

# 气体绝缘金属封闭开关设备 带电检测方法与诊断技术

国网河南省电力公司检修公司 组编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 气体绝缘金属封闭开关设备 带电检测方法与诊断技术

国网河南省电力公司检修公司 组编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

为了强化气体绝缘金属封闭开关设备带电检测工作,规范现场带电检测现场作业,国网河南省电力公司检修公司组织编制本书,指导基层班组开展带电检测工作。

本书包含六章,对红外热成像检测、SF<sub>6</sub> 气体定性检漏、局部放电带电检测(超声波法)、局部放电带电检测(特高频法)、SF<sub>6</sub> 气体分解物检测、SF<sub>6</sub> 气体湿度检测进行了详细的介绍。

本书可作为电力系统运行检修专业人员及技术管理人员阅读、培训、自学用书,也可供相关专业人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

气体绝缘金属封闭开关设备带电检测方法 with 诊断技术/国网河南省电力公司检修公司组编. —北京:中国电力出版社,2016.12

ISBN 978-7-5198-0257-8

I. ①气… II. ①国… III. ①气体绝缘-金属封闭开关-带电测量 IV. ①TM564②TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 321908 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>)

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 12.5 印张 209 千字

印数 0001—1500 册 定价 66.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

## 编 委 会

主 编 李大鹏

副 主 编 吴加新 郝曙光 沈 辉

参编人员 许东升 董武亮 王来军 王 敏

曲 欣 李 璐 鲁 永 汪 涛

牛田野 赵胜男 郭海云 陈邓伟

马晓娟 徐幻南 赵秀娜 王 栋

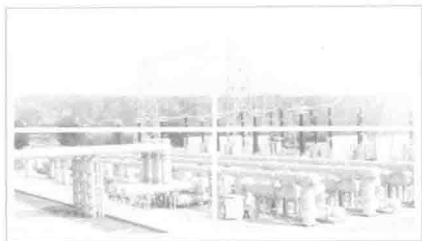
郑含博 邵颖彪 蒲兵舰 曲永政

齐超亮 宋 鑫 张劲光 王晓辉

库永恒 张嘉涛 侯慧卿 陈炳华

罗道军 吴 冷 崔 峰 石生智

李许静

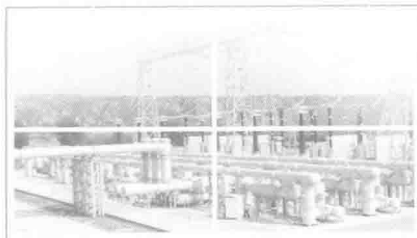


## 前言

带电检测是及时发现气体绝缘金属封闭开关设备缺陷、防范设备事故、保证电力系统安全运行的有效手段，是气体绝缘金属封闭开关设备运行和维护工作中必不可少的一个重要环节。为了强化气体绝缘金属封闭开关设备带电检测工作，规范带电检测现场作业，国网河南省电力公司检修公司组织编制本书，指导基层班组开展带电检测工作。手册的编写在参照国家标准、行业标准、国家电网公司标准及相关技术规范、规定的基础上，充分考虑了检修公司的实际情况。

本书对红外热成像检测、 $\text{SF}_6$  气体定性检漏、局部放电带电检测（超声波法）、局部放电带电检测（特高频法）、 $\text{SF}_6$  气体分解物检测、 $\text{SF}_6$  气体湿度检测的适用范围和检测依据、检测原理、技术要求、仪器要求、检测方法、判断标准、注意事项、报告模板等方面内容进行了详细的规范，可用于指导气体绝缘金属封闭开关设备的带电检测工作。

本书可作为电力系统运行检修专业人员及技术管理人员阅读、培训、自学用书，也可供相关专业人员参考。



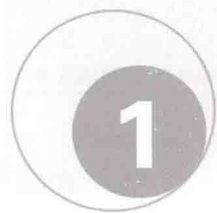
# 目 录

## 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>1 红外热成像带电检测</b>             | 1  |
| 1.1 适用范围和检测依据                  | 2  |
| 1.2 检测原理                       | 2  |
| 1.3 技术要求                       | 5  |
| 1.4 仪器要求                       | 9  |
| 1.5 检测方法                       | 9  |
| 1.6 判断标准                       | 23 |
| 1.7 注意事项                       | 28 |
| 1.8 报告模板                       | 29 |
| 1.9 红外热成像现场检测工序质量控制卡           | 32 |
| <b>2 SF<sub>6</sub> 气体定性检漏</b> | 37 |
| 2.1 适用范围                       | 38 |
| 2.2 检测原理                       | 38 |
| 2.3 技术要求                       | 41 |
| 2.4 仪器要求                       | 43 |
| 2.5 检测方法                       | 44 |
| 2.6 判断标准                       | 52 |
| 2.7 注意事项                       | 58 |
| 2.8 报告模板                       | 62 |
| <b>3 超声波局部放电带电检测</b>           | 65 |
| 3.1 适用范围和检测依据                  | 66 |
| 3.2 检测原理                       | 66 |

|          |                                  |            |
|----------|----------------------------------|------------|
| 3.3      | 技术要求                             | 69         |
| 3.4      | 仪器要求                             | 70         |
| 3.5      | 检测方法                             | 71         |
| 3.6      | 判断标准                             | 80         |
| 3.7      | 注意事项                             | 86         |
| 3.8      | 报告模板                             | 87         |
| 3.9      | 超声波局部放电现场检测工序质量控制卡               | 90         |
| <b>4</b> | <b>特高频局部放电带电检测</b>               | <b>93</b>  |
| 4.1      | 适用范围和检测依据                        | 94         |
| 4.2      | 检测原理                             | 94         |
| 4.3      | 技术要求                             | 96         |
| 4.4      | 仪器要求                             | 101        |
| 4.5      | 检测方法                             | 104        |
| 4.6      | 判断标准                             | 120        |
| 4.7      | 注意事项                             | 126        |
| 4.8      | 报告模板                             | 128        |
| 4.9      | GIS 设备特高频局部放电现场检测工序质量控制卡         | 132        |
| <b>5</b> | <b>SF<sub>6</sub> 气体分解物检测</b>    | <b>137</b> |
| 5.1      | 适用范围                             | 138        |
| 5.2      | 检测原理                             | 138        |
| 5.3      | 技术要求                             | 139        |
| 5.4      | 仪器要求                             | 140        |
| 5.5      | 检测方法                             | 141        |
| 5.6      | 判断标准                             | 153        |
| 5.7      | 注意事项                             | 155        |
| 5.8      | 报告模板                             | 157        |
| 5.9      | SF <sub>6</sub> 气体分解物现场检测工序质量控制卡 | 160        |
| <b>6</b> | <b>SF<sub>6</sub> 气体、湿度检测</b>    | <b>163</b> |
| 6.1      | 适用范围                             | 164        |
| 6.2      | 检测原理                             | 164        |

|     |                                       |     |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 6.3 | 技术要求 .....                            | 167 |
| 6.4 | 仪器要求 .....                            | 168 |
| 6.5 | 检测方法 .....                            | 169 |
| 6.6 | 判断标准 .....                            | 180 |
| 6.7 | 注意事项 .....                            | 182 |
| 6.8 | 报告模板 .....                            | 185 |
| 6.9 | SF <sub>6</sub> 气体湿度现场检测工序质量控制卡 ..... | 188 |



# 红外热成像带电检测

## 1.1 适用范围和检测依据

### 1.1.1 适用范围

本章内容涵盖变电站内气体绝缘金属封闭开关（gas insulated switchgear, GIS）设备红外热成像带电检测作业的检测方法、检测流程、技术要求和判断标准等内容，用来指导试验人员开展 GIS 设备的红外热成像带电检测工作，为设备安全稳定运行提供可靠依据，具体适用范围详见表 1-1。

表 1-1 红外热成像带电检测适用范围

| 试验名称 | 红外热成像检测                                    |
|------|--------------------------------------------|
| 试验类型 | 带电检测                                       |
| 设备类型 | 气体绝缘金属封闭开关设备（包括 GIS、HGIS、PASS），罐式断路器也可参照执行 |
| 电压等级 | 所有电压等级                                     |
| 环境要求 | 户内/户外                                      |
| 设备工况 | 带电运行状态                                     |
| 致热类型 | 电流致热型/电压致热型/综合致热型                          |

### 1.1.2 检测依据

DL/T 664—2008《带电设备红外诊断应用规范》

Q/GDW 1896—2013《SF<sub>6</sub> 气体分解产物检测技术现场应用导则》

Q/GDW 1168—2013《输变电设备状态检修试验规程》

Q/GDW 1799.1—2013《国家电网公司电力安全工作规程 变电部分》

国家电网公司生变电〔2010〕11 号《电力设备带电检测技术规范（试行）》

国家电网公司运检一〔2014〕108 号《变电站设备带电检测工作指导意见》

## 1.2 检测原理

### 1.2.1 红外热成像检测基本原理

在电磁波谱中，通常把波长大于  $0.75\mu\text{m}$ （红色光线的波长），小于  $1000\mu\text{m}$  的电磁波称作“红外线”，也称为“红外辐射”，电磁辐射频谱图如图 1-1 所示。自然界一切绝对温度高于绝对零度的物体，不停地辐射出红外线，辐射出的红外线带有物体的温度特征信息，这就是红外技术探测物体温度高低和温度场分布的理论依据和客观基础。

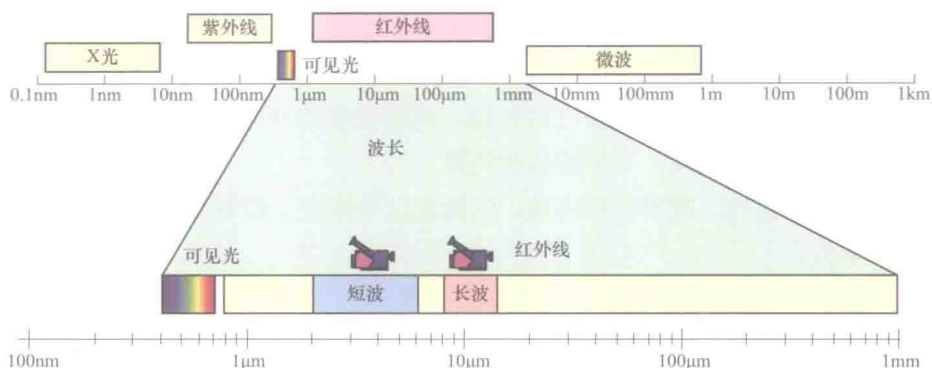


图 1-1 电磁辐射频谱图

红外线在大气中的传播受到大气中的多原子极性分子（如二氧化碳、臭氧、水蒸气等物质分子）的吸收而使辐射的能量衰减，但存在三个波长范围分别为  $1\sim 2.5\mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 、 $8\sim 14\mu\text{m}$  的区域，这些区域红外辐射吸收弱，红外辐射穿透能力强，称之为“大气窗口”。红外热成像检测技术就是利用“大气窗口”使  $\text{SF}_6$  气体成像的，短波窗口为  $1\sim 5\mu\text{m}$ ，长波窗口为  $8\sim 14\mu\text{m}$ 。一般红外线热像仪使用的波段为：短波  $3\sim 5\mu\text{m}$ ，长波  $8\sim 14\mu\text{m}$ 。

物体的温度及表面辐射率（emissivity，简写为  $e$ ）决定着物体的辐射能力。物体温度越高，红外辐射越多，反之，物体温度越低，辐射越低；辐射率也一样，即使物体温度一样，高辐射率物体的辐射要比低辐射率物体的辐射要多。

红外热成像检测的基本原理是通过红外热像仪将物体不可见的红外辐射转换成可见图像。物体的红外辐射经过镜头聚焦到探测器，探测器将产生电信号，电信号经过放大并数字化到热像仪的电子处理部分，再转换成我们能在显示器上看到的红外图像，如图 1-2 所示。

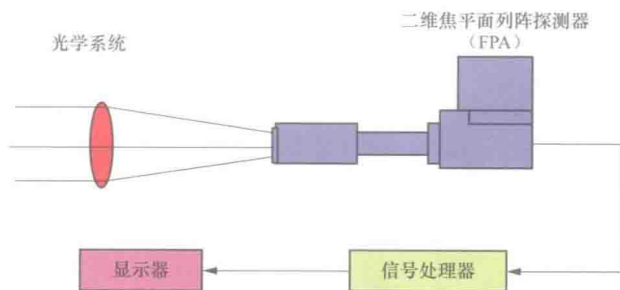


图 1-2 红外图像成像过程

FPA—focal plane array 的缩写，焦平面阵列

## 1.2.2 电力设备红外热成像检测原理

### 1.2.2.1 电力设备发热原理介绍

由于电流、电压或电磁效应的作用，电力设备在正常工作的时候会发热，发热形式包括电阻损耗、介质损耗和铁损。

(1) 电阻损耗。按照焦耳定律，电流通过导体存在的电阻将产生热能，其发热功率为

$$P = K_f I^2 R$$

式中  $P$ ——发热功率，W；

$I$ ——电流强度，A；

$R$ ——电器或载流导体的直流电阻， $\Omega$ ；

$K_f$ ——附加损耗数。

这种发热为电流效应引起的发热。

(2) 介质损耗。电气绝缘介质，由于交变电场的作用，使介质极化方向不断改变而消耗电能并引起发热，由此而产生的发热功率为

$$P = U^2 \omega C \tan \delta$$

式中  $U$ ——施加的电压，V；

$\omega$ ——交变电压角频率；

$C$ ——介质的等值电容，F；

$\tan \delta$ ——介质损耗角正切值。

这种发热为电压效应引起的发热。

(3) 铁损。当在励磁回路上施加工作电压时，由于铁芯的磁滞、涡流而产生电能损耗并发热，这种发热为电磁效应引起的发热。

以上三种发热形式，在设备正常运行时，其热分布图像表现为正常的热分布。若设备出现异常，这些发热机理将加剧或表现异常，则其热分布图像也与正常情况不一样。

### 1.2.2.2 电力设备故障分类

(1) 电气设备外部故障。电气设备的外部故障是指外界可以直接观测到的设备部位发生的故障，包括①长期暴露在大气中的各种裸露电气接头，因接触不良等原因引起的过热故障；②由于表面污秽或机械力作用，引起绝缘性能降低造成的过热故障，如绝缘子劣化或严重污秽，引起泄漏电流增大而发热。

(2) 电气设备内部故障。电气设备的内部故障是指封闭在固体绝缘、

油绝缘以及设备壳体内部的电气回路故障和绝缘介质劣化引起的各种故障，无法像外部故障那样能够从设备的外部直接检测出来。根据电气设备内部结构和运行状态，依据传热学理论，分析传导、对流和辐射三种热传递形式沿不同传热路径的贡献，结合模拟试验与大量现场检测实例的统计分析和解体验证，从电气设备外部显现的温度分布热像图，分析判断与其相关的内部故障。

### 1.2.2.3 GIS 设备红外热成像检测原理

GIS 设备红外热成像检测的重点部位包括罐体、套管、电缆终端、汇控柜及机构箱内二次回路端子等。通过红外热成像检测能发现 GIS 设备的三种类型发热缺陷，即电流致热型、电压致热型和综合致热型。

电流致热型包括罐体内部导电回路接点发热、套管及电缆金属附件接点发热和二次回路端子接触不良发热等。

电压致热型包括避雷器内部缺陷引起发热、瓷质套管表面污秽引起沿面泄漏电流增大发热和电缆终端内部缺陷引发发热等。

综合致热型包括罐体接地排、法兰跨接排和法兰螺栓等位置因电磁效应引发的发热。

## 1.3 技术要求

### 1.3.1 安全要求

GIS 设备红外热成像检测相关安全要求为：

(1) 严格执行 Q/GDW 1799.1—2013《国家电网公司电力安全工作规程 变电部分》。

(2) 检测至少由两人进行，并严格执行保证安全的组织措施和技术措施。

(3) 现场检测过程中应有专人监护，监护人在检测期间应始终行使监护职责，不得擅自离岗位或兼职其他工作。

(4) 应确保检测人员及测试仪器与电力设备的高压部分保持足够的安全距离，以防触电。

(5) 登高测试时做好安全措施，防止高空跌落，防止仪器坠落伤人伤设备。

(6) 在变电装置室入口处若无 SF<sub>6</sub> 气体含量显示器，应先通风 15min，并用检漏仪测量 SF<sub>6</sub> 气体含量合格。

(7) 测试现场出现明显异常情况时（如异音、电压波动、系统接地等），

应立即停止测试工作并撤离现场。

(8) 在移动过程中, 应注意对 GIS 设备的 SF<sub>6</sub> 管道、阀门、压力表及二次走线管道等的防护。

(9) 检测室内设备时, 应随手关门。

(10) 不应在雷、雨、雾、雪等气象条件下进行红外热成像带电检测工作。

(11) 检测汇控柜和机构箱内二次回路端子完毕后, 应随手关柜门。

(12) 检测人员在行进过程中, 应注意观察脚下路况, 避免踏空伤人伤设备, 应做到检测时不移动, 移动时不检测。

(13) 夜间闭灯进行红外热成像检测时, 移动过程中应使用照明工具辅助, 监护人应履行监护职责。

(14) 应严格执行变电站巡视要求。

### 1.3.2 人员要求

对 GIS 设备红外热成像检测相关人员的要求为:

(1) 具有一定的现场工作经验, 熟悉并能严格遵守电力生产和工作现场的相关安全管理规定。

(2) 熟悉红外热成像检测的基本原理、测试程序和缺陷诊断的方法, 了解红外热成像检测仪的工作原理、技术参数和性能, 掌握红外热成像检测仪的操作程序和使用方法。

(3) 了解 GIS 设备的结构特点、工作原理、运行状况和导致设备故障的基本因素。

(4) 熟悉本章内容, 接受过红外热成像检测技术的培训, 并经相关机构培训合格, 具备现场测试能力, 可以对异常信号进行判断, 提出初步处理意见。

### 1.3.3 检测条件要求

#### 1.3.3.1 一般检测要求

GIS 设备红外热成像的一般检测条件要求为:

(1) 被检测设备是带电运行设备, 应尽量避免视线中的封闭遮挡物, 如门和盖板等。

(2) 环境温度一般不低于 5℃, 相对湿度一般不大于 85%; 天气以阴天、多云为宜, 夜间图像质量为佳; 不应在雷、雨、雾、雪等气象条件下进行, 检测时风速一般不大于 5m/s。

(3) 户外晴天要避开阳光直接照射或反射进入仪器镜头, 在室内或晚上检测应避开灯光的直射, 宜闭灯检测。

(4) 检测电流致热型设备，最好在高峰负荷下进行。否则，一般应在不低于 30% 的额定负荷下进行，同时应充分考虑小负荷电流对测试结果的影响。

#### 1.3.3.2 精确检测要求

GIS 设备红外热成像的精确检测除满足一般检测的环境要求外，还需满足以下要求：

(1) 风速一般不大于 0.5m/s。

(2) 设备通电时间不小于 6h，最好在 24h 以上。

(3) 检测期间天气为阴天、夜间或晴天日落 2h 后。

(4) 被检测设备周围应具有均衡的背景辐射，应尽量避免附近热辐射源的干扰，某些设备被检测时还应避开人体热源等的红外辐射。

(5) 避开强电磁场，防止强电磁场影响红外热像仪的正常工作。

#### 1.3.4 检测部位要求

GIS 设备的罐体（包括断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、导体连接部件附近）、套管及金具、电缆终端、汇控柜及机构箱内二次回路端子、罐体接地排、法兰跨接排及连接螺栓等位置均为红外热成像的重点检测部位，如图 1-3 所示。



图 1-3 红外热成像的重点检测部位（一）

(a) 断路器；(b) 隔离开关；(c) 导体连接部位；(d) 电流互感器



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

图 1-3 红外热成像的重点检测部位 (二)

(e) 电压互感器；(f) 避雷器；(g) 套管及金具；(h) 电缆终端；(i) 二次回路端子；  
(j) 罐体接地排；(k) 法兰跨接排；(l) 法兰螺栓

## 1.4 仪器要求

目前在用的红外热成像仪器主要包括制冷型和非制冷型焦平面热像仪、光机扫描型红外热像仪、红外热电视、红外测温仪四类，其中普遍使用的是便携式红外热像仪和手持（枪）式红外热像仪。红外仪器的选择和配置，应根据单位的设备运行检修管理模式、设备电压等级、管理范围和系统规模，以及诊断检测要求等实际情况确定。

### 1.4.1 便携式红外热像仪

便携式红外热像仪能满足精确检测的要求，测量精度和测温范围满足现场测试要求，性能指标较高，具有较高的温度分辨率及空间分辨率，具有大气条件的修正模型，操作简便，图像清晰、稳定，有目镜取景器，分析软件功能丰富。

### 1.4.2 手持（枪）式红外热像仪

手持（枪）式红外热像仪能满足一般检测的要求，有最高点温度自动跟踪，采用 LCD 显示屏，可无取景器，操作简单，仪器轻便，图像比较清晰、稳定。

## 1.5 检测方法

### 1.5.1 检测前准备工作

#### 1.5.1.1 收集 GIS 设备信息

收集被测变电站 GIS 设备信息，包括 GIS 设备一次系统接线图、安装使用说明书、内部结构图、设备铭牌信息、缺陷信息、消缺记录、测温记录和带电检测历史数据等。

#### 1.5.1.2 准备检测仪器、仪表、工器具

准备 GIS 红外热成像检测所需仪器、仪表、工器具，如表 1-2 所示。

表 1-2 GIS 红外热成像检测所需仪器、仪表、工器具

| 名称       | 实物图                                                                                 | 备注               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 红外热成像检测仪 |  | 拍摄、存储设备的红外及可见光图谱 |