



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0599—2006

代替 SY/T 0599—1997

天然气地面设施抗硫化物应力开裂和 抗应力腐蚀开裂的金属材料要求

**Metallic material requirements on resistance to sulfide stress cracking
and stress corrosion cracking for natural gas surface equipment
{NACE MR 0175; 1991, NEQ}**

2006—11—03 发布

2007—04—01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	3
5 碳钢、低合金钢	5
6 耐蚀合金及其他合金	9
7 酸性天然气地面设施用材料	13
8 用于酸性环境材料的评定	14
附录 A (资料性附录) 原位 pH 值的确定	16
附录 B (资料性附录) H_2S 分压、 CO_2 分压的确定	19
附录 C (规范性附录) 用于酸性环境的金属材料	21
附录 D (规范性附录) 评定碳钢和低合金钢抗 SSC 性能的实验室试验程序	24
附录 E (规范性附录) 评定耐蚀合金及其他合金抗 SSC, SCC, GHSC 性能的试验程序	26
附录 F (资料性附录) UNS 合金材料的化学成分	31
附录 G (资料性附录) 条文说明	35

前 言

本标准代替 SY/T 0599—1997《天然气地面设施抗硫化物应力开裂金属材料要求》。SY/T 0599—1997 是在参考了美国腐蚀工程师协会标准 NACE MR 0175: 1991《油田设备用抗硫化物应力开裂的金属材料》的基础上制定的。本次修订总结了多年来酸性油气田防止硫化物应力开裂的科研与生产实践经验,并参考了 NACE MR 0175/ISO 15156-1 (2001)《石油和天然气工业——油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分:选择抗裂纹材料的一般原则》、NACE MR 0175/ISO 15156-2 (2003)《石油和天然气工业——油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第2部分:抗开裂碳钢和低合金钢及铸铁的使用》、NACE MR 0175/ISO 15156-3 (2003)《石油和天然气工业——油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第3部分:抗开裂耐蚀合金(CRAs)和其他合金》。本标准与 SY/T 0599—1997 相比,主要变化如下:

- a) 标准的名称改为《天然气地面设施抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的金属材料要求》
- b) 对酸性环境重新进行了定义,并对严重程度进行了分级。
- c) 将 SY/T 0599—1997 的材料分为碳钢、低合金钢和耐蚀合金及其他合金分别进行叙述。
- d) 增加了“原位 pH 值的确定”、“ H_2S 分压、 CO_2 分压的确定”、“用于酸性环境的金属材料”、“评定碳钢和低合金钢抗 SSC 性能的实验室试验程序”、“评定耐蚀合金及其他合金抗 SSC, SCC, GHSC 性能的试验程序”、“UNS 合金材料的化学成分”和“条文说明”。
- e) 增补了抗硫化物应力开裂和(或)应力腐蚀开裂的材料。

本标准的使用者在将本标准的内容外推超过它的使用范围时,应谨慎从事。

本标准的附录 C、附录 D、附录 E 为规范性附录,附录 A、附录 B、附录 F 和附录 G 为资料性附录。

本标准由石油工程建设专业标准化委员会提出并归口。

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。

本标准主要起草人:施岱艳、宋德琦、姜放、周平、王秦晋、杨朔、邓红、曹晓燕、夏永生、傅贺平。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- SY J 12—1985;
- SY/T 0599—1997。

天然气地面设施抗硫化物应力开裂和 抗应力腐蚀开裂的金属材料要求

1 范围

本标准规定了含硫化氢油气田地面设施用金属材料抗硫化物应力开裂和（或）抗应力腐蚀开裂的金属材料及制造工艺的要求。

本标准适用于与含硫化氢介质接触的地面设施，如石油或天然气井场、集气站、处理厂的工艺设备和采、集气管线等。

2 规范性引用文件

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

- GB 150 钢制压力容器
- GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法
- GB/T 230.1 金属洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）
- GB/T 231.1 金属布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 710 优质碳素结构钢热轧薄钢板和钢带
- GB/T 711 优质碳素结构钢热轧厚钢板和宽钢带
- GB/T 984 堆焊焊条
- GB/T 1172 黑色金属硬度及强度换算值
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 2965 钛及钛合金棒材
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB 3087 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板
- GB/T 4340.1 金属维氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 5231 加工铜及铜合金化学成分和产品形状
- GB 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB 6654 压力容器用钢板
- GB/T 9711.3 石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第3部分：C级钢管
- GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件
- GB/T 15008 耐蚀合金棒
- GB/T 15970.2 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第2部分：弯梁试样的制备和应用
- GB/T 15970.7 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第7部分：慢应变速率试验
- SY/T 6601 耐腐蚀合金管线钢管

JB 4726 压力容器用碳素钢和低合金钢锻件

JB 4728 压力容器用不锈钢锻件

JB/T 3168.1 喷焊合金粉末 技术条件

TG 166 有色金属及其合金的热处理

Q/YCS 81 3YC7 抗 H_2S 合金

Q/YCS 42 6YC1 高压阀芯阀座用合金

API Spec 5L 管线钢管规范

EFC 17:2002 用于油气开采的耐蚀合金：在酸性环境中应用的一般要求和试验方法

NACE MR 0175/ISO 15156 石油和天然气工业—油气开采中用于含硫化氢环境的材料

NACE TM 0177:1996 H_2S 环境中抗特殊形式的环境开裂材料的实验室试验方法

NACE TM 0198 酸性油气田中筛选抗应力腐蚀开裂的耐蚀合金的 SSRT 法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

硫化物应力开裂 (SSC) sulfide stress cracking

在有水和 H_2S 存在的情况下，与腐蚀和拉应力〔残留的和（或）外加的〕有关的一种金属开裂。

注：SSC 是氢应力开裂（HSC）的一种形式，它与在金属表面的因酸性腐蚀所产生的原子氢引起的金属脆性有关。在硫化物存在时，会促进氢的吸收。原子氢能扩散进金属，降低金属的韧性，增加裂纹的敏感性。高强度金属材料 and 较硬的焊缝区域易于发生 SSC。

3.2

应力腐蚀开裂 (SCC) stress corrosion cracking

在有水和 H_2S 存在的情况下，与局部腐蚀的阳极过程和拉应力（残留的或施加的）相关的一种金属开裂。

注：氯化物和（或）氧化剂和高温能增加金属产生应力腐蚀开裂的敏感性。

3.3

氢应力开裂 (HSC) hydrogen stress cracking

金属在有氢和拉应力（残留的或施加的）存在的情况下出现的一种裂纹。

注 1：HSC 描述了一种产生在对 SSC 不敏感的金属中的一种裂纹。这种金属作为阴极和另一种活跃腐蚀的金属成为阳极形成电偶，在有氢时，金属就可能变脆。术语电偶诱发的氢应力开裂（GHSC）就是这种机理的开裂。

注 2：GHSC (galvanically-induced hydrogen stress-cracking) 开裂的形成是由于金属中存在着由电偶对的阴极诱发的氢和拉伸应力〔残留的和（或）施加的〕。

3.4

氢致开裂 (HIC) hydrogen-induced cracking

当氢原子扩散进钢铁中并在陷阱处结合成氢分子（氢气）时，所引起的在碳钢和低合金钢中的平面裂纹。

注：裂纹是由于氢的聚集点压力增大而产生的。氢致开裂的产生不需要施加外部的应力，能够引起 HIC 的聚集点常常在于钢中杂质水平较高的地方，那是由于杂质偏析和在钢中合金元素形成的具有较高密度的平面型夹杂和（或）具有异常显微组织（如带状组织）的区域。这种类型的氢致开裂与焊接无关。

3.5

阶梯裂纹 (SWC) stepwise cracking

在钢材中连接相邻平面内的氢致开裂的一种裂纹。

注：这个术语描述了裂纹的外貌。连接氢致开裂而产生的阶梯裂纹取决于裂纹间的局部应变和裂纹周围钢由于

溶解的氢引起的脆性。HIC/SWC 往往与生产钢管和容器的低强度钢板有关。

3.6

软区开裂 (SZC) soft zone cracking

SSC 的一种形式,可能出现在于钢局部屈服强度低的软区。

注:在操作载荷作用下,软区可能会屈服,并局部累积塑性应变,使在别的情况下抗 SSC 的材料发生 SSC 开裂敏感性增加。这种软区最有代表性的是与碳钢的焊接有关。

3.7

应力定向氢致裂纹 (SOHIC) stress-oriented hydrogen-induced cracking

大约与主应力(残余的或施加的)方向垂直的一些阶梯小裂纹,使已有的 HIC 裂纹像梯子一样连接起来的(通常细小的)一组裂纹。

注:这种开裂可被归类为由外应力和氢致开裂周围的局部应变引起的 SSC。SOHIC 与 SSC 和 HIC/SWC 有关。在纵焊缝钢管的母材和压力容器焊缝的热影响区都观察到 SOHIC。SOHIC 并不是一种常见的现象,其通常与低强度铁素体钢管和压力容器用钢有关。

3.8

酸性环境 sour service

暴露于含有 H_2S 并能够引起材料按本标准所描述的机理开裂的油气田环境。

3.9

碳钢 (CS) carbon steel

包含有碳和非金属元素锰以及其他残余合金元素的铁碳合金,但不包括为了脱氧而有意加入的一定量的元素[通常是硅和(或)铝]。

注:石油工业中所用碳钢的含碳量通常低于 0.8%。

3.10

低合金钢 low alloy steel

合金元素总量少于 5% (大约含量),但多于碳钢规定的合金元素含量的钢。

3.11

耐蚀合金 (CRA) corrosion-resistant alloy

能够耐油气田环境中的一般和局部腐蚀的合金材料,在这种环境中,碳钢会受到腐蚀。

3.12

抗点蚀当量数 (PREN) pitting resistance equivalent number

PREN 数值 (F_{PREN}) 用来反映和预示耐蚀合金的抗点蚀能力,根据合金化学成分中 Cr, Mo, W 和 N 的比例来确定。

PREN (F_{PREN}) 应按式 (1) 计算:

$$F_{PREN} = W_{Cr} + 3.3 (W_{Mo} + 0.5W_W) + 16W_N \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

W_{Cr} ——合金中铬的质量分数, %;

W_{Mo} ——合金中钼的质量分数, %;

W_W ——合金中钨的质量分数, %;

W_N ——合金中氮的质量分数, %。

注:PREN 有若干变量。它的提出完全是为了反映和预测铁镍铬钼耐蚀合金在有溶解的氯化物和氧的情况下,如在海水中的抗点蚀性能。该数值虽然有用,但不能直接预示在含硫化氢油气田环境中的抗腐蚀性。

4 总则

4.1 本标准是对在硫化氢环境中油气田地面设施用的金属材料抗 SSC 和 (或) SCC 的最低要求。

本标准不包括硫化氢引起的电化学失重腐蚀和其他类型的开裂。

恶劣的腐蚀环境还可能导致与 SSC 和（或）SCC 机理不同的破坏。例如，由于氢致开裂（HIC）/阶梯裂纹（SWC）、应力定向氢致裂纹（SOHIC）和软区开裂（SZC）使某些用于管线和容器的碳钢或低合金钢失效。因此在酸性环境的设备设计和操作中应按具体情况选择适当的材料或选择适当的焊接工艺和焊材等其他措施加以控制。涉及上述其他类型的开裂的评价见 NACE MR 0175/ISO 15156 的相关规定。

注 1：当评价在含有 H_2S 的酸性环境中的碳钢钢板及其焊接产品时，还应考虑 SOHIC 和 SZC 的发生。尽管这些现象发生很少且未被充分了解，但在碳钢中所引起母材的 SOHIC 和焊缝热影响区 SOHIC 和 SZC 的突然失效，应为使用者所关注。在有硫或氧的工作条件下，这种机理引起的破坏可能性会增大。

注 2：当评价用于含有微量 H_2S 的酸性环境中的轧制碳钢产品时，还应考虑 HIC/SWC 的发生，在工作环境中存在铁锈、硫或氧，特别是还有氯化物同时存在时，增加了破坏的可能性。

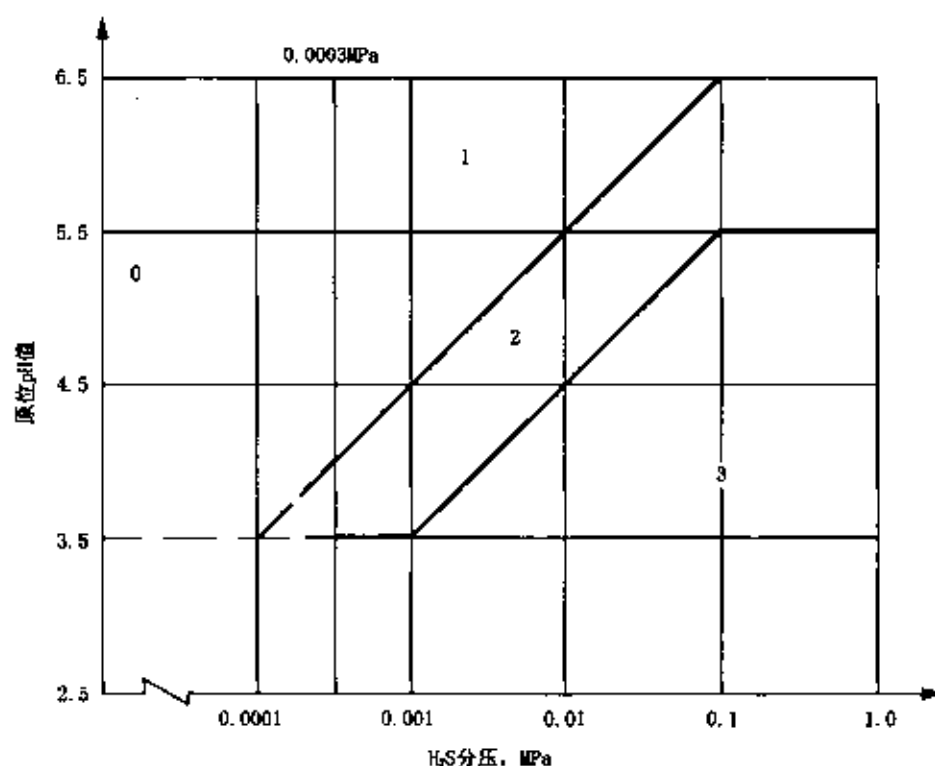
4.2 凡暴露于酸性环境中的金属材料均应满足本标准的规定，否则就可能导致 SSC 和（或）SCC 破坏。对硫化氢高敏感性材料在不太恶劣的环境中也可能发生失效。

本标准适用于暴露在酸性环境设备上的所有部件。这些部件受 SSC 或 SCC 的破坏主要表现为：

- a) 使设备在继续承压时，不能恢复到正常运转状态。
- b) 危害承压系统的完整性。
- c) 使设备丧失基本功能。

4.3 本标准适用于按常规的弹性准则设计和制造设备所用材料的选择和判定。

4.4 碳钢或低合金钢发生 SSC 的酸性环境的严重程度与 H_2S 分压（ p_{H_2S} ）和溶液的 pH 值有关，用图 1 进行评价。



0—0 区；1—SSC 1 区；2—SSC 2 区；3—SSC 3 区

图 1 碳钢和低合金钢 SSC 的环境严重程度的区域

$p_{H_2S} < 0.0003 \text{ MPa}$ 的环境为 0 区, $p_{H_2S} \geq 0.0003 \text{ MPa}$ 的环境分为 SSC 1 区、SSC 2 区和 SSC 3 区。

酸性环境的严重程度: SSC 3 区 > SSC 2 区 > SSC 1 区 > 0 区。

在确定含有 H_2S 环境的严重程度时, 应考虑在不正常的工作条件下或停工时暴露于未缓冲的低 pH 值凝析水相时, 或者井下增产酸液和 (或) 反排增产酸液的可能性。

注 1: 原位 pH 值的确定参见附录 A。

注 2: H_2S 分压、 CO_2 分压的确定参见附录 B。

注 3: 图 1 中 H_2S 分压低于 0.0003 MPa 和高于 1 MPa 的不连续性反映了测量低 H_2S 分压时的不确定性和超出 H_2S 分压范围 (包括低和高 H_2S) 时钢材性能的不确定性。

4.5 对耐蚀合金及其他合金材料用于酸性环境条件的限制见第 6 章, 针对不同材料类别规定了 H_2S 分压、温度、氯离子浓度和单质硫的限制。

4.6 可根据具体情况采用下述一种或多种措施对含 H_2S 油气田地面设施的 SSC 和 (或) SCC 进行控制:

- a) 采用本标准推荐的金属材料与工艺。
- b) 控制腐蚀环境。
- c) 把金属部件与酸性环境隔离开。

4.7 本标准推荐的金属材料, 是基于它们在实际现场应用和 (或) 实验室的 SSC/SCC 试验中, 所表现出的抗 SSC/SCC 性能。

4.8 凡符合本标准材料要求的产品, 不是在所有条件下均能避免酸性环境所造成的 SSC/SCC。如设计、制造、安装、选择或处理不当, 都能引起抗 SSC/SCC 的材料变得对 SSC/SCC 敏感。

4.9 硬度要求: 母材、焊缝和热影响区的硬度值在决定碳钢和低合金钢的抗 SSC 性能方面起着重要的作用。控制硬度是一种获得抗 SSC 性能的可接受方法。本标准采用硬度作为检验和制造的主要质量指标。

硬度测定应按 GB/T 230.1, GB/T 231.1, GB/T 4340.1 规定进行。硬度换算应按 GB/T 1172 的规定进行。硬度测定应同时符合以下要求:

- a) 应有包括不同位置在内的足够数量的检测点。
- b) 邻近区域读数的平均值不应大于规定的允许值。
- c) 硬度读数的个别值不应超过允许值 2 HRC。

4.10 易切削钢: 不应使用易切削钢。

4.11 油气田地面设施用抗 SSC 和 (或) SCC 金属材料除应符合本标准外, 尚应符合国家现行的有关标准、规范的规定。

5 碳钢、低合金钢

5.1 用于 0 区的钢: 通常情况下, 在 0 区这种条件下选择使用的钢材可以不考虑控制措施。但是, 在此区域中应考虑以下这些能够影响钢材性能的因素:

- a) 对 SSC 和 HSC 高度敏感的钢材可能开裂。
- b) 钢材的物理和冶金性能影响它固有的抗 SSC 和 HSC 性能。
- c) 在没有 H_2S 的液相环境中, 强度非常高的钢材可能会发生 HSC。当屈服强度高于 965 MPa 以上时, 宜对钢材的化学成分和热处理提出要求, 以保证在 0 区环境不出现 SSC 或 HSC。
- d) 应力集中增加开裂的风险。

5.2 用于 SSC 1 区的抗 SSC 钢: 允许使用 5.3 或 5.4 和附录 C 中所列的钢材, 未列出的钢材应按附录 D 进行评定。在特定酸性工作环境应用的材料的选样也可以依据有记载的现场经验为基础。

满足酸性环境 SSC 1 区技术要求的管线钢的性能如下:

管线钢应适当限制化学成分以保证良好的可焊性。规定的最低屈服强度 (SMYS) 为 550MPa 钢级的管线钢可以接受, 且制造和现场焊缝的硬度不应大于 300 HV。其他的技术要求应符合适当的生产规范。

5.3 用于 SSC 2 区的抗 SSC 钢: 允许使用 5.4 和附录 C 中所列的钢材, 未列出的钢材应按附录 D 进行评定。在特定酸性工作环境应用的材料的選擇也可以依据有记载的现场经验为基础。

满足酸性环境 SSC 2 区技术要求的管线钢的性能如下:

管线钢应适当限制化学成分以保证良好的可焊性。规定的最低屈服强度 (SMYS) 为 450MPa 钢级的管线钢可以接受, 且制造和现场焊缝的硬度不应大于 280HV。其他的要求应符合适当的生产规范。

5.4 用于 SSC 3 区的抗 SSC 钢。

5.4.1 碳钢、低合金钢产品和部件若暴露于 SSC 3 区酸性环境应符合本条的要求。允许使用附录 C 中所列的钢材, 未列出的钢材应按附录 D 进行评定。

热处理工艺、冷加工能强烈地影响碳钢和低合金钢的 SSC 敏感性。以下各条规定了使碳钢和低合金钢获得满意的抗 SSC 性能的热处理、冷加工等要求。

5.4.2 母材成分、热处理和硬度要求:

- a) 含镍量应低于 1%。
- b) 硬度应小于或等于 22HRC。
- c) 碳钢和低合金钢应采用下列一种热处理状态:
 - 1) 热轧 (仅对低碳钢)。
 - 2) 退火。
 - 3) 正火。
 - 4) 正火加回火。
 - 5) 正火、奥氏体化, 淬火加回火。
 - 6) 奥氏体化, 淬火加回火。

5.4.3 冷变形和热应力消除。

5.4.3.1 碳钢和低合金钢经冷轧、冷锻或其他制造工艺进行任何冷变形后, 导致表面纤维性永久变形量大于 5% 时, 不论硬度多少均应作消除应力热处理。消除应力热处理温度不应低于 595℃。热处理后的硬度应小于或等于 22HRC。

5.4.3.2 GB 3087, GB 6479, GB 5310 的 20 号钢、20G 以及 API Spec 5L X-42, GB/T 9711.3 的 L290 钢管或化学成分类似的低强度钢管, 当冷变形量小于或等于 15% 时, 变形区硬度不大于 190HB 时, 可不作消除应力热处理。

5.4.3.3 只有按 ISO 或 API 的生产标准规定的工艺条件, 才允许冷旋转矫直钢管。如果管子及其管件在小于或等于 510℃ 温度下进行冷矫直, 应在最低温度 480℃ 下进行消除应力处理。

5.4.4 焊接。

5.4.4.1 焊接规程应符合现行国家标准的有关规定外, 焊件材料还应符合 5.4.2 对基体金属材料的要求。

5.4.4.2 焊缝和焊接接头硬度测定应该按 5.4.5.2 的要求执行。

5.4.4.3 对碳钢、低合金钢可用焊接工艺来控制焊接可变量, 通常包括限制母材和填充金属的化学成分和焊接参数。在焊接状态下, 焊缝、热影响区和母材金属允许的最大硬度值为 250HV (或 22HRC)。焊接过的碳钢、低合金钢应在不低于 620℃ 温度下进行消除应力热处理来控制焊接应力。

5.4.4.4 不应采用可能使熔敷金属中镍含量大于 1% 的工艺和焊材, 除非根据附录 D 进行 SSC 评定试验合格之后可以采用。

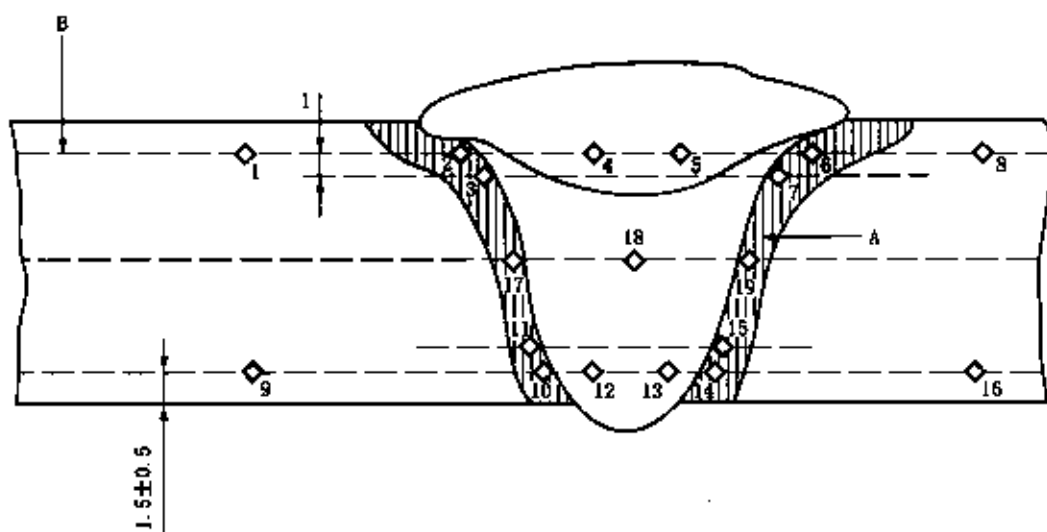
5.4.5 硬度试验方法。

5.4.5.1 母材：本标准用洛氏 C 硬度值 (HRC) 作为母材验收的主要依据。

也可采用布氏硬度 (HBW)、维氏硬度 (HV) 5kg 或 10kg 或其他硬度试验方法，可按 GB/T 1172 将用这些试验方法测得的硬度值转换成 HRC 值。如果购买方认可，可以接受以实验为依据的转换数据。

5.4.5.2 焊接工艺评定的硬度试验方法应按 GB/T 4340.1，规定的维氏 HV10 或 HV5 进行。如果设计压力不大于材料的 $\frac{2}{3}$ 规定的最小屈服强度 (SMYS)，并且焊接工艺评定包括焊后热处理，可用洛氏 C 硬度试验方法评定焊接工艺。在其他情况下使用洛氏 C 硬度试验方法评定焊接工艺需经设备使用者的同意。

焊接工艺评定的硬度根据图 2 (对接焊缝)、图 3 (角焊缝) 和图 4 (修补和部分熔透焊缝) 用维氏硬度进行检查。对接焊缝的 HRC 硬度试验应按图 5 进行。其他连接结构的检查可以根据这些图演变而来。



A—焊缝热影响区 (浸蚀后可见)；B 虚线为测量线。

注 1：2、3、6、7、10、11、14、15、17 和 19 硬度压痕应完全在热影响区内，并且尽量靠近熔合金属与热影响区之间的熔合线。

注 2：上部的测量线应位于适当位置，使得 2 和 6 压痕与最后焊道的热影响区或与最后焊道的熔合线的变化轮廓一致。

图 2 对接焊缝维氏硬度检查方法

5.4.6 表面处理：覆盖层、镀层、涂层、衬里等。

5.4.6.1 渗氮、金属涂层 (电镀和非电镀)、转化型涂层、塑料覆盖层和衬里不应用来防止 SSC。

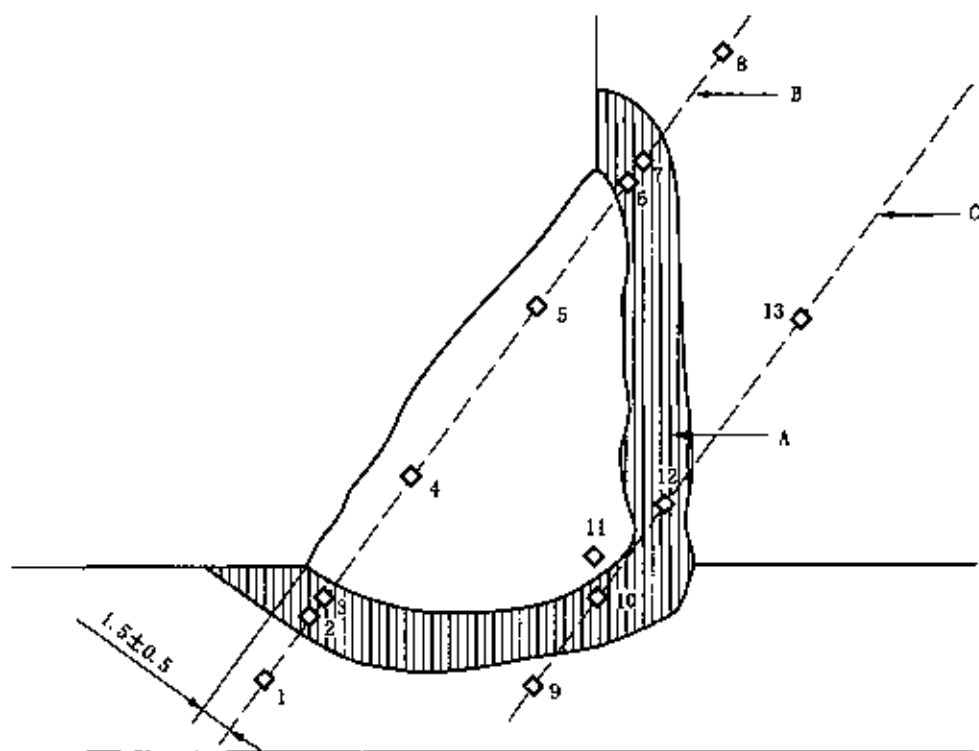
5.4.6.2 碳钢和低合金钢的覆盖层如果采用焊接、银钎焊或喷涂金属等热加工，基体金属的热处理状态不发生改变时，可用于酸性环境。当基体金属升温超过下临界温度，应进行热处理，使基体金属恢复到本标准规定的基体金属硬度小于或等于 22HRC，基体金属的最终热处理状态应符合 5.4.2 的要求。

5.4.6.3 如果采用渗氮表面处理，温度应低于被处理合金的下临界温度，最大深度为 0.15mm。

5.4.7 螺纹：可以使用机械切削加工的螺纹。冷成型 (滚压) 的螺纹应满足本章有关原材料的热处理及硬度要求。

5.4.8 字模压印标志。

5.4.8.1 可以字模压印如点、波纹线、圆滑的 U 形等低应力的标志。

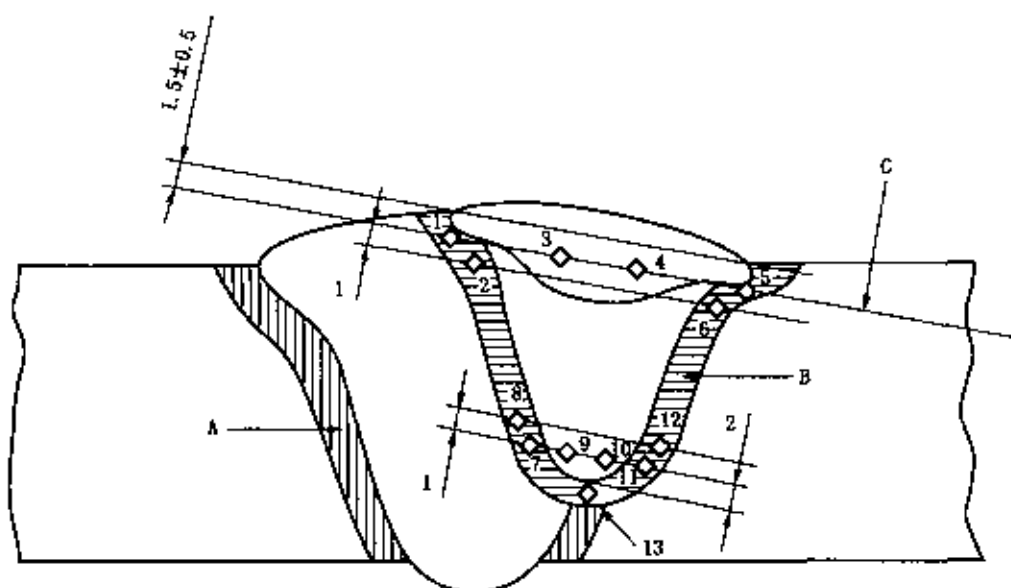


A—焊缝热影响区（浸蚀后可见）；B—虚线为测量线；

C—虚线为测量线，平行于测量线 B 并穿过焊接金属和焊后热影响区之间的熔合边界。

注：3、6、10 和 12 硬度压痕应完全在热影响区内，并且尽量靠近焊接金属与热影响区之间的熔合线。

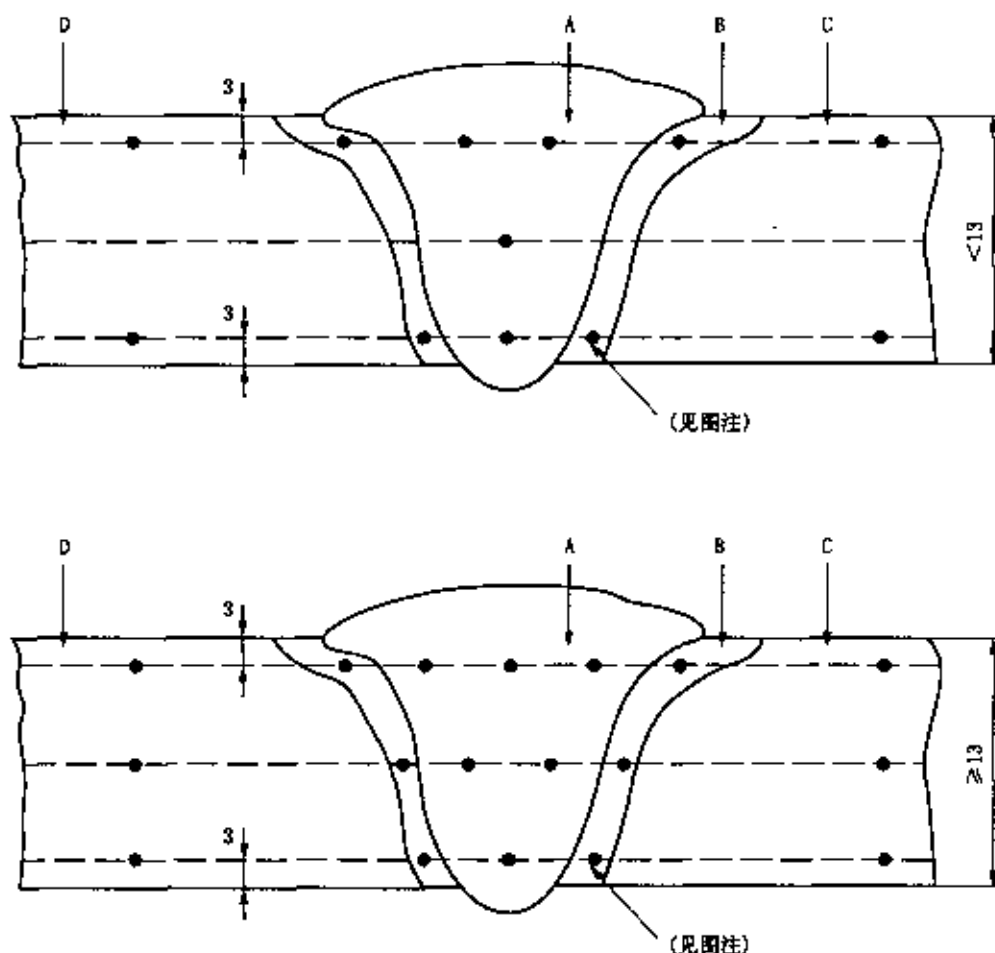
图 3 角焊缝



A—初始焊缝热影响区；B—补焊热影响区；C—虚线为测量线的平行线。

注：上部的测量线应位于适当位置，使得热影响区的压痕与最后焊道的热影响区或最后焊道的盖面焊熔合线的变化轮廓一致。

图 4 补焊和部分熔透焊缝



A—焊缝；B—焊缝热影响区（浸蚀后可见）；C—母材；D—虚线为测量线。

注：焊缝热影响区的硬度压痕宜在熔合线边界 2mm 内。

图 5 对接焊缝（洛氏硬度测试方法）

5.4.8.2 在部件低应力区（如法兰外缘上）可以字模压印尖锐的（如 V 形）标志。在高应力区一般不能字模压印尖锐的标志，否则字模压印后应在温度不低于 595℃ 下进行消除应力热处理。

5.5 碳素铸钢和低合金铸钢经退火、正火、调质处理后，硬度应小于或等于 22HRC。

6 耐蚀合金及其他合金

6.1 总则

6.1.1 暴露于酸性环境的耐蚀合金及其他合金的产品、部件以及焊接等制造工艺应符合本章的要求。在本章和附录 C 中未列出的酸性环境用耐蚀合金及其他合金应按 8.3 和附录 E 进行实验室评定。

6.1.2 本章提供的耐蚀合金及其他合金是按基本化学成分、制造工艺分类的，未一一列出单一合金。对这些合金类别，在附加的冶金限制内，分别规定了 H_2S 分压、原位 pH 值、氯化物、温度和单质硫的环境限制。

6.1.3 对于至少有两年现场使用经验的耐蚀合金及其他合金，应按 8.2 的要求，预计的使用环境苛刻程度不能超过已有的现场经验的相应环境条件。

6.1.4 焊接：应保证焊缝具有与母材相一致的抗 SSC，SCC 和 GHSC 性能。

焊后热影响区的硬度不应大于母材允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度不应大于用作焊材的相

应合金的最大硬度限制。焊接工艺评定的硬度试验方法遵照 5.4.5.2。

焊材的化学成分应和母材相近，力学性能不应低于母材在标准中规定的最低值。

如果焊缝的补焊满足补焊的焊接工艺和抗 SSC、SCC 和 GHSC 的要求，焊缝则允许补焊。

6.2 奥氏体不锈钢

6.2.1 奥氏体不锈钢的化学成分应符合以下规定：

C：最大值为 0.08%；

Cr：最小值为 16%；

Ni：最小值为 8%；

P：最大值为 0.045%；

S：最大值为 0.04%；

Mn：最大值为 2.0%；

Si：最大值为 2.0%。

还允许含有其他的合金元素。

对含碳量较高的 1Cr18Ni9Ti，含碳量在其相应的技术要求的范围内是可接受的。

6.2.2 使用环境限制和材料要求。

6.2.2.1 不限制氯化物和无单质硫的条件下，最高温度为 60℃ 时，允许的 H_2S 分压最大值为 0.1MPa。若氯化物浓度低于 50mg/L，允许的 H_2S 分压最大值为 0.35MPa。

6.2.2.2 固溶退火加淬火或退火加热稳定化处理状态下的奥氏体不锈钢，不应含马氏体，硬度应小于或等于 22 HRC。

6.2.2.3 不应使用经冷加工强化力学性能的奥氏体不锈钢；奥氏体不锈钢部件产生永久冷变形后，均应做消除应力热处理，热处理后硬度应小于或等于 22HRC。

6.2.2.4 00Cr17Ni14Mo2 (316L) 经固溶热处理 (1010℃~1150℃，快冷) 后，硬度应小于或等于 22HRC，用作地面用的仪表管子、压紧连接管件和地面控制管线等部件时，对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值单个环境参数没有限制，但用于这些参数的某些数值的组合环境时应按附录 E 进行评定。

UNS S20910 在冷加工状态下，随后进行固溶退火，最大硬度值为 35HRC 时，可用作阀杆、销和轴，对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值的任何组合没有限制。

3Cr17Ni7Mo2N (318) 棒材，经固溶热处理 (1130℃±10℃，2h 水淬) 后，硬度应小于或等于 24HRC，可用作阀杆。

注：本标准中采用 SAE—ASTM 金属和合金的统一编号系统 (UNS) 的耐蚀合金及其他合金的化学成分参见附录 F。

6.3 高合金奥氏体不锈钢

6.3.1 $(Ni + 2Mo) > 30\%$ 并且 Mo 最小值为 2% 的高合金奥氏体不锈钢：这类高合金奥氏体不锈钢合金应在固溶退火状态下使用。对这些合金使用环境的限制如下：

不限制氯化物浓度、原位 pH 值和无单质硫、最高温度为 60℃ 时，允许的 H_2S 分压最大值为 0.1MPa。若氯化物浓度低于 50mg/L，允许的 H_2S 分压最大值为 0.35MPa。

6.3.2 $F_{PREN} > 40$ 的高合金奥氏体不锈钢：这类高合金奥氏体不锈钢合金应在固溶退火状态下使用。对这些合金使用环境的限制如下：

a) 不限制氯化物浓度、原位 pH 值和无单质硫、最高温度为 60℃ 时，允许的 H_2S 分压最大值为 0.1MPa。

b) 氯化物最大浓度为 5000mg/L、无单质硫、最高温度为 121℃ 时，不限制原位 pH 值，允许的 H_2S 分压最大值为 0.7MPa。

c) 氯化物最大浓度为 5000mg/L、无单质硫、最高温度为 149℃ 时，不限制原位 pH 值，允许的

H_2S 分压最大值为 0.31MPa。

- d) 氯化物最大浓度为 5000mg/L、无单质硫、最高温度为 171℃ 时, 不限制原位 pH 值, 允许的 H_2S 分压最大值为 0.1MPa。

6.3.3 高合金奥氏体不锈钢合金在固溶退火状态下用作地面用的仪表管子、压紧连接管件和地面控制管线等部件时, 对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值单个环境参数没有限制, 但用于这些参数的某些数值的组合环境时, 应按附录 E 进行评定。

6.3.4 UNS N08904 锻件在退火状态, 且最大硬度为 180HV10, 用作仪表管子时, 对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值的任何组合没有限制。

6.4 马氏体不锈钢

6.4.1 使用环境限制和材料要求: 可用的环境应为 H_2S 分压不超过 0.01MPa 和 pH 值不低于 3.5, 对开采环境中的温度和氯化物浓度没有限制。

6.4.2 马氏体不锈钢 1Cr13, UNS J91150 和 UNS J91151 的铸件或锻件在采用以下热处理工艺, 最大硬度为 22HRC 时可以用作阀门和节流器部件 (不包括阀杆):

- 奥氏体化加淬火或空冷。
- 在不低于 620℃ 下回火, 随后冷却到环境温度。
- 在不低于 620℃ 下回火, 但要比第一次回火温度低, 随后冷却到环境温度。

马氏体不锈钢焊件应在不低于 620℃ 进行焊后热处理。

6.4.3 马氏体不锈钢 2Cr13 的铸件或锻件在淬火加回火热处理状态, 最大硬度为 22HRC 时可以用作阀门和节流器部件 (不包括阀杆)。

6.4.4 低碳马氏体不锈钢, UNS J91540 铸件或 S42400 锻件在采用以下热处理工艺, 最大硬度为 23HRC 时可以用作阀门和节流器部件 (不包括阀杆):

- 在不低于 1010℃ 下奥氏体化, 随后用空气或油淬火至环境温度。
- 在 648℃~690℃ 间回火, 随后空气冷却至环境温度。
- 在 593℃~620℃ 间回火, 随后空气冷却至环境温度。

低碳马氏体不锈钢焊件 (J91540 铸件或 S42400 锻件) 应先冷却到 25℃ 后, 再按下面所述进行单或双循环焊后热处理:

——单循环焊后热处理应在 580℃~620℃ 下进行。

——双循环焊后热处理应在 671℃~690℃ 下进行, 然后冷却到 25℃ 或更低温度, 再加热到 580℃~620℃。

注 1: 奥氏体不锈钢和马氏体不锈钢, 在某些条件下易产生氯化物应力腐蚀开裂。

注 2: 马氏体不锈钢不宜用作酸性环境中的阀杆或其他高应力零件。

6.5 固溶镍基合金

6.5.1 固溶镍基合金的化学成分应为:

Cr: 最小值为 19.0%;

Ni + Co: 最小值为 29.5%;

Mo: 最小值为 2.5%。

或

Cr: 最小值为 14.5%;

Ni + Co: 最小值为 52%;

Mo: 最小值为 12%。

6.5.2 使用环境限制和材料要求。

6.5.2.1 经锻造或铸造的固溶镍基产品应为固溶退火或退火状态。

6.5.2.2 UNS N06059, UNS N06625, UNS N06952, UNS N06957, UNS N08007, UNS

N08020, UNS N08020, UNS N08024, UNS N08026, UNS N08028, UNS N08032, UNS N08042, UNS N08535, UNS N08825, UNS N08826, UNS N08932, UNS N10002, UNS N10276, UNS CW12MW 和 UNS CW6MC 用作任何设备和部件对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度、原位 pH 值任何组合和单质硫没有限制。

6.6 沉淀硬化镍基合金

3YC7, UNS N07750 和 UNS N07090 应经固溶处理, 在冷加工+时效处理条件下, 硬度分别小于或等于 45HRC, 50HRC, 50HRC 时可以作为弹簧; 3YC7 经固溶+时效处理后, 硬度小于或等于 40 HRC 时可用于制作阀杆。对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值单个环境参数没有限制, 但用于这些参数的某些数值的组合环境时应按附录 E 进行评定。

6.7 钴基合金

6.7.1 用作弹簧材料对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值单个环境参数没有限制, 但用于这些参数的某些数值的组合环境时应按附录 E 进行评定。

UNS R30003 为冷加工加时效处理状态, 最大硬度为 60HRC。

UNS R30035 为冷加工加时效处理状态 (在温度不低于 649℃ 下至少时效 4h), 最大硬度为 55HRC。

6.7.2 用作膜片、压力测量装置和压力密封件时, UNS R30003, UNS R30004 和 UNS R30260 对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值没有限制。

UNS R30003 和 UNS R30004 的最大硬度应为 60HRC, UNS R30260 的最大硬度应为 52HRC。

用作压力密封件的 UNS R30159 锻件的最大硬度应为 53HRC, 且最初承载或受压的方向应平行于锻件产品的轴向或轧制方向, 对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值单个环境参数没有限制, 但用于这些参数的某些数值的组合环境时应按附录 E 进行评定。

6.7.3 Co55CrNiWNB (6YC1) 经固溶+时效处理后可以作为受冲刷腐蚀的阀芯、阀座。对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度和原位 pH 值没有限制。

6.8 钛合金

6.8.1 对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度、原位 pH 值和单质硫没有限制。在温度高于 80℃ 含水的 H_2S 介质中, 钛合金若与某些活泼金属 (如碳钢) 形成电偶就可能发生氢脆。某些钛合金在氯化物环境中可能对缝隙腐蚀和 / 或 SSC 敏感。

6.8.2 TC-4 锻态棒材经 750℃~800℃ 退火或经固溶处理 (850℃~900℃, 水淬) 一时效处理 (450℃~550℃, 2h, 空冷) 后, 硬度小于或等于 35HRC 时可用于制作阀杆。

6.8.3 用作任何设备或部件的材料; UNS R50400 的最大硬度应为 100HRB。

UNS R56260 应采用下列任一种热处理方式, 最大硬度应为 45HRC:

- 退火。
- 固溶退火。
- 固溶退火加时效。

UNS R53400 应为退火状态。退火热处理应是在 774℃±14℃ 下保温 2h, 随后空气冷却, 最大硬度应为 92HRB。

UNS R56323 应为退火状态且最大硬度应为 32HRC。

UNS R56403 锻件应为退火状态且最大硬度应为 36HRC。

UNS R56404 应为退火状态且最大硬度应为 35HRC。

UNS R58640 最大硬度应为 42HRC。

6.9 铜基和铝基合金

6.9.1 对开采环境中的温度、 p_{H_2S} 、氯化物浓度、原位 pH 值和单质硫没有限制。

6.9.2 在酸性环境中使用铜及铜合金时, 可能会加速失重腐蚀, 特别在有氧时更应注意。铝基合金

的失重腐蚀受环境的 pH 值的强烈影响。

6.10 覆盖层、镀层

6.2、6.3 以及 6.5~6.8 中列出和规定的材料可用作耐蚀覆盖层、衬里或焊接堆焊层材料。使用镀层或覆盖层后的基体金属仍应符合本标准的抗开裂性能要求，才可使用。

涉及热处理或消除应力处理时，可能会影响镀层、衬里或覆盖层的性能。

影响镀层、衬里或覆盖层长期使用完整性的因素包括在预期使用条件下的环境开裂，以及其他腐蚀机理的影响和机械损伤。

应考虑覆盖层在使用期间变薄弱可能影响其耐蚀性能或机械性能。

6.11 螺纹

允许使用机械切削加工的螺纹。

如果材料和它的其他方面应用的限制都遵照本标准的要求，可以使用耐蚀合金经冷成形（滚压）生产的螺纹。

6.12 字模压印

可以字模压印如点、波纹线、圆滑的 U 形等低应力的标志。

在部件低应力区（如法兰外缘上）可以字模压印尖锐的（如 V 形）标志。在高应力区不应字模压印尖锐的标志，除非设备使用者同意。

7 酸性天然气地面设施用材料

7.1 压力容器

7.1.1 用于 SSC 3 区中的压力容器各部件应符合第 5 章、第 6 章的要求，可以采用附录 C 中表 C.1、表 C.2、表 C.3 和表 C.4 中所列的适当的材料制造。

7.1.2 根据 GB 150 选用碳钢和低合金钢制造压力容器时，宜选取优质低碳钢或屈服强度等于或低于 360MPa 的低合金钢材料。钢应为高纯净度、晶粒度为 6 级或更细的全镇静钢，不得选用沸腾钢。

注：由轧制碳钢和低合金钢板制成的产品在微量 H₂S 环境下可能对 HIC 敏感而产生破坏。

7.1.3 当选用 16Mn 锻件、16MnR 作为压力容器用钢时，在保证材料的力学性能的情况下宜控制 Mn 含量在标准规定范围内接近下限值。

7.1.4 容器焊缝焊接材料的化学成分应和母材相近，力学性能不应低于母材在标准中规定的最低值。焊缝强度过高将导致对 SSC 敏感。焊缝应符合第 5 章、第 6 章的要求。

7.2 采气管线和集气管线

7.2.1 用于 SSC 3 区中的采气管线和集气管线应符合第 5 章、第 6 章的要求，可以采用附录 C 中表 C.1、表 C.3 中所列的适当的材料。

7.2.2 采气管线和集气管线宜选用优质低碳钢或屈服强度等于或低于 360MPa 的低合金钢无缝钢管或埋弧直缝焊钢管。钢应为高纯净度、晶粒度为 6 级或更细的全镇静钢。

7.2.3 管线环焊缝焊接材料的化学成分应和母材相近，力学性能不应低于母材在标准中规定的最低值。焊缝强度过高将导致对 SSC 敏感。焊缝应符合第 5 章、第 6 章的要求。

7.3 弹性元件

酸性环境中的弹性元件应采用附录 C 中表 C.2 和表 C.4 所列的适当材料制造。弹性元件应符合第 6 章的要求。

7.4 阀门

7.4.1 酸性环境中阀门的各部件应符合第 5 章和第 6 章的要求，可以采用附录 C 中表 C.1、表 C.2、表 C.4、表 C.5 中所列的适当的材料制造。

7.4.2 25 号锻钢为基体金属，密封面堆焊或喷焊钴基或镍基合金后进行消除应力热处理，可用于制做阀板、阀瓣、针型阀阀芯、阀座。

7.4.3 GB/T 12229 中的 WCA 级和 WCB 级碳素钢铸件在退火状态下,可用于制做阀体。

7.4.4 35CrMo 锻钢经调质处理后,可用于制作阀体、阀盖、盘根压帽、轴承压盖、法兰等。

7.5 仪表接管

酸性环境中的仪表接管、压紧连接管件和地面控制管线应符合第 5 章和第 6 章的要求,可以采用附录 C 中表 C.1、表 C.2、表 C.4 中所列的适当的材料制造。

7.6 螺栓和紧固件

直接暴露于酸性环境的螺栓,或要被掩埋、隔绝、安装于法兰保护装置上的,或其他不允许直接暴露于大气环境中的螺栓,应符合第 5 章和第 6 章的要求。直接暴露于大气环境中的螺栓不要求符合本标准。

注:当采用低强度螺栓时,在某些情况下可能需要降低压力等级。

8 用于酸性环境材料的评定

8.1 材料的描述和证明文件

提供需要评定材料的资料,并对材料进行描述。

应提供材料的化学成分、制造方法、产品结构、强度、硬度、冷加工量、热处理条件和微观结构,并提供容许的偏差范围。

8.2 现场经验判别

可以根据提供的现场经验资料对材料进行判别。材料的描述应符合 8.1 的要求。对已获得经验的使用环境的说明应包括影响金属材料在 H_2S 环境中开裂敏感性的因素: H_2S 分压、原位 pH 值、溶解的氯化物或其他卤化物浓度、单质硫或其他氧化物、温度、电偶效应、机械应力和与液相水接触的时间。提供的现场经验至少应持续两年时间,并且宜包括一个现场使用之后对设备的全面检查。预计的使用环境苛刻程度不能超过已有的现场经验的相应环境条件。

8.3 实验室评定

8.3.1 概述。

实验室的试验可以用于下述评定:

——评定金属材料在极限使用环境中抗 SSC 和 (或) SCC 的性能,适用于本标准中列出的已评定合格的或类似的材料。

——在有其他限制的使用环境下,进行抗 SSC 和 (或) SCC 金属材料的评定。

例如,在高于正常可接受的 H_2S 含量、低于正常所需的试验应力或改变极限温度或降低 pH 值时,进行金属材料的评定。

8.3.2 实验室试验的材料取样:

实验室试验的材料的取样方法应采用标准方法,并应得到设备使用者的认可。

试验样品应能够代表最终的产品。

对于按同一技术标准生产的多批次材料,试验样品应选择对 H_2S 开裂敏感性最大的冶金条件下生产的材料。

应提供样品的材料来源,样品制备方法和表面状况的资料。

8.3.3 实验室试验方法的选择:

碳钢和低合金钢 SSC 的试验方法应按附录 D 的要求进行。

耐蚀合金和其他合金 SSC, SCC 和电偶诱发氢应力开裂 (GHSC) 的试验方法应按附录 E 要求进行。

8.3.4 试验中采用的条件:

当评定一般的酸性环境使用或限制使用范围的碳钢和低合金钢时,标准试验环境和力学试验条件应从附录 D 中选择。

当评定一般的酸性环境使用或限制使用范围的耐蚀合金和其他合金时，标准试验环境和力学试验条件可以从附录 E 中选择。

为了评定用于特殊使用环境的材料，应确保试验条件至少和现场的使用环境一样苛刻。所采用的 pH 值应能代表原位 pH 值。

8.3.5 产品的评定：

在确定适当的试验批和取样要求时，应考虑产品特性、制造方法、制造规范要求的检测和评定。

用于评定各种开裂机理试验的试样应按附录 D 和附录 E 的规定。每一试验批至少应有三个试样。只有所有的样品都满足试验验收标准，试验批才被认为合格。

在下列情况下，可进行重复试验：如果某个样品未能满足验收标准，应调查原因。如果原材料符合制造规范，可另取两个以上的样品进行试验。这些样品应从与失效样品相同的原材料上取样。如果都满足验收标准，该试验批判定为合格。应经过使用者的同意才能进行更多的重复试验。

产品的试验应在产品生产后和暴露于 H_2S 工作环境之前的任何时间内进行。

在产品暴露于 H_2S 环境之前，设备使用者应检查产品合格证书和核实其是否满足规定的评定要求。经设备使用者核实过的合格产品才能用于 H_2S 环境。

8.3.6 制造工艺的评定：

通过材料的合格性来评定制造工艺的合格性。

应按评定合格的制造工艺来生产材料。

材料供应商可向材料购买方推荐采用评定合格的制造工艺。如果材料供应商和购买方同意，可以采用评定合格的制造工艺。

为了评定制造工艺，材料供应商应证明采用的制造工艺能够始终如一地生产出满足附录 D 或附录 E 评定试验要求的材料。

制造工艺的评定要求如下：

- a) 写入质量计划中的制造工艺应确定制造场所，以及所有的制造工序和质量保证所要求的生产控制措施。
- b) 按确定的制造工艺生产出的产品首先应进行试验并满足验收标准。
- c) 为了确认产品在 H_2S 环境下仍旧具有抗开裂的性能，应进行周期性试验。“周期性”试验的频率应在质量计划中规定并应经购买方认可。
- d) 保留和整理这些试验报告并提供给材料购买方和（或）设备使用者。

材料购买方和制造商可以协商确定质量控制的补充要求。

相关部门通过现场调查确定质量计划的准确性。

8.3.7 如果制造工艺的变更超出质量计划规定的范围，就应作为新的制造工艺并按 8.3.6 a)，b)，c) 和 d) 的要求进行评定。

8.3.8 验收标准：试验验收标准应符合附录 D 和附录 E 的要求。

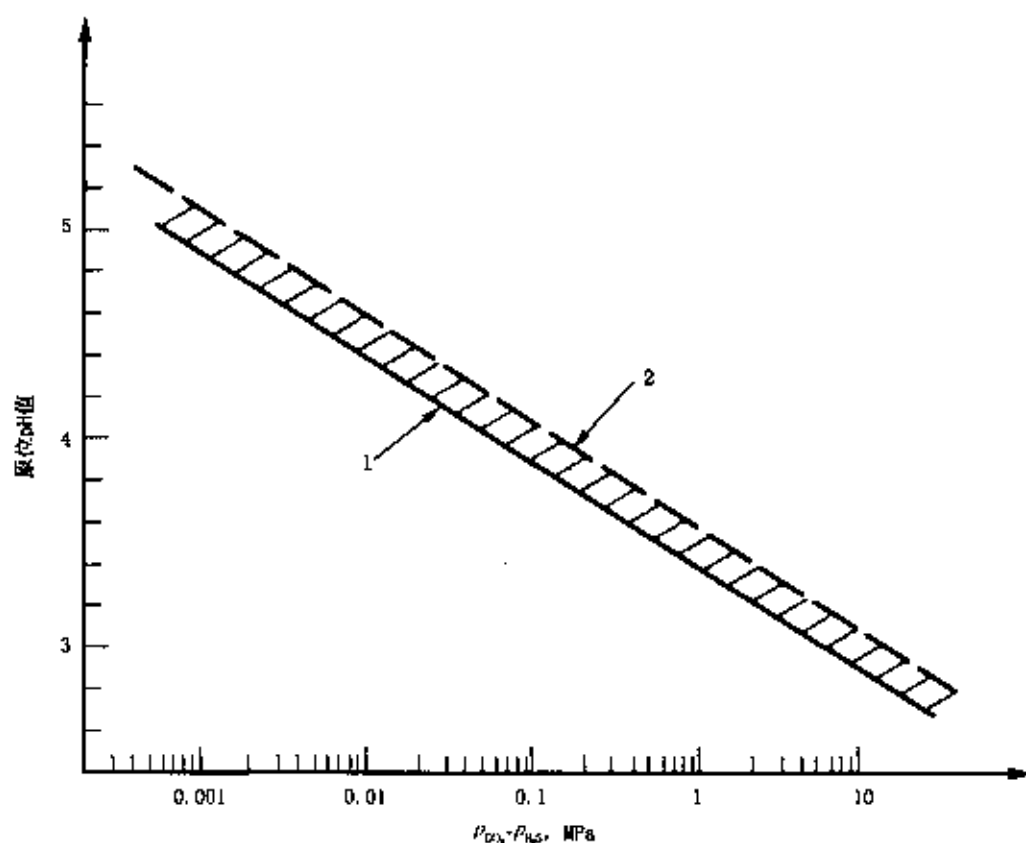
附录 A
(资料性附录)
原位 pH 值的确定

使用图 1 时应确定在生产条件下的原位 pH 值。图 A.1~图 A.5 提供了不同条件下确定水相 pH 值近似值的一般指导,如果不能证实计算或者现场测量技术的可靠性,可用这种方法来确定 pH 值。pH 值可能的误差范围为 0.0~+0.5。

图 A.1~图 A.5,纵坐标为“原位 pH 值”。通常在水分析报告中提供的是减压后的水样的 pH 值,不应认为是有效的原位 pH 值。

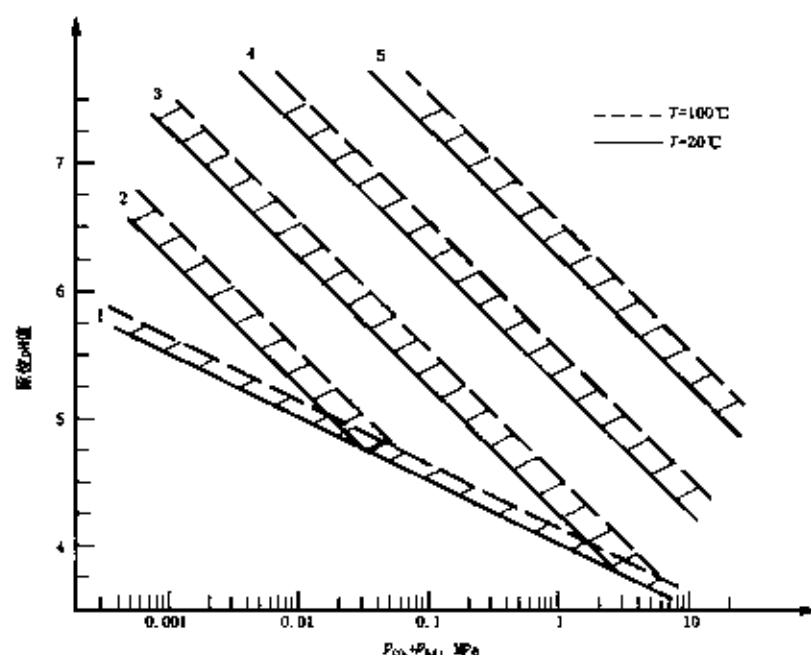
原位 pH 值也可能受有机酸存在的影响,例如乙酸、丙酸等(和它们的盐),图 A.1~图 A.5 未予考虑。

注:图 A.1~图 A.5 是从 NACE MR 0175/ISO 15156-2:2003 中引用的。



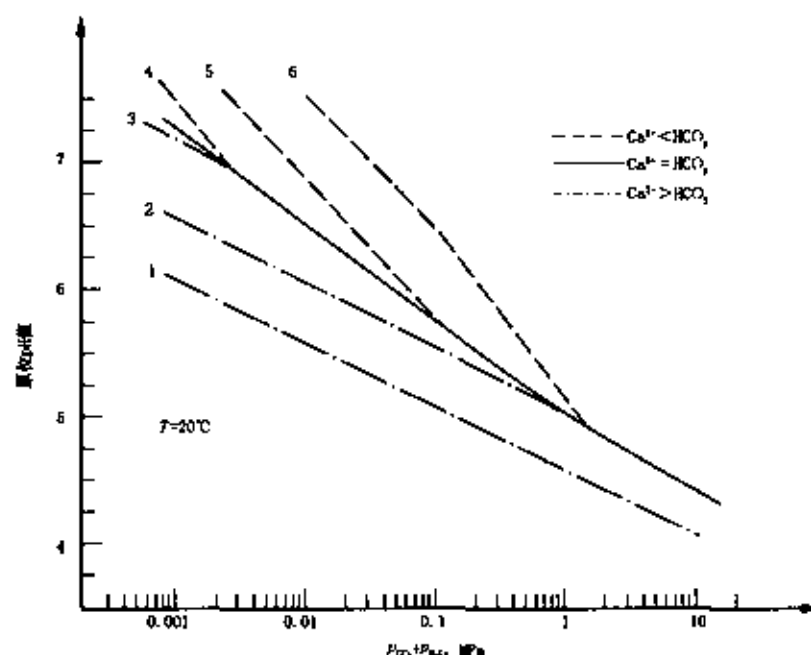
1—温度为 20℃; 2—温度为 100℃。

图 A.1 在 CO₂ 和 H₂S 压力下凝析水中的 pH 值



1— $\text{HCO}_3^- = 0 \text{ mmol/L}$ (毫克当量/升)¹⁾; 2— $\text{HCO}_3^- = 0.1 \text{ mmol/L}$; 3— $\text{HCO}_3^- = 1 \text{ mmol/L}$; 4— $\text{HCO}_3^- = 10 \text{ mmol/L}$; 5— $\text{HCO}_3^- = 100 \text{ mmol/L}$ 。

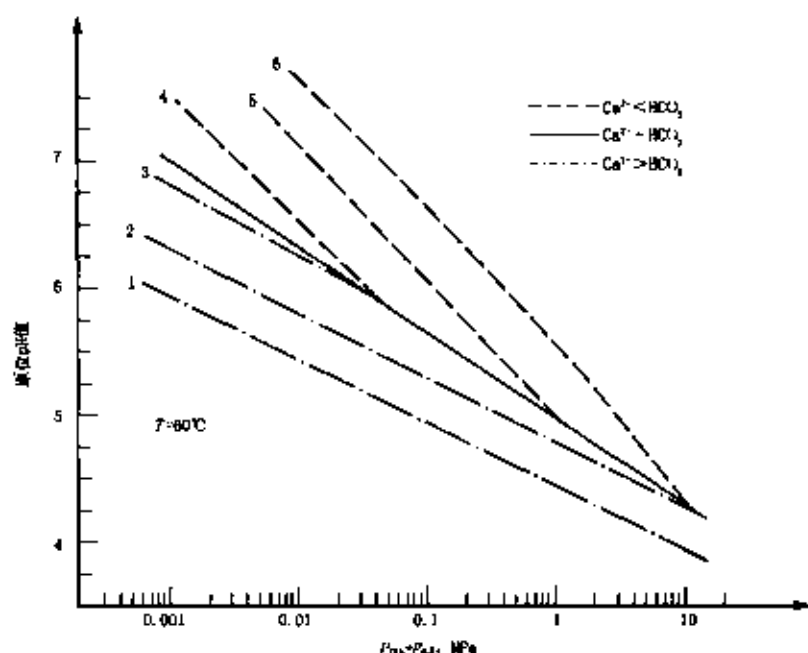
图 A.2 在 CO_2 和 H_2S 压力下凝析水 (湿气) 或含有碳酸氢盐 (未饱和 CaCO_3) 地层水的 pH 值



1— $\text{Ca}^{2+} = 500 \text{ mmol/L}$; 2— $\text{Ca}^{2+} = 50 \text{ mmol/L}$; 3— $\text{Ca}^{2+} = 5 \text{ mmol/L}$;
4— $\text{HCO}_3^- = 10 \text{ mmol/L}$; 5— $\text{HCO}_3^- = 30 \text{ mmol/L}$; 6— $\text{HCO}_3^- = 100 \text{ mmol/L}$ 。

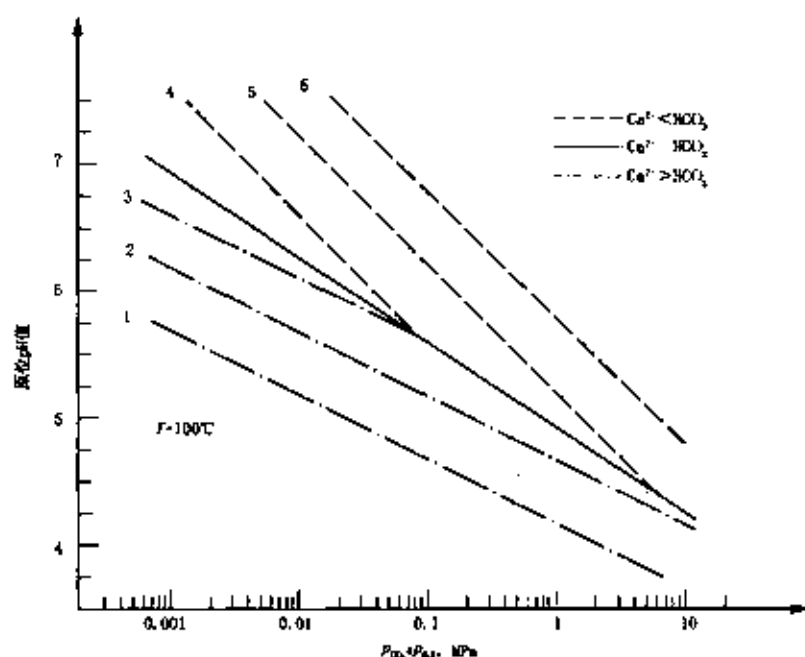
图 A.3 20°C 时在 CO_2 和 H_2S 压力下 (过饱和) CaCO_3 (化学当量的或非化学当量的) 地层水的 pH 值

1) 图 A.2~图 A.5 据 NACE MR 0175/ISO 15156-2, 使用了已被我国标准废止的“当量”这一概念, 请读者在使用时注意。



1— $\text{Ca}^{2+} = 500\text{mmol/L}$; 2— $\text{Ca}^{2+} = 50\text{mmol/L}$; 3— $\text{Ca}^{2+} = 5\text{mmol/L}$;
 4— $\text{HCO}_3^- = 10\text{mmol/L}$; 5— $\text{HCO}_3^- = 30\text{mmol/L}$; 6— $\text{HCO}_3^- = 100\text{mmol/L}$

图 A.4 60℃时在 CO_2 和 H_2S 压力下 (过饱和) CaCO_3
 (化学当量的或非化学当量的) 地层水的 pH 值



1— $\text{Ca}^{2+} = 500\text{mmol/L}$; 2— $\text{Ca}^{2+} = 50\text{mmol/L}$; 3— $\text{Ca}^{2+} = 5\text{mmol/L}$;
 4— $\text{HCO}_3^- = 10\text{mmol/L}$; 5— $\text{HCO}_3^- = 30\text{mmol/L}$; 6— $\text{HCO}_3^- = 100\text{mmol/L}$

图 A.5 100℃时在 CO_2 和 H_2S 压力下 (过饱和) CaCO_3
 (化学当量的或非化学当量的) 地层水中 pH 值

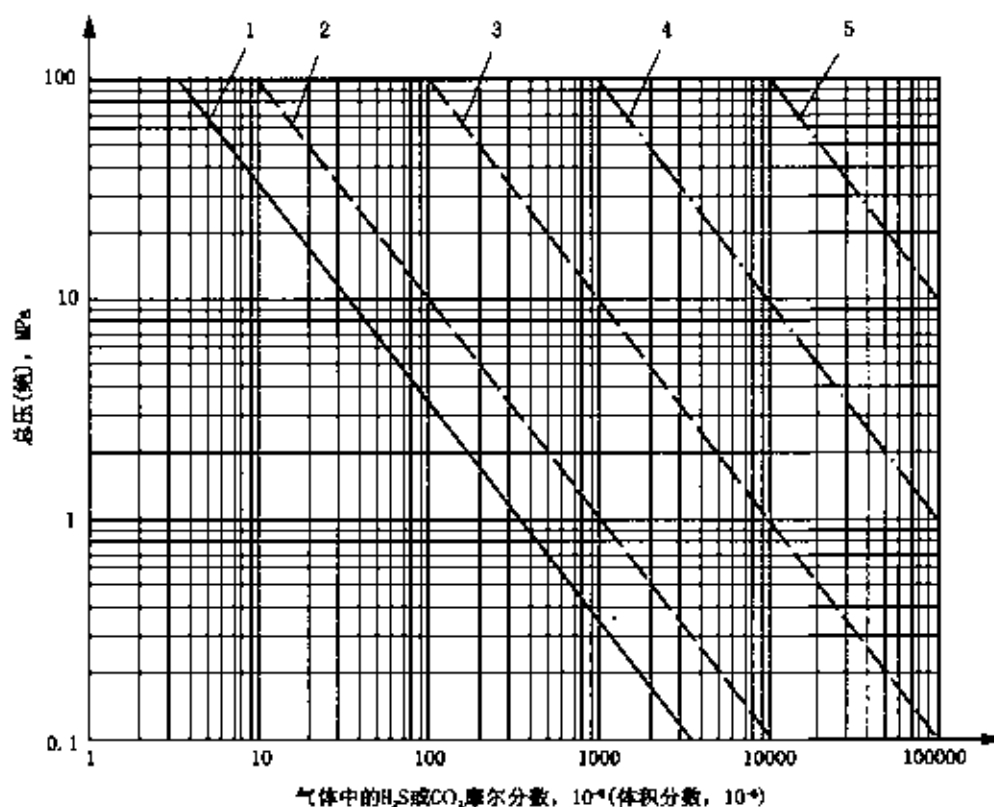
附录 B

(资料性附录)

H₂S 分压、CO₂ 分压的确定B.1 计算气相系统的 H₂S 分压H₂S 分压可用系统总压乘以 H₂S 在气相中的摩尔分数进行计算:

$$p_{\text{H}_2\text{S}} = p \cdot X_{\text{H}_2\text{S}} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

 $p_{\text{H}_2\text{S}}$ ——H₂S 分压, MPa; p ——系统总的绝对压力, MPa; $X_{\text{H}_2\text{S}}$ ——H₂S 在气体中的摩尔分数, %。例如, 气体总压为 70MPa, 气体中 H₂S 摩尔分数为 10% 时, H₂S 分压为 7MPa。如果系统中的总压和 H₂S 的浓度是已知的, H₂S 分压可以用图 B.1 进行计算。1— $p_{\text{H}_2\text{S或CO}_2} = 0.0003\text{MPa}$; 2— $p_{\text{H}_2\text{S或CO}_2} = 0.001\text{MPa}$; 3— $p_{\text{H}_2\text{S或CO}_2} = 0.01\text{MPa}$;4— $p_{\text{H}_2\text{S或CO}_2} = 0.1\text{MPa}$; 5— $p_{\text{H}_2\text{S或CO}_2} = 1.0\text{MPa}$ 。图 B.1 酸性气体系统: H₂S 或 CO₂ 分压等压线B.2 计算气相系统的 CO₂ 分压CO₂ 分压可用系统总压乘以 CO₂ 在气相中的摩尔分数进行计算:

$$p_{\text{CO}_2} = p \cdot X_{\text{CO}_2} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 2})$$

式中:

p_{CO_2} ——CO₂分压, MPa;

p ——系统总的绝对压力, MPa;

X_{CO_2} ——CO₂在气体中的摩尔分数, %。

例如, 气体总压为 70MPa, 气体中 CO₂摩尔分数为 10%时, CO₂分压为 7MPa。

附录 C
(规范性附录)
用于酸性环境的金属材料

C.1 用于酸性环境的材料列于表 C.1~表 C.5 中。

C.2 当以下材料用于酸性环境时,应遵守第 5 章的材料要求和第 6 章规定的环境限制和材料要求。

表 C.1 用于酸性环境的碳钢和低合金钢

材料类别	标 准	牌 号	环境限制	用途
碳钢	GB/T 699	10, 15, 20	SSC 3 区	含硫化氢油气田各类元件
	GB/T 711	10, 15, 20		
	GB/T 710	10, 15, 20		
	GB/T 699	25, 30, 35	SSC 3 区	阀体、阀盖、法兰等承压元件
	JB 4726	20, 35		
	GB/T 12229	WCA, WCB	SSC 3 区	阀体
	GB/T 699	25, 30, 35	SSC 3 区	螺栓
	GB 6654	20R	SSC 3 区	设备及容器壳体等
	GB/T 700	Q 235 - B	SSC 3 区	设备及容器壳体等设计压力不大于 1.6MPa
		Q 235 - C	SSC 3 区	设备及容器壳体等设计压力不大于 2.5MPa
低合金钢	JB 4726	16Mn	SSC 3 区	承压元件
	GB 6654	16MnR	SSC 3 区	容器壳体等
	GB/T 3077	35CrMo	SSC 3 区	阀体、阀盖、法兰、螺栓等

表 C.2 用于酸性环境的不锈钢

材料类别	标 准	牌 号	环境限制	用 途
奥氏体不锈钢	GB/T 1220 GB/T 4237 JB 4728	00Cr17Ni14Mo2 0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti 0Cr17Ni12Mo2 1Cr18Ni9Ti	见 6.2.2	阀门和仪表的零件、容器设备的管束、壳体等
	TG 166 重庆特钢厂	3Cr17Ni7Mo2N (318)	见 6.2.2	高压井口和站场阀门的阀杆
	SAE - ASTM, 金属和合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS S20910	见 6.2.2	阀杆、销和轴
高合金奥氏体不锈钢	SAE - ASTM, 金属和合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS N08904 ($Ni + 2Mo$) > 30 (并且 Mo 的最小值为 2%) 的高合金奥氏体不锈钢和 $F_{REN} > 40$ 的高合金奥氏体不锈钢	见 6.3	仪表管子
马氏体不锈钢	GB/T 1220	1Cr13, 2Cr13	见 6.4.1	阀门零件 (不包括阀杆和其他高应力零件)
	SAE - ASTM, 金属和合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS J91150 和 UNS J91151 的铸件或锻件		
		UNS J91540 铸件或 S42400 锻件		

表 C.3 用于酸性环境的管材

材料类别	标 准	牌 号	环境限制	用途
碳钢	GB 3087	10, 20	SSC 3 区	设备壳体、接管, 采集气管线、管件等
	GB 6479	10, 20		
	GB 5310	20G		
碳钢和低合金钢	GB/T 9711.3	酸性环境用 S 类 L245, L290, L360 钢级	SSC 3 区	设备管束, 采集气管线、管件等
		酸性环境用 S 类 L415, L450 钢级	SSC 1 区, SSC 2 区, 用于 SSC 3 区应进行 抗 SSC 评定, 使用者 需谨慎采用	
	API Spec 5L	B 以及 X-42 到 X-52 钢级	SSC 3 区产品规范水平 为 PSL2	
		X-56 到 X-65 钢级	SSC 1 区, SSC 2 区, 用于 SSC 3 区应进行 抗 SSC 评定, 使用者 需谨慎采用	
耐蚀合金钢	SY/T 6601	LC30-2242 (N08825)	见 6.5.2	采集气管线、管件等

表 C.4 用于酸性环境的非铁基耐蚀合金

材料类别	标 准	牌 号	环境限制	用途
固溶 镍基合金	GB/T 15008	NS334 (UNS N10276) NS143 (UNS N08020) NS336 (UNS N06625)	见 6.5.2	高腐蚀性系统的结构件 和弹性敏感元件
	SAE - ASTM, 金属和 合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS N06059, UNS N06952, UNS N06957, UNS N08007, UNS N08020, UNS N08024, UNS N08026, UNS N08028, UNS N08032, UNS N08042, UNS N08535, UNS N08825, UNS N08826, UNS N08932, UNS N10002, UNS CW12MW, UNS CW6MC		
沉淀硬化 镍基合金	Q/YCS 81 重庆仪表材料研究所	3YC7 (0Cr15Ni40MoCuTiAl)	见 6.6	阀门、仪表等用的弹性 元件、阀杆
	SAE - ASTM, 金属和 合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS N07750, UNS N07090	见 6.6	阀门、仪表等用的弹性 元件
钴基合金	Q/YCS 42 重庆仪表材料研究所	6YC1 (Co55CrNiWNB)	见 6.7	受冲刷腐蚀阀门的阀 芯、阀座
	SAE - ASTM, 金属和 合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS R30003, UNS R30035	见 6.7	阀门、仪表等用的弹性 元件
	SAE - ASTM, 金属和 合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS R30003, UNS R30004, UNS R30260	见 6.7	膜片, 压力测量装置和 压力密封件
钛合金	GB/T 2965	TC-4	见 6.8	各类阀门的阀杆, 高压 耐蚀部件
	SAE - ASTM, 金属和 合金的统一编号系统 (UNS) (第 8 版)	UNS R50400, UNS R56260, UNS R53400, UNS R56323, UNS R56403, UNS R56404, UNS R58640		
铜	GB/T 5231	T ₂ , T ₃	见 6.9	仪表导压管, 接头垫 片等

表 C.5 用于酸性环境的喷焊合金和堆焊焊条

材料类别		标 准	牌 号	环境限制	用途
钴基堆焊焊条 高铬镍钢堆焊焊条 镍基合金堆焊焊条		GB/T 984	EDCoCr EDCrNi EDNi	见 6.10	用于耐磨、耐蚀零件 表面堆焊,如阀板、 阀座
喷 焊 合 金 粉	等离子喷焊	JB/T 3168.1	镍基 F12 钴基 F12	见 6.10	用于耐磨、耐蚀的大 面积零件的表面喷焊, 如平板阀的阀板等
	氧—乙炔火焰喷焊	JB/T 3168.1	镍基 F11 钴基 F21		

附录 D

(规范性附录)

评定碳钢和低合金钢抗 SSC 性能的实验室试验程序

D.1 碳钢和低合金钢抗 SSC 的试验方法

D.1.1 根据表 D.1 对特定酸性环境应用进行试验。

D.1.2 根据表 D.1 对图 1 所有 SSC 区域酸性环境进行试验。

D.1.3 根据表 D.1 和表 D.2 对图 1 的 SSC 1 区或 SSC 2 区进行试验。

D.2 试验条件和验收标准

评定应按表 D.1 进行。

表 D.1 酸性工作环境的 SSC 实验室试验

评定范围 ^a	试验类型 ^{a,b}	施加应力 ^c	环境	H ₂ S 分压	验收标准	备 注
特定的应用或图 1 的 SSC 1 区或 SSC 2 区	UT	≥90% AYS	5% (质量分数) NaCl + 0.4% (质量分数) CH ₃ COONa, 用 HCl 或 NaOH 把 pH 值调至适当值 ^e	适用于预期的应用或 SSC 区域	按 NACE TM 0177; 1996 评价方法, 无 SSC 开裂	特定的应用或不苛刻的环境。评价区域充分满足要求的范围 ^d
	FPB 或 CR				按 NACE TM 0177; 1996 评价方法, 验收标准应以协商一致的文件证明	用于评价设备由使用者决定并提供有正当理由的资料
	DCB ^f	不适用				
图 1 所有 SSC 区域	UT	≥80% AYS	NACE TM 0177; 1996A 环境 5% (质量分数) NaCl + 0.5% (质量分数) CH ₃ COOH	根据 NACE TM 0177; 1996	按 NACE TM 0177; 1996 评价, 无 SSC 开裂	用于评价设备由使用者决定并提供有正当理由的资料
	FPB 或 CR				按 NACE TM 0177; 1996 评价方法, 验收标准应以协商一致的文件证明	
	DCB ^f	不适用				

^a 试验类型如下:

——根据 NACE TM 0177; 1996 A 法的恒负荷 (UT) 试验;

——根据 GB/T 15970.2 的四点弯曲 (FPB) 试验;

——根据 NACE TM 0177; 1996 C 法的 C 型环 (CR) 试验;

——根据 NACE TM 0177; 1996 D 法的双悬臂梁 (DCB) 试验;

——可以使用全尺寸构件的试件, 需经购方和供方协商。

^b FPB, CR 或 UT 试验最好用于对焊接和接头的工艺评定。对于焊接试样一般应垂直焊缝取样; 试验应以母材的最低的真实屈服强度为基础。

^c 为了进行低工作应力水平的评价, 如按屈服强度的比例, 试验应力可以减小到最大工作应力。在这些情况下, 试验以及验收标准应与设备使用者协商, 协商要有记录。

^d AYS 为成品状态材料在试验温度下的实际屈服强度。AYS 应在产品规范中规定或根据 GB/T 228 测定的“非比例延伸率”0.2% ($R_{0.2}$) 的弹性极限应力。

^e 对于 SSC 试验的 pH 值控制, 在试验过程中 pH 值应低于或等于要求的值。pH 值可以控制在 0.1 个 pH 值单位范围内。

^f 适用于按弹性设计准则进行设计和制造设备所用材料的选择和判定。

^g 在表 D.2 中所列条件下进行的试验可适用于整个区域。

^h 在特殊情况下, 包括厚断面或复杂形状的部件, DCB 试验可用于支持以断裂力学为基础的设计。

ⁱ 试验类型不必相同并且结果无可比性。

除非有其他说明，试验要求应符合 NACE TM 0177: 1996。

通常，试验应在室温 $24^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 进行。对于在升高温度下进行的试验，应见附录 E 给出的试验环境指导。

表 D.2 试验条件

pH	试验时要求的 H_2S 分压, MPa	
	SSC 1 区设置的条件	SSC 2 区设置的条件
3.5	—	0.001
4.0	0.0003	—
4.5	0.001	0.01
5.5	0.01	0.1
6.5	0.1	—

附 录 E (规范性附录)

评定耐蚀合金及其他合金抗 SSC, SCC, GHSC 性能的试验程序

E.1 总则

本附录规定了用于 H_2S 环境的耐蚀合金及其他合金的实验室试验评定的最低要求。给出了评定抗下列开裂机理的要求：

- 在室温下的 SSC。
 - 无单质硫 (S^0) 的条件下, 在最高使用温度下的 SCC。
 - 当与碳钢或低合金钢电耦合时, 耐蚀合金及其他合金的 HSC, 即 GHSC。
- 补充要求:
- 当 SSC 和 SCC 之间的差别不清楚时, 在中间温度下的试验。
 - 在有 S^0 情况下的 SCC 试验。

表 E.1 列出了耐蚀合金及其他合金因腐蚀引起的潜在的开裂机理。该合金类型和第 6 章中用的合金类别是一样的。

本附录的试验要求没有列出连续暴露在不同的环境中可能出现的后果。例如, 不评价在较高温度下吸氢后又冷却的后果。

表 E.1 对耐蚀合金及其他合金类别应考虑的开裂机理

本标准中的材料类别	在 H ₂ S 环境中潜在的开裂机理 ^{a,b}			备 注
	SSC	SCC	GHSC	
奥氏体不锈钢 (见 6.2)	S	P	S	某些冷加工的合金, 因含有马氏体所以对 SSC 和 (或) HSC 敏感
高合金奥氏体不锈钢 (见 6.3)	—	P	—	这些合金通常不受 SSC 和 HSC 影响, 通常不要求低温开裂试验
马氏体不锈钢 (见 6.4)	P	S	P	不管是否含有残余的奥氏体, 含 Ni 和 Mo 的合金都可能遭受 SCC
固溶镍基合金 (见 6.5)	S	P	S	冷加工状态和 (或) 时效状态的某些镍基合金含有二次相, 而且当与钢形成电偶时, 可能对 HSC 敏感。这些合金在很强的冷加工和充分时效的状态下, 与钢耦合时, 可能对 HSC 敏感
沉淀硬化镍基合金 (见 6.6)	S	P	P	冷加工状态和 (或) 时效状态的某些镍基合金含有二次相, 而且当与钢形成电偶时, 可能对 HSC 敏感
钴基合金 (见 6.7)	S	P	P	—
钛合金 (见 6.8)	见备注			开裂的机理随具体的合金而定。设备使用者应确保用适当的试验进行评定
铜和铝 (见 6.9)	见备注			不清楚这些合金是否会遭受这些开裂机理的损害

^a P 指主要的开裂机理。
^b S 指次要的, 可能的开裂机理。

E.2 试验的一般要求

E.2.1 试验方法的使用说明

试验要求以 NACE TM 0177; 1996 和 EFC 17; 2002 为基础。试验程序的细节可参考这些资料。

当需要变动这些程序时，供应商、购买方和设备使用者可以共同商定。这些变动应用文件提出。

E.2.2 材料

试样应够代表最终产品，还应考虑以下事项：

- 要求进行哪一种开裂机理的试验（见表 E.1）。
- 对可能在使用中时效的合金的试样进行适当的时效。
- 某些合金和成品的开裂敏感性会随着外加的拉伸应力的方向及随后引起的开裂面的方位而改变。

E.2.3 试验方法和试样

基本的试验方法采用在光滑试样上加载的恒定载荷、持久载荷（试验环）或恒定总应变（恒定位移）的方法。

可采用上述加载方式进行单一轴向拉伸（UT）试验、四点弯曲（FPB）试验和 C 环（CR）试验。

采用 UT 试样的恒载荷试验是试验均质材料的首选方法。

按被试验产品的外观和要求外加应力的方向选择试样。对每个被试验的部件至少应取 3 个平行试样。

UT 试样可按 EFC 17:2002 图 8.1 从焊接接头上取样。当对焊接纵断面进行试验时，可从焊接接头上截取其他类型的试样。

当采用双（背对背）四点弯曲试样时（按 EFC 17:2002 图 8.2a 或类似的图），如果相对的试样开裂，那么另一个未开裂试样应判为作废。

也可采用其他试验方法或试样。但这些试验的根据和应用应有证明文件，且取得设备使用者的同意。

可采用的其他试验方法如下：

- 开裂机理的试验：如果开裂不受分支的影响且保持在要求的平面上就可采用双悬臂梁（DCB）试验。
- 慢应变速率试验：按照 NACE TM 0198 的 SSRT，按照 GB/T 15970.7 的间断 SSRT 进行 RSRT。

试验可采用全尺寸或模拟部件的试验。

E.2.4 对光滑试样外加的试验应力

用来计算试验应力的 CRA 的屈服强度，应按适当的制造规范规定的试验温度进行测定。在制造规范中没有对屈服强度作合适的规定的情况下，屈服强度应该是在试验温度下规定非比例延伸率为 0.2% 时的试验应力（ $R_{p0.2}$ ，如 GB/T 228 中的规定）。

当选择试样和确定试验应力时，应考虑各向异性。

对于焊接试样，通常用母体金属的屈服强度来确定试验应力。对不同材料的接头，通常应采用较低的母体金属的屈服强度。当设计应力是基于焊缝区的屈服强度，而该屈服强度又低于任一对接的母体金属的屈服强度时，应采用焊接区的屈服强度来确定试验应力。

对于恒载荷试验和持久载荷（试验环）试验，试样应承受试验温度下试验材料的 90%AYS 的载荷。

对于恒定总应变（挠度）试验，试样应承受试验温度下试验材料的 100%AYS 的载荷。

注：恒定总应变（挠度）试验不适合在负载下可能因蠕变而松弛的材料。

较低的外加应力可以适合于评定特定应用的材料。这些试验的应用和根据应经购方的同意并应有证明文件。

E.2.5 SSC 和（或）SCC 试验环境

E.2.5.1 总则

应控制和记录下列环境试验的变量：

- $p_{\text{H}_2\text{S}}$ 。
- p_{CO_2} 。
- 温度。
- 试验溶液的 pH 值、酸化方法和 pH 值控制方法（应记录下所有 pH 值的测量结果）。
- 试验溶液的组成或分析。
- 添加单质硫（S'）。
- 不同金属的电的耦合（应记录下面积比和耦合合金类型）。

在所有情形下， $p_{\text{H}_2\text{S}}$ 、氯化物浓度和 S' 浓度至少应与预期使用的环境一样苛刻。试验期间所达到的最大 pH 值不应大于预期使用的 pH 值。

为了完成对特定使用的评定，有必要采用多种试验环境。

当预期的应用环境不够明确时，可采用下面的试验环境，或模拟预期使用环境，或模拟一种指定的环境。

如果无法预知特定应用，为了提供有关 CRA 或其他合金抗开裂的环境限制的信息，可以采用配制的指定的试验环境。

使用环境中氧的存在可能影响合金的抗开裂性能。当选择试验环境时，应考虑这点。

E. 2. 5. 2 在实际的 H_2S 和 CO_2 分压下的模拟使用环境（类型 1 环境）

在该试验环境中，可通过控制油气田环境中决定 pH 的参数来重现使用环境的原位 pH。按下列要求制定试验环境：

- a) 试验限制：压力应为环境压力或高于环境压力。
- b) 试验溶液：人工合成采出水，即模拟预期使用环境的氯化物和碳酸氢盐的浓度，不规定所含的其他离子。
- c) 试验气体： H_2S 和 CO_2 分压与预期使用环境一样。
- d) pH 值测量：通过重现预期使用环境来决定 pH 值。应在环境温度和压力下，充入试验气体或纯 CO_2 ，在试验前和试验后立即测定溶液的 pH 值。这是为了鉴别影响试验 pH 值的溶液的变化。在环境温度和压力下检测到的 pH 值的任何变化将显示出试验温度和压力的变化。

E. 2. 5. 3 在环境压力下用自然缓冲剂模拟使用环境（类型 2 环境）

在该试验环境中，通过调节试验溶液的缓冲能力来重现使用环境 pH 值，采用自然缓冲是为了在试验过程中对酸性气体压力降低的补偿。按下列要求制定试验环境：

- a) 试验界限：压力应为环境压力，最高温度应为 60°C ，pH 值应为 4.5 或更高。
- b) 试验溶液：在蒸馏水或去离子水中添加碳酸氢钠（ NaHCO_3 ）以达到所要求的 pH 值。并按预期使用环境的浓度添加氯化物。如果需要，应设置液体回流以防止溶液中水的损耗。
- c) 试验气体：预期使用环境分压的 H_2S 和用作平衡的试验气体 CO_2 。试验气体应连续鼓泡通过试验溶液。
- d) pH 值控制：在试验开始和试验结束时都应测量溶液的 pH 值。试验期间应定期测量溶液的 pH 值。如果需要，可通过添加 HCl 或 NaOH 来调节 pH 值。试验 pH 值的变化应为 ± 0.2 。

E. 2. 5. 4 在环境压力下用乙酸缓冲模拟使用环境（类型 3a 和 3b 环境）

在该试验环境中，通过调节试验溶液的缓冲能力来重现原位 pH 值，采用人工缓冲且添加 HCl 是为了在试验过程中对酸性气体压力降低的补偿。按下列要求制定试验环境：

- a) 试验限制：压力应为环境压力，温度应为 $24^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 。
- b) 试验溶液：试验溶液应采用下列中的一种。
 - 1) 对于一般应用，可采用含 4g/L 乙酸钠和与预期使用环境的氯化物浓度相同的蒸馏水或去离子水（环境 3a）。

2) 对于在环境 3a 溶液中有腐蚀的倾向的超级马氏体不锈钢, 可采用含 0.4g/L 乙酸钠和与预期环境的氯化物浓度相同的去离子水 (环境 3b)。

对这两种溶液都应添加 HCl 以达到要求的 pH 值。

c) 试验气体: 预期使用环境分压的 H_2S 和用作平衡的试验气体 CO_2 。试验气体应连续鼓泡通过试验溶液。

d) pH 值控制: 在试验开始和试验结束时应测量溶液的 pH 值。试验期间应定期测量溶液的 pH 值。如果需要可通过添加 HCl 或 NaOH 来调节 pH 值。试验 pH 值的变化不应超过 ± 0.2 。

E.2.6 试验周期

恒定载荷、持久载荷和恒定总应变试验的最短周期应为 720h。试验期间不应中断试验。

E.2.7 验收标准和试验报告

进行恒定载荷、持久载荷和恒定总应变试验中的试样应按 NACE TM 0177: 1996 (试验方法 A 和 C) 进行评定。不开裂为合格。

进行断裂机理和慢应变速率试验中的试样应按试验方法的要求进行评定。断裂韧性值只对实质上无分叉的开裂有效。断裂韧性试验的验收标准应由设备使用者规定。

在所有情形下, 导致金属损失的任何腐蚀迹象, 包括点蚀或缝隙腐蚀都应被报告。

注: 在试样受力区之外发生的点蚀或缝隙腐蚀可能会抑制试样的 SCC。

应完成和保留书面的试验报告。

E.2.8 试验的有效性

如果材料的使用环境没有试验环境苛刻, 通过试验的材料是合格的。对特殊应用, 试验的有效性应由使用者确定。在任何给出的温度下, 可采用下列的方法降低环境的苛刻性:

- 较低的 p_{H_2S} ;
- 较低的氯化物浓度;
- 较高的 pH 值;
- 没有 S^{2-} 。

E.3 SSC 试验

试验应按 E.2 中给出的试验的一般要求进行。

按 NACE TM 0177: 1996 和 (或) EFC 17: 2002 的规定, 试验通常应在 $24^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 下进行。

如果使用环境的温度高于 24°C , 那么试验温度可取最低的使用环境温度。在试验报告中应证明采用高于 24°C 的试验温度是合理的。

E.4 无 S^{2-} 的 SCC 试验

试验应按 E.2 的一般要求进行。

SCC 试验步骤是以 NACE TM 0177: 1996 和 (或) EFC 17: 2002 为基础, 并满足下列附加的要求、选择和说明:

- a) 试验温度不应低于预期使用环境的最高温度。这可能要求使用可增压的高压釜。
- b) 在确定气相分压时, 应该考虑到水的蒸汽压。
- c) 控制 pH 值不采用乙酸和乙酸盐, 应按 E.2.5.2 规定控制溶液的 pH 值。
- d) 当试样一开始暴露在试验环境中, 就应对施加载荷和环境条件进行控制, 以便一达到试验温度, 所有的试验条件都进入被设置的状态。
- e) 对恒定总应变试验, 施加的应力应通过测量来确定。

注: 在许多耐蚀合金材料规范中核实挠度的计算是一个有效的作法。

- f) 对于恒定总应变试验, 为在试样暴露于试验环境之前能获得一个稳定的应力, 应给出采用的加载步骤。

E.5 中间温度的 SSC, SCC 试验

中间温度的试验,即在 $24^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 和预期的使用环境的最高温度之间,应满足设备使用者的要求。试验应在规定的温度下,按上述 SCC 试验的要求进行。

E.6 有 S^0 情况下的 SCC 试验

试验应按上述的 SCC 试验要求进行,对于 S^0 添加的控制,应执行发表在 NACE CORROSION/95 第 47 篇论文中的添加程序。

E.7 与碳钢耦合的 GHSC 试验

GHSC 试验应按上述对 SSC 试验规定的要求进行,并满足下列附加的要求、选择和说明。

- a) CRA 试样与完全浸入试验溶液的非合金钢(即碳钢)形成电偶。按 NACE TM 0177:1996 的要求,非合金钢的面积与浸湿的 CRA 试样的面积的面积比应在 0.5~1 之间。加载夹具与试样和耦合的碳钢之间应电绝缘。对于特定应用的评定,CRA 可以与在使用中将与之耦合的,低合金材料的试样耦合。
- b) 试验环境为 NACE TM 0177:1996 的 A 溶液,其 H_2S 分压为 0.1MPa,温度为 $24^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。对于特定应用的评定,可采用 E.2.5 中所述的 SSC 试验环境。

附录 F

(资料性附录)

UNS 合金材料的化学成分

F.1 表 F.1~表 F.7 的内容是为了方便本标准的使用者,并且参考 SAE-ASTM 的金属与合金联合编号系统(第 8 版)。使用者可以采用最新版本的 SAE-ASTM 标准来确认所示信息的准确性。

F.2 这些表提供了本标准第 6 章中所用的 UNS 编号的合金的化学成分。通常情况下可作为合金通用名称的参考。

F.3 可接受的合金取决于在所示范围内的实际化学成分和第 6 章中所列出的对添加的任何化学成分、热处理和硬度要求。某些合金的化学成分遵守这些表的规定,但不满足这些附加的限制要求。

注 1: 本附录的表中给出的质量分数是用百分数(百分之一表示每 100g 中 1g)来表示。

注 2: 对于表 F.1、表 F.2 与表 F.3 中,未列出的余量组分是 Fe。

表 F.1 奥氏体不锈钢的化学成分

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni W _{Ni} %	Mn W _{Mn} %	Si max W _{Si} %	P max W _P %	S max W _S %	Mo W _{Mo} %	N W _N %	其他 ^a	F _{PREN}	Ni + 2Mo
S20910	22-13-5	0.06	20.5~ 23.5	11.5~ 13.5	4.0~ 6.0	1.00	0.040	0.030	1.5~ 3.0	0.20~ 0.40		29~38	14~20

^a Nb: 0.10%~0.30%; V: 0.10%~0.30%。

表 F.2 高合金奥氏体不锈钢的化学成分

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni W _{Ni} %	Mn max W _{Mn} %	Si max W _{Si} %	P max W _P %	S max W _S %	Mo W _{Mo} %	N W _N %	Cu W _{Cu} %	W W _W %	F _{PREN}	Ni + 2Mo
N08904	904L	0.02	19.0~ 23.0	23.0~ 28.0	2.00	1.00	0.045	0.035	4.00~ 5.00	—	1~2	—	32~ 40	31~38

表 F.3 马氏体不锈钢的化学成分

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni max ^a W _{Ni} %	Mo max ^a W _{Mo} %	Si max W _{Si} %	P max W _P %	S max W _S %	Mn max ^a W _{Mn} %	N W _N %	其他 max W _W %
J91150	CA 15	0.15	11.5~14	1	0.5	1.5	0.04	0.04	1	—	—
J91151	CA 15M	0.15	11.5~14	1	0.15~1	1	0.04	0.04	1	—	—
J91540	CA6 NM	0.06	11.5~14	3.5~4.5	0.4~1	1	0.04	0.03	1	—	—
S42400	F6NM	0.06	11.5~14	3.5~4.5	0.3~0.7	1	0.03	0.03	0.5~1	—	—

^a 当显示的是一个范围时,指最小质量分数到最大质量分数。

表 F.4 固溶镍基合金的化学成分

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni W _{Ni} %	Fe max ^a W _{Fe} %	Mn max W _{Mn} %	Si max W _{Si} %	Mo W _{Mo} %	Co max W _{Co} %	Cu max W _{Cu} %	P max W _P %	S max W _S %	Ti max ^a W _{Ti} %	Nb W _{Nb} %	V max W _V %	W W _W %	N W _N %	Al max ^a W _{Al} %
N06059	59	0.010	22.0 ~ 24.0	bal ^b	1.5	0.5	0.10	15.0 ~ 16.5	0.3	—	0.015	0.005	—	—	—	—	—	0.1~ 0.4
N06625	625	0.10	20.0 ~ 23.0	bal ^b	5.0	0.50	0.50	8.0 ~ 10.0	—	—	0.015	0.015	0.40 ~ 4.15	3.15 ~ 4.15	—	—	—	0.40
N06952	52	0.03	23 ~ 27	48 ~ 56	bal ^b	1.0	1.0	6~8	—	0.5 ~ 1.5	0.03	0.003	0.6 ~ 1.5	—	—	—	—	—
N06975	G-2	0.03	23.0 ~ 26.0	47.0 ~ 52.0	bal ^b	1.00	1.00	5.0 ~ 7.0	—	0.70 ~ 1.20	0.03	0.03	0.70 ~ 1.50	—	—	—	—	—
N08007	CN-7M	0.07	19.0 ~ 22.0	27.5 ~ 30.5	bal ^b	1.50	1.50	2.00 ~ 3.00	—	3.00 ~ 4.00	—	—	—	—	—	—	—	—
N08020	20Cr3	0.07	19.0 ~ 21.0	32.0 ~ 38.0	bal ^b	2.00	1.00	2.0 ~ 3.0	—	3.00 ~ 4.00	0.045	0.035	—	8×W _C ~ 1.007	—	—	—	—
N08024	20Mo-4	0.03	22.5 ~ 25.0	35.0 ~ 40.0	bal ^b	1.00	0.50	3.5 ~ 5.0	—	0.50 ~ 1.50	0.035	0.035	—	0.15 ~ 0.35	—	—	—	—
N08026	20Mo-6	0.03	22.0 ~ 26.0	33.0 ~ 37.2	bal ^b	1.00	0.50	5.00 ~ 6.70	—	2.00 ~ 4.00	0.03	0.03	—	—	—	—	—	—
N08028	28	0.03	26.0 ~ 28.0	29.5 ~ 32.5	bal ^b	2.50	1.00	3.0 ~ 4.0	—	0.6 ~ 1.4	0.030	0.030	—	—	—	—	—	—
N08032	32	0.01	22	32	bal ^b	0.4	0.3	4.3	—	—	0.015	0.002	—	—	—	—	—	—
N08042	42	0.03	20 ~ 23.0	40.0 ~ 44.0	bal ^b	1.0	0.5	5.0 ~ 7.0	—	1.5 ~ 3.0	0.03	0.003	0.6 ~ 1.2	—	—	—	—	—
N08535	SM2535	0.030	24.0 ~ 27.0	29.0 ~ 36.5	bal ^b	1.00	0.50	2.5 ~ 4.0	—	1.50	0.03	0.03	—	—	—	—	—	—
N08825	825	0.05	19.5 ~ 23.5	38.0 ~ 46.0	bal ^b	1.00	0.5	2.5 ~ 3.5	—	1.5 ~ 3.0	—	0.03	0.6 ~ 1.2	—	—	—	—	0.2
N08826	825 铸件	0.05	19.5 ~ 23.5	38.0 ~ 46.0	—	1.00	1.00	2.5 ~ 3.5	—	1.5 ~ 3.0	0.030	0.030	—	0.60 ~ 1.20	—	—	—	—
N08932	UR5B-8	0.020	24.0 ~ 26.0	24.0 ~ 26.0	bal ^b	最大 2.0	0.50	4.7 ~ 5.7	—	1.0 ~ 2.0	0.025	0.010	—	—	—	—	0.17 ~ 0.25	—
N10002	C	0.08	14.5 ~ 16.5	bal ^b	4.0 ~ 7.0	1.00	1.00	15.0 ~ 17.0	2.5	—	0.040	0.030	—	—	0.35 ~ 4.5	3.0 ~ 4.5	—	—

表 F.4 (续)

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni W _{Ni} %	Fe max W _{Fe} %	Mn max W _{Mn} %	Si max W _{Si} %	Mo W _{Mo} %	Co max W _{Co} %	Cu max W _{Cu} %	P max W _P %	S max W _S %	Ti max W _{Ti} %	Nb max W _{Nb} %	V max W _V %	W W _W %	N W _N %	Al max W _{Al} %
N10276	C-276	0.02	14.5 ~ 16.5	bal ^b	4.0 ~ 7.0	1.00	0.08 ~ 0.18	15.0 ~ 17.0	2.5		0.030	0.030			0.35 ~ 0.45	3.0 ~ 4.5		
CW12MW	C-276 铸件	0.12	15.5 ~ 17.5	bal ^b	4.5 ~ 7.5	1.0	1.0	16.0 ~ 18.0			0.040	0.030			0.20 ~ 0.4	3.75 ~ 5.25		
CW6MC	625 铸件	0.06	20.0 ~ 23.0	bal ^b	5.0	1.0	1.0	8.0 ~ 10.0			0.015	0.015		3.15 ~ 4.5	1.0			

^a 当显示的是一个范围时,指最小质量分数到最大质量分数。
^b “bal”是成分等于100%的余量。
^c W_{Nb}应为8倍W_C(%),最大值为1%。

表 F.5 沉淀硬化镍基合金的化学成分

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni W _{Ni} %	Fe max W _{Fe} %	Mn max W _{Mn} %	Mo W _{Mo} %	Si max W _{Si} %	Nb W _{Nb} %	Ti W _{Ti} %	Cu max W _{Cu} %	Al W _{Al} %	Co max W _{Co} %	N max W _N %	B max W _B %	P max W _P %	S max W _S %
N07750	X-750	0.08	14.0 ~ 17.0	70.0 min	5.0 ~ 9.0	1.00	—	0.50	0.70 ~ 1.20	2.25 ~ 2.75	0.5	0.40 ~ 1.00	—	—	—	—	0.01
N07090	90	0.13	18.0 ~ 21.0	bal ^b	3.0	1.0	—	—	15.0 ~ 21.0	1.8 ~ 3.0	—	0.8 ~ 2.0	—	—	—	—	—

^a 当显示的是一个范围时,指最小质量分数到最大质量分数。
^b “bal”是成分等于100%时的余量。

表 F.6 钴基合金的化学成分

UNS	名称	C max W _C %	Cr W _{Cr} %	Ni W _{Ni} %	Co W _{Co} %	Fe max W _{Fe} %	Mn max W _{Mn} %	Si max W _{Si} %	Mo W _{Mo} %	B max W _B %	P max W _P %	S max W _S %	Be max W _{Be} %	Ti max W _{Ti} %	W W _W %	N W _N %
R30003	Elgiloy	0.15	19.0 ~ 21.0	15.0 ~ 16.0	39.0 ~ 41.0	bal ^b	1.5 ~ 2.5	—	6.0 ~ 8.0	—	—	—	1.00	—	—	—
R30035	MP-35N	0.025	19.0 ~ 21.0	33.0 ~ 37.0	bal ^b	1.0	0.15	0.15	9.0 ~ 10.5	—	0.015	0.01	—	1.00	—	—
R30159	MP-159	0.04	18.0 ~ 20.0	bal ^b	34.0 ~ 38.0	8.00 ~ 10.00	0.20	0.20	6.00 ~ 8.00	0.03	0.02	0.01	—	2.50 ~ 3.25	—	—
R30260	Durathern 2602	0.05	11.7 ~ 12.3	bal ^b	41.0 ~ 42.0	9.8 ~ 10.4	0.4 ~ 1.1	0.2~ 0.60	3.7 ~ 4.3	—	0.20 ~ 0.30	0.1	0.30	—	—	—

^a 当显示的是一个范围时,指最小质量分数到最大质量分数。
^b “bal”是成分等于100%时的余量。

表 F.7 钛合金的化学成分

UNS	名称	Al max ^a W _{Al} %	V max ^a W _V %	C max W _C %	Cr max W _{Cr} %	Fe max W _{Fe} %	H max W _H %	Mo max ^a W _{Mo} %	N max W _N %	Ni W _{Ni} %	Sn max W _{Sn} %	Zr max W _{Zr} %	其他 max ^a W %	Ti
R50400	Grade 2	—	—	0.10	—	0.30	0.015	—	0.03	—	—	—	W _O 0.25max	bal ^b
R56260	Ti-6246	6	—	—	—	—	—	6	—	—	2	4	—	bal ^b
R53400	Grade 12	—	—	0.08	—	0.30	0.015	0.2~ 0.4	0.03	0.6~ 0.9	—	—	W _O 0.25max	bal ^b
R56323	Grade 28	2.5~ 3.5	2.0~ 3.0	0.08	—	0.25	0.015	—	0.03	—	—	—	W _O 0.15max W _{Fe} 0.08~0.14	bal ^b
R56403	Grade 25	5.5~ 6.75	3.5~ 4.5	0.10	—	0.40	0.0125	—	0.05	0.3~ 0.8	—	—	W _O 0.20max W _{Fe} 0.04~0.08 残留的 ^c	bal ^b
R56404	Grade 29	5.5~ 6.5	3.5~ 4.5	0.08	—	0.25	0.015	—	0.03	—	—	—	W _O 0.13max W _{Fe} 0.08~0.14	bal ^b
R58640	Beta-C	3	8	—	6	—	—	4	—	—	—	4	—	bal ^b
^a 当显示的是一个范围时，指最小质量分数到最大质量分数。 ^b “bal” 是成分等于 100% 时的余量。 ^c 每个残留元素的质量分数最大值为 0.1%，总计最大值为 0.4%。														

附 录 G

(资料性附录)

条文说明

G.1 第1章“范围”

第1章中“石油或天然气井场、集气站、处理厂的工艺设备和采集气管线”的工艺设备包括了压力容器、阀门、弹性元件、仪表接管、螺栓和紧固件。

G.2 第4章“总则”

G.2.1 4.1中,在酸性环境中,由于硫化物应力开裂和(或)应力腐蚀开裂的裂纹扩展较快,容易引发重大事故,因此在本标准中首先考虑金属材料的抗硫化物应力开裂和(或)应力腐蚀开裂性能。但是,在酸性环境的设计选材过程中,仍然应考虑由于电化学失重腐蚀、氢致开裂(阶梯裂纹)、应力定向氢致裂纹和软区开裂而导致某些用于管线和容器的碳钢或低合金钢失效,通过选择适当的材料或采用缓蚀剂等其他措施加以控制。

G.2.2 4.3中,本标准适用于按常规弹性准则设计和制造设备所用材料的选择和评定,对于按塑性设计准则(比如以基于应变和极限状态设计)的情况,不适合采用本标准。

G.2.3 4.4中,对碳钢或低合金钢发生 SSC 的酸性环境的严重程度进行了区域划分。在图1中,考虑了水溶液的 pH 值的影响。 H_2S 分压、 CO_2 分压、 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 的浓度是影响溶液 pH 值的主要因素。

0 区: $p_{H_2S} < 0.0003 MPa$ 的环境。

SSC 1 区: pH/p_{H_2S} 从 3.5/0.0003 MPa 到 6.5/0.1 MPa 以及当 pH 值大于 6.5 的任何 p_{H_2S} 环境。

SSC 2 区: 是 SSC 1 和 SSC 3 区的过渡区域。

SSC 3 区: pH/p_{H_2S} 从 3.5/0.0003 MPa 到 5.5/ $\geq 0.1 MPa$ 的环境。

在确定含有 H_2S 环境的严重程度时,应考虑在不正常的工作条件下或停工时暴露于未缓冲的低 pH 值凝析水相时,或者井下增产酸液和(或)反排增产酸液时,溶液的 pH 值可能小于 3.5。在这种 pH 值条件下,任何可检测到的 H_2S 含量环境应考虑材料的抗 SSC 性能。

G.3 第5章“碳钢、低合金钢”

G.3.1 在第5章中,分别规定了暴露于0区、SSC 1区、SSC 2区、SSC 3区的材料要求。

G.3.2 5.4中,规定了用于SSC 3区的所有碳钢、低合金钢的母材成分、硬度以及制造工艺要求。母材、焊缝和热影响区的硬度值在决定碳钢和低合金钢的抗SSC性能方面起着重要作用,控制硬度是一种获得抗SSC性能的可接受的方法。

G.3.3 5.4.4中,分别规定了母材和焊接工艺评定的硬度试验方法。用HRC试验方法可能检测不到焊接接头或热影响区的微小硬区域,用维氏试验方法检测这些区域的硬度值可能会超过验收标准。

G.3.4 5.4.4.3中,焊后热处理能使残余应力降低,而且也可降低热影响区的硬度,因此在苛刻的酸性环境中,应采用焊后热处理。

G.3.5 5.4.4.4中,严格控制焊缝熔敷金属的化学成分,是防止焊缝硫化物应力开裂的关键。

G.3.6 5.4.5中,一些表面处理、涂层、衬里等虽然能阻止或减缓氢原子向基体金属中的扩散,但不应作为防止SSC的措施,基体金属材料应满足抗SSC的要求。

G.4 第6章“耐蚀合金钢及其他合金”

G.4.1 为了使酸性环境中发生SSC和(或)SCC的可能性降到最小,对耐蚀合金钢及其他合金类别规定了使用环境限制。

G.4.2 第6章提供的耐蚀合金及其他合金是按基本化学成分、制造工艺分类的合金类别,未一一列出单一合金,因为未对这些合金逐一进行试验评定。

G.4.3 第6章中推荐的耐蚀合金及其他合金有些因为没有与之对应的我国国家标准牌号，因此仍采用美国统一（合金）编号系统 UNS 编号。

G.5 第7章“酸性天然气地面设施用材料”

推荐了用于酸性天然气地面设施的材料，与附录C相对应。

G.6 第8章“用于酸性环境材料的评定”

G.6.1 在第8章中，提供了两种方法进行酸性环境用材料的评定，即现场经验判别和实验室评定。

G.6.2 在实验室评定中，规定了产品和生产流程的评定程序，来保证合格的产品。

G.7 附录

G.7.1 附录A的图A.3中，当 $\text{Ca}^{2+} < \text{HCO}_3^-$ 时，考虑 HCO_3^- 对溶液pH值的影响，对应虚线4，5，6；当 $\text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^-$ 时，考虑 Ca^{2+} 对溶液pH值的影响，对应点划线1，2，3；当 $\text{Ca}^{2+} = \text{HCO}_3^-$ 时，则仅对应细实线。

G.7.2 附录D，应按评定的范围来确定碳钢和低合金钢抗SSC性能的试验应力、环境条件和 H_2S 分压。

G.7.3 附录E，应按耐蚀合金及其他合金在 H_2S 环境中潜在的开裂机理来确定抗SSC，SCC，GH-SC性能的评定试验程序。

中华人民共和国
石油天然气行业标准
天然气地面设施抗硫化物应力开裂和
抗应力腐蚀开裂的金属材料要求
SY/T 0599—2006

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

880×1230毫米 16开本 24印张 76千字 印1—3000
2007年5月北京第1版 2007年5月北京第1次印刷
书号: 155021·6024 定价: 20.00元

版权专有 不得翻印