

滚动轴承失效分析及防治方法

滚动轴承是运转机械不可缺少的基础部件之一。滚动轴承虽然体积小成本低，但滚动轴承的失效给运转机械乃至整个生产设备带来的损失是巨大的。近几年来，由于科技进步的迅速发展，客户对滚动轴承产品质量的要求越来越高。特别是自动化、连续生产的企业，对滚动轴承的可靠性的要求更苛刻，因而如何提高滚动轴承的可靠性已经成为滚动轴承生产厂家及使用客户急需解决的主要问题之一。

滚动轴承的可靠性与滚动轴承的失效形式有着密切的关系，要提高轴承的可靠性，就必须从轴承的失效形式着手，仔细分析滚动轴承的失效原因，才能找出解决失效的具体措施。

一、 轴承的失效机理

1. 接触疲劳失效

接触疲劳失效系指轴承工作表面受到 交变应力的作用而产生的材料疲劳失效。接触疲劳失效常见的形式是接触疲劳剥落。接触疲劳剥落发生在轴承工作表面，往往也伴随着疲劳裂纹，首先从接触表面以下最大交变切应力处产生，然后扩展到表面形成不同的剥落形状，如点状为点蚀或麻点剥落，剥落成小片状的称浅层剥落。由于剥落面的逐渐扩大，而往往向深层扩展，形成深层剥落。深层剥落是接触疲劳失效的疲劳源。



2. 磨损失效

磨损失效系指表面之间的相对滑动摩擦导致其工作表面金属不断磨损而产生的失效。持续的磨损将引起轴承零件逐渐损坏，并最终导致轴承尺寸精度丧失及其它相关问题。磨损失效是各类轴承常见的失效模式之一，按磨损形式通常可分为最常见的磨粒磨损和粘着磨损。

磨粒磨损系指轴承工作表面之间挤入外来坚硬粒子或硬质异物或金属表面的磨屑且接触表面相对移动而引起的磨损，常在轴承工作表面造成犁沟状的擦伤。粘着磨损系指由于摩擦表面的显微凸起或异物使摩擦面受力不均，在润滑条件严重恶化时，因局部摩擦生热，易造成摩擦面局部变形和摩擦显微焊合现象，严重时表面金属可能局部熔化，接触面上作用力将局部摩擦焊接点从基体上撕裂而增大塑性变形。



3. 断裂失效

轴承断裂失效主要原因是缺陷与过载两大因素。当外加载荷超过材料强度极限而造成零件断裂称为过载断裂。过载原因主要是主机突发故障或安装不当。轴承零件的微裂纹、缩孔、气泡、大块外来杂物、过热组织及局部烧伤等缺陷在冲击过载或剧烈振动时也会在缺陷处引起断裂，称为缺陷断裂。应当指出，轴承在制造过程中，对原材料的入厂复验、锻造和热处理质量控制、加工过程控制中可通过仪器正确分析上述缺陷是否存在，今后仍必须加强控制。但一般来说，通常出现的轴承断裂失效大多数为过载失效。



4. 腐蚀失效

有些滚动轴承在实际运行当中不可避免的要接触到水、水汽以及腐蚀性介质等，这些物质会引起滚动轴承的生锈和腐蚀，另外滚动轴承在运转过程中还会受到微电流和静电的作用，造成滚动轴承的电流腐蚀。滚

动轴承的生锈和腐蚀会造成套圈、滚动体表面的坑状锈，梨皮状锈及滚动体间隔相同的坑状锈，全面生锈及腐蚀。最终引起滚动轴承的失效。



除此之外，滚动轴承在工作中，由于外界或内在因素的影响，使原有配合间隙改变，精度降低，乃至造成“咬死”称为游隙变化失效。外界因素如过盈量过大，安装不到位，温升引起的膨胀量、瞬时过载等，内在因素如残余奥氏体和残余应力处于不稳定状态等均是造成游隙变化失效的主要原因。

二、滚动轴承常见失效模式及对策

1. 沟道单侧极限位置剥落

沟道单侧极限位置剥落主要表现在沟道与挡边交界处有严重的剥落环带。产生原因是轴承安装不到位或运转过程中突发轴向过载。采取对策是确保轴承安装到位或将自由侧轴承外圈配合改为间隙配合，以期轴承过载时使轴承得到补偿。如果无法确保安装到位，可以提高润滑剂的油膜厚度（提高润滑有的粘度），或减低轴承的负载等方法来减少轴承的直接接触。



2. 沟道在圆周方向呈对称位置剥落

对称位置剥落表现在内圈为周围环带剥落，而外圈呈周向对称位置剥落（即椭圆的短轴方向），其产生原因主要是因为外壳孔椭圆过大或两半分离式外壳孔结构，这在摩托车用凸轮轴轴承中表现尤为明显。当轴承压入椭圆偏大的外壳孔中或两半分离式外壳固紧时，使轴承外圈产生椭圆，在短轴方向的游隙明显减少甚至负游隙。轴承在载荷的作用下，内圈旋转产生周向剥落痕迹，外圈只在短轴方向的对称位置产生剥落痕迹。这是该轴承早期失效的主要原因，经对该轴承失效件检验表明，该轴承外径圆度已从原工艺控制的 $0.8\mu\text{m}$ 变为 $27\mu\text{m}$ 。此值远远大于径向游隙值。因此，可以肯定该轴承是在严重变形及负游隙下工作的，工作面上易早期形成异常的急剧磨损与剥落。采取的对策是提高外壳孔加工精度或尽可能不采用外壳孔两半分离结构。



3. 滚道倾斜剥落

在轴承工作面上呈倾斜剥落环带，说明轴承是在倾斜状态下工作的，当倾斜角达到或超过临界状态时，易早期形成异常的急剧磨损与剥落。产生的原因主要是因为安装不良，轴有挠度、轴颈与外壳孔精度低等，采取对策为确保轴承安装质量与提高轴肩、孔肩的轴向跳动精度、或提高润滑油的粘度以获得较厚的润滑油膜。



4. 套圈断裂

套圈断裂失效一般较少见，往往是突发性过载造成。产生原因较为复杂，如轴承的原材料缺陷（气泡、缩孔）、锻造缺陷（过烧）、热处理缺陷（过热）、加工缺陷（局部烧伤或表面微裂纹）、主机缺陷（安

装不良、润滑贫乏、瞬时过载)等,一旦受过载冲击负荷或剧烈振动均有可能使套圈断裂。采取对策为避免过载冲击载荷、选择适当的过盈量、提高安装精度、改善使用条件及加强轴承制造过程中的质量控制。



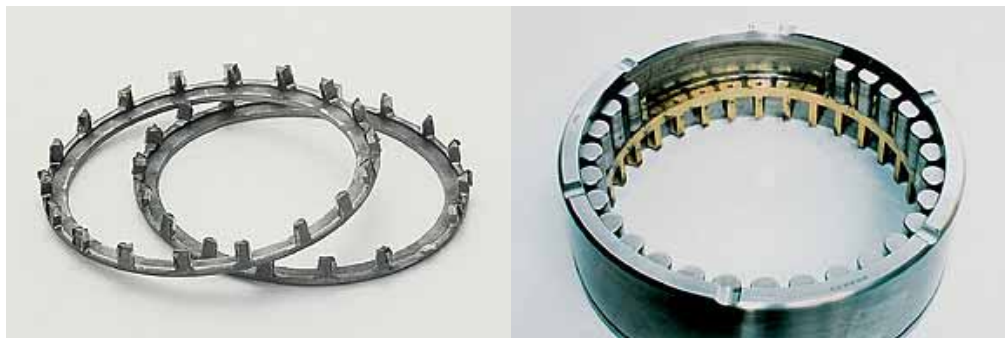
5. 保持架断裂

保持架断裂属于偶发性非正常失效模式。其产生原因主要有以下五个方面：

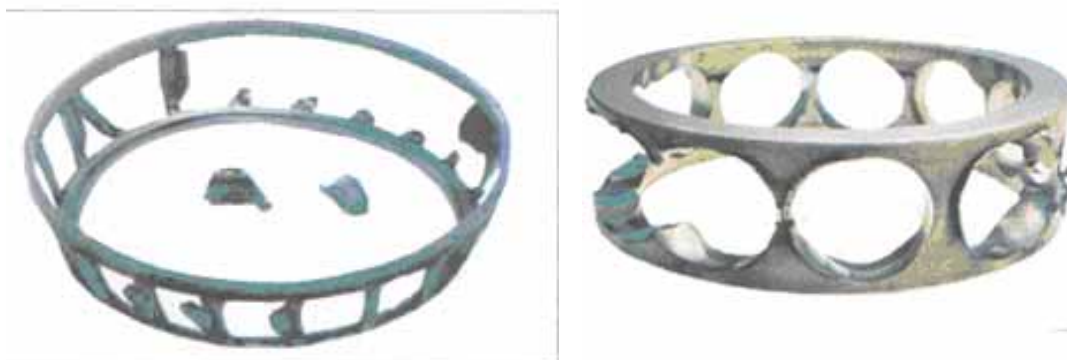
a. 保持架异常载荷。如安装不到位、倾斜、过盈量过大等易造成游隙减少,加剧摩擦生热,表面软化,过早出现异常剥落,随着剥落的扩展,剥落异物进入保持架兜孔中,导致保持架运转阻滞并产生附加载荷,加剧了保持架的磨损,如此恶化的循环作用,便可能造成保持架断裂。



b. 润滑不良主要指轴承运转处于贫油状态,易形成粘着磨损,使工作表面状态恶化,粘着磨损产生的撕裂物易进入保持架,使保持架产生异常载荷,有可能造成保持架断裂。



c. 外来异物的侵入是造成保持架断裂失效的常见模式。由于外来硬质异物的侵入，加剧了保持架的磨损与产生异常附加载荷，也有可能导致保持架断裂。



d. 蠕变现象也是造成保持架断裂的原因之一。所谓蠕变多指套圈的滑动现象，在配合面过盈量不足的情况下，由于滑动而使载荷点向周围方向移动，产生套圈相对轴或外壳向圆周方向位置偏离的现象。蠕变一旦产生，配合面显著磨损，磨损粉末有可能进入轴承内部，形成异常磨损——滚道剥落——保持架磨损及附加载荷的过程，以至可能造成保持架断裂。



e. 保持架材料缺陷（如裂纹、大块异金属夹杂物、缩孔、气泡）及铆合缺陷（缺钉、垫钉或两半保持架结合面空隙，严重铆伤）等均可能造成保持架断裂。采取对策为在制造过程中加以严格控制。

6. 卡伤

所谓卡伤是由于在滑动面损伤产生的部分的微小烧伤汇总而产生的表面损伤。滑道面、滚动面圆周方向的线状伤痕。滚子端面的摆线状伤痕，靠近滚子端面的轴环面的卡伤。造成卡伤的主要原因有：过大载荷、过大预压、润滑不良、异物咬入、内圈外圈的倾斜、轴的挠度、轴、轴承箱的精度不良等。可以通过适当的预压、改善润滑剂和润滑方法、提高轴、轴承箱的精度来解决。





7. 磨损

磨损失效系指表面之间的相对滑动摩擦导致其工作表面金属不断磨损而产生的失效。造成磨损失效的因素主要有润滑剂失效或缺乏润滑剂，润滑方式不对，又磨砺进入轴承内部，负载过大等。解决方法可以通过改善润滑剂或改善润滑方法，增强密封机构等。



8. 擦伤

所谓擦伤，是在滚道面和滚动面商，有随着滚动的打滑和油膜热裂产生的微小烧伤的汇总而发生的表面损伤。产生带有粘着的表面粗糙。造成擦伤的原因主要有高速轻载荷，急加减速，润滑剂不适当，水的侵入等。解决方法：改善预压，改善轴承游隙，使用油膜性好的润滑剂，改善润滑方法，改善密封装置等。



9. 压痕

咬入了金属小粉末，异物等的时候，在滚道面或转动面上产生的凹痕或由于安装等时受到冲击，在滚动体的间距间隔上形成了凹面（布氏硬度压痕）。引起压痕的主要因素是：金属粉末等的异物咬入，组装时或运输过程中受到的冲击载荷过大等。解决方法：改善密封装置，过滤润滑油，改善组装及使用等方法。



10. 烧伤

滚道轮、滚动体以及保持架在旋转中急剧发热直至变色、软化、熔敷和破损。造成烧伤的原因有润滑不良，过大载荷（预压过大），转速过大，游隙过小，水、异物的侵入，轴、轴承箱的精度不良、轴的挠度大等。可以通过改善润滑剂及润滑方法，纠正轴承的选择，研究配合、轴承间隙和预压，改善密封装置，检查轴和轴承箱的精度或改善安装方法等方法来解决。。



11. 电流腐蚀

所谓电蚀是指电流在旋转中的轴承套圈和滚动体的接触部分流动时，通过薄薄的润滑油膜发出火花，其表面出现局部的熔化和凹凸现象。引起电流腐蚀的原因主要是外圈与内圈间的电位差以及静电的作用。解决方法：在设定电路时，电流不通过轴承对轴承进行绝缘，接好静电接地装置。



12. 生锈腐蚀

轴承的生锈和腐蚀有滚道轮、滚动体表面的坑状锈、全面生锈及腐蚀。轴承的生锈和腐蚀会造成套圈、滚动体表面的坑状锈，梨皮状锈及滚动体间隔相同的坑状锈，全面生锈及腐蚀。造成滚动轴承生锈腐蚀失效的原因很多，主要的原因有：水、腐蚀性物质（漆、煤气等）的侵入，润滑剂不合适，由于水蒸气的凝结而附有水滴，高温多湿时停转，运输过程中防锈不良，保管状态不合适，使用不合适。解决的方法有：改善密封装置，研究润滑方法，停转时的防锈措施，改善保管方法，使用时要加以注意。



三、除上述常见的失效形式外，滚动轴承在实际运行中还有很多的失效形式，有待我们进一步的分析研究。

综上所述，从轴承常见失效机理与失效模式可知，尽管滚动轴承是精密而可靠的机构基础体，但使用不当也会引起早期失效。一般情况下，如果能正确使用轴承，可使用至疲劳寿命为止。轴承的早期失效多起于主机配合部位的制造精度、安装质量、使用条件、润滑效果、外部异物侵入、热影响及主机突发故障等方面的因素。因此，正确合理地使用轴承是一项系统工程，在轴承结构设计、制造和装机过程中，针对产生早期失效的环节，采取相应的措施，可有效地提高轴承及主机的使用寿命，这是制造厂和客户应负有的共同责任。