以 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 的形态存在, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 具有相当好的热稳定性,可达到2 200℃,而熔点较低(884℃)。此外,在V、Ca、Pb、W等元素熔化物的影响下,其熔点还会大大降低,甚至低至300℃,因此,燃气中的 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 往往以半熔的粘液状态存在。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 熔液会粘附在热通道的金属面上,尤其对没有 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 保护层的金属面,能使 $\text{Cr}_2\text{O}_3$

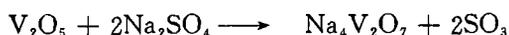
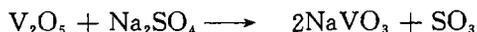
① 收稿日期 1994-05-10

② 本文联系人 罗斯丁 男 31 工程师 257000 山东东营市淄博路电调大楼

金属保护层腐蚀熔化,从而使活跃的合金材料暴露,被 SO<sub>3</sub> 和 O<sub>2</sub> 等直接腐蚀,若热通道部件有潜在的裂缝等金属缺陷的话,这种腐蚀在缺陷的边界处将会发展得更快。

2.2 燃油中的钒对燃机的危害是多方面的。一方面由钒形成的低熔点熔化物会腐蚀热通道金属部件;另一方面,由钒形成的较高熔点的化合物易在热通道表面结垢,降低机组的性能。

在无抑钒剂的燃气中,V 一般以 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的形态存在,其熔点 675℃,它易与燃气中熔化状态的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 结合形成如下化合物:



其中的异钒酸钠 NaVO<sub>3</sub> 熔点为 630℃,偏钒酸钠 Na<sub>4</sub>V<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 熔点为 635℃,正钒酸钠 Na<sub>3</sub>VO<sub>3</sub> 熔点为 850℃,均为低熔点化合物,都会对燃机热通道的金属产生严重的电化腐蚀,其腐蚀机理与 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 相同。

2.3 钙在燃气中一般形成 CaO 和 CaSO<sub>4</sub>。其腐蚀作用一般不予考虑,但它们能在热通道结垢,而且这种垢层坚硬,水溶性差,不易清除。所以燃油中钙的含量应当予以重视,一般不应超过 10 ppm。

2.4 铅在燃气中不仅能与钠、钾、钒等一起形成熔化物对热通道金属产生严重腐蚀,还能削弱镁盐抑钒剂对钒的抑制作用。但是燃油中的铅一般都是非油源性的,因此只要燃油在储运过程中不被污染,燃油中的铅含量就会足够低,一般不致对燃机产生影响。

2.5 镍在燃气中一般的形态为 NiO,与带酸性的 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 不同,NiO 偏酸性,没有腐蚀性。此外,它还能与 SO<sub>3</sub> 和 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 结合形成 NiSO<sub>4</sub>(熔点为 1 565℃)和混合氧化物 NiV<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(熔点为 900℃),可以看出,实际上 Ni 有一定的抑钒作用。

2.6 硫在燃气中都转换成 SO<sub>2</sub> 和 SO<sub>3</sub>,只有与 Na 和 K 等金属结合时才会对燃机产生腐蚀作用,对于处理合格的燃料,硫对燃机危害很小,但是有余热利用装置时,易产生低温腐蚀,需要特别注意。一般要求燃油含硫量小于 30 ppm。

2.7 氮在燃气中以 NO<sub>x</sub> 的形态存在,对燃机和余热利用装置没有危害,但对环境要求高的地区要予以注意。

### 3 重型燃机对液体燃料的要求

重型燃机对液体燃料的适应性很强,燃用原油、渣油等劣质燃料也是安全可靠的。但是对于我们通常所见的标准的燃机和油处理装置,对燃油,尤其是劣质油的特性以及所含的各种微量元素是有原则要求的,主要目的是使设备和运行的成本控制在合理的范围内。

如前所述,燃油中所含对燃机有危害的主要微量金属元素有 Na + K、V、Pb 和 Ca,有关这些微量金属在燃油中允许的最大含量,我们通常遵守美国 GE 公司规定的指标(见表 1)

表 1 微量金属的含量极限表

(GE 系列资料 GEI - 4107) (ppm)

	Na + K	Pb	Ca	V	
				无抑钒剂	有抑钒剂
蒸馏油	1	1	2	0.5	—
原油及混合油	1	1	10	0.5	100
渣油	1	1	10	0.5	500
燃机入口空气	总量小于 0.005				
燃机入口水蒸汽	总量小于 0.5				

通常的原油和渣油,其 Na + K 的含量远大于 1 ppm,所以燃用前都要经过处理,为了不至于造成油处理装置成本过高,在选择劣质油时应注意 Na + K 的含量最好小于 60 ppm,最大不小要超过 150 ppm。

此外,对劣质油燃料的以下一些指标也要加以限制。

**3.1 比重** 由于油处理装置的除盐分离都是借助于油水的比重差进行的,若油的比重太接近水的比重,势必造成分离困难或增加油处理的成本。因此一般要求所选油的比重最好小于 0.960,最大不要超过 0.972。

**3.2 粘度** 燃机燃油一般要采用空气雾化,对于低压空气雾化要求燃料喷嘴前的燃油粘度应小于 10mm<sup>2</sup>/s,采用高压空气雾化时其粘度则要求不超过 20mm<sup>2</sup>/s,相应地选用劣质燃油时要求油的粘度在 37.8℃ 时最好小于 160mm<sup>2</sup>/s,最大不超过 900 mm<sup>2</sup>/s。

## 4 燃气轮机的燃油处理装置

燃气轮机的燃油处理装置一般分为两部分,主要部分是位于未处理油罐(简称生油罐)与燃油罐之间的水洗除盐装置;另一部分位于紧靠燃机的抑钒、过滤、加热装置。

### 4.1 水洗除盐装置

水洗除盐油处理装置主要是为降低燃油中的 Na + K 等水溶性盐的含量而设计的,除此而外,一般还有加热和过滤功能。作为极限指标 Na + K 在处理后的燃油中的含量应小于 1 ppm,但是实际应用中许多用户都将运行指标控制在 0.5 ppm 左右。目前普遍采用的除盐油处理装置主要有:离心式和静电式两种类型。其工艺流程和效果基本一样,其详细的原理在许多文章中都有介绍,在此仅对这两种装置的特点作一个对比,见表 2。

表 2

序号	项 目	静 电 式	离 心 式
1	工作类型	静止的	转动的
2	控制系统	半自动	全自动
3	启动稳定时间	每级 4 小时	总共半小时
4	运行参数调整时间	几小时	几分钟
5	切换灵活性	不能部分停运	可以部分停运
6	最高运行温度	140 - 150℃	98℃
7	高粘度油	好	设备要扩容
8	固体杂质	靠过滤器清除	自身清除能力强
9	淤泥	约 2 年停运清 1 次	连续自动排出
10	加水的混合	小且成本低	大且成本高
11	废水中含油量	500 ppm	50 ppm
12	噪音	无	高
13	耗电	少	较多
14	维修周期	一年	数月
15	维修成本	很低	较高
16	占地	较多(户外)	较少(户内)
17	运行方式适合于	连续	间断
18	设备造价: 容量 < 20 t/h 容量 > 20 t/h	高 低	低 高

## 4.2 燃机的前置装置

燃油进入燃机前的最后一道油处理工艺是由前置装置来完成的。包括燃料切换、加热、过滤和加入抑钒剂。

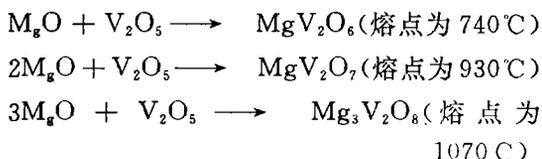
加热是为了控制燃油的粘度,对于原油、渣油等劣质燃料来说,应要求燃油在燃料喷嘴前的粘度小于  $20\text{mm}^2/\text{s}$ 。

过滤是为了防止固体颗粒堵塞或磨损油泵、流量分配器及燃油喷嘴,要求过滤精度达到  $5\ \mu\text{m}$ 。

油处理中还有很重要的一项任务是抑钒,由于钒是油溶性元素,难于从油中分离出来,所以通常是加入镁盐抑钒剂来抑制钒对燃机的腐蚀作用。

抑钒剂主要有油溶性抑钒剂(磺酸镁)和水溶性抑钒剂(硫酸镁)两种,前者价格高,但加入方便,钒含量低时较适用。后者价格低(约为前者的五分之一),但混合性差,必须在燃机入口前加入才不致于沉淀。

抑钒剂在燃气中都被氧化成  $\text{MgO}$ ,它的抑钒机理是  $\text{MgO}$  能与  $\text{V}_2\text{O}_5$  混合,反应式如下:



只要燃气中有足够的  $\text{MgO}$ ,低熔点的  $\text{V}_2\text{O}_5$  ( $675^\circ\text{C}$ ) 就能以高熔点的  $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$  的形态存在,从而有效抑制了钒对热通道金属面的腐蚀。

## 5 燃气轮机的除垢方法

燃油中含有的钒、以及其它微量金属在燃机的热通道,尤其是叶片上很容易沉淀结垢,随着垢层的累积,会使燃机出力大大下降,此外还会引起压缩机压比上升,严重时甚至出现压缩机喘振。因此,定期清除燃机热通道,尤其是叶片上的积垢,成为烧劣质油的燃

机运行的一项重要任务。

在已较处理好过的燃油中,能引起叶片结垢的元素主要有  $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$ ,在紧贴叶片表面有一层冷却空气边界层,温度较低,所以紧贴叶片的沉积物主要是  $\text{MgSO}_4$  和  $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$ ,在常温下是黄色的。

图 1 所示为燃气在  $945^\circ\text{C}$  时叶片结垢的照片。在叶片外围的一层由于强氧化性的高温燃气的作用,结垢的成分主要是  $\text{MgO}$  和  $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$ ,呈白色,内层则为上述的  $\text{MgSO}_4$  和  $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$  沉积层。

值得注意的是结垢层中的成分,也就是  $\text{Mg}$  化合物的形态对燃机的除垢是至关重要的,因为若结垢成分是易溶于水的  $\text{MgSO}_4$ ,则很容易清除,而  $\text{MgO}$  则不溶于水,比较坚硬,难于清除。

根据上述燃机结垢的特点,通常燃机除垢采取如下三种方法。

### 5.1 停机水洗除垢法

停机水洗已作为燃机的一种标准清洗方法,因为它能彻底清除任何温度下形成的积垢,相应地它的成本也较高,操作也较复杂,它要求机组停机冷却,然后在燃机的盘车转速下往燃烧系统注入水(或清洗液),保持结垢层能得到较长时间的浸泡,以便水能渗透过表面的  $\text{MgO}$  垢层,泡松紧贴金属的  $\text{MgSO}_4$ ,然后启动机组,结垢层剥落清除。

### 5.2 停机冷却除垢法

对于在低于  $898^\circ\text{C}$  温度下形成的垢层(主要成份为  $\text{MgSO}_4$ ),在燃机停机数小时再启动时,很容易剥落或碎裂而被燃气吹走。对于调峰运行的机组这是最简便经济的一种方法。但对  $898^\circ\text{C}$  以上的温度场中形成的积垢效果不佳。

### 5.3 果壳磨擦除垢法

果壳除垢的优点是燃机不必停机,即在低负荷下将碎果壳用压缩空气吹入燃烧室,碎果壳在不超过  $954^\circ\text{C}$  的燃烧温度下产生的燃烧物能安全地磨擦叶片等热通道金属表

面,能清除部分结垢。需要注意的是若燃烧温度升高,果壳的除垢作用则大大降低。

上述的三种除垢方法的效果见图 2 所示,至于每次除垢的周期要视燃料品质和电

厂的运行情况而定,一般来说机组出力降到 90% 时应停机水洗一次,在水洗除垢周期的中间宜采用一至二次停机除垢或果壳除垢。

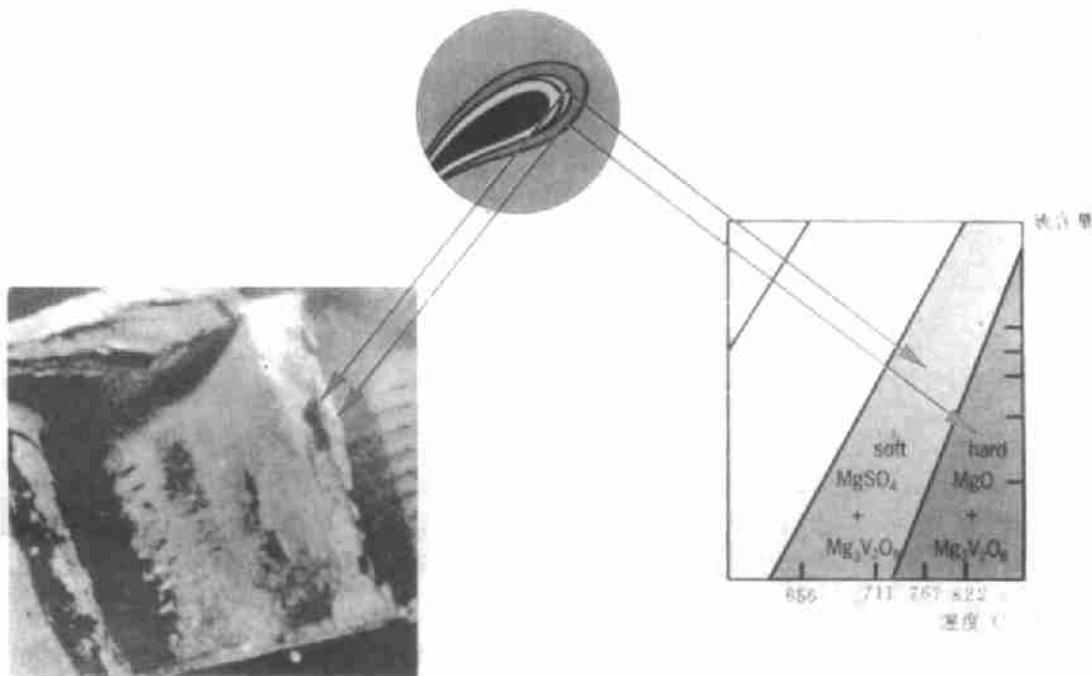


图 1 一级静叶结垢情况

统,以便于燃机启动和停机时清扫燃烧系统。

2、烧原油的燃机及其辅助设备要有较高的防爆要求。

3、烧劣质油的燃烧室衬套要求耐辐射。

4、油料的储运要注意减少到厂之前被水或容器污染。

5、储存已处理油的油罐至少要有三个,且每个的容量能供 24 小时以上运转,以便使燃油在供给燃机前能在油罐中不受扰动沉积 24 小时以上。

6、油罐低部应设计定期排污装置,每天定期排污,防止沉积物增加到油水界面形成厚的微生物层。

7、向燃机供油应采用浮吸法从油罐抽取,并且吸口最低不得低于离罐底 46 厘米。

8、油进入油罐前要有滤网,并且入口位置不得低于离罐底 46 厘米,为防止扰动罐底部沉淀物,入口处应有挡板等减速装置。

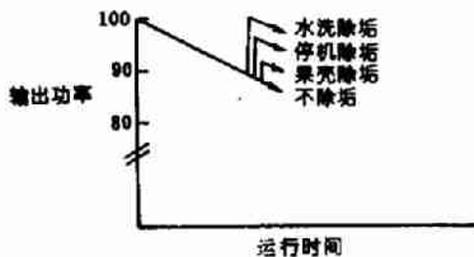


图 2 除垢效果

## 6 烧劣质油燃料应注意的其它问题

1、烧劣质油时燃机一定要有烧柴油的系

9、对存放高粘度油(如渣油)的油罐还, 应有加热保温装置。

10、镉、锌和铜对碳氢化合物有分解催化作用,所以应防止这些金属或其合金用于有关油的储运设施中。

- 1 Allan D, Foster, Harvey Vone. Doering and Milton B. Hilt. Fuels flexibility in heavy-duty gas turbines. General electric CO. USA.
- 2 M. Moliere, J. P. Gazonnet and J. P. Vivicorsi. EGT experience with gas turbines burning ash-forming fuels. GEC alsthom france
- 3 Ash bearing fuel oil—a fuel for heavy duty gas turbines. John Brown Engineering Limited. UK.

参 考 文 献



一种新型高分子合金材料——MY 系列工业粘涂剂

MY 系列工业粘涂剂是 90 年代设备及零件维修和预保护的新型复合材料。广泛应用于工业领域金属与非金属材质设备及零件磨损、破裂、划伤、腐蚀、铸造缺陷的修补再生,是密封、结构粘接和耐磨、耐油、防化学品预保护涂层。具有强固的粘接力(300~600kgf/cm<sup>2</sup>),高抗压强度(900~1500kgf/cm<sup>2</sup>),优良的耐磨性(高于中碳淬火钢)、耐腐蚀性(强酸碱)和抗冲蚀(气蚀)性能。能满足不同温度、压力和腐蚀介质等工况下的可靠性要求。特别对于一些用电镀、喷涂、焊接等方法,无法解决或由于成本太高而难以解决的特殊材料和特殊工况下设备及零件的修复,具有独特的优越性。施工灵活、简便,不需专用设备,费用极低,无变形与热影响。可现场施工,快速维修,极大地减少停产损失。能进行任何形状的损伤、缺陷修补和涂层防护。

MY 系列产品是由高分子聚合物或无机物、固化剂及增强填料(金属粉末、陶瓷粉末、各种纤维等),经特殊工艺制成的液状或胶状双组份合金材料。在室温下,短时间内即可通过物理和化学反应,硬化成一种三维稳固交联,不膨胀不收缩,金属般坚固强韧的固体,经久不变,可进行机械加工,堪称一绝。这种材料在国外又有塑胶钢或冷焊剂之称,近年发展很快,并开始进入中国市场,但进口产品价格十分昂贵,品种、性能不一。由于 MY 系列产品的重要原料和技术采用了居世界领先水平的新成果,产品的物理和化学性能均达到和超过进口产品,而价格远低于进口产品价格,是理想的进口替代产品。两年来,MY 系列产品已在国内 90 多家企业中取得了成功的应用,获得了巨大的经济和社会效益。

(如有需要者,请与编辑部联系)

structural parameters as porosity, specific surface area, particle size, etc, which has been compared with that obtained on the basis of the test results supplied by Mr. Smith. **Key words:** *Pulverized coal combustion, pore structure and variation, pore model, coal coking reactivity*

(336) **A Study on the Combustion Characteristics of Typical Chinese Anthracite Coals.** Du Meifang (Harbin Teachers University)

This paper presents the basic characteristics of Chinese anthracite coal and some study results concerning their ignition and burn-out conditions, which can serve reference data and materials for relevant design and operational departments. **Key words:** *anthracite coal, ignition characteristics, burn-out characteristics*

(341) **An Experimental Study on a Barchan Dune Vortex Pulverized Coal Burner**.....Wu Jin, Yang Shuichun, Hu Jangen (Zhejiang Electrical Power Engineering Institute)

This paper deals with the experimental study of the air flow field and combustion mechanism of a Barchan Dune (BD) vortex pulverized coal burner. Under the special action of the BD vortex generator there emerged at burner outlet a high-temperature nucleus and high-concentration pulverized coal region, which promotes the ignition and combustion of the pulverized coal, resulting in a speedy ignition of the pulverized coal and significant enhancement of its combustion stability. Practical applications have shown that the BD pulverized coal burner plays a key role in reducing start-up oil consumption during boiler ignition and enhancing the boiler low-load combustion stability, etc. **Key words:** *Pulverized coal combustion, Barchan Dune vortex*

(345) **A Technical Analysis of Crude Oil or Residual Oil-fired Heavy-duty Gas Turbines**.....Luo Sid-ing (Electrical Power Company of Shengli Oil Field Management Bureau)

The author discusses and makes an analysis of the following issues: the adaptability of heavy-duty gas turbines to burn such low-grade fuels as crude oil, residual oil, etc, the damage mechanism of harmful elements in low-grade fuels with respect to gas turbines operating on such fuels, and special measures to be taken for crude oil and residual oil-fired gas turbines. **Key words:** *heavy-duty gas turbine, combustion, low-grade fuel*

(351) **A New Starting Point for Heavy-duty Industrial Gas Turbines**.....Hou Yuhui, Zhou Shunjun (Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

The present paper development tendency of heavy-duty gas turbine technology with a description of the design features and performance of GT24 and GT26 gas turbines. A special mention should be made of the use of continuous combustion system, which enables the turbines to attain the contradictory aim of high efficiency and low emissions. High power output, good efficiency and low emissions specific to the above-cited two types of turbines have made them to be listed among the ideal candidates destined for simple cycle and combined cycle utility gas turbines. **Key words:** *gas turbine, design, power generating set*

(356) **The Real-time simulation of a Three-shaft Gas Turbine by Using a Parallel Digital Computer**.....Zhang Bainian, Weng Shilie (Shanghai Jiaotong University)