

ICS 19.100

P 72

备案号: J1262-2021



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3545—2020

代替 SH/T 3545—2011

石油化工管道工程无损检测标准

Specification for NDT on pipelines in petrochemical industry



2020-12-09 发布

2021-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	VII
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
4.1 基本规定	2
4.2 无损检测工艺文件	2
4.3 检测记录和报告	3
5 射线检测	3
5.1 射线检测设备、器材和材料	3
5.2 辐射防护	4
5.3 焊接接头表面要求和射线检测时机	4
5.4 检测技术	4
5.5 无用射线和散射线的屏蔽	8
5.6 像质计的使用	8
5.7 标记	8
5.8 胶片处理	9
5.9 评片要求	9
5.10 底片质量	9
5.11 射线检测质量分级的一般规定	10
5.12 钢、镍及镍合金管道对接焊接接头射线检测质量分级	10
5.13 铝及铝合金管道对接焊接接头射线检测质量分级	12
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	13
6 超声检测	14
6.1 探伤仪、探头和系统性能	14
6.2 检测系统校验、核查和检查	15
6.3 试块	15
6.4 超声检测技术要求	16
6.5 检测前的准备	17
6.6 距离-波幅曲线制作	18
6.7 扫查方法	19
6.8 缺陷定量	19
6.9 缺陷的评定	19
6.10 质量分级	19

Contents

Foreword	VII
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions	2
4 General	2
4.1 Basic requirements	2
4.2 Nondestructive testing process document	3
4.3 Test records and reports	3
5 Radiographic test (RT)	3
5.1 Testing equipment, apparatus and materials	3
5.2 Radiation protection	4
5.3 Welding joint surface requirements and radiographic test timing	4
5.4 Testing technique	4
5.5 Shielding of unwanted rays and scattered rays	8
5.6 Use of image quality indicator (IQI)	8
5.7 Markers	8
5.8 Film processing	9
5.9 Negative film evaluation requirements	9
5.10 Negative film quality	9
5.11 General requirements on RT quality grading	10
5.12 RT quality grading of welded joints in steel, nickel and nickel alloy piping	10
5.13 RT quality grading of welded joints in aluminum and aluminum alloy piping	12
5.14 RT quality grading of welded joints in titanium, titanium alloy, zirconium and zirconium alloy piping	13
6 Ultrasonic test (UT)	14
6.1 Instruments, probes and system performance	14
6.2 Calibration and verification of testing system	15
6.3 Blocks for UT	15
6.4 Technical requirements for UT	16
6.5 Preparation before testing	17
6.6 Preparation of distance-amplitude curve (DAC)	18
6.7 Scanning methods	19
6.8 Defect quantification	19
6.9 Defect evaluation	19

6.10	Quality grading	19
7	Magnetic particle test (MT)	20
7.1	Testing equipment, apparatus and materials	20
7.2	Quality control	21
7.3	Testing surface preparation	21
7.4	Testing method	22
7.5	Grading and recording of indications	24
7.6	Retest	24
7.7	Quality evaluation	24
8	Penetrant test (PT)	24
8.1	Testing equipment, apparatus and materials	24
8.2	Facilities and environment	26
8.3	Testing operation	26
8.4	Grading and recording of indications	27
8.5	Retest	27
8.6	Quality control	27
8.7	Quality evaluation	27
9	Time-of-flight diffraction (TOFD) ultrasonic test	28
9.1	Testing equipment, apparatus and materials	28
9.2	Blocks for TOFD	28
9.3	Calibration and verification of testing system	30
9.4	Process document of test	30
9.5	Test process validation	31
9.6	Performance of testing	31
9.7	Verification of testing system	33
9.8	Testing data analysis and interpretation	33
9.9	Testing result evaluation and quality grading	34
10	Phased array (PA) ultrasonic test	35
10.1	Testing equipment, apparatus and materials	35
10.2	Blocks for PA	36
10.3	Calibration and verification of testing system	38
10.4	Process document of test	39
10.5	Test process validation	41
10.6	Recording and storage of testing data	42
10.7	Verification of testing system	42
10.8	Testing data analysis and interpretation	42
10.9	Defect evaluation and quality grading	42
11	Portable X-ray fluorescence spectrometer test	43
11.1	Applicable scope	43
11.2	Testing apparatus and standard sample	43

11.3	Calibration	43
11.4	Testing	43
11.5	Retest	44
11.6	Evaluation	44
Appendix A (Informative)	Procedure on testing of weld joints in piping	45
Appendix B (Informative)	TOFD and PA test report format	55
Appendix C (Informative)	Densitometer periodical calibration method	59
Appendix D (Informative)	Typical method of radiography for welded joints in piping	60
Appendix E (Informative)	Illustration of typical root defects and radiographic film images	62
Appendix F (Informative)	UT instruments horizontal and vertical linearity calibration method	64
Appendix G (Normative)	Determination of sound energy transmission loss difference	65
Appendix H (Informative)	Commonly used methods of magnetization	67
Appendix I (Normative)	Non-standard temperature penetrant test technique verification method	68
Appendix J (Informative)	TOFD instruments and probes combination frequency calibration method	69
Appendix K (Informative)	Apparatus and search unit combination -12dB sound beam spread angle testing method	70
Appendix L (Informative)	Austenitic stainless steel butt welded joint phased array ultrasonic testing method and quality grading	71
	Explanation of wording in this specification	74

前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《2017年第三批行业标准制修订计划》(工信厅科〔2017〕106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,修订本标准。

本标准共分11章和12个附录,其中附录G和附录I为规范性附录;附录A、附录B、附录C、附录D、附录E、附录F、附录H、附录J、附录K和附录L为资料性附录。

本标准主要技术内容是:

- 适用范围、规范性引用文件、术语和定义;
- 射线检测(RT)、超声检测(UT)、磁粉检测(MT)、渗透检测(PT)、衍射时差法超声检测(TOFD)、相控阵超声检测(PA)和便携式荧光光谱检测等工艺要求;
- 实现过程质量控制的要求;
- 质量评定。

本标准是在SH/T 3545—2011《石油化工管道无损检测标准》的基础上修订而成,修订的主要技术内容是:

- 增加射线检测部分支管连接接头透照内容和不同材料在不同射线能量时的等效系数换算表;
- 增加超声检测部分灵敏度试块(CSK-IIA);
- 增加渗透检测部分溶剂去除型荧光渗透检测;
- 增加衍射时差法超声检测;
- 增加相控阵超声检测;
- 增加便携式荧光光谱检测。

本标准由中国石油化工集团有限公司负责管理,中国石油化工集团有限公司施工技术中心站负责日常管理,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:中国石油化工集团有限公司施工技术中心站

通讯地址:天津市大港区世纪大道180号

邮政编码:300270

电 话:022-63863843

本标准主编单位:中石化第四建设有限公司/南京金陵检测工程有限公司

通讯地址:天津市大港区世纪大道180号/江苏省南京市栖霞区甘家巷东家边201号

邮政编码:300270/210033

本标准参编单位:石油化工工程质量监督总站

中石化工程质量监测有限公司

山东泰思特检测有限公司

天津市达安特工程检测有限公司

山东省市场监督管理局教育培训中心

茂名威特检测技术有限公司

洛阳欣隆工程检测有限公司

图迈检测技术（成都）有限公司

本标准主要起草人员：李兆太 张建兵 张贤俊 王新光 胡联伟 陈一民 吴 豪 李 鹏
李 明 席永红 黄 智 赵志刚 陈连芳

本标准主要审查人员：李 伟 蒋仕良 葛春玉 柯松林 王春鹏 王金富 张 明 潘洪鑫
李军民 马志才 李 峰 韩 烨 肖 然

本标准2011年首次发布，2018年第1次修订，本次为第2次修订。

- e) 工件表面制备;
- 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。

4.2.4 无损检测工艺流程由相应检测方法的Ⅲ级或持有相应检测方法Ⅱ级资格4年以上的人员编制,单位技术负责人批准。

4.2.5 当检测工艺流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。

4.2.6 无损检测操作指导书由不低于相应检测方法Ⅱ级资格的人员编制,经相应专业责任工程师审核。无损检测操作指导书推荐格式参见本标准附录A。

4.3 检测记录和报告

4.3.1 检测记录和报告应准确、完整,并有可追溯性。检测记录和报告均应有相关责任人签字。

4.3.2 检测记录和检测报告格式应符合 SH/T 3543 的规定。管道无损检测结果汇总表应符合 SH/T 3503 的规定。TOFD 和 PA 检测报告格式参见本标准附录 B。

4.3.3 射线底片、TOFD 图谱、PA 图谱、检测记录和报告等保存期应符合相关标准要求,且不得少于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。

5.1.1.3 对使用中的曝光曲线,当发现偏差较大时,应及时进行修正或重新制作。射线机更换重要部件应及时对曝光曲线进行校验。

5.1.2 射线胶片

5.1.2.1 胶片系统按 GB/T 19348.1 分为 C1、C2、C3、C4、C5 和 C6 六类,其中 C1 为最高类别,C6 为最低类别。

5.1.2.2 检测碳钢类或奥氏体不锈钢类焊接接头时应使用不低于 C5 类胶片;γ 射线检测裂纹敏感性大的焊接接头时,应使用不低于 C4 类胶片;当客户有特殊要求时按合同约定。

5.1.2.3 胶片的本底灰雾度不应大于 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 铅箔增感屏厚度的选用应符合表 5.1.3.2 的规定。

表 5.1.3.2 铅箔增感屏厚度

射线源	前屏厚度 (mm)	后屏厚度 (mm)
X 射线	0.03~0.2	0.03~0.2
Se ⁷⁵ , Ir ¹⁹²	0.1~0.2	0.1~0.2

5.1.4 像质计

5.1.4.1 底片影像质量应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本标准第 5.6.1 条的规定。

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 5.1.4.2 的规定。

表 5.1.4.2 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）及标准密度片

5.1.5.1 黑度计可测的最大底片黑度不应小于 4.5，测量值的误差不应超过 ± 0.05 。

5.1.5.2 黑度计用标准密度片进行校验，校验周期最长不得超过 6 个月。校验方法参见附录 C。标准密度片应至少有 8 个一定间隔的黑度基准，且能覆盖 0.3~4.5 黑度范围。

5.1.5.3 标准密度片应妥善保管，标准密度片的校验有效期为 2 年，超过有效期或发现标准密度片有损伤时应重新校检或报废处理。

5.2 辐射防护

5.2.1 现场射线作业必须持有“射线作业许可证”，并在其批准的范围内进行射线作业。

5.2.2 射线作业人员应配备辐射剂量报警器和个人辐射剂量计。

5.2.3 现场进行 X 射线检测时，应使用剂量测试设备测定环境的辐射剂量，应按 GBZ 117 的规定划定控制区和监督区，并应设置明显警告标志。

5.2.4 现场进行 γ 射线检测时，应使用剂量测试设备测定环境的辐射剂量，应按 GBZ 132 的规定划定控制区和监督区，并应设置明显警告标志。

5.2.5 射线作业时，无关人员不得进入控制区内。

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 射线检测时机按委托书的要求进行。对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行。

5.4 检测技术

5.4.1 透照布置

5.4.1.1 小径管对接焊接接头透照应符合下列规定：

- 小径管宜采取双壁双影椭圆透照法，对于法兰、阀门、弯头、三通等厚度差较大的对接焊接接头以及单壁厚度大于 8mm 的直管对接焊接接头可采取垂直重叠透照法；
- 采取双壁双影椭圆透照时，射线束中心宜垂直指向透照区中心，射线束每隔 90° 透照一次，每道对接焊接接头应透照 2 次，椭圆开口间隙以将两条对接焊接接头的影像分开为宜，椭圆开口宽

度最大不应超过 15mm；采取垂直重叠透照时，每道对接焊接接头透照 3 次，每隔 60° 透照 1 次；

- c) 由于现场条件限制，不能进行 2 次（每隔 90°）或 3 次（每隔 60°）透照时，经客户同意可允许进行 1 次透照，并在报告中注明“条件限制”；
- d) 由于结构原因或几何条件不能满足本标准第 5.4.3 条的要求时，外径 89mm 的管道对接焊接接头采用 γ 射线检测时，可选用双壁单影透照法，每道焊口 100% 检测的透照次数不少于 4 次。

5.4.1.2 外径大于 100mm 的管道对接焊接接头透照应符合下列规定：

- a) 优先采用源在中心周向透照法；
- b) 当不能进行源在中心周向透照时，采用双壁单影法透照，其透照次数不得少于图 5.4.1.2 的规定；

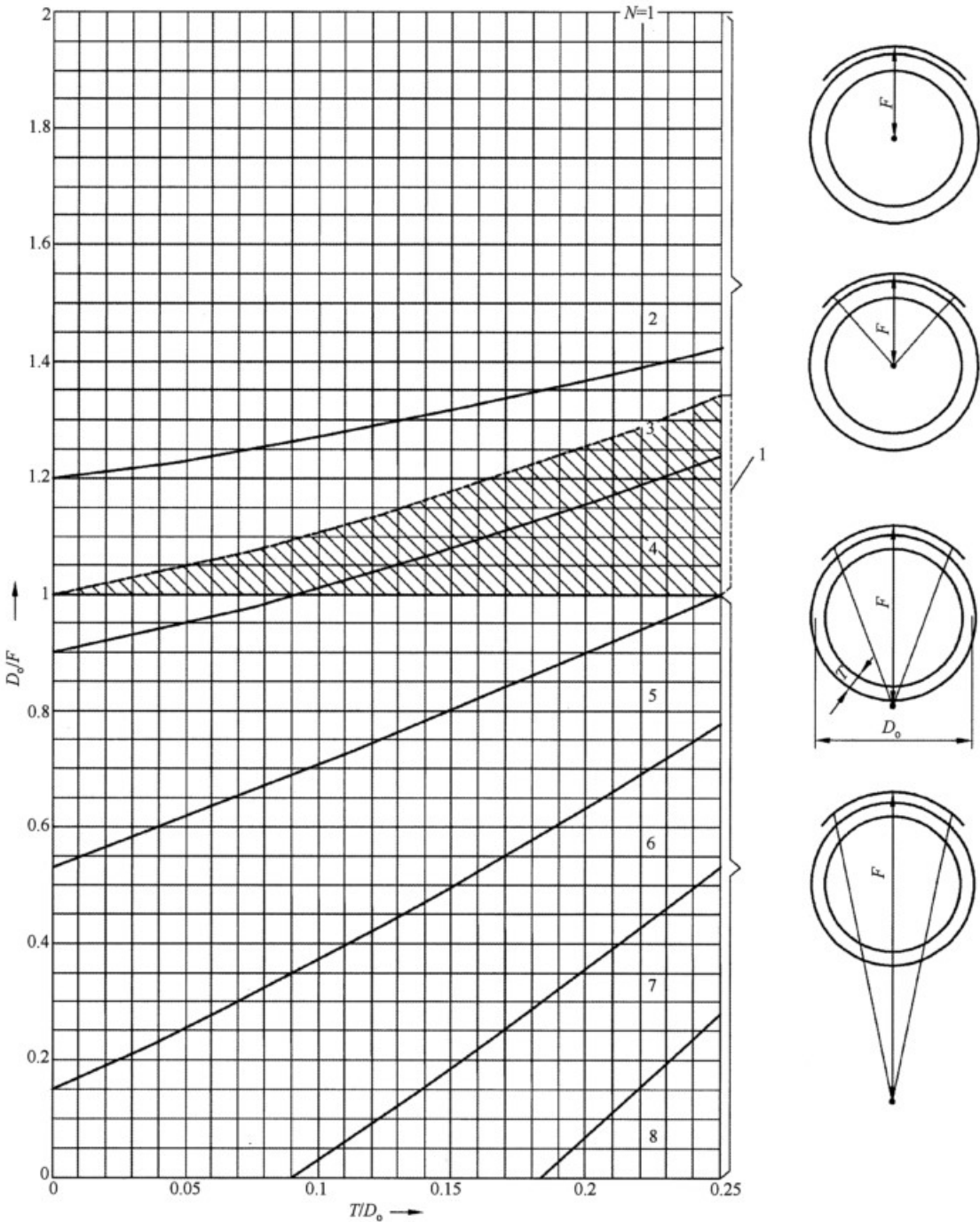


图 5.4.1.2 管道对接焊接接头透照次数

- c) 对于大直径管道,也可采用单壁外透法,此时焦距应不低于 600mm,且保证透照 K 值不大于 1.1。

5.4.1.3 外径大于 100mm 的支管连接焊接接头透照应符合下列规定:

- a) 支管连接焊接接头透照,厚度差较大,宜采用较高能量的 X 射线或 γ 射线;
- b) 必要时可采用双胶片法;
- c) 每张底片的有效评定长度,以底片对接焊接接头影像清晰、黑度范围满足要求为准;每道焊口的拍片张数以实际试验为准;
- d) 支管焊接接头透照时,检测工艺应经客户确认。

5.4.1.4 管道对接焊接接头和支管焊接接头典型透照方式参见本标准附录 D。

5.4.2 射线能量

5.4.2.1 X 射线的能量应使底片达到黑度和像质计灵敏度的要求。 γ 射线源适用的透照厚度范围应符合表 5.4.2.1 的规定。

表 5.4.2.1 γ 射线源适用的透照厚度范围(钢、镍及镍合金等)

射线源	透照厚度 W (mm)	说明
Se^{75}	10~40	采用有效措施屏蔽散射线和 C4 类胶片时,透照厚度下限可为 5mm
Ir^{192}	20~100	采用有效措施屏蔽散射线和 C4 类胶片时,透照厚度下限可为 10mm

5.4.2.2 不同材料在不同射线能量时的等效系数应符合表 5.4.2.2 的规定。

表 5.4.2.2 不同材料在不同射线能量时的等效系数

金属	射线能量					
	100kV	150kV	220kV	250kV	400kV	Ir^{192}
铁/钢	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
铝及铝合金	0.08	0.12	0.18	—	—	—
钛及钛合金	—	0.54	0.54	—	—	—
铜及铜合金	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1
因康镍合金	—	1.4	1.3	—	1.3	1.3
蒙乃尔合金	1.7	—	1.2	—	—	—
锆及锆合金	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.2

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 应符合式 (1) 的要求,确定 f 的诺模图见图 5.4.3.1。有效焦点尺寸 d 按设备说明书确定。

$$f \geq 10db^{2/3} \dots\dots\dots (1)$$

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。

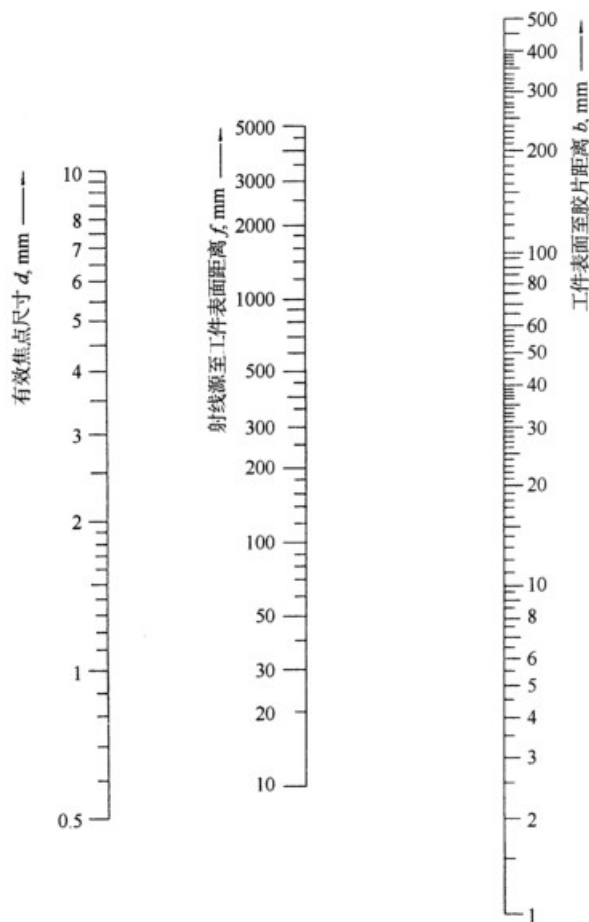


图 5.4.3.1 确定焦点至检件表面距离的诺模图

- 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第 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%。
- 5.4.3.3 当 f 值不能满足要求时，可采用 C4 类或更高类别胶片，用双丝像质计置于对接焊接接头内表面对检测工艺进行验证。

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 5.4.4.1 的要求。

表 5.4.4.1 常用焦距范围内 X 射线检测曝光量推荐值

焦距 (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	11	2.2
500	7.5	1.5
400	5	1.0
300	3	0.6

注：焦距改变时应按平方反比定律换算。

- 5.4.4.2 采用 γ 射线透照时，总的曝光时间不少于输送源往返所需时间的 10 倍。

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。

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13mm，厚度为1.6mm，并按检测工艺的规定进行透照和暗室处理；
- b) 当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) 当底片上未出现“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，当透照厚度范围内有不同衰减系数的材料时，应按等效系数将其他材料折算成主体透照材料的厚度：

- a) 像质计丝号范围为16~10，其适用透照厚度范围为2mm~25mm；
- b) 像质计丝号范围为12~6，其适用透照厚度范围为15mm~100mm。

5.6.2 像质计的摆放位置应符合下列规定：

- a) 小径管双壁双影透照，像质计放置在胶片侧或射源侧，金属丝应横跨对接焊接接头；有裂纹倾向材料的小径管双壁透照时，像质计应放置于射线源侧工件表面上；
- 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，金属丝横跨对接焊接接头；
- c) 支管焊接接头透照时，像质计应紧贴焊接接头，平行焊接接头放置于主管侧母材上，透照厚度以实测为准；
- d) 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，像质计放在射线源侧时，加“S”标记。

5.6.3 每张底片上都应有像质计的影像，当一次曝光多张连续布置的胶片时，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（母材或对接焊接接头）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。

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、管道号、焊口号、片位序号和透照日期；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，K1、K2 分别代表第一次、第二次扩探；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。当采用片位序号作为搭接标记时，可省略中心标记。

5.7.4 标记与焊缝熔合线边缘的距离不应小于5mm，双壁单影和中心透照时搭接标记摆放在胶片侧，单壁外透照时，搭接标记摆放在射源侧。所有标记的影像不宜重叠，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 5min~10min 的暗适应时间；从室内进入评片室时应有 30s 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，使其光线不得影响底片评定。
- 5.9.4 观片灯透过底片的亮度应符合下列规定：
- 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 30cd/m^2 ；
 - 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 10cd/m^2 。
- 5.9.5 底片评定范围为焊缝及其两侧各 5mm 宽的区域。当发现母材部位或搭接标记以外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 底片上对接焊接接头影像应完整，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：
- 底片黑度为 2.0~4.5；
 - X 射线检测小径管及厚度差大的管子与法兰、弯头、三通、阀门等对接焊接接头检件时，底片黑度为 1.5~4.5；
 - 对于支管连接接头检测，底片黑度为 1.5~4.5；
 - 对评定范围内黑度大于 4.5 的底片，当观片灯的亮度能够满足本标准第 5.9.4 条的要求时，允许进行评定。
- 5.10.3 底片灵敏度应符合下列规定：
- 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 5.10.3-1 的规定；双壁双影透照，像质计置于射源侧时，底片的像质计灵敏度应符合表 5.10.3-2 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 5.10.3-3 的规定。

表 5.10.3-1 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 W (mm)
16	0.100	$2.0 \leq W \leq 3.5$
15	0.125	$3.5 < W \leq 5.5$
14	0.16	$5.5 < W \leq 11$
13	0.20	$11 < W \leq 17$
12	0.25	$17 < W \leq 26$
11	0.32	$26 < W \leq 39$
10	0.40	$39 < W \leq 51$
9	0.50	$51 < W \leq 64$
8	0.63	$64 < W \leq 85$
7	0.80	$85 < W \leq 100$

注：多层透照时， W 为材料各层厚度之和，当材质密度不同时，按等效系数折算。

表 5.10.3-2 双壁双影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)	透照厚度范围 W (mm)
15	0.125	$2.0 \leq W \leq 3.5$
14	0.160	$3.5 < W \leq 5.5$
13	0.20	$5.5 < W \leq 11$
12	0.25	$11 < W \leq 17$
11	0.32	$17 < W \leq 26$
10	0.40	$26 < W \leq 39$

注：多层透照时， W 为材料各层厚度之和，当材质密度不同时，按等效系数折算。

表 5.10.3-3 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)	透照厚度范围 W (mm)
16	0.100	$2.0 \leq W \leq 3.5$
15	0.125	$3.5 < W \leq 5.0$
14	0.16	$5.0 < W \leq 7.0$
13	0.20	$7.0 < W \leq 10$
12	0.25	$10 < W \leq 15$
11	0.32	$15 < W \leq 25$
10	0.40	$25 < W \leq 32$
9	0.50	$32 < W \leq 40$
8	0.63	$40 < W \leq 55$
7	0.80	$55 < W \leq 85$
6	1.0	$85 < W \leq 100$

注：多层透照时， W 为材料各层厚度之和，当材质密度不同时，按等效系数折算。

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、根部咬边等类。

5.11.2 质量等级按对接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，并应符合下列规定：

- 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) 缺陷质量级别超过 III 级者一律定为 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 圆形缺陷用评定区进行评定，评定区长边应与对接焊接接头平行，其尺寸应符合表 5.12.1.1

的规定。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 5.12.1.1 圆形缺陷评定区

单壁厚度 T (mm)	≤ 25	$25 < T \leq 100$
评定区尺寸 (mm)	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 5.12.1.2-1 的规定换算为点数，按表 5.12.1.2-2 的规定进行质量评级。

表 5.12.1.2-1 圆形缺陷点数换算表

缺陷长径 L (mm)	≤ 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 5.12.1.2-2 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)		≤10	10< T ≤15	15< T ≤25	25< T ≤50	50< T ≤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。当底片评定人员认为是深孔缺陷时应评为 IV 级。

5.12.1.4 当缺陷的尺寸小于表 5.12.1.4 的规定时不计该缺陷的点数。

表 5.12.1.4 不计点数的缺陷尺寸

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

5.12.2 条形缺陷和根部未焊透缺陷的分级评定

5.12.2.1 条形缺陷和根部未焊透缺陷的分级评定按表 5.12.2.1 的规定进行。

表 5.12.2.1 各级对接焊接接头允许的条形缺陷和根部未焊透缺陷长度

级别	单个缺陷最大长度 L (mm)	一组缺陷累计最大长度 (mm)
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，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

表 5.12.2.1（续） 各级对接焊接接头允许的条形缺陷和根部未焊透缺陷长度

级别	单个缺陷最大长度 L (mm)	一组缺陷累计最大长度 (mm)
IV级	缺陷长度大于Ⅲ级	
注 1: 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。 注 2: 条形评定区是指与对接焊接接头方向平行的且具有一定宽度的矩形区, $T \leq 25\text{mm}$ 时, 矩形区宽度为 4mm; $25\text{mm} < T \leq 100\text{mm}$ 时, 矩形区宽度为 6mm。 注 3: 未焊透的黑度超过相邻较薄侧母材的黑度时, 评为 IV 级。 注 4: 未焊透评定的典型底片参见本标准附录 E。		

5.12.2.2 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, 应作为一个缺陷处理, 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本标准附录 E。

- a) 当底片评定人员认为内凹的黑度超过相邻较薄侧母材的黑度时, 应评为 IV 级;
- b) 检测比例为 100% 的管道, 内凹长度应按表 5.12.3.2 的规定进行评定;
- c) 检测比例小于 100% 的管道, 内凹的允许长度不限, 均评定为 II 级。

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本标准附录 E。

- a) 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;
- b) 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, 应按表 5.12.3.2 进行评定。

表 5.12.3.2 根部内凹和根部咬边的分级

级别	根部内凹和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
II 级	≤ 20
III 级	≤ 30
IV 级	> 30

5.12.4 综合评级

5.12.4.1 在条形缺陷评定区内, 除圆形缺陷外同时存在多种缺陷时, 应进行综合评级。

5.12.4.2 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, 矩形的长边与焊接接头平行, 其尺寸应符合表 5.13.1.1 的规定。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 5.13.1.1 铝及铝合金对接焊接接头缺陷评定区

单壁厚度 T (mm)	≤ 20	$20 < T \leq 80$
评定区尺寸 (mm)	10×10	10×20

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 5.12.1.2-1 的规定换算为点数，按表 5.13.1.2 的规定评定对接焊接接头的质量级别。

表 5.13.1.2 铝及铝合金对接焊接接头各级别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)		≤3	3< T ≤5	5< T ≤10	10< T ≤20	20< T ≤40	40< T ≤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 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。

5.13.1.4 当缺陷的尺寸小于表 5.13.1.4 的规定时，应不计该缺陷的点数。

表 5.13.1.4 铝及铝合金对接焊接接头不计点数的缺陷尺寸

单壁厚度 T (mm)	缺陷长径 (mm)
≤ 40	≤ 0.6
> 40	$\leq 1.5T\%$

5.13.2 其他缺陷的分级评定

5.13.2.1 条形缺陷和根部未焊透应按本标准第 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应按本标准第 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应按本标准第 5.12.4 条的规定进行评定。

5.13.2.4 带衬垫的对接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对接焊接接头平行的矩形，矩形长边与对接焊接接头平行，其尺寸应符合表 5.14.1.1 的规定。圆形缺陷评定区应选在缺陷最严重的区域。

表 5.14.1.1 钛及钛合金、锆及锆合金圆形缺陷评定区

单壁厚度 T (mm)	≤ 20	$20 < T \leq 50$
评定区尺寸 (mm)	10×10	10×20

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 5.14.1.2-1 的规定换算为点数，按表 5.14.1.2-2 的规定评定焊接接头的质量级别。

表 5.14.1.2-1 钛及钛合金、锆及锆合金缺陷点数换算表

缺陷长径 L (mm)	≤ 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 5.14.1.2-2 钛及钛合金、锆及锆合金各级别焊接接头允许的圆形缺陷最多点数

评定区尺寸 (mm)		10×10				10×20	
单壁厚度 T (mm)		≤ 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	8
	II 级	4	6	8	10	12	14
	III 级	6	10	14	18	22	26
	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 5.14.1.4 的规定时，应不计该缺陷的点数。

表 5.14.1.4 钛及钛合金、锆及锆合金焊接接头不计点数的缺陷尺寸

单壁厚度 T (mm)	缺陷长径 (mm)
≤ 20	≤ 0.5
> 20	≤ 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应按本标准第 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应按本标准第 5.12.3 条进行。

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

5.14.2.4 未焊透和咬边缺陷应评为 IV 级。

6 超声检测

6.1 探伤仪、探头和系统性能

6.1.1 仪器

6.1.1.1 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 的误差在 ± 1 dB 以内，最大累计误差不应超过 1dB。

6.1.1.2 水平线性误差不应大于 0.5mm，垂直线性误差不应大于 5%。

6.1.2 探头

6.1.2.1 新购斜探头应有出厂合格证，并标出对探头频率、 K 值、前沿距离、主声束偏离等测试结果。主声束垂直方向不应有明显双峰，主声束水平方向偏离不应大于 2° 。

6.1.2.2 探头每次使用前应对上述除频率以外的参数进行复验。

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应超过满幅度的 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 $\phi 44$ 孔的分辨力不应小于 12dB。

6.1.3.4 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。

6.2 检测系统校验、核查和检查

6.2.1 检测系统应进行水平线性和垂直线性的校验和核查。校验和核查方法参见本标准附录 F。

6.2.2 校验周期为 12 个月，核查周期为 6 个月；

6.2.3 检测过程中仪器和探头系统遇有下述情况应对定位精度和灵敏度进行检查：

- a) 探头或耦合剂发生改变时；
- 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检查：

- a) 每次检测结束前，应对扫描线定位精度进行检查，当扫描线深度定位误差超过 0.5mm 时，则扫描线应重新调整，并对本次所检测的全部焊口进行复检；
- b) 每次检测结束前，应对距离-波幅曲线进行检查，核查不应少于 3 点：
 - 1) 曲线上任何一点幅度下降 2dB，应对本次所检测的全部焊口进行复检；
 - 2) 曲线上任何一点幅度上升 2dB，则应对本次所有的记录信号进行重新评定。

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 试块（见图 6.3.1）；
- b) CSK-II A 系列试块（见 NB/T 47013.3—2015）；
- c) GS 系列试块（见 NB/T 47013.3—2015）；
- d) 本标准第 10 章中的 PAGES 系列试块；
- e) 在满足基准灵敏度要求的情况下，试块上的人工反射体根据检测需要，可采取其他布置形式，也可采用其他型式的等效试块。
- f) 在其他条件相同的情况下，相同孔径的横通孔长度不相等时，当其长度大于探头晶片宽度，则可认为横通孔的长度对灵敏度调节没有影响。当探头晶片宽度为 10mm，则 $\phi 2 \times 20-10\text{dB}$ 与 $\phi 2 \times 30-10\text{dB}$ 、 $\phi 2 \times 40-10\text{dB}$ 、 $\phi 2 \times 60-10\text{dB}$ 的灵敏度相同。

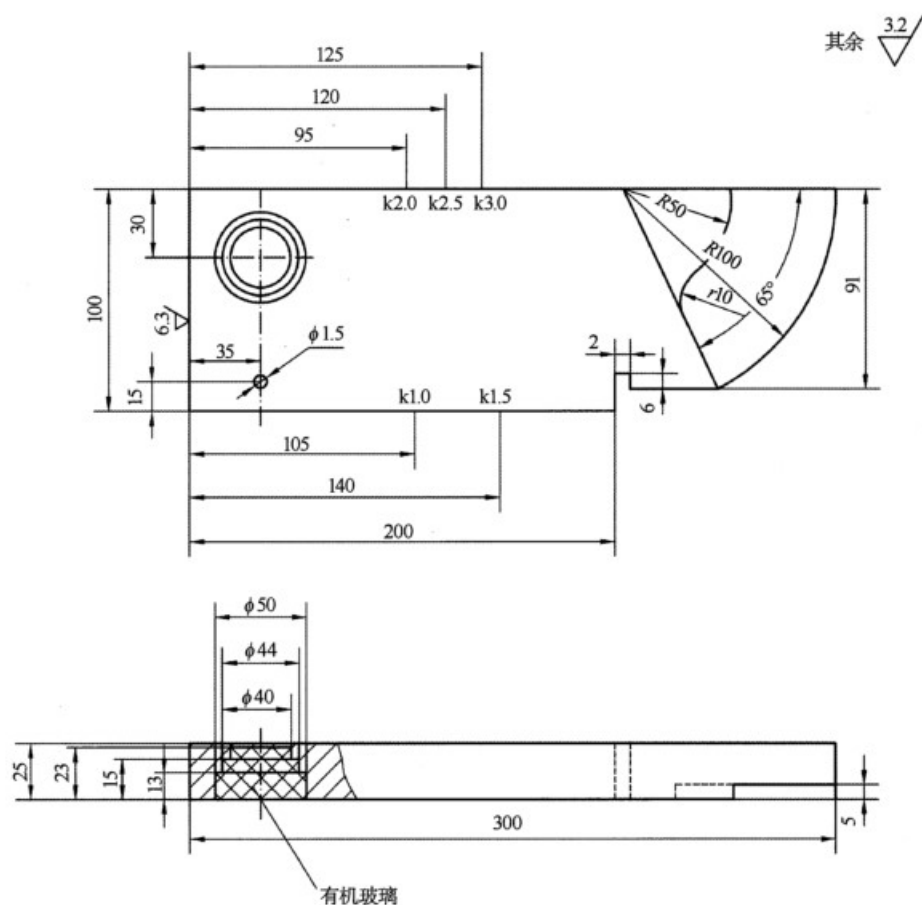


图 6.3.1 CSK- I A 试块

6.3.2 上述试块应采用与检件声学性能相同或相近的材料制成，该材料采用直探头检测时，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 试块适用于仪器和探头性能的测试；GS 系列和 PAGES 系列试块适用于管道对接焊接接头检测的灵敏度调节和检测系统性能测试。CSK- II A 系列试块适用于直径大于等于 500mm 管道对接焊接接头检测的灵敏度调节和检测系统性能测试。

6.4 超声检测技术要求

6.4.1 扫查面及探头数量

6.4.1.1 工件厚度为 6mm~40mm 时，采用一种 K 值探头，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。

6.4.1.2 工件厚度大于 40mm 时，采用两种 K 值探头，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。两种探头的折射角度相差应不小于 10° 。

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，由于结构条件限制管件侧不能进行 100%扫查，应采用两种 K 值探头分别进行检测，不能进行双侧扫查的部位应在报告中注明。

6.4.2 探头的选择

6.4.2.1 探头 K 值、前沿距离和频率应符合下列规定：

- a) 所有焊接接头，一次波至少要扫查到焊接接头的根部，一次波和二次波的扫查范围总和要覆盖焊接接头全部截面。
- b) 探头 K 值和前沿距离推荐值宜按表 6.4.2.1 选用。
- c) 检测厚度小于 30mm 的焊接接头，宜选择频率为 5M 的探头，检测厚度大于 30mm 的焊接接头，宜选择频率为 2.5M 的探头。

表 6.4.2.1 探头 K 值和前沿距离推荐值

厚度 T (mm)	采用单个斜探头 在对接焊接接头两侧进 行扫查时探头的 K 值	不能在对接焊接接头的两侧进行 100%扫查 时探头的 K 值		探头前沿距离 (mm)
		探头 1	探头 2	
$6 \leq T \leq 10$	3.0~2.5	2.0	3.0	≤ 6
$10 < T \leq 15$	3.0~2.0	2.0	3.0	≤ 8
$15 < T \leq 35$	2.5~2.0	1.5	2.5	≤ 10
$35 < T \leq 40$	2.0~1.5	1.0	2.0	≤ 12
$40 < T$	—	1.0	2.0	≤ 15

6.4.2.2 探头与检件的接触面应符合下列规定：

- a) 在检测灵敏度满足要求的情况下，应选择小尺寸、短前沿探头，探头楔块应保证与工件表面耦合良好，否则应对楔块进行修磨；
- b) 各种外径的管道对接焊接接头，探头与管子的接触面尺寸应满足表 6.4.2.2 的规定。

表 6.4.2.2 探头宽度选择

管子外径 D_o (mm)	探头接触面宽度 W (mm)
$D_o < 100$	等弧度楔块
$100 \leq D_o < 159$	≤ 12
$159 \leq D_o < 219$	≤ 16
$219 \leq D_o \leq 325$	≤ 18
$D_o > 325$	≤ 20

6.4.3 扫查速度与表面耦合补偿

6.4.3.1 探头的扫查速度不应超过 150mm/s。

6.4.3.2 对于检件表面探头移动区采用打磨处理的，宜推荐表面补偿值为 4dB，否则应按附录 G 的规定进行声能损耗差的测定。

6.4.3.3 耦合剂可采用化学糨糊、机油或甘油。

6.5 检测前的准备

6.5.1 受检对接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。

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母材厚度进行测量确认，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规定：

- a) 检测区的宽度为熔敷金属再加上两侧各 5mm 的宽度（见图 6.5.3）；

6.6.3 不同规格的距离-波幅曲线灵敏度应符合表 6.6.3 的规定。

表 6.6.3 距离-波幅曲线的灵敏度

公称厚度 T (mm)	评定线	定量线	判废线
6~40	$\phi 2-18\text{dB}$	$\phi 2-12\text{dB}$	$\phi 2-4\text{dB}$
$T > 40$	$\phi 2-14\text{dB}$	$\phi 2-8\text{dB}$	$\phi 2+2\text{dB}$

6.6.4 扫查灵敏度应使最大声程处评定线的波高不低于 30%满屏高度。

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对接焊接接头作锯齿形扫查，探头前、后移动距离应不小于 $2TK$ ，探头前、后移动的齿距应小于探头晶片宽度的一半；

6.7.2 外径大于 300mm，有裂纹倾向的材料应增加横向缺陷检测，检测横向缺陷时，探头在对接焊接接头两侧边缘与对接焊接接头中心线成 $10^\circ \sim 30^\circ$ 作两个方向的斜向扫查，扫查灵敏度应将各线的灵敏度再提高 6dB；

6.7.3 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 区及以上的缺陷，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幅的位置为准。

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，当缺陷反射波位于 I 区及以上时，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。

6.9 缺陷的评定

6.9.1 当检测人员怀疑超过评定线的信号是危害性缺陷时，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 10mm 时，应按 5mm 计。

6.10 质量分级

6.10.1 对接焊接接头应不允许裂纹和未熔合缺陷存在。

6.10.2 评定线以下的缺陷均应评为 I 级。

6.10.3 对接焊接接头质量分级应按表 6.10.3 的规定进行。

表 6.10.3 对接焊接接头质量分级

对接焊接接头质量等级	反射波幅所在区域	缺陷长度 ^a	
		单个指示长度 L (mm)	累计长度 ^b (mm)
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	长度小于或等于对接焊接接头周长的 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	长度小于或等于对接焊接接头周长的 15%, 且小于 40
Ⅲ级	Ⅱ	缺陷长度超过Ⅱ级者	
	Ⅲ	所有缺陷	
	Ⅰ、Ⅱ	裂纹等危害性缺陷	
注: T 为单壁厚度, 当对接焊接接头两侧母材厚度不等时, 取较薄者的厚度值。			
^a 在 10mm 对接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。			
^b 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。			

7 磁粉检测

7.1 磁粉检测设备、器材和材料

7.1.1 磁粉检测设备应符合下列规定:

- a) 磁粉探伤机应符合 JB/T 8290 的规定;
- b) 交流单磁轭最大间距时的提升力应不小于 45N; 交流交叉磁轭的提升力应不小于 118N;
- c) 采用荧光磁粉检测时, 黑光灯应符合 GB/T 5097 的规定。

7.1.2 磁粉检测辅助器材应包括:

- a) A_1 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。

7.1.3 磁粉、载体及磁悬液应符合下列规定:

- a) 磁粉应具有高磁导率、低矫顽力和低剩磁性, 应与检件表面颜色有较高的对比度。磁粉粒度和性能应符合 JB/T 6063 的规定。
- b) 检件温度在 0℃ 以上时, 宜采用水作为分散媒介, 也可在水中添加活性剂和防锈剂增加润湿性和抗腐蚀性; 检件温度在 0℃ 及其以下时, 应在水中加入防冻剂或采用低黏度油基载体作为分散媒介。
- c) 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 7.1.3 的规定进行配制, 也可按产品说明书的要求配制。使用前应对磁悬液进行搅拌使其均匀。

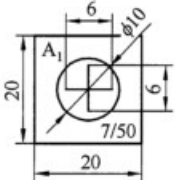
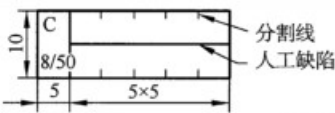
表 7.1.3 磁悬液浓度

磁粉类型	配制浓度 (g/L)
非荧光磁粉	10~25
荧光磁粉	0.5~3.0

7.1.4 灵敏度试片应符合下列规定：

- a) 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 GB/T 23907 的规定。根据检件情况，可选用 A₁ 型或 C 型，其规格、尺寸和图形见表 7.1.4。

表 7.1.4 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 ₁ -15/100	15	100	
A ₁ -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。

- b) 磁粉检测宜选用 A₁-30/100 型灵敏度试片。当检测坡口等狭小部位，由于尺寸关系，A₁ 型灵敏度试片使用不便时，可选用 C-15/50 型灵敏度试片。当委托单位对检测灵敏度有更高要求时，经协商可选用 A₁-15/100 或 C-8/50 试片。
- c) 灵敏度试片使用时，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。当灵敏度试片表面有锈蚀、弯折或磁性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核查或校验，并应符合下列规定：

- a) 电磁轭的提升力应每半年核查一次；当磁轭损伤修复后应重新核查；轴向通电法或线圈法磁粉检测设备的电流表应每半年核查一次；
- 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灵敏度验证，用灵敏度试片检验磁粉检测设备、磁粉和磁悬液的系统灵敏度，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) 当磁悬液的液膜是均匀连续的，则磁悬液的润湿性能合格；
- b) 当液膜被断开，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、氧化皮或其他黏附磁粉的物质。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 对接焊接接头磁粉检测应采用交流磁轭连续磁化法,单磁轭应与管子曲面接触良好,交叉磁轭适用于直径大于 200mm 的管子对接焊接接头检测。典型磁化方法参见本标准附录 H。

7.4.1.2 对管子及管件检测,应根据不同规格和结构选用适合的检测方法。

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,通电时间一般为 3s~5s,停施磁悬液 1s 后方可停止磁化,并应符合下列规定:

- a) 每一检测部位应进行两次相互垂直的磁化;对于特殊工件不能进行两次相互垂直的磁化时应在工艺中明确;
- 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及两侧各 50mm 的范围;
- d) 磁化区域每次应有不少于 15mm 的重叠;
- e) 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表面接触良好,磁极应连续行走或分段磁化,当分段磁化时,两次磁化的重叠区域不应少于 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,磁化规范按式 (3) 计算。

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

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时,宜采用触头法,通电时间 1s~3s,磁化规范见表 7.4.3.3。电极与检件之间应保持良好的接触,必要时应加装接触垫,触头手柄应有遥控开关,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,除上述要求外还应符合下列规定:

- a) 电极间距应控制在 75mm~200mm 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 7.4.3.3 触头法磁化电流值

检件厚度 T (mm)	电流值 I (A)
<19	$3.5L \sim 4.5L$
≥ 19	$4L \sim 5L$
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 150mm 的范围内, 150mm 以外的区域, 磁化强度应采用标准试片确定, 并按下列规定选择电流值:

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

①偏心放置时, 线圈的磁化电流按式 (4) 计算 (可进行 $\pm 10\%$ 的调节);

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

②正中放置时, 线圈的磁化电流按式 (5) 计算 (可进行 $\pm 10\%$ 的调节);

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

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, 可按式 (6) 计算磁化电流 (可进行 $\pm 10\%$ 的调节);

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

c) 中充填因数线圈法, 当线圈大于 2 倍而小于 10 倍被检件截面积时, 按式 (7) 计算磁化电流 (可进行 $\pm 10\%$ 的调节);

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

式中:

- $(NI)_h$ ——式 (6) 高充填因数线圈计算的 NI 值;
- $(NI)_l$ ——式 (4) 或式 (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_{eff} 代替。有效直径 D_{eff} 按下列公式计算:

①圆筒形检件按式 (8) 计算;

$$D_{\text{eff}} = [D_o^2 - D_i^2]^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

②非圆筒形检件按式 (9) 计算。

$$D_{\text{eff}} = [4(A_t - A_h)/\pi]^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

D_{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, mm²;

A_h ——零件中空部分的横截面积, mm²。

7.5 磁痕显示的分类和记录

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,按线型显示处理,长度与宽度之比不大于3的磁痕,按圆形显示处理。

7.5.1.3 长度小于0.5mm的磁痕不计。

7.5.2 缺陷磁痕的观察

7.5.2.1 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1000lx。

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1000μW/cm²,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20lx。检测人员进入暗区,至少经过3min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之外的其他眼镜。

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、录像等方式记录。

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,应进行分析找出原因,并对本次检测全部工作进行复测。

7.6.2 检测过程中技术条件改变或发现操作方法有误时,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1.5mm的单个圆形显示均为不合格。

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

8 渗透检测

8.1 检测设备和器材

8.1.1 渗透检测剂

8.1.1.1 渗透检测剂分为溶剂去除型着色渗透检测剂和溶剂去除型荧光渗透检测剂。溶剂去除型着色渗透检测剂包括渗透剂、清洗剂和显像剂。溶剂去除型荧光渗透检测剂包括渗透剂和清洗剂，渗透剂自显像。渗透检测剂应有产品质量证明文件，并应标识生产日期和有效期。

8.1.1.2 渗透检测剂应对检件无腐蚀；对人体基本无毒害作用。

8.1.1.3 对于镍及镍合金材料检测，硫的总含量质量比应不超过 200×10^{-6} ，一定量渗透检测剂蒸发后残渣中的硫元素含量的质量比不得超过 1%；对于奥氏体不锈钢、钛及钛合金、锆及锆合金材料检测，卤素总含量（氯化物、氟化物）的质量比应不超过 200×10^{-6} ，一定量渗透检测剂蒸发后残渣中的氯、氟元素含量的质量比不得超过 1%。

8.1.2 检测试块

8.1.2.1 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），渗透检测用试块应符合 JB/T 6064 的相关规定。

8.1.2.2 铝合金对比试块尺寸见图 8.1.2.2，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。

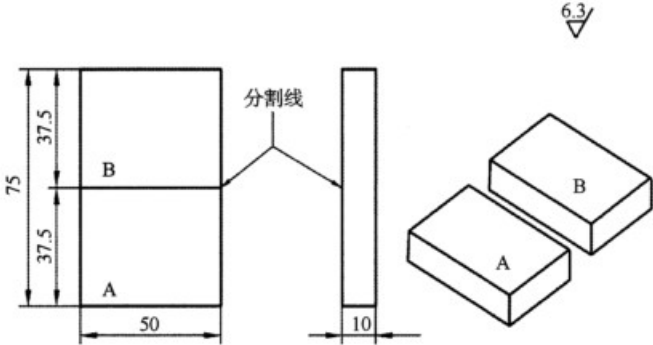


图 8.1.2.2 铝合金试块

8.1.2.3 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 0Cr18Ni9Ti 或其他不锈钢材料的试块上单面镀铬，镀铬层的厚度不大于 $150\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $R_a=1.2\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ ，在镀铬层背面中央选相距约 25mm 的 3 个点位，用布氏硬度法在其背面施加不同负荷，形成从大到小、裂纹区长径差别明显、肉眼不可见的 3 个辐射状裂纹区，按大、小顺序排列区位号分别为 1、2、3，裂纹尺寸见表 8.1.2.3。

表 8.1.2.3 三点式 B 型试块表面的裂纹区长径 单位：mm

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

8.1.2.4 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。

8.1.2.5 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，应及时更换。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丙酮和无水乙醇的混合液体（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。

8.1.2.6 检测灵敏度应发现镀铬试块的 3 个辐射状裂纹区。

8.1.2.7 用于着色渗透检测法的试块不应用于荧光渗透检测法，反之亦然。

8.1.3 检测设备

8.1.3.1 照度计。

8.1.3.2 采用荧光渗透检测时，应配备黑光灯和黑光辐照计，黑光灯应符合 GB/T 5097 的规定。

8.2 设施和环境

8.2.1 渗透检测，在密闭容器内检测时要求具有通风条件，防止检测人员中毒。

8.2.2 着色渗透检测，可见光照度不宜低于 1000lx。

8.2.3 荧光渗透检测，可见光照度不得大于 20lx。

8.2.4 采用荧光渗透检测时，紫外线不直接照射人的眼睛和皮肤。

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，除去锈蚀、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 25mm。

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分等应干燥，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第 8.3.1.2 条的规定。

8.3.3 施加渗透剂

8.3.3.1 渗透剂应采用喷涂法或刷涂法施加在受检部位，使用前应使渗透剂均匀。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℃~50℃ 的温度条件下，渗透持续时间不应少于 10min；5℃~10℃ 范围，渗透持续时间不应少于 20min；当温度条件不符合上述条件时，应按附录 I 对操作方法进行鉴定。

8.3.4 去除多余的渗透剂

8.3.4.1 去除检件表面多余的渗透剂时，不应过度去除而使检测灵敏度下降，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。采用荧光渗透检测时，应用黑光灯检查渗透剂的去除情况，防止过清洗。

8.3.5 干燥

8.3.5.1 多余的渗透剂清除干净后，应进行干燥；

8.3.5.2 宜采用自然晾干。

8.3.6 施加显像剂

8.3.6.1 受检面干燥后，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，施加显像剂应薄而均匀。

8.3.6.3 喷涂显像剂时，喷嘴离被检面距离宜为 300mm~400mm，喷洒应均匀。

8.3.6.4 显像时间不应少于 10min，最多不应大于 60min。

8.3.7 观察显示

8.3.7.1 应在显像剂施加后进行观察，直至显像时间结束。

8.3.7.2 着色渗透检测，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 1000lx。

8.3.7.3 当采用荧光渗透检测时，可见光照度不应大于 20lx，被检工件表面黑光强度不得低于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

8.3.7.4 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

8.3.8.1 检测完毕应对工件表面进行后处理；

8.3.8.2 去除工件表面的残留物使工件表面不受污染。

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 0.5mm 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。

8.4.2 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、录像等方式记录。

8.5 复验

8.5.1 检测结束时，应对检测灵敏度进行复验，当检测灵敏度不符合要求时，应进行分析找出原因，并对本次检测的部位重新进行检测。

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，应用镀铬试块对渗透检测系统灵敏度进行验证；

8.6.2 操作工艺改变时，应用镀铬试块对渗透检测工艺的灵敏度进行验证。

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、直径大于 1.5mm 的单个圆形显示均为不合格。

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

9 衍射时差法超声检测

9.1 检测设备和器材

9.1.1 检测设备

9.1.1.1 检测设备应具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能。

9.1.1.2 其电气性能和功能应有合格证明文件。

9.1.2 探头

9.1.2.1 探头是由两个分离的宽带窄脉冲纵波斜入射探头，由一发一收相对放置组成的探头对，固定于扫查装置；探头应有晶片尺寸、频率、脉冲宽度等性能指标的证明文件。

9.1.2.2 探头楔块应与被检工件相适应，当检测直管与弯头、三通、大小头等管件对接焊接接头时，管件侧的探头楔块应能适应管件侧的曲面。

9.1.3 仪器、探头及其组合性能

9.1.3.1 仪器、探头及其组合性能包括：水平线性、垂直线性、直通波宽度、组合频率、-12dB 声束扩散角和信噪比。

9.1.3.2 发生以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的 TOFD 仪器或探头；
- b) TOFD 仪器和探头在维修或更换主要部件后；
- c) 检测人员怀疑时。

9.1.3.3 水平线性误差不应大于 0.5mm，垂直线性误差不应大于 5%。

9.1.3.4 仪器和探头的组合频率与探头标称频率之间偏差不得大于±10%。

9.1.3.5 检测灵敏度满足检测要求，灵敏度余量不低于 20dB。

9.1.3.6 在直通波的波幅设定到满屏高的 50%时，信噪比不应小于 10dB。

9.1.3.7 直通波脉冲宽度不大于 1.5 倍探头频率周期。

9.1.4 扫查装置

9.1.4.1 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分和导向部分，并安装位置传感器：

- a) 探头夹持部分应能调整和设置探头中心间距，在扫查时保持探头相对位置不变；
- b) 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与拟扫查线保持一致；
- c) 驱动部分可采用马达或人工驱动；
- d) 位置传感器的分辨率和精度应满足工艺要求。

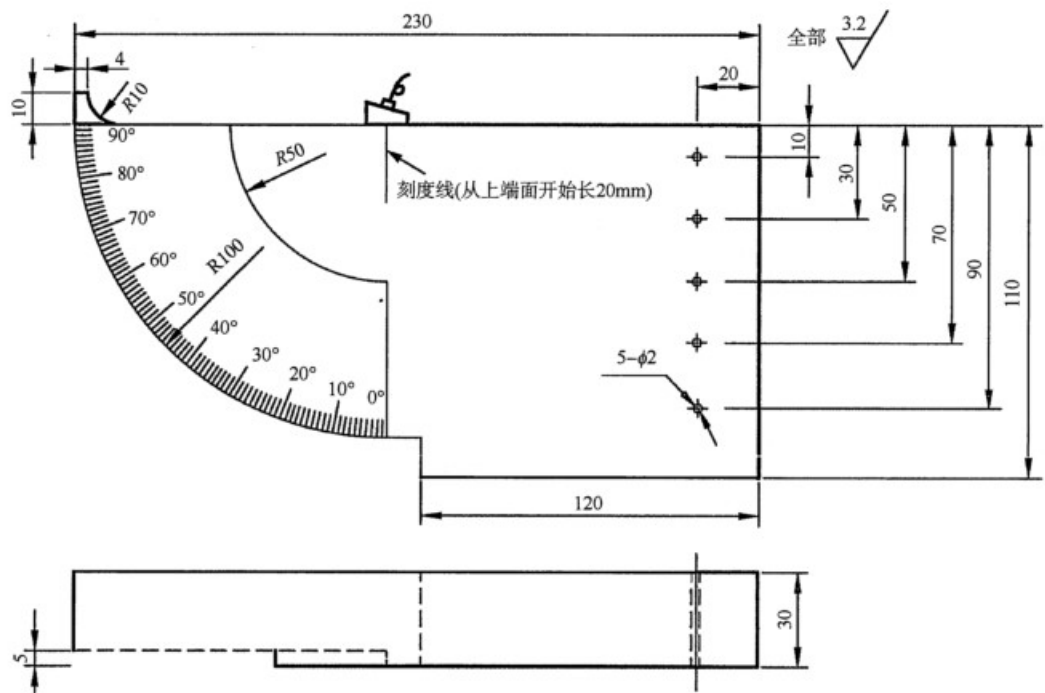
9.1.4.2 对于检测直管与弯头、三通等管件对接焊接接头的扫查架，其结构应能使弯头、三通侧的探头耦合良好，扫查架能顺利通过弯头的内弯部位。

9.2 试块

9.2.1 试块分标准试块、盲区试块和模拟试块。

9.2.2 标准试块是指用于仪器探头系统性能校准的试块，其分为：

- a) CSK-IA 型标准试块（见图 6.3.1-1）；
- b) 声束扩散角测定试块，该试块用于测定检测仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角。声束扩散角测定试块尺寸见图 9.2.2。

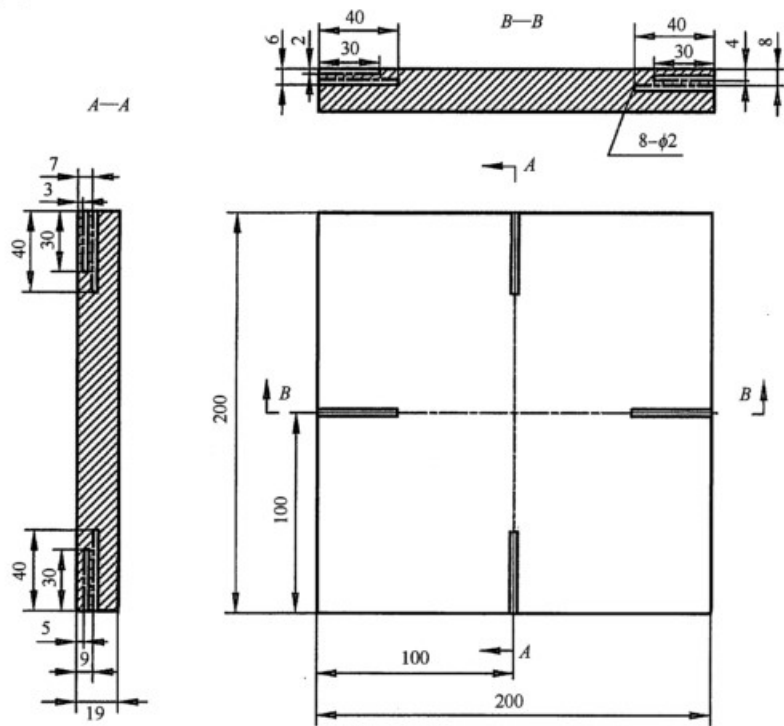


注：尺寸偏差 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ，角度偏差 $\leq \pm 0.5^\circ$ 。

图 9.2.2 声束扩散角测定试块

9.2.3 盲区试块用于检测工艺盲区测试，并应符合下列要求：

- a) 试块的材质应与被检工件相同或相近；
- b) 其形状和尺寸见图 9.2.3。



注：孔径误差 $\leq \pm 0.02\text{mm}$ ，开孔垂直度偏差 $\leq \pm 0.1^\circ$ ，其他尺寸误差 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ 。

图 9.2.3 盲区试块

9.2.4 模拟试块是指含有模拟缺陷的试块,用于 TOFD 检测工艺验证,并应符合下列要求:

- a) 模拟试块中的缺陷应与实际工件中可能产生的缺陷类似;
- b) 模拟试块的材质、规格、形状应与被检工件相同或相近、焊接工艺相同,厚度和外径为受检工件的 0.9 倍~1.3 倍。也可用存在已知缺陷的受检工件代替模拟试块。

9.3 检测系统校验和核查

9.3.1 每 6 个月至少对检测设备的水平线性、垂直线性及仪器探头组合频率进行一次校验并记录。其结果应符合本标准第 9.1.3 条的要求。仪器的水平线性、垂直线性及仪器探头组合频率的校准方法参见本标准附录 F 和附录 J。

9.3.2 每次检测前应测定和记录探头前沿、超声波在探头楔中的传播时间及-12dB 声束扩散角。仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测试方法参见本标准附录 K。

9.3.3 每次检测前应对位置传感器进行核查,核查方法是使带位置传感器的扫查装置至少移动 300mm,将检测设备所显示的位移与实际位移进行比较,其误差应小于 1%。

9.4 检测工艺

9.4.1 检测时机

- 9.4.1.1 按客户检测委托单的要求进行;
- 9.4.1.2 有延迟裂纹倾向的材料最终检测应在焊接 24h 后进行;
- 9.4.1.3 有热处理要求的对接焊接接头,最终检测应在热处理后进行。

9.4.2 检测区域

- 9.4.2.1 检测区域为对接焊接接头及其两侧热影响区,热影响区的宽度一般为 3mm~5mm。
- 9.4.2.2 当对于已发现缺陷部位进行复验或对已确定的重点部位进行检测时,则检测区域可缩减至相应部位。

9.4.3 探头的选择和设置

- 9.4.3.1 宜选择宽角度纵波斜探头,对于每一组探头对的两个探头,其标称频率、声束角度和晶片直径应相同。
- 9.4.3.2 工件厚度为 16mm~50mm,可选择 1 组探头对进行检测。
- 9.4.3.3 厚度大于 50mm 的应选择 2 组探头对进行检测,并应符合下列要求:
 - a) 第 1 组探头对,探头中心间距尽可能小,以最大限度地减小表面盲区;
 - b) 第 2 组探头对,将探头中心间距设置为使下表面盲区小于 1mm 的间距。
- 9.4.3.4 检测工件底面的探头声束与底面检测区域边界处法线间的夹角不宜小于 40°。
- 9.4.3.5 不同厚度工件探头选取和设置参考表 9.4.3.5。

表 9.4.3.5 探头的选择和设置

工件厚度 (mm)	厚度分区数	聚焦深度 (mm)	检测范围 (mm)	标称频率 (MHz)	声束角度 α (°)	晶片直径 (mm)	备注
16~35	1	$2t/3$	$0 \sim t$	10~5	70~60	2~6	1 对探头
>35~50	1	$2t/3$	$0 \sim t$	5~3	60~45	3~6	1 对探头
>50~100	2	PCS 最小 ^a	$0 \sim t$	5	70~60	6	2 对探头
		$2t/3$	$0 \sim t$	5	60~45	6	

^a 探头能在对接焊接接头两侧移动的最小 PCS。

9.4.3.6 当已知缺陷的大致位置或仅检测可能产生缺陷的部位,可选择相匹配的探头型式(如聚焦探头)或探头参数(如频率、晶片直径),将探头中心间距设置为使探头对的声束交点为缺陷部位或可能产生缺陷的部位,且声束角度 α 为 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。

9.4.4 扫查面和扫查方式的选择

9.4.4.1 扫查面为管道外表面对接焊接接头两侧。

9.4.4.2 由于管道结构的原因,扫查方式宜为非平行扫查。

9.4.5 扫查步进设置

9.4.5.1 扫查步进设置不宜超过1mm。

9.4.6 信号平均化处理

9.4.6.1 信号平均化处理一般设定为1,噪声较大时设定值不应大于16。

9.4.7 设置仪器其他参数

9.4.7.1 根据所选择探头,设置数字化采样频率至少应为所选择探头标称频率的6倍;

9.4.7.2 根据所选择探头,设置接收电路的频率响应范围至少应为所选择探头标称频率的0.5倍~1.5倍;

9.4.7.3 设置脉冲重复频率,应与数据采集速度和可能的最大扫查速度相称。

9.4.8 A扫描时间窗口设置

9.4.8.1 时间窗口的起始位置应设置为直通波到达接收探头前 $0.5\mu\text{s}$ 以上,时间窗口的终止位置应设置为工件底面的一次波型转换后 $0.5\mu\text{s}$ 以上;

9.4.8.2 当采用2对探头进行检测,两对探头时间窗口的起始位置均应设置为直通波到达接收探头前 $0.5\mu\text{s}$ 以上,时间窗口的终止位置应设置为工件底面回波后 $0.5\mu\text{s}$ 以上。

9.4.9 检测灵敏度设置

9.4.9.1 直接在被检工件的完好部位进行灵敏度设置;

9.4.9.2 将直通波的波幅设定到满屏高的40%~80%。

9.4.10 补充检测

9.4.10.1 TOFD检测技术在被检工件上、下表面都存在盲区,盲区的大小可用盲区试块进行测试;

9.4.10.2 盲区应采用手工超声检测法进行补充检测来消除。对于有横向裂纹倾向的材料,应增加手工超声斜平行扫查,手工超声检测应按本标准第6章进行;

9.4.10.3 对于有裂纹倾向的材料,应增加表面磁粉检测,磁粉检测应按本标准第7章进行。

9.5 检测工艺验证

9.5.1 各项检测工艺参数设置均完成后,应在被检工件的完好部位或试块上对检测工艺进行验证,确认检测工艺的合理性,若检测工艺参数不合适,应作必要的调整。验证图谱应在操作指导书中记录。

9.5.2 当非直边段或直边段不能满足工艺要求时,应采用模拟试块对检测工艺进行验证。

9.6 检测实施

表 9.9.4 各级别允许的点状显示的个数

等 级	工件厚度 T (mm)	个 数
I	16~100	$T \times 0.5$, 最大为 50
II	16~100	$T \times 0.8$, 最大为 80
III	16~100	超过 II 级者

9.9.5 非点状缺陷显示的质量分级应按表 9.9.5 的规定进行。

表 9.9.5 对接焊接接头质量分级

等级	工件厚度 T^a (mm)	单个缺陷 (mm)						单个或多个缺陷累计长度
		表面开口缺陷			埋藏缺陷			
		长度 $l_{\max}$	高度 h_3	若 $l>l_{\max}$ 缺陷高度 h_1	长度 $l_{\max}$	高度 h_2	若 $l>l_{\max}$ 缺陷高度 h_1	
I	$16\leq T\leq 40$	$\leq T/2$	≤ 2	≤ 1	$\leq T/2$	≤ 4	≤ 1	1.对于单个或多个 $h\leq h_1$ 的线状缺陷,在任意 $12T$ 范围内累计长度不得超过 $3T$ 且最大值为 150mm; 2.若多个缺陷其各自长度 $l\leq \frac{T}{2}$ 、高度均为 $h_1\leq h\leq h_2$ 或 h_3 , 则在 $12T$ 范围内累计长度不得超过 $3T$ 且最大值为 150mm; 3.所有表面开口缺陷累计长度不得大于整条对接焊接接头长度的 5%且最长不得超过 300mm
	$40< T\leq 100$	≤ 20	≤ 3	≤ 2	≤ 20	≤ 5	≤ 2	
II	$16\leq T\leq 40$	$\leq T$	≤ 2	≤ 1	$\leq T$	≤ 4	≤ 1	1.对于单个或多个 $h\leq h_1$ 的线状缺陷,在任意 $12T$ 范围内累计长度不得超过 $5T$ 且最大值为 300mm; 2.若多个缺陷其各自长度 $l\leq \frac{T}{2}$ 、高度均为 $h_1\leq h\leq h_2$ 或 h_3 , 则在 $12T$ 范围内累计长度不得超过 $4T$ 且最大值为 200mm; 3.所有表面开口缺陷累计长度不得大于整条对接焊接接头长度的 10%且最长不得超过 500mm
	$40< T\leq 100$	≤ 40	≤ 3	≤ 2	≤ 40	≤ 5	≤ 2	
III	16~100	超过 II 级者						

^a T ——公称厚度, 当对接焊接接头两侧母材公称厚度不同时, 取薄侧。

9.9.6 当各类缺陷评定的质量级别不同时,以质量级别最低的作为对接焊接接头的质量级别。

10 相控阵超声检测

10.1 检测设备和器材

10.1.1 总则

10.1.1.1 相控阵检测设备包括仪器、探头、软件、扫查装置和附件，上述各项应成套或单独具有产品合格证或制造厂出具的合格证明文件。

10.1.2 检测设备

10.1.2.1 相控阵超声检测仪的工作频率范围应至少包括 1MHz~20MHz；

10.1.2.2 相控阵超声检测仪至少具有发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能；

10.1.2.3 相控阵超声检测仪的 A 扫描数字采样频率不应少于 100MHz，信号幅度的数字化分辨力至少为 8 位（256 级）；

10.1.2.4 仪器的显示高度线性偏差和幅度控制线性偏差应在 $\pm 2\%$ 以内，时基线性误差不应大于 1%；

10.1.2.5 所有激励通道的发射脉冲电压应具有一致性，最大偏移量应不大于设置值的 5%。

10.1.3 探头

10.1.3.1 线阵探头中心频率范围一般为 1MHz~15MHz，阵元数一般不少于 16，阵元及楔块参数应符合 JB/T 11731 的规定。

10.1.3.2 探头实测中心频率与标称频率间的误差应不大于 10%。

10.1.3.3 探头-6dB 相对频带宽度不应小于 55%。

10.1.3.4 新购探头，晶片间灵敏度最大差值不应大于 4dB，且不应存在坏晶片。

10.1.3.5 使用中的探头坏晶片的数量不应超过晶片总数的 12.5%，且没有连续损坏晶片。

10.1.4 扫查装置

10.1.4.1 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分、导向部分及位置传感器。

a) 探头夹持部分应能调整和设置探头位置，在扫查时保持探头相对距离和相对角度不变；

b) 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与参考线保持一致；

c) 驱动部分可以采用电动或人工驱动；

d) 位置传感器的分辨率和精度应满足工艺要求。

10.1.4.2 扫查装置除应满足直管与直管对接焊接接头的扫查外还应能满足直管与弯头、三通等管件对接焊接接头扫查的要求。

10.1.5 软件

10.1.5.1 软件至少应有 A、B、C、S 型显示的功能，且具有在扫描图像上对缺陷定位、定量及分析功能，应具备抗干扰功能；

10.1.5.2 能够存储、调出 A、B、C、S 图像，并能将存储的检测数据复制到外部存储器；

10.1.5.3 仪器软件应具有聚焦法则计算功能、ACG 校准功能，以及 TCG 校准功能；

10.1.5.4 仪器的数据采集和扫描装置的移动同步，扫描步进值应可调，其最小值应不大于 0.5mm；

10.1.5.5 仪器应能存储和分辨各 A 扫描信号之间相对应位置的信息。

10.2 试块

10.2.1 标准试块

10.2.1.1 标准试块是指具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块，用于评定和校准相控阵超声检测设备和探头系统性能的试块。本标准采用的标准试块为 CSK-I A（见图 6.3.1-1）、A 型相控阵试块（见图 10.2.1.1-1）和 B 型相控阵试块（见图 10.2.1.1-2）。

表 10.2.2.2 管道对接环向对接焊接接头相控阵超声检测对比试块

试块编号	弧面半径 R1 (mm)	适用管外径范围 (mm)	弧面半径 R2 (mm)	适用管外径范围 (mm)	厚度 T (mm)	两列孔间距 X (mm)
PAGS-1	32	57~72	40	72~90	20	150
PAGS-2	50	90~110	60	110~132	20	150
PAGS-3	72	132~159	94	168~282	20	X
PAGS-4	156	280~468	平面	>468	20	X

说明：

1) 检测厚度大于 20mm 的焊缝时，可将试块高度增大到 100mm，试块 R25mm/R50mm 圆弧面增大到 R50mm/R100mm 圆弧面，各孔的间距也可以根据检测需要调整，以满足 TCG 曲线制作的要求。

2) 关于两列孔间距 X，可根据检测需要增大。

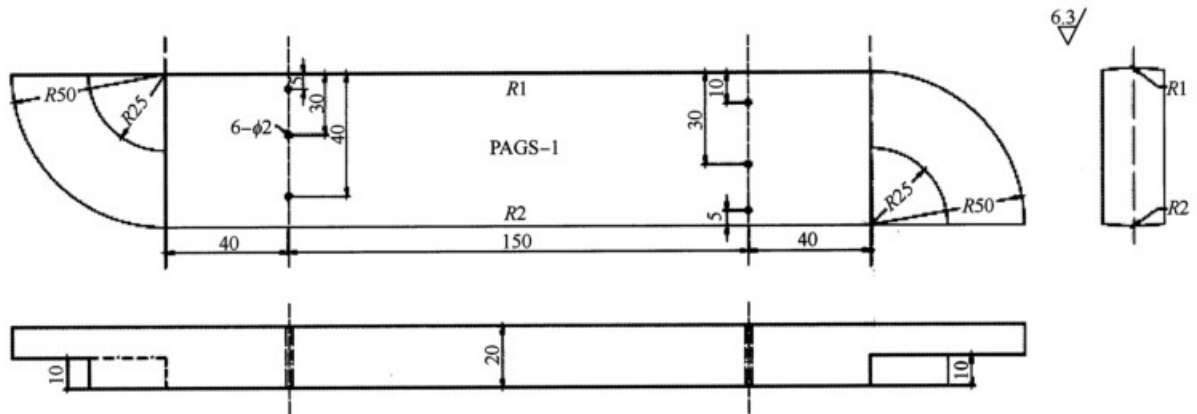


图 10.2.2.2 管道对接环对接焊接接头超声相控阵检测对比试块

10.2.3 模拟试块

10.2.3.1 模拟试块主要用于对接焊接接头相控阵超声检测工艺的验证。

10.2.3.2 模拟试块应满足下列要求：

- a) 模拟试块的焊接方法应与被检工件相同。模拟缺陷应采用焊接方法制备或使用以往检测中发现的真实缺陷。其缺陷类型为被检件中易出现的典型焊接缺陷，主要包括裂纹、未熔合、未焊透和条状缺陷等。
- b) 试块中的缺陷位置应具有代表性。

10.3 检测系统校准和核查

10.3.1 相控阵超声仪器和探头性能校准、核查应在标准试块上进行，校准时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。

10.3.2 仪器和探头检测系统每年应至少进行一次校准，校准内容包括扇扫成像横向分辨力和纵向分辨力、扇扫角度范围以及扇扫角度分辨力。校准方法应符合JJF 1338的规定。

10.3.3 仪器和探头检测系统的显示高度线性、幅度控制线性、时基线性应每半年至少进行一次运行核查，核查方法应符合GB/T 29302的规定。

10.3.4 每隔1个月或检测前（取时间长者）至少对阵元有效性进行一次核查，在相控阵探头中允许存在失效阵元，但失效阵元数量不得超过相控阵探头阵元总数的12.5%，且不得出现相邻阵元连续失效。核查方法应符合GB/T 29302的规定。

10.3.5 每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

10.3.6 每次检测前应对位置传感器进行检查和记录,检查方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动300mm,将检测设备所显示的位移和实际位移进行比较,其误差应小于1%。

10.4 检测工艺

10.4.1 检测准备

10.4.1.1 检测前应对被检对接焊接接头外观质量、管径、壁厚、坡口型式进行确认。

10.4.1.2 检测面为管子外表面焊缝两侧,扫查装置和探头移动区范围内应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质,移动区应进行打磨,打磨宽度由工艺文件确定。

10.4.2 检测区域

10.4.2.1 检测区域为对接焊接接头及其热影响区,热影响区宽度为焊缝熔合线两侧各3mm~5mm或按焊接工艺确定。

10.4.2.2 对已发现缺陷部位进行复检或已确定的重点部位,检测区域可缩减至相应部位。

10.4.3 检测标记

10.4.3.1 检测前应在工件扫查面上进行标记,标记内容至少包括扫查起止点和扫查方向,起始标记应用“0”表示,扫查方向用“→”表示,扫查面用“A、B”表示焊缝的两侧。当对接焊接接头长度较长需要分段检测时,应画出分段标记。所有标记应对扫查无影响。

10.4.4 参考线

10.4.4.1 检测前,应在扫查面上划出参考线,防止探头走偏,参考线距对接焊接接头中心线距离的偏差不应大于1mm。

10.4.5 耦合剂

10.4.5.1 宜用水作耦合剂,配置自动注水装置。根据工件情况,也可以采用机油或化学糨糊作耦合剂。

10.4.6 温度

10.4.6.1 工件温度宜控制在0℃~60℃,检测系统校准温度与实际工作温度相差不应超过15℃。

10.4.7 扫查方式

10.4.7.1 对接焊接接头首次检测推荐采用以下机械扫查与电子扫描结合的方式:

- a) 沿线扫查+扇扫描;
- b) 沿线扫查+线扫描+扇扫描;
- c) 沿线栅格扫查+扇扫描。

10.4.7.2 对可疑部位,可采用调节扇扫描角度和探头水平距离进行补充检测。

10.4.8 扫查范围和声束覆盖

10.4.8.1 检测范围内应保证两种角度的声束全覆盖,应从对接焊接接头两侧扫查,两次声束角度接近相互垂直。由于结构和曲率的原因,只能从对接焊接接头的一侧扫查时,宜使两次扫查的声束角度相差不小于10°。

10.4.8.2 当发现根部可疑信号辨识困难时,可缩短探头水平距离,进行针对根部的扫查,以提高根部

信号一次波的定位精度。

10.4.8.3 扇扫描角度范围应在 $35^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 之间，根据检测工件厚度进行设置。对于检测厚度较薄的工件，经工艺验证符合检测要求时，扇扫角度上限可以适当提高。

10.4.9 补充检测

10.4.9.1 对于有裂纹倾向的材料，应增加表面磁粉检测。

10.4.9.2 外径大于300mm，有裂纹倾向的材料应作横向缺陷检测，横向缺陷检测采用手工A型脉冲反射法进行补充检测，探头在对接焊接接头两侧边缘与对接焊接接头中心线成 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 作两个方向的斜向扫查。A型脉冲反射法检测横向缺陷应按本标准第6章执行。

10.4.10 探头及楔块的选择

10.4.10.1 探头标称频率宜为2.5MHz~10MHz。

10.4.10.2 阵元数要根据被检件厚度选择，单次激发的阵元数不得低于16。与工件厚度有关的相控阵探头参数可按表10.4.10.2选择。

表 10.4.10.2 检测对接焊接接头时相控阵探头参数选择推荐表

管壁厚度 (mm)	激发孔径 (mm)	探头标称频率 (MHz)
3.5~15	6.0~10	5.0~10
>15~30	7.0~20	4.0~7.5
>30~60	10~30	2.0~7.5
注1：在满足穿透的情况下，尽可能选择激发孔径小的探头； 注2：探头晶片宽度应不小于6mm。		

10.4.10.3 探头楔块应与检测面相匹配，探头楔块与被检件接触面的间隙不应大于0.5mm，必要时应对楔块进行修磨。楔块角度一般为 60° 或 55° 。

10.4.10.4 探头及楔块的配置应与工件厚度相适应，探头前沿长度要控制，在有效扇扫范围内，应尽量使一次波能更多地扫查焊缝的根部。

10.4.11 聚焦设置

10.4.11.1 采用延时聚焦法则。

10.4.11.2 对接焊接接头初始扫查的聚焦深度设置应避免在近场区内。当检测声程范围在50mm以下时，聚焦深度可以设置在最大探测声程处；当检测声程范围在50mm以上时，聚焦深度可以选择检测声程范围的中间值或其他适当深度。

10.4.11.3 在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域，但应注意聚焦区以外声场劣化问题。

10.4.12 扫查增量和扇扫角度步进

10.4.12.1 平行线扫查增量见表 10.4.12.1；

表 10.4.12.1 平行线扫查步进增量的设置

工件厚度 (mm)	扫查步进最大值 $\Delta X_{\max}$ (mm)
$T \leq 10$	1
$10 < T \leq 60$	2

10.4.12.2 扇扫角度步进 $\leq 1^\circ$ 。

10.4.13 检测前的校准

10.4.13.1 检测前应对声速、延迟、ACG、水平零点、TCG及编码器行程进行校准。

10.4.13.2 声速校准,采用 PAGES 系列试块 R25mm 和 R50mm (或 R50mm 和 R100mm) 弧面进行声速校准。

10.4.13.3 延迟校准,在全扇扫范围内每一条 A 扫描线到达同一个声程的反射体的距离是相等的,延迟校准确保缺陷定位准确。延迟校准一般利用 PAGES 系列试块 R50mm 曲面进行校准。

10.4.13.4 ACG (角度灵敏度) 校准,采用 PAGES 系列试块的 R50mm 弧面进行校准。

10.4.13.5 水平零点校准,采用 PAGES 系列试块上的标准反射体进行校准。通过校准可以在水平方向准确定位缺陷。

10.4.13.6 TCG (距离-波幅曲线) 校准应符合下列规定:

- a) 选择曲率相近的 PAGES 试块进行 TCG 曲线的校准。曲线应包含所检测的最大声程。对于外径大于 500mm 的管道,也可以采用 CSK-II A 或类似试块进行校准。
- b) 工件表面的光洁度一般与对比试块有差异,工件表面检测前已进行打磨,且表面光洁度已达到一定的要求,表面补偿推荐为 4dB。
- c) TCG 曲线 (距离-波幅曲线) 的灵敏度见表 10.4.13.6。

表 10.4.13.6 TCG 曲线的灵敏度

管壁厚度 (mm)	评定线	定量线	判废线
3.5~6	$\phi 2 \times 20-20\text{dB}$	$\phi 2 \times 20-14\text{dB}$	$\phi 2 \times 20-8\text{dB}$
>6~40	$\phi 2 \times 20-16\text{dB}$	$\phi 2 \times 20-10\text{dB}$	$\phi 2 \times 20-4\text{dB}$
>40~60	$\phi 2 \times 20-14\text{dB}$	$\phi 2 \times 20-8\text{dB}$	$\phi 2 \times 20+2\text{dB}$

10.4.13.7 编码器校准,检测前应对编码器行程进行校准,校准长度不应低于 300mm,其误差不应超过 1%。

10.4.14 扫查速度

10.4.14.1 扫查速度小于或等于最大扫查速度 $V_{\max}$, 同时应保证耦合效果和满足数据采集的要求。最大扫查速度按式 (11) 计算:

$$V_{\max} = \frac{PRF}{NA} \Delta X \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$V_{\max}$ ——最大扫查速度, mm/s;

PRF ——激发探头的脉冲重复频率, Hz; $PRF < C/(2L)$, C —横波声速, L —声程;

ΔX ——设置的扫查步进值, mm;

N ——设置的信号平均次数;

A ——每幅 B 扫描图中 A 扫描的数量。

10.5 检测工艺验证

10.5.1 检测工艺设置完毕,应在模拟试块或受检工件上进行验证,工艺验证结果应确保能够清楚地检出相应的缺陷或反射体。

表 10.9.1 管道对接焊接接头相控阵超声检测质量分级

等级	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度 (mm)	缺陷累计长度 (mm)
I	I	≤ 40	—
	II	$\leq T/3$, 最小可为 5	$\leq$ 焊缝周长的 10%, 且不超过 20
II	I	≤ 60	—
	II	$\leq 2T/3$, 最小可为 10	$\leq$ 焊缝周长的 15%, 且不超过 30
III	I	超过 II 级者	—
	II	超过 II 级者	
	III	所有缺陷	

11 便携式荧光光谱检测

11.1 适用范围

11.1.1 本方法适用于金属材料中原子序数 19 号 (钾 K) ~ 94 号 (钷 Pu) 范围内的各种金属元素含量的检测;

11.1.2 本方法主要用于材料类别的验证。

11.2 仪器和标样

11.2.1 仪器应符合下列要求:

- a) 检测仪器为便携式 X/γ 射线激发荧光光谱仪;
- b) 探头直接对准工件检测面, 启动仪器开关后数秒钟即可得出检测数据。

11.2.2 标准样品应符合下列要求:

- a) 标准样品用于仪器检测前、后及检测过程中的校准或核查;
- b) 检测仪器应配备与检测对象元素含量相近的已知含量的有证标准样品;
- c) 也可在被检试件上取样, 由具有 CMA 或 CNAS 认可的机构出具的相应元素采用精确分析方法出具的检测报告, 并以此作为有证标准样品。

11.3 校准

11.3.1 仪器内部应有自校准程序, 开机后首先进行自校准;

11.3.2 仪器自校准结束后, 应用标准样品对仪器进行验证, 当验证结果在可接受的范围内时, 校准结束;

11.3.3 当仪器自校准结束后的验证结果超出可接受的范围时, 应对不可接受的元素进行再校准, 校准方法应符合仪器使用说明的技术要求。

11.4 检测

11.4.1 仪器校准合格后, 方可开始检测, 检测时机和检测部位按客户委托要求执行;

11.4.2 工件受检部位应裸露出金属光泽, 不得有油漆、镀层膜、油脂、氧化皮、土屑等覆盖物。工件表面的油脂可用丙酮擦拭去除, 其余覆盖物可用角向磨光机或砂纸打磨去除。打磨不得使受检件损伤;

11.4.3 检测操作应符合下列规定:

- a) 将仪器测试窗口垂直对准受检工件表面, 并与受检工件表面紧贴 (注意避免撞击损坏仪器),

测试过程中，应保持仪器与被测试样品的相对稳定性；

- b) 测试时间宜为 5s~10s，直到蜂鸣声提示音响起之后停止检测，测试过程结束；
- c) 测试数据自动在仪器荧光屏上显示并保存，在记录纸上记录此检测序号与受检件（部位）的对应性。

11.4.4 检测标识应符合下列规定：

- a) 所有检测完成部位均应采用记号笔进行标识。检测具体部位用“○”标识；
- b) 检测结果用“Y”代表合格，字体颜色为绿色、白色或黑色；用“N”代表不合格，字体颜色为红色。

11.5 复验

11.5.1 发生以下情况应进行复验：

- a) 元素含量异常，超出材料标准允许范围的；
- b) 检测仪器异常；
- c) 检测人员认为需要复验的；

11.5.2 复验前应用标准样品对仪器进行验证；

11.5.3 对需复验的受检工件表面进行光洁处理；

11.5.4 复验应适当增加测试时间，仪器与工件接触应紧密稳定。

11.6 评定

11.6.1 检测结果应按客户委托的材料标准进行评定；

11.6.2 对于可疑数据，应认真分析，谨慎判定。必要时可用全定量光谱仪或取样用湿法进行验证；

11.6.3 对于确认不合格的工件，经审核人员确认后向客户出具不合格报告。

附录 A

(资料性附录)

管道对接焊接接头检测操作指导书

A.1 管道对接焊接接头 X 射线检测操作指导书见表 A.1。

表 A.1 管道对接焊接接头 X 射线检测操作指导书

工程名称		委托单位		操作指导书编号				
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	m	铅箔增感屏	mm	胶片型号				
显影配方		显影温度	℃	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	工艺验证
备注:								
编制:					审核:			
资格: 级 年 月 日					资格: 级 年 月 日			

A.3 管道对接焊接接头超声检测操作指导书见表 A.3。

表 A.3 管道对接焊接接头超声检测操作指导书

工程名称		委托单位		操作指导书编号	
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:					
工艺验证:					
编制:			审核:		
资格:	级	年 月 日	资格:	级	年 月 日

A.5 轴向通电法/中心导体法/线圈法磁粉检测操作指导书见表 A.5。

表 A.5 轴向通电法/中心导体法/线圈法
磁粉检测操作指导书

工程名称		委托单位		操作指导书编号	
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		可见光照度	
设备型号/编号		检测方法		检测面黑光强度	
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					
工艺验证：					
编制：			审核：		
资格： 级 年 月 日			资格： 级 年 月 日		

A.8 管道对接焊接接头 PA 检测操作指导书见表 A.8。

表 A.8 管道对接焊接接头 PA 检测操作指导书

工程名称		委托单位		操作指导书编号	
一、被检管道基本情况					
检测比例		材质			
焊接方法		坡口型式			
检测时机		表面状况			
工件温度					
二、检测设备及器材					
仪器型号		仪器编号			
扫查架型号		耦合剂			
三、检测工艺					
检测标准		探头型号			
评定标准		合格级别			
聚焦类型		探头阵元数量			
阵元孔径		发射电压			
评定线		定量线			
判废线		表面补偿			
角度间距		扫描深度			
接收频率		扫查方式			
扫查步进		扫描类型			
扫查面					
其他说明：					

附录 B

(资料性附录)

TOFD 和 PA 检测报告格式

B.1 TOFD 检测报告见表 B.1。

表 B.1 TOFD 检测报告

XXXXXX 检测公司 TOFD 检测报告 (首页)					委托编号:						
					工艺卡编号:						
					记录编号:						
					报告编号:						
委托单位:					工程名称:						
一、被检管道情况											
管道区号				管道材质				管壁厚度			
坡口型式				焊接方法				焊缝宽度			
热处理状态				工件温度							
二、检测设备及器材											
仪器型号				仪器编号				耦合剂			
试块				扫查装置				扫查方式			
三、检测条件及验收标准											
执行标准				合格级别				检测比例			
扫查面				表面状况				耦合补偿			
探头 设置	检测 通道	检测 区域	探头频率 MHz	晶片尺寸 mm	主声束角度 °	探头延迟 μs	PCS mm	扫查增量 mm	扫查速度 mm/s		
	通道1										
	通道2										
时间窗口设置											
灵敏度设置											
四、检测结果											
检测人:				审核人:				检测单位 (章):			
资格: TOFD- 级				资格: TOFD- 级				日期: 年 月 日			

B.2 PA 检测报告见表 B.2。

表 B.2 PA 检测报告

检测单位		管道对接焊接接头相控阵超声检测报告 第 页 共 页				工程名称： 单位工程名称：		
委托单位		施工单位		报告编号				
区号		检测类别号		检测标准		合格级别		
管道材质		焊接方法				检测比例		
检测时机		坡口型式		耦合剂		扫查灵敏度		
探头		试块		检测面	设备型号	表面状态	表面补偿	
序号	型号	型号 1	型号 2					
检测批号	单线号	焊口号	焊工号	焊口规格	图谱编号	缺陷情况或缺陷示意图编号	评定级别	备注
检测人：		审核人：			检测单位：（公章）			
资 格： PA 级		资 格： PA 级			报告日期： 年 月 日			

附 录 C

(资料性附录)

黑度计(光学密度计)定期校验方法

- C.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。
- C.2 接通黑度计外电源和测量开关,预热时间宜为 10min。
- C.3 用标准黑度片(密度片)的零黑度点(区)校准黑度计零点,调整后顺次测量黑度片上各点黑度,每点反复测量 3 次取平均值,记录测量数据。
- C.4 测量误差均应不超过 ± 0.05 为合格。

附录 D
(资料性附录)
管道对接焊接接头典型透照方式

图 D.1~图 D.6 给出了管道对接焊接接头常用的典型透照方式。

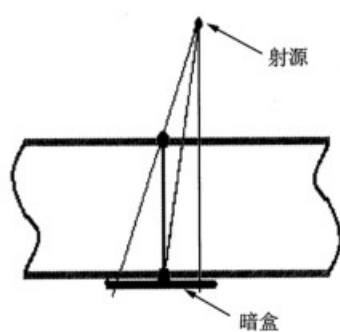


图 D.1 X 射线源双壁单影透照

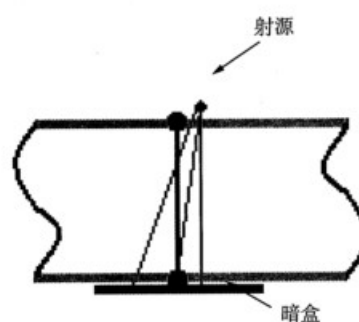


图 D.2 γ 射线源双壁单影透照

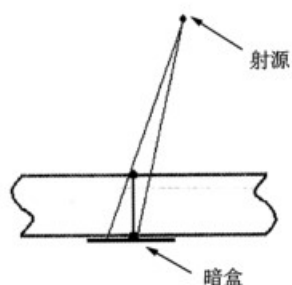


图 D.3 小径管椭圆成像

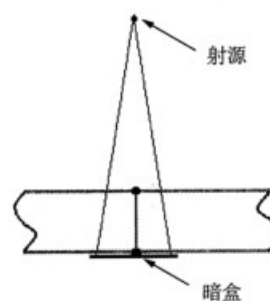


图 D.4 小径管垂直透照

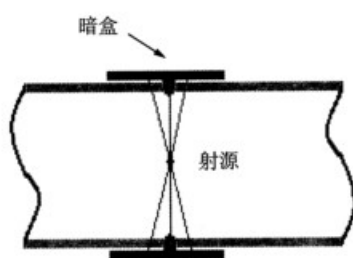


图 D.5 源在中心周向透照

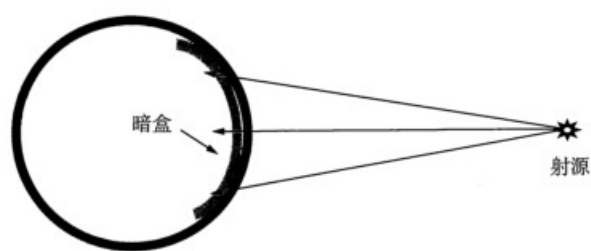


图 D.6 单壁外透

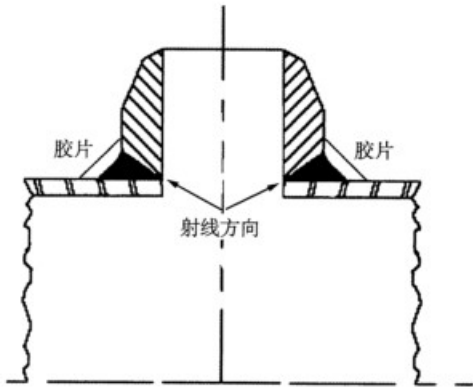


图 D.7 支管连接焊缝射线内透法

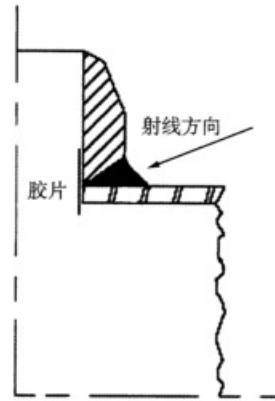


图 D.8 支管连接单壁外透法

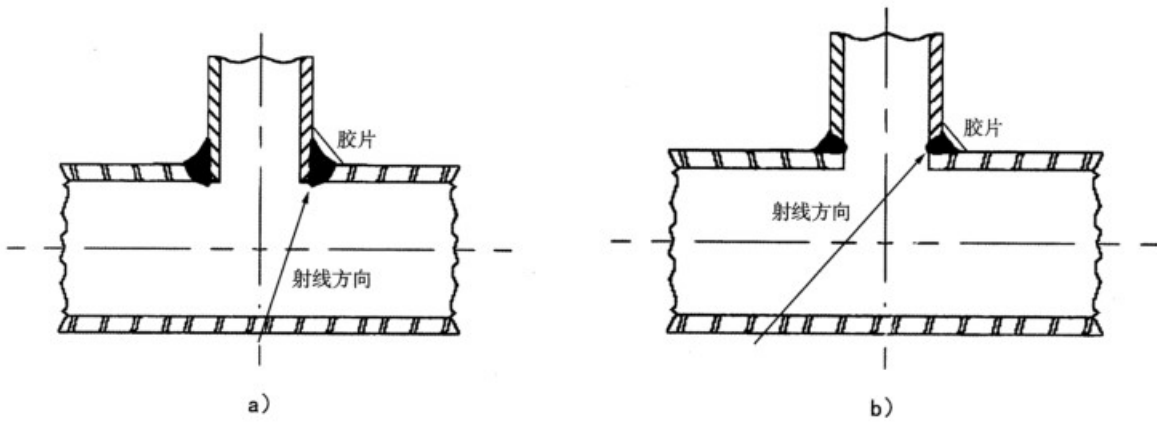


图 D.9 支管连接双壁外透法

附录 E (资料性附录)

典型根部缺陷图示及射线底片影像

E.1 根部未熔合结构示意和底片影像见图 E.1。

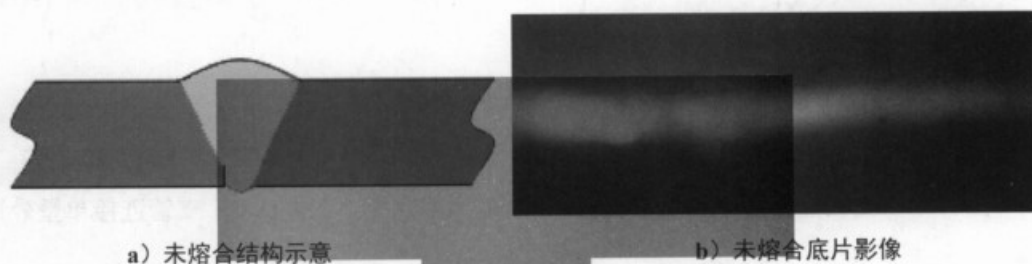


图 E.1 根部未熔合结构示意和底片影像

E.2 根部未焊透结构示意和底片影像见图 E.2-1、图 E.2-2，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 E.2-1 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 E.2-1 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 E.2-2 b)。



图 E.2-1 根部未焊透结构示意和底片影像



图 E.2-2 根部单侧未焊透结构示意和底片影像

E.3 根部咬边结构示意和底片影像见图 E.3，其中根部咬边黑度小于相邻较薄侧母材的黑度的底片影像见图 E.3 b)；根部咬边黑度大于相邻较薄侧母材的黑度的底片影像见图 E.3 c)。

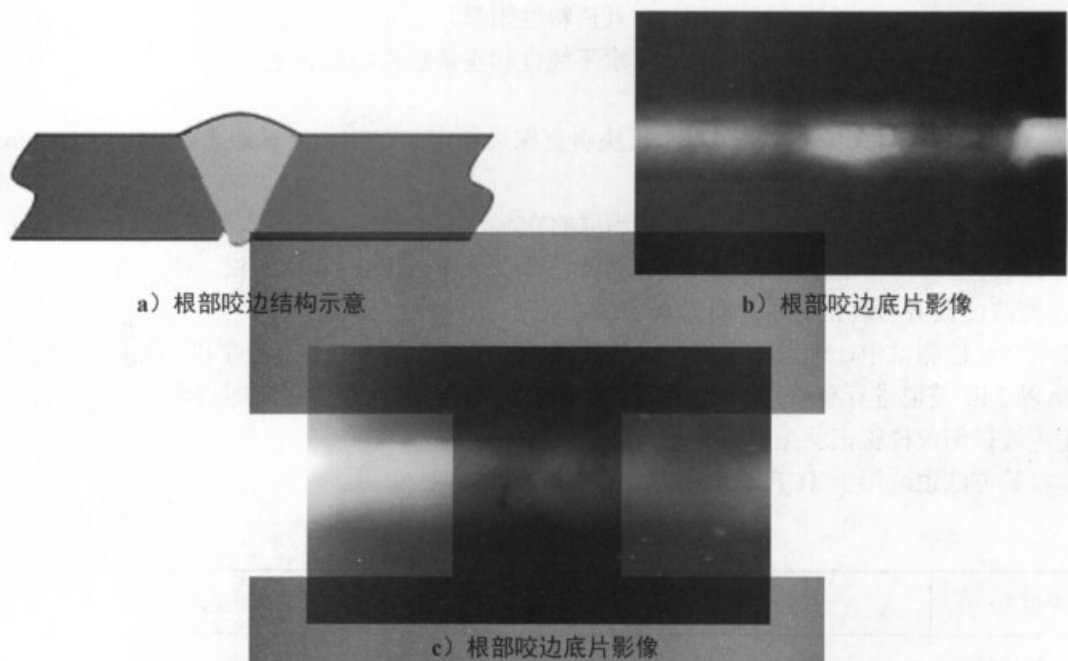


图 E.3 根部咬边结构示意和底片影像

E.4 根部内凹结构示意和底片影像见图 E.4，其中根部内凹黑度大于相邻较薄侧母材黑度的底片影像见图 E.4 b)；根部内凹黑度小于相邻较薄侧母材黑度的底片影像见图 E.4 c)。



图 E.4 根部内凹结构示意和底片影像

附录 F

(资料性附录)

超声波探伤仪水平线性和垂直线性校验方法

F.1 采用 HB-50 回波探头 (或采用探头压块将直探头稳定在 CSK-1A 试块上, 使深度 100mm 底面反射) 形成 5 次回波。

F.2 将第 5 次回波调至荧光屏水平刻度线满屏的 95% 左右位置, 将第 5 次回波设置为 250mm (采用 CSK-1A 试块时第 5 次回波为 500mm), 移动闸门分别至 1、2、3、4 次回波, 读取并记录显示深度数据, 各次回波读数与理论值之差即为水平线性误差。

F.3 在水平线性测试中, 任选 1 个回波, 将其调至屏幕高度的 99.9% (数字机不显示 100%), 之后调整衰减器以 2dB 差值进行衰减, 读取相应的回波幅度, 其值与理论值之差即为垂直线性误差。

F.4 超声波探伤仪校验记录见表 F.4。

F.5 本校验方法也适用于 TOFD 检测仪的校验。

表 F.4 超声波探伤仪校验记录

仪器型号		出厂编号				生产厂家								
1. 垂直线性校验														
波高 (%)	100	79.4	63.1	50.1	39.8	31.6	25.1	20.0	15.8	12.5	10.0	7.9	6.3	5.0
衰减量 (dB)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
实际波高 (%)														
波高差值														
垂直线性误差=														
2. 水平线性校验														
回波次数	第 1 次回波		第 2 次回波		第 3 次回波		第 4 次回波		第 5 次回波					
理论值														
实际指示值														
差值														
水平线性误差=														
结论: ☐ 仪器垂直线性和水平线性均符合标准要求; ☐ 不符合要求, 不能使用。														
(合格标准: 垂直线性误差不大于 5%, 水平线性误差不大于 0.5mm。)														
有效期:														
校验员: ××××××		复核: ×××××				年 月 日								

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 0.01dB/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.2.1）；

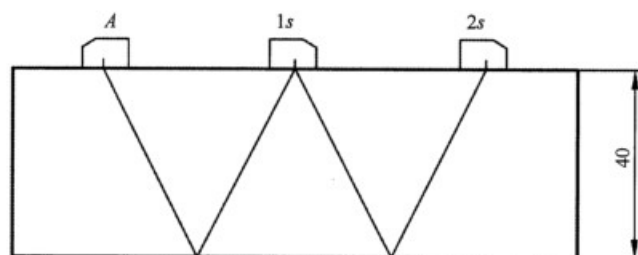


图 G.2.1 超声波衰减的测定

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.2.1 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 α_H 可按式 (G.1) ~ 式 (G.4) 计算。

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

$$S_1 = 40 / \cos \beta_s \quad \text{..... (G.2)}$$

$$S_2 = 80 / \cos \beta_s \quad \text{..... (G.3)}$$

$$\Delta = 20 \lg(S_2 / S_1) \quad \text{..... (G.4)}$$

式中：

α_H —— 衰减系数；

S_1 、 S_2 —— 分别为 1s、2s 处的声程，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，一般约为 6dB；

H_1 、 H_2 ——反射波幅值，dB；

β_s ——横波折射角，°。

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.3.2 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)。

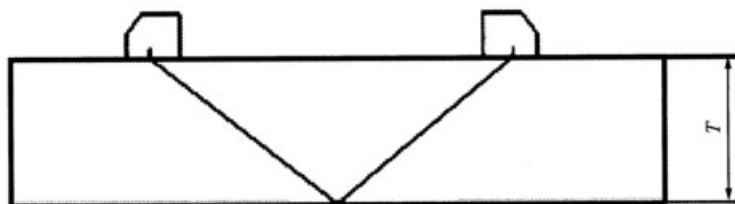


图 G.3.2 传输损失的测定

G.3.3 用与图 G.3.2 同样的探头和同样的布置，在同样厚度的受检工件上（不通过对接焊接接头）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 ΔV 可按式 (G.5) 计算。

$$\Delta V = H_1 - H_2 \quad \text{..... (G.5)}$$

式中：

ΔV ——工作表面传输损失，dB。

附录 H
(资料性附录)
常用磁化方法

表 H.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 H.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 I
(规范性附录)
非标准温度渗透检测工艺鉴定法

I.1 概述

当渗透检测不可能在 5℃~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。

I.2 鉴定方法

I.2.1 温度低于 5℃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,则可以认为拟采用的低温检测方法经过鉴定是可行的。

I.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,则可以认为拟采用的较高温度检测方法是经过鉴定可行的。

附录 J

(资料性附录)

TOFD 检测仪与探头组合频率校验方法

J.1 组合频率校准

将 TOFD 仪器和探头按工艺要求进行设置,在对比试块、模拟试块或受检工件上进行扫查,将主声束检测到的缺陷波调整为满屏的 50%,选取直通波的 1.5 个周期,记录直通波宽度 1.5 个周期的时间 t ,根据式 (J.1) 即可算出仪器和探头的组合频率。

$$f=1.5/t \quad \text{..... (J.1)}$$

式中:

f ——组合频率, MHz。

t ——直通波 1.5 个周期的时间, μs 。

J.2 组合频率校准结果评定

组合频率不超过探头标称值的 $\pm 10\%$ 为合格。

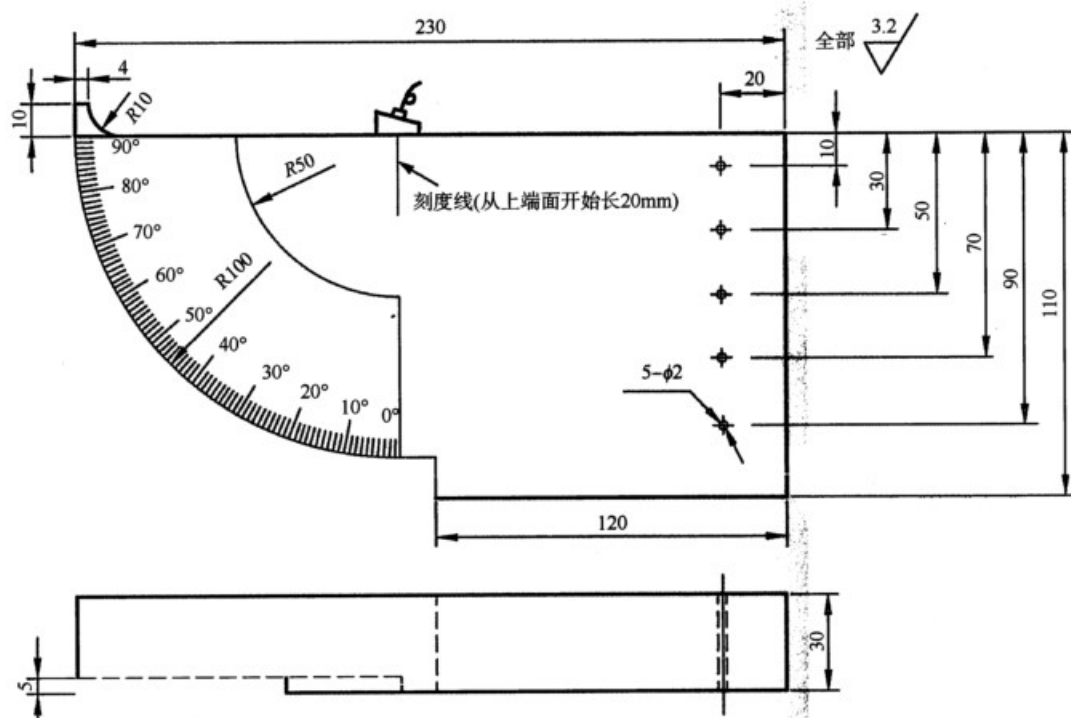
附录 K

(资料性附录)

TOFD 仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测试方法

K.1 将发射探头（带角度楔块）入射点对准图 K.1 的 $R100$ 圆弧中心；

K.2 接收探头（不带楔块）在 $R100$ 弧面进行移动，找出最大波幅，调整增益，使最大波幅达满屏的 80%；再沿 $R100$ 弧面上、下移动使接收回波高度降至 20%，读取相应的角度值，则上、下角度覆盖的范围即为 -12dB 声束扩散角。



注：尺寸偏差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，角度偏差不大于 $\pm 0.5^\circ$ 。

图 K.1 -12dB 声束扩散角测试示意图

附录 L
(资料性附录)

奥氏体不锈钢管道对接焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级

L.1 范围

- L.1.1 本附录规定了厚度 10mm~60mm 奥氏体不锈钢管道对接焊接接头相控阵超声检测方法和质量分级。
- L.1.2 厚度 3.5mm~10mm (不包含 10mm) 奥氏体不锈钢管道对接焊接接头参照本标准第 10 章的规定执行。

L.2 探头和人员要求

- L.2.1 相控阵探头的选择参见表 L.2.1。

表 L.2.1 相控阵探头的选择

工件厚度 (mm)	探头频率 (MHz)	探头阵元数量	阵元排列型式	角度范围
$10 < T \leq 25$	≤ 4	32 或 16×2	线阵或双线阵纵波斜探头	$45^\circ \sim 89^\circ$
$25 < T \leq 50$	≤ 4	32×2^a	双面阵纵波斜探头	$45^\circ \sim 89^\circ$
$50 < T \leq 60$	≤ 2.5	64×2^a	双面阵纵波斜探头	$45^\circ \sim 89^\circ$
^a 表示双面阵探头。探头频率、结构和阵元数量可采用制造商的推荐或根据特定需要进行设计。				

- L.2.2 检测人员应接受一定时间的有关奥氏体不锈钢焊接接头相控阵超声检测的培训。对奥氏体不锈钢的材料特性、焊接特性、焊缝组织及声学特性、窄脉冲线阵和面阵探头声场特性有一定了解，能正确分析和处理检测过程中出现的问题。

L.3 对比试块和模拟试块

- L.3.1 对比试块应满足以下要求：
- a) 对比试块的材料应与被检材料相同或相近，试块的中部设置一条对接焊缝，该焊缝的坡口型式应与被检焊缝相似，并采用同样的焊接工艺制成；
 - b) 对比试块的曲率半径应为被检工件曲率半径的 0.9 倍~1.1 倍，平板对比试块适用于外径大于等于 500mm 的管道；
 - c) 对比试块的厚度应为被检工件厚度的 0.9 倍~2.0 倍；
 - d) 对比试块的曲率半径与横孔长度及试块宽度的要求见表 L.3.1；
 - e) 对比试块的形状和尺寸示意如图 L.3.1 所示。对比试块中横孔数量和横孔深度位置应满足被检工件灵敏度曲线制作的要求。

表 L. 3. 1 对比试块曲率半径与横孔长度的要求

对比试块的曲率半径 R (mm)	横孔长度 L (mm)	对比试块的宽度 W (mm)
$R < 100$	20	60
$100 \leq R \leq 200$	30	90
$200 < R$	40	120

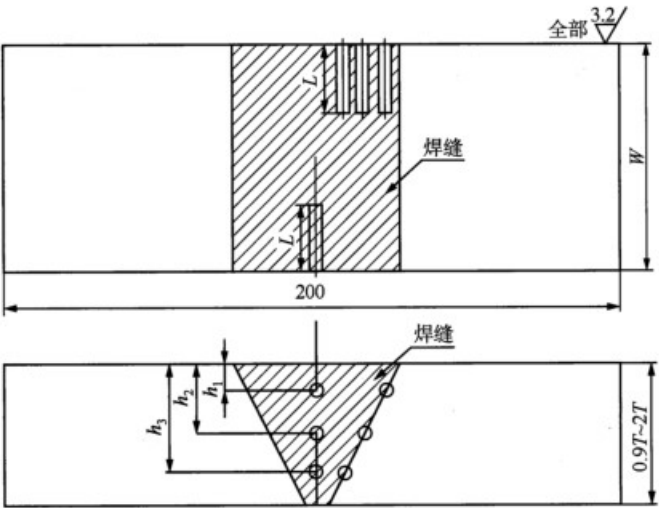


图 L. 3. 1 对比试块的形状和尺寸示意图

L. 3. 2 模拟试块应满足下列要求：

- a) 模拟试块的材料和规格应与被检工件相同或相近，焊接方法应与被检工件相同。模拟缺陷应采用焊接方法制备或使用以往检测中发现的真实缺陷。其缺陷类型为被检件中易出现的典型焊接缺陷，主要包括裂纹、未熔合、未焊透和条状缺陷等。
- b) 试块中的缺陷位置应具有代表性。

L. 4 检测系统灵敏度设置（TCG 和 DAC 曲线）

L. 4. 1 在焊缝两侧进行检测时，用焊缝中心的横孔制作 TCG 或 DAC 曲线；只在焊缝单侧检测时，应使声束通过焊缝利用熔合区横孔制作 TCG 或 DAC 曲线。

L. 4. 2 评定线至定量线以下区域为 I 区；定量线至判废线以下为 II 区；判废线及以上为 III 区。判废线（RL）、定量线（SL）和评定线（EL）的灵敏度见表 L.4.2。

表 L. 4. 2 TCG 或 DAC 曲线曲线灵敏度

厚度 T (mm)	评定线	定量线	判废线
$10 \leq T \leq 50$	$\phi 2-8\text{dB}$	$\phi 2-2\text{dB}$	$\phi 2+3\text{dB}$
$50 < T \leq 60$	$\phi 2-6\text{dB}$	$\phi 2-0\text{ dB}$	$\phi 2+6\text{dB}$

L. 5 检测准备

L. 5. 1 检测区域：检测区域包括焊缝本身及其两侧各 10mm 的区域或实际热影响区（取较小值）。

L. 5. 2 检测面：检测面为焊缝两侧，当由于结构原因只能从焊缝的一侧扫查时应将焊缝余高打磨至与

邻近线材齐平，使探头能在焊缝上进行扫查。

L. 5.3 探头移动区：应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。

L. 5.4 检测标识：检测前应进行标识，内容包括起止点和扫查方向。分段扫查时，还应有分段标识。所有标识应对扫查无影响。

L. 6 检测的一般要求

L. 6.1 耦合剂：推荐采用水作耦合剂，也可采用化学糨糊或机油作耦合剂。

L. 6.2 扫查方式和扫描方式：采用沿线扫查+扇形扫描。

L. 6.3 扫查灵敏度：扫查灵敏度应将最大声程处评定线不低于满屏的 20%，信噪比不低于 6dB。

L. 6.4 回波分析：对波幅超过评定线的回波，应根据回波位置、信号特征及焊缝坡口情况，判断其是否缺陷。

L. 6.5 横向缺陷检测：

- a) 对于外径大于 300mm 的壁厚大于 15mm 的焊口，应增加横向裂纹检测，探头在对接焊缝两侧沿两个方向进行斜平行扫查，探头与焊缝中心线的夹角不大于 10°。
- b) 去除余高的焊缝，横向扫查应将探头置于焊缝表面平行于焊缝进行两个方向的扫查，扫查灵敏度应将各线的灵敏度再提高 6dB；

L. 6.6 表面补充检测：由于焊接接头表面存在一定的盲区，应进行补充检测，补充检测可采用渗透检测法。

L. 7 缺陷定量

缺陷定量按 10.8.4 的规定执行。

L. 8 缺陷评定

L. 8.1 不允许裂纹、未熔合和未焊透缺陷存在。

L. 8.2 对接焊接接头质量分级按表 L.8.2 的规定进行。

表 L. 8.2 对接焊接接头质量分级

工件厚度 t/mm	等级	反射波幅所在区域	允许的单个缺陷指示长度 (mm)
10~60	I	I	≤ 40
		II	小于或等于 $T/3$ ，最小可为 10
	II	I	≤ 60
		II	小于或等于 $2T/3$ ，最小可为 12
	III	II	超过 II 级者
		III	所有缺陷（任何指示长度）
		I	超过 II 级者

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中 华 人 民 共 和 国
石 油 化 工 行 业 标 准
石油化工管道工程无损检测标准
SH/T 3545—2020

*

中国石化出版社出版发行

地址：北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编：100011 电话：(010) 57512500

石化标准编辑部电话：(010) 57512453

发行部电话：(010) 57512575

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

E-mail: press@sinopec.com

北京艾普海德印刷有限公司印刷

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 5.25 字数 144 千字

2021 年 5 月第 1 版 2021 年 5 月第 1 次印刷

*

书号：155114·1830 定价：85.00 元

(购买时请认明封面防伪标识)