

无损检测仪器 自走式冷阴极 X 射线线缆检测系统

Non-destructive testing instruments—Self-propelled cold cathode X-ray cable inspection system

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

## 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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC122)归口。

本文件起草单位：西安金波检测仪器有限责任公司、爱德森（厦门）电子有限公司。

本文件主要起草人：王波、林俊明、陈林。

本文件为首次发布。

# 无损检测仪器 自走式冷阴极 X 射线线缆检测系统

## 1 范围

本文件规定了自走式冷阴极X射线线缆检测系统的工作原理、系统结构、主要部件、产品型号、技术要求，描述了相应的试验方法，规定了标志、包装、运输和贮存等要求。

本文件适用于电压不超过200kV的自走式冷阴极X射线线缆检测系统的制造。

## 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/T 191-2008 包装储运图示标志

GB/T 12604.2 无损检测 术语 射线照相检测

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 17618 信息技术设备 抗扰度 限值和测量方法

GB/T 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 25480-2010 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

GB/T 36015 无损检测仪器 工业 X 射线数字成像装置性能和检测规则

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

JB/T5453-2011 无损检测仪器 工业 X 射线图像增强器成像系统

## 3 术语和定义

GB/T 12604.2、GB/T 36015和NB/T 47013.11界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 工作原理及系统结构

### 4.1 工作原理

通过三个角度（夹角 $120^\circ$ ）布置的X射线源同时发射X射线并穿透被检测线缆后被相对应的数字探测器接收，此过程伴随着滑轮传动机构使得该系统步进式边爬行边进行透照检测，经过采集处理将图像信息无线传输到计算机，利用计算机上的专用图像软件进行处理，提高图像的对比度、清晰度及亮度等，将三个角度处理后的图像显示在显示屏上。示意图见图1。

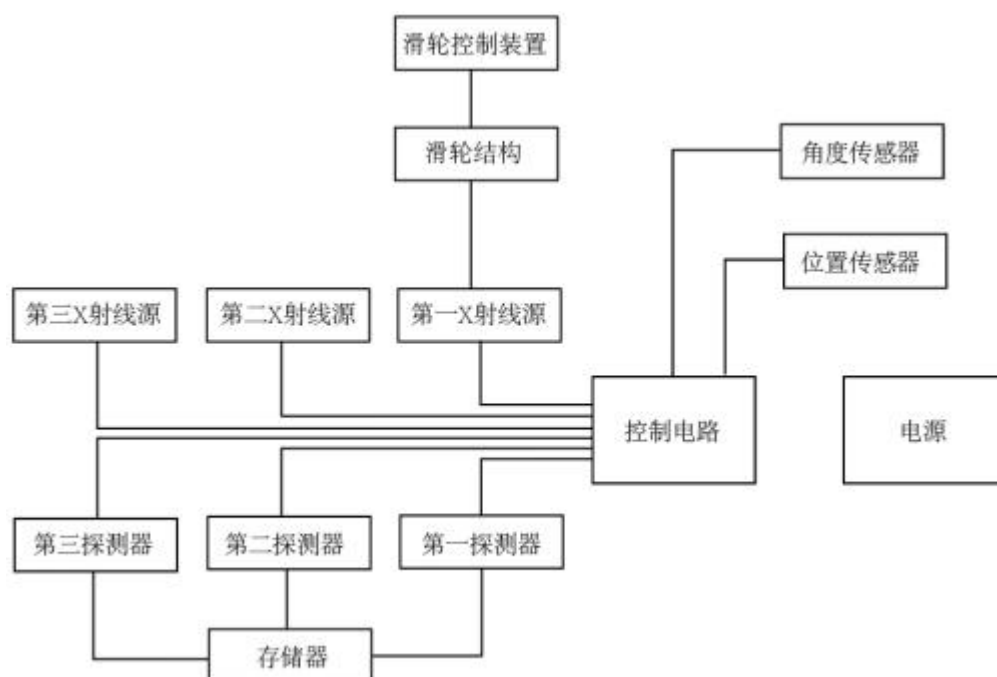


图1 系统工作原理示意图

#### 4.2 系统结构

自走式冷阴极X射线线缆检测系统（以下简称检测系统）主要由三个冷阴极X射线源和三个数字探测器构成的六边形结构，结构示意图见图2。该结构包括：被检测线缆通过的腔体、三个环绕腔体布置的冷阴极X射线源、三个环绕腔体且与X射线源对称布置的数字探测器（数字探测器用于获取 X射线透照被检测线缆后产生的检测信息）。所述检测系统通过三个X射线源从不同角度对被检测线缆进行透照，从而获得被检测线缆的三个方位（夹角 $120^\circ$ ）X射线透照图像，直观且精确地获得被检测线缆三个角度内、外部缺陷情况，获得更精确的检测结果。

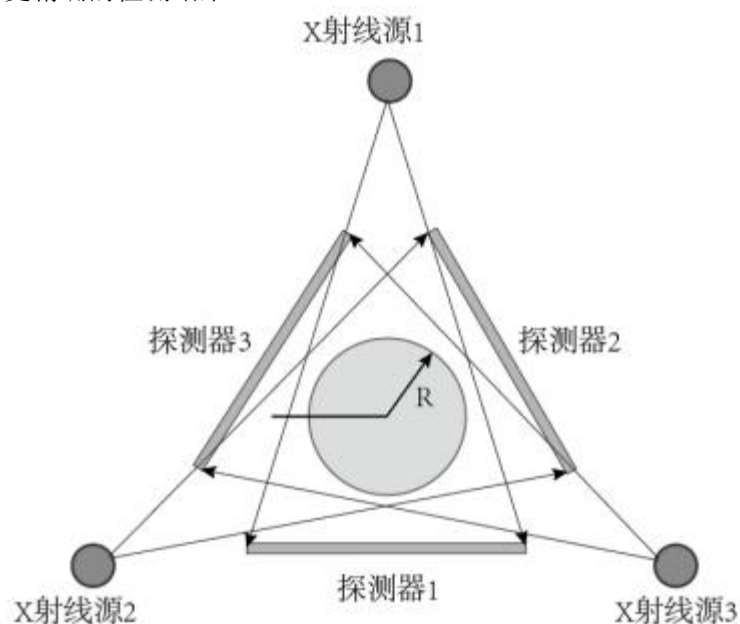
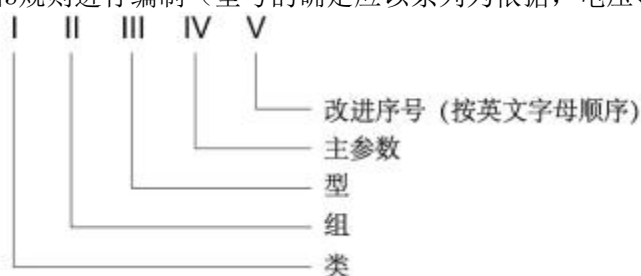


图2 X射线源、数字探测器及线缆分布结构图

#### 5 产品型号

## 5.1 型号编制规则

检测系统型号宜按图3规则进行编制（型号的确立应以系列为依据，电压、电流为参数）。



标引序号说明：

- I——表示 X 射线系统类型；
- II——表示 X 射线系统类型中的组；
- III——表示 X 射线系统组中各种型特征；
- IV——表示 X 射线系统主参数；
- V——表示改进序号；
- VI——表示系统。

图 3 检测系统产品编制方法

示例：

C P 3R 1203 01 Sy

- C——冷阴极；
- P——脉冲式；
- 3R——3 个射线源；
- 120——最高管电压 120kV；
- 3——最大管电流 3mA；
- 01——改进号；
- Sy——系统。

## 6 技术要求

### 6.1 主要部件

#### 6.1.1 X 射线源

6.1.1.1 选用工作稳定的恒定直流高压冷阴极 X 射线源，以保证射线穿透被检测线缆后数字探测器能够获得足够的图像灰度信息。

6.1.1.2 X 射线源管电压稳定度不应大于 2%。

6.1.1.3 X 射线源管电流稳定度不应大于 2%。

#### 6.1.2 数字探测器

6.1.2.1 分辨率大于 1.5 LP/mm。

6.1.2.2 动态范围不应小于 8bit。

### 6.2 主要参数

检测系统主要技术参数应满足表1的要求。

表 1 检测系统主要技术参数

主参数	主参数系列
额定管电压 kV	70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200
额定管电流 mA	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0
注：优先选用主参数系列中的参数选项。	

### 6.3 使用条件

按照规定的工作规程，在以下条件下应正常工作：

- a) 海拔高度不超过 3000m；
- b) 环境温度-10℃~50℃；
- c) 空气相对湿度不大于 85%；
- d) 电源电压波动不超过额定电源电压±10%；
- e) 电源波形不失真；
- f) 爬行装置速度可调，单组电池可续航大于或等于 500m。

## 6.4 性能要求

6.4.1 穿透力：检测系统 CP 系列主要型号和穿透力不应低于表 2 中的规定值，具体型号产品应在随行文件中标明初始射线照射量率。

表 2 定向油绝缘脉冲 X 射线机 CP 系列主要型号和穿透力

型号	额定管电压 kV	曝光量 mA·s	穿透力 钢 Q235 mm
CP3R1203-01	120	≤6	≥15
CP3R1503-01	150	≤6	≥20
CP3R1803-01	180	≤6	≥25
CP3R2003-01	200	≤6	≥30

6.4.2 透照相对灵敏度应≤1.8%（钢 Q235）。

6.4.3 X 射线辐射角，定向圆锥角为 40° 其辐射场范围内不应有缺圆。

6.4.4 具备有自动控制曝光时间的计时器，计时最大误差应不大于所测值的±2%。

6.4.5 管电压最大允许的误差应不大于所测点值的±5%。

6.4.6 温度保护装置，当发生器内温度达到 65℃时，高压应断开。

## 6.5 稳定性

6.5.1 按照工作规程连续工作 2500 次，检验中应无异常现象，暂载率符合标称数据（特殊要求时使用单位与制造单位协商解决）。

6.5.2 主回路设置稳压电路，高压变压器初级电压波动应在±2%以内，管电流波动应在±0.5mA 以内。

## 6.6 辐射防护与安全

6.6.1 系统内部 X 射线源应用含铅材料做屏蔽防护，系统壳体内部及两端（除进线、出线口外）应做好屏蔽防护，设备在运行过程中距离设备 3m 距离处漏射线剂量率≤2.5 μGy/h。

6.6.2 漏射线空气比释动能率符合表 3 的规定。

表 3 漏射线空气比释动能率

管电压 kV	漏射线空气比释动能率 μGy/h
≤200	≤2.5

## 6.7 外观要求

6.7.1 表面银色镀层坚固，无脱落现象。

6.7.2 表面面漆及加工表面无碰伤、气泡及划痕。

6.7.3 表面颜色鲜明，而且同一系列型号的颜色一致。

6.7.4 滑轮传动装置表面光洁，无损伤和异物。

## 7 试验方法

### 7.1 试验条件

试验条件应满足 6.3 的要求。

## 7.2 试验用主要仪器仪表和器具

试验用主要仪器仪表和器具如下：

- a) 球隙放电器或静电电压表，最大测量误差为±3%。
- b) 1.0级500V绝缘电阻表。
- c) X射线剂量仪，总不确定度为10%。
- d) X射线剂量率仪。
- e) 穿透力校验块及线型像质计，按附录A规定。
- f) 探测器：像素点100 μm的数字探测器。
- g) 秒表和湿度计。
- h) 高、低温箱，湿热箱。
- i) 容量为被检测X射线系统功率150%以上的耐压测试仪。
- j) 气压表和气压检验装置。
- k) 精度为毫克级天平。
- l) 精度为毫米级距离编码器和计时器。

## 7.3 穿透力

### 7.3.1 试验仪器

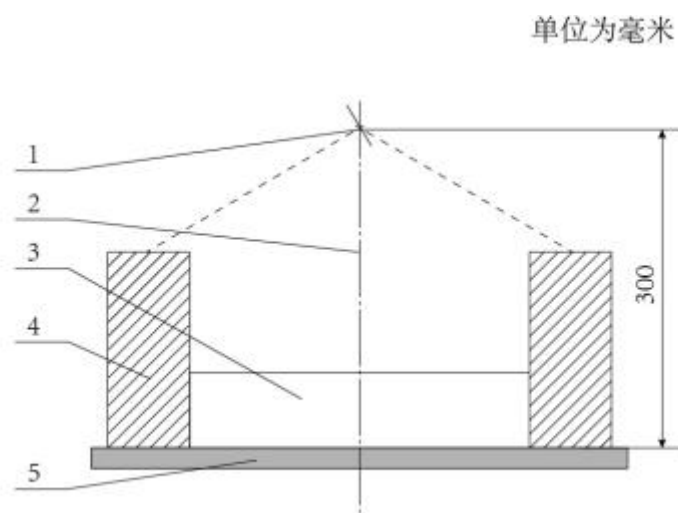
试验仪器应符合NB/T47013.11-2023中规定的数字探测器，标准试块符合附录A的规定。

### 7.3.2 试验程序

把校验试块一端通过滑轮装置从检测系统一端传入检测区，X射线源与数字探测器位于校验试块轴向两侧且中心对称。通过控制滑轮装置使检测系统在校验试块上自动爬行，爬行过程中三个方向的X射线源同时对校验试块进行透照，通过数字探测器采集，再将采集到的数据通过无线传输到计算机上进行图像处理。至过程中数字探测器正面朝向X射线源一侧放置，试块放置在数字探测器与X射线源之间尽量贴近数字探测器。

采用额定管电压、额定管电流，曝光量采用 $6\text{mA}\cdot\text{s}$ 。调整X射线源位置，使实际焦点与数字探测器正面平面距离为300mm、把X射线束中心轴线对准数字探测器中心位置，试块透照位置放在数字探测器中心位置，透照后将数字探测器采集到的数据通过计算机成像软件显示在屏幕上。通过成像软件中的灰度测量功能，测量关注位置的灰度值。

试验装置见图4。



标引序号说明：

- 1——实际焦点；
- 2——X射线束中心轴线；
- 3——校验试块；
- 4——铅挡块；

图4 穿透力试验示意图

## 7.4 相对灵敏度

### 7.4.1 试验仪器

7.4.1.1 标准试块：按穿透力试验选用。

7.4.1.2 两个线型像质计：像质计材料应选用与试块类似的材料。钢试块应选用钢线型像质计，铝试块应选用铝线型像质计，线型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.1 的规定。

### 7.4.2 试验程序

7.4.2.1 把像质计按图 5 放置在试块上，细丝朝外。试块应与 X 射线管轴线平行。

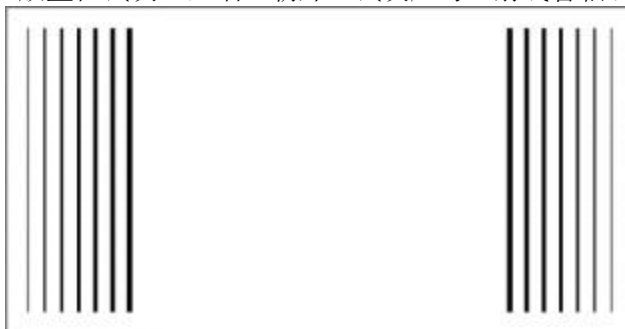


图5 像质计放置示意图

7.4.2.2 按式 (1) 计算相对灵敏度  $K$ ：

$$K = d/T \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$d$ ——计算机屏幕可分辨的最细线直径，单位为毫米 (mm)；

$T$ ——检块厚度，单位为毫米 (mm)；

$K$ ——用百分数表示射线透照相对灵敏度，%。

## 7.5 射线辐射角和辐射场均匀性测定

### 7.5.1 概述

X 射线源用数字探测器法进行辐射角和辐射场均匀性测定试验。

### 7.5.2 试验仪器

试验仪器包括：数字探测器及支架、计算机及成像软件系统。

### 7.5.3 试验程序

按图 6 将数字探测器放置在支架上正面朝向 X 射线源方向，使 X 射线束中心对着探测器中心。如果已知实际焦点至探测器的距离，拍摄一张辐射场照片。如果不知实际焦点至探测器的距离，那么多分几次曝光，每次挪动探测器位置与上次放置位置前后间隔一般 100mm。选择适宜的曝光参数，使曝光后探测器采集到的图像灰度在最大灰度的 10%~80%之间。在计算机成像软件中查看辐射场中心位置和边沿位置的灰度值，以确定最佳焦点位置和辐射场边沿位置（辐射场边沿以最大灰度值的 10%为界）。进行辐射场直径测量。

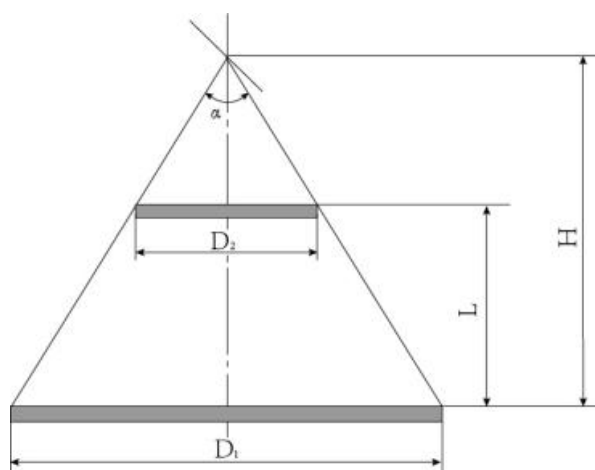


图 6 辐射圆锥角示意图

7.5.4 结果处理

7.5.4.1 按图 7 指定位置测量，并将试验结果填入记录表中。

7.5.4.2 按式 (2) 和式 (3) 确定辐射场圆锥角：

$$\alpha = 2\arctg \frac{D_1}{2H} \text{ (如果已知实际焦点至数字探测器的距离 } H) \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha = 2\arctg \frac{D_1 - D_2}{2L} \text{ (如果不知实际焦点至数字探测器的距离)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\alpha$ ——辐射场圆锥角，单位为度、弧度（如  $45^\circ$ ， $\pi/2$ ）；

$D_1$ ——数字探测器上辐射场直径，单位为毫米（mm）；

$D_2$ ——数字探测器上辐射场直径，单位为毫米（mm）；

$L$ ——数字探测器之间距离，单位为毫米（mm）。

注：试验方法仅适用于辐射圆锥角度小于  $70^\circ$  的辐射场，大于  $70^\circ$  的辐射场建议用辐射探测器法测量。

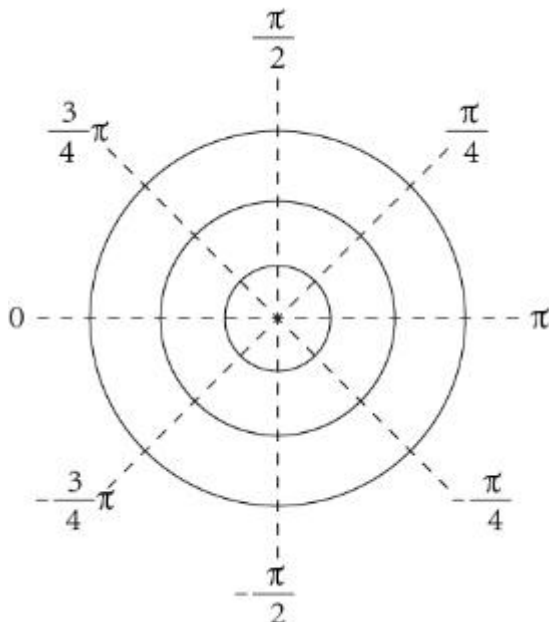


图 7 测量辐射场均匀性的测量点位置

7.6 计时器误差

将计时器分别调到0.5s、1s、2s位置，在按动开关的同时按动秒表，在计时器停止的同时停止秒表，每个位置重复3次，计算每个位置测量值的算术平均值与调定值的差值，取其差值与测定值之比。

### 7.7 额定管电压误差

用球隙放电法测定管电压误差。

### 7.8 连续工作稳定性

工作2s休息10s（特殊型号除外），在额定管电压、管电流下，X射线源连续工作10次，在规定的检验次数内除外界因素造成保护器件动作外，管电压或者管电流达不到额定值均为不正常。

### 7.9 漏射线空气比释动能率

按照GB 22448-2008中3.1的规定进行。

### 7.10 外观质量

用目测法，在工厂正常照明条件下和无任何辅助观察设备情况下进行。

### 7.11 运输、运输贮存环境试验

按JB/T 9329 检测方法进行，高温选+50℃，低温选-10℃。

### 7.12 包装试验

按JB/T 9329 检测方法进行，喷淋试件为30min。

## 8 检验规则

### 8.1 出厂检验

8.1.1 凡出厂的X射线源应经制造厂质量检查部门按出厂检验项目检验合格，签发合格证后方能出厂。

8.1.2 出厂检验项目按表4规定项目进行。

### 8.2 型式检验

8.2.1 凡属下列情况之一者应按本文件进行型式检验：

- 新产品或老产品转厂生产的型式鉴定；
- 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大的改变，可能影响产品性能时；
- 正式生产时，每年进行一次检验；
- 产品长期停产后，恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 国家质量监督检验检疫机构提出进行型式检验要求时。

8.2.2 型式检验项目按表4规定项目进行。

表4 出厂检验及型式检验项目

序号	项 目	技术要求	检验方法	出厂检验	型式试验
1	穿透力	6.4.1	7.3	√	√
2	透照相对灵敏度	6.4.2	7.4	√	√
3	X射线辐射角及场均匀性	6.4.3	7.5	√	√
4	X射线计时器误差	6.4.4	7.6	√	√
5	管电压误差	6.4.5	7.7	√	√
6	连续工作稳定性	6.5	7.8	√	√
7	漏射线比释动能率	6.6	7.9	√	√
8	外观质量	6.7	7.10	√	√
9	运输、运输贮存环境	6.13	7.11	—	√
10	包装	9.2	7.12	—	√

注：“√”为必检项目，“⊙”为选做项目，“—”为不检项目。

## 9 标志、包装、运输和贮存

### 9.1 标志

检测系统外壳表面明显位置处按照GB 18871-2002附录F1规定，喷涂有“电离辐射标志”。在检测系统外壳上明显位置固定铭牌，其内容包括下列各项：

- a) 型号规格、产品名称；
- b) 制造企业名称、地址及商标；
- c) 出厂日期及编号；
- d) 主要技术参数；
- e) 电源：
  - 1) 电压；
  - 2) 容量。
- f) 认证合格标志。

### 9.2 包装

9.2.1 检测系统应采用复合包装，按照 GB/T13384 有关规定进行。

9.2.2 包装箱外壁上文字和标志应清楚，不应因时间长久、搬运摩擦和淋雨而模糊不清，其内容包括下列各项：

- a) 产品名称与型号规格；
- b) 收货单位、地址和发货单位、地址电话；
- c) 包装箱上应标有“易碎物品”、“向上”、“怕雨”、“禁止翻滚”等文字，符合 GB/T 191-2008 规定的包装储运标志的图形和名称；
- d) 产品执行标准编号及名称。

9.2.3 包装箱内应附有下列随行文件：

- a) 产品装箱单；
- b) 产品合格证；
- c) 产品说明书。

### 9.3 运输和贮存

运输和贮存环境条件应符合JB/T 9329中有关规定。库存机存放地点周围不得有腐蚀性气体，环境温度在-10℃~50℃之间，气体相对湿度不得大于85%，仓库的空气应保持流通，地面干燥清洁。

## 附录 A

(规范性)

## 自走式 X 射线线缆检测系统专用穿透力校验试块

自走式 X 射线线缆检测系统专用穿透力校验试块直径应符合表 A. 1 的规定。

表 A. 1 线缆专用穿透力校验试块

额定管电压 kV	120	150	180	200
X 射线源校验试块 $\phi$ mm	$\phi$ 15	$\phi$ 20	$\phi$ 25	$\phi$ 30
	注：校验检块材料：钢 Q235； 校验检块规格：长 $\times$ 宽， $\phi$ 30mm $\times$ 3000mm； 校验检块表面无油渍及其他包裹层。			