



石油化工设备设计选用手册



SHIHUA SHEBEI  
YONGGANG

# 石化设备用钢

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

陈建俊 等编



化学工业出版社

石油化工设备设计选用手册

SHIHUA SHEBEI  
YONGGANG

# 石化设备用钢

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

陈建俊 等编

江苏工业学院图书馆  
藏书章



化学工业出版社

·北京·

本书为《石油化工设备设计选用手册》系列的《石化设备用钢》分册，内容以工程应用、设计选用为主，主要介绍了国内外各种常用石化设备用钢的种类、性能、制造加工要点以及选用原则等内容。书中收集了大量表格，给读者提供了充足的数据资料。

本书可供从事石化设备设计、研究、制造、使用等的工程技术人员及研究人员参考使用，也可供高等院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

石化设备用钢/中国石化集团上海工程有限公司组织编写；陈建俊等编. —北京：化学工业出版社，2008.5  
(石油化工设备设计选用手册)

ISBN 978-7-122-02705-4

I. 石… II. ①中…②陈… III. 石油化工-化工设备-金属材料-钢-技术手册 IV. TQ050.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 056926 号

---

责任编辑：辛 田

装帧设计：张 辉

责任校对：宋 玮

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 364 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：38.00 元

版权所有 违者必究

## 《石油化工设备设计选用手册》编委会

主任委员 叶文邦

副主任委员 华 峰

编 委 (按姓氏笔画排序)

叶文邦 华 峰 汪 扬 陈 伟

林 衡 周慧萍 洪德晓 秦叔经

钱小燕 黄正林 虞 军

秘 书 潘肖杰

# 前 言

《石油化工设备设计选用手册》(以下简称《手册》)由中国石化集团上海工程有限公司组织编写。《手册》着眼于工程,强调设计、选用,目的是使工程公司、生产企业中的工艺、设备技术人员能据此设计、选用到最佳设备。本《手册》突出工程性、工艺性、实用性。

为保证《手册》的工程实用性,中国石化集团上海工程有限公司成立了编委会,确定了《手册》的编写要求,组织全国知名专家参与撰写,并由编委会负责《手册》的审稿及协调工作。

《手册》对每一类设备的作用、适用场合、分类与形式、选用要求进行阐述,主要介绍该类设备选用的工艺计算、结构设计、强度计算,以及本类设备的制造检验特殊要求,同时也涉及该类设备的标准及零部件标准(重点在于如何应用)以及相关应用软件。

本《手册》包括工艺型设备,如《换热器》、《反应器》、《塔器》、《干燥器》、《除尘器》、《工业炉》、《机泵选用》等;材料结构型设备,如《石化设备用钢》、《承压容器》、《储存容器》、《有色金属制容器》、《搪玻璃容器》等,共12个分册。

本书为《石化设备用钢》分册,内容以工程应用、设计选用为主,主要介绍各种常用石化设备用钢的种类、性能、制造加工要点以及选用原则等内容。书中收集了大量表格,给读者提供了充足的数据资料。书后附录内容翔实,可供读者参考使用。

本书由中石化集团南化公司化工机械厂陈建俊负责编写,全书由叶文邦审定。

希望《手册》对读者的工作能起到促进作用,据此设计、选用到高效、节能、环保的工程设备,为我国的工程建设添砖加瓦,也深切希望读者对《手册》不足之处提出宝贵意见,以便再版时修正。

叶文邦

2008年5月

## 欢迎订阅化工机械专业图书

书 名	定价/元	书 号
化工设备设计全书(共 15 种)		
除尘设备	60.00	ISBN 7-5025-3824-0
废热锅炉	58.00	ISBN 7-5025-3825-9
石墨制化工设备	38.00	ISBN 7-5025-4013-X
高压容器	35.00	ISBN 7-5025-4072-5
搅拌设备	38.00	ISBN 7-5025-4401-1
塔设备	54.00	ISBN 7-5025-4906-4
球罐和大型储罐	52.00	ISBN 7-5025-6245-1
钢架	38.00	ISBN 7-5025-5374-6
铝制化工设备	45.00	ISBN 7-5025-3827-5
干燥设备	65.00	ISBN 7-5025-3829-1
化工设备用钢	78.00	ISBN 7-5025-4944-7
钛制化工设备	35.00	ISBN 7-5025-3826-7
超高压容器	38.00	ISBN 7-5025-3860-7
换热器	56.00	ISBN 7-5025-4146-2
化工容器	48.00	ISBN 7-5025-3959-X
压力容器实用技术丛书(共 5 种)		
压力容器设计知识	78.00	ISBN 7-5025-7493-X
压力容器用材料及热处理	90.00	ISBN 7-5025-6231-1
压力容器制造和修理	90.00	ISBN 7-5025-5639-7
压力容器检验及无损检测	38.00	ISBN 7-5025-8391-2
压力容器安全监察与管理	30.00	ISBN 7-5025-7577-4
其他化工机械图书		
化工机械维修手册(上)	98.00	ISBN 7-5025-5063-1
化工机械维修手册(中)	123.00	ISBN 7-5025-5190-5
化工机械维修手册(下)	128.00	ISBN 7-5025-5311-8
化工机械工程手册(下卷)	160.00	ISBN 7-5025-4094-6
工业泵选用手册	45.00	ISBN 7-5025-1980-7
透平式压缩机	39.00	ISBN 7-5025-5661-3
旋风分离器——原理、设计和工程应用	40.00	ISBN 7-5025-5871-3
液压阀原理、使用与维护	76.00	ISBN 7-5025-6889-1

续表

书 名	定价/元	书 号
化工设备设计基础	39.50	ISBN 7-5025-1603-4
通风除尘设备设计手册	38.00	ISBN 7-5025-4629-4
换热器设计手册	70.00	ISBN 7-5025-3828-3
石油化工管道设计	70.00	ISBN 7-5025-1237-3
管式换热器强化传热技术	29.00	ISBN 7-5025-3445-8
搅拌与混合设备设计选用手册	76.00	ISBN 7-5025-5377-0
化工工艺算图手册	118.00	ISBN 7-5025-3862-3
化工设备算图手册	136.00	ISBN 7-5025-3256-0
化工工艺管道安装工程预算编制与校审	32.00	ISBN 7-5025-4041-5
热泵技术及其应用	38.00	ISBN 7-5025-8133-2
AutoCAD2005 压力容器设计	49.00	ISBN 7-5025-7939-7
管路附件设计选用手册	150.00	ISBN 7-5025-5365-7
除尘装置系统及设备设计选用手册	96.00	ISBN 7-5025-4728-2
离心通风机	39.00	ISBN 7-5025-9809-9
气瓶充装与安全	25.00	ISBN 978-7-122-00774-2
管道柔性简化计算手册	36.00	ISBN 978-7-122-01885-4
石油化工设备设计选用手册(共 12 种)		
承压容器	66.00	ISBN 978-7-122-02236-3
干燥器	68.00	ISBN 978-7-122-02435-0
除尘器	66.00	ISBN 978-7-122-02437-4
石化设备用钢	38.00	ISBN 978-7-122-02705-4

化学工业出版社出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要邮购图书请与发行部联系。如要出版新著，请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录，或要更多的科技图书信息，请登录 [www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)。

地址：(100011) 北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

邮购：010-64518888 (传真：010-64519686)

编辑：010-64519277, 64519270 (机电分社机械编辑部)

E-mail: [xintian@cip.com.cn](mailto:xintian@cip.com.cn)

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 范围 .....	1
1.2 石化设备用钢种类 .....	1
1.2.1 铸铁 .....	1
1.2.2 碳素钢和低合金钢 .....	2
1.2.3 不锈钢 .....	2
<b>第 2 章 石化设备材料选择的一般要求</b> .....	4
2.1 选材基本要求 .....	4
2.2 选材基本原则 .....	4
2.2.1 影响材料选择的主要因素 .....	5
2.2.2 选材 .....	7
2.3 材料技术要求的依据 .....	7
2.3.1 有关标准的代号 .....	7
2.3.2 有关产品标准和规范的规定 .....	8
2.3.3 主要材料标准 .....	9
2.4 用于承受高应力或抗介质腐蚀材料的使用限制 .....	19
2.4.1 碳素钢和低合金高强度钢 .....	19
2.4.2 高合金钢 .....	27
<b>第 3 章 石化设备常用碳素结构钢</b> .....	33
3.1 石化设备常用碳素结构钢锻制棒材和型材 .....	33
3.2 石化设备常用碳素结构钢板材 .....	34
3.3 石化设备常用碳素结构钢管材 .....	40
3.4 铸造碳钢 .....	41
3.5 石化设备常用碳素结构钢的制作加工注意事项 .....	42
<b>第 4 章 石化设备常用低合金钢</b> .....	44
4.1 石化设备常用低合金钢板材 .....	44
4.2 石化设备常用低合金钢锻件和棒材 .....	52
4.3 石化设备常用低合金钢管材 .....	54
4.4 合金铸钢 .....	56
4.5 石化设备常用低合金钢的制作注意事项 .....	58
<b>第 5 章 石化设备常用高合金钢（耐腐蚀不锈钢）</b> .....	59
5.1 高合金钢分类及其特性 .....	59



5.2	高合金钢（不锈钢）中各种合金元素的作用	62
5.3	石化设备常用高合金钢板材	62
5.4	石化设备常用高合金钢管材	90
5.5	高合金钢锻件和棒材	108
5.6	不锈和耐热型铸钢	115
5.7	石化设备常用的高合金钢材料的物理性能	119
5.8	石化设备常用的高合金钢材料制作注意事项	125
<b>第6章</b>	<b>石化设备常用 Cr-Mo 耐热和抗氢钢</b>	<b>131</b>
6.1	在高温高压氢气氛中各种低合金耐热钢的使用温度界限	131
6.2	石化设备常用 Cr-Mo 耐热和抗氢钢板材	131
6.3	石化设备常用 Cr-Mo 耐热抗氢钢管材	135
6.4	石化设备常用 Cr-Mo 耐热抗氢钢锻件	138
6.5	部分 Cr-Mo 和 Mn-Mo 耐热抗氢钢的高温力学性能	143
6.6	不同用途的 Cr-Mo 钢等的材料使用温度	147
6.7	石化设备常用 Cr-Mo 耐热和抗氢钢的制作注意事项	148
<b>第7章</b>	<b>石化设备低温用钢</b>	<b>151</b>
7.1	各种液化气体的沸点与相应的低温用钢	151
7.2	石化设备用低温钢板材	151
7.3	石化设备用低温钢锻件和棒材	156
7.4	石化设备用低温钢管材	159
7.5	石化设备用低温钢的制作注意事项	161
<b>第8章</b>	<b>部分石化设备常用钢的焊接材料</b>	<b>162</b>
8.1	中国和美国部分母材焊接分类分组	162
8.2	部分国产焊接材料推荐选用	171
8.3	部分不同钢号相焊材料推荐选用	174
8.4	部分不锈钢复合钢常用焊接材料推荐	176
8.5	部分国外牌号高合金钢钢材的焊接推荐材料	176
8.6	部分高性能奥氏体不锈钢焊接的填充金属	177
8.7	部分高性能双相不锈钢焊接的填充金属	178
8.8	部分高性能铁素体不锈钢焊接的填充金属	178
8.9	部分国外牌号 Cr-Mo 耐热抗氢钢的焊接材料	179
8.10	部分国外牌号低温钢的焊接材料	180
8.11	石化设备常用异种钢的焊接材料	180
<b>附录一</b>	<b>石化设备不锈钢腐蚀问题的简单介绍</b>	<b>182</b>
<b>附录二</b>	<b>石化设备常用的复合钢板及复合管</b>	<b>191</b>
<b>附录三</b>	<b>一些国产材料相匹配的焊接材料性能和使用说明</b>	<b>196</b>
<b>附录四</b>	<b>几种典型石化设备的用材实例和问题</b>	<b>202</b>

附录五 各国（厂商）部分常用的压力容器用钢钢号近似对照 .....	214
附录六 美国不锈钢系列牌号的含义说明 .....	225
主要参考文献 .....	227

# 第1章

## 概述

众所周知，石化工业是国民经济的支柱产业，涉及到国计民生的方方面面。广义上的化工有物理过程（如萃取、蒸馏、过滤、干燥、粉碎、换热、分离等）、化学过程（如分解、合成、异构等）和物理化学过程（如冶炼等）三大类，而每一类生产过程中所用的设备、原材料、中间产品、制成品、过程的条件（温度、压力、液态、气态、固态、流化态等）和环境（如抗腐蚀、清洁无污染等）都有很大的不同。石油化学工业生产、运输、储存所用的设备五花八门、多种多样，所以石化设备设计人员必须具备广泛的专业知识和相应的实践经验，才能对设备材料的选择做到既可靠适用又经济合理。

由于化工生产新工艺层出不穷，技术飞速发展，对材料的要求越来越高、越来越多样化；材料工业的发展也非常迅速，各种新材料不断出现。本书无法以偏概全，只能摘其常用者汇编成册，供工程设计人员参考。

### 1.1 范围

本书所涉及的材料范围仅包括常见的化工设备用钢，不包括有色金属及镍基合金材料，也不包括受原子辐射和直接火焰加热的设备用钢。这些材料主要是用于常压和压力容器、冷热换热器、反应器、储运容器、塔器、搅拌槽、干燥器零部件及工艺管道、阀门等。

### 1.2 石化设备用钢种类

钢是化学成分以铁为主要元素的金属，与铸铁同属黑色金属。以下简要介绍铸铁以及各种含有不同合金元素的钢。

#### 1.2.1 铸铁

铸铁是压力容器制造中最早使用的材料之一，至今还在使用，特别是形状要求比较特殊的压力容器。现在铸造压力容器实际上已没有尺寸限制，而且铸铁是一般用途下价格最低的金属。

铸铁是含碳总量超过1.7%的铁碳合金。随着含碳量的改变、其他元素的加入以及热处理方式的不同，不同铸铁的性能差异很大。灰口铸铁很脆，没有预兆就可能断裂和失效。然而，将铸铁中的石墨制成球状，可以显著改善力学性质，这种铸铁称为球墨铸铁。压力容器中主要采用的铸铁为球墨铸铁。

铸铁的防腐能力有限，但这可通过加入多种合金元素来改善。

球墨铸铁压力容器的设计制造可参考欧盟标准 EN 13445 “非直接火压力容器”中 EN 13445-6 “球墨铸铁压力容器及压力部件的设计及制造要求”。

## 1.2.2 碳素钢和低合金钢

钢是含碳总量不超过 1.7% 的铁碳合金。实际上，为了改善焊接性能，含碳量往往还要小得多，并且，大多数碳素钢的含碳量都不到 0.25%。降低碳含量可以提高材料韧性，降低硬度。含碳量低的钢被称为碳素钢或软钢。

在钢中以不同比例加入铬、锰、钼、镍和钒等金属，以及硅等非金属，可以获得力学性能各异的钢材。例如：

- ① 碳锰钢可以改善力学强度，而又不降低韧性；
- ② 低合金钢，如  $1\frac{1}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$  和  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ ，可以改善高温性能；
- ③ 含镍 3.5%、5% 和 9% 的钢可以显著提高在 0℃ 以下的抗脆性失效的能力。

碳素钢和碳锰钢有很多等级，通常根据它们的力学性能进行选择。这类材料的防腐性能与铸铁相似。

一般碳素钢的韧脆转变温度大约为 0℃。低于此温度材料就会变脆。特种碳素钢和碳锰钢的韧脆转变温度低于 0℃，但是这类材料都不适合在 -50℃ 以下使用。

碳素钢和碳锰钢的温度上限大约为 500℃，而低合金铬钼钢大约为 600℃。

## 1.2.3 不锈钢

不锈钢包括范围很大的铁铬镍合金，它们有很强的抗化学腐蚀能力和优良的高温性能。所有的不锈钢都至少含铬 12%，这是这些材料抗腐蚀能力的基本保证。不锈钢表面可生成看不见的氧化铬薄膜，正是这层薄膜使不锈钢具有抗腐蚀的能力。

不锈钢按其组织可分为三类：马氏体不锈钢、铁素体不锈钢和奥氏体不锈钢，此外还有双相不锈钢。

### (1) 马氏体不锈钢

如 410 型<sup>①</sup>，含铬 12%~14%，含碳 0.08%~0.15%，不含镍。铬提高抗腐蚀能力，碳主要用于改善力学性能。此种钢在退火状态时的强度与中碳钢相似。马氏体不锈钢由于含铬量相对较低，主要用于腐蚀并不严重，而需要较大强度、硬度和抗磨损性的场合（淬火加回火时强度很高）。

### (2) 铁素体不锈钢

铁素体不锈钢的铬含量一般为 17%~30%，碳含量一般低于 0.1%。高的含铬量使其抗腐蚀性能比马氏体不锈钢更高，与奥氏体不锈钢相当，但此种钢的韧性很差，钢材极难轧制生产，焊接接头韧性也差，很少用于石油化工设备。

当含铬为 11.5%~14.5%，含碳 ≤ 0.08% 的钢中还含有少量促进形成铁素体的元素时，钢的组织就由马氏体变成铁素体，如含铝的 405 型钢，此类铁素体钢就有较好的韧性，在石油化工设备中使用很多。

### (3) 奥氏体不锈钢

石油化工设备用奥氏体不锈钢含有至少 18% 的铬和 8% 镍，含碳量低于 0.1%。

奥氏体不锈钢通常比马氏体不锈钢有更高的抗腐蚀能力。最常见的奥氏体不锈钢是 300

<sup>①</sup> 410, 304 等为美国钢铁学会 (AISI) 的命名体系，国际通用。

系列（如 304 型、316 型、321 型和 347 型不锈钢）。

304 型（18Cr-8Ni）是最常见的奥氏体不锈钢，在氧化性介质中有好的耐蚀性。常用于化工、食品和饮料等行业。

316 型（16Cr-12Ni-2Mo），由于含钼，对还原性介质有较好的耐蚀性，钼还可以提高抗点腐蚀性能，常用于化工、食品、饮料、造纸行业。

321 型（18Cr-10Ni-Ti）和 347 型（18Cr-10Ni-Nb），用于腐蚀场合和暴露在温度 400℃ 以上环境中的设备。321 型是添加钛得到的，347 型是添加铌得到的。

奥氏体不锈钢不会发生低应力脆性断裂，在 -196℃ 以上使用时无特殊要求。因而这类材料适合深冷使用。

基本级的奥氏体不锈钢（如 304 型、316 型）的最大含碳量为 0.08%，其抗拉强度与中碳钢相似，但其屈强比小，屈服强度低，使用温度上限约为 700℃。

高温级奥氏体不锈钢（如 304H 型）的含碳量为 0.04%~0.10%。其机械强度与基本级奥氏体不锈钢相似，温度上限约为 700℃。更高的含碳量使材料在极端温度下保持强度。

低碳级奥氏体不锈钢（如 304L 型）的含碳量被限制在最高为 0.03%。其抗晶间腐蚀性能较 304 型有改善，但强度有所降低，温度上限降至 450℃。现在可以买到双级不锈钢（如 304/304L 型），它们既能满足低碳级不锈钢的最大含碳量限制，又能达到基本级不锈钢的强度。

氮加强级不锈钢（如 304N 型）可以增加强度，其温度上限约为 550℃。

（4）双相不锈钢（如 UNS S31803<sup>①</sup>）和超级双相不锈钢（如 UNS S32750）

它是通过降低镍含量，使铁素体和奥氏体的比例为 50:50 的不锈钢。这类不锈钢比奥氏体不锈钢有高得多的强度，对氯化物有更强的抵抗能力。与奥氏体不锈钢不同，双相不锈钢有可能发生脆性断裂，温度低于 -50℃ 时不能使用，温度上限约为 300℃。

---

① UNS 为美国国家标准局（ANSI）提出的金属材料命名体系，前以单个字母表示合金类别，压力容器材料，如：A 为铝合金，C 为铜合金，F 为铸铁，N 为镍合金，J 为铸钢，S 为不锈钢，R 为钛、钽、锆，K 为其他；后跟 5 位数字。

## 第2章

# 石化设备材料选择的一般要求

## 2.1 选材基本要求

### (1) 基本要求

- ① 耐化学介质的腐蚀能力；
- ② 具有一定的机械强度，在相应的工作温度和应力下能防止设备变形、脆裂和泄漏；
- ③ 具有所需要的良好的冷热加工、成形、焊接、热处理工艺性能；
- ④ 市场供应方便、价格合理；
- ⑤ 储存、制造和使用过程中不会造成环境污染和人体健康危害。

### (2) 其次也应考虑以下各点

- ① 要满足使用要求；
- ② 制造简易或经努力可以制造；
- ③ 来源丰富，运输方便，来源不明、运输困难的不选；
- ④ 设计上应按下列先后顺序，能用前者的尽量不用后者：
  - a. 碳素钢—低合金钢—耐热抗氢钢—低温钢—奥氏体不锈钢—双相不锈钢—铝和铝合金—铁素体不锈钢—马氏体不锈钢—钛和钛合金—镍合金—镍—铜和铜合金—锆—钽；
  - b. 板材—管材—其他型材—锻件—铸件；
  - c. 薄板—复合板—厚板—锻件；
  - d. 冷轧状态—热轧状态—正火状态—正火加回火状态—调质状态；
  - e. 库存一定尺—不定尺；
- ⑤ 对不常用的材料或新材料应遵循下列先后顺序原则优先选用：

国内标准有的一国外标准有的一国内经相关标准化委员会认可批准的案例—国外经相关标准化委员会认可批准的案例—经权威专家委员会鉴定合格并有实际使用一年以上经验的（结构用钢有完整的试验报告的一耐腐蚀材料有完整数据报告且有类似介质中挂片试验结果满足使用要求的）；

  - ⑥ 不能用常温材料和高温材料代替低温材料使用；
  - ⑦ 对因运输重量限制的设备非抗腐蚀零部件尽量采用低合金高强度钢，以减小结构外形尺寸和重量；
  - ⑧ 当选用美国 ASTM、ASME 等国外材料时，标准的化学成分和力学性能一般只供参考，对重要的设备还要根据设计工程的特殊要求提出附加要求。

## 2.2 选材基本原则

石油化工设备（绝大部分是压力容器）设计的首要问题是选材。对于给定工况，选择合

适的材料是设计工程师的责任。材料选择涉及方方面面，看起来是一个很复杂的难题。但从实际出发，一个压力设备设计工程师只要掌握选材的几个主要方面，选择材料就不是一件难事了。

设备承受压力载荷（均匀的或交变的）及非压力载荷（自重、风载荷、地震载荷、冲击载荷、附属设备载荷、支座反力、运输载荷、波浪载荷、接管处的载荷等）。这些都在承压计算时起主要作用，但并不是影响材料选择的主要因素。

### 2.2.1 影响材料选择的主要因素

#### (1) 介质

介质的性能（主要是腐蚀性）会极大影响材料的选择。在这方面可参考各种材料的腐蚀数据资料加以选用。更现实的是参考已投入运行的相应装置的使用情况来选择材料。对几类主要的介质，如硫化氢、氢和氯化物的存在要予以注意。

① 硫化物应力腐蚀裂纹（SSC） 不论含有硫化氢和液态水的流体是酸性或碱性介质，均可能引起敏感材料的硫化物应力腐蚀开裂。这一现象受多个参数的交互作用影响，包括硫化氢浓度、酸值、温度、材料特性和拉伸应力。

在这方面可参考 NACE 标准 MR-01-75《材料要求——炼油设备用抗硫化物应力破裂的金属材料》等有关标准。这些标准规定了工作参数、适用材料，以及材料的冶炼与焊后热处理要求。

② 临氢使用 在常温下，即使压力很高，气态氢也不容易渗透到钢中去。然而，当一般低碳钢在氢介质中使用温度高于 220℃ 时，材料就有发生内部脱碳的倾向。这是因为氢气渗透到钢的内部，与碳生成甲烷产生脱碳。生成的甲烷气体集聚在晶界等空隙中就造成裂纹或气泡。

在这方面可参考 API 出版物 RP941《炼油和石油化工厂高温临氢压力容器用钢》。该文献给出了碳素钢和铬钼钢的工作温度和氢分压上限。G. A. Nelson 在 1967 年首次发表了这些数据的图表，以后不断修订，该图表也称为“Nelson 图表”。

③ 应力腐蚀裂纹（SCC） 金属材料在特定介质中，受应力作用后经一定时间作用而引起的开裂。这是由于介质中有能引起应力腐蚀的成分，最常见有氯化物、氢氧化钠等。应力腐蚀敏感不仅与介质有关，还与特定的材料有关，低碳钢在含氯离子介质中不会产生应力腐蚀开裂，而奥氏体不锈钢却极易在含氯离子介质中发生应力腐蚀开裂。发生应力腐蚀的应力大多为拉应力，应力腐蚀裂纹易产生于应力集中处，焊接残余应力等引起的应力集中也易促使产生应力腐蚀裂纹。

SCC 造成的失效常是突发性的，很难预测，可能仅仅在暴露几个小时后就发生，也可能在安全运行几个月甚至几年之后再发生。

金属在环境中发生 SCC 问题的常见实例有：黄铜在氨水溶液中；碳钢在氢氧化钠或卤素溶液中；奥氏体不锈钢在含氯溶液中；钛合金在发烟硝酸或甲醇-HCl 中。

#### (2) 温度

温度影响结构材料的性能，因此是选材的一个十分重要的因素。材料的强度以及抗氧化性随着温度的升高而降低，因此所有材料都有一个合适的最高使用温度的限制，高于该温度则材料不宜使用。温度高于某一温度时，材料会产生蠕变，即材料在一定拉力作用下随着时间的增加材料会产生缓慢的塑性变形现象，即使应力低于屈服限，在该温度（一般称蠕变温

度)以上长期使用,材料也会产生永久变形,最终导致材料断裂或变形过大而失效。碳素钢的蠕变温度约为 400℃左右,低合金钢约为 450℃左右,不锈钢约为 520~580℃。

材料的强度随着温度的降低而增加,但在压力容器设计中不允许采用因温度降低而强度升高的材料。在低温压力容器设计中只允许采用室温的强度指标作为设计依据。材料的延性及韧性随着温度的降低而降低。材料的韧性(特指冲击韧性)是确定材料低温使用的依据。往往要求一定强度水平的材料在某一低温使用时必须具有相应的冲击韧性。材料从韧性状态转变为脆性状态的温度称为冷脆转变温度。普通碳素钢的冷脆转变温度约为 0℃,低合金钢(指 C-Mn-Si 钢)冷脆转变温度可达 -50℃,对低于 -50℃ 的场合就有必要采用特殊的低温用钢或含镍 3.5%、9% 的镍钢或奥氏体不锈钢。要确定材料的冷脆转变温度一般来说也容易。当某一材料在某一低温时该材料的冲击韧性值(即夏比 V 形缺口冲击值)开始显著降低时,此温度即为冷脆转变温度。

### (3) 压力

压力和设备的尺寸决定了所用材料的厚度。往往材料厚度增加,性能会降低,且加工不方便,使加工成本增加。因此对大直径、高压力的设备往往选用高强度钢,可减小壁厚以降低总体成本。对低压容器,因压力而所需的厚度,有可能低于保证结构稳定性所需的最小厚度,因此就没有必要采用高强度钢。

### (4) 流体速度

流体的速度会产生冲蚀、磨蚀和汽蚀,在选材时应注意。流体含有固体颗粒会对冲蚀和磨蚀产生显著影响。因此需像防止腐蚀一样给予一定的裕量或采取其他的防护措施。

### (5) 材料的相容性

承压设备可由多种材料构成,在焊接连接时更应注意它们的相容性,如电化学腐蚀。对有电化学腐蚀可能时要采取控制措施,如阴极保护等。

### (6) 制造加工的工艺性能

选择材料要注意其加工性能,如冷热加工性能等,特别是焊接工艺性能这方面要予以充分了解。

### (7) 成本

最优秀的材料选择具有最低的成本寿命比。

① 有时使用加大腐蚀裕量的碳钢比采用价格较贵的抗腐蚀材料更为经济(指材料成本、制造成本的总和)。

② 在必须使用不锈钢及其他贵重合金材料时,如厚度较厚可采用以碳素钢或低合金钢为基层的复合钢板或金属衬里,经济性更显著。

③ 在某些腐蚀场合下可采用非金属衬里或涂层,如橡胶、环氧树脂、玻璃或其他专用涂料。但这种措施一般要受温度的限制,以及真空度的限制。

### (8) 货源(规格品种的配套)

一般材料可直接采购,但一些特殊材料的采购供应就有时间的约束。特别是一些多规格、小批量的材料在采购供应上涉及的不仅是时间和价格的问题,因此设计要予以考虑。

### (9) 重量

一般固定安置在陆地上的设备较少考虑重量的限制,但如果是安置于海上的石油平台和设备及船上、车上的设备,重量便是影响选材的重要因素。



## 2.2.2 选材

从分析压力容器影响材料的主要因素出发,以及了解典型材料的基本情况,设计者对于大部分压力容器可确定选用材料类型。如采用碳素钢或是不锈钢,或是有色金属。

各国压力容器规范都确定可用材料(一般称表列材料)以及相应的材料技术条件。在压力容器规范中也规定了相应材料的使用限制。如我国的《钢制压力容器》标准 GB 150—1998 即有相应的规定。

从世界各国压力容器标准上的规定来看,选用非表列材料也是允许的,但有相应的认可条件和程序。

### (1) 材料技术条件的理解

我国的材料技术条件(材料标准)分为国家标准、部(行业)标准及企业标准;国外一般分行业(协会)标准及企业标准。

以往由于我国钢铁企业生产条件的限制,产品往往以达到国家标准为准则;而国外企业都有自己更严格要求的企业标准以创名牌。因此,从标准中看我国标准的要求并不低于国外行业标准,但实际产品的质量却大有高低之分。主要在于实际的硫、磷以及其他微量有害元素的控制。

因此对特定的压力容器选材时采用标准要加以研究,对特殊场合可根据需要提出补充要求。但应注意,提出补充要求往往伴随着成本增加。对有经验的设计者来说可选择能满足要求的相应标准,如果该材料标准本身的要求已满足设计者要求,无需提出补充要求。

### (2) 强度钢

强度钢一般指碳素钢和低合金钢,可按 GB 150《钢制压力容器》选用表列材料及相应的材料标准。一般来说这样选用是可保证质量的。但是在选择强度级别较大的钢种时要特别重视,如  $R_m \geq 570\text{MPa}$ ,  $R_{cl} \geq 440\text{MPa}$  的钢材,应详细了解企业的生产情况以及该钢材的实际使用情况。

压力容器强度钢除首先选用压力容器钢材标准外,也可选用造船用钢、桥梁用钢及锅炉用钢。由于冶炼及技术要求不同,一般说造船用钢、桥梁用钢适用于常温及低温使用,而锅炉用钢则适用于常温及中温使用。

### (3) 不锈钢

国内不锈钢也习惯于采用 AISI 的命名,如 304, 316 等。根据设备的参数选用相应类别的不锈钢,再按不锈钢技术条件采购。选用者除了类别外可根据需要选用低碳 ( $C \leq 0.08\%$ ) 或超低碳 ( $C \leq 0.03\%$ ) 以满足要求。AISI 标准在类别 304、321 后可接有一个或几个字母,其意义为:

Nb (Cb) — 铌; H—高温; L—超低碳 (指  $C \leq 0.03\%$ ); N—氮; S—硫; T—钛。

由于不锈钢应用较为成熟,各国牌号按 AISI 处理易于了解。在具体选用上可按 GB 150 相应特性选用。

## 2.3 材料技术要求的依据

### 2.3.1 有关标准的代号

#### (1) 中国标准

① GB——国家标准