

# 高压电机故障原因分析和防范措施

王 伟 高方明

茵梦达(天津)驱动技术有限公司 天津 300000

**摘 要:** 高压电机作为工业生产中大型设备的核心驱动部件,具有高压、大功率、低转速的运行特性,广泛应用于电力、冶金、矿山等多个行业,其运行可靠性直接影响工业生产连续性。本文结合高压电机基本结构与工作原理,梳理电气类、机械类及其他类型故障的常见表现,深入分析各类故障的核心成因,重点探究绝缘老化、轴承磨损、冷却系统失效等关键故障诱因,针对性制定电气、机械、辅助系统及环境层面的防范措施,为高压电机日常维护、故障预防提供实用技术参考,助力提升设备运行稳定性,降低故障发生率,保障工业生产安全高效推进。

**关键词:** 高压电机;故障类型;原因分析;防范措施

引言:随着工业现代化进程加快,高压电机在重载设备驱动中发挥着不可替代的作用,其运行状态直接关联生产效率、设备安全及生产成本。当前,高压电机因运行工况严苛、维护不当等因素,电气绝缘损坏、机械部件磨损、冷却系统故障等问题频发,不仅导致电机停机检修,还可能引发连锁故障,造成重大经济损失。基于此,本文从高压电机基本结构与工作机制出发,系统分析各类故障的表现形式与成因,结合实际运行需求制定科学可行的防范措施,解决高压电机故障排查难、预防不到位的痛点。

## 1 高压电机基本结构与工作原理

### 1.1 高压电机核心结构组成

高压电机核心结构分为定子、转子两大核心部件,辅以冷却系统、绝缘系统、轴承系统等辅助部件构成。定子是电机静止不动的部分,由定子铁芯、定子绕组和机座组成,定子铁芯采用硅钢片叠压而成,用于产生交变磁场;定子绕组是电机的电路部分,采用高强度绝缘导线绕制,承受高压电场作用,是电能转换的关键部件。转子是电机旋转的部分,分为鼠笼式和绕线式两种,主要由转子铁芯、转子绕组和转轴组成,转轴连接负载传递机械能。机座用于固定定子和支撑轴承,绝缘系统保障电机在高压环境下安全运行,冷却系统则用于散发运行过程中产生的热量。

### 1.2 高压电机工作机制与运行特性

高压电机基于电磁感应原理实现电能与机械能的转换,其工作机制是定子绕组通入三相交流电后,产生旋转磁场,旋转磁场切割转子绕组,在转子绕组中感应出感应电流,感应电流在旋转磁场中受到电磁力作用,带动转子旋转,进而驱动负载运行。其运行特性具有高压、大功率、低转速的特点,运行时电压通常在1000V

以上,功率可达数百千瓦至数兆瓦,适用于重载设备驱动。同时,高压电机启动电流较大,通常为额定电流的5-8倍,运行过程中对电压稳定性、频率精度要求较高,且需具备良好的抗过载能力和运行可靠性。

### 1.3 高压电机的应用场景与运行要求

高压电机广泛应用于工业生产各个领域,主要包括电力行业的水泵、风机,冶金行业的轧钢机、破碎机,矿山行业的提升机、输送机,以及石油化工、建材等行业的大型机械设备驱动。其运行要求严苛,需保证供电电压、频率稳定,避免电压波动、三相不平衡等问题;运行环境需保持干燥、清洁,远离粉尘、腐蚀性气体和高温环境,防止绝缘老化和部件腐蚀;同时定期对轴承、冷却系统等进行维护,确保润滑充足、散热良好,避免因部件磨损、过热引发故障,保障电机长期安全稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 2 高压电机常见故障类型及表现形式

### 2.1 电气类故障及表现(绝缘、短路、接地等)

电气类故障是高压电机最频发的故障,核心集中在绝缘、绕组及电气连接部位。绝缘故障表现为绝缘电阻下降、局部放电,严重时绝缘击穿,伴随异味、过热及保护装置跳闸;绕组短路会使电流骤增、温升加快、振动加剧并产生异常电磁噪声,绕组接地则导致三相电流不平衡、无法正常启动,甚至烧毁线圈;电气连接松动或氧化会出现接触不良、发热及接线处烧蚀。

### 2.2 机械类故障及表现(轴承、转子、定子等)

机械类故障多源于运动部件磨损、安装偏差,其中轴承故障最常见,表现为温度过高、异响、转动卡滞,严重时滚珠、保持架损坏导致转子卡死。转子故障主要是不平衡、不对中,表现为振动超标、噪声增大、负载下降,转子与定子摩擦时会有刺耳声响及局部过热;定

子故障多为铁芯松动、磨损,导致运行效率降低、铁芯局部过热,加剧绝缘老化。

### 2.3 其他类型故障及表现(冷却系统、控制系统等)

其他类型故障虽发生率低但易引发连锁问题。冷却系统故障导致散热不良、电机整体温升过高,风扇损坏或管路堵塞会触发过热停机,水冷电机还可能出现漏水、结垢。控制系统故障表现为启停异常、保护误动作、调速失灵,多由控制模块、接线或传感器问题导致,电机无法正常响应指令,严重时引发设备损坏;环境因素还会导致部件腐蚀、粉尘堆积等辅助故障<sup>[2]</sup>。

## 3 高压电机各类故障原因分析

### 3.1 高压电机电气类故障原因分析

高压电机电气类故障实际发生率最高,成因与电气部件损耗、供电质量、安装维护密切相关,具体成因如下:(1)绝缘老化与损坏:一是长期高压工况下,绝缘材料受电场和运行温度影响,分子结构老化变质,电机频繁启停、负载波动会加速这一过程;二是安装不规范,绕组绕制拉扯过度、接线绝缘包裹不严,长期运行后破损扩大;三是环境潮湿、粉尘、腐蚀性气体侵入,导致绝缘受潮腐蚀、电阻下降,最终击穿;四是电网波动、操作或雷击过电压,瞬间击穿绝缘薄弱部位。(2)绕组故障诱因:短路多由绝缘老化、机械磨损、金属碎屑侵入,导致相邻线圈接触;断路多因导线接头松动焊接不良、长期过载熔断,或导线材质缺陷;接地则是绝缘严重老化、绕组受潮,或外壳接地不良导致。(3)电压电流异常:电压过高加剧绝缘老化、烧毁绕组,过低导致启动困难、负载下降,长期低电压使绕组电流偏大发热;过载(负载超标、机械卡滞)使绕组电流远超额定值,烧毁绕组绝缘;三相不平衡产生负序磁场,引发振动发热。(4)电气连接故障:螺栓、端子松动(安装未拧紧、长期振动)导致接触电阻增大、发热烧蚀;端子、接头氧化腐蚀(潮湿、粉尘)形成氧化层,造成接触不良;导线选型偏小,长期运行发热加速老化,引发松动烧断。

### 3.2 高压电机机械类故障原因分析

机械类故障集中在运动部件,与安装偏差、磨损、润滑不当、维护不及时相关:(1)轴承故障:润滑不良(未按规定加注、选型不当、油液变质乳化)导致摩擦加剧、发热磨损;安装同轴度不足、间隙调整不当,使轴承受力不均;轴承自身质量缺陷,或粉尘、金属碎屑侵入,导致卡滞损坏。(2)转子故障:不平衡因制造精度不足、零部件松动脱落,或运行积尘、磨损不均;不对中因安装偏差、联轴器松动、地基沉降,导致转子定

子轴线不重合,产生附加力引发振动磨损。(3)定子转子摩擦及部件松动:摩擦(扫膛)多由转子不对中、轴承磨损下沉,或定子铁芯松动变形,使间隙过小;部件松动(振动剧烈导致铁芯、转子、机座螺栓松动),加剧振动摩擦引发连锁故障。(4)振动异常:主要因转子不平衡、不对中,其次是轴承损坏、基础不牢固(地基沉降)、联轴器损坏松动,传递动力时引发整体振动。

### 3.3 高压电机其他类型故障原因分析

此类故障易引发连锁问题,与辅助系统、环境相关:(1)冷却系统故障:散热不良(风扇损坏、叶片积尘);管路堵塞(水冷结垢、风冷散热片积尘);冷却介质不足变质(冷却水、散热油异常);温度传感器、控制阀损坏,导致冷却系统无法正常启停调节。(2)控制系统故障:保护装置(过载、过流、温度保护)失灵,无法及时停机扩大故障;接线松动接触不良、错误,导致控制信号异常;PLC、变频器等控制模块损坏,无法发出指令;转速、温度等传感器损坏,无法反馈准确参数。(3)环境因素:湿度超标导致绝缘受潮、金属锈蚀;粉尘堆积绕组、轴承、冷却系统,影响绝缘、润滑、散热;腐蚀性气体腐蚀金属和绝缘,加速部件损坏;环境温度过高,导致电机整体温升过高,加剧绝缘老化磨损<sup>[3]</sup>。

## 4 高压电机故障防范措施

### 4.1 电气类故障的针对性防范措施

结合高压电机电气类故障成因,制定针对性防范措施如下:(1)强化绝缘防护,延缓老化损坏:选用适配高压工况、耐高温抗老化的优质绝缘材料,从源头提升绝缘性能。规范安装流程,避免绕组拉扯、绝缘层破损,安装后经绝缘电阻检测合格方可投运。定期维护,每季度检测绝缘电阻、每年开展耐压试验,及时处理薄弱部位、更换老化部件;进线端安装过电压保护器,优化电网运行,规避过电压冲击。(2)加强绕组防护,杜绝短路、断路及接地故障:定期清理电机内部杂物,防止磨损绕组绝缘层。严控电机负载,杜绝长期过载,优化启停流程减少冲击。定期用红外测温仪、兆欧表检测绕组状态,及时排查隐患、紧固接头。保持电机内部干燥,潮湿腐蚀环境加装防护外壳,定期烘干绕组,防范接地故障。(3)保障供电稳定,避免电压、电流异常:协调电网优化供电质量,确保电压稳定在额定值 $\pm 5\%$ ,加装三相平衡装置。合理匹配电机与负载,波动较大场景加装变频器,平稳调节转速电流。安装完善的电气保护装置,设定合理参数,异常时立即停机;定期检测供电线路,排查老化、接触不良等问题,保障线路畅通。

(4) 规范连接管理, 确保电气连接可靠: 选用适配的接线端子、导线, 按额定电流选型避免发热。安装时拧紧螺栓、加装防松垫圈, 每月紧固端子、清理氧化层, 更换腐蚀部件。规范接线工艺、做好标识, 加强绝缘防护, 防止接触不良引发烧蚀<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 机械类故障的针对性防范措施

针对高压电机机械故障集中在轴承、转子、定子及振动异常的特点, 围绕润滑、校准、维护、控振, 制定防范措施如下: (1) 优化轴承润滑与维护, 杜绝磨损、发热及卡死: 选用适配高压高速工况的润滑油, 按标准控制加注量, 常规每6个月、恶劣环境每3个月更换, 更换时清理旧油杂物。规范安装轴承, 确保同轴度和间隙合理, 每月检测温度、听诊运行声音, 及时更换损坏轴承, 做好密封防尘。(2) 加强转子维护, 防范不平衡、不对中故障: 转子安装时严格校准同轴度, 联轴器做好对齐。每半年开展转子动平衡检测, 清理尘污、紧固零部件, 优化运行环境, 避免磨损不均, 及时修复更换损坏转子; 定期检查联轴器, 紧固螺栓、更换损坏部件。

(3) 强化定子防护, 杜绝定子、转子摩擦及部件松动: 定期检查定子铁芯, 紧固松动硅钢片、修复磨损部位, 精准控制定子间隙, 避免扫膛故障。定期紧固机座、定子螺栓并做好防松, 运行中密切观察, 发现异常振动摩擦立即停机。(4) 控制振动异常, 减少机械磨损: 优化电机基础设计, 选用牢固材料确保平整稳定, 定期加固、处理沉降地基。安装振动监测装置, 设定预警值, 超标立即停机排查; 及时处理转子不平衡、轴承损坏等振源, 避免连锁故障。

#### 4.3 其他类型故障的针对性防范措施

针对冷却、控制系统故障及环境因素引发的故障, 聚焦系统稳定、部件可靠、环境优化, 制定防范措施如下:

(1) 优化冷却系统维护, 确保散热稳定: 定期清理冷却系统, 风冷每季度、水冷每半年清理散热部件和管路, 清除结垢杂物。每月检查冷却风扇、传感器等部件, 及时更换损坏件; 水冷定期换水、风冷检查散热油, 确保介质合

格, 按需调节冷却状态、校准传感器。(2) 加强控制系统维护, 杜绝控制异常: 每季度检测PLC、变频器等核心模块, 清理尘污、排查故障。规范接线, 定期紧固端子、清理氧化层, 做好标识便于维护; 完善保护装置, 定期校准参数、更换损坏件, 每月检测传感器精度, 确保参数反馈准确。(3) 优化运行环境, 防范环境因素引发的故障: 控制环境温湿度在-15℃~40℃、相对湿度 $\leq 85\%$ , 高温加装降温、潮湿加装除湿设备。粉尘场景加装防尘外壳和过滤网, 腐蚀环境加装防腐外壳, 定期清理电机及周边杂物、做好防腐。合理安排运行时间, 定期烘干维护, 减少环境损害<sup>[5]</sup>。

结束语: 高压电机故障类型多样, 电气类、机械类及其他辅助系统故障的成因相互关联, 主要源于部件损耗、安装偏差、维护不及时及环境因素影响, 其运行可靠性直接决定工业生产的连续性与安全性。本文通过梳理故障表现、剖析核心成因, 提出的针对性防范措施, 覆盖绝缘保护、机械维护、系统优化及环境管控等各个层面, 具有较强的实用性和可操作性。后续可结合智能化技术, 进一步优化故障预警与诊断体系, 持续提升高压电机维护效率与运行可靠性, 为工业生产高质量发展提供更有力的设备保障。

#### 参考文献

- [1]张仕学.高压同步电机轴瓦频繁烧损的原因分析与防范措施[J].中国设备工程,2025(10):157-159.
- [2]季柏臣.发电机转子接地保护异常动作原因分析和防范措施[J].电子元器件与信息技术,2025,9(5):16-18+22.
- [3]李艳磊,何天磊,王晓剑,陈聪,徐俊元.汽轮发电机定子接地故障常见原因分析及防范措施[J].电气时代,2024(3):52-54+84.
- [4]候爱叶.高压电机绕组常见绝缘故障处理的方法研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(5):124-127.
- [5]张帅,马华明,常新海.直流接地引发高压电机跳闸事故的分析处理[J].冶金动力,2025(3):53-56.