



# 中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3545—2011

## 石油化工管道无损检测标准

Specification for NDT on pipelines in petrochemical industry



2011-05-18 发布

2011-06-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
4.1 无损检测单位	3
4.2 无损检测人员	3
4.3 基本规定	4
4.4 无损检测工艺流程	4
4.5 检测记录和报告	4
5 射线检测	4
5.1 射线检测设备、器材和材料	4
5.1.1 检测设备	4
5.1.2 射线胶片	5
5.1.3 增感屏	5
5.1.4 像质计	5
5.1.5 黑度计(光学密度计)	5
5.1.6 评片环境	5
5.2 辐射防护	5
5.3 焊接接头表面要求和射线检测时机	6
5.4 检测技术	6
5.4.1 透照布置	6
5.4.2 射线能量	6
5.4.3 射线源至检件表面的最小距离	7
5.4.4 曝光量	8
5.5 无用射线和散射线的屏蔽	9
5.6 像质计的使用	9
5.7 标记	9
5.8 胶片处理	9
5.9 评片要求	10
5.10 底片质量	10
5.11 射线检测质量分级的一般规定	11
5.12 钢、镍及镍合金管道对接焊接接头射线检测质量分级	11
5.12.1 圆形缺陷的分级评定	11
5.12.2 条形缺陷和未焊透缺陷的分级评定	12
5.12.3 根部内凹和咬边的分级评定	13
5.12.4 多种缺陷并存的分级评定	13
5.13 铝及铝合金管道对接焊接接头射线检测质量分级	14

5.13.1	圆形缺陷的分级评定	14
5.13.2	其他缺陷的分级评定	14
5.14	钛及钛合金、锆及锆合金管道对接焊接接头射线检测质量分级	14
5.14.1	圆形缺陷的分级评定	14
5.14.2	其他缺陷的分级评定	15
5.15	射线检测记录和报告	15
6	超声检测	16
6.1	探伤仪、探头和系统性能	16
6.2	系统校核(复核)	16
6.3	试块	17
6.4	超声检测技术要求	18
6.5	检测前的准备	19
6.6	距离-波幅曲线制作	20
6.7	扫查方法	21
6.8	缺陷定量	21
6.9	缺陷的评定	21
6.10	质量分级	22
6.11	超声检测记录和报告	22
7	磁粉检测	22
7.1	磁粉检测设备、器材和材料	22
7.2	质量控制	24
7.3	检件表面的准备	24
7.4	检测方法	24
7.4.1	一般规定	24
7.4.2	磁悬液的施加	24
7.4.3	磁化操作	24
7.5	磁痕显示的分类记录	26
7.5.1	磁痕的分类和处理	26
7.5.2	缺陷磁痕的观察	26
7.5.3	缺陷磁痕记录	27
7.6	复验	27
7.7	质量评定	27
7.8	磁粉检测记录和报告	27
8	渗透检测	27
8.1	渗透检测剂	27
8.2	检测试块	27
8.3	渗透检测操作	28
8.4	渗透显示的分类和记录	29
8.4.1	缺陷显示的分类与处理	29
8.4.2	缺陷显示的记录	29
8.5	复验	29
8.6	质量控制	29
8.7	质量评定	29

8.8 渗透检测记录和报告 .....	29
附录 A (资料性附录) 管道检测工艺卡 .....	31
附录 B (资料性附录) 工业射线胶片系统的特性指标 .....	38
附录 C (规范性附录) 专用像质计 .....	39
附录 D (资料性附录) 黑度计 (光学密度计) 定期校验方法 .....	40
附录 E (资料性附录) 管道焊接接头典型透照方式 .....	41
附录 F (资料性附录) 典型根部缺陷图示及射线底片影像 .....	42
附录 G (规范性附录) 声能传输损耗差的测定 .....	44
附录 H (规范性附录) 超声检测缺陷类型识别和性质估判 .....	46
附录 I (资料性附录) 常用磁化方法 .....	49
附录 J (规范性附录) 非标准温度渗透检测工艺鉴定法 .....	50
用词说明 .....	51

## 前 言

根据国家发展与改革委员会办公厅《2008年行业标准计划的通知》(发改办工业[2008]1242号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准共分8章和10个附录。

本标准的主要技术内容是:适用范围、术语和定义;射线检测、超声检测、磁粉检测和渗透检测等工艺要求;实现过程质量控制的要求。

本标准由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司施工技术中心站负责日常管理,由南京金陵检测工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位。

本标准日常管理单位:中国石油化工集团公司施工技术中心站

通讯地址:天津市滨海新区大港世纪大道180号

邮政编码:300270

电 话:022-63863843

传 真:022-63862301

本标准主编单位:南京金陵检测工程有限公司

通讯地址:江苏省南京市4601信箱

邮政编码:210046

本标准参编单位:山东泰思特检测有限公司

本标准主要起草人员:李兆太 张贤俊 张 铭 黄 智

本标准主要审查人员:李 伟 唐明智 汪庆华 李建国 陈瑜芳 陈一民 龙军海 张 明

张建兵 王加水 刘金生 李 勇 杨志伟 史兴东 王 东 袁文斌

刘传良 薛振林 苏志强

本标准为首次发布。

# 石油化工管道无损检测标准

## 1 范围

本标准规定了石油化工金属管道（以下简称管道）射线检测、超声检测、磁粉检测和渗透检测的工艺要求及质量评定。

本标准适用于公称厚度为 2mm~100mm 的金属管道焊接接头的射线检测与质量评定；适用于公称厚度大于或等于 7mm、外径大于 100mm 的铁素体钢管道对接焊接接头的超声检测与质量评定；适用于铁磁性材料焊接接头的表面和近表面缺陷磁粉检测与质量评定；适用于焊接接头表面开口缺陷的渗透检测与质量评定。原材料无损检测可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过本标准的引用而成为本标准的条款。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标准。然而，鼓励根据本标准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标准。

GB 11533 标准对数视力表

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 12604.5 无损检测 术语 磁粉检测

GB/T 16673 无损检测用黑光源（UV-A）辐射的测量

GB/T 19348.1—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

GBZ 117 工业 X 射线探伤卫生防护标准

GBZ 132 工业  $\gamma$  射线探伤卫生防护标准

JB/T 6063 磁粉探伤用磁粉

JB/T 6064 无损检测 渗透检测用试块

JB/T 6065 无损检测 磁粉检测用试片

JB/T 7902 无损检测 射线照相检测用线型像质计

JB/T 8290 磁粉探伤机

JB/T 9213 无损检测 渗透检测 A 型对比试块

JB/T 9214 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法

JB/T 10061 A 型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件

JB/T 10062 超声探伤用探头性能测试方法

SH/T 3503 石油化工建设工程项目交工技术文件规定

国质检锅[2003]249号 特种设备检验检测机构管理规定

国质检锅[2003]248号 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、GB/T 12604.2、GB/T 12604.3、GB/T 12604.5 规定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

**公称厚度 nominal thickness**

检件名义厚度，不考虑材料制造偏差和加工减薄量。

3.2

**透照厚度 penetrate 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

**焊接接头 welded joint**

由两个或两个以上零件要用焊接组合或已经焊合的接点。

3.4

**焊缝 weld**

焊件经焊接后所形成的结合部分。

3.5

**工件至胶片距离 distance from work piece to film**

沿射线束中心测定的检件受检部位射线源侧表面与胶片之间的距离。

3.6

**射线源至工件距离 object-film distance**

沿射线束中心测定的检件受检部位射线源与检件近源侧表面之间的距离。

3.7

**焦距 focus**

沿射线束中心测定的射线源与胶片之间的距离。

3.8

**射线源尺寸 the radiation source dimensions**

射线源的有效焦点尺寸。

3.9

**圆形缺陷 round defect**

长宽比不大于3的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

3.10

**条形缺陷 strip defect**

长宽比大于3的气孔、夹渣和夹钨等缺陷。

3.11

**小径管 small diameter tube**

外直径 $D_0$ 小于或等于100 mm的管子。

3.12

**底片评定范围 film evaluation scope**

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的正方形或长方形区域。

3.14

**一次反射法 double traverse technique**

超声波横波检测，采用二次波检测。

## 3.15

**直射法 direct scan technique**

超声波横波检测，采用一次波检测。

## 3.16

**回波动态波型 dynamic waveform of echo wave**

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。

## 3.17

**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；渗透检测时，由缺陷产生的渗透剂显示，通称为相关显示，也可称之为缺陷显示。

## 3.18

**非相关显示 non-relevant indication**

由磁路截面突变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。

## 3.19

**伪显示 false indication**

不是由漏磁场吸附磁粉形成的磁痕显示，也称假显示。

## 3.20

**环境可见光 ambient visible light**

在暗区，黑光照射下从检件表面测得的可见光照度。

## 3.21

**背景 background**

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

## 3.22

**虚假显示 false indication**

由于渗透剂污染等所引起的渗透剂显示。

## 4 总则

## 4.1 无损检测单位

4.1.1 无损检测单位应按《特种设备检验检测机构管理规定》取得核准证书，从事核准项目范围内的无损检测工作。

4.1.2 从事射线检测的单位应具有辐射安全许可证。

4.1.3 无损检测单位进行管道无损检测应接受石化工程质量监督机构的监督检查。

## 4.2 无损检测人员

4.2.1 无损检测人员应经过专业培训，并按《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，并符合下列规定：

- a) 射线、磁粉和渗透检测的 I 级人员应在 II 级及以上人员的指导下，按检测工艺卡进行检测操作和记录；
- b) 从事超声检测人员应具有超声 II 级或其以上资格，并应经过管道焊接接头检测的专业培训；
- c) 检测结果由持相应检测方法的 II 级及以上人员进行评定。

4.2.2 射线检测人员的健康状况应符合国家现行标准规定，上岗前应进行辐射安全知识的培训，并取得辐射防护培训（合格）证。

4.2.3 射线检测人员经矫正的视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0），测试方法应符合 GB 11533 的

规定。视力检查应每年进行一次。

4.2.4 磁粉检测和渗透检测人员不得有色盲，其视力应符合本标准 4.2.3 条的规定。

### 4.3 基本规定

4.3.1 无损检测方法、检测比例、合格级别及检测时机应符合设计文件和相关标准规范的要求。

4.3.2 采用超声检测时，对于只能从一侧进行扫查的铁素体钢焊接接头，还应进行表面磁粉或渗透检测。

4.3.3 对裂纹敏感性大的材料，其焊接接头除经射线或超声检测外宜增加表面无损检测。

4.3.4 当采用两种或两种以上的检测方法对同一部位进行检测时，应按各自的方法进行评定。

4.3.5 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，应取危害程度大的检测结果进行评定。

### 4.4 无损检测工艺规程

4.4.1 无损检测工艺规程包括通用工艺规程和工艺卡。

4.4.2 无损检测通用工艺规程应根据相关标准规范、本单位的资源条件、能力及检测对象进行编制。

4.4.3 无损检测通用工艺规程应包括以下内容：

- a) 适用范围；
- b) 执行标准规范；
- 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) 检测结果和质量等级评定；
- 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) 发布实施日期。

4.4.4 无损检测通用工艺规程由相应检测方法的Ⅲ级人员编制，技术负责人批准。

4.4.5 当检测通用工艺规程不能覆盖所检测的对象时，应针对特殊检测对象编制专用检测工艺。

4.4.6 无损检测工艺卡由具有相应检测方法的Ⅱ级及以上资格的人员编制，经无损检测专业责任工程师审核。无损检测工艺卡格式参见附录 A。

### 4.5 检测记录和报告

4.5.1 检测记录和报告应准确、完整，并有可追溯性。检测记录应经Ⅱ级及以上资格人员复核。检测报告由Ⅱ级及以上资格人员对结果进行评定，由Ⅱ级及以上资格人员对结果进行审核。

4.5.2 无损检测报告格式应符合 SH/T 3503 的规定，并及时向委托单位移交。

4.5.3 射线底片、检测记录和报告等保存期不得少于 7 年。

## 5 射线检测

### 5.1 射线检测设备、器材和材料

#### 5.1.1 检测设备

5.1.1.1 射线检测设备应性能良好，其射线能量应满足检测需要。

5.1.1.2 每台在用的 X 射线机均应制作常用检测材料的曝光曲线，工作时检测人员依据曝光曲线确定曝光参数。

5.1.1.3 对使用中的曝光曲线，每年应校验一次。射线机更换重要部件或经大修后应及时对曝光曲线进行校验或重新制作。

### 5.1.2 射线胶片

5.1.2.1 胶片系统按 GB/T 19348.1—2003 分为 T1、T2、T3 和 T4 四类，其中 T1 为最高类别，T4 为最低类别。工业射线胶片系统的特性指标参见附录 B。

5.1.2.2 采用 X 射线和  $\text{Se}^{75}$   $\gamma$  射线检测时，应使用不低于 T3 类胶片；采用  $\text{Ir}^{192}$   $\gamma$  射线对裂纹敏感性大的材料进行射线检测时，应使用不低于 T2 类胶片；采用  $\text{Co}^{60}$   $\gamma$  射线检测时，应使用不低于 T2 类胶片。

5.1.2.3 胶片的本底灰雾度应不大于 0.3。

### 5.1.3 增感屏

5.1.3.1 射线检测宜使用铅箔增感屏。

5.1.3.2 铅箔增感屏的选用应符合表 1 的规定。

表 1 铅箔增感屏厚度

单位：mm

射线源	前屏厚度	后屏厚度
X 射线	0.03~0.1	0.03~0.1
$\text{Se}^{75}$	0.1~0.2	0.1~0.2
$\text{Ir}^{192}$	0.1~0.2	0.1~0.2
$\text{Co}^{60}$	0.5~2.0	0.5~2.0

### 5.1.4 像质计

5.1.4.1 底片影像质量采用线型像质计测定。像质计的型号和规格应符合 JB/T 7902 的规定；像质计的选用应符合表 5 的规定，对小径管和透照厚度小于或等于 26mm 的管道焊接接头，应选择石油化工管道专用像质计。石油化工管道专用像质计的结构型式见附录 C。

5.1.4.2 像质计的材料、材料代号及其适用的检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	Zr	Al
像质计材料	碳钢或奥氏体不锈钢	镍-铬合金	工业纯钛	工业纯锆	工业纯铝
适用材料范围	碳钢, 低合金钢, 不锈钢	镍、镍合金	钛、钛合金	锆及锆合金	铝、铝合金

### 5.1.5 黑度计（光学密度计）

5.1.5.1 黑度计可测的最大底片黑度应不小于 4.5，测量值的误差应不超过  $\pm 0.05$ 。

5.1.5.2 黑度计用标准黑度片进行校验，校验周期最长不得超过 6 个月。校验方法参见附录 D。

5.1.5.3 标准黑度片应妥善保管，自检定之日起 2 年内有效，超过有效期或发现标准黑度片有损伤时应重新检定。

### 5.1.6 评片环境

5.1.6.1 检测单位应有专用的评片室，评片室应整洁安静、温度适宜、光线柔和。

5.1.6.2 观片灯的亮度应满足本标准 5.9.4 条的要求。

### 5.2 辐射防护

5.2.1 现场射线作业应持有“射线作业许可证”，并配备辐射剂量报警器，在其许可证批准的范围内进行射线作业。

5.2.2 射线卫生防护应符合 GBZ 132 和 GBZ 117 的有关规定。

5.2.3 现场进行 X 射线检测时，应用剂量测试设备测定环境的辐射剂量，按 GBZ 117 的规定划定控制区和管理区，并设置明显警告标志，做好监护工作。

5.2.4 现场进行 $\gamma$ 射线检测时,应用剂量测试设备测定环境的辐射剂量,按GBZ 132的规定划定控制区和监督区,并设置明显警告标志,做好监护工作。

5.2.5 射线作业时,所有人员不得进入控制区内。

5.2.6 射线操作人员应佩戴个人辐射剂量计。

### 5.3 焊接接头表面要求和射线检测时机

5.3.1 在射线检测之前,焊接接头的表面质量应经质量检查员检查合格。

5.3.2 射线检测时机按本标准4.3.1条要求进行。

### 5.4 检测技术

#### 5.4.1 透照布置

5.4.1.1 小径管宜采取双壁双影椭圆透照法,对于厚度差较大的法兰、阀门、弯头和管子及单壁厚度大于8mm的对接焊接接头可采取垂直重叠透照法;

5.4.1.2 直径大于100mm的管子环向对接焊接接头可采取中心曝光、双壁单影或单壁外透法。管道焊接接头典型的透照方式参见附录E。

5.4.1.3 透照时,射线束中心宜垂直指向透照区中心,也可选用有利于发现缺陷的方向透照。

5.4.1.4 小径管对接焊接接头采取椭圆透照法时,射线束每隔 $90^\circ$ 透一次,每道焊接接头应透照2次,椭圆开口间隙以将两条焊接接头的影像分开为宜,椭圆开口宽度最大不能超过15mm;采取垂直重叠透照法时,每道焊接接头透照3次,每隔 $60^\circ$ 透照1次。

由于结构原因不能进行椭圆透照或几何条件不能满足本标准5.4.3条的要求时,应经检测单位技术负责人批准,并采取补偿措施后,可选用双壁单影透照法,每道焊口曝光不少于4次。

5.4.1.4 外径大于100mm的管道对接焊接接头采用双壁单影透照时,几何条件应符合本标准5.4.3条的要求。

5.4.1.5 管道对接焊接接头采用中心透照法时,应符合本标准5.4.3条的要求。当检测条件不符合本标准5.4.3条要求时,应经检测单位技术负责人批准,并采取补偿措施后,使中心透照的检测灵敏度达到本标准5.10.3条要求,可以采用中心透照法;直径大于500mm的管道采用单壁外透法检测时,焦距不应小于600mm。

5.4.1.6 管道环向对接焊接接头全周长检测采用双壁单影法透照时,其透照次数不得少于图1的规定。

#### 5.4.2 射线能量

5.4.2.1 X射线的能量在穿透检件的前提下,应选用较低的管电压,并满足本标准5.4.4条的规定; $\gamma$ 射线源适用的透照厚度范围见表3。

表3  $\gamma$ 射线源适用的透照厚度范围(钢、镍及镍合金等)

单位: mm

射线源	透照厚度
Se <sup>75</sup>	10~50
Ir <sup>192</sup>	20~100
Co <sup>60</sup>	40~200

5.4.2.2 采用源在内中心透照方式,且像质计灵敏度符合5.10.3条要求时, $\gamma$ 射线最小透照厚度可取表3下限值的1/2。

采用双壁单影或双壁双影透照方式,且像质计灵敏度达到本标准5.10.3条要求时,Ir<sup>192</sup>源的最小透照厚度可降至10mm;Se<sup>75</sup>源的最小透照厚度可降至5mm。

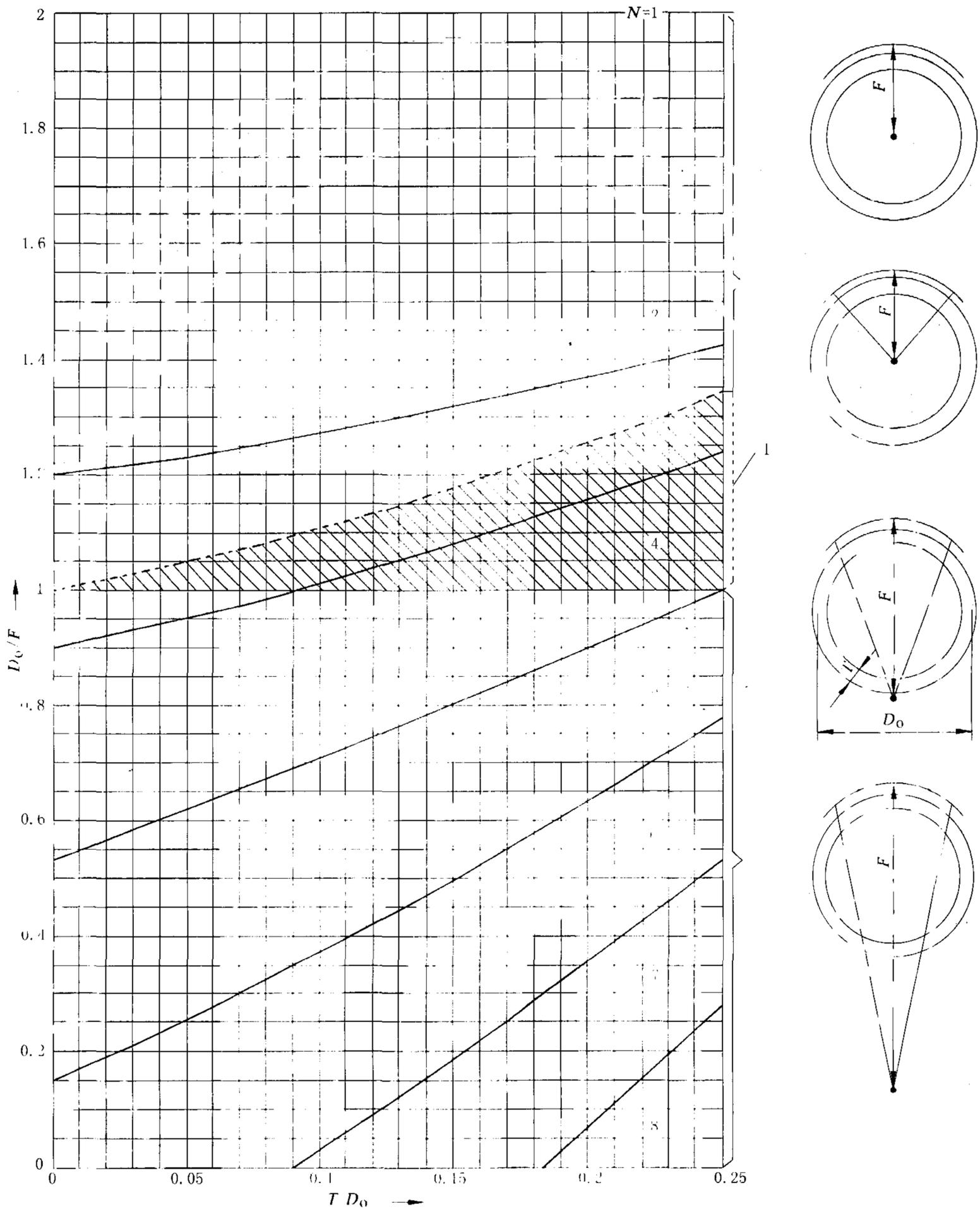


图1 管道环向对接接头透照次数

5.4.3 射线源至检件表面的最小距离

5.4.3.1 所选用的射线源至检件表面的距离  $f$  应符合公式 (1) 的要求, 确定  $f$  的诺模图见图 2。有效焦点尺寸  $d$  按设备说明书确定。

$$f \geq 10d \cdot b^{2/3} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$f$ ——射线源至检件表面的距离, mm;

$d$ ——有效焦点尺寸, mm;

$b$ ——被检表面到胶片的距离, mm。

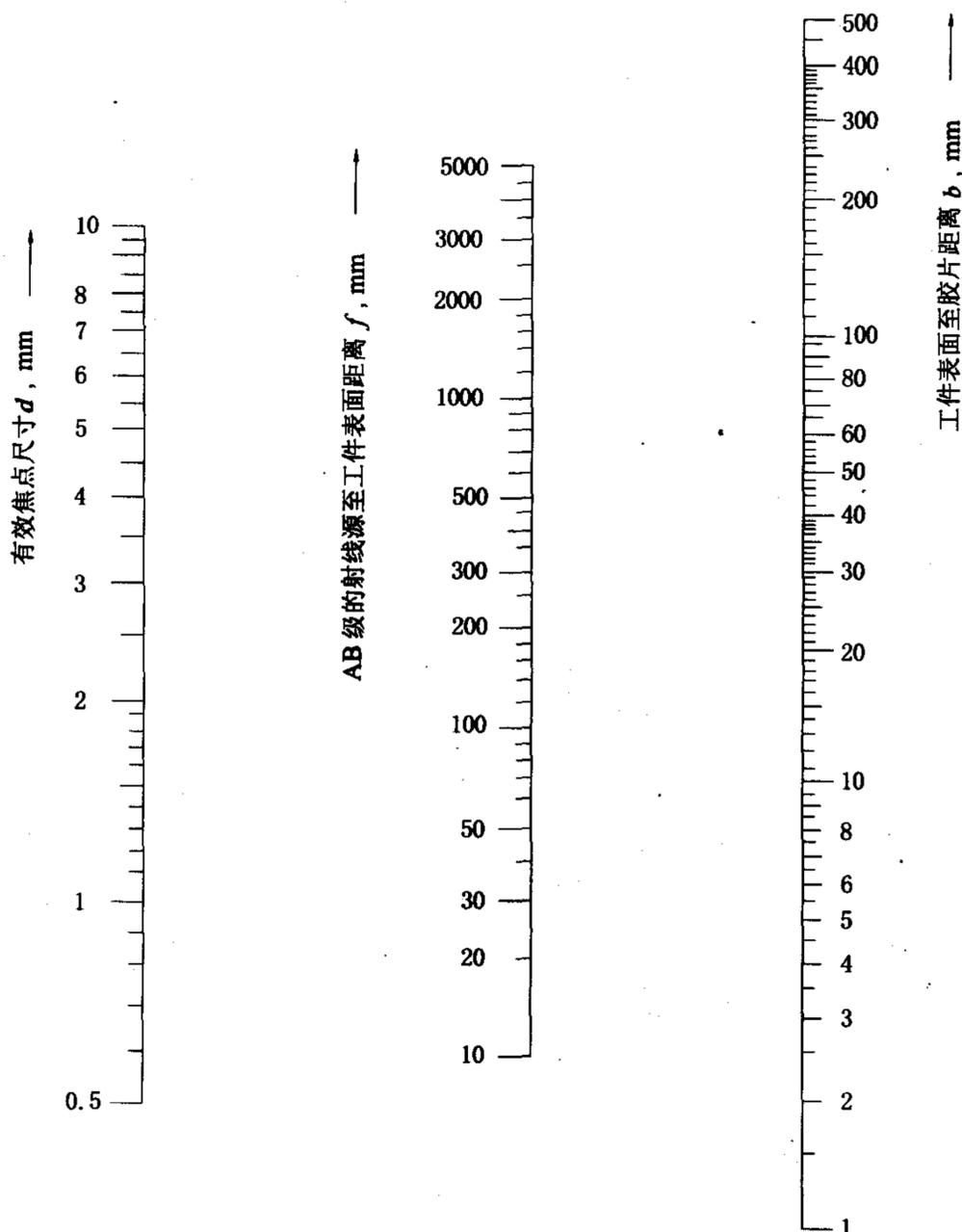


图 2 确定焦点至检件表面距离的诺模图

5.4.3.2 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本标准 5.10.3 条的要求, 射线源至工件距离  $f$  值可以减小, 减小值不应超过规定值的 50%。

5.4.4 曝光量

5.4.4.1 X 射线检测的最小曝光量推荐不低于表 4 的规定。

5.4.4.2 采用  $\gamma$  射线透照时, 总的曝光时间应不少于输送源往返所需时间的 10 倍。当采取了防止源在传输过程中对胶片产生不良影响的屏蔽措施时, 可不受此限制。

表 4 常用焦距范围内曝光量推荐值

焦距 <sup>a</sup> mm	最小曝光量 mA · min	管电流为 5mA 时的最少曝光时间 min
700	15	3.0
600	10.5	2.1
500	7.5	1.5
400	5	1.0
300	3	0.6

<sup>a</sup> 焦距改变时应按平方反比定律换算。

## 5.5 无用射线和散射线的屏蔽

5.5.1 射线透照应采用铅箔增感屏、铅板、滤波板、准直器等措施，屏蔽散射线和无用射线，限制照射场范围。

5.5.2 对初次制定的检测工艺或在使用过程中检测工艺条件、环境发生改变时，应按下列方法进行背散射防护效果检查：

- a) 在暗盒背面贴附“B”铅字标记，B铅字的高度为13 mm，厚度为1.6 mm，并按检测工艺的规定进行透照和暗室处理；
- b) 若底片上出现黑度低于周围背景的“B”字影像，则说明背散射防护不够，应增大背散射防护铅箔增感屏或铅板的厚度；
- c) 若底片上未出现“B”字影像或出现黑度高于周围背景的“B”字影像，则说明背散射防护效果符合要求。

## 5.6 像质计的使用

5.6.1 像质计的选用应根据透照厚度进行选择：

- a) 像质计丝号范围为16~10，其适用透照厚度范围为2 mm~26 mm；
- b) 像质计丝号范围为12~6，其适用透照厚度范围为18 mm~200 mm。

5.6.2 像质计的摆放位置应符合下列规定：

- a) 小径管透照，像质计放置在胶片侧，金属丝应横跨焊缝，置于管子中间部位；
- b) 双壁单影透照，像质计放置在胶片侧，靠近有效透照范围的一端，金属丝横跨焊缝，细丝置于外侧；
- c) 单壁透照，像质计应放置于射源侧，当无法放置在射源侧时，允许摆放在胶片侧，但应做对比试验。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，测定出像质计在源侧与胶片侧的灵敏度差异，以此修正应识别像质计丝号。像质计放在胶片侧时，加“F”标记。

5.6.3 每张底片上都应有像质计的影像，当一次曝光完成多张底片时，使用的像质计数量应符合下列要求：

- a) 源置于管子中心，周向100%透照时，在圆周上等间隔放置4个像质计；
- b) 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各放置一个像质计。

5.6.4 在底片黑度均匀部位（母材或焊缝）能够清晰地看到长度不小于10 mm的连续金属丝影像时，则认为该丝是可识别的。

## 5.7 标记

5.7.1 透照部位的标记分识别标记和定位标记。标记由铅制数字、英文字母和符号等组成。

5.7.2 识别标记宜包括区域号、管道编号、焊缝编号、片位序号、焊工代号和透照日期；返修片应有返修标记，R1、R2 分别代表第一次、第二次返修；扩探片应有扩探标记“K”；固定口检测应有固定口标记“G”。

5.7.3 定位标记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，用“↕”表示；搭接标记是连续检测时的透照分段标记，可用符号“↑”或片位序号表示。当采用数字或英文字母作为搭接标记时，可不用中心标记。

5.7.4 标记与焊缝边缘的距离应不小于5 mm，双壁单影和中心透照时搭接标记摆放在胶片侧，采用单壁外透照时，搭接标记摆放在射源侧。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。

## 5.8 胶片处理

5.8.1 可采用自动或手工冲洗方式处理。

5.8.2 胶片处理按胶片使用说明书的规定进行。

### 5.9 评片要求

5.9.1 评片应在专用的评片室内进行。

5.9.2 评片人员在评片前应经历一定的暗适应时间。从阳光下进入评片室时应有 5 min~10 min 的暗适应时间；从室内进入评片室时应有 30 s 的暗适应时间。

5.9.3 评片时，底片评定范围以外的光线应采取措施进行遮挡和屏蔽，使其光线不影响底片评定。

5.9.4 观片灯透过底片的亮度应符合下列规定：

- a) 当底片评定范围内底片黑度  $D$  小于或等于 2.5 时，透过底片评定范围的亮度应不低于  $30 \text{ cd/m}^2$ ；
- b) 当底片评定范围内底片黑度  $D$  大于 2.5 时，透过底片评定范围的亮度应不低于  $10 \text{ cd/m}^2$ 。

5.9.5 底片评定范围为焊缝本身及焊缝两侧各 5 mm 宽的区域。当发现母材部位存在危害性缺陷或超标缺陷时应通知委托单位。

### 5.10 底片质量

5.10.1 底片上焊缝影像应完整，定位、识别标记应齐全，位置应正确。

5.10.2 底片评定范围内的黑度  $D$  应符合下列规定：

- a) X 射线或  $\gamma$  射线透照，底片黑度为 2.0~4.0；
- b) X 射线透照小径管及厚度差大的检件（包括管子与法兰、弯头、三通、阀门等对接焊缝）底片黑度为 1.5~4.0；
- c) 对评定范围内黑度大于 4.0 的底片，如观片灯的亮度能够满足 5.9.4 条的要求，允许进行评定。

5.10.3 双壁透照，像质计置于胶片侧时，底片的像质计灵敏度应符合表 5 的规定；单壁透照，像质计置于射源侧时，底片的像质计灵敏度应符合表 6 的规定。

表 5 双壁透照像质计置于胶片侧应达到的灵敏度

应识别丝号	丝 径 mm	透照厚度范围 $T$ mm
16	0.100	$2.0 \leq T \leq 3.5$
15	0.125	$3.5 < T \leq 5.5$
14	0.160	$5.5 < T \leq 11$
13	0.20	$11 < T \leq 17$
12	0.25	$17 < T \leq 26$
11	0.32	$26 < T \leq 39$
10	0.40	$39 < T \leq 51$
9	0.50	$51 < T \leq 64$
8	0.63	$64 < T \leq 85$
7	0.80	$85 < T \leq 125$
6	1.00	$125 < T \leq 200$

注： $T$  为透照厚度；多层透照时， $T$  为材料各层厚度之和。

表6 单壁透照像质计置于射源侧应达到的灵敏度

应识别丝号	丝径 mm	公称厚度范围 $T$ mm
16	0.100	$2.0 \leq T \leq 3.5$
15	0.125	$3.5 < T \leq 5.0$
14	0.16	$5.0 < T \leq 7.0$
13	0.20	$7.0 < T \leq 10$
12	0.25	$10 < T \leq 15$
11	0.32	$15 < T \leq 25$
10	0.40	$25 < T \leq 32$
9	0.50	$32 < T \leq 40$
8	0.63	$40 < T \leq 55$
7	0.80	$55 < T \leq 85$
6	1.00	$85 < T \leq 100$

注： $T$ 为透照厚度；多层透照时， $T$ 为材料各层厚度之和。

5.10.4 底片评定范围内不应存在影响缺陷评定的影像。

#### 5.11 射线检测质量分级的一般规定

5.11.1 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、根部咬边等七类。

5.11.2 质量等级按焊接接头中存在的缺陷性质、数量和密集程度划分为 I、II、III、IV 级，并符合下列规定：

- a) I 级不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷；
- b) II 级和 III 级不允许存在裂纹、未熔合缺陷；
- c) 缺陷超过 III 级者为 IV 级。

5.11.3 同一底片中各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量等级低的级别作为对接焊接接头的质量级别。

#### 5.12 钢、镍及镍合金管道对接焊接接头射线检测质量分级

##### 5.12.1 圆形缺陷的分级评定

5.12.1.1 圆形缺陷用圆形缺陷评定区进行质量等级评定，圆形缺陷评定区为一个与焊缝平行的矩形框，其尺寸见表 7。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表7 缺陷评定区

单位：mm

单壁厚度 $T$	$\leq 25$	$25 < T \leq 100$
评定区尺寸	10×10	10×20

5.12.1.2 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 8 的规定换算为点数，按表 9 的规定进行质量评级。

表 8 缺陷点数换算表

缺陷长径 $L$ , mm	$\leq 1$	$1 < L \leq 2$	$2 < L \leq 3$	$3 < L \leq 4$	$4 < L \leq 6$	$6 < L \leq 8$	$8 < L$
缺陷点数, 个	1	2	3	6	10	15	25

表 9 各级允许的圆形缺陷点数

评定区尺寸, mm		10×10			10×20	
单壁厚度 $T$ , mm		$\leq 10$	$10 < T \leq 15$	$15 < T \leq 25$	$25 < T \leq 50$	$50 < T \leq 100$
缺陷点数, 个	I 级	3	4	5	6	7
	II 级	5	8	11	14	17
	III 级	8	14	20	26	32
	IV 级	缺陷点数大于 III 级				

注：当厚度  $T$  不同时，取较薄者的厚度。

5.12.1.3 当圆形缺陷的长径大于  $T/2$  且黑度大于相邻较薄侧母材的黑度时，其质量级别应评为 IV 级。

5.12.1.4 检测单位底片评定人员应将圆形缺陷的黑度作为评级的依据，并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。

5.12.1.5 当缺陷的尺寸小于表 10 的规定时不计该缺陷的点数。

表 10 不计点数的缺陷尺寸

单位: mm

单壁厚度 $T$	缺陷长径
$T \leq 25$	$\leq 0.5$
$25 < T \leq 50$	$\leq 0.7$
$T > 50$	$\leq 1.4\%T$

## 5.12.2 条形缺陷和未焊透缺陷的分级评定

5.12.2.1 检测比例为 100% 的管道，不允许未焊透缺陷存在，有未焊透缺陷时，应评为 IV 级。未焊透评定的典型底片参见附录 F。

5.12.2.2 检测比例小于 100% 的管道未焊透缺陷的评定应符合下列规定：

- 当未焊透的黑度超过相邻较薄侧母材的黑度时，评为 IV 级；
- 当未焊透的黑度不超过相邻较薄侧母材的黑度时，按表 11 的规定进行评定。

5.12.2.3 条形缺陷的分级评定按表 11 的规定进行。

表 11 各级对接焊接接头允许的条形缺陷或未焊透缺陷长度

单位: mm

级别	单个缺陷最大长度 $L$	一组缺陷累计最大长度 $L$
I 级	不允许	不允许
II 级	$L \leq T/3$ 最小可为 4, 最大不超过 20	在长度为 $12T$ 的任意选定条形评定区内 <sup>a</sup> , 相邻缺陷间距不超过 $6L$ 的任一组条形缺陷和未焊透缺陷的累计长度应不超过 $T$ , 最小可为 4
III 级	$L \leq 2T/3$ 最小可为 6, 最大不超过 30	在长度为 $6T$ 的任意选定条形评定区内, 相邻缺陷间距不超过 $3L$ 的任一组条形缺陷和未焊透缺陷的累计长度应不超过 $T$ , 最小可为 6
IV 级	缺陷长度大于 III 级	
注: $L$ 为该组条形缺陷或未焊透缺陷中单个最长缺陷的长度; $T$ 为单壁厚度, 当厚度不同时取较薄者的厚度值。		
<sup>a</sup> 条形评定区是指与焊接接头方向平行的且具有一定宽度的矩形区, $T \leq 25$ mm 时, 矩形区宽度为 4 mm; $25 < T \leq 100$ mm 时, 矩形区宽度为 6 mm。		

5.12.2.4 当两个或两个以上条形缺陷或未焊透处于同一直线上, 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, 其间距也应计入缺陷的长度之中。

### 5.12.3 根部内凹和咬边的分级评定

5.12.3.1 根部内凹的分级评定按下列规定进行, 内凹评定典型底片参见附录 F。

- 当内凹的黑度超过相邻较薄侧母材的黑度时, 应评为 IV 级;
- 检测比例为 100% 的管道, 内凹长度应按表 12 的规定进行评定;
- 检测比例小于 100% 的管道, 内凹的允许长度不限。

5.12.3.2 根部咬边的分级评定按下列规定进行, 根部咬边的典型底片参见附录 F:

- 当底片中根部咬边的黑度超过相邻较薄侧母材部位的黑度时, 应评为 IV 级;
- 当底片中根部咬边的黑度不超过相邻较薄侧母材部位的黑度时, 按表 12 进行评定, 咬边的连续长度不得大于 100mm。

表 12 根部内凹和根部咬边的分级

级别	根部内凹的累计总长度与该焊接接头总长度的比 %	根部咬边的累计总长度与该焊接接头总长度的比 %
I 级	不允许	不允许
II 级	$\leq 10$	$\leq 10$ , 且单个长度不得超过 100mm
III 级	$\leq 20$	$\leq 20$ , 且单个长度不得超过 100mm
IV 级	$> 20$	$> 20$ , 或单个长度不得超过 100mm

### 5.12.4 多种缺陷并存的分级评定

在条形缺陷评定区内同时存在多种缺陷时 (圆形缺陷除外), 应进行综合评级。综合评级时, 应对各类缺陷分别评定级别, 取质量等级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, 应降低一级作为综合评级的级别。

## 5.13 铝及铝合金管道对接焊接接头射线检测质量分级

## 5.13.1 圆形缺陷的分级评定

5.13.1.1 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接接头平行的矩形，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

单位：mm

单壁厚度 $T$	$\leq 20$	$20 < T \leq 80$
评定区尺寸	$10 \times 10$	$10 \times 20$

5.13.1.2 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本标准表 8 的规定换算为点数，按表 14 的规定评定对接焊接接头的质量级别。

表 14 各级别对接接头允许的圆形缺陷最多点数

评定区尺寸, mm		$10 \times 10$				$10 \times 20$	
单壁厚度 $T$ , mm		$\leq 3$	$3 < T \leq 5$	$5 < T \leq 10$	$10 < T \leq 20$	$20 < T \leq 40$	$40 < T \leq 80$
圆形缺陷点数, 个	I 级	3	4	5	6	8	9
	II 级	5	9	12	16	23	26
	III 级	8	16	23	30	44	51
	IV 级	缺陷点数大于 III 级					

注：当厚度  $T$  不同时，取较薄者的厚度值。

5.13.1.3 缺陷长径大于  $2T/3$  或缺陷长径大于 10mm，其质量级别应评为 IV 级。

5.13.1.4 当缺陷的尺寸小于表 15 的规定时，应不计该缺陷的点数。

表 15 不计点数的缺陷尺寸

单位：mm

单壁厚度 $T$	缺陷长径
$\leq 40$	$\leq 0.6$
$> 40$	$\leq 1.57\%$

## 5.13.2 其他缺陷的分级评定

5.13.2.1 条形缺陷和未焊透按 5.12.2 条的规定进行质量分级评定。

5.13.2.2 根部内凹和根部咬边按 5.12.3 条的规定进行质量分级评定。

5.13.2.3 多种缺陷并存的综合评级按 5.12.4 条的规定进行评定。

5.13.2.4 带衬垫的焊接接头不允许有未焊透存在，发现未焊透缺陷即评为 IV 级。

## 5.14 钛及钛合金、锆及锆合金管道对接焊接接头射线检测质量分级

## 5.14.1 圆形缺陷的分级评定

5.14.1.1 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接接头平行的矩形，其尺寸见表 16。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 16 圆形缺陷评定区

单位: mm

单壁厚度 $T$	$\leq 20$	$20 < T \leq 50$
评定区尺寸	$10 \times 10$	$10 \times 20$

5.14.1.2 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 17 的规定换算为点数,按表 18 的规定评定对接焊接接头的质量级别。

表 17 缺陷点数换算表

缺陷长径 $L$ , mm	$\leq 1$	$1 < L \leq 2$	$2 < L \leq 4$	$4 < L \leq 8$	$> 8$
缺陷点数, 个	1	2	4	8	16

表 18 各级别对接接头允许的圆形缺陷最多点数

评定区尺寸, mm	$10 \times 10$				$10 \times 20$	
单壁厚度 $T$ , mm	$\leq 3$	$3 < T \leq 5$	$5 < T \leq 10$	$10 < T \leq 20$	$20 < T \leq 30$	$30 < T \leq 50$
缺陷点数, 个	I 级	3	4	5	6	7
	II 级	4	6	8	10	12
	III 级	6	10	14	18	22
	IV 级	缺陷点数大于 III 级				
注: 当厚度 $T$ 不同时, 取较薄者的厚度值。						

5.14.1.3 当圆形缺陷的长径大于  $T/2$  且黑度大于相邻较薄侧母材的黑度时, 应评为 IV 级。

5.14.1.4 当缺陷的尺寸小于表 19 的规定时, 应不计该缺陷的点数。

表 19 不计点数的缺陷尺寸

单位: mm

单壁厚度 $T$	缺陷长径
$\leq 20$	$\leq 0.5$
$> 20$	$\leq 0.7$

#### 5.14.2 其他缺陷的分级评定

5.14.2.1 条形缺陷的分级评定按本标准 5.12.2 条的规定进行质量分级评定。

5.14.2.2 根部内凹缺陷的质量分级评定按本标准 5.12.3 条进行。

5.14.2.3 多种缺陷并存的综合评级按本标准 5.12.4 条的规定进行评定。

5.14.2.4 未焊透和咬边缺陷评为 IV 级。

#### 5.15 射线检测记录和报告

5.15.1 射线检测记录应包括检测工艺卡编号和本标准 5.15.2 条 a) 项~f) 项的内容。

5.15.2 射线检测报告应包括以下内容:

- a) 委托单位;
- b) 检件名称、编号、规格、材质、焊接方法和检测时机及热处理状态;
- c) 检测设备的名称、型号和焦点尺寸;
- d) 检测标准、检测比例和合格级别;
- e) 检测规范,包括透照布置、胶片牌号、增感屏、像质计型号、射线能量(管电压、管电流或 $\gamma$ 源种类、 $\gamma$ 源活度)、曝光时间、焦距、底片黑度、有效片长、暗室处理条件(显影时间、显影温度)等;
- f) 检测结果及质量分级;
- g) 检测人员和责任人员签字及其技术资格;
- h) 检测日期。

## 6 超声检测

### 6.1 探伤仪、探头和系统性能

#### 6.1.1 仪器

采用数字式 A 型脉冲反射式超声探伤仪,工作频率范围为 0.5MHz~10MHz,仪器应在荧光屏满刻度的 80%范围内呈线性显示,并应具有 80dB 以上的连续可调衰减器,其精度为任意相邻 12dB 误差在  $\pm 1$ 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。

#### 6.1.2 探头

- a) 新购斜探头应进行如下测试/验收:K 值、前沿距离、主声束水平方向偏离不应大于  $2^\circ$ 、主声束垂直方向不应有明显双峰;
- b) 探头每次使用前应对上述参数进行复验;
- c) 检测外直径 100mm~159mm 的管子焊缝,探头楔块与管子的接触面应进行修磨,使其接触面与管子表面的弧度相匹配,修磨后的探头 K 值、入射点等参数用 SH-1 型试块进行重新测试;
- d) 管壁厚度小于或等于 30mm 时,探头频率宜采用 5MHz;管壁厚度大于 30mm 时,探头频率宜采用 2.5MHz。

#### 6.1.3 超声波探伤仪和探头的系统性能

6.1.3.1 超声探伤仪和探头系统在达到所探检件的最大检测声程时,其有效灵敏度余量不小于 10dB;显示屏中杂波高度不超过满幅度的 10%。

6.1.3.2 仪器和探头组合的始脉冲宽度(在扫查灵敏度下):

- a) 探测管壁厚度小于或等于 10mm 时,始脉冲宽度不应大于 2.5mm 的深度;
- b) 探测管壁厚度大于 10mm 小于或等于 20mm 时,始脉冲宽度不应大于 5mm 的深度;
- c) 探测管壁厚度大于 20mm 小于或等于 30mm 时,始脉冲宽度不应大于 7mm 的深度;
- d) 探测管壁厚度大于 30mm 时,始脉冲宽度不应大于 10mm 的深度。

6.1.3.3 斜探头探测 SH-1 试块  $\phi 4$  和  $\phi 8$  孔或 CSK-1A 试块  $\phi 40$  和  $\phi 44$  孔的分辨力不小于 20dB。

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

#### 6.2 系统校核(复核)

6.2.1 校核应在标准试块上进行,校核应使探头主声束垂直对准反射体的反射面,以获得稳定的和最大的反射信号。

6.2.2 每隔 3 个月应对仪器的水平线性和垂直线性进行一次校核。校核应按 JB/T 10061 的有关规定进行。

6.2.3 检测过程中仪器和探头系统遇有下述情况应对系统进行校核：

- a) 校准后的探头和耦合剂发生改变时；
- b) 检测人员怀疑扫描线标定精度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。

6.2.4 检测结束前仪器和探头系统的校核：

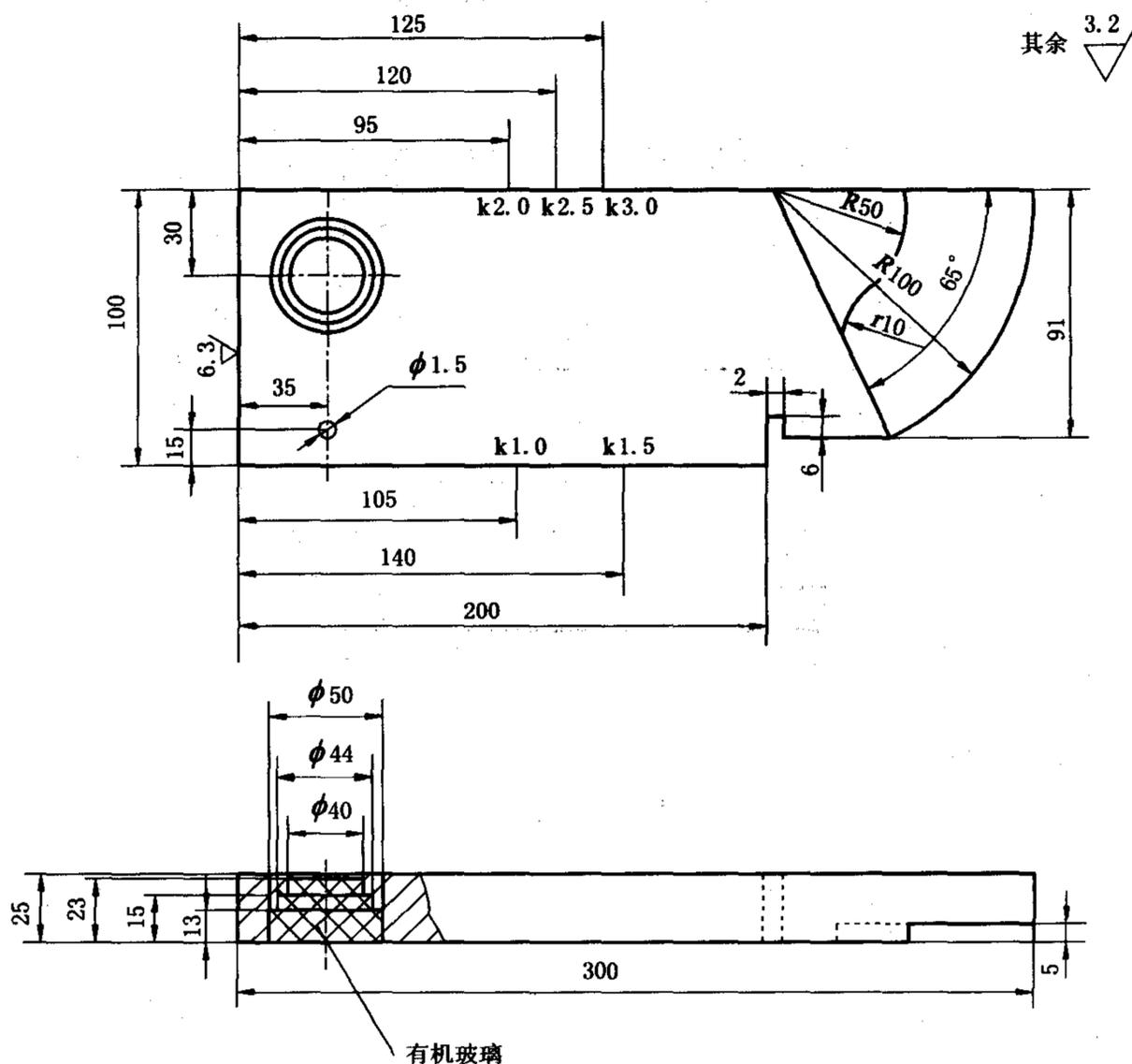
- a) 每次检测结束前，应对扫描线标定精度进行校核，当扫描线深度定位误差超过 0.5mm 时，则扫描线应重新调整，并对所检测部位进行复检；
- b) 每次检测结束前，应对扫查灵敏度进行校核，对距离-波幅曲线的校核不应少于 3 点：
  - 1) 曲线上任何一点幅度下降 2dB，应对所检测部位进行复检；
  - 2) 曲线上任何一点幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

6.2.5 对仪器线性进行校核时，任何影响仪器线性的控制器（如抑制或滤波开关等）都应置于“关”的位置或处于最低水平上。

### 6.3 试块

6.3.1 本标准规定用于仪器探头系统性能校准和检测校准的试块有：

- a) CSK-I A（标准试块见图 3）；
- b) CSK-III A（标准试块见图 4）；
- c) SH-1（标准试块见图 5）。



注：尺寸误差为±0.05 mm。

图 3 CSK-I A 试块

6.4.1.1 厚度为 7 mm~46 mm 时,用一种  $K$  值探头,采用直射波法和一次反射波法在对接焊缝的单面双侧进行检测。

6.4.1.2 厚度大于 46 mm 时,用两种  $K$  值探头采用直射波法和一次反射波法在对接焊缝的单面双侧进行检测。两种探头的折射角差应不小于  $10^\circ$ 。

6.4.1.3 对于直管与法兰、阀门、弯头、三通等管件对接的焊接接头,由于条件限制只能从焊接接头的直管侧进行扫查,应采用两种  $K$  值探头分别进行扫查,并在报告中注明。

#### 6.4.2 探头的选择

6.4.2.1 探头  $K$  值和前沿距离:

- 对于厚度小于或等于 10 mm 的焊缝,一次波至少要扫查到焊缝的根部,一次波和二次波的扫查范围总和要覆盖焊缝全部截面;
- 探测厚度较小的工件宜选择较大  $K$  值的探头,探测厚度较大的工件宜选择较小  $K$  值的探头;
- 探头  $K$  值和前沿距离宜按表 20 选用。

表 20 探头  $K$  值和前沿距离

厚度 $T$ mm	采用单个斜探头 在焊缝两侧进行扫查时 探头的 $K$ 值	采用两种 $K$ 值探头在焊缝的一侧进行扫 查时探头的 $K$ 值		探头前沿距离 mm
		探头 1	探头 2	
$7 \leq T \leq 10$	3.0~2.5	2.0	3.0	$\leq 5$
$10 < T \leq 15$	3.0~2.0	2.0	3.0	$\leq 8$
$15 < T \leq 35$	2.5~2.0	1.5	2.5	$\leq 10$
$35 < T \leq 46$	2.0~1.5	1.0	2.0	$\leq 12$
$46 < T \leq 100$	—	1.0	2.0	$\leq 15$

6.4.2.2 探头与检件的接触面:

- 探头与管子应有良好接触,保证耦合效果;
- 检测外径小于 159 mm 的管道焊缝,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  $K$  值和前沿重新进行测定;
- 外径大于或等于 159 mm 的管道焊缝,探头与管子的接触面尺寸应满足表 21 的规定。

表 21 探头宽度选择

单位: mm

管子外径 $D_0$	探头接触面宽度 $W$
$100 \leq D_0 < 159$	探头接触面修磨至与工件曲面匹配
$159 \leq D_0 < 219$	$\leq 12$
$219 < D_0 \leq 325$	$\leq 16$
$D_0 > 325$	$\leq 18$

#### 6.4.3 扫查速度与表面耦合

6.4.3.1 探头的扫查速度不应超过 150 mm/s。

6.4.3.2 检件的表面耦合损失和材质衰减应与灵敏度试块相同,推荐表面补偿值为 4 dB,否则应按附录 G 的规定进行表面耦合损失的测定。

6.4.3.3 耦合剂宜采用化学浆糊,也可采用机油或甘油。

#### 6.5 检测前的准备

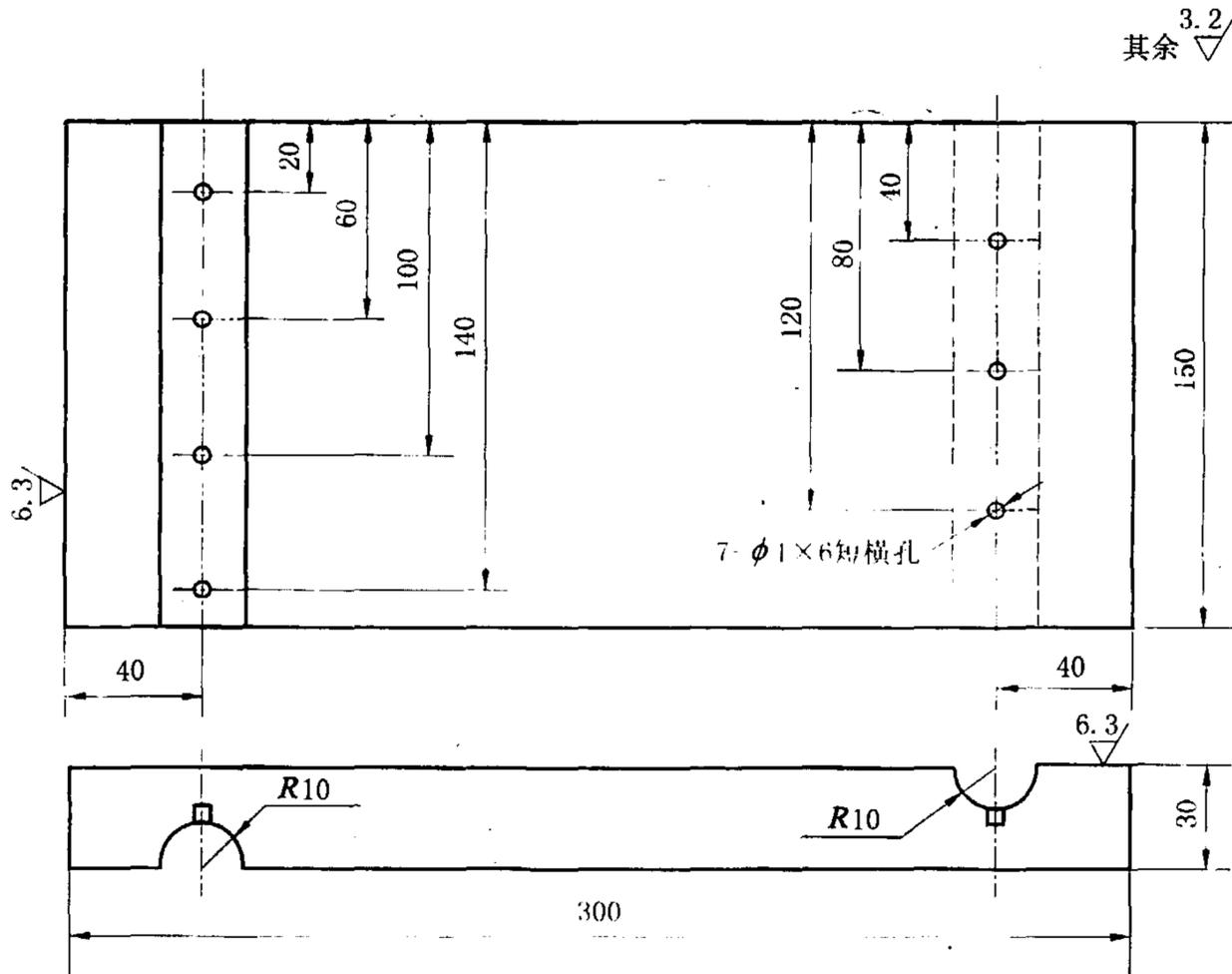


图 4 CSK-III A 试块

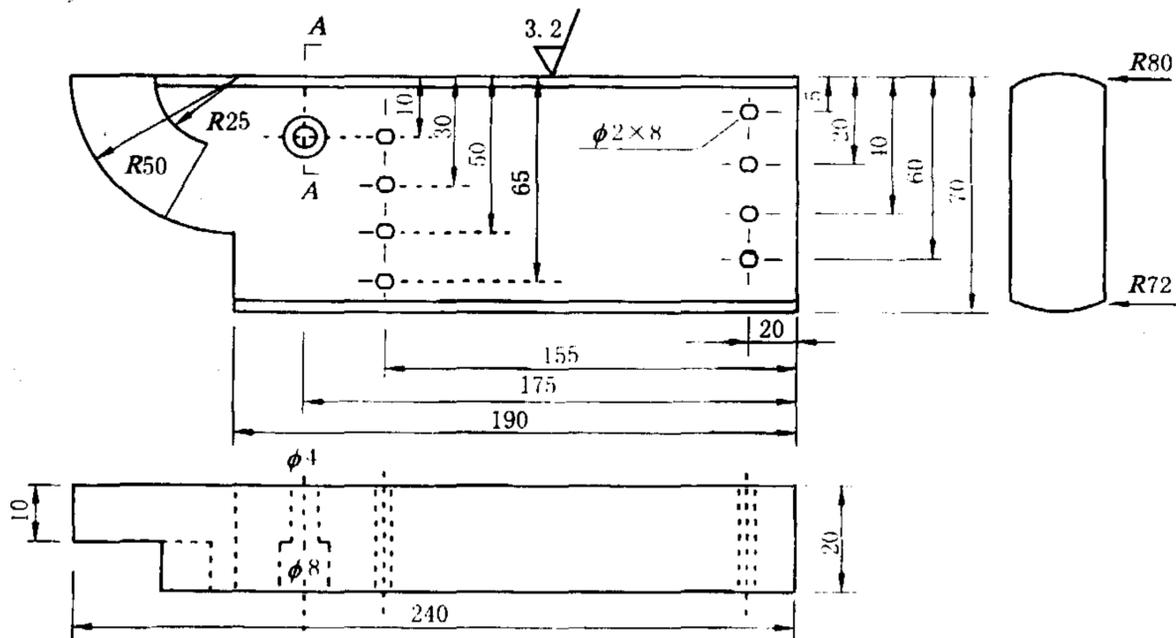


图 5 SH-1 试块

6.3.2 试块应采用与检件声学性能相同或相近的材料制成，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。

6.3.3 CSK-I A 和 CSK-III A 适用于管外径大于或等于 159 mm 的焊接接头；SH-1 试块适用于管外径大于或等于 100 mm 小于 159 mm 的焊接接头，其中试块 R60 侧面适用于管外径大于或等于 100 mm 小于 130 mm 的焊接接头，R72 侧面适用于管外径大于或等于 130 mm 小于 159 mm 的焊接接头。

#### 6.4 超声检测技术要求

##### 6.4.1 扫查面的确定

6.5.1 受检焊接接头的表面质量应经外观检查合格。所有影响超声检测的锈蚀、飞溅和污物等都应予以清除，其不规则状态不得影响检测结果的正确性和完整性。

焊缝两侧探头移动区良好的油漆层不用去除，良好的油漆层对超声波检测不产生影响。

6.5.2 检测前应用纵波直探头或测厚仪对检件的扫查部位厚度进行测量确认，当测量值与标称值不同时，应在记录和报告中注明。

6.5.3 检测面及探头移动区应符合下列要求：

- a) 检测区的宽度为焊缝宽度，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6）；

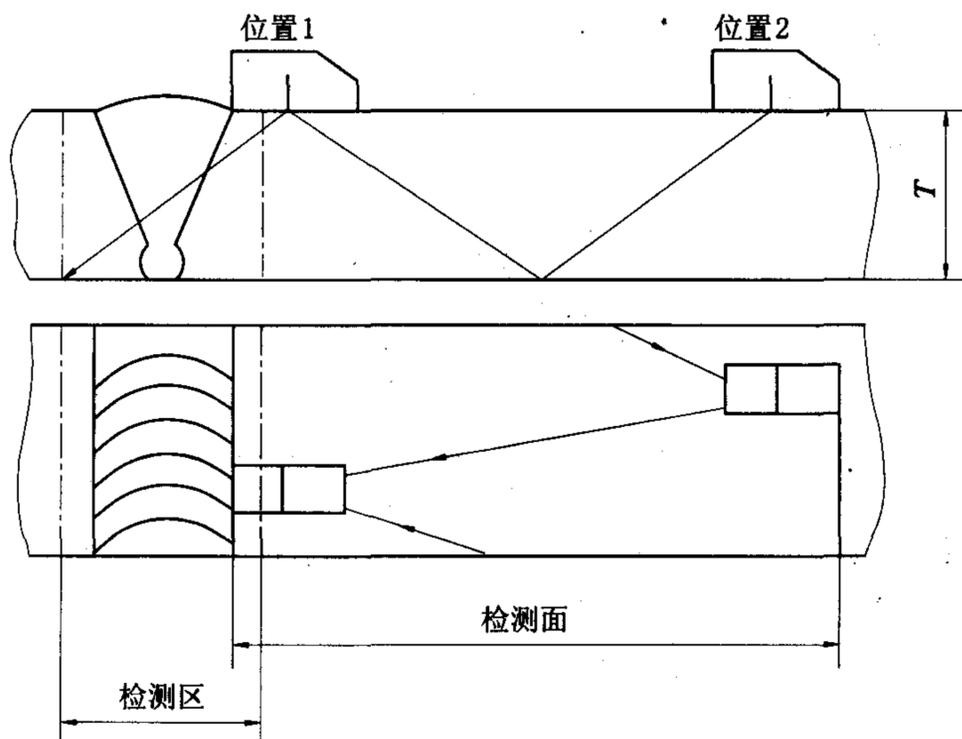


图6 检测和探头移动区

- b) 探头移动区应进行打磨，清除探头移动区内的焊接飞溅、焊疤、铁屑、油垢、锈蚀及其他杂质，使检测表面平滑，便于探头的扫查，探头移动区  $P$  按公式（2）计算；

$$P \geq 3TK \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$P$ ——探头移动区，mm；

$T$ ——母材厚度，mm；

$K$ ——探头  $K$  值。

- c) 去除余高的焊接接头，应将余高打磨到与邻近母材平齐；保留余高的焊接接头将焊缝表面的咬边、隆起和凹陷等缺陷进行修磨，与母材圆滑过渡。

6.6 距离-波幅曲线制作

6.6.1 采用数字式仪器距离-波幅曲线按深度 1:1 制作，并同时显示水平和声程。

6.6.2 检测管外径大于或等于 100 mm 且小于 159 mm 的对接焊缝时，以 SH-1 标准试块为基准制作距离-波幅曲线；检测管外径大于或等于 159 mm 的对接焊缝时，以 CSK-III A 标准试块为基准制作距离-波幅曲线。距离-波幅曲线组由评定线、定量线和判废线组成（见图 7），并符合下列规定：

- a) 评定线与定量线之间（包括评定线）为 I 区；
- b) 定量线与判废线之间（包括定量线）为 II 区；
- c) 判废线及其以上区域为 III 区。

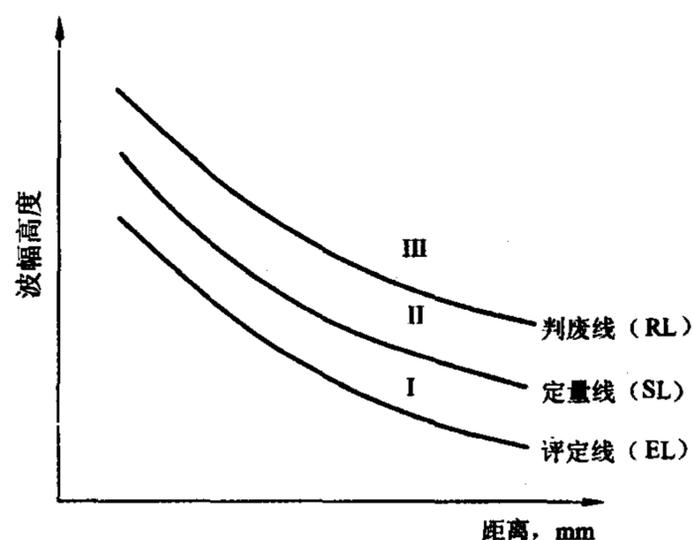


图7 距离-波幅曲线示意

6.6.3 不同规格的距离-波幅曲线灵敏度应符合表 22 的规定。

表 22 距离-波幅曲线的灵敏度

试块型式	管径 $D_0$ mm	厚度 $T$ mm	评定线	定量线	判废线
HS-1	$100 \leq D_0 < 159$	$7 \leq T$	$\phi 2 \times 20 - 18\text{dB}$	$\phi 2 \times 20 - 12\text{dB}$	$\phi 2 \times 20 - 4\text{dB}$
CSK-III A	$\geq 159$	$7 \leq T \leq 15$	$\phi 1 \times 6 - 12\text{dB}$	$\phi 1 \times 6 - 6\text{dB}$	$\phi 1 \times 6 + 2\text{dB}$
		$15 < T \leq 46$	$\phi 1 \times 6 - 9\text{dB}$	$\phi 1 \times 6 - 3\text{dB}$	$\phi 1 \times 6 + 5\text{dB}$
		$> 46$	$\phi 1 \times 6 - 6\text{dB}$	$\phi 1 \times 6 - 0\text{dB}$	$\phi 1 \times 6 + 10\text{dB}$

6.6.5 扫查灵敏度不得低于最大声程处的评定线灵敏度。

### 6.7 扫查方法

6.7.1 将探头置于对接焊接接头两侧并垂直于焊接接头作锯齿形扫查，探头前、后移动距离应不小于  $3TK$ ，探头前、后移动的齿距应小于探头晶片宽度的一半。

6.7.2 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。

### 6.8 缺陷定量

6.8.1 对所有反射波幅位于 I 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。

6.8.2 缺陷位置测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。缺陷类型的识别和性质估判应按附录 H 进行。

6.8.3 测定缺陷最大反射波幅时，应将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置，测定波幅值，并确定其在距离-波幅曲线图中的波幅区域。缺陷最大反射波幅以  $SL \pm XX \text{ dB}$  表示。

6.8.4 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，找出最高波，并左、右移动探头，使波高降至评定线，探头左、右移动的距离即为缺陷指示长度；
- 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，左、右移动探头，使端点波高降至评定线，探头移动的距离即为缺陷指示长度；
- 当缺陷最大反射波幅位于 I 区，检测人员应记录，左、右移动探头，使端点波高降至评定线，探头移动的距离即为缺陷指示长度。

### 6.9 缺陷的评定

6.9.1 超过评定线的信号如检测人员怀疑是危害性缺陷时，应改变探头  $K$  值，观察缺陷动态波形并结合焊接工艺进行综合分析，也可采用其他检测方法进行验证。

6.9.2 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单个缺陷指示长度，间距不计入缺陷长度。

6.9.3 单个点状缺陷指示长度不足 10 mm 时，按 5 mm 计。

## 6.10 质量分级

6.10.1 对接焊接接头质量分级按表 23 的规定进行。

表 23 对接焊接接头质量分级

单位：mm

焊接接头 质量等级	反射波幅 所在区域	缺陷长度 <sup>a</sup>	
		单个指示长度 $L$	累计长度 <sup>b</sup>
I 级	I	非裂纹类缺陷	不限
	II	小于或等于 $T/3$ ，最小可为 10， 最大不超过 30	长度小于或等于焊接接头周长的 10%， 且小于 30
II 级	II	小于或等于 $2T/3$ ，最小可为 12， 最大不超过 40	长度小于或等于焊接接头周长的 15%， 且小于 40
III 级	II	缺陷长度超过 II 级者	
	III	所有缺陷	
	I、II、III	裂纹等危害性缺陷	
注： $T$ 为单壁厚度，当焊接接头两侧母材厚度不等时，取较薄者的厚度值。			
<sup>a</sup> 在 10 mm 焊接接头长度范围内，同时存在条状缺陷和未焊透时，应评为 III 级。			
<sup>b</sup> 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。			

## 6.11 超声检测记录和报告

6.11.1 超声检测记录应包括检测工艺卡编号和本标准 6.11.2 条 a) 项~f) 项的内容。

6.11.2 超声检测报告应包括下列内容：

- a) 委托单位；
- b) 检件名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和检测时机；
- c) 设备型号、探头型号、标准试块；
- d) 检测标准、检测比例和合格级别；
- e) 表面状态、表面补偿、扫描比例、耦合剂及检测灵敏度；
- f) 检测结果及质量评级，缺陷的类型、尺寸、位置和分布应在示意图上予以标明，如有因几何形状或检测条件限制而检测不到的部位，也应加以说明；
- g) 检测人员和责任人员签字及其技术资格；
- h) 检测日期。

## 7 磁粉检测

### 7.1 磁粉检测设备、器材和材料

#### 7.1.1 磁粉检测设备和辅助器材

7.1.1.1 磁粉检测设备除符合 JB/T 8290 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 当使用单磁轭最大间距时, 交流单磁轭的提升力应不小于 45N; 交叉磁轭的提升力应不小于 118N;
- b) 当采用荧光磁粉检测时, 使用的黑光灯在检件表面的黑光辐照度应大于或等于  $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 黑光的波长宜为 320 nm~400 nm, 中心波长为 365 nm;
- c) 黑光源应符合 GB/T 16673 的规定。

#### 7.1.1.2 磁粉检测辅助器材包括:

- a) A<sub>1</sub>型、C型标准试片;
- b) 5倍~10倍放大镜;
- c) 照度计;
- d) 黑光灯;
- e) 黑光辐照计。

#### 7.1.2 磁粉、载体及磁悬液

7.1.2.1 磁粉应具有高磁导率、低矫顽力和低剩磁性, 并应与检件表面颜色有较高的对比度。磁粉粒度和性能等要求应符合 JB/T 6063 的规定。

7.1.2.2 检件温度在 0℃以上时, 宜采用水作为分散媒介, 也可在水中填加活性剂和防锈剂增加润湿性和抗防腐性; 检件温度在 0℃及其以下时, 应采用低粘度油基载体作为分散媒介。

7.1.2.3 磁悬液浓度应根据磁粉种类、粒度、施加方法和检件表面状态等因素来确定。磁悬液浓度应按表 24 的规定进行配制。使用前应对磁悬液进行搅拌。

表 24 磁悬液浓度

单位: g/L

磁粉类型	配制浓度
非荧光磁粉	10~25
荧光磁粉	0.5~3.0

#### 7.1.3 灵敏度试片

7.1.3.1 灵敏度试片用于检验磁粉检测设备、磁粉与磁悬液的综合性能和检查检件表面有效磁场强度和方向。灵敏度试片应符合 JB/T 6065 的规定, 可选用 A<sub>1</sub>型或 C型, 其规格、尺寸和图形见表 25。

表 25 标准试片的类型、规格和图形

试片型号	槽深 μm	试片厚度 μm	图形和尺寸 mm
A <sub>1</sub> -15/100	15	100	
A <sub>1</sub> -30/100	30	100	
C-8/50	8	50	
C-15/50	15	50	

注: C型标准试片可剪成5个小试片分别使用。

7.1.3.2 磁粉检测宜选用 A<sub>1</sub>-30/100 型灵敏度试片。当检测焊接接头坡口等狭小部位, 由于尺寸关系, A<sub>1</sub>型灵敏度试片使用不便时, 可选用 C-15/50 型灵敏度试片。当委托单位有要求时, 可选用 A<sub>1</sub>-15/100 或 C-8/50 试片。

### 7.1.3.3 灵敏度试片按下列规定使用:

- a) 使用时, 应将试片置于检件表面, 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, 且胶带不得覆盖试片上的人工缺陷;
- b) 灵敏度试片表面有锈蚀、弯折或磁特性发生改变时不得继续使用。

## 7.2 质量控制

### 7.2.1 磁粉检测设备应定期校验, 并符合下列规定:

- a) 电磁轭的提升力应每半年校验一次, 在磁轭损伤修复后应重新校验; 轴向通电法或线圈法使用的电流表应每半年校验一次;
- b) 黑光辐照计、照度计应每年校验一次。

7.2.2 每次检测工作开始前应进行综合性能试验, 用灵敏度试片检验磁粉检测设备、磁粉和磁悬液的综合性能(系统灵敏度), 并应清晰识别标准试片上人工缺陷的磁痕显示。

### 7.2.3 检测前应进行磁悬液润湿性能试验, 将磁悬液施加在检件表面上, 并按下列规定确认:

- a) 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;
- b) 如果液膜被断开, 则磁悬液润湿性能不合格, 应添加活性剂或对检件表面进行处理。

## 7.3 检件表面的准备

7.3.1 检件表面不得有油脂、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。当检件表面有均匀涂层时, 其涂层厚度经测量不超过 0.05mm 时, 可以带涂层进行磁粉检测。

7.3.2 采用轴向通电法和触头法磁化时, 为了防止电弧烧伤检件表面和提高导电性能, 应将检件和电极接触部分的表面清除干净, 必要时也可在电极上安装接触垫。

7.3.3 磁粉颜色应与检件表面形成明显反差, 否则应使用反差增强剂增强对比度。

## 7.4 检测方法

### 7.4.1 一般规定

7.4.1.1 焊缝磁粉检测应采用交流磁轭连续磁化法, 单磁轭应具有可变角度, 并与管子曲面接触良好, 交叉磁轭适用于直径大于 200 的管子焊缝。典型磁化方法参见附录 I。

7.4.1.2 对管子及管件检测, 应根据不同规格和结构选用磁轭法、轴向通电法、中心导体法、触头法或线圈法进行。

### 7.4.2 磁悬液的施加

7.4.2.1 施加磁悬液前应确认整个检测面能被磁悬液湿润。

7.4.2.2 磁悬液的施加应采用喷洒方法, 喷洒时应使磁悬液呈均匀雾状。

7.4.2.3 磁化的同时喷洒磁悬液。

### 7.4.3 磁化操作

#### 7.4.3.1 磁轭法

采用单磁轭法检测时, 磁极与管子表面应保持良好接触, 检件的磁化、施加磁悬液以及观察磁痕显示都应在磁化通电时间内完成, 通电时间宜为 3s~5s, 停施磁悬液 1s 后方可停止磁化, 并符合下列规定:

- a) 每一检测部位应进行两次相互垂直的磁化;
- b) 磁极间距应控制在 75mm~200mm 之间;
- c) 检测的有效区域为两极连线两侧各 50mm 的范围;
- d) 磁化区域每次应有不少于 15mm 的重叠。

直径大于 200mm 的管子采用交叉磁轭法磁化时应保证四个磁极与工件良好接触, 磁极连续行走, 当磁极分段磁化时, 两次磁化的重叠区域不少于 30% 的磁极宽度。

#### 7.4.3.2 轴向通电法或中心导体法

外径小于或等于 89mm 的管子/管件宜采用轴向通电法或中心导体法磁化，磁化时间为 1s~3s，磁化电流为交流，磁化规范按公式 (3) 计算。

$$I=(8\sim 15)D \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$I$ ——交流电流值，A；

$D$ ——管子/管件外径，mm。

#### 7.4.3.3 触头法

对三通、大小头、弯头等形状复杂的管件进行局部磁化宜采用触头法，通电时间 1s~3s，磁化规范见表 26。电极与检件之间应保持良好的接触，触头手柄应有摇控开关，在触头与检件接触好后方可开启开关，取下电极前应先关闭开关，并符合下列规定：

- a) 电极间距应控制在 75 mm~200 mm 之间；
- b) 磁场的有效宽度为触头中心线两侧 1/4 极距；
- c) 两次磁化区域间应有不小于 10% 的磁化重叠区。

表 26 触头法磁化电流值

检件厚度 $T$ mm	电流值 $I$ A
<19	3.5L~4.5L
≥19	4L~5L

注：L 为触头间距，mm。

#### 7.4.3.4 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 150 mm 的范围内。超过 150 mm 以外区域，磁化强度应采用标准试片确定，并按下述规定选择电流值：

- a) 低充填因数线圈法，当线圈的横截面积大于或等于被检检件横截面积的 10 倍时，磁化电流按下述公式计算；

- 1) 偏心放置时，线圈的磁化电流按公式 (4) 计算（误差为 10%）；

$$I = \frac{45000}{N(L/D)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

- 2) 正中放置时，线圈的磁化电流按公式 (5) 计算（误差为 10%）；

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

上列式中：

$I$ ——施加在线圈上的磁化电流，A；

$N$ ——线圈匝数；

$L$ ——检件长度，mm；

$D$ ——检件直径或横截面上最大尺寸，mm；

$R$ ——线圈半径，mm；

- b) 高充填因数线圈法，用固定线圈或电缆缠绕进行检测，线圈的截面积小于或等于 2 倍检件截面积（包括中空部分），磁化时，可按公式 (6) 计算磁化电流（误差 10%）；

$$I = \frac{35000}{N[(L/D) + 2]} \quad \dots\dots\dots (6)$$

c) 中充填因数线圈法, 当线圈大于 2 倍而小于 10 倍被检检件截面积时, 按公式 (7) 计算磁化电流:

$$NI = [(NI)_h(10 - Y) + (NI)_l(Y - 2)] / 8 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$(NI)_h$  ——公式 (6) 高充填因数线圈计算的  $NI$  值;

$(NI)_l$  ——公式 (4) 或公式 (5) 低充填因数线圈计算的  $NI$  值;

$Y$  ——线圈的横截面积与检件横截面积之比;

d) 上述公式不适用于长径比 ( $L/D$ ) 小于 2 的检件。对于长径比 ( $L/D$ ) 小于 2 的检件, 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 的检件, 公式中 ( $L/D$ ) 取 15;

e) 当检件太长时, 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;

f) 计算空心检件时, 此时检件直径应由有效直径  $D_{\text{eff}}$  代替。

1) 圆筒形检件按公式 (8) 计算:

$$D = [(D_o)^2 - (D_i)^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

2) 非圆筒形检件按公式 (9) 计算。

$$D_{\text{eff}} = 2\sqrt{\frac{A_t - A_h}{\pi}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

上列式中:

$D_{\text{eff}}$  ——圆筒有效直径, mm;

$D_o$  ——圆筒外直径, mm;

$D_i$  ——圆筒内直径, mm;

$A_t$  ——零件总的横截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_h$  ——零件中空部分的横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

## 7.5 磁痕显示的分类记录

### 7.5.1 磁痕的分类和处理

7.5.1.1 磁痕显示分为相关显示、非相关显示和伪显示。

7.5.1.2 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。

7.5.1.3 长度小于 0.5 mm 的磁痕不计。

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

### 7.5.2 缺陷磁痕的观察

7.5.2.1 磁粉检测应边磁化边观察缺陷磁痕, 磁化完成后对磁痕进行分析、记录。

7.5.2.2 非荧光磁粉检测时, 缺陷磁痕的评定应在可见光下进行, 检件表面可见光照度应大于或等于 1000 lx, 当条件所限无法满足时, 可见光照度也不得低于 500 lx。

7.5.2.3 荧光磁粉检测时, 所用黑光灯在检件表面的辐照度应大于或等于  $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 黑光波长宜在 320 nm~400 nm 的范围内, 缺陷磁痕显示的评定应在暗处进行, 暗处可见光照度应不大于 20 lx。

检测人员进入暗区，至少经过 3 min 的暗适应后，方可进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时，检测人员不得戴除矫正视力镜外的其他眼镜。

7.5.2.4 除确认磁痕是由于检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磁痕。当用目测辨认缺陷磁痕有困难时，宜用 5 倍~10 倍放大镜进行观察。

### 7.5.3 缺陷磁痕记录

7.5.3.1 缺陷磁痕显示记录宜用示意图标示并加文字说明。

7.5.3.2 缺陷磁痕显示也可采用照相、录相等方式记录。

### 7.6 复验

7.6.1 检测结束时，用灵敏度试片验证检测灵敏度，检测灵敏度经验证达不到要求时，应进行复验。

7.6.2 检测过程中技术条件改变或发现操作有误时，应进行复验。

7.6.3 对质量评定结果有争议时，应进行复验。

### 7.7 质量评定

7.7.1 质量评定结果分为合格和不合格。

7.7.2 任何裂纹、未熔合、线型显示和长径大于 1.5 mm 的单个圆形显示均评定为不合格。

7.7.3 在尺寸为 35 mm×100 mm 的评定框内直径小于或等于 1.5 mm 的圆形显示不多于 1 个为合格。

### 7.8 磁粉检测记录和报告

7.8.1 磁粉检测记录应包括检测工艺卡编号和本标准 7.8.2 条 a) 项~f) 项的内容。

7.8.2 磁粉检测报告应包括下列内容：

- a) 委托单位；
- b) 检件名称、编号、规格、材质、焊接方法、热处理状态和检测时机及表面状态；
- c) 检测设备名称、型号；
- d) 检测规范，包括磁化方法，磁粉种类、磁悬液浓度和施加方法、磁化时间及电流种类、提升力/电流及灵敏度试片；
- e) 检测标准、检测比例、检测结果；
- f) 检测部位及超标缺陷位置示意图；
- g) 检测人员和责任人员签字及其技术资格；
- h) 检测日期。

## 8 渗透检测

### 8.1 渗透检测剂

8.1.1 渗透检测剂包括渗透剂、清洗剂和显像剂。渗透检测应采用溶剂去除型成套产品，并应有产品质量证明文件，标识生产日期和有效期。

8.1.2 渗透检测剂应对检件无腐蚀；对人体基本无毒害作用。

8.1.3 对于镍及镍合金材料检测，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%；对于奥氏体不锈钢、钛及钛合金和锆及锆合金材料检测，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%。

### 8.2 检测试块

8.2.1 检测试块分铝合金对比试块（A 型试块）和镀铬试块（B 型试块）。

8.2.2 铝合金对比试块尺寸如图 8 所示，试块由同一试块剖开后具有相同大小的两部分组成，并打上相同的序号，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。

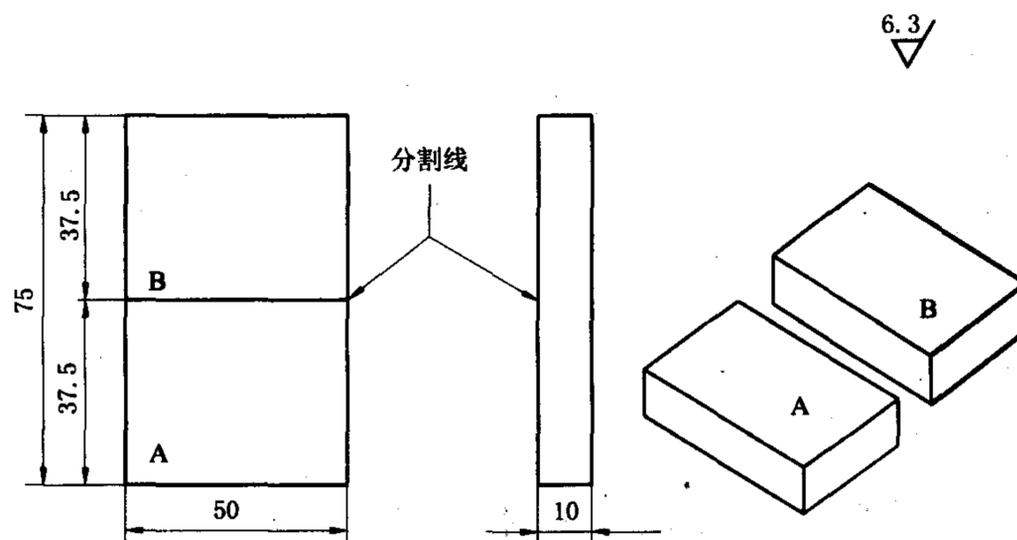


图8 铝合金试块

8.2.3 镀铬试块是将一块尺寸为  $130\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 、材料为  $0\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$  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 中 B 型试块相关规定。裂纹尺寸分别对应 JB/T 6064 B 型试块上的裂纹区位号 2、3、4。

8.2.4 铝合金试块用于下列两种情况：

- a) 在正常使用情况下，检验渗透检测剂性能及比较两种渗透检测剂性能；
- b) 对用于非标准温度下的渗透检测方法作出鉴定。

8.2.5 镀铬试块用于检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺的正确性。当发现试块有阻塞或灵敏度有下降时，应及时修复或更换。

8.2.6 试块使用后，应用清洗剂进行清洗。清洗后，宜将试块放入装有丙酮或无水酒精的混合液体（体积混合比的 1:1）的密闭容器中保存，也可采用其他方法保存。

### 8.3 渗透检测操作

#### 8.3.1 表面准备

8.3.1.1 清理检件表面，除去铁锈、氧化皮、焊接飞溅、铁屑、毛刺以及各种防护层。

8.3.1.2 检件表面清理范围应从检测部位四周向外扩展 25 mm。

#### 8.3.2 预清洗

8.3.2.1 检件进行表面清理之后，可采用溶剂、洗涤剂清洗剂进行预清洗，去除检测面的污垢。清洗后检测面上遗留的溶剂和水份等应干燥，且应保证在施加渗透剂前不被污染。

8.3.2.2 预清洗范围应符合本标准 8.3.1.2 条要求。

#### 8.3.3 施加渗透剂

8.3.3.1 渗透剂应采用喷涂法施加在受检部位，使用前应摇动喷罐使渗透剂均匀。喷洒时，喷嘴应贴近检件表面，防止污染非检测区域，渗透剂施加后，整个渗透时间内保持检测面处于润湿状态。

8.3.3.2 在  $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  的温度条件下，渗透持续时间不应少于 10 min；当温度条件不能符合上述条件时，应按附录 J 对操作方法进行鉴定。

#### 8.3.4 去除多余的渗透剂

8.3.4.1 清洗检件表面去除多余的渗透剂时，不应过度去除而使检测质量下降，同时也不应去除不足而造成对缺陷显示识别困难。

8.3.4.2 应先用干燥、洁净不脱毛的布进行擦拭，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的布进行擦拭，直至将被检面上多余的渗透剂全部擦净。

#### 8.3.5 干燥

施加显像剂前，检测面应自然干燥。

### 8.3.6 施加显像剂

8.3.6.1 检件表面干燥后，将显像剂喷洒到被检面上，然后进行自然干燥。

8.3.6.2 显像剂在使用前应将喷罐摇匀，显像剂施加应薄而均匀。

8.3.6.3 喷涂显像剂时，喷嘴离被检面距离为 300 mm~400 mm。

8.3.6.4 显像时间不少于 7 min。

### 8.3.7 观察显示

8.3.7.1 观察显示应在显像剂施加后 7 min~30 min 内进行。

8.3.7.2 显示的评定应在白光下进行，检件表面处白光照度应大于或等于 1 000 lx，且当现场由于条件所限无法满足时，光照度可以适当降低，但不得低于 500 lx。

8.3.7.3 辨认缺陷显示时，可用 5 倍~10 倍放大镜进行观察。

### 8.3.8 后处理

检件检测完毕应进行后处理，去除残留物。

## 8.4 渗透显示的分类和记录

### 8.4.1 缺陷显示的分类与处理

8.4.1.1 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及小于 0.5 mm 的显示不进行记录和评定。

8.4.1.2 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。

8.4.1.3 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。

8.4.1.4 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 2 mm 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。

### 8.4.2 缺陷显示的记录

8.4.2.1 缺陷显示的记录宜用示意图标示，并加文字说明。

8.4.2.2 缺陷显示的记录也可采用照相、录相等方式记录。

## 8.5 复验

8.5.1 检测结束时，用试块验证检测灵敏度不符合要求时，应进行复验。

8.5.2 检测过程中技术条件改变或发现操作有误时，应进行复验。

8.5.3 对质量评定结果有争议时，应进行复验。

## 8.6 质量控制

8.6.1 使用新的渗透检测剂、改变或替换渗透检测剂类型时，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的正确性。

8.6.2 检测灵敏度应发现镀铬试块的 3 个辐射状裂纹区。

## 8.7 质量评定

8.7.1 质量评定结果分为合格和不合格。

8.7.2 任何裂纹、未熔合、线型显示、长径大于 1.5 mm 的单个圆形显示均评定为不合格。

8.7.3 在尺寸为 35 mm×100 mm 的评定框内直径小于或等于 1.5 mm 的圆形显示不多于 1 个为合格。

## 8.8 渗透检测记录和报告

8.8.1 渗透检测记录应包括检测工艺卡编号和本标准 7.8.2 条 a) 项~f) 项的内容。

8.8.2 检测报告应包括下列内容：

- a) 委托单位；
- b) 被检检件的名称、编号、规格、材质、焊接方法、表面状态及检测时机；
- c) 渗透检测剂牌号；

- d) 灵敏度试块, 渗透温度、渗透时间、显像时间;
- e) 检测标准、检测比例、检测结果;
- f) 检测结果渗透显示记录及检测部位、示意图及文字说明;
- g) 表面耦合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  
(资料性附录)  
管道检测工艺卡

A.1 管道焊缝 X 射线检测工艺卡见表 A.1。

表 A.1 管道焊缝 X 射线检测工艺卡

工程名称		委托单位		工艺卡编号			
检件名称		检件材质		检测时机			
检测比例		检测标准		合格级别			
设备型号		设备编号		管电流	mA		
焦点尺寸	mm	铅箔增感屏	mm	胶片型号			
显影配方		显影温度	°C	显影时间	min		
定影时间	min	水洗时间	流动水洗_____min	散射线防护	背衬_____mm 铅板		
底片黑度		像质计摆放					
透照方式示意:							
检件规格 mm	透照方式	识别像质计 丝号	焦距 mm	透照次数 次	管电压 kV	曝光时间 min	平移距离 mm
备注:							
编制:				审核:			
资格:            级            年    月    日				资格:            级            年    月    日			





A.4 管道焊缝超声检测工艺卡见表 A.4。

A.4 管道焊缝超声检测工艺卡

工程名称		委托单位		工艺卡编号	
检件名称		检件材质		检件规格	
检测标准		检测比例		合格级别	
焊接方法		坡口型式		表面状态	
探头移动区		检测面		检测时机	
设备型号		设备编号		试块型号	
探头型号		耦合剂		检测灵敏度	
		表面补偿	dB	扫描比例	
检测示意图:					
工艺要求:					
编制:			审核:		
资格:            级            年            月            日			资格:            级            年            月            日		

A.5 磁轭式磁粉检测工艺卡见表 A.5。

A.5 磁轭式磁粉检测工艺卡

工程名称		委托单位		工艺卡编号	
检件名称		检件材质		检件规格	
检测部位		检测时机		表面状态	
检测标准		检测比例			
设备型号		设备编号		提升力	
磁粉类型		磁悬液浓度		磁化时间	
灵敏度试片		反差增强剂牌号			
工艺程序及要求：					
表面准备					
磁化操作					
磁悬液的施加					
观察显示					
后处理					
备注					
编制： 资格：            级            年            月            日			审核： 资格：            级            年            月            日		

A.6 轴向通电法/中心导体法/线圈法磁粉检测工艺卡见表 A.6。

A.6 轴向通电法/中心导体法/线圈法  
磁粉检测工艺卡

工程名称		委托单位		工艺卡编号	
检件名称		检件材质		检件规格	
检测部位		表面状态		检测时机	
检测标准		检测比例			
设备型号		设备编号		检测方法	
磁化电流		磁化时间		磁粉类型	
灵敏度试片		磁悬液浓度		反差增强剂牌号	
工艺程序及要求：					
表面准备					
磁化操作					
磁悬液的施加					
观察显示					
后处理					
备注					
编制： 资格：            级            年            月            日			审核： 资格：            级            年            月            日		

A.7 溶剂去除型着色渗透检测工艺卡见表 A.7。

A.7 溶剂去除型着色渗透检测工艺卡

工程名称		委托单位		工艺卡编号	
检件名称		检件材质		检测部位	
检验标准		检测比例		检测时机	
检测温度	℃	表面状态		清洗剂	
渗透剂型号		渗透时间	min	显像剂型号	
显像时间	min	灵敏度试块			
工艺程序及要求：					
预清洗					
施加渗透剂					
去除多余的渗透剂					
干燥					
施加显像剂					
观察显示					
后处理					
安全要求					
编制： 资格：            级            年            月            日			审核： 资格：            级            年            月            日		

## 附录 B

(资料性附录)

## 工业射线胶片系统的特性指标

表 B.1 给出了工业射线胶片系统的主要特性指标。

表 B.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 $\sigma_{D_{\max}}$	梯度/颗粒度最小值 $(G/\sigma_D)_{\min}$
				黑度 2.0	黑度 4.0	黑度 2.0	黑度 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：表中的黑度均不包括灰雾度的净黑度。

附录 C  
(规范性附录)  
专用像质计

石油化工管道专用像质计的结构型式示意图 C.1。

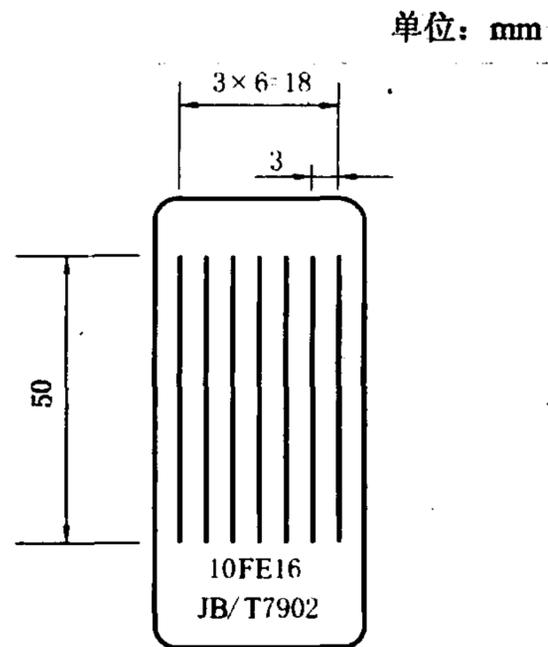


图 C.1 专用像质计结构型式示意

附录 D  
(资料性附录)

黑度计(光学密度计)定期校验方法

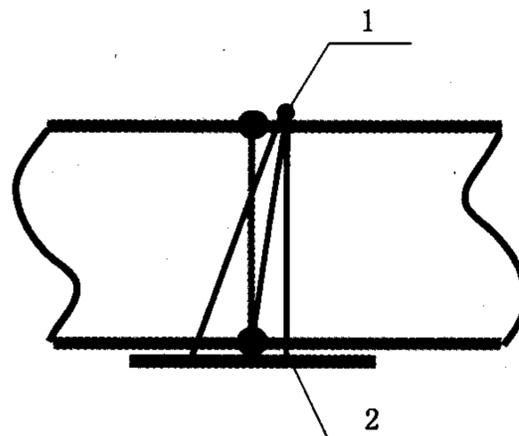
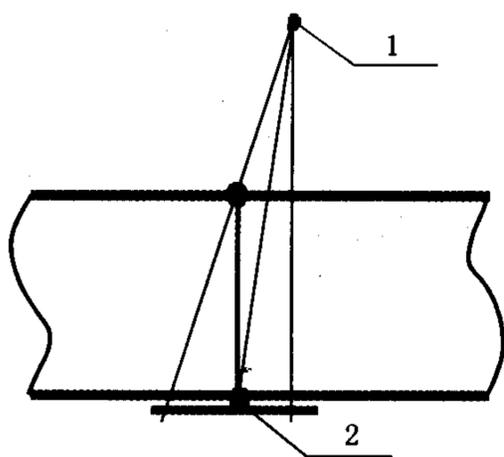
- D.1 黑度计宜按本附录给定的方法校验,也可按产品技术文件给出的方法校验。
- D.2 接通黑度计外电源和测量开关,预热时间宜为 10 min。
- D.3 用标准黑度片(密度片)的零黑度点(区)校准黑度计零点,校准后测量黑度片上黑度接近 1.5、2.0、3.0、4.0 的各点的黑度值,记录测量值,记录表格见表 D.1。
- D.4 测量误差均应不超过  $\pm 0.05$  为合格。

表 D.1 黑度计校验记录

黑度计型号						黑度计编号					
标准黑度片编号						检定日期					
校验日期	标准黑度片黑度值				黑度计指示黑度值				最大误差	有效期	校验人
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4			
注: 最大误差超过 $\pm 0.05$ 的黑度计判为不合格。											

附录 E  
(资料性附录)  
管道焊接接头典型透照方式

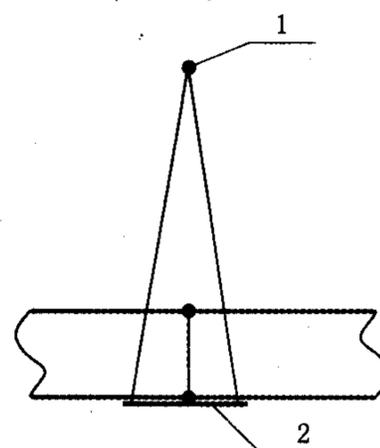
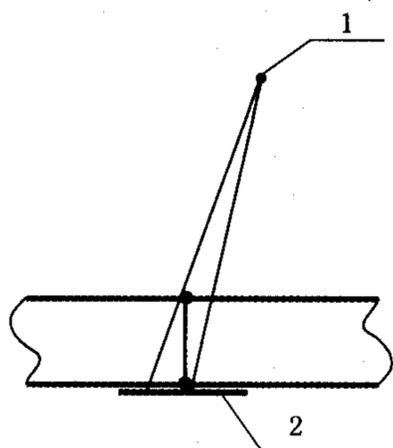
图 E.1~图 E.6 给出了管道焊缝常用的典型透照方式。



1—射源；2—暗盒

图 E.1 X 射线源在外双壁单影透照

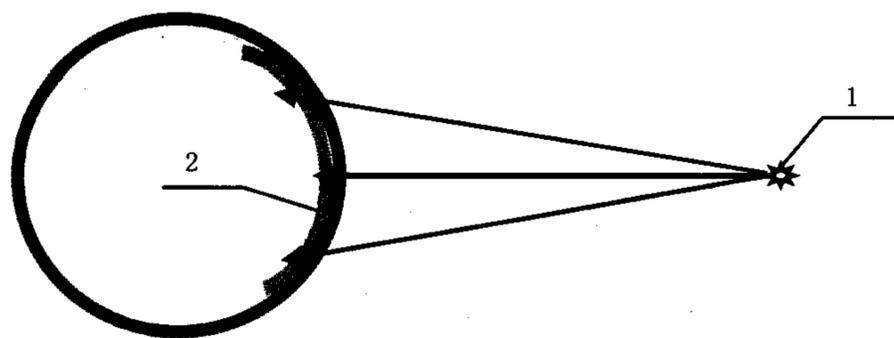
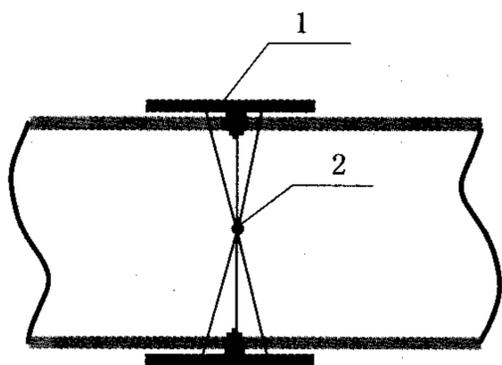
图 E.2  $\gamma$  射线源在外双壁单影透照



1—射源；2—暗盒

图 E.3 小径管椭圆成像

图 E.4 小径管垂直透照



1—射源；2—暗盒

图 E.5 环向焊缝源在中心周向透照

图 E.6 单壁外透

附录 F  
(资料性附录)

典型根部缺陷图示及射线底片影像

F.1 根部未熔合结构和底片影像见图 F.1。

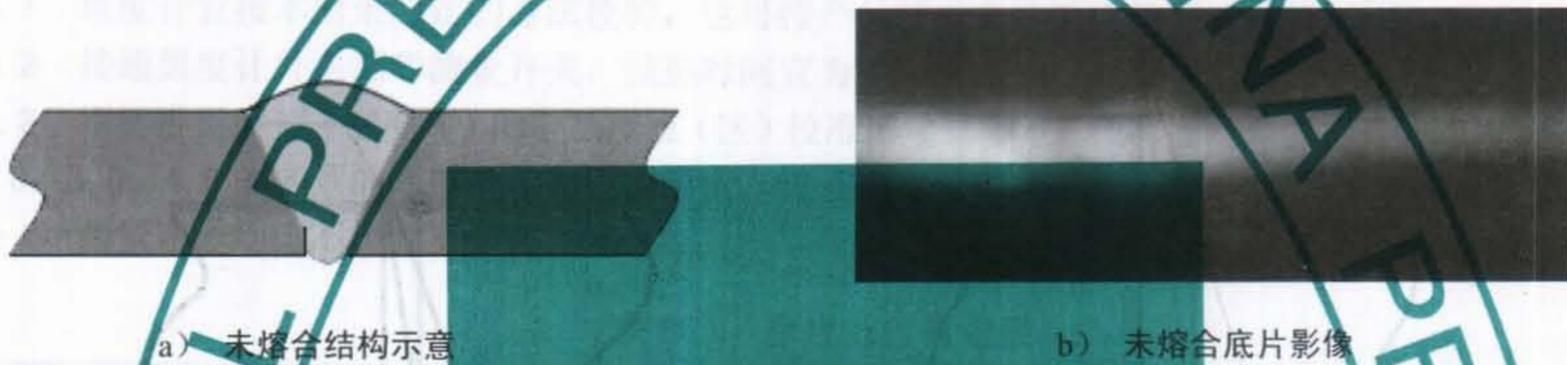


图 F.1 根部未熔合结构和底片影像

F.2 根部未焊透结构和底片影像见图 F.2、图 F.3，其中根部未焊透底片影像黑度大于相邻较薄侧母材的黑度见图 F.2 b)；根部未焊透底片影像黑度小于相邻较薄侧母材的黑度见图 F.2 c)；根部单侧未焊透底片影像黑度小于相邻较薄侧母材的黑度见图 F.3 b)。



图 F.2 根部未焊透结构和底片影像



图 F.3 根部单侧未焊透结构和底片影像

F.3 根部咬边结构和底片影像见图 F.4, 其中根部咬边黑度小于相邻较簿侧母材的黑度的底片影像见图 F.4 b); 根部咬边黑度大于相邻较簿侧母材的黑度的底片影像见图 F.4 c)。



图 F.4 根部咬边结构和底片影像

F.4 根部内凹结构和底片影像见图 F.5, 其中根部内凹黑度大于相邻较簿侧母材黑度的底片影像见图 F.5 b); 根部内凹黑度小于相邻较簿侧母材黑度的底片影像见图 F.5 c)。



图 F.5 根部内凹结构和底片影像

附录 G  
(规范性附录)

声能传输损耗差的测定

G.1 一般要求

G.1.1 影响反射波幅的主要因素是材料的材质衰减、受检表面粗糙度及耦合状况造成的表面声能损失。

G.1.2 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 或者衰减系数小于 0.01 dB/mm 时，可以不计。标准试块和对比试块均应满足这一要求。

G.1.3 检测时，声程较大或材质衰减系数超过 G.1.2 条的范围，在确定缺陷反射波幅时，应考虑材质衰减修正；受检表面比较粗糙时，还应考虑表面声能损失问题。

G.2 横波超声材质衰减的测量

G.2.1 制作与检件材质相同或相近，厚度约 40mm、表面粗糙度与对比试块相同的平面型试块（见图 G.1）。

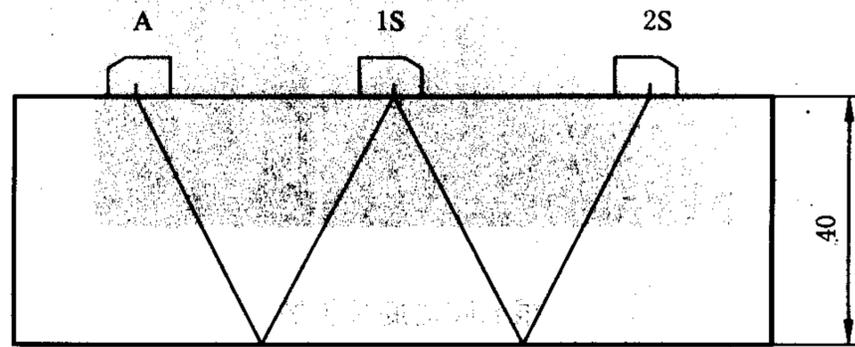


图 G.1 超声衰减的测定

注：1S、2S 分别代表 1 跨距和 2 跨距。

G.2.2 斜探头按深度 1:1 调节仪器时基扫描线。

G.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 G.1 所示方向置于平板试块上，两探头入射点间距为 1S，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)。

G.2.4 将两探头拉开，其距离为 2S，找到最大反射波幅，记录其波幅值  $H_2$  (dB)。

G.2.5 衰减系数  $\alpha_H$  可按公式 (G.1) ~ 公式 (G.4) 计算。

$$\alpha_H = (H_1 - H_2 - \Delta) / (S_2 - S_1) \quad \dots\dots\dots (G.1)$$

$$S_1 = 40 / \cos\beta_S + l_1 \quad \dots\dots\dots (G.2)$$

$$S_2 = 80 / \cos\beta_S + l_1 \quad \dots\dots\dots (G.3)$$

$$\Delta = 20 \lg(S_2 / S_1) \quad \dots\dots\dots (G.4)$$

上述式中：

$\alpha_H$ ——衰减系数；

$S_1$ 、 $S_2$ ——分别为 1S、2S 处的声程，mm；

$\Delta$ ——不考虑材质衰减时，声程  $S_1$ 、 $S_2$  大平面的反射波幅 dB 差；

$H_1$ 、 $H_2$ ——反射波幅值，dB；

$\beta_S$ ——横波折射角，°；

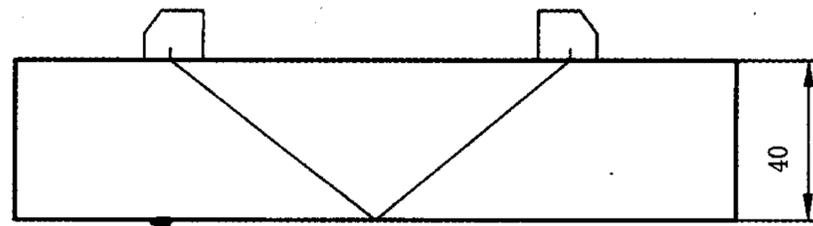
$l_1$ ——前沿长度，mm。

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

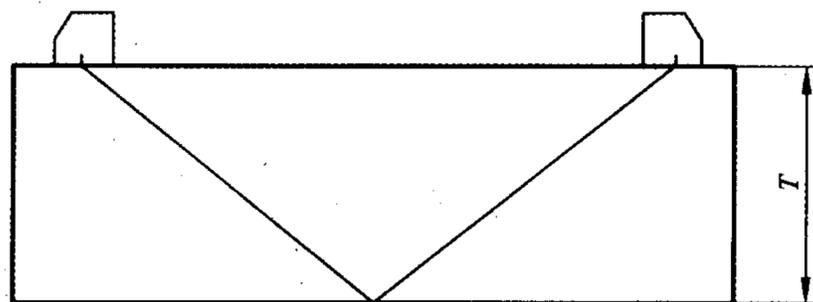
### G.3 工件表面传输损失差的测定

G.3.1 斜探头按深度调节仪器时基扫描线。

G.3.2 选用一对尺寸、频率、 $K$  值相同的斜探头，将两探头按图 G.2 所示方向置于对比试块探测面上，两探头入射点距离为  $1S$ ，仪器调为一发一收状态，找出最大反射波幅，记录其波幅值  $H_1$  (dB)。



a) 对比试块



b) 工件母材

图 G.2 传输损失的测定

G.3.3 用与图 G.2 同样的探头和同样的布置，在同样厚度的受检工件上（不通过焊缝）测出最大反射波幅，记录其波幅值  $H_2$  (dB)。

G.3.4 工件表面传输损失差  $\Delta V$  可按公式 (G.5) 计算。

$$\Delta V = H_1 - H_2 \quad \dots\dots\dots (G.5)$$

式中：

$\Delta V$ ——工作表面传输损失，dB。

附 录 H  
(规范性附录)  
超声检测缺陷类型识别和性质估判

## H.1 缺陷类型识别

### H.1.1 一般规定

H.1.1.1 缺陷类型按其特征可分为点状缺陷、线性缺陷、体积状缺陷、平面状缺陷和多重缺陷。

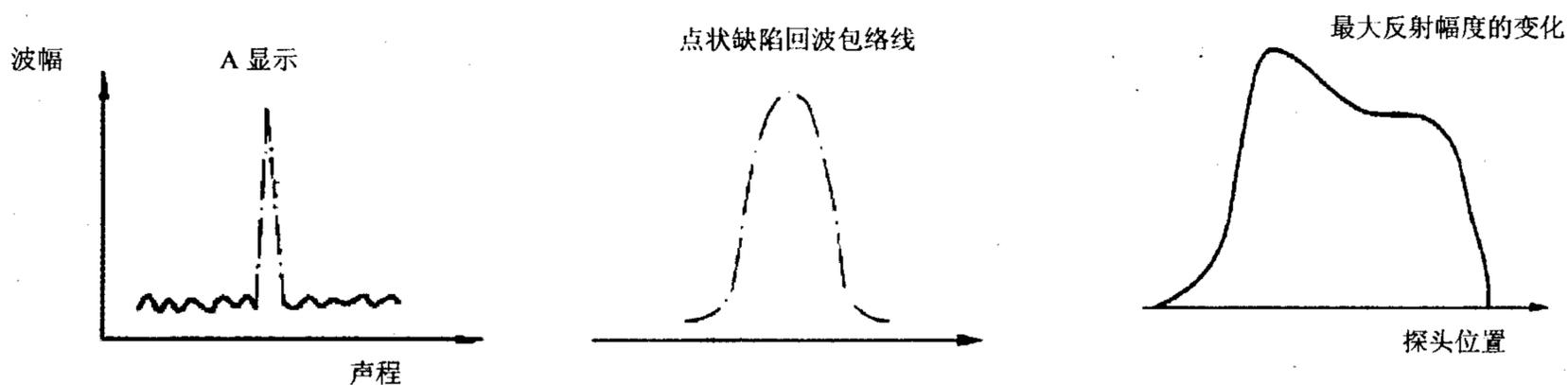
H.1.1.2 缺陷类型识别宜采用二种及以上声束方向作多种扫查，包括前、后、左、右、转动和环绕扫查，以此对各种超声信息进行综合评定来进行缺陷类型识别。

### H.1.2 点状缺陷

H.1.2.1 点状缺陷是指气孔和小夹渣等小缺陷。

H.1.2.2 点状缺陷回波特征：

- a) 回波幅度较小，探头左、右、前、后扫查时，均显示动态波形如图 H.1a)，其包络线如图 H.1b)，转动扫查时，情况相同；
- b) 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。



a) 点状、条状缺陷 A 显示

b) 点状缺陷回波包络线

c) 条状缺陷左右移动探头回波包络线

图 H.1 点状和条状缺陷回波

### H.1.3 线性缺陷

H.1.3.1 线性缺陷应有明显的指示长度，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。

H.1.3.2 回波特征：

- a) 探头对准这类缺陷前、后扫查时，一般显示如图 H.1a) 的波形特征，左、右扫查则显示如图 H.1c) 的波形；
- b) 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；
- c) 只要信号不能明显断开较大距离，则表明缺陷基本连续；
- d) 缺陷断面近似为圆柱形，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；
- e) 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；
- f) 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。

### H. 1.4 体积状缺陷

H. 1.4.1 不规则或球形的大夹渣等体积状缺陷有可测长度和明显断面尺寸。

H. 1.4.2 回波特征：

- 前、后、左、右扫查，一般显示动态波形如图 H. 2；
- 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。

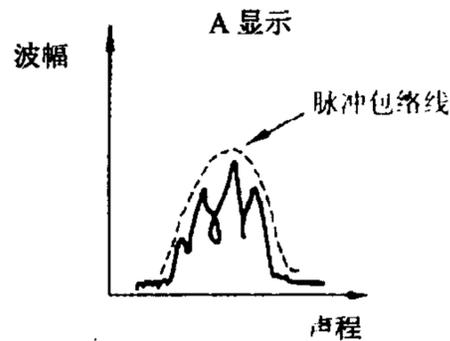


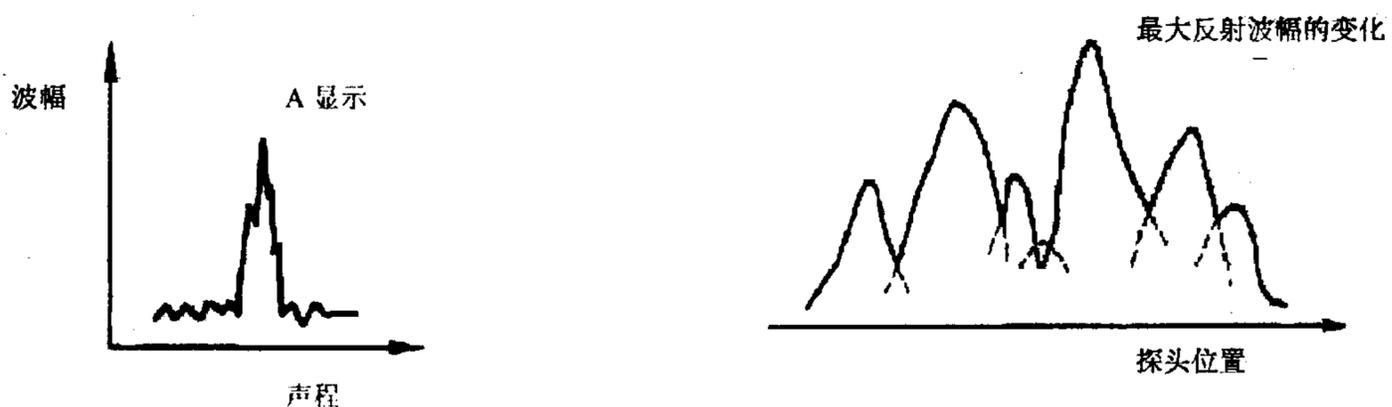
图 H. 2 体积状缺陷回波包络线

### H. 1.5 平面状缺陷

H. 1.5.1 裂纹、面状未熔合或面状未焊透等平面状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。

H. 1.5.2 回波特征：

- 左、右、前、后扫查时显示回波动态波形如图 H. 3a) 或 H. 3b)；
- 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 H. 3a) 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，一般回波幅度变化很大。



a) 不规则面状缺陷 A 显示

b) 不规则面状缺陷最大反射波幅变化

图 H. 3 不规则面状缺陷回波

### H. 1.6 多重缺陷

H. 1.6.1 密集气孔或再热裂纹等多重缺陷是一群相隔距离很近的缺陷，用超声波无法单独定位、定量。

H. 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 H. 1a) 的特征，多重缺陷的合成波 A 显示如图 H. 4a)，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；

- b) 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；
- c) 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。

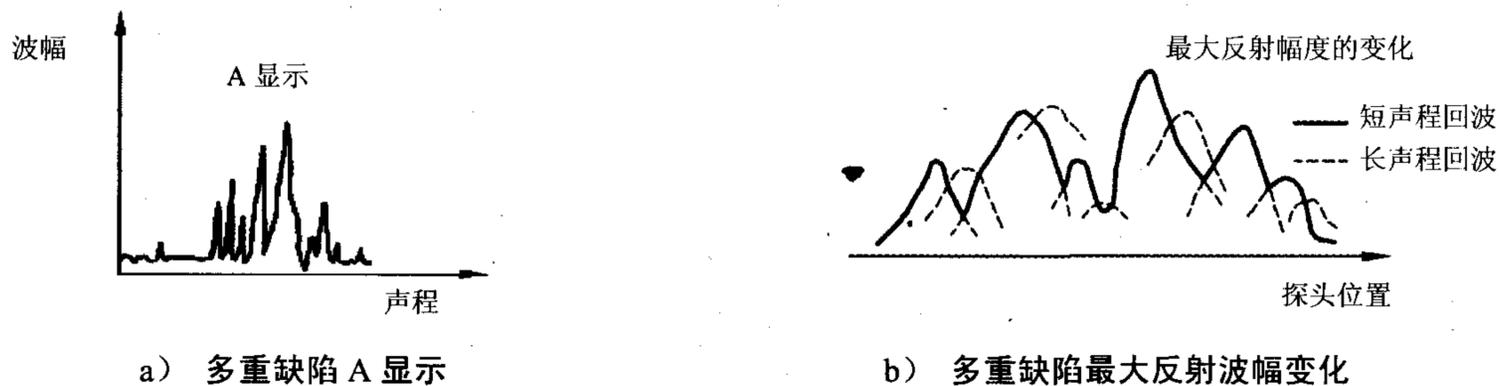


图 H.4 多重缺陷回波

## H.2 缺陷性质估判

### H.2.1 缺陷性质估判与要求：

- 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。

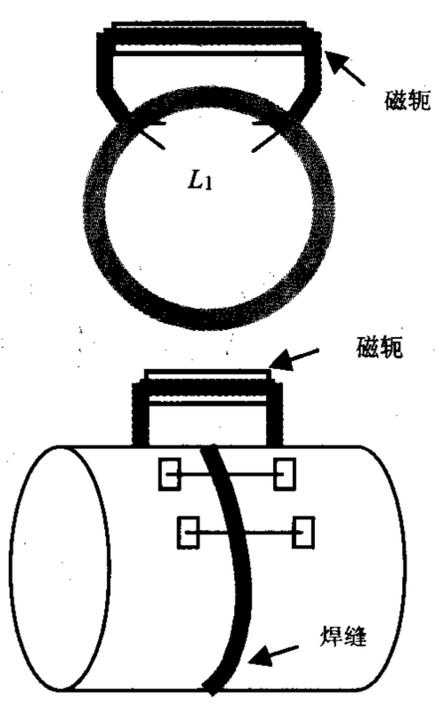
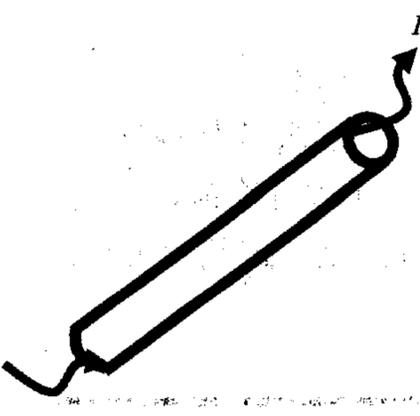
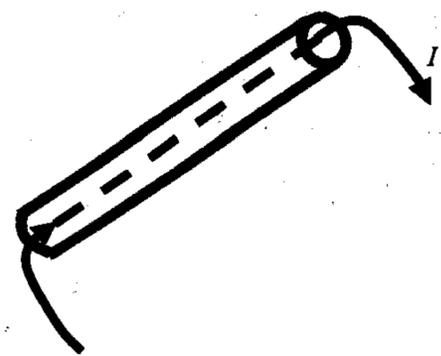
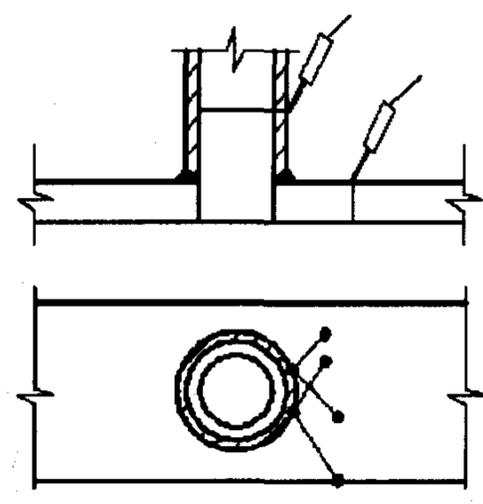
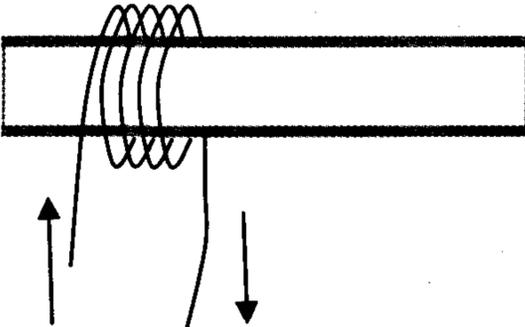
### H.2.2 缺陷性质估判程序应符合下列规定：

- a) 反射波幅低于评定线或按本部分判断为合格的缺陷可不予定性；
- b) 对于超标缺陷，首先应进行缺陷类型识别，判定为点状的缺陷可不予定性；
- c) 判定为线状、体积状、面状或多重的缺陷，应进一步测定缺陷平面和深度位置、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，确定出缺陷的实际性质；
- d) 缺陷类型的识别和性质估判与缺陷定位、定量宜同时进行，也可单独进行。

附录 I  
(资料性附录)  
常用磁化方法

表 I.1 给出了单磁轭法、轴向通电法、中心导体法、触头法、线圈法等常用的磁化方法示意。

表 I.1 常用磁化方法示意

单磁轭法	轴向通电法	中心导体法
		
触头法	线圈法	
		

附录 J  
(规范性附录)

非标准温度渗透检测工艺鉴定法

J.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。通常使用铝合金对比试块进行。

J.2 鉴定方法

J.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。

J.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。

## 用词说明

对本标准条文中要求执行严格程度不同的助动词，说明如下：

(一) 表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”(must)。

(二) 表示要准确地符合标准而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”(shall)；

反面词采用“不应”或“不得”(shall not)。

(三) 表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”(should)；

反面词采用“不宜”(should not)。

(四) 表示在标准的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”(may)；

反面词采用“不必”(need not)。

中 华 人 民 共 和 国  
石 油 化 工 行 业 标 准  
石 油 化 工 管 道 无 损 检 测 标 准  
SH/T 3545—2011

\*

中国石化出版社出版

中国石化集团公司工程标准发行总站发行

地址：北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编：100011 电话：(010) 84271850

石化标准编辑部电话：(010) 84289937

读者服务部电话：(010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 3.75 字数 109 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

\*

书号：155114·0336 定价：42.00 元

(购买时请认准封面防伪标识)