

团 体 标 准

T/ CASEI XXX—XXXX

聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法 —数字射线检测方法

Testing and Evaluation Method for Welded Joints of Polyethylene Gas Pipeline
—X-ray Digital Radiographic Testing Method

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国特种设备检验协会 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 一般要求	2
5 检测方法	4
6 图像质量及评定	6
7 图像保存与存储	9
8 结果解释和评价	9
9 质量分级	9
10 检测报告	11
附 录 A （规范性） 系统分辨率核查方法.....	12
附 录 B （规范性） 典型透照方式.....	13
附 录 C （规范性） 双丝型像质计的识别.....	14
附 录 D （规范性） 归一化信噪比测试方法.....	15
附 录 E （规范性） 典型缺陷图列.....	16
附 录 F （规范性） X 射线数字成像检测报告格式	21

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。

本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。

本文件起草单位：略。

本文件主要起草人：略。

本文件为首次发布。

聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法 —数字射线检测方法

1 范围

- 1.1 本文件规定了聚乙烯燃气管道焊接接头 X 射线数字成像检测技术和质量分级。
- 1.2 本文件适用于城镇燃气压力管道在制造、安装、在用检测中的焊接接头的 X 射线数字成像检测。
- 1.3 本文件适用的成像器件为数字探测器；适用的 X 射线最高管电压不超过 300kV。
- 1.4 非城镇燃气压力管道的聚乙烯管材和管件的 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 15558.1 燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第1部分：管材
- GB/T 15558.2 燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第2部分：管件
- GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB/T 23901.2 无损检测 射线照相检测图像质量 第2部分：阶梯孔型像质计像质值的测定
- GB/T 23901.5 无损检测射线照相检测图像质量第5部分：双丝型像质计图像不清晰度的测定
- GB/T 23903 射线图像分辨力测试计
- GB/T 26592 无损检测仪器 工业X射线探伤机性能测试方法
- GB/T 26594 无损检测仪器 工业用X射线管性能测试方法
- TSG D7004 压力管道定期检验规则—公用管道
- GBZ 117 工业探伤放射防护标准
- NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第1部分：通用要求
- NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测
- JB/T 11608 无损检测仪器 工业用X射线探伤装置
- T/CASEI 006 在役聚乙烯燃气管道检验与评价

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 像质计 image quality indicator

一般为聚乙烯管道同样材质制作的用于测定聚乙烯焊缝数字射线照片的射线照相灵敏度的器件，根据在底片上显示的像质计的影像，可以判断底片影像的质量，并可评定透照技术、胶片暗室处理情况、缺陷检验能力等。

3.2 冷焊 cold welding

聚乙烯燃气管道焊接时因欠压（输入或输出电压太低）时造成焊缝容易形成焊接缺陷的焊接方式。

3.3 孔洞 hole

聚乙烯焊接过程中因于夹杂较大固体颗粒或由于局部较大缩孔、气孔等原因形成焊缝内部的孔穴，造成的焊缝结构不连续。

3.4 融合面夹杂 quilt inclusion

聚乙烯焊接过程中由于焊接过程中外来物质掺入熔合面形成异质夹杂物，造成整个熔合面粘接不牢，导致接头性能急剧下降的焊缝结构不连续。其表现为熔合面的整体脆性断裂失效或大面积不均匀的韧性断裂失效。。

3.5 对比试块

一般为聚乙烯管道同样材质制作的用于测定焊接缺陷深度的器件，根据在底片上显示的对比试块的影像，可以判断缺陷的深度。

3.6 小径管

外直径De小于等于100毫米的聚乙烯管子

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 从事 X 射线数字成像检测的人员，上岗前应参加国家规定的辐射安全知识培训，并按照有关法规的要求取得相应证书。

4.1.2 从事 X 射线数字成像检测的人员，应取得 TSG Z8001 所要求的无损检测 X 射线数字成像检测专项资格，方可进行相应项目的检测工作；

4.1.3 从事 X 射线数字成像检测的人员，应了解聚乙烯管道的制造工艺和焊接工艺的特点。

4.2 检测系统与器材

4.2.1 X 射线机

4.2.1.1 应根据被检工件的厚度和焦距大小，选择 X 射线机的能量范围。

4.2.1.2 焦点的选择应与所采用的探测器相匹配。

4.2.1.3 采用的 X 射线机，其性能指标应满足 JB/T 11608 的规定，使用性能测试条件及测试方法参考 GB/T26594 和 GB/T26592 的规定。

4.2.2 探测器系统

4.2.2.1 动态范围应不小于 2000:1，A/D 转换位数不小于 12bit。

4.2.2.2 坏像素要求：面阵列探测器 3×3 像素区域中，相邻坏像素不得超过 3 个；成行（成列）坏像素不得超过 3 个，且不得位于距离中心位置 200 像素以内；成像区域内坏像素不超过总像素的 1%。线阵列探测器中，相邻的坏像素不允许超过 2 个。探测器系统供应商应提供出厂坏像素表和坏像素校正方法。

4.2.2.3 应按照具体的探测器系统规定的图像校正方法，对探测器进行校正。

4.2.2.4 探测器系统性能指标如：坏像素、对比灵敏度、分辨率、信噪比、线性范围、厚度宽容度、残影等，其测试条件及测试方法按相应国家或行业标准的规定执行。

4.2.2.5 探测器系统质量合格证中至少应给出探测器类型、转换屏参数（如有）、像素尺寸、成像面积、射线能量适用范围、量子转换效率、填充因子、采集帧频等技术参数。

4.2.3 计算机系统及软件

4.2.3.1 计算机系统的要求应满足 NB/T47013.11 中 4.2.3 的要求

4.2.3.2 系统软件是 X 射线数字成像系统的核心单元，应具备图像采集、图像处理、缺陷几何尺寸测量、缺陷标注、图像存储、辅助评定和检测报告打印及其它辅助功能，应满足 NB/T47013.11 中 4.2.4 的要求。

4.2.3.3 应包含叠加降噪、改变窗宽窗位和对比度增强等基本数字图像处理功能。

4.2.3.4 应包括信噪比测量、缺陷标记、尺寸测量、尺寸标定功能。

4.2.3.5 宜具有不小于 4 倍的放大功能。

4.2.3.6 应存储原始图像，观察、评定时允许进行相关处理。

4.2.3.7 对原始图像采用滤波等图像处理时，应经合同双方协商同意，并有相关文档记录。

4.2.3.8 其他特殊要求应由合同双方协商确定。

4.2.4 检测工装

4.2.4.1 应根据被检工件进行设计，并满足检测要求。

4.2.4.2 应根据被检工件的重量，选择检测工装的承载能力。宜有平移、旋转、速度连续可调等功能，并保证较高运转精度和稳定性。

4.2.4.3 如采取数字成像连续检测技术，检测工装的运动应与探测器的数据采集同步。

4.2.5 像质计

4.2.5.1 本部分采用的像质计包括阶梯孔型像质计和双丝型像质计。

4.2.5.2 阶梯孔型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.2 的规定，双丝型像质计的型号和规格应符合 GB/T 23901.5 的规定。

4.2.5.3 像质计材料应选择与被检测聚乙烯管道同样或近似材质进行制作，制作后应对所制作像质计进行量值溯源。

4.2.6 检测系统使用性能

应结合被检工件和本部分要求，根据检测系统各部分性能指标选择合适的检测设备和器材，并提供满足上述设备和器材性能指标及系统软件功能的测试证明文件。检测系统的使用性能应满足本部分规定的图像质量要求。

4.2.7 校准或运行核查

4.2.7.1 每年至少对探测器系统性能中的坏像素、线性范围、信噪比、厚度宽容度、残影等进行 1 次校准并记录。

4.2.7.2 每年至少应对使用中的曝光曲线进行 1 次核查。当射线机重要部件更换或经过修理后，应重新制作曝光曲线。

4.2.7.3 每 3 个月至少对探测器坏像素进行 1 次核查，并记录和校正。

4.2.7.4 存在如下情况应进行系统分辨率核查并记录，核查方法按附录 A 执行。

- a) 检测系统有改变时；
- b) 正常使用条件下，每 3 个月应至少核查一次；
- c) 在系统停止使用一个月后重新使用时。

4.3 检测工艺文件

4.3.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书

4.3.2 工艺规程的内容应至少包含如下相关因素和要求：

表1 工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素
1	被检测工件的类型、规格（形状、尺寸、壁厚和材质）
2	依据的法规、标准
3	检测设备器材以及校准、核查、运行核查或检查的要求
4	检测工艺(透照方式、透照参数、几何参数、运动参数等)
5	工艺试验报告
6	缺陷评定与质量分级

4.3.3 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制操作指导书，其内容应至少包括如下内容：

- d) 检测设备器材(包括：X 射线机(规格)、探测器(规格)、滤波板、像质计、标记、检测工装、计算机、显示器、系统软件等)；
- e) 检测工艺参数（包括：管电压、曝光量、透照几何参数、滤波板材质与厚度、检测设备与检测区域的相对位置、被检工件运动形式和速度、透照方式等）；
- f) 检测标识规定；

T/ CASEI ×××—××××

- g) 检测操作程序;
- h) 检测记录;
- i) 图像评定(包括:灰度、信噪比、图像分辨率、图像灵敏度、标记等);
- j) 检测质量的等级。

4.3.4 操作指导书的工艺验证

4.3.4.1 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证。验证的方式可以采用像质计、模拟试块或实际检测对象进行。

4.3.4.2 验证可通过专门的透照试验进行,或以产品的第一批图像作为验证依据。在这两种情况下,作为依据的验证图像均应做出标识。

4.4 安全要求

4.4.1 检测环境应满足系统运行对环境(温度、湿度、接地、电磁辐射、振动等)的要求。

4.4.2 X射线辐射防护条件应符合 GB 18871 和 GBZ 117 的有关规定。现场进行 X 射线数字成像检测时,应按 GBZ 117 的规定划定控制区和管理区,设置警告标志,检测人员应佩戴个人剂量计,并携带剂量报警仪。

5 检测方法

5.1 透照方式

5.1.1 应根据被检工件结构特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。典型的透照方式参见附录 B。

5.1.2 小径管热熔焊接接头满足下列两条件时应采用双壁双影倾斜透照椭圆成像方式:

$$T(\text{壁厚}) \leq 8\text{mm}; g(\text{焊缝宽度}) \leq D_o/4$$

5.1.3 椭圆成像时,应控制影像的开口宽度(上下焊缝投影最大间距)在 1 倍焊缝宽度左右,相隔 90° ,透照 2 次。不满足上述条件或椭圆成像有困难时可采用双壁双影垂直透照方式,相隔 90° ,透照 2 次。

5.1.4 管径 $> 100\text{mm}$ 且小于等于探测器有效成像尺寸的热熔焊接接头采用双壁单影透照方式,一次透照有效长度不大于被检工件内径;管径 $> 100\text{mm}$ 且大于探测器有效成像尺寸的热熔焊接接头,一次透照有效长度应不大于探测器有效成像尺寸。

5.1.5 对于热熔接头翻边不良和在用电熔焊接接头的缺陷检测可选用双壁双影垂直透照方式。

5.1.6 采用连续成像方式采集图像时,应保证被检工件的运动速度与图像采集帧频相匹配,同时应保证 X 射线主射束垂直(或对准)透照被检工件并到达探测器的有效成像区域。

5.1.7 采用静态成像方式采集图像时,图像采集的重叠区域长度应不小于 10mm 。

5.2 成像几何参数的选择

5.2.1 所选用的 X 射线机至被检工件表面的距离 f 应满足下述要求: $f \geq 10d \cdot b^{2/3}$;

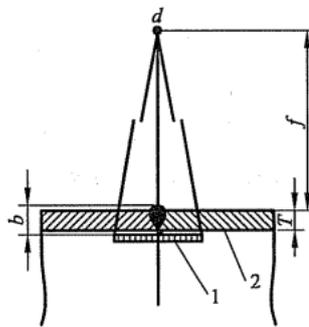


图1 成像几何透照示意图

说明: 1—探测器; 2—被检工件; b: 被检工件表面到探测器的距离; d: 有效焦点尺寸。

T/ CASE1 ×××—××××

5.2.2 采用 X 射线机在内中心透照方式, 当图像质量符合 6.1.4.1 和 6.1.4.2 的要求时, f 值可以减小, 但减小值不应超过规定值的 50%。

5.2.3 采用 X 射线机在内单壁透照方式, 当图像质量符合 6.1.4.1 和 6.1.4.2 的要求时, f 值可以减小, 但减小值不应超过规定值的 20%。

5.2.4 透照几何参数的估算

理论上, 对于给定的检测系统, 可由式 (1) 计算最佳放大倍数。

$$M_0 = 1 + \left(\frac{U_c}{d}\right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

M_0 —最佳放大倍数;

d —焦点尺寸;

U_c —探测器固有不清晰度 (约等于探测器像素大小的 2 倍)。

式 (2) 给出了图像分辨率与透照几何参数之间的关系, 对于给定的检测系统和被检工件, 可结合实际检测工况, 基于式 (2) 选择系统宜采用的透照几何参数。

$$U_t = \frac{1}{M} \sqrt{U_g^3 + U_c^3} = \frac{1}{M} \sqrt{(d(M-1))^3 + U_c^3} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

M —放大倍数 [计算见式 (3)];

U_g —几何不清晰度;

U_r —应达到的图像分辨力 (约等于应分辨的双丝丝径的 2 倍)。

$$M = \frac{F}{f} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

F —X 射线机至探测器的距离;

f —X 射线机至被检工件表面的距离。

5.3 透照方向

透照时 X 射线束中心应垂直指向透照区中心, 需要时可选用有利于发现缺陷的方向透照。

5.4 非平面工件透照次数的确定

5.4.1 小径管环向焊接接头 100% 静态成像的透照次数为相隔 90° 垂直透照 2 次。

5.4.2 对于曲面外径大于 100mm, 且小于探测器有效成像尺寸的被检工件, 在满足透照厚度比 K 值为 1.2 规定的前提下, 一次透照有效长度不大于被检工件内径, 且图像灰度值应满足 6.2.3 的要求。

5.5 透照参数的选择

实际检测时应根据采用的 X 射线数字成像系统和被检工件的特点, 选择适当的 X 射线能量、曝光量等参数, 以满足检测要求。

5.5.1 X 射线能量

应尽量选用较低的管电压。在采用较高管电压时, 应保证适当的曝光量。图 2 规定了不同透照厚度允许采用的最高管电压。对于不等厚工件在保证图像质量符合本部分的要求下, 管电压可适当高于图 2 限定值。

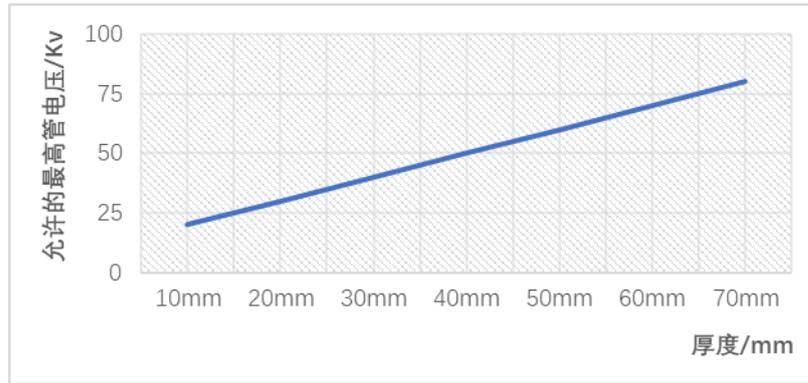


图2 不同透照厚度允许的 X 射线最高透照管电压

5.5.2 曝光量

5.5.2.1 曝光量等于有效曝光时间和管电流的乘积，用 $\text{mA}\cdot\text{s}$ 表示。

5.5.2.2 可通过增加曝光量提高信噪比、提高图像质量。

5.5.2.3 在满足图像质量、检测速度和检测效率要求前提下，可选择较低的曝光量。

5.5.2.4 在实际检测时，应按照检测速度、检测设备和检测质量的要求，通过协调影响曝光量的参数来选择合适的曝光量。

- a) 面阵列探测器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) 线阵列探测器可通过合理选择曝光时间和管电流来控制曝光量。

5.6 标记

5.6.1 透照部位的标记由识别和定位标记组成。

5.6.2 识别标记一般包括产品编号、焊接接头编号、部位编号和透照日期。返修后的透照还应有返修标记，扩大检测比例的透照应有扩大检测标记。识别标记可由计算机写入。

5.6.3 定位标记一般包括中心标记“ \rightarrow ”和搭接标记“ \uparrow ”。中心标记指示透照部位区段的中心位置和分段编号的方向。搭接标记是透照分段标记，一般由适当尺寸的铅制或其他适宜的重金属制数字、拼音字母和符号等构成。当铅制搭接标记用数字或字母表示时，可省去中心标记。

5.6.4 对于连续成像检测，在检测的起始位置做定位标记“ \rightarrow ”，其中“ \rightarrow ”指向检测方向，可利用数字或字母表示分段标记。对环焊缝检测可按顺时针方向用记号笔进行标识；对直焊缝可按左到右方式进行标识，同时应与图像标记匹配。

5.6.5 热熔接头标记一般应放置在距焊缝边缘至少 5mm 以外的部位。

5.6.6 电熔接头标记一般应放置在距电阻丝边缘至少 5mm 以外的部位。

5.6.7 所有标记的影像不应重叠，且不应有干扰有效评定范围内的影像。

5.7 表面处理

检测前应清理被检工件处可能掩盖或干扰缺陷影像的异物，必要时需对表面不规则形状做适当修整。

5.8 无用 X 射线和散射线屏蔽

应采用滤波板、准直器（光阑）、铅箔、铅板等适当措施，减少散射线和无用 X 射线。

6 图像质量及评定

6.1 图像质量

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 应同时保证图像灵敏度和图像分辨率的要求。

6.1.1.2 测定图像质量的像质计分为阶梯孔型像质计和双丝型像质计。

6.1.1.3 图像灵敏度采用阶梯孔型像质计进行测定。

- 6.1.1.4 图像分辨率采用双丝型像质计进行测定。
- 6.1.1.5 图像质量验证应在每一种焊接头的第一次透照时进行或在此之前专门进行工艺验证。验证图像质量的透照布置应摆放阶梯孔型和双丝型两种像质计。
- 6.1.2 阶梯孔型像质计
 - 6.1.2.1 阶梯孔型像质计的放置原则
 - 6.1.2.1.1 单壁单影或双壁双影透照时，放置在 X 射线机侧；单壁透照时，如果像质计无法放置在射线源侧，允许放置在探测器侧，但应进行对比实验。对比试验方法是在射线源侧和探测器侧各放一个像质计，用相同的条件透照，测定出像质计放置在射线源侧和探测器侧的灵敏度差异，以此修正像质计灵敏度的规定，以保证实际透照的图像灵敏度符合要求；
 - 6.1.2.1.2 双壁单影或双壁双影透照时，放置在探测器侧。
 - 6.1.2.1.3 当阶梯孔型像质计放置在探测器时，应在适当位置放置铅字 "F" 作为标记，“F” 标记的图像应与像质计的标记同时出现在图像上，且应在检报告中注明。
 - 6.1.2.2 阶梯孔型像质计的使用
 - 6.1.2.2.1 阶梯孔型像质计材料应与被检工件的材料相同或相近。在满足图像灵敏度要求的前提下，低密度阶梯孔型像质计可用于高密度材料的检测。
 - 6.1.2.2.2 阶梯孔型像质计的材料、材料代码和适用范围应符合表 2 的规定。

表2 阶梯孔型像质计适用范围

阶梯孔型像质计材料代号	PE (聚乙烯)
阶梯孔型像质计材料	聚乙烯
适用的材料范围	聚乙烯

- 6.1.2.2.3 阶梯孔型像质计一般应放置于被检区中心部位的接头热影响区以外。
- 6.1.2.2.4 原则上每张图像上都应有阶梯孔型像质计的影像。在透照参数和被检工件不变的情况下(如一条焊缝的连续成像)，可只在第一幅图像中放置阶梯孔型像质计。
- 6.1.2.3 阶梯孔型像质计的识别

图像上能够识别最小孔的编号即为像质计灵敏度值，当同一阶梯上含有两个孔时，则两个孔都应在图像上可识别。
- 6.1.3 双丝型像质计
 - 6.1.3.1 双丝型像质计应放置在射线机侧。当采用双壁单影透照方式时，可放在探测器侧。
 - 6.1.3.2 双丝型像质计的使用
 - 6.1.3.2.1 双丝型像质计应放置在靠近被检焊缝的母材上，像质计丝与图像（或探测器）的行或列成较小的夹角（如 2~5°），且细丝置于外侧。
 - 6.1.3.2.2 原则上每张图像上都应有双丝型像质计的影像。在透照参数和检测对象不变的情况下（如一条焊缝的连续成像），可只在第一幅图像中放置双丝型像质计，且细丝置于外侧。
 - 6.1.3.2.3 若双丝型像质计无法放置在规定的位置，应采用表 3 中的最小厚度的对比试件代替被检工件，但其图像分率不得低于表中的值。

表3 图像分辨率

公称厚度 T 或透照厚度 W 范围/mm	图像分辨率/ (lp/mm)	丝号	丝径/mm
>3.5~5	5.00	D10	0.10
>5~10	3.85	D9	0.13
>10~25	3.125	D8	0.16
>25~55	2.50	D7	0.20

>55~150	2.00	D6	0.25
注：对于双壁单影透照方式，应取公称厚度 T；对于小径管双壁双影透照方式，透照厚度应取管子直径。			

6.1.3.3 双丝型像质计的识别

双丝型像质计的识别方法见附录 C。

6.1.3.4 图像质量的要求

6.1.3.5 图像灵敏度

按照采用的透照方式，图像灵敏度应符合表 4 的规定。

6.1.3.6 图像分辨率

图像分辨率应满足表 3 的规定。对于小径管双壁双影透照方式，透照厚度应取管子直径。

6.1.3.7 补偿原则

如果图像分辨率达不到表 3 的规定，可通过提高信噪比来提高图像灵敏度，以补偿由于不清晰度达不到要求而引起的对比度灵敏度降低，信噪比应高于 6.2.4 的要求。例如：对于某一检测系统，检测厚度为 10mm 的工件，如果图像质量不能达到 W13 和 D9，则达到 W14 和 D8 可提供等效的检测灵敏度。补偿最大不超过 1 个丝号。

6.1.3.8 对于某一检测系统，若给定几何条件和管电压，可通过增加曝光量提高信噪比。

表4 图像灵敏度值

应识别孔号（孔径/mm）	单壁透照、像质计置于 X 射线机侧	双壁双影、像质计置于 X 射线机侧	双壁单影或双壁双影、像质计置于探测器侧
	公称厚度 e/mm	透照厚度 W /mm	透照厚度 W /mm
H7 (0.500)	—	—	>14~22
H8 (0.630)	>15~24	>10~19	>22~36
H9 (0.800)	>24~30	>19~35	>36~50
H10 (1.000)	>30~40	—	>50~80

6.2 图像评定

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 图像质量满足规定的要求后，方可进行被检工件质最的等级评定。

6.2.1.2 可通过正像或负像的方式显示。

6.2.1.3 应在光线柔和的环境下观察图像，显示器屏幕应清洁、无明显的光线反射。

6.2.1.4 图像有效评定区域内不应存在干扰缺陷图像识别的伪像。

6.2.2 图像灰度范围要求

6.2.2.1 图像有效评定区内的灰度值应控制在满量程的 20%~80%；

6.2.2.2 可通过测量图像灰度直方图等方法确定图像灰度分布范围。

6.2.3 信噪比要求

6.2.3.1 应满足表 5 对归一化信噪比的最低要求。

6.2.3.2 归一化信噪比测试方法见附录 D。

表5 归一化信噪比最低要求

管电压范围/kV	归一化信噪比
≤100	170

T/ CASE1 ×××—××××

6.2.4 图像存储

6.2.4.1 存储格式宜按照 DICOM 格式执行。

6.2.4.2 单位代码、工件编号、焊缝编号、透照参数、检测人员代码、识别标记等信息应写入图像文件的描述字段中，这些信息应具备不可更改性。

6.2.4.3 焊缝编号应与图像编号相对应。

6.2.5 缺陷的识别与评定

6.2.5.1 缺陷的识别和评定工作均可采用人工识别或计算机辅助进行。

6.2.5.2 人工识别可通过系统软件工具对图像进行线性拉伸来改变图像显示的灰度范围，达到人眼识别的最佳效果。

7 图像保存与存储

7.1 图像保存

7.1.1 图像应存储在硬盘等数字存储介质中，并应有效保存。

7.1.2 检测图像应备份不少于两份，相应的原始记录和检测报告也应同期保存。

7.1.3 图像保存不少于 8 年，在有效保存期内，图像数据不得丢失和更改。

7.2 存储环境

保存检测图像的光盘或硬盘等数字存储介质应防磁、防潮、防尘、防积压、防划伤。

8 结果解释和评价

8.1 缺陷的类型

8.1.1 热熔焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、融合面夹杂、孔洞、翻边不良五类。

8.1.2 电熔焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、融合面夹杂、孔洞、电阻丝错位五类。

8.2 缺陷的尺寸

8.2.1 应通过系统软件对缺陷的几何尺寸进行测量，测量公式参照 NB/T47013.11 中 6.2.7 的要求

8.2.2 对比试块应选择与被检测聚乙烯管道同样或近似材质进行制作，制作后应对所制作的对比试块进行量值溯源，对比试块尺寸应符合 NB/T47013.2 中附录 L 的要求。

8.2.3 对于不可接受的缺陷，可使用对比试块进行深度确认，也可使用模拟试件，通过系统软件计算实现。。

9 质量分级

9.1 聚乙烯燃气管道对接接头质量分级

根据接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度，其质量等级可划分为 I、II、III 级。

I、II 级焊接接头内不允许有裂纹和未熔合缺陷。

9.2 缺欠评定

9.2.1 聚乙烯热熔焊焊接接头缺欠评定

9.2.1.1 孔洞

I、II 级热熔接头中不允许存在连贯性孔洞、与冷焊区贯通的孔洞。孔洞缺欠按表 6 的规定进行分级评定。

孔洞缺欠的质量分级

级别	单个孔洞	组合孔洞
I 级	$X/L < 5\% \text{ 且 } h < 5\%T$	累积尺寸 $X/L < 10\% \text{ 且 } h < 5\%T$
II 级	$X/L < 10\% \text{ 且 } h < 10\%T$	累积尺寸 $X/L < 15\% \text{ 且 } h < 10\%T$

III级	大于II级者
注：X为该缺欠在熔合面周向方向的尺寸，L为热熔接头长度，T为热熔接头管材壁厚，h为孔洞的自身高度。	

9.2.1.2 熔合面缺欠

I、II级热熔接头中不允许存在熔合面裂纹、未熔合等危害性缺陷。熔合面缺欠按表6的规定进行分级评定。

表1 熔合面缺欠的质量分级

质量等级	工件厚度/mm	单个缺欠						多个缺欠
		表面缺欠			埋藏缺陷			
		长度 L_{max}	高度 h_3	若 $L > L_{max}$ 缺欠高度 h_1	长度 L_{max}	高度 h_2	若 $L > L_{max}$ 缺欠高度 h_1	
I级	$6 \leq e \leq 8$	e	1.0	-	e	1.5	1.0	1) 若多个缺欠其各自高度h均为： $h_1 \leq h \leq h_2$ 或 h_3 ，则在任意12t范围内，且深度在工件厚度40%范围内（最小可为6mm，但最大不超过30mm），累积长度不得超过2t且最大值为150mm； 2) 对于单个或多个允许的表面积缺欠，其最大累积长度不得大于整条焊缝长度的5%且最长不得超过200mm。
	$8 \leq e \leq 15$	8	2.0	1.0	8	2.0	1.0	
	$15 \leq e \leq 30$	15	2.5	1.5	15	2.5	1.5	

表6 (续)

质量等级	工件厚度/mm	单个缺欠						多个缺欠
		表面缺欠			埋藏缺陷			
		长度 L_{max}	高度 h_3	若 $L > L_{max}$ 缺欠高度 h_1	长度 L_{max}	高度 h_2	若 $L > L_{max}$ 缺欠高度 h_1	
II级	$6 \leq e \leq 8$	e	1.5	1.0	e	1.5	1.0	1) 若多个缺欠其各自高度h均为： $h_1 \leq h \leq h_2$ 或 h_3 ，则在任意12t范围内，且深度在工件厚度40%范围内（最小可为6mm，但最大不超过30mm），累积长度不得超过3t且最大值为200mm； 2) 对于单个或多个允许的表面积缺欠，其最大累积长度不得大于整条焊缝长度的10%且最长不得超过300mm。
	$8 \leq e \leq 15$	e	2.0	1.0	e	2.0	1.5	
	$15 \leq e \leq 30$	e	2.5	1.5	e	3.0	2.0	

9.2.1.3 错边

最大错边量应小于管材壁厚的10%，或者按合同规定执行。

9.2.1.4 聚乙烯热熔焊焊接接头典型缺欠图谱见资料性附录 A

9.2.2 聚乙烯电熔焊焊接接头缺欠评定

9.2.2.1 熔合面夹杂的质量分级

熔合面夹杂缺陷按表9的规定进行分级评定。

表2 熔合面夹杂缺陷的质量分级

级别	与内冷焊区贯通的熔接面夹杂的缺陷长度	与内冷焊区不贯通的熔接面夹杂的缺陷长度
I	—	不大于标称熔合区长度 L/10
II	不大于标称熔合区长度 L/10	不大于标称熔合区长度 L/5

T/ CASE1 ×××—××××

III	大于 II 级者
注：L 为标称熔合区长度。	

9.2.2.2 孔洞

I、II 级电熔接头中不允许存在相邻电阻丝间有连贯性孔洞、与内冷焊区贯通的孔洞。孔洞缺陷按表10的规定进行分级评定。

表3 孔洞缺陷的质量分级

级别	单个孔洞	组合孔洞
I	$X/L < 5\%$ 且 $h < 5\%T$	累计尺寸 $X/L < 10\%$ 且 $h < 5\%T$
II	$X/L < 10\%$ 且 $h < 10\%T$	累计尺寸 $X/L < 15\%$ 且 $h < 10\%T$
III	大于 II 级者	
注：x 为该缺陷在熔合面轴向方向上尺寸，L 为标称熔合区长度，T 为电熔接头管材壁厚，h 为孔洞自身高度。		

9.2.2.3 电阻丝错位

I、II 级电熔接头中不允许存在相邻电阻丝相互接触的缺陷。电阻丝错位缺陷按表11的规定进行分级评定。

表4 电阻丝错位缺陷的质量分级

级别	电阻丝错位量
I	无明显错位
II	错位量小于电阻丝间距
III	大于 II 级者或相邻电阻丝相互接触

9.2.2.4 承插不到位

I、II 级电熔接头中不允许存在承插不到位缺陷。

9.2.2.5 聚乙烯电熔焊接头典型图谱见资料性附录 B

9.3 综合评级当接头中同时出现多种类型的缺陷时，以质量最差的级别作为接头的质量级别。

9.4 接头的质量接受标准由合同双方商定，或参照有关规范执行。

10 检测报告

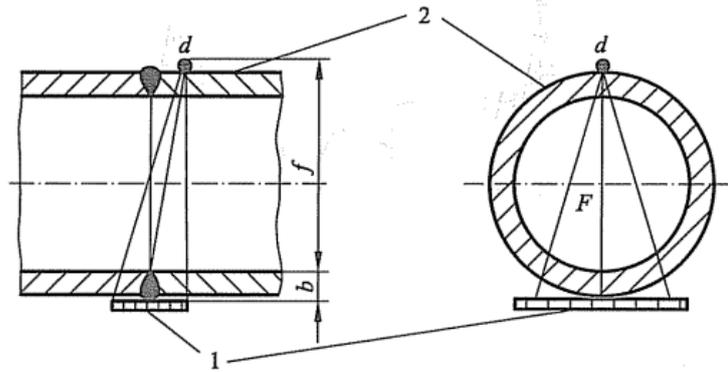
X射线数字成像检测报告应至少包括下列内容：

- a) 建设单位、检测单位或委托单位；
- b) 被检工件：焊接方法；
- c) 使用的检测工艺文件编号；
- d) 检测设备：射线机有效焦点尺寸；
- e) 检测规范：透照布置、像质计、滤波板、射线能量、曝光量或透照时间、射线机与探测器的相对关系、透照几何参数等；
- f) 图像评定：灰度值、信噪比、图像灵敏度、图像分辨率、缺陷位置和性质。

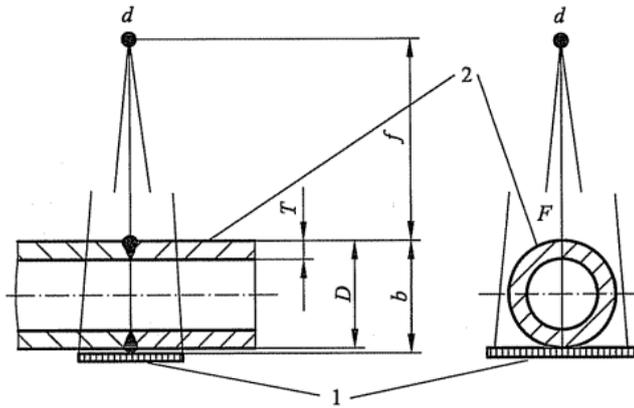
附录 A
(规范性)
系统分辨率核查方法

- A.1 系统分辨率核查应采用双丝型像质计。
- A.2 双丝型像质计样式见 GB/T 23901.5。
- A.3 双丝型像质计应有测试或鉴定证书。
- A.4 核查方法
 - A.4.1 将双丝型像质计紧贴在探测器输入屏表面中心区域，金属丝应与探测器的行或列成 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 放置，按如下工艺条件进行透照，并在计算机上成像：
 - a) X射线管焦点至探测器输入屏表面的距离为 $1000 \pm 50\text{mm}$ 。在条件受限情况下，可适当减小F，但应保证检测系统的几何不清晰度不大于探测器像素尺寸的5%。
 - b) 曝光参数：管电压50kV，1mm铝滤波板；
 - c) 灰度值不小于最大灰度值的50%。
 - d) 信噪比：像素值 $\geq 80\mu\text{m}$ 时， $\text{SNR}_n \geq 140$ ；像素值 $< 80\mu\text{m}$ 时， $\text{SNR}_n \geq 100$ 。
 - A.4.2 系统分辨率的识别方法参见附录C。
- A.5 系统分辨率应满足表4的要求，用于小径管双壁双影透照方式检测时，表中透照厚度应取管子直径。

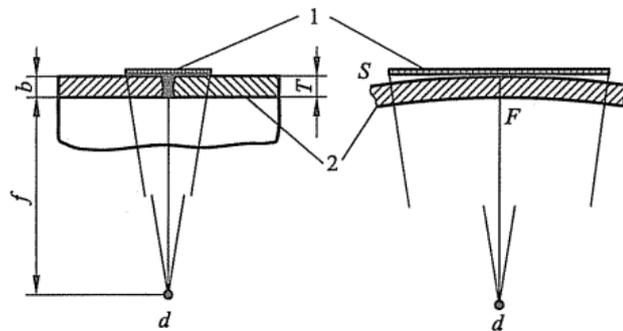
附录 B
(规范性)
典型透照方式



图B.1 环焊缝 X 射线机在外双壁单影透照方式



图B.2 小径管环焊缝垂直透照方式



图B.3 环缝 X 射线机在内单壁透照方式

附录 C
(规范性)
双丝型像质计的识别

C.1 双丝型像质计的布置

双丝型像质计的放置应与图像（或探测器）的行或列成较小的夹角（如 $2^\circ \sim 5^\circ$ ）。

C.2 双丝型像质计可识别率的测量方法

C.2.1 双丝型像质计的识别和测量应在图像上灰度均匀的区域内进行，应使用不少于21行像素叠加平均。

C.2.2 按照图C.1所示，在能够清晰地分辨最细线对的影像处，按式（C.1）计算丝的可识别率R。

$$R = (\Delta GV/BGV) \times 100\% \dots\dots\dots (C.1)$$

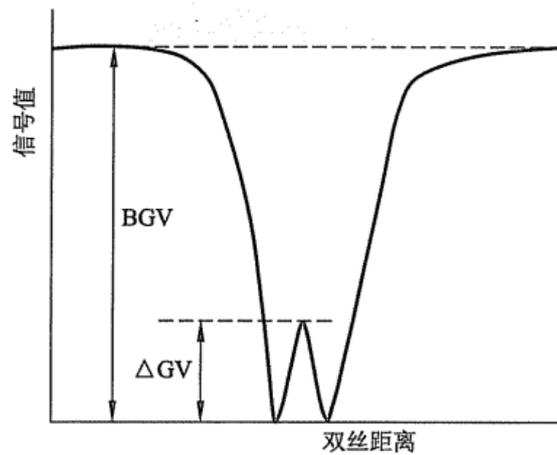
式中：

ΔGV ——可分辨的最细线对的灰度差；

BGV——背景灰度。

C.2.3 本部分要求满足 $R > 20\%$ ，即满足边缘分离大于20%的要求，则这一线对可识别。

C.2.4 双丝型像质计图像中第一组不大于20%的线对，即为表4要求的最小分辨率。



图C.1 双丝型像质计可识别率图示

附录 D
(规范性)
归一化信噪比测试方法

D.1 归一化信噪比计算

归一化信噪比 SNR_n 由式 (D.1) 计算得到:

$$SNR_n = SNR_m \times \frac{88.6}{P} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

P—分辨率 (um); 测量系统归一化信噪比时, P 为系统分辨率; 测量图像归一化信噪比时, P 为图像分辨率。

SNR_m —测量信噪比。

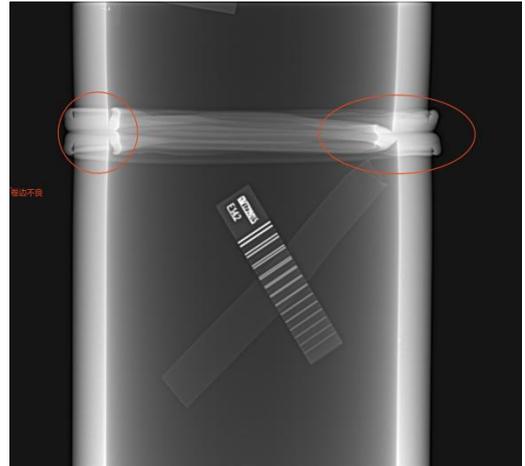
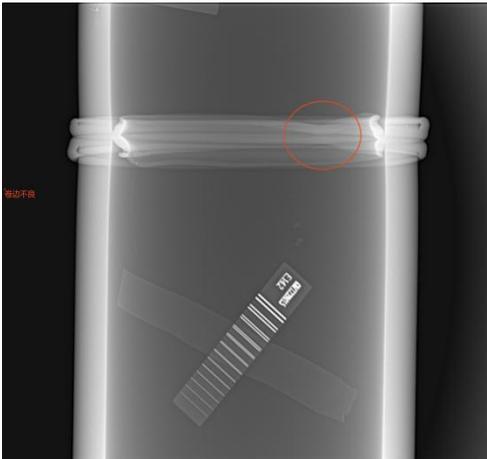
D.2 测量信噪比

信噪比测量是指在均匀区域 (图像信噪比指热影响区或焊缝附近的母材、无缺陷处), 取面积不小于 20 像素×55 像素的矩形区, 计算此区域的均值和标准差, 按照信噪比定义得到测量信噪比 SNR_m 。

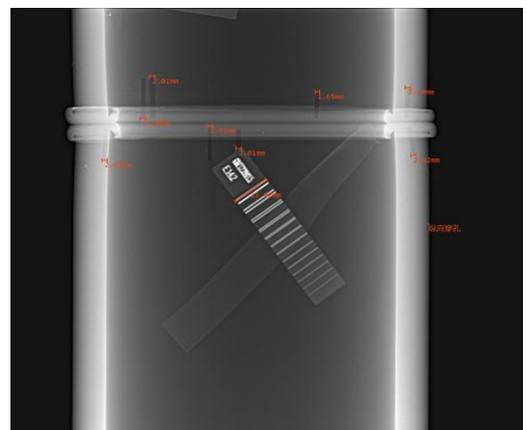
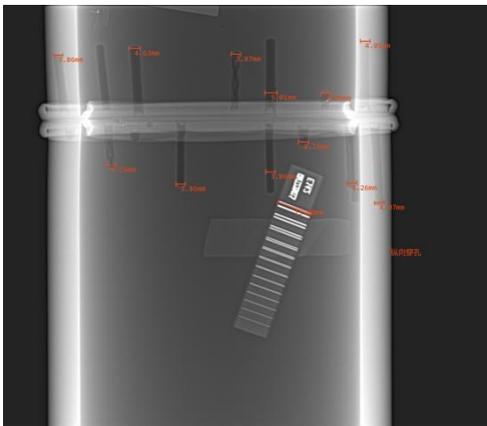
附录 E
(规范性)
典型缺陷图列

E.1 管材与管材热熔对接

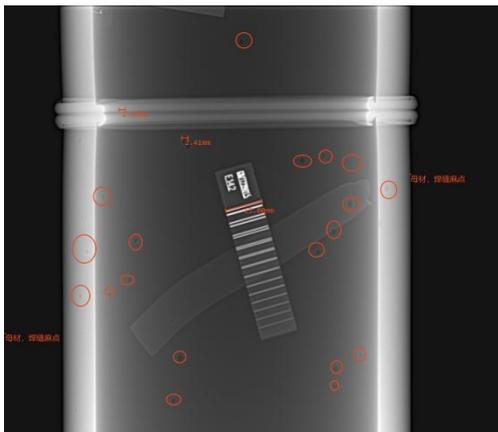
E.1.1 孔洞缺陷



卷边不良



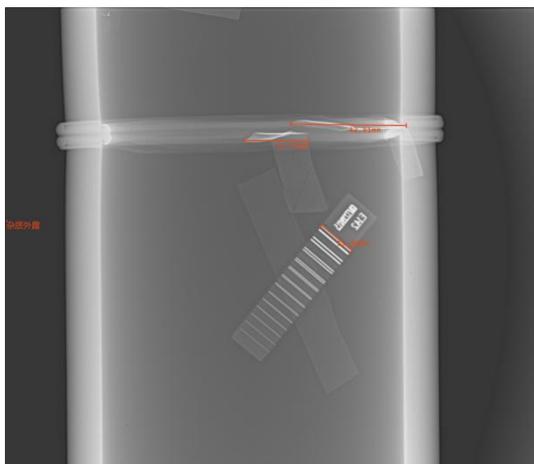
纵向穿孔



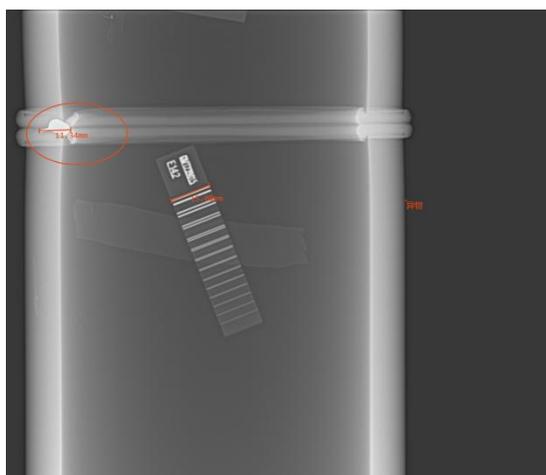
母材、
焊缝麻点

T/ CASEI ×××—××××

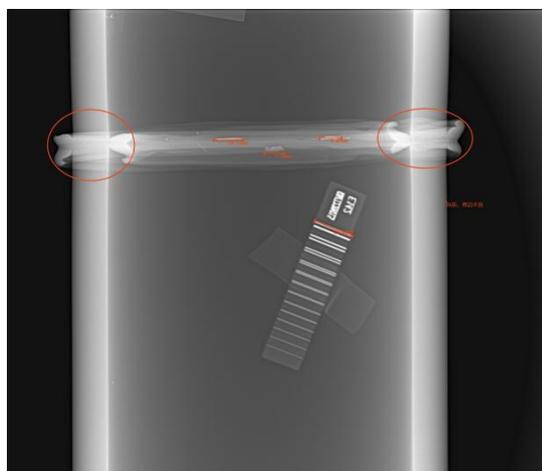
E. 1.2 夹杂缺陷



杂质外露



异物

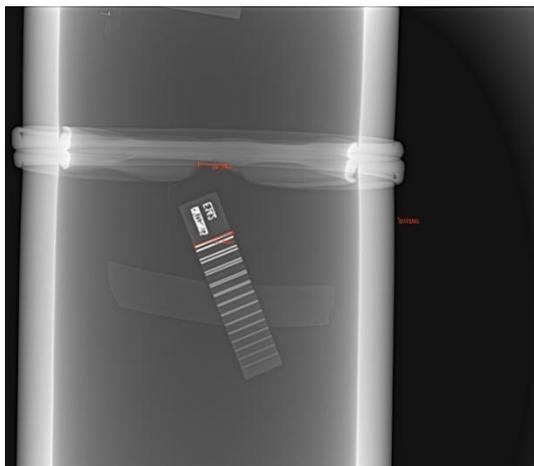


杂质、
卷边不良

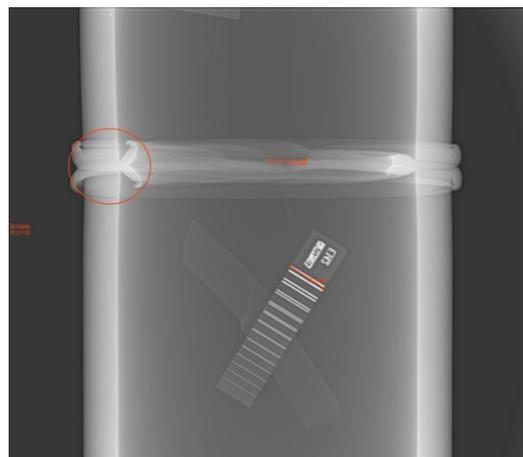


T/ CASEI ×××—××××

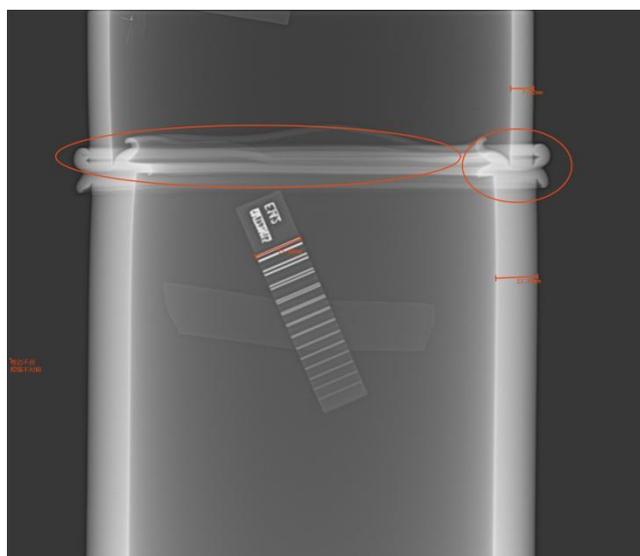
E. 1.3 裂纹缺陷



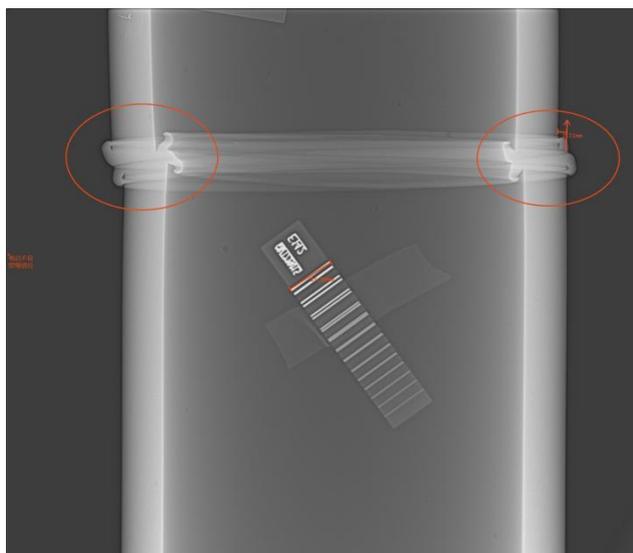
杂质、
卷边不良



E. 1.4 工艺缺陷和操作不当缺陷

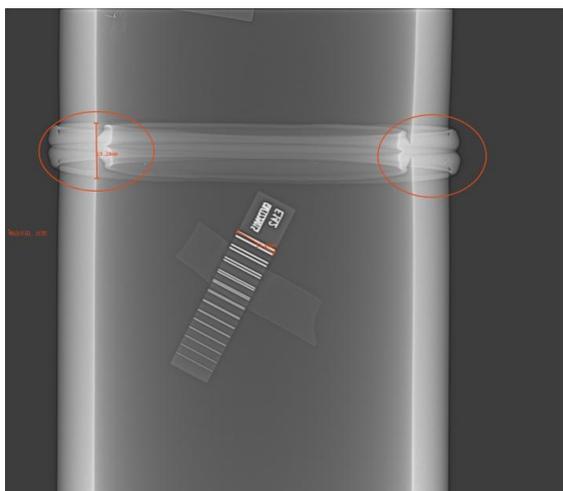


卷边不良、焊缝不对称

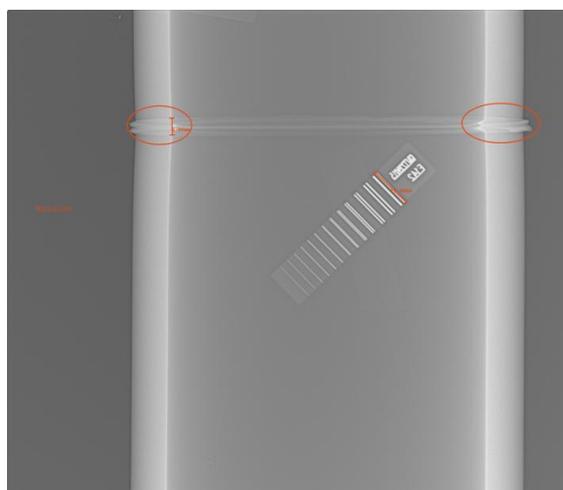


卷边不良、焊缝错位

T/ CASEI ×××—××××



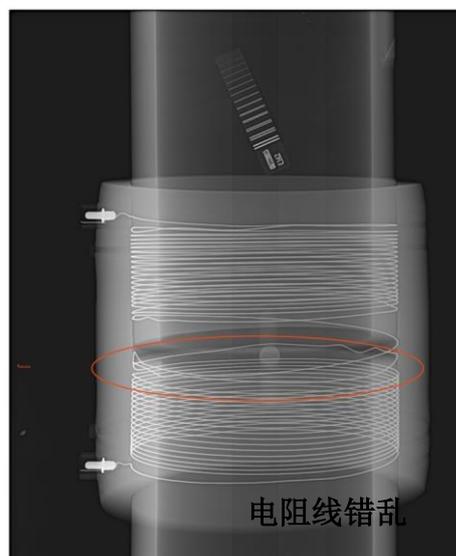
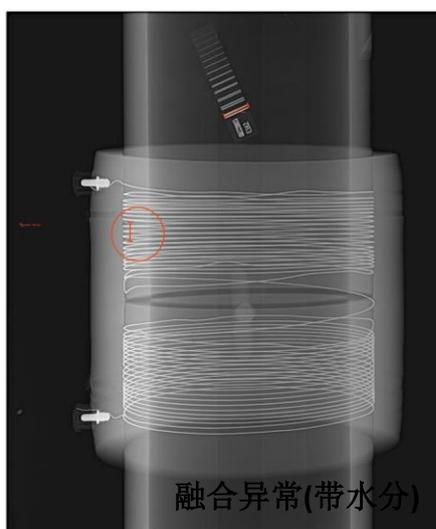
卷边不良、过宽

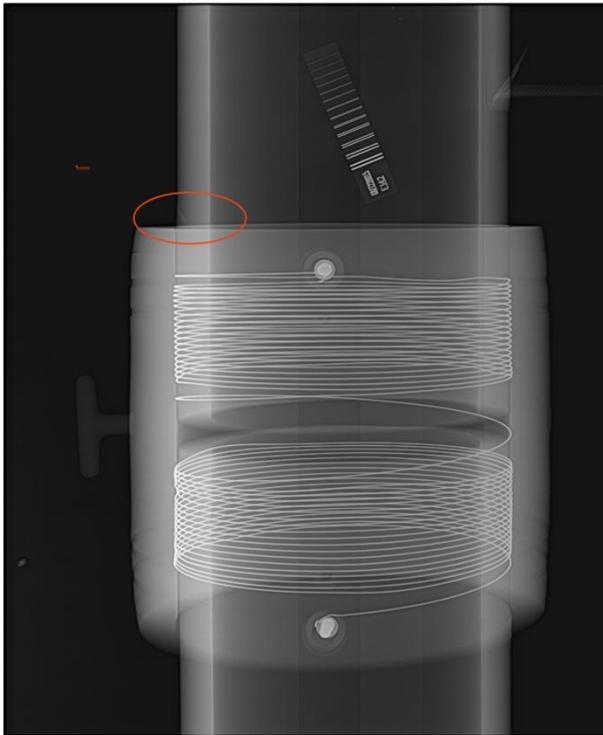


卷边不良、过窄

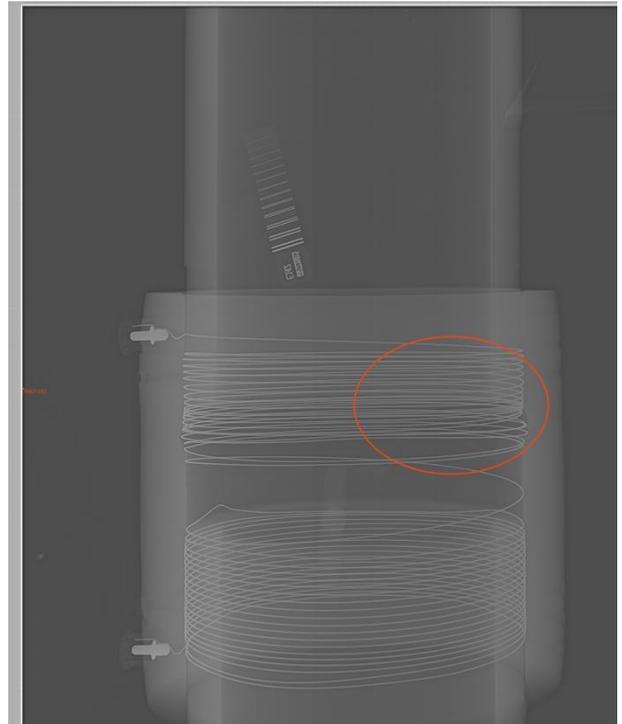
E.2 管材与管材电熔连接

E.2.1 不规范操作



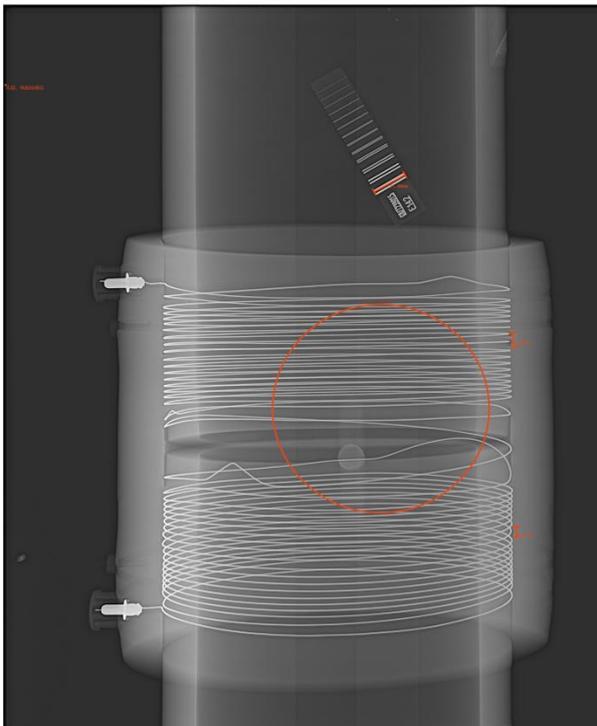


夹杂纸条

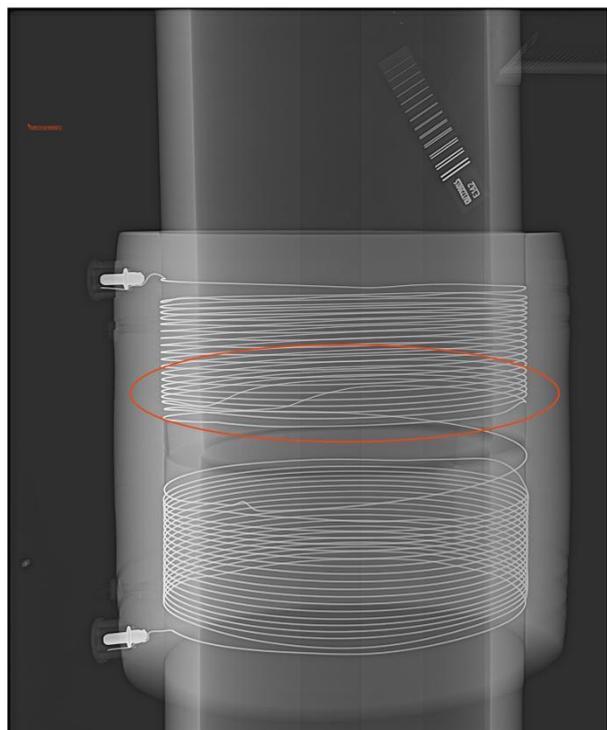


承插不到位

E. 2.2 工艺缺陷



孔洞、电阻丝错位



电阻丝轻微错位

附录 F

(规范性)

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:

检件名称		检件材质		
检件规格		检测比例		
检测时机		检测标准		
技术等级		验收标准		
检件编号		焊接方法		
焊缝编号		焊缝长度		
成像条件	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		滤波板	
	管电流		阶梯孔型像质计型号	
	曝光时间		双丝型像质计型号	
	透照方式		像质指数	H /D
	放大倍数		灰度值	
	图像存储格式		信噪比	
成像数量	总计: _____幅			
评定结果	合格_____幅, 不合格_____幅。			
标记编号	缺陷类型	缺陷尺寸/mm	评定结果	
备注	检测示意图			
检测人员:			评定人员:	
	年 月 日		年 月 日 (检测专用章)	

《聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法—数字射线检测方法》编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

《聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法—数字射线检测方法》团体标准以江苏省特检院科技项目“埋地聚乙烯（PE）管失效机理、检验与评价方法研究”（KJ（Y）2016017）的相关成果为基础，结合江苏省特检院历年 8000 余公里聚乙烯燃气管道的检测实践经验制定。由中国特种设备检验协会批准立项，立项号 2021026。该标准由中国特种设备检验协会归口管理。

1.2 起草单位

略。

1.3 主要起草人及其所承担工作的简要说明

略。

2 编制原则和主要内容

2.1 编制原则

1) 标准的编写格式按国家标准GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》的规定和要求进行编写；

2) 本标准以江苏省特检院科研成果为基础，进行综合凝练，以保证标准的先进水平。是对《压力管道规范 公用管道》GB/T 38942 - 2020 明确提出对聚乙烯燃气管道焊接接头无损检测要求的补充，提出具体的检测方法和判定标准。

3) 以科研成果为基础，充分考虑工程应用的结果，以保证标准的适用性；

4) 充分考虑我国对聚乙烯燃气管道安全监察的总体要求、我国当代社会价值取向、管道失效模式及特点、我国企业技术、经济、管理水平和人员素质；

5) 为政府安全监察和企业安全管理的提供技术支撑；

6) 满足标准的科学性、先进性、有效性原则，规范我国聚乙烯燃气管道的位置探测方法选择。

2.2 标准主要内容说明

本标准给出聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法—数字射线检测方法,由10个章节和6个附录组成,包括:范围、规范性引用文件、术语和定义、一般要求、检测方法、图像质量及评定、图像保存与存储、结果解释和评价、质量分级、检测报告与记录、附录A(系统分辨率核查方法)、附录B(典型透照方式)、附录C(双丝型像质计的识别)、附录D(归一化信噪比测试方法)、附录E(聚乙烯热熔焊接接头典型缺欠图谱)、附录F(聚乙烯电熔焊接接头典型缺欠图谱)。

本标准是首次制订,核心的技术内容包括:热熔电熔检测具体要求、像质计、缺陷判定、缺陷标准图谱,这些内容是在江苏省特检院科技项目“埋地聚乙烯(PE)管失效机理、检验与评价方法研究”(KJ(Y)2016017)等的相关研究成果的基础上进行了综合凝练,并在近10000公里的城市燃气管网进行了工程试应用,从而确定的。

1) 确定本标准的适用范围

1.1 本文件规定了聚乙烯燃气管道焊接接头 X 射线数字成像检测技术和质量分级。

1.2 本文件适用于城镇燃气压力管道在制造、安装、在用检测中的焊接接头的 X 射线数字成像检测。

1.3 本文件适用的成像器件为数字探测器;适用的 X 射线最高管电压不超过 300kV。

1.4 非城镇燃气压力管道的聚乙烯管材和管件的 X 射线数字成像检测,可参照使用。

这满足 NB/T47013.11《承压设备无损检测 第 11 部分: X 射线数字成像检测》的要求。

2) 一般要求

主要规定了 X 射线数字成像检测的人员、设备系统、计算机系统等的的基本要求。

3) 检测方法

规定了聚乙烯燃气管道位置的检测方法的透照方式、参数选择等要求。

4) 检测实施

给出了检测实施过程中的具体要求。

5) 图像质量及评定

本章规定了 X 数字射线检测图像质量和图像评定要求。

6) 图像保存与存储

本章规定了 X 数字射线检测图像保存和存储的要求。

7) 结果解释和评价

本章解释了缺陷的不同类型和尺寸的测量

8) 质量分级

本章描述了接头的质量分级和不同缺陷的判定准则

9) 检测报告与记录

对记录和报告进行了要求。

3 综述报告及预期经济效果

随着我国 PE 燃气管生产厂的相继建成, 以及 PE 燃气管质量的不断提高, 国内 PE 燃气管迎来了蓬勃发展的转机。国内的研究机构、生产和管理部门对于 PE 管材管件从原料到产品配套, 从制造到管道铺设进行了很多基础的研究和开发工作, 现在我国已经有聚乙烯燃气管材管件的国家标准和工程技术规范。我国近几年也有几十个城市以 PE 管代替钢管应用于燃气行业。在《国家化学建材产业“十五”计划和 2010 年发展规划纲要》中提出, 在新建、改建、扩建工程中, 城市燃气管道(中低压管)20%以上应采用塑料管。以沿海发达城市广州为例, 从 1991 年开始推广使用 PE 管, 1998 年后进一步推广使用, 目前已经铺有埋地 PE 燃气管道 100 多公里, 在新建小区的埋地燃气管道基本都采用 PE 管, 今后还将继续大范围使用 PE 燃气管道。

PE 燃气管道长期承受着复杂的环境载荷、工作载荷和意外风险载荷, 因此 PE 燃气管道由于埋深不足造成的 PE 管体变形、位置标明不清导致的第三方破坏、焊接质量不高造成的泄漏等事故频频出现。PE 燃气管道长期输送天然气、石油气以及其它介质, 一旦发生事故, 不但很难维修和更换, 而且污染环境、影响正常生产运输, 给国家经济造成巨大损失。到目前为止国内外埋地 PE 燃气管已发生多次事故, PE 燃气管道系统并不总是处于安全、稳定的状态。据收集和调查的埋地 PE 燃气管道的事故案例表明事故直接原因多为人为破坏, 而它的理论寿命难以得知。可见如何确保 PE 管道系统的安全有效运行和正确预测其使用寿命等问题, 无疑成为了广大用户和科研工作者需要解决首要问题。从工程应用来看, 目前国内外对埋地管道寿命预测的研究还停留在实验阶段, 燃气管道失效分析的研究成果非常少。而国内对于 PE 燃气管道检验与评价技术研究也才刚刚起步, 经验极其匮乏, 迄今为止, 尚无对 PE 燃气管道检验与评价的技术方法进行系统性分析与总结的研究。鉴于这种情况下, 开展对 PE 管焊缝的失效机理、检测方法和缺陷评定准则的研究, 对于减少和防范管道焊缝失效安全事故的发生具有重要意义。

本标准为了适应国家有关法规、规章中关于聚乙烯燃气管道焊缝无损检测要求和评判依据, 提出对聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法—数字射线检测方法的应用。解决了长期困扰燃气管道政府安全监察、企业安全生产的瓶颈性技术难题, 为我国实施科学、合理、经济、有效的安全监管措施, 从根本上扭转聚乙烯焊接接头无法检测和评判的被动局面, 提供了必不可少的急需技术和方法手段。本标准中的聚乙烯焊接接头检测方法, 已成功应用于江苏省、上海市等地城市部分燃气管道的位置检测, 为企业掌握所辖管道的焊缝安全评判, 提供了科学依据和技术指导, 并通过减少焊缝失效破坏几率, 降低事故风险。

4 标准水平

目前，与本标准相关的标准为T/ CASEI 006-2022《在役聚乙烯燃气管道检验与评价》，标准中对焊接接头检测进行了描述，但不全面，而NB/T47013.11《承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测》只是对金属X数字射线进行了要求，无法与TSG D7004等相关安全技术规范进行有效衔接。本标准给出了聚乙烯燃气管道的焊接接头的要求和评判，是《压力管道定期检验规则——公用管道》（TSG D7004-2010）和团体标准T/ CASEI 006-2022的有效补充，是根据我国聚乙烯燃气管道的建设条件和运行管理的工程实际，在对前期研究成果的凝练与整合、工程适用性研究的基础上，充分考虑国内外管道制造、安装、维护、管理、检验水平的差距，充分考虑我国特种设备安全监察的总体要求，与我国的经济水平、社会保障条件以及有关安全技术法规相适宜，是国内外同类方法不能替代的。

5 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

《压力管道定期检验规则—公用管道》（TSG D7004-2010）提出了聚乙烯燃气管道位置检测的要求，但未明确方法和要求。针对聚乙烯燃气管道可能出现的焊接缺陷，非常迫切的需要开展PE燃气管道焊接接头数字射线检测方法的研究，制定定期检验标准，解决聚乙烯燃气管道焊缝检测的问题，为聚乙烯燃气管道的安全提供科学的检验方法体系，保障城镇燃气管道的安全运行。本标准是这个安全技术规范的支撑标准，给出了具体明确的聚乙烯燃气管道焊接接头数字射线检测评价方法。

本标准是为适应国家有关法规、规章中关于聚乙烯燃气管道位置检测的要求而制定。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7 贯彻团体标准的要求和措施建议

- 1) 标准发布后，应组织对实施标准的单位和技术人员进行宣贯培训；
- 2) 主管部门对标准的实施情况进行检查，发现问题及时反馈，确保本标准的贯彻实施。

8 废止现行有关标准的建议

无。

9 其他应予说明的事项

无。

《聚乙烯燃气管道焊接接头检测评价方法—数字射线检测方法》

标准编制工作组