



中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.1—2005

代替JB 4730—1994部分

承压设备无损检测 第1部分：通用要求

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 1: General requirements

2005-07-26 发布

2005-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言6

1 范围7

2 规范性引用文件.....7

3 术语和定义7

4 使用原则10

5 一般要求13

附录 A（资料性附录） 承压设备无损检测相关标准及文件目录15

前 言

JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005《承压设备无损检测》分为六个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测。

本部分为 JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005 的第1部分：通用要求。本部分主要参照 ASME《锅炉压力容器规范》第V卷和 JIS 标准的有关要求，并结合国内的实际情况制定。本部分与 JB 4730—1994 相比主要变化如下：

1. 扩大了标准的使用范围。
 - a) 规定了射线、超声、磁粉、渗透和涡流检测共五种常规的无损检测方法及其质量分级评定；
 - b) 适用于金属材料制承压设备无损检测；
 - c) 增加了在用承压设备无损检测的技术要求；
 - d) 增加了承压设备支承件和结构件的无损检测技术要求。
2. 增加了无损检测方法使用原则的相关规定。
 - a) 根据承压设备材质、制造方法、工作介质、使用条件和失效模式，选择合适的无损检测方法；
 - b) 射线和超声检测主要用于检测承压设备内部缺陷；
 - c) 磁粉检测主要用于检测铁磁性材料制承压设备表面和近表面缺陷；涡流检测主要用于检测导电材料制承压设备表面和近表面缺陷；
 - d) 渗透检测用于检测非多孔性金属材料制承压设备表面开口缺陷；
 - e) 在某些特定条件下允许采用声发射、X 射线实时成像等新的无损检测方法。
3. 增加了对采用新的无损检测方法和新的无损检测设备的具体规定。
 - a) 采用国外新检测方法时，这种方法及其检测范围应是国外承压设备行业所允许使用的；
 - b) 采用国内新研制的检测方法时，应经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评审，形成标准案例。
4. 增加了无损检测工艺规程的内容（通用工艺规程和工艺卡）。
 - a) 通用工艺规程应遵照或严于现行法规、标准的要求，应针对检验单位的特点和能力；
 - b) 无损检测工艺卡应根据相关法规、标准编制，承压设备及零部件的无损检测工作应按无损检测工艺卡进行。
5. 增加了对无损检测设备的定期检验要求，规定检测用仪器、设备性能应进行定期检定，检定结果应有记录可查。

本部分的附录 A 为资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

本部分主要起草人：寿比南、沈钢、袁榕、强天鹏、康纪黔、何泽云、胡军、杨国义。

承压设备无损检测

第 1 部分：通用要求

1 范围

JB/T 4730 的本部分规定了射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测五种无损检测方法的一般要求和使用原则。

本部分适用于在制和在用金属材料制承压设备的无损检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过 JB/T 4730 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 12604.1	无损检测术语	超声检测
GB/T 12604.2	无损检测术语	射线检测
GB/T 12604.3	无损检测术语	渗透检测
GB/T 12604.4	无损检测术语	声发射检测
GB/T 12604.5	无损检测术语	磁粉检测
GB/T 12604.6	无损检测术语	涡流检测
GB 17925—1999	气瓶对接焊缝	X 射线实时成像检测
GB/T 18182—2000	金属压力容器声发射检测及结果评价方法	
GB/T 19293—2003	对接焊缝 X 射线实时成像检测法	
JB/T 4730.2	承压设备无损检测	第 2 部分：射线检测
JB/T 4730.3	承压设备无损检测	第 3 部分：超声检测
JB/T 4730.4	承压设备无损检测	第 4 部分：磁粉检测
JB/T 4730.5	承压设备无损检测	第 5 部分：渗透检测
JB/T 4730.6	承压设备无损检测	第 6 部分：涡流检测
国家质量监督检验检疫总局国质锅检字 [2003] 248 号文 特种设备无损检测人员考核与监督管理规则		

3 术语和定义

GB/T 12604.1 ~ 12604.6 规定的、以及下列术语和定义适用于 JB/T 4730 的本部分。

3.1

公称厚度 T nominal thickness

受检工件名义厚度，不考虑材料制造偏差和加工减薄。

3.2

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。

3.3

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。

3.4

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

沿射线束中心测定的工件受检部位射线源与受检工件近源侧表面之间的距离。

3.5

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。

3.6

射线源尺寸 d **source size**

射线源的有效焦点尺寸。

3.7

管子直径 D_o **external diameter of the pipe**

管子的外径。

3.8

圆形缺陷 **round flaw**

长宽比不大于3的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

3.9

条形缺陷 **stripy flaw**

长宽比大于3的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

3.10

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与最小厚度之比。

3.11

小径管 **small diameter tube**

外直径 D_o 小于或等于100mm的管子。

3.12

底片评定范围 **film evaluation scope**

本部分规定底片上必须观测和评定的范围。

3.13

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。

3.14

超声标准试块 **ultrasonic calibration block**

JB/T 4730.3 规定的用于超声仪器探头系统性能校准和检测校准的试块。

3.15

超声对比试块 **ultrasonic reference block**

用于超声检测校准的试块。

3.16

密集区缺陷 **a cluster of flaws**

在荧光屏扫描线相当于 50mm 声程范围内同时有 5 个或 5 个以上的缺陷反射信号；或是在 50mm × 50mm 的检测面上发现在同一深度范围内有 5 个或 5 个以上的缺陷反射信号。其反射波幅均大于某一特定当量缺陷基准反射波幅。

3.17

由缺陷引起的底波降低量 BG/BF (dB) loss of back reflection caused by flaws BG/BF (dB)

在靠近缺陷处的无缺陷完好区域内第一次底波幅度 BG 与缺陷区域内的第一次底波幅度 BF 之比，用声压级 (dB) 值来表示。

3.18

基准灵敏度和扫查灵敏度 basic sensitivity and scanning sensitivity

基准灵敏度一般指的是记录灵敏度，它通常用于缺陷的定量和缺陷的等级评定。扫查灵敏度则主要指实际检测灵敏度。

3.19

缺陷自身高度 flaw height (thru-wall dimension)

缺陷在壁厚方向的尺寸。

3.20

聚焦探头 focusing probes

采用透镜式、反射式和曲面晶片等聚焦方法使超声波束会聚以提高检测灵敏度的超声探头。

3.21

端点衍射 tip diffraction

超声波在传播过程中，当波阵面通过缺陷时，波阵面会绕缺陷边缘弯曲，并呈圆心展衍，这种现象称之为端点衍射。

3.22

端点最大反射波 maximum tip reflected wave

当缺陷的端部回波的幅度达到最大时（也即缺陷端部回波峰值开始降落前瞬时的幅度位置），该回波称为缺陷端点最大反射波。

3.23

回波动态波型 echodynamic patterns

动态波型是探头移动距离与相应缺陷反射体回波波幅变化的包络线。

3.24

相关显示 relevant indication

磁粉检测时由缺陷（裂纹、未熔合、气孔、夹渣等）产生的漏磁场吸附磁粉形成的磁痕显示，或渗透检测时由缺陷产生的渗透剂显示，通常称之为相关显示。一般也叫做缺陷显示。

3.25

非相关显示 non-relevant indication

由磁路截面突变以及材料磁导率差异等原因产生的漏磁场吸附磁粉形成的磁痕显示，或是由于加工工艺、零件结构、外形或机械损伤等所引起的渗透剂显示，通称为非相关显示。

3.26

伪显示 false indication

不是由漏磁场吸附磁粉形成的磁痕显示，也叫假显示。

3.27

切线磁场强度 tangential magnetic field strength

平行于被检工件表面的磁场强度分量。

3.28

交叉磁轭 **crossed yoke**

在同一平面（或曲面）上，由具有一定相位差（不等于 0° 或 180° ）而且相互交叉成一定角度（不等于 0° 或 180° ）的两相正弦交变磁场相互叠加而在该平面（或曲面）上产生旋转磁场的磁粉检测设备。

3.29

环境可见光 **environment visible light**

在暗区，黑光照射下从工件表面测得的可见光照度。

3.30

背景 **background**

渗透检测时，衬托渗透剂显示的工件表面，一般是覆盖显像剂的表面，也可以是自然表面。

3.31

虚假显示 **false indication**

由于渗透剂污染等所引起的渗透剂显示。

3.32

评定 **evaluation**

对观察到的渗透相关显示进行分析，确定产生这种显示的原因及其分类过程。

3.33

涡流检测线圈 **eddy current coil**

涡流检测时，外穿过式线圈、内插式线圈和放置式线圈的统称。

3.34

放置式线圈 **probe coil**

放置式线圈是放置于被检试件表面上实施检测的线圈。可以是单线圈，也可以是双线圈；可以接成绝对式，也可接成差动式（自比差动、他比差动）；可以做成扇形、平面形和点状等形状。

3.35

磁饱和装置 **magnetic saturation system**

是指在被检工件上施加强磁场，使工件在被检测区域饱和磁化的装置。

3.36

远场涡流检测 **remote field eddy current testing**

一种穿透金属管壁的低频涡流检测技术。

3.37

涡流检测探头 **eddy current probe**

用于激励和接收涡流信号的装置。

4 使用原则

4.1 概述

4.1.1 应根据受检承压设备的材质、结构、制造方法、工作介质、使用条件和失效模式，预计可能产生的缺陷种类、形状、部位和方向，选择适宜的无损检测方法。

4.1.2 射线和超声检测主要用于承压设备的内部缺陷的检测；磁粉检测主要用于铁磁性材料制承压设备的表面和近表面缺陷的检测；渗透检测主要用于非多孔性金属材料和非金属材料制承压设备的表面开口缺陷的检测；涡流检测主要用于导电金属材料制承压设备表面和近表面缺陷的检测。

4.1.3 铁磁性材料表面检测时，宜采用磁粉检测。

4.1.4 当采用两种或两种以上的检测方法对承压设备的同一部位进行检测时,应按各自的方法评定级别。

4.1.5 采用同种检测方法按不同检测工艺进行检测时,如果检测结果不一致,应以危险度大的评定级别为准。

4.2 射线检测

4.2.1 射线检测能确定缺陷平面投影的位置、大小,可获得缺陷平面图像并能据此判定缺陷的性质。

4.2.2 射线检测适用于金属材料制承压设备熔化焊对接焊接接头的检测,用于制作对接焊接接头的金属材料包括碳素钢、低合金钢、不锈钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镍及镍合金。射线检测不适用于锻件、管材、棒材的检测。T型焊接接头、角焊缝以及堆焊层的检测一般也不采用射线检测。

4.2.3 射线检测的穿透厚度,主要由射线能量确定,参见表1。

表1 不同射线源检测的厚度范围

射线源	透照厚度 W (AB级) mm	射线源	透照厚度 W (AB级) mm
X射线(300kV)	≤ 40	Co-60	40 ~ 200
X射线(420kV)	≤ 80	X射线(1MeV ~ 4MeV)	30 ~ 200
Se-75	10 ~ 40	X射线(>4MeV ~ 12MeV)	50 ~ 400
Ir-192	20 ~ 100	X射线(> 12MeV)	≥ 80

4.2.4 当应用 γ 射线照相时,宜采用高梯度噪声比(T1或T2)胶片;当应用高能X射线照相时,应采用高梯度噪声比的胶片;对于 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的高强度材料对接焊接接头射线检测,也应采用高梯度噪声比的胶片。

4.2.5 射线检测的具体要求应符合JB/T 4730.2的规定。

4.3 超声检测

4.3.1 超声检测通常能确定缺陷的位置和相对尺寸。

4.3.2 超声检测适用于板材、复合板材、碳钢和低合金钢锻件、管材、棒材、奥氏体不锈钢锻件等承压设备原材料和零部件的检测;也适用于承压设备对接焊接接头、T型焊接接头、角焊缝以及堆焊层等的检测。

4.3.3 采用超声直(斜)射法检测内部缺陷。不同检测对象相应的超声厚度检测范围见表2。

表2 不同检测对象相应的超声厚度检测范围

超声检测对象	适用的厚度范围 mm
碳素钢、低合金钢、镍及镍合金板材	母材为6 ~ 250
铝及铝合金和钛及钛合金板材	厚度 ≥ 6
碳钢、低合金钢锻件	厚度 ≤ 1000
不锈钢、钛及钛合金、铝及铝合金、镍及镍合金复合板	基板厚度 ≥ 6
碳钢、低合金钢无缝钢管	外径为12 ~ 660、壁厚 ≥ 2

表 2 (续)

超 声 检 测 对 象	适用的厚度范围 mm
奥氏体不锈钢无缝钢管	外径为 12 ~ 400、壁厚为 2 ~ 35
碳钢、低合金钢螺栓件	直径 > M36
全熔化焊钢对接焊接接头	母材厚度为 6 ~ 400
铝及铝合金制压力容器对接焊接接头	母材厚度 ≥ 8
钛及钛合金制压力容器对接焊接接头	母材厚度 ≥ 8
碳钢、低合金钢压力管道环焊缝	壁厚 ≥ 4.0 , 外径为 32 ~ 159 或壁厚为 4.0 ~ 6, 外径 ≥ 159
铝及铝合金接管环焊缝	壁厚 ≥ 5.0 , 外径为 80 ~ 159 或壁厚为 5.0 ~ 8, 外径 ≥ 159
奥氏体不锈钢对接焊接接头	母材厚度为 10 ~ 50

4.3.4 超声检测的具体技术要求应符合 JB/T 4730.3 的规定。

4.4 磁粉检测

4.4.1 磁粉检测通常能确定表面和近表面缺陷的位置、大小和形状。

4.4.2 磁粉检测适用于铁磁性材料制板材、复合板材、管材以及锻件等表面和近表面缺陷的检测；也适用于铁磁性材料对接焊接接头、T 型焊接接头以及角焊缝等表面和近表面缺陷的检测。磁粉检测不适用非铁磁性材料的检测。

4.4.3 磁粉检测的具体技术要求应符合 JB/T 4730.4 的规定。

4.5 渗透检测

4.5.1 渗透检测通常能确定表面开口缺陷的位置、尺寸和形状。

4.5.2 渗透检测适用于金属材料和非金属材料板材、复合板材、锻件、管材和焊接接头表面开口缺陷的检测。渗透检测不适用多孔性材料的检测。

4.5.3 渗透检测的具体技术要求应符合 JB/T 4730.5 的规定。

4.6 涡流检测

4.6.1 涡流检测通常能确定表面及近表面缺陷的位置和相对尺寸。

4.6.2 涡流检测适用于导电金属材料和焊接接头表面和近表面缺陷的检测。

4.6.3 涡流检测的具体技术要求应符合 JB/T 4730.6 的规定。

4.7 声发射检测

4.7.1 声发射检测通常用于确定内部或表面存在的活性缺陷的强度和大致位置。

4.7.2 声发射检测适用于对承压设备在加载过程中进行的局部或整体检测，也可用于在线监测。

4.7.3 声发射检测的具体要求应符合 GB/T 18182 的有关规定。

4.8 X 射线实时成像检测

4.8.1 X 射线实时成像检测通常用于实时确定缺陷平面投影的位置、大小以及缺陷的性质。

4.8.2 X 射线实时成像检测适用于承压设备对接焊接接头的实时快速检测。

4.8.3 X 射线实时成像检测的具体要求应符合 GB/T 19293 或 GB 17925 的有关规定。

5 一般要求

5.1 无损检测机构

- 5.1.1 进行承压设备无损检测的机构应按 JB/T 4730 的本部分的规定制定出符合要求的无损检测工艺规程。
- 5.1.2 检测记录和报告应准确、完整，并经相应责任人员签字认可。
- 5.1.3 检测记录和报告等保存期不得少于 7 年。7 年后，若用户需要可转交用户保管。
- 5.1.4 检测用仪器和设备性能应进行定期检定（校准），并有记录可查。

5.2 无损检测工艺规程

- 5.2.1 无损检测工艺规程包括通用工艺规程和工艺卡。

5.2.2 无损检测通用工艺规程

- 5.2.2.1 无损检测通用工艺规程应根据相关法规、产品标准、有关的技术文件和 JB/T 4730 的本部分的要求，并针对检测机构的特点和检测能力进行编制。无损检测通用工艺规程应涵盖本单位（制造、安装或检测单位）产品的检测范围。

- 5.2.2.2 无损检测通用工艺规程至少应包括以下内容：

- a) 适用范围；
- b) 引用标准、法规；
- c) 检测人员资格；
- d) 检测设备、器材和材料；
- e) 检测表面制备；
- f) 检测时机；
- g) 检测工艺和检测技术；
- h) 检测结果的评定和质量等级分类；
- i) 检测记录、报告和资料存档；
- j) 编制（级别）、审核（级别）和批准人；
- k) 制定日期。

- 5.2.2.3 无损检测通用工艺规程的编制、审核及批准应符合相关法规或标准的规定。

5.2.3 无损检测工艺卡

- 5.2.3.1 实施无损检测的人员应按无损检测工艺卡进行操作。

- 5.2.3.2 无损检测工艺卡应根据无损检测通用工艺规程、产品标准、有关的技术文件和 JB/T 4730 的本部分的要求编制，一般应包括以下内容：

- a) 工艺卡编号；
- b) 产品名称，产品编号，制造、安装或检验编号，承压设备的类别、规格尺寸、材料牌号、材质、热处理状态及表面状态；
- c) 检测设备与器材：设备种类、型号、规格尺寸、检测附件和检测材料；
- d) 检测工艺参数：检测方法、检测比例、检测部位、标准试块或标准试样（片）；
- e) 检测技术要求：执行标准和验收级别；
- f) 检测程序；
- g) 检测部位示意图；
- h) 编制（级别）和审核（级别）人；
- i) 制定日期。

- 5.2.3.3 无损检测工艺卡的编制、审核应符合相关法规或标准的规定。

5.3 无损检测人员

5.3.1 从事承压设备的原材料、零部件和焊接接头无损检测的人员，应按照《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》的要求取得相应无损检测资格。

5.3.2 无损检测人员资格级别分为Ⅲ（高）级、Ⅱ（中）级和Ⅰ（初）级。取得不同无损检测方法各资格级别的人员，只能从事与该方法和该资格级别相应的无损检测工作，并负相应的技术责任。

5.4 未列入 JB/T 4730 的本部分的无损检测方法的应用

JB/T 4730 的本部分不排斥其他无损检测方法的应用。当采用未列入 JB/T 4730 的本部分规定的无损检测方法时，使用该技术进行检测的单位应向全国锅炉压力容器标准化技术委员会提交有关技术资料，经评审形成标准案例。

附录 A

(资料性附录)

承压设备无损检测相关标准及文件目录

GB 150	钢制压力容器
GB 151	管壳式换热器
GB/T 2970	中厚钢板超声波检验方法
GB/T 3323	钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
GB 3531	低温压力容器用低合金钢板
GB/T 5126	铝及铝合金冷拉薄壁管材涡流探伤方法
GB/T 5248	铜及铜合金无缝管涡流探伤方法
GB/T 5616—1985	常规无损探伤应用导则
GB/T 5777	无缝钢管超声波探伤检验方法
GB 6654	压力容器用钢板
GB/T 6846	确定暗室照明安全时间的方法
GB/T 7735	钢管涡流探伤检验方法
GB/T 11344	接触式超声波脉冲回波法测厚
GB/T 11345	钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级
GB 12337	钢制球形储罐
GB/T 15822	磁粉探伤方法
GB/T 16544	球形储罐 γ 射线全景曝光照相方法
GB/T 16673	无损检测用黑光源 (UV-A) 辐射的测量
GB 50235	工业金属管道工程施工及验收规范
GB 50236	现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范
DL/T 820	管道焊接接头超声波检验技术规程
DL/T 821	钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规程
JB/T 1619	锅壳锅炉本体制造技术条件
JB/T 4008	液浸式超声纵波直射探伤方法
JB/T 4009	接触式超声纵波直射探伤方法
JB 4708	钢制压力容器焊接工艺评定
JB/T 4709	钢制压力容器焊接规程
JB/T 4710	钢制塔式容器
JB/T 4731	钢制卧式容器
JB 4732	钢制压力容器—分析设计标准
JB/T 4735	钢制焊接常压容器
JB/T 6061	焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕的分级
JB/T 6062	焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕的分级
JB/T 6063	磁粉探伤用磁粉 技术条件
JB/T 6064	渗透探伤用镀铬试块 技术条件
JB/T 6065—2004	无损检测 磁粉检测用试片

JB/T 4730.1—2005

JB/T 6066—2004 无损检测 磁粉检测用环形试块
JB/T 6696 电站锅炉 技术条件
JB/T 7412 固定式（移动式）工业 X 射线探伤仪
JB 7788 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则
JB/T 7903 工业射线照相底片观片灯
JB/T 8283 声发射检测仪器性能测试方法
JB/T 9213—1999 无损检测 渗透检查 A 型对比试块
JB/T 9215 控制射线照相图像质量的方法
JB/T 9216 控制渗透探伤材料质量的方法
JB/T 9217 射线照相探伤方法
JB/T 9218 渗透探伤方法
JB/T 9402 工业 X 射线探伤机 性能测试方法
JB/T 10094 工业锅炉通用技术条件
SH 3501 石油化工剧毒、可燃介质管道工程施工及验收规范
国务院 2003 年第 373 号令 特种设备安全监察条例
劳动部劳锅字 1993 年 256 号文 有机热载体炉安全技术监察规程
国家质量技术监督局锅炉局 1998 年 12 月文件 工业锅炉 T 型接头对接焊缝超声波探伤规定
TSG R7001 压力容器定期检验规则
劳动部劳锅字 1997 年 74 号文 热水锅炉安全技术监察规程
劳动部劳锅字 1993 年 4 号文 溶解乙炔气瓶安全监察规程
劳动部劳锅字 1993 年 370 号文 超高压容器安全监察规程
劳动部劳锅字 1994 年 262 号文 液化气体汽车罐车安全监察规程
劳动部劳锅字 1996 年 140 号文 压力管道安全管理与监察规定
劳动部劳锅字 1996 年 276 号文 蒸汽锅炉安全技术监察规程
国家质量技术监督局锅发 1999 年 154 号文 压力容器安全技术监察规程
国家质量技术监督局锅发 1999 年 202 号文 锅炉定期检验规则
国家质量技术监督局锅发 1999 年 218 号文 医用氧舱安全管理规定
国家质量技术监督局锅发 2000 年 250 号文 气瓶安全监察规程
国家质量监督检验检疫总局国质检锅 2003 年 108 号文 在用工业管道定期检验规程
国家质量监督检验检疫总局国质检〔2003〕249 号文 特种设备检验检测机构管理规定



中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.2—2005

代替JB 4730—1994部分

承压设备无损检测 第2部分：射线检测

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 2: Radiographic testing

2005-07-26 发布

2005-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	22
1 范围	23
2 规范性引用文件	23
3 一般要求	23
4 具体要求	25
5 承压设备熔化焊对接焊接接头射线检测质量分级	33
6 承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测质量分级	38
7 射线检测报告	41
附录 A (资料性附录) 工业射线胶片系统的特性指标	42
附录 B (资料性附录) 黑度计 (光学密度计) 定期校验方法	43
附录 C (资料性附录) 典型透照方式示意图	44
附录 D (资料性附录) 环向对接焊接接头透照次数确定方法	47
附录 E (规范性附录) 焦点尺寸计算方法	54
附录 F (规范性附录) 专用像质计的型式和规格	55
附录 G (规范性附录) 搭接标记的摆放位置	56
附录 H (规范性附录) 对比试块的型式和规格	58

前 言

JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005《承压设备无损检测》分为六个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测。

本部分为 JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005 的第2部分：射线检测。本部分主要根据国内多年的研究成果和应用经验，参考欧洲 EN 标准、ASME《锅炉压力容器规范》第V卷、JIS 标准，以及行业反馈意见进行修订。本部分与 JB 4730—1994 相比主要变化如下：

1. 对射线照相技术等级的指标重新划定，增加了不同情况下选择射线照相技术等级的规定。
2. 对不同透照厚度、不同透照方式射线底片的像质计灵敏度要求进行了修订，灵敏度有所提高。
3. 增加了工业射线胶片系统分类的内容，将胶片分为 T1、T2、T3、T4 四类。增加附录 A（资料性附录），对胶片系统的特性指标提出了要求。
4. 在附录 D（资料性附录）中增加了根据不同 K 值要求，确定相应环向对接焊接接头透照次数的图表。
5. 对原标准规定的不同射线源适用的底片黑度范围进行了修订，底片黑度范围有所提高。
6. 对小径管环向对接焊接接头的透照布置和透照次数的内容进行了修订。
7. 增加了 Se-75 射线源应用的规定。
8. 增加了曝光曲线的内容。
9. 对观片灯亮度的有关要求进行了修改。
10. 对钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金不同厚度允许的最高管电压图进行了修订。
11. 增加黑度计（光学密度计）内容，在附录 B（资料性附录）中对黑度计的定期校验方法作了明确规定。
12. 增加了镍及镍合金、铜及铜合金制承压设备对接焊接接头射线检测质量分级内容。
13. 增加了钢、镍、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金制承压设备管子及压力管道环向对接焊接接头的射线检测质量分级内容。

本部分的附录 E、附录 F、附录 G 和附录 H 为规范性附录，附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 为资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

本部分主要起草人：强天鹏、袁榕、郑世才、李伟、陈文虎、李衍、何泽云。

承压设备无损检测

第 2 部分：射线检测

1 范围

JB/T 4730 的本部分规定了承压设备金属材料受压元件的熔化焊对接接头的 X 射线和 γ 射线检测技术和质量分级要求。

本部分适用于承压设备受压元件的制造、安装、在用检测中对接焊接接头的射线检测。用于制作焊接接头的金属材料包括碳素钢、低合金钢、不锈钢、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镍及镍合金。

本部分规定的射线检测技术分为三级：A 级——低灵敏度技术；AB 级——中灵敏度技术；B 级——高灵敏度技术。

承压设备的有关支承件和结构件的对接焊接接头的射线检测，也可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过 JB/T 4730 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB 11533—1989	标准对数视力表
GB 16357—1996	工业 X 射线探伤放射卫生防护标准
GB 18465—2001	工业 γ 射线探伤放射卫生防护要求
GB 18871—2002	电离辐射防护与辐射源安全基本标准
GB/T 19384.1—2003	无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分：工业射线胶片系统的分类
GB/T 19384.2—2003	无损检测 工业射线照相胶片 第 2 部分：用参考值方法控制胶片处理
HB 7684—2000	射线照相用线型像质计
JB/T 4730.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
JB/T 7902—1999	线型像质计
JB/T 7903—1999	工业射线照相底片观片灯

3 一般要求

射线检测的一般要求除应符合 JB/T 4730.1 的有关规定外，还应符合下列规定。

3.1 射线检测人员

3.1.1 从事射线检测的人员上岗前应进行辐射安全知识的培训，并取得放射工作人员证。

3.1.2 射线检测人员未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0），测试方法应符合 GB 11533 的规定。从事评片的人员应每年检查一次视力。

3.2 射线胶片

3.2.1 胶片系统按照 GB/T 19384.1—2003 分为四类，即 T1、T2、T3 和 T4 类。T1 为最高类别，T4 为最低类别。胶片系统的特性指标见附录 A（资料性附录）。胶片制造商应对所生产的胶片进行系统性能测试并提供类别和参数。胶片处理方法、设备和化学药剂可按照 GB/T 19384.2—2003 的规定，用胶片制造

商提供的预先曝光胶片测试片进行测试和控制。

3.2.2 A级和AB级射线检测技术应采用T3类或更高类别的胶片，B级射线检测技术应采用T2类或更高类别的胶片。胶片的本底灰雾度应不大于0.3。

3.2.3 采用γ射线对裂纹敏感性大的材料进行射线检测时，应采用T2类或更高类别的胶片。

3.3 观片灯

3.3.1 观片灯的主要性能应符合JB/T 7903的有关规定。

3.3.2 观片灯的最大亮度应能满足评片的要求。

3.4 黑度计（光学密度计）

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

3.4.2 黑度计至少每6个月校验一次。校验方法可参照附录B（资料性附录）的规定进行。

3.5 增感屏

射线检测一般应使用金属增感屏或不用增感屏。增感屏的选用应符合表1的规定。

表 1 增感屏的材料和厚度

射 线 源	前 屏		后 屏	
	材料	厚度, mm	材料	厚度, mm
X 射线 (≤100kV)	铅	不用或 ≤0.03	铅	≤0.03
X 射线 (>100kV ~ 150kV)	铅	≤0.10	铅	≤0.15
X 射线 (>150kV ~ 250kV)	铅	0.02 ~ 0.15	铅	0.02 ~ 0.15
X 射线 (>250kV ~ 500kV)	铅	0.02 ~ 0.2	铅	0.02 ~ 0.2
Se-75	铅	A 级 0.02 ~ 0.2	铅	A 级 0.02 ~ 0.2
		AB 级、B 级 0.1 ~ 0.2 ¹⁾		AB 级、B 级 0.1 ~ 0.2
Ir-192	铅	A 级 0.02 ~ 0.2	铅	A 级 0.02 ~ 0.2
		AB 级、B 级 0.1 ~ 0.2 ¹⁾		AB 级、B 级 0.1 ~ 0.2
Co-60	钢或铜	0.25 ~ 0.7	钢或铜	0.25 ~ 0.7
	铅 (A 级、AB 级)	0.5 ~ 2.0	铅 (A 级、AB 级)	0.5 ~ 2.0
X 射线 (1MeV ~ 4MeV)	钢或铜	0.25 ~ 0.7	钢或铜	0.25 ~ 0.7
	铅 (A 级、AB 级)	0.5 ~ 2.0	铅 (A 级、AB 级)	0.5 ~ 2.0
X 射线 (> 4MeV ~ 12MeV)	铜、钢或钽	≤1	铜、钢	≤1
			钽	≤0.5
	铅 (A 级、AB 级)	0.5 ~ 1.0	铅 (A 级、AB 级)	0.5 ~ 1.0
X 射线 (> 12MeV)	钽	≤1	不用后屏	
1) 如果 AB 级、B 级使用前屏小于或等于 0.03mm 厚的真空包装胶片, 应在工件和胶片之间加 0.07mm ~ 0.15mm 厚的附加铅屏。				

3.6 像质计

3.6.1 底片影像质量采用线型像质计测定。线型像质计的型号和规格应符合JB/T 7902的规定，JB/T

7902 中未包含的丝径、线号等内容,应符合 HB 7684 的有关规定。

3.6.2 像质计的材料、材料代号和不同材料的像质计适用的工件材料范围应符合表 2 的规定。

表 2 不同材料的像质计适用的材料范围

像质计材料代号	Fe	Ni	Ti	Al	Cu
像质计材料	碳钢或奥氏体不锈钢	镍—铬合金	工业纯钛	工业纯铝	3 号纯铜
适用材料范围	碳钢、低合金钢、不锈钢	镍、镍合金	钛、钛合金	铝、铝合金	铜、铜合金

3.7 表面要求和射线检测时机

3.7.1 在射线检测之前,对接焊接接头的表面应经外观检测并合格。表面的不规则状态在底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像,否则应对表面作适当修整。

3.7.2 除非另有规定,射线检测应在焊后进行。对有延迟裂纹倾向的材料,至少应在焊接完成 24h 后进行射线检测。

3.8 射线检测技术等级选择

3.8.1 射线检测技术等级选择应符合制造、安装、在用等有关标准及设计图样规定。承压设备对接焊接接头的制造、安装、在用时的射线检测,一般应采用 AB 级射线检测技术进行检测。对重要设备、结构、特殊材料和特殊焊接工艺制作的对接焊接接头,可采用 B 级技术进行检测。

3.8.2 由于结构、环境条件、射线设备等方面限制,检测的某些条件不能满足 AB 级(或 B 级)射线检测技术的要求时,经检测方技术负责人批准,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。

3.8.3 承压设备在用检测中,由于结构、环境、射线设备等方面限制,检测的某些条件不能满足 AB 级射线检测技术的要求时,经检测方技术负责人批准,在采取有效补偿措施(例如选用更高类别的胶片)后可采用 A 级技术进行射线检测,但应同时采用其他无损检测方法进行补充检测。

3.9 辐射防护

3.9.1 放射卫生防护应符合 GB 18871、GB 16357 和 GB 18465 的有关规定。

3.9.2 现场进行 X 射线检测时,应按 GB 16357 的规定划定控制区和管理区、设置警告标志。检测工作人员应佩戴个人剂量计,并携带剂量报警仪。

3.9.3 现场进行 γ 射线检测时,应按 GB 18465 的规定划定控制区和监督区、设置警告标志,检测作业时,应围绕控制区边界测定辐射水平。检测工作人员应佩戴个人剂量计,并携带剂量报警仪。

4 具体要求

4.1 透照布置

4.1.1 透照方式

应根据工件特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。在可以实施的情况下应选用单壁透照方式,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 C(资料性附录)。

4.1.2 透照方向

透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心,需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。

4.1.3 一次透照长度

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焊接接头的透照厚度比应符合表 3 的规定。整条环向对接焊接接头所需的透照次数可参照附录 D(资料性附录)的曲线图确定。

表 3 允许的透照厚度比 K

射线检测技术级别	A 级, AB 级	B 级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1^1)$	$K \leq 1.06$
1) 对 $100\text{mm} < D_o \leq 400\text{mm}$ 的环向对接焊接接头 (包括曲率相同的曲面焊接接头), A 级、AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。		

4.1.4 小径管环向对接焊接接头的透照布置

小径管采用双壁双影透照布置, 当同时满足下列两条件时应采用倾斜透照方式椭圆成像:

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

椭圆成像时, 应控制影像的开口宽度 (上下焊缝投影最大间距) 在 1 倍焊缝宽度左右。

不满足上述条件或椭圆成像有困难时可采用垂直透照方式重叠成像。

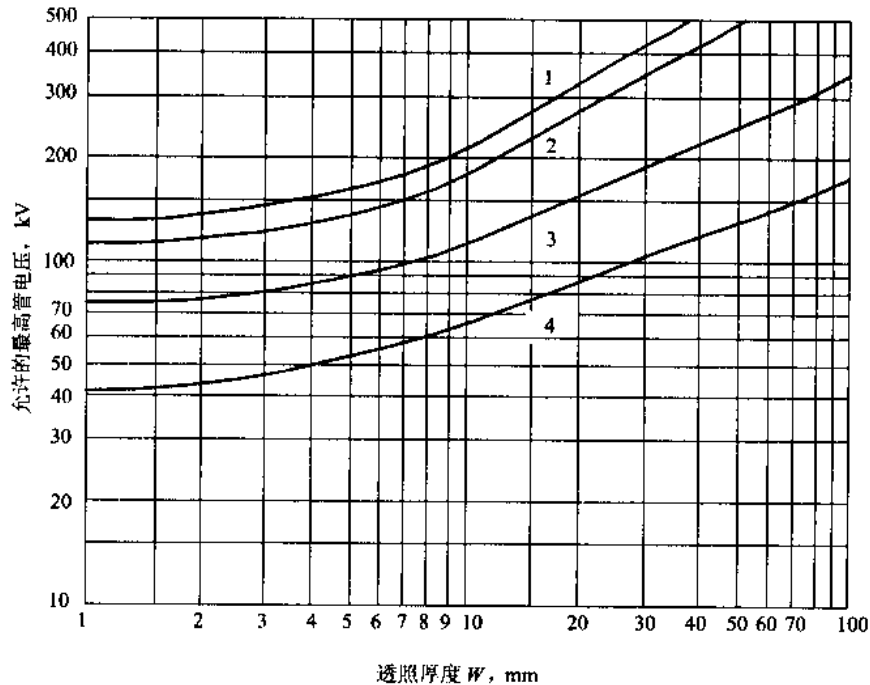
4.1.5 小径管环向对接接头的透照次数

小径管环向对接焊接接头 100% 检测的透照次数: 采用倾斜透照椭圆成像时, 当 $T/D_o \leq 0.12$ 时, 相隔 90° 透照 2 次。当 $T/D_o > 0.12$ 时, 相隔 120° 或 60° 透照 3 次。垂直透照重叠成像时, 一般应相隔 120° 或 60° 透照 3 次。

由于结构原因不能进行多次透照时, 可采用椭圆成像或重叠成像方式透照一次。鉴于透照一次不能实现焊缝全长的 100% 检测, 此时应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。

4.2 射线能量

4.2.1 X 射线照相应尽量选用较低的管电压。在采用较高管电压时, 应保证适当的曝光量。图 1 规定了不同材料、不同透照厚度允许采用的最高 X 射线管电压。



注: 1—铜及铜合金; 2—钢; 3—钛及钛合金; 4—铝及铝合金。

图 1 不同透照厚度允许的 X 射线最高透照管电压

对截面厚度变化大的承压设备,在保证灵敏度要求的前提下,允许采用超过图1规定的X射线管电压。但对钢、铜及铜合金材料,管电压增量不应超过50kV;对钛及钛合金材料,管电压增量不应超过40kV;对铝及铝合金材料,管电压增量不应超过30kV。

4.2.2 γ 射线源和高能X射线适用的透照厚度范围应符合表4的规定。

采用源在内中心透照方式,在保证像质计灵敏度达到4.11.3要求的前提下,允许 γ 射线最小透照厚度取表4下限值的1/2。

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4.11.3要求的前提下,经合同各方同意,A级、AB级技术的Ir-192源的最小透照厚度可降至10mm,Se-75源的最小透照厚度可降至5mm。

表4 γ 射线源和能量1MeV以上X射线设备的透照厚度范围(钢、不锈钢、镍合金等)

射线源	透照厚度 W , mm	
	A级, AB级	B级
Se-75	$\geq 10 \sim 40$	$\geq 14 \sim 40$
Ir-192	$\geq 20 \sim 100$	$\geq 20 \sim 90$
Co-60	$\geq 40 \sim 200$	$\geq 60 \sim 150$
X射线(1MeV~4MeV)	$\geq 30 \sim 200$	$\geq 50 \sim 180$
X射线(>4MeV~12MeV)	≥ 50	≥ 80
X射线(>12MeV)	≥ 80	≥ 100

4.3 射线源至工件表面的最小距离

4.3.1 所选用的射线源至工件表面的距离 f 应满足下述要求:

——A级射线检测技术: $f \geq 7.5d \cdot b^{2/3}$

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

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

图2是A级和B级射线检测技术确定 f 的诺模图,图3是AB级射线检测技术确定 f 的诺模图。有效焦点尺寸 d 按附录E(规范性附录)的规定计算。

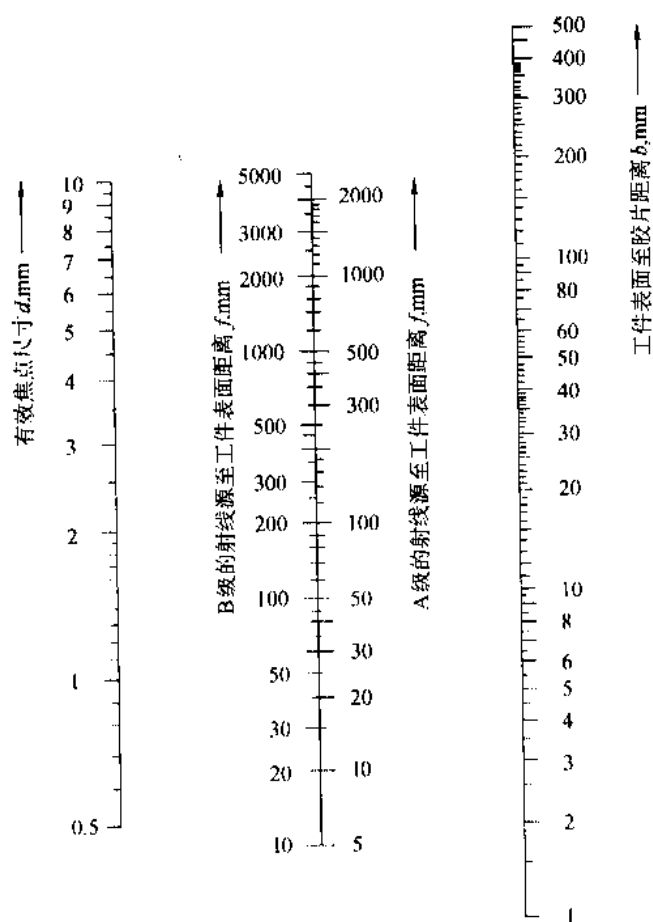


图2 A 级和 B 级射线检测技术确定焦点至工件表面距离的诺模图

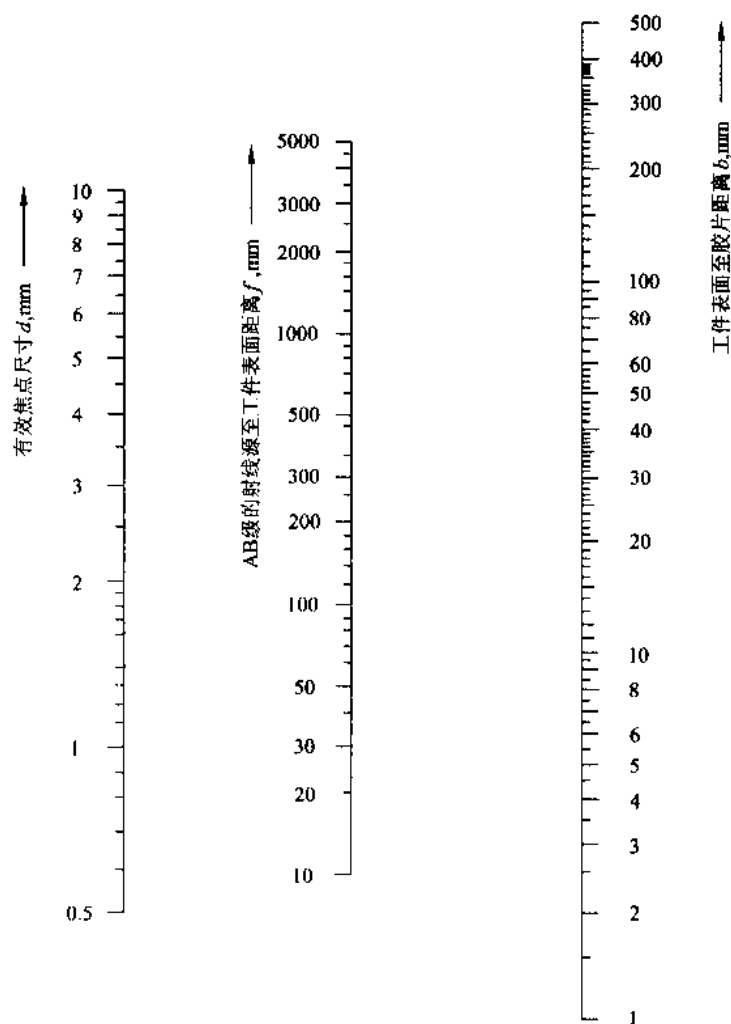


图3 AB级射线检测技术确定焦点至工件表面距离的诺模图

4.3.2 采用源在内中心透照方式周向曝光时，只要得到的底片质量符合 4.11.2 和 4.11.3 的要求， f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的 50%。

4.3.3 采用源在内单壁透照方式时，只要得到的底片质量符合 4.11.2 和 4.11.3 的要求， f 值可以减小，但减小值不应超过规定值的 20%。

4.4 曝光量

4.4.1 X 射线照相，当焦距为 700mm 时，曝光量的推荐值为：A 级和 AB 级射线检测技术不小于 $15\text{mA} \cdot \text{min}$ ；B 级射线检测技术不小于 $20\text{mA} \cdot \text{min}$ 。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。

4.4.2 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。

4.5 曝光曲线

4.5.1 对每台在用射线设备均应作出经常检测材料的曝光曲线，依据曝光曲线确定曝光参数。

4.5.2 制作曝光曲线所采用的胶片、增感屏、焦距、射线能量等条件以及底片应达到的灵敏度、黑度等参数均应符合本部分的规定。

4.5.3 对使用中的曝光曲线，每年至少应校验一次。射线设备更换重要部件或经较大修理后应及时对曝光曲线进行校验或重新制作。

4.6 无用射线和散射线屏蔽

4.6.1 应采用金属增感屏、铅板、滤波板、准直器等适当措施,屏蔽散射线和无用射线,限制照射场范围。

4.6.2 对初次制定的检测工艺,或使用中检测工艺的条件、环境发生改变时,应进行背散射防护检查。

检查背散射防护的方法是:在暗盒背面贴附“B”铅字标记,一般“B”铅字的高度为13mm、厚度为1.6mm,按检测工艺的规定进行透照和暗室处理。若在底片上出现黑度低于周围背景黑度的“B”字影像,则说明背散射防护不够,应增大背散射防护铅板的厚度。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,则说明背散射防护符合要求。

4.7 像质计的使用

4.7.1 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。

4.7.2 像质计放置原则

- a) 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。双壁双影透照规定像质计可放置在源侧,也可放置在胶片侧。
- b) 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。
- c) 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,以此修正应识别像质计丝号,以保证实际透照的底片灵敏度符合要求。
- d) 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。

4.7.3 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:

- a) 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。
- b) 球罐对接焊接接头采用源置于球心的全景曝光时,至少在北极区、赤道区、南极区附近的焊缝上沿纬度等间隔地各放置3个像质计,在南、北极的极板拼缝上各放置1个像质计。
- c) 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。

4.7.4 小径管可选用通用线型像质计或附录F(规范性附录)规定的专用(等径金属丝)像质计,金属丝应横跨焊缝放置。

4.7.5 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,则认为该丝是可识别的。专用像质计至少应能识别两根金属丝。

4.8 标记

4.8.1 透照部位的标记由识别标记和定位标记组成。标记一般由适当尺寸的铅(或其他适宜的重金属)制数字、拼音字母和符号等构成。

4.8.2 识别标记一般包括:产品编号、对接焊接接头编号、部位编号和透照日期。返修后的透照还应有返修标记,扩大检测比例的透照应有扩大检测标记。

4.8.3 定位标记一般包括中心标记和搭接标记。中心标记指示透照部位区段的中心位置和分段编号的方向,一般用十字箭头“ $\uparrow$ ”表示。搭接标记是连续检测时的透照分段标记,可用符号“ $\uparrow$ ”或其他能显示搭接情况的方法表示。

4.8.4 标记一般应放置在距焊缝边缘至少5mm以外的部位,搭接标记放置的部位还应符合附录G(规范性附录)的规定。所有标记的影像不应重叠,且不应干扰有效评定范围内的影像。

4.9 胶片处理

4.9.1 可采用自动冲洗或手工冲洗方式处理,推荐采用自动冲洗方式处理。

4.9.2 胶片处理一般应按胶片使用说明书的规定进行。

4.10 评片要求

4.10.1 评片一般应在专用的评片室内进行。评片室应整洁、安静,温度适宜,光线应暗且柔和。

4.10.2 评片人员在评片前应经历一定的暗适应时间。从阳光下进入评片的暗适应时一般为 5min ~ 10min;从一般的室内进入评片的暗适应时间应不少于 30s。

4.10.3 评片时,底片评定范围内的亮度应符合下列规定:

a) 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 。

b) 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 。

4.10.4 底片评定范围的宽度一般为焊缝本身及焊缝两侧 5mm 宽的区域。

4.11 底片质量

4.11.1 底片上,定位和识别标记影像应显示完整、位置正确。

4.11.2 底片评定范围内的黑度 D 应符合下列规定:

A 级: $1.5 \leq D \leq 4.0$;

AB 级: $2.0 \leq D \leq 4.0$;

B 级: $2.3 \leq D \leq 4.0$ 。

用 X 射线透照小径管或其他截面厚度变化大的工件时,AB 级最低黑度允许降至 1.5; B 级最低黑度可降至 2.0。

采用多胶片方法时,单片观察的黑度应符合以上要求。双片叠加观察仅限于 A 级,叠加观察时,单片的黑度应不低于 1.3。

对评定范围内的黑度 $D > 4.0$ 的底片,如有计量检定报告证明所用观片灯在底片评定范围内的亮度能够满足 4.10.3 的要求,允许进行评定。

4.11.3 底片的像质计灵敏度

单壁透照、像质计置于源侧时应符合表 5 的规定;双壁双影透照、像质计置于源侧时应符合表 6 的规定;双壁单影或双壁双影透照、像质计置于胶片侧时应符合表 7 的规定。

4.11.4 底片评定范围内不应存在干扰缺陷影像识别的水迹、划痕、斑纹等伪缺陷影像。

表 5 像质计灵敏度值——单壁透照、像质计置于源侧

应识别丝号 (丝径, mm)	公称厚度 (T) 范围, mm		
	A 级	AB 级	B 级
18 (0.063)	—	—	≤ 2.5
17 (0.080)	—	≤ 2.0	$> 2.5 \sim 4.0$
16 (0.100)	≤ 2.0	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 4 \sim 6$
15 (0.125)	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 3.5 \sim 5.0$	$> 6 \sim 8$
14 (0.160)	$> 3.5 \sim 5.0$	$> 5.0 \sim 7$	$> 8 \sim 12$
13 (0.20)	$> 5.0 \sim 7$	$> 7 \sim 10$	$> 12 \sim 20$
12 (0.25)	$> 7 \sim 10$	$> 10 \sim 15$	$> 20 \sim 30$
11 (0.32)	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	$> 30 \sim 35$

表 5 (续)

应识别丝号 (丝径, mm)	公称厚度 (T) 范围, mm		
	A 级	AB 级	B 级
10 (0.40)	> 15 ~ 25	> 25 ~ 32	> 35 ~ 45
9 (0.50)	> 25 ~ 32	> 32 ~ 40	> 45 ~ 65
8 (0.63)	> 32 ~ 40	> 40 ~ 55	> 65 ~ 120
7 (0.80)	> 40 ~ 55	> 55 ~ 85	> 120 ~ 200
6 (1.00)	> 55 ~ 85	> 85 ~ 150	> 200 ~ 350
5 (1.25)	> 85 ~ 150	> 150 ~ 250	> 350
4 (1.60)	> 150 ~ 250	> 250 ~ 350	—
3 (2.00)	> 250 ~ 350	> 350	—
2 (2.50)	> 350	—	—

表 6 像质计灵敏度值——双壁双影透照、像质计置于源侧

应识别丝号 (丝径, mm)	透照厚度 (W) 范围, mm		
	A 级	AB 级	B 级
18 (0.063)	—	—	≤ 2.5
17 (0.080)	—	≤ 2.0	> 2.5 ~ 4.0
16 (0.100)	≤ 2.0	> 2 ~ 3.0	> 4 ~ 6
15 (0.125)	> 2.0 ~ 3.0	> 3.0 ~ 4.5	> 6 ~ 9
14 (0.160)	> 3.0 ~ 4.5	> 4.5 ~ 7	> 9 ~ 15
13 (0.20)	> 4.5 ~ 7	> 7 ~ 11	> 15 ~ 22
12 (0.25)	> 7 ~ 11	> 11 ~ 15	> 22 ~ 31
11 (0.32)	> 11 ~ 15	> 15 ~ 22	> 31 ~ 40
10 (0.40)	> 15 ~ 22	> 22 ~ 32	> 40 ~ 48
9 (0.50)	> 22 ~ 32	> 32 ~ 44	> 48 ~ 56
8 (0.63)	> 32 ~ 44	> 44 ~ 54	—
7 (0.80)	> 44 ~ 54	—	—

表 7 像质计灵敏度值——双壁单影或双壁双影透照、像质计置于胶片侧

应识别丝号 (丝径, mm)	透照厚度 (W) 范围, mm		
	A 级	AB 级	B 级
18 (0.063)	—	—	≤ 2.5
17 (0.080)	—	≤ 2.0	> 2.5 ~ 4.0

表 7 (续)

应识别丝号 (丝径, mm)	透照厚度 (W) 范围, mm		
	A 级	AB 级	B 级
16 (0.100)	≤ 2.0	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 4 \sim 6$
15 (0.125)	$> 2.0 \sim 3.5$	$> 3.5 \sim 5.5$	$> 6 \sim 12$
14 (0.160)	$> 3.5 \sim 5.5$	$> 5.5 \sim 11$	$> 12 \sim 18$
13 (0.20)	$> 5.5 \sim 11$	$> 11 \sim 17$	$> 18 \sim 30$
12 (0.25)	$> 11 \sim 17$	$> 17 \sim 26$	$> 30 \sim 42$
11 (0.32)	$> 17 \sim 26$	$> 26 \sim 39$	$> 42 \sim 55$
10 (0.40)	$> 26 \sim 39$	$> 39 \sim 51$	$> 55 \sim 70$
9 (0.50)	$> 39 \sim 51$	$> 51 \sim 64$	$> 70 \sim 100$
8 (0.63)	$> 51 \sim 64$	$> 64 \sim 85$	$> 100 \sim 180$
7 (0.80)	$> 64 \sim 85$	$> 85 \sim 125$	$> 180 \sim 300$
6 (1.00)	$> 85 \sim 125$	$> 125 \sim 225$	> 300
5 (1.25)	$> 125 \sim 225$	$> 225 \sim 375$	—
4 (1.60)	$> 225 \sim 375$	> 375	—
3 (2.00)	> 375	—	—

5 承压设备熔化焊对接焊接接头射线检测质量分级

5.1 钢、镍、铜制承压设备熔化焊对接焊接接头射线检测质量分级

5.1.1 范围

本条规定适用于厚度为 2mm ~ 400mm 的碳素钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍及镍合金制承压设备, 以及厚度为 2mm ~ 80mm 的铜及铜合金制承压设备的熔化焊对接焊接接头射线检测的质量分级。

管子和压力管道环向对接焊接接头射线检测质量分级按照第 6 章规定执行。

5.1.2 缺陷类型

对接焊接接头中的缺陷按性质可分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷和圆形缺陷共五类。

5.1.3 质量分级依据

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

5.1.4 质量分级一般规定

5.1.4.1 I 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷。

5.1.4.2 II 级和 III 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合和未焊透。

5.1.4.3 对接焊接接头中缺陷超过 III 级者为 IV 级。

5.1.4.4 当各类缺陷评定的质量级别不同时, 以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别。

5.1.5 圆形缺陷的质量分级

5.1.5.1 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 8。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 8 缺陷评定区

mm

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

5.1.5.2 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 9 的规定换算为点数，按表 10 的规定评定对接焊接接头的质量级别。

表 9 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 10 各级别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 $7T/2$					
注：当母材公称厚度不同时，取较薄板的厚度。						

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

5.1.5.4 对致密性要求高的对接焊接接头，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。通常将黑度大的圆形缺陷定义为深孔缺陷，当对接焊接接头存在深孔缺陷时，其质量级别应评为 IV 级。

5.1.5.5 当缺陷的尺寸小于表 11 的规定时，分级评定时不计该缺陷的点数。质量等级为 I 级的对接焊接接头和母材公称厚度 $T \leq 5\text{mm}$ 的 II 级对接焊接接头，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 11 不计点数的缺陷尺寸

mm

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

5.1.6 条形缺陷的质量分级

条形缺陷按表 12 的规定进行分级评定。

表 12 各级别对接焊接接头允许的条形缺陷长度

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	$\leq 7T/3$ (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 $3L$ 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 级者	

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。

5.1.7 综合评级

5.1.7.1 在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。

5.1.7.2 综合评级的级别如下确定: 对圆形缺陷和条形缺陷分别评定级别, 将两者级别之和减一作为综合评级的质量级别。

5.2 铝制承压设备熔化焊对接焊接接头射线检测质量分级

5.2.1 范围

本条规定适用于厚度为 2mm ~ 80mm 铝及铝合金制承压设备的熔化焊对接焊接接头射线检测的质量分级。

5.2.2 缺陷类型

对接接头中的缺陷按性质可分为裂纹、未熔合、未焊透、夹铜、条形缺陷和圆形缺陷六类。

5.2.3 质量分级依据

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

5.2.4 质量分级一般规定

5.2.4.1 I 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、夹铜和条形缺陷。

5.2.4.2 II 级和 III 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和夹铜缺陷。

5.2.4.3 对接焊接接头中缺陷超过 III 级者为 IV 级。

5.2.4.4 当各类缺陷评定的质量级别不同时, 以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别。

5.2.5 圆形缺陷的分级评定

5.2.5.1 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 13。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 13 缺陷评定区

mm

母材公称厚度 T	≤ 20	$> 20 \sim 80$
评定区尺寸	10×10	10×20

5.2.5.2 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 14 的规定换算为点数, 按表 15 的规定评定对接焊接接头的质量级别。

5.2.5.3 对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

本条规定适用于厚度为 2mm ~ 50mm 的钛及钛合金制承压设备熔化焊对接焊接接头射线检测的质量分级。

5.3.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质可分为裂纹、未熔合、未焊透、条形和圆形缺陷共五类。

5.3.3 质量分级依据

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

5.3.4 质量分级一般规定

5.3.4.1 I 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷。

5.3.4.2 II 级和 III 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透。

5.3.4.3 对接焊接接头中缺陷超过 III 级者为 IV 级。

5.3.4.4 当各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别。

5.3.5 圆形缺陷的分级评定

5.3.5.1 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 17。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 17 圆形缺陷评定区

mm

母材公称厚度 T	≤ 20	$> 20 \sim 50$
评定区尺寸	10×10	10×20

5.3.5.2 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 18 的规定换算为点数，按表 19 的规定评定对接焊接接头的质量级别。

表 18 缺陷点数换算表

缺陷长径, mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 4$	$> 4 \sim 8$	> 8
缺陷点数	1	2	4	8	16

表 19 各级别对接接头允许的圆形缺陷最多点数

评定区 (mm×mm)	10×10				10×20	
母材公称厚度 T mm	≤3	>3~5	>5~10	>10~20	>20~30	>30~50
I 级	1	2	3	4	5	6
II 级	2	4	6	8	10	12
III级	4	8	12	16	20	24
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。						

5.3.5.3 对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。

5.3.5.4 对致密性要求高的对接焊接接头，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，通常将黑度大的圆形缺陷定义为深孔缺陷，当对接焊接接头存在深孔缺陷时，其质量应评为 IV 级。

5.3.5.5 当缺陷的尺寸小于表 20 的规定时，分级评定时不计该缺陷的点数。但对于 I 级对接接头和母

材公称厚度 $T \leq 5\text{mm}$ 的Ⅱ级对接焊接接头, 不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 10 个。母材公称厚度 $T > 5\text{mm}$ 的Ⅱ级对接焊接接头, 不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 20 个。母材公称厚度 $T > 5\text{mm}$ 的Ⅲ级对接焊接接头, 不计点数的缺陷在圆形缺陷评定区内不得多于 30 个。超过上述规定时对接焊接接头质量应降低一级。

表 20 不计点数的缺陷尺寸

mm

母材公称厚度 T	缺陷长径
≤ 10	≤ 0.3
$> 10 \sim 20$	≤ 0.4
$> 20 \sim 50$	≤ 0.7

5.3.6 条形缺陷的分级评定

条形缺陷按 5.1.6 的规定进行质量分级评定。

5.3.7 综合评级

5.3.7.1 在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。

5.3.7.2 综合评级的级别如下确定: 对圆形缺陷和条形缺陷分别评定级别, 将两者级别之和减一作为综合评级的质量级别。

6 承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测质量分级

6.1 钢、镍、铜制承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测质量分级

6.1.1 范围

本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ 的碳素钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍及镍合金、铜及铜合金制承压设备管子及压力管道的熔化焊环向对接焊接接头射线检测的质量分级。

6.1.2 缺陷类型

对接焊接接头中的缺陷按性质可分为裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、圆形缺陷、根部内凹、根部咬边共七类。

6.1.3 质量分级依据

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

6.1.4 质量分级的一般规定

6.1.4.1 Ⅰ级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、根部内凹、根部咬边。

6.1.4.2 Ⅱ级和Ⅲ级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、双面焊以及加垫板单面焊中的未焊透。

6.1.4.3 对接焊接接头中缺陷超过Ⅲ级者为Ⅳ级。

6.1.4.4 当各类缺陷评定的质量级别不同时, 以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别。

6.1.5 圆形缺陷的分级评定

按 5.1.5 的规定进行质量分级评定。但对小径管缺陷评定区取 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

6.1.6 条形缺陷的分级评定

按 5.1.6 的规定进行质量分级评定。

6.1.7 不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定

管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时, 不加垫板单面焊的未焊透缺陷按表 21 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管不加垫板单面焊的未焊透缺陷按表 22 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子未焊透深度可采用附录 H (规范性附录) 规定的一般对比试块 (Ⅱ型) 进行测定。管外径

$D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的未焊透深度可采用附录 H（规范性附录）规定的小径管专用对比试块（ I_A 型或 I_B 型）进行测定，测定时，对比试块应置于靠近被测未焊透缺陷附近部位。

表 21 管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时不加垫板单面焊未焊透的分级

级别	未焊透最大深度，mm		单个未焊透最大长度，mm (<i>T</i> 为壁厚)	未焊透累计长度 mm
	与壁厚的比	最大值		
I	不允许			
II	≤10%	≤1.0	≤ <i>T</i> /3 (最小可为 4) 且 ≤20	在任意 6 <i>T</i> 长度区内应不大于 <i>T</i> (最小可为 4)，且任意 300 长度范围内总长度不大于 30
III	≤15%	≤1.5	≤2 <i>T</i> /3 (最小可为 6) 且 ≤30	在任意 3 <i>T</i> 长度区内应不大于 <i>T</i> (最小可为 6)，且任意 300 长度范围内总长度不大于 40
IV	大于 III 级者			
注：对断续未焊透，以未焊透本身的长度累计计算总长度。				

表 22 管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ (小径管) 时不加垫板单面焊未焊透的分级

级别	未焊透最大深度，mm		未焊透总长度与焊缝总长度的比
	与壁厚的比	最大值	
I	不允许		
II	≤10%	≤1.0	≤10%
III	≤15%	≤1.5	≤15%
IV	大于III级者		
注：对断续未焊透，以未焊透本身的长度累计计算总长度。			

6.1.8 根部内凹和根部咬边的分级评定

管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时，不加垫板单面焊的根部内凹和根部咬边缺陷按表 23 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管不加垫板单面焊的根部内凹和根部咬边缺陷按表 24 的规定进行质量分级评定。管外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的管子和容器根部内凹和根部咬边深度可采用附录 H（规范性附录）规定的一般对比试块（II 型）进行测定。管外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 的小径管的根部内凹和根部咬边深度可采用附录 H（规范性附录）规定的小径管专用对比试块（ I_A 型或 I_B 型）进行测定，测定时，对比试块应置于管的源侧表面、靠近被测根部内凹和根部咬边缺陷附近部位。

表 23 外径 $D_o > 100\text{mm}$ 时根部内凹和根部咬边的分级

级别	根部内凹和根部咬边最大深度，mm		根部内凹和根部咬边累计长度，mm
	与壁厚的比	最大值	
I	不允许		
II	≤15%	≤1.5	在任意 3 <i>T</i> 长度区内不大于 <i>T</i> ； 总长度不大于 100
III	≤20%	≤2.0	
IV	大于 III 级者		
注：对断续根部内凹和根部咬边，以根部内凹和根部咬边本身的长度累计计算总长度。			

表 24 外径 $D_o \leq 100\text{mm}$ 时根部内凹和根部咬边的分级

级别	根部内凹和根部咬边最大深度, mm		根部内凹和根部咬边最大总长度 与焊缝总长度的比
	与壁厚的比	最大值	
I	不允许		
II	≤15%	≤1.5	≤30%
III	≤20%	≤2.0	≤30%
IV	大于Ⅲ级者		
注: 对断续根部内凹和根部咬边, 以根部内凹和根部咬边本身的长度累加计算总长度。			

6.1.9 综合评级

在条形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时, 应进行综合评级。对各类缺陷分别评定级别, 取质量级别最低的级别作为综合评级的级别; 当各类缺陷的级别相同时, 则降低一级作为综合评级的级别。

6.2 铝及铝合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环形对接接头射线检测质量分级

6.2.1 范围

本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ 的铝及铝合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接接头射线检测的质量分级。

6.2.2 缺陷类型

焊接接头中的缺陷按性质可分为裂纹、未熔合、未焊透、夹铜、条形缺陷、圆形缺陷、根部内凹、根部咬边共八类。

6.2.3 质量分级依据

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

6.2.4 质量分级的一般规定

6.2.4.1 I 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、夹铜、条形缺陷、根部内凹、根部咬边。

6.2.4.2 II 级和 III 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、双面焊以及加垫板单面焊中的未焊透、夹铜。

6.2.4.3 对接焊接接头中缺陷超过 III 级者为 IV 级。

6.2.4.4 当各类缺陷评定的质量级别不同时, 以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别。

6.2.5 圆形缺陷的分级评定

按 5.2.5 的规定进行质量分级评定。

6.2.6 条形缺陷的分级评定

按 5.2.6 的规定进行质量分级评定。

6.2.7 不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定

按 6.1.7 的规定进行质量分级评定。

6.2.8 根部内凹的和根部咬边分级评定

按 6.1.8 的规定进行质量分级评定。

6.2.9 综合评级

按 6.1.9 的规定进行评定。

6.3 钛及钛合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测质量分级

6.3.1 范围

本条适用于壁厚 $T \geq 2\text{mm}$ 的钛及钛合金制承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测的质量分级。

6.3.2 缺陷类型

按 6.1.2 的规定分类。

6.3.3 质量分级依据

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

6.3.4 质量分级的一般规定

6.3.4.1 I 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、根部内凹、根部咬边。

6.3.4.2 II 级和 III 级对接焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、双面焊以及加垫板单面焊中的未焊透。

6.3.4.3 对接焊接接头中缺陷超过 III 级者为 IV 级。

6.3.4.4 当各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量最差的级别作为对接焊接接头的质量级别。

6.3.5 圆形缺陷的分级评定

按 5.3.5 的规定进行质量分级评定。

6.3.6 条形缺陷的分级评定

按 5.3.6 的规定进行质量分级评定。

6.3.7 不加垫板单面焊的未焊透缺陷的分级评定

按 6.1.7 的规定进行质量分级评定。

6.3.8 根部内凹和根部咬边的分级评定

按 6.1.8 的规定进行质量分级评定。

6.3.9 综合评级

按 6.1.9 的规定进行评定。

7 射线检测报告

检测报告至少应包括下述内容：

- a) 委托单位；
- b) 被检工件：名称、编号、规格、材质、焊接方法和热处理状况；
- c) 检测设备：名称、型号和焦点尺寸；
- d) 检测标准和验收等级；
- e) 检测规范：技术等级、透照布置、胶片、增感屏、射线能量、曝光量、焦距、暗室处理方式和条件等；
- f) 工件检测部位及布片草图；
- g) 检测结果及质量分级；
- h) 检测人员和责任人员签字及其技术资格；
- i) 检测日期。

附 录 A
(资料性附录)
工业射线胶片系统的特性指标

A. 1 胶片系统的主要特性指标

工业射线胶片系统的主要特性指标见表 A.1。

表 A.1 胶片系统的主要特性指标

胶片系统 类别	感光 速度	特性曲线 平均梯度	感光乳剂 粒度	梯度最小值 G_{min}		颗粒度 最大值 σ_{max}	(梯度/颗粒度) 最小值 $(G/\sigma_{11})_{min}$
				$D=2.0$	$D=4.0$	$D=2.0$	$D=2.0$
T1	低	高	微粒	4.3	7.4	0.018	270
T2	较低	较高	细粒	4.1	6.8	0.028	150
T3	中	中	中粒	3.8	6.4	0.032	120
T4	高	低	粗粒	3.5	5.0	0.039	100
注：表中的黑度 D 均指不包括灰雾度的净黑度。							

附录 B

(资料性附录)

黑度计(光学密度计)定期校验方法

B.1 黑度计校验的一般规定

黑度计可按照生产厂推荐的方法或按 B.2 规定的方法校验。

B.2 黑度计校验步骤

B.2.1 接通黑度计外电源和测量开关,预热 10min 左右。

B.2.2 用标准黑度片(密度片)的零黑度点(区)校准黑度计零点,校准后顺次测量黑度片上不同黑度的各点的黑度,记录测量值。

B.2.3 按 B.2.2 的规定反复测量 3 次。

B.2.4 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。

B.2.5 对黑度不大于 4.5 的各点的测量误差均应不超过 ± 0.05 , 否则黑度计应校准、修理或报废。

B.2.6 所使用的标准黑度片至少应每 2 年送计量单位检定一次。

附 录 C
(资料性附录)
典型透照方式示意图

C.1 典型透照方式

图 C.1 ~ 图 C.8 给出了常用的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, 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。

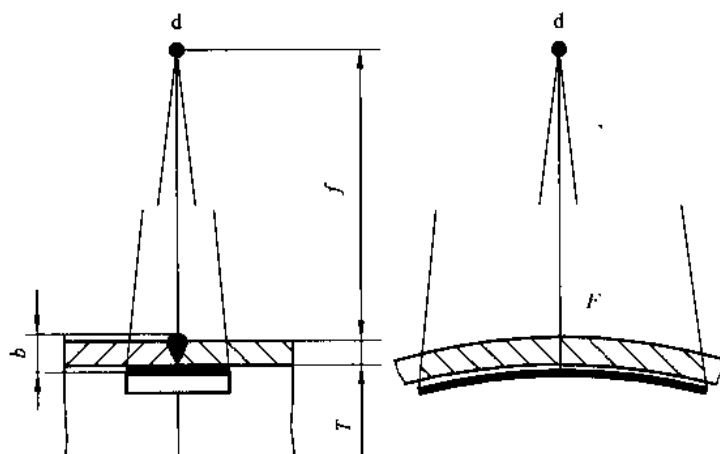


图 C.1 纵、环向焊接接头源在外单壁透照方式

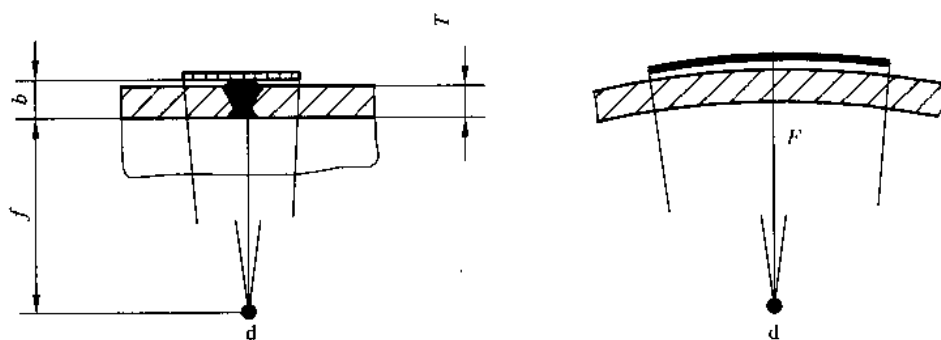


图 C.2 纵、环向焊接接头源在内单壁透照方式

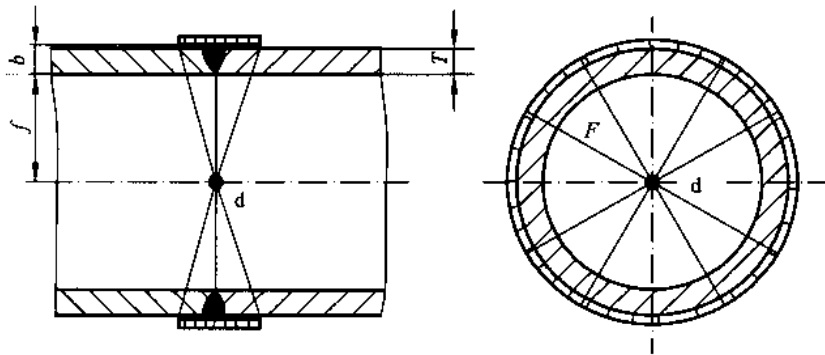


图 C.3 环向焊接接头源在中心周向透照方式

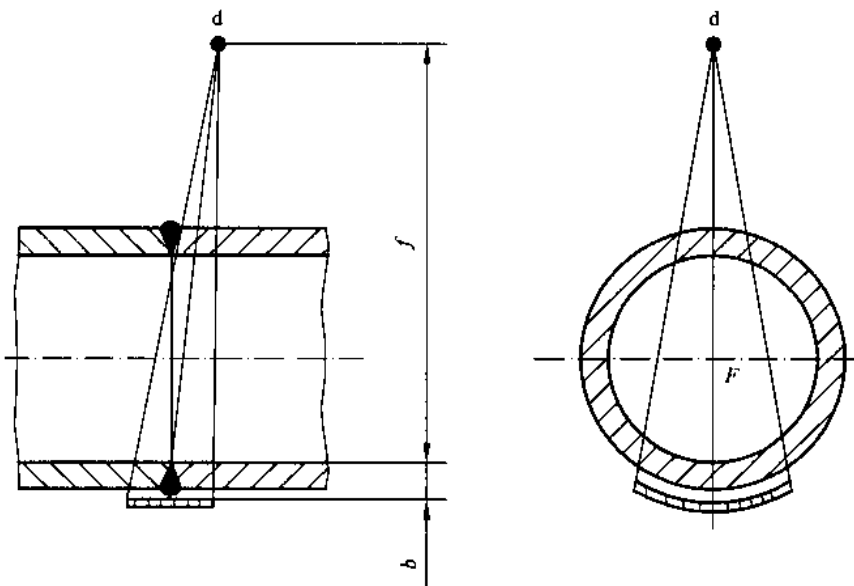


图 C.4 环向焊接接头源在外双壁单影透照方式 (1)

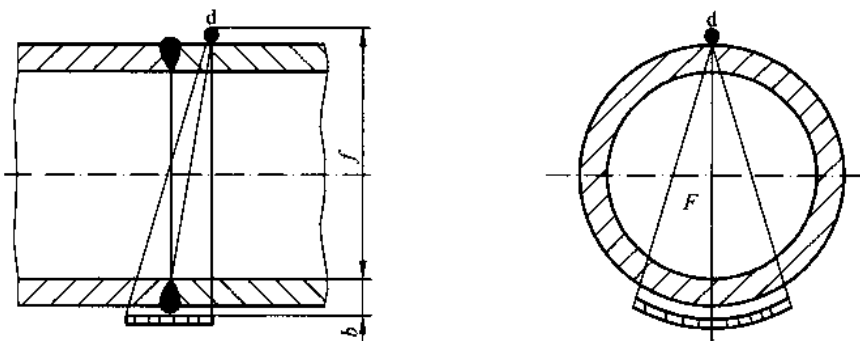


图 C.5 环向焊接接头源在外双壁单影透照方式 (2)

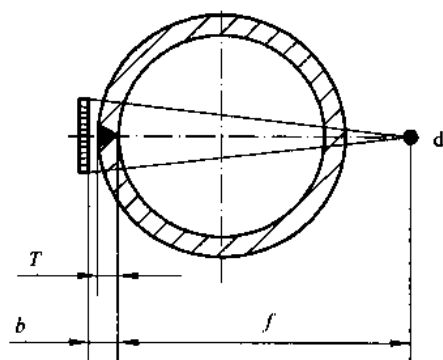


图 C.6 纵向焊接接头源在外双壁单影透照方式

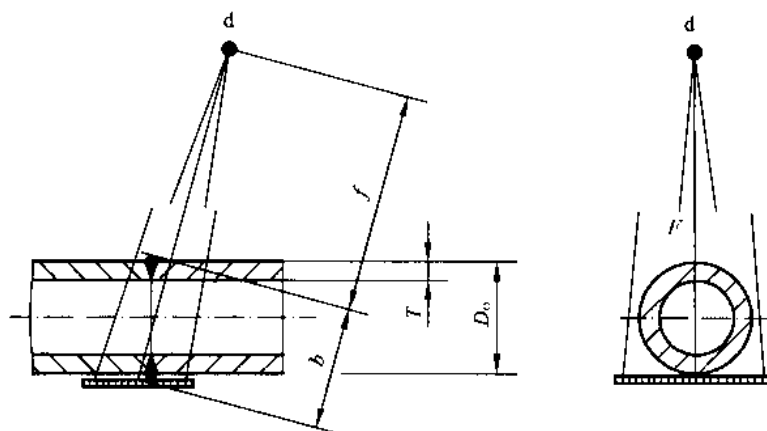


图 C.7 小径管环向对接焊接接头倾斜透照方式(椭圆成像)

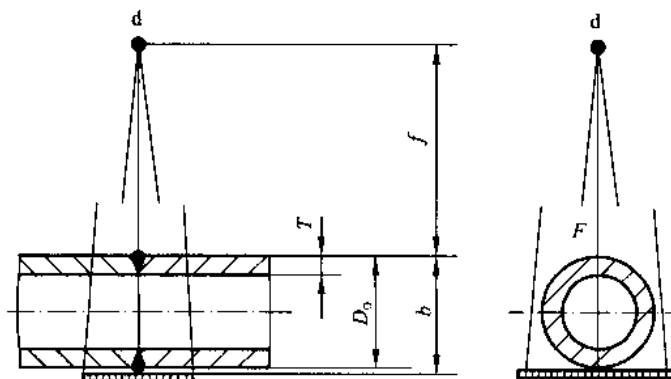


图 C.8 小径管环向对接焊接接头垂直透照方式(重叠成像)

附录 D

(资料性附录)

环向对接焊接接头透照次数确定方法

D.1 透照次数曲线图

对外径 $D_o > 100\text{mm}$ 的环向对接焊接接头进行 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 D.1 ~ 图 D.6 中直接查出。

- a) 图 D.1 为源在外单壁透照环向对接焊接接头, 透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数曲线图。
- b) 图 D.2 为用其他方式 (偏心内透法和双壁单影法) 透照环向对接焊接接头, 透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数曲线图。
- c) 图 D.3 为源在外单壁透照环向对接焊接接头, 透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数曲线图。
- d) 图 D.4 为用其他方式 (偏心内透法和双壁单影法) 透照环向对接焊接接头, 透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数曲线图。
- e) 图 D.5 为源在外单壁透照环向对接焊接接头, 透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数曲线图。
- f) 图 D.6 为用其他方式 (偏心内透法和双壁单影法) 透照环向对接焊接接头, 透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数曲线图。

D.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。

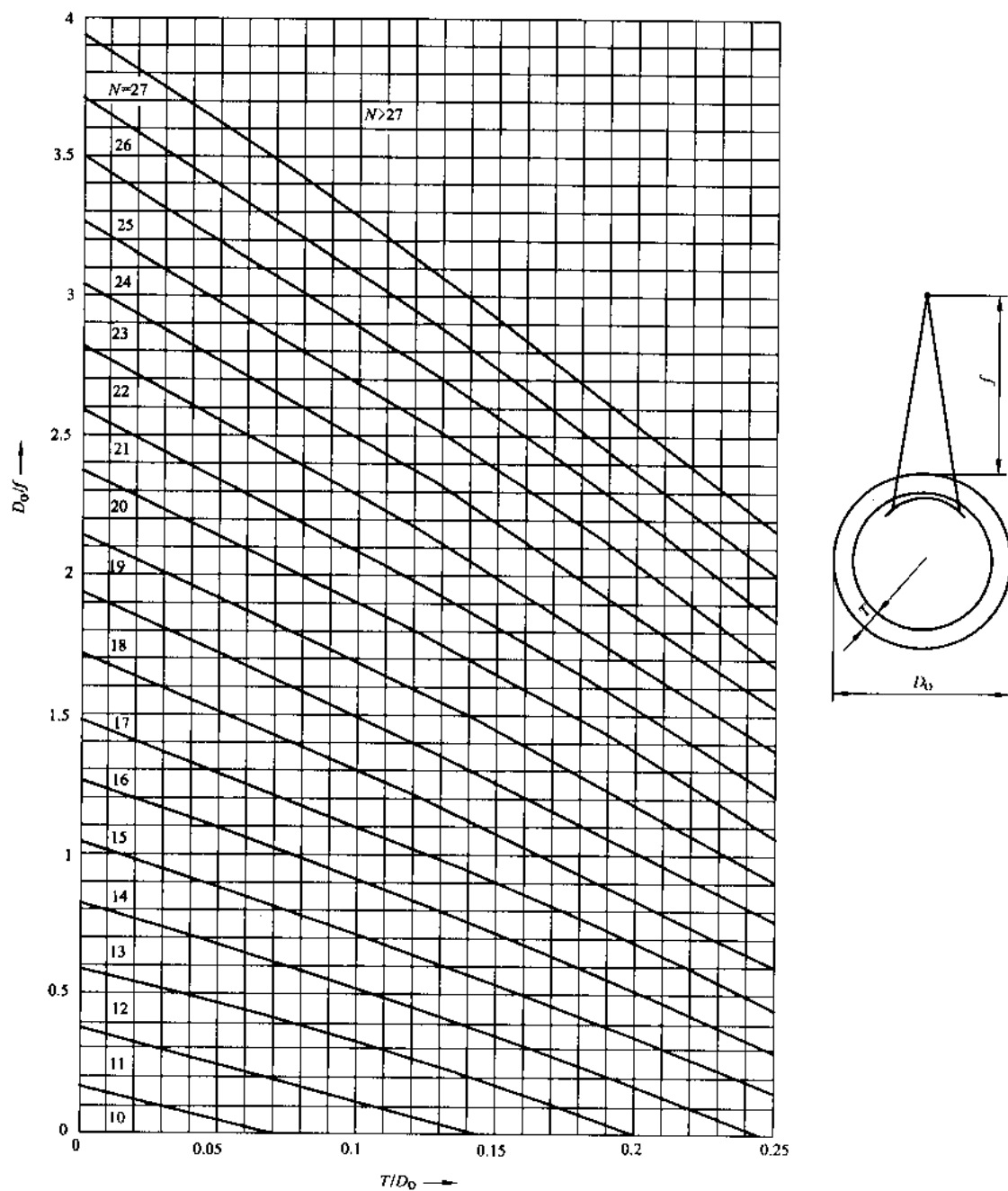


图 D.1 源在外单壁透照环向对接焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数图

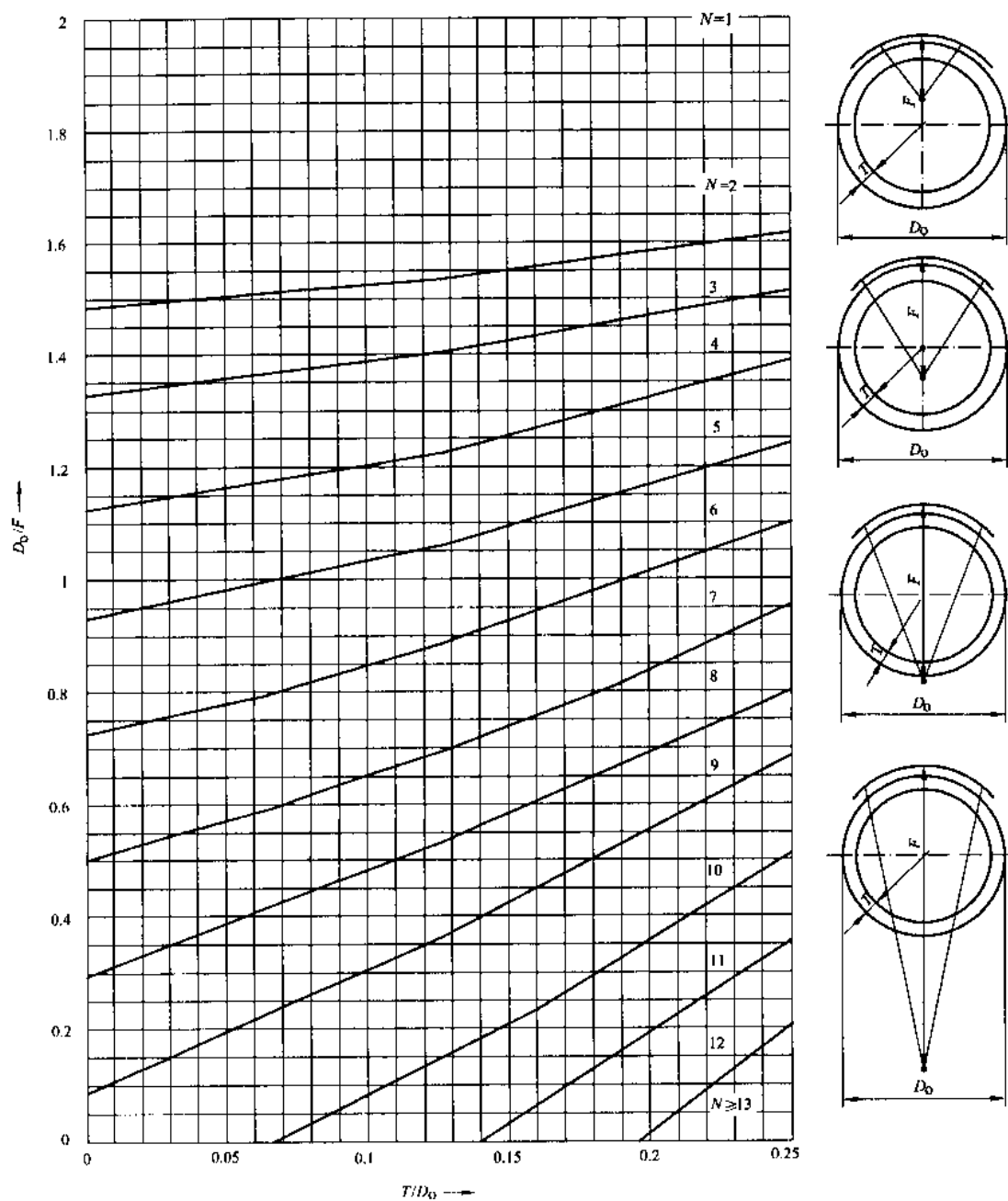


图 D.2 其他方式透照环向对接焊接接头，透照厚度比 $K=1.06$ 的透照次数图

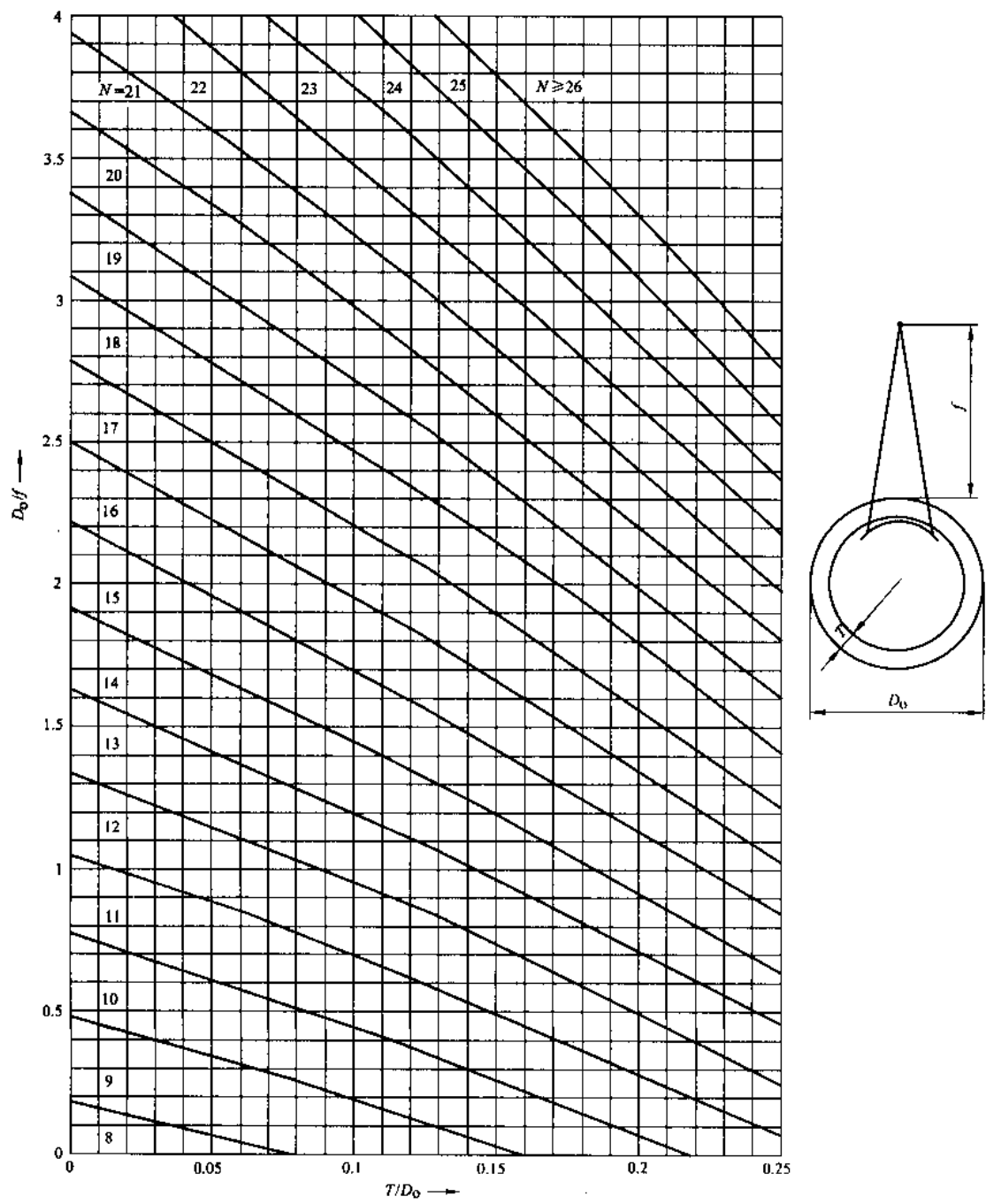


图 D.3 源在外单壁透照环向对接焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数图

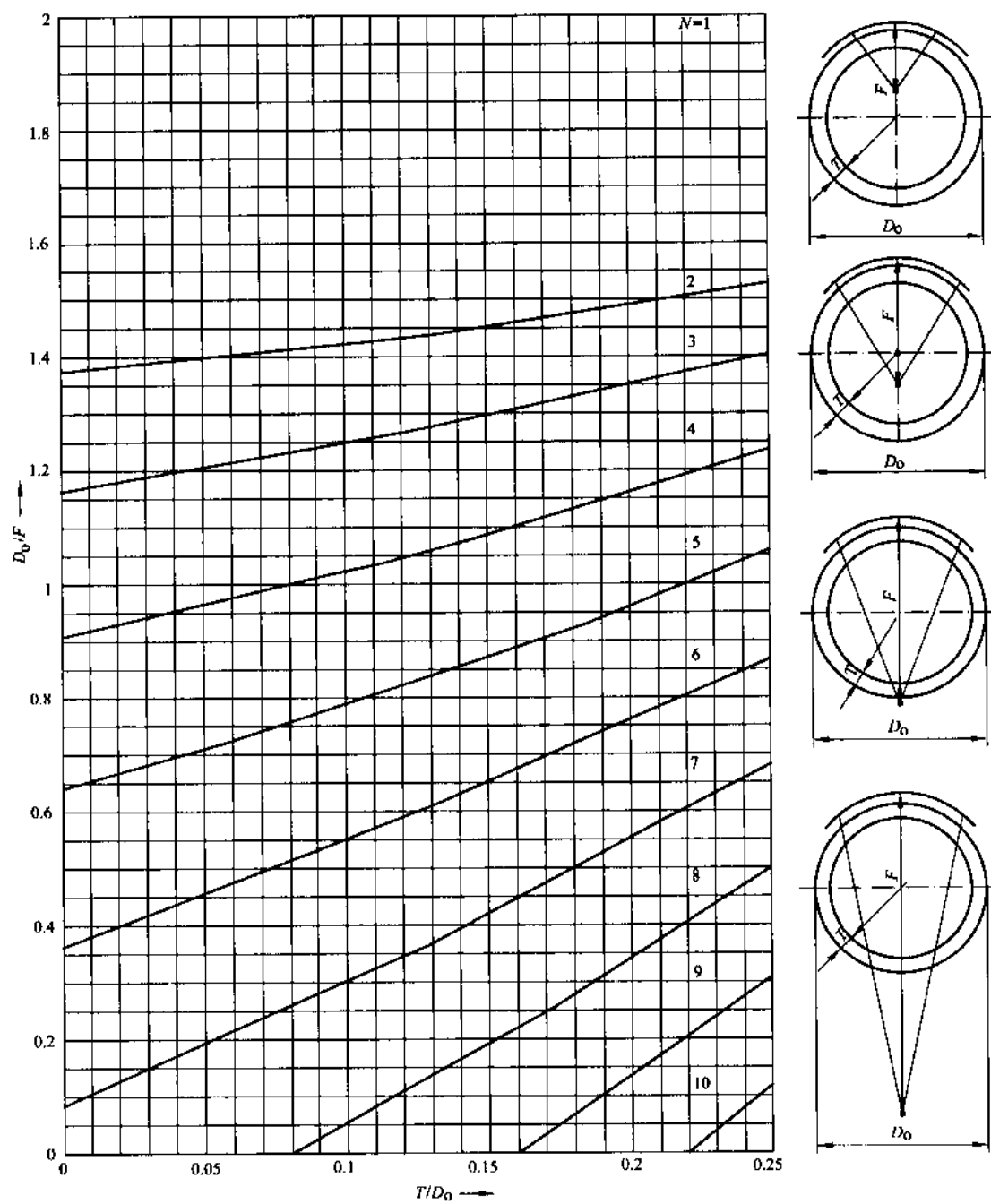


图 D.4 其他方式透照环向对接焊接接头，透照厚度比 $K=1.1$ 的透照次数图

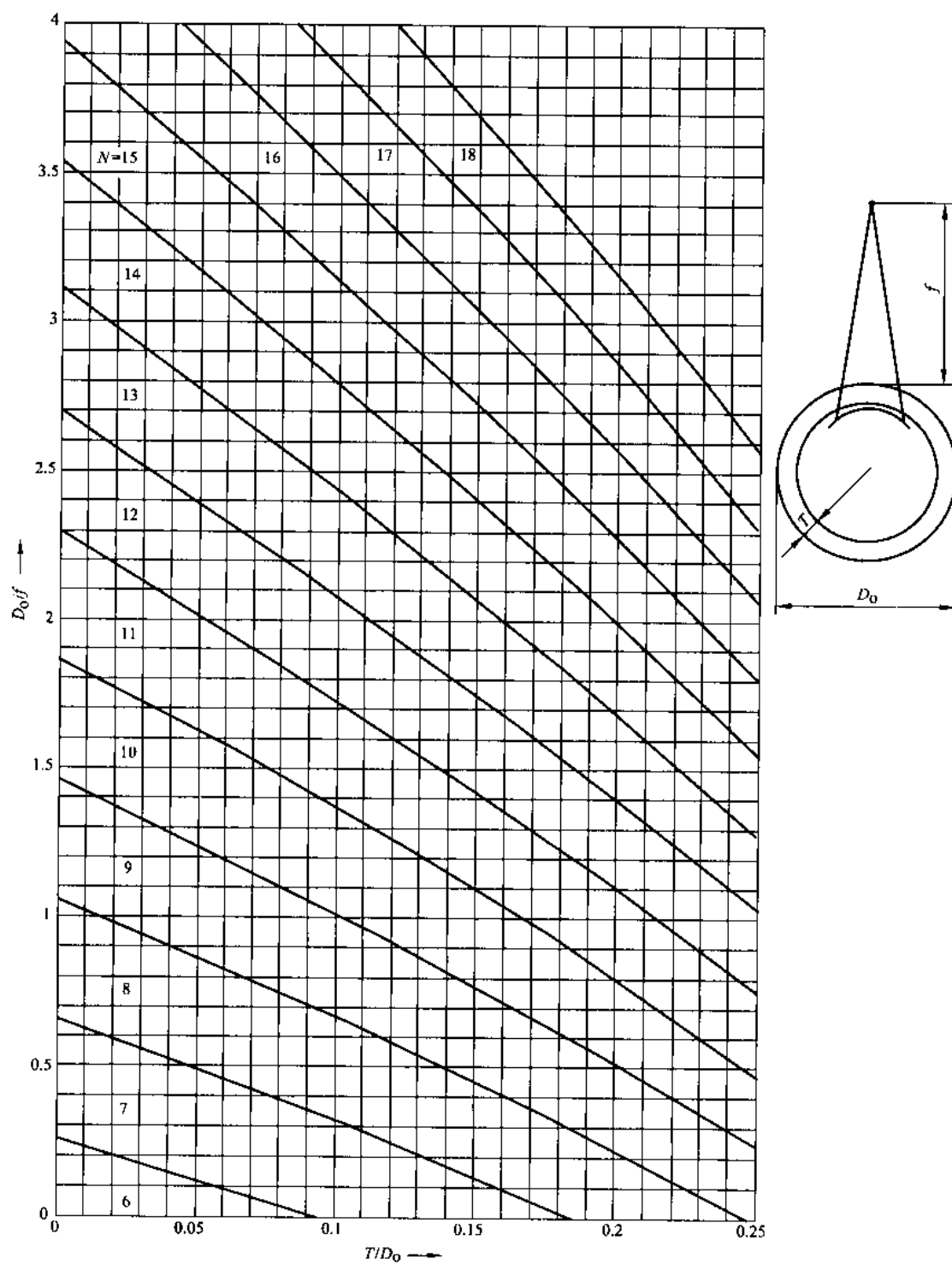


图 D.5 源在外单壁透照环向对接焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数图

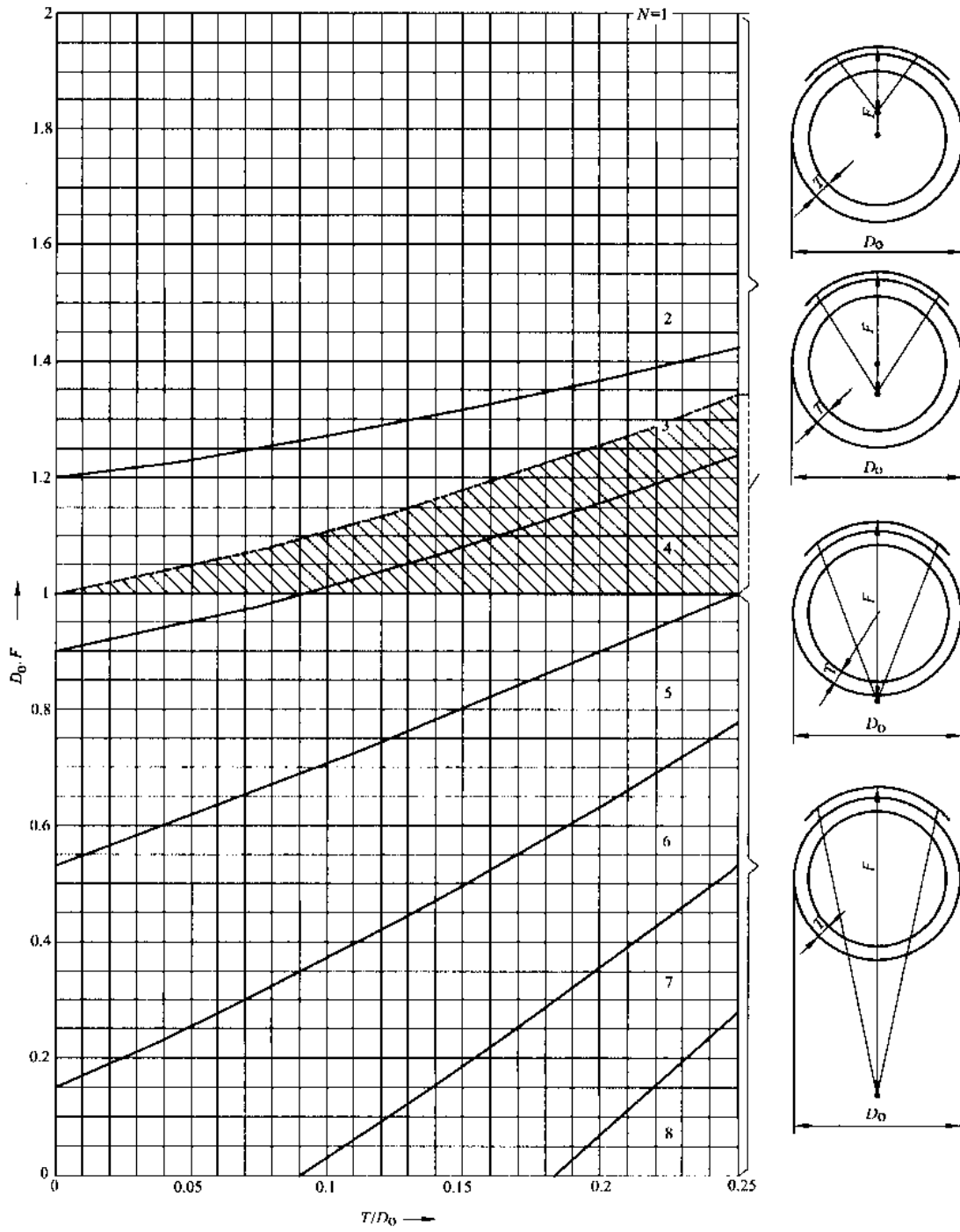


图 D.6 其他方式透照环向对接焊接接头，透照厚度比 $K=1.2$ 的透照次数图

附 录 E
(规范性附录)
焦点尺寸计算方法

E.1 焦点尺寸计算

射线源焦点形状按图 E.1 所示划分为正方形、长方形、圆形、椭圆形四类，其有效焦点尺寸 d 分别按式 (E.1)、式 (E.2) 和式 (E.3) 计算。

正方形焦点：

$d = a$ (E.1)

长方形、椭圆形焦点：

$d = (a + b) / 2$ (E.2)

圆形焦点：

$d = d$ (E.3)

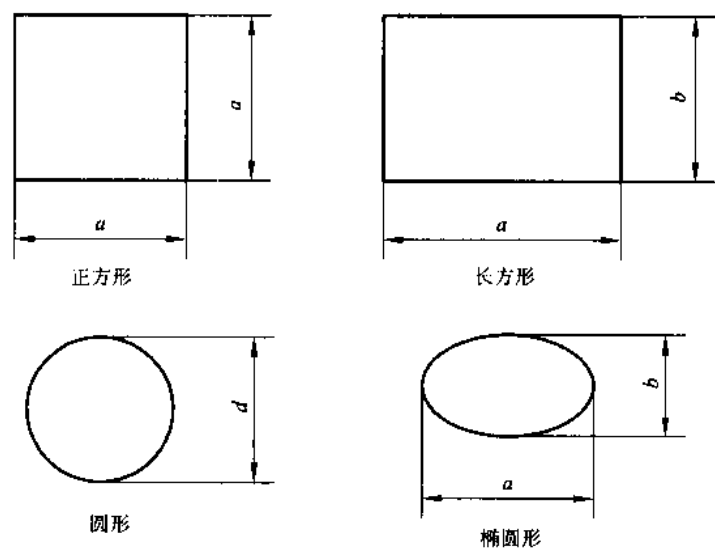


图 E.1 焦点形状分类

附 录 F
(规范性附录)
专用像质计的型式和规格

F.1 专用像质计的样式

专用像质计的样式如图 F.1 所示，丝的数目一般为 5 根，有特殊要求时也可为 3 根。

F.2 专用像质计的型式、规格和材料

专用像质计的型式、规格和材料等应符合本部分 3.6 的规定。

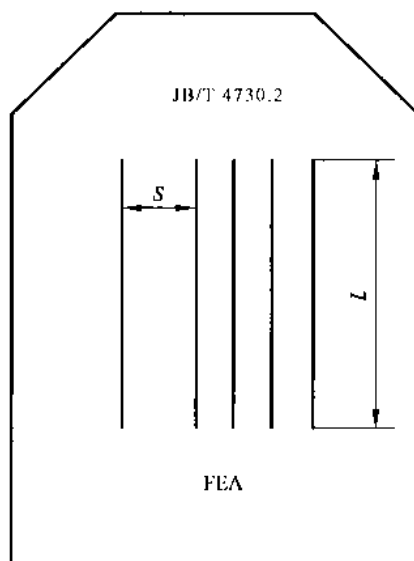


图 F.1 专用像质计的基本样式

附录 G
(规范性附录)
搭接标记的摆放位置

G.1 搭接标记的摆放位置

搭接标记的摆放位置应符合图 G.1 ~ 图 G.5 所示的规定。

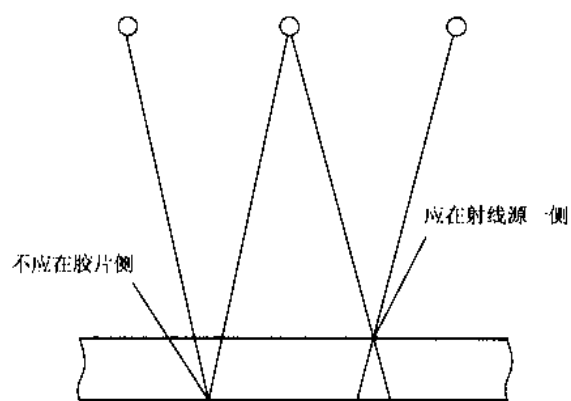


图 G.1 平面工件或纵焊接接头

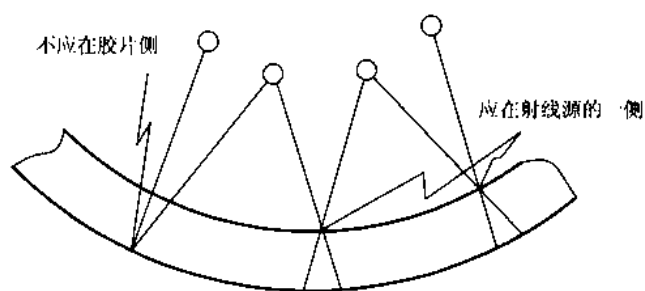


图 G.2 射线源到胶片距离 F 小于曲面工件的曲率半径

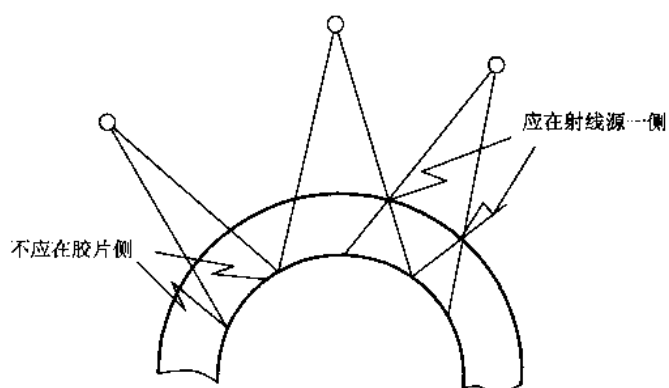


图 G.3 凸面朝向射线源的曲面部件

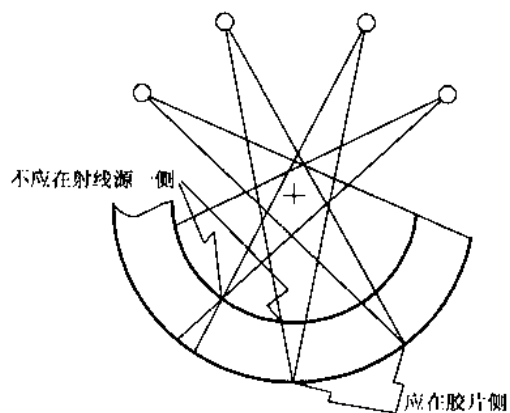


图 G.4 射线源到胶片距离 F 大于曲面工件的曲率半径

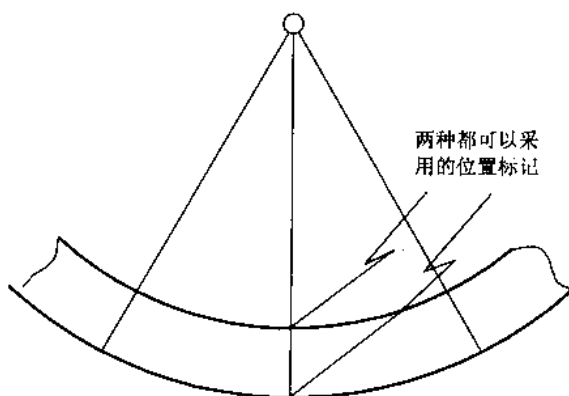


图 G.5 射线源在曲面工件的曲率中心

附录 H

(规范性附录)

对比试块的型式和规格

H.1 对比试块

对比试块分为小径管专用对比试块 (I 型) 和一般对比试块 (II 型) 两类。制作对比试块的材料应与被检工件的材料的射线吸收系数相同或相近。

H.2 小径管专用对比试块的型式、规格和尺寸

I 型专用对比试块分 I_A 和 I_B 两种型式, 其规格和尺寸应符合图 H.1 和表 H.1 的规定。

H.3 一般对比试块的型式、规格和尺寸

II 型对比试块的型式、规格和尺寸应符合图 H.2 和表 H.2 的规定。

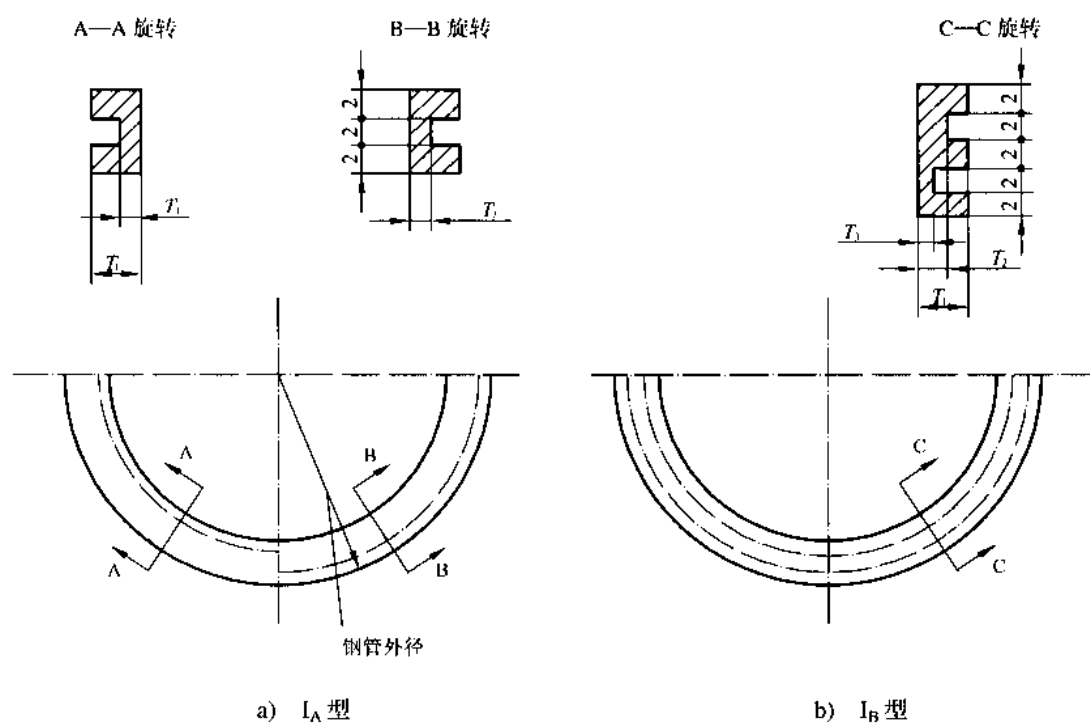


图 H.1 小径管专用对比试块 I 型

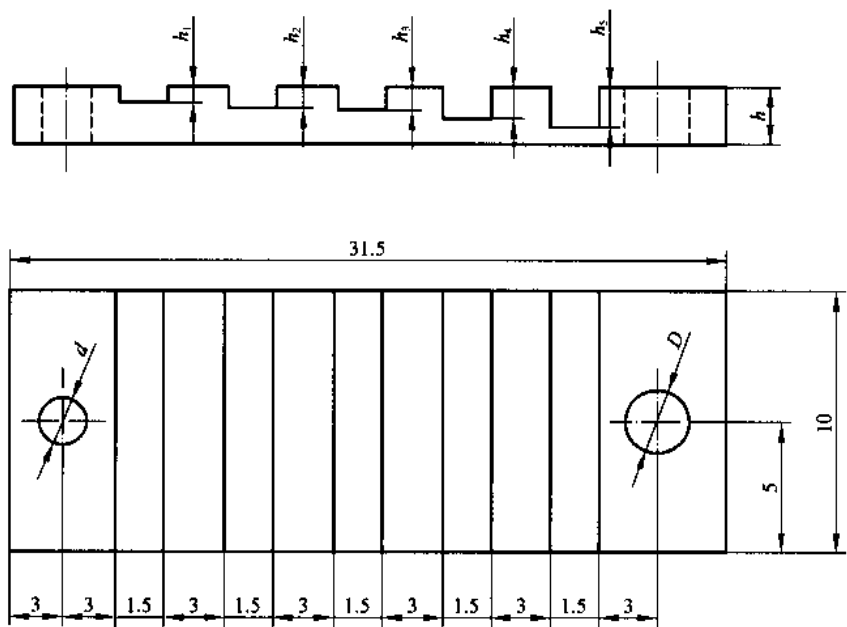


图 H.2 一般对比试块（Ⅱ型）

表 H.1 小径管专用对比试块（Ⅰ型）的尺寸 mm

管壁厚 T	第一阶厚度 T_1	偏差	第二阶厚度 T_2	偏差	第三阶厚度 T_3	偏差
3.5	1	0 -0.06	0.65	+0.025 0	0.5	+0.025 0
4	1		0.6		0.4	
5	1		0.5		0.25	
6	1		0.4		0.1	

表 H.2 一般对比试块（Ⅱ型）的尺寸 mm

尺寸		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	$h_1 \sim h_5$ 的偏差	h	h 的 偏差	d	d 的 偏差	D	D 的 偏差
对比 块编 号	I	0.3	0.6	1.2	1.5	1.8	0 -0.06	2.5	0 -0.10	1.0	+0.06 0	-	-
	II	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	0 -0.10	3.5	0 -0.12	1.0	+0.06 0	2.0	+0.06 0

JB

中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.3—2005

代替JB 4730—1994部分

承压设备无损检测 第3部分：超声检测

Nondestructive testing of pressure equipments—

Part 3: Ultrasonic testing

2005-07-26 发布

2005-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	66
1 范围	67
2 规范性引用文件	67
3 一般要求	67
4 承压设备用原材料、零部件的超声检测和质量分级	69
5 承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级	85
6 承压设备管子、压力管道环向对接焊接接头超声检测和质量分级	103
7 在用承压设备超声检测	108
8 超声检测报告	110
附录 A (规范性附录) 双晶直探头性能要求	112
附录 B (规范性附录) 承压设备用钢板超声横波检测	114
附录 C (规范性附录) 承压设备用钢锻件超声横波检测	116
附录 D (规范性附录) 承压设备全熔化焊用高压无缝钢管轴向横波检测	118
附录 E (规范性附录) 承压设备用奥氏体钢锻件斜探头检测	120
附录 F (规范性附录) 声能传输损耗差的测定	121
附录 G (规范性附录) 6mm~8mm 钢制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级	123
附录 H (规范性附录) 回波动态波形	125
附录 I (规范性附录) 缺陷测高方法(一) 采用超声端点衍射波法测定缺陷自身高度	130
附录 J (规范性附录) 缺陷测高方法(二) 采用超声端部最大回波法测定缺陷自身高度	135
附录 K (规范性附录) 缺陷测高方法(三) 采用 6dB 法测定缺陷自身高度	138
附录 L (规范性附录) 缺陷类型识别和性质估判	140
附录 M (资料性附录) 钛制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级	142
附录 N (资料性附录) 奥氏体不锈钢对接焊接接头超声检测和质量分级	145

前 言

JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005《承压设备无损检测》分为六个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测。

本部分为 JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005 的第3部分：超声检测。本部分主要根据国内多年的研究成果和应用经验，参考 ASME《锅炉压力容器规范》第 V 卷和 JIS 标准规范以及行业反馈意见进行修订。本部分与 JB 4730—1994 相比主要变化如下：

1. 对壁厚小于3倍近场区工件材质衰减系数公式进行修正；增加了奥氏体不锈钢和双相不锈钢钢板、铝及铝合金板材、钛及钛合金板材超声检测内容；统一了爆炸和轧制复合钢板超声检测内容。
2. 将钢制承压设备对接焊接接头超声检测范围扩大到6mm ~ 400mm，对对接焊接接头超声检测试块进行了局部调整；增加了钢制承压设备对接焊接接头超声检测等级分类的内容；增加了T型焊接接头以及奥氏体不锈钢承压设备对接焊接接头的超声检测内容。
3. 增加了壁厚大于或等于4mm，外径为32mm ~ 159mm 或壁厚为4mm ~ 6mm，外径大于或等于159mm 的钢制承压设备管子、压力管道环向对接接头超声检测内容；增加了壁厚大于或等于5mm，外径为80mm ~ 159mm 或壁厚为5mm ~ 8mm，外径大于或等于159mm 的铝及铝合金环向对接焊接接头超声检测内容。
4. 增加了在用承压设备超声检测内容。

本部分附录 A 至附录 L 为规范性附录；附录 M、附录 N 为资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

本部分主要起草人：袁榕、姚志忠、康纪黔、阎长周、肖家伟、许遵言、潘荣宝、陈程玉。

承压设备无损检测

第 3 部分：超声检测

1 范围

JB/T 4730 的本部分规定了承压设备采用 A 型脉冲反射式超声波探伤仪检测工件缺陷的超声检测方法和质量分级要求。

本部分适用于金属材料制承压设备用原材料、零部件和焊接接头的超声检测，也适用于金属材料制在用承压设备的超声检测。

与承压设备有关的支承件和结构件的超声检测，也可参照本部分使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 4730 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

- JB/T 4730.1 承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
- JB/T 7913—1995 超声波检测用钢制对比试块的制作与校验方法
- JB/T 9214—1999 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能 测试方法
- JB/T 10061—1999 A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件
- JB/T 10062—1999 超声探伤用探头性能测试方法
- JB/T 10063—1999 超声探伤用 1 号标准试块技术条件

3 一般要求

3.1 超声检测人员

超声检测人员的一般要求应符合 JB/T 4730.1 的有关规定。

3.2 检测设备

3.2.1 超声检测设备均应具有产品质量合格证或合格的证明文件。

3.2.2 探伤仪、探头和系统性能

3.2.2.1 探伤仪

采用 A 型脉冲反射式超声波探伤仪，其工作频率范围为 0.5MHz ~ 10MHz，仪器至少在荧光屏满刻度的 80% 范围内呈线性显示。探伤仪应具有 80dB 以上的连续可调衰减器，步进级每档不大于 2dB，其精度为任意相邻 12dB 的误差在 ± 1 dB 以内，最大累计误差不超过 1dB。水平线性误差不大于 1%，垂直线性误差不大于 5%。其余指标应符合 JB/T 10061 的规定。

3.2.2.2 探头

3.2.2.2.1 晶片面积一般不应大于 500mm²，且任一边长原则上不大于 25mm。

3.2.2.2.2 单斜探头声束轴线水平偏离角不应大于 2°，主声束垂直方向不应有明显的双峰。

3.2.2.3 超声探伤仪和探头的系统性能

3.2.2.3.1 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。

3.2.2.3.2 仪器和探头的组合频率与公称频率误差不得大于 $\pm 10\%$ 。

3.2.2.3.3 仪器和直探头组合的始脉冲宽度（在基准灵敏度下）：对于频率为5MHz的探头，宽度不大于10mm；对于频率为2.5MHz的探头，宽度不大于15mm。

3.2.2.3.4 直探头的远场分辨力应不小于30dB，斜探头的远场分辨力应不小于6dB。

3.2.2.3.5 仪器和探头的系统性能应按JB/T 9214和JB/T 10062的规定进行测试。

3.3 超声检测一般方法

3.3.1 检测准备

3.3.1.1 承压设备的制造、安装和在用检验中，超声检测的检测时机及抽检率的选择等应按相关法规、标准及有关技术文件的规定。

3.3.1.2 所确定检测面应保证工件被检部分均能得到充分检查。

3.3.1.3 焊缝的表面质量应经外观检测合格。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，否则应做适当的处理。

3.3.2 扫查覆盖率

为确保检测时超声声束能扫查到工件的整个被检区域，探头的每次扫查覆盖率应大于探头直径的15%。

3.3.3 探头的移动速度

探头的扫查速度不应超过150mm/s。当采用自动报警装置扫查时，不受此限。

3.3.4 扫查灵敏度

扫查灵敏度通常不得低于基准灵敏度。

3.3.5 耦合剂

应采用透声性好，且不损伤检测表面的耦合剂，如机油、浆糊、甘油和水等。

3.3.6 灵敏度补偿

a) 耦合补偿。在检测和缺陷定量时，应对由表面粗糙度引起的耦合损失进行补偿。

b) 衰减补偿。在检测和缺陷定量时，应对材质衰减引起的检测灵敏度下降和缺陷定量误差进行补偿。

c) 曲面补偿。对探测面是曲面的工件，应采用曲率半径与工件相同或相近的试块，通过对比试验进行曲率补偿。

3.4 系统校准和复核

3.4.1 一般要求

系统校准应在标准试块上进行，校准中应使探头主声束垂直对准反射体的反射面，以获得稳定和最大的反射信号。

3.4.2 仪器校准

每隔3个月至少对仪器的水平线性和垂直线性进行一次测定，测定方法按JB/T 10061的规定。

3.4.3 新购探头测定

新购探头应有探头性能参数说明书，新探头使用前应进行前沿距离、 K 值、主声束偏离、灵敏度余量和分辨力等主要参数的测定。测定应按JB/T 10062的有关规定进行，并满足其要求。

3.4.4 检测前仪器和探头系统测定

3.4.4.1 使用仪器—斜探头系统，检测前应测定前沿距离、 K 值和主声束偏离，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度。

3.4.4.2 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，调节或复核扫描量程和扫查灵敏度。

3.4.5 检测过程中仪器和探头系统的复核

遇有下述情况应对系统进行复核：

- a) 校准后的探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变时；
- b) 检测人员怀疑扫描量程或扫查灵敏度有变化时；
- c) 连续工作 4h 以上时；
- d) 工作结束时。

3.4.6 检测结束前仪器和探头系统的复核

- a) 每次检测结束前，应对扫描量程进行复核。如果任意一点在扫描线上的偏移超过扫描线读数的 10%，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。
- b) 每次检测结束前，应对扫查灵敏度进行复核。一般对距离一波幅曲线的校核不应少于 3 点。如曲线上任何一点幅度下降 2dB，则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；如幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

3.4.7 校准、复核的有关注意事项

校准、复核和对仪器进行线性检测时，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。

3.5 试块

3.5.1 标准试块

3.5.1.1 标准试块是指本部分规定的用于仪器探头系统性能校准和检测校准的试块，本部分采用的标准试块有：

- a) 钢板用标准试块：CBI、CBII；
- b) 锻件用标准试块：CSI、CSII、CSIII；
- c) 焊接接头用标准试块：CSK-IA、CSK-IIA、CSK-IIIA、CSK-IVA。

3.5.1.2 标准试块应采用与被检工件声学性能相同或近似的材料制成，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。

3.5.1.3 标准试块尺寸精度应符合本部分的要求，并应经计量部门检定合格。

3.5.1.4 标准试块的其他制造要求应符合 JB/T 10063 和 JB/T 7913 的规定。

3.5.2 对比试块

3.5.2.1 对比试块是指用于检测校准的试块。

3.5.2.2 对比试块的外形尺寸应能代表被检工件的特征，试块厚度应与被检工件的厚度相对应。如果涉及到两种或两种以上不同厚度部件焊接接头的检测，试块的厚度应由其最大厚度来确定。

3.5.2.3 对比试块反射体的形状、尺寸和数量应符合本部分的规定。

4 承压设备用原材料、零部件的超声检测和质量分级

4.1 承压设备用钢板超声检测和质量分级

4.1.1 范围

本条适用于板厚为 6mm ~ 250mm 的碳素钢、低合金钢制承压设备用板材的超声检测和质量分级。

奥氏体钢板材、镍及镍合金板材以及双相不锈钢板材的超声检测也可参照本章执行。

4.1.2 探头选用

4.1.2.1 探头选用应按表 1 的规定进行。

表 1 承压设备用板材超声检测探头选用

板厚, mm	采用探头	公称频率, MHz	探头晶片尺寸
6 ~ 20	双晶直探头	5	晶片面积不小于 150mm ²
>20 ~ 40	单晶直探头	5	φ 14 mm ~ φ 20 mm
>40 ~ 250	单晶直探头	2.5	φ 20 mm ~ φ 25 mm

4. 1. 2. 2 双晶直探头性能应符合附录 A（规范性附录）的要求。

4. 1. 3 标准试块

4. 1. 3. 1 用双晶直探头检测厚度不大于 20mm 的钢板时，采用如图 1 所示的 CBI 标准试块。

4. 1. 3. 2 用单直探头检测厚度大于 20mm 的钢板时，CBI 标准试块应符合图 2 和表 2 的规定。试块厚度应与被检钢板厚度相近。如经合同双方协商同意，也可采用双晶直探头进行检测。

全部 6.3/√

注：尺寸误差≤0.05mm

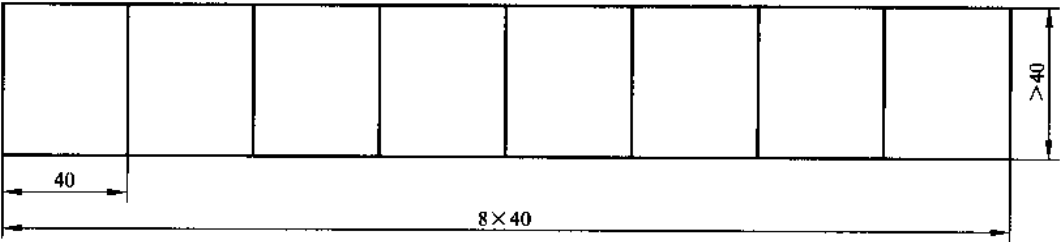
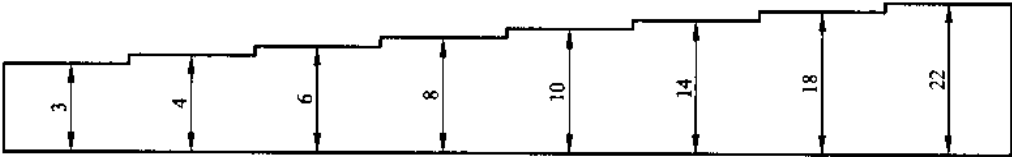


图 1 CBI 标准试块

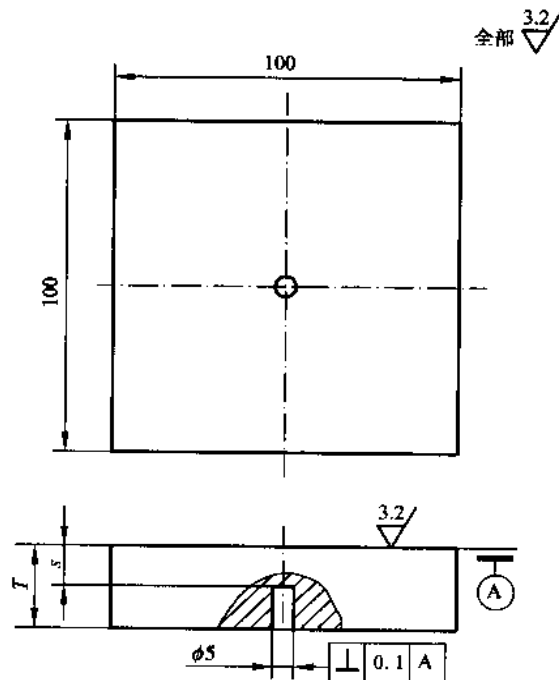


图2 CBII 标准试块

表2 CBII 标准试块

mm

试块编号	被检钢板厚度	检测面到平底孔的距离 s	试块厚度 T
CBII-1	$> 20 \sim 40$	15	≥ 20
CBII-2	$> 40 \sim 60$	30	≥ 40
CBII-3	$> 60 \sim 100$	50	≥ 65
CBII-4	$> 100 \sim 160$	90	≥ 110
CBII-5	$> 160 \sim 200$	140	≥ 170
CBII-6	$> 200 \sim 250$	190	≥ 220

4.1.4 基准灵敏度

4.1.4.1 板厚不大于 20mm 时, 用 CBI 试块将工件等厚部位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。

4.1.4.2 板厚大于 20mm 时, 应将 CBII 试块 $\phi 5$ 平底孔第一次反射波高调整到满刻度的 50% 作为基准灵敏度。

4.1.4.3 板厚不小于探头的 3 倍近场区时, 也可取钢板无缺陷完好部位的第一次底波来校准灵敏度, 其结果应与 4.1.4.2 的要求相一致。

4.1.5 检测方法

4.1.5.1 检测面

可选钢板的任一轧制表面进行检测。若检测人员认为需要或设计上有要求时, 也可选钢板的上、下

两轧制表面分别进行检测。

4.1.5.2 耦合方式

耦合方式可采用直接接触法或液浸法。

4.1.5.3 扫查方式

- 探头沿垂直于钢板压延方向，间距不大于 100mm 的平行线进行扫查。在钢板剖口预定线两侧各 50mm（当板厚超过 100mm 时，以板厚的一半为准）内应作 100% 扫查，扫查示意图见图 3。
- 根据合同、技术协议书或图样的要求，也可采用其他形式的扫查。

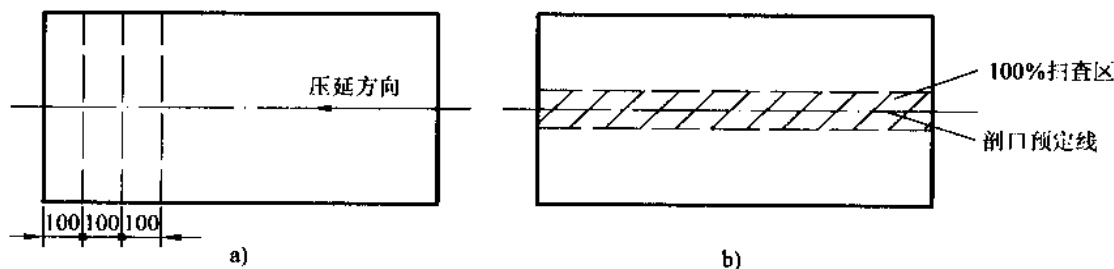


图 3 探头扫查示意图

4.1.6 缺陷的测定与记录

4.1.6.1 在检测过程中，发现下列三种情况之一即作为缺陷：

- 缺陷第一次反射波（ F_1 ）波高大于或等于满刻度的 50%，即 $F_1 \geq 50\%$ 。
- 当底面第一次反射波（ B_1 ）波高未达到满刻度，此时，缺陷第一次反射波（ F_1 ）波高与底面第一次反射波（ B_1 ）波高之比大于或等于 50%，即 $B_1 < 100\%$ ，而 $F_1/B_1 \geq 50\%$ 。
- 底面第一次反射波（ B_1 ）波高低于满刻度的 50%，即 $B_1 < 50\%$ 。

4.1.6.2 缺陷的边界范围或指示长度的测定方法

- 检出缺陷后，应在它的周围继续进行检测，以确定缺陷的范围。
- 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，并使缺陷波下降到基准灵敏度条件下荧光屏满刻度的 25% 或使缺陷第一次反射波波高与底面第一次反射波波高之比为 50%。此时，探头中心的移动距离即为缺陷的指示长度，探头中心点即为缺陷的边界点。两种方法测得的结果以较严重者为准确。
- 用单直探头确定缺陷的边界范围或指示长度时，移动探头使缺陷第一次反射波波高下降到基准灵敏度条件下荧光屏满刻度的 25% 或使缺陷第一次反射波波高与底面第一次反射波波高之比为 50%。此时，探头中心的移动距离即为缺陷的指示长度，探头中心即为缺陷的边界点。两种方法测得的结果以较严重者为准确。
- 确定 4.1.6.1 c) 中缺陷的边界范围或指示长度时，移动探头（单直探头或双直探头）使底面第一次反射波升高到荧光屏满刻度的 50%。此时探头中心移动距离即为缺陷的指示长度，探头中心点即为缺陷的边界点。
- 当板厚较薄，确需采用第二次缺陷波和第二次底波来评定缺陷时，基准灵敏度应以相应的第二次反射波来校准。

4.1.7 缺陷的评定方法

4.1.7.1 缺陷指示长度的评定规则

单个缺陷按其指示的最大长度作为该缺陷的指示长度。若单个缺陷的指示长度小于 40mm 时，可不作记录。

4.1.7.2 单个缺陷指示面积的评定规则

- a) 一个缺陷按其指示的面积作为该缺陷的单个指示面积。
- b) 多个缺陷其相邻间距小于 100mm 或间距小于相邻较小缺陷的指示长度（取其较大值）时，以各缺陷面积之和作为单个缺陷指示面积。
- c) 指示面积不计的单个缺陷见表 3。

表 3 钢板质量分级

等级	单个缺陷指示长度 mm	单个缺陷指示面积 cm ²	在任一 1m×1m 检测面积内存在的缺陷面积百分比 %	以下单个缺陷指示面积不计 cm ²
I	< 80	< 25	≤3	< 9
II	< 100	< 50	≤5	< 15
III	< 120	< 100	≤10	< 25
IV	< 150	< 100	≤10	< 25
V	超 过 IV 级 者			

4.1.7.3 缺陷面积百分比的评定规则

4.1.7.4 在任一 1m×1m 检测面积内，按缺陷面积所占的百分比来确定。如钢板面积小于 1m×1m，可按比例折算。

4.1.8 钢板质量分级

4.1.8.1 钢板质量分级见表 3。

4.1.8.2 在坡口预定线两侧各 50mm（板厚大于 100mm 时，以板厚的一半为准）内，缺陷的指示长度大于或等于 50mm 时，应评为 V 级。

4.1.8.3 在检测过程中，检测人员如确认钢板中有白点、裂纹等危害性缺陷存在时，应评为 V 级。

4.1.9 横波检测

4.1.9.1 在检测过程中对缺陷有疑问或合同双方技术协议中有规定时，可采用横波检测。

4.1.9.2 钢板横波检测应按附录 B（规范性附录）进行。

4.2 承压设备用钢锻件超声检测和质量分级

4.2.1 范围

本条适用于承压设备用碳钢和低合金钢锻件的超声检测和质量分级。

本条不适用于奥氏体钢等粗晶材料锻件的超声检测，也不适用于内外半径之比小于 80% 的环形和筒形锻件的周向横波检测。

4.2.2 探头

双晶直探头的公称频率应选用 5MHz。探头晶片面积不小于 150mm²；单晶直探头的公称频率应选用 2MHz～5MHz，探头晶片一般为 φ14mm～φ25mm。

4.2.3 试块

应符合 3.5 的规定。

4.2.3.1 单直探头标准试块

采用 CSI 试块，其形状和尺寸应符合图 4 和表 4 的规定。如确有需要也可采用其他对比试块。

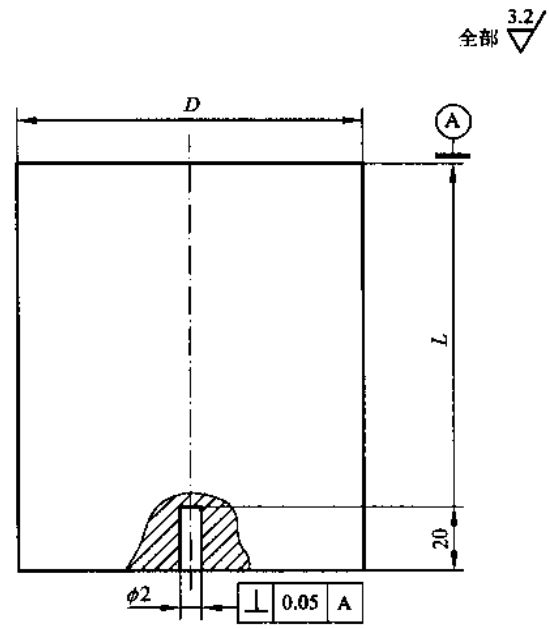


图 4 CSI 标准试块

表 4 CSI 标准试块尺寸 mm

试块序号	CSI-1	CSI-2	CSI-3	CSI-4
<i>L</i>	50	100	150	200
<i>D</i>	50	60	80	80

4.2.3.2 双晶直探头试块

- a) 工件检测距离小于 45mm 时，应采用 CSII 标准试块。
- b) CSII 试块的形状和尺寸应符合图 5 和表 5 的规定。

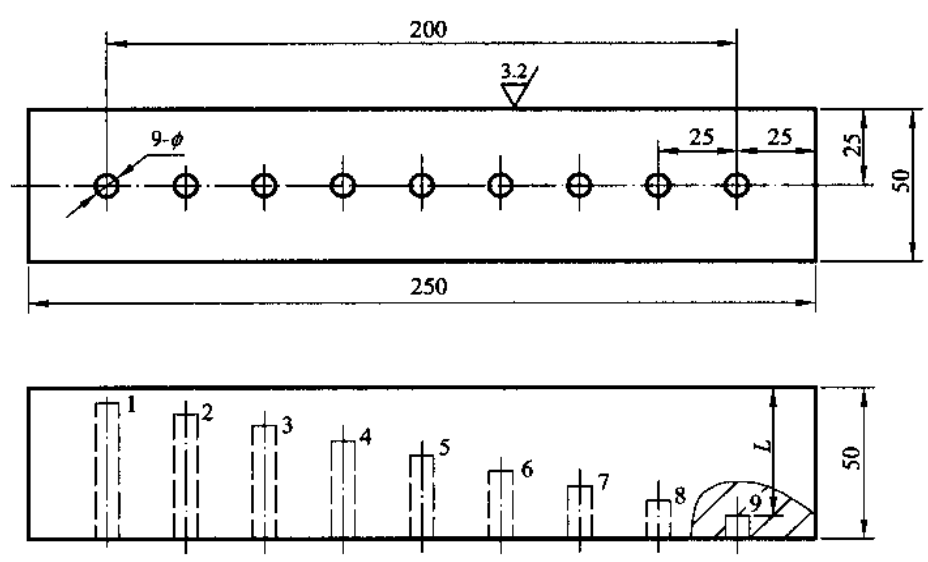


图 5 CSII 标准试块

表 5 CSII 标准试块尺寸

mm

试块序号	孔径	检测距离 L								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
CSII-1	$\phi 2$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
CSII-2	$\phi 3$									
CSII-3	$\phi 4$									
CSII-4	$\phi 6$									

4.2.3.3 检测面是曲面时,应采用 CSIII 标准试块来测定由于曲率不同而引起的声能损失,其形状和尺寸按图 6 所示。

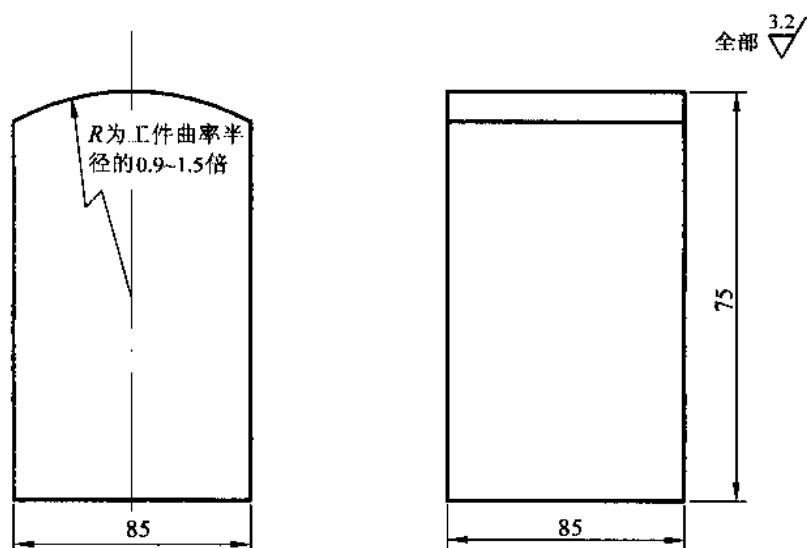


图 6 CSIII 标准试块

4.2.4 检测时机

检测原则上应安排在热处理后,孔、台等结构机加工前进行,检测面的表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ 。

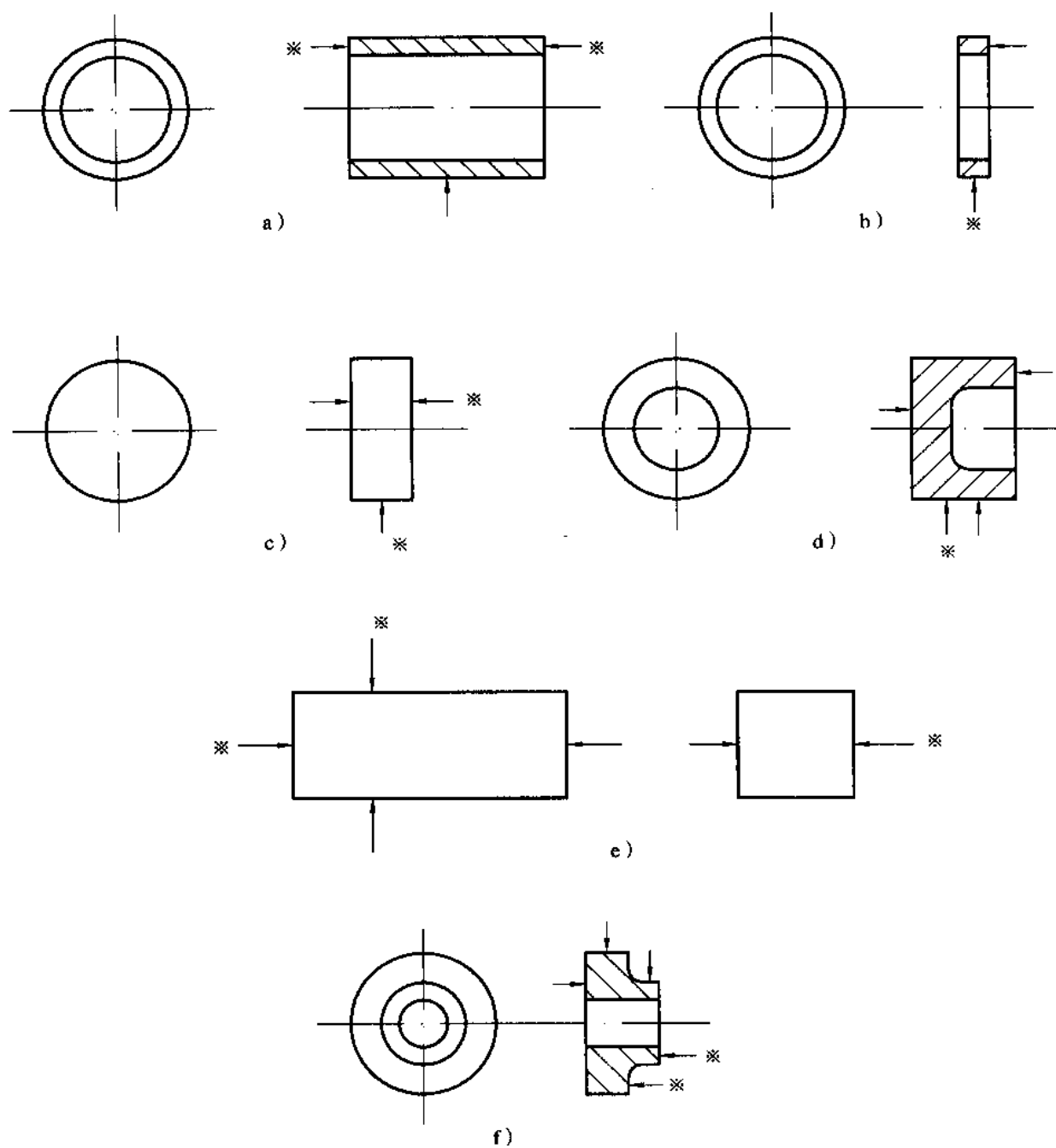
4.2.5 检测方法

4.2.5.1 一般原则

锻件应进行纵波检测,对筒形和环形锻件还应增加横波检测。

4.2.5.2 纵波检测

- 原则上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。主要检测方向如图 7 所示。其他形状的锻件也可参照执行。
- 锻件厚度超过 400mm 时,应从相对两端面进行 100% 的扫查。



注：↑为应检测方向；※为参考检测方向。

图7 检测方向（垂直检测法）

4.2.5.3 横波检测

钢锻件横波检测应按附录C（规范性附录）的要求进行。

4.2.6 灵敏度的确定

4.2.6.1 单直探头基准灵敏度的确定

当被检部位的厚度大于或等于探头的3倍近场区长度，且探测面与底面平行时，原则上可采用底波

计算法确定基准灵敏度。对由于几何形状所限,不能获得底波或壁厚小于探头的3倍近场区时,可直接采用CSII标准试块确定基准灵敏度。

4.2.6.2 双晶直探头基准灵敏度的确定

使用CSII试块,依次测试一组不同检测距离的 $\phi 3\text{mm}$ 平底孔(至少三个)。调节衰减器,作出双晶直探头的距离一波幅曲线,并以此作为基准灵敏度。

4.2.6.3 扫查灵敏度一般不得低于最大检测距离处的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径。

4.2.7 工件材质衰减系数的测定

4.2.7.1 在工件无缺陷完好区域,选取三处检测面与底面平行且有代表性的部位,调节仪器使第一次底面回波幅度(B_1 或 B_n)为满刻度的50%,记录此时衰减器的读数,再调节衰减器,使第二次底面回波幅度(B_2 或 B_m)为满刻度的50%,两次衰减器读数之差即为(B_1 、 B_2)或(B_n 、 B_m)的dB差值(不考虑底面反射损失)。

4.2.7.2 衰减系数($T < 3N$,且满足 $n > 3N/T$, $m = 2n$)按式(1)计算:

$$\alpha = [(B_n - B_m) - 6] / 2(m - n)T \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

α ——衰减系数,dB/m(单程);

($B_n - B_m$)——两次衰减器的读数之差,dB;

T ——工件检测厚度,mm;

N ——单直探头近场区长度,mm;

m 、 n ——底波反射次数。

4.2.7.3 衰减系数($T \geq 3N$)按式(2)计算

$$\alpha = [(B_1 - B_2) - 6] / 2T \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

($B_1 - B_2$)——两次衰减器的读数之差,dB;

其余符号意义同式(1)。

4.2.7.4 工件上三处衰减系数的平均值即作为该工件的衰减系数。

4.2.8 缺陷当量的确定

4.2.8.1 被检缺陷的深度大于或等于探头的3倍近场区时,采用AVG曲线及计算法确定缺陷当量。对于3倍近场区内的缺陷,可采用单直探头或双晶直探头的距离一波幅曲线来确定缺陷当量。也可采用其他等效方法来确定。

4.2.8.2 计算缺陷当量时,若材质衰减系数超过4dB/m,应考虑修正。

4.2.9 缺陷记录

4.2.9.1 记录当量直径超过 $\phi 4\text{mm}$ 的单个缺陷的波幅和位置。

4.2.9.2 密集区缺陷:记录密集区缺陷中最大当量缺陷的位置和缺陷分布。饼形锻件应记录大于或等于 $\phi 4\text{mm}$ 当量直径的缺陷密集区,其他锻件应记录大于或等于 $\phi 3\text{mm}$ 当量直径的缺陷密集区。缺陷密集区面积以 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的方块作为最小量度单位,其边界可由6dB法决定。

4.2.9.3 底波降低量应按表6的要求记录。

表6 由缺陷引起底波降低量的质量分级

dB

等 级		I	II	III	IV	V
底波降低量	BG/BF	≤8	>8~14	>14~20	>20~26	>26
注：本表仅适用于声程大于近场区长度的缺陷。						

4.2.9.4 衰减系数。

4.2.10 质量分级等级评定

4.2.10.1 单个缺陷的质量分级见表7。

4.2.10.2 缺陷引起底波降低量的质量分级见表6。

表7 单个缺陷的质量分级

mm

等级	I	II	III	IV	V
缺陷当量直径	≤φ4	φ4+ (>0 dB~8dB)	φ4+ (>8 dB~12dB)	φ4+ (>12 dB~16dB)	>φ4+16dB

4.2.10.3 缺陷密集区质量分级见表8。

表8 密集区缺陷的质量分级

等 级	I	II	III	IV	V
密集区缺陷占检测总面积的百分比, %	0	>0~5	>5~10	>10~20	>20

4.2.10.4 表6、表7和表8的等级应作为独立的等级分别使用。

4.2.10.5 当缺陷被检测人员判定为危害性缺陷时, 锻件的质量等级为V级。

4.3 承压设备用铝及铝合金和钛及钛合金板材超声检测和质量分级

4.3.1 范围

本条适用于厚度大于或等于6mm的承压设备用铝及铝合金、钛及钛合金板材的超声检测和质量分级。

4.3.2 探头选用

4.3.2.1 探头的选用应按表1的规定进行。

4.3.2.2 双晶直探头性能要求应符合附录A(规范性附录)的要求。

4.3.3 检测方法

4.3.3.1 检测面

可选板材的任一轧制表面进行检测。若检测人员认为需要或设计上有要求时, 也可选板材的上、下两轧制表面分别进行检测。

4.3.3.2 扫查方式

a) 探头沿垂直于板材压延方向, 间距不大于40mm的平行线进行扫查。在板材剖口预定线两侧各50mm内应作100%扫查, 扫查示意如图3。

b) 根据合同、技术协议书或图样的要求, 也可采用其他形式的扫查。

4.3.3.3 基准灵敏度的确定

将探头置于待检板材完好部位, 调节第一次底波高度为荧光屏满刻度的80%, 以此作为基准灵敏度。

4.3.4 耦合方式

耦合方式可采用直接接触法或液浸法。

4.3.5 缺陷记录

4.3.5.1 在检测过程中,发现下列情况之一者即作为缺陷处理:

- 缺陷第一次反射波 (F_1) 波高大于或等于满刻度的 40%, 即 $F_1 \geq 40\%$ 。
- 缺陷第一次反射波 (F_1) 波高低于满刻度的 40%, 同时, 缺陷第一次反射波 (F_1) 波高与底面第一次反射波 (B_1) 波高之比大于或等于 100%, 即 $F_1/B_1 \geq 100\%$ 。
- 当底面第一次反射波 (B_1) 波高低于满刻度的 5%, 即 $B_1 < 5\%$ 。

4.3.5.2 缺陷边界范围或指示长度的测定方法

- 检出缺陷后,应在它的周围继续进行检测,以确定缺陷的延伸。
- 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,并使缺陷波下降到基准灵敏度条件下荧光屏满刻度的 20% 或使缺陷第一次反射波波高与底面第一次反射波波高之比为 100%。此时,探头中心的移动距离即为缺陷的指示长度,探头中心点即为缺陷的边界点。两种方法测得的结果以较严重者为准确。
- 用单直探头确定缺陷边界或指示长度时,移动探头,使缺陷第一次反射波波高下降到检测灵敏度条件下荧光屏满刻度的 20% 或使缺陷第一次反射波波高与底面第一次反射波波高之比为 100%。此时,探头中心移动距离即为缺陷的指示长度,探头中心即为缺陷的边界点;两种方法测得的结果以较严重者为准确。
- 确定底波降低缺陷的边界或指示长度时,移动探头(单直探头或双直探头),使底面第一次反射波升高到荧光屏满刻度的 40%。此时,探头中心移动距离即为缺陷的指示长度,探头中心点即为缺陷的边界点。

4.3.6 缺陷的评定方法

4.3.6.1 缺陷指示长度的评定

- 一个缺陷按其指示的最大长度作为该缺陷的指示长度,若单个缺陷的指示长度小于 25mm 时,可不作记录。
- 两个缺陷相邻间距小于 25mm 时,其指示长度为两单个缺陷的指示长度再加上间距之和。

4.3.6.2 单个缺陷指示面积的评定

- 一个缺陷按其指示的最大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相邻较小缺陷的指示长度(取其较大值)时,以各缺陷面积之和作为单个缺陷指示面积。
- 指示面积不计的单个缺陷见表 9。

表 9 板材质量分级

等级	单个缺陷指示长度, mm	单个缺陷指示面积, cm^2	以下单个缺陷指示面积不计, cm^2
I	< 25	< 6	< 4
II	< 50	< 20	< 9
III	< 75	< 50	< 25
IV	缺陷大于 III 级者		

4.3.7 板材质量分级

4.3.7.1 板材质量分级见表 9。

4.3.7.2 在坡口预定线两侧各 50mm 内,缺陷的指示长度大于或等于 25mm 时,应评为 IV 级。

4.3.7.3 当缺陷被检测人员判定为危害性缺陷时,板材的质量等级为 IV 级。

4.4 承压设备用复合板超声检测

4.4.1 范围

本条适用于基板厚度大于或等于 6mm 的承压设备用不锈钢、钛及钛合金、铝及铝合金、镍及镍合金、铜及铜合金复合板的超声检测和质量分级。基板通常采用碳钢、低合金钢板或不锈钢板。

本条主要用于复合板复合面结合状态的超声检测。

4.4.2 探头选用

4.4.2.1 探头的选用应按表 1 的规定进行。

4.4.2.2 双晶直探头性能要求应符合附录 A（规范性附录）的要求。

4.4.3 检测方法

4.4.3.1 检测面

一般可从基板或复板侧表面进行检测。

4.4.3.2 耦合方式

耦合方式可采用直接接触法或液浸法。

4.4.3.3 扫查方式

a) 扫查方式可采用 100%扫查或沿钢板宽度方向，间隔为 50mm 的平行线扫查。

b) 根据合同、技术协议书或图样的要求，也可采用其他扫查形式。

c) 在坡口预定线两侧各 50mm 内应作 100%扫查。

4.4.4 基准灵敏度的确定

将探头置于复合钢板完全结合部位，调节第一次底波高度为荧光屏满刻度的 80%。以此作为基准灵敏度。

4.4.5 未结合区的测定

第一次底波高度低于荧光屏满刻度的 5%，且明显有未接合缺陷反射波存在时（ $\geq 5\%$ ），该部位称为未结合区。移动探头，使第一次底波升高到荧光屏满刻度的 40%，以此时探头中心作为未结合区边界点。

4.4.6 未结合缺陷的评定方法

4.4.6.1 缺陷指示长度的评定

一个缺陷按其指示的最大长度作为该缺陷的指示长度。若单个缺陷的指示长度小于 25mm 时，可不作记录。

4.4.6.2 缺陷面积的评定

多个相邻的未结合区，当其最小间距小于或等于 20mm 时，应作为单个未结合区处理，其面积为各个未结合区面积之和。

4.4.6.3 未结合率的评定

未结合区总面积占复合板总面积的百分比。

4.4.7 质量分级

4.4.7.1 复合板质量分级按表 10 的规定。

4.4.7.2 在坡口的预定线两侧各 50mm 的范围内，未结合的指示长度大于或等于 25mm 时，定级为 IV 级。

表 10 复合钢板质量分级

等级	单个未结合指示长度, mm	单个未结合区面积, cm ²	未结合率, %
I	0	0	0
II	≤50	≤20	≤2
III	≤75	≤45	≤5
IV	大于 III 级者		

4.5 承压设备用无缝钢管超声检测和质量分级

4.5.1 范围

本条适用于外径为 12mm~660mm、壁厚大于或等于 2mm 的承压设备用碳钢和低合金无缝钢管或外径为 12mm~400mm、壁厚为 2mm~35mm 的承压设备用奥氏体不锈钢无缝管的超声检测和质量分级。

本条不适用于内外径之比小于 80% 的钢管周向直接接触法横波检测,也不适用于分层缺陷的超声检测。

4.5.2 试块的制备和要求

4.5.2.1 对比试块应选取与被检钢管规格相同,材质、热处理工艺和表面状况相同或相似的钢管制备。对比试块不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 当量的自然缺陷。对比试块的长度应满足检测方法和检测设备要求。

4.5.2.2 钢管纵向缺陷检测试块的尺寸、V 形槽和位置应符合图 8 和表 11 的规定。

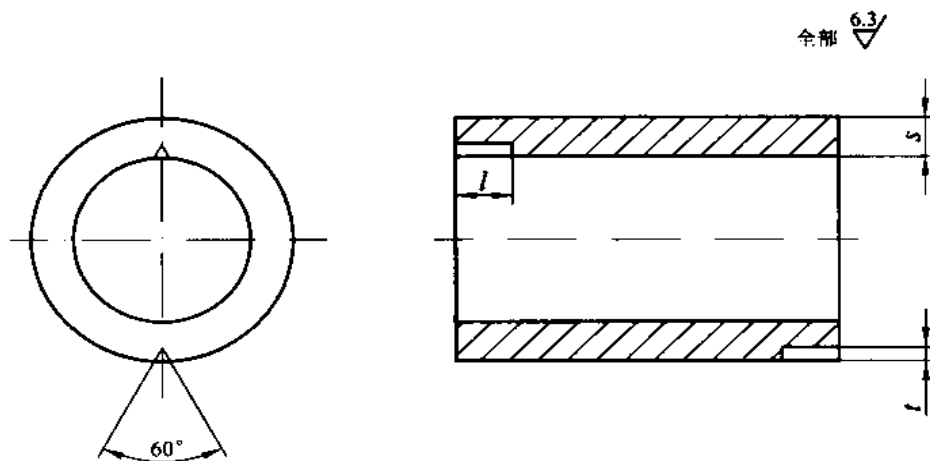


图 8 对比试样

表 11 对比试样上人工缺陷尺寸

级别	长度 l , mm	深度 t 占壁厚的百分比, %
I	40	5 ($0.2\text{mm} \leq t \leq 1\text{mm}$)
II	40	8 ($0.2\text{mm} \leq t \leq 2\text{mm}$)
III	40	10 ($0.2\text{mm} \leq t \leq 3\text{mm}$)

4.5.3 检测方法

4.5.3.1 钢管的检测主要针对纵向缺陷。横向缺陷的检测可按附录 D (规范性附录) 的规定,由合同双方协商解决。

4.5.3.2 钢管的检测可根据钢管规格选用液浸法或接触法检测。

4.5.3.3 检测纵向缺陷时超声波束应由钢管横截面中心线一侧倾斜入射,在管壁内沿周向呈锯齿形传播(见图9)。检测横向缺陷时超声波束应沿轴向倾斜入射呈锯齿形传播(见图10)。

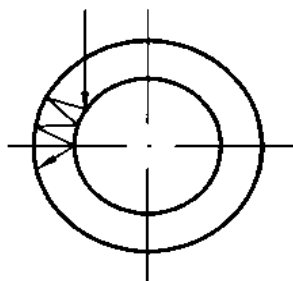


图9 管壁内声束的周向传播

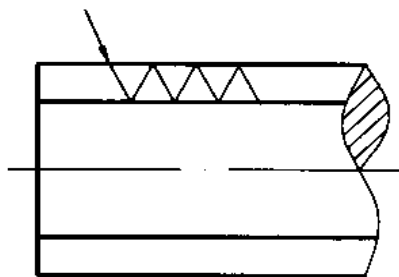


图10 管壁内声束的轴向传播

4.5.3.4 探头相对钢管螺旋进给的螺距应保证超声波束对钢管进行100%扫查时,有不小于15%的覆盖率。

4.5.3.5 自动检测应保证动态时的检测灵敏度,且内、外槽的最大反射波幅差不超过2dB。

4.5.3.6 每根钢管应从管子两端沿相反方向各检测一次。

4.5.4 检测设备

4.5.4.1 检测设备由超声波探伤仪、探头和其他机械传动装置及辅助装置等组成。检测频率为2.5MHz~5MHz。

4.5.4.2 液浸法检测使用线聚焦或点聚焦探头。接触法检测使用与钢管表面吻合良好的斜探头或聚焦斜探头。单个探头压电晶片长度或直径小于或等于25mm。

4.5.5 灵敏度的确定

4.5.5.1 直接接触法横波基准灵敏度的确定,可直接在对比试样上将内壁人工V形槽的回波高度调到荧光屏满刻度的80%,再移动探头,找出外壁人工V形槽的最大回波,在荧光屏上标出,连接两点即为距离—波幅曲线,作为检测时的基准灵敏度。

4.5.5.2 液浸法基准灵敏度按下述方法确定:

- a) 水层距离应根据聚焦探头的焦距来确定。
- b) 调整时,一面用适当的速度转动管子,一面将探头慢慢偏心,使对比试样管内、外表面人工缺陷所产生的回波幅度均达到荧光屏满刻度的50%,以此作为基准灵敏度。如不能达到此要求,也可在内、外槽设立不同的报警电平。

4.5.5.3 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高6dB。

4.5.6 验收要求

无缝钢管的判废要求按相应技术文件规定。

4.5.7 结果评定

若缺陷回波幅度大于或等于相应的对比试块人工缺陷回波,则判为不合格。不合格品允许重新处理,处理后仍按JB/T 4730的本部分进行超声检测和质量等级评定。

4.6 承压设备用钢螺栓坯件的超声检测和质量分级

4.6.1 范围和一般要求

本条适用于对直径大于M36的承压设备用碳钢和低合金钢螺栓坯件进行超声检测和质量分级。

本条不适用于奥氏体钢螺栓坯件的超声检测。

4.6.2 探头

采用2.5MHz~5MHz的单晶直探头或双晶直探头。

4.6.3 试块

试块的尺寸和形状应符合 4.2.3 的规定。

4.6.4 检测方法

锅炉、压力容器及压力管道螺栓坯件一般应采用纵波检测，尽可能检测到工件的全体积。检测表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ 。

4.6.4.1 纵波径向探测

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。

4.6.4.2 纵波轴向探测

应从螺栓坯件的两端面进行扫查，尽可能避免边缘效应对检测结果的影响。

4.6.5 灵敏度的确定

4.6.5.1 基准灵敏度的确定按 4.2.6 的规定。

4.6.5.2 扫查灵敏度一般不得低于最大探测距离处的 $\phi 2mm$ 平底孔当量直径。

4.6.6 缺陷当量的确定

4.6.6.1 一般应采用距离—波幅曲线或计算法确定缺陷当量。

4.6.6.2 计算缺陷当量时，若材质衰减系数超过 $4dB/m$ ，应考虑修正。衰减系数的测定按 4.2.7 的规定。

4.6.7 缺陷记录

4.6.7.1 记录当量直径大于 $\phi 2mm$ 的单个缺陷的波幅和位置。

4.6.7.2 根据表 12 的要求，记录底波降低量。

表 12 单个缺陷的质量分级

mm

等 级	I	II	III	IV	V
缺陷当量直径	$\leq \phi 2$	$\leq \phi 3$	$\leq \phi 4$	$\leq \phi 5$	$> \phi 5$

4.6.8 质量分级

4.6.8.1 单个缺陷的质量分级见表 12。

4.6.8.2 由缺陷引起底波降低量的质量分级见表 13。

表 13 由缺陷引起底波降低量的质量分级

dB

等 级		I	II	III	IV	V
底波降低量	BG/BF	≤ 8	$> 8 \sim 14$	$> 14 \sim 20$	$> 20 \sim 26$	> 26
注：本表仅适用于声程大于近场区长度的缺陷。						

4.6.8.3 按表 12 和表 13 评定缺陷等级时，应作为独立的等级分别使用。

4.6.8.4 当缺陷被检测人员判定为危害性缺陷时，螺栓坯件的质量等级为 V 级。

4.7 承压设备用奥氏体钢锻件超声检测和质量分级

4.7.1 范围

本条适用于承压设备用奥氏体钢锻件的超声检测和质量分级。

4.7.2 探头

4.7.2.1 探头的工作频率为 $0.5MHz \sim 2MHz$ 。

4.7.2.2 直探头的晶片直径为 $14mm \sim 30mm$ 。

4.7.2.3 斜探头的 K 值一般为 $0.5 \sim 2$ 。

4.7.2.4 为了准确测定缺陷，必要时也可采用其他探头。

4.7.3 试块

- 4.7.3.1 对比试块应符合 3.5 的规定。
- 4.7.3.2 对比试块的晶粒大小和声学特性应与被测锻件大致相近。
- 4.7.3.3 应制备几套不同晶粒度的奥氏体钢锻件对比试块，以便能将缺陷区衰减同试块作合理的比较。
- 4.7.3.4 对比试块的形状和尺寸按图 11 和表 14 所示。

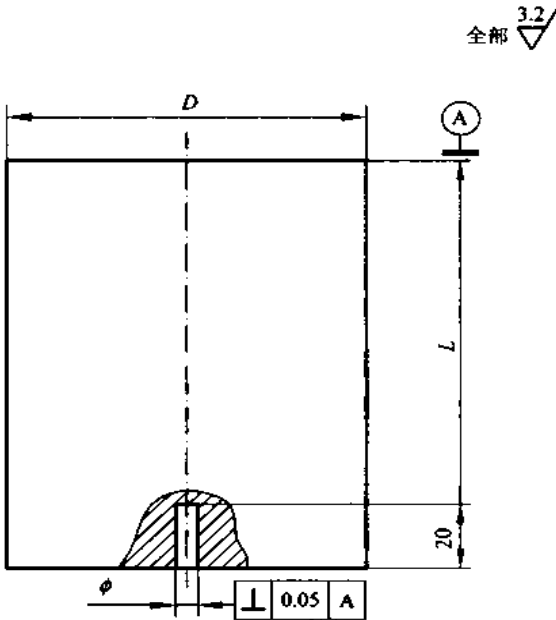


图 11 奥氏体钢锻件试块

表 14 奥氏体钢锻件试块尺寸 mm

$\phi 3$		$\phi 6$		$\phi 10$		$\phi 13$	
L	D	L	D	L	D	L	D
20	50	20	50	20	50	20	50
40	50	50	50	50	50	50	50
60	50	80	50	100	60	100	60
80	50	120	60	150	80	150	80
—	—	160	80	200	80	200	80
—	—	200	80	250	100	250	100
—	—	—	—	300	100	300	100
—	—	—	—	—	—	400	150
—	—	—	—	—	—	500	150
—	—	—	—	—	—	600	200

- 4.7.3.5 在条件允许时，可在锻件有代表性的部位加工一个或几个适当大小的对比孔或槽，代替试块作为校正和检测的基准。
- 4.7.4 检测时机和工件要求

4.7.4.1 锻件原则上应在最终热处理后、粗加工前进行超声检测。检测表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ 。检测面应无氧化皮、漆皮、污物等。

4.7.4.2 锻件应加工成简单的形状,以利于扫查和声束的覆盖。

4.7.5 检测方法

一般应进行直探头纵波检测。对筒形锻件和环形锻件必要时还应进行斜探头检测,但扫查部位和验收标准应由合同双方商定。

4.7.5.1 斜探头检测

奥氏体钢锻件斜探头检测应按附录 E (规范性附录) 的要求进行。

4.7.5.2 直探头纵波检测

直探头纵波检测应符合 4.2.5.2 的规定。

4.7.6 灵敏度的校正

4.7.6.1 当被检锻件厚度小于或等于 600mm 时,应根据定货锻件厚度和要求的质量等级,在适当厚度和当量的平底孔试块上校正,并根据实测值作出距离—波幅曲线(定量线);当被检锻件厚度大于 600mm 时,在锻件无缺陷部位将底波调至满刻度的 80%,以此作为基准灵敏度。

4.7.6.2 扫查灵敏度应至少比距离—波幅曲线(定量线)或基准灵敏度提高 6dB。

4.7.7 缺陷记录

4.7.7.1 由于缺陷的存在,而使底波降为满刻度 25% 以下的部位。

4.7.7.2 波幅幅度大于基准线高度 50% 的缺陷信号。

4.7.8 质量分级

4.7.8.1 单直探头检测的质量分级见表 15。

4.7.8.2 斜探头检测的质量分级见表 16。

4.7.8.3 表 15 和表 16 的级别应作为独立的等级使用。

表 15 单直探头检测的质量分级

mm

工件公称厚度	≤ 80		$> 80 \sim 200$		$> 200 \sim 300$		$> 300 \sim 600$		> 600	
工件质量等级	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
缺陷当量直径 ϕ 或因缺陷引起底波降低后的幅度	$\leq \phi 3$	$> \phi 3$	$\leq \phi 6$	$> \phi 6$	$\leq \phi 10$	$> \phi 10$	$\leq \phi 13$	$> \phi 13$	$\geq 5\%$	$< 5\%$

表 16 斜探头检测的质量分级

mm

等级	I	II
缺陷大小	V 形槽深为工件壁厚的 3%, 最大为 3	V 形槽深为工件壁厚的 5%, 最大为 6

5 承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级

5.1 钢制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级

5.1.1 适用范围

本条规定了钢制承压设备对接焊接接头的超声检测和质量分级。

本条适用于母材厚度为 8mm ~ 400mm 全熔化焊对接焊接接头的超声检测。母材厚度为 6mm ~ 8mm 全熔化焊对接焊接接头的超声检测应按照附录 G (规范性附录) 的规定进行。承压设备有关的支承件和结构件以及螺旋焊接接头的超声检测也可按本条的规定进行。钛制承压设备对接焊接接头超声检测参照附录 M (资料性附录) 的规定进行,奥氏体不锈钢承压设备对接焊接接头超声检测参照附录 N (资料性

附录)的规定进行。

如确有需要,壁厚为4mm~6mm的环向对接焊接接头的超声检测可参照6.1进行。

本条不适用于铸钢对接焊接接头、外径小于159mm的钢管环向对接焊接接头、内径小于或等于200mm的管座角焊缝的超声检测,也不适用于外径小于250mm或内外径之比小于80%的纵向对接焊接接头超声检测。

5.1.2 超声检测技术等级

5.1.2.1 超声检测技术等级选择

超声检测技术等级分为A、B、C三个检测级别。超声检测技术等级选择应符合制造、安装、在用等有关规范、标准及设计图样规定。

5.1.2.2 不同检测技术等级的要求

5.1.2.2.1 A级仅适用于母材厚度为8mm~46mm的对接焊接接头。可用一种K值探头采用直射波法和一次反射波法在对接焊接接头的单面单侧进行检测。一般不要求进行横向缺陷的检测。

5.1.2.2.2 B级检测:

- a) 母材厚度为8mm~46mm时,一般用一种K值探头采用直射波法和一次反射波法在对接焊接接头的单面双侧进行检测。
- b) 母材厚度大于46mm至120mm时,一般用一种K值探头采用直射波法在焊接接头的双面双侧进行检测,如受几何条件限制,也可在焊接接头的双面单侧或单面双侧采用两种K值探头进行检测。
- c) 母材厚度大于120mm至400mm时,一般用两种K值探头采用直射波法在焊接接头的双面双侧进行检测。两种探头的折射角相差应不小于10°。
- d) 应进行横向缺陷的检测。检测时,可在焊接接头两侧边缘使探头与焊接接头中心线成10°~20°作两个方向的斜平行扫查,见图12。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的平行扫查,见图13。

5.1.2.2.3 C级检测

采用C级检测时应将焊接接头的余高磨平,对焊接接头两侧斜探头扫查经过的母材区域要用直探头进行检测,检测方法见5.1.4.4。

- a) 母材厚度为8mm~46mm时,一般用两种K值探头采用直射波法和一次反射波法在焊接接头的单面双侧进行检测。两种探头的折射角相差应不小于10°,其中一个折射角应为45°。
- b) 母材厚度大于46mm至400mm时,一般用两种K值探头采用直射波法在焊接接头的双面双侧进行检测。两种探头的折射角相差应不小于10°。对于单侧坡口角度小于5°的窄间隙焊缝,如有可能应增加对检测与坡口表面平行缺陷的有效检测方法。
- c) 应进行横向缺陷的检测。检测时,将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的平行扫查,见图13。

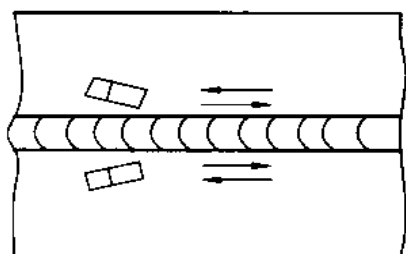


图 12 斜平行扫查

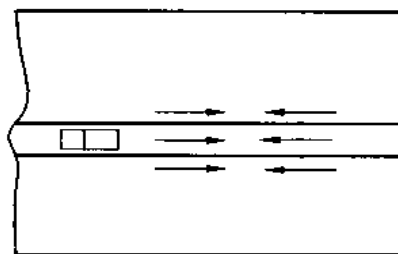


图 13 平行扫查

5.1.3 试块

5.1.3.1 试块制作应符合 3.5 的规定。

5.1.3.2 采用的标准试块为 CSK-IA、CSK-IIA、CSK-IIIA 和 CSK-IVA。其形状和尺寸应分别符合图 14、图 15、图 16、图 17 和表 17 的规定。

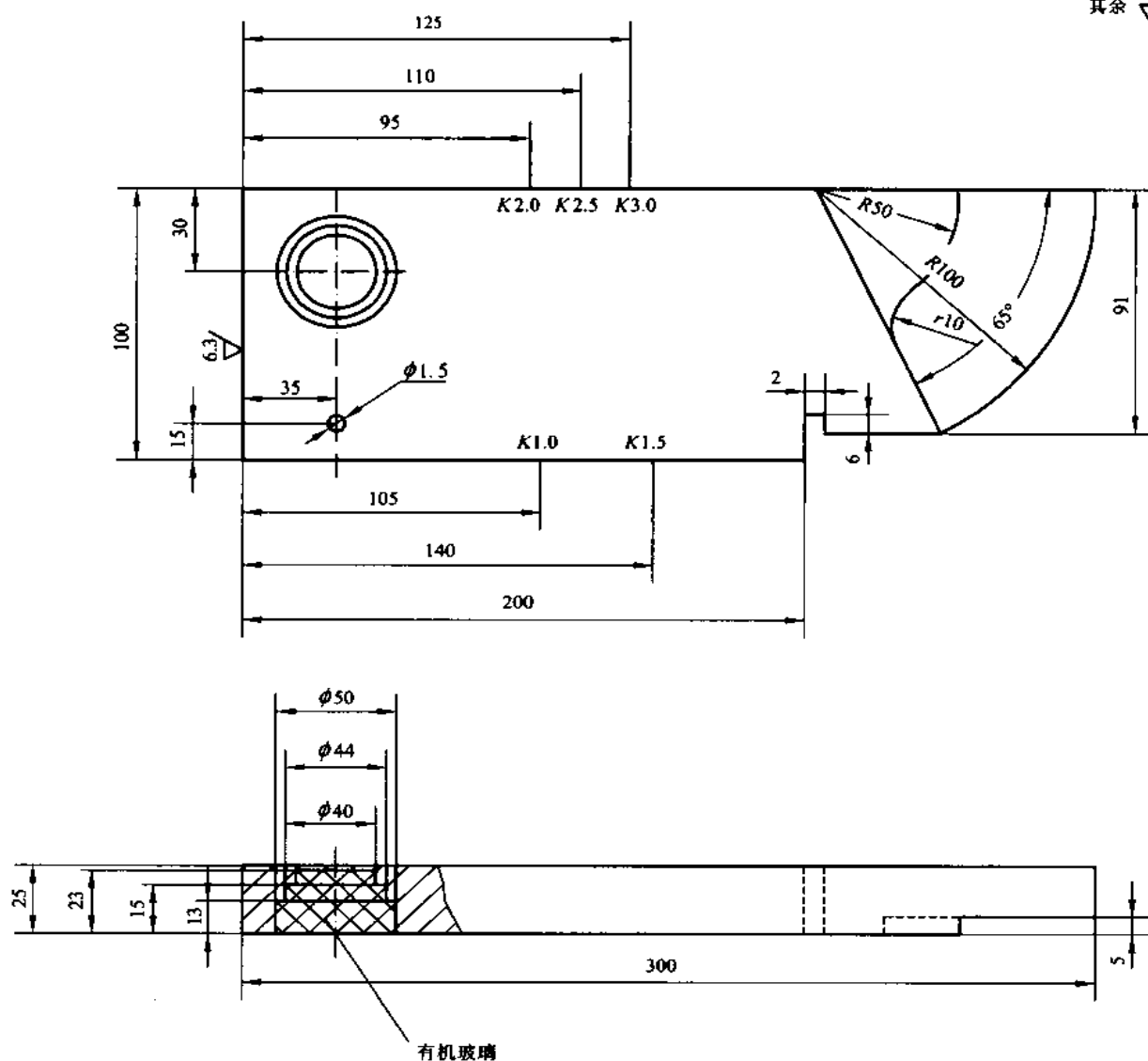
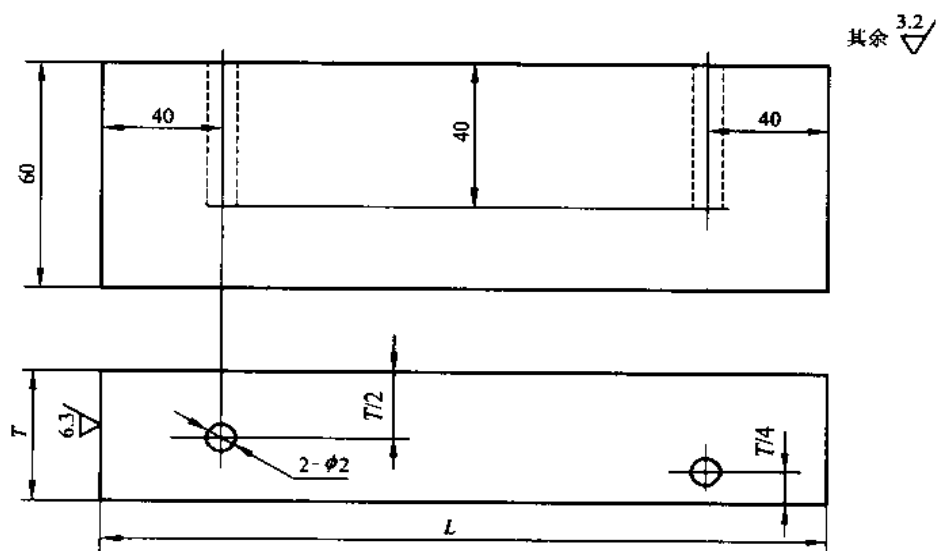
其余 $\frac{3.2}{\nabla}$ 注：尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

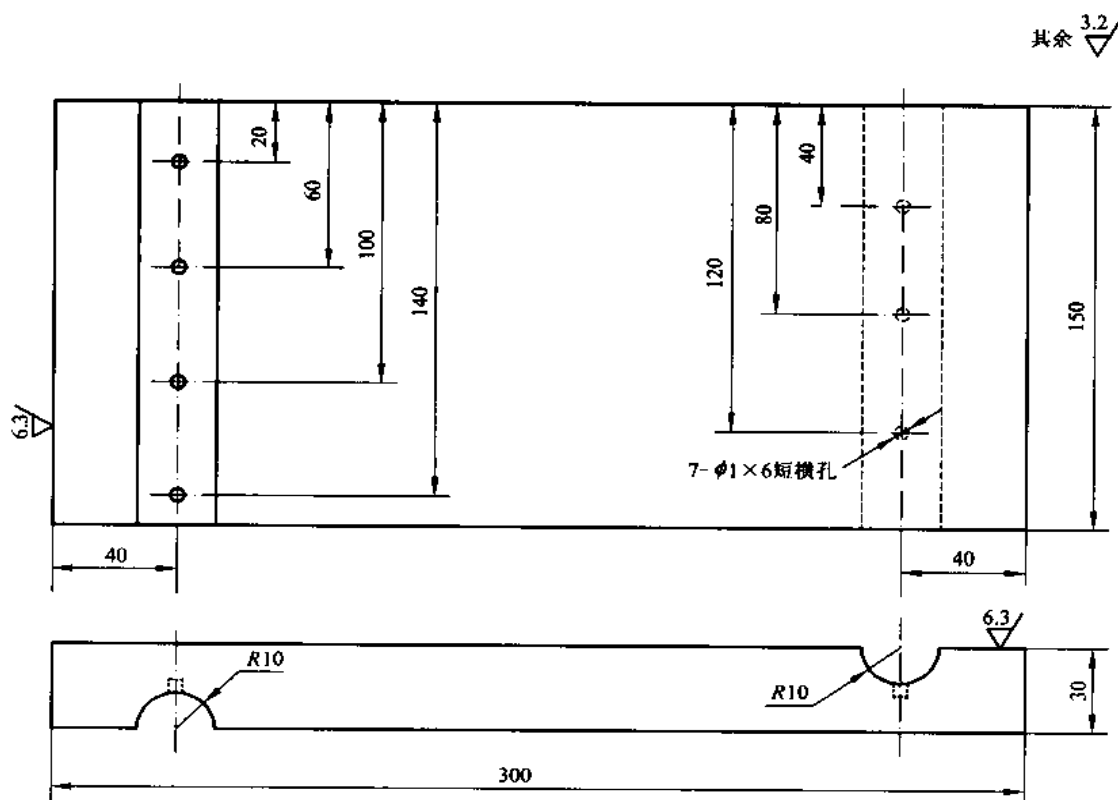
图 14 CSK-IA 试块



注 1: L —试块长度, 由使用的声程确定。

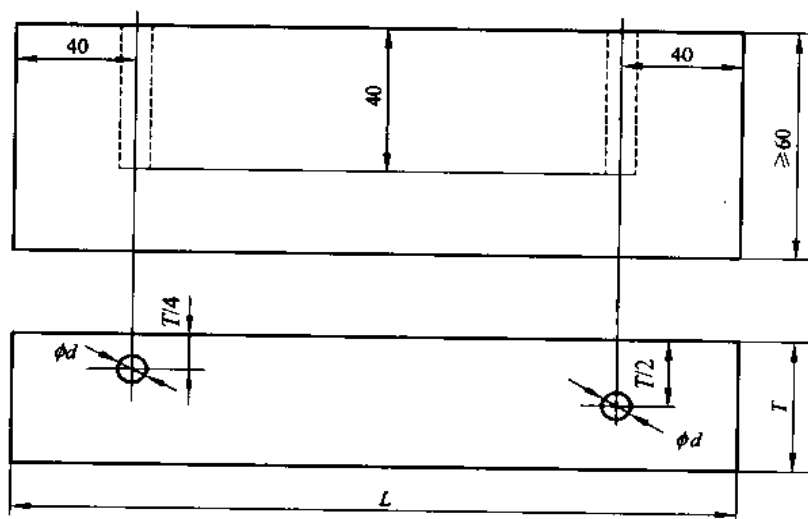
注2: 尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 15 CSK-IIA 试块



注：尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 16 CSK-III A 试块

全部 $\sqrt{3.2}$ 

注 1: L ——试块长度, 由使用的声程确定。

注 2: 尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 17 CSK-IVA 标准试块

表 17 CSK-IVA 试块尺寸

mm

CSK-IV	被检工件厚度	对比试块厚度 T	标准孔位置 b	标准孔直径 d
No.1	$> 120 \sim 150$	135	$T/4$ 、 $T/2$	6.4 (1/4 in)
No.2	$> 150 \sim 200$	175	$T/4$ 、 $T/2$	7.9 (5/16 in)
No.3	$> 200 \sim 250$	225	$T/4$ 、 $T/2$	9.5 (3/8 in)
No.4	$> 250 \sim 300$	275	$T/4$ 、 $T/2$	11.1 (7/16 in)
No.5	$> 300 \sim 350$	325	$T/4$ 、 $T/2$	12.7 (1/2 in)
No.6	$> 350 \sim 400$	375	$T/4$ 、 $T/2$	14.3 (9/16 in)

5.1.3.3 CSK-IA、CSK-IIA 和 CSK-IIIA 试块适用壁厚范围为 6mm ~ 120mm 的焊接接头, CSK-IA 和 CSK-IVA 系列试块适用壁厚范围大于 120mm 至 400mm 的焊接接头。在满足灵敏度要求时, 试块上的人工反射体根据检测需要可采取其他布置形式或添加, 也可采用其他型式的等效试块。

5.1.3.4 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的对比试块, 反射孔的位置可参照标准试块确定。试块宽度 b 一般应满足:

$$b \geq 2\lambda S / D_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

b ——试块宽度, mm;

λ ——超声波波长, mm;

S ——声程, mm;

D_0 ——声源有效直径, mm。

5.1.4 检测准备

5.1.4.1 检测面

- a) 检测区的宽度应是焊缝本身, 再加上焊缝两侧各相当于母材厚度 30% 的一段区域, 这个区域最小为 5mm, 最大为 10mm, 见图 18。

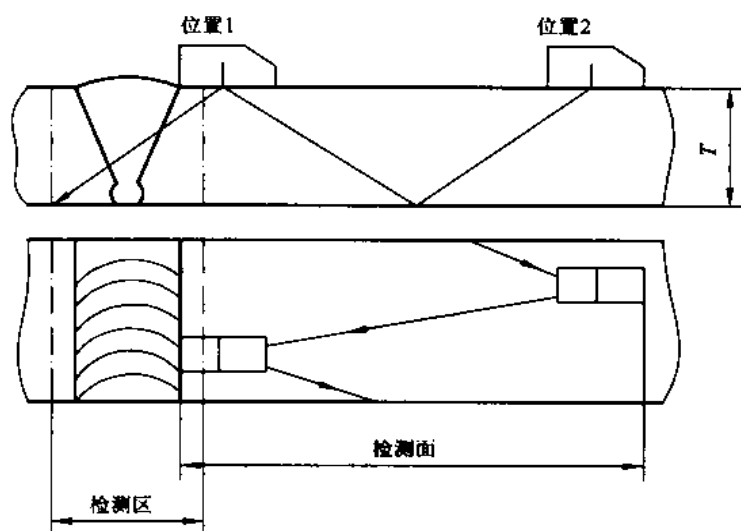


图 18 检测和探头移动区

- b) 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。检测表面应平整, 便于探头的扫查, 其表面粗糙度 Ra 值应小于或等于 $6.3 \mu\text{m}$, 一般应进行打磨。

- 1) 采用一次反射法检测时, 探头移动区应大于或等于 $1.25P$:

$$P = 2KT \quad \dots\dots\dots (4)$$

或

$$P = 2T \tan \beta \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

P ——跨距, mm;

T ——母材厚度, mm;

K ——探头 K 值;

β ——探头折射角, ($^\circ$)。

- 2) 采用直射法检测时, 探头移动区应大于或等于 $0.75P$ 。

- c) 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测结果的评定。

5.1.4.2 探头 K 值 (角度)

斜探头的 K 值 (角度) 选取可参照表 18 的规定。条件允许时, 应尽量采用较大 K 值探头。

表 18 推荐采用的斜探头 K 值

板厚 T , mm	K 值
6 ~ 25	3.0 ~ 2.0 (72° ~ 60°)
> 25 ~ 46	2.5 ~ 1.5 (68° ~ 56°)
> 46 ~ 120	2.0 ~ 1.0 (60° ~ 45°)
> 120 ~ 400	2.0 ~ 1.0 (60° ~ 45°)

5.1.4.3 检测频率

检测频率一般为 2MHz ~ 5MHz。

5.1.4.4 母材的检测

对于 C 级检测, 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其他种类缺陷存在。该项检测仅作记录, 不属于对母材的验收检测。母材检测的要点如下:

- 检测方法: 接触式脉冲反射法, 采用频率 2MHz ~ 5MHz 的直探头, 晶片直径 10mm ~ 25mm。
- 检测灵敏度: 将无缺陷处第二次底波调节为荧光屏满刻度的 100%。
- 凡缺陷信号幅度超过荧光屏满刻度 20% 的部位, 应在工件表面作出标记, 并予以记录。

5.1.5 距离—波幅曲线的绘制

5.1.5.1 距离—波幅曲线应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, 判废线及其以上区域为 III 区, 如图 19 所示。如果距离—波幅曲线绘制在荧光屏上, 则在检测范围内不低于荧光屏满刻度的 20%。

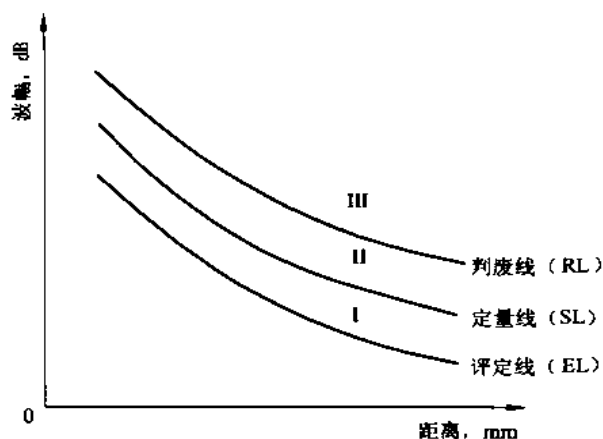


图 19 距离—波幅曲线

5.1.5.2 距离—波幅曲线的灵敏度选择

- 壁厚为 6mm ~ 120mm 的焊接接头, 其距离—波幅曲线灵敏度按表 19 的规定。

表 19 距离一波幅曲线的灵敏度

试块型式	板厚, mm	评定线	定量线	判废线
CSK-IIA	6 ~ 46	$\phi 2 \times 40-18\text{dB}$	$\phi 2 \times 40-12\text{dB}$	$\phi 2 \times 40-4\text{dB}$
	> 46 ~ 120	$\phi 2 \times 40-14\text{dB}$	$\phi 2 \times 40-8\text{dB}$	$\phi 2 \times 40+2\text{dB}$
CSK-IIIA	8 ~ 15	$\phi 1 \times 6-12\text{dB}$	$\phi 1 \times 6-6\text{dB}$	$\phi 1 \times 6+2\text{dB}$
	> 15 ~ 46	$\phi 1 \times 6-9\text{dB}$	$\phi 1 \times 6-3\text{dB}$	$\phi 1 \times 6+5\text{dB}$
	> 46 ~ 120	$\phi 1 \times 6-6\text{dB}$	$\phi 1 \times 6$	$\phi 1 \times 6+10\text{dB}$

b) 壁厚大于 120mm 至 400mm 的焊接接头, 其距离一波幅曲线灵敏度按表 20 的规定。

表 20 距离一波幅曲线的灵敏度

试块型式	板厚, mm	评定线	定量线	判废线
CSK-IVA	> 120 ~ 400	$\phi d-16\text{dB}$	$\phi d-10\text{dB}$	ϕd

注: d 为横孔直径, 见表 17。

c) 检测横向缺陷时, 应将各线灵敏度均提高 6dB。

d) 检测面曲率半径 $R \leq W^2/4$ 时, 距离一波幅曲线的绘制应在与检测面曲率相同的对比试块上进行。

e) 工件的表面耦合损失和材质衰减应与试块相同, 否则应按附录 F (规范性附录) 的规定进行传输损失补偿。在一跨距声程内最大传输损失差小于或等于 2dB 时可不进行补偿。

f) 扫查灵敏度不低于最大声程处的评定线灵敏度。

5.1.6 检测方法

5.1.6.1 平板对接焊接接头的超声检测

a) 为检测纵向缺陷, 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, 见图 20。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 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的左右转动。不同检测技术等级对纵向缺陷的检测要求见 5.1.2。

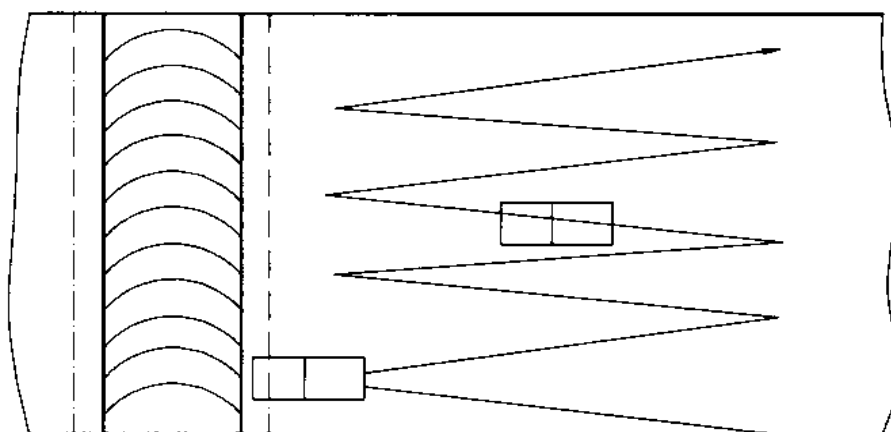


图 20 锯齿型扫查

b) 不同检测技术等级对横向缺陷的检测要求见 5.1.2。

c) 对电渣焊焊接接头还应增加与焊缝中心线成 45° 的斜向扫查。

- d) 为观察缺陷动态波形和区分缺陷信号或伪缺陷信号, 确定缺陷的位置、方向和形状, 可采用前后、左右、转角、环绕等四种探头基本扫查方式, 见图 21。

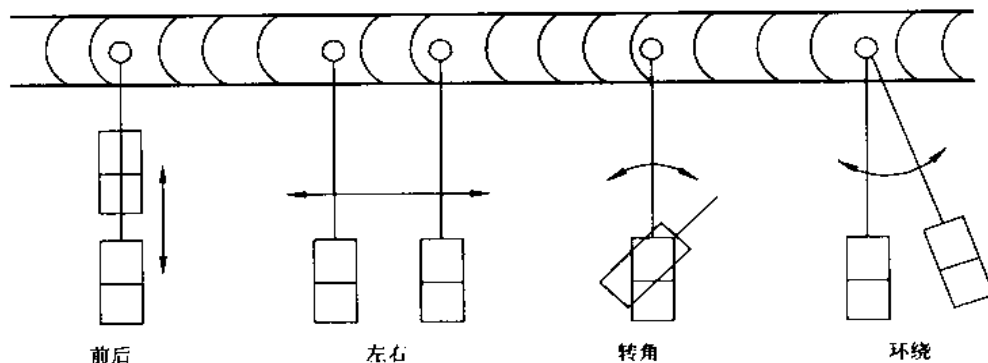


图 21 四种基本扫查方法

5.1.6.2 曲面工件 (直径小于或等于 500mm) 对接焊接接头的超声检测

- a) 检测面为曲面时, 可尽量按平板对接焊接接头的检测方法进行检测。对于受几何形状限制, 无法检测的部位应予以记录。
- b) 纵缝检测时, 对比试块的曲率半径与检测面曲率半径之差应小于 10%。
 - 1) 根据工件的曲率和材料厚度选择探头 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。
 - 2) 探头接触面修磨后, 应注意探头入射点和 K 值的变化, 并用曲率试块作实际测定。
 - 3) 应注意荧光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, 必要时应进行修正。
- c) 环缝检测时, 对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的 0.9 ~ 1.5 倍。

5.1.6.3 管座角焊缝的检测

a) 一般原则

在选择检测面和探头时应考虑到各种类型缺陷的可能性, 并使声束尽可能垂直于该焊接接头结构的主要缺陷。

b) 检测方式

根据结构形式, 管座角焊缝的检测有如下五种检测方式, 可选择其中一种或几种方式组合实施检测。检测方式的选择应由合同双方商定, 并应考虑主要检测对象和几何条件的限制。

- 1) 在接管内壁采用直探头检测, 见图 22 位置 1。
- 2) 在容器内壁采用直探头检测, 见图 23 位置 1。在容器内壁采用斜探头检测, 见图 22 位置 4。
- 3) 在接管外壁采用斜探头检测, 见图 23 位置 2。
- 4) 在接管内壁采用斜探头检测, 见图 22 位置 3 和图 23 位置 3。
- 5) 在容器外壁采用斜探头检测, 见图 22 位置 2。

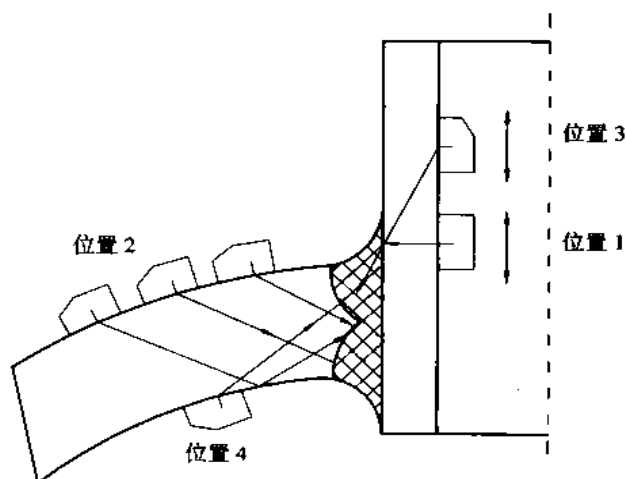


图 22 插入式管座角焊缝

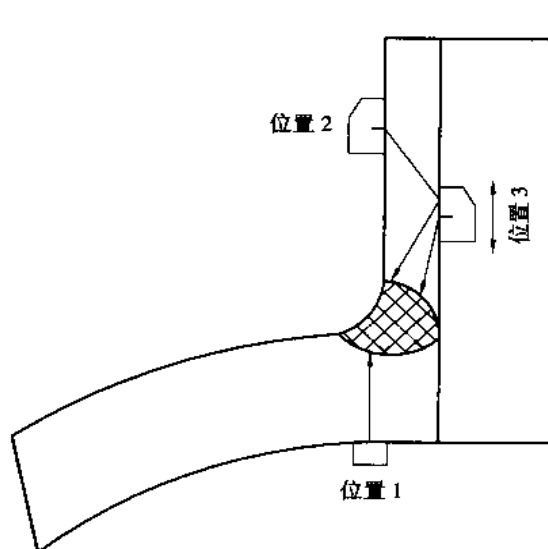


图 23 安放式管座角焊缝

- c) 管座角焊缝以直探头检测为主，必要时应增加斜探头检测的内容。探头频率、尺寸应按 4 和 5.1.4 的规定执行，管座角焊缝斜探头的距离—波幅曲线灵敏度按表 19 的规定，直探头的距离—波幅曲线灵敏度按表 21 的规定。距离—波幅曲线的制作详见 5.1.5.1。

表 21 管座角焊缝直探头距离—波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
$\phi 2\text{mm}$ 平底孔	$\phi 3\text{mm}$ 平底孔	$\phi 6\text{mm}$ 平底孔

5.1.6.4 T 型焊接接头的超声检测

a) 适用范围

本条适用于厚度为 6mm ~ 50mm 的锅炉、压力容器全熔化焊 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条的规定进行。

b) 基本原则

在选择检测面和探头时应考虑到检测各类缺陷的可能性，并使声束尽可能垂直于该类焊接接头结构的主要缺陷。

c) 检测方式

根据焊接接头结构形式，T 型焊接接头的检测有如下三种检测方式，可选择其中一种或几种方式组合实施检测。检测方式选择应由合同双方商定，并应考虑主要检测对象和几何条件的限制。

- 1) 用斜探头从翼板外侧用直射法进行探测，见图 24 位置 1、图 25 位置 1 和图 26 位置 1。
- 2) 用斜探头在腹板一侧用直射法或一次反射法进行探测，见图 24 位置 2 和位置 4、图 25 位置 2 和位置 4、图 26 位置 2 和位置 4。
- 3) 用直探头或双晶直探头在翼板外侧沿焊接接头探测，或者用斜探头（推荐使用 K1 探头）在翼板外侧沿焊接接头探测，见图 24 位置 3、图 25 位置 3 和图 26 位置 3。位置 3 包括直探头和斜探头两种扫查。

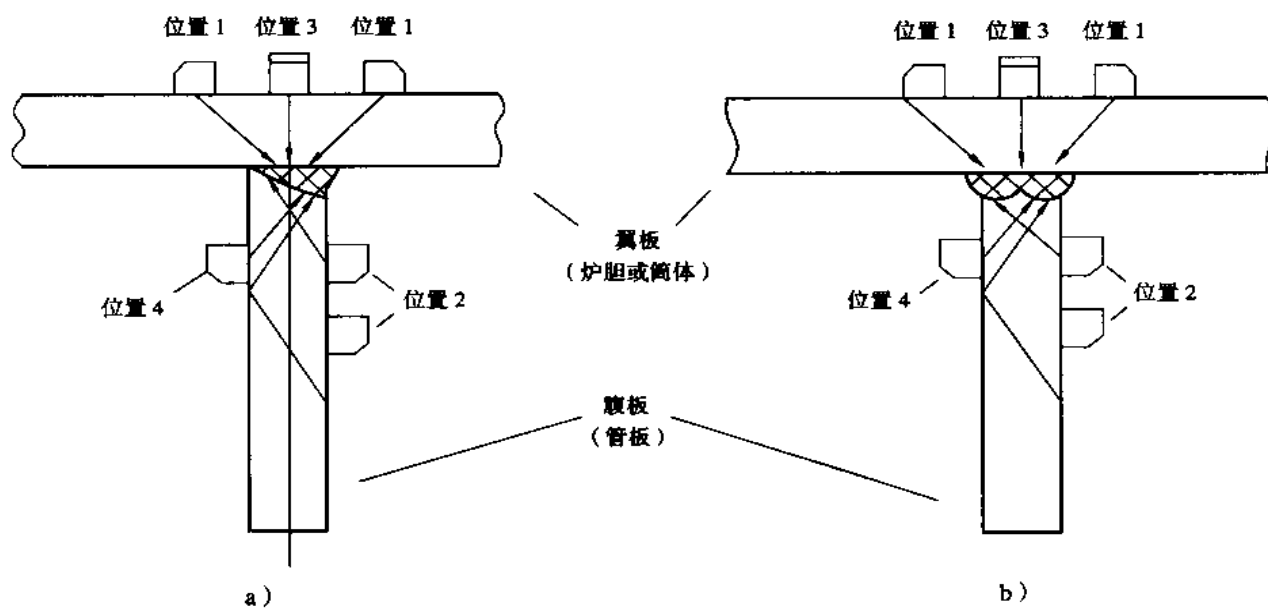


图 24 T 型焊接接头 (型式 I)

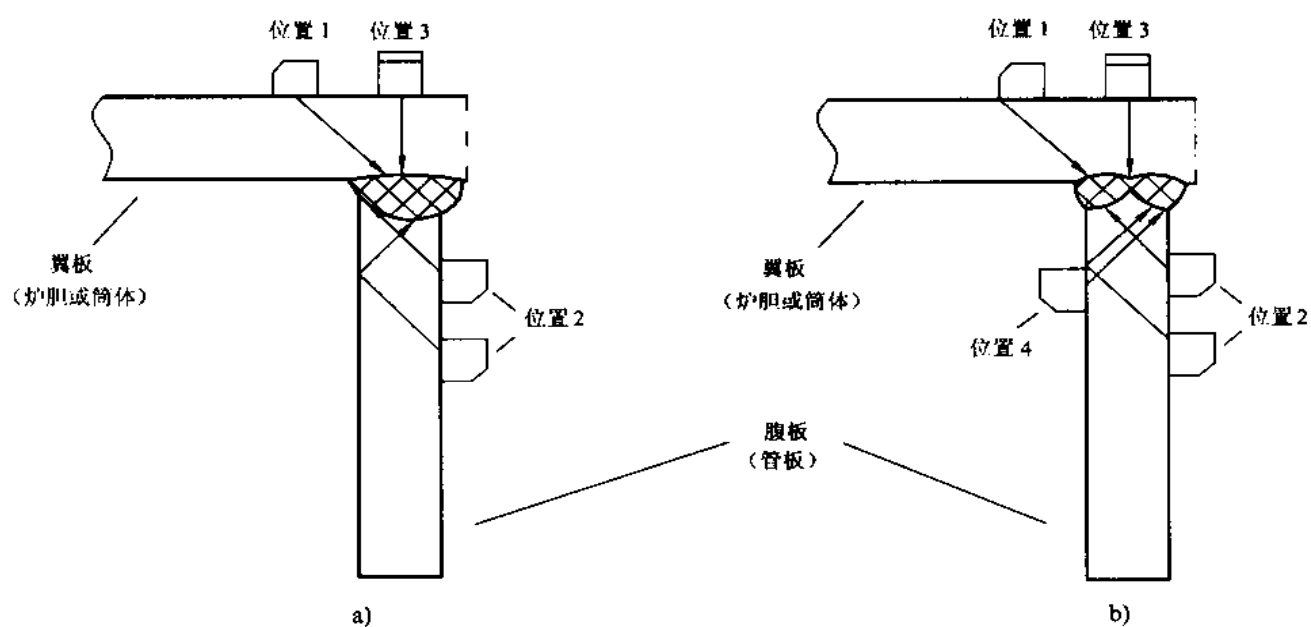


图 25 T 型焊接接头 (型式 II)

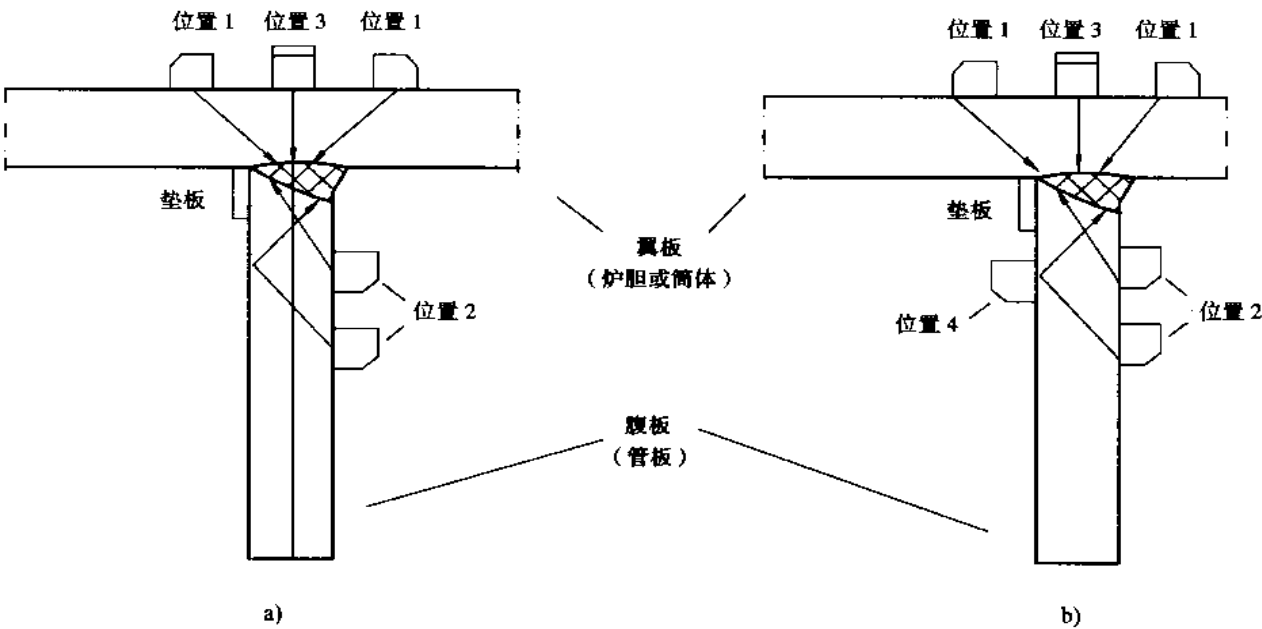


图 26 T 型焊接接头（型式 III）

- d) 斜探头 K 值的确定
用斜探头在翼板外侧进行探测时, 推荐使用 $K1$ 探头; 用斜探头在腹板一侧进行探测时, 探头 K 值根据腹板厚度按表 18 进行选择。
- e) 距离一波幅曲线灵敏度的确定
用斜探头探测时, 距离一波幅曲线灵敏度应以腹板厚度按表 19 确定; 用直探头探测时, 距离一波幅曲线灵敏度应以翼板厚度按表 22 确定。

表 22 T 型焊接接头直探头距离一波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
$\phi 2\text{mm}$ 平底孔	$\phi 3\text{mm}$ 平底孔	$\phi 4\text{mm}$ 平底孔

- f) 扫查方式
直探头和斜探头的扫查按 5.1.6 的有关规定进行。
- g) 对缺陷进行等级评定时, 均以腹板厚度为准。

5.1.7 缺陷定量检测

- 5.1.7.1 灵敏度应调到定量线灵敏度。
- 5.1.7.2 对所有反射波幅达到或超过定量线的缺陷, 均应确定其位置、最大反射波幅和缺陷当量。
- 5.1.7.3 缺陷位置测定

缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

5.1.7.4 缺陷最大反射波幅的测定

将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置, 测定波幅大小, 并确定它在距离一波幅曲线中的区域。

5.1.7.5 缺陷定量

应根据缺陷最大反射波幅确定缺陷当量直径 ϕ 或缺陷指示长度 ΔL 。

- a) 缺陷当量直径 ϕ , 用当量平底孔直径表示, 主要用于直探头检测, 可采用公式计算, 距离一波幅曲线和试块对比来确定缺陷当量尺寸。

b) 缺陷指示长度 ΔL 的检测采用以下方法:

- 1) 当缺陷反射波只有一个高点,且位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时,使波幅降到荧光屏满刻度的80%后,用6dB法测其指示长度。
- 2) 当缺陷反射波峰值起伏变化,有多个高点,且位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时,使波幅降到荧光屏满刻度的80%后,应以端点6dB法测其指示长度。
- 3) 当缺陷反射波峰位于Ⅰ区,如认为有必要记录时,将探头左右移动,使波幅降到评定线,以此测定缺陷指示长度。

5.1.8 缺陷评定

5.1.8.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征,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结构工艺特征作判定,如对波型不能判断时,应辅以其他检测方法作综合判定。

5.1.8.2 缺陷指示长度小于10mm时,按5mm计。

5.1.8.3 相邻两缺陷在一直线上,其间距小于其中较小的缺陷长度时,应作为一条缺陷处理,以两缺陷长度之和作为其指示长度(间距不计入缺陷长度)。

5.1.9 质量分级

焊接接头质量分级按表23的规定进行。

表 23 焊接接头质量分级

mm

等级	板厚 T	反射波幅 (所在区域)	单个缺陷指示长度 L	多个缺陷累计长度 L'
I	6 ~ 400	I	非裂纹类缺陷	
	6 ~ 120	II	$L = T/3$, 最小为 10, 最大不超过 30	在任意 $9T$ 焊缝长度范围内 L' 不超过 T
	> 120 ~ 400		$L = T/3$, 最大不超过 50	
II	6 ~ 120	II	$L = 2T/3$, 最小为 12, 最大不超过 40	在任意 $4.5T$ 焊缝长度范围内 L' 不超过 T
	> 120 ~ 400		最大不超过 75	
III	6 ~ 400	II	超过 II 级者	超过 II 级者
		III	所有缺陷	
		I、II、III	裂纹等危害性缺陷	

注 1: 母材板厚不同时,取薄板侧厚度值。

注 2: 当焊缝长度不足 $9T$ (I 级)或 $4.5T$ (II 级)时,可按比例折算。当折算后的缺陷累计长度小于单个缺陷指示长度时,以单个缺陷指示长度为准。

5.2 承压设备堆焊层超声检测和质量分级

5.2.1 检测范围和一般要求

本条适用于承压设备用奥氏体不锈钢、镍合金等堆焊层内缺陷,堆焊层与母材未接合缺陷和堆焊层下母材再热裂纹的超声检测以及检测结果的质量分级。

5.2.2 检测方法

- a) 使用双晶直探头和纵波双晶斜探头从堆焊层侧对堆焊层进行超声检测。
- b) 用单直探头和纵波单斜探头从母材侧对堆焊层进行超声检测。

5.2.3 探头

5.2.3.1 双晶探头

a) 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检测灵敏度。探头总面积不应超过 325mm^2 , 频率 2.5MHz , 为了达到所需的分辨力,也可采用其他频率。两晶片间隔声效果应保证良好。

b) 纵波双晶斜探头的 $K=2.75$ (折射角 $\beta=70^\circ$), 焦点深度应位于堆焊层和母材的结合部位。

5.2.3.2 单直探头

探头面积一般不应超过 625mm^2 , 频率为 $2\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$ 。

5.2.3.3 纵波斜探头

探头频率为 $2\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$, $K=1$ (折射角 $\beta=45^\circ$)。

5.2.4 对比试块

5.2.4.1 对比试块应采用与被检工件材质相同或声学特性相近的材料,并采用相同的焊接工艺制成。其母材、熔合面和堆焊层中均不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷存在。试块堆焊层表面的状态应和工件堆焊层的表面状态相同。

5.2.4.2 从堆焊层侧进行检测采用 T1 型试块,母材厚度 T 至少应为堆焊层厚度的 2 倍。T1 型试块如图 27 所示。

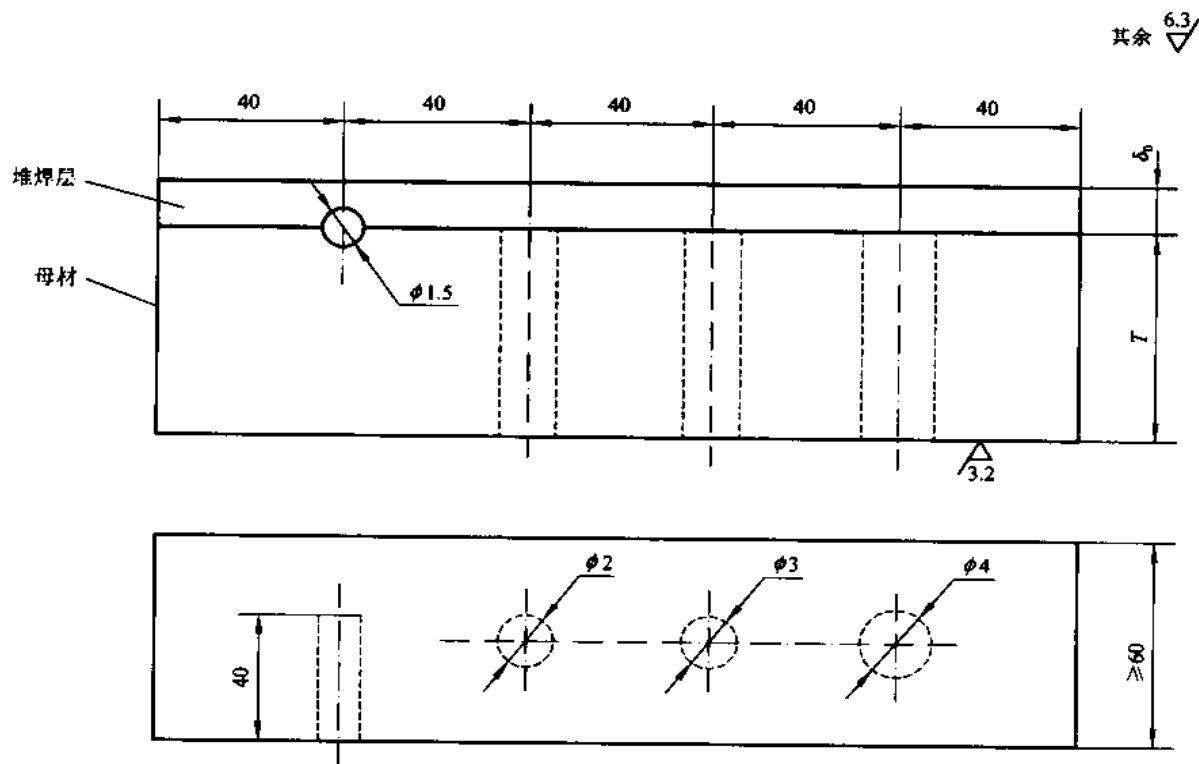


图 27 T1 型试块

5.2.4.3 从母材侧进行检测采用 T2 型试块,母材厚度 T 与被检母材的厚度差不得超过 10%。T2 型试块如图 28 所示。如果工件厚度比较大, T2 型试块的长度 L 应能满足检测要求。

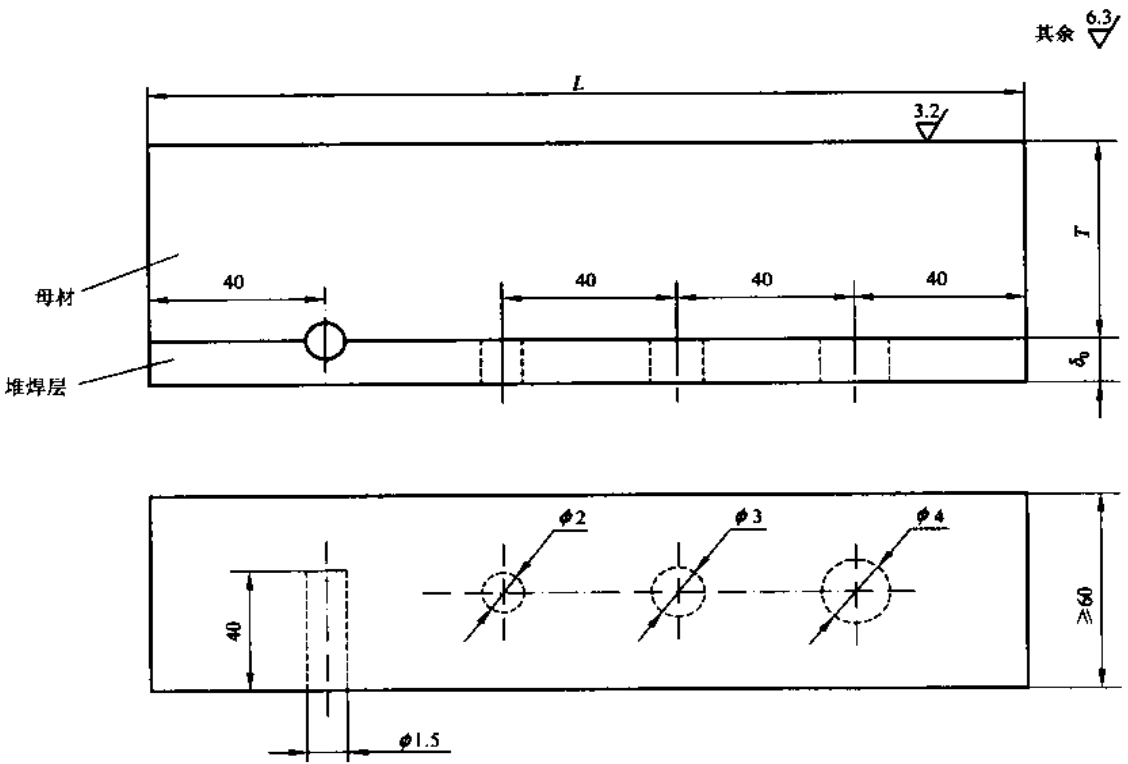


图 28 T2 型试块

5.2.4.4 检测堆焊层和母材的未结合, 采用 T3 型试块 (见图 29)。当从母材侧进行检测时, 采用图 29 a) 型试块, 被检测的工件母材厚度和试块母材厚度差不应超过 10%。当从堆焊层侧进行检测时, 采用图 29 b) 型试块, 试块的母材厚度至少应为堆焊层厚度的 2 倍。

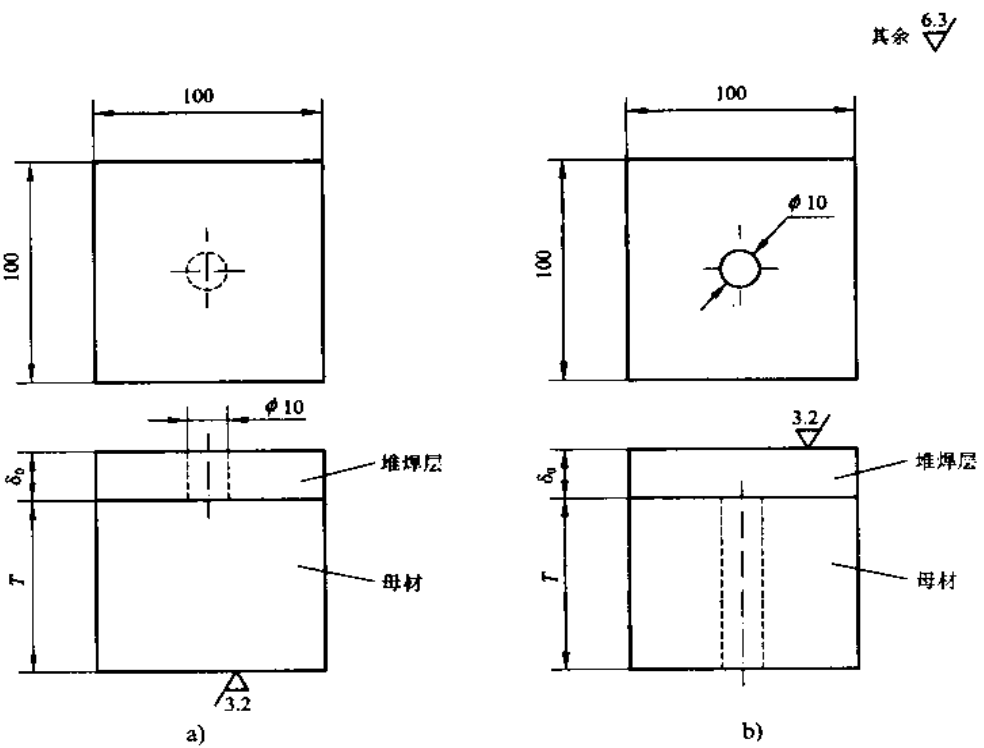


图 29 T3 型试块

5.2.5 灵敏度校准

5.2.5.1 采用 T1 型试块的校准

- a) 纵波双晶斜探头灵敏度的校准：将探头放在试块的堆焊层表面上，移动探头使从 $\phi 1.5\text{mm}$ 横孔获得最大反射波幅，调节衰减器使回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。
- b) 双晶直探头灵敏度的校准：将探头放在试块的堆焊层表面上，移动探头使其从 $\phi 3\text{mm}$ 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%，以此作为基准灵敏度。

5.2.5.2 采用 T2 型试块的校准

- a) 将单直探头放在母材一侧，使 $\phi 3\text{mm}$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。
- b) 纵波斜探头灵敏度的校准：将探头放在试块的母材表面上，移动探头使从 $\phi 1.5\text{mm}$ 横孔获得最大反射波幅，调节衰减器使回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。

5.2.5.3 采用 T3 型试块的校准

- a) 双晶直探头灵敏度的校准：将探头放在堆焊层一侧，使 $\phi 10\text{mm}$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。
- b) 单直探头灵敏度的校准：将探头放在母材一侧，使 10mm 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。

5.2.6 扫查方法

5.2.6.1 检测应从母材或堆焊层一侧进行。如对检测结果有怀疑时，也可从另一侧进行补充检测。

5.2.6.2 扫查灵敏度应在基准灵敏度基础上提高 6dB。

5.2.6.3 采用双晶斜探头检测时应在堆焊层表面按 90° 方向进行两次扫查；采用双晶直探头检测时应垂直于堆焊方向进行扫查。进行扫查时，应保证分隔压电元件的隔声层平行于堆焊方向。

5.2.6.4 缺陷当量尺寸应采用 6dB 法确定。

5.2.7 质量分级

堆焊层质量分级见表 24。

表 24 堆焊层质量分级

缺陷等级	堆焊层内缺陷	堆焊层界面缺陷	堆焊层未结合缺陷
I	当量小于 $\phi 1.5\text{mm}$ -2dB 的缺陷（纵波双晶斜探头、纵波斜探头）；当量小于 $\phi 3\text{mm}$ 的缺陷（单直探头、双晶直探头）	当量小于 $\phi 1.5\text{mm}$ -2dB 的缺陷（纵波双晶斜探头、纵波斜探头）	缺陷直径小于 25mm 的未结合区域
II	当量 $\phi 1.5\text{mm}$ -2dB 至 $\phi 1.5\text{mm}+2\text{dB}$ 的缺陷（纵波双晶斜探头、纵波斜探头）；当量 $\phi 3$ 至 $\phi 4$ 且长度小于 30 mm 的缺陷（单直探头、双晶直探头）	当量 $\phi 1.5\text{mm}$ -2dB 至 $\phi 1.5\text{mm}+2\text{dB}$ 的缺陷（纵波双晶斜探头、纵波斜探头）	缺陷直径为 25mm ~ 40mm 的未结合区域
III	超过 II 级或发现裂纹等危害性缺陷	超过 II 级或发现裂纹等危害性缺陷	超过 II 级

5.3 铝及铝合金制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级

5.3.1 范围

本条规定了铝及铝合金制承压设备对接焊接接头的超声检测和质量分级。

本条适用于厚度大于或等于 8mm 的铝及铝合金制承压设备对接焊接接头的超声检测。

本条不适用于外径小于 159mm 的铝及铝合金管承压设备环向对接焊接接头和内径小于或等于

200mm 的管座角焊缝的超声检测，也不适用于外径小于 250mm 或内外径之比小于 80% 的纵向焊接接头超声检测。

5.3.2 对比试块

5.3.2.1 对比试块材质应与被检铝板声学性能相同或相近，不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷存在。

5.3.2.2 试块尺寸、形状见图 30 和表 25。

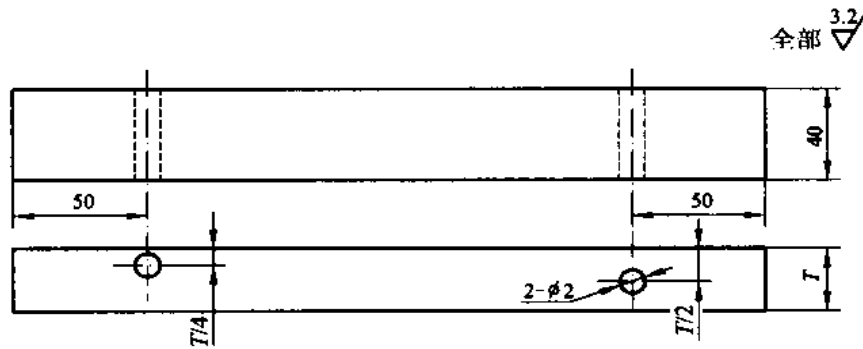


图 30 对比试块形状

表 25 对比试块尺寸

mm

试块号	试块长度 L	试块厚度 T	试块的测定适用范围
1	300	25	8 ~ 40
2	500	50	>40 ~ 80

5.3.3 检测准备

5.3.3.1 检测面

- 检测前，应清除探头移动区域的飞溅、锈蚀、油垢等。
- 焊接接头外观及检测表面经检查合格后，方可进行检测。

5.3.3.2 探头的选择

一般应选用频率为 2.5MHz、K2 的斜探头。如有必要，也可选用其他参数的探头。

5.3.3.3 距离—波幅曲线的制作

距离—波幅曲线在对比试块上实测绘制，它主要由评定线、定量线和判废线组成。其基准反射体为 $\phi 2\text{mm}$ 横通孔。参见图 31 和表 26。

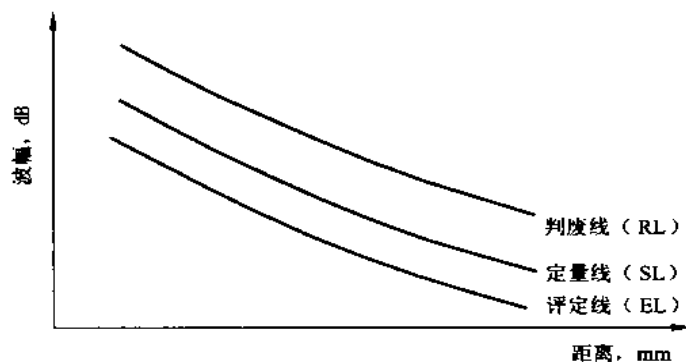


图 31 距离—波幅曲线

表 26 距离—波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
ϕ 2mm-18dB	ϕ 2mm-12dB	ϕ 2mm-4dB

5.3.3.4 扫查灵敏度

扫查灵敏度不低于最大声程处的评定线灵敏度。

5.3.4 扫查方法

扫查范围应按照 5.1.4 的规定，扫查方法应按照 5.1.6 的规定。

5.3.5 缺陷定量检测

5.3.5.1 灵敏度应调到定量线灵敏度。

5.3.5.2 对所有反射波幅达到或超过定量线的缺陷，均应确定其位置、最大反射波幅和缺陷当量。

5.3.5.3 缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

5.3.5.4 缺陷最大反射波幅的测定。将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置，测定波幅大小，并确定它在距离—波幅曲线中的区域。

5.3.5.5 缺陷定量

应根据缺陷最大反射波幅确定缺陷当量直径 ϕ 或缺陷指示长度 ΔL 。具体方法按照 5.1.7 的规定。

5.3.6 缺陷评定

5.3.6.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征，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结构工艺特征作判定，如对波型不能判断时，应辅以其他检测方法作综合判定。

5.3.6.2 缺陷指示长度小于 10mm 时，按 5mm 计。

5.3.6.3 相邻两缺陷在一直线上，其间距小于其中较小的缺陷长度时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为其指示长度（间距不计入缺陷长度）。

5.3.7 质量分级

对接焊接接头质量分级按表 27 的规定进行。

表 27 对接焊接接头质量分级 mm

等级	板厚 T	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度 L
I	<8	I	非裂纹类缺陷
	8 ~ 40	II	≤ 10
	>40		$\leq T/4$ ，最大不超过 20
II	8 ~ 40	II	≤ 15
	>40		$\leq T/3$ ，最大不超过 27
III	≥ 8	II	超过 II 级者
		III	所有缺陷
		I、II、III	裂纹等危害性缺陷

注：板厚不等的对接焊接接头，取薄板侧厚度值。

6 承压设备管子、压力管道环向对接焊接接头超声检测和质量分级

6.1 钢制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头超声检测和质量分级

6.1.1 范围

本条规定了钢制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声检测方法及其质量分级。

本条适用于壁厚大于或等于 4mm，外径为 32mm~159mm 或壁厚为 4mm~6mm，外径大于或等于 159mm 的承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声检测。

本条不适用于铸钢、奥氏体不锈钢承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声检测。

6.1.2 试块

6.1.2.1 试块的制作应符合 3.5 的规定。

6.1.2.2 试块的曲率应与被检管径相同或相近，其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%。采用的试块型号为 GS-1、GS-2、GS-3、GS-4，其形状和尺寸应分别符合图 32 和表 28 的规定。GS-1 试块适用于曲率半径大于 16mm 至 24mm 的承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的检测；GS-2 试块适用于曲率半径大于 24mm 至 35mm 的承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头检测；GS-3 试块适用于曲率半径大于 35mm 至 54mm 的承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的检测；GS-4 试块适用于曲率半径大于 54mm 至 80mm 的承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头检测。

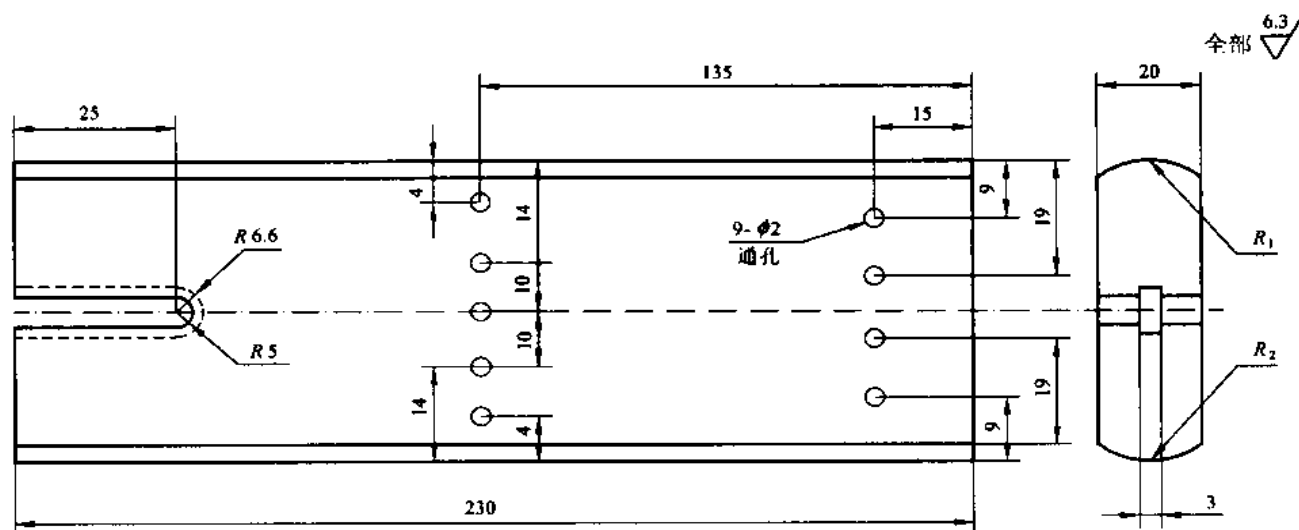


图 32 GS 试块形状和尺寸

表 28 试块圆弧曲率半径

mm

试块型号	试块圆弧曲率半径	
	R_1	R_2
GS-1	18	22
GS-2	26	32
GS-3	40	50
GS-4	60	72

6.1.3 探头

6.1.3.1 推荐采用线聚焦斜探头和双晶斜探头，其性能应能满足检测要求。

6.1.3.2 探头频率一般采用 5MHz，当管壁厚度大于 15mm 时，采用 2.5MHz 的探头。探头主声束轴线水平偏离角不应大于 2°。

6.1.3.3 斜探头 K 值的选取可参照表 29 的规定。如有必要，也可采用其他 K 值的探头。

6.1.3.4 探头楔块的曲率应加工成与管子外径相吻合的形状。加工好曲率的探头应对其 K 值和前沿值进行测定，要求一次波至少扫查到焊接接头根部。

6.1.4 检测位置及探头移动区

表 29 斜探头 K 值的选择

管壁厚度, mm	探头 K 值	探头前沿, mm
4.0 ~ 8	2.5 ~ 3.0	≤ 6
> 8 ~ 15	2.0 ~ 2.5	≤ 8
> 15	1.5 ~ 2.0	≤ 12

6.1.4.1 一般要求从对接焊接接头两侧进行检测，确因条件限制只能从焊接接头一侧检测时，应采用两种或两种以上的不同 K 值探头进行检测，并在报告中加以说明。

6.1.4.2 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质，其表面粗糙度 $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$ ，探头移动区应大于 $1.5P$ ， P 的计算按 5.1.4 的规定。

6.1.5 距离—波幅曲线的绘制

6.1.5.1 一般按水平 1:1 调节扫描时基线。

6.1.5.2 选择与实际工件曲率相对应的对比试块。

6.1.5.3 距离—波幅曲线按所用探头和仪器在所选择的试块上实测的数据绘制而成，该曲线族图由评定线、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，判废线及其以上区域为 III 区，如图 33 所示。

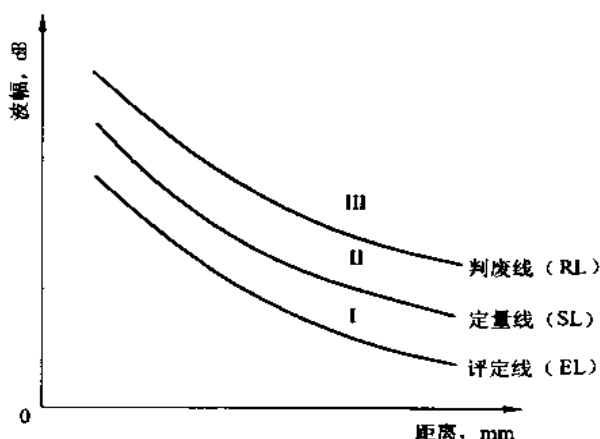


图 33 距离—波幅曲线示意图

6.1.5.4 不同管壁厚度的距离—波幅曲线灵敏度应符合表 30 的规定。

表 30 距离—波幅曲线的灵敏度

壁厚, mm	评 定 线	定 量 线	判 废 线
≤8	φ 2 × 20-16dB	φ 2 × 20-16dB	φ 2 × 20-10dB
>8 ~ 15		φ 2 × 20-13dB	φ 2 × 20-7dB
>15		φ 2 × 20-10dB	φ 2 × 20-4dB

6.1.5.5 检测时可参照附录 F (规范性附录), 并根据实测结果对检测灵敏度进行补偿, 补偿量应计入距离—波幅曲线。

6.1.5.6 扫查灵敏度不得低于最大声程处的评定线灵敏度。

6.1.6 扫查方法

6.1.6.1 一般将探头从对接焊接接头两侧垂直于焊接接头作锯齿形扫查, 探头前后移动距离应符合要求, 探头左右移动距离应小于探头晶片宽度的一半。

6.1.6.2 为了观察缺陷动态波形或区分伪缺陷信号以确定缺陷的位置、方向、形状, 可采用前后、左右、转角等扫查方法。

6.1.7 缺陷定量检测

6.1.7.1 对所有反射波幅位于 II 区或 II 区以上的缺陷, 均应对缺陷位置、缺陷最大反射波幅和缺陷指示长度等进行测定。

6.1.7.2 缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

6.1.7.3 缺陷最大反射波幅的测定。将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置, 测定波幅大小, 并确定它在距离—波幅曲线中的区域。

6.1.7.4 缺陷指示长度的测定按下述方法进行。

- 缺陷反射波只有一个高点, 且位于 II 区或 II 区以上时, 用定量线的绝对灵敏度法测其指示长度。
- 缺陷反射波峰值起伏变化, 有多个高点, 且位于 II 区或 II 区以上时, 应以定量线的绝对灵敏度法测其指示长度。
- 当缺陷最大反射波幅位于 I 区, 如认为有必要记录时, 应以评定线绝对灵敏度法测其指示长度。
- 缺陷的指示长度 l 应按式 (6) 计算:

$$l = L \times (R - H) / R \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

L ——探头左右移动距离, mm;

R ——管子外径, mm;

H ——缺陷距外表面深度 (指示深度), mm。

6.1.8 缺陷的评定

6.1.8.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征, 如有怀疑时, 应采取改变探头 K 值、观察缺陷动态波形并结合焊接工艺等进行综合分析。

6.1.8.2 相邻两缺陷在一直线上, 其间距小于其中较小的缺陷长度时, 应作为一条缺陷处理, 以两缺陷长度之和作为其单个缺陷指示长度 (间距不计入缺陷长度)。

6.1.8.3 单个点状缺陷指示长度按 5mm 计。

6.1.9 质量分级

对接焊接接头质量分级按表 31 的规定进行。

表 31 对接焊接接头质量分级

焊接接头等级	焊接接头内部缺陷		焊接接头根部未焊透缺陷	
	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度 L , mm	缺陷指示长度, mm	缺陷累计长度, mm ²⁾
I	I	非裂纹类缺陷	$L = T/3$, 最小为 5	长度小于或等于焊缝周长的 10%, 且小于 30
	II	$\leq T/4$ ¹⁾ , 最大为 10		
II	II	$\leq T/3$, 最大为 15	$L = 2T/3$, 最小为 6	长度小于或等于焊缝周长的 15%, 且小于 40
III	II	超过 II 级者	超过 II 级者	超过 II 级者
	III	所有缺陷		
	I、II、III	裂纹等危害性缺陷		

注: 在 10mm 焊缝范围内, 同时存在条状缺陷和未焊透时, 应评为 III 级。

1) 板厚不等的焊接接头, 取薄板侧厚度值。

2) 当缺陷累计长度小于单个缺陷指示长度时, 以单个缺陷指示长度为准。

6.2 铝及铝合金制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声检测和质量分级

6.2.1 检测范围

本条规定了铝及铝合金制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声检测方法及其质量分级。

本条适用于壁厚大于或等于 5mm, 外径为 80mm ~ 159mm 或壁厚 5.0mm ~ 8mm, 外径大于或等于 159mm 的铝及铝合金接管环向对接焊接接头。

本条不适用于内径小于或等于 200mm 的管座角焊缝的超声检测, 也不适用于外径小于 250mm 或内外径之比小于 80% 的管道纵向焊接接头超声检测。

6.2.2 对比试块

6.2.2.1 对比试块材质应与被检铝管声学性能相同或相近, 试块的制作应符合 3.5 的规定。

6.2.2.2 对比试块的曲率应与被检管径相同或相近, 其曲率半径之差不应大于被检管径的 10%。采用的试块型号为 GS-3、GS-4, 其形状和尺寸应分别符合图 34 和表 32 的规定。根据实际工作需要, 可以采取其他形式布置或适当添加标准孔。

6.2.2.3 在满足灵敏度要求下, 也可以采用其他型式的试块。

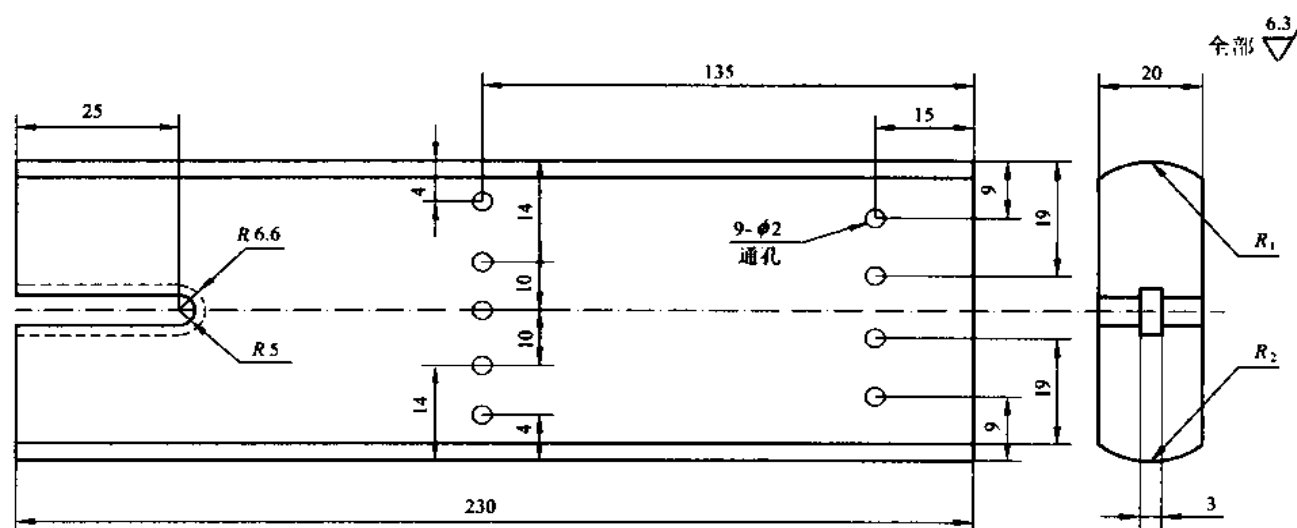


图 34 试块的形状、尺寸

表 32 试块圆弧曲率半径

mm

试块型号	试块圆弧曲率半径	
	R_1	R_2
GS-3	40	50
GS-4	60	72

6.2.3 探头

6.2.3.1 推荐采用线聚焦探头和双晶斜探头等，其性能应能满足检测要求。

6.2.3.2 探头频率一般采用 5MHz，当管壁厚度大于 15mm 时，可采用 2.5MHz 的探头。探头主声束轴线水平偏离角不应大于 2° 。

6.2.3.3 斜探头 K 值的选取可参照表 29 的规定。如有必要，也可采用其他 K 值的探头。

6.2.3.4 探头楔块的曲率应加工成与管子外径相吻合的形状。加工好曲率的探头应对其 K 值和前沿值进行测定，要求一次波至少扫查到焊接接头根部。

6.2.4 检测位置及探头移动区

6.2.4.1 一般要求从对接焊接接头两侧进行检测，当条件限制只能从对接焊接接头一侧检测时，应采用两种或两种以上的不同 K 值探头进行检测，并在报告中加以说明。

6.2.4.2 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质，其表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ ，探头移动区应大于 $1.5P$ ， P 的计算按 5.1.4 的规定。

6.2.5 距离—波幅曲线的绘制

6.2.5.1 一般按水平 1:1 调节扫描时基线。

6.2.5.2 选择与实际工件曲率相对应的对比试块。

6.2.5.3 不同管壁厚度的距离—波幅曲线灵敏度应符合表 30 的规定。

6.2.5.4 检测时，对于表面耦合损失和材质衰减应进行补偿，补偿量应计入距离—波幅曲线。距离—波幅曲线见图 35。

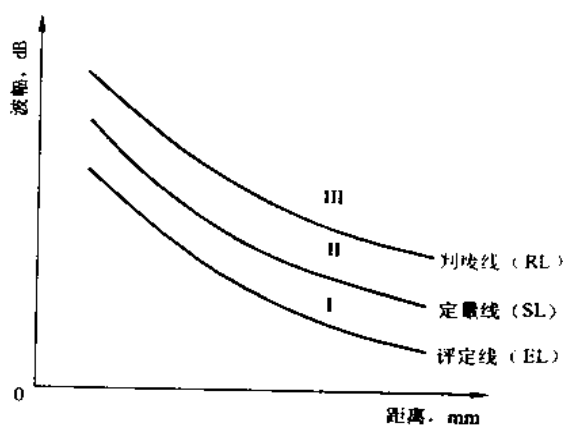


图 35 距离—波幅曲线示意图

6.2.5.5 扫查灵敏度不得低于最大声程处的评定线灵敏度。

6.2.6 缺陷定量检测

6.2.6.1 对所有反射波幅位于 II 区或 II 区以上的缺陷，均应对缺陷位置、缺陷最大反射波幅和缺陷指示长度等进行测定。

6.2.6.2 缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

6.2.6.3 缺陷最大反射波幅的测定。将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置，测定波幅大小，并确定它在距离—波幅曲线中的区域。

6.2.6.4 缺陷指示长度的测定按下述方法进行：

- 缺陷反射波只有一个高点，且位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时，用定量线的绝对灵敏度法测其指示长度。
- 缺陷反射波峰值起伏变化，有多个高点，且位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时，应以定量线的绝对灵敏度法测其指示长度。
- 当缺陷最大反射波幅位于Ⅰ区，如认为有必要记录时，应以评定线的绝对灵敏度法测其指示长度。
- 缺陷的指示长度应按 6.1.7 的规定计算。

6.2.7 缺陷的评定

6.2.7.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征，如有怀疑时，应采取改变探头 K 值，观察缺陷动态波形并结合焊接工艺等进行综合分析。

6.2.7.2 相邻两缺陷在一直线上，其间距小于其中较小的缺陷长度时，应作为一条缺陷处理，以两缺陷长度之和作为其单个缺陷指示长度（间距不计入缺陷长度）。

6.2.7.3 单个点状缺陷指示长度按 5mm 计。

6.2.8 质量分级

对接焊接接头质量分级见表 31。

7 在用承压设备超声检测

7.1 范围

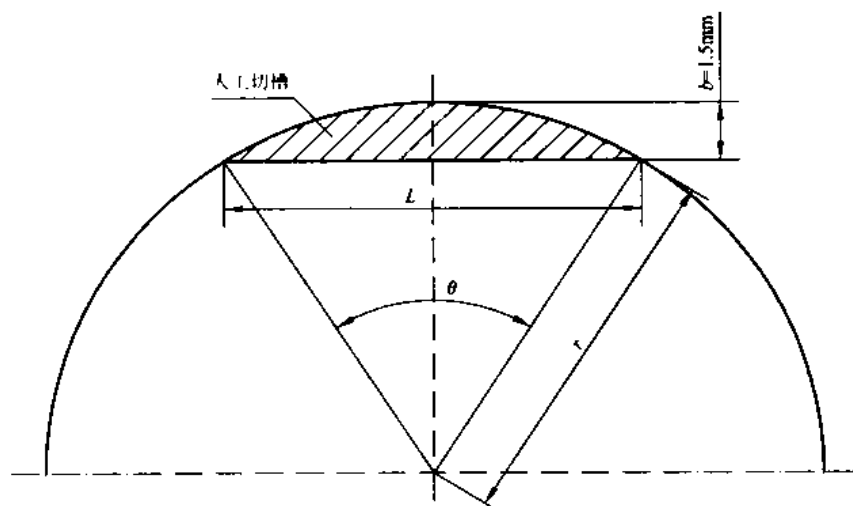
本章适用于在用承压设备超声检测。

7.2 在用承压设备用原材料、零部件的超声检测

在用承压设备用原材料、零部件进行超声检测时，其主要内容应符合第 4 章的有关规定。

对于在用螺栓或螺柱的超声检测，除应符合 4.6 的有关规定外，还应对螺纹根部是否有裂纹进行检测，其主要检测内容如下：

- 在螺栓或螺柱端部采用纵波小 K 值斜探头进行纵波斜射检测。
- 在螺栓或螺柱无螺纹部位采用 $K 1.5 \sim K 2.5$ ，频率为 2.5MHz 的横波斜探头进行轴向检测。
- 纵波斜射检测和横波轴向检测的对比试样应采用与被检工件材料、形式和规格相同或相近的螺栓或螺柱制作。人工缺陷反射体（切槽）位于最大探测声程处并应垂直于螺栓或螺柱的轴线。人工缺陷反射体的形状和尺寸如图 36 所示。



注 1: r —螺纹内半径, mm; L —人工切槽长度, mm; b —人工切槽深度, mm。

注 2: 当切槽加工在螺纹根部时, 切槽应顺着螺纹的螺旋角, 此时 b 为螺纹根部以下的深度。

图 36 人工切槽

d) 在用螺栓或螺柱超声检测时,如在螺纹根部出现比切槽回波高的缺陷反射波时,应予以判废。

7.3 在用承压设备对接焊接接头的超声检测

7.3.1 在用钢制承压设备对接焊接接头的超声检测

7.3.1.1 检测方法和检测技术要求

对在用承压设备对接焊接接头进行超声检测时,其检测方法和主要检测技术要求应符合第5章的相关规定。在实际检测发现缺陷回波时,应对位于定量线及定量线以上的超标缺陷进行回波幅度、埋藏深度、指示长度、缺陷取向、缺陷位置和自身高度的测定,并对缺陷的类型和性质尽可能作出判定。但对能判定为危害性的缺陷,即使位于定量线及定量线以下,也应对其进行上述参数的测定。在测定上述参数时,一般采用直射波,扫查灵敏度可根据需要确定,但不得使噪声回波高度超过满刻度的20%。

7.3.1.2 缺陷波幅测定

将探头置于出现最大缺陷反射波的位置,用衰减器读出该波幅比该位置的定量线高出的分贝值。

7.3.1.3 缺陷位置和指示长度测定

缺陷位置通常包括缺陷埋藏深度和平面位置,缺陷埋藏深度是指缺陷离开探测面的距离,将探头置于出现最大缺陷反射波的位置,根据此时最大缺陷反射波在扫描线上(垂直)的位置确定其埋藏深度。测定缺陷平面位置时,应将探头置于出现最大缺陷反射波的位置,根据此时最大缺陷反射波在扫描线上(水平)的位置确定平面位置。缺陷指示长度应按5.1.6的相关规定进行测定。

7.3.1.4 缺陷几何尺寸的确定

7.3.1.4.1 两个方向(长度方向×高度方向)均属模式1[模式识别详见附录H(规范性附录)]的缺陷,即点状缺陷,可采用AVG法估计缺陷的尺寸。

7.3.1.4.2 长度方向属模式2、高度方向属模式1的缺陷(线状缺陷)。缺陷自身高度方向的尺寸,可采用AVG法进行估计。

7.3.1.4.3 长度方向、高度方向均呈模式2的缺陷,可用端点衍射回波法或端部最大回波法确定其自身高度方向的尺寸,测定方法见附录I(规范性附录)和附录J(规范性附录)。如测定时无法确定端点衍射回波和端部最大回波,可采用6dB法进行测定,测定方法见附录K(规范性附录)。

7.3.1.4.4 长度方向、高度方向均呈模式3a或3b的缺陷,可用端点衍射回波法或端部最大回波法测定其自身高度方向的尺寸,测定方法见附录I(规范性附录)和附录J(规范性附录)。如无法确定端点衍射回波和端部最大回波,可采用6dB法进行测定,测定方法见附录K(规范性附录)。

7.3.1.4.5 多重缺陷和群集缺陷的尺寸确定方法

a) 若在A型扫描回波包络线中,各反射回波波峰在荧光屏扫描线中不能分辨时(即不能用手工作确定各反射体的间距),则只能作为一个缺陷考虑(由缺陷多个反射回波的波形轮廓线来确定),其高度方向的尺寸可用端点衍射回波法、端部最大回波法测定。如无法确定端点衍射回波和端部最大回波,可采用6dB法进行测定。

b) 若在A型扫描回波包络线中,各反射回波波峰的荧光屏扫描线上能够分辨,在这种情况下,各个缺陷高度方向的尺寸可采用7.3.1.4.1~7.3.1.4.4的方法分别进行测定。

7.3.1.5 缺陷类型的确定

7.3.1.5.1 对超标缺陷应根据缺陷的波幅高度、位置、取向、指示长度、自身高度,再结合缺陷静态波形、动态波形、回波包络线和扫查方法,以及焊接接头的焊接方法、焊接工艺、工件结构、坡口形式、

材料特性热处理状态来判断缺陷类型和性质。通常应确定点状缺陷、线状缺陷（条状夹渣、未焊透、未熔合等）、面状缺陷（裂纹、面状未焊透、面状未熔合等）。判定方法见附录 H（规范性附录）和附录 L（规范性附录）。

7.3.1.5.2 对采用超声检测确定缺陷尺寸和类型比较困难或分布比较密集的缺陷，应增加 X 射线检测或其他检测，以便进一步综合判断。

7.3.1.5.3 对在用承压设备超声检测发现的缺陷，应与制造和安装的原始资料或上一检测周期的检测报告核对，以进一步判定本次发现的缺陷是否是新产生的，以及是否有扩展。

7.3.1.6 缺陷记录

7.3.1.6.1 应根据在用压力容器定期检验规则、锅炉定期检验规则的技术规程的要求对缺陷的超声检测结果进行记录。

7.3.1.6.2 根据需要，也可由安全评定人员根据设计、制造、使用和检测记录提供允许缺陷的临界尺寸（缺陷位置、长度和自身高度），检测时只记录大于该界限尺寸的缺陷，交由评定人员评定处理。

7.3.1.6.3 记录内容应包括缺陷位置、类型、取向、波幅、指示长度和自身高度以及缺陷分布图。记录应由操作人员和责任人员签字。

7.3.2 在用承压设备不锈钢堆焊层超声检测

在用压力容器不锈钢堆焊层进行超声检测时，其检测方法和检测技术要求应符合 5.2 的有关规定。当发现超标缺陷后，应按 7.3.1 的有关规定测定缺陷位置、类型、取向、波幅、指示长度和自身高度，并提供缺陷分布图和缺陷记录。

7.3.3 在用铝及铝合金制压力容器焊接接头超声检测

在用铝及铝合金制压力容器焊接接头进行超声检测时，其检测方法和检测技术要求应符合 5.3 的有关规定。当发现超标缺陷后，应按 7.3.1 的有关规定进行处理。

7.4 在用承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头超声检测

7.4.1 在用钢制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头超声检测

7.4.1.1 在用钢制承压设备管子和压力管道环向焊接接头进行超声检测时，其检测方法和检测技术要求应符合 6.1 的有关规定。当检测时如发现反射波幅位于 III 区的缺陷、按 6.1 的有关规定评定为不合格的缺陷、以及检测人员判定为危害性的缺陷，应按 7.3.1 的有关规定进行处理。

7.4.1.2 应根据在用工业管道定期检验规程等技术规程的要求对缺陷的超声检测结果进行记录。

7.4.2 在用铝及铝合金制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头超声检测

在用铝及铝合金制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头进行超声检测时，其检测方法和检测技术要求应符合 6.2 的有关规定。当检测时如发现反射波幅位于 III 区的缺陷、按 6.2 的有关规定评定为不合格的缺陷、以及检测人员判定为危害性的缺陷，应按 7.3.1 的有关规定进行处理。

8 超声检测报告

超声检测报告至少应包括以下内容：

- a) 委托单位；
- b) 被检工件：名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况；
- c) 检测设备：探伤仪、探头、试块；
- d) 检测规范：技术等级、探头 K 值、探头频率、检测面和检测灵敏度；

- e) 检测部位及缺陷的类型、尺寸、位置和分布应在草图上予以标明,如有因几何形状限制而检测不到的部位,也应加以说明;
- f) 检测结果及质量分级、检测标准名称和验收等级;
- g) 检测人员和责任人员签字及其技术资格;
- h) 检测日期。

附录 A
(规范性附录)
双晶直探头性能要求

A.1 距离—波幅特性曲线

采用本部分图 2 试块, 在各个厚度上测定其回波高度 (单位为 dB), 并作出如图 A.1 所示的特性曲线, 该特性曲线应满足下述条件:

- a) 在厚度 19mm 上的回波高度, 与最大回波高度差应在 3dB ~ 6dB 范围内。
- b) 在厚度 3mm 上的回波高度, 与最大回波高度差也应在 3dB ~ 6dB 范围内。

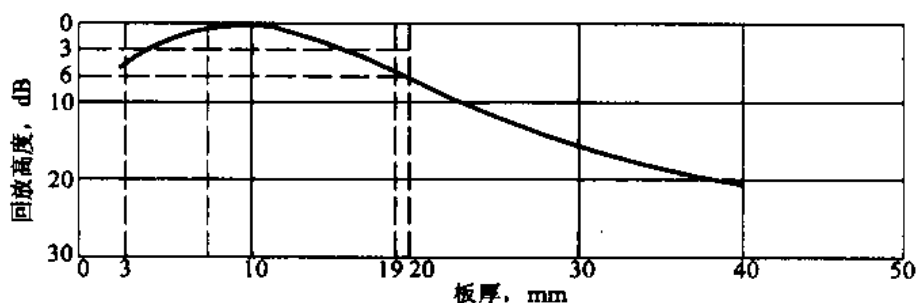


图 A.1 双晶直探头距离—波幅特性曲线

A.2 表面回波高度

用直接接触法的表面回波高度, 应比最大回波高度低 40dB 以上。

A.3 检出灵敏度

移动探头对准图 A.2 试块 $\phi 5.6\text{mm}$ 平底孔, 其回波高度与最大回波高度差应在 $-10\text{dB} \sim +2\text{dB}$ 范围内。

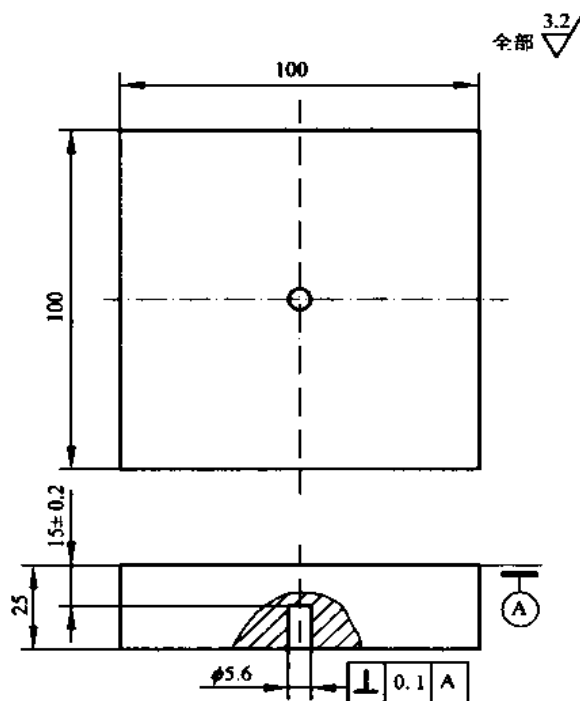


图 A.2 测定仪器和探头组合性能试块

A.4 有效波束宽度

对准图 A.2 试块 $\phi 5.6\text{mm}$ 平底孔，与声波分割面平行地移动探头，按 6dB 法测定波束宽度，对于承压设备用的钢板检测，其有效值应大于 16mm。

附录 B
(规范性附录)
承压设备用钢板超声横波检测

B.1 范围

本附录规定了用斜探头(横波)检测钢板中非夹层性缺陷的超声检测方法,并将其作为直探头检测的补充。

B.2 检测装置

B.2.1 原则上选用 K1 斜探头,圆晶片直径应在 13mm ~ 25mm 之间,方晶片面积应不小于 200mm²。如有特殊需要也可选用其他尺寸和 K 值的探头。

B.2.2 检测频率为 2 MHz ~ 5MHz。

B.3 对比试块

B.3.1 对比试块用钢板应与被检钢板厚度相同,声学特性相同或相似。

B.3.2 对比试块上的人工缺陷反射体为 V 形槽,角度为 60°,槽深为板厚的 3%,槽的长度至少为 25mm。

B.3.3 对比试块的尺寸、V 形槽位置应符合图 B.1 的规定。

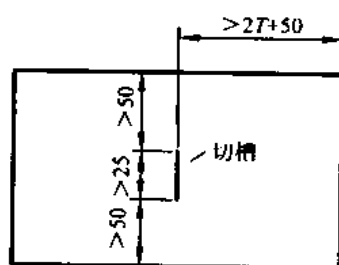


图 B.1 对比试块

B.3.4 对于厚度超过 50mm 的钢板,要在钢板的底面加工第二个如 B.3.3 所述的校准槽。

B.4 基准灵敏度的确定**B.4.1 厚度小于或等于 50mm 的钢板**

B.4.1.1 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%,在荧光屏上记录下该信号的位置。

B.4.1.2 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,记下这一信号幅值点在荧光屏上的位置,将荧光屏上这两个槽反射信号幅值点连成一直线,此线即为距离—波幅曲线。

B.4.2 厚度大于 50mm 至 150mm 的钢板

B.4.2.1 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%,在荧光屏上记下这个信号的位置。不改变仪器调整状态,在 3/2 跨距上重复该项操作。

B.4.2.2 不改变仪器调整状态,把探头再次置于试块表面,使波束对准试块表面上的槽,并找出全跨距最大反射波的位置。在荧光屏上记下这一幅值点。

B.4.2.3 在荧光屏上将 B.4.2.1 和 B.4.2.2 所确定的点相连接,此线即为距离一波幅曲线。

B.4.3 厚度大于 150mm 至 250mm 的钢板

B.4.3.1 把探头置于试块表面,使声束对准试块底面上的切槽,并找出第一个 $1/2$ 跨距反射的最大幅度位置。调节仪器,使这一反射波为荧光屏满刻度的 80%,在荧光屏上记下这个幅值点。

B.4.3.2 不改变仪器的调整状态,把探头再次置于试块表面,以全跨距对准切槽获得最大反射,在荧光屏上记下这个幅值点。

B.4.3.3 在荧光屏上将 B.4.3.1 和 B.4.3.2 所确定的点连成一直线,此线即为距离一波幅曲线。

B.5 扫查方法

B.5.1 在钢板的轧制面上以垂直和平行于钢板主要压延方向的格子线进行扫查,格子线中心距为 200mm。

B.5.2 当发现缺陷信号时,移动探头使之能在荧光屏上得到最大反射。

B.5.3 对于波幅等于或超过距离一波幅曲线的缺陷显示,应记录其位置,并移动探头使波幅降到满刻度的 25%来测量其长度。对于波幅低于距离一波幅曲线的缺陷,当指示长度较长时,也可记录备案。

B.5.4 在每一个记录缺陷位置上,应以记录缺陷中心起,在 200mm×200mm 的区域作 100%检测。

B.6 验收标准

等于或超过距离一波幅曲线的任何缺陷信号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,则应按纵波检测的规定处理。

附录 C

(规范性附录)

承压设备用钢锻件超声横波检测

C.1 范围

本附录适用于内外径之比大于或等于 80% 的承压设备用环形和筒形锻件的超声横波检测。

C.2 探头

C.2.1 探头公称频率主要为 2.5MHz。

C.2.2 探头晶片面积为 $140\text{ mm}^2 \sim 400\text{ mm}^2$ 。

C.2.3 原则上应采用 K1 探头，但根据工件几何形状的不同，也可采用其他的 K 值探头。

C.3 灵敏度校准试块

为了调整检测灵敏度，可利用被检工件壁厚或长度上的加工余量部分制作对比试块。在锻件的内外表面，分别沿轴向和周向加工平行的 V 形槽作为标准沟槽。V 形槽长度为 25mm，深度为锻件壁厚的 1%，角度为 60° 。也可采用其他等效的反射体（如边角反射等）。

C.4 检测方法

C.4.1 扫查方式

C.4.1.1 扫查方向见图 C.1。

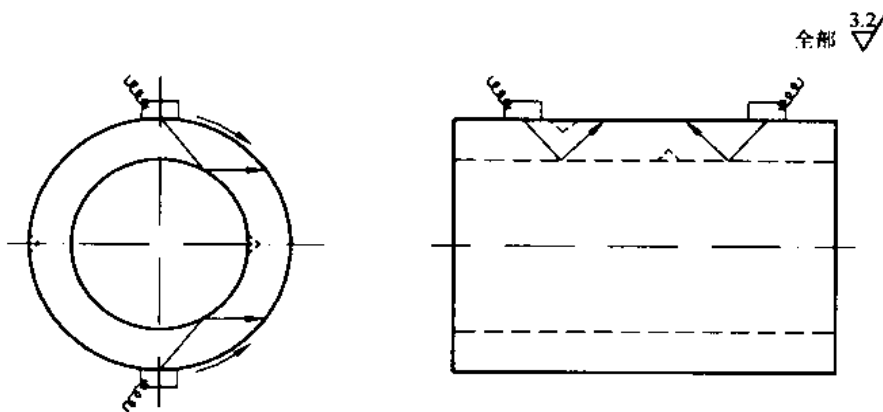


图 C.1 锻件横波检测扫查方向

C.4.1.2 探头移动速度不应超过 150mm/s。

C.4.1.3 扫查覆盖率应为探头宽度的 15% 以上。

C.4.2 基准灵敏度的确定

从锻件外圆面将探头对准内圆面的标准沟槽，调整增益，使最大反射高度为满刻度的 80%，将该值标在面板上，以其为基准灵敏度；不改变仪器的调整状态，再移动探头测定外圆面的标准沟槽，并将最大的反射高度也标在面板上。将上述两点用直线连接并延长，绘出距离—波幅曲线，并使之包括全部检测范围。内圆面检测时基准灵敏度也按上述方法确定，但探头斜楔应与内圆曲率一致。

C.5 记录

记录波幅幅度大于距离一波幅曲线（基准线）高度 50% 的缺陷反射波和缺陷位置。缺陷指示长度按 6dB 法测定。当相邻两个缺陷间距小于或等于 25mm 时，按单个缺陷处理（中间间距不计）。

C.6 质量分级

C.6.1 缺陷波幅大于距离一波幅曲线（基准线）的质量等级定为 III 级。

C.6.2 波幅在距离一波幅曲线（基准线）50% ~ 100% 的缺陷按表 C.1 分级。

表 C.1 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

附录 D
(规范性附录)

承压设备全熔化焊用高压无缝钢管轴向横波检测

D.1 范围

本附录适用于承压设备用无缝钢管的轴向超声横波检测。

D.2 检测设备

检测设备由超声波探伤仪、斜探头等组成，探头应与钢管表面吻合良好，晶片长度小于或等于 25mm，探头频率为 2.5MHz ~ 5MHz。

D.3 灵敏度校准试块

D.3.1 灵敏度校准试块应选取与被检钢管规格相同，材质、热处理工艺相同或相似的钢管，不得有影响人工缺陷显示的缺陷。

D.3.2 钢管横向缺陷检测试块的尺寸、V 形槽和位置应符合图 D.1 和表 D.1 的规定。

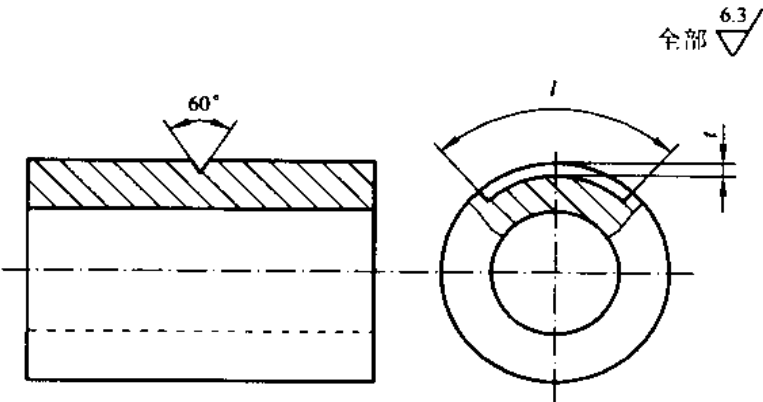


图 D.1 横向缺陷试块

表 D.1 缺陷等级划分 mm

等级	长度 l	人工缺陷槽深度 t
I	40	公称壁厚的 5%，最小为 0.2，最大为 1.0
II	40	公称壁厚的 8%，最小为 0.2，最大为 2.0
III	40	公称壁厚的 10%，最小为 0.2，最大为 3.0

D.3.3 钢管横向缺陷检测试块的人工缺陷槽一般在外表面加工，当外径大于或等于 80mm 且壁厚大于或等于 10mm 时，应同时在内、外表面加工。同一个试块内、外表面人工缺陷沿钢管轴向应有足够的间距，以便在调试时容易分辨。

D.4 基准灵敏度确定

D.4.1 可直接在对比试块上将 V 形槽的反射回波幅度调节为荧光屏满刻度的 50%，以此作为基准灵敏度。

D.4.2 对于内、外表面加工槽的对比试块，应将内表面槽的回波幅度调到满刻度的80%，然后再将外表面槽的反射回波幅度点标在荧光屏上，作出距离一波幅曲线。

D.5 结果评定

D.5.1 若缺陷回波幅度大于或等于人工缺陷的基准回波幅度或是高于距离一波幅曲线，则该钢管为不合格。

D.5.2 合格级别的确定由合同双方商定。

附录 E

(规范性附录)

承压设备用奥氏体钢锻件斜探头检测

E.1 范围

本附录适用于内外径之比大于或等于 80% 的承压设备用奥氏体钢环形和筒形锻件的超声斜探头检测。

E.2 对比试块

为了调整检测灵敏度,利用被检工件壁厚或长度上的加工余量部分制作对比试块。在锻件的内、外表面,分别沿轴向和周向加工平行的 V 形槽作为标准沟槽。V 形槽长度为 25mm,深度 t 为锻件壁厚的 3% 或 5%,角度为 60° 。也可采用其他等效的反射体(如边角反射等)。

E.3 扫查方式

扫查方向如附录 D(规范性附录)中图 D.1 的规定。

E.4 基准灵敏度确定

E.4.1 采用切槽法时,一般需将探头置于外圆表面上,声束垂直于刻槽长度方向,移动探头并调整仪器灵敏度,使外壁槽第二次反射(W 型反射)或内壁槽第二次反射(N 型反射)回波高度至少为满刻度的 20%。连接外壁槽第一、第二次回波峰值点或内壁槽第一、第二次回波的峰值点,以此作为全跨距校正的距离—波幅曲线。

E.4.2 如果采用全跨距校正从内、外壁表面的槽上都得不到至少为满刻度 20% 的第二次回波,则应采用半跨距校正(此时内外壁均应各制一槽,并使其互不影响)。使来自外壁槽的第一次回波高度至少为满刻度的 20%。连接内壁槽第一次回波和外壁槽第一次回波的峰值点,以此作为半跨距校正的距离—波幅曲线。

E.4.3 内径小于 500mm,且长度超过 900mm 的筒形锻件,通常不从内表面进行扫查。

附录 F
(规范性附录)
声能传输损耗差的测定

F.1 一般要求

工件本身影响反射波幅的两个主要因素是：材料的材质衰减和工件表面粗糙度及耦合状况造成的表面声能损失。

碳钢或低合金钢板材的材质衰减，在频率低于 3MHz、声程不超过 200mm 时，或者衰减系数小于 0.01dB/mm 时，可以不计。标准试块和对比试块均应满足这一要求。

受检工件检测时，如声程较大，或材质衰减系数超过上述范围，在确定缺陷反射波幅时，应考虑材质衰减修正。如被检工件表面比较粗糙还应考虑表面声能损失问题。

F.2 横波超声材质衰减的测量

F.2.1 制作与受检工件材质相同或相近，厚度约 40mm、表面粗糙度与对比试块相同的平面型试块，见图 F.1。

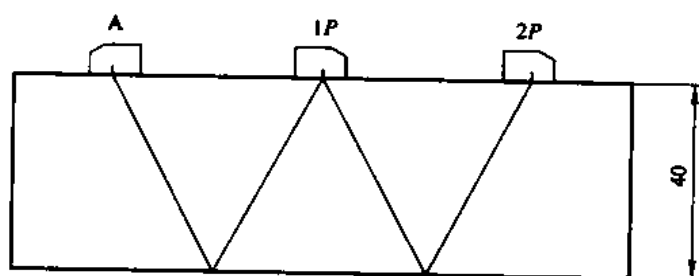


图 F.1 超声衰减的测定

F.2.2 斜探头按深度 1:1 调节仪器时基扫描线。

F.2.3 另选用一只与该探头尺寸、频率、 K 值相同的斜探头，两探头按图 F.1 所示方向置于平板试块上，两探头入射点间距为 $1P$ ，仪器调为一发一收状态，找到最大反射波幅，记录其波幅值 H_1 (dB)。

F.2.4 将两探头拉开到距离为 $2P$ 的位置，找到最大反射波幅，记录其波幅值 H_2 (dB)。

F.2.5 衰减系数 a_H 可用式 (F.1) ~ 式 (F.4) 计算：

$$a_H = (H_1 - H_2 - \Delta) / (S_2 - S_1) \quad \text{..... (F.1)}$$

$$S_1 = 40 / \cos \beta + l_1 \quad \text{..... (F.2)}$$

$$S_2 = 80 / \cos \beta + l_1 \quad \text{..... (F.3)}$$

$$l_1 = l_0 \tan \alpha / \tan \beta \quad \text{..... (F.4)}$$

式中:

l_0 ——晶片到射点的距离, 作为简化处理亦可取 $l_1 = l_0$, mm;

Δ ——不考虑材质衰减时, 声程 S_1 、 S_2 大平面的反射波幅 dB 差。可用公式 $20\lg(S_2/S_1)$ 计算或从该探头的距离—波幅曲线上查得, Δ 约为 6dB。

F.2.6 如果在图 F.1 试块和对比试块的探测面测得波幅相差不超过 1dB, 则可不考虑工件的材质衰减。

F.3 传输损失差的测定

F.3.1 斜探头按深度调节仪器时基扫描线。

F.3.2 选用另一只与该探头尺寸、频率、 K 值相同的斜探头, 两探头按图 F.2 所示方向置于对比试块探测面上, 两探头入射点距离为 $1P$, 仪器调为一发一收状态。

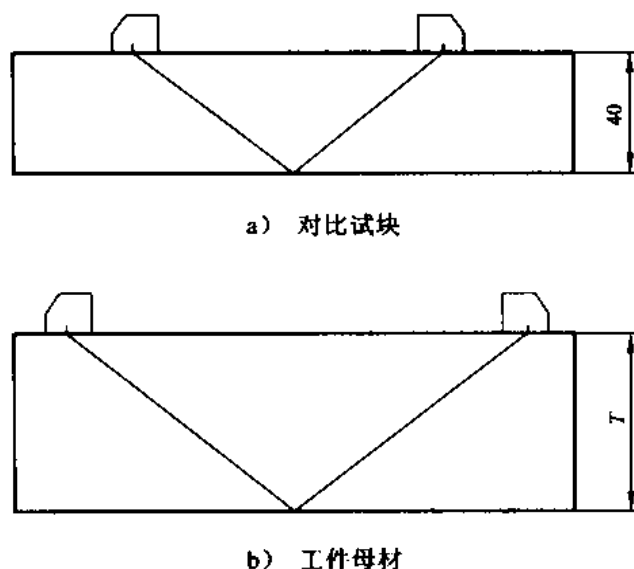


图 F.2 传输损失的测定

F.3.3 在对比试块上, 找出最大反射波幅, 记录其波幅值 H_1 (dB)。

F.3.4 在受检工件上 (不通过焊接接头) 同样测出接收波最大反射波幅, 记录其波幅值 H_2 (dB)。

F.3.5 传输损失差 ΔV 按式 (F.5) 计算:

$$\Delta V = H_1 - H_2 - \Delta_1 - \Delta_2 \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

式中:

Δ_1 ——不考虑材质衰减时, 声程 S_1 、 S_2 大平面的反射波幅 dB 差, 可用式 $20\lg(S_2/S_1)$ 计算或从探头的距离—波幅曲线上查得, dB;

S_1 ——在对比试块中的声程, mm;

S_2 ——在工件母材中的声程, mm;

Δ_2 ——试块中声程 S_1 与工件中声程 S_2 的超声材质衰减差值, dB。如试块材质衰减系数灵敏小于 0.01dB/mm, 此项可以不予考虑。

附录 G

(规范性附录)

6mm ~ 8mm 钢制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级

G.1 范围

G.1.1 本条规定了 6mm ~ 8mm 钢制承压设备对接焊接接头的超声检测和质量分级。

G.1.2 本条适用于母材厚度为 6mm ~ 8mm 全熔化焊对接焊接接头的超声检测。

G.1.3 本条不适用于铸钢及奥氏体钢焊接接头, 外径小于 159mm 的钢制承压设备对接焊接接头, 内径小于或等于 200mm 的管座角焊缝, 也不适用于外径小于 250mm 或内外径之比小于 80% 的纵向焊接接头检测。

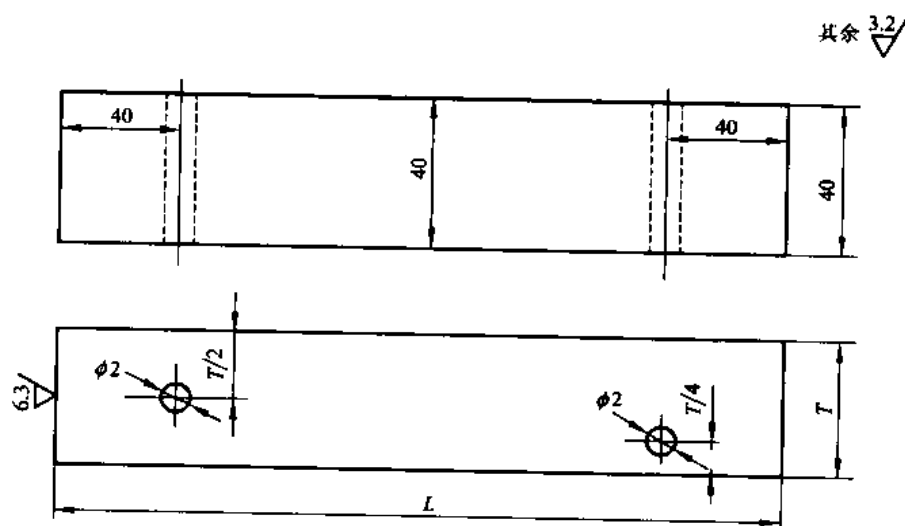
G.2 检测人员

按本附录进行检测的人员, 应接受一定时间的有关薄板超声检测的特种培训。了解薄板焊接接头结构特征; 掌握超声波在薄板中传播的特性; 能对检测中可能出现的假信号给予正确的分析和判断。

G.3 试块

G.3.1 试块制作应符合本部分 3.5 的规定。

G.3.2 采用的标准试块为 CSK-IIA_m。其形状和尺寸应分别符合图 G1 的规定。



注: L —试块长度, 由使用的声程确定 (一般为 200mm)。

图 G1 CSK-IIA_m 试块

G.4 检测准备

检测等级、检测面、检测探头、检测频率等应符合本部分 5.1.2 和 5.1.4 的有关要求。

G.5 距离—波幅曲线的绘制

距离—波幅曲线的灵敏度、绘制和扫查灵敏度等应符合本部分 5.1.5 的有关要求。

G.6 检测方法

检测方法等应符合本部分 5.1.6 的有关要求。

G.7 缺陷定量检测

缺陷定量检测等应符合本部分 5.1.7 的有关要求。

G.8 缺陷评定和质量分级

缺陷评定和质量分级等应符合本部分 5.1.8 和 5.1.9 的有关要求。

附录 H

(规范性附录)

回波动态波形

H.1 回波动态波形的类型

H.1.1 波形模式 I

图 H.1 表示点反射体产生的波形模式 I，即在荧光屏上显示出的一个尖锐回波。当探头前后、左右扫查时，其幅度平滑地由零上升到最大值，然后又平滑地下降到零，这是尺寸小于分辨力极限（即缺陷尺寸小于超声探头在缺陷位置处声束直径）缺陷的信号特征。

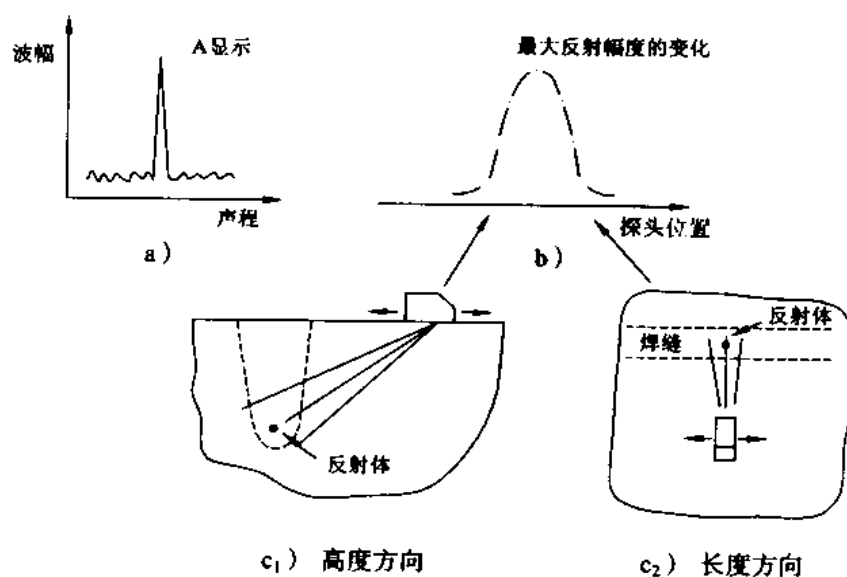


图 H.1 点反射体的回波动态波形

H.1.2 波型模式 II

探头在各个不同的位置检测缺陷时，荧光屏上均显示一个尖锐回波。探头前后和左右扫查时，一开始波幅平滑地由零上升到峰值，探头继续移动时，波幅基本不变，或只在 $\pm 4\text{dB}$ 的范围内变化，最后又平滑地下降到零。图 H.2 表示声束接近垂直入射时，由光滑的大平面反射体所产生的波型模式 II。

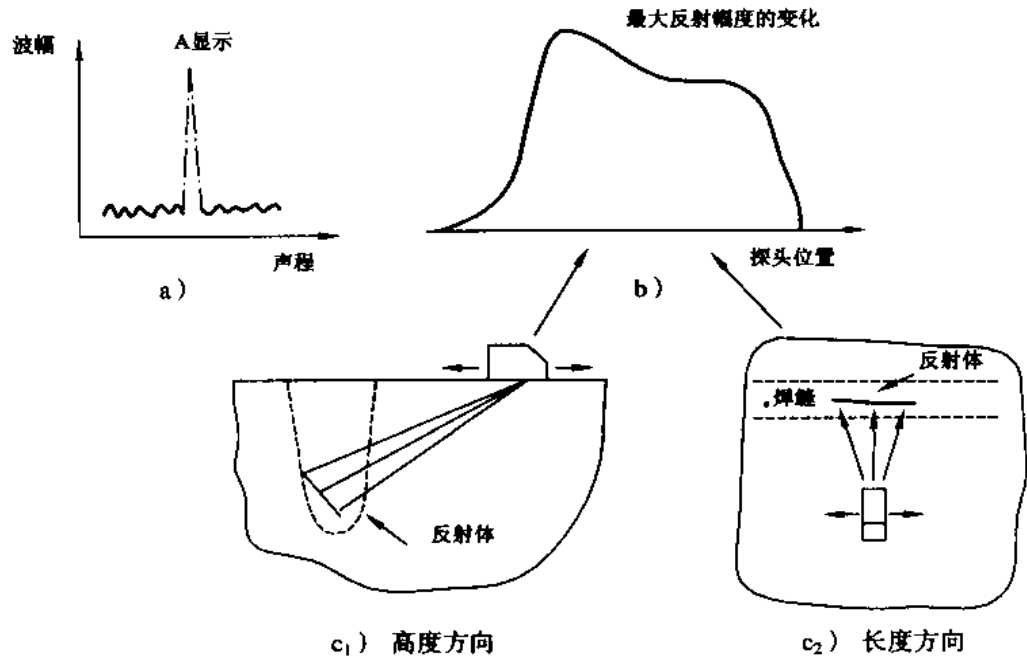


图 H.2 接近垂直入射时光滑大平面反射体的回波动态波形

H.1.3 波型模式 III

H.1.3.1 波形模式 IIIa

探头在各个不同的位置检测缺陷时，荧光屏上均呈一个参差不齐的回波。探头移动时，回波幅度显示很不规则的起伏态 ($\pm 6\text{dB}$)。图 H.3 表示声束接近垂直入射，由不规则的大反射体所产生的波形 IIIa。

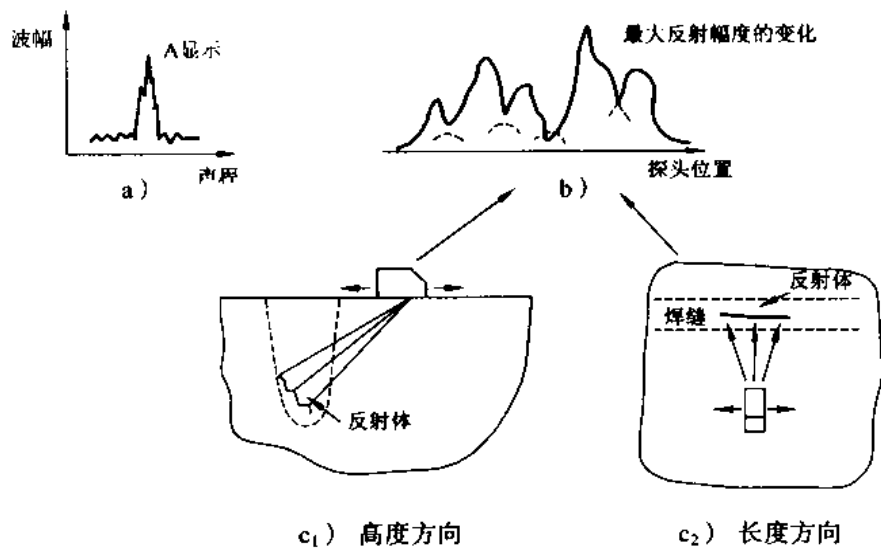


图 H.3 接近垂直入射时不规则大反射体的回波动态波形

H.1.3.2 波型模式 IIIb

探头在各个不同的位置检测缺陷时，荧光屏上显示脉冲包络呈钟形的一系列连续信号（有很多小波峰）。探头移动时，每个小波峰也在脉冲包络中移动，波幅由零逐渐升到最大值，然后波幅又下降到零，信号波幅起伏较大（ $\pm 6\text{dB}$ ）。图 H.4 表示声束倾斜入射时，由不规则大反射体所产生的动态波形 IIIb。

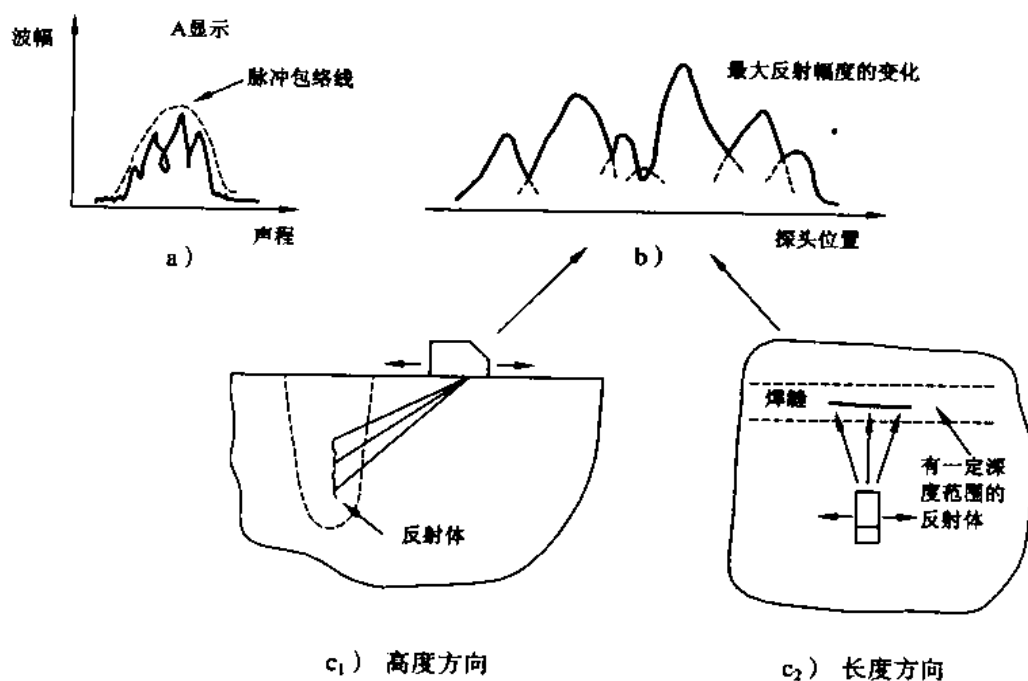


图 H.4 倾斜入射时不规则大反射体的回波动态波形

H.1.4 波形模式 IV

探头在各个不同的位置检测缺陷时，荧光屏上显示一群密集信号（在荧光屏时基线上有时可分辨，有时无法分辨），探头移动时，信号时起时伏。如能分辨，则可发现每个单独信号均显示波形 I 的特征。图 H.5 表示由密集形缺陷所产生的反射动态波形 IV。

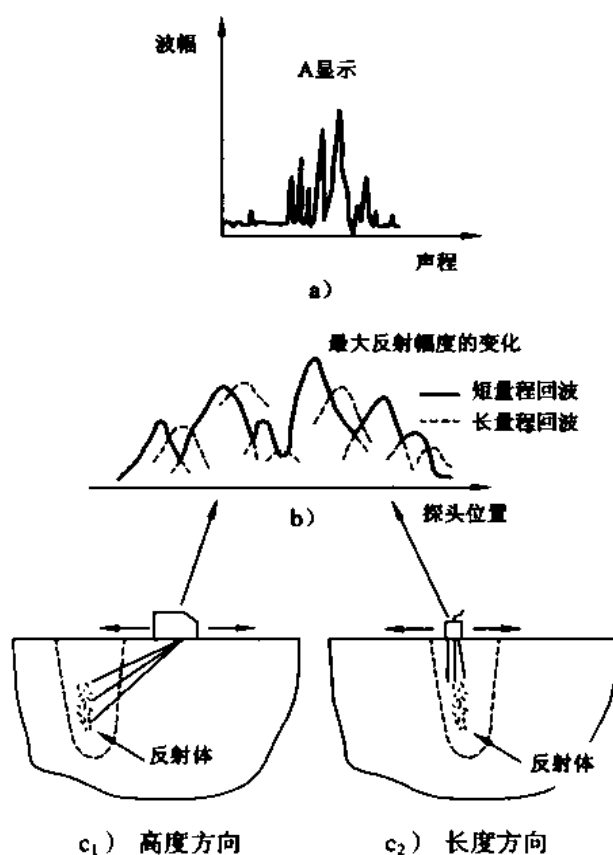


图 H.5 多重缺陷的回波动态波形

H.2 回波动态波形的区分

如要分清波形 I 和 II，声程距离较大时就要特别仔细，因为平台式动态波形可能很难发现，除非反射体很大。当距离超过 200mm 时，应对反射体标出衰减 20dB 的边界点，再将其间距和 20dB 声束宽度相比较，进行区分。

另外，探头在有曲率的表面扫查时也要特别注意，因为回波动态波形有可能明显改变。图 H.6 和图 H.7 所示两例即说明此点。在图 H.6 中，点反射体所显示的回波动态特征与波形 II 相似，而不像波形 I。在图 H.7 中，反射体的反射特征为波形 IIIa，而在平表面上则为波形 IIIb。

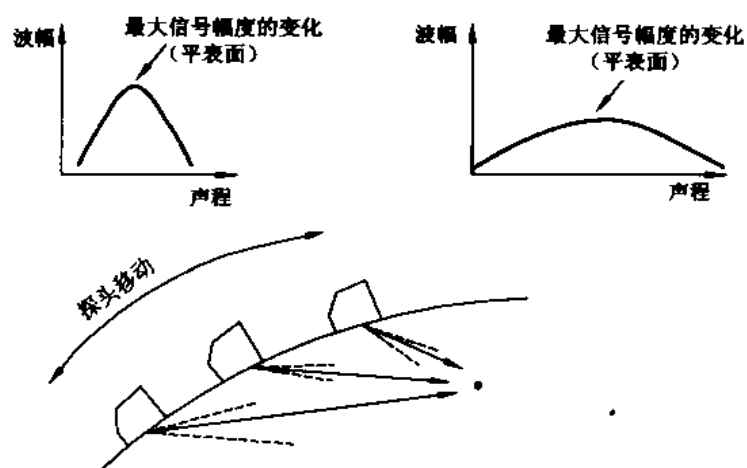


图 H.6 曲表面对点反射体回波动态特性的影响

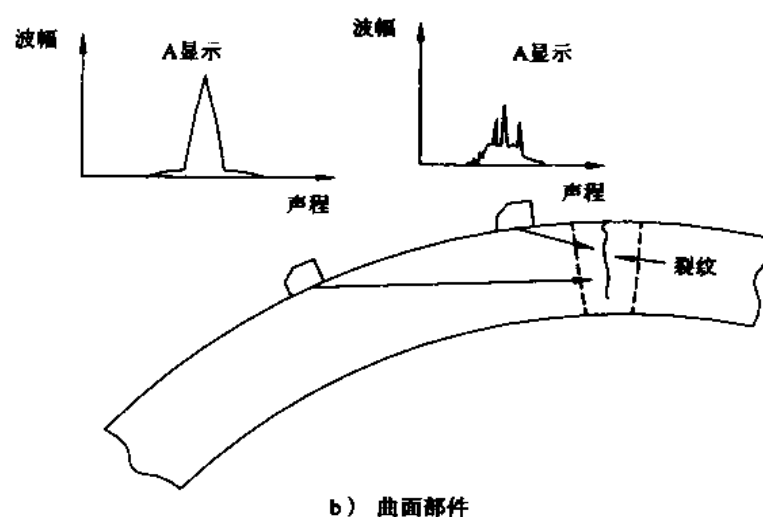
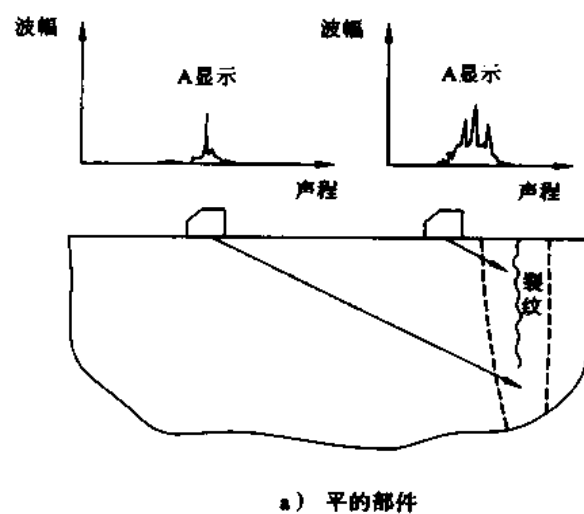


图 H.7 曲表面对平面状反射体回波动态特性的影响

附录 I

(规范性附录)

缺陷测高方法(一)

采用超声端点衍射波法测定缺陷自身高度

I.1 范围

本附录规定了采用端点衍射波法测定缺陷自身高度的超声检测方法。

I.2 检测人员

按本附录进行检测的人员,应接受一定时间的有关端点衍射波法测定缺陷自身高度的培训。并掌握一定的断裂力学和焊接基础知识;掌握端点衍射波的传播特性,对检测中可能出现的问题能作出正确的分析、判断和处理。

I.3 一般要求

I.3.1 端点衍射波法测定应采用直射波法,如确有困难也可用一次反射回波法。

I.3.2 灵敏度应根据需要确定,但应使噪声回波高度不超过荧光屏满刻度的 20%。

I.3.3 原则上应选 $K1$, $2.5\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$ 探头为宜。双探头测高时,两只探头 K 值与楔块内纵波声程应相同。

I.3.4 聚焦斜探头的声束宽度与声束范围等主要技术参数,均应满足所探测缺陷的要求。

I.4 端点衍射波测定方法

I.4.1 端点衍射波法

该方法主要根据缺陷端点反射波来辨认衍射回波,并通过缺陷两端点衍射回波之间的延迟时间差值来确定缺陷自身高度。见图 I.1。

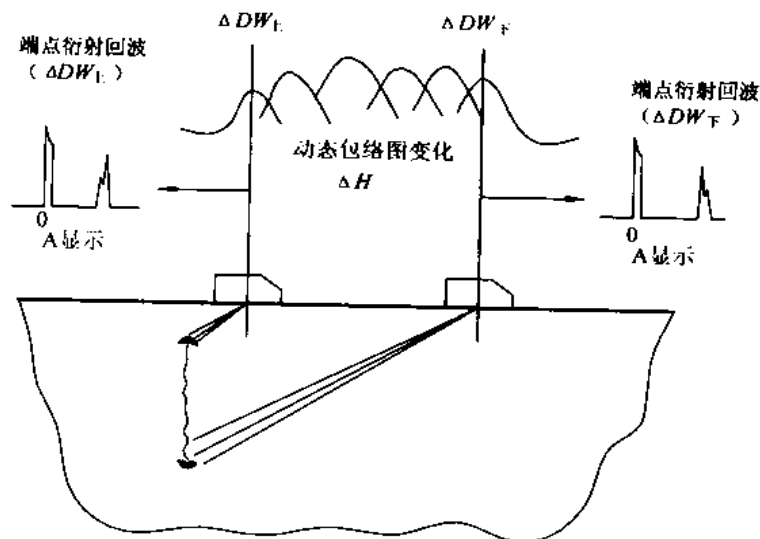


图 I.1 端点衍射回波法测缺陷自身高度

1.4.2 测定程序

1.4.2.1 在 CSK-IA、CSK-III A 试块上精确校正时基线。

1.4.2.2 进行距离修正, 见图 I.2。

水平修正值:

$$\Delta L_1 = R \cdot \sin \beta \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

深度修正值:

$$\Delta H_1 = R \cdot \cos \beta \quad \dots\dots\dots (I.2)$$

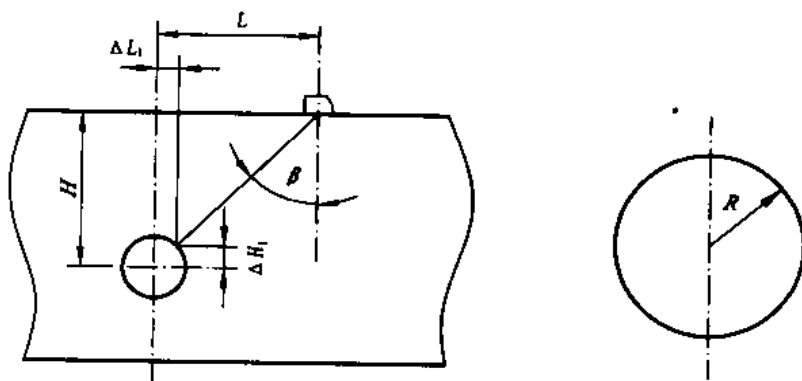


图 I.2 距离修正

1.4.2.3 测定方法

1.4.2.3.1 开口缺陷

a) 探测面与缺陷不在同一面时, 见图 I.3。

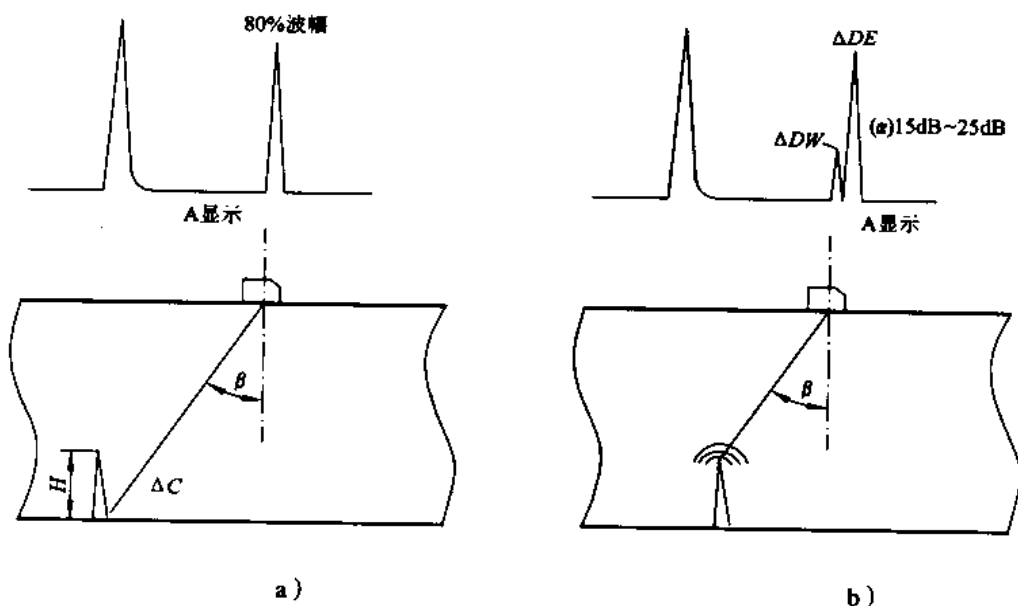


图 I.3 探测面与开口缺陷不在同一面时测高方法

- 1) 将探头置于表面开口背侧, 声束轴线对准角镜, 记录反射回波高度为荧光屏 80% 时的 ΔC , 见图 I.3 a)。
- 2) 提高灵敏度 15dB ~ 25dB, 探头沿缺陷伸展方向扫查, 当声束轴线完全离开缺陷端点的第一个峰值回波, 即是端点衍射波。记录端点距探测面距离 ΔDW , 见图 I.3 b)。

3) 按式 (I.3) 求出缺陷自身高度 ΔH :

$$\Delta H = \Delta C - \Delta DW \quad \dots\dots\dots (I.3)$$

b) 探测面与缺陷在同一面时, 见图 I.4。

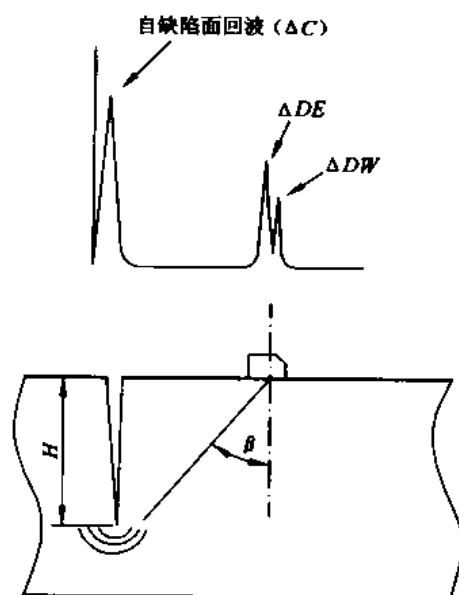


图 I.4 探测面与开口缺陷在同一侧时测高方法

按式 (I.4) 计算缺陷自身高度:

$$\Delta H = \Delta DW \quad \dots\dots\dots (I.4)$$

I.4.2.3.2 焊接接头内部缺陷

a) 单斜探头对焊接接头内部垂直缺陷测高

探头置于任一探测面, 前后缓慢移动探头扫查缺陷, 当发现缺陷的上下端点反射波时, 再微动探头使缺陷的上端点前和下端点后毗邻出现如图 I.1 所示的上下端点衍射回波, 记录回波位置, 按式 (I.5) 计算缺陷高度。

$$\Delta H = \Delta DW_{\text{上}} - \Delta DW_{\text{下}} \quad \dots\dots\dots (I.5)$$

b) 单斜探头对焊接接头内部倾斜缺陷测高, 如图 I.5 所示。

在探测 A、B 端点时, 使用探头缓慢移动扫查缺陷, 在发现 A 点和 B 点衍射回波时, 精确测量探头移动距离 L_1 , 然后再将探头移到对应侧, 用以上相同方法测得 L_2 。

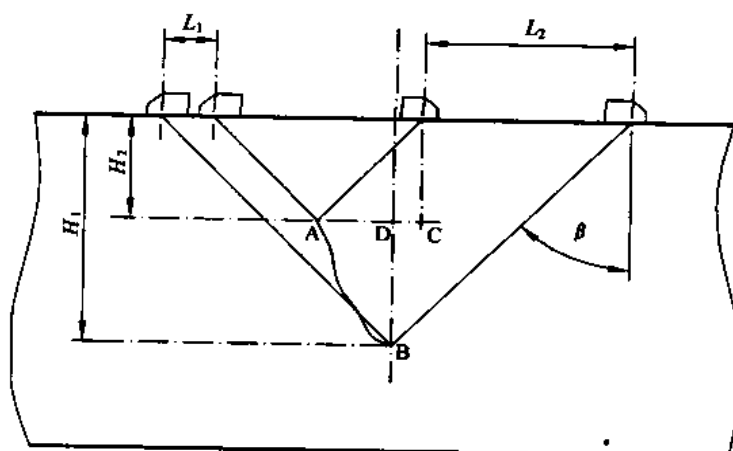


图 I.5 单斜探头对焊接接头内部倾斜缺陷测高方法

如果 L_1 和 L_2 移动的距离是对称的。这可解释为垂直缺陷。原则上 $L_1 > L_2$ 或者是 $L_2 > L_1$ ，则是倾斜缺陷。

缺陷的倾角 θ 可按式 (I.6) 计算：

$$\theta = \tan^{-1}[(L - \Delta H \tan \beta) / \Delta H] \quad \text{..... (I.6)}$$

倾斜缺陷按式 (I.7) 计算其倾斜长度 AB：

$$AB = [(L - \Delta H \cdot \tan \beta)^2 + \Delta H^2]^{1/2} \quad \text{..... (I.7)}$$

式中：

AB——缺陷倾斜长度，mm；

ΔH ——缺陷倾斜高度，mm；

$\tan \beta$ ——斜探头折射角正切值；

L (L_1 或 L_2)——探头从 B 点移动至 A 点的距离，mm。

c) 双斜探头“V”形串接法测高

在缺陷距探测面较深或者是端点衍射信号被端点部的散射波所淹没无法识别时，可选双斜探头 V 型串接法进行测高（见图 I.6）。

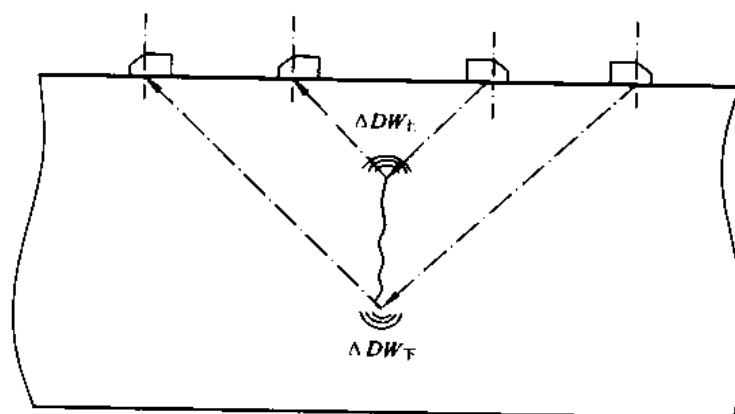


图 I.6 双斜探头 V 型串接法缺陷测高方法

操作步骤如下：

- 1) 选择两只相同型号的球晶片聚焦斜探头（或常规探头），且 K 值相同。
- 2) 用单斜探头确认缺陷的上下端点距探测面的深度。端点衍射波的识别见 I.4。

- 3) 将探头（探头 1）置于缺陷上端点位置，另一只探头（探头 2）置于缺陷的另一侧与之相对称的位置，把仪器转换成一发一收工作状态，将反射波幅调至荧光屏的 80%。
- 4) 移动探头 2，使端点反射波幅度至荧光屏的 80% 时，固定探头 2，移动探头 1 扫寻端点反射波。该信号波幅达到最高或其前方出现新的最高反射波时，固定探头 1 的位置，再次移动探头 2，扫寻上端点衍射回波，如此轮流移动两只探头直到最终确认缺陷端点衍射波为止。测定缺陷端点衍射波的时间延迟（时间差值）即可获得缺陷上端点距探测面的深度 $\Delta DW_{\text{上}}$ 。
- 5) 依此轮流移动两只探头，按上述相同方法扫寻缺陷下端点衍射波，即可获得缺陷下端点距探测面的深度 $\Delta DW_{\text{下}}$ 。

按式（1.8）计算缺陷高度：

$$\Delta H = \Delta DW_{\text{下}} - \Delta DW_{\text{上}} \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

1.5 注意事项

- 1.5.1 读取缺陷端点衍射回波幅度应为荧光屏纵轴满刻度 10% 以上的峰值位置。
- 1.5.2 为了保证测高精度，测试值记读小数点后一位数。
- 1.5.3 在记录缺陷高度时，应将仪器闸门确定在端点衍射回波峰值上。

附 录 J

(规范性附录)

缺陷测高方法(二)

采用超声端部最大回波法测定缺陷自身高度

J.1 范围

本附录规定了采用端部最大回波法测定缺陷自身高度的超声检测方法。

J.2 检测人员

按本附录进行检测的人员,应接受一定时间的有关端部最大回波法测定缺陷自身高度的培训。并掌握一定的断裂力学和焊接基础知识,掌握端部最大回波法的特点,对检测中可能出现的问题能作出正确的分析、判断和处理。

J.3 一般要求

J.3.1 端部最大回波法测定应采用直射波法,如确有困难也可用一次反射回波法。

J.3.2 灵敏度应根据需要确定,但应使噪声回波高度不超过荧光屏满刻度的20%。

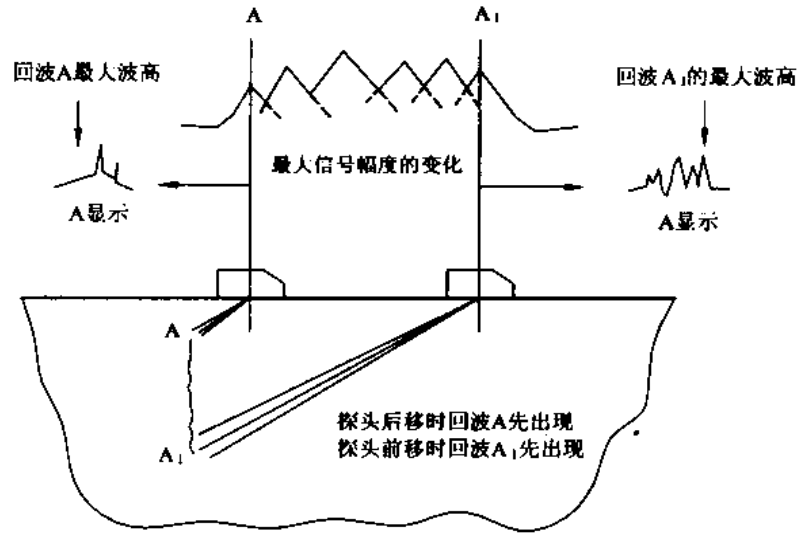
J.3.3 原则上应选K1,2.5MHz~5MHz探头为宜。

J.3.4 聚焦斜探头的声束宽度与声束范围等主要技术参数,均应满足所探测缺陷的要求。

J.4 测定方法

J.4.1 测定程序

使探头沿缺陷延伸方向扫查,为保证不漏过缺陷端点,应尽可能多地从几个方向或用其他声束角度进行重复测量。对大平面或体积状缺陷,应沿长度方向在几个位置作测定。在测定缺陷高度时,应在相对垂直于缺陷长度的方向进行前后扫查。由于缺陷端部的形状不同,扫查时应适当转动探头,以便能清晰地测出端部回波,当存在多个杂乱波峰时,应把能确定出缺陷最大自身高度的回波确定为缺陷端部回波,如图J.1所示。测定时应以缺陷两端的峰值回波A和A₁作为基点。基点原则上是以端部回波波高为荧光屏满幅度50%时的回波前沿值的位置为准(见图J.2)。



注：当端部回波达到最大时即可测出缺陷的两边 A 和 A₁。

图 J.1 用端部最大波幅法测缺陷自身高度

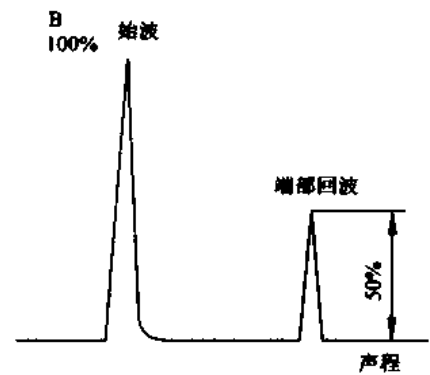


图 J.2 端部回波声程读数

J.4.2 测定

a) 内部缺陷：如图 J.3 a)所示，探头前后扫查，探头相应于探头前后位置缺陷的上下端部回波，按式 (J.1) 求出缺陷自身高度 ΔH 。也可用深度 1:1 调整时基线，直接测定。

$$\Delta H = (W_2 - W_1) \cos \theta \quad \dots\dots\dots (J.1)$$

式中 W_1 和 W_2 分别为缺陷上、下端部峰值回波处距入射点的声程， θ 为折射角。

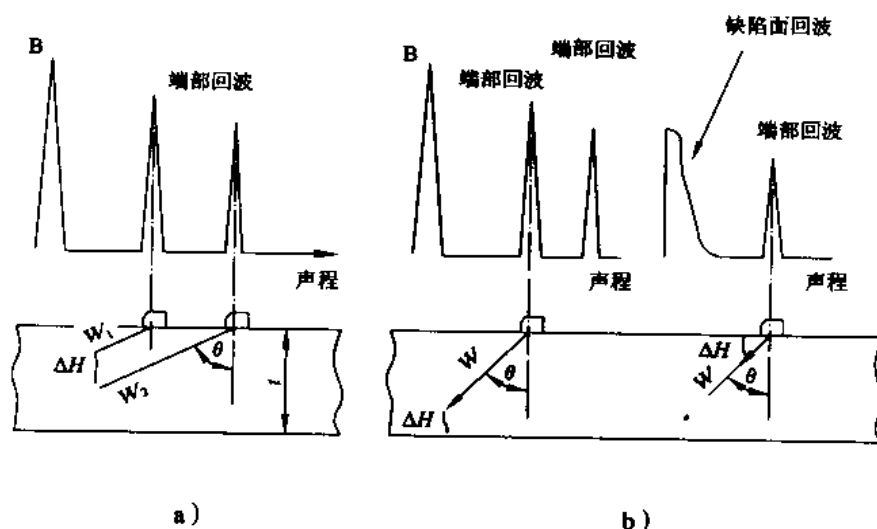


图 J.3 缺陷高度的测定方法

b) 表面开口缺陷：如图 J.3 b) 所示，探测出缺陷端部的峰回波，按式 (J.2) 和式 (J.3) 求出缺陷自身高度 ΔH 。

缺陷开口处与探伤面在同一侧时 [见图 J.3 b) 右半图]：

$$\Delta H = W \cos \theta \quad \dots\dots\dots (J.2)$$

式中 W 为缺陷端部峰值回波处距探头入射点的声程， θ 为折射角。

缺陷在探测面的对面时 [见图 J.3 b) 左半图]：

$$\Delta H = (t - W) \cos \theta \quad \dots\dots\dots (J.3)$$

式中 W 为缺陷端部峰值回波处距探头入射点的声程， θ 为折射角， t 为壁厚。

J.5 注意事项

J.5.1 检测横向缺陷时，由于成群的横向缺陷造成超声束散射，使检测复杂化，应打磨掉有碍缺陷辨认的部位后，再增加 X 射线检测。

J.5.2 对于气孔、夹渣等体积状缺陷，由于尺寸增加时回波高度的增加却很小，比较复杂。如确有需要，对这些缺陷应增加 X 射线复检。

附录 K

(规范性附录)

缺陷测高方法(三)

采用 6dB 法测定缺陷自身高度

K.1 范围

本附录规定了采用 6dB 法测定缺陷自身高度的超声波检测方法。

K.2 检测人员

按本附录进行检测的人员,应接受一定时间的有关 6dB 法测定缺陷自身高度的培训。并掌握一定的断裂力学和焊接基础知识;掌握 6dB 法的特点,对检测中可能出现的问题能作出正确的分析、判断和处理。

K.3 一般要求

K.3.1 6dB 法测定应采用直射波法,如确有困难也可用一次反射回波法。

K.3.2 灵敏度应根据需要确定,但应使噪声回波高度不超过荧光屏满刻度的 20%。

K.3.3 原则上应选 K1, 2.5MHz ~ 5MHz 探头为宜。

K.3.4 聚焦斜探头的声束宽度与声束范围等主要技术参数,均应满足所探测缺陷的要求。

K.4 测定方法

K.4.1 测定程序

使探头垂直于焊接接头方向扫查,沿缺陷在高度方向的伸展观察回波包络线的形态。若缺陷的端部回波比较明显,则以端部最大回波处作为 6dB 法的起始点;若缺陷回波只有单峰,且变化比较明显,则以最大回波处作为起始点;若回波高度变化很小,可将回波迅速降落前的半波高值,作为 6dB 法测高的起始点。见图 K.1 中的 A 和 A₁ 点。

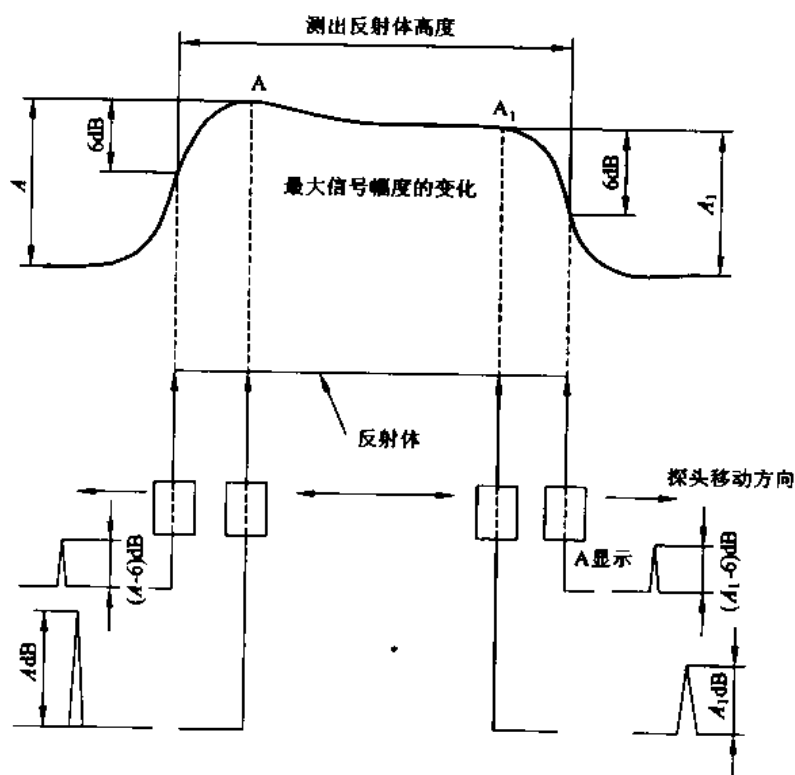


图 K.1 用 6dB 法测缺陷自身高度

K.4.2 测定

将回波高度的选定值调到满屏高的 80%~100%，移动声束使之偏离缺陷边缘，直至回波高度降低 6dB。根据已知的探头入射点位置、声束角度和声程长度，标出缺陷的边缘位置。

K.4.2.1 内部缺陷

缺陷自身高度：

$$\Delta H = (W_2 - W_1) \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (K.1)$$

式中 W_1 和 W_2 分别为缺陷上、下边缘位置至入射点的声程， θ 为折射角。

K.4.2.2 表面开口缺陷

a) 当缺陷开口处在检测面一侧时

缺陷自身高度：

$$\Delta H = W \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (K.2)$$

式中 W 为缺陷下边缘位置至入射点的声程， θ 为折射角。

b) 当缺陷开口处在检测面另一侧时

缺陷自身高度：

$$\Delta H = t - W \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (K.3)$$

式中：

t ——壁厚，mm；

W ——缺陷上边缘位置至入射点的声程，mm；

θ ——折射角，(°)。

附 录 L
(规范性附录)
缺陷类型识别和性质估判

L.1 缺陷类型识别

L.1.1 缺陷类型识别的一般方法

宜采用一种或一种以上声束方向作多种扫查,包括前后、左右、转动和环绕扫查等,通过对各种超声信息综合评定来进行缺陷类型识别。

L.1.2 点状缺陷

L.1.2.1 概述

点状缺陷是指气孔和小夹渣等小缺陷,大多属体积性缺陷。

L.1.2.2 点状缺陷回波特征

回波幅度较小,探头左右、前后扫查时均显示动态波形 I,转动扫查时情况相同。对缺陷作环绕扫查时,从不同方向、用不同声束角度探测,进行声程差修正后,回波高度基本相同。

L.1.3 线性缺陷

L.1.3.1 概述

有明显的指示长度,但不易测出其断面尺寸。线性夹渣、线性未焊透或线性未熔合均属这类缺陷。这类缺陷在长度上也可能是间断的,如链状夹渣、断续未焊透和断续未熔合等。

L.1.3.2 回波特征

探头对准这类缺陷前后扫查时一般显示波形 I 的特征,左右扫查则显示波形 II,或者有点像波形 IIIa。转动和环绕扫查时,回波高度在与缺陷平面相垂直方向两侧迅速降落。只要信号不能明显断开较大距离,则表明缺陷基本连续。

若缺陷断面大致为圆柱形,只要声束垂直于缺陷的纵轴,作声轴距离修正后,回波高度变化较小。

若缺陷断面为平面状,从不同方向、用不同角度探测时,回波高度在与缺陷平面相垂直方向有明显降落。

断续的缺陷在长度方向上波高包络有明显降落,应在明显断开的位置附近作转动和环绕扫查,如观察到在垂直方向附近波高迅速降落,且无明显的二次回波,则证明缺陷是断续的。

L.1.4 体积状缺陷

L.1.4.1 概述

这种缺陷有可测长度和明显断面尺寸,如不规则或球形的大夹渣。

L.1.4.2 回波特征

左右扫查一般显示动态波形 II 或 IIIa,前后扫查显示波形 IIIa 或 IIIb。

转动扫查时,若声束垂直于缺陷纵轴,所显示的波形颇似波形 IIIb,一般可观察到最高回波。环绕扫查时,在缺陷轴线的垂直方向两侧,回波高度有不规则的变化。

这种缺陷在方向变动较大,或更换多种声束角度时,仍能被探测到,但回波高度有不规则变化。

L.1.5 平面状缺陷

L.1.5.1 概述

这种缺陷有长度和明显的自身高度。表面既有光滑的，也有粗糙的。如裂纹、面状未熔合或面状未焊透等。

L.1.5.2 回波特征

左右、前后扫查时显示回波动态波形Ⅱ或Ⅲa、Ⅲb。

对表面光滑的缺陷作转动和环绕扫查时，在与缺陷平面相垂直方向的两侧，回波高度迅速降落。对表面粗糙的缺陷作转动扫查时，显示动态波形Ⅲb的特征，而作环绕扫查时，在与缺陷平面相垂直方向两侧回波高度的变化均不规则。

由于缺陷相对于波束的取向及其表面粗糙度不同，通常回波幅度变化很大。

L.1.6 多重缺陷

L.1.6.1 概述

这是一群相隔距离很近的缺陷，用超声波无法单独定位、定量。如密集气孔或再热裂纹等。

L.1.6.2 回波特征

作左右、前后扫查时，由各个反射体产生的回波在时基线上出现位置不同，次序也不规则。每个单独的信号显示波形Ⅰ的特征。根据回波的不规则性，可将此类缺陷与有多个反射面的裂纹区分开来。

通过转动和环绕扫查，可大致了解密集缺陷的性质是球形还是平面型点状反射体。

从不同方向、用不同角度测出的回波高度的平均量值，若反射有明显方向性，这就表明是一群平面型点状反射体。

L.2 缺陷性质估判

L.2.1 缺陷性质估判依据

- a) 工件结构与坡口形式；
- b) 母材与焊材；
- c) 焊接方法和焊接工艺；
- d) 缺陷几何位置；
- e) 缺陷最大反射回波高度；
- f) 缺陷定向反射特性；
- g) 缺陷回波静态波形；
- h) 缺陷回波动态波形。

L.2.2 缺陷性质估判程序

- a) 反射波幅低于评定线或按本部分判断为合格的缺陷原则上不予定性。
- b) 对于超标缺陷，首先应进行缺陷类型识别，对于可判断为点状的缺陷一般不予定性。
- c) 对于判定为线状、体积状、面状或多重的缺陷，应进一步测定和参考缺陷平面、深度位置、缺陷高度、缺陷各向反射特性、缺陷取向、缺陷波形、动态波形、回波包络线和扫查方法等参数，同时结合工件结构、坡口形式、材料特性、焊接工艺和焊接方法进行综合判断，尽可能定出缺陷的实际性质。

缺陷类型的识别和性质估判与缺陷定位、定量一般应同时进行，也可单独进行。

附录 M

(资料性附录)

钛制承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级

M.1 范围

- M.1.1 本附录采用 A 型脉冲反射式超声波探伤仪以单斜探头接触法为主进行检测并对检测结果进行分级。
- M.1.2 本附录适用于厚度大于或等于 8mm 的钛制承压设备对接焊接接头超声检测。
- M.1.3 本附录不适用于外径小于 159mm 的钛制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头，内径小于或等于 200mm 的管座角焊缝，也不适用于外径小于 250mm 或内外径之比小于 80% 的纵向焊接接头检测。

M.2 对比试块

- M.2.1 对比试块材质应与被检钛板性能相同或相近，经超声检测后不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径以上的缺陷存在。
- M.2.2 对比试块制作应符合 3.5 的要求。
- M.2.3 对比试块尺寸、形状见表 M.1 和图 M.1。

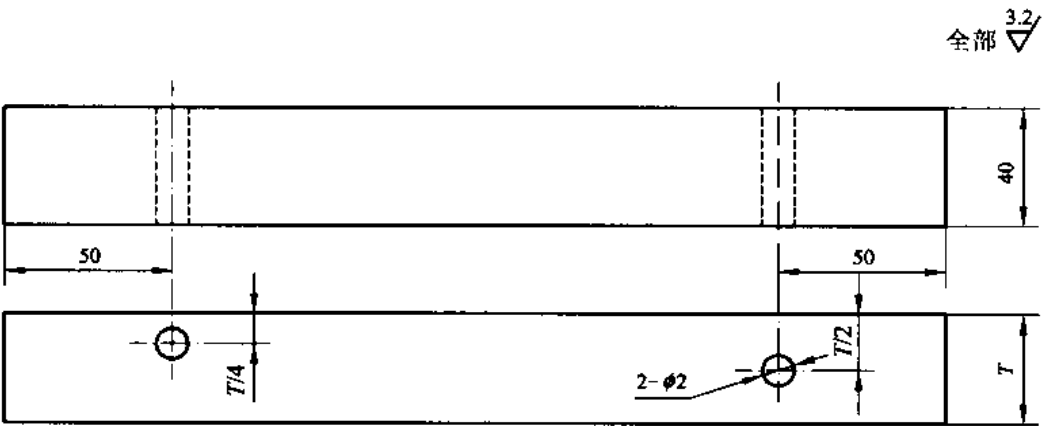


图 M.1 对比试块形状

表 M.1 对比试块尺寸 mm

试块号	试块长度 L	试块厚度 T	试块的测定范围
1	300	25	8 ~ 40
2	500	50	> 40 ~ 80

M.3 检测准备

M.3.1 检测面

- a) 检测前，应清除探头移动区域影响声束传播的飞溅、锈蚀、油垢等。表面粗糙时，应打磨平滑，保持良好的声学接触。
- b) 焊接接头外观及检测表面经检查合格后，方可进行检测。

M.3.2 探头的选择

一般应使用频率为 2.5MHz、K2 的斜探头。如有必要，也可选用其他参数的探头。

M.3.3 距离—波幅曲线的制作

距离—波幅曲线应在对比试块上实测绘制，由定量线、判废线和评定线组成，参见图 M.2。距离—波幅曲线的灵敏度见表 M.2。

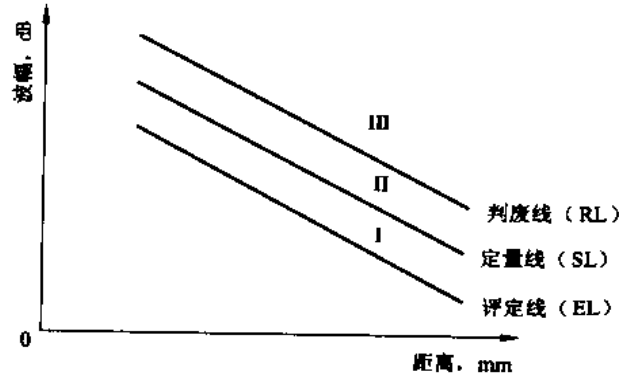


图 M.2 距离—波幅曲线

表 M.2 距离—波幅曲线的灵敏度

评定线	定量线	判废线
$\phi 2 \text{ mm}-18\text{dB}$	$\phi 2 \text{ mm}-12\text{dB}$	$\phi 2 \text{ mm}-4\text{dB}$

M.3.4 扫查灵敏度

扫查灵敏度不低于评定线。

M.4 扫查方法

扫查方法应按照 5.1.5 的规定，检测范围应按照 5.1.4 的规定。

M.5 缺陷定量

位于定量线或定量线以上的缺陷应进行幅度和指示长度的测定。

M.5.1 缺陷指示长度的测定按 5.1.6 的方法进行。

- 当反射波只有一个高点时，用 6dB 法测定其指示长度。
- 当反射波有多个高点时，用端点 6dB 法测定其指示长度。

M.5.2 缺陷指示长度小于 10mm 的缺陷按 5mm 计。

M.5.3 对缺陷回波高度介于评定线和定量线之间的缺陷，若认为有必要记录时，也可采用上述方法进行幅度和指示长度的测定。

M.6 质量分级

对接焊接接头质量分级按表 M.3 的规定进行。

表 M.3 对接焊接接头质量分级

mm

等级	板厚 T	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度 L
I	< 8	I	非裂纹类缺陷
	$8 \sim 40$	II	≤ 10
	> 40		$\leq T/4$, 最大不超过 20
II	$8 \sim 40$	II	≤ 13
	> 40		$\leq T/3$, 最大不超过 27
III	$8 \sim 40$	II	≤ 20
	> 40		$\leq T/2$, 最大不超过 40
IV	≥ 8	II	超过 III 级者
		III	所有缺陷
		I、II、III	裂纹等危害性缺陷

注：板厚不等的对接焊接接头，取薄板侧厚度值。

附 录 N

(资料性附录)

奥氏体不锈钢对接焊接接头超声检测和质量分级

N.1 范围

N.1.1 本附录规定了厚度 10mm ~ 50mm 奥氏体不锈钢对接焊接接头的超声检测方法和质量分级。

N.1.2 本附录不适用于铸钢焊接接头、外径小于 159mm 的奥氏体不锈钢制承压设备环向对接焊接接头、内径小于或等于 200mm 的管座角焊缝的超声检测,也不适用于外径小于 250mm 或内外径之比小于 80% 的纵向焊接接头超声检测。

N.2 检测人员

按本附录进行检测的人员,应接受一定时间的有关奥氏体不锈钢对接焊接接头超声检测方法的培训,并掌握一定的材料和焊接基础知识,对奥氏体不锈钢的焊接、固溶处理和稳定化处理等有一定了解;对检测中可能出现的问题能作出正确的分析、判断和处理。

N.3 探头、仪器及组合性能

N.3.1 探头

本附录推荐采用高阻尼窄脉冲纵波单斜探头。在满足灵敏度和信噪比要求时,也可选用双晶片纵波斜探头或聚焦纵波斜探头等。

N.3.1.1 探头频率为 2.5MHz。

N.3.1.2 探头 K 值:一般选 $K1$ 探头,如需要也可选用其他 K 值的探头。

N.3.2 组合性能

选择的探伤仪应与选用的探头相匹配,以便获得最佳灵敏度和信噪比。声束通过母材和通过焊接接头分别测绘的两条距离—波幅曲线间距应小于 10dB。

N.4 试块

N.4.1 对比试块的材料应与被检材料相同,不得存在大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。试块的中部设置一对焊接接头,该焊接接头应与被检焊接接头相似,并采用同样的焊接工艺制成。

N.4.2 对比试块的形状和尺寸如图 N.1 所示。

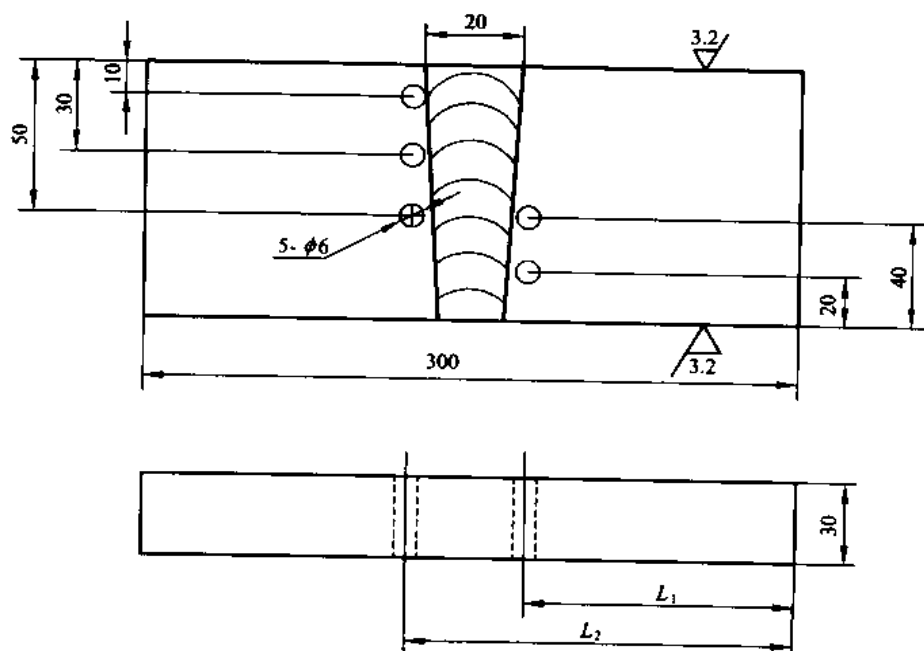


图 N.1 对比试块

N.5 仪器调节

N.5.1 按深度或水平 1:1 调节探伤仪时基线。

N.5.2 距离—波幅曲线

距离—波幅曲线由选定的探头、仪器组合在对比试块上实测数据绘制。测定横孔的回波高度时，声束应通过焊接接头金属。评定线至定量线以下区域为 I 区；定量线至判废线以下区域为 II 区；判废线及以上区域为 III 区。判废线 RL、定量线 SL 和评定线 EL 的灵敏度见表 N.1。

表 N.1 距离—波幅曲线灵敏度

板厚, mm	$T \leq 50$
判废线	$\phi 2 \times 30-4\text{dB}$
定量线	$\phi 2 \times 30-12\text{dB}$
评定线	$\phi 2 \times 30-18\text{dB}$

N.5.3 为比较焊接接头组织与母材的差异,可使声束只经过母材区域,测绘另一条距离—波幅曲线[图 N.2, (a)线]。

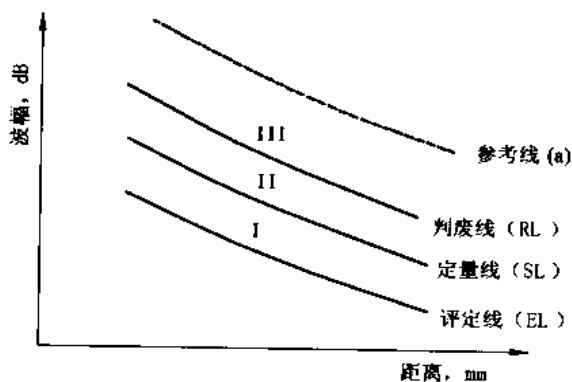


图 N.2 距离—波幅曲线示意图

N.6 检测准备

N.6.1 检测面

原则上采用单一角度的纵波斜探头在焊接接头的双面双侧实施一次波法(直射法)检测。受几何条件限制,只能在焊接接头单面或单侧实施检测时,应将焊接接头余高磨平或增加大角度纵波斜探头以两种声束角度探测,尽可能减少未检测区。

N.6.2 探头移动区

N.6.2.1 焊接接头两侧的探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。去除余高的焊接接头,应将余高打磨到与邻近母材平齐。

N.6.2.2 探头移动区 N 应满足式 (N.1):

$$N \geq 1.5 KT \quad \dots\dots\dots (N.1)$$

式中:

T ——母材厚度, mm;

K —— $\tan \beta$, β 为探头折射角。

N.7 检测

N.7.1 一般要求

N.7.1.1 扫查灵敏度应不低于评定线灵敏度。如果信噪比允许,应再提高 6dB。

N.7.1.2 对波幅超过评定线的回波,应根据探头位置、方向、反射波位置及焊接接头情况,判断其是否为缺陷回波。为避免变形横波的干扰,应着重观察荧光屏靠前的回波。

N.7.2 纵向缺陷探测

N.7.2.1 为探测纵向缺陷,斜探头应在垂直于焊接接头方向作锯齿型扫查。探头前后移动的距离应保证声束扫查到整个焊接接头截面及热影响区。扫查时,探头还应作 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的转动。如不能转动,应适当增加探头声束的覆盖区。

N.7.2.2 为确定缺陷位置、方向、形状,观察动态波形或区分缺陷波与伪信号,可采用前后、左右、转角、环绕等四种探头基本扫查方式。

N.7.3 横向缺陷探测

N.7.3.1 保留余高的焊接接头,可在焊接接头两侧边缘使探头与焊接接头中心线成 $10^\circ \sim 20^\circ$, 作两个方向的斜平行移动,见图 N.3。

N.7.3.2 去除余高的焊接接头,将探头置于焊接接头表面作两个方向的平行扫查,见图 N.3。

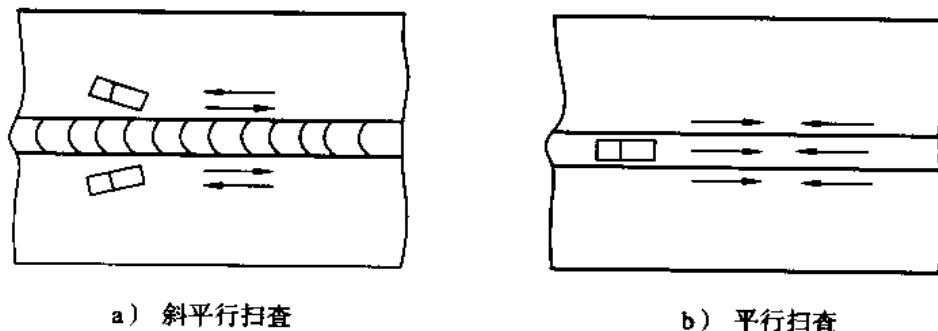


图 N.3 平行和斜平行扫查

N.8 缺陷记录

N.8.1 记录水平

N.8.1.1 反射波幅位于定量线及以上区域的缺陷应予以记录。

N.8.1.2 反射波幅位于Ⅰ区的缺陷，如被判为危险缺陷时，也应予以记录。

N.8.1.3 以获得缺陷最大反射波幅的位置测定缺陷位置。应分别记录缺陷沿焊接接头方向的位置，缺陷到探伤面的垂直距离以及缺陷偏离焊接接头中心线的距离。

N.8.2 缺陷指示长度

N.8.2.1 反射波幅位于定量线及以上区域的缺陷，推荐以下两种方法测定缺陷指示长度。

a) 当缺陷反射波只有一个高点时，用 6dB 法测长。

b) 在测长扫查过程中，如发现缺陷反射波峰起伏变化，有多个高点时，用端点最大回波 6dB 法测长。

N.8.2.2 反射波幅位于Ⅰ区的缺陷，需记录时，以评定线灵敏度采用绝对灵敏度法测长。

N.9 缺陷评定

N.9.1 超过评定线的回波应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征，并结合缺陷位置、动态波形及工艺特征作判定。如不能作出准确判断应辅以其他方法作综合评定。

N.9.2 指示长度小于 10mm 时，按 5mm 计。

N.9.3 相邻两缺陷间距小于较小缺陷长度时，作为一条缺陷处理，两缺陷长度之和作为单个缺陷指示长度。条状缺陷近似分布在一条直线上时，以两端点距离作为其间距；点状缺陷以两缺陷中心距离作为间距。

N.10 质量分级

焊接接头质量分级按表 N.2 的规定进行。

表 N.2 焊接接头质量分级

等级	板厚 T , mm	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度 L , mm
Ⅰ	10 ~ 50	Ⅰ	非裂纹类缺陷（无缺陷指示长度要求）
		Ⅱ	$L \leq T/3$ ，最大为 10
Ⅱ	10 ~ 50	Ⅱ	$L \leq 2T/3$ ，最小为 12，最大为 30
Ⅲ	10 ~ 50	Ⅱ	超过Ⅱ级者
		Ⅲ	所有缺陷（无缺陷指示长度要求）
		Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ	裂纹等危害性缺陷（无缺陷指示长度要求）

注：板厚不等的对接焊接接头，取薄板侧厚度值。

JB

中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.4—2005

代替JB 4730—1994部分

承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测

**Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 4: Magnetic particle testing**

2005-07-26 发布

2005-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	154
1 范围	155
2 规范性引用文件	155
3 一般要求	155
4 检测方法	165
5 磁痕显示的分类和记录	166
6 复验	166
7 退磁	166
8 在用承压设备磁粉检测	167
9 磁粉检测质量分级	167
10 磁粉检测报告	168
附录 A (资料性附录) 各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系	169
附录 B (资料性附录) 焊接接头的典型磁化方法	170

前 言

JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005《承压设备无损检测》分为六个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测。

本部分为JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005 的第4部分：磁粉检测。本部分主要根据国内多年的研究成果和应用经验，参考ASME《锅炉压力容器规范》第V卷、ASTM和JIS标准规范以及行业反馈意见进行修订。本部分与JB 4730—1994相比主要变化如下：

1. 在磁化方法中，增加了复合磁化的内容（包括交叉磁轭法和交叉线圈法）；规定了对高强钢以及裂纹敏感材料应使用荧光磁粉检测的内容。
2. 增加了低粘度油基载体的性能要求；退磁后剩磁值及磁悬液运动粘度要求；磁粉检测可见光照度；在磁化规范部分，对轴向通电法和中心导体法中直流和交流连续法的电流上限进行了修改。
3. 删去了平行电缆法检测角焊缝的内容。
4. 增加了磁粉检测设备、仪表和材料定期检验的内容以及检测系统综合性能试验的要求。
5. 增加了标准试片的类型、规格和图形的有关内容（表2）；增加了各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系的有关规定〔附录A（资料性附录）〕；增加了焊接接头的典型磁化方法等内容〔附录B（资料性附录）〕。
6. 线圈法的检测，参考ASME和ASTM的有关规定进行修改，同时增加了中充填线圈检测参数要求，以及对空心工件有效直径的规定。
7. 增加了在用承压设备磁粉检测内容。

本部分附录A和附录B为资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

本部分主要起草人：潘荣宝、范宇、宋志哲、陈建俊、周志伟。

承压设备无损检测

第 4 部分：磁粉检测

1 范围

JB/T 4730 的本部分规定了承压设备磁粉检测方法及其质量分级要求。

本部分适用于铁磁性材料制承压设备的原材料、零部件和焊接接头表面、近表面缺陷的检测，不适用于奥氏体不锈钢和其他非铁磁性材料的检测。

与承压设备有关的支承件和结构件，如有要求也可参照本部分进行磁粉检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 4730 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB 11533—1989	标准对数视力表
GB/T 16673—1996	无损检测用黑光源（UV-A）辐射的测量
JB/T 4730.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
JB/T 6063—1992	磁粉探伤用磁粉 技术条件
JB/T 6065—2004	无损检测 磁粉检测用试片
JB/T 6066—2004	无损检测 磁粉检测用环形试块
JB/T 8290—1998	磁粉探伤机

3 一般要求

磁粉检测的一般要求除应符合 JB/T 4730.1 的有关规定外，还应符合下列规定。

3.1 磁粉检测人员

磁粉检测人员未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0），测试方法应符合 GB 11533 的规定。并 1 年检查 1 次，不得有色盲。

3.2 磁粉检测程序

磁粉检测程序如下：

- a) 预处理；
- b) 磁化；
- c) 施加磁粉或磁悬液；
- d) 磁痕的观察与记录；
- e) 缺陷评级；
- f) 退磁；
- g) 后处理。

3.3 磁粉检测设备

3.3.1 设备

磁粉检测设备应符合 JB/T 8290 的规定。

3.3.2 提升力

当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有 45N 的提升力；直流电磁轭至少应有 177N 的提升力；交叉磁轭至少应有 118N 的提升力（磁极与试件表面间隙为 0.5mm）。

3.3.3 断电相位控制器

采用剩磁法检测时，交流探伤机应配备断电相位控制器。

3.3.4 黑光辐照度及波长

当采用荧光磁粉检测时，使用的黑光灯在工件表面的黑光辐照度应大于或等于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，黑光的波长应为 320nm~400nm，中心波长约为 365nm。黑光源应符合 GB/T 16673 的规定。

3.3.5 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）。

3.3.6 辅助器材

一般应包括下列器材：

- a) 磁场强度计；
- b) A_I 型、C 型、D 型和 M_I 型试片、标准试块和磁场指示器；
- c) 磁悬液浓度沉淀管；
- d) 2~10 倍放大镜；
- e) 白光照度计；
- f) 黑光灯；
- g) 黑光辐照计；
- h) 毫特斯拉计。

3.4 磁粉、载体及磁悬液

3.4.1 磁粉

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

3.4.2 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 $3.0\text{mm}^2/\text{s}$ ，使用温度下小于或等于 $5.0\text{mm}^2/\text{s}$ ，闪点不低于 94℃，且无荧光和无异味。

3.4.3 磁悬液

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。一般情况下，磁悬液浓度范围应符合表 1 的规定。测定前应对磁悬液进行充分的搅拌。

表 1 磁悬液浓度

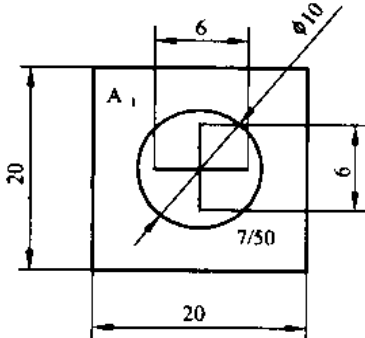
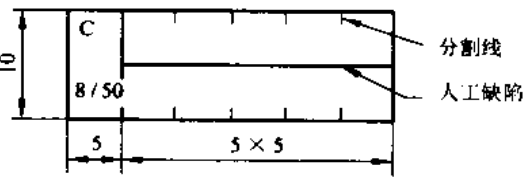
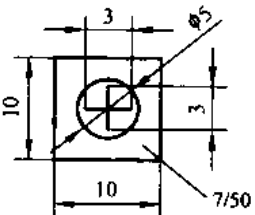
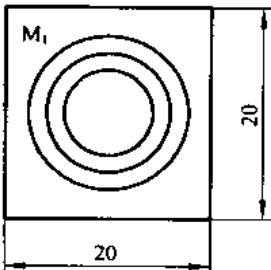
磁粉类型	配制浓度, g/L	沉淀浓度 (含固体量), mL/100mL
非荧光磁粉	10~25	1.2~2.4
荧光磁粉	0.5~3.0	0.1~0.4

3.5 标准试件

3.5.1 标准试片

3.5.1.1 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，了解被检工件表面有效磁场强度和方向、有效检测区以及磁化方法是否正确。标准试片有 A_I 型、C 型、D 型和 M_I 型。其规格、尺寸和图形见表 2。A_I 型、C 型和 D 型标准试片应符合 JB/T 6065 的规定。

表 2 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
A _I 型	A _I -7/50		
	A _I -15/50		
	A _I -30/50		
	A _I -15/100		
	A _I -30/100		
	A _I -60/100		
C 型	C-8/50		
	C-15/50		
D 型	D-7/50		
	D-15/50		
M _I 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。			

3.5.1.2 磁粉检测时一般应选用 A_I-30/100 型标准试片。当检测焊缝坡口等狭小部位，由于尺寸关系，A_I 型标准试片使用不便时，一般可选用 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，当用户需要或技术文件有规定时，可选用 D 型或 M_I 型标准试片。

3.5.1.3 标准试片使用方法

- a) 标准试片适用于连续磁化法,使用时,应将试片无人工缺陷的面朝外。为使试片与被检面接触良好,可用透明胶带将其平整粘贴在被检面上,并注意胶带不能覆盖试片上的人工缺陷。
- b) 标准试片表面有锈蚀、褶折或磁特性发生改变时不得继续使用。

3.5.2 磁场指示器

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 1。

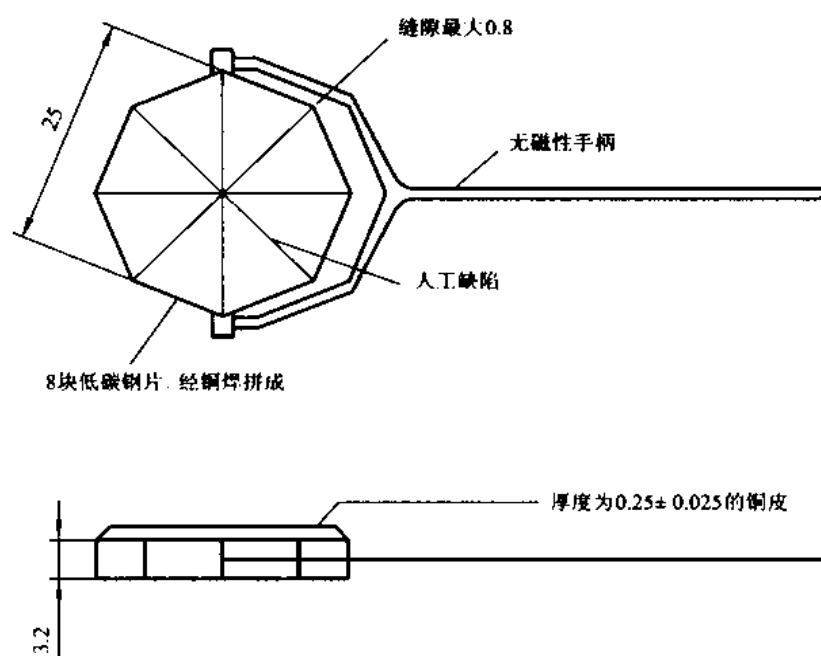


图 1 磁场指示器

3.5.3 中心导体磁化方法标准试块

中心导体磁化方法标准试块应符合 JB/T 6066 的规定。

3.6 磁化电流类型及其选用

3.6.1 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。

3.6.2 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。磁粉检测用的磁化电流的波形、电流表指示及换算关系参见附录 A(资料性附录)。

3.7 磁化方向

磁化方向包括纵向磁化、周向磁化和复合磁化。

3.7.1 纵向磁化

检测与工件轴线方向垂直或夹角大于或等于 45° 的缺陷时,应使用纵向磁化方法。纵向磁化可用下列方法获得:

- a) 线圈法(见图 2);
- b) 磁轭法(见图 3)。

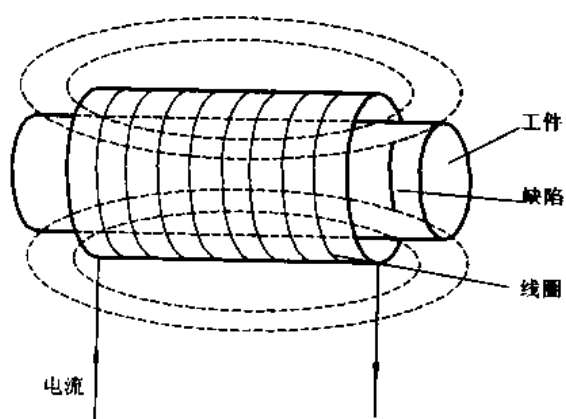


图2 线圈法

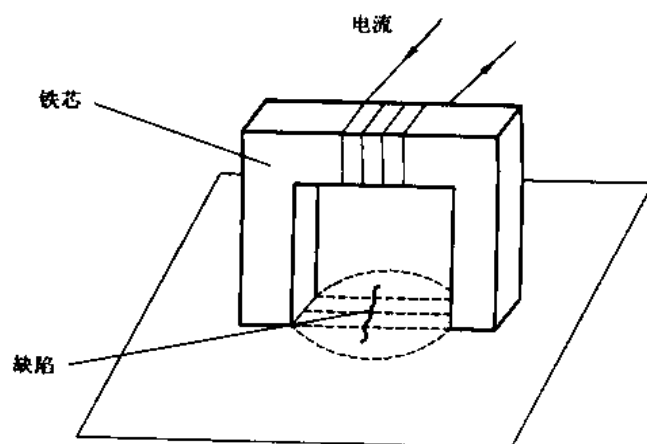


图3 磁轭法

3.7.2 周向磁化

检测与工件轴线方向平行或夹角小于 45° 的缺陷时，应使用周向磁化方法。周向磁化可用下列方法获得：

- 轴向通电法（见图4）；
- 触头法（见图5）；
- 中心导体法（见图6）。

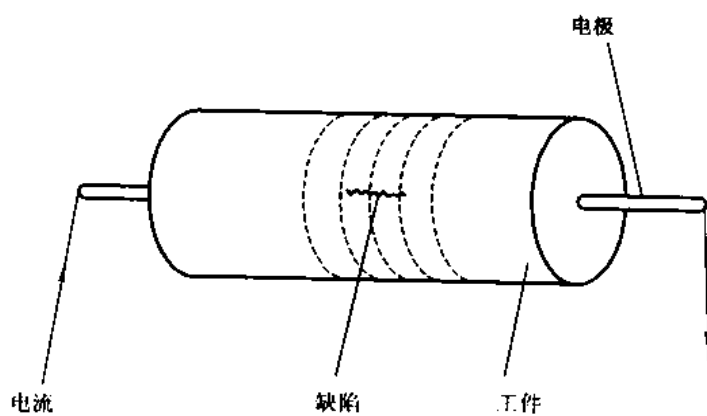


图4 轴向通电法

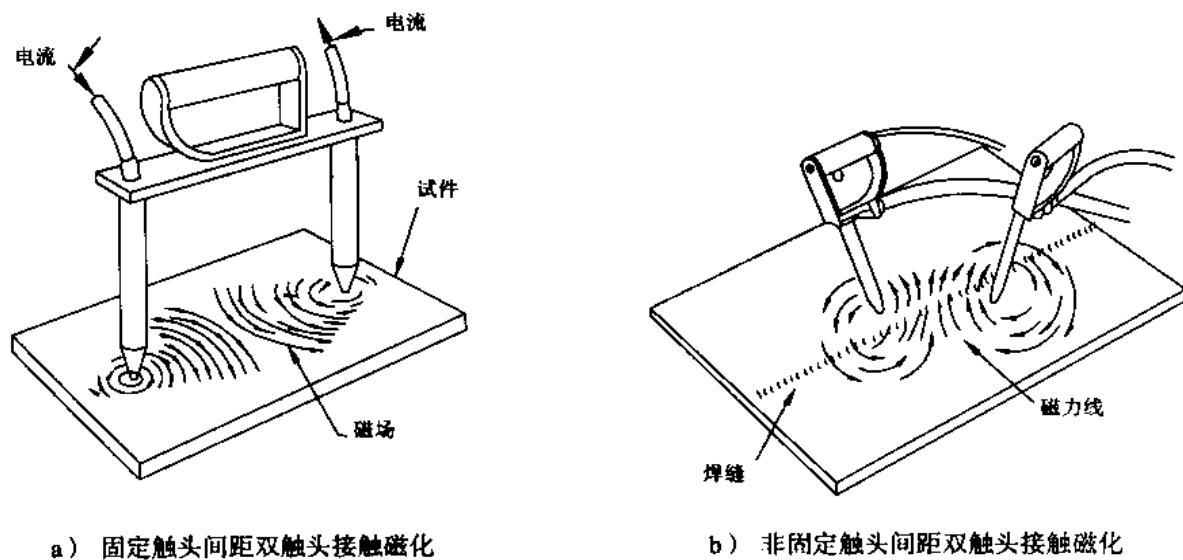


图5 触头法

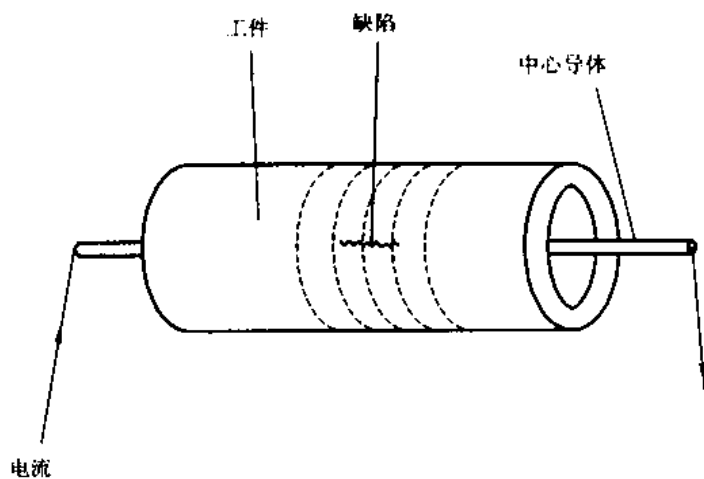


图6 中心导体法

3.7.3 复合磁化

复合磁化法包括交叉磁轭法（见图7）和交叉线圈法等多种方法。

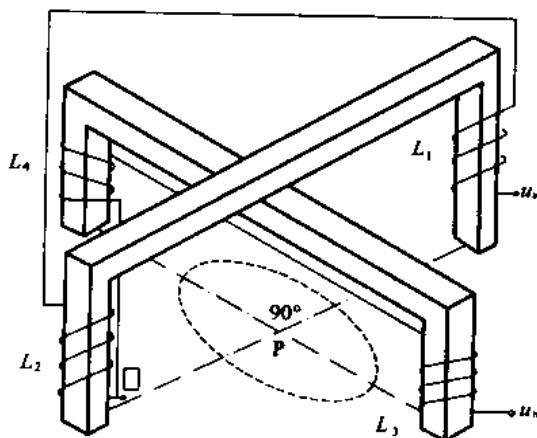


图7 交叉磁轭法

3.7.4 焊接接头的典型磁化方法

磁轭法、触头法、绕电缆法和交叉磁轭法的典型磁化方法参见附录B（资料性附录）。

3.8 磁化规范

3.8.1 磁场强度

磁场强度可以用以下几种方法确定：

- 用磁化电流表征的磁场强度按 3.8.6.1 ~ 3.8.6.3 所给出的公式计算。
- 利用材料的磁特性曲线，确定合适的磁场强度。
- 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 $2.4 \text{ kA/m} \sim 4.8 \text{ kA/m}$ ，剩磁法检测时应达到 14.4 kA/m 。
- 用标准试片（块）来确定磁场强度是否合适。

3.8.2 轴向通电法和中心导体法的磁化规范按表3中公式计算。

表3 轴向通电法和中心导体法磁化规范

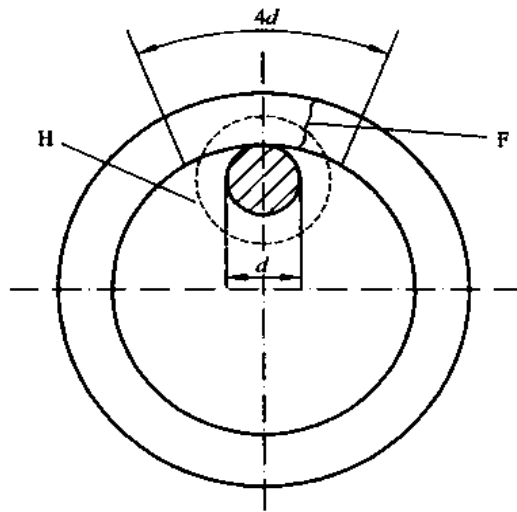
检测方法	磁化电流计算公式	
	交流电	直流电、整流电
连续法	$I = (8 \sim 15) D$	$I = (12 \sim 32) D$
剩磁法	$I = (25 \sim 45) D$	$I = (25 \sim 45) D$

注：D 为工件横截面上最大尺寸，mm。

中心导体法可用于检测工件内、外表面与电流平行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。

3.8.3 偏置芯棒法

当使用中心导体法时，如电流不能满足检测要求时应采用偏置芯棒法进行检测，芯棒应靠近内壁放置，导体与内壁接触时应采取绝缘措施。每次有效检测区长度约为 4 倍芯棒直径（见图 8），且应有一定的重叠区，重叠区长度应不小于有效检测区的 10%（ $0.4d$ ）。磁化电流仍按表 3 中公式计算，式中 D 的数值取芯棒直径加 2 倍工件壁厚。



注：H—磁场；F—缺陷。

图 8 偏置芯棒法检测有效区

3.8.4 触头法

3.8.4.1 当采用触头法局部磁化大工件时，磁化规范见表 4。

3.8.4.2 采用触头法时，电极间距应控制在 75mm ~ 200mm 之间。磁场的有效宽度为触头中心线两侧 1/4 极距，通电时间不应太长，电极与工件之间应保持良好的接触，以免烧伤工件。两次磁化区域间应有不小于 10% 的磁化重叠区。检测时磁化电流应根据标准试片实测结果来校正。

表 4 触头法磁化电流值

工件厚度 T , mm	电流值 I , A
$T < 19$	(3.5 ~ 4.5) 倍触头间距
$T \geq 19$	(4 ~ 5) 倍触头间距

3.8.5 磁轭法

3.8.5.1 磁轭的磁极间距应控制在 75mm ~ 200mm 之间，检测的有效区域为两极连线两侧各 50mm 的范围内，磁化区域每次应有不少于 15mm 的重叠。

3.8.5.2 采用磁轭法磁化工件时，其磁化电流应根据标准试片实测结果来选择；如果采用固定式磁轭磁化工件时，应根据标准试片实测结果来校验灵敏度是否满足要求。

3.8.6 线圈法

线圈法产生的磁场平行于线圈的轴线。线圈法的有效磁化区是从线圈端部向外延伸到 150mm 的范围内。超过 150mm 以外区域，磁化强度应采用标准试片确定。

3.8.6.1 低充填因数线圈法

当线圈的横截面积大于或等于被检工件横截面积的 10 倍时，使用下述公式：
偏心放置时，线圈的磁化电流按式 (1) 计算（误差为 10%）：

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

正中放置时,线圈的磁化电流按式(2)计算(误差为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。

3.8.6.2 高充填因数线圈法

用固定线圈或电缆缠绕进行检测,若此时线圈的截面积小于或等于2倍工件截面积(包括中空部分),磁化时,可按式(3)计算磁化电流(误差10%):

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

式中各符号意义同式(1)。

3.8.6.3 中充填因数线圈法

当线圈大于2倍而小于10倍被检工件截面积时:

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

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。

3.8.6.4 上述公式不适用于长径比(L/D)小于2的工件。对于长径比(L/D)小于2的工件,若要使用线圈法时,可利用磁极加长块来提高长径比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)大于或等于15的工件,公式中(L/D)取15。

3.8.6.5 当被检工件太长时,应进行分段磁化,且应有一定的重叠区。重叠区应不小于分段检测长度的10%。检测时,磁化电流应根据标准试片实测结果来确定。

3.8.6.6 计算空心工件时,此时工件直径 D 应由有效直径 D_{eff} 代替。

对于圆筒形工件:

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

式中:

D_o ——圆筒外直径, mm;

D_i ——圆筒内直径, mm。

对于非圆筒形工件:

$$D_{\text{eff}} = 2\sqrt{\frac{A_1 - A_0}{\pi}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

A_1 ——零件总的横截面积, mm^2 ;

A_0 ——零件中空部分的横截面积, mm^2 。

3.9 质量控制

磁粉检测设备、仪表及材料应定期校验。

3.9.1 综合性能试验

每天检测工作开始前,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(系统灵敏度)。

3.9.2 磁悬液浓度测定

对于新配制的磁悬液,其浓度应符合 3.4 的要求。对循环使用的磁悬液,每天开始工作前,应进行磁悬液浓度测定。

3.9.3 磁悬液污染判定

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:将磁悬液搅拌均匀,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。

3.9.4 磁悬液润湿性能检验

检测前,应进行磁悬液润湿性能检验。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;如果液膜被断开,则磁悬液中润湿性能不合格。

3.9.5 电流表精度校验

磁粉检测设备的电流表,至少半年校验一次。当设备进行重要电气修理或大修后,应进行校验。

3.9.6 电磁轭提升力校验

电磁轭的提升力至少半年校验一次。在磁轭损伤修复后应重新校验。

3.9.7 辅助仪表校验

磁粉检测用的辅助仪表,如黑光辐照计、照度计、磁场强度计、毫特斯拉计等,至少每年校验一次。

3.9.8 其他

设备内部短路检查、电流载荷校验、通电时间校验等原则上每年进行一次测定。

3.10 安全防护

3.10.1 轴向通电法和触头法检验不应在易燃易爆的场合使用;使用在其他地方,也应该预防起火燃烧。

3.10.2 使用水磁悬液检测承压设备时,应防止绝缘不良或电器短路。

3.10.3 使用荧光磁粉检测时,应避免黑光灯直接照射人的眼睛。

3.10.4 使用干法检验时,要求通风良好,并应注意防尘。

3.11 被检工件表面的准备

3.11.1 工件表面

被检工件表面不得有油脂、铁锈、氧化皮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,否则应作适当的修理。如打磨,则打磨后被检工件的表面粗糙度 $Ra \leq 25 \mu\text{m}$ 。如果被检工件表面残留有涂层,当涂层厚度均匀不超过 0.05mm,且不影响检测结果时,经合同各方同意,可以带涂层进行磁粉检测。

3.11.2 安装接触垫

采用轴向通电法和触头法磁化时，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。

3.11.3 封堵

若工件有盲孔和内腔，宜加以封堵。

3.11.4 反差增强剂

为增强对比度，可以使用反差增强剂。

3.12 检测时机

焊接接头的磁粉检测应安排在焊接工序完成之后进行。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接完成 24h 后进行。除另有要求，对于紧固件和锻件的磁粉检测应安排在最终热处理之后进行。

4 检测方法

4.1 检测方法分类

根据不同的分类条件，磁粉检测方法的分类如表 5 所示。

表 5 磁粉检测方法分类

分类条件	磁粉检测方法
施加磁粉的载体	干法（荧光、非荧光）、湿法（荧光、非荧光）
施加磁粉的时机	连续法、剩磁法
磁化方法	轴向通电法、触头法、线圈法、磁轭法、中心导体法、交叉磁轭法

4.2 干法

4.2.1 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的情况，采用干法时，应确认检测面和磁粉已完全干燥，然后再施加磁粉。

4.2.2 磁粉的施加可采用手动或电动喷粉器以及其他合适的工具来进行。磁粉应均匀地撒在工件被检面上。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。

4.3 湿法

4.3.1 湿法主要用于连续法和剩磁法检测。采用湿法时，应确认整个检测面被磁悬液湿润后，再施加磁悬液。

4.3.2 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。

4.4 连续法

采用连续法时，被检工件的磁化、施加磁粉的工艺以及观察磁痕显示都应在磁化通电时间内完成，通电时间为 1s ~ 3s，停施磁悬液至少 1s 后方可停止磁化。为保证磁化效果应至少反复磁化两次。

4.5 剩磁法

4.5.1 剩磁法主要用于矫顽力在 1kA/m 以上，并能保持足够的剩磁场（剩磁在 0.8T 以上）的被检工件。

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

4.5.3 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。

4.6 交叉磁轭法

使用交叉磁轭装置时,四个磁极端面与检测面之间应尽量贴合,最大间隙不应超过 1.5mm。连续拖动检测时,检测速度应尽量均匀,一般不应大于 4m/min。

5 磁痕显示的分类和记录

5.1 磁痕的分类和处理

5.1.1 磁痕显示分为相关显示、非相关显示和伪显示。

5.1.2 长度与宽度之比大于 3 的缺陷磁痕,按条状磁痕处理;长度与宽度之比不大于 3 的磁痕,按圆形磁痕处理。

5.1.3 长度小于 0.5mm 的磁痕不计。

5.1.4 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。

5.1.5 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。

5.2 缺陷磁痕的观察

5.2.1 缺陷磁痕的观察应在磁痕形成后立即进行。

5.2.2 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;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。

荧光磁粉检测时,所用黑光灯在工件表面的辐照度大于或等于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$,黑光波长应在 320nm ~ 400nm 的范围内,缺陷磁痕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。检测人员进入暗区,至少经过 3min 的暗室适应后,才能进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时,检测人员不准戴对检测有影响的眼镜。

5.2.3 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,其他磁痕显示均应作为缺陷处理。当辨认细小磁痕时,应用 2 ~ 10 倍放大镜进行观察。

5.3 缺陷磁痕显示记录

缺陷磁痕的显示记录可采用照相、录像和可剥性塑料薄膜等方式记录,同时应用草图标示。

6 复验

当出现下列情况之一时,需要复验:

- a) 检测结束时,用标准试片验证检测灵敏度不符合要求时;
- b) 发现检测过程中操作方法有误或技术条件改变时;
- c) 合同各方有争议或认为有必要时。

7 退磁

7.1 退磁一般要求

规定检测后加热至 700℃以上进行热处理的工件,一般可不进行退磁。在下列情况下工件应进行退磁:

- a) 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;
- b) 如认为工件的剩磁会对以后的机械加工产生不良影响;
- c) 如认为工件的剩磁会对测试或计量装置产生不良影响;

- d) 如认为工件的剩磁会对焊接产生不良影响;
- e) 其他必要的场合。

7.2 退磁方法

退磁可分为交流退磁法和直流退磁法两种。

7.2.1 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逐步将电流减到零。

7.2.2 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。

7.2.3 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。

7.3 剩磁测定

工件的退磁效果一般可用剩磁检查仪或磁场强度计测定。剩磁应不大于 0.3mT (240A/m),或按产品技术条件规定。

8 在用承压设备磁粉检测

对在用承压设备进行磁粉检测时,如制造时采用高强度钢以及对裂纹(包括冷裂纹、热裂纹、再热裂纹)敏感的材料,或是长期工作在腐蚀介质环境下,有可能发生应力腐蚀裂纹的场合,其内壁宜采用荧光磁粉检测方法进行检测。检测现场环境应符合 5.2.2 的要求。

9 磁粉检测质量分级

9.1 不允许存在的缺陷

- a) 不允许存在任何裂纹和白点;
- b) 紧固件和轴类零件不允许任何横向缺陷显示。

9.2 焊接接头的磁粉检测质量分级

焊接接头的磁粉检测质量分级见表 6。

表 6 焊接接头的磁粉检测质量分级

等级	线性缺陷磁痕	圆形缺陷磁痕 (评定框尺寸为 35mm × 100mm)
I	不允许	$d \leq 1.5$, 且在评定框内不大于 1 个
II	不允许	$d \leq 3.0$, 且在评定框内不大于 2 个
III	$l \leq 3.0$	$d \leq 4.5$, 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, mm; d 表示圆形缺陷磁痕长径, mm。

9.3 受压加工部件和材料磁粉检测质量分级

受压加工部件和材料磁粉检测质量分级见表 7。

表7 受压加工部件和材料磁粉检测质量分级

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	$d \leq 2.0$, 且在评定框内不大于 1 个
II	$l \leq 4.0$	$d \leq 4.0$, 且在评定框内不大于 2 个
III	$l \leq 6.0$	$d \leq 6.0$, 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, mm; d 表示圆形缺陷磁痕长径, mm。		

9.4 综合评级

在圆形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时, 应进行综合评级。对各类缺陷分别评定级别, 取质量级别最低的级别作为综合评级的级别; 当各类缺陷的级别相同时, 则降低一级作为综合评级的级别。

10 磁粉检测报告

磁粉检测报告至少应包括以下内容:

- 委托单位;
- 被检工件: 名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况;
- 检测设备: 名称、型号;
- 检测规范: 磁化方法及磁化规范, 磁粉种类及磁悬液浓度和施加磁粉的方法, 检测灵敏度校验及标准试片、标准试块;
- 磁痕记录及工件草图 (或示意图);
- 检测结果及质量分级、检测标准名称和验收等级;
- 检测人员和责任人员签字及其技术资格;
- 检测日期。

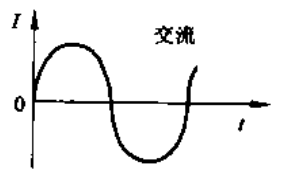
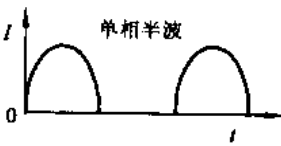
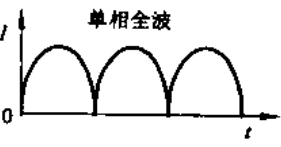
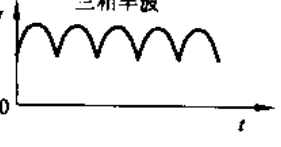
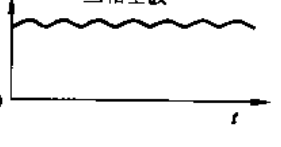
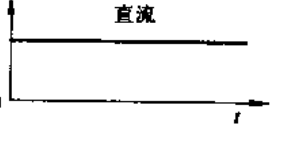
附录 A

(资料性附录)

各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系

A.1 各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系见表 A.1。

表 A.1 各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系

电流波形	电流表指示 (I)	换算关系	峰值为 100A 时的 电流表读数
	有效值 (I_e)	$I_m = \sqrt{2} I_e$	70A
	平均值 (I_d)	$I_m = \pi I_d$	32A
	平均值 (I_d)	$I_m = \pi I_d / 2$	65A
	平均值 (I_d)	$I_m = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} I_d$	83A
	平均值 (I_d)	$I_m = \pi I_d / 3$	95A
	平均值 (I_d)	$I_m = I_d$	100A

注: I_m ——电流峰值; I_d ——电流平均值; I_e ——电流有效值。

附 录 B
(资料性附录)
焊接接头的典型磁化方法

B.1 磁轭法和触头法的典型磁化方法见表 B.1，绕电缆法和交叉磁轭法的典型磁化方法见表 B.2。

表 B.1 磁轭法和触头法的典型磁化方法

磁轭法的典型磁化方法		触头法的典型磁化方法	
	$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$ $\beta \approx 90^\circ$		$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$ $\beta \approx 90^\circ$
	$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$		$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$
	$L_1 \geq 75\text{mm}$ $L_2 \geq 75\text{mm}$ $b_1 \leq L_1/2$ $b_2 \leq L_2 - 50$		$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$

表 B.1 (续)

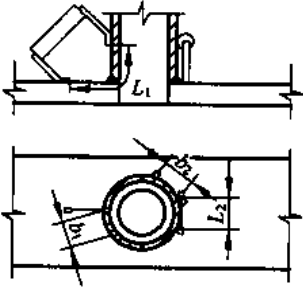
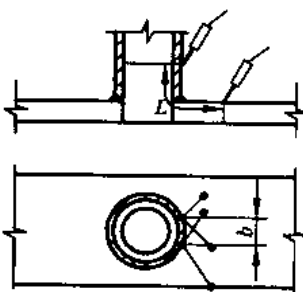
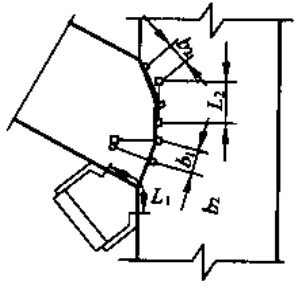
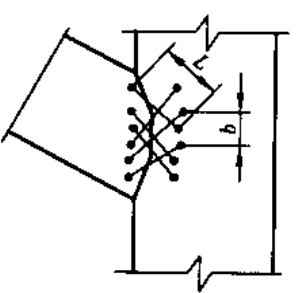
磁轭法的典型磁化方法		触头法的典型磁化方法	
	$L_1 \geq 75\text{mm}$ $L_2 > 75\text{mm}$ $b_1 \leq L_1/2$ $b_2 \leq L_2 - 50$		$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$
	$L_1 \geq 75\text{mm}$ $L_2 \geq 75\text{mm}$ $b_1 \leq L_1/2$ $b_2 \leq L_2 - 50$		$L \geq 75\text{mm}$ $b \leq L/2$

表 B.2 绕电缆法和交叉磁轭法的典型磁化方法

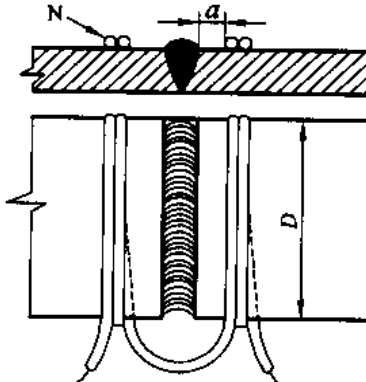
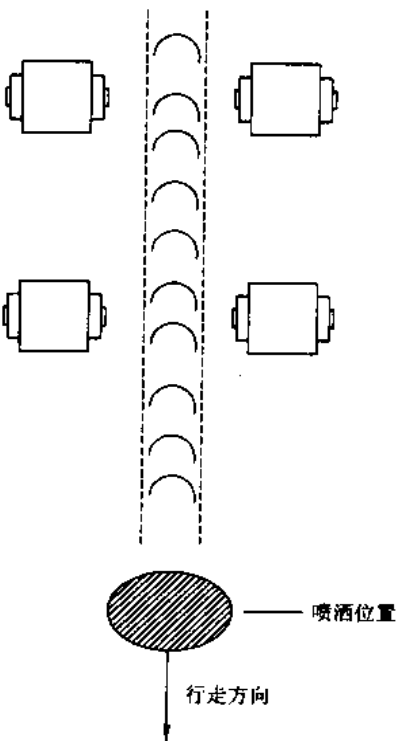
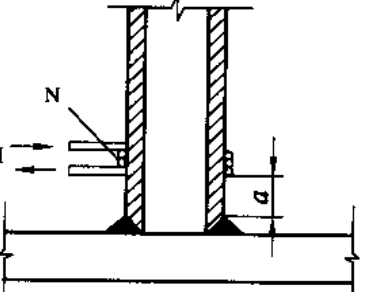
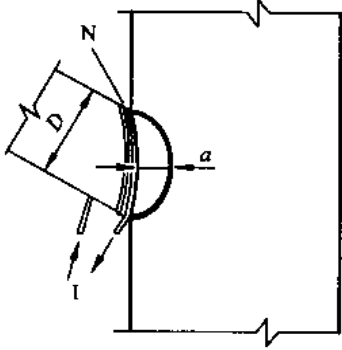
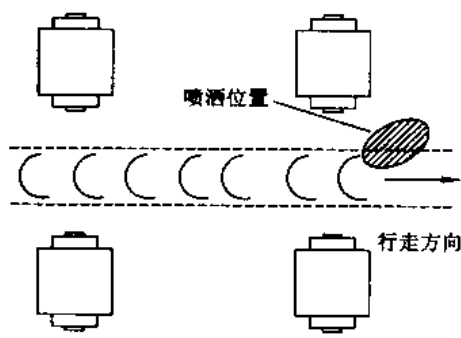
绕电缆法的典型磁化方法		交叉磁轭法的典型磁化方法	
 平行于焊缝的缺陷检测	$20 \leq a \leq 50$	 垂直焊缝检测	
 平行于焊缝的缺陷检测	$20 \leq a \leq 50$		

表 B.2 (续)

绕电缆法的典型磁化方法		交叉磁轭法的典型磁化方法
 平行于焊缝的缺陷检测	$20 \leq a \leq 50$	 垂直焊缝检测
注1: N——匝数; I——磁化电流(有效值); a——焊缝与电缆之间的距离。 注2: 检测球罐环向焊接接头时, 磁悬液应喷洒在行走方向的前上方。 注3: 检测球罐纵向焊接接头时, 磁悬液应喷洒在行走方向。		



中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.5—2005

代替JB 4730—1994部分

承压设备无损检测 第5部分：渗透检测

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 5: Penetrant testing

2005-07-26 发布

2005-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	178
1 范围	179
2 规范性引用文件	179
3 一般要求	179
4 渗透检测基本程序	182
5 渗透检测操作方法	183
6 渗透显示的分类和记录	185
7 质量分级	185
8 在用承压设备渗透检测	186
9 渗透检测报告	186
附录 A (规范性附录) 荧光和着色渗透检测工艺程序示意图	187
附录 B (规范性附录) 用于非标准温度的检测方法	189

前 言

JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005《承压设备无损检测》分为六个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测。

本部分为 JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005 的第 5 部分：渗透检测。本部分主要参照 ASME《锅炉压力容器规范》第 V 卷 SE-165《液体渗透检测的标准推荐操作方法》的有关要求并结合国内的实际情况制定。本部分与 JB 4730—1994 相比主要变化如下：

1. 增加了规范性引用文件。
2. 增加了灵敏度等级分类。
3. 增加了质量控制内容。
4. 增加了在用承压设备的渗透检测；增加了高强钢以及裂纹敏感材料的荧光渗透检测。
5. 增加了渗透基本程序、渗透检测时机等章节。

本部分的附录 A 和附录 B 为规范性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

本部分主要起草人：范宇、邢兆辉、孙殿寿、陈用坚。

承压设备无损检测

第 5 部分：渗透检测

1 范围

JB/T 4730 的本部分规定了承压设备的液体渗透检测方法以及质量分级。

本部分适用于非多孔性金属材料或非金属材料制承压设备在制造、安装及使用中产生的表面开口缺陷的检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 4730 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 5097	黑光源的间接评定方法
GB/T 5616	常规无损探伤应用导则
GB 11533—1989	标准对数视力表
GB/T 12604.3	无损检测术语 渗透检测
GB/T 16673	无损检测用黑光源（UV-A）辐射的测量
JB/T 4730.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
JB/T 6064—1992	渗透探伤用镀铬试块 技术条件
JB/T 9213—1999	无损检测 渗透检查 A 型对比试块
JB/T 9216	控制渗透探伤材料质量的方法

3 一般要求

渗透检测的一般要求除应符合 JB/T 4730.1 的有关规定外，还应符合下列规定。

3.1 渗透检测人员

渗透检测人员的未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0），测试方法应符合 GB 11533 的规定。并 1 年检查 1 次，不得有色盲。

3.2 渗透检测剂

渗透检测剂包括渗透剂、乳化剂、清洗剂和显像剂。

3.2.1 渗透剂的质量控制要求

3.2.1.1 在每一批新的合格散装渗透剂中应取出 500mL 贮藏在玻璃容器中保存起来，作为校验基准。

3.2.1.2 渗透剂应装在密封容器中，放在温度为 10℃～50℃的暗处保存，并应避免阳光照射。各种渗透剂的相对密度应根据制造厂说明书的规定采用相对密度计进行校验，并保持相对密度不变。

3.2.1.3 散装渗透剂的浓度应根据制造厂说明书规定进行校验。校验方法是 将 10mL 待校验的渗透剂和基准渗透剂分别注入到盛有 90mL 无色煤油或其他惰性溶剂的量筒中，搅拌均匀，然后将两种试剂分别

放在比色计纳式试管中进行颜色浓度的比较。如果被校验的渗透剂与基准渗透剂的颜色浓度差超过 20% 时, 就应作为不合格。

3.2.1.4 对正在使用的渗透剂进行外观检验, 如发现有明显的混浊或沉淀物、变色或难以清洗, 则应予以报废。

3.2.1.5 被检渗透剂与基准渗透剂利用试块进行性能对比试验, 当被检渗透剂显示缺陷的能力低于基准渗透剂时, 应予以报废。

3.2.1.6 荧光渗透剂的荧光效率不得低于 75%。试验方法按 GB/T 5097—1985 附录 A 中的有关规定执行。

3.2.2 显像剂的质量控制要求

3.2.2.1 对于干式显像剂应经常进行检查, 如发现粉末凝聚、显著的残留荧光或性能低下时要废弃。

3.2.2.2 湿式显像剂的浓度应保持在制造厂规定的工作浓度范围内, 其比重应经常进行校验, 校验方法是用比重计进行测定。

3.2.2.3 当使用的湿式显像剂出现混浊、变色或难以形成薄而均匀的显像层时, 则应予以报废。

3.2.3 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。

3.2.4 对于喷罐式渗透检测剂, 其喷罐表面不得有锈蚀, 喷罐不得出现泄漏。

3.2.5 渗透检测剂必须具有良好的检测性能, 对工件无腐蚀, 对人体基本无毒害作用。

3.2.6 对于镍基合金材料, 一定量渗透检测剂蒸发后残渣中的硫元素含量的重量比不得超过 1%。如有更高要求, 可由供需双方另行商定。

3.2.7 对于奥氏体钢和钛及钛合金材料, 一定量渗透检测剂蒸发后残渣中的氯、氟元素含量的重量比不得超过 1%。如有更高要求, 可由供需双方另行商定。

3.2.8 渗透检测剂的氯、硫、氟含量的测定可按下述方法进行。

取渗透检测剂试样 100g, 放在直径 150mm 的表面蒸发皿中沸水浴加热 60min, 进行蒸发。如蒸发后留下的残渣超过 0.005g, 则应分析残渣中氯、硫、氟的含量。

3.2.9 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, 不能混用不同类型的渗透检测剂。

3.3 设备、仪器和试块

3.3.1 暗室或检测现场

暗室或检测现场应有足够的空间, 能满足检测的要求, 检测现场应保持清洁, 荧光检测时暗室或暗处可见光照度应不大于 20lx。

3.3.2 黑光灯

黑光灯的紫外线波长应在 320nm ~ 400nm 的范围内, 峰值波长为 365nm, 距黑光灯滤光片 38cm 的工件表面的辐照度大于或等于 $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 自显像时距黑光灯滤光片 15cm 的工件表面的辐照度大于或等于 $3000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。黑光灯的电源电压波动大于 10% 时应安装电源稳压器。

3.3.3 黑光辐照度计

黑光辐照度计用于测量黑光辐照度, 其紫外线波长应在 320nm ~ 400nm 的范围内, 峰值波长为 365nm。

3.3.4 荧光亮度计

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 500 nm ~ 520nm。

3.3.5 照度计

照度计用于测量白光照度。

3.3.6 试块

3.3.6.1 铝合金试块（A型对比试块）

铝合金试块尺寸如图1所示，试块由同一试块剖开后具有相同大小的两部分组成，并打上相同序号，分别标以A、B记号，A、B试块上均应具有细密相对称的裂纹图形。铝合金试块的其他要求应符合JB/T 9213的相关规定。

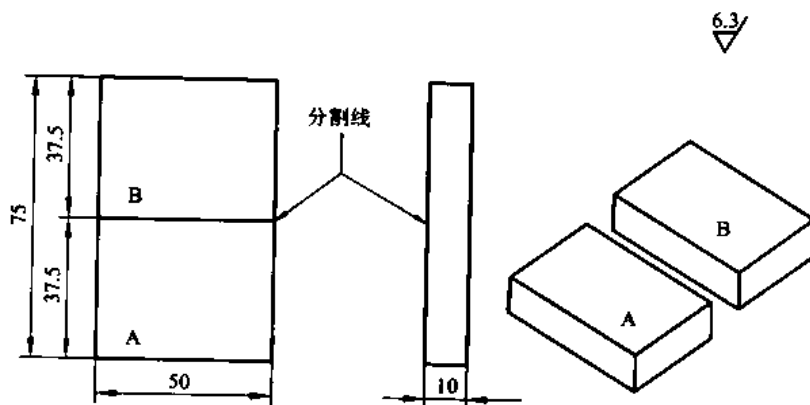


图1 铝合金试块

3.3.6.2 镀铬试块（B型试块）

将一块尺寸为130mm×40mm×4mm、材料为0Cr18Ni9Ti或其他不锈钢材料的试块上单面镀铬，用布氏硬度法在其背面施加不同负荷形成3个辐射状裂纹区，按大小顺序排列区位号分别为1、2、3，其位置、间隔、及其他要求应符合JB/T 6064—1992中B型试块的相关规定。裂纹尺寸分别对应JB/T 6064—1992中B型试块上的裂纹区位号2、3、4。

3.3.6.3 铝合金试块主要用于以下两种情况：

- a) 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；
- b) 对用于非标准温度下的渗透检测方法作出鉴定。

镀铬试块主要用于检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。

3.3.6.4 着色渗透检测用的试块不能用于荧光渗透检测，反之亦然。

3.3.6.5 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。

3.3.6.6 试块使用后要用丙酮进行彻底清洗。清洗后，再将试块放入装有丙酮和无水酒精的混合液体（体积混合比为1：1）的密闭容器中保存，或用其他有效方法保存。

3.4 渗透检测方法分类和选用

3.4.1 渗透检测方法分类

根据渗透剂和显像剂种类不同，渗透检测方法可按表1进行分类。

表 1 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	荧光渗透检测	A	水洗型渗透检测	a	干粉显像剂
II	着色渗透检测	B	亲油型后乳化渗透检测	b	水溶解显像剂
III	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

注：渗透检测方法代号示例：II C-d 为溶剂去除型着色渗透检测（溶剂悬浮显像剂）。

3.4.2 灵敏度等级

灵敏度等级分类如下：1级——低灵敏度；2级——中灵敏度；3级——高灵敏度。
不同灵敏度等级在镀铬试块上可显示的裂纹区位数应按表 2 的规定。

表 2 灵敏度等级

灵敏度等级	可显示的裂纹区位数
1 级	1~2
2 级	2~3
3 级	3

3.4.3 渗透检测方法选用

- 3.4.3.1 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。
- 3.4.3.2 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。
- 3.4.3.3 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。
- 3.4.3.4 对现场无水源、电源的检测宜采用溶剂去除型着色法。
- 3.4.3.5 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。
- 3.4.3.6 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。
- 3.4.3.7 荧光法比着色法有较高的检测灵敏度。

3.5 检测时机

- 3.5.1 除非另有规定，焊接接头的渗透检测应在焊接完工后或焊接工序完成后进行。对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行焊接接头的渗透检测。
- 3.5.2 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。

4 渗透检测基本程序

渗透检测操作的基本步骤如下：
a) 预清洗；

- b) 施加渗透剂;
- c) 去除多余的渗透剂;
- d) 干燥;
- e) 施加显像剂;
- f) 观察及评定。

荧光和着色渗透检测工艺程序见附录 A (规范性附录)。

5 渗透检测操作方法

5.1 表面准备

- 5.1.1 工件被检表面不得有影响渗透检测的铁锈、氧化皮、焊接飞溅、铁屑、毛刺以及各种防护层。
- 5.1.2 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。
- 5.1.3 局部检测时, 准备工作范围应从检测部位四周向外扩展 25mm。

5.2 预清洗

检测部位的表面状况在很大程度上影响着渗透检测的检测质量。因此在进行表面清理之后, 应进行预清洗, 以去除检测表面的污垢。清洗时, 可采用溶剂、洗涤剂等进行。清洗范围应满足 5.1.3 的要求。铝、镁、钛合金和奥氏体钢制零件经机械加工的表面, 如确有需要, 可先进行酸洗或碱洗, 然后再进行渗透检测。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 施加渗透剂

5.3.1 渗透剂施加方法

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:

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

5.3.2 渗透时间及温度

在 $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下, 渗透剂持续时间一般不应少于 10min。当温度条件不能满足上述条件时, 应按附录 B (规范性附录) 对操作方法进行鉴定。

5.4 乳化处理

5.4.1 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。

5.4.2 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。

5.4.3 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。

5.4.4 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。

5.5 去除多余的渗透剂

5.5.1 在清洗工件被检表面以去除多余的渗透剂时,应注意防止过度去除而使检测质量下降,同时也应注意防止去除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。

5.5.2 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 $10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$,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。

5.5.3 溶剂去除型渗透剂用清洗剂去除。除特别难清洗的地方外,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,再用蘸有清洗剂的干净不脱毛布或纸进行擦拭,直至将被检面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。

5.6 干燥处理

5.6.1 施加干式显像剂、溶剂悬浮显像剂时,检测面应在施加前进行干燥,施加水湿式显像剂(水溶解、水悬浮显像剂)时,检测面应在施加后进行干燥处理。

5.6.2 采用自显像应在水清洗后进行干燥。

5.6.3 一般可用热风进行干燥或进行自然干燥。干燥时,被检面的温度不得大于 50°C 。当采用溶剂去除多余渗透剂时,应在室温下自然干燥。

5.6.4 干燥时间通常为 $5\text{min}\sim 10\text{min}$ 。

5.7 施加显像剂

5.7.1 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。

5.7.2 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。

5.7.3 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($30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$)吹干。

5.7.4 采用自显像时,停留时间最短 10min ,最长 2h 。

5.7.5 悬浮式显像剂在使用前应充分搅拌均匀。显像剂的施加应薄而均匀,不可在同一地点反复多次施加。

5.7.6 喷涂显像剂时,喷嘴离被检面距离为 $300\text{mm}\sim 400\text{mm}$,喷涂方向与被检面夹角为 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。

5.7.7 禁止在被检面上倾倒湿式显像剂,以免冲洗掉渗入缺陷内的渗透剂。

5.7.8 显像时间取决于显像剂种类、需要检测的缺陷大小以及被检工件温度等,一般不应少于 7min 。

5.8 观察

5.8.1 观察显示应在显像剂施加后 $7\text{min}\sim 60\text{min}$ 内进行。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观察。

5.8.2 着色渗透检测时,缺陷显示的评定应在白光下进行,通常工件被检面处白光照度应大于或等于 1000lx ;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 。

5.8.3 荧光渗透检测时,缺陷显示的评定应在暗室或暗处进行,暗室或暗处白光照度应不大于 20lx 。检测人员进入暗区,至少经过 3min 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有影响的眼镜。

5.8.4 辨认细小显示时可用 $5\sim 10$ 倍放大镜进行观察。必要时应重新进行处理和渗透检测。

5.9 复验

5.9.1 当出现下列情况之一时,需进行复验:

- a) 检测结束时, 用试块验证检测灵敏度不符合要求;
- b) 发现检测过程中操作方法有误或技术条件改变时;
- c) 合同各方有争议或认为有必要时。

5.9.2 当决定进行复验时, 应对被检面进行彻底清洗。

5.10 后清洗

工件检测完毕应进行后清洗, 以去除对以后使用或对工件材料有害的残留物。

5.11 显示记录

缺陷的显示记录可采用照相、录像和可剥性塑料薄膜等方式记录, 同时应用草图进行标示。

5.12 质量控制

5.12.1 使用新的渗透检测剂、改变或更换渗透检测剂类型或操作规程时, 实施检测前应用镀铬试块检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。

5.12.2 一般情况下每周应用镀铬试块检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。检测前、检测过程或检测结束认为必要时应随时检验。

5.12.3 应定期测定检测环境白光照射度和工件表面黑光辐照度、荧光亮度。

5.12.4 黑光灯、黑光辐照度计、荧光亮度计和照度计等仪器应按相关规定进行定期校验。

6 渗透显示的分类和记录

6.1 显示分为相关显示、非相关显示和虚假显示。非相关显示和虚假显示不必记录和评定。

6.2 小于 0.5mm 的显示不计, 除确认显示是由外界因素或操作不当造成的之外, 其他任何显示均应作为缺陷处理。

6.3 缺陷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。

6.4 长度与宽度之比大于 3 的缺陷显示, 按线性缺陷处理; 长度与宽度之比小于或等于 3 的缺陷显示, 按圆形缺陷处理。

6.5 两条或两条以上缺陷线性显示在同一条直线上且间距不大于 2mm 时, 按一条缺陷显示处理, 其长度为两条缺陷显示之和加间距。

7 质量分级

7.1 不允许任何裂纹和白点, 紧固件和轴类零件不允许任何横向缺陷显示。

7.2 焊接接头和坡口的质量分级按表 3 进行。

表 3 焊接接头和坡口的质量分级

等级	线性缺陷	圆形缺陷 (评定框尺寸 35mm × 100mm)
I	不允许	$d \leq 1.5$, 且在评定框内少于或等于 1 个
II	不允许	$d \leq 4.5$, 且在评定框内少于或等于 4 个
III	$L \leq 4$	$d \leq 8$, 且在评定框内少于或等于 6 个
IV	大于 III 级	

注: L 为线性缺陷长度, mm; d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸, mm。

7.3 其他部件的质量分级评定见表4。

表4 其他部件的质量分级

等级	线性缺陷	圆形缺陷 (评定框尺寸为 2500mm ² , 其中一条矩形边的最大长度为 150mm)
I	不允许	$d \leq 1.5$, 且在评定框内少于或等于 1 个
II	$L \leq 4$	$d \leq 4.5$, 且在评定框内少于或等于 4 个
III	$L \leq 8$	$d \leq 8$, 且在评定框内少于或等于 6 个
IV	大于 III 级	
注: L 为线性缺陷长度, mm; d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸, mm。		

8 在用承压设备渗透检测

对在用承压设备进行渗透检测时, 如制造时采用高强度钢以及对裂纹(包括冷裂纹、热裂纹、再热裂纹)敏感的材料; 或是长期工作在腐蚀介质环境下, 有可能发生应力腐蚀裂纹的场合, 其内壁宜采用荧光渗透检测方法进行检测。检测现场环境应符合5.8.3的要求。

9 渗透检测报告

报告至少应包括下列内容:

- 委托单位;
- 被检工件: 名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况;
- 检测设备: 渗透检测剂名称和牌号;
- 检测规范: 检测比例、检测灵敏度校验及试块名称, 预清洗方法、渗透剂施加方法、乳化剂施加方法、去除方法、干燥方法、显像剂施加方法、观察方法和后清洗方法, 渗透温度、渗透时间、乳化时间、水压及水温、干燥温度和时间、显像时间;
- 渗透显示记录及工件草图(或示意图);
- 检测结果及质量分级、检测标准名称和验收等级;
- 检测人员和责任人员签字及其技术资格;
- 检测日期。

附 录 A
(规范性附录)

荧光和着色渗透检测工艺程序示意图

A.1 荧光和着色渗透检测工艺程序见图 A.1。

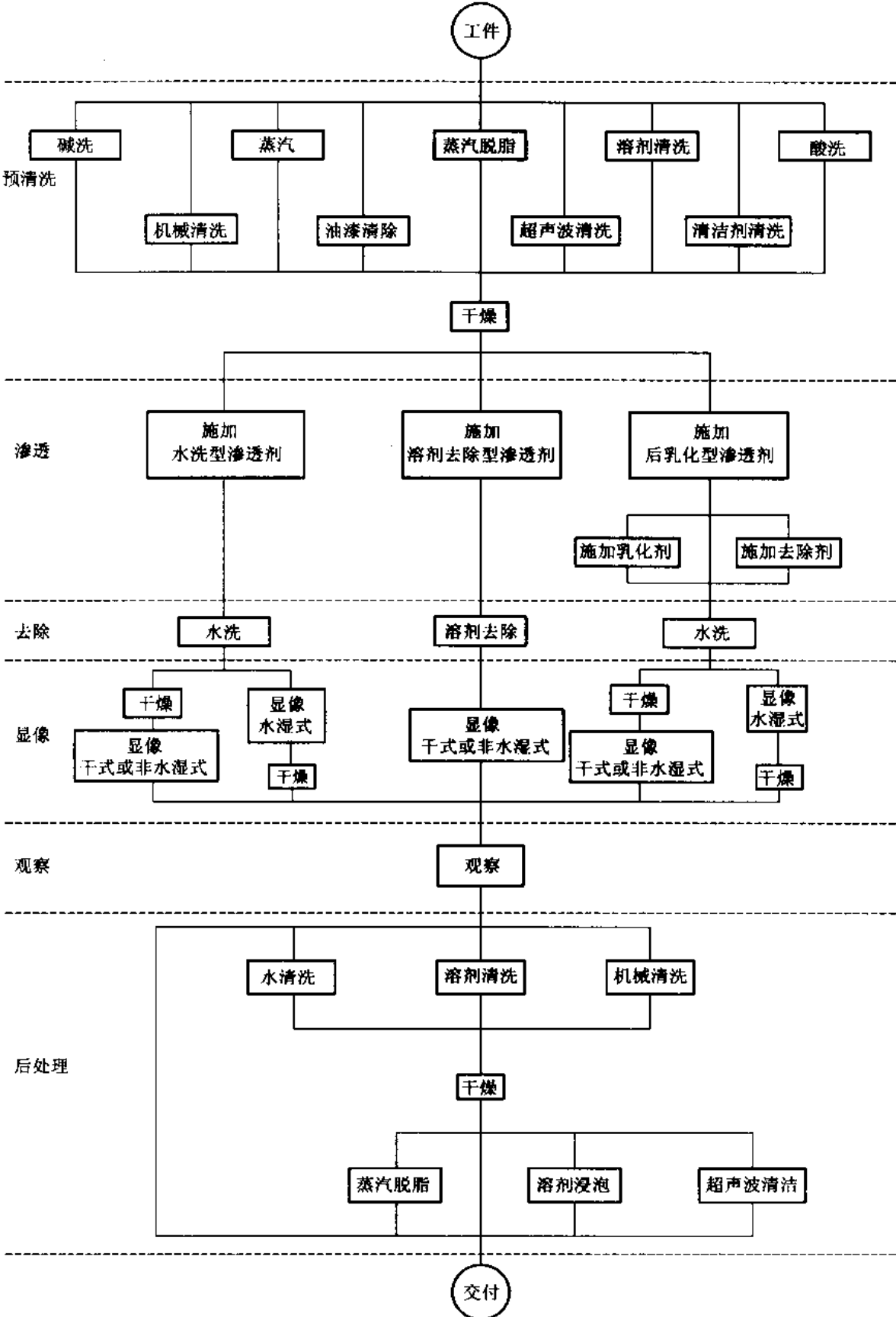


图 A.1 荧光和着色渗透检测工艺程序示意图

附 录 B
(规范性附录)
用于非标准温度的检测方法

B.1 概述

当渗透检测不可能在 10℃ ~ 50℃ 温度范围内进行时,应对检测方法作出鉴定。通常使用铝合金试块进行。

B.2 鉴定方法

B.2.1 温度低于 10℃ 条件下渗透检测方法的鉴定

在试块和所有使用材料都降到预定温度后,将拟采用的低温检测方法用于 B 区。在 A 区用标准方法进行检测,比较 A、B 两区的裂纹显示迹痕。如果显示迹痕基本上相同,则可以认为准备采用的方法经过鉴定是可行的。

B.2.2 温度高于 50℃ 条件下渗透检测方法的鉴定

如果拟采用的检测温度高于 50℃,则需将试块 B 加温并在整个检测过程中保持在这一温度,将拟采用的检测方法用于 B 区。在 A 区用标准方法进行检测,比较 A、B 两区的裂纹显示迹痕。如果显示迹痕基本上相同,则可以认为准备采用的方法是经过鉴定可行的。

JB

中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.6—2005

代替JB 4730—1994部分

承压设备无损检测 第6部分：涡流检测

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 6: Eddy current testing

2005-07-26 发布

2005-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	196
1 范围	197
2 规范性引用文件	197
3 一般要求	197
4 铁磁性钢管涡流检测	198
5 非铁磁性金属管材涡流检测	201
6 在用铁磁性钢管的远场涡流检测	204
7 在用非铁磁性管涡流检测	207
8 检测结果的评定与处理	211
9 检测报告	211
附录 A (规范性附录) 在用承压设备用铁磁性管涡流检测缺陷特征对比试样	212
附录 B (规范性附录) 在用承压设备用非铁磁性管涡流检测Ⅲ型对比试样	213

前 言

JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005《承压设备无损检测》分为六个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：射线检测；
- 第3部分：超声检测；
- 第4部分：磁粉检测；
- 第5部分：渗透检测；
- 第6部分：涡流检测。

本部分为 JB/T 4730.1 ~ 4730.6—2005 的第 6 部分：涡流检测。本部分主要参照 GB/T 5126《铝及铝合金冷拉薄壁管材涡流探伤方法》、GB/T 5248《铜及铜合金无缝管涡流探伤方法》、GB/T 7735《钢管涡流探伤检验方法》、GB/T 12604.6《无损检测术语 涡流检测》、GB/T 12969.2《钛及钛合金管材涡流检验方法》、GB/T 14480《涡流探伤系统性能测试方法》、ASME《锅炉压力容器规范》第 V 卷第 8 章、ASTM E2096 的有关要求并结合国内的实际情况制定。本部分与 JB 4730—1994 相比主要变化如下：

1. 增加了规范性引用文件的要求；增加了相关的名词术语解释。
2. 对铁磁性金属管材产品的涡流检测标准试样和验收作了部分改动和改进。
3. 对非铁磁性金属管材产品的涡流检测标准试样和验收作了部分改动和改进。
4. 增加了在用铁磁性钢管采用远场涡流检测方法。
5. 增加了在用非铁磁性管的涡流检测方法。

本部分的附录 A 和附录 B 为规范性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

本部分主要起草人：关卫和、沈功田、胡先龙、林俊明、徐可北。

承压设备无损检测

第 6 部分：涡流检测

1 范围

JB/T 4730 的本部分规定了承压设备涡流检测方法及其质量分级要求。

本部分适用于承压设备用导电性金属材料焊接接头表面及近表面缺陷检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 4730 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 5126	铝及铝合金冷拉薄壁管材涡流探伤方法
GB/T 5248	铜及铜合金无缝管涡流探伤方法
GB/T 7735	钢管涡流探伤检验方法
GB/T 12604.6	无损检测术语 涡流检测
GB/T 12969.2	钛及钛合金管材涡流检验方法
GB/T 14480	涡流探伤系统性能测试方法
JB/T 4730.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求

3 一般要求

3.1 检测系统

3.1.1 涡流检测系统一般包括涡流检测仪、检测线圈及辅助装置（如磁饱和装置、机械传动装置、记录装置、退磁装置等）。

3.1.2 涡流检测系统应能以适当频率的交变信号激励检测线圈，并能够感应和处理检测线圈对被检测对象电磁特性变化所产生的响应。

3.1.3 涡流检测系统性能应满足本部分及相关标准要求，有关仪器性能的测试项目与测试方法参照 GB/T 14480 等的有关要求执行。

3.1.3.1 检测能力应满足产品验收标准或技术合同确定的要求。

3.1.3.2 对管材相同尺寸人工缺陷响应的周向灵敏度差应不大于 3dB。

3.1.3.3 端部检测盲区应满足产品验收标准或技术合同的有关要求。

3.1.3.4 检测系统的缺陷分辨力一般应优于 30mm，如果产品验收标准或技术合同另有明确要求，按产品验收标准或技术合同规定执行。

3.1.3.5 检测仪器应具有可显示检测信号幅度和相位的功能，仪器的激励频率调节和增益范围应满足检测要求。

3.1.4 检测线圈的形式和有关参数应与所使用的检测仪器、检测对象和检测要求相适应。

3.1.5 磁化装置应能连续对检测线圈通过的被检件或其局部进行饱和磁化处理。若被检件不允许存在剩磁,磁化装置还应配备退磁装置,该装置应能有效去除被检件的剩磁。

3.1.6 机械传动装置应能保证被检件与检测线圈之间以规定的方式平稳地作相对运动,且不应造成被检件表面损伤,不应有影响检验信号的振动。

3.1.7 记录装置应及时、准确记录检测仪器的输出信号。

3.1.8 在下列情况下,应使用对比试样对涡流检测设备的灵敏度进行检查和复验:

- a) 每次检测开始前和结束后;
- b) 怀疑检测设备运行不正常时;
- c) 连续检测时,每4h检查和复验1次;
- d) 合同各方有争议或认为有必要时。

3.2 对比试样

3.2.1 对比试样主要用于调节涡流检测仪检测灵敏度、确定验收水平和保证检测结果准确性。

3.2.2 对比试样应与被检对象具有相同或相近规格、牌号、热处理状态、表面状态和电磁性能。

3.2.3 对比试样上加工的人工缺陷应采用适当的方法进行测定,并满足相关标准或技术条件的要求。

3.2.4 对比试样上人工缺陷的尺寸不应解释为检测设备可以探测到的缺陷的最小尺寸。

3.3 被检件

3.3.1 被检件表面应清洁、无毛刺,不应有影响实施涡流检测的粉尘及其他污物,特别是铁磁性粉屑;如不满足要求,应加以清除,清除时不应损坏被检件表面。

3.3.2 被检件表面粗糙度、尺寸公差、弯曲度等参数应满足相关产品技术条件要求。

3.4 检测环境

3.4.1 实施检测的场地温度和相对湿度应控制在仪器设备和被检件允许的范围內。

3.4.2 检测场地附近不应有影响仪器设备正常工作的磁场、震动、腐蚀性气体及其他干扰。

4 铁磁性钢管涡流检测

4.1 适用范围

4.1.1 本条规定了承压设备用铁磁性无缝钢管、焊接钢管(埋弧焊钢管除外)等管材产品的涡流检测方法。

4.1.2 本条适用于外径不小于4mm钢管的涡流检测。

4.1.3 本条验收等级分为A级和B级(见表1)。

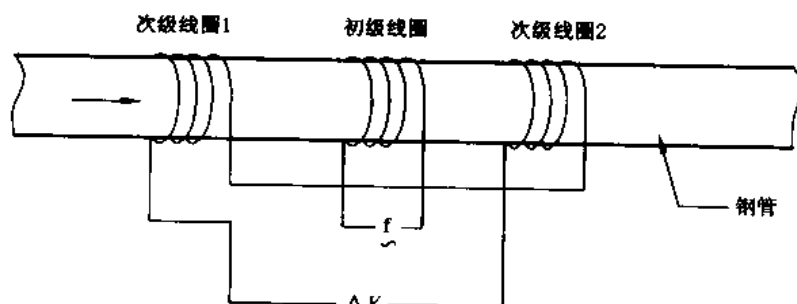
表 1 对比试样通孔直径

mm

验收等级 A		验收等级 B	
钢管外径 D	通孔直径	钢管外径 D	通孔直径
$D \leq 27$	1.20	$D \leq 6$	0.5
$27 < D \leq 48$	1.70	$6 < D \leq 19$	0.65
$48 < D \leq 64$	2.20	$19 < D \leq 25$	0.80
$64 < D \leq 114$	2.70	$25 < D \leq 32$	0.9
$114 < D \leq 140$	3.20	$32 < D \leq 42$	1.10
$140 < D \leq 180$	3.70	$42 < D \leq 60$	1.40
$D > 180$	双方协议	$60 < D \leq 76$	1.80
		$76 < D \leq 114$	2.20
		$114 < D \leq 152$	2.70
		$152 < D \leq 180$	3.20
		$D > 180$	双方协议

4.2 检测方法

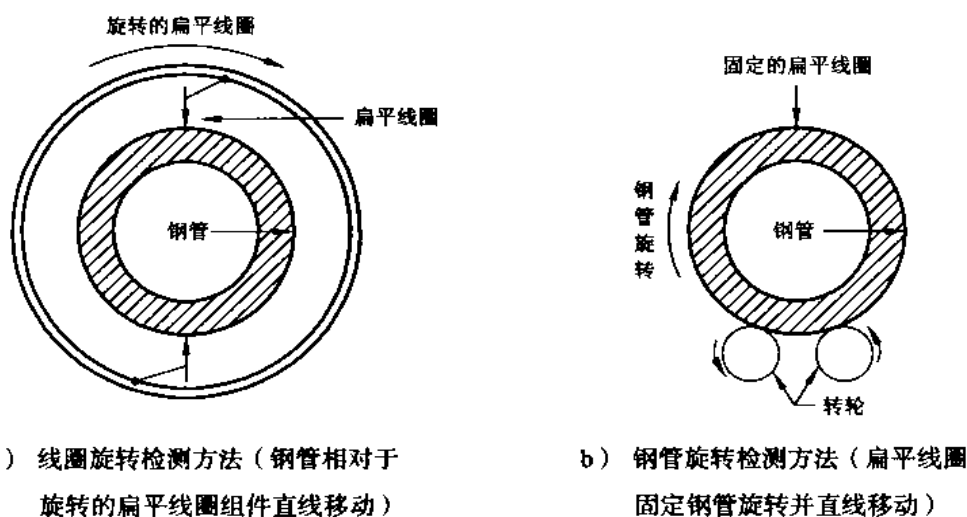
4.2.1 当采用穿过式线圈检测时（见图 1），钢管最大外径一般不大于 180mm。在靠近检测线圈的钢管表面上，其检测灵敏度最高，随着与检测线圈距离的增加，检测灵敏度逐渐降低。



注：本图是一种多线圈方案的简图，多线圈可以是分列式或初级线圈、双差动线圈等。

图 1 穿过式线圈涡流检测示意图

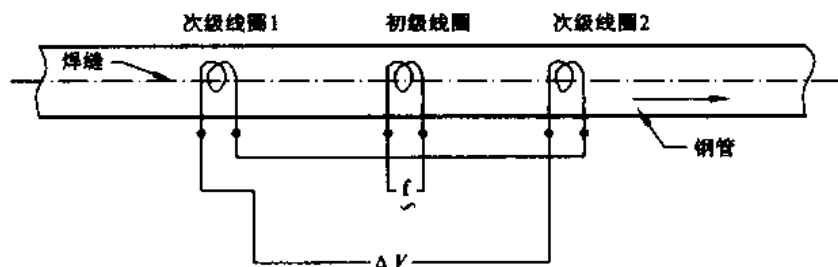
4.2.2 当使用旋转的钢管/扁平式线圈对钢管进行检测时，钢管和线圈应彼此相对移动，其目的是使整个钢管表面都被扫查到，典型的两种旋转方式见图 2，使用这种技术时，钢管的外径没有限制。此外，也可采用钢管旋转并直线前进的方法（此时，扁平线圈固定），这种技术主要用于检测外表面上的裂纹。



注：a) 和 b) 中的扁平线圈可以采用多种形式，例如单线圈、多线圈等多种配置。

图2 旋转的钢管/扁平式线圈检测示意图 (螺旋式扫描)

4.2.3 焊接钢管焊接接头的检测，除采用外穿过式探头进行检测外，也可采用放置式线圈，放置式线圈应有足够的宽度，通常做成扇形或平面形，以满足焊接接头在偏转的情况下得到扫描，见图3。



注：本图中的扇形线圈可以制成多种形式，取决于使用的设备和被检测钢管。

图3 扇形线圈焊接接头涡流检测示意图

4.3 对比试样

4.3.1 对比试样上人工缺陷的形状为通孔或槽。

4.3.2 通孔

4.3.2.1 在试样钢管中部加工 3 个通孔，对于焊接钢管至少应有 1 个孔在焊缝上，沿圆周方向相隔 $120^\circ \pm 5^\circ$ 对称分布，轴向间距不小于 200mm。此外，在对比试样钢管端部小于或等于 200mm 处，加工 2 个相同尺寸的通孔，以检查端部效应，见图4。

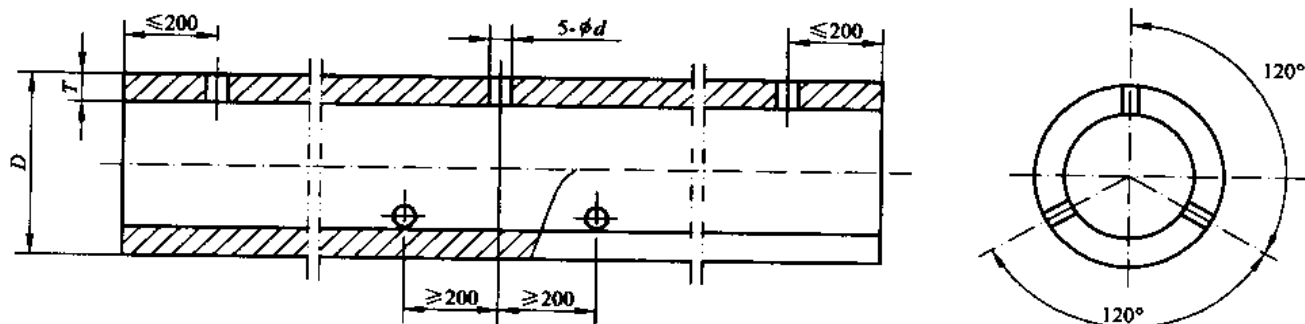


图4 对比试样上通孔位置

4.3.2.2 对比试样上通孔尺寸见表1。

4.3.2.3 钻孔时应保持钻头稳定,防止局部过热和表面产生毛刺。当钻头直径小于1.10mm时,其钻孔直径不得比规定值大0.10mm。当钻头直径不小于1.10mm时,其钻孔直径不得比规定值大0.20mm。

4.3.3 槽

槽的形状为纵向矩形槽,平行于钢管的主轴线。槽的宽度不大于1.5mm,长度为25mm,其深度为管子公称壁厚的5%,最小深度为0.3mm,最大深度为1.3mm。深度允许偏差为槽深的 $\pm 15\%$,或者是 $\pm 0.05\text{mm}$,取其大者。

4.3.4 根据检测目的,经供需双方协商,对比试样的人工缺陷可以加工成通孔或纵向矩形槽。

4.4 检测设备

4.4.1 磁饱和装置应能对所检测的区域施加强磁场,使其磁导率趋于常数。

4.4.2 检测仪器应包含1kHz~500kHz的工作频率范围。

4.5 检测条件与步骤

4.5.1 检测设备通电后,应进行不低于10min的系统预运转。

4.5.2 按规定的验收水平调整灵敏度时,信噪比应不小于6dB。作为产品验收或质量等级评定的人工缺陷响应信号的幅度应在仪器荧光屏满刻度的30%~50%。对比试样和检测线圈之间的相对移动速度应与被检钢管与检测线圈之间的实际相对移动速度相同。

4.5.3 对比试样中间3个对称通孔的显示幅度应基本一致,选取最低幅度作为检测设备的触发报警电平。

5 非铁磁性金属管材涡流检测

5.1 适用范围

5.1.1 本条规定了承压设备用非铁磁性金属管材产品的涡流检测方法。

5.1.2 本条适用于外穿过式线圈检测系统,对于铜及铜合金无缝管,可检测管材的壁厚小于或等于3mm,外径小于或等于50mm;对于铝及铝合金管,可检测管材的壁厚小于或等于2mm,外径小于或等于38mm;对于钛及钛合金管,可检测管材的壁厚小于或等于4.5mm,外径小于或等于30mm。其他规格的管材制品可参照此条执行。

5.1.3 对于奥氏体不锈钢及类似合金管材的检测范围、对比试样和检测方法,参照第5章内容执行。

5.2 铜及铜合金无缝管材检测方法

5.2.1 对比试样上人工缺陷为垂直于管壁的通孔。沿轴向加工 5 个相同孔径的通孔，其中，2 个通孔分别距离管端小于或等于 100mm，中间 3 个通孔之间的间距为 $500\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ，并沿圆周方向相隔 $120^\circ \pm 5^\circ$ 分布，见图 5。

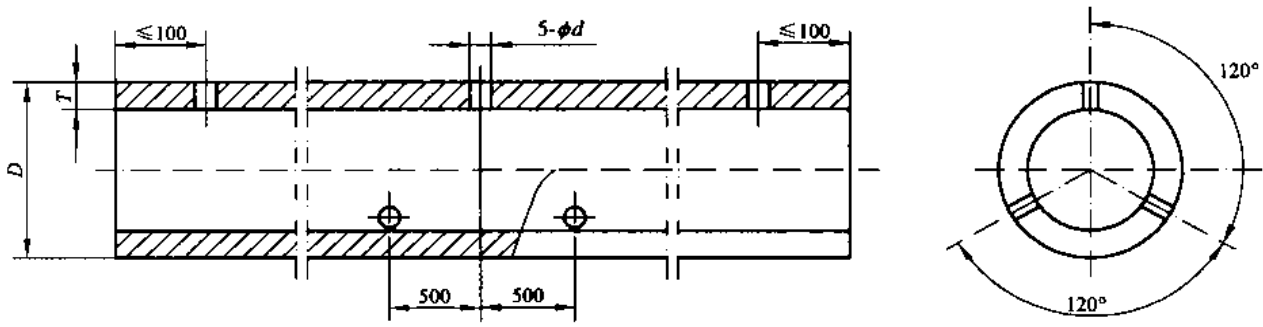


图 5 对比试样上通孔位置

5.2.2 人工缺陷的孔径尺寸与被检管材外径的对应关系应符合表 2 的规定。孔径偏差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

表 2 无缝铜及铜合金对比试样管人工缺陷的孔径尺寸 mm

管材外径 D	通孔直径 d
$D \leq 10$	0.4
$10 < D \leq 20$	0.6
$20 < D \leq 30$	0.8
$30 < D \leq 40$	1.0
$40 < D \leq 50$	1.2

5.2.3 检测线圈内径应与被检管材外径相匹配，其填充系数大于或等于 0.6。检测频率范围为 1 kHz ~ 125kHz。

5.2.4 按规定的验收水平调整灵敏度时，信噪比大于或等于 10dB。人工缺陷响应信号的幅度应在仪器荧光屏满刻度的 30% ~ 50%。

5.2.5 中间 3 个对称通孔的显示幅度应基本一致，选取其最低幅度作为检测设备的触发—报警电平。

5.2.6 对比试样和检测线圈之间的相对移动速度，应与工作状态下被检管材和检测线圈之间的相对移动速度相同，且应满足仪器允许的检测速度上限要求。

5.2.7 对铜镍合金管材，若有必要，可以使用磁饱和装置，使被检区域达到磁饱和。

5.3 铝及铝合金管材检测方法

5.3.1 对比试样上人工缺陷为垂直于管壁的通孔，沿轴向加工 5 个相同孔径的通孔，其中，2 个通孔分别距离管端 $100\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，中间 3 个通孔之间的间距为 $150\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 并周向相隔 $120^\circ \pm 5^\circ$ 分布，见图 6。

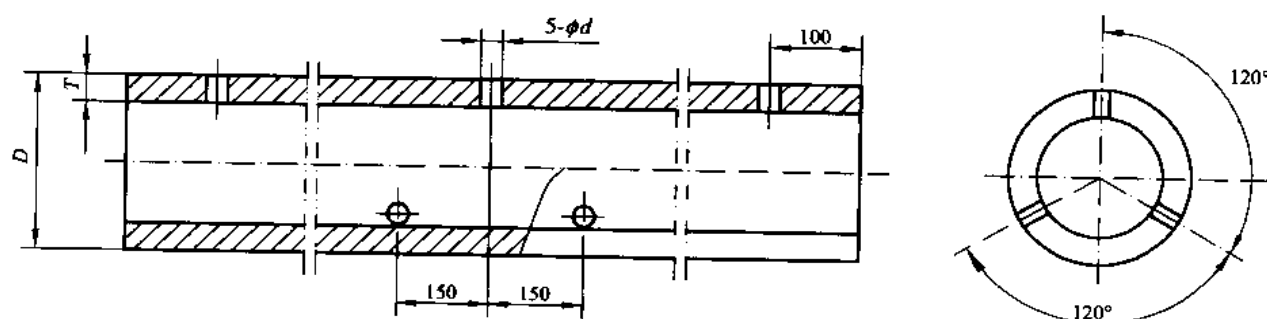


图6 对比试样管规格及相应通孔位置

5.3.2 人工缺陷的孔径尺寸与被检管材外径的对应关系应符合表3的规定，孔径偏差 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

表3 铝及铝合金对比试样管人工缺陷的孔径尺寸

mm

对比试样管外径 D	通孔直径 d
$6 < D \leq 10$	0.5
$10 < D \leq 20$	0.8
$20 < D \leq 30$	1.2
$30 < D \leq 38$	1.3

5.3.3 检测线圈的内径与被检管材外径相匹配，其填充系数大于或等于0.6。检测频率范围为1kHz~125kHz。

5.3.4 按规定的验收水平调整灵敏度时，信噪比大于或等于6dB。人工缺陷响应信号的幅度应在仪器荧光屏满刻度的30%~50%。

5.3.5 中间3个通孔的显示幅度应基本一致，选取最低幅度作为检测设备的触发—报警电平。

5.3.6 对比试样和检测线圈之间的相对移动速度，应与工作状态下被检管材和检测线圈之间的相对移动速度相同，且应满足仪器允许的检测速度上限要求。

5.4 钛及钛合金管检测方法

5.4.1 对比试样上人工缺陷为垂直于管壁的通孔。沿轴向加工5个相同孔径的通孔，其中，2个通孔分别距离管端 $100\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，中间3个通孔之间的间距为300mm~500mm，并沿圆周方向相隔 $120^\circ \pm 5^\circ$ 分布，参见图5。

5.4.2 对比试样上通孔直径为 $0.8\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

5.4.3 检测线圈的内径与被检管材外径相匹配，其填充系数大于或等于0.6。检测频率为1kHz~125kHz。

5.4.4 按规定的验收水平调整灵敏度时，信噪比大于或等于6dB。人工缺陷响应信号的幅度应在仪器荧光屏满刻度的30%~50%。

5.4.5 中间3个通孔的显示幅度应基本一致，选取最低幅度作为检测设备的触发—报警电平。

5.4.6 对比试样和检测线圈之间的相对移动速度，应与工作状态下被检管材和检测线圈之间的相对移动速度相同，且应满足仪器允许的检测速度上限要求。

6 在用铁磁性钢管的远场涡流检测

6.1 适用范围

6.1.1 本条规定了对在用铁磁性钢管采用远场涡流检测的方法。

6.1.2 本条适用于外径为 12.5mm ~ 25mm、壁厚为 0.70mm ~ 3mm 的铁磁性钢管的远场涡流检测。在此规格之外的钢管，可参照此条执行。

6.2 检测设备

6.2.1 检测仪器

6.2.1.1 采用电压平面显示方式，实时给出缺陷的相位、幅值等特征信息，可将干扰信号与缺陷信号调整在易于观察及设置报警区域的相位上。

6.2.1.2 可采用自动平衡技术。

6.2.1.3 频率范围为 10Hz ~ 5kHz；仪器应具有良好的低频检测特性。

6.2.1.4 应至少具备 2 个独立可选频率和 4 个非分时的检测通道；具备存储、分析等功能。

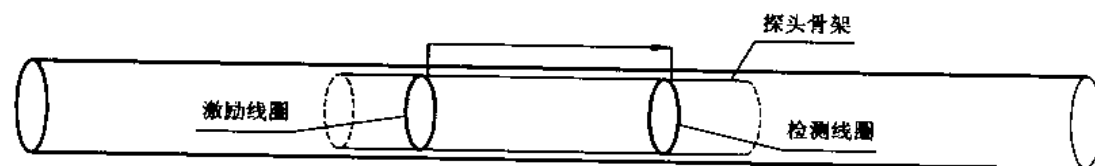
6.2.2 探头

6.2.2.1 如图 7a)所示，远场涡流激励线圈与检测线圈间距为被检管子内径的 2 ~ 3 倍，检测线圈的探头必须具有合适的直径，应能顺利通过所要检测的管子，并具有尽可能大的填充系数。

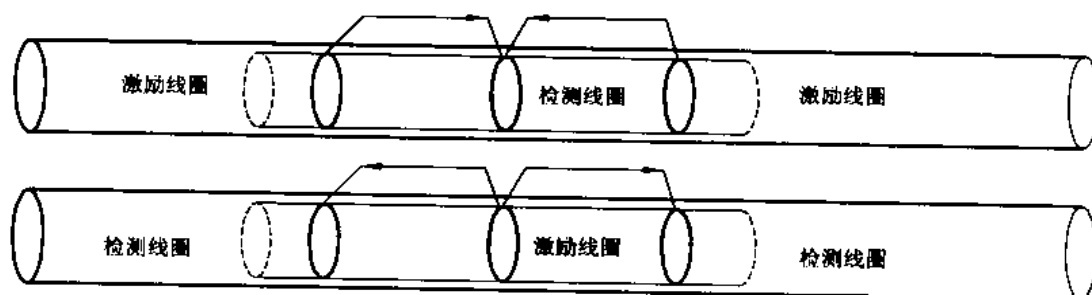
6.2.2.2 如图 7b)所示，采用两个激励线圈、一个检测线圈，或一个激励线圈、两个检测线圈，这种结构探头用于降低由支撑板和其他导体产生的干扰信号。

6.2.2.3 绝对检测线圈和差动检测线圈——绝对检测线圈主要用于大范围渐变缺陷的检测，差动检测线圈对管道长度方向上的突变性缺陷具有最大响应信号。

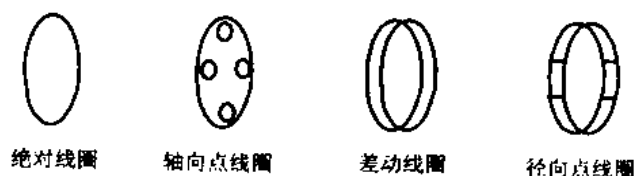
6.2.2.4 多点式检测线圈。如图 7c)所示多点式检测线圈用于检测管子周向壁厚的偏差。多点式线圈相对于管子既可以径向放置，也可以轴向放置。用多点式检测线圈时，应采用有相应通道数的检测仪器。



a) 基本的远场涡流 (RFT) 探头结构



b) 探头的两种结构形式



c) 检测线圈的几种结构形式

注：箭头表示从激励线圈到检测线圈电磁场能量流的方向。

图 7 远场涡流检测探头结构示意图

6.3 远场涡流检测对比试样

6.3.1 对比试样原则上应满足 3.2 的规定，如果达不到规定要求，则对比试样管应选取与被测管的公称直径相同，壁厚和材料特性、规格相近的铁磁性管。

6.3.2 对比试样管人工缺陷的深度标示为缺陷最深点的深度，并用管道公称壁厚的百分比表示。缺陷深度的尺寸精度在 $\pm 2\%$ 以内，其他方向上的尺寸精度在 $\pm 0.25\text{mm}$ 以内。

6.3.3 远场涡流对比试样管的人工缺陷尺寸。

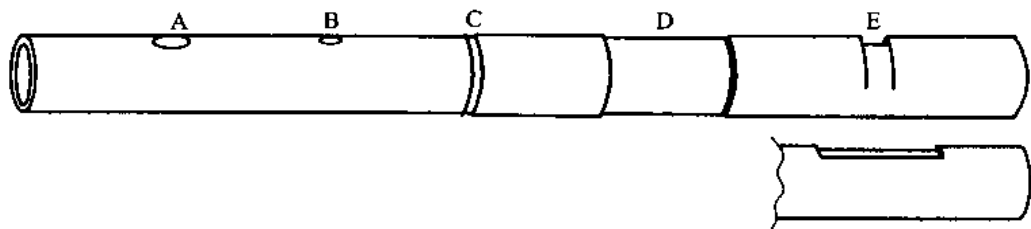
6.3.3.1 圆底孔——用直径 10mm 的球形钻头，加工深度 50% (图 8 缺陷 A)。

6.3.3.2 通孔——通孔的直径为壁厚的 1.25 倍 (图 8 缺陷 B)。

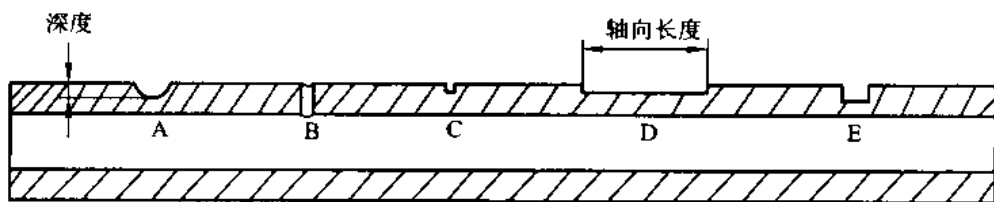
6.3.3.3 周向窄凹槽——槽深为 20% 壁厚 (图 8 缺陷 C)，槽宽为 3mm。

6.3.3.4 周向宽凹槽——槽深为 20% 壁厚 (图 8 缺陷 D)，槽宽大于或等于 2 倍管公称直径。

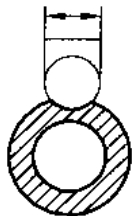
6.3.3.5 单边缺陷：I 型对比试样管的单边缺陷——深度 60%，轴向长度为 15mm 的周向单边缺陷 [图 8 a) 缺陷 E]，其周向幅度为 $180^\circ \sim 270^\circ$ 。II 型对比试样管的单边缺陷——深度 50%，轴向长度大于或等于 2 倍管外径的铣槽 [图 8 b) 缺陷 E]。



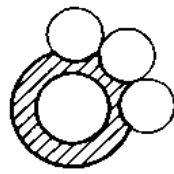
a) 远场涡流检测对比试样管 I (示意图)



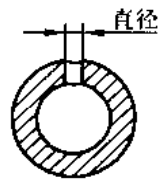
球钻头直径



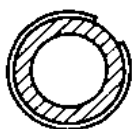
缺陷 A



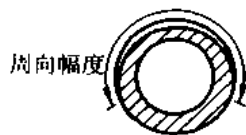
多孔缺陷时的缺陷 A



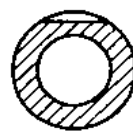
缺陷 B



缺陷 C 和 D



对比试样管 I 的缺陷 E



对比试样管 II 的缺陷 E

b) 远场涡流检测对比试样管 II (除缺陷外, 其他同 I)

图 8 远场涡流检测对比试样管 I 和 II

6.3.4 远场涡流检测对比试样管用于检测前调整仪器检测灵敏度。

6.3.5 远场涡流检测对比试样管一般不能用于缺陷特征分析, 除非其人工缺陷与所要检测的缺陷相似。如检测时确有需要, 可以按附录 A (规范性附录) 制作缺陷特征对比试样。

6.4 操作步骤

6.4.1 仪器调整

6.4.1.1 工作频率——使用远场涡流检测对比试样, 调整工作频率, 调整后应使电磁场能较好地穿透管壁, 使仪器对最小缺陷的检测有足够的灵敏度。

6.4.1.2 调整仪器其他工作参数, 特别是仪器的滤波参数使其适应探头的移动速度。

6.4.1.3 可使用辅助频率测试, 为进一步分析提供更多的数据。

6.4.2 通过远场涡流检测对比试样管人工缺陷测试,确认系统调整达到了所要求的灵敏度。

6.4.3 校验。检测过程中每隔 2h,须用对比试样管对仪器和探头进行一次综合校验。

6.4.4 如果系统校验时对比试样管的人工缺陷特征参数发生明显的改变,前次系统校验之后检测过的管子应重新进行检测。

6.4.5 信号分析

6.4.5.1 使用从远场涡流检测对比试样管获得的数据作为仪器缺陷检测能力的衡量标准,判断被检管是否有缺陷存在。

6.4.5.2 辅助检测

可选择适当的辅助检测方法对有问题的区域进行再次检测,如采用专用视频内窥镜进行确认。

6.5 检测

6.5.1 检验前,应对在用铁磁性钢管内表面进行清洗,并满足检测要求。

6.5.2 整个检测过程中,尽可能地使探头移动速度恒定平稳。推荐使用探头推拔器作辅助检测装置,但其不得对管子内壁造成损伤。探头在管内的检测速度,视所用仪器和选择的参数而定,一般不超过 10m/min。

7 在用非铁磁性管涡流检测

7.1 适用范围

7.1.1 本条规定了采用内穿过式线圈检测在用非铁磁性管的涡流检测方法。

7.1.2 本条适用于外径 10mm~50mm、壁厚为 0.75mm~3.0mm 的非铁磁性管涡流检测。

7.1.3 本条所涉及的涡流检测,通常是在设备检修时,或业主认为有必要时进行。

7.2 检测设备

7.2.1 涡流探伤仪应至少有 2 个独立可选频率,频率范围为 1kHz~1MHz。

7.2.2 涡流探伤仪除具备检出管子裂纹、腐蚀坑和重皮等一般缺陷能力外,还应具备测量分辨管子壁厚均匀减薄的能力,当使用同时具备差动、绝对通道检出能力的仪器时,上述工作可一次检测完成;当使用的仪器无此功能时,应分别作差动和绝对通道检测。

7.2.3 仪器应包括激励、信号处理、相位调节、滤波、混频处理等单元,并有相应的报警设置、阻抗平面显示以及可靠的记录装置。

7.2.4 内穿过式探头与涡流探伤仪组合,应能在管壁内产生感应电流、检测出管材损伤情况,并能有效地消除管板、支撑板、噪声等干扰信号影响。

7.2.5 探头的外径应根据被检管子内径加以确定,以保证尽可能大的填充系数。

7.2.6 当采用探头推拔器时,其机械传动装置应保证探头匀速、平稳地通过管子,不得造成管子内表面损伤,不得有影响检验信号的振动。

7.3 对比试样

7.3.1 对比试样应满足 4.3 的要求。

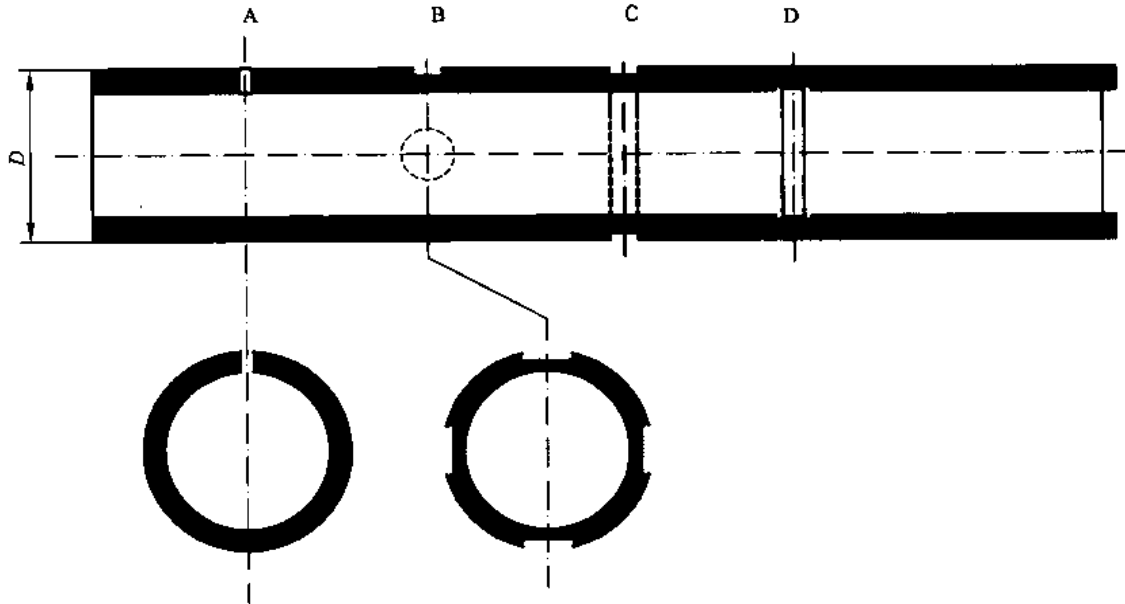
7.3.2 对比试样上人工缺陷的尺寸不应解释为检测设备可以探测到的缺陷的最小尺寸。

7.3.3 对比试样上人工缺陷的形状为通孔、平底孔和周向切槽。

7.3.4 采用 I 型对比试样调整检测系统,对比试样上人工缺陷的位置和尺寸如下(见图 9):

- a) A 是 1 个贯穿管壁的通孔。对外径小于或等于 20mm 的管子,孔径为 1.3mm;对外径大于 20mm 的管子,孔径为 1.7mm。

- b) B 是 4 个平底孔。孔径为 4.8mm，环绕管子的圆周并在同一横截面上成 90° 分布，从外壁面钻入，深度为壁厚的 20%。
- c) C 是 1 个 360° 的周向切槽。槽宽为 3.2mm，深度为壁厚的 20%，从管子的外壁面切入（供绝对式探头校正用，可选用）。
- d) D 是 1 个 360° 的周向切槽。槽宽为 1.6mm，深度为壁厚的 10%，从管子的内壁面切入（供绝对式探头校正用，可选用）。

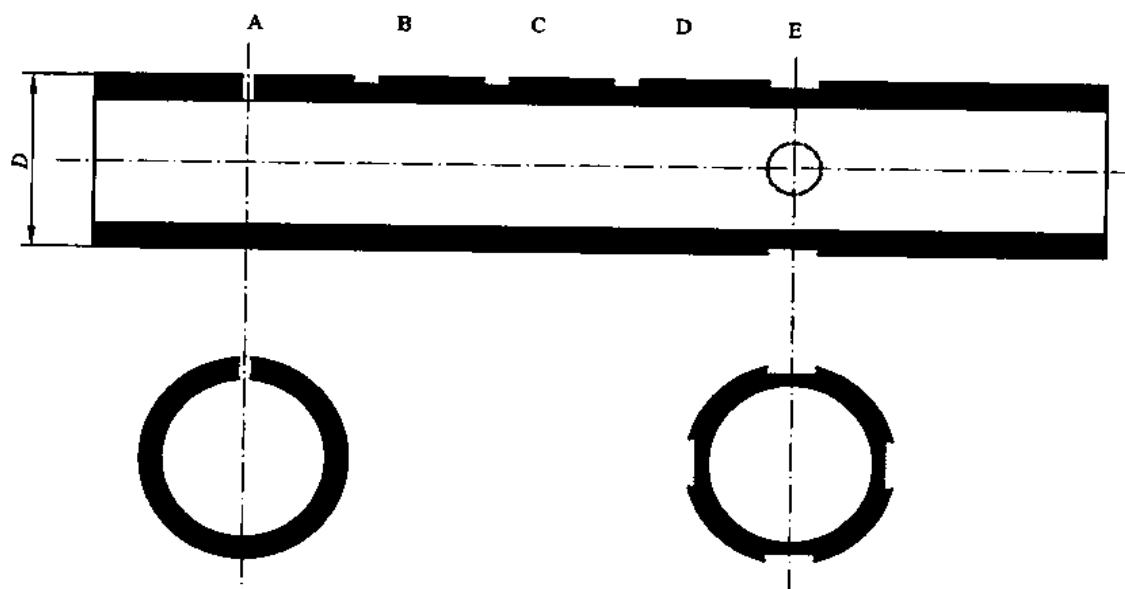


注：如果能证明可以获得相同的效果，可以采用其他的人工缺陷对比试样管。

图 9 I 型对比试样上人工缺陷的形状及位置示意图

7.3.5 采用 II 型试样测试缺陷深度与相位关系的曲线，对比试样上人工缺陷的位置和尺寸如下（见图 10）：

- a) A 是 1 个穿透壁厚的孔，管子外径小于或等于 20.0mm，孔径为 1.3mm，管子外径大于 20.0mm，孔径为 1.7mm。
- b) B 是 1 个外壁面平底孔，孔径为 2.0mm，深度为壁厚的 80%。
- c) C 是 1 个外壁面平底孔，孔径为 2.8mm，深度为壁厚的 60%。
- d) D 是 1 个外壁面平底孔，孔径为 4.8mm，深度为壁厚的 40%。
- e) E 是 4 个外壁面平底孔，孔径为 4.8mm，环绕管子的圆周并在同一横截面上成 $90^\circ \pm 5^\circ$ 分布，深度为壁厚的 20%，从外壁面钻入。



注：如果能证明可以获得相同的效果，也可以采用其他的人工缺陷对比试样管。

图 10 II 型对比试样上人工缺陷的形状及位置示意图

7.3.6 所有人工缺陷的轴向间隔及与管端的距离，以在检验条件下能清楚地分辨为准（一般推荐距端头 200mm，相互间隔为 100mm ~ 300mm）。

7.3.7 人工缺陷平底孔中心或刻槽的深度，其误差不超过规定深度的 $\pm 20\%$ ，或是 $\pm 0.08\text{mm}$ ，取两者中的较小值。其他所有人工缺陷的加工尺寸误差都应小于 $\pm 0.25\text{mm}$ 。

7.3.8 经合同双方协议，可以采用附录 B（规范性附录）所示 III 型对比试样。

7.4 仪器调整

7.4.1 差动式探头主检测频率的调整

7.4.1.1 选定一个主检测频率（一般为 10kHz ~ 400kHz），使对比试样上 4 个深度为 20% 壁厚的平底孔的涡流信号比穿透管壁的通孔涡流信号相位角沿顺时针方向相差为 $50^\circ \sim 120^\circ$ ，见图 11。

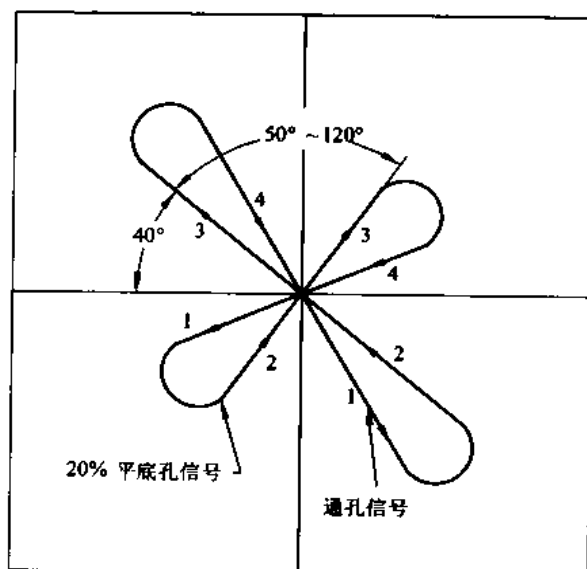


图 11 采用差动通道经过正确调整的典型涡流信号阻抗平面图

7.4.1.2 拉出探头时, 20%壁厚的平底孔的涡流信号轨迹见图 11, 1 朝下向左, 2、3 朝上向右, 4 向下回到原点。

7.4.1.3 调节仪器的相位, 使通孔信号的相位角在 $40^\circ \pm 5^\circ$ 。拉出探头时, 信号轨迹如图 11 所示。

7.4.1.4 调节仪器的增益, 使通孔信号幅值相当于水平满刻度的 40%左右。在此灵敏度下, 应能清晰地分辨出每一个人工缺陷信号的相位和幅值。

7.4.2 绝对探头主检测频率的调整

7.4.2.1 选定一个主检测频率 (一般为 $10\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$), 使从原点到通孔信号顶点的连线与水平之间的相位角约为 40° 。同时使原点到来自四个深度为壁厚的 20%平底孔的信号顶点的连线与上述通孔信号相应连线间相位角为 $50^\circ \sim 120^\circ$ (见图 12)。可在阻抗平面图上旋转 180° 观测。

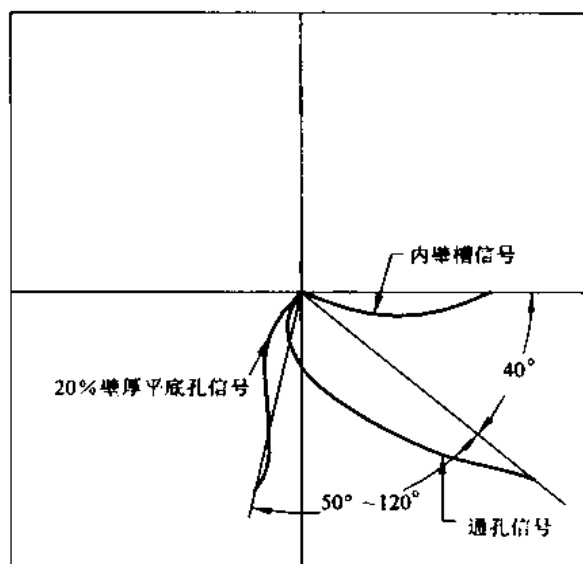


图 12 采用绝对式探头经过正确调整的典型涡流信号阻抗平面图

7.4.2.2 将绝对式探头置于对比试样管的无人工缺陷部位, 调节仪器使光点在平衡位置。

7.4.2.3 调节仪器的增益, 使通孔信号的幅值相当于水平满刻度的 40%左右。

7.4.2.4 调节仪器的相位, 使内壁切槽的涡流信号的相位角位于与显示屏水平线成 $\pm 5^\circ$ 范围内。

7.4.3 选定辅助检测频率 (一般为主检测频率的 $1/2$ 或 $1/4$) 以抑制管板和支撑板信号。管板和支撑板样管由与实际管板和支撑板材质热处理状态相同的材料制成。增加管板后, 在混合通道中, 每一个人工缺陷信号的相位和幅值应能清晰地显示。

7.4.4 记录对比试样上各人工缺陷的涡流信号。

7.4.5 为确定端部效应信号抑制的管子长度, 选择一根低背景噪声的管子并在距管子端部 $150\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 处开一标定通孔, 让检测线圈通过管子, 如果探测不到人工缺陷, 则应离管端部更远处再制作另一个人工缺陷。如果能探测到人工缺陷, 则将管子端部截去 10mm , 如此反复, 直到不再探测到人工缺陷为止。所能探测到的人工缺陷至管端的最短距离即是端部效应信号抑制的管子长度。

7.5 检测

7.5.1 探头送进、拉出可采用手动方式, 也可采用机械传动方式, 两者都应能识别探头在管子中的位置, 并保持速度均匀。

7.5.2 检验时探头最大拉出速度视所用仪器和选择的参数而定, 一般不超过 20m/min 。

7.5.3 对所有缺陷信号和怀疑信号的数据都应做好记录。

8 检测结果的评定与处理

8.1 综合评定

检验结果可根据缺陷响应信号的幅值和相位进行综合评定。缺陷深度应依据缺陷响应信号的相位角进行评定。

8.2 制造管材的评定与处理

8.2.1 质量验收等级的规定应按供需双方合同,或按有关产品标准要求。

8.2.2 经检验未发现尺寸(包括深度)超过验收标准缺陷的管材为涡流检测合格品。

8.2.3 经检验发现有尺寸(包括深度)超过验收标准缺陷的管材,可复探或应用其他检测方法加以验证。若仍发现有超过验收标准的缺陷,则该管材为涡流检测不合格品。

8.2.4 不合格的管材经设计部门或委托检验方同意,可在缺陷部位进行清除或修补后重新进行检测。如满足 8.2.2 要求可作为检测合格品,否则为检测不合格品。

8.3 在用设备的评定与处理

在用设备的合格等级应与业主协商,按有关规程确定。

9 检测报告

一般应包括以下内容:

- a) 委托单位;
- b) 被检工件:名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况;
- c) 检测设备:涡流检测仪及探头型号(差动、绝对),名称、型号和源尺寸;
- d) 检测规范:检测使用的参数(频率、速度),对比试样的牌号、规格及编号;
- e) 工件检测部位应在草图上予以标明,如有因检测方法或几何形状限制而检测不到的部位,也应加以说明;
- f) 检测结果及质量分级、检测标准名称和验收等级;
- g) 检测人员和责任人员签字及其技术资格;
- h) 检测日期。

附录 A
(规范性附录)

在用承压设备用铁磁性管涡流检测缺陷特征对比试样

A.1 缺陷特征对比试样管

- a) 通孔、圆底孔和平底孔——用于表征凹陷型缺陷 [见图 A.1 中 a)];
- b) 周向凹槽——周向凹槽其在管道圆周方向的任意一点具有相同的壁厚 [见图 A.1 中 b)];
- c) 单边缺陷——在管道一侧的缺陷 [见图 A.1 中 c)];
- d) 支撑板——支撑板其孔径应对比试样管外径大 0.1mm ~ 0.4mm 即可。为防止电磁波绕过支撑板传播, 支撑板尺寸应远大于对比试样管外径。

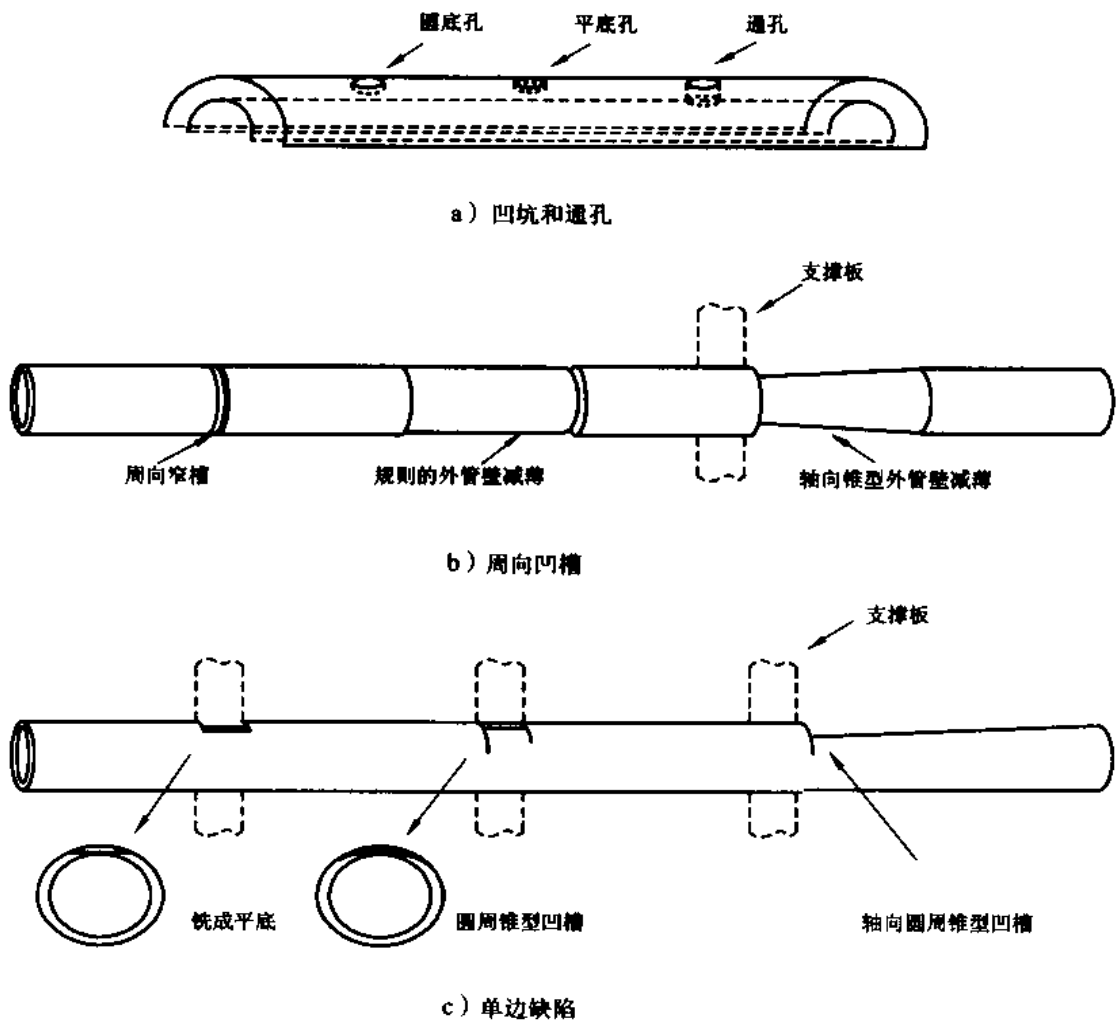


图 A.1 用于表征缺陷特征的对比试样管人工缺陷

附录 B

(规范性附录)

在用承压设备用非铁磁性管涡流检测Ⅲ型对比试样

B.1 在用承压设备用非铁磁性管涡流检测Ⅲ型对比试样

用于测试系统检出壁厚均匀减薄、长条形缺陷的能力。该试样应有下述几种人工缺陷：

- 1 个 360° 的周向切槽。槽宽为 200mm，深度为壁厚的 20%，从管子的外壁面切入。
- 1 个纵向切槽。槽宽为 0.2mm，长度为 3mm ~ 5mm，深度为壁厚的 20%，从管子的外壁面切入。
- 1 个纵向切槽。槽宽为 0.2mm，长度为 200mm，深度为壁厚的 20% ~ 30%，从管子的外壁面切入。

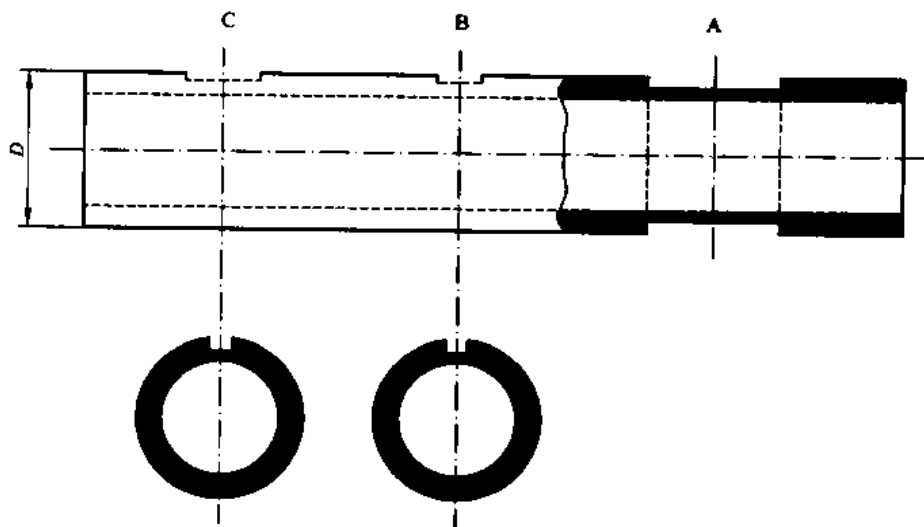


图 B.1 Ⅲ型对比试样

JB/T 4730.1~4730.6—2005

承压设备无损检测 标准释义

 全国锅炉压力容器标准化技术委员会
China Standardization Committee on Boilers and Pressure Vessels

目 次

前言	218
引言	222
第 1 章 JB/T 4730.1 通用要求	225
第 2 章 JB/T 4730.2 射线检测	231
第 3 章 JB/T 4730.3 超声检测	247
第 4 章 JB/T 4730.4 磁粉检测	271
第 5 章 JB/T 4730.5 渗透检测	282
第 6 章 JB/T 4730.6 涡流检测	290
第 7 章 参考文献	293
第 8 章 使用实例	295

前 言

JB 4730—94《压力容器无损检测》标准是《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)及有关的产品标准等的配套标准,由全国压力容器标准化技术委员会(以下简称“容标委”)提出,全国压力容器标准化技术委员会制造分会归口,原机械部、化工部、劳动部和中国石油化工总公司联合发布的强制性行业标准。该标准 1994 年 1 月 29 日正式发布,1994 年 5 月 1 日实施。1995 年 2 月原劳动部下达 1995 年第 65 号文“关于贯彻执行 JB 4730—94《压力容器无损检测》标准的通知”,要求压力容器行业的设计、选材、制造、安装、使用、检验和修理等一律执行 JB 4730 标准。

JB 4730 标准贯彻执行 10 年以来,对规范压力容器的管理,保障压力容器产品质量,提高压力容器行业设计、选材、制造、使用、检验水平以及减少爆炸事故等方面起到了积极的作用。但是在贯彻执行中也发现不少问题,如有些《容规》中包括的有色金属材料制压力容器的检测方法在 JB 4730 标准中尚没有反映,压力管道的检测内容缺口比较大,与锅炉行业的关系不够明确,射线检测部分尚有一些条款不尽完善,此外标准中没有在用承压设备的无损检测内容等。上述问题有的通过标准修改单和标准宣贯进行了修改和说明,有的则尚未解决。

为了促进科学技术的发展,将承压设备无损检测水平提高到一个新的阶段,适应向社会主义商品经济体制转变的要求,国家质量监督检验检疫总局特种设备局(以下简称“质检总局特设局”)以及“容标委”和全国锅炉标准技术委员会(以下简称“锅标委”)决定对 JB 4730 标准进行修订。标准修订由合肥通用机械研究所负责,并成立了标准修订工作组。

标准修订工作组自 2000 年 1 月开始,召开了多次会议,研究并制订了本标准的编制大纲和修订内容,确定了标准的修订原则和方案,在此基础上于 2000 年 2 月完成了 JB 4730《压力容器无损检测》(征求意见稿)。上报“质检总局特设局”以及“容标委”和“锅标委”,并发至行业近 80 个单位征求意见。

2000 年 5 月标准修订组根据“质检总局特设局”和“容标委”、“锅标委”的指示精神以及回函意见,将锅炉、压力容器及压力管道无损检测的内容统一汇总在本标准中,并在充实和完善的过程中提出了 JB 4730《锅炉、压力容器及压力管道无损检测》(征求意见稿讨论稿)。

2001 年 9 月在“容标委”暨制造分委员会的组织和直接指导下,在合肥对讨论稿

进行了讨论,提出部分修改意见。2002年2月全国锅炉、压力容器无损检测资格考核委员会在苏州对讨论稿召开了一次研讨会,对标准提出一些有益的建议和看法。

2002年3月根据“质检总局特设局”和“容标委”的指示精神,在JB 4730标准修订稿中加入在用检测的内容,并根据讨论会以及各方面的意见,对征求意见讨论稿进行了较大幅度的修改,7月完成了标准的送审初稿。

2002年9月23日根据“质检总局特设局”和“容标委”的指示精神,对标准修订工作组人员进行调整,同时对标准结构进行较大幅度的修改,完成标准的送审稿。并在2002年10月16~20日的“容标委”制造分委员会全会进行审查获得通过。

2003年3月13~14日在“质检总局特设局”和全国锅炉压力容器标准化技术委员会(以下简称“锅容标委”)的指导下,在制造分委员会组织和领导下,标准修订工作组在合肥对标准的修订原则和具体内容进行比较深入的讨论,达成一致的看法,并对工作组人员进行了明确的分工:JB 4730.1(通用要求)—寿比南、沈钢、袁榕、强天鹏、康纪黔、何泽云、胡军、杨国义;JB 4730.2(射线检测)—强天鹏、袁榕、郑世才、李伟、陈文虎、李衍、何泽云;JB 4730.3(超声检测)—袁榕、姚志忠、康纪黔、阎长周、肖家伟、许遵言、潘荣宝、陈程玉;JB 4730.4(磁粉检测)—潘荣宝、范宇、宋志哲、陈建俊、周志伟;JB 4730.5(渗透检测)—范宇、邢兆辉、孙殿寿、陈用坚;JB 4730.6(涡流检测)—关卫和、沈功田、胡先龙、林俊明、徐可北。

2003年4月工作组在南昌对标准的射线检测和超声检测部分进行了逐字逐句的讨论和斟酌,在北京工作组对标准的涡流检测部分进行了协调和讨论。2003年7月在北京对标准的磁粉检测部分进行了协调和讨论。标准的其他部分则通过信函、传真、电话进行了协调。在此基础上,2003年10月在“锅容标委”的组织下,在北京进行标准汇稿,完成标准的修订稿。

2004年5月在全国锅炉压力容器无损检测Ⅲ级人员考核换证班上进行征求意见。2004年8月在“锅容标委”的组织下,在沈阳进行标准汇稿和统稿。

2004年9月在“锅容标委”的组织下,在北京进行标准定稿,更名为JB/T 4730—XXXX《承压设备无损检测》,并报“锅容标委”审查。

2005年3月11~16日在北京根据“锅容标委”审查情况,召开JB/T 4730《承压设备无损检测》定稿会,整理报批。

本标准的修订是在JB 4730—94《压力容器无损检测》标准实施的基础上,经过调查分析和试验验证,吸取近期国际上同类标准的先进内容,按照确保承压设备安全的原则进行修订。与JB 4730—94相比,有如下一些变化:

1. 使用范围扩大到金属材料制承压设备的制造安装检测。
2. 增加了在用承压设备无损检测的技术要求。
3. 增加铜及铜合金和镍及镍合金制承压设备射线检测的内容;增加镍及镍合金、铜及铜合金、铝及铝合金和钛及钛合金制承压设备管子和管道环向对接焊接接头的射

线检测内容。

4. 增加对射线照相技术等级如何选择的内容；对钢、镍、铜及铜合金、铝及铝合金和钛及钛合金不同厚度允许的最高管电压图进行修订；对小径管对接焊接接头的透照布置和透照次数进行修订；增加根据不同 K 值要求，确定相应对接环向对接焊接接头透照次数的要求；增加工业射线透照胶片系的内容；增加黑度计的有关内容；增加 Se-75 射线源的应用；增加曝光曲线的内容。

5. 钢承压设备对接焊接接头射线检测范围扩大到 2mm~400mm；对观片灯亮度的有关要求进行修改。对不同射线源适用的底片黑度范围进行修订，对射线底片的像质计要求进行修订，检测灵敏度有所变化。

6. 增加奥氏体不锈钢和双相不锈钢钢板的超声检测内容；增加铝及铝合金板材、钛及钛合金板材超声检测内容；统一爆炸和轧制复合钢板超声检测内容。

7. 将钢制承压设备焊接接头超声检测厚度范围扩大到 6mm~400mm；增加钢焊接接头超声检测技术等级分类的内容；增加 T 型焊接接头超声检测内容，以及奥氏体不锈钢焊接接头的超声检测内容。

8. 增加壁厚大于或等于 4.0mm，外径为 32mm~159mm 或壁厚 4.0mm~6 mm，外径大于或等于 159mm 的钢制承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头超声检测内容；增加壁厚大于或等于 5mm，外径为 80mm~159mm 或壁厚 5.0mm~8 mm，外径大于或等于 159mm 的铝及铝合金管子和压力管道环向焊接接头超声检测内容。

9. 增加对高强钢以及裂纹敏感材料应使用荧光磁粉或荧光渗透检测的内容。

10. 增加在用铁磁性钢管的远场涡流检测内容；增加在用非铁磁性管的涡流检测内容。

本标准修订后的技术内容包括 6 个部分和 33 个附录：

1. JB/T 4730.1（通用要求）—① 范围；② 规范性引用文件；③ 术语和定义；④ 使用原则；⑤ 一般要求。以及附录 A《承压设备无损检测相关标准及文件目录》共 1 个附录。

2. JB/T 4730.2（射线检测）—① 范围；② 规范性引用文件；③ 一般要求；④ 具体要求；⑤ 承压设备熔化焊对接接头射线检测质量分级；⑥ 承压设备熔化焊环向对接焊接接头射线检测质量分级；⑦ 射线检测报告。以及附录 A《工业射线胶片系统的特性指标》~附录 H《对比试块的型式和规格》共 8 个附录。

3. JB/T 4730.3（超声检测）—① 范围；② 规范性引用文件；③ 一般要求；④ 承压设备用原材料、零部件的超声检测和质量分级；⑤ 承压设备对接焊接接头超声检测和质量分级；⑥ 承压设备环向对接焊接接头超声检测和质量分级；⑦ 在用承压设备超声检测；⑧ 超声检测报告。以及附录 A《双晶直探头性能要求》~附录 N《奥氏体不锈钢对接焊接接头超声检测和质量分级》共 14 个附录。

4. JB/T 4730.4（磁粉检测）—① 范围；② 规范性引用文件；③ 一般要求；

④ 检测方法；⑤ 磁痕显示的分类和记录；⑥ 复验；⑦ 退磁；⑧ 在用承压设备磁粉检测；⑨ 磁粉检测质量分级；⑩ 磁粉检测报告。以及附录 A《各种磁化电流的波形、电流表指示及换算关系》~附录 B《焊接接头典型的磁化方法》共 2 个附录。

5. JB/T 4730.5（渗透检测）—① 范围；② 规范性引用文件；③ 一般规定；④ 渗透检测基本程序；⑤ 渗透检测操作方法；⑥ 渗透显示的分类和记录；⑦ 质量分级；⑧ 在用承压设备渗透检测；⑨ 渗透检测报告。以及附录 A《荧光和着色渗透检测工艺流程示意图》~附录 B《用于非标准温度的检测方法》共 2 个附录。

6. JB/T 4730.6（涡流检测）—① 范围；② 规范性引用文件；③ 一般要求；④ 铁磁性钢管涡流检测；⑤ 非铁磁性金属管材涡流检测；⑥ 在用铁磁性钢管的远场涡流检测；⑦ 在用非铁磁性管涡流检测；⑧ 检测结果的评定与处理；⑨ 涡流检测报告。以及附录 A《在用承压设备用铁磁性管涡流检测缺陷特征对比试样》~附录 B《在用承压设备用非铁磁性管涡流检测 III 型对比试样》共 2 个附录。

本“标准释义”从理论、应用实践、与国内外现行标准对比以及技术管理方面，介绍并解释了本标准的主要技术内容，提供了部分使用实例，旨在帮助有关人员正确理解和运用本标准的各项规定和准则，有助于标准的宣贯与实施。

本“标准释义”由“锅容标委”组织编写。

全文由标准修订工作组编写，袁榕执笔。

全文由寿比南、沈钢和强天鹏等审核。

本标准第一版 JB 4730—94《压力容器无损检测》的主要起草人：何泽云、袁榕、刘庆、康纪黔。

引言

修订前的 JB 4730—94《压力容器无损检测》标准规定了射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测五种无损检测方法及质量分级，主要适用于压力容器及压力管道制造安装无损检测，全篇以“质量控制”原则作为中心和引线，属于制造检验标准的范畴。所谓质量控制原则是利用无损检测对承压设备制造安装质量进行控制的一种安全评定原则。如图 1 所示，缺陷当量超过 P 曲线时为危险区域，即判废线；缺陷当量低于 A 曲线时为安全区域，即安全线。缺陷当量位于 P、A 曲线之间时，应根据单位长度、单位面积或单位体积缺陷的数量和密集程度确定其等级，其主要控制门槛值（P、A 曲线）是以实验室试验数据和工程经验所确定。在承压设备行业所反映出来的主要是产品制造验收标准，因为其可靠性取决于控制门槛值有充分的安全裕度，所以在真实缺陷与评定等级之间允许有一定的偏差。其主要检测参数一般包括缺陷波幅、缺陷位置、指示长度和缺陷密集程度等。

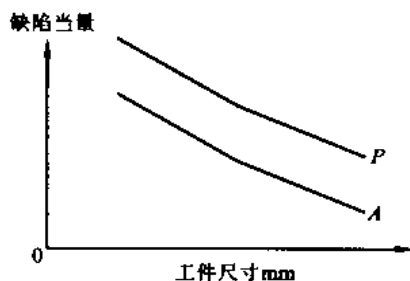


图 1 质量控制基本模式

随着国民经济的高速发展，在用承压设备的数量和使用范围已经达相当规模，由于其使用工况多为高温高压、低温高压，通常盛装易燃易爆、有毒或强腐蚀介质，一旦破坏将产生极其严重的后果，导致人民生命财产的巨大损失，基于上述情况，原劳动部锅炉监察局以劳锅字 1990 年 2 月 3 号文发布《在用压力容器检验规程》（以下简称“检规”），国家质量监督检验检疫总局在 2000 年、2003 年和 2004 年分别发布了《锅炉定期检验规则》、《在用工业管道定期检验规程》（试行）和 TSG R7001《压力容器定期检验规则》，对在用承压设备进行严格的技术监督和管理，以保证其安全运行。由于相应安全技术规范的评定级别相对 JB 4730—94 标准有较大的放松，同时在相关条文中涉及到缺陷定性和自身高度测定，该参数在国内目前所有的无损检测标准中都没有涉及，在国外标准中也没有明确规定，给在用承压设备检验带来很大困难。为了促

进科学技术的发展,保障在用承压设备的安全使用,“质检总局特设局”及“锅容标委”明确指出,要在 JB/T 4730 标准中加入在用承压设备无损检测的内容以满足有关安全技术规程和 GB/T 19624—2004《在用含缺陷压力容器安全评定》等标准所提出的“合于使用”原则。

所谓“合于使用”原则是确保没有危害性缺陷从而保证承压设备安全运行的一种安全评定原则,主要用于下列两种情况:

1. 对按质量控制标准在产品制造过程中发现的超标缺陷作放宽处理;
2. 对在用承压设备定期检验时发现的超标缺陷作安全评定。它主要以断裂力学为基础,对产品的焊接、材料、缺陷和介质腐蚀影响进行综合评价,以衡量产品可否使用及使用寿命。其主要检测参数为缺陷自身高度、缺陷性质、缺陷位置以及缺陷密集程度等。

本次修订主要是对标准的使用范围、检测方法和技术的合理性进行了较大幅度的增删和修改,减少无损检测死角;同时增加承压设备缺陷定性定量和有色金属的无损检测内容,使其满足承压设备制造安装和在用无损检测的需求。主要修订特点如下:

1. JB/T 4730 标准是在国内多年的研究成果和应用经验(包括在用压力容器与管道重大危险源的检测方法的试验研究、薄壁小径管超声检测方法研究、高温压力容器超声检测方法试验研究、锅炉压力容器角对接焊接接头超声检测方法研究、厚壁加氢反应器超声检测技术的试验研究、奥氏体不锈钢焊接接头超声检测技术的试验研究、对接焊接接头缺陷自身高度超声测定技术的试验研究、介质腐蚀环境下应力腐蚀裂纹荧光磁粉检测方法的试验研究等等)基础上完成的,其主要技术参数达到国际先进水平。

2. 加入 WTO 后,JB/T 4730 标准应采用国际先进标准的技术要求,尽量和国际接轨。由于中国仍是一个发展中国家,为了保护民族工业,需要增加合理和必要的技术壁垒。

3. 针对承压设备介质的腐蚀性和易燃、易爆、有毒等特点,有关规定和参数比较通用无损检测标准更趋于严格。

4. 由于 JB/T 4730 标准是承压设备行业的行业标准,是一个配套标准,而不是通用方法和质量分级标准。因此其主要内容应遵照、依据和满足承压设备的法规、产品标准和技术规范的要求和规定,满足承压设备行业技术发展的要求。

5. JB/T 4730 标准是承压设备技术发展的产物。上世纪 80 至 90 年代,因为当时国内的无损检测标准不能满足热壁加氢反应器国产化的检测技术要求至(如射线检测主对接焊接接头的检测厚度不够;超声检测钢板检测厚度不够,主对接焊接接头检测厚度不够,没有堆焊层的检测内容;磁粉检测标准不完善;堆焊层和有色金属渗透检测无标准可循等),严重地阻碍了国民经济的发展。形势的需要和社会发展的压力导致了 JB 4730—94《压力容器无损检测》标准的问世。

在现阶段由于国内加强锅炉、压力容器及压力管道设计、选材、制造、安装、使

用和检验检测工作统一管理的战略需要,以及满足在用承压设备对无损检测技术的新需求,再一次将 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》标准推上了无损检测的舞台。

由于目前国内承压设备行业以 GB 150 为核心的标准体系的发展趋势是向美国、日本和欧洲的标准体系靠拢,因此 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》标准也主要参照行业具体情况,根据国内多年设计、选材、制造、安装、检验、无损检测、使用、管理方面的试验研究成果和应用经验,并参考美国 ASME《锅炉压力容器规范》第 V 篇、日本 JIS 标准规范以及部分欧洲标准(EN、DIN 等)的内容进行编写。

第1章 JB/T 4730.1 通用要求

一、标准标题改为 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》

1994 版标准主要用于压力容器及部分压力管道制造、安装无损检测，属于制造检验和质量控制标准的范畴，当时锅炉、建设部、电力系统、长输管道、航空航天等行业等都有自己一套相对独立的无损检测标准，标准使用重复杂乱，而且缺口比较大。

由于锅炉、压力容器及压力管道都是承压设备，有比较深刻的内在联系，美国 ASME《锅炉压力容器规范》第 V 篇就是将其检测内容放在一起考虑的，2003 年国务院颁布的《特种设备安全监察条例》也将锅炉、压力容器及压力管道等通称为承压类特种设备。从这个角度考虑，将承压类特种设备的无损检测标准统一在一起，一方面检验检测单位使用起来比较方便和适用，另一方面承压设备安全监察机构管理起来轮廓和脉搏也比较清楚。

由于本次修订既包括了金属材料制锅炉、压力容器及压力管道原材料、零部件和设备的制造、安装检测。同时也包括了金属材料制锅炉、压力容器及压力管道的在用检测。此外从本质上看其他承压类设备采用本标准进行检测也没有任何技术障碍。因此本标准标题改为《承压设备无损检测》应该说是名符其实的。

二、主题内容与范围

本标准的主题内容与适用范围比 1994 版标准有较大程度的扩展。

① 规定了射线、超声、磁粉、渗透和涡流检测五种常规无损检测方法及质量分级。同时在某些特定条件下允许采用声发射、X 射线实时成像等新的无损检测方法；

② 本标准检测范围包括金属材料制承压设备（由于锅炉、压力容器及压力管道等都是承压设备，检测内容有许多共同点，本次修订将其通作为承压设备考虑）；

③ 在用承压设备的数量和使用范围已达相当规模，一旦破坏将产生极其严重的后果，本标准按照“合于使用”原则增加了在用承压设备无损检测的内容；

④ 原承压设备行业对支承件和结构件的无损检测没有规定统一的处理办法，本标准增加了承压设备支承件和结构件的无损检测的内容。

三、承压设备无损检测特点

无损检测在承压设备上应用时，主要有以下四个特点：

① 无损检测应与破坏性检测相结合。

无损检测的最大特点是在不损伤材料和工件结构的前提下检测，具有一般检测所

无可比拟的优越性。但是无损检测不能代替破坏性检测，也就是说承压设备进行评价时，应将无损检测结果与破坏性检测结果（如爆破试验等）进行对比和验证，才能作出准确的判断。

② 正确选用实施无损检测的时间。

在进行承压设备无损检测时，应根据检测目的，结合设备工况、材质和制造工艺的特点，正确选用无损检测实施时间。

③ 正确选用最适当的无损检测方法。

对于承压设备进行无损检测时，由于各种检测方法都具有一定的特点，为提高检测结果的可靠性，应根据设备的材质、制造方法、工作介质、使用条件和失效模式及预计可能产生的缺陷种类、形状、部位和取向，选择最合适的无损检测方法。

④ 综合应用各种无损检测方法。

任何一种无损检测方法都不是万能的，每种方法都有自己的优点和缺点。因此，应尽可能多采用几种检测方法，互相取长补短，取得更多的缺陷信息，从而对实际情况有更清晰的了解，以保证承压设备的安全长周期运行。

此外在承压设备无损检测时，还应充分认识到，无损检测的目的不是片面追求过高要求的“高质量”，而是应在充分保证安全性的前提下，着重考虑其经济性。只有这样，无损检测在承压设备上的应用才能达到预期的目的。

四、标准的引用原则以及文件与法规的引用顺序

1. 本标准的引用原则

① GB/T 1.22《标准化工作导则 第二单元：标准内容的确定方法 第22部分：引用标准的规定》规定：下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

② GB/T 1.1《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》规定：凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。因此本标准所引用的标准，一般都不标注相应的版本年号，而以引用现行的版本为准。

2. 文件与法规的引用顺序

GB/T 1.1《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》的有关条文规定：引用文件的排列顺序为——国家标准、行业标准、地方标准、国内有关文件、ISO标准、IEC标准、ISO或IEC有关文件、其他国际标准以及其他国际有关文件。国家标准、ISO标准、IEC标准按标准顺序号排列；行业标准、其他国际标准先按标准代

号的拉丁字母顺序排列，再按标准顺序号排列。

五、无损检测方法的应用原则

各种无损检测方法都具有一定的特点和局限性，为帮助承压设备相关人员对标准的理解和使用，本标准对无损检测方法的应用增加一些原则性要求。

① 应在遵循承压设备安全技术法规（如《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》、《压力容器安全技术监察规程》、《超高压容器安全监察规程》、《压力管道安全管理与监察规定》、《气瓶安全监察规程》等）和相关产品标准（如 GB 150《钢制压力容器》、JB 4710《钢制塔式容器》、GB 151《钢制管壳式换热器》、GB 12337《钢制球形储罐》、JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》等）及有关技术文件和图样规定的基础上，根据承压设备结构、材质、制造方法、介质、使用条件和失效模式，选择最合适的无损检测方法。

② 射线和超声检测适用于检测承压设备的内部缺陷；磁粉检测适用于检测铁磁性材料制承压设备表面和近表面缺陷；渗透检测适用于检测非多孔性金属材料和非金属材料制承压设备表面开口缺陷；涡流检测适用于检测导电金属材料制承压设备表面和近表面缺陷。

③ 重要承压设备制造安装或是在用检验时，作为常规无损检测方法的一种补充，可采用声发射检测方法。但一般不宜单独采用声发射检测方法对承压设备进行评价。

④ 对锅炉直管段及气瓶环向对接焊接接头在生产线上成批自动焊接或批量生产时，可采用 X 射线实时成像法进行检测。但在使用时应和 RT 检测方法的灵敏度进行实际比较。如果对检测结果评价不一致时，应以 RT 的评定级别为准。

⑤ 凡铁磁性材料制作的承压设备和零部件，应采用磁粉检测方法检测表面或近表面缺陷，确因结构形状等原因不能采用磁粉检测时，方可采用渗透检测。

⑥ 当采用两种或两种以上的检测方法对承压设备的同一部位进行检测时，应符合各自的合格级别；如采用同种检测方法的不同检测工艺进行检测，当检测结果不一致时，应以危险度大的评定级别为准。

⑦ 通常认为 γ 射线透照的固有不清晰度要比采用 X 射线大得多，因此对重要承压设备对接焊接接头应尽量采用 X 射线源进行透照检测。确因厚度、几何尺寸或工作场地所限无法采用 X 射线源时，也可采用 γ 源进行射线透照。此时应尽可能采用高梯度噪声比（T1 或 T2）胶片；但对于 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的高强度材料对接焊接接头则必须采用高梯度噪声比的胶片。

六、对不锈钢无损检测的几点说明

不锈钢通常在热处理后使用。常用的不锈钢有铁素体型不锈钢、马氏体型不锈钢、奥氏体型不锈钢和双相钢（铁素体型不锈钢和奥氏体型不锈钢的机械混合物）四种。

① 铁素体型不锈钢是以铁素体为基体的不锈钢。如 Cr17、Cr17Ti、Cr28 等，主要在退火状态下使用。

② 马氏体型不锈钢是以马氏体为基体的不锈钢。如 1Cr13、2Cr13 等，主要在淬火加回火状态下使用，具有强烈的淬硬倾向和冷裂倾向。

③ 奥氏体型不锈钢是以奥氏体为基体的不锈钢。如 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti 等，通常在固溶处理后使用（所谓固溶处理，即是将钢加热到 1050℃~1080℃ 的高温，使铬的碳化物重新扩散而溶于固溶体中，然后在水或油中迅速冷却，使铬的碳化物来不及析出的一种处理方法），是应用最广泛的一种不锈钢耐酸钢。它不能通过淬火强化。

④ 双相钢是铁素体型不锈钢和奥氏体型不锈钢的机械混合物，有优良的耐腐蚀性能。

对于铁素体型和马氏体型不锈钢，由于晶粒尺寸和各向异性不明显，一般可采用碳钢和低合金钢的无损检测方法进行检测。

对于奥氏体型不锈钢，由于其各向异性和晶粒尺寸粗大，一般应采用专门的无损检测方法进行检测。如对于奥氏体不锈钢板可参照碳钢和低合金钢的要求进行超声检测；对于奥氏体不锈钢锻件可按 JB/T 4730.3 中 4.7 的规定进行超声检测，奥氏体不锈钢对接焊接接头则按 JB/T 4730.2 的规定进行射线检测或按 JB/T 4730.3 的规定进行超声补充检测。

对于双相钢钢板可参照 JB/T 4730.3 中 4.1 进行超声检测，双相不锈钢锻件可根据奥氏体型不锈钢和铁素体型不锈钢的比例，分别按 JB/T 4730.3 中 4.2 或 4.7 的规定进行检测，双相钢对接焊接接头可按 JB/T 4730.2 的规定采用射线检测。

奥氏体型不锈钢复合钢板可按 JB/T 4730.3 中 4.4 的规定进行检测。

七、无损检测记录和检测报告的保存

① 压力容器定期全面检验期限应按 TSG R7001《压力容器定期检验规则》的要求确定：

安全状况等级为 1~2 级的，一般每 6 年检验一次；

安全状况等级为 3 级的，一般 3~6 年检验一次。

② 热水锅炉和蒸汽锅炉的定期检验期限应按《锅炉定期检验规则》的要求确定：

锅炉的外部检验一般每年进行一次；

内部检验一般每 2 年进行一次；

水压试验一般每 6 年进行一次。对于无法进行内部检验的锅炉，应每 3 年进行一次水压试验。

③ 电站锅炉的内部检验和水压试验周期可按照电厂大修周期进行适当调整。

④ 压力（工业）管道的定期检验期限应按《在用工业管道定期检验规程》（试行）要求确定：

安全状况等级为 1~2 级的,一般每 6 年检验一次;

安全状况等级为 3 级的,一般不超过 3 年检验一次。

也就是说新制造投产或经定期检验的承压设备在 6 年期限内至少应进行一次全面检验。由于全面检验项目比较多,内容比较广,从这个意义上说,全面检验也就是承压设备制造质量和使用管理水平的一次综合性评价。该项工作如能和原始检测记录及报告相对比,则效果会更好一些。因此本标准规定“检测记录、报告等保存期不得少于 7 年”,以保证设备在第一次全面检验或定期检验后的下一次检验时,如需要可查到全部有关制造或定期检验资料。同时为了方便用户进行下一周期的定期检验、以及在用管理和事故分析等工作,本标准还规定了“7 年后若用户需要可转交给用户保管”的条文。

八、无损检测规程和无损检测工艺卡

当承压设备按 JB/T 4730 标准进行检测时,为了方便操作、加强管理,按 ASME-V 的相关要求,规定制造厂、安装单位和检验单位应根据本单位具体情况,按以下要求制定相应的无损检测规程和无损检测工艺卡,作为供本单位所有无损检测人员强制性执行的内容。

① 无损检测通用工艺规程应根据相关法规、产品标准、有关的技术文件和本标准的要求编制,应遵照或严于现行法规、标准的要求,应针对检验单位的特点和能力编写。

② 无损检测工艺卡应根据相关法规、标准、有关的技术文件和本标准的要求编制。产品零部件的无损检测工作应按无损检测工艺卡进行。

九、承压设备及零部件无损检测人员的考核与监督管理

承压设备及零部件的无损检测是一项非常重要的工作,直接牵涉到千百万人民生命财产的安全。因此对无损检测人员要求很高,不仅需要有丰富的实践经验,而且还应具有扎实的基础理论知识。在这种情况下,采用统一尺度对无损检测人员进行培训、考核是十分必要的。

多年来“质检总局特设局”一直在从事无损检测人员的培训考核工作,并在全中国范围内成立了由各级承压设备安全监察机构领导下的考核委员会。制定了《锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则》、《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》等,对无损检测人员的资格培训、考核和管理做了大量卓有成效的工作,具有一定的权威性和公正性,在国内、外产生了相当大的影响。因此,本标准规定凡从事承压设备及零部件无损检测的人员都必须经过技术培训,并按“考规”的规定进行考核鉴定。

由于不同的无损检测方法涉及到光、电、声等一系列不同的技术领域,这些检测方法虽然都具有一定的本质联系,但也存在很大的差异。即使一个检测人员熟练掌握了某一种检测方法,当从事其他检测方法时,若不进行一次系统的实践、培训和考核,

往往会把工作搞糟，甚至会带来极其严重的后果。

此外，由于各种检测方法又分为高、中、低三个技术等级，在考核鉴定时对不同的技术等级规定了相应的学历、工作年限要求和不同档次的考核内容及考核项目。从这个意义上讲获得不同技术等级的检测人员的检测水平、解决问题的能力是不同的。因此，本标准按“考规”的有关条文，规定取得某种检测方法不同技术等级的检测人员只能从事与该等级相应的检测工作，并承担相应的技术责任。

十、国家质量监督检验检疫总局质锅字 248 号文（2003）《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》规定各级无损检测人员只能从事与该等级相应的检测工作，并承担相应的技术责任

I 级无损检测人员可在 II、III 级人员的指导下进行无损检测操作、记录检测数据、整理检测资料。

II 级无损检测人员可编制一般的无损检测程序，按照无损检测工艺规程或在 III 级人员指导下编写工艺卡，并按无损检测工艺独立进行检测操作，评定检测结果，签发检测报告。

III 级无损检测人员可根据标准编制无损检测工艺，审核或签发检测报告，协调 II 级人员对检测结论的技术争议。

十一、未列入本标准的新无损检测方法的应用

本标准不排斥新无损检测方法的应用，当采用未列入本标准规定的无损检测方法时，应用单位应向“锅容标委”提交有关技术资料，经评审认可，可以标准案例形式纳入本标准。主要有两个基本要求：

① 采用国外新的检测方法时，这种方法应是国外承压设备行业最新标准所允许使用的方法，其使用范围不应超出该标准规定允许使用的范围。

② 采用国内新研制的检测方法和检测设备（进口）时，负责研制单位或使用单位应将有关的技术资料和鉴定材料报“锅容标委”审定，审定合格后出具允许使用的证明书，报“质检总局特设局”批准后方可使用。

标准案例形式是国际上通用的一种标准内容的表达形式，如美国 ASME 的标准案例 2235 等，给一些不太成熟或是正在推广的科学技术研究成果的使用提供一种机遇和合法有效的监督管理体制。

第2章 JB/T 4730.2 射线检测

一、主题内容和检测范围

1. 国内、外承压设备射线检测标准

(1) 国内承压设备射线检测标准

- | | |
|----------------|-------------------------|
| JB 928—67 | 焊缝射线探伤标准 |
| GB 3323—82 | 钢焊缝射线照相及底片等级分类法 |
| GB 3323—87 | 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级 |
| GB/T 12605—90 | 钢管环焊缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级 |
| JB 4730—94 | 压力容器无损检测 |
| JB/T 4730—2005 | 承压设备无损检测 |

(2) 主要的国外射线检测标准

- | | |
|-------------|--------------------------------|
| ISO 5579—98 | 金属材料 X、 γ 射线照相检验通则 |
| EN1435—97 | 焊接检验—熔化焊接头射线照相检验 |
| ASME E94 | 射线检验指南 |
| ASME 142 | 射线检验质量控制方法 |
| JIS 3104 | 钢焊缝射线照相检验方法及底片评级方法 |
| JIS 3105 | 铝焊缝射线照相检验方法及底片评级方法 |
| JIS 3104 | 钛焊缝射线照相检验方法及底片评级方法 |
| DIN 54111 | 金属材料 X、 γ 射线检验—焊缝射线检测方法 |
| BS 2600 | 5mm~200mm 厚钢对接焊缝射线检验方法 |
| ГОСТ 2512 | 焊缝射线照相检验方法 |

2. JB/T 4730 标准对接焊接接头射线检测的应用范围

本部分规定了金属材料制承压设备全熔化焊对接焊接接头的 X 射线和 γ 射线检测技术和质量分级。

本部分适用于碳素钢、低合金钢、不锈钢、镍及镍合金、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金材料制承压设备对接焊接接头制造和安装时的射线检测。也适用于上述材料制承压设备对接焊接接头的在用射线检测。

压力管道纵向对接焊接接头和承压设备支承件和结构件的对接焊接接头，如有要求也可参照本部分进行检测。

碳素钢、低合金钢、不锈钢、镍及镍合金承压设备对接焊接接头的厚度检测范围为 2mm~400mm。铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金承压设备对接焊接接头的厚度检测范围为 2mm~80mm。

3. A 级、AB 级和 B 级射线检测技术

射线检测技术分为三级：A 级、AB 级和 B 级。其中 A 级射线检测技术属于低灵敏度技术，AB 级射线检测技术属于中灵敏度技术，B 级射线检测技术属于高灵敏度技术。A 级和 AB 级射线检测技术应采用 T3 类或更高类别胶片，B 级射线检测技术应采用 T2 类或更高类别胶片。

射线检测技术等级选择应符合制造、安装、在用等有关技术法规、标准及设计图样规定。承压设备对接焊接接头的制造、安装、在用时的射线检测，一般应采用 AB 级射线检测技术进行检测。对重要设备、结构、特殊材料和特殊焊接工艺制作的对接焊接接头，可采用 B 级技术进行检测，A 级射线检测技术通常用于承压设备的支承件和结构件对接焊接接头的检测。

二、一般性要求

1. 射线透照胶片系统

射线透照胶片与一般的感光胶片不同，在胶片片基的两面均涂布感光乳剂层，用于增加卤化银含量以吸收穿透能力很强的 X 射线和 γ 射线。它主要由片基、结合层、感光乳剂层、保护层等七层材料组成。胶片受到 X 射线和 γ 射线的照射时，在感光乳剂层中会产生肉眼看不见的影像，即所谓潜影。再经过显影、定影处理后，胶片上的潜影成为永久性的可见图像。胶片的感光特性主要有：感光度 (S)、灰雾度 (D_0)、梯度 (G)、宽容度 (L)、最大密度 ($D_{\max}$) 等。

胶片对射线透照质量有非常显著的影响，目前国际上一般以粒度和梯度作为分类的依据。而过去国内对射线胶片的感光特性、卤化银含量和粒度等等参数无准确量的要求，造成国内各种胶片质量参差不齐，使用参数不稳定，尤其对厚壁对接焊接接头的透照质量差，严重影响了承压设备的射线检测质量。

因此本标准参照 ASTM 1815 标准对胶片的分类的要求，对胶片厂生产的胶片提出较明确的参数指标，详见表 2-1。胶片系统分为四类，即 T1、T2、T3 和 T4 类。T1 为最高类别，T4 为最低类别。胶片的本底灰雾度应不大于 0.3。通常如需缩短曝光时间，可使用表中号数较大的胶片；如需提高射线透照的底片质量，则应使用号数较小的胶片。当应用 γ 射线照相时，宜采用高梯度噪声比(T1 或 T2)胶片；当应用高能 X 射线照相时，应采用高梯度噪声比的胶片；对于 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的高强度材料对接焊接接头射线检测，也应采用高梯度噪声比的胶片。尽管这些规定轮廓还比较粗，但对于提高

射线检测质量还是比较有效的,希望特种设备安全监察部门和各级主管部门能对此予以高度重视和大力支持。

表 2-1 工业射线透照胶片的类型(胶片系)

胶片系统类别	感光速度	特性曲线平均梯度	感光乳剂粒度	梯度最小值 ($G_{\min}$)		颗粒度最大值 (σ_D) _{max}	(梯度/颗粒度)最小值 (G/σ_D) _{min}
				$D=2.0$	$D=4.0$	$D=2.0$	$D=2.0$
T1	低	高	微粒	4.3	7.4	0.018	270
T2	较低	较高	细粒	4.1	6.8	0.028	150
T3	中	中	中粒	3.8	6.4	0.032	120
T4	高	低	粗粒	3.5	5.0	0.039	100

注:表中的黑度均指不包括灰雾度的净黑度。

2. 观片灯最大亮度和照射后的底片亮度规定

在射线底片上能否识别或者辨认出缺陷或像质计的影像,取决于影像在底片上形成的黑度差 ΔD (即照相对比度) 与界限识别对比度 $\Delta D_{\min}$ 之间的关系。所谓的界限识别对比度是指能被观片者所辨认的最小黑度差。当使用亮度为 L_0 的观片灯时,对应于线径为 d 的金属丝的影像对比度 ΔD 与该亮度下的界限识别度 $\Delta D_{\min}$ 的关系如图 2-1 所示的两条黑实线;当采用亮度为 L'_0 ($L'_0 > L_0$) 的观片灯时, ΔD 的数值不变,而该亮度下的界限识别度 $\Delta D_{\min}$ 变成如图 2-1 所示的虚线。这也就是说,当观片灯亮度增加时,能识别的底片黑度范围扩大了。检测效果当然也更好些。

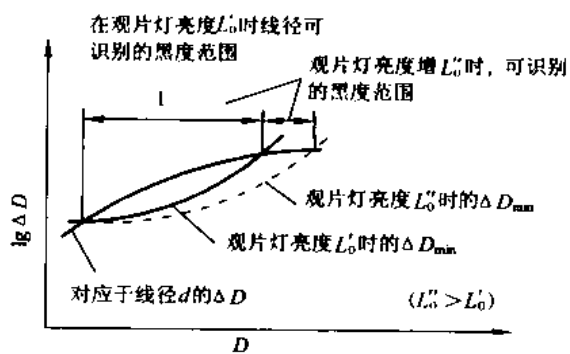


图 2-1

由于修订后的 JB/T 4730 标准对底片黑度的上限值的规定有较明显提高(一般来说采用亮度较大的观片灯有助于黑度较大底片的评定),而目前大量的观片灯最大亮度达不到底片评定范围内的亮度不低于 30cd/m^2 的要求,因此作为一种折中,本标准对底片评定范围内的亮度分段进行考虑:

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 ;

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. 黑度计 (光学密度计)

黑度计是对底片黑度进行测量的重要设备, 本标准规定黑度计可测的最大黑度应不小于 4.5, 测量值的误差应不超过 ± 0.05 。至少每 6 个月校验一次。黑度计可按照生产厂推荐的方法或下面的方法进行定期校验。

① 用标准黑度片 (密度片) 的零黑度点 (区) 校准黑度计零点, 校准后顺次测量黑度片上不同黑度的各点的黑度, 记录测量值。按规定应反复测量三次。

② 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。

③ 对黑度不大于 4.5 的各点的测量误差均应不超过 ± 0.05 , 否则黑度计应校准、修理或报废。

④ 所使用的标准黑度片至少应每 2 年送计量单位检定一次。

4. 像质计

像质计是控制射线透照质量必不可少的工具。目前, 世界上通用的像质计一般有五类: 单丝式线型像质计、双丝式线型像质计、平板式孔型像质计、阶梯板式孔型像质计和槽型像质计。JB/T 4730 标准主要采用单丝式线型像质计, 利用可识别的最细丝径 d 来计算相对灵敏度, 见式 (2-1)。

$$S_w = d/\delta \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

式中:

S_w ——线型像质计的相对灵敏度;

δ ——被透工件厚度。

单丝式像质计具有结构简单、制作方便、使用可靠等优点, 能准确地测定对比度的变化情况。但也具有一定的局限性, 主要有:

① 对底片上能识别的最细钢丝的确定, 没有一个定量的规定, 因此存在一定的人为主观性;

② 像质计指示值与裂纹类危险性缺陷的检出率对应性较差;

③ 对影响不清晰度参数的变化不敏感;

④ 透照焦距和射线能量发生变化时, 像质计灵敏度和实际缺陷检出率的变化不一致。

从上世纪 60 年代以来, 许多研究者致力于研究开发新型像质计。如 1989 年罗马尼亚的 P.Ciorao 提出的用不锈钢片制作的筒式狭槽型便是一种比较好的像质计。其灵敏度用式 2-2 表示:

$$S_c = d_{\min} / (t_{sp} + t_r + t_{IQI}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

式中:

$d_{\min}$ ——可见最小槽深度, mm;

t_{sp} ——工件厚度, mm;

t_r ——对接焊接接头余高, mm;

t_{IQI} ——像质计厚度, mm;

S_c ——狭槽型像质计相对灵敏度, 100%。

随着科学技术的发展, 完全有理由相信, 能更好、更准确地控制射线检测灵敏度的像质计必然会在不久的将来问世, 并在标准中得到反映。

5. 线型像质计的材料

一般说来, 被透照设备的材料应与线型像质计的材料相一致, 才能取得较好的检测效果。但由于目前承压设备用材比较复杂, 一些新的钢种和材料不断涌现, 给线型像质计的使用范围带来混乱。当某种材料的像质计用来检测其他材料的对接焊接接头时, 如不能确定是否合适, 建议采用下述方法进行判定 (这也是 ASME 的规定): 取两块与被检设备厚度大体相当的试块 (一块与被透照设备的材料相一致, 另一块与像质计材料相一致), 将其在同一张胶片上, 以产品射线照相的合适能量级别进行一次曝光照相, 底片上两种材料的黑度范围 (一般应取在黑度比较均匀的试块中间部位) 应在 1.5~4.0 之间, 如果被透照设备的材料黑度和制作像质计材料黑度的比值在 1~0.87 之间, 那么被透照设备材料可以采用该种材料制作的像质计进行射线照相检测。

6. 对接焊接接头的表面质量 (包括对接焊接接头余高) 的要求

在射线检测之前, 对接焊接接头的表面应经外观检测并合格。表面的不规则状态底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像, 否则应对焊接接头表面进行修磨。

① 对接焊接接头的表面缺陷 (如咬边、凹坑、沟槽等) 将直接反映在底片上, 往往掩盖了对接焊接接头内的缺陷使之漏检; 或是形成伪缺陷, 给缺陷的评定、分级和返修带来很大困难。如曾在某厂就发现过好几起类似的现象, 当时在底片上某丁字缝发现一条黑色影像, 很像裂纹, 经两次返修后缺陷仍然存在, 经实地检查, 发现原来是丁字口上一道很细的沟槽。若在射线检测前先进行较细致的外观检查和适当修整, 这类情况就会大大减少。

② 对接焊接接头余高对接焊接接头缺陷的检出有一定的影响, 余高越高, 对底片的宽容度要求愈高, 从某种程度上也就是选用的透照电压提高, 底片质量和检测灵敏度降低, 使缺陷检出比较困难, 因此, 对接焊接接头余高应尽可能减小, 并按产品标准的要求控制在一定尺寸范围内。

综上所述, 对接焊接接头表面质量与底片的有效性、可靠性及缺陷检出灵敏度有很大关系, 必须给予高度的重视。

7. 射线辐射防护方法

各类射线不仅对人体有害,而且对环境也有一定的污染作用。因此射线辐射防护对于保护射线检测和周围人员的健康以及生命安全是至关重要的,应引起有关部门的高度重视。目前国内采用的辐射防护方法主要有时间防护、距离防护和屏蔽防护三种。为了强调射线防护的重要性,本标准按 ASME-V 和 GB 16357《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》、GB 18465《工业 γ 射线探伤放射卫生防护要求》和 GB 18871《电离辐射防护及辐射源安全基本标准》的要求对此作了一些具体规定:

① X 射线和 γ 射线对人体有不良影响,应尽量避免射线的直接照射和散射线的影

响。
② 现场进行 X 射线检测时,应按 GB 16357 的规定划定控制区和管理区、设置警告标志。检测工作人员应佩戴个人剂量计,并携带剂量报警仪。

③ 现场进行 γ 射线检测时,应按 GB 18465 的规定划定控制区和监督区、设置警告标志,检测作业时,应围绕控制区边界测定辐射水平。检测工作人员应佩戴个人剂量计,并携带剂量报警仪。

8. 射线透照方式

应根据工件特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。由于单壁透照方式的灵敏度明显要高于双壁透照方式,因此在可以实施的情况下应尽量选用单壁透照方式,在单壁透照不能实施时才允许采用双壁透照方式。目前按射线源、工件和胶片三者的相互关系,典型的透照方式有纵缝透照法、环缝外透法、环缝内透法、双壁双影法和双壁单影法等五种(在附录 C 有详细的示意图)。透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心,必要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。

9. 射线一次透照长度(裂纹射线检测灵敏度)

任何无损检测方法都十分重视裂纹的检出率,射线检测也不例外。为了保证裂纹的检出效果,通常在射线照相检测标准中作出一些直接或间接的技术规定,目前世界各国标准采用的技术规定主要有三种:

① 直接对裂纹检验角进行规定。

如美国军标,在有关条文直接列出裂纹检验内容,并规定只有当工件处于射线束 10° 圆锥角之内的区域内对于检验裂纹才是有效的。即意味着为了保证裂纹的检出,照射角应不大于 10° 。

② 规定透照厚度比 K 值进行间接控制。

JB/T 4730 标准和德国标准等在技术条文中没有直接规定裂纹检验问题。但由于规定了透照厚度比 K 值,实际上也就规定了有效透照区,同时也间接控制着允许的射线照射角。

③ 直接规定有效透照区长度进行间接控制。

日本工业标准主要采用这种方式,标准直接规定有效透照区长度 L_3 与焦距 L_1 之间的关系,间接控制了射线检验角,从而保证裂纹的检出。其典型规定如表 2-2 所示。

表 2-2 日本工业标准的有关规定

质量级别	L_1/L_3	对应的照射角
普通级	≥ 2	14.0°
特 级	≥ 3	9.5°

上述三种类型实际上是以不同方式限制了允许采用的射线照射角,即射线束与裂纹开裂面之间的角度。但必须注意的是,这些限制都假设裂纹面处在与工件表面垂直的方向,而实际的裂纹可能要复杂得多,其检验的掌握也更困难。

根据以上情况,JB/T 4730 标准规定允许的透照厚度比 K 如表 2-3 所示。

表 2-3 允许的透照厚度比 K

射线检测技术级别	A 级; AB 级	B 级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1^{1)}$	$K \leq 1.06$
1) 对 $100\text{mm} < D_o \leq 400\text{mm}$ 的环向对接焊接接头(包括曲率相同的曲面焊接接头),A 级、AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。		

10. 承压设备对接焊接接头采用 γ 源进行射线透照时胶片的选择

本标准规定当应用 γ 射线照相时,宜采用高梯度噪声比(T1 或 T2)胶片,其理由如下:射线照相灵敏度一般由三个因素所控制,即对比度、不清晰度和颗粒度。对比度描述的是细节影像与背景影像的黑度差,对缺陷而言则是缺陷影像与背景影像的黑度差,它直接决定缺陷影像的可识别度。不清晰度则描述影像边界的扩展程度,或者是模糊程度,影响缺陷影像的可识别度,尤其对于细长缺陷影响程度更大。颗粒度是影像黑度分布不均匀的视觉印象,由形成影像的银团随机分布产生,它直接对应于信噪比,颗粒度越细,检测灵敏度愈高。

一般来说采用 γ 射线透照所获得的固有不清晰度要比采用 X 射线大得多。据有关资料介绍,国外曾对此进行过试验,当采用 400kV 电压透射钢对接焊接接头时,其固有不清晰度约为 0.17mm,而采用 γ 射线透射同样对接焊接接头时,其固有不清晰度要高得多。不清晰度的数值大小通常表征着射线透照检测细长缺陷的能力。不清晰度数值小,检出细长缺陷的能力强;不清晰度数值大,则检出该类缺陷的能力低。综上所述,可知 X 射线透照检测裂纹等细长缺陷的能力要比 γ 射线高得多。

此外,目前国内用来控制射线检测灵敏度的线型像质计存在相当严重缺点,即只对对比度变化敏感,而对不清晰度和透照焦距的变化不敏感。也就是说现行像质计不能有效地控制不清晰度的变化。因此,为了保证获得较好的不清晰度值,达到较高的实际检测灵敏度,本标准要求对重要钢制承压设备或有色金属制承压设备尽量采用 X 射线源进行射线透照检测。

当采用 γ 射线源进行射线透照检测时,宜采用高梯度噪声比 (T1 或 T2) 胶片作为实际检测灵敏度的一种弥补。尤其对于 $\sigma_b \geq 540\text{MPa}$ 的高强度材料对接焊接接头,由于缺口敏感性比较高,产生细长型冷裂纹的趋势比较明显,因此为了保障安全,必须强制性采用高分辨率的胶片。

11. 射线透照检测的不清晰度及其控制

射线透照检测的不清晰度主要有几何不清晰度和固有不清晰度两种。几何不清晰度 U_g 是由射线源的几何尺寸引起的不清晰度,一般说来它是工件外半径 R 、内半径 r 、焦点尺寸 d_0 和焦距 f 的函数。固有不清晰度是由刃边效应产生的黑度过渡区即为固有不清晰度 U_i 。实验表明射线能量越大,固有不清晰度越大。通常在静止射线透照时,总的模糊度为几何不清晰度 U_g 和固有不清晰度 U_i 的综合影响,可用式 (2-3) 表达:

$$U^2 = U_g^2 + U_i^2 \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

此外还有运动不清晰度。当工件相对于射线源或射线源相对于工件移动照相时,实际上相当于源尺寸增加,这种由运动状态产生的几何不清晰度称为运动不清晰度。当运动透照时,这种因素的影响还是很大的。除上述情况之外,影响射线照相不清晰度的其他因素还有散射线、胶片颗粒、灰雾度和显影条件等。

由于在提高底片质量和提高缺陷检出率方面,不清晰度起着十分重要的作用,因此,有效地对不清晰度进行评定和控制是十分必要的。

(1) 几何不清晰度控制和评定

目前,世界各国的标准对几何不清晰度的控制是不一致的,大致有以下几种。JIS Z 3104 和 ISO 1106 按不同级别规定不同的 U_g 值,它与厚度无关。ASME-V 是按不同的厚度段规定不同的 U_g 值。JB/T 4730 标准则和 DIN 5411 标准一样,对 U_g 值的控制是按公式来表达的。对 JB 4730 标准的 A 级而言,其 U_g 的计算公式为 $U_g \leq \delta^{1/3}/7.5$ (δ 为工件厚度);对 AB 级,其 U_g 的计算公式为 $U_g \leq \delta^{1/3}/10$;对于 B 级来说, U_g 的计算公式为 $U_g \leq \delta^{1/3}/15$ 。

(2) 对固有不清晰度的控制

固有不清晰度在 X 射线检测情况下,比标准允许值小得多,因此,它对检测灵敏度的影响常被低估。据有关资料介绍,对 100kV ~ 400kV 为管电压和部分 γ 源的固有不清晰度进行了实验测定,400kV X 射线的 $U_{i\max}$ 为 0.17mm,管电压降低,固有不清晰度值下降而 Co^{60} 的 $U_{i\max}$ 为 0.55mm。要控制 U_i 值就必须控制管电压数值或控制 γ 源的使用。因此,JB/T 4730 标准对此作了明确规定:

- ① 在曝光时间允许的条件下,尽量采用较低的射线能量;
- ② 规定了透照不同厚度材料时允许采用的最高 X 射线管电压和管电压增量;
- ③ 对铝、钛、铜、铅等有色金属材料尽量采用 X 射线检测。

12. 增加 Se-75 射线源的应用:

压力管道制造安装和在用检测时,由于种种原因(包括制造安装工期、全位置检

测的工作平台等)往往不能或很难采用 X 射线进行检测,而采用 Ir-192 射线源时由于最小透照厚度往往不能满足要求,同时底片质量比较差,不能满足安全使用的要求,因此迫切需要采用一种新的射线源以满足压力管道的制造安装和在用检测要求。

Se-75 射线源由于最小透照厚度比较小: $10 \leq W \leq 40$ 、 $14 \leq W \leq 40$, 经合同各方同意, Se-75 源的最小透照厚度可降至 5mm, 基本上可以满足压力管道检测的厚度要求。同时由于 Se-75 射线源能量比较低(相对于 Ir-192 射线源来说), 射线底片的透照质量也比较好, 因此具有较广阔的应用空间。本标准将 Se-75 射线源和 X 射线源、Ir-192 射线源以及直线加速器一样作为射线检测的主要射线源考虑。

13. 确定焦距 L_1 的诺模图原理

诺模图是以简单的几何关系来表达函数的一种图解形式, JB/T 4730 标准用以确定 L_1 的诺模图是一种三线式诺模图。

根据 JB/T 4730 标准, L_1 的计算公式为:

$$\text{A 级:} \quad \lg L_1 - \lg 7.5 = \lg d + 2/3 \times \lg L_2 \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\text{AB 级:} \quad \lg L_1 - \lg 10 = \lg d + 2/3 \times \lg L_2 \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\text{B 级:} \quad \lg L_1 - \lg 15 = \lg d + 2/3 \times \lg L_2 \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

式中:

L_1 ——焦距, mm;

d ——焦点有效尺寸, mm;

L_2 ——工件表面至胶片的距离, mm。

三线式诺模图的基本原理就是依据梯形上底、下底和中线的定量关系。中线长度为:

$$ef = (ab + cd) / 2 \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

设 ab 数轴每刻度单位长度为 $\overline{X}$ mm, cd 数轴每刻度单位为 $\overline{Y}$ mm, ef 数轴每刻度单位为 $\overline{Z}$ mm, 且 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 点刻度读数为 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f , 则:

$$ab = (b - a) \overline{X} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

$$cd = (d - c) \overline{Y} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

$$ef = (f - e) \overline{Z} \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

式(2-7)就可表示为:

$$(f - e) \overline{Z} = [(b - a) \overline{X} + (d - c) \overline{Y}] / 2 \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

式(2-11)的通式为:

$$Z = Mx + nY \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

将式(2-12)和 JB/T 4730 标准 L_1 的计算式(2-4)、式(2-5)、式(2-6)相比较, 可能发现它们的格式是完全一致的, 如根据式(2-12)或式(2-4)、式(2-5)、式(2-6)回推过去, 均可获得 Z 或 L_1 数值轴位于中间, X 或 d 数轴和 Y 或 L_2 数值轴在 L_1 数轴

两侧成等距离分布关系的三线式诺模图,若在 d 数值轴上任取两点,再在 L_2 数值轴上任取两点,将对应点连接起来,即可达到以 d 数轴为上底, L_2 数值为下底, L_1 数值轴为中线的完整的梯形。

根据梯形图的中位线定理,可以推导出三元一次方程的通式(2-12),反之,由三元一次方程的通式或整理后的 L_1 方程式又可以导出梯形图或诺模图,这就是 JB/T 4730 标准确定焦距 L_1 的诺模图的原理。

14. 曝光量和曝光曲线

(1) 曝光量

X 射线照相,当焦距为 700mm 时,曝光量的推荐值为: A 级和 AB 级射线检测技术不小于 $15\text{mA} \cdot \text{min}$; B 级射线检测技术不小于 $20\text{mA} \cdot \text{min}$ 。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。

1994 版标准对最小曝光量只规定了一个数值,本标准根据所采用的射线检测技术规定了不同的曝光量,使用起来更有针对性,效果应该更好。

(2) 曝光曲线

对每台在用 X 射线设备均应做出经常检测材料的曝光曲线,依据曝光曲线确定曝光参数。对使用中的曝光曲线,每年至少应校验一次。射线设备更换重要部件或经较大修理后应及时对曝光曲线进行校验或重新制作。

制作曝光曲线所采用的胶片、增感屏、焦距、射线能量等条件以及底片应达到的灵敏度、黑度等参数均应符合本部分的规定。

曝光曲线是反映射线检测仪器性能的一项重要参数,对于提高和控制 X 射线透照质量是至关重要的,1994 版标准对此有所忽略,本标准对此进行了弥补,应该说是起到一种好的效果。

15. 背散射的控制

当散射线从背后入射时,由于“B”铅字有吸收作用,从理论上讲在“B”铅字的部位应比其他部位颜色淡,一般来说随着背散射线强度的增加,这种影像对比度将更趋明显。也就是说颜色对比越来越明显,因此这样的底片应废置重拍。而如果在较淡的背景上出现“B”的较黑影像时,虽然理由可能有很多,但有一点是肯定的,即主要不是由于背面散射线屏蔽不够的影响。因此这种情况不能作为散射线造成底片判废的依据,也反过来证明背散射防护没有出现什么问题。

16. 线型像质计的放置

JB/T 4730 标准规定,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。其基本放置原则如下:

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。这一点和 1994 版标准是不一样的，1994 版标准当时参照 ASME-V 的条文，规定当像质计放在胶片一侧的工件表面时，可直接将象质指数提高一级，而不需进行试验。经过多年的实践表明进行对比试验尽管要麻烦一点，但对于控制射线检测的质量还是有好处的，因此本标准明确规定单壁透照中像质计放置在胶片侧时，应进行对比试验。

17. 胶片宽度的选取原则

JB/T 4730 标准对于射线和超声检测的焊缝宽度范围进行统一的规定，底片评定范围的宽度一般为焊缝本身及焊缝两侧 5mm ~ 10mm 宽的区域。因结构或焊接方法等原因需要增大焊缝两侧评定宽度的，评定范围的宽度由合同各方商定。

这样规定主要考虑了三个因素：

① 使检测范围尽可能充分覆盖整个热影响区（通常焊缝两侧的热影响区小于 5mm），这样对保证焊缝的质量是十分重要的。

② 射线和超声两种检测方法是焊接接头内部缺陷的两种主要检测方式，对这两种检测方法尽量规定大体相同的检测范围，可使检测结果比较统一，不致产生一些不必要的扯皮现象。

③ 对于厚焊缝来说检测焊缝宽度范围条件也比较适中。

此外也考虑到实际生产是有时焊缝部位宽度小于圆形缺陷评定区的宽度，因此建议：如果焊缝部位宽度小于圆形缺陷评定区的最小宽度（10mm），则此时圆形缺陷评定区的宽度可以取实际焊缝宽度进行评定。

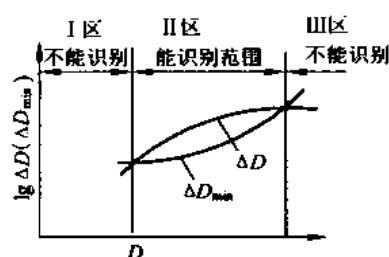
18. X 射线和 γ 射线的底片黑度范围

在射线底片上，能否识别或辨认出缺陷的影像主要取决于影像在底片中形成的黑度 ΔD （照相对比度）与界限识别对比度之间的关系。这种关系可能导致出现两种情况，即在式（2-13）的情况下，缺陷影像可以识别；而在式（2-14）情况下，缺陷影像不能识别。

$$\Delta D \geq \Delta D_{\min} \quad \cdots \cdots \cdots (2-13)$$

$$\Delta D < \Delta D_{\min} \quad \cdots \cdots \cdots (2-14)$$

以金属丝像质计为例，金属丝影像的对比度、界限识别对比度和底片黑度 D 之间的关系，如图 2-2 所示，可以发现在 I 区和 III 区由于 $\Delta D < \Delta D_{\min}$ ，所以不能识别金属丝的影像，只有在 II 区的黑度范围内，由于 $\Delta D \geq \Delta D_{\min}$ ，所以能够识别。按照目前流行的观点，随着底片黑度和观片灯亮度的增加，整个图形还要向右侧移动，识别效果会更好，也就是较大黑度的底片，检测灵敏度比较高。

图 2-2 金属丝的影像对比度、界限识别对比度和底片黑度 D 之间的关系

因此 JB/T 4730 标准规定：底片评定范围内的黑度 D 应符合下列规定：

A 级： $1.5 \leq D \leq 4.0$ ；

AB 级： $2.0 \leq D \leq 4.0$ ；

B 级： $2.3 \leq D \leq 4.0$ 。

用 X 射线透照小径管或其他截面厚度变化大的工件时，AB 级最低黑度允许降至 1.5；B 级最低黑度可降至 2.0。如果观片灯亮度能够满足检测要求，黑度 D 大于 4 的底片也可认为是合格的。

采用多胶片方法时，单片观察的黑度应符合以上要求。双片叠加观察仅限于 A 级，叠加观察时，单片的黑度应不低于 1.3。

19. 评片室内的光线要求

评片室内观片环境亮度对缺陷或像质计的图像识别有很大影响。由图 2-3 可知，在暗淡室内观察线径为 d 的金属丝影像时，若底片黑度为 D ，影像对比度为 ΔD ，则其关系可用凸形实线来表示；假如观片环境的亮度比较大时，底片黑度 D 不变，而影像对比度则由虚线所示。由此可明确地观察到底片能识别的黑度范围缩小。在实际评片时，由于各方面的原因，人们需要能在比较大的黑度范围内对底片进行评定。因此 JB/T 4730 标准规定在观察射线照相底片时，评片室内光线应暗且柔和。

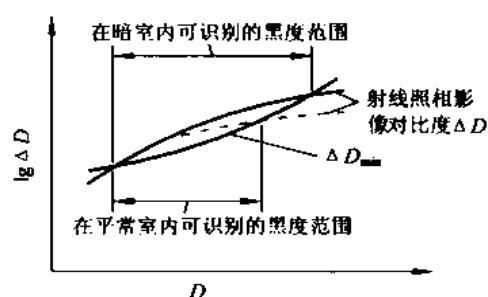


图 2-3 观片环境亮度对缺陷或像质计图像识别的影响

三、承压设备熔化焊对接焊接接头射线检测质量分级

1. 钢对接焊接接头射线检测范围

随着国内冶炼、轧制和锻造能力的不断发展，厚壁对接焊接接头的焊接技术（如窄

间隙焊等)获得广泛的推广应用,从而使厚壁容器等的制造水平和国产化取得重大突破,煤化工使用的单台热壁加氢反应器(锻焊结构)的重量已超过 2000 t,壁厚超过 336 mm。但 GB 3323—87 标准规定的钢对接焊接接头检测范围只有 2mm~200mm,JB 4730—94 标准的检测上限也只有 250mm,使得部分壁厚超过 250mm 的对接焊接接头的射线检测没有标准可依,有时只能采用国外的一些相关企业标准,给国内厚壁压力容器制造业带来很大困难。

目前,国际上一些先进标准对检测厚度范围是这样规定的:

BS 2600 标准为 2mm~200mm; ISO 标准为 2mm~200mm; DIN 54111 标准为 2mm~200mm(可达 300mm 以上); JIS Z3104 标准为 2mm~500mm。

在标准修订中,既考虑了实际生产的需要,同时也认真研究了扩大检测厚度的可行性(如透照能量、像质计、胶片质量、等级分类等),本标准规定对钢对接焊接接头检测范围为 2mm~400mm,基本上满足了国内生产的实际需要。

2. 钢对接焊接接头射线检测质量级别的划分

钢对接焊接接头质量级别的确定与承压设备所承受载荷的性质、大小、温度、介质以及环境条件有关。对接焊接接头中存在缺陷,强度必然会降低,其降低的程度通常因载荷性质不同而具有很大差异。实验数据表明,除低应力断裂这种特殊情况外,一般由静载荷引起的对接焊接接头强度降低远远小于冲击和往复动载荷引起的对接焊接接头强度降低。因此,JB/T 4730 中钢对接焊接接头射线检测质量级别主要是根据由缺陷引起的疲劳强度降低程度来确定的,同时根据实际需要,将其分为四个级别。

I 级对接焊接接头:对疲劳强度要求很高的对接焊接接头。通常是指核能、超高压或工作介质为剧毒物质的承压设备对接焊接接头,以及承受很大静载荷、动载荷和交变载荷的对接焊接接头(特别是在循环不对称交变载荷作用下的对接焊接接头)。由于这类对接焊接接头对疲劳强度要求相当高,因此一般应采用较高的质量等级(即 I 级)。此外由于余高的存在将使疲劳强度显著降低,所以采用 I 级作为合格级别的对接焊接接头通常不保留余高。

II 级对接焊接接头:对疲劳强度有一定要求的承压设备对接焊接接头,即高压或工作介质为有害气体对接焊接接头、以及承受较大动、静载荷或有限循环次数交变载荷的对接焊接接头。一般可以保留余高。

III 级对接焊接接头:基本不考虑疲劳强度的对接焊接接头,主要包括低压或工作介质为无害气体的对接焊接接头,以及一般只承受静载荷的对接焊接接头,保留余高。

IV 级对接焊接接头:不合格的对接焊接接头,即无法满足正常使用的承压设备对接焊接接头。

3. 根据射线透照底片确定实际缺陷的长度和宽度

除非检测很厚的工件,通常缺陷在胶片投影产生的线性放大很少有大于 5%。

评定缺陷长度时,可直接以底片的投影长度作为测定依据。当缺陷长度方向与胶

片方向有明显夹角时,评片可按经验对缺陷投影长度乘上一个修正系数来确定缺陷长度。但这种情况不多,通常也易于识别。

缺陷在底片上的影像宽度通常是由缺陷的投影宽度加上总的影像不清晰度构成的。除非考虑到宽度很窄的缺陷、固有不清晰度较大的高能射线或 γ 射线检测应进行修正外。在其他情况下底片上显示的影像投影宽度通常就作为缺陷的宽度来考虑。

4. 衍射斑纹的判别方法

一般来说,衍射斑纹主要发生在不锈钢对接焊接接头、不锈钢铸件、铝合金对接焊接接头和铝合金铸件的射线照相底片上。大致可以分为三类。

- ① 线状衍射斑纹;
- ② 羽毛状衍射斑纹;
- ③ 斑点状衍射斑纹。

通常在铝和不锈钢对接焊接接头底片上主要出现的是线状和羽毛状衍射斑纹,在铝和不锈钢铸件射线底片上主要出现的是斑点状衍射斑纹。由于衍射斑纹形状不规则,分布也无确定的规律,往往容易和夹渣等缺陷相混淆。当怀疑底片上是衍射斑纹时,除了进行仔细分析外,还可改变透照参数重新进行透照。缺陷影像一般不会随透照参数的变化发生明显的分布变化。而衍射斑纹通常会发生明显的变化。根据这种情况,可以比较准确地分辨衍射斑纹。

5. 底片上相邻缺陷的处理方法

由于条状夹渣类缺陷一般呈细长形,端部曲率半径很小,应力线密度较大。当缺陷在同一直线,且在同一深度时,在冲击或往复载荷作用下,由于缺陷端部应力集中,造成向两端缓慢扩展,往往使两条缺陷联起来形成一条大缺陷。在实际承压设备对接焊接接头检测时,多次发现过类似现象。

此外从断裂力学的角度来看,底片上在同一直线上的两个缺陷,即使不在同一深度(由于投影的缘故),其综合处理也将使缺陷的指示自身高度加大。由于断裂力学认为影响对接焊接接头强度的主要因素不是缺陷的长度而是缺陷在壁厚方向的尺寸(即自身高度)。因此,这样的缺陷危害性还是比较大的,对这样的缺陷提出较严格的要求也是比较合理的。

因此本标准延续1994版标准的思路,规定当底片上两个或两个以上的条状夹渣在一条直线上,且相邻间距小于较小夹渣长度时,应作为一个长缺陷处理,其间距也应计入。

6. 圆形缺陷评定区

对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以及不进行返修并不会影响产品安全运行的焊接接头(如奥氏体不锈钢、钛材、镍材返修后可能引

起抗腐蚀性下降、拘束度大的结构有可能产生很大的残余应力等),对其质量分级进行适当的放宽是必要和有道理的。

1994 版标准明确规定当评定区附近缺陷较少,且认为只用该评定区大小评定级别不适当时,经供需双方协商,可将评定区沿焊缝方向扩大三倍,求出缺陷总点数,用此值 1/3 进行评定。

本次修订主要参照日本 JIS 3104《钢焊缝射线探伤检验方法及照相底片等级分类方法》标准的要求,明确规定: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,经合同各方同意,各级别的圆形缺陷点数可放宽 1~2 点。作为射线评片人员,对不属于这种情况的,不得随意放松圆形缺陷质量要求,应尽可能对圆形缺陷准确评级,从焊接质量控制角度来限制焊接接头中圆形缺陷的数量和大小。

7. 深孔缺陷(针孔缺陷)质量分级

深孔缺陷(针孔缺陷)是承压设备焊接接头的一种潜在性危害缺陷,严重影响焊接接头的致密性。往往在水压试验时造成泄漏或者在使用一段时间后因腐蚀泄漏而导致失效。因此承压设备射线检测对该问题历来都给予充分重视。但多年的实践表明对深孔缺陷的判断不能仅以直径或点数来控制,而采用其他判断形式又缺乏明确的判据和门槛值,所以在 1994 版标准中对此没有明确的规定。

本次修订考虑到各方面的因素,明确规定:对致密性要求高的对接焊接接头,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。通常将黑度大的圆形缺陷定义为深孔缺陷,当对接焊接接头存在深孔缺陷时,其质量级别应评为Ⅳ级。实际工作中通常以焊接结构的某一特征量为参照依据,如对较薄有余高的焊接接头可以母材厚度为基准,当圆形缺陷的黑度大于母材时,该缺陷即可评为深孔缺陷。

8. 缺陷综合质量级别

影响承压设备焊接接头安全状况的三要素为:材料、应力、缺陷。从失效的角度看,可以将承压设备的焊接接头视为一个串联系统,其失效总是由最薄弱的焊缝环节引起的,其他环节无法对最薄弱环节进行补偿。

承压设备根据射线检测结果最低质量等级作为焊接接头的最终综合质量级别应该是最为合理的。

因此本标准规定:当各类缺陷评定的质量级别不同时,以质量最差的级别作为焊接接头的质量级别。

四、承压设备管子及压力管道熔化焊环向对接焊接接头射线检测质量分级

1. 检测范围

本条适用于壁厚大于或等于 2mm 的钢、不锈钢、镍及镍合金、铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金管子及压力管道环向对接焊接接头的射线检测质量分级。压力管

道纵向对接焊接接头和螺旋管对接焊接接头的射线检测也可参照本章的有关规定执行。

对检测范围作如此规定，主要考虑到两个因素：

① 目前石油、化工、国防军工等行业的工艺管路大量采用有色金属的管道，对于这类管道应有相应的无损检测标准规范；

② 由于目前中石油、中石化集团公司和其他一些单位都在建造油、气长输管线，管线主要采用高强度的板卷管和螺旋管（控轧板），为了保证管线的长周期安全运行，本标准增加对压力管道纵向对接焊接接头和螺旋管对接焊接接头的射线透照的检测内容。

2. 管径大于 100mm 的压力管道环向对接焊接接头分段透照数量

在钢管环向对接焊接接头的射线检测中，多大管径的钢管射线透照需要考虑 K 值和多大管径的钢管不需要考虑 K 值的问题争议一直比较大，给钢管环向对接焊接接头的检测带来许多困难和困惑，同时也给管道的管理造成许多漏洞。根据这种情况，本标准依据 JIS Z3050《管道对接焊接接头无损检测》对此作了明确规定。

JIS Z3050—87 标准的适用范围为管径大于 100mm、压力 $p \geq 0.98\text{MPa}$ 的输送石油、煤气和液化石油气管道，钢材的抗拉强度大于 350N/mm^2 且小于 580N/mm^2 ，和国内使用的压力管道技术条件基本一致。该标准用在双壁单影透照时规定，若 $R \leq 200\text{mm}$ ，焦距 $L_1 \geq 3R$ ；若 $R > 200\text{mm}$ ，焦距 $L_1 > 600\text{mm}$ ；此时底片的一次有效长度 $L_3 \leq L_1 R / (L_1 + R)$ 。经推算底片有效长度的公式和 JB 4730 标准中对环缝要求 K 值为 1.1 的规定基本相符。本着学习、借鉴国外先进标准的原则，标准修订组明确规定管径大于 100mm 的钢管环缝分段透照数量的确定应考虑 K 值。

表 2-4

射线检测技术级别	A 级；AB 级	B 级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1$	$K \leq 1.06$

但同时考虑到像 Q235-A、20R、20g 等低碳钢材料的缺口敏感性比较低，焊接性能比较好，如能加强对焊接工艺的质量控制，质量应该是有保证的，因此对 $100\text{mm} < D_o \leq 400\text{mm}$ 的环向对接焊接接头（包括曲率相同的曲面焊接接头）分段透照数量可以适当放宽，A 级、AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。

第3章 JB/T 4730.3 超声检测

一、主题内容和检测范围

1. 国内、外承压设备超声检测标准

(1) 国内承压设备超声检测标准的发展

JB 1150—73《压力容器用钢板超声波探伤》;

JB 1151—73《高压无缝钢管超声波探伤》;

JB 1152—73《锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》和 JB 755—73《压力容器锻件技术条件》→JB 1152—81《锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》;

JB 3144—82《锅炉大口径管座角焊缝超声波探伤》;

GB 4163—84《不锈钢管超声波探伤方法》;

JB 3963—85《压力容器锻件超声波探伤》;

GB 5777—86《无缝钢管超声波探伤方法》和 GB 7734—86《复合钢板超声波探伤方法》→ZB J 74003—88《压力容器用钢板超声波探伤》;

GB 11345—89《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》和 GB/T 2970—91《中厚钢板超声波探伤方法》→JB 4730—94《压力容器无损检测》;

JB 4733—96《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板》→JB 4730—2005《承压设备无损检测》。

(2) 国外承压设备主要的超声检测标准

日本: JIS G0801—93《压力容器钢板超声检测》、JIS G0601—89《复合钢板超声检测方法》、JIS Z3060—94《钢焊缝超声波探伤方法及探伤结果的等级分类方法》、JIS Z3080—95《铝焊缝超声波斜角探伤方法及探伤结果的等级分类方法》、JIS Z2344—93《金属材料脉冲反射法超声检测通则》、JIS Z2345—94《超声检测用标准试块》、JIS Z3050《管道焊缝无损检测方法》等;

德国: DIN 54123《复合层超声波检验》、DIN 54125《焊缝超声波检验》、DIN 54126《超声波检验一般规则》等;

美国: ASME E-114《接触法脉冲纵波反射超声检验》、ASME E-164《焊缝超声波检验》、ASME A-388《大型钢锻件超声波检验方法》、ASME A-435《压力容器钢板超声波检验方法》、ASME E-1065《超声探头特性评定指南》、ASME E-213《金属输送管道和管材超声检测方法》等;

英国: BS 3923《焊缝超声波检验方法》、BS 3889《管子无损检测》、BS 4124《钢

锻件超声波检验方法》、BS 5996《钢板超声波检验及质量评定方法》等；

国际标准化组织：ISO 5180《超声波检验用钢校准试块》、ISO 10375—97《无损检测—超声检验—探头和声场的特征》等；

欧盟：EN 583—98《无损检测—超声检测》、EN 10288—99《钢锻件无损检测》、EN 1714—97《焊缝的无损检测—焊接接头的超声检测》、EN 10246—97《钢管的无损检测》、EN 10160—99《厚度大于或等于 6mm 钢板的超声检测》、EN 12668—2000《超声检验设备的特性和校验》等。

2. 检测范围

JB/T 4730 的本部分规定了承压设备采用 A 型脉冲反射式超声波探伤仪检测工件缺陷的超声检测方法和质量分级。

本部分适用于金属材料制承压设备用原材料、零部件和焊接接头的超声检测，也适用于金属材料制在用承压设备的超声检测。对于不同检测对象对应的超声检测厚度范围可参见表 3-1。

表 3-1 不同检测对象相应的超声厚度检测范围

超 声 检 测 对 象	适用于厚度范围, mm
碳素钢、低合金钢、镍及镍合金板材	母材 6 ~ 250
铝及铝合金和钛及钛合金板材	厚度大于或等于 6
碳钢、低合金钢锻件	厚度小于或等于 1000
不锈钢、钛及钛合金、铝及铝合金、镍及基合金复合板	基板厚度大于或等于 6
碳钢、低合金钢无缝钢管	外径为 12 ~ 660、壁厚大于或等于 2
奥氏体不锈钢无缝钢管	外径为 12 ~ 400、壁厚为 2 ~ 35
碳钢、低合金钢螺栓件	直径大于 M36
全熔焊对接焊接接头	母材厚度为 6 ~ 400
铝及铝合金制压力容器对接焊接接头	母材厚度大于或等于 8
钛及钛合金制压力容器对接焊接接头	母材厚度大于或等于 8
碳钢、低合金钢压力管道环焊缝	壁厚大于或等于 4.0, 外径为 32 ~ 159, 或壁厚为 4.0 ~ 6, 外径大于或等于 159
铝及铝合金接管环焊缝	壁厚大于或等于 5, 外径为 80 ~ 159, 或壁厚为 5.0 ~ 8, 外径大于或等于 159
奥氏体不锈钢对接焊接接头	母材厚度 10 ~ 50

3. 本部分相对 1994 版标准的主要变化

- ① 对壁厚小于 3 倍近场区工件材质衰减系数公式进行修正；增加了奥氏体不锈钢

和双相不锈钢钢板、铝及铝合金板材、钛及钛合金板材超声检测内容；统一了爆炸和轧制复合钢板超声检测内容。

② 将钢制承压设备对接焊接接头超声检测范围扩大到 6mm~400mm，对对接焊接接头超声检测试块进行了局部调整；增加了钢制承压设备对接焊接接头超声检测等级分类的内容；增加了 T 型焊接接头以及奥氏体不锈钢承压设备对接焊接接头的超声检测内容。

③ 增加了壁厚大于或等于 4mm，外径为 32mm~159mm 或壁厚为 4mm~6mm，外径大于或等于 159mm 的钢制承压设备管子、压力管道环向对接接头超声检测内容；增加了壁厚大于或等于 5mm，外径为 80mm~159mm 或壁厚为 5mm~8mm，外径大于或等于 159mm 的铝及铝合金环向对接焊接接头超声检测内容。

④ 增加了在用承压设备超声检测内容。

二、一般性要求

1. 超声波探伤仪

① A 型显示脉冲反射式超声波探伤仪：A 型显示是一种波形显示，探伤仪荧光屏的横坐标表示超声波的传播时间（或距离），纵坐标表示超声反射波的波幅。探伤仪通过探头向被检测工件周期性发射不连续且频率不变的超声波，根据声波的传播时间及反射幅度来判断工件中缺陷的位置和大小，这是目前使用最广泛的超声波探伤仪。

② B 型显示超声波探伤仪：B 型显示是一种图像显示，探伤仪荧光屏的横坐标表示探头机械扫描的扫描轨迹，纵坐标表示超声波的传播时间（或距离），可直观显示被检工件任一纵截面上缺陷的分布和缺陷的深度。

③ C 型显示超声波探伤仪：C 型显示也是一种图像显示，探伤仪荧光屏的横坐标和纵坐标都是靠机械扫描来表示探头在工件表面的位置。探头接收反射波的幅度以光点辉度表示。当探头在工件表面移动时，荧光屏上可显示工件内部缺陷的平面图像，但不能表示深度。

本标准采用的主要是 A 型显示脉冲反射式超声波探伤仪。

2. 仪器至少在荧光屏满该度的 80% 范围内呈线性显示的概念

“仪器至少在荧光屏满刻度的 80% 范围内呈线性显示”这句话源于 ASTM E317-85《不采用电子测量仪器评价脉冲回波式超声检测系统工作性能的方法》，它表示仪器利用试块产生幅度比为 2:1 的两个互不干扰信号，改变增益，在整个荧光屏范围内观察两回波比值的误差变化，并使其限制在 5% 的范围内，由此所得到的垂直极限范围应不小于荧光屏满刻度的 80%，这个参数量不同于国内所指的动态范围和垂直线性，而是它们的综合反映。

这个概念是从国外引进的，在 ZB J 74003—88 和 JB 3963—85 中曾用过，但都未很好地说明，造成一些误会，在此一并予以说明。

3. 超声波探头

① 单直探头：直探头主要用于发射和接收纵波，又称为纵波探头。

② 单斜探头：根据入射角度的不同，单斜探头可分为纵波斜探头、横波斜探头、表面波斜探头、爬波探头和板波探头。

③ 双晶探头（分割探头）：双晶探头有两块压电晶片，一块用于发射超声波，一块用于接收超声波，根据探头入射角不同，分为双晶纵波探头和双晶横波探头两种。主要用于检测近表面缺陷。

④ 聚焦探头：根据焦点形状不同可分为点聚焦和线聚焦。点聚焦的声透镜为球面，线聚焦的声透镜为柱面。根据耦合情况不同，可分为水浸聚焦和接触聚焦两种。

⑤ 可变角探头：可变角探头入射角是可变的。可实现纵波、横波、表面波和板波检测。

⑥ 高温探头：高温条件(80℃~700℃)下使用的探头，其压电晶片选用居里温度较高的铌酸锂(1200℃)等材料制作。

⑦ 电磁探头：电磁探头检测为非接触检测，不用耦合剂可用于粗糙表面和高温工件检测。主要通过改变涡流与恒定磁场的方向，产生超声纵波和横波。电磁探头换能效率低，且只能探测导电材料。

此外还有水浸探头等。

本标准不拒绝某些特殊探头的使用，但在实际使用时，特殊探头应和标准中规定的探头进行对比和标定。

4. 超声检测仪和探头的组合频率与公称频率误差

超声检测时，频率和波长是两个非常重要的参数，它对于探头的近场区、指向角、缺陷反射回波的幅度，试块宽度和缺陷定量等具有极其显著的影响，将直接涉及缺陷等级评定的正确性。而在实际超声检测时，由于探头制作时本身的频率误差、探头和仪器组合而引起的对频率的影响，其实际工作频率往往与公称频率差距比较大，严重地影响了检测结果的可靠性。因此 JB/T 4730 标准规定仪器和探头的组合频率与公称频率的误差不得大于 $\pm 10\%$ ，并将其作为重要参数加以控制，以减少干扰，提高超声检测可靠性。上述内容在ГОСТ、BS 和 JIS 标准中也有类似规定。

5. 始脉冲宽度和盲区

盲区是指从探测面到能够发现缺陷的最小距离。盲区的大小与仪器的阻塞时间和始脉冲宽度有关。

始脉冲宽度是指在一定的灵敏度下，示波屏上高度超过满刻度 20% 的始脉冲延续长度。始脉冲宽度与晶片的机械品质因子 Q_m 和发射强度有关。 Q_m 值大，发射强度大，始脉冲宽度大。同样始脉冲宽度愈大，能够发现缺陷的最小距离也愈大。

对于中薄钢板 ($t > 40\text{mm}$) 单直探头超声检测来说, 其厚度方向检测范围本来就比较小, 如果再考虑到检测盲区的影响, 可以检测的部位就屈指可数了, 这样的检测结果对于保证钢板的质量水平, 提高承压设备的长周期安全是不利的。在实际超声检测的情况下, 控制单直探头始脉冲宽度, 并将其保持在一个可接受的范围内, 对于中薄钢板的超声检测来说是至关重要的。因此本标准规定:

① 仪器和直探头组合的始脉冲宽度 (在基准灵敏度下): 对于频率为 5MHz 的探头, 宽度不大于 10mm ; 对于频率为 2.5MHz 的探头, 宽度不大于 15mm ;

② $t \leq 20\text{mm}$ 中薄钢板超声检测应采用双晶直探头。

6. 在荧光屏绘制距离—波幅曲线

在荧光屏上绘制距离—波幅曲线, 应特别注意基准波高不要选得过高, 最大探测距离处的曲线 (波高) 位置不得过低, 如果上述两条要求不能同时满足, 可以重新挑选超声波探头, 也可以分段绘制距离—波幅曲线。

实际绘制时, 基准波高通常选择为荧光屏满刻度的 $60\% \sim 80\%$ 。全跨距探伤时, 深度为工件厚度 2 倍的孔的反射波幅最好不低于荧光屏满刻度的 40% , 至少应不低于荧光屏满刻度的 20% 。因为曲线位置太高或太低, 将超出仪器的线性动态范围, 检测的线性变差, 对缺陷的定性、定量带来很大的不确定度, 且波幅过低时, 探头扫查过程中的回波动态变化不易观察到, 容易导致缺陷漏检。

7. 全波消失法的概念

ASME-V 篇是以荧光屏满刻度 5% 作为全波消失和存在的界限值。本标准采用 ASME 的定义, 明确规定全波消失法是指在某一当量灵敏度条件下, 利用底波或缺陷回波降至荧光屏满刻度 5% 以下作为全波消失的界限值, 来判定缺陷是否存在和确定缺陷尺寸大小的检测方法。

8. 进行校验时, 抑制或滤波开关的使用

抑制和滤波开关的调节主要是限制检波后缺陷信号的输出幅度和变化范围, 从而抑制或滤去较小的杂波信号。由于上述开关都是非线性的, 因此, 一经使用则导致主信号波形变化、垂直线性变坏, 动态范围变小, 线性区域改变, 将严重影响校核、复核和线性检验结果, 并造成缺陷判断失误。因此, JB/T 4730 标准规定进行超声校准、复核和线性校验时, 应将抑制、滤波开关等置于“关”的位置或处于最低水平上。

9. 本部分采用的标准试块、对比试块和校准用反射体

(1) 本部分采用的标准试块有:

① 钢板用标准试块: CBI、CBII;

② 锻件用标准试块: CSI、CSII、CSIII;

③ 焊接接头用标准试块：CSK-I A、CSK-II A、CSK-III A、CSK-IV A。

(2) 对比试块是指用于检测校准的试块。

对比试块的外形尺寸应能代表被检工件的特征，试块厚度应与被检工件的厚度相对应。如果涉及两种或两种以上不同厚度部件对接焊接接头的检测，试块厚度应由其最大厚度来确定。

(3) JB/T 4730 标准规定的超声校准用反射体有长横孔、短横孔、横通孔、平底孔、V 型槽和其他线切割槽等。

横通孔和长横孔具有轴对称特点，反射波幅比较稳定，有线性缺陷特征，适用于各种 K 值探头。一般代表工件内部有一定长度的裂纹、未焊透、未熔合和条状夹渣。通常使用在对接焊接接头、堆焊层的超声检测中，也有用在螺栓件和铸件检测的。

短横孔在近场区表现为线状反射体特征，在远场区表现为点状反射体特征。主要用于对接焊接接头检测。适用于各种 K 值探头。

平底孔一般具有点状面积型反射体的特点，主要用于锻件、钢板、对接焊接接头、复合板、堆焊层的超声检测。通常适用于直探头和双晶探头的校准和检测。

V 型槽和其他切割槽具有表面开口的线性缺陷的特点。适用于钢板、钢管、锻件等工件的横波检测，也可模拟其他工件或对接焊接接头表面或近表面缺陷以调整检测灵敏度。检测或校准时，通常采用 $K1$ 斜探头，根据需要，也可采用其他 K 值探头。

三、承压设备原材料、零部件的超声检测

1. 奥氏体钢板材和双相钢钢板的超声检测

国内以前的钢板超声检测标准都明确规定不包括奥氏体钢板材和双相钢的超声检测。但是，随着承压设备制造业的发展与国外交往的不断扩大，实际工作中，有时也会牵涉到奥氏体和双相钢钢板的检测。由于没有相应的标准可执行，因此许多单位对此做了大量的试验研究，并进行了一些解剖验证。发现采用常规的钢板超声检测方法对奥氏体钢和双相钢板材是适用的，缺陷等级分类部分也是可行的，因此，本标准规定奥氏体钢和双相钢板材可按碳钢和低合金钢板材的方法进行检测，但同时也考虑到这些试验主要是针对 50mm 以下的奥氏体钢和双相钢板材，对于壁厚比较厚的奥氏体钢板材来说，由于轧制引起的晶粒粗大和各向异性将导致检测情况趋于复杂，有些情况还不是很清楚，因此，本标准为保证条文严格和准确起见，规定奥氏体钢和双相钢板材的超声检测可参照本标准的规定执行。

2. 钢板超声检测灵敏度和横波检测

当钢板进行超声检测时，若缺陷尺寸较小，则缺陷回波和底面回波同时存在，由于叠加效应，缺陷的多次回波会出现逐渐升高，当升高到一定程度后又逐渐降低的现象，这种情况将严重影响定量的准确性，甚至导致误判。因此，在钢板超声检测时，

为了避免叠加效应的干扰，一般应以一次底波前的缺陷回波作为评定基准。当板材较薄，波束不容易分辨时，可采用第二次缺陷波和第二次底波来评定缺陷。同时为了抵消叠加效应的影响，规定在此情况下，应以相应的第二次底面或参考反射体的反射回波来校准检测灵敏度。厚钢板在轧制成型时，若轧制能力或轧制比不够，往往可能产生与检测表面成一定角度的缺陷，它要比平行于检测面的夹层类缺陷具有更大的危害，对这类缺陷的检测是非常重要的。但考虑到国内目前钢板生产的实际情况，本标准规定只有对缺陷有疑问或供需双方技术协议上有规定时，方采用横波检测，同时在附录中增加了横波检测的具体内容。

3. 单个指示面积不计的缺陷是否参与钢板评定分级

钢板超声检测主要是针对钢板的分层和夹灰等缺陷的，轧制钢板缺陷的最大特征就是平行于轧制平面，所谓的单个指示面积不计的缺陷主要是指钢板中的小分层缺陷。由于这类缺陷对钢板的强度影响不大，同时产生较大数量的小分层缺陷的几率也比较低，因此，对这类小分层缺陷，在用缺陷面积百分比进行评定分级或多个相邻缺陷进行叠加时，为统一起见，一律不予考虑。但对于钢厂来说，如果有类似问题发生，应对炼钢工艺和非金属氧化物的去除工艺进行修正和改进，以保障承压设备的安全运行。

4. 钢板超声检测的质量分级

新的 GB 6654 标准（草案）规定按用户要求可同时采用 GB 2970 和 JB/T 4730 进行钢板的订货。但目前钢厂有 90% 以上的钢板是按照 JB/T 4730 的要求进行订货的，其中有相当一部分（尤其是厚度大于 120mm 的钢板）并不用于承压设备的制造安装，而是用于各个不同行业的支承件和结构件。由于作为支承件和结构件的厚钢板并不需要太高的质量，因此根据钢厂的要求增加钢板（Ⅳ级）的级别分类，供与承压设备有关支承件和结构件的制造安装使用，也可供其他行业选用。

5. 锻件的超声检测范围

锻件缺陷主要有缩孔残余、疏松、夹杂、白点和裂纹等。缩孔残余是铸锭中的缩孔在锻造时切头量不足所残留下来的，多见于锻件的端部；疏松是钢锭在凝固收缩时形成的不致密和孔穴。在锻造时因锻造比不足而未全熔合，主要存在于钢锭中心及头部；夹杂有内在夹杂、外表非金属夹杂和金属夹杂。白点是由于锻件含氢量较高，锻后冷却过快，钢中溶解的氢来不及逸出，造成应力过大引起开裂而形成的。白点主要集中于锻件大截面中心，一般总是成群出现。裂纹有铸造裂纹、锻造裂纹和热处理裂纹三种，通常是由于锻造和热处理工艺不当，而在锻件表面或心部形成的。从某种意义上说，锻件可产生的缺陷分布在锻件的全体积内。

本标准由于采用了双晶直探头和双晶探头校准试块，利用实测的距离—波幅曲线来校正灵敏度，从而回避了双晶直探头的回波特性和声场规律的变化，使检测结果能

基本如实地反映工件实际情况,同时由于双晶直探头盲区较小,可以检测近表面缺陷。因此,本标准对检测厚度范围不再加以限制,以满足各类中小锻件的检测需要。

6. 材质衰减系数

JB 4730—94 标准主要考虑采用厚壁试块来测量衰减系数,本标准在此基础上增加采用薄壁试块测量衰减系数的内容。由于厚壁试块和锻件的组织状况比较接近,采用厚壁试块测量锻件的衰减系数应该说是比较合理的,薄壁试块的组织性能和锻件相比差得比较多,本标准不拒绝薄壁试块,但建议尽量采用厚壁试块。

(1) 薄壁试块测量衰减系数

衰减系数的计算公式 ($T < 3N$, 且满足 $n > 3N/T$, $m = 2n$):

$$\alpha = [(B_n - B_m) - 6\text{dB}] / 2(m - n)T \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

式中:

α ——衰减系数, dB/m (单程);

$(B_n - B_m)$ ——两次衰减器的读数之差, dB;

T ——工件检测厚度, mm;

N ——单直探头近场区长度, mm;

m 、 n ——底波反射次数。

(2) 厚壁试块测量衰减系数

衰减系数的计算公式 ($T > 3N$):

$$\alpha = [(B_1 - B_2) - 6\text{dB}] / 2T$$

7. 锻件超声检测中的游动信号

游动信号就是指随着探头在锻件表面移动,缺陷回波信号在时基线上随之移动,若信号前沿移动距离大于或等于 25mm 时,则该信号称之为游动信号(与 ASME 的相关规定一致)。

游动信号之所以产生,主要由于超声波呈束状向外传播,当缺陷取向与检测面倾斜一个角度时,探头每移动一个点,声程就会发生变化,且缺陷波在扫描线上位置相应发生变化,如图 3-1 所示。探头移动速度快,不同声程缺陷波的变化也快,于是构成缺陷游动信号。以第一次底面回波为基准,圆形或筒形锻件产生的游动信号可分为两种:一种是底波前的游动;另一种是底波前后游动。在底波前游动的信号通常是由偏析缺陷引起的。在底波前后游动的信号,主要是由圆形锻件内部或空心圆柱体内孔壁上呈径向或切向的缺陷所引起的。

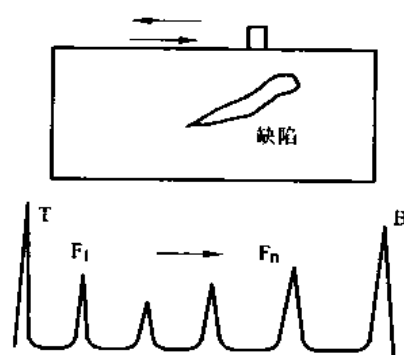


图 3-1 锻件超声检测中的游动信号

长期以来，人们认为游动信号来自裂纹类缺陷。虽然试验研究表明，裂纹回波信号不一定游动，游动信号也不一定全是裂纹。但一般说，具有游动信号特征的缺陷具有明显的方向性，对锻件危害比较大，因此说游动信号是一种危险信号，需要在超声检测中加以特别注意。游动信号除与声程差有关外，还与检测灵敏度、重复频率、锻件内部组织、缺陷与检测面的方位角和探头的指向角有关，因此，检测时应综合考虑和合理使用适当的频率及灵敏度，使检测结果更准确可靠。

8. 由缺陷引起的底面回波降低量是评价锻件质量的重要参数

在锻件检测中，底面回波的变化情况对于锻件质量的评价是至关重要的。通常当缺陷回波很高，并有多次重复回波，且底波严重下降甚至消失，则表明锻件中存在平行于探测面的大面积缺陷；若缺陷回波和底面回波都比较低甚至消失，则表明锻件中存在大面积与探测面倾斜的缺陷或在探测面附近有大缺陷；若示波屏上出现密集的彼此相连的缺陷回波（通常比较低）、底面回波明显下降或消失，则表示锻件中存在密集性缺陷。

综上所述，可以发现由缺陷引起的底波降低量是锻件质量指标的一个很重要因素，尤其是后两种情况仅靠单个缺陷或密集区缺陷两项指标是无法进行评定的，因此，为了保证锻件的质量、提高设备的可靠性，本标准规定将由缺陷引起的底波降低量作为评价锻件质量的一个重要参数。

9. 锻件修复和修复后的检测

由于承压设备用锻件价格贵和制造周期长，一旦报废将给生产带来极其巨大的损失。因此，不管是锻件生产厂或是制造厂对锻件的修复及检测都十分重视。本标准对锻件的修复和检查是这样考虑的：一旦锻件发现有不允许的缺陷，则应进行挖、刨消除，并对其表面进行表面检测，以验证缺陷是否完全消除；然后进行焊补，焊补表面应进行表面检测，焊肉内部应用直探头或双晶直探头进行检测，并按锻件的要求进行评价。关于焊肉检测这个问题，在标准制定时曾有过一些争议，有些单位提出锻件修补处实际上是对接焊接接头，为什么不按对接焊接接头的要求进行检测。对此，本标准编制组和锻件标准编制组进行了协调，认为修补后的锻件以后还是作为锻件来使用，

其所有性能都应满足锻件的要求，从这个意义上来看，修补处还是按锻件要求进行超声检测比较合理。因此，本标准规定锻件修复后应按锻件标准进行检测评定。

10. 承压设备锻件的横波检测

锻造缺陷一般呈面状，且垂直于主锻造方向，因此，锻件超声检测时，一般选用直探头采用纵波进行检测，以取得较好的检测效果。但由于有些锻件形比较复杂，而且锻造方向千变万化，也可能产生取向各异的各种缺陷，此时仅靠直探头纵波检测已不能满足质量要求，而必须增加采用横波检测工序以取得较好的检测效果，如超高压整体锻造气瓶、筒形和环形锻件等等都存在这个问题。此外由于锻件缺口敏感性比较高，所以本标准为了满足实际生产的需要，规定对筒形锻件等应进行横波检测，但扫描部位和验收标准应由供需双方商定。

为了统一检测方法，本标准还在附录（补充件）中规定了超声横波检测的有关内容，供有关方面采用。其中钢锻件超声横波检测质量分级就是本次修订新增加的内容。

- ① 缺陷波幅大于距离一波幅曲线（基准线）的质量等级定为Ⅲ级。
- ② 波幅在距离一波幅曲线（基准线）50%~100%的缺陷按表 3-2 分级。

表 3-2 缺陷质量等级

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

具体锻件采用的级别由供需双方商定。

11. 铸件超声检测

通常采用超声检测的铸件主要有球墨铸铁件和铸钢件两种，其所含的石墨一般呈球状或团絮状。由于石墨体强度很低，因此可将该部位看作孔洞，实际上就相当于工件中的气孔和夹渣。压力容器铸件目前在行业上用得比较少，使用压力也比较低，在 GB 150 和《压力容器安全技术监察规程》中也没有提出很明确的要求，因此，JB/T 4730 标准制订时，没有涉及到铸件超声检测的问题。

对于这类承压铸件的检测，合肥通用所曾于上世纪 90 年代初制定过两个标准，即 JB 5439—91《压缩机球铁零部件的超声波探伤》和 JB 5440—91《压缩机铸钢零部件超声波探伤》。由于这两个标准适用于压缩机系统的高压气缸和高压气缸头铸件的超声检测，这些铸件实际上就是一个压力容器。因此，对于需要进行超声检测的压力容器铸件，若没有对应的检测标准时，可以参照上述两个标准进行超声检测。

12. 双相钢锻件的超声检测

双相钢是铁素体加奥氏体或珠光体加奥氏体的机械混合物，目前在化工行业得到了广泛的应用。如法国进口的尿素设备中，许多以甲氨为介质的设备中大量的采用了双相钢锻件。对于这类双相钢锻件的超声检测，合肥通用所自上世纪 80 年代初已对此做了大量的试验研究，在此基础上标准编制组做了一些规定。即：对于这类锻件，当奥氏体含量小于或等于 50% 时，可采用 JB/T 4730.3 部分 4.2 的规定进行超声检测。当奥氏体含量大于 60% 时，可进行一些对比试验，以确定是采用 JB/T 4730.3 部分 4.2 的规定还是采用 JB/T 4730.3 部分 4.7 的规定进行超声检测。当奥氏体钢含量大于 80% 时，可采用 JB/T 4730.3 部分 4.7 的规定进行超声检测。

13. 承压设备铝合金板材和钛合金板材超声检测

承压设备铝合金板材、钛合金板材和镍合金板材超声检测在 JB 4730—94 标准中是空白点，但《压力容器安全技术监察规程》对此有相应的检测要求，为了适应行业的要求，本标准在这次修订中增加了这部分内容，检测方法主要依据钢板检测的内容编写，质量等级则主要根据 ASME-V 中 SA-435/SA-435M、SB-548、SB509 的有关规定划分，见表 3-3。

表 3-3 板材缺陷等级划分

等级	单个缺陷指示长度, mm	单个缺陷指示面积, cm^2	以下单个缺陷指示面积不计, cm^2
I	< 25	< 6	< 4
II	< 50	< 20	< 9
III	< 75	< 50	< 25
IV	缺陷大于 III 级者		

14. 铝合金板材和钛合金板材的超声定量检测

(1) 将探头置于待检板材完好部位，调节第一次底波高度为荧光屏满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。

(2) 在检测过程中，发现下列情况之一者即作为缺陷处理：

- ① 缺陷第一次反射波 (F_1) 波高大于或等于满刻度 40%，即 $F_1 \geq 40\%$ 者；
- ② 缺陷第一次反射波 (F_1) 波高低于满刻度的 40%，同时，缺陷第一次反射波 (F_1) 波高与底面第一次反射波 (B_1) 波高之比大于或等于 100%，即 $F_1/B_1 \geq 100\%$ 者；
- ③ 当底面第一次反射波 (B_1) 波高低于满刻度的 5%，即 $B_1 < 5\%$ 者。

(3) 缺陷的边界范围或指示长度的测定方法

- ① 检出缺陷后，应在它的周围继续进行检测，以确定缺陷的延伸；
- ② 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，并使缺陷波下降到基准灵敏度条件下荧光屏满刻度的 20% 或使缺陷第

一次反射波高与底面第一次反射波高之比为 100%。此时,探头中心的移动距离即为缺陷的指示长度,探头中心点即为缺陷的边界点。两种方法测得的结果以较严重者为准确;

③ 用单直探头确定缺陷边界或指示长度时,移动探头,使缺陷第一次反射波高下降到检测灵敏度条件下荧光屏满刻度的 20%或使缺陷第一次反射波高与底面第一次反射波高之比为 100%。此时,探头中心移动距离即为缺陷的指示长度,探头中心即为缺陷的边界点;两种方法测得的结果以较严重者为准确;

④ 确定底波降低缺陷的边界或指示长度时,移动探头(单直探头或双直探头),使底面第一次反射波升高到荧光屏满刻度的 40%。此时,探头中心移动距离即为缺陷的指示长度,探头中心点即为缺陷的边界点。

15. 承压设备复合钢的板超声检测

JB 4730—94 标准复合钢板超声检测的内容主要是依据 GB 7734—86 和 JIS G0601—82 的原则和内容制定的,本来考虑包括轧制复合钢板、爆炸复合钢板和堆焊复合钢板。当时由于热壁加氢反应器的国产化堆焊复合钢板的使用条件越来越苛刻,仅检测复合板贴合度不能满足要求,因此将这部分内容在堆焊层的检测部分体现;爆炸复合钢板超声检测的内容由于国际上标准变化很大,JB 4730—94 标准无论是从试块或是检测方法都无法涵盖,因此爆炸复合钢板超声检测的内容由 JB 4733—96 标准替代;实际上 1994 版标准中复合钢板超声检测仅包括轧制复合钢板。

本次修订时,由于轧制复合钢板、爆炸复合钢板检测内容已基本统一,因此本标准包括上述两类复合板的超声检测内容,废除了槽形试块,以复合钢板本身来调节灵敏度。实际调试时,是将探头置于复合钢板完全结合部位,使第一次底波高度为荧光屏满刻度的 80%。以此作为基准灵敏度进行检测。

16. 承压设备高压无缝钢管的超声检测

目前在冶金部制定的 GB 5777 和 GB 4163 标准中都明确规定人工缺陷反射体为 U 型、V 型和矩形槽三种,并以矩形槽为基准反射体。本标准在制定中主要考虑到三个因素:

① 冶金部是目前国内高压无缝钢管的主要来源,为了保证订货工作进行顺利,人工缺陷反射体的选择应和冶金部的规定统一起来;

② 矩形槽作为钢管超声检测的人工缺陷反射体不适宜,因为,槽深为 2.5mm 以下的矩形槽,其反射波幅与槽深不是一个单调的递增函数,而有多重对应关系。换句话说就是较深的槽的反射波幅未必比较浅的槽的反射波幅高,这样容易引起混乱;

③ 从标准的连续性考虑,在不碍大局情况下,还是采用 JB 1151 标准中已经经过考验的人工缺陷反射体为好。

因此本标准规定高压无缝钢管超声检测采用 40mm 长、60°的 V 型槽作为人工缺陷反射体。并考虑到使用条件 and 设计要求不同,将槽深分为三个等级,供设计人员选

择使用。

高压无缝钢管的超声检测主要采用斜角入射（指声束不指向管子圆心）的横波检测，由于声束与分层缺陷成一角度，根据声波反射规律，探头无法接收缺陷上反射的回波，所以不能检测无缝钢管中的分层缺陷。如果必须对钢管的分层缺陷进行检测，可用小直径双晶直探头或单晶直探头进行检测。

17. 承压设备高压无缝钢管横向缺陷的超声检测

由于高压无缝钢管主要是采用穿孔法和高速挤压法制造的，一般来说缺陷以纵向为主，因此，JB 1151—73 标准主要的检测对象是纵向缺陷。随着压力容器制造业的发展，对高压无缝钢管的质量要求越来越高，同时由于不能完全排除横向缺陷的存在，尤其是大口径的无缝钢管，所以在后来制定的标准如 GB 4163—84《不锈钢管超声波探伤方法》和 GB 5777—86《无缝钢管超声波探伤方法》中都包括了横向缺陷的检测方法。本标准在制订中一方面考虑到高压无缝钢管的缺陷以纵向为主的实际情况，同时也考虑到压力容器行业的实际需求和国内标准的发展情况。因此，本标准明确规定对钢管纵向缺陷的检测是必要的和强制性的，将其放在正文中，而将横向缺陷的检测内容放入附录中，由供需双方协商解决。

18. 高压螺栓件（坯件）超声检测的依据

目前世界各国没有专门的高压螺栓件超声检测标准。仅在 ASME-V 中有部分章节规定了螺栓件的超声检测内容，主要是以螺栓件本身上加工的长横孔和平底孔来校正检测灵敏度、制定距离—波幅曲线和缺陷评定。本标准在制订时，考虑到如采用 ASME-V 的规定，势必将引进一套新东西，使标准太繁杂。而且锻件和螺栓件从本质上说，性能、金相和成分都大致相当，而且目前国内已有一套完整的锻件检测方法。综上考虑，本标准对高压螺栓件的检测主要套用锻件超声检测的规定，而没有采用 ASME-V 里有关螺栓件的超声检测内容。

本标准规定超声检测内容只适合大于或等于 M36mm 的高压螺栓件。此外对于制造和在用螺栓件来说，由于螺纹已经加工，螺纹根部裂纹可采用小直径纵波探头和小角度纵波斜探头进行检测，其检测灵敏度可采用根部裂纹或平底孔作为参考反射体来校正。

19. 奥氏体钢锻件超声检测的一些特殊要求

由于奥氏体钢锻件晶粒粗大、各向异性、衰减严重，因此，一般利用斜探头产生的横波无法进行检测。而纵波由于波长比较大，衰减相对比较小、信噪比较高，通常比较适合奥氏体钢锻件的超声检测。所以，本标准在奥氏体钢锻件超声检测这部分内容中所提到的斜探头，一般都是指纵波斜探头。

为了克服奥氏体钢锻件晶粒粗大、各向异性的影响，使检测结果尽可能和实际情况相符，因此采用的对比试块晶粒大小和声学特性应与被测锻件大致相近。考虑到不

同奥氏体钢锻件和奥氏体钢锻件不同部位的不同情况，从检测工作的严肃性考虑，应制备几套不同粒度的奥氏体钢锻件对比试块，以便能将缺陷区衰减同试块作合理的比较。

20. 奥氏体钢锻件质量分级

本标准规定奥氏体钢锻件的质量分级基本上采用 ASME-V SA745《奥氏体钢锻件超声波检测方法》的原则和规定。即根据锻件的厚度来确定相应的检测灵敏度和合格级别。

① 锻件壁厚 $\leq 80\text{mm}$ ，采用一组 $\phi 3\text{mm}$ 平底孔试块制作距离—波幅曲线，取Ⅰ级作为合格级别。

② 锻件壁厚 $80\text{mm} \sim 200\text{mm}$ ，采用一组 $\phi 6\text{mm}$ 的平底孔试块制作距离—波幅曲线，取Ⅱ级作为合格级别。

③ 锻件壁厚 $200\text{mm} \sim 300\text{mm}$ ，采用一组 $\phi 10\text{mm}$ 的平底孔试块制作距离—波幅曲线，取Ⅲ级作为合格级别。

④ 锻件壁厚 $300\text{mm} \sim 600\text{mm}$ ，采用一组 $\phi 13\text{mm}$ 的平底孔试块制作距离—波幅曲线，取Ⅳ级作为合格级别。

⑤ 锻件壁厚 $> 600\text{mm}$ ，采用大平面底面回波来确定检测灵敏度，取Ⅴ级作为合格级别。

⑥ 斜探头检测的合格等级选择应由合同双方商定，但原则上较小的锻件应取Ⅰ级作为合格级，较大的锻件应取Ⅱ级作为合格级别。

四、承压设备熔化焊对接焊接接头超声检测

1. 钢制承压设备对接焊接接头超声检测的标准试块

钢制承压设备对接焊接接头超声检测的标准试块为 CSK-ⅠA、CSK-ⅡA、CSK-ⅢA、CSK-ⅣA、CS₁、CS₂、CS₃试块。对比试块包括：T型接头试块、堆焊层 T1、T2 和 T3 试块。

其中 CSK-ⅠA、CSK-Ⅱ和 CSK-ⅢA 试块适用于壁厚为 $6\text{mm} \sim 120\text{mm}$ 的对接焊接接头超声检测。

CSK-ⅠA 和 CSK-ⅣA 试块适用于壁厚为 $120\text{mm} \sim 400\text{mm}$ 的对接焊接接头超声检测。

CS₁、CS₂和 CS₃试块适用于管座角焊缝的超声检测。

T型接头对接焊接接头试块适用于 T型接头的超声检测。

堆焊层 T1、T2 和 T3 试块适用于堆焊层内、堆焊层界面未贴合和堆焊层皮下裂纹的超声检测。

2. 对接焊接接头检测技术级别

本标准规定 A、B、C 三个检测技术级别。检测技术级别主要根据检测面的数量、

检测探头的多少、是否检测横向缺陷、焊缝余高是否磨平等来进行划分,应该说不同的检测技术级别对质量的保证来说是不一样的。因此设计、制造、安装和检验检测部门应根据承压设备产品的重要程度进行选用,原则上 A 级检测技术适用于承压设备有关的支承件和结构件焊接接头检测, B 级检测技术适用于一般承压设备对接焊接接头检测, C 级检测技术适用于重要承压设备对接焊接接头检测。

3. 斜探头对接焊接接头扫查方式、作用和特点

对接焊接接头的斜探头扫查方式主要有以下几种:锯齿形扫查、左右与前后扫查、转角扫查、环绕扫查、平行与斜平行扫查等。

① 锯齿形扫查:这是检测对接焊接接头中有无缺陷的一种主要方法,特别需要注意的是锯齿形扫查时,探头应作 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的转动,否则不能发现与对接焊接接头走向成一定角度的缺陷。此外每次前进的齿距 d 不得超过探头晶片直径,以防扫查间距太大,造成漏检。

② 左右与前后扫查:当用锯齿形扫查发现缺陷后,可利用左右扫查和前后扫查找到缺陷回波幅度的最大值。在此基础上,用左右扫查来确定该缺陷沿对接焊接接头方向的长度;用前后扫查来确定缺陷的水平距离和深度。

③ 转角扫查:主要用来判断缺陷的方向。

④ 环绕扫查:主要用来推断缺陷的形状,比如在环绕扫查时,回波幅度变化较小,则可判断为点状缺陷。

⑤ 平行与斜平行扫查:主要用来检测对接焊接接头或热影响区的横向缺陷。对于余高磨平的对接焊接接头可将斜探头直接放在对接焊接接头上作平行移动;对于有余高的对接焊接接头可在对接焊接接头两侧边缘,使斜探头与对接焊接接头轴线成一夹角 ($10^{\circ} \sim 45^{\circ}$) 作平行与斜平行扫查,但灵敏度应适当提高,本标准规定为提高 6dB。

4. 删去窄间隙对接焊接接头串列式超声检测的规定

壁厚大于 40mm,且单侧坡口角度小于 5° 的对接焊接接头实际上主要指窄间隙焊接接头。随着承压设备向大型化和厚壁化发展,窄间隙对接焊接接头所占比例愈来愈大。这类对接焊接接头往往会产生与检测面垂直或近似垂直的坡口未熔合和裂纹,对设备的安全运行威胁很大。而反射面光滑的坡口未熔合缺陷用常规超声方法很难检出。

1994 版标准曾规定对窄间隙焊接接头采用串列式检测。但实际上从 1994 版标准实行至今,串列式检测并没有在国内得到真正应用。究其原因,是因为机械式串列式检测设备还不过关,而手工串列式检测在现场无法大范围应用。所以标准编制组认为在 JB/T 4730.3—2005 标准删去窄间隙焊接接头串列式超声检测的条文效果会更好些。

试验表明,近年来国外开发的 TOFD 超声技术对与检测面垂直或近似垂直的坡口未熔合和裂纹的检出有很高的可靠性,是适合于窄间隙对接焊接接头检测的方法。但目前 TOFD 超声技术的有关试验研究还不够充分,TOFD 超声检测装备的引进还很少,有关标准的起草才提上议事日程。考虑历史和现实情况,本标准规定对于单侧坡口角度小于

5°的窄间隙焊接接头，如有可能应增加对检测与坡口表面平行缺陷有效的检测方法。这里所述的“有效的检测方法”包括了 TOFD 超声技术、串列式检测技术以及其他可以采用的超声检测技术。

除超声检测外，射线照相对这类缺陷的检出效果也是比较好的，因此对窄间隙对接焊接接头采用射线检测是非常必要的。

5. 重要承压设备对接焊接接头两侧母材区域的直探头检测

因为设备在制造时，通常重要钢板都经超声检测合格，一般不存在钢板再验收问题。但由于钢板是按格子线检测，而且一些小缺陷是不计的，因此，难免在声束（包括斜探头和直探头）经过的母材区域存在一些小分层缺陷。这些小缺陷对容器使用并不构成什么威胁，但有可能影响对接焊接接头缺陷的检测效果。因此在这种情况下，规定预先对声束经过的区域进行超声检测，以评价其对对接焊接接头缺陷检测的干扰程度是十分重要的。

6. 对接焊接接头超声检测中的短横孔问题

在上世纪 70 年代末期 JB 1152—81 标准制定期间，短横孔应用问题曾是一个长期困扰压力容器无损检测行业的大问题。为此，JB 1152 标准的制定比预定期限延长了 3 年。后来经过大量的试验和协调，将长、短横孔都分别放在 JB 1152 标准中，供有关单位根据需要选用，才得以解决该问题。但实际上国内目前大量使用的仍是短横孔试块。经过多年的使用考验，应该说这种处理方法还是比较安全的。JB 4730—94 标准制定时，锅炉局容器处曾专门发来公函要求标准在对接焊接接头超声检测中（8mm ~ 120 mm 范围内）仍采用 JB 1152 标准的规定，以保证标准的连续性和避免大量 CSK-III A 试块报废。所以 1994 版标准在 8mm ~ 120 mm 范围内保留了短横孔和长横孔，但在 120mm ~ 300mm 的范围内则直接采用了 ASME 和 JIS（日本称为 RB-4 试块）的长横孔试块。

本次修订时对该问题也经过较长时间的考虑，鉴于目前这种方法国内已经积累了大量的数据，根据调查的情况也是比较安全的一种处理手段。同时对于中薄板来说，采用长横孔试块的检测案例相对还比较少，因此作为一种折中方法，本标准对 6mm ~ 8mm 范围内采用了长横孔试块，8mm ~ 120 mm 范围内仍采用 1994 版标准规定的 CSK-III A 试块，120mm ~ 400mm 的范围内则直接采用长横孔试块（根据国内实际情况对长横孔的孔径采用公制和英制两种规定）。

7. 对接焊接接头缺陷超声定量检测

对接焊接接头缺陷超声定量检测时，应将检测灵敏度调到定量线灵敏度（包括斜探头和直探头两种方式），并对所有反射波幅超过定量线的缺陷均应测定其位置、最大反射波幅和缺陷当量。

缺陷定量主要包括两个内容，即确定缺陷当量直径 ϕ 或缺陷指示长度 ΔL 。

(1) 缺陷当量直径 ϕ 实际上通常指的是当量平底孔直径。主要用于直探头检测，可采用公式计算、距离—波幅曲线和试块对比等方法来确定。

(2) 缺陷指示长度 ΔL 的概念既适用于直探头检测，也适用于斜探头检测，其数值的测定都统一采用以下方法：

① 当缺陷反射波在Ⅱ区或Ⅱ区以上，且只有一个高点时，应以最大 6dB 法测其指示长度；

② 当缺陷反射波峰值起伏变化、有多个高点，且位于Ⅱ区或Ⅱ区以上时，应以端点 6dB 法测其指示长度；

③ 当缺陷反射波峰位于Ⅰ区，如需要记录，应将探头左右移动，使波幅降到评定线，以此测定缺陷指示长度。

8. 对接焊接接头超声检测中最大反射波幅位于Ⅱ区缺陷的质量分级

本标准根据 JB 3144—82《锅炉大口径管座角对接焊接接头超声波探伤》、《工业锅炉 T 型接头对接焊接接头超声波探伤规定》和 JB 1152—81 标准的评级原则，将直探头和斜探头对接焊接接头超声检测的等级评定内容统一起来，利用表 23“焊接接头质量分级”对这两种检测方法的结果用同一尺度进行综合评定。

在Ⅱ区缺陷等级评定中，其级别划分主要是这样考虑的，对单个缺陷而言：壁厚在 6mm~120mm 内，级别划分基本上依据 JB 1152—81 标准，同时也部分采用了 JB 3144—82 标准的内容；对于壁厚为 120mm~400mm 的对接焊接接头，其级别评定也是将 JB 1152—81 标准的数据延伸而确定，同时在参照有关国外标准的基础上，规定了最大限制值。

增加了多个缺陷累计指示长度的等级评定内容。本标准为了加强对对接焊接接头工艺的控制和保证承压设备的安全可靠性，参考了 JB 1152—81 标准对缺陷密集程度和缺陷总长的分级方法，参照 GB 3323—87 标准和本标准射线检测部分对于条状夹渣总长和相邻条状缺陷的处理方法，同时在征求了许多行业厂意见的基础上，本标准规定将多个缺陷累计指示长度作为缺陷等级评定的一项控制参数，并规定了各个级别的允许值。

9. 多个缺陷累积指示长度的等级评定

对于条状缺陷来说，薄壁和厚壁对接焊接接头对多个缺陷累积指示长度控制严格，供需双方都是可以接受的，一般不存在问题。争议主要集中在点状缺陷上，有些单位认为这样规定对点状缺陷要求太严。关于这个问题，标准修订工作组是这样考虑的，由于较小的点状缺陷反射回波较低，许多小缺陷往往检测不到，检出率不高，而能够检出的则主要是能够提供较大反射界面或较大的缺陷。鉴于这种情况，为了保证不漏掉大缺陷，提高承压设备的安全，对缺陷的累计指示长度进行控制，不仅对薄壁对接焊接接头而且对厚壁对接焊接接头也是适宜的。

在计算多个缺陷累积指示长度时,应先将小缺陷长度圆整为 5mm 后再相加。因为对于长度小于声束宽度的缺陷,超声检测时误差比较大,往往测得的不是缺陷自身的长度,而是探头的声束宽度。在此情况下,圆整后的数字通常更具有代表性,也更准确,因此在计算多个缺陷累积指示长度时,应先将缺陷长度圆整后再相加,以此来作为多个缺陷的累积指示长度 L' 。

10. 对接焊接接头进行超声检测时,一直线上相邻两缺陷的等级评定

对接焊接接头进行超声检测的规定和射线检测的规定原则上是一致的。由于条状类缺陷一般呈细条状,端部曲率半径很小而且应力线密度比较大,在往复或冲击应力载荷作用下,往往会使两条缺陷连起来形成一条大缺陷,因此,对这类缺陷严格控制是比较合理的。但同时标准编制组也考虑到由于声波成一束向外传播,因此,在两缺陷相距比较近时,超声检测方法实际上很难将缺陷分开,一般认为两缺陷是连在一起;而只有在缺陷相距比较大时,才有可能将两缺陷分出,并测出间距,这时如果在计算相邻缺陷长度时,再将间距加进去,其控制可能就太严格了。因此,本标准对超声检测发现的相邻缺陷的处理,不再沿用射线检测的做法,而是明确规定:相邻两缺陷在一直线上时,若其间距小于其中较小的缺陷长度时,应作为一条缺陷处理,以两缺陷长度之和作为其指示长度(不考虑间距)。

11. 不锈钢堆焊层超声检测的特点和制定依据

直至 1994 年为止,国、内外都没有专门的不锈钢堆焊层超声检测标准。本标准之所以增加这部分内容,主要是考虑到近年一些重要设备的国产化和进出口贸易的需要。本标准主要是根据 ASME-V、日本一些公司的企业标准和国内在锻焊结构及板焊结构的热壁加氢反应器国产化工作的一些试验数据和检测经验来制定这一部分内容的。在制定过程得到了一重、兰石、哈锅、上重、上锅和化工部化机院等单位的协助和支持。

不锈钢堆焊层超声检测主要有以下几个特点:

① 堆焊层一般采用 309 和 347 超低碳奥氏体不锈钢(347 主要是堆焊层,309 是过渡层),基板可采用锻件或钢板,材质通常为 2.25Cr-1Mo 钢,制造采用带极堆焊。由于防腐、耐磨的需要,堆焊层表面一般不加工,增加了探头的耦合困难。

② 超声检测对象主要为堆焊层内缺陷、堆焊层层下裂纹和堆焊层与基板间未贴合。

③ 由于不锈钢堆焊层的使用状况千差万别,既有利于高温、高压和监氢介质的场合,也有仅用于只有防腐要求的低压容器上。所以,本标准的检验项目不是固定的,而是可以根据设计要术,灵活掌握,可以全部采用,也可以只采用一项或两项。

④ 超声检测所采用的探头为双晶直探头、双晶斜探头、单直探头和纵波斜探头。探头的选择应根据检验项目来确定。

12. 纵波双晶斜探头检测堆焊层时,焦点深度位于堆焊层和母材的结合部位

纵波双晶斜探头主要用于检测堆焊层下再热裂纹,这种裂纹一般出现在奥氏体不锈

钢堆焊层下的母材中,裂纹方向垂直于表面且垂直于堆焊方向,裂纹长度小于 10mm,深度为堆焊层下 1mm~2.5mm,成群出现,相邻裂纹之间的间隔为 2mm~10mm。而双晶探头的特点是在焦点区域具有较高的灵敏度和信噪比。因此,为了有效地检测堆焊层下再热裂纹,纵波双晶斜探头的焦点深度应位于堆焊层和母材的结合部位。

13. 不锈钢堆焊层纵波斜探头检测

1994 版标准制订时,对于不锈钢堆焊层皮下裂纹的超声检测内容,许多制造厂认为由堆焊层侧进行检测效果比较好。也有些厂家觉得,由于不锈钢堆焊层为了防腐不打磨,表面耦合差,不能保证质量,认为采用复层侧纵波斜探头检测,效果显著。因此本标准规定了堆焊层侧双斜探头检测和复层侧纵波斜探头检测两种检测方式作为互相补充,以保证高温临氢设备的安全。

14. 铝对接焊接接头超声检测

承压设备铝制对接焊接接头超声检测部分的修订,主要是考虑到以下几个因素:

① 目前国内铝制承压设备的使用现状主要是中、薄板使用比较多。超声检测则主要是针对稍厚一些和在用铝制承压设备对接焊接接头。因此本标准规定铝对接焊接接头的检测范围为壁厚大于或等于 8mm。

② 由于尺寸的限制,太薄的铝板对接焊接接头无法用超声检测方法进行检测。

③ 1994 版标准规定的试块采用 $\phi 5$ mm 的长横孔作为人工反射体,本标准考虑到和钢制承压设备一致,因此本标准采用 $\phi 2$ mm 的长横孔作为人工反射体,同时将距离一波幅曲线的灵敏度进行了适当的调整。

15. 奥氏体钢对接焊接接头的超声检测

奥氏体钢对接焊接接头由于其各向异性、晶粒粗大、组织不均匀等特点,造成探头超声声场的一些基本特性和声场规律发生变化,如主声束发生畸变,声波不再以直线传播,6dB、10dB 等缺陷定量方法不再适用等,给奥氏体钢对接焊接接头的超声检测带来很大困难。由于问题很复杂,因此 1994 版标准没有将奥氏体钢对接焊接接头的超声检测列入标准。国外许多单位和个人对此也持同样看法。

但是目前国内对奥氏体钢焊接接头进行超声检测的呼声比较高(这主要指的是对在用承压设备奥氏体钢焊接接头的缺陷检测和安全技术评价,以及对 9Ni、5Ni 钢等奥氏体焊接接头射线检测过程中的超声补充检测),加上近年来有关技术研究取得进展,国外已有同类标准规范,因此 JB/T 4730—2005 增加附录 N(资料性附录),提出一些通用技术要求,如:

- ① 采用纵波检测;
- ② 低频检测;
- ③ 采用宽频带窄脉冲探头、提高信噪比;
- ④ 采用聚焦探头进行检测;

⑤ 采用多种频率法检测等。

试图使奥氏体钢对接焊接接头的超声检测更有效,检测方法更规范,此外,还应增加射线检测和渗透检测的比例,以达到较好的检测效果。

五、承压设备管道环向对接焊接接头超声检测

1. 钢制压力管道环向对接焊接接头超声检测部分的制定

在国际上,管道运输是与铁路、公路、水运、航空并列的五大运输方法之一,随着国民经济的持续发展,近些年来国内所敷设的各种压力管道无论是质量、种类或是数量都达到了创记录的水平。由于压力管道往往承受着高温、高压,介质又大都为有毒、易燃、易爆,一旦发生泄漏容易并发为火灾或中毒,导致灾难性事故,使企业的生产和人民的生命财产蒙受巨大损失。一般认为管线投产 15~20 年,就将进入事故高发和检修高峰期,目前国内大部分压力管道都已进入这个阶段。因此如何进行卓有成效的压力管道使用管理和在用检验是一件至关重要的工作。目前国家质量监督检验检疫总局以国质检锅 2003 年 108 号文颁布《在用工业管道定期检验规程》对在用压力管道进行有效的管理,但由于在用压力管道量面广面大,使用单位的检修期又很短,单纯采用射线检测根本无法进行,因此如何对大曲率、薄壁压力管道采用超声检测方法进行检测是至关重要的。

按国内目前的几个主要标准对钢制压力管道环向对接焊接接头超声检测的管道厚度和管道曲率是有明确限制的。JB/T 4730 和 GB 11345《钢对接焊接接头手工超声波探伤方法和探伤结果分级》标准均要求壁厚大于或等于 8mm,管径大于或等于 159mm。本节内容主要依据合肥通用机械研究所、国家质量监督检验检疫总局锅炉压力容器检测研究中心和哈尔滨锅炉厂对小口径薄壁管超声检测的试验研究成果和几千公里管道的超声检测工作的经验,并参照 DL/T 5048《电力建设施工及验收技术规范 实行管道焊接接头超声检验篇》的有关规定和一些制造厂的企业标准制订的。

本节适用于壁厚大于或等于 4mm,外径为 32mm~159mm 或壁厚为 4mm~6mm,外径大于或等于 159mm 的承压设备管子和压力管道环向对接焊接接头的超声检测。不适用于铸钢、奥氏体不锈钢管环向对接焊接接头的超声检测。

2. 管道环向对接焊接接头同时存在条状夹渣或未焊透时的等级判定

本标准主要是考虑到压力管道的壁厚一般比较薄,且大都采用单面焊,有效截面通常比较小,而且使用工况比较恶劣。如果同时存在条状夹渣或未焊透时,往往容易产生不安全因素(破坏和泄漏),因此本标准规定在 10mm 对接焊接接头范围内,同时存在条状夹渣或未焊透时,应判定为不合格。

3. 铝及铝合金压力管道焊接接头环向对接焊接接头的超声检测

本节内容主要依据合肥通用机械研究所等单位对小口径薄壁管超声检测的试验研

究成果，并参照日本 JIS B 标准的有关规定制订的。本标准规定了铝及铝合金压力管道环向对接焊接接头缺陷的超声检测和质量分级。

本节适用于壁厚大于或等于 5mm，外径为 80mm~159mm 或壁厚 5.0mm~8mm，外径大于或等于 159mm 的铝及铝合金接管环向对接焊接接头。

六、在用承压设备超声检测

1. 在用承压设备超声检测

随着国民经济的高速发展，在用承压设备的数量和使用范围已经达相当规模，由于其使用工况多为高温高压、低温高压，通常盛装易燃易爆、有毒或强腐蚀介质，一旦破坏将产生极其严重的后果，导致人民生命财产的巨大损失，基于上述情况，原劳动部锅炉监察局以劳锅字 1990 年 2 月 3 号文发布《在用压力容器检验规程》，国家质量监督检验检疫总局又在 2000 年、2003 年和 2004 年分别发布了《锅炉定期检验规则》、《在用工业管道定期检验规程》(试行)和 TSG R7001《压力容器定期检验规则》对在用承压设备进行严格的技术监督和管理，以保证其安全运行。由于相应安全技术规范的评定级别相对 JB 4730—94 标准有较大的放松，同时在相关条文中涉及到缺陷定性和自身高度测定，该参数在国内目前所有的无损检测标准中都没有涉及，在国外标准中也没有明确规定，给在用承压设备检验带来很大困难。为了促进科学技术的发展，保障在用承压设备及压力管道的安全使用，国家技术监督局以及全国锅炉压力容器标准化技术委员会明确指出，要在 JB/T 4730 标准中加入在用承压设备无损检测的内容。

由于在用承压设备无损检测涉及到缺陷的定性和缺陷自身高度的超声测定，因此 JB/T 4730 标准在正文中增加了在用承压设备按“合于使用”原则进行超声检测缺陷定量(包括缺陷的波幅测定和缺陷几何尺寸的确定)、缺陷性质和属性的确定的内容。此外还增加了附录 H(规范性附录)《回波动态波形》、附录 I(规范性附录)《缺陷测高方法(一) 采用超声端点衍射法测定缺陷自身高度》、附录 J(规范性附录)《缺陷测高方法(二) 采用超声端部最大回波法测定缺陷自身高度》、附录 K(规范性附录)《缺陷测高方法(三) 采用 6dB 法测定缺陷自身高度》、附录 L(规范性附录)《缺陷类型识别和性质估判》，明确规定了对缺陷类型识别和性质估判的超声检测方法以及缺陷自身高度的测定方法。以满足有关安全技术规程和 GB/T 19624—2004《在用含缺陷压力容器安全评定》所提出的无损检测要求。

2. 对缺陷类型的识别

JB/T 4730—2005 标准对缺陷类型主要分为点状缺陷、线性缺陷、体积状缺陷、平面状缺陷和多重缺陷等五类。缺陷类型的概念在国内主要是由 CVDA—84《压力容器缺陷评定规范》和 GB/T 19624—2004《在用含缺陷压力容器安全评定》提出，是进行

断裂力学计算的基本依据和主要参数。为了满足在用承压设备的检验和断裂力学计算的最低要求,本标准在附录 L 中对缺陷类型识别作了详尽的规定。

缺陷类型识别是通过探头从两个方向扫查(即前后和左右扫查),观察其回波动态波形来进行的。缺陷类型只用单个探头或单向扫查识别是不太可能的,宜采用一种以上声束方向作多种扫查,包括前后、左右、转动和环绕扫查,以此对各种超声信息进行综合评定来识别缺陷。

回波动态波形反映了超声波束沿平行或垂直焊缝扫查缺陷时,反射信号高度和信号形状相对应的变化形态。本标准规定和汇集了点状反射体的回波动态波形、线性缺陷的回波动态波形、接近垂直入射时光滑大平面反射体和不规则大反射体的回波动态波形,倾斜入射时光滑大平面反射体和不规则大反射体的回波动态波形以及多重缺陷的回波动态波形。也考虑了曲表面对点反射体和平面型反射体对回波动态特性的影响。并将其作为缺陷尺寸和性质确定的一个重要依据。

3. 缺陷定性和缺陷性质估判

目前在无损检测行业对缺陷定性的理解就是准确判定原材料、零部件和焊接接头缺陷的性质(气孔、夹渣、未焊透、未熔合、裂纹等)。但由于 A 型脉冲反射式超声检测方法的检测参数主要是回波幅度和声波传播的时间,仅根据上述两个参数,要想准确地判定缺陷的性质是有很大困难的,为了保证 JB/T 4730 标准能满足实际工程项目缺陷定性定量的要求,因此 JB/T 4730—2005 标准在对缺陷类型识别的基础上,规定了缺陷性质估判依据:

- ① 工件结构与坡口形式;
- ② 母材与焊材;
- ③ 焊接方法和焊接工艺;
- ④ 缺陷几何位置;
- ⑤ 缺陷最大反射回波高度;
- ⑥ 缺陷定向反射特性;
- ⑦ 缺陷回波静态波形;
- ⑧ 缺陷回波动态波形。

同时标准又规定了缺陷性质估判程序:

- ① 反射波幅低于评定线或按本部分判断为合格的缺陷原则上不予定性。
- ② 对于超标缺陷,首先应进行缺陷类型识别,对于可判断为点状的缺陷一般不予定性。

③ 对于判定为线状、体积状、面状或多重的缺陷,应进一步测定和参考缺陷平面、深度位置、缺陷高度、缺陷各向反射特性、缺陷取向、缺陷波形、动态波形、回波包络线和扫查方法等参数,同时结合工件结构、坡口形式、材料特性、焊接工艺和焊接方法进行综合判断,尽可能定出缺陷的实际性质。

4. 回波动态波形的类型

回波动态波形的类型大致可分为点状反射体、光滑的大平面反射体、不规则大反射体、密集形反射体四种。它们可以通过回波动态波形来识别。如点状反射体由波形模式Ⅰ来表示,光滑的大平面反射体由波形模式Ⅱ来表示,不规则大反射体由波形模式Ⅲa和Ⅲb来表示,密集形反射体由波形模式Ⅳ来表示。

波形模式Ⅰ表示点反射体产生的波形模式,即在荧光屏上显示出的一个尖锐回波。当探头前后、左右扫查时,其幅度平滑地由零上升到最大值,然后又平滑地下降到零,这是尺寸小于分辨力极限(即缺陷尺寸小于超声探头在缺陷位置处声束直径)点状缺陷的信号特征。

波型模式Ⅱ表示由声束接近垂直入射时光滑的大平面反射体所产生的波形模式,探头在各个不同的位置检测缺陷时,荧光屏上均显示一个尖锐回波。探头前后和左右扫查时,一开始波幅平滑地由零上升到峰值,探头继续移动时,波幅基本不变,或只在 $\pm 4\text{dB}$ 的范围内变化,最后又平滑地下降到零。

波形Ⅲa是由声束接近垂直入射时不规则的大反射体所产生的波形模式,探头在各个不同的位置检测缺陷时,荧光屏上均呈一个参差不齐的回波。探头移动时,回波幅度显示很不规则的起伏态($\pm 6\text{dB}$)。

动态波形Ⅳ表示由密集形缺陷所产生的的波形模式,探头在各个不同的位置检测缺陷时,荧光屏上显示一群密集信号(在荧光屏时基线上有时可分辨,有时无法分辨),探头移动时,信号时起时伏。如能分辨,则可发现每个单独信号均显示波形Ⅰ的特征。

5. 采用端部最大回波法测定缺陷自身高度

当缺陷的端部回波的幅度达到最大时(也即缺陷端部回波峰值开始降落前瞬时的幅度位置),该回波称为缺陷端点最大反射波。利用端部最大回波法测定缺陷自身高度在国内外都进行过大量的工作,日本人岸上守孝昭和60年1月在《非破坏检查》上发表过《用端部回波法测定钢焊缝缺陷高度的指南》对采用端部最大回波法测定缺陷自身高度进行详尽的介绍,这种方法在一段时间内曾风靡一时,但和利用端点衍射法测定缺陷自身高度一样,也存在有时端点回波找不到的问题,因此本标准将利用端部最大回波法测定缺陷自身高度作为一种可选方法。

6. 采用端部最大回波法测定缺陷自身高度时测定基点的确定

使探头沿缺陷延伸方向扫查,为保证不漏过缺陷端点,应尽可能多从几个方向或用其他声束角度进行重复测量。对大平面或体积状缺陷,应沿长度方向在几个位置作测定。在测定缺陷高度时,应在相对垂直于缺陷长度的方向进行前后扫查。由于缺陷端部的形状不同,扫查时应适当转动探头,以便能清晰地测出端部回波,当存在多个杂乱波峰时,应把能确定出缺陷最大自身高度的回波确定为缺陷端部回波。测定时应

以缺陷两端的峰值回波 A 和 A1 作为基点。基点原则上是以端部回波波高为荧光屏满幅度 50%时的回波前沿值的位置为准。

7. 采用端部最大回波法测定缺陷自身高度,当存在多个杂乱波峰时如何测定端点回波

使探头沿缺陷延伸方向扫查,为保证不漏过缺陷端点,应尽可能多地从几个方向或用其他声束角度进行重复测量。对大平面或体积状缺陷,应沿长度方向在几个位置作测定。在测定缺陷高度时,应在相对垂直于缺陷长度的方向进行前后扫查。由于缺陷端部的形状不同,扫查时应适当转动探头,以便能清晰地测出端部回波,当存在多个杂乱波峰时,应把能确定出缺陷最大自身高度的回波确定为缺陷端部回波,测定时应以缺陷两端的峰值回波 A 和 A1 作为基点。基点原则上是以端部回波波高为荧光屏满幅度 50%时的回波前沿值的位置为准。

8. 采用端点衍射法测定缺陷自身高度

超声波在传播过程中,当波阵面通过缺陷时,波阵面会绕缺陷边缘弯曲,并呈圆心展衍,这种现象称之为衍射。利用端点衍射法测定缺陷自身高度应该说是一种比较准确的测定方法,多年来合肥通用机械研究所和国家质量监督检验检疫总局锅检中心对此做了大量的工作,锅检中心还编写了《端点衍射法测定缺陷自身高度的指南》(草案)。其关键在于识别端点回波及端点的衍射回波,但现场实际使用时也存在两个问题,一是有时端点回波找不到,二是如果在缺陷端部附近有小缺陷,则端点衍射回波也不容易分清。因此本标准将端点衍射法测定缺陷自身高度作为一种首选的测定方法。

9. 采用 6dB 法测定缺陷自身高度

利用 6dB 法测定缺陷指示长度和指示宽度(即缺陷的平面指示面积)应该说是一种比较成熟和通俗的测定方法,多年前国内已将其正式列入标准规范。至于利用 6dB 法测定缺陷自身高度国内已经做了大量的试验研究和现场测定工作,尽管这种方法精度不够高,但使用方便、适用性比较强。尤其是我所利用这种方法已对上万台压力容器和几千公里的管线进行过安全评定和缺陷自身高度测定,至今没有发生过一例事故,从这个意义上考虑,应该说利用 6dB 法测定缺陷自身高度是一种安全的工程检测方法,而且应该说该技术的使用范围极其广泛,因此本标准将其作为一种主要的缺陷自身高度测定方法。

第4章 JB/T 4730.4 磁粉检测

一、国内、外承压设备磁粉检测标准

1. 国内承压设备磁粉检测标准的发展情况

JB 741—73《钢制焊接压力容器技术条件》(此时尚无磁粉检测的内容)→JB 741—80《钢制焊接压力容器技术条件》(附录5:磁粉探伤,附录7:螺柱磁粉探伤)→JB 3965《钢制压力容器磁粉探伤》;

JB 4248《钢制压力容器锻件磁粉探伤》→JB 4730—94《压力容器无损检测》→JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》。

2. 国外承压设备主要磁粉检测标准

ASME SE709《磁粉检验方法》;

JIS G0565《钢铁材料的磁粉检验方法及缺陷指示的等级分类》;

DIN 54131《无损检测 磁粉检测》;

BS 4397《焊缝的磁粉检测方法》;

BS 3889《管子的无损检测方法》等。

二、铁磁性材料承压设备表面检测的有关规定

铁磁性材料的承压设备和零部件应主要采用磁粉检测方法,只有在不能使用磁粉检测时,方可采用渗透检测。这样规定的理由主要有两条:

- ① 对尺寸相当的表面开口缺陷检测用磁粉检测一般要比用渗透检测灵敏度高;
- ② 磁粉检测不仅能检出表面开口缺陷,也能有效地检出表面不开口缺陷和近表面缺陷,而渗透检测不能检出上述两类缺陷。

综上所述,磁粉检测的效果要比渗透检测好。因此为了提高表面缺陷检出率,本标准规定铁磁性材料制作的工件应主要采用磁粉检测方法。

三、退磁后的剩磁值要求

关于剩磁要求,国外标准一般规定测量值应小于或等于 0.3mT 或 240A/m。1994 版标准当年要求剩磁测量值小于 160A/m,本次修订时,考虑到承压设备的实际使用特点,以及行业上的反映,将退磁后要求的剩磁值修改为 0.3mT (240A/m)。

四、低粘度油基载液

1994 版标准仅规定湿法采用水或煤油作为分散媒介，没有将其他多种低粘度油基载液考虑进来。此外，1994 版标准规定磁悬液的粘度应控制在 $5000\text{Pa}\cdot\text{s} \sim 20000\text{Pa}\cdot\text{s}$ (25°C)，使用的是动力粘度单位，概念有不妥之处。

根据行业的意见，本标准规定应采用水或低粘度油基载液作为分散媒介，将其改为运动粘度单位，其数值为 38°C 时不大于 $3.0\text{mm}^2/\text{s}$ ，使用温度下不大于 $5.0\text{mm}^2/\text{s}$ ，闪点不低于 94°C ，且无荧光和无异味。

五、磁悬液浓度

在 JB 3965—85 和 JB 4248—86 标准中磁悬液浓度采用体积沉淀法来确定。这对循环使用的磁悬液浓度测定较为方便，但在承压设备磁粉检测中，绝大部分磁悬液均是一次性使用，若用体积沉淀法来确定磁悬液浓度则相当麻烦。同时，由于磁粉用量不明确，配制磁悬液往往要耗费很长时间才能达到标准要求。因此，JB/T 4730 标准参考 JIS G0565 和实践经验改用克每升 (g/L) 单位表示磁悬液浓度。即每升磁悬液载液中加若干克磁粉的方法来确定磁悬液浓度。这样可使得磁悬液的配制变得简单实用。本标准规定磁悬液浓度要求见表 4-1。

表 4-1 磁悬液浓度

磁粉类型	配制浓度, g/L	沉淀浓度 (含固体量: mL/100mL)
非荧光磁粉	10 ~ 25	1.2 ~ 2.4
荧光磁粉	0.5 ~ 3.0	0.1 ~ 0.4

当然各个行业都有其固有习惯，可能对磁悬液浓度的表述方法不同，但从保证检测灵敏度方面来看本标准的规定并无问题。

六、平行电缆法

众所周知，角焊缝由于其结构原因，进行磁粉检测较为麻烦。角焊缝检测一般采用触头法、磁轭法等。1994 版标准把平行电缆法作为一种磁探方法引入，其灵敏度是否满足要求可采用灵敏度试片来进行衡量。平行电缆法作为实际检测时可供选择的一种方法应该是无可非议的，标准中的图示仅表示平行电缆法实际使用的一种操作情况。

当使用平行电缆法检测角焊缝时，实际是将电缆缠绕在接管上进行的。因此，可将其看成是缠绕式线圈，这样，电缆中的初始电流可按下式选取 (计算时取 $L/D=10$): 即 $I = 3500/N \times (L/D + 2)$ 。选好电流初始值后，必须按标准要求用 A 型灵敏度试片进行测试，以最后确定磁化电流是否合适。

但由于实际应用时，标准中平行电缆法对角焊缝的检测的这段内容容易引起误解。因此本标准在修订时删去平行电缆法检测角焊缝的内容。但应该注意的是无论采用何

种方法检测角焊缝，均应使用 A 型灵敏度试片或 C 型灵敏度试片来校验灵敏度，以确保检测效果。

七、旋转磁场方法

所谓旋转磁场是在工件两个相互垂直的方向上同时施加两个交流分磁场： $H_x(t)$ 和 $H_y(t)$ ；若设磁场幅值为 H_0 ，则 $H_{0x}=H_{0y}=H_0$ ；且频率相同；存在一个相位差 α 。两个交流分磁场为：

$$H_x = H_0 \cos(\omega t + \alpha_1) \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

$$H_y = H_0 \cos[(\omega t + \alpha_1) + \alpha] \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

根据磁场矢量叠加原理，其大小为：

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = H_0 \sqrt{\cos^2(\omega t + \alpha_1) + \cos^2(\omega t + \alpha + \alpha_1)}$$

合成矢量角为：

$$\phi = \tan^{-1}[\cos \alpha - \sin \alpha \tan(\omega t + \alpha_1)]$$

也就是说，合成磁场的指向在一个平面内作旋转运动，旋转磁场因此得名。

当 $\alpha = \pi/2$ 时， $H = H_0$ ， $\phi = -(\omega t + \alpha_1)$ ，即合成磁场的幅值为常量，其轨迹按顺时针方向作圆形运动。也就是说，此时它在工件各方向上的检测能力相同。

目前市售磁轭式旋转磁场探伤仪，就是依据这个原理制成的。在标准状况下——被检工件表面为平面时，它有着检测效率高，灵敏度一致的优点。由于其结构特点，当被检工件表面为一曲面时，它的四个磁极不能很好地与工件表面相接触，会产生某一磁极悬空（在球面上时），或产生四个磁极以线接触方式与工件表面相接触（在柱面上时），这样就在某一对磁极间产生很大的磁阻，其表现为很强的噪声，从而降低了某些方向上的检测灵敏度。因此，在进行承压设备磁粉检测时，使用磁轭式旋转磁场探伤仪应随时注意各磁极与工件表面之间的接触是否良好，否则应停止使用，以避免产生漏检。

八、磁粉检测的选择时机

常用的低合金高强度钢属于易淬硬钢一类。在焊接过程中，若因措施不当使得焊接接头中存在淬硬组织，或未严格按工艺要求进行焊接使焊接接头金属中有较高的氢含量，或有较大的焊接残余应力，则焊接接头容易产生冷裂纹。其中延迟裂纹是一种常见形式。它不是焊后立即产生，而是在焊后几小时至十几小时或几天后才出现。若磁粉检测安排在焊后立即进行，就有可能使容易产生延迟裂纹材料的焊接接头检测变得毫无意义。因此 JB/T 4730 标准规定，对于那些有可能产生延迟裂纹的材料，其磁粉检测应安排在焊后 24h 进行。

应注意的是，焊后 24h 是《容规》的最低要求，对于某些产品来说有可能采用更长的时间，这时应按较严格的要求执行。如 GB 12337《钢制球形储罐》就明确规定对有可能产生延迟裂纹的材料，其磁粉检测应安排在焊后 36h 进行。此外《容规》也规

定对有再热裂纹倾向的材料在热处理后还应增加一次无损检测（主要指的是磁粉检测）。

九、轴向通电（周向）的磁化电流

轴向通电磁化电流的计算公式是根据长直导体表面磁场强度定义式变换后得到的，

$$H = I / 2\pi R \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

式中：

H ——工件表面磁场强度，A/m；

I ——电流，A；

D ——工件直径，mm。

式中给出了 $I=f(H, D)$ 的二元函数关系。若用它来计算磁化电流不仅要知道被检工件的直径，还要知道被检工件材料在磁化曲线上能满足磁粉检测条件所对应的磁场强度值 H 。参见图 4-1。

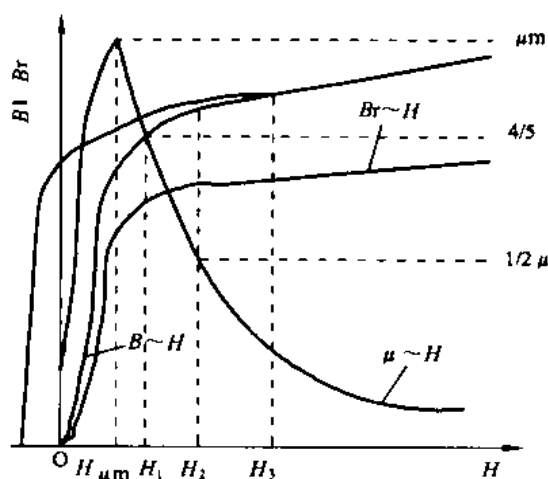


图 4-1 磁化曲线

由于各种材料及其在不同热处理状态下的磁性都有不同，因而对每种工件都去测定其磁化曲线是不现实的。如果对于工作中常遇到的材料，能找到一个可满足检测条件的磁场范围，则上述公式可转换成 $I=f(D)$ 的一元函数关系。这就是标准中的经验公式的来源。

无论采用何种磁化方法，在制订其磁化规范时，必须将磁化工作点选在磁性曲线上最大磁导率 μ_m 的右侧。即应根据磁特性曲线，选择比最大磁导率 μ_m 所对应的磁场强度 H_{μ_m} 较大的值。这样才能得到合适的磁化。

一般认为，连续法的磁化磁场应选在 $H_{\mu_m} \sim H_3$ 之间。如磁化磁场过大 ($>H_3$)，将导致磁化过度，造成伪缺陷显示。

$H_{\mu_m} \sim H_1$ 段，称之为放宽规范，这个区段可检出表面较大缺陷。

$H_1 \sim H_2$ 段,称之为标准规范,这个区段是近饱和区,可检出表面细小缺陷。

$H_1 \sim H_3$ 段,称之为严格规范,这个区段是基本饱和区,对表面及皮下的细小缺陷均有较好的检出效果。

对于剩磁法,磁化规范应选在大于 H_3 的饱和区段。一般为 $0.9H_m > H_3$ 。

在承压设备行业中,轴向通电(周向)磁化法主要用于锻件和螺栓件的检查。压力容器锻件和螺栓件所用碳素钢、低合金钢材料牌号在 GB 150、JB 4726 和 JB 4727 中已作规定。根据有关资料表明,这些材料一般来说 $H_1=(1360 \sim 3680) \text{ A/m}$, $H_2=(2400 \sim 6400) \text{ A/m}$, $H_3=(6400 \sim 12000) \text{ A/m}$, $H_m=(14880 \sim 16000) \text{ A/m}$ 。

根据产品质量的要求,磁化规范应选用标准规范的上限值。因此,取 $H_1=3680 \text{ A/m}$, $H_2=6400 \text{ A/m}$, $H_3=8000 \text{ A/m}$ (因 H_3 值大多集中在 8000 A/m 左右, 12000 A/m 为特异点), $H_m=16000 \text{ A/m}$ 。根据式(4-5)有:

直流电和整流电:

连续法:

$$I=(H_1 \sim H_2)\pi D=(11.55 \sim 20.09)D, \text{ 取 } I=(12 \sim 32)D \text{ (上限值提高)} \cdots (4-6)$$

剩磁法:

$$I=(H_3 \sim 0.9H_m)\pi D=(25.12 \sim 45.216)D, \text{ 取 } I=(25 \sim 45)D \cdots \cdots (4-7)$$

交流电连续法:因为 $I_{\text{交}}=0.707I_{\text{直}}$, 又因为交流电有集肤效应,所以取 $I_{\text{交}}=0.5I_{\text{直}}$ 。代入式(4-6)得:

$$I=(8 \sim 15)D \text{ (上限值也有所提高)} \cdots \cdots (4-8)$$

十、磁悬液综合性能

本标准增加磁粉检测设备、磁粉和磁悬液综合性能试验要求。

1. 磁悬液浓度测定

对于新配制的磁悬液其浓度应符合标准的要求。对循环使用的磁悬液,每天开始工作前,应进行磁悬液浓度测定。

2. 磁悬液污染判定

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:将磁悬液搅拌均匀,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液发出明显的荧光时,即可判定磁悬液污染。

3. 润湿性能检验

每天工作前, 应进行润湿性能检验。将磁悬液施加在被检工件表面上, 如果磁悬液液膜是均匀连续的, 则磁悬液的润湿性能合格; 如果液膜被断开, 则磁悬液中润湿性能不合格。

十一、连续法磁粉检测的通电时间

采用连续法时, 控制通电时间的目的是:

① 防止工件因通电时间过长而升温过高。当采用直接通电进行磁化时, 由于所采用的磁化电流一般均在数百安培甚至更高, 若通电时间过长会使工件发热。特别是在接触点上, 若伴有接触不良会使工件产生局部过热, 从而烧损工件;

② 有利于控制检测速度不致过快。

此外, 通电 $1s \sim 3s$ 已完全能满足工件磁滞曲线所需时间, 即在此时间内, 工件完全可以达到最大磁化工作点。所以, JB/T 4730 标准规定将连续法的通电时间控制在 $1s \sim 3s$ 之内。

十二、磁轭法的检测速度

磁轭法检测时, 若能就其移动速度 (检测速度) 加以规定, 则可控制其检测灵敏度, 以确保不漏检。但一般地说对磁粉检测灵敏度产生影响的因素较多, 如: 外加磁场大小 (以某一特定磁轭来说是其磁极间距大小)、磁悬液浓度、磁悬液流速、磁场方向、观察时的光照度、被检表面预处理状况、检测人员当时的情绪等等。也就是说, 这些因素都会影响到检测速度, 规定一个能满足这么多影响因素的检测速度是很困难的。此外, 若规定了一个检测速度 (当然是最高限), 则有可能使得检测者在检测时, 不注意其他因素的影响, 只注意检测速度, 从而造成漏检。所以, JB/T 4730 标准未就磁轭检测速度作出规定。

十三、在进行纵向磁化时, 长径比 L/D 对工件的磁化规范计算的影响

周向磁化时, 磁化电流的大小是按工件直径或横截面上最大尺寸 D 来计算的。而在进行线圈法纵向磁化时, 磁化电流的大小既不按工件直径或横截面上最大尺寸 D 计算, 也不按工件长度 L 来确定, 而是按工件的长径比 L/D 来选择。这是线圈法纵向磁化的一个特点。其原因在于: 工件在外加磁场中会产生一个与外加磁场方向相反的自身磁场, 这个磁场称之为工件的反磁场, 用图 4-2 来表示, 它起着削弱外加磁场的作用。 H_d 的大小与工件的长径比 L/D 有关, 其数值为 $H_d = NJ$, J 称为磁极化强度, 是与工件截面的单位面积上磁矩有关的物理量。 N 称为退磁因子, 是与工件的 L/D 值有关的系数。由图 4-2 可知, L/D 值大, 工件磁极外部的磁力线通过空气的路程长, 磁阻大, 工件形成的反磁场就小。反之, L/D 值小, 工件磁极外部的磁力线通过空气的路程短, 磁阻小, 磁力线易闭合, 工件形成的反磁场 H_d 值就大。在进行纵向磁化时,

L/D 值对工件的磁化效果影响极大。因此，在制定线圈法纵向磁化规范时，必须根据工件 L/D 值的大小来选择克服了反磁场 H_d 影响之后的有效磁场，使之达到规定的数值，以确保检测灵敏度。

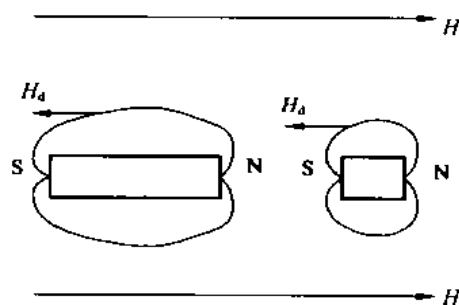


图 4-2

JB/T 4730 标准所给经验公式，即是考虑到上述因素而制定的。长径比 L/D 小于 2 时，反磁场 H_d 影响太大，标准采用的经验公式不适用； $L/D > 10$ 时，退磁因子 N 已经很小（ $L/D = 10$ 时， $N = 0.216$ ），对工件的磁化场影响较小， $L/D > 10$ 之后， N 更小，影响更弱（ $L/D = 20$ 时， $N = 0.0775$ ）。因此，在公式中规定 $L/D \geq 10$ 时，取 $L/D = 10$ ，既能保证磁化效果，又便于计算。

十四、直流电磁轭和交流电磁轭

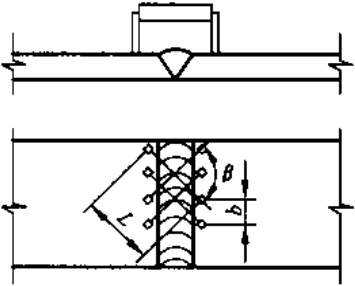
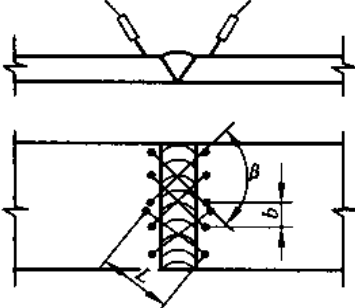
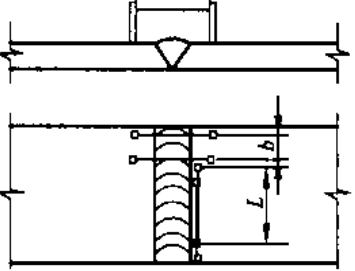
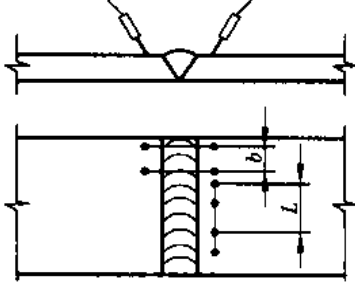
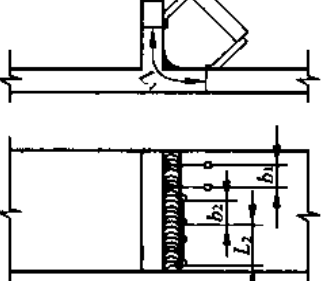
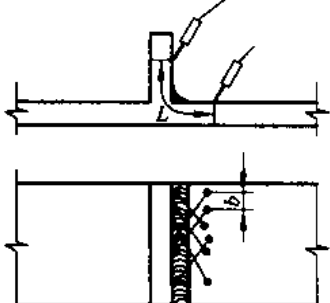
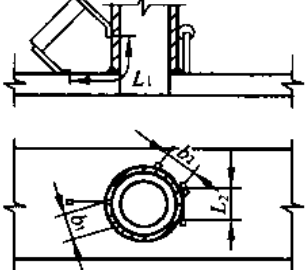
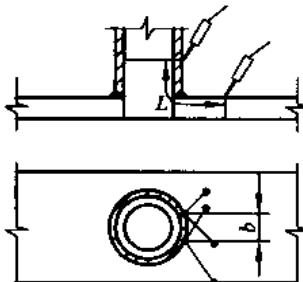
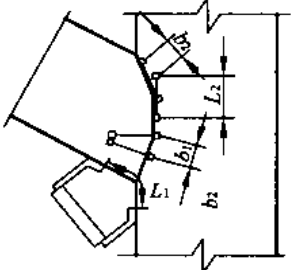
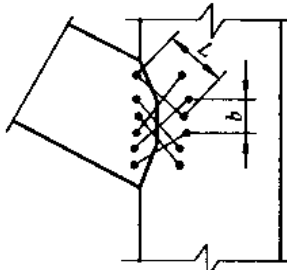
电磁轭分直流电磁轭和交流电磁轭。众所周知，交流电磁场具有集肤效应，因此对表面缺陷有较高的灵敏度。此外，由于交流电方向不断的变化，使得交流电磁轭的磁场方向也不断变化，这种方向变化可搅动磁粉，有助于磁粉的迁移，从而提高灵敏度。直流电磁轭没有集肤效应，因此相对来说其磁场深入工件表面较深，有助于发现较深层的缺陷。也正是由于这一点，在同样的磁通量情况下，磁场延伸的深度大，即磁力线可穿过面积也大，所以单位面积上的磁感应强度就低，反而降低了检测灵敏度。有资料表明，直流电磁轭在厚度大于 6mm 的钢板上进行磁粉检测时，尽管电磁轭的提升力满足标准要求（ $> 177\text{N}$ ），但用 A 型灵敏度试片测试，表面磁场强度往往达不到要求。

对承压设备来说，表面及近表面缺陷的危害程度较内部缺陷要大。因此表面和近表面缺陷的检出率高，对于承压设备安全则比较有利，所以对承压设备的对接焊接接头进行磁粉检测时以采用交流电磁轭为好。而对薄壁（ $< 4\text{mm}$ ）压力管道来说，采用直流电磁轭由于其磁场深入工件表面较深，有助于发现较深层的缺陷，可以弥补内部缺陷很难无法检测的检测真空，因此采用这种方法较交流电磁轭为好，但通常检测厚度应小于 6mm。

十五、焊接接头主要磁粉检测方法

对接焊接接头和坡口主要使用磁轭法（条件允许时，也可使用旋转磁场磁化法）和触头法进行检测，见表 4-3。

表 4-3 磁轭法和触头法的典型磁化方法

磁轭法的典型磁化方法		触头法的典型磁化方法	
	$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$ $\beta \approx 90^\circ$		$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$ $\beta \approx 90^\circ$
	$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$		$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$
	$L_1 \geq 75 \text{ mm}$ $L_2 \geq 75 \text{ mm}$ $b_1 \leq L_1/2$ $b_2 \leq L_2 - 50$		$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$
	$L_1 \geq 75 \text{ mm}$ $L_2 > 75 \text{ mm}$ $b_1 \leq L_1/2$ $b_2 \leq L_2 - 50$		$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$
	$L_1 \geq 75 \text{ mm}$ $L_2 \geq 75 \text{ mm}$ $b_1 \leq L_1/2$ $b_2 \leq L_2 - 50$		$L \geq 75 \text{ mm}$ $b \leq L/2$

(1) 在使用触头法时应注意以下几点:

- ① 必须保持触头与工件的良好接触, 不得有电火花产生。由于触头为铜质, 当电

火花产生时，有可能在触头与工件接触点上发生渗铜现象并产生微裂纹，从而会对工件产生伤害；

② 触头间距应按标准规定控制在 75mm ~ 200mm 之间；

③ 磁化电流应按 JB/T 4730 的 3.8.4 选用；

④ 对于每一磁化区域至少作两次近似垂直的磁化。

(2) 在使用磁轭法时应注意以下几点：

① 磁轭的磁极必须与工件良好接触，特别是旋转磁场和交叉磁轭更是如此，否则检测无效；

② 磁轭必须满足提升力的要求，且检测前、后应采用 A 型灵敏度试片对其检测灵敏度进行校验；

③ 磁轭的极间距应控制在 50mm ~ 200mm 之间；

④ 对于每一磁化区域应进行两次近似垂直的磁化。

十六、缺陷磁痕的观察

缺陷磁痕的观察应在磁痕形成后立即进行。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，其他磁痕显示均应作为缺陷处理。当辨认细小磁痕时，应用 2 ~ 10 倍放大镜进行观察。

① 非荧光磁粉检测时，缺陷磁痕的评定应在可见光下进行，国外目前对可见光照度的要求一般要求工件表面至少达到 1000lx。1994 版标准考虑到现场检测时，由于条件所限无法满足要求，因此规定可见光照度至少为 500lx 以上。本标准修订时考虑到可见光照度对于磁粉检测的效果影响很大，应尽量满足 1000lx 的要求，因此明确规定非荧光磁粉检测时，缺陷磁痕的评定应在可见光下进行，工件被检面处可见光照度应大于或等于 1000lx；当现场检测条件无法满足时，可见光照度至少为 500lx 以上。

② 荧光磁粉检测时，所用黑光灯在工件表面的辐照度大于或等于 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，黑光波长应在 320nm ~ 400nm 的范围内，缺陷磁痕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。

检测人员进入暗区，至少经过 3min 的暗室适应后，才能进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时，检测人员不准戴对检测有影响的眼镜。

十七、荧光磁粉检测

在光线亮度足够的情况下，磁粉检测的灵敏度在很大程度上取决于磁粉的粒度。但对于光照度不足的情况下（如锅炉、容器和球罐的内部），由于荧光的辅助指示，荧光磁粉检测有较高的检测灵敏度。因此对高强度钢以及对裂纹敏感的铁磁性材料，或是长期工作在腐蚀介质环境下，有可能发生应力腐蚀裂纹的承压设备的内壁检测，一般要求应进行荧光磁粉检测。

十八、一直线上两条或两条以上表面相邻缺陷的评级

在实际表面检测过程中,大量数据表明,间距小于或等于 2mm 的两条或两条以上缺陷在同一直线时,极有可能在浅表层是相联的。这是因为缺陷有时可能一部分露出表面,而另一部分离表面尚有一段距离,因此表面显示不出来。对这种显示若不考虑其间距,则有可能作为合格来处理,导致危险缺陷漏检。因此在进行此类缺陷显示评判时,应认真考虑缺陷可能掩盖的真实情况。国外各类标准均有对缺陷间距作出规定的。如 ASME 标准规定间距不大于 1/16in(约 1.6mm),JIS 标准规定间距不大于 2mm。所以 JB/T 4730 标准规定,两条或两条以上缺陷合并计算的间距尺寸为不大于 2mm。

由于两条或两条以上缺陷显示完全在一直线的几率很小,实际上即使是一个大缺陷的多处独立显示也不可能完全处于一直线上,所以在实际应用时,同一直线的概念就有一个宽度问题。一般说在一直线两则各 2mm 范围内且两缺陷之间夹角不超过 30° 时,均可认为在同一直线上。大量工程实际数据亦表明,若两条缺陷或两条以上缺陷落在一直线两则各 2mm 的范围内且相距不超过 2mm,极有可能是一条缺陷的多处独立显示。即使是独立缺陷,由于相互靠的很近,在受到应力作用时,其相互作用和影响也很大,有可能发展成为一体。因此,对这样的表面缺陷有必要从严处理。

十九、长度小于 0.5mm 的表面缺陷磁痕显示的处理

规定不计尺寸缺陷长度实际上是规定了承压设备磁粉检测的最小缺陷分辨率。所谓分辨率,它包含两层含义:

- ① 能检测出的最小缺陷;
- ② 对检测出的最小缺陷能完整地描述。换句话说,若能完整地描述出所检测到的最小缺陷,那么这个最小缺陷的尺寸就是此时的分辨率。

G.L.Marsh 认为磁粉检测可以发现 0.01mm 的模拟缺陷。但由于受观察者视力和磁粉颗粒度的影响,一般磁粉检测所能检出的缺陷极限尺寸为 0.25mm。通常在实验室中做出的结果,在生产检测中将是其 2 倍,而在维修检测中则是其 3 倍。有文章介绍,E.Mundry 在对大量的文献数据进行统计分析后,得出磁粉检测的极限尺寸见表 4-3。从上述论述中可看出:实际磁粉检测中,人眼通常所能分辨出的缺陷磁痕长度在 0.5mm 左右。

表 4-3 磁粉检测的缺陷极限尺寸

裂纹深度, μm	10	25	40
裂纹宽度, μm	0.1 ~ 2	1	5
裂纹长度, mm	$L \geq 2$, 检测几率为 100% $2 > L \geq 1$, 检测几率为 50%左右		$L \approx 0.5$, 受观察者的影响很大

另外,由于在实际检测过程中,对缺陷磁痕计量所用工具为钢直尺,不可能采用诸如显微镜等工具,而钢直尺的最小刻度单位为 0.5mm,小于 0.5mm 的尺寸则只能目视估计。因此,能定量描述出的缺陷磁痕尺寸为 0.5mm。同时由于缺陷磁痕较之实际

缺陷尺寸上有一个放大。即 0.5mm 的磁痕显示所代表的缺陷长度要小于 0.5mm。

综上所述，JB/T 4730 标准规定长度小于 0.5mm 的缺陷磁痕不计尺寸。

二十、横向缺陷

所谓横向缺陷是指缺陷长轴与主应力方向或轴线(母线)方向相垂直或近似垂直(一般指夹角大于 45°) 的一类缺陷。这类缺陷在受到应力作用时极易成为破坏源，由材料力学可知，无论材料是受到拉、压，还是受到扭、剪，材料在与应力方向成 45° 的方向上首先产生破裂，即所谓卢德斯带或称为皮阿伯特带。因此对于紧固件和轴类零件来说在与应力方向成 45° 左右范围存在一个缺陷，则更加容易产生破裂。故一般将其视为危害性缺陷。而对焊接接头来说，与其他类型缺陷(主要指缺陷取向)相比对横向缺陷的存在并没有什么特殊危害。

由于以往的标准中没有就横向缺陷的定义作出明确的和定量的规定，因此在进行缺陷评判时常发生争议。因此 JB/T 4730 标准规定，缺陷长轴方向与工件轴线(母线)夹角大于等于 30° 时，作为横向缺陷处理，紧固件和轴类零件不允许任何横向缺陷显示。

第5章 JB/T 4730.5 渗透检测

一、国内外承压设备渗透检测标准

1. 国内承压设备渗透检测标准的发展

JB 741—73《钢制焊接压力容器技术条件》(无渗透检测的内容)→JB 741—80《钢制焊接压力容器技术条件》(附录6:渗透探伤)→GB 150—89《钢制压力容器》(附录H)→JB 4730—94《压力容器无损检测》→JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》。

2. 国外承压设备主要渗透检测标准

ISO 3879《焊接接头液体渗透检验推荐实施方法》、ASME SE165《液体渗透检验标准推荐方法》、ASME SE433《液体渗透检验标准参考照片》、JIS Z2343《液体渗透检验方法及缺陷指示的等级分类》、DIN 54152《表面检测 渗透检测》、BS 6443《渗透探伤方法》、BS 3889《管子无损检测法》、MIL-I-25135《渗透检验材料》、MIL-I-6866《渗透检验方法》、MIL-I-38762《荧光渗透检验装置》等等。

二、渗透检测的使用范围

渗透检测是基于毛细作用,使渗透剂渗入工件表面开口缺陷中,从而达到检测目的。若是缺陷在工件表面没有开口或是开口被阻塞,则渗透检测就无能为力了。此外对于多孔性金属材料来说,由于金属材料中存在许多连通或是不连通的孔、洞,破坏了毛细作用的基础,因此也无法采用渗透检测。

大量的工程实践证明尚未开口的近表面缺陷与表面开口缺陷对工件的危害是相同或相近的。当然铁磁性材料制成的承压设备可使用磁粉检测方法检测表面和近表面缺陷,而对于非铁磁性材料,如铝、铜、钛、奥氏体不锈钢等,则只能依靠渗透检测方法。所以在使用渗透检测方法进行表面检测时就不可避免的会漏检近表面不开口缺陷,给承压设备的安全使用留下隐患,因此本标准要求对于可以使用磁粉检测的场合应尽量使用磁粉检测。

所以JB/T4730.5部分规定:渗透检测主要适用于非多孔性金属材料或非金属材料制承压设备表面开口缺陷的制造、安装检测和在用检测。同时在检测范围的描述上,对渗透检测的局限性给予说明。

三、渗透检测人员色辨观察能力

医学上对色盲和色弱是这样定义的：色盲是指全部或部分失去对颜色的分辨能力，分红色盲、绿色盲、全色盲等；色弱是指对颜色能正确认出，但表现出困难或辨认时间延长。

因此正常人对彩色可以颜色来辨认，而色盲者只能以明暗来判断，因此无论是红色盲、绿色盲还是全色盲，对着色、荧光渗透检测处理过程控制和显示观察评定都会产生严重影响。因此本标准规定渗透检测人员不能有色盲，而对色弱则没有明确要求。当然在培养渗透检测人员时，如非确有需要，一般也不应选择色弱者。

四、渗透检测人员和对视力的要求

检测人员进行显示观察时，不能戴对检测有影响的眼镜。此处“对检测有影响的眼镜”是指变色光敏眼镜。变色光敏眼镜有平光变色眼镜和近视、散光变色眼镜。配戴变色镜在着色检测时，会使反射到眼睛的光亮度降低，影响背景和显示的颜色对比度，在荧光检测时，紫外线也会对眼镜作用，使其变成有色眼镜，降低背景与显示亮度对比度，而影响检测结果。

人眼对光的强弱变化的适应是通过瞳孔大小的变化来实现的。光强时瞳孔缩小，光弱时瞳孔放大，这种适应性变化是正常人视觉的一种自然调节过程，需要有一定的时间。荧光检测时，检测人员要从亮处进入暗室，由于外界与暗室的明暗相差很大，因此在进入暗室后，为了看清事物，人的眼睛通过瞳孔的自扩大调节，以使眼睛接收到更多的光线，并在一定时间内适应这种变化，以达到最大的敏感度。这个过程称为暗适应。暗适应的时间随人的年龄和健康等而异。各标准对暗适应的时间规定也不相同。本标准规定为不小于 3 min。

五、不同类型的渗透检测剂不能混用

一般来说在进行渗透检测时，所使用的渗透检测剂（渗透剂、清洗剂、显像剂等）应选用同一种型号，且同一厂家生产的产品，不能混用不同类型的检测剂，只有这样才能得到满意的检测效果。因为虽是同种作用的检测剂（如渗透剂）由于生产厂家不同，其化学组成也不完全相同，若和其他不同类型的检测剂混合使用，则有可能出现化学反应或灵敏度降低的现象。因此，JB/T 4730 标准规定，不能混用不同类型的检测剂。此外，经过着色渗透检测的工件，若要再进行荧光渗透检测，则必须进行彻底的清洗后方可实施荧光渗透检测。这是因为缺陷中残存的着色染料会减弱或猝灭荧光染料的发光亮度，使得荧光渗透检测的灵敏度降低或不能检测。

六、渗透检测用对比试块

JB/T 4730 标准中所规定的渗透检测用对比试块有两种：铝合金试块和镀铬试块。

铝合金试块主要是用于非标准温度,即高于50℃或低于15℃情况下的检测工艺鉴定。由于温度对于渗透检测工艺的成败影响很大,因此,在标准规定的温度范围之外进行检测时,必须对所采用的工艺参数进行必要的修正。JB/T 4730 标准中所规定的铝合金试块是采用分体形的。目前国外此种试块有采用分体形,也有采用整体形式,其制作方法相似,只是一种用分割槽将试块分成两个相连的独立区域,而另一种是在制作网状裂纹后将其分割成两块独立的试块。分体形的铝合金试块使用起来较为方便,同时裂纹显示迹痕的对比也更加准确。

镀铬试块主要用于检验渗透检测剂性能,即检验渗透检测剂在标准状态下的检测灵敏度。这种检测灵敏度不能完全代表对工件的检测灵敏度,因为工件的表面粗糙度;裂纹宽度、深度;裂纹内有无杂质等均和镀铬试块有差异,所以在镀铬试块上得出的结论只能说明所用渗透检测剂的性能能否满足基本使用要求,对渗透检测剂质量起到基本保证作用。镀铬试块上有三处用冲击法得到的辐射状裂纹,按有关标准规定,低灵敏度时,裂纹宽度应在 $2.0\mu\text{m} \sim 1.2\mu\text{m}$ 左右。使用时,若能显示出三处迹痕,则认为该渗透检测剂性能好,检测灵敏度高;若有二处显示,则表明其性能稍差;若只有一处显示或无显示则表明该渗透检测剂性能比较差或不宜使用。

七、对比试块使用后的注意事项

渗透检测所用对比试块上的人工裂纹宽度较小,根据有关标准要求,镀铬试块上的人工裂纹宽度在 $1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ 之间。因此,在使用之后,若不进行仔细彻底的清洗,则残存在人工裂纹中的渗透剂残液在干凝之后,有可能将人工裂纹的开口阻塞。这样在进行下一次使用时,就有可能发生测试失效。为了避免这种情况发生,JB/T 4730 标准规定,渗透检测所用对比试块在使用之后要进行彻底清洗并放入装有丙酮和无水酒精的混合液的密闭容器中保存。只有这样,才能保证对比试块的正常使用。

八、表面准备和预清洗

表面准备是指在工件进行渗透检测之前的表面清理,包括清理铁锈、氧化皮、焊接飞溅、毛刺、防护层等固体表面污物。预清洗是渗透检测的第一道工序,是用来去除工件表面的油污、水分之类的表面污染。

在承压设备行业,非铁磁性材料主要是指铝、铜、钛、奥氏体不锈钢等,这些材料硬度低,相对较软,所以在进行表面准备时应注意以下几点:

① 当采用打磨进行表面清理时,由于材料较软,在外力作用下会造成表面缺陷的开口阻塞或闭合,给渗透造成困难或无法实施。因此,应避免采用打磨法进行清理,可使用钢丝刷等方法来进行清理。但应注意,对于钛材不可用钢丝刷,因为钛材不宜和钢铁相接触;

② 若必须使用打磨进行清理时,在打磨之后应进行酸洗或碱洗,使阻塞或闭合消失。酸洗或碱洗之后应用水彻底清洗并充分干燥,以保证表面和缺陷中的水分蒸发干净;

③ 对于奥氏体不锈钢,若进行打磨处理,除用酸洗进行处理之外,还可使用时效

法，其效果也很好。但时效时间较长，会影响检测周期；

④ 采用气体保护焊焊接的工件，其表面光滑、外观成形好，焊后一般可不进行表面清理准备即可直接进行预清洗。

预清洗的主要目的是将工件表面上妨碍渗透剂渗入缺陷的油污、水分等液体污染和灰尘清除掉。清洗方法主要有溶剂清洗和洗涤剂清洗。由于水和大部分渗透剂不相溶，缺陷附近和缺陷中的水分将严重阻碍渗透剂的渗入，因此采用洗涤剂清洗时，工件清洗后要用水充分洗净并烘干。采用溶剂清洗效果较好且无水污染之虑，但溶剂一般易燃，使用时应注意防火，以免造成事故。

九、渗透检测温度

通常渗透检测温度应控制在一定的范围内，温度太高，渗透剂易干在零件上，给清洗带来困难，还可能造成溶剂变质；温度太低，使粘度变大，渗透液变稠，渗透速度受影响。ASME SE165 规定荧光渗透剂为 $10^{\circ}\text{C} \sim 38^{\circ}\text{C}$ ，着色渗透剂为 $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。参照 ASME 的有关规定，本标准规定采用的渗透检测温度为 $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，对超出此温度范围规定用铝合金对比试块对操作方法进行鉴定。鉴定方法如下：

1. 温度低于 10°C 条件下渗透检测方法的鉴定

在试块和所有使用材料都降到预定温度后，将拟采用的低温检测方法用于 B 区。在 A 区用标准方法进行检测，比较 A、B 两区的裂纹显示迹痕。如果显示迹痕基本上相同，则可以认为准备采用的方法经过鉴定是可行的。

2. 温度高于 50°C 条件下渗透检测方法的鉴定

如果拟采用的检测温度高于 50°C ，则需将试块 B 加温并在整个检测过程中保持在这一温度，将拟采用的检测方法用于 B 区。在 A 区用标准方法进行检测，比较 A、B 两区的裂纹显示迹痕。如果显示迹痕基本上相同，则可以认为准备采用的方法是经过鉴定可行的。

十、选择渗透检测方法应注意的问题

对于非铁磁性材料的工件，如铝、钛、铜、奥氏体钢（0Cr18Ni9Ti 等）的焊接接头、锻件、螺栓件的表面开口缺陷的检测应使用渗透检测方法进行检测。此外，因结构形状等原因无法进行磁粉检测的铁磁性材料工件表面缺陷的检测，也可使用渗透检测。

（1）渗透检测的具体方法有多种，各有其优、缺点。实际选用时，应根据工件材料、工件大小、形状、数量、重量、表面粗糙度、要求的检测灵敏度、水电供应情况、检验场地及容器的用途等原因进行综合考虑。在以上因素中重点考虑的为检测灵敏度，但这并不意味着在任何情况下都盲目选择最高灵敏度的检测方法。如对表面粗糙的工件，若

采用高灵敏度的后乳化荧光渗透检测剂,会使清洗困难,荧光背景过深,虚假迹痕显示多,以至达不到检测目的。因此,应在争取较高检测灵敏度的前提下,综合考虑其他因素来选择检测方法。

(2) 根据渗透剂和显像剂种类不同,渗透检测方法可按表 5-1 进行分类。

表 5-1 渗透检测方法分类

渗透剂		渗透剂的去除		显像剂	
分类	名称	分类	方法	分类	名称
I	荧光渗透检测	A	水洗型渗透检测	a	干粉显像剂
II	着色渗透检测	B	亲油型后乳化渗透检测	b	水溶解显像剂
III	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

注: 渗透检测方法代号示例: II C-d 为溶剂去除型着色渗透检测(溶剂悬浮显像剂)。

(3) 灵敏度等级。

不同灵敏度等级在镀铬试块上可显示的裂纹区位数应按表 5-2 的规定。

表 5-2 灵敏度等级

灵敏度等级	可显示的裂纹区位数
1 级(低灵敏度)	1~2
2 级(中灵敏度)	2~3
3 级(高灵敏度)	3

(4) 渗透检测方法选用:

① 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。

② 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。

③ 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。

④ 对现场无水源、电源的检测宜采用溶剂去除型着色法。

⑤ 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。

⑥ 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。

⑦ 荧光法比着色法有较高的检测灵敏度。

⑧ 对于镍基合金、奥氏体不锈钢和钛合金材料,使用渗透检测时,应注意渗透检测剂中的 S、F、Cl 元素不应超标。

十一、渗透时间

所谓渗透时间是指从施加渗透剂到开始去除或施加乳化剂之间的时间。在此期间内、渗透剂应保持湿润状态。一般说来，渗透时间在 5min 左右即能保证渗透剂渗入绝大部分缺陷中去（除一些特别细小的缺陷，如应力腐蚀裂纹、疲劳裂纹等）。ZB J04 005 标准规定，对于焊接件，渗透时间至少为 5min；对于锻件、板材渗透时间至少为 10min。这样的规定已完全能满足检测要求。事实上，若渗透时间稍长一些，在不干燥的前提下，会使渗透剂中的挥发性物多挥发一些，从而使染料浓度相对提高，粘度相对增大。这样，在显像时可使缺陷的对比度得到提高，同时也使缺陷显示轮廓清晰。但是，若渗透时间过长会造成渗透剂干燥，给清洗和显像带来困难。因此，JB/T 4730 标准规定，渗透时间一般不应少于 10min。

十二、清洗多余渗透剂的注意事项

在清洗工件被检表面以去除多余的渗透剂时，应注意防止过度去除而使检测质量下降，同时也应注意防止去除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以保证在得到合格的背景情况下，取得最佳的检测灵敏度。

对于水洗型和后乳化型可采用水洗，溶剂去除型则用溶剂清洗。采用溶剂清洗多余渗透剂时，应采用干布（纸）依次擦拭，将绝大部分渗透剂擦拭完后，再用蘸有少量清洗剂（煤油、酒精、丙酮等有机溶剂）的干布擦拭，此时若采用冲洗法会将缺陷中的渗透剂冲洗掉。

当采用快干式显像剂显像时，由于快干式显像剂中显像剂粉末的载液为有机溶剂，若采用倾倒方式施加快干式显像剂，如同用清洗剂冲洗被检面一样，极易将缺陷中的渗透剂冲洗掉，从而降低了缺陷检出率。

十三、施加显像剂时的一般要求

显像剂有干式、湿式和快干式。施加显像剂的方法有喷洒、刷涂等。无论使用哪种显像剂，在施加显像剂时，均要求显像剂在工件被检面上形成一层薄而均匀的覆盖层，其厚度一般以能刚遮住被检工件表面为宜。为此，JB/T 4730 标准禁止在同一处反复施加显像剂。

众所周知，显像剂的作用是利用显像剂薄层所产生的毛细作用将缺陷中的渗透剂吸附到零件表面上来，在显像剂层上形成一个放大的缺陷显示。若显像剂层过厚，则会掩盖一些小缺陷的显示。同时，显像剂层过厚会对缺陷形貌产生较大的变形，对缺陷的评定不利。

在 GB 150—89 附录 H 中，对显像剂层厚度曾作出规定：显像剂层厚度为 0.05mm ~ 0.07mm。此规定在理论上来说是正确的，但在实际实施过程中由于无法对显像剂层的

厚度作出测定, 因此没有可操作性, 所以 JB/T 4730 标准中未就此作出规定。

显像时间取决于显像剂种类、需要检测的缺陷大小以及被检工件温度等, 一般不应少于 7min。

十四、渗透检测质量分级

渗透检测质量分级的依据是存在的缺陷性质、数量、尺寸以及密集程度。表面缺陷容易引起应力集中, 而成为断裂源, 因此表面缺陷的数量、尺寸控制比埋藏缺陷要严格。

JB/T 4730—2005 标准质量分级部分就是依据了这样的原则。对于螺栓等轴类部件, 横向缺陷在受到拉、扭、剪等应力作用时, 非常容易成为断裂源。所以本标准专门规定紧固件和轴类零件不允许存在横向缺陷。对于其他缺陷的分级如下所示:

焊接接头和坡口的质量分级按表 5-3 进行。

表 5-3 焊接接头和坡口的质量分级

等级	线 性 缺 陷	圆 形 缺 陷 (评定框尺寸 35mm × 100mm)
I	不允许	$d \leq 1.5$, 且在评定框内少于或等于 1 个
II	不允许	$d \leq 4.5$, 且在评定框内少于或等于 4 个
III	$L \leq 4$	$d \leq 8$, 且在评定框内少于或等于 6 个
IV	大于 III 级	
注: L 为线性缺陷长度, mm; d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸, mm。		

其他部件的质量分级评定见表 5-4。

表 5-4 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	$d \leq 1.5$, 且在评定框内少于或等于 1 个
II	$L \leq 4$	$d \leq 4.5$, 且在评定框内少于或等于 4 个
III	$L \leq 8$	$d \leq 8$, 且在评定框内少于或等于 6 个
IV	大于 III 级	
注: L 为线性缺陷长度, mm; d 为圆形缺陷在任何方向上的最大尺寸, mm。		

十五、渗透检测泄漏

泄漏是一种穿透截面的缺陷。通常用高灵敏度的后乳化型荧光液检测泄漏。

(1) 密封的压力容器或装置: 如果密封液体本身带有荧光, 可以从容器外侧在黑光灯下进行探测; 如果密封液体本身不带有荧光, 可以往密封液体添加荧光剂, 再从

容器外侧在黑光灯下进行探测；

(2) 真空压力容器或装置：

① 抽真空前，在容器内灌进渗透液，再从容器外侧在黑光灯下进行探测；

② 从容器外侧刷涂渗透剂，保持一定渗透时间后，从容器内侧进行探测。若真空压力容器或装置是透明的，只需从外侧刷涂渗透剂，擦去外壁的渗透液后，可直接在黑光灯下进行探测；

(3) 焊接压力容器或装置：

① 在容器内灌进渗透能力强的液体，并添加荧光剂，再从容器外侧在黑光灯下进行探测；

② 从容器内侧刷涂渗透剂，保持一定渗透时间后，从容器外侧进行探测；或从容器外侧刷涂渗透剂，保持一定渗透时间后，从容器内侧进行探测。

用渗透液检测泄漏时，通常不进行显像。

第6章 JB/T 4730.6 涡流检测

一、国内、外承压设备涡流检测标准

1. 国内承压设备涡流检测标准的发展

GB 5126《铝及铝合金冷拉薄壁管材涡流探伤方法》;

GB 5248《铜及铜合金无缝管材涡流探伤方法》;

GB/T 7735《钢管涡流探伤方法》;

GB/T 12969.2《钛及钛合金无缝管材超声波和涡流检验方法》;

GB/T 14480《涡流探伤系统性能测试方法》→JB 4730—94《压力容器无损检测》
→JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》。

2. 国外承压设备主要涡流检测标准

ASTM E2096、ASME 第V卷第8章;

ISO 9304《承压无缝钢管和焊接钢管涡流检测》;

JIS G0583《钢管涡流检测方法》;

JIS H0502《铜及铜合金管涡流检测方法》;

DIN 54141《无损检测 管材涡流检测》;

BS 3889《管子的无损检测方法》。

二、本标准与1994版标准的主要区别

本标准与1994版标准的主要区别表现在以下几个方面:

(1) 1994版标准主要包括承压设备制造、安装中圆形无缝钢管及焊接钢管、铝及铝合金冷拉薄壁管、铜及铜合金和钛及钛合金管的穿过式涡流检测,主要是指管材的质量控制和制造检验。本标准则既包括管子质量控制和制造检验也包括了管子的在用检测。

(2) 对铁磁性金属管材产品的涡流检测标准试样作了部分改动和改进。

① 1994版标准采用两组通孔,一组为 d_a 标准孔,一组为 d_b 标准孔,每组三个来调节检测灵敏度;本标准采用两个验收等级:等级A和等级B,其相应的孔径尺寸也和1994版标准不同。

② 本标准考虑到涡流检测的端部效应,除和1994版标准相近的三个孔以外,在样管的两端又增加了两个通孔。

③ 本标准采用的检测线圈形式要比 1994 版标准多,此外本标准还增加采用矩形槽作为人工反射体。

也就是说修订后的标准对铁磁性金属管材的检测灵敏度和 1994 版标准实际上并不一致。

(3) 对非铁磁性金属管材产品的涡流检测标准试样作了部分改动和改进。

① 1994 版标准采用两组通孔,一组为 d_a 标准孔,一组为 d_b 标准孔,每组三个来调节检测灵敏度;本标准中铜及铜合金和铝及铝合金采用一组通孔,而钛及钛合金只采用同一个孔径的通孔来调节检测灵敏度。

② 本标准考虑到涡流检测的端部效应,除和 1994 版标准相类似的三个孔以外,在样管的两端又增加了两个通孔。

也就是说修订后的标准对非铁磁性金属管材的检测灵敏度也和 1994 版标准不一致。

(4) 1994 版标准是将无缝钢管及焊接钢管、铝及铝合金冷拉薄壁管、铜及铜合金和钛及钛合金管用一种方法(两组通孔)来调节灵敏度,而本标准则是将各种不同材料的管材用不同的尺度来调节灵敏度。

三、增加了采用远场涡流检测方法检测在用铁磁性钢管

石化行业大量的高温高压空冷器的碳钢和低合金钢管束,其外壁缠绕着翅片,定期检验时,采用其他检测方法几乎都无法进行检测,对于这样的碳钢和低合金钢管束通常只能采用远场涡流检测方法由内壁检测在用铁磁性钢管,但长期以来国内一直没有相应的标准规范。

本次修订时,对在用铁磁性钢管涡流检测参照 ASME 第 V 卷和 ASTM E2096 的要求作出相应的规定。本标准适用外径为 $\Phi 12.5\text{mm} \sim \Phi 25\text{mm}$ 、壁厚为 $0.70\text{mm} \sim 3\text{mm}$ 的铁磁性钢管的远场涡流检测。远场涡流检测技术是一种穿透金属管壁的低频涡流检测技术。探头一般为内穿过式,由激励线圈与检测线圈构成,以实现钢管内、外壁缺陷的检测。本标准规定检测仪器采用电压平面显示方式,实时给出缺陷的相位、幅值等特征信息,可将干扰信号与缺陷信号调整在易于观察及设置报警区域的相位上。采用的检测探头为绝对检测线圈和差动检测线圈以及多点式检测线圈,检测线圈的探头必须具有合适的直径,应能顺利通过所要检测的管子,并具有尽可能大的填充系数。对比试样管人工缺陷主要为圆底孔、通孔、周向窄凹槽、周向宽凹槽、单边缺陷(I 型对比试样管的单边缺陷和 II 型对比试样管的单边缺陷)。缺陷特征对比试样管包括通孔、圆底孔和平底孔——用于表征凹陷型缺陷;周向凹槽——用于表征大面积均匀减薄;单边缺陷——用于表征局部减薄。

本标准试图通过对在用碳钢和低合金钢管束各类缺陷的模拟,来调节检测灵敏度,以检出类似缺陷,满足承压设备安全长周期运行,当然这些内容都远远地超出 1994 版标准的范畴,但是根据目前的技术条件,要想真正解决问题,似乎还有相当长的路程要走。

五、增加了在用非铁磁性管的涡流检测方法

目前国内有关工业行业（包括石化、制冷、军工等）也还存在大量外壁无法接近或无法检测的在用非铁磁性管，这类管子的安全使用无疑给无损检测技术带来很大的挑战。本标准参照 ASME 第 V 卷和 ASTM E2096 的要求对此作出相应的规定。

本标准采用内穿过式探头与涡流探伤仪组合检测在用非铁磁性管，仪器设备应具备检出裂纹、腐蚀坑和重皮等缺陷的能力，同时还应具备测量分辨管子壁厚均匀减薄的能力。本标准采用的 I 型对比试样包括一个贯穿管壁的通孔、四个深度为壁厚的 20% 平底孔、一个 360° 的周向切槽（深度为壁厚的 20%）、一个 360° 的周向切槽（深度为壁厚的 10%）。II 型试样包括一个穿透壁厚的孔；一个外壁平底孔，孔径为 2.0mm，深度为壁厚的 80%；一个外壁面平底孔，孔径为 2.8mm，深度为壁厚的 60%；一个外壁平底孔，孔径为 4.8mm，深度为壁厚的 40%；四个外壁平底孔，孔径为 4.8mm，深度为壁厚的 20%。III 型对比试样用于测试系统检出壁厚均匀减薄、长条形缺陷的能力，该试样包括一个 360° 的周向切槽，一个纵向切槽，槽宽为 0.2mm，长度为 3mm~5mm，深度为壁厚的 20%，一个纵向切槽，槽宽为 0.2mm，长度为 200mm，深度为壁厚的 20%~30%。

本部分的内容应该说和 1994 版标准相比还是比较接近的。检测所采用的这几种对比样，都是从模拟缺陷的角度来考虑的，但与实际缺陷的对应程度、检测的可靠性和有效性还需要在实践中得到考核和确认。

第7章 参考文献

- 美国 ASME 锅炉压力容器规范第 V 分卷
 美国压力容器规范分析—ASMEⅧ-1 和Ⅷ-2
 日本无损检测标准规范译文集 (JIS)
 西德无损检测标准规范译文集 (DIN)
 英国无损检测标准规范汇编 (BS)
 射线探伤 B
 超声探伤 A
 超声探伤 B
 JB 4730—94《压力容器无损检测》标准问答
 国内外焊缝超声波探伤标准汇编
 世界压力容器用钢手册
 焊接结构现代无损检测技术
 压力管道技术
 特殊压力容器
 低温绝热与储运技术
 石油工业中的腐蚀与防护
 化学工业中的腐蚀与防护
 有色金属的耐腐蚀性及其应用
 腐蚀试验方法与防腐蚀检测技术
 石油工业中的腐蚀与防护
 无损检测技术及其应用
 超声波探伤
 超声检测技术
 超声波探伤原理及其应用
 压力容器技术进展—1 缺陷分析
 压力容器技术进展—2 探伤与检验
 压力容器技术进展—3 材料和工艺
 中国石油设备工业协会译
 丁伯民著
 全国无损检测标准化技术委员会编
 全国无损检测标准化技术委员会编
 全国无损检测标准化技术委员会编
 日本非破坏检查协会编, 李衍译
 日本非破坏检查协会编, 李衍译
 日本非破坏检查协会编, 马羽宽等译
 袁榕、刘庆著
 李生田、李家鳌编译
 秦晓钟、藤明德著
 李生田、刘志远著
 岳进才编
 郑津洋、陈志平编著
 徐烈等编著
 中国腐蚀与防护学会主编
 中国腐蚀与防护学会主编
 中国腐蚀与防护学会主编
 中国腐蚀与防护学会主编
 中国腐蚀与防护学会主编
 张俊哲等编
 《超声波探伤》编写组编著
 J. 克劳特克洛默 H. 克劳特克洛默,
 李靖等译
 北京市技术交流站编
 R. W. 尼柯尔斯, 中国压力容器学会
 组织翻译
 R. W. 尼柯尔斯, 中国压力容器学会
 组织翻译
 R. W. 尼柯尔斯, 中国压力容器学会
 组织翻译

- 压力容器技术进展—4 特殊容器的设计 R. W. 尼柯尔斯, 中国压力容器学会组织翻译
- 压力容器技术进展—5 规范和标准 R. W. 尼柯尔斯, 中国压力容器学会组织翻译
- 超高压容器设计 陈国理等编著
- 压力容器检验 中国锅炉压力容器检验协会, 强天鹏主编
- 锅炉压力容器无损检测相关知识 全国锅炉压力容器无损检测考委会, 王晓雷
- GB 150《钢制压力容器》
- GB 151《钢制管壳式换热器》
- GB/T 9842《尿素合成塔技术条件》
- GB/T 10476《尿素高压冷凝器技术条件》
- GB 12337—99《钢制球形储罐》
- GB/T 15386—94《空冷式换热器》
- GB 16409—96《板式换热器》
- GB 16749—97《压力容器波形膨胀节》
- GB 18442—2001《低温绝热压力容器》
- GBJ 50094—98《球形储罐施工及验收规范》
- GB 12130—95《医用高压氧舱》
- JB 4708《钢制压力容器焊接工艺评定》
- JB/T 4709《钢制压力容器焊接规程》
- JB/T 4710《钢制塔式容器》
- JB/T 4731《钢制卧式容器》
- JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》
- JB/T 4735《钢制焊接常压容器》
- TSG R7001《压力容器定期检验规则》
- 劳动部劳锅字 1997 年 74 号文《热水锅炉安全技术监察规程》
- 劳动部劳锅字 1993 年 4 号文《溶解乙炔气瓶安全监察规程》
- 劳动部劳锅字 1993 年 370 号文《超高压容器安全监察规程》
- 劳动部劳锅字 1994 年 262 号文《液化气体汽车罐车安全监察规程》
- 劳动部劳锅字 1996 年 140 号文《压力管道安全管理与监察规定》
- 劳动部劳锅字 1996 年 276 号文《蒸汽锅炉安全技术监察规程》
- 国家质量技术监督局锅发 1999 年 154 号文《压力容器安全技术监察规程》
- 国家质量技术监督局锅发 1999 年 202 号文《锅炉定期检验规则》
- 国家质量技术监督局锅发 1999 年 218 号文《医用氧舱安全管理规定》
- 国家质量技术监督局锅发 2000 年 250 号文《气瓶安全监察规程》
- 国家质量监督检验检疫总局国质检锅 2003 年 108 号文《在用工业管道定期检验规程》
- 国家质量监督检验检疫总局国质检 [2003] 249 号文《特种设备检验检测机构管理规定》

第8章 使用实例

一、例题 1

某石化公司 2000m³ 丙烯球罐是采用国产 07MnCrMoVR 钢板制做的, 该钢种为调质钢, 具有较明显的再热裂纹倾向, 其 $\sigma_b = 610\text{MPa} \sim 740\text{MPa}$, $\sigma_s \geq 490\text{MPa}$ (注: 出厂时未对钢板进行超声检测); 球罐承压锻件采用 08MnNiCrMoVD。球罐外形如图 8-1 所示, 主要技术参数如下:

容器类别: 三类; 设计压力: 2.16MPa; 设计温度: $> -20^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$;

操作压力: 1.97MPa; 操作温度: $-10^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$; 容器规格: $\phi 15700 \times 46\text{mm}$;

容积: 2000m³; 腐蚀裕量: 1.5mm; 焊缝系数: 1; 工作介质: 丙烯 (要求硫化氢含量小于 20ppm)。

球罐瓣片 (含零部件) 制作过程中, 应进行的主要无损检测工作 (根据《压力容器安全技术监察规程》、GB 150—98《钢制压力容器》、GB 12337—99《钢制球形储罐》、GBJ 50094—98《球形储罐施工及验收规范》、JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》的相关规定)。

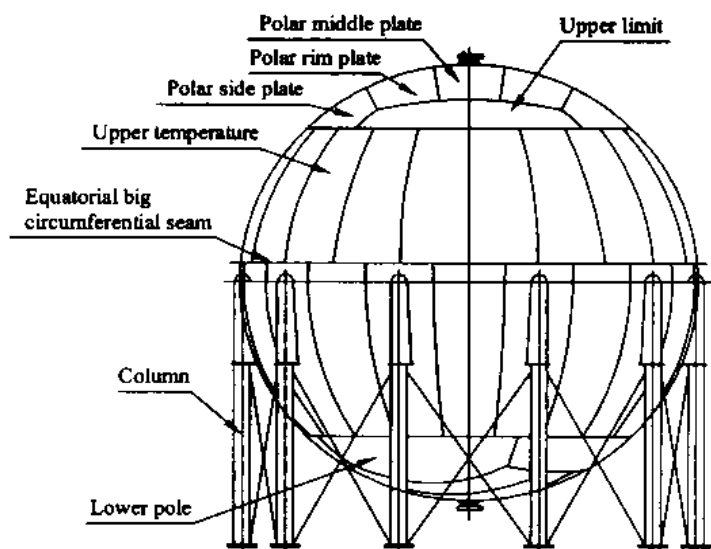


图 8-1 2000m³ 07MnCrMoVR 丙烯球罐示意图

(1) 球壳用 07MnCrMoVR 钢板按 JB/T 4730 的要求, 逐张进行超声检测, 探头沿垂直于钢板压延方向, 间距不大于 100mm 的平行线进行扫查。在球壳板剖口预定线两侧各 100mm 内应作 100% 扫查, 合格级别不低于 II 级。若剖口预定线有不允许存在的内部缺陷, 应调整下料位置予以避开, 以保证焊缝的坡口质量;

(2) 气割坡口应进行 100% 的磁粉或渗透检测, I 级合格。

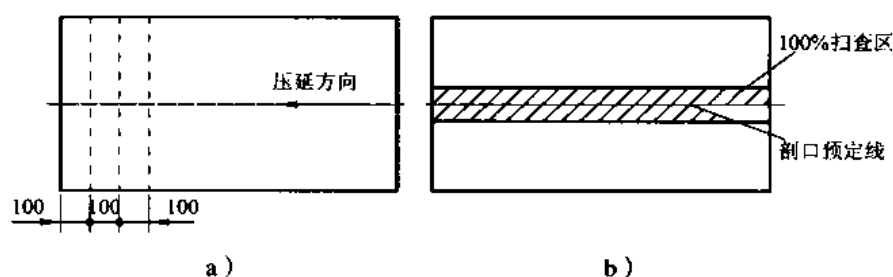


图 8-2

(3) 球罐承压用 08MnNiCrMoVD 锻件 (长颈法兰和人孔锻件), 应逐件进行超声检测复验, 应符合 JB 4726 标准 III 级或 IV 级锻件要求, 单个缺陷 III 级合格, 底波降低量 III 级合格, 密集区缺陷 II 级合格;

(4) 焊后 36h, 所有零部件组焊的对接焊接接头、角焊缝及热影响区应进行 100% 的磁粉或渗透检测, I 级合格。

(5) 凸缘与壳体、接管与壳体、凸缘与法兰的对接焊缝焊后 36h, 应进行 100% 的射线检测 (II 级合格) 和 100% 的超声检测 (I 级合格)。对于不合格焊接接头应进行返修, 返修后仍按原要求进行射线和超声检测。

表面缺陷清除和修补后, 应进行磁粉检测、修补深度超过 3mm 时, 应增加射线检测, II 级合格。

(6) 焊接头局部热处理后, 应进行不低于 20% 的超声检测和不低于 20% 的磁粉检测, I 级合格。

(7) 上支柱与赤道板, 人孔、接管与中极板组焊后如需矫形, 矫形后通常应进行 100% 的渗透或磁粉检测, I 级合格。

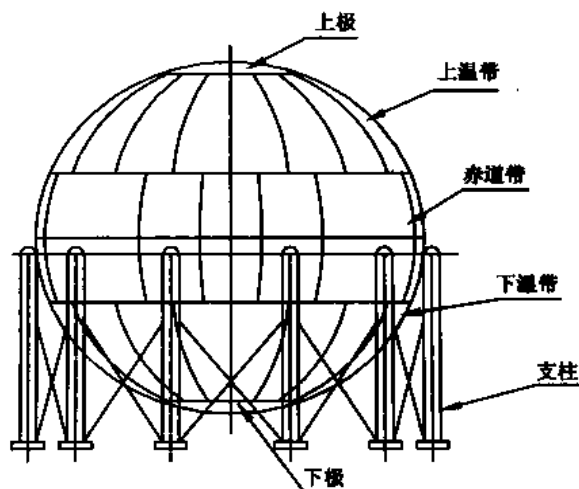
二、例题 2

某石化公司 1500m³ 乙烯球罐是采用国产 07MnNiCrMoVDR 制造的低温球罐, 该钢种为调质钢, 具有较明显的再热裂纹倾向, 其 $\sigma_b = 610 \sim 740\text{MPa}$, $\sigma_s \geq 490\text{MPa}$ 。其外形如图 8-3 所示, 主要技术参数如下:

容器类别: 三类; 设计压力: 2.2MPa; 设计温度: $-40^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$; 焊缝系数: 1;
规格: $\Phi 14200 \times 44\text{mm}$; 容积: 1500m³; 腐蚀裕量: 1.5mm; 充装系数: 0.9。

现场施工安装过程中, 应进行的主要无损检测工序 (根据《压力容器安全技术监察规程》、GB 150—1998《钢制压力容器》、GB 12337—1999《钢制球形储罐》、GBJ 50094—1998《球形储罐施工及验收规范》、JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》的相关规定)。

(1) 球壳板的超声波抽查。抽查数量不少于球壳板数量的 20%, 且每带不少于两块, 上、下极板各不少于一块, 合格级别不低于 II 级; 若发现超标缺陷, 应加倍抽查, 若仍有超标缺陷, 则应 100% 检测。

图 8-3 1500m³ 07MnNiCrMoVDR 乙烯球罐示意图

(2) 球壳板气割坡口表面应进行渗透或磁粉复验, I 级合格。

(3) 按《容规》的要求, 在安装现场, 应制作立、横、平加仰三块产品焊接试板, 焊后应进行射线(超声)检测, II 级(I 级)合格。

(4) 对接焊缝焊后 36h 应进行 100% 的射线检测(II 级合格)和 100% 的超声检测(I 级合格), 以及对对接焊缝、角焊缝、焊迹部位及热影响区进行 100% 的磁粉检测, I 级合格。

超声检测时, 对焊缝两侧斜探头扫查经过区域的母材部位要用直探头进行检查。检测纵向缺陷时, 至少应采用两种 K 值探头在焊缝的单面双侧进行检测。为检测焊缝及热影响区的横向缺陷应进行斜平行扫查。检测时, 可在焊缝两侧边缘使探头与焊缝中心线成 10°~20° 作斜平行扫查。

(5) 焊缝热处理后, 应进行不低于 20% 的超声检测和不低于 20% 的磁粉检测, 均为 I 级合格。

(6) 水压试验后, 应对对接焊接接头、角焊缝、焊迹部位及热影响区进行不低于 20% 的磁粉检测, I 级合格。

(7) 各种缺陷清除和修补后, 应进行磁粉检测或渗透检测、修补深度超过 3mm 时, 应增加射线(II 级合格)或超声检测(I 级合格)。

三、例题 3

某石化公司一台热壁加氢反应器(R-1360)如图 8-4 所示, 1998 年 11 月正式投入生产。2004 年进行定期开罐检验, 其主要技术参数为:

容器类别: 三类; 设计压力: 18.94MPa; 设计温度: 454℃; 操作压力: 18.0MPa; 操作温度: 445℃; 公称壁厚: 封头 137+7.5mm; 筒体 251+7.5 mm;

主体材质: SA542C.CL.4a W/TP.309L+TP.347 SA336-F3V W/TP.309L+TP.347L;

容器规格: $\Phi 4000 \times (251+7.5) \times 28300\text{mm}$; 工作介质: 渣油、油气、H₂、H₂S。

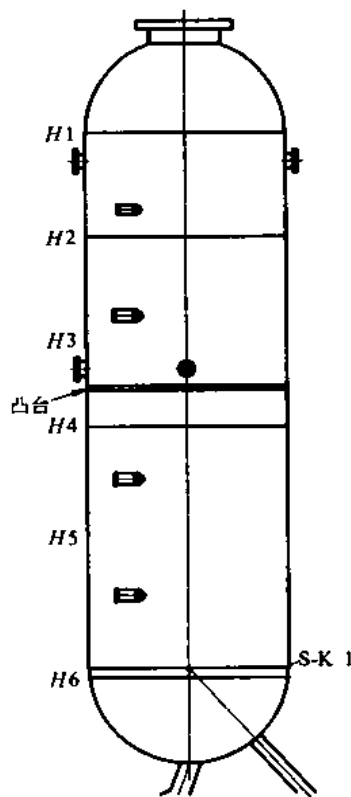


图 8-4 热壁加氢反应器简图

定期检验过程中,进行的主要无损检测工序(根据《压力容器安全技术监察规程》、GB 150—1998《钢制压力容器》、JB/T 4710《钢制塔式容器》、TSGR 7001—2004《压力容器定期检验规则》、JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》、国家质量监督检验检疫总局《在用工业管道定期检验规程》的相关规定)。

(1) 内凸台和对接焊接接头 100%的超声检测(从外壁进行检测)。

超声检测的距离—波幅曲线的灵敏度见表 8-1:

表 8-1

试块型式	板厚 mm	评定线	定量线	判废线
CSK-ⅣA	275	$\phi 11.1-16\text{dB}$	$\phi 11.1-10\text{dB}$	$\phi 11.1$

对超标内部缺陷可以采用 JB/T 4730.3 在用承压设备超声检测的内容进行检测;

(2) 堆焊层内部缺陷和堆焊层层下裂纹内、外壁超声波检测。

内壁超声检测采用 T1 型试块的灵敏度调节:

① 纵波双晶斜探头灵敏度的校准:将探头放在试块的堆焊层表面上,移动探头使从 $\phi 1.5\text{mm}$ 横孔获得最大反射波幅,调节衰减器使回波幅度为满刻度的 80%,以此作为基准灵敏度。主要检测堆焊层界面再热裂纹。

② 双晶直探头灵敏度的校准:将探头放在试块的堆焊层表面上,移动探头使其从 $\phi 3\text{mm}$ 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%,以此作为基准灵敏度。主要检测堆焊层内缺陷。

外壁超声检测采用 T2 型试块灵敏度调节：

① 将单直探头放在母材一侧，使 $\phi 3\text{mm}$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。主要检测堆焊层内缺陷。

② 纵波斜探头灵敏度的校准：将探头放在试块的母材表面上，移动探头使从 $\phi 1.5\text{mm}$ 横孔获得最大反射波幅，调节衰减器使回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度。主要检测堆焊层界面再热裂纹。

(3) 堆焊层层间氢致剥离的内、外壁超声波检测。

灵敏度调节采用 T3 型试块：

① 双晶直探头灵敏度的校准：将探头放在堆焊层一侧，使 $\phi 10\text{mm}$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度；

② 单直探头灵敏度的校准：将探头放在母材一侧，使 $\phi 10\text{mm}$ 平底孔回波幅度为满刻度的 80%，以此作为基准灵敏度；

(4) 热壁加氢反应器外壁对接焊接接头和角焊缝磁粉检测，I 级合格。

(5) 热壁加氢反应器内壁堆焊层和端盖密封槽部位渗透检测，I 级合格。

(6) 热壁加氢反应器接管和临氢工业管道环向对接焊接接头磁粉和渗透检测，I 级合格。

(7) 热壁加氢反应器接管和临氢工业管道环向对接焊接接头超声检测按照 JB/T 4730.3 第 6 章的要求进行检测。对超标内部缺陷采用 JB/T 4730.3 第 7 章的在用承压设备超声检测要求进行检测。

四、钢板横波检测灵敏度的调整方法

钢板横波检测的灵敏度和距离—波幅曲线是利用带有 60° 尖角槽的校准试块来确定。

(1) 壁厚 $\delta \leq 50\text{mm}$ 时，距离—波幅曲线的制作如图 8-5 所示。

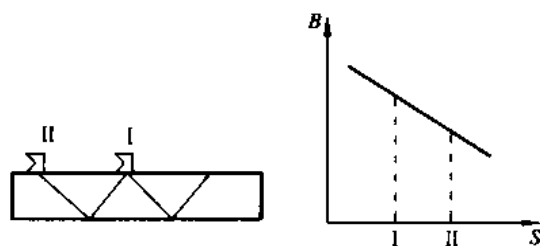


图 8-5

(2) 壁厚 δ 为 $50\text{mm} \sim 150\text{mm}$ 时，距离—波幅曲线的制作如图 8-6 所示。

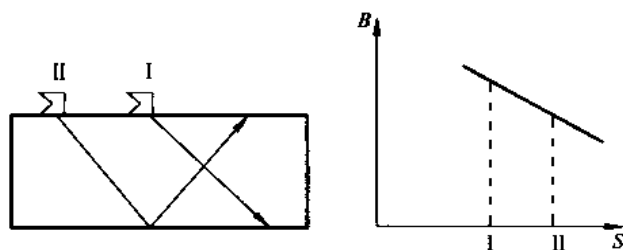


图 8-6

(3) 壁厚 δ 为 150mm ~ 200mm 时, 距离—波幅曲线的制作如图 8-7 所示。

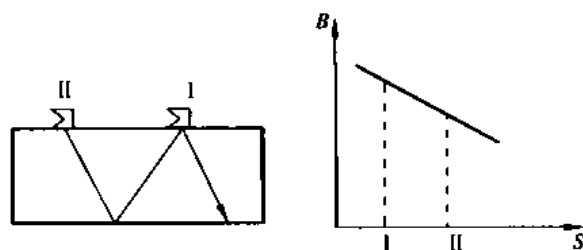


图 8-7

实际进行钢板横波检测时, 其扫查灵敏度还应在上述基准上提高 6dB。

五、采用底波法来调节锻件超声检测灵敏度

当锻件被探部位厚度 $X \geq 3N$ (N 为近场区长度), 且锻件具有平底面或圆柱形曲底面时, 常用底波法来调节检测灵敏度。

对于平底面或实心圆柱形曲底面, 其同距离处底波与平底孔回波的分贝差 Δ 为:

$$\Delta = 20 \lg(P_B / P_\phi) = 20 \lg(2\lambda X / \pi \phi^2) (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (8-1)$$

式中:

P_B ——大平底的回波声压;

P_ϕ ——平底孔的回波声压;

λ ——波长, mm;

X ——被探部位的厚度, mm;

ϕ ——平底孔直径, mm。

对于空心圆柱体, 其同距离处圆柱形曲底面回波与平底孔回波的分贝差 Δ 为:

$$\Delta = 20 \lg(P'_B / P'_\phi) = 20 \lg(2\lambda X / \pi \phi^2) \pm 10 \lg(D / d) (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (8-2)$$

式中:

P'_B ——圆柱曲底面的回波声压;

d ——空心圆柱体内径, mm;

D ——空心圆柱体外径, mm;

“+”——内孔探测, 凹柱面反射;

“-”——外壁探测, 凸柱面反射。

仪器调节时应将探头对准工件完好区的底面, 调衰减器使底波达基准波高, 然后再将仪器灵敏度提高 Δ dB, 即为检测灵敏度, 同时, 仪器也告调节完毕。

六、高压无缝钢管液浸法检测灵敏度的确定

(1) 选择合适的聚焦探头透镜半径 r 的确定。

聚焦探头一般分为线聚焦探头和点聚焦探头。普通高压管采用线聚焦探头, 小口径薄壁管通常采用点聚焦探头。聚焦探头声透镜曲率半径 r 通常满足下述条件:

$$r = (C_1 - C_2) \times f / C_1 \quad \dots\dots\dots (8-3)$$

式中：

C_1 ——声透镜材料中的纵波声速，m/s；

C_2 ——水中声速，m/s；

f ——水中焦距，mm。

对于有机玻璃材料声透镜来说， $C_1=2730\text{m/s}$ ， $C_2=1480\text{m/s}$ ，代入式中计算得 $r \approx 0.46f$ 。

(2) 确定大致的偏心距范围，结合探头的焦距确定合适的水层距离。

探头声束轴线与管子中心轴线的距离称为偏心距，常用 x 表示。如图 8-8 所示。偏心距 x 可以根据以下条件来确定：

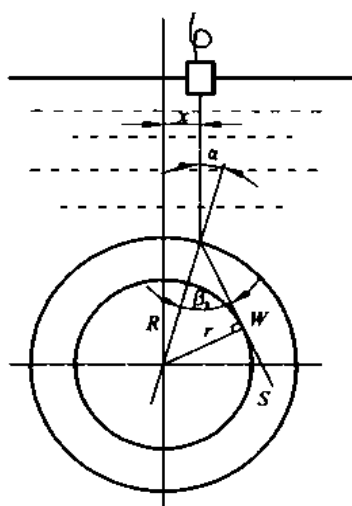


图 8-8 偏心距

① 要保证纯横波检测。

入射角 α 应大于第一临界角 α_1 ，由 $\sin \alpha_1 = C_{L1}/C_{L2}$ 可得到：

$$\sin \alpha > \sin \alpha_1 = C_{L1}/C_{L2} \quad \dots\dots\dots (8-4)$$

② 要保证横波能扫查到管内壁（折射角应小于与管内壁相切的极限情况）。

$$\sin \beta_s < r/R \quad \dots\dots\dots (8-5)$$

又由于：

$$\begin{aligned} \sin \alpha / \sin \beta_s &= C_{L1}/C_{s2} \\ \sin \alpha &\leq C_{L1}/C_{s2} \times r/R \quad \dots\dots\dots (8-6) \end{aligned}$$

③ 同时满足纯横波检测又能扫查到管内壁的条件。

$$C_{L1}/C_{s2} \leq \sin \alpha \leq C_{L1}/C_{s2} \times r/R \quad \dots\dots\dots (8-7)$$

以 $\sin \alpha = x/R$ 代入上式，则偏心距 x 的范围内：

$$C_{L1}/C_{s2} \times R \leq x \leq C_{L1}/C_{s2} \times r \quad \dots\dots\dots (8-8)$$

式中：

C_{L1} ——水中声速，1480m/s；

C_{L2} ——钢中纵波声速，5900m/s；

C_{s2} ——钢中横波声速，3230m/s；

R ——钢管外径, mm;

r ——钢管内径, mm。

例: 若水浸法检测钢管, 将声速数据代入式 (8-8) 计算, 可得:

$$0.251R \leq x \leq 0.458r \quad \dots\dots\dots (8-9)$$

这就是偏心距 x 的选择调节范围。

(3) 小口径无缝钢管水浸聚焦超声检测时, 焦距 f 的确定。

小口径管水浸聚焦超声检测时, 为了避免管材表面多次反射波对扫查区域内缺陷回波的干扰, 水层距离应大于钢中横波声程的一半, 这样就可以使钢管内外壁缺陷回波位于钢管界面回波 S_1 和 S_2 之间, 而不受界面回波的干扰。

小口径管水浸聚焦超声检测时, 一般要求声束焦点落在管子的中心轴线上, 如图 8-9 所示。在 $\triangle AOB$ 中, 由 $x^2 + (f-H)^2 = R^2$, 可得焦距 f 为:

$$f = H + (R^2 + x^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (8-10)$$

式中:

R ——管子外径, mm;

x ——偏心距, mm;

H ——水层高度, mm。

(4) 调节时, 一面用适当的速度转动管子, 一面将探头慢慢偏心 (控制在大致偏心距范围), 使对比试样内、外壁人工尖角槽产生的回波幅度均达到荧光屏满刻度的 50%, 以此为基准灵敏度。

(5) 扫查灵敏度应比基准灵敏度高 6dB。

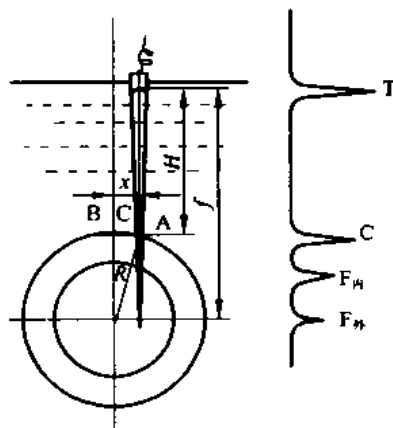


图 8-9

七、高压无缝钢管横向缺陷直接接触法检测的灵敏度

高压无缝钢管横向缺陷直接接触法检测时的灵敏度按下面方法确定:

(1) 单面加工槽钢管灵敏度校正: 直接将尖角槽反射波调到荧光屏满刻度的 50%, 以此作为基准灵敏度, 并作出距离—波幅曲线, 如图 8-10 所示。

(2) 外径大于等于 80mm, 壁厚不小于 10mm 的内、外表面加工槽钢管灵敏度校正: 可将内槽回波幅度调到荧光屏满刻度的 80%, 然后再将外槽回波幅度点标在荧光

屏上，作出距离—波幅曲线，如图 8-11 所示。

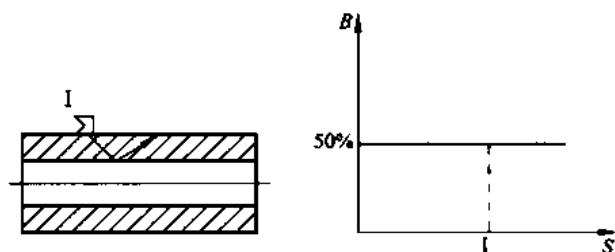


图 8-10

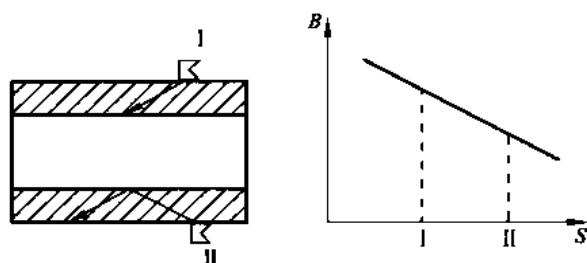


图 8-11

(3) 扫查灵敏度应比基准灵敏度高 6dB。

八、奥氏体钢锻件超声检测灵敏度和距离—波幅曲线

JB/T 4730 标准对奥氏体钢锻件检测灵敏度和距离—波幅曲线的制定方法规定如下：

1. 直探头检测

$\delta \leq 600\text{mm}$ 时，应根据锻件厚度和要求的质量等级，在适当厚度和当量的平底孔试块上，根据实测值作出距离—波幅曲线，如图 8-12 所示；

壁厚大于 600mm 时，在锻件无缺陷部位将底波调至满刻度的 80%，以此为基准，作出距离—波幅曲线，如图 8-13 所示。

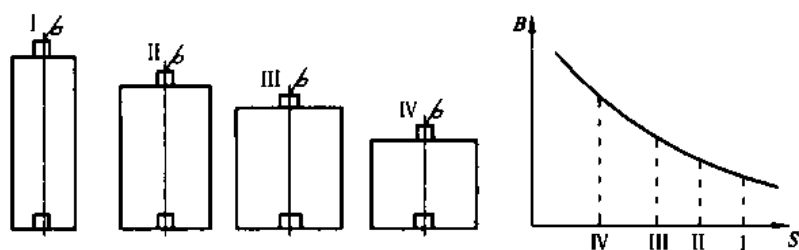


图 8-12

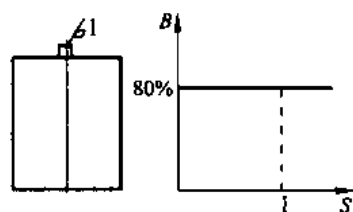


图 8-13

2. 斜探头检测

全跨距校正：将探头置于外圆表面，声束垂直于刻槽长度方向，移动探头并调节灵敏度，使外壁槽或内壁槽的第二次反射回波高度不低于荧光屏满刻度的 20%，连接第一、二次回波峰值点，以上为全跨距校正的距离—波幅曲线，如图 8-14 所示。

半跨距校正：如采用全跨距校正有困难，则可采用半跨距校正。此时应在内、外壁各制一槽，使其互不影响。校正时就使来自外壁槽的第一次回波高度至少为荧光屏满刻度的 20%，连接内壁槽第一次回波和外壁槽第一次回波的峰值点，以此作为半跨距校正的距离—波幅曲线，如图 8-15 所示。

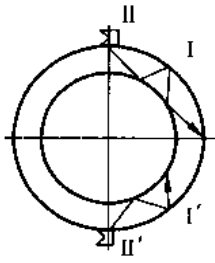


图 8-14

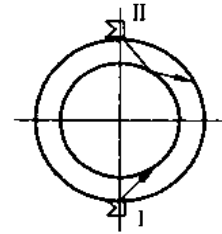
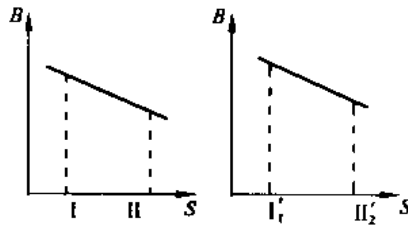
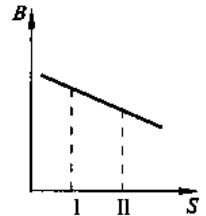


图 8-15



九、进行单壁单影法透照时，外径大于 100mm 的管子或容器环焊缝的射线拍片数

对外径大于 100mm 的管子或容器环焊缝进行单壁单影法外透照时，如图 8-16 所示。

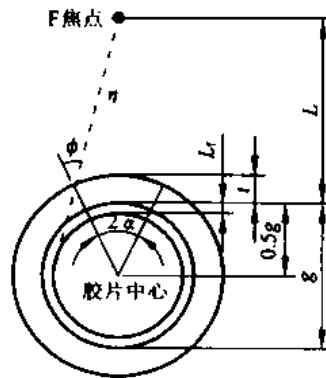


图 8-16

若设 g 为内径， t 为壁厚， L_f 为胶片与工件距离， ϕ 为横裂检出角， Q 为辅助线。阴影部分表示检测的有效范围。

其中心角 2α 可由式 (8-11) 求出：

$$2\alpha = 2\{\phi - \sin^{-1}[(1 + 2t/g)\sin\phi]/[2(L - L_f)/g + 1]\} \quad \dots\dots\dots (8-11)$$

管子或容器环焊缝进行单壁单影法外透照时，若需进行 100% 射线探伤，则射线透照拍片数量 N 可由式 (8-12) 求出：

$$N = 360^\circ / 2\alpha \quad \dots\dots\dots (8-12)$$

十、TOFD 检测技术

超声 TOFD 法（即衍射波时差法）是上世纪 70 年代由英国哈威尔无损检测中心首先提出的。它是依靠超声波与缺陷端部的相互作用发出的衍射波来检出缺陷并对其定量。所记录的衍射信号传播时差就是缺陷高度的量值，从理论上讲，超声 TOFD 法克服了常规超声波探伤的一些缺点，缺陷的检出和定量不受声束角度、探测方向、缺陷表面粗糙度、试件表面状态及探头压力等因素的影响。

1993 年英国 BS 7706 标准中规定了用 TOFD 法进行缺陷定量评价的具体程序和要

求。96 年,美国 ASME 规范在案例 2235 中对 TOFD 法检测压力容器和动力锅炉焊缝的方法和验收条件作出了详细规定。1999 年 ASME 修订版中,提出允许在 UT 中用 TOFD 法取代 RT。2000 年 ASME 规范第 I 卷(动力锅炉)允许用 UT 取代 RT,用 TOFD 法记录焊缝检测结果。2000 年欧共体也在原英国标准 BS 7706:1993 基础上,制定焊缝 TOFD 法检测的现行标准 EN V583-6:2000《超声衍射波时差法用于缺陷检出和定量》。

随着我国大直径厚壁压力容器日益增多,尤其是现场组焊的厚度超过 200mm 的压力容器焊缝,实施射线照相几乎是不可能的。因此 TOFD 技术的应用对国内大型压力容器的制造发展具有重要意义,且具有必要性和紧迫性。

一重与锅检中心联合成立了科研课题组。2003 年购买了美国 AIS 公司八通道超声波检测设备 NB 2000-MC,该设备应用三种超声波技术,即 TOFD 技术+爬波扫查+脉冲回波扫查(PE),其中以 TOFD 技术作为主体检测技术。

根据中国锅检协会的要求,由强天鹏、袁榕、张平、毛小虎、许遵言等人组成评审组,对 NB 2000-MC 及其技术与工艺进行鉴定评审。扫查分三个步骤进行:

- (1) 采用多组探头 D 扫描(TOFD 技术)进行扫查;
- (2) 采用单斜探头 B 扫描扫查;
- (3) 采用单斜探头 B 扫描进行横向缺陷扫查。

鉴定评审的结论意见如下:

- (1) 检测可靠性:对埋藏缺陷的检测具有较高的可靠性。
- (2) 定性准确性:对缺陷性质有一定判断力,准确性不高。
- (3) 定量准确性:对较长的条形缺陷的测长精度可以满足工程应用的要求;对圆形缺陷和小条形缺陷的定量误差较大。对高度在 20mm 以下的面积型缺陷测高精度很高。

(4) 成像性能:NB 2000-MC 及其所采用的 TOFD 技术所显示的图像只是块状影像,不能据此判定缺陷性质。

(5) 系统可操作性:轻便适宜现场使用,扫查装置工作稳定可靠,仪器调试相对简单,可记录全过程检测信号;但探伤参数仍需通过试块校准,信号解释和评定仍在受人为影响。

可以看出 TOFD 技术在国内有着巨大的发展前途,但是这种技术也还存在一些不可忽视的技术问题,国内应该加强这方面的技术投入,认真做好基础工作,真正使这项技术有益于人民。切不可一窝蜂上马,又一窝蜂下马,落得损人害己的下场。

十一、超声检测和射线检测

国内在上世纪 60 至 70 年代强调超声检测,认为超声检测既能检测出危险性缺陷,而且速度快、成本低,所以当时在国内技术、规范和管理方面都没有能提供足够支撑的情况下盲目大面积推广。80 年代后期通过射线复验和使用实践发现超声检测可能造成缺陷大量漏检,因此在不分析具体情况的同时又对超声检测方法一棍子打死。今天

再倒回去对超声检测和射线检测的特点进行一些比较，还是很有意义的：

1. 有效性

北欧丹麦焊接研究所，对 349 块试块进行超声和射线检测对比试验。发现：

- ① 超声检测比射线检测检出体积状缺陷的有效性低。
- ② 超声检测比射线检测检出未焊透缺陷的有效性低。
- ③ 超声检测比射线检测检出面积状缺陷的有效性高。
- ④ 超声检测比射线检测检出未熔合缺陷的有效性高。

2. 可靠性（实际缺陷是否都检出，检出的是否都是缺陷）

① 英国 UKAEA 研究小组对壁厚度 200mm 的核反应堆壳体超声检测研究表明自身高度 6.1mm 的缺陷检出几率为 50%；自身高度 27.3mm 的缺陷检出几率为 95%。

② 芬兰技术研究中心统计数字表明：壁厚 5mm~20mm 的对接焊缝一次性检测检出几率为 80%。T 型焊缝一次性检测检出几率为 60%。

③ 芬兰技术研究中心对 5mm~20 mm 的对接焊缝拍了 51 张底片，按国际焊接学会的五级要求评片，一致同意 11 张，一半以上同意 34 张，6 张底片评定分歧很大。

④ 好几家炼油厂发现射线评定合格的部位发现有大量的疲劳裂纹，欧洲国家也认为射线对疲劳裂纹的检测能力低。

3. 超声检测和射线检测的检测范围

① 超声检测可以检测：焊接接头、钢板、锻件、钢管、复合板、堆焊层和角焊缝（钢、铝、钛）。

② 射线检测可以检测：铸件热结部位、对接焊接接头（钢、铝、钛）。

总的看来，射线检测和超声检测都有各自的优点和不足之处，两种检测的结果在较大程度上是无法对应的，此外这两种检测方法都不是万能的，都有自己的检测盲区，因此本标准规定：当采用两种或两种以上的检测方法对承压设备的同一部位进行检测时，应按各自的方法评定级别。