

# 基于红外测温的变电设备发热缺陷诊断与处理实践

曹志光

国网西藏电力有限公司超高压分公司 西藏 拉萨 850000

**【摘要】**：变电设备稳定运行是电网安全供电的核心保障，设备发热缺陷是引发变电故障、导致电网停运的主要诱因之一。红外测温技术凭借非接触、可视化、高效精准的优势，成为变电设备带电检测、隐患排查的主流手段。本文结合现场运维实践，阐述红外测温技术在变电设备检测中的核心原理，梳理常见发热缺陷类型及诊断标准，总结不同电压等级、不同类型设备的测温实操要点，通过典型缺陷案例分析故障成因与处理流程，提出常态化防控与闭环管理措施，为变电设备发热缺陷精准诊断、高效处置提供实践参考，助力提升变电运维质量与电网运行可靠性。

**【关键词】**：红外测温；变电设备；发热缺陷；故障诊断；运维处理

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.041

## 1 引言

随着电网规模持续扩大，变电设备运行负荷逐步提升，设备接头接触不良、绝缘老化、内部损耗异常、涡流发热等问题频发，进而引发局部过热，若未能及时发现处置，轻则导致设备性能下降、能耗增加，重则引发绝缘击穿、设备烧毁、母线短路等严重事故，直接威胁电网安全稳定运行。传统变电设备温度检测多采用接触式测温，存在停电操作、效率低下、无法覆盖隐蔽部位等短板，难以满足现代电网状态检修需求。红外测温技术基于物体红外辐射与温度的对应关系，无需停电、无需接触设备，即可快速捕捉设备表面温度分布，直观呈现异常热区，实现带电状态下的隐患排查。该技术可适配变压器、断路器、隔离开关、互感器、母线接头、电缆终端等各类变电设备，能精准定位早期轻微发热缺陷，实现故障早发现、早处置，有效降低故障发生率。本文结合多年现场运维与检测实践，系统梳理红外测温在变电设备发热缺陷诊断中的应用要点，完善缺陷处理流程，推动变电运维从定期检修向状态检修转型。

## 2 红外测温技术核心原理与检测基础要求

### 2.1 技术核心原理

自然界中所有温度高于绝对零度的物体，都会持续向外辐射红外电磁波，物体温度越高，红外辐射能量越强。红外测温仪通过光学系统汇聚被测设备的红外辐射能量，经探测器转化为电信号，再通过信号处理与算法换算，得出设备表面温度值，并通过热成像图谱直观展示温度分布差异。正常运行的变电设备，温度分布均匀，无明显局部高温区；存在缺陷的设备，因能量积聚、电阻增大或损耗异常，会形成局部热点，与周边正常区域形成显著温差，红外热成像图可清晰识别该异常区域，为缺陷诊断提供直观依据。

### 2.2 现场检测基础要求

为保证测温数据精准、缺陷诊断无误，现场红外测温需严格把控环境条件、设备状态与操作规范。优先选择阴天、无风或微风环境开展检测，避免阳光直射、雨雪、大雾、大风天气，

环境风速控制在 5m/s 以内，相对湿度不高于 85%，环境温度宜在 10°C-30°C 之间，减少环境因素对测温结果的干扰。检测前设备需带额定负荷连续运行 2 小时以上，负荷率不低于 30%，确保缺陷部位发热充分显现，避免低负荷下漏检轻微发热缺陷。选用分辨率不低于 320×240 像素、测温精度±2°C 以内的红外热像仪，检测前校准仪器参数；检测距离根据设备电压等级调整，保持镜头与被测部位垂直，避开遮挡物，同一部位多次测温取平均值，三相设备需同步对比检测。

## 3 变电设备常见发热缺陷分类与诊断标准

### 3.1 常见发热缺陷类型

结合现场实践，变电设备发热缺陷主要分为电流致热型、电压致热型两类，两类缺陷成因、发热特征差异明显。电流致热型缺陷由电流通过设备时电阻异常增大引发，主要集中在导电连接部位，如母线接头、隔离开关触头、设备接线端子、电缆压接头等。成因多为螺栓松动、接触面氧化、接触不良、压接不紧密等，缺陷表现为局部热点明显，温度随负荷增大快速升高，三相温差显著。电压致热型缺陷由设备绝缘性能下降、介质损耗增大或电场分布不均引发，主要涉及绝缘类设备，如变压器套管、互感器、避雷器、绝缘子等。缺陷早期发热不明显，温度波动小，易被忽视，后期会出现局部均匀发热或带状发热，严重时伴随绝缘破损、放电现象。

### 3.2 缺陷诊断分级标准

结合国家电网变电设备红外检测技术规范与现场实操经验，按照热点温度、温差、相对温差三项指标，将发热缺陷分为一般、严重、危急三个等级，便于分级处置，具体标准见下表。

表 1 缺陷诊断分级标准

缺陷等级	热点温度 (°C)	与正常部位温差 (°C)	相对温差 (%)	处置要求
一般	≤50	≤5	≤20	纳入监测计划，定期复测，

缺陷				安排计划检修
严重缺陷	50-80	5-15	20-60	缩短检测周期, 负荷高峰加强监测, 尽快停电处理
危急缺陷	>80	>15	>60	立即上报, 申请紧急停电, 即刻处置

注: 相对温差指热点温度与同一设备正常部位温度的差值占正常部位温度的百分比, 三相设备以温度最低相为参照标准。

## 4 典型变电设备发热缺陷诊断与实操案例

### 4.1 隔离开关触头发热缺陷

某 110kV 变电站隔离开关运行过程中, 红外测温发现 A 相触头部位温度达 72°C, 同期 B 相、C 相触头温度分别为 41°C、43°C, 三相温差超 25°C, 判定为严重缺陷。进一步检测发现, 触头接触面氧化严重, 弹簧压力衰减, 动静触头接触面积不足, 导致接触电阻异常增大, 电流通过时产生大量热量。申请停电后, 拆解隔离开关触头, 用细砂纸打磨氧化接触面, 去除锈蚀与污垢, 涂抹导电膏, 更换老化弹簧, 紧固连接螺栓; 复电后带负荷测温, 触头温度稳定在 42°C 左右, 三相温差小于 2°C, 缺陷彻底消除。

### 4.2 变压器套管发热缺陷

某 220kV 变压器高压套管红外检测时, 发现套管法兰根部出现环状发热区域, 温度 56°C, 正常套管同部位温度 40°C, 温差 16°C, 判定为一般缺陷, 跟踪监测 1 个月后温度升至 68°C, 升级为严重缺陷。结合设备运行年限与试验数据, 判断为套管内部绝缘受潮, 介质损耗增大引发异常发热。安排停电检修, 对变压器套管进行绝缘电阻、介质损耗因数试验, 确认绝缘受潮后, 实施干燥处理, 更换密封胶垫; 复电后复测温度与电气参数, 套管温度恢复正常, 绝缘性能达标。

### 4.3 母线接线板发热缺陷

某 35kV 母线进线接线板红外测温显示, 热点温度 85°C, 远超相邻接线板温度, 属于危急缺陷。现场检查发现, 接线板连接螺栓松动, 接触面存在灰尘与氧化层, 接触电阻超标, 大负荷运行下热量快速积聚, 存在烧断母线风险。立即申请紧急停电, 清理接触面氧化层与污垢, 重新紧固螺栓, 更换老化垫片与弹垫, 复测回路电阻合格; 复电后负荷高峰时段测温, 接线板温度稳定在 45°C 以内, 缺陷消除。

## 5 变电设备发热缺陷标准化处理流程

为实现发热缺陷高效处置, 形成闭环管理, 结合现场实践制定标准化处理流程, 分为检测诊断、分级上报、处置实施、验收复测、归档复盘五个环节, 全程规范操作、责任到人。

### 5.1 检测诊断环节

运维人员按照既定周期开展红外测温, 做好温度数据、热

成像图谱、设备负荷、环境条件等信息记录, 对照诊断标准判定缺陷类型与等级, 标注缺陷位置与严重程度, 避免漏判、误判。

### 5.2 分级上报环节

一般缺陷由运维班组整理归档, 纳入月度检修计划; 严重缺陷立即上报运维管理部门, 制定专项监测与处置方案; 危急缺陷即刻上报调度与管理部门, 申请紧急停电, 启动应急处置流程, 严禁带缺陷运行。

### 5.3 处置实施环节

根据缺陷类型针对性处置: 电流致热型缺陷重点处理接触面, 打磨氧化层、紧固螺栓、更换老化部件、涂抹导电膏, 降低接触电阻; 电压致热型缺陷结合试验数据, 开展绝缘修复、干燥处理、更换绝缘部件, 恢复设备绝缘性能。处置过程严格遵守安全规程, 做好安全防护, 避免二次故障。

### 5.4 验收复测环节

缺陷处置完成后, 复电带负荷运行 2 小时以上, 开展红外复测, 核对温度数据与热成像图谱, 同步开展回路电阻、绝缘电阻等电气试验, 确认缺陷消除、设备参数达标后, 方可完成验收。

### 5.5 归档复盘环节

将缺陷检测数据、处置方案、验收记录、复测结果整理归档, 建立缺陷台账; 定期复盘典型缺陷, 分析成因规律, 优化检测周期与防控措施, 提升缺陷预判与处置能力。

## 6 发热缺陷防控与运维优化措施

### 6.1 机械类发热缺陷专项防控措施

机械类缺陷是诱发电流致热型发热的主要原因, 集中在设备导电连接、机械传动与紧固部位, 核心诱因包括螺栓松动、接触面氧化、机械部件老化、接触压力不足等, 这类缺陷占现场发热缺陷的七成以上, 防控需聚焦机械结构精细化运维, 从安装、巡检、检修全环节把控质量, 从源头降低接触电阻异常隐患。

一是严控设备安装与检修机械工艺, 新投运、大修后的隔离开关、母线接头、设备接线端子等部位, 严格规范接触面处理流程, 彻底清除金属表面氧化层、污垢及毛刺, 保证接触面贴合紧密, 按照标准力矩紧固连接螺栓, 杜绝漏紧、松动问题, 导电膏涂抹均匀且厚度适中, 避免过量堆积或涂抹不到位。定期检查触头弹簧、压紧螺栓等弹性部件, 及时更换压力衰减、锈蚀老化的配件, 保障动静触头、接线板接触压力达标, 增大有效接触面积。

二是建立机械结构专项巡检机制, 结合红外测温工作, 同步开展机械部件外观排查, 重点检查接头有无变形、锈蚀、变色, 螺栓有无松动脱落, 隔离开关触头有无错位、烧蚀痕迹。

针对大负荷回路、室外露天设备，缩短巡检周期，极端天气过后追加专项检查，提前发现机械隐患，避免发展为发热缺陷。

三是优化机械缺陷闭环整改，对红外测温发现的机械类发热点，建立专项台账，明确整改时限与责任人，整改后复测回路电阻、温度数据，确保接触电阻恢复至标准范围，三相温差控制在合理区间，杜绝同类缺陷重复出现。

## 6.2 电气绝缘类发热缺陷专项防控措施

电气绝缘类缺陷对应电压致热型发热，主要涉及变压器套管、互感器、避雷器、绝缘子等绝缘类设备，诱因以绝缘老化、受潮、介质损耗增大、内部放电为主，这类缺陷早期发热隐蔽，后期易引发绝缘击穿、设备烧毁等严重故障，防控侧重绝缘状态监测与性能维护，做到早预警、早处置。

一是强化绝缘设备常态化监测，除常规红外测温外，定期开展绝缘电阻、介质损耗因数、泄漏电流等电气试验，重点排查运行年限超10年的老旧绝缘设备，结合红外热成像图谱与试验数据，综合判断绝缘性能，精准识别早期绝缘劣化隐患，避免单一测温数据误判。

二是做好绝缘设备防护与保养，加强室外绝缘设备密封性能检查，及时更换老化密封胶垫、防水罩，防止雨水、潮气侵入设备内部引发受潮发热；定期清理绝缘套管、绝缘子表面污秽，减少污闪引发的局部发热与损耗异常，保障绝缘设备外绝缘性能稳定。

三是规范绝缘缺陷处置流程，针对红外检测发现的绝缘类发热点，区分缺陷等级开展处置，轻微绝缘异常缩短监测周期，跟踪温度变化；中度及以上异常立即安排停电试验，确认绝缘故障后，通过干燥、清洗或更换绝缘部件恢复性能，严禁绝缘

不合格设备带病运行。

## 6.3 通用运维优化与智能化提升措施

在分类防控基础上，配套完善通用运维管理手段，补齐技术与管理短板，全面提升缺陷防控水平。一方面完善分层级红外测温机制，重要设备、易发热部位每月开展一次检测，负荷高峰期、高温严寒时段加密检测频次，推行三相横向对比、历史数据纵向对比的双对比法，提高缺陷识别精准度，减少漏检、误检。

另一方面推进智能化监测升级，在220kV及以上主变、高压断路器、关键母线接头等核心设备，安装红外在线测温装置，实现24小时不间断温度监测与异常自动预警，替代人工定期巡检，提升监测时效性。同时加强运维人员专项技能培训，重点讲解机械、绝缘两类缺陷的红外图谱特征、诊断技巧与处置流程，提升现场实操与应急处置能力，避免因诊断失误、处置不规范导致故障扩大。

## 7 结论

红外测温技术是变电设备发热缺陷诊断的核心手段，具备非接触、高效、可视化、带电检测的独特优势，可精准识别早期隐蔽性发热缺陷，为电网安全运行筑牢防线。变电运维中，需严格把控测温操作规范，精准判定缺陷等级，执行标准化处置流程，同时完善常态化防控机制，结合智能化监测技术升级，实现发热缺陷全流程闭环管理。实践表明，规范应用红外测温技术，可有效降低变电设备发热故障发生率，减少停电检修次数，提升电网运行可靠性与供电稳定性。后续需持续优化检测方法，结合人工智能、大数据技术，实现缺陷自动识别与智能预判，进一步推动变电运维向智能化、高效化、精准化方向发展，为电网安全稳定运行提供更有力的保障。

## 参考文献：

- [1] 李红军,吴海宏,王国平,等.振动特征估计下的GIS变电设备发热缺陷因素识别系统设计[J].微型电脑应用,2024,40(05):104-107+111.
- [2] 彭健,庄建煌,徐丽红,等.基于智能算法的变电设备发热缺陷预判装置研发[J].电工技术,2022,(24):65-67.
- [3] 庄建煌,彭健,陈重,等.基于泛在电力物联网的多技术融合变电设备发热缺陷判别预测系统的研究设计[J].高压电器,2020,56(09):54-59.
- [4] 黄少敏,庄建煌,彭健,等.基于红外测温技术快速判别变电设备发热缺陷的APP开发与应用[C]//福建省电机工程学会2019年学术年会获奖论文集.国网福建省电力有限公司技能培训中心;国网福建省电力有限公司莆田供电公司,;2020:312-317.
- [5] 庄建煌,陈重,彭健,等.变电设备红外测温发热缺陷判别工具开发与应用[J].农村电气化,2019,(08):74-76.