

技术课题

电机轴承润滑指南

电机轴承的可靠润滑是使其保持理想运行工况的必要条件，而且最终减少不必要的停机检修时间。这份简报可为埃克森美孚客户用润滑脂作润滑剂的电机轴承的可靠润滑提供实用手册。它可帮助您学习和领会埃克森美孚多年来在世界各地轴承和电机制造厂的润滑应用经验，从而为您提供电机轴承的可靠润滑指南。

润滑脂润滑

由于润滑脂具有方便应用和独特性质，所以经常用作电机轴承润滑剂。电机轴承润滑脂的主要功能是：

- 减少摩擦和防止磨损
- 防止轴承腐蚀
- 起到防止污染物进入的密封作用

润滑脂是一种由基础油、增稠剂和添加剂组成的半固体润滑剂。这些组分在可控温度和压力下经复杂化学反应后结合在一起。在润滑脂中使用的基础油可以是矿物油或合成油。矿物油可满足大多数电机轴承应用要求。但是，对于极端温度应用或需要较长再润滑间隔的应用，则要求使用合成基础油。增稠剂主要用作基础油的载体和防止基础油在应用中泄漏。部分常用增稠剂包括由钙、锂、钠、铝或钡组成的金属皂及复合金属皂，如锂复合皂。一种在电机轴承润滑中大量应用的增稠剂为聚脲。

宝力达EM利用一种聚脲增稠剂。与许多种润滑油一样，添加剂被经常用来提高润滑脂的性能。常用的添加剂包括，防腐剂、抗磨剂和极压剂、抗氧化和腐蚀剂、倾点下降剂、润滑剂、染料或颜料。

选择正确的电机润滑脂

电机轴承用润滑脂的重要特点

以下标准可用作优质电机润滑脂的典型指标。

- **粘度**：油粘度应满足在运行温度下的应用负荷和转速要求。这有助于提供更好保护和延长元件寿命。在一种电机润滑脂



中的典型矿物油粘度为500-600 SUS@100°F。您的电机制造商可提供具体建议。

- **稠度**：润滑脂的稠度是其最常见特性之一。润滑脂的稠度或硬度被称作NLGI(美国润滑脂学会)等级，等级范围从000到6。润滑脂的稳定性应满足应用要求，因为它对达到拟润滑区的输送量和能力产生影响。一种NLGI 2级润滑脂是电机应用中最常用的润滑脂等级。
- **抗氧化性**：电机润滑脂应有杰出的抗氧化性能。这将延长轴承在高速和高温下的运行寿命。ASTM D 3336高温润滑脂寿命测试结果表明，轴承润滑脂在极端条件下运行表现良好。选择一种具有高标准ASTM D 3336氧化寿命的润滑脂。
- **抗磨损**：除非电机安装时在轴承上有推力负荷，通常建议使用一种不含极压(EP)添加剂的润滑脂。极压添加剂可缩短润滑脂的使用寿命而且不推荐用于不需要的场所。另一方面，设计用来承受重推力负荷的轴承可能需要用一种含有极压添加剂的润滑脂。

- **滴点**：滴点表示润滑脂融化或润滑油与增稠剂分离的温度。由于电机轴承可能达到高温工况，所以经常需要使用高滴点润滑脂。复合锂润滑脂和聚脲基润滑脂的滴点约500°F或以上。
- **剪切稳定性**：用ASTM D 217润滑脂锥入度测定法测量润滑脂在100,000次工作行程后的稳定性。在该项测试中，电机轴承润滑脂的软化度不宜超过1至1.5 NLGI等级。软化度超过该等级的电机轴承润滑脂会随着油品不断老化而从轴承中泄漏出来。

润滑脂相容性

除少数特殊情况外，使用不同增稠剂类型的润滑脂应考虑相互之间的不相容性。如果掺混不同的润滑脂是不可避免的，则我们建议进行润滑脂相容性测试。一般来说，不相容的润滑脂会软化或变成流体。这会造成润滑不足和导致轴承过早损坏。然而，也可能发生硬化和导致润滑不足。必须保证尽可能多地清除旧润滑脂，而且经常更换润滑脂，从而将轴承中的旧润滑脂清除掉。

为电机轴承更换润滑脂

更换润滑脂间隔时间

采用双屏蔽或双密封轴承设计的电机通常不需要更换润滑脂。这是一种典型的用润滑延长寿命的设计。另一方面，所有其它开式或单屏蔽或单密封轴承，应定期更换润滑脂以清除已变质、泄漏或被污染的润滑脂。一般来讲，运行条件决定润滑脂的更换间隔时间。

所有润滑脂会在一定转速，甚至在中等运行条件下变质。主要原因为氧化、油过度渗出和机械运行。在高温条件下，油挥发可能也是原因之一。氧化最终增加油的粘度和造成皂的硬化。少量油渗出是可以接受的，但渗出量过多则会降低润滑脂保持一个有效润滑油膜的能力。机械运行或剪切可能改变润滑脂的特性，如稳定性，使得润滑脂不再满足应用要求。油过量挥发可能导致润滑脂硬化。变质通常以硬化、干燥、油泥告终，最终导致既无法润滑轴承也不能阻止污染物进入等后果。

影响润滑脂更换频率的运行因素和其它因素包括：温度、使用连续性、润滑脂注入量、轴承尺寸和转速、密封有效性和润滑脂在特殊应用方面的合适性。

1. 较高的润滑脂温度加快氧化速度，超过120°F (49°C)时每升高18°F (10°C)，润滑脂的氧化速度提高一倍。高温还会增加渗出性和油脂挥发性。另外，随着温度的升高，润滑脂有软化倾向，而且可能变成流体而从轴承箱中漏出。在各方面条件都相同的情况下，高温运行要求更频繁地更换润滑脂，或者使用耐高温润滑脂。
2. 使用连续性是指每天或其它时间单位的使用小时数。一种连续承受变质因素的润滑脂，与仅偶尔使用的轴承润滑脂相比，需要更高的更换频率。
3. 在一个设计合适的轴承箱中注入大量润滑脂，与在按比例缩小的轴承箱中注入少量润滑脂相比，前者使用时间更长。与大量润滑脂的一等份相比，少量润滑脂的工作频率更高，而且不会从备用容量中受益（包括更多油脂和添加剂）。然而，在中等条件下，在一个工厂预注入型润滑密封或屏蔽轴承中的少量润滑脂可能持续较长时间，甚至数年。
4. 一个轴承Dn值（孔径[单位：毫米]×转速[单位：每分钟转速]）与滚动体的线性速度成正比，而且可用作确定润滑剂更换频率的一个依据。在Dn范围150,000至200,000或更高值运行的轴承内，在元件通道内的润滑脂承受苛刻的运行条件和高温条件。这类轴承要求采用更高的润滑脂更换频率，而且甚至要求正确地选择不会过度变稀的润滑脂。有些轴承制造厂用D_m（转速[单位：每分钟转速]×轴承的节径[单位：毫米]）来代替Dn。这种方法生成有较高参考值，但应考虑滚动体尺寸和轴承截面直径的影响。
5. 振动造成更多润滑脂自流进入滚动体通道，润滑脂在此承受过度运行和热量。因此减少了润滑脂寿命，尤其是在高速轴承中。在轴承中的搅拌和剪切动作碾碎部分润滑脂，润滑脂因此变成足以导致过量泄漏的流体。其中任何一种因素均需更频繁地更换润滑脂。
6. 如果润滑脂承受以下任何重要特性的临界条件——氧化、渗漏、泵送性、抗磨和抗腐蚀特性，或机械稳定性，则通常需要更频繁地更换润滑脂。

因此,决定何时和多久更换一次润滑脂不是一件简单的事情。通常情况下,这项决定应参考过去的经验、设备制造厂和润滑脂供应商的建议。大多数用于滚动轴承的润滑脂更换间隔从两周至两年不等,但许多滚动轴承仍在年度计划检修停机期间更换一次润滑脂。在下限条件下,轴承以极限转速或接近极限转速运行时,其更换润滑脂的频率应为6-8小时一次。

遵守合适的润滑脂更换计划非常重要,因此可保证旧的润滑脂有足够的柔软度,以便于旧润滑脂顺利清除。轴承或设备制造厂推荐的润滑脂更换间隔时间,以运行条件和润滑脂类型为依据。通常情况下,连续运行的轻负荷至中等负荷电机,要求至少每年更换一次润滑脂。按照每高于标称推荐温度10°C,润滑脂更换间隔时间减少一半的原则。

确定润滑脂正确更换频率的两种常用方法如下:

1. 第一种方法是利用以下公式:

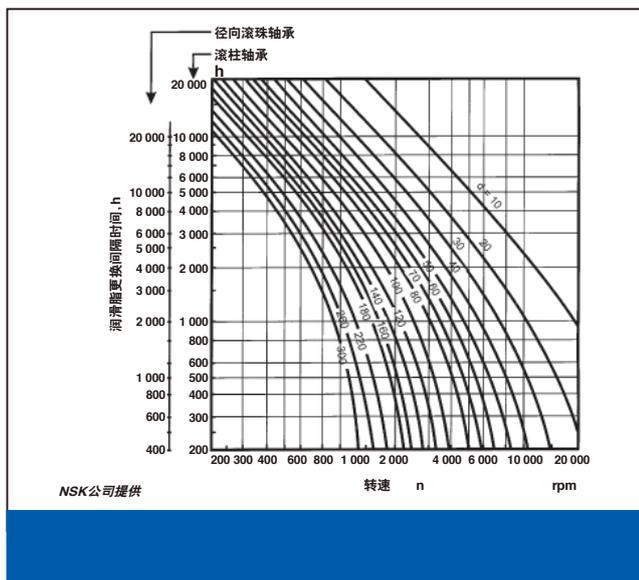
频率(小时)=[14,000,000/(轴每分钟转速)(轴承内径)^{1/2} mm]— [(4)(轴承内径) mm]}{F轴承类型}{F温度}{F污染物},式中
F轴承类型=1.0适用于球面或推力轴承,5.0适用于滚柱轴承,10.0适用于滚珠轴承。

F温度=1.0适用于在160°F以下,在160°F以上每升高20°F,则除以2。

F污染物=0.1至1.0,取决于污染物浓度—电机轴承正常1.0。

*上述公式摘自《机械润滑实用手册》第二版,以及根据现场经验得到的温度和污染物因数。

2. 第二种方法利用下图确定润滑脂更换频率:



确定正确的润滑脂注入量

确定电机轴承的润滑脂注入量是轴承初次润滑和更换润滑脂的最重要步骤之一。润滑脂注入量不足会因润滑不足导致轴承故障。另一方面,润滑脂注入量过多也会导致轴承故障和因润滑脂被带入绕组内引发问题。以下两种方法中的一种被经常用于确定轴承的润滑脂注入量。

1. 轴承内剩余空间的1/2至2/3—当运转速度小于轴承极限速度的50%时。

轴承内剩余空间的1/3至1/2—当运转速度大于轴承极限速度的50%时。

2. 确定轴承合适润滑脂注入量的另一种方法是采用以下公式。这是计算一个标准应用所需润滑脂量的简便计算方法。

润滑脂注入量(克)=轴承外径(毫米)×轴承宽度(毫米)×0.005,或
润滑脂注入量(盎司)=0.114×(轴承外径)英寸×(轴承宽度)英寸

用润滑脂填充轴承及轴承箱是一般作法。除固定好轴承外,轴承箱也起到一个润滑脂储槽的作用。在将润滑脂注入轴承箱时,可使用以下方法。

- 30%至50%注入量—典型用量。对极高转速,应采用润滑脂注入下限,以减轻润滑脂承受的搅拌和过热条件。向轴承过量注入润滑脂可产生过热倾向,而且在较高转速下甚至更热。
- 50%至75%注入量—用于低速,或者没有其它更换润滑脂的方法时,用润滑脂注入轴承箱50%至75%。在轴承箱填充完毕和电机启动后,转动元件将多余润滑脂从转动线路之间推入轴承箱,仅留下一层用于减少摩擦和磨损的润滑脂薄膜。
- 完全充填法—如果轴承运行环境特别脏,则可能需要将轴承箱填满,但轴承本身仅容纳足够的可用润滑脂。也可用减压法装满轴承箱。

一种完全充填法始于用润滑脂注入轴承和轴承箱注入至75%满,为滚动体推出的过量润滑脂留出足够的容纳空间。如果将轴承箱填满,则滚动体之间的润滑脂可能没有出口而且可能严重损坏。因此造成的摩擦可能变得很大,进而导致轴承温度快速升高。(图1)高温可能加速润滑脂变质,可能因润滑不足导致轴承损坏。进一步讲,润滑脂的膨胀可能将其挤入电机绕组,导致电机损坏,或者造成密封破裂。为防止发生该类故障,可通过将排脂螺栓拆除后运行电机,直到多余润滑脂全部排出。这是减压法。

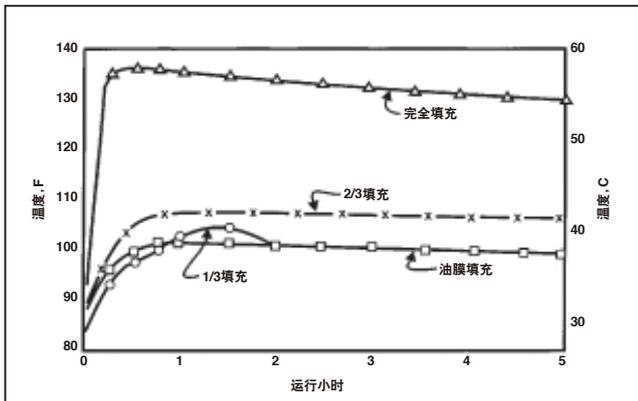


图1—润滑脂润滑后的轴承升温曲线图

重要的是，应通过确认注油枪的每次加注量估计润滑脂的总注入量。轴承制造厂经常推荐通过重量或体积计算一个轴承的润滑脂注入量。在实际操作中，经常通过注油枪的加注次数确定注入一个轴承的润滑脂总量。因此，通过了解注油枪每次射出量计算润滑脂注入量是非常重要的。注油枪制造厂通常提供每枪加注量。然而，可通过计算分配已知润滑脂量的射出次数调校注油枪。可用任何实验室天平确定一次加注重量，测量单位最好可用克或盎司。然后，可计算达到要求注入量（重量）的加注次数。

请注意，每枪的体积或重量可根据润滑油密度的变化稍有变化。

一旦确定了润滑脂（盎司）的注入量，必须将其转换为一个注油枪的合适注入次数或泵送次数。注油枪款号及型号标准化有利于确定全厂范围内电机润滑脂的正确注入量。

许多润滑脂型轴承的轴承箱允许用一个低压注油枪更换润滑脂。图2是一个开放式轴承，在一侧设有一个辅助润滑脂储槽。由于更换润滑脂仅取代和挤出外轴承箱内的润滑脂，所以该项设计的清除功能是有限的。排脂通道应采用较短的大管径管道。图3采用自由排脂设计。被挤入一侧的新润滑脂经滚动体进入另一侧。再者，排脂通道应尽可能短而且采用大管径。单屏蔽轴承。图4，允许在必要时在电机内采用一个紧凑布置而且可按图更换润滑脂。

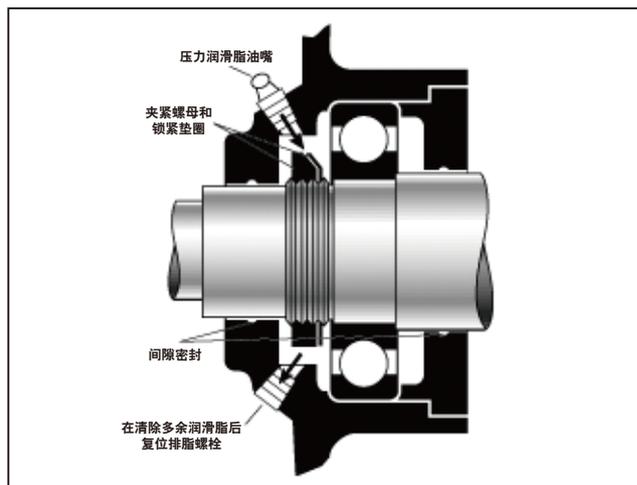


图2—用于换脂的轴承箱

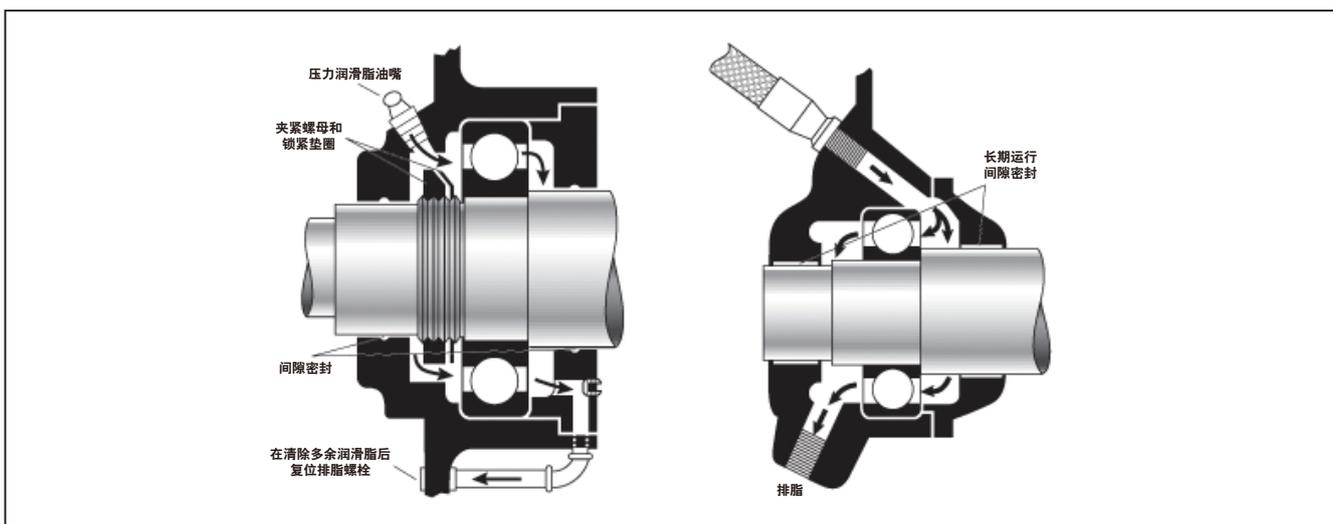
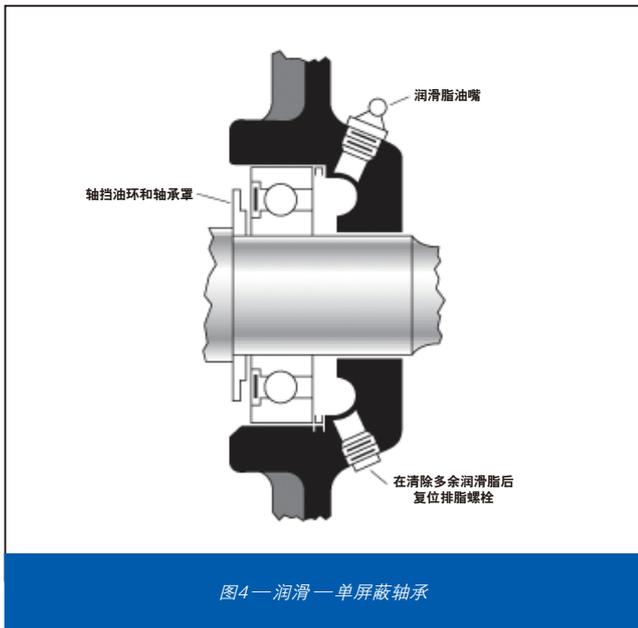


图3—自由排脂轴承箱设计。设计在右侧，有时候被称作纵向润滑脂设计。由于排脂通道较短而且直径较大，所以比设在左侧可能更可取。



通常用减压法更换轴承润滑脂。

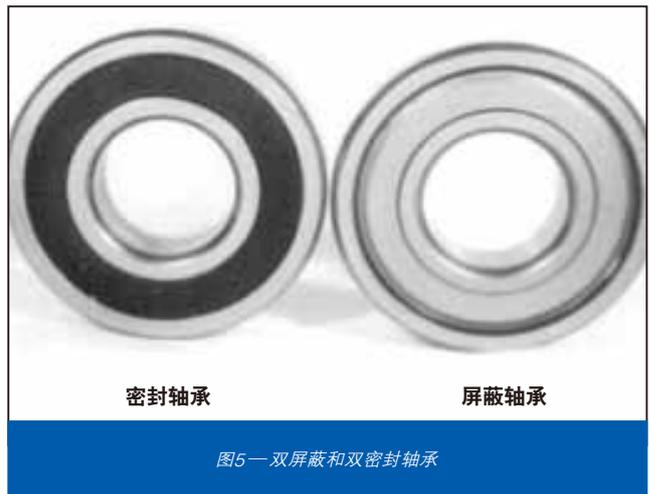
1. 拆下排脂螺栓和从排脂口清除旧润滑脂。
2. 清洗压力管件和注油枪管嘴以防污染物或磨料进入轴承。
3. 用一台手动注油枪，将润滑脂注入管件，直到在排脂口出现新润滑脂。电机应保持运行和预热以保证润滑脂分布更好。
4. 在注入新润滑脂后，运行电机直到多余润滑脂经打开的排脂口挤出。清除多余润滑脂并装上排脂螺栓。

注释—在电机停运时注入润滑脂，仅注入一半容量。全速运行电机5-10分钟，然后添加另一半。这样做可清除轴承内的旧润滑脂，而且防止填充过多和密封破裂。

初次充填开放式轴承时，可采用减压充填法。然而，在将轴承加油工具装入轴承箱之前，最好用手或用轴承工具箱将润滑油注入轴承。如果轴承未预装填，则应在组装后，用注油枪将润滑油注入组件直到确定其均匀分布在轴承上，而且没有从入口到排脂口的短路。启动电机并完成减压过程。

双屏蔽和双密封轴承(图5)，设在两侧的屏蔽和密封，通常采用润滑延长寿命型设计。密封延长寿命型轴承，用工厂提供的正确润滑脂量预装填，而且不需要进行初次润滑或在线润滑。因此，轴承箱通常不采用更换润滑脂的设计结构。

为避免非计划中的润滑，应拆除采用润滑延长寿命型轴承电机上的任何润滑脂油嘴和排脂螺栓。另外，更换检修记录表示电机无需再润滑。



电机存放

即使电机存放时间很短，也可能造成电机轴承损坏。存放中的轴承有两种主要故障模式，现将静态腐蚀和摩擦腐蚀压痕说明如下：

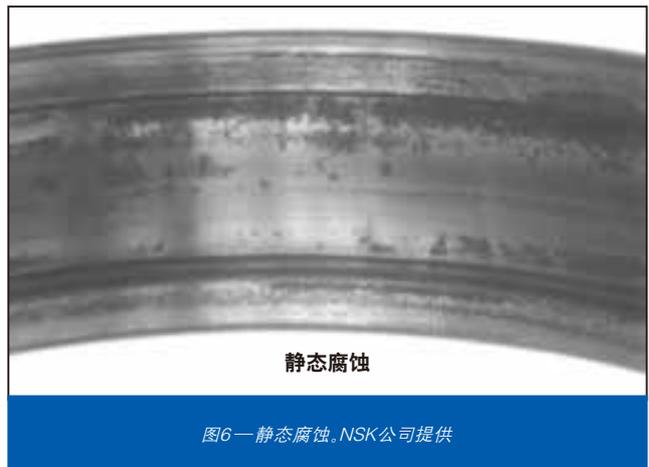


图6是一个严重腐蚀轴承图。发生腐蚀的主要理由有两个。首先，润滑脂不含足够的保护金属用防锈和防腐剂。第二，电机中的振动将在负载区内滚柱和滚道之间的润滑脂挤出来。出现没有润滑脂保护的条件下，金属表面上可形成腐蚀或生锈。

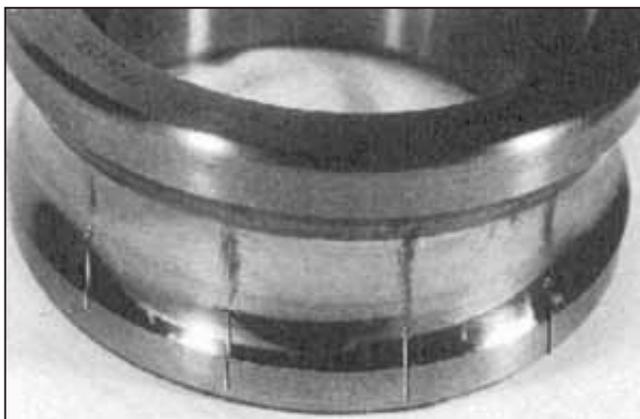


图7—摩擦腐蚀压痕。NSK公司提供

摩擦腐蚀压痕

图7标出了摩擦腐蚀压痕模式。轴承在静态位置振动引起滚动体在一个位置与滚道摩擦振动。久而久之，该振动可切除金属表面的少量金属。该振动引起的金属切削可持续进行，直到磨损变得非常严重为止。这种类型的磨损将表现为与滚珠位置对应的磨斑。为防止这类磨损和其它形式的损坏，应遵守以下程序。

- 在电机仓储前注满润滑脂。在仓储电机上用标签注明最近润滑日期和润滑脂名称。
- 将电机存放在一个干净、干燥、无振动的场所。
- 将电机存放在一个可吸收振动的表面上，如木块等。
- 定期空转电机轴以重新分布新鲜润滑脂和使轴承表面保持一层防腐膜。
- 仔细对正设备和电机轴以保证更长的轴承寿命。
- 在污染风险较高的场所，最好使用密封良好的桶装润滑脂，以防污染。

监测工况以提高电机轴承可靠性

润滑和轴承问题经常产生声波和超声波以及热量。通过使用标准振动分析、超声波（振动分析）和热检测等方式，可优化电机轴承的可靠性。尽管本文已经提出了润滑脂更换量和更换频率的建议，但特定电机的运行条件可能要求更改润滑建议。通过审核电机运行条件，可对润滑脂更换作法进行优化和确定不适宜的条件。尽早检测到不良润滑或轴承工况可保证在设备发生严重或意外损坏前采取适当的措施。

轴承润滑的超声波检测

用被动接触超声波检测设备测得的超声波振动读数，应始终取自相同轴上的相同部位，而且采用相同采集参数以编制良好的趋势数据。选择一个允许振动穿越最少可能界面数的位置和方位。一个高频率能量从轴承传过来，能量随着穿越更多和不同表面而快速扩散。为获得理想数据，应在尽可能靠近轴承负荷和在轴承负荷的相同方向采集读数。大多数轴承冲击频率将跌至4kHz范围内，与此同时，润滑和轻微冲击问题将以30kHz的频率出现（见图8）。这些是在分析轴承时需要测试的频率范围。

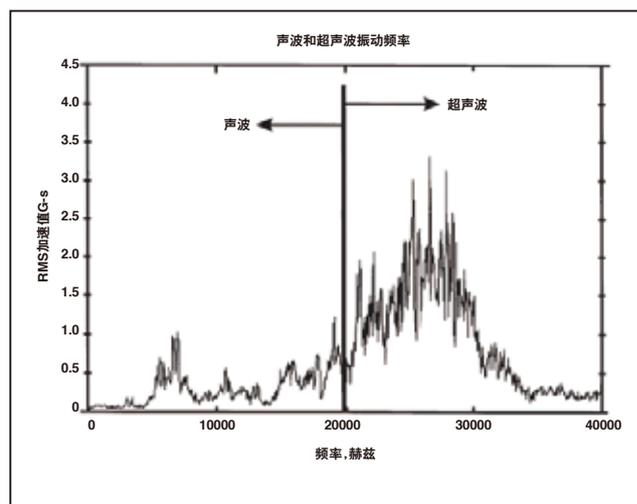


图8—正常情况，润滑不足首先出现在超声波范围（大于20,000赫兹）。计算系统公司提供

润滑不足：在滚动轴承中，声波是由滚动体和滚道及滚动体和轴承罩的相互作用引起的摩擦感应应力波造成的。随着润滑不足的发生，润滑膜厚度减少，造成摩擦系数增大。摩擦系数增加生成更多热量和声音。在30kHz，润滑不足的轴承将发出更像白噪音的声音而且在有机故障的轴承内一般听不到周期性噪音。除非润滑剂全部用尽，否则温度通常不是润滑不足的有效指标。

一般情况下，在30 kHz的最佳或基准超声波振幅应为10 dB或以下。正常润滑频率应为10至20 dB。测试表明在永久性损坏发生前的临界振幅应约为30 dB。这些一般性估计根据轴承和应用形式的变化而变化。更精确的超声波振幅可通过试验和趋势图来估计。如果超声波振幅超过30 dB（或者在没有dB读数的检测设备中的破裂/急促噪音显著增加），则应补充润滑脂直到噪音降至30 dB以下或直到消失。

轴承和润滑脂条件的温度分析

事实证明,声音分析不是确定润滑脂注入是否过量的有效方法。确定润滑脂注入是否过量的有效方法是通过监测温度是否上升。

尽管温度分析在确定润滑脂注入是否过量时很有用,但也有其它一些引起温度变化的原因,包括:

- 电机通风条件差(电机端盖堵塞、风扇缺损、风扇入口堵塞等)
- 在电机驱动端设备上有极端或异常负荷
- 电机转子条断裂
- 三相感应电机上仅有单相电路
- 电机轴上轴承配合变松
- 轴承故障
- 联轴节工况差
- 电机和被驱动单元之间的轴对中情况差
- 电机安装情况差(基础太软)

在向一个高温运行轴承注入更多润滑脂之前,检查温度升高的所有可能的原因。

图9是一个在较差润滑环境中运行轴承的标准振动频谱。滚柱和滚道之间的接触可激发其它轴承元件的一些高共振频率。可借助超声波读数检测润滑不足情况,从而避免这种情况的发生。这种分析形式还有助于确定电机轴承的润滑脂更换注入量和更换频率是否正确。正常情况下,润滑不足的表现表现为800至2000赫兹,峰值表现为80-120赫兹。

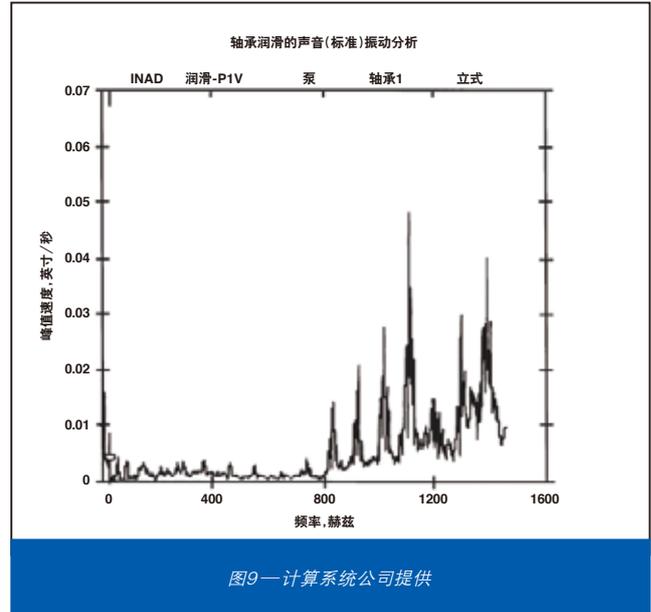


图9—计算系统公司提供