

# 汽轮发电机励磁碳刷温度过高原因分析

贾鑫鹏

吉电股份吉林松花江热电有限公司 吉林 吉林 132000

**摘要:** 本文围绕汽轮发电机励磁碳刷温度过高问题展开研究,先阐述励磁碳刷系统的核心构成、工作原理及温度相关基础认知,再从接触配合、碳刷性能、运行工况、维护安装四类核心维度分析温度过高原因,接着介绍数据采集、现场检查、多因素耦合分析的方法流程,最后提出针对性处置措施与长期预防机制。为精准定位与解决碳刷温度过高问题提供系统框架,助力保障发电机安全运行。

**关键词:** 汽轮发电机;励磁碳刷;温度过高;原因分析;预防措施

引言:汽轮发电机在电力生产中占据关键地位,励磁系统是重要组成部分。励磁碳刷作为电流传导关键部件,其运行状态直接影响发电机性能。然而,实际运行中励磁碳刷温度过高问题时有发生,这不仅影响发电效率,还可能引发设备故障。深入分析温度过高原因,并采取有效应对措施,对保障汽轮发电机安全稳定运行意义重大。

## 1 汽轮发电机励磁碳刷系统基础认知

### 1.1 励磁碳刷系统核心构成与工作原理

励磁碳刷系统的关键部件各有明确功能定位,励磁碳刷承担电流传导与摩擦接触双重作用,直接与集电环接触实现电能传递;集电环通过旋转运动配合碳刷,将静止侧电流转化为旋转侧电流;刷握用于固定碳刷位置,还能引导碳刷随磨损自动调整,保障持续接触;弹簧机构提供稳定接触压力,确保碳刷与集电环紧密贴合且压力适中<sup>[1]</sup>。碳刷与集电环的接触导电机制依赖两者表面的紧密接触,电流从励磁回路通过引线传递至碳刷本体,经碳刷与集电环的接触界面传导至集电环,再由集电环连接至发电机励磁绕组,形成完整电流传输路径。励磁碳刷系统在发电机励磁回路中发挥关键桥梁作用,其运行特性直接影响励磁电流的稳定性。正常运行时需保持电流传输连续无中断,还要适应集电环的旋转运动,平衡接触压力与摩擦损耗,确保励磁系统输出符合发电机运行需求的励磁电流。

### 1.2 碳刷温度正常运行范围与影响因素

不同工况下碳刷正常工作温度存在合理区间,轻载运行时温度通常较低,一般维持在环境温度以上30℃以内;额定负载运行时温度会有所升高,但通常不超过环境温度以上40℃;短时过载运行时温度可短暂上升,但需控制在不影响碳刷性能的范围。温度监测需聚焦关键点位,包括碳刷本体的中部与顶部、刷握的内壁、集

电环与碳刷的接触区域,这些点位温度能直接反映碳刷运行状态。常用监测方式分为接触式与非接触式,接触式如热电偶传感器直接贴合检测部位,非接触式如红外测温仪在安全距离内测量表面温度。环境温度对碳刷基准温度有直接影响,环境温度升高时碳刷散热难度增加,基准温度会随之上升;负载电流增大则会使碳刷电流密度提高,电能损耗转化的热量增多,导致碳刷基准温度上升,两者均需纳入温度管控考量。

### 1.3 温度过高的危害表现与判定标准

温度过高会带来多方面危害,直接危害体现在碳刷磨损加速,高温会软化碳刷材质,增加摩擦损耗速率;高温会导致碳刷与集电环接触表面氧化加剧,接触电阻增大,进一步加剧发热形成恶性循环。衍生风险包括集电环过热,过高温度会损伤集电环表面镀层,影响导电性能;还会加速励磁系统绝缘部件老化,降低绝缘性能,增加漏电风险,威胁系统安全运行。温度过高的判定依据需结合设备参数与运行经验,参考设备技术手册中规定的碳刷最高允许温度,超出该数值即可判定为温度过高;同时结合运行经验,若碳刷温度较同工况下正常温度明显升高,或同组碳刷间温度差异过大,即使未超出手册限值,也需判定为温度异常,及时排查原因。

## 2 汽轮发电机励磁碳刷温度过高的核心原因分类

### 2.1 接触配合类原因

接触配合类问题直接影响碳刷与集电环的导电效率,进而引发温度升高。碳刷与集电环接触压力异常时,弹簧压力过大易导致碳刷与集电环摩擦加剧,产生过多摩擦热;弹簧长期使用后压力衰减则会使碳刷与集电环接触松动,形成接触间隙,增加接触电阻,电阻发热随之增多。碳刷与集电环接触面积不足的情况,多由碳刷磨损不均导致局部区域无法有效贴合,或集电环表面因长期运行出现凹凸不平,减少实际接触面积,使得电流集

中在小范围区域传导, 引发局部温度骤升。集电环表面状态异常同样影响接触质量, 表面氧化层过厚会显著增加接触电阻, 划痕或椭圆度超标则会导致碳刷与集电环接触时产生跳动, 破坏稳定接触状态, 加剧摩擦与电阻发热。

## 2.2 碳刷自身性能类原因

碳刷自身性能缺陷是温度过高的内在因素。碳刷材质适配性不足时, 若材质硬度与设备运行工况不匹配, 过硬易加剧集电环磨损并产生更多摩擦热, 长期运行还会导致集电环表面出现沟槽; 过软则会加速自身磨损导致接触不稳定, 频繁更换碳刷还会影响设备运行连续性。材质电阻率不符合要求会使碳刷自身电阻发热增加, 超出正常散热能力, 尤其在高电流工况下, 电阻发热占比会显著提升。碳刷制造质量缺陷体现在内部结构疏松, 此类碳刷导热性能差, 产生的热量无法及时传导至外部, 易在内部积聚导致温度升高, 且疏松结构还会降低碳刷机械强度, 易在运行中出现碎裂; 内部杂质含量过高会破坏电流传导的均匀性, 形成局部高电阻区域, 引发局部过热, 杂质还可能在接触表面形成划痕, 进一步恶化接触状态。碳刷规格型号偏差时, 尺寸过大易导致在刷握内卡涩, 影响与集电环的动态接触, 尤其在集电环转速变化时, 卡涩会导致接触压力剧烈波动; 尺寸过小则会在刷握内产生晃动, 无法保持稳定接触压力, 均会间接导致温度升高, 还可能引发刷握内部积碳问题。

## 2.3 运行工况类原因

运行工况异常会从外部环境及系统参数层面诱发温度过高。负载电流波动过大时, 短期过载或电流冲击会使通过碳刷的电流远超额定值, 根据焦耳定律, 电流增大将导致电阻发热呈倍数增加, 短时间内热量积聚难以散发, 尤其在碳刷散热通道不畅时, 温度会在几分钟内快速突破安全阈值<sup>[2]</sup>。环境工况恶劣对温度的影响尤为明显, 周围环境温度过高会降低碳刷与集电环的散热温差, 削弱散热效果, 夏季高温或设备舱通风不良时, 碳刷温度甚至会比正常环境下高出20℃以上; 空气中粉尘积累在碳刷与集电环接触表面, 会阻碍二者有效接触并增加接触电阻, 同时堵塞散热通道, 进一步加剧温度升高, 粉尘还可能与碳刷磨损产生的碳粉混合, 形成硬质颗粒, 划伤集电环表面。励磁系统参数异常时, 励磁电压不稳定会导致通过碳刷的电流分布不均, 部分碳刷承担过多电流, 造成局部碳刷温度升高, 破坏整体温度平衡, 这种电流不均还会导致碳刷磨损速度差异加大, 缩短整组碳刷的使用寿命。

## 2.4 维护与安装类原因

不规范的维护与安装操作会为温度过高埋下隐患。安装工艺不规范时, 刷握安装位置偏差会使碳刷与集电环接触角度异常, 增加摩擦阻力, 角度偏差超过5°就会明显提升摩擦生热; 碳刷间距不均会导致各碳刷电流分配失衡, 部分碳刷电流过载, 尤其在多组碳刷并联运行时, 间距差异会使电流分布偏差明显增大, 加剧局部碳刷的负荷压力。维护周期不合理体现在碳刷磨损至极限仍未及时更换, 会使接触压力与接触面积持续恶化, 磨损过度的碳刷还可能导致刷握与集电环直接接触, 引发更严重故障; 集电环表面清洁不到位, 油污、碳粉等杂物堆积会破坏接触表面状态, 增加接触电阻与摩擦, 油污还会吸附更多粉尘, 形成难以清理的污垢层。维护操作不当方面, 碳刷打磨方式错误会导致碳刷表面平整度不足, 影响接触效果, 如沿单一方向过度打磨会使碳刷表面出现倾斜; 集电环表面处理不规范, 如打磨后残留杂质或表面粗糙度不符合要求, 均会破坏稳定接触环境, 引发温度升高, 处理不当的集电环表面还可能加速氧化, 缩短维护周期。

## 3 励磁碳刷温度过高原因的分析方法与流程

### 3.1 数据采集与监测分析方法

温度数据采集需结合实时监测数据与历史运行数据开展对比分析, 实时监测通过安装在碳刷、集电环关键部位的传感器获取即时温度值, 历史运行数据则调取设备正常工况下的温度记录, 通过对比当前温度与历史同期、同负载下的温度差异, 判断是否存在异常升高趋势。关联参数监测需同步采集电流、电压、接触压力等关键参数, 电流数据重点关注是否存在超出额定范围的波动或过载情况, 电压数据核查励磁电压是否稳定, 接触压力数据通过专用检测工具获取, 分析这些参数变化与温度升高的关联性, 排查是否因参数异常直接导致温度上升。环境数据记录作为辅助分析依据, 需定期记录环境温度、湿度、粉尘浓度等数据, 环境温度过高可能削弱散热效果, 湿度过大或粉尘浓度超标可能影响碳刷与集电环接触状态, 将环境数据与温度数据结合分析, 可排除或确认环境因素对温度的影响。

### 3.2 现场检查与诊断流程

外观检查通过直观观察判断基础状态, 重点查看碳刷磨损状态, 检查碳刷是否存在过度磨损、崩裂、掉块等情况, 同时观察集电环表面状况, 确认是否有划痕、氧化层堆积、椭圆变形等问题, 这些外观异常往往是温度过高的直接表现或诱因。接触状态检测需采用专业方法, 接触压力测量使用压力传感器或专用量具, 在碳刷运行状态下读取压力值, 判断是否符合设备规定的压力

范围；接触电阻测试通过电阻测试仪连接碳刷与集电环，测量二者接触部位的电阻值，电阻值超出标准范围则提示接触不良。部件性能核查需按规范实施步骤，弹簧弹力检测使用弹力计对每个碳刷对应的弹簧进行拉力或压力测试，检查弹力是否随使用时间出现衰减；刷握间隙测量使用塞尺或游标卡尺，测量碳刷与刷握内壁的间隙，判断是否因间隙过大导致碳刷晃动或间隙过小导致卡涩。

### 3.3 多因素耦合分析逻辑

单一因素主导型温度过高的识别需明确特征与判定方法，若温度升高伴随单一参数异常，如仅电流持续过载且其他参数正常，则可判定为负载电流因素主导；若仅环境温度显著升高且设备无其他异常，则环境因素主导的特征明显，通过单一参数与温度的强关联性可快速定位主导原因<sup>[3]</sup>。多因素交互影响的分析需梳理不同因素间的作用关系，如接触不良与负载过载同时存在时，接触不良导致的接触电阻增大，会在过载电流作用下产生更多热量，二者叠加加剧温度升高，分析时需分别验证单一因素单独作用时的温度变化，再判断交互作用的影响程度。基于故障树的原因排查需明确优先级排序逻辑，按照“影响程度大、排查难度低”的原则，优先排查碳刷磨损、接触压力异常等易检测、影响直接的因素，再逐步排查励磁系统参数、环境粉尘等间接或需复杂检测的因素，通过分层排查缩小原因范围，提升诊断效率。

## 4 温度过高问题的应对方向与预防措施

### 4.1 针对性处置措施

针对接触配合问题需精准操作，弹簧压力调整需用专用工具按设备标准范围调试，压力过大时放松张力，压力不足或衰减时更换新弹簧，保证每个碳刷接触压力合理；集电环表面修复前先清理油污粉尘，轻微划痕或氧化层用细砂纸顺时针匀速打磨，划痕深或椭圆度超标则用专用研磨设备精加工，恢复表面平整；碳刷重新研磨需用与集电环曲率匹配的工具，将碳刷表面打磨至完全贴合，增大有效接触面积。针对碳刷性能问题需优化选型，更换适配材质碳刷前结合设备工况确定需求，高负载工况选电阻率低、导热性好的碳刷，高磨损工况选硬度适中、耐磨性强的碳刷；选用合规规格产品需对照设备技术手册，核对碳刷长度、宽度、厚度等尺寸，检

查出厂合格证明，避免尺寸偏差或质量问题。针对工况与维护问题需双向调整，优化负载控制通过励磁系统调节，按发电机额定负载设电流上限，负载接近上限时调整参数减少焦耳热；改善运行环境需加装通风散热设备与防尘过滤装置，定期清理散热通道；规范维护流程需明确操作标准，如碳刷安装力度、集电环清洁剂选用，避免操作不当引发安全问题。

### 4.2 长期预防机制

建立动态监测体系需完善功能，实时温度预警设定分级阈值，温度达预警值时自动报警；关键参数趋势分析定期复盘温度、电流、接触压力等数据，通过曲线识别变化规律，发现温度缓慢上升时提前排查隐患。优化维护策略需突破固定周期，根据监测数据判断碳刷磨损速率与集电环状态，磨损快的碳刷缩短检查间隔，状态稳定的部件延长周期；结合设备运行时长与工况强度调整维护内容，高负荷运行后增加接触电阻检测频次。人员能力提升需聚焦技能，安装技能培训通过实操强化刷握定位、碳刷间隙调整熟练度；诊断技能培训结合案例，传授通过温度特征、参数异常判断原因的方法，提升问题识别与诊断能力。

### 结束语

汽轮发电机励磁碳刷温度过高问题涉及多方面因素，通过对其核心原因的分类剖析，以及分析方法与流程的阐述，可精准定位问题根源。针对性处置措施能快速解决当前问题，长期预防机制则从动态监测、优化维护、提升人员能力等方面，降低问题发生概率。未来，持续完善相关研究与实践，将进一步提升发电机运行的可靠性与稳定性。

### 参考文献

- [1] 赖晓华, 彭晓燕, 边运朝. 空冷汽轮发电机喘振现象的分析及处理[J]. 燃气轮机技术, 2024, 37(03): 33-40.
- [2] 吕泓瑄, 王略, 章勇, 等. 基于有限元分析的大型汽轮发电机中性点CT温度高问题研究[J]. 中国设备工程, 2023, (S2): 46-49.
- [3] 马旭, 白广臣, 邱杨. 1000MW汽轮发电机轴承温度高故障分析及处理[J]. 电力与能源, 2021, 42(02): 231-234.