

ICS 29.240.01

F 20

备案号: 62415-2018

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1785—2017

电力设备 X 射线数字成像检测技术导则

Directive for X-ray digital radiography of electric power equipment

2017-12-27 发布

2018-06-01 实施

国家能源局 发布

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 检测人员 3

5 检测系统 3

6 安全要求 4

7 检测方法 4

8 图像分析 11

9 图像存储及检测报告 11

附录 A（资料性附录） X 射线数字成像检测现场辐射控制区和辐射监督区的计算方法及其范围 12

附录 B（资料性附录） GIS X 射线数字成像检测典型示例 15

附录 C（资料性附录） 电力设备 X 射线数字成像检测典型图像 22

附录 D（资料性附录） X 射线数字成像检测报告格式 27

前 言

本标准按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会高电压试验技术分技术委员会（SAC/TC 163/SC1）归口。

本标准起草单位：广西电网有限责任公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、国网青海省电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、国网河北省电力公司电力科学研究院、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网浙江省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网湖南省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、通用电气检测控制技术（上海）有限公司。

本标准主要起草人：彭家宁、尹立群、王志惠、雷民、张兴森、何喜梅、陈大兵、于虹、潘瑾、金鑫、李立生、高凯、李世涛、王炯耿、马丽强、刘纯、牛博、徐党国、刘森玉、余也凤。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

电力设备 X 射线数字成像检测技术导则

1 范围

本标准规定了电力设备 X 射线数字成像检测的检测人员、检测系统、安全要求、检测方法、图像分析、图像存储及检测报告等的技术要求。

本标准适用于气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)、瓷柱式断路器、电力电缆及其附件、电力金具的 X 射线数字成像检测。其他电力设备的 X 射线数字成像检测可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GBZ 117 工业 X 射线探伤放射防护要求

NB/T 47013.11—2015 承压设备无损检测 第 11 部分: X 射线数字成像检测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

X 射线数字成像 X-ray digital radiography

一种利用 X 射线数字成像器件, 将穿透工件的 X 射线信息转换成数字灰度图像的技术。

3.2

图像处理 image processing

通过改变数字图像的对比度、亮度等, 提高细节识别能力的数字变换方法。

3.3

平板探测器数字射线照相 digital radiography with flat panel detectors; DR

利用平板探测器将穿透工件的 X 射线信息转换成数字信号, 经过计算机处理后生成数字图像的技术。整个系统由 X 射线机、平板探测器、数字图像处理软件和计算机组成。

3.4

计算机辅助射线照相 computed radiography; CR

利用成像板记录穿透工件后的 X 射线信息, 经过激光扫描装置读取和计算机处理后生成数字图像的技术。整个系统由 X 射线机、成像板、激光扫描装置、数字图像处理软件和计算机组成。

3.5

动态范围 dynamic range

在线性输出范围内, X 射线数字成像系统可采集的最大灰度值与最小灰度值之比。

3.6

分辨率 resolution ratio

单位长度上可分辨两个相邻细节间的最小距离的能力, 用 lp/mm 表示。

[NB/T 47013.11—2015, 定义 3.3]

3.7

灰度等级 gray level

对 X 射线数字成像系统获得的黑白图像明暗程度的定量描述, 它由系统的 A/D 转换器 (模/数转换器) 的位数决定。A/D 转换器的位数越高, 灰度等级越高。例如, A/D 转换器为 12bit 时, 采集的灰度等级为 $2^{12}=4096$ 。

[NB/T 47013.11—2015, 定义 3.8]

3.8

像素 pixel

X 射线数字图像的基本组成单元。X 射线数字图像都是由点组成的, 组成图像的每一个点称为像素。

[NB/T 47013.11—2015, 定义 3.1]

3.9

焦距 F focal distance

沿射线束中心测定的射线源与探测器 (成像板) 之间的距离。

注: DR 使用探测器、CR 使用成像板, 下文涉及两者的摆放位置时只写探测器。

3.10

有效焦点 effective focus

X 射线管中, 电子束轰击阳极靶上的实际面积在射线束中心方向的投影。

3.11

辐射控制区 radiation control area

在辐射工作场所划分的一类区域。在该区域内要求采取专门的防护手段和安全措施, 以便在正常工作条件下能有效控制照射剂量和防止潜在照射。

3.12

辐射监督区 radiation supervision area

辐射控制区以外。通常不需要采取专门的防护手段和安全措施, 但要不断检查其职业照射条件的区域。

3.13

图像灵敏度 image sensitivity

检测系统所能发现的被检工件图像中最小细节的能力。

[NB/T 47013.11—2015, 定义 3.2]

3.14

曝光量 amount of exposure

曝光时间和管电流的乘积, 用 $\text{mA} \cdot \text{s}$ 或 $\text{mA} \cdot \text{min}$ 表示。

3.15

结构性缺陷 structural defect

电力设备各部件的布置和配合存在不满足使用或安全要求的因素。

3.16

几何不清晰度 geometric unsharpness

U_g

透照工件时, 由于 X 射线管焦点的几何尺寸使工件表面轮廓或工件中缺陷的边缘在检测图像上产生的半影宽度。

4 检测人员

4.1 一般要求

4.1.1 检测人员应了解 X 射线数字成像检测技术的基本原理和检测程序，熟悉检测系统的工作原理、技术参数和性能，掌握其操作程序和使用方法。

4.1.2 检测人员应了解与 X 射线数字成像检测技术相关的计算机知识和数字图像处理知识，掌握相应的计算机操作方法。

4.1.3 检测人员应了解被检测设备的结构特点、工作原理、运行状况和导致设备故障的基本因素。

4.2 资质要求

4.2.1 检测人员应掌握辐射安全知识及辐射安全防护措施。

4.2.2 检测人员应熟悉和掌握本标准。

4.2.3 上述条件应经专业培训并考核合格。

5 检测系统

5.1 X 射线机

X 射线机应满足以下要求：

- a) 能量范围可根据焦距和被检部位的透照厚度和材质进行选择。
- b) 有效焦点不宜大于 3mm，且与所采用的探测器相匹配。

5.2 X 射线数字探测器系统

5.2.1 平板探测器数字射线照相（DR）

探测器系统应满足以下要求：

- a) 动态范围不小于 2000:1；
- b) A/D 转换位数不小于 12bit；
- c) 按照探测器系统的具体规定对探测器进行校正。

5.2.2 计算机辅助射线照相（CR）

探测器系统应满足以下要求：

- a) 空间分辨率不低于 4lp/mm；
- b) 扫描仪激光点不大于 50μm。

5.3 计算机系统

5.3.1 硬件系统

计算机系统应与采用的 X 射线数字成像部件相匹配，并依其对性能和速度的要求确定基本配置。宜配备不低于 1GB 容量的内存、不低于 500G 的硬盘、高亮度高分辨率显示器、刻录机以及网卡等。

显示器应满足以下要求：

- a) 亮度不低于 250cd/m²；

- b) 灰度等级不小于 8bit;
- c) 显示器像素点距不大于 0.3mm。

5.3.2 软件系统

计算机软件系统应满足以下要求:

- a) 具备系统校正、图像采集、图像存储、图像处理、几何尺寸测量、缺陷标注、辅助评定和检测报告打印等功能;
- b) 具备叠加降噪、灰度变换和对比度增强等基本数字图像处理功能;
- c) 具备采集图像的浏览和查找功能;
- d) 可存储原始图像, 观察、分析图像时允许相关处理。

5.3.3 检测系统验收与核查

检测系统应具备测试证明文件及合格证书。首次使用前应进行验收, 验收合格后方可使用。

检测系统有改变或停用 30 天后重新启用时应核查系统分辨率, 核查方法按 NB/T 47013.11—2015 附录 A 的规定执行。

6 安全要求

6.1 放射防护

放射防护应符合 GB 18871 和 GBZ 117 的有关规定。

现场进行 X 射线检测时, 应按 GBZ 117 的规定划定辐射控制区和辐射监督区、设置警告标志。检测工作人员应佩戴辐射个人剂量计, 并携带剂量报警仪, 在辐射控制区外操作检测设备。

电力设备 X 射线数字成像检测现场辐射控制区和辐射监督区范围划定可参照附录 A 执行。

6.2 电力安全

检测工作应遵守电力安全工作规程的有关规定, 当检测条件符合作业安全要求时方可进行。

7 检测方法

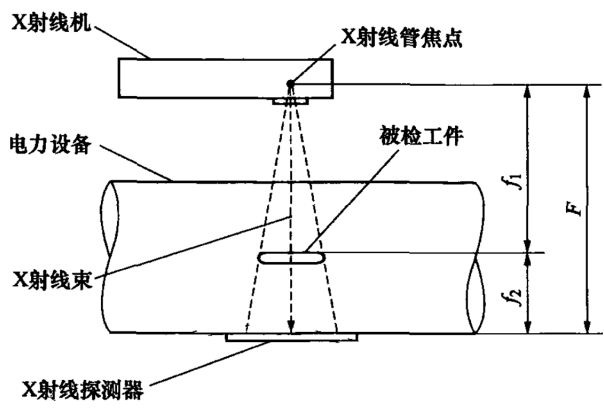
7.1 一般要求

7.1.1 透照布置

透照布置时, X 射线机和 X 射线探测器应分别放置在电力设备被检部位的两侧。X 射线机、被检工件和 X 射线探测器三者之间的相互位置如图 1 所示。透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心, 但若采用其他透照角度有利于检出某些缺陷时也可另择方向进行透照。

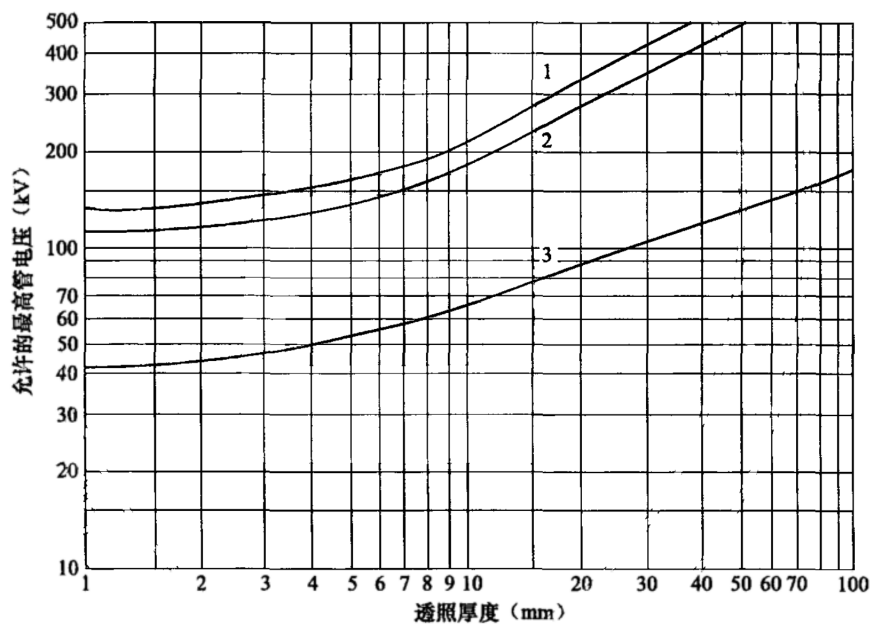
7.1.2 X 射线能量

电力设备材质主要为钢、铜及铜合金、铝及铝合金。X 射线穿透不同材料和不同厚度时, 所允许使用的最高管电压应按图 2 的规定选择。为了获得良好的图像灵敏度, 在保证穿透力的前提下, 应选用尽可能低的管电压。



说明：
 F ——焦距，mm；
 f_1 ——X 射线管焦点至被检工件表面的距离，mm；
 f_2 ——被检工件表面至 X 射线探测器表面的距离，mm。

图 1 电力设备 X 射线数字成像检测透照布置图



说明：
1——铜及铜合金；
2——钢；
3——铝及铝合金。

图 2 不同材料、不同透照厚度允许的 X 射线最高管电压

7.1.3 曝光量

在满足图像质量、检测速度和检测效率要求的前提下，可选择较低的曝光量。
实际检测时，应按检测速度和检测质量的要求，通过调整影响曝光量的参数来选择合适的曝光量：
a) 平板探测器数字射线照相（DR）可通过合理选择采集帧频、图像叠加幅数和管电流来控制曝光量；
b) 计算机辅助射线照相（CR）可通过合理选择曝光时间和管电流来控制曝光量。

7.1.4 几何不清晰度

对于电力设备结构性缺陷检测，检测图像几何不清晰度不宜大于 2mm。几何不清度的计算式为

$$U_g = \frac{f_2 d}{f_1} \quad (1)$$

式中：

- U_g ——几何不清晰度，mm；
- f_1 ——X 射线管焦点至被检工件表面的距离，mm；
- f_2 ——被检工件表面至 X 射线探测器表面的距离，mm；
- d ——X 射线管有效焦点尺寸，mm。

7.1.5 标记

- 透照部位应有识别标记和定位标记，要求如下：
- a) 识别标记一般包括产品名称、部位编号和透照日期，可由计算机写入。
 - b) 定位标记能够识别被检部件的位置。

7.2 GIS 检测

7.2.1 检测目的

主要检测隔离开关、断路器及接地开关的分/合闸状态，吸附剂安装、母线导体配合及筒体焊接质量等情况。气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）X 射线数字成像检测典型示例参见附录 B。

7.2.2 三相分筒 GIS 的断路器检测

透照布置时，X 射线机窗口应正对被检部位，X 射线探测器宜紧贴筒体外壁并垂直于 X 射线束方向。透照布置见图 1。

三相分筒断路器检测透照参数见表 1。

表 1 三相分筒 GIS 的断路器检测透照参数

设备电压等级	检测系统	焦距 mm	管电压 kV	曝光量 mA·s
110kV 及以下	DR	700~950	210~250	3×（5~20）
	CR	700~950	210~250	3×（40~240）
220kV~330 kV	DR	700~1200	220~270	3×（5~25）
	CR	700~1200	220~270	3×（50~360）
500kV 及以上	DR	1200~2000	230~290	3×（10~40）
	CR	1200~2000	230~290	3×（60~600）

7.2.3 三相共筒 GIS 的断路器检测

三相共筒 GIS 的断路器 A、B、C 三相检测透照布置分别见图 3~图 5。X 射线机及 X 射线探测器放置在位置 1、位置 2、位置 3 可分别透照断路器的 A、B、C 三相。X 射线探测器宜紧贴筒体外壁并尽量与 X 射线束方向保持垂直。当被检部位出现影像重叠影响判断时，可适当调整 X 射线机位置及 X 射线探测器方向以满足检测目的要求。

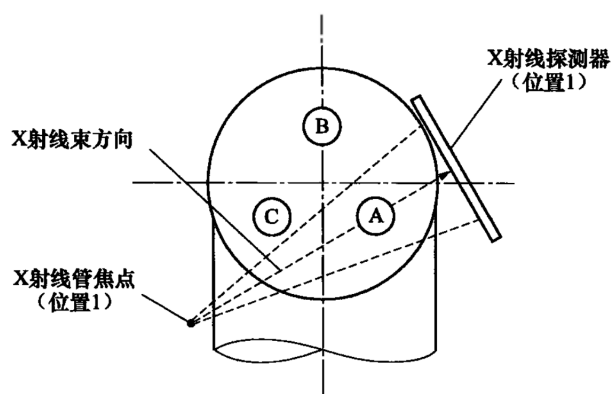


图3 三相共筒 GIS 的断路器 A 相检测透照布置图

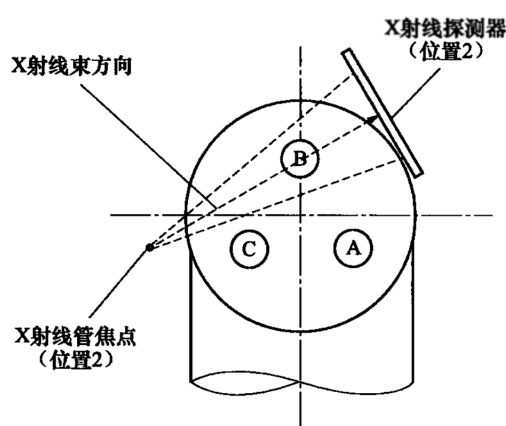


图4 三相共筒 GIS 的断路器 B 相检测透照布置图

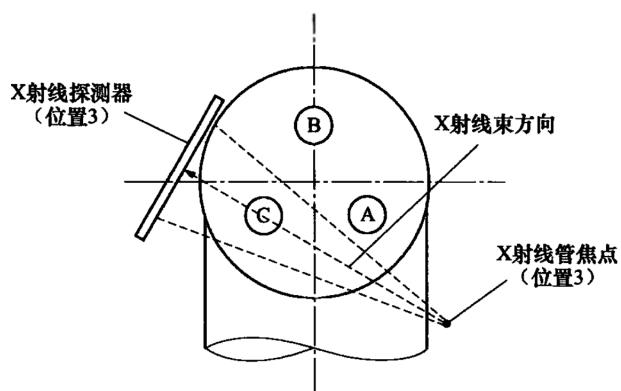


图5 三相共筒 GIS 的断路器 C 相检测透照布置图

三相共筒 GIS 的断路器检测透照参数见表 2。

表 2 三相共筒 GIS 的断路器检测透照参数

设备电压等级	检测系统	焦距 mm	管电压 kV	曝光量 mA · s
110kV 及以下	DR	700~950	210~250	3× (5~20)
	CR	700~950	210~250	3× (40~300)

7.2.4 其他部位检测

隔离开关分/合闸状态、吸附剂安装、母线导体配合及筒体焊接质量等检测时的透照布置及透照参数可根据检测目的及环境的实际情况，三相分筒 GIS 检测按 7.2.2 执行，三相共筒 GIS 检测按 7.2.3 执行。

7.3 瓷柱式断路器检测

瓷柱式断路器检测主要检测分/合闸状态、触头及绝缘拉杆情况。

透照布置时，X 射线机窗口应正对被检部位，X 射线探测器宜紧贴瓷套外壁并垂直于 X 射线束方向。透照布置见图 1。

瓷柱式断路器检测透照参数见表 3。

表 3 瓷柱式断路器检测透照参数

设备电压等级	检测系统	焦距 mm	管电压 kV	曝光量 mA · s
110kV 及以下	DR	700~950	220~250	3× (5~20)
	CR	700~950	220~250	3× (60~300)
220kV~330kV	DR	800~1200	250~280	3× (5~25)
	CR	800~1200	250~280	3× (80~360)
330kV 以上	DR	1200~2000	250~300	3× (6~40)
	CR	1200~2000	250~300	3× (120~600)

7.4 电力电缆及其附件检测

主要检测电缆本体、电缆终端和电缆中间接头质量等情况，检测对象见表 4。

表 4 电力电缆及其附件检测对象

检测对象	电压等级	检测部位	缺陷类型	缺陷描述
电力电缆	≥10kV	电缆本体	电缆结构变形及外部破损	外力破坏造成电缆结构变形及破损
电缆附件	≤35kV	电缆终端	金属粉末	绝缘层上留有金属粉末等杂质
电缆附件	≤35kV	电缆终端	应力锥移位	应力锥与半导电层（绝缘屏蔽）断口相对位置产生位移
电缆附件	≤35kV	电缆终端	半导电层剥切不良	半导电层断口不规则
电缆附件	≤35kV	电缆终端	铜屏蔽处理不良	铜屏蔽有尖端
电缆附件	≤35kV	电缆中间接头	接头压接不良等	压接不符合工艺要求
电缆附件	≤35kV	电缆中间接头	接头与电缆本体不配套	接头与电缆本体有空隙或尺寸不符合要求

透照布置时，电缆本体外力破坏缺陷检测透照，半导电层剥切不良、应力锥移位检测透照，电缆其他缺陷检测透照分别按图 6~图 8 布置。X 射线探测器宜紧贴电缆或电缆附件。

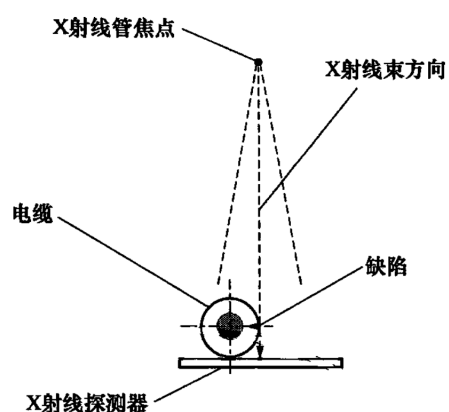
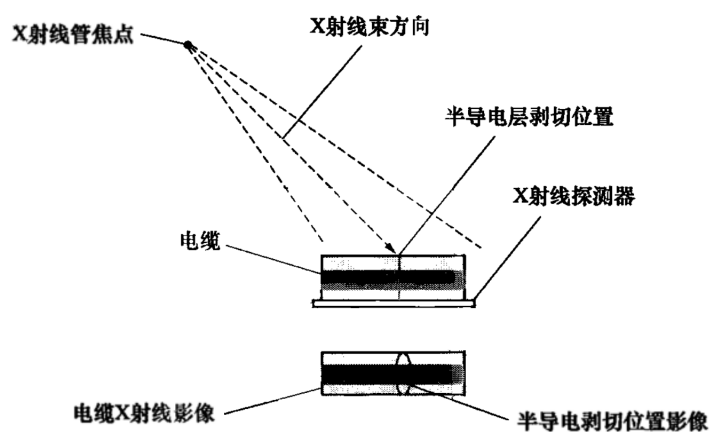


图6 电缆本体外力破坏缺陷检测透照布置图



图中：X射线束中心方向指向剥切位置并与电缆轴线成一定角度（ $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ），保证半导体层剥切位置椭圆成像，影像不重叠。

图7 半导体层剥切不良、应力锥移位检测透照布置图

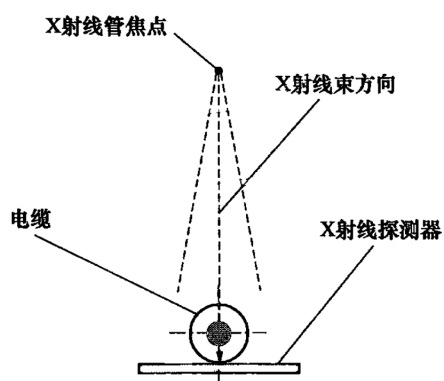


图8 电缆其他缺陷检测透照布置图

电力电缆及其附件检测按表5选择透照参数，管电压和曝光量应根据实际成像情况进行适当调整。

表 5 电力电缆及其附件检测透照参数

电压等级 kV	检测系统	焦距 mm	管电压 kV		曝光量 mA · s
			电缆本体	电缆附件	
10	DR	600~1000	60~70	60~70	3× (5~20)
	CR	600~1000	60~70	60~70	3× (40~240)
35	DR	600~1000	60~70	60~70	3× (5~20)
	CR	600~1000	60~70	60~70	3× (40~240)
110	DR	600~1000	70~80	—	3× (5~20)
	CR	600~1000	70~80	—	3× (50~300)
220	DR	600~1000	70~100	—	3× (5~20)
	CR	600~1000	70~100	—	3× (50~300)

7.5 金具检测

7.5.1 铸造质量检测

铸造质量检测主要检测气孔、缩松和砂眼等缺陷。

透照布置时, X 射线机窗口应正对被检部位, X 射线探测器宜贴金具并垂直于 X 射线束方向。透照布置见图 1。

铸造质量检测透照参数见表 6。

表 6 铸造质量检测透照参数

材质	检测系统	焦距 mm	管电压 kV	曝光量 mA · s
铝及铝合金	DR	600~1000	50~150	3× (5~20)
	CR	600~1000	50~150	3× (40~240)
钢、铁	DR	600~1000	120~200	3× (5~20)
	CR	600~1000	120~200	3× (60~300)

7.5.2 耐张线夹压接质量检测

耐张线夹压接质量检测主要检测压接部位匹配情况、压接尺寸和压模压入程度等。

透照布置时, X 射线机窗口应正对被检部位, X 射线探测器宜贴耐张线夹并垂直于 X 射线束方向。透照布置见图 1。

耐张线夹压接质量检测透照参数见表 7。

表 7 耐张线夹压接质量检测透照参数

检测系统	焦距 mm	管电压 kV	曝光量 mA · s
DR	600~1000	60~150	3× (5~20)
CR	600~1000	60~150	3× (50~240)

7.6 其他电力设备检测

应根据被检工件的特点,选择适当的透照布置、X 射线能量及曝光量等参数。图像应能清晰区分所检工件的结构以满足检测要求。电力设备常见缺陷 X 射线数字成像检测典型图像参见附录 C。

7.7 电力设备焊接接头检测

电力设备焊接接头检测按 NB/T 47013.11—2015 中 AB 级射线检测技术的规定执行。

8 图像分析

8.1 一般要求

8.1.1 检测图像质量满足下列要求后,方可进行图像分析:

- a) 结构性缺陷检测图像应能区分被检部位的物理结构,层次清晰。
- b) 焊接接头检测图像质量应符合 NB/T 47013.11—2015 中 6.1.1 的规定。

8.1.2 在光线柔和的环境下观察检测图像,显示器屏幕应清洁、无明显的光线反射。

8.1.3 利用系统图像处理软件的图像缩放、图像降噪、亮度及对比度变换、正像或负像显示、文本注释等功能使图像利于观察和分析。

8.2 缺陷尺寸测量校准

8.2.1 利用系统软件辅助测量缺陷几何尺寸,应先进行校准。

8.2.2 选择与被测量部件距离射源相同的平面上已知尺寸的零部件进行校准。

9 图像存储及检测报告

9.1 图像存储

图像存储应满足以下要求:

- a) 检测图像宜采用 DICOM 格式存储,可转换为通用图像格式。
- b) 检测图像应存储在光盘、硬盘等媒体中,保存在防磁、防潮、防尘、防挤压的环境中。
- c) 检测图像应保存 8 年及以上以备核查。相应的原始记录和检测报告也应同期保存。

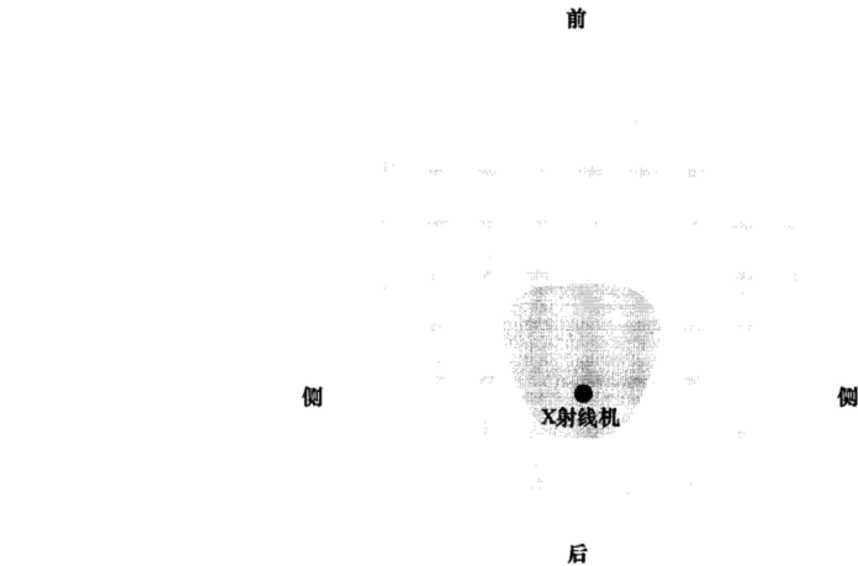
9.2 检测报告

检测报告的主要内容应包括仪器型号、透照参数、检测日期、检测地点、检测人员、被检设备名称及型号、检测部位、缺陷描述和图像资料等。检测报告格式参见附录 D。

附 录 A
(资料性附录)

X 射线数字成像检测现场辐射控制区和辐射监督区的计算方法及其范围

按 GBZ 117 要求，X 射线现场透照应根据剂量水平划分辐射控制区和辐射监督区，电力设备 X 射线数字成像检测现场辐射控制区和辐射监督区的范围见图 A.1。工作人员应在辐射控制区边界外操作。



说明：
前 —— X 射线束中心方向；
浅色 —— 辐射监督区；
深色 —— 辐射控制区。

图 A.1 X 射线辐射控制区及辐射监督区范围示意图

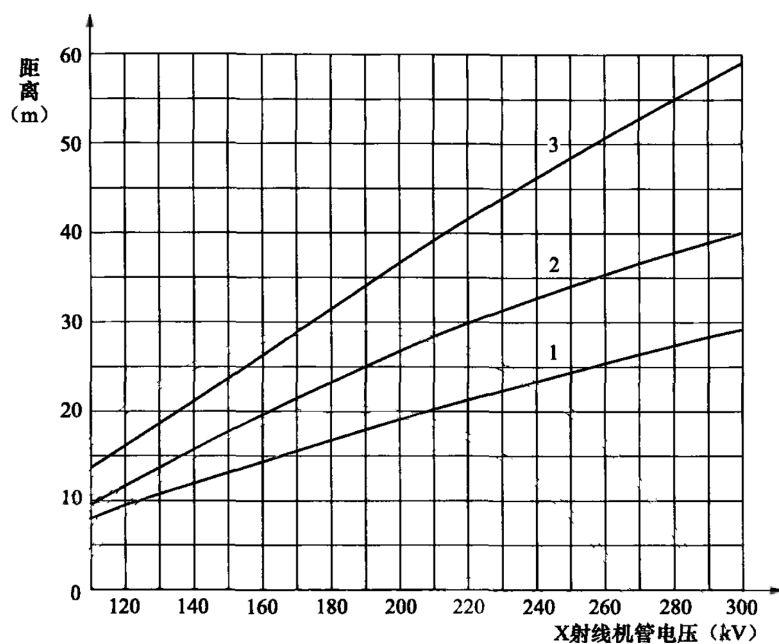
对于 CR 技术，按放射工作人员年有效剂量限值的 1/4 (5mSv) 和每周实际开机时间为 2.5h 推算后，辐射控制区边界空气比释动能率为 40μGy/h。现场透照 330kV GIS 铝合金母线筒，管电流为 3mA，曝光时间为 3min 测试的辐射控制区的范围见图 A.2。

对于 DR 技术，按放射工作人员年有效剂量限值的 1/4 (5mSv) 和每周实际开机时间为 0.5h 推算后，辐射控制区边界空气比释动能率为 200μGy/h。现场透照 330kV GIS 铝合金母线筒，管电流为 3mA，曝光时间为 30s 测试的辐射控制区的范围见图 A.3。

CR、DR 辐射监督区边界空气比释动能率按标准规定为 2.5μGy/h，监督区的范围见图 A.4。
辐射控制区边界空气比释动能率按式 (A.1) 计算：

$$\dot{K} = \frac{100}{t} \tag{A.1}$$

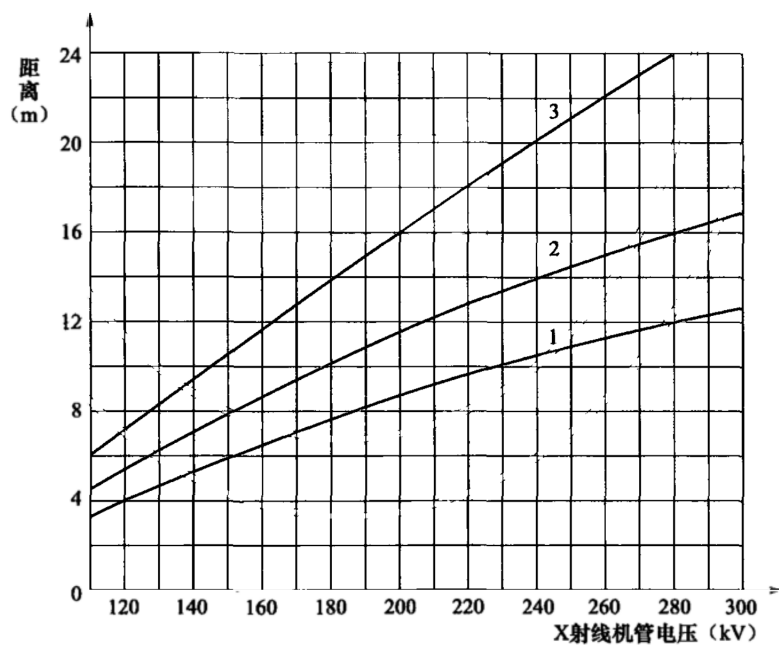
式中：
 \dot{K} —— 控制区边界空气比释动能率，μGy/h；
100 —— 5mSv 平均分配到每年 50 工作周的数值，即每周 100μSv；
 t —— 每周实际开机时间。



说明:

- 1——辐射控制区后方边界与 X 射线机的距离;
- 2——辐射控制区侧方边界与 X 射线机的距离;
- 3——辐射控制区前方边界与 X 射线机的距离。

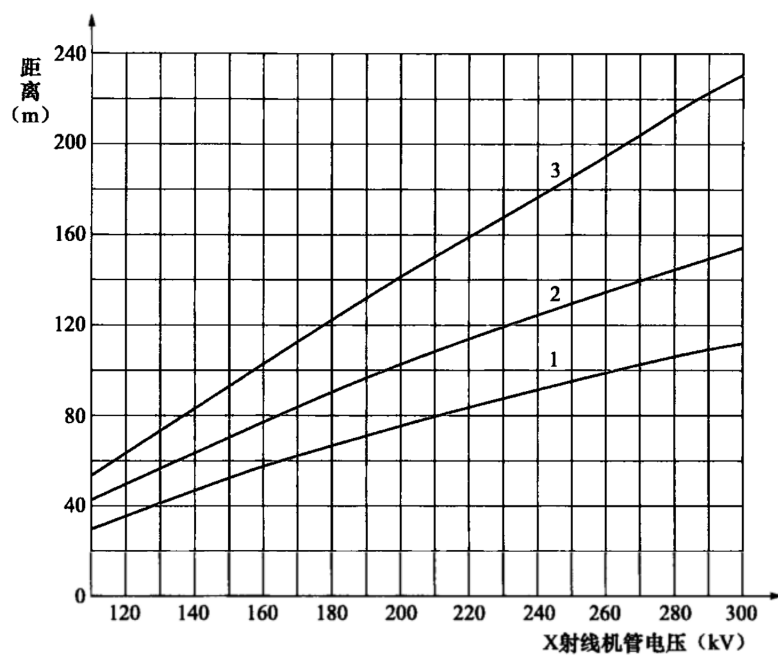
图 A.2 CR 射线辐射控制区范围



说明:

- 1——辐射控制区后方边界与 X 射线机的距离;
- 2——辐射控制区侧方边界与 X 射线机的距离;
- 3——辐射控制区前方边界与 X 射线机的距离。

图 A.3 DR 射线辐射控制区范围



说明:

- 1——辐射监督区后方边界与 X 射线机的距离;
- 2——辐射监督区侧方边界与 X 射线机的距离;
- 3——辐射监督区前方边界与 X 射线机的距离。

图 A.4 CR、DR 射线辐射监督区范围

附录 B (资料性附录)

GIS X 射线数字成像检测典型示例

B.1 110kV 三相共筒 GIS 的断路器内部结构检测

为防止 110kV 三相共筒 GIS 的断路器内部结构在检测中出现三相影像重叠, 需要根据断路器内部三相灭弧室的位置选择合适的透照角度。现场检测透照布置示意图 B.1, X 射线机分别放置在 1、2、3 位置可分别透照断路器的 A、B、C 三相。X 射线机现场布置见图 B.2, 成像板现场布置见图 B.3, 断路器灭弧室结构示意图 B.4, 断路器灭弧室检测图像见图 B.5, 图像中可以清晰地看到整个灭弧室, 自上而下分别有静主触头、静弧触头、喷口、动主触头等部件, 可对各部件的结构状况进行检查, 判断是否发生变形、烧损、脱落等故障。

110kV 断路器透照参数见表 B.1。由于各厂家生产的设备结构尺寸、材质有所差异, 在透照时射线检测参数需做相应的调整。

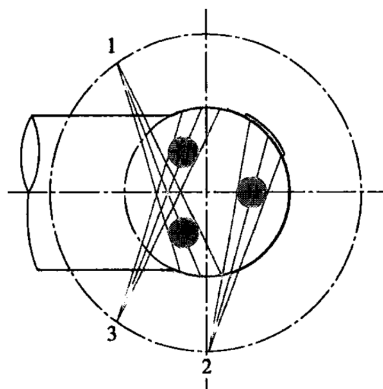


图 B.1 现场检测透照布置示意图

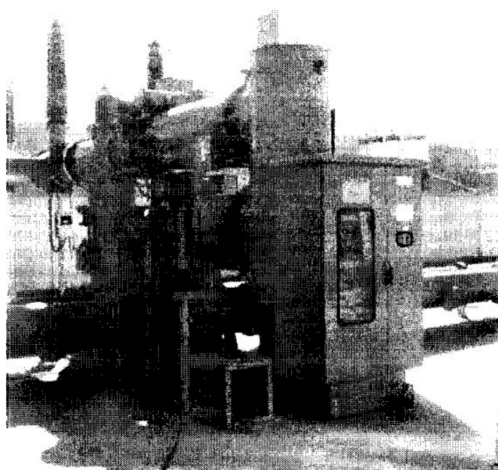


图 B.2 X 射线机现场布置图

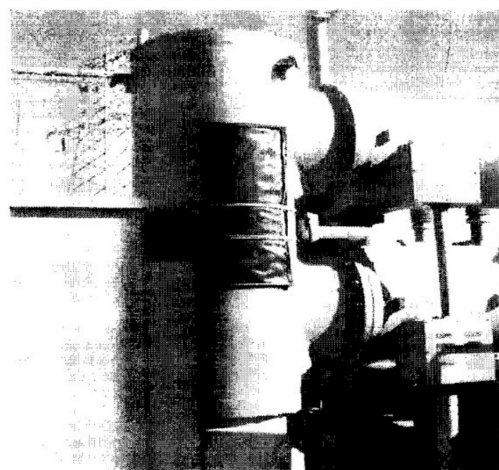
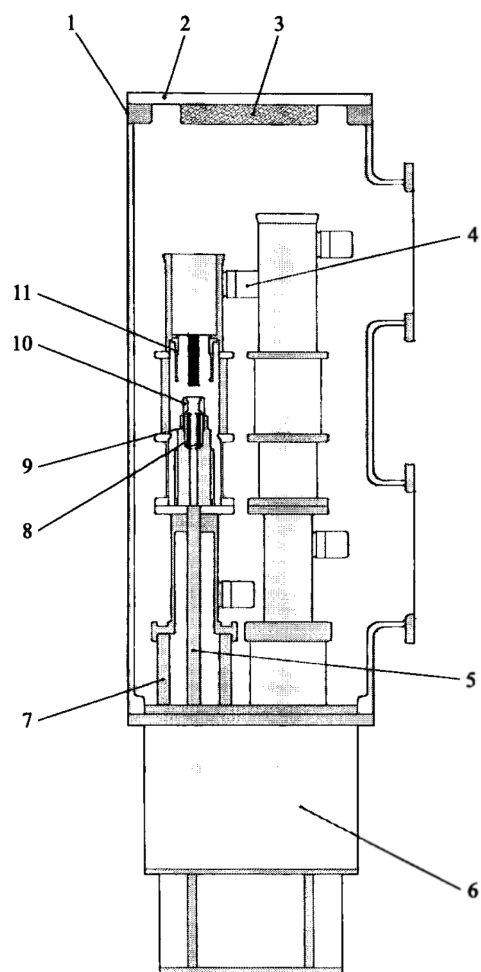


图 B.3 成像板现场布置图



说明:

- 1——断路器外壳;
- 2——盖板;
- 3——吸附器;
- 4——梅花触头;
- 5——绝缘操作杆;
- 6——下部罐体;
- 7——支柱绝缘筒;
- 8——动弧触头;
- 9——动主触头;
- 10——喷口;
- 11——静主触头。

图 B.4 110kV 断路器灭弧室结构示意图

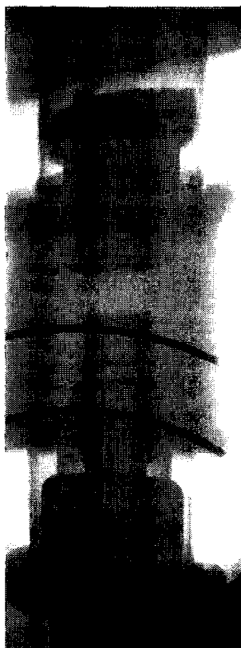


图 B.5 110kV 断路器灭弧室检测图像

表 B.1 110kV 断路器检测透照参数

检测系统	电压 kV	焦距 mm	曝光量 mA · min
CR	210~250	700~950	3× (2.5~4.0)

B.2 330kV 三相分筒 GIS 的断路器内部结构检测

330kV 三相分筒 GIS 的断路器灭弧室位于进线筒和出线筒中间。对灭弧室进行透照时，X 射线机窗口需摆放在断路器进线筒或出线筒中间位置，成像板放置在断路器对面进线筒或出线筒中间位置，X 射线机现场布置见图 B.6，成像板现场布置见图 B.7，断路器灭弧室结构示意见图 B.8，检测透照参数见表 B.2。采用 CR 常规成像板拍摄时，无法在一张图像上将整个灭弧室结构全部显示，需要根据检测的具体部位（动触头、静触头、喷口等）进行局部透照。图 B.9 为单张常规成像板的检测图像，只显示静触头及部分喷口。采用 CR 长成像板进行透照时，成像板竖直方向固定，可透照灭弧室全貌，检测图像见图 B.10。

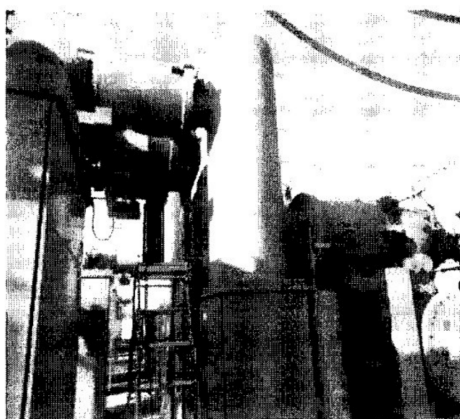


图 B.6 X 射线机现场布置图

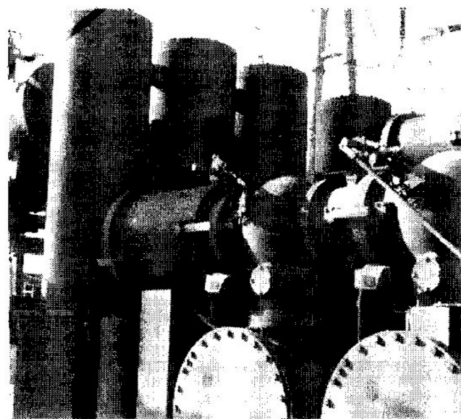
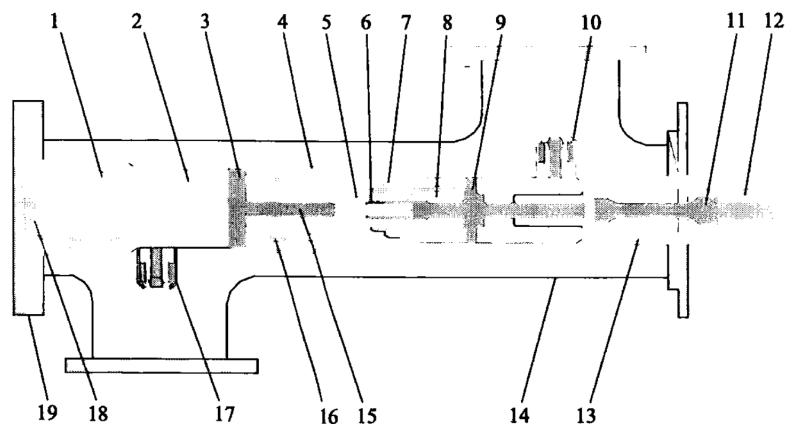


图 B.7 成像板现场布置图



说明:

- 1、13 —— 绝缘支撑件;
- 2 —— 触头座;
- 3 —— 静触头座;
- 4 —— 均压罩;
- 5 —— 喷口;
- 6 —— 动弧触头;
- 7 —— 动主触头;
- 8 —— 活塞;
- 9 —— 活塞座;
- 10、17 —— 梅花触指;
- 11 —— 绝缘拉杆;
- 12 —— 滑动密封;
- 14 —— 筒体;
- 15 —— 静弧触头;
- 16 —— 静主触头;
- 18 —— 吸附剂;
- 19 —— 检修盖板。

图 B.8 330kV 断路器灭弧室结构示意图

表 B.2 330kV 断路器检测透照参数

检测系统	电压 kV	焦距 mm	曝光量 mA · min
CR	230~280	700~950	3× (4~6)



图 B.9 330kV 断路器分闸 (常规成像板)
检测图像

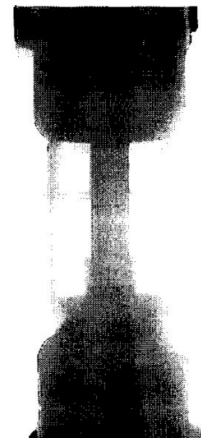


图 B.10 330kV 断路器合闸 (长成像板)
检测图像

B.3 330kV 三相共筒 GIS 的母线连接部位检测

在 330kV 三相共筒 GIS 中，三相母线在母线筒中呈倒三角形分布。透照时，X 射线机及成像板现场布置见图 B.11，X 射线机的架设角度与成像板的布置见图 B.12。射线自中心线侧下方 45°位置向对面 45°侧上方向照射，成像板与射线束方向垂直，并包裹在母线筒上。检测透照参数见表 B.3，检测图像见图 B.13，图中导电杆与盆式绝缘子上触头的配合情况、导电杆端部触头的抱紧弹簧、插入深度等均清晰可见。

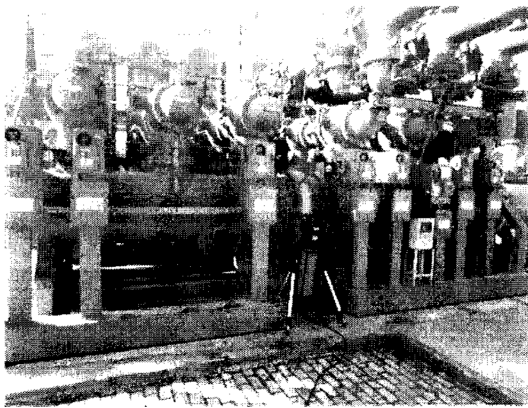


图 B.11 X 射线机及成像板现场布置图

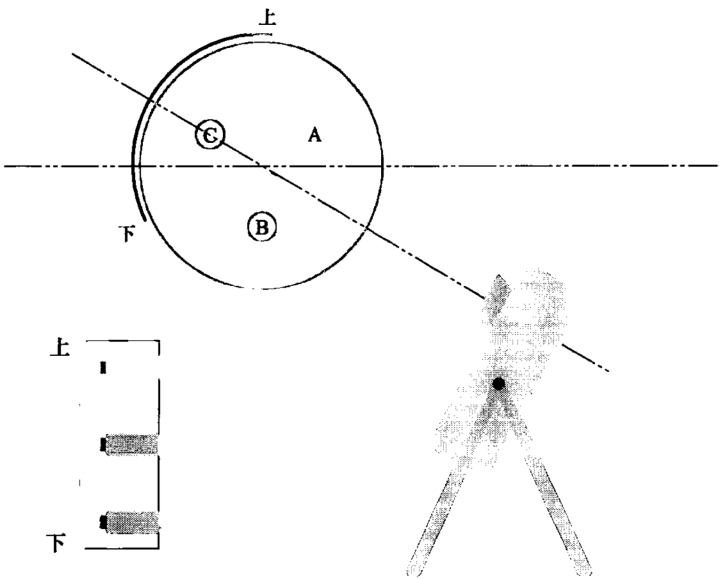


图 B.12 X 射线机的架设角度与成像板的布置图

表 B.3 330kV 母线连接部位检测透照参数

检测系统	电压 kV	焦距 mm	曝光量 mA · min
CR	200~260	700~950	3× (3.5~5)

B.4 750kV 三相分筒 GIS 的母线连接部位检测

透照时，X 射线机及成像板现场布置见图 B.14，X 射线机窗口对准母线筒中心轴线，成像板放置在母线筒另一侧，要求射线束正对母线筒内连接部位，并且与成像板相垂直。母线连接部位内部结构

见图 B.15, 检测图像见图 B.16, 检测透照参数见表 B.4。

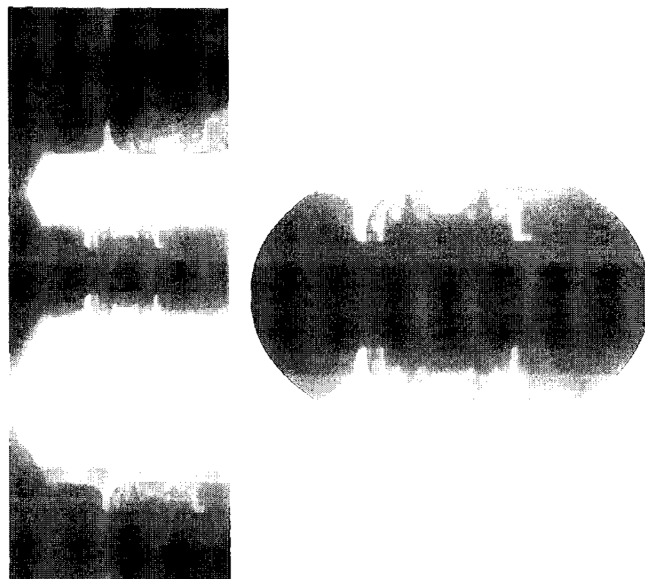


图 B.13 330kV 母线连接部位检测图像

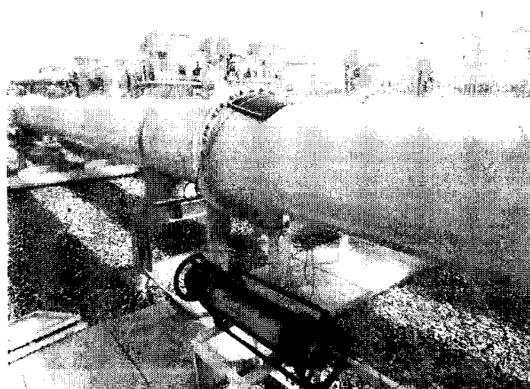


图 B.14 X 射线机及成像板现场布置图

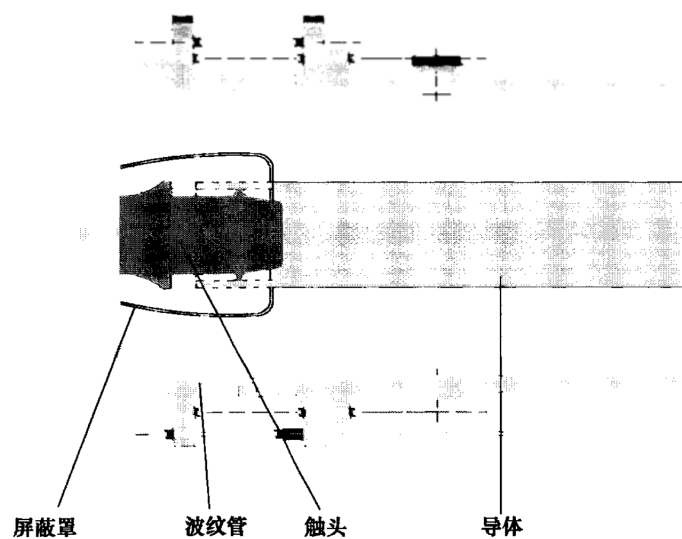


图 B.15 母线连接部位内部结构示意图

表 B.4 750kV 母线连接部位检测透照参数

检测系统	电压 kV	焦距 mm	曝光量 mA · min
CR	140	1050	3×3

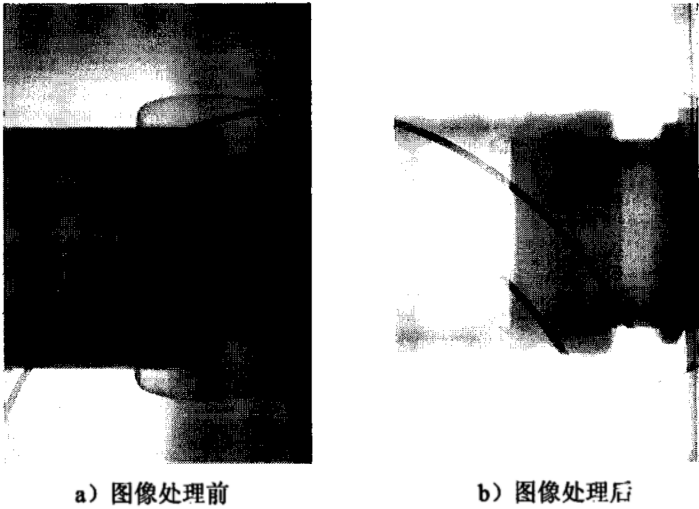


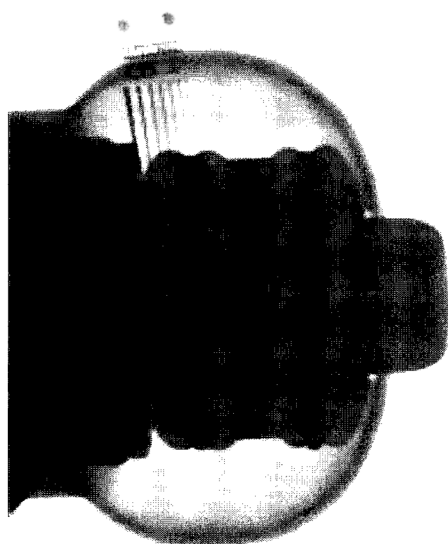
图 B.16 750kV 母线连接部位检测图像

经过黑度调整，图 B.16 a) 可观察不同厚度的区域，显示出较大的宽容度，检测部位整体结构清晰，均压罩轮廓清晰。经图像处理后，图 B.16 b) 均压罩虽然无法显示，但导电杆插入深度及表带式弹簧触指清晰可见。因此，通过图像处理，可在一定范围内对部件的不同部位进行细致观察，保证诊断的准确性。

附录 C
(资料性附录)

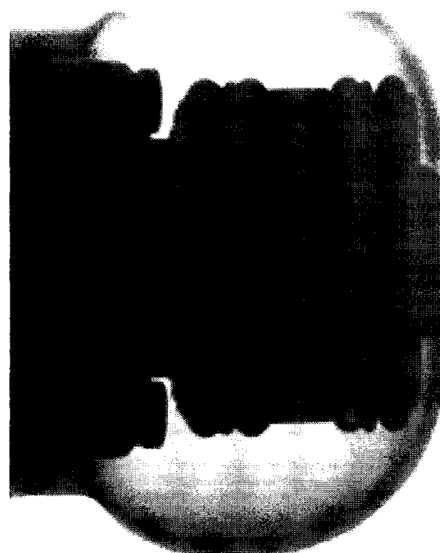
电力设备 X 射线数字成像检测典型图像

电力设备常见缺陷 X 射线数字成像检测典型图像见图 C.1~图 C.19。



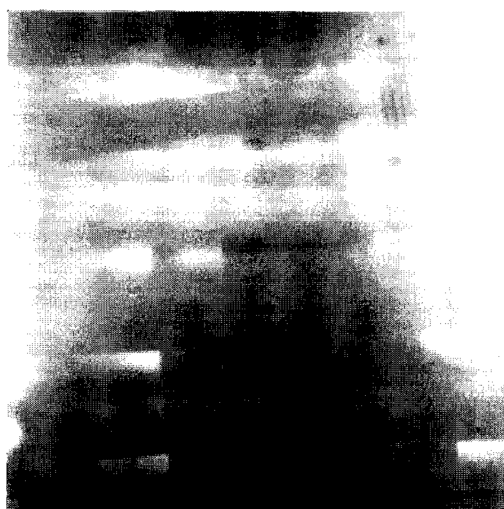
DR、管电压 220kV、焦距 1000mm
曝光量 2mA×8s

图 C.1 220kV 隔离开关动触头伸出屏蔽罩
(异常) 检测图像



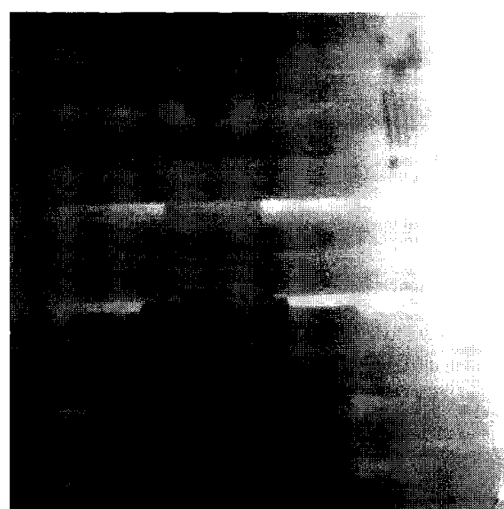
DR、管电压 220kV、焦距 1000mm
曝光量 2mA×8s

图 C.2 220kV 隔离开关动触头
(正常) 检测图像



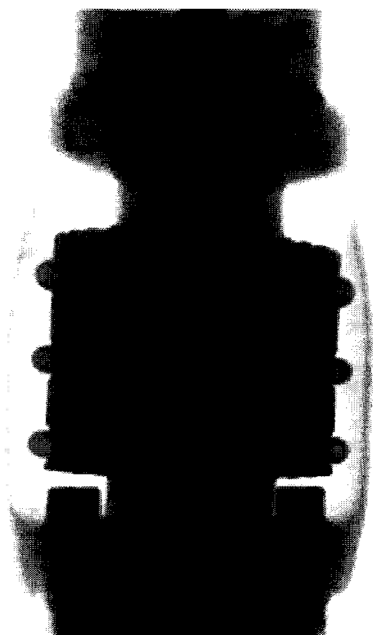
DR、管电压 280kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×10s

图 C.3 220kV 瓷柱式断路器分闸不到位
(异常) 检测图像



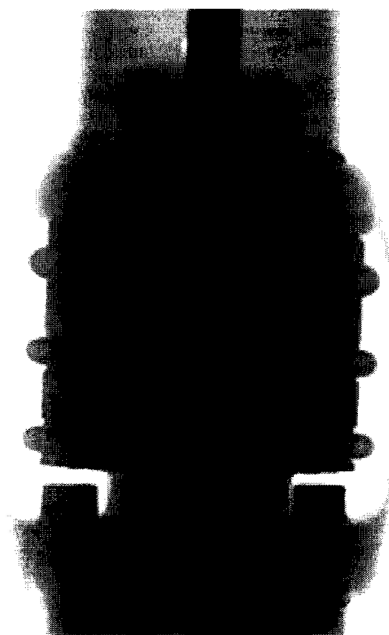
DR、管电压 280kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×10s

图 C.4 220kV 瓷柱式断路器分闸到位
(正常) 检测图像



DR、管电压 220kV、焦距 1000mm
曝光量 2mA×8s

图 C.5 220kV 母线插接不到位
(异常) 检测图像



DR、管电压 220kV、焦距 1000mm
曝光量 2mA×8s

图 C.6 220kV 母线插接完好
(正常) 检测图像



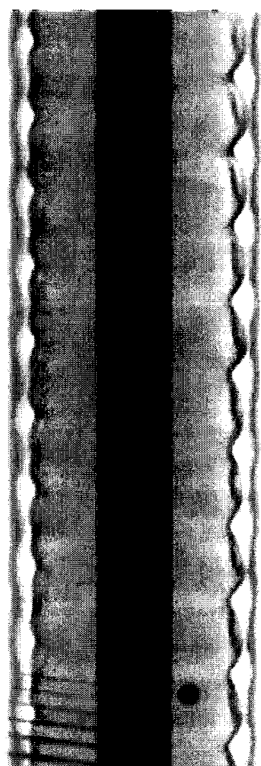
DR、管电压 280kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×10s

图 C.7 500kV 断路器动弧触头烧损
(异常) 检测图像



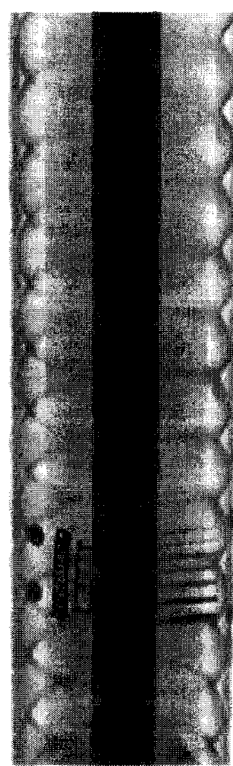
DR、管电压 280kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×10s

图 C.8 500kV 断路器动弧触头完好
(正常) 检测图像



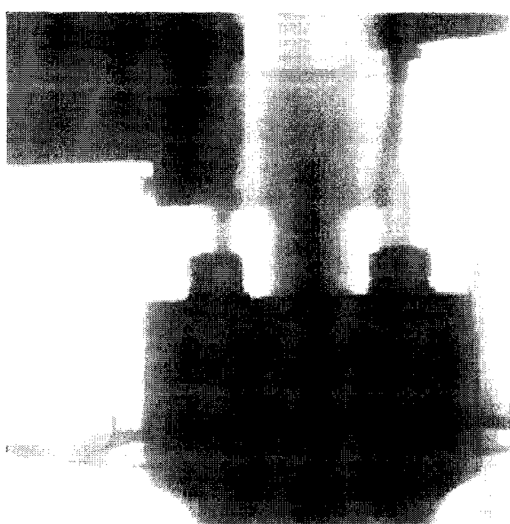
DR、管电压 100kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×10s

图 C.9 110kV 电缆铝护套受压变形
(异常) 检测图像



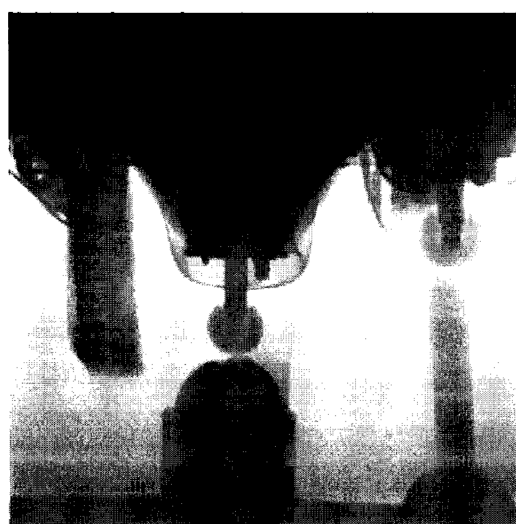
DR、管电压 100kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×10s

图 C.10 110kV 电缆铝护套完好
(正常) 检测图像



DR、管电压 210kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×8s

图 C.11 110kV GIS 内部螺栓松动检测图像



DR、管电压 200kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×8s

图 C.12 110kV TV 屏蔽罩破损检测图像



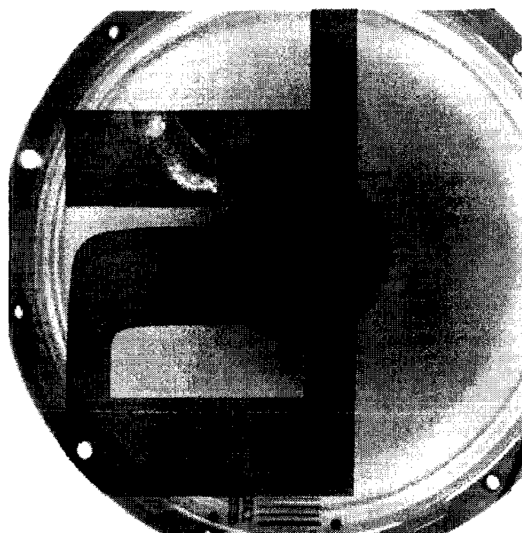
DR、管电压 220kV、焦距 900mm
曝光量 2mA×8s



DR、管电压 230kV、焦距 800mm、
曝光量 2mA×8s

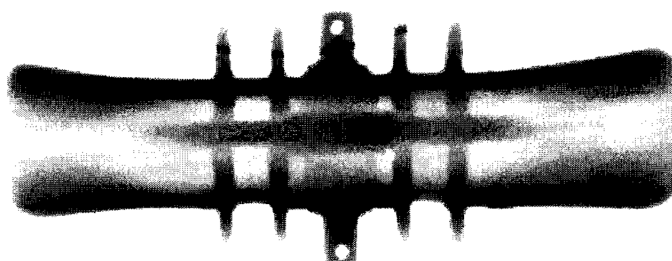
图 C.13 110kV GIS 内部异物检测图像

C.14 110kV 隔离开关静触头弹簧缺失检测图像



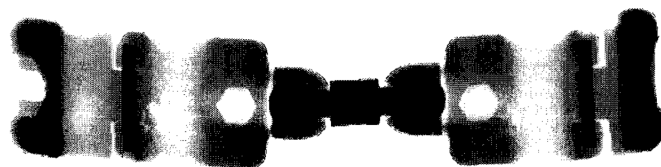
DR、管电压 230kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×8s

图 C.15 220kV 盘式绝缘子裂纹及烧灼痕迹检测图像



DR、管电压 200kV、焦距 800mm
曝光量 2mA×8s

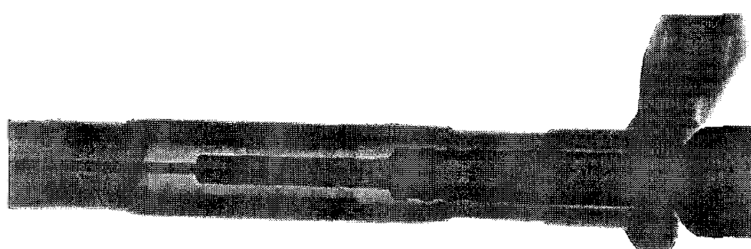
图 C.16 悬垂线夹船体气孔缺陷检测图像



DR、管电压 120kV、焦距 800mm

曝光量 2mA×8s

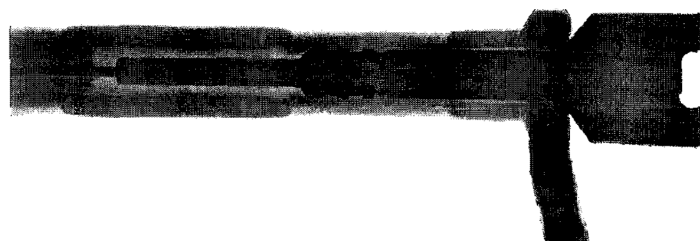
图 C.17 二分裂间隔棒内部缩松缺陷检测图像



DR、管电压 270kV、焦距 800mm

曝光量电流 0.25mA、30 脉冲单脉冲时间 5ns

图 C.18 导线压接缺陷（钢锚环箍部分压接）检测图像



CR、管电压 270kV、焦距 800mm

曝光量电流 0.25mA、60 脉冲单脉冲时间 5ns

图 C.19 导线压接（钢锚环箍全部压接）检测图像

附 录 D
(资料性附录)
X 射线数字成像检测报告格式

X 射线数字成像检测报告

报告编号：

单位			站/线	
被检设备	名称 (电压等级)		检测部位	
	材质		规格	
成像条件	X 射线机型号		探测器类型	
	焦点尺寸		像素尺寸	
	焦距		探测器规格	
	管电压		增感屏/滤波板	
	管电流		像质计型号	
	曝光时间		图像存储格式	
执行标准				
检测部位示意图				
图像及分析				
检测结果				

检测：

日期：

审核：

日期：

批准：

日期：

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
电力设备 X 射线数字成像检测技术导则
DL/T 1785—2017

*

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>)
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

*

2019 年 2 月第一版 2019 年 2 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 2 印张 55 千字
印数 001—500 册

*

统一书号 155198·1052 定价 25.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

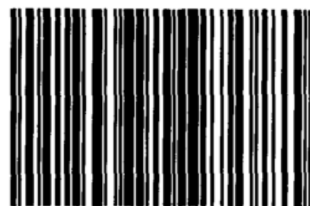


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.1052