

# 机械电气安装及系统维护中的防火安全措施

薛玉洁<sup>1</sup>, 桑广坤<sup>2</sup>, 张玲芝<sup>3</sup>, 李小慧<sup>2</sup>, 马联蒙<sup>4</sup>

(1. 青岛市园林环境规划设计院有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 山西晋防人防工程咨询检测有限公司, 山西 太原 030032;

3. 中创蓝谷建设有限公司, 山东 青岛 266200;

4. 中暖新能源(青岛)有限公司, 山东 青岛 266599)

**摘要** 机械电气系统的稳定运行直接关系到工业生产的连续性与资产保全,而火灾隐患是其中最具破坏性的物理风险,电气连接点的高温氧化、绝缘材料的老化击穿以及机械摩擦产生的过热积聚,均是引发明火的主要物理诱因。在安装阶段,必须从源头控制线路敷设工艺与设备布局,阻断热传导路径;在维护阶段,需依托物理检测手段及时发现潜在的热失控点,深入剖析机械电气系统中的起火机理,探讨针对性的硬件安装规范与系统维护技术,通过优化接触面处理、强化散热构造及实施精准的绝缘监测,能够有效遏制火灾事故的发生,提高系统的可靠性。

**关键词** 电气火灾; 机械安装; 过载保护; 系统维护

**中图分类号**: TU85

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.036

## 0 引言

工业化进程的加速推动了机械电气设备向高功率、高集成度方向发展,设备内部的能量密度显著提升,伴随而来的热耗散问题日益突出。在复杂的工况环境下,机械应力与电应力的双重作用使得设备及其连接部件极易处于临界负荷状态。一旦安装工艺存在微小瑕疵或维护手段未能及时介入,电弧短路、接触电阻过大引发的焦耳热效应便会迅速演变为火灾源。探究电气安装与系统维护中的防火技术,不再局限于简单的灭火器具配置,而在于深入设备构造内部,通过严格的工艺控制和物理状态监测,消除热能非正常积聚的物理条件,构建具有自我防御能力的硬件系统。

## 1 机械电气设备安装环境与基础布局优化

在机械电气设备的初始安装阶段,物理环境的构建与基础布局的合理性是预防火灾的第一道屏障,安装空间必须具备良好的空气流通特性,以防止设备运行时产生的热量在局部空间内形成热堆积,对于大功率电机及变压装置,基础底座需采用阻燃耐火材料构建,且必须保证设备周边预留足够的散热间距,严禁在散热孔道附近堆放易燃遮挡物。在多台设备集中布置的电气室,需根据设备的热辐射强度进行分区排列,避免高热源设备过度集中导致环境温度急剧升高从而降低绝缘材料的耐受阈值。底座固定的平整度直接影

响机械运转的震动幅度,安装时需使用水平仪进行精密校准,确保机脚螺栓紧固力矩一致,防止因震动摩擦产生的高温火花引燃周边的油污或粉尘,通过物理空间的科学规划与安装基面的刚性处理,可从环境层面阻断火灾发生的客观条件<sup>[1]</sup>。

## 2 电气线路系统的防火构造与敷设技术

### 2.1 电缆选型与载流量冗余控制

电气线路是火灾事故的高发环节,电缆选型的核心在于确保导体截面能够承受最大负载电流并保留足够的冗余度。在安装设计时,需精确计算回路的额定电流并根据敷设环境的温度校正系数进行降容处理,选用耐火等级符合现场要求的交联聚乙烯绝缘电缆。对于长期处于满负荷运行的主干线路,应适当增大导体截面积,降低电流密度从而直接减少线路本身的焦耳热损耗,在高温或存在腐蚀性气体的区域,必须选用矿物绝缘电缆或具有金属护套的特种线缆,利用无机材料的不可燃性来抵御外部火源的侵袭,同时防止因绝缘层碳化而引发的二次短路,通过物理层面的选型优化,确保线路在极限工况下的热稳定性。

### 2.2 导管敷设与封堵隔离工艺

穿管敷设是保护电线电缆、防止机械损伤及火势蔓延的有效手段,在金属导管的连接处,必须采用螺纹连接并进行跨接接地,确保管路电气连续性,防止

**作者简介**: 薛玉洁(1986-),女,本科,工程师,研究方向:电气工程。

故障电流导致管壁带电产生对地放电火花, 导管内部的穿线率需严格控制在规范范围内, 留出足够的散热空间。更为关键的是管口的封堵技术, 凡是穿越墙体、楼板或进入配电箱的管口, 必须使用防火胶泥或防火枕进行严密填塞, 这种物理隔离措施能够阻断氧气的供给, 防止由于烟囱效应导致火焰沿管路迅速向上层建筑或相邻区域扩散。对于并在桥架内的多根电缆, 需设置防火隔板将动力电缆与控制电缆物理分隔, 避免动力线路故障引燃控制线路, 导致系统全面瘫痪。

### 2.3 线路连接点的接触电阻抑制

电气连接点的松动与氧化是导致局部高温的典型原因, 在安装接线端子时, 必须使用力矩扳手按照设备说明书规定的扭矩值进行紧固, 确保导体与端子之间的接触面压力均匀, 使微观接触点最大化从而降低接触电阻。对于铜铝过渡连接, 严禁直接搭接, 必须采用铜铝过渡线夹或搪锡处理, 防止电化学腐蚀在接触面形成氧化膜层, 导致电阻急剧升高。在多股导线的压接过程中需使用相匹配的冷压端子, 避免因线芯散乱导致有效载流截面减少, 所有的接线盒内部严禁出现裸露的导电部分, 接头处需缠绕多层绝缘胶带并加装热缩套管, 确保连接点的绝缘强度高于线缆本体, 从微观连接工艺上消除热源点<sup>[2]</sup>。

### 2.4 过载与短路保护装置的级联配置

熔断器与断路器是切断故障电流、防止线路起火的最終防线, 在系统配置中必须确保上下级保护电器的动作特性具有选择性, 即下级回路发生短路时, 仅由下级断路器跳闸, 避免越级跳闸扩大停电范围。断路器的额定分断能力必须大于安装点的预期短路电流, 防止在切断大电流时触头熔焊或电弧喷出引燃周边物体。对于电机回路, 需配置热继电器进行过载保护, 其整定电流应根据电机实际运行电流进行精细调节, 而非简单依据铭牌数据。同时, 引入剩余电流动作保护装置, 实时监测线路的泄漏电流, 一旦检测到绝缘破损导致的对地漏电, 如  $> 300 \text{ mA}$ , 立即切断电源, 防止持续的漏电电弧引燃易燃装饰材料。

### 2.5 谐波治理与中性线过热防护

随着变频器、整流装置等非线性负载的大量应用, 电网中的高次谐波含量显著增加, 高次谐波会因集肤效应增加导体的等效电阻, 导致线路发热量呈几何级数增长, 尤其是在三相四线制系统中, 三次谐波会在中性线上叠加, 致使中性线电流可能超过相线电流。在安装此类系统时, 中性线的截面积应设计为与相线相同甚至更大, 严禁减径。同时, 在配电系统的进线端加装无源滤波器或有源电力滤波器, 滤除特定频率

的谐波分量, 净化电源波形, 对于变压器绕组, 采用 D, yn11 接线组别以利于三次谐波的流通与消耗, 通过治理电能污染, 消除隐形的热源, 防止因谐波过载导致的隐蔽性火灾。

## 3 机械运转部件的温控与阻燃技术

### 3.1 轴承润滑与摩擦热控制

机械转动部件的摩擦是产生高温的直接物理过程, 轴承作为核心支撑部件, 其工作状态决定了热量的产生速率, 在安装过程中, 必须严格控制轴承的游隙, 过紧会导致滚珠摩擦力增大, 过松则会引起撞击。润滑脂的选用需根据设备转速与工作温度确定, 对于高速运转的机械, 应选用耐高温、抗氧化的锂基或复合钙基润滑脂并严格控制填充量, 通常为轴承室空间的  $1/3$  至  $1/2$ , 润滑不足会导致干摩擦迅速升温, 而润滑过多则会因搅拌阻力产生内部液体摩擦热, 需建立定期的润滑补充机制并关注轴承座的密封性能, 防止粉尘进入润滑系统导致磨粒磨损, 通过降低物理摩擦系数来从源头控制热能转换<sup>[3]</sup>。

### 3.2 旋转电机的主动散热系统维护

电机作为电能转换为机械能的枢纽, 其自身的散热效率至关重要, 安装时需确保电机尾部的冷却风扇完好无损, 且风罩网孔无堵塞, 对于采用强迫风冷的变频电机, 必须保证独立风机的电源回路可靠, 使其在低速运转时仍能维持足够的风量。在多尘环境中需定期清理电机外壳散热筋片上的积灰, 灰尘覆盖层相当于保温层, 会严重阻碍热量向大气的辐射与对流。对于水冷电机, 需监控冷却水管路的通畅性与流量, 防止因水垢堵塞导致换热效率下降, 若电机运行环境温度持续较高, 应考虑加装外部通风管道或空调降温装置, 确保电机绕组温度始终处于绝缘等级允许的范围内 (如 F 级绝缘不超过  $155 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )。

### 3.3 静电积聚的导除与接地

在输送带、粉体传输管道等机械系统中, 物料的快速流动与摩擦极易产生高电位的静电积聚, 当静电电压达到击穿空气的阈值时, 产生的静电火花足以引燃周边的可燃粉尘或挥发性气体。在安装此类机械设备时, 必须实施全系统的等电位联结, 使用金属导线将所有独立的金属部件连接至接地干线, 对于非金属输送带, 应选用含有导电纤维的抗静电材质, 或采用导电涂料处理, 传输管道的法兰连接处, 若接触电阻不符合要求, 需加装跨接铜排, 接地电阻需符合规范要求 (通常  $< 10 \text{ } \Omega$ ) 并定期进行测试, 通过构建低阻抗的泄放通道, 将摩擦产生的静电荷实时导入大地, 消除静电放电火灾隐患。

### 3.4 机械震动监测与紧固件防松

机械设备的持续震动不仅会破坏结构完整性,更是引发电气火灾的潜在因素。强烈的震动会导致电气连接点的螺栓松动,使接触电阻不稳定,产生电弧;也会导致电缆绝缘层与金属外壳摩擦破损,引发短路,在机械安装中需在底座与基础之间加装减震垫或减震弹簧,削减震源的传递。对于连接电气线路的接线盒,需采用防松螺母或涂抹螺纹紧固胶,对于震动幅度较大的设备,应定期使用测振仪检测振动烈度,一旦发现振动异常增大(如速度有效值超过 $4.5\text{ mm/s}$ ),应立即停机检查动平衡及对中情况,通过控制机械震动幅度,维持电气连接的物理稳固性,防止因机械松动诱发的电气故障火灾<sup>[4]</sup>。

## 4 系统运维中的隐患物理检测与消除

### 4.1 红外热成像技术的全场扫描

传统的接触式测温难以覆盖所有电气节点,而红外热成像技术能够实现非接触式的全场温度分布可视化,在系统带负荷运行期间,利用高分辨率红外热像仪对配电柜、电缆沟、电机轴承及接线端子进行扫描。通过捕捉设备表面的红外辐射,生成温度色谱图,能够精准定位温度异常升高的热点(Hot Spot),对于三相电气设备,重点比较三相温度的差异,若某相温度明显高于其他两相,即便未达到绝对高温限值,也表明该处存在接触不良或负载不平衡,定期建立热像档案,对比不同时期的温度变化趋势,在绝缘材料碳化变质之前识别出潜在的过热隐患,实施精准的预防性维修。

### 4.2 绝缘电阻与介质损耗的周期性测试

绝缘材料的老化是不可逆的物理过程,定期的绝缘性能测试是评估系统防火能力的金标准,利用兆欧表对线缆及设备进行绝缘电阻测试,重点关注吸收比与极化指数,这两个参数能反映绝缘受潮与老化的深层状态。对于高压设备,需进行介质损耗因数( $\tan\delta$ )测试,该参数对绝缘内部的气隙放电与油脂劣化更为敏感,一旦发现绝缘阻值低于规范值,如低压线路 $<0.5\text{ M}\Omega$ ,必须立即查明原因,明确是由于表面积灰受潮还是绝缘层本体开裂。对于已经老化的线路,严禁带病运行,必须按计划进行整体更换,通过量化的物理参数监测,确保电气隔离层的有效性,防止漏电起火<sup>[5]</sup>。

### 4.3 导电粉尘与杂物的深度清理

在工业环境中,金属粉尘、纤维毛絮等杂物极易进入电气柜内部,这些物质沉积在电路板或绝缘子上,在潮湿环境下会形成导电通道,引发爬电闪络,在系统维护中,必须定期对电气设备内部进行深度清理。

严禁使用普通压缩空气直接吹扫以免将水分油污带入或将灰尘吹入接触器缝隙,应使用工业吸尘器配合防静电毛刷进行物理吸除,或使用干燥的氮气进行清洁,对于沉积在散热器缝隙中的油泥,需使用专用的精密电器清洗剂进行溶解清洗,同时,检查配电箱的密封条是否完好,更换老化的滤网,通过保持电气环境的微观清洁,阻断固体颗粒物诱发的短路与电弧。

### 4.4 紧固件热胀冷缩后的二次加固

机械电气系统在启停过程中会经历反复的温度变化,金属材料的热胀冷缩效应会导致原本紧固的螺栓连接逐渐松弛,这种现象在铜铝连接处尤为明显,维护计划中必须包含周期性的紧固作业,特别是针对母线槽连接器、大电流电缆接头及电机接线盒。作业时不能凭手感判断,需再次使用力矩扳手核对紧固力矩,对于关键部位,可在螺栓与连接件上做好漆封标记,巡检时通过观察标记是否错位来快速判断松动情况,对于因过热变色或表面氧化严重的弹簧垫圈与平垫,应直接废弃更换,恢复连接组件的机械弹性,通过对抗热循环带来的机械疲劳,维持电气通路的低阻抗状态。

## 5 结束语

机械电气安装及系统维护中的防火措施,实质上是对热能生成与传递过程的物理干预,从安装阶段的基础环境构建、线缆冗余选型、接触面微观处理,到维护阶段的红外热像监测、绝缘量化评估与粉尘深度治理,每一个环节都是为了阻断电能向破坏性热能转化的路径。摒弃粗放的经验主义,转而采用精密化的安装工艺与基于物理参数的维护策略,是确保系统安全的核心,唯有将防火技术落实到每一个螺栓的力矩、每一根电缆的载流余量以及每一次设备巡检的数据分析中,才能真正构建起一套由物理规律支撑的防火防御体系,确保机械电气设施在全生命周期内的稳定运行,杜绝火灾事故的发生。

## 参考文献:

- [1] 张浩,张硕.机械电气设备安装技术及施工保障措施研究[J].中国设备工程,2025(16):217-219.
- [2] 赵凌浩.机械电气设备安装技术及施工保障措施分析[J].中国设备工程,2025(14):13-15.
- [3] 林川.智能传感技术在机械电气安装精度控制中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(05):88-90.
- [4] 孙鑫宇.冶金机械电气设备安装的关键问题及发展趋势分析[J].中国金属通报,2025(04):10-12.
- [5] 魏述亮,王林学,刘振忠,等.机械电气安装及系统维护中的防火安全措施[J].自动化应用,2023,64(08):221-223,226.