



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 8650—2015  
代替 GB/T 8650—2006

## 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法

Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance  
to hydrogen-induced cracking

2015-12-10 发布

2016-11-01 实施

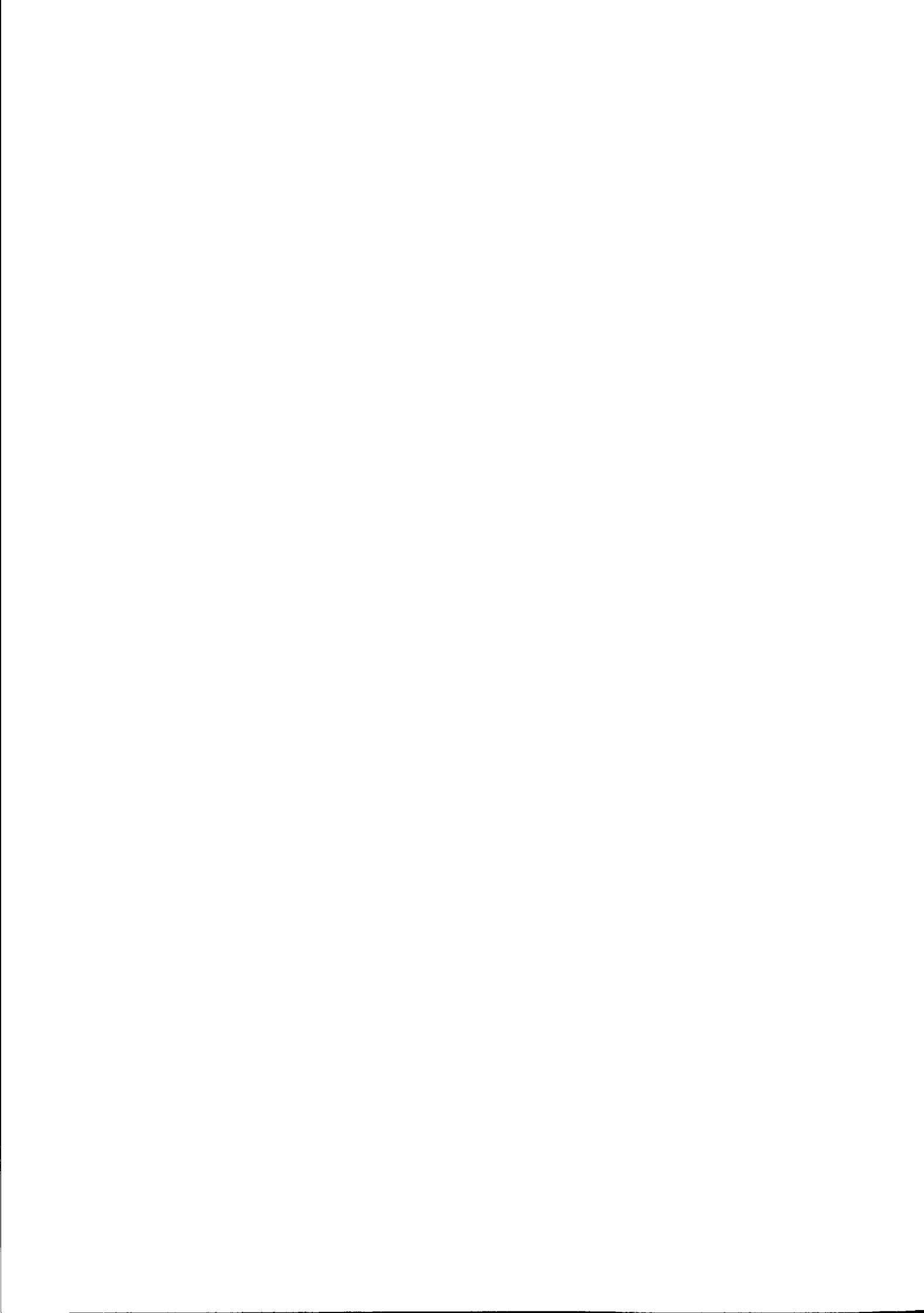


中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 试验原理 .....	1
4 试剂 .....	1
5 试验设备 .....	2
6 钢管试样 .....	2
7 钢板试样 .....	6
8 管件试样 .....	9
9 法兰试样 .....	10
10 试验步骤 .....	11
11 试样评定 .....	12
12 试验报告 .....	14
附录 A (规范性附录) 控制 H <sub>2</sub> S 毒性的安全考虑 .....	15
附录 B (资料性附录) 试验方法补充说明 .....	16
附录 C (规范性附录) 人工海水的配制及化学成分 .....	17
附录 D (资料性附录) 试样除脂效果喷雾试验 .....	18
附录 E (规范性附录) 管件及法兰取样位置示意 .....	22
附录 F (资料性附录) 用碘量法测定试验溶液中 H <sub>2</sub> S 浓度 .....	26
参考文献 .....	28



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 8650—2006《管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法》。与 GB/T 8650—2006 相比主要技术变化如下：

- 增加螺旋焊管试样的取样位置和方向(见 6.2)；
- 增加了储存后试样进行试验的条件(见 6.4)；
- 增加管件、法兰试样的尺寸、取样方向和试样数量、试样制备、试样的清洗和储存(见第 8 章和第 9 章)；
- 增加了管件及法兰取样位置示意(见附录 C)；
- 修改了碘量法中淀粉指示剂滴加的时间(见附录 F)；
- 修改了硫化氢( $H_2S$ )浓度计算公式(见附录 D)。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司、冶金工业信息标准研究院、钢铁研究总院。

本标准主要起草人：施岱艳、李天雷、陈勇彬、侯捷、姜放、曹晓燕、丰涵。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 8650—1988、GB/T 8650—2006。



# 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法

## 1 范围

1.1 本标准规定了管线钢和压力容器钢板以及法兰和管件在含有硫化物水溶液的腐蚀环境中,由于腐蚀吸氢引起的氢致开裂(HIC)的评定方法。

1.2 本标准提供了从每个钢产品类型中取样的尺寸,数量,位置和取向,钢产品的类型包括钢管、钢板、管件和法兰。

1.3 本标准包括小直径(公称直径[DN]50~150,公称管线尺寸[NPS]为2~6)、薄壁(壁厚不大于6 mm)电阻焊(ERW)和无缝钢管的特殊步骤要求。除非本标准中特殊规定,这些小直径、薄壁材料宜与其他钢管用相同的方法进行试验。

1.4 本标准不包含接受或者否决的准则,但 GB/T 20972.2—2008 的第 8 章提供了指南。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 20972.2.2—2008 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 2 部分:抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁

GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素

## 3 试验原理

3.1 本标准的试验方法是将无应力的试样浸泡在下面两种标准溶液中的任一种中。溶液 A,常温常压下,含饱和硫化氢( $H_2S$ )、氯化钠( $NaCl$ )和乙酸(冰醋酸, $CH_3COOH$ )的蒸馏水或去离子水溶液;溶液 B,常温常压下,含饱和  $H_2S$  的人工海水。浸泡规定的时间后,取出试样并进行评定。

3.2 本标准的试验方法不是模拟服役条件。本方法只提供一种具有重现性的试验环境,以便能够在相对短的时间内区别不同钢试样对氢致开裂(HIC)的敏感性。

注:试验时间也许不能够使裂纹在任意试验的钢中扩展到最大,但是已经足够满足本试验的目的。

## 4 试剂

4.1 溶液 A 的试剂应为用于除氧的氮气( $N_2$ )、 $H_2S$  气体(控制  $H_2S$  毒性的安全考虑见附录 A)、 $NaCl$ 、 $CH_3COOH$  和蒸馏水或去离子水。溶液 B 的试剂应为用于除氧的  $N_2$ 、 $H_2S$  和人工海水。

4.2  $NaCl$  和  $CH_3COOH$  应用分析纯的化学药品。

4.3  $H_2S$  气体纯度不小于 99.5%, $N_2$  为高纯氮,水应用蒸馏水或去离子水(见附录 B)。

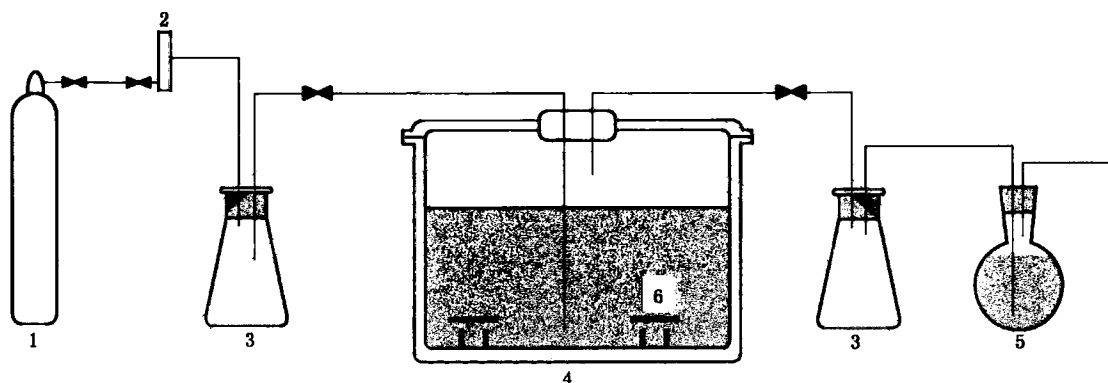
4.4 人工海水试剂应按照附录 C 进行配制。

## 5 试验设备

5.1 图 1 是一个典型的试验装置的示意图。

5.2 试验可以在任何方便的密闭容器中进行,容器应该有足够大的容积放置试验试样,并且具有除氧和导入  $H_2S$  气体的进出口管路。

5.3 试验装置中涉及的任何一种材料都不应污染试验环境或者与试验环境发生反应。



说明:

1——气瓶( $H_2S/N_2$ );

2——流量计;

3——捕集器;

4——试验容器;

5——10%NaOH 溶液;

6——试样。

图 1 典型的试验装置示意图

## 6 钢管试样

### 6.1 试样尺寸

6.1.1 每个试样长度应为  $100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,宽度应为  $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 。

6.1.2 试样厚度为管的整个壁厚,最大为  $30\text{ mm}$ 。如果整个壁厚超过了  $30\text{ mm}$ ,试样最大厚度限制在  $30\text{ mm}$  内,在厚度方向上进行交错(见第 7 章)。每个表面(即内表面和外表面)最多只能各去掉  $1\text{ mm}$ ,试样坯料不允许矫平。

6.1.3 对于小口径薄壁的电阻焊(ERW)和无缝管,试验试样的厚度应至少为管壁厚度的  $80\%$ 。在这种情况下,应直接使用从管线钢管上切取的弧形试样进行试验,试样坯料不允许矫平。

### 6.2 试样数量、取样位置和取样方向

6.2.1 每根试验管应取 3 个试验试样。

6.2.2 焊管应在焊缝、与焊缝成  $90^\circ$  和  $180^\circ$  位置取样。无缝管按圆周等距  $120^\circ$  取样。

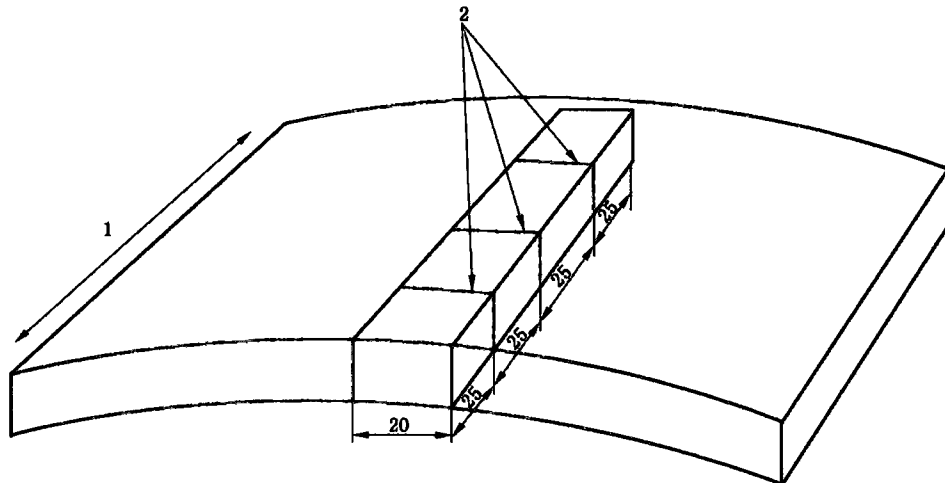
6.2.3 应沿管  $H_2S$  的纵轴方向截取试样:

- 无缝管和直缝焊管的母材金属,应平行于管的纵轴;
- 螺旋焊管的母材金属,应平行于焊缝;
- 直缝和螺旋焊管的焊接区应垂直于焊缝;
- 电阻焊(ERW)钢管的焊接区,应平行于焊缝取样。焊缝应近似位于试样的中心线上。

试样的取样方向和浸泡后切取和检查的位置如图 2~图 6 所示。



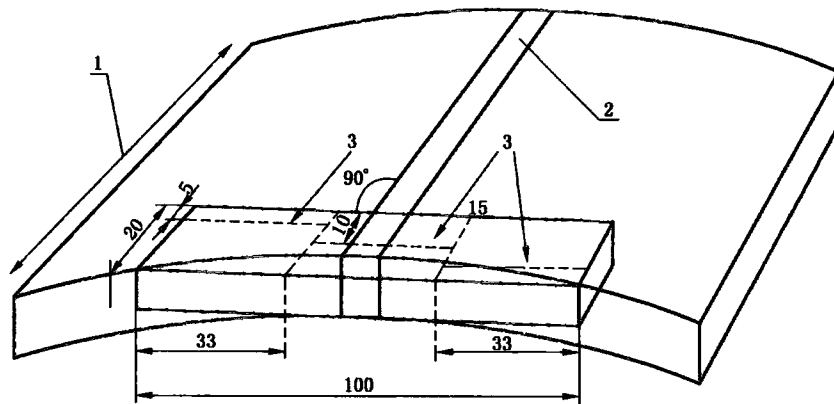
单位为毫米



说明：  
1——钢管的轴向；  
2——检查面。

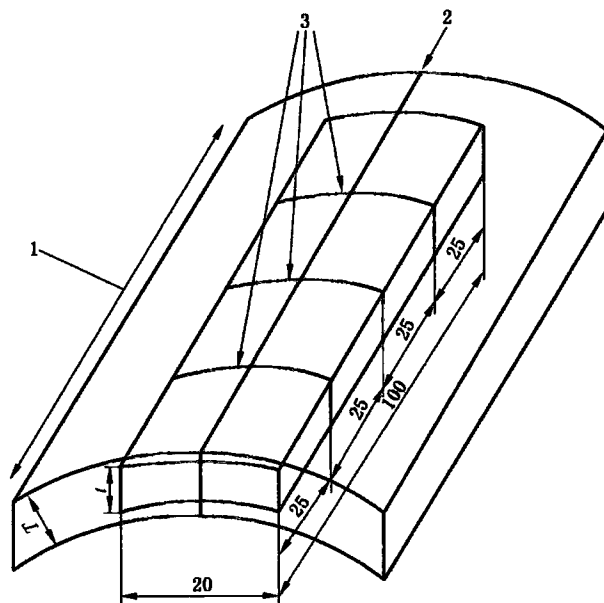
图 2 无缝管和直缝焊管的母材

单位为毫米

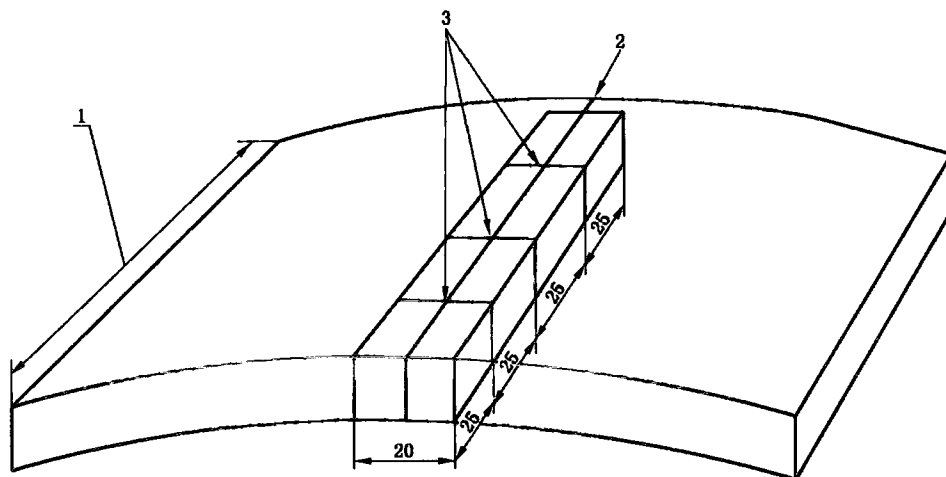


说明：  
1——管子钢管的轴向或者管件焊接位置；  
2——焊缝；  
3——检查面。

图 3 直缝焊管或焊接管件的焊缝区



a) 小口径、薄壁钢管

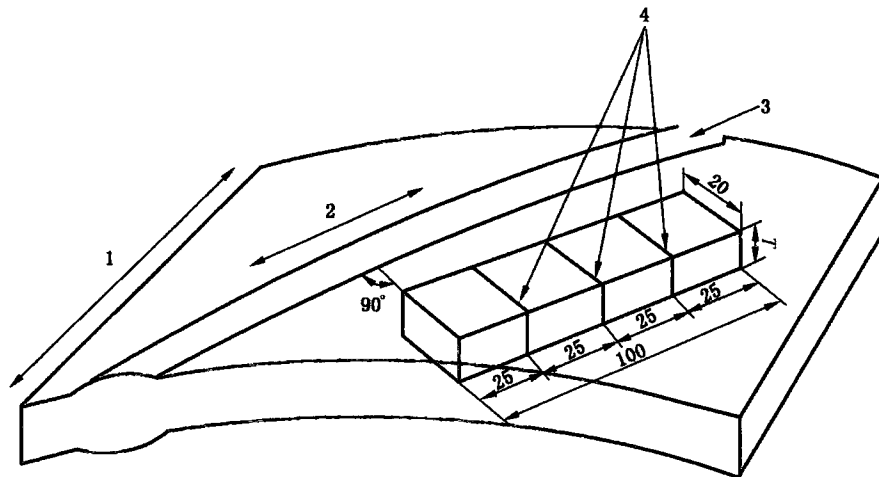


b) 大直径钢管

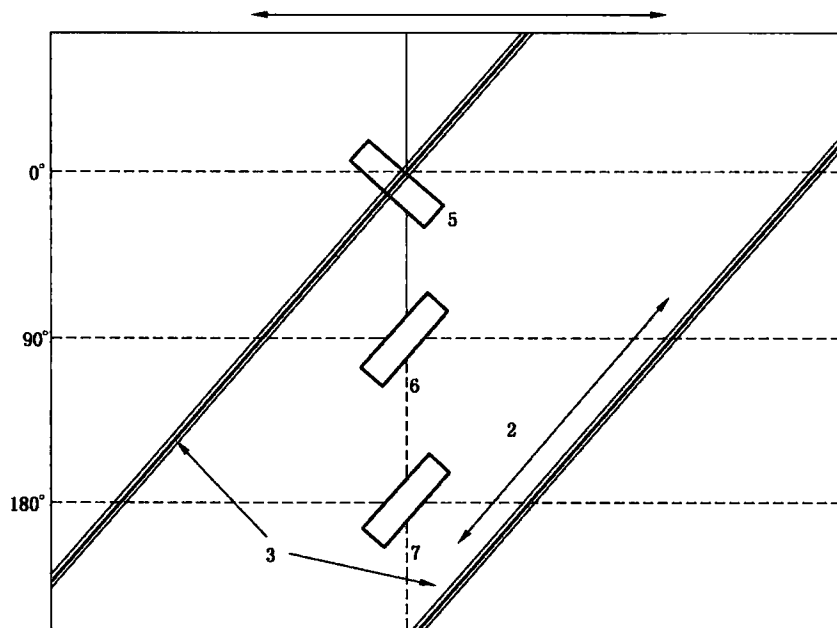
说明:

- 1 ——管子钢管的轴向;
- 2 ——电阻焊缝;
- 3 ——检查面;
- $T$  ——钢管厚度;
- $t$  ——试样厚度。

图 4 电阻焊(ERW)管的焊缝区



a) 螺旋焊管的母材

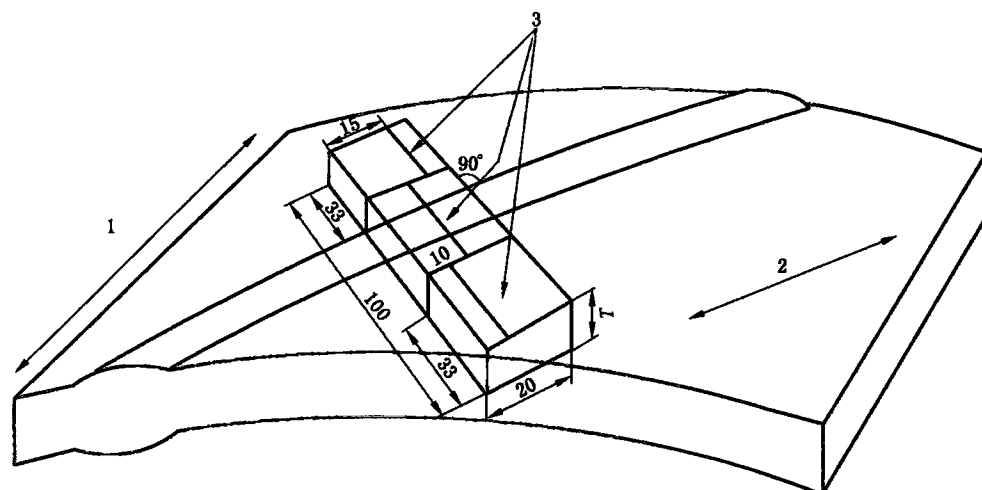


b) 螺旋焊管试样的取样位置和方向

说明:

- 1 —— 管子的轴向;
- 2 —— 轧制方向;
- 3 —— 螺旋焊缝;
- 4 —— 检查面;
- 5 —— 焊缝试样;
- 6 —— 1/4 宽度 90°母材试样;
- 7 —— 1/2 宽度 180°母材试样。

图 5 螺旋焊管试样的母材



说明:

1——管子的轴向;  
2——轧制方向;

3——检查面;  
T——焊管厚度。

图6 螺旋焊管的焊接区

### 6.3 试样制备

6.3.1 可采用任何方便的方法切取试样坯料。如果坯料采用火焰切割,则应用磨、锯或机加工的方法将火焰切割表面的热影响区全部去掉。

6.3.2 每个试样的4个切割表面应进行水磨或干磨处理,最后用不低于P400粒度的砂纸打磨。

6.3.3 试样的切割表面边缘不允许带有涂层,应将试样的六个表面都浸没于试验溶液中。

6.3.4 对于小口径、薄壁的电阻焊(ERW)管和无缝管试样,应先完全清除内外表面的氧化皮。然后进行机加工和/或打磨(干法或湿法),直至最终表面光洁度达到P400粒度砂纸打磨效果。若采用机加工方法,最后两道机加工量所去掉的材料厚度不应超过0.05 mm。

### 6.4 试样的清洗和储存

6.4.1 试验之前,试样应采用合适的溶液除脂,再用专用的溶剂清洗,例如丙酮。每批试样除脂的效果应用附录D中的喷雾试验或其他等效方法来确定。报告中应写入采用的方法。

6.4.2 除脂后的试样在干燥器中储存,应使用附录D中的喷雾试验或其他等效方法来证实从干燥器移入溶液中浸泡期间的除脂的效果。

## 7 钢板试样

### 7.1 试样尺寸

7.1.1 每个试样长度应为100 mm±1 mm,宽度应为20 mm±1 mm。

7.1.2 试样轧制表面最大可去掉1 mm。试样坯料不允许矫平。

7.1.3 试样的厚度应为钢板的整个厚度,最大为30 mm。对于厚度大于30 mm的钢板,试样应按6.2.2和6.2.3所述方法交错取样。用于制造钢管,且厚度大于30 mm的钢板,可以按照6.1.2取样。

## 7.2 试样数量、取样位置和取样方向

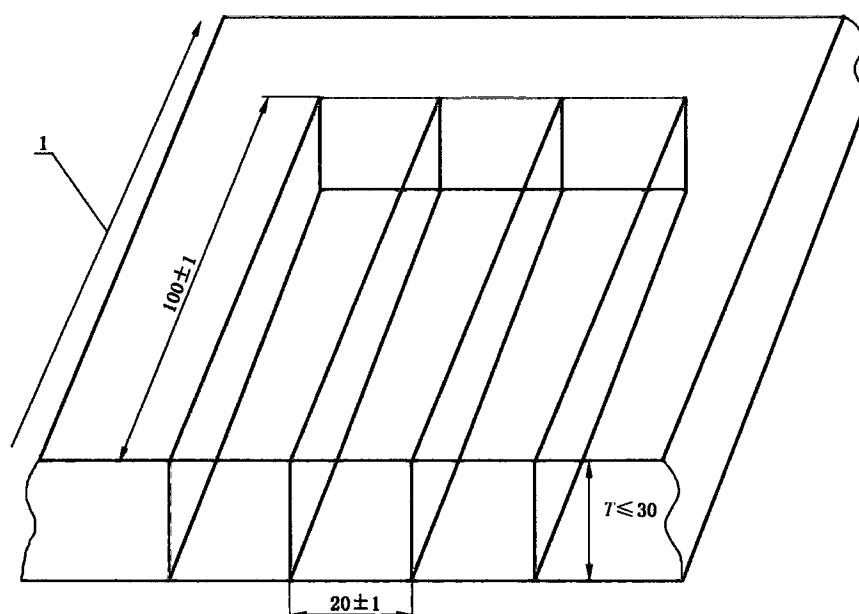
7.2.1 试样应在板端宽度的中间位置取样,并使试样的纵轴平行于钢板的主轧制方向。

7.2.2 对于厚度不大于 30 mm(包括 30 mm)的钢板,应按图 7 所示取 3 个试样。

7.2.3 对于厚度  $>30\text{ mm} \sim 88\text{ mm}$  的钢板,应在靠近板的两个表面和中心线的位置取 3 个厚度为 30 mm 的试样,以便检验整个钢板厚度,如图 8 所示。试样应该在厚度方向上均匀的交错,其重叠层厚度可依钢板实际厚度而定,相邻试样间的重叠厚度应不小于 1 mm。

7.2.4 对于厚度大于 88 mm 的钢板,应取 5 个或更多的试样(应为奇数),每个试样厚 30 mm,如图 9 所示。试样在厚度方向上应该均匀交错,其重叠量应依钢板实际厚度而定,相邻试样间的重叠厚度应不小于 1 mm。

单位为毫米



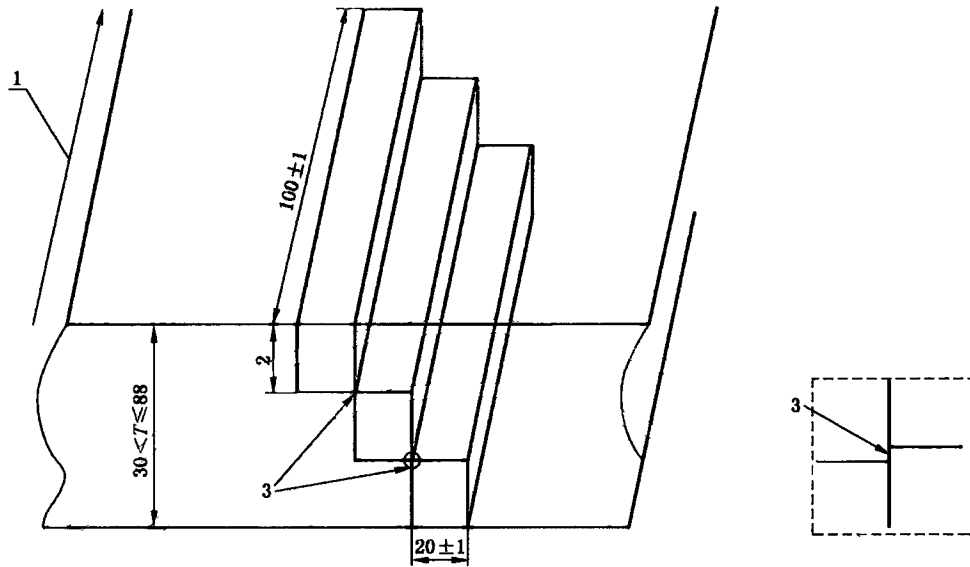
说明:

1 —— 主轧制方向;

T —— 钢板厚度。

图 7 板厚不大于 30 mm 的钢板试样取样位置

单位为毫米



说明：

1——主轧制方向；

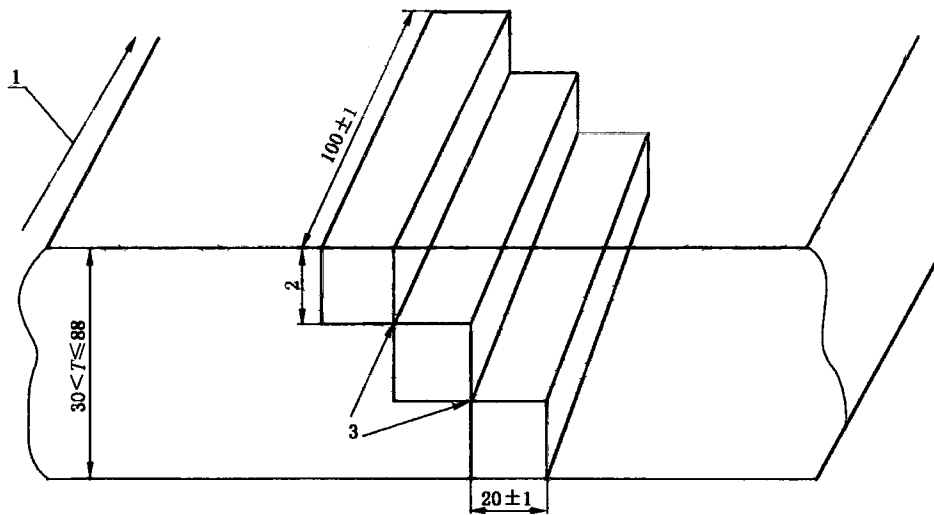
2——最大厚度 30 mm；

3 ——最小重叠量为 1；

T ——钢板厚度。

图 8 板厚  $>30\text{ mm} \sim 88\text{ mm}$  的钢板的试样取样位置

单位为毫米



说明：

1——主轧制方向；

2——最大厚度 30 mm；

3 ——最小重叠量为 1；

T ——厚度。

图 9 板厚大于 88 mm 的钢板试样取样位置

### 7.3 试样制备

钢板试样的制备应与 6.3 对钢管试样的规定相同。

### 7.4 清洗和储存

试样的清洗和储存应与 6.4 对钢管试样的规定相同。

## 8 管件试样

### 8.1 试样尺寸

8.1.1 如果管件尺寸足够大,每个试样长度应为  $100\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ,宽度应为  $20\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ 。

8.1.2 试样的原始表面应去除,去除的表面厚度不大于  $1\text{ mm}$ 。试样坯料不得被矫平。

8.1.3 壁厚不大于  $30\text{ mm}$  的管件,其试样厚度应为整个管件壁厚。对于厚度大于  $30\text{ mm}$  的管件,试样应按第 6 章所述方法交错取样。

8.1.4 当管件尺寸小而不能取  $100\text{ mm}\times 20\text{ mm}$  宽的标准试样时,应将整个管件作为试样。

### 8.2 试样数量、取样位置和取样方向

8.2.1 表 1 给出了弯头、三通、异径接头和管帽等管件试样的数量,取样位置和方向,取样位置示意图见图 E.1~图 E.6。

表 1 管件试样的数量,取样位置和方向

管件类型	试样数量 个	取样方向	取 样 位 置
45°弯头	3	纵向	一个试样在外弧侧取样,另外两个试样在两侧的中性轴 180°位置取样。所有试样均在管件长度方向的中间部位取样
90°弯头	3	纵向	一个试样在外弧侧取样,另外两个试样在中性轴 180°位置取样。所有试样均在管件长度方向的中间部位取样
长/短半径回转 (180°弯头)	3	纵向	一个试样在外弧侧取样,另外两个试样在中性轴 180°位置取样。所有试样均在管件长度方向的中间部位取样
同心异径接头 (大小头)	3	纵向	三个试样在长度方向的中部沿圆周方向间隔 120°取样
偏心异径接头 (大小头)	3	纵向	一个试样应从截面变化最大的位置(0°)取样,另外两个分别在两边的 90°位置,即 90°和 270°位置取样。所有试样均在管件长度方向的中间部位取样
等径三通	3	纵向	在相对于出口 90°(旁边),180°(背后)和 270°(旁边)位置取样。所有试样均在管件长度方向的中间部位取样
异径三通	3	纵向	在相对于出口 90°(旁边),180°(背后)和 270°(旁边)位置取样。所有试样均在管件长度方向的中间部位取样
翻边短节	3	纵向	试样在长度方向的中部沿圆周方向间隔 120°取样
管帽	3	径向	一个试样在顶面中间的径向取样;1 个试样在顶面到侧面的过渡区(变化部位)取样;1 个试样在侧面取样 注:对于小尺寸管件,过渡区和侧面所取的 2 个试样应将侧面和过渡区合并

8.2.2 管帽的取样,应使试样的长度方向与制造管帽所用钢板的轧制方向一致。

8.2.3 所有锻造的管件,至少应有一个试样沿锻造分模线取样。

8.2.4 焊接管件,其中一个试样应按图 3 所示穿过焊缝取样,另外两个试样应在与焊缝成 90°的两边位置的母材金属,沿纵向取样。

8.2.5 全尺寸管件试验时,根据管件尺寸,浸泡在溶液中的管件数量可以是 1 个或 3 个。管件个数(1 个或 3 个)应由在浸泡结束后能够获得和检测 9 个抛光截面的能力决定。

### 8.3 试样制备

8.3.1 管件试样的制备应尽可能与 6.3 对钢管的规定相同。

8.3.2 对于每个从管件上取下的弯曲和不规则试样,两边的切割面应被打磨(干法或湿法),最后用不低于 P400 粒度的砂纸打磨。

8.3.3 对于从管件上取下的弯曲和不规则试样,两个 20 mm 宽的面应被打磨(干法或湿法)到相当于 P400 粒度砂纸抛光,或按 GB/T 8923.1—2011 喷砂处理到露出白色金属,达到 Sa 2½ 级。

8.3.4 对于全尺寸管件,应被打磨(干法或湿法)到相当于 P400 粒度砂纸打磨后的粗糙度,或整个管件按 GB/T 8923.1—2011 喷砂处理到露出白色金属,达到 Sa 2½ 级。

### 8.4 清洗和储存

管件试样的清洗和储存应与 6.4 对钢管的规定相同。

## 9 法兰试样

### 9.1 试样尺寸

9.1.1 如果法兰尺寸足够大,每个试样长度应为 100 mm±1 mm,宽度应为 20 mm±1 mm。

9.1.2 试样的原始表面应去除,去除的表面厚度不大于 1 mm。试样坯料不允许矫平。

9.1.3 壁厚不大于 30 mm 的法兰,其试样厚度应为整个法兰壁厚。厚度大于 30 mm 的法兰,试样应按第 7 章所述方法交错取样。

9.1.4 当法兰尺寸太小而不能取 100 mm×20 mm 宽的标准试样时,应将整个法兰浸泡于试验溶液中。

### 9.2 试样数量、取样位置和取样方向

9.2.1 表 2 给出了盲法兰和对焊管法兰的试样数量、取样位置和方向,取样位置示意图见图 E.7 和图 E.8。

表 2 法兰试样的数量、取样位置和方向

法兰类型	试样数量	方向	取样位置
盲法兰	3	切向	盲法兰是一个用于封堵法兰开口的实心圆盘,可由锻造或用轧制钢板制造获得。取样之前应先确定制造方法和材料的方向性。由轧板制造的盲法兰,应按第 6 章方法,试样沿着轧制钢板纵向进行取样加工。采用锻件制造的盲法兰,应沿着 0°、120°、240°方位进行放射性取样加工,遵循的取样说明见第 7 章
对焊管法兰	3	纵向	在焊颈区域沿周向间隔 120°位置取样



9.2.2 全尺寸法兰试验时,根据法兰大小,浸泡在试验溶液中的法兰数量可以是1个或者3个。试样个数(1个或者3个)应由在浸泡结束后能够获得和检测9个抛光截面的能力决定。

### 9.3 试样制备

9.3.1 法兰试样的制备应尽可能与6.3对钢管的规定相同。

9.3.2 每个从法兰上取下的弯曲和不规则试样,应对两边的切割面进行打磨(干法或湿法),最终采用P400粒度砂纸打磨。

9.3.3 从法兰上取下的弯曲和不规则试样,两个20 mm宽的面应被打磨(干法或湿法)到相当于P400粒度砂纸抛光,或者按GB/T 8923.1喷砂处理到露出白色金属,达到Sa 2½级。

9.3.4 对全尺寸法兰,应被打磨(干法或湿法)到相当于P400粒度砂纸打磨后的粗糙度,或整个法兰按GB/T 8923.1喷砂处理到露出白色金属,达到Sa 2½级。

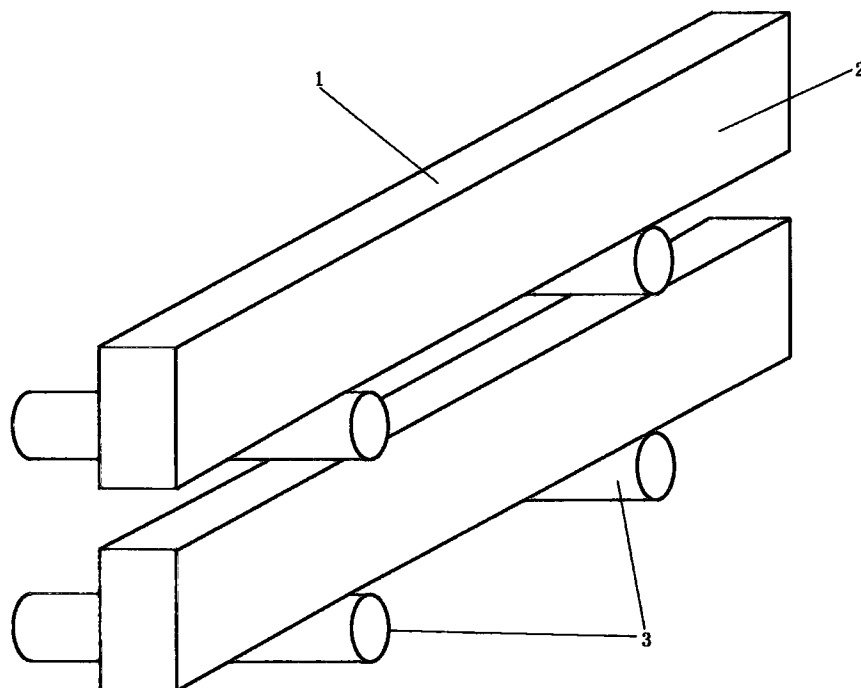
### 9.4 清洗和储存

法兰试样的清洗和储存应与6.4对钢管的规定相同。

## 10 试验步骤

### 10.1 试样浸泡

10.1.1 应将试样宽面垂直放入试验容器中,并用最小直径6 mm的玻璃或其他非金属棒把试样与容器及试样与试样彼此隔开,试样的纵轴可以是相互垂直或者平行,见图10。



说明:

1——窄面;

2——宽面;

3——玻璃或其他非金属棒。

图10 试样在试验容器中放置方法

10.1.2 试验溶液量与试样表面积之比应不小于  $3 \text{ mL/cm}^2$ 。只要满足规定的比值并保证试样完全浸没在溶液中且相互不接触,就可以在一个容器中放置尽可能多的试样同时浸泡。

10.1.3 若使用溶液 A,溶液应在单独密闭容器中制备,并在导入氮气吹扫过的试验容器前,每升试验溶液以  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  的速度通入  $\text{N}_2$  至少 1 h。试验溶液应为含 5.0% NaCl(质量分数)和 0.5%  $\text{CH}_3\text{COOH}$ (质量分数)的蒸馏水或去离子水(例如:50.0 g 的 NaCl 和 5.0 g  $\text{CH}_3\text{COOH}$  应溶解在 945 g 的去离子水或蒸馏水中)。初始的 pH 值应为  $2.7 \pm 0.1$ 。所有加入试验溶液中的试剂应精确到规定量的  $\pm 1.0\%$ 。

10.1.4 若使用溶液 B,溶液应在单独密闭容器中制备,并在导入  $\text{N}_2$  吹扫过的试验容器前,每升试验溶液以  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  的速度通入  $\text{N}_2$  至少 1 h。试验溶液按 4.4 制备的人工海水组成。溶液初始的 pH 值应在 8.1~8.3 范围内试验才有效。

## 10.2 除氧和通入 $\text{H}_2\text{S}$

10.2.1  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  气体应从试验容器的底部附近导入。

10.2.2 每升密闭试验容器容积应以  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  的速度通入  $\text{N}_2$  至少 1 h,以便排出空气。试验容器中充满溶液后,应以每升试验溶液  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  的速度立即开始除氧。

10.2.3 除氧后,将  $\text{H}_2\text{S}$  气体鼓泡通入溶液。前 60 min 内,通气速度至少应为每升溶液  $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ ,然后需保持一恒定的气体流速使  $\text{H}_2\text{S}$  气体为正压,以确保试验溶液是  $\text{H}_2\text{S}$  饱和的。用碘量法来测试试验溶液中的  $\text{H}_2\text{S}$  浓度,试验结束后其  $\text{H}_2\text{S}$  最小浓度为  $2\ 300 \text{ mg/L}$ 。在附录 F 中详细描述了一个公认的碘量法的操作程序。

## 10.3 pH 值的测量

10.3.1 如果使用的是溶液 A,在试验开始时,硫化氢饱和后应立即测定溶液的 pH 值,其值应在 2.7~3.3 范围内。如果使用溶液 B,在  $\text{H}_2\text{S}$  饱和后立即测定溶液的 pH 值,其值应在 4.8~5.4 范围内。

10.3.2 试验结束时,应测量和记录试验溶液的 pH 值。对于溶液 A,pH 值应不超过 4.0,试验才有效。对于溶液 B,pH 值应在 4.8~5.4 的范围内试验才有效。

## 10.4 试验持续时间

试验持续时间应为 96 h。试验时间应从初始充入硫化氢气体 60 min 且硫化氢最小浓度为  $2\ 300 \text{ mg/L}$  后开始计算(见 10.2.3)。

## 10.5 试验温度

试验溶液的温度应保持  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

## 11 试样评定

11.1 浸泡试验结束后,应对每个试样进行清洗,移除表面产物和沉积物。浸泡后的试样可以用清洁剂和钢丝刷或轻微喷砂进行清洁。浸泡后的试样不允许采用酸洗或任何其他可能促进氢吸收的清洁方法。

11.2 清洗的试样应按下列要求被截取检测面:

11.2.1 每个钢管试样应按图 2~图 6 截取检测面,并检测指定的表面。

11.2.2 每个钢板试样应按图 2 截取检测面,并检测指定的表面。

11.2.3 每个管件试样应按图 2 截取检测面,并检测指定的表面。对于焊接管件,每个焊接区域试样应按图 3 截取检测面。

11.2.4 每个全尺寸管件试样应在3个等间距的位置截取,截面垂直于纵轴。对于管帽类管件,截取面方向垂直于轧制方向,宽度应为20 mm,且截面应包括侧面,顶面以及顶面到侧面过渡区域。

11.2.5 每个法兰试样应按图2截取检测面。对于焊接法兰,每个焊缝区试样应按图4截取检测面,并检测指定的表面。

11.2.6 每个全尺寸法兰试样应在等间距的3个位置,沿着颈部区域截取,截面垂直于纵轴。

11.3 如有必要,每个断面都应进行浸蚀和金相抛光,以便将裂纹与小夹杂物、分层、划痕或其他不连续的缺陷区分开。但只能轻微浸蚀,重的浸蚀可能会遮蔽小裂纹。试验中采用金相制备方法将试样的表面处理干净是非常重要的,否则将会看不见一些重要的裂纹。在最终金相抛光之前,对需要检验的所有表面应进行湿磁粉探伤或宏观浸蚀。也可以采用其他的制样方法,但要求在最后抛光之后证明该方法能清晰显示存在的裂纹,并要详细描述该方法的过程。

11.4 应按图11所示测量裂纹。在测量裂纹长度与厚度时,应把分布距离小于0.5 mm的若干裂纹看作一条裂纹。在弯曲截面或环形截面测量裂纹时,尤其是全尺寸管件试验,应将截面的弯曲度考虑在内。除了那些完全在试样内外表面1 mm以内的裂纹外,所有放大100倍能被识别的裂纹都应计算在内(为了区别断面上的小裂纹、夹杂物、表面的蚀坑或其他不连续缺陷,可以在更高倍数下,对断面进行检查)。

11.5 应分别按照式(1)、式(2)和式(3)对裂纹敏感率(CSR)、裂纹长度率(CLR)和裂纹厚度率(CTR)进行计算,并报告每个截面的裂纹率和每个试样的平均裂纹率。

$$\text{裂纹敏感率 CSR} = \frac{\sum(a \times b)}{W \times T} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{裂纹长度率 CLR} = \frac{\sum a}{W} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{裂纹厚度率 CTR} = \frac{\sum b}{T} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

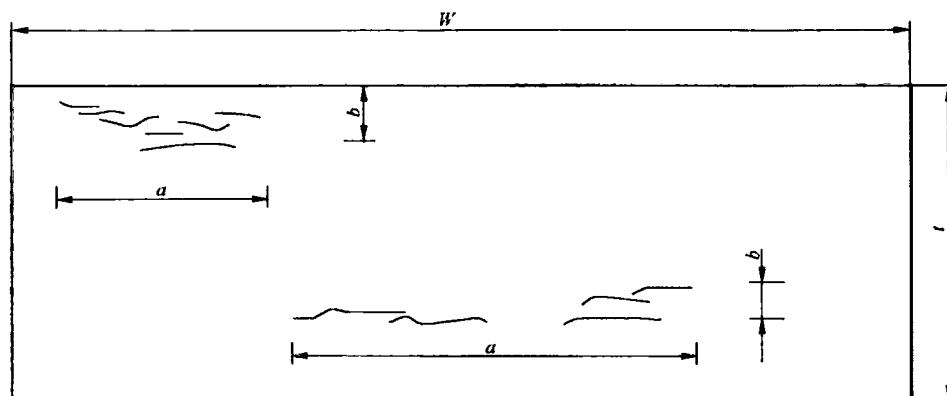
$a$  —— 裂纹长度,单位为毫米(mm);

$b$  —— 裂纹厚度,单位为毫米(mm);

$W$  —— 断面宽度,单位为毫米(mm);

$T$  —— 试样厚度,单位为毫米(mm)。

注:过去有些研究者采用 $(\sum a \times \sum b)/(W \times T)$ 计算CSR,这只是CTR×CLR的结果,即 $\sum a/W \times \sum b/T$ 的简单乘积,与按 $\frac{\sum(a \times b)}{W \times T}$ 计算得出的值不同。



说明:

$a$ ——裂纹长度;

$b$ ——裂纹厚度;

$W$ ——断面宽度;

$t$ ——试样厚度。

图 11 用于计算 CSR、CLR 和 CTR 的试样及裂纹尺寸

## 12 试验报告

试验报告应包含以下内容:

- a) 本标准编号;
- b) 管材、板材、管件或法兰的类型、强度级别和制造方法(如 GB/T 9711, X52 级, 无缝管; GB 5310, 20G; GB 713, Q245R 等);
- c) 试样的除脂方法;
- d) 使用的试验溶液[溶液 A 或溶液 B(如采用溶液 B, 应指明是 1 号和 2 号溶液)];
- e) 通入  $H_2S$  前试验溶液的 pH 值(见 10.1.3 和 10.1.4);
- f) 实验开始后试验溶液的 pH 值( $H_2S$  饱和后)(见 10.3.1);
- g) 试验结束后试验溶液的 pH 值(见 10.3.2);
- h) 试验溶液的温度(见 10.5);
- i) 从每个试样截取的 3 个截面的 CSR、CLR、CTR 值, 从样品中获取的每个试样的 CTR、CSR、CLR 的平均值和所有试样的 CTR、CSR、CLR 平均值;
- j) 一个样品的定义是一组试样;
- k) 对于小口径、薄壁的电焊(ERW)管和无缝管, 应报告钢管实际壁厚、试样厚度及其与管壁厚的百分比;
- l) 与本标准不一致的任何试验条件和操作过程均应在报告中说明;
- m) 生产厂家、化学成分、热处理工艺、立项性能及加工过程的数据, 如可能。

附 录 A  
(规范性附录)  
控制 H<sub>2</sub>S 毒性的安全考虑

### A.1 对环境和人身安全的影响

H<sub>2</sub>S 所造成的工业中毒事故比任何其他单一化学药品多。这些事故大多数是致命的。因此,使用 H<sub>2</sub>S 一定要谨慎,凡是使用 H<sub>2</sub>S 的实验一定要小心规划。按 GBZ 2.1 规定,在工作地点、在一个工作日内、任何时间 H<sub>2</sub>S 的最高容许浓度为 10 mg/m<sup>3</sup>,这已超过用嗅觉所能觉察的水平。然而嗅觉神经在这种气氛下暴露 2 min~15 min(取决于浓度)会变得对气味迟钝。因此,嗅觉不是一种完全可靠的警报系统。

下面将简述人类对不同浓度 H<sub>2</sub>S 的生理反应。在 210 mg/m<sup>3</sup>~280 mg/m<sup>3</sup> 浓度下长时间暴露会导致肺水肿。在这个浓度范围中毒症状为恶心、胃痛、打嗝、咳嗽、头痛、眩晕和水肿。在这种亚急性暴露下极可能引起肺的并发症如肺炎。在 710 mg/m<sup>3</sup> 的亚急性暴露下,15 min 之内失去知觉,30 min 之内死亡。当浓度超过 1 420 mg/m<sup>3</sup> 时,一口呼吸便可能立即失去知觉,接着因呼吸完全中断,心跳停止而死亡。

有关 H<sub>2</sub>S 有毒气体的更多信息,可以从化学安全数据表 SD-36 及危险的工业材料中获取。

### A.2 火灾和爆炸的危险

H<sub>2</sub>S 是一种可燃性气体、燃烧产物为有毒的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)。另外,在空气中它的爆炸极限为 4%~46%。应采取适当的措施防止这种危险的发生。

### A.3 试验过程安全建议

所有的试验应在一个具有足够通风的通风罩中进行,以排出所有的 H<sub>2</sub>S。在试验中的 H<sub>2</sub>S 流速应该保持很小,以便使排出量减到最小。可用 10% 的氢氧化钠溶液吸收排出的气体,以进一步使排出的 H<sub>2</sub>S 量降至最小。这种氢氧化钠溶液需要定期补充。

应做好防护措施去避免在 H<sub>2</sub>S 中断时,氢氧化钠溶液倒流进入试验容器。在进行 H<sub>2</sub>S 操作时,应配备适当的安全设备。

由于腐蚀产物,碎屑等的堆积,常常使其下游的工作压力升高,并干扰低流速的调节,要特别注意压力调节器上的输出压力。贮气钢瓶应牢靠地固定住,防止翻倒和砸坏头部。由于 H<sub>2</sub>S 在钢瓶中以液态形式存在,应经常检查高压压力计,因为在最后的液体 H<sub>2</sub>S 气化后的比较短的时间内,压力便从 1.7 MPa(250 psig)降至常压。当压力降至 0.5 MPa~0.7 MPa 时因为调节器控制出现波动,此时便应更换钢瓶。禁止在未关闭阀门或未断开试验容器导流管的情况下停止气流,因为试验溶液将继续吸收 H<sub>2</sub>S 而倒流进入导管、调节器、甚至钢瓶中。在导管上装上止回阀,在止回阀正常工作情况下可以防止上述问题的发生。万一发生这样的事故,应尽可能快而安全的排出剩余的 H<sub>2</sub>S,并通知制造厂家特别注意这个钢瓶。

**附 录 B**  
**(资料性附录)**  
**试验方法补充说明**

**B.1 试剂纯度要求的理由**

**B.1.1** 水中值得关注的杂质主要是会改变试验溶液 pH 值的碱性和酸性缓冲组分和会改变腐蚀反应特性的有机及无机化合物。氧化剂会把部分硫化氢转变为可溶性产物,例如多硫化物和连多硫酸,它们也会影响腐蚀过程。

**B.1.2** 碱性材料(如碳酸镁和硅镁酸钠)常常被加到(或者不被移除)工业纯的氯化钠以确保流动性,这些物质会大大影响溶液的 pH 值。

**B.1.3** 除氧气体中的微量氧杂质比水中的杂质更加重要,如果氮气(或者其他惰性气体)连续不断地与硫化氢混合以在气体中获得更低的 H<sub>2</sub>S 分压,并因此降低在试验溶液中的 H<sub>2</sub>S 浓度。氧化性杂质会累积导致腐蚀速率和/或吸氢速率变化(见下述排除氧的理由)。

**B.2 排除氧的理由**

**B.2.1** 获得并保持具有最低溶解氧杂质的试验溶液是十分重要的,因为在现场和实验室研究中已经注意到氧的重要影响。

- a) 在含 H<sub>2</sub>S 的盐水中氧杂质能使腐蚀速率剧增两个数量级。通常氧还能降低氢析出及进入金属。但系统地研究影响这些现象的参数(如应用于环境开裂)在文献中还不曾报道过。
- b) 有时往含水的净化气流中加入少量的氧或多硫化物,同时小心控制 pH 值在 8 左右,以使腐蚀和氢鼓泡降至最低。这种处理方法的有效性被归结为腐蚀产物改变所造成的。

**B.2.2** 在没有充分的数据足以确定和阐明这些现象对环境开裂的影响的情况下,应采取一切合理的预防措施来排除氧。本标准所列举的预防措施在使氧的影响降到最小的同时,费用、难度或复杂性略有增加。

**B.3 试样制备**

所有的机加工都应小心和缓慢进行,以便防止出现过热,过度的切割和冷加工,改变材料的关键物理性能。统一的表面状态对 HIC 试验结果的一致性至关重要。

**B.4 警告**

1,1,1-三氯乙烷(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>)、丙酮(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)和其他碳氢化合物液体等清洁溶液,若其蒸气被吸入或通过皮肤被吸收,可能发生危险。许多氯化烃组分被怀疑是致癌的,只有在具有适当的防护措施时才使用。

**附录 C**  
(规范性附录)  
人工海水的配制及化学成分

**C.1 1号原液配制**

MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	3 889.0 g/7 L
CaCl <sub>2</sub>	405.6 g/7 L
SrCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	14.8 g/7 L

**C.2 2号原液配制**

KCl	486.2 g/7 L
NaHCO <sub>3</sub>	140.7 g/7 L
KBr	70.4 g/7 L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	19.0 g/7 L
NaF	2.1 g/7 L

**C.3 人工海水配制方法**

称 245.34 g NaCl 和 40.94 g 无水硫酸钠(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)溶于 8 L~9 L 蒸馏水中,在缓慢而有力的搅拌下加入 200 mL 1号原液和 100 mL 2号原液,然后将总体积稀释到 10 L,用 0.1 mol/L NaOH 溶液调整 pH 值到 8.2。

**C.4 人工海水化学成分**

NaCl	24.53 g/L
MgCl <sub>2</sub>	5.20 g/L
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.09 g/L
CaCl <sub>2</sub>	1.16 g/L
KCl	0.695 g/L
KBr	0.101 g/L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.027 g/L
SrCl <sub>2</sub>	0.025 g/L
NaF	0.003 g/L
NaHCO <sub>3</sub>	0.201 g/L

**附 录 D**  
**(资料性附录)**  
**试样除脂效果喷雾试验**

**D.1 试验方法概述**

喷雾试验是在被检测的干燥表面上喷雾化的水,当无疏水薄膜时,水滴会润湿整个表面并迅速形成一层连续的水膜。表面有疏水材料的部分,水滴不会润湿表面和扩散,只会保持水珠状。试样表面的油脂属于疏水薄膜,其除脂效果可以根据该方法进行判断。

雾化试验器检测无破坏性,可以用来控制和评估疏水污染物去除的过程。这种检测也可以用来发现和控制周围环境中的疏水污染物。对于这种应用,无疏水污染薄膜的表面可以暴露在环境和随后进行的检测中。

**D.2 影响因素**

在检测表面、检测仪器或材料中存在疏水性物质以及粗糙或多孔的表面会降低结果的敏感性。

**D.3 试验设备及试剂材料**

- D.3.1 VL-1 型帕许喷枪雾化器或相同喷雾效果的喷枪雾化器;
- D.3.2 低倍显微镜(5×~50×);
- D.3.3 显微镜光源;
- D.3.4 不含亲水、疏水性物质的氧气或其他合适的气体;
- D.3.5 优先使用去离子水或蒸馏水,所用的水中不能含有疏水或亲水物质。

**D.4 检测方法**

表面测试,将试片检测表面与喷雾器的距离保持在 250 mm~500 mm,将气体以低压力 0.1 MPa (15 psi)通过,喷雾器以薄雾的形式向检测表面喷水 1 s~10 s。

**D.5 除脂效果评定**

以 D.4 的方法作表面检测,如图 D.1 所示水滴在表面迅速形成一层薄的、连续一致的水膜,可以认为没有疏水污染物,说明试样除脂满足要求。除脂效果可参考图 D.1~图 D.5 进行判定。





图 D.1 试样表面未检测到油脂(2×)

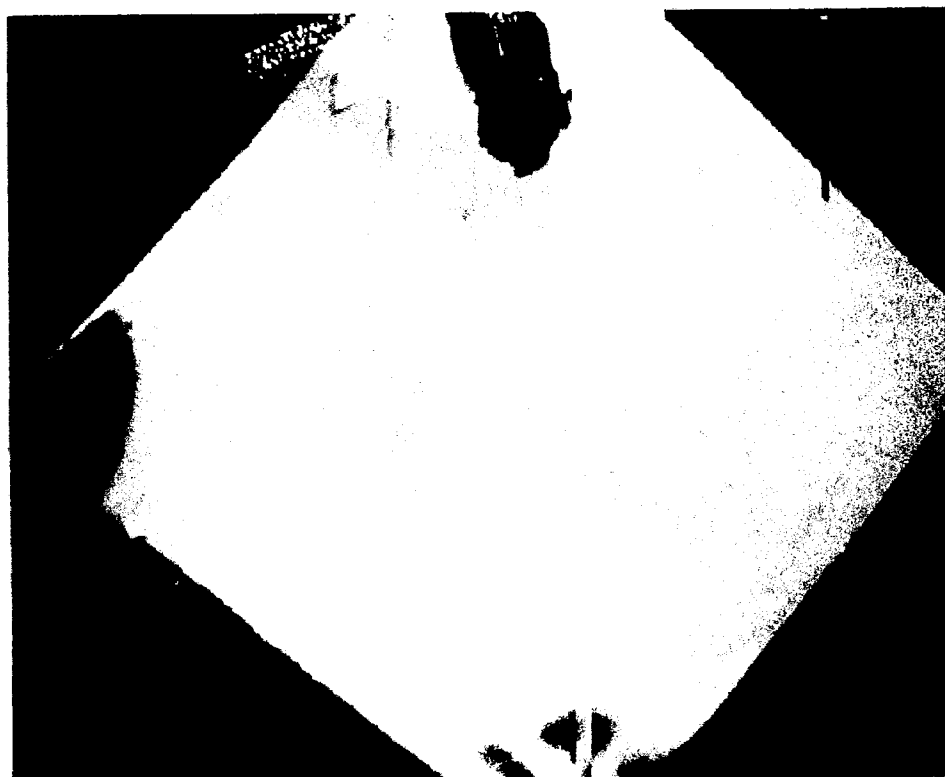


图 D.2 试样表面有少量油脂(2×)



图 D.3 试样表面有少量油脂(2×)



图 D.4 试样表面局部含油脂(2×)

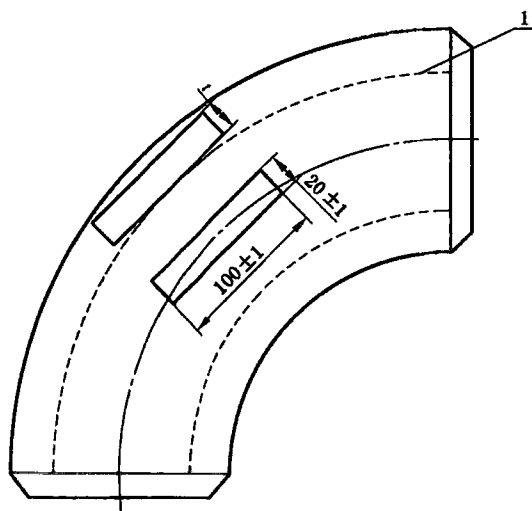


图 D.5 试样表面覆盖油脂膜(2×)

附录 E  
(规范性附录)  
管件及法兰取样位置示意

本附录是对管件及法兰取样部位的图解补充说明,见图 E.1~E.8;

单位为毫米



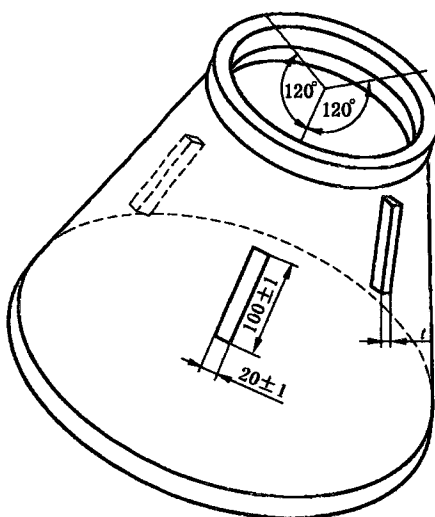
说明:

1 —— 两侧的中性轴 180°各取 1 件;

$t$  —— 试样厚度。

图 E.1 弯头取样部位

单位为毫米

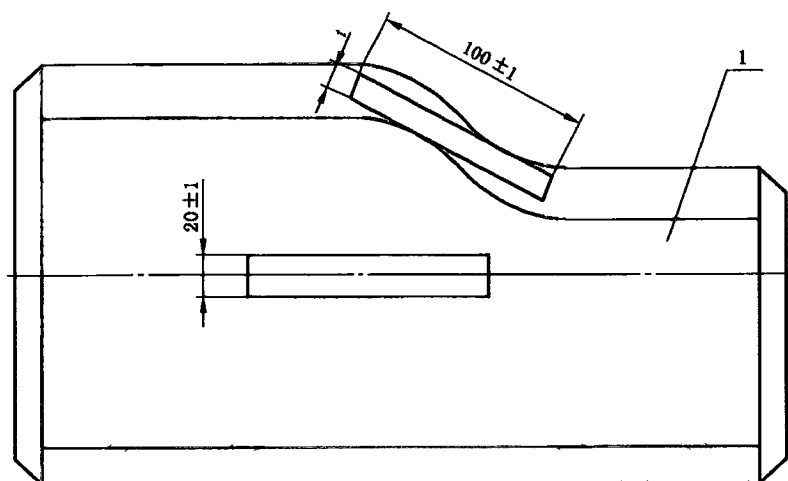


说明:

$t$  —— 试样厚度。

图 E.2 同心异径接头

单位为毫米



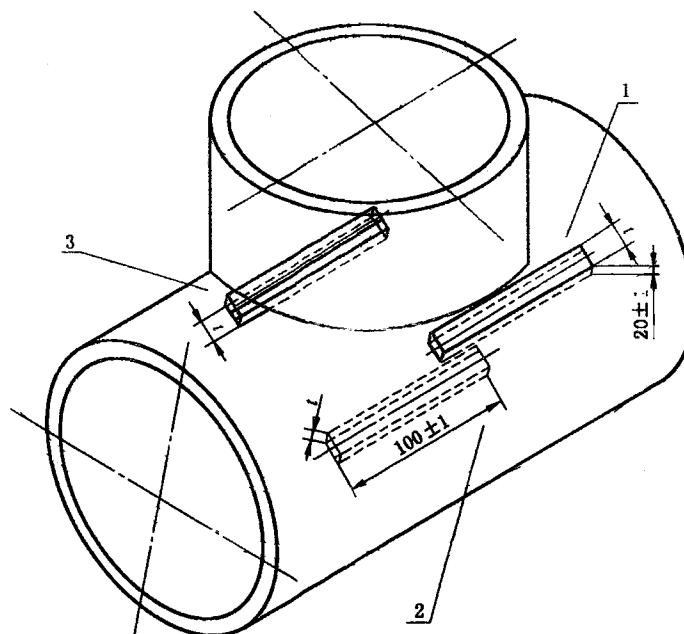
说明:

1——两侧的中性轴 180°各取 1 件;

$t$ ——试样厚度。

图 E.3 偏心异径接头

单位为毫米



说明:

1——出口 90°(旁)长度方向的中部取 1 件;

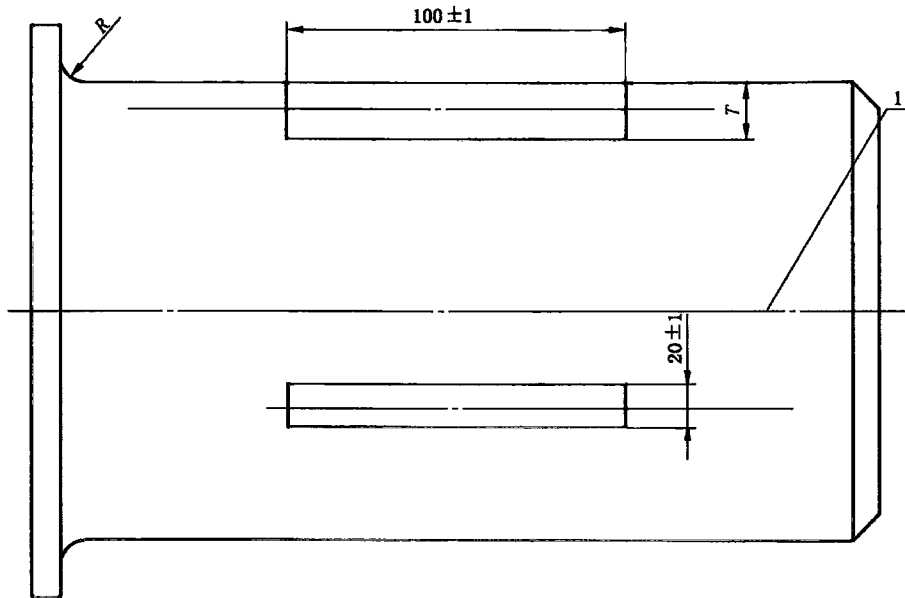
2——180°(底部)长度方向的中部取 1 件;

3——出口 90°(旁)长度方向的中部各取 1 件;

$t$ ——试样厚度。

图 E.4 三通

单位为毫米



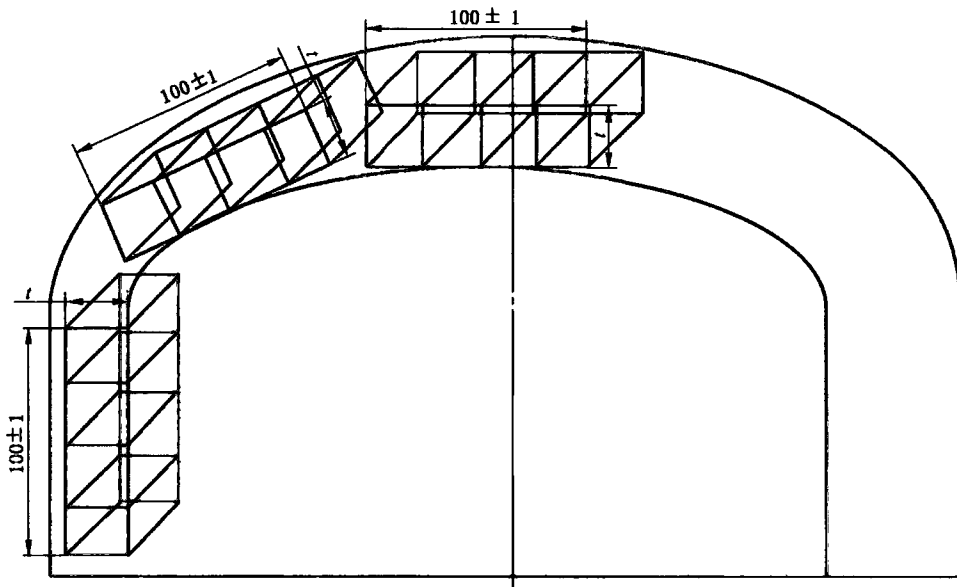
说明:

1——圆周方向间隔 120° 取样 3 件;

R——过渡半径。

图 E.5 翻边短节

单位为毫米

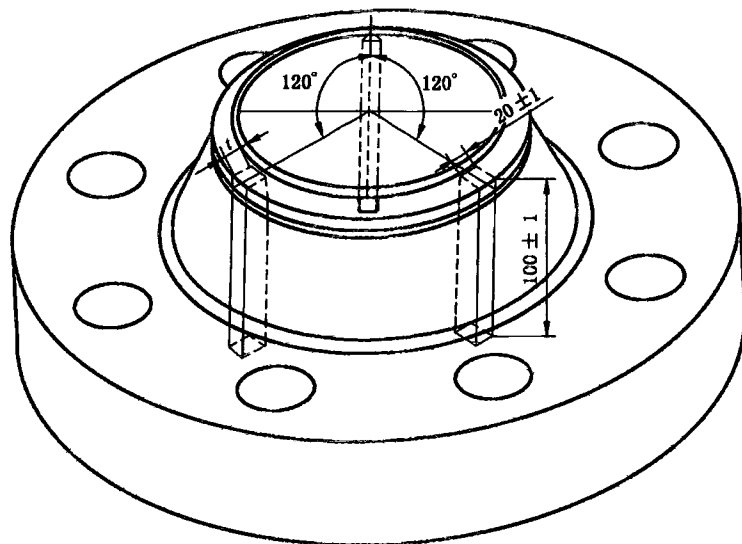


说明:

t——试样厚度。

图 E.6 管帽

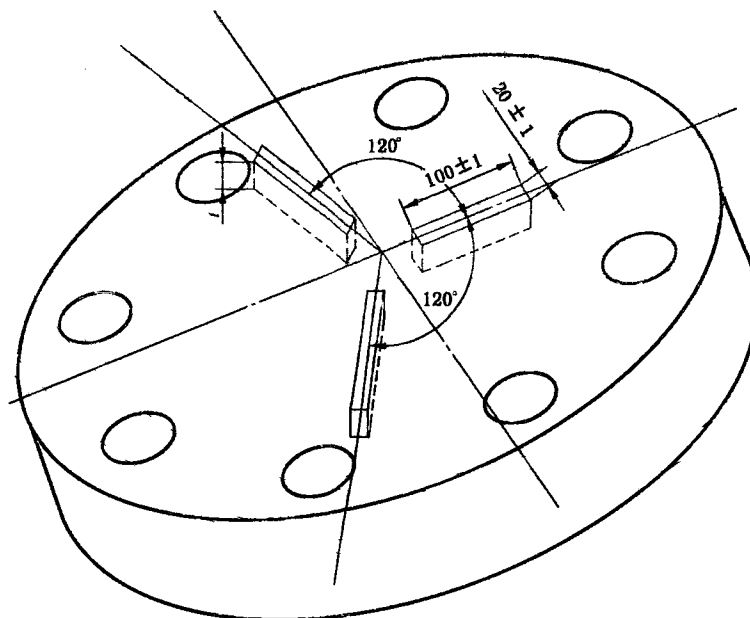
单位为毫米



说明：  
 $t$ ——试样厚度。

图 E.7 对焊管法兰

单位为毫米



说明：  
 $t$ ——试样厚度。

图 E.8 盲法兰

## 附录 F

(资料性附录)

用碘量法测定试验溶液中 H<sub>2</sub>S 浓度

本附录详述了采用碘量法测定试验溶液中 H<sub>2</sub>S 浓度的操作步骤。

## F.1 试验试剂/设备

- a) 标准碘溶液(0.1 mol/L);
- b) 浓盐酸[HCl 约 37%(质量分数)];
- c) 淀粉溶液;
- d) 标准硫代硫酸钠溶液(0.1 mol/L);
- e) 应使用分析纯级别的化学药品;
- f) 10 mL 和 25 mL 移液管;
- g) 250 mL 带塞三角烧瓶;
- h) 100 mL 烧杯;
- i) 25 mL 滴定管。

注:下列标准溶液浓度和体积应用在含有 2 300 mg/L 到 3 500 mg/L H<sub>2</sub>S 的 H<sub>2</sub>S 饱和溶液:

- 0.1 mol/L 碘溶液;
- 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液;
- 25 mL 碘溶液;
- 10 mL 试验样本。

如果试验程序需要测定饱和度低于 2 300 μm 的 H<sub>2</sub>S 的试验溶液中的 H<sub>2</sub>S 浓度,那么上面的数值应该进行适当的调整以保持准确度。

## F.2 步骤

- a) 采用移液管将 25 mL 标准碘溶液(0.1 mol/L)移入 250 mL 锥形瓶中。
- b) 加入约 5 mL 浓盐酸进行酸化。
- c) 将大约 50 mL 试验溶液从试验容器中移入到干净的烧杯中,最初的 25 mL~50 mL 溶液抛弃不用。
- d) 立即用移液管从烧杯中吸取 10 mL 试验溶液抛弃不用,然后再吸 10 mL 溶液作为样本移入到锥形瓶中。
- e) 用标准硫代硫酸钠溶液(0.1 mol/L)滴定,直到溶液颜色从深黄/棕褐色变为浅黄色。
- f) 加入约 2 mL 淀粉溶液。
- g) 继续用标准硫代硫酸钠溶液(0.1 mol/L)滴定,直到整个溶液从暗蓝色全部变为浅稻草色。

使用式(D.1)计算 H<sub>2</sub>S 浓度:

$$\text{H}_2\text{S 浓度}(\text{mg/L}) = \frac{[(A \times k) - B]}{C} \times 17\ 030 \quad \dots\dots\dots(\text{D.1})$$

式中:

- A —— 标准碘溶液的摩尔浓度×体积,单位为毫升(mL);
- B —— 标准硫代硫酸钠溶液的摩尔浓度×体积,单位为毫升(mL);
- C —— 样本体积,单位为毫升(mL);



$k$  ——标准碘溶液的标定系数(见 F.3)。

### F.3 标定

在测定中使用的碘溶液和硫代硫酸钠溶液在制备的过程中必须进行标定。

- 要标定这些溶液,需先用移液管吸取 25 mL 0.1 mol/L 碘溶液滴入到锥形瓶中,然后用 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液滴定至澄清点;
- 记录结果;
- 采用式(D.2)计算  $H_2S$  浓度测定中所使用的  $k$ 。

$$k = \frac{B}{A} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

$A$  ——碘溶液摩尔浓度 $\times$ 体积,单位为毫升(mL);

$B$  ——硫代硫酸钠的摩尔浓度 $\times$ 体积,单位为毫升(mL)。

- 若系数在 0.95~1.05 范围内,则采用式(D.2)计算系数值代入式(D.1)中,该溶液可被接受。若系数不在 0.95~1.05 范围内,则更换碘溶液重新标定。

### F.4 测量的不确定性

参考式(D.3),以 2 500 mg/L  $H_2S$  浓度为基准,测定出测量不确定性为:

$$95\% \text{ 置信区间} = \pm 4.2\% \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

例如:若 10 mL 试验溶液与 25 mL 0.1 mol/L 碘溶液混合后,用 10 mL 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液滴定至终点,若系数为 1.00,则 95%置信区间(CI)的计算如式(D.3),注意到结果为通过式(D.1)计算的相应  $H_2S$  浓度的 4.2%。

$$95\% \text{ CI} = \frac{[(2.5 \times 1.0) - 1.0]}{10} \times 17\,030 \times 4.2\% \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

$$95\% \text{ CI} = \pm 107(\text{mg/L})$$

参 考 文 献

- [1] F.Parades, W. W.Mize.Unusual Pipeline Failures Traced to Hydrogen Blisters.Oil and Gas Journal.53,33(1954):99-101
- [2] E. W.Moore, J.J. Warga.Factors Influencing the Hydrogen Cracking Sensitivity of Pipeline Steels.MP.15,6(1976):17-23
- [3] M.H.Bartz, C.E.Rawlins.Effects of Hydrogen Generated by Corrosion of Stee.Corrosion.4,5 (1948):187-206
- [4] E.M.Moore, D.A.Hansen.Specifying Linepipe Suitable for Safe Operation in Sour, Wet Service.Paper No.81PET-1, presented at the American Society of Mechanical Engineers Energy Sources Technology Conference, Houston, TX,一月 18-22, 1981
- [5] NACE MR0175/ISO 15156 (最新版).Petroleum and natural gas industries—Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production(Houston, TX;NACE)
- [6] EFC 16 (最新版),Guidelines on Materials Requirements for Carbon and Low Alloy Steels for H<sub>2</sub>S-Containing Environments in Oil and Gas Production(London, UK;EFC)
- [7] ASTM D1141 (最新版).Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water (West Conshohocken, PA;ASTM)
- [8] ASTM F21 (最新版).Standard Test Method for Hydrophobic Surface Films by the Atomizer Test (West Conshohocken, PA;ASTM)
- [9] NACE No.2/SSPC-SP 10 (最新版).Near-White Metal Blast Cleaning (Houston, TX;NACE, and Pittsburgh, PA;SSPC)
- [10] ISO 8501-1 (最新版).Preparation of steel substrates before application of paints and related products—Visual assessment of surface cleanliness—Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings (Geneva, Switzerland;ISO)
- [11] API Spec 5L (最新版).Specification for Line Pipe (Washington, DC;API)
- [12] ASTM A53/A53M (最新版).Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped Zinc-Coated, Welded and Seamless (West Conshohocken, PA;ASTM)
- [13] ASTM A516/A516M (最新版).Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate-and Lower-Temperature Service (West Conshohocken, PA;ASTM)
- [14] ASTM A234/A234M (最新版).Standard Specification for Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Moderate and High Temperature Service (West Conshohocken, PA;ASTM)
- [15] ASTM A105/A105M (最新版).Standard Specification for Carbon Steel Forgings for Piping Applications(West Conshohocken, PA;ASTM)
- [16] ASTM A350/A350M (最新版).Standard Specification for Carbon and Low-Alloy Steel

Forgings, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components (West Conshohocken, PA: ASTM)

[17] OSHA Rules and Regulations. 29 CFR 1910.1000 (Washington, DC: OSHA, 1996)

[18] Chemical Safety Data Sheet SD-36 (Washington, DC: Manufacturing Chemists Association, (6) 1950)

[19] N. Irving Sax. Dangerous Properties of Industrial Materials (New York, NY: Reinhold Book Corp, 1984)

---

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法  
GB/T 8650—2015

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)  
网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)  
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946  
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

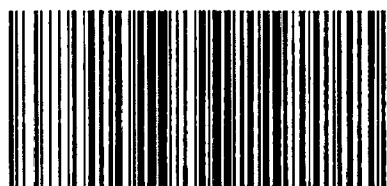
\*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 57 千字  
2016年5月第一版 2016年5月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-53956 定价 33.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 8650-2015