

# 电机绕组故障诊断与维修技术实践研究

许德强

宁波钢铁有限公司 浙江 宁波 315800

**摘要:** 本文聚焦电机绕组故障诊断与维修技术,剖析了绕组故障机理、分类及成因,涵盖接地、短路等故障模式与电气、环境等因素。接着阐述传统、现代智能及多技术融合诊断方法,介绍维修前准备、常见故障维修流程、质量管控与预防性维护策略。通过鲁南化工电机故障实践案例,验证多技术融合诊断与针对性维修方案的有效性,为电机绕组故障处理提供参考。

**关键词:** 电机绕组;故障诊断;振动分析;维修工艺

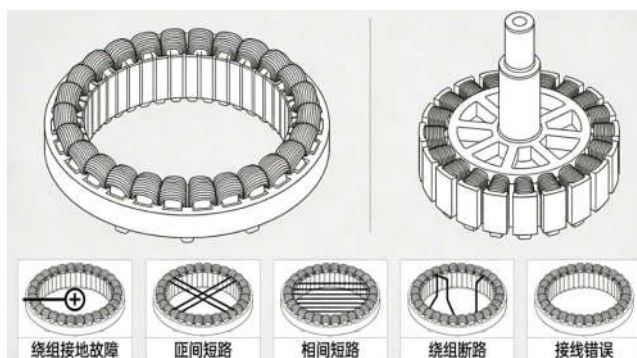
引言:电机作为工业生产中的关键设备,其绕组是实现机电能量转换的核心部件。绕组运行的稳定性直接影响电机的整体性能与生产效率。然而,由于多种因素的综合作用,电机绕组时常出现各类故障,给企业带来经济损失。准确诊断故障并及时维修至关重要。本文深入探讨电机绕组故障机理、诊断技术及维修工艺,并结合实际案例分析,旨在为电机绕组故障的解决提供理论与实践指导。

## 1 电机绕组故障机理与分类

### 1.1 绕组结构与常见故障模式

电机绕组是电机实现机电能量转换的核心部件,主

要由线圈、绝缘层、引线等组成,按结构可分为定子绕组和转子绕组,其绝缘性能与绕制精度直接决定电机运行稳定性。常见故障模式具有明显的典型特征,主要包括绕组接地故障、匝间短路、相间短路、绕组断路及接线错误等<sup>[1]</sup>。其中,匝间短路最为常见,表现为线圈内部相邻线匝绝缘破损,导致电流异常增大、绕组局部过热;绕组接地故障多因绝缘老化击穿,使绕组与电机外壳导通,引发漏电保护动作;相间短路多发生在绕组端部,易造成电机剧烈振动、异响甚至烧毁;绕组断路则多由引线断裂、线圈烧断导致,表现为电机无法启动或输出功率骤降。



电机绕组结构与常见故障模式示意图

### 1.2 故障成因分析

电机绕组故障的成因复杂多样,主要可分为电气因素、环境因素、机械因素及人为因素四大类,各类因素相互作用易加速故障发生。电气因素方面,电网电压波动、谐波干扰、过载运行会导致绕组电流异常,长期过热使绝缘层老化龟裂,进而引发短路、接地等故障;环境因素中,高温、高湿度、粉尘及腐蚀性气体是主要诱因,高温会加速绝缘材料老化,高湿度易造成绝缘受潮击穿,粉尘堆积则会阻碍散热,间接加剧绕组损坏;机械因素主要包括电机振动、轴承磨损偏心,导致绕组端

部碰撞、摩擦,破坏绝缘层完整性;人为因素则体现在安装检修不规范,如绕制线圈时绝缘层受损、接线错误、检修时工具碰撞绕组,以及日常维护缺失,未及时清理绕组表面杂物、检查绝缘性能,这些都可能诱发绕组故障,缩短电机使用寿命。

## 2 电机绕组故障诊断技术与方法

### 2.1 传统诊断方法

传统电机绕组故障诊断方法以直观检测和基础仪器测量为主,技术成熟、操作简便、成本较低,广泛应用于中小型企业的日常检修中,核心是通过基础手段识别

明显故障。常用方法包括外观检查法、兆欧表测量法、万用表测量法及直流电阻测量法等。外观检查法通过肉眼观察绕组表面,判断是否存在烧焦、变色、绝缘层破损、引线松动等明显故障;兆欧表主要用于测量绕组绝缘电阻,判断绝缘性能是否达标,若电阻值低于规定标准,说明存在绝缘受潮或破损问题;万用表可检测绕组是否断路、短路,通过测量绕组两端电压、电流,对比标准值判断故障;直流电阻测量法则用于检测绕组各相电阻差值,若差值过大,说明存在匝间短路或接线错误<sup>[2]</sup>。但传统方法局限性明显,难以检测隐性故障,诊断精度和效率较低。

## 2.2 现代智能诊断技术

随着智能化技术的发展,现代智能诊断技术逐步替代传统方法的不足,依托先进检测设备和算法模型,实现绕组故障的精准识别、定位及预判,核心是通过数据采集与分析挖掘隐性故障。常用技术包括红外热成像诊断技术、超声波诊断技术、振动诊断及人工智能诊断技术等。红外热成像技术通过检测绕组表面温度分布,捕捉故障引发的局部过热区域,精准定位匝间短路、接触不良等隐性故障;超声波诊断技术利用超声波传感器采集绕组绝缘破损产生的超声波信号,判断故障位置及严重程度;振动诊断技术通过分析电机运行时的振动信号,识别绕组故障引发的振动异常;人工智能诊断技术则结合大数据、机器学习算法,对采集的故障数据进行训练,实现故障类型的自动识别、严重程度评估及故障趋势预判。该类技术诊断精度高、效率高,可实现远程在线监测,适用于大型工业电机。

## 2.3 多技术融合诊断策略

多技术融合诊断策略是结合传统诊断方法与现代智能诊断技术的优势,通过多种技术互补,解决单一诊断技术的局限性,提升绕组故障诊断的准确性、全面性和可靠性,适用于复杂工况下的电机绕组诊断。其核心思路是根据电机运行工况、故障类型特点,选取2-3种适配的诊断技术,构建融合诊断模型,实现优势互补。例如,将红外热成像技术与超声波诊断技术融合,红外热成像捕捉局部过热故障,超声波定位绝缘破损位置,两者结合可精准判断匝间短路的具体位置及破损程度;将振动诊断技术与人工智能诊断技术融合,通过振动传感器采集实时数据,利用算法模型分析数据,实现故障的早期预警与精准识别;同时融入传统直流电阻测量法,验证故障诊断结果,避免误判。该策略可兼顾诊断精度与经济性,适配不同类型、不同工况的电机,广泛应用于化工、电力等行业的大型电机检修中。

## 3 电机绕组维修技术与工艺优化

### 3.1 维修前准备与安全措施

电机绕组维修前的准备工作与安全措施是保障维修质量、杜绝安全事故的关键,需严格按照规范流程操作,兼顾人员安全与设备安全。准备工作主要包括三个方面:一是故障复核,通过多种诊断方法再次确认故障类型、位置及严重程度,避免误判导致维修方向偏差;二是工具与材料准备,配备绕线机、万用表、兆欧表、红外测温仪等检修工具,以及与电机型号匹配的绝缘材料、线圈、引线等耗材,确保工具完好、耗材合格;三是设备停机与拆解,将电机从运行系统中脱离,切断电源并悬挂“禁止合闸、正在检修”标识,拆除电机端盖、风扇等部件,清理绕组表面粉尘、油污,为维修作业创造良好条件。安全措施方面,检修人员需穿戴绝缘手套、绝缘鞋等防护用品,避免触电;拆解过程中轻拿轻放,防止损坏电机其他部件。

### 3.2 常见故障维修流程

电机绕组常见故障维修需遵循“复核故障—拆解检测—故障处理—组装测试”的标准化流程,根据不同故障类型制定针对性维修步骤,确保维修规范、高效。针对匝间短路故障,先定位短路线圈位置,拆除损坏线圈,清理线槽内残留绝缘杂物,选用匹配的导线重新绕制线圈,嵌入线槽后进行绝缘处理,最后检测绕组电阻值,确认无短路现象;针对绕组接地故障,若绝缘受潮,采用烘干设备对绕组进行烘干处理,若绝缘层破损,需更换破损线圈或重新涂抹绝缘漆,修复后用兆欧表检测绝缘电阻,达标后方可进行下一步<sup>[3]</sup>。针对绕组断路故障,查找断裂位置,若引线断裂,重新焊接引线并做好绝缘防护,若线圈烧断,更换线圈并重新绕制接线。

### 3.3 维修质量管控

电机绕组维修质量管控贯穿维修全过程,核心是通过标准化管控手段,确保维修后电机绕组性能达标、运行稳定,降低故障复发率。维修前,严格检验耗材质量,对绝缘材料、线圈、引线等进行抽样检测,确认其性能符合电机运行要求,杜绝不合格耗材投入使用;维修过程中,严格按照维修流程操作,规范绕制、嵌入、绝缘处理等关键工序,控制线圈绕制精度、线槽清理质量及绝缘层厚度,每完成一道工序,进行阶段性检测,如线圈绕制后检测电阻值,绝缘处理后检测绝缘性能,及时发现并纠正维修过程中的问题;维修完成后,进行全面检测,包括绝缘电阻检测、直流电阻检测、空载测试、负载测试等,确认绕组无短路、接地、断路现象,电机运行时温度、振动、噪声等指标符合标准。

### 3.4 预防性维护策略

电机绕组预防性维护策略的核心是“预防为主、防治结合”，通过定期监测、日常保养，提前排查潜在故障隐患，延长绕组使用寿命，减少非计划停机时间，降低维修成本。日常维护方面，定期清理电机表面及绕组内部粉尘、油污，保持电机通风散热良好，避免粉尘堆积导致局部过热；定期检查绕组引线、接线端子，确保连接牢固，防止接触不良引发故障；根据电机运行环境，定期对绕组进行绝缘检测，若环境潮湿，增加检测频次，及时进行烘干处理。定期维护方面，制定标准化维护计划，每3-6个月对电机绕组进行一次全面检测，包括直流电阻、绝缘电阻、温度等指标的测量，对比历史数据，分析绕组性能变化趋势；每年对绕组进行一次绝缘老化检测，对老化严重的绝缘层进行修复或更换。

## 4 实践案例研究：企业电机绕组故障诊断与维修

### 4.1 案例背景与故障现象

本案例选取山东能源集团兖矿鲁南化工有限公司（以下简称鲁南化工）合成氨车间的YKK560-4型高压异步电机，该电机额定功率1600kW，额定电压10kV，主要用于驱动合成氨压缩机，是车间核心生产设备，自2020年投入使用以来，运行稳定，2024年8月出现异常故障。故障现象表现为：电机启动时振动剧烈，伴有明显异响，启动后运行不足5分钟，电机外壳温度快速升高至95℃（额定温度75℃），中控系统显示绕组A相电流异常增大，达到120A（额定电流98A），同时漏电保护装置频繁报警，多次尝试重启后故障依旧，最终电机无法正常运行，导致合成氨压缩机停机，影响车间正常生产，造成日均经济损失约8万元。

### 4.2 诊断过程与结果分析

结合多技术融合诊断策略，组建专项诊断小组，对该电机绕组开展全面诊断。首先采用传统诊断方法，用兆欧表测量绕组绝缘电阻，发现A相绕组绝缘电阻仅为0.5MΩ（规定值 $\geq 10\text{M}\Omega$ ），初步判断存在绝缘破损故障；用万用表测量各相绕组直流电阻，A相电阻为0.82Ω，B、C相电阻均为0.75Ω，A相电阻差值超过5%，怀疑存在匝间短路或线圈损坏。随后采用现代智能诊断技术，利用红外热成像仪检测绕组表面温度，发现A相绕组端部存在明显过热区域，温度高达110℃，与其他区域温差达30℃；采用超声波诊断仪检测，在过热区域捕捉到明显的超声波异常信号，判断该区域存在绝缘破损。综合诊断结果分析，确定该电机故障为A相绕组端部线圈绝缘层老化击穿，引发匝间短路，同时伴随轻微接地故障，短路导致电流增大、局部过热，触发保护装置报警。

### 4.3 维修方案设计与实施

依据诊断结果、电机运行状况及生产需求，设计针对性维修方案，由企业维修人员与专业技术人员共同实施。核心是更换破损线圈、修复绝缘性能。具体步骤：一是执行安全措施，切断电源、悬挂警示标识，拆解电机部件，清理绕组表面；二是定位破损线圈，拆除A相绕组端部3组破损线圈，清理线槽并擦拭；三是线圈绕制与嵌入，选用匹配的聚酰亚胺绝缘导线，按原规格绕制新线圈，嵌入后用绝缘纸填充间隙；四是绝缘处理，给新线圈及绕组端部涂耐高温绝缘漆，120℃烘干4小时；五是组装测试，烘干后重新组装部件，连接引线并做好绝缘防护，完成初步组装<sup>[4]</sup>。

### 4.4 维修效果验证

维修结束后，依维修质量管控标准开展全面验证，保障电机绕组性能达标、运行稳定。先静态检测，用兆欧表测绕组绝缘电阻，各相均超15MΩ，符合标准；以万用表测各相直流电阻，A、B、C三相分别为0.76Ω、0.75Ω、0.74Ω，差值小于2%，无短路、断路情况。接着动态测试，启动电机空载运行1小时，用红外热成像仪测绕组温度，各相均匀，最高68℃，符合额定要求；中控系统显示各相电流稳定在98A左右，无异常波动；电机振动值2.8mm/s，噪声72dB，均达行业标准。投入负载连续运行72小时，各项指标稳定，合成氨压缩机运行正常无报警。此次维修彻底解决故障，验证方案有效，电机恢复生产，降低停机损失，后续跟踪3个月无同类故障，效果达预期。

### 结束语

电机绕组故障诊断与维修技术对保障电机稳定运行意义重大。本文系统阐述了故障机理、分类、成因，以及传统与现代智能诊断方法，强调多技术融合诊断策略的优势。通过实践案例验证了针对性维修方案的有效性，凸显维修前准备、质量管控及预防性维护的重要性。未来，随着技术发展，需不断优化诊断与维修技术，提高电机运行的可靠性与经济性，推动工业生产的高效发展。

### 参考文献

- [1]邓寅.电机绕组故障诊断与维修技术研究[J].中国设备工程,2023(11):172-174.
- [2]张瑞强,李斌,关鹏.电机绕组故障诊断与维修技术实践研究[J].科技与创新,2022(22):52-54.
- [3]曹宁.纯电动汽车驱动电机故障诊断与维修技术探究[J].汽车维修与修理,2025,(13):110-111.
- [4]姚学军.电动汽车驱动电机维修技术探讨[J].汽车知识,2025,25(01):144-146.