

Q/SY

中国石油天然气股份有限公司企业标准

Q/SY XN 2015—2006

高酸性气田地面集输管道 设备材质技术要求

**Technical code for material of gathering - transmission pipelines and facilities
in highly sour gas field**

2006-08-07 发布

2006-09-08 实施

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义、符号和缩略语	2
4 总则	4
5 碳钢、低合金钢	6
6 耐蚀合金及其它合金	8
7 高酸性天然气地面集输管道、设备用材料	11
8 耐腐蚀性能检验及评价验收标准	13
附录 A（规范性附录）用于酸性环境的非金属材料.....	14
附录 B（规范性附录）用于高酸性环境的非金属材料的实验室试验.....	16
附录 C（资料性附录）原位 pH 的确定	18
附录 D（资料性附录）H ₂ S 分压、CO ₂ 分压的确定	23
附录 E（规范性附录）焊接工艺评定的硬度检测.....	25
附录 F（规范性附录）国外某著名工程公司对抗 HIC 钢材化学元素的要求.....	27
附录 G（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	28

前 言

根据西南油气田分公司西南司安质环发[2003]12号“关于下达二〇〇三年分公司第二批企业标准制订和国外标准翻译计划的通知”要求，委托中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司编制本技术要求。

本标准主要针对高酸性气田开发技术特点，为满足罗家寨、渡口河等高酸性气田（ H_2S ：6.44%~16.2%、 CO_2 ：1.49%~10.4%）开发的需要而制定。

本标准在制定过程中遵循相关国家、行业标准并参考了国外的 NACE MR0175/ISO15156 标准。在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的基础上，并经广泛征求有关单位和专家意见，反复讨论形成本标准条文。本标准为高酸性气田地面工程系列标准之一，并不取代相应的规范、标准和规则的要求，仅作为直接接触高酸性介质集输管道、设备材质抗硫化氢性能的补充要求。

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

本标准由中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司提出。

本标准由中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司地面建设专业标准化技术委员会归口。

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

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司

本标准主要起草人：姜 放 施岱艳 王秦晋 向 波 边云燕 曹晓燕 陈 杰 殷明学
雒定明 刘来福

高酸性气田地面集输管道、设备材质技术要求

1 范围

1.1 本标准规定了高酸性气田地面集输管道、设备用金属材料的抗开裂要求和非金属材料的耐腐蚀要求。

1.2 本标准适用于管线输送压力 $\geq 4\text{MPa}$ ，天然气中 H_2S 体积含量占气体总量大于8%的高酸性气田中的地面设施，如天然气井场、集气站、处理厂的工艺设备和采、集气管线等。

1.3 本标准同时规定了当 H_2S 分压大于 1.0MPa 时对金属材料的抗开裂要求。

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/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 1172 黑色金属硬度及强度换算值

GB/T 1690 硫化橡胶耐液体试验方法

GB/T 2965 钛及钛合金棒材

GB/T 4340.1 金属维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 9711.3/ISO 3183.3 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 11547 塑料耐液体化学药品（包括水）性能测定方法

GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件

GB/T 15970—2000 idt ISO 7539.2:1989 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 17394 金属里氏硬度试验方法

GB/T 19466.2 塑料 差示扫描量热法（DSC）第2部分：玻璃化转变温度的测定

SY/T 0599 天然气地面设施抗硫化物应力开裂金属材料要求

SY/T 5127—2002 井口装置和采油树规范

SY/T 5257 油气输送用钢制弯管

SY/T 6267 高压玻璃纤维管线管

Q/YCS 81 3YC7 抗硫化氢合金

Q/YCS 42 6YC1 高压阀芯阀座用合金

ISO 14692 石油和天然气工业用玻璃增强塑料管

ASTM D 2992 玻璃纤维（玻璃纤维增强热固树脂）管件和配件获得静水压或压力设计基础的规程

API 15HR 高压玻璃钢管线管规范

NACE MR0175/ISO 15156—1 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 MR0175/ISO 15156—2 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 MR0175/ISO 15156—3 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) 和其它合金

NACE TM0177 H₂S 环境中抗特殊形式的环境开裂材料的实验室试验方法

NACE TM0185 管类塑料内涂层防腐的高压釜评价试验

NACE TM0187 酸性气体环境中弹性材料的评价

NACE TM0284 管道、压力容器钢抗氢致开裂性能评价的试验方法

NACE TM0296 酸性液体环境中弹性材料的评价

3 术语、定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

本标准采用下列术语和定义。

3.1.1

硫化物应力开裂 (SSC) sulfide stress cracking

在有水和 H₂S 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。

3.1.2

应力腐蚀开裂 (SCC) stress corrosion cracking

在有水和 H₂S 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。

3.1.3

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)。

3.1.4

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渣和/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。

3.1.5

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。

3.1.6

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：在操作的载荷作用下，软区可能会屈服，并局部累计塑性应变，使一种在别的情况下抗 SSC 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。

3.1.7

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）方向垂直的一些交错小裂纹，导致了像梯子一样的，将已有 HIC 裂纹连接起来的（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。

3.1.8

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}) 应按下列公式计算：

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

式中：

W_{Cr} ——合金中铬的质量分数，用全量组成的百分率表示；

W_{Mo} ——合金中钼的质量分数，用全量组成的百分率表示；

W_W ——合金中钨的质量分数，用全量组成的百分率表示；

W_N ——合金中氮的质量分数，用全量组成的百分率表示。

注：PREN 有若干变量。它的提出完全是为了反映和预测 Fe/Ni/Cr/Mo 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 H₂S 油气田环境中的抗腐蚀性能。

3.1.9

碳钢（CS） carbon steel

包含有碳和元素锰以及其它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（通常是硅或/和铝）。

3.1.10

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。

3.1.11

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。

3.1.12

工程塑料 engineering plastics

是指一类可以作为工程结构的材料，在一定的温度范围内承受机械应力，可在较为苛刻的化学物理环境中使用的高性能的高分子材料。这类塑料具有机械强度高、耐高温和低温、耐腐蚀等优良的综合性能。

3.1.13

合成橡胶 synthetic rubber

合成橡胶是用人工方法制成的和天然橡胶相类似的高分子弹性材料。

3.1.14

玻璃钢 (GRP) glass-reinforced plastics

以合成树脂作基体材料，用玻璃纤维及其制品（布、带、毡等）作增强材料，经两者复合后的制品称玻璃纤维增强塑料，俗称玻璃钢。

3.1.15

长期静液压力 (LTHP) long-term hydrostatic pressure

指玻璃钢管的预测内压，在大于等于 65.6℃ (150°F) 温度下，当管子承受此恒定静液压力达到 20 年时可能会发生破坏。

3.2 符号和缩写术语

SMYS	规定的最小屈服强度
CLR	裂纹长度率
CTR	裂纹厚度率
CSR	裂纹敏感率
HRC	洛氏硬度 C 级
HV10/HV5	维氏硬度 (试验力为 98.07N/49.03N)
HB	布氏硬度
P _{LCL}	97.5%或 95%置信度的长期静液压 (PTHP) 的下限值

4 总则

4.1 凡暴露于高酸性环境中的金属材料和非金属材料均应满足本标准的规定。

高酸性环境可能导致金属构件的硫化物应力开裂 (SSC)、应力腐蚀开裂 (SCC)、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) 等，使某些用于管线和容器的碳钢、低合金钢或耐蚀合金失效。

涉及上述类型的金属材料开裂的评价凡未列在本标准中的，见 NACE MR0175/ISO 15156 的相关规定。

酸性腐蚀介质也会与非金属材料发生物理作用或化学作用，导致材料塑性降低、强度降低、溶胀变形等。酸性环境用耐蚀非金属材料见附录 A，非金属材料的实验室试验见附录 B。

本标准的内容不包括硫化氢、二氧化碳、氯离子和元素硫引起的金属材料的电化学失重腐蚀。因此在酸性环境的设计和运行中应根据具体情况选择适当的材料或选择适当的工艺等其它措施加以控制。

本标准适用于按照常规的弹性准则设计和制造设备所用金属材料的选择和判定。

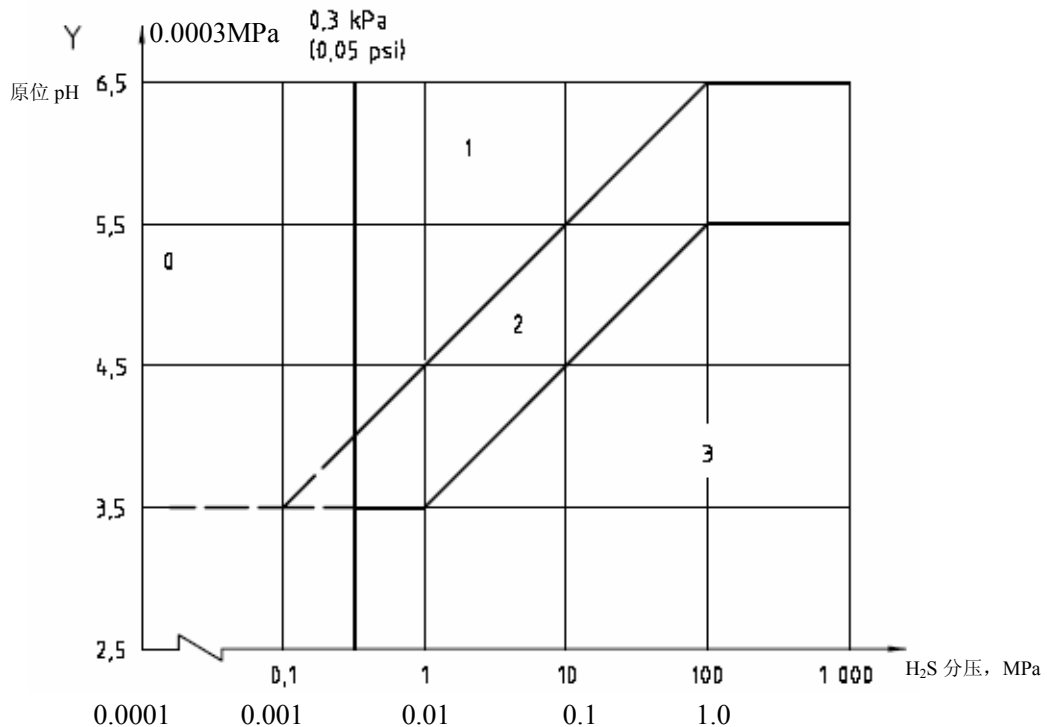
4.2 碳钢或低合金钢发生SSC的酸性环境

酸性环境严重程度的划分：

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} ）和溶液的原位pH值有关，用图1进行评价。

$P_{H_2S} < 0.0003\text{MPa}$ 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。



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

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 的确定参见附录 C。

注 2： H_2S 分压、 CO_2 分压的确定参见附录 D。

注 3：图中 H_2S 分压低于 0.0003MPa 和高于 1MPa 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。

高酸性环境高含 H_2S 和 CO_2 ，碳钢和低合金钢发生 SSC 的严重程度属于 SSC3 区，高酸性气田的

部分环境条件已经超过了 SSC 3 区的严重程度，即 H_2S 分压大于 1.0MPa。因此，在选择材料时应更加严格。

4.3 对耐蚀合金及其它合金材料用于高酸性环境条件的限制见第 6 章。

4.4 本标准中推荐的金属材料和非金属材料，是基于它们在实际现场应用和/或实验室的试验中，所表现出的抗高酸性环境开裂的性能。如果碳钢和低合金钢使用环境的严重程度超过了 SSC 3 区，或使用新材料，应根据本标准或 NACE MR 0175/ISO 15156—2 进行材料的抗 SSC 和抗 HIC 性能的实验室评定；如果耐蚀合金及其它合金使用环境的严重程度和作用超出了本标准限制的条件，应根据本标准或 NACE MR 0175/ISO 15156—3 进行材料的抗 SSC、SCC 和 GHSC 的实验室评定；或者能提供至少两年现场成功使用经验的证明资料，且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。

4.5 采用符合本标准要求的材料制造的金属管道和设备，不是在所有条件下均能避免高酸性环境所造成的开裂，如产品设计、制造、安装、或处理不当，都能引起产品变得对开裂敏感。

4.6 硬度要求

本标准采用硬度作为材料抗应力开裂敏感性的主要指标之一。

硬度测定应按 GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1 标准规定进行。硬度换算应按 GB/T 1172 标准的规定进行。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符合相应标准要求的足够数量的检测点；
- b) 邻近区域读数的平均值不应超过规定的允许值；
- c) 硬度读数的个别值不应超过规定的允许值 2HRC。

4.7 高酸性气田地面设施用金属材料和非金属材料除应符合本标准外，尚应符合国家、行业现行的有关标准、规范的规定。金属材料的抗开裂性能要求尚应符合 SY/T 0599 和 NACE MR0 175/ISO 15156 的有关规定。

5 碳钢、低合金钢

5.1 碳钢、低合金钢管道和设备若暴露于高酸性环境应符合本章的要求。

5.2 抗SSC性能要求

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。以下各项规定了使碳钢和低合金钢获得满意的抗硫化物应力开裂性能的热处理、冷加工等。

5.2.1 母材成分、热处理和硬度要求：

- a) 硬度应 $\leq 22HRC$ ($\leq 248HV10$)；
- b) 含镍量应低于 1%，不应采用易切削钢；
- c) 碳钢和低合金钢应选用下列其中一种热处理：
 - 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。

5.2.2 冷变形和热应力消除

碳钢和低合金钢经冷轧、冷锻或其它制造工艺进行任何冷变形后，导致表面纤维性永久变形量 $>5\%$ 时，不论硬度多少均应作消除残余应力热处理。消除残余应力热处理温度应 $\geq 595^{\circ}\text{C}$ 。热处理后的硬度应 $\leq 22\text{HRC}$ 。

5.2.3 焊接

5.2.3.1 焊接工艺评定除应符合国家现行标准的有关规定外，不应采用可能使熔敷金属中镍含量超过 1% 的工艺和焊材，除非按本标准进行 SSC 评定试验合格之后可以采用。

5.2.3.2 焊接接头的焊接工艺评定除焊接工艺标准中要求外，还应包括硬度、抗 SSC 及抗 HIC 性能检验。

5.2.3.3 焊缝和焊接接头硬度测定应该按照 5.2.4 的要求执行。

5.2.3.4 对碳钢、低合金钢的焊接可采用一定的焊接工艺来控制，通常包括限制基体和填充金属的化学成分和焊接参数。在焊接状态下，焊缝、热影响区和基体金属允许的最大硬度值为 248HV_{10} （或 22HRC ）。焊缝应进行残余应力消除热处理，温度控制要求按焊接工艺规程执行。当焊接工艺规程未规定时，热处理温度为 593°C （碳钢）或 649°C （低合金钢）。

5.2.4 硬度试验方法

5.2.4.1 金属材料

本标准用洛氏（HRC）作为金属材料验收的主要依据。

也可采用布氏硬度（HB）、维氏硬度（HV）（ HV_5 或 HV_{10} ）或其它硬度试验方法，可按照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。

对于现场管件或设备的硬度检查，可按照GB/T 17394采用里氏硬度计，按照GB/T 17394将用这种试验方法测得的硬度值转换并修正成HRC值或HB值。如果存在争议，以洛氏C硬度值或维氏硬度值为准。

5.2.4.2 焊接工艺评定的硬度试验方法

焊接工艺评定的硬度试验方法应按 GB/T 4340.1 规定的维氏 HV_{10} 或 HV_5 进行。如果设计压力不超过材料的 $2/3$ SMYS，并且焊接工艺评定包括焊后热处理，HRC 方法可用于焊接工艺评定。在其它情况下使用 HRC 方法评定焊接工艺需经设备用户的同意。

焊接工艺评定的硬度检测及检测位置应按附录 E 对对接焊缝、角焊缝、修补和部分熔透焊缝进行检查。

5.2.5 表面处理，覆盖层，镀层，涂层，衬里等

5.2.5.1 当采用渗氮、金属涂层（电镀和非电镀）、转化型涂层、塑料覆盖层和衬里等时，基体金属材料应抗 SSC。

5.2.5.2 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，基体的热处理状态不发生改变时，可用于高酸性环境。当基体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 5.2.1 的要求。

5.2.6 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。

5.2.7 锤压印标志应符合下列要求

5.2.7.1 可以锤压印如点、波纹线、圆滑的 U 形等低应力的标志。

5.2.7.2 在部件低应力区（如法兰外缘上）可以锤压印尖锐的（如 V 形）标志。在高应力区不应锤压印尖锐的标志，否则锤压印后应在不低于 595℃ 温度下进行消除应力热处理。

5.2.8 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。

5.3 碳钢和低合金钢的抗 HIC 性能要求

当评价用于高酸性环境中的轧制碳钢产品时，应考虑 HIC/SWC 的试验。NACE MR0175/ISO 15156-2 的附录 B 提供了试验方法和评价抗 HIC 和 SWC 的验收标准。

HIC/SWC 发生的可能性受钢材的化学成分和生产流程的影响。钢中硫的含量特别重要，轧制和无缝产品可接受的最大含量分别是 0.003% 和 0.01%。常用的锻件硫含量小于 0.020%，一般不考虑铸件对 HIC 或 SOHIC 的敏感性。

6 耐蚀合金及其它合金

6.1 总则

6.1.1 暴露于高酸性环境的耐蚀合金及其它合金的产品、部件以及焊接等制造工艺应符合本章的要求。

6.1.2 当使用环境中含元素硫时，对耐蚀合金的使用环境限制应按 NACE MR0175/ISO 15156-3 的相关要求或按 4.4 执行。

6.1.2 焊接

耐蚀合金及其它合金在焊接时发生冶金变化，可能影响它们对 SSC、SCC 和/或 GHSC 的敏感性。焊接接头可能比母体金属具有更大的开裂敏感性。焊接工艺评定应包括硬度、SSC、SCC 和/或 GHSC 的检验。

应保证焊缝具有与母体金属相一致的抗 SSC、SCC 和 GHSC 性能。

焊接热影响区(HAZ) 的硬度不应超过基体金属允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度不应超过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 5.2.4。

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 材料的化学成分

奥氏体不锈钢的化学成分应符合以下规定：

C：最大 0.08% Cr：最小 16% Ni：最小 8% P：最大 0.045% S：最大 0.04%

Mn：最大 2.0% Si：最大 2.0%，还允许含有其它的合金元素。

对含碳量较高的 1Cr18Ni9Ti，其含碳量在其材料标准要求的范围内是可接受的。

6.2.2 材料要求

6.2.2.1 固溶热处理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 ≤22HRC。

6.2.2.2 不应使用经冷加工强化机械性能的奥氏体不锈钢。

6.2.3 使用环境限制

00Cr17Ni14Mo2 (316L)，经固溶热处理（1010℃～1150℃，快冷）后，硬度应小于或等于 22HRC，当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_{H2S}、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 4.4 执行。

UNS S20910 先进行固溶退火，在冷加工状态下最大硬度值为 35HRC 时，用作阀杆、销和轴，可在高酸性气田使用。

3Cr17Ni7Mo2N (318) 棒材，经固溶热处理 ($1130^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, 2h 水淬) 后，硬度应 $\leq 24\text{HRC}$ ，可用作阀杆，在 H_2S 分压超过 1MPa 的开采环境中使用应按 4.4 执行。

6.2.1 中所述类型的奥氏体不锈钢—材料用作地面集输任何设备或部件时应符合 ISO 15156—3 的要求或按 4.4 执行。

注：在本标准中采用 UNS 统一编号的合金的化学成分见 NACE MR0175/ISO1515—3 的附录 D。

6.3 高合金奥氏体不锈钢

6.3.1 材料的化学成分

包括：(Ni+2Mo) >30 并且 Mo 最小值为 2% 的高合金奥氏体不锈钢

$F_{\text{PREN}} > 40$ 的高合金奥氏体不锈钢

注：本标准中高合金奥氏体不锈钢见 NACE MR0175/ISO1516—3 附录 A 中 A.3 规定的材料类型和合金。

6.3.2 使用环境限制

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、 $P_{\text{H}_2\text{S}}$ 、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 4.4 执行。

UNS N08904 锻件在退火状态，且最大硬度为 180HV10，用作仪表管子，可在高酸性气田使用。

6.3.1 中所述类型的高合金奥氏体不锈钢材料用作地面集输任何设备或部件时应符合 ISO 15156—3 的要求或按 4.4 执行。

6.4 固溶镍基合金

6.4.1 材料的化学成分

这些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%

6.4.2 材料要求

6.4.2.1 经锻造或铸造的固溶镍基产品应为固溶退火或退火状态。

6.4.2.2 使用环境限制

UNS N06059、UNS N06625、UNS N06686、UNS N06950、UNS N06952、UNS N06975、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 N10276、UNS CW12MW、UNS CW6MC 用作任何地面集输设备和部件时可在高酸性气田使用。

6.5 沉淀硬化镍基合金

UNS N07750、UNS N07090 应经固溶处理，在冷加工+时效处理条件下，硬度分别 $\leq 50\text{HRC}$ 、 $\leq 50\text{HRC}$ 时可以用作弹簧。

3YC7 经固溶+时效处理后，硬度 $\leq 40\text{HRC}$ 时可用于制作阀杆。对开采环境中的温度、 $P_{\text{H}_2\text{S}}$ 、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 4.4 执行。

3YC7 应经固溶处理，在冷加工+时效处理条件下，硬度 $\leq 45\text{HRC}$ 时可以用作弹簧。

沉淀硬化镍基合金材料用作地面集输任何设备或部件时应符合 ISO 15156—3 的要求或按 4.4 执行。

6.6 钴基合金

6.6.1 下列合金用作弹簧材料对开采环境中的温度、 $P_{\text{H}_2\text{S}}$ 、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以及含元素硫时应按 4.4 执行。

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。

6.6.2 用作膜片、压力测量装置和压力密封件时，UNS R30003、UNS R30004 和 UNS R30260 可用于高酸性环境。

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、 $P_{\text{H}_2\text{S}}$ 、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 4.4 执行。

6.6.3 Co55CrNiWNb (6YCr1, Q/YCS 42 标准) 经固溶加时效处理后可以用作受冲刷腐蚀的阀芯、阀座，可用于高酸性环境。

6.7 钛合金

6.7.1 可用于高酸性环境。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。

6.7.2 TC-4 (GB/T 2965 标准) 锻态棒材经 750℃~800℃ 退火或经固溶处理 (850℃~900℃，水淬)+时效处理 (450℃~550℃，2h，空冷) 后，硬度 $\leq 35\text{HRC}$ 时可以用于制作阀杆。

6.7.3 用作任何地面集输设备或部件的材料时

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：

- a) 退火；
- b) 固溶退火；
- c) 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。

6.8 铜基和铝基合金

6.8.1 在高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。

6.9 覆盖层、镀层

6.2 至 6.7 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，以及其它腐蚀机理的影响和机械损伤。

应考虑覆盖层在使用期间的变化可能影响其耐蚀性能或机械性能。

6.10 螺纹

允许使用机械切削加工的螺纹。

如果材料和它的其它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。

6.11 锤压印标志应符合下列要求

可以锤压印如点、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）可以锤压印尖锐的（如 V 形）标志。在高应力区不应锤压锤压印尖锐的标志，除非设备使用者同意。

7 高酸性天然气地面集输管道、设备用材料

7.1 采气管线和集气管线

7.1.1 采气管线用钢管宜采用 L245 钢级的无缝钢管；集气管线宜采用 L360 及其以下钢级的无缝钢管及埋弧焊直缝钢管，如果采用更高钢级的钢管或其它管型的产品，应选用在高酸性气田有成功使用经验的厂家的钢管，同时应具有更高的技术要求。也可采用适用于高酸性环境的耐蚀合金管线管。

7.1.2 钢管的订货技术条件宜符合 GB 9711.3/ISO 3183—3 标准，且其抗 SSC 和抗 HIC 性能满足本标准或 NACE MR 0175/ISO 15156—2 对环境使用的要求。

7.1.3 对于 H₂S 分压大于等于 1.0MPa 以上的高酸性环境使用的钢管和碳钢管件（包括阀门的受压元件），应充分重视产品在相似或更苛刻高酸性环境里的使用业绩。如制造厂尚未有两年以上成功用于相似或更苛刻高酸性环境的相应产品制造经验，特别是使用工厂首次生产的产品时，在制造工艺验证时，应采用 NACE TM 0177 标准或 GB/T 15970.2000 idt ISO 7539.2:1989 标准提供的方法进行模拟现场环境的高 H₂S、CO₂ 分压的 SSC 试验，其试验结果应符合 NACE MR 0175/ISO 15156 标准的规定和订货合同规定的性能指标。

7.1.4 与湿酸气接触的材料均应通过 NACE TM0284 标准 A 溶液的 HIC 检验。

7.1.5 碳钢、低合金钢管件，分别符合钢管（见 7.1）和钢板（见 7.2）、锻钢（见 7.2）的要求，并进行热处理，热处理后不应进行冷加工。弯管的技术要求应符合 SY/T 5257 标准对酸性环境使用的 C 级弯管的要求，还应符合本规范对高酸性钢管的要求。

7.1.6 与湿酸气接触的不锈钢及耐蚀合金管件（包括阀门的受压元件），应符合 NACE MR 0175/ISO 15156—3 和本标准对抗开裂性能检验的要求，应重视制造厂有 2 年以上成功用于相似或更苛刻高酸性

环境的相应产品制造经验。

7.2 压力容器

7.2.1 原料气分离器、原料气脱水装置吸收塔等设备是集输设备压力容器中的 H₂S 腐蚀性最严重的设备，其材料应具有抗高 H₂S 浓度腐蚀的性能。

7.2.2 碳钢和低合金钢压力容器的受压元件材料应具有在相应的高酸性环境腐蚀条件下抗 SSC 能力，应满足本标准的要求；

7.2.3 压力容器的受压元件材料应具有在高酸性环境中抗 HIC 的能力。通常采用降低钢材中 S、P 等化学成分的含量，控制钢材中非金属杂质的形态等方式，增强钢材的抗 HIC 能力。附录 F 是国外某工程公司对抗 HIC 钢材化学元素的要求。

7.2.4 如制造厂的产品没有在高酸性相应腐蚀性环境中成功使用两年以上的业绩，则压力容器承压元件应按 7.1.3 和 7.1.4 的要求进行评价。

7.2.5 压力容器应进行焊后整体消除应力热处理，热处理之后不允许再进行焊接、冷加工等，否则应进行局部或整体热处理，焊缝、热影响区的硬度应保证小于等于 200HB；

7.2.6 设备的焊接应采用已成功用于类似高酸性现场两年以上的焊接工艺和焊接材料；或者在焊接工艺的评定中，硬度检测应小于等于 200HB，以及相应高酸性环境的 SSC 评定和 NACE TM0284 A 溶液的 HIC 试验评价。

7.3 气田水输送管道

7.3.1 送高酸性气田水的碳钢和低合金钢应符合本标准的要求，还应采取措施防止电化学腐蚀。

7.3.2 可以使用 6.2 到 6.7 中列出的耐蚀合金作为衬里。使用衬里时基层金属应符合本标准的要求。

7.3.3 可以使用玻璃钢或其它耐蚀非金属管输送气田采出水，应模拟气田水环境对本体和连接接头进行耐蚀评价，评价方法见附录 B。

7.4 弹性元件

高酸性环境中使用的压力表、阀门的弹簧、膜片等弹性元件应采用第 6 章中所列的适当材料制造。

7.5 采油树及管道阀门

7.5.1 高酸性环境中使用的采油树、管道阀门用碳钢、低合金钢、不锈钢、耐蚀合金以及非金属密封材料应符合本标准的要求。

7.5.2 阀板、阀瓣、针型阀阀芯、阀座采用碳钢锻件为基体时，密封面可以堆焊或喷焊钴基或镍基合金，随后应进行消除应力热处理，基体金属硬度应 ≤22HRC。

7.5.3 GB/T 12229 中的 WCA 级和 WCB 级碳钢铸件在退火状态下，可用于公称压力等级为 10MPa 以下的阀体、阀盖。

7.5.4 35CrMo 锻钢经调质处理，硬度应 ≤22HRC，可用于制作阀体、阀盖、盘根压帽、轴承压盖、法兰等。

7.5.5 阀杆应采用不锈钢或耐蚀合金制造，并应符合本标准中第 6 章的要求。

7.6 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材料应符合本标准第 5 章和第 6 章的要求。

7.7 螺栓和紧固件

直接暴露于高酸性环境的螺栓材料，或要被掩埋、隔绝、安装于法兰保护装置上的，或其它不允许直接暴露于大气环境中的螺栓材料，应符合本标准第 5 章和第 6 章的要求。

8 耐腐蚀性能检验及评价验收标准

8.1 碳钢和低合金钢的抗 SSC 性能检验及评价

用于高酸性气田的碳钢和低合金钢材料,应按照 NACE MR0175/ISO 15156—2 附录 B 或本标准附录 G 的要求进行材料的抗 SSC 性能评价和验收,其中试验加载应力可为材料标准中规定屈服强度的 80%~90%。当材料预期使用环境的 H₂S 分压超过 1.0MPa 时,应在模拟预期使用环境条件下进行实验室评价。

8.2 耐蚀合金及其它合金的抗 SSC、SCC 和/或 GHSC 性能检验及评价

用于高酸性气田的耐蚀合金材料及其它合金,应按照 NACE MR0175/ISO 15156—3 附录 B 的要求进行材料的抗 SSC、SCC 和/或 GHSC 性能评价和验收,其中采用四点弯曲试验时试验加载应力可为材料标准中规定屈服强度的 100%,采用恒载荷或持续载荷试验时加载应力可为材料标准中规定屈服强度的 95%。当材料预期使用环境的严重程度超过标准规定条件时,应在模拟预期使用环境条件下进行实验室评价。

8.3 碳钢和低合金钢的抗 HIC 性能检验及评价

用于高酸性气田的碳钢和低合金钢材料应按照 NACE TM0284 标准,采用 A 溶液进行抗 HIC 性能检验,评价指标应符合 GB/T 9711.3 的规定。每个试件三个断面的平均值不得超过下列指标:

$$CSR \leq 2\%$$

$$CLR \leq 15\%$$

$$CTR \leq 5\%$$

附录 A
(规范性附录)

用于酸性环境的非金属材料

A.1 石油天然气地面集输系统常用的非金属材料有工程塑料、合成橡胶、玻璃钢等。为保证材料能满足酸性环境中应用的相关技术指标,非金属材料在应用于酸性环境前,应在试验室进行现场应用环境的模拟试验,或者能提供至少两年现场使用经验的证明,最好有所使用后的材料的检测报告。预计的使用环境苛刻程度不能超过已有现场经验的相应环境条件。

非金属材料的损坏可由物理作用和/或化学作用引起。这些损坏表现为:塑性降低、强度降低、材料溶胀变形、表层爆裂等。本附录不考虑辐射作用引起的问题。

本附录适用于为高酸性天然气田生产而设计、制造设备时采用非金属材料的选择与评价。

A.2 用于高酸性环境中的非金属材料应当满足三个基本要求:

- a) 在工作环境中对接触的高酸性介质应当是稳定的;
- b) 必须能够承受它工作时和存放时的温度;
- c) 必须能够承受一定的机械载荷,如压力、拉伸或压缩应力、机械磨损等。

A.3 工程塑料

A.3.1 工程塑料在高酸性环境中通常用做内防腐涂层和衬里。

A.3.2 工程塑料如果没有在高酸性相应腐蚀性环境中成功使用两年以上的业绩,在应用于高酸性环境前应按照 GB/T 11547《塑料耐液体化学药品(包括水)性能测定方法》或 NACE TM0185《管类塑料内涂层防腐的高压釜评价试验》在模拟高酸性环境的腐蚀介质中进行实验室评价,评价结果应达到 A 级要求或用户要求。

A.4 合成橡胶

A.4.1 在高酸性环境中,合成橡胶通常用于弹性密封材料用作密封件。

A.4.2 常用合成橡胶的性能要求

当选择适当的合成橡胶用做密封件时,应满足 SY/T 5127 对密封材料的性能要求。

A.4.3 合成橡胶如果没有在高酸性相应腐蚀性环境中成功使用两年以上的业绩,在应用于高酸性环境前应按 NACE TM0296 和 NACE TM0187 进行耐介质腐蚀性能检测。必要时还应参照 GB/T 1690 模拟高酸性环境的腐蚀介质及工况条件进行耐介质腐蚀性能检测。

A.5 玻璃钢

A.5.1 玻璃钢管道和配件可以用于高酸性气田水的输送。

A.5.2 管道设计应依据 ISO 14692 或 API 15HR 或 SY/T 6267 的相关规定。

A.5.3 在高酸性气田,应适当提高玻璃钢管道的设计安全系数。选择的管道的标准工作压力等级宜为设计压力的 1.5 倍。

A.5.4 制造玻璃钢管道和配件所用的复合材料应满足以下要求:

A.5.4.1 制造商应提供材料耐酸性环境的化学作用性能的试验报告。

A.5.4.2 玻璃钢管道和配件宜采用由玻璃纤维加强的热固性环氧树脂型玻璃钢。

A.5.5 玻璃钢管道的性能要求

A.5.5.1 玻璃钢管道的短时水压失效压力至少应为标准工作压力等级的 4.0 倍。

A.5.5.2 采用GB/T 19466.2的差示扫描量热法（DSC）测量玻璃钢的玻璃化转变温度（T_g），则T_g必须比最高设计温度高30℃。

A.6 用于酸性环境的非金属材料

A.6.1 可用于酸性环境的工程塑料有高密度聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯、聚苯硫醚、聚酰亚胺等。不同厂家的工程塑料在应用于现场前应满足本附录的要求。

A.6.2 可用于酸性环境的合成橡胶种类有丁腈橡胶、氢化丁腈橡胶、氟橡胶、全氟化碳橡胶、四丙氟橡胶。由于橡胶生产过程中不同的制造工艺、轻微的组分改变都会对材料的耐蚀性能造成影响，各厂家生产的同一类橡胶也可能在性能上存在较大差异，因此每种具体牌号的合成橡胶在应用于现场前应满足本附录的要求。

A.6.3 可用于酸性环境的玻璃钢管材应采用纤维缠绕或离心铸造的方法生产，玻璃钢部件应采用模压、离心铸造、纤维缠绕或树脂传递模塑法生产。由于玻璃钢生产过程中不同的制造工艺、树脂和固化剂等组分的改变都会对材料的耐蚀性能造成影响，各厂家生产的同一类玻璃钢也可能在性能上存在较大差异，因此不同牌号的玻璃钢管材在应用于现场前应满足本附录的要求。

附录 B
(规范性附录)

用于高酸性环境的非金属材料的实验室试验

B.1 非金属材料耐介质腐蚀性能检测及评价**B.1.1 工程塑料耐介质腐蚀性能检测及评价**

B.1.1.1 工程塑料应按照 GB/T 11547 或 NACE TM 0185, 模拟高酸性环境的腐蚀介质及工况条件进行耐介质腐蚀性能检测。

B.1.1.2 工程塑料耐介质腐蚀性能按表 B.1 进行评价, 应满足 A 级要求或用户要求。

表 B.1

质量变化百分率 (%)	拉伸、弯曲、强度变化百分率 (%)	伸长率变化百分率 (%)	硬度变化百分率 (%)	耐介质腐蚀性能评价
-0.5~3	<15	<20	<15	A 级 (可以使用)
-0.5~-3, 3~8	15~30	20~50	15~30	B 级 (一般不用)
<-3, >8	>30	>50	>30	C 级 (不可使用)

B.1.2 合成橡胶耐介质腐蚀性能检测及评价

B.1.2.1 合成橡胶用作密封件时, 应按照 SY/T 5127—2002 的附录 F 进行性能鉴定, 并满足该规范的验收要求。

B.1.2.2 合成橡胶用于设备、阀门、仪表的密封件时, 应按照 NACE TM 0296 和 NACE TM 0187 进行耐介质腐蚀性能检测。必要时还应参照 GB/T 1690 模拟高酸性环境的腐蚀介质及工况条件进行耐介质腐蚀性能检测。检测结果应满足设计性能要求。

B.2.3 玻璃钢耐介质腐蚀性能检测及评价

B.2.3.1 应进行高应力水平下的耐腐蚀性能测试, 保证玻璃钢的安全使用。试验对象应包括连接接头。

B.2.3.2 试验条件

ASTM D2992—B 法, 试样两端采用非约束式封堵方式。

腐蚀溶液: 模拟现场腐蚀环境中的介质组成。

试验周期: 1000h

试验压力: $P = 1.15 \times P_{LCL}$

B.2.3.3 验收标准: 玻璃钢管在模拟现场腐蚀环境和规定的内压条件下, 进行 1000h 的应力腐蚀试验不应发生失效。

表 B.2 用于高酸性环境的非金属材料的实验室试验要求

种类	试验标准	试验介质	试验温度 (℃)	试验压力 (MPa)	试验周期 (h)
工程塑料	GB/T 11547	模拟使用环境的液体、气体组成	使用环境 温度	模拟使用环境 的压力	168
合成橡胶	NACE TM 0296—2002	气相：20% H ₂ S+5% CO ₂ +75% CH ₄ 的混合气体 烃液相：25%正己烷+20%正辛烷+50% 正癸烷+5%甲苯 气相：烃液相：水=35：60：5（体积 比） 挂片位置：液相	100±3	6.9±0.7	160±2
	NACE TM 0187—2003	气相：20% H ₂ S+5% CO ₂ +75% CH ₄ 的混合气体 烃液相：25%正己烷+20%正辛烷+ 50%正癸烷+5%甲苯 气相：烃液相：水=90：5：5（体积 比） 挂片位置：气相	100±3	6.9±0.7	100±2
	GB/T 1690	模拟使用环境的液体、气体组成	使用环境 温度	模拟使用环境 的压力	168h
玻璃钢	ASTM D 2992—B	模拟使用环境的液体、气体组成	使用环境 温度	1.15×P _{LCL}	1000

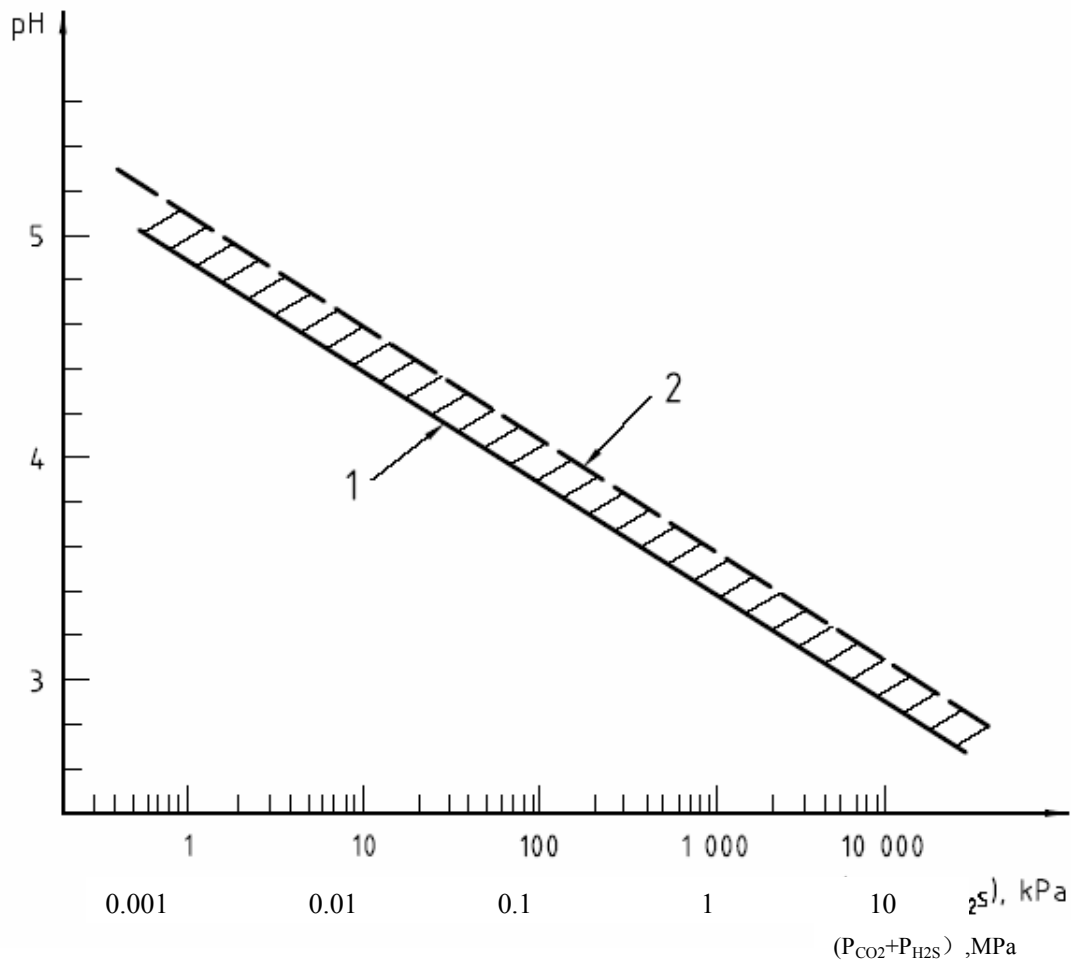
附录 C
(资料性附录)

原位 pH 的确定

使用图 1 时需要确定在生产条件下的原位pH值。图C.1~C.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。可能的误差范围为0.0~+0.5pH值。

图C.1到C.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。

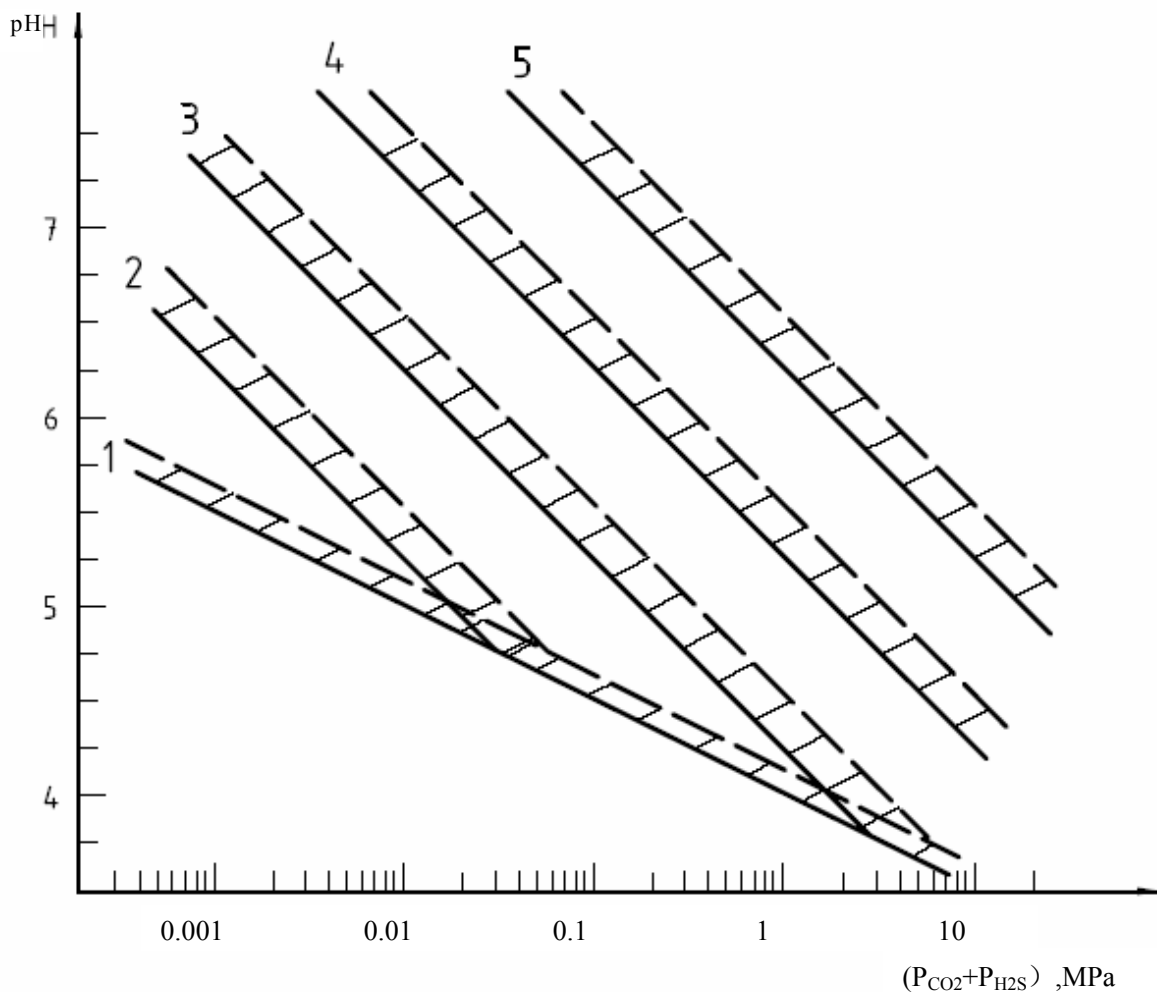
原位值也可能受有机酸存在的影响，例如乙酸，丙酸等（和它们的盐），图C.1到C.5未予考虑。



注：图 C.1 到 C.5 是从 ISO 15156-2 中引用的。

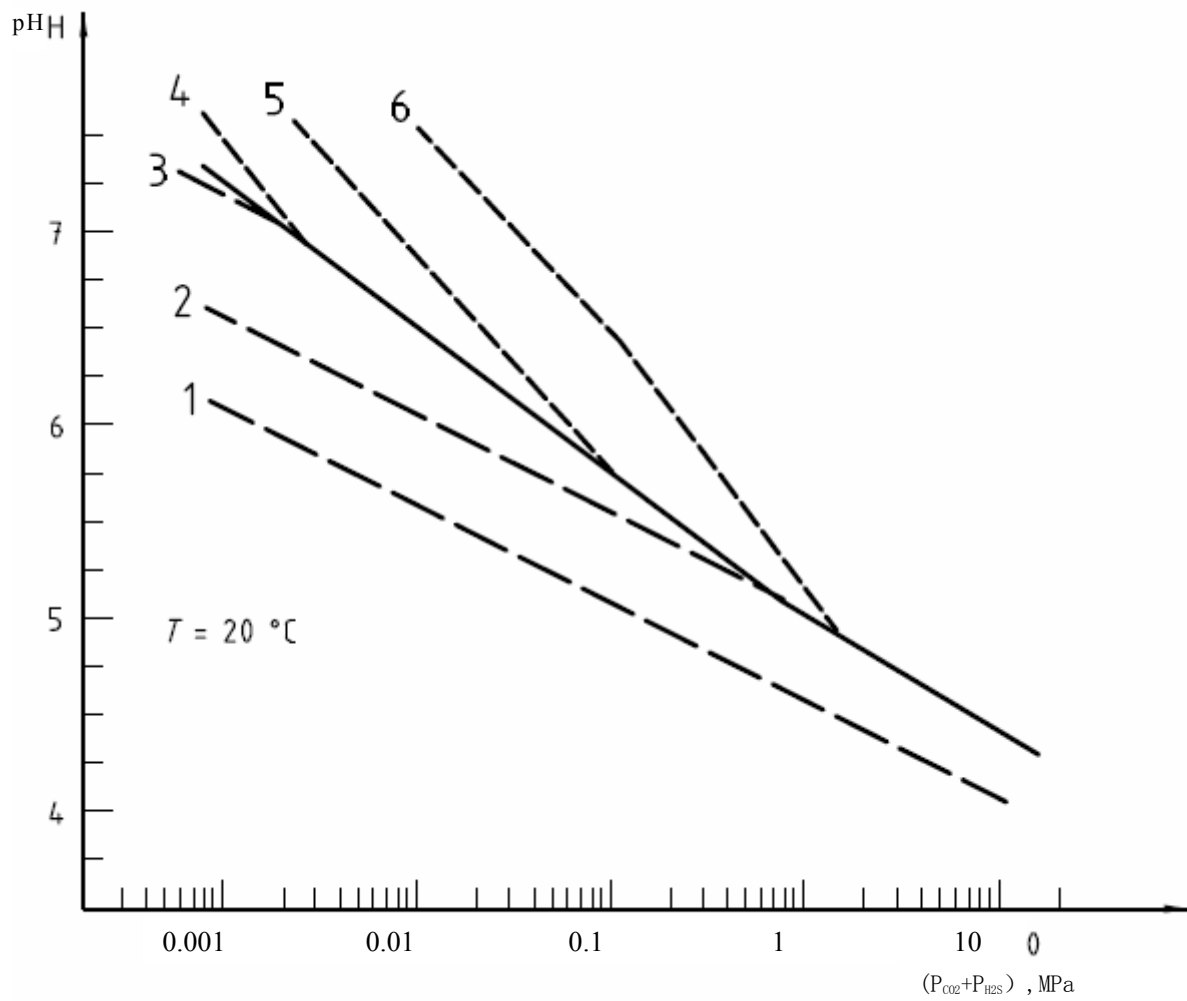
- 1——温度为 20℃；
- 2——温度为 100℃。

图 C.1 在 CO₂ 和 H₂S 压力下凝析水中的 pH 值



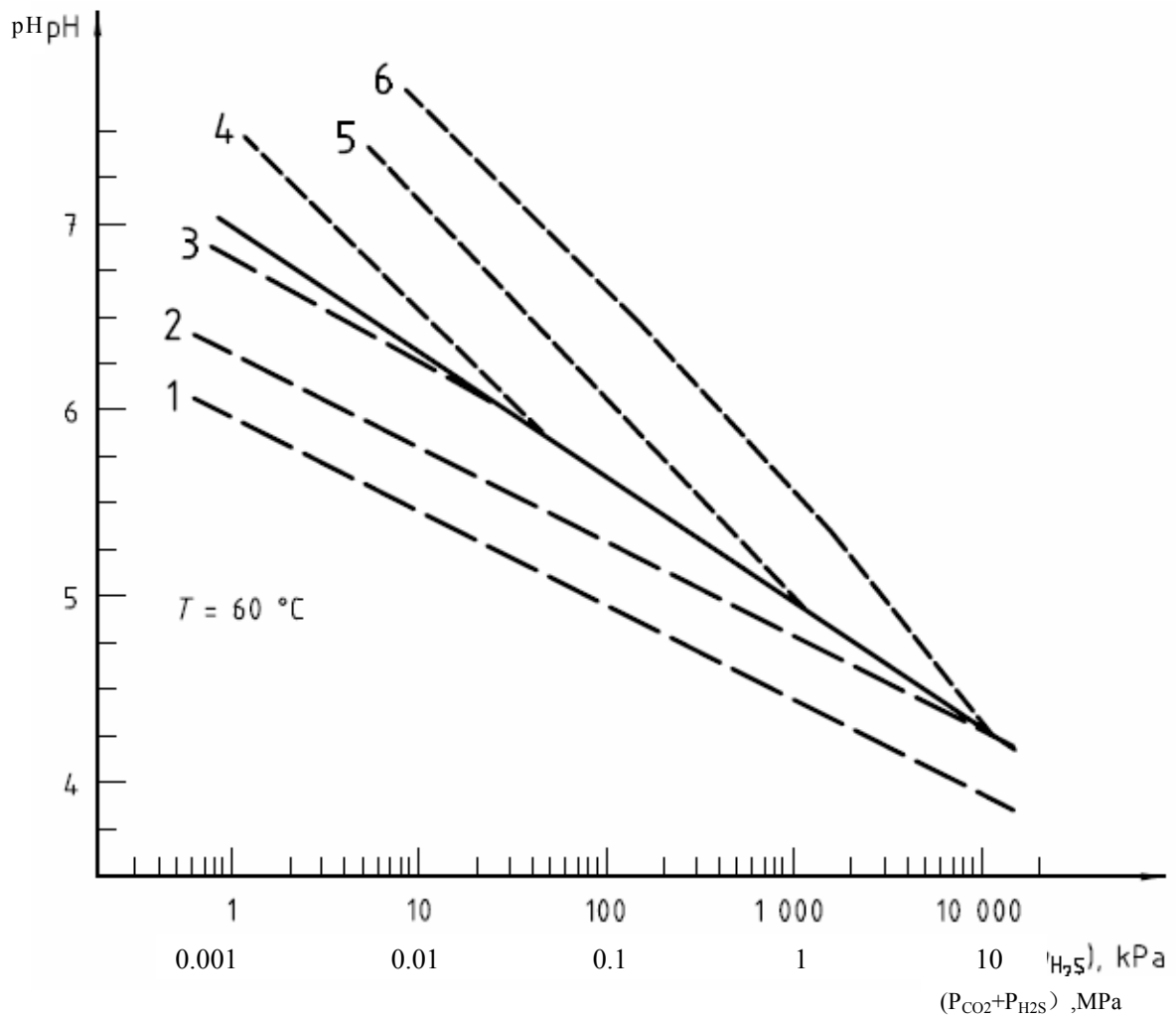
- 1—— $\text{HCO}_3^- = 0 \text{ meq/l}$ (毫克当量/升) ;
- 2—— $\text{HCO}_3^- = 0.1 \text{ meq/l}$;
- 3—— $\text{HCO}_3^- = 1 \text{ meq/l}$;
- 4—— $\text{HCO}_3^- = 10 \text{ meq/l}$;
- 5—— $\text{HCO}_3^- = 100 \text{ meq/l}$ 。
- $T = 100^\circ\text{C}$
- $T = 20^\circ\text{C}$

图 C.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



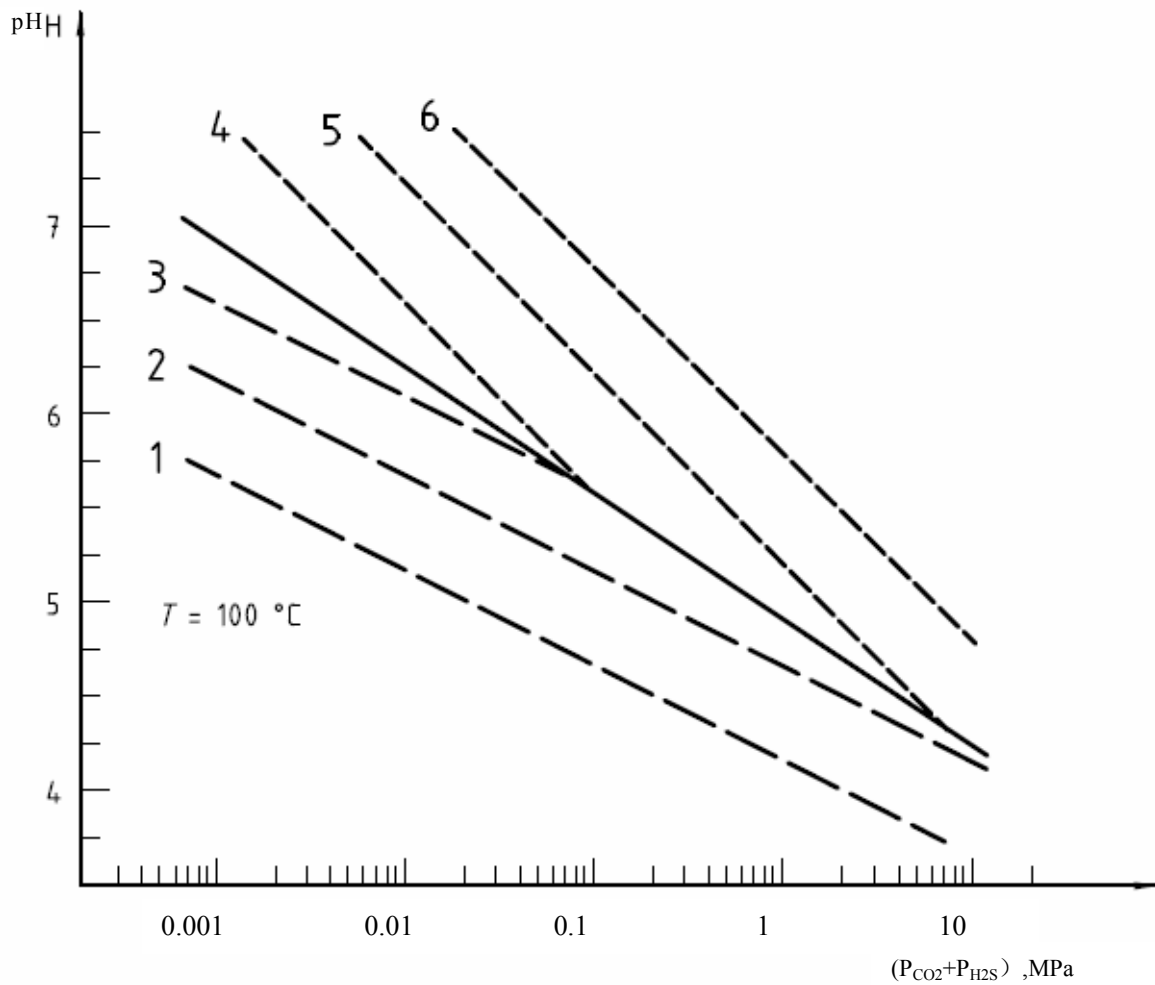
- 1—— $\text{Ca}^{2+}=1000\text{meq/l}$;
- 2—— $\text{Ca}^{2+}=100\text{meq/l}$;
- 3—— $\text{Ca}^{2+}=10\text{meq/l}$;
- 4—— $\text{HCO}_3^-=10\text{meq/l}$;
- 5—— $\text{HCO}_3^-=30\text{meq/l}$;
- 6—— $\text{HCO}_3^-=100\text{meq/l}$;
- $\text{Ca}^{2+}<\text{HCO}_3^-$
- $\text{Ca}^{2+}=\text{HCO}_3^-$
- $\text{Ca}^{2+}>\text{HCO}_3^-$

图 C.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—— $\text{Ca}^{2+}=1000\text{meq/l}$
- 2—— $\text{Ca}^{2+}=100\text{meq/l}$
- 3—— $\text{Ca}^{2+}=10\text{meq/l}$
- 4—— $\text{HCO}_3^-=10\text{meq/l}$
- 5—— $\text{HCO}_3^-=30\text{meq/l}$
- 6—— $\text{HCO}_3^-=100\text{meq/l}$
- $\text{Ca}^{2+}<\text{HCO}_3^-$
- $\text{Ca}^{2+}=\text{HCO}_3^-$
- $\text{Ca}^{2+}>\text{HCO}_3^-$

图 C.4 60°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—— $\text{Ca}^{2+} = 1000 \text{ meq/l}$
- 2—— $\text{Ca}^{2+} = 100 \text{ meq/l}$
- 3—— $\text{Ca}^{2+} = 10 \text{ meq/l}$
- 4—— $\text{HCO}_3^- = 10 \text{ meq/l}$
- 5—— $\text{HCO}_3^- = 30 \text{ meq/l}$
- 6—— $\text{HCO}_3^- = 100 \text{ meq/l}$
- $\text{Ca}^{2+} < \text{HCO}_3^-$
- $\text{Ca}^{2+} = \text{HCO}_3^-$
- · - · - $\text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^-$

图 C.5 100°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）地层水中 pH 值

附录 D
(资料性附录)

H₂S 分压、CO₂ 分压的确定

D.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:

$$P_{\text{H}_2\text{S}} = P \times \frac{X_{\text{H}_2\text{S}}}{100} \quad \dots\dots\dots(\text{D.1})$$

式中:

$P_{\text{H}_2\text{S}}$ ——H₂S 分压, 用 MPa 表示;

P ——系统总的绝对压力, 用 MPa 表示;

$X_{\text{H}_2\text{S}}$ ——H₂S 在气体中的摩尔分数, 用%表示。

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 D.1 进行计算。

D.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:

$$P_{\text{CO}_2} = P \times \frac{X_{\text{CO}_2}}{100} \quad \dots\dots\dots(\text{D.2})$$

式中:

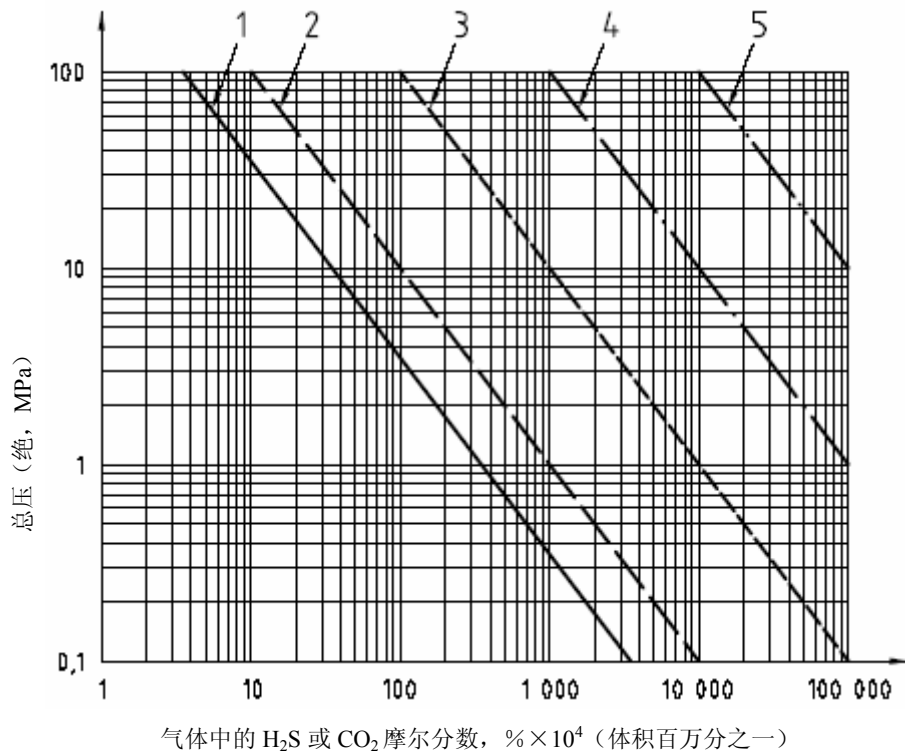
P_{CO_2} ——CO₂ 分压, 用 MPa 表示;

P ——系统总的绝对压力, 用 MPa 表示;

X_{CO_2} ——CO₂ 在气体中的摩尔分数, 用%表示。

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

如果系统中的总压和的 CO₂ 浓度是已知的, CO₂ 分压可以用图 D.1 进行计算。



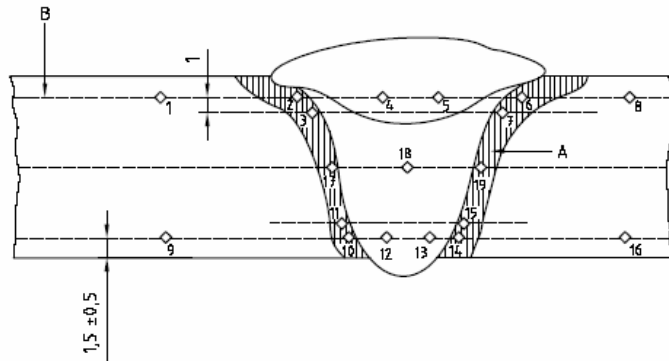
- 1—— $P_{\text{H}_2\text{S或CO}_2}=0.0003\text{MPa}$;
- 2—— $P_{\text{H}_2\text{S或CO}_2}=0.001\text{MPa}$;
- 3—— $P_{\text{H}_2\text{S或CO}_2}=0.01\text{MPa}$;
- 4—— $P_{\text{H}_2\text{S或CO}_2}=0.1\text{MPa}$;
- 5—— $P_{\text{H}_2\text{S或CO}_2}=1.0\text{MPa}$ 。

图D.1 酸性气体系统: H₂S/CO₂分压等压线

附录 E
(规范性附录)

焊接工艺评定的硬度检测

E.1 焊接工艺评定的硬度根据图 E.1 (对接焊缝)、图 E.2 (角焊缝)、图 E.3 (修补和部分熔透焊缝) 用维氏硬度进行检查。对接焊缝的 HRC 硬度试验应根据图 E.4 进行。其它连接结构的检查可以根据这些图演变而来。

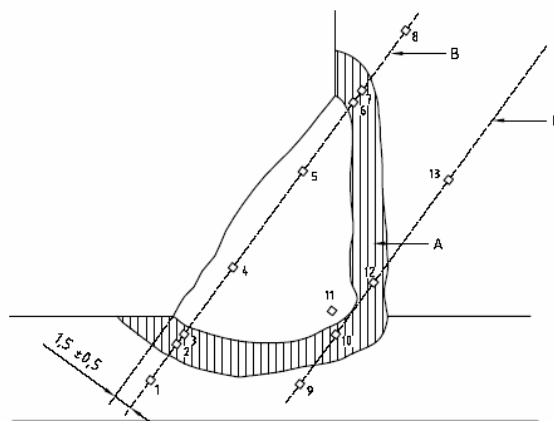


- A—— 焊缝热影响区 (浸蚀后可见);
- B—— 虚线为测量线。

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

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。

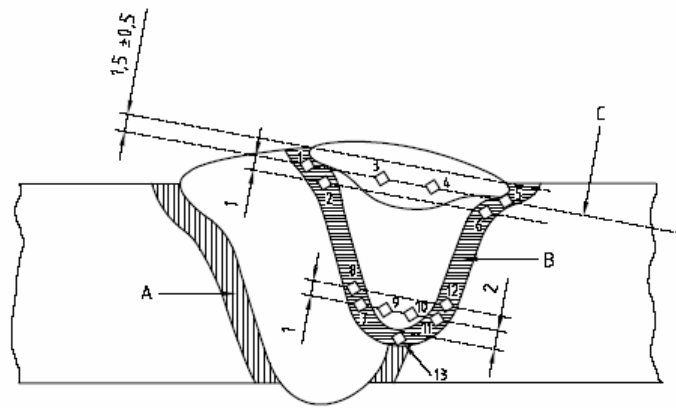
图 E.1 对接焊缝维氏硬度检查方法



- 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。

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。

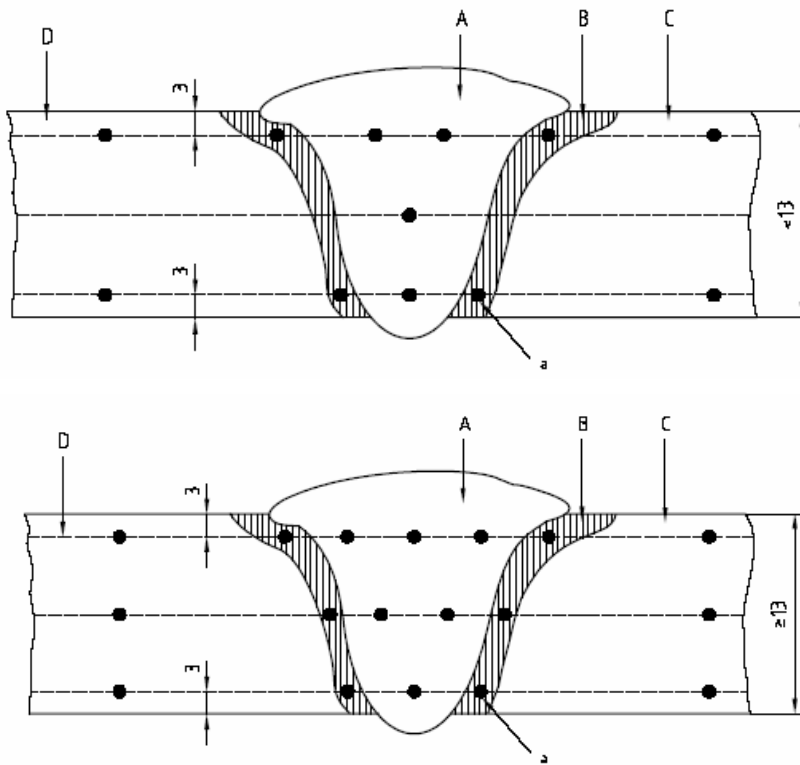
图 E.2 角焊缝



- 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。

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 E.3 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。

焊缝热影响区的硬度压痕宜在熔合线边界 2mm 内。

图 E.4 对接焊缝（洛氏硬度测试方法）

附录 F
(资料性附录)

国外某著名工程公司对抗 HIC 钢材化学元素的要求

表 F.1 国外某工程公司对抗 HIC 钢材化学元素的要求

钢管	C	≤ 0.23%
	CE	≤ 0.43%
	Ni	≤ 1.0%
	S	≤ 0.01%
管件	C	≤ 0.23%
	CE	≤ 0.43%
	Ni	≤ 1.0%
	S	≤ 0.01%
钢板	C	≤ 0.23%
	CE	≤ 0.43%
	Ni	≤ 1.0%
	S	≤ 0.003%
锻钢	C	≤ 0.23%
	CE	≤ 0.43%
	Ni	≤ 1.0%

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \left(\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left(\frac{\%Ni + \%Cu}{15} \right)$$

附录 G
(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

G.1 碳钢和低合金钢抗 SSC 的评定按表 G.1 进行。

G.2 除非有其他说明，试验要求应符合 NACE TM0177—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，见 NACE MR 0175/ISO 15156-3 附录 B 给出的试验环境指导（即如果使用环境的温度高于 24°C (75°F)，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。中间温度的试验，即在 $24^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($75^{\circ}\text{F}\pm 5^{\circ}\text{F}$) 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。）。

表 G.1 酸性工作环境的 SSC 实验室试验

评定有效范围 ^f	试验类型 ^{a,b,i}	施加应力 ^{c,d}	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2区	UT	≥90% AYS	5% (Wt) NaCl + 0.4% (Wt) CH ₃ COONa, 用 HCl 或 NaOH 把 pH 值调至预期值 ^e	适合于预期的应用或 SSC 区域	按NACE TM0177-96 评价方法,无SSC开裂	特定的应用或不太苛刻的环境。评价区域针对适当的“有效范围” ^g 。
	FPB ^j 或CR					
	DCB ^h	不适用			按NACE TM0177-96 评价。验收标准应经过协商一致的文件证明 ^k 。	
图1所有SSC区域	UT	≥0% AYS	NACE TM0177-96 A溶液环境 [5% (Wt)NaCl +0.5% (Wt) CH ₃ COOH]	根据NACE TM0177-96为0.1MPa	按NACE TM0177-96 评价方法,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证明文件
	FPB ^j 或CR					
	DCB ^h	不适用				

a 试验类型如下：
— 根据NACE TM0177-96 A法的单轴拉伸（UT）试验
— 根据GB/T 15970.2 的四点弯曲（FPB）试验
— 根据NACE TM0177-96 C法的C型环（CR）试验
— 根据NACE TM0177-96 D法的双悬臂梁（DCB）试验
— 适当时可以使用其它试件，包括全尺寸构件的试件，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。经设备使用者的同意，可采用背弯4点弯曲试验。对于背弯试验的详情见NACE出版物腐蚀2000第128篇论文。

c 对于能确保在低工作应力水平进行操作时，如该低工作应力水平按屈服强度的百分比进行控制，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，协商应有证明文件。

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%（Rp0.2）的弹性极限应力。

e 对于SSC试验的pH控制，在试验过程中pH值应低于或等于预期值。实际上pH值可以控制在0.1个pH值单位范围内。

f 关于使用塑性设计准则的更多信息见ISO 15156-1：2001，第5条。

g 在表G.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，包括厚壁或复杂形状的构件，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直接可比性。

j 在进行试件的SOHIC和/或SZC评定时，要满足本表和NACE MR0175/ISO 15156-2附录B的B.4的要求。

k 见ISO 11960有关C90和T95油套管的信息。

表 G.2 试验条件

pH	试验要求的 H ₂ S 分压 MPa	
	SSC 1 区的条件组合	SSC 2 区的条件组合
3.5	—	0.001
4.0	0.0003	—
4.5	0.001	0.01
5.5	0.01	0.1
6.5	0.1	—
