

WHITE PAPER

# 润滑油油泥的形成 与缓解措施





约有三分之一的大型工业燃气轮机都会碰到润滑油油泥问题，影响到机组的可利用率和可靠性，所以OEM厂商会推荐用户使用去除油泥的设备。尽管如此，还会有许多因为油泥导致机组停机的实例。

造成油泥问题持续存在的根本原因是我们对油泥的认识存在偏差，从而采取的措施偏离了方向。下面是摘自联合循环杂志的一篇文章的摘要，通过讨论油泥产生的特殊原因及采用不同的措施所取得的效果来帮助我们提高对油泥问题的认识。

## 油泥的形成

根据ASTM D7843-12的定义，润滑油油泥是一种粘性的、硬的、有光泽的、不溶于油的沉淀，它最初是由有机残留物形成。油泥可以根据色度来辨别，且不容易擦除。

油泥最初是可溶的或溶解状态的降解产物，之后转变成颗粒或沉淀在金属表面上。由于油泥这种形态的变化，它可以是不可溶的（传统意义上的颗粒）和可溶的（溶解状态）。

润滑油的溶解能力是一个重要的概念，它能帮助我们理解油泥沉淀的形成机理，但最重要的是它帮助我们找出去除油泥的方法。

“油泥最初是可溶的或溶解状态的降解产物，之后转变成颗粒或沉淀在金属表面上。”



GE 7FA机组油箱内形成的油泥

## 润滑油的溶解能力

在正常的运行条件下, 氧化作用使汽轮机润滑油在无极性分子(矿物基础油)中产生极性分子(油泥的前体), 这些极性分子就是油泥生命周期的开始。于是, 运行中的润滑油中就包含了下列成分: 基础油、添加剂、污染物和降解产物。

润滑油的溶解能力定义为溶解这些不同成分的能力。受多方面因素的影响, 每一种物质在油中的溶解度都是有限的(详见下节)。这个溶解度决定了特定分子是保持溶解状态还是析出形成具有潜在破坏性的沉淀(图1)。

## 影响润滑油溶解能力的因素

下面这些因素决定油泥的前体在润滑油中的溶解度。

### 分子极性

尽管氧化降解产生的油泥前体是有极性的, 但他们在无极性的矿物基础油中的溶解度是有限的, 这些有极性的降解产物较少溶解在油中。溶解能力的基本概念是“相似相溶”。

### 污染度

润滑油对于外来分子(例如添加剂、污染物和油泥前体)的溶解能力有一定限度。随着降解和氧化产物的积聚, 流体的溶解能力随之降低, 当超过特定点(饱和点)时, 流体便不再溶解额外的油泥前体, 油泥便会以固体的形态析出。

### 温度

伴随着温度降低, 油泥和它的前体的溶解度也会降低, 导致在汽轮机润滑系统的低温区域会有油泥形成。因为金属比润滑油基础油更具有极性, 沉淀下来的油泥就会附着在金属表面形成潜在破坏性的沉淀。当润滑油中油泥前体接近饱和点时, 在低温区域就很容易发生油泥沉淀。



图1—这里看到的油泥呈沉淀状态

## 油泥形成周期

燃气轮机中典型的油泥形成周期包括下面三个步骤（图2）。

1. 氧化是润滑油基础油与空气中的氧气发生化学反应。当一种流体投入运行以后，就会暴露在高温和空气中，氧化随之发生。随着时间推移，氧化产品逐渐积累，在超过流体的饱和点之前，一直保持溶解状态。
2. 当油在系统中从热的区域流到冷的区域时，温度下降，油泥前体的溶解度也下降，这些前体开始析出，从溶解状态变成颗粒。油泥析出过程是物理变化不是化学变化。
3. 油泥颗粒析出以后不断聚集，首先在金属表面形成沉淀。这些沉淀常常会引机组跳机或启动失败。和上面第二步一样，这个过程也是物理变化。

导致油泥前体形成（第一步）的化学反应是不可逆的，而产生油泥析出（第二步和第三步）的物理变化是可逆的。因此，在油泥颗粒形成以后，如果润滑油的溶解能力增加，油泥还是可以被重新溶解的。利用这一点，就可以找出有效的油泥缓解措施。

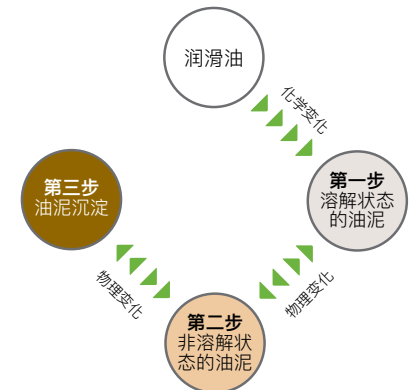


图2—油泥形成周期总结为三个步骤

## 油泥的检测

因为油泥有造成机组停机的风险，所以检测油泥倾向是非常重要的。油泥倾向检测也称为MPC（漆膜倾向指数，ASTM7843,图3）检测，ASTM组织推荐至少每季度检测一次。其它类似的检测，如膜片重量，也能帮助确定油的状态。

严格按照ASTM的标准进行检测非常重要，否则检测结果会有很大误差，因为MPC值与油样保存时间有很大关系。通常，保存时间长或受到紫外线照射作为氧化反应的延续会使MPC值增加。这一点也提示我们，当使用油泥去除设备时需要连续投运，因为当机组停机以后油箱内降解产物会继续形成油泥。

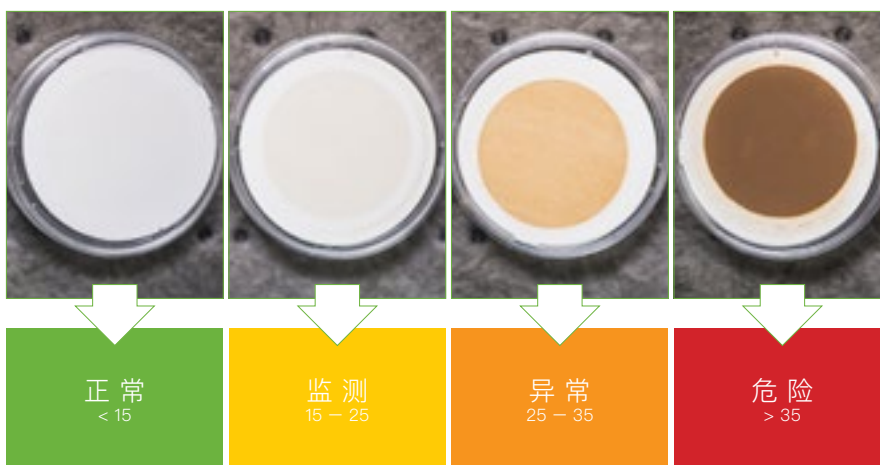


图3—MPC参照表



## 油泥缓解措施

现在大多数汽轮机润滑油都是按照API（美国石油学会）二类矿物油基础油生产的，含有抗氧化添加剂。相比于传统的一类基础油，二类基础油具有更强的氧化稳定性（图4）。

### 抗氧化剂

在润滑油中加入抗氧化剂可以看作是内置的油泥缓解措施。抗氧化剂通常由苯酚和胺组成，它们会先于基础油被氧化。非常遗憾，无论是苯酚还是胺，在氧化过程中都会被消耗。一旦抗氧化剂耗尽，流体的降解就会加速，回到没有添加剂的基础油状态（图4）。抗氧化剂只能限制氧化速度，延缓油泥产生，但不能阻止它产生。

当润滑油不可避免地氧化以后，油泥的前体就会产生。油泥去除设备必须能阻止降解产物积聚形成油泥。有两种类型的油泥去除产品，其一是基于去除悬浮的颗粒，其二是基于去除可溶性的油泥及其前体。

### 去除悬浮颗粒的设备

深度过滤、电荷平衡集聚（BCA）、静电滤油、或者这些技术的组合都是最先进的颗粒过滤形式。因为低温下油的溶解能力降低（有利于形成颗粒），在机组停机状态润滑油冷却到室温时使用这类设备可以取得最好的效果。因此，这类设备通常在机组停机状态下定期投运，机组运行中使用效率不高。当机组正常运行时使用这类设备并不能去除可溶性的油泥及其前体。

为了克服这个弱点，在润滑油进入到油泥去除设备之前先经过冷却器来加速油泥颗粒的形成。然而，油温过低会使粘度变大，造成流通过滤设备困难，所以润滑油不能冷却到去除所有可溶性油泥所需要的温度。因此，润滑油的溶解能力不会提高到某一点，而使已经存在的油泥沉淀重新溶解到油中。

### 可溶性油泥去除

可溶性油泥去除设备（SVR™）使用带有离子捕捉技术（ICB™）的离子交换树脂，这种树脂包含的数以亿计的极性分子能吸收油泥和它的前体（图5）。传统的离子交换树脂是进行化学元素的交换，而ICB™树脂不同于这种本质上以一种污染物交换另一种污染物，它可以吸收全部的污染物而不会释放另外物质到流体中。

ICB™吸收原理的一个关键点就是可以在任意温度下去除有害的氧化副产品，这就意味着SVR™设备可以连续投运。连续去除可溶性油泥可以保证降解产物不会积聚，消除了停机状态下产生油泥的风险。此外，连续去除可溶性油泥可以明显提高润滑油的溶解能力。

因为产生油泥颗粒和沉淀的过程是物理变化，这个过程是可逆的，SVR™设备产生的高的溶解能力会将存在于金属表面的油泥重新溶于润滑油中被吸收和去除。随着所有的氧化副产品被去除，油泥便不会再产生。

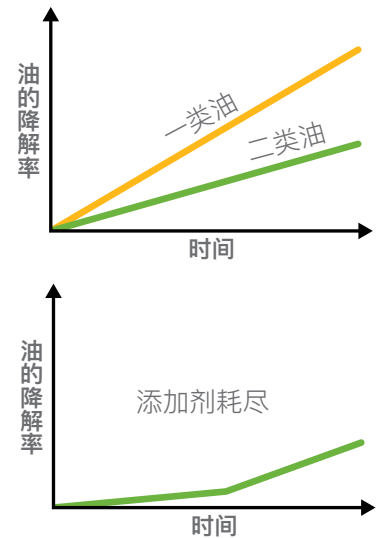


图4—油的降解时间曲线

“在汽轮机运行期间，使用这些设备有能力去除可溶性油泥和其前体。”

## 结论

从可溶性的氧化产物到油泥沉淀，是一个可逆的物理变化，最终导致了油泥的产生。因为这些变化的可逆性，油泥沉淀的化学成分与产生这些沉淀的润滑油的化学成分是相似的。一旦流体的溶解能力增加（在正常运行温度下去除可溶性油泥），油泥沉淀就会重新溶解到润滑油中而被去除。

## 参考资料

1. Combined Cycle Journal: Lubricant Varnishing and Mitigation Strategies
2. MPC Varnish Potential Testing White Paper
3. SVR™ 1200 Varnish Removal System

## 联系信息

如果需要了解更多信息，请联系：

**E** sales@cleanoil.com

**T** +1.403.246.3044

中国代理商：

上海宏普液压技术有限公司

**邮箱** hongpuyeya@126.com

**电话** 021-61998812



图5—SVR™滤油机是最佳选择，已经有超过400台机组的使用业绩，MPC值平均降到3.1。