

国际
标准

ISO
15156-1

第3版

2015-09-01

石油天然气工业—
油气开采中用于含 H₂S 环境的材料
第1部分：抗开裂材料选择的一般原则



参考编号
ISO 15156-1:2015(E)

© ISO 2015



受版权保护文件

© ISO 2015, 印刷于瑞士

所有权利保留。在没有获得 ISO 的书面允许之前，本出版物任何部分不能复制，或者通过任何方式进行传输，不管是电子、机械、照片、录像或其它方式。书面允许申请应寄往以下地址的 ISO 组织或者所在国家的 ISO 会员组织。

ISO 版权办公室

Ch. de Blandonnet 8·CP 401

CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland

电话: +41 22 749 01 11

传真: +41 22 749 09 47

电子邮件: copyright@iso.org

网址: www.iso.org

目 录

前 言.....	3
引 言.....	4
1. 范围.....	5
2. 规范性引用文件.....	5
3. 术语和定义.....	6
4. 缩略语.....	10
5. 一般原则.....	10
6. 选择材料的使用环境的评价和定义.....	11
7. 在硫化物存在的情况下，从现有清单和表格中选择抗 SSC/SCC 的材料.....	11
8. 用于硫化氢环境材料的评定.....	12
9. 选择或评定方法的报告.....	13
参考文献.....	15

前言

国际标准化组织(ISO)是各国的国家标准机构(ISO 成员单位)的世界性联盟。ISO 国际标准的编制通常是通过 ISO 技术委员会组织完成的。凡是对某技术委员会已经确定的项目感兴趣的每个成员单位都有权派代表参加该委员会的工作。凡是与国际标准化组织(ISO)有联系的国际组织，不管是政府的还是非政府的，也可参加 ISO 国际标准的编制工作。在电工技术标准化的各个方面，国际标准化组织(ISO)与国际电工委员会(IEC)是紧密协作的。

ISO/IEC 指令，第 1 部分描述了本文件起草所用的程序以及其未来维护所用的程序。特别地，应注意不同的 ISO 文件类型需要不同的批准准则。本文件按照 ISO/IEC 指令，第 2 部分的编辑规则进行起草。（见 www.iso.org/directives）

时刻注意本文件某些内容可能涉及到专利权。ISO 应不为识别任何或所有专利权承担责任。在本文件起草期间识别的任何专利权细节将出现在前言和/或收到的 ISO 专利权声明清单中。（见 www.iso.org/patents）

本文件所用的任何商标作为参考信息给出，以用于方便用户，同时不构成一种担保。

一致性评估相关的 ISO 特定术语和表述的意义解释以及 ISO 遵循的贸易技术壁垒 (TBT) 的 WTO 原则相关信息访问以下 URL: Foreword - Supplementary information。

本文件的责任委员会为 ISO/TC 67《石油、石油化工和天然气工业用材料、设备和近海结构》技术委员会。

第 3 版经过技术性修订（以包含更改和第 5 章内的以下更改）而取消和替代第 2 版 (ISO 15156-1:2009)：

- 采用术语“负荷可控设计方法”替代术语“传统弹性设计准则”；
- 包含了基于应变设计方法的使用材料鉴定的方式相关改进指南。

ISO 15156 在通用标题“石油和天然气工业—油气生产时含 H₂S 环境内使用的材料”下包含以下部分：

- 第 1 部分：抗开裂材料选择的通用原则
- 第 2 部分：抗开裂碳钢和低合金钢以及铸铁的使用
- 第 3 部分：抗开裂 CRAs（耐腐蚀合金）和其它合金

引言

因为油气田使用的金属零部件接触含硫化氢（H₂S）的开采液会发生突然失效，所以编制了第一版 NACE MR0175，该版本在 1975 年由美国腐蚀工程师协会（现称“NACE 国际”）公开发行人。

NACE MR0175 的初版及以后的版本规定了需要考虑预防硫化物应力开裂（SSC）时，H₂S 局部压力的极限值，还提供了超过 H₂S 阈值时抗硫化物应力开裂材料的选择和规范指南。最近的 NACE MR0175 版本还提供了某些抗腐蚀合金的应用极限，主要考虑因素包括环境因素、pH 值、温度和 H₂S 局部压力。

单独编写文件期间，欧洲腐蚀联合会分别在 1995 年和 1996 年发行了 EFC 出版物 16 和 EFC 出版物 17。这些文件通过不同的范围和侧重点，总体上能对 NACE 加以补充。

2003 年，ISO 15156 和 NACE MR0175/ISO 15156 的三部分内容首次完成。这些文件在技术上是统一的，都利用上述资源，提出油气开采系统在含有湿硫化氢环境下材料选用的要求和建议，由 NACE TM0177 和 NACE TM0284 试验方法得到了补充。

在修订 ISO 15156 标准本部分时，合并了由位于 DIN 的 ISO 15156 维护机构秘书处发行的 ISO 15156-1: 2009/Cir.1: 2014 (E) 技术通函 1 中达成一致意见且公开发行的所有修改内容。

这些修改内容由来自油气行业的代表组完成，并通过投票得到批准，其中大部分内容可有效遏制文件使用者引发的问题。关于批准这些修改内容的过程描述，可登录 ISO 15156 标准维护网站 www.iso.org/iso15156maintenance。

如果油气开采行业专家发现有必要，今后会采取同样的方式对 ISO 15156 标准的本部分进行临时性修改，将采用技术勘误或技术通函的形式对 ISO 15156 标准的本部分进行临时更新。文件使用者应当明白，此类文件会继续存在，也会影响 ISO 15156 标准本部分注明日期的引用的有效性。

通过 34/2007 号文件，国际标准化组织技术管理委员会批准在 DIN 成立 ISO 15156 标准维护机构。本文件描述了维护机构的组成人员，其中包括了来自 NACE、EFC 和 ISO/TC 67 的专家，同时还描述了批准修改单的过程。此文件可从 ISO 15156 标准维护网站和 ISO/TC 67 秘书处获取。登录网站，还可查阅更详细的 ISO 15156 标准维护活动的相关文件。

国际标准

ISO 15156-1-2015(E)

石油天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 环境的材料

第 1 部分：抗开裂材料选择的一般原则

警告：按 ISO 15156 选择和评定的金属材料，在油气开采中规定的含硫化氢环境里是抗开裂的，但并不一定在所有的使用环境下都可避免开裂。选择适合预期使用环境的材料是设备使用者的责任。

1. 范围

ISO 15156 这部分叙述并提出了在石油天然气生产以及脱硫装置中处于硫化氢(H₂S)环境中设备的金属材料评定和选择的一般原则、要求和推荐方法。这些设备的失效，可能给工作人员以及公众的健康和生命安全或环境带来很大的危害。本部分有助于避免设备发生这种高昂代价的腐蚀损坏。本部分补充而不是代替相关的设计标准和规范或细则中已有的材料技术要求。

ISO 15156 这部分描述了所有由硫化氢所引起的腐蚀开裂机理，包括硫化物应力开裂、应力腐蚀开裂、氢致开裂及阶梯型裂纹、应力定向氢致开裂、软区开裂和电偶诱发的氢应力开裂。

表 1 给出了适用于 ISO 15156 部分的不详尽的设备清单，包括了允许的例外。

ISO 15156 本部分适用于使用负荷可控设计方法来设计和建造的设备所用材料的评定和选择。当设计采用应变为基础的设计方法时，见第 5 节。

ISO 15156 部分不一定适用于炼油或下游的加工设备。

2. 规范性引用文件

下列所有或部分引用文件对于本文件的应用是不可缺少的。对于注明日期的引用文件，只有引用的版本适用。对于未注明日期的引用文件，引用文件的最新版本（包括任何修订本）适用。

ISO 15156-2: 2015, 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

ISO 15156-3: 2015, 石油天然气工业 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

表 1 设备表

ISO 15156-1 这部分适用于下列设备用材料	允许的例外设备
钻井、完井和修井设备	仅暴露在成分受控的钻井液中的设备 ^a 钻头 防喷器剪切闸板 ^b 钻井隔水导管系统 作业管往 绳索和绳索设备 ^c 表层和技术套管
油气井, 包括地下设备、气举设备、井口和采油树	抽油泵和抽油杆 ^d 电动潜油泵 其他人工举升设备 卡瓦
(出油) 采气管道、集气(油)管道、矿场设备和矿场处理装置	在总绝对压力为 0.45 MPa(65 psi)以下工作的原油储存和处理设备
水处理设备	在总绝对压力 0.45MPa(65psi)以下工作的水处理设备 注水和水处理设备
燃气处理装置	—
液体、气体和多相流体输送管道	商业和民用处理气输送管道
对于以上所有设备	只承受压缩载荷的部件
^a 详见 ISO 15156-2:2015 的 A.2.3.2.3。 ^b 详见 ISO 15156-2:2015 的 A.2.3.2.1。 ^c 绳索润滑器和润滑器连接装置不允许例外。 ^d 对于抽油泵和抽油杆, 参见 NACE MR0176。	

3. 术语和定义

本文件适用于下列术语和定义。

3.1

防喷器, BOP

在钻井作业中, 用于控制油气井流体和钻井液压力的一种承压机械装置。

3.2

钎焊

在金属之间通过充满薄界面层低熔点非铁金属填充物而将它们连接。

3.3

碳钢

含碳质量分数小于 2%、含锰质量分数小于 1.65%的铁碳合金，除了含为脱氧而有意添加规定量的元素（通常是硅和/或铝）外，还有残留量的其他元素。

出处注释 1：石油工业中所用碳钢的含碳质量分数通常低于 0.8%。

3.4

采油树

用于控制采出液或回注井口设备。

3.5

冷加工

在能够产生加工硬化的温度和变形率的条件下的金属塑性变形的工艺过程。通常（不是必须）是在常温下完成的。

3.6

耐蚀合金，CRA

是用来抗油田环境中的均匀和局部腐蚀的合金。在该油田环境中，碳钢（3.3）会受到腐蚀。

3.7

铁素体

铁基合金中的一种体心立方晶体

3.8

铁素体钢

在室温下，显微组织（3.15）主要是铁素体（3.7）的钢材。

3.9

硬度

金属抵抗塑性变形的能力。通常用金属压痕来测量。

3.10

热影响区

在钎焊，切割或焊接过程中，没被熔化，但是显微组织（3.15）和性能已经随着加热过程发生了变化的那部分母材。

3.11

热处理，HAZ

为了获得所需的性能加热和冷却固体金属和合金的工艺。

出处注释 1: 仅为热加工而进行的加热不能作为热处理。

3.12

氢致开裂, HIC

为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。

出处注释 1: 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(3.15)(如带状组织)的区域。这种类型的氢致开裂与焊接无关。

3.13

氢应力开裂, HSC

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。

出处注释 1: HSC 描述了一种产生在对 SSC 不敏感的金属中的一种开裂。当该金属作为阴极和另一种作为阳极的腐蚀活跃的金属形成电偶时, 可能会氢脆。此类电偶诱发的氢应力开裂就是这种机理的开裂。

3.14

低合金钢

合金元素总量少于 5% (质量分数), 但多于碳钢(3.3)规定的合金元素含量的钢。

3.15

显微组织

适当制备的样品在显微镜下检查显示出的一种金属结构。

3.16

分压

在同样温度下, 混合气体中一种组份单独充满该混合气体所占的体积产生的压力。

出处注释 1: 对于一种理想的混合气体, 每一种组分的分压等于总压力乘以其在混合气体中的摩尔分数, 而此时摩尔分数等于其体积分数。

3.17

残余应力

解除外力和消除温度梯度后, 存在于构件中的应力。

3.18

软区开裂, SZC

SSC 的一种形式，可能存在于钢局部屈服强度低的软区。

出处注释 1：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层与碳钢（3.3）的焊接有关。

3.19

酸性中使用

暴露于含有硫化氢并能够引起材料按 ISO 15156 本部分所描述的机理开裂的油田环境。

3.20

阶梯裂纹，SWC

在钢材中连接相邻平面内的氢致开裂的一种裂纹。

出处注释 1：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。

3.21

应力腐蚀开裂，SCC

在有水和硫化氢存在的条件下，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。

出处注释 1：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。

3.22

应力定向氢致裂纹，SOHIC

大约与主应力（残余的或外加的）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（往往细小的）一组裂纹。

出处注释 1：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（HAZ）（3.10）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。

3.23

硫化物应力开裂，SSC

在有水和硫化氢存在的条件下，与腐蚀和拉应力（残留的和（或）施加的）有关的一种金属开裂。

出处注释 1：SSC 是氢应力开裂（HSC）（3.13）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。

3.24

焊接

采取加热和（或）加压的方式将两个或多个金属件连接起来，这种连接方式既可以有填充金属也可以没有填充金属。通过在接触面上基材的局部熔化和凝固形成一个接头。

3.25

屈服强度

材料应力和应变的线性比例呈现发生一定的偏差时的应力值。

出处注释 1：这个应变偏差值既可以用残余变形法表示（通常是 0.2% 的应变），也可以用载荷下总伸长法表示（通常是 0.5% 的应变）。

4. 缩略语

BOP 井口防喷器

CRA 耐蚀合金

HAZ 热影响区

HIC 氢致开裂

HSC 氢应力开裂

SCC 应力腐蚀开裂

SOHIC 应力定向氢致裂纹

SWC 阶梯裂纹

SSC 硫化物应力开裂

SZC 软区开裂

5. 一般原则

ISO 15156 系列的用户应首先评估材料期望选择可以暴露的条件。这些条件应按照 ISO 15156 本部分来进行评估，定义和文件记录。

设备用户应确定服役条件是否适用于 ISO 15156 系列。

应按照适用的 ISO 15156-2 或 ISO 15156-3 的要求和建议来进行材料选择。

ISO 15156-2 或 ISO 15156-3 的使用可能要求设备用户和设备或材料供应商之间交换信息（例如要求的或合适的服役条件相关的信息）。如果有必要的话，设备用户应为服役条件的其他参与方提供建议。

注：设备供应商可能有必要与设备制造商、材料供应商和/或材料制造商交换信息。

在定义服役条件下使用的，且与某一特殊失效模式相关的合格证书也可以证明在其他服役条件下使用的材料是否等于或低于执行过鉴定的条件的所有方面要求。

设备用户有责任确保设备使用所规定的任何材料能满意地满足服役环境要求。

设备或材料供应商负责满足冶金和制造要求，当必要时，在进入服役状态中的选定材料，还需负责满足 ISO 15156 系列的任何附加试验要求。

设备或材料供应商负责满足 ISO 15156-2:2015, 第 9 节, 或 ISO 15156-3:2015, 7.2 中的材料标记/文件记录要求。

ISO 15156 本部分适用于采用负荷可控设计方法设计和建造的设备的材料鉴定和选择。当设计采用应变为基础的设计方法时，使用 ISO 15156 本部分可能是不合适的，可以要求使用 ISO 15156 中没有列出的其它试验方法。设备/材料供应商应联合设备用户来定义和协定其它试验要求和验证准则。

6. 选择材料的使用环境的评价和定义

6.1 在按 ISO 15156-2 和 ISO 15156-3 部分进行材料的选择和评定之前，设备的使用者应对每种用途材料可能暴露的使用条件进行确认、评定并以文件记载。确定使用条件包括预定的暴露条件，以及由于控制措施、保护方法失效可能造成的不可预定暴露条件。应特别注意那些已知的会影响材料的硫化氢致裂敏感性因素进行量化。

已知的影响金属材料在硫化氢环境中开裂敏感性的因素，除了材料性能外，包括有：硫化氢分压、原位 pH 值、溶解的氯化物或其他卤化物浓度、元素硫或其他氧化剂的存在、温度、电偶效应、机械应力和与液相水接触的时间。

6.2 提供的使用环境资料应用于下述一个或几个目的：

- a) 为从现有清单和表格中选择抗 SSC/SCC 的材料提供基础资料（见第 7 章）；
- b) 根据现场经验，为选择和评定材料提供基础资料（见 8.2）；
- c) 用于确定评定材料在含硫化氢环境中的 SSC、SCC、HIC、SOHIC、SZC 和（或）电偶诱发的氢应力开裂（HSC）的一种或多种的实验室试验要求（见 8.3）；
- d) 如果实际或计划中的使用环境发生改变，按照第 7 章，8.2 和（或）8.3，为重新评估已有结构合金的适用性提供基础资料。

7. 在硫化物存在的情况下，从现有清单和表格中选择抗 SSC/SCC 的材料

抗 SSC 的碳钢和低合金钢可以从 ISO 15156-2:2015, 附录 A 识别的材料中选择。

抗 SSC、SCC 的耐蚀合金和其他合金可以从按 ISO 15156-3:2015, 附录 A 识别的材料中选择。

通常, 用这些方法选择材料不需要另外的实验室试验。因为基于现场经验和(或)实验室试验, 在规定的冶金环境和力学条件下, 所列出的资料具有可以接受的性能。不过设备的使用者在考虑到材料失效的潜在后果, 应考虑对使用材料进行特殊试验(见警告)。

8. 用于硫化氢环境材料的评定

8.1 材料的使用说明和证明文件

应对评定的材料的描述和有关资料, 以便定义那些在含有硫化氢的介质中易于影响性能的特性。应该描述和提供材料可能发生的容许偏差和范围的资料。

在含硫化氢的环境中已知影响材料性能的冶金特性有: 化学成分、制造方法、产品形式、强度、硬度、冷加工量、热处理条件和微观结构。

8.2 以现场经验为根据的评定

可以根据提供的现场经验资料进行材料的评定。材料的描述应符合 8.1 的要求。那些已获得经验的使用环境描述应符合 6.1 的相关要求。提供的现场经验至少经过持续两年时间验证, 并且最好包括一个现场使用之后的设备全面检查结果。预想的使用环境苛刻程度不能超过提供的现场经验所处的环境。

8.3 以实验室试验为根据的评定

8.3.1 概述

实验室的试验应近似现场环境。

按 ISO 15156 系列进行的实验室试验可以用于下述情况:

— 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 ISO 15156-2 和 ISO 15156-3 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硫化氢含量、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。

— 关于碳钢和低合金钢抗 HIC、SOHIC、或 SZC 的评定。

— 关于耐蚀合金和其他合金抗电偶诱发氢应力开裂(HSC)的评定。

— 对没有出现在 ISO 15156-2:2015 的附录 A 和 ISO 15156-3:2015 的附录 A 中现已评定

合格的材料中的材料提供评定数据，以便这些评定数据以后可以被考虑包括在确认材料中。

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得到设备使用者的审查和同意。

试验样品应能够代表商业产品。

对于按同一技术规范生产的多批次材料，应进行在含有硫化氢的环境中影响开裂行为性能的评价（见 8.1）。在按 ISO 15156-2 和 ISO 15156-3 的要求进行试验样品时，应考虑这些性能的分布。应用对硫化氢开裂敏感性最大的冶金条件下生产的材料作为选择的试验样品。

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、HIC、SOHIC 和（或）SZC 的试验方法应按 ISO 15156-2 要求进行选择。

耐蚀合金和其他合金 SSC、SCC 和电偶诱发氢应力开裂（HSC）的试验方法应按 ISO 15156-3 要求进行选择。

8.3.4 试验中采用的条件

为评定一般的酸性环境使用或苛刻使用范围的碳钢和低合金钢，应从 ISO 15156-2 规定中选择标准试验环境和力学试验条件。

为了评定在适合于各种合金类型的限制使用范围的耐蚀合金和其他合金，应从 ISO 15156-3 规定中选择标准试验环境和力学试验条件。

为了评定用于特殊使用环境的材料，设备的使用者应注意确保试验条件和得到的试验结果适用于特定的使用环境。考虑到每种可能的失效模式，所有试验条件应至少和现场的使用环境一样苛刻（见 6.1）。所采用的 pH 值应能代表现场的原位 pH 值。

设备的使用者应提供选择特殊使用的试验环境和力学试验条件理由的资料。

8.3.5 验收标准

试验验收标准应是 ISO 15156-2 和 ISO 15156-3 规定的每种试验方法的验收标准。

9. 选择或评定方法的报告

按本部分进行的材料选择或评定，按照 ISO 15156-1 本部分，应有下列的 a)和其余 b)、c)、d)中之一用报告提供选择方法的资料。

a) 所有材料的使用环境评估结果（见 6.1）。

b) 对于从清单和表格中选择为抗 SSC 和（或）SCC 的材料（见第 7 章），文件编写参

考 ISO 15156-2 和 ISO 15156-3 相关的章节。

c) 基于现场经验选择的材料，文件应描述下述内容：

- 1) 已进行选择 and 评定的开裂机理；
- 2) 所用的材料（见 8.1）；
- 3) 现场经验（见 8.2）。

d) 基于通过实验室试验的评定选择的材料，试验报告应描述下述内容：

- 1) 已进行选择 and 评定的开裂机理；
- 2) 用于实验室试验选择的材料（见 8.1）；
- 3) 实验室样品的选择，取样和制备（见 8.3.2）；
- 4) 为材料的评定而进行试验的试验环境和试验物理条件的正当理由（见 8.3.3）；
- 5) 证明试验结果符合 ISO 15156-2 和 ISO 15156-3 规定（见 8.3）。

设备用户应负责确保制定了要求的文件。

参考文献

- [1] ANSI NACE¹⁾ MR 0175 油田设备用抗硫化物应力开裂的金属材料
- [2] ANSI NACE TM0177 硫化氢环境中金属的抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂试验室试验
- [3] ANSI NACE TM 0284 管线和压力容器用钢的氢致开裂评价
- [4] NACE MR 0176 腐蚀性油田环境中抽油泵金属材料
- [5] EFC²⁾ Publication 16 油气开采中硫化氢环境碳钢和低合金钢材料要求指南
- [6] Publication EFC 17 油气开采用耐蚀合金：硫化氢环境中的一般要求和试验方法指南

¹⁾ 美国腐蚀工程师国际协会 (NACE international), P.O. box 2183140, Houston, TX 77218-8340, USA。

²⁾ 欧洲腐蚀联合会 (EFC), c/o The Institute of Materials, 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB, UK。

国际
标准

ISO
15156-2

第3版

2015-09-01

石油和天然气工业—
油气开采中用于含 H₂S 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



参考编号
ISO 15156-2:2015(E)

© ISO 2015



受版权保护文件

© ISO 2015, 印刷于瑞士

所有权利保留。在没有获得 ISO 的书面允许之前，本出版物任何部分不能复制，或者通过任何方式进行传输，不管是电子、机械、照片、录像或其它方式。书面允许申请应寄往以下地址的 ISO 组织或者所在国家的 ISO 会员组织。

ISO 版权办公室

Ch. de Blandonnet 8·CP 401

CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland

电话: +41 22 749 01 11

传真: +41 22 749 09 47

电子邮件: copyright@iso.org

网址: www.iso.org

目 录

前 言.....	3
引 言.....	4
1. 范围.....	5
2. 规范性引用文件.....	5
3. 术语和定义.....	7
4. 符号和缩写术语.....	9
5. 采购须知.....	10
6. 含 H ₂ S 环境中影响碳钢和低合金钢特性的因素.....	11
7. 抗 SSC、SOHIC 和 SZC 碳钢和低合金钢的评定和选择.....	11
8. 碳钢和低合金钢抗 HIC 和 SWC 的评定.....	17
9. 标志, 标签和资料.....	18
附录 A (规范性附录) 抗 SSC 碳钢和低合金钢 (及铸铁的使用要求和建议)	19
附录 B (规范性附录) 用于 H ₂ S 环境的碳钢和低合金钢的实验室试验评定.....	27
附录 C (资料性附录) H ₂ S 分压的确定.....	34
附录 D (资料性附录) 确定 pH 值的建议.....	36
附录 E (资料性附录) 购买材料须提供信息.....	41
参考文献.....	43

前言

国际标准化组织(ISO)是各国的国家标准机构(ISO 成员单位)的世界性联盟。ISO 国际标准的编制通常是通过 ISO 技术委员会组织完成的。凡是对某技术委员会已经确定的项目感兴趣的每个成员单位都有权派代表参加该委员会的工作。凡是与国际标准化组织(ISO)有联系的国际组织,不管是政府的还是非政府的,也可参加 ISO 国际标准的编制工作。在电工技术标准化的各个方面,国际标准化组织(ISO)与国际电工委员会(IEC)是紧密协作的。

ISO/IEC 指令,第 1 部分描述了本文件起草所用的程序以及其未来维护所用的程序。特别地,应注意不同的 ISO 文件类型需要不同的批准准则。本文件按照 ISO/IEC 指令,第 2 部分的编辑规则进行起草。(见 www.iso.org/directives)

时刻注意本文件某些内容可能涉及到专利权。ISO 应不为识别任何或所有专利权承担责任。在本文件起草期间识别的任何专利权细节将出现在前言和/或收到的 ISO 专利权声明清单中。(见 www.iso.org/patents)

本文件所用的任何商标作为参考信息给出,以用于方便用户,同时不构成一种担保。

一致性评估相关的 ISO 特定术语和表述的意义解释以及 ISO 遵循的贸易技术壁垒 (TBT) 的 WTO 原则相关信息访问以下 URL: Foreword - Supplementary information。

本文件的责任委员会为 ISO/TC 67《石油、石油化工和天然气工业用材料、设备和近海结构》技术委员会。

第 3 版经过一次微小的修订(特别是以下方面)而取消和替代第 2 版(ISO 15156-2:2009):

- 采用术语“负荷可控设计方法”替代术语“传统弹性设计准则”的范围;
- 包含了 7.2.1.1 和 A.2.1.1 的信息,以强调某一特殊酸性工况或附录 A 未列出的碳钢和低合金钢的酸性工况的鉴定可能性;
- 替代了 A.2.1.4 的第 6 段,以改进本章节其它地方未包含的碳钢和低合金钢的焊接指南。

ISO 15156 在通用标题“石油和天然气工业—油气生产时含 H₂S 环境内使用的材料”下包含以下部分:

- 第 1 部分: 抗开裂材料选择的通用原则
- 第 2 部分: 抗开裂碳钢和低合金钢以及铸铁的使用
- 第 3 部分: 抗开裂 CRAs (耐腐蚀合金)和其它合金

引言

因为油气田使用的金属零部件接触含硫化氢（H₂S）的开采液会发生突然失效，所以编制了第一版 NACE MR0175，该版本在 1975 年由美国腐蚀工程师协会（现称“NACE 国际”）公开发行人。

NACE MR0175 的初版及以后的版本规定了需要考虑预防硫化物应力开裂（SSC）时，H₂S 局部压力的极限值，还提供了超过 H₂S 阈值时抗硫化物应力开裂材料的选择和规范指南。最近的 NACE MR0175 版本还提供了某些抗腐蚀合金的应用极限，主要考虑因素包括环境因素、pH 值、温度和 H₂S 局部压力。

单独编写文件期间，欧洲腐蚀联合会分别在 1995 年和 1996 年发行了 EFC 出版物 16 和 EFC 出版物 17。这些文件通过不同的范围和侧重点，总体上能对 NACE 加以补充。

2003 年，ISO 15156 和 NACE MR0175/ISO 15156 的三部分内容首次完成。这些文件在技术上是—致的，都利用上述资源，提出油气开采系统在含有湿硫化氢环境下材料选用的要求和—建议，由 NACE TM0177 和 NACE TM0284 试验方法得到了补充。

在修订 ISO 15156 标准本部分时，合并了由位于 DIN 的 ISO 15156 维护机构秘书处发行的 ISO 15156-2: 2009/Cor.1: 2011 技术勘误 1 和 ISO 15156-2: 2009/Cir.2: 2014 (E) 技术通函 2 中达成一致意见且公开发行的所有修改内容。

这些修改内容由来自油气行业的代表组完成，并通过投票得到批准，其中大部分内容可有效遏制文件使用者引发的问题。关于批准这些修改内容的过程描述，可登录 ISO 15156 标准维护网站 www.iso.org/iso15156maintenance。

如果油气开采行业专家发现有必要，今后会采取同样的方式对 ISO 15156 标准的本部分进行临时性修改，将采用技术勘误或技术通函的形式对 ISO 15156 标准的本部分进行临时更新。文件使用者应当明白，此类文件会继续存在，也会影响 ISO 15156 标准本部分注明日期的引用的有效性。

通过 34/2007 号文件，国际标准化组织技术管理委员会批准在 DIN 成立 ISO 15156 标准维护机构。本文件描述了维护机构的组成人员，其中包括了来自 NACE、EFC 和 ISO/TC 67 的专家，同时还描述了批准修改单的过程。此文件可从 ISO 15156 标准维护网站和 ISO/TC 67 秘书处获取。登录网站，还可查阅更详细的 ISO 15156 标准维护活动的相关文件。

石油和天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 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

警告：在油气开采所定义的含 H₂S 环境中，使用按 ISO 15156 选择的碳钢、低合金钢和铸铁是抗开裂的，但不一定在所有使用环境下都抗开裂。选择适合预期使用环境的碳钢、低合金钢及铸铁是设备使用者的责任。

1. 范围

ISO 15156-2 给出了运行在油气开采及天然气处理厂含 H₂S 环境中设备使用的碳钢和低合金钢的选择及评定的要求和建议，这些设备的失效会对公众和个人的健康和环境造成危害。本标准有助于避免设备自身受到高代价的腐蚀破坏。本标准补充但不代替适用的设计规范、标准和规章中的材料要求。

ISO 15156-2 论述了可抗由硫化物应力开裂（SSC）和类似应力导向氢致开裂（SOHIC）及软区开裂（SZC）引发的钢材破坏。

ISO 15156-2 也论述了抗氢致开裂（HIC）和由潜在的 HIC 发展成阶状开裂（SWC）的钢材。

ISO 15156-2 只涉及开裂，而不论及均匀（质量减少）或局部腐蚀造成的材料损失。

表 1 提供了适合 ISO 15156-2 设备的不详尽清单，包括了允许的例外。

ISO 15156 本部分适用于使用负荷可控设计方法来设计和建造的设备所用材料的评定和选择。当设计采用应变为基础的设计方法时，ISO 15156-1:2015，第 5 节。

附录 A 列出了抗 SSC 的碳钢和低合金钢材料，A.2.4 包括了铸铁的使用要求。

ISO 15156-2 不一定适用于炼制用设备或下游加工设备。

2. 规范性引用文件

下列所有或部分标准对于本标准的应用是必不可少的。对于注明日期的引用标准，只能使用所引用的版本。对于未注明日期的引用标准，可使用引用标准（包括任何修改）的最新版本。

ISO 6506-1 金属材料—布氏硬度试验—第 1 部分：试验方法

ISO 6507-1 金属材料—维氏硬度试验—第 1 部分：试验方法

ISO 6508-1 金属材料—洛氏硬度试验—第 1 部分：试验方法

ISO 6892-1 金属材料—拉伸试验—第 1 部分：室温测试方法

ISO 10423 石油和天然气工业—钻井和开采设备—井口和采油树设备

ISO 15156-1: 2015 石油和天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 环境的材料—第 1 部分：抗开裂材料选择的一般原则

ISO 15156-3: 2015 石油和天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 环境的材料—第 3 部分：抗开裂耐蚀合金（CRAs）和其它合金

NACE TM0177¹⁾ H₂S 环境下金属抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的实验室试验方法

MACE TM0284 管线和压力容器用钢抗氢致开裂评价的试验方法

EFC 出版物第 16 号 油气开采中用于含 H₂S 环境的碳钢和低合金钢材料要求指南²⁾

SAE AMS-2430³⁾ 喷丸，自动化

表 1 设备表

ISO 15156-2 这部分适用于下列设备用材料	允许的例外设备
钻井、修井和修井设备	仅暴露在成分受控的钻井液中的设备 ^a 钻头 防喷器 BOP 剪切闸板 ^b 钻井立管系统 作业管往 绳索和绳索设备 ^c 表层和技术套管
油气井，包括地下设备、气举设备、井口和采油树	抽油泵和抽油杆 ^d 电动潜油泵 其他人工举升设备 卡瓦
（出油）采气管道、集气（油）管道、矿场设备和矿场处理装置	在总绝对压力 0.45 MPa(65 psi)以下工作的原油储存和处理设备
水处理设备	在总绝对压力 0.45 MPa(65 psi)以下运行的水处理设备 注水和水处理设备
燃气处理装置	—
液体、气体和多相流体输送管道	普通商用和家用处理气管线
对于以上所有设备	只承受压缩载荷部件
^a 详细信息见 A.2.3.2.3。 ^b 详细信息见 A.2.3.2.1。 ^c 绳索润滑器和润滑器连接装置不允许例外。 ^d 对于抽油泵和抽油杆，参见 NACE MR0176。	

¹⁾ 美国腐蚀工程师国际协会（NACE international），P.O.Box 2183140,Houston,TX 77218-8340,USA。

²⁾ 欧洲腐蚀联合会（EFC），c/o The Institute of Materials, 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB, UK。

³⁾ 汽车工程师学会（SAE），400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001 USA。

3. 术语和定义

ISO 15156-1 中已给出的和下列术语和定义均适用于本标准。

3.1 布氏硬度, HBW

按照 ISO 6506-1 测量的硬度值, 通常采用直径为 10mm 的钨球并且加载 29.42KN 的力。

出处注释 1: 根据规定, ASTM E10 等同于 ISO 6506-1。

3.2 泡点压力, P_B

在一个特定工作温度下, 气泡从液体中逸出时的压力。

出处注释 1: 见 C.2。

3.3 抛光

采用材料与别的硬材料零件 (如硬化的钢球) 磨擦接触, 从而使表面光滑的过程。

3.4 铸造

熔化的金属在模具中凝固, 获得产品或接近产品形状的金属件。

3.5 铸铁

含碳质量分数大约在 2%~4%之间的铁碳合金。

3.5.1 灰口铸铁

由于片状石墨的存在, 断口表面呈灰色的铸铁。

3.5.2 白口铸铁

由于有渗碳体存在, 断口表面呈白色的铸铁。

3.5.3 可锻铸铁

将白口铸铁进行热处理使大部分或所有的渗碳体转化成石墨 (回火碳) 的铸铁。

3.5.4 延性铸铁

球墨铸铁

在熔化时用一种元素 (通常是镁或铈) 对之进行处理使石墨变成球形的铸铁。

3.6 渗碳体

钢显微结构的组分, 主要由碳化铁 (Fe₃C) 组成。

3.7 冷加工

冷变形

冷锻

冷成形

金属在导致变形硬化的温度和形变速率下发生的塑性变形,通常但未必都是在室温下进行。

3.8 适应性

适合用于预期的使用环境。

3.9 易切削钢

有意加入如硫、硒、和铅等元素以提高切削加工性能的钢。

3.10 下临界温度

铁基金属在加热过程中开始形成奥氏体或在冷却过程中完成奥氏体转变的温度。

3.11 渗氮

氮渗入到金属材料(最普遍的是铁合金)表面的表面硬化工艺。

例如:液态渗氮,气态渗氮,离子渗氮和等离子渗氮。

3.12 正火

把铁合金加热到高于相变区的某一温度奥氏体化,并在该温度下保持一定时间,然后在静止的空气中(或保护性气氛下)冷却到明显地低于相变区的温度。

3.13 塑性变形

在超过弹性极限(即应力与应变成比例的极限应力)作用下发生的永久性变形。

3.14 承压部件

这些部件预期功能的失效将导致其维持的流体释放到大气中。

例如:阀体,阀盖和阀杆。

3.15 淬火和回火

淬火硬化然后回火。

3.16 洛氏 C 硬度, HRC

按照 ISO 6508 测量,采用圆锥形金刚石压头施加一个 1471N 载荷而获得的硬度值。

出处注释 1: 根据规定, ASTM E18 等同于 ISO 6508-1。

3.17 喷丸硬化

选择一种介质(通常为圆形钢丸)在控制条件下碰撞材料表层,导致材料表层产生压应力。

3.18 消除应力

把金属加热到合适的温度,并且在这一温度下保持足够长的时间充分降低残余应力,然后缓慢冷却尽量使产生的新残余应力达到最小。

3.19 回火

加热到温度低于下临界湿度的热处理，其目的是降低淬火钢、淬火铸铁的硬度并提高它们的韧性。有时也用于正火钢。

3.20 抗拉强度

强度极限

最大载荷和原始横截面积之比。

出处注释 1：见 ISO 6892-1。

3.21 试验批

试验批是代表符合规定要求的生产批的一组产品，该规定要求能用有代表性的试样按照规定的程序进行试验来确定。

3.22 管件

有一个轴向孔洞的圆筒状组件（管），用于钻井/开采作业的流体输送。

3.23 维氏硬度，HV

按照 ISO 6507-1 测量，采用金刚石压头并且加载一个可能适合的载荷而获得的硬度值。

出处注释 1：根据规定，ASTM E384 等同于 ISO 6507-1。

3.24 焊接接头

在部件上进行了焊接的部分，包括焊接金属，热影响区（HAZ），和相邻的母材。

3.25 焊缝金属

在焊接过程中焊接接头被熔融的部分。

3.26 锻压

（固态金属）通常在高温下通过加工（轧、挤压、锻造等等）获得所需的形状。

4. 符号和缩写术语

ISO 15156-1 已给出的和如下所列的缩写术语适用于本标准。

AYS 实际屈服强度

CLR 裂纹长度率

CSR 裂纹敏感率

CTR 裂纹厚度率

DCB 双悬臂梁（试验）

FPB 四点弯曲（试验）

HBW	布氏硬度
HIC	氢致开裂
HRC	洛氏硬度 (C 标尺)
HSC	氢应力开裂
HV	维氏硬度
OCTG	石油管材, 如套管, 油管和钻管
PH _{H₂S}	分压
R _{p0.2}	根据 ISO 6592-1 确定的 0.2%的试验应力
SMYS	规定的最小屈服强度
SONIC	应力导向氢致开裂
SSC	硫化物应力开裂
SWC	阶状开裂
SZC	软区开裂
T	温度
UNS	统一编号系统 (来自 SAE-ASTM, 美国编号体系中的金属和合金)
UT	单轴拉伸 (试验)

5. 采购须知

5.1 材料购买说明书的准备可能需要设备使用方、设备供应商和材料生产商之间进行合作和数据交流, 以确保购买的材料符合 ISO 15156-1 和 ISO 15156-2。

5.2 应提供下列信息

- 优先选用的材料类型和/或等级 (如果已知);
- 设备类型 (如果已知);
- 参照 ISO 15156-2;
- 用于抗 SSC 材料选择可接受的根据 (见第 7 条);
- 抗 HIC 的要求 (见第 8 条)

5.3 设备使用者和设备供应商/材料生产方可以协定, 选择不同于附录 A 中所述和/或列出的碳钢或低合金钢, 被选择的钢材须经符合附录 B 和 ISO 15156-1 规定的适当评定试验。评定要求可以扩展到包括抗 SOHIC 和 SZC。

如果购买方想使用该协定, 那么在材料购买说明书中应清楚指出扩充部分和评定、以及

适当的附加信息。这些信息可包括：

- SSC 试验的要求（见 7.1 和 7.2）
- 特定酸性环境应用的使用环境，以及
- 其他特殊要求。

5.4 附录 C 说明了怎样计算 H₂S 分压，附录 D 给出了怎样确定流体 pH 值的指导。

5.5 购买材料要求的信息应填入适当的数据表。建议格式见附录 E。

6. 含 H₂S 环境中影响碳钢和低合金钢特性的因素

含 H₂S 环境中碳钢和低合金钢的特性受参数综合相互作用的影响，这些参数包括：

a) 化学成分，制造方法，产品形状，强度，材料硬度及其局部的变化，冷加工量，热处理状态，材料显微组织，显微结构的均匀性，晶粒大小和材料的洁净度；

- b) 硫化氢分压或在水相中的当量浓度；
- c) 水相中 Cl⁻ 浓度；
- d) 水相的酸度值（pH 值）；
- e) 硫或其他氧化剂的存在；
- f) 暴露于非开采流体；
- g) 暴露温度；
- h) 总的拉伸应力（外加的应力加残余应力）
- i) 暴露时间

当使用 ISO 15156-2 选择适合用于油气开采系统中含 H₂S 环境的材料时，应考虑这些因素。

7. 抗 SSC、SOHIC 和 SZC 碳钢和低合金钢的评定和选择

7.1 选项 1：按照 A.2 的要求选择抗 SSC 钢（及铸铁）

7.1.1 P_{H₂S}<0.3 kPa(0.05psi)

对用于 P_{H₂S} 低于 0.3 kPa(0.05psi)的情况，抗 SSC 材料的选择在 ISO 15156-2 中没有详细考虑。通常，对用于该环境下的钢的选择不要求特别预防措施，但是，高敏感性钢可能会开裂。有关影响钢的敏感性和开裂机理不同于 SSC 破坏的因素，在 7.2.1 中给出了更多的信息。

7.1.2 P_{H₂S}>0.3kPa(0.05psi)

如果气体中 H₂S 分压大于或等于 0.3kPa(0.05psi)，抗 SSC 钢材应按 A.2 要求选择。

注 1：A.2 中叙述或列出的钢材被认为在油气开采和天然气处理厂中是抗 SSC 的。

注2：与 SOHIC 和/或 SZC 的发生有关的内容，使用者能参考选项 2（见 7.2.2）。

注3：对于 HIC 和 SWC，见第 8 条。

7.2 选项 2：用于特定酸性环境应用或用于各量级酸性环境的钢材选择。

7.2.1 硫化物应力开裂（SSC）

7.2.1.1 总则

选项 2 为用户提供了评定和选择用于特定酸性环境应用或用于各量级酸性环境的抗硫化物应力开裂（SSC）材料。

对某一给定材料，按照选项 2 评定的特定酸性环境或各量级酸性环境所定义的环境和冶金变量限制可替代附录 A.2（选项 1）中该材料所列的任何环境和冶金变量限制。

选项 2 的使用可能需要知道原位 pH 值和 H₂S 分压以及它们随时间的变化（见 ISO 15156-1）。

选项 2 是便于大宗材料的购买，例如对于 OCTG 或管线钢管，使用附录 A 中既没有说明也没列出的大宗材料时，经济利益重于增加评定及可能引发的其他投入。用于其他设备的钢材也可能要被评定。在有些情况下，设备供应者和设备使用者之间将需要关于试验和验收要求的协定。该协定应有书面材料。

选项 2 还能对暴露在比设计预期的使用环境更苛刻的酸性环境下现有的碳钢或低合金钢设备的适应性进行评定。

7.2.1.2 SSC 区的环境严重程度

按照 ISO 15156-1 确定的酸性环境的严重程度，关于碳钢和低合金钢的 SSC 应按图 1 进行评价。在确定硫化氢环境的严重程度时，宜考虑不正常使用条件或停工时暴露于未缓冲的低 pH 值凝析水相，或者酸性增产和（或）反应后反排增产用酸液的可能性。

7.2.1.3 0 区——用于 $P_{H_2S} < 0.3\text{kPa}(0.05\text{psi})$

在这些环境下选择使用的钢材通常不需要预防措施。但是，在此区域中有些因素能影响钢材的性能，因此宜考虑以下这些因素。

- 对 SSC 和 HSC 敏感性高的钢材可能开裂。
- 钢材的物理和冶金性能会影响它固有的抗 SSC 和 HSC 性能，见第 6 条。
- 在没有 H₂S 的含水的环境中，强度非常高的钢材可能发生 HSC。屈服强度在高于 965MPa（140ksi）时，可能需要注意钢材的化学成分和加工工艺以保证在 0 区环境不出现 SSC 或 HSC。
- 应力集中增加了开裂的危险。

7.2.1.4 SSC 1, 2 和 3 区

图 1 中规定了用区来表示暴露的严重程度，用于 1 区的钢材可按 A.2, A.3 或 A.4 条要求选择，用于 2 区的钢材可按 A.2 或 A.3 条要求选择，用于 3 区的钢材可按 A.2 条要求选择。

对在附录 A 中没有可供选择的相应的碳钢和低合金钢，可以对它们进行用于特定的酸性使用环境或用于给出的整个 SSC 区域的试验和评定。试验和评定应根据 ISO 15156-1 和附录 B 规定进行。

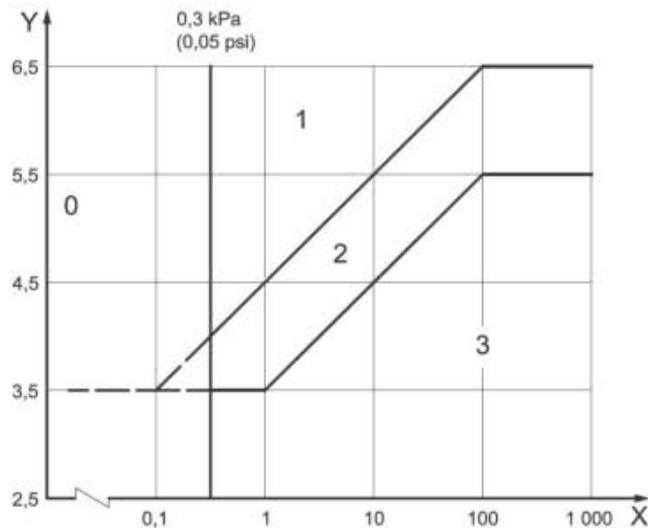
有证明文件的现场经验也可用作特定酸性使用环境材料的选择根据。(见 ISO 15156-1)

7.2.2 SOHIC 和 SZC

当评定用于含 H₂S 酸性环境的碳钢钢板及其焊接产品时，使用者宜考虑在 ISO 15156-1 中定义的 SOHIC 和 SZC。

B.4 提供评价抗 SOHIC 和 SZC 的试验方法和验收准则指导。

注：这些开裂现象很少出现，并且未被充分了解。它们会引起母材 (SOHIC) 和焊缝 HAZ (SOHIC 和 SZC) 的突然破裂。它们的出现只限于碳钢。使用环境中硫或氧的存在被认为会增加这些机理破坏的可能性。



图例：

X H₂S 分压，用千帕表示

Y 原位 pH

0 0 区

1 SSC 1 区

2 SSC 2 区

3 SSC 3 区

注 1：图中的分区线在 H₂S 分压低于 0.3kPa(0.05psi)和高于 1MPa (150psi)时就终止了，这与 H₂S 分压（低 H₂S）测量和超出它们的极限范围（低和高 H₂S）时，钢材性能测量的不确定性有关。

注 2：H₂S 分压的计算指导在附录 C 中给出。

注 3：pH 值的计算指导在附录 D 中给出。

图 1 有关碳钢和低合金钢 SSC 的环境严重程度的分区

7.3 硬度要求

7.3.1 总则

母材、焊缝和热影响区的硬度在决定碳钢和低合金钢抗 SSC 性能方面起着重要作用。控制硬度是一种获得抗 SSC 性能的可接受方法。

7.3.2 母材

如果规定做母材的硬度测试，就应进行足够的硬度试验才能确定被测钢材的真实硬度。如果几个读数的平均值很接近且没有超过 ISO 15156-2 规定的允许值，同时单个读数又不超过规定硬度值 2 个 HRC，则该单个的 HRC 读数超过 ISO 15156-2 规定是允许的，该要求应同样适用 ISO 15156-2 规定的或参照的制造规范中的其他硬度测试方法。

注：母材硬度试验的点数和位置在 ISO 15156 中没作规定。

对于铁素体钢，EFC 出版物第 16 号给出了从维氏硬度（HV）到洛氏硬度（HRC）以及维氏硬度（HV）到布氏硬度（HBW）硬度读数的换算图表，它是引用 ASTM E140 和 ISO 18265 的表。还有其他的换算表。用户可以建立单一材料的相关图表。

7.3.3 焊接

7.3.3.1 总则

碳钢和低合金钢在焊接时发生的冶金变化会影响它们对 SSC、SOHIC 和 SZC 的敏感性。

宜根据好的实践经验选择工艺和焊材，以达到抗开裂的要求。

焊接应按照供应方和购买方之间同意的适当规范和标准进行。焊接工艺规范（WPSs）和工艺评定报告（PQRs）应是设备用户验收的有效依据。

用于酸性环境的焊接工艺评定应包括按照 7.3.3.2、7.3.3.3 和 7.3.3.4 进行的硬度试验。

7.3.3.2 焊接工艺评定的硬度试验方法

通常，焊接工艺评定的硬度试验一般应采用 ISO 6507-1 规定的维氏 HV10 或 HV5 方法进行或采用 ISO 6508-1 规定的 15N 标尺的洛氏方法。

注：根据规定 ASTM E384 等效 ISO 6507-1，ASTM E18 等效 ISO 6508-1。

如果设计压力不超过 2/3 的 SMYS，并且焊接工艺规范包括焊后热处理，那么焊接工艺评定可以使用 HRC 方法。在其他情况下使用 HRC 方法评定焊接工艺应经设备用户的同意。

注：使用维氏或洛氏 15N 硬度试验方法测定的硬度要制作焊缝硬度及其变化详细的分布图。用 HRC 试验方法不能检测出焊缝或热影响区微区的硬度，而这些区的硬度常会超过维氏或洛氏 15N 试验方法的验收准则。该微小硬区的重要性还没有完全清楚。

使用其他硬度试验方法应经设备用户的同意。

应使用维氏或洛氏 15N 硬度试验右法评定 7.3.3.4 中允许的可替代的焊缝硬度验收准则。

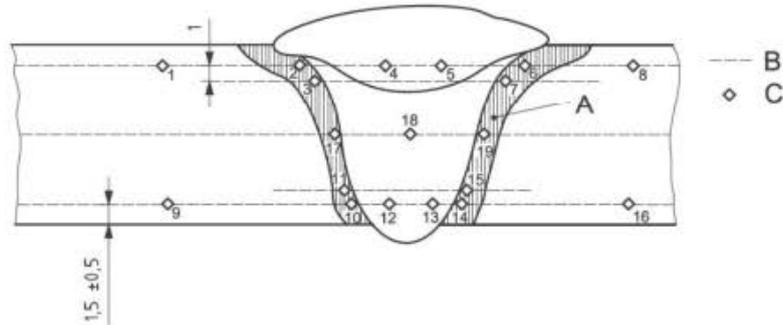
7.3.3.3 焊接工艺评定的硬度测定

应按图 2 的对接焊缝,图 3 的角焊缝,图 4 的补焊和局部熔深焊缝的要求测定维氏硬度。

对接焊缝 HRC 测定应按图 5 进行。对其他形状接缝的测定要求应从这些图演变而来。

堆焊焊接工艺评定的硬度检查应按图 6 进行。

尺寸单位为毫米



图例:

A 焊缝热影响区 (浸蚀后可见)

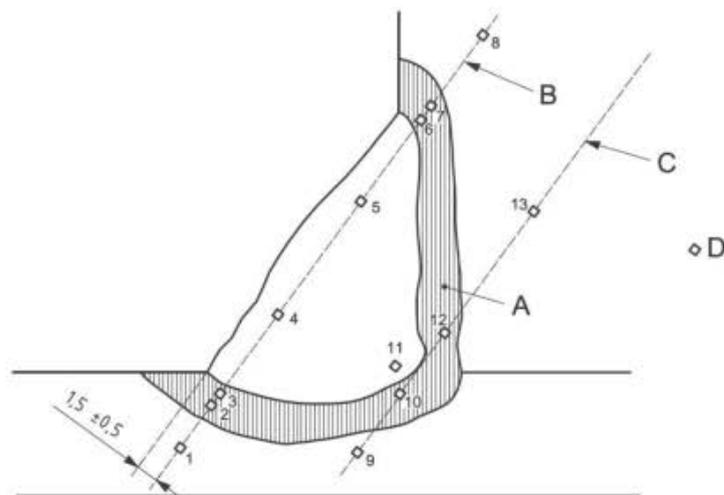
B 测定线

C 硬度压痕: 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 17 和 19 压痕宜完全在热影响区内, 并且尽量靠近焊缝金属与热影响区之间的熔合线。

上部的测定线宜设置于适当位置使得 2 和 6 压痕和最后焊道的热影响区或与最后焊道熔合线的变化轮廓相重合。

图 2 对接焊缝维氏硬度的测定方法

尺寸单位为毫米



图例:

A 焊缝热影响区 (浸蚀后可见)

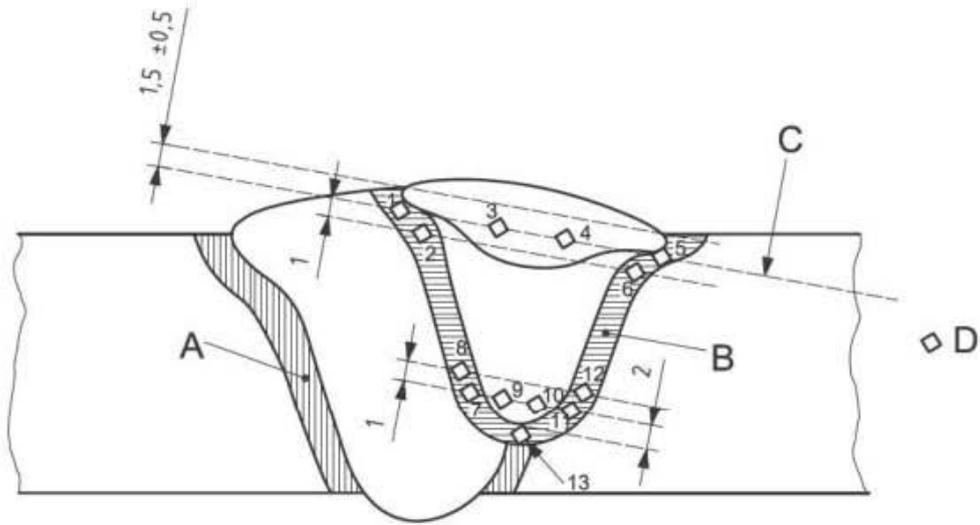
B 测定线

C 测定线, 平行于线 B 并穿过焊缝金属和焊喉热影响区之间的熔合边界。

D 硬度压痕: 3, 6, 10 和 12 压痕宜完全在热影响区内, 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

尺寸单位为毫米



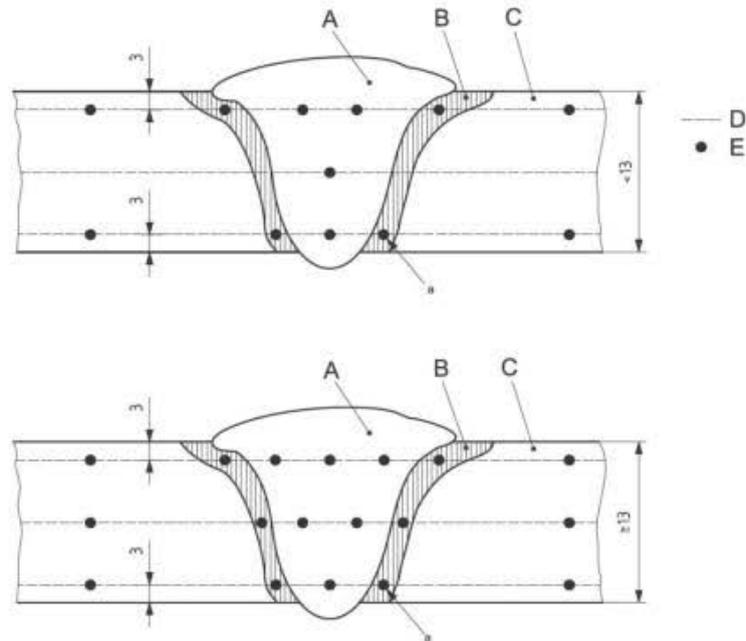
图例：

- A 原始焊缝热影响区
- B 补焊焊缝热影响区
- C 测定线的平行线
- D 硬度压痕：热影响区的压痕尽可能靠近熔合线

上部的测定线宜设置于适当位置，使得热影响区的压痕和最后焊道的热影响区或最后焊道熔合线的变化轮廓相重合。

图 4 补焊和局部熔深焊缝

尺寸单位为毫米



图例

- A 焊缝
- B 焊缝热影响区（浸蚀后可见）
- C 母材
- D 测定线
- E 硬度压痕：焊缝热影响区的压痕宜在离熔合线 2mm 之内。

图 5 对接焊缝洛氏硬度测试方法

7.3.3.4 焊缝硬度验收准则

用选项 1（见 A7.1）选择的钢的焊缝硬度验收准则应按 A.2.1.4 中的规定。可替代的焊缝硬度验收准则可建立在焊接试样成功的 SSC 试验上。SSC 试验应按附录 B 的规定。

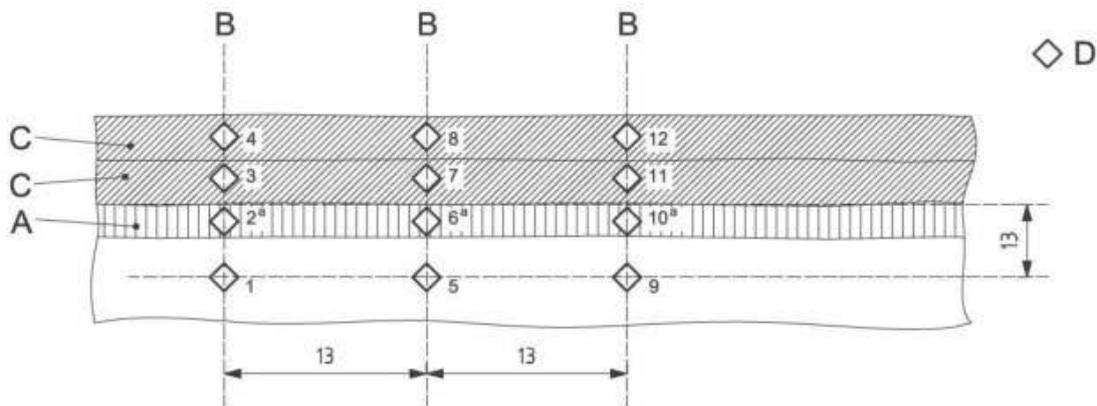
用选项 2（见 7.2）评定和/或选择的钢的焊缝硬度验收准则可建立在焊缝试样成功的 SCC 试验上。SSC 试验应按附录 B 的规定。

7.4 其他制造方法

对于那些由制造方法而不是由焊接引起硬度变化的钢材，硬度试验应被规定作为制造工艺评定的一部分。如果经气割/切割的成品中保留有任何的 HAZ，那么硬度试验应被规定作为气割/切割工艺评定的一部分。对制造方法的要求、说明和硬度到全收准则应采用 7.3 的规定。

用于评定和试验的试样形状和部位应获得设备用户的许可。

尺寸单位为毫米



图例：

- A 焊缝热影响区（腐蚀之后可见）
- B 硬度测量压痕线 1~12
- C 焊缝重叠层（腐蚀之后可见）
- D 硬度压痕

满足 7.3.3.2 节要求时，可以使用洛氏 C 硬度测量方法。HAZ 内 HRC 硬度压痕应位于熔融边界的 2mm 之内。

*采用维氏或洛氏 15N 测量方法，硬度压痕 2,6 和 10 应完全位于热影响区之内，同时尽可能靠近焊缝重叠和 HAZ 之间的熔融边界，但是距该熔融边界的距离不超过 1mm。

图 6 堆焊层

8. 碳钢和低合金钢抗 HIC 和 SWC 的评定

当评定用于含微量 H₂S 酸性使用环境的压延碳钢产品时，设备用户应考虑 ISO 15156-1 定义的 HIC/SWC，并应考虑对这些产品进行 HIC/SWC 的试验。附录 B 提供了评定抗 HIC

和 SWC 的试验方法和验收准则的指导。

HIC/SWC 发生的可能性受钢材的化学成分和制造路线的影响。钢中硫含量特别重要，对于压延和无缝产品常用的最大允许含量分别是 0.003%质量分数和 0.01%质量分数。常用的锻件硫含量小于 0.025%质量分数，铸件一般不视为对 HIC 或 SOHIC 敏感。

注 1：导致失去密闭性的 HIC/SWC 很少发生在无缝钢管和其他非压延产品上。并且，用现代技术生产的无缝钢管比以前的产品对 HIC/SWC 敏感性低得更多。因此，在具有 HIC/SWC 潜在破裂后果的场合，无缝钢管在评定抗 HIC/SWC 的应用中可能是有利的。

注 2：在工作环境中存在有铁锈、硫或氧、特别是还有氯化物同时存在时，应考虑会增加破坏的可能性。

9. 标志，标签和资料

符合 ISO 15156-2 的材料应做到可跟踪，在交货之前最好做标志也允许合适的标签或资料。

对按附录 B 评定合格和选择的特定应用的材料，其可追溯性应包括特定应用的相关环境条件。

设备使用者可以要求设备或材料供应商提供文件，文件包括设备或元件使用的材料及 ISO 15156 本部分规定的对这些材料使用环境的限定。

表 E.1 和表 E.2 中所提供的表示符号可用来识别材料。

附录 A

(规范性附录)

抗 SSC 碳钢和低合金钢（及铸铁的使用要求和建议）

A.1 总则

本附录叙述并列出了抗 SSC 的碳钢和低合金钢。A.2.4 给出了铸铁的使用要求。

符合本附录的钢材在没有附加要求的情况下（见 7.2.2 和/或第 8 条）可能不抗 SOHIC、SZC、HIC 或 SWC。

注：A.2 和以前 NACE MR0175 所制定的要求是一致的。

ISO 15156 本部分出版时，没有列出被 SSC 2 区（A.3）或 SSC 1 区(A.4)认可的钢材。因此 A.3 和 A.4 只简述了预期用于所规定环境的常用钢材的特性。

A.2 抗 SSC 碳钢和低合金钢及铸铁的使用

A.2.1 抗 SSC 碳钢和低合金钢的一般要求

A.2.1.1 总则

碳钢和低合金钢应符合 A.2.1.2 到 A.2.1.9 的要求。

符合 A.2 条的碳钢和低合金钢产品和部件，如果不再进行 SSC 试验就按照 ISO 15156-2 进行评定，有规定的例外。但是，成为材料制造规范一部分的任一 SSC 试验应成功地进行，并且报告结果。

符合 A.2 条一般要求的大部分钢材没有单独列出；然而为了方便，一些钢材的例子列于表 A.2、A.3 和 A.4。

注 1：在先前 NACE MR0175（所有版本）中叙述/列出的碳钢和低合金钢是通过分析广泛的现场成功/失败和实验室数据间的相关性而被确认。硬度 HRC22 的限制适用于大多数碳钢和低合金钢，这是基于热处理，化学成分，硬度和失败经历之间的相关性。对铬钼合金钢较高的硬度限制，也是基于类似考虑。

注 2：当应用于按照选项 2（7.2）评定的特定酸性酸性环境或各量级酸性环境，可以被电脑未在正文或附录 A.2 的表格中描述或所列的碳钢和低合金钢。

A.2.1.2 母材金属的成分，热处理和硬度

碳钢和低合金钢可接受的最大硬度为 22HRC，其镍含量少于 1% 质量分数，不是易切

削钢，并且属于下列的热处理状态之一：

- a) 热轧（只有碳钢）；
- b) 退火；
- c) 正火；
- d) 正火+回火；
- e) 正火，奥氏体化，淬火，和回火；
- f) 奥氏体化，淬火和回火。

A.2.1.3 变更或附加限制的可接受的碳钢

除 A.2.1.2 限制外，对一些经以下变更或附加限制的碳钢是可以接受的。

- a) 按照 ASTM A105 生产的锻件如果硬度不超过 187HBW 是可接受的。
- b) 对于 ASTM A234 WPB 级别和 WPC 级别硬度不超过 197HBW 的锻压管件是可接受的。

的。

A.2.1.4 焊接

焊接和焊缝硬度测定应按照 7.3.3 进行。

表 A.1 给出了碳钢，碳锰钢和低合金钢焊接接头的可接受最大硬度值。

符合表 A.1 硬度要求的碳钢，碳锰钢和低合金钢焊件不需焊后热处理。

SMYS 不超过 360MPa（52ksi），按表 A.2 所列的管状产品在焊态下是可接受的。对于这些产品，如果设备用户同意，可以免除焊接工艺的硬度试验。

某些 SMYS 超过 360MPa（52ksi）的管状产品（见 A.2.2.2），如果使用适当的评定合格的焊接工艺，在焊态下是可接受的。但应满足表 A1 的条件。

不遵守本细款的其他段落的碳钢和低合金钢焊件应在焊接之后进行焊后热处理。选择的热处理温度和其时间周期应使得确保按 7.3 测定的焊缝区最大硬度应为 250HV 或服从 7.3.3 所述的 22HRC 限制。

低合金钢应采用不低于 620°C（1150°F）的焊后热处理温度。

所选热处理和其时间周期对机械性能（除了硬度外）产生的任何影响的可接受性，应提交获得设备用户的批准。

对焊成的熔敷金属镍含量超过 1%（质量分数）的焊缝，只要随后按照附录 B 进行的 SSC 评定试验是成功的，那么所用的焊材和工艺是可接受的。

A.2.1.5 表面处理，覆盖层，镀层，涂层，衬里等等

注：在 ISO 15156-3 中论述了覆盖层的成分和抗开裂性能。

金属涂层（电镀和非电镀），转化型涂层，塑料覆盖层和衬里不允许用来防止 SSC。

如果覆盖层遵守下列任一要求，则采用如焊接，银钎或喷涂金属方法热加工完成的覆盖层是可接受的。

a) 基体的热处理状态不改变，例如，在覆盖层操作过程中不超过下临界温度。

b) 基体金属的最大硬度和最终热处理状态要符合 A.2.1.2 规定，对于堆焊覆盖层要符合 A.2.1.4 规定。根据 ISO 15156-3: 2009 的 A.13.1 可以免除这一要求。堆焊层的最大硬度和(或)其他特性应满足 ISO 15156-3 或 ISO 15156 本部分的适当要求。

不同材料，如钢与硬质合金用银钎焊接是允许的。焊后的母材应符合 A.2.1.2 规定。

只要在低于被处理合金的下临界温度的温度下进行表面深度最大为 0.15mm（0.006 英寸）的渗氮表面处理是允许的。

表 A.1 碳钢，碳锰钢和低合金钢焊缝的最大允许硬度值

硬度试验方法	焊接工艺评定的硬度试验位置	最大允许硬度
维氏硬度 HV 10 或 HV 5 或 洛氏硬度 HR 15N	焊缝根部； 母材，HAZ 和焊根金属，如图 2，图 3 或图 4 所示	250 HV 70.6 HR 15N
	堆焊的母材和 HAZ，如图 6，也可见（A.2.1.5b）	250 HV 70.6 HR 15N
	焊缝盖面层 母材，HAZ 和未暴露的盖面焊的熔敷金属，如图 2 或图 4 所示	275 HV ^a 73.0 HR 15N
洛氏硬度 HRC（见 7.3.3.2）	如图 5 所示	22HRC
	堆焊的母材和 HAZ，如图 6，也可见（A.2.1.5 b）	22HRC
^a 最大值应为 250HV 或 70.6HR 15N，除非满足下列三个条件： — 设备用户同意可替代焊缝盖面层的硬度限制；并且 — 母材厚度超过 9mm；并且 — 焊缝盖面层不直接暴露于酸性环境下。		

A.2.1.6 冷变形和热处理应力消除

碳钢和低合金钢在经过轧制、冷锻或其他会导致永久性外层纤维变形量超过 5%的制造加工后，应进行热处理应力消除。热处理应力消除应按照适当的规范和标准。热处理应力消除温度应不低于 595°C（1100°F）。最终的最大硬度应为 22HRC，但由 ASTM A234 WPB 或 WPC 级制造的管件例外，其最终硬度应不超过 197HBW。

以上的要求不适用于按照经设备用户同意的适当的规范或标准进行压力试验所造成的冷加工。

只有在 ISO 或 API 适当的制造标准中许可的冷旋转矫直钢管才是可接受的，此外还见 A.2.2.3.4。

ASTM 53 B 级, ASTM 106 B 级, API 5L X-42 级, ISO 3183 L290 或具有相同化学成分的较低屈服强度等级的冷加工管线用管件, 当其冷变形不超过 15% 时, 如果形变区的硬度不超过 190HBW, 是可接受的。

按照附录 B 进行的 SSC 试验和评定可以用来作为对其他冷变形限制的依据。

A.2.1.7 螺纹加工

使用机械切削工艺的螺纹是可接受的。

用冷成形（滚压）生产的螺纹是可接受的, 所用的钢材还要遵守 A.2.1.2 的热处理和硬度要求。

A.2.1.8 表面冷变形

如果由诸如抛光等工艺造成的表面冷变形小于普通机械加工（如车削, 镗孔, 轧制, 螺纹加工, 钻孔等）所引起的冷变形是可接受的。

如果采用的母材符合 ISO 15156-2 的要求, 且限制喷丸尺寸最大为 2.0mm (0.080 in.) Almen 强度最大不超过 10C, 由受控的喷丸硬化产生的冷变形是可接受的。此工艺应按 SAE AMS-2430P 标准进行控制。

A.2.1.9 识别打印

允许使用低应力印记（打点, 蚀刻和 V 环）的识别打印。

允许在低应力区采用常用的尖锐 V 形印记, 如法兰的外圆柱面。

不应在高应力区采用常用的尖锐 V 形印记, 除非随后在不低于 595°C (1100°F) 温度下进行应力消除。

A.2.2 应用的产品类型

A.2.2.1 总则

除了下列改进的, A.2.1 的一般要求应适用于所有类型的产品。

A.2.2.2 管子, 板材和管件

能符合 A.2.1 要求的管状产品的示例列在表 A.2 中。

按 ASME 锅炉和压力容器规范第 9 章中的 P-No 1, 1 组或 2 组的压力容器用钢是可接受的。

由压延钢板制成的产品在微量 H₂S [如即使是在 P_{H₂S} 低于 0.3kPa (0.05psi)] 环境中可能对 HIC/SWC 破坏敏感。

管子的接口焊缝应符合 A.2.1。

A.2.2.3 井下套管, 油管 and 管件

表 A.2 符合 A.2.1 要求的管状产品示例

ISO 规范和等级	其他设计规范
ISO 3183.3 级: L245 到 L450	API 规范 5L 级: A 和 B 及 X-42 和 X-65 ASTM A53 ASTM A106A, B 和 C 级 ASTM A333 1 和 6 级 ASTM A524 1 和 2 级 ASTM A381 1 级, Y35 到 Y65

A.2.2.3.1 ISO 和 API 等级的套管和油管用于表 A.3 所给出的温度范围是可接受的。

A.2.2.3.2 由 Cr-Mo 低合金钢 (UNS G41XX0, 以前的 AISI 41 XX, 及其改进型) 制成的管管件, 只要它们成形时经淬火加回火, 其硬度不超过 30HRC, SMYS 为 690MPa (100ksi), 720MPa (105ksi) 和 760MPa (110ksi) 是可接受的。每个等级的最大屈服强度应比 SMYS 高, 但超过 SMYS 的量应不大于 103MPa (15ksi)。每个试验批都应用试验来确定其抗 SSC 性能, 并应符合 B.1 要求使用 UT 试验。

A.2.2.3.3 由 Cr-Mo 低合金钢 (UNS G41XX0, 以前的 AISI41XX, 及其改进型) 制成管子和管件, 只要成形时经淬火加回火, 其硬度不超过 26HRC, 则是可接受的。这些产品宜按照 B.1 要求使用 UT 试验方法进行 SSC 试验评定。

表 A.3 各级套管和油管可接受的环境条件

在所有湿度下	≥65°C (150°F)	≥80°C (175°F)	≥107°C (225°F)
ISO 11960 ^a 等级: H40 J55 K55 M65 L80 1 型 C90 1 型 T95 1 型	ISO 11960 ^a 等级: N80 Q 型 C95	ISO 11960 ^a 等级: N80 P110	ISO 11960 ^a 等级 Q125 ^b
A.2.2.3.3 所述的专用级	最大屈服强度小于或等于 760MPa (110ksi) 专用 Q 和 T 级 A.2.2.3.2 所述的用 Cr-Mo 低合金钢制成的套管和油管	最大屈服强度小于等于 965MPa(140ksi) 专用 Q 和 T 级	
给出的温度是对 SSC 而言的最低允许使用温度。 未考虑低温韧性 (抗冲击), 设备用户应分别规定要求。			
a 本条款 API 5CT 等同于 ISO 11960: 2001。			
b 1 型和 2 型是基于最大屈服强度为 1036MPa(150ksi), 化学组分为 Cr-Mo 的 Q 和 T。碳锰钢不是可接受的。			

A.2.2.3.4 如果管子和管件在等于或低于 510°C (950°F) 温度下被冷矫直, 就应在不低于 480°C (900°F) 的温度下对它们进行应力消除。如果管子和管件经冷成形 (管端的公螺纹和/或扩

口端的母螺纹) 并且导致永久性外层纤维变形大于 5%时, 冷成形区应在不低于 595°C (1100°F) 的温度下进行热处理应力消除。

如果硬度超过 22HRC 的高强度管子连接件是冷成形的, 连接件应在不低于 595°C (1100°F) 的温度下进行热处理应力消除。

A.2.2.4 螺栓和紧固件

可能直接暴露于酸性环境的螺栓, 或将被掩埋、隔绝、安装有法兰保护装置, 或用其他的方法不被直接暴露于大气环境中的螺栓, 都应符合 A.2.1 的一般要求。

设计者和使用者应意识到, 使用抗 SSC 的螺栓和紧固件可能有必要降低设备额定压力。

对于 API 法兰所用的抗 SSC 螺栓和紧固件应符合 ISO 10423 标准。

表 A.4 可接受的螺栓材料

螺栓	螺帽
ASTM A193 B7M 级 ASTM A320 L7M 级	ASTM A194 2HM、7M 级

A.2.3 应用的设备

A.2.3.1 总则

应用 A.2.1 的一般要求, 并有下列改进。

A.2.3.2 钻井防喷器 (BOPs)

A.2.3.2.1 剪切刀片

用于防喷器剪切刀片的高强度钢可能对 SSC 敏感。不符合本附录的剪切刀片的适用性由设备用户负责。

A.2.3.2.2 剪切闸板

经淬火+回火制造的 Cr-Mo 低合金钢 (UNS G41XX0, 以前的 AISI 41XX, 及其改进型) 剪切闸板, 只要最大硬度不超过 26HRC 是可接受的。如果这些合金的硬度超过 22HRC, 为确保它们的抗 SSC 性能, 应对其化学成分和热处理给予特别的关注。应采用设备使用者同意的 SSC 试验来论证该合金的性能是否达到或超过经现场验证过的材料。

A.2.3.2.3 只暴露于成分受控的钻井液的钻井、建井和修井设备

通常需要的高强度钻井设备可能不符合 ISO 15156 (所有部分) 的要求。在这种情况下, 避免 SSC 的主要方法是控制钻井或修井的环境。当工作应力和材料硬度增加时, 控制钻井液变得非常重要。应小心通过保持钻井液的静水压和比重以尽量减少地层流体的流入, 并使用下列一项或多项措施来控制钻井环境。

- a) 保持 pH 值在 10 或更高，以便中和钻进地层中的 H₂S；
- b) 硫化物化学清除剂；
- c) 使用油基钻井液。

A.2.3.3 压缩机和泵

A.2.3.3.1 压缩机叶轮

UNS G43200（以前的 AISI 4320）和含碳量在 0.28%质量分数到 0.33%质量分数的改进型 UNS G43200，只要它们按下列三个步骤进行了热处理，最大屈服强度为 620MPa（90ksi）时，用作压缩机叶轮是可接受的。

- a) 奥氏体化+淬火。
- b) 在不低于 620°C(1150°F)，但低于下临界温度的温度下回火。在第二次回火之前冷却至环境温度。
- c) 在不低于 620°C（1150°F），但低于第一次回火温度的温度下回火。冷却至环境温度。

A.2.3.3.2 对压缩机和泵的专门规定

软碳钢和软低碳铁用作垫圈是可接受的。

按 A.2.4 规定的铸铁是可接受的。

A.2.4 铸铁的使用要求

A.2.4.1 总则

灰口、奥氏体和白口铸铁不应用作承压构件。只要设备标准允许并且设备使用者同意，这些材料可用于内部元件。

按照 ASTM A395 规定，铁素体球墨铸铁允许用于设备，除非设备标准另有规定。

A.2.4.2 封隔器和井下设备

所列铸铁允许用于下表所列的应用：

表 A.5 允许用于封隔器和其他井下设备的铸铁

元件	铸铁
可钻式封隔器元件	球墨铸铁（ASTM A536, ASTM A571/A571M） 可锻铸铁（ASTM A220, ASTM A602）
承压构件：	灰口铸铁（ASTM A48, ASTM A278）

A.2.4.3 压缩机和泵

灰口铸铁（ASTM A278, 35 或 44 级）和球墨（球状）铸铁（ASTM A395）允许用于压缩机汽缸、衬套、活塞、和阀件。

A.3 用于 SSC 2 区的抗 SSC 钢

A3.1 总则

A.2 条中所列的钢是可接受的。

满足整个 SSC 2 区酸性环境要求的典型钢的性能叙述如下。不符合 A.2 条的钢应根据附录 B 进行评定。

A3.2 井下套管，油管和管件

由 Cr-Mo 低合金钢（UNS G41XX0，以前的 AISI 41XX，及改进型）制成的套管，油管和管件已被证实在淬火加回火状态下是可接受的。通常，这些钢允许的实际屈服强度不超过 760MPa（110 ksi）[SMYS 大约是 550MPa（80 ksi）] 并且硬度不超过 27HRC。其他的要求应符合适当的制造工艺规范。

A.3.3 管线钢

管线钢要求适当限制化学成分以保证良好的可焊性。一般而言，SMYS 低于 450MPa（65 ksi）已被证实是可接受的。产品和现场施焊的焊缝的硬度一般不宜超过 280 HV。其他的姿求应符合适当的制造规范。

A.4 用于 SSC 1 区的抗 SSC 钢

A.4.1 总则

A.2 和 A.3 条中所列的钢材是可接受的。

满足整个 SSC 1 区酸性环境要求的典型钢材的性能叙述如下。不符合 A.2 或 A.3 条的钢材应根据附录 B 进行评定。

A.4.2 井下套管，油管和管件

由 Cr-Mo 低合金钢（UNS G41XX0，以前的 AISI 41XX，及改进型）制成的套管、油管和管件已被证实在淬火加回火状态下是可接受的。通常，这些钢允许的实际屈服强度不超过 896MPa（130ksi）[SMYS 大约是 760MPa（10ksi）]，并且硬度不超过 30HRC。其他的要求应符合适当的制造规范。

A.4.3 管线钢

管线钢要求适当限制化学成分以保证良好的可焊性。一般而言，SMYS 低于 550MPa（80ksi）已被证实是可接受的。产品和现场施焊的焊缝的硬度一般不宜超过 300 HV。其他的要求应符合适当的制造规范。

附录 B

(规范性附录)

用于 H₂S 环境的碳钢和低合金钢的实验室试验评定

B.1 要求

本附录规定了用于 H₂S 环境的碳钢和低合金钢的实验室试验评定要求。给出的要求用于评定抗下列开裂机理。

- a) 用实验室试验评定 SSC 应有以下一项或多项要求：
- SSC 试验要按照材料制造规范（见 A.2.1.1）；
 - 对特定酸性环境应用的试验要按照 B.3；
 - 对图 1 的 SSC 1 区或 2 区的试验要按照 B.3 和表 B.1 的注 g；
 - 对图 1 所有 SSC 区域酸性环境的试验要按照 B.3。

评定试验总结并表明了酸性环境下抗 SSC 的水平各不相同。在 A.2 条中陈述或列出的有些碳钢和低合金钢可能达不到以上所列的某些实验室试验要求，见 A.2.1。

b) SZC 和 SOHIC 评定应按照 B.4 条的要求进行试验，采用规定用于评定 SSC 的适当环境条件。

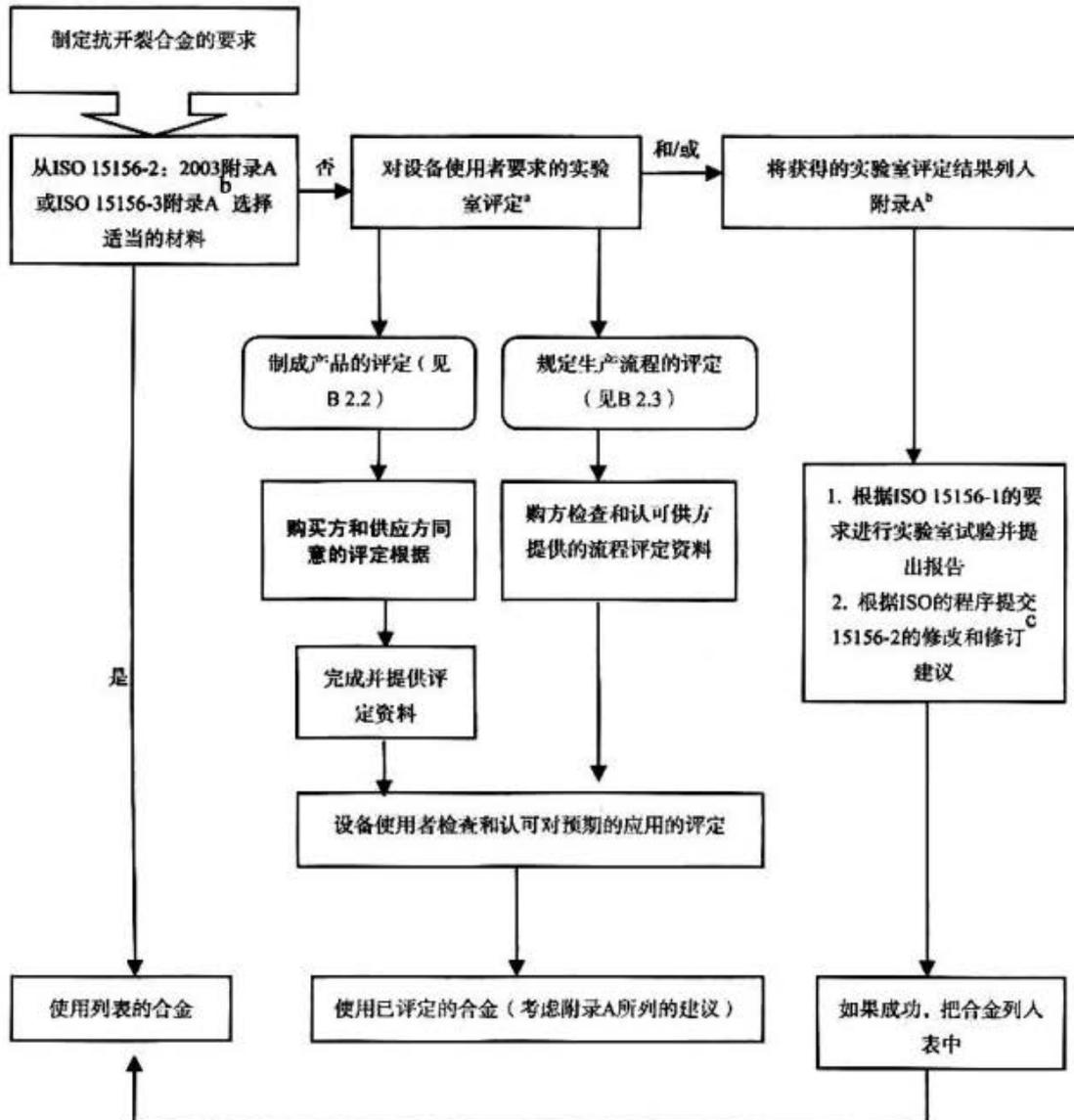
- c) HIC 和 SWC 应按下列评定：
- 在任何使用环境中（见 B.5 条和表 B.3）；
 - 在特定的酸性环境应用中（见 B.5 条和表 B.3）。

在所有情况下，设备使用者应保证所选的试验要与预期的使用环境相适应。允许选用的试验应具备有资料。

B.2 实验室评定的应用

B.2.1 总则

图 B.1 给出了选择使用实验室评定的综述



* ISO 15156-2 论述了碳钢和低合金钢的 SSC, HIC, SOHIC 和 SZC。ISO 15156-3 论述了耐蚀合金 (CRAs) 和其他合金的 SSC, SCC 和电偶诱导氢应力开裂 (GHSC)。

^b 附录 A 论述的是碳钢和低合金钢的 SSC。ISO 15156-3: 2015, 附录 A 论述的是耐蚀合金和其他合金的 SSC, SCC 和 GHSC。

^c 关于文件保存的详细信息见“引言”的最后一段。

注: 程序框图省略了 ISO 15156-1 中叙述的采用现场经验的评定。

图 B.1 选用合金和实验室评定方案的选择

B.2.2 制成品的评定

ISO 15156-2 的使用者应根据 ISO 15156-1 和本附录确定材料的评定要求。

应包括以下内容:

- a) 一般要求 (见 ISO 15156-1: 2015, 第 5 条);
- b) 使用环境的评定和规定 (见 ISO 15156-1: 2015, 第 6 条);

- c) 材料的使用说明和提供的资料（见 ISO 15156-1: 2015, 8.1）;
- d) 以实验室试验为根据的评定要求（见 ISO 15156-1: 2015, 8.3）;
- e) 评定方法的报估（见 ISO 15156-1: 2015, 第 9 条）。

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，制造规范要求的试验和要求的评定项目（SSC、SOHIC、SZC、HIC/SWC）。

用于评定各种开裂机理试验的试样应按照附录 B 的规定进行试验。每试验批应至少取三试样。如果所有样品都满足试验的验收准则，那么试验批应被认为合格。

下列情况的重复试验是允许的：如果某个样品不满足验收准则，应查明原因。如果原材料符合制造规范，可另取两个以上的样品再试验。这些样品应从与失败样品相同的原材料中取得。如果两者都满足验收准则，该试验批应被认为是合格的。更多的重复试验应经过购买方的同意。

制成品的试验可以在制成之后和暴露 H₂S 使用环境之前的任何时间进行。

在产品安置于 H₂S 环境之前，设备使用者应检查合格证书和核实该合格证书是满足规定的评定要求。经过设备使用者核实过的合格产品才可安置于 H₂S 环境。

B.2.3 制造的原始资料和流程的评定

规定的生产流程可以通过合格材料的生产来评定。

采用合格的生产流程，可以避免不进行抗 H₂S 开裂试验。

材料供方可向材料购方推荐用于生产合格材料的合格生产流程。如果材料供应方和购买方同意，可以应用评定合格的生产流程。

评定合格的生产流程可为更多的材料使用者生产合格的材料。

为了评定生产流程，材料供应商应说明规定的生产流程能够始终如一地生产满足附录 B 适当的评定试验要求的材料。

生产流程的评定全部要求如下。

a) 在书面质量计划中规定的生产流程要标出制造的设置，所有的制造工序和保持合格性要求的制造控制。

b) 按规定生产流程生产的产品的首次试验要按照 B.2.2 规定进行，核对它们达到的验收准则。

c) 定期试验是为了证实产品在 H₂S 环境下仍然具有抗开裂的性能。“定期性”试验的频率应在质量计划中规定，并且应经过购买方的认可。购买方应可得到这些试验的记录。

d) 保留和整理这些试验报告并提供给材料购买方和/或设备用户。

材料购买方可和制造方协商附加的质量控制要求。

质量计划的准确性可由相关部门进行现场检查确定。

B.2.4 以实验室试验为根据对附录 A 提出补充和变更

提出的补充和变更应具备有符合 ISO 15156-1 要求的文件。并且应服从下列附加条件和要求。

— 用于评定补充进入附录 A 的碳钢和低合金钢的实验室试验是供不符合 A.2.1 所述的一般要求钢材使用的实验室试验。

— 补充到 A.2 条的碳钢或低合金钢需要进行表 B.1 所述的用于图 1 所有 SSC 区的试验（见 7.2）。

— 补充到 A.3 或 A.4 条中的碳钢或低合金钢需要进行表 B.1 所述的用于图 1 适当 SSC 区的试验。（见 7.2）。

— 用于评定钢材的实验室试验应根据 ISO 15156-1 进行选择。

— 应对至少代表三个独立处理炉的材料根据 B.3 条进行抗 SSC 试验。

— 应提供足够的数以便于 ISO/TC 67 的成员对材料进行评价和根据 ISO/IEC 导则的第 1 部分判定材料是否适合于通过修改或修订纳入 ISO 15156 本部分。

B.3 评定碳钢和低合金钢抗 SSC 性能的试验程序

评定应按照 B.1，和表 B.1 适当的规定。

试验要求应符合 NACE TM0177，除非另有说明。

一般而言，试验是在环境温度[24°C ± 3°C (75°F ± °F)] 下进行。对于在高温下进行的试验，可使用 ISO 15156-3: 2015 附录 B 中给出的试验环境指导。

对按照材料制造规范进行试验的材料，试验宜参考适当的规范，以及 A.1 和 B.1。

B.4 评定碳钢和低合金钢抗 SOHIC 和 SZC 的试验程序

B4.1 总则

本附录给出的试验方法已成功地被用来验证 SOHIC 或 SZC 的敏感性。

在 SONIC/SZC 评定之前应完成材料在设计环境下的抗 SSC 的评定。

进行焊接评定时，还应采用 7.3.3。

试验结果对于环境，而不是那些评定值的有效性规定在 ISO 15156-1 中。

所述的 SOHIC 和 SZC 试验方法还没有标准化。可替代的试验正在研究中。设备使用者可以根据自己的判断选择其他的试验。应提供采用这些试验的理由的资料。

表 B.1 酸性环境的 SSC 实验室试验

评定有效性 ^f	试验类型 ^{a,b,j}	使用应力 ^{c,d}	环境	H ₂ S 分压	验收准则	备注
特定的应用或图 1 的 SSC 1 区或 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 值调至要求值 ^e	适合于预期的应用或 SSC 区域	按 NACE TM0177 评定方法, 无 SSC 开裂	特定的应用或不苛刻的环境。评定区域以满足要求的“有效区” ^g 为条件
	FPB ^h 或 CR				评定应按 NACE TM0177。验收准则应是证明文件认可的 ^k	
	DCB ^h	不适用				
图 1 所有 SSC 区域	UT	≥80% AYS	NACE TM 0177-05 A 溶液 (5%质量分数 NaCl+0.5%质量分数 CH ₃ COOH)	按照 NACE TM 0177 的规定为 100kPa(15psi)	按 NACE TM0177 评定, 无 SSC 开裂	用于评定要由设备使用者决定并提供有正当理由的资料
	FPB ^h 或 CR				评定应按 NACE TM0177。验收准则应是证明文件认可的 ^k	
	DCB ^h	不适用				

a 试验类型如下:

- 按照 NACE TM0177-05 A 法 UT 试验
- 按照 EFC 出版物第 16 号, 附录 2 的 FPB 试验
- 按照 NACE TM0177-05 C 法 CR 试验
- 按照 NACE TM0177-05 D 法 DCB 试验
- 只要适当, 可以使用包括全尺寸部件的其他试验试件。它们的使用应经购方和供方协商。

b 用于焊接和接缝的工艺评定最好是用 FPB、CR 或 UT 试验 (见 7.3 和 7.4)。对于焊接试样: 试件一般应垂直焊缝取样; 试验应以母材的最低屈服强度的真实屈服强度为根据; 经设备使用者的同意, 可采用面 4 点弯曲试验。对于面弯曲试验的详情见 NACE 出版物腐蚀 2000 第 128 篇论文。

c 对于许诺在低的使用应力水平下的应用, 例如屈服强度的比例的应用, 试验应力可降至最大的使用应力。在这些情况下, 试验以及验收准则应与设备使用者协商, 协商应有文件。

d AYS 表示试验温度下成品形式的材料的真实屈服强度。AYS 应在产品规范中规定或按照 ISO 6892-1 规定, 当“非比例伸长”为 0.2%(R_{P0.2})时的试验应力。

e 对于 SSC 试验的 pH 控制, 在试验期间 pH 值宜低于或等于要求的值。在实际中, pH 值控制在 0.1 个 pH 单位范围是可达到的。

f 关于利用塑性设计标准设计的更多信息见 ISO 15156-1: 2015, 第 5 条。

g 在表 B.2 中所列条件下的试验为所有区域的使用提供评定。

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 试验类型不一定相同且结果是不可直接比较的。

j 在进行试件的 SOHIC 和/或 SZC 评定时 (见 7.2.2), 应满足本表和 B.4 条的要求。

k 有关 C90 和 T95 级油管和套管的信息见 ISO 11960。

表 B.2 试验环境

pH	试验时要求的 H ₂ S 分压 kPa	
	SSC 1 区的环境设置	SSC 2 区的环境设置
3.5	—	1
4.0	0.3	—
4.5	1	10
5.5	10	100
6.5	100	—

B4.2 小尺寸的试验

B.4.2.1 试件选择

常用来确定 SOHIC/SZC 敏感性的试样应取自 SSC 评定试验结果良好的，表面上看像未被破坏的 UT 或 FPB 试验试件。按 A.2 条选择的钢材在 SOHIC/SZC 评定之前，应同样按照 B.1 条的要求，进行 SSC 试验。

对于焊接小尺寸的试验，试件应垂直于焊缝取样。

B4.2.2 UT 试验试件的评定和验收准则

对 UT 试验试件的评定和验收准则应采用如下的一种。

a) 试件加热到 150℃ 并保温两个小时，以除去吸收的氢。测量试件的抗拉强度。该抗拉强度应不小于用同样的、先前未被使用的试件测定的该材穿的实际抗拉强度的 80%。

b) 至少加工两个平行于试样轴线的金相截面。检查这些截面中是否有潜在的阶梯状 HIC 特征和其他与 SOHIC 或焊缝软区裂纹 (SZC) 有关的裂纹。既没有阶梯状 HIC 迹象也没有贯穿厚度方向的，长度超过 0.5mm 的裂纹是允许的。

B.4.2.3 FPB 试验试件的评定和验收准则

应对试样在暴露于 H₂S 期间承受拉应力面进行湿磁粉检测。

在垂直于应力轴的任何磁粉标记线下面，截取金相截面应垂直于磁粉标记线，或在没有磁粉标记线时，至少应截取两个平行于试件应力轴的金相截面。

应检查用这些方法制成的截面是否有潜在的阶梯状 HIC 特征和其他与 SOHIC 或焊接的软区 (SZC) 相关的裂纹。没有阶梯状 HIC 特征，也没有贯穿厚度方向的长度超过 0.5mm 的裂纹是允许的。

为了有助于检测试件的损坏，试件在截制金相断面之前可以在先前被弯曲的方向再塑性

变形 5%。在该变形之前，试件应加热到 150℃ 并保温 2h，以除去吸收的氢。

对于出现在试件受拉面表面下的小于 1mm 鼓泡形态的损坏，或出现在受压面不计长度的鼓泡，在 SOHIC/SZC 评定时可以被忽略不计，但应有报告。

B.4.3 整管环试验

可采用整管环试验。文献 HSE OT1-95-635 提供了试验和验收准则。

注：已经显示残余应力对 SOHIC/SZC 的发生起着重要的作用。有时大尺寸试件更能体现现场运行中的这种应力。

B.5 评定碳钢和低合金钢抗 HIC/SWC 的试验程序和验收准则

试验程序和验收准则应按照表 B.3 的规定。

试验应在环境温度下进行[25℃±3℃ (77°F±5°F)]。

试验要求应按照 NACE TM0284，除非另有说明。

表 B.3 HIC/SWC 试验程序和验收准则

成品类型	施加应力	环境	H ₂ S 分压	验收准则	评定有效性
压延钢或它们的成品 ^{a,b}	无施加应力	按 NACE TM0177-05 A 溶液(5%质量分数 NaCl+0.5%质量分数 CH ₃ COOH) ^c	100kPa(15psi) ^e	CLR ≤ 15% CTR ≤ 5% CSR ≤ 2%	在所有酸性环境下
		5.0%质量分数 NaCl+0.4%质量分数 CH ₃ COONa, pH 用 HCl 或 NaOH 调节到要求值 ^d	适合于预期的应用 ^e	无裂纹 ^f	特定的，或不太苛刻的工作状态 ^f
<p>a 也可适用于无缝管产品的评定，见第 8 条。</p> <p>b 所取试样要代表订货单规定的一般性能，该订货单宜是生产者与设备使用者协商的。试验材料的取样应符合 ISO 15156-1 的要求。</p> <p>c 用户有责任确定本试验环境是否足以代表预期使用环境的苛刻程度。</p> <p>d 可以用于新的或原有的设备用钢的特定应用试验。在这种情况下，试验时间可以由设备用户决定采用比标准的 96 小时（见 NACE TM0284）更长，这些试验为提高试验结果的可信度可能是必要的。</p> <p>e 根据设备使用者的要求，在选择截制金相断面的部位之前，为寻找和评定裂纹区域，试件可采用超声波评定。见 FEC 出版物 16 的 B7 部分。其他的验收准则可由供应方和设备使用者协定。该协定应具备有文件。</p> <p>f 有关使用塑性设计准则设计的更多信息见 ISO 15156-1: 2015，第 5 条。</p> <p>g 可使用的其他验收准则，要有设备使用者认可的证明文件。</p>					

附录 C

(资料性附录)

H₂S 分压的确定

C.1 气相系统 H₂S 分压的计算

H₂S 的局部压力 (p_{H_2S}) 采用兆帕 (磅/平方英寸) 来表示, 其可以通过系统总压力除以气相 H₂S 的摩尔分数来计算得出, 如公式(C.1)所述:

$$p_{H_2S} = p \times \frac{x_{H_2S}}{100} \quad (C.1)$$

式中:

p 为系统总绝对压力, 采用兆帕 (磅/平方英寸) 来表示;

x_{H_2S} 为气态 H₂S 的摩尔分数, 采用百分比来表示。

例如, 在 70MPa (10153psi) 的气体系统中, 气体中 H₂S 摩尔分数为 10%, 那么 H₂S 分压为 7MPa (1015psi)

如果系统的总压和 H₂S 的浓度是已知的, 用图 C.1 也能估算 H₂S 分压。

C.2 流体系统游离气体的有效 H₂S 分压的计算

对于流体系统 (达不到平衡的混合气体), H₂S 的有效热力学活度可以用下列方法测定的 H₂S 实际分压来确定。

a) 用适当的方法测定操作温度下流体的泡点压力 (P_B)。

注: 当气体分离装置下游为装满流体的管线时, 泡点压力的近似值是该最后气体分离器的总压。

b) 用适当的方法测定在泡点状态下气体中 H₂S 的摩尔分数。

c) 依据公式(C.2)计算在泡点时气态 H₂S 的局部压力 (p_{H_2S}), 采用兆帕 (磅/平方英寸) 来表示:

$$p_{H_2S} = P_B \times \frac{x_{H_2S}}{100} \quad (C.2)$$

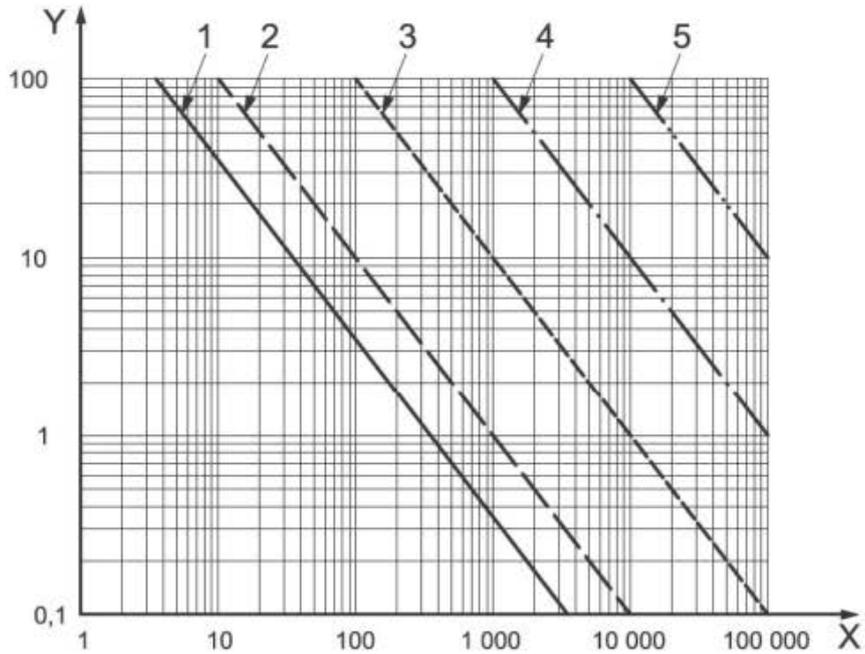
式中:

P_B 为泡点压力, 采用兆帕 (磅/平方英寸) 来表示;

x_{H_2S} 为气态 H₂S 的摩尔分数, 采用百分比来表示。

d) 用这个作为流体系统的 H₂S 分压。这个值能用来确定系统是否符合选项 1 (见 7.1)

规定的酸性环境，或按照选项 2（见 7.2）确定的系统的酸度。



图例：

X为气态H₂S的摩尔分数，采用百分体积分数乘以10⁴来表示；

注：百分体积分数乘以10⁴等效于弃用单位“百万分之一体积”。

Y为总绝对压力，采用兆帕来表示。

- 1 P_{H₂S}=0.3 kPa
- 2 P_{H₂S}=1 kPa
- 3 P_{H₂S}=10 kPa
- 4 P_{H₂S}=100 kPa
- 5 P_{H₂S}=1000 kPa

图 C.1 酸性气体系统内 H₂S 分压等压线

附录 D

(资料性附录)

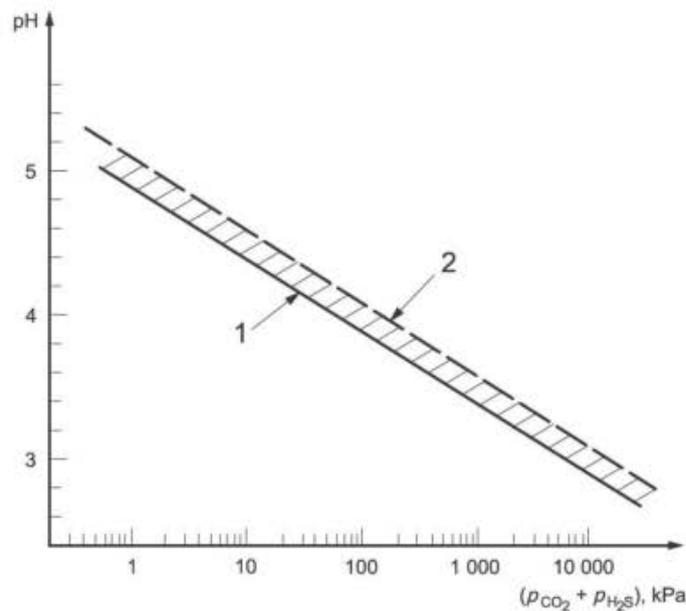
确定 pH 值的建议

使用图 1 需要确定在生产状态下的原位 pH 值。图 D.1~D.5 (取自参考文献[25]) 给出了确定不同状态下水相 pH 近似值的一般指导。如果无法证实计算或现有的现场测量技术是可靠的, 就可用这种方法来确定 pH 值。合适的误差范围可取为 ± 0.5 pH 值单位。

图 D.1 到 D.5 的纵坐标为“原位 pH 值”。通常报告的是水样减压后的 pH 值, 不宜被误认为是有效的原位 pH 值。

原位 pH 值也可能受存在的有机酸的影响, 例如乙酸, 丙酸等等 (和它们的盐), 图 D.1 到 D.5 没考虑这些酸的影响。这些酸对原位 pH 值和常规的水分析结果的影响的重要性在 EFC 出版物 17 号附录 2 上有说明。宜分析这些组分以便对计算的原位 pH 值进行必要的调整。

注: 图 D.1 到 D.5 是根据文献目录中参考文献[25]改编的。

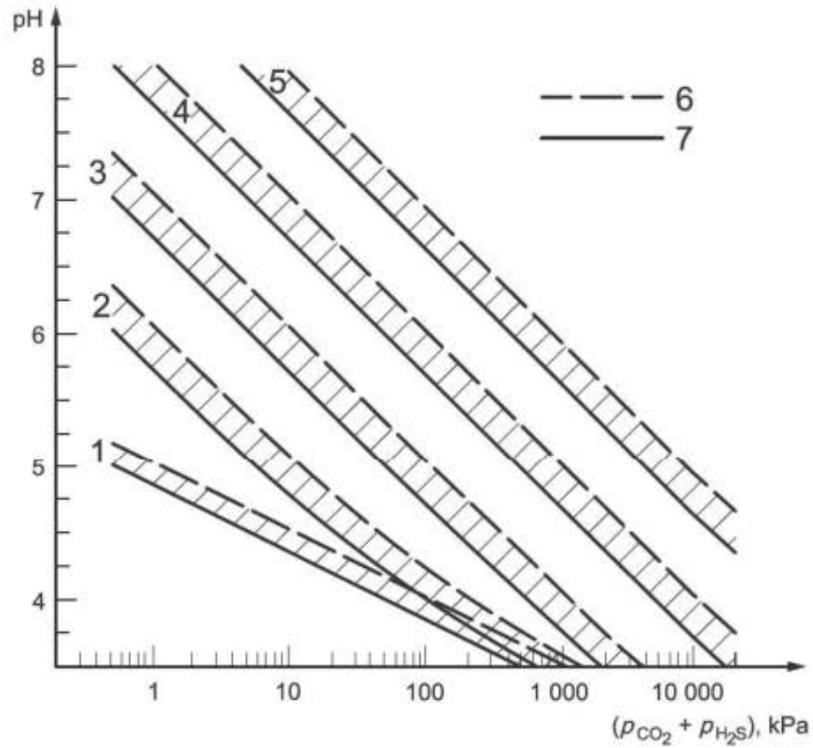


图例:

1 T=20°C;

2 T=100°C

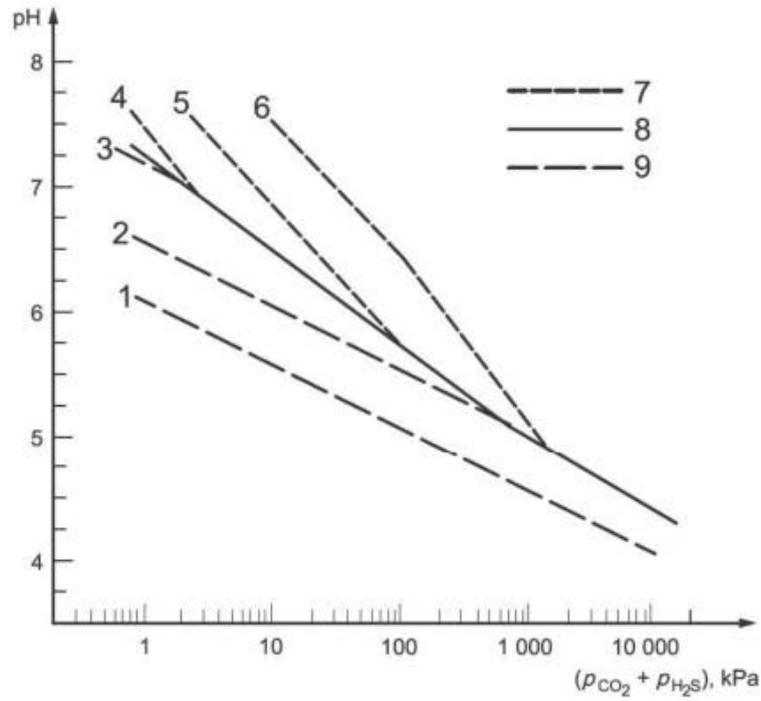
图 D.1 在 CO₂ 和 H₂S 压力下凝结水的 pH 值



图例:

- 1 $HCO_3^- = 0 \text{ meq/L}$
- 2 $HCO_3^- = 0.1 \text{ meq/L}$
- 3 $HCO_3^- = 1 \text{ meq/L}$
- 4 $HCO_3^- = 10 \text{ meq/L}$
- 5 $HCO_3^- = 100 \text{ meq/L}$
- 6 $T = 100^\circ\text{C}$
- 7 $T = 20^\circ\text{C}$

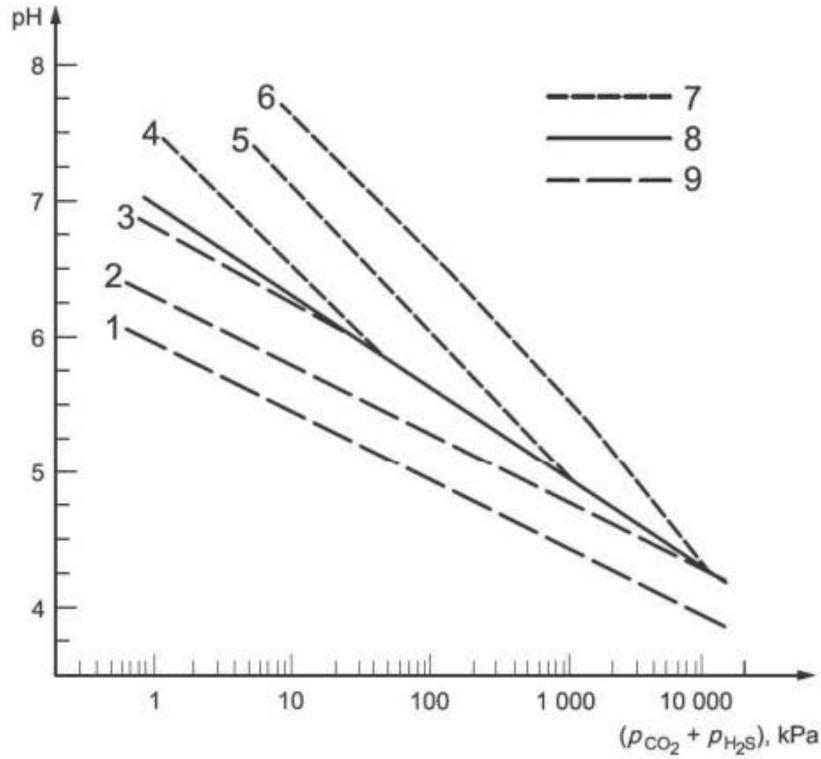
图 D.2 在 CO₂ 和 H₂S 压力下凝结水 (湿气) 或含有碳酸氢盐 (未饱和的 CaCO₃) 地层水的 pH 值



图例:

- 1 $Ca^{2+}=1000\text{meq/L}$
- 2 $Ca^{2+}=100\text{meq/L}$
- 3 $Ca^{2+}=10\text{meq/L}$
- 4 $HCO_3^-=10\text{meq/L}$
- 5 $HCO_3^-=30\text{meq/L}$
- 6 $HCO_3^-=100\text{meq/L}$
- 7 $Ca^{2+}<HCO_3^-$
- 8 $Ca^{2+}=HCO_3^-$
- 9 $Ca^{2+}>HCO_3^-$

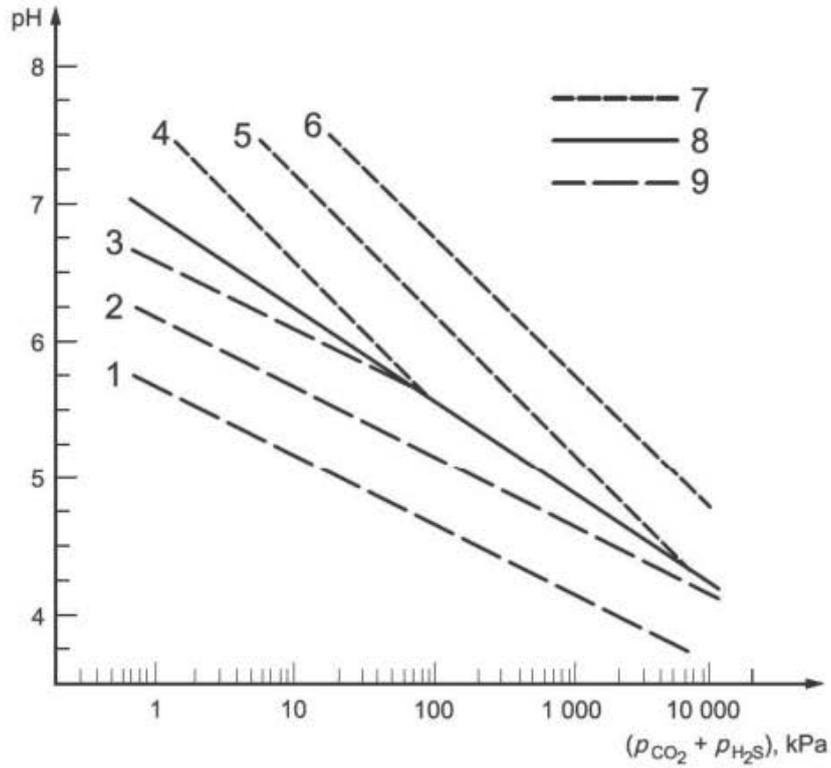
**图 D.3 20°C时在 CO₂ 和 H₂S 压力下含 (过) 饱和 CaCO₃
(化学当量的或非化学当量的) 地层水的 pH 值**



图例:

- 1 Ca²⁺=1000meq/L
- 2 Ca²⁺=100meq/L
- 3 Ca²⁺=10meq/L
- 4 HCO₃⁻=10meq/L
- 5 HCO₃⁻=30meq/L
- 6 HCO₃⁻=100meq/L
- 7 Ca²⁺<HCO₃⁻
- 8 Ca²⁺=HCO₃⁻
- 9 Ca²⁺>HCO₃⁻

**图 D.4 60°C时在 CO₂ 和 H₂S 压力下含（过）饱和 CaCO₃
（化学当量的或非化学当量的）地层水的 pH 值**



图例：

- 1 Ca²⁺=1000meq/L
- 2 Ca²⁺=100meq/L
- 3 Ca²⁺=10meq/L
- 4 HCO₃⁻=10meq/L
- 5 HCO₃⁻=30meq/L
- 6 HCO₃⁻=100meq/L
- 7 Ca²⁺<HCO₃⁻
- 8 Ca²⁺=HCO₃⁻
- 9 Ca²⁺>HCO₃⁻

图 D.5 100°C时在 CO₂ 和 H₂S 压力下含（过）饱和 CaCO₃（化学当量的或非化学当量的）地层水的 pH 值

附录 E

(资料性附录)

购买材料须提供的信息

表 E.1 和表 E.2 的第 2 列宜由材料购方填写。宜指明可接受的/要求的选项。

注：在本表第 5 栏中，标记 ISO 15156-2A 通常表示的是相当于先前 NACE MR0175 规定的碳钢、低合金钢或铸铁。

表 E.1 购买材料的最少信息量

购方的参考资料				
设备类型				
优先选用的钢（或铸铁）的类型和/或类型				
控制酸性环境规范：ISO 15156(所有部分) 购买订单中的材料要求		参照 ISO 15156-2 中的条款	备注	酸性环境标识 ISO 15156-X（可要求多 个规范）
抗 SSC 按选项 1：从 A.2 条中选择用于酸性环境的碳钢，低合金钢或铸铁	是/否	7.1	—	2A
抗 SSC 按选项 2：特定酸性环境应用或用于各量级酸性环境的碳钢，低合金钢	是否	7.2	如果被选，还要见 5.3 和表 E.2	—
抗 HIC： (a) 材料是否用于酸性环境？	是否	第 8 条和 B.5 条	—	2H
(b) 材料是否用于特定酸性环境应用或用于各量级酸性环境？	是否		如果被选，还要见 5.3 和表 E.2	—

表 E.2 SSC 试验和其他特殊情况的附加信息

购方的参考资料				
购买定单中的材料要求		参照 ISO 15156-2 中的条款	备注	酸性环境标识 ISO15156-X (可要求多个规范)
抗 SSC 按选项 2	指明优先选用的选项	7.2	—	—
a) 是否在 SSC 区的酸性环境? 试件类型	是/否	7.2.1.4, 图 1, 表 B.1 及其注	不提供 UT 试验试件	2R3
b) 是否在 SSC 2 区和 1 区的酸性环境? 试件类型	是/否	7.2.1.4, 图 1, 表 B.1 及其注	不提供 UT 试验试件	2R2
a) 是否在 SSC 1 区的酸性环境? 试件类型	是/否	7.2.1.4, 图 1, 表 B.1 及其注	不提供 UT 试验试件	2R1
d) 是否要求在特定酸性环境应用? 试件类型	是/否	7.2.1.4, 表 B.1 及其注	低于要求的试验环境特性, 不提供 UT 试验试件	2S
对特定酸性环境应用是否要求抗 HIC?	是/否	第 8 条和表 B.3	低于要求的试验环境特征	2HS
试验环境说明	—	表 B.1 和/或表 B.3	不提供值按 B.1 中的, 其他值要求根据 ISO15156-1, 并提供正当理由的资料	—
SSC 试验的试验应力	—	—	%AYS (或按比例)	—
CO ₂	—	—	MPa(psi)	—
H ₂ S	—	—	MPa(psi)	—
温度	—	—	°C	—
原位 pH	—	—	pH 计算见附录 D	—
Cl ⁻ 或其他卤化物	—	—	mg/L	—
元素硫 (S ⁰)	—	—	有或没有	—
特殊要求	—	—	—	—
抗 SOHIC 和 SZC 要求	是/否	7.2.2 和 B.4 条	在 SOHIC/SZC 试验之前总是要求进行 SSC 试验	2Z 和来自上面的 SSC 标识

参考文献

- [1] ISO 3183, 石油和天然气工业—管道钢管—交货技术条件 第3部分:C级钢管的要求
- [2] ISO 11960, 石油和天然气工业—蓄水管和套管用钢管
- [3] ISO 18265, 金属材料—硬度值的换算
- [4] API Spec 5CT, 套管和油管规范⁴⁾
- [5] ANSI/API Spec 5L/ISO 3183, 管线钢的冲击试验
- [6] ASME 压力容器规范, 第IX卷, 焊接和钎焊的合格要求⁵⁾
- [7] ASTM A48/A 48M, 灰铸铁铸件标准技术条件⁶⁾
- [8] ASTM A53/A 53M, 无镀层及热浸镀锌焊接与无缝公称钢管标准技术条件
- [9] ASTM A105/A 105M, 管道元件用碳钢锻件
- [10] ASTM A106, 高温用无缝碳钢公称管规范
- [11] ASTM A193/A193M, 高温用合金钢和不锈钢螺栓材料
- [12] ASTM A194/A194M, 高压或高温螺栓用碳钢及合金钢螺母
- [13] ASTM A220/A220M, 珠光体韧性铁标准规范
- [14] ASTM A234/A234M, 中、高温锻造碳钢和合金钢管道配件标准技术条件
- [15] ASTM A278/A278M, 温度达345℃的压力容器部件用灰口铸铁件(米制)
- [16] ASTM A320/A320M, 低温用合金钢栓接材料
- [17] ASTM A333/A333M, 低温用无缝和焊接管子标准规范
- [18] ASTM A381, 高压输送系统用电弧焊钢管
- [19] ASTM A395/A395M, 高温用铁素体球墨铸铁承压铸件(米制)
- [20] ASTM A524, 在常温和较低温度下使用的碳素钢无缝钢管
- [21] ASTM A536, 球墨铸铁铸件
- [22] ASTM A571/A571M, 低温承压部件用奥氏体球墨铸铁铸件
- [23] ASTM A602, 汽车用可锻铸铁铸件
- [24] ASTM E140, 金属的标准硬度转换表 布氏硬度、维氏硬度、洛氏硬度、表面硬度、努

⁴⁾ 美国石油学会(API), 1220 L Street NW, Washington, DC 20005-4070, USA。

⁵⁾ 美国机械工程师学会(ASME), Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990, USA。

⁶⁾ 美国材料与试验学会(ASTM), 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA。

氏硬度和肖氏硬度之间的关系

[25] BONIS, M. and CROLET, J-L., Practical aspects of the influence of in situ pH on H₂S-induced cracking, Corrosion Science, 1987, 27, pp. 1059-70

[26] HSE OTI-95-635, 确定管线钢的酸味开裂的测试方法⁷⁾

[27] NACE Corrosion 2000, Paper 128 管道焊缝侧弯曲测试⁸⁾

[28] NACE MR0176, 油田腐蚀环境中用于抽油泵的材料

[29] NACE MR0175, 油田设备用抗硫化应力裂纹的金属材料

[30] SAE — ASTM, 金属及其合金的编号系统, ISBN 0-7680-0407

[31] ASTM E10, 金属材料布氏硬度的标准试验方法

[32] ASTM E18, 金属材料洛氏硬度和洛氏表面硬度的标准测试方法

[33] ASTM E384, 材料的努氏和维氏硬度标准试验方法

⁷⁾ 英国健康和安全部, HSE 丛书, PO Box 1999, Sudbury, Suffolk CO10 2WA, UK [ISBN 0-7176-1216-3]。

⁸⁾ NACE 国际, P.O. Box 2183140, Houston, TX 77218-8340, USA。

国际
标准

ISO
15156-3

第 3 版

2015-09-01

石油和天然气工业—
油气开采中用于含 H₂S 环境的材料
第 3 部分：
抗开裂 CRAs（耐蚀合金）和其它合金



参考编号
ISO 15156-3:2015(E)

© ISO 2015



受版权保护文件

© ISO 2015, 印刷于瑞士

所有权利保留。在没有获得 ISO 的书面允许之前,本出版物任何部分不能复制,或者通过任何方式进行传输,不管是电子、机械、照片、录像或其它方式。书面允许申请应寄往以下地址的 ISO 组织或者所在国家的 ISO 会员组织。

ISO 版权办公室

Ch. de Blandonnet 8-CP 401

CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland

电话: +41 22 749 01 11

传真: +41 22 749 09 47

电子邮件: copyright@iso.org

网址: www.iso.org

目 录

	页码
前 言.....	3
引 言.....	4
1. 范围.....	6
2. 规范性引用文件.....	6
3. 术语和定义.....	7
4. 符号和缩写术语.....	9
5. 含 H ₂ S 环境中影响 CRAs 和其它合金抗开裂性能的因素.....	10
6. 含 H ₂ S 环境中耐蚀合金和其它合金关于 SSC, SCC 和 GHSC 的评定和选择	11
6.1 总则.....	11
6.2 材料性能的评定.....	11
6.3 抗点蚀当量数 (PREN)	13
7. 购买信息和标记.....	14
7.1 提供购买材料的信息.....	14
7.2 标记、标签和证明文件.....	14
附录 A (规范性附录) 抗环境开裂的耐蚀合金 (CRAs) 和其它合金 (包括表 A.1—材 料选择表使用指南)	15
附录 B (规范性附录) 用于 H ₂ S 环境的耐蚀合金 (CRAs) 的实验室试验评定	52
附录 C (资料性附录) 购买材料须提供的信息	63
附录 D (资料性附录) 材料的化学成分和其它信息	66
附录 E (资料性附录) 试验条件的推荐组合.....	78
参考文献.....	79

前言

国际标准化组织(ISO)是各国的国家标准机构(ISO 成员单位)的世界性联盟。ISO 国际标准的编制通常是通过 ISO 技术委员会组织完成的。凡是对某技术委员会已经确定的项目感兴趣的每个成员单位都有权派代表参加该委员会的工作。凡是与国际标准化组织(ISO)有联系的国际组织,不管是政府的还是非政府的,也可参加 ISO 国际标准的编制工作。在电工技术标准化的各个方面,国际标准化组织(ISO)与国际电工委员会(IEC)是紧密协作的。

ISO/IEC 指令,第 1 部分描述了本文件起草所用的程序以及其未来维护所用的程序。特别地,应注意不同的 ISO 文件类型需要不同的批准准则。本文件按照 ISO/IEC 指令,第 2 部分的编辑规则进行起草。(见 www.iso.org/directives)

时刻注意本文件某些内容可能涉及到专利权。ISO 应不为识别任何或所有专利权承担责任。在本文件起草期间识别的任何专利权细节将出现在前言和/或收到的 ISO 专利权声明清单中。(见 www.iso.org/patents)

本文件所用的任何商标作为参考信息给出,以用于方便用户,同时不构成一种担保。

一致性评估相关的 ISO 特定术语和表述的意义解释以及 ISO 遵循的贸易技术壁垒 (TBT) 的 WTO 原则相关信息访问以下 URL: [Foreword - Supplementary information](#)。

本文件的责任委员会为 ISO/TC 67《石油、石油化工和天然气工业用材料、设备和近海结构》技术委员会。

第 3 版经过技术性修订(以进行以下更改)而取消和替代第 2 版(ISO 15156-3:2009):

- 采用术语“负荷可控设计方法”替代术语“传统弹性设计准则”的范围;
- 修正了 6.3 节,以当 ISO 15156 本部分内使用中计算 F_{PREN} , 要求使用绝对值;
- 低碳 300 系列不锈钢的环境验收限制也适用于他们的双重鉴定牌号;
- 更改了附录 A 的一些表格,以更加保守地反映当前一些材料使用限制的知识;
- 更改了附录 A 的一些表格内的现场生产环境 pH 的验收限制的定义;
- 附录 A 许多表格增加了新材料和它们相关的冶金要求的验收环境限制的新集合。

ISO 15156 在通用标题“石油和天然气工业—油气生产时含 H₂S 环境内使用的材料”下包含以下部分:

- 第 1 部分: 抗开裂材料选择的通用原则
- 第 2 部分: 抗开裂碳钢和低合金钢以及铸铁的使用
- 第 3 部分: 抗开裂 CRAs (耐腐蚀合金)和其它合金

引言

因为油气田使用的金属零部件接触含硫化氢（H₂S）的开采液会发生突然失效，所以编制了第 1 版 NACE MR0175，该版本在 1975 年由美国腐蚀工程师协会（现称“NACE 国际”）公开发布。

NACE MR0175 的初版及以后的版本规定了需要考虑预防硫化物应力开裂（SSC）时，H₂S 局部压力的极限值，还提供了超过 H₂S 阈值时抗硫化物应力开裂材料的选择和规范指南。最近的 NACE MR0175 版本还提供了某些抗腐蚀合金的应用极限，主要考虑因素包括环境因素、pH 值、温度和 H₂S 局部压力。

单独编写文件期间，欧洲腐蚀联合会分别在 1995 年和 1996 年发行了 EFC 出版物 16 和 EFC 出版物 17。这些文件通过不同的范围和侧重点，总体上能对 NACE 加以补充。

在 2003 年，ISO 15156 和 ANSI/NACE MR0175/ISO 15156 的三部分内容首次完成。这些文件在技术上是统一的，都利用上述资源，提出油气开采系统在含有湿硫化氢环境下材料选用的要求和建议，由 NACE TM0177 和 NACE TM0284 试验方法得到了补充。

ISO 15156 本部分的修订版涉及技术通函 1（ISO 15156-3:2009/Cir.1:2011(E)）、技术通函 2（ISO 15156-3:2009/Cir.2:2013(E)）、技术通函 3（ISO 15156-3:2009/Cir.3:2014(E)）和技术通函 4（ISO 15156-3:2009/Cir.4:2014(E)）协定和出版的所有更改的一种合并，并由 ISO 15156 维护机构秘书处（DIN，柏林）来出版。

这些修改内容由来自油气行业的代表组完成，并通过投票得到批准，其中大部分内容可有效遏制文件使用者引发的问题。关于批准这些修改内容的过程描述，可登录 ISO 15156 维护网站 www.iso.org/iso15156maintenance。

技术通函 ISO 15156-3:2009/Cir.2:2013 和技术通函 ISO 15156-3:2009/Cir.3:2014 拟针对 ISO 15156 本部分出版一个资料性附录 F，以对附录 A 的材料选择表格内包含的信息给出一种备用表达。

在 ISO 15156 本部分最终编辑期间，在附录 A 的材料选择表格和表 F.1 之间的信息转化发现许多技术错误。为不延迟出版 ISO 15156 本部分的新版本，ISO 15156 维护结构同意在本次不出版提议的附录 F。

如果油气开采行业专家发现有必要，今后会采取同样的方式对 ISO 15156 本部分

进行临时性修改，将采用技术勘误或技术通函的形式对 ISO 15156 本部分进行临时更新。文件使用者应当明白，此类文件会继续存在，也会影响 ISO 15156 本部分注明日期的引用文件的有效性。

通过 34/2007 号文件，国际标准化组织（ISO）技术管理委员会批准在 DIN 成立 ISO 15156 维护机构。本文件描述了维护机构的组成人员，其中包括了来自 NACE、EFC 和 ISO/TC 67 的专家，同时还描述了批准修改单的过程。此文件可从 ISO 15156 维护网站和 ISO/TC 67 秘书处获取。登录网站，还可查阅更详细的 ISO 15156 维护活动相关的文件。

石油和天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 环境的材料

第 3 部分:抗开裂 CRAs (耐蚀合金) 和其它合金

警告:选用 ISO 15156 本部分的耐蚀合金 (CRAs) 和其它合金在油气开采中所定义的含 H₂S 环境中是抗开裂的,但不一定在所有的使用环境中都可避免开裂。选择适合预期使用环境的耐蚀合金 (CRAs) 和其它合金是设备使用者的责任。

1. 范围

ISO 15156 本部分给出了供运行在石油、天然气开采和天然气处理厂含 H₂S 环境中设备使用的耐蚀合金 (CRAs) 和其它合金的选择和评定的要求和建议,这些设备的失效会对公众和人员的健康、安全或环境造成危害。本标准有助于避免设备自身受到高代价的腐蚀损害。本标准补充但不代替适用的设计规范、标准和规章中的材料要求。

ISO 15156 本部分论述材料抗破坏的性能,这些破坏可能是由硫化物应力开裂 (SSC), 应力腐蚀开裂 (SCC) 和电偶诱发的氢应力开裂 (GHSC) 引起。

ISO 15156 本部分只涉及开裂,不论及均匀(质量减少)或局部腐蚀造成的材料损失。

表 1 提供了适合于 ISO 15156 本部分设备的不详尽清单,包括了允许的例外。

ISO 15156 本部分适用于使用负荷可控设计方法来设计和建造的设备所用材料的评定和选择。当设计采用应变为基础的设计方法时,ISO 15156-1:2015,第 5 节。

ISO 15156 本部分不一定适用于炼制用设备或下游加工设备。

2. 规范性引用文件

下列所有或部分文件对于本文件的应用是必不可少的。对于注明日期的引用文件,只能使用所引用的版本。对于未注明日期的引用文件,可使用引用文件(包括任何修改单)的最新版本。

ISO 6507-1, 金属材料—维氏硬度试验—第一部分: 试验方法

ISO 6508-1, 金属材料—洛氏硬度试验—试验方法

ISO 6892-1, 金属材料—拉伸试验—第 1 部分: 室温下试验方法

ISO 7539-7, 金属和合金腐蚀—应力腐蚀试验—第 7 部分: 慢应变速率试验方法

ISO 10423, 石油和天然气工业—钻井和开采设备—井口和采油树设备

ISO 11960, 石油和天然气工业—用作井下套管或油管的钢管

ISO 15156-1:2015, 石油和天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 环境的材料—第 1 部分: 抗开裂材料选择的一般原则

ISO 15156-2: 2015, 石油和天然气工业—油气开采中用于含 H₂S 环境的材料—第 2 部分: 抗开裂的碳钢和低合金钢以及铸铁的使用

ASTM A747/A747M¹⁾, 铸钢, 不锈钢和沉淀硬化钢的标准规范

ASTM E29, 使用试验数据中的有效数字以确保规范一致性的标准规程

ASTM E562, 系统性手动点计数法测定体积分数的标准试验方法

EFC 出版物 17²⁾, 油气生产用耐蚀合金: 用于 H₂S 环境的一般要求和试验方法指南

NACE CORROSION/95³⁾, 论文 47, 用于油气设备的抗元素硫新型材料的试验方法论, 作者

NACE CORROSION/97, 论文 58, CRA 酸洗环境选用材料的波动应变速率试验

NACE TM0177, H₂S 环境下金属抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的实验室试验

NACE TM0198, 酸性油田环境内为筛查耐蚀合金 (CRAs) 的应力腐蚀开裂性能所用慢应变速率试验方法

SAE AMS2430P, 自动喷丸

SAE⁴⁾-ASTM, 统一编号系统中的金属和合金, ISBN 0-7680-04074

3. 术语和定义

ISO 15156-1, ISO 15156-2 中已给出的和下列的术语及定义均适用于本文件。

3.1 时效

冶金性能的变化, 一般在室温 (自然时效) 下进行得缓慢, 而在较高温度下 (人工时效) 进行得较快。

3.2 退火

¹⁾ ASTM 国际, 地址: 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA。

²⁾ 欧洲腐蚀联合会, 可从材料协会获得, 地址: 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB, UK [ISBN 0-901716-95-2]。

³⁾ NACE 国际, 地址: 1440 South Creek Dr., Houston, TX 77084-4906, USA。

⁴⁾ 汽车工程师协会 (SAE), 地址: 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, USA。

加热到适于特定材料的温度，并在该温度下保持，然后以适当的速度冷却。其目的是降低硬度，改善机械加工性能或获得想要的性能。

表 1 设备清单

ISO 15156 适用于下列 设备使用的材料	允许的例外
钻井，建井和修井设备	仅暴露在成分受控的钻井液中的设备 ^a 钻头 防喷器（BOP）剪切闸板 ^b 钻井立管系统 作业管柱 绳索和绳索设备 ^c 表层和技术套管
油气井，包括地下设备，气举设备，井口和采油树	有杆泵和抽油杆 ^d 电动潜油泵 其它人工举升设备 卡瓦
出油（采气）管线，集气（油）管线，矿场设施和矿场加工厂	在总绝对压力 0.45MPa（65psi）以下运行的原油储存及处理设施
水处理设备	在总绝对压力 0.45MPa（65psi）以下运行的水注入和水处理设施
天然气处理厂	—
液体、气体和多相流体输送管线	普通商用和家用处理气管线
上述的所有设备	只承受压缩载荷的部件
^a 详细信息见 ISO 15156-2: 2015, A.2.3.2.3。 ^b 详细信息见 ISO 15156-2: 2015, A.2.3.2.1。 ^c 绳索润滑器和润滑器连接器不允许作为例外。 ^d NACE MR0176 适用于抽油泵和抽油杆。	

3.3 奥氏体

铁基合金的面心立方晶格。

3.4 双相不锈钢

奥氏体/铁素体不锈钢

室温下显微组织主要由奥氏体（3.3）和铁素体（3.5）混合组成的不锈钢（3.13）。

3.5 铁素体

铁基合金的体心立方体晶相。

3.6 铁素体不锈钢

室温下其显微组织主要为铁素体（3.5）的不锈钢（3.13）。

3.7 电偶诱发的氢应力开裂

GHSC

开裂的形成是由于金属中存在着由电偶的阴极诱发的氢和拉应力（残余的和/或外加的）。

3.8 马氏体

碳在铁中硬的过饱和固溶体，其特征为针状（类似针状的）显微组织。

3.9 马氏体钢

为避免形成其它显微组织而以快速冷却速率进行淬火才能获得的显微组织为马氏体（3.8）的钢。

3.10 抗点蚀当量数

PREN

F_{PREN}

F_{PREN} 数值是用来反映和预示 CRA 的抗点蚀能力，它是依据合金化学成分中 Cr, Mo, W 和 N 的配比来定

出处注释 1：详细信息见 6.3。

3.11 开采环境

没有受到化学品（这些化学品将暂时或持续降低原位 pH）污染的天然形成的开采液

出处注释 1：刺激和氧化皮去除导致化学品回流可能暂时显著地降低 pH，同时一些持续的注入化学品（例如氧化皮抑制剂）可持续地降低 pH。

3.12 固溶体

含两种或两种以上元素的单一结晶相

3.13 不锈钢

含铬 10.5%（质量分数）以上的钢。可能添加其它元素以保证获得特殊的性能

4. 符号和缩写术语

ISO 15156-1 和 ISO 15156-2 中采用的符号及缩写术语和下列符号及缩写术语对应用于本标准。为了方便，有些符号及缩写术语是与 ISO 15156-1 和 ISO 15156-2 重复的。

AYS 实际屈服强度

CR C 环

CRA	耐蚀合金
HBW	布氏硬度
HRB	洛氏硬度 (B 标尺)
HRC	洛氏硬度 (C 标尺)
p_{CO_2}	CO ₂ 分压
$P_{\text{H}_2\text{S}}$	H ₂ S 分压
PWHT	焊后热处理
S ⁰	元素硫
RSRT	波动应变速率试验
SSRT	慢应变速率试验
UNS	统一 (合金) 编号系统

5. 含 H₂S 环境中影响 CRAs 和其它合金抗开裂性能的因素

CRAs 和其它合金在含 H₂S 环境中的开裂行为可能受下列因素相互作用的综合影响, 这些因素包括:

- 材料的化学成分, 强度, 热处理, 显微组织, 制造方法和材料的最终状态;
- H₂S 分压或其在水相中的当量溶解浓度;
- 水相的酸度 (原位 pH);
- 氯化物或其它卤化物离子浓度;
- 氧, 硫或其它氧化剂的存在;
- 暴露温度;
- 材料在使用环境中的抗点蚀性能;
- 电偶的影响;
- 总拉伸应力 (外加应力加残余应力);
- 暴露时间。

使用 ISO 15156 本部分来选择适用于含 H₂S 环境的油气开采系统的材料时, 应考虑这些因素。

6. 含 H₂S 环境中耐蚀合金和其它合金关于 SSC, SCC 和 GHSC 的评定和选择

6.1 总则

应按照预定使用要求来选择抗 SSC, SCC 和/或 GHSC 的 CRAs 及其它合金。

CRAs 或其它合金符合 ISO 15156-3 要求, 意味着它们在规定环境使用限制内是抗开裂的。这些限制取决于材料类型或单一合金。

为了能评定和/或选择 CRAs 和其它合金, 可要求设备购买方向设备供应商提供有关设备预定暴露环境的资料。

在确定含 H₂S 环境的苛刻程度时, 还应考虑在系统运行失常或停工等期间可能发生的暴露。该暴露可能包括非缓冲的低 pH 凝结水。附录 A 中表格内给出的限制适用于开采环境, 同时不包含在化学品(这些化学品可降低原位 pH)注入或返排期间出现的环境。

应使用附录 A 或下列按照附录 B 成功的实验室试验评定来选择 CRAs 和其它合金。基于满意的现场经验的评定也是容许的。该评定应遵循 ISO 15156-1 的规定。

在附录 A 中, 用材料类别来表示材料。用材料类型(在成分的限制范围内)或单一合金来表示每一类别内的合金。并给出了要求抗开裂合金容许的冶金状态和环境限制, 及关于 H₂S 分压, 温度, 氯离子浓度和元素硫的环境限制。

对于在比附录 A 给出的环境限制更苛刻的运行环境中使用的 CRA 或其它合金, 可通过试验进行评定。对于在不同于附录 A 所给出的冶金状态(较高的强度, 变换了热处理等)下使用的 CRA 或其它合金, 同样地也可以用试验来评定。

按附录 B 进行的评定文件应符合 ISO 15156-1: 2015 第 9 条的要求。

设备使用者应对评定(见 B.2.2)进行核实并保留支持材料选择的文件。

6.2 材料性能的评定

6.2.1 母体金属的硬度

如果规定做母体金属的硬度测量, 就应做足够的硬度试验, 以确定被测的 CRA 或其它合金的实际硬度。如果几个读数的平均值很接近且不超过 ISO 15156-3 规定的允许值, 同时单个读数又不超过规定硬度值 2 个 HRC, 那么该单个 HRC 读数超过 ISO 15156-3 规定的允许值也可认为是合格的。该要求同样适用于 ISO 15156-3 规定的或参照的制造规范中的其它的硬度测量方法。

硬度读数标尺的相互转换取决于材料, 使用者可以建立所需要的转换表。

注: ISO 15156(所有部分)中没有规定母体金属硬度试验的数量和位置。

6.2.2 焊缝的抗开裂性能

6.2.2.1 总则

CRA 和其它合金在焊接时发生的冶金变化，可能影响它们对 SSC，SCC 和/或 GHSC 的敏感性。焊接接头可能比其被连接的母体金属具有更大的开裂敏感性。

设备使用者可允许焊件的开裂敏感性控制在生产系统的安全使用条件限制内。

宜按照成功的实践来选择焊接所使用的工艺和焊材，以获得要求的抗腐蚀性和抗开裂性。

焊接应按照供应商和购买方都同意的相关规范和标准进行。焊接工艺规范（WPSs）和工艺评定记录（PQRs）对设备使用者验收应是有用的。

焊接工艺评定记录（PQRs）应包括文件形式的证据，以证明在苛刻性至少和建议的应用一样的环境中，具有令人满意的抗开裂性能。该证据应以下列一条或多条为基础：

- 满足按照附录 A 对具体材料类别的要求和建议（6.2.2.2 和 6.2.2.3）；
- 按照附录 B 进行焊缝抗开裂评定试验；
- 仿照 ISO 15156-1 中对母体金属规定的现场经验的证明文件。

在附录 A 中给出的要求和建议可能不适合用来制造设备和部件的母体金属和焊接金属的所有组合，为确保焊件在应用时能显示出具有足够的抗 SSC，SCC 和 GHSC 性能，设备使用者可能需要成功的抗开裂试验的证据，作为焊接工艺评定的一部分。

6.2.2.2 按照附录 A，以硬度为基础的焊接工艺的评定

6.2.2.2.1 总则

如果在附录 A 中有规定，对于酸性环境的焊接工艺的评定应包括按照 6.2.2.2.2，

6.2.2.2.3 和 6.2.2.2.4 进行的硬度试验。

6.2.2.2.2 焊接工艺评定的硬度试验方法

焊接工艺评定中的硬度试验应按照 ISO 6507-1 规定的维氏 HV10 或 HV5 方法，或按照 ISO 6508-1 规定的洛氏 15N 方法进行。

注 在 ISO 15156 本部分条款的用途中，ASTM E384 等效于 ISO 6507-1，ASTM E18 等效于 ISO 6508-1。

使用其它的方法应有使用者的明确批准。

6.2.2.2.3 焊接工艺评定的硬度测量

对接焊缝，角焊缝，补焊焊缝和部分熔深焊缝的硬度测量应按 ISO 15156-2: 2015 的 7.3.3.3 所述进行。

6.2.2.2.4 焊缝硬度的验收准则

在附录 A 中给出的 CRAs 或其它合金的焊缝硬度验收准则适用于按附录 A 选用的所有合金。

也可用焊接试样成功的抗开裂试验来建立硬度验收准则，试验应按照附录 B 进行。

6.2.2.3 按照附录 A，用其它认验方法的焊接工艺评定

本条适合于采用其它试验方法来评定在附录 A 的材料类别中提供的为确保焊缝有足够的抗开裂性能的要求和建议。

6.2.3 与其它制造方法有关的抗开裂性能

对于易发生由焊接以外的制造方法引起的冶金变化的 CRAs 和其它合金，应把受制造影响的材料的抗开裂评定试验规定为制造工艺评定的一部分。

如果在气割和切割的成品中有任何 HAZ 残存，评定试验应被规定作为气割和切割工艺评定的一部分。

6.2.2 中的要求和验收准则应既适用于制造方法且又适用于气割/切割工艺的评定试验，6.2.2.2.3 提供了对制造方法或气割/切割工艺的硬度测量要求的相应说明。

用于评定和试验的试样的形状和取样位置应取得设备使用者的同意。

6.3 抗点蚀当量数 (PREN)

为确定与 ISO 15156 本部分要求的符合性，ISO 15156 本部分规定的所有 F_{PRHN} 极限值应视为 ASTM 规程 E29 中定义的绝对极限值。采用绝对方法，某一观测值或计算值将不进行圆整，但是将可以与规定极限值进行直接比较。以该比较为基础来判定是否符合本规范。

F_{PRHN} 计算是以实际成分质量分数为基础，而不是以名义成分质量分数为基础。名义成分仅用于通用分类。

PREN (F_{pren}) 应按给出的公式 (1) 计算：

$$F_{PRHN} = w_{Cr} + 3.3 (w_{Mo} + 0.5w_w) + 16w_N \quad (1)$$

其中

w_{Cr} 是合金中铬的质量分数，用总成分的质量百分数表示；

w_{Mo} 是合金中钼的质量分数，用总成分的质量百分数表示；

w_w 是合金中钨的质量分数，用总成分的质量百分数表示；

w_N 是合金中氮的质量分数，用总成分的质量百分数表示。

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 CRAs 在有溶解的氯化物和氧的环境中（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 油田环境中的抗腐蚀性能。

7. 购买信息和标记

7.1 提供购买材料的信息

7.1.1 为确保购买的材料符合 ISO 15156-1 和 ISO 15156-3 的要求，材料购买规范的制定可能需要设备使用者、设备供应商和材料制造商之间的合作和信息的交流。

7.1.2 应提供下列信息：

- 首选的材料类型和/或等级（如果已知）；
- 设备类型（如果已知）；
- ISO 15156 本部分的引用编号；
- 选择抗开裂材料的验收根据：见第 6 条。

7.1.3 设备使用者和设备供应商/材料制造商可商定采用适宜的评定试验来选择不同于附录 A 中所述的和/或所列出的 CRAs 和其它合金。

如果购买方想使用该协议，则在材料购买规范中应清楚地指出扩展范围和评定，附加的适当信息。这些信息包括：

- SSC, SCC 和/或 GHSC 试验的要求；见第 6 条和附录 B；
- 特定酸性环境应用的使用条件。

7.1.4 购买材料所需的信息应填入适当的数据表中。附录 C 中给出了建议的格式。

7.2 标记、标签和证明文件

在交货前符合 ISO 15156-3 的材料应做到可追溯，最好是用标记。适当的标签或证明文件也可接受。

对于按照附录 B 评定和选择的特定应用的材料，可追溯性还应包括关于特定应用的环境条件。

设备用户可要求设备或材料供应商提供按 ISO 15156-3 定义的设备或部件内所用材料以及其环境使用限制的证明文件。

附录 C 中的表格提供了可使用的标识。

附录 A

(规范性附录)

抗环境开裂的耐蚀合金 (CRAs) 和其它合金 (包括表 A.1—材料选择表使用指南)

A.1 总则

A.1.1 材料类别

用来列表的 CRAs 或其它合金 (见 6.1) 的材料类别如下:

- 奥氏体不锈钢 (定为材料类型和单一合金) (见 A.2);
- 高合金奥氏体不锈钢 (定为材料类型和单一合金) (见 A.3);
- 固溶镍基合金 (定为材料类型和单一合金) (见 A.4);
- 铁素体不锈钢 (定为材料类型) (见 A.5);
- 马氏体不锈钢 (定为单一合金) (见 A.6);
- 双相不锈钢 (定为材料类型) (见 A.7);
- 沉淀硬化不锈钢 (定为单一合金) (见 A.8);
- 沉淀硬化镍基合金 (定为单一合金) (见 A.9);
- 钴基合金 (定为单一合金) (见 A.10);
- 钛和钽合金 (定为单一合金) (见 A.11);
- 铜, 铝合金 (定为材料类型) (见 A.12)。

表 A.1 到 A.42 中所列的 CRAs 和其它合金, 只要满足下列 A.1.2, A.1.3, A.1.4 和 A.1.5 的要求, 不用进一步进行 SSC, SCC 和 GHSC 抗开裂试验, 就可以用于表内所限制的环境范围。

A.12 中包含有使用铜和铝合金的信息。

A.13 包含了使用镀层, 覆盖层和耐磨合金的建议。

注: 所列的材料和所给出的环境限制原先都被列于 NACE MR0175:2003 (不再适用) 中, 除了自 2003 年引入的无记名投票变化之外。

A.1.2 化学成分的限制

CRA 或其它合金的使用者应确保所用材料的化学分析满足 SAE—ASTM 统一编号系统中金属和合金提出的材料分析要求。

为遵照 ISO 15156-3, 材料还应满足正文中和/或它所属材料类别表中的任何规定。

A.1.3 抗开裂的环境和冶金限制

细款 A.2.2 到 A.11.2 包含材料的选择表, 该表列出了用于作任何设备或部件的材料的环境限制。这些细款还经常包含另一些材料的选择表, 该表列出了指定的设备或部件的材料不受严格限制的环境条件。

这些表列出了关于温度, p_{H_2S} 、 Cl^- 、 pH 、 S^0 的应用限制。这些限制都可共同应用。表中所用的 pH 相当于最小原位 pH 。

注 1: 本附录表中, 用于质量浓度的国际单位制单位为毫克每升; 在美国习惯使用的单位是用百万分之一 (ppm) 来表示。

注 2: ISO 15156-2:2015, 附录 C 给出了 p_{H_2S} 的计算指导。

注 3: ISO 15156-2: 2015, 附录 D 给出了 pH 的计算指导。

注 4: 材料选择表是在假设使用环境中无氧存在的条件下制定的。

在某一表格中可能无法对变量的具体限制做规定, 但在此表中包括了反映目前认识的解释性备注。

一种合金的环境限制只有当其在同一表的正文中给出的任何附加冶金限制内才有效。当材料需经回火时, 回火时间应充足, 以确保整个壁厚都达到要求的硬度。

购买材料时, 除了本附录中所列的具体的要求外, 还宜考虑已知的冶金性能对材料在含 H₂S 的油气环境中行为的影响。ISO 15156-1:2015, 第 8.1 条列出了这些性能。

A.1.4 焊接的要求和建议

为了使所生产的焊件能获得满意的抗开裂性能, 材料类别的条款中包含了对该类别焊接材料的要求和建议。

A.1.5 关于 CRAs 和其它合金的其它要求和建议

A.1.5.1 对覆盖层, 表面处理, 镀层, 防腐层, 内衬等的要求

有关覆盖层的成分、抗开裂性能和使用 (见 A.13)。

可采用金属镀层 (电镀的和非电镀的), 转化膜, 塑料覆盖层或衬里, 但不允许用于防止开裂。

应考虑它们的应用对基体抗开裂性能的影响。

如果在低于被测试合金的下临界温度的某一温度下执行渗氮，则最大硬化层深度为 0.15mm (0.006in) 的渗氮是一种可接受的表面处理。在酸性使用环境中，如使用渗氮来作为一种防止开裂的方式，这是不可接受的。

A.1.5.2 螺纹加工

采用机械切削工艺生产的螺纹是可接受的。

对于 CRAs 和其它合金，只要该材料和其它方面的应用限制都遵照 ISO 15156-3 的要求，那么经冷成形（轧制）生产的螺纹是可接受的。

A.1.5.3 表面冷形变

只要导致表面冷形变的工艺如抛光，其冷作效应不超过普通机械加工（如车削或镗孔、滚压、攻丝、钻孔等），就可被接受。

只要所使用的基体材料符合 ISO 15156-3 要求，且限制喷丸尺寸最大为 2.0mm(0.080in) 和 Almen 强度最大不超过 10C，那么由受控的喷丸硬化产生的冷形变是可接受的。应按照 SAE AMS2430 控制该工艺。

A.1.5.4 识别标识打印

允许使用低应力印记（点、震动的、弧形 V）的识别标识打印。

在低应力区，如法兰的外圆柱面，采用常用的尖锐 V 形印记是容许的。常用的尖锐 V 形印记不允许用于高应力区，除非设备使用者同意。

A.1.6 材料选择表的使用

表 A.1 为用于任何设备或部件材料选择表提供了使用指南。该表还为不太受环境和冶金范围限制的有具体名称的设备或部件可以使用附加的材料选择表提供了指南。

注：见 ISO 15156 本部分的引言内的注释，该注释与技术通函 ISO 15156-3:2009/Cir.2:2013 和技术通函 ISO 15156-3:2009/Cir.3:2014 的分类 F 相关。

A.2 奥氏体不锈钢（定为材料类型和单一合金）

A.2.1 材料分析

本材料类型的奥氏体不锈钢应包含下列的元素，并按下列比例质量分数表示：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%，并允许添加其它合金元素。

对含碳量较高的 UNS S30900 和 S31000，其含碳量在它们各自的技术规范范围内是可接受的。

列于表 D.1 中的合金能满足，但未必都满足以上要求。在某些情况下为满足本材料类别的要求，将需要更严格地限制化学成分。也可见 A.3.1。

常见工业做法是双重证实 300 系列不锈钢为标准等级和低碳等级，例如 S31600 (316) 和 S31603 (316L)。低碳 300 系列不锈钢给出的环境限制可适用于双重证实等级。

不应采用易切削奥氏体不锈钢产品。

表 A.1 以设备或部件类型为基础的附录 A 的材料选择表使用指南

设备或部件	各种材料类别的材料选择表格编号									
	奥氏体 不锈钢 (见 A.2)	高合金 奥氏体 不锈钢 (见 A.3)	固溶镍 基合金 (见 A.4)	铁素体 不锈钢 (见 A.5)	马氏体 不锈钢 (见 A.6)	双相不 锈钢 (见 A.7)	沉淀硬 化不锈 钢(见 A.8)	沉淀硬 化镍基 合金 (见 A.9)	钴基合 金(见 A.10)	钛和钽 合金 (见 A.11)
任何设备或部件	A.2	A.8	A.13 A.14	A.17	A.18	A.24	A.26	A.31 A.32 A.33	A.38	A.41 A.42
套管，油管和井下装置的附加材料选择表										
井下管件	—	A.9	—	—	A.19	A.25	—	—	—	—
封隔器和其它井下装置	—	A.9	—	—	A.20 A.21	A.25	A.27	—	—	—
气举设备	A.7	A.10	A.16	—	—	—	—	A.37	—	—
注入管和设备	A.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
井下控制管线和井下筛管	A.7	A.11	—	—	—	—	—	—	—	—
井口，采油树，阀门，节流器和液面控制器的附加材料选择表										
井口和采油树部件 (个别的可以例外)	—	—	A.13	—	A.23	—	A.27	A.34	—	—
阀门和节流器部件 (个别的可以例外)	—	—	—	—	A.23	—	A.27	A.34	—	—
轴、杆和销	A.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
不承压的内 阀，压力调节 器和液面控制 器部件	—	—	—	—	—	—	A.28	A.35	—	—
处理厂材料的附加选择表										
压缩机部件	A.6	—	—	—	A.22	—	A.30	—	—	—
其它设备材料附加选择表										
仪器和控制设备	A.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
仪表管材和连接压 紧管件装置， 地面控制管线和地 面筛网	A.4	A.11	—	—	—	—	—	—	—	—
弹簧	—	—	—	—	—	—	—	A.36	A.39	—
膜片，压力测 量设备和压力 密封件	—	—	—	—	—	—	—	—	A.40	—
密封环和垫片	A.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
开口环	—	—	—	—	—	—	A.29	—	—	—
轴承柱	—	—	A.15	—	—	—	—	—	—	—
作为表中指定的其它 设备[包括金属构件 (如定位螺钉等)，井 下和地面临时维修应 用]	A.7	—	A.16	—	—	—	A.28	A.35	—	—

A.2.2 奥氏体不锈钢使用的环境和材料限制

表 A.2 奥氏体不锈钢用作任何设备或部件的环境和材料限制

材料类型/ 单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, p _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否 抗元 素硫?	备注
A.2 中所述材 料类型的奥 氏体不锈钢 ^a	60 (140)	100 (15)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都可接受的。
	见备注列	见备注列	50	见备注列	否	这些材料在开采环境中的使用没有温度、p _{H₂S} 和原位 pH 限制。各个参数设置没有限制，但是这些参数值的一些组合可能是不能接受的。
S31603 ^b	60(140)	1000(145)	50000	≥4.5	NDS ^d	
	90(194)	1000(145)	1000	≥3.5	NDS ^d	
	90(194)	1000(145)	50000	≥4.5	NDS ^d	
	93(200)	10.2(1.5)	5000	≥5.0	NDS ^d	
	120(248)	100(14.5)	1000	≥3.5	NDS ^d	
	149(300)	10.2(1.5)	1000	≥4.0	NDS ^d	
S20910 ^c	66 (150)	100 (15)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。

应考虑这些奥氏体不锈钢的马氏体含量限制。

A.2 内所述的材料类别的所有奥氏体不锈钢的抗应力腐蚀开裂可能受到冷加工的不利影响。

^a 这些材料还应

- 是固溶退火加淬火，或退火加热稳定化热处理状态，
- 不许以冷加工来提高机械性能，和
- 最大硬度为 22 HRC。

^b 当在材料类别外加的限制之外的环境使用时（例如，在顶部两排内），但是在 S31603 特别给出的限制之内，UNS S31603 应为固溶退火和淬火状态。以下状态应适用：

- 材料在最终固溶退火和淬火处理之后，应无由于变形，成型，冷轧，拉伸，膨胀等导致的冷加工。
- 在最终固溶退火和淬火处理之后，机加工或矫直伴随产生的硬度和冷加工应不超过相应产品规范所规定的限制。

^c 当 UNS S20910 处于该材料类别规定的限制之内，且为退火或热轧（热加工/冷加工状态），最大硬度为 35HRC，则该合金是可接受的。

^d 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料（NDS）。

表 A.3 奥氏体不锈钢用作阀杆，销和轴的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素硫?	备注
S20910	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。

对于这些应用, 还应采用下列的材料限制。

— UNS20910 在冷加工状态下, 只要该冷加工是在固溶退火前进行, 最大硬度值为 35HRC 时, 可被采用。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料 (NDS)。

表 A.4 奥氏体不锈钢用作地面用控制管线, 仪表管子和压紧连接管件, 和地面筛网的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素硫?	备注
S31600	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	该材料已被用作这些部件, 用于没有温度, P _{H₂S} , Cl 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制, 但这些参数的某些数值的组合是不可接受的。

UNS S31600 不锈钢可用作压紧连接管件和仪表管子, 即使它可不满足表 A.2 中对任何设备或部件规定的要求。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.5 奥氏体不锈钢用作密封环和垫片的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素硫?	备注
J92600, J92900 S30400, S30403 S31600, S31603	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
<p>对于这些应用, 还应采用下列的材料限制。</p> <p>— 用离心浇铸的 J92600 或 J92900 材料制造的 API 压缩密封环和垫片, 在铸造或固溶退火状态下, 最大硬度应为 160HBW (83HRB)。</p> <p>— 用铸造的 S30400、S30403、S31600 或 S31603 材料制造的 API 压缩密封环和垫片, 在固溶退火状态下, 最大硬度应为 160HBW (83HRB)。</p> <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

表 A.6 奥氏体不锈钢用作压缩机和仪器测量和控制设备的环境和材料限制

材料类型	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗元 素硫?	备注
压缩机						
来自 A.2 中 所述材料类 型的奥氏体 不锈钢	见备注列	见备注列	见备注列	见备注 列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
仪器测量和控制设备 ^b						
来自 A.2 中 所述材料类 型的奥氏体 不锈钢	见备注列	见备注列	见备注列	见备注 列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件, 用于没有温度, P _{H₂S} , Cl 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制, 但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。
<p>对这些应用, 这些材料还应</p> <p>— 是固溶退火加淬火, 或退火加稳定化热处理状态,</p> <p>— 不许以冷加工来提高机械性能, 和</p> <p>— 最大硬度为 22 HRC。</p> <p>应考虑这些奥氏体不锈钢的马氏体含量限制。</p> <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p> <p>^b 仪器测量和控制设备包括但不限于膜片、压力测量设备和压力密封件。</p>						

表 A.7 奥氏体不锈钢用作气举设备和地下用特殊部件，如井下筛管，控制管线，金属构件（如定位螺钉等），注入管和注入设备的环境和材料限制

材料类型	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, p _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗元 素硫?	备注
来自 A.2 中 所述材料类 型的奥氏体 不锈钢	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作 这些部件，用于没有 温度、p _{H₂S} 、Cl 或原位 pH 限制的开采环境 中。虽然对单个参数 没有限制，但是这些 参数的某些数值的 组合是不可接受的。
^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。						

A.2.3 本材料类别奥氏体不锈钢的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用；见 6.2.2。

焊后 HAZ 的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊材的相应合金的最大硬度限制。

奥氏体不锈钢“L”形填充金属最大含碳量（质量分数）应为 0.03%。

如果补焊满足焊接工艺要求，焊件可被补焊。

A.3 高合金奥氏体不锈钢（定为材料类型和单一合金）

A.3.1 材料的化学成分

表 D.2 中列出了本类型的某些合金的化学成分，这些化学成分能满足表 A.8 和表 A.9 的正文中所示的有关分析要求。然而，在某些情形下，要求产品化学分析的限制范围比表 D.2 中的规定更严。

表 D.2 中包括的不能满足表 A.8 和表 A.9 中化学分析限定范围要求的奥氏体不锈钢，但它们满足 A.2.1 的要求，可考虑作为材料类别 A.2 的一部分。

不应采用易切削高合金奥氏体不锈钢。

A.3.2 高合金奥氏体不锈钢使用的环境和材料限制

表 A.8 高合金奥氏体不锈钢用作任何设备或部件的环境和材料限制

材料类型/ 单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
材料类型 3a 和 3b 和 J93254	60 (140)	100 (15)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	否	这些材料已被用于没有温度、P _{H₂S} 、Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制，但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。
材料类型 3b	121 (250)	700 (100)	5000	见备注列	否	开采环境中的原位 pH 值是可接受的。
	149 (300)	310 (45)	5000	见备注列	否	
	171 (340)	100 (15)	5000	见备注列	否	
N08926	121 (250)	700 (100)	65000	≥3.5, 也见备注列	否	从实验室试验环境中测定的 pH。 UNS N08926 是材料类型 3b, 其试验用的氯化物浓度范围比整个材料类型所用的浓度都高。
J95370	150 (302)	700	101000	见备注列	否	开采环境中的原位 pH 值是可接受的。
<p>这些材料还应满足下列的要求。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 材料类型 3a 应为 (w_{Ni}+2w_{Mo}) >30 (此处 w_{Mo} 的最小值为 2%) 的高合金奥氏体不锈钢, 符号 w 表示用下标所示元素的质量百分数。 — 材料类型 3b 应为 F_{PREN}>40.0 的高合金奥氏体不锈钢。 — 材料类型 3a 和 3b (包括 N08926) 应为固溶退火状态。 — 按照 ASTM A351, ASTM A743 或 ASTM A744 要求的 UNS J93254 (Ck3MCuN, 254SMO 铸件) 铸件应为铸造态, 固溶热处理和水淬状态, 且最大硬度应为 100HRB。 — UNS J95370 应为固溶热处理和水淬状态, 且最大硬度应为 94HRB。 						

表 A.9 高合金奥氏体不锈钢用作井下管件, 封隔器和其它井下装置的环境和材料限制

材料类型/ 单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
材料类型 3a 和 3b	60 (140)	100 (15)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
材料类型 3a	60 (140)	350 (50)	<50	见备注列	否	开采环境中的原位 pH 值是可接受的。
材料类型 3b	121 (250)	700 (100)	5000	见备注列	否	
	149 (300)	310 (45)	5000	见备注列	否	
	171 (340)	100 (15)	5000	见备注列	否	
N08926	121 (250)	700 (100)	65000	≥3.5, 也见 备注列	否	从实验室试验环境中测定的 pH。 UNS N08926 是材料类型 3b, 其试验用的氯化物浓度范围比整个材料类型所用的浓度都高。

对于这些应用, 这些材料还应满足下列的要求。

— 用作井下管件的高合金奥氏体不锈钢至少应含有这些元素, 用质量分数表示: C 最大值为 0.08%, Cr 最小值为 16%, Ni 最小值为 8%, P 最大值为 0.03%, S 最大值为 0.030%, Mn 最大值为 2%, Si 最大值为 0.5%, 允许添加其它合金元素。

— 材料类型 3a 应为 ($w_{Ni}+2w_{Mo}$) >30 (此处 w_{Mo} 最小值为 2%) 的高合金奥氏体不锈钢。

— 材料类型 3b 应为 $F_{PREN}>40.0$ 的高合金奥氏体不锈钢,

以上所有合金应为固溶-退火和冷加工状态, 最大硬度为 35 HRC。

表 A.10 高合金奥氏体不锈钢用作气举设备的环境和材料限制

材料类型	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
来自 A.3 中 所述材料类 别的高合金 奥氏体不锈 钢	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件, 用于没有温度、P _{H₂S} , Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制, 但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.11 高合金奥氏体不锈钢用作仪表管子，控制管线，连接压紧管件和地面及井下过滤设备的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
材料类型 3a 和 3b	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件，用于没有温度、P _{H₂S} 、Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制，但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。
N08904	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度，P _{H₂S} 、氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
<p>材料类型 3a 应为 (w_{Ni}+2w_{Mo}) >30 (此处 w_{Mo} 的最小值为 2%) 的高合金奥氏体不锈钢，符号 w 表示用下标所示元素的质量百分数。</p> <p>材料类型 3b 应为 F_{PREN}>40.0 的高合金奥氏体不锈钢。</p> <p>用于仪表管子的 N08904 锻件应为退火状态，且最大硬度为 180HV10。</p>						
<p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

A.3.3 本材料类别高合金奥氏体不锈钢的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用；见 6.2.2。

焊后 HAZ 的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊材的相应合金的最大硬度限制。

如果补焊满足焊接工艺要求，焊件可被补焊。

A.4 固溶镍基合金（定为材料类型和单一合金）

A.4.1 材料的化学成分

表 A.12 列出了本材料类别的分类，共分为 4a, 4b, 4c, 4d, 4e 类型，其使用见表 A.13 和表 A.14。

表 D.4 包含了本类别的某些铜-镍合金的化学成分。

表 A.12 固溶镍基合金的材料类型

材料类型	Cr 质量分数 最小值 %	Ni+Co 质量分数 最小值 %	Mo 质量分数 最小值 %	Mo+W 质量分数 最小值 %	冶金状态
4a 类型	19.0	29.5	2.5	—	固溶退火或退火
4b 类型	14.5	52	12	—	固溶退火或退火
4c 类型	19.5	29.5	2.5	—	固溶退火或退火 加冷加工
4d 类型	19.0	45	—	6	固溶退火或退火 加冷加工
4e 类型	14.5	52	12	—	固溶退火或退火 加冷加工
4f 类型 ^a	20.0	58	15.5	—	a) 固溶退火或退火 加冷加工 b) 固溶退火或退火 加冷加工+时效 状态

表 D.3 列出的某些合金的化学成分能满足这些类型中的一种或多种的限制，但不是必需的。在某些情形下，将需要比表 D.3 所示的更为严格地限制化学成分。

^a4f 类型族目前仅限制有 UNS N07022。

A.4.2 固溶镍基合金使用的环境和材料限制

表 A.13 退火态固溶镍基合金用作任何设备或部件的环境和材料限制

材料类型/ 单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
4a 和 4b 类型 的退火态合金	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的温度， P _{H2S} ，氯化物浓度和原 位 pH 的任何组合都是 可接受的。
N04400 N04405	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	

由 4a 和 4b 类型合金制造的这些经锻造或铸造的固溶镍基产品应为固溶退火或退火状态。

UNS N04400 和 UNS N04405 的最大硬度应为 35 HRC。

井口和采油树部件还应满足 ISO 10423 的规定。

^a没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.14 退火加冷加工的固溶镍基合金用作任何设备或部件的环境和材料限制^a

材料类型	温度 最大 值 °C (°F)	H ₂ S 分压, p _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
4c, 4d 和 4e 类型的 冷加工合 金	232 (450)	200 (30)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
	218 (425)	700 (100)	见备注列	见备注列	否	
	204 (400)	1000 (150)	见备注列	见备注列	否	
	177 (350)	1400 (200)	见备注列	见备注列	否	
	132 (270)	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的硫化氢, 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
4d 和 4e 类型 的冷加工合 金	218 (425)	2000 (300)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
	149 (300)	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的硫化氢, 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
4e 类型的冷 加工合金	232 (450)	7000 (100)	见备注列	见备注列	是	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
	204 (400)	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的硫化氢, 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
4f 类型的冷 加工合金	204 (400)	3500 (500)	180000	见备注列	是	pCO ₂ +pH ₂ S≤7000kpa (1000psi) 时, 任何原位开采环境 pH 是可接受的。
	288 (550)	7000 (100)	180000	见备注列	NDS ^b	pCO ₂ 使得: 当 pH ₂ S≤3000kPa (4500psi) 时; pCO ₂ +pH ₂ S≤10000kPa (1450psi)。 当 pH ₂ S 为 300~70000kpa 时:。 pCO ₂ ≤7000kPa (1000psi)。 任何原位开采环境 pH 是可接受的。

表 A.14 (续)

在这些应用中，经锻造或铸造的固溶镍基产品应为退火加冷加工状态，或退火加冷加工+时效状态（适用于 4f 类型）并且应满足下列适用要求。

- 1) 这些应用中，4c、4d 和 4e 类型合金的最大硬度值应为 40HRC。
- 2) 合金通过冷加工后获得的最大屈服强度应为：
 - 4c 类型：1034MPa (150ksi)；
 - 4d 类型：1034MPa (150ksi)；
 - 4e 类型：1240MPa (180ksi)；
- 3) 当在 121℃ (250°F) 的最低温度下使用时，UNS N10276(4e 类型)的最大硬度应为 45HRC。
- 4) 退火加冷加工状态的 UNS N07022(4f 类型)的最大硬度应为 43 HRC，最大屈服强度为 1413MPa(205ksi)。
- 5) 退火加冷加工+时效状态的 UNS N07022 (4f 类型)的最大硬度应为 47 HRC，最大屈服强度为 1420MPa (206ksi)。

^a 本表中的材料类型 4c、4d 和 4e 的应用限制是重叠的。

^b 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.15 镍基合金用作轴承柱的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N10276	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度，P _{H₂S} ，氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
N10276 轴承柱，如芯部滚柱应为冷加工状态，最大硬度为 45HRC。						
^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。						

表 A.16 镍基合金用作气举设备和用于临时维修的井下起下，座封和维修工具的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N04400 N04405	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件，用于没有温度、P _{H2S} 、Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制，但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。
^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。						

A.4.3 本材料类别的固溶镍基合金的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用（见 6.2.2）。

焊后 HAZ 的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊材的相应合金的最大硬度限制。

用固溶镍基焊材焊接固溶镍基合金时，没有硬度要求。

A.5 铁素体不锈钢（定为材料类型）

A.5.1 材料的化学成分

表 D.5 列出了本类型的某些合金的化学成分。

A.5.2 铁素体不锈钢使用的环境和材料限制

表 A.17 铁素体不锈钢用作任何设备或部件的环境和材料限制

材料类型	温度 最大 值 °C (°F)	H ₂ S 分压, p _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
来自 A.5 中 所述材料类 型的铁素体 不锈钢	见备注列	10 (1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	具有 p _{H2S} 和pH 限制, 这 些材料已被用于没有温 度或氯化物浓度限制的 开采环境中。虽然对这 两个参数没有限制, 但 是它们的某些数值的组 合是不可接受的。
这些材料应为退火状态并且最大硬度应为 22HRC。						
^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。						

A.5.3 本材料类别铁素体不锈钢的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用（见 6.2.2）。

应进行焊接评定的硬度试验, 最大硬度应为 250HV 或被允许的不同硬度试验方法的等效值。

A.6 马氏体（不锈）钢（定为单一合金）

A.6.1 材料的化学成分

表 D.6 列出了表 A.18~A.23 中所示的马氏体钢合金的化学成分。

不应采用易切削马氏体不锈钢。

A.6.2 马氏体不锈钢使用的环境和材料限制

表 A.18 马氏体不锈钢用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
S41000 S41500 S42000 J91150 J91151 J91540 S42400	见备注列	10(1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	开采环境中的温度和氯化物浓度的任何组合都是可接受的。
NS41425	见备注列	10(1.5)	见备注列	≥3.5	否	
<p>这些材料还应满足下列要求。</p> <p>a) 合金 UNS S41000, J91150 (CA15) 和 J91151 (CA15M) 的铸件或锻件, 最大硬度应为 22HRC, 并且应是</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 奥氏体化加淬火或空冷, 2) 在不低于 621℃ (1150°F) 下回火, 随后冷却到环境温度, 且 3) 在不低于 621℃ (1150°F) 下回火, 但要比第一次回火温度低, 随后冷却到环境温度。 <p>b) 低碳马氏体不锈钢, J91540 (CA6NM) 铸件或 S42400 或 S41500 (F6MN) 锻件的最大硬度应为 23HRC, 并且应是</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 在不低于 1010℃ (1850°F) 下奥氏体化, 随后用空气或油淬火至环境温度, 2) 在 649℃ 至 691℃ (1200°F 至 1275°F) 下回火, 随后空气冷却至环境温度, 且 3) 在 593℃ 至 621℃ (1100°F 至 1150°F) 下回火, 随后空气冷却至环境温度。 <p>c) 合金 UNS S42000 铸件或锻件最大硬度应为 22HRC, 且应为淬火加回火热处理状态。</p> <p>d) 低碳马氏体不锈钢 UNS S41425 锻件在奥氏体化、淬火加回火状态下, 最大硬度应为 28HRC。</p>						
<p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

表 A.19 马氏体不锈钢用作井下管件, 封隔器和其它井下装置的环境和材料限制

规范/ 单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
ISO 11960L-80类 型 13Cr, S41426, S42500	见备注列	10(1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	开采环境中的温度和氯化物浓度的任何组合都是可接受的。
S41429	见备注列	10(1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	

对于这些应用, 这些材料还应满足下列要求。

a) UNS S41426 管件应经淬火加回火至最大硬度为 27HRC 和最大屈服强度为 724MPa (105ksi)。

b) UNS S42500 (15Cr) 在淬火加二次回火状态下, 最大硬度为 22HRC 时, 仅作为 80 级油管和套管[SMYS 556MPa (80ksi)]使用是可接受的。淬火加二次回火工艺应为如下所述:

- 1) 在不低于 900℃ (1652°F) 下奥氏体化, 然后空气或油淬;
- 2) 在不低于 730℃ (1346°F) 下第一次回火, 随后冷却至环境温度; 和
- 3) 在不低于 620℃ (1148°F) 下第二次回火, 随后冷却至环境温度。

c) UNS S41429 管件应进行淬火和回火或正火和回火, 使得最大硬度为 27 HRC, 最大屈服强度为 827MPa(120ksi)。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.20 马氏体合金钢用作井下装置的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
K90941	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用于没有温度、P _{H₂S} 、氯化物浓度或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制, 但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。

对于这些应用, UNS K90941 (符合 ASTM A 276 9 级, ASTM A182/A182M F9 级或 ASTM A213/A213M T9 级的马氏体 9Cr1Mo) 最大硬度应为 22HRC。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.21 马氏体合金钢用作封隔器和井下装置的环境和材料限制

合金规范	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
AISI 420 (改进的)	见备注列	10(1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	开采环境中的温度和氯化物浓度的任何组合都是可接受的。
S41427	见备注列	10(1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	开采环境中的温度是可接受的。

对于这些应用, AISI 420 (改进的) 化学成分应按 ISO 11960 L-80 级, 13Cr 型的要求, 且应淬火加回火至最大硬度 22HRC。

UNS S41427 最大硬度应为 29HRC, 并且应按下列三步骤工艺进行热处理:

a) 在 900 至 980℃ (1652 至 1796°F) 奥氏体化, 随后空气或油淬至环境温度。

b) 在 600 至 700℃ (1112 至 1292°F) 下回火, 随后空气冷却至环境温度。

c) 在 540 至 620℃ (1004 至 1148°F) 下回火, 随后空气冷却至环境温度。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.22 马氏体不锈钢用作压缩机部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
S41000 S41500 S42400 J91150 J91151 J91540	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。

对于这些应用, 这些材料还应满足下列要求:

a) 如果用作压缩机部件, 合金 UNS S41000, J91150 (CA15) 和 J91151 (CA15M) 的铸件或锻件, 最大硬度应为 22HRC, 并且应是

- 1) 奥氏体化加淬火或空冷,
- 2) 在不低于 621℃ (1150°F) 下回火, 随后冷却到环境温度, 且
- 3) 在不低于 621℃ (1150°F) 下回火, 但要比第一次回火温度低, 随后冷却到环境温度。

b) 低碳马氏体不锈钢 J91540 (CA6NM) 铸件或 S42400 或 S41500 (F6MN) 锻件最大硬度应为 23HRC, 并且应

- 1) 在不低于 1010℃ (1850°F) 下奥氏体化, 随后用空气或油淬火至环境温度,
- 2) 在 649℃ 至 691℃ (1200°F 至 1275°F) 下回火, 随后空气冷却至环境温度, 且
- 3) 在 593℃ 至 621℃ (1100°F 至 1150°F) 下回火, 随后空气冷却至环境温度。

c) 如果用于叶轮, 合金 UNS S41000, J91150 (CA15) 和 J91151 (CA15M) 的铸件或锻件, J91540 (CA6NM) 铸件和 S42400 或 S41500 (F6MN) 锻件在预期的使用环境中, 应显示出阈值应力≥95%实际屈服强度。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

**表 A.23 马氏体不锈钢用作井口和采油树部件，阀门和节流器部件
(不包括油管和套管悬挂器和阀杆)的环境和材料限制**

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (F)	H ₂ S 分压, p _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
S41000 S41500 S42000 J91150 J91151 J91540 S42400	见备注列	见备注列	见备注列	≥3.5	NDS ^a	具有原位 pH 限制, 这些材料已被用于没有温度, p _{H2S} 或 Cl 限制的开采环境中。虽然对这三个参数没有限制, 但是它们的某些数值的组合是不可接受的。

对于这些应用, 这些材料还应满足下列要求。

a) 合金 UNS S41000, J91150 (CA15) 和 J91151 (CA15M) 的铸件或锻件最大硬度应为 22HRC, 并且应是

- 1) 奥氏体化加淬火或空冷,
- 2) 在不低于 620℃ (1150°F) 下回火, 随后冷却到环境温度, 且
- 3) 在不低于 620℃ (1150°F) 下回火, 但要比第一次回火温度低, 随后冷却到环境温度。

b) 低碳马氏体不锈钢, J91540 (CA6NM) 铸件或 S42400 或 S41500 (F6MN) 锻件应最大硬度为 23HRC, 并且应是

- 1) 在不低于 1010℃ (1850°F) 下奥氏体化, 随后用空气或油淬火至环境温度;
- 2) 在 648℃ 至 690℃ (1200°F 至 1275°F) 间回火, 随后空气冷却至环境温度; 且
- 3) 在 593℃ 至 620℃ (1100°F 至 1150°F) 间回火, 随后空气冷却至环境温度。

c) 合金 UNS S42000 铸件或锻件最大硬度应为 22HRC, 且应为淬火加回火热处理状态。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

A.6.3 本材料类别马氏体不锈钢的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用 (见 6.2.2)。

焊后 HAZ 的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度, 并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊材的相应合金的最大硬度限制。

用标称匹配焊材焊接的马氏体不锈钢应满足下列要求。

马氏体不锈钢焊件应在不低于 621℃ (1150°F) 进行 PWHT, 且应遵照 6.2.2.2 的要求。

低碳马氏体不锈钢焊件[J91540 (CA6NM) 铸件或 S42400 或 S41500 (F6MN) 锻件]应先冷却到 25℃ (77°F) 后, 再按下面所述进行单或双循环 PWHT。

— 单循环 PWHT 应在 580 至 621℃ (1075 至 1150°F) 下进行。

— 双循环 PWHT 应在 671 至 691℃ (1240 至 1275°F) 下进行, 然后冷却到 (77°F) 或更低温度, 再加热到 580 至 621℃ (1075 至 1150°F)。

A.7 双相不锈钢 (定为材料类型)

A.7.1 材料的化学成分

表 D.7 列出了某些双相不锈钢合金的化学成分, 这些合金能满足, 但未必都满足本材料类别的限制。在某些情形下, 限制化学成分需要比表 D.7 中所列出的更为严格。

A.7.2 双相不锈钢使用的环境和材料限制

表 A.24 双相不锈钢用作任何设备或部件的环境和材料限制

材料类型/ 单一合金 UNS 编号	温度 最大 值 °C (°F)	H ₂ S 分压, p _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
30 ≤ F _{PREN} ≤ 40.0, Mo ≥ 1.5%	232 (450)	10 (1.5)	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
S3180 (HIP)	232 (450)	10 (1.5)	见备注列	见备注列	否	
40.0 < F _{PREN} ≤ 45	232 (450)	20 (3)	见备注列	见备注列	NDS ^a	
30 ≤ F _{PREN} ≤ 40.0 , Mo ≥ 1.5%	见备注列	见备注列	50	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用于没有温度、p _{H2S} 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制, 但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。
40.0 < F _{PREN} ≤ 45	见备注列	见备注列		见备注列	NDS ^a	

双相不锈钢的锻件和铸件应是

- 固溶退火加液体淬火或其它方法进行快速冷却^b;
- 铁素体含量 (体积百分数) 在 35% 至 65% 之间; 且
- 不进行时效热处理。

热等静压生产 (HIP)⁽¹⁵⁾ 的双相不锈钢 UNS S31803 (30 ≤ F_{PREN} ≤ 40.0, Mo ≥ 1.5%) 最大硬度应为 25HRC 且应是

- 固溶退火加水淬状态,
- 铁素体含量 (体积百分数) 在 35% 至 65% 之间;
- 不进行时效热处理。

注: F_{PREN} 值越高, 抗蚀能力就越高, 但是, 在制造期间 F_{PREN} 也会使材料的铁素体相中形成 σ 和 α 基本相的危险增加, 这取决于产品厚度和可达到的淬火速率, 标出的 F_{PREN} 范围象征着已找到使形成 σ 和 α 进本相的危险降至最低程度。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

^b 一个快速冷却速率是指一个足够快地避免形成有害相, 例如 σ 相和沉淀物。有害相的存在可减少双相不锈钢的抗开裂性能。

表 A.25 双相不锈钢用作井下管件，封隔器和其它井下装置的环境和材料限制

材料类型	温度 最大 值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, p _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
30≤F _{PREN} ≤40.0, Mo≥1.5%	见备注列	2 (0.3)	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度，氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
40.0<F _{PREN} ≤45	见备注列	20 (3)	120000	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。已发现氯化物浓度的限制强烈依赖于屈服强度和冷加工水平。

对于这些应用，这些材料应是

- 固溶退火，液体淬火和冷加工状态，
- 铁素体含量（体积百分数）在 35%至 65%之间；且
- 最大硬度为 36HRC。

注：F_{PREN} 值越高，抗蚀能力就越高，但是，在制造期间 F_{PREN} 也会使材料的铁素体相中形成 σ 和 α 基本相的危险增加，这取决于产品厚度和可达到的淬火速率，标出的 F_{PREN} 范围象征着已找到使形成 σ 和 α 进本相的危险降至最低程度。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

A.7.3 本材料类别双相不锈钢的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用（见 6.2.2）。

焊后 HAZ 的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊材的相应合金的最大硬度限制。

焊缝金属，HAZ 和基体金属的横截面应作为焊接工艺评定的部分进行检验。显微组织应经适当的浸蚀并放大 400 倍做检查，且在晶粒边界应没有连续的沉淀物。金属相间的氮化物和碳化物应不超过总量的 1.0%。σ 相不应超过 0.5%。应按 ASTM E562 的要求测定焊缝金属根部和不再加热的盖面焊道的铁素体含量，且应是在 30%至 70%体积百分数的范围内。

A.8 沉淀硬化不锈钢（定为单一合金）

A.8.1 材料的化学成分

表 D.8 列出了 A.8.2 各表中所示的沉淀硬化不锈钢的化学成分。奥氏体沉淀硬化不锈钢列于表 A.26。马氏体沉淀硬化不锈钢列于表 A.27~表 A.30。

A.8.2 沉淀硬化不锈钢使用的环境和材料限制

表 A.26 奥氏体沉淀硬化不锈钢用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ^{°C} (^{°F})	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
S66286	65 (150)	100 (15)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
UNS S66286 最大硬度应为 35HRC 且应为固溶退火加时效状态或固溶退火加双时效状态。						

表 A.27 马氏体沉淀硬化不锈钢用作井口和采油树部件（壳体和阀盖除外），阀门和节流器（壳体和阀盖除外），封隔器和其它井下装置的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ^{°C} (^{°F})	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
UNS S17400	见备注列	3.4 (0.5)	见备注列	≥4.5	NDS ^a	开采环境中的温度和氯化物浓度的任何组合都是可接受的。
UNS S45000	见备注列	10 (1.5)	见备注列	≥3.5	NDS ^a	
对于这些应用，这些材料还应遵照下列要求。						
a) UNS S17400 沉淀硬化马氏体不锈钢锻件最大硬度应为 33HRC，且应按照下列的 1) 或 2) 进行热处理：						
1) 在 620°C (1150°F) 下的双时效硬化工艺						
— 在 (1040°C±14) °C [(1900±25) °F] 下固溶退火，然后空冷或液体淬火至 32°C (90°F) 以下；						
— 在 (620±14) °C [(1150±25) °F] 下第一次沉淀硬化循环，在此温度下至少 4 小时，随后空冷或液体淬火至 32°C (90°F) 以下；且						
— 在 (620±14) °C [(1150±25) °F] 下第二次沉淀硬化循环，在此温度下至少 4 小时，随后空冷或液体淬火至 32°C (90°F) 以下。						
2) 改进的双时效硬化工艺						
— 在 (1040°C±14) °C [(1900±25) °F] 下固溶退火，随后空冷或液体淬火至 32°C (90°F) 以下；						
— 在 (760±14) °C [(1400±25) °F] 下第一次沉淀硬化循环，在此温度下至少 2 小时，随后空冷或液体淬火至 32°C (90°F) 以下；且						
— 在 (620±14) °C [(1150±25) °F] 下第二次沉淀硬化循环，往此温度下至少 4 小时，随后空冷或液体淬火至 32°C (90°F) 以下。						
b) UNS S45000 改进马氏体沉淀硬化不锈钢锻件最大硬度应为 31HRC（相当于该合金的 306HBW），且应按下列二步热处理工艺进行热处理：						
1) 固溶退火；						
2) 在 (620±8) °C [(1150±15) °F] 沉淀硬化，并在此温度下至少 4 小时。						
^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。						

表 A.28 马氏体沉淀硬化不锈钢用作不承压的内阀，压力调节器和液面控制器部件和其它设备的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
不承压的内阀，压力调节器和液面控制器部件						
CB7CU-1 CB7CU-2	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件，用于没有温度，P _{H₂S} ，Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制，但这些参数的某些数值的组合是不被允许的。
S17400 S15500	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	
S45000	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	
其它设备						
S17400	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	在工作状态下所受应力低于 60%最小额定屈服强度时，该合金已被用作地面维修工具和供临时钻井及井下维修的设备。尚未建立该合金在这方面应用的环境限制。
<p>对于这些应用，这些材料还应满足下列要求。</p> <p>a) CB7Cu-1 和 CB7Cu-2 铸件应按照 ASTM A747/A747M，为 H1150DBL 状态且最大硬度应为 30HRC。</p> <p>b) UNS S17400 和 S15500 沉淀硬化马氏体不锈钢锻件最大硬度应为 33HRC，且应按照下列 1) 或 2) 进行热处理：</p> <p>1) 在 620℃ (1150°F) 下的双时效硬化工艺</p> <p>— 在 (1040±14)℃ [(1900±25)°F] 下固溶退火，然后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下；</p> <p>— 在 (620±14)℃ [(1150±25)°F] 下第一次沉淀硬化循环，在此温度下至少 4 小时，随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下；且</p> <p>— 在 (620±14)℃ [(1150±25)°F] 下第二次沉淀硬化循环，在此温度下至少 4 小时，随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下。</p> <p>2) 改进的双时效硬化工艺：</p> <p>— 在 (1040±14)℃ [(1900±25)°F] 下固溶退火，随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下；</p> <p>— 在 (760±14)℃ [(1400±25)°F] 下第一次沉淀硬化循环，在此温度下至少 2 小时，随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下；且</p> <p>— 在 (620±14)℃ [(1150±25)°F] 下第二次沉淀硬化循环，往此温度下至少 4 小时，随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下。</p> <p>c) 对于 UNS S17400，宜考虑铁素体含量的限制。</p> <p>d) UNS S45000 改进马氏体沉淀硬化不锈钢锻件最大硬度应为 31HRC (相当于该合金的 306HBW)，且应按下列二步热处理工艺进行热处理：</p> <p>— 固溶退火；</p> <p>— 在 (621±8)℃ [(1150±15)°F] 沉淀硬化，并在此温度下至少 4 小时。</p> <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

表 A.29 马氏体沉淀硬化不锈钢用作开口环的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
S15700	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , Cl ⁻ 和原位 pH 的任 何组合都是可接受的。

对于这些应用,对原本为 RH950 固溶退火加时效状态的 UNS S15700 开口环,还应采用下列三步工艺进一步进行热处理,使其硬度在 30HRC 至 32HRC 之间。

- a) 在 620℃ (1150°F) 下回火,在该温度下 4 小时 15 分钟,随后在静止的空气中冷却到室温。
- b) 在 620℃ (1150°F) 下再次回火,在该温度下 4 小时 15 分钟,随后在静止的空气中冷却到室温,
- c) 在 560℃ (1050°F) 下回火,在该温度下 4 小时 15 分钟,随后在静止的空气中冷却到室温。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.30 马氏体沉淀硬化不锈钢用作压缩机部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
S17400 S15500	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , Cl ⁻ 和原位 pH 的任 何组合都是可接受的。
S45000	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , Cl ⁻ 和原位 pH 的任 何组合都是可接受的。

对于这些应用, 这些材料还应满足下列要求。

a) UNS S17400 和 S15500 沉淀硬化马氏体不锈钢锻件最大硬度应为 33HRC, 且应按照下列的 1) 或 2) 进行热处理:

1) 在 620℃ (1150°F) 下的双时效硬化工艺

— 在 (1040±14)℃ [(1900±25)°F] 下固溶退火, 随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下;

— 在 (620±14)℃ [(1150±25)°F] 下第一次沉淀硬化循环, 在此温度下至少 4 小时, 随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下; 且

— 在 (620±14)℃ [(1150±25)°F] 下第二次沉淀硬化循环, 在此温度下至少 4 小时, 随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下。

2) 改进的双时效硬化工艺

— 在 (1040±14)℃ [(1900±25)°F] 下固溶退火, 随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下;

— 在 (760±14)℃ [(1400±25)°F] 下第一次沉淀硬化循环, 在此温度下至少 2 小时, 随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下; 且

— 在 (620±14)℃ [(1150±25)°F] 下第二次沉淀硬化循环, 往此温度下至少 4 小时, 随后空冷或液体淬火至 32℃ (90°F) 以下。

b) 对 UNS S17400, 应考虑其铁素体含量限制。

c) 在较高硬度 (强度) 水平时, 用作叶轮的这些合金应按照附录 B 进行至少 95%AYS 应力等级试验。

d) UNS S45000 钼改进马氏体沉淀硬化不锈钢锻件最大硬度应为 31HRC (相当于该合金的 306HBW), 且应按下列二步热处理工艺进行热处理:

1) 固溶退火;

2) 在 (620±8)℃ [(1150±15)°F] 沉淀硬化, 并在此温度下至少 4 小时。

e) 用作叶轮的 UNS S17400 或 S15500 在硬度>33HRC 时, 在预期的使用环境中显示出的阈值应力应 ≥95%AYS, 见 B.3.4。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

A.8.3 本材料类别沉淀硬化不锈钢的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用（见 6.2.2）。

焊后基体金属的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度，并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊接合金的相应金属的最大硬度限制。

A.9 沉淀硬化镍基合金（定为单一合金）

A.9.1 材料的化学成分

表 D.9 列出了表 A.31~A.37 中所示的沉淀硬化镍基合金的化学成分。

A.9.2 沉淀硬化镍基合金使用的环境和材料限制

表 A.31~表 A.33 给出了供任何设备或部件使用的环境和材料的限制，并按沉淀硬化镍基合金的应用将其分成相应的 I、II 和 III 组。

表 A.31 沉淀硬化镍基合金 (I) 用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N07031, N07048, N07773 和 N09777 (锻件) N07718 (铸件) N09925 (铸件)	232 (450)	200 (30)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
	204 (400)	1400 (200)	见备注列	见备注列	否	
	149 (300)	2700 (400)	见备注列	见备注列	否	
N07031, N07048, N07773 和 N09777 (锻件)	135 (275)	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的硫化氢, 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
N09925 (铸件)	135 (275)	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	
N07718 (铸件)	135 (275)	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	
N07924 (锻件)	175 (347)	3500 (500)	121300	≥3.5, 也见备注列	否	实验室试验环境下测定的 pH。

这些材料还应满足下列要求。

a) UNSN07031 锻件应为下列状态中的任一种；

1) 固溶退火至最大硬度为 35HRC；

2) 固溶退火和 760℃ 至 871℃ (1400 至 1600°F) 温度下时效不超过 4 小时，最大硬度为 40HRC。

b) UNS N07048 锻件，UNS N07773 锻件和 UNS N09777 锻件应为固溶退火加时效状态，最大硬度应为 40HRC。

c) UNS N07924 锻件应为固溶退火加时效状态，最大硬度为 35HRC。

d) UNS N09925 铸件应为固溶退火加时效状态，最大硬度为 35HRC。

e) UNS N07718 铸件应为固溶退火加时效状态，最大硬度为 40HRC。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.32 沉淀硬化镍基合金（II）用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大 值 °C (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N07718 N09925	232 (450)	200 (30)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
	204 (400)	1400 (200)	见备注列	见备注列	否	
	199 (390)	2300 (330)	见备注列	见备注列	否	
	191 (375)	2500 (360)	见备注列	见备注列	否	
	149 (300)	2800 (400)	见备注列	见备注列	否	
	135 (275)	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的硫化氢, 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
N09925 (锻件, 固溶退火加时效)	205 (401)	3500 (500)	180000	见备注列	NDS ^a	pCO ₂ +pH ₂ S≤7000kpa (1000psi) 时, 任何原位开采环境 pH 是可接受的。
N09935	232 (450)	2800 (400)	180000	见备注列	NDS ^a	pCO ₂ +pH ₂ S≤8300kpa (1200psi) 时, 任何原位开采环境 pH 是可接受的。
N09945	232 (450)	3500 (508)	139000	见备注列	NDS ^a	pCO ₂ +pH ₂ S≤7000kpa (1000psi) 时, 任何原位开采环境 pH 是可接受的。
	205 (401)	3500 (508)	180000	见备注列	NDS ^a	
<p>这些材料还应满足下列要求。</p> <p>a) UNS N07718 锻件应为下列状态中的任一种:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 固溶退火, 最大硬度为 35HRC; 2) 热加工至最大硬度为 35HRC; 3) 热加工加时效至最大硬度为 35HRC; 4) 固溶退火加时效至最大硬度为 40HRC。 <p>b) UNS N09925 锻件应为下列状态中的任一种:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 冷加工至最大硬度为 35HRC; 2) 固溶退火至最大硬度为 35HRC; 3) 固溶退火加时效至最大硬度为 38HRC; 4) 冷加工加时效至最大硬度为 40HRC; 5) 热精整加时效至最大硬度为 40HRC。 <p>c) UNS N09935 锻件应为固溶退火和时效状态, 最大硬度为 34HRC。</p> <p>d) UNS N09945 锻件应为固溶退火和时效状态, 最大硬度为 42HRC。</p> <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

表 A.33 沉淀硬化镍基合金 (III) 用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N07626 (粉末金属)	232 (450)	1000 (150)	见备注列	见备注列	否	开采环境中的氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
N07716, N07725 (锻件)	220 (425)	2000 (300)	见备注列	见备注列	是	
N07626 (粉末金属)	204 (400)	4100 (600)	见备注列	见备注列	否	
N07716, N07725 (锻件)	204 (400)	4100 (600)	见备注列	见备注列	是	
N07022 (锻件)	204 (400)	3500 (500)	180000	见备注列	是	pCO ₂ +pH ₂ S≤7000kpa (1000psi) 时, 任何原位开采环境 pH 是可接受的。
N07626 (粉末金属) N07716, N07725 (锻件)	175 (350)	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的硫化氢, 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合是可接受的。

这些材料还应满足下列要求。

a) 用粉末冶金工艺热压成形完全致密的 UNS N07626, 应是下列状态中的任一种, 最大硬度应为 40HRC 和最大抗拉强度应为 1380MPa (200ksi),

- 1) 固溶退火[不低于 927℃ (1700°F) 加时效[538℃至 816℃ (1000°F至 1500°F)], 或
- 2) 直接时效[538℃至 816℃ (1000°F至 1500°F)]。

b) UNS N07716 锻件和 UNS N07725 锻件应是固溶退火加时效状态, 最大硬度应为 43HRC。

c) 在缺省元素硫时, 固溶退火加时效状态的 UNS N07716 锻件和 UNS N07725 锻件的最大硬度也可为 44HRC, 同时满足最大温度为 204℃ (400°F) 时所示的其它环境限制。

d) UNS N07022 锻件应是固溶退火加时效状态, 最大硬度应为 39HRC。

**表 A.34 沉淀硬化镍基合金用作井口和采气树部件（壳体和阀盖除外），
阀门和节流器（壳体和阀盖除外）的环境和材料限制**

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N05500	见备注列	3.4 (0.5)	见备注列	≥4.5	NDS ^a	开采环境中的温度和氯化物浓度的任何组合都是可接受的。

对于这些位用，本材料还应满足下列要求：

UNS N05500 锻件应是下列状态中的任一种，最大硬度成为 35HRC：

- a) 热加工加时效硬化，
- b) 固溶退火，或
- c) 固溶退火加时效硬化。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.35 沉淀硬化镍基合金用作不承压的内阀，压力调节器和液面控制器部件和其它设备的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
不承压的内阀，压力调节器和液面控制器部件						
N07750 N05500	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度，P _{H₂S} ，氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的
其它设备						
N05500	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	该合金已被用作临时维修的井下起下，座封和维修工具以及除维修壳体和阀盖以外的地面临时维修工具。尚未建立该合金在这些方面应用的环境限制。
<p>对于这些应用，这些材料还应满足下列要求：</p> <p>a) UNS N07750 锻件应是下列状态中的任一种，最大硬度应为 35HRC</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 固溶退火加时效， 2) 固溶退火， 3) 热加工，或 4) 热加工加时效。 <p>b) UNS N05500 锻件最大硬度应为 35HRC 且应是下列状态中的任一种</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 热加工加时效硬化； 2) 固溶退火；或 3) 固溶退火加时效硬化 <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

表 A.36 沉淀硬化镍基合金用作弹簧的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N07750	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	该材料已被用作这些部件,用于没有温度, P _{H2S} , 氯化物浓度或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制,但这些参数的数值的组合会导致现场破裂。
N07090	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	该材料已被用作这些部件,用于没有温度, P _{H2S} , 氯化物浓度或原位 pH 限制的开采环境中,虽然对单个参数没有限制,但这些参数的某些数值的组合是不被允许的。

对于这些应用, 这些材料也应满足下列要求。

- UNS N07750 弹簧应为冷加工并时效硬化状态, 最大硬度应为 50HRC。
- UNS N07090 在冷加工加时效硬化状态, 最大硬度为 50HRC 时, 可用作压缩机气阀弹簧。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

表 A.37 沉淀硬化镍基合金用作气举设备的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
N05500	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件, 用于没有温度, P _{H2S} , Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中。虽然对单个参数没有限制, 但是这些参数的某些数值的组合是不可接受的。

^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。

A.9.3 本材料类别沉淀硬化镍基合金的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用(见 6.2.2)。

焊后基体金属的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度,并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊接合金的相应金属的最大硬度限制。

A.10 钴基合金(定为单一合金)**A.10.1 材料的化学成分**

表 D.10 列出了 A.38~A.40 的表中所示的钴基合金的化学成分。

A.10.2 钴基合金使用的环境和材料限制**表 A.38 钴基合金用作任何设备或部件的环境和材料限制**

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
R30003, R30004, R30035, BS HR.3, R30605, R31233	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的温度, P _{H₂S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可 接受的

这些材料还应满足下列要求。

- a) UNS R30003, UNS R30004 和 BS HR.3 合金的最大硬度应为 35HRC。
b) UNS R30035 最大硬度应为 35HRC, 如果它是在冷轧和按照下列时效处理中的任一种的高温时效热处理状态下, 它的最大硬度可为 51HRC:

最短时间, h	温度℃ (°F)
4	704 (1300)
4	732 (1350)
6	774 (1425)
4	788 (1450)
2	802 (1475)
1	816 (1500)

- c) UNS R31233 锻件应为固溶退火状态, 且最大硬度应为 22HRC。

- d) UNS R30605 最大硬度应为 35HRC。

表 A.39 钴基合金用作弹簧的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
R30003 R30035	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	这些材料已被用作这些部件,用于没有温度, P _{H2S} , Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中,虽然对单个参数没有限制,但这些参数的某些数值的组合是不被允许的。
<p>对于这些应用,这些材料还应满足下列要求。</p> <p>— UNS R30003 应为冷加工加时效硬化状态,且最大硬度为 60HRC。</p> <p>— UNS R30035 应为冷加工加时效硬化状态,最大硬度为 55HRC,该时效是在温度不低于 649℃ (1 200℃) 下至少 4 小时。</p> <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

表 A.40 钴基合金用作膜片, 压力测量装置和压力密封件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
R30003, R30004, R30260	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H2S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
R30159	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	该材料已被用作这些部件,用于没有温度, P _{H2S} , Cl ⁻ 或原位 pH 限制的开采环境中,虽然对单个参数没有限制,但这些参数的某些数值的组合是不被允许的。
<p>对于这些应用, 这些材料还应满足下列要求。</p> <p>a) UNS R30003 和 UNS R30004 的最大硬度应为 60HRC。</p> <p>b) UNS R30260 的最大硬度应为 52HRC。</p> <p>c) 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。</p> <p>^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。</p>						

A.10.3 本材料类别钴基合金的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用(见 6.2.2)。

焊后基体金属的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度,并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊接合金的相应金属的最大硬度限制。

A.11 钛和钽(单一合金)

A.11.1 材料的化学成分

A.11.1.1 钛合金

表 D.11 列出了表 A.41 中所示的钛合金的化学成分。

A.11.1.2 钽合金

表 D.12 列出了表 A.42 中所示的钽合金的化学成分。

A.11.2 钛和钽合金使用的环境和材料限制

表 A.41 钛合金用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H2S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
R50250, R50400, R56260, R53400, R56323, R56403, R56404, R58640	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	是	开采环境中的温度, P _{H2S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可 接受的。

这些材料还应满足下列要求。

- a) UNS R50250 和 R50400 的最大硬度应为 100HRB。
- b) UNS R56260 应是下列三种状态中的一种, 最大硬度应为 45HRC:
 - 1) 退火;
 - 2) 固溶退火;
 - 3) 固溶退火加时效。
- c) UNS R53400 应为退火状态。退火热处理应是在 (774±14) °C [(1425±25) °F] 下保温 2 小时, 随后空气冷却。最大硬度应为 92HRB。
- d) UNS R56323 应为退火状态且最大硬度应为 32HRC。
- e) UNS R56403 锻件应为退火状态且最大硬度应为 36HRC。
- f) UNS R56404 应为退火状态且最大硬度应为 35HRC。
- g) UNS R58640 最大硬度应为 42HRC。

为了成功地应用 ANSI/NACE MR0175/ISO 15156-3 规定的每一种钛合金, 应遵照特定的准则。例如, 在温度高于 80°C (176°F) 含 H₂S 的水介质中, 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。没有硬度与 SSC/SCC 敏感性有关的显示。然而, 高强度合金所具有的硬度显示出不发生破裂的最大试验水平。

表 A.42 钽合金用作任何设备或部件的环境和材料限制

单一合金 UNS 编号	温度 最大值 ℃ (°F)	H ₂ S 分压, P _{H₂S} 最大值 kPa (psi)	氯化物 浓度 最大值 mg/L	pH	是否抗 元素 硫?	备注
R05200	见备注列	见备注列	见备注列	见备注列	NDS ^a	开采环境中的温度, P _{H₂S} , 氯化物浓度和原位 pH 的任何组合都是可接受的。
UNS R05200 应为下列两种状态中的一种, 最大硬度应为 55HRB — 退火, 或 — 气体保护钨极弧焊接加退火, ^a 没有提交确定这些材料是否可用于有元素硫环境的资料。						

A.11.3 本材料类别钛合金和钽合金的焊接

焊缝的抗开裂性能要求应适用(见 6.2.2)。

焊后基体金属的硬度应不超过基体金属允许的最大硬度, 并且焊缝金属的硬度应不超过用作焊接合金的相应金属的最大硬度限制。

A.12 铜基和铝基合金 (定为材料类型)

A.12.1 铜基合金

铜基合金已被用于无温度, P_{H₂S}, Cl⁻或原位 pH 限制的开采环境中。

注 1: 铜基合金在酸性油田环境中可能遭受加速质量损失腐蚀 (失重腐蚀), 尤其是氧存在时。

注 2: 某些铜基合金已显示出对 GHSC 的敏感性。

A.12.2 铝基合金

这些材料已被用于无温度, P_{H₂S}, Cl⁻或原位 pH 限制的开采环境中。

使用者宜意识到铝基合金质量损失的腐蚀 (失重腐蚀) 强烈依赖于环境的 pH。

A.13 镀层, 覆盖层和耐磨合金

A.13.1 耐蚀镀层, 衬里和覆盖层

A.2 至 A.11 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。

除非使用者能论证或文件证明作为保护层的镀层或覆盖层在长期使用中仍可能保持其完整性, 使用镀层或覆盖层后的基体金属仍应符合 ISO 15156-2 或 ISO 15156-3 的要求, 才可使用。

这可能涉及热处理或消除应力处理的应用, 它们可能会影响镀层, 衬里或覆盖层的性能。

能够影响镀层,衬里或覆盖层长期使用完整性的因素包括在预期的使用环境中的环境开裂,其它腐蚀机理的影响和机械损伤。

宜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。

A.13.2 耐磨合金

A.13.2.1 耐磨合金用作烧结的,铸造的或锻造的部件

ISO 15156(所有部分)中没有规定这些特别设计以提供耐磨部件的合金的抗环境开裂性能。没有确立温度, P_{H₂S}, Cl⁻或原位 pH 的生产限制。

用于抗磨损使用的某些材料可能是脆性的。若这些材料受拉伸,可能会发生环境开裂。由这些材料制造的部件通常仅承受压缩加载。

A.13.2.2 表面硬化材料

可以使用硬化表面。

ISO 15156(所有部分)中没有规定这些特别设计以提供硬化表面的合金的抗环境开裂性能。没有确立温度, P_{H₂S}, Cl⁻或原位 pH 的生产限制。

用于表面硬化使用的某些材料可能是脆性的。若这些材料受拉伸,硬化表面可能会发生环境开裂。

除非使用者能论证或文件证明作为硬化表面材料在长期使用中仍可能保持其完整性,使用硬化表面材料后的基体金属仍应符合 ISO 15156-2 或 ISO 15156-3 的要求,才可使用。

附录 B

(规范性附录)

用于 H₂S 环境的耐蚀合金 (CRAs) 的实验室试验评定

B.1 总则

本附录规定了用于 H₂S 环境的 CRAs 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。

- 在环境温度下的 SSC;
- 无元素硫 (S⁰) 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, CRAs 的 HSC, 即 GHSC。

与上述有关的补充要求

- a) 当 SSC 和 SCC 之间的差别不清楚时, 在中间温度下的试验;
- b) 在有 S⁰ 情况下的 SCC 试验。

表 B.1 给出了 CRAs 因腐蚀引起潜在的开裂的指南。该合金类别和附录 A 中用的合金类别是一样的。

该附录的试验要求没有提到依序连续暴露在不同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。

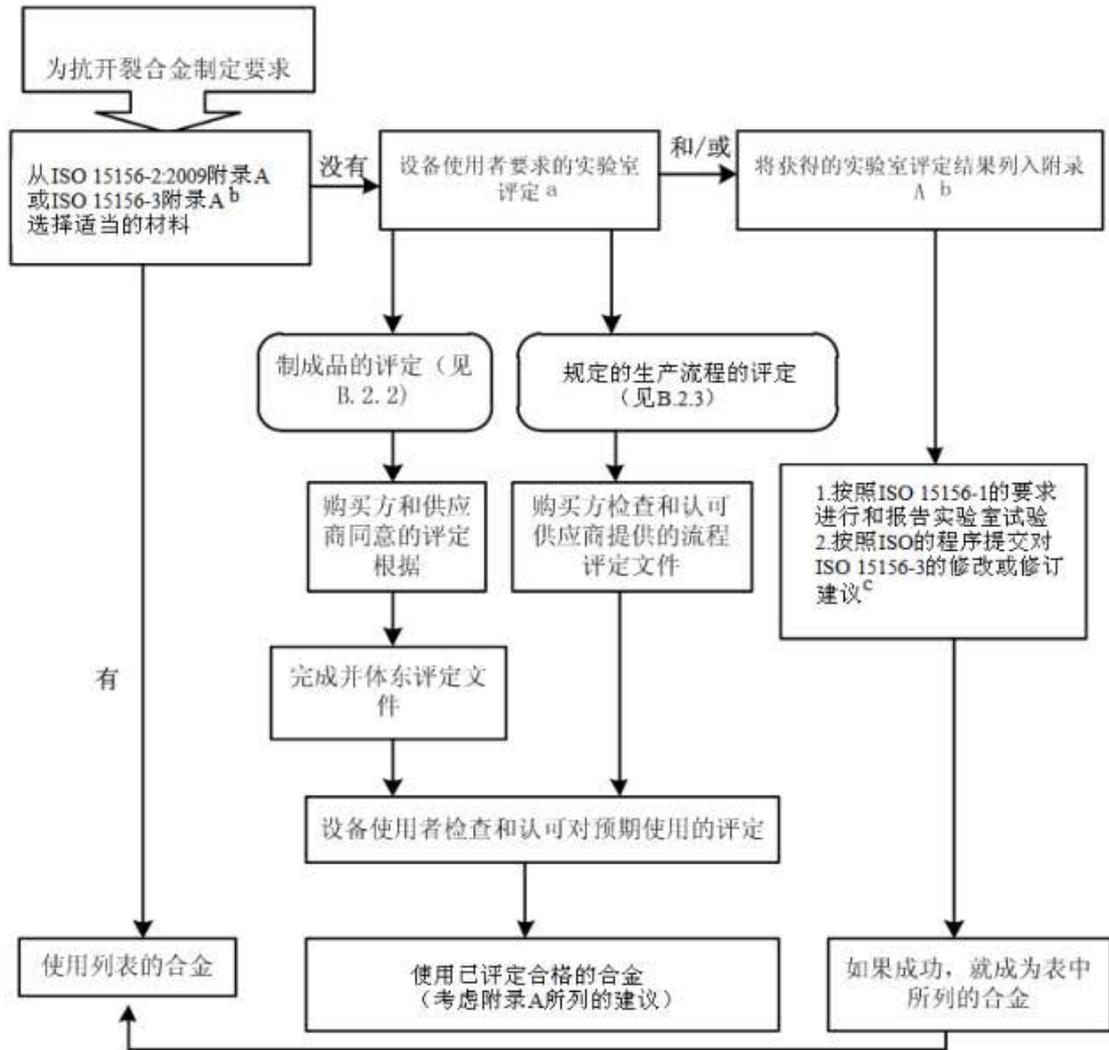
表 B.1 对 CRA 和其它合金类别应考虑的开裂机理

附录 A 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 A.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 A.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。
固溶镍基合金 (见 A.4)	S	P	S	冷加工状态和/或时效状态的某些镍基合金含有次生相, 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, 可能产生 HSC。
铁素体不锈钢 (见 A.5)	P	—	P	—
马氏体不锈钢 (见 A.6)	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。
双相不锈钢 (见 A.7)	S	P	S	当温度低于最高的使用 and 试验温度时, 开裂敏感性可能最高, 因此应考虑超过任一温度的范围值。
沉淀硬化不锈钢 (见 A.8)	P	P	P	—
沉淀硬化镍基合金 (见 A.9)	S	P	P	冷加工状态和/或时效状态的某些镍基合金含有次生相, 而且当与钢形成电偶时, 可能对 HSC 敏感。
钴基合金 (见 A.10)	S	P	P	—
钛和钽 (见 A.11)	见备注列			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 A.12)	见备注列			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。				

B.2 实验室评定的应用

B.2.1 总则

图 B.1 给出了应用实验室评定的框图。



^a ISO 15156-3 论述的是 CRAs 和其它合金的 SSC, SCC 和 GHSC, ISO 15156-2 论述的是碳钢和低合金钢的 SSC, HIC, SOHIC 和 SZC。

^b 附录 A 论述的是 CRAs 和其它合金的 SSC, SCC 和 GHSC。ISO 15156-2:2015, 附录 A 论述的是碳钢和低合金钢的 SSC。

^c 关于文件保管的详细信息见“引言”的最后一段。

注：程序框图省略了 ISO 15156-1 中所述的用现场经验来评定的过程。

图 B.1 选用合金和实验室评定方案的选择

B.2.2 制成品的评定

ISO 15156-3 的使用者应根据 ISO 15156-1 和 ISO 15156-3 的附录 B 确定材料的评定要求。

本要求应包括下列内容的应用：

- a) 一般要求（见 ISO 15156-1:2015, 第 5 条）；
- b) 使用环境的评估和确定（见 ISO 15156-1:2015, 第 6 条）；

- c) 材料的使用说明和证明文件（见 ISO 15156-1:2015, 8.1）；
- d) 以实验室试验为根据的评定要求（见 ISO 15156-1:2015, 8.3）；
- e) 评定方法的报告（见 ISO 15156-1:2015, 第 9 条）。

在确定适当的试验批和取样要求时，应考虑产品特征，制造方法，制造规范要求的实验和要求的评定项目（见表 B.1）。

用于评定各种开裂机理试验的试样应按照附录 B 的规定。用于试验的样品，每一试验批至少有三个。只要所有的样品都满足试验验收准则，那么该试验批就应是合格的。

在下列情况下，重复试验是允许的：如果一个样品未能满足验收准则，应调查原因。如果原材料符合制造规范，可另外取两个样品在试验。样品应从与已失败样品相同的原材料中取得。如果两者都满足验收准则，应认为该试验批是合格的。更多的重复试验应经过购买方的同意。

制成品的试验可以在制成之后和暴露于 H₂S 环境之前的任何时间进行。

在成品安置于 H₂S 环境之前，设备使用者应检查合格证书并且要核实该合格证书满足规定的评定要求。由设备使用者核实过的合格的成品才可安置于 H₂S 环境。

B.2.3 规定的生产流程的评定

一种规定的生产流程可以通过合格材料的生产来评定。

采用合格的生产流程可以避免遗弃抗 H₂S 开裂试验的程序。

材料供应商可向材料购买方推荐用以生产材料的合格生产流程。如果材料供应商和材料购买方同意，可采用合格的生产流程。

合格的生产流程可以用来为更多的材料使用者生产合格的材料。

为了评定一种生产流程，材料供应商应证明规定的生产流程能够始终如一地生产满足附录 B 的适用评定试验要求的材料。

生产流程的所有评定要求如下：

a) 在书面质量计划中规定的生产流程要标出制造的设置，所有的制造工序和为保持合格性要求的制造控制措施。

b) 按规定生产流程生产的产品的初次试验要按照 B.2.2 规定进行，并核实它们是否达到验收准则。

c) 定期试验是为了确认产品依旧具有要求的抗 H₂S 环境开裂性能。在质量计划中还应规定“定期性”试验的频次。并且应经购买方的认可。购买方应可得到这些试验的记录。

d) 保留和整理这些试验报告，并将它们提供给材料购买方和/或设备使用者。

材料购买方可以和制造商共同商定附加的质量控制要求。

质量计划的准确性可由有关的团体通过现场调查确定。

生产流程的变更，若超出它的书面质量计划的范围，就按照上述的 a)， b)， c) 和 d) 要求对新流程进行评定。

B.2.4 以实验室试验为根据对附录 A 提出补充和变更。

可以对附录 A 提出变更（见引言）。提出的变更应具备有符合 ISO 15156-1 要求的证明文件。并且还应符合下列的补充要求。

用于实验室试验评定的 CRAs 和其它合金的代表性的样品应按照 ISO 15156-1 选择。

应采用至少能代表三个独立的处理炉的材料，按照 B.3 进行抗开裂试验。可参照表 B.1 中适当的材料类型来制定试验要求。

应对列在表 B.1 中的主要开裂机理进行试验。

还应对列在表 B.1 中的次要开裂机理进行试验，否则在试验报告中应包括该机理试验被省略的正当理由。

对不包括在表 B.1 的其它合金，应证明所选用的评定试验是正确的并有证明文件。

应提供足够的数数据以便让 ISO /TC 67 的成员评定材料，并按照 ISO /IEC 指令的第 1 部分判定该材料是否可通过修改或修订纳入 ISO 15156-3。

B.3 试验的一般要求

B.3.1 试验方法的使用说明

试验要求是以 NACE TM0177 和 EFC 出版物 17 为基础。试验程序的细节可参照这些文件。当需要变动这些程序时，供应商，购买方和设备使用者可共同商定。这些变动应用文件记录。

B.3.2 材料

应按照 ISO 15156-1:2015， 8.3.2 中建立的要求选择试验材料。

而且还应考虑以下事项：

a) 要求进行哪一种开裂机理的试验（见表 B.1）；

b) 对可能在使用中时效的合金试样进行适当的时效，特别是在使用中可能发生时效（井下时效）的井下材料的 HSC 试验。

c) 合金的性能有方向性，因为冷加工，合金的屈服强度可能是各向异性，某些合金和成品的开裂敏感性会随着外加的拉应力的方向及随后引起的开裂面的方位而改变。

B.3.3 试验方法和试样

主要的试验方法采用恒定载荷，持续载荷（试验环）或恒定的总应变（恒定位移）加载的光滑试样。

可以用上述加载方式进行单一轴向的拉伸（UT）试验，四点弯曲（FPB）试验和 C 环（CR）试验。

通常，采用 UT 试样的恒载荷试验是试验均质材料的首选方法。

所挑选的试样应适宜被试验产品的形状和要求的施加应力的方向。从每个被试验的部件上至少应取 3 个试样。

UT 试样可按照 EFC 出版物 17，图 8.1 从焊接接头上取样。打算对焊接纵断面进行试验时，可以从焊接接头上截取其它类型的试样。

当采用双（背对背）FPB 试样时（按照 EFC 出版物 17，图 8.2a，或类似的），如果相对的试样开裂，那么未开裂试样就应作为无效。

适当时可采用替代的试验方法或试样。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。

可考虑的试验方法实例如下：

— 开裂机理的试验，例如双悬臂梁（DCB）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。这一要求限制了在 SSC 和 HSC 试验中采取 DCB 试验。

— 涉及慢应变速率应用的试验，如，按照 NACE TM0198 的 SSRT，按照 ISO 7539-7 的间歇 SSRT 或按照如 NACE 腐蚀/97 论文 58 发表的方法进行 RSRT。

适用时，试验可采用全尺寸或模拟部件的试验。

B.3.4 对光滑试样外加的试验应力/载荷

用以导出试验应力的 CRAs 的屈服强度，应是按照适用制造规范规定的试验温度下测定的。在制造规范中没有对屈服强度作合适规定的情况下，屈服强度应是在试验温度成比例的延伸率为 0.2% 时的试验应力（ $R_{p0.2}$ ，如 ISO 6892-1 中的规定）。

当选择试样和确定试验应力时，应考虑性能的方向性。

对于焊接试样，通常应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母体金属的屈服强度时，应采用焊缝区的屈服强度来确定试验应力。

对于恒载荷试验和持续载荷（试验环）试验，试样应承受试验温度下试验材料 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 100%AYS 的载荷。

注：恒定总应变（挠度）试验可能不适合在负载下可能由蠕变而松弛的材料。

评定特定应用的材料时，可采用较低的外加应力。这些试验的应用和根据成经购买方的同意并应有证明文件。

B.3.5 SSC/SCC 试验环境

B.3.5.1 总则

应控制和记录下列环境试验的变量：

- p_{H_2S} ；
- p_{CO_2} ；
- 温度；
- 试验溶液 pH，酸化方法和 pH 控制（应记录下所有 pH 测量结果）；
- 试验溶液的组成或分析；
- 添加元素硫（ S^0 ）；
- 不同金属的电耦合（应记录面积比和耦合合金类型）。

在所有情形下， p_{H_2S} ，氯化物和 S^0 浓度至少应与预期使用条件一样苛刻。试验期间所达到的最大 pH 应不超过预期使用的 pH。

为了完成对特定使用的评定，采用不止一种试验环境可能是必需的。

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

如果无法预知特定的应用，那么只能使用借助于 CRAs 或其它合金提供抗开裂环境限制的信息，配制指定的试验环境。

表 E.1 可用来确定 SSC 和 GHSC 标准试验的试验环境，（分别定为等级 II 和等级 III）。对于类型 1 环境（B.3.5.2），表 E.1 还提供了可被看做是若干个指定条件（温度， p_{CO_2} ， p_{H_2S} 和氯化物浓度）的组合；这些组合被定为等级 IV，V，VI 和 VII。

当采用指定的试验环境时，应满足该附录的所有其它要求。

注1：该指定条件的组合并不打算限制该标准的使用者选用其它试验环境进行试验的自由。

设备使用者宜意识到使用环境中氧的污染能影响合金的抗开裂性能。当选择试验环境时，宜考虑这点。

注2：参考文献[15]给出了高压釜加液进气的相关信息。

B.3.5.2 在实际的 H₂S 和 CO₂ 分压下模拟使用环境（类型 1 环境）

在该试验环境中，可通过控制油田环境中决定 pH 的参数来重现使用环境（原位）pH。应按照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，所含的其它离子可随意。
- c) 试验气体：H₂S 和 CO₂ 的分压与预期使用环境相同。
- d) pH 测量：通过重现预期使用环境来决定 pH。应在环境温度和压力下，在充入试验气体或纯 CO₂ 后，在试验前和试验后立即测定溶液的 pH。这是为了鉴别影响试验 pH 的溶液的变化。在环境温度和压力下检测到的 pH 的任何变化将显示出试验温度和压力的变化。

B.3.5.3 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（原位）pH，采用自然缓冲是为了在试验过程中对酸性气体压力降低给与补偿。按照下列要求制定试验环境。

- a) 试验限制：压力应为环境压力，最高温度应为 60°C，pH 应为 4.5 或更高
- b) 试验溶液：对蒸馏水或去离子水添加碳酸氢钠（NaHCO₃）以达到所要求的 pH。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 H₂S 和用作平衡的试验气体 CO₂。试验气体应连续鼓泡通过试验溶液。
- d) pH 控制：在试验开始和试验结束时都应测量溶液的 pH。试验期间应定期测量溶液的 pH。如果需要，可通过添加 HCl 或 NaOH 来调节 pH。试验 pH 的变化应不超过±0.2pH 单位。

B.3.5.4 在环境压力下用乙酸缓冲剂模拟使用环境（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使用环境（原位）pH，采用人工缓冲剂且添加 HCl 是为了在试验过程中对酸性气体压力降低的补偿。应按照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 ± 3) °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。

c) 试验气体：预期使用环境分压的 H₂S 和用作平衡的试验气体 CO₂。试验气体应连续鼓泡通过试验溶液。

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

B.3.6 试验周期

恒定载荷，持续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。

B.3.7 验收准则和试验报告

暴露在恒定载荷，持续载荷和恒定总应变试验中的试样应按照 NACE TM0177 试验方法 A 和 C 进行评定。不开裂为合格。

暴露在断裂机理和慢变速率试验中的试样应按照试验方法的要求进行评定。断裂韧性值应只对大体上无分叉的开裂有效。断裂韧性试验的验收准则应由设备使用者规定。

在所有情形下，应报告导致金属损失的任何腐蚀迹象，包括点蚀或缝隙腐蚀。

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。

应完成和保留符合 ISO 15156-1:2015，第 9 条要求的书面试验报告。

B.3.8 试验的有效性

对于环境条件不如试验环境苛刻的材料，满意的试验结果可证明该材料是合格的。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，都可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;
- 没有硫元素 (S⁰)。

B.4 SSC 试验

试验应按照 B.3 中给出的试验一般要求进行。

按照 NACE TM0177 和/或 EFC 出版物 17 的规定, 试验通常应在 (24±3) °C [(75±5) °F] 下进行。

如果使用环境的温度高于 24°C (75°F), 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。

B.5 无 S⁰ 的 SCC 试验

试验应按照 B.3 的一般要求进行。

SCC 试验步骤是以 NACE TM0177 和/或 EFC 出版物 17 为基础, 并满足下列附加的要求、选择和说明。

- a) 试验温度应不低于预期使用环境的最高温度。这可能需要使用可增压的试验槽。
- b) 在确定气相分压时, 应该考虑水的蒸汽压。
- c) 控制 pH 不采用乙酸和乙酸盐。应按 B.3.5.2 规定控制溶液的 pH。
- d) 当试样一开始暴露在试验环境中, 就应对施加的载荷和环境条件进行控制, 以便一达到试验温度, 所有的试验条件都是被设置的状态。
- e) 对恒定总应变试验, 施加的应力应通过测量来确定。

注: 用许多 CRA 材料规范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获得一个稳定的应力, 应给出采用的加载步骤。

B.6 中间温度的 SSC/SCC 试验

中间温度的试验, 即在 (24±3) °C [(75±5) °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。试验应在规定的温度下, 按照上述 SCC 试验的要求进行。

对通过修正而被纳入 A.7 的双相不锈钢的评定试验, 应在 (24±3) °C [(75±5) °F], (90±3) °C [(194±5) °F] 和该合金预期使用环境的最高温度下进行。

B.7 有 S⁰ 情况下的 SCC 试验

试验应按照上述的 SCC 试验要求进行, 对于 S⁰ 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。EFC 出版物 17 附录 S1 中描述将这个程序整合入 CRA 试验方法。

B.8 与碳钢耦合的 GHSC 试验

GHSC 试验应按照上述对 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 试样应与完全浸入试验溶液的非合金钢(即碳钢)形成电偶。按照 NACE TM0177 的要求, 非合金钢面积与浸湿 CRA 试样面积的面积比应在 0.5 和 1 之间。加载夹具与试样和耦合碳钢之间应电绝缘。对于特定应用的评定, CRA 可与在使用中将与之耦合的, 低合金材料试样耦合。

b) 试验环境应为 NACE TM0177 的 A 溶液, 其 H₂S 分压为 100kPa, 温度为 (24 ± 3) °C [(75 ± 5) °F]。对于特定应用的评定, 可采用 B.3.5 中所述的 SSC 试验环境。

附录 C

(资料性附录)

购买材料须提供的信息

ISO 15156-1 指出, ISO 15156-3 的不同使用者, 如设备使用者, 设备购买方及设备制造商和材料购买方, 材料制造厂及材料供应商之间的信息合作和交流是必要的。使用下面的表有助于这些方面的合作。

材料购买方宜指出表 C.1 和表 C.2 中所要求的选项。

表 C.1 和表 C.2 还提供了可在材料标记中使用的符号, 以表示单一 CRAs 或其它合金与 ISO 15156-3 的一致性。

购买订单说明宜成为材料文件资料的一部分, 以确保其可追踪性。定单中按照附录 B 实验室试验为根据选择的材料, 其可追踪文件还宜包括试验期间采用的来自表 C.2 的环境说明。

表 C.1 材料购买和标记信息

材料选择方案和其它信息		材料购买方的要求	参照 ISO 15156-3 中的条款	备注	用于酸性环境标记的符号 ^e
首选的 CRA 或其它合金及状态 ^a		b	—	—	—
设备类型		c	—	—	—
选择 / 评定的方法	从附录 A 选择的 CRA 或其它合金?	选项 A ^d	6.1	使用的暴露环境如表 C.2 中所示(选项)	A.nn ^e
	按照附录 B 评定的 CRA 或其它合金?	选项 B ^d	6.1, 附录 B	也见表 C.2	B.B1,B2 等 ^e
	上面任何一个选择/评定的方法	选项 C ^d	见选项 A 和选项 B	见选项 A 和选项 B	见选项 A 和选项 B
<p>^a当购买方要求使用一种或列于附录 A 中的或按照附录 B 进行评定的已知材料时, 购买方宜指出下面的评定方法。</p> <p>^b使用者可填入材料类型和状态。</p> <p>^c使用者可填入设备类型所需要的材料。</p> <p>^d指出要求哪一个选项。</p> <p>^e建议用符号来表示所列的 CRAs, 该符号包含在材料的标记中, 并且对制造商/供应商指出了符合参考材料类别条款号, 如 A.2 的单一 CRAs 或其它合金。对于按附录 B 评定的材料, 建议采用的符号是 B,B1,B2,B3(见表 C.2)。</p>					

表 C.2 SSC,SCC 和 GHSC 试验的附加信息和推荐的标记

开裂评定试验		材料购买方对抗开裂性能和暴露环境的要求	参照 ISO 15156-3 中的条款	备注	用于酸性环境标记的符号 ^b
抗 SSC		选项 1 ^{a,c}	B.4	—	B1
抗 SCC		选项 2 ^{a,c}	B.5~B.7	—	B2
抗 GHSC		选项 3 ^{a,c}	B.8	—	B3
抗 SSC,SCC 和 GHSC		选项 4 ^{a,c}	B.4~B.8	—	B
按照 ISO 15156-1 确定的使用环境的说明	CO ₂ 压力, kPa	—	B.3		—
	H ₂ S 压力,kPa	—			
	温度, °C	—			
	原位 pH	—			
	Cl ⁻ 或其它卤化物, mg/L	—			
	S ⁰	有或无 ^a			
实验室试验要求		—	B.3	—	
非标准试验应力%AYS		—		—	
试样类型		—		—	

^a 指出要求哪些选项。

^b 对按附录 B 评定的材料, 推荐用于标记的符号是 B,B1, B2,B3,此处的 B1 是 SSC, B2 是 SCC,B3 是 GHSC, B 指的是已经显示出抗三种开裂机理的材料。

^c 试验环境与该表中所示的使用环境相当(也可见 B.2 和 B.3)。

附录 D

(资料性附录)

材料的化学成分和其它信息

D.1 下面表中所包含的内容是为了方便 ISO 15156-3 的使用者,并且是以 SAE—ASTM 标准为基础。鼓励使用者采用最新版本的 SAE—ASTM 标准来确认所示信息的准确性。

D.2 这些表提供了附录 A 表中所用的 UNS 编号和相应合金的化学成分之间的关系。鼓励文件使用者查阅 SAE—ASTM 标准, SAE—ASTM 标准给出了每一种合金的书面描述,化学成分,通用商品名和其它工业规范的相互参照。

D.3 可接受的合金取决于所示范围内的实际化学成分和对附录 A 中合金所列化学成分,热处理和硬度方面的任何附加要求。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评定要求。

注 1: ISO 15510^[2]对某些 UNS 编号与其它标准之间的相互参照提供了帮助。ISO 13680^[1]提供了关于材料,材料的化学成分和用作套管、油管和接箍材料可用性的信息。

注 2: 质量分数 (w)在美国惯用单位中用重量的百万分之一(ppm)来表示,而在 SI 中常用毫克每千克 (mg/kg)来表示。本附录的表中给出的质量分数是用百分数 (百分之一等于每 100g 中 1g)来表示。

注 3: 对于表 D.1, D.2, D.5, D.6, D.7 和 D.8, 成分等于 100%时的余额是 Fe。

注 4: 在表 D.1、D.2 和 D.7 中, (Ni+2Mo) 和/或 F_{PREN} 值已经圆整到整数。它们仅提供作为指导信息。

表 D.1 某些奥氏体不锈钢的化学成分 (见 A.2 和 D.3)

UNS	C max.a w _c %	Cr w _{Cr} %	Ni w _{Ni} %	Mn max.a w _{Mn} %	Si max.a w _{Si} %	P max. w _P %	S max w _S %	Mo w _{Mo} %	N max. w _N %	其它	F _{PREN}	Ni+ 2M o
J92500	0.03	17.0~ 21.0	8.0~ 12.0	1.50	2.00	0.04	0.04	—	—	—	17~21	8~ 12
J92600	0.08	18.0~ 21.0	8.0~ 11.0	1.50	2.00	0.04	0.04	—	—	—	18~21	8~ 11
J92800	0.03	17.0~ 21.0	9.0~ 13.0	1.50	1.50	0.04	0.04	2.0~3.0	—	—	24~31	13 ~19
J92843	0.28~ 0.35	18.0~ 21.0	8.0~ 11.0	0.75~ 1.50	1.00	0.04	0.04	1.00~ 1.75	—	其它 ^b	23~30	10 ~
J92900	0.08	18.0~ 21.0	9.0~ 12.0	1.50	2.00	0.04	0.04	2.0~3.0	—	—	24~31	13 ~
S20100	0.15	16.0~ 18.0	3.5~5.5	5.5~7.5	1.00	0.060	0.030	—	0.25	—	20~22	3.5~ 5.5
S20200	0.15	17.0~19.0	4.0~6.0	7.5~10.0	1.00	0.060	0.030	—	—	—	17~19	4~6
S20500	0.12~0.25	16.0~18.0	1.00~1.75	14.0~15.5	1.00	0.060	0.030	—	—	—	16~18	1~2
S20910	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	其它 ^c	29~38	15~ 20
S30200	0.15	17.0~19.0	8.0~10.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	—	17~19	8~10
S30400	0.08	18.0~20.0	8.0~10.5	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	—	18~20	8~11
S30403	0.03	18.0~20.0	8.0~12.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	—	18~20	8~12
S30500	0.12	17.0~19.0	10.0~13.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	—	17~19	10~ 13
S30800	0.08	19.0~21.0	10.0~12.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	—	19~21	10~ 12
S30900	0.20	22.0~24.0	12.0~15.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	—	22~24	12~ 15
S31000	0.25	24.0~26.0	19.0~22.0	2.00	1.50	0.045	0.030	—	—	—	24~26	19~22
S31600	0.08	16.0~ 18.0	10.0~14.0	2.00	1.00	0.045	0.030	2.0~3.0	—	—	23~28	14~ 20
S31603	0.030	16.0~18.0	10.0~14.0	2.00	1.00	0.045	0.030	2.0~3.0	—	—	23~28	14~ 20
S31635	0.08	16~18	10~14	2.00	1.00	0.045	0.030	2~3	0.10	其它 ^d	23~30	14~
S31700	0.08	18.0~20.0	11.0~15.0	2.00	1.00	0.045	0.030	3.0~4.0	—	—	28~33	17~ 23
S32100	0.08	17.0~19.0	9.0~12.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	其它 ^d	17~19	9~ 12
S34700	0.08	17.0~19.0	9.0~13.0	2.00	1.00	0.045	0.030	—	—	其它 ^e	17~19	9~ 13
S38100	0.08	17.0~19.0	17.5~18.5	2.00	1.50~2.50	0.03	0.030	—	—	—	17~19	18~19

^a 此处显示的是一个范围,指最小质量分数到最大质量分数。

^b Cu 最大值为 0.50%;Ti 为 0.15~0.50%; W 为 1.00%~1.75%; Nb+Ta 为 0.30~0.70%

^c Nb 为 0.10-0.30%;V 为 0.10-0.30%

^d Ti 的最小值应为碳的质量分数 (%)的 5 倍。

^e Nb 的最小值应为碳的质量分数 (%)的 10 倍。

表 D.2 某些高合金奥氏体不锈钢 (见 A.3 和 D.3)的化学成分

UNS	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	Mo	N	Cu	W	F _{PREN}	Ni+2Mo
	max. w _C %	w _{Cr} %	w _{Ni} %	max. ^a w _{Mn} %	max. w _{Si} %	Max. w _P %	Max. w _S %	w _{Mo} %	w _N %	w _{Cu} %	w _W %		
S31254	0.020	19.5~ 20.5	17.5~ 18.5	1.00	0.80	0.030	0.010	6.0~6.5	0.18~ 0.22	0.50~1.00	—	42~ 45	30~32
J93254	0.025	19.5~ 20.5	17.5~ 19.7	1.20	1.0	0.45	0.010	6.0~7.0	0.18~0.24	0.50~1.00	—	42~ 47	30~34
J95370 ^b	0.03	24~25	17~18	8~9	0.50	0.030	0.010	4~5	0.7~0.8	0~0.50	0~0.10	48~ 54	25~28
S31266	0.030	23.0~ 25.0	21.0~ 24.0	2.0	1.00	0.035	0.020	5.0~7.0	0.35~ 0.60	0.50~3.00	1.00~ 3.00	46~ 62	31~38
S32200	0.03	20.0~ 23.0	23.0~ 27.0	1.0	0.5	0.03	0.005	2.5~3.5	—	—	—	28~ 35	28~34
S32654	0.02	24.0~ 25.0	21.0~ 23.0	2.00~ 4.00	0.50	0.03	0.005	7.00~8.00	0.45~ 0.55	0.30~0.60	—	54~ 60	35~39
N08007	0.07	19.0~ 22.0	27.5~ 30.5	1.50	1.5	—	—	2.00~3.00	—	3.00~4.00	—	26~ 32	32~37
N08020 ^c	0.07	19.0~ 21.0	32.0~ 38.0	2.00	1.00	0.045	0.035	2.0~3.0	—	3.00~4.00	—	25.6~ 30.9	36~44
N08320	0.05	21.0~ 23.0	25.0~ 27.0	2.5	1.0	0.04	0.03	4.0~6.0	—	—	—	34~ 43	33~39
N08367	0.030	20.0~ 22.0	23.5~ 25.5	2.00	1.00	0.04	0.03	6.00~7.00	0.18~ 0.25	0.75 max	—	43~ 49	36~40
N08904	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
N08925	0.02	19.0~ 21.0	24.0~ 26.0	1.00	0.50	0.045	0.030	6.0~7.0	0.10~ 0.20	0.50~1.50	—	40~ 47	36~40
N08926	0.020	19.0~ 21.0	24.0~ 26.0	2.0	0.5	0.03	0.01	6.0~7.0	0.15~ 0.25	0.5~1.5	—	41~48	36~40

^a 此处显示的是一个范围, 指最小质量分数到最大质量分数。

^b 其它元素, 用质量分数表示: Al 最大值为 0.01%; A 最大值为 0.01%; B 为 0.003%~0.007%; Co 最大值为 0.25%; Nb 最大值为 0.10%; Pb 最大值为 0.01%; Sn 最大值为 0.010%; Ti 最大值为 0.10%; 和 V 最大值为 0.10%。

^c w_{Nb} 应为 8 倍 w_C(%), 最大值为 1%。

表 D.3 某些固溶镍基合金的化学成分 (见 A.4 和 D.3)

UNS	C	Cr	Ni	Fe	Mn	Si	Mo	Co	Cu	P	S	Ti	Nb+Ta	Nb	V	W	N	Al
	max. ^a w _C %	w _{Cr} %	w _{Ni} %	max. ^a w _{Fe} %	max. ^a w _{Mn} %	max. ^a w _{Si} %	w _{Mo} %	max. ^a w _{Co} %	max. ^a w _{Cu} %	max. ^a w _P %	max. ^a w _S %	max. ^a w _{Ti} %	max. ^a w _{Nb+Ta} %	max. ^a w _{Nb} %	max. ^a w _V %	max. ^a w _W %	w _N %	max. ^a w _{Al} %
N06002	0.05~ 0.15	20.5~ 23.0	剩余 ^b	17.0~ 20.0	1.00	1.00	8.0~10	0.5~ 2.5		0.04	0.030	—	—	—	—	0.2~ 1.0	—	—
N06007	0.05	21.0~ 23.5	剩余 ^b	18.0~ 21.0	1.0~ 2.0	1.00	5.5~7.5	2.5	1.5~ 2.5	0.04	0.03	—	—	1.75 ~2.5	—	1.00	—	—
N06022	0.015	20.0~ 22.5	剩余 ^b	2.0~ 6.0	0.50	0.08	12.5~ 14.5	2.5	—	0.02	0.02	—	—	—	0.35	2.5~ 3.5	—	—
N06030	0.03	28.0~ 31.5	剩余 ^b	13.0~ 17.0	1.5	0.8	4.0~6.0	5.0	1.0~ 2.4	0.04	0.02	—	0.3~ 1.5	0.30 ~ 1.50	0.04	1.5~ 4.0	—	—
N06059	0.010	22.0~ 24.0	剩余 ^b	1.5	0.5	0.10	15.0~ 16.5	0.3	—	0.015	0.005	—	—	—	—	—	—	0.1~ 0.4
N06060	0.03	19.0~ 22.0	54.0~ 60.0 剩余 ^b	1.5	0.50	12.0~ 14.0	—	1.00	0.030	0.005	—	—	1.25	—	1.25	—	—	
N06110	0.15	27.0~ 33.0	剩余 ^b	—	—	—	8.00~ 12.0	12.0	—	—	—	1.50	—	2.00	—	4.00	—	1.50
N06250	0.02	20.0~ 23.0	50.0~ 53.0 剩余 ^b	1.0	0.09	10.1~ 12.0	—	1.00	0.030	0.005	—	—	—	—	—	1.0	—	—
N06255	0.03	23.0~ 26.0	47.0~ 52.0 剩余 ^b	1.00	0.03	6.0~9.0	—	1.2	0.03	0.03	0.69	—	—	—	3.0	—	—	
N06625	0.10	20.0~ 23.0	剩余 ^b	5.0	0.50	0.50	8.0~ 10.0	—	—	0.015	0.015	0.40	—	3.15 ~ 4.15	—	—	—	0.40
N06686	0.010	19.0~ 23.0	剩余 ^b	5.0	0.75	0.08	15.0~ 17.0	—	—	0.04	0.02	0.02~ 0.25	—	—	—	3.0~ 4.4	—	—
N06950	0.015	19.0~ 21.0	50.0 min 剩余 ^b	15.0~ 20.0	1.00	1.00	8.0~ 10.0	2.5	0.5	0.04	0.015	—	0.50	—	0.04	1.0	—	—
N06952	0.03	23.0~ 27.0	48.0~ 56.0 剩余 ^b	1.0	1.0	6.0~8.0	—	0.5~ 1.5	0.03	0.003	0.6~ 1.5	—	—	—	—	—	—	
N06975	0.03	23.0 ~ 26.0	47.0 ~ 52.0 剩余 ^b	1.00	1.00	5.0~7.0	—	0.70 ~1.20	0.03	0.03	0.70~ 1.50	—	—	—	—	—	—	
N06985	0.015	21.0~ 23.5	剩余 ^b	18.0~ 21.0	1.00	1.00	6.0~8.0	5.0	1.5~ 2.5	0.04	0.03	—	0.50	—	—	1.5	—	—

表 D.3 (续)

UNS	C max. ^a w _C %	Cr w _{Cr} %	Ni w _{Ni} %	Fe max. ^a w _{Fe} %	Mn max. ^a w _{Mn} %	Si max. ^a w _{Si} %	Mo w _{Mo} %	Co max. ^a w _{Co} %	Cu max. ^a w _{Cu} %	P max. ^a w _P %	S max. ^a w _S %	Ti max. ^a w _{Ti} %	Nb+Ta max. ^a w _{Nb+Ta} %	Nb max. ^a w _{Nb} %	V max. ^a w _V %	W max. ^a w _W %	N w _N %	Al max. ^a w _{Al} %
N07022 ^d	0.010	20.0 ~ 21.4	剩余 ^b	1.8	0.5	0.08	15.5~ 17.4	1.0	0.5	0.025	0.015	—	—	—	—	0.8	—	0.5
N08007	0.07	19.0 ~ 22.0	27.5 ~ 30.5	剩余 ^b	1.50	1.50	2.00~ 3.00	—	3.00~ 4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N08020	0.07	19.0~ 21.0	32.0~ 38.0	剩余 ^b	2.00	1.00	2.0~ 3.0	—	3.00 ~ 4.00	0.045	0.035	—	—	8xC ~ 1.00 ^c	—	—	—	—
N08024	0.03	22.5~ 25.0	35.0 ~ 40.0	剩余 ^b	1.00	0.50	3.5~5.0	—	0.50 ~ 1.50	0.035	0.035	—	—	0.15 ~ 0.35	—	—	—	—
N08026	0.03	22.0~ 26.0	33.0~ 37.2	剩余 ^b	1.00	0.50	5.00~ 6.70	—	2.00~ 4.00	0.03	0.03	—	—	—	—	—	—	—
N08028	0.03	26.0~ 28.0	29.5~ 32.5	剩余 ^b	2.50	1.00	3.0~4.0	—	0.6~ 1.4	0.030	0.030	—	—	—	—	—	—	—
N08032	0.01	22	32	剩余 ^b	0.4	0.3	4.3	—	—	0.015	0.002	—	—	—	—	—	—	—
N08042	0.03	20.0 ~ 23.0	40.0~ 44.0	剩余 ^b	1.00	0.5	5.0~7.0	—	1.5~ 3.0	0.03	0.003	0.6~ 1.2	—	—	—	—	—	—
N08135	0.03	20.5~ 23.5	33.0~ 38.0	剩余 ^b	1.00	0.75	4.0~5.0	—	0.70	0.03	0.03	—	—	—	—	0.2~ 0.8	—	—
N08535	0.030	24.0~ 27.0	29.0~ 36.5	剩余 ^b	1.00	0.50	2.5~4.0	—	1.5	0.03	0.03	—	—	—	—	—	—	—
N08825	0.05	19.5~ 23.5	38.0~ 46.0	剩余 ^b	1.00	0.5	2.5~3.5	—	1.5~ 3.0	—	0.03	0.6~ 1.2	—	—	—	—	—	0.2
N08826	0.05	19.5~ 23.5	38.0~ 46.0	22.0 min	1.00	1.00	2.5~3.5	—	1.5~ 3.0	0.030	0.030	—	—	0.60 ~1.2	—	—	—	—
N08932	0.020	24.0~ 26.0	24.0~ 26.0	剩余 ^b	2.0	0.50	4.7~5.7	—	1.0~ 2.0	0.025	0.010	—	—	—	—	—	0.17 ~ 0.25	—
N10002	0.08	14.5~ 16.5	剩余 ^b	4.0~ 7.0	1.00	1.00	15.0~ 17.0	2.5	—	0.040	0.030	—	—	—	0.35	3.0~ 4.5	—	—
N10276	0.02	14.5~ 16.5	剩余 ^b	4.0~ 7.0	1.00	0.08	15.0 ~17	2.5	—	0.030	0.030	—	—	—	0.35	3.0~ 4.5	—	—
CW12MW	0.12	15.5~ 17.5	剩余 ^b	4.5~ 7.5	1.0	1.0	16.0~ 18.0	—	—	0.04	0.030	—	—	—	0.20 ~0.4	3.75~ 5.25	—	—
CW6MC	0.06	20.0~ 23.0	剩余 ^b	5.0	1.0	1.0	8.0~10	—	—	0.015	0.015	—	—	3.15 ~4.5	1.0	—	—	—

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。

^b 剩余是成分等于 100% 的余额。

^c w_{Nb} 为 8 倍 w_C (%质量分数)，最大值为 1%。

^d 其它元素的质量分数：w_{Ti}=0.2% max 和 w_B=0.006% max。

表 D.4 某些铜镍合金（见 A.4）的化学成分

UNS	C max. w _C %	Cu max. w _{Cu} %	Ni ^a w _{Ni} %	Fe max. w _{Fe} %	Mn max. w _{Mn} %	Si max. w _{Si} %	S ^a max. w _S %
N04400	0.3	剩余 ^b	63.0~70.0	2.50	2.00	0.50	0.024
N04455	0.30	剩余 ^b	63.0~70.0	2.5	2.0	0.50	0.025~0.060

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。
^b 剩余是成分等于 100%时的余额。

表 D.5 某些铁素体不锈钢的化学成分（见 A.5）

UNS	C max. w _C %	Cr w _{Cr} %	Ni max. ^a w _{Ni} %	Mn max. w _{Mn} %	Si max. w _{Si} %	Mo w _{Mo} %	N max. w _N %	P max. w _P %	S max. w _S %	其它 max. ^a w %
S40500	0.08	11.5~14.5	—	1.00	1.00	—	—	0.040	0.030	Al 0.10~0.30
S40900	0.08	10.5~11.75	0.50	1.00	1.00	—	—	0.045	0.045	Ti 6×C~0.75 ^b
S43000	0.12	16.0~18.0	—	1.00	1.00	—	—	0.040	0.030	—
S43400	0.12	16.0~18.0	—	1.00	1.00	0.75~1.25	—	0.040	0.030	—
S43600	0.12	16.0~18.0	—	1.00	1.00	0.75~1.25	—	0.040	0.030	(Nb+Ta) 5×C~0.70 ^b
S44200	0.20	18.0~23.0	—	1.00	1.00	—	—	0.040	0.030	—
S44400	0.025	17.5~19.5	1.00	1.00	1.00	1.75~2.50	0.025	0.040	0.030	[Nb+0.2×Ti+4(C+N)] 0.8max. ^b
S44500	0.02	19.0~21.0	0.60	1.00	1.00	—	0.03	0.040	0.012	Nb 10(C+N)~0.8 ^b ; Cu 0.30~0.60
S44600	0.20	23.0~27.0	—	1.50	1.00	—	0.25	0.040	0.030	—
S44626	0.06	25.0~27.0	0.50	0.75	0.75	0.75~1.50	0.04	0.040	0.020	Ti 7×(C+N) min. ^b 且 0.20~1.00, Cu 0.20
S44627	0.010	25.0~27.0	0.50	0.40	0.40	0.75~1.50	0.015	0.015	0.020	Nb 0.05~0.20, Cu 0.20
S44635	0.025	24.5~26.0	3.50~4.50	1.00	0.75	3.50~4.50	0.035	0.040	0.030	[Nb+0.2×Ti+4(C+N)] 0.8 ^b
S44660	0.025	25.0~27.0	1.50~3.50	1.00	1.00	2.50~3.50	0.035	0.040	0.030	[Nb+0.2×Ti+4(C+N)] 0.8 ^b
S44700	0.010	28.0~30.0	0.15	0.30	0.20	3.5~4.2	0.020	0.025	0.020	(C+N) 0.025; Cu 0.15
S44735	0.030	28.0~30.0	1.00	1.00	1.00	3.60~4.20	0.045	0.040	0.030	[Nb+Ta~6(C+N)] 0.20~1.00 ^b
S44800	0.010	28.0~30.0	2.0~2.5	0.30	0.20	3.5~4.2	0.020	0.025	0.020	(C+N) 0.025 ^b ; Cu 0.15

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。
^b 用其它元素的质量分数为基数来表示元素的值，例如，Ti 6×C~0.75 指 Ti 的值在 6 倍 w_C (%) 和 0.75%之间。

表 D.6 某些马氏体不锈钢的化学成分 (见 A.6)

UNS	名称	C	Cr	Ni	Mo	Si	P	S	Mn	N	其它
		max. ^a w _C %	max. ^a w _{Cr} %	max. ^a w _{Ni} %	max. ^a w _{Mo} %	max. ^a w _{Si} %	max. ^a w _P %	max. ^a w _S %	max. ^a w _{Mn} %	w _N %	max. ^a w %
S41000	—	0.15	11.5~ 13.5	—	—	1	0.04	0.03	1	—	—
S41425	—	0.05	12~15	4~7	1.5~2	0.5	0.02	0.005	0.5~ 1.0	0.06~ 0.12	Cu0.3
S41426	—	0.03	11.5~ 13.5	4.5~ 6.5	1.5~3	0.5	0.02	0.005	0.5	—	Ti0.01 ~0.5; V0.5
S41427	—	0.03	11.5~ 13.5	4.5~ 6.0	1.5~ 2.5	0.50	0.02	0.005	1.0	—	Ti0.01; V0.01 ~0.50
S41429	—	0.1	10.5~ 14.0	2.0~ 3.0	0.4~ 0.8	1.0	0.03	0.03	0.75	0.03	^b
S41500	—	0.05	11.5~ 14.0	3.5~ 5.5	0.5~ 1.0	0.6	0.03	0.03	0.5~ 1.0	—	—
S42000	—	0.15min ^a	12~14	—	—	1	0.04	0.03	1	—	—
S42400	—	0.06	12.0~ 14.0	3.5~ 4.5	0.3~ 0.7	0.3~ 0.6	0.03	0.03	0.5~ 1.0	—	—
S42500	—	0.08~ 0.2	14~16	1~2	0.3~ 0.7	1	0.02	0.01	1	0.2	—
J91150	—	0.15	11.5~ 14	1	0.5	1.5	0.04	0.04	1	—	—
J91151	—	0.15	11.5~ 14	1	0.15~1	1	0.04	0.04	1	—	—
J91540	—	0.06	11.5~ 14	3.5~ 4.5	0.4~1	1	0.04	0.03	1	—	—
—	420M	0.15~ 0.22	12~14	0.5	—	1	0.02	0.01	0.25~1	—	Cu0.25
K90941	—	0.15	8~10	—	0.9~1.1	0.5~1	0.03	0.03	0.3~ 0.6	—	—
—	L8013 Cr	0.15~ 0.22	12~14	0.5	—	—	0.02	0.01	0.25~1	—	Cu0.25

^a min 指最小质量分数。此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。

^b 其它元素采用质量百分数来表示，即 Al, 0.05 % max.; B, 0.01 % max.; Nb, 0.02 % max.; Co, 1.0 max.; Cu, 0.5 % max.; Se, 0.01 % max.; Sn, 0.02 % max.; Ti, 0.15 % to 0.75 %; V, 0.25 % max.

表 D.7 某些双相不锈钢的化学成分 (见 A.7 和 D.3)

UNS	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	N	Cu	W	P	S	F _{PREN}
	max. ^a w _C %	max. ^a w _{Cr} %	max. ^a w _{Ni} %	max. ^a w _{Mn} %	max. ^a w _{Si} %	max. ^a w _{Mo} %	max. ^a w _N %	max. ^a w _{Cu} %	max. ^a w _W %	max. ^a w _P %	max. ^a w _S %	
S31200	0.03	24.0~ 26.0	5.5~ 6.5	2	1	1.2~ 2.0	0.14~ 0.20	—	—	0.045	0.03	30~ 36
S31260	0.03	24.0~ 26.0	5.5~ 7.5	1	0.75	2.5~ 3.5	0.10~ 0.30	0.20~ 0.80	0.10~ 0.50	0.03	0.03	34~ 43
S31803	0.03	21.0~ 23.0	4.5~ 6.5	2	1	2.50~ 3.50	0.08~ 0.20	—	—	0.03	0.02	31~ 38
S32404	0.04	20.5~ 22.5	5.5~ 8.5	2	1	2.0~ 3.0	0.20	1.0~ 2.0	0.030	0.03	0.01	27~ 36
S32520	0.03	24.0~ 26.0	5.5~ 8.0	1.5	0.8	3.0~ 5.0	0.20~ 0.35	0.50~ 3.00	—	0.035	0.02	37~ 48
S32550	0.04	24.0~ 27.0	4.5~ 6.5	1.5	1	2.00~ 4.00	0.10~ 0.25	1.5~ 2.5	—	0.04	0.03	32~ 44
S32750	0.03	24.0~ 26.0	6.0~ 8.0	1.2	0.8	3.0~ 4.0	0.24~ 0.32	—	—	0.035	0.02	38~ 48
S32760	0.03	24.0~ 26.0	6.0~ 8.0	1	1	3.0~ 4.0	0.2~ 0.3	0.5~ 1.0	0.5~ 1.0	0.03	0.01	38~ 46
S32803 ^b	0.01	28.0~ 29.0	3.0~ 4.0	0.5	0.5	1.8~ 2.5	0.025	—	—	0.02	0.005	34~ 38
S32900	0.2	23.0~ 28.0	2.5~ 5.0	1	0.75	1.00~ 2.00	—	—	—	0.04	0.03	26~ 35
S32950	0.03	26.0~ 29.0	3.50~ 5.20	2	0.6	1.00~ 2.50	0.15~ 0.35	—	—	0.035	0.01	32~ 43
S39274	0.03	24.0~ 26.0	6.0~ 8.0	1	0.8	2.50~ 3.50	0.24~ 0.32	0.2~ 0.8	1.5~ 2.5	0.03	0.02	39~ 47
S39277	0.025	24.0~ 26.0	6.5~ 8.0		0.8	3.0~ 4.0	0.23~ 0.33	1.2~ 2.0	0.80~ 1.20	0.025	0.002	39~ 46
J93370	0.04	24.5~ 26.5	4.75~ 6.0	1	1	1.75~ 2.25	—	2.75~ 3.25	—	0.04	0.04	30~ 34
J93345	0.08	20.0~ 27.0	8.9~ 11.0	1		3.0~ 4.5	0.10~ 0.30	—	—	0.04	0.025	31~ 47
J93380	0.03	24.0~ 26.0	6.0~ 8.5	1	1	3.0~ 4.0	0.2~ 0.3	0.5~ 1.0	0.5~ 1.0	0.03	0.025	38~ 46
J93404	0.03	24.0~ 26.0	6.0~ 8.0	1.5	1	4.0~ 5.0	0.10~ 0.30	—	—	—	—	39~ 47

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。

^b Nb/(C+N) 最小比值为 12；(C+N) 最大值为 0.030%；Nb 为 0.15%~0.50%。

表 D.8 某些沉淀硬化不锈钢（见 A.8）的化学成分

UNS	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Nb	Ti	Cu	Al	P	S	B	V
	max. w _C %	w _{Cr} %	w _{Ni} %	max. w _{Mn} %	max. w _{Si} %	w _{Mo} %	w _{Nb} %	w _{Ti} %	w _{Cu} %	max. * w _{Al} %	max. w _P %	max. w _S %	w _B %	w _V %
S66286	0.08	13.5 ~ 16.0	24.0 ~ 27.0	2.00	1.00	1.00 ~ 1.50	—	1.90 ~ 2.35	—	0.35	0.040	0.030	0.001 ~ 0.01	0.10 ~ 0.50
S15500	0.07	14.0 ~ 15.5	3.50 ~ 5.50	1.00	1.00	—	0.15 ~ 0.45	—	2.50 ~ 4.50	—	0.040	0.030	—	—
S15700	0.09	14.0 ~ 16.0	6.50 ~ 7.75	1.00	1.00	2.00 ~ 3.00	—	—	—	0.75 ~ 1.50	0.04	0.03	—	—
S17400	0.07	15.0 ~ 17.5	3.00 ~ 5.00	1.00	1.00	—	0.15 ~ 0.45	—	3.00 ~ 5.00	—	0.04	0.03	—	—
S45000	0.05	14.0 ~ 16.0	5.00 ~ 7.00	1.00	1.00	0.50 ~ 1.00	8×C ^b	—	1.25 ~ 1.75	—	0.030	0.030	—	—

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。

^b 指 w_{Nb} 的最小值为 8 倍 w_C (%)。

表 D.9 某些沉淀硬化镍基合金的化学成分 (见 A.9)

UNS	C max. ^a w _C %	Cr w _{Cr} %	Ni w _{Ni} %	Fe max. ^a w _{Fe} %	Mn max. ^a w _{Mn} %	Mo w _{Mo} %	Si max. ^a w _{Si} %	Nb max. ^a w _{Nb} %	Ti max. ^a w _{Ti} %	Cu max. ^a w _{Cu} %	Al max. ^a w _{Al} %	Co max. ^a w _{Co} %	N max. ^a w _N %	B max. ^a w _B %	P max. ^a w _P %	S max. ^a w _S %
N06625	0.10	20.0 ~ 23.0	剩余 ^b	5.0	0.50	8.0 ~ 10.0	0.50	3.15 ~ 4.15	0.40	—	0.40	—	—	—	0.015	0.015
N07022 ^e	0.010	20.0 ~ 21.4	剩余 ^b	1.8	0.5	15.5 ~ 17.4	0.08	—	—	0.5	0.5	1.0	—	0.006	0.025	0.015
N07031	0.03 ~ 0.06	22.0 ~ 23.0	55.0 ~ 58.0	剩余 ^b	0.20	1.7 ~ 2.3	0.20	—	2.10 ~ 2.60	0.60 ~ 1.20	1.00 ~ 1.70	—	—	0.003 ~ 0.007	0.015	0.015
N07048	0.015	21.0 ~ 23.5	剩余 ^b	18.0 ~ 21.0	1.0	5.0 ~ 7.0	0.10	0.5	1.5 ~ 2.0	1.5 ~ 2.2	0.4 ~ 0.9	2.0	—	—	0.02	0.01
N07090	0.13	18.0 ~ 21.0	剩余 ^b	3.0	1.0	—	—	—	1.8 ~ 3.0	—	0.8 ~ 2.0	15.0 ~ 21.0	—	—	—	—
N07626	0.05	20.0 ~ 23.0	剩余 ^b	6.0	0.50	8.0 ~ 10.0	0.50	4.50 ~ 5.50	0.60	0.50	0.40 ~ 0.80	1.00	0.05	—	0.02	0.015
N07716	0.03	19.0 ~ 22.0	57.0 ~ 63.0	剩余 ^b	0.20	7.0 ~ 9.5	0.20	2.75 ~ 4.00	1.00 ~ 1.60	—	0.35	—	—	—	0.015	0.01
N07718	0.08	17.0 ~ 21.0	50.0 ~ 55.0	剩余 ^b	0.35	2.8 ~ 3.3	0.35	4.75 ~ 5.50	0.65 ~ 1.15	0.30	0.20 ~ 0.80	1.00	—	0.006	0.015	0.015
N07725	0.03	19.0 ~ 22.5	55.0 ~ 59.0	剩余 ^b	0.35	7.00 ~ 9.50	0.20	2.75 ~ 4.00	1.00 ~ 1.70	—	0.35	—	—	—	0.015	0.01
N07773	0.03	18.0 ~ 27.0	45.0 ~ 60.0	剩余 ^b	1.00	2.5 ~ 5.5	0.50	2.5 ~ 6.0	2.0	—	2.0	—	—	—	0.03	0.01
N07924 ^c	0.020	20.5 ~ 22.5	52.0 ~ min	7.0 ~ 13.0	0.20	5.5 ~ 7.0	0.20	2.75 ~ 3.5	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 4.0	0.75	3.0	0.20	—	0.030	0.005
N09777	0.03	14.0 ~ 19.0	34.0 ~ 42.0	剩余 ^b	1.00	2.5 ~ 5.5	0.50	0.1	—	—	0.35	—	—	—	0.03	0.01
N09925	0.03	19.5 ~ 23.5	38.0 ~ 46.0	22.0 ~ min	1.00	2.50 ~ 3.50	0.50	0.50	1.90 ~ 2.40	1.50 ~ 3.00	0.10 ~ 0.50	—	—	—	—	0.03
N09935 ^d	0.03	19.5 ~ 22.0	34.0 ~ 38.0	剩余 ^b	1.0	2.0 ~ 5.0	0.50	0.20 ~ 1.0	1.80 ~ 2.50	1.0 ~ 2.0	0.50	1.0	—	—	0.025	0.001
N09945	0.005 ~ 0.04	19.5 ~ 23.0	45.0 ~ 55.0	剩余 ^b	1.0	3.0 ~ 4.0	0.5	2.5 ~ 4.5	0.5 ~ 2.5	1.5 ~ 3.0	0.01 ~ 0.7	—	—	—	0.03	0.03
N05500	0.25	—	63.0 ~ 70.0	2.00	1.50	—	0.50	—	0.35 ~ 0.85	剩余 ^b	2.30 ~ 3.15	—	—	—	—	—
N07750	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

^a min•指最小质量分数。此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。

^b 剩余是成分等于 100%时的余额。

^c 其它元素的质量分数：w_w 最大值为 0.5%且 w_{Mg} 最大值为 0.0050%。

^d 其它元素的质量分数：w_w 最大值为 1.0%。

^e 其它元素的质量分数：w_{Ta} 最大值为 0.2%且 w_w 最大值为 0.8%。

表 D.10 某些钴基合金的化学成分 (见 A.10)

UNS	C max. ^a w _C %	Cr w _{Cr} %	Ni w _{Ni} %	Co w _{Co} %	Fe max. ^a w _{Fe} %	Mn max. ^a w _{Mn} %	Si max. ^a w _{Si} %	Mo w _{Mo} %	B max w _B %	P max. * w _P %	S max w _S %	Be max. w _{Be} %	Ti max. ^a w _{Ti} %	W w _W %	N w _N %
R30003	0.15	19.0 ~ 21.0	15.0 ~ 16.0	39.0 ~ 41.0	剩余 ^b	1.5~ 2.5	—	6.0~ 8.0	—	—	—	1.00	—	—	—
R30004	0.17 ~ 0.23	19.0 ~ 21.0	12.0 ~ 14.0	41.0 ~ 44.0	剩余 ^b	1.35 ~ 1.80	—	2.0~ 2.8	—	—	—	0.06	—	2.3 ~ 3.3	—
R30035	0.025	19.0 ~ 21.0	33.0 ~ 37.0	剩余 ^b	1.0	0.15	0.15	9.0~ 10.5	—	0.015	0.01	—	1.00	—	—
R30159	0.04	18.0 ~ 20.0	剩余 ^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 ^c	0.05	11.7 ~ 12.3	剩余 ^b	41.0 ~ 42.0	9.8~ 10.4	0.40 ~ 1.10	0.20 ~ 0.60	3.70 ~ 4.30	—	—	—	0.20 ~ 0.30	0.80 ~ 1.20	3.60 ~ 4.20	—
R31233	0.02 ~ 0.10	23.5 ~ 27.5	7.0 ~ 11.0	剩余 ^b	1.0~ 5.0	0.1~ 1.5	0.05 ~ 100	4.0~ 6.0	—	0.03	0.02	—	—	1.0 ~ 3.0	0.03 ~ 0.12
R30605	0.05 ~ 0.15	19.0 ~ 21.0	9.0 ~ 11.0	剩余 ^b	3.0	2.0	1.00	—	—	—	—	—	—	13.0 推 荐	—

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。

^b 剩余是成分等于 100% 时的余额。

^c 其它元素，采用质量百分数来表示，Nb 最大质量分数 0.1%，Cu 最大质量分数 0.30%。

表 D.11 某些钛合金的化学成分（见 A.11）

UNS	Al max. ^a W _{Al} %	V max. ^a w _v %	C max. ^a w _c %	Cr max. ^a w _{Cr} %	Fe max. ^a w _{Fe} %	H max. ^a w _H %	Mo max. ^a w _{Mo} %	N max. ^a w _N %	Ni w _{Ni} %	Sn max. ^a w _{Sn} %	Zr max. ^a w _{Zr} %	其它 max. ^a w %	Ti
R50250			0.10		0.20	0.015		0.03				O 0.18	剩余 ^b
R50400	—	—	0.10	—	0.30	0.015		0.03	—	—	—	O 0.25	剩余 ^b
R56260	6	—		—	—	—	6	—	—	2	4	—	剩余 ^b
R53400	—	—	0.08	—	0.30	0.015	0.2 [~] 0.4	0.03	0.6 [~] 0.9	—	—	O 0.25	剩余 ^b
R56323	2.5 [~] 3.5	2.0 [~] 3.0	0.08	—	0.25	0.015	—	0.03	—	—	—	O 0.15 Ru 0.08 [~] 0.14	剩余 ^b
R56403	5.5 [~] 6.75	3.5 [~] 4.5	0.10	—	0.40	0.0125	—	0.05	0.3 [~] 0.8	—	—	O 0.20 Pd 0.04 [~] 0.08 残留的 ^c	剩余 ^b
R56404	5.5 [~] 6.5	3.5 [~] 4.5	0.08	—	0.25	0.015	—	0.03	—	—	—	O 0.13 Ru 0.08 [~] 0.14	剩余 ^b
R58640	3	8	—	6	—	—	4	—	—	—	4	—	剩余 ^b

^a 此处显示的是一个范围，指最小质量分数到最大质量分数。
^b 剩余是成分等于 100%时的余额。
^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%。

表 D.12 R05200 钽合金的化学成分（见 A.11）

UNS	C max. w _c %	Co max. w _{Co} %	Fe max. w _{Fe} %	Si max. w _{Si} %	Mo max. w _{Mo} %	W max. w _w %	Ni max. w _{Ni} %	Ti max. w _{Ti} %	其它 max W %	Ta
R05200 ^a	0.01	0.05	0.01	0.005	0.01	0.03	0.01	0.01	0.015	剩余 ^b

^a 其它元素，采用质量百分数来表示，Nb 最大质量分数 0.05%，H 最大质量分数 0.001%，和 O 最大质量分数 0.015%。
^b 剩余是成分等于 100%时的余额。

附录 E

(资料性附录)

试验条件的推荐组合

表 E.1 中所列的试验条件的推荐组合可用来帮助确定 CRAs 和其它合金允许的应用范围。

本表中所示的“等级”最初用在 NACE MR0175 中。该“等级”被保留下来是为了维持术语的连贯性，且这些用数据组合的“等级”是以附录 A 表中所列的材料类型和单一合金的许多环境限制为基础。

表 E.1 试验条件

环境因素	特定的试验条件						
	等级 I	等级 II	等级 III	等级 IV	等级 V	等级 VI	等级 VII
温度 °C (°F)	25±3 (77±5)	按照 B.4 规定的 试验	按照 B.4 和 B.8 规定 的试验	90±5 (194±9)	150±5 (302±9)	175±5 (347±9)	205±5 (401±9)
P _{CO2} MPa(psi)	由使用者 规定并提 交文字依 据的试验 条件			0.7 (100)	1.4 (200)	3.5 (500)	3.5 (500)
P _{H2S} MPa(psi)				0.003 (0.4)	0.7 (100)	3.5 (500)	3.5 (500)
NaCl 最小值 质量百分数				15	15	20	25
计算的 Cl ^{-a} 毫克/升				101000	101000	13900	180000
pH				见 B.3.5.1 和 B.3.5.2			
S ⁰				选项 (见 B.7)			
与钢电耦合				选项 (见 B.8)			
其它				见 B.3.5.1			

^a表 A.1~A.42 中所用室温下当量 mg/L 浓度依据相应的质量百分数值计算得出。

参考文献

- [1] ISO 13680, 石油和天然气工业—用作管套、管道和接箍的耐腐合金无缝钢管—交货技术条件
- [2] ISO 15510, 不锈钢—化学成分
- [3] ASTM A182/A182M, 高温用锻制或轧制合金钢管道法兰、锻制管配件、阀门和零件标准规范
- [4] ASTM A213/A213M, 无缝铁素体和奥氏体合金钢锅炉管、过热器管和换热器管标准规范
- [5] ASTM A276, 不锈钢棒材和型材标准规范
- [6] ASTM A351/A351M, 承压件用奥氏体和奥氏体-铁素体铸件标准规范
- [7] ASTM A743/A743M, 一般用途的铁—铬、铁—铬—镍耐腐蚀铸件标准规范
- [8] ASTM A744/A744M, 恶劣工作条件用铁—铬—镍耐腐蚀铸件标准规范
- [9] BONIS, M. 和 CROLET, J-L. CO₂ 和 H₂S 压力下腐蚀试验中怎样对压热器加压, 腐蚀, 56, 2000, No. 2, pp. 167-182
- [10] BS HR.3⁵⁾, 镍-钴-铬-钼-铝-钛耐热合金坯料、棒材、锻件和零件规范 (镍基, Co 20, Cr 14.8, Mo 5, Al 4.7, Ti 1.2)
- [11] 欧洲腐蚀联合会出版物 No. 16, 油气开采中含 H₂S 的环境所用碳钢和低合金钢材料要求指南, ISBN 0-901716-95-2
- [12] NACE MR0175, 油田环境中抗硫化物应力裂纹和应力腐蚀开裂性的金属
- [13] NACE MR0176, 油田腐蚀环境中用于抽油泵的金属材料
- [14] NACE TM0284, 管道和压力容器抗氢致开裂钢性能评价
- [15] ASM 国际(ASM), ASM 材料工程词典, Ohio, USA
- [16] ASTM E18, 金属材料洛氏硬度和洛氏表面硬度的测试方法
- [17] ASTM E384, 材料的努氏和维氏硬度标准试验方法
- [18] CRC 化学和物理手册⁶⁾

⁵⁾ 英国标准协会, 地址: 389 Chiswick High Road, London W4 4AL, UK。

⁶⁾ 可从 CRC 在线获取。