

滚动轴承故障诊断方法研究

吴浩亮

中国船舶集团有限公司第七一三研究所 河南 郑州 450015

摘要: 随着工业智能化浪潮的推进,滚动轴承作为机械装备的关键部件备受关注。本文聚焦滚动轴承故障诊断方法研究。首先阐述了滚动轴承常见的故障类型,涵盖疲劳失效、胶合失效、磨损与腐蚀以及断裂失效等。接着详细介绍了多种故障诊断方法,包括振动检测法、噪声监测法、温度监视法、油液分析法、声发射检测法以及多参数融合诊断等。通过对这些故障类型和诊断方法的深入探讨,旨在为滚动轴承的故障诊断提供全面且系统的理论支持与实践指导,助力提升设备运行的可靠性与稳定性,降低因轴承故障引发的生产事故风险。

关键词: 滚动轴承; 故障诊断; 振动检测

引言:滚动轴承作为机械装备中的关键部件,广泛应用于各类旋转机械,其运行状态直接影响设备的整体性能与可靠性。在实际工作过程中,滚动轴承因长期承受复杂载荷、恶劣工作环境等因素,极易出现各类故障。一旦轴承发生故障,不仅会导致设备性能下降、生产效率降低,还可能引发严重的安全事故,造成巨大的经济损失。因此,准确、及时地诊断滚动轴承故障显得尤为重要。开展滚动轴承故障诊断方法研究,能够提前发现潜在故障,采取有效措施进行维护和修复,对于保障设备安全运行、延长设备使用寿命具有重要意义。

1 滚动轴承故障类型

1.1 疲劳失效

滚动轴承在运转过程中,疲劳失效是较为常见且影响重大的故障类型。其产生主要源于轴承长期承受交变载荷。在设备运行期间,滚动体与滚道不断接触,接触区域会反复承受应力作用。这种交变应力使得材料内部的晶粒结构逐渐发生变化,微观层面产生滑移。随着运转时间的累积,滑移不断加剧,会在材料内部形成微小裂纹。这些裂纹起初极难察觉,但会在持续的应力循环下持续扩展。裂纹扩展到一定程度,当剩余截面的强度无法承受所受载荷时,就会导致轴承零件的断裂,如内圈、外圈出现剥落,滚动体碎裂等。而且,轴承的润滑状况、安装精度以及工作载荷的大小和频率等因素,都会对疲劳失效产生影响。

1.2 胶合失效

滚动轴承在特定工况下易出现胶合失效问题。当轴承处于高速重载运行状态时,滚动体与滚道之间会产生剧烈的摩擦。这种摩擦会生成大量的摩擦热,若润滑系统无法及时有效地将热量带走,接触表面的温度会急剧升高。一旦温度超过轴承材料所能承受的极限,尤其

是超过材料的回火温度,接触表面的金属性质会发生改变,出现软化甚至局部熔化现象。此时,滚动体与滚道之间会产生强烈的粘着作用,在轴承继续运转、相对运动的过程中,粘着的金属会被强行撕裂。

1.3 磨损与腐蚀

滚动轴承运行中,磨损与腐蚀问题较为突出。磨损方面,轴承运转时,滚动体与滚道、保持架与滚动体间存在相对运动,不可避免产生摩擦。长期摩擦会使零件表面材料逐渐损耗,导致轴承间隙增大。若工作环境中有硬质颗粒,如灰尘、金属碎屑等混入,会加剧磨损,像滚道表面被划出沟痕,影响滚动体运动的平稳性。腐蚀问题也不容忽视。当轴承处于潮湿环境,空气中的水分会金属表面形成水膜,与金属发生电化学反应,使表面出现锈斑。若接触到具有腐蚀性的化学物质,如酸性、碱性气体或液体,会直接与金属发生化学反应,导致金属溶解、变质。

1.4 断裂失效

滚动轴承的断裂失效是一种严重且影响设备正常运转的故障类型。在轴承工作过程中,多种因素可能引发断裂问题。从载荷角度来看,当轴承承受过大的静载荷或冲击载荷时,其内部应力会急剧增加。若应力超过轴承材料的强度极限,零件便可能瞬间断裂。即便载荷未超极限,长期处于交变载荷作用下,材料内部也会因疲劳而产生微裂纹,随着时间推移,裂纹不断扩展,最终导致断裂。安装环节同样关键,若安装不当,如过盈量过大、配合过紧,会使轴承零件内部产生较大的内应力,这种内应力长期存在,会削弱材料的强度,增加断裂风险^[1]。

2 滚动轴承故障诊断方法

2.1 振动检测法

振动检测法是滚动轴承故障诊断中应用最为广泛且

有效的方法之一。(1)从原理层面来看,滚动轴承在运转过程中,若出现故障,如疲劳剥落、裂纹、磨损等,会导致其振动特征发生改变。正常运转时,轴承的振动具有相对稳定的频率和幅值特性;而当故障发生,振动信号中会出现与故障相关的特征频率成分。这些特征频率与轴承的几何尺寸、转速以及故障类型密切相关。

(2)在检测方式上,振动检测法具有多样性和灵活性。可以采用接触式测量,将加速度传感器等直接安装在轴承座或附近结构上,精确获取轴承的振动信号。也可以使用非接触式测量方法,如激光测振仪,适用于一些不便安装传感器的特殊场合。同时,检测可以在线进行,实时监测轴承的运行状态,及时发现潜在故障;也能离线分析,对采集到的振动数据进行深入处理和诊断。

(3)振动检测法具有较高的准确性和可靠性。结合先进的信号处理技术,如傅里叶变换、小波分析、时频分析等,能够对复杂的振动信号进行细致分析,提取出微弱的故障特征信息。而且,随着计算机技术和人工智能的发展,基于机器学习的振动故障诊断方法不断涌现,进一步提高了故障诊断的准确率和效率,为滚动轴承的故障诊断提供了强有力的技术支持。

2.2 噪声监测法

噪声监测法作为滚动轴承故障诊断的重要手段之一,具有独特的价值和应用方式。(1)从噪声产生的根源来看,滚动轴承在正常运转时会产生相对稳定且规律的声音,这是由轴承内部各部件的相对运动以及润滑状态等因素共同决定的。然而,当轴承出现故障,如滚动体表面损伤、内外圈有裂纹、保持架变形等,轴承的运转状态就会发生改变,导致产生异常噪声。这些异常噪声的频率、强度和音色等特征与正常噪声存在明显差异。(2)在监测方式上,噪声监测法较为灵活便捷。可以使用专业的噪声测量仪器,如声级计,将其放置在靠近轴承的位置,直接测量轴承运行时产生的噪声强度。也可以采用录音设备记录轴承的噪声信号,然后传输到计算机中进行后续的分析处理。此外,随着技术的发展,一些智能传感器还可以实现实时在线监测,将噪声数据实时传输到监控系统中,方便工作人员及时掌握轴承的运行状况。(3)噪声监测法与其他诊断方法相结合能够显著提高故障诊断的准确性。例如,将噪声监测法与振动检测法结合使用,因为噪声和振动信号都反映了轴承的运行状态,二者相互补充。通过综合分析噪声和振动信号中的特征信息,可以更准确地判断轴承故障的位置和严重程度,为设备的维护和维修提供更有力的依据^[2]。

2.3 温度监视法

温度监视法是滚动轴承故障诊断中一种直观且常用的方法,在保障设备稳定运行方面发挥着重要作用。

(1)从原理上来说,滚动轴承在正常运转时,由于摩擦、润滑等因素会产生一定的热量,其温度会维持在一个相对稳定的范围内。这个温度范围与轴承的负载、转速、润滑状况以及工作环境等密切相关。然而,当轴承出现故障时,其温度往往会发生异常变化。例如,若轴承内部润滑不良,摩擦力增大,产生的热量就会增多,导致轴承温度升高;当轴承出现磨损、疲劳剥落等故障时,部件之间的配合间隙发生变化,同样会引发摩擦加剧,进而使温度上升。(2)温度监视法在实施上具有简便性和实时性。可以采用接触式温度传感器,如热电偶、热电阻等,将其直接安装在轴承座或轴承表面,能够精确测量轴承的实际温度。也可以使用非接触式的红外测温仪,在不接触轴承的情况下快速获取其表面温度,适用于一些不便安装传感器的场合。而且,温度监测可以实现实时连续监测,通过数据采集系统将温度数据实时传输到监控中心,工作人员可以随时掌握轴承的温度变化情况。(3)温度监视法与其他诊断方法结合使用能提高故障诊断的准确性。例如,与振动检测法结合,当温度升高且同时检测到异常振动信号时,可以更准确地判断轴承故障的类型和严重程度,为设备的维护和维修提供更有力的依据,有效避免因轴承故障导致的设备损坏和生产事故。

2.4 油液分析法

油液分析法在滚动轴承故障诊断领域是一种极为有效且独具特色的方法。(1)从理论基础来讲,滚动轴承在运转过程中依赖润滑油来实现减摩、散热和防锈等功能。而轴承的故障,像磨损、疲劳等,会使轴承表面的金属微粒脱落,混入润滑油中。同时,润滑油在高温、高压以及与空气、水分等接触的环境下,其自身的物理和化学性质也会发生改变,产生氧化产物、添加剂消耗等情况。这些变化都蕴含着轴承运行状态的重要信息,通过对油液进行分析,就能够间接了解轴承的健康状况。(2)在分析内容方面,油液分析法具有多样性。一方面,可以进行油液的理化性能分析,包括黏度、酸值、水分含量等指标的检测。黏度的变化反映了润滑油的流动性改变,可能暗示着轴承负荷或温度的异常;酸值的升高意味着润滑油发生了氧化变质,会影响其润滑和防护性能。另一方面,油液中的磨损颗粒分析至关重要。利用铁谱分析、光谱分析等技术,能够确定磨损颗粒的尺寸、形状、成分和数量。(3)油液分析法具有较

高的灵敏度和前瞻性。它可以在轴承故障的早期阶段,当其他物理信号还未明显变化时,通过检测油液中微小的变化来发现潜在问题。而且,该方法还可以对轴承的整体运行趋势进行预测,为设备的预防性维护提供科学依据,有助于提前制定维护计划,降低设备故障的发生概率,提高生产效率。

2.5 声发射检测法

声发射检测法是滚动轴承故障诊断中一种极具潜力的技术手段。(1)从原理层面剖析,滚动轴承在运行过程中,当内部出现损伤,如裂纹扩展、疲劳剥落、磨损加剧等情况时,材料内部会释放出应变能,进而产生瞬态弹性波,即声发射信号。这些信号蕴含着轴承故障的丰富信息,通过捕捉和分析这些信号,就能对轴承的健康状态进行评估。与传统的检测方法不同,声发射检测法关注的是故障产生过程中的动态信息,而非静态参数,这使得它能够更及时地发现轴承的早期故障。(2)在检测方式上,声发射检测法具有独特的优势。它采用高灵敏度的传感器来接收轴承产生的声发射信号,这些传感器可以安装在轴承座或附近的结构上,对检测环境的要求相对较低。而且,声发射检测能够实现实时在线监测,连续获取轴承运行过程中的信号,及时发现故障的发展趋势,为设备的维护提供及时准确的信息。(3)声发射检测法与其他诊断方法相结合,能显著提升故障诊断的准确性。它可以与振动检测、温度监测等方法相互补充,通过综合分析多种信号,更全面地了解轴承的运行状态,准确判断故障的类型和位置,为滚动轴承的可靠运行提供有力保障。

2.6 多参数融合诊断

在滚动轴承故障诊断中,多参数融合诊断发挥着至关重要的作用。(1)从信息获取的完整性来讲,单一参数只能反映滚动轴承运行状态的某个局部特征。例如,仅通过振动参数,虽能捕捉到轴承运转时的动态变化,但对于因润滑问题引发的潜在故障,振动信号可能无法

全面体现。而多参数融合诊断能够整合振动、温度、噪声、压力等多种参数,这些参数从不同角度对轴承的运行情况进行描述,将它们融合在一起,就可以获取到关于轴承状态的全面信息,避免因单一参数的局限性而导致故障漏判。(2)感度不同,通过融合算法将它们有机结合,可以充分发挥各参数的优势,提高故障识别的准确率。先进的融合技术能够挖掘参数之间的内在关联,从而更精准地判断故障的类型和位置。(3)从故障预警的及时性来看,多参数融合诊断能够实时监测多个参数的变化。当某个参数出现异常时,结合其他参数的信息,可以更早地发现故障的苗头,及时发出预警,为设备的维护和维修争取宝贵的时间,有效避免因故障扩大而造成的严重损失^[3]。

结束语

通过对滚动轴承故障诊断方法的深入研究,我们清晰认识到多种诊断技术各具优势与局限。振动检测、噪声监测等传统方法为故障诊断奠定基础,能快速捕捉明显故障特征;油液分析、声发射检测等新兴技术则从不同角度提供关键信息,增强诊断的全面性。而多参数融合诊断更是集各家之长,大幅提升了诊断的准确性与可靠性。未来,随着人工智能、大数据等技术的深度融合,滚动轴承故障诊断将迈向智能化、精准化的新阶段。我们应持续探索创新,完善诊断体系,为保障机械设备稳定运行、推动工业发展贡献力量。

参考文献

- [1]黄恒方,毛乐山.基于Hilbert解调的滚动轴承故障诊断技术研究[J].仪器仪表与分析监测,2012(4):29-33
- [2]何成,刘长春,吴涛,等.基于改进果蝇算法优化WKELM的医疗滚动轴承故障诊断技术研究[J].计算机测量与控制,2021,27(5):71-76
- [3]张倩,张志新,王亮.基于振动测试的滚动轴承故障诊断技术进展[J].风机技术,2021(1):67-70