

ICS 71.020  
P 72  
备案号: J2558-2018

SHI

# 中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3193—2017

---

## 石油化工湿硫化氢环境设备设计导则

Design guideline for the petrochemical equipment of wet H<sub>2</sub>S refinery service in  
petrochemical industry

2017-07-07发布

2018-01-01实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 目 次

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 前言                                  | III |
| 1 范围                                | 1   |
| 2 规范性引用文件                           | 1   |
| 3 术语和定义                             | 2   |
| 4 腐蚀环境及分类                           | 3   |
| 5 材料                                | 3   |
| 5.1 推荐材料                            | 3   |
| 5.2 材料选择原则                          | 4   |
| 5.3 材料附加要求                          | 4   |
| 5.4 湿硫化氢环境下的螺栓材料                    | 6   |
| 5.5 湿硫化氢环境下的普通碳素钢换热管                | 6   |
| 5.6 焊接材料                            | 6   |
| 5.7 材料匹配                            | 6   |
| 6 设计                                | 7   |
| 6.1 一般规定                            | 7   |
| 6.2 其他                              | 7   |
| 7 制造                                | 7   |
| 7.1 一般规定                            | 7   |
| 7.2 焊接工艺评定                          | 7   |
| 7.3 冷成形                             | 8   |
| 7.4 焊接                              | 8   |
| 7.5 焊后热处理                           | 10  |
| 7.6 无损检测                            | 10  |
| 附录 A (资料性附录) H <sub>2</sub> S 分压的确定 | 11  |
| 附录 B (资料性附录) 冷却时间 $t_{8/5}$ 的确定     | 12  |
| 本导则用词说明                             | 16  |
| 附: 条文说明                             | 17  |

## Contents

|   |     |
|---|-----|
| Foreword .....  | III |
| 1 Scope .....   | 1   |
| 2 Normative references .....  | 1   |
| 3 Terms and definitions .....   | 2   |
| 4 Corrosive environment and sorts .....   | 3   |
| 5 Materials .....   | 3   |
| 5.1 Recommended materials .....   | 3   |
| 5.2 Materials selection principal .....   | 4   |
| 5.3 Additional requirements .....   | 4   |
| 5.4 Bolt materials in wet H <sub>2</sub> S service .....                        | 6   |
| 5.5 Carbon steel tubes in wet H <sub>2</sub> S service .....                    | 6   |
| 5.6 Welding materials .....   | 6   |
| 5.7 Materials matching .....  | 6   |
| 6 Design .....  | 7   |
| 6.1 General provisions .....  | 7   |
| 6.2 Others .....  | 7   |
| 7 Fabrication .....   | 7   |
| 7.1 General provisions .....  | 7   |
| 7.2 Welding procedure qualification .....                                       | 7   |
| 7.3 Cold forming .....  | 8   |
| 7.4 Welding .....   | 8   |
| 7.5 Post weld heat treatment .....  | 10  |
| 7.6 Non-destructive detection .....   | 10  |
| Annex A (Informative) Calculation of partial pressure of H <sub>2</sub> S ..... | 11  |
| Annex B (Informative) Determination of cooling time ( $t_{8/5}$ ) .....         | 12  |
| Explanation of wording in this guideline .....                                  | 16  |
| Add: Explanation of articles .....  | 17  |

## 前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《2010年第一批行业标准制修订计划》(工信厅科[2010]74号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本导则。

本导则共分7章和2个附录。

本导则的主要技术内容是:炼油厂湿硫化氢腐蚀环境的定义及分类,设备设计、材料选择、制造及检验等方面的技术规定和要求。

本导则由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司设备设计技术中心站负责日常管理,由中石化洛阳工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位。

本导则日常管理单位:中国石油化工集团公司设备设计技术中心站

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码:100101

电 话:010-84877513

传 真:010-84878856

本导则主编单位:中石化洛阳工程有限公司

通讯地址:河南省洛阳市中州西路27号

邮政编码:471003

本导则参编单位:中国石化工程建设有限公司

舞阳钢铁有限责任公司

青岛安全工程研究院

本导则主要起草人员:张国信 李群生 张迎恺 仇恩沧 赵文忠 王金光 莫德敏 李双权  
刘小辉 李桂军

本导则主要审查人员:刘 文 葛春玉 林 衡 郭益德 杨俊岭 杨剑蓉 张新国 勾士文  
谢 东 何智灵 杨盛启 吴晓滨 莫德敏 杨一凡

本标准为首次发布。

# 石油化工湿硫化氢环境设备设计导则

## 1 范围

本导则规定了炼油装置湿硫化氢环境使用的静设备，为抵抗硫化物应力开裂（SSC）、氢诱导开裂（HIC）和应力导向氢诱导开裂（SOHIC），在设计、材料、制造、检验等方面的要求。

本导则适用于炼油装置湿硫化氢环境中普通碳素钢、碳锰钢和复合材料制容器、球形储罐、热交换器和空冷器等静设备。

本导则不包括湿硫化氢引起的电化学失重腐蚀和其他类型的开裂，也不包括在接触介质侧金属表面增加防腐涂层以防止基体材料腐蚀开裂的设备。

## 2 规范性引用文件

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

- TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术监察规程
- GB/T 150（所有部分） 压力容器
- GB/T 151 热交换器
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 4157 金属在硫化氢环境中抗特殊形式环境开裂实验室实验
- GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 8165 不锈钢复合钢板和钢带
- GB/T 8650 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢钢板和钢带
- NB/T 47002.1 压力容器用爆炸焊接复合板 第1部分：不锈钢-钢复合板
- NB/T 47008 承压设备用普通碳素钢和低合金钢锻件
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 超声检测
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 磁粉检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 渗透检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47015 压力容器焊接规程
- NB/T 47018.1~47018.4 承压设备用焊接材料订货技术条件
- SH/T 3074 石油化工钢制压力容器
- SH/T 3075 石油化工钢制压力容器材料选用规范

NACE SP0472 石油化工炼油厂防止碳钢焊缝现场开裂的控制办法 (Methods and Controls to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments)

NACE TM0177 硫化氢腐蚀环境下防止材料 SSC 和 SCC 开裂的实验室试验办法 (Laboratory Testing of metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosive Cracking In H<sub>2</sub>S Environments)

NACE TM0284 管道压力容器抗氢致开裂钢性能评价试验办法 (Evaluation of pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking)

ASME BPVC. II .A SA-516/SA-516M 中、低温压力容器用碳钢板 (Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate and Lower Temperature service)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本导则。

#### 3.1

**硫化物应力开裂 (SSC) sulfide stress cracking**

在有水和硫化氢共存的情况下,与腐蚀环境和拉应力[残留的和(或)外加的]有关的一种金属开裂。硫化物应力开裂与金属表面的因酸性介质腐蚀所产生的原子氢引起的金属脆性有关。在硫化物存在时硫化物会促进氢的吸收。原子氢能扩散进入金属内部,降低金属的韧性,增加裂纹敏感性。

#### 3.2

**氢诱导开裂 (HIC) hydrogen-induced cracking**

当氢原子扩散进入钢铁材料中并在内部缺陷或夹杂物等陷阱处结合成氢分子(氢气)时,所引起普通碳素钢和低合金钢板内的平面裂纹。

氢诱导开裂裂纹是由于氢聚集后压力增大而产生的。能够引起氢诱导开裂的聚集点常常位于钢中杂质水平较高的地方,这些地方是由于杂质偏析形成具有较高密度的平面型夹杂或异常显微组织(如带状组织)。氢诱导开裂的产生不需要施加外部应力,且与焊接无关。

#### 3.3

**氢鼓泡 (HB) hydrogen blistering**

发生在钢板表面或近表面的氢诱导开裂常常表现为氢鼓泡。

#### 3.4

**阶梯裂纹 (SWC) stepwise cracking**

在钢材中连接相邻平面内的氢诱导开裂的一种裂纹。连接氢诱导裂纹而产生的阶梯裂纹取决于裂纹间的局部应变和裂纹周围组织因溶解氢而引起的脆化程度。

#### 3.5

**应力导向氢诱导开裂 (SOHIC) stress-oriented hydrogen induced cracking**

与主应力(残余的或施加的)方向垂直的一些阶梯小裂纹,使已有的 HIC 裂纹连接起来像阶梯形状的一组裂纹(通常是细小的)。这种开裂可被归类为由外应力和氢诱导开裂及周围的局部应变引起的硫化物应力开裂。应力导向氢诱导开裂(SOHIC)与硫化物应力开裂(SSC)和氢诱导开裂(HIC)及阶梯裂纹(SWC)有关。

#### 3.6

**碳当量 (CE) carbon equivalent**

将普通碳素钢或低合金钢中相关合金元素成分的重量百分比折算成碳的当量,来表征钢材可焊接、冷裂纹敏感性的指数。

## 4 腐蚀环境及分类

4.1 设备接触的介质存在液相水，且具备下列条件之一时应称为湿硫化氢腐蚀环境：

- a) 在液相水中总硫化物含量大于 50mg/L；
- b) 液相水中 pH 值小于 4.0，且总硫化物含量不小于 1mg/L；
- c) 液相水中 pH 值大于 7.6 及氢氰酸 (HCN) 不小于 20mg/L，且总硫化物含量不小于 1mg/L；
- d) 气相中（工艺流体中含有液相水）硫化氢分压（绝压）大于 0.0003MPa。

注：总硫化物主要指溶解在液相水中的  $H_2S_{aq}$ 、 $HS^-$ 、 $S^{2-}$  三种硫化物。

4.2 本导则根据湿硫化氢腐蚀环境引起普通碳素钢及碳锰钢材料开裂的严重程度，以及对设备安全性影响的程度，将湿硫化氢腐蚀环境分为 I 类和 II 类。

4.2.1 当操作介质温度不大于 120℃ 时，且具备下列条件之一者为第 I 类腐蚀环境，应考虑 SSC 损伤。

- a) 液相水中总硫化物含量大于 50mg/L；
- b) 液相水的 pH 值小于 4.0，且含有少量的硫化氢；
- c) 气相中硫化氢分压（绝压）大于 0.0003MPa；
- d) 液相水中含有少量总硫化物，溶解的 HCN 小于 20mg/L，且 pH 值大于 7.6。

4.2.2 当操作介质温度不大于 120℃ 时，且具备下列条件之一者为第 II 类腐蚀环境，除考虑 SSC 外，还要考虑 HIC 和 SOHIC 等损伤。

- a) 液相水中总硫化物含量大于 50mg/L，且 pH 值小于 4.0；
- b) 气相中硫化氢分压（绝压）大于 0.0003MPa，且水中总硫化物含量大于 2000mg/L，pH 值小于 4.0；
- c) 液相水中总硫化物含量大于 2000mg/L，HCN 含量大于 20mg/L，且 pH 值大于 7.6；
- d) 液相水中硫化氢铵 ( $NH_4HS$ ) 浓度大于 2%（质量分数）。

4.3 在按本导则选材、设计、制造的同时，也可考虑采用工艺措施，改善湿硫化氢腐蚀环境以减轻其对材料的腐蚀开裂的影响。

## 5 材料

### 5.1 推荐材料

5.1.1 处于湿硫化氢腐蚀环境下的设备承压件应按表 5.1.1 推荐的材料选用：

表 5.1.1 湿硫化氢腐蚀环境下设备承压件推荐材料

| 类别 | 材 料             | 推荐材料牌号   | 附加要求      |
|----|-----------------|--|-----------|
| I  | 普通碳素钢和碳锰钢       | 钢板：Q245R、Q345R<br>钢管：10、20、16Mn<br>锻件：20、16Mn  | 见 5.3.1 条 |
| II | 抗 HIC 普通碳素钢和碳锰钢 | 钢板：Q245R (HIC)、Q345R (HIC) SA516-60 (HIC) /65 (HIC) /70 (HIC)<br>锻件：20 (HIC)、16Mn (HIC)  | 见 5.3.2 条 |
|    | 复合材料            | 钢板：基材 Q245R 或 Q345R 复合 S11306, S30403, S31603, S32168<br>钢管：基材 10、20、16Mn 复合 S11306, S30403, S31603, S32168<br>锻件：基材 20、16Mn 堆焊 S11306, S30403, S31603, S32168 | 见 5.3.3 条 |

5.1.2 在湿硫氢腐蚀环境下操作的设备承压件选用的材料除应符合相应的材料标准、规程的规定外，还应符合本导则的材料附加要求。

## 5.2 材料选择原则

5.2.1 在第 I 类腐蚀环境下操作的设备承压件应按本导则表 5.1.1 中的普通碳素钢和碳锰钢选用。

5.2.2 在第 II 类腐蚀环境下操作的设备承压件应按本导则表 5.1.1 中的抗 HIC 普通碳素钢和碳锰钢选用，或者选择复合材料。

## 5.3 材料附加要求

5.3.1 第 I 类腐蚀环境下的设备承压件采用本导则表 5.1.1 中的普通碳素钢和碳锰钢。

5.3.1.1 普通碳素钢和碳锰钢应符合下列要求：

- a) 钢板中硫 (S) 和磷 (P) 含量应符合表 5.3.1.1 的规定，锻件和钢管的硫、磷含量也应相应降低。

表 5.3.1.1 普通碳素钢和碳锰钢板硫、磷含量要求

| 化学成分/% (质量分数) | S      | P      |
|---------------|--------|--------|
| 熔炼分析          | ≤0.006 | ≤0.012 |
| 成品分析          | ≤0.008 | ≤0.015 |

b) 碳当量 CE：对普通碳素钢和碳锰钢应按下述要求：

- 1) 当厚度小于等于 38mm 时， $CE \leq 0.43\%$ ；
- 2) 当厚度大于 38mm，小于等于 64mm 时， $CE \leq 0.45\%$ ；
- 3) 当厚度大于 64mm，小于等于 102mm 时， $CE \leq 0.46\%$ ；
- 4) 当厚度大于 102mm 时， $CE \leq 0.48\%$ 。

c) 力学性能（试样须经模拟焊后热处理）

- 1) 材料标准规定的屈服强度下限  $R_{eL} \leq 355\text{MPa}$ ；
- 2) 材料实测最高抗拉强度  $R_m \leq 630\text{MPa}$ ；
- 3)  $-20^\circ\text{C}$  冲击吸收能量合格指标为：本导则表 5.1.1 中普通碳素钢：三个试样平均值  $KV_2 \geq 34\text{J}$ ，允许其中一个  $KV_2 \geq 24\text{J}$ ；本导则表 5.1.1 中碳锰钢：三个试样平均值  $KV_2 \geq 41\text{J}$ ，允许其中一个  $KV_2 \geq 31\text{J}$ 。

d) 供货状态：正火或正火+回火；

e) 无损检测：钢板厚度大于等于 12mm 时，按 NB/T 47013.3 进行 100% 超声检测，合格级别至少为 II 级。

注 1： $CE = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ 。元素以成品分析重量百分比代入，% (质量分数)。

注 2：推荐模拟热处理温度为  $610^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，保温时间不小于 2.5min/每 1mm 厚度 × 预期热处理次数，且不少于 2h。

5.3.1.2 钢板和锻件应逐张（件）进行布氏硬度试验，硬度值应小于等于 200HBW。

5.3.1.3 处于湿硫化氢环境的锻焊设备，其壳体、接管、法兰及接管法兰的锻件级别和附加技术要求按设计文件的规定。

5.3.2 第 II 类腐蚀环境下的设备承压件采用本导则表 5.1.1 中的抗 HIC 普通碳素钢和碳锰钢。

5.3.2.1 抗 HIC 普通碳素钢和碳锰钢钢板除应符合 GB/T 713、SA516-60/65/70 和 NB/T 47008 的规定外，还应满足本导则 5.3.1.2 条及下列要求：

- a) 冶炼方法：采用电炉（或转炉）冶炼+炉外精炼方法（或其他高质量的冶炼方法），应为本质细晶粒钢。
- b) 化学成分： $Ti \leq 0.01\%$ ； $B \leq 0.0005\%$ ； $Nb + V \leq 0.030\%$ 。钢板中硫 (S) 和磷 (P) 含量应符合表 5.3.2.1 的规定，锻件和钢管的硫、磷含量也应相应降低。



表 5.3.2.1 抗 HIC 普通碳素钢及碳锰钢硫、磷含量要求

| 化学成分/% (质量分数) | S      | P      |
|---------------|--------|--------|
| 熔炼分析          | ≤0.002 | ≤0.008 |
| 成品分析          | ≤0.003 | ≤0.010 |

- c) 碳当量 CE:
- 1) 对普通碳素钢,  $CE \leq 0.40\%$ ;
  - 2) 对碳锰钢, 当厚度不大于 50mm 时,  $CE \leq 0.43\%$ ; 当厚度大于 50mm, 小于等于 100mm 时,  $CE \leq 0.45\%$ ; 当厚度大于 100mm 时,  $CE \leq 0.48\%$  (目标值  $CE \leq 0.45\%$ )。
- d) 供货状态: 正火或正火 (允许加速冷却) +回火;
- e) 无损检测: 钢板厚度超过 12mm 时, 应按 NB/T 47013.3 进行 100% 超声检测, 合格级别为 I 级。同时距焊接坡口 100mm 范围内的钢板附加 100% 斜探头超声检测, 合格级别按 NB/T 47013.3—2015 附录 D 的规定。
- 5.3.2.2 钢板和锻件的晶粒度应符合 GB/T 6394 的要求, 晶粒度不粗于 6 级。
- 5.3.2.3 锻件和厚度大于 20mm 的钢板应按照 GB/T 10561 规定的 B 法进行细系、粗系非金属夹杂物评定, 硫化物类 (A 类)、氧化铝类 (B 类)、硅酸盐类 (C 类) 及球状氧化物类 (D 类) 细系、粗系均不得大于 1.5 级、单颗粒球状类 (DS 类) 不大于 1.5 级, 且应满足  $A+C \leq 2.0$ ,  $B+D \leq 2.0$ ,  $A+B+C+D+DS \leq 4.5$  级。
- 5.3.2.4 钢板和锻件经模拟热处理后的力学性能除应符合 GB/T 713、NB/T 47008 的规定外, 还应满足以下要求:
- a) 厚度大于 50mm 的钢板应按 GB/T 5330 进行厚度方向的性能试验, 其厚度方向的拉伸断面收缩率  $Z_z$  三个试样平均值大于等于 35%, 单个试样最低值大于等于 25%。
  - b) 表 5.1.1 中抗 HIC 普通碳素钢钢板和锻件冲击吸收能量三个试样平均值  $KV_2 \geq 34J$ , 允许其中一个试样  $KV_2 \geq 24J$ , 试验温度为  $-20^\circ C$ ; 表 5.1.1 中抗 HIC 碳锰钢钢板和锻件冲击吸收能量三个试样平均值  $KV_2 \geq 41J$ , 允许其中一个试样  $KV_2 \geq 31J$ , 试验温度为  $-30^\circ C$ 。
- 5.3.2.5 抗 HIC 钢板应按 GB/T 4157 或 NACE TM0177 的规定进行抗 SSC 试验, 其门槛值应大于等于 247MPa。
- 5.3.2.6 抗 HIC 钢板应按 GB/T 8650 或 NACE TM0284 的试验方法进行抗 HIC 腐蚀试验, 其试验溶液和试验要求按如下规定:
- a) 采用 GB/T 8650 或 NACE TM0284 的 A 溶液;
  - b) 试样按 GB/T 8650 或 NACE TM0284 中的全厚度阶梯形取样, 每个试样的厚度不大于 30mm;
  - c) 裂纹长度率 (CLR)、裂纹厚度率 (CTR) 和裂纹敏感率 (CSR) 合格指标为:  $CLR < 5\%$ ;  $CTR < 1.5\%$ ;  $CSR < 0.5\%$ 。
- 5.3.2.7 如果用户规定更苛刻的使用环境, HIC 试验可采用现场使用环境同样的条件进行评定, 其合格指标由双方商定。
- 5.3.3 第 II 类腐蚀环境下采用复合材料时, 应符合下列要求:
- a) 复合材料的基材用 Q245R、Q345R、20 锻件、16Mn 锻件应分别符合 GB/T 713、NB/T 47008 的规定, 供货状态为正火或正火+回火。
  - b) 复合材料的覆层 S11306, S30403, S31603, S32168 钢板应符合 GB/T 24511 的规定, 供货状态 S11306 为退火, 奥氏体不锈钢为固溶处理。
  - c) 复合钢板应满足 NB/T 47002.1 或 GB/T 8165 的规定, 其制造方法可采用爆炸复合、轧制复合或爆炸+轧制复合。

d) 复合钢板覆合后应进行消除应力热处理。

#### 5.4 湿硫化氢环境下的螺栓材料

5.4.1 螺栓材料宜选用强度级别较低的普通碳素钢、低合金钢或奥氏体不锈钢。其使用状态符合下列要求：

- a) 普通碳素钢为正火或退火；
- b) 低合金钢为调质；
- c) 奥氏体不锈钢为固溶处理。

5.4.2 普通碳素钢螺栓材料的力学性能除应满足 GB/T 699 的规定外，还应符合下述要求：

- a) 螺栓应进行 $-20^{\circ}\text{C}$ 冲击试验，三个试样的冲击吸收能量平均值  $KV_2 \geq 34\text{J}$ ，允许其中一个试样  $KV_2 \geq 24\text{J}$ ；
- b) 断后伸长率  $A \geq 25\%$ 。

5.4.3 低合金钢螺栓材料的力学性能除应满足 GB/T 3077 的规定外，还应符合下述要求：

- a) 低合金钢螺栓材料应采用电炉冶炼；
- b) 螺栓应以组批为单位进行 $-20^{\circ}\text{C}$ 冲击试验，三个试样的冲击吸收能量允许其中一个试样  $KV_2 \geq 54\text{J}$ ，允许其中一个试样  $KV_2 \geq 38\text{J}$ ；
- c) 断后伸长率  $A \geq 25\%$ 。

5.4.4 螺栓硬度应小于等于 22HRC (237HBW)。

5.4.5 螺栓在车螺纹之前应按照 NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5 进行 100%MT 或 100%PT 检验，合格级别为 I 级，对大于等于 M36 的普通碳素钢和低合金钢螺栓还应按照 NB/T 47013.3 进行 100%超声检测，合格级别为 I 级。

#### 5.5 湿硫化氢环境下的普通碳素钢换热管

5.5.1 处于湿硫化氢腐蚀环境的普通碳素钢换热管宜选用低硫、磷含量的换热管，例如 10 (HSC) 专用换热管。

5.5.2 普通碳素钢换热管除应符合相关标准的规定外，还应满足以下要求：

- a) 材料标准规定的屈服强度的最低值  $R_{el} \leq 300\text{MPa}$ ；
- b) 材料标准规定的抗拉强度的最低值  $R_m \leq 480\text{MPa}$ ；
- c) 材料的使用状态为正火；
- d) 换热管应采用冷轧（拔）制造方法。

#### 5.6 焊接材料

5.6.1 处于湿硫化氢腐蚀环境承压焊缝的焊材应符合 NB/T 47018.1~47018.4 的要求，且其硫、磷含量应与母材相匹配。

5.6.2 焊缝熔敷金属的硬度不应超过 200HBW。

5.6.3 处于湿硫化氢腐蚀环境的设备其焊接方法应采用焊条电弧焊 (SMAW)、埋弧自动焊 (SAW)、气体保护焊 (GMAW)、药芯焊丝电弧焊 (FCAW)、气体保护钨极电弧焊 (GTAW) 进行焊接，焊条电弧焊应采用低氢型焊条。

5.6.4 焊接材料（焊条、焊剂、焊丝）中锰、硅含量应尽可能低。焊条电弧焊 (SMAW) 和埋弧自动焊 (SAW) 使用的焊接材料中锰含量宜小于等于 1.0%（质量分数），硅含量应小于等于 0.50%（质量分数）。

5.6.5 不应采用可能使熔敷金属中镍含量大于 0.4%（质量分数）的焊接工艺和焊材。

#### 5.7 材料匹配

5.7.1 设备主材材料为普通碳素钢和碳锰钢时，其接管、接管法兰应选用强度级别较低的普通碳素钢。

5.7.2 设备主体材料为抗 HIC 普通碳素钢和碳锰钢时，其接管、接管法兰宜选用同种类的抗 HIC 钢。

5.7.3 设备主体材料为奥氏体（铁素体）复合材料时，其接管、接管法兰应采用覆合或堆焊奥氏体不锈钢。

5.7.4 处于接触介质侧的螺栓、螺母材料在满足本导则 5.4 条的要求下，可选用普通碳素钢、低合金钢或奥氏体不锈钢。

## 6 设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 湿硫化氢腐蚀环境下设备的设计应符合 TSG 21 和 GB/T 150（所有部分）、GB/T 151、SH/T 3075 的规定。

6.1.2 湿硫化氢腐蚀环境下设备的设计寿命应符合 SH/T 3074 的规定。

6.1.3 湿硫化氢腐蚀环境下普通碳素钢和碳锰钢制设备的腐蚀裕量一般取 5mm。

6.1.4 复合材料制设备的覆层一般只作为腐蚀裕量，不计入强度计算。

6.1.5 普通碳素钢、碳锰钢和抗 HIC 钢湿硫化氢腐蚀环境中，应避免将铁素体和奥氏体材料承压件相焊接。

### 6.2 其他

6.2.1 材料如果经历  $A_{c3}$  以上温度的热成型后，应按设计文件要求的最终使用状态重新进行热处理。

6.2.2 湿硫化氢腐蚀环境的受压元件的结构设计应尽量避免应力集中。

6.2.3 普通碳素钢及碳锰钢换热管、U 型弯管及 300mm 直管范围煨弯后应进行消除应力热处理或退火处理，热处理后其硬度应小于等于 200HBW（或小于等于 210HV10）。

## 7 制造

### 7.1 一般规定

7.1.1 处于湿硫化氢环境的压力容器的制造除应满足本导则的要求外，还应符合 GB/T 150（所有部分）、GB/T 151 等标准的规定和要求。

7.1.2 处于湿硫化氢环境的压力容器产品试板的制作要求按设计文件执行。

### 7.2 焊接工艺评定

7.2.1 采用普通碳素钢和碳锰钢、抗 HIC 钢制造的设备其焊接工艺评定应按照 NB/T 47014 有关规定执行，同时应满足下列要求：

- a) 焊接工艺评定的硬度试验方法应按 GB/T 4340.1 规定的维氏 HV10 进行，其验收指标应小于等于 200HV10；
- b) 焊接工艺评定的焊接接头（母材、热影响区、焊缝）应按图 7.2.1-1、图 7.2.1-2 规定的位置进行硬度检测。

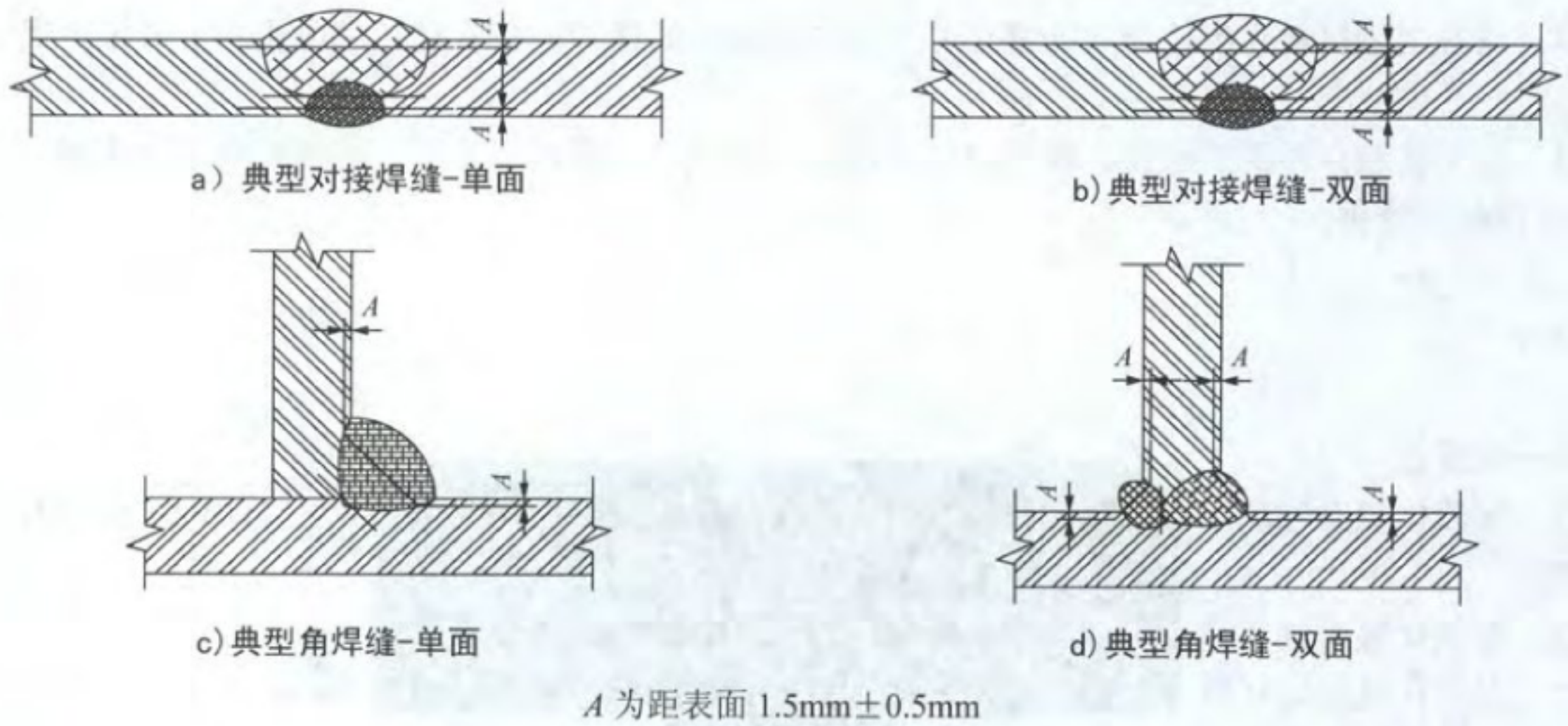


图 7.2.1-1 硬度检测位置

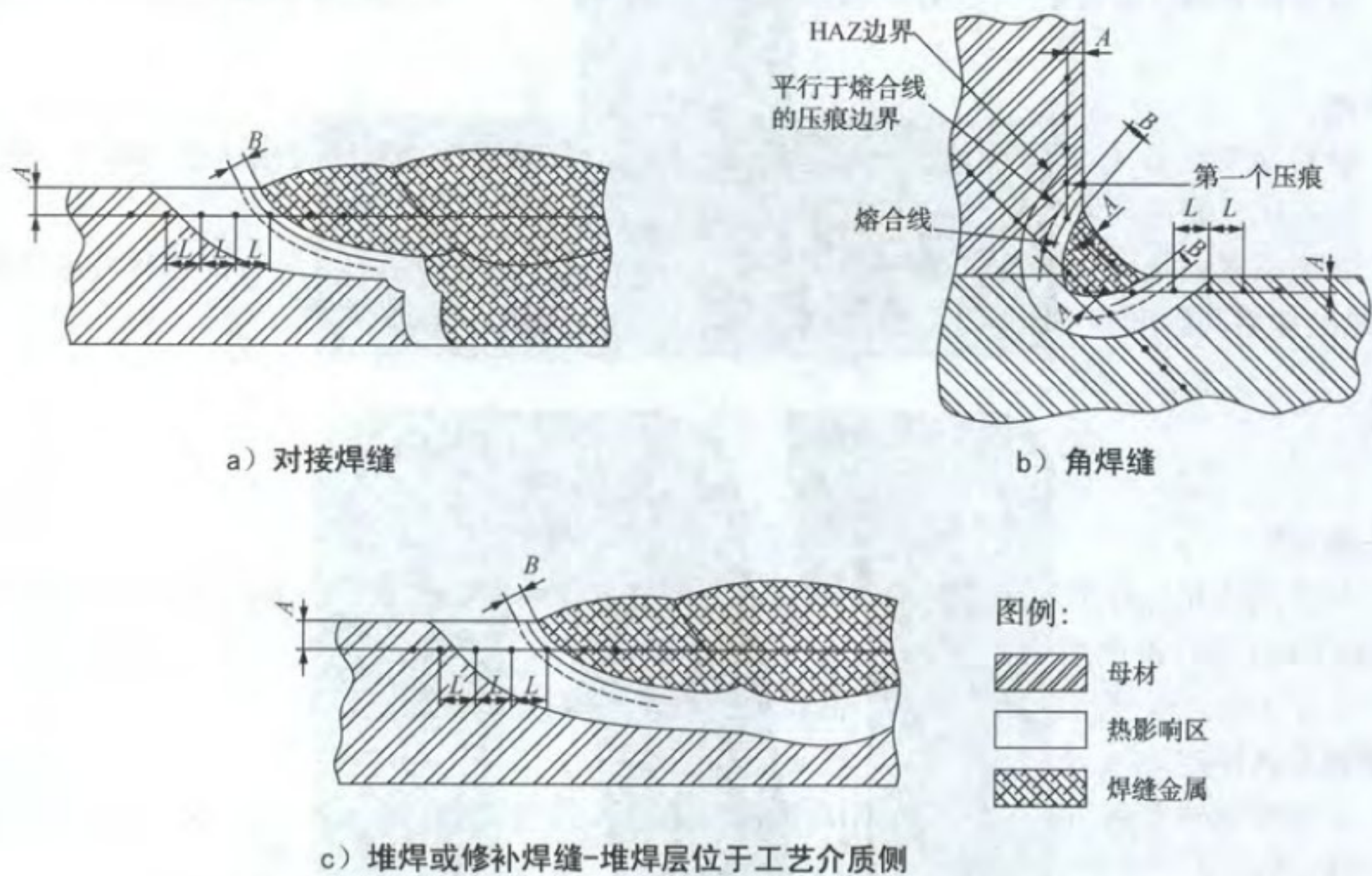


图 7.2.1-2 焊接接头硬度测试位置

A为距表面 $1.5 \pm 0.5$ mm; B为距熔合线 $\leq 0.5$ mm; L为两压痕间距1mm

注: 在临近盖面层和焊缝根部表面进行测量。

7.2.2 焊接工艺评定应包括焊接接头返修工艺。

### 7.3 冷成形

7.3.1 普通碳素钢、碳锰钢和抗 HIC 钢制设备壳体、弯管等经任何冷变形后, 导致材料表面纤维永久变形量大于 5%时, 应作消除应力热处理, 热处理温度不应低于  $600^{\circ}\text{C}$ , 热处理后的硬度值应小于等于 200HBW。

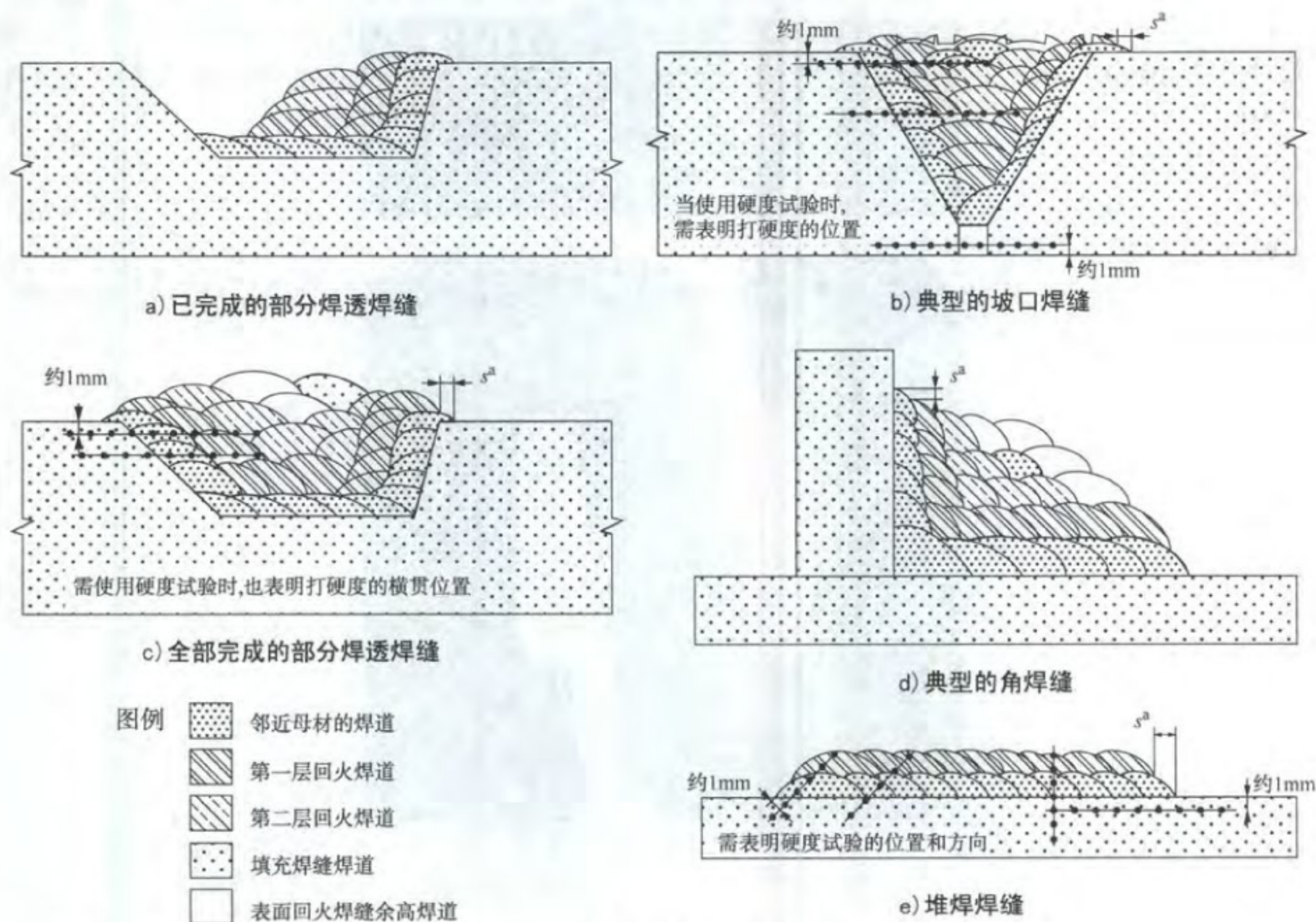
7.3.2 螺栓螺纹采用滚压成形时, 应进行消除应力热处理, 热处理应在成形后进行, 其硬度应符合标准或设计文件对相应材料的要求, 且不大于 22HRC。

### 7.4 焊接

7.4.1 普通碳素钢、碳锰钢和抗 HIC 钢材料制设备的焊接除应符合现行国家标准的有关规定外, 还应

符合下列规定：

- 当设备主体材料的 CE 大于 0.40%，或者 Nb+V 大于 0.01% 时，焊接时应对母材进行预热，预热温度不低于 100℃，且层间温度不应低于预热温度，直至焊接工作完成。当焊接过程还没完成便被终止，完成部分的焊缝应进行磁粉检测，重新开始焊接前应恢复预热温度；
- 焊接过程中应控制焊缝从 800℃ 到 500℃ 范围内的冷却时间 ( $t_{8/5}$ )，使此区域焊缝的冷却时间尽可能短。 $t_{8/5}$  时间计算方法参见附录 B；
- 对接焊缝和角焊缝焊接宜采用回火焊道的焊接技术，回火焊道的焊接宜采用手工 GTAW，以保证焊道与焊道之间产生回火作用。回火焊道焊接结构示意图见图 7.4.1-1 和图 7.4.1-2；
- 当采用回火焊道技术进行焊缝表面缺陷返修时，缺陷的清除范围应不小于 4 倍的缺陷直径，补焊金属不少于两层，最后的盖面层不应接触基体材料表面，焊缝的焊脚与基体材料的距离应按图 7.4.1-2 的要求；
- 所有与承压部件相连的临时性或永久性附件的焊接应对母材进行预热，预热方法应从附件施焊面的另一侧进行，使附件焊接区域能够均匀受热；
- 所有与介质接触侧的相焊承压部件相连的永久性附件的焊接接头应采用全焊透结构；
- 角接焊接接头应圆滑过渡，介质侧的焊接接头上不允许打硬记。



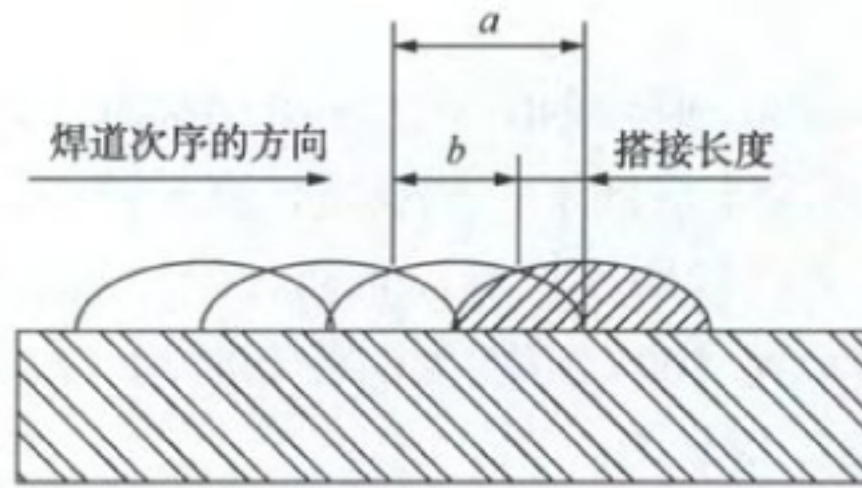
注 1：本图中所示的焊道可以任何次序熔敷，只要其最终焊道布置如图所示。

注 2：表面回火余高焊道可以覆盖整个焊缝表面，也可以仅置于焊趾处。它们可以用机械方法除去，也可以保留。

注 3：靠近完工表面的焊道，可以是回火焊道，也可以是表面回火余高焊道。

<sup>a</sup> 距离  $s$  的测量，是从焊脚到回火焊道边缘，测量应平行于母材表面进行。

图 7.4.1-1 回火焊道结构示意图



注1: 焊道搭接长度的测量: 搭接长度的比例( $\%$ )= $(a-b)/a \times 100\%$ 。

注2: 图中阴影部分焊道覆盖前一焊道达到30%~40%, 距离 $a$ 的测量在下一焊道熔敷前进行。

图 7.4.1-2 回火焊道搭接长度测量

7.4.2 焊接接头的力学性能不应低于母材标准规定的最低值。焊接接头的抗 SSC 和 HIC 试验应符合本导则 5.3.2.5 和 5.3.2.6 条的要求。

#### 7.5 焊后热处理

7.5.1 普通碳素钢、碳锰钢和抗 HIC 钢制设备全部焊接工作完成后应进行焊后消除应力热处理。热处理温度不应低于  $610^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , 保温时间按 NB/T 47015 规定壳体厚度每 25mm 不少于 1h, 且不应少于 2h。不允许采用降低热处理温度, 延长保温时间的方法消除设备的残余应力。

7.5.2 热处理后所有焊缝的硬度值应小于等于 200HBW。硬度检测应尽可能在接触介质侧进行。A、B 类对接焊缝至少每 3m 范围内要进行一处硬度检测, 每条 D 类焊缝至少要检测一处硬度 (每处打 3 点取平均值)。

#### 7.6 无损检测

7.6.1 普通碳素钢、碳锰钢、抗 HIC 制设备焊接接头的无损检测应符合有关标准、设计文件的规定。

7.6.2 磁粉检测方法应采用荧光磁粉法。

7.6.3 普通碳素钢、碳锰钢和抗 HIC 钢制设备焊接接头的无损检测至少有一种检测方法应在焊后热处理之后进行。

附 录 A  
(资料性附录)  
H<sub>2</sub>S 分压的确定

A.1 气相系统的 H<sub>2</sub>S 分压按公式 (A.1) 计算。

H<sub>2</sub>S 分压可用系统总压乘以 H<sub>2</sub>S 在气相中的摩尔分数进行计算:

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

式中:

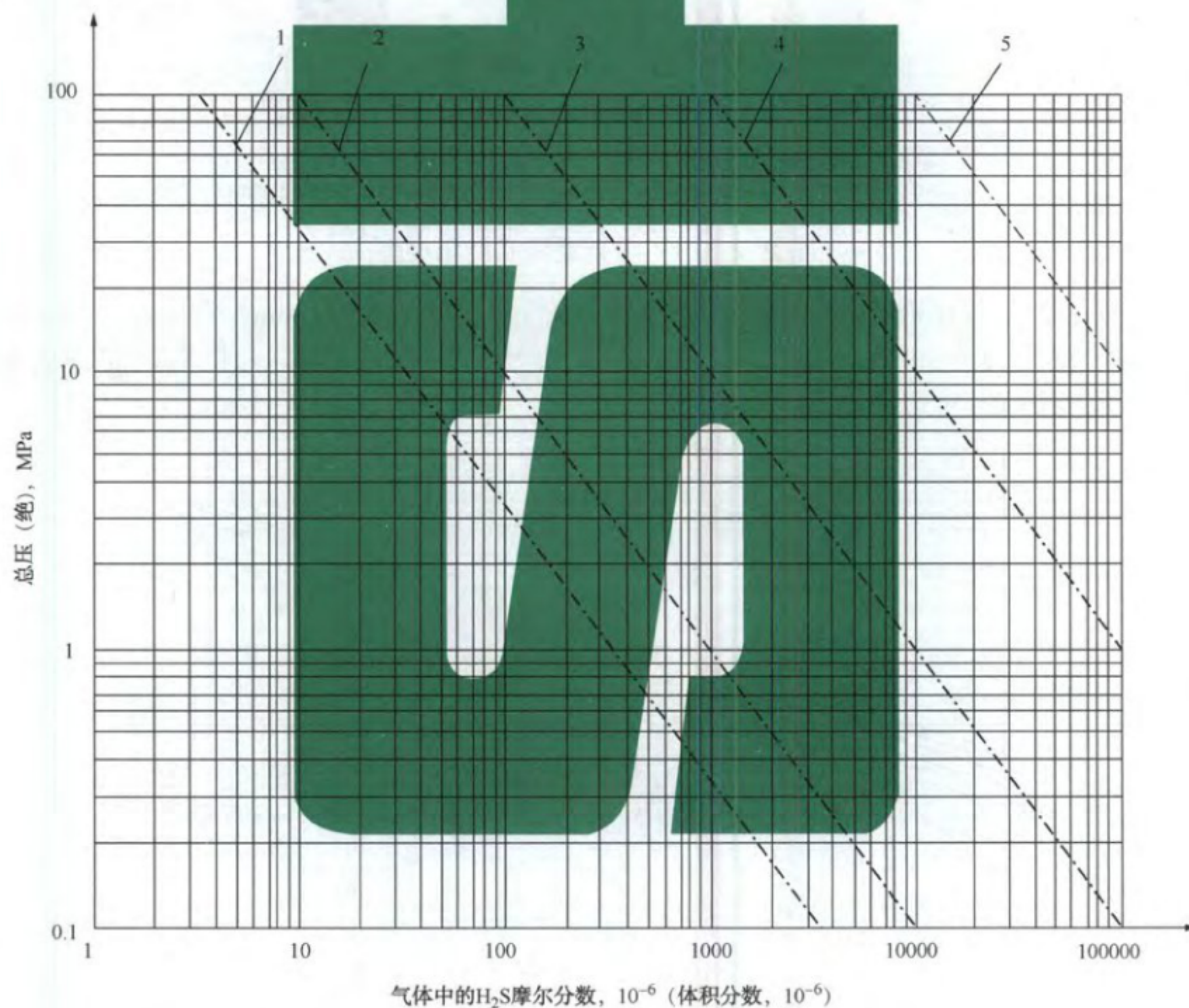
$p_{\text{H}_2\text{S}}$  —— H<sub>2</sub>S 分压, MPa;

$p$  —— 系统总的绝对压力, MPa;

$X_{\text{H}_2\text{S}}$  —— H<sub>2</sub>S 在气体中的摩尔分数, %。

例如, 气体总压为 70MPa, 气体中的 H<sub>2</sub>S 摩尔分数为 10% 时, H<sub>2</sub>S 分压为 7MPa。

A.2 如果系统中的总压和 H<sub>2</sub>S 的浓度是已知的, H<sub>2</sub>S 分压可以用图 A.1 进行计算。



1— $p_{\text{H}_2\text{S}}=0.0003\text{MPa}$ ; 2— $p_{\text{H}_2\text{S}}=0.0001\text{MPa}$ ; 3— $p_{\text{H}_2\text{S}}=0.01\text{MPa}$ ; 4— $p_{\text{H}_2\text{S}}=0.1\text{MPa}$ ; 5— $p_{\text{H}_2\text{S}}=1.0\text{MPa}$

图 A.1 酸性气体系统中 H<sub>2</sub>S 分压等压线

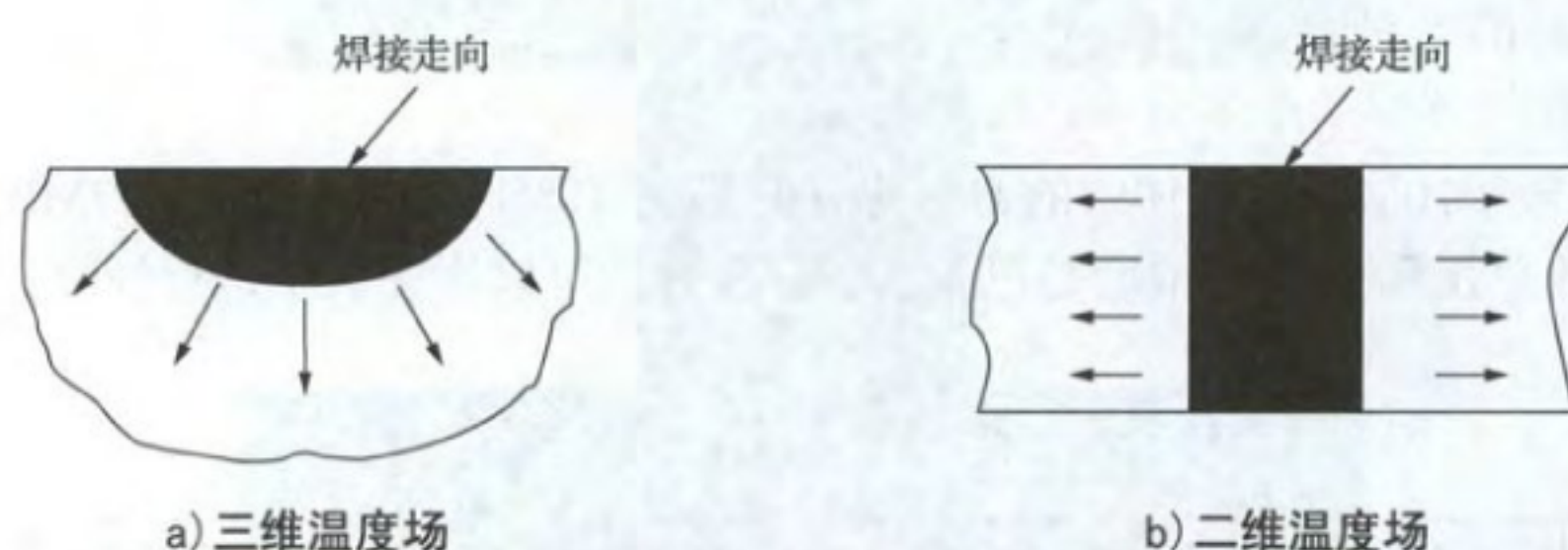
附录 B  
(资料性附录)  
冷却时间  $t_{8/5}$  的确定

B.1 该资料来源于 NACE SP0472。

B.2 对于给定系列焊接连接结构和焊接条件，确定  $t_{8/5}$  分三步。第一步，确定焊接期间温度场的类型，即该温度场是二维的还是三维的；第二步，计算热输入量；第三步，用计算或图解的方法确定  $t_{8/5}$ 。

B.2.1 第一步：确定二维或三维温度场

B.2.1.1 焊接期间温度场类型的确定，无论是二维的还是三维的，取决于影响温度场的部件的厚度，如图 B.2.1.1 所示。

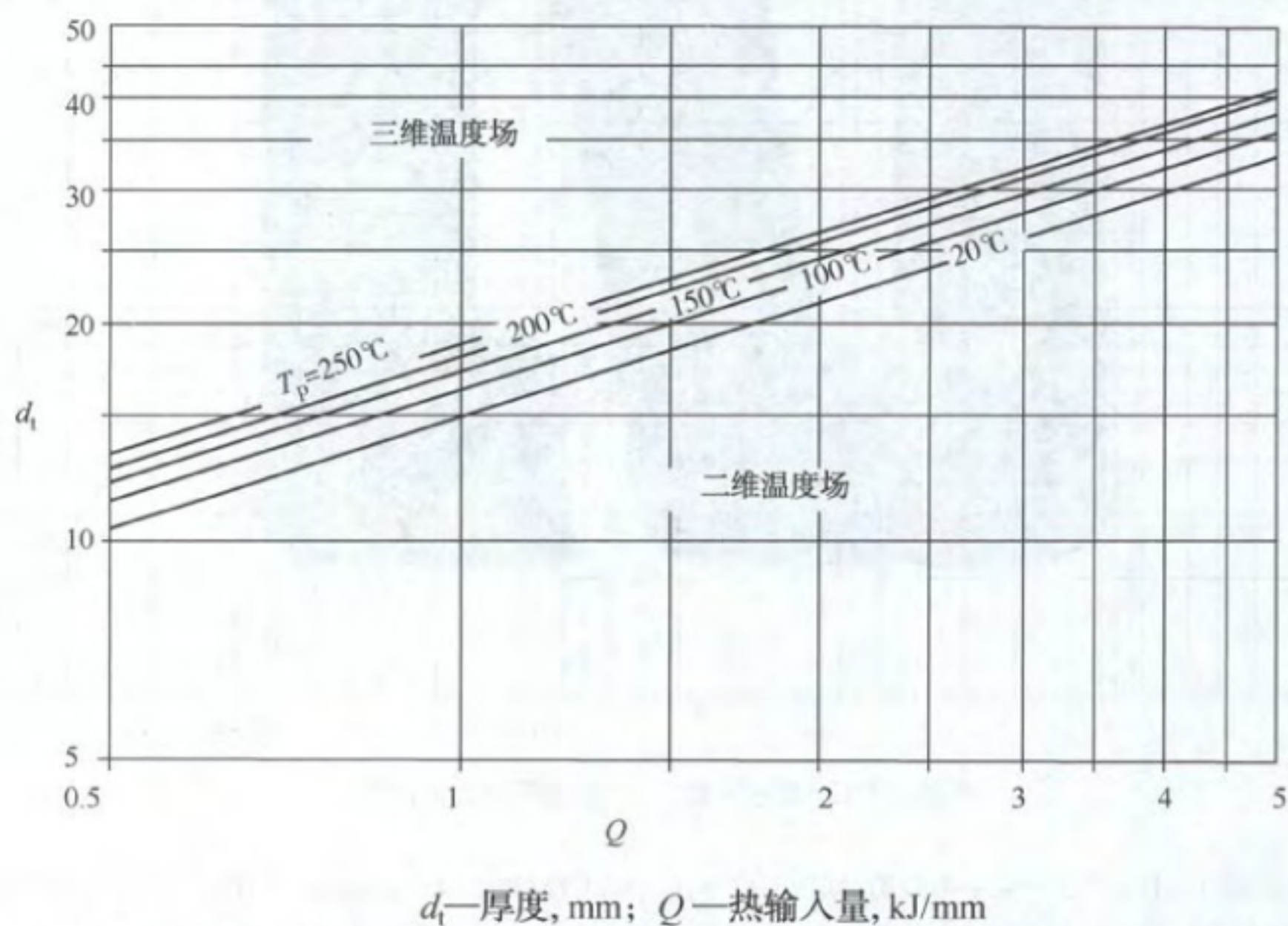


注1：三维温度场，与厚板相关；板厚并不影响冷却时间。

注2：二维温度场，与薄板相关；板厚对冷却时间有决定性的影响。

图 B.2.1.1 焊接期间温度场类型

B.2.1.2 图 B.2.1.2 提供了任何类型焊接和焊接工艺关于板厚度变化 ( $d_t$ , mm)，热输入量 ( $Q$ , kJ/mm) 和预热温度 ( $T_p$ , °C) 间相互关系的信息。该图显示：对任何板厚，在热输入量和预热温度的特殊组合下，可确定温度场是二维的还是三维的。



$d_t$ —厚度, mm;  $Q$ —热输入量, kJ/mm

注：从三维到二维温度场转化与板厚 ( $d_t$ )、预热温度 ( $T_p$ ) 的关系是热输入量 ( $Q$ ) 的函数。

图 B.2.1.2 三维、二维温度场转化图



**B.2.2 第二步：计算热输入量**

热输入量可用公式 (B.2.2) 计算：

$$Q = \varepsilon \times U \times (I/V) / 1000 \dots\dots\dots (B.2.2)$$

式中：

$Q$  —— 总的焊接热输入量，kJ/mm；

$U$  —— 焊接电压，V；

$I$  —— 焊接电流，A；

$V$  —— 焊接速度，mm/s；

$\varepsilon$  —— 焊接工艺的热效率。

不同焊接工艺所对应的  $\varepsilon$  值：

GTAW       $\varepsilon=0.48$

SMAW       $\varepsilon=0.85$

GMAW       $\varepsilon=0.85$

SAW         $\varepsilon=1.0$

**B.2.3 第三步：按计算方法确定  $t_{8/5}$** 

焊接条件和  $t_{8/5}$  的相互关系可以用二维和三维温度场间不同的方程式来描述。对非合金钢和碳锰钢的三维温度场， $t_{8/5}$  可用公式 (B.2.3-1) 来确定：

$$t_{8/5} = (6700 - 5T_p) \times Q \times \left( \frac{1}{500 - T_p} - \frac{1}{800 - T_p} \right) \times F_3 \dots\dots\dots (B.2.3-1)$$

式中：

$t_{8/5}$  —— 冷却时间，s；

$T_p$  —— 预热温度，℃；

$Q$  —— 总的焊接热输入量，kJ/mm；

$F_3$  —— 三维温度场合适的形状因子，查自表 B.2.3。

对非合金钢和碳锰钢的二维温度场， $t_{8/5}$  可用公式 (B.2.3-2) 来确定：

$$t_{8/5} = (4300 - 4.3T_p) \times Q \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[ \left( \frac{1}{500 - T_p} \right)^2 - \left( \frac{1}{800 - T_p} \right)^2 \right] \times F_2 \dots\dots\dots (B.2.3-2)$$

式中：

$t_{8/5}$  —— 冷却时间，s；



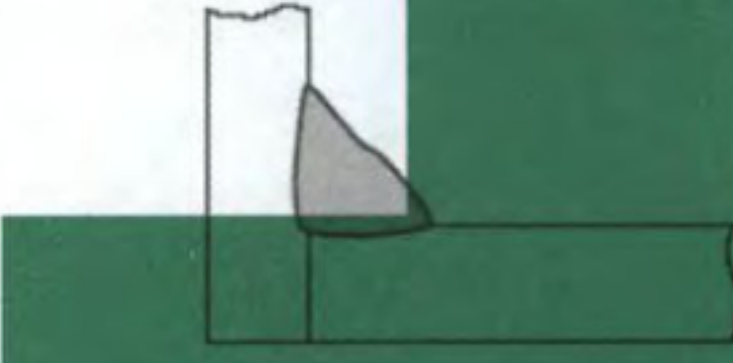
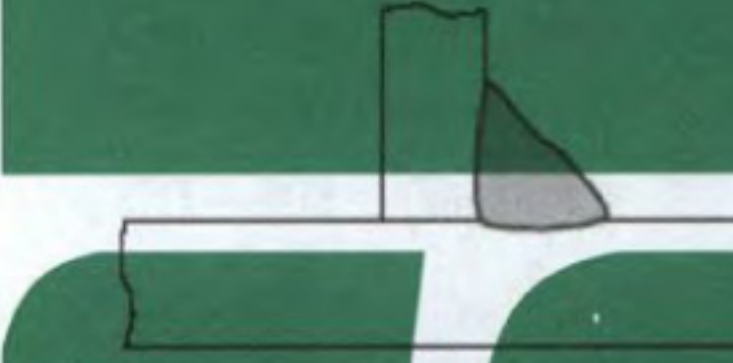
$T_p$  —— 预热温度，℃；

$Q$  —— 总的焊接热输入量，kJ/mm；

$F_2$  —— 二维温度场的形状因子，查自表 B.2.3；

$d$  —— 厚度，mm。

表 B.2.3  $t_{8/5}$  形状因子

| 焊缝形状       |  | 形状因子           |                |
|------------|--|----------------|----------------|
|            |  | $F_2$<br>二维温度场 | $F_3$<br>三维温度场 |
| 平板表面焊缝     |    | 1.0            | 1.0            |
| 对接焊缝       |   | 0.9            | 0.9            |
| 单面角接接头焊缝   |  | 0.9~0.67       | 0.67           |
| T形接头的单面角焊缝 |  | 0.45~0.67      | 0.67           |

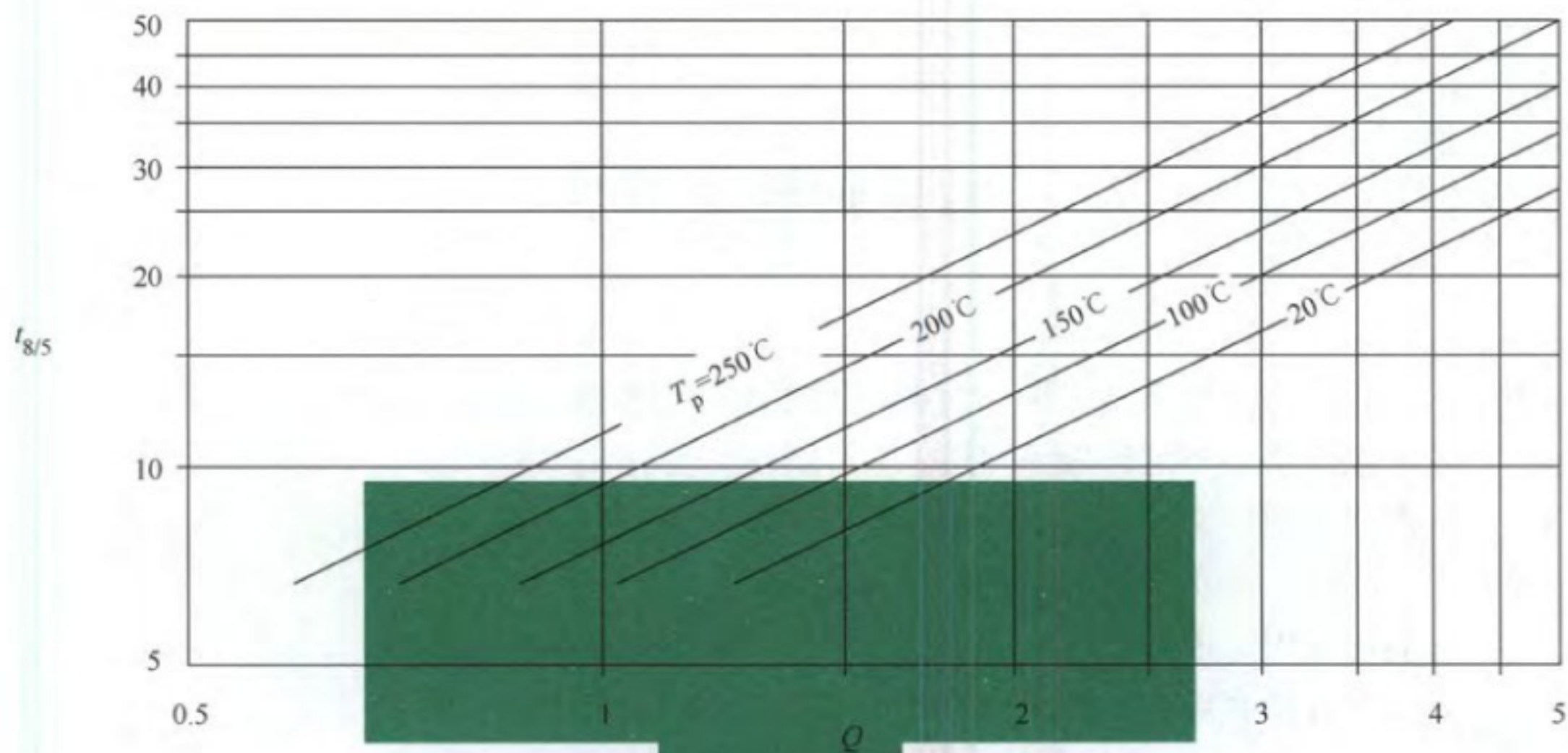
#### B.2.4 第三步：图解法确定 $t_{8/5}$

冷却时间 ( $t_{8/5}$ ) 可以用图 B.2.4-1 或 B.2.4-2 确定，首先用图 B.2.1.1 确定温度场类型并且用公式 (B.2.2) 计算热输入量 ( $Q$ )。冷却时间根据图 B.2.4-1 或 B.2.4-2 的热输入量来确定。

**B.2.4.1** 对三维温度场，冷却时间 ( $t_{8/5}$ )，热输入量 ( $Q$ ) 和预热温度 ( $T_p$ ) 的关系在图 B.2.4-1 中给出，它是针对运行于形状因子为 1.0 平板焊缝。图 B.2.4-1 建立于公式 (B.2.3-1) 之上。如果图 B.2.4-1 应用于其他形状的焊缝，应该考虑使用表 B.2.3 中给定的形状因子 ( $F_3$ )。如果冷却时间由一组热输入量和预热温度的特殊组合确定，热输入量应该首先乘以  $F_3$ 。但是，如果热输入量由一组冷却时间和预热温度的特殊组合确定，它应该除以  $F_3$ 。

**B.2.4.2** 对二维温度场，冷却时间 ( $t_{8/5}$ )，热输入量 ( $Q$ ) 和预热温度 ( $T_p$ ) 的关系在图 B.2.4-2 中给出，它是针对运行于形状因子为 1.0 平板焊缝。图 B.2.4-2 建立于公式 (B.2.3-2) 之上。如果图 B.2.4-2 应用于其他形状的焊缝，应该考虑使用表 B.2.3 中给定的形状因子 ( $F_2$ )。如果冷却时间由一组热输入量和预热温度的特殊组合确定，热输入量应该首先乘以  $F_2^{1/2}$ 。但是，如果热输入量由一组冷却时间和预热温度的特殊组合确定，它应该除以  $F_2^{1/2}$ 。

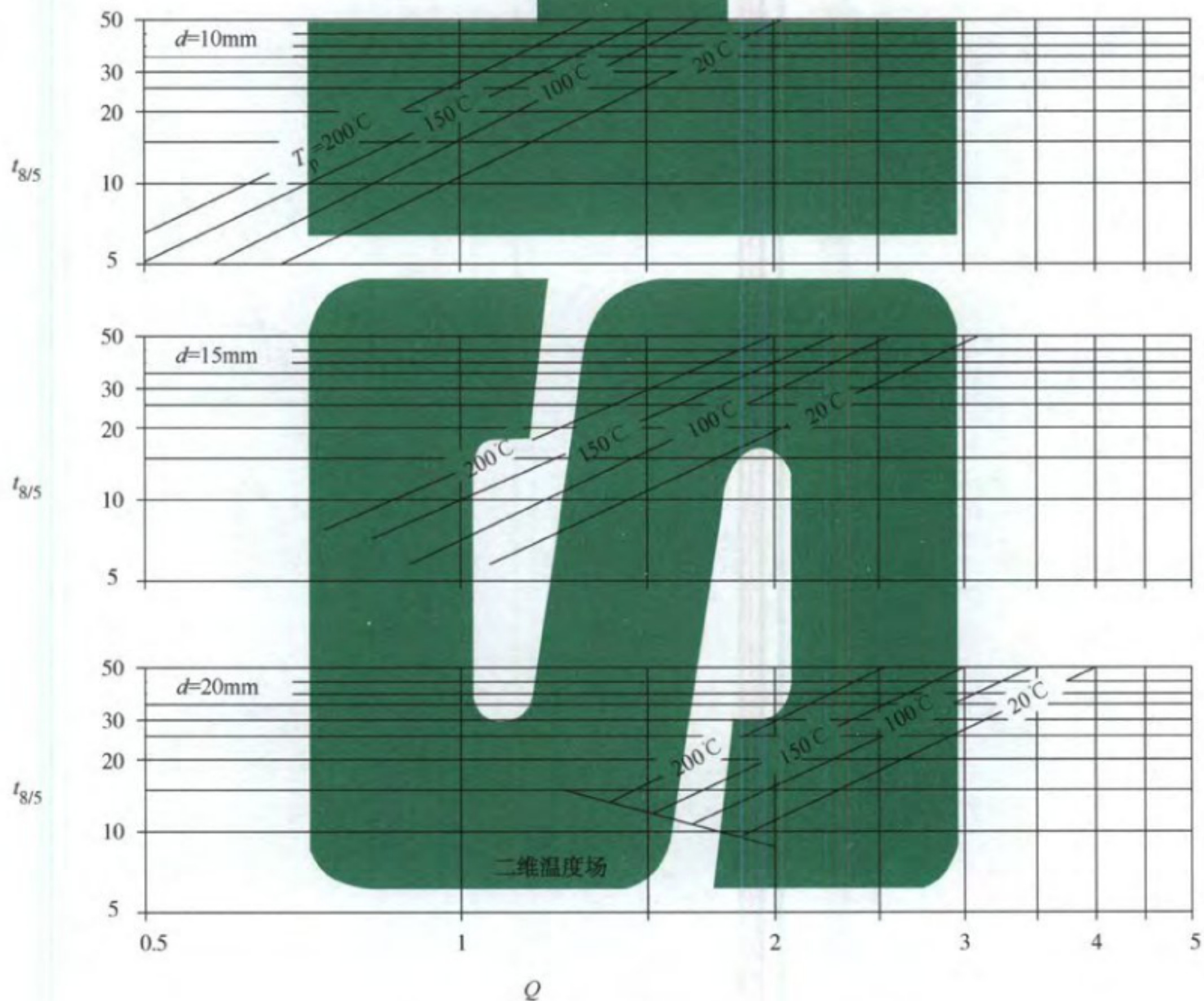
在二维温度场情况下，如果实际板厚不能严格符合规定于图 B.2.4-2 之一的板厚，该图应该使用最接近的实际板厚。因此，冷却时间应该根据板厚比率进行修正。这种情况下，由该图得到的冷却时间乘以由该图得到的最接近的板厚的平方，然后除以实际板厚的平方。



$t_{8/5}$ —冷却时间, s;  $Q$ —热输入量, kJ/mm

注: 三维温度场的冷却时间 ( $t_{8/5}$ ) 是不同的预热温度 ( $T_p$ ) 和热输入 ( $Q$ ) 的函数。

图 B. 2. 4-1 三维温度场的冷却时间 ( $t_{8/5}$ )



$t_{8/5}$ —冷却时间, s;  $Q$ —热输入量, kJ/mm

注: 二维温度场的冷却时间 ( $t_{8/5}$ ) 根据不同的预热温度 ( $T_p$ ) 和板厚 ( $d$ ) 是热输入量 ( $Q$ ) 的函数。

图 B. 2. 4-2 二维温度场的冷却时间 ( $t_{8/5}$ )

## 本导则用词说明

- 1 为便于在执行本导则条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国石油化工有限公司行业标准

# 石油化工湿硫化氢环境设备设计导则

SH/T 3193—2017

条文说明

2017 北 京

## 制定说明

《石油化工湿硫化氢环境设备设计导则》(SH/T 3193—2017)，经工业和信息化部 2017 年 7 月 7 日以第 32 号公告批准发布。

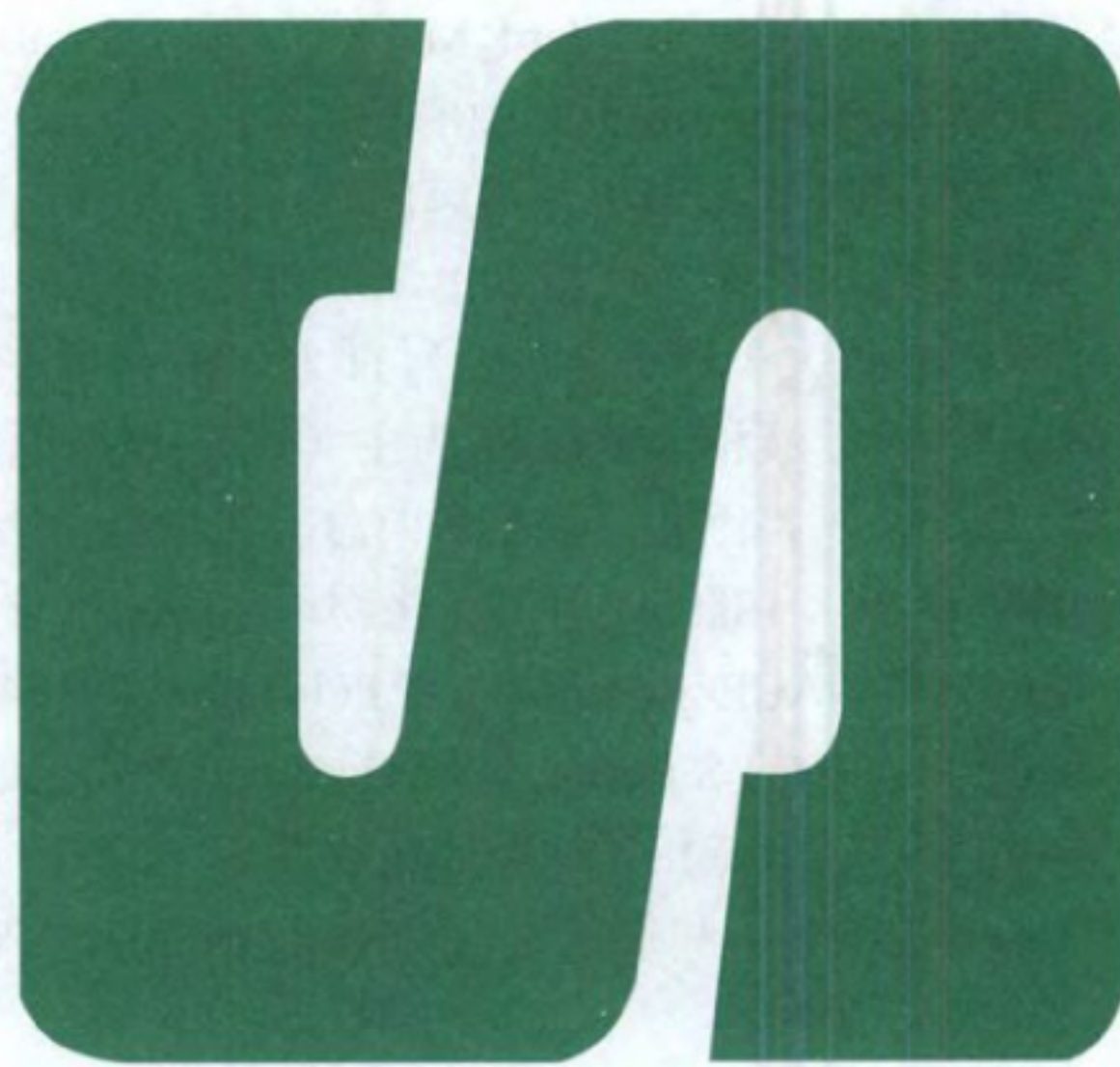
本导则编制过程中，编制组进行了比较详细的调查研究，总结了我国石油化工行业近年来加工高硫原油设备湿硫化氢环境下的设计选材、制造经验和腐蚀开裂案例原因分析结果，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，对石油化工设备在湿硫化氢环境下的材料选择要求、制造规定、检验要求等方面提供了最新的方法和较为严格的控制措施。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本导则时能正确理解和执行条文规定，《石油化工湿硫化氢环境设备设计导则》编制组按章、条顺序编制了本导则的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握导则规定的参考。



## 目 次

|           |    |
|-----------|----|
| 1 范围      | 20 |
| 3 术语与定义   | 20 |
| 4 腐蚀环境与分类 | 20 |
| 5 材料      | 20 |
| 6 设计      | 22 |
| 7 制造      | 22 |



# 石油化工湿硫化氢环境设备设计导则

## 1 范围

“炼油装置湿硫化氢环境使用的静设备”是指石油化工厂常减压、催化、焦化、加氢、硫磺回收及酸性水汽提等装置中在湿硫化氢腐蚀环境下操作的设备。

本导则对“炼油装置湿硫化氢环境使用的静设备”的技术要求，主要针对与湿硫化氢腐蚀介质相接触的承压元件。

本导则的不适用范围中“电化学失重腐蚀”是指介质产生的均匀腐蚀。

## 3 术语与定义

3.1 3.1条~3.6条采用 NACE International Publication 8×294 《Review of Published Literature on Wet H<sub>2</sub>S Cracking of Steels Through 1989》中的术语及定义。

## 4 腐蚀环境与分类

4.1 湿硫化氢腐蚀环境的定义是按照 NACE Standard MR 0103 《Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking In Corrosive Petroleum Refining Environments》中的规定。

总硫化物是指在一个平衡状态下的密闭系统中，溶解的硫化氢（H<sub>2</sub>Saq）、二硫化物（HS<sup>-</sup>）和二价硫离子（S<sup>2-</sup>）在一个变化的 pH 值范围内存在于液相水中。当 pH 值小于 6 时，液相水中以 H<sub>2</sub>Saq 为主（总硫化物中含量大于 90%），当 pH 值大于等于 8、小于 11 时，液相水中以 HS<sup>-</sup> 为主（总硫化物中含量大于 90%），当 pH 值大于等于 13 时，液相水中以 S<sup>2-</sup> 为主（总硫化物中含量大于 90%），在 pH 值等于 7 时，液相水中 H<sub>2</sub>Saq 和 HS<sup>-</sup> 各占 50%，因此，液相水中总硫化物是指上述三种（H<sub>2</sub>Saq、HS<sup>-</sup>、S<sup>2-</sup>）硫化物的总和。上述三种硫化物在液相水中的 pH 值与硫化物种类的关系见图 1。

4.2 湿硫化氢腐蚀环境的分类是参考 NACE International Publication 8×194 《Materials and Fabrication Practices for New Pressure Vessels Used Wet H<sub>2</sub>S Refinery Service》中的规定提出的。并与 SH/T3075 附录 G “湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类”基本相符，以保持相关标准的一致性。

4.3 工艺防腐措施主要是指注入缓蚀剂、中和剂或注入水使其 pH 值接近中性。详细要求参见 NACE Pub8×194—2006 附录 B。

## 5 材料

5.1 本导则包括的材料主要有三大类：普通碳素钢和碳锰钢、抗 HIC 普通碳素钢和碳锰钢以及普通碳素钢或碳锰钢加不锈钢复合材料。这三类材料是国内炼油装置设备在湿硫化氢腐蚀环境中经常使用的主要材料。其他材料如：镍基合金、双相钢也可以应用于湿硫化氢腐蚀环境中的设备上，目前这些材料多用于处理天然气的湿硫化氢环境中的设备，如若使用可参考 NACE MR0175 对这些材料的性能、焊接、检验等方面提出相关的技术要求。



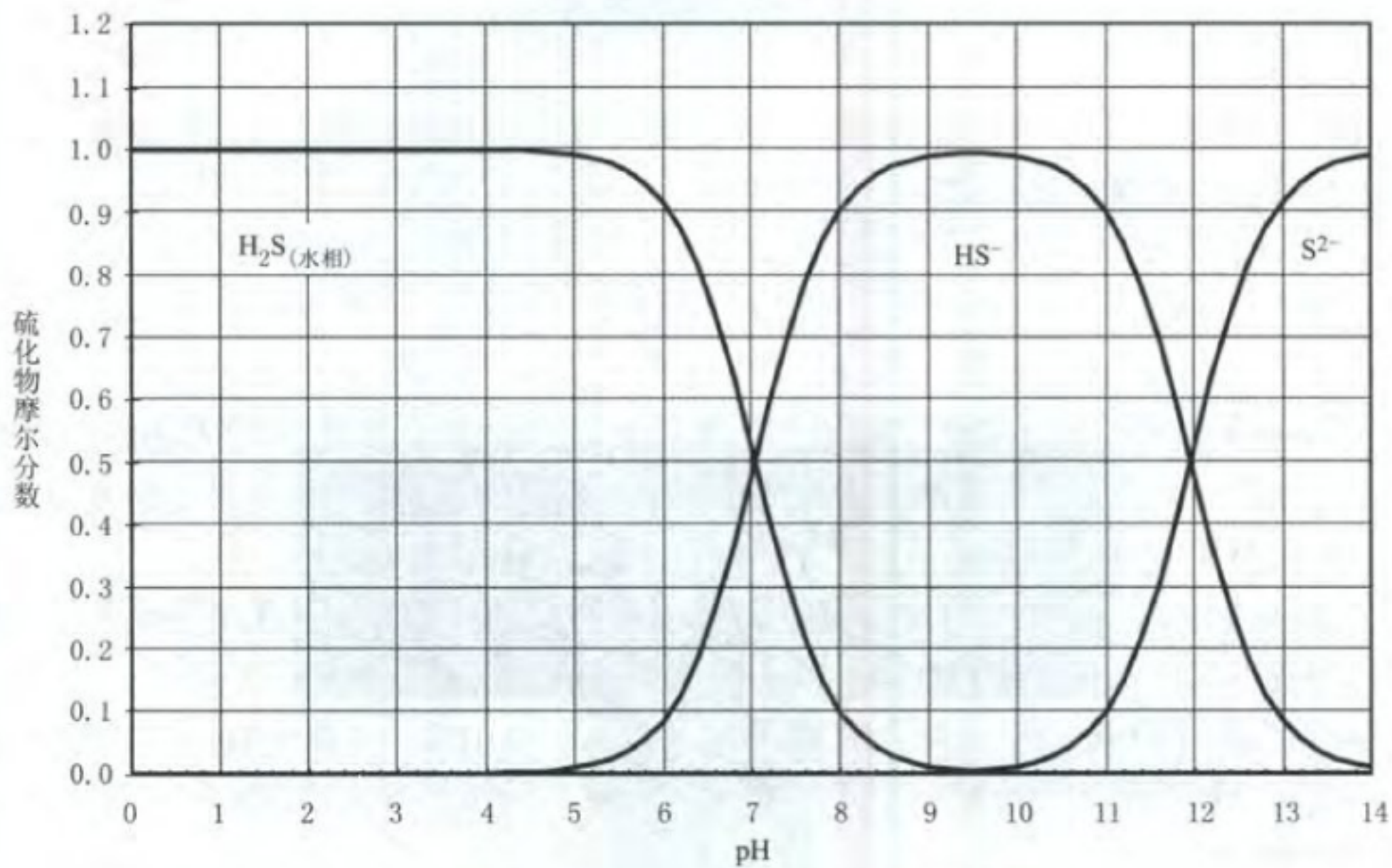


图1 液相水中 pH 值与硫化物种类的关系 (密闭系统 25°C)

5.3.1 在第 I 类腐蚀环境中的普通碳素钢、碳锰钢承压元件主要会产生 SSC 应力腐蚀开裂, 只要按 5.3.1 条进行设计和制造, 其对 HIC 腐蚀开裂的敏感性就不会高。因此, 对于这类设备从材料的纯净度 (如较低的 P、S 含量)、碳当量、力学性能 (抗拉强度、屈服强度、冲击性能、硬度)、材料使用状态、钢板和锻件的检验、消除应力热处理等方面加以控制, 就可以防止 SSC 应力腐蚀及轻度的 HIC 腐蚀。

5.3.2 在第 II 类腐蚀环境中的普通碳素钢、碳锰钢承压元件主要产生 SSC、HIC 和 SOHIC 腐蚀开裂, 因此, 处于此类环境下的设备在材料方面相比第一类腐蚀环境用钢板提高了硫磷含量的限制要求, 增加了钢板的冶炼方法、夹杂物的控制、HIC 腐蚀试验等方面的要求。

5.3.2.6 关于钢板的抗 HIC 腐蚀试验, 本导则只规定在第 II 类腐蚀环境下进行, 其合格指标综合了近年来国内实际工程应用情况和国外相关资料的规定。钢板组批原则一般是同炉、同轧制工艺、同热处理工艺、同厚度的钢板组成一批进行试验。使用者也可根据钢厂的供货业绩, 适当调整试验的抽检频率。

对于处于第 I 类腐蚀环境中的设备, 如果使用者认为其在长期使用中可能会出现 HIC、SOHIC 腐蚀开裂的可能性, 也可要求进行抗 HIC 腐蚀试验 (试验溶液和合格指标可由双方协商确定)。

5.3.3.2 在较严重的湿  $H_2S$  腐蚀环境下宜采用奥氏体不锈钢为覆层。

5.4 处于湿硫化氢环境的螺栓材料经常发生脆性断裂, 断裂的设计原因是螺栓材料选择不当所致。因此, 本导则对螺栓材料的使用状态、硬度值、断后延伸率、冲击吸收能量方面作出了规定。

5.5 处于湿硫化氢腐蚀环境下的换热管一般只产生 SSC 局部腐蚀开裂, 特别是在 U 形弯管部分, 本导则对普通碳素钢换热管材料的使用提出相应要求。

5.6 焊缝为铸造组织, 一般不会出现 HIC 腐蚀。但焊材的硫、磷含量影响焊缝的韧性, 故也应适当降低。焊接材料推荐采用抗 HIC 的配套焊材。

5.7.1 湿  $H_2S$  腐蚀环境下产生 SSC、HIC 和 SOHIC 腐蚀开裂与硬度的关系很大, 而硬度随材料的强度级别低而降低, 因此设备主材材料采用普通碳素钢或碳锰钢时, 其接管、接管法兰应选用强度级别较低的普通碳素钢。

5.7.2 湿  $H_2S$  腐蚀环境下产生 SSC、HIC 和 SOHIC 腐蚀开裂主要在普通碳素钢、碳锰钢钢板中产生, 但在湿硫化氢腐蚀较严重的环境下, 接管、接管法兰宜选用与设备主材材料相同或各项性能相近的抗 HIC 钢。

## 6 设计

6.1.5 本导则中的避免“异种钢”焊接系指：在湿硫化氢腐蚀环境原则上普通碳素钢、碳锰钢不应与铬钼钢、奥氏体不锈钢承压件相焊接。

## 7 制造

7.2.1 处于湿硫化氢腐蚀环境下的普通碳素钢、碳锰钢材料的 SSC 腐蚀开裂对硬度比较敏感，因此，在焊接工艺评定中针对角焊缝、对接焊缝的硬度检测应引起足够重视。为了更准确地测定焊接接头的焊缝、热影响区和母材的硬度值，焊接工艺评定的硬度测量应采用 HV10。

7.3.1 对于湿硫化氢环境下的设备壳体采用冷成形时，材料的表面纤维永久变形率是指壳体的外表面在筒节卷制时的变形率，可按 GB/T150.4—2011 中 8.1.1 条计算。

7.4.1 当母材碳当量 (CE) 高于 0.40，或者当 Nb+V 大于 0.01% (质量分数)，控制焊接层间温度是为了避免焊接接头热影响区的硬度过高，从目前的实际产品的验证情况来看，Nb 和 V 的存在将会影响热影响区微观结构和提高硬度。

在焊接过程中，控制焊缝从 800℃~500℃ 范围内的冷却时间 ( $t_{8/5}$  该参数与板厚，焊接热输入量和预热温度等因素有关)，以及对处于湿硫化氢腐蚀环境设备的对接焊缝和角焊缝焊接宜采用回火焊道的焊接技术这两个工艺措施来源于 NACE SP0472 的规定。

7.5.1 规定普通碳素钢、碳锰钢和抗 HIC 钢制设备热处理温度不应低于 610℃，是考虑设备消除焊接残余应力的水平及焊接接头的硬度要求而提出的。综合考虑材料的力学性能要求，建议最高热处理温度不宜高于 625℃。

7.6.3 普通碳素钢、碳锰钢、抗 HIC 钢制设备焊接接头的无损检测，至少有一种检测方法应在焊后热处理之后进行，是考虑增加检测到因焊接引起的延时氢破裂的可能性。