

团 体 标 准

T/SMA 0053-2024

高压电缆终端红外精确检测技术规范

Technical Specification for Precise Infrared Detection of
High-voltage Cable Terminals



2024-11-01 发布

2024-11-15 实施

上海市计量协会

发布

全国团体标准信息平台



目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	2
4.1 环境要求	2
4.2 人员要求	2
4.3 设备要求	2
4.4 安全要求	2
5 周期要求	2
6 现场检测方法	2
6.1 准备工作	2
6.2 检测要求	3
7 图像数据分析	3
7.1 分析部位	3
7.2 热点选取	4
7.3 数据分析	4
附录 A (资料性) 高压电缆终端类型及热像图	8
附录 B (规范性) 影响红外检测精度的主要因素	9
附录 C (资料性) 红外精确检测记录手册	11
附录 D (资料性) 红外精确检测典型案例	13
参考文献	16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市计量协会电力专业委员会提出。

本文件由上海市计量协会归口。

本文件起草单位：国网上海市电力公司电缆分公司、国网上海市电力公司超高压分公司、国网上海市电力公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：邹翔宇、袁奇、周韞捷、陈立荣、叶頔、李凌、顾黄晶、周婕、王振兴、何阳、杨勇诚、凌立勇、沈俞斌、杨舒婷、张伟、郑淑婷、孙伟莎、黄哲、郭婉华、张昊一、许印白、沈磊、范世峰、杨凡、司文荣、肖嵘、何冰。

本文件 2024 年 11 月首次发布。



高压电缆终端红外精确检测技术规范

1 范围

本文件规定了高压电缆终端红外精确检测的一般要求、现场检测方法、图像数据分析等。
本文件适用于 110（66）kV 及以上电压等级的高压电缆终端（不含 GIS 终端）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 26860-2011 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分

GB/T 19870-2018 工业检测型红外热像仪

GB/T 22078-2008 额定电压 500 kV(U_m=550 kV)交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件

DL/T 664-2016 带电设备红外诊断应用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电缆终端热平衡 cable termination thermal equilibrium

电缆终端在一定时间一定电流下吸收和释放的热量不发生变化，也称该终端处于热平衡状态。在热平衡状态，电缆终端各部分同外界之间达到热量交换平衡。

3.2

户外终端 outdoor terminal

在受阳光直接照射或暴露在气候环境下或两者都存在的情况下使用的终端。

[来源：GB/T 22078-2008 3.10]

3.3

户内终端 indoor terminal

在既不受阳光照射又不暴露在气候环境下使用的终端。

[来源：GB/T 22078-2008 3.9]

3.4

环境温度参照物 ambient temperature reference material

用来采集环境温度的物体，它不一定具有当时的真实环境温度，但具有被检测设备相似的物理属性，并与被检测设备处于相似的环境之中。

3.5

精确检测 infrared detection

用检测电压致热型和部分电流致热型设备表面温度分布去发现内部缺陷，对设备故障作精确判断，也称诊断性检测。

[来源：DL/T 664-2016 3.4]

4 一般要求

4.1 环境要求

4.1.1 检测环境应满足 DL/T 664-2016 中 4.3.1 和 4.3.2 条款的相关要求。

4.1.2 被检测高压电缆终端应与外界环境达到热平衡，户外电缆终端精确检测宜在夏季负荷高峰时段进行，户内电缆终端精确检测宜在冬季负荷高峰时段进行，终端类型见附录 A。

4.2 人员要求

检测人员应熟悉 DL/T 664-2016《带电设备红外诊断应用规范》中 4.1 和 4.2 条款的相关要求，经过专业技术培训后方可参与红外检测工作。

4.3 设备要求

4.3.1 仪器配置和管理应满足 DL/T 664-2016《带电设备红外诊断应用规范》中 6.1 和 6.2 条款的相关要求。

4.3.2 红外精确检测宜选用离线型便携式红外热像仪，根据被测设备选配 12°及以上视场角镜头，红外分辨率（像素）至少达到 640*480 及以上。

4.4 安全要求

4.4.1 检测人员与带电设备保持的安全距离应符合 GB 26860-2011《电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分》中表 1 的相关要求。

4.4.2 检测人员拍摄时应立定，保持原位不动。

5 周期要求

5.1 110（66）kV 及以上电缆终端红外精确检测周期为 1 年一次，可与状态检测周期相结合。

5.2 新投产、故障和大修改造后的电缆，可在投运带负荷后不超过 1 周内（至少 24h 以后）进行一次红外精确检测，判定检测结果是否合格，并将合格的数据作为基础数据，用于设备状态分析和后续检测数据的历史对比。

6 现场检测方法

6.1 准备工作

6.1.1 现场红外精确检测要求至少两人一组，其中操作手一人负责巡视设备和红外精确检测，监护人一人负责现场监护，并带好个人安全防护用品。

6.1.2 需携带红外热像仪、温湿度计、风速仪、备用电池若干、工作记录本，工作前应对红外热成像仪的状态进行检查，保证其良好的工作状态。

6.1.3 熟悉检测环境，必要时，应组织有经验的人员到现场勘察。

6.1.4 检测现场应选取环境温度参照物，环境温度参照物应与外界环境达到热平衡状态，一般选取高压电缆终端旁的支柱绝缘子和尾管下方电缆本体分别作为终端应力锥和尾管的环境温度参照物。若被测高压电缆终端旁无支柱绝缘子，以终端上部（油位以下）自上而下第4~5个裙边温度作为环境温度参照物。

6.1.5 高温天气需对电缆终端热平衡进行分析，每15分钟监测一次被测终端温度，若相邻两次温度变化量小于0.5K，即满足红外精测条件。

6.2 检测要求

6.2.1 红外精测的重点包含连接金具、应力锥和尾管部分，每相电缆终端应针对重点部分分别进行拍摄。

6.2.2 户外终端每相应选取3个不同的角度（ 0° 、 120° 、 240° ）进行拍摄，确保 360° 无死角检测，每次拍摄宜选取固定的位置和角度，如图1所示。

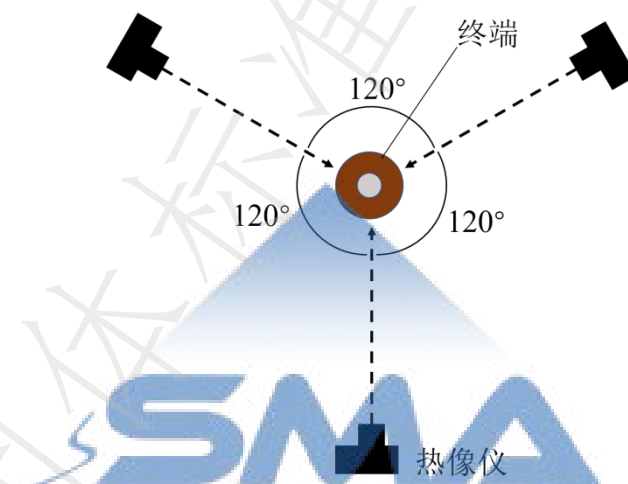


图1 拍摄角度示意图

6.2.3 户内终端受设备位置所限，每相应选取不少于1个角度进行拍摄。

6.2.4 拍摄的影像资料命名宜采用“时间-地点-线路名称-相别-拍摄角度”的格式。

6.2.5 精确检测必须设置辐射率、对象距离、大气温度、相对湿度和环境温度等对象参数，并尽可能排除一切外界干扰因素，要求见附录B。

6.2.6 复测宜采用同台仪器，避免仪器误差。

7 图像数据分析

7.1 分析部位

对于高压电缆终端红外图像的精确分析，考虑由于施工不良易引发缺陷的部位，应选取连接金具、

应力锥和尾管三个部位，如图 2 所示。

7.2 热点选取

7.2.1 选取连接金具、终端上部（环境参照）、应力锥、尾管、电缆本体五个部分进行温度采样，采样范围如图 2 所示，其中：终端上部作为环境温度参照，一般选取第 4~5 裙边处温度作为应力锥的环境参照温度，尾管选取终端底座以下至电缆封铅的部分，将封铅以下电缆本体温度作为终端尾管的环境参照温度。

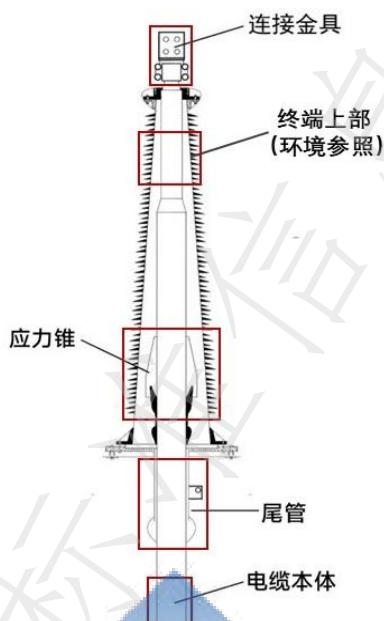


图 2 高压电缆终端温度采样示意图

7.2.2 每个采样部位应避免背景干扰，选取各部位最高温点并显示。将相关数据填写在红外测温记录手册中，包括设备资料、参数及 5 个温度数值，并计算对应温升，详见附录 C。

7.3 数据分析

7.3.1 连接金具

7.3.1.1 发热分析

电缆终端连接金具处发热按照电流致热原因进行分析，应参照《DL/T 664-2016 带电设备红外诊断应用规范》中附录 H 的相关要求，计算相对温差 δ ，分析发热点温度 T 。

7.3.1.2 缺陷判断

连接金具处发热缺陷判断结果参照表 1。

表 1 连接金具处发热缺陷判断

判断条件	$\delta \geq 35\%$ 且 $T < 90^\circ\text{C}$	$80\% \leq \delta < 95\%$ 或 $90 \leq T \leq 130^\circ\text{C}$	$\delta \geq 95\%$ 或 $T > 130^\circ\text{C}$
判断结果	一般缺陷	严重缺陷	危急缺陷

7.3.2 应力锥

7.3.2.1 环境比较分析

应力锥发热按照综合致热原因进行分析，选取电缆终端上半部分作为环境温度参照，计算应力锥处的发热温升 $\tau_{\text{锥}}$ ：

$$\tau_{\text{锥}} = T_{\text{锥}} - T_0 \quad (7-1)$$

式中： $T_{\text{锥}}$ 为应力锥处的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ；

T_0 为终端上部（环境参照）的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.2.2 相间比较分析

电缆终端某一相应力锥处发热时，选取正常相应力锥对应部位温度作为参照温度，计算温差 $\tau_{\text{锥}}$ ：

$$\tau_{\text{锥}} = T_{\text{锥}} - T_{\text{锥}0} \quad (7-2)$$

式中： $T_{\text{锥}}$ 为发热相应力锥处的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{\text{锥}0}$ 为正常相应力锥对应部位温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.2.3 历史比较分析

电缆终端某相应力锥处发热时，与该相终端的基础数据进行比较，即本次的温升值与初次精确检测时的基础温升进行比对，计算温升差值 $\Delta\tau_{\text{锥}}$ ：

$$\Delta\tau_{\text{锥}} = \tau_{\text{锥}} - \tau_{\text{锥}0} \quad (7-3)$$

式中： $\tau_{\text{锥}}$ 为应力锥处本次检测的环境比较温升值，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ；

$\tau_{\text{锥}0}$ 为应力锥处初次检测的环境比较温升值，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.2.4 缺陷判断

应力锥处发热缺陷判断结果参照表 2。

表 2 应力锥处发热缺陷判断

分析方法	判断条件	判断结果
环境比较	$\tau_{\text{锥}} < 1\text{K}$	正常状态
	$1\text{K} \leq \tau_{\text{锥}} < 3\text{K}$	严重状态
	$\tau_{\text{锥}} \geq 3\text{K}$	危急状态
相间比较	$\tau_{\text{锥}} < 2\text{K}$	正常状态
	$2\text{K} \leq \tau_{\text{锥}} < 4\text{K}$	严重状态
	$\tau_{\text{锥}} \geq 4\text{K}$	危急状态
历史比较	$\Delta\tau_{\text{锥}} < 2\text{K}$	正常状态
	$2\text{K} \leq \Delta\tau_{\text{锥}} < 4\text{K}$	严重状态

	$\Delta \tau_{\text{管}} \geq 4\text{K}$	危急状态
--	---	------

7.3.3 尾管

7.3.3.1 环境比较分析

尾管发热按照综合致热原因进行分析，选取尾管以下电缆本体作为环境温度参照，计算尾管处的发热温升 $\tau_{\text{管}}$ ：

$$\tau_{\text{管}} = T_{\text{管}} - T_{\text{本}} \quad (7-4)$$

式中： $T_{\text{管}}$ 为尾管处的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{\text{本}}$ 为尾管以下电缆本体的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.3.2 相间比较分析

电缆终端某一相尾管处发热时，选取正常相尾管温度作为参照温度，计算温差 $\tau_{\text{管}}$ ：

$$\tau_{\text{管}} = T_{\text{管}} - T_{\text{管}0} \quad (7-5)$$

式中： $T_{\text{管}}$ 为发热相尾管处的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{\text{管}0}$ 为正常相尾管处的温度，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.3.3 历史比较分析

电缆终端尾管处发热时，与该相终端的基础数据进行比较，即本次检测的温升值与初次精确检测时的基础温升进行比对，计算温升差值 $\Delta \tau_{\text{管}}$ ：

$$\Delta \tau_{\text{管}} = \tau_{\text{管}} - \tau_{\text{管}0} \quad (7-6)$$

式中： $\tau_{\text{管}}$ 为尾管处本次检测的环境比较温升值，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ；

$\tau_{\text{管}0}$ 为尾管处初次检测的环境比较温升值，单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.3.4 缺陷判断

尾管处发热缺陷判断结果参照表 3。必要时电缆终端尾管处发热分析可以结合接地电阻测量值判断缺陷类型。

表 3 尾管处发热缺陷判断

分析方法	判断条件	判断结果
环境比较	$\tau_{\text{管}} < 1\text{K}$	正常状态
	$1\text{K} \leq \tau_{\text{管}} < 2\text{K}$	严重状态
	$\tau_{\text{管}} \geq 2\text{K}$	危急状态
相间比较	$\tau_{\text{管}} < 1\text{K}$	正常状态
	$1\text{K} \leq \tau_{\text{管}} < 2\text{K}$	严重状态
	$\tau_{\text{管}} \geq 2\text{K}$	危急状态
历史比较	$\Delta \tau_{\text{管}} < 2\text{K}$	正常状态

	$2K \leq \Delta \tau_{\text{管}} < 4K$	严重状态
	$\Delta \tau_{\text{管}} \geq 4K$	危急状态



附录 A
(资料性)
高压电缆终端类型及热像图

高压电缆终端类型可分为户外终端和户内终端，如图 A.1、图 A.2 所示。



图 A.1 500kV 高压电缆户外终端瓷护套图像（左）和红外热像图（右）



图 A.2 110kV 高压电缆户内终端瓷护套图像（左）和红外热像图（右）

附录 B (规范性) 影响红外检测精度的主要因素

B.1 准确选择辐射率后，环境温度将会最大程度的影响测量结果，而太阳的热辐射会导致环境温度升高，终端底部发热，使得电缆终端发热缺陷不明显，见图 B.1。

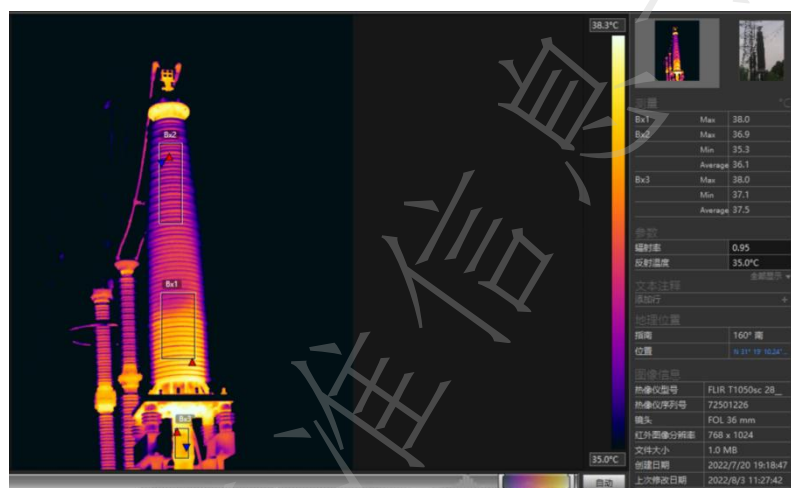


图 B.1 热辐射导致终端底部发热

B.2 户内散热不理想例如户内顶棚热辐射导致终端上部分温度大于下部分温度，不符合红外图像要求，见图 B.2。

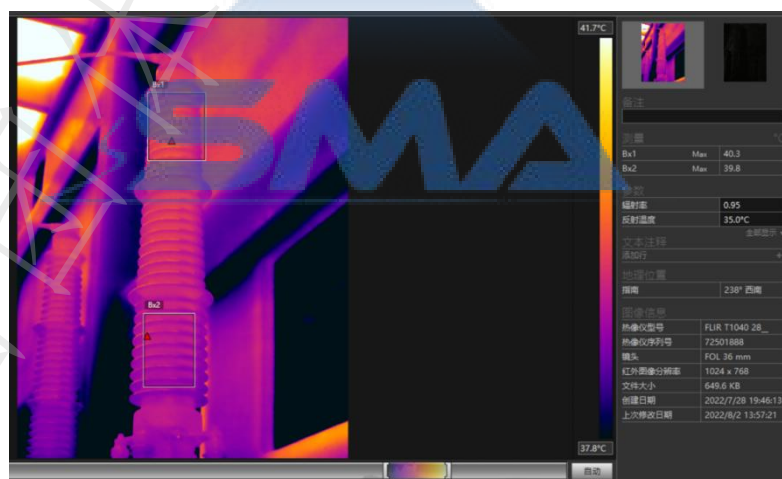







图 B.2 室内顶棚热辐射导致终端上部分温度大于下部分温度

B.3 为减少太阳光热辐射对电缆终端红外测温的影响，提高发热缺陷的检出率，需针对 110（66）kV 户内外电缆终端的红外测温计划进行差异化精益管理：户外终端在迎峰度夏期间完成夜间检测；户内及半室内终端在迎峰度冬期间完成检测。

B.4 影响红外检测精度的主要因素如表 B.1 所示。

表 B.1 影响红外检测精度的五大因素

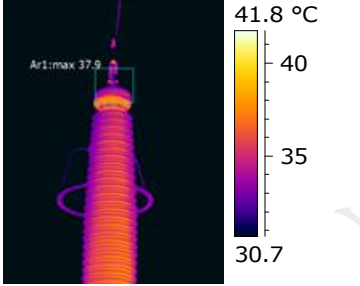
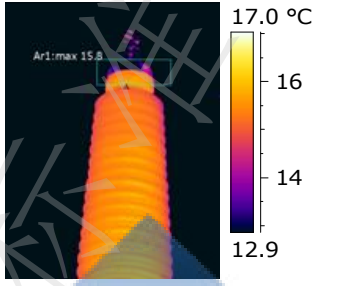
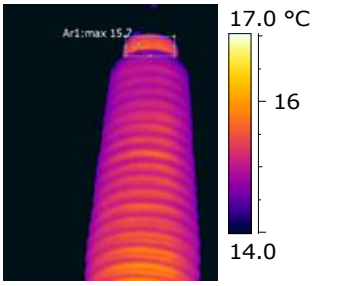
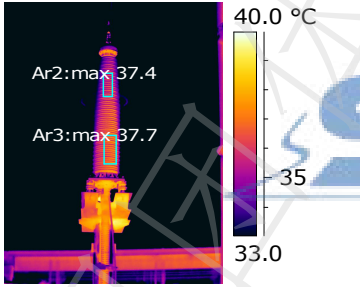
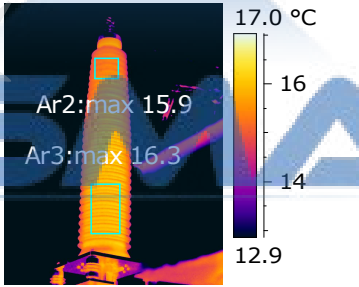
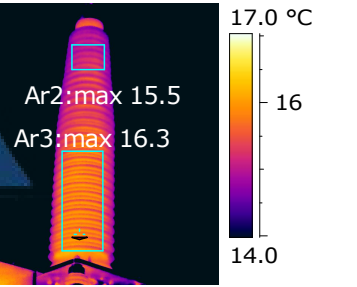
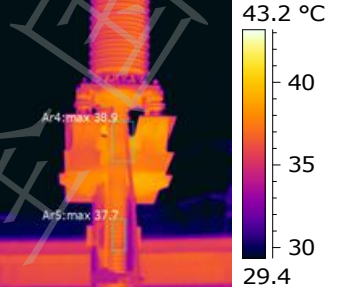
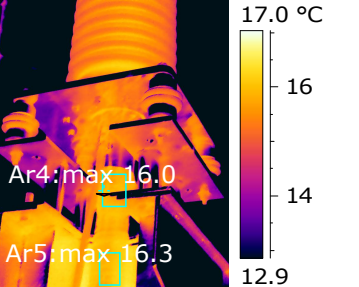
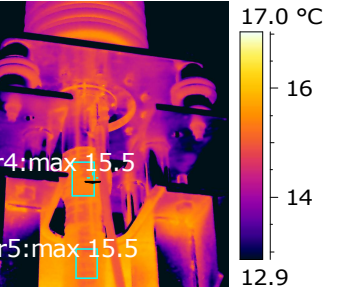
参数	说明	推荐值
 辐射率	辐射率是一个物体发出的辐射量，它是与理论参照物体（称为“黑体”）在相同温度的下的辐射量相比较而得出的	硅橡胶类 0.95；电瓷类 0.92；金属类 0.90
 环境温度	用于补偿由目标反射进热像仪的环境辐射	检测现场实际环境温度
 大气温度	即热像仪与要测量目标之间空气的温度	检测现场实际大气温度
 相对湿度	即热像仪与目标对象之间的空气相对湿度	检测现场实际相对湿度
 测量距离	在保证安全距离的条件下宜尽量靠近被测设备，使被测设备（或目标）尽量充满整个仪器的视场	测量站内目标可设置 3-5 米，站外目标可设 5-12 米
对测量结果的影响程度：辐射率>环境温度>大气温度>相对湿度>测量距离		

附录 C
(资料性)
红外精确检测记录手册

C.1 设备资料

电缆名称	终端位置	电压等级	所属班组	所属地区
终端型号	生产厂家	安装时间	投运年限	

C.2 红外测温

检测地点	检测时间	检测人员	设备	气温	湿度	辐射率
红外图像						
						
						
						
						
						
						
						
						
						

数据		A 相		B 相		C 相	
T ₁ 金具连接处(°C)							
T ₂ 应力锥环境参照(°C)							
T ₃ 应力锥(°C)							
$\Delta t_1 = T_3 - T_2$ (K)	基础温升						
T ₄ 尾管(°C)							
T ₅ 尾管环境参照							
$\Delta t_2 = T_4 - T_5$ (K)	基础温升						
备注:							
结论/处理意见:							
编写人员		审核人员		编写日期			



附录 D
(资料性)
红外精确检测典型案例

红外热像检测发现某 220kV 电缆尾管发热缺陷

D.1 案例经过

运维人员在日常巡检中，对某 220kV 电缆终端进行红外热像检测，发现该终端 A 相附件尾管处存在局部发热现象，随即申请停役。

停电后，检查发现：A 相终端尾管封铅结开裂，尾管内部进潮明显。经加热去潮、重新封铅、绝缘密封处理后，相关消缺作业完成，停役工作结束，投运汇报，送电。恢复运行 48 小时后，再次对该电缆终端进行红外复测无异常，缺陷消除。

D.2 检测分析方法

D.2.1 检测经过

巡视当天，现场环境气温 35℃、湿度 60%，对某 220kV 电缆终端进行红外热像检测，如图 D.1 所示，辐射率 ϵ 取 0.95，各相尾管测温参数如表 D.1 所示，初步判断 A 相电缆终端尾管存在异常。

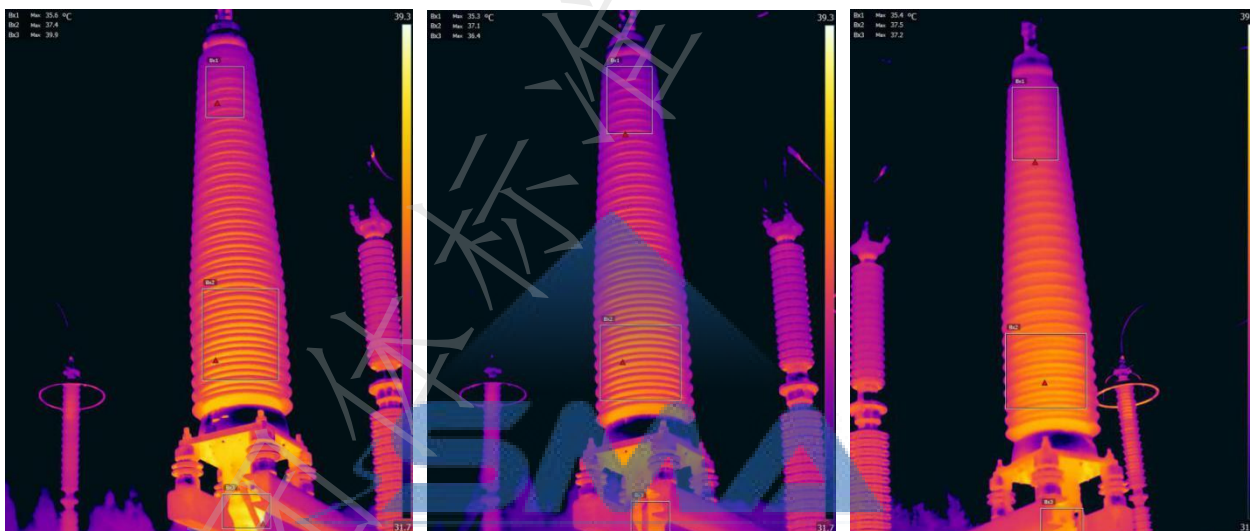


图 D.1 某 220kV 电缆终端初次检测时 A、B、C 相红外热像

表 D.1 各相尾管消缺前后温度参数（单位：℃）

检测安排	A 相	B 相	C 相	环境温度	最大温差	判断结果
初次检测	44.5	36.4	37.2	35.4	7.3	异常
缺陷前复测	35.5	33.6	33.7	32.2	1.9	异常
消缺后复测	34.5	34.2	34.3	33.2	0.3	正常

为确保故障分析判断的准确性，运维人员于一周后，对该 220kV 电缆终端再一次进行红外热像的复测。如图 D.2 所示，各相尾管测温参数如表 D.1 所示，A 相终端尾管封铅依然存在局部发热，根据以上复测数据，得出结论：A 相电缆终端尾管存在缺陷，应立即安排停电消缺。



图 D.2 某 220kV 电缆终端缺陷前复测时 A、B、C 相红外热像

D.3 停电消缺

D.3.1 消缺安排

检查三相电缆终端尾管封铅是否有较明显开裂、尾管内部是否进潮、铝护套是否有腐蚀现象。

D.3.2 现场检查

消缺中发现如图 D.3 所示，该 220kV 电缆 A 相终端未按照作业指导书施工，尾管封铅质量不合格，多处开裂，不能和铝护套贴合密实，导致潮气沿裂缝进入尾管内部，致使终端尾管发热。



图 D.3 某 220kV 电缆终端消缺照片

D.3.3 消缺过程

经加热去潮、重新封铅、绝缘密封处理后，完成相关消缺作业，停役工作结束，投运汇报，送电。

D.4 红外复测

该电缆送电投运后，对原缺陷相终端进行红外复测，复测时现场环境气温 36℃、湿度 50%。该 220kV 电缆 A 相终端的红外热像如图 D.4，各相尾管测温参数如表 D.1 所示。电缆终端设备正常，无异常热像，

缺陷已消除。

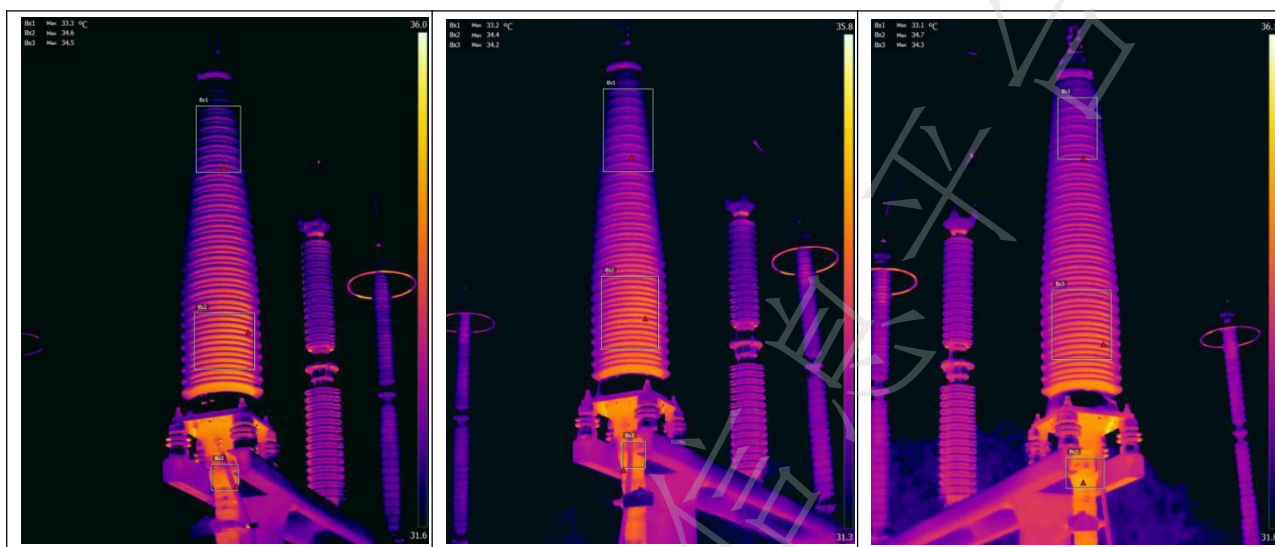


图 D.4 某 220kV 电缆终端消缺后复测时 A、B、C 相红外热像

D.5 经验总结

D.5.1 本案例为 220kV 超高压输电电缆终端尾管封铅施工工艺不良引起的缺陷，封铅多处开裂，导致潮气沿裂缝进入尾管内部，致使终端尾管发热。

D.5.2 220kV 超高压输电电缆作为区域主要上级电源，在迎峰度夏期间用电负荷攀升，运维人员应和调度保持联络确定该电缆运行负荷高低，以便结合运行状况合理安排检测时间。

D.5.3 通过红外热像检测技术，选择夜间拍摄，将环境因素影响降到最低，可以及时发现设备内部缺陷，消除内在隐患，是一种有效的带电检测手段。

SMA

参 考 文 献

- [1] DL/T 1253-2013 电力电缆线路运行规程.

