

SH/T 3075—2009

ICS 75.180  
P 72  
备案号: J1035-2010

SH

# 中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3075—2009

代替 SH 3075—1995

---

## 石油化工钢制压力容器材料选用规范

Specification of material selections for steel pressure vessels  
in petrochemical industry

2009-12-04 发布

2010-06-01 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 一般规定	2
5 钢材	3
5.1 钢材的选用原则	3
5.2 钢材的使用范围和保证项目	4
6 各种钢材的附加技术要求	7
6.1 钢板	7
6.2 锻钢	7
6.3 钢管	8
6.4 紧固件	9
7 腐蚀环境对压力容器用钢的要求	12
7.1 高温高压临氢环境	12
7.2 高温 ( $t \geq 240^\circ\text{C}$ ) 含硫油环境	12
7.3 高温 ( $t \geq 240^\circ\text{C}$ ) $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S}$ 环境	12
7.4 环烷酸 (酸值大于 $0.5\text{mgKOH/g}$ ) 腐蚀环境	12
7.5 I 类湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境	12
7.6 II 类湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境	12
7.7 $\text{NaOH}$ 溶液腐蚀环境	13
7.8 液氨应力腐蚀环境	13
7.9 $\text{HF}$ 腐蚀环境	14
8 低温容器用钢	14
8.1 低温用碳素钢和低合金钢的要求	14
8.2 常用低温钢材	14
9 焊接材料技术要求	17
9.1 一般要求	17
9.2 焊接材料质量证明书	17
9.3 焊接材料的选用原则	17
9.4 焊接材料的选用	18
附录 A (资料性附录) 不锈钢晶间腐蚀环境	19
附录 B (规范性附录) 奥氏体不锈钢的晶间腐蚀倾向性试验	20
附录 C (规范性附录) 临氢作业用钢选材图	21
附录 D (规范性附录) 临氢厚壁压力容器用铬钼钢	22
附录 E (规范性附录) 经修正的 McConomy 曲线	24
附录 F (规范性附录) 高温 $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2$ 腐蚀曲线	25
附录 G (资料性附录) 湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境分类	29

SH/T 3075—2009

附录 H (规范性附录) HF 腐蚀环境下压力容器用钢.....	30
用词说明.....	31
附: 条文说明.....	33

## 前 言

本规范是根据原国家经贸委《2003年行业标准项目计划》(国经贸行[2003]22号),由中国石油化工有限公司组织中国石化工程建设公司对原SH 3075—1995《石油化工钢制压力容器材料选用规范》进行修订而成。

本规范共分九章和8个附录,其中附录B、附录C、附录D、附录E、附录F、附录H为规范性附录,附录A、附录G为资料性附录。

本规范与SH 3075—1995《石油化工钢制压力容器材料选用规范》相比,主要变化如下:

- 修改了一般规定、钢材选用原则、使用范围和保证项目以及各种钢材的附加技术要求;
- 修改了高温高压临氢环境用钢;
- 修改了高温( $t \geq 240^\circ\text{C}$ )含硫油环境用钢;
- 修改了高温( $t \geq 240^\circ\text{C}$ ) $\text{H}_2+\text{H}_2\text{S}$ 环境用钢;
- 修改了环烷酸(酸值大于 $0.5\text{mgKOH/g}$ )腐蚀环境用钢;
- 修改了湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境用钢;
- 修改了 $\text{NaOH}$ 溶液腐蚀环境用钢;
- 修改了液氨应力腐蚀环境用钢;
- 增加了低温容器用钢;
- 增加了资料性附录A《不锈钢晶间腐蚀环境》;
- 增加了规范性附录D《临氢厚壁压力容器用铬钼钢》;
- 增加了资料性附录G《湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境分类》;
- 增加了规范性附录H《 $\text{HF}$ 腐蚀环境下压力容器用钢》。

本规范由中国石油化工有限公司设备设计技术中心站管理,由中国石化工程建设公司负责解释。

本规范在实施过程中,如发现需要修改补充之处,请将意见和有关资料提供给管理单位和主编单位,以便今后修订时参考。

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:010-84877587

传 真:010-84878856

主编单位:中国石化工程建设公司

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码:100101

主要起草人:苏菲 苟家福 高晖 仇恩沧

主要审查人:张迎恺 周家祥 林 衡 杨盛启 张国信 胡庆钧 勾世文 谢 东 韩玉梅  
何智灵 王春江 杨一凡 郭益德 陈全显

本规范于1995年首次发布,本次为第1次修订。

# 石油化工钢制压力容器材料选用规范

## 1 范围

本规范规定了石油化工钢制压力容器用钢材的选用原则、使用范围和保证项目、各种钢材的附加技术要求、腐蚀环境对压力容器用钢的要求、低温容器用钢的要求等。

本规范的适用范围和不适用范围同 GB 150《钢制压力容器》。

## 2 规范性引用文件

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

- GB 150—1998 钢制压力容器
- GB/T 699—1999 优质碳素结构钢
- GB/T 700—2006 碳素结构钢
- GB 713—2008 锅炉和压力容器用钢板
- GB 912—2008 碳素结构钢和低合金结构钢 热轧薄钢板及钢带
- GB/T 983—1995 不锈钢焊条
- GB/T 1220—2007 不锈钢棒
- GB/T 1221—2007 耐热钢棒
- GB/T 2040—2002 铜及铜合金板材
- GB/T 3077—1999 合金结构钢
- GB 3087—2008 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 3274—2007 碳素结构钢和低合金结构钢 热轧厚钢板及钢带
- GB 3531—2008 低温压力容器用低合金钢钢板
- GB/T 3880—1997 铝及铝合金轧制板材
- GB/T 4237—2007 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 4334—2008 金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 5117—1995 碳钢焊条
- GB/T 5118—1995 低合金钢焊条
- GB/T 5293—1999 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
- GB 5310—2008 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 6394—2002 金属平均晶粒度测定方法
- GB 6479—2000 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 8163—2008 输送流体用无缝钢管
- GB 9948—2006 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 10561—2005 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
- GB 13296—2007 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 14957—1994 熔化焊用钢丝
- GB/T 14958—1994 气体保护焊用钢丝

- GB/T 14976—2002 流体输送用不锈钢无缝钢管  
GB 19189—2003 压力容器用调质高强度钢板  
GB 24511—2009 承压设备用不锈钢钢板及钢带  
JB/T 4709—2000 钢制压力容器焊接规程  
JB 4726—2000 压力容器用碳素钢和低合金钢锻件  
JB 4727—2000 低温压力容器用低合金钢锻件  
JB 4728—2000 压力容器用不锈钢锻件  
JB/T 4730.3—2005 承压设备无损检测 第3部分：超声检测  
JB 4741—2000 压力容器用镍铜合金热轧板材  
JB 4742—2000 压力容器用镍铜合金无缝管  
JB 4743—2000 压力容器用镍铜合金锻件  
JB/T 4747—2000 压力容器用钢焊条订货技术条件  
HG 20580—1998 钢制化工容器设计基础规定  
HG 20581—1998 钢制化工容器材料选用规定  
HG 20660—2000 压力容器化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类  
SH/T 3096—2001 加工高硫原油重点装置主要设备设计选材导则  
TSG R0004—2009 固定式压力容器安全技术监察规程

API 934—2000 Materials and Fabrication Requirements for 2-1/4Cr-1Mo & 3Cr-1Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High Temperature, High Pressure Hydrogen Service

ASME SECTION II Materials

NACE TM—0284—2003 Standard Test Method—Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking

### 3 术语和定义

GB 150—1998、HG 20580—1998 和 HG 20581—1998 规定的术语和定义均适用于本标准。

### 4 一般规定

4.1 压力容器用钢材应符合 GB 150—1998 和国家质量监督检验检疫总局颁发的 TSG R0004—2009 《固定式压力容器安全技术监察规程》（以下简称《容规》）的要求。

4.2 压力容器受压元件用钢（板、管、型材、锻材）应采用电炉或氧气转炉冶炼或附加其他精炼方法制成。

4.3 受压元件以及直接与受压元件焊接的非受压元件用钢材，应附有钢厂的钢材质量证明书，至少应包括的内容如下：

- a) 供方名称；
- b) 生产日期和发货日期；
- c) 标准编号；
- d) 钢号；
- e) 可追踪的有关钢材冶炼的标识号码，如：炉（批）号、交货状态、重量（净重、毛重）张数和件数；
- f) 品种名称、尺寸和级别；
- g) 标准及合同中规定的各项试验结果（包括化学成分、力学性能及供货合同或协议规定的其他项目）；
- h) 国家安全监察机构认可标志；
- i) 供方有关部门印章。

4.4 除钢号和标准号以外，必要时图样或技术文件上还应注明对钢材的下列附加要求：

- a) 钢材标准中根据需方要求给予保证的项目；
- b) 钢材标准中由供需双方协议商定的项目；
- c) 其他附加要求。

4.5 压力容器采用国外材料制造时，应符合《容规》第 2.9 条的规定。

4.6 压力容器采用新研制的材料，应按《容规》第 2.10 条的规定进行审批后，方可用于制造压力容器。

4.7 用于压力容器受压元件的焊接材料，应按 JB/T 4709—2000 的规定选用，并应符合 JB/T 4747 的要求。焊接材料应有质量证明书和清晰、牢固的标记。

4.8 当对材料有更高或特殊要求时，应在图样或相应的技术文件中注明。

## 5 钢材

### 5.1 钢材的选用原则

5.1.1 选择压力容器用钢材应考虑如下条件：

- a) 容器的设计压力、设计温度、介质的特性和操作特点等；
- b) 钢材的力学性能、化学性能和物理性能；
- c) 钢材的焊接性能；
- d) 容器的制造工艺；
- e) 热处理性能；
- f) 经济合理性（材料的价格、制造费用）；
- g) 容器的设计使用寿命。

5.1.2 以强度设计为主的场合，应根据压力、温度、介质等使用限制，依次选用 Q235B、Q245R、Q345R 等钢材。以刚度、稳定或结构设计为主的场合，宜选用 Q235B、Q245R 等钢材。

5.1.3 同时符合下列条件的高温压力容器主要受压元件用钢，应按批进行设计温度下的屈服性能试验，其值不得低于相应许用应力值的 1.5 倍：

- a) 设计温度大于 400℃；
- b) 设计压力大于等于 2.5MPa；
- c) 钢材厚度大于等于 30mm；
- d) 钢材主要截面以承受一次薄膜应力为主，且其厚度取决于强度计算的结果。

5.1.4 钢板厚度小于 8mm 时，在碳素钢与低合金钢之间，宜采用碳素钢（多层容器用钢除外）。

5.1.5 不锈钢厚度大于 12mm 时，宜采用不锈钢衬里、复合、堆焊等结构形式。

5.1.6 不锈钢不宜用作设计温度小于等于 500℃的耐热用钢。

5.1.7 不锈钢可用于介质腐蚀性较强（化学腐蚀、电化学腐蚀）、防止铁离子污染或设计温度高于 500℃的耐热用钢，也可以用于设计温度低于 -100℃至 -196℃的低温用钢。

5.1.8 铬钼低合金钢可作为设计温度小于等于 550℃的耐热钢或大于 200℃的抗氢用钢。

5.1.9 不含稳定化元素（Ti、Nb），且含碳量大于 0.05% 的奥氏体不锈钢需经焊接或 400℃以上热加工时，不宜用于可能引起不锈钢晶间腐蚀的环境。

5.1.10 奥氏体不锈钢用于可能引起晶间腐蚀的环境（参见附录 A）时，应按 GB/T 4334—2008 进行晶间腐蚀倾向性试验。具体试验方法的选用及其合格要求可按附录 B 的规定。

5.1.11 工作温度高于 350℃的压力容器壳体用含铬 12% 以上的铁素体不锈钢和马氏体不锈钢，应考虑 475℃脆化倾向（400℃~550℃长期加热后发生的脆化，475℃时最为显著）。

5.1.12 碳素钢和碳锰钢长期在高于 425℃温度下使用时，应考虑钢中碳化物相的石墨化倾向。

5.1.13 奥氏体钢的使用温度高于 525℃时，钢中碳含量应不小于 0.04%。

5.1.14 选择压力容器材料时,应根据容器的设计使用寿命和钢材的耐蚀能力确定钢材的腐蚀裕量。当所确定的最大腐蚀裕量大于6mm时,应选用耐腐蚀性更好的材料。

## 5.2 钢材的使用范围和保证项目

5.2.1 碳素钢钢板的使用范围和钢材保证项目见表1。

表1 碳素钢钢板的使用范围和钢材保证项目

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	设计 压力 MPa	使用温度和 介质毒性程度 <sup>a</sup>	钢材保证项目		其他项目
						夏比(V型缺口)冲击试验		
						温度 ℃	$A_{KV}$ J	
Q235B <sup>c</sup>	GB/T 3274—2007	热轧	3~20	≤1.6	0℃~350℃, 高度或极度危害时禁用	20	≥27 (纵向)	化学成分、 屈服强度、 抗拉强度、 伸长率、 冷弯试验
Q235C <sup>c</sup>	GB/T 3274—2007	热轧	3~30	≤2.5	0℃~400℃, 毒性程度不限	0	≥27 (纵向)	
Q245R	GB 713—2008	热轧、 控轧或 正火	3~150	≤35	-20℃~475℃, <sup>b</sup> 毒性程度不限	0	≥31 (横向)	

<sup>a</sup> 毒性程度按 HG 20660—2000 的规定。  
<sup>b</sup> 当使用温度低于钢材保证的冲击试验温度时,应补做不高于使用温度下的冲击试验,其冲击功值应符合材料标准或 GB 150 的要求。  
<sup>c</sup> 钢中 P≤0.035%, S≤0.035%。

5.2.2 低合金钢钢板的使用范围和钢材保证项目见表2。

表2 低合金钢钢板的使用范围和钢材保证项目

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	使用温度 <sup>a</sup> ℃	钢材保证项目		其他项目
					夏比(V型缺口)冲击试验 (横向取样)		
					温度 ℃	$A_{KV}$ J	
Q345R	GB 713—2008	热轧、控轧 或正火	3~200	-20~450	0	34	化学成分、 屈服强度、 抗拉强度、 伸长率、 冷弯试验
Q370R		正火	10~60	-20~350	-20	34	
18MnMoNbR		正火+回火	30~100	-10~450	0	41	
13MnNiMoR		正火+回火	30~150	0~400	0	41	
15CrMoR (1Cr-0.5Mo)		正火+回火	6~150	>-20~550	20	31	
14Cr1MoR (1.25Cr-0.5Mo)		正火+回火	6~150	>-20~550	20	34 <sup>b</sup>	
12Cr2Mo1R (2.25Cr-1Mo)		正火+回火	6~150	>-20~575	20	34 <sup>b</sup>	

<sup>a</sup> 当使用温度低于钢材保证的冲击试验温度时,应补做不高于使用温度下的冲击试验,其冲击功值应符合材料标准或 GB 150 的要求。  
<sup>b</sup> 14Cr1MoR, 12Cr2Mo1R 钢板性能要求和使用范围可参照 ASME 相关标准或由合同双方协商。

## 5.2.3 常用高合金钢钢板的使用范围和钢材保证项目见表3。

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	使用温度 t ℃	钢材保证项目	
S11306	GB 24511—2009	退火	2~80	≤600	化学成分、屈服强度、抗拉强度、伸长率、硬度、弯曲性能	
S30408		固溶	2~80	-196~700		
S32168		固溶、稳定化	2~80			
S31608		固溶	2~80			
S31708		固溶	2~80			
S31668		固溶	2~80		-196~500	化学成分、屈服强度、抗拉强度、伸长率、硬度
S30403		固溶	2~80		-196~425	
S31603		固溶	2~80		-196~450	
S31703		固溶	2~80			

## 5.2.4 常用钢管的使用范围和钢材保证项目见表4和表5。

表4 碳素钢和低合金钢钢管的使用范围和钢材保证项目

钢号	钢管标准	使用状态	厚度 mm	使用温度 t ℃	钢材保证项目		
					夏比(V型缺口)冲击 试验要求	其他项目	
10/20	GB/T 8163—2008	热轧、 冷拔+正火	≤10	>-20~475	试验温度按相应标准；但低温冲击功的要求见本标准表15	化学成分、屈服强度、抗拉强度、伸长率、逐根水压试验、压扁试验、扩口试验、逐根超声波检验、非金属夹杂物检验、CrMo钢管硬度	
	GB 9948—2006		≤16	>-20~475			
10	GB 6479—2000		<40	>-20~475			
16Mn	GB 6479—2000	正火	<40*	-40~475			
12CrMo	GB 6479—2000	正火+回火	<40	>-20~525			
	GB 9948—2006		≤16				
15CrMo	GB 6479—2000	正火+回火	<40	>-20~550			
	GB 9948—2006		≤16				
1Cr5Mo	GB 6479—2000	正火+回火	≤40	>-20~600			
	GB 9948—2006		≤30				
12Cr1MoVG	GB 5310—2008	正火+回火	≤16	>-20~575	除硬度要求外，其余同上。另有：晶粒度检验、显微组织检验和脱碳层检验		

\* 当用于-20~-40℃时，其壁厚应≤20mm。

表5 常用高合金钢钢管的使用范围和钢材保证项目

钢号	钢管标准	厚度 mm	使用温度, ℃	钢材保证项目		
				夏比(V型缺口)冲击 试验要求	其他项目	
0Cr13	GB/T 14976—2002	≤18	-20~600	冲击功不做为交货条件。根据工况要求,可增加纵向冲击试验	化学成分、屈服强度、抗拉强度、伸长率、逐根水压试验、压扁试验、逐根超声波检验、扩口试验	
0Cr18Ni9	GB/T 14976—2002	≤18	-196~700			
0Cr18Ni10Ti	GB 13296—2007	≤13				
	GB/T 14976—2002	≤18				
0Cr17Ni12Mo2	GB 13296—2007	≤13				
	GB/T 14976—2002	≤18				
0Cr19Ni13Mo3	GB 13296—2007	≤13				
	GB/T 14976—2002	≤18				
0Cr18Ni12Mo2Ti	GB 13296—2007	≤13				-196~500
	GB/T 14976—2002	≤18				
00Cr19Ni10	GB 13296—2007	≤13				-196~425
	GB/T 14976—2002	≤18				
00Cr17Ni14Mo2	GB 13296—2007	≤13				-196~450
	GB/T 14976—2002	≤18				
00Cr19Ni13Mo3	GB 13296—2007	≤13		-196~450		
	GB/T 14976—2002	≤18				

5.2.5 常用碳素钢和低合金钢锻件的使用范围和钢材保证项目见表6。

表6 常用碳素钢和低合金钢锻件的使用范围和钢材保证项目

钢号	锻件标准	使用状态	公称厚度 mm	使用温度, ℃	钢材保证项目		其他项目
					夏比(V型缺口) 冲击试验		
					温度 ℃	A <sub>KV</sub> J	
20	JB 4726—2000	正火	≤200	-20~475	20	≥34	化学成分、屈服强度、抗拉强度、伸长率、III、IV级锻件超声检测
16Mn		正火、正火+回火	≤300	>-20~475	0	≥31	
15CrMo		正火+回火、调质	≤500	>-20~550	20	≥34	
1Cr5Mo		正火+回火	≤500	>-20~600	20	≥34	
		调质					
14Cr1Mo		正火+回火	≤300	>-20~550	20	≥41	
		调质	>300~500				
12Cr2Mo1		正火+回火	≤300	>-20~575	20	≥41	
		调质	>300~500				
20MnMo		调质	≤700	>-20~500	0	≥34	

\* 当使用温度低于钢材保证的冲击试验温度时,应补做不高于使用温度下的冲击试验,其冲击功值应符合材料标准或GB 150的要求。

## 6 各种钢材的附加技术要求

### 6.1 钢板

6.1.1 压力容器用碳素钢、低合金钢钢板，凡符合下列条件者，应在正火状态下使用：

- a) 壳体厚度大于 30mm 的 Q245R 和 Q345R；
- b) 法兰、管板、平盖等受压元件的厚度大于 50mm 的 Q245R 和 Q345R；

6.1.2 压力容器用碳素钢、低合金钢钢板凡符合下列条件者，应逐张进行超声检测，检测方法按 JB/T 4730.3—2005 的规定：

- a) 材料为 Q245R 和 Q345R，且厚度大于 30mm 的钢板，质量等级不低于 II 级；
- b) 材料为 Q370R、13MnNiMoR、18MnMoNbR 和铬钼钢，且厚度大于 25mm 的钢板，质量等级不低于 II 级；
- c) 用于球形容器上下极板和与支柱连接的赤道板，质量等级不低于 II 级；球形容器用调质高强度钢板，质量等级不低于 I 级；
- d) 最高工作压力大于等于 10MPa 的容器用钢板，质量等级不低于 II 级；
- e) 低温容器用碳素钢和低合金钢钢板厚度大于等于 20mm 时，质量等级不低于 II 级；
- f) 盛装介质毒性程度为极度、高度危害的容器用钢板，质量等级不低于 II 级；
- g) 在湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境中使用厚度大于或等于 12mm 的钢板，质量等级不低于 II 级；
- h) 调质状态供货的钢板，质量等级不低于 II 级；
- i) 多层包扎压力容器内筒用钢板，质量等级不低于 II 级。

6.1.3 用于壳体的碳素钢、低合金钢板的冲击韧性，应符合如下要求：

- a) 钢板使用温度在 0℃ 以上时，其冲击韧性应符合 GB/T 700—2006 或 GB 713—2008 的规定；
- b) 钢板使用温度小于 0℃ 但不低于 -20℃ 时，应按批进行低温夏比（V 形缺口）冲击试验，试验温度为钢材的最低使用温度（最低设计金属温度），试样为横向，冲击功（三个试样平均值）应符合 GB 713—2008 表 2 中值；
- c) 壳体厚度大于等于 50mm 的常用碳素钢和低合金钢钢板在容器水压试验水温减 17℃ 的温度下按批进行的夏比（V 型缺口）冲击试验（横向），冲击功应不低于 27J；
- d) Q245R、Q345R 和 13MnNiMoR 钢板，-20℃ 冲击功应符合 GB 713—2008 表 2 中值；
- e) 符合下列条件的碳素钢和低合金钢钢板应逐原轧制张进行常温或低温夏比（V 型缺口）冲击试验：
  - 1) 多层包扎压力容器的内筒钢板；
  - 2) 用于壳体厚度大于 60mm 的钢板；
- f) 调质状态供货的钢板应逐张进行常温或低温夏比（V 型缺口）冲击试验；
- g) 进行常温或低温夏比 V 型缺口冲击试验时，三个试样的冲击功平均值不得低于规定值，只允许其中一个试样的冲击功可小于平均值，但不得小于平均值的 70%，凡能加工成标准试样者（10mm×10mm×55mm），不得使用小尺寸冲击试样，当材料无法切取标准试样时，可采用 7.5mm×10mm×55mm、5mm×10mm×55mm，其冲击功要求分别为相应标准试样的 75%、50%；
- h) 钢板的纵向及横向冲击功要求，在无其他可靠依据时，可按下列比例折算：  
纵向试样：横向试样 = 1 : 0.7；
- i) 考虑压力容器母接接头的冲击功应不低于母材的规定，因此在订购钢板时应适当考虑提高原材料的冲击功指标。

### 6.2 锻钢

6.2.1 压力容器用钢锻件应符合 JB 4726~4728—2000 的要求，压力容器用镍铜合金钢锻件应符合 JB 4743—2000 的要求。

6.2.2 压力容器用钢锻件的级别应根据锻件的使用条件、规格和质量，按 6.2.2.1 至 6.2.2.3 条的规定确

定,并在图样上注明。

6.2.2.1 下列锻件应符合IV级锻件要求:

- a) 用作圆筒和封头的筒形和碗形锻件;
- b) 设计压力大于等于10.0MPa,公称厚度大于300mm,且质量大于500kg的锻件。

6.2.2.2 下列锻件应符合III级或III级以上的要求:

- a) 设计压力大于等于10.0MPa,公称厚度大于200mm,且质量大于等于500kg的锻件;
- b) 公称厚度大于300mm的锻件;
- c) 操作介质的毒性程度为极度或高度危害的锻件;
- d) 工作温度大于200℃的临氢压力容器用钢锻件;
- e) 换热器管板锻件;
- f) 设计压力大于等于1.6MPa的低温容器用钢锻件。

6.2.2.3 压力容器受压元件的其他锻件应不低于II级的要求。

6.2.3 当对锻件有晶粒度要求时,应在图样或技术文件上注明,锻件晶粒度应按GB/T 6394的要求进行检验:

- a) 碳钢和低合金钢锻件应有5级或5级以上的实际晶粒度;
- b) 不锈钢锻件应有4级或4级以上的实际晶粒度。

6.2.4 当对锻件有非金属夹杂物的要求时,应在图样或技术文件上注明,非金属夹杂物应按GB/T 10561—2005进行检验,要求A、B、C、D和Ds类夹杂物均不大于1.5级,A+C类夹杂物不大于2.5级,B+D+Ds类夹杂物不大于2.5级,且总和不大于4.5级。

### 6.3 钢管

6.3.1 设计压力小于10.0MPa的压力容器用碳素钢和低合金钢钢管,应根据实际工况的不同要求选择符合GB/T 8163—2008或GB 9948—2006或GB 6479—2000或GB 3087—2008标准的钢管。

6.3.2 设计压力大于等于10.0MPa的压力容器用碳素钢和低合金钢钢管,可根据实际工况的不同要求选择符合GB 6479—2000或GB 5310—2008或GB 9948—2006标准的钢管。

6.3.3 GB 3087—2008中的10号和20号钢管可以代用GB/T 8163—2008中的相应钢号。

6.3.4 管壳式换热器的换热管应选用高级精度的冷拔或冷轧钢管。

6.3.5 常用钢管标准及精度等级见表7。

表7 钢管标准及精度等级

标准号	标准规定的精度等级	备注
GB/T 3087—2008	不分级	订货时无需注明精度等级
GB/T 8163—2008	不分级	订货时无需注明精度等级
GB 9948 <sup>a</sup> —2006	普通级、高级	订货时需注明精度等级
GB 13296 <sup>a</sup> —2007	不分级	订货时无需注明精度等级
GB 6479—2000	普通级、高级	订货时需注明精度等级
GB 5310—2008	普通级、高级	订货时需注明精度等级
GB/T 14976—2002	普通级、高级	订货时需注明精度等级
<sup>a</sup> 该钢管标准可用于换热管。		

6.3.6 设计压力大于等于10.0MPa的压力容器用碳素钢和低合金钢钢管,应逐根按JB/T 4730.3—2005的要求进行超声检测,I级合格。

6.3.7 使用温度低于或等于-20℃的碳素钢和低合金钢管应按表8规定的温度进行冲击试验。因钢材的尺寸限制,无法制备5mm×10mm×55mm冲击试样时,可免做冲击试验。

表8 钢管的冲击试验温度

材料钢号	使用状态	钢管壁厚 mm	冲击试验温度 ℃
10	正火	≤16	-30
20			-20
16Mn			-40
09MnD			-50

6.3.8 用作压力容器壳体的碳素钢和低合金钢管应符合下列要求:

- $C \leq 0.25\%$ ;  $P \leq 0.030\%$ ;  $S \leq 0.020\%$ ;
- 按表9的要求复验力学性能, 并应符合设计文件的要求;

表9 用作压力容器壳体的钢管复验要求

设计压力 <sup>a</sup> MPa	拉伸试验 <sup>a</sup>	常温冲击试验 <sup>a</sup>	金相检验
$0.1 \leq p < 1.6$	每批取2根	—	—
$1.6 \leq p < 4.0$	每批取2根	每批取2根, 每根取一组	—
$4.0 \leq p < 10.0$	每批取10%, 但不少于2根	每批取10%, 但不少于2根, 每根取一组	—
$p \geq 10.0$	逐根	逐根, 每根取一组	每批取2根

<sup>a</sup> 当钢管根数小于或等于2根时, 改为每批取1根或逐根。

- II、III类压力容器壳体用钢管, 应按照相应的设备设计要求进行力学性能复验, 设备制造厂应逐根按设备液压试验压力进行水压试验。I类压力容器壳体用钢管, 如钢厂已做水压试验者, 可不再复验。

#### 6.4 紧固件

6.4.1 紧固件的使用温度范围及其他限制应符合表10的规定。螺柱硬度应比螺母稍高(约HB30), 其差值可通过选用不同钢材或采用不同热处理制度而获得。

6.4.2 螺柱用钢的力学性能详见GB 150—1998表4-8。

表10 紧固件的使用温度范围及其他限制

钢号	匹配的螺母材料	钢材标准	使用温度范围 $t$ ℃	推荐适用场合
螺柱材料	匹配的螺母材料			
Q235-A 热轧	Q235-A 热轧、 Q235-A 热轧	GB/T 700—2006	$0 < t \leq 300$	适用于 $p < 2.5$ MPa的容器
35 正火	Q235-A 热轧	GB/T 700—2006	$-20 < t \leq 300$	适用于 $p \leq 10.0$ MPa的容器。密封要求高时, 使用温度宜小于等于200℃
	20、35 正火	GB/T 699—1999	$-20 < t \leq 350$	
40MnB、40MnVB 40Cr 调质	30、45 正火 40Mn 正火	GB/T 699—1999 GB/T 3077—1999	$t \leq 400$	

表 10 (续) 紧固件的使用温度范围及其他限制

钢 号		钢材标准	使用温度范围 $t$ ℃	推荐适用场合
螺柱材料	匹配的螺母材料			
30CrMoA 调质	45 正火 40Mn 正火	GB/T 699—1999 GB/T 3077—1999	$-20 < t \leq 400$	适用于 $p \geq 2.5\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 $400^\circ\text{C}$
30CrMoA 调质	30CrMoA 调质	GB/T 3077—1999	$-100 < t \leq 500$	
35CrMoA 调质	45 正火 40Mn 正火	GB/T 699—1999 GB/T 3077—1999	$-20 < t \leq 400$	
35CrMoVA 调质	30CrMoA 调质、 35CrMoA 调质	GB/T 3077—1999	$-100 \leq t \leq 500$	适用于 $p \geq 2.5\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 $450^\circ\text{C}$
35CrMoVA 调质	35CrMoA 调质、 35CrMoVA 调质		$-20 \leq t \leq 425$	
25Cr2MoVA 调质	30CrMoA 调质、 35CrMoA 调质	GB/T 3077—1999	$-20 \leq t \leq 500$	适用于 $p \geq 2.5\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 $510^\circ\text{C}$
	25Cr2MoVA 调质		$-20 \leq t \leq 550$	
1Cr5Mo 调质	1Cr5Mo 调质	GB/T 1221—2007	$-20 \leq t \leq 600$	适用于高温密封
0Cr18Ni9 固熔	1Cr13 固溶	GB/T 1220—2007	$-20 \leq t \leq 600$	冷作硬化状态的使用温度上限应小于等于 $100^\circ\text{C}$
	0Cr18Ni9 固溶		$-253 \leq t \leq 700$	
0Cr18Ni10Ti 固熔	0Cr18Ni10Ti 固溶		$-196 \leq t \leq 700$	
0Cr17Ni12Mo2 固熔	0Cr17Ni12Mo2 固溶		$-253 \leq t \leq 700$	
40CrNiMoA 固熔	40CrNiMoA 调质、 35CrMoA 调质	GB/T 3077—1999	$-70 \leq t \leq 350$	
2Cr13 调质	1Cr13 调质、 2Cr13 调质	GB/T 1220—2007	$-20 < t \leq 400$	

## 6.4.3 低温螺柱用钢的钢号及冲击功要求见表 11。

表 11 低温螺柱用钢的钢号及冲击功要求

钢 号	规格 mm	最低冲击试验温度 ℃	冲击功 $A_{KV}$ J
30CrMoA	$\leq M56$	-100	$\geq 27$
35CrMoA	$\leq M56$	-100	$\geq 27$
	M60~M80	-70	
40CrNiMoA	M52~M80	-70	$\geq 31$
	M85~M140	-50	

6.4.4 石油化工常用的金属材料垫有金属平垫、齿形垫、八角垫和椭圆垫。常用金属材料垫的性能和适用场合见表 12。

表 12 常用金属材料垫的性能和适用场合

材 料	标准号	推荐最高使用温度, °C	最高硬度 HB	适用介质场合举例
软 铁	注*	450	90	260℃以下的蒸汽、冷氢气、空气、干氯气、碱类溶液
08(10)	GB/T 699—1999	450	120	260℃以下的蒸汽、冷氢气、空气、干氯气、碱类溶液
S11203 (022Cr12)	GB/T 1220—2007 GB/T 4237—2007	540	130	含硫油品、蒸汽、硫化氢、氨水、中高温氢气
S11348 (06Cr13Al)	GB/T 1220—2007 GB/T 4237—2007	540	140	含硫油品、蒸汽、硫化氢、氨水、中高温氢气
S30408 (06Cr19Ni10)	GB/T 1220—2007	600	160	水和水溶液、油污、污水、高温蒸汽、冷硫酸、一般溶剂(如甲醇、苯类)、冷温碱类溶液、260℃以下的氧气、油品
S30403 (022Cr19Ni10)	GB/T 4237—2007	450	150	
S31668 (06Cr17Ni12Mo2Ti)	GB/T 1220—2007 GB/T 4237—2007	600	160	高温油品、一般溶剂(如甲醇、苯类)、高温蒸汽、硫酸钠、氢气、尿素
S31603 (022Cr17Ni12Mo2)	GB/T 1220—2007 GB/T 4237—2007	450	150	腐蚀性较高的介质(如硫酸、亚硫酸及其盐类)、氢氧化钾、少量氯化物等但不耐氢氟酸
锡(T2)	GB 3880—1997	400	30	空气、水、干氯气、浓硝酸、260℃以下蒸汽、一般溶剂, 不耐盐类和碱类
纯铜(T3)	GB 2040—2002	315	50	260℃以下氧气、蒸汽、一般溶剂

\* 软铁的化学成分(%)应为: C<0.005; Si<0.40; Mn<0.06; P<0.035; S<0.04。

6.4.5 石油化工常用非金属垫片的性能和适用场合见表 13。

表 13 常用非金属垫片的性能和适用场合

材 料	推荐最高使用压力 MPa	推荐最高使用温度 t °C	适用的介质场合举例	
无石棉垫片	<2.5	0<t≤200	水、海水、硫化氢、空气、氮气、蒸汽	
柔性石墨复合垫	<6.3	<450(碳钢芯板) <600(不锈钢芯板)	水、氨、酸、碱、空气、油气、高温烟气、低温液化气、蒸汽、烃类、氢气及各类渗透性强的气体等	
聚四氟乙烯包覆垫	<4.0	<150	硫酸、硝酸、盐酸、碱类及各类溶剂、石油类等腐蚀严重的场合, 也适用于氧气环境	
缠绕式垫片	不锈钢+非石棉带	1.0~25	-50~500	水、海水、硫化氢、空气、氮气、蒸汽、氨、酸、碱、油气、高温烟气、低温液化气、液化石油气及各类渗透性强的气体
	不锈钢+特制石墨带		-193~600	
	不锈钢+聚四氟乙烯带		-193~200	
金属齿型组合垫片	钢芯+柔性石墨	6.3~16	取决于钢芯材料	主要用于中、高压法兰密封
	钢芯+聚四氟乙烯		<200	
金属包垫片	柔性石墨外包薄钢板	6.3	<450	主要用于凹凸式法兰密封

## 7 腐蚀环境对压力容器用钢的要求

### 7.1 高温高压临氢环境

高温 ( $t \geq 200^\circ\text{C}$ ) 高压氢气会对压力容器钢材造成氢腐蚀, 通常临氢压力容器用钢应根据容器的操作温度加  $28^\circ\text{C}$  和操作氢分压从附录 C 中选择。临氢厚壁压力容器用铬钼钢的基本要求参见附录 D。

### 7.2 高温 ( $t \geq 240^\circ\text{C}$ ) 含硫油环境

处于高温 ( $t \geq 240^\circ\text{C}$ ) 含硫油环境的压力容器用钢会产生硫和硫化物引起的腐蚀, 根据容器的操作温度和硫含量 (质量分数) 可从附录 E 中查取钢材的腐蚀率, 按容器的设计使用寿命确定腐蚀裕量, 当腐蚀裕量超过  $6\text{mm/a}$  时, 应选用耐蚀性能更好的材料。

### 7.3 高温 ( $t \geq 240^\circ\text{C}$ ) $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S}$ 环境

处于高温 ( $t \geq 240^\circ\text{C}$ )  $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S}$  环境的压力容器用钢会产生硫化氢腐蚀, 根据容器的操作温度和硫化氢浓度 (摩尔分数) 可从附录 F 中查取钢材的腐蚀率, 按容器的设计使用寿命确定腐蚀裕量, 当腐蚀裕量超过  $6\text{mm/a}$  或对腐蚀产物有限制时, 应选用耐蚀性能更好的材料。

### 7.4 环烷酸 (酸值大于 $0.5\text{mgKOH/g}$ ) 腐蚀环境

使用温度低于  $220^\circ\text{C}$  时, 设备材料宜选用碳钢; 使用温度在  $220^\circ\text{C} \sim 288^\circ\text{C}$ , 可选用 S30403 (00Cr19Ni10)、S32168 (0Cr18Ni10Ti) 或其复合材料, 若实际生产表明发生了明显的环烷酸腐蚀, 则选择 S31603 (00Cr17Ni14Mo2) 或其复合材料; 使用温度大于等于  $288^\circ\text{C}$  时, 应根据流速选用 S32168 (0Cr18Ni10Ti)、S31603 (00Cr17Ni14Mo2)、S31703 (00Cr19Ni13Mo3) 或其复合材料。炼油厂主要装置压力容器具体选材详见 SH/T 3096—2001。

### 7.5 I 类湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境

7.5.1 确定 I 类湿  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀环境的条件参见附录 G 的 G. 2. 2 条。

7.5.2 在 I 类湿  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀环境中使用的碳素钢及碳锰钢应符合 7.5.2.1 条至 7.5.2.4 条的要求。

7.5.2.1 材料的强度和使用状态按下列要求:

- 材料标准规定的屈服强度  $R_{eL} \leq 355\text{MPa}$ ;
- 材料实测的抗拉强度  $R_m \leq 630\text{MPa}$ ;
- 材料使用状态应至少为正火+回火、正火或退火。

7.5.2.2 低碳钢和碳锰钢的碳当量  $C_E$  按板厚限制如下:

- 小于等于  $38\text{mm}$ ,  $C_E = 0.43$ ;
- $39\text{mm} \sim 64\text{mm}$ ,  $C_E = 0.45$ ;
- $65\text{mm} \sim 102\text{mm}$ ,  $C_E = 0.46$ ;
- 大于  $102\text{mm}$ ,  $C_E = 0.48$ 。

注:  $C_E = C + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$ 。

7.5.2.3 焊后热处理应按以下要求进行:

- 宜进行焊后消除应力热处理, 焊后热处理温度宜取标准要求的上限, 以保证焊接接头的硬度达到  $\text{HB} \leq 200$  的要求;
- 热处理后, 不得在接触介质一侧打钢印。

7.5.2.4 壳体用钢板厚度大于  $12\text{mm}$  时, 应按 JB/T 4730.3—2005 进行超声检测, 应符合 II 级要求。

7.5.3 当容器内部采用不锈钢复合层 (或堆焊层) 时可不按 7.5.2 条的规定。

### 7.6 II 类湿 $\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀环境

7.6.1 确定 II 类湿  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀环境的条件参见附录 G 的 G. 2. 1 条。

7.6.2 在 II 类湿  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀环境中工作的压力容器用钢除满足 7.5.2 条的要求外, 还应符合下列要求, 以提高钢材抗氢诱导裂纹 (HIC) 的能力 (包括抗应力导向氢诱导裂纹 SOHIC 和氢鼓泡 HB 的能力):

- 钢材熔炼分析的化学成分要求:  
 $S \leq 0.002\%$ ,  $P \leq 0.010\%$ ,  $Mn \leq 1.35\%$ ;

- b) 板厚方向断面收缩率  $Z \geq 35\%$  (三个试样平均值) 和  $25\%$  (单个试样最低值);
- c) 抗氢诱导裂纹 (HIC) 试验: 试验方法按 NACE TM—0284—2003, A 溶液, 要求:  $CLR \leq 5\%$ ;  $CTR \leq 1.5\%$ ;  $CSR \leq 0.5\%$ 。

7.6.3 当容器内部采用不锈钢复合层 (或堆焊层) 时可不按 7.6.2 条的规定。

## 7.7 NaOH 溶液腐蚀环境

7.7.1 在 NaOH 溶液环境下工作的压力容器选材可按图 1 进行。

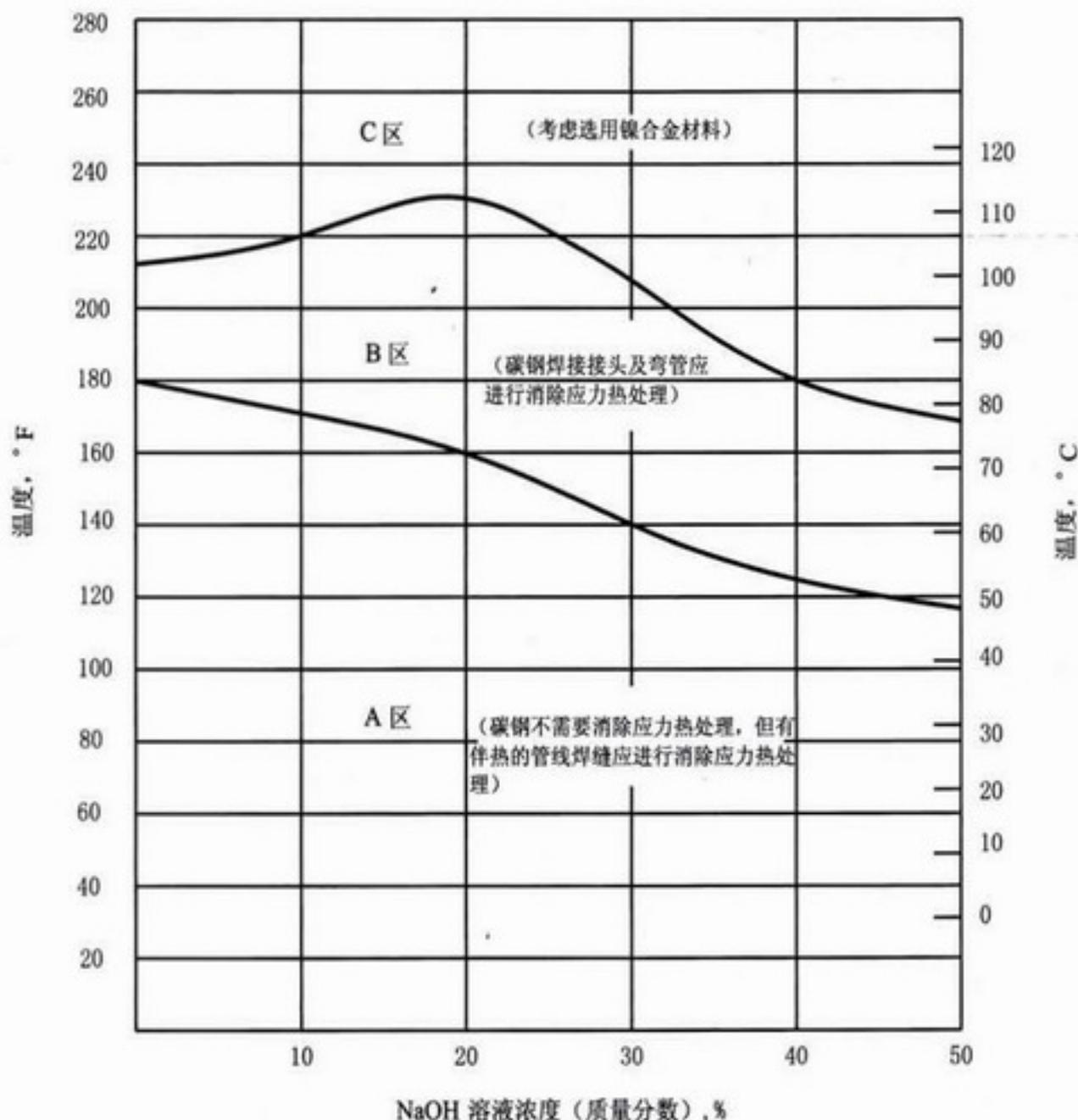


图 1 钢材使用在氢氧化钠溶液中的温度与浓度的关系

7.7.2 碳钢制造的压力容器的使用温度和 NaOH 溶液浓度 (质量分数) 位于图 1 中 A 区时不需要消除应力热处理, 但伴热管线的焊缝应进行消除应力热处理; 超过图 1 中 A 区, 位于 B 区时, 碳钢焊接接头及弯管应进行消除应力热处理; 当位于图 1 中的 C 区时, 则应选用镍合金材料, 当 NaOH 溶液浓度小于 5% 时, 可采用碳钢。在温度低于  $46^{\circ}\text{C}$  时, 在各种浓度的 NaOH 溶液环境中可使用碳钢且可不考虑进行消除应力热处理 (有伴热的管线焊缝除外)。

## 7.8 液氨应力腐蚀环境

7.8.1 容器接触的介质为液氨, 并同时符合下列条件时, 即为液氨应力腐蚀环境:

- a) 介质为液态氨, 含水量小于或等于  $0.2\%$ , 且有可能受空气 ( $\text{O}_2$  或  $\text{CO}_2$ ) 污染的场所;

- b) 操作温度高于 $-5^{\circ}\text{C}$ 。
- 7.8.2 在液氨应力腐蚀环境中使用的低碳钢和低碳锰钢（包括焊接接头），应符合下列要求：
- 材料要求及限制按 7.5.2 条；
  - 焊后进行消除应力热处理或采用保证硬度不大于 HB185 的焊接工艺施焊；
  - 液氨中添加大于等于 0.2% 的水作缓蚀剂，作为防止应力腐蚀开裂的措施。

## 7.9 HF 腐蚀环境

HF 腐蚀环境会对压力容器钢材造成腐蚀，同时 HF 属于极度危害介质，因此其用材除考虑腐蚀因素外，还要考虑安全因素。在 HF 腐蚀环境下的压力容器用钢的基本要求见附录 H。

## 8 低温容器用钢

设计温度低于或等于 $-20^{\circ}\text{C}$ 的容器属于低温压力容器（简称低温容器）。低温容器用材除满足本规定外，还应符合 GB 150—1998 附录 C 的相关要求。

### 8.1 低温用碳素钢和低合金钢的要求

- 8.1.1 低温容器受压元件用钢必须是镇静钢，承受载荷的非受压元件也应是具有相当韧性且焊接性能良好的钢材。
- 8.1.2 低温用钢应以正火或调质状态供货。
- 8.1.3 低温用钢均应进行夏比（V 型缺口）冲击试验（符合 GB 150—1998 附录 C 的 C2.1.4 条受压元件用钢除外）。试验温度不得高于容器的设计温度（或最低设计金属温度 MDMT）。除钢材标准规定外，低温用钢材的夏比（V 型缺口）冲击功指标按钢材标准抗拉强度下限值确定，如表 14 所示。

表 14 钢材低温夏比（V 型缺口）冲击功合格指标

钢材标准抗拉强度下限值 $R_m$ MPa	三个试样的冲击功平均值 $A_{KV}^{a,b}$ , J (试样尺寸 10 mm×10mm×55mm)
$\leq 450$	18
$> 450 \sim 515$	20
$> 515 \sim 650$	27
奥氏体钢焊缝金属	31

<sup>a</sup> 在试验温度下三个试样的冲击功平均值不得低于表中的规定值，其中单个试样的冲击功可小于平均值，但不得小于平均值的 70%。

<sup>b</sup> 标准抗拉强度下限值大于 650 MPa 的钢材的冲击功值应按标准抗拉强度下限值等于 650 MPa 的钢材要求，但低温螺栓用钢冲击功尚应符合表 11 的规定。

- 8.1.4 厚度大于 20mm 的钢板应逐张按 JB/T 4730.3—2005 进行超声检测，质量等级应不低于 II 级。
- 8.1.5 标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的钢材不适用于低温低应力工况的容器。
- 8.1.6 设计压力大于等于 1.6 MPa 的低温容器用锻件级别应不低于 III 级。
- ### 8.2 常用低温钢材
- 8.2.1 GB 150—1998 中常用低温钢材及使用状态见表 15。设计者应根据经验，选择钢板及其匹配的钢管、锻件和螺柱。

表 15 GB 150—1998 中常用低温钢材及使用状态

钢材	使用温度下限 ℃	钢板	钢管	锻件	螺柱 <sup>a</sup>
标准		(1) GB 713—2008 (2) GB 3531—2008 (3) GB 44511—2009 (固溶) (4) GB 19189—2003	(1) GB 6479—2000 (2) GB 9948—2006 (3) GB 13296—2007 (固溶) (4) GB/T 14976—2002 (固溶) (5) GB 150—1998 附录 A	(1) JB 4727—2000 (调质) (2) JB 4728—2000 (固溶)	(1) GB/T 3077—1999 (固溶) (2) GB/T 1220—2007 (固溶)
碳素 钢和 低合金 钢	-20	(1) Q245R (正火) (1) Q345R (正火) (1) Q370R (正火) (4) 07MnCrMoVR (调质) <sup>b</sup>	(1) 20(正火)		
	-30	(2) 16MnDR (正火) ( $\delta \geq 36\text{mm}$ )	(2) 10(正火)	(1) 20MnMoD ( $\delta \geq 300\text{mm}$ )	
	-40	(2) 16MnDR (正火) ( $\delta \leq 36\text{mm}$ ) (4) 07MnNiMoVDR (调质) <sup>b</sup>	(1) 16Mn(正火)	(1) 20MnMoD ( $\delta \leq 300\text{mm}$ ) (1) 16MnD (1) 08MnNiCrMoVD	
	-45	(2) 15MnNiDR (正火、正火+回火)	(5) 09MnD(正火)	(1) 10Ni3MoVD ( $\delta \leq 300\text{mm}$ )	(1) 40CrNiMoA ( $\leq M85$ )
	-50				
	-70	(2) 09MnNiDR (正火、正火+回火)		(1) 09MnNiD ( $\delta \leq 300\text{mm}$ )	(1) 35CrMoA ( $\geq M60$ ) (1) 40CrNiMoA ( $\leq M80$ )
	-100				(1) 30CrMoA ( $\leq M56$ ) (1) 35CrMoA ( $\leq M56$ )
奥氏 体高 合金 钢 <sup>c</sup>	-196	(3) S30408 (3) S30403 (3) S31608 (3) S31603	(3), (4) 0Cr18Ni9 (3), (4) 00Cr19Ni10 (3), (4) 0Cr17Ni12Mo2 (3), (4) 00Cr17Ni14Mo2	(2) 0Cr18Ni9 (2) 00Cr19Ni10 (2) 0Cr17Ni12Mo2	(2) S30408 (2) S32168 (2) S31608
	-253	(3) S30408 (3) S30403	(3), (4) 0Cr18Ni9 (3), (4) 00Cr19Ni10	(2) 0Cr18Ni9 (2) 00Cr19Ni10	(2) S30408 (2) S31608

<sup>a</sup> 与螺柱组合使用的螺母用钢, 钢号和使用状态与螺柱相同, 但螺母用 Cr-Mo 钢的回火温度应高于相应螺柱。  
35CrMoA 螺柱也可配用 30CrMoA 螺母。

<sup>b</sup> 07MnCrMoVR、07MnNiMoVDR 主要用于冷成形球壳板。

<sup>c</sup> 奥氏体不锈钢的使用温度高于或等于-196℃时, 可免做夏比 (V 型缺口) 冲击试验。

8.2.2 GB 150—1998 标准常用低温碳素钢和低合金钢钢板冲击功要求见表 16。

表 16 常用低温碳素钢和低合金钢钢板冲击功要求

钢材牌号	使用状态	公称厚度 <sup>a</sup> Mm	最低冲击试验温度 ℃	标准试样冲击功 J	备注
Q245R	正火	6~36	-20	≥24 <sup>a</sup>	横向取样, 三个试样的平均值
Q345R	热轧	<12	-20	≥27 <sup>a</sup>	
	正火	≥12	-20	≥27	
Q370R	正火	10~60	-20	≥34 <sup>a</sup>	
07MnCrMoVR	调质	16~50	-20	≥47	
16MnDR	正火	6~36	-40	≥27 <sup>a</sup>	
		>36~100	-30		
07MnNiMoVDR	调质	16~50	-40	≥47	
15MnNiDR	正火, 正火+回火	6~60	-45	≥27 <sup>a</sup>	
09MnNiDR		6~60	-70	≥27 <sup>a</sup>	

<sup>a</sup> 对于厚度小于 12mm 的钢板, 采用辅助试样: 厚度为 6mm~8mm 的钢板, 试样为 5mm×10mm×55mm, 其冲击功不小于标准试样冲击值的 50%; 厚度为 8mm~11mm 的钢板, 试样为 7.5mm×10mm×55mm, 其冲击功不小于标准试样冲击值的 75%。厚度大于等于 12mm 的钢板采用标准试样。

8.2.3 常用的美国 ASME 标准低温钢材见表 17。

表 17 常用的美国 ASME 低温钢材

使用温度下限 ℃	钢板	钢管		锻件	螺栓 螺母
		Pipe	Tube		
-29	SA-516 Gr. 60, 70 SA-662 Gr. B, C	SA-53 Type S Gr. A, B SA-106 Gr. A, B	SA-179	SA-350 Gr. LF1	SA-193 Gr. B7 SA-194 Gr. 2H
-46		SA-333 Gr. 1	SA-334 Gr. 1	SA-350 Gr. LF2, Cl. 1	
-60	SA-203 Gr. A, B (2.25Ni) SA-537 Cl. 1, Cl. 2 ( $\delta \leq 75\text{mm}$ ) SA-662 Gr. A	SA-333 Gr. 3 (3.5Ni)	SA-334 Gr. 3 (3.5Ni)	SA-350 Gr. LF3, (3.5Ni)	SA-320 Gr. L7 SA-194 Gr. 4
-101	SA-203 Gr. D, E (3.5Ni)				
-170	SA-645 (5Ni)				
-196	SA-353 (9Ni) SA-240 Type. 304 SA-240 Type. 304L SA-240 Type. 316 SA-240 Type. 316L	SA-312 TP. 304 SA-312 TP. 304L SA-312 TP. 316 SA-312 TP. 316L	SA-213 TP. 304 SA-213 TP. 304L SA-213 TP. 316 SA-213 TP. 316L	SA-182 Gr. F304 SA-182 Gr. F304L SA-182 Gr. F316	SA-320 Gr. B8, Cl. 1A SA-320 Gr. B8, Cl. 2 (应变硬化) SA 194 Gr. 8

表 17 (续) 常用的美国 ASME 低温钢材

使用温度下限 ℃	钢板	钢管		锻件	螺栓 螺母
		Pipe	Tube		
-254	SA-240 Type. 304 SA-240 Type. 304L SA-240 Type. 347	SA-312 TP. 304 SA-312 TP. 304L SA-312 TP. 347	SA-213 TP. 304 SA-213 TP. 304L SA-213 TP. 347	SA-182 Gr. F304 SA-182 Gr. F304L SA-182 Gr. F347	SA-320 Gr. B8, Cl. 1A SA-320 Gr. B8, Cl. 2 (应变硬化) SA 194 Gr. 8
注: SA-20 压力容器用钢板通用要求 SA-53 无镀层及热浸镀锌焊接及无缝钢管 (Pipe) SA-106 高温用碳钢无缝管 (Pipe) SA-179 换热器及冷凝器用低碳钢冷拔无缝钢管 (Tube) SA-182 高温用锻 (轧) 制合金钢管法兰、管件、阀门和零件 SA-193 高温用合金钢和不锈钢螺栓材料 SA-194 高温、高压螺栓用碳钢和合金钢螺母 SA-203 压力容器用镍合金板 SA-213 锅炉、过热器和换热器用铁素体和奥氏体合金钢无缝管 (Tube) SA-240 压力容器用耐热铬和铬镍不锈钢钢板、薄板和钢带 SA-312 奥氏体不锈钢焊接及无缝钢管 (Pipe) SA-320 低温用合金钢螺栓材料 SA-333 低温用焊接及无缝钢管 (Pipe) SA-334 低温用碳钢及合金钢焊接及无缝钢管 (Pipe) SA-350 要求缺口韧性试验的管道零件用碳钢和低合金钢锻件 SA-353 压力容器用二次正火加回火 9%镍合金钢板 SA-516 中低温压力容器用碳素钢板 SA-537 压力容器用经热处理碳锰硅钢板 SA-645 压力容器用经特殊热处理 5%镍合金钢板 SA-662 中低温压力容器用碳锰钢板					

## 9 焊接材料技术要求

### 9.1 一般要求

9.1.1 压力容器用焊接材料应分别符合 GB/T 983—1995、GB/T 5117—1995、GB/T 5118—1995、GB/T 5293—1999、GB/T 14957—1994、GB/T 14958—1994 及 JB/T 4747—2002 的规定。

9.1.2 焊接材料应根据母材的化学成分、力学性能、焊接性能,并结合压力容器的结构特点、使用条件及焊接方法综合考虑选用,必要时通过试验确定。

### 9.2 焊接材料质量证明书

9.2.1 焊接材料质量证明书应注明标准号、焊接材料型号、规格、熔敷金属的化学成分、力学性能、药皮含水量 (或熔敷金属含氢量) 以及相关的特种性能测定,并在明显部位作出清晰的标志。

9.2.2 焊接材料熔敷金属的耐腐蚀性能及铁素体含量等特殊要求根据双方协议内容提供。

### 9.3 焊接材料的选用原则

9.3.1 碳素钢、低合金钢熔敷金属的力学性能应高于或等于相应母材标准规定的下限值,且抗拉强度不应超过母材标准规定的上限值加 30MPa。

9.3.2 高合金钢焊缝金属应符合下列要求:

- 奥氏体不锈钢的焊接材料应选用保证熔敷金属的 Cr、Ni、Mo 或 Cu 等主要合金元素的含量不低于母材标准规定的下限值;
- 对于有防止晶间腐蚀要求的焊接接头,应采用熔敷金属中含有稳定化元素 Nb (氩弧焊时可含

Ti),或保证熔敷金属含碳量小于等于0.04%的焊接材料。

9.3.3 不锈钢复合钢板基层焊缝金属的力学性能应高于或等于相应母材标准规定的下限值,且抗拉强度不应超过基材标准规定的上限值加30MPa。复层焊缝金属应保证耐腐蚀性能。当复合钢板(基层+复层)有力学性能要求时还应保证其力学性能。

9.3.4 不同钢号相焊的焊缝金属应符合下列要求:

- a) 不同强度级别的碳素钢、低合金钢之间的焊接接头应保证抗裂性能和力学性能,且抗拉强度不应超过强度较高母材标准规定的上限值,也不应低于强度较低母材标准规定的下限值,而接头的冲击功值应不低于较低一侧的母材;
- b) 奥氏体高合金钢与碳素钢或低合金钢之间的焊接接头应保证抗裂性能和力学性能,宜采用铬镍含量较奥氏体高合金钢母材高的焊接材料。

9.3.5 低合金抗氢钢或耐热钢焊接材料应符合下列要求:

- a) Cr-Mo 抗氢钢或耐热钢应选用低氢型焊条;
- b) Cr-Mo 抗氢钢或耐热钢应保证焊缝金属的合金(Cr、Mo)含量不低于母材标准规定的下限值,焊接接头的抗拉强度应不低于母材标准规定的下限,且不高于上限值加30MPa。

#### 9.4 焊接材料的选用

9.4.1 常用钢号推荐选用的焊接材料见 JB/T 4709—2000 中的表 1。

9.4.2 不同钢号相焊推荐选用的焊接材料见 JB/T 4709—2000 中的表 3。

9.4.3 不锈钢复合钢板推荐选用的焊接材料见表 18。

表 18 不锈钢复合钢板推荐选用的焊接材料

不锈钢复合钢板		基层用焊材	过渡焊缝用焊材 <sup>*</sup>	复层用焊材
复材钢号	基材钢号			
S11306 (0Cr13)	Q235B Q235C Q245R 16Mn Q345R 15CrMoR	按本标准 9.4.1 条选用	E309L-16 E309L-15	E309L-16
S30408 (0Cr18Ni9)				E309L-15
S32168 (0Cr18Ni10Ti)				E308-16
S30403 (00Cr19Ni10)				E308-15
S31608 (0Cr17Ni12Mo2)				E347-16
S31668 (0Cr18Ni12Mo2Ti)				E347-15
S31708 (0Cr19Ni13Mo3)				E308L-16
S31603 (00Cr17Ni14Mo2)				E316-16
S31703 (00Cr19Ni13Mo3)				E316-15
		E317L-16		
		E316L-16		
		E317L-16		

<sup>\*</sup> 过渡焊缝详见 JB/T 4709—2000 中的图 A3。

## 附录 A

(资料性附录)

## 不锈钢晶间腐蚀环境

- A.1 奥氏体不锈钢发生晶间腐蚀必须存在电解质的电化学腐蚀环境,而导致其发生的部分介质为:工业醋酸、硝酸铵、硝酸钙、铬酸、氯化铬、硫酸铜、脂肪酸、氯化铁、硫酸铁、氯氟酸、氢氟酸、顺丁烯二酸、甲酸、硝酸、乙二酸、酚+环烷酸、磷酸、盐雾、海水、硫酸氢钠、亚硫酸盐溶液、二氧化硫(潮湿的)、硫酸、亚硫酸、硫酸+硫酸铜、硫酸+硫酸亚铁、硫酸+甲醇、乳酸、草酸、湿硫化氢、次氯酸钠、原油、苯二酸、高温水、硫酸氢钠、盐酸、尿素反应介质。
- A.2 一般纯的化学品如醇、醛、酮、醚、苯、酚、烷、汽油不会对奥氏体不锈钢产生晶间腐蚀。



## 附录 B

(规范性附录)

## 奥氏体不锈钢的晶间腐蚀倾向性试验

B.1 在大于等于 60℃且浓度大于等于 5%的硝酸中使用的奥氏体不锈钢,应按 GB/T 4334—2008 方法 C 不锈钢 65%硝酸腐蚀试验方法进行试验,五个周期的平均腐蚀率或三个周期的最大腐蚀率应不大于 0.6g/(m<sup>2</sup>·h)(相当于 0.6mm/a),试样为敏化状态。

B.2 非含钼奥氏体不锈钢(如 0Cr18Ni10Ti、00Cr19Ni10、0Cr18Ni9 及类似钢材)在 B.1 条环境以外的环境下:

a) 一般要求:按 GB/T 4334—2008 方法 E,弯曲试验后,试样表面不得有晶间腐蚀裂纹;

b) 较高要求:按 GB/T 4334—2008 方法 B,平均腐蚀率应不大于 1.1g/(m<sup>2</sup>·h)。也可按 GB/T 4334—2008 方法 C 进行不锈钢 65%硝酸腐蚀试验方法试验,其合格指标同 B.1 条的要求。

B.3 含钼奥氏体不锈钢(如 0Cr18Ni12Mo2Ti、00Cr17Ni14Mo2 及类似的钢材):

a) 一般要求:按 GB/T 4334—2008 方法 E,弯曲试验后,试样表面不得有晶间腐蚀裂纹;

b) 较高要求:按 GB/T 4334—2008 方法 D,腐蚀度比值不大于 1.5。也可按 GB/T 4334—2008 方法 B,平均腐蚀率应不大于 1.1g/(m<sup>2</sup>·h)。

B.4 介质有特殊要求时,可进行上述规定以外的晶间腐蚀试验,并规定相应的合格要求。

B.5 允许采用 GB/T 4334—2008 方法 A 作为 65%硝酸法、硫酸-硫酸铜法、硫酸-硫酸铁法、硝酸-氢氟酸法的筛选试验方法,但用于 65%硝酸法的筛选时,不适用于含 Mo 或含 Ti 的奥氏体不锈钢。

B.6 奥氏体不锈钢除下列情况外,应以供货状态的试样进行晶间腐蚀倾向试验:

a) 焊接结构(包括焊补)用钢材应以供货状态经敏化处理的试样进行试验,焊接接头以焊态试样进行试验;

b) 在制造或使用过程中需经历 400℃以上加热(固溶处理或稳定化处理除外)的奥氏体不锈钢,应以供货状态经敏化处理的试样进行试验,其焊接接头试样也应经敏化处理。敏化处理的制度一般为 650℃保温 0.5h~2h,双相不锈钢为 650℃保温 0.5h。

附录 C  
(规范性附录)  
临氢作业用钢选材图

临氢作业用钢的选材见图 C.1。

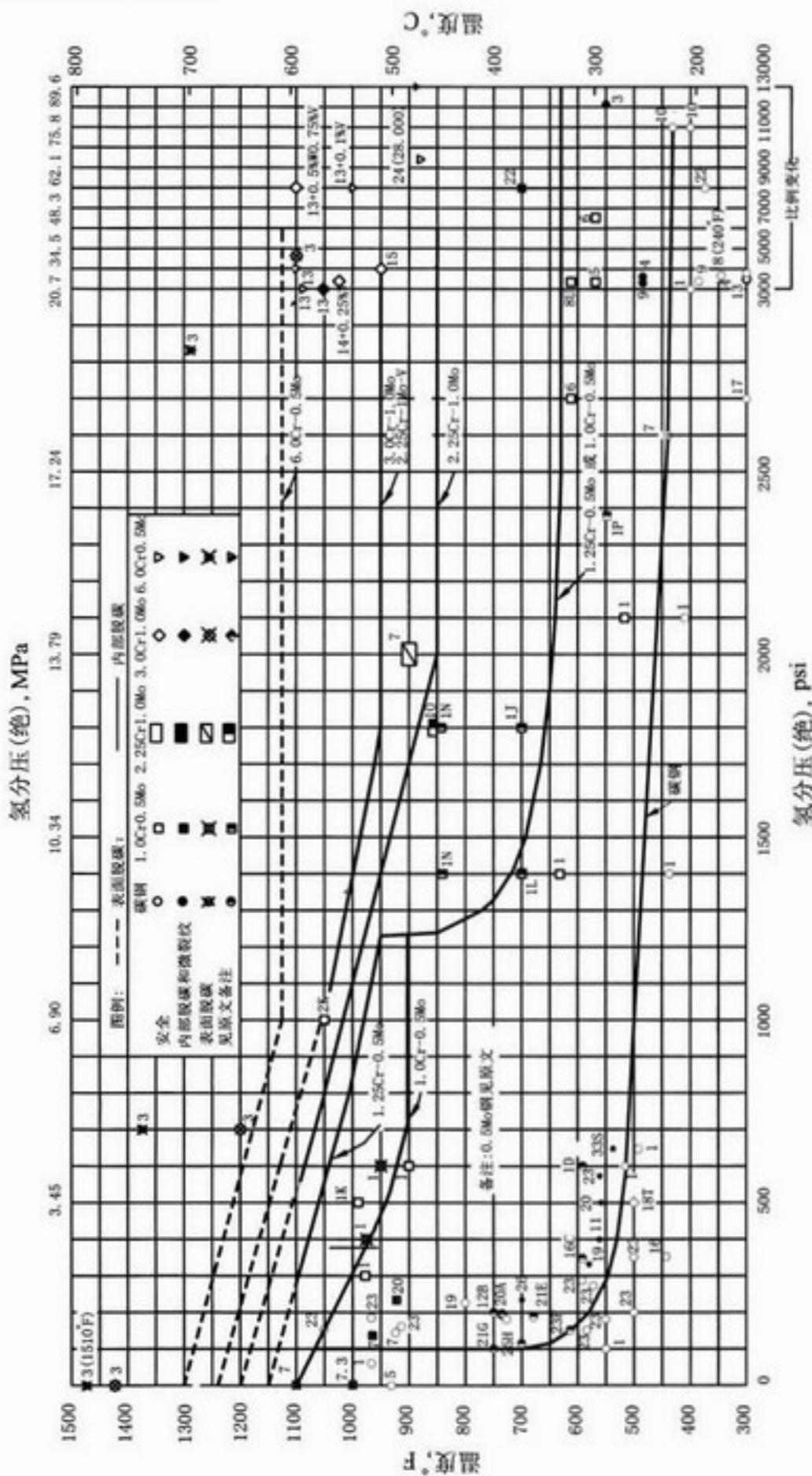


图 C.1 临氢作业用钢防止脱碳和微裂的操作极限

## 附录 D

(规范性附录)

## 临氢厚壁压力容器用铬钼钢

## D.1 临氢压力容器常用的铬钼钢

处于临氢状态下操作的压力容器,氢气会进入钢中,其量随着操作温度和操作氢分压的提高而增加,并和钢中的碳起化学反应生成甲烷,导致钢材破裂,即产生了氢腐蚀。铬钼钢具有优异的抗氢腐蚀性能,且随钢中铬钼含量的增加而提高。临氢压力容器常用的铬钼钢有 1Cr-0.5Mo、1.25Cr-0.5Mo-Si、2.25Cr-1Mo、2.25Cr-1Mo-0.3V、3Cr-1Mo、3Cr-1Mo-0.25V 等。

## D.2 回火脆化及防止措施

适用于 2.25Cr-1Mo、2.25Cr-1Mo-0.3V、3Cr-1Mo 和 3Cr-1Mo-0.25V 钢。

## D.2.1 回火脆化

铬钼钢长期在 315℃~595℃ 的温度范围内操作会产生冲击韧性下降、韧脆性转变温度升高的现象,即所谓回火脆化。其中 2.25Cr-1Mo、2.25Cr-1Mo-0.3V、3Cr-1Mo 和 3Cr-1Mo-0.25V 等钢较为明显。另外,铬钼钢又是强度高、淬硬倾向大、易产生氢致裂纹(即通常称谓的延迟裂纹)的钢种。

## D.2.2 防止措施

回火脆化是由于微量有害元素 P、Sb、Sn 和 As 沿奥氏体晶界产生偏析所致,其中 P 的影响最大,另外 Si、Mn 元素对脆化起促进作用。控制钢材中的 Si、Mn 含量和微量有害元素含量是防止产生回火脆化的基本措施,同时采用评定钢材回火脆化倾向的方法来检测。国内外各公司提出的技术指标并不完全相同,目前较为普遍采用的 API 934—2000 推荐下列技术指标:

a) 控制钢材的回火脆化敏感性系数  $J$ :

$$J = (\text{Si} + \text{Mn})(\text{P} + \text{Sn}) \times 10^4 \leq 100 \quad \text{..... (D.1)}$$

式中元素以其百分数含量代入,如 0.15% 以 0.15 代入。

b) 控制焊缝金属的回火脆化敏感性系数  $X$ :

$$X = (10\text{P} + 5\text{Sb} + 4\text{Sn} + \text{As}) \times 10^{-2} \leq 15 \times 10^{-6} \quad \text{..... (D.2)}$$

式中元素以  $10^{-6}$  (ppm) 含量代入,如 0.01% 以  $100 \times 10^{-6}$  (ppm) 代入。

c) 比较和检测钢材的脆化程度是采用在短时间内进行的使钢材产生一定程度脆化的模拟法,即分步冷却 (Step cooling) 法。其程序如图 D.1 所示。



图 D.1 分步冷却脆化处理程序

d) 通过对钢材和焊缝金属的加速脆化处理,以分步冷却前后转变温度增加值  $\Delta v\text{Tr}_{54}$  (见图 D.2) 来衡量钢材及焊缝金属脆化倾向程度,要求:

$$v\text{Tr}_{54} + 2.5\Delta v\text{Tr}_{54} \leq 10^\circ\text{C} \quad \text{..... (D.3)}$$

式中:

- vTr54 —— 经 Min. PWHT 后的夏比 V 冲击功为 54J 时的转变温度, 见图 D.2 中曲线 A。  
 Min. PWHT —— 最小焊后热处理, 指设备可能经受的最小程度的焊后热处理。  
 $\Delta vTr54$  —— 经 Min. PWHT+S. C (分步冷却) 脆化处理后 (曲线 B) 的夏比 V 冲击功为 54J 时相应于曲线 A 的转变温度增量, 如图 D.2 所示。

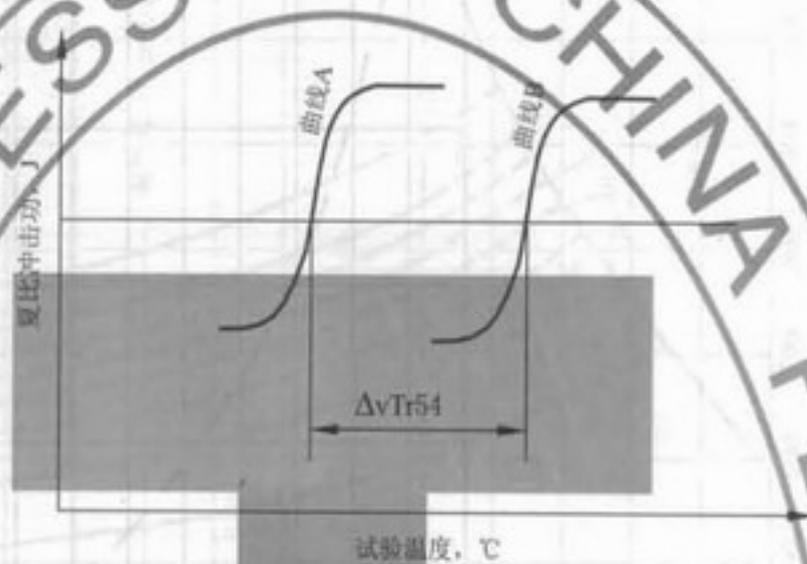


图 D.2 冲击功与试验温度的关系曲线

图 D.2 中曲线 A、曲线 B 各取不少于 6 个适当的试验温度进行夏比 V 冲击试验, 曲线 A、曲线 B 在每个试验温度下各需 3 个试样, 试样的总数不少于  $(3 \times 6 \times 2) = 36$  个, 曲线应平滑完整, 并应有上下平台值。

#### D.3 铬钼钢制压力容器制造中的特殊要求

D.3.1 用于压力容器的铬钼钢钢材须经过正火 (淬火) 加回火热处理, 使钢材晶粒细化、组织均匀稳定、强度与塑性配合适宜, 综合性能优异。

D.3.2 在铬钼钢压力容器制造过程中, 一般除严格控制焊前预热温度外, 还要保持焊接过程中的层间温度, 焊后尚应采取焊后保温的消氢热处理 DHT (Dehydrogenation heat treatment) 或中间消除应力热处理 ISR (Intermediate stress relief) 和最终焊后热处理 PWHT (Post weld heat treatment) 等多种形式的热处理, 方能保证焊接接头具有优良的综合性能。

#### D.4 铬钼钢制压力容器使用注意事项

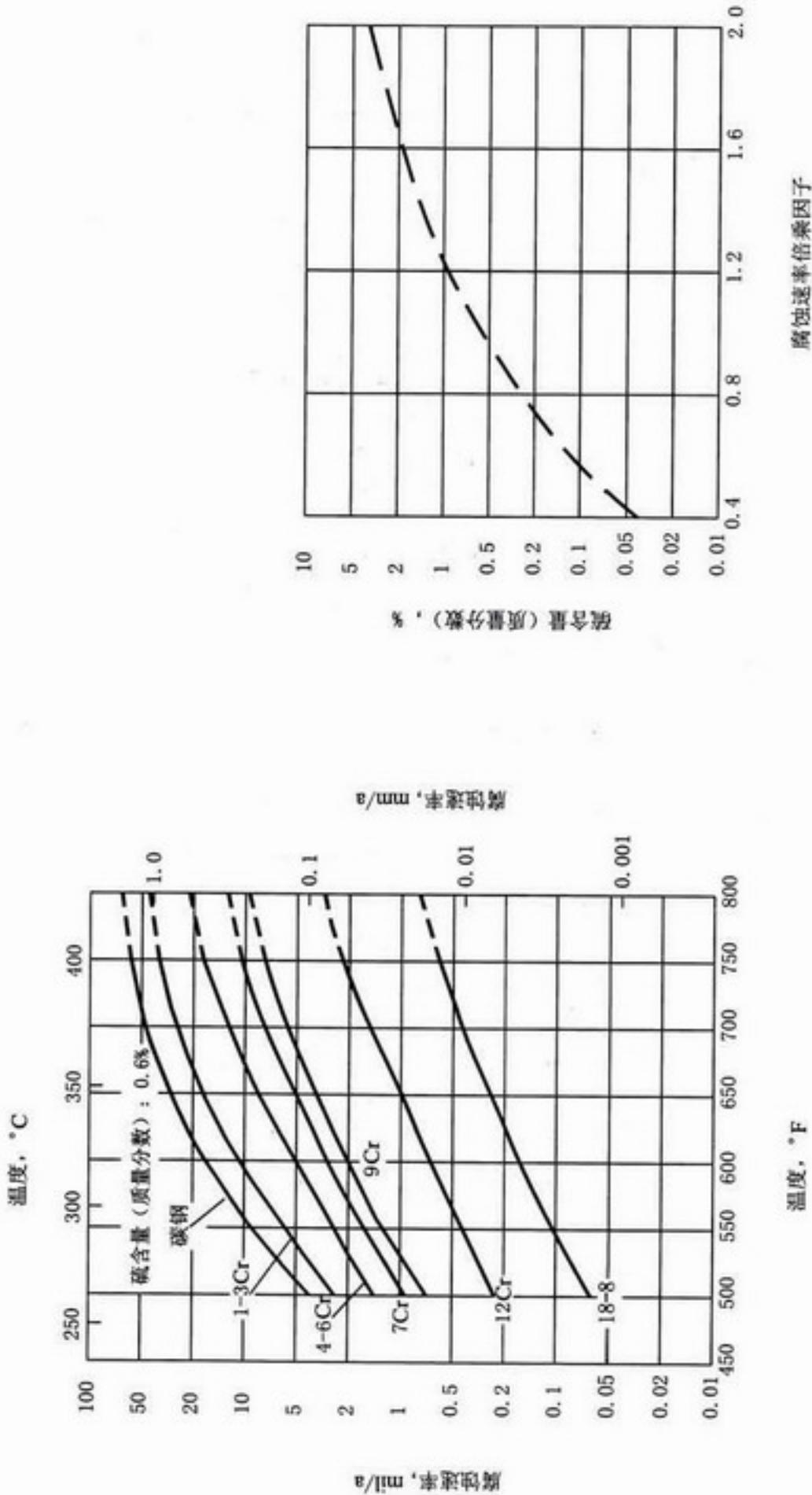
D.4.1 铬钼钢长期在  $315^{\circ}\text{C} \sim 595^{\circ}\text{C}$  条件下操作时会产生程度不同的回火脆化, 即韧性变坏、韧脆转变温度升高。当铬钼钢制容器的使用温度低于或接近韧脆转变温度, 应力达到一定的水平时, 铬钼钢就可能会发生脆性破坏, 当容器壁中实际应力低于铬钼钢屈服强度的  $1/5$  时, 这种形式的破坏几乎可以避免。

D.4.2 对铬钼钢制压力容器, 如加氢精制和加氢裂化反应器, 开工时采取先升温后升压, 停工时先降压后降温的方法来防止脆性破坏的发生。

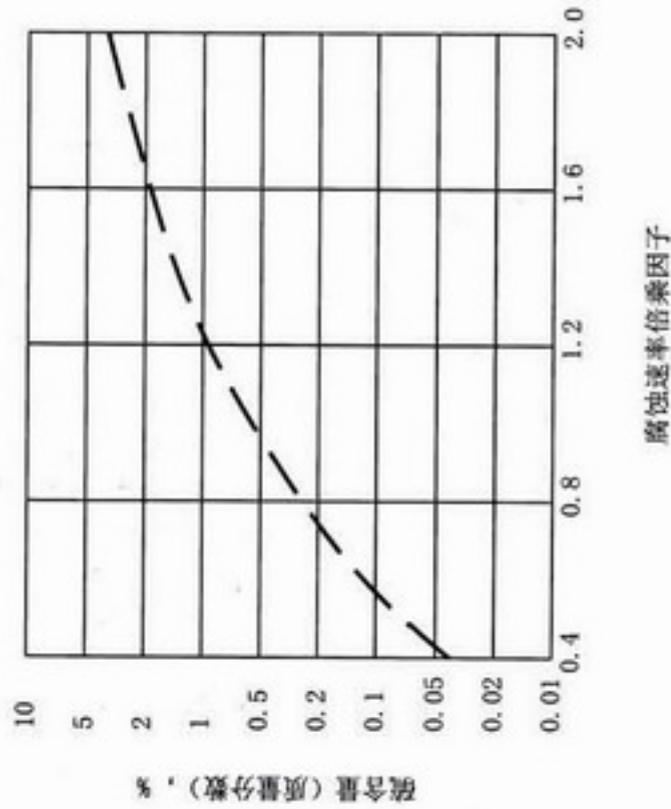
附录 E  
(规范性附录)

经修正的 McCconomy 曲线

经修正的 McCconomy 曲线见图 E. 1。硫含量与腐蚀速率的关系见图 E. 2。



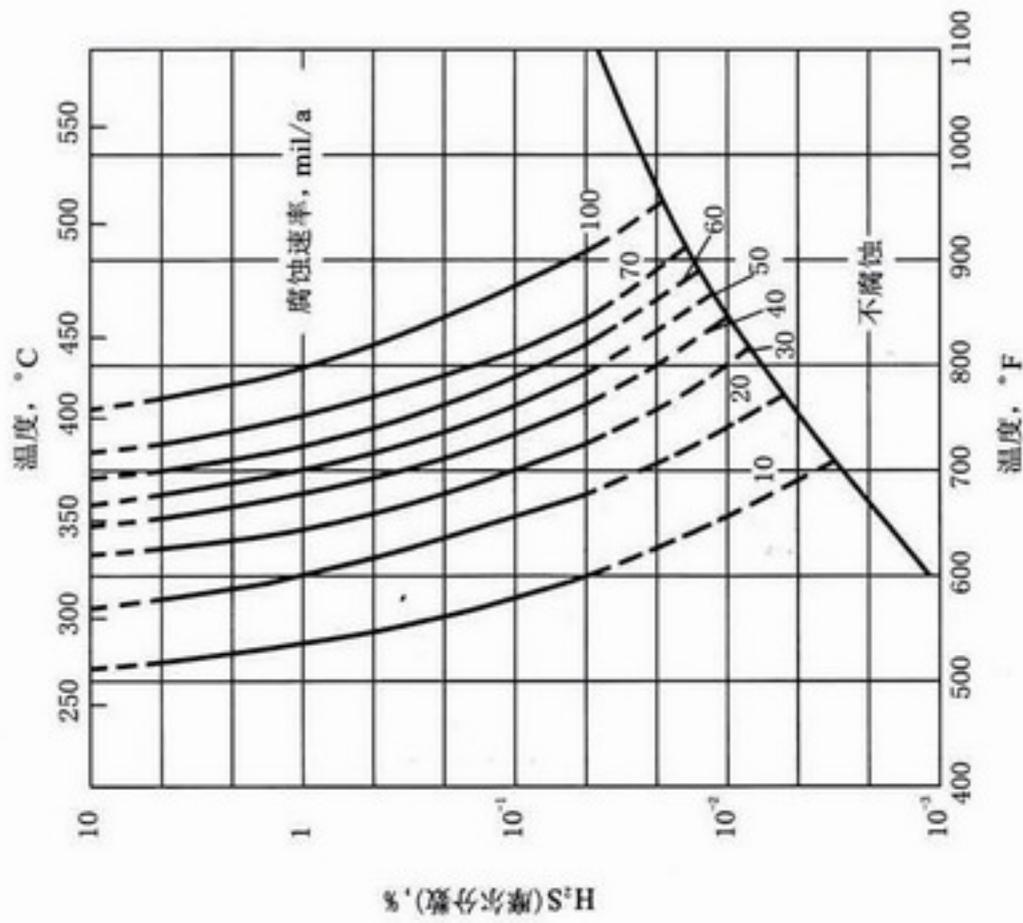
图E. 1 经过修正的 McCconomy 曲线，它表示温度与各种钢高温硫腐蚀的关系（硫含量（质量分数）：0.6%）



图E. 2 在290°C~400°C区间，硫含量与根据 McCconomy 曲线所预测的腐蚀速率的关系

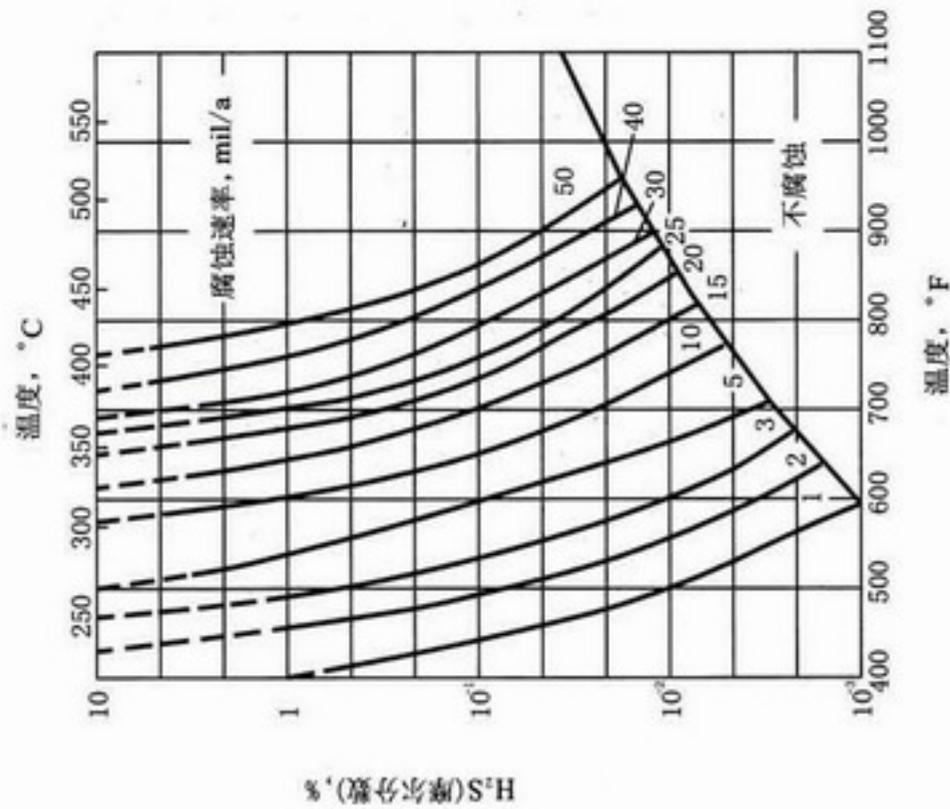
附录 F  
(规范性附录)  
高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀曲线

各种钢材的高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀曲线见图 F.1 至图 F.8。



图F.2 温度和 H<sub>2</sub>S 含量与碳钢 (在重油中)  
高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀速率的关系

重油: 是指重柴油或更重的油  
1 mil/a=0.025 mm/a



图F.1 温度和 H<sub>2</sub>S 含量与碳钢 (在轻油中)  
高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀速率的关系

轻油: 是指石脑油、汽油、柴油、轻柴油  
1 mil/a=0.025 mm/a

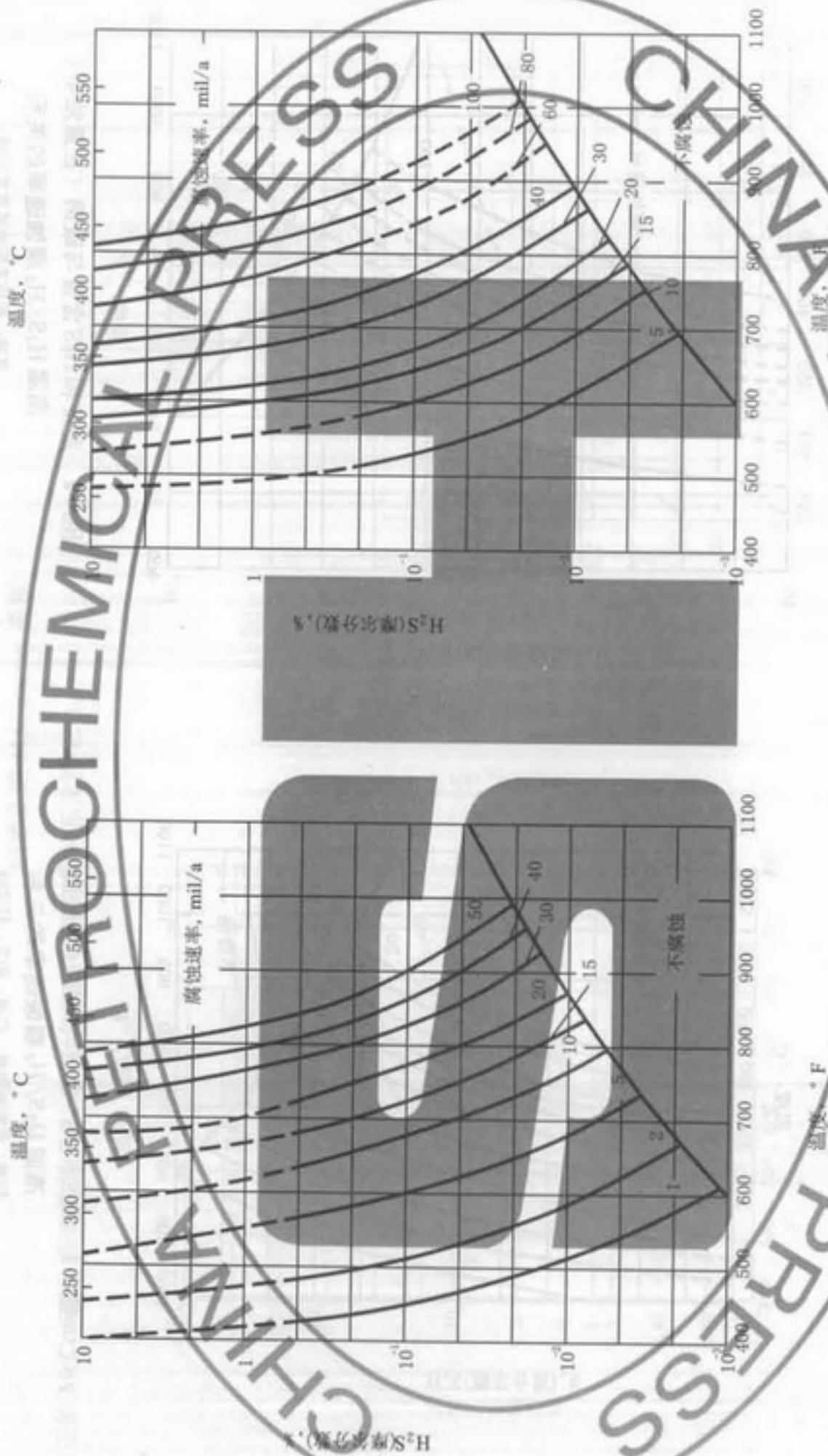
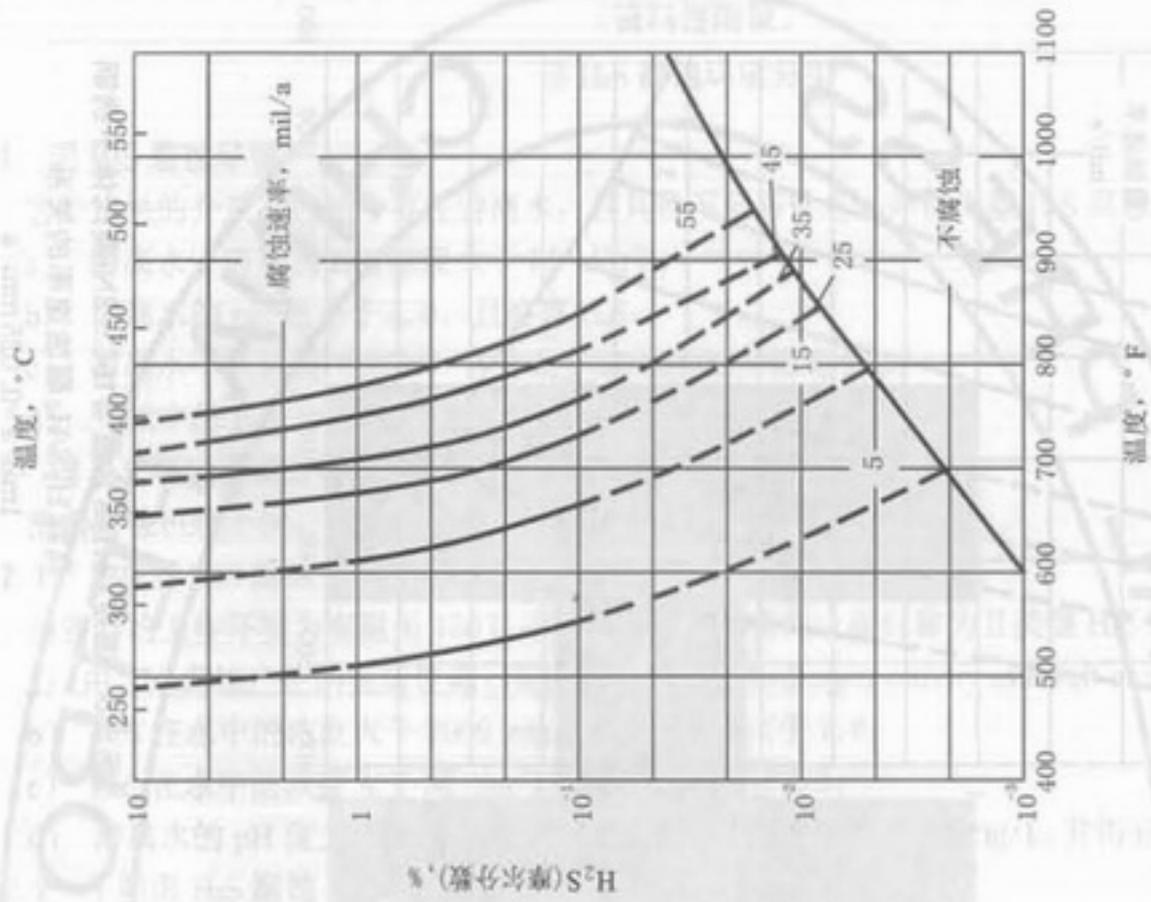


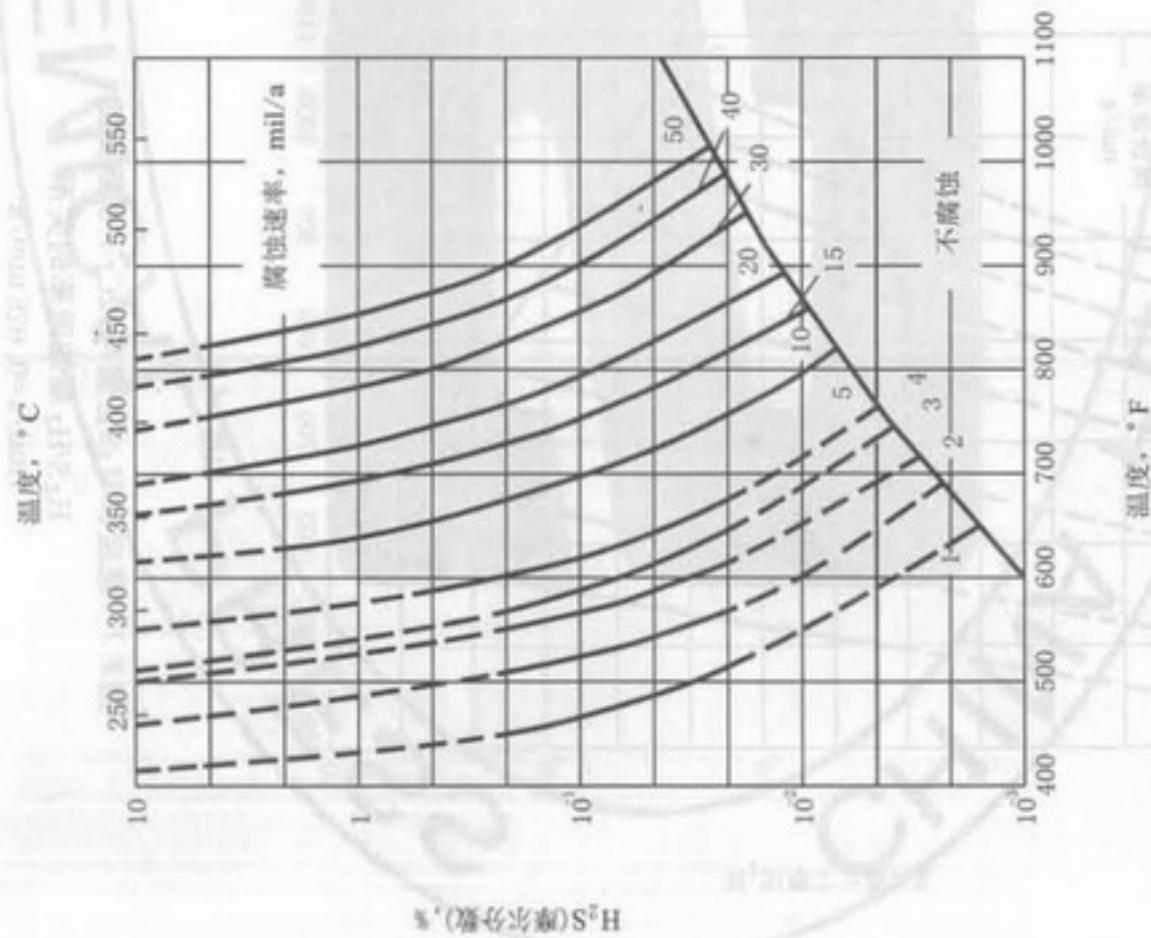
图 F.3 温度和 H<sub>2</sub>S 含量与 5Cr-0.5Mo 在轻油中

图 F.4 温度和 H<sub>2</sub>S 含量与 5Cr-0.5Mo 在重油中

高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀速率的关系  
1mil/a = 0.025 mm/a



图F.5 温度和H<sub>2</sub>S含量与9Cr-1Mo(在轻油中)  
高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub>腐蚀速率的关系  
1mil/a=0.025 mm/a



图F.6 温度和H<sub>2</sub>S含量与9Cr-1Mo(在重油中)  
高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub>腐蚀速率的关系  
1mil/a=0.025 mm/a

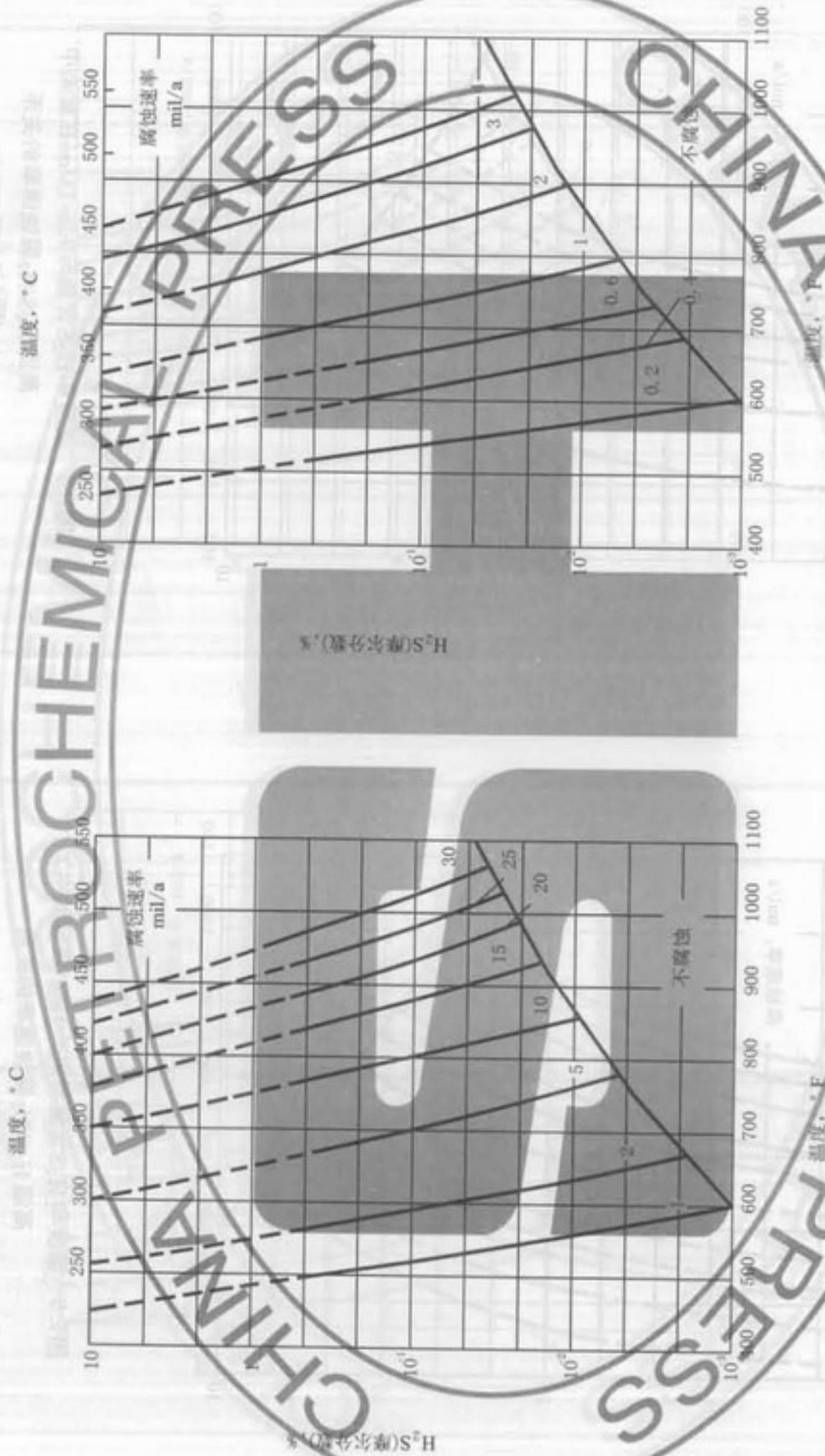


图 E.7 温度和 H<sub>2</sub>S 含量与 12Cr 不锈钢高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀速率的关系  
1mil/a = 0.025 mm/a

图 E.8 温度和 H<sub>2</sub>S 含量与 18Cr-8Ni 奥氏体不锈钢高温 H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub> 腐蚀速率的关系  
1mil/a = 0.025 mm/a

## 附录 G

(资料性附录)

湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类G.1 湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境

容器接触的介质在液相中存在游离水,且具备下列条件之一时称为湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境:

- a) 游离水中溶解的 H<sub>2</sub>S 浓度大于 50 mg/L;
- b) 游离水的 pH 值小于 4.0,且溶有 H<sub>2</sub>S;
- c) 游离水中氰氢酸 (HCN) 含量大于 20 mg/L 并溶有 H<sub>2</sub>S;
- d) 气相中的 H<sub>2</sub>S 分压(绝)大于 0.3kPa。

G.2 湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类

根据腐蚀机理不同,湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境可以分为 I 类和 II 类。

G.2.1 II 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀 (HIC、SOHIC 和 HB) 环境

当容器的工作环境为室温至 150℃ 并符合下列其中任何一条时称为 II 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境:

- a) 由含水腐蚀产生的氢活性高 (High potential for hydrogen activity as result of aqueous corrosion);
- b) H<sub>2</sub>S 在水中的浓度大于 2000 mg/L,且 pH 值大于 7.6;
- c) H<sub>2</sub>S 在水中的浓度大于 50 mg/L,且 pH 值小于 4.0;
- d) 游离水的 pH 值大于 7.6,且水中 HCN 或氰化物含量大于 20 mg/L,并溶有 H<sub>2</sub>S。

G.2.2 I 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀 (SSC) 环境

湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境不符合 II 类的即称为 I 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境。

## 附录 H

(规范性附录)

## HF 腐蚀环境下压力容器用钢

H.1 氢氟酸烷基化装置的酸再生塔应选用 NiCu30 镍铜合金 (板材 JB 4741—2000, 管材 JB 4742—2000, 锻件 JB 4743—2000), 相当于 Monel 400 (板材 SB-127, 管材 SB-163 和 SB-165, 锻件 SB-564)。

H.2 其他含氢氟酸介质的容器可采用碳素钢制造, 但厚度大于等于 13mm 时应满足以下要求:

## a) 对钢材的要求

- 1) 炼钢工艺应包括真空脱气;
- 2) 钢材最大硫含量 (质量分数) 不应超过 0.005%, 并采取措施控制夹杂物形状;
- 3) 钢材的使用状态为正火或正火加回火;
- 4) 钢板应按 JB/T 4730.3—2005 进行超声检测, II 级合格;
- 5) 用于 HF 介质的碳素钢容器及其所有承压件的化学成分 (质量分数) 应满足以下要求:

$$V+Nb \leq 0.1\%;$$

$$Ni+Cu \leq 0.2\%;$$

$$C_E \leq 0.4\%; \quad C_E = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/15;$$

## b) 制造要求

- 1) 所有受压焊接接头均应为全焊透并进行 100% 射线检测;
- 2) 所有非受压件与受压件的焊接应为连续焊;
- 3) 不得使用冷成形封头, 否则应进行消除应力热处理;
- 4) 焊接接头最大允许硬度为 HB 200。

## 用词说明

对本规范条文中要求执行严格程度用的助动词,说明如下:

(一)表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时,用的助动词为“必须”(must);

(二)表示要准确地符合规范而应严格遵守时,用的助动词为:

正面词采用“应”(shall);

反面词采用“不应”或“不得”(shall not)。

(三)表示在几种可能性中推荐特别合适的一种,不提及也不排除其他可能性,或表示是首选的但未必是所要求的,或表示不赞成但也不禁止某种可能性时,用的助动词为:

正面词采用“宜”(should);

反面词采用“不宜”(should not)。

(四)表示在规范的界限内所允许的行动步骤时,用的助动词为:

正面词采用“可”(may);

反面词采用“不必”(need not)。

中华人民共和国石油化工行业标准

# 石油化工钢制压力容器材料选用规范

SH/T 3075—2009

## 条文说明

2009 北京

## 目 次

4 一般规定	37
5 钢材的选用原则	37
6 各种钢材的技术要素	37
6.1 钢板	37
6.2 锻钢	37
6.3 钢管	37
6.4 紧固件	37
7 腐蚀环境对压力容器用钢的要求	37
8 低温容器用钢	38
附录 G (资料性附录) 湿 H <sub>2</sub> S 腐蚀环境分类	39

# 石油化工钢制压力容器材料选用规范

## 4 一般规定

4.3 按容规的要求增加了交货状态；

## 5 钢材的选用原则

5.1~5.2 针对石油化工容器的特点对原来的三条进行大量的补充，主要是参照《固定式压力容器安全技术监察规程》、GB 150、HG/T 20581 和 HG/T 20585 的有关条款编写的。

## 6 各种钢材的技术要求

### 6.1 钢板

6.1.1~6.1.3 在原标准的基础上按现行的标准规范进行了修改。

### 6.2 锻钢

6.2.1~6.2.4 根据现行的标准规范进行了修改和补充。考虑国内锻件制造情况及性能水平，适当提高了IV级锻件的要求，同时新增加了换热器管板锻件和设计压力大于等于1.6MPa的低温压力容器用锻件应为III级或III级以上的锻件。

### 6.3 钢管

6.3.1~6.3.8 根据现行的标准规范进行了修改和补充。新增加了钢管作为压力容器壳体时检验化学成分的要求见6.3.8的a)条。

### 6.4 紧固件

6.4.1~6.4.5 根据现行的标准规范进行了修改和补充。参照HG 20581—1998表6-2增加了紧固件的推荐适用场合；参考SHB—S01—97《石油化工常用法兰垫片选用导则》（附录III）和HG 20588—1998（附录C）的有关内容增加了金属垫适用场合举例；参考SHB—S01—97《石油化工常用法兰垫片选用导则》的有关内容增加了非金属垫片的性能和适用场合举例。

## 7 腐蚀环境对压力容器用钢的要求

### 7.1 高温高压临氢环境

处于高温（ $t \geq 200^\circ\text{C}$ ）临氢环境的压力容器用钢应从本规范附录C中的图C.1进行选择。新增附录D《临氢厚壁压力容器用铬钼钢》的基本要求，主要来源于API 934《Materials and Fabrication Requirements for 2-1/4Cr-1Mo & 3Cr-1Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High Temperature, High Pressure Hydrogen Service》和SA 387,《Standard Specification for Pressure Vessels Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum》，在工程上需结合具体工程项目进一步补充和完善。

### 7.2 高温（ $t \geq 240^\circ\text{C}$ ）含硫油环境

处于高温（ $t \geq 240^\circ\text{C}$ ）含硫油环境的压力容器用钢会产生硫和硫化物引起的腐蚀，根据容器的操作温度和硫含量（质量分数）可从本规范附录E中查取钢材的腐蚀率。

此条的规定来源于SH/T 3096—2001。

### 7.3 高温（ $t \geq 240^\circ\text{C}$ ） $\text{H}_2+\text{H}_2\text{S}$ 环境

处于高温（ $t \geq 240^\circ\text{C}$ ） $\text{H}_2+\text{H}_2\text{S}$ 环境的压力容器用钢会产生硫化氢腐蚀，根据容器的操作温度和硫化氢浓度（摩尔分数）可从本规范附录F中查取钢材的腐蚀率。

此条规定来源于 SH/T 3096—2001。

7.5~7.6 提出了湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类原则，并分别对各类用材提出了要求。

#### 7.7 NaOH 溶液腐蚀环境

本次对这部分内容作了修改，采用了新的规定及腐蚀选材图形，这些内容来源于 API 571 《Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry》、API 581 《Risk-Based Inspection Base Resource document》和 NACE RP 0403—2003 《Avoiding Caustic Stress Corrosion Cracking of Carbon Steel Refinery Equipment and Piping》。新规定取消了上一版在图 9.5.2 中 C 区亦可使用 18-8 型不锈钢的内容。

#### 7.9 含 HF 环境下的压力容器用钢

新增加的内容。本规范附录 H 中的有关 HF 环境压力容器用钢的规定来源于《菲利浦石油公司氢氟酸（HF）烷基化装置设计规定》。

### 8 低温容器用钢

新增加的内容。将低温用钢的一些要求进行了汇总。表 15 和表 17 主要来源于《压力容器设计工程师培训教程》。

## 附录 G

## (资料性附录)

湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类G.1 湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境

湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境的规定来源于 NACE MR 0103—2005 《Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments》。

G.2 湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类

湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境分类的规定来源于 NACE international Publication 8x194 《Materials and Fabrication Practices for New Pressure Vessels Used in Wet H<sub>2</sub>S Refinery Service》。

硫化物应力开裂(Sulfide Stress Cracking)简称 SSC 为金属在拉应力和湿 H<sub>2</sub>S 的联合作用下出现的开裂。SSC 是由于硫化物腐蚀过程中所产生的氢原子在金属表面被吸附而导致的氢应力开裂,通常容易发生在高强(高硬度)钢的焊接熔合区或低强钢的热影响区。SSC 的敏感性与渗透到钢材内的氢量(即水的 pH 值和 H<sub>2</sub>S 含量两个环境因素)和材料的硬度及应力水平(两个物理参数)有关。

氢致开裂(Hydrogen-Induced Cracking)简称 HIC 为金属内部不同层面或邻近金属表面的氢鼓泡相互连接而形成的内部阶梯式(Stepwise Internal Cracks)开裂。氢鼓泡(Hydrogen Blistering)简称 HB 为钢中不连续平面的充氢孔洞(如:气孔、夹渣、分层、硫化物夹杂)。氢鼓泡内压力的积累与钢材中氢的固溶量(即水的 pH 值和 H<sub>2</sub>S 含量)有关,氢来源于湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀反应。氢鼓泡经常产生在轧制厚钢板中,特别是那些由于硫化物夹杂被拉伸后而产生的带状微观结构中。HIC 的敏感性与厚钢板的质量(即不连续夹杂物的数量、面积和形状)有关,钢中的硫含量是材料的关键参数,降低钢中的硫含量可以减轻 HIC 的敏感性。HIC 与应力无关。应力导向氢致开裂(Stress-Oriented Hydrogen Induced Cracking)简称 SOHIC,是 HIC 的一种特殊形式,它发生在临近母材的应力(残余应力和外加应力)较高的焊缝热影响区。

I 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境和 II 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境是两种既有密切联系而又有所不同的腐蚀环境,他们对材料的腐蚀破坏机理、破坏方式均不一样。II 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境较 I 类苛刻,对材料的化学成分和产品的制造要求也不一样。在 II 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境中还会产生在工程上难以区别 HIC 和 SOHIC 发生的条件,从而在考虑 HIC 选材时,实际上是按 SOHIC 考虑,既要满足抗 HIC 的要求,同时还需要控制硬度和进行消除应力热处理。这就是我们提出对 II 类湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀环境选材要求的出发点。

目前,我们接触到的国外一些公司在处理湿 H<sub>2</sub>S 腐蚀问题时,大多是根据操作介质的 pH 值、H<sub>2</sub>S 含量和是否有氰化物及其含量分为两类情况,并对材料提出不同的要求,但均未明确给出在什么环境下会发生 SSC,在什么环境下会发生 HIC,只是根据各公司的经验由材料专家确定的。

中华人民共和国  
石油、化工行业标准  
石油化工钢制压力容器材料选用规范

SH/T 3075—2009

中国石化出版社出版

中国石化集团公司工程标准发行总站发行

地址：北京市东城区安定门外大街58号

邮编：100011 电话：(010) 84271850

石化标准编辑部电话：(010) 84289937

读者服务部电话：(010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

版权专有 不得翻印

开本 850×1230 1/16 印张 3 字数 85 千字

2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

书号：155114·0124 定价：35.00元

(购买时请认明封面防伪标识)