

# 三相异步电动机用滚动轴承温升过高损坏的故障原因解析

张家春

(中擎电机有限公司(技术部), 安徽 六安 237000)

**摘要** 三相异步电动机是工业动力设备中使用最广泛的原动机, 它的工作可靠性关系到设备系统的安全性和稳定性。本文通过归纳三相异步电动机滚动轴承温升异常的典型表现, 结合润滑状态、装配工艺、负载变化、轴电流影响、环境因素等各方面对温升过高的原因进行详细分析, 并对温度监测、振动频谱、轴电流检测、润滑状态监测等诊断技术进行了系统的介绍, 最后提出针对性的预防和维护策略, 以为电机现场维护人员和设备管理者提供技术参考。

**关键词** 三相异步; 电动机; 滚动轴承; 故障诊断

**中图分类号**: TM32

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.018

## 0 引言

在现代工业体系中, 三相异步电动机由于结构简单、运行可靠、成本适中, 被广泛应用于风机、水泵、压缩机、输送机械等设备中。滚动轴承是电机内部摩擦副的重要部件, 它支撑着转子, 承受径向和轴向的载荷, 还要保证转动平稳。所以, 轴承运转状态直接决定了电动机的寿命和效率。轴承温度是电机运行过程中反映其健康状况的重要参数, 轴承温度异常上升一般说明润滑不足、装配不当或者内部有损伤等故障正在发展, 如果不及时处理, 将会对电机造成不可逆的损害。高负荷连续运行的电机中, 轴承温升异常是最常见的故障隐患之一, 也是最容易造成严重后果的故障之一。本文就温度升高这一典型故障进行阐述, 从现象表现、原因分析、诊断技术及预防措施四个方面展开, 以为提高故障查找效率和维修水平提供参考。

## 1 三相异步电动机滚动轴承温升异常的典型表现

### 1.1 温度突升及伴随振动变化

电机滚动轴承出现温度异常的时候, 最直接的体现就是温度在很短的时间内突然上升, 并且存在明显的持续上升趋势。在正常运行状态下, 轴承的温度应该保持在一个相对稳定的范围内, 即使负载发生变化也不会有太大的波动。但是当润滑脂失效、滚动体表面有损伤或者装配间隙不合适的时候, 摩擦阻力突然增大, 轴承温度持续升高。滚动体运行不平稳产生的冲击载荷会使振动加剧, 特别是当轴承内圈、外圈

或者保持架出现磨损的时候, 振动频谱中就会出现特征性的倍频或冲击峰, 表现为振动幅值增大、振动频率不规则变化等。温度和振动同时变化的情况一般预示着轴承内部已经存在结构损伤。如果不及时停机检查, 很容易造成轴承烧毁以及进一步的损伤扩展。

### 1.2 壳体局部发烫与润滑油变色

轴承座外壳局部发热属于温升异常的一种表现。由于轴承温度从内部向外传导, 局部发烫区域一般与实际故障位置一致, 可以用红外测温仪或者人工触摸做初步判断。当润滑脂受高温作用而发生氧化、碳化或者析油的时候, 它的颜色就会从浅黄色渐渐变成褐色或者黑色, 黏度大幅度下降, 失去了润滑和冷却的功能。润滑脂变质之后, 不能在滚动体和轴承套圈之间形成足够厚的润滑膜, 金属接触面直接摩擦, 摩擦热急剧升高, 形成温度正反馈循环, 使温升进一步加剧。润滑脂如果被污染, 比如混入金属屑、灰尘或者水分, 它的颜色和均匀度也会发生变化, 进而影响润滑效果, 使温升问题更加严重。

### 1.3 噪声增大或运行异响

当轴承运转过程中出现内部间隙变化或者接触面有剥落的时候, 通常会伴随温度升高而出现运行噪声显著增大。轴承滚道局部出现疲劳点蚀时, 滚动体经过该处会形成周期性撞击, 从而发出“嗒嗒”声; 保持架变形或破损时, 则可能会有金属刮擦的声音; 润滑不足时就会产生尖锐的摩擦噪声。这些异响开始时

**作者简介**: 张家春(1987-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 三相异步电动机用滚动轴承温升。

并不明显,但是随着温度的继续升高,润滑恶化,异响就会变得清楚可辨,这是判断轴承故障的重要依据。当温升和噪声同时异常的时候,说明轴承已经接近失效,应该立即停机处理<sup>[1]</sup>。

## 2 三相异步电动机用滚动轴承温升过高的主要成因解析

### 2.1 润滑失效因素分析

润滑不良是造成滚动轴承温升过高的主要因素之一。在正常状态下,润滑油会在滚动体和套圈之间形成一层稳定的油膜来减小摩擦系数、减少金属之间的直接接触。但是润滑油使用时间过长、油脂老化、储存量不足或者润滑油品质不合格时,油膜就难以维持,摩擦损失增大,轴承温度迅速升高。

此外,在高速运转或高负荷的情况下,润滑油会因为剪切力、离心力的作用而被甩出摩擦面,造成局部干摩擦。同样,润滑油被污染,混入水分、尘埃、金属颗粒等会破坏润滑油的结构稳定性,使润滑效果变差。水分污染会造成润滑油乳化,使润滑膜变薄,摩擦热明显增大。

### 2.2 轴承装配误差与安装工艺问题

轴承安装质量好坏直接影响到轴承运行是否稳定以及温度的高低。如果装配时没有很好地控制轴向游隙和径向间隙,安装偏斜、过盈量过大、敲打安装等都会造成轴承产生额外的内应力。这时滚动体的运动就不再理想了,会出现偏载、卡滞或者滚动不均匀的现象,导致摩擦热增大,产生温升异常。如果在安装轴承的时候施加了强大的冲击力,就有可能导致滚动体或者保持架出现细微的裂纹。这些隐藏的损害在运作时会慢慢发展并扩大,从而使得摩擦阻力以及温度逐渐升高。另外,安装时如果不能严格保证装配的清洁,灰尘或者异物被夹入轴承内部,也会破坏滚动体的运行轨迹,增大磨损并提高温度。

### 2.3 负载因素引起的温升变化机制

电动机的负载情况也会影响到轴承的温度。电机长期处于超负荷或者不平衡负载状态下工作,轴承所受的径向和轴向载荷都会增大,滚动体受力不均,摩擦损失增大,温度上升。另外,联轴器安装偏心、对中不良或者传动系统受到附加负载时,轴承负载会波动,滚动体运行轨迹变得不正常,产生附加能耗,温度持续升高。风机、水泵等设备的转动部件如果存在偏重或者系统有共振现象,就会使振动放大,轴承负载产生动态冲击,使温度变化更加剧烈。负载因素引起的温升特点之一是温度的变化与运行工况相关联,在高负荷下温度上升明显,低负荷下趋于稳定。

### 2.4 轴电流对轴承的电蚀作用

现代电动机变频调速技术应用广泛,轴承电蚀成了引起温度过高及损坏的又一重要因素。当电机采用变频器供电时,不对称的电磁场以及高频谐波会使微弱的电流在轴上流动。如果这些轴电流通过轴承滚动副导电,在接触点就会产生放电现象,造成滚动体表面出现电蚀坑、烧蚀斑点等损伤。电蚀破坏了滚道的平整性,产生局部微凸起和凹坑,滚动体经过时产生冲击摩擦,造成振动增大、温度升高,并加速润滑油的分解。随着损伤的累积,轴承温度就会产生不可逆增长的趋势。如果没有采取绝缘措施或者旁路技术,轴承很快就会因为严重的电蚀而导致失效。

### 2.5 环境因素引起的温度异常

温度环境、湿度、粉尘、通风条件等外部因素也会影响轴承温升水平。在高温环境下,轴承本体的温度难以散发,润滑油的热衰减加剧,温升趋势更加明显。电机通风不良、冷却风道堵塞、风扇损坏等都会使轴承周围温度长时间偏高,润滑条件变差。另外,湿度大时润滑油吸水乳化,润滑能力下降;粉尘浓度高时,异物容易进入轴承,加剧磨损,引起温度升高。长期处于恶劣环境中运行的电机轴承如果不经常进行清洁和保养,就会容易出现温升异常<sup>[2]</sup>。

## 3 三相异步电动机用滚动轴承温升故障的诊断技术与分析方法

### 3.1 温度监测与阈值判断

温度检测是判断轴承好坏最直接、最简单的诊断方法。采用热电偶、热敏电阻或红外测温仪对轴承座进行温度监测,实现轴承座温度变化的实时掌握。温度超过制造商规定的上限值或者出现持续上升趋势的时候,就可以初步判断轴承存在故障风险。为了提高监测精度,一些重要的设备上装有在线温度监测系统,采用数据采集卡与上位机联动的方式,对温度变化曲线进行实时记录并报警。当温度高于设定值(70℃或80℃)时,系统就报警或停机。通过对温度曲线趋势的分析可以判断故障的发展阶段,润滑逐渐恶化时温度缓慢上升,轴承损伤恶化时温度突然升高。

### 3.2 振动频谱分析技术

振动分析是诊断轴承故障最常用、最有效的一种技术。通过安装加速度传感器或振动速度传感器可以采集到轴承振动信号,并使用频谱分析方法提取特征频率。例如:外圈故障频率、内圈故障频率、保持架频率和滚动体通过频率等。轴承剥落、裂纹、磨损时在振动信号中会出现对应的特征峰值,幅值随着损伤的发展而增大。轴承损伤刚开始的时候,振动变化不

会很明显,但是利用包络解调技术,可以较好地识别出早期的故障信号。振动频谱除了可以判断故障类型,还可以区分是否由装配不良、负载不平衡等因素引起,为后续维护提供准确依据<sup>[3]</sup>。

### 3.3 轴电流检测方法

利用变频驱动电机中常见的轴电流检测技术来判定电蚀故障是否存在。一般采用电刷接触法或感应法测量轴电压,若电压超过某一数值,说明轴承可能成为电流通路,存在电蚀的危险。严重电蚀的轴承,在拆卸之后可以观察到滚道表面有无麻点状电蚀坑或者烧蚀斑纹。新型轴电流监测设备可以对电流脉冲实施实时监测,依据脉冲波形来判定电蚀的程度,进而提前做好绝缘准备。

### 3.4 润滑状态监测手段

润滑分析包含取样检测润滑脂、可视化分析油脂和声发射监测等。通过采样检测润滑脂的水分含量、颗粒污染度、氧化程度和黏度变化可以判断润滑剂是否失效。声发射监测利用滚动体与滚道接触时产生的高频声信号判断润滑膜厚度与摩擦状态,当润滑不足时,高频信号显著增加。对关键电机采用智能润滑系统,对油脂供应量及压力进行监控,并自动调节润滑量,保证润滑状态稳定<sup>[4]</sup>。

## 4 三相异步电动机用滚动轴承温升过高的预防与维护策略

### 4.1 润滑管理优化措施

良好的润滑管理可以防止轴承温度升高。根据轴承型号、转速、负载、环境条件选择合适的润滑脂,制定合理的换脂周期。高温、高速或者重载荷运行的轴承应选用高温合成润滑脂,并配合密封结构以提高保持性。润泽时严格控制注脂量,防止因过度润滑导致搅拌发热。长时间连续运转的电机,可以采用集中润滑系统,实现自动补脂、润滑状态监控,保证油膜始终处于最佳状态。

### 4.2 安装工艺与装配精度控制

轴承装配时应使用专用装配工具,严禁敲击滚动体和套圈。严格控制轴向预紧力和过盈量,使轴承在设计间隙范围内。装配前要保持工作环境清洁,不能有杂质进入轴承内。对于高速电机,应采用加热装配工艺,使内圈均匀膨胀后再套入,减小装配应力。中精度应满足制造技术要求,联轴器安装要保证同心度,不能产生附加的载荷。

### 4.3 负载管理与联轴器校正

运行过程中要保持电机负载的稳定性,不能经常重载启动或过载运行。如果负载设备有偏重或者转动

部件不平衡的情况,应立即进行动平衡处理。联轴器的安装需要做精确校正,使电机和设备之间同心,防止由于偏心引起周期性的冲击性加载。风机、水泵等设备要定期检查叶轮是否磨损、积灰,防止转子不平衡造成轴承额外发热<sup>[5]</sup>。

### 4.4 防止轴电流的措施

对于变频器驱动电机,应采用轴承绝缘或旁路技术,即使用绝缘轴承、加绝缘套或者装接地刷等方式,使轴电流不经过滚动轴承。高频谐波造成的轴电流,可以利用安装滤波电抗器或共模电感的方式来减小电压尖峰,进而减少轴电流的产生。

### 4.5 运行环境改善与定期巡检制度

改善运行环境是减少轴承温升的重要方法。高温环境下要加大通风散热力度,保证风道通畅;粉尘环境下要加强密封,定时清理过滤装置。建立定期巡检制度,对轴承温度、振动、润滑状况进行周期性检查,及时发现潜在故障。对于连续生产的情况,可以采取预测性维护的方式,使用在线监测系统来分析趋势,达到提前预警的目的。

## 5 结束语

三相异步电动机是工业设备中不可缺少的动力源,它的滚动轴承运行状态直接影响生产连续性和设备安全。轴承温升过高是典型的、最危险的故障征兆之一,其原因复杂,与润滑、装配、负载、电磁环境及外部环境等各方面都有关系。本文从故障表现、原因分析、诊断和预防策略四个方面对问题进行了系统的论述,希望能给实际的设备维护和管理提供一些可操作的参考。随着智能监测技术的进步,未来电机保养将更多地依靠数据分析、智能诊断,使电机保养从以前的事后维修转变为预测性保养,最大程度保证电机的可靠性及使用寿命。

## 参考文献:

- [1] 陈金刚,刘宝芳,韩多峰.电机运转异响和轴承温升过高的原因分析及处理措施[J].电气防爆,2023(03):16-18.
- [2] 陈金刚,黄莉明,张红枝.三相异步电动机滚动轴承装配和运行故障解析[J].船电技术,2019,39(06):20-22.
- [3] 陈金刚.电动机滚动轴承和润滑脂及故障预防[J].电机技术,2014(02):54-57.
- [4] 仲丛华.轴承安装与维护保养措施[J].黑龙江科学,2022,13(02):68-70.
- [5] 刘树林,王建磊,张执超,等.基于多源信息融合的电机滚动轴承故障诊断方法[J].振动与冲击,2021,40(15):222-229.