

ICS 19.100

CCS H 26

团 体 标 准

T/CASEI XXX-XXXX

热壁加氢反应器的高能射线计算机射线照相检测技术要求

Technical Requirements for High-energy
Radiographic (CR) Testing of Hot-wall
Hydrogenation Reactors

(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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 一般要求 4

6 检测结果评定和质量分级 18

7 检测记录和报告 18

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：一重集团大连核电石化有限公司。

参与单位：中国特种设备检测研究院、南昌航空大学、丹东市阳光仪器有限公司、中石油华东设计院有限公司、中石化广州工程有限公司、中国石化工程建设有限公司、浙江石油化工有限公司、北京市朝阳区特种设备检测所、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、广州特种设备检测研究院、齐齐哈尔市检验检测中心、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、中广核工程有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、廊坊北检无损检测有限公司。

本文件主要起草人：徐鹏航、侯冰、邬冠华、周凤革、潘磊、谢育辉、张国信、尹青峰、辛华、程红伟、于龙华、周杨飞、翟伟、王俊雄、丁武仁、邹国伟、邵勇、刘怿欢、汪文锋、张宏亮。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国特种设备检验协会不负责对其任何专利的鉴别。

本文件为首次发布。

热壁加氢反应器的高能射线计算机射线照相检测技术要求

1 范围

- 1.1 本文件规定了热壁加氢反应器熔化焊焊接接头的高能 X 射线 CR 检测技术要求。
- 1.2 本文件适用于热壁加氢反应器的制造检测中的焊接接头的高能 X 射线的 CR 检测应用，制作焊接接头的材料包括钢、镍及镍合金，其他承压设备如铜及铜合金、钛及钛合金等金属材料的焊接接头也可参照执行。
- 1.3 本文件适用于电子加速器产生的能量大于 1MeV 的高能 X 射线检测。

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。

GBZ 117	工业 X 射线探伤放射卫生防护标准
GB/T 21356	无损检测计算机射线照相系统的长期稳定性与鉴定方法
GB/T 23901.5	无损检测射线照相检测图像质量第 5 部分
GB/T 23910	无损检测射线照相检测用金属增感屏
GB/T 11533	标准对数视力表
GB/T 12604.2	无损检测术语射线照相检测
GB 18871	电离辐射防护及辐射源安全基本标准
NB/T 47013.1	承压设备无损检测第 1 部分：通用要求
NB/T 47013.2	承压设备无损检测第 2 部分：射线检测
NB/T 47013.14	射线计算机辅助成像检测

3 术语和定义

GB/T12604.2、NB/T47013.1、NB/T47013.2 和 NB/T47013.14 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

成像板 imaging plate (IP)

成像板由表面保护层、光激发发光存储磷光体物质层、基板、背面保护层组成，是一种由粉末状光激发发光存储磷光体，该磷光体在其晶体结构缺陷中可以储存被吸收的 X 射线能量形成潜影，在适当波长的可见光的激发下，能把俘获的能量释放出来而发出可见光成为产生数字化影像的信号的物质形成的射线强度探测的柔性成像板。

3.2

射线 CR 检测 computed radiography

用成像板记录射线穿透物体后得到的射线强度分布信息，随后用激光扫描仪扫描 IP 板记录的强度信息，并用光电传感器转换为电信号，通过 A/D 转变变成数字信号，组合扫描仪在扫描过程中获得声的位置信息，在计算机中形成射线穿透物体后得到的射线强度分布影像，由此影像对被检测物体内部缺陷、材料成分、不连续性进行判断的无损检测技术。

3.3

被检工件-成像板距离 b object-to-IP distance

沿射线束中心线方向上测量的被检工件表面（射线源侧）至成像板之间的垂直距离。

3.4

射线源-成像板距离 F source-to-IP distance

沿射线束中心线方向上测量的射线源至成像板之间的距离，即焦距。

3.5

射线源-被检工件距离 f source-to-object distance

沿射线束中心线方向上测量的射线源至被检工件表面（射线源侧）之间的垂直距离。

3.6

成像板的结构噪声 structure noise of IP

由 IP 板中磷光物质颗粒大小、分布不均匀个导致扫描后形成图像所带有的固有噪声。

3.7

像素 pixel

计算机形成图像中整个图像中不可分割的单位或者是元素，由图像的小方格组成的，这些小方块都有一个明确的位置和被分配的灰度数值（光强度对应的 A/D 转换值）。

3.8

灰度值 GV grey value

计算机图像的像素中记录光强度大小对应的 A/D 转换值，表征数字图像中像素明暗程度的数值。

3.9

线性灰度 GV linearized grey value

计算机图像的像素中记录光强度大小对应的 A/D 转换值，与成像板的曝光量成正比的灰度值。

3.10

射线 CR 检测灵敏度 CR Radiographic testing sensitivity

CR 检测所能发现的被检工件中最小细节的能力。

3.11

分辨率 resolution ratio

单位长度上分辨两个相邻细节间最小距离的能力，单位为线对每毫米（lp/mm）。

3.12

分辨力 resolution

分辨两个相邻细节间最小距离的能力，单位为毫米（mm）。

3.13

信噪比 SNR signal-to-noise ratio

在数字图像中，选定区域的线性灰度平均值与标准差的比值。

3.14

归一化信噪比 SNRn normalized signal-to-noise ratio

基于分辨率，经归一化处理后的信噪比。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 从事射线计算机辅助成像检测的人员（以下简称“检测人员”）应符合 NB/T 47013.1 的有关规定，并取得射线数字成像检测项目的资格。

4.1.2 检测人员应了解与射线数字成像技术相关的计算机知识、数字图像处理知识，掌握相应的计算机基本操作方法。

4.1.3 检测人员应在上岗前接受辐射安全知识培训，并按照有关法规的要求取得相应证书。

4.1.4 检测人员未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值 1.0），测试方法应符合 GB11533 的规定。从事数字图像评定的人员应每年接受一次视力检查。

4.2 检测系统和器材

4.2.1 本文件采用的射线源是能量大于 1MeV 电子加速器。

4.2.2 CR 系统

CR 系统技术指标、性能测试条件及测试方法按 GB/T 21356 的规定执行。系统至少应满足以下性能指标：

4.2.2.1 图像几何畸变应小于 $\pm 2\%$ 。

4.2.2.2 扫描仪和成像板之间不应存在抖动、滑动，或抖动低于系统噪声水平。

4.2.2.3 图像同一水平线上，中心区域与边缘背景灰度变化应不超过 $\pm 10\%$ 。

4.2.2.4 它性能指标包括：信噪比、激光束功能、阴影、影像擦除、伪影等。

应根据热壁加氢反应器焊接接头结构特点和技术要求选择适用的 CR 系统。

4.2.3 成像板

成像板的质量合格证中至少应包括成像板的类型和规格、动态范围、激发响应时间、化学成分等主要性能参数。用户应按制造商推荐的温度和湿度条件予以使用和保存，并避免不必要的照射。

4.2.4 扫描仪

激光扫描仪的质量合格证中至少应包括规格、扫描尺寸、输入电压、扫描分辨率、激光束焦点尺寸、扫描步进速度等主要性能参数，且其功能和性能至少满足以下要求：

4.2.4.1 扫描仪应具有扫描和擦除功能，擦除后残留潜影灰度值不得高于系统最大灰度的 5%。

4.2.4.2 扫描激光功率应满足信号采集的要求。

4.2.4.3 扫描仪的光电倍增管电压或增益、扫描分辨率应可调。

4.2.4.4 激光束应无颤动、且不存在伪影和扫描线丢失现象。

4.2.5 显示器

应满足以下最低要求：

4.2.5.1 最低亮度 250cd/m^2 。

4.2.5.2 显示器至少 256 灰度级。

4.2.5.3 可显示的最低光强比 1:250。

4.2.5.4 显示至少 1M 像素，像素尺寸小于 0.3mm。

4.2.6 图像处理专用软件

应至少包括如下功能：

4.2.6.1 测量功能：包括灰度测量、空间分辨率测量、信噪比测量、几何尺寸测量等。

4.2.6.2 调整功能：包括灰度变换、对比度调节、图像缩放等。

4.2.6.3 标记功能。

4.2.7 像质计

4.2.7.1 像质计包括线型像质计和双线型像质计，供货商应提供相应的质量证明文件。

4.2.7.2 线型像质计

a) 线型像质计用于从检测图像上评判被检测对象的检测灵敏度的器具，包括通用线型像质计和等径线型像质计两种，其型号和规格应分别符合 GB/T 23901.1 或 JB/T 7902 的规定。

b) 线型像质计的材料代号、材料和不同材料的线型像质计适用的被检工件材料范围可按表 1 的规定执行，线型像质计材料的吸收系数应尽可能的接近或等同于被检材料的吸收系数，任何情况下不能高于被检材料的吸收系数。

表 1 热壁加氢反应器焊接接头线型像质计材料及适用范围

线型像质计材料代号	Fe	Ni	Cu
线型像质计材料	碳素钢	镍-铬合金	3#纯铜
适用材料范围	钢	镍，镍合金	铜，铜合金

4.2.8 双线型像质计的使用

4.2.8.1 双丝像质计的型号和规格应符合 GB/T23901.5 的要求；用于测量系统分辨率和图像分辨率。

4.2.8.2 原则上每张图像上都应有双线型像质计的影像。在透照参数和检测对象不变的情况下（如一条焊接接头的连续成像），可只在第一幅图像中放置双线型像质计。

4.2.8.3 实际检测时放置于图像分辨率最差的方位，且像质计长度方向与扫描仪的行或列成较小的夹角（如 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ）。

4.2.9 功能及性能

检测系统和器材的功能及性能应符合上述要求，且应提供相应的证明文件；检测系统的使用性能应满足本部分规定的图像质量要求。

4.2.10 校准或运行核查

4.2.10.1 每年至少对系统性能中的几何畸变、抖动、均匀性、激光束功能、阴影、伪影等进行 1 次校准或核查并记录。

4.2.10.2 每年至少应对使用中的曝光曲线进行 1 次核查。当电子加速器重要部件（调制机组、水冷机组、高压机组、控制系统等）更换或经过修理后，应重新制作曝光曲线。

存在如下情况应进行系统核查并记录，核查方法可按照 GB/T 21356 描述的方法实施。

a) 系统改变时（包括各部件的维修、更换、软件升级等）；

b) 在系统停止使用 3 个月以上，重新使用时

c) 正常使用条件下，用户可根据产品说明书和使用频率，在工艺文件中规定核查频次，并按规定实施核查。

4.3 检测技术等级

4.3.1 本文件规定的热壁加氢反应器焊接接头射线计算机辅助成像检测技术等级分为二级：

AB 级：中灵敏度技术；

B 级：高灵敏度技术。

4.3.2 检测技术等级选择应符合热壁加氢反应器相关法规、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。一般推荐采用 AB 级检测技术进行检测。对重要热壁加氢反应器中结构以及特殊材料和特殊焊接工艺制作的对接焊接接头，宜采用 B 级检测技术进行检测。

4.3.3 当某些检测条件不能满足 AB 级（或 B 级）检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施（例如增加曝光量或选用信噪比更高的系统等）的前提下，若数字图像质量达到 AB 级（或 B 级）检测技术的规定，则认为按 AB 级（或 B 级）检测技术进行了检测。

4.3.4 若检测中射线源至被检工件表面的距离 f 不满足 5.5 的要求，则 4.3.3 规定不适用。

4.4 检测工艺文件

4.4.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

4.4.2 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的要求外，还应规定下列相关因素的具体范围或要求，有关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程：

4.4.2.1 依据的法规、标准。

4.4.2.2 适用的结构、材料类别及厚度。

4.4.2.3 检测设备器材以及校准、核查、运行核查或检查的要求。

4.4.2.4 检测技术等级。

4.4.2.5 检测工艺（透照方式、透照参数）。

4.4.2.6 工艺试验报告。

4.4.2.7 缺陷评定与质量分级。

4.4.3 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编写操作指导书，其内容除满足 NB/T 47013.1 的要求外，至少还应包括：

4.4.3.1 检测设备器材：射线源（种类、规格、焦点尺寸）、成像板、金属屏（种类和厚度）、像质计（种类和型号）、背散射屏蔽铅板、标记、扫描仪和观察设备等。

4.4.3.2 检测技术与工艺：采用的检测技术等级、透照方式（射线源与被检工件以及成像板之间的相对位置）、参数选择（射线源、成像板、曝光条件）、像质计与标记的类型和放置等。

4.4.3.3 扫描仪参数。

4.4.3.4 图像处理技术。

4.4.3.5 数字图像质量要求：灰度、图像分辨率、图像灵敏度、归一化信噪比、标记等。

4.4.3.6 验收标准。

4.4.4 工艺验证

4.4.4.1 首次使用的操作指导书应进行工艺验证，以验证数字图像质量是否能达到标准规定的要求。

4.4.4.2 验证可通过专门的透照试验进行或以产品的第一批数字图像作为验证依据。

4.4.4.3 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。

4.5 安全要求

4.5.1 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。

4.5.2 辐射防护应符合 GB18871、GBZ117 或 GBZ132 的有关规定。

4.5.3 现场进行 CR 检测时，应按 GBZ117 和 GBZ132 的规定为其划定辐射控制区和监督区、设置警告标志。检测工作人员应佩戴个人剂量计，并携带剂量报警仪。

5 检测工艺及其选择

5.1 检测时机

5.1.1 对于热壁加氢反应器焊接接头，检测时机应满足相关法规、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求。

5.1.2 除非另有规定，热壁加氢反应器焊接接头检测应在焊接完成后进行，对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行检测。

5.2 检测区

检测区宽度应满足相关法规、标准和设计技术文件的要求，同时还应满足合同双方商定的其他技术要求，检测区包括焊缝金属及相对于焊缝边缘至少为 10mm 的相邻母材区域。

5.3 表面要求

在检测之前，热壁加氢反应器焊接接头的表面应经目视检测合格。表面的不规则状态在数字图像上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面作适当修整。

5.4 成像板和金属屏

5.4.1 应选择感光速度较慢的成像板，像素间距 50-127 μ m、极限分辨率 5-16lp/mm 灰阶 14-16bit、动态范围 $\geq 10^4$: 1。

5.4.2 应根据热壁加氢反应器焊接接头材质、透照厚度和能量值选择合适金属屏。表 2 给出了常用金属材料检测时前金属屏的材料和厚度选择要求，金属屏应符合 GB/T 23910 的要求。

5.4.3 当使用金属屏时，成像板涂层面和前屏之间应当良好接触；成像板背面可使用铅屏，当热壁加氢反应器焊接接头厚度较薄或平面工件时，推荐使用钢或铜屏。

表 2 前金属屏的材料和厚度（推荐）——钢、铜及铜合金、镍及镍合金

射线能量	前金属屏的类型和厚度/mm
1Mev-4Mev	Pb（0.5-1.0）
4Mev-12Mev	Pb1.0

5.5 透照布置

5.5.1 透照方式

应根据热壁加氢反应器焊接接头特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式，典型的透照方式规范性引用 NB/T47013.2-2015 附录 E。具备单壁透照条件时，应选择单壁透照方式。

5.5.2 透照方向

透照时，射线束中心通常垂直指向透照区中心，并与工件表面法线重合，需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。

5.5.3 一次透照长度

一次透照长度通过透照厚度比 K 值进行控制。不同检测技术等级和不同类型对接焊接接头的 K 值应符合表 3 的规定。通过 K 值确定的整条环向对接焊接接头所需的透照次数可参照 NB/T 47013.2-2015 附录 F 的相关曲线图确定。

表 3 允许的透照厚度比 K

检测技术等级	AB级	B级
纵向对接焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向对接焊接接头	$K \leq 1.1$	$K \leq 1.06$

5.5.4 有效评定区

5.5.4.1 热壁加氢反应器焊接接头进行全部 CR 检测时，采取的曝光次数和有效评定区的重叠应能保证检测到被检测区的整个体积范围。

5.6 射线源至被检工件表面的最小距离

5.6.1 所选用的射线源至被检工件表面的距离 f 应满足如下要求：

AB 级检测技术： $f \geq 10d \cdot b^{2/3}$ 。

B 级检测技术： $f \geq 15d \cdot b^{2/3}$ 。

式中：d--有效焦点尺寸（正方形焦点 $d=a$ 、长方形/椭圆形焦点 $d=(a+b)/2$ 、圆形焦点 $d=d$ ）。

b--工件表面至胶片距离；曝光期间，胶片应紧贴工件。

5.6.2 如果相关规范、标准、设计技术文件或合同双方商定规定了允许的几何不清晰度（ U_g ）最大值，实际透照时，几何不清晰度（ U_g ）值应按下式进行计算。

$$U_g = (d \times b) / f \quad \text{或} \quad U_g = (d \times b) / (F - b)$$

式中：

b —被检工件表面至成像板的距离；

d —焦点尺寸；

F —射线源-被检工件距离；

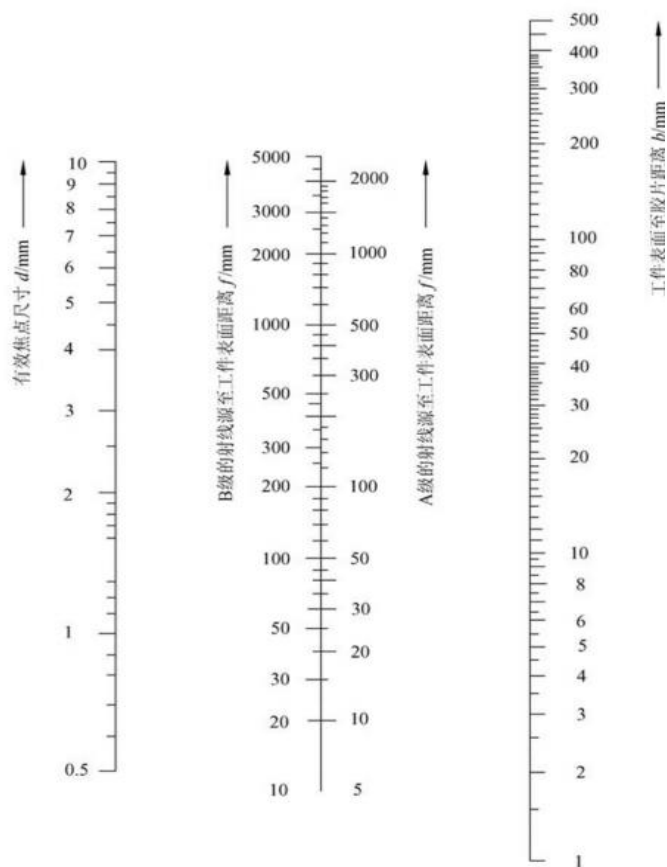


图 5-1 B 级射线检测技术确定焦点或源至被检工件表面距离的诺模图

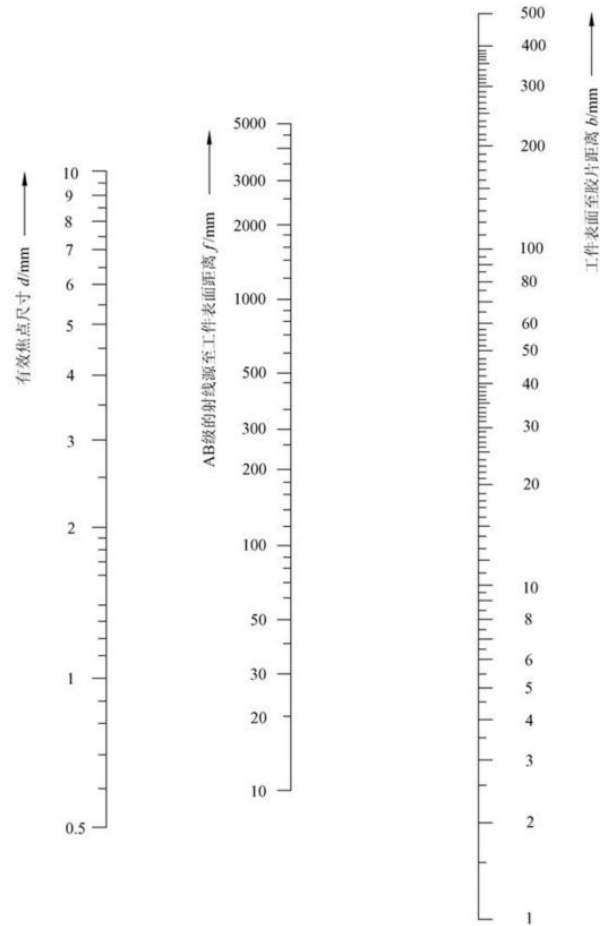


图 5-2 AB 级射线检测技术确定焦点或源至被检工件表面距离的诺模图

5.7 成像板与被检工件之间的距离

曝光期间成像板应紧贴被检工件，除非有特殊规定或透照布置能使被检区域得到更好的数字图像。

5.8 射线能量

表 4 射线能量

射线源	透照厚度 W/mm	
	AB级	B级
X射线（1MeV~4MeV）	≥50~200	≥50~180
X射线（4MeV~12MeV）	≥50	≥80

5.9 曝光量

曝光量应保证数字图像的归一化信噪比达到标准规定，可按照规定通过最小灰度值试验确定合适的曝光量。

5.10 无用射线和散射线屏蔽

5.10.1 针对热壁加氢反应器焊接接头，宜采用金属屏、周边遮挡铅板、准直器等适当措施，屏蔽散射线和无用射线，限制照射场范围。

5.10.2 对初次制定的检测工艺，以及在使用中检测条件、环境发生改变时，应进行背散射防护检查。检查背散射防护的方法是在暗盒背面贴附“B”铅字标记，一般B铅字的高度为13mm、厚度为1.6mm,按检测工艺的规定进行透照和扫描处理。若在数字图像（负片）上出现灰度高于周围背景灰度的“B”字影像（浅色影像），则说明背散射防护不够，应增大背散射防护铅板的厚度。若数字图像上不出现“B”字影像或出现灰度低于周围背景灰度的“B”字影像（深色影像），则说明背散射防护符合要求。在背散射轻微或后金属屏足以屏蔽背散射线的环境下，可不使用背散射防护铅板或金属屏。

5.11 线型像质计的使用

5.11.1 线型像质计放置原则

对于热壁加氢反应器焊接接头，线型像质计一般应放置在焊接接头的一端（在被检区长度的1/4左右位置），金属线应横跨焊接接头，细线置于外侧，当一张成像板上同时透照多条焊接接头时，线型像质计应放置在透照区最边缘的焊接接头处。

线型像质计放置还应满足以下规定：

5.11.1.1 单壁透照规定像质计放置在射线源侧。双壁单影透照规定像质计放置在成像板侧。双壁双影透照像质计可放置在射线源侧，也可放置在成像板侧。

5.11.1.2 单壁透照中，如果像质计无法放置射线源侧，允许放置在成像板侧。

5.11.1.3 单壁透照中像质计放置在成像板侧时，应进行对比试验。对比试验方法是在射线源侧和成像板侧各放一个像质计，用与被检工件相同的条件透照，测定出像质计放置在射线源侧和成像板侧的灵敏度差异，以此修正灵敏度的规定，以保证实际透照的图像灵敏度符合要求。

5.11.1.4 当像质计放置在成像板侧时，应在像质计上适当位置放置铅字“F”作为标记，F标记

的影像应与像质计的标记同时出现在数字图像上，且应在检测报告中注明。

5.11.2 线型像质计数量

原则上每张数字图像上都应有像质计的影像。

5.11.3 不等厚或不同种类材料之间对接焊接接头

如果热壁加氢反应器焊接接头的几何形状允许，厚度不同或材料类型不同的部位应分别采用与被检工件厚度或类型相匹配的线型像质计，并分别放置在焊接接头相对应部位。

5.11.4 线型像质计影像识别

5.11.4.1 使用线型像质计时，对于热壁加氢反应器焊接接头，数字图像上能够识别的最细线的编号即为像质计灵敏度值。如数字图像灰度均匀部位（一般是邻近焊接接头的母材金属区）能够清晰地看到长度不小于 10mm 的连续金属线影像时，则认为该线是可识别的。

5.11.4.2 专用等径线型像质计至少应能识别两根金属线。

5.12 标记

5.12.1 对于热壁加氢反应器焊接接头，透照部位的标记由识别标记和定位标记组成。标记一般由适当尺寸的铅（或其他适宜的重金属）制数字、拼音字母和符号等构成。数字图像标记应能清晰显示且不至于对数字图像的评定带来影响，标记的材料和厚度应根据被检工件的厚度来选择，应能保证标记影像不模糊。

5.12.2 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。

5.12.3 定位标记一般包括中心标记、搭接标记、检测区标记等。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，一般用十字箭头“+ →”表示。搭接标记是连续检测时的透照分段标记，可用符号“↑”或其他能显示搭接情况的方法（如数字等）表示。检测区标记采取的方式能够清晰标识检测区范围即可。

5.12.4 当热壁加氢反应器焊接接头内外余高均磨平，从数字图像上不能确定检测区位置和宽度时，应采用适当的定位标记（如采用铅质窄条）进行标识。

5.12.5 定位标记应放在被检工件上，其摆放应符合 NB/T47013.2—2015 附录 J 的规定。所有标

记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定区的影像。当由于结构原因或难于实施时，应放置于射线源侧的定位标记需要放置于成像板侧时，检测记录和报告应标注实际的评定范围。

5.12.6 识别标记允许放置于射线源侧或成像板侧，所有标记的影像不应重叠，且不应干扰有效评定区影像。

5.12.7 为了能精确的辨别数字图像位置，以被检工件上永久标识或部位作为参考点；如果因材料性质和使用条件而不能进行永久标识时，应采用其他方法（如布片图）确定数字图像位置。

5.13 标样

5.13.1 标样应放置在成像板侧，标样的长度方向宜与焊接接头方向平行，且在有效评定范围外成像，且不应干扰有效评定区的影像。

5.13.2 标样可使用市场上出售的放射检测专用铅直尺或铅卷尺，或者采用已知直径的钢球。

5.13.3 自制标样一般与被检材料材质相同，或使用原子序数更高的材料制作，并在表面用钢印等形式标注标样的长度。

5.14 扫描仪参数选择

5.14.1 扫描仪光电倍增管电压或增益的选择应与曝光量匹配，使数字图像灰度值处于适当范围（10%～80%）。

5.14.2 扫描分辨率的选择应保证数字图像分辨率达到标准规定的要求，且应与成像板特性匹配。

5.15 数字图像评定环境要求

数字图像评定应在专用的评定室内进行，评定室应整洁、温湿度适宜、光线柔和。

5.16 数字图像质量要求

数字图像上的标记影像应显示完整、位置正确。数字图像有效评定区不应存在干扰缺陷识别的划痕、压痕、折痕、脱膜、异物粘附以及金属屏缺陷等造成的伪缺陷影像。数字图像的像质计灵敏度。

5.16.1 图像灵敏度

对于热壁加氢反应器焊接接头，单壁透照、线型像质计置于射线源侧时应符合表 5 的规定；线

型像质计置于成像板侧时应符合表 6 的规定。

当原始图像灵敏度较低时，允许采用扫描仪参数调整提高图像灵敏度。如果处理后的数字图像的灵敏度能够满足标准要求，则该数字图像认为是合格的。

表 5 图像灵敏度——单壁透照、线型像质计置于射线源侧

应识别线号 (线径/mm)	公称厚度 (T) 范围/mm	
	AB级	B级
8 (0.63)	>40-55	>65-120
7 (0.80)	>55-85	>120-200
6 (1.00)	>85-150	>200-350
5 (1.25)	>150-250	—
4 (1.60)	>250-350	—

表 6 图像灵敏度——线型像质计置于成像板侧

应识别线号 (线径/mm)	透照厚度 (W) 范围/mm	
	AB级	B级
9 (0.50)	>40-60	>70-100
8 (0.63)	>60-85	>100-180
7 (0.80)	>85-125	>180-300
6 (1.00)	>125-225	>300
5 (1.25)	>225-375	—

5.16.2 分辨率

检测技术等级 AB 级和 B 级的图像分辨率应分别符合表 7 和表 8 规定。使用双线型像质计测量图像分辨率的方法参考 NB/T47013.14-2023 附录 B。

表 7 AB 级检测技术应达到的分辨率(力)

透照厚度 (W) 范围/mm	线对号	分辨率 lp/mm	分辨力 mm
>55-150	D7	2.50	0.20
>150-250	D6	2.00	0.25

>250	D5	1.56	0.32
------	----	------	------

表 8 B 级检测技术应达到的分辨率(力)

透照厚度(W) 范围/mm	线对号	分辨率 lp/mm	分辨力 mm
>50-120	D9	3.85	0.13
>120-200	D8	3.125	0.16
>200	D7	2.50	0.20

5.16.3 归一化信噪比

图像的归一化信噪比应符合表 9 的要求，归一化信噪比(SNR_n)的测量和计算参考 NB/T47013.14-2023 附录 C。

检测厚度不均匀的工件时，允许采用最小灰度值代替最小 SNR_n，等价于最小 SNR_n 的最小灰度值的测定参考 NB/T47013.14-2023 附录 C。

表 9 允许最小 SNR_n

电子加速器能量	透照厚度	最小 SNR _n	
		AB 级	B 级
X 射线（1MeV~12MeV）	≤50	120	140
	>50	100	100

注：若在焊缝上测量 SNR_n，则表中的数值应除以 1.4，除非焊缝无余高且焊缝根部与母材平齐。

5.17 缺陷的识别

5.17.1 缺陷的识别可采用人工识别或计算机辅助识别方法。

5.17.2 缺陷人工识别时，图像的显示比例应不低于 100%。

5.17.3 人工识别采用图像处理技术，调节图像的显示效果，以提高人眼对缺陷的识别能力。

5.18 缺陷的测量

5.18.1 在缺陷测量前，应按实际检测工艺，采集含标样的检测图像，并进行几何尺寸标定。

5.18.2 利用标样的实际尺寸对应图像中的像素个数，得到每个像素对应的实际长度（标定因子）。通过测量得到缺陷的像素个数乘标定因子，得到实际缺陷尺寸。

5.18.3 当系统及透照参数改变时，应重新进行标定。

5.19 图像储存

5.19.1 图像存储格式宜按 DICOM 格式执行。

5.19.2 应保存原始图像。

5.19.3 当采用图像处理技术时，处理后的图像应进行标识，并与原始数字图像一起保存。

5.19.4 图像编号应与焊缝编号相对应。

5.19.5 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，上述信息应具备不可更改性。

5.20 图像保存

5.20.1 图像应存储在数字存储介质中并存档。

5.20.2 图像应备份不少于 2 份，相应的原始记录和检测报告也应同期保存。

5.20.3 图像的保存期限应按照相关的法规和标准执行，在有效保存期内，图像数据不得丢失和更改。

6 检测结果评定和质量分级

对于热壁加氢反应器焊接接头，射线 CR 检测结果评定和质量分级参照 NB/T47013.2 承压设备熔化焊焊接接头射线检测结果评定和质量分级执行。

7 检测记录和报告

7.1 检测过程信息和数据记录

应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。CR 检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- 7.1.1 委托单位或制造单位。
- 7.1.2 被检工件：名称、检测部位、焊接接头坡口型式、焊接方法。
- 7.1.3 检测设备器材：射线源（种类，焦点或源尺寸）、成像板、金属屏（类型、数量和厚度）、像质计（种类和型号）、滤光板、背散射屏蔽铅板、扫描和观察设备。
- 7.1.4 操作指导书工艺验证情况（必要时）。
- 7.1.5 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照参数、扫描参数。
- 7.1.6 数字图像质量：灵敏度、分辨率、归一化信噪比、灰度、缺陷位置和性质。
- 7.1.7 透照布置示意图。
- 7.1.8 检测结果及质量分级。
- 7.1.9 编制、审核人员及其资格。
- 7.1.10 其他需要说明或记录的事项。

7.2 应依据检测记录出具检测报告

CR 检测报告除符合 NB/T47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- 7.2.1 委托单位或制造单位。
- 7.2.2 被检工件：名称、检测部位、焊接接头坡口型式、焊接方法。
- 7.2.3 检测设备器材：射线源（种类，焦点或源尺寸）、成像板、金属屏（类型、数量和厚度）、像质计（种类和型号）、扫描和观察设备。
- 7.2.4 检测工艺参数：检测技术等级、透照方式、透照参数、扫描参数。
- 7.2.5 数字图像质量：灵敏度、分辨率、归一化信噪比、灰度（需要时）、缺陷位置和性质。
- 7.2.6 透照布置示意图。
- 7.2.7 检测结果及质量分级。
- 7.2.8 编制、审核人员及其资格。
- 7.2.9 检测单位。

团体标准

热壁加氢反应器的高能射线计算机射线照相检测技术要
求

编制说明

（征求意见稿）

一重集团大连核电石化有限公司

（2026 年 4 月）

热壁加氢反应器的高能射线计算机射线照相检测技术要求

一、任务来源

《热壁加氢反应器的高能射线计算机射线照相检测技术要求》（T/CASEI XXX-2025）团体标准编制项目来源于一重集团大连核电石化有限公司，以 NB/T47013 系列标准为基础，聚焦热壁加氢反应器高能 X 射线 CR 检测的特殊需求。本标准为一独立部分，专门规范热壁加氢反应器熔化焊焊接接头的高能射线计算机射线照相检测技术要求。

本标准立项名称为《热壁加氢反应器的高能 X 射线的数字化应用技术要求》，为清晰表述技术范畴，且保持与国家、行业标准的一致，经起草组讨论，名称修改为《热壁加氢反应器的高能射线计算机射线照相检测技术要求》。

二、主要工作单位、工作成员及负责内容

本标准由一重集团大连核电石化有限公司提出，中国特种设备检验协会归口管理，由一重集团大连核电石化有限公司负责和组织起草，为提高标准应用的广泛性，国内相关特种设备设计、制造、安装和检测单位参与了标准的编写和讨论。

研究工作由一重集团大连核电石化有限公司牵头承担，中国特种设备检测研究院、南昌航空大学、丹东市阳光仪器有限公司、中石油华东设计院有限公司、中石化广州工程有限公司、中国石化工程建设有限公司、浙江石油化工有限公司、北京市朝阳区特种设备检测所、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、广州特种设备检测研究院、齐齐哈尔市检验检测中心、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、中广核工程有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、廊坊北检无损检测有限公司参与，组成无损检测标准编写组。

本部分参编人员有：徐鹏航、侯冰、邬冠华、周凤革、潘磊、谢育辉、张国信、尹青峰、辛华、程红伟、于龙华、周杨飞、翟伟、王俊雄、丁武仁、邹国伟、

邵勇、刘怿欢、汪文锋、张宏亮等。

三、 编制过程

2023 年 7-10 月：收集高能射线检测、计算机射线照相（CR）相关标准，总结热壁加氢反应器制造检测工程经验，调研行业对 CR 检测技术的应用需求。

2023 年 11 月-12 月：完成并提交标准立项申请书。

2024 年 01 月-12 月：结合 NB/T47013 系列标准及行业实践，起草标准草案框架与核心技术内容。

2025 年 01 月-06 月：依据现行法规及相关标准更新情况，完善标准技术参数与要求；

2025 年 07 月—11 月：完成标准草案初稿编制，组织编写组内函审并收集意见。

2025 年 12 月：根据函审意见修改标准草案，召开编写组会议研讨，形成初稿。

2026 年 1 月-2 月：根据意见完成标准修改，形成标准的征求意见稿，提报协会。

四、主要技术内容的说明

4.1 编制原则

本标准遵循 GB/T1.1—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》，以 NB/T47013 系列标准为基础，结合热壁加氢反应器的结构特点、制造工艺及高能射线 CR 检测技术特性，融合行业工程实践经验与设计院特殊要求，确保标准的科学性、针对性和可操作性。对于技术关键点，充分征求各参编单位意见，达成共识后确定统一要求。

4.2 主要内容

- 1) 本标准围绕热壁加氢反应器熔化焊焊接接头的高能 X 射线 CR 检测展开，明确了检测的适用范围、规范性引用文件、核心术语和定义。
- 2) 规定了检测人员的资质、视力要求及培训要求，明确了检测系统和器材（射线源、CR 系统、成像板、扫描仪等）的性能指标、校准与核查要求。
- 3) 划分了 AB 级（中灵敏度）和 B 级（高灵敏度）两级检测技术等级，明确了等级选择原则及特殊情况下的补偿措施。
- 4) 详细规范了检测工艺文件的编制要求，包括工艺规程和操作指导书的核心内容及工艺验证要求。
- 5) 明确了检测时机、检测区范围、表面要求、透照布置、射线能量、曝光量等关键检测工艺参数，以及像质计使用、标记设置、标样要求等。
- 6) 规定了扫描仪参数选择、数字图像评定环境、图像质量要求（灵敏度、分辨率、归一化信噪比等）、缺陷识别与测量、图像储存与保存要求。
- 7) 明确检测结果评定和质量分级参照 NB/T47013.2-2015 执行，规范了检测记录和报告的核心内容。

五、与国内同类标准水平的对比分析

本标准主要参照 NB/T47013.1-2015 、 NB/T47013.2-2015 、 NB/T47013.14-2023、GB/T21356 等国内现行标准编制，同时吸收了行业内高能射线 CR 检测的先进实践经验，技术要求与国内同类标准保持一致，部分技术参数针对热壁加氢反应器的特殊性进行了细化，确保检测精度与可靠性，达到国内先进水平。

六、与现行法规、标准的关系

本标准以《中华人民共和国特种设备安全法》为基本依据，严格遵循 GB18871、GBZ117 等辐射防护相关法规要求。本标准是对 NB/T47013 系列标准在热壁加氢反应器高能射线 CR 检测领域的专项细化，可为热壁加氢反应器制造阶段的焊接

接头无损检测提供明确技术支撑，可直接被相关产品标准引用，也可根据实际需求补充特殊技术要求。

本标准引用的无损检测设备器材、术语定义、检测方法等相关标准均以国内现行标准为主，适应设备国产化推广需求，确保标准的实用性和可操作性。

七、实施标准的要求和措施的建议

本标准结合热壁加氢反应器的结构特点、工作环境、易产生的缺陷类型及设计使用要求，综合确定了检测技术参数与相关要求，具有较强的针对性和实操性。

标准明确了缺陷识别、测量、评定及质量分级要求，给出了明确的验收标准。建议相关制造、检测单位在实施过程中，严格按照标准要求配备符合性能指标的检测设备与器材，确保检测人员具备相应资质，规范执行检测工艺，做好检测记录与报告存档工作，保障热壁加氢反应器的检测质量与安全性能。

八、参考资料清单

GB/T1.1—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
GBZ117	工业X射线探伤放射卫生防护标准
GB/T21356	无损检测计算机射线照相系统的长期稳定性与鉴定方法
GB/T23901.5	无损检测射线照相检测图像质量第5部分
GB/T23910	无损检测射线照相检测用金属增感屏
GB/T11533	标准对数视力表
GB/T12604.2	无损检测术语射线照相检测
GB18871	电离辐射防护及辐射源安全基本标准

NB/T47013.1	承压设备无损检测第 1 部分：通用要求
NB/T47013.2	承压设备无损检测第 2 部分：射线检测
NB/T47013.14	射线计算机辅助成像检测
JB/T7902	无损检测射线照相检测用线型像质计
TSG21	固定式压力容器安全技术监察规程
TSGZ8001	特种设备无损检测人员考核规则