



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 24611—2020/ISO 15243:2017  
代替 GB/T 24611—2009

---

## 滚动轴承 损伤和失效 术语、特征及原因

Rolling bearings—Damage and failures—Terms, characteristics and causes

(ISO 15243:2017, IDT)

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 滚动轴承失效模式分类 .....	2
5 失效模式 .....	3
5.1 滚动接触疲劳 .....	3
5.2 磨损 .....	6
5.3 腐蚀 .....	8
5.4 电蚀 .....	11
5.5 塑性变形 .....	12
5.6 开裂和断裂 .....	15
附录 A (资料性附录) 失效分析 损伤图例 其他调查 术语解释 .....	18
参考文献 .....	45



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 24611—2009《滚动轴承 损伤和失效 术语、特征及原因》，与 GB/T 24611—2009 相比，主要技术变化如下：

- 明确了范围(见第 1 章,2009 年版的第 1 章)；
- 更换了大部分照片和图(见正文及附录 A,2009 年版的正文及附录 A)；
- 对术语和定义进行了扩充和修改(见第 3 章及 A.4,2009 年版的第 3 章及 A.3)；
- 修改了“电蚀”失效模式的子模式“电压过大”的名称(见 5.4.2,2009 年版的 5.4.2)；
- 增加了损伤分析系统程序(见表 A.1)和其他调查(见 A.3)；扩充了损伤原因矩阵表(见表 A.2,2009 年版的表 A.1)；
- “失效原因和预防措施”增加了大量实例(见 A.2,2009 年版的 A.2)。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 15243:2017《滚动轴承 损伤和失效 术语、特征及原因》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 6930—2002 滚动轴承 词汇(ISO 5593:1997,IDT)

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国滚动轴承标准化技术委员会(SAC/TC 98)归口。

本标准起草单位：洛阳轴承研究所有限公司、浙江兆丰机电股份有限公司、人本集团有限公司、浙江五洲新春集团股份有限公司、慈兴集团有限公司、襄阳汽车轴承股份有限公司、重庆长江轴承股份有限公司、上海联合滚动轴承有限公司、福建省永安轴承有限责任公司、上海天虹微型轴承有限公司、杭州驰创轴研科技有限公司、捷姆轴承集团有限公司。

本标准主要起草人：刘耀中、李飞雪、康乃正、刘斌、张迅雷、张恒、郭平、赵兴新、葛世东、钟原、陈彦、周小林、张天平、樊麟华。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

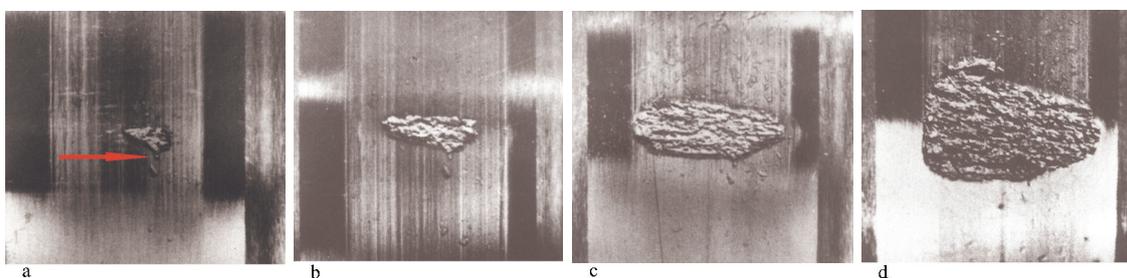
- GB/T 24611—2009。

## 引 言

实际上,轴承的损伤或失效往往是几种机理同时作用的结果。失效可能是由于运输、搬运、安装或维护不当造成的,或是由于轴承或其相邻部件的加工质量未达到设计要求引起的。在某些情况下,失效也可能是由于考虑经济效益、无法预见的运转条件以及环境条件而采取的折衷设计造成的。由于轴承失效是由设计、制造、安装、操作、维护等多方面因素造成的,因此,确定失效的根本原因,常常是十分困难的。

注:市场上流通的假冒轴承要引起注意,假冒轴承可能看起来像原产轴承,但其使用时经常导致过早损伤或失效。

如果轴承损伤严重或突然失效,证据可能丢失,就不可能确定失效的根本原因。因此,及时关停设备以进行适当的轴承损伤分析(参见图 1)是十分重要的。在所有情况下,了解轴承的实际运转工况和维护历史至关重要。



注:紧靠滚道压痕后沿开始剥落(a);经过一段时间,剥落加重(b、c);如果不及时停机,发生剥落的根本原因的证据将消失(d)。

图 1 轴承损伤进展示例

本标准对轴承失效的分类,主要是基于滚动体接触表面和其他功能表面上可见的特征。为了准确地判定轴承失效的根本原因,需要对每一种特征都加以考虑。由于不止一种机理可对这些表面造成相似的影响,因此,在确定失效原因时,仅对外观进行描述有时是不充分的,此时,还需要考虑运转工况。在某些情况下,如果所分析的损伤太严重,且可能起源于不同的主要原因,在这些情况下,要寻找同时出现的多种迹象来确定失效的主要原因。

本标准涵盖具有钢制套圈和滚动体的轴承。陶瓷滚动体轴承的套圈损伤显示相似的失效模式。

本标准中,轴承寿命如 ISO 281<sup>[1]</sup>所述,ISO 281 给出了轴承寿命计算公式,其考虑了多种因素,如轴承承载能力、轴承载荷、轴承类型、材料、轴承疲劳载荷极限、润滑条件和污染程度。

# 滚动轴承 损伤和失效 术语、特征及原因

## 1 范围

本标准对采用标准轴承钢制造的滚动轴承在使用中发生的失效模式进行了分类。对每一失效模式的特征、外观变化及可能的根本原因进行了定义和描述,这有助于基于外观来鉴别各种失效模式。

对于本标准,下列术语解释如下:

- “滚动轴承失效”:由于损伤而使轴承不能满足预定的设计性能要求或标志使用寿命终止;
- “使用中”:轴承离开制造厂;
- “可见特征”:能直接目视或使用放大镜或光学显微镜观察到的特征,也可来自照片,但都只能是采用无损方法获得的特征。

本标准仅对具有意义明确的外观、并且能够高度确定地归因于某一特定原因的外观变化的特征形式和失效模式加以考虑,并对反映轴承变化和失效的特别重要的特征加以描述。各种失效模式用照片和图表说明,并且给出了最常见的原因。

如果通过检查和根据本标准给出的可见特征的特性描述,仍不能可靠地确定根本原因,则要考虑进行附加调查。这些方法在附录 A 的 A.3 中进行了总结,例如可能涉及使用破坏性方法获取截面,通过光学显微镜或电子显微镜进行金相组织分析以及化学和光谱分析。这些专业方法超出了本标准的范围。

通常,推荐使用条标题中给出的失效模式术语,而描述其子模式的合适的其他表述或同义词,则在 A.4 中给出并解释。

滚动轴承失效示例以及失效原因的描述、建议的改进措施在 A.2 中给出。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 5593 滚动轴承 词汇(Rolling bearings—Vocabulary)

## 3 术语和定义

ISO 5593 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

注:与损伤和失效相关的术语解释列于 A.4。

ISO 和 IEC 维护的标准化工作中使用的术语数据库网址如下:

——ISO 在线浏览平台:<https://www.iso.org/obp>

——IEC 电工百科:<http://www.electropedia.org/>

### 3.1

#### 特征 characteristics

由使用过程产生的可见外观。

注:表面缺陷和几何形状变化的类型定义于 ISO 8785<sup>[3]</sup>,与磨粒磨损有关的部分定义于 ISO 6601<sup>[2]</sup>。

### 3.2

#### 损伤 **damage**

轴承工作表面或结构的任何可见的劣化。

### 3.3

#### 事件顺序 **event sequences**

由轴承初始损伤(3.2)到轴承失效(3.4)的事件的顺序。

注：早期阶段，损伤可能导致功能丧失或失效。但在许多情况下初始损伤不会导致失效，且轴承可继续工作。继续工作通常会导致二次损伤，最终导致失效。二次损伤会引入竞争性的失效模式，使得根本原因分析变得困难。

### 3.4

#### 失效 **failure**

轴承不再能提供其设计功能的任何状态。

注1：失效包括重要旋转性能的退化，即将发生的更大或完全失效的报警，但也可能不会发展到目标机械零件不能旋转或失去支承作用的程度。

注2：引起工作失效的损伤程度取决于应用场合。要求精密平稳旋转的场合仅有极小的性能损失；对振动增加、噪声增大、旋转精度降低不敏感的场所或许在有限的时间内还能够继续工作。

### 3.5

#### 失效模式 **failure mode**

轴承失效的方式。

## 4 滚动轴承失效模式分类

轴承失效最好按照其失效的根本原因进行分类，但未必总是能够很容易地将原因与特征(症状)或者失效机理与失效模式一一对应，大量相关的文献也都证实了这一点(见参考文献)。基于使用中的可见的明显特征外观，本标准将失效模式分为六大类和不同的小类(见图2)。

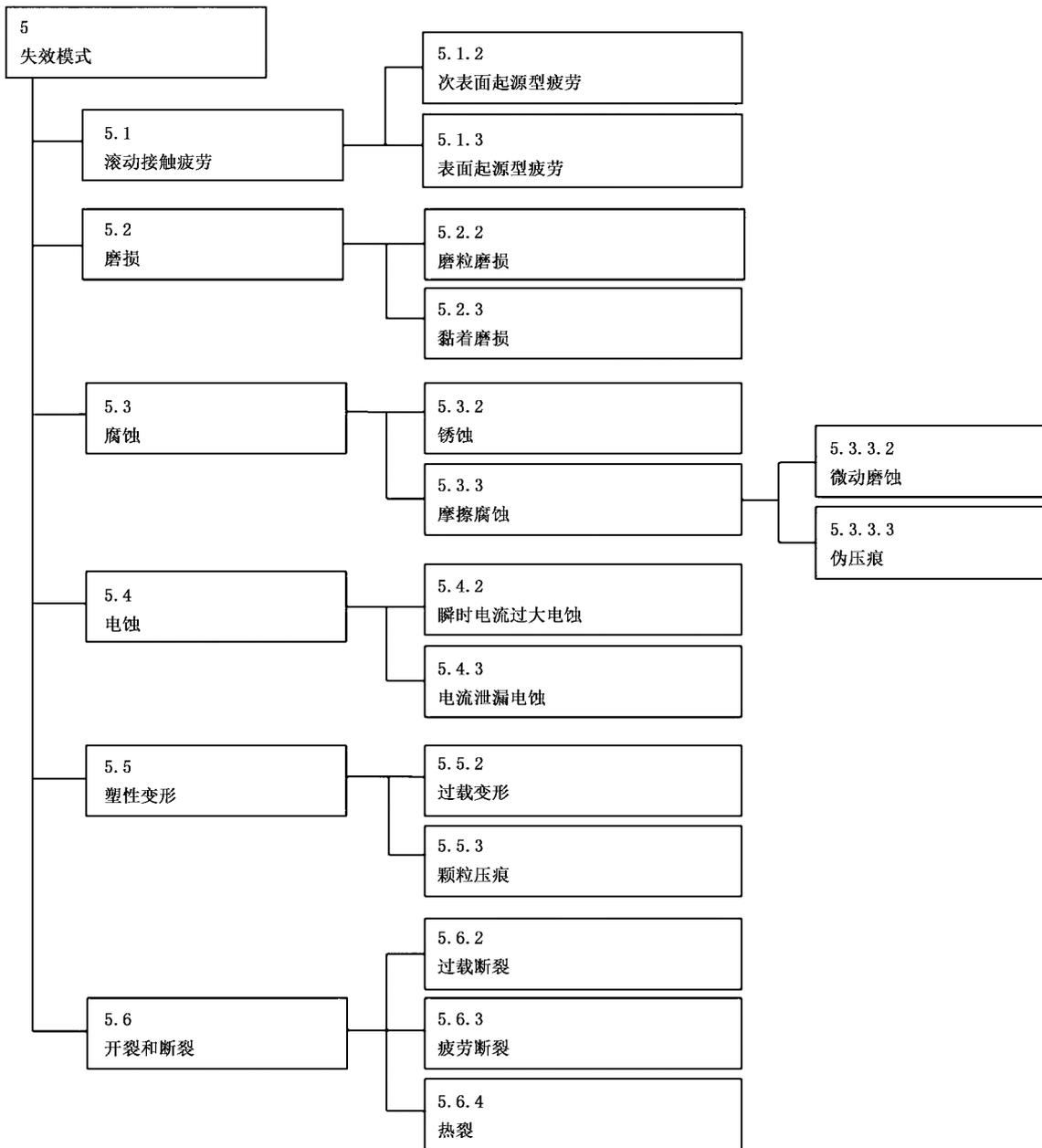


图 2 失效模式分类

## 5 失效模式

### 5.1 滚动接触疲劳

#### 5.1.1 概述

滚动接触疲劳由滚动体和滚道接触处产生的重复应力引起。疲劳明显地表现为组织(微观结构)变化及材料从表面剥落(宏观结构),在大多数情况下剥落是组织变化的结果。

### 5.1.2 次表面起源型疲劳

根据赫兹理论,在滚动接触区的循环载荷作用下,应力及材料组织发生变化,并在某一位置及深度开始出现显微裂纹(其取决于外加载荷、工作温度、材料及其纯洁度和显微组织),显微裂纹的起源常常是由轴承钢中的夹杂物引起的。

金相分析时会发现组织变化(见 A.3)。微裂纹扩展至表面,发生剥落(见图 3、图 4)。

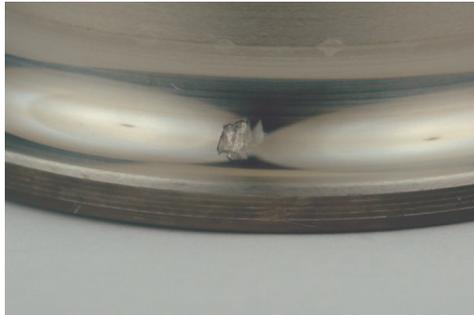


图 3 深沟球轴承旋转内圈上的次表面起源型剥落



图 4 圆锥滚子轴承静止内圈上已经扩展的次表面起源型剥落

### 5.1.3 表面起源型疲劳

表面起源型疲劳一般是由表面损伤造成的。

表面损伤是由于滚动接触表面粗糙峰塑性变形(平滑化、压光、磨光)而产生的表面起源型损伤。滚动体和滚道的粗糙峰接触常常因润滑不充分(润滑油膜厚度不足)而产生,这种接触可能由以下因素引起,如润滑剂流动或可用性不充分、对于轴承应用场合润滑剂不合适、工作温度超过期望值、表面粗糙等。表面粗糙峰的接触及塑性变形会导致:

- 粗糙峰微裂纹(见图 5);
- 粗糙峰微剥落(见图 6);
- 微剥落区(暗灰色)(见图 7)。

油膜厚度小的情况下,滑动运动会明显加速表面损伤。

正常工况下,油膜厚度充足时仍可能发生表面起源型疲劳。当颗粒进入接触区(见 5.5.3),极端载荷使表面塑性变形或存在搬运刻痕时,会发生这种情况。以上三种情况均会在滚道上产生压痕。压痕周围的凸起超过油膜厚度时,导致表面粗糙峰变形。由塑性变形产生的压痕引起的表面起源型疲劳示于 A.2.6.2.2。

注：ISO 281<sup>[1]</sup>包括了已知的对轴承寿命有影响的表面相关计算参数，如材料、润滑、环境、污染物颗粒和轴承载荷。

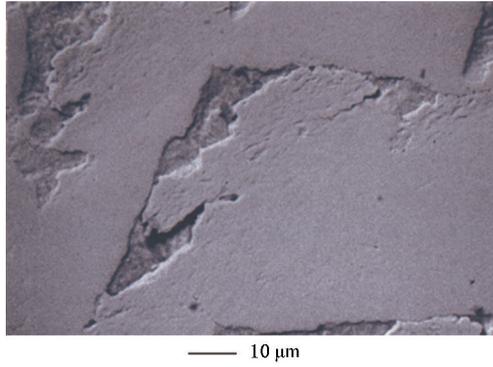


图 5 滚道上的粗糙峰微裂纹和微剥落

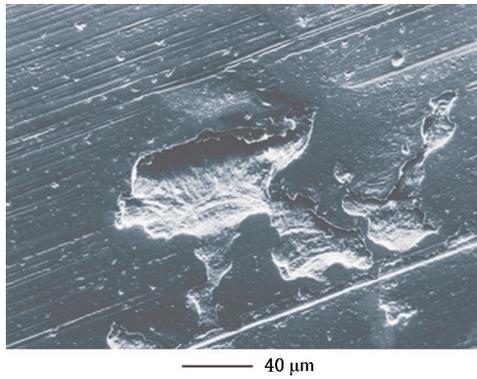


图 6 滚道上的表面起源型微剥落

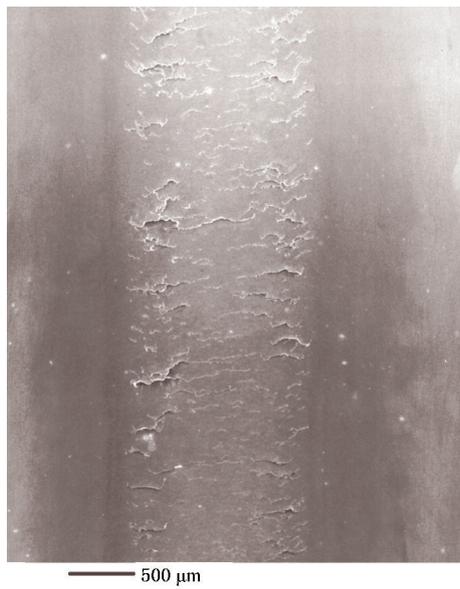


图 7 滚道上的微剥落区

## 5.2 磨损

### 5.2.1 概述

磨损指在使用过程中,两个滑动或滚动/滑动接触表面相互作用造成材料的不断移失。

### 5.2.2 磨粒磨损

磨粒磨损(颗粒磨损,三体磨损)是存在硬颗粒时由于滑动产生的材料移失,当一硬的表面或颗粒滑过另一表面时,通过切削或犁沟作用而从该表面移除材料。磨损后表面会发生某种程度的变暗,磨粒的粗细和特性不同,变暗程度不同(见图 8)。由于旋转表面,可能还有保持架(见图 9)上的材料被磨掉,磨粒数量逐渐增多,最终磨损进入一个加速过程,从而导致轴承失效。

虽然表面一般会有一定程度的变暗,但当磨粒非常细时会发生抛光效应,形成非常亮的表面(见图 10)  
注:滚动轴承的“跑合”是一自然的短期过程,此过程之后,运转状态(如噪声或工作温度)将趋于稳定,甚至得到改善。由此,运行轨迹可见,但这并非表示轴承受到损伤。



图 8 调心滚子轴承内圈上的磨粒磨损



图 9 金属实体保持架兜孔上的已发展的磨粒磨损

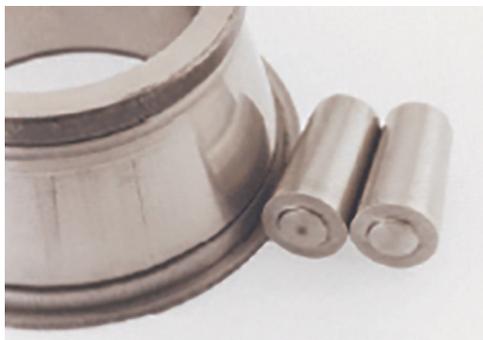


图 10 圆锥滚子轴承滚子大端面和内圈大挡边表面及滚道上的磨粒磨损

### 5.2.3 黏着磨损

黏着磨损是材料从一表面转移到另一表面,并伴随有摩擦发热,有时还伴有表面回火或重新淬火。这一过程会产生局部应力集中并可能导致接触区开裂或剥落。

在润滑不充分的情况下,当发生滑动且摩擦带来的局部温升引起接触面黏着时,发生涂抹(滑伤、黏结、划伤、粗化),导致材料转移。假如滚动体受载过小并在其再次进入承载区时受到强烈的加速作用,则在滚动体和滚道之间常常会发生涂抹(见图 11、图 12)。在涂抹严重的情况下会发生咬黏。与磨粒磨损的逐渐积累过程相反,涂抹常常是突然发生。

由于润滑不充分,挡边面和滚子端面也会发生涂抹(见图 13)。对于满装滚动体(无保持架)轴承,受润滑和旋转条件的影响,滚动体之间的接触处同样会发生涂抹。

如果轴承套圈安装在轴上或轴承座中时,夹持力不足而导致套圈相对其支承面移动(蠕动),则会在轴承内径面、外径面或轴、轴承座孔支承面上发生涂抹(也称胶合)。由于两零件直径之间存在微小差异,造成其周长也存在微小差异。因此,相对于套圈旋转的径向载荷使两零件在一系列连续点处发生接触,两接触零件以微小差速相对转动。套圈相对其支承面以微小转速差所作的这种滚动运动称为“蠕动”。

发生蠕动时,套圈和支承面接触区内的粗糙峰被滚碾,使套圈表面呈现光亮外观。在蠕动过程中滚碾经常发生,但不总是伴有套圈和支承面接触处的滑动,因而还可看到其他损伤,如擦伤印痕、微动磨蚀和磨损。在某些承载条件下,当套圈和支承面之间的过盈量不够大时,则以微动磨蚀为主(见 A.2.4.2.1 和 A.2.4.2.2)。

此外,径向采用间隙配合时,套圈端面和其轴向邻接面之间也会发生蠕动,严重时导致横向热裂纹,最终引起套圈开裂(见 5.6.4)。



图 11 圆柱滚子轴承外圈滚道上的涂抹

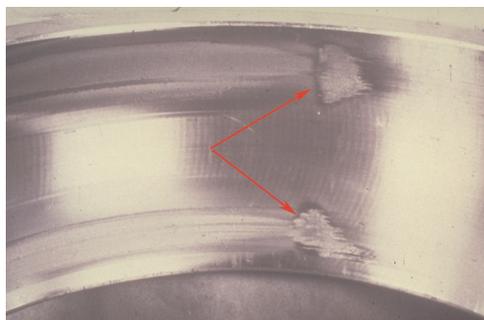


图 12 调心滚子轴承外圈滚道上的涂抹



图 13 圆柱滚子轴承滚子端面上的涂抹

### 5.3 腐蚀

#### 5.3.1 概述

腐蚀是金属表面上一种化学反应的结果。

#### 5.3.2 锈蚀

当钢制滚动轴承零件与湿气或腐蚀性介质(如水或酸)接触时,表面发生氧化或腐蚀(生锈)(见图 14)。随后出现腐蚀麻点,最后表面出现剥落(见图 15)。

当润滑剂中的水分或劣化的润滑剂与其相邻的轴承零件表面发生反应时,可在滚动体和轴承套圈之间的接触区内发现一种特定形式的锈蚀。在静止期间,深度锈蚀阶段会导致对应于球或滚子节距处的接触区变黑(见图 16),最终产生腐蚀麻点。



图 14 推力滚针轴承滚针和保持架上的锈蚀



图 15 圆柱滚子轴承外圈滚道上的锈蚀



图 16 圆锥滚子轴承内圈滚道滚子节距处的接触腐蚀

### 5.3.3 摩擦腐蚀

#### 5.3.3.1 概述

摩擦腐蚀(摩擦氧化)是在某些摩擦及载荷条件下,由配合表面之间相对微小运动引发的一种化学反应。这些微小运动导致表面氧化,可看到粉状锈蚀物和(或)一个或两个配合表面上材料的损失。

#### 5.3.3.2 微动磨蚀

接触表面作微小往复摆动时,传递载荷的配合面会发生微动磨蚀,表面粗糙峰氧化并被磨去,反之亦然;最后发展成粉状锈蚀物(微动锈蚀,氧化铁),轴承表面变成黑红色(见图 17)。通常,当载荷和(或)振动克服了由安装配合产生的径向夹持力时,会出现这种损伤。轴承、轴和轴承座表面太粗糙和(或)呈波纹状也会减少有效的安装配合,诱发微动磨蚀(见图 18)。

注 1: 由于腐蚀产物(氧化铁)的存在和微小运动的综合作用,也会发生某些磨粒磨损。

注 2: 在本标准中,将微动磨蚀划归为腐蚀;在其他文件中,有时将其划归为微动磨损。



图 17 深沟球轴承内径面上的微动磨蚀



图 18 滚子轴承外径面上的微动磨蚀

### 5.3.3.3 伪压痕

伪压痕(振动腐蚀)最常出现于非旋转轴承的滚动体和滚道接触区,原因是在周期性振动状态下弹性接触面的微小运动和(或)回弹。根据振动强度、载荷和润滑状态的不同,在滚道上形成凹陷,大多数情况下也会导致腐蚀(由于缺少保护性的润滑剂)和综合磨粒磨损。

对于静止轴承,凹陷出现在对应于滚动体的节距处,并会变成淡红色或发亮(见图 19、图 20)。

存在来自相邻工作的设备的振动的时,若较长的停机周期与相对较短的运转时段交替进行,则备用设备中发生的伪压痕表现为间距较小的波纹状凹槽,这些波纹状凹槽不应与电流引起的凹槽混淆(见 5.4.3及图 23、图 24、图 25),与电流通过造成的波纹状凹槽相比,由振动造成的波纹状凹槽底部发亮或被磨损,而电流通过造成的凹槽底部则颜色为暗灰色。电流引起的损伤还可通过滚动体上也有相应的印记这一现象予以识别。

注:本标准将伪压痕划归为腐蚀;在其他文件中,有时将其划归为磨损。

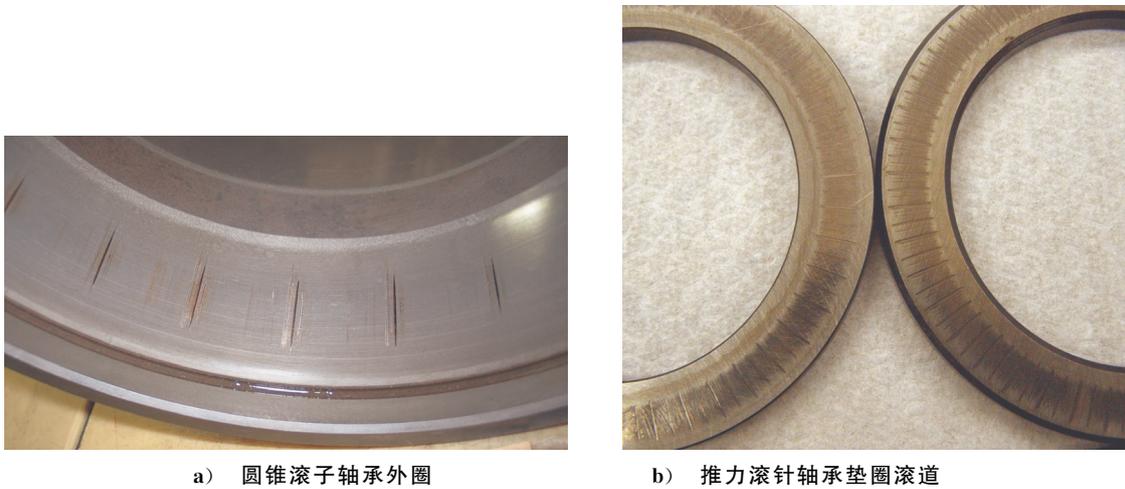


图 19 伪压痕



图 20 调心球轴承外圈滚道上的伪压痕

## 5.4 电蚀

### 5.4.1 概述

电蚀是由于损伤电流的通过造成接触表面的局部显微组织变化及材料的移失。

### 5.4.2 瞬时电流过大电蚀

当轴承套圈和滚动体间的电压超过绝缘击穿阈值时,电流通过滚动体和润滑油膜从轴承的一个套圈传递到另一套圈。在套圈和滚动体之间的接触区发生集中放电,造成在非常短的时间间隔内局部受热,使接触区发生熔化并焊合在一起。

这种损伤(电蚀麻点)表现为一系列直径不超过 500  $\mu\text{m}$  的小环形坑(见图 21、图 22),这些环形坑在滚动体和滚道接触表面重复出现,一般沿滚动方向呈珠状重叠排列(见图 21)。



图 21 调心滚子轴承的滚子——由瞬时过大电流通过形成的环形坑

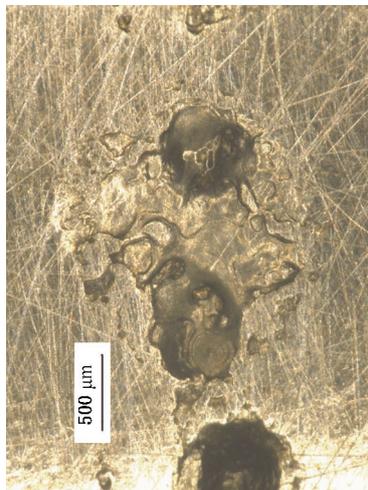


图 22 显示出环形坑及熔化的材料的图 21 的放大图

### 5.4.3 电流泄漏电蚀

当一损伤电流(电容性或电感性)连续形成时,电蚀会以不同于 5.4.2 的外观出现。表面损伤最初呈现浅环形坑状,一环形坑与另一环形坑位置接近并且尺寸很小(微米级),即使电流强度相对较弱也会发生这种现象。由于电流通过整个接触椭圆(球轴承)或接触线(滚子轴承),产生电蚀波纹状凹槽,如图 23、图 24、图 25 所示。只能在滚子和套圈滚道接触表面发现这些波纹状凹槽,钢球上则没有,球只是颜色变暗。球的可见外观通常为暗色,从淡灰到暗灰(见图 24)。微观检测常常显示为环形坑。

另外,电流通过也会劣化润滑剂,劣化的润滑剂颜色发黑、变硬。



图 23 由于电流泄漏在圆锥滚子轴承内圈滚道上形成的波纹状凹槽(搓板纹)



图 24 深沟球轴承内圈沟道上的波纹状凹槽及哑光暗灰色球



图 25 深沟球轴承外圈沟道上的波纹状凹槽

## 5.5 塑性变形

### 5.5.1 概述

塑性变形是当应力超过材料的屈服强度时发生的永久变形,其一般以两种不同的方式发生:  
——宏观上,滚动体和滚道之间的接触载荷造成在接触轨迹的大部分范围内发生屈服;  
——微观上,外界物体在滚动体和滚道之间被滚碾,并且仅在接触轨迹的小部分范围内发生屈服。

### 5.5.2 过载变形

轴承静止(最常见)或旋转(不常见)时均可能发生过载变形。

由静载荷或冲击载荷使静止轴承过载导致滚动体与滚道接触处发生塑性变形(真压痕),即在轴承滚道上对应于滚动体节距的位置形成浅的凹陷或凹槽(见图 26、图 27)。

通过凹陷或凹槽底部的表面粗糙度及机加工痕迹,可区分过载与伪压痕及电蚀凹槽。此外,预载荷过大或安装过程中操作不当也会发生过载(见图 26)。

装拆不当也能造成轴承其他零件(如防尘盖、垫圈和保持架)的过载和变形(见图 28)。硬的(可能

是锐利的)物体或不正确的装配也能在滚道及滚动体上引发压痕及刻痕(见图 29)。

旋转轴承的过载可能具有不同的形式,取决于过载的类型。

——瞬时过载会产生波纹状凹槽(搓板纹),带有或多或少扩展的独立、非对称印记。

——瞬时过载会产生对应于滚动体节距处的凹陷。

——长期过载会导致滚道过载部分整个圆周的叠层及宏观塑性变形。



图 26 角接触球轴承静止内圈的过载



图 27 由角接触球轴承内圈滚道冲击载荷变形导致的剥落,起因于径向冲击,变形进一步发展为剥落

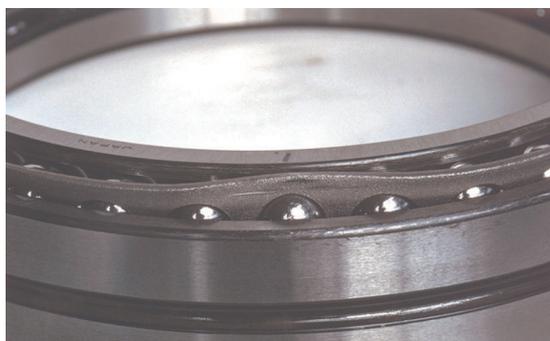


图 28 由搬运过程中冲击载荷引起的角接触球轴承保持架变形

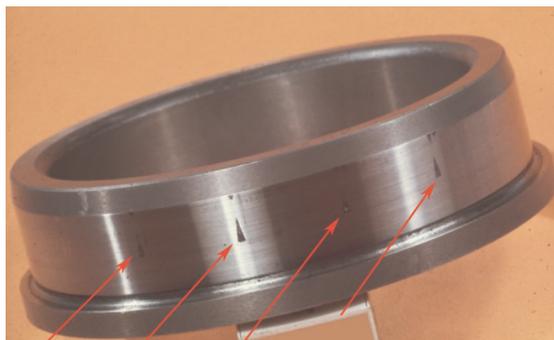


图 29 不正确装配引起的圆柱滚子轴承内圈滚道上的压痕

### 5.5.3 颗粒压痕

当颗粒被滚碾时,在套圈滚道(见图 30)和滚动体(见图 31)上形成压痕,压痕的尺寸和形状取决于颗粒性质,图 32 显示了下列压痕类型:

- a) 由软质颗粒(如纤维、弹性体、塑料及木材)造成的压痕[见图 32a)];
- b) 由淬硬钢颗粒(如来自齿轮或轴承)造成的压痕[见图 32b)];
- c) 由硬质矿物颗粒[如油中的砂粒(二氧化硅)]造成的压痕[见图 32c)]。



图 30 圆锥滚子轴承内圈滚道上的颗粒压痕



图 31 圆锥滚子上的颗粒压痕

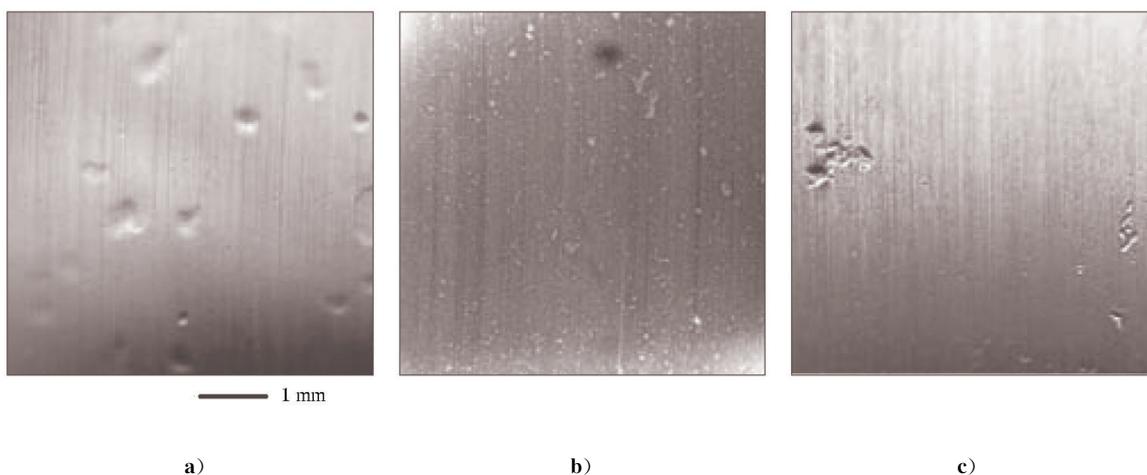


图 32 颗粒被滚碾在滚道上造成的压痕放大图

## 5.6 开裂和断裂

### 5.6.1 概述

当局部应力超过材料的抗拉强度极限时,裂纹将产生并扩展。

断裂是裂纹完全扩展过零件的某个截面或扩展到一定程度使零件的一部分与原零件完全分离的结果。

### 5.6.2 过载断裂

过载断裂是由于超过材料抗拉强度的应力集中造成的,也可因局部应力过大(如冲击)(见图 33)或因过盈配合过紧,如环向应力过高(见图 34)引起。

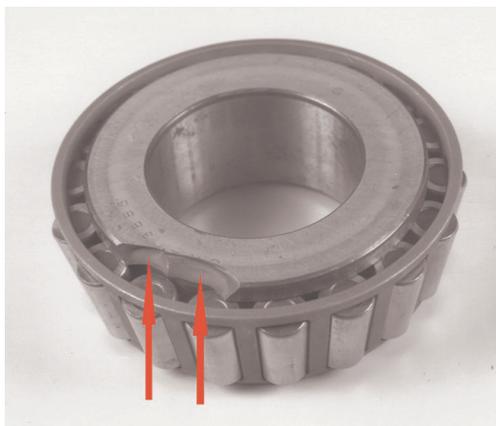
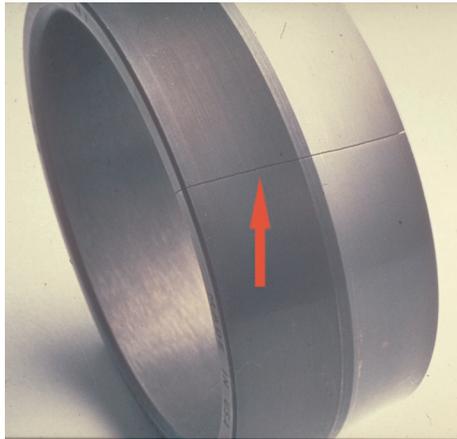


图 33 由装配过程中冲击载荷引起的圆锥滚子轴承内圈挡边过载断裂

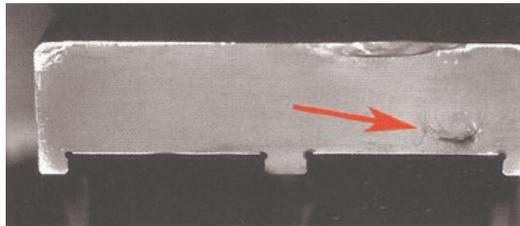


注：由安装过程中过紧的过盈配合(例如将锥孔内圈在锥轴上推得过远)引起的断裂。

图 34 调心滚子轴承内圈过载断裂

### 5.6.3 疲劳断裂

在弯曲、拉伸、扭转条件下,应力不断超过疲劳强度极限就会产生疲劳开裂。裂纹先在应力集中处起源并逐步扩展到零件截面的某一部分,最终造成过载断裂。疲劳断裂主要发生在套圈(见图 35)和保持架上(见图 36)。



注：断裂起源于靠近右侧滚道,中心位于疲劳裂纹扩展留下的贝壳花样中(外表面上的损伤为二次损伤且发生在套圈断裂时)。

图 35 凸轮滚子外圈由弯曲引起的疲劳断裂截面



图 36 推力滚针轴承保持架过梁疲劳断裂

#### 5.6.4 热裂

热裂是由滑动产生的高摩擦热造成的,裂纹通常出现在垂直于滑动方向处(见图 37)。由于表面局部重新淬火以及高的残余拉应力的形成这两个因素的共同作用,因此,淬硬的钢件通常对热裂比较敏感。



图 37 圆锥滚子轴承内圈小端上的热裂纹

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 失效分析 损伤图例 其他调查 术语解释

### A.1 失效分析

#### A.1.1 总则

- 本标准旨在促进和帮助对轴承失效进行合乎逻辑的客观调查,以鉴别出可能的失效原因。
- 仔细鉴别最有可能的失效原因及失效模式对于开发长期有效的防护方案非常重要。
- 可以有针对性地设计对策以防范已鉴别出的失效原因引起的失效。
- 由所有参与者提出的公开、客观的方法对于本标准的应用是必不可少的。

#### A.1.2 拆卸前后获取有关证据

##### A.1.2.1 重点

- 当一套轴承失效后,在打算进行失效原因诊断前,收集尽可能多的证据至关重要。
- 需要一种公正的调查方法。

##### A.1.2.2 保存证据

- 调查前,设备操作者/所有者要尽可能少地破坏证据。
  - 不同的利益相关方需设计一个合乎逻辑的调查程序。
  - 在进行评估和记录前,避免毁坏或折衷处理某些证据。
  - 要从操作者、其他相关机构及个人收集尽可能多的近期运行数据。
  - 即时诊断及结论可作为初步处理意见。
  - 关注这些初始的可能的诊断,但要将其搁置一边,直到已经收集并评估了所有证据。
  - 当设计并同意一个方案后,将设备逐步拆解到可对轴承进行分析。
- 表 A.1 中的矩阵给出了制订方案指南。

##### A.1.2.3 收集证据

- 在早期阶段,确保完成以下工作:
  - 拍照并(或)绘出示意图;
  - 记录零件的状态及位置。
- 相关零件放在一起:
  - 如有可能,进行标签、标记,并将其放置在清洁的容器内。
- 确保在以下步骤前获得只有从完整组件或部件才能得到的证据:
  - 难以或不可能复原的拆解;
  - 影响润滑剂或污染物的清洗;
  - 尤其是毁坏圆形表面的切割。
- 轴承自身失效的证据:
  - 轴承拆除后不能再运转;
  - 轴承可能早已“失效”不止一次;

- 轴承可包含或不包含原始失效原因；
- 其他零件可能有重要的证据：
  - 尽量同时调查这些零件；
- 记录任何可得的结构、系统、使用和运转历史；
- 记录轴承代号及制造商：
  - 如果仍然可见或从其实际特征可以推断出；
  - 如有可能，检查制造商的技术说明；
- 轴承可能不适合：
  - 原装轴承维修替换不当；
  - 非等效替代；
  - 不能满足设备制造商的技术要求。

注：尽可能将润滑油及污染物作为像固体金属、聚合物、橡胶零件一样的零件考虑。

#### A.1.2.4 解读证据

切记：由于损伤开始和其被检测之间的时间间隔不同，在机械系统被拆解并检测时，损伤可能或多或少地已经发展。

假如损伤检测在损伤开始后相对较迟的时候进行，初始损伤原因的线索可能已被抑制、隐藏或逐渐消失，以致难以确定损伤或失效的真正原因。

观察并分析轴承及周边零件上的所有迹象，建立可能的损伤顺序，这一点非常重要。

例如，已经扩展的剥落可能起源于润滑剂污染物造成的某个压痕处开始的表面剥落，也有可能起源于安装过程中塑性变形产生的刻痕类表面缺陷、腐蚀坑或过大电流形成的环形坑，等等。

如果在这种情况下，观测到的剥落与轴承零件其他区域上的另一初始损伤迹象连在一起，则所有这些迹象放在一起，可能会产生一个似乎可信的损伤及其产生原因的情况分析结论。

- 完善已同意的检测方案结构。
- 对所有证据进行重要性判断。
- 还不要急于下结论。
- 对主要证据进行分类。
- 小心处理与本标准所列示例不能可靠匹配的任何证据，并将其标记为“可能”。
- 然后研究被评估的证据，以尝试建立一个最可能的事件顺序。
- 针对证据建立原因试判理论并进行试验：
  - 对顺序原因及其影响进行预估；
  - 重复迭代，直到得出一个使人信服的匹配：
    - 任何已证明的证据元素不能相互矛盾；
    - 列出可疑的证据并将其排序以判断不可能的相关性。
- 关键是不颠倒过程，不要试图强制将证据与某一理论匹配。
- 假如不能可靠地确定失效原因：
  - 可进一步寻求 A.3 所述的专业帮助。

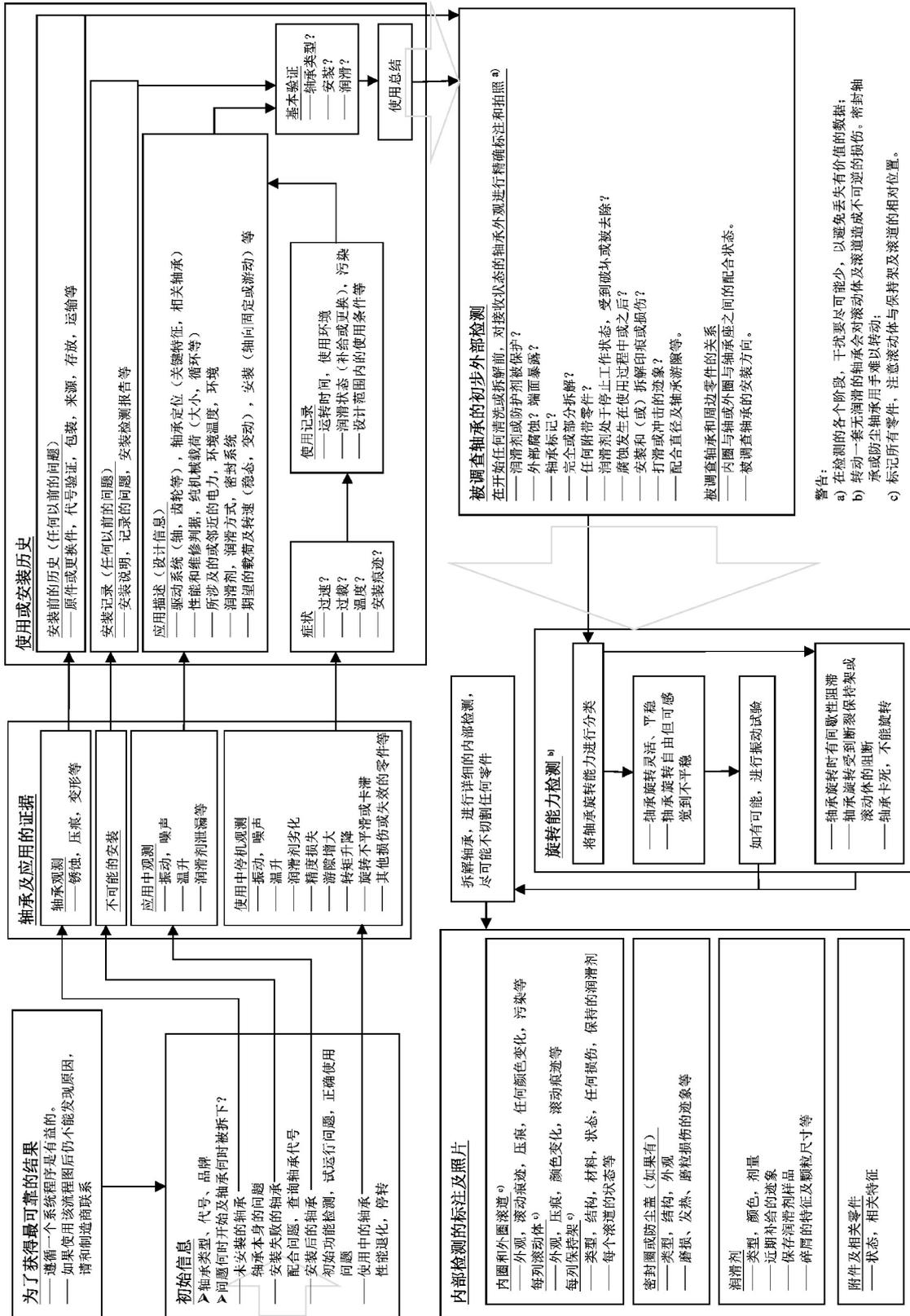
给出表 A.1 是为了帮助合理地收集初始信息。

一旦确定了对可见特征进行综合分析的出发点，在轴承状态评估和分类中就要使用详细的矩阵及相应的图解，以推断出失效最可能的原因或多个原因。

给出表 A.2 是为了根据评估对可能的失效模式及原因提供一个总览。

如果目视评估结束时仍不能可靠地确定失效原因，则必须进行进一步的专业试验，可能需要切割零件。进一步的建议参见 A.3。

表 A.1 在拆解前、中、后获取证据的系统程序





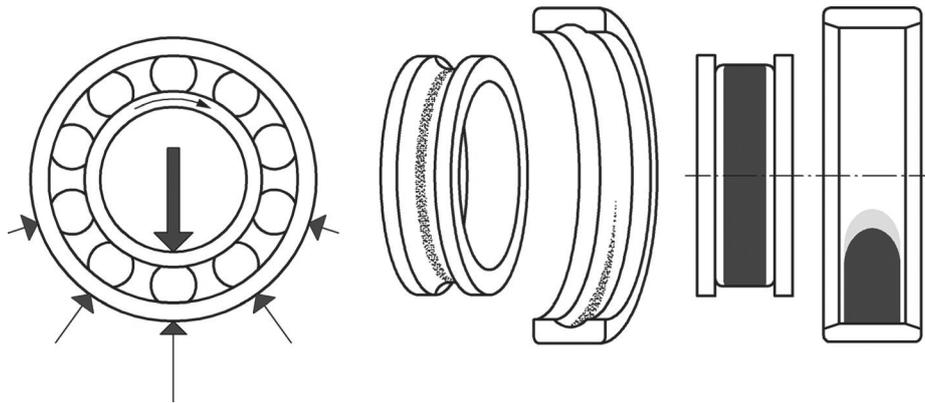
### A.1.3 接触轨迹

#### A.1.3.1 总则

就实际的失效分析而言,对接触轨迹,尤其是对给定使用条件下滚道上的运转轨迹进行分析是非常重要的,可以清晰地揭示载荷类型、工作游隙以及可能出现的偏斜。图 A.1~图 A.11 显示了最常见应用和轴承类型的典型运转轨迹。

图例中,点接触指球轴承,线接触指滚子轴承。

#### A.1.3.2 向心轴承

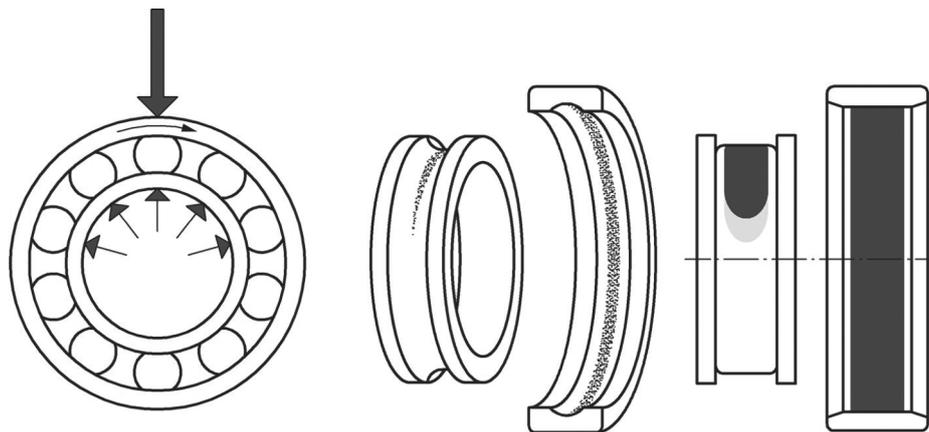


**内圈:**运转轨迹宽度均匀一致,位于滚道中部并延伸至整个圆周。

**外圈:**运转轨迹在载荷加载点处最宽且在周向呈锥形(与载荷区有关),位于滚道中部。具有常规配合和常规内部游隙时,运转轨迹小于滚道圆周的二分之一。

**注:**正常运转轨迹。

图 A.1 单向径向载荷——内圈旋转、外圈静止

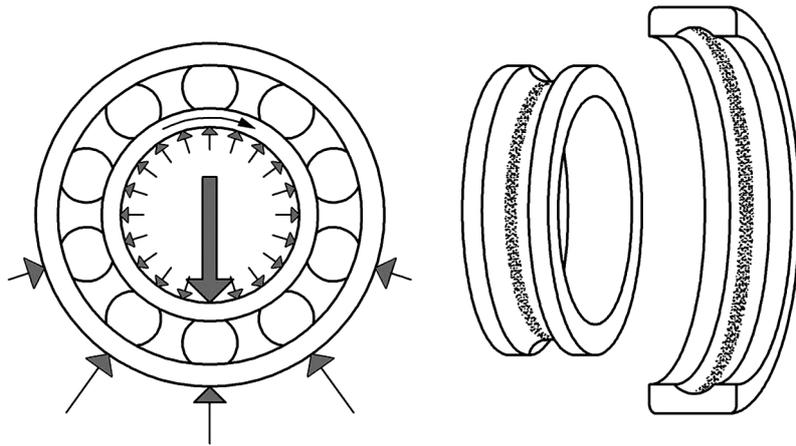


**内圈:**运转轨迹在载荷加载点处最宽且在周向呈锥形(与载荷区有关),位于滚道中部。具有常规配合和常规内部游隙时,运转轨迹小于滚道圆周的二分之一。

**外圈:**运转轨迹宽度均匀一致,位于滚道中部并延伸至整个圆周。

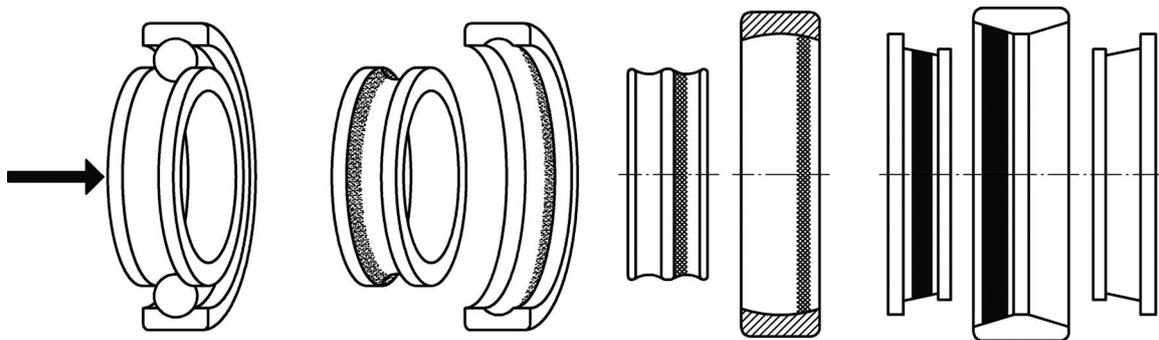
**注:**正常运转轨迹。

图 A.2 单向径向载荷——内圈静止、外圈旋转



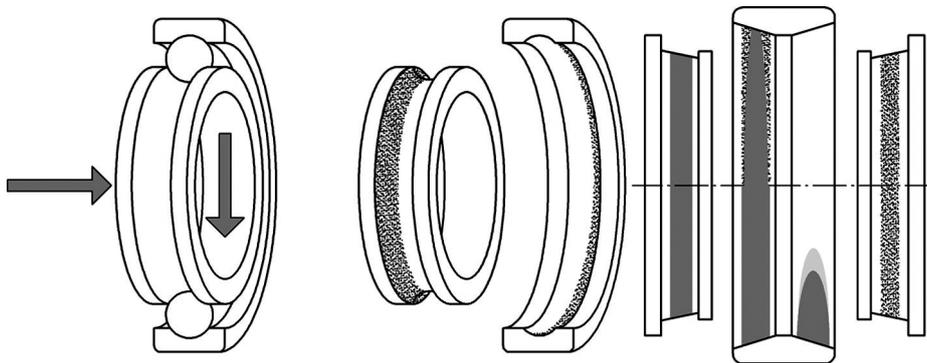
内圈:运转轨迹宽度均匀一致,位于滚道中部并延伸至整个圆周。  
 外圈:运转轨迹位于滚道中部,可能或不可能延伸至整个圆周,运转轨迹在载荷加载点处最宽。  
 注:正常运转轨迹。

图 A.3 径向预载荷并承受单向径向载荷——内圈旋转、外圈静止



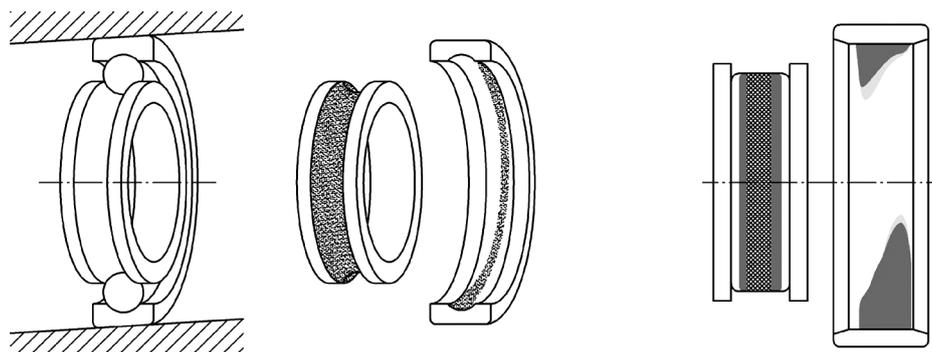
内圈和外圈:运转轨迹宽度均匀一致,轴向位置偏移,可能或不可能延伸至套圈滚道整个圆周。  
 注:正常运转轨迹。

图 A.4 单向轴向载荷——内圈和(或)外圈旋转



内圈:运转轨迹宽度均匀一致,延伸至套圈滚道整个圆周,轴向位置偏移。  
 外圈:运转轨迹轴向位置偏移,可能或不可能延伸至整个圆周,运转轨迹在径向载荷加载点处最宽。  
 注:正常运转轨迹。

图 A.5 径向和轴向联合载荷——内圈旋转、外圈静止

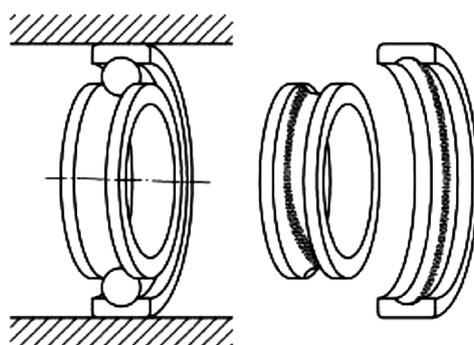


内圈:运转轨迹宽度均匀一致,比图 A.1 宽,位于滚道中部并延伸至整个圆周。

外圈:运转轨迹宽度不一致,位于两个完全相反的区域并彼此斜对。

注:不正常运转轨迹。

图 A.6 轴承座中偏斜的外圈——内圈旋转、外圈静止

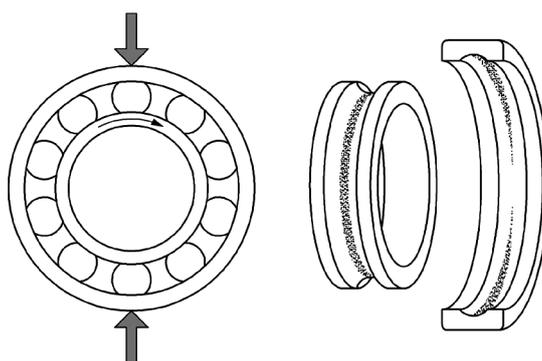


内圈:运转轨迹宽度不一致,位于完全相反的两个区域并彼此斜对。

外圈:运转轨迹宽度均匀一致,比图 A.2 宽,位于滚道中部并延伸至整个圆周。

注:不正常运转轨迹。

图 A.7 轴上偏斜的内圈——内圈静止、外圈旋转



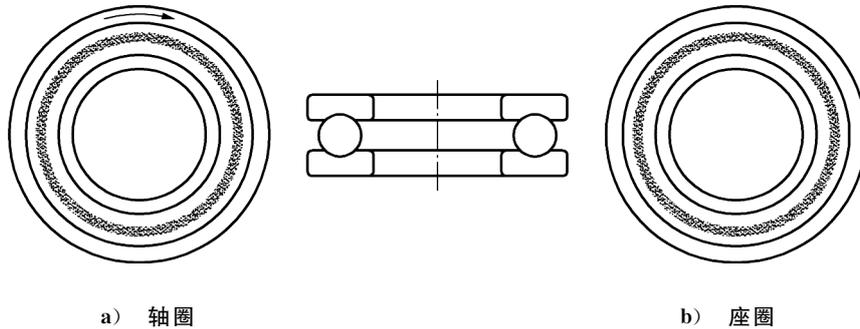
内圈:运转轨迹宽度均匀一致,比图 A.1 宽,位于滚道中部并延伸至整个圆周。

外圈:运转轨迹在受压处最宽,位于滚道上两个完全相反的区域。轨迹长度取决于压缩量的大小和轴承的原始内部游隙。

注:不正常运转轨迹。

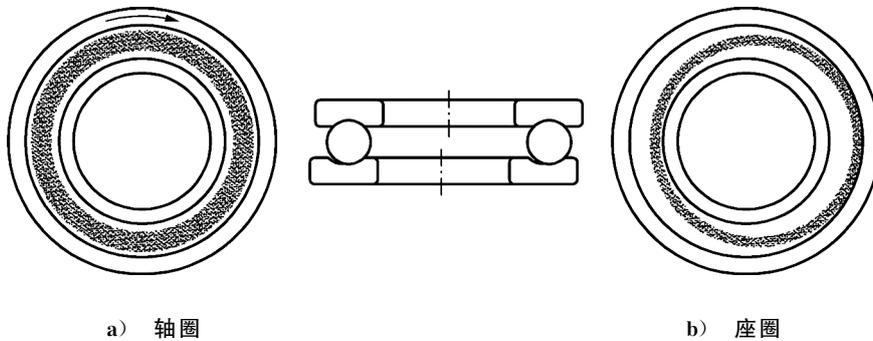
图 A.8 外圈压成椭圆——内圈旋转、外圈静止

A.1.3.3 推力轴承



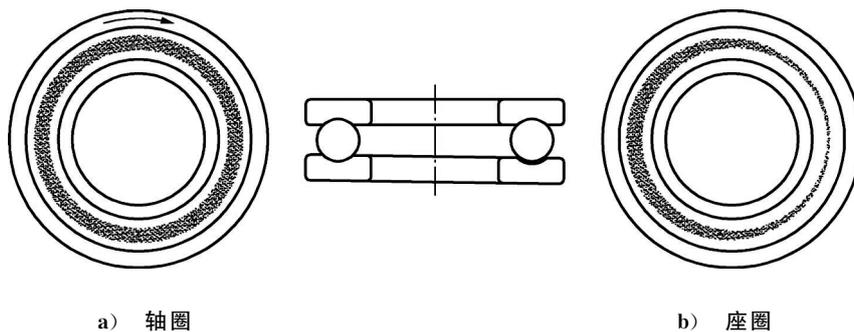
轴圈和座圈:运转轨迹宽度均匀一致,位于滚道中部并延伸至滚道的整个圆周。  
注:正常运转轨迹。

图 A.9 单向轴向载荷——轴圈旋转、座圈静止



轴圈:运转轨迹宽度均匀一致,比图 A.9 宽,位于滚道中部并延伸至整个圆周。  
座圈:运转轨迹宽度不一致,延伸至滚道的整个圆周并且与滚道不同心。  
注:不正常运转轨迹。

图 A.10 相对轴圈处于偏心位置的座圈上的单向轴向载荷——轴圈旋转、座圈静止



轴圈:运转轨迹宽度均匀一致,位于滚道中部并延伸至整个圆周。  
座圈:运转轨迹位于滚道中部但宽度不一致,可能或不可能延伸至滚道的整个圆周。  
注:不正常运转轨迹。

图 A.11 偏斜的座圈——轴圈旋转、座圈静止

## A.2 失效图例概览——失效原因和预防措施

### A.2.1 总则

每一种轴承失效均是由一主要原因造成的,但实际上该原因常常被后续的损伤所掩盖。

下列图例按照图 2 所示的失效模式分类进行排序,失效分类基于所观察到的外观形态。

每一图例均有对失效的说明,以标题“失效原因”给出。说明中包括对失效、失效的可能(主要)原因的描述及建议。

对于每一图例,还对避免失效再发生所采取的预防措施或纠正措施提出了建议,以标题“预防措施”给出。

### A.2.2 滚动接触疲劳

#### A.2.2.1 次表面起源型疲劳

##### A.2.2.1.1 次表面起源型疲劳早期阶段(剥落前)在角接触球轴承外圈上产生的裂纹

###### 失效原因

——重载下,载荷循环累积导致疲劳裂纹。

###### 预防措施

——使用具有更高承载能力的轴承。



##### A.2.2.1.2 角接触球轴承外圈滚道上早期阶段的剥落

###### 失效原因

——由于以下原因产生疲劳裂纹及初始剥落:

——重载下,载荷循环累积导致疲劳裂纹;

——疲劳裂纹开始后继续运转。

###### 预防措施

——使用具有更高承载能力的轴承。



##### A.2.2.1.3 角接触球轴承外圈滚道上进一步发展阶段的剥落

###### 失效原因

——由于以下原因产生疲劳裂纹及扩展的剥落:

——重载下,载荷循环累积导致疲劳裂纹;

——滚道面出现疲劳裂纹后继续运转。

###### 预防措施

——使用具有更高承载能力的轴承。



A.2.2.1.4 调心球轴承外圈滚道上两径向相对位置处次表面起源型疲劳剥落

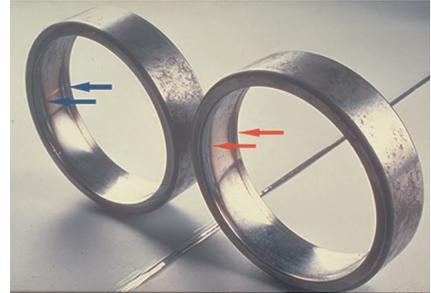
**失效原因**

- 轴承座椭圆,导致局部应力过高;
- 如果剖分轴承座未正确安装或颗粒嵌入轴承座支承面,也会发生类似损伤。

**预防措施**

- 检测相邻零件的形状精度,如有必要加以改进;
- 正确安装剖分轴承座;
- 在安装过程中最大限度地保证清洁度。

注:将外圈对向镜子放置,观测径向相对的区域。



A.2.2.2 表面起源型疲劳

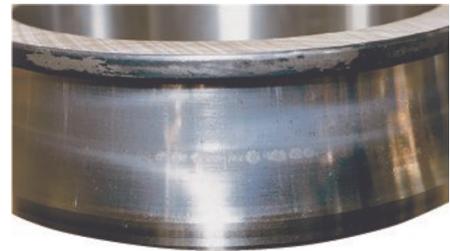
A.2.2.2.1 球面滚子轴承内圈滚道上的微剥落

**失效原因**

- 由于以下原因导致滚动接触面的表面粗糙度增大:
  - 润滑不充分;
  - 颗粒进入轴承。

**预防措施**

- 通过以下措施保护表面精度:
  - 正确润滑;
  - 改进密封;
  - 保证系统清洁度。



A.2.2.2.2 圆锥滚子轴承内圈滚道上的表面起源型疲劳

**失效原因**

- 由于以下原因导致滚道面发灰并发生微剥落:
  - 润滑不充分;
  - 滑动运动;
  - 预载不充分;
  - 偏斜。

**预防措施**

- 改进润滑;
- 施加正确的预载;
- 确保对中。



A.2.2.2.3 滚针轴承滚针滚动面上的表面起源型疲劳

**失效原因**

- 由于以下原因导致滚针滚动面发灰并发生微剥落:
  - 润滑不充分;
  - 滑动运动;
  - 轴偏斜。



**预防措施**

- 改进润滑；
- 轴和(或)轴承座调中。

**A.2.2.2.4 双列角接触球轴承内圈滚道上的表面起源型疲劳——倾斜的运转轨迹**

**失效原因**

- 由于以下原因导致运转过程中发生偏斜：
  - 轴挠曲变形；
  - 配合零件的台阶面不垂直。

**预防措施**

- 消除偏斜；
- 选择合适的轴承类型以适应偏斜
- 减小轴的挠曲变形；
- 检查配合零件台阶面的垂直度。



**A.2.2.2.5 角接触球轴承内圈滚道上的剥落**

**失效原因**

- 外来颗粒进入；
- 水侵入；
- 润滑不充分。

**预防措施**

- 改进密封；
- 检查运转工况下的润滑。



**A.2.2.2.6 圆锥滚子轴承内圈滚道上的剥落(剥离)**

**失效原因**

- 由于以下原因导致润滑油膜变薄：
  - 重载；
  - 低速；
  - 温升。

**预防措施**

- 选择合适的润滑剂以增加工况条件下润滑油膜厚度；
- 改进对润滑系统的维护。



**A.2.3 磨损**

**A.2.3.1 磨粒磨损**

**A.2.3.1.1 调心滚子轴承非旋转内圈滚道上的磨粒磨损**

**失效原因**

- 污染物侵入,导致滚道面磨粒磨损非常严重。

**预防措施**

- 改进密封布局；
- 改进润滑间隔和(或)润滑脂；



——如果工况条件许可,采用密封轴承。

#### A.2.3.1.2 圆柱滚子端面上的磨粒磨损

##### 失效原因

——污染或润滑不充分,引起滚子端面接触区发生磨粒磨损。

##### 预防措施

——保证系统清洁度;  
——改进润滑。



#### A.2.3.1.3 圆锥滚子轴承内圈滚道及滚子上的磨粒磨损

##### 失效原因

——外部颗粒污染;  
——密封磨坏或失效;  
——颗粒嵌入较软的保持架材料。

##### 预防措施

——消除或最小化污染源;  
——更换密封或升级密封布局;  
——缩短润滑剂更换周期;  
——确保轴承安装前进行合适的清洗。



#### A.2.3.1.4 角接触球轴承金属实体保持架兜孔的磨粒磨损

##### 失效原因

——润滑不充分;  
——污染物侵入。

##### 预防措施

——改进润滑;  
——改进密封布局。



#### A.2.3.1.5 调心滚子轴承套圈滚道的磨粒磨损及磨光

##### 失效原因

- 非常细小的污染物侵入,使套圈滚道及滚子滚动面被磨得发亮(严重磨损);
- 密封布局不当和(或)润滑不充分。

##### 预防措施

- 改进密封布局;
- 改进润滑:选择合适的润滑剂和(或)再润滑间隔;
- 考虑使用密封轴承。



#### A.2.3.2 黏着磨损

##### A.2.3.2.1 圆柱滚子轴承内圈滚道上的涂抹

##### 失效原因

- 由于以下原因导致内圈滚道和滚子间发生涂抹(滑伤):
  - 载荷太轻;
  - 加速度过大;
  - 润滑不充分。

##### 预防措施

- 减小加速度;
- 增加载荷;
- 使用表面涂层;
- 改进润滑。



##### A.2.3.2.2 圆锥滚子大端面上的涂抹

##### 失效原因

- 润滑不充分导致金属与金属接触、塑性变形及热损伤。

##### 预防措施

- 使用合适的润滑剂并进行适当的维护,以保证充分的润滑剂量、质量和油膜厚度;
- 确保润滑及配送系统可满足特定应用的速度、载荷及环境要求。



## A.2.4 腐蚀

### A.2.4.1 锈蚀

#### A.2.4.1.1 储存不当引起的部件腐蚀

##### 失效原因

- 由于以下原因引起未使用部件的锈蚀：
  - 储存不当；
  - 防护不充分。

##### 预防措施

- 将部件及轴承存放在恒温、湿度低的干燥处；
- 如有可能，避免将轴承安装在非防护的部件上。



#### A.2.4.1.2 腐蚀、手汗(指纹)

##### 失效原因

- 搬运不当,在未采取防护措施的状态下用汗手触摸轴承。

##### 预防措施

- 避免用湿(汗)手触摸轴承；
- 使用手套或防护脂；
- 清洁表面,使用触变剂并妥善重新包装。



#### A.2.4.1.3 角接触球轴承内圈滚道上的接触腐蚀

##### 失效原因

- 运转轴承使用了被水污染的润滑剂。

##### 预防措施

- 更换轴承及污染的润滑剂；
- 检查密封在装配过程中未被损伤；
- 更换密封或优化密封布局或优化再润滑间隔。



#### A.2.4.1.4 圆锥滚子轴承内圈滚道上的接触腐蚀,间隔等于滚子节距

##### 失效原因

- 水或腐蚀性材料(如酸)侵入;
- 空气中的湿气冷凝;
- 包装及存放条件不良。

##### 预防措施

- 改进密封效果;
- 长时间不工作时采取防锈措施。



#### A.2.4.2 微动磨蚀

##### A.2.4.2.1 圆柱滚子轴承内圈整个内径面上的微动磨蚀

##### 失效原因

- 内圈与轴之间的过盈配合不足。

##### 预防措施

- 根据载荷规定充分的配合;
- 考虑轴承支承面表面粗糙度的影响。



##### A.2.4.2.2 球轴承内圈内径面上的微动磨蚀

##### 失效原因

- 由于以下原因导致微动磨损:
  - 配合过盈量不足;
  - 内圈与轴之间的反复滑动。

##### 预防措施

- 增加轴配合过盈量;
- 应用表面涂层。



##### A.2.4.2.3 调心滚子轴承外径面上的微动磨蚀

##### 失效原因

- 重载下,微小运动导致微动磨蚀。

##### 预防措施

- 在轴承支承部位使用特殊的抗微动磨蚀膏;
- 应用特殊涂层。



#### A.2.4.2.4 深沟球轴承外径面上的微动磨蚀

##### 失效原因

- 重载及挠曲变形；
- 轴承座孔磨损。

##### 预防措施

- 减小载荷或提高轴承座或系统的刚度；
- 定期维护轴承座；
- 根据轴承制造商的建议，维修或更换轴承座；
- 改进配合。



#### A.2.4.2.5 深沟球轴承端面上的微动磨蚀

##### 失效原因

- 由于振动，轴承运转期间内圈与其相邻件(固定在轴上)之间存在微动。

##### 预防措施

- 轴向固紧；
- 使用抗微动磨蚀膏。



#### A.2.4.3 伪压痕

##### A.2.4.3.1 角接触球轴承内圈滚道上的伪压痕

##### 失效原因

- 轴承运输期间的振动引起内外圈相对运动。

##### 预防措施

- 运输期间，避免内外圈的任何相对运动；
- 对轴承施加预载(如有可能)。



##### A.2.4.3.2 深沟球轴承内圈滚道上的伪压痕

##### 失效原因

- 静置期间振动。

##### 预防措施

- 减小振动；
- 施加预载；
- 应用涂层。



#### A.2.4.3.3 滚针轴承内圈滚道上的伪压痕 备用设备

##### 失效原因

——静置期间,振动导致在对应于滚针节距处的滚道上出现伪压痕。

##### 预防措施

- 时常转动轴承;
- 减小振动;
- 施加预载;
- 应用涂层。



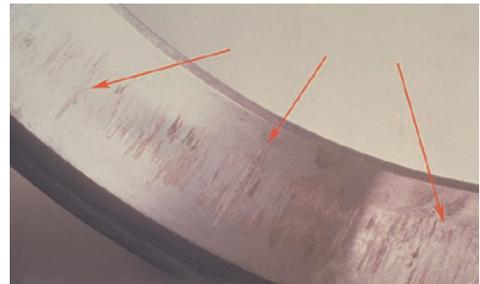
#### A.2.4.3.4 圆柱滚子轴承外圈滚道上的伪压痕

##### 失效原因

——备用设备频繁振动,滚子节距处出现印痕,由于启停会出现若干组印痕。

##### 预防措施

- 采用适当的设计抑制振动;
- 改进润滑;
- 考虑使用其他类型的轴承。



#### A.2.5 电蚀

##### A.2.5.1 瞬时电流过大电蚀

###### A.2.5.1.1 深沟球轴承外圈沟道上的环形坑

##### 失效原因

——电流通过,在沟道和球上产生环形坑。

##### 预防措施

- 检查机器或轴承的绝缘并采用正确的电绝缘;
- 在电焊操作过程中,应保证机器正确接地。



A.2.5.1.2 圆锥滚子上的电蚀环形坑

**失效原因**

——轴承静止时接地不当。

**预防措施**

——在电焊操作过程中,应保证机器正确接地。

——让轴承与焊接电源绝缘隔离。



A.2.5.2 电流泄漏电蚀

A.2.5.2.1 深沟球轴承套圈沟道上的波纹状凹槽(搓板纹)

**失效原因**

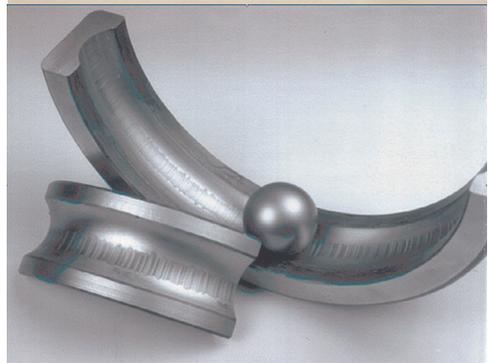
——滚道运转轨迹上的波纹状凹槽是由强度相对较低的电流通过旋转的轴承引起的。凹槽底部颜色变暗,球变成暗灰色。

**预防措施**

——检查绝缘;

——正确接地;

——使用电绝缘轴承或混合轴承。



A.2.5.2.2 由于电流泄漏电蚀在圆柱滚子轴承内圈滚道及滚子上形成的波纹状凹槽

**失效原因**

——由于内圈和外圈间的电位差,引起内圈滚道及滚子接触处的薄油膜起弧和燃烧。

**预防措施**

——检查绝缘;

——正确接地;

——使用电绝缘轴承。



A.2.5.2.3 由于电流泄漏电蚀在圆柱滚子轴承内圈滚道上形成的波纹状凹槽的发展阶段

**失效原因**

——电流泄漏电蚀发展。

**预防措施**

——检查绝缘;

——正确接地;

——使用电绝缘轴承。



#### A.2.5.2.4 由于电蚀在球面滚子滚动面上形成的波纹状凹槽

##### 失效原因

——轴承旋转时电流通过轴承。

##### 预防措施

——正确接地；

——轴承与电源绝缘隔离。



#### A.2.6 塑性变形

##### A.2.6.1 过载变形

##### A.2.6.1.1 深沟球轴承外圈沟道上的过载变形

##### 失效原因

——由于安装程序不当,深沟球轴承外圈轴向过载,在球节距处产生塑性变形。

##### 预防措施

——使用正确的安装工具及程序；

——检查已装配的零件未产生轴向预载；

——确认设计不会引起轴向预载。



##### A.2.6.1.2 调心滚子轴承内圈滚道上的过载变形

##### 失效原因

——轴承静止或旋转状态下承受大的冲击载荷,且(或)安装操作不当。

##### 预防措施

——改进轴承安装,使滚子不会压入滚道；

——选择能承受大小已知冲击载荷的轴承；

——消除或最小化冲击加载源。



#### A.2.6.1.3 圆柱滚子轴承内圈滚道上对应于滚子节距处的过载变形

**失效原因**

——由于安装中的偏斜，滚子在内圈滚道边沿产生塑性变形。

**预防措施**

——遵守安装指南，避免偏斜；  
——使用引导圈。



#### A.2.6.1.4 深沟球轴承内圈滚道上由过载变形产生的对应于球节距的剥落

**失效原因**

——使用中过载；  
——冲击载荷。

**预防措施**

——选择可承受应用载荷的轴承；  
——消除或最小化通过轴承的冲击载荷。



#### A.2.6.2 颗粒压痕

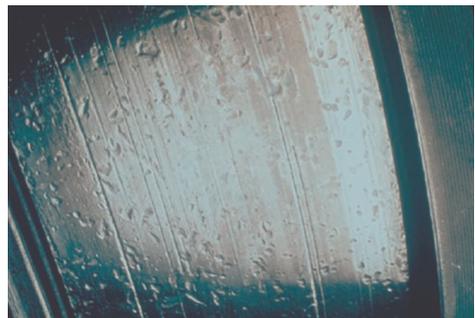
##### A.2.6.2.1 调心滚子轴承滚道及滚子上的颗粒压痕

**失效原因**

——大型轴承中污染严重且颗粒被滚碾，产生大量的压痕。

**预防措施**

——改进油过滤；  
——改进密封装置。



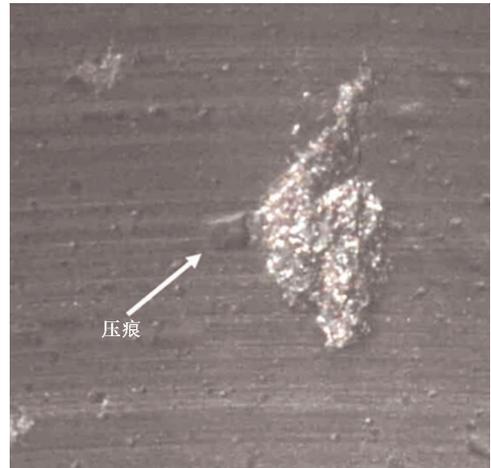
#### A.2.6.2.2 始于内圈滚道压痕的剥落

##### 失效原因

——表面剥落起源于压痕,压痕由进入轴承内部空间的硬质污染颗粒被滚碾而产生。

##### 预防措施

- 在清洁的环境中工作;
- 改进密封系统;
- 检查润滑剂和(或)润滑系统的污染。



#### A.2.6.2.3 深沟球轴承内圈上的压痕及随后的剥落

##### 失效原因

——污染颗粒被滚碾,产生压痕并最终剥落。

##### 预防措施

- 增加润滑频次;
- 改进密封布局;
- 如有可能,使用密封轴承。



#### A.2.7 断裂

##### A.2.7.1 过载断裂

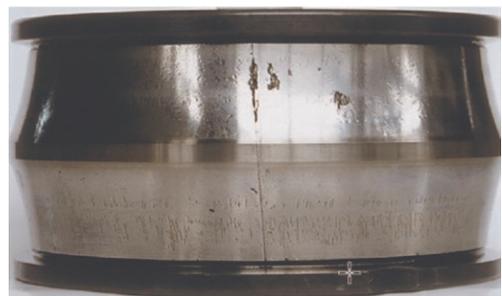
##### A.2.7.1.1 调心滚子轴承内圈的过载断裂

##### 失效原因

——由轴与内圈间温差引起配合应力过大。

##### 预防措施

- 修正过盈量;
- 检查工况条件。



#### A.2.7.1.2 深沟球轴承内圈的过载断裂

##### 失效原因

——静置期间静态过载。

##### 预防措施

——避免过载；

——使用更高静态承载能力的轴承。



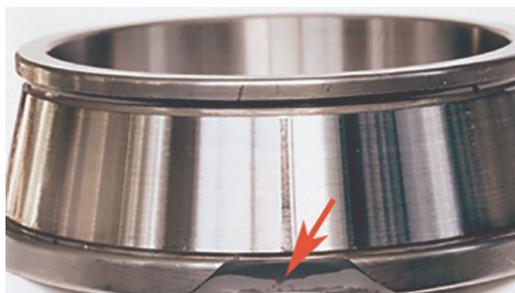
#### A.2.7.1.3 圆锥滚子轴承内圈大挡边的过载断裂

##### 失效原因

——安装时冲击过大。

##### 预防措施

——使用合适的安装工具和程序。



#### A.2.7.2 疲劳断裂

##### A.2.7.2.1 深沟球轴承保持架的疲劳断裂

##### 失效原因

——偏斜；

——由于内、外圈间偏斜安装，轴承工作时，非正常载荷作用于保持架上。

##### 预防措施

——改善对中；

——改进安装方法；

——选择合适的保持架类型及材料。



##### A.2.7.2.2 圆锥滚子轴承内圈的疲劳断裂

##### 失效原因

——因为安装时的冲击，在表面缺陷处萌生裂纹；使用中，在与轴向载荷变化相关的弯曲应力作用下，疲劳扩展。

##### 预防措施

——小心安装。



### A.2.7.3 热裂

#### A.2.7.3.1 圆柱滚子轴承外圈挡边外侧的热裂

##### 失效原因

- 润滑问题；
- 保持架兜孔被磨穿，外圈引导的保持架与外圈挡边发生严重摩擦，滑动产生过大的热量，出现热裂。

##### 预防措施

- 确保使用合适的润滑(类型、黏度、剂量)；
- 如有可能，使用滚子引导保持架。



#### A.2.7.3.2 圆锥滚子轴承内圈内径面上的热裂

##### 失效原因

- 内圈与轴的配合松动，摩擦产生高热；
- 内圈间隙配合，内圈内径面与轴承支承面之间的润滑不良。

##### 预防措施

- 遵循轴承制造商给出的轴配合建议；
- 确保间隙配合轴承与轴承支承面之间润滑合适。



#### A.2.7.3.3 圆锥滚子轴承滚子大端面上的热裂

##### 失效原因

- 在润滑不良的状态下，滚子大端面与内圈挡边间滑动发热。

##### 预防措施

- 改进润滑；
- 缩短润滑周期。



### A.3 其他调查

根据本标准包含的迹象,对轴承零件及相邻部件进行目视检测;假如经过这样的初步调查不能得出轴承损伤或失效原因的相关结论及可能的预防措施,则建议向轴承制造商或可进行失效轴承分析的独立实验室求助,讨论进行进一步分析的必要性及相关性。

例如,可使用以下某些方法,对轴承的不同零件进行进一步的调查:

- 对与损伤或失效相关的零件进行几何测量,来检验尺寸、几何形状或表面精度是否已发生变化;
- 金属零件的金相调查,可用合适工具(光学显微镜或无损技术)或破坏性方法(如金相分析)对零件进行高倍检测;
- 有机物零件和(或)污染物的理化调查;
- 在某些情况下,失效模式已经改变了某些零件的外观和(或)性能,以致不能确定其原始状态。这时再进行深入分析可能对调查不会带来新的价值。

### A.4 所用术语的解释

A.4.1 A.4.2~A.4.69 中给出解释有助于更好地理解本标准中使用的术语。

A.4.2 **磨粒磨损(abrasive wear)**:由于润滑不充分及(外部)颗粒的侵入,使材料逐渐移失。表面会有某种程度的变暗,变暗程度因磨粒的粗细及特性而不同。见 5.2.2。

A.4.3 **黏着磨损(adhesive wear)**:滑动期间由于固相焊接而导致材料从一个表面转移到另一表面,从一个表面移失的颗粒或永久或临时黏附在另一表面。见 5.2.3。

A.4.4 **光亮状磨损(burnishing)**:导致粗糙峰顶部扁平化的塑性变形的累积,表面逐步呈现更光亮的状态,而非表面精加工留下的形貌。见 5.1.3。

A.4.5 **污染物(contaminant)**:润滑油或脂中或游离在轴承内部空间不希望有的颗粒或水。见 5.1.3。

A.4.6 **腐蚀(corrosion)**:金属表面上化学反应的结果。见 5.3。

A.4.7 **裂纹(crack)**:材料基体开裂,但还没有完全分离。见 5.6。

A.4.8 **成坑(cratering)**:因电流通过接触表面之间,形成环形坑。见 5.4。

A.4.9 **蠕动(creep)**:在轴承套圈安装时过盈配合不充分且载荷相对于套圈旋转的情况下,轴承套圈相对于其支承面发生不希望有的运动。见 5.2.3。

注:蠕动过程中,滚碾导致内圈相对轴的转速或者外圈相对轴承座的转速存在微小差异。蠕动常常(但不一定总是)伴随有套圈与支承面接触处的滑动。

A.4.10 **电流泄漏电蚀(current leakage erosion)**:高于临界值的电流通过而引起的接触面损伤。见 5.4.3。

A.4.11 **变色(discolouration)**:受热或化学反应引起的外观变化。见 5.3.2、5.3.3.2、5.3.3.3。

A.4.12 **电蚀(electrical erosion)**:电流通过造成材料的移失。见 5.4。

A.4.13 **电流过大电蚀(excessive current erosion)**:由过大的电流引起的损伤,在滚道面上产生大的环形坑,可能伴有局部过热造成润滑剂变色。见 5.4.2。

A.4.14 **伪压痕(false brinelling)**:腐蚀与局部磨损的综合,当静止轴承受到振动,其滚动体相对于滚道表面作前后运动时产生,可能每个压痕处呈现铁锈色外观。见 5.3.3.3。

A.4.15 **疲劳(fatigue)**:由滚动体和滚道接触区内的交变应力造成的组织变化。见 5.1。

A.4.16 **疲劳断裂(fatigue fracture)**:载荷频繁超过疲劳强度极限导致的断裂,常发生于弯曲状态或配合过盈量过大的场合。裂纹起源于应力集中处并逐步扩展至零件的部分横截面,最终导致完全断裂。

疲劳断裂主要发生在套圈及保持架上。见 5.6.3。

A.4.17 片状剥落(**flaking**):参见 A.4.58“剥落(spalling)”(优先术语)。

A.4.18 波纹状凹槽(**fluting**):密集、等距的沟槽。参见 A.4.68“搓板纹(washboarding)”。见 5.3.3.3、5.4.3及 5.5.2。

A.4.19 过载断裂(**forced fracture**):局部过载造成应力集中超过材料拉伸强度引起的断裂。见 5.6.2。

示例 1: 安装过程中的冲击,或应力过大。

示例 2: 过大的过盈配合或轴的弯曲。在后一种情况下,会产生过大的环向应力。

A.4.20 断裂(**fracture**):裂纹扩展到完全分离。见 5.6。

A.4.21 微动磨蚀(**fretting/fretting corrosion**):一定摩擦条件下,配合面间的微小相对运动(滑动)所引起的化学反应,导致表面氧化、粗糙峰变成可见的粉状铁锈、配合面之一或两者失去材料。表面变亮或变色(黑红色)。见 5.3.3.2。

A.4.22 微动锈蚀(**fretting rust**):由微动磨蚀产生的锈蚀。见 5.3.3.2。

A.4.23 摩擦腐蚀(**frictional corrosion**):一定摩擦条件和载荷条件下,配合面间的微小相对运动所引起的化学反应。见 5.3.3。

A.4.24 粗化(**frosting**):黏着磨损的特定形式,金属微小碎片被滚动体从轴承滚道上扯下。

注:粗化区在一个方向上感觉平滑,但在另一个方向上则有明显的粗糙感。

A.4.25 黏结(**galling**):零件表面材料以斑块从一个接触表面的某个位置转移到另一接触表面的某个位置,且有可能由于高的拖动力而以多个粗糙峰的尺度回移到前一接触表面。参见 A.4.54“滑伤(skidding)”及 A.4.55“涂抹(smearing)”。见 5.2.3。

注:典型的黏着磨损。

A.4.26 磨光(**glazing**):抛光的表面,其上原始精加工纹理被塑性化碾平。参见 A.4.4“光亮状磨损(burnishing)”。

A.4.27 发灰(**grey staining**):外观变成暗灰色。参见 A.4.35“显微剥落(microspalling)”。见 5.1.3。

A.4.28 硬颗粒(**hard particle**):如来自磨削过程(如砂轮)的砂及颗粒。见 5.2.2 及 5.5.3。

A.4.29 热裂(**heat cracking**):参见 A.4.64“热裂(thermal cracking)”。见 5.2.3 及 5.6.4。

A.4.30 赫兹理论(**Hertzian theory**):关于与两物体间接触区及材料弹性变形性能有关的接触应力的理论。见 5.1.2。

A.4.31 环向应力(**hoop stress**):轴承套圈圆周方向(切向)应力。见 5.6.2。

A.4.32 夹杂物(**inclusion**):基体材料中非特意加入的外来材料的粒状体。见 5.1.2。

A.4.33 压痕(**indentation**):接触面上的局部塑性凹陷(点、线、面),由硬的尖角物或污染物压入表面和(或)在表面上被滚碾引起。见 5.5.3。

A.4.34 微裂纹(**microcrack**):由连续循环应力形成的裂纹,连续循环应力消耗材料塑性。严重损伤的表面密布这样的微裂纹。见 5.1.2 及 5.1.3。

A.4.35 显微剥落(**microspalling**):粗糙峰接触处的浅层剥落。参见 A.4.58“剥落(spalling)”。见 5.1.3。

A.4.36 锈蚀(**moisture corrosion**):金属表面潮湿化学反应的结果。当钢与潮气(如水)、酸接触,会发生表面氧化,随后形成腐蚀麻点,并可能发生剥落。见 5.3.2。

A.4.37 刻痕(**nick**):静态或冲击状态下,由硬的、可能是尖锐的物体压入接触零件表面引起的塑性凹陷。见 5.5.2。

A.4.38 过载变形(**overload deformation**):由过大静态或冲击载荷引起的塑性变形,即在轴承滚道对应于滚动体节距处形成浅凹陷或波纹状凹槽。预载过大或搬运不当也会发生过载。见 5.5.2。

A.4.39 氧化(**oxidation**):物质和氧结合。见 5.3.2、5.3.3.1 和 5.3.3.2。

A.4.40 颗粒磨损(**particle wear**):参见 A.4.2“磨粒磨损(abrasive wear)”及 A.4.63“三体磨损(three-

body wear)”。

A.4.41 **轨迹(path pattern)**:由于滚动体和滚道接触,轴承零件部分区域出现的痕迹(最终会变色)。见 A.1.3。

A.4.42 **剥离(peeling)**:由滚动接触疲劳引起的表面损伤扩展的严重阶段,其看起来像一小片金属被剥下来。见 5.1.3。

注:剥离有时也用作描述更大面积的显微剥落。

A.4.43 **麻点(pitting)**:由任何材料移失形成的表面凹坑。

注:由于该描述具有通用性,因此,已不在疲劳术语中使用。

A.4.44 **塑性变形(plastic deformation)**:超过材料屈服强度时发生的永久性变形。见 5.5。

A.4.45 **犁沟(ploughing)**:由两个相对运动的表面中较软表面的塑性变形形成的沟槽。见 5.2.2。

A.4.46 **抛光(polishing)**:使轴承零件的原始加工表面外观变得更为光亮的平滑作用。见 5.2.2。

A.4.47 **滚动接触疲劳(rolling contact fatigue)**:一个固体表面和另一(几)个固体表面滚动接触处产生的重复应力作用所引起的失效。见 5.1。

A.4.48 **跑合(running-in)**:在使用初期,改善机器零件吻合度、表面形貌及摩擦兼容性的过程。见 5.2.2。

A.4.49 **铁锈(Rust)**:存在水或湿气时通过低温氧化,在铁或含铁材料上形成的各种粉末状或鳞片状红棕色或红黄色氧化物或氢氧化物。见 5.3.2、5.3.3.1 和 5.3.3.2。

A.4.50 **划伤(scoring)**:表面严重的擦伤或犁沟。参见 A.4.51“擦伤(scratching)”。见 5.2.3。

注:在美国,划伤也用作描述涂抹。

A.4.51 **擦伤(scratching)**:由尖角物或粗糙峰,或嵌入一表面或分布在两表面之间的硬颗粒所形成的微小沟槽。参见 A.4.50“划伤(scoring)”。见 5.2.3。

A.4.52 **胶合(scuffing)**:由滑动面的固相焊接(无局部表面熔化)引起的一种黏着磨损或局部损伤。见 5.2.3。

注:由于该术语描述太通用且不严密,因此,尽量避免使用。

A.4.53 **咬黏(seizing)**:接触表面润滑不充分、载荷过大和温升所引起的极端涂抹,视运转速度和温度不同,可导致材料软化、二次淬火、开裂、摩擦焊合,严重时,还可导致轴承零件发生卡滞。见 5.2.3。

A.4.54 **滑伤(skidding)**:由于高速滑动和因载荷迅速变化而使润滑油膜破裂,在表面出现的断续的银雾状表面损伤。见 5.2.3。

A.4.55 **涂抹(smearing)**:黏着磨损的一种,材料从一个表面上机械性移除(常涉及塑性剪切变形),并在一个或两个表面上重新沉积为一薄层材料。见 5.2.3。

A.4.56 **平滑化(smoothing)**:参见 A.4.4“光亮状磨损(burnishing)”及 A.4.26“磨光(glazing)”。

A.4.57 **软颗粒(soft particle)**:如塑料颗粒、木屑、棉线。见 5.5.3。

A.4.58 **剥落(spalling)**:颗粒从表面上分离。由次表面起源型或表面起源型疲劳引起的材料缺失。见 5.1.1 及 5.1.2。

A.4.59 **次表面起源型疲劳(subsurface initiated fatigue)**:在滚动接触处载荷的影响下,如赫兹理论所述,组织发生变化,且在表面下某一深度处萌生微裂纹。见 5.1.2。

A.4.60 **表面损伤(surface distress)**:参见 A.4.61“表面起源型疲劳(surface initiated fatigue)”。见 5.1.3。

A.4.61 **表面起源型疲劳(surface initiated fatigue)**:在润滑不足条件下滚动接触金属表面粗糙峰的失效,导致表面微裂纹或显微剥落。润滑油膜不足时,表面上所有类型的缺陷会局部导致表面损伤程度增加。见 5.1.3。

A.4.62 **热裂(thermal cracking)**:由滑动摩擦发热引起的损伤(或失效)。裂纹常出现在与滑动垂直的方向。见 5.6.4。

A.4.63 **三体磨损(three-body wear)**:当颗粒不受限、且可在表面自由滚动、滑动并同时和两接触表面相

相互作用时发生的一种磨粒磨损。见 5.2.2。

A.4.64 摩擦腐蚀(tribo-corrosion):参见 A.4.23“摩擦腐蚀(frictional corrosion)”。见 5.3.3.1。

A.4.65 摩擦氧化(tribo-oxidation):参见 A.4.23“摩擦腐蚀(frictional corrosion)”。见 5.3.3.1。

A.4.66 真压痕(true brinelling):一接触物体压入另一物体产生的塑性变形(凹陷)。见 5.5.2。

A.4.67 振动腐蚀(vibration corrosion):带有腐蚀物或铁锈的伪压痕。见 5.3.3.3。

A.4.68 搓板纹(washboarding):参见 A.4.18“波纹状凹槽(fluting)”。见 5.4.3。

A.4.69 磨损(wear):在使用过程中材料从一固体表面逐渐移失,一般是该表面和一接触物体或多个物体间的相对运动引起材料的逐渐移失。见 5.2。

## 参 考 文 献

- [1] ISO 281 Rolling bearings—Dynamic load ratings and rating life
- [2] ISO 6601 Plastics—Friction and wear by sliding—Identification of test parameters
- [3] ISO 8785 Geometrical Product Specification (GPS)—Surface imperfections—Terms, definitions and parameters
- [4] FAG.Rolling Bearing Damage—Recognition of damage and bearing inspection, Publication No.WL 82102/3 EA
- [5] HARRIS T.A.and KOTZALAS M.N.Rolling Bearing Analysis.Taylor & Francis, Boca Raton, 2007
- [6] INA,Failure Analysis, INA Bearing failure mode archive, Sach Nr.009-694-480/TPI 109 GB-D 03012
- [7] KÖTTRITSCH H and ALBERT M.WÄLZLAGER, Theorie und Praxis.Springer Verlag, Vienna, 1987
- [8] KOYO, Rolling Bearings: Failures, Causes and Countermeasures, CAT.No.322E ‘95.4-6 CNK (‘92.4)
- [9] NISBET T.S.and MULLETT G.W.Rolling Bearings in Service.Hutchinson Benbarn, London, 1978
- [10] NSK, New Bearing Doctor; Diagnosis of bearing problems.Objective: Trouble-free operation, CAT.No.E7005 1999 C-9
- [11] NTN, Care and Maintenance of Bearings, CAT.No.3017/E (94.10.6)
- [12] SKF, Bearing damage and failure analysis, PUB BU/13 14219 EN
- [13] SKF, Bearing maintenance handbook, Publication PUB-SR/P7 10001 - July 2010
- [14] SKF, Bearing Installation and Maintenance Guide, Publication 140-710 Reg.No 40M/CW 3/2007, USA 2007
- [15] SNR, Causes of Premature Bearing Failures, Technical leaflet 010 (DTA10); Annecy, France
- [16] TALLIAN T.E.Failure Atlas for Hertz Contact Machine Elements.ASME Press, New York, 1992
- [17] TIMKEN. Bearing Maintenance for Mobile Industrial Equipment, 25M-7-95 Order No.7311
- [18] TORRINGTON.Roller Bearing Service Damage and Causes, Form No.634 6M 691, First edition, Second Printing, Connecticut; USA
- [19] WIDNER R. L. and LITTMANN W. E. Bearing Damage Analysis, National Bureau of Standards Special Publication 423, Definition of the Problem, Mechanical Failures, Prevention G
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
滚 动 轴 承 损 伤 和 失 效  
术 语、特 征 及 原 因

GB/T 24611—2020/ISO 15243:2017

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

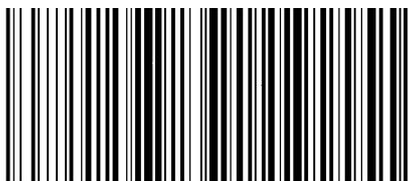
服务热线: 400-168-0010

2020年11月第一版

\*

书号: 155066 · 1-66133

版权专有 侵权必究



GB/T 24611-2020