中华人民共和国石油天然气行业标准

石油天然气钢质管道对接焊缝超声波探伤及质量分级

Methods for Ultrasonic Inspection and Quality Classification of Welded Girth Butt Joints in Oil and Gas Steel Pipelines

SY 4065—93

主编部门：中国石油天然气总公司基建工程局
批准部门：中华人民共和国能源部
施行日期：1993年9月1日

石 油 工 业 出 版 社

1 9 9 3 · 北 京

目　　次

1　总则 …… (1)
2　探伤仪、探头及系统性能 …… (2)
3　试块 …… (4)
4　检验前的准备 …… (5)
5　仪器调整与校验 …… (7)
6　检验 …… (9)
7　缺陷评定及检验结果的等级分类 …… (11)
8　记录与报告 …… (12)
附录A　SGB试块形状 …… (13)
附录B　SRB试块形状与尺寸 …… (14)
附录C　探头主要参数的测试方法 …… (15)
附录D　仪器扫描线的调整 …… (18)
附录E　DAC曲线板绘制步骤 …… (20)
附录F　表面声能损失差的测定 …… (21)
附录G　对比试块的使用及根部缺陷（未焊透）探测灵敏度 …… (22)
附录H　超声波探伤报告格式 …… (23)
附录L　本标准用词说明 …… (25)
附加说明 …… (26)

能 源 部 文 件

能源技〔1993〕277号

关于批准发布《油气田工程测量规范》等六十项石油天然气行业标准的通知

各有关单位：

《油气田工程测量规范》等六十项标准草案经审查通过，现批准为石油天然气行业标准，予以发布。各项标准的编号、名称如下：

序号	标准编号	标准名称
1	SY 0054—93	油气田工程测量规范（代替SYJ 0054—83）
2	SY 0070—93	油田注水配水间设计规范
3	SY/T 0071—93	油气集输管子及管路附件选用标准
4	SY 0075—93	油罐区防火堤设计规范
5	SY/T 0519—93	原油屈服值测定 U形管法
6	SY/T 0520—93	原油粘度测定 旋转粘度平衡法
7	SY/T 0521—93	原油析蜡点测定 显微观测法
8	SY/T 0522—93	原油析蜡点测定 旋转粘度计法
9	SY 4008—93	抽油机安装施工及验收规范（代替SYJ 4008—86）
10	SY 4011—93	注水泵安装施工及验收规范（代替SYJ 4011—86）

11	SY 4014—93	埋地钢质管道聚乙烯胶粘带防腐层施工及验收规范（代替SYJ 4014—87）
12	SY/T 4055—93	球形储罐γ射线全景曝光技术标准
13	SY 4056—93	石油天然气钢质管道对接焊缝射线照相及质量分级
14	SY/T 4057—93	液体环氧涂料内防腐涂层钢管技术条件
15	SY 4058—93	埋地钢质管道外防腐层和保温层现场补口补伤施工及验收规范
16	SY/T 4059—93	钢质容器防腐和保温工程施工及验收规范
17	SY 4060—93	天然气净化装置设备与管道安装工程施工及验收规范
18	SY 4061—93	稠油热采管道施工及验收规范
19	SY/T 4062—93	长输管道线路敷设流水作业施工工艺
20	SY 4063—93	电气设施抗震鉴定技术标准
21	SY 4064—93	常压立式储罐抗震鉴定技术标准
22	SY 5030—93	石油钻机用190系列柴油机（代替SY 5030—83）
23	SY/T 5102—93	石油勘探开发仪器基本环境试验方法 试验K：高温高压试验（代替SY 5102—85）
24	SY/T 5134—93	石油勘探开发仪器基本环境试验方法 试验G：振动（正弦试验代替SY 5134—86）
25	SY 5200—93	钻柱转换接头（代替SY 5200—87）
26	SY/T 5563—93	DSZ1地震数据增音站

27	SY/T 5564—93	可控震源编码扫描发生器
28	SY/T 5565—93	掺水电子水表
29	SY/T 5566—93	低能源原油含水分析仪
30	SY/T 5567—93	小直径流量含水测试仪检修规范
31	SY/T 5568—93	可控震源电子控制箱体
32	SY/T 5569—93	遥测地震仪电源站
33	SY/T 5570—93	YKZ480遥测数控地震仪
34	SY 5571—93	固井水泥头
35	SY/T 5572—93	钻井用打捞工具分类与通用技术条件
36	SY/T 5573—93	石油物探企业计量器具配备规范
37	SY/T 5574—93	石油天然气地质录井企业计量器具配备规范
38	SY 5575—93	钻杆测试资料处理方法
39	SY 5576—93	钻井队野营房
40	SY 5577—93	套管装卸运输与贮存技术要求
41	SY/T 5578—93	油田地面建设工程施工企业计量器具配备规范
42	SY/T 5579—93	砾岩储集层描述方法
43	SY/T 5580—93	油田用原油破乳剂、污水处理剂技术管理规定
44	SY/T 5581—93	TA1031原油破乳剂
45	SY/T 5582—93	石油勘探开发仪器基本环境试验方法　试验N：宽带随机振动
46	SY/T 5583—93	石油仪器仪表产品标准编写要求
47	SY/T 5584—93	石油勘探开发仪器基本环境试验方法　试验J：密封试验
48	SY/T 5585.1～5585.4—93	地震数传电缆电参数测试方法　特性阻抗和传播时间测试
49	SY/T 5586—93	石油工业成套设备引进合同规范

50	SY/T 5587.4—93	油水井常规修井作业　油层套管封隔器查漏作业规程
51	SY/T 5587.11—93	油水井常规修井作业　可钻式封隔器钻铣工艺作法
52	SY/T 5587.12—93	油水井常规修井作业　抽油泵打捞作业方法
53	SY 5589—93	管式磁防蜡器
54	SY/T 5590—93	冻胶调剖剂性能评价方法
55	SY/T 5591—93	石油企业物资仓储管理工作等级标准
56	SY 5592—93	聚合物冻胶型PIA-605调剖剂
57	SY 5593—93	钻井取心质量指标
58	SY/T 5594—93	水驱砂岩油田开发规划编制方法
59	SY 5490—93	钻井液试验用钠膨润土
60	SY 4065—93	石油天然气钢质管道对接焊缝超声波探伤及质量分级

以上标准自1993年9月1日起施行。

中华人民共和国能源部

1993年3月27日

1 总 则

1.0.1 根据石油天然气管线的特殊条件，确保管线的安全性，同时获得最佳经济效益，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于壁厚为5～30mm，管径为57～1200mm碳素钢和低合金钢石油天然气长输、集输及其他油气管道环向对接焊缝的超声波探伤与评级。

不适用于弯头与直管、带颈法兰与直管、回弯头与直管对接焊缝的超声波探伤与评级。

1.0.3 本标准规定了检验焊缝及热影响区的缺陷，并确定了缺陷位置、尺寸和缺陷评定的一般方法及探测结果的分级方法。

1.0.4 本标准只限于使用手工A型脉冲反射式超声波探伤仪。

1.0.5 从事管道焊缝超声波探伤的检验人员必须掌握超声波管道探伤的基础技术，具备足够的焊缝超声波探伤经验，并掌握一定的材料、焊接基本知识。

1.0.6 从事管道焊缝超声波探伤的检验人员应持有关考核组织颁发的资格证书，从事与考核项目相对应的检验工作。

1.0.7 超声波检验人员的视力应每年检查一次，校正视力不低于1.0。

1.0.8 引用标准包括：

GB 11345 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级

ZBY 230 A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

ZBY 231 超声波探伤用探伤性能测试方法

ZBY 344 超声波探伤用探头型号命名方法

ZBY 232 超声波探伤用1号标准试块技术条件

ZBJ 04001 A型脉冲反射式超声波探伤系统工作性能测试方法

1.0.9 本标准的用词说明见附录L。

2 探伤仪、探头及系统性能

2.1 探 伤 仪

2.1.1 使用A型显示脉冲反射式超声波探伤仪，其工作频率范围至少为1～5MHz，探伤仪应配备衰减器或增益控制器，步进级每档不大于2dB，总调节量应大于60dB，水平线性误差不大于1%，垂直线性误差不大于5%。

2.1.2 超声波探伤仪的其他性能指标以及性能指标的测试方法应符合ZBY 230《A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》的规定。

2.1.3 在设备首次使用及每隔3个月应检查探伤仪的垂直线性和水平线性。

2.2 探 头

2.2.1 采用工作频率为4～5MHz，前沿距离不大于12mm，晶片有效面积不大于96mm²的方晶片斜探头。但探测外径≤159mm管线环缝时，宜采用频率为5MHz的方晶片小径管专用探头。探头晶片边长不应大于8mm，前沿距离不应大于10mm，且探头的接触面应与管壁对中，吻合良好。

2.2.2 探头在钢中的折射角应符合表2.2.2的要求。

探头折射角或K值选择表 表 2.2.2

管壁厚度(mm)	探头折射角(°)	探头K值
5～8	71.5～68.2	3～2.5
>8～30	68.2～56.3	2.5～1.5

2.2.3 探头主声束垂直方向的偏离不应有明显的双峰，水平方向偏离角不应大于2°。

2.2.4 探头应按ZBY 344《超声波探伤用探头型号命名方法》的规定做出标志。

2.2.5 对探测外径大于500mm管线环焊缝的探头其性能测试方法应符合ZBY 231《超声波探伤用探伤性能测试方法》的规定。

对探测外径小于或等于500mm管线的环焊缝的探头，其性能测试方法应符合附录C的规定。

2.3 超声检测系统性能

2.3.1 系统有效灵敏度余量必须大于评定线灵敏度10dB以上。

2.3.2 超声束的近场分辨率应大于6dB。近场分辨率的测试方法应符合附录C的要求。

2.3.3 探头及系统性能必须按表2.3.3规定时间检查。

斜探头及系统性能检查周期表 表 2.3.3

检查项目	检查周期
前沿距离	每次使用及每隔6个工作日
折射角或K值	每次使用及每隔6个工作日
灵敏度余量	每次使用、修补后及每隔一个月
分辨率	每次使用、修补后及每隔一个月
偏斜角	每次使用前

3 试　块

3.0.1　本标准规定采用SGB试块和SRB试块。

3.0.2　SGB试块用于测定探伤仪、探头和系统的性能以及对仪器做调整和校验。SGB试块适用范围见表3.0.2，其形状见附录A。

SGB试块适用范围表（mm）　　表 3.0.2

编　号	弧面半径R	适用管外径φ
SGB-1	30	54～89
SGB-2	48	>89～140
SGB-3	76	>140～210
SGB-4	120	>210～360
SGB-5	200	>360～600
SGB-6	平面	>600

3.0.3　SRB试块用于比较焊缝根部未焊透深度。试块形状和尺寸应符合附录B的要求。

SRB试块允许平行于轴线方向截取，便于现场携带。截取后的试块宽度不宜小于50mm，避免出现端角反射。

3.0.4　试块应采用与被检材料相同或声学性能相近的钢材制成。其材料在φ2平底孔灵敏度探伤时，不得出现大于以φ2平底孔回波幅度1/4的缺陷信号。

4 检验前的准备

4.1 探 伤 面

4.1.1 检验区域的宽度应是焊缝本身再加上焊缝两侧各10mm一段区域。

4.1.2 探头移动区应清除焊缝飞溅、铁屑、油污及其他外部杂质，探伤表面应平整光滑，便于探头自由扫查，其表面粗糙度不应超过6.3μm。

4.1.3 探头移动区的确定应符合下列要求：

4.1.3.1 采用直射法探伤时，探头移动区应大于P。

$$P=\delta K+50 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.3\text{-}1)$$

式中 P——探头移动区，mm；

δ——板厚，mm；

K——折射角正切值。

4.1.3.2 采用一、二次反射波探伤时，探头移动区为P。

$$P=n\delta K+50 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.3\text{-}2)$$

式中 n——一次反射时$n=2$，二次反射时$n=3$。

4.2 焊 缝 表 面

4.2.1 焊缝表面应经外观检验合格，当焊缝表面及探伤面的不规则状态影响检验结果评定时，做适当的修磨，并做圆滑过渡。

4.3 探头参数选择

4.3.1 检验频率应在4～5MHz范围内选择，推荐选用 5MHz。

4.3.2 探头角度应依据被检管线壁厚，预期探测的缺陷种类，按表2.2.2的规定选择。应尽量使直射波扫查到焊缝根部以上区

域，并垂直于主要缺陷的取向。

4.4 耦 合 剂

4.4.1 应选用适当的液体或糊状物作为耦合剂，耦合剂应具有良好的透声性和适宜的流动性，不应对人体和材料有损伤作用，同时便于检验后清理。典型的耦合剂为水、机油、甘油和浆糊，耦合剂中可加入适宜的润滑剂或活性剂，改善耦合性能。

4.4.2 在试块上调节仪器和检验产品应采用相同的耦合剂。

5 仪器调整与校验

5.0.1 时基扫描线刻度按比例调节，可代表缺陷水平距离、简化水平距离、深度h或声程S，应在SGB型试块上作时基扫描调节，扫描比例依据工件厚度和选用探头角度来确定，具体的调整方法见附录D。

5.0.2 距离-波幅曲线（DAC）的绘制要求如下：

5.0.2.1 距离-波幅曲线应按所选用的仪器-探头系统在标准试块上的实测值（波幅）绘制，其绘制方法见附录E，曲线由判废线RL、定量线SL和评定线EL组成。实测绘制的距离-波幅曲线DAC为基准线，各线灵敏度见表5.0.2。评定线至定量线以下为Ⅰ区，定量线至判废线以下为Ⅱ区，判废线及以上为Ⅲ区（见图5.0.2）。

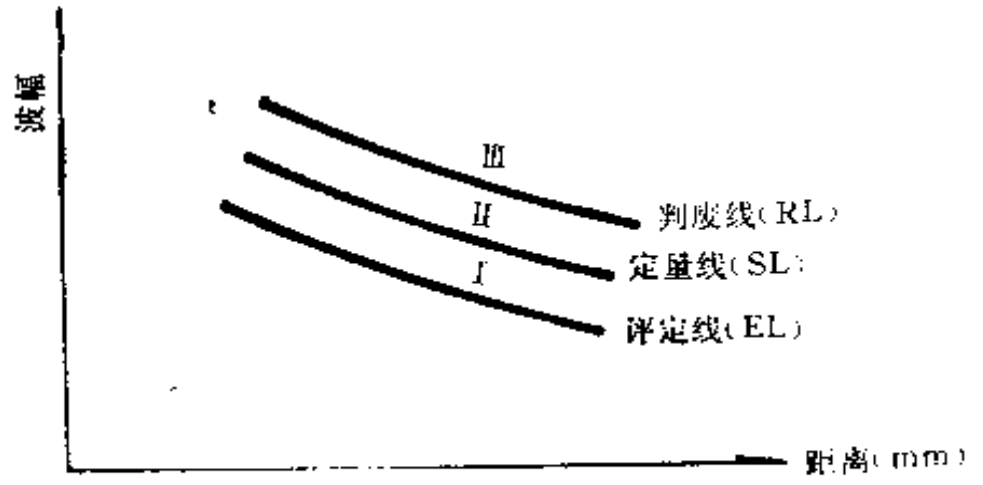


图 5.0.2 距离-波幅曲线

5.0.2.2 受检表面耦合损失应计入距离-波幅曲线，损失差的测定见附录F，在最大跨距声程内最大传输损失差在2dB内不计。

5.0.2.3 在整个检验范围内，曲线应处于荧光屏满幅度的20%

距离-波幅曲线灵敏度　　表 5.0.2

管壁厚度δ(mm)	5≤δ≤30
判 废 线(RL)	DAC−2dB
定 量 线(SL)	DAC−8dB
评 定 线(EL)	DAC−14dB

以上，如果做不到，可采用分段绘制的方法。

5.0.3　为发现和比较根部未焊透深度，应在SRB 试块上测定人工矩形槽的反射波幅度，测定方法应符合附录G 的要求。

5.0.4　每次检验前应在 SGB 试 块上对时基扫描线比例和距离-波幅曲线灵敏度进行调节或校验，校验点应不少于2个。

5.0.5　检验过程中每间隔4小时或检验工作结束后应对时基扫描线和灵敏度进行校验，校验应在SGB试块上进行。

5.0.6　扫描调节校验时，如发现校验点反 射波在扫描线上偏移超过原校验点刻度读数的10%或满刻度的5%（两者取较小值），则扫描比例应重新调整，前次校验后已经记录的缺陷，位置参数应重新测定，并予以更正。

5.0.7　灵敏度校验时，如校验点的反射波比距离-波幅曲线降低20%或2dB以上，则仪器灵敏度应重 新调整，而前次校验完后，检验的全部焊缝应重新检验。如校验点的反射波幅比距离曲线增加20%，或2dB以上，仪器灵敏度 应 重 新 调 整；已经记录的缺陷，应对缺陷尺寸参数重新测定并予以评定。

6 检　　验

6.0.1　检验前探伤人员应了解被检管线的材质、厚度、曲率、组对状况、坡口形式、焊接方法、焊缝种类、焊缝余高、焊缝宽度及沟槽等情况。

6.0.2　采用单面双侧直射法及一次反射法或二次反射法。

6.0.3　探伤灵敏度应不低于评定线灵敏度，对未焊透缺陷的探测灵敏度应不低于SRB试块人工矩形槽反射波峰值点高度。

6.0.4　扫查速度不大于150mm/s，相邻两次探头移动间隔至少有探头宽度10%的重叠。

6.0.5　对波幅超过评定线的反射波应根据探头位置、方向，反射波在荧光屏上的波形和位置及6.0.1条的焊缝情况判定是否为缺陷。为探测纵向缺陷，探头应垂直焊缝中心线做矩形扫查或锯齿形扫查，探头前后移动范围应保证能扫查全部焊缝截面及热影响区。

6.0.6　对反射波幅位于或超过定量线的缺陷以及判定为根部未焊透的缺陷，应确定其位置、最大反射波所在区域和缺陷指示长度，波幅测定允许误差2dB。

6.0.7　缺陷最大反射波幅与定量线SL的dB差，记为 SL±dB。

6.0.8　缺陷位置以获得最大反射波的位置表示，根据相应的探头位置和反射波在荧光屏上的位置确定，在焊缝周向分度点为起点，沿介质流出方向投影，顺时针进行标记。深度标记是以缺陷最大反射波的深度值表示。

6.0.9　当缺陷反射波只有一个高点时，降低6dB相对灵敏度法测定缺陷指示长度；当缺陷反射波起伏变化，有多个高点时，则将缺陷两端反射波极大值之间探头的移动长度定为指示长度。

6.0.10　缺陷指示长度小于10mm时，按5mm计。

6.0.11　相邻两缺陷各向间距小于8mm时，两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

7 缺陷评定及检验结果的等级分类

7.0.1 如缺陷信号具有裂纹等危害性缺陷特征，其波幅不受幅度限制，均评为Ⅳ级，如不能准确判定，应辅以其他检验作综合判定。

7.0.2 缺陷反射波幅位于定量线以下的非危害性缺陷均评为Ⅰ级。

7.0.3 最大反射波位于Ⅱ区的缺陷以及波高小于SRB试块人工矩形槽反射波峰值点的未焊透缺陷，应根据缺陷的指示长度，按表7.0.3的规定予以评定。

缺陷等级分类(mm) 表 7.0.3

评定等级	开口缺陷(未焊透)	非开口缺陷(条形缺陷)
Ⅰ	不允许	不允许
Ⅱ	4%L，最大可为12	4%L，最大可为25
Ⅲ	8%L，最大可为25	8%L，最大可为50
Ⅳ	超过Ⅲ级者	超过Ⅲ级者

注：①L为管道焊缝长度；

②高低错口单侧未焊透，按非开口缺陷处理。

7.0.4 波高大于等于SRB试块人工矩形槽反射波峰值点的未焊透缺陷应评为Ⅳ级。

7.0.5 反射波幅位于判废线或Ⅲ区的缺陷，无论指示长度如何，均评为Ⅳ级。

7.0.6 不合格的缺陷，应予返修。返修区域补焊后，返修部位及补焊受影响的区域，应按原探伤条件进行复验，复验部位的缺陷亦应按本章要求评定。

8 记录与报告

8.0.1 记录的主要内容：管线名称，编号，材质，规格，焊缝代号，焊工号，坡口形式，焊缝种类，表面情况，探伤方法，检验规程，验收标准，使用仪器，探头参数，耦合剂，试块，扫描比例，探伤灵敏度，缺陷性质，指示长度，最大反射波高，指示长度小于表7.0.3的非开口缺陷，检验人员，检验日期。

8.0.2 报告内容：管线名称，规格，编号，类别，探伤方法，探伤比例，探伤部位，验收标准，缺陷情况，返修情况，探伤结论，检验人员及审核人员签字。报告应附有标明焊缝编号和探伤部位的管线系统图。

8.0.3 报告格式见附录H。

附录A　SGB试块形状

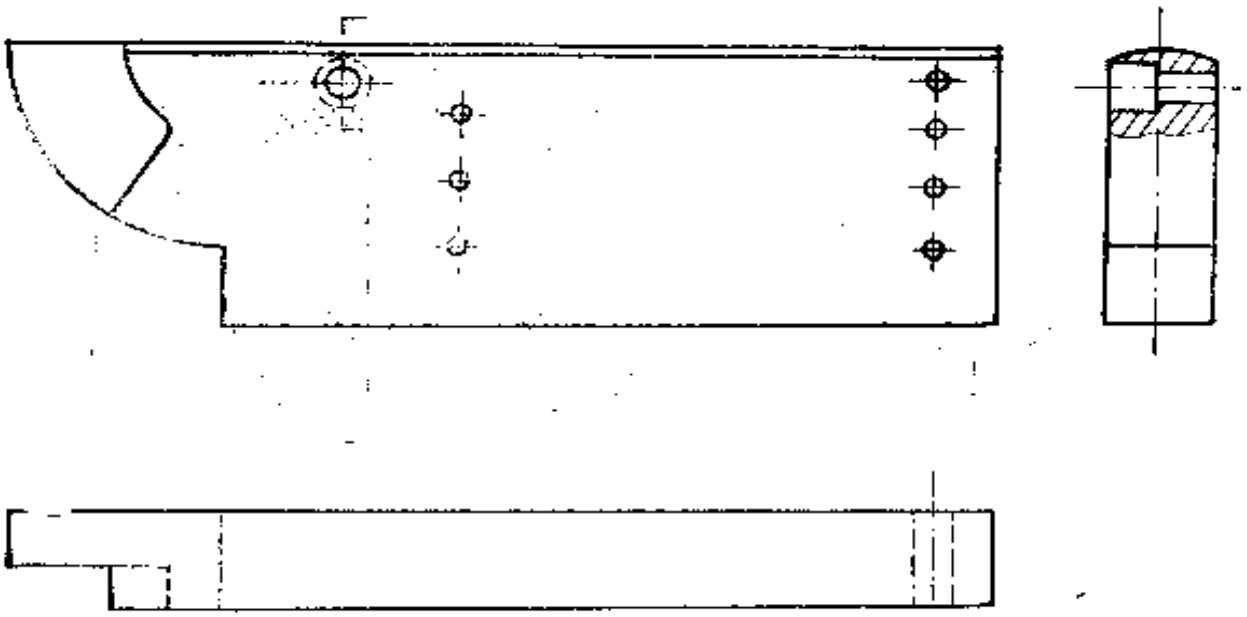
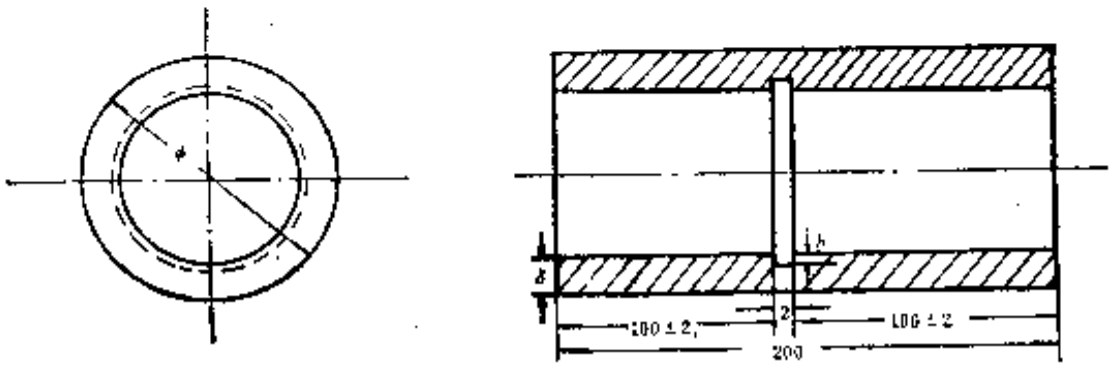


图 A　SGB试块形状

附录B　SRB试块形状与尺寸



图B　SRB试块形状与尺寸

ϕ—被检管线外径；δ—被检管线公称壁厚；h—内壁环状矩形槽的槽深，$h=10\%\delta$且$h\leqslant 1.5$mm

附录C　探头主要参数的测试方法

C.1　斜探头入射点及前沿距离 的测定

C.1.1　按图C.1.1所示，将探头置于SGB基准试块的位置1。

C.1.2　前后移动探头，向R_{25}，R_{50}圆弧面发射 超 声波，直到这两个弧面的回波幅度最大。

C.1.3　与SGB试块侧面圆弧中心记号刻线对应 的探头侧面刻度点为入射点，入射点到探头前端的距离为前沿距离。用刻度尺测出前沿距离，读数应精确到0.5mm。

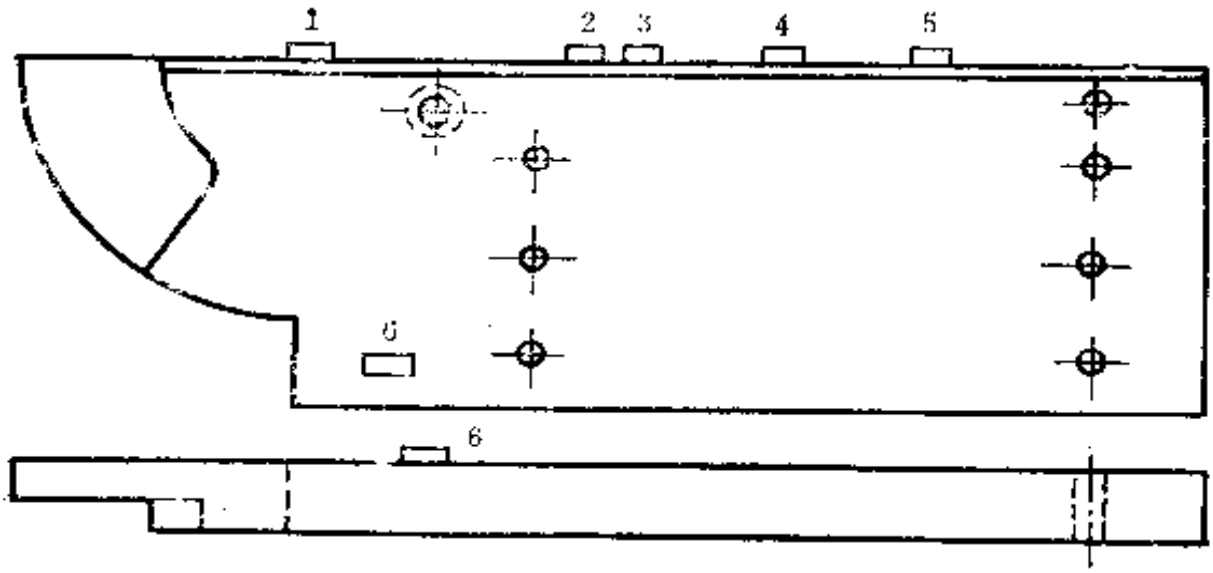


图 C.1.1　探头主要参数测试

C.2　斜探头折射角的测定

C.2.1　按图C.1.1所示，将探头置于SGB试块的位置3，观察深度为30mm的ϕ2横通孔回波。

C.2.2　前后移动探头直到孔的回波最高，固定探头位置。

C.2.3 折射角β的计算。

测定入射点到ϕ2孔中心的水平距离L，

则 $$\beta=\text{arctg}L/h \qquad (C.2.3)$$

式中 L——入射点到ϕ2孔中心水平距离；

h——ϕ2孔中心与探测面垂直距离；

β——斜探头折射角。

C.3 斜探头近场分辨力的测定

C.3.1 按图C.1.1所示，将被测斜探头置于SGB试块的位置2上，探测ϕ8，ϕ4阶梯孔。

C.3.2 前后移动探头，适当调整衰减器，使ϕ8，ϕ4两孔反射波高h相同，均为满幅度的30%～40%，记下衰减器读数D_1。

C.3.3 再调节衰减器，使ϕ8，ϕ4两反射波之间的波谷上升到原波峰高度（见图C.3.3），记下衰减器读数D_2。

C.3.4 衰减器的两次读数差D_2-D_1(dB）为仪器和探头组合分辨率。

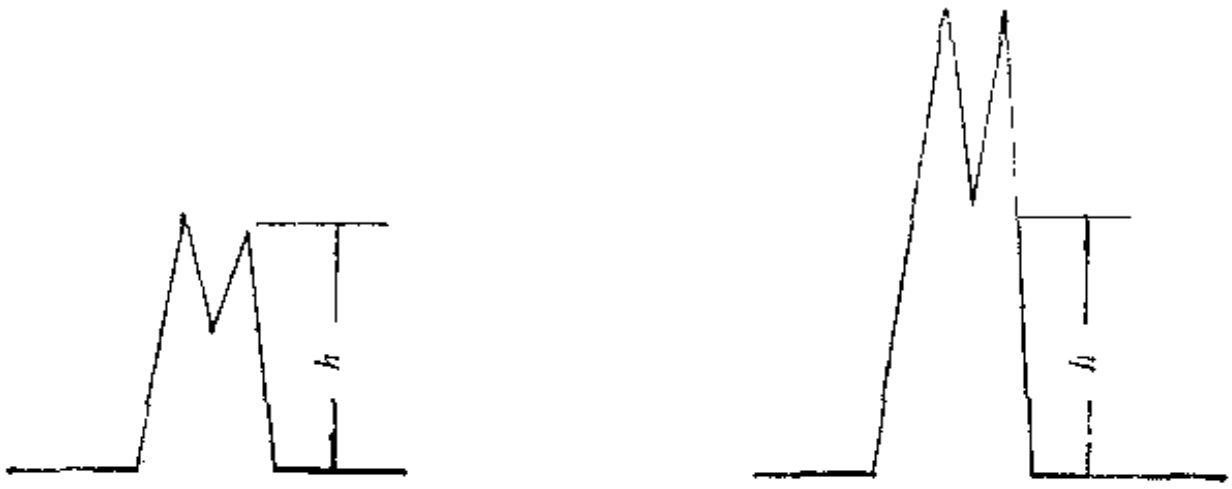


图 C.3.3 斜探头分辨力测定时荧光屏上的波形

C.4 斜探头主声束偏斜的测定

C.4.1 按图C.1.1所示，将探头置于SGB试块的位置6，探测试块的下棱边。

C.4.2 前后移动和左右摆动探头，使所测棱边反射波达到最

大值，然后固定探头，沿探头侧面在试块上划一条直线。

C.4.3 用量角器测量上述直线与试块棱边法线的夹角θ即声轴偏斜角。

C.5 主声轴有无双峰的测定

C.5.1 用斜探头探测$\phi 2\times 20$横通孔。

C.5.2 按图C.1.1所示，将探头分别置于位置3，4，5，保持声轴与试块侧面平行，前后移动探头，使横孔反射波最高，并在附近位置前后移动探头，观察波形变化情况。

C.5.3 按上述方法依次探测不同深度的横孔，测定不同深度上声束垂直方向有无双峰（见图C.5.3）。

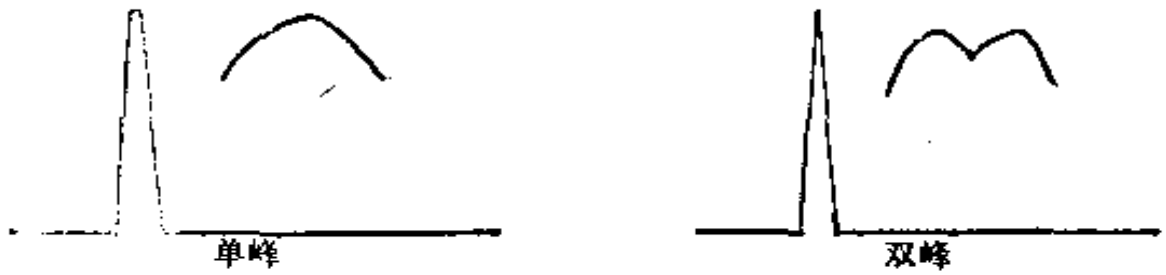


图 C.5.3 单、双峰示意图

附录D　仪器扫描线的调整

D.1　按水平距离调节仪器扫描线

D.1.1　计算图D所示的SGB试块R_{25}和R_{50}圆弧面反射波对应的水平距离L_1，L_2

$$L_1=\frac{K\cdot R_{25}}{\sqrt{1+K^2}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(D.1.1-1)}$$

$$L_2=\frac{K\cdot R_{50}}{\sqrt{1+K^2}}=2L_1 \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(D.1.1-2)}$$

式中　K——斜探头的实测K值。

D.1.2　将探头置于图D所示的位置上，使R_{25}和R_{50}圆弧面的反射波在荧光屏上均达到最大。

D.1.3　调节仪器的水平和微调旋纽，使R_{25}和R_{50}反射波分别对准荧光屏上的水平刻度线L_1，L_2，则按水平距离调节的扫描速度为1：1。

D.2　按深度调节仪器扫描线

D.2.1　计算图D所示的SGB试块R_{25}和R_{50}圆弧面反射波对应的深度d_1，d_2。

$$d_1=\frac{R_{25}}{\sqrt{1+k^2}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(D.2.1-1)}$$

$$d_2=\frac{R_{50}}{\sqrt{1+k^2}}=2d_1 \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(D.2.1-2)}$$

D.2.2　采用D.1.2，D.1.3的操作方法，使R_{25}和R_{50}反射波分别对准荧光屏上的水平刻度线d_1，d_2，则按深度调节的扫描速度为1：1。

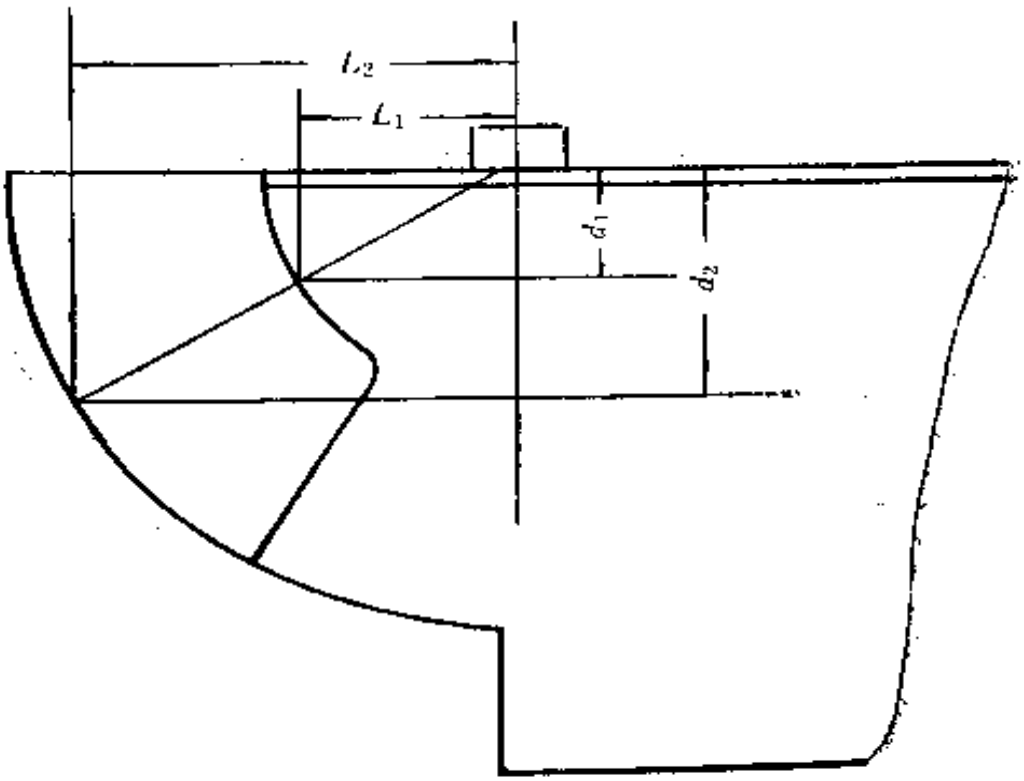


图 D　扫描线调节示意图

附录E　DAC 曲线板绘制步骤

E.0.1　将测试范围调整到探伤使用最大探测范围，并按水平或深度法调整时基扫描比例。

E.0.2　依据工件曲率选择合适的基准试块SGB，选取能产生最大反射波幅的横孔为第一基准孔。

E.0.3　调节"增益"，使该孔的反射波为荧光屏满幅度的80%，将其峰值点标记在荧光屏前辅助面板上。依次探测其他横孔，并找到最大反射波高，分别将峰值点标记在辅助面板上，用曲线板连接各峰值点即成DAC曲线板。如果分段绘制可调节衰减器，提高基准孔的反射波高度，分段绘制曲线。

E.0.4　将灵敏度提高8dB，将表示定量线灵敏度再提高6dB或降低6dB，该线将分别代表评定线和判废线。

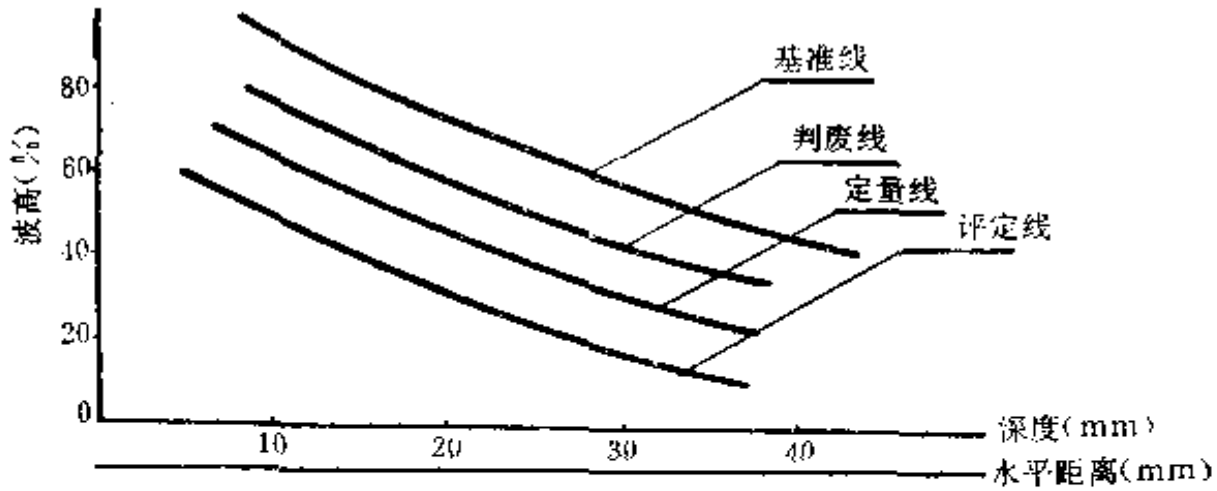


图 E　距离-波幅曲线

附录F　表面声能损失差的测定

F.0.1　取与工件同材质、同曲率、同厚度且表面粗糙度与SGB试块相同的曲面状试块。

F.0.2　用两个同型号的斜探头置于曲面试块的凸表面上，做一发一收探测，探头间距应约为实际检验时探头至焊缝截面中心距离的两倍。找到接收波的最大波幅，调节衰减器，使波高仍为满刻度的60%。

F.0.3　用同样的方法，使斜探头置于工件上，不通过焊缝做一发一收的探测，再调节衰减器，使波高仍为满刻度的60%。

衰减器的两次读数差，即为表面声能损失差。

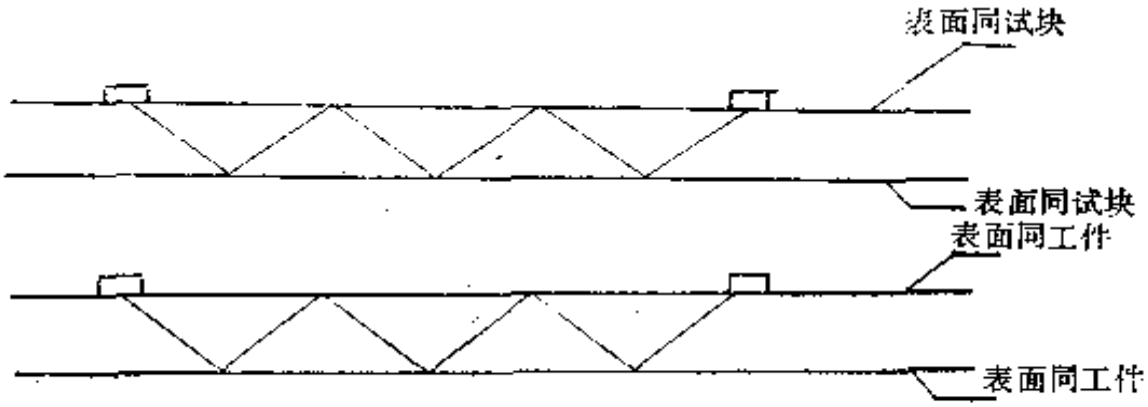


图 F　表面声能损失差的测定

附录G　对比试块的使用及根部缺陷(未焊透)探测灵敏度

G.0.1　在辅助面板图E上，保持仪器旋钮不变。

G.0.2　在所探管材上截取200mm长的一段，在 1/2 处加工矩形槽，槽宽为2mm，槽长大于40mm，槽深为壁厚10%，且不大于1.5mm，误差为+10%～−20%。

G.0.3　探测矩形槽并找出最高反射波将其峰值点标记 在辅助面板上，该峰值点波高即为未焊透缺陷的起始灵敏度。

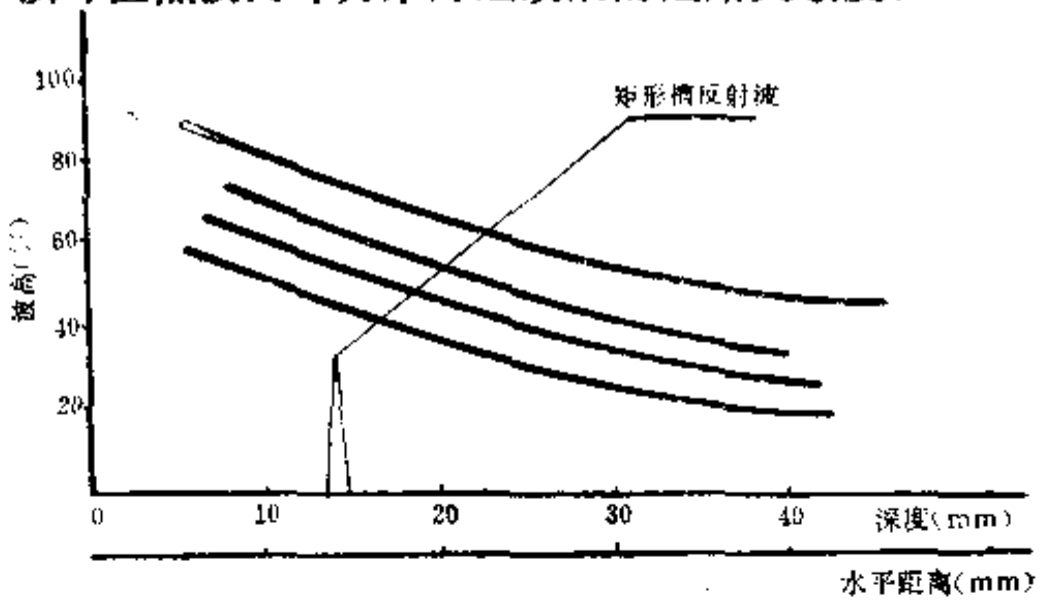


图 G　根部未焊透灵敏度标记示例

附录H　超声波探伤报告格式

超声波探伤报告（正面）

管道名称		规格	
管道类别		材质	
编号		合格级别	
探伤方法		焊接方法	
表面状态		坡口型式	
耦合剂及耦合方式		仪器型号	
工作频率		增益	
抑制		扫描调节	
试块型号		探伤比例	
探头参数		晶片尺寸	
验收标准			

附管道系统图及缺陷部位图。

超声波探伤报告（背面）

报告编号

报告日期　　年　月　日

焊口编号	缺陷编号	最大反射波幅	指示长度（mm）	评级	一次返修	二次返修	备注

主管：　　　　　　　审核：　　　　　　　检验员：

附录L　本标准用词说明

L.0.1　执行本标准条文时，对要求严格程度的用词作如下规定，以便执行时区别对待。

L.0.1.1　表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

L.0.1.2　表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

L.0.1.3　对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

L.0.2　条文中指定应按其他有关标准和规范执行的写法为：

L.0.2.1　“应按……执行”或“应符合……要求”或“规定”。

L.0.2.2　非必须按所指定的标准和规范执行的写法为“可参照……”。

附 加 说 明

主编单位：华北石油管理局第二油田建设公司

参加单位：中国石油天然气第一建设公司

中国石油天然气第八建设公司

中国石油天然气总公司工程技术研究所

主要起草人名单：李洪录、林绳准、韩建荒

中华人民共和国石油天然气行业标准

石油天然气钢制管道对接焊缝超声波探伤及质量分级

Methods for Ultrasonic Inspection and Quality Classification of Welded Girth Butt Joints in Oil and Gas Steel Pipelines

SY 4065—93

条 文 说 明

石 油 工 业 出 版 社

1 9 9 3 · 北 京

制 订 说 明

根据石油天然气总公司（90）中油科字第53号文和（91）中油科字142号通知的要求，由华北石油管理局第二油田建设公司负责主编，中国石油天然气总公司第一建设公司、第八建设公司和工程技术研究所参编的《石油天然气钢制管道对接焊缝超声波探伤及质量分级》标准，经中华人民共和国能源部一九九三年三月二十七日以277号文批准发布。

在标准的编制过程中，编写人员遵照国家有关方针、政策进行了比较广泛的调查研究，认真总结了石油天然气行业无损检测方面的经验，并广泛地征求了石油施工企业等各方面的意见，经过反复的讨论和修正，最后由中国石油天然气总公司基建工程局和石油施工专业标准化委员会组织有关单位审查定稿。

本标准共分8章和9个附录，其主要内容包括：总则；探伤仪、探头及系统性能；试块；检验前的准备；仪器调整与校验；检验；缺陷评定及检验结果的等级分类；记录与报告等。

为便于广大施工和检验等有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文的规定，本标准的编写人员还依照国家有关规定，按照正文的章、节、条的顺序编写了标准的条文说明，供大家参考。

鉴于本标准系初次编写，希望各单位在执行过程中，结合实践，认真总结经验，注意积累资料，将标准的修正、补充意见与有关资料寄交河北任丘华北石油管理局第二油田建设公司质检科或天津塘沽津塘公路40号石油天然气总公司工程技术研究所标准室，以便今后修改时参考。

华北石油管理局第二油田建设公司

1993年3月

目　　次

1　总则 ……（1）
2　探伤仪、探头及系统性能 ……（3）
3　试块 ……（6）
4　检验前的准备 ……（10）
5　仪器调整与校验 ……（11）
6　检验 ……（12）
7　缺陷评定及检验结果的等级分类 ……（13）

1 总 则

1.0.1 《石油天然气钢制管道对接焊缝超声波探伤及质量分级》标准在制定过程中，主要参考了美国标准ASME《锅炉及压力容器规范》无损检验第V卷指导性文件，参照了美国石油学会API 1104《石油管道焊缝质量射线检验标准》与我国行业标准JB 1152《锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》和国家现行标准GB 11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》的有关内容，并结合石油建设工程油气管道施工的特点，总结了石油天然气行业无损检测的经验。本标准切实解决了油气管道施工质量与进度兼顾等问题，降低了工程造价，简化了施工工艺，取得了最佳经济效益。

1.0.2 本标准适用范围定为母材厚度为5～30mm，管道外径为57～1200mm的碳素钢和低合金钢管道对接环焊缝的超声波探伤

油气田常用管径　　表1

规格			
ϕ60×6	ϕ89×10	ϕ159×5	ϕ426×7
ϕ76×6	ϕ89×12	ϕ159×8～12	以下为螺纹管
ϕ76×7	ϕ114×5	ϕ168×5	ϕ426×6
ϕ76×9	ϕ114×9	ϕ219×6	ϕ426×7
ϕ76×10	ϕ114×10	ϕ219×8～20	ϕ457×6(7)
ϕ89×7	ϕ127×5	ϕ273×7～22	ϕ508×6(7)
ϕ89×8	ϕ127×10	ϕ325×7	ϕ529×6(7)

与评级，基本包括了油气田常用的管道。根据SYJ 4001《长输管道线路工程施工及验收规范》、SYJ 4002《长输管道站内工艺管线工程施工及验收规范》和SYJ 4022《油田集输管道施工及验收规范》的规定，将常用油气管道的规格划分如表1。

1.0.5 除一般要求外，检验人员还应对管道的对接环焊缝有丰富的实际组对焊接经验，充分了解超声波的散射特点、几何反射波的特点及影响因素，能正确鉴定缺陷信号和干扰波信号，能正确分析各种反射信号产生的原因。

2　探伤仪、探头及系统性能

2.1　探　伤　仪

2.1.1　对使用A型显示脉冲反射式超声波探伤仪，强调其工作频率范围含5MHz，是为适应国产探伤仪。如：CTS-22，CTS-23，CTS-26等仪器均能满足上述要求，保证小径薄壁管探伤灵敏度和近场分辨力，并与SGB系列试块匹配。

2.2　探　　头

2.2.1　本条规定了选用斜探头参数。其斜探头参数皆来自编者进行的大量试验。

一、小径管对接焊缝超声波探伤的主要困难：

1．几何散射作用：超声束在通过异性介面时会产生折射现象，折射方向可按下式计算：

$$C_1/C_2=\sin\alpha/\sin\beta \qquad (1)$$

式中　C_1——第一介质的声速，m/s；

C_2——第二介质的声速，m/s；

α ——第一介质的入射角（°）；

β ——第二介质的折射角（°）。

当探头楔块与钢管吻合时，在声束的边缘会产生强烈的散射现象，从而降低探伤灵敏度，晶片直径越大，散射越严重。且晶片的装配精度亦对散射有影响，当晶片装偏时将增加声能的散射。

2．几何反射波的影响：晶片尺寸较小，指向性变差。工件壁厚较薄，又造成几何反射波很多，使波型杂乱，难以鉴别。

3．缺陷定位的影响：由于几何反射信号的存在，往往要靠精确的水平定位方法进行缺陷判别。

二、解决途径：

1. 采用装配精度较高的小晶片可以减少声能的散射损失。试验证明，晶片尺寸为6～12mm时，散射现象不十分严重，探伤灵敏度能够满足要求。

2. 只有设法减小声场的指向性系数，才能减少几何散射讯号。由指向系数公式（2）可知，采用方晶片$K=1$，优于圆晶片

$$\theta=\arcsin K(\lambda/D) \qquad (2)$$

式中 K——声场的指向系数；

λ——波长，mm；

θ——半扩散角，（°）；

D——晶片宽度，mm。

$K=1.22$，因为增高频率（减小波长）和减小晶片直径都可使θ值减小。因此选用边长D不太小的5MHz的方晶片可使几何反射波大大减小。

3. 必须利用远场区进行定位。由公式（3）可知，

$$N=\frac{F}{\pi\cdot\lambda s_2}\cdot\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \qquad (3)$$

式中 N——近场区长度，mm；

F——晶片面积，mm^2；

λs_2——第二介质中横波波长，mm。

可知，在λ一定时，必须减小晶片尺寸。试验和计算表明，当管壁厚为30mm时，方晶片长边小于或等于10mm可以满足探伤要求；当管壁厚小于等于15mm时，方晶片长边小于或等于12mm可以满足探伤要求。

2.3 超声检测系统性能

2.3.1 根据SGB-2系列试验，当人工矩形槽槽深为0.6mm，波高为满幅的60%时，衰减器刻度为32dB。对槽深0.6mm以下，并采用普通探头，配用衰减器总调节量为60dB的仪器进行检测，且考虑本标准规定被测管壁厚度为30mm以下，故定灵

敏度余量为10dB。

2.3.2 近场分辨力大于6dB，是采用普通短前沿探头，晶片尺寸最大为12mm×8mm时测定，大于6dB时，反射波分辨清晰能满足检测要求。

3 试 块

3.0.1 本标准中选用较通用的ϕ2×20长横孔作为标准试块的标准反射体，并构成SGB-1～6一组标准试块。

一、标准试块探测面曲率半径的确定，是根据美国ASME标准第五章T543.3.2，当直径小于等于500mm时，标准试块探测面是曲面，一个单一曲面的标准试块可用于校准表面曲率范围为标准试块直径的0.9～1.5倍工件的检验。

二、美国ASME标准第五章T547.1.3.4中指出："对于铁素体钢管中的铁素体焊缝，标准反射体的选用如果能够证明横孔校准能给出等于或大于切槽校准的灵敏度，则可以采用横孔作为管子焊缝的起始验收依据"。

三、JB 1152《锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》中所采用的ϕ2×40长横孔与现行国际GB 11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》中反射体为ϕ3×40长横孔分贝差为2dB，ϕ2长横孔定位误差小，便于组合性能测试，适应不同角度探头，仍然保留长横孔的反射声学特征，故选定SGB标准试块人工反射体为ϕ2×20长横孔。

四、针对管道对接环焊缝未焊透这种常见危害性缺陷，依据美国ASME 1983年版T547.1.3.3，切槽反射体最大反射波为满幅度的80%，在不改变仪器设定值的条件下，操作探头逐步增大距离，并从标准反射体得出最大信号，做出由三点构成的DAC曲线。

五、美国ASME标准T547.1.2中规定：基准标准反射体沿周向切槽，槽宽为3mm，槽深为壁厚的10%，公差为+10%～-20%。我们在试验时，为模拟未焊透将槽宽改定为2mm，槽

深最大值为1.5mm。试验证明，$\phi 2\times 20$的长横孔评定灵敏度高于不同壁厚的切槽灵敏度，故采用横孔作为管子焊缝的起始验收依据。

六、SGB试块横孔长度（即试块厚度）的确定：据《超声场中的短横孔》① 及《超声波在各种参考反射孔上反射规律》②可得远声场中长短横孔间的界线长度L_0为：

$$L_0=2\sqrt{\frac{\lambda S}{2\pi}} \qquad (4)$$

式中 λ——波长，mm；

S——声程，mm。

当采用探测频率为4MHz时，（最小频率）波长λ最大，$\lambda_{max}=0.8075$mm，而采用$K2.5$探头、用二次波探测30mm孔深时，声程S_{max}(mm)最大。

$$S_{max}=\frac{2\delta}{\cos\beta}=\frac{2\times 30}{\cos 68.20^\circ}=161.56 \qquad (5)$$

式中 δ——管道壁厚，mm。

则本标准采用的探伤工艺中涉及到的最大短横孔长度L_{0max}(mm)为：

$$L_{0max}=2\sqrt{\frac{\lambda_{max}\cdot S_{max}}{2\pi}}=2\sqrt{\frac{0.8075\times 161.56}{2\pi}}$$

$$=9.11 \qquad (6)$$

由此可得出本标准中符合长横孔反射规律的最短横孔长度为9.11mm。

考虑到实际探测过程中探头的偏移，声束的偏心，探头移动过程中的稳定，计算中的简便，试块边界效应的影响及试块尺寸的完整，故确定横孔的长度（即试块厚度）为20mm。

3.0.3 关于SRB试块：

①左厚杨，超声场中的短横孔，无损检测技术，1983（4）

②陈锡嘉，超声波在各种参考反射孔上反射规律，锅炉压力容器无损探伤技术，1985(8)

一、SRB试块是针对允许根部有一定限度的未焊透缺陷设计的。人工反射体采用矩形槽，极限槽深定为1.5mm，是参照美国石油学会API 1104《石油输送管道焊缝质量射线检验标准》确定的，其水平相当于该标准的Ⅱ级。

二、通过对槽深在2.5mm以下的人工矩形槽的试验，得出槽深与其回波幅度的对应关系，与传统做法相比有重大的突破。

用DAC基准线灵敏度，测试同声程，不同槽深人工矩形槽分贝差见表2。

不同槽深人工矩形槽分贝差 表2

基准试块		对比试块管径	对比试块		人工矩形槽深	一次水平距	矩形槽回波幅度	灵敏度
探测面半径R (mm)	编号	φ (mm)	编号	壁厚 (mm)	(mm)	(mm)		
54	SGB-2	99	1	13.6	0.6	34	60%-32dB满幅	φ2×20-45dB
					0.8		60%-35dB满幅	
		100	2	13.5	1.0	33.75	60%-36.5dB满幅	
					1.3		60%-38dB满幅	
		110	4	13	1.6	32.5	60%-43dB	
					2.0	32.5	60%-46.5dB	
					2.5	32.5	60%-50.5dB	
					3.0	32.5	60%-54.5dB	

从上述试验的数据中得出两点结论：

1. 灵敏度相同，声程相同，矩形槽槽深不同，其回波幅度，随槽深加大呈上升趋势；

2. 对槽深在2.5mm范围内不同槽深对应回波差异明显，分辨清晰，对管壁厚度30mm以下对接环焊缝根部未焊透缺陷的探伤是可行的。

三、试验的技术条件：

1. 采用国产化超声波探伤仪，CTS-22，CTS-26（23）型，其水平线性误差不大于1%，垂直线性误差不大于5%。是提

高缺陷回波分辨力和波幅差异精度的重要条件，比以前所用仪器具有先进性。

2. 使用的斜探头已小型化，其晶片尺寸不大于96mm²，晶片横向尺寸不大于12mm，声能耦合得以改善。由于采用了方晶片，指向系数$K=1$，优于$K=1.2$的圆晶片，相对提高指向性，利于对矩形槽的分辨检出。

3. 采用5MHz高频率，使波长（λ）相对变短，提高了灵敏度，同时提高了指向性。由下列方晶片扩散角公式（7）可知，

$$\theta=57\lambda/D \qquad (7)$$

当λ变小，扩散角θ也变小，这样有利于微小变量的槽深的分辨和检出。

4　检验前的准备

4.1　探伤面

4.1.1　本条规定了探伤检验的区域为焊缝再加上焊缝两侧各10mm的宽度范围，与现行国际GB 11345一致。

4.1.2　本条规定的探伤面表面粗糙度与国家标准GB 11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》一致，其算术平均值R_a不应超过6.3μm。与旧国标光洁度对照见表3。

新旧国家标准表面粗糙度对照表　　表3

R_a(μm) (GB 1031-83)	▽ (GB 1031-68)	加　工　方　法
100	▽1	粗车、粗铣、粗刨、钻孔、粗锉
50	▽2	
25	▽3	
12.5	▽4	精车、精铣、精刨、扩孔、镗孔、粗磨、精锉
6.3	▽5	
3.2	▽6	

4.1.3　本条规定了检测时探头探头移动区的范围，是为了保证探伤质量，防止漏检。

5　仪器调整与校验

5.0.1　本条规定了时基扫描线刻度的调节方法及扫描比例。

5.0.2　本条规定了距离—波幅曲线（DAC）板的绘制。在使用按本条制作的距离—波幅曲线（DAC）板灵敏度时应注意下列问题：

1．　本标准标准试块人工反射体采用了ϕ2×20长横孔；

2．　现行国标GB 11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》标准试块人工反射体是采用ϕ3×40长横孔；

3．　两反射体的灵敏度对照见表4

两反射体的灵敏度对照表　表4

DAC ＼ 壁厚δ(mm)	8～300 (GB 11345)	5≤δ≤30 (本标准)
判废线	DAC−4dB	DAC−2dB
定量线	DAC−10dB	DAC−8dB
评定线	DAC−16dB	DAC−14dB

4．　据长横孔反射声压计算公式可知，同声程不同孔径长横孔分贝差为：$\Delta_{dB}=10\lg(\phi2/\phi1)$

$\Delta_{dB}=10\lg(3/2)=1.76(dB)\approx2(dB)$

本标准与现行国标比较，其探测灵敏度相当。

5.0.2.2　本条规定受检表面耦合损失应计入评定线是因为工件探伤面粗糙度由于加工方法的不同，会与标准试块表面粗糙度产生差异，因此应进行表面声能损失差的测定，并将其计入评定线灵敏度。

6 检 验

6.0.2 本条规定了检测方法采用单面双侧直射法、一次反射法或二次反射法。在执行本条文时应注意以下几个问题：

一、针对小径薄壁管对接环焊缝是受焊缝根部成形的影响这一突出特点，当成形较好时一般无反射波或反射波较弱；当成形不良时（如透度较大）成形不规则，从焊缝两侧探伤均有根部信号，其特点和未焊透相似。区别方法一是从声程上比较，由于成形反射波略大于标记点，因此必须强调对壁厚测量的必要性；二是用水平定位法区别，根部成形反射波一般在离探头较远一侧，而缺陷波在靠近探头一侧。

二、错边引起的反射信号，GBJ236《现场设备工业管道焊接工程施工及验收规范》中规定："管道对接单面焊错口允许有不超过壁厚10%且不大于1mm的错边量。"当错口出现时，将产生错边反射波，其水平定位在焊缝中心，错边处除产生反射波外，多数还将产生变形纵波和变形横波，并延长至焊缝的加强面，这些波所产生回波信号，可用手沾油拍打加强面来识别。

三、扩散声束引起的加强面反射波往往出现在小径薄壁管，扩散声束经底面反射到焊缝加强面时，将从加强面处产生反射波，处于标记点之间，可据探头位置和水平定位法或用手沾油拍打加强面识别。

四、变形波引起的反射波，当声束扫查到焊缝根部时，在一定条件下将产生变形波，如变形波经加强面返回探头，处在标记点之间，则可用探头位置和水平定位来区别，反射波往往定在焊缝之外。

7 缺陷评定及检验结果的等级分类

7.0.1 本条规定了缺陷等级分类。其分类来源主要采用了美国石油学会标准API 1104《管线及其配件》。

美国石油学会标准API 1104《管线及其配件》，是石油输送管道焊缝质量射线检验标准，该标准将管道缺陷类型分为："允许焊缝根部不完全焊透，单个长度不超过25.4mm，在304mm长焊缝中，总长不得超过25.4mm，如果焊缝长度小于304mm，缺陷总长不得超过焊缝总长的8%，由高低错口造成的不完全焊透，如果焊缝边缘被熔合，高低不平无关重要，单个缺陷的最大长度不超过50.8mm，长度为304mm以上，缺陷总长不超过76.5mm。"上述规定是属开口性缺陷，对非开口性缺陷诸如长形气孔或条渣都适当放宽，体现了对开口缺陷诸如未焊透之类的严格控制和缺陷类别的危害性的重视程度。为向先进国家标准靠拢协调，又根据石油管道的施工特点，本标准引用了API 1104《管线及其配件》标准的缺陷等级分类内容。