

轴承损坏及 失效分析

SKF[®]



The Power of Knowledge Engineering

目录

SKF — 一家知识工程公司	5
简介	7
1 轴承寿命和轴承失效	8
影响轴承使用寿命的因素	8
何时更换轴承?	9
2 检查和排除故障	10
运行时检查	10
噪声和振动监测	11
温度监测	11
润滑状况监测	11
停机检查	11
轴承检查	11
密封配合面检查	12
故障排除	12
轴承故障的常见症状	12
故障情况及其解决方案	15
3 路径痕迹	32
标准滚道路径痕迹	34
径向轴承 — 单向、恒定的径向载荷	34
径向轴承 — 恒定的同步旋转径向载荷	35
径向轴承 — 单向、恒定的轴向载荷	36
径向轴承 — 单向、恒定的径向和轴向载荷	37
推力轴承 — 单向、恒定的轴向载荷	37
异常运行工况下的滚道路径痕迹	38
径向轴承 — 单向、恒定的径向载荷	38
推力轴承 — 单向、恒定的轴向载荷	40
4 ISO失效模式分类	42
失效模式分析 — ISO工作组	42
失效模式	44
疲劳	44
磨损	48
腐蚀	52
电蚀	55
塑性变形	58
破裂和开裂	61

5 损坏和纠正措施	64
次表面引发的疲劳	65
表面引起疲劳	66
研磨磨损	68
粘着磨损	70
湿气腐蚀	71
蠕动腐蚀	73
微振腐蚀	75
过大电流	76
电流泄漏	77
过载	79
压痕	81
受压破裂	83
疲劳破裂	84
受热破裂	85
6 其他研究	86
7 案例分析	88
火车脱轨	88
变速电机问题	90
粘土拌合机问题	92
颚式破碎机问题	94
8 附录	96
附录A: SKF基于ISO 15243:2004 ¹⁾ 的轴承失效模式分类	96
附录B: 影响轴承选型的因素	97
附录C: 轴承损坏和失效—模式和原因	99
附录D: 信息采集	100
附录E: 术语	101

SKF – 一家知识工程公司

1907 年，SKF 发端于一个简单但具有创意的摩擦问题解决方案，当时只是拥有少数几个工程师的瑞典工厂，现已发展成为全球工业知识领导者。多年来，我们已经在轴承方面建立了



自己的专长，进而扩展到密封件、机电一体化、服务和润滑系统。我们拥有 46000 名员工、15000 个经销商合作伙伴、遍及 130 多个国家的组织机构，以及在全球不断发展的 SKF 解决方案工厂。

研发

基于 SKF 员工所掌握的实践知识，我们拥有在 40 多个行业的丰富实践经验。另外，我们拥有在摩擦学、状态监测、资产管理和轴承生命理论等领域进行先进理论研究的世界一流专家和大学合作伙伴。我们持续开展的研发帮助我们使我们的客户始终处于行业的最前沿。



迎接最艰难的挑战

我们的知识和经验，加上对如何整合核心技术的深刻理解，帮助我们开发能够满足最艰难挑战的创新解决方案。我们在整个资产生命周期与我们的客户密切合作，帮助他们负责任地发展他们的业务，并实现盈利。

努力创建可持续发展的未来

自 2005 年以来，SKF 一直在努力减少我们自身运营和我们供应商的运营产生的对环境的负面影响。我们持续开展技术研发，开发了 SKF BeyondZero 产品和服务组合系列，该系列可提高效率，减少能耗，以及使得利用风能、太阳能和海洋能发电的新技术成为现实。该系列产品有助于减少对环境的影响，无论是在我们自己的运营还是在客户的运营中。

SKF 解决方案工厂利用当地 SKF 的知识和在制造方面的专长，为我们的客户提供独特的解决方案和服务。



SKF 授权经销商与 SKF IT 和物流系统和应用专家协力，为全球客户提供有价值的产品和应用知识组合。



我们的知识——您的成功

SKF 生命周期管理是我们将技术平台和先进服务结合起来，并将其应用在资产生命周期的每个阶段，以帮助我们的客户取得更大成功、可持续发展和盈利的方法。



与您紧密合作

我们的目标是帮助我们的客户提高生产效率，最大程度地减少维护，实现更高的能源和资源利用效率，优化设计，延长使用寿命和提高可靠性。



轴承

SKF 是设计、开发和制造高性能滚动轴承、滑动轴承、轴承单元和轴承座的全球领导者。

创新的解决方案

无论是线性应用还是旋转应用，或两者的结合，SKF 的工程师都可以在资产生命周期的每个阶段与您合作，通过了解整个应用提高设备的性能。这种方法并不只是侧重于轴承或密封件等个别部件。它着眼于整个应用，关注部件之间的交互作用。



设备维修

来自 SKF 的状态监测技术及维修服务，可以帮助最大程度地减少计划外停机时间，提高运营效率，降低维护成本。

设计优化与验证

SKF 可与客户紧密合作，采取专利 3-D 建模软件优化现有的或新的设计，该软件还可以作为一个虚拟测试台来测试设计的完整性。



密封解决方案

SKF 提供标准密封件和定制设计密封解决方案，增加正常运行时间，提高机器的可靠性，减少摩擦和功率损耗，并延长润滑剂的使用寿命。



机电一体化

SKF 线控飞行系统和用于非道路车辆、农业和叉车应用的线控驱动系统可取代既笨重又耗油的机械和液压系统。



润滑解决方案

从专业的润滑油到最先进的润滑系统和润滑管理服务，SKF 润滑解决方案可以帮助降低与润滑相关的停机时间和润滑剂的消耗。



驱动和运动控制

通过各式各样的产品——从驱动器和滚珠丝杠到直线导轨——SKF 与您一起应对最紧迫的线性系统挑战。

简介

滚动轴承是大多数设备的最重要部件之一，对其承载能力、运行精度、噪声等级、摩擦及摩擦热、寿命及可靠性等方面的要求都非常严格。因此多年来，滚动轴承一直是研发的重点和持续改进的对象。

滚动轴承技术已经发展成为一个特殊的学科分支。SKF从一开始就处在这一研究领域的前沿并且已成为该领域的领导者之一。这样的研究成果已经成为了制造高质量轴承的能力，并可以结合具体的应用知识来精确计算轴承的额定寿命，从而使得最大程度地延长设备轴承的使用寿命成为了可能。

尽管经过了精心设计和制造，也在应用中进行了测试，但是有时轴承还是达不到所要求的使用寿命。轴承失效通常会因停产、相关零部件损坏。以及维修导致的直接或间接经济损失。

轴承提前失效的原因有很多种，每种失效都会在轴承上留下特定的印迹。

因此，大多数情况下可以通过检查损坏或失效的轴承来确定损坏或失效的根本原因，从而采取必要的纠正措施，防止轴承再次损坏或失效。本文件旨在帮助您基本了解轴承失效以及失效分析。

借助本文件中所述的知识，您可以对简单的失效情况进行评估和启动正确分析。然而，本文件中的信息不足以使您进行深入分析，也不能取代轴承失效分析中必要的经验。

简介

本书由以下章节组成：

1 轴承寿命和轴承失效

大多数轴承的寿命比安装它们设备的检修周期要长。

2 检查和排除故障

当出现问题时，在运行或停机期间进行检查或立即进行故障排除可以使您了解发生了什么问题。本文件并未讨论状态监测中的一项非常重要的工作（及时发现损伤）。关于状态监测的更多信息，请查阅《SKF轴承维护和保养手册》或其他专门出版物。

3 踪迹

一旦出现损坏，需要对轴承进行检查和分析。分析时需要充分理解“踪迹”这一概念。

4 ISO失效模式分类

术语及ISO分类系统可帮助您理解损坏类型及其可能的原因。

5 损坏和纠正措施

在本章节中，大量案例以及相应的纠正措施一并进行了描述。但仅涉及到了无损分析。

6 其他研究

对于复杂案例，SKF试验室可提供多种先进的破坏性失效分析方法。本节对这些方法进行了简要概述。

7 案例分析

轴承损伤分析可能会相当复杂。本章节通过一些案例分析进行示范。

8 附录

附录A至附录F中包含用于快速概览的主要图表、轴承损坏信息采集方法以及参考术语表。

1 轴承寿命和轴承失效

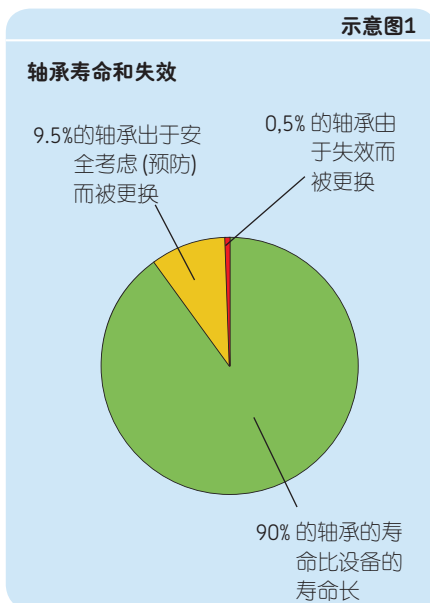
全世界每年大约生产100亿个轴承。实际上，只有很小一部分正在使用的轴承会失效(见**示意图1**)，大部分轴承(约90%)的寿命比安装它们的设备的检修周期要长。为了安全(预防)起见，有些轴承(9.5%)在失效前就被更换了，约0.5%的轴承在损坏或失效后才被更换，这意味着每年大约有5 000万个轴承是由于损坏和失效而被更换的。

轴承损坏或失效的原因通常有如下几种：

- 1/3的失效由疲劳导致；
1/3的失效由润滑问题(润滑剂不合适、润滑剂用量不当、润滑间隔期不合理)导致；
- 1/6的失效由污染(密封失效)导致；
- 1/6的失效由其他原因(运输和安装不当、载荷比预期值大或与预期值不同、配合错误或不充分)导致。

上述数据在不同行业或不同应用中有所不同。例如，在纸浆和造纸行业，轴承失效的主要原因是污染和润滑不足，而非疲劳。

每种失效都会产生一种特殊的损坏印迹，这种印迹被称之为“痕迹”(在滚道中被称之为踪迹，见**第32页**“踪迹”)。因此，大多数情况下，通过仔细检查受损轴承就可以找出受损的根本原因。根据受损原因，就可以采取相应的纠正措施，防止问题再次发生。



以密封失效的应用为例。当污染颗粒穿过密封件进入轴承之后，会被滚动体碾压，并且会在滚道上形成压痕(见**图1**)，较硬的颗粒可能会形成有锐边的压痕。之后压痕周围的区域在滚动体的正常碾压下会承受循环应力，导致表面疲劳，这部分金属开始脱离滚道。这种现象被称为剥落。一旦发生剥落，损坏就会进一步增加，直至轴承无法使用。

影响轴承使用寿命的因素

通常，某一应用的轴承额定寿命根据SKF额定寿命公式进行计算：

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

其中

L_{nm} = SKF额定寿命 (100 - n^1) % 可靠性)
[百万转]

a_1 = 寿命可靠性调整系数

a_{SKF} = SKF寿命修正系数

C = 基本额定动载荷, [kN]

P = e 轴承载当量动载荷, [kN]

p = 寿命公式的指数

¹⁾ 系数 n 代表失效概率，即所要求的可靠性与100%之间的差值。

这种方法不仅考虑了载荷，而且还考虑了其他重要因素，例如可靠性、润滑条件、污染和疲劳载荷极限。

轴承是否可以达到或超过计算出的额定寿命取决于如下几个因素：

• **轴承质量**

只有按照最高质量标准生产的轴承才能具备较长的使用寿命。

• **存储**

轴承的正确存放是合理存储的一个重要方面。注意避免积压。使用“先进先出”的方法有助于确保存放的轴承都是“新鲜的”轴承。这点对于带有密封件或防尘盖的轴承尤为重要，因为它们在出厂前预先填充了润滑脂，润滑脂的储存期较短。此外，需要注意的是随着制造技术的快速发展，现在生产的轴承的固有寿命已大大高于10或15年之前生产的轴承。

• **应用**

应针对具体应用选用合适的轴承。

• **安装**

轴承只有安装正确才能正常运行(见《SKF 轴承维护和保养手册》)。不正确的安装技术容易损坏轴承，导致过早失效。

• **润滑**

不同的工作条件需要不同的润滑剂、不同的补充润滑间隔以及不同的润滑剂更换间隔。因此，不仅要使用正确的润滑剂，而且还要在正确的时间以正确的方式使用正确剂量的润滑剂。

• **密封解决方案**

密封的目的是防止润滑剂流出轴承和污染物进入轴承。如果密封失效，可能导致轴承过早失效。

何时更换轴承?

从轴承开始(初期)损坏到完全不能使用的时间可能差别很大。在高速运行下，可能仅为几秒钟，而在慢速运行的大型设备中，可能长达几个月。“我应该什么时候更换轴承?”，这个问题可通过轴承状态监测获得最佳答案(见第10页“检查和故障排除”)。

如果受损轴承未经检查继续运行并且在发生灾难性失效之前没有更换，那么可能会对设备及其部件造成二次损坏。而且，一旦轴承发生灾难性失效，失效的根本原因就很难确定，甚至根本不可能确定。

损坏的发展

坚硬污染物被碾压，在圆柱滚子轴承的内圈滚道上形成压痕(a)。从压痕后方区域开始发生表面疲劳，进而导致剥落。一段时间之后，剥落变得越来越明显(b, c)。如果设备未及时发现，可能会对部件造成二次损坏。初始压痕变得无法辨认(d)。

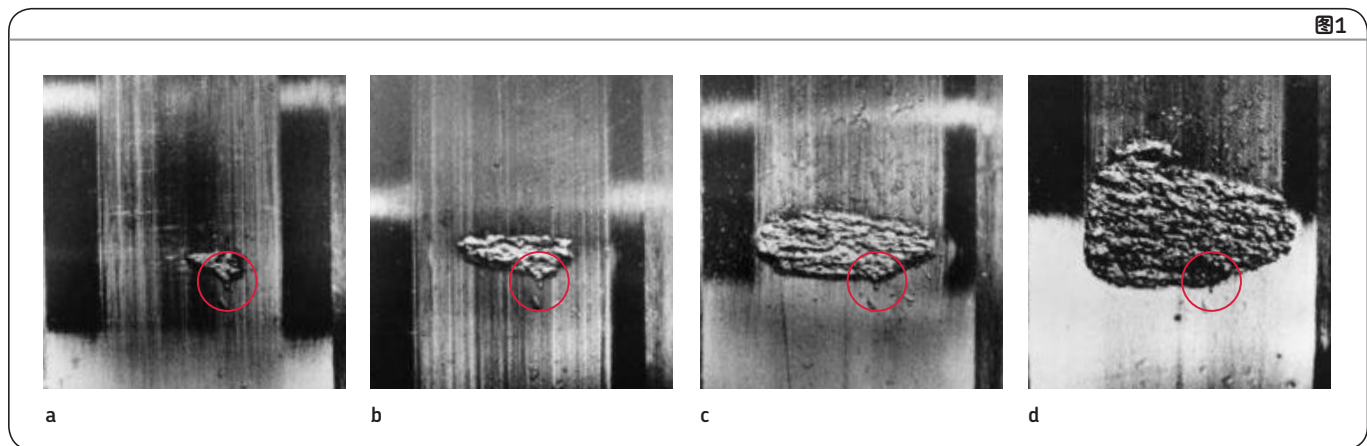


图1

2 检查和排除故障

运行时检查

在有计划的定期维护时，用户可以根据轴承受损的早期症状更换轴承，以避免轴承失效而导致昂贵的非计划停机。监测设备运行条件的重要参数包括噪声、温度和振动。

磨损或受损的轴承通常会呈现出可辨认的迹象。出现这些迹象的可能原因有很多，需要进一步调查(见第12页“故障排除”)。

由于现实原因，不可能使用先进的系统对所有设备或设备功能进行监测。在这种情况下，可以通过观察设备或听设备的声音来检测故障。但是，利用人体感官检测机械问题具有局限性。在情况恶化到所发生的变化可以察觉的时候，设备可能已经大范围受损了。使用先进既有技术，如先

示意图1

先进的状态监测技术的优势

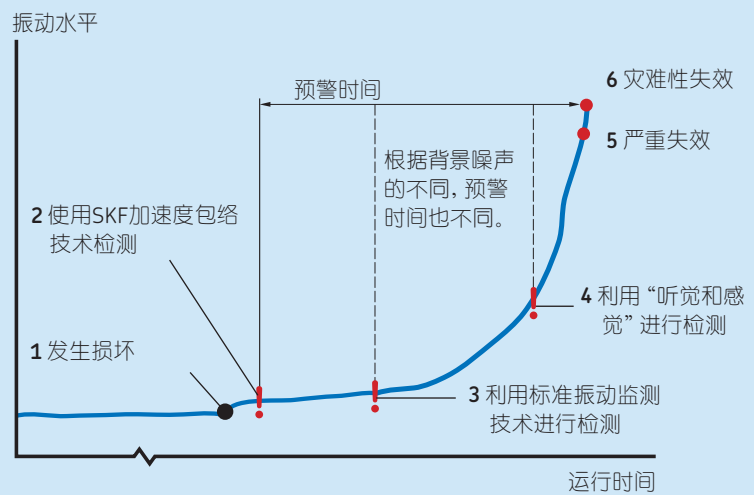


图1



进的振动分析，在出现问题之前的扩展阶段检测出损伤（见示意图1）。使用专业的状态监测工具以及SKF加速度包络技术则可以最大程度地提前发出预警。

图1展示了示意图1中所示的损坏过程：

- 1 轴承出现初始研磨磨损；
- 2 利用SKF加速度包络技术检测到的初期剥落；
- 3 剥落发展到了其损坏可以通过标准振动监测技术检测到的程度。
- 4 剥落加剧，导致振动过大、噪声过高、工作温度上升。
- 5 严重损坏：轴承内圈疲劳断裂。
- 6 发生灾难性失效，并对其他部件造成二次损坏。

噪声和振动监测

辨别轴承劣化或受损的一个常用方法是听声。正常运行时，轴承会发出均匀和低沉的啾啾声。如果有刺耳的“吱吱”声或其他不正常声音，说明轴承运行不良，或者出现了故障。

对振动监测技术的需求来源于以下三个基本事实：

- 所有的设备都会振动。
- 设备一开始出问题通常都伴随振动水平的提高。
- 故障性质可通过振动特点确定。

温度监测

在轴承位置处监测工作温度非常重要。在工作条件没有改变的情况下，温度上升通常是轴承即将受损的征兆。但需要注意的是，在设备首次启动或利用润滑脂进行补充润滑后的1-2天内，轴承温度通常会上升。

润滑状况监测

只有在充分润滑的情况下，轴承才能实现最佳性能，因此应对轴承的润滑状况进行严密监测。另外，还应定期评估润滑剂本身的状况，推荐使用取样分析法。

针对润滑相关的检查活动，SKF建议遵循以下一般导则：

- 检查轴承附近区域的润滑剂泄漏情况。
- 保持保护套环和迷宫密封内充满润滑脂，以提供最佳保护。
- 检查并确保自动润滑系统是否正常运行，为轴承提供合适量润滑剂。
- 检查油槽和油箱液位并在必要时补充润滑剂。
- 如果采用手动注脂润滑，按计划进行补充润滑。
- 如果采用油润滑，按计划更换润滑油。
- 始终确保使用的是规定的润滑剂。

停机检查

停机期间是评估轴承、密封、密封配合面、轴承座和润滑剂状况的一个机会。通常可以通过拆下轴承座端盖或顶盖的方式进行一次一般检查。如果发现轴承受损，应拆下轴承，进行彻底检查。

停机期间还可以对轴与皮带间的对中以及设备基础和外部进行彻底检查。

无论是垫片缺失还是基础变差都会对设备性能产生不良影响。越早发现问题，就可以越早采取纠正措施。相比非计划停机，在定期计划停机期间更换轴承和相关部件的费用要少得多。

轴承检查

并不是所有情况下都方便检查轴承。当轴承部分外露时，可对其进行目视检查。最好在例行维护时对轴承进行检查。

在检查已安装轴承时，SKF建议遵循以下一般导则：

准备

- 清理设备外表面。
- 拆下轴承座端盖或顶盖，露出轴承。取润滑剂样本以供分析。对于油润滑轴承，样本应取自油槽/油箱。对于脂润滑的开式轴承，样本应取自轴承内的不同位置。目视检查润滑剂的状态。通常情况下，在一张纸上涂一层薄薄的润滑剂，放在灯下检查，就可以发现其中的杂质。
- 使用不起毛的布清理轴承的外露外表面。

检查

- 检查轴承的外露外表面是否存在微动腐蚀。检查轴承套圈是否有裂纹。
- 对于密封轴承，检查密封件是否有磨损或损坏。
- 如有可能，慢慢转动轴，检查轴承阻力是否均匀。未受损轴承转动起来应是平稳的。

在相应轴承座中使用润滑脂润滑的开式轴承，如剖分式轴承座，可以在现场进行更为详尽的检测。

- 除去轴承周围的所有润滑脂。
- 使用非金属刮刀尽可能除去轴承内的润滑脂。

2 检查和排除故障

- 将石油基溶剂喷到轴承内以清理轴承。在清理过程中慢慢转动轴，持续喷入溶剂，直至流出的溶剂中不再含有灰尘和润滑脂。对于含有严重氧化润滑剂堆积的大型轴承，使用含10%氢氧化钠和1%润湿剂的强碱溶液清洗。
- 使用不起毛的布或干净的、不含水分的压缩空气擦干或吹干轴承(但不要转动或旋转轴承)。
- 检查轴承滚道、保持架和滚动体是否存在剥落、印迹、划痕、擦痕、变色和磨光区域。在需要的情况下，测量轴承的径向游隙(以便确认是否已发生磨损)，并确认其是否符合规范。
- 如果轴承状况符合要求，立刻向轴承注入所需的润滑脂，封闭轴承座。如果轴承损坏明显，拆下轴承，并采取防腐措施，随后进行全面分析。

一般建议

- 整个检查过程中要进行拍照，记录轴承状态、润滑剂状态以及整个设备的状态。
- 检查不同部位处润滑脂的状况，并将其与新润滑脂进行对比(见图2)。保存具有代表性的润滑脂样本，以便进一步分析。
- 某些大中型轴承适用于进行翻新。更多信息，请参见《SKF轴承维护和保养手册》和《SKF翻修服务》。

图2



新润滑脂：棕色
旧润滑脂：变为淡灰色

密封配合面检查

为了达到预定效果，密封唇必须在光滑的配合面上运行。如果配合面磨损或受损，密封唇将无法正常运行。

在检查密封配合面的同时还需检查腐蚀情况。如果腐蚀明显但不严重，应使用优质的干/湿砂纸去除腐蚀。

注意：使用溶剂或碱性溶液时，应遵守相关安全准则并使用相关安全设备。

故障排除

无法正常运行的轴承通常会表现出明显的症状。发现这些症状并在早期采取纠正措施的最好方法是制定全面的状态监测计划。有些情况下，无法获得或使用状态监测设备。就此，下文给出了一些有用的提示，以助于发现最常见的症状及其原因，并尽可能给出一些实用的解决方案。受轴承损伤程度的影响，有些症状可能具有误导性，并且在很多情况下是由于二次损坏造成的。为了有效排除轴承故障，需要对在应用中首先观察到的症状进行分析。详细信息见第42页“ISO失效模式分类”。

轴承故障的常见症状

轴承故障通常可以归纳为此处所列的几种常见类型。每种症状(见表1)可以分为几种原因，而每种原因都有个数字代码，可据此查询对应的实用解决方案(见第16页的表2)。

本部分介绍的故障排除信息仅供参考。

表1

轴承故障的常见症状

- A 过热 † 表1a
- B 噪声过大 † 表1b
- C 振动过大 † 表1c, 第14页
- D 轴移动过大 † 表1d, 第14页
- E 转动轴时摩擦力矩过大 † 表1e, 第15页

表1a

症状A: 过热

可能原因	解决方案代码
润滑问题	
• 润滑剂不足 — 润滑脂太少或润滑油油位太低	1
• 润滑剂过多 — 润滑油太多无法清除或润滑油位太高	2
• 润滑剂种类错误 — 不匹配、粘度不合适、添加剂不正确	3
• 润滑系统不合适	4
密封问题	
• 轴承座密封太紧或其他部件改变了密封状态	5
• 一个轴承(轴承座)内有多个密封	6
• 外部(轴承座)密封不对中	7
• 对轴承内的接触式密封而言, 运行速度过高	8
• 密封润滑不当	9
• 密封方向错误	10
运行中游隙不足	
• 轴承初始游隙选择不当	11
• 轴材料的膨胀大于轴承钢(例如不锈钢)的膨胀	12
• 轴和轴承座温差过大(轴承座的温度大大低于轴的温度)	13
• 锥形轴颈预紧过度	14
• 轴或轴承座失圆严重—轴承被夹卡在椭圆形轴承座中	15
• 轴过盈配合过紧或轴颈直径过大	16
• 轴承座过盈配合过紧或轴承座孔直径过小	17
轴承载荷不适合	
• 应用参数变化导致轴承载荷过大	18
• 两个部件位移偏差	19
• 两个部件角度偏差	20
• 轴承安装倾斜	21
• 不平衡	22
• 轴承定位不合适	23
• 诱发轴向载荷过大	24
• 载荷不足	25
• 预负荷过大	26

表1b

症状B: 噪声过大

可能原因	解决方案代码
金属间接触	
• 润滑剂不足	1
• 油膜太薄, 不适应工作条件	3
• 滚动体滑动(打滑)	25
污染	
• 固体污染物进入并被碾压导致滚道及/或滚动体上形成凹痕	27
• 制造过程或前期轴承失效留在轴承座内的固体颗粒	28
• 液体污染物降低了润滑剂的粘度	29
配合过松	
• 内圈在轴上蠕动(转动)	30
• 外圈在轴承座内蠕动(转动)	31
• 轴或轴承套上的轴承锁紧螺母松动	32
• 轴承和配合部件未夹紧	33
• 轴承径向/轴向游隙过大	34
表面受损	
• 无效润滑导致磨粒磨损	1, 2, 3, 4
• 滚动体滑动造成粘着磨损	25
• 固体污染物被碾压导致滚道及/或滚动体上形成压痕	27
• 冲击载荷导致滚道及/或滚动体上形成压痕	35
• 静态振动导致滚道及/或滚动体上形成伪布氏压痕	36
• 材料疲劳导致滚道及/或滚动体上发生剥落	37
• 表面起源型损坏导致滚道及/或滚动体上发生剥落	38
• 化学品或液体污染物导致滚道及/或滚动体上出现静态蚀刻	39
• 受潮或破坏性电流导致滚道及/或滚动体上形成(微小)斑点	40
• 破坏性电流的通过导致滚道及/或滚动体上形成凹槽	41
摩擦	
• 轴承座密封安装不当	7
• 紧定套和退卸套安装不当	32
• 隔套夹紧不当	33
• 锁紧垫圈舌片弯曲	42

表1c

症状C: 振动过大

可能原因	解决方案代码
金属间接触	
• 滚动体滑动 (打滑)	25
污染物	
• 固体污染物进入并被碾压导致滚道及/或滚动体上形成压痕	27
• 制造过程或先前轴承失效导致轴承座内留有固体颗粒	28
配合过松	
• 内圈在轴上蠕动 (转动)	30
• 外圈在轴承座内蠕动 (转动)	31
表面损坏	
• 润滑不足导致磨损	1, 2, 3, 4
• 滚动体滑动导致粘着磨损	25
• 固体污染物被碾压导致滚道及/或滚动体上形成压痕	27
• 冲击载荷导致滚道及/或滚动体上形成压痕	35
• 静态振动导致滚道及/或滚动体上形成伪布氏压痕	36
• 材料疲劳导致滚道及/或滚动体上发生剥落	37
• 坏导致滚道及/或滚动体上发生剥落	38
• 化学品或液体污染物导致滚道及/或滚动体上出现静态蚀刻	39
• 受潮或破坏性电流导致滚道及/或滚动体上形成(微小) 斑点	40
• 破坏性电流的通过导致滚道及/或滚动体上形成凹槽	41

表1d

症状D: 轴移动过大

可能原因	解决方案代码
松动	
• 轴上内圈松动	30
• 轴承座内外圈过松	31
• 轴承未适当夹紧到轴上或轴承座内	32
表面损坏	
• 润滑不足导致磨损	1, 2, 3, 4
• 疲劳导致滚道及/或滚动体上发生剥落	37
• 坏导致滚道及/或滚动体上发生剥落	38
轴承内部游隙不正确	
• 轴承安装游隙不正确	11
• 轴承未适当夹紧到轴上或轴承座内, 轴向串动过大	33

表1e

症状E: 转动轴时摩擦力矩过大

可能原因	解决方案代码
预紧轴承	
• 更换轴承时选择的游隙错误	11
• 轴材料的膨胀大于轴承钢 (例如不锈钢) 的膨胀	12
• 轴和轴承座温差过大	13
• 圆锥形轴颈过紧	14
• 轴或轴承座失圆严重 — 轴承被夹持	15
• 轴及/或轴承座过盈配合过紧	16, 17
• 预载荷过大 — 安装 (预载荷) 不当	26
密封问题	
• 轴承座密封太紧或其他部件干涉了密封	5
• 一个轴承 (轴承座) 内有多个密封	6
• 外部 (轴承座) 密封不对中	7
• 密封润滑不当	9
表面损坏	
• 疲劳导致滚道及/或滚动体上发生剥落	37
• 表面起源型损坏导致滚道及/或滚动体上发生剥落	38
• 破坏性电流的通过导致滚道及/或滚动体上形成凹槽	41
设计	
• 轴肩及/或孔肩与轴承配合面不垂直	43
• 轴肩太大, 堵塞了密封/防尘盖	44

故障情况及其解决方案

针对轴承故障的常见症状, 第16页表2给出了一些实际的解决方案。

警告:

为降低重伤风险, 请在开始任何工作之前按要求停机/挂牌。

注意: 直接接触石油产品可能会导致过敏反应! 处理润滑剂之前, 请阅读材料安全数据表及所有指示和警告! 工作时要一直配戴安全手套。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

<p>1</p> <p>正常油位</p> <p>油位过低</p>	<p>润滑不足</p> <p>脂润滑</p> <p>首次注脂或启动期间的注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 润滑脂应100%填满轴承, 并且达到轴承座中的轴底部1/3至1/2处。 • 如果轴承座中轴承旁边的空腔很小, 可能需要稍微减少润滑脂填入量, 以避免搅油而过热。 <p>运行期间采取的措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 检查密封件是否磨损、损坏或存在泄漏。 <p>补充润滑期间采取的措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 确保补充润滑间隔时间合适 (不要过长)。 • 确保新润滑脂进入轴承。 <p>油浴润滑</p> <p>首次注油、补充注油或静止期间的注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 在静止状态下, 油位应达到最底部滚动体的中部。 <p>运行期间采取的措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 确保轴承座通风正常, 以免产生反向压强, 否则会导致自动润滑器故障。 • 检查密封件是否磨损、损坏或存在泄漏。 • 检查剖分式轴承座是否存在泄漏, 并在必要时涂抹一层薄薄的黏胶填料。
<p>2</p> <p>油位过高 润滑油流失</p> <p>正确油位</p>	<p>润滑过多</p> <p>润滑过量可能导致搅油和温度升高。</p> <p>脂润滑</p> <p>首次注脂或启动期间的注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 润滑脂应100%填满轴承, 并且达到轴承座中的轴的底部 (1/3至1/2)。 • 如果轴承座中轴承旁边的空腔小, 可能需要稍微减少润滑脂的填入量, 以免发生搅油而过热。 <p>运行期间采取的措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 检查润滑脂是否可以通过密封件或排放孔排出。。润滑脂溢出阀可以避免施加过量的润滑脂。 • 检查密封件方向是否正确, 方向正确时, 可使多余的润滑脂排出, 同时阻止污染物进入。 • 确保补充润滑间隔不要太短。 • 确保补充润滑时润滑脂用量正确。 <p>油浴润滑</p> <p>措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 在静止状态下, 确保油位达到最低部滚动体的中部。 • 检查回油孔是否堵塞。 • 在所有轴承座上安装油观察镜, 以便快捷地检查轴承座中的油位。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

3



错误的润滑剂

措施:

- 查看应用场合, 确定特定工作条件下所需基础油粘度(润滑脂和润滑油)和稠度(润滑脂)
- 金属间接触会导致过热和过早磨损, 最终导致较大噪声。
- 检查润滑脂或润滑油从一种类型变换到另一种类型时的兼容性。
- 检查润滑脂稠度。
- 检查工作粘度。

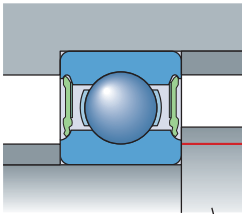
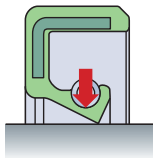
4

错误的润滑系统

措施:

- 查看工作速度并测量工作温度。
- 确定是否使用了合适的润滑系统。
- 将润滑脂换成润滑油。
- 将油浴润滑变成循环油润滑是一个简单的解决方案。
- 在现有油润滑系统中加入辅助冷却器也可以避免许多与热量有关的问题。
- 有关特定要求, 请咨询SKF或设备制造商。
- 请参考制造商提供的产品指南中所述的额定转速。SKF参考值和转速限值可登陆www.skf.com/bearing获得。

5



正确高度

轴承座密封过紧

措施:

- 更换一个正确的弹簧张紧力的密封件也可以对轴进行机加工, 获得当前弹簧合适的所需的正确张紧力。
- 确保密封件得到正确的润滑。
- 检查密封件唇有无磨损。
- 毛毡密封件安装前应浸泡在热油中。

其他干涉轴承密封的部件

措施:

- 检查与密封件相邻的部件:
 - 挡肩高度 (见www.skf.com/bearings)
 - 如果出现轴热膨胀, 可以调节轴向位移。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

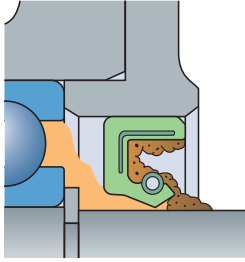
<p>6</p> 	<p>轴承 (轴承座) 配置中有多个密封件</p> <p>注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 如果使用多个接触式密封件来防止污染物进入, 摩擦和热量将会增加。 • 在增加额外的密封件之前, 考虑轴承和润滑剂的热影响。 • 此外, 还要考虑设备因摩擦阻力增加而需要额外功率。
<p>7</p> 	<p>外部 (轴承座) 密封见不对中</p> <p>装配期间的注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 轴相对于轴承座的任何不对中可能导致非接触式密封件或间隙式密封件产生摩擦, 这种情况会导致温度升高、噪声增加并加快初始磨合期的磨损, 这也会影响密封件性能。 <p>措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 检查对中情况并根据需要进行相应调整。 • 如果无法避免不对中情况, 可能需要增大外部密封件之间的游隙或间隙。
<p>8</p>  <p>接触式密封</p>	<p>运行速度对于轴承接触式密封件来说过高</p> <p>注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 密封唇具有速度限值。如果运行速度超过这个限值, 将导致密封唇损坏和润滑脂泄漏。 • 如果运行速度已增大或使用了具有不同密封件的轴承, 检查轴承密封件是否适合运行速度。 • 接触式密封件将比低摩擦密封件、防尘盖或开式轴承产生更多的热量。
<p>9</p> 	<p>密封件未得到正确润滑</p> <p>注意事项:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 在无油的情况下运行接触式密封件会显著增加系统热量。 <p>在装配期间采取的措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 确保密封件在新设备或改造设备启动时得到正确的润滑。 (毛毡密封件安装前应浸泡在热油中。) <p>运行期间采取的措施:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 通常, 轴承座中的润滑剂将向外甩向密封件, 并自动润滑它们。 • 经过正确的润滑剂的密封件运行温度较低并形成有效的密封, 因为接触面之间的间隙将充满润滑膜。 • 此外, 适当润滑还可以防止密封件过早磨损。 • 检查密封有无磨损或损坏。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

10



密封件安装方向错误，-润滑脂不能排出

装配期间的注意事项：

- 视为应用场合而定，接触式密封件需要朝着特定的方向，以便排出润滑剂或放在润滑油泄漏。

措施：

- 检查应用图纸或联系设备制造商以确定设备密封件的正确安装方向。

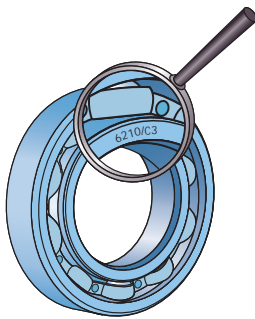
运行期间的注意事项：

- 密封唇朝外通常允许排出多余的润滑剂并防止污染物进入。

措施：

- 密封件必须朝着正确的方向，以防止润滑脂保留在轴承内并防止污染进入轴承。

11



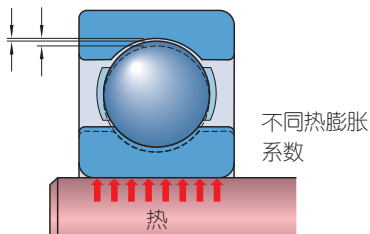
未正确选择轴承的原始内部游隙

措施：

- 检查包装确保新轴承的内部游隙符合原始设计规格。
- 如果轴承在更换之后过热，或应用场合需要更大的游隙，请联系SKF应用工程服务部门，以了解游隙增大对设备和轴承的影响。
- 检查所有尺寸，因为组件磨损会影响轴承游隙。

12

游隙减小量



轴（和轴承座）材料的膨胀大于轴承钢

重新设计或再制造期间的注意事项：

- 在某些情况下，可以改变轴和轴承座材料，如采用不锈钢以符合食品行业规定，或使用铝轴承座以减轻设备重量。
- 当轴材料的热膨胀系数高于轴承钢时，径向游隙会进一步减小。因此，对于特定不锈钢材料（300系不）需要稍松的轴配合，或者需要具有更大的径向游隙的轴承，例如CN至C3、C3至C4）。
- 如果轴承座材料（如铝）的热膨胀系数比轴承钢高，则需要采用稍紧的配合以防止外圈在轴承座内转动。

措施：

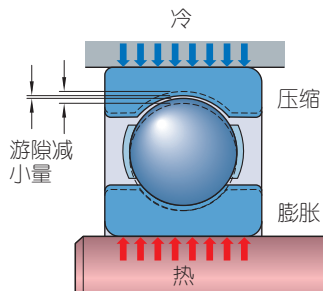
- 在这两种情况下，可能需要计算新轴或轴承座材料对轴承内部游隙的影响，并相应更换轴承。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

13



轴和轴承座之间温差过大

设计期间的注意事项:

- 由于设计原因，轴承配置中的内圈温度通常高于外圈温度。例如，电机中的轴较热，导致内圈膨胀，而外圈位于电机外壳中，由于外壳具有较大的表面积，利于散热，导致轴承内圈、外圈之间的温差相当显著。

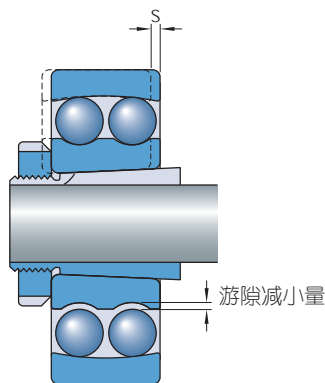
运行期间的注意事项:

- 轴和轴承座温之间较大的温差会减小轴承内部游隙，这可能造成工作游隙过小，甚至产生预紧，导致工作温度升高。

措施:

- 检查最近轴承的轴和轴承座温度。
- 如果可以，选择具有更大内部游隙的轴承，避免产生预紧，例如CN至C3、C3至C4等。

14



在圆锥形轴颈上的推进量过大

安装期间注意事项:

- 在圆锥形锥颈（轴或轴套）上安装圆锥孔轴承时，会减少轴承内的径向游隙。

运行期间注意事项:

- 推进量“s”过大会导致过小内部游隙，甚至产生预载荷，这会导致更高的工作温度。
- 推进量“s”过大会导致轴承中产生过高的环向应力，导致内圈出现断裂。

措施:

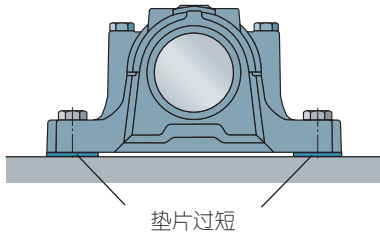
- 自调心球轴承: 安装到轴上后，检查外圈是否容易转动。如果不能，卸下轴承，然后重新安装。
- 球面滚子轴承和CARB圆环滚子轴承: 在安装后，比较最终的游隙和原始轴承游隙。有关游隙减小量的最大值，请参阅SKF产品型录《滚动轴承》或《SKF轴承维护和保养手册》，计算游隙减量的最大值。如果没有足够游隙，卸下轴承，重新安装。
- 为了正确安装，对于自调心球轴承，请使用SKF液压推进法或测量锁紧角度法。对于球面滚子轴承和CARB圆环滚子轴承，实践证明，SKF液压推进法是一种十分简便的方法，无需使用塞尺就可以得到正确的工作游隙。对于非常大的轴承，请使用SensorMount安装法。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

15



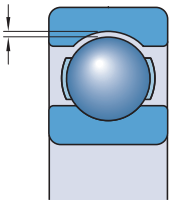
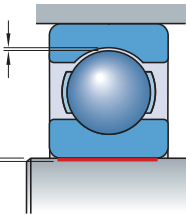
轴承座安装在不圆的组件上

运行期间的注意事项:

- 轴承外圈装在不圆或变形(椭圆夹紧/紧固),会导致游隙减小或形成预紧,并使运行温度升高。
- 这种情况的典型特性是外圈上的两个承载区相隔180°。
- 椭圆型夹紧(紧固)限制浮动端轴承的轴向移动并引起较大的轴向载荷。

措施:

- 检查支撑面是否平整,避免出现软脚。任何垫片都应覆盖整个轴承座基座整个区域。
- 确保轴承座支撑面的刚度足以避免挠曲。
- 检查轴颈和轴承座孔的圆度(椭圆度)。如有必要,进行修复。

16 安装前
游隙安装后
游隙

配合



轴过盈配合过紧或轴颈直径过大

设计期间的注意事项:

- 轴承内圈和轴颈之间的过盈配合将使内圈膨胀并减小轴承内部游隙。
- 如果配合过紧,可能会导致轴承中的工作游隙过小,甚至产生预紧,这将导致轴承运行过热。

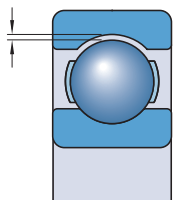
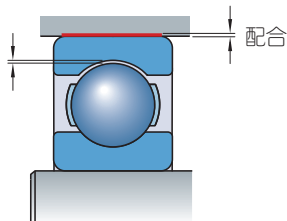
措施:

- 检查安装后的轴承内部游隙是否正确。
- 如果轴是新的轴或翻新的,仔细检查轴颈的尺寸和形状精度。
- 在采取纠正措施之前,检查轴承座孔的尺寸。
- 如果所有尺寸都符合规格,可能需要具有更大内部游隙的轴承。
- 请注意,轴上和轴承座中的过盈配合可能导致工作游隙过小。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

17 安装前
游隙安装后
游隙

轴承座过盈配合过紧或轴承座孔直径过小

设计时需考虑的因素:

- 轴承外圈和轴承座之间可能需要过盈配合,但这种配合会导致外圈压缩,轴承内部游隙减小。
- 如果配合太紧,可能会导致轴承工作游隙过小,甚至产生预载荷,进而导致轴承工作温度升高。

措施:

- 检查轴承内部游隙是否正确。
- 对于新轴承座或翻修后的轴承座,仔细检查轴承座孔,确保其尺寸和形状符合相关精度要求。对轴承座进行再次研磨,达到合适的配合度。如果不能进行再次研磨,使用内部游隙较大的轴承。
- 注意轴承与轴或轴承座的过盈配合很有可能导致轴承工作游隙过小。
- 注意在内圈旋转载荷的作用下,轴承座的过盈配合会使“自由”轴承固定,引起轴向载荷和过热。

18

应用参数变化导致轴承载荷过大

重新设计或翻修时需考虑的因素:

- 增加轴承外部载荷会使轴承内产生更多热量。
- 载荷增大会降低轴承的使用寿命。
- 因此,若对设计进行了变更,应检查载荷并确保载荷没有增加。

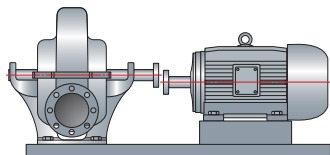
示例:

- 将联轴器驱动改为皮带驱动。
- 将联轴器改为皮带轮。
- 增大设备转速。

措施:

- 设备性能的变更应由原始设备制造商审查。

19



两个部件之间的位移偏差

安装时需考虑的因素:

- 两个轴承座不在一条直线上(横向或纵向)。
- 这将导致轴承和密封上产生额外载荷,增加摩擦和温度,降低轴承、密封以及润滑剂的使用寿命。

措施:

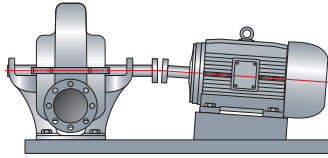
- 利用适当设备使轴承座对中,然后再使用垫片重新进行纵向对中。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

20



两个装置的角度不对中

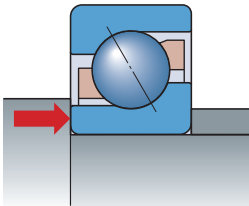
安装时需考虑的因素:

- 两个支撑面没有对中, 二者之间有夹角。
- 这将导致轴承和密封上产生额外载荷, 增加摩擦和温升, 降低轴承、密封以及润滑剂的使用寿命。

措施:

- 使用恰当的工具和垫片使轴承座对中。

21



轴承安装反向, 导致角接触球轴承卸载。

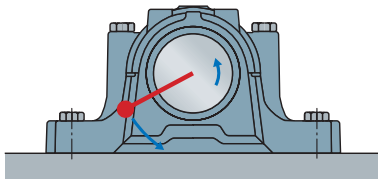
安装时需考虑的因素:

- 有方向性的轴承必须以正确方向安装才能保证功能正常。
- 例如: 单列角接触球轴承只能承受一个方向的轴向载荷。如果轴承安装反向, 轴向载荷会施加到内圈薄挡肩侧上, 这将损坏轴承, 使轴承产生更多热量, 导致轴承过早失效。

措施:

- 安装/装配时要确保轴向载荷施加在厚挡肩侧。

22



不平衡工况

运行时需考虑的因素:

- 载荷不平衡会产生外圈旋转载荷, 这将显著增加轴承产生的热量, 同时还会增加轴承上的载荷。

措施:

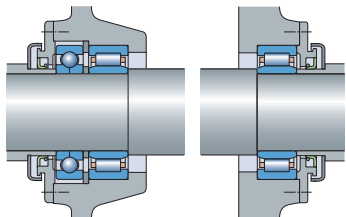
- 检查转子有无灰尘/污染物堆积。
- 设备重新做动平衡。
- 注意轴承座孔太大也会导致振动及外圈蠕动(旋转)。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

23



轴承固定不当

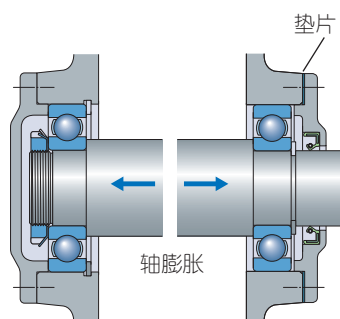
设计或安装中需考虑的因素:

- 在有些应用中, 固定端轴承配置包括一个径向轴承和一个推力轴承。
- 如果径向轴承轴向被固定, 它将承受轴向载荷, 产生过重的联合载荷, 进而导致温度过高, 并且可能导致轴承过早失效。
- 如果轴向轴承径向被固定, 它将承受径向载荷, 产生较重的或过重的联合载荷, 这将导致温度过高, 轴承可能提前失效。

措施:

- 确保径向轴承不承受轴向载荷, 推力轴承不承受径向载荷。为防止推力轴承外圈旋转, 应设计一个止动装置, 例如, 四点接触球轴承外圈上通常带有止动槽。

24



轴承交叉定位, 轴无法膨胀

设计或安装中需考虑的因素:

- 如果轴承交叉定位并且轴的膨胀受到过大限制, 两个轴承中将会产生轴向载荷。
- 这种载荷会导致过多的工作温升, 以及摩擦力矩增大。
- 这种载荷可能会很大, 可能导致轴承过早疲劳剥落。

措施:

- 在轴承座和端盖之间插入垫片, 使端盖和外圈端面之间保留足够的间隙, 从而避免轴承产生轴向预紧力。
- 确定了轴的预计热伸长量, 才能确定轴承外圈端面 and 轴承座端盖之间所需的间隙。

25



拖尾失效是由于载荷不足, 发生滚动体打滑

设计时需考虑的因素:

- 为了实现轴承良好运行, 避免拖尾现象, 所有的球轴承和滚子轴承必须承受一定的最小载荷 (见www.skf.com/bearings)。
- 如果不能满足最小载荷要求, 会发生打滑现象, 这会产生过热和噪声。润滑脂过硬也会造成该问题, 尤其是在非常寒冷的环境中。

措施:

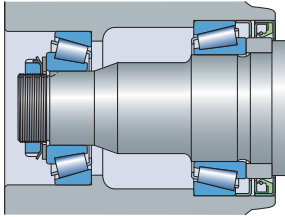
- 可以施加额外的外部载荷, 例如在外圈端面上设置外部弹簧装置。
- 还可以选择使用内部游隙不同的轴承或者不同类型的轴承。
- 减小轴承的尺寸也是一个解决方案。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

26



轴承调整导致预载荷过大

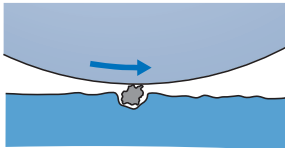
安装时需考虑的因素：

- 当调整轴承的轴向游隙或预载荷时，调整装置（锁紧螺母）拧得太紧会导致预紧力过大，工作温度过高。
- 预载荷过大还会增加轴承内的摩擦力矩。示例：轴两端各有一个圆锥滚子轴承或角接触球轴承。

措施：

- 与设备制造商确认设置轴向游隙或预紧力的正确安装步骤。
- 在调整过程中及调整完成后，使用千分表测量轴的轴向位移。

27



固体污染物进入轴承，在滚动表面上形成压痕

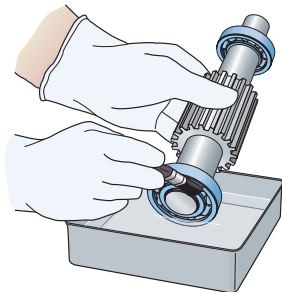
运行时需考虑的因素：

- 污染物会损坏轴承接触面，增大噪声和振动水平。某些情况下，还会使温度升高。

措施：

- 检查密封装置，确认如下事项：
 - 使用了正确的密封。
 - 密封安装正确。
 - 密封无磨损、损坏或润滑剂泄漏。
- 可能需要缩短补充润滑间隔。多次少量地补充新润滑脂有助于清除轴承或轴承座内受污染的润滑脂。
- 考虑将开式轴承换成密封轴承。

28



制造过程或先前失效的轴承导致轴承座内留有固体污染物

清洁或安装时需要注意，并关注润滑剂的清洁度：

- 轴承接触面上的压痕，可能是由先前的故障、齿轮等部件的磨损或受污染的润滑剂导致有固体污染物遗留在轴承座内引起。
- 这种情况会导致温度升高、噪声和振动水平增大。

措施：

- 清理所有毛刺，确保所有机加工面平滑。
- 在安装新轴承之前，彻底清洁轴承座及其中的部件。
- 确保使用清洁、不带任何污染物的润滑剂。（润滑脂容器应密闭且正确存储。）

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

29



液体污染物降低润滑剂粘度

安装或润滑时需注意, 并关注密封方面:

- 液体污染物会降低润滑剂粘度, 导致金属表面间接触。
- 此外, 还会导致轴承接触面生锈。
- 这些情况会导致温度上升、磨损加剧、噪声增大。

措施:

- 检查轴承座密封, 确保它们可以有效阻止液体污染物进入。也可以考虑使用密封轴承。
- 可能需要缩短补充润滑间隔。多次少量地补充新润滑脂有助于清除轴承或轴承座内受污染的润滑脂。

30



内圈在轴颈上蠕动(旋转)

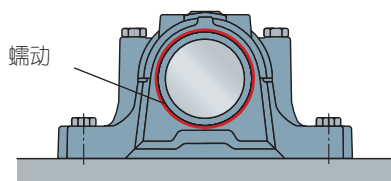
配合或蠕动方面的考虑因素:

- 大部分应用中都是轴旋转, 且轴上的载荷是单向的。这种载荷被视为内圈旋转载荷, 要求内圈与轴是紧(过盈)配合, 以防止相对移动。轴承良好运行很大程度上依赖于恰当的配合。
- 但是, 如果轴颈尺寸太小或有磨损, 内圈就会在轴颈上蠕动或旋转。
- 这将导致噪声增大、振动增强、磨损加剧。

措施:

- 对轴颈进行表面金属处理并磨到合适的尺寸。

31



外圈在轴承座孔内蠕动(旋转)

轴承座孔磨损或尺寸过大

配合或蠕动方面的考虑因素:

- 大部分应用的轴承座都是静止的, 且轴承座上的载荷是单向的。这种载荷被视为外圈静止载荷, 大部分情况下, 外圈采用间隙配合能恰当定位。
- 但是, 如果轴承座孔过大或有磨损, 外圈就会在轴承座孔内蠕动或旋转。
- 这将导致噪声增大、振动增强、磨损加剧。

措施:

- 对轴承座孔进行表面金属处理并磨到合适的尺寸。
- 对于大型轴承座, 加工扩大轴承座孔, 并加衬套使用, 也是一个解决方案。

载荷不平衡

配合或蠕动方面的考虑因素:

- 即使配合适当, 轴不平衡产生的载荷也会导致外圈蠕动。

措施:

- 消除导致不平衡的因素。
- 设备重新做平衡。

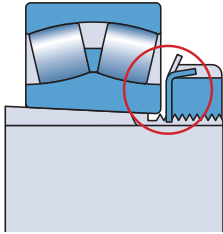


故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

32



轴或紧定套上的轴承锁紧螺母松动

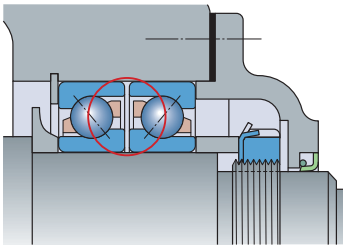
安装时需考虑的因素:

- 锁紧螺母松动会导致轴承松动。
- 这将导致内圈在轴颈上蠕动(旋转)。
- 这种情况会导致轴承产生更大的噪声、更多的热量,还会导致轴承定位不良。

措施:

- 拧紧螺母,使内圈处于合适位置(轴承内部游隙适当)。
- 安装结束后,确认锁紧螺母已锁紧(如使用锁紧垫圈舌片卡紧)。

33



轴承和配合部件未夹紧

安装时需考虑的因素:

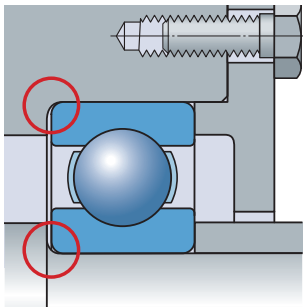
- 如果轴承和相邻部件没有正确夹紧,可能达不到所需的内部游隙或预紧力。
- 这种情况会导致噪声增大,对轴承性能产生不良影响。

示例:

- 一套配对的角接触球轴承没有正确夹紧。
- 这将导致配对轴承的轴向游隙增大,进而导致球滚动体滑动损坏(拖尾现象)、噪声增大和润滑问题。
- 轴承未正确夹紧还会影响轴定位。

措施:

- 确保锁紧装置使两个轴承顶在轴肩或隔圈上准确定位。



倒角(圆角半径)过大

安装时需考虑的因素:

- 如果相邻部件的倒角过大,轴承将无法得到合理支撑。
- 这种情况会导致轴承套圈变形。
- 轴承无法获得恰当的内部游隙(预紧力)。

措施:

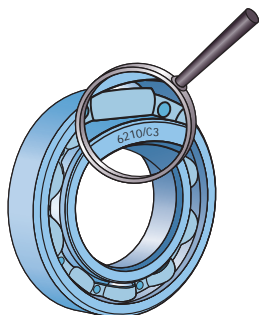
- 对倒角进行机加工,获得合理支撑。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

34



轴承内部径向或轴向游隙过大

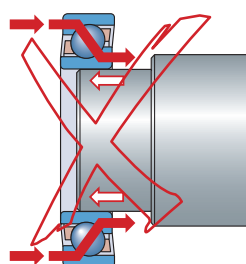
运行时需考虑的因素:

- 因为滚动体在载荷区外处于自由状态, 轴承内部过大的径向或轴向游隙, 会导致噪声增大。
- 此外, 游隙过大会增加滚动体打滑的可能, 对轴承性能产生不良影响。

措施:

- 使用弹簧或波形垫圈可提供恰当的轴向载荷, 使滚动体一直处于受载状态 (主要应用于球轴承)。
- 检查轴承所需初始游隙, 并视情况调整游隙。

35



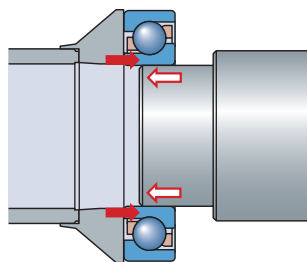
冲击载荷导致滚动表面上形成压痕 (安装方法不正确)

设计时需考虑的因素:

- 大部分轴承需要在与轴或轴承座过盈配合情况下安装。

安装时需考虑的因素:

- 当以过盈配合方式安装轴承套圈时, 安装力应加在需要安装的轴承套圈上。不允许安装力通过滚动体传递, 因为这将导致滚道面或滚动体上形成压痕。
- 这种损坏会导致噪声增大、振动增强、温度上升。
- 轴承可能会提前失效。



措施:

- 更换轴承。
- 安装时, 禁止直接锤击轴承的任何部分。务必使用安装套筒。
- 检查安装程序, 确保没有通过滚动体施加安装力。
- 使用轴承安装工具。(SKF轴承安装工具包非常适合小型轴承。)

36



振动导致滚动表面出现伪布氏压痕

运行时需考虑的因素:

- 当某一设备静止时, 从其他设备传递过来的振动会导致该设备轴承滚道面上出现伪布氏压痕。这种损坏通常出现在载荷区, 特点是滚道面上会出现与滚动体等间距的凹坑。
- 这个常见问题将导致备用设备产生噪音, 无法继续使用。

措施:

- 定期转动备用设备的轴, 使受振动的影响最小化。
- 彻底的解决方法是将设备与振动源隔离, 但这种方法有时候做不到。

故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

37

**材料疲劳导致滚动表面出现剥落**

运行时需考虑的因素：

- 优质的滚动轴承很少出现单纯材料疲劳。
- 发生疲劳剥落的原因通常是出现了导致轴承高应力的异常工况 (例如不对中、椭圆形夹紧 (挤压) 等) 或者材料有缺陷 (例如材料内有异物或者钢质量不良)。

措施：

- 只使用优质轴承。
- 检查受损轴承是否有不对中情况。如有必要，重新对中。
- 检查受损轴承是否存在椭圆形夹紧 (挤压) 情况。如有必要，修理并加工轴承座。

38

**表面疲劳导致滚动表面出现剥落**

运行时需考虑的因素：

- 润滑不良导致滚动表面之间发生金属与金属接触。
- 其原因包括但不限于：工作温度下润滑剂的粘度过低、出现磨损颗粒以及污染物侵入。

措施：

- 检查润滑剂的工作粘度，考虑实际运行工况。
- 考虑进行更频繁的补充润滑，去除磨损颗粒。
- 检查密封装置的状况。

表面损伤导致滚动表面出现剥落

安装或运行时需考虑的因素：

- 表面引起的损坏包括冲击形成的布氏压痕、振动形成的伪布氏压痕、水蚀、颗粒物压痕、电蚀坑等。

措施：

- 确认损坏原因并采取相应措施，例如避免安装过程中通过滚动体传递的冲击、更换密封防止污染物进入设备合理接地等。



故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

39

**化学品或液体污染物(水、酸、气体或其他腐蚀性物质)导致滚动表面腐蚀**

停机时需考虑的因素:

- 蚀刻(腐蚀)发生在设备闲置时,这一问题在脂润滑轴承中最常见。
- 静态腐蚀现象通常呈现与滚动体等间距痕迹。

措施:

- 检查密封系统。
- 通过安装保护罩及/或挡油环升级密封装置。
- 多次少量地补充新润滑脂有助于清除轴承或轴承座内受污染的润滑脂。
- 定期转动轴,使静态腐蚀影响最小化。

40

滚道及/或滚动体上有(微小)碎片

运行时需考虑的因素:

- 滚动表面出现微小碎片(有时称为点蚀)的原因是腐蚀性污染物或漏电流(电腐蚀)。
- 无论是哪种原因,都将导致噪声增大、振动增强。

措施:

- 见解决方案39和41。

41

**滚道及/或滚动体上有凹坑或凹槽**

运行时需考虑的因素:

- 漏电流(电气腐蚀),即电流通过轴承,可能会导致轴承表面出现凹坑。因为这些凹坑很小,在不放大的情况下几乎看不出来。SKF漏电检测笔是一种非接触式仪器,可以检测漏电流。

措施:

- 将相关区域放大500倍至1000倍,以确认凹坑是否存在。

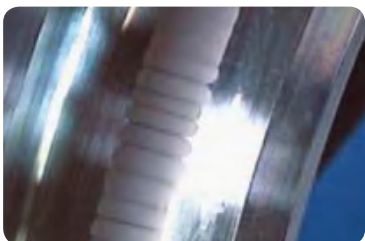
滚动表面的凹槽

运行时需考虑的因素:

- 滚道上的凹槽大多数是破坏性电流通过轴承导致的二次损坏。
- 在少数情况下,运行过程中的振动会形成搓衣板纹。
- 电流通过轴承的原因包括接地、变频器、电缆铺设、电机设计和驱动设备等。

措施:

- 检查设备是否正确接地。
- 如果正确接地后该问题没有解决,可采取其他解决方案,包括使用INSOCOAT绝缘轴承(带绝缘涂层)、混合陶瓷球轴承(采用陶瓷滚动体)或在轴承座孔内使用绝缘衬套。

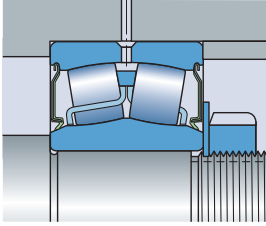


故障情况及其解决方案

解决方案代码

情况/实用解决方案

42



锁紧垫圈舌片弯曲, 影响保持架或轴承密封

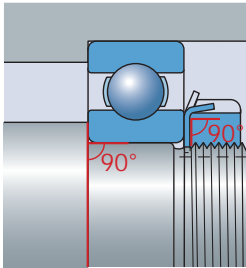
安装时需考虑的因素:

- 有些锁紧垫圈的舌片弯曲, 会影响保持架或密封, 产生噪声、加速磨损和损坏。
- 旧锁紧垫圈可能有一些不太明显的受损的止动舌片或防转舌片, 使用后可能会被剪断。

措施:

- 切勿重复使用锁紧垫圈。
- 使用带内置隔圈的KMFE锁紧螺母可避免这种损坏。也可在轴承和锁紧螺母之间加上一个隔圈。

43



轴肩及/或轴承座孔肩与轴承配合面不垂直

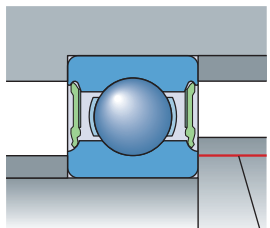
安装时需考虑的因素:

- 轴肩/轴承座孔肩与轴承配合面不垂直会导致轴承套圈变形, 增大轴承内的摩擦力矩, 产生热量。
- 见解决方案19和20。

措施:

- 对部件进行加工, 以获得正确的垂直度。

44



正确高度

轴肩过高, 影响密封/防尘盖性能

安装或运行时考虑加工挡肩:

- 如果挡肩太高, 会影响密封/防尘盖性能。

措施:

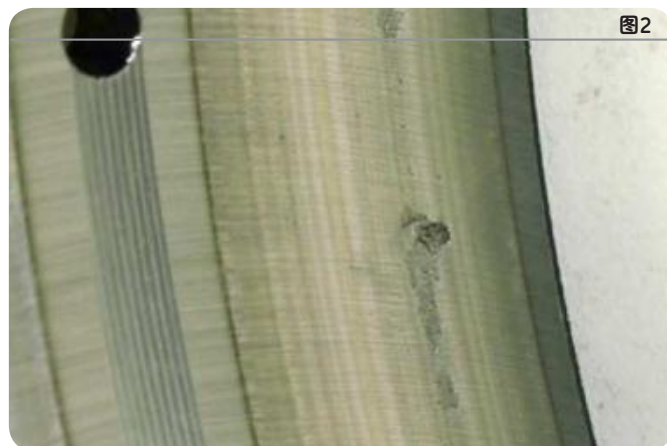
- 检查挡肩直径尺寸是否符合推荐值, 该推荐值可从网址www.skf.com/bearings处获得。
- 对轴肩进行机加工, 为密封/防尘盖留出空间。

3 路径痕迹

全新的轴承看起来非常美观，就像一件艺术品(见图1)。其各个部件的尺寸都非常精确，一般精确至零点几微米。制造过程中已经对各部件及组装起来的轴承整体的尺寸进行了检查确认。轴承内圈、外圈和滚动体等经过打磨的区域呈现金属光泽。

相反，当对已经运行过一段时间的轴承进行检查时，通常会发现以下变化：

- 轴承内外圈滚道(见图2)和滚动体大都暗淡无光，或者某些部位会极其光亮。
- 保持架磨损；
- 内圈内孔或外圈外表面出现蠕变痕迹；
- 内圈内孔或外圈外表面出现微振磨损；
- 滚动体和滚道上出现剥落。



无论轴承损坏程度如何 (轻微或严重), 进行全面的检查可以为确定问题的根本原因提供非常宝贵的信息。进行轴承检查的关键是寻找磨损的“路径痕迹”, 尤其是滚道上的路径痕迹。这种痕迹有可能是“标准”的, 也有可能揭露轴承存在的问题。通常, 路径痕迹有助于确定问题的根本原因。下文对多种典型的滚道路径痕迹进行了介绍。

为了简单起见, 本章仅列举了深沟球轴承和推力球轴承的一些具体实例。对于其他类型的轴承, 路径痕迹可能会因接触区的不同而存在差异, 具体情况取决于轴承类型、配置、载荷以及游隙等因素。图3给出了一些滚道接触区实例。

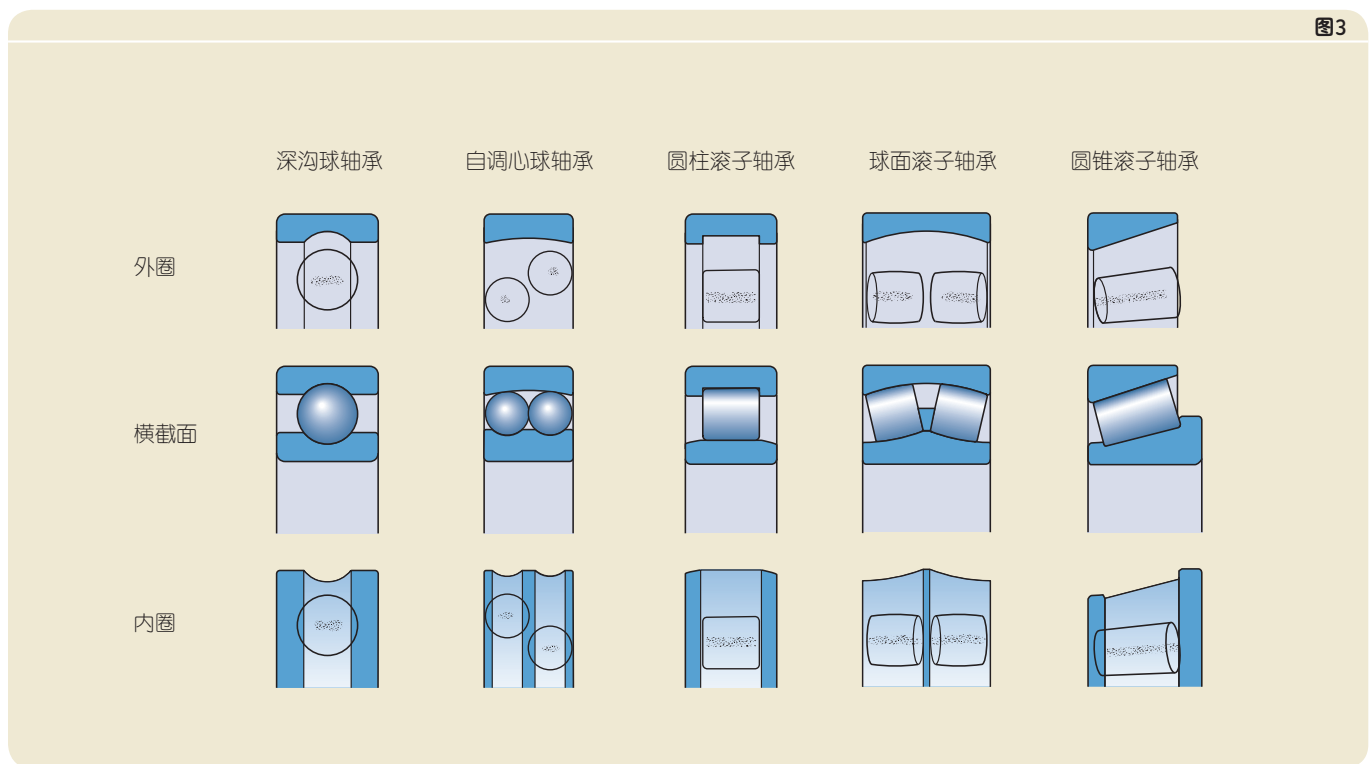


图3

正常滚道路径痕迹

径向轴承 — 单向、恒定的径向载荷

图4所示为径向轴承的载荷分布情况(内圈旋转)。

图中12点钟处的大箭头表示施加在轴上的载荷。四点钟至八点钟处的小箭头表示外圈上的载荷区,并表明了载荷是如何作用在轴承滚动体上的。

内圈旋转

图5解释了施加在旋转轴承内圈上的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到静止外圈上的。

随着轴承内圈的转动,内圈上的各个点会相继进入载荷区。因此,内圈滚道的轴向中心位置会出现贯穿整圈的等宽路径痕迹,我们称之为旋转轴承内圈载荷区。

静止外圈的中心位置会出现不超出载荷区的路径痕迹,我们称之为静止轴承外圈载荷区。外圈载荷区内的载荷分布并不是均匀的。具体而言,沿载荷施加方向的路径痕迹最宽,然后从该点向两侧逐渐变窄。在大部分应用中,轴承运行时存在径向游隙,载荷区约为150°(见图4)。

外圈旋转

图6解释了施加在旋转轴承外圈上的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到静止内圈上的。

随着轴承外圈的转动,外圈上的各个点会相继进入载荷区。因此,外圈滚道的轴向中心位置会出现贯穿整圈的等宽路径痕迹。

静止内圈的中心位置会出现不超出载荷区的路径痕迹。外圈载荷区内的载荷分布并不是均匀的。具体而言,沿载荷施加方向的路径痕迹最宽,然后从该点向两侧逐渐变窄。在大部分应用中,轴承运行时存在径向游隙,载荷区约为150°。

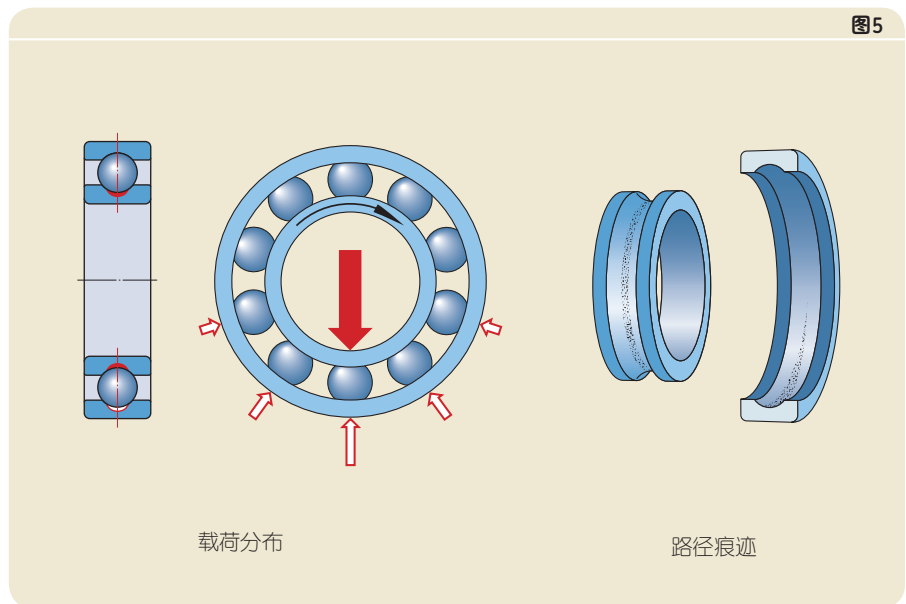


图5

载荷分布

路径痕迹

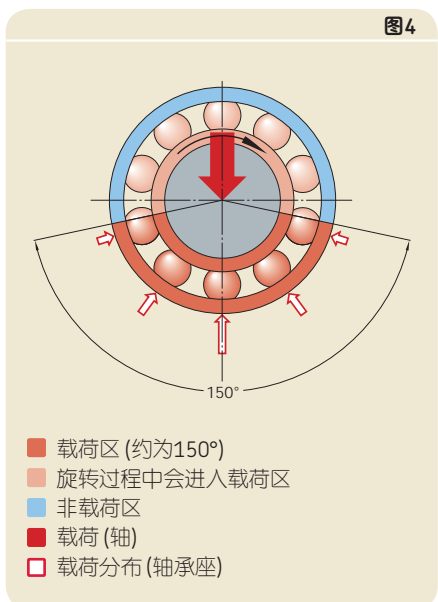


图4

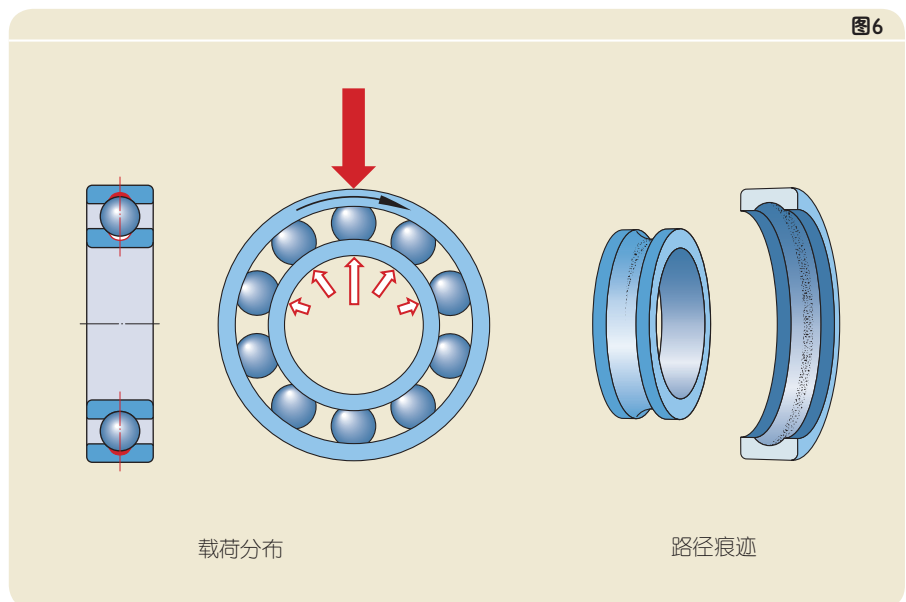


图6

载荷分布

路径痕迹

径向轴承 — 恒定的同步旋转 径向载荷

内圈旋转

图7解释了施加在轴承内圈上且与其同步转动的恒定径向载荷（即，不平衡载荷或偏心载荷）是如何通过滚动体分布到静止外圈上的。

虽然轴承外圈静止，但是其上各点会相继进入载荷区。因此，外圈滚道的轴向中心位置会出现贯穿整圈的等宽磨损路径痕迹。

虽然轴承内圈旋转，但是施加在其上的载荷是固定的。所以轴承内圈上的载荷分布并不是均匀的。具体而言，沿载荷施加方向的中心路径痕迹最宽，然后从该点向两侧逐渐变窄。在大部分应用中，轴承运行时存在径向游隙，载荷区约为150°。

这种情况下的路径痕迹与图6中所示完全相同。

外圈旋转

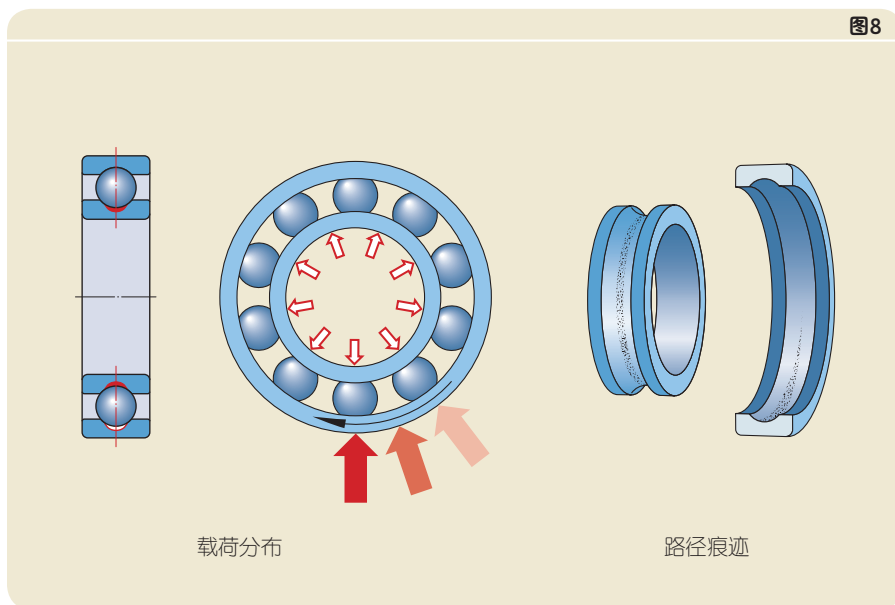
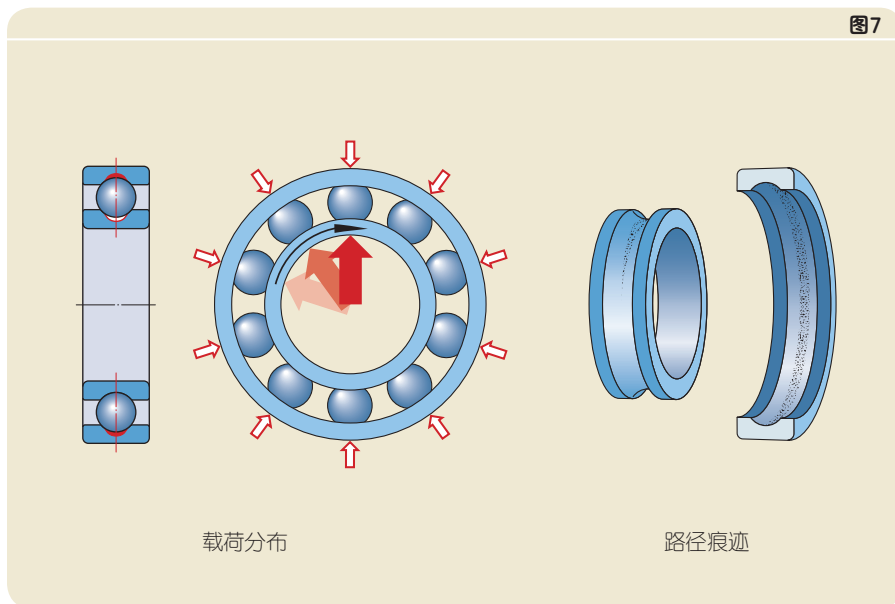
图8解释了施加在轴承外圈上且与其同步转动的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到固定轴承内圈上的。

轴承内圈固定不转，其上各点均位于载荷区内。因此，外圈滚道的轴向中心位置会出现贯穿整圈的等宽路径痕迹。

虽然轴承外圈旋转，但是施加在其上的载荷是固定的。所以轴承外圈上的载荷分布并不是均匀的。具体而言，沿载荷施加方向的中心路径痕迹最宽，然后从该点向两侧逐渐变窄。在大部分应用中，轴承运行时存在径向游隙，载荷区约为150°。

这种情况下的路径痕迹与图5所示完全相同。

3



径向轴承 — 单向、恒定的轴向载荷

内圈或外圈旋转

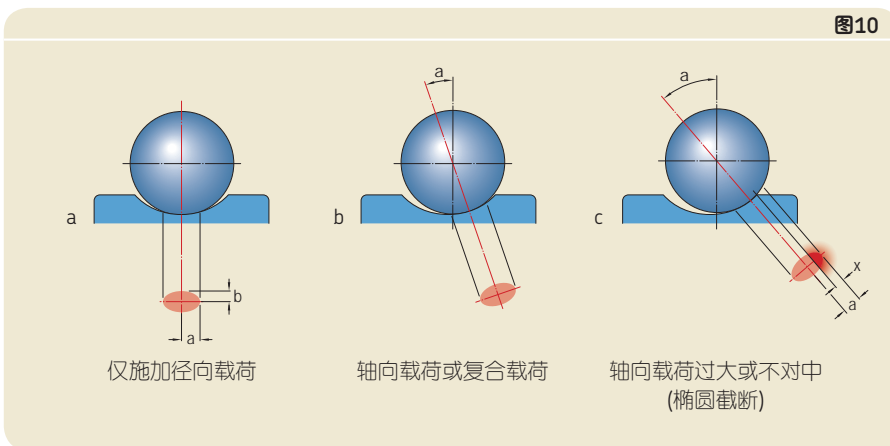
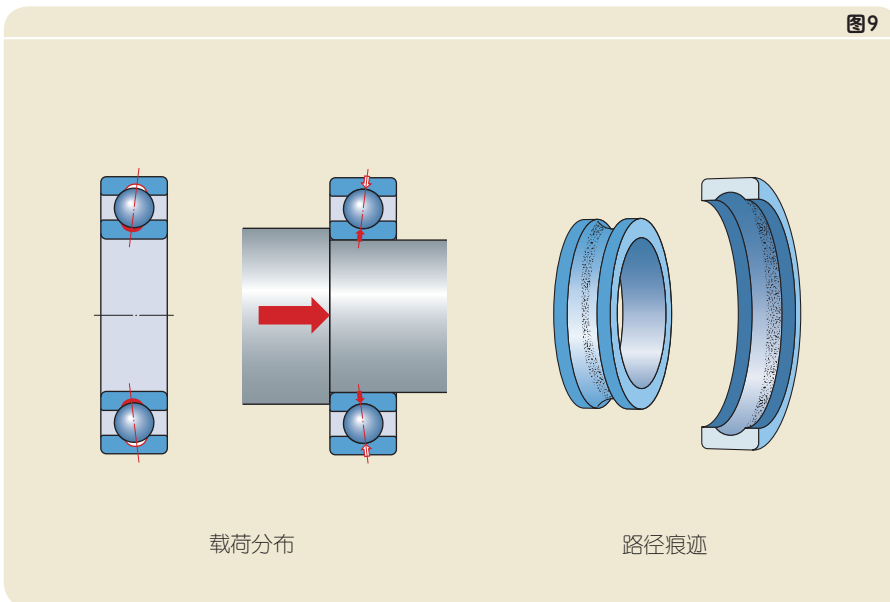
图9解释了施加在轴承上的单向、恒定轴向载荷是如何通过滚动体分布到静止外圈上的。

转动的轴承套圈上会出现贯穿整圈并有轴向位置偏移的路径痕迹。

而静止的轴承套圈上则会出现相反的轴向位置偏移的路径痕迹。当无径向载荷时，静止轴承套圈上的路径痕迹则会变成贯穿整圈的路径痕迹。

在深沟球轴承中，滚珠与滚道之间的接触区呈椭圆形（见图10）。当只存在径向载荷时，椭圆形接触区位于滚道的中心（见图10a）。当轴承承受轴向载荷时，轴承运行时的接触角 α 以及接触区沿着沟槽剖面向轴承套圈边缘移动（见图10b）。

在轴向载荷非常大或存在对中误差时，轴承的荷载情况将会出现部分椭圆接触区不再由滚道支承的情况（见图10c）。这种现象被称为椭圆截断，其会导致接触区应力集中。这种现象会给轴承疲劳寿命和噪声水平产生不利影响。



径向轴承 — 单向、恒定的径向和轴向载荷

内圈旋转

图11解释了施加在轴承上的单向、恒定的径向和轴向载荷是如何通过滚动体分布到静止外圈上的。

轴承内圈上会出现贯穿整圈并有轴向位置偏移的路径痕迹。

虽然轴承外圈静止，但是其上会出现相反的有轴向位置偏移的路径痕迹。轴承外圈上的载荷分布是不均匀的。具体而言，沿径向载荷施加方向的路径痕迹最宽，然后从该点向两侧逐渐变窄。载荷区范围大于仅存在径向载荷时的载荷区，但并不一定为360°。

轴承外圈上的路径痕迹不均匀，具体形式取决于径向载荷与轴向载荷的相对大小：

- 当仅存在径向载荷时，只有一小部分（约150°）的轴承外圈的中心位置会出现路径痕迹（见第34页图5）。
- 当仅存在轴向载荷时，整个轴承外圈上都会出现有轴向位置偏移的路径痕迹（见图9）。
- 当同时存在轴向和径向载荷时，路径痕迹长度介于上述两种路径痕迹的长度之间，具体取决于径向载荷与轴向载荷的相对大小（见图12）。

对于双列轴承来说，复合载荷将会在两列上形成非等长载荷区。承受轴向载荷的一列上会出现较长的固定载荷区。如果轴向载荷足够大，则其中一列滚动体可能会完全不承担任何载荷。

推力轴承 — 单向、恒定的轴向载荷

转动轴圈

图13解释了施加在推力球轴承上的单向、恒定轴向载荷是如何通过滚动体分布到静止轴承座圈上的。轴圈和座圈上均会出现等宽的路径痕迹，路径痕迹贯穿整圈滚道并且与轴承轴线同心。

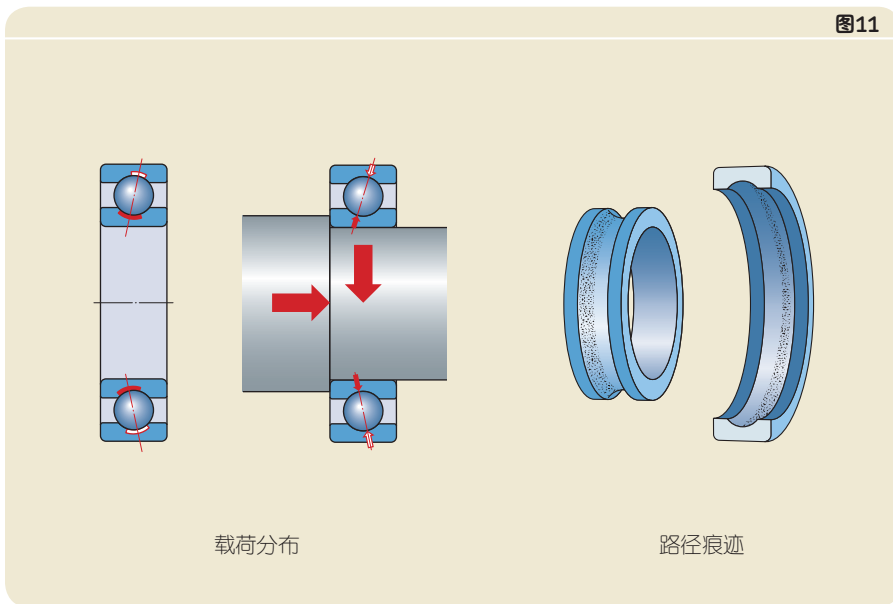


图11

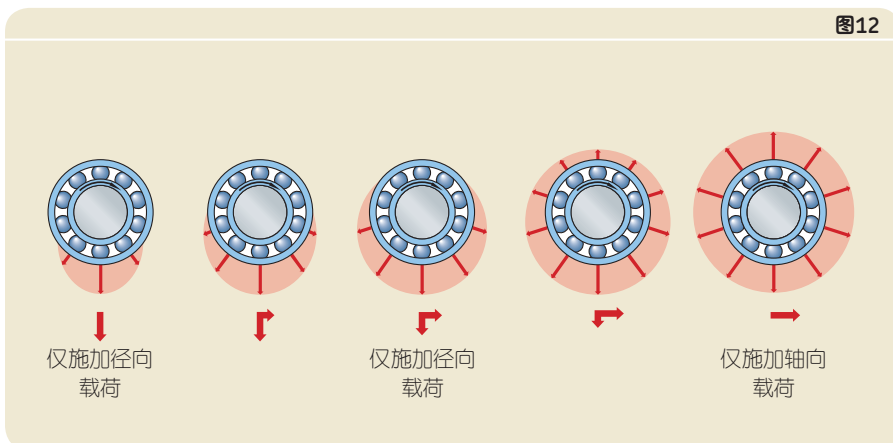


图12

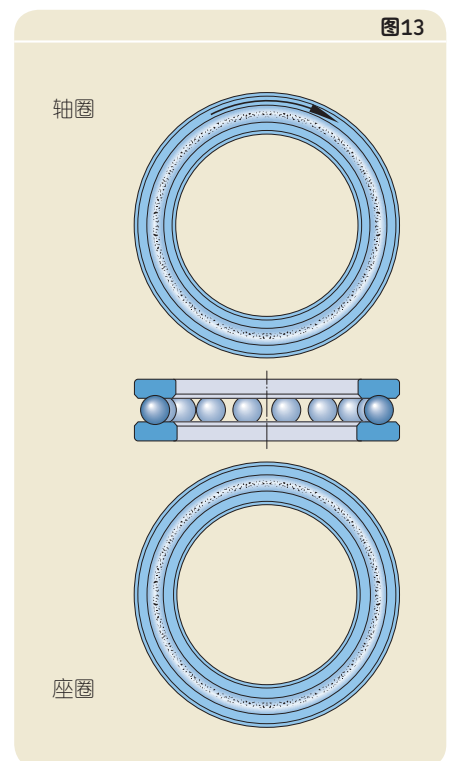


图13

异常运行工况下的滚道路径痕迹

径向轴承 — 单向、恒定的径向载荷

内圈旋转 — 不对中静止外圈

图14解释了施加在旋转轴承内圈上的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到静止、不对中轴承外圈上的。

轴承外圈的中心位置存在等宽的路径痕迹，但路径痕迹宽度大于正常的路径痕迹宽度。

轴承外圈上的路径痕迹从其一侧延伸至另一侧。路径痕迹的宽度和长度取决于对中误差的大小以及轴承的载荷和游隙。路径痕迹长度位于150°到360°之间。

这种情况可能发生在多个轴承的轴承座孔不同心时。

外圈旋转 — 不对中静止内圈

图15解释了施加在旋转轴承外圈上的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到静止、不对中轴承内圈上的。

轴承外圈的中心位置存在等宽的路径痕迹，但路径痕迹宽度大于标准的路径痕迹宽度。

轴承内圈上的路径痕迹从其一侧延伸至另一侧。路径痕迹的宽度和长度取决于对中误差的大小以及轴承的载荷和游隙。路径痕迹长度位于150°到360°之间。

这种情况可能发生在轴挠曲或轴颈不同心时。

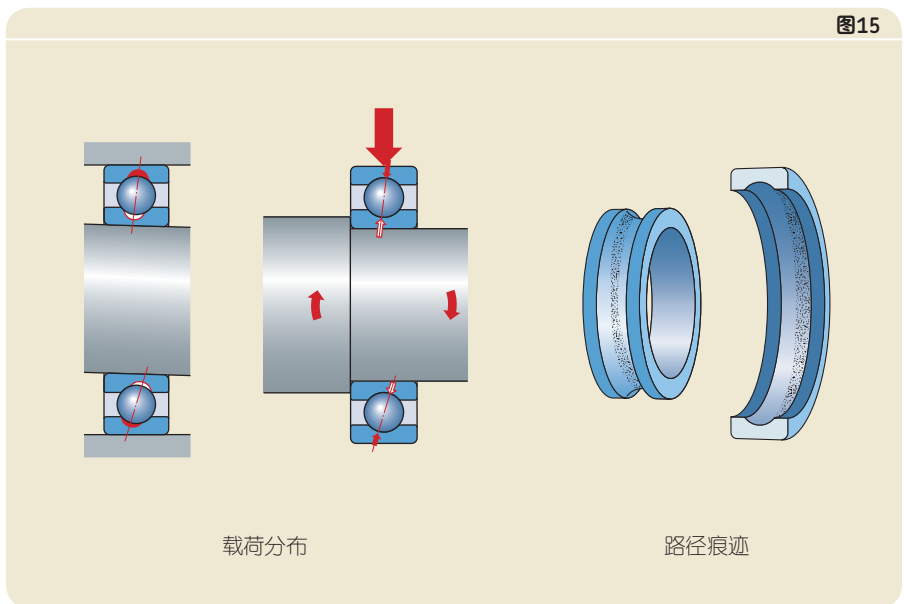
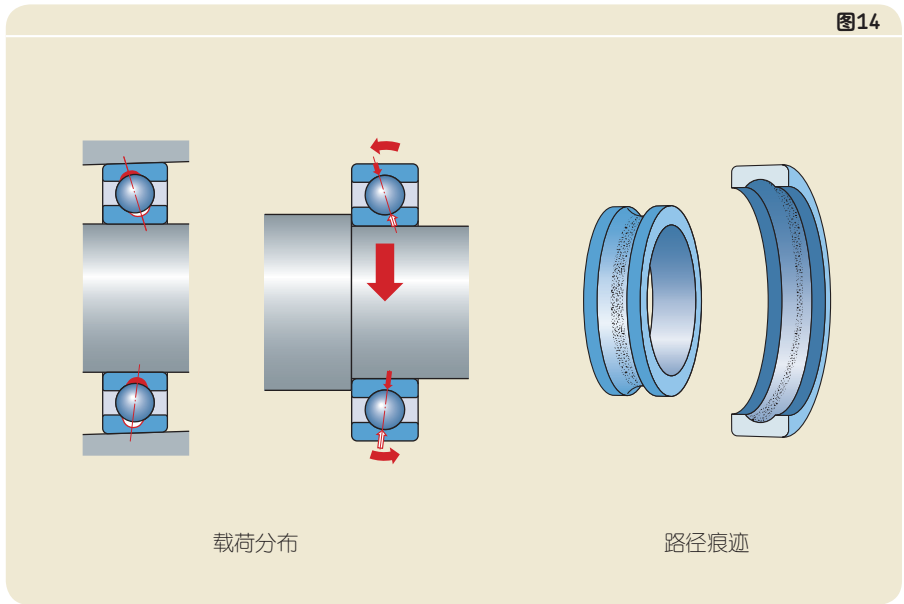


图16

内圈旋转—静止外圈椭圆形夹紧

图16解释了施加在旋转轴承内圈上的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到静止、被夹紧成椭圆形的

轴承内圈滚道中心存在等宽的路径痕迹，但路径痕迹宽度大于正常的路径痕迹宽度。

轴承外圈上存在两个径向相对的路径痕迹(载荷区)。下列任何一项原因都可能导致轴承外圈遭受径向挤压：

- 轴承座安装表面不平；
- 剖分式轴承座的两部分未同心装配；
- 制造误差导致轴承座失圆(在这种情况下可能会存在两个或以上载荷区)；

由于存在多个载荷区，增大了内部载荷及轴承运行温度，从而导致轴承过早损坏或失效。

内圈旋转—预载荷

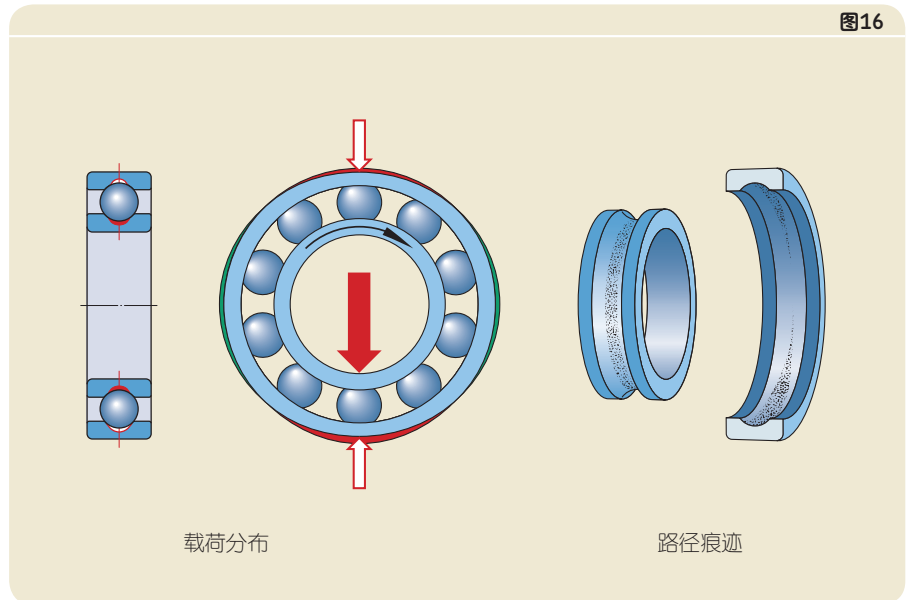
图17解释了施加在径向预加载轴承旋转内圈上的单向、恒定径向载荷是如何通过滚动体分布到静止外圈上的。

轴承内圈滚道中心存在等宽的路径痕迹，但路径痕迹宽度大于正常的路径痕迹宽度。

轴承外圈滚道中心存在等宽的路径痕迹，但由于施加载荷与内部预载荷的组合作用，路径痕迹宽度大于正常的路径痕迹宽度。

这种现象可能是由轴上和/或轴承座内的过盈配合所导致的。如果配合过紧，轴承可能会因为挤压轴承内外圈之间的滚动体而产生内部预载荷。初始游隙过小也有可能

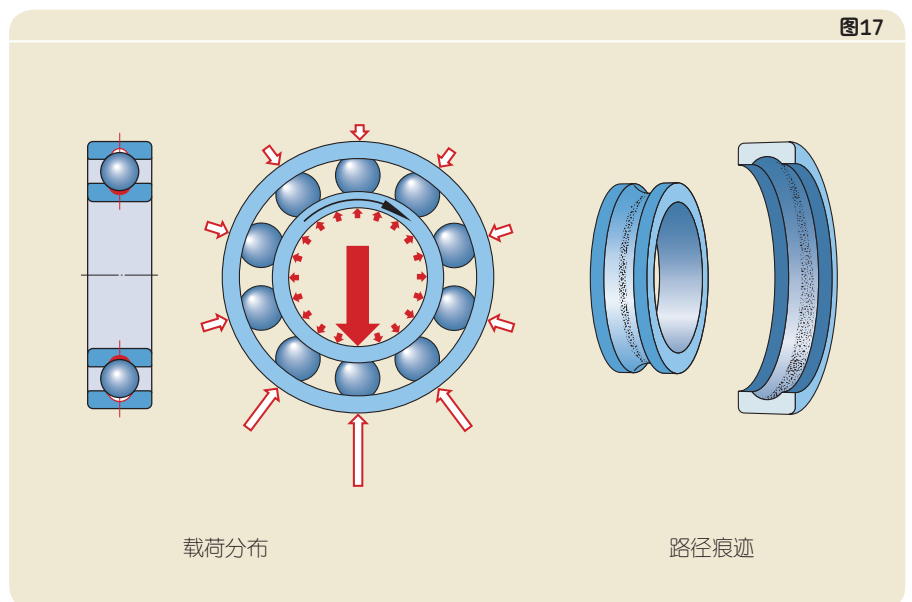
会导致这种问题。另一种可能的原因是轴与轴承座之间的温差过大。这种情况会大大减小轴承的内部游隙。此外，轴和轴承座材料的热膨胀系数不同也有可能



载荷分布

路径痕迹

图17



载荷分布

路径痕迹

推力轴承 — 单向、恒定的轴向载荷

转动轴圈 — 偏心静止座圈

图18解释了施加在推力球轴承轴圈上的单向、恒定轴向载荷是如何通过滚动体分布到静止、偏心座圈上的。

轴圈滚道中心位置存在等宽的路径痕迹,但路径痕迹宽度大于正常的路径痕迹宽度。

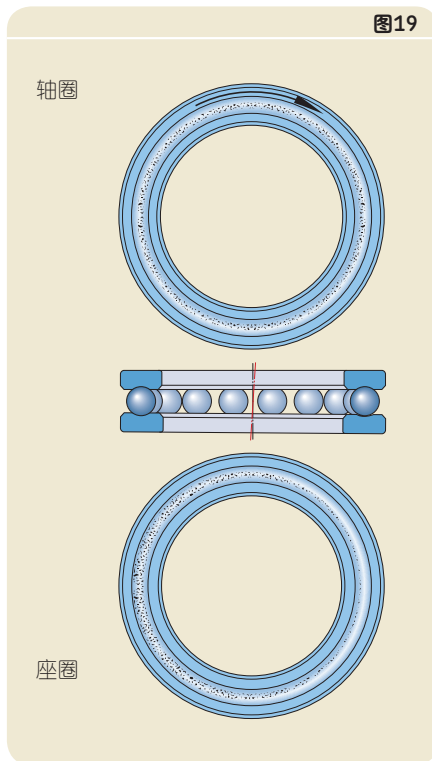
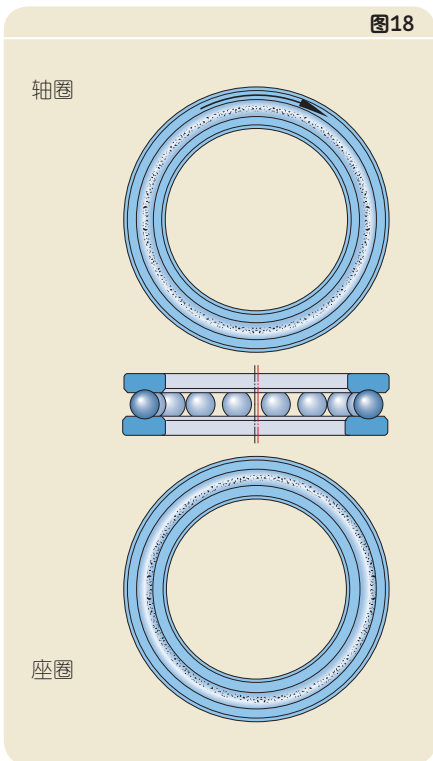
座圈上同样存在等宽的路径痕迹,但相对于轴承轴线,路径痕迹位置偏离中心位置。

转动轴圈 — 不对中静止座圈

图19解释了施加在推力球轴承旋转轴圈上的单向、恒定轴向载荷是如何通过滚动体分布到静止、不对中座圈上的。

轴圈滚道中心位置存在等宽的路径痕迹。

轴圈滚道中心位置存在非等宽的路径痕迹。



4 ISO失效模式分类

全球各地有很多轴承制造商,关于轴承损伤和失效的文献也有很多。不同的文献可能以不同的方式对轴承损伤和失效进行分类,并且其使用的术语也不同。

- 它所描述的所有损伤和外观变化均是发生在轴承使用阶段¹⁾。
- 限于外观变化可归结于特定原因(高度确定性)的特征形式²⁾。
- 依靠可见特征非破坏性分析评估³⁾。

失效模式分类 — ISO工作组

ISO在1995年成立工作组,旨在建立一个通用的轴承损伤分类方法,并定义相关术语。该工作组确定了:

- 导致轴承失效的原因呈现出某一特定的特点。
- 特定的失效机理能对应某一特定的失效模式。
- 根据观察到的损伤情况,可以确定导致轴承失效的根本原因。

ISO 15243标准于2004年初发布。在那之后,业内又积累了更多关于轴承损坏的知识以及经验。ISO相关工作组对这些信息进行审查,并于2015年发布新版标准。

本章介绍的SKF轴承失效分类方法与ISO 15243:2004中的相关规定略有不同,具体体现在SKF将两种子失效模式(过载变形和操作造成变形)合并成一种(过载变形)。SKF轴承失效分类方法具有以下三个特点:

SKF定义了六种主要的失效模式,以及其相关的子模式(见**示意图1**)。失效模式总计14种。本章介绍了每一种失效模式的主要特征,并列举了一些典型实例。

示意图1中所示失效模式编号与ISO 15243中的分类编号一一对应。

导致轴承损坏的其它原因,例如制造缺陷、设计缺陷等。ISO标准并未对这些原因进行分类,因此本文也未作讨论。

1 “使用过程中”: 轴承出厂之后。

2 “特征形式”: 14种失效模式。

3 “可见特征”: 包括借助光学显微镜放大的可见的特征。本文不包括破坏性检测的相关内容。

SKF基于ISO 15243:2004的轴承失效模式分类

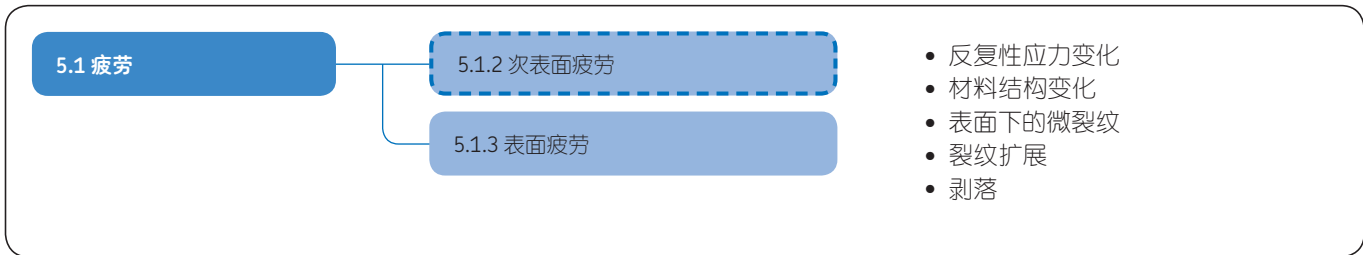


采用ISO 15243:2004中的分类编号。

失效模式

疲劳

次表面疲劳

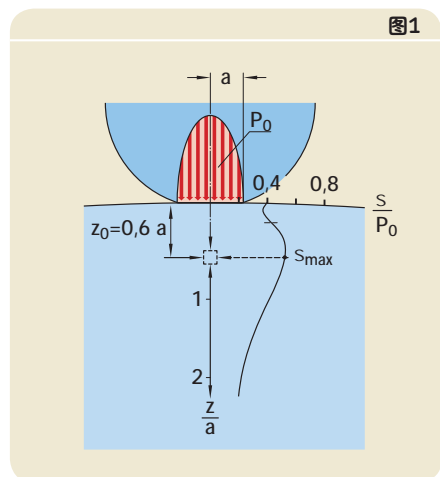


在旋转轴承中，滚道与滚动体接触面下会出现周期性的应力变化。

考虑承受径向力的向心轴承内圈。随着轴承内圈的转动，滚道上的某个点会进入载荷区，继续运行会到达最大载荷(应力)，然后运行离开载荷区。在每一圈转动过程中，随着滚道上的该点进入和离开载荷区，会产生压应力和剪应力(见图1)。

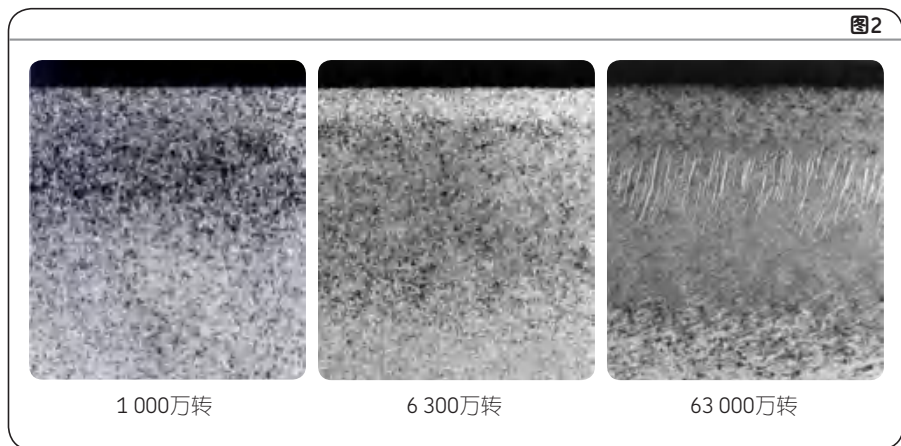
取决于一定时间内的载荷、温度以及应力循环数量，轴承内会形成残余应力，导致材料从无定向的晶粒结构转变为破裂平面。

在这些平面内，既所谓的表面下最大剪切应力区域周围最弱位置处会形成次表面微裂纹，通常深度为0.1-0.5 mm (见图2和图3)。具体深度取决于载荷、材料、清洁度、温度以及钢材微观结构等因素。这些裂纹会最终扩展至表面，造成表面剥落(见图4)。

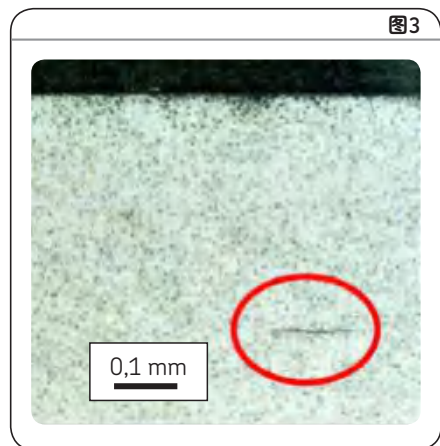


滚道下的压应力和剪应力

滚道表面下结构随时间的变化 (应力大, 润滑良好的小深沟球轴承)



滚道表面下的裂纹发展 (约0.3 mm)



当轴承表面发生剥落时，轴承即被损坏。但是，这并不意味着轴承不能继续工作。随着时间的推移，表面剥落会变得越来越严重，导致设备产生噪声和振动。在这种情况下，应该在轴承完全失效之前将设备停机并进行修理。

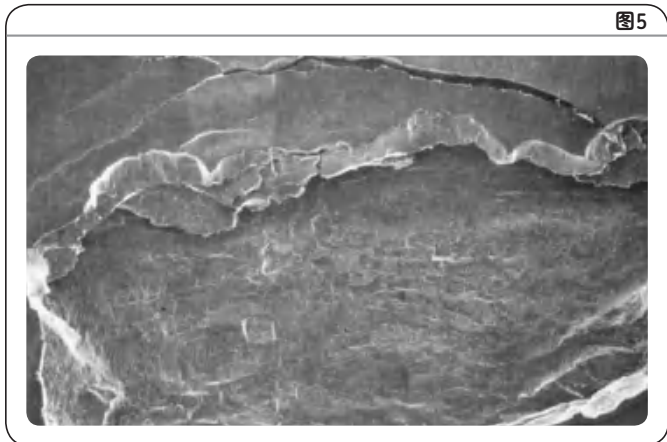
从轴承最初剥落到完全失效之间的时间长短取决于设备的类型以及运行工况。

图5所示为由疲劳引起的剥落(经高倍放大之后)。在裂纹扩展至表面之前，轴承仍然可以运行很长一段时间。这种损坏通常出现在由非常纯净的钢制成且在干净、润滑良好的运行工况下工作的轴承上。注意剥落区域的平整底面以及其周围的“整齐”裂纹。这些裂纹为已经扩展至表面的裂纹，并会导致更严重的材料剥落。

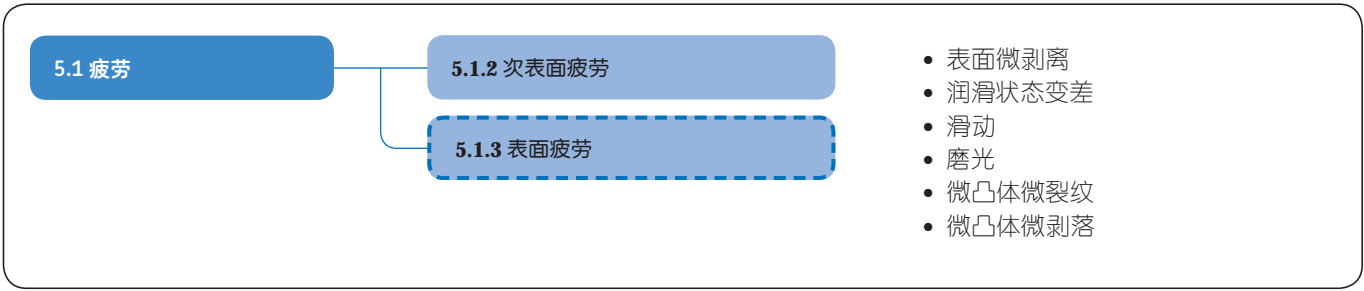


深沟球轴承内圈的初始次表面剥落

内圈滚道上的次表面剥落(高倍放大)



表面疲劳 (表面微剥离)



表面疲劳基本上是由滚道接触表面的微凸体损坏而引起的,而这种损坏一般是由润滑不足造成的。

造成润滑不足的原因多种多样。如果表面发生损坏(例如由固体污染物碾压所造成的),润滑效果不理想,润滑膜减小或过薄。此外,如果针对应用选用的润滑剂类型和用量不当、接触表面间未能有效隔开,也有可能就会导致润滑不足。由此所引起的金属与金属直接接触引起表面微凸体彼此相互剪切,与滚道接触区表面之间的微移一起,形成磨光表面。随后,表面微凸体会出现微裂纹,然后发生微剥落,最终导致表面疲劳。如果润滑膜不能将滚动接触表面完全隔开,任何轴承都存在发生表面疲劳的风险。

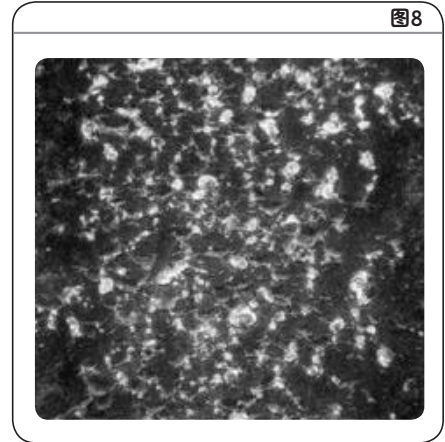
如果在滚动接触区域中存在滑动,这种风险会进一步增大。由于轴承特定的几何轮廓以及滚动体和滚道间负荷作用下的

弹性变形,所有滚动轴承的滚动接触区都会出现微滑动。

另一种经常被忽视的表面疲劳原因是极压添加剂。极压添加剂可能会有腐蚀性(尤其是当温度升高时),有可能会加速微剥落。

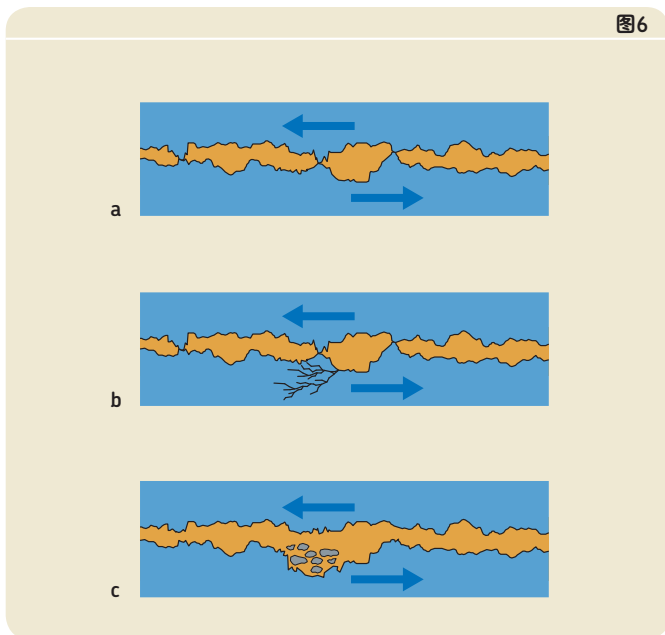
一般来说,表面疲劳是因为表面微凸体在混合或边界润滑条件下发生直接接触(见图6a)的结果。当载荷及摩擦力达到某一特定量级时,表面会形成微小裂纹(见图6b)。这些裂纹会最终发展成微剥落(见图6c)。

通常,这些微剥落的尺寸只有几微米,只会让表面看起来无光泽,呈灰色(见图7)。只有在显微镜下才能发现这些裂纹和微剥落(见图8)。



滚道表面的微剥落和裂纹 (高倍放大)

表面疲劳的产生机理



球面滚子轴承内圈滚道上的微剥落

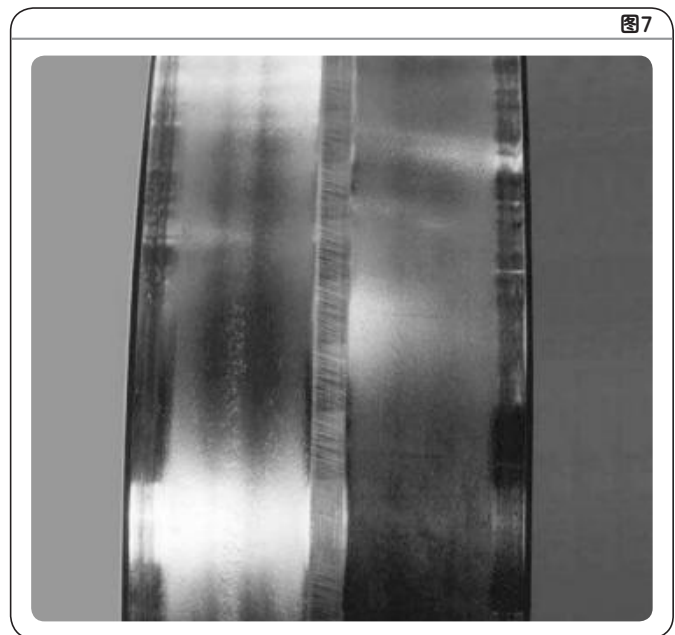


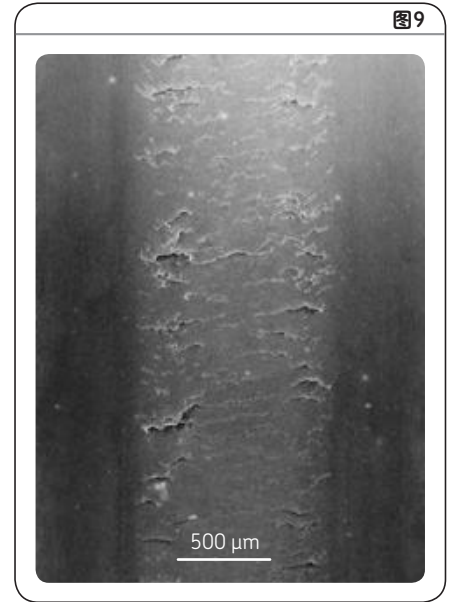
图9所示为由于润滑不良导致表面疲劳后开始产生剥落。

图10所示为表面疲劳演变成整体剥落。

取决于轴承停机和分析的阶段,有可能会较难确定轴承失效的根本原因。

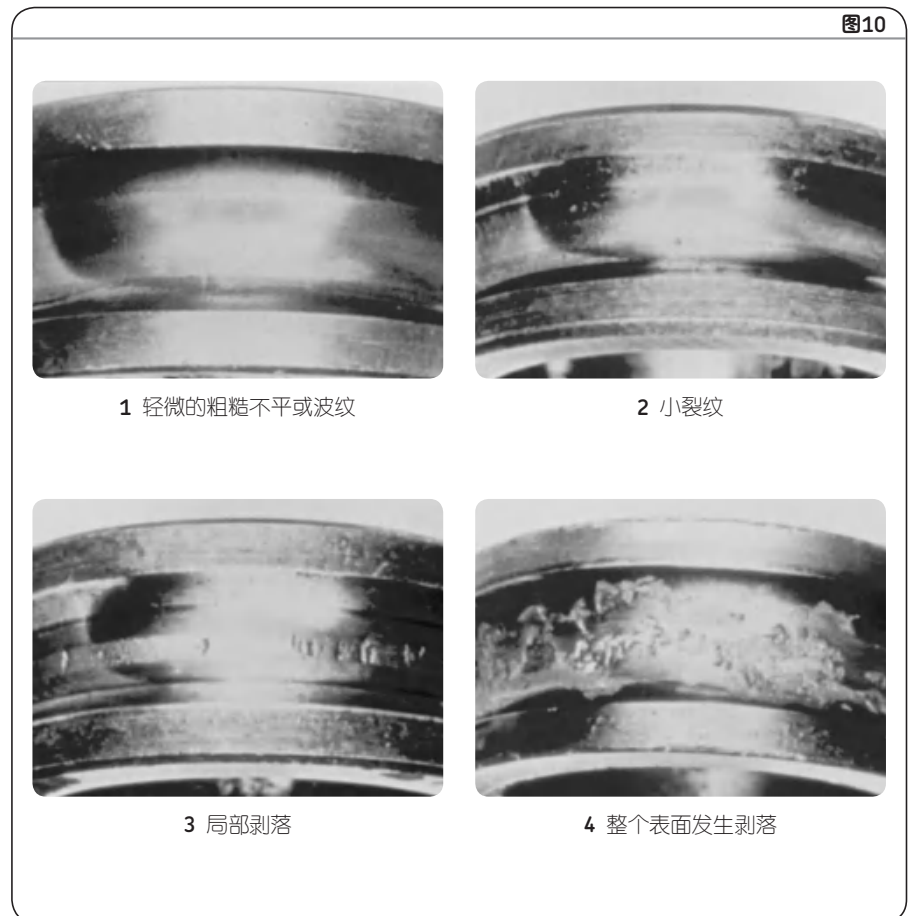
在诊断润滑膜失效时,只检查滚动接触表面和润滑剂状态是不够的。应该对润滑剂的特性、使用量和需求量以及运行条件进行评估,以判断所用润滑剂是否适当。经过一段时间运行,轴承表面可能会经历以下润滑不足导致的损坏阶段:

- 1 轻微的粗糙不平或波纹 (可能有光泽)
- 2 小裂纹
- 3 局部剥落
- 4 整个表面发生剥落



深沟球轴承内圈滚道上表面引起的疲劳导致的初始剥落

深沟球轴承内圈滚道表面引起的疲劳演变过程



1 轻微的粗糙不平或波纹

2 小裂纹

3 局部剥落

4 整个表面发生剥落

磨损

磨粒磨损

5.2 磨损

5.2.2 磨粒磨损

5.2.3 粘着磨损

- 材料逐渐磨耗
- 润滑不足
- 杂质(污染物)侵入
- 表面无光泽(基本上)
- 退化过程

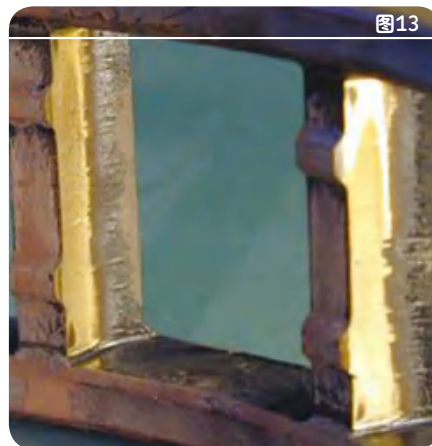
磨粒磨损是指材料的逐渐磨耗。

最初,在磨合阶段轴承会出现非常轻微的磨损,但基本上会呈现一种特定的路径痕迹(见图11)。

在大多数时间里,真正的磨粒磨损是由润滑不良或固体污染物侵入所引起的。磨粒磨损的一般特点是部件表面无光泽(见图12)。

由于磨损颗粒进一步降低润滑的有效性,磨粒磨损是一个加速过程最终会破坏轴承的微观几何形态。磨粒会快速地磨损滚动体和轴承套圈滚道,以及保持架槽。图12所示为球面滚子轴承外圈上的研磨磨损情况。从图中可以看出磨损的深度。(此外,还存在因振动导致的波纹。)

保持架是轴承的一个关键零部件。轴承套圈和滚动体的硬度约为60 HRC。大多数金属保持架未经过硬化处理(黄铜或金属板)。在润滑不良的情况下,保持架很可能是首先发生磨损的部件。图13所示为实心黄铜保持架兜孔磨损情况。

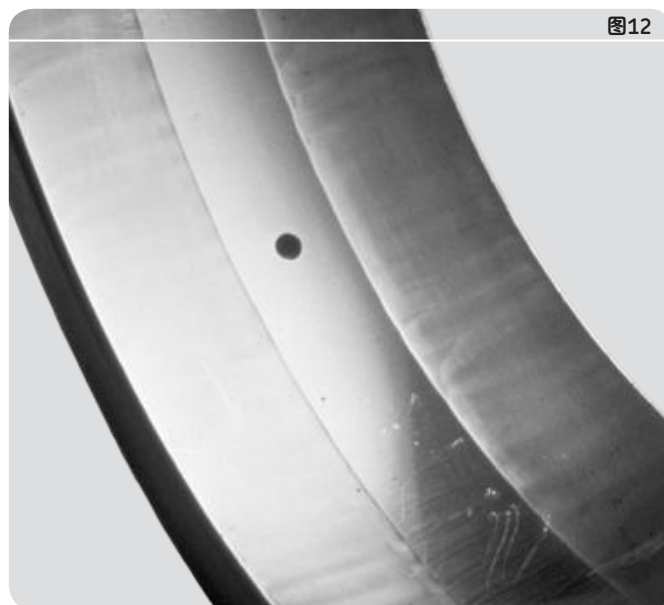


圆柱滚子轴承保持架磨粒磨损

球面滚子推力轴承外圈的轻微磨粒磨损



球面滚子轴承外圈的严重磨粒磨损(滚道无光泽)



磨光磨损是一种特殊形式的磨粒磨损。新轴承的滚道表面很有光泽，但其反射性并不是很强(如镜面一样)。处于运行状态的轴承中的镜面表面(见**图14**)是由油膜过薄引起的润滑不充分以及充当抛光剂的磨粒所导致的。这种情况会导致金属与金属的直接接触，并最终造成表面微凸体的磨粒磨损和塑性变形(见**图15**)。轴承部件的表面可能会变得非常有光泽(取决于磨粒的大小、表面硬度及运行时间)。

镜面表面也有可能对轴承很有利，但前提是研磨磨损和塑性形变仅仅局限于微凸体。

在某些情况下，磨光磨损可能会扩大至微凸体之外的部分，严重改变滚道的形状。轴承内外圈滚道和滚子(最有可能)已经被磨损，但是仍然如镜面一般。

这种程度的研磨磨损是由多种因素共同导致的，包括：润滑油的粘性过低，且润滑油中存在过多体积较小的磨粒。其他因素可能包括低速、重载以及油膜过薄。

为了避免这种类型的损坏，要注意增大润滑剂的粘性，定期监测润滑剂的清洁度。

球面滚子轴承内外圈上的磨光磨损(镜面滚道表面)



图14

轴承磨光磨损过程

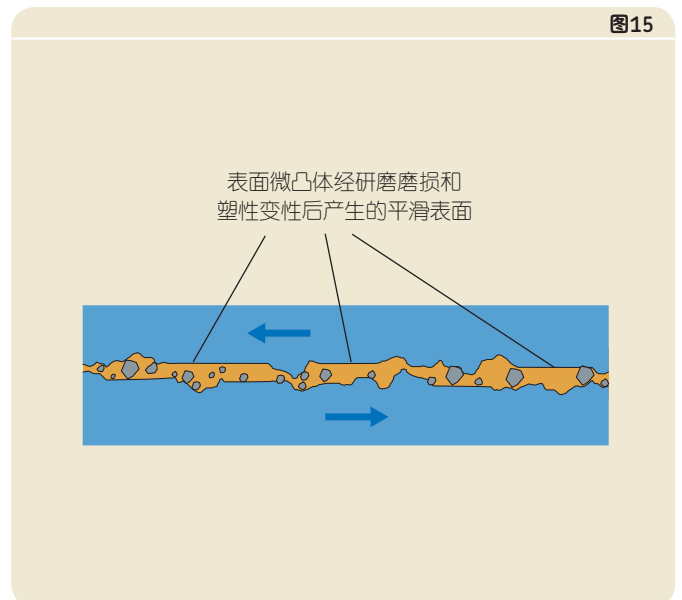
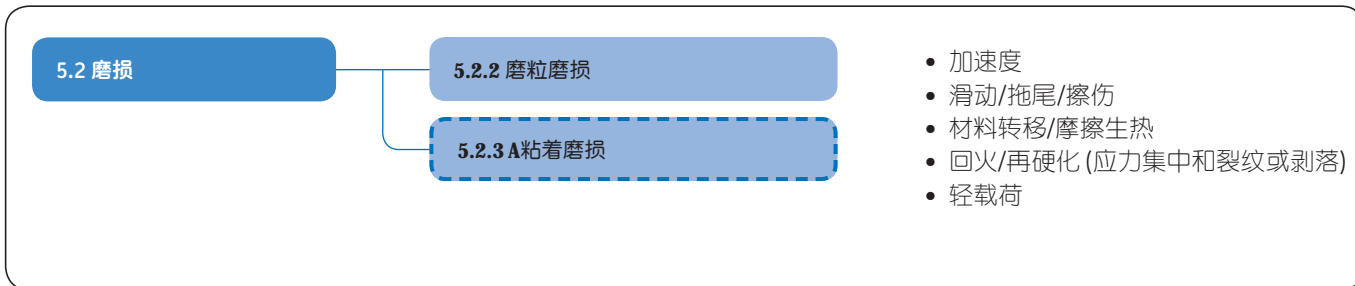


图15

粘着磨损 (粘污)



粘着磨损是发生在两个表面由于相对滑动而产生的与润滑剂有关的损坏 (见图16)。

粘着磨损的特点是材料从一个表面向另一个表面转移 (拖尾), 并通常伴随摩擦热 (有时会导致相互作用面回火或再硬化)。

摩擦生热引起局部应力集中, 有可能会造成接触区域产生裂纹或剥落。

在正常运行工况下通常不会出现拖尾。配合面之间的相对滑动速度远远大于由轴承几何形状和滚动接触区域的弹性变形所引起的微滑动。

较大加速度引起的拖尾 (粘着磨损)

在特定条件下, 相对高速旋转的滚动轴承的滚动体表面和滚道上可能会发生拖尾。在载荷区外, 轴承套圈不能驱动滚动体, 导致滚动体滚动受阻。

因此, 当进入载荷区时, 滚动体会突然加速 (见图17)。这个突然的加速度会导致滚动体的滑动, 伴随产生较大的热量, 导致两个表面在金属与金属接触的点上融为一体 (见图16)。在这个过程中, 会出现材料由一个表面向另一个表面转移的情况, 也会产生较大的摩擦 (见图18)。

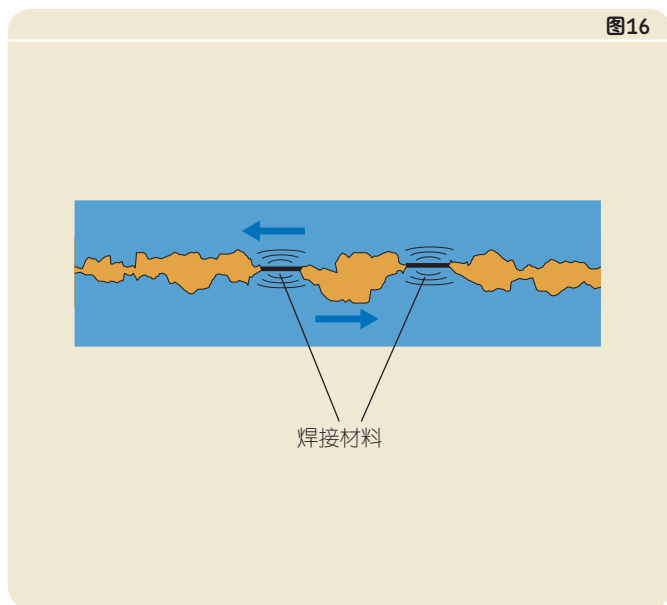
在该过程中, 还会发生材料回火和再硬化, 导致局部应力集中以及产生裂纹的风险, 并最终导致轴承提早失效。裂纹可能会出现在与滑动方向垂直的方向上。

拖尾现象也被称为滑擦或刮擦现象。

拖尾是一种非常危险的表面损伤, 因为受影响的表面通常会逐渐变得粗糙。随着表面粗糙度的增大, 油膜厚度减小, 导致金属与金属接触现象, 轴承磨损进入恶性循环。大型轴承对拖尾尤其敏感。滚动体的重量起着非常重要的作用, 较重的滚动体在非载荷区内的速度会明显地减慢。然而当滚动体再次进入载荷区时, 滚动体几乎会立即加速, 但是由于其重量较大, 导致出现局部滑动。

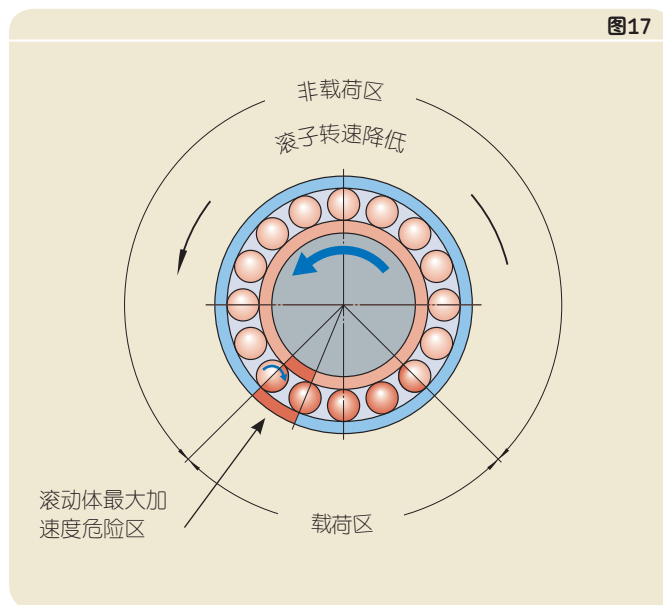
粘着磨损的原理

图16



滚动体进入载荷区时加速构成极高的粘着磨损风险

图17



球轴承中还会出现由陀螺效应引起的拖尾现象。在这种情况下,当滚珠离开载荷区时,他们的接触角度发生变化,但当滚珠再次进入载荷区时就会被强制变回(伴随滑动)其原本的接触角度。

载荷过轻引起的拖尾(粘着磨损)

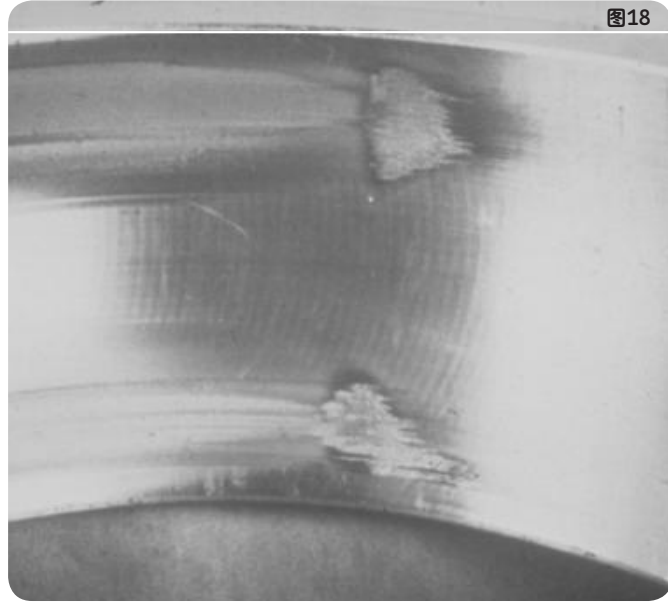
当载荷在对应的转速下过小时,滚动体和滚道之间也有可能发生拖尾

解决拖尾问题的方法包括但不限于以下几种:

- 增大载荷
- 使用更小的轴承
- 使用混合陶瓷轴承(滚动体更轻)
- 应用保护性涂层
- 使用不同的保持架
- 检查选用的润滑油/润滑脂是否适当

其他拖尾(粘着损坏)实例

保持架与其接触面之间以及滚子端面和导向法兰之间也会发生拖尾。**图19**所示为球面滚子推力轴承的一个滚子与导向法兰之间的拖尾。滚动体端面由于润滑不足导致拖尾损坏。



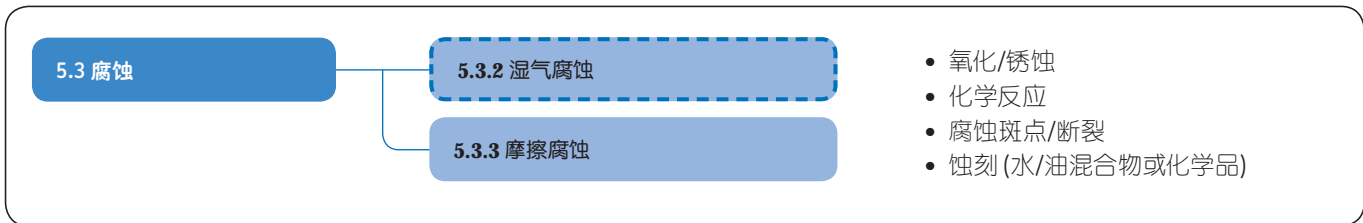
球面滚子轴承外圈滚道上的拖尾(载荷区入口处的粘污痕迹)



球面滚子推力轴承滚子推力面的拖尾

腐蚀

湿气腐蚀



密封装置效果不佳可能导致湿气、水分和腐蚀性液体污染物进入轴承内。一旦液体污染物的侵入量超过了润滑剂的承受能力，钢材表面就会生锈。

氧化

暴露于空气中的钢材表面会形成一层薄薄的保护性氧化膜。然而，这层氧化膜并非是不可渗透的，如果水分或腐蚀性液体与钢材表面发生接触，就会发生氧化现象。

腐蚀

对于造纸机和食品与饮料行业的工艺设备来说，腐蚀可能是导致轴承早期失效的最常见原因。当在这些设备中的轴承运行时极易被作为处理流程的水或其他液体侵入。除此之外，在机械设备停机进行冲洗时，水有可能会进入轴承，导致在滚动体等间隙处形成灰黑色的斑点（见图20）。

蚀刻

在停机状态下，润滑剂中的自由水会在轴承底部积聚。其中，距滚动接触面某一特定距离处的积水程度会最为严重（见图21）。导致这种现象的原因是，水比油的比重大，因此会下沉，直到滚动体与滚道之间缝隙达到某个适当的尺寸。这种现象还有可能导致深层的腐蚀，我们称之为蚀刻（见图22）。蚀刻破坏通常出现在存在腐蚀性化学品及高温的应用中，例如造纸机中的干燥部分。

蚀刻通常会导致轴承出现过早、扩展性的剥落，因为材料会发生结构变化，且载荷区内的零部件表面会劣化，直到出现过载现象。预防这种腐蚀的最好方法是进行可靠密封，确保润滑剂中不含水分和任何腐蚀性的液体。此外，使用具有良好防锈特性的润滑剂也可以帮助缓解腐蚀。

球面滚子轴承外圈和滚子上的腐蚀

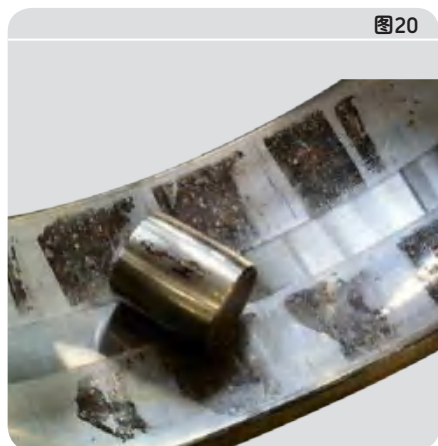


图20

润滑剂中水在轴承底部积聚

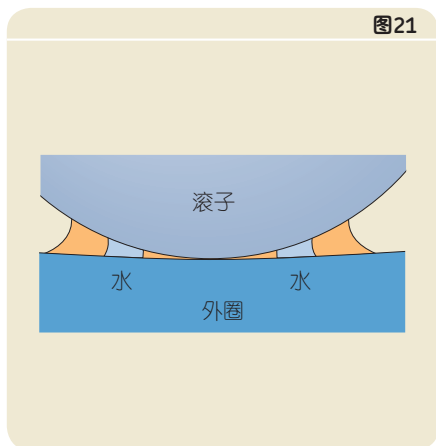


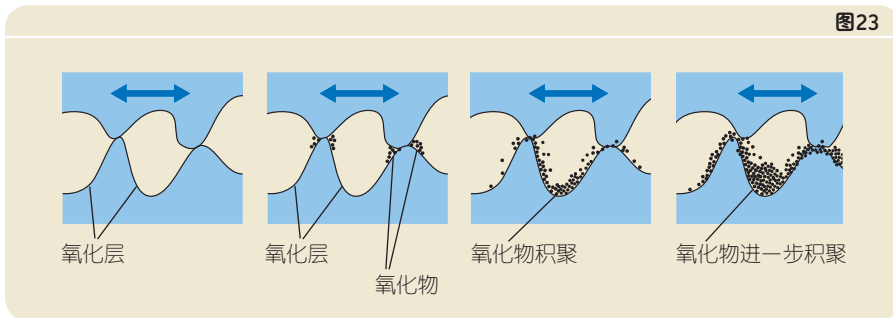
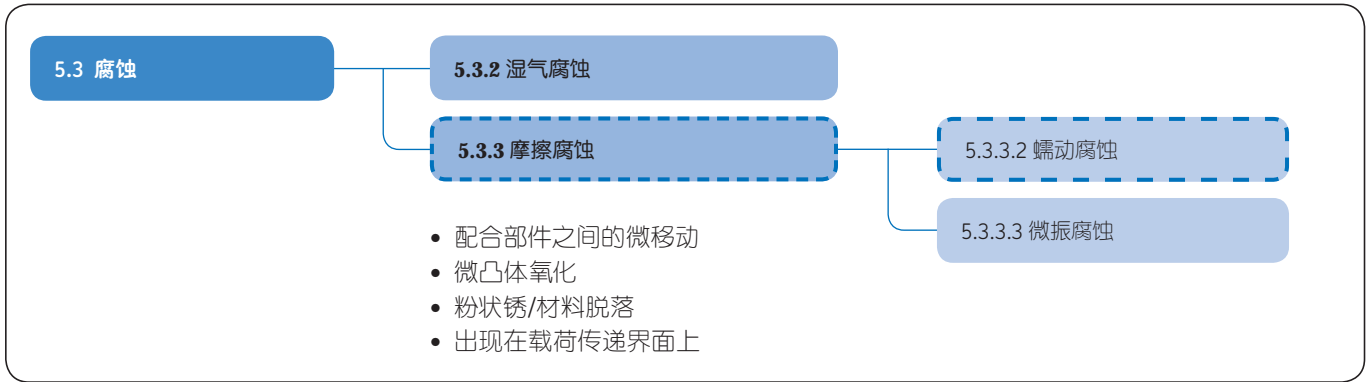
图21

球面滚子轴承内圈滚道上滚动体节圆处的初始蚀刻斑点



图22

摩擦腐蚀 – 蠕动腐蚀



蠕动腐蚀各个阶段的示意图

当轴承套圈和轴或轴承座之间出现相对移动时，就会发生蠕动腐蚀。蠕动通常是由配合过松或形状不准确所引起的。

这种相对移动会造成较小的材料粒子从轴承表面及轴承配合面上剥离。一旦与空气接触，这些粒子会迅速发生氧化，形成氧化铁（见图23）。氧化铁的体积大于铁（钢）。蠕动腐蚀最终导致轴承套圈受到的支撑力可能会不均匀，对轴承的载荷分布造成不利影响。

腐蚀区域还充当破裂缺口的角色。

蠕动腐蚀的具体症状表现为轴承外圈外表面或轴承内圈内孔生锈。相应位置滚道载荷痕迹可能会异常明显。在某些情况下，蠕动腐蚀实际上是由滚道严重剥落引起的二次损坏。

根据化学反应的不同，腐蚀痕迹可能呈现：

- 红色（赤铁，三氧化二铁）
- 黑色（磁铁，四氧化三铁）

图24所示为因轴表面车削加工不当或轴弯曲（由悬臂载荷引起的）引起的蠕动腐蚀。

图25所示为因载荷过大或配合面不当所引起的蠕动腐蚀。

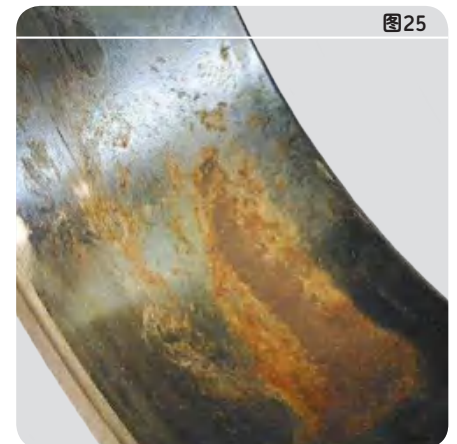
为了避免发生蠕动腐蚀或减缓腐蚀速度，一方面应当调整公差（配合），另一方面应使用特殊的抗蠕动油膏或涂层。

SKF不建议使用特殊配方的粘合剂来避免蠕动腐蚀。

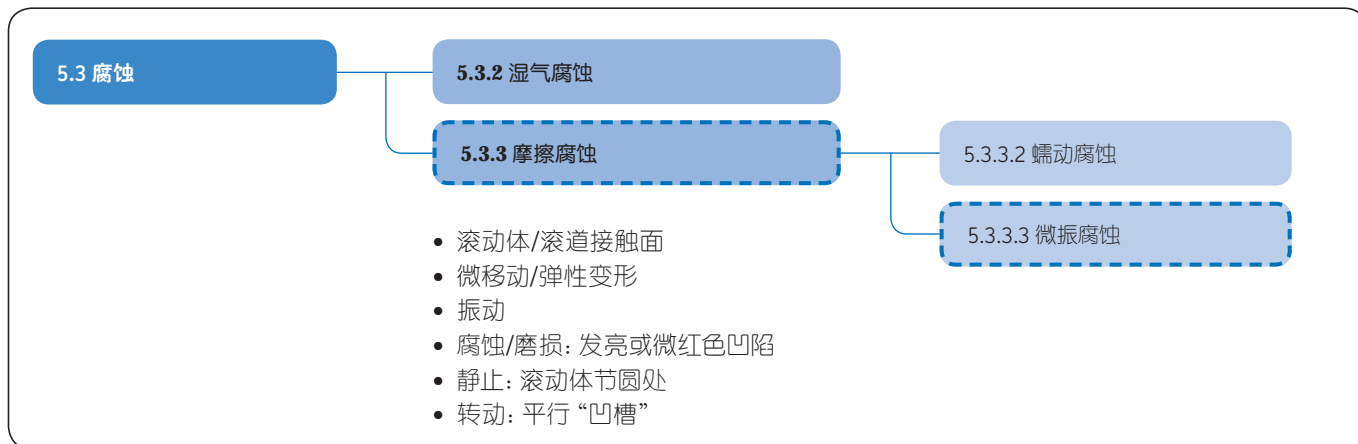
因轴颈不当或轴弯曲引起的内圈内孔蠕动腐蚀



因载荷过大或轴颈不当引起的内圈内孔蠕动腐蚀



摩擦腐蚀 - 微振腐蚀



微振腐蚀出现在接触区内,是由周期性振动下的微动和弹性接触弹力所引起的。根据振动强度、润滑条件和载荷的不同,会同时出现腐蚀和磨损,使滚道形成浅层凹陷。如果轴承静止,这种凹陷具等滚动体间距特征:

- 球形凹陷 (球轴承)
- 纵向凹陷 (滚子轴承)

在采用脂润滑的应用中,微振腐蚀通常为红棕色;而在采用油润滑的应用中,微振腐蚀则为非常光亮的镜面凹陷。

很多情况下,我们能够分辨凹陷与锈蚀情况。这是由于分离下来的微粒暴露在空气中,其氧化导致其分布面积更大的氧化所造成的,相对于其体积而言,分离粒子分布的面积较大(因接触空气所导致的)。

通常,滚动体的损坏比较小。

图26所示为静止自调心滚子轴承外圈上的严重微振腐蚀造成的损坏。

图27所示为圆柱滚子轴承外圈上微振腐蚀造成的损坏。造成该损坏的根本原因其停机状态下的外界振动。轴承的应用场合为辅助设备,长时间处于停机状态。等滚子间距处存在几组“凹槽”,每组“凹槽”对应不同的停机时间段。损坏的严重程度取决于振动水平、振动频率以及停机时间的长短。



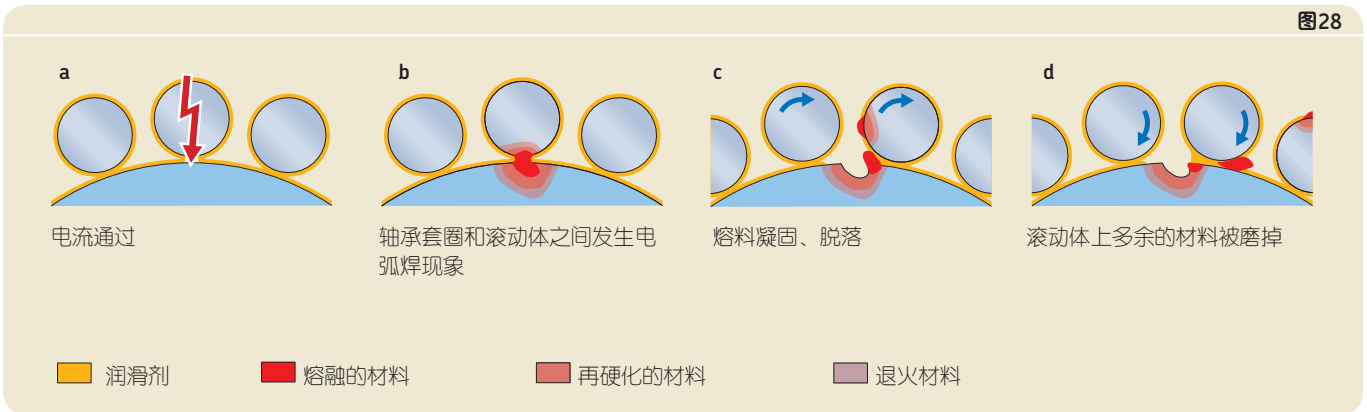
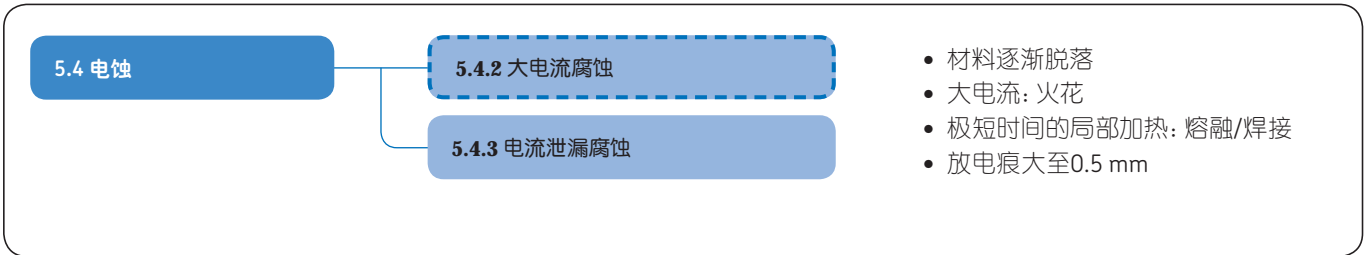
图26 自调心滚子轴承外圈滚道上严重的微振腐蚀造成的损坏

圆柱滚子轴承外圈滚道上的微振腐蚀造成的损坏 (“凹槽”)



电蚀

大电流腐蚀



大电流腐蚀原理

当电流 (见图28) 从一个轴承套圈通过滚动体流入另一轴承套圈时, 就会造成损坏 (a)。接触面的电蚀过程与电弧焊相似, 都是在较小接触面上存在较大的电流密度 (b)。电蚀会将材料加热到回火, 甚至、熔融的温度。这样会使材料回火、二次淬火或熔融处的表面褪色, 尺寸大小不一。除此之外, 材料熔融处还会出现放电痕, 并最终因滚动体的滚动而脱落 (c)。滚动体上多余的材料也会被磨掉 (d)。外表: 滚道和滚动体上的放电痕。球轴承滚道上

有时还会出现“之”字形灼痕。滚道和滚动体上会存在可见的局部灼痕。

图29所示为承受大电流的球面滚子轴承。从图中可以看出, 滚子上存在许多较大的放电痕。经过放大处理可以明显地观察到放电痕及其周围的熔料。

图30所示为深沟球轴承上外圈滚道和滚子上因电流过大而引起的损坏。注意滚道和滚子上的“之”字形灼痕。

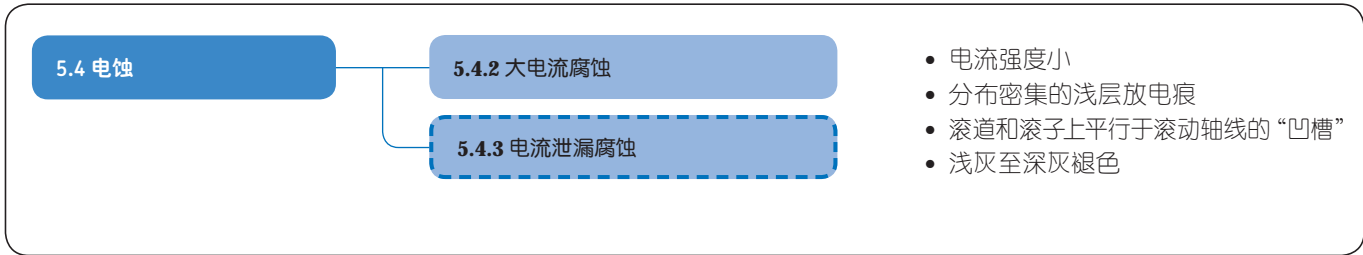
球面滚子轴承滚子上的大电流腐蚀



深沟球轴承外圈滚道和滚子上的大电流腐蚀



电流泄漏腐蚀



在电流泄漏腐蚀损坏的初始阶段，表面损坏通常为分布密集的浅层放电痕，其直径远远小于大电流引起的放电痕。即使电流强度相对较小，也有可能出现这种现象。

图31所示为经500倍和5 000倍放大处理的放电痕。

随着时间的推移，放电痕会逐渐演变为皱缩痕迹。这种痕迹出现在滚道上(见图32和34)。对于滚子轴承来说，皱缩痕迹还会出现在滚子上(见图34)。在滚子轴承中，整个滚子表面通常会出现褪色现象(浅灰至深灰)。

电蚀损坏的程度取决于各种因素：电流强度、持续时间、轴承载荷、转速和所用润滑剂。

图33所示为经500倍放大的轴承截面。白色部分为再硬化的金属，硬度通常介于66 HRC至68 HRC之间。该部分金属硬度非常高，易脆。再硬化区域的下方为因受热退火的黑色金属层，其硬度低于周围轴承材料的硬度，通常为56 HRC至57HRC。

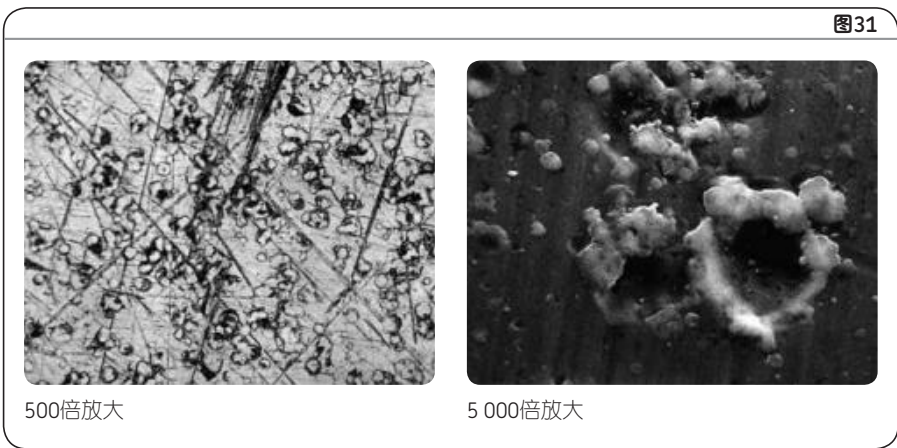


图31 电流泄漏腐蚀导致的放电痕

电流泄漏腐蚀导致的皱缩



图32

电流泄漏腐蚀引起的材料硬度变化

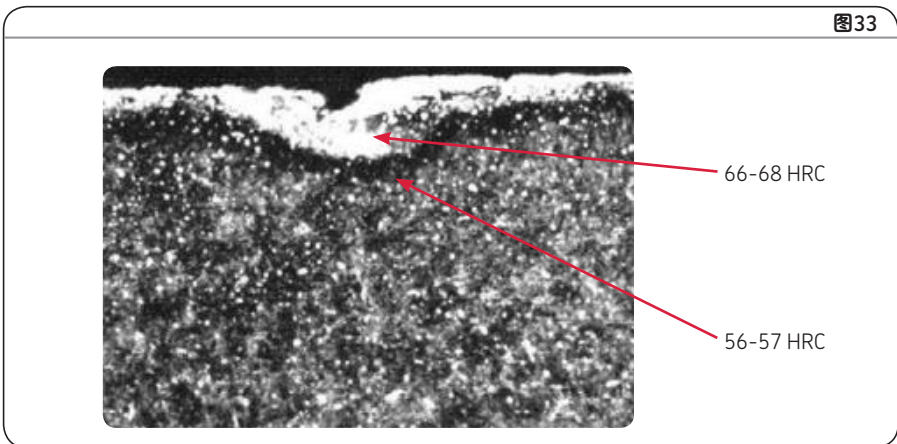
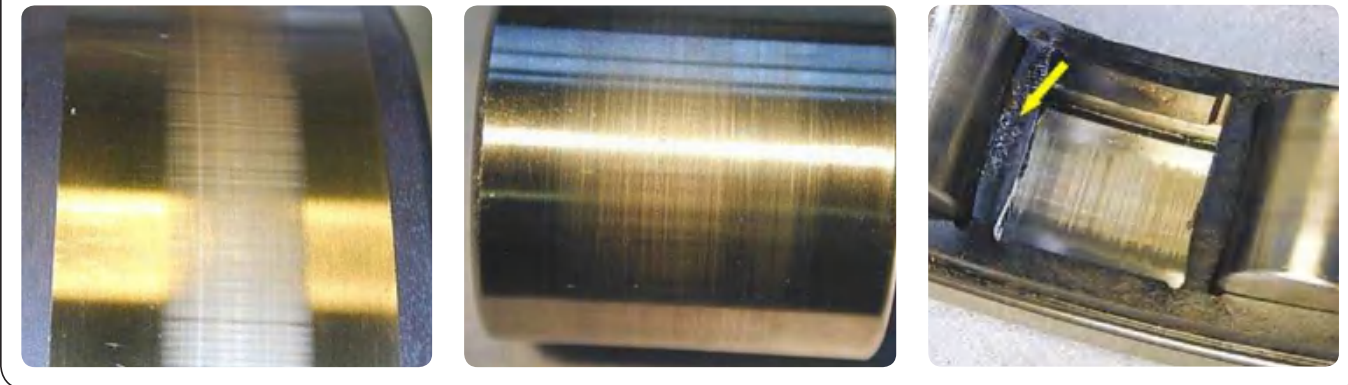


图33

图34所示为圆柱滚子轴承上因电流泄漏腐蚀导致的损坏。滚道和滚子上正在形成皱缩。注意观察保持架槽上的润滑脂。在这种失效模式的初始阶段，润滑脂逐渐碳化，无法再形成润滑膜。这种情况最终导致表面引起的疲劳、剥落甚至是突然的卡滞。

轴承内外圈和滚子滚道上的皱缩痕迹

图34



塑性变形

过载变形

5.5 塑性变形

5.5.2 过载变形

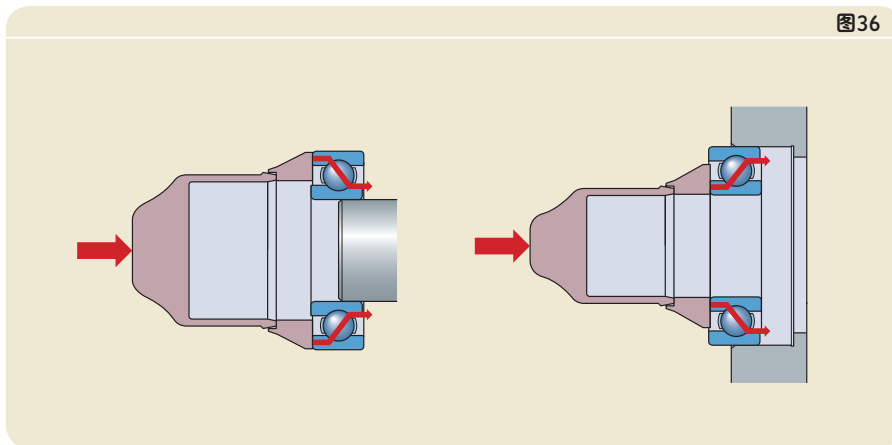
5.5.3 碎屑压痕

- 静态载荷或冲击载荷
- 等滚动体间距的塑性变形压痕
- 操作损坏
- 局部过载
- 坚硬/尖锐物体造成的划痕

过载变形可能是由静态过载、冲击载荷或操作不当所引起的。各种原因导致的损坏在外观上看起来是相同的，因此我们将其合并为一种子失效模式。

图35所示实例为轴承保持架受到直接冲击，发生变形。如果将该轴承投入使用，会产生较高水平的噪声和振动。

如果通过滚动体施加安装力（见图36）或者如果轴承在静止时承受异常载荷，滚道和滚动体可能出现压痕损坏。压痕之间的间距等于滚动体的间距（见图37）。



因安装方法不正确引起的过载变形

因操作不当引起的角接触球轴承保持架塑性变形



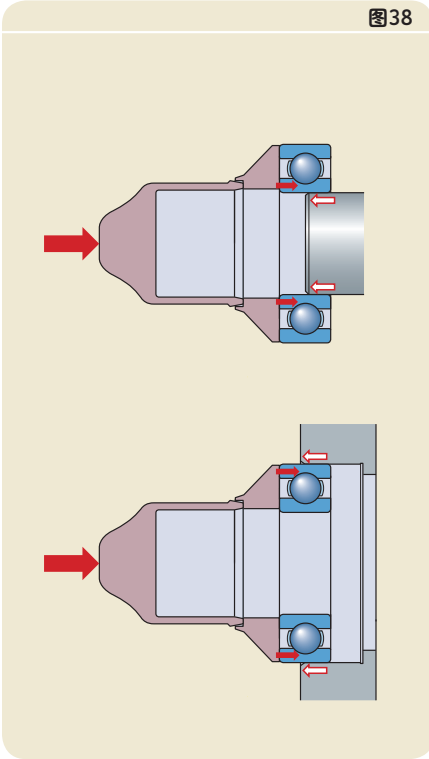
图35

因安装方法不正确引起的双列角接触球轴承滚道上等钢球间距的压痕



图37

图38



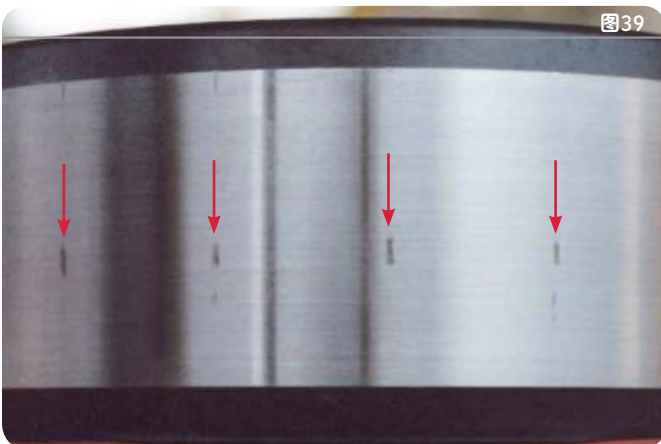
正确安装

解决方案：使用正确的安装工具和方法（见图38）。

在生产、运输、储存和安装过程中，搬运操作都起着非常关键的作用。搬运操作不当表现为局部过载和坚硬及/或尖锐物体引起的可见划痕。滚子导致内圈滚道上的滚子节圆处出现划痕。如果将轴承投入使用，会产生较高水平的噪声和振动。

圆柱滚子轴承内圈上安装过程中导致的划痕

图39



碎屑压痕

5.5 塑性变形

5.5.2 过载变形

5.5.3 碎屑压痕

- 局部过载
- 颗粒碾压: 压痕
- 柔软材料/硬化钢/坚硬矿物质

密封件和润滑剂可能会在轴承中引入固体污染物。此外,邻近部件(例如齿轮)磨损或损坏也有可能生成固体污染物。

当受到滚动体的碾压时,固体污染物会被挤压入滚道内并形成压痕。引起压痕的颗粒不一定是坚硬的颗粒。即使是非常柔软的颗粒,当其体积足够大时,也有可能产生不利影响。

压痕边缘周围凸起的材料会导致失效。当疲劳程度达到某一特定程度时,就可能引起早期剥落(从压痕的后端开始,见图40)。剥落最开始表现为表面裂纹。

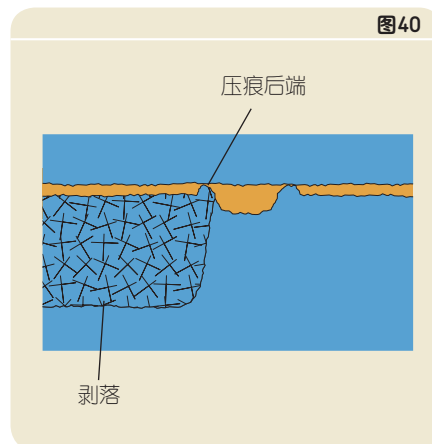
SKF寿命理论可以用来计算由压痕引起的使用寿命缩短的程度。进行计算所需的最重要的运行数据包括轴承类型和尺寸、转速、轴承载荷、润滑粘度比、以及污染物颗粒的大小、硬度和浓度。

在轴承安装过程中,确保润滑剂清洁和小心操作对于防止压痕损坏来说非常重要。

图41所示为深沟球轴承中因压痕导致的剥落。碾压方向为由底部至顶部。“V形”痕迹为轴承中典型的压痕损坏痕迹,剥落最初在此处由压痕的后端向外扩大。

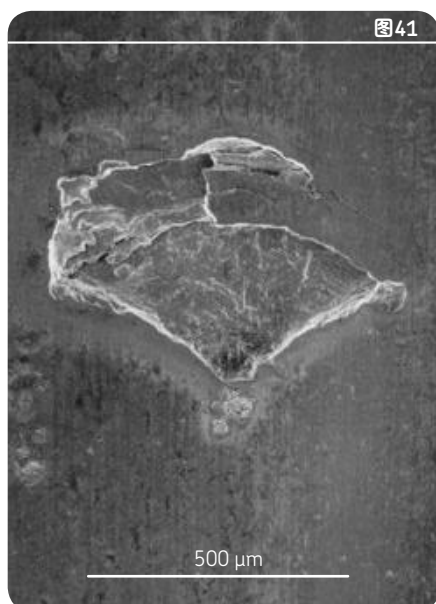
图42所示为压痕损坏的后果(球面滚子轴承内圈)。碾压方向由右至左。一个体积较大的柔软污染物侵入滚道内,并被碾压。压痕底部的磨削纹路仍然清晰可见。另外,注意压痕周围的凸起边缘。在压痕的左侧有一个较大的材料剥落痕迹(黑色)。此外还有一些裂纹,裂纹处的材料也即将剥落。

图40

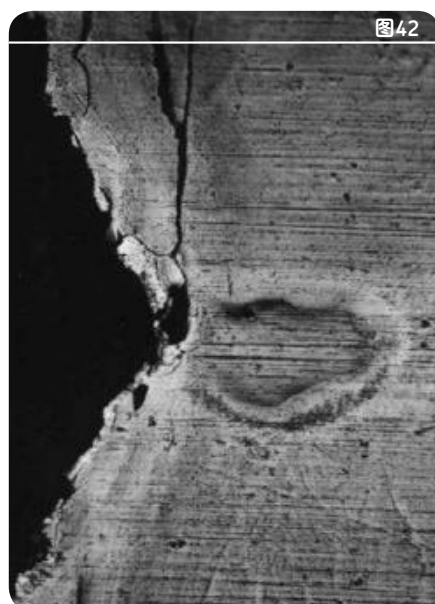


由压痕后端开始的剥落

深沟球轴承内圈上压痕引起的剥落



球面滚子轴承上压痕引起的剥落



断裂和开裂

强力断裂

5.6 断裂和开裂

5.6.2 强力断裂

5.6.3 疲劳断裂

5.6.4 热胀裂

- 应力集中超过材料抗拉强度
- 冲击/过应力

当应力集中超过材料的抗拉强度时,会发生受压断裂。导致受压断裂的两种常见原因是局部过载和过应力。

图43所示为一种常见的断裂原因—处置不当。这种情况发生在使用锤子或凿子进行轴承冷安装时。

直接敲击轴承套圈会导致轴承套圈上出现细小的裂纹,一旦轴承开始运行,这种裂纹会迅速演变成贯穿性的裂纹。

圆锥轴安装推进距离过大(见图44)可能会导致轴承内圈断裂。推进量过大引起的轴承套圈环向(拉伸)应力导致轴承套圈在运行过程中产生裂纹。马氏体硬化套圈比贝氏体硬化套圈对这种损坏的敏感程度更高。

当轴承受热或者安装到尺寸过大的轴上时,也有可能产生该种后果。

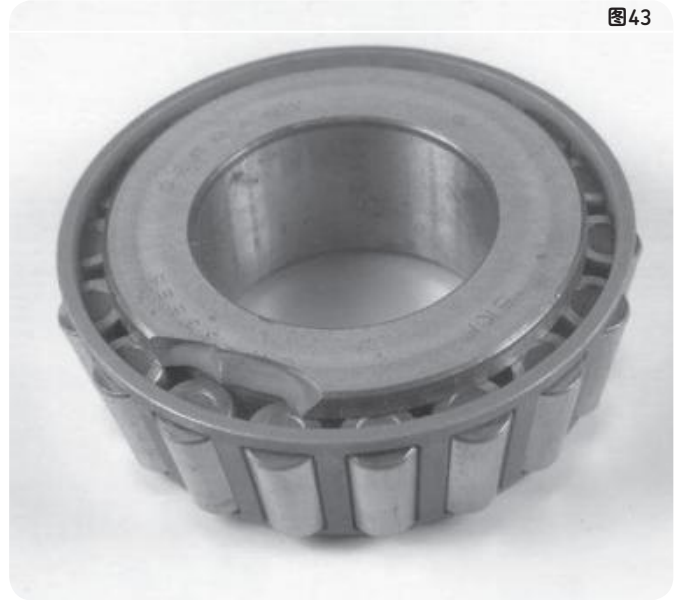


图43

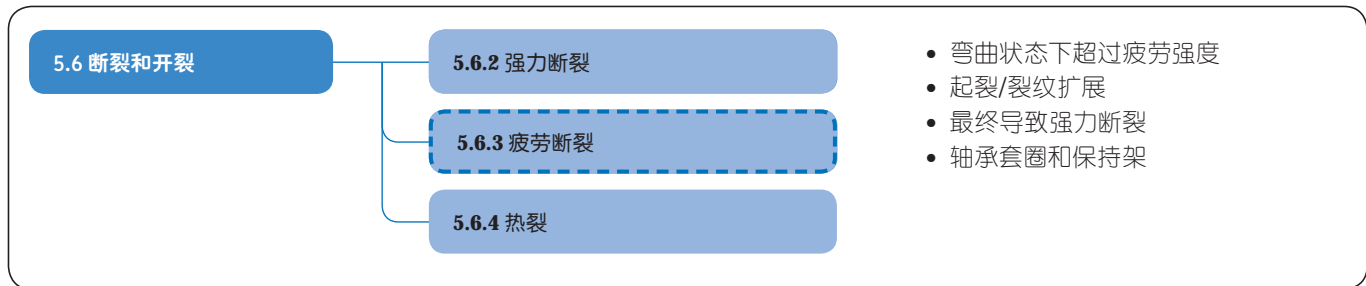
处置不当引起的圆锥滚子轴承内圈上的大挡肩断裂

推进量过大引起的圆锥孔球面滚子轴承内圈断裂



图44

疲劳断裂



在反复弯曲作用导致超过材料的疲劳强度时, 会发生疲劳断裂损坏。反复的弯曲导致材料出现发裂(毛细裂纹), 发裂逐渐蔓延, 直到轴承套圈或保持架上出现贯穿性的裂纹。

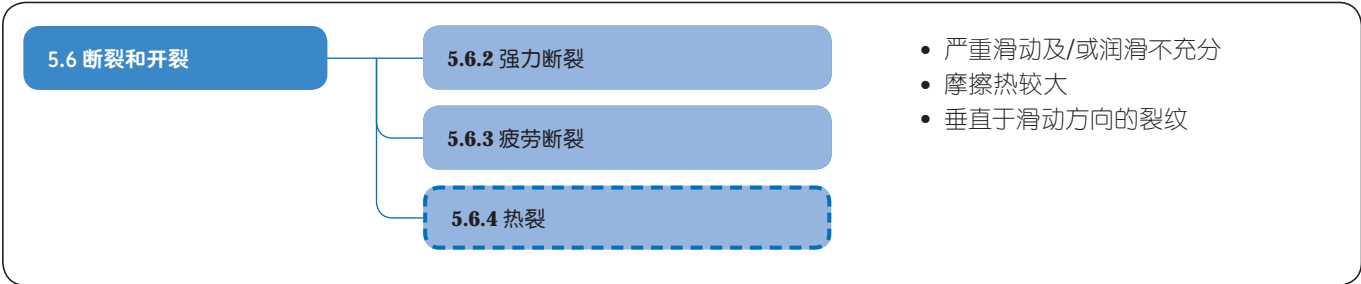
图45所示为球面滚子轴承的一个断裂外圈。轴承所安装的轴承座在载荷区的支撑不充分, 因此, 轴承外圈承受周期性的弯曲应力, 最终导致外圈上出现贯穿性的裂纹。

球面滚子轴承外圈上的疲劳断裂



图45

热裂



两个表面发生相对滑动会产生摩擦热。如果滑动非常明显，摩擦产生的热量可能会导致表面裂纹，这些裂纹通常垂直于滑动方向。

图46所示为一个典型实例。旋转轴承内圈采用间隙配合的安装方式，承受轴向载荷。由于发生蠕变，轴承端面与轴肩或隔圈之间存在相对滑动，导致粘着磨损。摩擦热导致出现横向裂纹，最终导致轴承套圈出现贯穿性裂纹。

4

圆锥滚子轴承内圈端面的横向热裂纹



5 损坏和纠正措施

为支持第4章“ISO失效模式分类”，本章给出了一些其他实例。

本章不可能涵盖所有类型的损坏。轴承损坏各不相同，具体取决于轴承类型、轴承尺寸、工作条件、润滑、污染等。因此，本章仅介绍了部分案例。

根据子模式(遵循ISO分类标准)对案例进行分类。针对每个子模式，给出了一系列可能的措施。针对每个实例，指出了轴承类型、损坏部件以及可能的根本原因。

次表面引发的疲劳

措施:

- 确保针对实际应用条件及其变化(载荷、温度、速度、对中误差、安装等)使用合适的轴承
- 使用现代的、最先进的优质轴承
- 如可行,使用可延长使用寿命的SKF探索者性能等级的轴承
- 确保相邻部件正确设计制造
- 正确安装



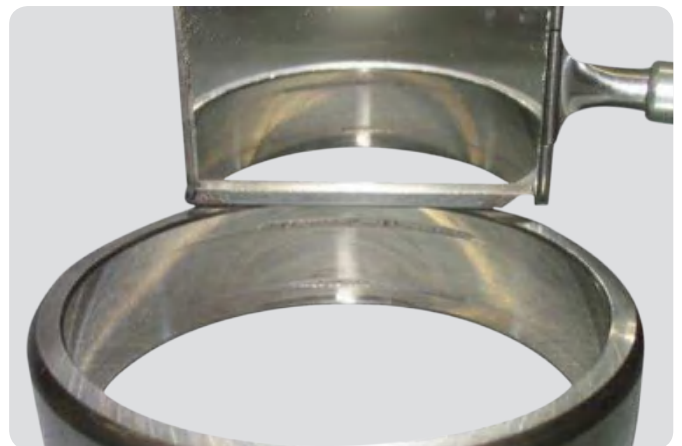
深沟球轴承内圈
材料疲劳



球面滚子轴承内圈
材料疲劳



圆锥滚子轴承内圈
对中误差和随之发生的边部偏载导致仅在滚道一侧出现剥落,进而导致更高应力和轴承失效。



自调心球轴承外圈
椭圆形夹紧导致过载,造成180°剥落分离。

5

表面引起疲劳

措施:

- 确保针对实际应用条件及其变化(载荷、温度、速度、对中误差、安装等)使用合适的轴承
- 确保充分润滑: 在适当时间使用适当剂量的适当润滑剂
- 改善润滑剂的表面分离能力(润滑剂粘度、添加剂、润滑脂配方)
- 定期检查润滑剂质量
- 减少污染(改进密封和油过滤)



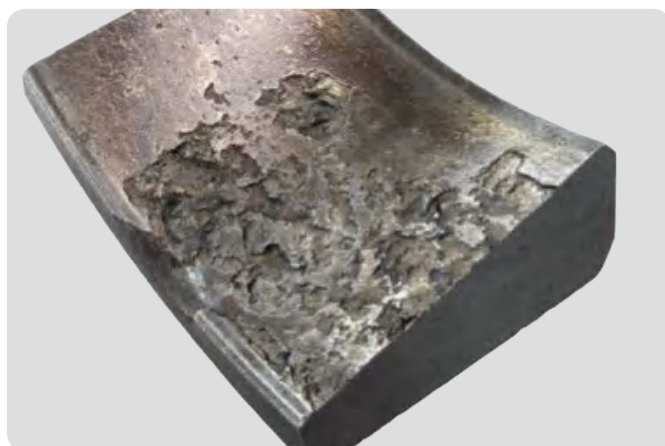
球面滚子轴承内圈
润滑不足, 表面疲劳, 早期剥落



球面滚子轴承内圈
润滑膜不足。最初是污染导致磨损, 后来发展成为表面疲劳和剥落。



球面滚子轴承外圈
最初是污染产生磨损, 后来发展成为表面疲劳和晚期剥落。



圆锥滚子轴承外圈
润滑膜不足, 导致表面疲劳和晚期剥落



圆柱滚子轴承内圈
润滑膜不足, 对中误差过大, 导致晚期表面疲劳。



圆柱滚子轴承外圈
润滑膜不足, 存在对中误差, 导致晚期表面疲劳。



圆锥滚子轴承内圈
润滑膜不足, 导致大面积表面疲劳。



润滑膜不足, 导致大面积表面疲劳。
润滑膜不足, 导致大面积表面疲劳。



双列角接触球轴承内圈
对中误差过大, 导致载荷过大, 两个载荷区180°分离。



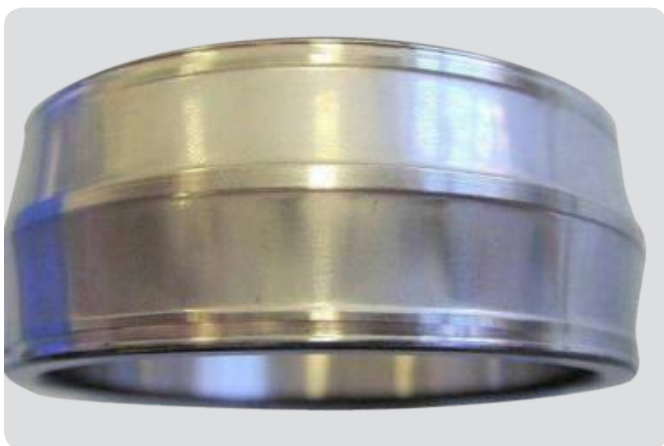
深沟球轴承内圈
安装过程中的冲击导致滚珠节圆处发生剥落。

5

研磨磨损

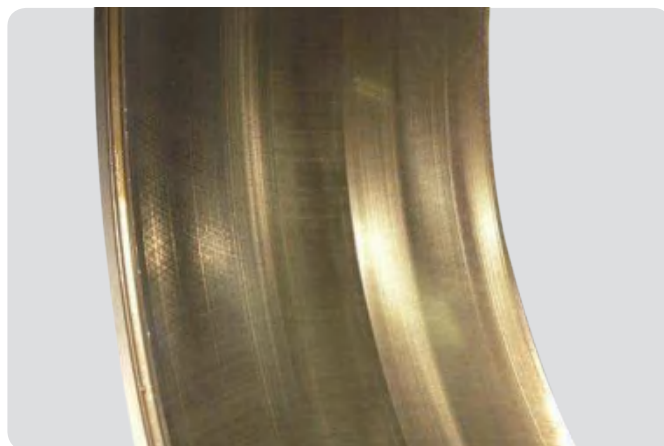
措施:

- 根据实际操作工况, 进行适当的密封配置
- 确保充分润滑: 在适当时间使用适当数量的适当润滑剂
- 定期检查润滑剂质量
- 定期检查密封装置的质量
- 确保轴承座和轴充分配合, 避免蠕动



球面滚子轴承内圈

污染以及由此造成的润滑不足, 导致滚道的研磨磨损 — 略有光泽。



球面滚子轴承外圈

滚道的早期研磨磨损。



球面滚子轴承外圈

滚道上的研磨磨损。轴向负载的滚道也有部分变色, 表明润滑不良并且有热量产生。另一个滚道的载荷区更窄, 外观无光泽。

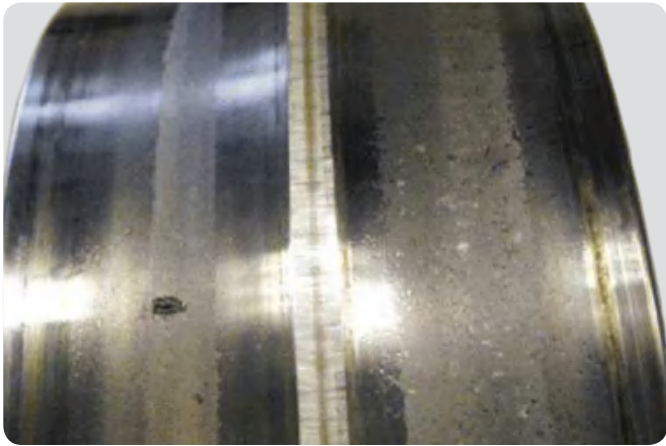


球面滚子轴承内圈

被细微颗粒物污染 — 滚道上的研磨磨损 — 有光泽。由于保持架槽磨损, 保持架在每一侧都切割出一道凹槽。



球面滚子轴承内圈
污染及其导致的润滑不足造成的滚道研磨磨损——一个滚道由于轴向载荷损坏更加严重。



球面滚子轴承内圈
污染物进入导致润滑不足，轨道上的研磨磨损和一处早期剥落。



球面滚子轴承内圈
内圈静止——严重的研磨磨损——两处磨损区域：一处区域磨损严重；然后内圈滑动，形成第二处磨损区域。



角接触球轴承保持架
润滑不足和振动导致保持架槽研磨磨损。保持架梁磨损。



球面滚子轴承外圈
配合不充分造成轴承座跑圈——外表面出现研磨磨损痕迹。



球面滚子轴承外圈
配合不充分造成轴承座跑圈——外表面出现磨光磨损痕迹。

5

粘着磨损

措施:

- 确保施加在轴承上的载荷足够
- 确保密封装置有效工作
- 考虑缩减轴承尺寸
- 核实润滑剂选择 (粘度、抗磨添加剂和极压添加剂)
- 考虑使用涂层
- 考虑使用混合陶瓷球轴承



球面滚子轴承内圈
载荷过低加上润滑不足



圆锥滚子轴承内圈
污染和润滑不足导致法兰粘着磨损以及滚道发亮



圆锥滚子轴承—滚子
污染和润滑不足导致大滚子端面上出现粘着磨损痕迹。



球面滚子推力轴承外圈
最初是粘着磨损，然后产生过多热量，最终卡死。

湿气腐蚀

措施:

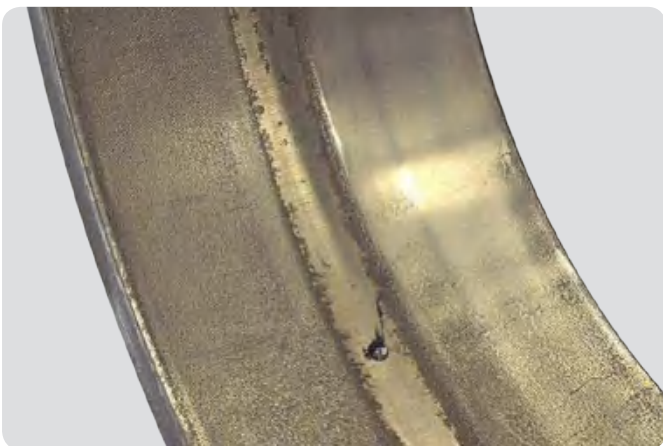
- 确保轴承装置得到充分保护
- 考虑根据工作环境使用密封轴承
- 确保充分润滑: 在适当时间使用适当剂量的适当润滑剂
- 安装前不要拆开轴承包装
- 充分保护已安装轴承



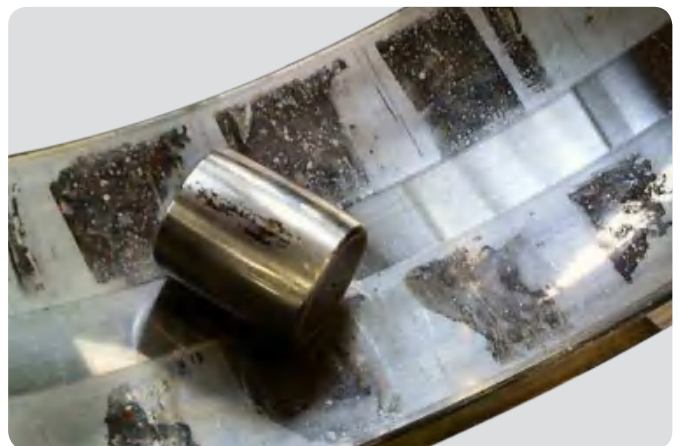
泵单元的圆锥滚子轴承
密封失效，轴承腐蚀、润滑脂变红。



球面滚子轴承—滚子
大量水渗入轴承，导致滚子腐蚀。



球面滚子轴承外圈
密封装置失效，腐蚀性物质进入轴承。



球面滚子轴承外圈和滚子
润滑剂含水量过高，导致滚子节圆处滚道出现静态腐蚀。

5

5 损坏和纠正措施



球面滚子轴承外圈

润滑剂含水量过高, 导致静止时滚子节圆处出现多个蚀刻痕迹。



球面滚子轴承内圈

润滑剂被水污染, 导致静止时滚子节圆处出现蚀刻痕迹。



球面滚子轴承外圈

密封装置失效, 导致静止时出现腐蚀。



圆锥滚子轴承—滚子

手指出汗, 导致滚道表面锈蚀。

蠕动腐蚀

措施:

- 确保配合恰当
- 确保轴承座经适当机加工
- 确保轴承座符合尺寸和几何技术规范 (甚至是在设备大修后)
- 如果采用的是间隙配合, 考虑在一个轴承表面应用抗蠕动腐蚀油膏或涂层



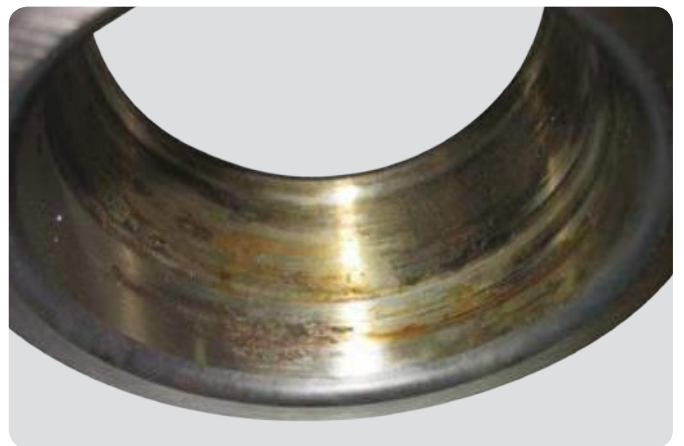
圆柱滚子轴承内圈
轴配合不当 (过松)。



圆柱滚子轴承内圈
轴配合不当, 支撑不均匀。



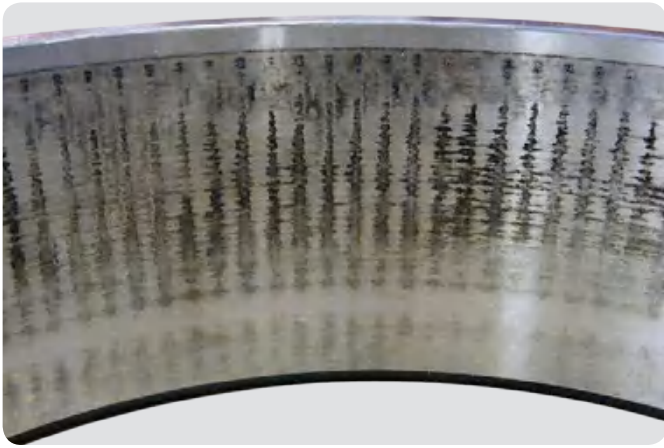
圆柱滚子轴承内圈
轴配合不当, 支撑不均匀。



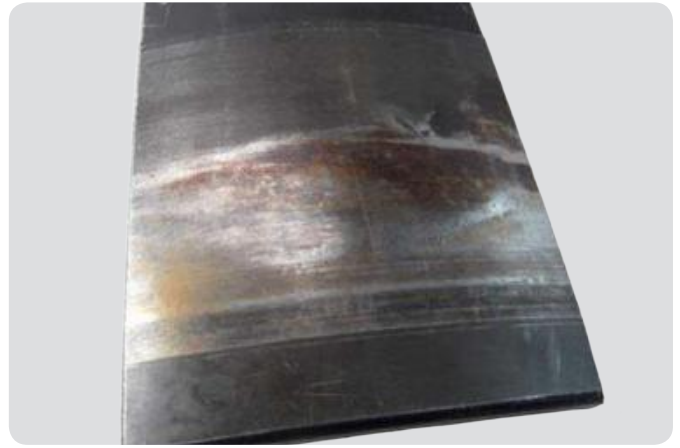
圆锥滚子轴承内圈
轴配合不当。

5

5 损坏和纠正措施



圆锥滚子轴承内圈
与轴加工波度对应的微动痕迹。



圆锥滚子轴承外圈 (磷化)
轴承套圈支撑不均匀。



球面滚子轴承外圈
晚期滚道剥落引起的微动导致的棕色微动腐蚀区域，以及拆卸引起的刮痕。



球面滚子轴承外圈
晚期滚道剥落引起的微动导致的棕色微动腐蚀区域，以及拆卸引起的刮痕。

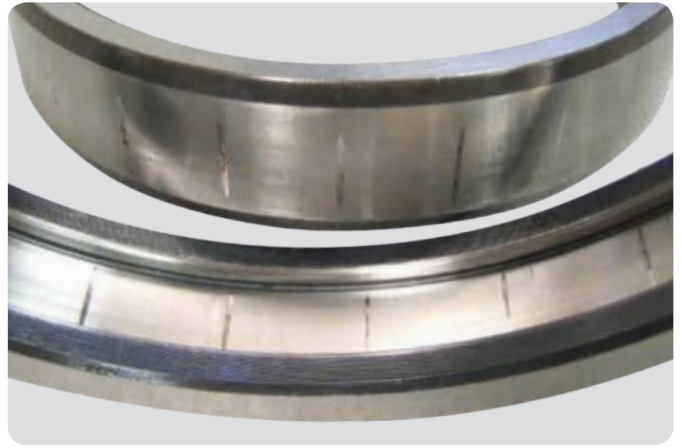


球面滚子推力轴承轴圈
配合不当。

微振腐蚀

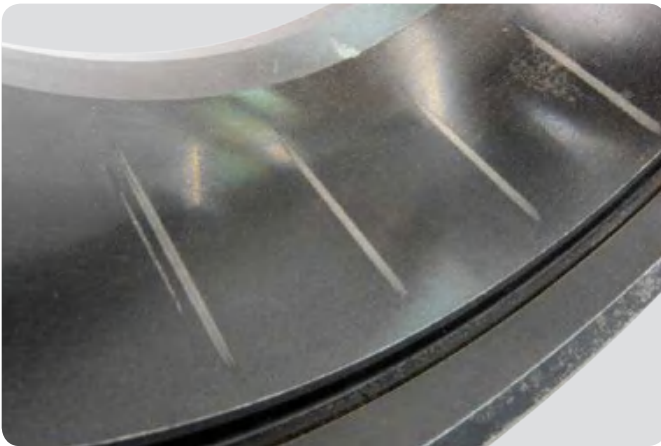
措施:

- 不要让静止轴承暴露于振动环境下
- 考虑安装减振垫
- 使用有抗微振腐蚀特性的润滑剂
- 定期转动备用设备
- 采用适用于振动场合的适当轴承设计



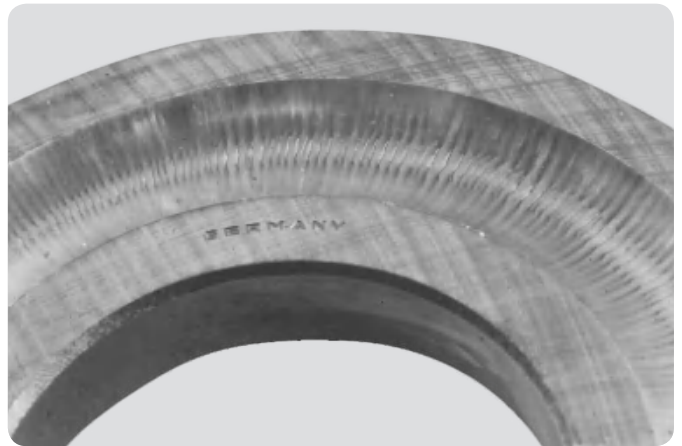
圆柱滚子轴承内圈和外圈

轴承静止时暴露于振动环境下, 滚子节圆处出现微振腐蚀压痕。



双列圆锥滚子轴承外圈

轴承静止时暴露于振动环境下, 滚子节圆处出现微振腐蚀压痕。



推力球轴承轴圈

轴承静止时暴露于振动环境下, 滚珠节圆处出现几组微振压痕。



CARB圆环滚子轴承内圈

轴承静止时暴露于振动环境下, 有轻微振荡运动, 滚子节圆处出现微振腐蚀压痕。



球面滚子轴承外圈

轴承静止时暴露于振动环境下, 滚子节圆处出现成组微振腐蚀压痕。

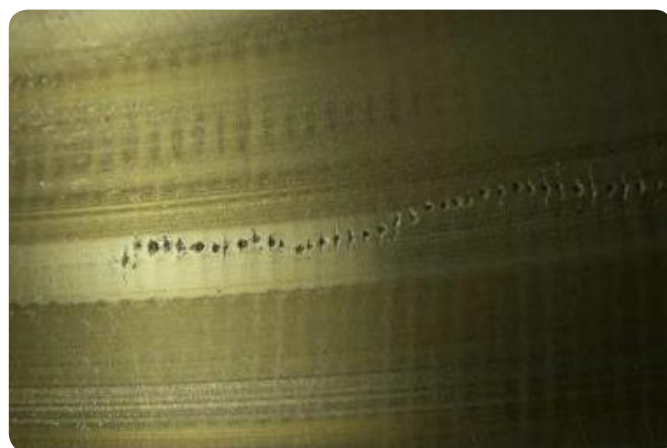
过大电流

措施:

- 确保接地装置安装正确
- 使用绝缘轴承 (INSOCOAT绝缘轴承或混合陶瓷球轴承)



球面滚子轴承 — 滚子
电流过大造成大量念珠状放电痕。



球面滚子轴承 — 滚子
念珠状放电痕的放大视图。



球面滚子轴承 — 滚子
电流过大造成大量“之”字形放电痕。



深沟球轴承内圈和滚珠
电流过大造成滚珠和滚道上出现许多“之”字形放电痕。

电流泄漏

措施:

- 采用对称布线
- 确保定子和转子恰当对中
- 使用绝缘轴承 (INSOCOAT绝缘轴承或混合陶瓷球轴承)
- 确保接地装置安装正确

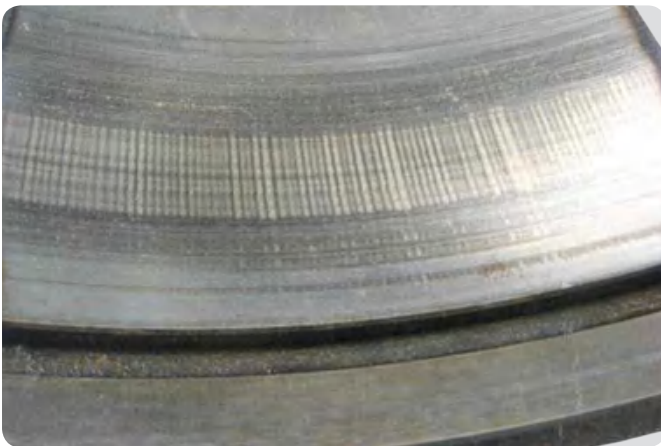
5



球面滚子轴承外圈
早期损坏: 存在小且浅的放电痕的暗灰区域。



圆柱滚子轴承外圈
早期皱缩。



圆锥滚子轴承外圈
早期皱缩。



球面滚子轴承外圈
电流泄漏。

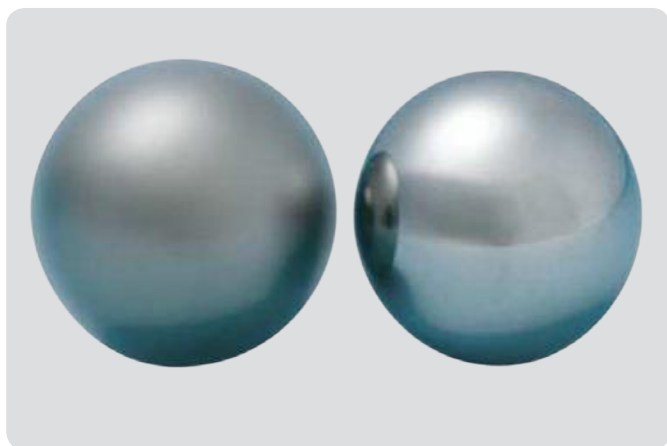
5 损坏和纠正措施



圆柱滚子轴承外圈
晚期皱缩。



深沟球轴承外圈和滚珠
外圈皱缩和滚珠表面暗淡。



深沟球轴承 — 滚珠
左: 受损滚珠 — 表面暗淡。
右: 新滚珠 — 表面有光泽。



圆柱滚子轴承外圈以及保持架、滚子和润滑脂
电流泄漏导致保持架梁上的润滑脂烧焦变黑。

过载

措施:

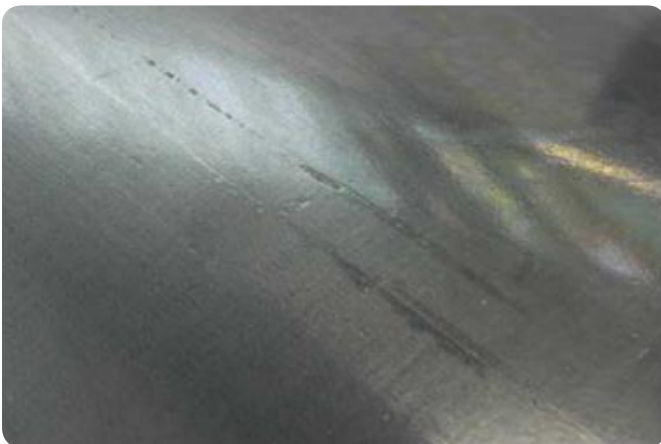
- 使用适当方法安装轴承
- 根据需要使用适当工具或安装套筒
- 严格遵守安装步骤和安装说明



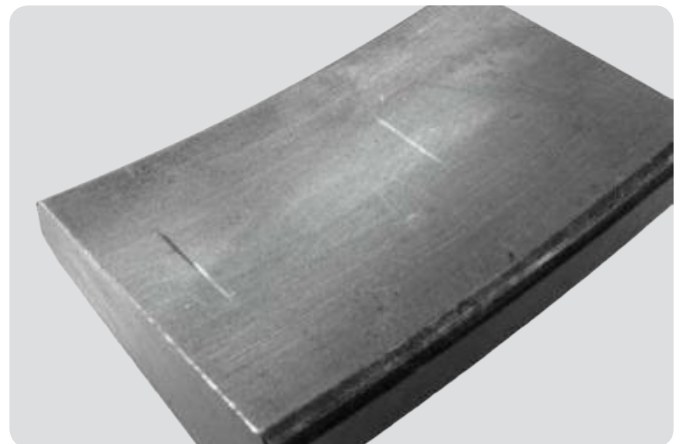
圆柱滚子轴承内圈
安装过程中, 内圈和外圈没有正确对中。在滚动体表面有轴向痕迹。



圆柱滚子轴承内圈
安装过程中, 内圈和外圈没有正确对中。在滚动体表面有轴向痕迹。



圆锥滚子轴承外圈
搬运过程中产生的刻痕。



圆锥滚子轴承外圈
安装过程中产生的刻痕。

5

5 损坏和纠正措施



双列圆锥滚子轴承外圈

轴承静止时承受过载冲击以及不对中会导致变形且滚动物体表面随后出现剥落。



球面滚子推力轴承—滚子

严重冲击，塑性变形。



深沟球轴承外圈

向错误的轴承套圈施加安装力，导致滚动物体表面发生塑性变形。



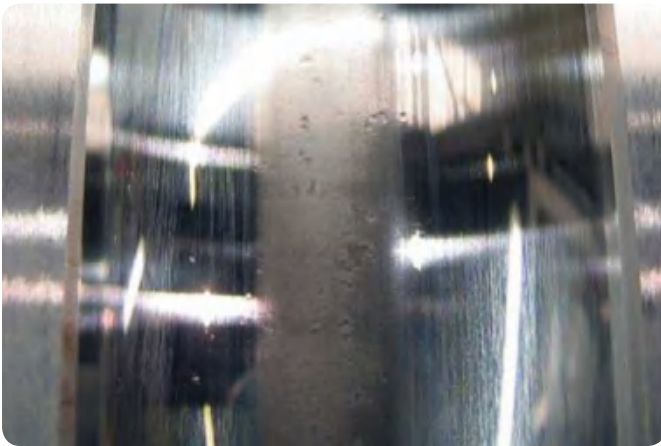
安装在火车轮对上的圆锥滚子轴承

安装过程中保持架被直接敲打，导致永久变形(被压扁)。

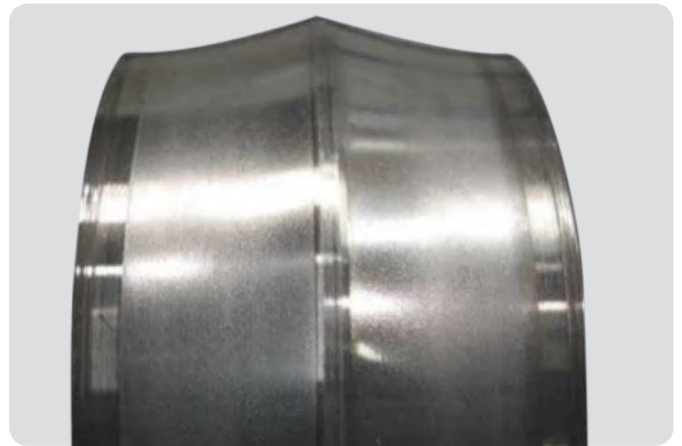
压痕

措施:

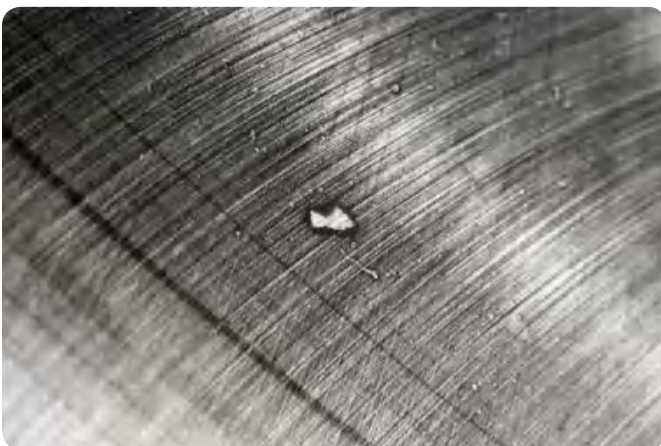
- 确保轴承在清洁条件下工作
- 使用足够的密封装置保护轴承
- 确保轴承充分润滑: 合适的再润滑时间、合适再润滑量、合适的润滑剂
- 防止轴承摔落
- 小心处理轴承



深沟球轴承内圈
不断碾压硬颗粒造成的凹痕 — 密封装置不足



球面滚子轴承内圈
不断碾压小颗粒造成许多小的凹痕 — 密封装置不足



球面滚子轴承外圈
不断碾压安装过程中混入轴承的硬颗粒 — 安装环境不清洁



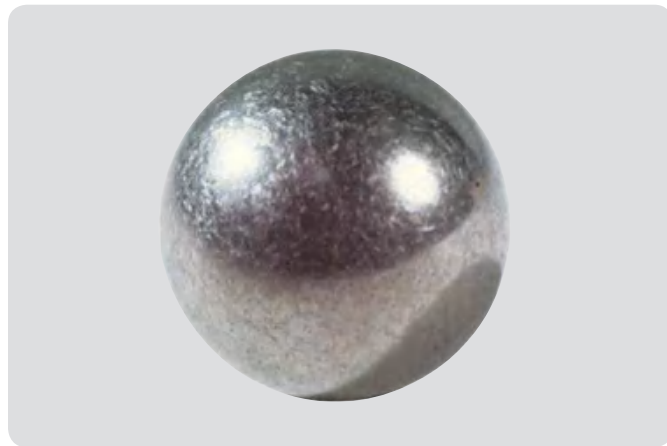
球面滚子轴承外圈
不断碾压切屑/碎屑将导致剥落。

5 损坏和纠正措施



圆锥滚子轴承内圈

不断碾压由于密封装置不足而进入轴承的大而硬颗粒物。



深沟球轴承—滚动体

污染严重的润滑剂中的硬颗粒物造成的损坏。



深沟球轴承内圈

由于不断碾压颗粒产生凹痕，并在凹痕背部开始剥落。



球面滚子轴承外圈

不断碾压安装过程中进入的切屑—安装环境不清洁。

强力断裂

措施:

- 选择恰当配合
- 采用适当方法安装轴承
- 根据需要使用适当工具或安装用冲帽
- 严格遵守安装流程和安装说明
- 切勿对轴承使用蛮力或通过滚动体施加安装力



圆锥滚子轴承内圈

切勿对轴承使用蛮力或通过滚动体施加安装力。



深沟球轴承外圈端面

安装轴承时的冲击导致密封凹槽处断裂。



自调心球轴承外圈

严重的不对中导致滚珠在滚道边缘移动, 从而产生断裂。



圆柱滚子轴承—内圈、外圈和滚子

轴承卡住—润滑问题导致保持架强力断裂。

疲劳断裂

措施:

- 确保轴承座符合尺寸技术规范
- 对于分体式轴承座, 确保两部分正确连接
- 轴承座应清洁 (无切屑或碎屑, 切屑或碎屑会导致局部应力上升)
- 使用适当的安装工具和方法



圆柱滚子轴承内圈

非常严重的剥落 — 因此导致的疲劳断裂。



球面滚子轴承内圈

非常严重的剥落 — 因此导致的疲劳断裂。



球面滚子轴承外圈

轴承座孔不当导致疲劳断裂 (切屑落到轴承座底部)。



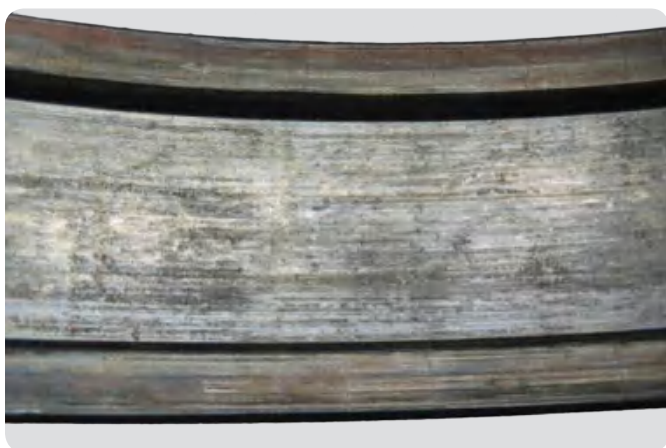
球面滚子轴承外圈

轴承座孔不当, 导致蠕动腐蚀, 最终导致疲劳断裂。

热胀裂

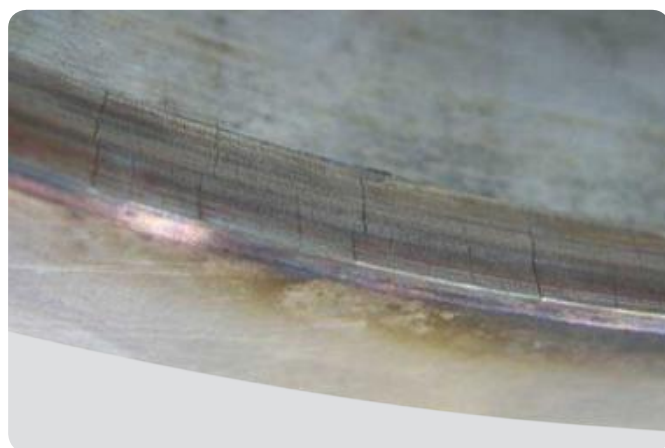
措施:

- 润滑滑动表面或使用涂层, 以降低局部峰值温度
- 确保充分润滑: 在适当时间使用适当剂量的适当润滑剂
- 与SKF应用工程服务部门一起, 检查适用于应用场合的解决方案



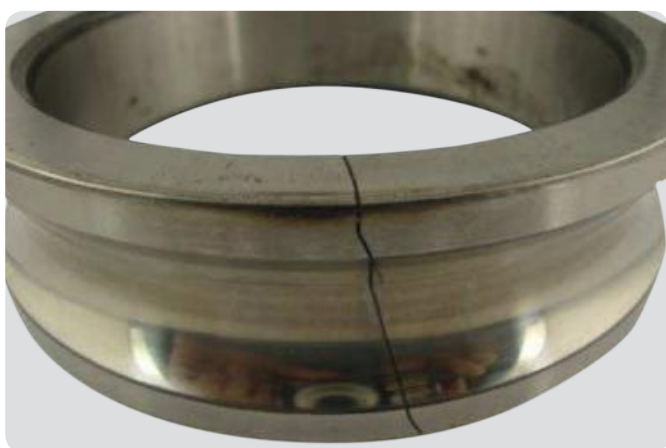
圆柱滚子轴承外圈

润滑不足, 导致肩部保持架接触处热胀裂。



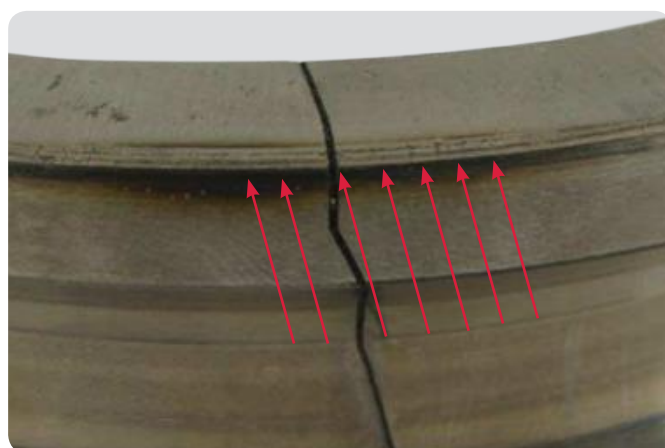
圆柱滚子轴承外圈

润滑不足, 导致肩部保持架接触处热胀裂。



深沟球轴承内圈

对轴承静止部件的过度摩擦导致内圈胀裂。



深沟球轴承内圈

胀裂内圈的放大视图, 沿着内圈肩部有许多热裂纹。

6 其他研究

ISO15243标准的范围限于：

- 使用中轴承发生的外观损坏和变化
- 非常确定由特定原因导致的外观变化
- 使用无损检测方法进行损坏评估

由于这些限制，因此不一定能够确定失效的根本原因，可能需要进行更多深入研究。SKF提供三个专业领域的各种深入检测服务：

冶金

- 评估各种类型的热处理
- 对微观和宏观夹杂、微观组织异常、网状碳化物偏析、晶粒大小、锻造流线、表面缺陷、淬硬性等冶金参数进行测试
- 硬度测试、确定抗拉强度、屈服强度和延展率、部件测试和其他技术参数
- 金相检验
- 为编制材料、测试和热处理技术规范提供支持
- 浸没式超声波探伤服务 (完整轴承套圈、滚子等)

失效和性能分析

- 对生产的、测试台测试的或售后退件中的轴承和其他部件（如轴承箱、凸轮轴）进行失效分析
- 金相和材料测试



微观结构评估



材料样品准备



超声波试验台

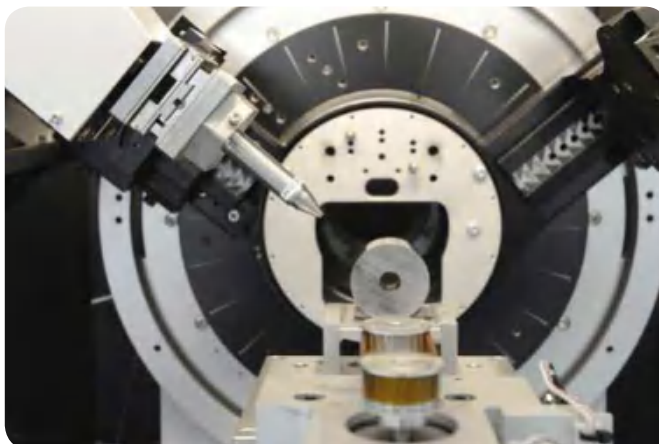
- 对颗粒物和轴承污染、反应层和涂层进行微量分析
- 对来自测试台测试或现场的轴承进行基于X射线衍射 (XRD) 的材料响应分析, 以确定材料负载的机制和进展
- 利用X射线衍射测量残余奥氏体的水平
- 材料和技术咨询

化学 — 特性和性能

- 评估润滑剂、聚合物和密封材料的物理和化学特性
- 进行油脂测试, 确定润滑脂剩余使用寿命和污染水平及类型
- 材料元素分析
- 通过发射光谱法、惰气熔融法或燃烧方法测试金属化学成分
- 评估防腐剂和涂层
- 润滑剂、聚合物和密封材料兼容性测试
- 润滑剂和轴承的清洁度评估, 包括颗粒物计数和重量分析



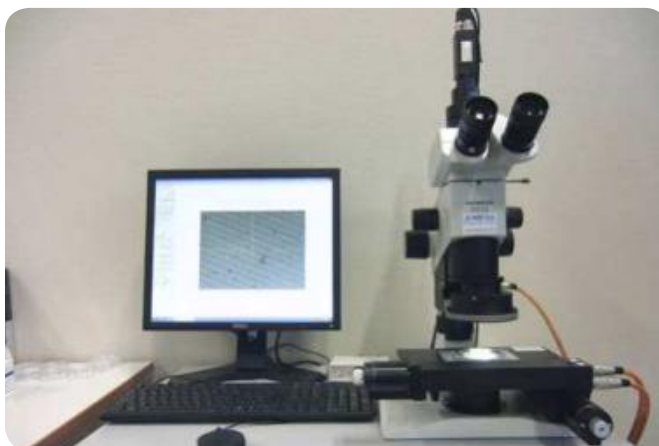
扫描电子显微镜



X射线衍射装置



清洁度评估 (污染物分析) — 冲洗



清洁度评估 (污染物分析) — 自动评估

7 案例分析

本章讨论了一些案例。尽管有些案例相当复杂, 但通过深入调查, SKF工程师可以确定失效过程并提出纠正措施。

列车脱轨

背景信息

行业: 铁路行业

应用: 用于铁路货车的SKF轴箱(见**图1**和**2**), 20吨轴重

轴承: 每个轴箱两个SKF 229750 J/C3R505轴承

问题: 脱轨

一列货运列车通过了轴温探测器(以固定间隔铺设在列车运行线路上, 用来检测轴承温度)时, 检测一切似乎都很正常。

但是, 列车在行驶35公里后脱轨了。一条轮对的轴已损坏。前不久, 此发生故障货车刚通过一家经授权的铁路修理厂完成检修。

轴承及轴箱损坏的观察和说明

这显然不止是“热轴”(见**图3**)的问题。内侧轴承的外圈发生了严重变形。根据变形程度判断, 金属温度超过了800 °C (1 470 °F)。

内侧轴承外圈和迷宫式密封之间有一个21 mm的间隙(见**图3**左下方)。

轴隔圈的宽度仅为14 mm。

装用“Y-25”转向架的货车, 此转向架使用双弹簧—系悬挂轴箱



失效分析

该轴箱有两种不同版本，几乎完全一样：

- 早期版本，也就是这里所讨论的版本，设计用于20吨轴重，轴承内圈之间采用35 mm隔圈。
- 新版本，设计用于22.5吨轴重，轴承内圈之间采用14 mm隔圈。更短隔圈使轮轴更短、更稳固，可适应更重的有效载荷。

很显然，在检修过程中安装了更短的隔圈。因此，轴承内圈在轴向上没有夹紧，使得其在轴颈上朝外侧移动，增加了轴弯曲。另外，外圈也没有适当固定在轴箱箱体内部，导致轴承外圈与迷宫式密封内发生轴向接触。这些都将导致摩擦热增大，轴承卡滞，轴发生断裂，最终导致火车脱轨。

结论

安装了错误的部件，即使是很小的隔圈，也会导致高昂维修成本（线路、接触网、数小时交通中断、六节车厢报废）。

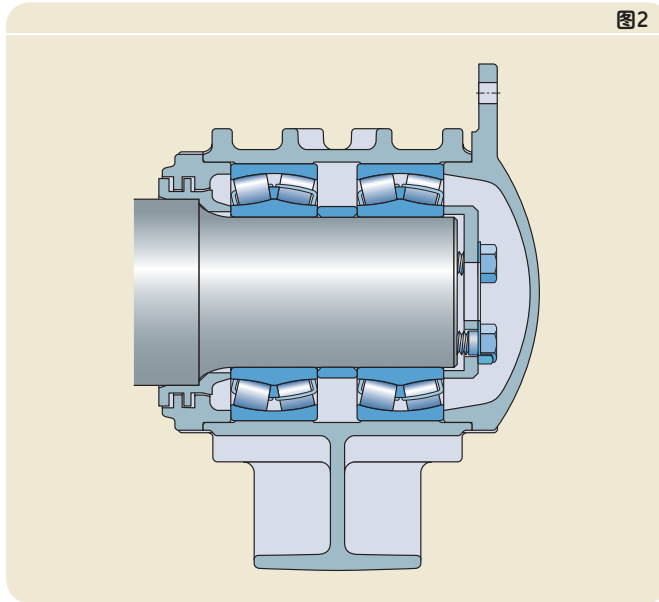
给客户的建议

改进维护说明书，并确保其内容清晰明了。

纠正措施

客户审查并改进了维护说明书，确保此类事故不再发生。

图2



用于20吨轮轴有效载荷的典型轴箱轴承

内外侧轴承的内圈通过轴上的迷宫式密封环、两个内圈之间的35 mm隔圈以及轴端压盖进行轴向定位。轴箱后挡侧使用分体迷宫式后盖和轴箱前盖进行轴向定位。

故障轴箱(切割)残骸(供失效分析)

图3



变速电机问题

背景信息

行业: 纸浆和造纸行业

应用: 卫生纸机卷筒部分的变速电机 (见图4), 400 VAC, 配有变频器

轴承: 非固定端轴承: NU 322 ECM/C3VL024 (绝缘)

固定端轴承: 6322 M/C3VL024 (绝缘)

转速: 变速, 1 000-1 500转/分

润滑: SKF LGEP 2润滑脂—手动润滑

问题: 轴承平均使用寿命仅1-2个月

轴承损坏观察和说明

圆柱滚子轴承在仅使用一个月后出现严重损坏。(球轴承未受影响。) 振动水平过高, 导致停机。

内圈

滚道表面有严重磨损。磨损不规则, 可看到一些扁平痕迹。滚道表面为暗灰色 (见图5a)。

外圈

滚道(载荷区)表面有严重磨损。磨损不规则。可看到类似振动(皱缩)引起的痕迹。滚道表面为暗灰色 (见图5b)。

外表面绝缘层完好无损。

失效分析

外观检查只能发现不规则的波纹轨迹, 看上去像振动引起的严重磨损。

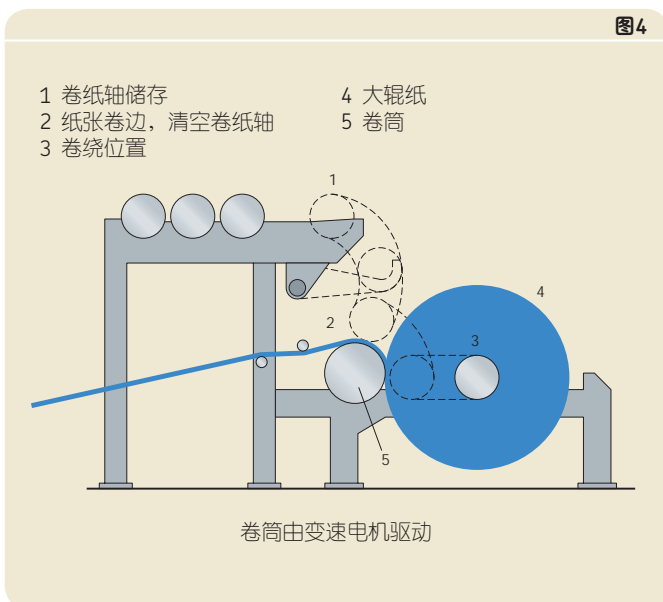
仔细观察损坏的轴承套圈, 通过与客户讨论, 发现有两个可能原因:

- 1) 振动过大
- 2) 电流通过轴承

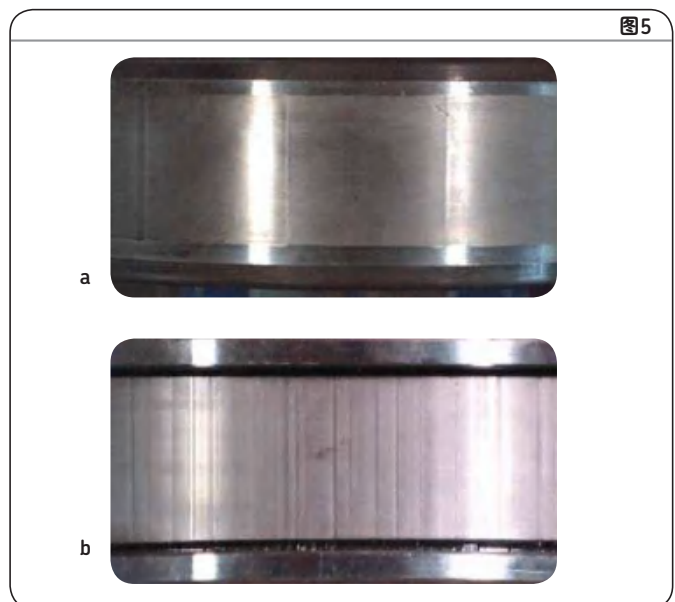
但是, 客户确认, 使用的是“绝缘”轴承并且所有设备都利用新橡胶垫进行了适当支撑以减轻振动。

两个可能原因似乎都是不确定的, 因此轴承被带回实验室作进一步研究。

典型的大辊纸(卷纸轴)布局



圆柱滚子轴承内圈(a)和外圈(b)滚道表面的严重磨损和振动痕迹



将轴承切开, 然后把一小部分放在显微镜下观察, 可以得出一些有趣的结论:

滚道表面有微小的放电痕, 这是破坏性电流通过轴承(电流泄漏)引起的(见图6和图7)。

这导致了皱缩。之后(连续地), 大量材料被磨掉, 导致内圈和外圈滚道上出现奇怪的路径痕迹。

结论

很显然, 失效模式为电流泄漏腐蚀 (ISO 5.4.3)。

给客户的建议

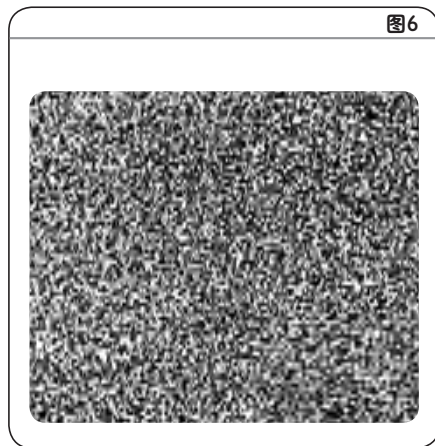
检查电气系统。

纠正措施

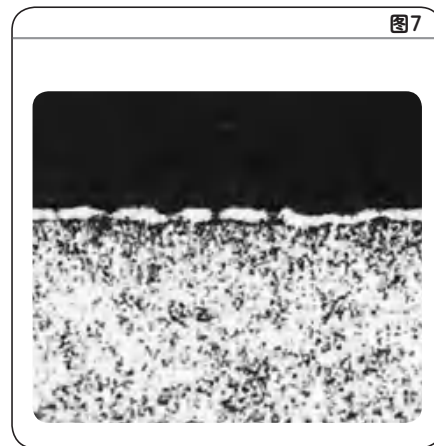
由于确认电流泄漏是轴承损坏的根本原因, 客户检查了整个电气系统。

检查发现, 在一次电机修理过程中, 接地线被断开, 但并未重新连接。

重新连接接地线并安装另一套绝缘轴承之后, 再没有出现问题



150倍放大倍数下的内圈滚道表面 (表面有大量微小放电痕)



500倍放大倍数下的内圈横截面

顶部(黑色区域下方)细亮条即为滚道表面。这是接触区域处热量导致的再硬化材料。在光亮区域下方, 有一条经退火处理的细暗条。其下部分为正常硬度的钢材。

碾泥机问题

背景信息

行业: 建筑行业
应用: 砖厂碾泥机
轴承: SKF 24044 CCK/C3W33 – 固定端轴承
载荷: 未知, 但相对较重, 有冲击载荷
转速: 低于100转/分钟
温度: 约 30 °C (85 °F)
润滑: SKF LGEP 2 润滑脂
补充润滑: 每30小时, 30g
问题: 轴承过早失效 – 投入使用1.5年后

对轴承失效的观察与描述

径向游隙

对轴承首先进行了清洗。在解体前测得的径向内部游隙为0.9 mm。新轴承的径向游隙为0.25-0.32 mm。

当翻转内圈时, 滚子从保持架兜孔中上脱落。

内圈

内孔没有蠕动腐蚀迹象, 两侧面均无损伤。滚道表面有严重磨粒磨损。保持架在左右两侧滚道的边缘均犁割出了一道槽, 表明保持架与滚道发生了接触。滚道表面为暗灰色(见图8)。

有小的腐蚀点, 但并未被过度碾压。

拆卸过程中造成的一些与滚子等间距的横向涂抹痕迹。

外圈

滚道严重磨损, 颜色为暗灰色(见图9)。同样存在拆卸造成的与滚子等间距的横向涂抹痕迹。

外径上有严重的蠕动腐蚀痕迹(见图10), 系外圈因重载和支承不均而发生蠕动的结果。

外圈侧面也有蠕动腐蚀痕迹(见图11), 进一步证实了套圈曾产生蠕动。

滚子

滚子表面为暗灰色。可以看到轴承拆卸造成的涂抹痕迹(见图12)。

保持架

窗式保持架的兜孔出现研磨磨损。保持架横梁严重磨损(见图13)。

导环

导环未见磨损或损坏的迹象。

润滑脂

润滑脂严重污染, 与新润滑脂相比出现褪色。

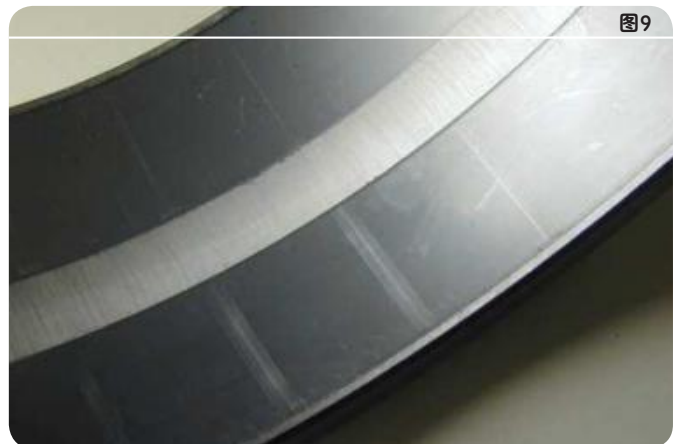
内圈：滚道表面出现严重磨粒磨损，两侧滚道边缘出现环形槽

图8



外圈：滚道表面出现严重磨粒磨损以及横向涂抹痕迹

图9



失效分析

轴承出现大量磨粒磨损痕迹。保持架兜孔间隙大幅增加,致使保持架下落,在滚道边缘处犁割出一道槽。

很显然,粘土进入轴承内腔,导致润滑问题。

结论

很显然,失效模式为磨粒磨损 (ISO 5.2.2).

给客户的建议

改进密封装置以保护轴承。可通过以下方式实现:

- 每天补充润滑;
- 使用SKF探索者密封球面滚子轴承;
- 使用可以补充润滑的迷宫式密封;
- 使用SKF铁燧岩密封件替代当前密封解决方案;
- 为密封装置装一个自动润滑器,以进一步延长轴承寿命。

检查润滑油管以及润滑脂嘴是否堵塞。

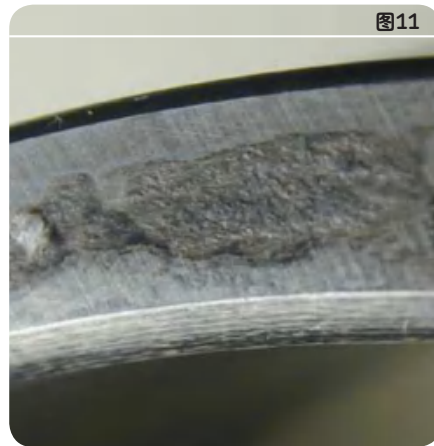
检查轴承座孔,必要时进行修理。

纠正措施

客户改进了密封装置并缩短了补充润滑间隔。



外圈: 外径蠕蚀腐蚀



外圈: 侧面蠕蚀腐蚀

滚子: 暗灰色



保持架: 兜孔磨损



颚式破碎机问题

背景信息

行业: 采矿业

应用: 颚式破碎机 (见图14、15和16)

轴承: SKF 231/500 CAK/C3W33

问题: 轴承过早失效 (主轴轴承, 外侧)

客户一直以来仅使用优质轴承。主轴轴承每五年更换一次。上一次检修后, 轴承在两年内失效。

客户要求SKF确定轴承过早失效的根本原因。

轴承损坏观察和说明

内圈

滚道表面有严重的磨粒磨损 (见图17)。没有发现其他痕迹。

外圈

在载荷区内一小块面积上, 发现滚道表面有严重剥落。在载荷区内的大部分, 滚道表面有严重的振动痕迹 (见图18)。

在载荷区外表面上, 发现有严重的微动腐蚀痕迹 (见图19)。

保持架

保持架兜孔处发现有严重的不规则磨损 (见图20)。

失效分析

轴承检查重点反映出两个问题:

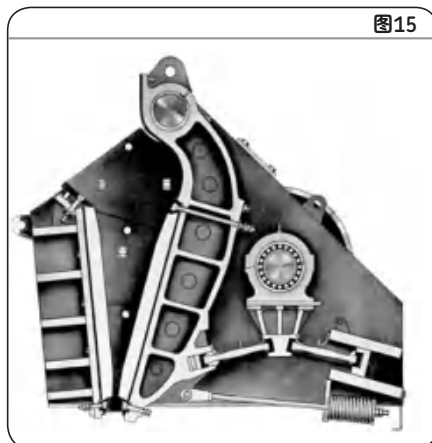
- 1) 在载荷区内同时出现外圈外表面和滚道面损坏 (外表面: 微动腐蚀; 滚道: 剥落), 说明轴承座孔出现问题。

内圈滚道上的磨粒磨损可能是剥落引起的二次损坏, 同时检查发现润滑剂不合格。

- 2) 外圈滚道表面波纹和保持架严重磨损说明运行过程中出现了严重的振动问题。



典型的大型颚式破碎机



双肘板颚式破碎机原理图

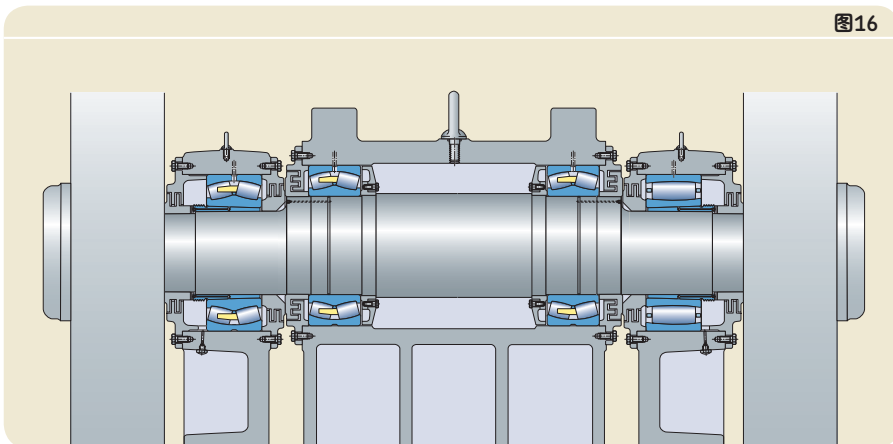
结论

失效原因是微动腐蚀, 而微动腐蚀由损坏的轴承座孔导致。(ISO 5.3.3.2)。

给客户的建议

- 1) 检查轴承座孔。必要时进行修理。
- 2) 找出运行过程中的振动源或振动原因。

典型的颚式破碎机轴承配置



纠正措施

- 1) 轴承座检查证实, 轴承座孔已磨损, 无法在载荷区提供足够支撑。因而, 外圈外表面出现严重的微动腐蚀, 致使载荷区滚道发生变形。最终导致过早剥落。
- 2) 对该应用进行的全面机械检查表明, 被破碎的物料没有完全排出, 导致破碎机底部积料升高, 破碎机成了捣碎机。导致过度振动和较重的外部载荷, 进而加重了滚道表面的微动腐蚀和波纹。

在一次计划停机时, 维修了轴承座孔并对破碎机的出料端进行了重新设计。自此次整改之后, 再没有出现问题。



内圈：
滚道表面的磨粒磨损



外圈：
滚道表面载荷区的剥落和振动痕迹（外圈底部）



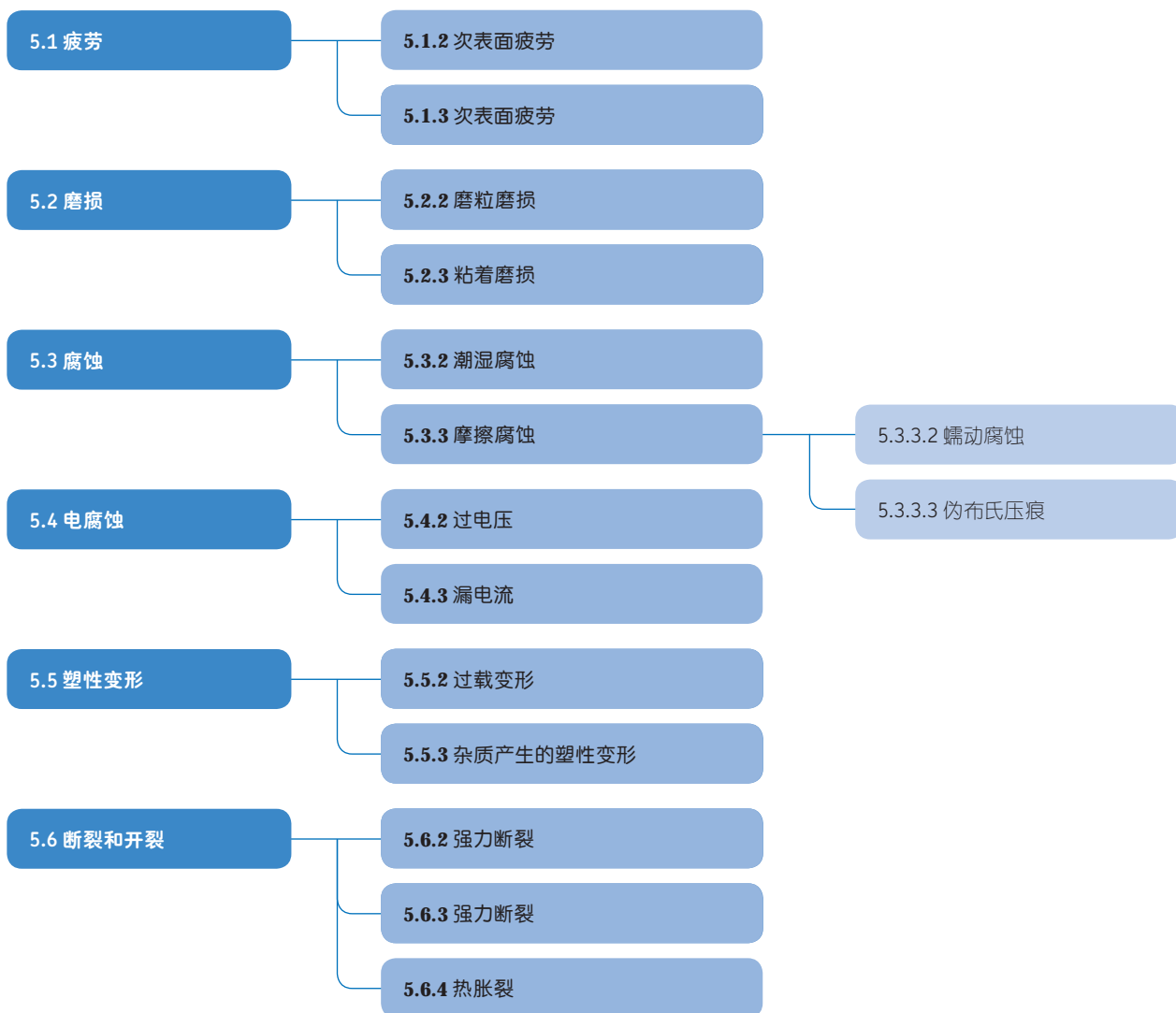
外圈：
外表面载荷区的严重微动腐蚀



保持架：
保持架兜孔严重磨损

8 附录

附录A: SKF基于ISO 15243:2004¹⁾的轴承失效模式分类



¹⁾与ISO 15243:2004相比,失效模式5.5“塑性变形”的子模式“过载变形”和“操作过程中的压痕”合并为“过载变形”。
失效模式5.4.2更改为“过电压”。

附录C：轴承损坏和失效—模式和原因

发生变化的表面	变化的种类	发生的变化	对应的ISO失效模式	
轴承任何部件的任何表面	褪色	潮湿腐蚀	5.3.2	
		各层及沉积物颜色不同	5.2.3 / 5.6.4	
	断裂和开裂	轴承套圈断裂, 断裂区域无其他明显变化	5.6.2	
		轴承套圈断裂, 伴有粘着磨损痕迹	5.2.3 / 5.6	
		轴承套圈断裂, 伴有受热变色	5.2.3 / 5.6	
		轴承套圈断裂, 伴有磨削烧伤	5.6.3	
		轴承套圈断裂, 伴有冲击/机械损伤	5.5.2 / 5.6	
轴承套圈断裂, 伴有蠕动腐蚀或潮湿腐蚀	5.3.2 / 5.3.3.2 / 5.6			
特定表面	配合面	蠕动腐蚀磨损	表面泛红	5.3.3.2
		表面磨光	5.2.3	
	滚道和滚动体	仅发生在轴承套圈运行轨道或滚动体上的变化	颗粒过度碾压 (压痕) 导致的表面损坏	5.5.3
			断裂 (剥落) 导致的表面损伤	5.1.2 / 5.1.3
			表面磨损	5.2.2
			表面疲劳	5.1.2
			表面损伤, 出现凹槽 (凹槽底部发亮、泛红或呈暗灰色)	5.4.3 / 5.3.3.3
			表面损伤, 出现裂痕、凹槽、粘着磨损	5.5.2 / 5.6
			滚动体上出现环形带状痕迹	5.2.2
			表面发亮、光滑	5.2.2
		在部分轴承套圈运行轨道上以固定节圆间距发生的变化	塑性变形	5.5.2 / 5.6
			静止振动痕迹 (滚动体节圆处)	5.3.3.3
	刻痕		5.5.2	
	腐蚀痕迹、缝隙腐蚀、蚀刻痕迹		5.3.2	
	在部分轴承套圈运行轨道上以不固定节圆间距发生的单一、局部变化	剥落 (次表面疲劳)	5.1.2	
		表面损伤: 出现冲击痕迹、凹槽、划痕和压痕	5.5.2	
		滚道周边出现一处或多处粘附痕迹	5.2.3	
		局部变色 (过热)	5.2.3	
		电流通过导致出现凹坑	5.4.2	
		局部腐蚀	5.3.2	
保持架	保持架梁、保持架环或铆钉断裂	5.6.3 / 5.6.2		
	引导面磨损	5.2.2 / 5.2.3		

附录D：信息采集

当轴承受损或失效时，需要采集并记录相关信息，以便后续进行根因分析。

下文简要介绍了需要考虑的因素：

一般信息

- 公司和联系人
- 设备和应用描述
- 问题描述

运行数据

- 轴承系统和轴承配置的详细图纸和照片
- 应用数据 (包括转速、载荷、温度、润滑方法、润滑剂、润滑剂更换规范、驱动系统、轴承型号、轴和轴承座配合规范、密封、轴承寿命和运行时间)

监测数据

- 状态监测记录 (振动水平、温度读数及声音记录)
- 润滑剂分析记录

安装过程中的数据

- 记录设备的所有可见损坏 (螺栓松动、密封件等相邻部件受损或磨损、出现划痕)
- 从轴承和周围区域取润滑剂样本，将样本存储在干净的容器中，做好标注。
- 在设备内标注轴承套圈的安装位置，以及轴承套圈与轴/轴承座的相对位置。
- 在此过程中注意拍照并做好记录。
- 小心拆卸轴承，如果无法避免损坏，记录拆卸方法。
- 标注轴承部件。
- 将轴承置于合适容器中，防止被污染或受潮，以便日后由SKF代表进行进一步分析。不要清理轴承！

检查轴承座。记录尺寸和外观。拍照注意事项 (针对智能手机和数码相机)：

- 对于需要记录的各个部件和特征，拍摄整体以及局部 (不同焦距) 照片。
- 不要将相机设为全自动模式，不要使用闪光灯。如果可能，使用手动模式，控制曝光和传感器敏感度 (感光度值)。
- 如果相机有微距模式，请使用该模式。



- 将相机感光度设为初始值，通常为最小感光度值。较高的感光度会产生噪声，隐藏细节信息。
- 在有多个光源的地方，要使用三脚架 (见图1) 和自拍功能，避免产生阴影。
- 在缺少对比物的情况下，相机可能不能正确聚焦在金属表面，因此请聚焦在受损部位附近的尺子 (见图2) 或铅笔上。此外，使用尺子还可以显示尺寸。
- 拍照后，一定要放大查看，确保焦点对准。



附录E：术语

本部分涵盖了处理轴承损坏和失效时最常用的术语和表达，按字母顺序排列。如适用，还提到了参考的ISO 15243标准。

磨耗

两个相互接触的表面在承受相反方向载荷的情况下相对移动而发生的磨损过程。产生磨耗的原因是两个接触面之间存在硬颗粒或者一个或两个接触面上有坚硬凸起。(ISO 5.2.2)

磨粒磨损

磨耗导致的表面材料的不断损失。(ISO 5.2.2)

粘着磨损(粘污)

两个润滑不良的表面在载荷作用下相互滑动而产生的损坏。粘污会导致材料从一个表面转移到另一个表面，留下“撕裂”的迹象。(ISO 5.2.3)

微凸体

测量表面粗糙度或表面轮廓时考虑的机械加工表面的小凸起(高点)。

微振腐蚀

见过载。

累积(累积边缘)

移动后在压痕边缘附近形成的高于表面的材料(ISO 5.5.3)

磨光(抛光)

一种平整过程，累积塑性变形导致微凸体被整平，使最初的滑动或滚动表面变得更加平滑。(ISO 5.1.3)

蝶形

(氧化)杂质导致材料结构发生蚀刻，进而导致形成一种类似蝴蝶翅膀形状的典型“外观”。

保持架老化

时间推移导致的聚合物保持架机械性能的损失。高温或侵蚀性润滑剂会加速老化。此外，接触氨也会导致冲压黄铜保持架提前老化。

振纹

润滑膜不足以及轴承出现振动导致滚道上形成的肋状纹。

接触微滑移

见微滑移。

接触应力(赫兹接触应力)

当两个固体在一定载荷下接触时在其表面形成的应力。

污染物

进入轴承并对其性能产生不良影响的固体颗粒或液体。

腐蚀

金属表面发生化学反应形成的氧化层。(ISO 5.3)

裂纹

由于材料应力导致材料内出现不连续但并未完全分离的情况。另见微裂纹和磨削裂纹。(ISO 5.6)

放电痕

破坏性电流通过轴承时滚道或滚动体上出现的看起来像凹坑的肉眼可见的凹点。(ISO 5.4)

蠕动

轴承套圈及其配合面在轴上或轴承座内的相对转动。

电流泄漏腐蚀

电流流经滚动接触面时造成的损坏。(ISO 5.4.3)

损坏

降低部件性能的任何变化。

深色蚀刻面(DEA)

见深色蚀刻区。

深色蚀刻区(深色蚀刻面)

深色蚀刻区指表面下的某一区域在累积应力的作用下金相组织结构发生变化，当材料被蚀刻时，会呈深色。(ISO 5.1.2)

缺陷

轴承或其部件的生产或安装过程中引入的材料或产品问题。

变形

物体正常形状的改变。这种改变可能是永久性的(塑性变形)，也可能是临时性的(弹性变形)。

凹痕

见压痕。

灰暗表面

由于磨粒磨损而形成的非反光表面。(ISO 5.2.2)

边部偏载

对中误差过大及/或载荷过大导致载荷延伸至一个或多个滚动体的边缘。

塑性变形

部件形状发生强制性变化，但所承受应力未超出其弹性极限。当变形力消除之后，部件会恢复其原状。

电蚀

较强的破坏性电流流经轴承滚动接触面时轴承发生局部融化，进而形成的较大放电痕或微小放电痕。(ISO 5.4)

电气点蚀

较弱的破坏性电流通过轴承滚动接触面时形成的微小放电痕。(ISO 5.4)

腐蚀

固体表面和污染物之间的机械交互导致材料不断损失。

蚀刻

一种利用化学品暴露金属结构的工艺。

大电流腐蚀

滚道和滚动体上出现的较大放电痕,可能会伴随因局部过热而导致的润滑剂变色或烧焦。(ISO 5.4.2)

失效

导致轴承不能实现其预定功能的缺陷或损坏。

伪布氏压痕

当轴承处于静止状态下时,滚动体由于振动而发生微小移动,进而导致滚道的滚动体节距内形成的永久凹陷。伪布氏压痕的外观与过载(布氏压痕)相似,但这种情况下凹陷区域周围没有材料累积。(ISO 5.3.3.3)

疲劳

应力积累或材料缺陷导致的滚动体及/或滚道接触面的弱化(金相组织结构改变)。

疲劳破裂

疲劳起源型裂纹扩散导致的轴承套圈或其他部件的整体断开。(ISO 5.6.3)

剥离

见剥落。

凹槽

见皱缩。

受压坡裂

应力集中超出材料抗拉强度导致的破裂。(ISO 5.6.2)

破裂

裂纹发展至完全分离。(ISO 5.6)

碎块

从较大物体上剥离出来的一小部分。

蠕动腐蚀

一种损坏类型,两个接触部件之间发生细微运动,导致微小碎屑迅速氧化,形成红黑相间的表面。(ISO 5.3.3.2)

摩擦

承受相反载荷的两个相互接触的物体在相对移动时遇到的阻力。

无光

润滑不良导致轴承滚道表面灰暗无光泽。这种磨损的特征是滚道上有微小金属碎屑被剥离。(ISO 5.1.3)

凹沟

滚道表面上较长、较深的刻痕。(ISO 5.5.2)

擦伤

一种粘着磨损。局部表面焊接造成一个表面的材料被扯下,在这个表面上形成了较大的孔隙。(ISO 5.2.3)

抛光

见磨光。

划伤

一个物体压到另一个物体上并强行滑过对另一物体表面造成的划伤。(ISO 5.5.2)

磨削烧伤

由于磨削时产生过多摩擦热量而导致的近表面结构发生的变化(回火、再硬化)。蚀刻后,可在表面上看出变化。

磨削裂纹

由于磨削过程中的局部加热和快速冷却而形成的裂纹。

亮环

一个比周围区域颜色亮的较小的环形区域。

赫兹接触应力

见接触应力。

杂质

基体材料中的异物。另见大杂质。

压痕(凹痕)

一个固态部件压到另一个物体表面而形成的、将导致永久性(塑性)变形的损坏。滚动轴承中由于固体污染物或碎屑被碾压而形成的滚道凹痕。这种压痕可能是尖锐的(由金属颗粒导致),可能是圆滑的(由软碎屑导致),也可能包括多个部分(由脆弱碎屑导致)。在凹痕底部可能会看到原始表面,移位的材料会在凹痕周围形成凸起的边缘(累积)。(ISO 5.5.3)

过盈配合(过渡配合)

配合面上的摩擦导致的两个压在一起的部件之间的紧配合。

大杂质

一种异物或颗粒,通常是由于局部氧化或者在出钢过程中,耐火衬里的颗粒进入轴承而形成的夹渣。这种杂质在磨光蚀刻表面上可以利用十倍或以上放大镜检查出,也可以通过超声波检测出来。

微裂纹

轴承部件表面上或表面下出现的微小裂纹。

微小碎片

接触表面上微凸体的微小碎片。

微移(接触微移)(微滑移)

由于几何形状的影响所导致的滚动轴承接触面上的部分滑动。

湿气腐蚀

水或其他化学品在金属表面凝结,并与氧气相互作用(氧化)而导致的化学反应。(ISO 5.3.3)

裂痕

一个坚硬锋利物体 (静态或冲击) 压入另一个接触部件的表面而形成的塑性凹陷。

椭圆形夹紧 (挤压)

径向挤压轴承套圈, 使轴承套圈变成椭圆形。

过载 (布氏压痕)

当静载荷超出了材料的极限值时在轴承滚道的滚动体节圆处形成的永久压痕。这种压痕反映了滚动体的形状, 在其周围会有累积的移位材料。(ISO 5.5.2)

平行凹槽

见皱缩。

路径痕迹

由于某一轴承部件与滚动体、滚道等另一轴承部件接触而导致的其本身外观上的变化。

剥皮

一种由于润滑不足而产生的表面起源型疲劳。这种损坏看起来像是一层薄金属片脱落了。(ISO 5.1.3)

点蚀

一个用于描述看起来像小孔、凹坑或孔隙等局部损坏的通用术语, 其形成原因包括表面引起的疲劳、腐蚀、电蚀和碎屑形成的压痕。

塑性变形

不涉及材料损失的某一形状的永久变形, 发生于载荷超过材料屈服强度时。(ISO 5.5)

划沟

见划痕。

磨光磨损

一种极其轻微的磨粒磨损, 会导致表面高度光滑、发亮。(ISO 5.2.2)

过渡配合

见过盈配合。

再硬化

局部加热达到或超出奥氏体形成温度之后再迅速冷却时发生的金相变化。

残余应力

产生应力的最初原因 (生产、载荷、温度等) 消失后, 部件内残留的应力。

滚动接触疲劳

由于运行中的反复循环应力而导致的表面或次表面疲劳。(ISO 5.1)

磨合

新轴承或新应用的试运阶段, 目的是形成稳定的摩擦和摩擦热。

划痕 (划沟、划伤)

由于硬碎屑进入保持架等较软部件, 之后轴承运行时在滚子或滚道上碾压, 或者由于安装过程中一个轴承部件和另一个轴承部件刮擦而造成的轴承套圈或滚动体上的划痕。(ISO 5.5.2)

划伤

见划痕。

粘滞

一种磨粒磨损类型。滑动表面之间的固相焊接形成的局部损坏, 但局部表面没有融化。(ISO 5.2.3)

卡死

轴承无法移动或转动的情况, 其通常是由轴承被堵塞或轴承部件之间发生摩擦焊接所引起的。

滑移

一种粘着磨损类型。运行过程中滚动体在载荷作用下在滚道上滑动, 造成表面损坏、变白。

粘污

见粘着磨损。

平整

去除或磨平微凸体, 形成更平滑的表面。

剥落 (剥离)

疲劳 (表面起源型疲劳或次表面引起的疲劳) 造成的小碎片材料损失。(ISO 5.1)

次表面引起的疲劳

由于次表面裂纹向表面扩展造成的滚道表面上的剥落。(ISO 5.1.2)

表面疲劳

见表面引起的疲劳。

表面引起的疲劳 (表面疲劳)

润滑膜太薄及/或润滑剂不干净导致金属与金属接触, 最终导致表面出现微裂纹或微小碎片。(ISO 5.1.3)

受热破裂

温度过高以及残留应力过大导致的轴承套圈上的裂纹。通常温度过高是由于载荷面之间发生滑动产生的摩擦热所导致的。(ISO 5.6.4)

布氏压痕

见过载。

皱缩 (凹槽、平行凹槽)

漏电造成的放电痕进一步形成的凹槽。这种类型的损坏会出现在滚珠滚道、滚子轴承和滚子上, 但不会出现在滚珠上。凹槽与滚动轴线平行, 并且通常以相等间距分布。(ISO 5.4.3)

磨损

表面材料的逐渐损失。(ISO 5.2)

© SKF, CARB, INSOCCOAT, SENSORMOUNT是SKF集团的注册商标。

™ SKF Explorer是SKF集团的注册商标。

© SKF集团2015

本出版物内容的著作权归出版者所有且未经事先书面许可不得被复制(甚至引用)。我们已采取了一切注意措施以确定本出版物包含的信息准确无误,但我们不对因使用此等信息而产生的任何损失或损害承担任何责任,不论此等责任是直接、间接或附随性的。

PUB BU/13 14219 ZH · 2015年12月

本出版物取代出版物PI 401 E。

部分图片经Shutterstock.com授权允许使用

