

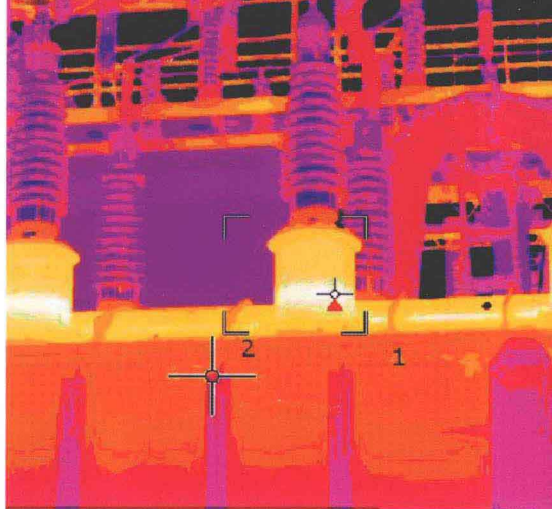
电力设备 红外诊断 技术与应用

DIANLI SHEBEI

HONGWAI ZHENDUAN

JISHU YU YINGYONG

胡红光 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力设备红外诊断 技术与应用

胡红光 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 摘 要

本书根据电力设备运行特点,结合典型案例,介绍了电流致热型、电压致热型、综合致热型设备的红外诊断要领,电力设备红外诊断的缺陷判别标准,设备缺陷的闭环管理与应急处理方法等,并介绍了红外热像仪与数码相机的操作技巧。本书理论联系实际,内容与形式有机结合;取材精、概念清、实用性强;图文并茂、通俗易懂。

本书可作为 DL/T 664—2008《带电设备红外诊断应用规范》的学习辅导教材,也可供各级供电公司、发电厂、大型厂矿、铁路电力工程技术人员和基层配电单位的电工、国内外红外热像仪厂家参考使用,也可作为各大电力院校培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力设备红外诊断技术与应用/胡红光编. —北京:中国电力出版社, 2012. 3

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2790 - 0

I. ①电… II. ①胡… III. ①电力设备 - 红外线检测
IV. ①TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 039461 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

2012 年 8 月第 2 版 2012 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 9.5 印张 156 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 委 会

主 任	陈献伟	马 伟		
副主任	刘社民	曹志超		
委 员	韩学军	孟宪明	刘继安	秦文韬
	王 雷	楚明月	路改强	赵小燕
	楚长鯤	王江力	王 勇	陈章堂
	谢红升	盛进平	张岫玉	刘 敏
	刘军杰	杜立江	刘玉海	张中宽
	胡亚童	宋晓军	张建华	麻峰杰
	田进虎	刘海涛	董文利	仇亚军
	王惠茹	闫子云	李志刚	陈亚飞
	王 蕊	吕瑞林	孔方圆	周 阳
	胡亚飞			

前 言

随着我国国民经济持续稳定发展，电力生产规模也不断扩大，国家对电力生产的安全性、稳定性要求越来越高，人民对电力需求的依赖性越来越强。但是，电力系统因高压设备发热引起的事故仍频繁发生，困扰着电力生产管理者，并在不断缴纳设备事故的昂贵学费。

电力红外诊断具有不停电、不取样、非接触、操作安全等优点，可以实时、快速、准确对电力设备进行状态监督，覆盖所有电气设备各种故障的诊断。通过对设备缺陷的闭环管理，开展状态检修，可有效地避免设备从初始发热状态到故障状态演变过程中突发事件的发生，以确保电网和设备的安全运行，保障安全效益与社会效益。

2008年，国家发展和改革委员会发布了 DL/T 664—2008《带电设备红外诊断应用规范》，促进了红外诊断工作的标准化、规范化。2009年10月，在西安举行的“国家电网公司高压技能竞赛”中，红外诊断被列为其中一个重要参赛项目。全国各供电公司积极推广红外诊断技术，建立了相应的评判标准和运行管理体系，培养一支严谨求实的专业红外诊断队伍也愈显重要。

本书以 DL/T 664—2008 内容为主线，以输变电设备红外诊断案例为骨架，形式生动、内容翔实，有助于广大读者的学习与提高。本书在编写过程中，得到了河南省电力公司濮阳供电公司及变电运行部、生产技术部、科技信息部领导的大力支持；一些供电单位、专家也热心提供了典型设备缺陷红外热像资料；王江力、王勇、秦旷等电力技术专家及河南省电力工业学校领导对本书的编写给予了帮助与指导，在此表示诚挚的谢意。

由于时间仓促，本人水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 红外热像仪的操作与维护 / 1

- 第一节 红外热像仪的工作原理及应用 / 1
- 第二节 红外热像仪的结构与功能 / 3
- 第三节 红外热像采集操作流程 / 5
- 第四节 辐射率设定方法及技巧 / 9
- 第五节 距离参数设定方法及技巧 / 12
- 第六节 其他参数设定方法及技巧 / 15
- 第七节 红外热像与红外热像仪的管理 / 22

第二章 输变电设备的红外诊断 / 27

- 第一节 输变电设备的运行特点与红外诊断原理 / 27
- 第二节 输变电设备过热故障原因及红外诊断重点部位 / 28
- 第三节 输变电设备红外诊断基本要求 / 35
- 第四节 变电站设备红外诊断策略 / 38
- 第五节 变压器重点部位红外诊断 / 39
- 第六节 变压器微机保护及电流互感器二次回路的红外诊断 / 48

第三章 电流致热型设备缺陷判据与实例分析 / 56

- 第一节 电流致热型设备红外诊断要领及步骤 / 56

- 第二节 电流致热型设备常见发热故障及图示 / 59
- 第三节 电流致热型设备的红外诊断方法 / 62
- 第四节 电流致热型一次、二次设备缺陷的判断及处理 / 69
- 第五节 电流致热型设备缺陷的红外热像与状态评估 / 71
- 第六节 电流致热型设备典型故障分析 / 79

第四章 电压致热型设备缺陷判据与实例分析 / 88

- 第一节 电压致热型设备红外诊断要领及步骤 / 88
- 第二节 电压致热型设备常见发热故障及图示 / 90
- 第三节 电压致热型设备与综合致热型设备的红外诊断方法 / 93
- 第四节 电压致热型设备与综合致热型设备缺陷的判断及处理 / 96
- 第五节 电压致热型设备缺陷的红外热像与状态评估 / 99
- 第六节 综合致热型设备缺陷的红外热像与状态评估 / 106
- 第七节 电压致热型设备与综合致热型设备典型故障分析 / 111

第五章 数码可见光照片与红外热像的配合技巧 / 118

- 第一节 数码可见光照片的必要性与基本像素单元 / 118
- 第二节 焦距与视角 / 119
- 第三节 数码相机与红外热像仪的配合 / 121
- 第四节 电力设备摄影构图技巧 / 127

附录 A 课堂红外诊断练习 / 129

参考文献 / 141

红外热像仪的操作与维护

第一节 红外热像仪的工作原理及应用

一、红外热像仪的工作原理

红外热像仪的工作原理是利用红外探测器、光学成像物镜和光机扫描系统，接受被测目标的红外辐射能量分布图形，反映到红外探测器的光敏元件上，通过光机扫描机构对被测物体的红外热像进行扫描，并聚焦在分光探测器上，由探测器将红外辐射能转换成电信号，再经放大处理、转换到监测器，显示红外热像图。其原理示意图如图 1-1 所示。

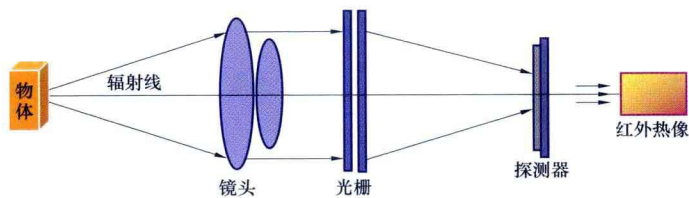


图 1-1 红外热像仪原理示意图

红外热像仪适用于工业领域各类设备的检测，是通过红外光学系统、红外探测器及电子处理系统，将物体表面红外辐射转换成可见图像的设备。它具有测温功能，具备定量绘出物体表面温度分布的特点，将灰度图像进行伪彩色编码。

二、红外热像仪的应用

电力设备过热故障预知性红外诊断，在电力系统状态评价和设备状态检修中的作用十分重要，红外热像仪被证明是节约资金的诊断和预防工具。1965年红外热像仪最早用于瑞典国家电力局，1975年中国上海电力工业局引进了第一套红外热像仪。通过对输变电设备的热缺陷进行探测，如对变压器、高压套管、断路器、隔离开关、互感器、电力电容器、避雷器、电力电缆、母线、导线、二次回路、组合电器、绝缘子、低压电器等具有电流、电压致热效应或综合致热效应电力设备的诊断。对于及时发现、处理设备缺陷，预防重大设备事故的发生，起到了非常关键而有效的作用。

红外热像仪能够将探测到的热量精确量化，对发热的故障区域进行准确识别和细致分析，从而可以有效防止电力设备故障和计划外断电事故的发生；可以从安全的距离测量电力设备的表面温度，将其转换生成红外热像和温度数值，准确反映在显示器上。依此可以对设备异常运行的温度值进行计算，确定缺陷类别。这些特点使其成为电力设备状态检修与运行操作与巡视中不可缺少的监督工具。

三、红外热像

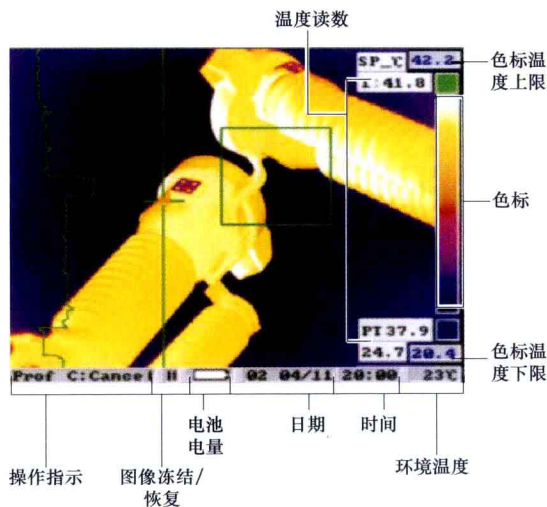


图 1-2 红外热像仪液晶屏显示信息示意图

红外热像仪液晶屏显示信息含义如图 1-2 所示。

(1) 红外热像及背景。主要显示电力设备正常运行部位与发热点位置色彩，靠不同色彩区分电力设备的异常与正常部位。

(2) 色标。由色标条状色彩、色标温度上限与色标温度下限组成。色标的条状色彩与整幅红外热像的各区域温度色彩对应。蓝色为低温区域，铁红色为正常温度

区域，黄色为温度变化区域，白色为最高温度区域（即热点所处的位置）。色标从上至下显示温度变化由高到低。

（3）温度读数。红外热像仪液晶屏右上角、右下角不断变化的温度信息分别显示发热点的最高温度、最低温度。

（4）其他信息。液晶显示屏下部显示的信息还有环境温度、电池电量、日期、时间、辐射率等。

第二节 红外热像仪的结构与功能

一、红外热像仪的结构

红外热像仪由器身（含内部测量元件及感光、成像系统等）、回车键（操纵杆）、A 键、S 键、C 键、电源开关、内置目镜、外视屏、镜头、电池仓、CF 卡、手柄带等组成，通过各按钮的协调配合操作，完成对电力设备发热点红外热像的采集存储任务，进行开机与关机的操作，见图 1-3。

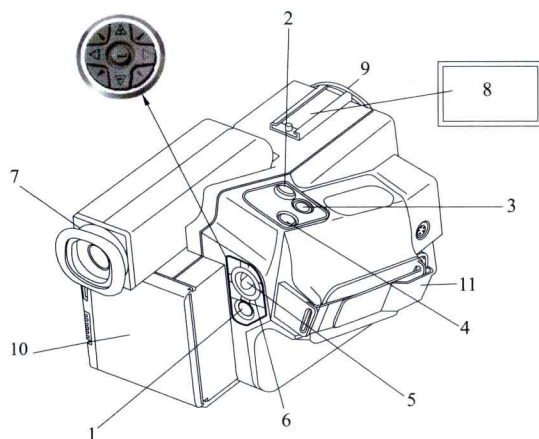


图 1-3 红外热像仪结构示意图

- 1—电源开关；2—A 键；3—S 键；4—C 键；5—回车键；6—功能键盘；7—内置目镜；
8—外视屏；9—镜头；10—电池仓（内装 CF 卡、电池）；11—手柄带

二、红外热像仪操作按钮及部件功能

（一）电源开关

电源开关标注为 ON/OFF（开/关），按一下可打开红外热像仪；按住并保持 2s，可关掉红外热像仪。

（二）正常操作键

1. A 键

（1）按 A 键是自动对亮度和对比度进行调节。

（2）按住 A 键保持 1s 可自动对检测的发热目标聚焦，调节屏幕中热像的相对清晰度、温度对比和底色亮度。例如，在诊断了温度较高的变压器以后，又去诊断温度较低的电压互感器时，按 A 键可以改变原来的变压器温度显示和底色亮度，使当前电压互感器红外热像处于图像清晰、温度测量适宜状态。

2. S 键

（1）轻按一下可将一幅图像冻结在冻结模式。

（2）长按 S 键 1s，即可存储一幅图像到 CF 卡。在看到液晶屏红外热像已保存信息后，即行松开 S 键，防止重复保存图像。

（3）在冻结模式，再轻按一下 S 键可以解除冻结图像，激活的画面回到活动模式。

3. C 键

（1）按 C 键可退出对话框，未改变设置。

（2）按 C 键两次可退出编辑模式。

（3）如果热像仪处在手工调节模式，则按 C 键后，可通过移动操纵杆来改变电平值和温宽值。

（三）功能键盘

（1）功能键盘主要分为 5 部分：回车键“←”、上键“+”、下键“-”、左键、右键。按上/下键的指示箭头或左/右移动指示箭头，可转换菜单与对话框。

（2）在开机后系统检测运行，设置菜单时回车键“↵”的操作为：按一下“回车键”可显示系统菜单；再按一下“回车键”可显示系统菜单子目录；第 3 次按“回车键”可退出系统菜单。

(3) 诊断设备发热点状态下，回车键“↵”的操作为：按“+”、“-”键，进行远、近距离调焦。按“+”进行远距离取图调焦；按“-”进行近距离取图调焦；按左、右键进行放大与缩小图像（向右放大，向左缩小）。

(四) 内置目镜与外视屏

1. 内置目镜

为防止阳光干扰图像显示效果，红外热像仪设有 1.5in 内置目镜，从内部观察图像的变化；内置目镜设在机壳里，外面有一个调节按钮，根据眼睛的屈光度，伸缩调节目镜的焦距，使观看的图像清晰；屏幕下方还有日期和时间、电池电量、环境湿度、色标温度、发热点温度等内容显示。

2. 外视屏

红外热像仪设有外视屏，外视屏是为了诊断时方便从外部观察图像，更清晰地读取图像数据。外视屏使用有两种操作方式：

- (1) 位置固定的外视屏与红外热像仪一体使用。
- (2) 手柄也有功能键盘供操作中使用，另一种将手柄放置热像仪上部，也可以取下来，手拿外视屏作业。

(五) 其他部件

- (1) 镜头是采集红外光物件数据的重要配件，部分镜头具有手动变焦功能，红外诊断中需要重点保护。
- (2) 电池仓内装有电池和 CF 卡，使用时拆、卸电池与 CF 卡，可根据需要进行。
- (3) 手柄带是为了安全稳定的操作，握持红外热像仪的辅助带。

第三节 红外热像采集操作流程



一、红外热像仪数据存取操作流程

红外热像仪进行设备红外诊断主要分为 7 部分（见图 1-4），即开机、调整热像参数、采集电力设备发热数据、红外诊断完毕关机、连接计算机打开热像文件、计算机存储红外热像、删除 CF 卡红外热像并准备下次红外诊断。

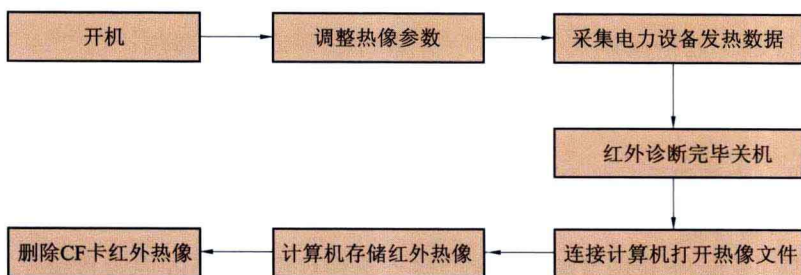


图 1-4 红外热像仪数据存取操作流程示意图

二、红外热像数据存取操作要领

1. 开机及开机后注意事项

(1) 现场红外诊断工作准备好后，按电源键 2s 开机，液晶屏大约 5s 就会显示启动状态，20s 完成启动过程。初始启动状态是英文的，完成机器自身的调试后，对内置黑体和对比度进行调节。注意开机时不要反复按电源键。

(2) 全部启动后，屏内显示的记录是上次测温的参数。屏幕内正常应设置一个“十”字高温点捕捉，或根据设备红外诊断需要设置中间点测温（区域功能）。开始测温时，红外热像中有移动的“十”字点，是最高温度自动捕捉点，可以把它设置为最高温/最低温捕捉点。

(3) 观察图像上部色标，最高温度即是当前诊断到的“十”字热点温度。观察图像，寻找可疑问题点，可将方框对准诊断目标的重点部分，默认光标将自动追踪，显示温度最高/低点；若想重点观察某一点，可将“十”字光标对准此点进行点温测量。

2. 调整被诊断设备的参数

(1) 熟练掌握发射率调整参数，根据发热设备材料正确选择辐射率，如铜质材料辐射率为 0.6、电瓷辐射率为 0.9 ~ 0.92。

(2) 调整诊断距离，如对全部设备扫描时，距离按照室外设备 15m 选择（能摄取设备的三相红外热像为宜）；发现缺陷后需要拍摄设备局部红外热像时，按照拍摄清晰图像的实际需要，将距离调整为 3 ~ 5m。

(3) 对于电压致热型设备的红外诊断，色标参数的调整根据电压致热型

设备的红外诊断需要进行；对于电流致热型设备的红外诊断，一般不频繁进行色标参数的调整。

3. 实时采集、保存设备发热点热像

- (1) 保存图像清晰、数据准确的设备发热缺陷红外热像。
- (2) 保存完整的设备发热缺陷红外热像。
- (3) 保存有局部特写的设备发热缺陷红外热像。

4. 红外热像仪关机与数据保存

- (1) 红外热像仪关机后，取出 CF 卡，将其装入读卡器。
- (2) 连接计算机，将 CF 卡文件夹复制存储到计算机桌面，并建立以某变电站为标志的文件名。
- (3) 打开 CF 卡文件，查看各编号序列的红外热像的完整性，应无丢失、无损坏。
- (4) 在计算机数据存储盘内编辑、保存 CF 卡内的红外热像。
- (5) 在移动硬盘内保存本次作业的红外热像文件。

5. 删除 CF 卡内红外热像数据

- (1) 打开 CF 卡红外热像文件夹，删除 CF 卡红外热像文件，或用 FAT 方式将其格式化。
- (2) 打开计算机“属性”栏目，检查 CF 卡内存储空间是否为零。如果 CF 卡内有文件存储空间，应视为病毒文件，并对该盘格式化，以备下次红外诊断时正常使用。

三、红外热像仪的水平栏窗口菜单内容

按下功能键中间按钮，可显示“文件”、“分析”、“图像”、“设置”四个菜单的窗口，如图 1-5 所示，其中各项所含内容如下。

1. “文件”栏

“文件”栏包括打开、保存、删除、录制语音、文字注释等内容。例如选择“打开”，左下角将出现发热点 1 号红外热像；再向右翻转按键，将显示发热点 2 号红外热像。

2. “分析”栏

“分析”栏包括分析参数、区域分析、点分析、直线分析、等温分析和清除分析。



图 1-5 红外热像仪水平栏窗口菜单示意图

(1) “分析参数”内容包括目标参数（设置目标、辐射率、距离）和环境参数（环境温度、湿度、比较目标、参考目标、参考温度）。

(2) “区域分析”包括区域一、区域二、区域三等。

(3) “点分析”包括点一、点二、点三、最高温度等。在操作时用得最多的是“点分析”，可以显示发热点的最高温度，也可设置多点分析。

(4) “直线分析”。局部发热区域温度通过直线标尺测量以曲线形式表现出来。

(5) “等温分析”。在“分析”菜单栏内可以找到“等温分析”，按回车键确认，则等温线就会被加到图像里，“等温分析”结果就会出现在屏幕右上角上的表里；再进入编辑模式，可以通过上/下移动操纵杆改变等温温度。若要退出编辑模式，则按 C 键两次，按住操纵杆保持一会儿，将会出现一个快捷菜单。

(6) “清除分析”。利用“清除分析”可以随时清除以上各类分析的选项。

3. “图像”栏

“图像”栏内容包括手动调节、自动调节、冻结图像、画中画、打开激光、仅显图像。如其中手动调节包括色温中值、色温范围、测温范围、滤镜区域二、区域三等；操作中再找到“测温范围”栏，显示测温范围：① -40 ~ 150℃，滤镜关（off）；② 测温范围 120 ~ 650℃，滤镜开（on），各红外厂家“测温范围”设定不一致操作者可根据实际需要进行选择。

4. “设置”栏

“设置”栏包括保存设置、分析设置、图像设置、系统设置、其他等

内容。

(1) 图像设置包括自动调节、连续调节、伪彩选择、饱和颜色、窗口风格。

(2) 在分析设置中，可以对自动捕捉点的类型、报警的温度和报警功能的开关进行设置。自动捕捉点的设置，可以帮助作业者快速、准确寻找发热点，提高诊断效率及缺陷的识别效率。

第四节 辐射率设定方法及技巧

一、辐射率的定义

辐射率（也称发射率）是依据物体本身的温度辐射出能量的能力，描述被测物体辐射能力的参数。

二、辐射率设定的必要性

电力设备常用材料辐射率的参数各不相同，辐射率参数必须在红外诊断前设置进去，如氧化黄铜的辐射率为 0.59 ~ 0.61，强氧化铝的辐射率为 0.30 ~ 0.40，电瓷的辐射率为 0.90 ~ 0.92。对电力设备进行一般性红外诊断时，红外热像仪的辐射率设为 0.91 为宜。

需要进行精确红外诊断时，根据电力设备的主导材料发热点状态进行辐射率调整。如果在采集设备发热缺陷的红外热像时，辐射率没有按照发热点主导材料的辐射率设定，那么红外热像所采集的温度值与实际发热温度值会有差别，影响对温度的准确判断。例如，电力设备常用的材料如铜、铝、铁、瓷质等的发射率不一样，如果使用瓷质的辐射率去采集铝的发热点温度，读取的温度结果会有很大差别。在红外诊断过程中，由于辐射率对精确测温影响很大，因此必须选择正确的辐射率系数。

三、辐射率的设定方法

在红外热像仪“水平栏菜单区域”内找到“分析”栏，在其中找到“辐

射率”，按功能键盘的回车键确定，然后打开“辐射率”栏目后，即可调整不同辐射率的参数。

四、辐射率的设定案例

1. 辐射率四挡位调整变化案例

在某变电站对隔离开关触头进行发热缺陷鉴定时，辐射率调整参数不同，红外热像会显示不同辐射率的误差，造成诊断的触头发热温度不准确。图 1-6 ~ 图 1-9 所示红外热像是红外诊断隔离开关时，辐射率调整为不同的四个挡位，显示的同一发热点不同温度变化数据。触头材料按氧化黄铜的辐射率设置辐射率为 0.6，所读取的正确温度值应为 110℃，而辐射率定在 0.91 时，发热温度为 85.3℃。

(1) 隔离开关刀口辐射率定在 1 时，发热温度为 81.6℃，如图 1-6 所示。

(2) 隔离开关刀口辐射率定在 0.91 时，发热温度为 85.3℃，如图 1-7 所示。



图 1-6 辐射率定在 1 时的
红外热像（温度 81.6℃）



图 1-7 辐射率定在 0.91 时的
红外热像（温度 85.3℃）

(3) 隔离开关刀口辐射率定在 0.6 时，发热温度为 110℃，如图 1-8 所示。

(4) 隔离开关刀口辐射率定在 0.3 时，发热温度为 168℃，如图 1-9 所示。