

电机制造中检测技术及设备应用分析

姜修宇

(哈电集团先进电机技术有限公司, 黑龙江 佳木斯 154000)

摘要 在复杂的电机制造领域, 先进检测技术设备的运用, 是确保整个生产过程质量、精度和效率的基石。无损检测方法、尺寸测量工具和人工智能等先进技术在质量保证、缺陷检测和预测性维护中发挥着关键作用。本文探讨了各类检测技术设备及其在电机制造中的应用, 强调了先进技术对提高生产过程效率和可靠性的重要性, 旨在为相关人员提供参考。

关键词 电机制造; 检测技术设备; 无损检测方法; 尺寸测量工具; 电机绕组

中图分类号: TM3

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0064-03

检测技术及设备在电机制造中发挥着至关重要的作用, 确保质量、可靠性和效率。超声波和涡流检测等无损检测方法, 以及坐标测量机和激光系统等尺寸测量工具, 可以对电机部件进行精确评估。这些技术有多种应用, 从绕组的质量保证到轴承诊断。先进技术的集成, 例如用于预测性维护和测试过程自动化的人工智能, 进一步提高了电机制造的生产力和可靠性。

1 电机制造检测技术设备的类型

1.1 无损检测方法

无损检测 (NDT) 方法在电机制造中是不可或缺的, 可以检测缺陷或不规则之处, 而不会损坏所检查的部件。

1. 超声波检测。超声波检测采用高频声波来检测材料的内部缺陷或不一致之处。在电机制造中, 该技术对于评估绕组和转子组件等关键部件的完整性非常有价值。通过在材料中传输超声波并分析反射, 可以精确识别空隙、裂纹或分层等缺陷。超声波检测在电机制造中的应用主要包括: 超声波测试可以对绕组绝缘层进行彻底检查, 确保在组装前识别出任何弱点或缺陷; 通过进行超声波扫描, 可以检测转子和定子部件中的缺陷, 包括内部裂纹或材料不规则性。

2. 涡流检测。涡流检测依靠电磁感应原理, 评估材料的导电性和完整性。在电机制造中, 该方法对于无需物理接触即可检测表面缺陷和材料特性变化特别有用。涡流检测在电机制造中的应用主要包括: 导电材料的表面检查, 涡流检测擅长识别金属部件 (例如转子轴或轴承座) 的表面裂纹、点蚀或腐蚀; 通过分析电导率的变化, 涡流检测还可以揭示缺陷, 从而增强整体质量控制过程^[1]。

1.2 尺寸测量工具

准确的尺寸测量对于电机制造至关重要, 确保组件的精确配合和对准。

1. 三坐标测量机。CMM 利用接触式探针或光学传感器捕获组件表面点的空间坐标, 从而实现全面的尺寸分析。在电机制造中, 坐标测量机在验证复杂几何形状 (包括轴、外壳和轴承表面) 的尺寸精度方面发挥着至关重要的作用。CMM 在电机制造中的应用包括: 关键部件的几何检查, 坐标测量机有助于精确测量直径、角度和同心度等尺寸特征, 确保符合设计规范; 装配的对准评估, 通过分析配合部件的尺寸偏差, 坐标测量机有助于优化对准和装配过程, 最大限度地减少公差并提高性能。

2. 基于激光的测量系统。基于激光的测量系统可以提供快速、非接触式测量功能, 非常适合以高吞吐量和精度评估电机制造中的尺寸参数。这些系统利用激光扫描仪或干涉测量技术, 捕获详细的表面轮廓和几何形状。在电机制造中的应用包括: 表面形貌分析, 基于激光的测量系统擅长捕获部件的详细表面轮廓, 从而能够精确表征表面粗糙度或轮廓等特征; 通过将激光测量系统集成到自动化生产线中, 可以对组件进行实时检测, 确保符合尺寸公差和规格。

2 电机制造中检测技术及设备的具体应用

2.1 电机绕组的质量保证

电机绕组是电机中的关键部件, 负责将电能转换为机械运动。确保电机绕组的质量和完整性对于电机制造来说至关重要, 以确保最佳性能、可靠性和安全性。

1. 绕组绝缘缺陷的检测。电机绕组的绝缘是防止

电气故障、短路和击穿的重要屏障。检测绕组绝缘缺陷对于预先解决潜在故障并确保电机的使用寿命和可靠性至关重要。有多种方法可用于检测此类缺陷，主要包括：无损检测（NDT）方法，包括超声波检测和涡流检测，通常用于评估绕组绝缘的完整性，而不会对元件造成损坏，这些技术可以对绝缘层进行彻底检查，识别空隙、分层或污染等缺陷；超声波检测，利用高频声波穿透绝缘材料并检测内部缺陷。通过分析超声波的反射，技术人员可以查明绕组绝缘内的问题区域，以便及时维修或更换；涡流检测，依靠电磁感应来评估材料的导电性和完整性。当应用于绕组绝缘时，该技术可以检测表面裂纹、空隙或材料特性的变化，从而为绝缘系统的整体健康状况提供有价值的见解；热成像检测是检测绕组绝缘缺陷的一种有效方法，通过捕获电机绕组的红外图像，可以识别过热或异常热模式的区域，表明绝缘击穿或局部故障^[2]。

2. 绕组电阻监测。监测绕组电阻是电机绕组质量保证的一个基本方面，可以深入了解系统的电气完整性和性能。绕组电阻受线材、绝缘质量、温度等因素影响是评估电机健康状况的关键参数。具体包括：电阻测量技术，采用各种技术来监测绕组电阻，从使用万用表的手动测量到集成到电机测试设备中的自动化系统。这些技术使制造商能够跟踪电阻随时间的变化，识别可能表明潜在问题的趋势或异常情况；除了测量绕组电阻之外，还必须考虑温度变化，因为这些变化会显著影响电阻值。先进的监测系统采用温度补偿算法，可准确评估不同工作条件下的绕组电阻，确保测量结果可靠且一致；为了实时监测绕组电阻，部署在线监测系统，能够在运行过程中持续评估电机性能。这些系统可以立即检测电阻的变化，从而对绕组绝缘的潜在故障或退化提供早期警告。

2.2 转子和定子检测

转子和定子是电动机的组成部分，在将电能转化为机械运动方面发挥着关键作用。确保转子和定子部件的质量和完整性对于优化电机性能、可靠性和使用寿命至关重要。

1. 转子和定子部件裂纹或故障的检测。检测转子和定子部件中的裂纹或故障，对于防止灾难性故障并确保电动机安全高效运行至关重要。可以采用各种检查技术来评估这些组件的完整性，从目视检查到先进的无损检测方法。具体而言：目视检查，这是检测转子和定子部件表面裂纹、腐蚀或其他可见缺陷的最基

本但有效的方法之一。训练有素的技术人员目视检查组件的表面，寻找可能损害其结构完整性的损坏或不规则迹象；无损检测（NDT），超声波检测和涡流检测等无损检测方法广泛用于检查转子和定子部件而不造成损坏。这些技术可以对内部和表面缺陷进行全面评估，为了解组件的整体健康状况提供有价值的见解；超声波检测利用高频声波穿透材料并检测转子和定子部件的内部缺陷，例如裂纹或分层。通过分析超声波的反射，技术人员可以识别需要关注的区域并采取适当的纠正措施；涡流检测依靠电磁感应来评估材料的导电性和完整性。当应用于转子和定子部件时，该技术可以检测表面裂纹、腐蚀或材料特性的变化，以便及时维护或修理；热成像检测是检测转子和定子部件缺陷的一个有价值工具。通过捕获组件的红外图像，技术人员可以识别异常发热或热模式的区域，表明内部故障或绝缘击穿^[3]。

2. 转子平衡测试。平衡测试对于确保电动机转子平稳、无振动运行至关重要。转子组件的不平衡会导致过度振动、噪声和过早磨损，最终影响电机性能和可靠性。实施平衡测试，使制造商能够在电机投入使用之前识别并纠正任何不平衡问题。平衡测试具体包括：静态平衡测试涉及测量转子组件静止时的质量分布。通过在特定位置增加或减少重量，技术人员可以调整转子的平衡，最大限度地减少运行过程中的振动；动态平衡测试是在转子以运行速度旋转时进行的。专用平衡设备，例如动平衡机，用于测量转子组件的振动水平和相位角。根据这些测量结果，添加或删除校正重量，以实现最佳平衡。此外，在现代电机制造设施中，在线平衡系统通常集成到生产线中，以便在装配过程中对转子进行实时平衡测试。这些自动化系统可确保转子在安装到电机中之前满足平衡规格，从而简化制造流程并加强质量控制。

2.3 轴承诊断

轴承诊断在确保电机可靠运行方面发挥着至关重要的作用。轴承支撑旋转部件，例如轴和转子，任何故障或故障都可能导致代价高昂的停机和设备损坏。

1. 轴承健康评估的振动分析。振动分析是评估电机轴承健康状况的广泛使用的技术。通过监测轴承的振动特征，技术人员可以检测到磨损、不对中或其他可能导致故障的问题的早期迹象。对于振动分析，具体涉及对轴承在运行过程中产生的振动频率、振幅和波形进行测量与分析。具体而言：不同类型的轴承故障，

例如内圈、外圈或滚动元件缺陷，会产生特征振动频率。通过分析振动频谱，技术人员可以识别轴承中特定故障的存在和严重程度；振动振幅的变化可以表明轴承状况的变化，例如磨损增加或润滑损失。通过监测振动幅度随时间的变化，技术人员可以跟踪轴承故障的进展情况，并在发生灾难性故障之前安排维护；振动信号的波形，为了解轴承故障的性质和严重程度提供了宝贵的见解。冲击峰值或不规则性等独特模式，可以指示特定类型的故障，使技术人员能够准确诊断问题并采取适当的纠正措施；另外，先进的状态监测系统将振动传感器与数据分析软件集成在一起，可以持续实时监测轴承的健康状况。这些系统可以自动检测异常振动模式，触发警报或警报，向维护人员提供诊断信息以进行主动维护^[4]。

2. 使用在线传感器进行润滑监测。适当的润滑对于确保电机轴承的平稳运行和使用寿命至关重要。使用在线传感器监控润滑条件，能够保持最佳润滑水平，防止轴承故障并延长设备寿命。具体而言：配备油液分析功能的在线传感器，可监测各种参数，例如油黏度、污染水平和添加剂浓度，评估轴承中润滑油的状况。通过实时分析油样，这些传感器可以检测污染、退化或润滑不足等问题，从而能够及时进行维护干预；在线传感器可以监测轴承箱内的润滑脂数量、稠度和分布。通过测量润滑脂流量或压力等参数，确保适当的润滑，并检测润滑脂管道中的过度润滑、润滑不足或堵塞等问题；安装在轴承箱中的温度传感器，提供有关轴承运行条件和润滑有效性的宝贵信息。异常的温度波动，可能表明存在润滑不足、过载或轴承不对中等问题，从而促使立即采取纠正措施，防止设备损坏或故障。

3 先进技术在电机制造中的集成

3.1 使用人工智能进行预测维护

人工智能（AI）在预测性维护策略中发挥着变革性作用，使制造商能够在设备故障发生之前预测和预防。（1）数据分析和机器学习。人工智能算法利用先进的数据分析和机器学习技术，处理来自电机和相关设备的传感器数据。通过识别传感器读数、操作参数和维护事件之间的相关性，人工智能模型可以生成预测见解，并建议及时的维护操作，减轻潜在风险。（2）状态监测和预测。基于人工智能的状态监测系统，持续监控电机的健康状况和性能，实时分析传感器数据以检测退化或异常行为的早期迹象。通过将预测分析

与预测功能相结合，该系统可以预测剩余使用寿命、估计故障概率并优化维护计划，最大限度地延长设备的正常运行时间和可靠性。（3）规范性维护建议。人工智能驱动预测性维护平台，不仅可以预测即将发生的故障，还可以根据已识别问题的严重性和关键性提供规范性维护建议。通过确定维护任务的优先级和优化资源分配，制造商可以最大限度地减少停机时间、降低维护成本，并延长电机的使用寿命^[5]。

3.2 自动化测试过程以提高效率

通过利用机器人、先进仪器和集成控制系统，制造商可以自动化各种测试程序，减少人工干预和人为错误，同时提高产量及质量控制。（1）机器人测试系统。机器人测试系统可自动执行重复性和劳动密集型测试任务，例如电机部件的尺寸检查、电气测试和功能测试。通过部署配备专用末端执行器和传感器的机械臂，可以获得一致且精确的测试结果，同时缩短周期时间和生产成本。（2）自动化测试设备（ATE）集成。其包括专用测试仪、分析仪和数据采集系统，集成到生产线中，实现测试过程自动化并确保符合质量标准和规范。通过实施具有内置诊断和自校准功能的ATE解决方案，可以最大限度地减少设备停机时间并优化测试效率。（3）实时监控。自动化测试系统具备实时监控功能，能够根据测量结果和预定义标准持续反馈和调整测试参数。通过动态优化测试条件和阈值，可以确保产品质量，识别流程效率低下的问题，并实时实施纠正措施。

4 结束语

随着电机制造的不断发展，先进检测技术设备与尖端技术的融合至关重要，可以增强质量保证、优化生产流程并确保电机部件的可靠性。不断创新和投资先进技术，将使电机制造商处于行业前沿，在不断变化的制造业格局中提高效率、质量和竞争力。

参考文献：

- [1] 陈金舰. 检测技术及设备在电机制造中的应用[J]. 机电信息, 2020(18):93-95.
- [2] 郭佳军. 电机制造检测技术的应用[J]. 科技经济市场, 2020(05):18.
- [3] 姚新. 电机制造中检测技术及设备应用和制造工序研究[J]. 防爆电机, 2021(02):87-89.
- [4] 王长顺. 电机制造中检测技术及设备的应用探究[J]. 黑龙江科技信息, 2020(03):82.
- [5] 刘立忠. 电机再制造及在线故障诊断[J]. 电子技术与软件工程, 2019(06):150-151.