

## 技术课题 技术培训指南 透平油状态监控

### 前言

现代汽轮机和燃气轮机对透平油有着更高的要求。轴承会承受更高的温度,更小的储油箱会缩短停留时间,而漆膜沉积相关问题已成为焦点。由于润滑油是透平机正常运行的基本保障,因此需要可靠的油品状态监控,以确保透平机长时间无故障运行。

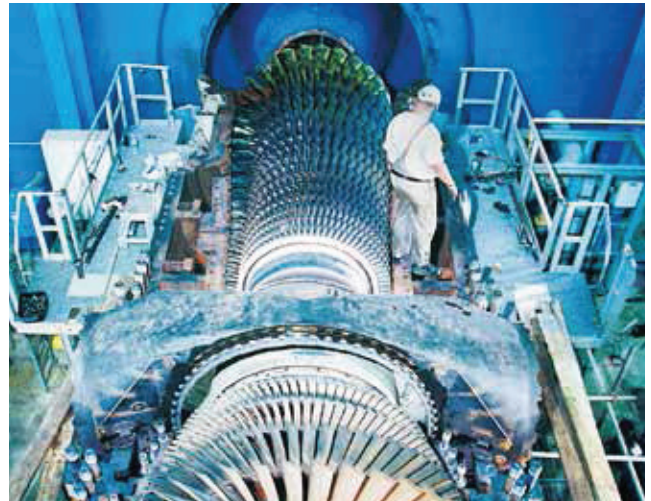
### 透平油降解

有四个主要原因导致透平油在使用中发生降解。第一个原因是氧化。当接触到大气中的氧气时,所有油均会在使用中发生氧化。由于空气溶解在油中,因此氧化不限于发生在油箱中。随着透平机中温度升高、流量加大和油箱停留时间缩短,氧气与油会有更多的机会产生相互作用。

第二个原因是热降解。透平油可能接触到透平机中的温度,造成基础油和添加剂分子发生化学变化。此种反应的结果是形成不容易溶解在油中的物质,该物质沉积在透平油系统中,造成沉积物,并在某些情况下导致设备故障。

第三个原因是污染物。透平油会受到各种污染物侵袭,例如水(特别是在汽轮机中)、粉尘和其它侵入材料、冲洗化学品以及诸如磨损金属等内生污染物。虽然这些物质不是导致油降解的直接原因,但其通常会导致其它降解问题。诸如铜、铁和铅等磨损金属会催化氧化反应。水(特别是经化学处理的水)可对泡沫消除和与水分离的能力造成相当大的负面影响。过度起泡可导致液压控制系统响应缓慢、泵和轴承气蚀和安全问题(如果泡沫溢出油箱,并溅到地面上)。

第四个原因是添加剂损耗。一些添加剂损耗是正常的和可预见的。抗氧化添加剂在执行其功能时被消耗了。抗乳化剂有助于油水分离,但如果接触到大量水污染,抗乳化剂可能被消耗掉。防泡剂可通过超细过滤去除,或当长时间没有环流时可能发生聚集。



西门子 照片

所有这些因素应在透平油寿命内持续进行监控。以下说明了用于在用透平油监控的常用测试,测试可分为三类:理化性质,污染测量和性能。

### 理化性质

#### 粘度ASTM D445

粘度是任何润滑油的最重要的性能。粘度定义为油在一个给定温度下的流动阻力,并通过ASTM D445标准进行测量。当将粘度与透平油相关联,粘度的显著变化通常指示该油已被另一种油污染。在恶劣的情况下,粘度升高是过度氧化的结果。基础油的热裂解(过热引起的)可造成粘度降低。

此测试的结果按40°C厘斯报告。结果的典型范围宜为新油粘度的+/- 5%。(HFAE、HFB或HFC)

## 总酸值 (ASTM D974)

总酸值 (TAN) 是油的酸度指标, 其测量方法是: 用一种碱液 (KOH) 滴定该油, 并测定中和该油中的酸所需要的碱量。测量结果按 mg KOH/g 的被测油进行报告。总酸值测量出氧化过程中形成的酸性产物。

ASTM D4378 标准 (汽轮机和燃气轮机用矿物透平油的使用中监控) 建议一个比新油值升高 0.3~0.4 mg KOH/g 作为警告限值。因为油中的酸可造成轴承表面腐蚀, 导致无法修复的损坏, 因此总酸值的任何显著变化均应加以调查。

但对一个单独的高总酸值结果应审慎处理。总酸值试验不是一个精确的方法 (+/- 40%, 按 ASTM 标准), 操作者的变化因素会对试验结果造成影响。滴定所用缓冲溶液或电极的维护不良也会产生虚假的结果。

## 氧化安定性, 通过旋转压力容器氧化试验 (ASTM D2272)

当与新油对比时, 旋转压力容器氧化试验 (RPVOT, 以前称为 RBOT) 是一个衡量剩余氧化寿命的指标。该试验不适合比较两种不同的新油或不同化学成分的油。事实上, 我们已看到具有较高新油 RPVOT 值的油在实验室试验台上具有较短的寿命。

ASTM D4378 标准将 25% 的新油 RPVOT 值定义为下限值。当油接近 25% 的新油值, 并结合正在升高的总酸值 (TAN) 时, ASTM D4378 建议应做计划更换装油。

## 污染测量

### 水分 - (目视和 ASTM D1744)

透平油会受到来自几个地方的水污染。汽轮机的汽封或蒸汽接头可能发生泄漏。所有汽轮机均可被来自油箱中大气凝结或换热器泄漏的水污染。

应每日检查透平油是否含水。观察油样, 其应清澈、透明。油品呈现不透明或模糊状态表示可能有水存在。可进行一次现场水试验, 例如热板试验, 在该试验中, 被测油滴到热金属表面上。起泡和噼啪声表示有水存在。

在实验室中, 水通常采用费歇尔 (Karl Fisher) 滴定法 (ASTM D1744) 测量, 并按百分比或百万分之几进行报告。ASTM D4378 标准确定 1,000 ppm 或 0.1% 水作为一个警告限值。然而, 一些原始设备制造商 (OEM) 已将 500 ppm 定义为报警限值。请记住, 费歇尔法不能测量游离水分, 因此建议对透平油进行每日目视检查。

## 金属, 按感应耦合等离子体 (ICP)

透平油中的金属含量可提供磨损状态、设备运行变化或潜在污染问题的预警。但应记住, 此方法检测到的金属尺寸限于非常小的金属颗粒 (尺寸通常小于 8 微米)。这表明, 如若产生此试验无法检测到的大块磨损金属, 则可能发生灾难性故障。

这里没有透平油金属量的具体限值。金属含量的趋势通常是此试验的最重要方面。

## 超速离心机评级

超速离心机试验检测油中的细小分散或悬浮颗粒。被测油样在 17,500 rpm 转速下离心处理 30 分钟。在此阶段结束后, 倒出试管中测试油, 对照标准对试管残余沉淀物进行评级, 如图 1 所示。

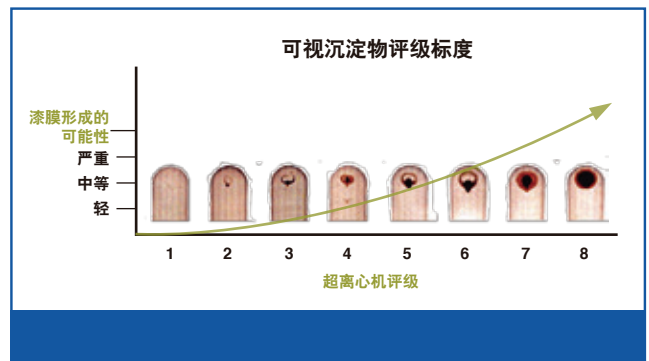


图1 此试验的主要用途是给出油中沉积物前兆的早期指示。试验结果按标度 1 到 8 进行报告, 其中 8 指示最大数量的残余沉积物。4 到 6 的试验结果表明应多加注意, 使用中的油有可能在系统中形成影响性能的沉积物。

## 颗粒计数 (ISO 4406)

颗粒计数和 ISO 清洁度评级定义了油中的颗粒浓度, 并将其反面与 ISO 清洁度标度联系起来。结果按大于 4 微米/6 微米/14 微米的颗粒数/每毫升液体进行报告。ISO 清洁度代号将颗粒数/每毫升与带每个范围代号的对数标度联系起来。一个典型的结果如 18/16/13, 其中 18 表示有 1,300~2,500 个尺寸大于 4 微米的颗粒/每毫升, 320~640 个尺寸大于或等于 6 微米的颗粒/每毫升, 以及 40~80 个尺寸大于 14 微米的颗粒/每毫升。请参阅表 1。

颗粒计数因受油样制备、油配方、油样容器污染以及取样位置和方法而导致的各种变化影响。用于测量颗粒计数的设备、光弥散技术和过滤器孔堵塞方法之间也存在差异。

应注意确保用于颗粒计数的油样应为具有代表性的和始终如一。颗粒计数结果仅与相应的测试方法有关,不存在用于

此试验的ASTM 标准。总之,颗粒计数很好的给出了一个总体系统清洁度的指示。原始设备制造商(OEM)提供了一些新油和旧油的相关指南,但通常ISO清洁度代号18/15/13或更低是一个可接受的结果。

### ISO清洁度颗粒计数评级

范围代号	颗粒物数目/每毫升	
	大于	小于等于
24	80,000	160,000
23	40,000	80,000
22	20,000	40,000
21	10,000	20,000
20	5,000	10,000
19	2,500	5,000
18	1,300	2,500
17	640	1,300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	0.64	1.3
6	0.32	0.64
5	0.16	0.32
4	0.08	0.16
3	0.04	0.08
2	0.02	0.04
1	0.01	0.02
0	0.005	0.01
00	0.0025	0.005

表1

## 色度分析

色度分析设计用于测量透平油中的不可溶解物质,这些物质通常会导致漆膜沉积。分析过程包括用一种专用化学混合物处理润滑油样品,该混合物设计用于分离和凝聚不可溶解副产物,并将该物质收集到滤光补片上。然后评定所收集物质的彩色光谱,并根据特定颜色的强度和颜色范围,推导出漆膜形成可能性的评级。作为一种测定润滑油中不可溶解物质浓度的方式,也可对滤光补片称重。几个商业实验室均以他们自己的方式来利用此种技术。目前,此技术还没有包括在ASTM标准中,但正在基于此概念开发一种ASTM方法。比色补片试验结果的实例参见图2。

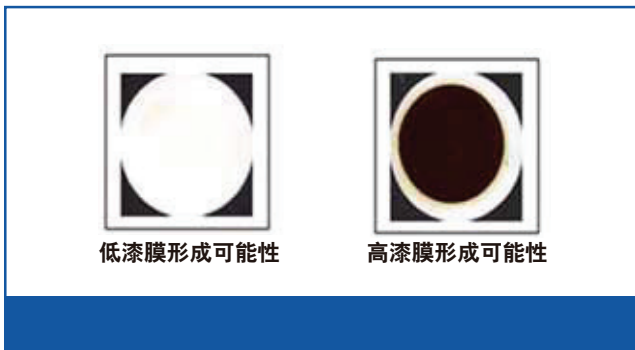


图2

## 性能

### 腐蚀抑制(ASTM D665 A和B)

ASTM D665A采用60°C时的蒸馏水和钢试棒。ASTM D665B采用合成海水,是一种通常不用于透平油的更严格试验。如果在试验中的钢试棒上检测到锈蚀,则试验被认为失败。但失败的ASTM D665试验始终与系统中的锈蚀问题相关。

### 抗乳化性(ASTM D1401)

抗乳化性是衡量油与水相分离能力的一个指标。40ml被测油和40ml蒸馏水混合到一起,然后使其静置。记录油和水完全分离的时间,或者30分钟后,记录油水和乳状液的数量。ASTM没有给出抗乳化性的报警限值,但30分钟后15ml或更多乳状液的结果是一个可能的报警限值。污染和油龄是对抗乳化性有负面影响的因素。

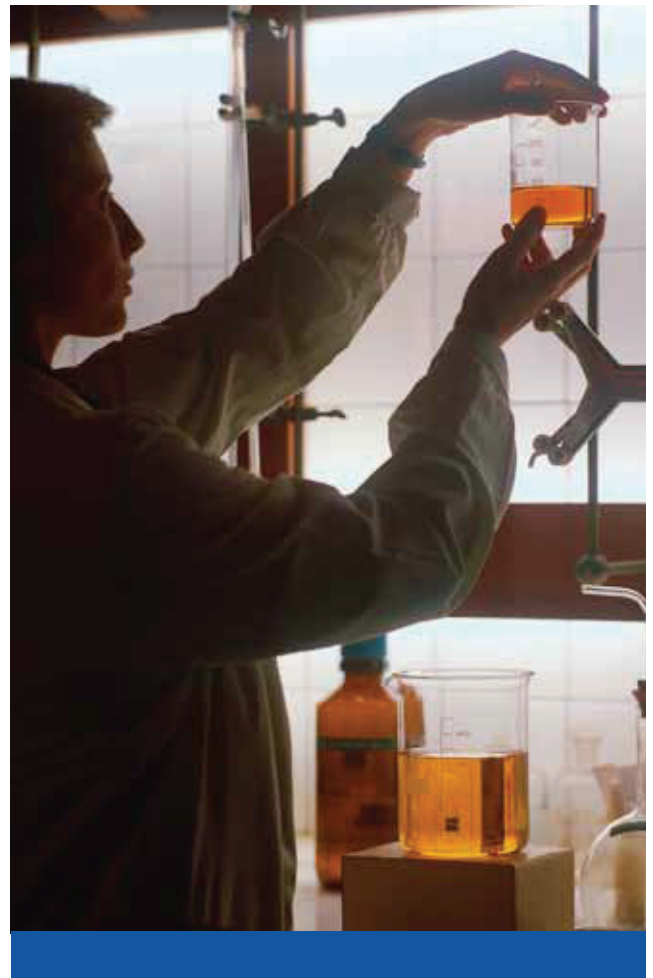
当评价抗乳化性时应多加注意,因为所使用的玻璃器皿准备和水质可产生虚假或失败的结果。

## 泡沫倾向和安定性(D892, 起泡试验 I)

油箱中存在一些泡沫是正常的,不是应关注的原因。过度起泡通常与油无关,反而与造成过量空气进入油中的机械问题相关。污染和油氧化也可对起泡倾向和安定性造成影响。

有两个原因,过量泡沫是透平机操作者应关注。首先是安全和内部问题(如果泡沫从油箱溢出)。第二,油中的过量空气可导致更快速的氧化和一种称为微自燃(micro-dieseling)的现象。当以绝热方式快速压缩油中的气泡造成极端局部温升时,将导致微自燃。此类较大温升已知可造成油的热和氧化降解,并导致沉积物形成。

ASTM D4378给出了起泡试验 I 中450ml起泡倾向和10ml安定性的相关指南。



## 如何、在何处和何时进行取样

关于如何和在何处进行透平油取样没有正确的答案。取样位置的选择取决于油品分析需要什么样的数据。例如,如果磨损金属相关信息是主要关注点,则在过滤器后面取样不是一个很好的位置,因为所需数据经过滤过程后已经丢失了。在此种情况下,理想的取样点应在过滤器的前面或轴承回流管线。如果污染相关信息是主要关注点,则在过滤器之前和之后取样符合要求。对比在过滤器之前和之后所取油样的ISO清洁度代号,可明确发现所用过滤的有效性和污染侵入的程度。对大多数场合而言,在过滤器之前获得的油样更符合常规试验要求。

尽管可从许多适合的位置获得油样,但关于如何取样有着几乎普遍的一致意见。要获得具有代表性的油样,机组应达到正常温度和工况或在刚停机之后。取样点应清洁,并清除管线

和阀门中可能存在的所有不流动或脏污的油。确保油样容器清洁、干燥。正确、完整地填写油样标签,并尽快将其寄到相应的实验室。发送油样延误可能增加试验结果的可变性,特别是与油中不可溶解内容相关的试验结果。

建议的油品分析时间表如表2所示。

## 结论

发电透平机及其相关设备的正常运行取决于所使用的润滑油是否处于正常工作状态。定期油品分析和状态监控是一个让透平机保持颠峰运行状态的工具。油品分析计划应包括本文概述的基本试验,这些试验用于评估润滑油的理化性质、污染问题和性能特性。关于旧油分析数据解释的更多指南,运营商应咨询设备制造商。

建议的透平机系统油品分析时间表

试验项目	汽轮机	燃气轮机	新油-基线	频率-旧油	建议的限值
粘度—ASTM D445	X	X	X	每月	新油值的+/- 5%
总酸值—ASTM D664	X	X	X	每月	注意=高于新油值0.1~0.2 mg KOH/g; 警告=高于新油值0.3~0.4, 并对照RPVOT值进行检查。
旋转压力容器氧化试验 (RPVOT)—ASTM D2272	X	X	X	每季度	新油值的25%;如果接近25%, 则提高试验的频率
水分(目视)	X	X	X	每日	检查是否出现浑浊。
水分—ASTM D1744	X	X	X	每月	大于0.1%(汽轮机); 大于0.05%(燃气轮机)
ISO 清洁度	X	X	X	每月	目标值18/16/13或更佳
锈蚀试验—ASTM D665 A	X	X	X	只要有腐蚀问题	合格
泡沫—ASTM D892, 起泡试验 I	X	X	X	只要有泡沫问题	起泡试验 I 超过450泡沫倾向, 10ml安定性
抗乳化性—ASTM D1401	X	X	X	只要水分离是 一个关注点	30分钟后15ml乳状液
超速离心机		X	X		4~6的超速离心机评
漆膜形成可能性评级		X	X(仅适用于 燃气透平)	每月到每季度 每月到每季度	50或50以上的漆膜形成可能性级

表 2

摘自 ASTM D 4378



## 附录 1 –

### 分析解释指南

#### 分析数据解释指南

(注意, 本文仅用作通用指南。应采取的具体纠正措施应遵循原始设备制造商(OEM)和/或润滑油供应商的相关指南)

**粘度:** 40°C时新油值cSt的 +/- 5%

#### 低粘度

- 低粘度油用作补充
- 油中粘度指数改进剂被机械剪切
- 溶剂污染
- 过热造成的热裂解(例如, 油箱电加热器)
- 带不良或错误标签的油样

#### 高粘度

- 高粘度油用作补充
- 过度氧化
- 系统内的热点
- 过长的换油间隔时间
- 污染
- 带不良或错误标签的油样

#### 总酸值

- 增加的或高氧化
- 错误的油
- 与一种不同的流体发生污染
- 试验可变性

#### 旋转压力容器氧化试验(RPVOT)

- 降低的RPVOT指标表示油中抗氧化剂的消耗
- RPVOT升高 — 很少发生, 但可能是特定油配方反应的结果
- 试验可变性 — 通常因压力容器中的漏点而造成一个较低的数值

#### 水

- 大气凝结
- 油冷却器发生泄漏
- 水冲洗侵入
- 蒸汽泄漏
- 油抗乳化性不良
- 油预处理设备工作不正常
- 抽汽器不工作
- 取样不正确(底部取样)

#### 金属

- 取取样不正确(底部取样)
- 组件磨损
- 错误的油
- 密封剂
- 丝扣油污染
- 污染物
- 装配润滑油

#### 超速离心机

- 油中聚集不可溶解物质
- 取样不正确
- 指示形成沉积物的可能性增加

#### 颗粒计数

- 取样不正确
- 过滤设备工作不正常
- 不良的储存和搬运行程序

#### 金属解释指南

仅供参考。关于金属含量解释的具体指南请咨询原始设备制造商(OEM)。

#### 总酸值

- 污染物和添加剂金属可能来自许多来源。
  - 钡 — 润滑油清净剂
  - 硼 — 工艺用水/冷却液添加剂、齿轮油添加剂
  - 钙 — 润滑油清净剂、硬水
  - 镁 — 润滑油清净剂、硬水、工艺用水/冷却液添加剂
  - 钼 — 润滑油摩擦改进剂;可能的合金元素
  - 磷 — 润滑油抗磨添加剂
  - 硅 — 低水平可能是防泡剂添加剂, 过高水平通常是外部污染物
  - 钠 — 润滑油清净剂、硬水、工艺用水/冷却液添加剂
  - 锌 — 润滑油抗磨添加剂, 也可能是磨损金属
- 磨损金属
  - 铝 — 结构零件、轴承、衬套
  - 铬 — 轴承, 可与铁合金化
  - 铜 — 轴承, 衬套
  - 铁 — 结构零件
  - 铅 — 轴承
  - 锰 — 通常是钢合金部件 — 当铁水平非常高时, 低水平常见。
  - 镍 — 轴承、结构零件, 可与铁合金化
  - 锡 — 轴承、衬套 — 通常与铜一起看见
  - 钛 — 涡轮叶片

附录 2 –  
ASTM和原始设备制造商(OEM)旧油限值

	ASTM D4378	Ahlistom公司 - 燃气轮机和汽轮机	GE公司 - 燃气轮机	GE公司 - 汽轮机	Solar公司	MHI公司 - 汽轮机和 燃气轮机	西门子/西屋
来源	ASTM D4378	HTGD901117	GEK 32568f	GEK 46506D	ES9-224	MS04-MA- CL001和 CL002	K-8962-11
40°C时粘度	新油的+/- 5%	超过ISO粘度等级	25~41	29.6~36.3	新油的+20% 或-10%	26~39	新油的+/-10%
总酸值(TAN)	高于新油 0.3~0.4	比新油升高0.2	0.4	0.5	0.6(最大值) (矿物油);0.8 (SHC合成油)	比新油升高0.4	高于新油 0.3~0.4
旋转压力容器 氧化试验(RPVOT)	< 25%		< 新油的25%	> 50分钟	> 新油的25%	>原始值的25%	新油的25%
水	> 0.1%	500 ppm		0.1%(最大值)	2,000 ppm (最大值)		200 ppm (最大值)
闪火点 — ASTM D92	比原始值降低30°F			375°F(191°C) 最小值			
防锈 — ASTM D665	D665A中的 轻度失效			合格			
清洁度		17/14		16/14	突然变化		17/14(最大值)
抗乳化性		30分钟(最大值)					<20 分钟
金属		15-25 ppm; >30 ppm限值					趋势/咨询
空气释放性		8分钟 (适合ISO VG 32)			10分钟最大值 (指南)		4分钟(最大值)
泡沫	起泡试验 I 超过 450/10				起泡试验 I - 300/10; 起泡试验 II - 300/10(指南)		起泡试验 I - 400/10

如需查询润滑油之详情, 请联络:  
埃克森美孚(中国)投资有限公司

上海市天钥桥路30号 美罗大厦17楼 邮政编码:200030  
电话:400-820-6130  
电子邮箱:PRCLubeline@Exxonmobil.com

© 2016埃克森美孚公司版权所有。本文中采用的所有商标及注册商标均为埃克森美孚公司或其某一关联公司所有。

注意: 由于美孚产品不断在改良, 本资料可能会有所调整而不另行通知。



官方微信

**ExxonMobil**

[mobilindustrial.com.cn](http://mobilindustrial.com.cn)