

ICS 19.100

CCS H 26

团 体 标 准

T/CASEI XXX-XXXX

热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法
超声、胶片射线、磁粉、渗透）技术要求

Technical requirements of Non-Destructive
(UT/RT/MT/PT) Testing in Hot wall hydrogenation
reactor

（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

第 1 部分：总则..... 1

 1.1 范围..... 1

 1.2 规范性引用文件..... 1

 1.3 术语和定义..... 2

 1.4 人员资格..... 5

 1.5 焊接接头分类..... 6

 1.6 无损检测记录、报告及存档要求..... 6

第 2 部分：脉冲回波法超声检测..... 9

 2.1 检测设备和器材..... 9

 2.2 一般要求..... 11

 2.3 检测工艺..... 14

 2.4 钢板的超声检验..... 16

 2.5 锻件的超声检验..... 22

 2.6 堆焊层超声检验..... 30

 2.7 焊缝超声检测..... 34

 2.8 超声波测厚..... 46

 2.9 螺栓坯件的超声检测..... 49

第 3 部分：胶片射线检测..... 52

 3.1 检测设备..... 52

 3.2 一般要求..... 54

 3.3 检测的实施..... 55

 3.4 胶片处理和底片质量..... 59

 3.5 检测结果的评定及质量分级..... 61

 3.6 资料存档..... 63

第 4 部分：磁粉检测..... 65

 4.1 磁粉检测一般程序..... 65

4.2 磁粉检测设备.....	65
4.3 磁化方法.....	67
4.4 磁场强度	71
4.5 磁化电流类型及其选用.....	71
4.6 质量控制.....	71
4.7 表面准备.....	72
4.8 检验时机.....	73
4.9 检测方法.....	73
4.10 磁痕显示的分类和记录.....	74
4.11 复验.....	75
4.12 退磁.....	75
4.13 质量分级.....	76
第5部分：渗透检测.....	77
5.1 检测设备和器材.....	77
5.2 检测工艺文件、方法、检测时机和表面准备.....	79
5.3 检测工艺.....	80
5.4 验收.....	82
附录	84
附录A 承压设备曲面纵向对接接头的超声检测方法	84
附录B 热壁加氢反应器曲面环向对接接头的超声检测方法	88
附录C 热壁加氢反应器接管与筒体(或封头)角接接头超声检测方法.....	92
附录D 热壁加氢反应器T型焊接接头超声检测方法	97
附录E 不同类型焊接接头超声检测的具体要求	99
附录F 热壁加氢反应器焊缝横向再热裂纹超声检测	109
附录G 典型透照方式示意图	112
附录H 环向对接焊缝透照次数确定方法	117

前 言

本标准按照 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》给出的规则起草。

本标准由中国特种设备检验协会提出并归口。

本标准负责起草单位：一重集团大连核电石化有限公司。

本标准参加起草单位：中国特种设备检测研究院、浙江石油化工有限公司、中石化广州工程有限公司、中石油华东设计院有限公司、中国石化工程建设有限公司、大连理工大学、吉林市特种设备检验中心、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、齐齐哈尔市检验检测中心、江苏省特种设备安全监督检验研究院、北京市朝阳区特种设备检测所、合肥通用机械研究院、瀚洋重工装备制造（天津）有限公司、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司、南阳汉冶特钢有限公司。

本标准主要起草人：孙远霞、潘强华、辛华、周凤革、张国信、谢育辉、尹青峰、金士杰、王德林、于德凯、刘恽欢、李辉、吴胜平、程红伟、陈贤洮、柴智刚、丁武仁、李莹莹、张弛、胡庆斌、李亮、包国平、孙洪敏、白艺博等。

本标准为首次发布。

热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）技术要求

第 1 部分：总则

1.1 范围

1.1.1 本文件规定了执行 NB/T 47013.2~5 标准的热壁加氢反应器全焊透金属熔化焊焊接接头 X 射线、 γ 射线检测、A 型脉冲反射法超声检测、磁粉检测、渗透检测采用的方法和质量等级评定要求。

1.1.2 本文件适用于热壁加氢反应器生产和使用过程中金属材料制原材料、零部件和焊接接头的射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测。

1.1.3 与热壁加氢反应器有关的金属材料制受压元件（包括焊接接头）的射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测，可参照本文件的规定执行。

1.1.4 对于铁磁性材料，为检测表面或近表面缺陷，应优先选用磁粉检测方法，确因结构形状等原因不能采用磁粉检测时，方可采用其他无损检测方法。

1.2 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 150	压力容器
GB/T 4732.1~6-2024	压力容器分析设计
GB/T 11533	标准对数视力表
GB/T 12604	无损检测术语
GB/T 19802	无损检测 工业射线照相观片灯 最低要求
GB/T 23906	无损检测 磁粉检测用环形试块
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 47013.3	承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
NB/T 47013.4	承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测
NB/T 47013.5	承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测
JB/T 6063	无损检测 磁粉检测用材料
JB/T 7902	无损检测 线性像质计通用规范
JB/T 8290	无损检测仪器 磁粉探伤机

JB/T 8428	无损检测 超声试块通用规范
JB/T 9214	无损检测 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法
JB/T10061	A 型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件
JB/T10062	超声探伤用探头性能测试方法
TSG 21	固定式压力容器安全技术监察规程
TSG Z8001	特种设备无损检测人员考核规则
ISO/IEC17025	检测和校准实验室能力认可准则
API RP 934-A	高温高压氢用 2¼Cr-1Mo、2¼Cr-1Mo -¼V、3Cr-1Mo、3Cr-1Mo-¼V 钢 制厚壁压力容器的材料与制造要求

1.3 术语和定义

1.3.1 超声检测术语和定义

1.3.1.1 底波降低量 BG/BF reduction of backwall echo caused by the presence of flaws BG/BF

锻件检测时，在靠近缺陷处的完好区域内第一次底面回波波幅 BG 与缺陷区域内的第一次底面回波波幅 BF 的比值，用二者相对增益值（dB 值）来表示。

1.3.1.2 密集区缺陷 clustered indications

锻件检测时，边长为 50mm 的立方体区域内同时存在 5 个或 5 个以上的缺陷反射信号，且其反射波幅均大于等于某一特定平底孔当量。

1.3.1.3 参考灵敏度 reference sensitivity

将对比试块上参考反射体的回波高度或被检工件的底面回波高度调整到某一基准时的灵敏度。

1.3.1.4 基准灵敏度 evaluation sensitivity

在参考灵敏度基础上，并考虑对比试块与被检工件之间因表面粗糙度不同、曲率不同造成的声耦合损失差，材质差异造成的声波衰减损失差等因素，所得到的即为基准灵敏度。基准灵敏度主要用于工件的检测和缺陷的评定。

1.3.1.5 扫查灵敏度 testing sensitivity

在基准灵敏度基础上，适当提高仪器增益（dB 数）后用于实际检测的灵敏度。

1.3.1.6 缺陷高度 flaw height

缺陷高度指缺陷在工件厚度方向上的尺寸。

1.3.1.7 回波动态波形 echodynamic patterns

探头与反射体相对移动时，反射体回波波形的变化情况。

1.3.1.8 工件厚度 t base material nominal thicknesses

1) 对于原材料、零部件:

a) 对于板材和管材, 工件厚度 t 为其公称厚度;

b) 对于锻件

- 对于筒形锻件, 轴向长度 L 大于其外径 D 的轴对称空心锻件, 工件厚度 t 为筒体公称厚度;
- 对于环形锻件, 轴向长度 L 小于或等于其外径 D 的轴对称空心锻件, 工件厚度 t 为轴向长度 L 和筒体公称厚度中的较小者;
- 对于饼形或类似锻件, 轴向长度 L 小于或等于其外径 D 的轴对称实心锻件, 工件厚度 t 为轴向长度 L ;
- 对于碗形锻件, 截面呈凹形且轴向长度 H 小于或等于其外径 D 的轴对称锻件, 工件厚度 t 为 t_1 和 t_2 中的较大者;
- 对于长颈法兰锻件, 轴向有两个外径的轴对称空心锻件, 工件厚度 t 为 t_1 和 t_2 中的较大者;
- 对于条形锻件, 截面为圆形的, 轴向长度 L 大于其外径 D 的实心锻件, 工件厚度 t 为外径 D ; 截面为矩形, 长度 L 均大于其两边长 a 、 b 的锻件, 工件厚度 t 为 a 和 b 中的较小者;
- 对于其他类型锻件, 工件厚度 t 一般指检测方向上的尺寸, 或指沿径向或轴向的尺寸。

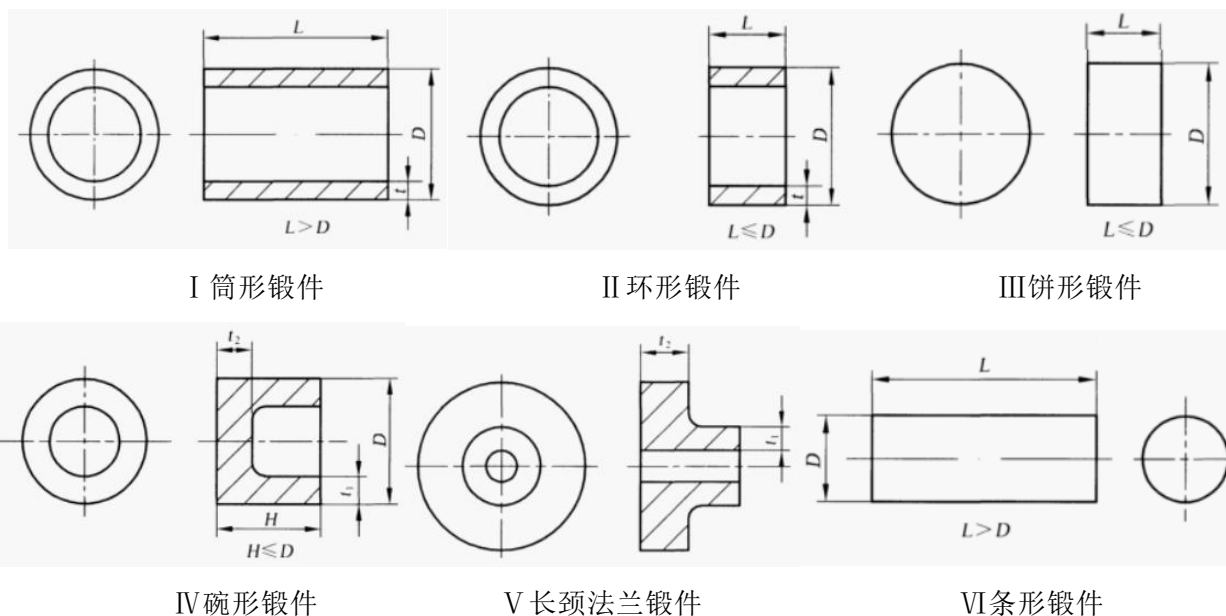


图 1.3.1-1 锻件形状示意图

2) 对于焊接接头:

a) 对于对接接头, 焊缝两侧母材厚度相等时, 工件厚度 t 为母材公称厚度; 焊缝两侧母

材厚度不等时，工件厚度 t 为薄侧母材公称厚度；

b) 对于插入式接管角接头，工件厚度 t 为筒体（或封头或母管）公称厚度；对于接管与筒体（或封头或母管）安放式角接头，工件厚度 t 为接管公称厚度；

c) 对于 T 型焊接接头，工件厚度 t 为腹板公称厚度。

1.3.2 射线检测术语和定义

1.3.2.1 透照厚度 W penetrated thickness

射线照射方向上材料的公称厚度。多层透照时，透照厚度为通过的各层材料公称厚度之和。

1.3.2.2 工件至胶片距离 b object-to-film distance

沿射线束中心测定的工件受检部位射线源侧表面与胶片之间的距离。

1.3.2.3 射线源至工件距离 f source-to-object distance

沿射线束中心测定的射线源与工件受检部位射线源侧表面之间的距离。

1.3.2.4 焦距 F focal distance

沿射线束中心测定的射线源与胶片之间的距离。

1.3.2.5 射线源尺寸 d source size

射线源的有效焦点尺寸。

1.3.2.6 圆形缺陷 round flaw

长宽比不大于 3 的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

1.3.2.7 条形缺陷 stripy flaw

长宽比大于 3 的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

1.3.2.8 透照厚度比 K ratio of max. and min. penetrated thickness

一次透照长度范围内射线束穿过母材的最大厚度和最小厚度之比。

1.3.2.9 一次透照长度 effective area of a single exposure

符合标准规定的单次曝光有效检测长度。

1.3.2.10 底片评定范围 film evaluation scope

本部分规定的底片上必须观察和评定的范围。

1.3.2.11 缺陷评定区 defect evaluation zone

在质量分级评定时，为评价缺陷数量和密集程度而设置的一定尺寸区域，可以是正方形或长方形。

1.3.2.12 双胶片透照技术 double film technique

暗盒内装两张胶片和三片增感屏（前、中、后屏）进行曝光，在观片灯上采用双片叠加方式进行底片观察的透照技术。

1.3.2.13 小径管 small diameter tube

外直径 D_o 小于或等于 100mm 的管子。

1.3.3 磁粉检测术语和定义

1.3.3.1 相关显示 relevant indication

磁粉检测时由缺陷产生的漏磁场吸附磁粉而形成的磁痕显示，一般也称为缺陷显示。

1.3.3.2 非相关显示 non-relevant indication

磁粉检测时由截面变化或材料磁导率改变等产生的漏磁场吸附磁粉而形成的磁痕显示。

1.3.3.3 伪显示 false indication

不是由漏磁场吸附磁粉形成的磁痕显示。

1.3.3.4 复合磁化 combinatorial magnetization

在工件中产生一个大小和方向随时间成圆形、椭圆形或螺旋形变化的磁场的磁化方法。

1.3.3.5 纵、横向缺陷 longitudinal/transverse flaw

缺陷磁痕长轴方向与工件（轴类或管类）轴线或母线的夹角大于或等于 30° 时，按横向缺陷处理，其他按纵向缺陷处理。

1.3.4 渗透检测术语和定义

1.3.4.1 相关显示 relevant indication

缺陷中渗出的渗透剂所形成的迹痕显示，一般也称为缺陷显示。

1.3.4.2 非相关显示 non-relevant indication

与缺陷无关的外部因素所形成的显示。

1.3.4.3 伪显示 false indication

由于渗透剂污染及检测环境等所引起的渗透剂显示。

1.3.4.4 评定 assessment

对观察到的渗透剂相关显示进行分析，确定产生这种显示的原因及其分类过程。

1.4 人员资格

1.4.1 从事热壁加氢反应器无损检测的人员，应按照 TSG Z8001-2019《特种设备无损检测人员考核规则》的要求取得相应无损检测人员资格，方能承担与资格证书的种类和技术等级相应的无损检测工作。

1.4.2 无损检测人员资格级别分为 I 级（初级）、II 级（中级）、III 级（高级）。

1.4.3 从事超声检测的人员除理解和掌握基本的无损检测方法理论和必要的实践经验外，还应具备一定的金属材料、设备制造安装、焊接及热处理等方面的基本知识，熟悉被检工件的材质、制造工艺及声学特性等，并对检测中出现的问题能作出分析、判断和处理。

1.4.4 从事射线检测的人员在上岗前应进行辐射安全知识的培训，并按照有关法规的要求取得相应的证书。射线检测人员未经矫正或经矫正的近视力和远视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0）。

从事评片的人员应每年检查一次视力。

1.4.5 从事磁粉、渗透检测的人员未经矫正或经矫正的近视力和远视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0），应每年检查一次视力，不得有色盲。

1.5 焊接接头分类

1.5.1 容器受压元件之间的焊接接头分为 A、B、C、D 四类，如图 1.5.1-1 所示。

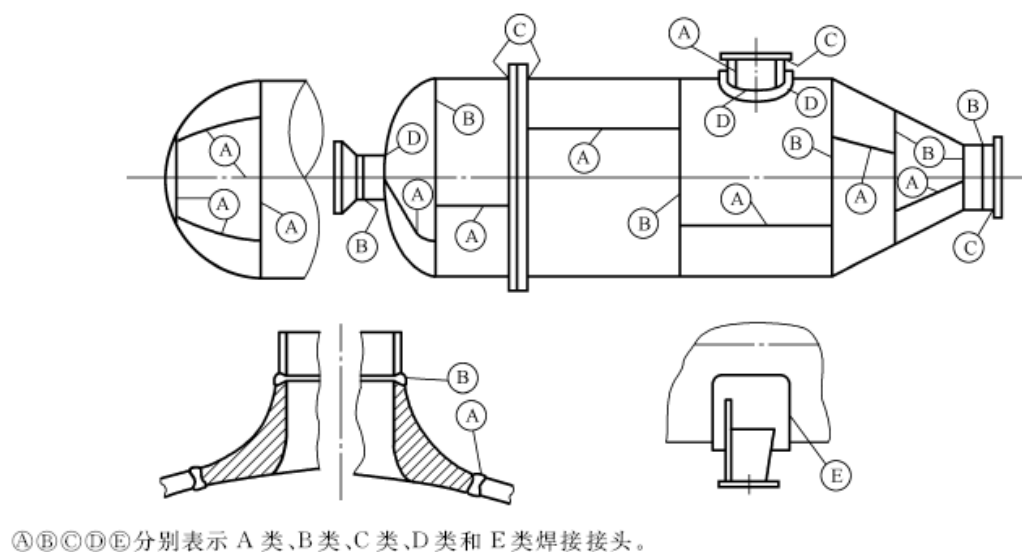


图 1.5.1-1 焊接接头分类

- 1.5.1.1 圆筒部分（包括接管）和锥壳部分的纵向接头、球形封头与圆筒连接的环向接头、各类凸形封头和平封头中的所有拼焊接头，以及嵌入式的接管与壳体对接连接的接头或凸缘与壳体对接连接的接头，均属于 A 类焊接接头；
- 1.5.1.2 壳体部分的环向接头、锥形封头小端与接管连接的接头、长颈法兰与壳体或接管连接的接头、平盖或管板与圆筒对接连接的接头以及接管间的对接环向接头，均属 B 类焊接接头，但已经规定为 A 类的焊接接头除外；
- 1.5.1.3 球冠形封头、平盖、管板与圆筒非对接连接的接头，法兰与壳体或接管连接的接头，内封头与圆筒的搭接接头以及多层包扎容器层板层纵向接头，均属于 C 类接头，但已经规定为 A 类、B 类的焊接接头除外；
- 1.5.1.4 接管（包括人孔圆筒）、凸缘、补强圈等于壳体连接的接头，均属于 D 类焊接接头，但已经规定为 A 类、B 类、C 类的焊接接头除外；
- 1.5.2 非受压元件与受压元件的连接接头为 E 类焊接接头。

1.6 无损检测记录、报告及存档要求

1.6.1 无损检测记录

1.6.1.1 无损检测记录至少应包含以下内容：

- 1) 记录编号；
- 2) 依据操作指导书名称或编号；
- 3) 检测技术要求：执行标准和合格级别；
- 4) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机；
- 5) 检测设备和器材：名称、规格型号和编号；
- 6) 检测工艺参数；
- 7) 检测示意图；
- 8) 原始检测数据；
- 9) 检测数据的评定结果；
- 10) 检测人员；
- 11) 检测日期和地点。

1.6.1.2 无损检测记录应真实、准确、完整、有效，并经相应责任人员签字认可。

1.6.1.3 无损检测记录的保存期应符合相关法规标准的要求，且不少于 7 年。

1.6.2 无损检测报告

1.6.2.1 无损检测报告至少应包含以下内容：

- 1) 报告编号；
- 2) 检测技术要求：执行标准和合格级别、检测工艺规程版次、编号；
- 3) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机；
- 4) 检测设备和器材：名称、规格型号和编号；
- 5) 检测工艺参数；
- 6) 检测部位示意图；
- 7) 检测结果、质量等级评定和检测结论；
- 8) 编制者（级别）和审核者（级别）；
- 9) 编制日期、报告签发日期；
- 10) 委托单位或制造单位；
- 11) 检测单位。

1.6.2.2 检测报告除满足 1.6.2.1 条要求外，还至少应包括以下内容

- 1) 超声检测报告
 - a) 检测技术等级。

- b) 检测设备器材：仪器型号及编号、探头、试块、耦合剂。
- c) 检测示意图：检测部位、检测区域以及所发现的缺陷位置、尺寸、分布。

2) 射线检测报告

- a) 被检工件：名称、检测部位、焊缝坡口形式、焊接方法。
- b) 检测设备器材：射线源（种类、型号、焦点尺寸）、胶片（牌号及分类等级）、增感屏（类型、数量、厚度）、像质计（种类、型号）。
- c) 检测工艺参数：检测技术等级、透照技术（单或双胶片）、透照方式、透照参数 F/f/b、管电压、管电流、曝光时间（或源强度、曝光时间）、暗室处理方式和条件。
- d) 底片评定：底片黑度、底片像质计灵敏度、缺陷位置和性质。
- e) 布片图。

1.6.2.3 无损检测报告的编制、审核应符合相关法规或标准的规定。

1.6.2.4 无损检测报告的保存期应符合相关法规标准的要求，且不得少于 7 年。

第 2 部分：脉冲回波法超声检测

2.1 检测设备和器材

2.1.1 检测设备质量合格证明

超声检测仪器产品质量合格证中至少应给出预热时间、低电压报警或低电压自动关机电压、发射脉冲重复频率、有效输出阻抗、发射脉冲电压、发射脉冲上升时间、发射脉冲宽度（采用方波脉冲作为发射脉冲的）以及接收电路频带等主要性能参数；探头应给出中心频率、带宽、电阻抗或静电容、相对脉冲回波灵敏度以及斜探头声束性能（包括探头入射点或前沿、探头折射角 β 或 K 值等）等主要参数。

2.1.2 检测仪器

采用 A 型脉冲反射式超声检测仪，其工作频率按 -3dB 测量应至少包括 0.5MHz~10MHz 频率范围，超声仪器各性能指标和测试条件按照 NB/T 47013.3-2023 附录 A 中的要求，并按照规格型号提供具有 ISO/IEC17025 认可的第三方实验室出具的证明文件。

2.1.3 探头

探头采用单晶直探头、单晶斜探头、双晶直探头、双晶斜探头。圆形晶片探头直径一般应小于等于 40mm，方形晶片任一边长一般应不大于 40mm。其性能指标符合 NB/T 47013.3-2023 附录 B 的要求，并按照规格型号提供具有 ISO/IEC17025 认可的第三方实验室出具的证明文件。

2.1.4 仪器和探头的组合性能

2.1.4.1 仪器和探头的组合性能包括水平线性、垂直线性、组合频率、灵敏度余量、盲区（仅限直探头）和远场分辨力。

2.1.4.2 以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- 1) 新购置的超声检测仪器和（或）探头；
- 2) 仪器和探头在维修或更换主要部件后；
- 3) 检测人员有怀疑时。

2.1.4.3 水平线性偏差不大于 1%，垂直线性偏差不大于 5%。

2.1.4.4 仪器和探头的组合频率和探头的标称频率之间偏差不大于 10%

2.1.4.5 仪器和直探头组合性能：

- 1) 灵敏度余量不小于 32dB；
- 2) 对于频率为 5MHz 的探头，盲区不大于 10mm；对于标称频率为 2.5MHz 的探头，盲区不大于 15mm；
- 3) 直探头的远场分辨率应不小于 20dB。

2.1.4.6 仪器和斜探头组合性能：

- 1) 灵敏度余量不小于 42dB；
- 2) 斜探头的远场分辨率应不小于 12dB。

2.1.4.7 在达到所探工件的最大检测声程时，其有效灵敏度余量应不小于 10dB。

2.1.4.8 仪器和探头组合频率的测试方法应符合 JB/T 10062 的规定，其他组合性能的测试方法应符合 JB/T 9214 的规定。

2.1.5 校准或核查

2.1.5.1 每年至少对超声检测仪和探头组合性能中的水平线性和垂直线性、组合频率、盲区（仅限直探头）、灵敏度余量、分辨力以及仪器的衰减器精度，进行一次校准并记录，测试要求应符合 2.1.4 的规定。

2.1.5.2 每年至少对标准试块与对比试块的表面腐蚀与机械损伤，进行一次核查。

2.1.6 运行核查

2.1.6.1 数字超声检测仪每 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的水平线性和垂直线性，进行一次运行核查并记录，测试要求应符合 2.1.4 的规定。

2.1.6.2 每 3 个月至少对盲区（直探头）、灵敏度余量和分辨力进行一次运行核查并记录，测试要求应符合 2.1.4 的规定。

2.1.7 检查

2.1.7.1 每次检测前应检查超声检测设备和器材的外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

2.1.7.2 斜探头检测时，检测前应测定探头入射点（前沿距离）和探头折射角（K 值）。

2.1.8 校准、运行核查和检查时的注意事项

校准、运行核查和检查时，应将影响仪器线性的控制器（如抑制或滤波开关等）均置于“关”的位置或处于最低水平上。

2.1.9 试块

2.1.9.1 标准试块

- 1) 具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块，用于评定和校准仪器探头系统性能的试块。本文件采用的标准试块为 CSK-IA、DZ-I 和 DB-P Z20-2。
- 2) CSK-IA 试块的具体几何形状、尺寸及表面粗糙度等符合本文件的规定，DZ-I 和 DB-P Z20-2 的具体几何形状、尺寸及表面粗糙度等应符合 JB/T 9214 的规定。
- 3) 标准试块的材料为 20 优质碳素钢，其制造应符合 JB/T 8428 的规定，制造商应提供产品质量合格证，并确保在相同测试条件下比较其所制造的每一标准试块与国家标准样品或类似具备量值传递基准的标准试块上的同种反射体（面）时，其最大反射波幅差应小

于等于 2dB。

2.1.9.2 对比试块

1) 通用对比试块

通用对比试块应采用与被检工件相同或近似声学性能的材料制成，该材料用直探头检测时，不得有大于或等于 $\Phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。本部分采用的通用对比试块包括：

- a) 普通锻件用 CS-2、CS-3、V 型槽试块；
- b) 焊接接头用 CSK-I A、CSK-II A、CSK-IV A 试块；
- c) 不锈钢堆焊层 T1、T2、T3 试块；
- d) 钢板用阶梯平底试块、 $\Phi 5$ 对比试块、V 型槽试块。

2) 专用对比试块

专用对比试块与被检工件材料声学性能（二者间声速偏差率应不超过 $\pm 1\%$ ，用 5MHz 探头测试衰减系数相差不超过 $\pm 2\text{dB/m}$ ）和制造工艺相似。专用对比试块外形几何尺寸应在一定程度上代表被检工件的特征，厚度应与被检工件厚度相对应。

3) 对比试块选用的原则

- a) 碳素钢、低合金钢制原材料、零部件或焊接接头，采用通用对比试块；
- b) 中合金钢、高合金钢制原材料、零部件或焊接接头，采用专用对比试块；
- c) 因试块类型选择不同而造成检测结果的差异时，应用专用对比试块为准。
- d) 现场检测时，可以采用其它形式的等效试块。

2.1.9.3 模拟试块

- 1) 模拟试块为有模拟缺陷的试块，主要用于工艺验证。
- 2) 试块的材料和声学特性应与被检工件相同或相近，无影响检测的其他缺陷。
- 3) 试块的外形结构、厚度和表面条件均应与被检工件相同或相近。
- 4) 对于热壁加氢反应器焊接接头，其模拟缺陷应采用相同的焊接方法制备或使用以往检测中发现的真实缺陷。
- 5) 热壁加氢反应器焊接接头模拟试块，模拟缺陷的类型、位置、尺寸和数量设置应考虑被检工件中可能存在的缺陷状态。至少应包括纵向和横向缺陷，体积型和面积型缺陷，表面和埋藏缺陷，且尺寸一般不大于质量等级为 II 级时的同厚度工件的最大允许缺陷尺寸，可由一块或多块同厚度范围试块组成。

2.2 一般要求

2.2.1 检测面要求

被检工件应经外观检测合格。所有影响超声检测的锈蚀、飞溅和污物等都应予以清除，其表面

粗糙度应符合检测要求。表面的不规则状态不得影响检测结果的正确性和完整性，否则应作适当的处理。

2.2.2 扫查要求

检测时，为确保超声声束能扫查到工件的整个被检区域，探头的相邻扫查覆盖率应大于探头晶片直径或宽度的 10%。

探头的扫查速度不应超过 150mm/s。

扫查灵敏度不应低于基准灵敏度。

2.2.3 耦合剂

2.2.3.1 耦合剂透声性应较好且不损伤检测表面，如机油、化学浆糊等。

2.2.3.2 耦合剂污染物含量的控制：

1) 镍基合金上使用的耦合剂含硫量不应大于 250mg/L。

2) 奥氏体型不锈钢或钛材上使用的耦合剂卤素（氯和氟）的总含量不应大于 250 mg/L。

2.2.3.3 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同。采用常规探头和耦合剂时，被检工件的表面温度应控制在 0℃～50℃，若温度超过 50℃或低于 0℃，可采用特殊探头或耦合剂；检测系统设置和校准与实际检测温度之差应控制在±15℃之内。

2.2.4 灵敏度补偿

一般情况表面耦合补偿推荐采用 4dB，对于衰减较大的工件应进行衰减补偿。

2.2.5 系统的校准和复核

新购仪器开始使用时，应对仪器的水平线性和垂直线性进行测定，测定要求应符合 2.1.4 的规定。在使用过程中，每隔六个月至少对仪器的水平线性和垂直线性进行一次核查并记录。

使用仪器-斜探头系统，检测前应测定前沿距离、K 值、主声束偏离，调整或复核扫描量程和扫查灵敏度；使用仪器-直探头系统，检测前应测定始脉冲宽度、灵敏度余量和分辨力，调整或复核扫描量程和扫查灵敏度。

2.2.5.1 遇有下述情况应对系统进行复核：

- 1) 校准后的探头、耦合剂和仪器设置参数发生改变时；
- 2) 检测人员怀疑扫描量程或扫查灵敏度有变化时；
- 3) 连续工作 4 小时以上时；
- 4) 工作结束时。

2.2.5.2 检测结束前应进行下列复核

- 1) 如果任意一点在扫描线上的偏移量超过扫描线该点读数的 10%或全扫描量程的 5%（取大值），则扫描量程应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检。
- 2) 距离-波幅曲线的复核：一般情况下，复核应不少于 3 点。如曲线上任何一点幅度下降

超过 2dB, 则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检; 如上升大于或等于 2dB, 则应对上一次复核以来所有的记录信号进行重新评定。

校准、复核和对仪器进行现行检测时, 任何影响仪器线性的控制器(如抑制或滤波开关等)都应放在“关”的位置或处于最低水平上。

2.2.6 检测时机与检测部位

除另有规定外, 超声检测时机按照以下要求进行:

- 1) 钢板在热处理之后进行 100%超声检测;
- 2) 锻件超声检测一般应在热处理后, 孔、台等结构加工前 100%进行。若热处理后锻件形状不适合超声检测, 也可在热处理前进行, 但在热处理后仍应对锻件进行尽可能完全的检测;
- 3) 公称直径大于等于 M36mm 的螺栓坯件, 在热处理后、粗加工后进行 100%超声检测;
- 4) 元件热成型和热处理后, 应进行 100%超声检测;
- 5) 焊接接头应在 ISR 后、PWHT 后、水压试验后应进行 100%超声检测, 具体焊缝检测时机及焊缝名称应按照设计制造文件执行。ISR 和 PWHT 至少 24h 后方可进行焊接接头的超声检测。

a) ISR 后、PWHT 前

- 堆焊前的 A、B、D 类焊接接头;
- 母材的补焊位置;
- 返修部位深度大于 9.5mm 的焊接接头;
- 内部支持圈用 2¼Cr1Mo¼V 堆焊加宽部位及支持圈上、下各 200mm 范围内母材;
- 所有堆焊层(DN<200mm 开口除外);
- 壳体与裙座的焊接接头;
- 裙座上铬钼钢之间、铬钼钢与碳钢之间的焊接接头;
- 裙座上的碳钢焊接接头;

b) PWHT 后

- 堆焊后的 A、B、D 类焊接接头;
- 母材的补焊位置;
- 返修部位深度大于 9.5mm 的焊接接头;
- 壳体与裙座的焊接接头;
- 所有堆焊层(DN<200mm 开口除外);
- 裙座上铬钼钢之间、铬钼钢与碳钢之间的焊接接头;

- 裙座上的碳钢焊接接头；
- 内部支持圈用 2¼Cr1Mo¼V 堆焊加宽部位及支持圈上、下各 200mm 范围内母材；

c) 水压试验后

- 所有 A、B、D 类焊接接头；
- 母材的补焊位置；
- 返修部位深度大于 9.5mm 的焊接接头；
- 壳体与裙座的焊接接头；

6) 对于铬钼加钒钢材料采用 SAW 焊接方式的焊接接头，可能出现横向再热裂纹，当技术文件要求时，应按照 API RP 934-A 进行超声检测，抽检率由设计方和制造方协商确定。

2.3 检测工艺

2.3.1 检测工艺文件

2.3.1.1 检测工艺文件由工艺规程和操作指导书组成。

2.3.1.2 工艺规程

- 1) 工艺规程应依据相关法规、产品标准、有关的技术文件和本文件的规定等进行编制。
- 2) 工艺规程还应依据本检测机构的特点、技术能力及资源条件等进行编制。
- 3) 当工艺规程依据的相关法规、产品标准、有关的技术文件和本文件的规定有变动时，或者依据的本检测机构的特点和技术能力及资源条件等有变化时，应重新编制或修订工艺规程。
- 4) 工艺规程还应规定表 2.3.1-1 所列相关因素的适用范围或要求。相关因素的变化超出规定的范围或要求时（表 2.3.1-1 中第 13、14、15、16 项除外），应重新修订工艺规程。

表 2.3.1-1 超声检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素的内容	适用场景
1	工件形状包括规格、材质等	通用
2	检测面（侧）的选取	通用
3	检测技术（直探头检测、斜探头检测、直接接触法、液浸法等）	通用
4	斜探头的折射角（K 值）及在工件中的波型（横波、纵波）； 直探头或斜探头标称频率、晶片尺寸、晶片形状及晶片数	通用
5	检测仪器类型	通用
6	校准（试块及校准方法）	通用
7	扫查方向及扫查范围	通用

8	扫查方式（手动或自动）	通用
9	结构回波与缺陷信号的辨别方法	通用
10	缺陷定量及评定方法	通用
11	扫查覆盖要求	通用
12	人员资格要求	通用
13	检测面或试块的表面状况要求	通用
14	耦合剂类型或牌号	通用
15	计算机数据采集（用到时）方法；是否需要自动报警和/或自动记录装置（用到时）	通用
16	检测记录及报告要求	通用
17	产品型式（板材、管材、锻件等）	钢板、锻件
18	检测时机（如热处理前或后）	钢板、锻件
19	检测范围	钢板、锻件
20	质量验收等级	钢板、锻件
21	焊接接头类型和几何形状，包括工件规格、厚度、尺寸和产品形式（如板焊、锻焊等）	焊缝
22	焊接方法、焊接工艺（如坡口形式、角度等）	焊缝
23	检测技术等级	焊缝
24	母材检测	焊缝
25	检测时机（如焊后或热处理后或耐压试验后）	焊缝
26	检测区（范围等）	焊缝
27	附加检测（如需要）及要求	焊缝
28	验收级别（质量等级）	焊缝

2.3.1.3 操作指导书

- 1) 应根据工艺规程所规定的相关因素的具体适用范围或要求，并结合被检工件的具体检测要求编制操作指导书。
- 2) 当工艺规程重新编制或修订时，应编制新的操作指导书。
- 3) 当表 2.3.1-1 和相关章节及附录所列相关因素（表 2.3.1-1 中 5、12、13、14、15、16 项除外）发生变化时，尽管此时的变化并没有超出工艺规程规定相关因素的具体适用范围或要求，也应编制新的操作指导书。
- 4) 操作指导书至少应包含以下内容
 - a) 操作指导书编号；
 - b) 依据的工艺规程及其版本号；
 - c) 检测技术要求：检测技术（直探头检测、斜探头检测、直接接触法、液浸法等）和检测波形、执行标准、检测时机、检测比例、合格级别和检测前的表面准备；

- d) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位（包括检测范围）、工件表面温度；
 - e) 检测设备和器材：仪器名称和规格型号，探头规格、耦合剂、试块种类、仪器和探头性能检查的项目、时机和性能指标；
 - f) 检测工艺参数：扫查方向及扫查范围、缺陷定量方法和评定要求等；
 - g) 检测程序；
 - h) 检测示意图；
 - i) 数据记录的规定；
 - j) 编制者（级别）和审核者（级别）；
 - k) 编制日期。
- 5) 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证。

2.3.2 工艺验证

- 2.3.2.1 一般采用通用对比试块进行工艺验证
- 2.3.2.2 使用通用对比试块进行工艺验证时，验证内容包括检测声程范围内灵敏度及灵敏度余量、信噪比等符合检测要求。
- 2.3.2.3 因结构等原因不能完全符合检测技术等级要求的焊接接头时，应采用模拟试块进行工艺验证。
- 2.3.2.4 当合同技术要求或相关方认为有必要时，采用模拟试块进行工艺验证。

2.4 钢板的超声检测

本部分主要适用于板厚 $\geq 6\text{mm}$ 的碳素钢、低合金钢制承压设备板材的超声检测方法和质量分级。

2.4.1 探头选择

对于筒体、封头、裙座等板材,使用的直探头按表 2.4.1-1 的规定选择：

表 2.4.1-1 钢板检测的探头选用

板厚/mm	探头种类	标称频率/MHz	探头晶片尺寸（推荐）
$6 \leq t \leq 20$	双晶直探头	4~5	圆形晶片直径 $\Phi 10 \sim 30\text{mm}$ 方形晶片或单个方形晶片边长 10~30mm
$t > 20$	双晶直探头或单晶直探头	2~5	

注 1：双晶探头性能应符合 NB/T 47013.3-2023 附录 C 的要求。

注 2：当使用双晶直探头检测工件厚度大于 20mm 的板材时，应选择合适的声束会聚区深度以完成距离-波幅曲线的制作，或者根据工件厚度大小选择不同声束会聚区深度的探头进行厚度分区检测。

注 3：对钢板边缘或坡口预定线两侧 200mm 宽度内，应附加斜探头 100%扫查。原则上选用折射角为 45°（K1）的斜探头，晶片有效直径一般应在 $\Phi 13\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 之间。也可选用其他晶片尺寸和折射角（K 值）的探头。

在板材的上、下两轧制表面分别进行检测。

2.4.2 试块选择及灵敏度调节

2.4.2.1 用双晶直探头检测 6mm~20mm 厚钢板时，采用如图 2.4.2-1 所示阶梯平底试块(CB I)，此时用与工件等厚部位试块的第一次底面回波调整到满刻度的 50%，再提高 10dB，并在考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度；也可用被检板材无缺陷完好部位调节。此时用与工件等厚部位试块或被检板材的第一次底波高度调整到满刻度的 50%，再提高 10dB 作为基准灵敏度。

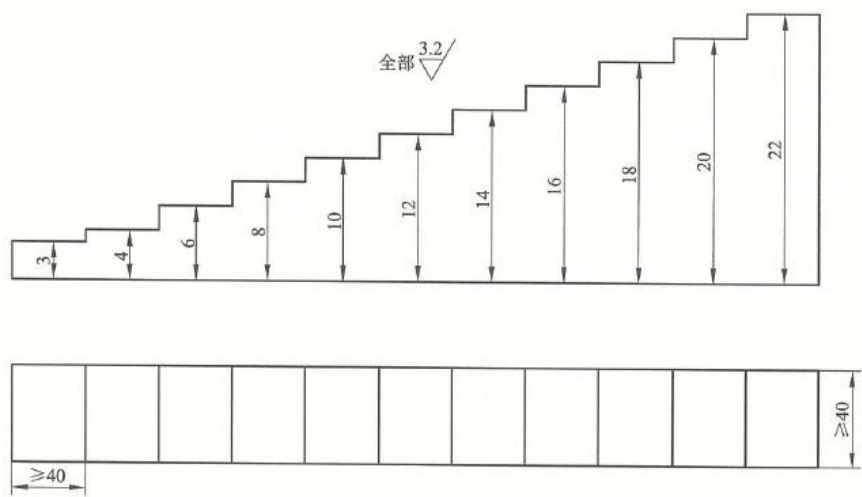


图 2.4.2-1 阶梯平底试块（CB I）

2.4.2.2 检测厚度大于 20mm 的钢板时，采用符合图 2.4.2-2 和表 2.4.2-1 规定的对比试块，在 $\Phi 5\text{mm}$ 平底孔试块上绘制距离-波幅曲线（最少 3 个反射体），并在考虑相关补偿后以此曲线作为基准灵敏度。

采用单直探头检测时，如能确定板材底面回波与不同深度 $\Phi 5\text{mm}$ 平底孔反射波幅度之间的关系，则可采用板材无缺陷完好部位第一次底面回波来调节基准灵敏度。

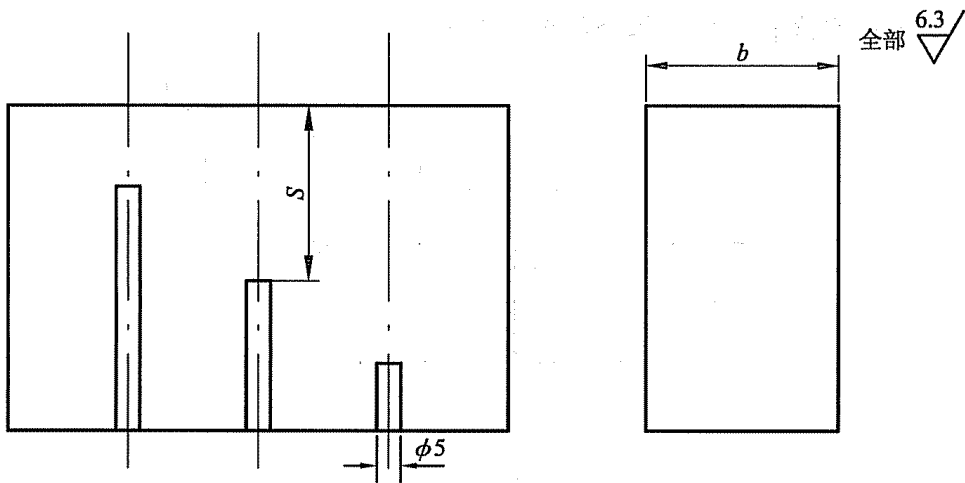


图 2.4.2-2 板材超声检测对比试块

表 2.4.2-1 承压设备用板材超声检测用对比试块

单位为 mm

试块编号	工件厚度 t/mm	检测面到平底孔的距离 S/mm	试块厚度 T/mm	试块宽度 b/mm
CB II -1	$20 < t \leq 40$	10、20、30	40	30
CB II -2	$40 < t \leq 60$	15、30、45	60	40
CB II -3	$60 < t \leq 100$	15、30、45、60、80	100	40
CB II -4	$100 < t \leq 150$	15、30、45、60、80、110、140	150	60
CB II -5	$150 < t \leq 200$	15、30、45、60、80、110、140、190	200	60
CB II -6	$200 < t \leq 250$	15、30、45、60、80、110、140、190、240	250	80

注：

1) 工件厚度大于 40mm 时，试块也可用厚代薄；

2) 为减轻单个试块尺寸和重量，声学性能相同或相似的试块上的平底孔可加工在不同厚度试块上；

3) 工件厚度大于 250mm 时，按 50mm 一档，每增加一档，平底孔数量增加 1 个，平底孔深度增加 50mm，试块厚度增加 50mm，试块宽度不再增加，试块编号按顺序增加；

4) 根据需要也可在适当深度位置增加反射体；

5) 公差：孔的直径， $\pm 0.1\text{mm}$ ；开孔垂直度， $\phi 0.1\text{mm}$ ；其他尺寸， $\pm 0.1\text{mm}$ 。

2.4.2.3 斜探头试块

对比试块应与被检板材声学特性相同或相似，厚度差不超过 10%。

对比试块上的参考反射体为 V 形槽，角度为 60° ，槽深为板厚的 3%（最大为 2.0mm），槽的长度至少为 25mm。对比试块的尺寸、V 形槽位置应符合图 2.4.2-3 的规定。对于厚度超过 50mm 的板材，要在板材的另一面加工第二个校准槽。

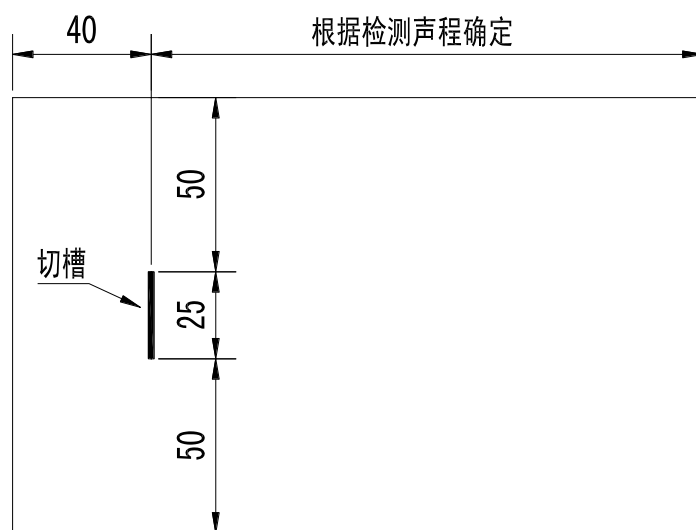


图 2.4.2-3 对比试块

1) 厚度小于或等于 50mm 的板材

- a) 把探头置于试块有槽的一面,使声束对准槽的宽边,找出第一个全跨距反射的最大波幅,调整仪器,使该反射波的最大波幅为满刻度的 80%,在显示屏上记录下该信号的位置。
- b) 不改变仪器的调整状态,移动探头得到第二个全跨距信号,并找出信号最大反射波幅,在显示屏上记录下该信号的位置。
- c) 在显示屏上将 1) 和 2) 所确定的点连成一直线,此线即为距离-波幅曲线,并在考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2) 厚度大于 50mm~250mm 的板材

- a) 将探头声束对准试块背面的槽,并找出第一个 1/2 跨距反射的最大波幅;调节仪器,使反射波幅为满刻度的 80%,在显示屏上记下这个信号的位置。
- b) 不改变仪器的调整状态,移动探头以全跨距对准切槽并获得最大反射波幅,在显示屏上记下这个幅值点。
- c) 在显示屏上将 1) 和 2) 所确定的点连成一直线,此线即为距离-波幅曲线,并在考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.4.2.4 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

2.4.3 检测方法

2.4.3.1 对于筒体、封头、裙座等板材,探头检测时采用直接接触法在钢板上、下两轧制面分别进行检测。

2.4.3.2 直探头沿垂直于钢板压延方向进行 100%扫查,斜探头沿平行和垂直于钢板压延方向进行 100%扫查。

2.4.3.3 板材边缘或剖口预定线两侧扫查区域宽度见表 2.4.3-1。

2.4.3.4 使用双晶直探头检测时,探头移动方向应与隔声层相垂直。

表 2.4.3-1 板材边缘或剖口预定线两侧区域宽度

单位为 mm

板厚	区域宽度
$t < 60$	50
$60 \leq t < 100$	75
$t \geq 100$	100

2.4.4 缺陷的判定和定量

2.4.4.1 在检测基准灵敏度条件下，发现下列三两种情况之一即作为缺陷，应予以记录：

- 1) 缺陷第一次反射波波幅高于距离-波幅曲线，或用双晶探头检测板厚小于等于 20mm 板材时，缺陷第一次反射波波幅大于或等于显示屏满刻度的 50%；
- 2) 用双晶探头检测板厚小于等于 20mm 板材时，底面第一次反射波波幅低于显示屏满刻度的 50%；
- 3) 检测板厚大于 20mm 板材时，底面第一次反射波波幅低于距离-波幅曲线。

2.4.4.2 缺陷的定量

- 1) 使用双晶直探头对工件厚度小于等于 20mm 板材进行检测时的缺陷定量：
 - a) 用双晶直探头确定缺陷的边界范围或指示长度时，探头的移动方向应与探头的隔声层相垂直；
 - b) 确定 2.4.4.1 1) 所述缺陷的边界时，移动探头使缺陷波幅下降到基准灵敏度下显示屏满刻度的 25%，此时探头中心点即为缺陷的边界点；
 - c) 确定 2.4.4.1 2) 中缺陷的边界时，移动探头使底面第一次反射波上升到基准灵敏度下显示屏满刻度的 50%，此时探头中心点即为缺陷的边界点。
- 2) 使用单晶直探头或双晶直探头对工件厚度大于 20mm 板材进行检测时的缺陷定量：
 - a) 使用双晶直探头进行检测和缺陷定量时，探头的移动方向应与探头的隔声层相垂直；
 - b) 确定 2.4.4.1 1) 所述缺陷的边界时，移动探头使缺陷波幅下降到距离-波幅曲线，此时探头中心点即为缺陷的边界点；另外还应确定缺陷的反射波幅；
 - c) 确定 2.4.4.1 3) 中缺陷的边界范围时，移动探头使底面第一次反射波上升到距离-波幅曲线，此时探头中心点即为缺陷的边界点。
- 3) 使用斜探头对板材进行检测时的缺陷定量：
 - a) 当发现缺陷信号时，移动探头使之能在显示屏上得到最大反射波幅；
 - b) 对于波幅等于或超过距离-波幅曲线的缺陷显示，应记录其位置，并移动探头用-6dB 法来测量其指示长度。对于波幅低于距离-波幅曲线的缺陷，当指示长度较长时，也应作记录。

c) 在每一个记录缺陷的位置上，应以记录缺陷中心起，至少 200mm×200mm 的区域进行 100%斜探头和直探头检测。

2.4.5 缺陷尺寸的评定方法

2.4.5.1 缺陷长度的评定规则

用平行于板材压延方向矩形框包围缺陷，其长边作为该缺陷的指示长度。

2.4.5.2 单个缺陷指示面积的评定规则

一个缺陷按其指示的矩形面积作为该缺陷的单个指示面积；

多个缺陷其相邻间距小于较小缺陷的指示长度时，按单个缺陷处理，缺陷指示面积为各缺陷面积之和。

2.4.6 验收

2.4.6.1 如无特殊规定，对于筒体、封头等钢板，验收按表 2.4.6-1、表 2.4.6-2 中 T1 级分别执行。

2.4.6.2 如无特殊规定，热壁加氢反应器裙座上段用钢板验收按表 2.4.6-1、表 2.4.6-2 中 T1 级分别执行，热壁加氢反应器裙座下段用钢板验收按表 2.4.6-1、表 2.4.6-2 中 I 级分别执行。

表 2.4.6-1 承压设备用板材中部超声检测区域质量等级评定

等级	最大允许单个缺陷指示面积 S 或 平底孔当量 D	在任一 1m×1m 检测面积内缺陷最大允许个数	
		单个缺陷指示面积或平底孔当量评定范围	最大 允许 个数
TⅡ	$t \leq 20\text{mm}: S \leq 50\text{mm}^2$	$t \leq 20\text{mm}: 20\text{mm}^2 < S \leq 50\text{mm}^2$	10
	$t > 20\text{mm}: D \leq \Phi 5\text{mm} + 8\text{dB}$	$t > 20\text{mm}: \Phi 5\text{mm} < D \leq \Phi 5\text{mm} + 8\text{dB}$	
Ⅰ	$t \leq 20\text{mm}: S \leq 100\text{mm}^2$	$t \leq 20\text{mm}: 50\text{mm}^2 < S \leq 100\text{mm}^2$	10
	$t > 20\text{mm}: D \leq \Phi 5\text{mm} + 14\text{dB}$	$t > 20\text{mm}: \Phi 5\text{mm} + 8\text{dB} < D \leq \Phi 5\text{mm} + 14\text{dB}$	
Ⅱ	$S \leq 1000\text{mm}^2$	$100\text{mm}^2 < S \leq 1000\text{mm}^2$	15
Ⅲ	$S \leq 5000\text{mm}^2$	$1000\text{mm}^2 < S \leq 5000\text{mm}^2$	20
Ⅳ	超过 Ⅲ 级者		
注：对 2.4.4.1 2) 和 2.4.4.1 3) 所述缺陷的质量等级（TⅡ 级和 Ⅰ 级）按面积进行评定。			

表 2.4.6-2 承压设备用板材边缘或剖口预定线两侧超声检测区域质量等级评定

等级	最大允许单个缺陷指示 长度 L_{max}	最大允许单个缺陷指示面积 S 或 平底孔当量 D	在任一 1m 检测长度内最大允许缺陷个数	
			单个缺陷指示长度 L 或 平底孔当量评定范围	最大允 许个数

TI	$\leq 20\text{mm}$	$t \leq 20\text{mm}: S \leq 50\text{mm}^2$	$t \leq 20\text{mm}: 10\text{mm} < L \leq 20\text{mm}$	2
		$t > 20\text{mm}: D \leq \Phi 5\text{mm} + 8\text{dB}$	$t > 20\text{mm}: \Phi 5\text{mm} < D \leq \Phi 5\text{mm} + 8\text{dB}$	
I	$\leq 30\text{mm}$	$t \leq 20\text{mm}: S \leq 100\text{mm}^2$	$t \leq 20\text{mm}: 15\text{mm} < L \leq 30\text{mm}$	3
		$t > 20\text{mm}: D \leq \Phi 5\text{mm} + 14\text{dB}$	$t > 20\text{mm}: \Phi 5\text{mm} + 8\text{dB} < D \leq \Phi 5\text{mm} + 14\text{dB}$	
II	$\leq 50\text{mm}$	$S \leq 1000\text{mm}^2$	$25\text{mm} < L \leq 50\text{mm}$	5
III	$\leq 100\text{mm}$	$S \leq 2000\text{mm}^2$	$50\text{mm} < L \leq 100\text{mm}$	6
IV	超过 III 级者			
注：对 2.4.4.1 2) 和 2.4.4.1 3) 所述缺陷的质量等级（TI 级和 I 级）按面积进行评定。				

2.4.6.3 如果检测人员确认板材中有白点、裂纹等缺陷存在时，应评为 IV 级。

2.4.6.4 元件热成型和热处理后，应按照 I 级进行验收；

2.4.6.5 在板材中部检测区域，按最大允许单个缺陷指示面积和任一 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 检测面积内缺陷最大允许个数确定质量等级。如整张板材中部检测面积小于 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，缺陷最大允许个数按比例折算。

2.4.6.6 在板材边缘或坡口预定线两侧检测区域，按最大允许单个缺陷指示长度、最大允许单个缺陷指示面积和任一 1m 检测长度内最大允许缺陷个数确定质量等级。如整张板材边缘检测长度小于 1m ，缺陷最大允许个数按比例折算。

2.4.6.7 斜探头验收要求

等于或超过距离-波幅曲线的任何缺陷信号，或判定为裂纹类缺陷的，均应认为是不合格的；但是以纵波方法作辅助检测时，若发现缺陷性质是分层类的，则应按 2.4.6.1 和 2.4.6.2 的规定处理。

2.5 锻件的超声检测

本章节适用于热壁加氢反应器封头、筒体、接管等部件用碳钢和低合金钢锻件的超声波检测方法和质量分级。

2.5.1 探头和试块

2.5.1.1 直探头

当热壁加氢反应器封头、筒体、接管等部件用碳钢和低合金钢锻件检测厚度小于等于 45mm 时，选用双晶探头和 CS-3 对比试块（见图 2.5.1-1 和表 2.5.1-1），双晶直探头的公称频率应选用 $2 \sim 5\text{MHz}$ ，探头晶片面积不小于 150mm^2 ；检测厚度大于 45mm 时，采用单晶直探头和 CS-2 对比试块（见图 2.5.1-2 和表 2.5.1-2），探头公称频率选用 $2\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$ ，探头晶片一般为 $\Phi 10\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 。

2.5.1.2 斜探头

对于热壁加氢反应器封头、筒体、接管等部件用环形和筒形锻件需使用斜探头在周向、轴向正反两个方向进行检测。探头标称频率主要为 $2\text{MHz} \sim 10\text{MHz}$ 。探头晶片面积为 $80\text{mm}^2 \sim 625\text{mm}^2$ 。轴向检测时，一般可采用折射角为 45° （K1）的横波斜探头，或者根据工件厚度的不同，也可选择折射角

在 37° ~50° (K0.75~K1.2) 之间的横波斜探头。周向检测时, 应根据工件厚度和内外径之比的不同, 按表 2.5.1-1 选择探头类型、探头折射角 (K 值) 及检测方法组合等。

表 2.5.1-1 环形和筒形锻件外壁周向检测所用探头类型及折射角推荐

内外径之比	探头类型		探头折射角（K 值）	备注（检测方法）
≥65%	横波斜探头		≥37° ~63° （≥0.75~2.0）	使用一次波和一次反射波法检测，37° 探头对应 65%内外径之比
≥58%~65%	横波斜探头或		≥34° ~37° （≥0.71~0.75）	使用一次波和一次反射波法检测，34° 探头对应 58%内外径之比
	横波斜探头和横波（或纵波）组合	横波斜探头	≥34° ~37° （≥0.67~0.75）	使用一次波法检测，34° 探头对应 58%内外径之比
		横波（或纵波）斜探头	~60° （~1.73）	使用一次波法检测外表面和近外表面（≤5mm）
≥40%~58%	横波斜探头和纵波斜探头组合	横波（或纵波）斜探头	~60° （~1.73）	使用一次波法检测外表面和近外表面（≤5mm）
		纵波斜探头	≥15° ~25° （≥0.27~0.47）或根据实际需要稍作调整	使用一次波法检测
注 1：对于内外径之比在 40%~58%的锻件直接接触法或液浸法检测时，也可采用~60° （~1.73）的横波斜探头（一次波法检测外表面和近外表面（≤5mm）），和~60° （~1.73）的纵波斜探头（变型横波法）进行组合检测；或者采用~60° （~1.73）的纵波斜探头使用一次波法和变型横波法进行检测。				
注 2：对于内外径之比小于 40%的锻件可参照横波斜探头和纵波斜探头[15° ~25°（0.27~0.47）]组合检测方法。				

2.5.2 检测表面状态

检测面的表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ 。

2.5.3 对比试块

2.5.3.1 双晶直探头对比试块:

- 1) 工件检测厚度小于等于 45mm 时, 应采用 CS-3 对比试块;
- 2) CS-3 试块的形状和尺寸应符合图 2.5.3-1 和表 2.5.3-1 的规定。

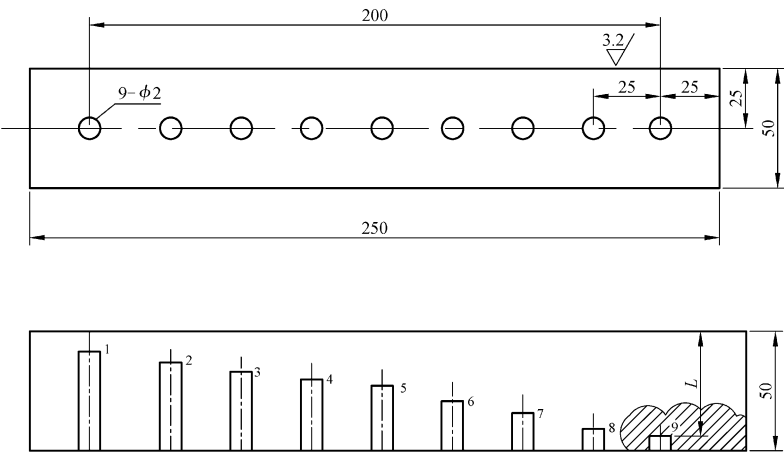


图 2.5.3-1 CS-3 对比试块

表 2.5.3-1 CS-3 对比试块尺寸

单位为 mm

试块编号	孔径	检测距离 L								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$\Phi 2$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
2	$\Phi 4$									

2.5.3.2 单晶直探头对比试块

单晶直探头检测采用 CS-2 试块调节基准灵敏度，其形状和尺寸应符合图 2.5.3-2 和表 2.5.3-2 的规定。如确有需要也可采用其他等效对比试块。

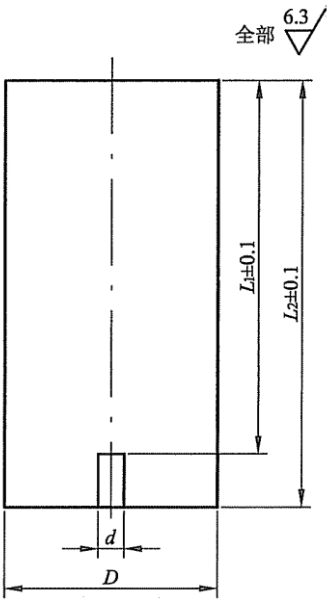


图 2.5.3-2 CS-2 对比试块

表 2.5.3-2 对比试块尺寸

单位为 mm

试块 编号	试块 规格	d	L_1	L_2	D	试块 编号	试块 规格	d	L_1	L_2	D
1	25/2	2	25	50	≥ 35	12	150/4	4	150	175	≥ 85
2	25/4	4	25	50	≥ 35	13	200/2	2	200	225	≥ 100
3	50/2	2	50	75	≥ 50	14	200/4	4	200	225	≥ 100
4	50/4	4	50	75	≥ 50	15	250/2	2	250	275	≥ 110
5	75/2	2	75	100	≥ 60	16	250/4	4	250	275	≥ 110
6	75/4	4	75	100	≥ 60	17	300/2	2	300	325	≥ 120
7	100/2	2	100	125	≥ 70	18	300/4	4	300	325	≥ 120
8	100/4	4	100	125	≥ 70	19	400/2	2	400	425	≥ 140
9	125/2	2	125	150	≥ 80	20	400/4	4	400	425	≥ 140
10	125/4	4	125	150	≥ 80	21	500/2	2	500	525	≥ 155
11	150/2	2	150	175	≥ 85	22	500/4	4	500	525	≥ 155

2.5.3.3 曲面对比试块

工件检测面曲率半径小于等于 250mm 时，应采用曲面对比试块（试块曲率半径在工件曲率半径的 0.7 倍~1.1 倍范围内）调节基准灵敏度，或采用 CS-4 对比试块来测定由于曲率不同而引起的表面耦合声能损失，其形状和尺寸应符合图 2.5.3-3 的规定。根据需要，也可以使用其他等效试块。

当在凹面进行检测时，应制作相应的凹面对比试块来测定由于曲率不同而引起的表面耦合声能损失。

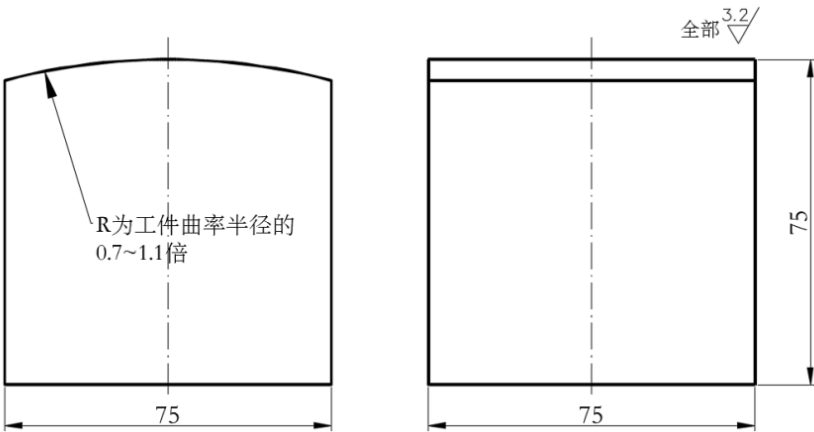


图 2.5.3-3 CS-4 对比试块

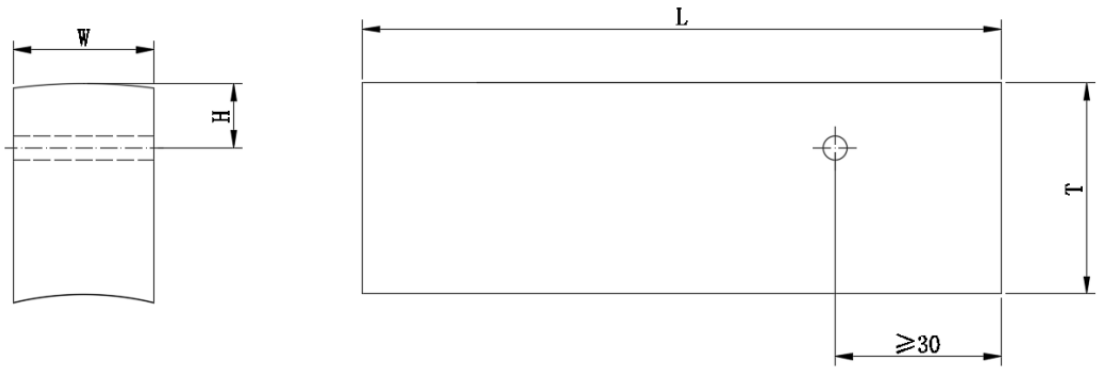
2.5.3.4 斜探头对比试块

- 1) 一般要求
 - a) 对比试块一般应选取与被检工件规格相同，材质、热处理工艺及表面状况相同或相似的筒形件或环形件制成。

- b) 对比试块厚度与被检工件厚度相差应不超过被检工件厚度的 10%；对比试块内（外）径与被检工件内（外）径相差应不超过被检工件的 10%，并在检测时进行耦合补偿。
- c) 对比试块设置的参考反射体为 $\phi 2\text{mm}$ 横孔。

2) 斜探头轴向检测时用对比试块

- a) 筒形或环形锻件轴向检测用对比试块见图 2. 5. 3-4。



注：试块长度 L 由使用的最大声程确定

图 2. 5. 3-4 筒形或环形锻件轴向检测用对比试块示意图

- b) 试块宽度、横孔数量、深度位置根据锻件厚度进行设置，具体按表 2. 5. 4-3 的规定执行。
- c) 也可使用其他等效 $\phi 2\text{mm}$ 横孔反射体试块进行轴向检测。

表 2. 5. 4-3 环形和筒形锻件外壁轴向检测用对比试块尺寸及反射体数量位置推荐

试块厚度 T/mm	试块宽度 W/mm	横孔 数量	深度位置 H/mm	备注
$T \leq 20$	≥ 25	≥ 1	5, (10), (15)	根据试块实际厚度确定是否增加横孔
$20 < T \leq 30$	≥ 25	≥ 2	5, 15, (25)	根据试块实际厚度确定，括号内的横孔深度位置可适当调整
$30 < T \leq 40$	≥ 30	≥ 3	5, 15, 25, (35)	
$40 < T \leq 50$	≥ 40	≥ 4	5, 15, 25, 35, (45)	
$50 < T \leq 70$	≥ 40	≥ 5	5, 15, 25, 35, 45, (65)	
$70 < T \leq 100$	≥ 60	≥ 6	5, 15, 25, 35, 45, 65, (90)	
$100 < T \leq 150$	≥ 80	≥ 7	5, 15, 25, 35, 45, 65, 90, (140)	
注：				
1) 当试块厚度大于 150mm 时，按 50mm 一档，每增加一档，横孔数量增加 1 个，横孔深度增加				

50mm，试块宽度适当增加。

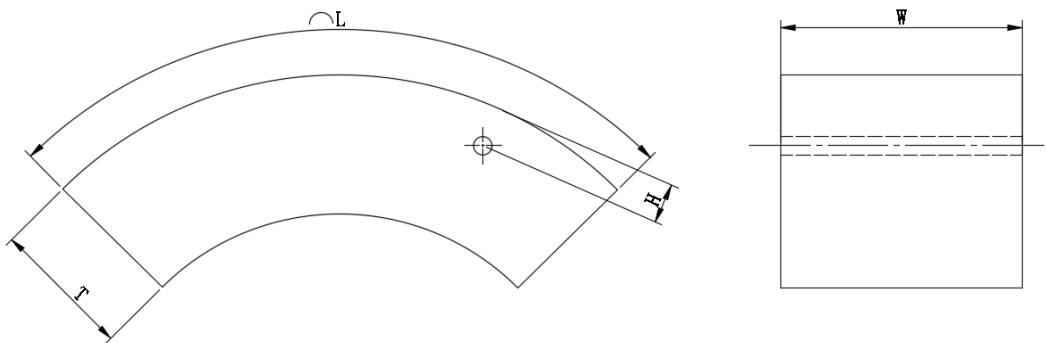
2) 可能由于试块曲率的影响，第 1 个或前 2 个深度横孔的长度与试块宽度不一致，此时，或为加工方便，靠近外壁的试块局部宽度可适当减小。

3) 斜探头代替直探头时用对比试块

用规格相同或相近的锻件，在垂直于厚度方向或长度方向，且离检测面合适的深度上加工若干 $\phi 2\text{mm}$ 长横孔（尽可能覆盖检测深度范围）。试块宽度、横孔数量、深度位置根据锻件厚度进行设置。

4) 斜探头周向检测时用对比试块

- a) 筒形或环形锻件周向检测用对比试块见图 2.5.3-5。
- b) 试块上宽度，横孔数量、深度位置根据锻件厚度进行设置，具体按表 2.5.3-4 的规定执行。
- c) 也可使用其他等效 $\phi 2\text{mm}$ 横孔反射体试块进行周向检测。



注：试块周向长度 L 由使用的最大声程确定。

图 2.5.3-5 筒形或环形锻件周向检测用对比试块示意图

表 2.5.3-4 环形和筒形锻件外壁周向检测用对比试块尺寸及反射体数量位置推荐

试块厚度 T/mm	试块宽度 W/mm	横孔数量	深度位置 H/mm	备注
$T \leq 20$	≥ 40	≥ 1	5, (10), (15)	根据试块实际厚度确定是否增加横孔
$20 < T \leq 30$	≥ 40	≥ 2	5, 15, (25)	根据试块实际厚度确定，括号内的横孔深度位置可适当调整
$30 < T \leq 40$	≥ 40	≥ 3	5, 15, 25, (35)	
$40 < T \leq 50$	≥ 60	≥ 4	5, 15, 25, 35, (45)	
$50 < T \leq 70$	≥ 80	≥ 5	5, 15, 25, 35, 45, (65)	
$70 < T \leq 100$	≥ 80	≥ 6	5, 15, 25, 35, 45, 65, (90)	
$100 < T \leq 150$	≥ 80	≥ 7	5, 15, 25, 35, 45, 65,	

			90, (140)	
注：当试块厚度大于 150mm，按 50mm 一档，每增加一档，横孔数量增加 1 个，横孔深度增加 50mm，试块宽度不再增加。				

2.5.4 检测方法和质量分级

热壁加氢反应器封头、筒体、接管等部件用锻件均应进行纵波检测，对于内外径之比 $\geq 40\%$ 的环形和筒形锻件需使用斜探头在周向、轴向正反两个方向进行检测。

2.5.4.1 纵波检测

- 1) 应从两个相互垂直的方向进行检测，尽可能地检测到锻件的全体积。当锻件检测方向厚度或长度超过 400mm 时，应从相对两端面进行检测。当锻件厚度超过 800mm 时，应从相对两端面进行检测，两端检测厚度或长度范围至少应重叠 10%。如果此时双端检测仍不能超过厚度或长度的 1/2 时，可用斜探头代替直探头检测直探头不能检测到的部分，在与厚度方向或长度方向垂直的面上进行检测。
- 2) 双晶直探头扫查时，探头的移动方向应与探头的隔声层垂直。
- 3) 单晶直探头应采用 CS-2 对比试块确定基准灵敏度(当工件厚度大于或等于探头三倍近场区长度时，可采用底波算法确定基准灵敏度)；双晶直探头采用 CS-3 标准试块确定基准灵敏度。扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。
- 4) 缺陷当量的确定：被检缺陷的深度大于或等于探头的三倍近场区时，采用距离-波幅曲线及算法确定缺陷当量。对于三倍近场区内的缺陷，采用距离-波幅曲线来确定缺陷当量。也可采用其他等效方法来确定。
- 5) 当材质衰减系数超过 4 dB/m，应考虑对结果进行修正。工件材质衰减系数的测定参照 NB/T 47013.3-2023 的 5.5.6.2 部分执行。
- 6) 质量分级详见表 2.5.4-1。

表 2.5.4-1 锻件超声检测缺陷质量分级

单位为 mm

等级	I	II	III	IV	V
单个缺陷当量平底孔直径	$\leq \Phi 4$	$\leq \Phi 4+6\text{dB}$	$\leq \Phi 4+12\text{dB}$	$\leq \Phi 4+18\text{dB}$	$> \Phi 4+18\text{dB}$
由缺陷引起的底波降低量 B_G/B_F	$\leq 6\text{dB}$	$\leq 12\text{dB}$	$\leq 18\text{dB}$	$\leq 24\text{dB}$	$> 24\text{dB}$
密集区缺陷当量直径	$\leq \Phi 2$	$\leq \Phi 2+7\text{dB}$	$\leq \Phi 4$	$\leq \Phi 4+4\text{dB}$	$> \Phi 4+4\text{dB}$
密集区缺陷面积占检测总面积的百分比/%	0	≤ 5	≤ 10	≤ 20	> 20
注 1：由缺陷引起的底波降低量仅适用于声程大于近场区长度的缺陷。					
注 2：表中不同种类的缺陷分级应独立使用。					

注 3：密集区缺陷面积指反射波幅 $\geq \Phi 2$ 平底孔当量的密集区缺陷。

2.5.4.2 横波检测

1) 斜探头代替直探头时的检测方法

- a) 使用探头折射角为 45° 左右的横波斜探头，在试块上制作距离-波幅曲线，并在考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度，扫查灵敏度至少应比基准灵敏度高 6dB。
- b) 斜探头在工件轴向进行扫查，移动探头使声束做两个相对方向进行 100%检测，相邻扫查路径确保相互覆盖，扫查覆盖率至少应为探头晶片宽度的 10%。

2) 斜探头检测环形或空心锻件

- a) 利用工件配套横孔试块进行灵敏度调整。扫查方向如图 2.5.4-2 所示。扫查灵敏度至少应比基准灵敏度高 6dB。

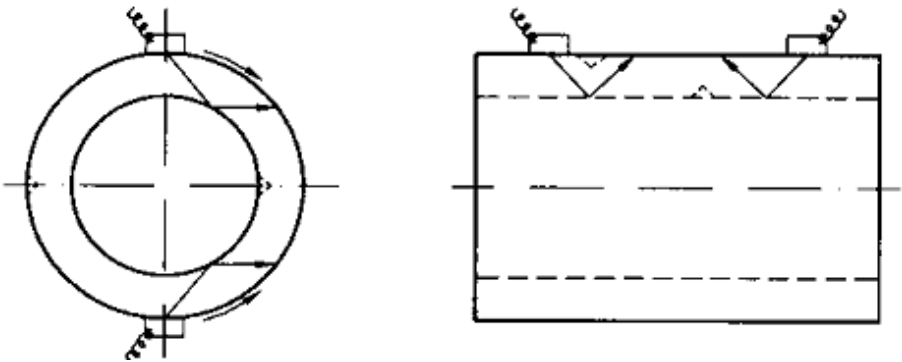


图 2.5.4-2 锻件横波检测方向

- b) 记录波幅 $>50\%$ DAC 曲线的缺陷反射波当量和位置，缺陷长度按 6dB 法或端点 6dB 法测定指示长度，当相邻两个缺陷间距小于或等于较小缺陷长度时，按单个缺陷处理（中间间距计入）。
- c) 当判定超声反射信号为裂纹、白点等危害性缺陷时，锻件的质量等级应评定为 III 级。波幅高于或等于距离-波幅曲线（ $\geq \text{DAC}+0\text{dB}$ ）的缺陷质量等级评定为 III 级。
- d) 波幅在距离-波幅曲线的 $50\% \sim 100\%$ （ $\text{DAC}-6\text{dB} \sim \text{DAC}+0\text{dB}$ ）的缺陷，质量分级见表 2.5.4-2。

表 2.5.4-2 斜探头检测缺陷质量分级

质量等级	单个缺陷指示长度
I	$\leq 1/3$ 壁厚，且 $\leq 100\text{mm}$
II	$\leq 2/3$ 壁厚，且 $\leq 150\text{mm}$
III	大于 II 级者

2.5.5 验收等级

2.5.5.1 直探头验收等级

- 1) 当量平底孔直径 $\geq \phi 2\text{mm}$ 的缺陷应予以记录;
- 2) 不允许有白点、裂纹、夹层、折叠等危害性缺陷;
- 3) 元件热成型和热处理后, 应按照 I 级进行验收;
- 4) 如无特殊规定, 热壁加氢反应器封头、筒体、接管等部件用锻件验收按表 2.5.5-1 执行, 其他锻件应按照 II 级进行验收。

表 2.5.5-1 锻件超声直探头检测质量等级

锻件分类		单个缺陷	底波降低量	密集区缺陷 当量直径	密集区缺陷 面积比
筒形和环形锻件	一般区	II	I	II	II
	重要区	I	I	I	I
长颈法兰锻件	一般区	II	I	II	II
	重要区	I	I	I	I
饼形锻件	公称厚度 $\leq 300\text{mm}$	I	I	I	I
	公称厚度 $> 300\text{mm}$	II	I	II	II
饼形锻件 (用作封头时)	一般区	II	I	II	II
	重要区	I	I	I	I
注 1: 重要区定义: 距锻件坡口预定线两侧 1/2T 或 180mm (取大者) 范围; 距内表面 50mm 范围; 预开孔边缘 100mm 范围。					
注 2: 其他形式锻件质量等级要求同筒形锻件。					

2.5.5.2 斜探头验收等级

- 1) 不允许有白点、裂纹、夹层、折叠等危害性缺陷;
- 2) 如无特殊规定, 质量等级不低于 I 级为合格;
- 3) 但在距锻件坡口预定线两侧 1/2T 或 180mm (取大者) 和扫查面 50mm 厚度范围内, 缺陷波幅超过 50%DAC, 或者存在波幅 $\leq 50\%$ DAC 的密集缺陷为不合格 (密集缺陷定义为 $\leq 50\text{mm}^2$ 立方体内有 3 个或以上波幅大于等于 10%DAC 的缺陷反射波)。

2.6 堆焊层超声检测

2.6.1 检测方法

- 2.6.1.1 对于热壁加氢反应器筒体、封头等大面积堆焊层, 超声检验从基材或堆焊层一侧进行, 但尽量从堆焊层侧进行。如从堆焊层侧无法进行检测时, 则从基材侧进行检测。
- 2.6.1.2 从堆焊层侧对堆焊层进行超声检测时, 使用双晶直探头和纵波双晶斜探头。
- 2.6.1.2 从基材侧对堆焊层进行超声检测时, 使用单晶直探头和纵波单晶斜探头。

2.6.2 探头和试块

2.6.2.1 双晶探头

- 1) 双晶探头（直、斜）两声束间的夹角应能满足有效声场覆盖全部检测区域，使探头对该区域具有最大的灵敏度。两晶片间隔声效果应保证良好。
- 2) 双晶探头的会聚区一般可设置在堆焊层和基材的结合部位。探头标称频率为 2MHz～5MHz。斜探头折射角一般为 70° 左右，必要时也可以采用其他角度的探头，但应不小于 60°。

2.6.2.2 单晶直探头

探头的直径一般不应超过 $\phi 30\text{mm}$ ，标称频率为 2MHz～5MHz。

2.6.2.3 纵波斜探头

一般选择折射角为 45°（K1）的探头，其标称频率为 2MHz～5MHz。

2.6.2.4 对比试块

- 1) 对比试块堆焊层表面状态应与工件堆焊层的表面状态相同。
- 2) 对比试块应采用与产品部件相同的焊接工艺堆焊，也可采用被检材料的多余部分或延伸部位堆焊制成。
- 3) 从堆焊层侧进行检验时，双晶直探头使用图 2.6.2-1 所示 T1 试块，双晶斜探头使用图 2.6.2-2 所示 T2 试块。
- 4) 试块基材厚度 T 至少应为堆焊层厚度的 2 倍，试块堆焊层厚度应大于等于被检工件的堆焊层厚度。

注：当堆焊层厚度 $\delta \geq 12\text{mm}$ ，可如图所示堆焊层内设置 3 个人工反射体；当堆焊层厚度 $6.5\text{mm} < \delta < 12\text{mm}$ 时，可在堆焊层内设置 2 个人工反射体，位置分别为 $\delta/3$ 和 $2\delta/3$ ；当堆焊层厚度 $\delta \leq 6.5\text{mm}$ 时，可在堆焊层 $\delta/2$ 位置设置 1 个人工反射体。另外在双层堆焊之间的结合面 δ 位置设置 1 个人工反射体。

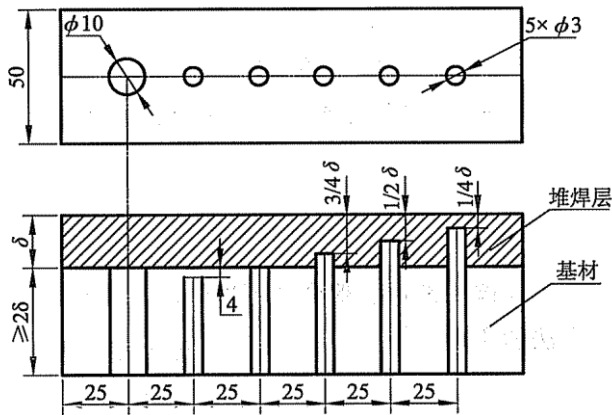


图 2.6.2-1 T1 型试块

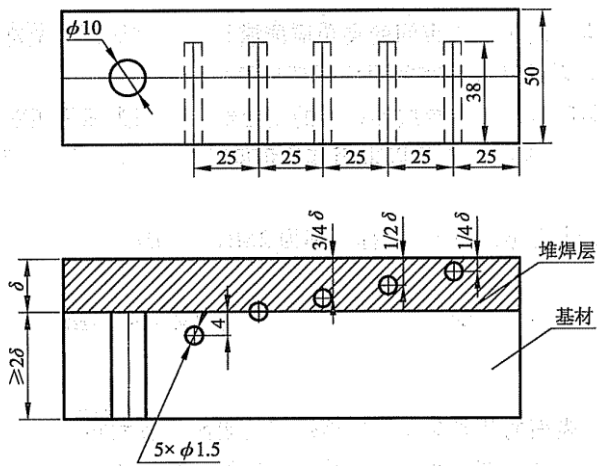


图 2.6.2-2 T2 型试块

5) 从基材侧进行检测时, 采用 2.6.2-3 所示 T3 型试块, 被检工件基材厚度和试块基材厚度 T 差不应超过 10%。

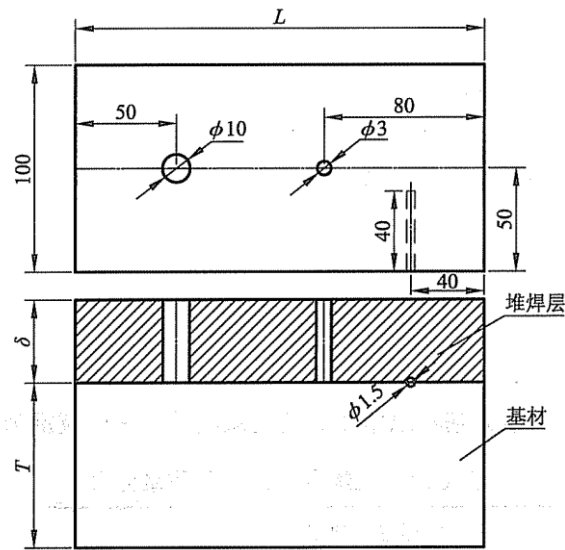


图 2.6.2-3 T3 型试块

2.6.3 检验灵敏度的校准

2.6.3.1 采用 T1 试块的校准

- 1) 检测堆焊层内缺陷时, 将双晶直探头放在试块的堆焊层表面上, 用试块上 $\Phi 3\text{mm}$ 平底孔绘制距离-波幅曲线, 并考虑相关补偿后以此曲线作为基准灵敏度;
- 2) 检测堆焊层层下缺陷时, 将双晶直探头放在试块的堆焊层表面上, 移动探头使其从试块上基材内 $\Phi 3\text{mm}$ 平底孔获得最大波幅, 调整衰减器使回波幅度为满刻度的 80%, 并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度;
- 3) 检测基材与堆焊层未结合缺陷时, 将双晶直探头放在试块的堆焊层表面上, 移动探头使其从 $\Phi 10\text{mm}$ 平底孔处获得最大波幅, 调节衰减器使回波高度为满刻度的 80%, 并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.6.3.2 采用 T2 试块的校准

- 1) 检测堆焊层内缺陷时，将纵波双晶斜探头放在试块的堆焊层表面上，用试块上 $\Phi 1.5\text{mm}$ 横孔绘制距离-波幅曲线，并考虑相关补偿后以此曲线作为基准灵敏度；
- 2) 检测堆焊层层下缺陷时，将纵波双晶斜探头放在试块的堆焊层表面上，移动探头使其从试块基材内 $\Phi 1.5\text{mm}$ 横孔获得最大波幅，调整衰减器使回波幅度为满刻度的 80%，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.6.3.3 采用 T3 型试块的校准

- 1) 用单晶直探头检测堆焊层层内缺陷时，将探头放在基材一侧，调节增益使 $\Phi 3\text{mm}$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度；
- 2) 用纵波斜探头检测堆焊层层内缺陷时，将探头放在基材一侧，调节增益使 $\Phi 1.5\text{mm}$ 横孔回波幅度为满刻度的 80%，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度；
- 3) 检测基材与大于堆焊层未结合缺陷时，将单晶直探头放在基材一侧，使 $\Phi 10$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.6.4 扫查灵敏度

扫查灵敏度在基准灵敏度基础上提高 6dB。

2.6.5 检测要求

- 2.6.5.1 采用纵波双晶斜探头检验时应分别沿堆焊方向和垂直于堆焊方向移动探头进行检测；
- 2.6.5.2 采用双晶直探头检测时应垂直于堆焊方向进行扫查，扫查时，应保证隔声层平行于堆焊方向。
- 2.6.5.3 缺陷当量尺寸采用 -6dB 法确定。
- 2.6.5.4 检测范围包括堆焊层和堆焊层以下 4mm 以内的基材区域。

2.6.6 验收

- 2.6.6.1 对于热壁加氢反应器筒体、封头等大面积堆焊层与基体结合的界面上不允许有裂纹、未熔合及条状夹渣。
- 2.6.6.2 堆焊层层下缺陷除判断为基材原始非裂纹类缺陷外，一般应定为 III 级。
- 2.6.6.3 如无特殊要求，堆焊层合格级别按表 2.6.6-1 中 I 级执行。

表 2.6.6-1 堆焊层超声检测质量分级

缺陷等级	堆焊层内缺陷		堆焊层与基材未结合缺陷
	双晶直探头、直探头	纵波双晶斜探头、纵波斜探头	
I	当量 $< \Phi 3\text{mm}$	当量 $< \Phi 1.5\text{mm}-2\text{dB}$	缺陷长径 $\leq 25\text{mm}$ 的未结合区域

II	当量 $\geq \phi 3\text{mm} \sim \phi 3\text{mm}+6\text{dB}$, 且长度 $\leq 30\text{mm}$	当量 $\geq \phi 1.5\text{mm}-2\text{dB} \sim$ $\phi 1.5\text{mm}+4\text{dB}$, 且长度 $\leq 30\text{mm}$	缺陷长径 $\leq 40\text{mm}$ 的 未结合区域
III	缺陷当量或长度超过 II 级或缺陷性质判为裂纹时		超过 II 级

2.7 焊缝超声检测

本章节适用于热壁加氢反应器焊接接头的超声检测方法和质量分级，具体适用范围和使用原则见表 2.7-1。

表 2.7-1 焊接接头超声检测适用范围

单位 mm

焊接接头类型	工件厚度 t	外径 D_0 ，检测面直径 D 及内外径比 r	检测方法
筒体或封头对接接头	$\geq 6 \sim 500$	$D \geq 500$ ，纵向或环向对接接头时； 对于纵向对接接头， $r \geq 60\%$	附录 E
		$100 \leq D < 500$ 的纵向对接接头 且 $r \geq 60\%$	附录 A
		$159 \leq D < 500$ 的环向对接接头	附录 B
接管与筒体（或封头）角接接头	$\geq 6 \sim 500$	插入式：筒体（或封头或母管） $D \geq 500$ 且 $r \geq 60\%$ 和接管（或支管） $D_0 \geq 80$ ； 安放式：筒体（或封头或母管） $D \geq 200$ 且 接管（或支管） $D_0 \geq 80$	附录 C
T 型焊接接头	$\geq 6 \sim 300$	—	附录 D
管子环向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	$159 \leq D_0 < 500$	附录 B
管子纵向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	$100 \leq D_0 < 500$ ， $r \geq 60\%$	附录 A

注：需要进行再热裂纹超声检测的焊缝，检测方法验收详见附录 F。

2.7.1 检测技术

2.7.1.1 超声检测技术等级的选择

超声检测技术等级的选择应符合制造、安装等有关规范、标准及设计图样规定，热壁加氢反应器焊接接头的制造、安装时的超声检测，除非另有要求，一般应采用 B 级超声检测技术等级进行检测，对重要设备的焊接接头，如技术条件要求，可采用 C 级超声检测技术等级进行检测。

不同类型焊接接头超声检测的具体要求见附录 E。

2.7.1.2 B 级检测：

- 1) B 级适用于工件厚度大于等于 6mm~200mm 焊接接头的检测；
- 2) 焊接接头一般应进行横向缺陷的检测；
- 3) 对于按附录 E 要求进行单面双侧或双面单侧进行检测的对接接头，如受条件限制或由于堆焊层的存在，只能在单面单侧进行，则应将检测面侧焊接接头余高磨平，此时探头移动区应包括整个焊接接头宽度，另外还应补充单晶或双晶斜探头作近检测面缺陷检

测；

- 4) 对于按附录 E 要求进行双面双侧检测的对接接头，如受几何条件限制或由于堆焊层（或复合层）的存在而选择单面双侧或双面单侧检测时，应将检测面侧焊接接头余高磨平，此时探头移动区应包括整个焊接接头宽度，另外还应补充斜探头作近检测面缺陷检测。

2.7.1.3 C 级检测：

- 1) C 级适用于工件厚度大于等于 6mm~500mm 焊接接头的检测；
- 2) 采用 C 级检测时应将焊接接头的余高磨平，对焊接接头斜探头扫查经过的母材区域要用直探头进行检测，检测方法按 2.7.5 的规定进行；
- 3) 工件厚度大于 15mm 的对接接头一般应在双面双侧进行检测，如受几何条件限制或由于堆焊层（或复合层）的存在而选择单面双侧或双面单侧检测时，应将检测面侧焊接接头余高磨平，此时探头移动区应包括整个焊接接头宽度，另外还应补充单晶或双晶斜探头作近检测面缺陷检测；
- 4) 对于工件厚度大于 15mm 的嵌入式对接接头，当采用探头位置在筒体或封头上检测时，应在其双面单侧进行。如受几何条件限制或由于堆焊层（或复合层）的存在而选择单面单侧检测时，应将在接管或凸缘等内壁放置直探头和斜探头进行检测（见附录图 E.7），并补充单晶或双晶斜探头作近检测面缺陷检测；
- 5) 对于单侧坡口角度小于 5° 的窄间隙焊缝，如有可能应增加检测与坡口表面平行缺陷的有效方法，如使用较大折射角（K 值）的斜探头、双探头串列式扫查等；
- 6) 工件厚度大于等于 40mm 的对接接头，还应增加直探头检测，并覆盖整个焊接接头宽度；
- 7) 焊接接头应进行横向缺陷的检测。

2.7.2 试块

采用 CSK—I A、CSK—II A 和 CSK—IV A 标准试块，见图 2.7.2-1、2.7.2-2、2.7.2-3。

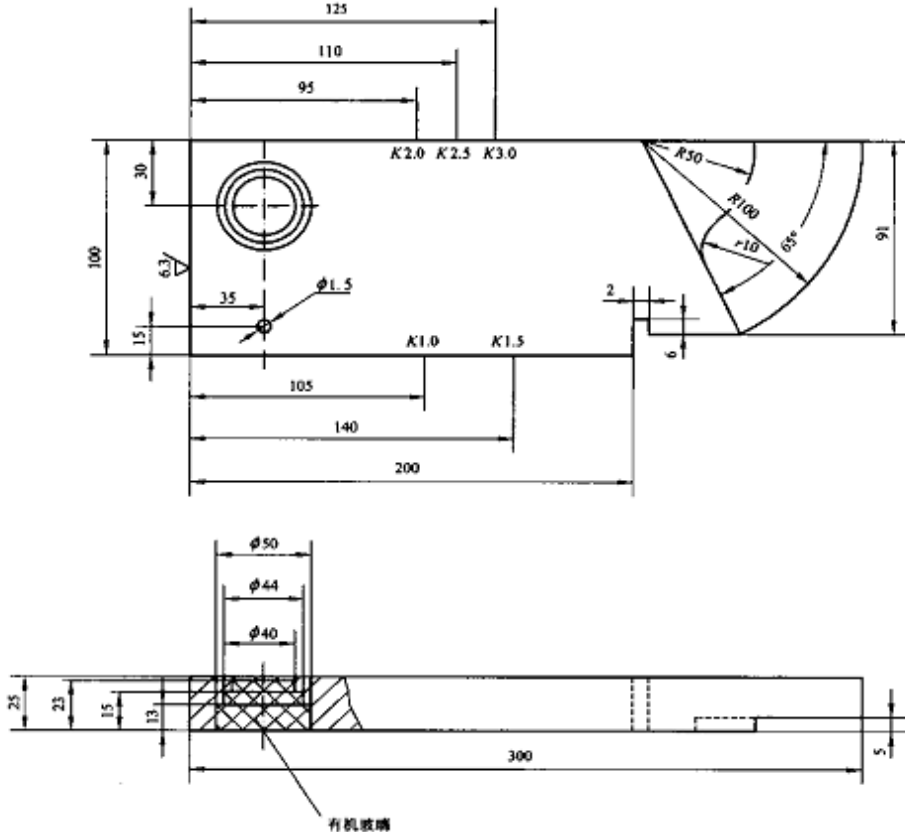


图 2.7.2-1 CSK—I A 试块

表 2.7.2-1 CSK-II A 试块尺寸

单位为 mm

CSK-II A 编号	适用工件厚度 t	试块厚度 T	横孔位置	横孔直径 d
CSK-II A-1	≥6~40	45	5、15、25、35	Φ2.0
CSK-II A-2	>40~100	110	10、30、50、70、90	Φ2.0
CSK-II A-3	>40~200	210	10、30、50、70、90、110、140、170、200	Φ2.0

注 1：孔径误差不大于±0.02mm，其他尺寸误差不大于±0.05mm。
注 2：试块长度由使用的声程等确定。
注 3：如声学特性相同或相近，试块也可用厚代薄。
注 4：可以在试块全厚度范围增加横孔数量。
注 5：也可使用其他直径的横孔，灵敏度应与此相当。
注 6：开孔垂直度偏差不大于 0.1°。

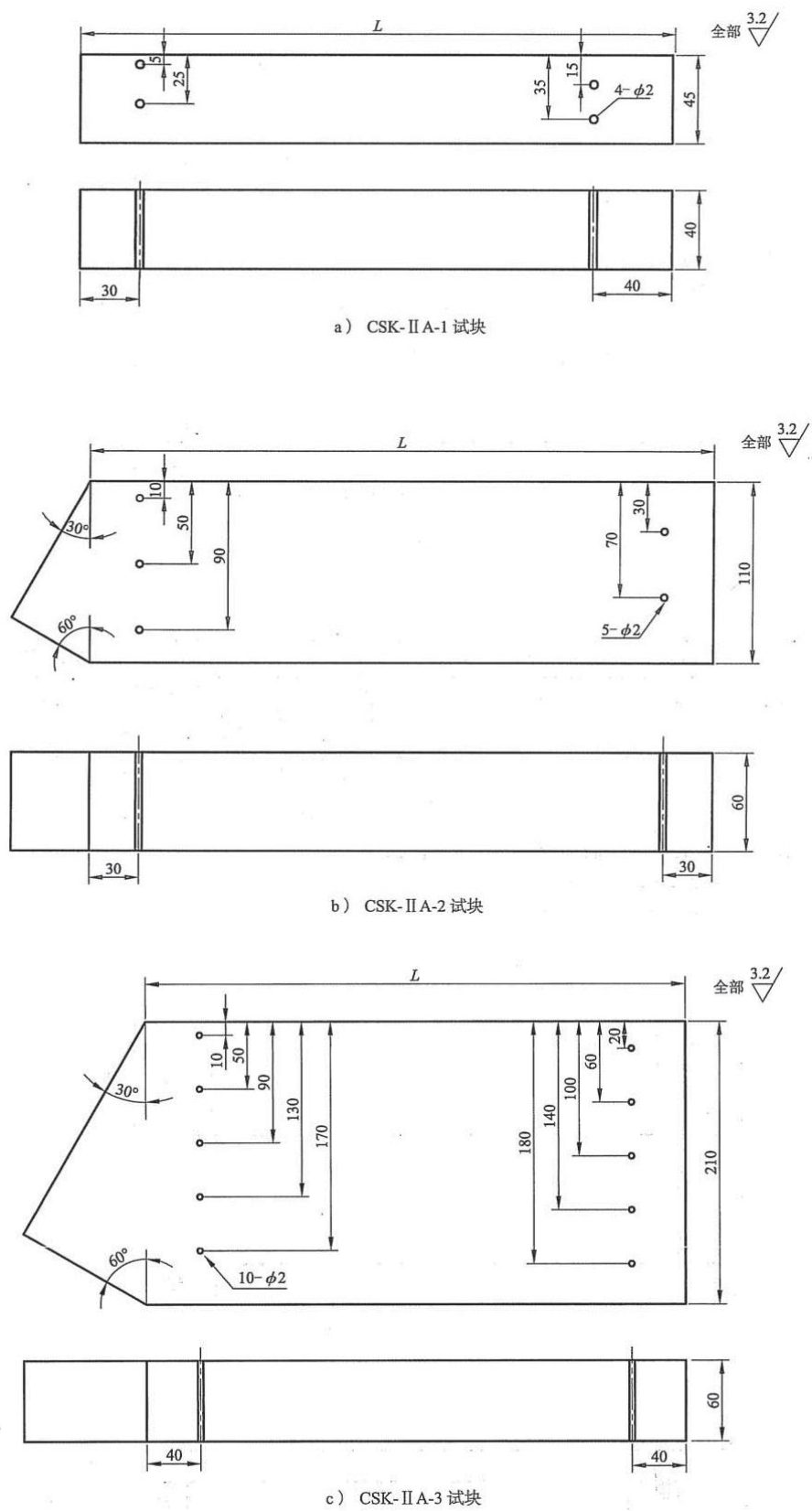


图 2.7.2-2 CSK-IIA 对比试块（推荐）

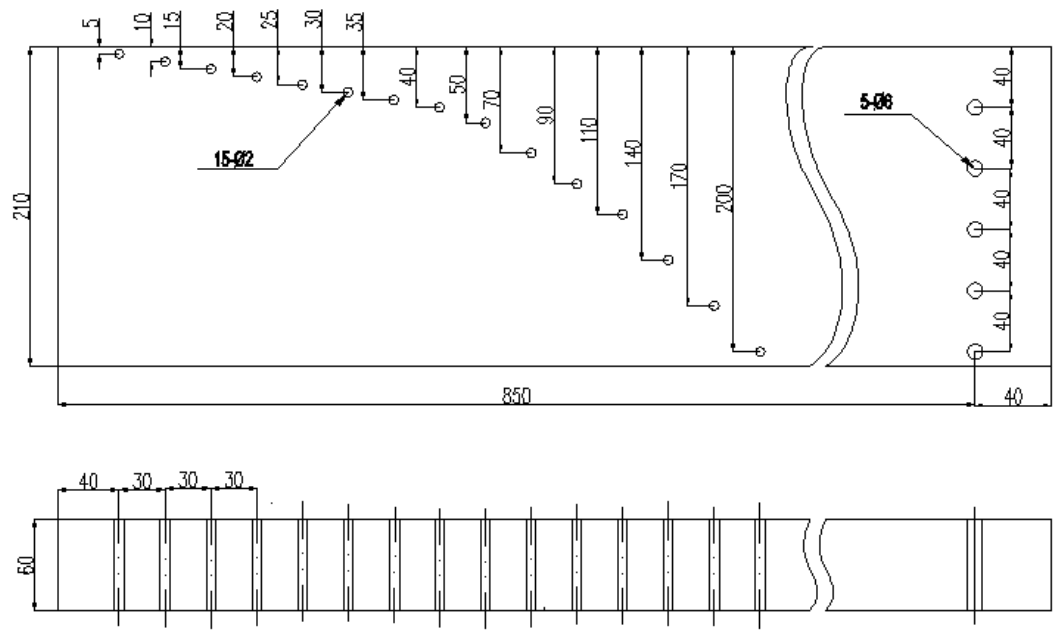
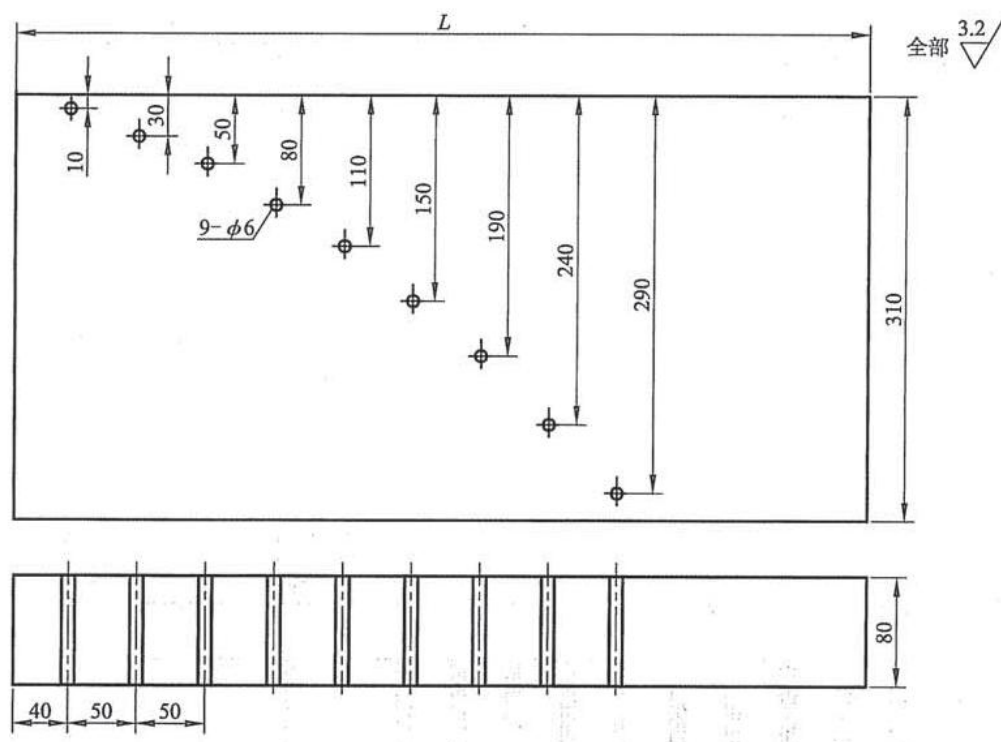


图 2.7.2-3 另一种 CSK-IIA 对比试块（推荐）

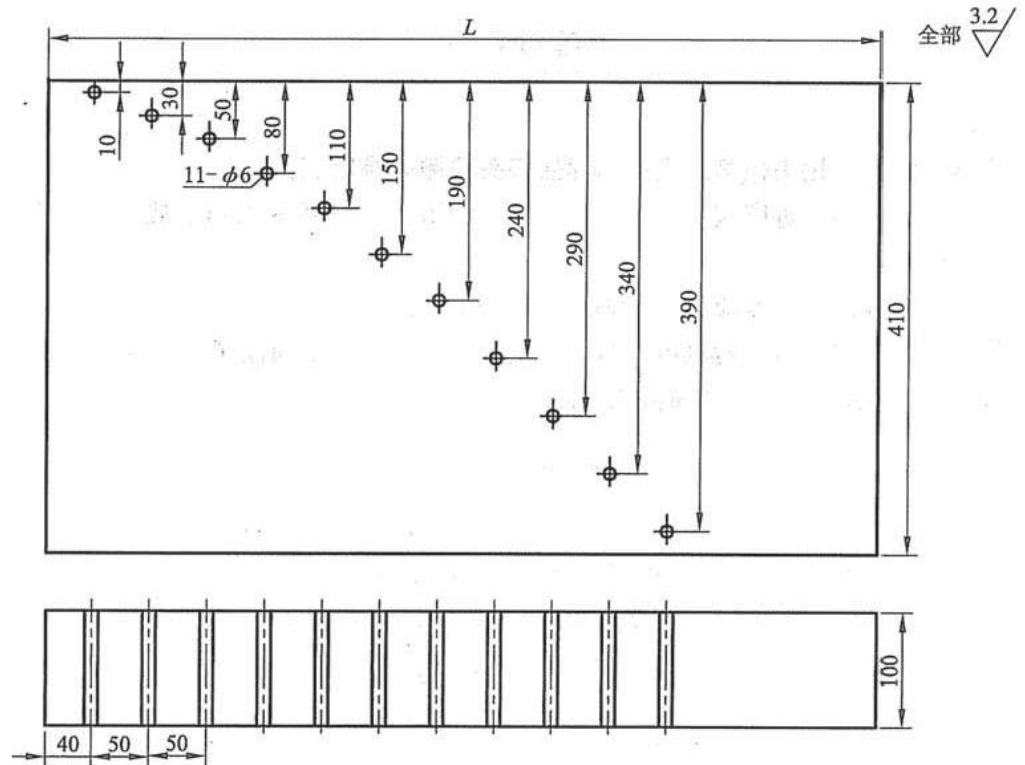
表 2.7.2-2 CSK-IVA 试块尺寸

单位为 mm

CSK-IVA 编号	适用工件厚度 t	试块厚度 T	横孔位置	横孔直径 d
CSK-IVA-1	>200~300	310	10、30、50、80、110、150、190、240、290	Φ6.0
CSK-IVA-2	>300~400	410	10、30、50、80、110、150、190、240、290、340、390	Φ6.0
CSK-IVA-3	>400~500	510	10、30、50、80、110、150、190、240、290、340、390、440、490	Φ6.0
注 1：孔径误差不大于±0.02mm，其他尺寸误差不大于±0.05mm。 注 2：试块长度由使用的声程等确定。 注 3：如声学特性相同或相近，试块也可用厚代薄。 注 4：可以在试块全厚度范围增加横孔数量。 注 5：也可使用其他直径的横孔，灵敏度应与此相当。 注 6：开孔垂直度偏差不大于 0.1°。				



a) CSK-IVA-1 试块



b) CSK-IVA-2 试块

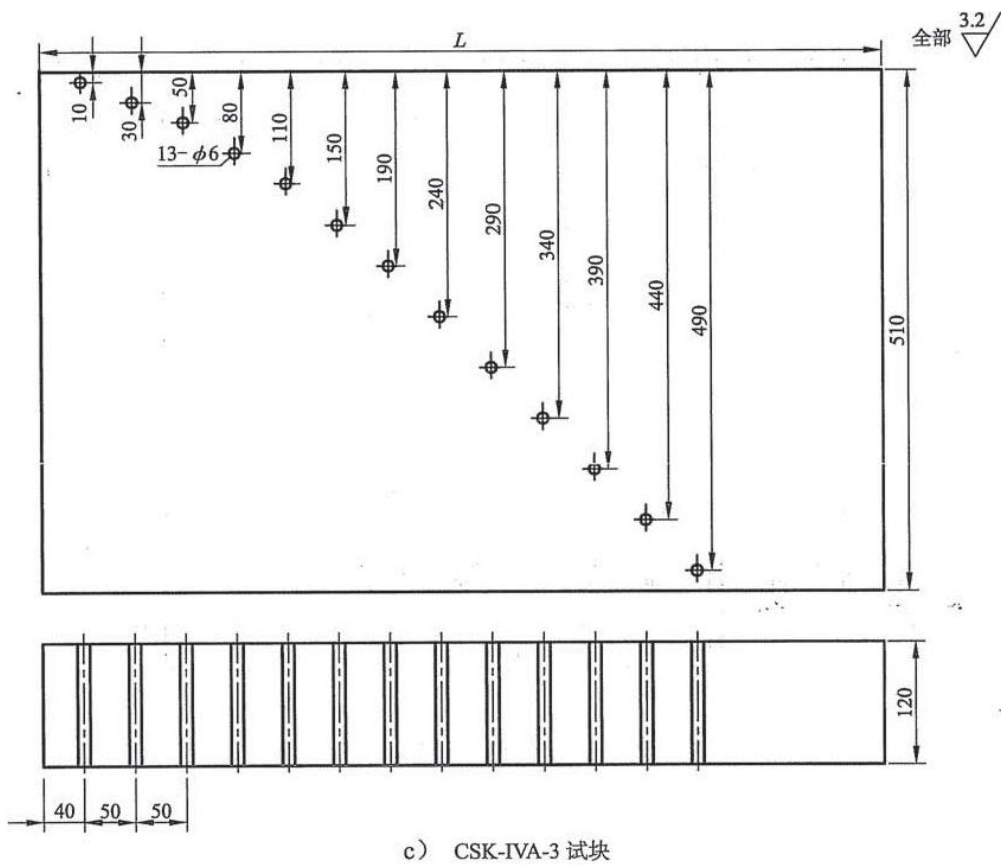


图 2.7.2-4 CSK-IVA 对比试块示意图（推荐）

2.7.3 检测准备

2.7.3.1 焊接接头检测区域的宽度应是焊缝本身，再加上焊缝熔合线两侧各 10mm。对接接头检测区厚度应为工件厚度加上焊缝余高。

2.7.3.2 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其它杂质。检测表面应平整光滑，便于探头的自由扫查，检测面与探头楔块底面或保护膜间的间隙应不大于 0.5mm，其表面粗糙度 R_a 应不大于 $6.3\mu m$ ，一般应进行打磨。

2.7.3.3 采用一次反射法检测时，探头移动区应不小于 $2.5TK(2T\tan\beta)$ ；采用直射法检验时，探头移动区应大于或等于 $1.5TK$ ，其中 T 为母材厚度， K 为探头折射角的正切值。

2.7.3.4 去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐。保留余高的焊缝，如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等也应进行适当的修磨，并作圆滑过渡以免影响检验结果的评定。

2.7.4 探头折射角（K 值）和标称频率的选择

采用一次反射法进行检测时，探头折射角（K 值）应选主声束与检测面相对底面法线夹角 $35^\circ\sim 70^\circ$ 之间。当使用 2 种或者 2 种以上折射角（K 值）探头检验时，应至少有一种探头的折射角（K 值）满足这一要求。推荐探头折射角（K 值）和标称频率的选择见表 2.7.4-1、2.7.4-2。条件允许时，应尽量采用较大折射角（K 值）探头。

表 2.7.4-1 推荐采用的斜探头折射角（K 值）和标称频率

工件厚度 t/mm	折射角（K 值）	标称频率/MHz
$6 \leq t \leq 25$	$63^\circ \sim 72^\circ$ (2.0~3.0)	4~5
$25 < t \leq 40$	$56^\circ \sim 68^\circ$ (1.5~2.5)	2~5
$t > 40$	$45^\circ \sim 63^\circ$ (1.0~2.0)	2~2.5

表 2.7.4-2 推荐采用的直探头标称频率

工件厚度 t/mm	标称频率/MHz
$6 \leq t \leq 40$	4~5
$t > 40$	2~5

2.7.5 母材检测

对于 C 级检测或必要时，斜探头扫查声束通过的母材区域，应先用直探头检测，以便检测是否有影响斜探头检测结果的分层或者其他类型缺陷存在。直探头检测仅作记录，不属于对母材的验收检测。

母材检测的要点如下：

- 1) 扫查灵敏度：将无缺陷处的第二次底波调到显示屏满刻度的 100%。
- 2) 凡缺陷信号超过满显示屏刻度的 20%时。应在工件表面作出标记，并予以记录。

2.7.6 仪器调节

2.7.6.1 斜探头入射点、折射角（K 值）

斜探头入射点的测定一般采用 CSK—I A 试块进行调节。折射角（K 值）的测定可采用 CSK—I A，CSK-II A 或 CSK-IV A 试块。

2.7.6.2 仪器时基线

仪器时基线的调整一般采用 CSK-I A 试块，也可根据被检工件厚度选择 CSK-II A 或 CSK-IV A 试块。

2.7.6.3 距离—波幅曲线的绘制

距离—波幅曲线按所用探头和仪器在试块上实测的数据绘制而成，该曲线族由评定线、定量线和判废线组成。评定线与定量线之间（包括评定线）为 I 区，定量线与判废线之间（包括定量线）为 II 区，判废线及其以上为 III 区，如图 2.7.6-1 所示。

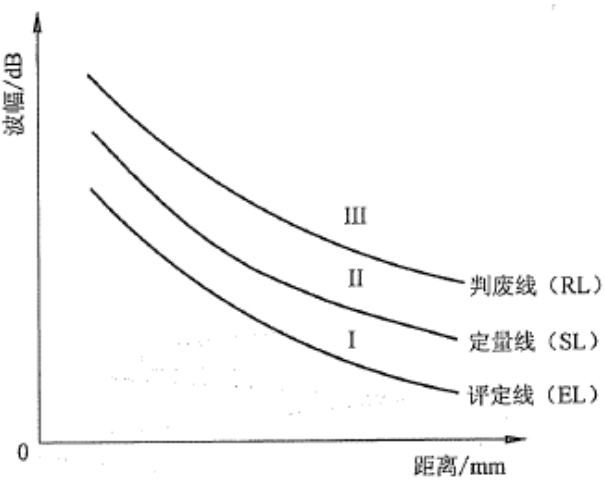


图 2.7.6-1 距离-波幅曲线

斜探头或直探头距离一波幅曲线灵敏度按表 2.7.6-1 规定执行：

表 2.7.6-1 斜探头或直探头距离一波幅曲线的灵敏度

试块形式	工件厚度 t/mm	评定线	定量线	判废线
CSK-II A	$6 \leq t \leq 40$	$\phi 2-18\text{dB}$	$\phi 2-12\text{dB}$	$\phi 2-4\text{dB}$
	$40 < t \leq 100$	$\phi 2-14\text{dB}$	$\phi 2-8\text{dB}$	$\phi 2+2\text{dB}$
	$100 < t \leq 200$	$\phi 2-10\text{dB}$	$\phi 2-4\text{dB}$	$\phi 2+6\text{dB}$
CSK-IVA	$200 < t \leq 300$	$\phi 6-13\text{dB}$	$\phi 6-7\text{dB}$	$\phi 6+3\text{dB}$
	$300 < t \leq 500$	$\phi 6-11\text{dB}$	$\phi 6-5\text{dB}$	$\phi 6+5\text{dB}$

2.7.6.4 工件表面耦合损失和材质衰减应与试块相同，否则按照 NB/T 47013.3-2023 附录 P 的规定进行测量声能传输损耗差并进行补偿，补偿量应计入距离-波幅曲线，并作为基准灵敏度。当检测面不平整或与对比试块表面粗糙度不同造成的表面耦合补偿量超过 6dB 时，应重新对检测面进行处理。

2.7.6.5 扫查灵敏度不低于评定线灵敏度（计入补偿量后），此时在检测范围内最大声程处的评定线高度不得低于荧光屏满刻度的 20%。

2.7.6.6 检测和评定横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高 6 dB。

2.7.7 扫查方法

2.7.7.1 斜探头应垂直于焊缝中心线放置在检测面上，作锯齿型扫查，探头前后移动的范围应保证扫查到全部焊接接头截面，在保持探头垂直焊缝作前后移动的同时，还应作 10°~15°的左右转动。

2.7.7.2 为观察缺陷动态波形和区分缺陷信号与伪缺陷信号，确定缺陷的位置、方向和形

状，可采用前后、左右、转角、环绕等探头基本扫查方式。

2.7.7.3 检测焊接接头横向缺陷时，可在焊接接头两侧边缘使斜探头与焊接接头中心线成 $0^\circ \sim 45^\circ$ 作两个方向斜平行扫查，见图 2.7.7-1。如焊接接头余高磨平，探头应在焊接接头及热影响区上作两个方向上的平行扫查，以及与焊接接头中心线成 $0^\circ \sim 45^\circ$ 斜平行扫查，见图 2.7.7-2。

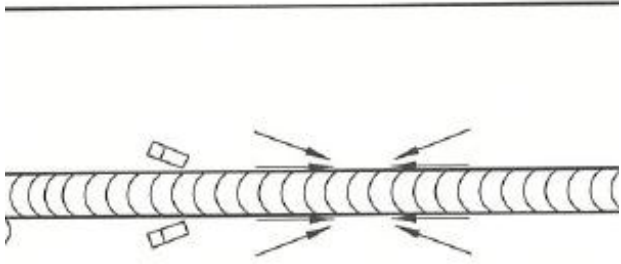


图 2.7.7-1 余高存在时扫查示意图

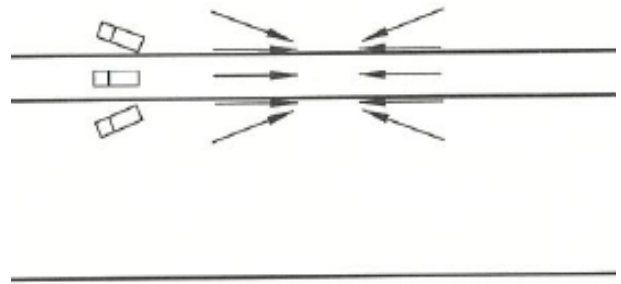


图 2.7.7-2 余高磨平后扫查示意图

2.7.7.4 直探头扫查时应确保超声声束能扫查到焊接接头的整个被检区域。

2.7.8 检测面曲率半径小于 250mm 对接接头超声检测的一般原则

2.7.8.1 检测曲面工件时，如检测面曲率半径 $R \leq W^2/4$ 时（ W 为探头接触面宽度，环缝检测时为探头宽度，纵缝检测时为探头长度），应采用与检测面曲率相同对比试块，反射孔的位置可参照对比试块确定。试块宽度 b 一般应满足：

$$b \geq 2 \lambda S / D_s$$

式中：

b ——试块宽度，mm；

λ ——超声波波长，mm；

S ——声程，mm；

D_s ——声源有效直径，mm。

2.7.8.2 曲面纵向对接接头检测

- 1) 工件检测面曲率半径应在对比试块的曲率半径的0.9倍~1.1倍范围内。
- 2) 根据工件的曲率和工件厚度选择探头折射角(K值)，并考虑几何临界角的限制，确保声束能扫查到整个焊接接头。
- 3) 探头接触面修磨后，应注意探头入射点和折射角(K值)的变化，并用曲率试块作实际测定。
- 4) 应注意显示屏指示的缺陷深度或水平距离与缺陷实际的径向埋藏深度或水平距离弧长的差异，并进行修正。
- 5) 曲面纵向对接接头超声检测方法见附录A。

2.7.8.3 曲面环向对接接头检测

- 1) 工件检测面曲率半径应在对比试块曲率半径的0.9倍~1.5倍范围内。
- 2) 曲面环向对接接头超声检测方法见附录B。

2.7.9 接管与筒体(或封头)角接接头超声检测方法

接管与筒体(或封头)角接接头超声检测方法见附录C。

2.7.10 T型焊接接头超声检测方法

T型焊接接头超声检测方法见附录D。

2.7.11 缺陷定量检测

2.7.11.1 一般要求

- 1) 灵敏度应调到评定线灵敏度。
- 2) 对所有反射波超过评定线的缺陷，均应确定其位置、最大反射波幅和缺陷当量。

2.7.11.2 缺陷定量

- 1) 缺陷位置：应以获得缺陷最大反射波幅的位置为准；
- 2) 缺陷波幅：应以获得缺陷的最大反射波幅为缺陷波幅。但使用不同折射角的探头或从不同的检测面检测同一缺陷时，以获得的最高波幅为缺陷波幅；
- 3) 缺陷指示长度
 - a) 当缺陷反射波只有一个高点，且位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时，应使波幅降到荧光屏满刻度的80%后，以-6dB法测其指示长度；
 - b) 当缺陷有多个波幅高点时，且其中1个波幅高点位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时，应使波幅降到荧光屏满刻度的80%后，以端点-6dB法测其指示长度（波幅最低降到评定线）；
 - c) 当缺陷最大反射波幅位于Ⅰ区，将探头左右移动，使波幅降到评定线，使用绝对灵敏度法测定缺陷指示长度。

2.7.12 缺陷评定

2.7.12.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹、未熔合、未焊透等危害性缺陷特征，如有怀疑时，应采取改变探头 K 值、增加检测面、观察动态波型并结合工艺特征作判定，如对波型不能判断时，应辅以其它检测方法作综合判定。

2.7.12.2 沿缺陷长度方向相邻的两个缺陷，其长度方向间距小于其中较小的缺陷长度且两缺陷在与缺陷长度相垂直方向的间距小于 5mm 时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为其指示长度（间距计入）。如果两缺陷在长度方向投影有重叠，则以两缺陷在长度方向上投影的左、右端点间距离作为其指示长度。

2.7.13 验收标准

2.7.13.1 热壁加氢反应器本体焊接接头质量等级评定

- 1) 热壁加氢反应器本体焊接接头包括筒体（或封头）对接接头、接管与筒体（或封头）角接接头及 T 型焊接接头。
- 2) 当判定超声反射信号为裂纹、未熔合和未焊透等危害性缺陷时，焊接接头的质量等级应评定为Ⅲ级。
- 3) 热壁加氢反应器本体焊接接头质量等级评定，如无特殊要求，按表 2.7.13-1 中Ⅰ级执行。

表 2.7.13-1 热壁加氢反应器本体焊接接头超声检测质量分级

单位为 mm

等级	工件厚度 t	反射波幅 所在区域	允许的单个缺陷指示	多个缺陷累计长度最大允许值 L'
Ⅰ	$6 \leq t \leq 100$	Ⅰ	≤ 50	—
	$t > 100$		≤ 75	—
	$6 \leq t \leq 100$	Ⅱ	$\leq t/3$ ，最小可为 10，最大 ≤ 30	在任意 9t 焊缝长度范围内，且待评定的多个缺陷的深度分布范围在工件厚度的 40%（最小可为 6mm，最大不超过 30mm）以内， L' 不超过 t 且最大不超过 150mm
	$t > 100$		$\leq t/3$ ，最大 ≤ 50	
Ⅱ	$6 \leq t \leq 100$	Ⅰ	≤ 60	—
	$t > 100$		≤ 90	—
	$6 \leq t \leq 100$	Ⅱ	$\leq 2t/3$ ，最小可为 12，最大 ≤ 40	在任意 4.5t 焊缝长度范围内，且待评定的多个缺陷的深度分布范围在工件厚度的 40%（最小可为 6mm，最大不超过 30mm）以内， L' 不超过 t 且最大不超过 200mm
	$t > 100$		$\leq 2t/3$ ，最大不超过 75	

III	t ≥ 6	II	超过 II 级者	
		III	所有缺陷（任何缺陷指示长度）	
		I	超过 II 级者	—
注 1：当焊缝长度不足 9t（I 级）或 4.5t（II 级）时，可按比例折算。当折算后的多个缺陷累计长度允许值小于该级别允许的单个缺陷指示长度时，以允许的单个缺陷指示长度作为缺陷累计长度允许值。				
注 2：用 2.7.11.2 3）条款规定的测量方法，使声束垂直于缺陷的主要方向移动探头测得的缺陷长度。				

2.7.13.2 热壁加氢反应器管子环向或纵向焊接接头质量等级评定

- 1）当判定为裂纹、未熔合和未焊透等危害性缺陷时，焊接接头的质量等级应评定为 III 级。
- 2）热壁加氢反应器管子环向或纵向焊接接头质量等级评定应符合表 2.7.13-2 的规定。
- 3）热壁加氢反应器管子环向或纵向焊接接头质量等级评定，如无特殊要求，按表 2.7.13-2 中 I 级执行。

表 2.7.13-2 热壁加氢反应器管子环向或纵向焊接接头超声检测质量等级评定

等级	反射波幅所在区域	允许的单个缺陷指示长度 /mm
I	I	≤40
	II	≤ t/3，最小可为 5，最大为 30
II	I	≤60
	II	≤2 t/3，最小可为 10，最大为 40
III	I	超过 II 级者
	II	超过 II 级者
	III	所有缺陷

2.8 超声波测厚

2.8.1 适用范围

本节适用于热壁加氢反应器要求进行测厚的钢板、锻件和堆焊层的超声波脉冲反射法测厚。

2.8.2 仪器和探头的选用

2.8.2.1 仪器

测厚仪一般为 A 型脉冲反射式超声检测仪。

2.8.2.2 探头

超声测厚通常采用直接接触式单晶直探头，也可采用带延迟块的单晶直探头和双晶直探头。

堆焊层测厚时，使用的双晶直探头声束会聚区深度应根据待测堆焊层厚度选定，两晶片间隔

声效果应保证良好。使用的单晶直探头一般应选择宽带窄脉冲探头，标称频率为 4MHz～5MHz。

2.8.3 检测面的选择

堆焊层测厚一般使用单晶直探头从基材侧测量，或使用双晶直探头从堆焊层侧测量，也可采用其他有效方法测量。

钢板、锻件测厚一般使用单晶直探头从两个相互平行的表面进行测量。

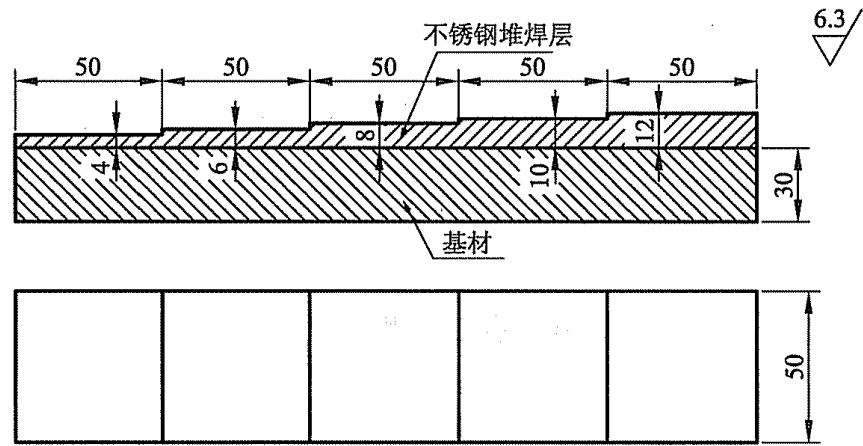
2.8.4 仪器的调节

2.8.4.1 仪器校准一般应在与被检工件相同材料声速或声速相似材料的试块上进行。

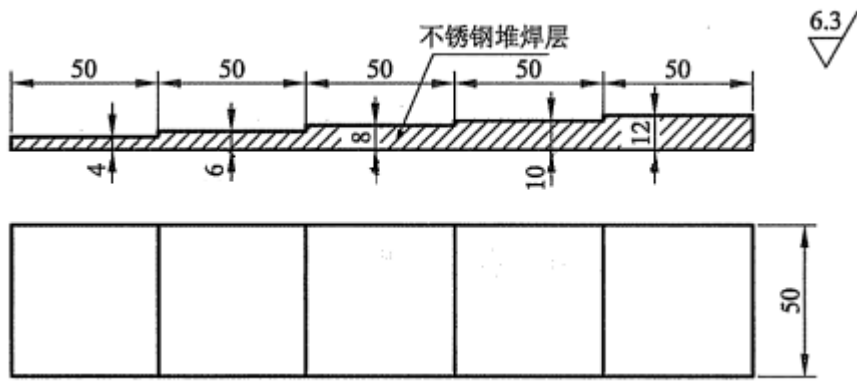
2.8.4.2 钢板、锻件测厚时，应根据被测工件厚度，将单晶直探头至于 CSK- I A 试块的上表面或侧面上，分别以 100mm 和 25mm 厚为标称厚度，以各次底波之间的距离为基准，调节仪器的扫描速度，也可选用其他相同材料声速或声速相似的试块进行校准。同时，仪器的扫描量程应保证大于被测工件的厚度。

2.8.4.3 堆焊层测厚时，应采用如图 2.8.4-1 所示试块。

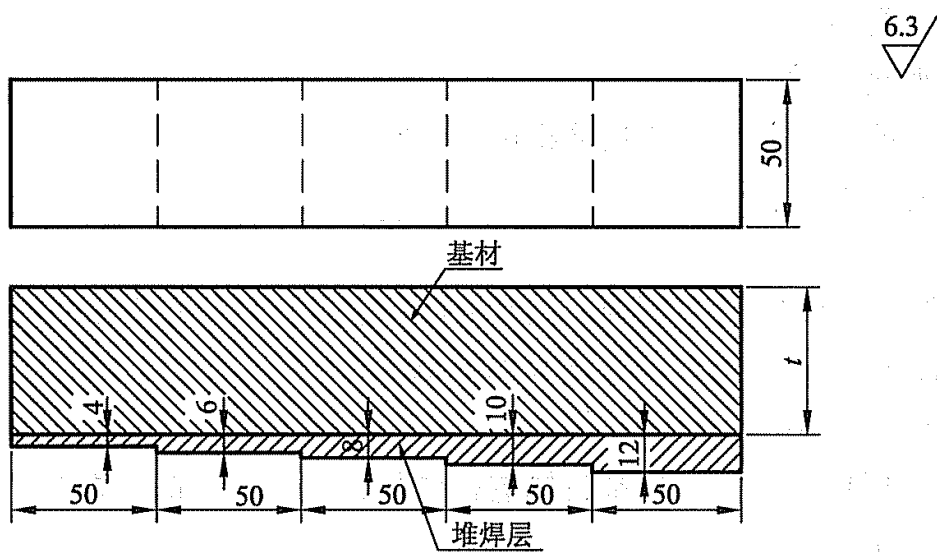
- 1) 在堆焊层侧测厚时，采用 a 型试块，将探头放置在相当堆焊层厚度的阶梯上，使堆焊层与基材界面回波的波幅为显示屏满刻度的 50%，读出此时每个堆焊层厚度的显示值，并与试块实际堆焊层厚度值进行比较修正；
- 2) 在基材侧测厚时，采用 b 型试块，将探头放置在基材上并尽可能的位于每个阶梯的中心处，使堆焊层与基材界面回波的波幅为显示屏满刻度的 50%，此时每个基材的厚度显示值与相应底波显示值（底波波高调至显示屏满刻度的 50%）差值即为试块堆焊层厚度显示值，再与试块实际堆焊层厚度值进行比较修正；



a-1 堆焊层侧测厚试块



a-2 堆焊层侧测厚试块（另一种形式）



b 基材侧测厚试块

图 2.8.4-1 堆焊层测厚试块

2.8.5 测量方法

2.8.5.1 利用调节好的仪器对需测厚的热壁加氢反应器部位进行测厚，测厚的点数按技术条件执行。

2.8.5.2 如无特殊要求，按照以下要求执行：

- 1) 筒节、封头、管板及其 B 类接头内侧的堆焊层均不得少于 8 点。
- 2) 接管、法兰等零部件的对接焊缝不少于 2 点。
- 3) 弯管每段不少于 1 点。
- 4) 其他部位按照工艺文件要求执行。

2.8.6 仪器复核

遇有下列任一情况应对仪器进行复核：

- a) 连续测量厚度超过 1h；
- b) 探头或探头线更换；

- c) 测量材料类型改变;
- d) 与校准时校准试块表面温度相比, 工件表面温度变化量超过 15℃;
- e) 对测量数值有怀疑;
- f) 测量结束。

2.8.7 测量结果的记录和报告

测厚结束后要如实记录结果, 结果包括标明测厚点数和测厚方位的简图。
按照技术条件或图纸要求进行验收。

2.9 螺栓坯件的超声检测

2.9.1 适用范围

本节适用于热壁加氢反应器用直径大于或等于 M36 的螺栓坯件超声检测方法和质量等级评定。

2.9.2 探头

采用2MHz~5MHz的单晶直探头或双晶直探头。
当使用斜探头代替直探头时, 斜探头折射角约为45° 。

2.9.3 对比试块

- 2.9.3.1 单晶直探头轴向检测时, 对比试块的尺寸和形状应符合 2.5.3.2 的规定。
- 2.9.3.2 双晶直探头轴向检测时, 对比试块的尺寸和形状应符合 2.5.3.1 的规定。
- 2.9.3.3 径向检测时, 应尽可能选择晶片尺寸较小的探头。当螺栓坯件曲率半径小于 100mm 时, 应采用图 2.9.3-1 和表 2.9.3-1 所示的曲面对比试块形状和尺寸。
- 2.9.3.4 当使用斜探头代替直探头时, 试块采用规格和材质相同或相近的螺栓坯件, 在圆周方向, 且离检测面合适的深度上加工若干 $\phi 2\text{mm}$ 长横孔 (尽可能覆盖检测深度范围) 。

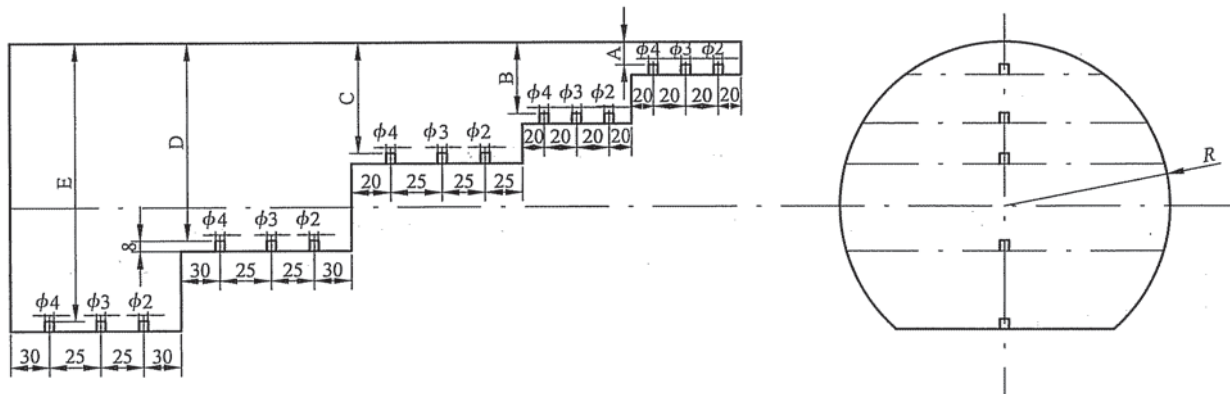


图 2.9.3-1 螺栓坯件径向检测对比试块 (CD 系列试块)

表 2.9.3-1 螺栓坯件径向检测对比试块尺寸 单位为 mm

试块编号	对比试块半径R	A	B	C	D	E	适用工件曲率半径范围
CD-8	90	15	30	45	90	135	$82 \leq r \leq 99$
CD-7	75	12	24	38	76	114	$67 \leq r < 82$
CD-6	60	10	20	30	60	90	$54 \leq r < 67$
CD-5	48	8	16	24	48	72	$43 \leq r < 54$
CD-4	38	6	12	20	40	60	$36 \leq r < 43$
CD-3	32	4	8	16	25	40	$29 \leq r < 36$
CD-2	25	4	8	16	24	32	$22 \leq r < 29$
CD-1	20	4	8	14	20	30	$18 \leq r < 22$

2.9.4 灵敏度的确定

2.9.4.1 单晶直探头基准灵敏度的确定

- 1) 轴向检测时，使用CS-2试块，根据检测范围依次测试一组不同深度的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔（至少3个），制作单晶直探头的距离-波幅曲线，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度；
- 2) 径向检测时，使用CS-2试块或图2.9.3-1所示试块，根据检测范围或曲率半径依次测试一组不同检测深度的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔，制作单晶直探头的距离-波幅曲线，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.9.4.2 双晶直探头基准灵敏度的确定

- 1) 轴向检测时，使用CS-3试块，根据检测范围依次测试一组不同检测深度的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔（至少3个）。制作双晶直探头的距离-波幅曲线，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。
- 2) 径向检测时，使用CS-3试块或图2.9.3-1所示试块，根据检测范围或曲率半径依次测试一组不同检测深度的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔。制作双晶直探头的距离-波幅曲线，并考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.9.4.3 当使用斜探头代替直探头时，使用 45° 左右斜探头在 2.9.3.4 试块的 $\phi 2\text{mm}$ 长横孔上制作距离-波幅曲线，并在考虑相关补偿后以此作为基准灵敏度。

2.9.4.4 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

2.9.5 检测

2.9.5.1 检测面的表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu\text{m}$ 。

2.9.5.2 耦合方式可采用直接接触法。

2.9.5.3 检测时应根据实际情况进行耦合补偿、衰减补偿和曲面补偿。

2.9.5.4 扫查方式

- 1) 径向检测应按螺旋线或沿圆周进行扫查，行程应有重叠，扫查面应包括整个圆柱表面。
- 2) 轴向检测一般应从螺栓坯件的两端进行扫查，尽可能避免边缘效应对检测结果的影响。当螺栓较长或受到边缘效应影响时，可从相对两端面进行轴向检测，两端面的检测长度范围至少应重叠 10%，如果此时两端面仍不能超过长度的 1/2 时，可用斜探头替代直探头检测直探头不能检测到的部分。
- 3) 当使用斜探头代替直探头扫查时，移动斜探头使声束沿轴向作两个相对方向进行 100% 检测，相邻扫查路径应确保互相覆盖至少为探头晶片尺寸的 10%。

2.9.6 缺陷当量的确定

一般采用距离-波幅曲线确定缺陷当量。

2.9.7 质量分级

2.9.7.1 单个缺陷的质量分级见表 2.9.7-1。

2.9.7.2 由缺陷引起底波降低量的质量分级见表 2.9.7-2。

2.9.7.3 按表 2.9.7-1 和表 2.9.7-2 评定缺陷等级时，应作为独立的等级分别使用。

2.9.7.4 当使用斜探头代替直探头时，如果缺陷波幅高于距离-波幅曲线时，螺栓坯件的质量等级为 V 级。

2.9.7.5 当缺陷被检测人员判定为白点、裂纹等危害性缺陷时，螺栓坯件的质量等级为 V 级。

表2.9.7-1 单个缺陷的质量分级 单位为mm

等级	I	II	III	IV	V
平底孔当量	$\leq \phi 2\text{mm}$	$\leq \phi 3\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}$	$\leq \phi 4\text{mm}+6\text{dB}$	$> \phi 4\text{mm}+6\text{dB}$

表2.9.7-2 由缺陷引起底波降低量的质量分级 单位为dB

等级	I	II	III	IV	V
由缺陷引起的底波降低量BG/BF	$\leq 6\text{dB}$	$\leq 12\text{dB}$	$\leq 18\text{dB}$	$\leq 24\text{dB}$	$> 24\text{dB}$

注：本表仅适用于声程大于近场区长度的缺陷。

第 3 部分：胶片射线检测

本部分主要适用于厚度≤400mm 热壁加氢反应器的焊接接头的射线检测技术、结果评定和质量分级。适用的焊接接头的形式包括双面熔化焊对接焊缝、相当于双面焊的全焊透对接接头，以及沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的单面焊对接焊缝。

3.1 检测设备

3.1.1 射线装置

表 3.1.1-1 各种射线装置及其适用的透照厚度范围（钢、铜、镍合金等）

射线源	适用厚度	
	AB 级	B 级
X 射线机	≤40 mm	≤40 mm
Se75	≥10~40 mm	≥14~40mm
Ir192 源	≥20~100 mm	≥20~90mm
Co60 源	≥40~200 mm	≥60~150 mm
X 射线（1~4MeV）	≥30~200 mm	≥50~180 mm
X 射线（>4~12MeV）	≥50 mm	≥80 mm

3.1.2 胶片

3.1.2.1 AB 级射线检测技术应采用 C5 类或更高类别的胶片，B 级射线检测技术应采用 C4 类或更高类别的胶片。

3.1.2.2 采用 γ 射线和高能 X 射线进行射线检测时，以及对标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 高强度材料射线检测时，应采用 C4 类或更高类别的胶片。

3.1.2.3 胶片灰雾度应不超过 0.3。应从购进胶片中按批抽样，采用与实际检测相同的暗室处理条件处理，然后进行灰雾度测量。经过测量的胶片如果 6 个月还没使用完，应再次测量，以核查胶片是否符合制造商推荐的温度和湿度条件的储存要求。

3.1.3 增感屏

使用铅箔增感屏，铅箔增感屏的选用按表 3.1.3-1 执行；所有增感屏都必须小心维护，以避免在其有效的表面上出现外来物。增感屏在使用过程中，其表面应保持光滑、清洁，无污秽、损伤、变形。装片后要求增感屏与胶片能紧密贴合，胶片与增感屏之间不能夹杂异物。

表 3.1.3-1 增感屏的选用

射线源	材料	前屏	后屏	中屏 [°]
-----	----	----	----	-----------------

		厚度/mm	厚度/mm	厚度/mm
X 射线 ($\leq 100\text{kV}$)	铅	不用或 ≤ 0.03	≤ 0.03	——
X 射线 ^d ($> 100\text{kV} \sim 150\text{kV}$)	铅	$0.02 \sim 0.10$	$0.02 \sim 0.15$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
X 射线 ^d ($> 150\text{kV} \sim 250\text{kV}$)	铅	$0.02 \sim 0.15$	$0.02 \sim 0.15$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
X 射线 ^d ($> 250\text{kV} \sim 500\text{kV}$)	铅	$0.02 \sim 0.20$	$0.02 \sim 0.20$	$2 \times 0.02 \sim 2 \times 0.10$
Se75	铅	AB 级、B 级 ^a $0.1 \sim 0.20$	AB 级、B 级 $0.1 \sim 0.20$	2×0.10
Ir-192	铅	AB 级、B 级 ^a $0.1 \sim 0.20$	AB 级、B 级 $0.1 \sim 0.20$	2×0.10
Co-60 ^b	钢或铜	$0.25 \sim 0.70$	$0.25 \sim 0.70$	0.25
	铅 (AB 级)	$0.5 \sim 2.0$	$0.5 \sim 2.0$	2×0.10
X 射线 ($1 \sim 4\text{MeV}$)	钢或铜	$0.25 \sim 0.70$	$0.25 \sim 0.70$	0.25
	铅 (AB 级)	$0.5 \sim 2.0$	$0.5 \sim 2.0$	$2 \times 0.10\text{mm}$ 或不用
X 射线 ($> 4 \sim 12\text{MeV}$)	铜、钢或钽	≤ 1.0	铜、钢 ≤ 1.0	0.25
			钽 ≤ 0.5	0.25
	铅 (AB 级)	$0.5 \sim 1.0$	$0.5 \sim 1.0$	$2 \times 0.10\text{mm}$ 或不用

a、如果 AB 级、B 级使用前屏 $\leq 0.03\text{mm}$ 的真空包装胶片，应在工件和胶片之间加 $0.07 \sim 0.15\text{mm}$ 厚的附加铅屏。

b、采用 Co60 射线源透照有延迟裂纹倾向或标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 材料时，AB 级和 B 级应采用钢或铜增感屏。

c、双胶片透照技术应增加使用中屏。

d、采用 X 射线机时，每层中屏的厚度应不大于前屏厚度。

3.1.4 像质计

3.1.4.1 底片影像质量采用线型像质计测定。通用线型像质计和等径线型像质计的型号和规格使用符合 JB/T 7902 的规定。

3.1.4.2 像质计材料的选择见表 3.1.4-1，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 3.1.4-1 不同材料的像质计适用的材料范围

像质计材料代号	Fe	Ni
像质计材料	碳素钢	镍-铬合金
适用材料范围	钢	镍-镍合金

3.1.5 观片灯

观片灯亮度需可调且最大亮度不得低于 $100000\text{cd}/\text{cm}^2$ ，其它性能要求应符合 GB/T 19802 的规定。

3.1.6 黑度计

3.1.6.1 黑度计可测的最大黑度应不小于 4.5，测量值的误差不超过 ± 0.05 。

3.1.6.2 黑度计首次使用进行核查以后至少每 6 个月校验一次，每次核查后应填写核查记录。用标准密度片的零黑度点（区）调整黑度计零点，调整后顺次测量黑度片上不同黑度的各点的黑度，记录测量值，同一点反复测量 3 次，计算出各点测量值的平均值，以平均值与黑度片该点的黑度值之差作为黑度计的测量误差。对黑度不大于 4.5 的各点的测量误差均应不超过 ± 0.05 ，否则黑度计应重新调整、修理或报废。

3.1.6.3 在开始工作时或连续工作 8h 后应在拟测定黑度范围内选择至少两点进行检查。

3.1.7 标准密度片

标准密度片应至少有 8 个一定间隔的黑度基准，且能覆盖 0.3~4.5 黑度范围，应至少每 2 年校准一次。

3.2 一般要求

3.2.1 表面要求

在射线检测前，热壁加氢反应器焊接接头的表面应经目视检测并合格。焊缝表面的不规则状态在底片上的影像不得干扰或掩盖缺陷影像，否则应对表面作适当修整。

3.2.2 检测技术等级

3.2.2.1 如无特殊要求，热壁加氢反应器焊接接头的射线检测技术等级按 AB 级执行。

3.2.2.2 当检测中某些条件不能满足 AB 级（或 B 级）射线检测技术的要求时，经合同双方商定，在采取有效补偿措施（例如选用更高类别的胶片）的前提下，若底片的像质计灵敏度达到了 AB 级（或 B 级）射线检测技术的规定，则可认为按 AB 级（或 B 级）射线检测技术进行了检测。

3.2.3 检测时机和检测部位

3.2.3.1 除非另有规定，热壁加氢反应器焊接接头的射线检测应在制造完工后进行。

3.2.3.2 对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行。

3.2.3.3 检测时机及检测部位应满足相关法规、规范、标准、设计文件的要求。

- 1) A、B 类接头及返修焊缝；
- 2) 筒体与封头之间不等厚的焊接接头；
- 3) 壳体与接管、接管与接管、接管与法兰之间的焊接接头；
- 4) 深度大于 9.5mm 的返修部位；
- 5) 壳体与裙座之间的焊接接头；
- 6) 裙座上 Co-Mo 钢部分焊接接头及 Co-Mo 钢与碳钢之间的焊接接头；
- 7) 裙座筒体上碳钢之间的对接接头。

3.2.4 检测区

3.2.4.1 对于热壁加氢反应器的对接焊缝，检测区包括焊缝金属及相对于焊缝边缘至少 5mm 的相邻母材区域。

3.2.4.2 对于热壁加氢反应器的管座角焊缝，检测区包括焊缝金属及相对于焊缝边缘至少 5mm 的安放式接管相邻母材区域或插入式主管相邻母材区域。

3.3 检测的实施

3.3.1 透照方式

3.3.1.1 应根据工件特点和技术条件的要求选择合适的透照方式。在可以实施的情况下应优先选用单壁透照方式，在单壁透照不能实施时才允许采用双壁透照方式。典型的透照方式参见附录 G。

3.3.1.2 安放式和插入式管座角焊缝应优先选择源在外透照方式。插入式管座角焊缝源在内透照方式时，应优先选择射线源放置在支管轴线上的透照布置。

3.3.2 透照方向

透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心，并应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。

3.3.3 射线源至工件表面的最小距离

3.3.3.1 所选用的射线源至工件表面的距离 f 应满足下式的要求，最小距离值应在操作指导书中给出。

$$\text{AB 级射线检测技术: } f \geq 10d \cdot b^{2/3}$$

$$\text{B 级射线检测技术: } f \geq 15d \cdot b^{2/3}$$

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。

3.3.3.2 采用源在中心周向曝光时，射线源至工件表面的最小距离可以减小，但减小值不应超过规定值的 50%。

3.3.3.3 采用源在内单壁透照方式时，只要底片质量满足 3.4.3 的要求，射线源至工件表面的最小距离可以减小，但减小值不应超过规定值的 20%。

3.3.3.4 安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁中心透照方式时，只要底片质量满足 3.4.3 的要求，射线源至工件表面的最小距离可以减小，但减小值不应超过规定值的 50%。

3.3.3.5 安放式和插入式管座角焊缝采用源在内单壁偏心透照方式时，只要底片质量满足 3.4.3 的要求，射线源至工件表面的最小距离可以减小，但减小值不应超过规定值的 20%。

3.3.3.6 实际透照时，几何不清晰度（ U_g ）值按照下述公式进行计算。

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

3.3.4 一次透照长度

3.3.4.1 一次透照长度应以透照厚度比 K 进行控制。不同级别射线检测技术和不同类型对接接头的透照厚度比应符合表 3.3.4-1 的规定，通过 K 值确定的整条环向焊接接头所需的透照次数可参考附录 H 的曲线图确定。

表 3.3.4-1 不同类型焊缝的透照厚度比

射线检测技术级别	AB 级	B 级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1^a$	$K \leq 1.06$
a 对 $100\text{mm} < D_0 \leq 400\text{mm}$ 的环向焊接接头（包括曲率相同的曲面接头的），AB 级检测允许采用 $K \leq 1.2$ 。		

3.3.4.2 管座角焊缝、椭圆形封头、蝶形封头小 r 区的焊缝，以及其他曲率连续变化的焊缝可不采用以 K 值确定一次透照长度的方法，允许采用黑度范围来确定一次透照长度，底片黑度满足 3.4.2 的长度范围即为允许采用的一次透照长度。

3.3.5 对于小径管（ $D_0 \leq 100\text{mm}$ ）环向对接接头的透照布置

3.3.5.1 当同时满足下列两条件时应采用双壁双影倾斜透照椭圆成像的方式。

- 1) T （管壁厚） $\leq 8\text{mm}$ ；
- 2) g 焊缝宽度 $\leq D_0/4$ ；

椭圆成像时，影像开口宽度应控制在 1 倍焊缝宽度左右。

透照次数：小径管环向对接接头 100%检测时，当 $T/D_0 \leq 0.12$ 时，相隔 90° 透照 2 次。当 $T/D_0 > 0.12$ 时，相隔 120° 或 60° 透照 3 次。

3.3.5.2 不满足上述 3.3.5.1 中所述条件或椭圆成像有困难时可采用垂直透照重叠成像的方式。

透照次数：小径管环向对接接头 100%检测时，一般应相隔 120° 或 60° 透照 3 次。

3.3.5.3 由于结构原因不能进行多次透照时，可不再强制限制规定的间隔角度，此时应用采取有效措施扩大缺陷可检出范围，并保证底片评定范围内黑度和灵敏度满足要求。

3.3.6 射线能量

3.3.6.1 管电压、曝光时间等参数应根据曝光曲线和试验结果选择。在保证穿透力的前提下，X 射线应选用较低的管电压。

3.3.6.2 γ 射线源和高能 X 射线使用的透照厚度范围应符合表 3.1.1-1 的规定。

3.3.6.3 采用源在内中心透照方式，在保证像质计灵敏度达到 3.4.3 的要求的前提下，允许 γ 射线最小透照厚度取表 3.1.1-1 下限值的 $1/2$ 。

3.3.6.4 采用其他透照方式，在采取有效补偿措施并保证像质计灵敏度达到 3.4.3 的要求的前提下，经合同双方商定，AB 级技术的 Ir192 源的最小透照厚度可降至 10mm，Se75 源的最小透照厚度可降至 5mm。

3.3.7 曝光量

3.3.7.1 X 射线照相，当焦距为 700mm 时，曝光量的推荐值为：AB 级射线检测技术不小于 15 mA•min；B 级射线检测技术不小于 20mA•min。当焦距改变时可按平方反比定律对曝光量的推荐值进行换算。

3.3.7.2 采用 γ 射线源透照时，总的曝光时间应不少于输送源往返所需时间的 10 倍。

3.3.7.3 采用 Co60 γ 射线源透照时，曝光时间不应超过 12h；采用 Ir192 γ 射线源透照时，曝光时间不应超过 8h，且不得采用多个射线源捆绑方式进行透照。

3.3.8 识别系统

3.3.8.1 底片的影像上像质计及底片的相关信息的位置应保证如图 3.3.8-1 所示，识别标记应包括产品编号、焊缝编号、制造厂代号、透照日期、返修时间、返修标记、返修次数以及工件厚度等。

3.3.8.2 所有标记影像不应重叠，且不应干扰有效评定范围内的影像。

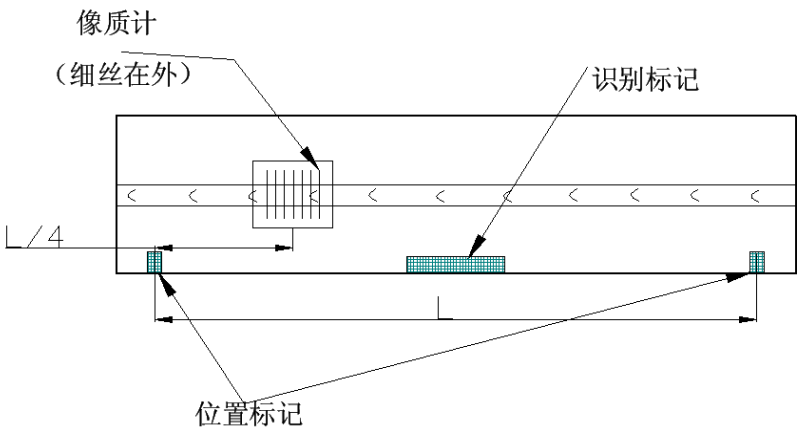


图 3.3.8-1 底片影像图示

3.3.9 像质计的使用

3.3.9.1 像质计放置原则

线型像质计一般应放置在工件源侧表面焊接接头的一端（在被检区长度的 1/4 左右位置），金属丝应横跨焊缝，细丝置于外侧。当一张胶片上同时透照多条焊接接头时，像质计应放置在透照区最边缘的焊缝处。像质计放置还应满足以下规定：

- 1) 单壁透照规定像质计放置在源侧。双壁单影透照规定像质计放置在胶片侧。双壁双影透照像质计可放置在源侧，也可放置在胶片侧。

- 2) 单壁透照中，如果像质计无法放置在源侧，允许放置在胶片侧。
- 3) 单壁透照中像质计放置在胶片侧时，应进行对比试验。对比试验方法是在射源侧和胶片侧各放一个像质计，用与工件相同的条件透照，测定出像质计放置在源侧和胶片侧的灵敏度差异，以此修正像质指数规定，以保证实际透照的底片灵敏度符合要求。
- 4) 当像质计放置在胶片侧时，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底片上，且应在检测报告中注明。

3.3.9.2 像质计数量

原则上每张底片上都应有像质计的影像。当一次曝光完成多张胶片照相时，使用的像质计数量允许减少但应符合以下要求：

- 1) 环形对接焊接接头采用源置于中心周向曝光时，至少在圆周上等间隔地放置 3 个像质计。
- 2) 一次曝光连续排列的多张胶片时，至少在第一张、中间一张和最后一张胶片处各放置一个像质计。

3.3.9.3 小径管对接焊缝

选用通用线型像质计和专用等径像质计时，金属丝应垂直焊缝且应横跨焊缝放置。

3.3.9.4 管座角焊缝

推荐采用线型像质计，根据像质计能够投影到被检测区域的位置而放置，如果允许，像质计尽可能置于黑度最小的区域。

3.3.9.5 不等厚或不同种类材料之间的对接焊缝

如果焊接接头的几何形状允许，厚度不同或材料类型不同的部分应分别采用被检材料厚度或类型相匹配的像质计，分别放置在焊接接头相对应位置。

3.3.9.6 像质计影像识别

使用线型像质计，底片上能够识别的最细金属线的编号即为像质计灵敏度值。如底片黑度均匀部位（一般是邻近焊缝的母材金属区）能够清晰地看到长度不小于 10mm 的连续金属丝影像时，则认为该金属丝是可识别的。专用等径线型像质计至少应能识别两根金属线。

3.3.10 滤光板

推荐在 γ 射线检测时使用滤光板，滤光板放置在被检工件和暗盒之间。

表 3.3.10 滤光板的材料和厚度

透照厚度/mm	滤光板厚度（铅）/mm
$T \leq 40$	0.5
$40 < T \leq 60$	1

60<T≤80	1.5 或 2（碳素钢或低合金钢）、2（其他钢）
T>80	2
注：X 射线检测使用滤光板时，可参考标准厚度或通过试验进行确定。	

3.3.11 背散射防护的检查

3.3.11.1 在暗盒背面贴附“B”铅字标记（其高度为 13mm，厚度为 1.6mm），按检测工艺的规定进行透照和暗室处理。若在底片上出现黑度低于周围背景黑度的“B”字影像，则说明背散射线保护不够，应采取有效措施重照。若底片上不出现“B”字影像或出现黑度高于周围背景黑度的“B”字影像，这说明背散射防护符合要求。

3.3.11.2 在背散射轻微或后增感屏足以屏蔽背散射线的环境下，可不使用背散射防护铅板。

3.4 胶片处理和底片质量

3.4.1 胶片处理

3.4.1.1 胶片应按胶片的使用说明书进行冲洗，可采用自动冲洗和手工冲洗处理方式。原则上应采用胶片厂家生产或推荐的冲洗配方或药剂，经比较试验证明的条件下，也可以使用其他厂家的配方或药剂。

3.4.1.2 手工冲洗和自动冲洗胶片宜在曝光后 8h 之内完成，最长不得超过 24h。

3.4.1.3 暗室处理后的底片硫代硫酸盐离子的浓度一般应低于 0.050 g / m²，测量结果应记录。

1) 底片上硫代硫酸盐离子的浓度测量方法

将未曝光的胶片（或产品底片未曝光的区域）经过与产品底片相同的暗室处理条件处理后，用胶片制造商推荐的专门用于测量底片硫代硫酸盐离子浓度的溶液进行化学浸蚀，浸蚀后所得到的图像，与胶片制造商提供的不同硫代硫酸盐离子浓度的典型图谱进行目视对比，据此评定硫代硫酸盐离子的含量。底片硫代硫酸盐离子浓度测量过程按照胶片供应商推荐的技术条件进行。

2) 检验的频率由检测方确定，但在此期间暗室处置条件应保持不变。如果检验发现，硫代硫酸盐离子浓度大于 0.050 g / m²，应采取以下行动：

- a) 停止暗室处理，并采取纠正措施；
- b) 重新核查定影和冲洗工序验证的符合性；
- c) 重新处置所有含有缺陷的底片。

3.4.2 底片黑度

3.4.2.1 单胶片透照技术，单底片观察评定，底片评定范围内的黑度 D 应符合下列规定：

AB 级：2.0≤D≤4.5

B 级：2.3≤D≤4.5；

3.4.2.2 双胶片透照技术，双底片叠加观察评定，底片评定范围内的黑度 D 应符合 $2.7 \leq D \leq 4.5$ 的规定；

1) 双底片叠加评定时，黑度范围超过 4.5 的局部区域，如果单片黑度范围符合 3.4.2.1 条的规定时，可以对该区域进行单底片评定。

2) 采用同类胶片时，在有效评定区内每张底片上相同点测量的黑度差应不超过 0.5。

3) 用于双底片叠加评定的任何单底片的黑度不应低于 1.3。

4) 应同时观察、分析、保存每张底片。

3.4.2.3 用 X 射线透照小径管或其它截面厚度变化大的工件时，单片观察时，AB 级黑度允许降至 1.5，B 级黑度允许降至 2.0。

3.4.3 底片的像质计灵敏度

底片的像质计灵敏度应符合表 3.4.3-1 的要求。

表 3.4.3-1 底片的像质计灵敏度

应识别丝号 (丝径, mm)	单壁透照、像质计置于源侧		双壁双影、像质计置于源侧		双壁单影或双壁双影、 像质计置于胶片侧	
	公称厚度 (T) 范围, mm		公称厚度 (T) 范围, mm		公称厚度 (T) 范围, mm	
	AB 级	B 级	AB 级	B 级	AB 级	B 级
19 (0.050)	—	≤ 1.5	—	≤ 1.5	—	≤ 1.5
18 (0.063)	≤ 1.2	$> 1.5-2.5$	≤ 1.2	$> 1.5-2.5$	≤ 1.2	$> 1.5-2.5$
17 (0.080)	$> 1.2-2.0$	$> 2.5-4.0$	$> 1.2-2.0$	$> 2.5-4.0$	$> 1.2-2.0$	$> 2.5-4.0$
16 (0.100)	$> 2.0-3.5$	$> 4-6$	$> 2-3.5$	$> 4-6$	$> 2.0-3.5$	$> 4-6$
15 (0.125)	$> 3.5-5.0$	$> 6-8$	$> 3.5-5.0$	$> 6-8$	$> 3.5-5.0$	$> 6-12$
14 (0.160)	$> 5.0-7$	$> 8-12$	$> 5.0-7$	$> 8-15$	$> 5.0-10$	$> 12-18$
13 (0.20)	$> 7-10$	$> 12-20$	$> 7-12$	$> 15-25$	$> 10-15$	$> 18-30$
12 (0.25)	$> 10-15$	$> 20-30$	$> 12-18$	$> 25-38$	$> 15-22$	$> 30-45$
11 (0.32)	$> 15-25$	$> 30-35$	$> 18-30$	$> 38-45$	$> 22-38$	$> 45-55$
10 (0.40)	$> 25-32$	$> 35-45$	$> 30-40$	$> 45-55$	$> 38-48$	$> 55-70$
9 (0.50)	$> 32-40$	$> 45-65$	$> 40-50$	$> 55-70$	$> 48-60$	$> 70-100$
8 (0.63)	$> 40-55$	$> 65-120$	$> 50-60$	$> 70-100$	$> 60-85$	$> 100-180$
7 (0.80)	$> 55-85$	$> 120-200$	$> 60-85$	$> 100-170$	$> 85-125$	$> 180-300$

6 (1.00)	>85-150	>200-350	>85-120	>170-250	>125-225	>300
5 (1.25)	>150-250	>350	>120-220	>250	>225-375	—
4 (1.60)	>250-350	—	>220-380	—	>375	—
3 (2.00)	>350	—	>380	—	—	—
备注	管或支管外径 $\leq 120\text{mm}$ 时， 管座角焊缝的像质计灵敏度 值可降低一个等级。		—		—	

3.4.4 底片质量要求

3.4.4.1 底片上，定位和识别标记影像应显示完整、位置正确。

3.4.4.2 评定范围内不允许有影响影像观察的灰雾；干扰缺陷影像识别的水迹、划痕、显影条纹、静电斑纹、压痕等伪缺陷影像；由于增感屏缺陷带来的各种伪影像。

3.4.4.3 在采用双胶片叠加观察评定时，如果其中一张底片存在轻微伪缺陷或划伤，在能够识别和不妨碍底片评定的情况下，可以接受该底片。

3.5 检测结果的评定及质量分级

3.5.1 底片评定范围

底片评定范围的宽度一般为焊缝本身及焊缝熔合线两侧 10mm 的区域。

3.5.2 射线底片的观看

3.5.2.1 观片室内的光线应暗淡，但不宜完全暗黑，周围的亮度大致应与底片中受检部位亮度相同。

3.5.2.2 评片时，底片评定范围内的亮度应符合下列规定：

- 1) 当底片评定范围内的黑度 $D \leq 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 30cd/m^2 ；
- 2) 当底片评定范围内的黑度 $D > 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 10cd/m^2 。

3.5.3 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质和形状可分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷和圆形缺陷五类。

3.5.4 质量分级的划分

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

3.5.5 质量分级一般规定

3.5.5.1 热壁加氢反应器焊接接头的射线检测质量分级一般规定

- 1) I 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷。
- 2) II 级和 III 级焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合和未焊透。
- 3) 圆形缺陷评定区内同时存在圆形缺陷和条形缺陷时，应进行综合评级，即分别评定圆

形缺陷评定区内圆形缺陷和条形缺陷的质量级别，将两者级别之和减一作为综合评级的质量级别。

4) 除综合评级外，当各类缺陷评定的质量级别不同时，应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

5) 焊接接头中缺陷评定的质量级别超过Ⅲ级时一律定为Ⅳ级。

3.5.5.2 热壁加氢反应器焊接接头的射线检测圆形缺陷的质量分级

1) 圆形缺陷用圆形缺陷评定区进行质量分级评定，圆形缺陷评定区为一个与焊缝平行的矩形，其尺寸见表 3.5.5-1。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

2) 在圆形缺陷评定区内或与圆形缺陷评定区边界线相割的缺陷均应划入评定区内。将评定区内的缺陷按表 3.5.5-2 的规定换算为点数，按表 3.5.5-3 的规定评定焊接接头的质量级别。

表 3.5.5-1 焊焊接接头缺陷评定区

单位为 mm

母材公称厚度 T	≤ 25	$> 25 \sim 100$	> 100
评定区尺寸	10×10	10×20	10×30

表 3.5.5-2 焊焊接接头缺陷点数换算表

缺陷长径/mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	> 8
缺陷点数	1	2	3	6	10	15	25

表 3.5.5-3 各级别熔化焊焊接接头允许的圆形缺陷点数

评定区/mm×mm	10×10			10×20		10×30
母材公称厚度 T/mm	≤10	>10~15	>15~25	>25~50	>50~100	>100
I 级	1	2	3	4	5	6
II 级	3	6	9	12	15	18
III级	6	12	18	24	30	36
IV级	缺陷点数大于III级或缺陷长径大于 T/2					
注：当母材公称厚度不同时，取较薄板的厚度。						

3) 由于材质或结构等原因，进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，各级别的圆形缺陷点数可放宽 1~2 点。

4) 对致密性要求高的焊接接头，制造方底片评定人员应考虑将圆形缺陷的黑度作为评级的依据。通常将影像黑度大，可能影响焊缝致密性的圆形缺陷定义为深孔缺陷，当焊接接头存在深孔缺陷时，其质量级别应评为Ⅳ级。

5) 当缺陷的尺寸小于表 3.5.5-4 的规定时, 分级评定时不计该缺陷的点数。质量等级为 I 级的焊接接头和母材公称厚度 $T \leq 5\text{mm}$ 的 II 级焊接接头, 不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 10 个, 超过时对接焊接接头质量等级应降低一级。

表 3.5.5-4 熔化焊焊接接头不计点数的缺陷尺寸

单位为 mm

母材公称厚度 T	缺陷长径
$T \leq 25$	≤ 0.5
$25 < T \leq 50$	≤ 0.7
$T > 50$	$\leq 1.4\% \cdot T$

3.5.5.3 热壁加氢反应器焊接接头的射线检测条形缺陷的质量分级

条形缺陷按表 3.5.5-5 的规定进行分级评定。

表 3.5.5-5 各级别熔化焊焊接接头允许的条形缺陷长度

单位为 mm

级别	单个条形缺陷最大长度	一组条形缺陷累计最大长度
I	不 允 许	
II	$\leq T/3$ （最小可为 4）且 ≤ 20	在长度为 $12T$ 的任意选定条形缺陷评定区内，相邻缺陷间距不超过 $6L$ 的任一组条形缺陷的累计长度应不超过 T ，但最小可为 4
III	$\leq 2T/3$ （最小可为 6）且 ≤ 30	在长度为 $6T$ 的任意选定条形缺陷评定区内，相邻缺陷间距不超过 $\cdot 3L$ 的任一组条形缺陷的累计长度应不超过 T ，但最小可为 6
IV	大于 III 级	
注 1：L 为该组条形缺陷中最长缺陷本身的长度；T 为母材公称厚度，当母材公称厚度不同时取较薄板的厚度值。 注 2：条形缺陷评定区是指与焊缝方向平行的、具有一定宽度的矩形区，$T \leq 25\text{mm}$，宽度为 4mm；$25\text{mm} < T \leq 100\text{mm}$，宽度为 6mm；$T > 100\text{mm}$，宽度为 8mm。 注 3：当两个或两个以上条形缺陷处于同一直线上、且相邻缺陷的间距小于或等于较短缺陷长度时，应作为 1 个缺陷处理，且间距也应计入缺陷的长度之中。		

3.5.6 验收准则

除特殊要求外, 热壁加氢反应器焊接接头的射线检测按照 II 级验收。

3.6 资料存档

射线底片保存条件至少符合按档案文件管理的有关规定，并满足胶片制造商的建议和要求。

第 4 部分：磁粉检测

本部分适用于铁磁性材料制板材、复合板材、管材、管件和锻件等表面或近表面缺陷的检测，以及铁磁性材料对接接头、T 型焊接接头和角接头等表面或近表面缺陷的检测，不适用于非铁磁性材料的检测。

无法进行磁粉检测的部位可使用渗透检测代替。

4.1 磁粉检测一般程序

磁粉检测一般程序如下：预处理→磁化→施加磁粉或磁悬液→磁痕的观察与记录→缺陷评级→退磁→后处理。

4.2 磁粉检测设备

4.2.1 设备

采用设备应符合 JB/T 8290 规定。

4.2.1.1 磁轭提升力

- 1) 当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有 45N 的提升力。
- 2) 直流电（包括整流电）磁轭至少应有 177N 的提升力。
- 3) 交叉磁轭至少应有 118N 的提升力（磁极与试件表面间隙为小于等于 0.5mm）。
- 4) 提升力至少半年校验一次，磁轭损伤修复后应重新校验。
- 5) 提升力试块须称重校准使用。

4.2.1.2 黑光灯

当采用荧光磁粉检测时，使用的黑光灯在工件表面的辐照强度应大于或等于 $1\,000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，其波长应为 315nm~400nm，峰值波长约为 365nm。

4.2.1.3 黑光辐照度计

黑光辐照度计用于测量黑光的辐照度，其测量的波长范围应至少在 315nm~400nm，峰值波长约为 365nm。

4.2.1.4 光照度计

光照度计用于测量被检工件表面的可见光照度。

4.2.1.5 退磁装置

退磁装置应能保证工件退磁后表面剩磁小于或等于 0.3mT（240A/m）。

4.2.1.6 辅助器材

- 1) 磁场强度计；
- 2) A1 型、C 型、D 型和 M1 型试片、标准试块和磁场指示器；

- 3) 磁悬液浓度沉淀管;
- 4) 2 倍~10 倍放大镜;
- 5) 通电时间定时器;
- 6) 快速断电试验器;
- 7) 电流表。

4.2.2 磁粉及磁悬液

4.2.2.1 磁粉

磁粉应具有高磁导率、低矫顽力和低剩磁, 并与被检工件表面有较高的对比度。磁粉粒度和性能的其他要求应符 JB/T 6063 的规定。

4.2.2.2 载体

湿法应采用水或低粘度油基载体作为分散媒介。若以水为载体时, 应加入适当的防锈剂和表面活性剂, 必要时添加消泡剂。油基载体的运动粘度在 38℃时小于或等于 3.0mm²/s, 最低使用温度下小于或等于 5.0mm²/s, 闪点不低于 94℃, 且无荧光、无活性和无异味。

4.2.2.3 磁悬液

- 1) 磁悬液浓度应根据磁粉种类、粒度、施加方法和被检工件表面状态等因素来确定。
- 2) 非荧光磁粉浓度范围为 10~25g/L, 沉淀浓度为 1.2~2.4mL/100mL。
- 3) 荧光磁粉浓度范围为 0.5~3.0g/L, 沉淀浓度为 0.1~0.4mL/100mL。

4.2.3 标准试件

4.2.3.1 标准试片

- 1) 标准试片主要用于检验磁粉检测设备、磁粉和磁悬液的综合性能, 显示被检工件表面具有足够的有效磁场强度和方向、有效检测区以及磁化方法是否正确。
- 2) 标准试片有 A1 型、C 型、D 型和 M1 型, 其规格尺寸和图形详见表 4.2.3-1。A1 型、C 型和 D 型标准试片应符合 GB/T 23907 的规定。
- 2) 磁粉检测时一般选用 A1-30/100 型标准试片。由于几何形状和尺寸关系, A1 型试片使用不便时, 可选用 C-15/50 型标准试片。为了更准确地推断出被检工件表面的磁化状态, 当用户需要或技术条件有规定时, 也可选用 D 型或 M1 型标准试片。
- 3) 使用要求
 - a) 试片发现锈蚀, 褶皱或磁特性发生改变时不得继续使用。
 - b) 试片使用前应对工件进行清洗, 如工件表面凹凸不平, 须打磨平, 并去油污。
 - c) 使用时将试片无人工缺陷的面朝外, 并和工件表面完好的接触。
 - d) 试片使用后, 擦试后放回原包装袋放好。
 - e) 标准试片使用时, 采用磁粉技术和工艺规程, 应与实际应用的一致。

表 4.2.3-1 标准试片的类型、规格和图形

类型	规格：缺陷槽深/试片厚度/ μm		图形和尺寸/mm
A1 型	A1：7/50		
	A1：15/50		
	A1：30/50		
	A1：15/100		
	A1：30/100		
	A1：60/100		
C 型	C：8/50		
	C：15/50		
D 型	D：7/50		
	D：15/50		
M1 型	$\phi 12\text{mm}$	7/50	
	$\phi 9\text{mm}$	15/50	
	$\phi 6\text{mm}$	30/50	
注：C 型标准试片可剪成 5 个小试片分别使用。			

4.2.3.2 磁场指示器是一种用于表示被检工件表面磁场方向、有效检测区域以及磁化方法是否正确的一种粗略的校验工具。但不能作为磁场强度及其分布的定量指示。其几何尺寸见图 4.2.3-1。

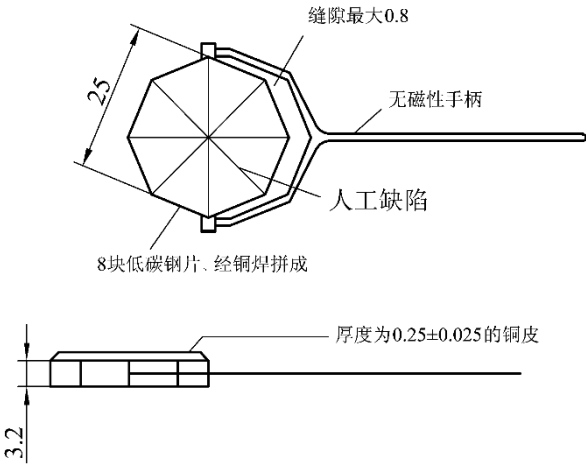


图 4.2.3-1 磁场指示器

4.2.3.3 中心导体磁化方法标准试块应符合 GB/T 23906 的规定。

4.3 磁化方法

4.3.1 磁化方法的选择

4.3.1.1 热壁加氢反应器的焊接接头、坡口、待堆焊面、焊缝清根区域、锻件表面、钢板表面、加工表面、打磨表面等，根据技术条件要求需进行磁粉检测的，磁化方法采用磁轭法或触头法。

4.3.1.2 热壁加氢反应器的螺栓、螺母表面，根据技术条件要求需进行磁粉检测的，磁化方法采用轴向通电法、中心导体法、偏心导体法、线圈法。

4.3.1.3 被检工件的每一被检区域至少应进行两次独立的检测，两次检测的磁力线方向应大致相互垂直。

4.3.2 磁轭法

4.3.2.1 磁极间距应控制在 75mm~200mm 之间，其有效宽度为两极连线两侧各 1/4 极距的范围内，磁化区域每次应有不少于 10%的重叠。

4.3.2.2 采用磁轭法磁化工件时，其磁化规范应经标准试片验证。

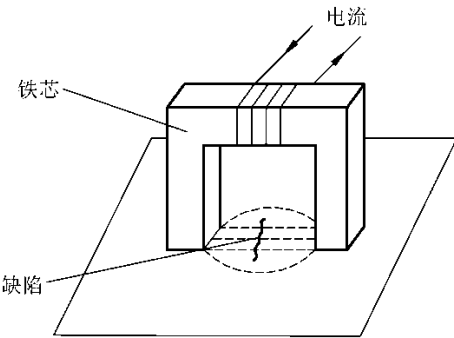


图 4.3.2-1 磁轭法

4.3.3 轴向通电法

轴向通电法的磁化规范按表 4.3.3-1 中公式计算。

表 4.3.3-1 轴向通电法和中心导体法磁化规范

检测方法	磁化电流计算公式	
	交流电	直流电、整流电
连续法	$I=(8\sim15)D$	$I=(12\sim32)D$
剩磁法	$I=(25\sim45)D$	$I=(25\sim45)D$
注：D为工件横截面上最大尺寸，单位为 mm。		

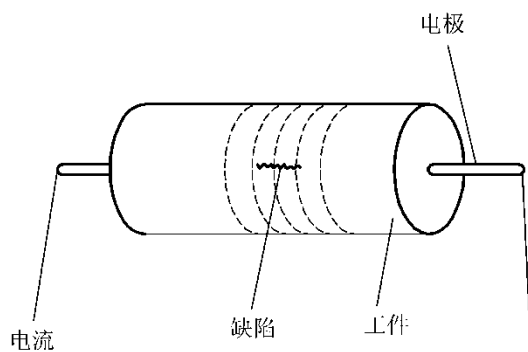


图 4.3.3-1 轴向通电法

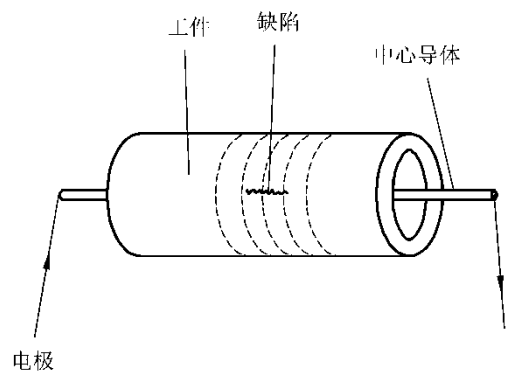


图 4.3.4-1 中心导体法

4.3.4 中心导体法

4.3.4.1 中心导体法的磁化规范按表 4.3.3-1 中公式计算。

4.3.4.2 中心导体法可用于检测环形或空心圆柱形工件内、外表面与电流流向平行或夹角小于等于 45° 的纵向缺陷和端面的径向缺陷。外表面检测时应尽量使用直流电或整流电。

4.3.5 偏心导体法

4.3.5.1 对大直径环形或空心圆柱形工件当使用中心导体法时，如电流不能满足检测要求应采用偏心导体法进行分区域检测即将导体靠近内壁放置，依次移动工件与芯棒的相对位置分区域检测。

4.3.5.2 每次外表面有效检测区长度约为 4 倍芯棒导体直径（见图 4.3.5-1），且有一定的重叠，重叠区长度应不小于有效检测区长度的 10%。

4.3.5.3 磁化电流按表 4.3.3-1 中公式计算，式中 D 的数值取芯棒导体直径加两倍工件壁厚。

4.3.5.4 导体与内壁接触时应采取绝缘措施。

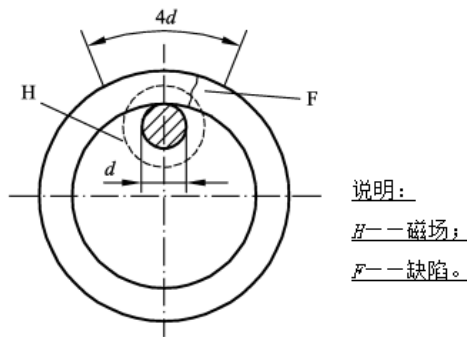


图 4.3.4-1 偏心导体法检测有效区

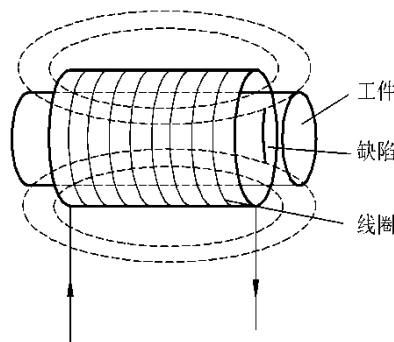


图 4.3.5-1 线圈法

4.3.6 线圈法

4.3.6.1 线圈法产生的磁场方向平行于线圈的轴线。其有效磁化区域：低充填因数线圈法为从线圈中心向两侧分别延伸至线圈端外侧各一个线圈半径范围内；中充填因数线圈法为从线圈中心向两侧分别延伸至线圈端外侧各 100mm 范围内；高充填因数线圈法或缠绕电缆法为从线圈中心向两侧分别延伸至线圈端外侧各 200mm 范围内。

4.3.6.2 超过上述区域时，应采用标准试片确定。

4.3.6.3 低充填因数线圈法的磁化电流按如下要求进行计算：

当线圈的横截面积大于等于被检工件横截面积的 10 倍时，使用下述公式：

1) 偏心放置时，线圈的磁化电流按式 (1) 计算 ($\pm 10\%$)：

$$I = \frac{45000}{N(L/D)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

2) 正中放置时，线圈的磁化电流按式 (2) 计算 ($\pm 10\%$)：

$$I = \frac{1690R}{N[6(L/D)-5]} \quad \dots \dots \dots (2)$$

以上各式中：

I——施加在线圈上的磁化电流，A；

N——线圈匝数；

L——工件长度，mm；

D——工件直径或横截面上最大尺寸，mm；

R——线圈半径，mm。

4.3.6.4 高充填因数线圈法或缠绕电缆法的磁化电流按如下要求进行计算：

即线圈的截面积小于或等于 2 倍被检工件截面积（包括中空部分）；其线圈的磁化电流按式 (3) 计算 ($\pm 10\%$)：

$$I = \frac{35000}{N[(L/D)+2]} \quad \dots \dots \dots (3)$$

式中各符号意义同式 (1)。

4.3.6.5 中充填因数线圈法的磁化电流按如下要求进行计算：

即线圈的横截面积大于 2 倍而小于 10 倍被检工件截面积；其线圈的磁化电流按式 (4) 计算：

$$NI = [(NI)_h(10-Y) + (NI)_l(Y-2)]/8 \quad \dots \dots \dots (4)$$

式中：

(NI)_h——式 (3) 高充填因数线圈计算的 NI 值；

(NI)_l——式 (1) 或式 (2) 低充填因数线圈计算的 NI 值；

Y——线圈的横截面积与工件横截面积之比。

4.3.6.6 上述公式不适用于长径比（L/D）小于 2 的被检工件。对于长径比（L/D）小于 2 的被检工件，若要使用线圈法时，可利用磁极加长块来提高长径比（L/D）的有效值或采用标准试片实测来决定电流值。对于长径比（L/D）大于等于 15 的被检工件，公式中长径比（L/D）取 15。

4.3.6.7 当被检工件太长时，应进行分段磁化；每次磁化有效磁化范围不超过其有效磁化区域，且应有一定的重叠，重叠区长度应不小于分段检测长度的 10%。检测时，磁化电流应经标准试片验证。

4.3.6.8 空心工件检测时，式（1）～（3）的 D 应由有效直径 D_{eff} 代替。有效直径 D_{eff} 为：

1) 对于圆筒形工件：

$$D_{eff} = [(D_o)^2 - (D_i)^2]^{1/2} \quad \dots \dots \dots (5)$$

式中：

D_o ——圆筒外直径，mm；

D_i ——圆筒内直径，mm。

2) 对于非圆筒形工件：

$$D_{eff} = [4 (A_t - A_h) / \pi]^{1/2} \quad \dots \dots \dots (6)$$

式中：

A_t ——零件总的横截面积， mm^2 ；

A_h ——零件中空部分的横截面积， mm^2 。

4.4 磁场强度

磁场强度可以用以下几种方法确定：

4.4.1 用磁化电流表征的磁场强度按 4.3.6.3~4.3.6.5 所给出的公式计算；

4.4.2 利用材料的磁特性曲线，确定合适的磁场强度；

4.4.3 用磁场强度计测量施加在工件表面的切线磁场强度。连续法检测时应达到 2.4kA/m~4.8kA/m，剩磁法检测时应达到 14.4kA/m。

4.4.4 用标准试片（块）来确定磁场强度是否合适。

4.5 磁化电流类型及其选用

4.5.1 电流类型

磁粉检测常用的电流类型有：交流、整流电流（全波整流、半波整流）和直流。

4.5.2 电流值

磁化规范要求的交流磁化电流值为有效值，整流电流值为平均值。磁化电流的波形、电流表指示及换算关系参见 NB/T47013.4-2015 附录 A。

4.6 质量控制

磁粉检测设备、仪表及材料应定期校验，保持良好。

4.6.1 综合性能试验

每次检测工作开始前，用标准试片检验磁粉检测设备及磁粉和磁悬液的综合性能。

4.6.2 磁悬液

4.6.2.1 新配制的磁悬液，其浓度应符合 4.2.2.3 的要求；循环使用的磁悬液，每次开始工作前应进行磁悬液浓度测定。

4.6.2.2 对循环使用的磁悬液，应每周测定一次磁悬液污染。测定方法是將磁悬液搅拌均匀，取 100mL 注入梨形沉淀管中，静置 60min 检查梨形沉淀管中的沉淀物。当上层（污染物）体积超过下层（磁粉）体积的 30%时，或在黑光下检查荧光磁悬液的载体发出明显的荧光时，即可判定磁悬液污染。

4.6.2.3 检测前，将磁悬液施加在被检工件表面上，如果磁悬液的液膜是均匀连续的，则磁悬液的润湿性能合格，否则不合格。

4.6.3 辅助仪表校验

4.6.3.1 磁粉检测用的辅助仪表应至少每年校验一次。

4.6.3.2 磁粉检测设备的电流表，至少半年校准一次。

4.6.3.3 黑光灯首次使用或间隔一周以上再次使用，以及连续使用一周内应进行黑光辐照度核查。

4.6.3.4 黑光辐照度计，光照度计至少每年校准一次。

4.6.3.5 磁场强度计至少每年校准一次。

4.7 表面准备

4.7.1 工件表面

工件被检区表面及其相邻至少 25mm 范围内应干燥，并不得有油脂、污垢、铁锈、氧化皮、纤维屑、焊剂、焊接飞溅或其他粘附磁粉的物质；表面的不规则状态不得影响检测结果的正确性和完整性，否则应做适当的修理，修理后的被检工件表面粗糙度 $Ra \leq 25 \mu m$ 。

4.7.2 反差增强剂

为增强对比度，经标准试片验证后，可以使用反差增强剂。

4.7.3 安装接触垫

采用轴向通电法时，为了防止电弧烧伤工件表面和提高导电性能，应将工件和电极接触部分清除干净，必要时应在电极上安装接触垫。

4.7.4 封堵

若工件有盲孔和内腔，宜加以封堵。

4.8 检验时机

4.8.1 热壁加氢反应器所有锻件机加工完毕后，表面应进行磁粉检测。

4.8.2 热壁加氢反应器筒节钢板卷制成形和封头钢板压制成形后，所有表面应进行磁粉检测。

4.8.3 热壁加氢反应器元件热成型和热处理后应进行磁粉检测。

4.8.4 热壁加氢反应器所有承压零部件的焊接坡口表面及待堆焊面，在施焊前应进行磁粉检测。

4.8.5 热壁加氢反应器焊接接头表面清根后应进行磁粉检测。

4.8.6 热壁加氢反应器焊接接头应进行磁粉检测，对于有延迟裂纹倾向的材料，磁粉检测应根据要求至少在焊后 24h 后进行。

4.8.6.1 ISR 后、PWHT 前

- 1) 堆焊前的 A、B、D 类焊接接头的内、外表面；
- 2) 内部支持圈用铬钼钢堆焊加宽部位；
- 3) 所有待堆焊部位；
- 4) 所有非受压元件与受压元件的焊接接头（E 类）；
- 5) 所有临时附件焊缝及拆除临时附件后的部位；
- 6) 母材的补焊位置；
- 7) 裙座上的所有焊接接头（纵、环缝及底座环与裙座的焊接接头）；

4.8.6.2 PWHT 后

- 1) 所有 A、B、D 类焊接接头的外表面；
- 2) 所有非受压元件与受压元件的焊接接头（E 类）；
- 3) 母材的补焊位置；
- 4) 壳体与裙座焊接接头的内外表面；
- 5) 裙座上的铬钼钢焊接接头的内外表面；
- 6) 所有临时附件焊缝及拆除临时附件后的部位；

4.8.6.3 水压试验后

- 1) 所有 A、B、D 类焊接接头的外表面；
- 2) 母材的补焊位置；
- 3) 所有非受压元件与受压元件的焊接接头（E 类）；
- 4) 壳体与裙座焊接接头的内外表面；

4.9 检测方法

4.9.1 干法

4.9.1.1 干法通常用于交流和半波整流的磁化电流或磁轭进行连续法检测；采用干法时，应确认

检测表面和磁粉已完全干燥，然后再施加磁粉。

4.9.1.2 钢板表面、待堆焊表面、缺陷清除后以及一些高温条件下进行的表面检测采用干粉检测。

4.9.1.3 干粉的施加可采用手动喷粉器进行。磁粉应均匀地喷洒在工件被检面上。磁粉不应施加过多，以免掩盖缺陷磁痕。在吹去多余磁粉时不应干扰缺陷磁痕。

4.9.2 湿法

4.9.2.1 湿法主要用于连续法和剩磁法检测。采用湿法时，应确保整个表面被磁悬液湿润，且不应使检测面上的磁悬液的流速过快。

4.9.2.2 除 4.9.1.2 所提到的部位，其余磁粉检测的部位或技术条件指定方式均应做湿法检测。

4.9.2.3 磁悬液的施加可采用喷、浇、浸等方法，不宜采用刷涂法。无论采用哪种方法，均不应使检测面上磁悬液的流速过快。

4.9.3 连续法

采用连续法，磁粉或磁悬液的施加和磁痕显示的观察应在磁化通电时间内完成，且停施磁粉或磁悬液至少 1s 后方可停止磁化；磁化通电时间一般为 1s~3s，且为保证磁化效果应至少反复磁化两次。

4.9.4 剩磁法

4.9.4.1 剩磁法主要用于材料矫顽力大于或等于 1kA/m，且磁化后其保持的剩磁场大于或等于 0.8T 的被检工件检测。

4.9.4.2 采用剩磁法时，磁粉或磁悬液应在通电结束后施加，一般通电时间为 0.25s~1s。施加磁粉或磁悬液之前，任何铁磁性物体不得接触被检工件表面。

4.9.4.3 采用交流磁化法时，应配备断电相位控制器以确保工件的磁化效果。

4.10 磁痕显示的分类和记录

4.10.1 磁痕显示的分类和处理

4.10.1.1 长宽比大于 3 的缺陷磁痕，按条状磁痕处理；

4.10.1.2 长宽比不大于 3 的磁痕，按圆形磁痕处理。

4.10.1.3 长度小于 0.5mm 的磁痕不计。

4.10.1.4 两条或两条以上缺陷磁痕在同一直线上且间距不大于 2mm 时，按一条磁痕处理，其长度为两条磁痕之和加间距。

4.10.2 缺陷磁痕的观察

4.10.2.1 缺陷磁痕的观察应在磁痕形成后立即进行。

4.10.2.2 非荧光磁粉检测时，缺陷磁痕的评定应在可见光下进行，通常工件被检表面可见光照度应大于或等于 1000lx；现场检测时，由于条件所限可见光照度应不低于 500lx。

4.10.2.3 荧光磁粉检测时，缺陷磁痕的评定应在暗黑区黑光灯激发的黑光下进行，工件被检表面的黑光辐照度应大于或等于 $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ；暗黑区室或暗处可见光照度应不大于 20lx。

4.10.2.4 除能确认磁痕是由于工件材料局部磁性不均或操作不当造成的之外，其它磁痕显示均应作为缺陷处理。为辨认细小的磁痕显示，观察时应辅以 2 倍~10 倍的放大镜。

4.10.2.5 记录：文字描述、草图、照片、透明胶带、透明漆凝固、可剥离反差增强剂、磁带、电子扫描、环氧树脂或化学磁粉混合物。

4.11 复验

当出现下列情况之一时，应进行复验：

- 1) 检验结束时，用标准试片验证检测灵敏度不符合要求时；
- 2) 发现检测过程中操作方法有误或技术条件改变时；
- 3) 合同各方有争议或认为有必要时；
- 4) 对检测结果有怀疑时；

4.12 退磁

4.12.1 退磁一般要求

下列情况下工件应进行退磁：

- a) 产品技术条件有规定或委托方有要求时；
- b) 当检测需要多次磁化时，如认定上一次磁化将会给下一次磁化带来不良影响；
- c) 如认为工件的剩磁会对以后的机械加工产生不良影响；
- d) 如认为工件的剩磁会对测试或计量装置产生不良影响；
- e) 如认为工件的剩磁会对焊接产生不良影响；
- f) 其他必要的场合。

4.12.2 退磁方法

退磁可分为交流退磁法和直流退磁法两种。

4.12.2.1 交流退磁法

将需退磁的工件从通电的磁化线圈中缓慢抽出，直至工件离开线圈 1m 以上时，再切断电流。或将工件放入通电的磁化线圈内，将线圈中的电流逐渐减小至零或将交流电直接通过工件并同时逐步将电流减到零。

4.12.2.2 直流退磁法

将需退磁的工件放入直流电磁场中，不断改变电流方向，并逐渐减小电流至零。

4.12.2.3 大型工件退磁

大型工件可使用交流电磁轭进行局部退磁或采用缠绕电缆线圈分段退磁。

4.12.2.4 剩磁测量

工件的退磁效果一般可用磁场强度计测量或其他剩磁检测仪测量；退磁后剩磁强度应不大于 0.3mT（240A/m）或按产品技术条件规定。

4.13 质量分级

如无特殊要求，热壁加氢反应器磁粉检测发现的线性缺陷及圆形缺陷验收的质量等级均为 I 级。

4.13.1 不允许任何裂纹显示；紧固件和轴类零件不允许任何横向缺陷显示。

4.13.2 焊接接头的质量分级按表 4.13.2-1 进行。

表 4.13.2-1 焊接接头的质量分级

等级	线性缺陷磁痕	圆形缺陷磁痕（评定框尺寸为 35mm×100mm）
I	1≤1.5	d≤2.0，且在评定框内不大于 1 个
II	大于 I 级	
注：1 表示线性缺陷磁痕长度，单位为 mm；d 表示圆形缺陷磁痕长径，单位为 mm。		

4.13.3 其他部件的质量分级按表 4.13.3-1 进行。

表 4.13.3-1 其他部件的质量分级

等级	线性缺陷磁痕	圆形缺陷磁痕 （评定框尺寸为 2500mm ² 其中一条矩形边长 最大为 150mm）
I	不允许	d≤2.0，且在评定框内不大于 1 个
II	1≤4.0	d≤4.0，且在评定框内不大于 2 个
III	1≤6.0	d≤6.0，且在评定框内不大于 4 个
IV	大于III级	
注：l 表示线性缺陷磁痕长度，单位为 mm；d 表示圆形缺陷磁痕长径，单位为 mm。		

第 5 部分：渗透检测

本部分适用于非多孔性金属材料以及焊接接头表面开口缺陷的检测。

5.1 检测设备和器材

5.1.1 渗透检测剂

5.1.1.1 渗透检测剂包括渗透剂、乳化剂、清洗剂和显像剂。

5.1.1.2 渗透检测剂必须标明生产日期和有效期，要附带产品合格证和使用说明书。

5.1.1.3 对于镍基材料，硫的总含量质量比应少于 200×10^{-6} ，一定量渗透检测剂蒸发后残渣中的硫元素含量的质量比不得超过 1%。

5.1.1.4 对于奥氏体钢、钛及钛合金材料，卤素总含量（氯化物、氟化物）的总含量质量比应少于 200×10^{-6} ，一定量渗透检测剂蒸发后残渣中的氯、氟元素含量的质量比不得超过 1%。

5.1.1.5 渗透检测剂应根据承压设备的具体情况进行选择。对同一检测工件，一般不应混用不同类型、不同厂家的渗透检测剂。

5.1.2 试块

5.1.2.1 铝合金试块

铝合金试块尺寸如图 5.1.2-1 所示，主要应用于以下两种情况：

1) 在正常使用情况下，检验渗透检测剂能否满足要求，以及比较两种渗透检测剂性能的优劣；

2) 对用于非标准温度下的渗透检测方法作出鉴定。

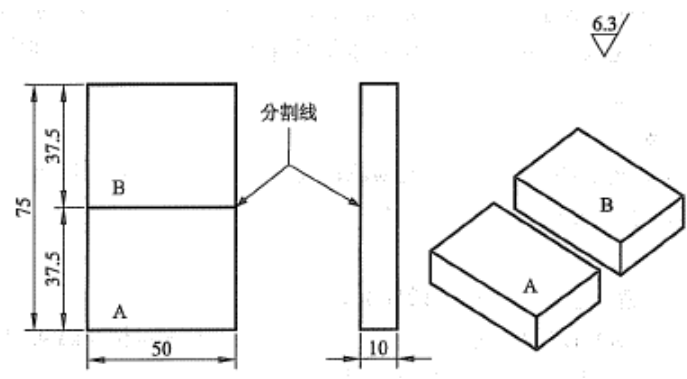
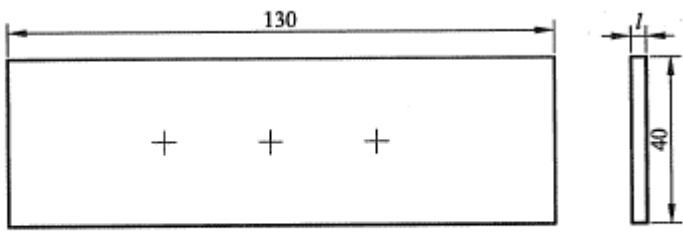


图 5.1.2-1 铝合金试块

5.1.2.2 镀铬试块

镀铬试块尺寸如图 5.1.2-2 所示，主要用于渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。



说明：
l ——试块厚度 3mm~4mm。

图 5.1.2-2 镀铬试块

试块在镀铬层背面中央选相距约 25mm 的 3 个点位，用布氏硬度法在其背面施加不同负荷，在镀铬面形成从大到小、裂纹区长径差别明显、肉眼不易见的 3 个辐射状裂纹区，按大小顺序排列区位号分别为 1、2、3。裂纹尺寸分别见表 5.1.2-1。

表 5.1.2-1 三点式 B 型试块表面的裂纹区长径

单位为 mm

裂纹区次序	1	2	3
裂纹区长径	3.7~4.5	2.7~3.5	1.6~2.4

5.1.2.3 发现试块有阻塞或灵敏度有所下降时，必须及时修复或更换。

5.1.2.4 试块使用后要用丙酮进行彻底清洗，清除试块上的残留渗透检测剂。清洗后，再将试块

放入装有丙酮或者丙酮和无水酒精的混合液体（体积混合比为 1：1）的密闭容器中浸渍 30min，干燥后保存，或用其他有效方法保存。

5.1.3 试块灵敏度等级

检测应按照表 5.1.3-1 的 C 级标准执行。

表 5.1.3-1 灵敏度等级

灵敏度等级	可显示的裂纹区位数
A 级	1~2
B 级	2~3
C 级	3

5.1.4 其他器材

5.1.4.1 黑光灯的紫外线波长应在 315nm~400nm 的范围内，峰值波长为 365nm。黑光灯的电源电压波动大于 10% 时应安装电源稳压器。

5.1.4.2 黑光辐照度计用于测量黑光辐照度，其紫外线波长应在 315nm~400nm 的范围内，峰值

波长为 365nm。

5.1.4.3 荧光亮度计用于测量渗透剂的荧光亮度，其波长应在 430nm~600nm 的范围内，峰值波长为 500nm~520nm。

5.1.4.4 光照度计用于测量可见光照度。

5.2 检测工艺文件、方法、检测时机和表面准备

5.2.1 检测工艺文件

工艺规程应规定表 5.2.1-1 所列相关因素的具体范围或要求。相关因素的变化超出规定的范围或要求时，应重新修订工艺规程。

表 5.2.1-1 工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素的内容
1	被检测工件类型、规格（形状、尺寸、壁厚和材质）
2	依据法规和标准
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（渗透方式、去除方式、干燥方法、显像方法和观察方法等）
5	检测技术
6	工艺试验报告
7	缺陷评定与质量分级

5.2.2 检测方法

5.2.2.1 热壁加氢反应器的焊接接头、坡口、待堆焊面、堆焊层表面、焊缝清根区域、锻件表面、钢板表面、加工表面、打磨表面等，根据技术条件要求需进行液体渗透检测的，推荐采用 II C-d 渗透检测方法。

5.2.2.2 渗透检测方法的选用，首先应满足检测缺陷类型和灵敏度的要求。在此基础上，可根据被检工件表面粗糙度、检测批量大小和检测现场的水源、电源等条件来决定。

5.2.2.3 对于表面光洁且检测灵敏度要求高的工件，宜采用后乳化型着色法或后乳化型荧光法，也可采用溶剂去除型荧光法。

5.2.2.4 对于表面粗糙且检测灵敏度要求低的工件宜采用水洗型着色法或水洗型荧光法。

5.2.2.5 对现场无水源、电源的检测宜采用溶剂去除型着色法。

5.2.2.6 对于批量大的工件检测，宜采用水洗型着色法或水洗型荧光法。

5.2.2.7 对于大工件的局部检测，宜采用溶剂去除型着色法或溶剂去除型荧光法。

5.2.2.8 荧光法比着色法有较高的检测灵敏度。

表 3 渗透检测方法分类

渗透剂		渗透剂的去除		显像剂	
分类	名 称	方法	名 称	分类	名 称
I II III	荧光渗透检测	A	水洗型渗透检测	a	干粉显像剂
	着色渗透检测	B	亲油型后乳化渗透检测	b	水溶解显像剂
	荧光、着色渗透检测	C	溶剂去除型渗透检测	c	水悬浮显像剂
		D	亲水型后乳化渗透检测	d	溶剂悬浮显像剂
				e	自显像

5.2.3 检测时机

- 5.2.3.1 热壁加氢反应器的不锈钢法兰锻件机加工后应进行渗透检测；
- 5.2.3.2 紧固件和锻件的渗透检测一般应安排在最终热处理之后进行；
- 5.2.3.3 热壁加氢反应器的八角垫最终机加工后，密封面应进行渗透检测；
- 5.2.3.4 无法执行磁粉检测的部位；
- 5.2.3.5 焊接件按照下述要求时机进行（至少在焊接完成 24h 后进行焊接接头的渗透检测）：
 - 1) PWHT 前、后
 - a) 全部堆焊层表面
 - b) 所有机加工后的堆焊层表面
 - c) 所有内件与堆焊层的焊接接头
 - 2) 水压试验后
 - a) 堆焊的法兰密封面
 - b) 所有结构不连续高应力堆焊层表面

5.2.4 表面准备

- 5.2.4.1 工件表面不得有铁锈、氧化皮、焊接飞溅、铁屑、毛刺以及各种防护层。
- 5.2.4.2 被检工件机加工表面粗糙度 $Ra \leq 12.5 \mu m$ ；被检工件非机加工表面的粗糙度可适当放宽，但不得影响检验结果。
- 5.2.4.3 局部检测时，准备工作范围应从检测部位四周向外扩展 25mm。

5.3 检测工艺

5.3.1 预清洗

在对工件进行表面清理之后，应用清洗剂、溶剂等进行预清洗以清除工件表面的污垢。清洗后，检测面上遗留的溶剂和水分等必须干燥，且应保证在施加渗透剂前不被污染。

5.3.2 施加渗透剂

5.3.2.1 施加方法应根据零件大小、形状、数量和检测部位来选择。所选方法应保证被检部位完全被渗透剂覆盖，并在整个渗透时间内保持润湿状态。具体施加方法如下：

- 1) 喷涂：可用静电喷涂装置、喷罐及低压泵等进行；
- 2) 刷涂：可用刷子、棉纱或布等进行；
- 3) 浇涂：将渗透剂直接浇在工件被检面上；
- 4) 浸涂：把整个工件浸泡在渗透剂中。

5.3.2.2 在整个检测过程中，渗透检测剂的温度和工件表面温度应在 5~50℃ 的温度范围内，在 10~50℃ 的温度条件下，渗透剂的渗透时间不得少于 10min；在 5~10℃ 的温度条件下，渗透剂持续时间不少于 20min 或通过对比试块进行验证。当渗透检验不可能在 5~50℃ 温度范围内进行时，则要求对较低或较高温度时的检验方法按照 NB/T47013.5-2015 附录 B 进行鉴定。

5.3.3 乳化处理

5.3.3.1 在进行乳化处理前，对被检工件表面所附着的残余渗透剂应尽可能去除。使用亲水型乳化剂时，先用水喷法直接排除大部分多余的渗透剂，再施加乳化剂，待被检工件表面多余的渗透剂充分乳化，然后再用水清洗。使用亲油型乳化剂时，乳化剂不能在工件上搅动，乳化结束后，应立即浸入水中或用水喷洗方法停止乳化，再用水喷洗。

5.3.3.2 乳化剂可采用浸渍、浇涂和喷洒（亲水型）等方法施加于工件被检表面，不允许采用刷涂法。

5.3.3.3 对过渡的背景可通过补充乳化的办法予以去除，经过补充乳化后仍未达到一个满意的背景时，应将工件按工艺要求重新处理。出现明显的过清洗时要求将工件清洗并重新处理。

5.3.3.4 乳化时间取决于乳化剂和渗透剂的性能及被检工件表面粗糙度。一般应按生产厂的使用说明书和对比试验选取。

5.3.4 去除多余的渗透剂

5.3.4.1 在清洗工件被检表面多余的渗透剂时，应注意防止过度清洗而使检验质量下降，同时也应注意防止清洗不足而造成对缺陷显示识别困难。用荧光渗透剂时，可在紫外灯照射下边观察边去除。

5.3.4.2 水洗型和后乳化型渗透剂（乳化后）均可用水去除。冲洗时，水射束与被检面的夹角以 30° 为宜，水温为 10℃~40℃，如无特殊规定，冲洗装置喷嘴处的水压应不超过 0.34MPa。在无冲洗装置时，可采用干净不脱毛的抹布蘸水依次擦洗。

5.3.4.3 溶剂去除型渗透剂用清洗剂去除。除特别难清洗的部位，一般应先用干燥、洁净、不脱毛的布依次擦拭，直至大部分多余渗透剂被去除后，再用蘸有清洗剂的布进行擦拭，直至将被检工件上多余的渗透剂全部擦净。但应注意，不得往复擦拭，不得用清洗剂直接在被检面上冲洗。

5.3.5 干燥

采取自然干燥，干燥时间为 5~10 分钟。

5.3.6 施加显像剂

5.3.6.1 使用干式显像剂时，须先经干燥处理，再用适当方法将显像剂均匀地喷洒在整个被检表面上，并保持一段时间。多余的显像剂通过轻敲或轻气流清除方式去除。

5.3.6.2 使用水湿式显像剂时，在被检面经过清洗处理后，可直接将显像剂喷洒或涂刷到被检面上或将工件浸入到显像剂中，然后再迅速排除多余显像剂，并进行干燥处理。

5.3.6.3 使用溶剂悬浮显像剂时，在被检面经干燥处理后，将显像剂喷洒或刷涂到被检面上，然后进行自然干燥或用暖风（30℃～50℃）吹干。

5.3.6.4 采用自显像时，停留时间最短 10min，最长 2h。

5.3.6.5 悬浮式显像剂在使用前应充分搅拌均匀，显像剂施加应薄而均匀，不可在同一地点反复多次施加。喷施显像剂时，喷嘴离被检面为 300～400mm，喷洒方向与被检面夹角 30°～40°。

5.3.7 观察

5.3.7.1 观察显示应在干粉显像剂施加后或者湿式显像剂干燥后开始，在显像时间内连续进行。如显示的大小不发生变化，也可超过上述时间。对于溶剂悬浮显像剂应遵照说明书的要求或试验结果进行操作。当被检工件尺寸较大无法在上述时间内完成检查时，可以采取分段检测的方法；不能进行分段检测时可以适当增加时间，并使用试块进行验证。

5.3.7.2 着色渗透检测时，缺陷显示的评定应在可见光下进行，通常工件被检面处可见光照度应大于等于 1 000lx；当现场采用便携式设备检测，由于条件所限无法满足时，可见光照度可以适当降低，但不得低于 500lx。

5.3.7.3 荧光渗透检测时，缺陷显示的评定应在暗室或暗处进行，暗室或暗处可见光照度应不大于 20lx，被检工件表面的黑光辐照度应大于等于 1 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，自显像时被检工件表面的黑光辐照度应大于等于 3 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。检测人员进入暗区，至少经过 5min 的黑暗适应后，才能进行荧光渗透检测。检测人员不能戴对检测结果有影响的眼镜或滤光镜。

5.3.7.4 辨认细小显示时可用 5 倍～10 倍放大镜进行观察。必要时重新进行处理、检测。

5.3.8 复验

当出现下列情况之一时，需进行复验：

- 1) 检验结束时，用对比试块验证检测灵敏度不符合要求；
- 2) 发现检验过程中操作方法有误或技术条件改变时；
- 3) 合同各方有争议或认为有必要时；
- 4) 对检验结果怀疑时。

5.3.9 后清洗

工件检测完成后应进行后清洗，以去除对以后使用或对工件材料有害的残留物。

5.4 验收

5.4.1 检测结果评定

- 5.4.1.1 显示分为相关显示、非相关显示和伪显示。非相关显示和伪显示不必记录和评定。
- 5.4.1.2 小于 0.5mm 的显示不计，其他任何相关显示均应作为缺陷处理。
- 5.4.1.3 长度与宽度之比大于 3 的相关显示，按线性缺陷处理；长度与宽度之比小于或等于 3 的相关显示，按圆形缺陷处理。
- 5.4.1.4 相关显示在长轴方向与工件（轴类或管类）轴线或母线的夹角大于或等于 30° 时，按横向缺陷处理，其他按纵向缺陷处理。
- 5.4.1.5 两条或两条以上线性相关显示在同一条直线上且间距不大于 2mm 时，按一条缺陷处理，其长度为两条相关显示之和加间距。

5.4.2 质量分级

- 5.4.2.1 不允许任何裂纹。紧固件和轴类零件不允许任何横向缺陷显示。
- 5.4.2.2 如无特殊要求，热壁加氢反应器实施渗透检测时，线性缺陷及圆形缺陷质量等级均为 I 级。
- 5.4.2.3 热壁加氢反应器焊接接头的质量分级按表 5.4.2-1 进行。

表 5.4.2-1 焊接接头的质量分级

等级	线性缺陷	圆形缺陷（评定框尺寸为 35mm×100mm）
I	$l \leq 1.5$	$d \leq 2.0$ ，且在评定框内不大于 1 个
II	大于 I 级	
注： l 表示线性缺陷显示长度，mm； d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸，mm。		

- 5.4.2.4 热壁加氢反应器其他部件的质量分级评定见表 5.4.2-2。

表 5.4.2-2 其他部件的质量分级

等级	线性缺陷	圆形缺陷（评定框尺寸 2500mm ² 其中一条矩形边的最大长度为 150mm）
I	不允许	$d \leq 2.0$ ，且在评定框内少于或等于 1 个
II	$l \leq 4.0$	$d \leq 4.0$ ，且在评定框内少于或等于 2 个
III	$l \leq 6.0$	$d \leq 6.0$ ，且在评定框内少于或等于 4 个
IV	大于 III 级	
注： l 为线性缺陷显示长度，mm； d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸，mm。		

热壁加氢反应器的无损检测技术要求

附录

附录 A

承压设备曲面纵向对接接头的超声检测方法

A.1 范围

- A.1.1 本附录适用于检测面曲率半径为 50mm~250mm 的纵向对接接头超声检测。
- A.1.2 本附录适用于内外径比大于等于 60%（工件厚度与工件外径之比，即厚径比小于等于 20%）的纵向对接接头超声检测。

A.2 对比试块 RB-L

- A.2.1 试块形状和尺寸应符合表 A.1 和图 A.1 的规定。

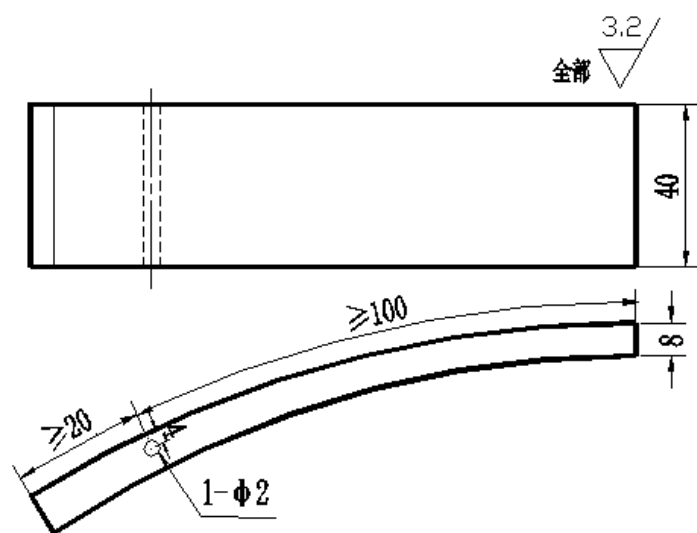
表 A.1 RB-L 系列对比试块尺寸（推荐）

单位为 mm

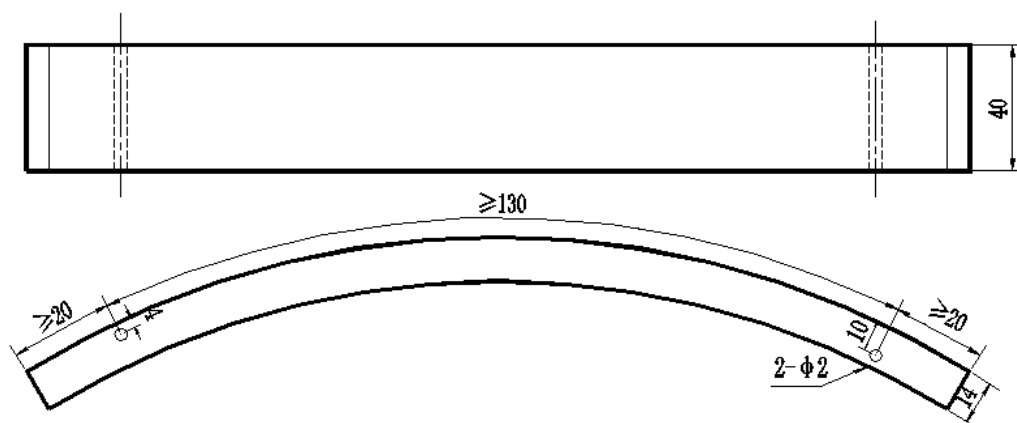
试块编号	工件厚度 t	试块厚度 T	横孔深度位置	横孔直径
RB-L-1	$6 \leq t \leq 10$	8	4	$\Phi 2$
RB-L-2	$10 < t \leq 16$	14	4、10	$\Phi 2$
RB-L-3	$16 < t \leq 24$	20	5、10、15	$\Phi 2$
RB-L-4	$24 < t \leq 36$	30	5、10、20、25	$\Phi 2$
RB-L-5	$36 < t \leq 50$	45	5、10、20、30、40	$\Phi 2$

注：工件厚度 t 大于 50mm 时，试块宽度应符合 NB/T47013.3-2023 第 6.3.10.1 条的规定，横孔深度位置最小可为 10mm，深度间隔不超过 20mm，试块厚度与工件厚度之差不超过工件厚度的 20%。

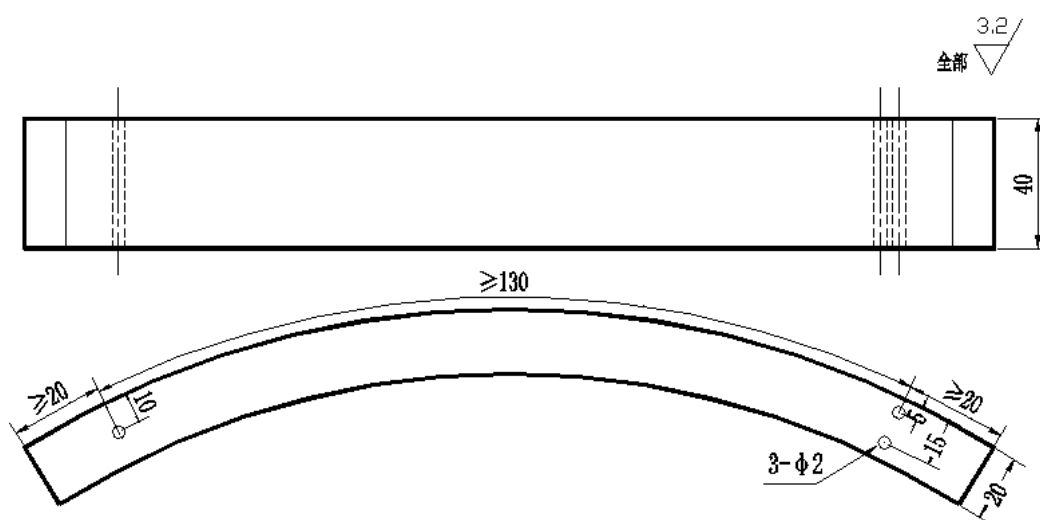
- A.2.2 试块长度 L 应根据所使用的声程确定。
- A.2.3 对比试块的曲率半径应在工件检测面曲率半径的 0.9 倍~1.1 倍范围内。
- A.2.4 试块材质应与工件材质相同或相近（声学特性）。



a) RB-L-1 试块



b) RB-L-2 试块



c) RB-L-3 试块

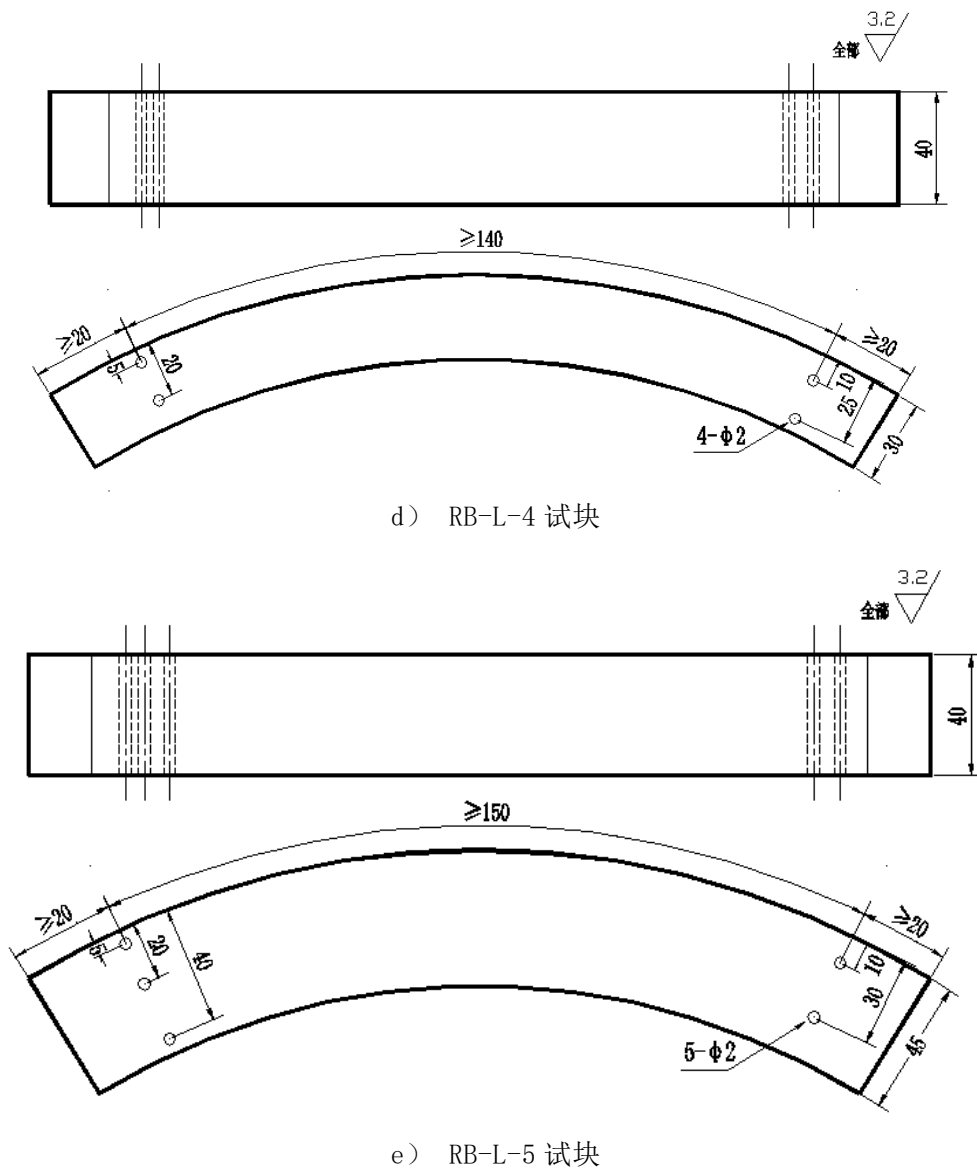


图 A.1 RB-L 系列对比试块（推荐）

A.3 探头

- A.3.1 检测时应确保探头与工件的稳定接触。
- A.3.2 探头折射角（K 值）可按表 A.2 选择。

表 A.2 曲面纵向对接接头超声检测用探头折射角（K 值）推荐表

厚径比 t/D (%)	探头折射角（K 值）
$t/D \leq 2.0$	$40^\circ \sim 70^\circ$ (0.84~2.75)
$2.0 < t/D \leq 5.0$	$40^\circ \sim 63^\circ$ (0.84~2)
$5.0 < t/D \leq 10.0$	$40^\circ \sim 45^\circ$ (0.84~1)
$10.0 < t/D \leq 20.0$	$35^\circ \sim 45^\circ$ (0.75~1)

A.4 距离-波幅曲线

- A.4.1 检测纵向缺陷时，在相应 RB-L 试块上利用横孔制作距离-波幅曲线。
- A.4.2 检测横向缺陷时，在相应 RB-C 试块上利用横孔制作距离-波幅曲线。
- A.4.3 距离-波幅曲线灵敏度应符合表 2.7.6-1 的规定。

A.5 检测

- A.5.1 探头标称频率、检测面及探头扫查区宽度应符合表 A.3 的规定。
- A.5.2 不同折射角（K 值）探头数量、横向缺陷检测等还应符合按表 E.1 检测技术等级 B 级的要求。
- A.5.3 扫查灵敏度不低于评定线灵敏度。
- A.5.4 扫查方法应符合 2.7.7 的规定。

A.6 缺陷定量

缺陷定量应符合 2.7.11 的规定。

A.7 缺陷评定

缺陷评定应符合 2.7.12 的规定。

表 A.3 探头标称频率、检测面及探头扫查区宽度推荐表

内外壁检测可能	工件厚度 t/mm	探头标称频率 MHz	检测面（侧）	探头扫查区宽度
仅能从外壁（凸面）检测	$6 \leq t \leq 30$	4~5	外壁（凸面）双侧	$1.25P$
	$30 < t \leq 60$	2~5	外壁（凸面）双侧	$1.25P$
	$t > 60$	2~2.5	外壁（凸面）双侧	$0.75P$
内外壁均可检测	$6 \leq t \leq 30$	4~5	外壁（凸面）双侧 或内壁（凹面）双侧	$1.25P$
	$30 < t \leq 60$	2~5	外壁（凸面）双侧 或内壁（凹面）双侧	$1.25P$
	$t > 60$	2~2.5	外壁（凸面）双侧 和内壁（凹面）双侧	$0.75P$
注：P为检测面跨距。				

附录 B

热壁加氢反应器曲面环向对接接头的超声检测方法

B.1 范围

本附录适用于热壁加氢反应器检测面曲率半径为 79.5mm~250mm 的环向对接接头超声检测。

B.2 对比试块 RB-C

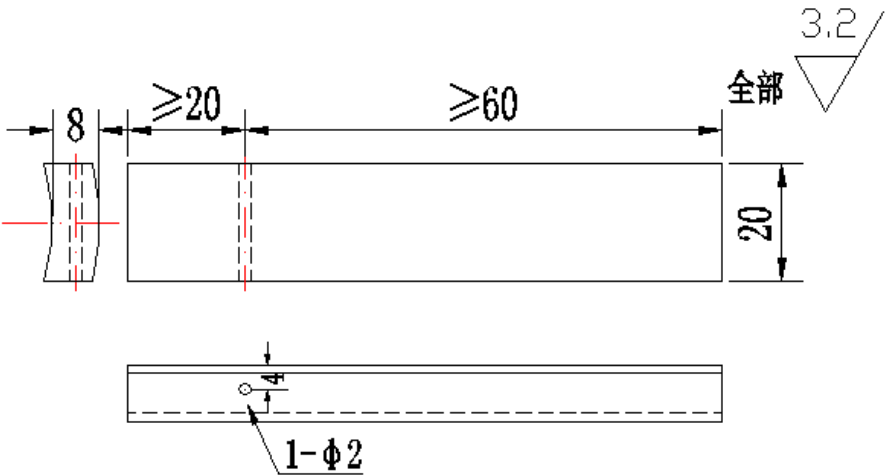
- B.2.1 对比试块 RB-C 的形状和尺寸应符合表 B.1 和图 B.1 的规定。
- B.2.2 对比试块的曲率半径应在工件检测面曲率半径的 0.7 倍~1.1 倍范围内。
- B.2.3 试块厚度与工件厚度相差不超过工件厚度的 20%。
- B.2.4 试块材质应与工件材质相同或相近。

表 B.1 RB-C 系列对比试块尺寸（推荐）

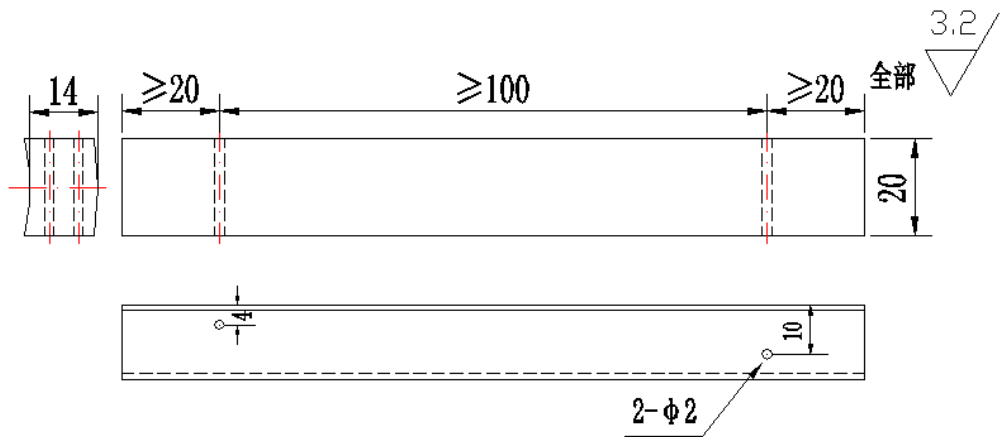
单位为 mm

RB-C 编号	工件厚度 t	试块厚度 T	横孔深度位置	横孔直径
RB-C-1	$6 \leq t \leq 10$	8	4	$\phi 2$
RB-C-2	$10 < t \leq 16$	14	4、10	$\phi 2$
RB-C-3	$16 < t \leq 24$	20	5、10、15	$\phi 2$
RB-C-4	$24 < t \leq 36$	30	5、10、20、25	$\phi 2$
RB-C-5	$36 < t \leq 50$	45	5、10、20、30、40	$\phi 2$

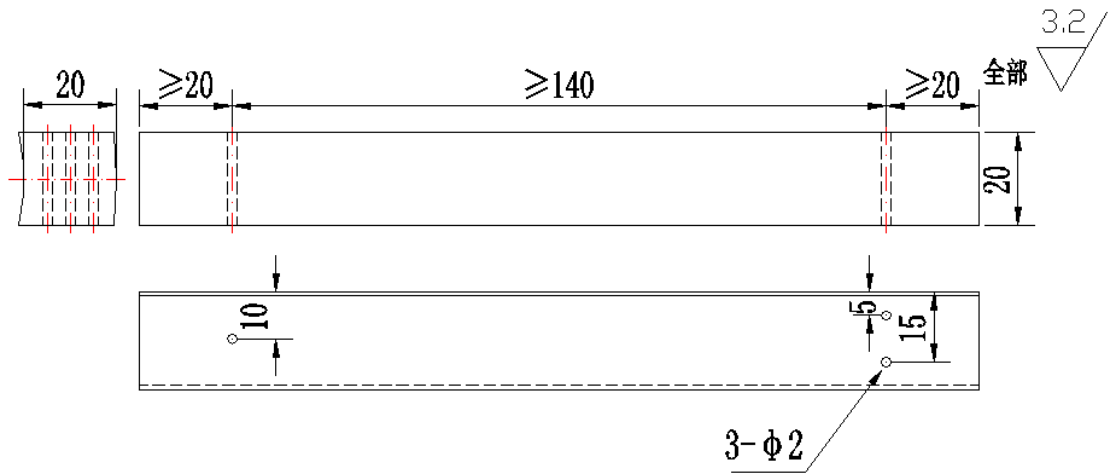
注：工件厚度 t 大于 50mm 时，试块宽度应符合 NB/T47013.3-2023 第 6.3.10.1 条的规定，横孔深度位置最小可为 10mm，深度间隔不超过 20mm，试块厚度与工件厚度之差不超过工件厚度的 20%。



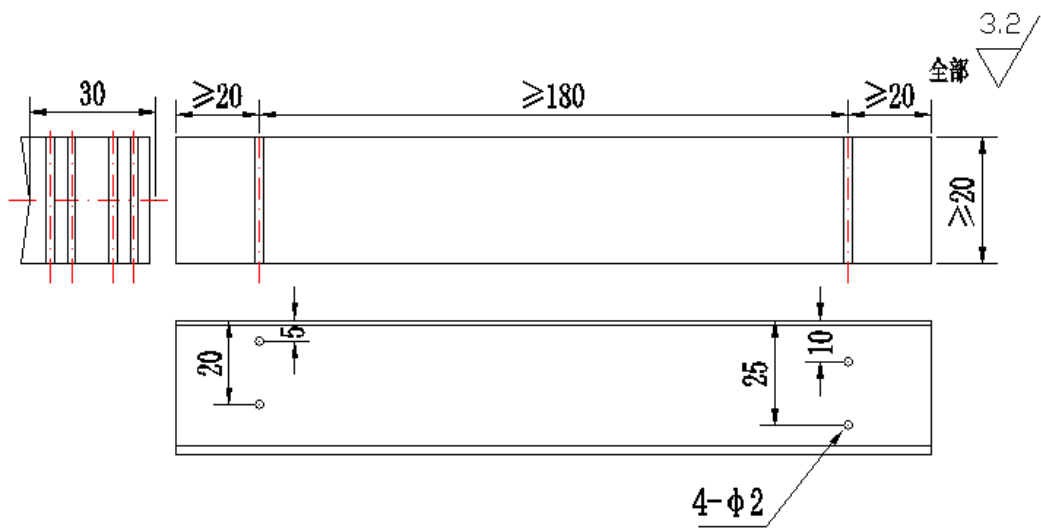
a) RB-C-1 试块



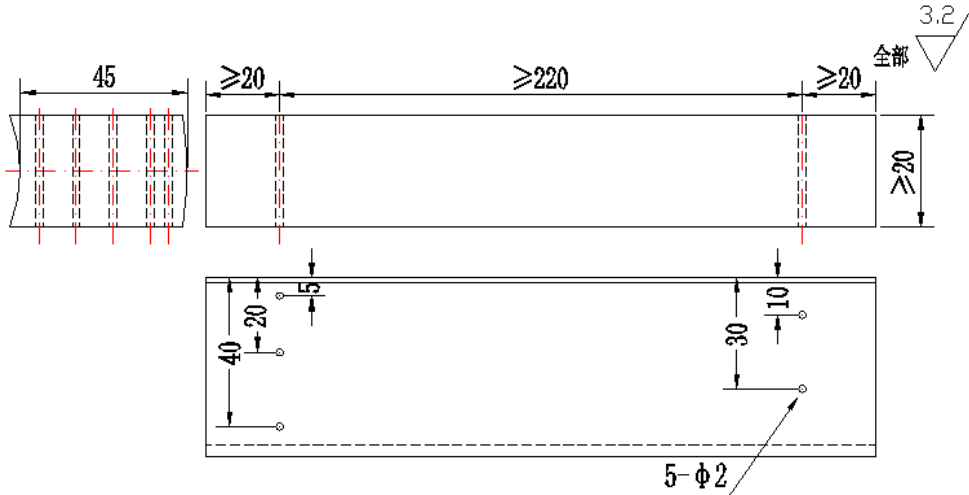
b) RB-C-2 试块



c) RB-C-3 试块



d) RB-C-4 试块



e) RB-C-5 试块

图 B.1 RB-C 系列对比试块（推荐）

B.3 探头

- B.3.1 检测时应确保探头与工件的稳定接触。
- B.3.2 探头折射角（K 值）的选择见表 2.7.4-1，探头标称频率可按表 B.2 选择。

B.4 距离-波幅曲线

- B.4.1 检测纵向缺陷时，在相应 RB-C 试块上利用横孔制作距离-波幅曲线。
- B.4.2 检测横向缺陷时，在相应 RB-L 试块上利用横孔制作距离-波幅曲线。
- B.4.3 距离-波幅曲线灵敏度应符合表 2.7.6-1 的规定。

B.5 检测

- B.5.1 检测面的选择按表 B.2 进行。
- B.5.2 不同折射角（K 值）探头数量、横向缺陷检测等还应符合按表 E.1 检测技术等级 B 级的要求。
- B.5.3 扫查灵敏度不低于评定线灵敏度。
- B.5.4 扫查方法应符合 2.7.7 的规定。

B.6 缺陷定量

缺陷定量应符合 2.7.11 的规定。

B.7 缺陷评定

缺陷评定应符合 2.7.12 的规定。

表 B.2 探头标称频率、检测面及探头扫查区宽度推荐表

内外壁检测 可能	工件厚度 t/mm	探头标称频率 /MHz	检测面 (侧)	探头扫查区宽度
仅能从外壁 (凸面) 检测	$6 \leq t \leq 40$	$2 \sim 5$	外壁 (凸面) 双侧	$1.25P$
	$40 < t \leq 100$	$2 \sim 2.5$	外壁 (凸面) 双侧	$1.25P$
	$t > 100$	$2 \sim 2.5$	外壁 (凸面) 双侧	$0.75P$
内外壁均可检测	$6 \leq t \leq 40$	$2 \sim 5$	外壁 (凸面) 双侧 或内壁 (凹面) 双侧	$1.25P$
	$40 < t \leq 100$	$2 \sim 2.5$	外壁 (凸面) 双侧 或内壁 (凹面) 双侧	$1.25P$
	$t > 100$	$2 \sim 2.5$	内外壁 (凸面和凹面) 双侧	$0.75P$
注: P 为检测面跨距。				

附录 C

热壁加氢反应器接管与筒体(或封头)角接头超声检测方法

C.1 范围

C.1.1 本附录规定了热壁加氢反应器接管与筒体（或封头）角接接头的超声检测方法。

C.1.2 使用本附录应符合以下条件：

C.1.2.1 对于插入式接管与筒体（或封头）角接头：

- 1) 筒体（或封头）检测面曲率半径大于等于 250mm 且内外径比大于等于 60%；
- 2) 接管外径大于等于 80mm。

C.1.2.2 对于安放式接管与筒体（或封头）角接头：

- 1) 筒体（或封头）检测面曲率半径大于等于 100mm；
- 2) 接管外直径大于等于 80mm。

C.2 接管与筒体（或封头）角接头型式

接管与筒体（或封头）角接头型式有插入式、安放式等，见图 C.1。

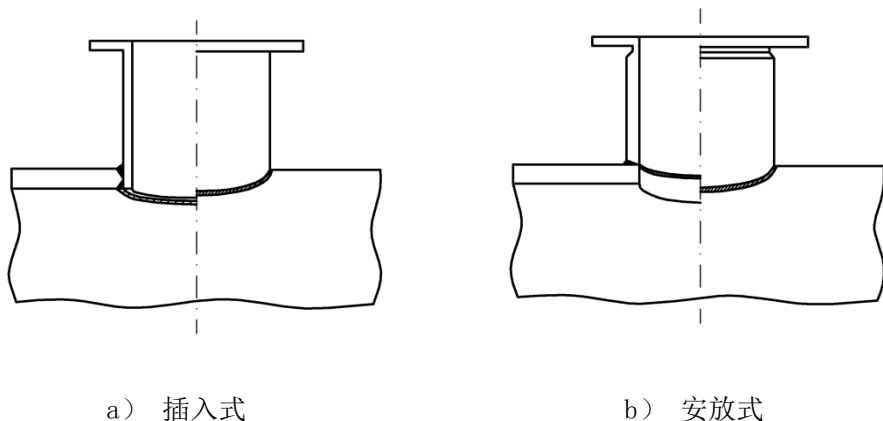


图 C.1 接管与筒体(或封头)角接头型式示意图

C.3 探头

C.3.1 检测时应确保探头与工件的稳定接触。

C.3.2 探头的选择

探头的选择应符合 2.7.4 的规定。

C.4 仪器调节

C.4.1 斜探头入射点、折射角（K 值）

斜探头入射点、折射角（K 值）的测量应选择在 CSK-IA、CSK-IIA 试块上进行，也可在 RB-L 或 RB-C 试块上进行，或在相应曲率试块上进行。

C.4.2 仪器时基线

仪器时基线的调整可选择在 CSK-IA、CSK-IIA 试块上进行，也可在 RB-L 或 RB-C 试块上进

行，或在相应曲率试块上进行。

C.4.3 距离-波幅曲线

C.4.3.1 距离-波幅曲线灵敏度应符合表 2.7.6-1 的规定。

C.4.3.2 检测面曲率半径大于等于 40mm~250mm 时，距离-波幅曲线的灵敏度修正应在 RB-L 或 RB-C 试块上进行，此时应考虑不同检测位置，检测面曲率的变化导致声程等变化的修正，包括：

- 1) 封头上或筒体上的不同焊接接头；
- 2) 同一焊接接头的不同检测位置（相对于筒体轴线偏转角的变化，接管在封头上不同位置引起的检测面曲率的变化）。

C.5 检测

C.5.1 插入式接管与筒体（或封头）角接接头检测

C.5.1.1 当接管外径大于等于 250mm 时，角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 E.3 和表 E.3 的规定。

C.5.1.2 当接管外径大于等于 80mm~250mm 时，角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 E.3 和表 C.1 的规定，一般按技术等级 B 级进行检测。

表 C.1 插入式接管与筒体（或封头）角接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测					横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	A	$1.25P_d$	—	—	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	(A 或 B) 和 F	$1.25P_d$	—	—	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 或 F	$1.25P_d$	—	—	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	$15 < t \leq 40$	1	(A 和 B) 和 F	$1.25P_d$	—	—	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	$40 < t \leq 100$	2	(A 和 B) 和	$1.25P_d$	a	b	2	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
		1	F	d				
	$100 < t \leq 200$	2	(A 和 B) 和	$0.75P_d$	a	b	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
		1	F	d				
C	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 和 F	$1.25P_d$	a	b	1	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
	$15 < t \leq 40$	2	(A 或 B) 和 F	$1.25P_d$	a	b	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)

	$40 < t \leq 100$	2	(A 和 B) 和 F	$1.25 \frac{P}{d}$	a	b	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
	$t > 100$	2	(A 和 B) 和 F	$0.75 \frac{P}{d}$	a	b	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
注 1：尽可能使用直探头在位置 C 进行检测。 注 2：当使用直探头进行检测时，探头扫查区宽度为 c。 注 3：P 为检测面跨距。								

C.5.2 安放式接管与筒体（或封头）角接接头检测

C.5.2.1 当接管外径大于等于 250mm 且筒体（或封头）检测面曲率半径大于等于 250mm 时，角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 E.5 和表 E.5 的规定。

C.5.2.2 当接管外径大于等于 80mm~250mm 且筒体（或封头）检测面曲率半径大于等于 100mm 时，角接接头检测方法、探头数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 C.2 和表 C.2 的规定，一般按技术等级 B 级进行检测。

C.5.3 扫查方法尽可能按 2.7.7 的规定执行。

C.6 缺陷定量

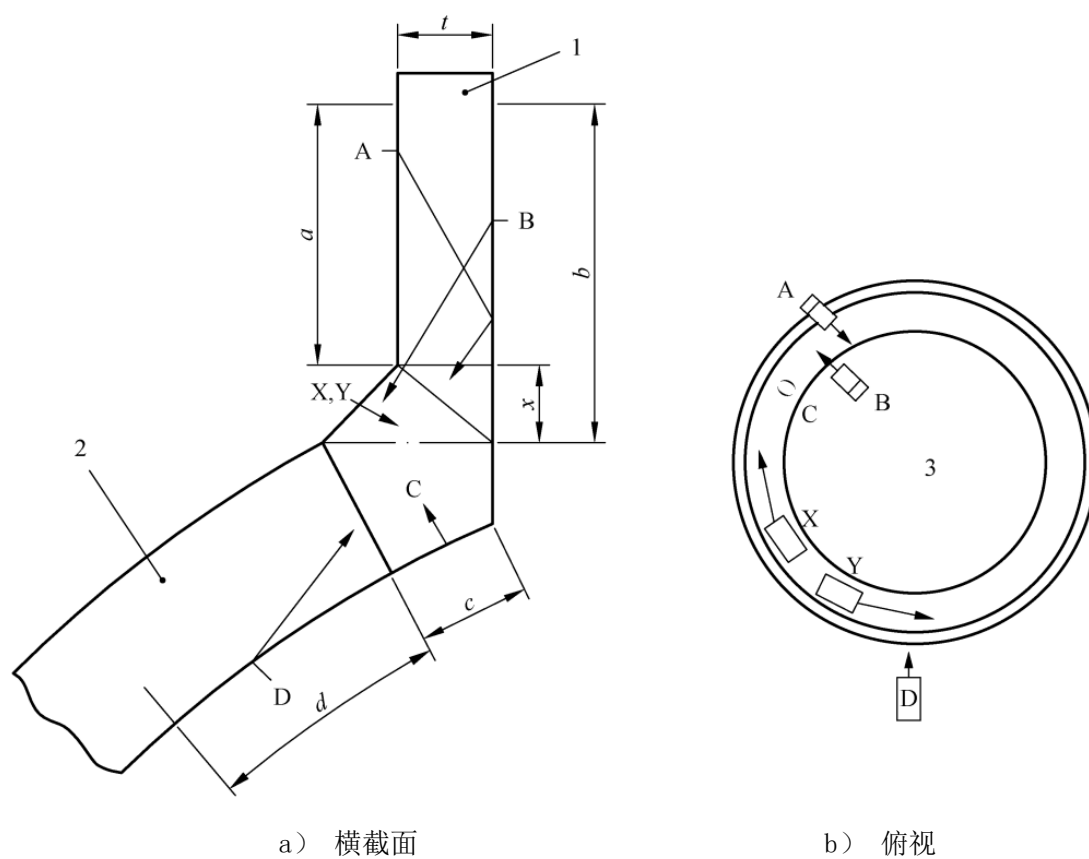
缺陷定量应符合 2.7.11 的规定。

C.7 缺陷评定

缺陷评定应符合 2.7.12 的规定。

C.8 质量等级评定

接管与筒体（或封头）角接接头超声检测质量等级评定应符合 2.7.13 的规定。



注:

A、B、C、D、X、Y 表示探头位置;

a 、 b 、 c 、 d 、 x ——探头扫查区宽度;

t ——工件厚度;

1——接管;

2——筒体或封头。

图 C.2 安放式接管与筒体（或封头）角接头

表 C.2 安放式接管与筒体（或封头）角接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测					横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角（ K 值）探头数量	检测面（侧）	探头扫查区宽度	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角（ K 值）探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	B 或 A	$0.5P$ $1.25P$	—	—	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	B 或 A	$0.5P$ $1.25P$	C	c	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	2	B 或 A	$0.5P$ $1.25P$	—	—	1	X 和 Y
	$15 < t \leq 40$	2	B 或 A	$0.5P$ $1.25P$	C	c	1	X 和 Y
	$40 < t \leq 100$	2	A 和（B 或 D）	$1.25P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
	$100 < t \leq 200$	2	A 和（B 或 D）	$0.75P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
C	$6 \leq t \leq 15$	3	B 或 A	$0.5P$ $1.25P$	C	c	1	X 和 Y
	$15 < t \leq 40$	3	A 和（B 或 D）	$1.25P$ $0.5P$	C	c	1	X 和 Y
	$40 < t \leq 100$	3	A 和 B 和 D	$1.25P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
	$t > 100$	3	A 和 B 和 D	$0.75P$ $0.5P$	C	c	2	X 和 Y
注 1：如果在位置 B 能进行检测，则可用位置 B 的检测替代位置 A 的检测。 注 2：筒体（或封头）检测面曲率半径大于等于 100mm~250mm 时，可对角接头不进行直探头检测和 D 面检测 注 3：P 为检测面跨距。								

附录 D

热壁加氢反应器 T 型焊接接头超声检测方法

D.1 范围

本附录适用于工件厚度 6mm~300mm 承压设备全熔化焊 T 型焊接接头的超声检测。其他用途的全熔化焊 T 型焊接接头的超声检测也可参照本附录的规定执行。

D.2 T 型焊接接头型式

T 型焊接接头基本型式见图 D.1。

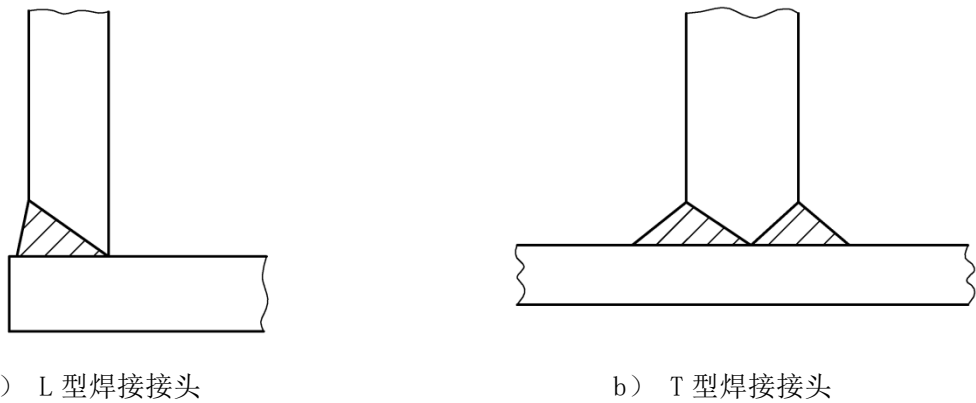


图 D.1 T 型焊接接头型式示意图

D.3 探头

D.3.1 检测时应确保探头与工件的稳定接触。

D.3.2 探头的选择

D.3.2.1 用斜探头在翼板外侧进行检测时，推荐使用折射角为 45° (K1) 的探头；用斜探头在腹板一侧进行检测时，探头折射角 (K 值) 根据腹板厚度应符合 2.7.4 的规定。

D.3.2.2 用直探头检测时，探头标称频率根据翼板厚度应符合 2.7.4 的规定。

D.4 仪器调节

D.4.1 斜探头入射点、折射角 (K 值)

斜探头入射点、折射角 (K 值) 的测量应选择 CSK-IA、CSK-IIA 或 CSK-IVA 上进行。

D.4.2 仪器时基线

仪器时基线的调整应选择 CSK-IA、CSK-IIA 或 CSK-IVA 上进行。

D.4.3 距离-波幅曲线

距离-波幅曲线的制作应符合 2.7.6 的规定。距离-波幅曲线灵敏度应以腹板厚度为工件厚度，应符合表 2.7.6-1 的规定。

D.5 检测

D.5.1 T 型焊接接头检测时根据不同技术等级选择的扫查方法、探头种类及数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 E.2 和表 E.2 的规定。

D.5.2 L型焊接接头检测时根据不同技术等级选择的扫查方法、探头种类及数量、检测面及探头扫查区宽度应符合图 E.4 和表 E.4 的规定。

D.5.3 扫查方法应符合 2.7.7 的规定。

D.6 缺陷定量

缺陷定量应符合 2.7.11 的规定。

D.7 缺陷评定

缺陷评定应符合 2.7.12 的规定。

D.8 质量等级评定

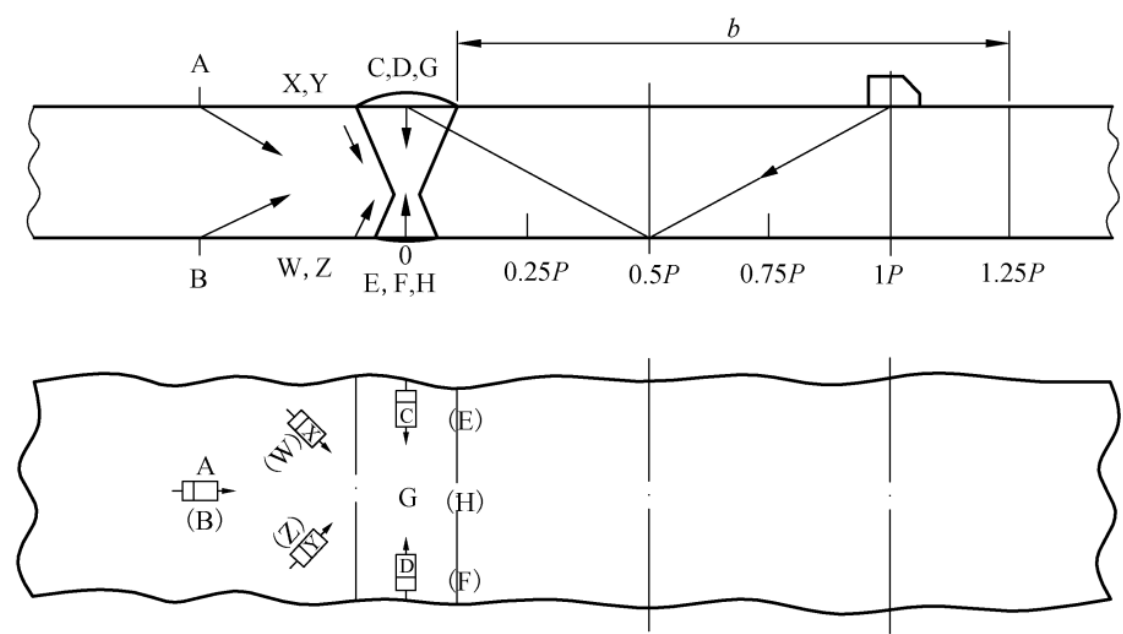
D.8.1 对缺陷进行等级评定时，工件厚度以腹板厚度为准。

D.8.2 T型焊接接头超声检测质量等级评定应符合 2.7.13 的规定。

不同类型焊接接头超声检测的具体要求

E.1 平板对接接头

平板对接接头超声检测的具体要求应符合图 E.1 和表 E.1 的规定。



注 1：A、B、C、D、E、F、G、H、W、X、Y、Z——探头位置；
注 2： b ——探头扫查区宽度， P ——1 个全跨距。

图 E.1 平板对接接头

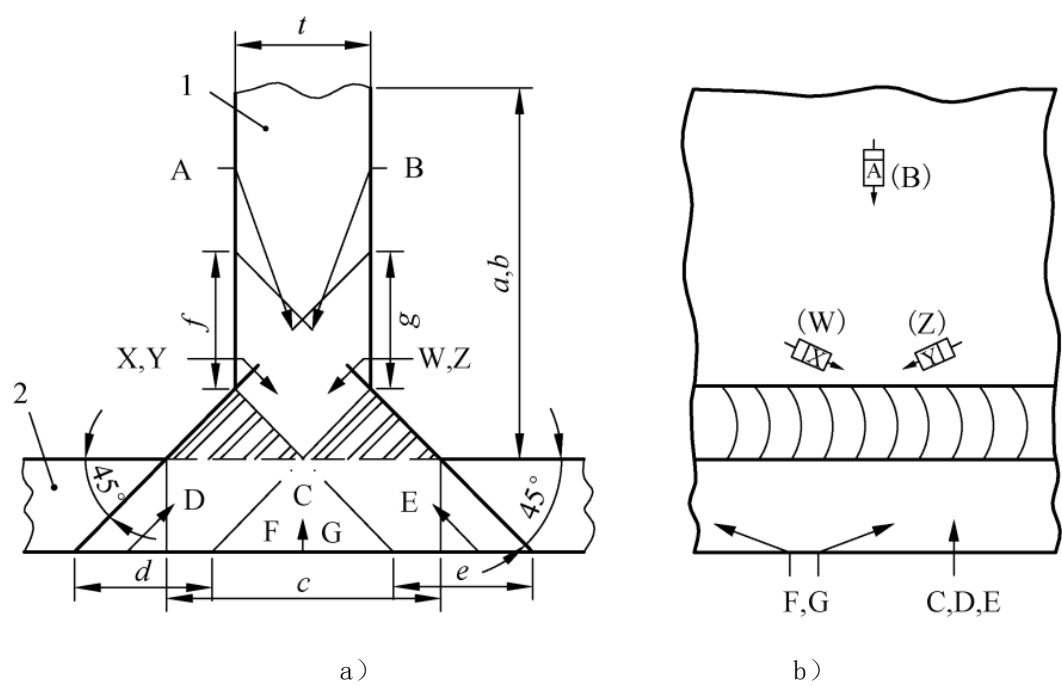
表 E.1 平板对接接头检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测			横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测	斜探头横向扫查
		不同折射角（ K 值）探头数量	检测面（侧）	探头扫查区宽度 ¹		
A	$6 \leq t \leq 40$	1	单面双侧或双面单侧或单面单侧	$1.25P$	—	—
B	$6 \leq t \leq 40$	1	单面双侧	$1.25P$	—	1
	$40 < t \leq 100$	1 或	双面双侧	$1.25P$	—	1
		2	单面双侧或双面单侧			
	$100 < t \leq 200$	2	双面双侧	$0.75P$	—	2

C	$6 \leq t \leq 15$	1	单面双侧	$1.25P$	—	1	单面
		2	双面单侧				
	$15 < t \leq 40$	2	双面双侧	$1.25P$	—	2	单面
	$40 < t \leq 100$	2	双面双侧	$1.25P$	单面 (G 或 H)	2	单面
	$100 < t \leq 500$	2	双面双侧	$0.75P$	单面 (G 和 H)	2	双面
注 1: P 为检测面跨距。							

E.2 T 型焊接接头

T 型焊接接头超声检测的具体要求应符合图 E.2 和表 E.2 的规定。



- 注 1: A、B、C、D、E、F、G、W、X、Y、Z——探头位置；
- 注 2: a、b、c、d、e、f、g——探头扫查区宽度；
- 注 3: t——工件厚度，1——腹板，2——翼板。

图 E.2 T 型焊接接头

表 E.2 T 型焊接接头超声检测的具体要求

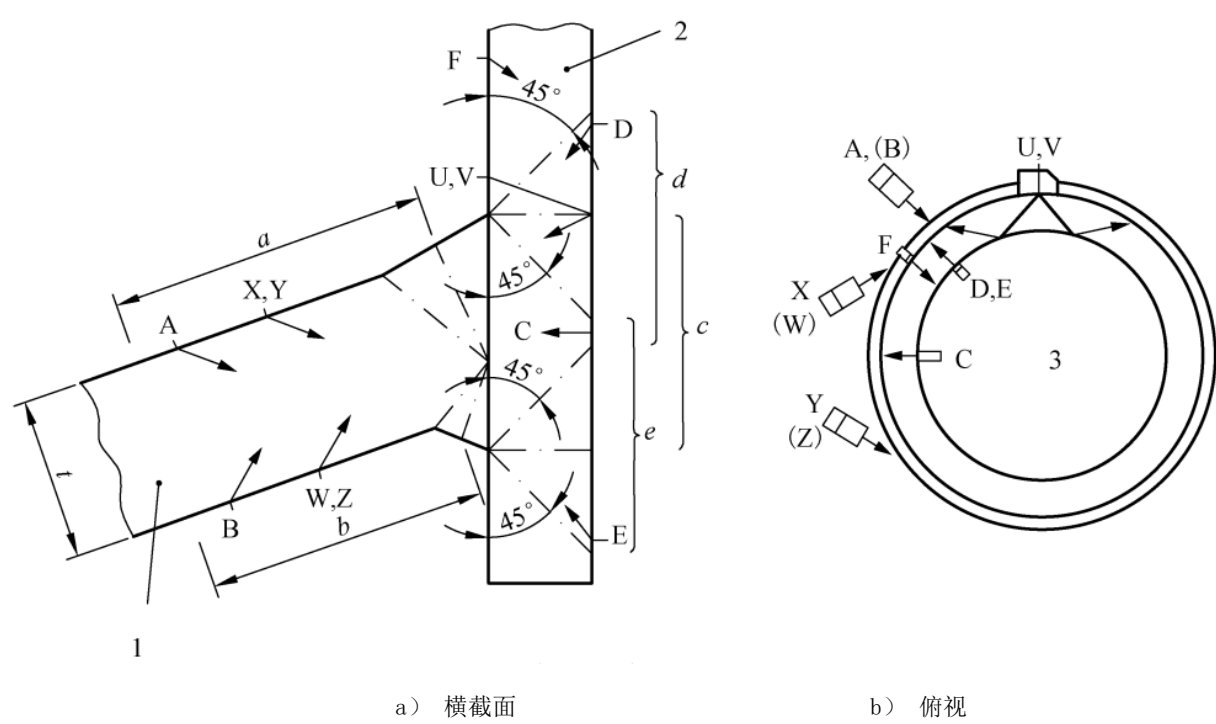
检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测				横向缺陷检测			
		斜探头检测			直探头检测	斜探头横向扫查			
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度 ¹	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面	探头扫查区宽度

A	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 或	$1.25P$	—	—	—	—	—
			(D 和 E)	$d+e$					
	$15 < t \leq 40$	1	(A 或 B) 或	$1.25P$	C	c	—	—	—
			(D 和 E)	$d+e$					
B	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 或	$1.25P$	C	c	1	F 和 G	c
			(D 和 E)	$d+e$					
	$15 < t \leq 40$	1	(A 和 B) 和	$1.25P$	C	c	1	F 和 G	c
			(D 和 E)	$d+e$					
	$40 < t \leq 200$	2	(A 和 B) 和	$0.75P$	C	c	1	F 和 G	c
		1	(D 和 E)	$d+e$					
C	$6 \leq t \leq 15$	1	A 和 B	$1.25P$	C	c	2	F 和 G	c
	$15 < t \leq 100$	2	(A 和 B) 和	$1.25P$	C	c	2	(F 和 G) 和 (X 和 Y) 和 (W 和 Z)	$c+f+g$
		1	(D 和 E)	$d+e$					
	$t > 100$	3	(A 和 B) 和	$0.75P$	C	c	2	(F 和 G) 和 (X 和 Y) 和 (W 和 Z)	$c+f+g$
		1	(D 和 E)	$d+e$					

注 1：P 为检测面跨距。

E.3 插入式接管角接接头

插入式接管角接接头超声检测的具体要求应符合图 E.3 和表 E.3 的规定。



注 1：A、B、C、D、E、F、U、V、W、X、Y、Z——探头位置；
注 2：a、b、c、d、e——探头扫查区宽度；
注 3：t——工件厚度，1——筒体或封头，2——接管。

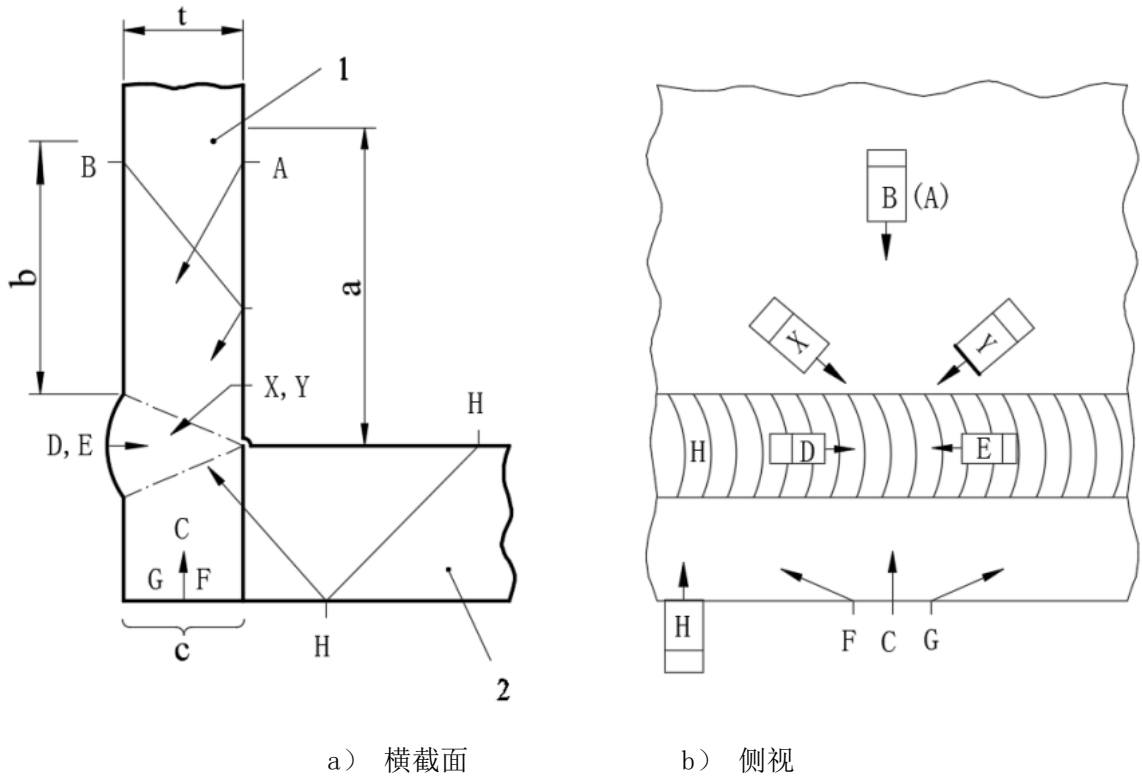
图 E.3 插入式接管角接接头

表 E.3 插入式接管角接头超声检测的具体要求^{1,2,3}

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测					横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度 ⁴	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	A 或 B	1.25P	C	c	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	(A 或 B) 和 (F 或 D 或 E)	1.25P d 或 e	C	c	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 或 (D 和 E)	1.25P d+e	C	c	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	$15 < t \leq 40$	1	(A 或 B) 和 (D 和 E)	1.25P d+e	C	c	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
	$40 < t \leq 100$	2	(A 和 B) 和	1.25P	C	c	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
		1	(D 和 E)	d+e				
	$100 < t \leq 200$	2	(A 和 B) 和	0.75P	C	c	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
		1	(D 和 E)	d+e				
C	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 或 B) 和 (D 和 E)	1.25P d+e	C	c	1	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
	$15 < t \leq 40$	2	(A 或 B) 和 (D 和 E)	1.25P d+e	C	c	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
	$40 < t \leq 100$	2	(A 和 B) 和 (D 和 E)	1.25P d+e	C	c	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
	$t > 100$	2	(A 和 B) 和 (D 和 E)	0.75P d+e	C	c	2	(X 和 Y) 和 (W 和 Z)
注 1: 本表适用于接管外径大于等于 250mm 且接管内径大于等于 200mm 的角接接头检测。 注 2: 对于接管外径大于等于 250mm 且接管内径小于 200mm 的角接接头检测, 应尽可能在位置 C、D、E 进行检测或尽可能在位置 C 进行检测。 注 3: 本表适用于筒体 (或封头) 检测面曲率半径大于等于 250mm 且内外径比大于等于 60%。 注 4: P 为检测面跨距。								

E.4 L 型焊接接头

L 型焊接接头超声检测的具体要求应符合图 E.4 和表 E.4 的规定。



- 注 1：A、B、C、D、E、F、G、H、X、Y——探头位置；
- 注 2： a 、 b 、 c ——探头扫查区宽度；
- 注 3： t ——工件厚度，1——接管或腹板，2——壳体或封头或翼板；
- 注 4：在位置 H 检测时，P 值计算时按该位置工件的厚度替代 t 。

图 E.4 L 型焊接接头

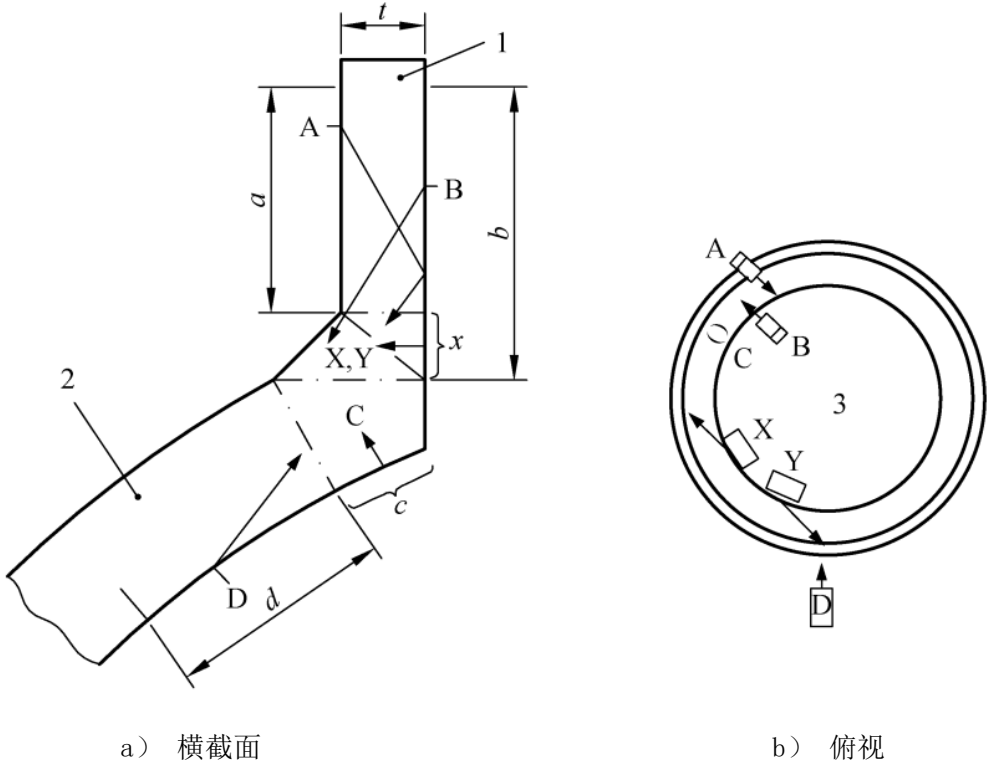
表 E.4 L 型焊接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测					横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测		斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度 ¹	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	A 或 B 或 H	1.25P	C	c	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	A 或 B 或 H	1.25P	C	c	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	1	A 或 B 或 H	1.25P	C	c	1	(D 和 E) 或 (F 和 G) 或 (X 和 Y)
	$15 < t \leq 40$	2	(A 或 B) 和 H	1.25P	C	c	2	(D 和 E) 或 (F

								和 G) 或 (X 和 Y)
	$40 < t \leq 100$	2	(H 或 A) 和 B	1.25P	C	c	2	D 和 E
	$100 < t \leq 200$	2	(H 或 A) 和 B	0.75P	C	c	2	D 和 E
C	$6 \leq t \leq 15$	1	(H 或 A) 和 B	1.25P	C	c	1	D 和 E
	$15 < t \leq 40$	2	(H 或 A) 和 B	1.25P	C	c	1	D 和 E
	$40 < t \leq 100$	3	(H 或 A) 和 B	1.25P	C	c	2	D 和 E
	$t > 100$	3	(H 或 A) 和 B	0.75P	C	c	2	D 和 E
注 1: P 为检测面跨距。								

E.5 安放式接管与筒体（或封头）角接头

安放式接管与筒体（或封头）角接头超声检测的具体要求应符合图 E.5 和表 E.5 的规定。



- 注 1: A、B、C、D、X、Y——探头位置；
- 注 2: a、b、c、d、x——探头扫查区宽度；
- 注 3: t——工件厚度，1——接管，2——筒体或封头。

图 E.5 安放式接管与筒体（或封头）角接头

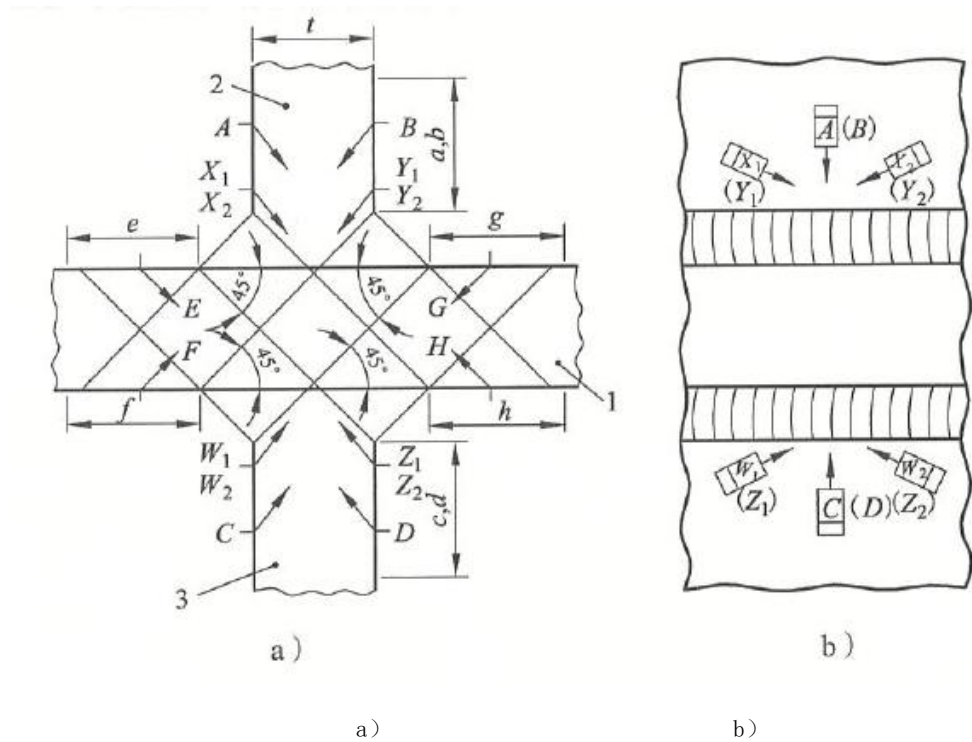
表 E.5 安放式接管与筒体（或封头）角接头超声检测的具体要求^{1,2}

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测		横向缺陷检测
		斜探头检测	直探头检测	斜探头横向扫查

		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面 (侧) ³	探头扫查区宽度 ⁴	探头位置	探头扫查区宽度	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	A 或 B	1.25P 0.5P	—	—	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	A 或 B	1.25P 0.5P	C	c	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	2	A 或 B	1.25P 0.5P	—	—	1	X 和 Y
	$15 < t \leq 40$	2	A 或 B	1.25P 0.5P	C	c	1	X 和 Y
	$40 < t \leq 100$	2	A 和 (B 或 D)	1.25P 0.5P	C	c	2	X 和 Y
	$100 < t \leq 200$	2	A 和 (B 或 D)	0.75P 0.5P	C	c	2	X 和 Y
C	$6 \leq t \leq 15$	3	A 或 B	1.25P 0.5P	C	c	1	X 和 Y
	$15 < t \leq 40$	3	A 和 (B 或 D)	1.25P 0.5P	C	c	1	X 和 Y
	$40 < t \leq 100$	3	A 和 B 和 D	1.25P 0.5P	C	c	2	X 和 Y
	$t > 100$	3	A 和 B 和 D	0.75P 0.5P	C	c	2	X 和 Y
注 1: 本表适用于接管外径大于等于 250mm 的角接接头检测。 注 2: 本表适用于筒体 (或封头) 检测面曲率半径大于或等于 250mm。 注 3: 位置 D 无法实施时, 也可在筒体 (或封头) 外壁进行检测。 注 4: P 为检测面跨距。								

E.6 十字焊接接头

十字焊接接头超声检测的具体要求应符合图 E.6 和表 E.6 的规定。



注 1: A、B、C、D、E、F、G、H、W1、W2、X1、X2、Y1、Y2——探头位置;

注 2: a、b、c、d、e、f、g、h——探头扫查区宽度;

注 3: t ——工件厚度; 1、2、3——部件。

图 E.6 十字焊接接头

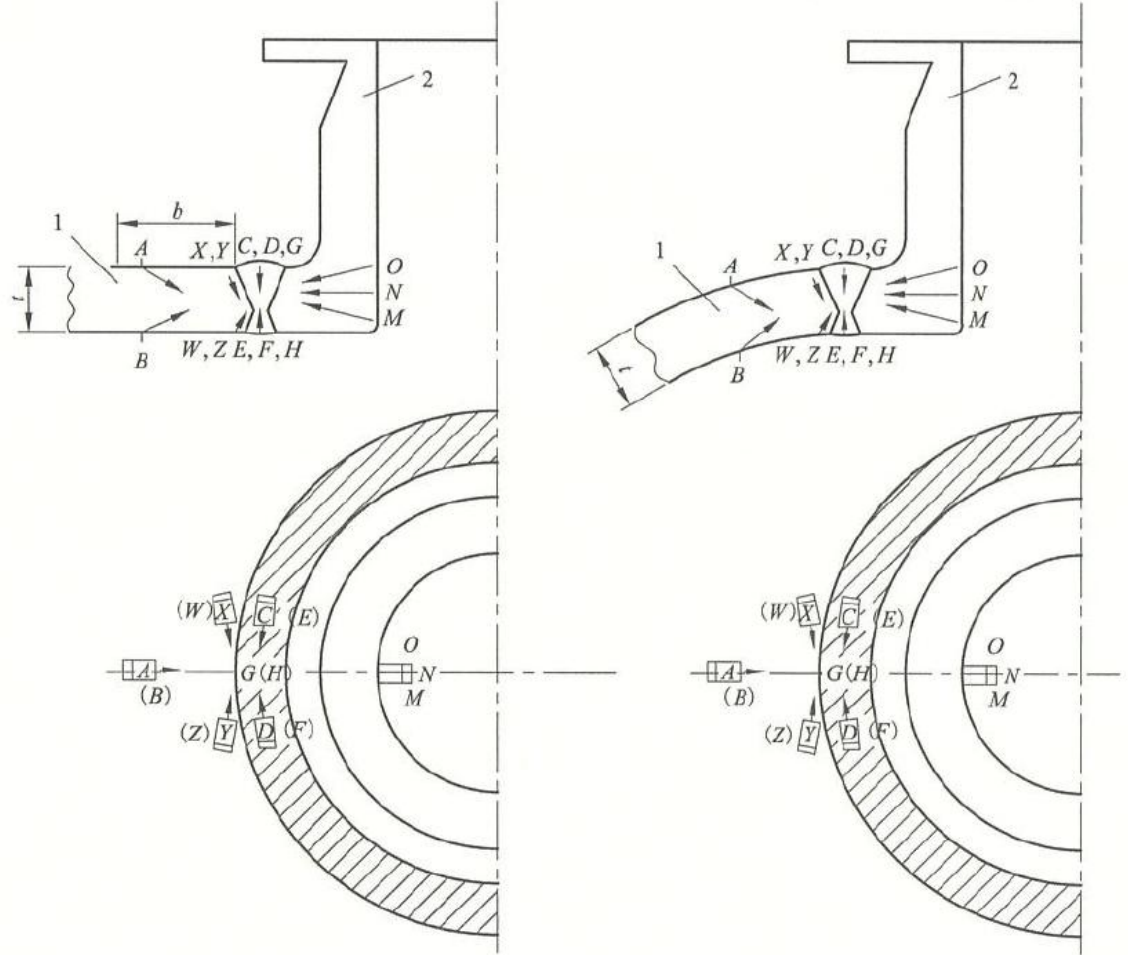
表 E.6 十字焊接接头超声检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测			横向缺陷检测	
		斜探头检测			斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K) 探头数量	检测面 (侧)	探头扫查区宽度 ¹	不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 15$	1	(A 和 C) 或 (B 和 D)	1.25P	—	—
	$15 < t \leq 40$	1	A 和 B 和 C 和 D	0.75P	—	—
B	$6 \leq t \leq 15$	1	A 和 B 和 C 和 D	1.25P	1	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)
	$15 < t \leq 40$	2	A 和 B 和 C 和 D	0.75P	1	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)
	$40 < t \leq 200$	2 1	(A 和 B 和 C 和 D) 和 (E 和 F 和 G 和 H)	0.75P $e+f+g+h$	2	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)
C	$6 \leq t \leq 15$	1	A 和 B 和 C 和 D	1.25P	1	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)
	$15 < t \leq 40$	2	A 和 B 和 C 和 D 和 (E 和 F 和 G 和 H)	0.75P $e+f+g+h$	1	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)
	$40 < t \leq 100$	3 1	(A 和 B 和 C 和 D) 和 (E 和 F 和 G 和 H)	0.75P $e+f+g+h$	2	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)
	$t > 100$	3 1	(A 和 B 和 C 和 D) 和 (E 和 F 和 G 和 H)	0.75P $e+f+g+h$	2	(X_1 和 Y_1 和 W_1 和 Z_1) 和 (X_2 和 Y_2 和 W_2 和 Z_2)

注 1: P 为检测面跨距。

E.7 接管、凸缘等与筒体 (或封头) 嵌入式对接接头

接管、凸缘等与筒体 (或封头) 嵌入式对接接头超声检测的具体要求应符合图 E.7 和表 E.7 的规定。



注 1: A、B、C、D、E、F、G、H、W、X、Y、Z、M、N、O——探头位置；
注 2: b ——探头扫查区宽度；
注 3: 1——筒体或封头； 2——接管； t ——工件厚度。

图 E.7 嵌入式接管与筒体(封头)对接接头

表 E.7 嵌入式接管与筒体(封头)对接接头超声检测的具体要求^{1,2,3}

检测技术等级	工件厚度 t/mm	纵向缺陷检测				横向缺陷检测	
		斜探头检测			直探头检测	斜探头横向扫查	
		不同折射角 (K 值) 探头数量	检测面	探头扫查区宽度 ⁴	探头位置	不同折射角(K 值) 探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 40$	1	A 或 B	$1.25P$	—	—	—
B	$6 \leq t \leq 40$	1 或	A 和 B	$1.25P$	—	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)
		2	A 或 B	$1.25P$	—		
	$40 < t \leq 100$	2	A 和 B	$1.25P$	(G 或 H) 和	1	(X 和 Y) 或 (W 和 Z)

					(M 和 N 和 O)		
	$100 < t \leq 200$	2	A 和 B	$0.75P$	(G 或 H) 和 (M 和 N 和 O)	2	(C 和 D) 或 (E 和 F)
C	$6 \leq t \leq 15$	1 或	A 和 B	$1.25P$	(G 或 H) 和 (M 和 N 和 O)	1	(C 和 D) 或 (E 和 F)
		2	A 或 B	$1.25P$	(G 或 H) 和 (M 和 N 和 O)		
	$15 < t \leq 40$	2	A 和 B	$1.25P$	(G 或 H) 和 (M 和 N 和 O)	2	(C 和 D) 或 (E 和 F)
	$40 < t \leq 100$	3	A 和 B	$1.25P$	(G 或 H) 和 (M 和 N 和 O)	2	(C 和 D) 或 (E 和 F)
	$t > 100$	3	A 和 B	$0.75P$	(G 或 H) 和 (M 和 N 和 O)	2	(C 和 D) 或 (E 和 F)
注 1：本表适用于筒体（或封头）检测面曲率半径大于等于 250mm 且内外径比大于等于 60%。 注 2：B 面检测时，如所用一种或几种探头扫查区宽度足够，则应优先选择在 B 面双侧使用该种探头进行检测。 注 3：当接管内径大于等于 200mm 时，或在接管内壁能用直探头和斜探头检测时，则应增加直探头和斜探头检测，即图中位置 M、N 和 O。 注 4：P 为检测面跨距。							

热壁加氢反应器焊缝横向再热裂纹超声检测

F.1 适用范围

本附录适用于热壁加氢反应器产品焊缝根据 API RP 934 附录 A 要求进行的横向裂纹超声波检测及验收。

F.2 设备和器材

F.2.1 检验设备满足 2.1.2 条要求。

F.2.2 探头满足 2.1.3 条要求。

F.2.3 仪器和探头的组合性能满足 2.1.4 条要求。

F.2.4 耦合剂采用机油或化学浆糊或其他。

F.2.5 标准试块采用 CSK-IA 试块。

F.2.6 对比试块

F.2.6.1 当被检焊缝厚度为 $6\text{mm} \leq t \leq 200\text{mm}$ 时, 采用 CSK-II A 试块或反射体为 $\phi 3\text{mm}$ 长横孔的其他试块。

F.2.6.2 当被检焊缝厚度为 $200\text{mm} < t \leq 500\text{mm}$ 时, 采用大于等于被检工件厚度的试块, 试块反射体为 $\phi 3\text{mm}$ 长横孔。

F.3 检验区域

检验区域包括整个焊接接头本身, 再加上熔合线两侧各 10mm。

F.4 检验时机

检验应在中间热处理后、最终消除应力热处理后分别进行。

F.5 表面准备

F.5.1 扫查表面应无油污、无疏松氧化皮、无干耦合介质、以及无所有其他可能影响超声波在被检测件中传播、或有碍探头移动、或引起判断误差（声波转换造成的干扰波）的表面杂质和不平整。

F.5.2 扫查表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu\text{m}$ 。

F.5.3 采用一次反射法检测时, 探头移动区应不小于 2.5TK; 采用直射法检验时, 探头移动区应大于或等于 1.5TK, 其中 T 为母材厚度, K 为探头折射角的正切值。去除余高的焊缝, 应将余高打磨到与邻近母材平齐。如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等也应进行适当的修磨, 并作圆滑过渡以免影响检验结果的评定。

F.6 检验实施要求

F.6.1 系统的校准和复核满足 2.2.5 条要求。

F.6.2 灵敏度设置及校验

F.6.2.1 应根据焊缝实际厚度选择使用 70° 、 60° 、 45° 单斜探头进行检测, 70° 单斜

探头覆盖检测 10mm~100mm, 60° 单斜探头能够覆盖 50mm~150mm, 45° 可覆盖更深区域。

F.6.2.2 灵敏度调节与探头“0”点校正同时进行,“抑制”置于“关”,选择合适的增益和能量使信噪比最优化。

F.6.2.3 根据被检焊缝厚度选择相应的对比试块进行校验,焊缝厚度 200mm 及以下选择 CSK-IIA 试块,200mm 以上选择其他试块。选择合适的探头位置,使能得到响应最强的反射体最大回波,并且将波幅调到屏幕高度的 80%。然后,依次测出其它反射体的最高波,将各点连接。要求反射体回波在屏高的 20%至 80%的范围内。如侧横孔回波高度超出范围,则应当制作分段线。

F.6.2.4 以 DAC 曲线+14dB 作为检测的基准灵敏度及扫查灵敏度。

F.6.3 扫查要求

F.6.3.1 扫查灵敏度为 DAC+14dB。

F.6.3.2 扫查方向为沿焊缝做前后两个方向的平行扫查。

F.6.3.3 扫查速度应不超过 150mm/s,探头连续两次扫查线之间的间隔不大于探头宽度或直径的 15%,扫查应覆盖整个焊缝宽度;

F.6.3.4 校准试块与工件之间的温度差应在 14℃之内。

F.7 验收标准

F.7.1 单点反射体

利用人工脉冲反射回波检测单点反射体。

F.7.2 密集型

若在同一厚度平面有三个显示(单点反射体)并且相距 50mm 或更小,则可以确定为再热裂纹,除非超声回波检测证明它们不平行且不是横向的。

F.7.3 直线型显示

在底面回波附近且高于 50mm 或大于 50mm 的显示可能是由内壁的密集型再热裂纹缺陷引起的。应该进一步在离缺陷较近的一侧或采用其它 UT 方法进行检验。

F.7.4 人工脉冲反射横波检测横向再热裂纹的操作及评定见表 F.7.4-1。

表 F.7.4-1 人工脉冲反射横波检测确定横向再热裂纹

	参考推荐	注释
焊接接头表面状态	内外表面光滑	
探头频率	2~4MHz	近表面检测传感器频率 4MHz, 深度超过 100mm 为 2MHz
探头角度	70° (主检测角), 60° 以及可能使用 45°	多探头用于覆盖近场和远场区域: 70° 覆盖 6mm~100mm; 60° 覆盖 50mm~150mm; 45° 覆盖更深的区域;
校准参考	Φ3mm 横孔 (DAC) 或 F.2.6 试块	不同深度的孔及电火花槽
扫查灵敏度	DAC+14dB	
基准灵敏度	DAC+14dB	

探头排列/扫查位置	沿焊缝平滑表面，探头排列平行于焊缝	扫查横向缺陷或 A 扫描
扫查方向	沿焊缝两个方向	焊缝方向前后扫查
缺陷特征	根据 EN1713 (除无最小波幅和动态回波评估外)	
缺陷评级	1) 10%~20%DAC，研究和定性； 2) 大于 20%DAC，记录；	
验收要求	除非被评为其他类型缺陷和符合 ASME 标准要求外，都要拒收。	

附录 G

典型透照方式示意图

G.1 对接焊缝典型透照方式

图 G.1~G.8 给出了常用的对接焊缝典型透照方式示意图, 可供透照布置时参考。图中 d 表示射线源有效焦点尺寸, F 表示焦距, b 表示工件至胶片距离, f 表示射线源至工件距离, T 表示公称厚度, D_o 表示管子外径。

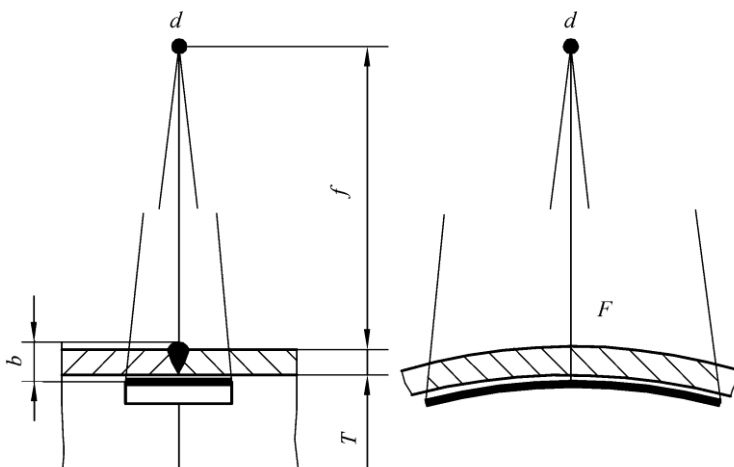


图 G.1 纵、环向焊接接头源在外单壁透照方式

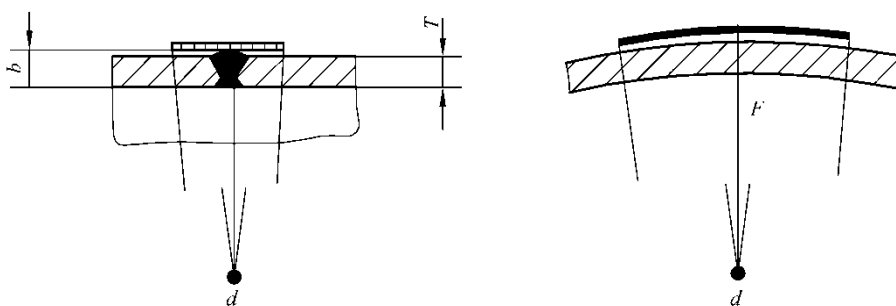


图 G.2 纵、环向焊接接头源在内单壁透照方式

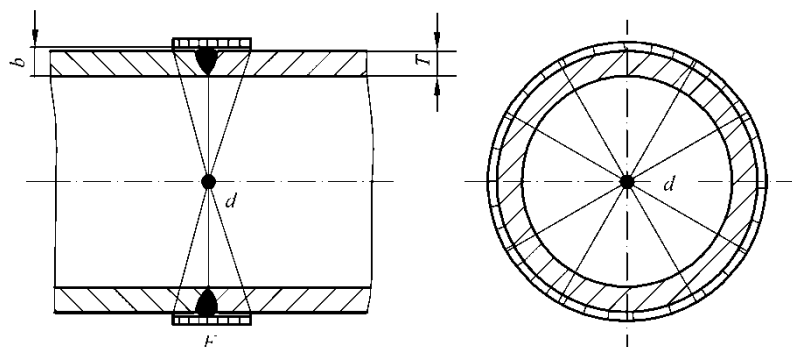


图 G.3 环向焊接接头源在中心周向透照方式

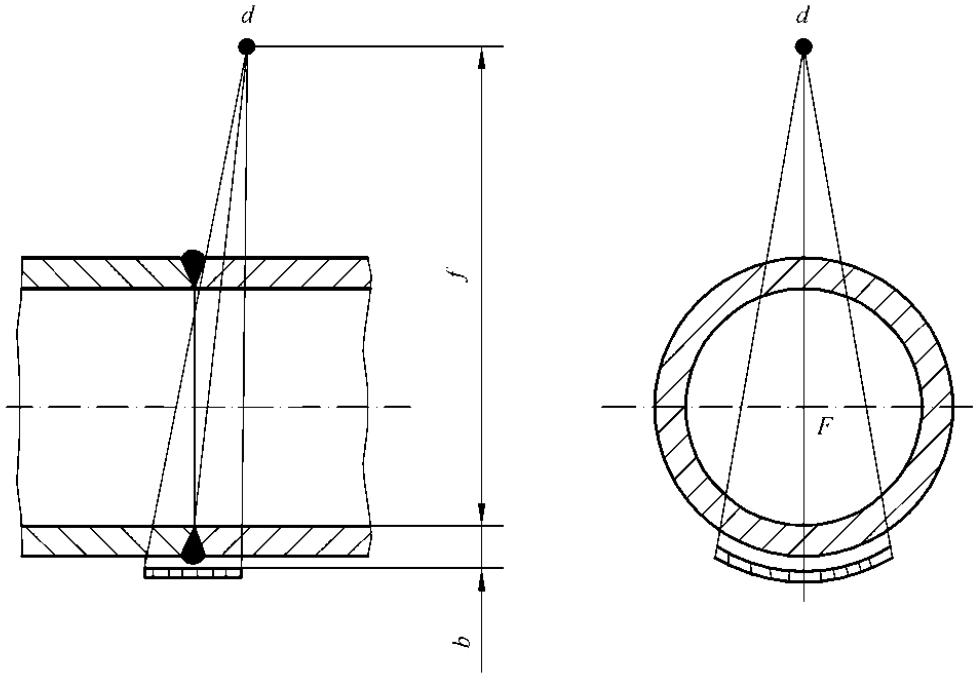


图 G.4 环向焊接接头源在外双壁单影透照方式 (1)

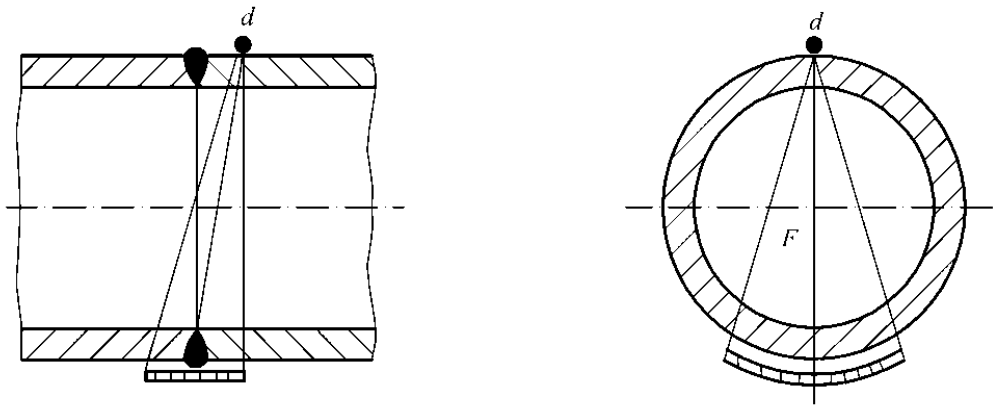


图 G.5 环向焊接接头源在外双壁单影透照方式 (2)

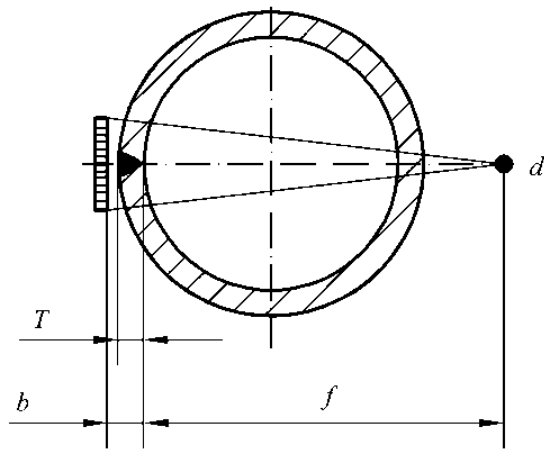


图 G.6 纵向焊接接头源在外双壁单影透照方式

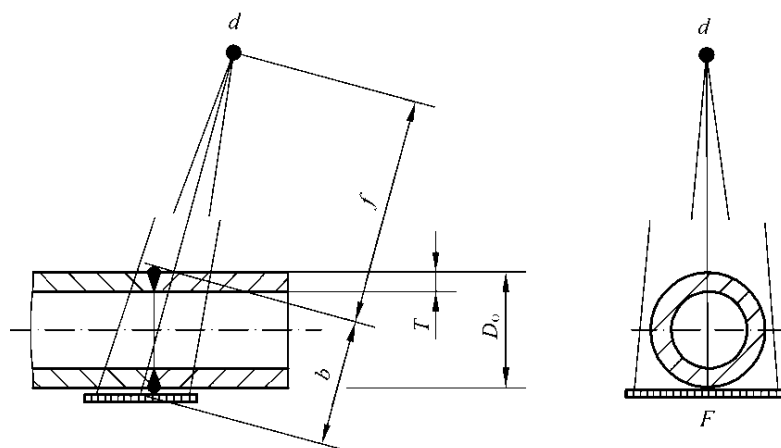


图 G.7 小径管环向焊接接头倾斜透照方式

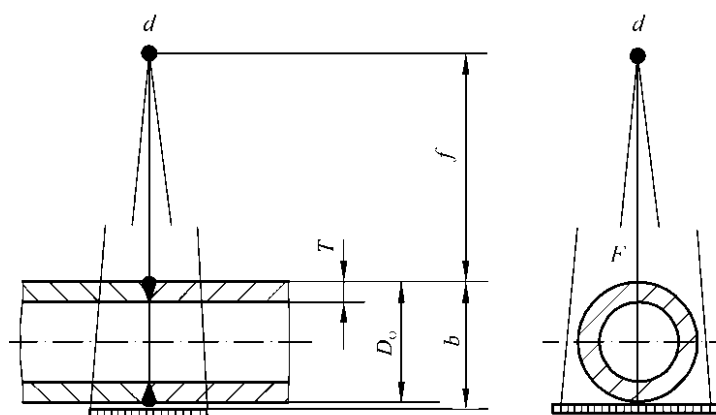


图 G.8 小径管环向焊接接头垂直透照方式

G.2 管座角焊缝典型透照方式

图 G.9~G.14 给出了常用的管座角焊缝典型透照方式示意图。

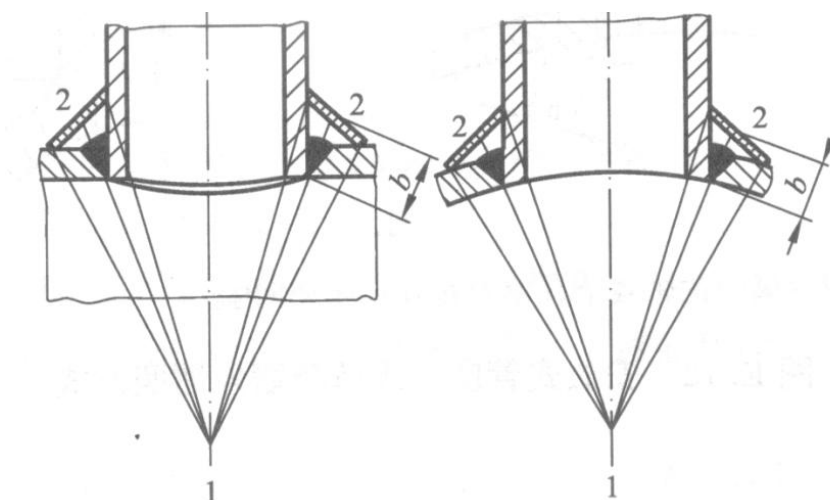


图 G.9 插入式接管角焊缝单壁中心内透照方式

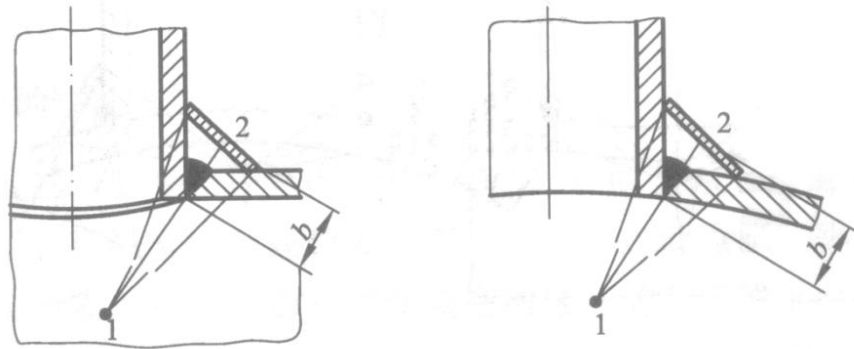
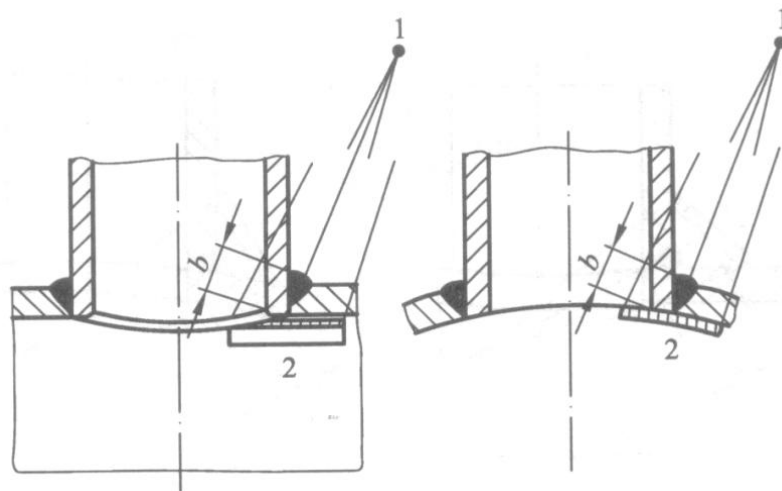
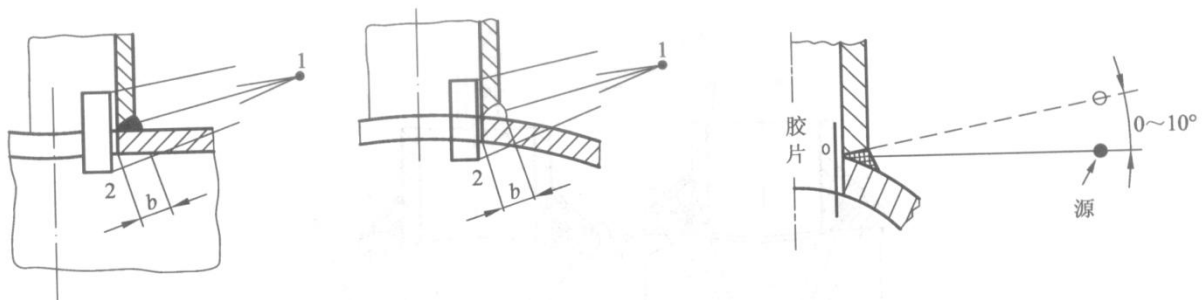


图 G.10 插入式接管角焊缝单壁偏心内透照方式



注：射线源放在与支管母线呈 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 角的轴线上。

图 G.11 插入式接管角焊缝单壁外透照方式



注：射线源应放在管外侧缝坡口的轴线上，偏差在 $0 \sim +10^{\circ}$ 以内。

图 G.12 安式接管角焊缝单壁外透照方式

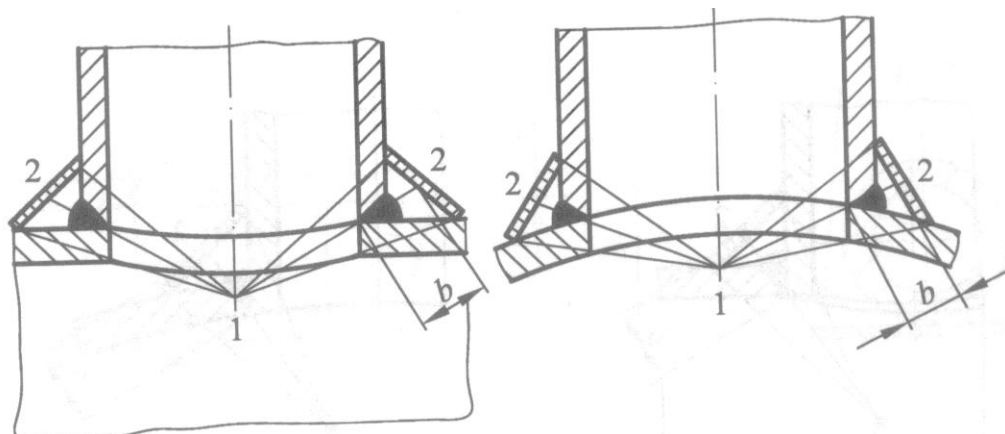


图 G.13 安式接管角焊缝单壁中心透照方式

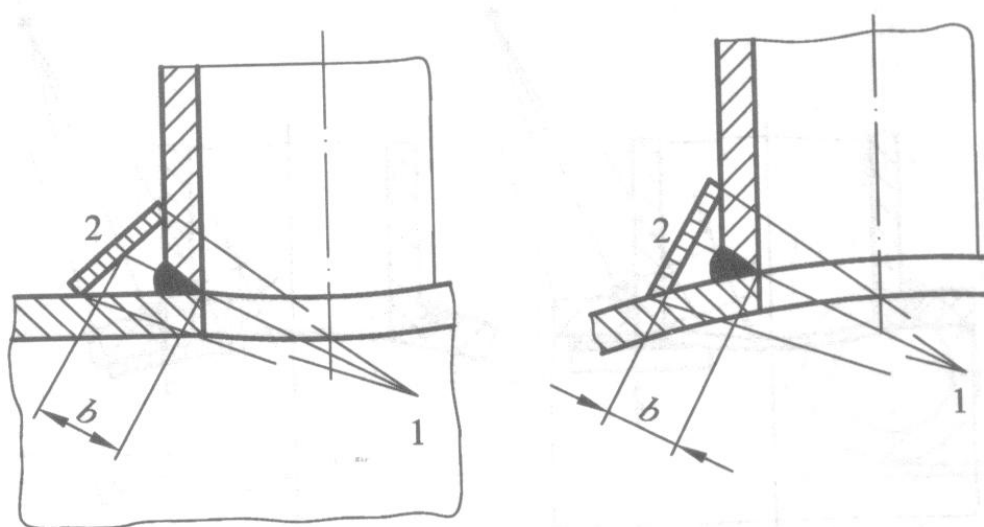


图 G.14 安式接管角焊缝单壁偏心透照方式

环向对接焊缝透照次数确定方法

H.1 透照次数曲线图

对外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的环向焊接接头进行 100% 检测，所需的最少透照次数与透照方式和透照厚度比有关，这一数值可从图 H.1 ~ H.6 中直接查出：

a) 图 H.1 为源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数曲线图；

b) 图 H.2 为用其他方式（偏心内透法和双壁单影法）透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$

的透照次数曲线图；

c) 图 H.3 为源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数曲线图；

d) 图 H.4 为用其他方式（偏心内透法和双壁单影法）透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$

的透照次数曲线图。

e) 图 H.5 为源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数曲线图；

f) 图 H.6 为用其他方式（偏心内透法和双壁单影法）透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$

的透照次数曲线图。

H.2 由图确定透照次数的方法

从图中确定透照次数的步骤是：计算出 T/D_o 、 D_o/f ，在横坐标上找到 T/D_o 值对应的点，过此点画一垂直于横坐标的直线；在纵坐标上找到 D_o/f 对应的点，过此点画一垂直于纵坐标的直线；从两直线交点所在的区域确定所需的透照次数；当交点在两区域的分界线上时，应取较大数值作为所需的最少透照次数。

H.3 射线源在内偏心透照（ $F < R$ ）最少透照次数 N 计算公式

采用射线源在内偏心透照（ $F < D_o/2$ ）时，透照次数参照下述公式进行计算。

$$N = 180^\circ / \alpha$$

$$\alpha = \eta - \theta$$

$$\eta = \sin^{-1} \left(\frac{D_i}{D_i - 2f} \sin \theta \right)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{1 - (K^2 - 1)T/D_i}{K} \right]$$

当 $D \gg T$ 时，可简略计算 $\theta = \cos^{-1} K^{-1}$

式中： D_i ——内径；

α ——最大一次透照长度时对应的半圆心角；

θ --影像最大失真角； η --有效半辐射角；

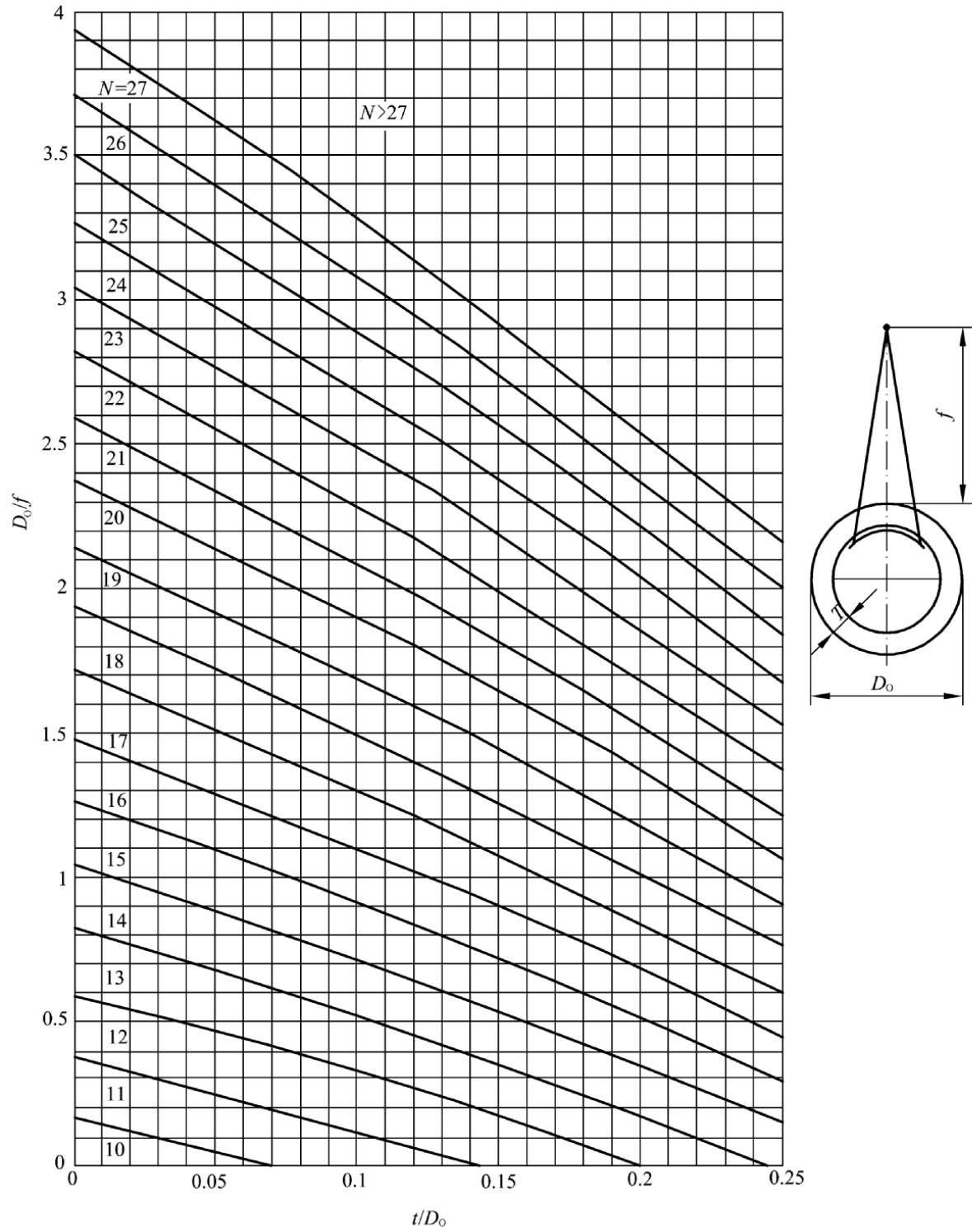


图 H. 1 源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 时的透照次数图

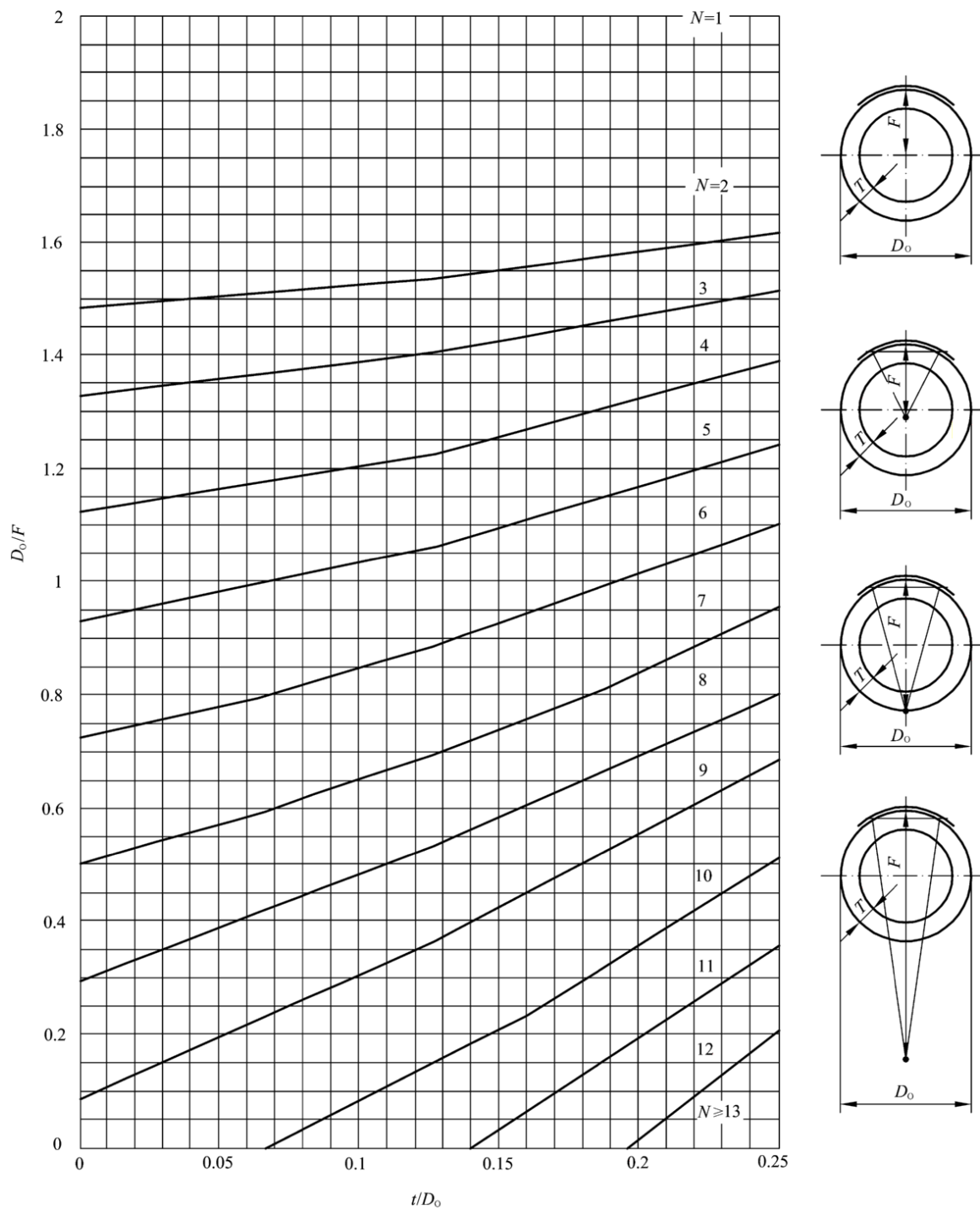


图 H. 2 其他方式透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 时的透照次数

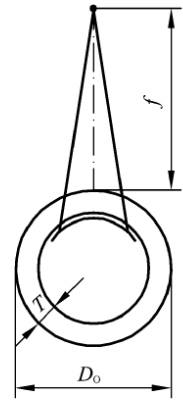
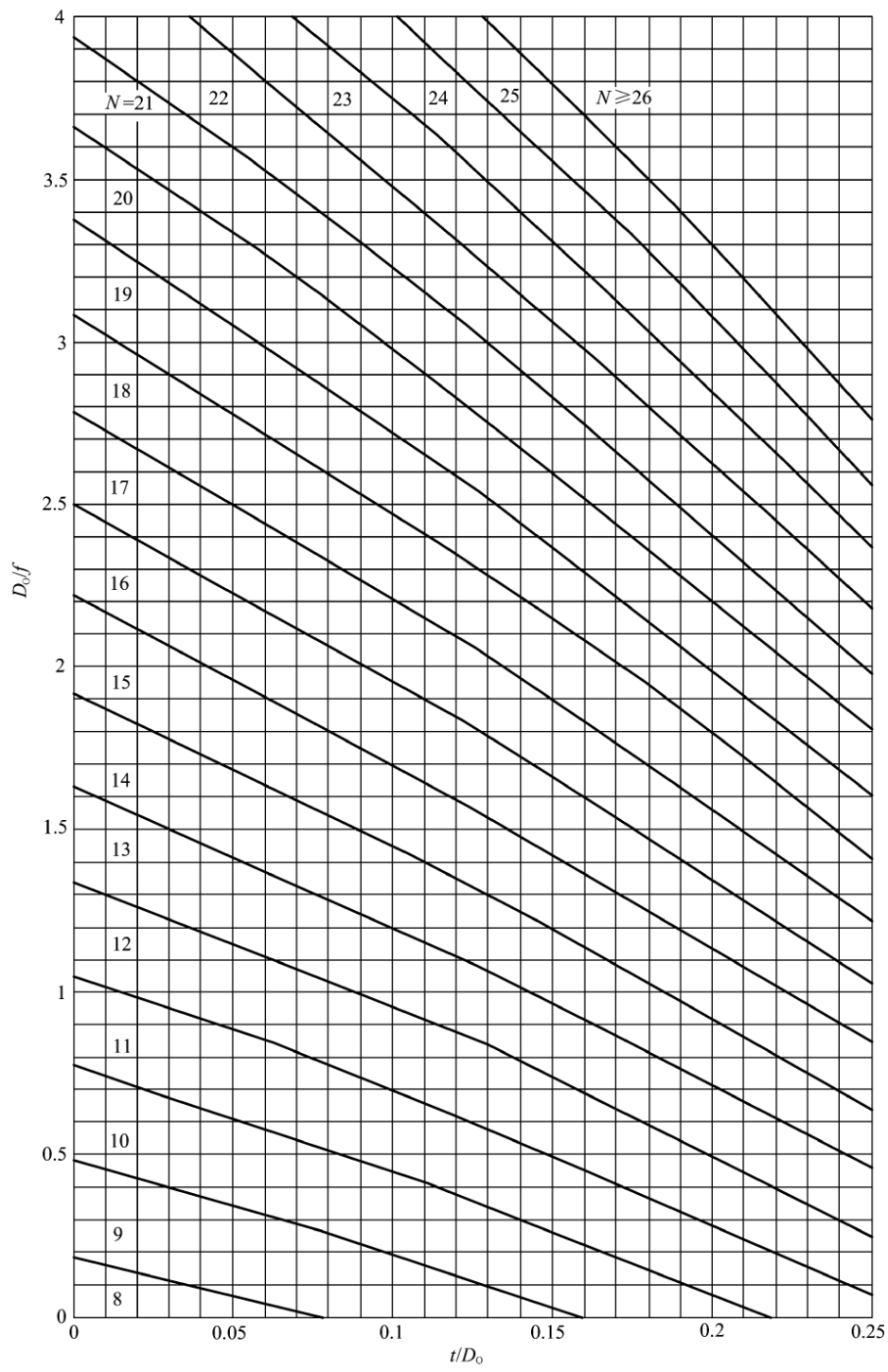


图 H. 3 源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 时的透照次数

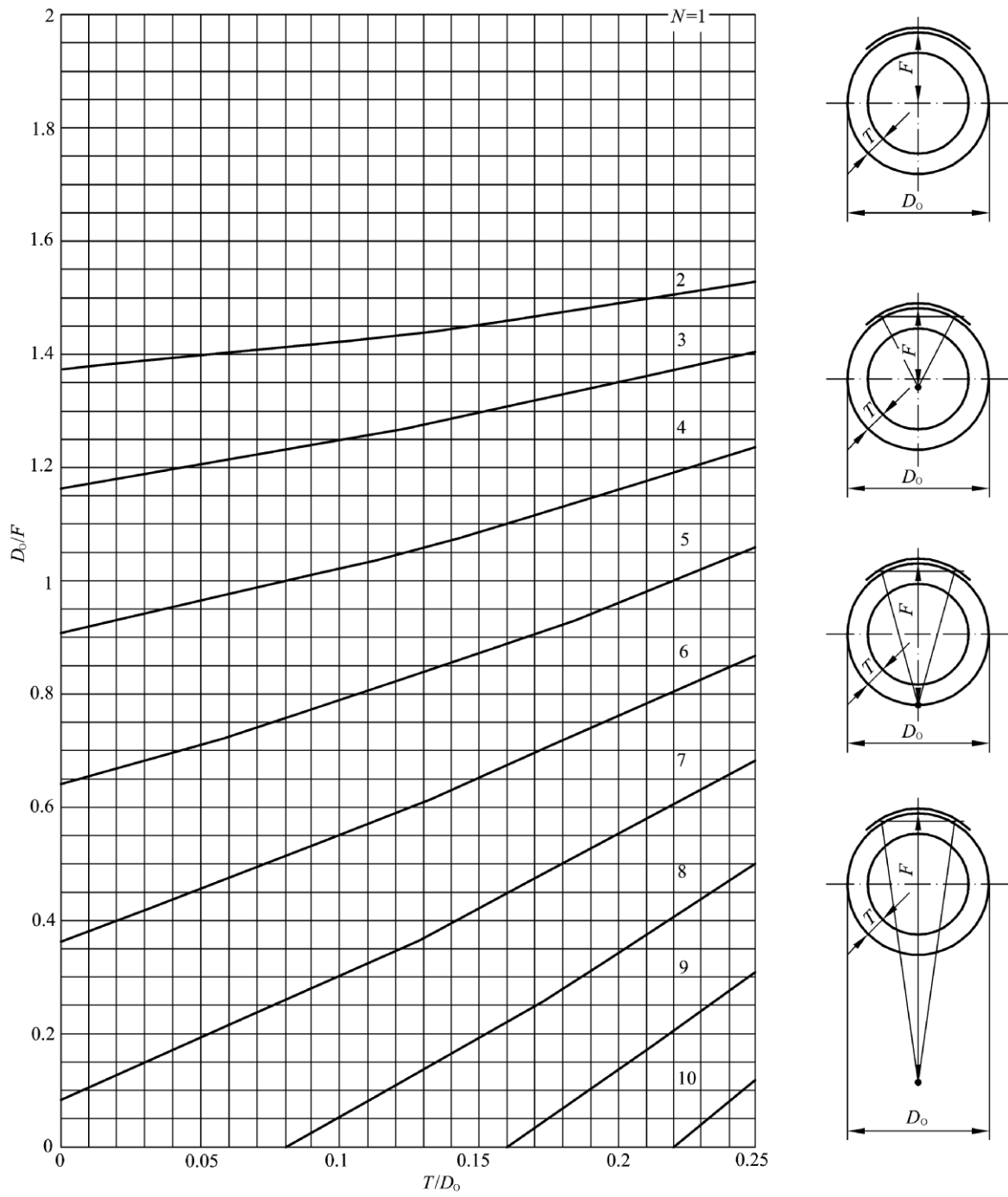


图 H.4 其他方式透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 时的透照次数

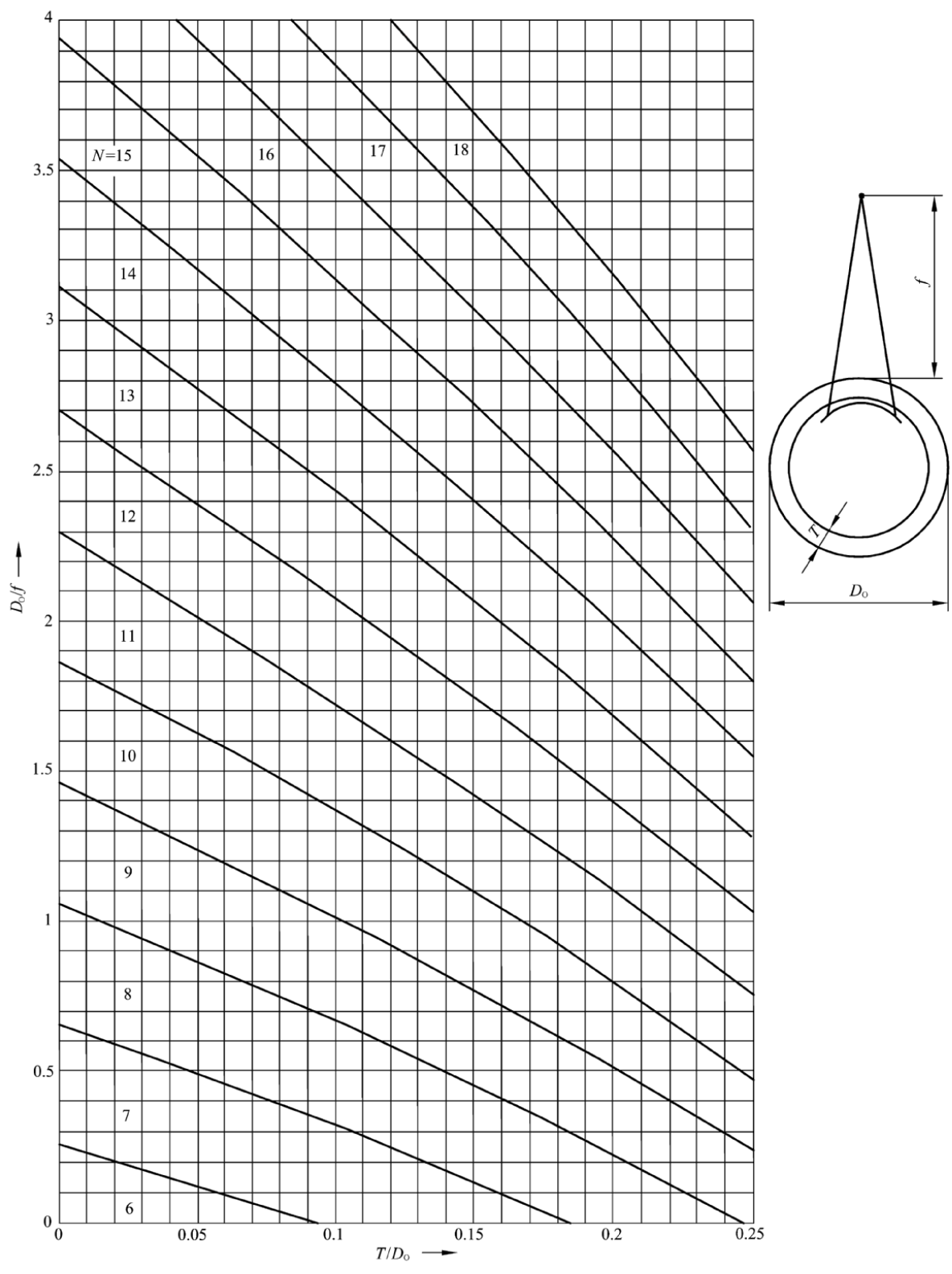


图 H. 5 源在外单壁透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 时的透照次数

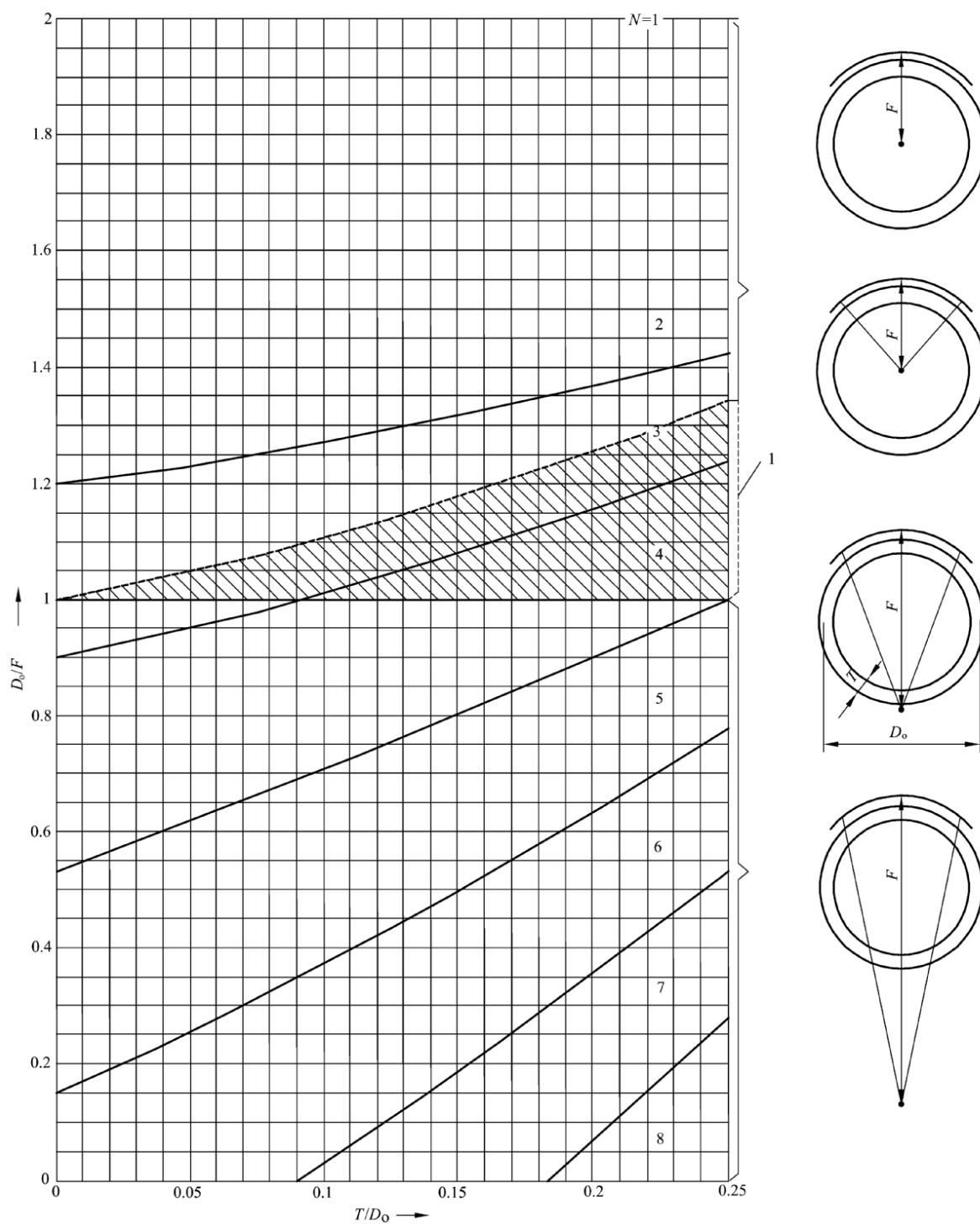


图 H.6 其他方式透照环向焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 时的透照次数

团体标准

热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）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 01 月）

热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）技术要求

一、任务来源

《热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）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 标准为蓝本，适用于热壁加氢反应器产品。本团体标准共分为六个部分，分别为通用要求、超声检测、射线检测、渗透检测、磁粉检测和附录。

本标准立项名称为《热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）》，为与系列标准保持一致，经起草组讨论，名称修改为《热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）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、浙江石油化工有限公司、中石化广州工程有限公司、中石油华东设计院有限公司、中国石化工程建设有限公司、大连理工大学、吉林市特种设备检验中心、大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、天津市特种设备监督检验技术研究院、齐齐哈尔市检验检测中心、江苏省特种设备安全监督检验研究院、北京市朝阳区特种设备检测所、合肥通用机械研究院、瀚洋重工装备制造（天津）有限公司、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司、南阳汉冶特钢有限公司参与，组成无损检测标准编写组。

本部分参编人员有：孙远霞、潘强华、辛华、周凤革、张国信、谢育辉、尹青峰、金士杰、王德林、于德凯、刘恽欢、李辉、吴胜平、程红伟、陈贤洮、柴智刚、丁武仁、李莹莹、张弛、胡庆斌、李亮、包国平、孙洪敏、白艺博等。

三、 编制过程

2023 年 7-10 月：收集压力容器无损检测相关标准、总结热壁加氢反应器无损检测工程经验、与设计院沟通热壁加氢反应器无损检测特殊要求；

2023 年 11 月-12 月：完成并提交标准立项申请书；

2024 年 01 月-12 月：编制热壁加氢反应器的无损检测（脉冲回波法超声、胶片射线、磁粉、渗透）团体标准；

2025 年 01 月-06 月：根据 NB/T47013.3-2023 升版标准对团体标准进行修订；

2025 年 07 月-11 月：完成标准草案初稿编制工作、无损检测标准编写组组内函审；

2025 年 12 月：根据函审意见，修改标准草案；若有需要，召开无损检测标准编写组第二次会议，根据无损检测标准编写组第二次会议意见，修改标准草案；

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

本标准遵照 NB/T47013 的整体要求，结合国内热壁加氢反应器的工程经验、检测要求、特点、验收要求，融合两者存在差异的部分，进行了详细的对比分析，同时最终确定差异内容的统一方式。对于存在较大差异的内容，充分听取各参编单位意见，讨论达成一致后最终确定统一方式。

统一标准草案编制过程中，对于术语和定义、检测人员资格、设备和器材等内容应遵照国内现行法规或标准的相关规定。

4.2 主要内容

1) “热壁加氢反应器的无损检测技术要求”主要是在 NB/T47013 标准的基础上，并融合热壁加氢反应器各设计院的技术条件的部分内容，并参考和借鉴了国内工程实践中的经验反馈进行编制。

2) 第一部分通用要求，参照了 NB/T47013.1-2015 中的结构，主要内容中，

术语和定义主要根据 NB/T47013 标准各章节规定编制，人员要求汇总了射线、超声、磁粉、渗透对人员的要求。

3) 第二部分超声检测，参照了 NB/T47013.3-2023 中的内容与结构，主要描写了钢板、锻件、堆焊层、I 类焊缝、超声测厚、螺栓的检测方法和验收准则，其中 2.2.6 条检测时机和检测部位主要参照了各设计院的技术条件中的内容；2.3.1 条对各小结针对规程的相关要素进行了统一要求；2.7.7.1 条明确了焊缝检测技术等级要求；明确了各检测对象的质量分级和验收准则；2.7 条对容易产生再热裂纹的材料规定了附加再热裂纹检测要求。

4) 第三部分射线检测，参照了 NB/T47013.2-2015 中的内容与结构，3.2.2 条焊缝技术等级明确为 AB 级；3.2.3 条检测时机和检测部位主要参照了各设计院的技术条件中的内容；3.5.6 条明确热壁加氢反应器焊接接头的射线检测按照 II 级验收。

5) 第四部分磁粉检测，参照了 NB/T47013.4-2015 中的内容与结构，主要描述了磁轭法磁粉检测的相关内容，其中 4.6 条检测时机和检测部位主要参照了各设计院的技术条件中的内容；4.10 条明确了热壁加氢反应器磁粉检测发现的线性缺陷及圆形缺陷验收的质量等级均为 I 级。

6) 第五部分渗透检测，参照了 NB/T47013.5-2015 中的内容与结构，主要描述了溶剂去除型渗透检测的相关内容，其中 5.2.3 条检测时机和检测部位主要参照了各设计院的技术条件中的内容；5.5.2 条明确了热壁加氢反应器渗透检测发现的线性缺陷及圆形缺陷验收的质量等级均为 I 级。

7) 第六部分附录，附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 主要参照了 NB/T47013.3-2023 中附录的内容与结构，附录 F 对容易产生再热裂纹的材料规定了附加再热裂纹检测要求，附录 G、附录 H 主要参照了 NB/T47013.2-2015 中附录的内容与结构。

五、与国内同类标准水平的对比分析

本标准主要参照 NB/T 47013.1-2015、NB/T 47013.2-2015、NB/T 47013.3-2023、NB/T 47013.4-2015、NB/T 47013.5-2015、API RP 934-A 进行编制，同时参考了国内外标准的应用经验，技术要求与 NB/T 47013 技术水平相当。

六、与现行法规、标准的关系

本标准是以中华人民共和国特种设备安全法为基本依据，主要体现在人员资质应满足相应法规的要求。本标准可为热壁加氢反应器在制造阶段中有关材料和焊缝类无损检测标准提供技术支撑，通常热壁加氢反应器的射线、超声、磁粉、渗透检测可直接引用本标准的检测方法和质量分级要求，也可在其标准中添加特殊的要求和更具体的规定。

另外，本标准所引用的有关无损检测设备和器材方面的标准，以及具体专用检测方法类标准，主要是以国内标准为主，这主要是考虑到今后标准的使用和推广，适应各类设备逐渐实现全部国产化的要求。

本标准主要参照 NB/T 47013.1-2015、NB/T 47013.2-2015、NB/T 47013.3-2023、NB/T 47013.4-2015、NB/T 47013.5-2015、API RP 934-A 进行编制。

七、实施标准的要求和措施的建议

本标准其给出的方法要求、技术要求等应除一般的通用性的要求外，结合了热壁加氢反应器的工程经验，已根据工件易产生的缺陷类型、设计使用要求、工作环境、工件的结构尺寸等因素综合考虑，确定了相应的检测技术参数和相关要求。

本标准规定了缺陷（显示）记录评定和质量分级的要求，验收标准亦在标准中给出。

八、参考资料清单

GB/T 150	压力容器
GB/T 4732.1~6-2024	压力容器分析设计
GB/T 11533	标准对数视力表
GB/T 12604	无损检测术语
GB/T 19802	无损检测 工业射线照相观片灯 最低要求
GB/T 23906	无损检测 磁粉检测用环形试块
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 47013.3	承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
NB/T 47013.4	承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测
NB/T 47013.5	承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测
JB/T 6063	无损检测 磁粉检测用材料
JB/T 7902	无损检测 线性像质计通用规范
JB/T 8290	无损检测仪器 磁粉探伤机
JB/T 8428	无损检测 超声试块通用规范
JB/T 9214	无损检测 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法
JB/T10061	A 型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件
JB/T10062	超声探伤用探头性能测试方法
TSG 21	固定式压力容器安全技术监察规程
TSG Z8001	特种设备无损检测人员考核规则
ISO/IEC17025	检测和校准实验室能力认可准则
API RP 934-A	高温高压氢用 2¼Cr-1Mo、2¼Cr-1Mo-¼V、3Cr-1Mo、3Cr-1Mo-¼V 钢制厚壁压力容器的材料与制造要求