

辊子内置轴承失效分析及应对措施研究

余志刚

(武汉钢铁有限公司设备管理部 湖北 武汉 430000)

摘要: 某轧钢厂连退机组平整机入口辊子内置轴承发生卡阻故障, 本文对辊子整体结构及安装方式进行深入分析, 发现故障主要原因是轴承装配工艺不符和芯轴制造尺寸精度不足, 造成轴承无法承载芯轴轴向热膨胀。针对轴承卡阻故障的原因, 制定轴承装配及芯轴修复尺寸精度检查标准, 最终避免了类似故障的发生。

关键词: 轧钢; 辊子; 内置轴承; 热膨胀; 失效

0 引言

辊子是轧钢厂数量最多的关键单体设备, 按照传动方式主要分为主动辊和被动辊。主动辊由电动机、联轴器、轴承座、辊身等部分组成, 通过电动机驱动辊身作圆周运动, 实现钢坯或带钢输送功能。被动辊无驱动装置, 通过带钢或钢坯运动时的接触摩擦力传递运动, 主要实现支撑、过渡、检测等功能。辊子按照轴承安装部位又分为内置轴承辊子和外置轴承辊子。内置轴承辊子主要由芯轴、辊身、轴承3部分组成, 轴承安装于辊身内, 内外圈分别与芯轴和辊身配合, 芯轴固定, 辊身转动。外置轴承辊子主要由辊身、轴承和轴承座组成, 轴承安装于独立的轴承座内, 辊身轴头与轴承内圈配合, 轴承座固定, 辊身转动。

无论是外置轴承辊子还是内置轴承辊子, 轴承安装时内外圈轴向定位方式, 通常采取一端轴承内、外圈均定位, 一端轴承内圈或外圈不定位安装^[1,2] (分别称为辊子的固定端和游动端)。采取此种定位方式的主要目的是克服辊身轴向热膨胀效应, 当辊身发生轴向热膨胀后, 游动端轴承可以轴向移动, 避免轴承滚珠因承受异常轴向力而失效。轴承安装时内外圈径向配合原则一般为转动圈过盈配合, 固定圈过渡配合或间隙配合^[1,2]。转动圈采用稍紧的配合, 其过盈量的大小应使配合表面在工作负荷下不发生爬行, 因为一旦发生爬行, 配合表面就会磨损、产生滑动, 转速越高, 磨损越严重。固定圈宜选用较松的配合, 一方面方便拆装和调整, 另一方面使轴承沿轴向自由移动, 消除温升带来的芯轴或外壳孔在纵向产生不同伸长量导致的内部应力^[3]。

1 故障情况介绍

2023年2月, 某轧钢厂连退机组平整机入口辊子轴承卡阻, 划伤带钢表面。停机检查, 发现辊子传动侧轴承部位温度达108℃; 辊子下机解体, 打开轴承端盖发现轴承保持架破裂, 滚珠错位(图1)。



图1 辊子轴承卡阻

该辊子为被动辊(图2), 主要功能为支撑带钢并通过底座传感器测量带钢张力。辊子辊身两端内置轴承, 芯轴通过压板固定安装, 辊身转动。轴承型号为22224E(调心滚子轴承), 辊子右侧轴承内外圈轴向定位安装, 为固定端, 左侧轴承内圈轴向未定位, 为游动端。发生轴承卡阻故障的为游动端。

2 辊子轴承失效机理

2.1 轴承润滑不良

轴承润滑不良是轴承卡阻的主要原因。轴承润滑

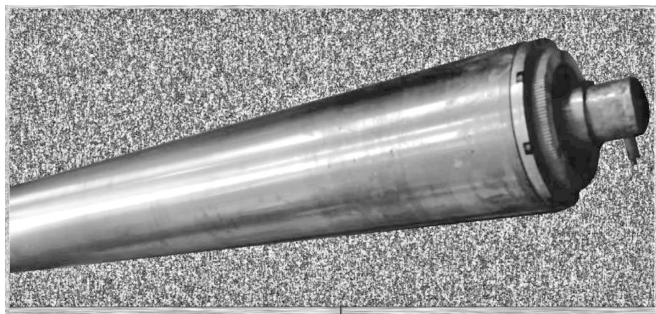


图2 辊子外观

是在滚动体、滚道和保持架表面建立油膜，防止三者之间金属直接接触，以减小磨损和轴承表面腐蚀，减小摩擦损耗、发热，降低轴承温度^[1-3]。轴承供油不足时，油膜厚度无法得到补偿，高速旋转的滚珠迅速破坏油膜，轴承滚动体与内外圈发生金属接触后，由于发热、磨损导致轴承失效。

2.2 轴承进水

平整机轧制带钢时根据产品需求喷射平整液、冷却水等工艺介质，入口辊子处于高湿环境。为防止水汽进入轴承，轴承端盖与芯轴结合面安装密封圈。密封圈为特殊结构及材质设计的动密封圈，一旦密封圈发生磨损、破裂等缺陷，轴承室内润滑油被水汽乳化变质，润滑性能下降，将造成轴承润滑不良、卡阻。

2.3 轴承选型不当或偏载

该辊子轴承型号 22224E，为调心滚子轴承。调心滚子轴承的对称鼓形滚子在外圈球面滚道里自由调位，可以补偿芯轴长度方向的弯曲变形以及安装配合的不对中，并能承受较大径向载荷和少量双向轴向载荷^[3]。该辊子承受带钢张紧后的下压力，根据带钢张力和辊身接触包角可以计算轴承径向载荷，最大不超过 22224E 型轴承径向额定动载荷（560kN）的 70%。但辊子承载异常轴向载荷时，调心滚子轴承在滚珠与滚道异常磨损后失效。

2.4 轴承装配不当

轴承装配精度对于轴承平稳运行至关重要，轴承的轴向定位、径向配合及游隙必须按标准调整到位。该辊子轴承的轴向定位、径向配合尺寸图纸已标注清楚，径向游隙可按标准查得。若轴向定位不准，轴承内外圈异常窜动，造成滚子磨损。若径向配合不达标，轴承内外圈与轴头、端盖配合无法保证，内外圈松动将导致辊身运行时跳动；内外圈过紧将挤压滚道，造成径向游隙不足，滚子运行受阻，也可

能造成游动端无法轴向移动。若轴承游隙调整不当，将造成双列鼓形滚子在外圈滚道的径向间隙不对称，单列滚子长期偏载后造成异常磨损。

2.5 其他因素影响

除上述原因外，轴承质量不合格、芯轴弯曲、油脂牌号不符等因素都将造成轴承异常磨损后失效。

3 轴承失效原因分析

根据辊子游动端解体后轴承、端盖、芯轴、密封等部件的状态检查和尺寸确认，轴承润滑正常，无进水现象；进一步检查发现端盖内圈与轴承外圈配合面，及端盖止口与轴承外圈侧面的定位面均出现磨损痕迹（图 3）。由于轴承材质偏硬，端盖上述两面磨出 1mm 左右台阶，表明轴承外圈与端盖发生相对转动。

对于内置轴承辊子，轴承外圈为转动圈，应为过盈配合；内圈为固定圈，应为过渡配合或间隙配合。当轴承发生卡阻故障时，轴承内圈、外圈、滚动体三者可以视为不能相对转动的整体，外圈与端盖过盈配合形成一个整体，端盖与辊身用螺栓连接，芯轴固定安装。带钢带动辊身转动，此时发生相对转动的应该为轴承内圈与芯轴，基于这个异常点，对轴承装配工艺及配合尺寸展开分析，从而发现轴承失效原因。

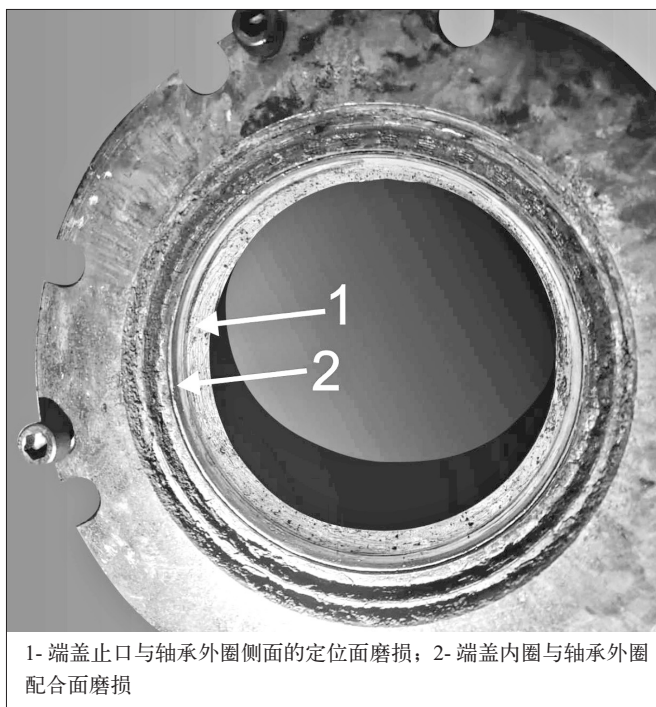


图3 辊子端盖内圈磨损

3.1 轴承径向配合尺寸分析

滚动轴承是一种精密标准件，“公差与配合”原则为：以标准件为基准值，轴承与轴的配合采用基孔制，轴承与外壳的配合采用基轴制。理论上此时轴承内径尺寸下偏差为 0，外径尺寸上偏差为 0。但实际上轴承内外径公差带的特点是所有公差带都单向偏置在零线下方，即上偏差为 0，下偏差为负值，而且外径负偏差的数值与标准中基准轴的负偏差数值不一样，内径负偏差与基孔制孔的偏差（为正偏差）是相反的。滚动轴承选用配合与机械设计中选用配合是不能同样看待的，必须注意滚动轴承配合的选择有其特殊性^[4]。轴承与轴、外壳配合的常用公差带示意图如图 4、图 5 所示。

轴承按尺寸公差与旋转精度分级，向心轴承（圆锥滚子轴承除外）公差等级共分为五级，即 P0、P6、P5、P4、P2 级，精度依次由低到高。P0 为一般精度等级，轴承代号默认不标注^[5]，按照 P0 公差等级查得 22224E 调心滚子轴承内外径分别为 $\phi 120_{-0.020}^0\text{mm}$ 、

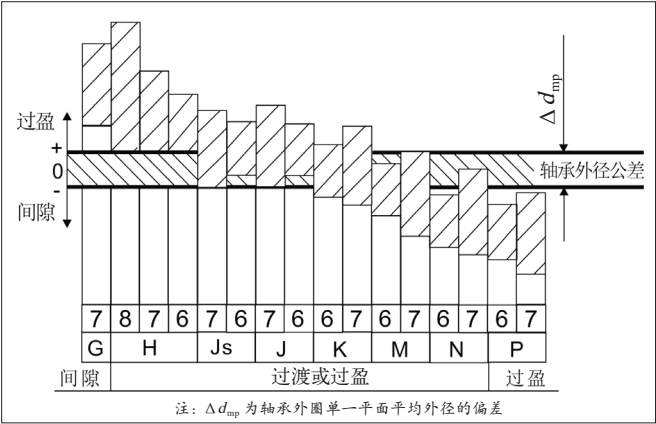


图 4 轴承与轴配合的常用公差带关系

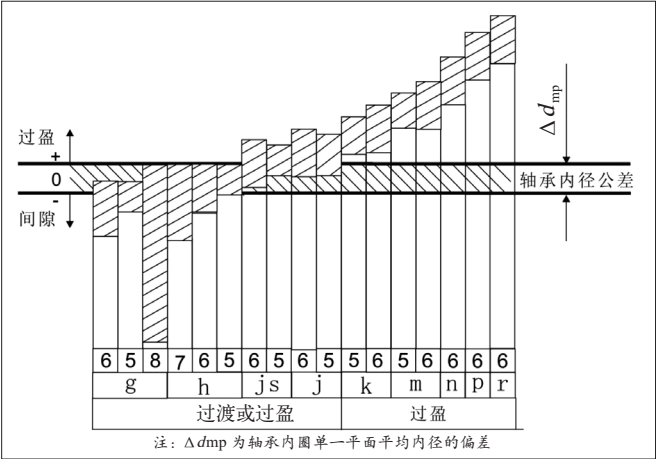


图 5 轴承与外壳配合常用公差带关系

$\phi 215_{-0.030}^0\text{mm}$ 。该辊子轴承为内置轴承，外圈跟随辊身转动，芯轴及轴承内圈不转动，理论上外圈应为过盈配合，内圈应为过渡配合或间隙配合。结合上述加工精度，按照极限偏差计算，芯轴加工尺寸取上偏差 -0.012mm ，轴承内圈取下偏差 -0.020mm ，芯轴与轴承内圈最大配合过盈量仅为 0.008mm ，对应的最大配合间隙为 0.034mm ，轴承安装时应为推入配合^[6]。端盖内圈加工尺寸取上偏差 $+0.013\text{mm}$ ，轴承外圈取下偏差 -0.030mm ，端盖与轴承外圈最大配合间隙为 0.043mm ，对应的最大配合过盈量为 0.033mm ，轴承安装时应为轻迫配合^[6]。

该辊子游动端轴承外圈轴向由钢套和端盖止口定位，端盖端面与钢套之间留有 1.5mm 的间隙，端盖法兰面与辊身连接处安装 1mm 密封垫，端盖法兰螺栓预紧力通过止口使轴承外圈与钢套压紧。极端情况下，端盖内圈与轴承外圈之间为间隙配合（配合间隙 0.043mm ），但可以通过端盖止口轴向压紧，使其与端盖、辊身、钢套不发生相对转动。实际上，辊子游动端轴承故障现象刚好与之相反，可以证明轴承内圈配合过紧，并未达到最大过盈量 0.008mm 的配合精度。轴承外圈与端盖装配示意图见图 6。

辊子返厂修复，实测芯轴轴头轴承内圈安装面直径为 120.03mm ，与轴承内圈配合最大过盈量为

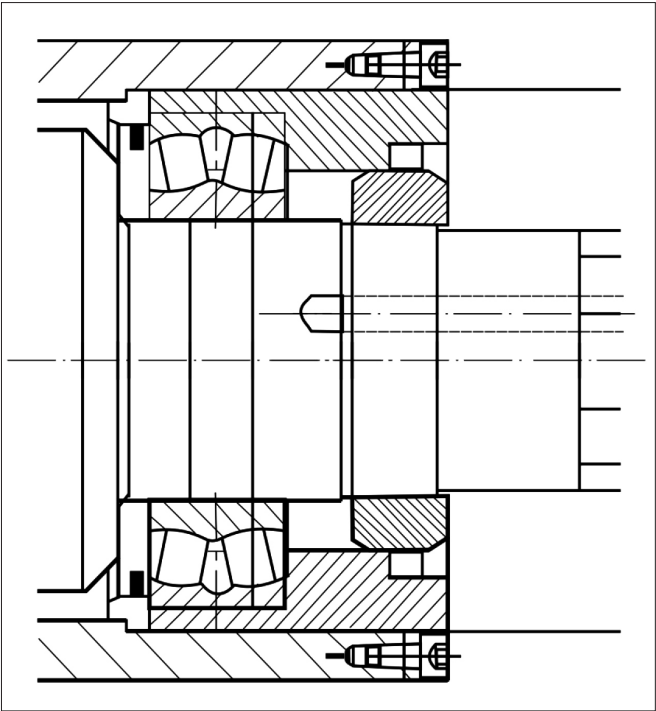


图 6 轴承外圈与端盖装配示意图

0.05mm。

3.2 轴承失效过程分析

该辊子游动端轴承内圈与芯轴配合过紧,内圈无法在轴向自由移动。带钢从退火炉出来后经过降温处理,到达平整机入口时约 50℃,辊身与带钢直接接触。辊身与芯轴为分离结构,两者存在温度差,辊身温度为 50℃,芯轴温度为室温 10℃。上机前辊子整体温度为室温 10℃,辊子上机运行一段时间后,辊身由 10℃ 上升到 50℃,辊身因温升发生热膨胀,而芯轴温度未变化,未发生热膨胀。

辊身热膨胀量 $L_1 = \text{金属线性膨胀系数 } \alpha \times \text{辊身温升 } \Delta t \times \text{辊身长度 } l_1 = 11.59 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 40^\circ\text{C} \times 1936\text{mm} = 0.9\text{mm}$ 。

辊身在运行时发生 0.9mm 的轴向热膨胀,芯轴长度未变。游动端轴承外圈被轴向定位后通过滚珠带动内圈作轴向移动,但此时轴承内圈配合过紧,无法在轴向自由移动,滚珠与内外圈滚道摩擦碾压,长期运行后保持架破裂,滚珠错位,发生轴承卡阻故障。轴承滚珠卡阻后与内外圈形成一个不能相对转动的整体,带钢带动辊身转动,在轴承外圈与端盖配合面发生相对转动。

4 处理措施

将该辊子按周期更换下机,对密封圈、轴承、锁紧螺母等零部件进行检查更换,对轴头、端盖、钢套等加工件进行检查、堆焊、修磨或重新制造,所有修复工序完成后重新组装上机。

为避免类似故障再次发生,制定内置轴承辊子修复检查标准,严格检查确认芯轴轴头、端盖配合面加工尺寸精度,保证加工偏差在公差带内。

5 结语

内置轴承辊子与外置轴承辊子的轴承安装方式及配合公差存在一定差异,装配工艺及加工尺寸控制

存在两个误区:

(1) 通常误认为轴承外圈安装在轴承座内,为固定圈,采取间隙或过渡配合;轴承内圈与芯轴配合,为转动圈,采取过盈配合。但实际上应分析辊子的具体结构,确认旋转部件,内置轴承辊子的轴承外圈为转动圈,内圈为固定圈。

(2) 轴承与轴的配合采用基孔制,轴承与外壳的配合采用基轴制,从而误认为轴承内径尺寸下偏差为 0,外径尺寸上偏差为 0。但实际上轴承内、外径公差带都位于零线下方,即上偏差为 0,下偏差为负值。

在两个误区的引导下,容易出现芯轴的设计及加工尺寸的上下偏差取正值以保证过盈量的情况;而轴承内径实际上为负偏差,这造成芯轴与轴承内圈实际过盈量很大。此时,如果轴承内圈不定位(作为辊子游动端),其无法自由移动消除热膨胀量,从而引起轴承失效。

内置轴承辊子的结构决定了轴承外圈为转动圈,内圈为固定圈,辊子游动端的轴承内圈应采取过渡或间隙配合,使轴承内圈在芯轴轴向上能够自由移动,消除辊子轴向热膨胀量,确保轴承平稳运行。

参考文献:

- [1] 王鹏,杜学明,马俊.滚动轴承的应用[J].电气防爆,2022(1):24-32.
- [2] 魏尚廷.滚动轴承配合的选择经验[J].水力采煤与管道运输,2008(2):53-54.
- [3] 卓福海.工业齿轮箱中调心滚子轴承应用特点分析[J].机械传动,2016(10):162-165+175.
- [4] 汪家宸,曹光海.滚动轴承的配合[J].机械工程,1983(5):33-36.
- [5] 林小江.第四章 滚动轴承的一般技术要求[J].哈尔滨轴承,2003(3):38-39.
- [6] 滚动轴承的配合[J].哈尔滨轴承,2009,30(4):62-64.