

技术课题 在天然气发动机中 润滑油的硝化反应

硝化反应是一种不良现象,它表明以天然气为燃料的发动机中的润滑油与可溶和/或不可溶氮氧化物开始饱和。

氮气与基础油反应形成两种氮化合物:有机硝酸盐和硝基化合物。它们各自产生导致润滑油氧化的化合物,后者是另一种油品的降解形式。

有机硝酸盐含有用于气体发动机润滑油中使用的大量氮化合物。随着润滑油被甩在气缸壁上并流下,这些化合物被洗入曲轴箱,在油泥和漆膜形成中起着主要作用。它们在油中溶解直到达到浓度超标,然后滴落在摇臂和阀门组件周围及活塞裙上,形成淡琥珀色至褐紫红色沉淀。这些沉淀物还引起抛油环发粘,增加油消耗量并缩短过滤器寿命。

硝基化合物的形成有几个条件:气环粘住、磨损或断裂引起活塞漏气;划伤或磨损引起缸套不圆;或者因阀门导管高度磨损或阀座偏差导致废气泄漏进入油中。其它原因包括:涡轮增压器密封泄漏;临界的发动机点火和燃烧形式;润滑油使用时间过长。

硝基化合物浓度高于预期值表示润滑油中含有未反应的氮氧化物气体。它们将异常增加油的稠度和引起过早出现漆膜和油泥,具体表现为在较低压缩环槽和抛油环内出现淡红色活塞裙漆膜和油泥。

硝化的原因

在燃气发动机润滑油的硝化率和**综合**操作条件之间有一个关联性,如空气/燃料比、发动机负荷和润滑油温度。图表1、2、3和4标出了这些因素对硝化反应的影响。

但在燃烧期间氮氧化物的形成也受到环境空气条件、点火定时和最终燃烧温度的影响。现场试验证明,当环境空气温度升高和/或负荷升高时,硝化反应增加。尽管没有点火定时对硝化反应影响程度的具体数据,但仍强烈显示它是更重要因素之一。

在影响硝化率的各种机械条件中,有三个条件特别重要:曲轴箱的润滑油补充率;活塞环密封差和曲轴箱的换气。



尽管**润滑油补充率**本身不对硝基反应产生影响,但新油稀释和硝化了的旧油因泄漏减少仍改变了曲轴箱油内出现氮氧化物和变质的润滑油的补充率。一个给定发动机的润滑油补充率越高,润滑油变质的速率越低。

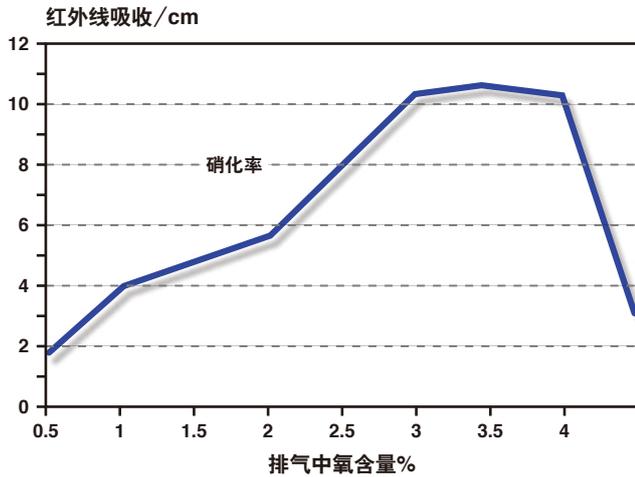
燃烧气体串入曲轴箱导致润滑油中的硝基化合物浓度升高。当**气环密封**较差时,更多高度硝化油回流进入曲轴箱而不是经排气孔排出。

对实验室发动机的测试表明,在**曲轴箱换气量减少**和润滑油变质之间存在着关联性。因此建议,改进曲轴箱的换气量,这样可以更快地清除润滑油中的硝基化合物,并因此减少变质情况的发生。

降解形式

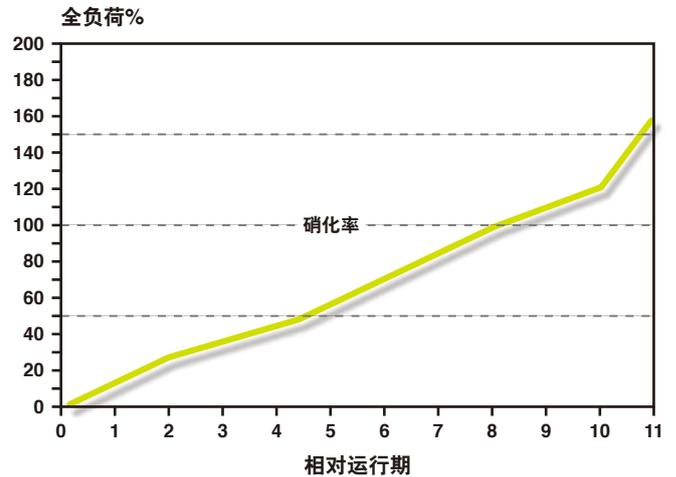
四冲程燃气发动机:有机硝酸盐在温度高于300°F时迅速分解。这是低速(低于700转/分钟)运行和四冲程燃气发动机是润滑油变质的主要原因,这是因为气缸壁温度通常低于320°F,即使在沸腾—冷却装置也是一样。如果气缸温度超过320°F,则如此高的温度将加快润滑油氧化速度,这是润滑油在小型、高速、四冲程循环气体发动机中变质的主要原因。

二冲程燃气发动机:氧化是二冲程燃气发动机采用单动力气缸润滑系统中润滑油变质的主要原因。硝化物被清出排气孔,因此防止污染曲轴箱进油。即使这些步骤中存在温和的硝化反应,则强烈显示气缸过多的进油被刮入曲轴箱。



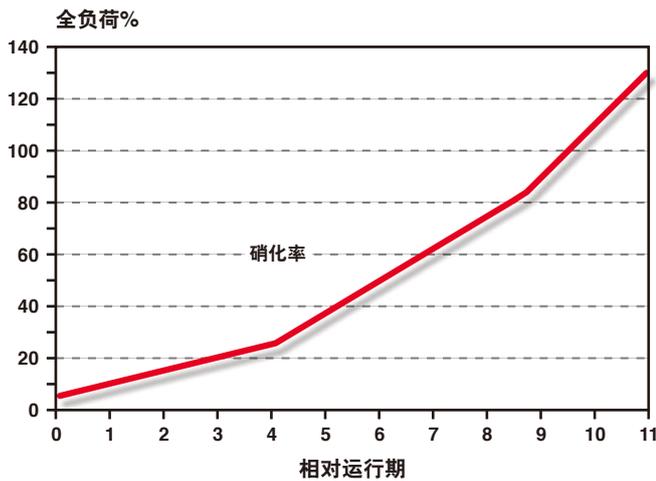
图表1: 空气/燃料比对硝化反应的影响。

在自然吸气发动机的废气中的氧含量比值变化从0.5%至2.5%至4.2%,通过四冲程发动机确认:如果氧含量超出0.5%至4.5%范围,可保持较低的硝化反应率,在氧含量达到3.3%时,硝化反应达到峰值。



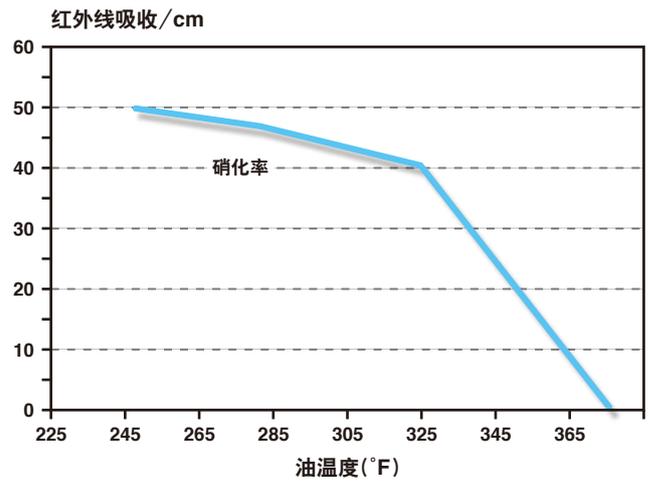
图表2: 负荷对硝化反应的影响

不正确的空气/燃料比和废气中氧含量达到2.5%。



图表3: 负荷对硝化反应的影响

如果额定负荷从75%增加至105%,即使符合要求的空气/燃料比和废气中氧含量超过4.6%,也会引起硝化反应曲线坡度的急剧上升。



图表4: 油温对硝化反应的影响

当加热温度高于300°F时,有机硝酸盐迅速分解。

检测

外观检查,针对摇臂和阀门组件区和发动机活塞裙,如产生淡黄色至紫红色漆膜沉淀物说明发生过硝化反应。硝化反应也将引起抛油环被粘住和在曲轴箱内形成油泥。

性能指标,如:润滑油消耗量过多和过滤器寿命减少则表示发动机内出现硝化反应。

红外线吸收法,即众所周知的红外线扫描,是一种快速、在质量上精确的差异分析法,用于确定在旧润滑油中的内在化学变化,以及污染物的数量和性质。在此过程中,用一个润滑油样品与标准新油样品作对比。红外线穿过内装样品的壁厚0.1毫米(0.003937英寸)的容器。记录化学成分净差异。美孚Signum分析实验室计划用红外吸收法,通过观察趋势和突然变化,确定硝化污染物浓度。表1列出了通过Signum分析检测得到的,由硝化和硝基化合物引起的不良发动机工况。

故障排除

下文介绍了适用于各种硝化工况的通用故障排除指南。

硝化:检查导致不合格值的趋势图。如果该值是逐渐形成的,则原因可能是:

- a) 燃烧比,可通过调节空气/燃料比加以改进;
- b) 稍低的曲轴箱油温;

c) 点火不佳的问题,如:火花塞、线圈或定时。

硝化值快速增加的原因与上面所述相同,但更加严重些。对于二冲程发动机,应检查动力气缸进油速率是否过快。

硝化趋势:表示不正确的点火和燃烧,原因如下:

- 不理想的空气/燃料比
- 不均匀的燃料/空气分布
- 废气排出能力差
- 早爆或早燃
- 不平衡的负荷和燃烧压力
- 错误的点火、点火定时和火花塞
- 高串气
- 燃料阀泄漏
- 高燃烧压力
- 发动机超载、不正确的冷却
- 低油温
- 过多的气缸油刮落(二冲程)

硝基化合物:自大检修完工起观察数小时;检修后数值趋势变高。这些数值不是用来判断润滑油的状态,而是暗示出现操作问题。可能原因如下:

- 活塞串气或涡轮增压器密封泄漏。
- 动力气缸进油速率过快(二冲程发动机)



纠正问题

实验室试验和现场采样分析表明：当有机硝酸盐的浓度达到5%时，气体发动机润滑油变得不适合使用。过量有机硝酸盐起到氧化介质的作用，它会加速油的氧化进程。硝化产品的连续积累将导致润滑油变质。

检查空气/燃料比：如果废气中的氧含量超出0.5%至4.5%范围，则可保持低硝化率，硝化率在3.3%氧含量达到峰值。

油温：油温从150°F降至135°F表明硝化率明显加快。原因可能是加热对面临固氮作用的油膜产生影响。发动机油温不宜低于150°F，

而且在有机硝酸盐保持在适度水平时，发动机油温最好高于160°F。

有机硝酸盐在温度高于300°F时迅速分解；因此当气缸壁温度超过320°F时，有机硝酸盐不再保持在油膜中。然而，油的氧化与发动机高温有直接关系，这是因为在高速条件下，四冲程燃气发动机气缸壁温度超过320°F。

调节负荷：气缸高负荷和气缸间负荷不平衡将增加硝化率。额定负荷从75%提高至105%可使得硝化曲线急剧上升。

不良工况	Signum油品分析确认的原因									通过发动机分析仪确认
	粘度	水	乙二醇	氧化	硝化	硝基	焦化	不溶物	金属物	
油泥—冷,热	X	X		X	X			X		
漆膜	X		X	X	X			X		
碳—灰分、炭焦、漆膜				X	X		X	X		
气环粘住			X	X	X		X			X
串气	X				X	X				X
燃烧效果差				X	X		X	X		X
过滤器堵塞		X	X	X	X		X	X		
空气过滤效果差									X	
冷却液泄漏		X	X						X	X
缸套磨损									X	X
气环磨损									X	X
轴承磨损									X	X

表1: 用美孚Signum油品分析识别不良发动机工况

因硝化和硝基化合物引起的不良工况详见“硝化”栏。请注意部分工况与发动机分析仪结果的关联性。

如需了解更多关于美孚飞马燃气发动机油和美孚Signum油品分析计划的其它信息，请访问www.mobilindustrial.com或致电400-820-6130。