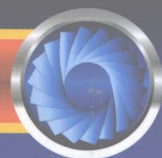


石油化工设备设计选用手册



YOUSEJINSHUZH
RONGQI

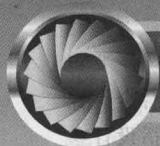
有色金属制容器

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

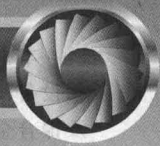
黄嘉琥 编著



化学工业出版社



石油化工设备设计选用手册



YOUSEJINSHUZH
RONGQI

有色金属制容器

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

黄嘉琥 编著



化学工业出版社

·北京·

本书共分五篇,涵盖了有色金属材料、设计、制造工艺与检验等内容。第1篇为总论,主要包括设备概述、材料概述、材料性能概况等。第2篇为材料,主要包括铝及铝合金、铜及铜合金、镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金、铅、钽铌等其他有色金属。第3篇为设计,主要包括设计参数、结构设计、补充技术要求。第4篇为制造与检验,主要包括环境与条件、成形、焊接、容器检验与表面处理。第5篇为牌号对照,主要包括各国有色金属材料牌号对照。全书内容丰富、全面,并且包含了有色金属理论与设备的最新研究成果。

本书可供从事有色金属材料及其加工成形的科研院所研究人员以及企业工程技术人员、相关专业师生参考。

有色金属容器

图书在版编目(CIP)数据

有色金属制容器/黄嘉琥编著. —北京:化学工业出版社, 2008.10
(石油化工设备设计选用手册)
ISBN 978-7-122-03671-1

I. 有… II. 黄… III. 石油化工-化工设备-有色金属-容器-设计-技术手册 IV. TQ050.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 135544 号

责任编辑:辛 田
责任校对:战河红

文字编辑:项 激
装帧设计:张 辉

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 29 $\frac{3}{4}$ 字数 740 千字 2009 年 1 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:72.00 元

版权所有 违者必究

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《有色金属制容器》分册,书中的有色金属材料主要指石化设备常用的铝、铜、镍、钛、锆等及其合金。目前我国石化设备所用有色金属材料有相当部分靠进口,有色金属制石化设备的进出口贸易也很多,因而本书除介绍国内有色金属材料外,也介绍一些主要的国外材料。本书涵盖了有色金属材料、设计、制造工艺与检验等内容。

本书由黄嘉琥编著,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,也深切希望读者对本《手册》不足之处提出宝贵意见,以便再版时修正。

叶文邦

目 录

第1篇 概 述

第1章 设备	3
1.1 设备的类型	3
1.2 有色金属制容器标准	5
1.3 采用有色金属的目的	8
第2章 材料	11
2.1 材料供应	11
2.2 材料标准	12
2.3 材料拉伸性能的基本要求与名称、符号	15
2.4 原材料和设备材料	18
第3章 材料的性能	22
3.1 物理性能	22
3.2 化学性能	24

第2篇 材 料

第4章 铝及铝合金	35
4.1 概况	35
4.2 铝材的牌号标示	51
4.3 铝材分类	54
4.4 铝中合金元素的作用	55
4.5 铝的物理性能	56
4.6 铝的耐蚀性能	59
4.7 铝的铸造性能	63
4.8 铝的锻造性能	67
4.9 铝的焊接性能	67
4.10 压力容器用铝	69
4.11 铝的焊接材料	87
第5章 铜及铜合金	92
5.1 概况	92
5.2 铜材分类	93
5.3 铜材的牌号标示	94
5.4 铜的特殊检验	95

5.5	铜的物理性能	96
5.6	铜的力学性能	97
5.7	铜的耐蚀性能	99
5.8	铜的焊接性能	105
5.9	压力容器用铜	109
5.10	压力加工铜材的标准和力学性能	125
5.11	铜铸锻件	131
5.12	铜的焊接材料	134
第6章 镍及镍合金		
6.1	概况	137
6.2	镍及镍合金的牌号标示	140
6.3	镍及镍合金的材料标准	142
6.4	镍及镍合金的力学性能	143
6.5	镍及镍合金的物理性能	145
6.6	镍及镍合金的耐蚀性能	147
6.7	镍及镍合金的焊接性能	156
6.8	压力容器用镍及镍合金	157
6.9	镍及镍合金焊接材料	227
第7章 钛及钛合金		
7.1	概况	235
7.2	钛材的牌号标示	237
7.3	钛材牌号、成分和力学性能	237
7.4	钛的物理性能	250
7.5	钛的化学性能	254
7.6	钛的力学性能	257
7.7	钛的耐蚀性能	266
7.8	合金和杂质元素对钛耐蚀性能的影响	292
7.9	耐蚀钛合金	297
7.10	钛的铸造性能	303
7.11	钛的变形性能	304
7.12	钛的焊接性能	306
7.13	钛的焊接材料	309
7.14	压力容器用钛	312
第8章 锆及锆合金		
8.1	概况	319
8.2	锆材标准、牌号	320
8.3	锆的性能	321
8.4	压力容器用锆	325

第9章 铅、钽、铌等其他有色金属	328
9.1 铅及铅合金	328
9.2 钽及钽合金	334
9.3 铌及铌合金	339

第3篇 设计

第10章 设计参数	345
10.1 最高设计压力	345
10.2 最高和最低设计温度	345
10.3 壳体最小厚度	346
10.4 焊接接头系数	347
10.5 许用应力的确定与安全系数	347

第11章 结构设计	350
11.1 结构特点	350
11.2 结构示例	351

第12章 补充技术要求	372
12.1 设计的补充技术要求	372
12.2 材料的补充技术要求	372
12.3 容器的补充技术要求	374

第4篇 制造与检验

第13章 环境与条件	381
13.1 环境	381
13.2 资质	381
13.3 焊接评定与试验	382
13.4 加热条件	384

第14章 成形	385
14.1 概述	385
14.2 成形工艺	387
14.3 成形后的热处理	388

第15章 焊接	391
15.1 铝的焊接	391
15.2 铜的焊接	403
15.3 镍及镍合金的焊接	412
15.4 钛的焊接	419
15.5 锆的焊接	427
15.6 铅、钽、铌的焊接	428

第16章 容器检验与表面处理	432
16.1 形状尺寸检验	432
16.2 焊接接头外观检验	433
16.3 内在质量检验	434
16.4 表面处理	437
16.5 铁污染检验	437
16.6 钛的表面氮化处理	438

第5篇 各国有色金属材料牌号对照

第17章 各国铝材牌号对照	441
第18章 各国铜材牌号对照	444
第19章 各国镍材牌号对照	450
第20章 各国钛材牌号对照	454

参考文献	461
------	-----

第 1 篇 概 述

第1章 设 备

1.1 设备的类型

石化设备大致可分为两类：一类为容器类，如一般承压容器、换热容器、储存容器、反应容器、立式容器（塔器）、卧式容器、运输储罐容器（移动式容器）、干燥器、除尘器等；另一类常称机泵阀类，如工业泵、风机、压缩机、冷冻机、空分机械、分离机械、阀门等。前一类有时称为静设备，后一类有时称为动设备。前一类一般都要由石化设备的设计人员逐台进行设计，因而常称为非标设备，后一类在机泵阀行业都已有定型设计和现成的系列，石化设备的设计人员主要是从这些系列中选用适用的型号，不必进行设计，因而常称为标准设备。机泵阀除在石化行业中应用外，还在其他许多行业中应用，有些可通用，因而有时称为通用机械。机泵阀在化工过程设备中的主要作用为促使与控制液体和气体工艺介质在系统中流通，因而有时称为流体机械。流体机械中直接与工艺介质接触的构件称为过流部件。

石化设备中，容器类设备和机泵阀类设备大致有以下差别。

1.1.1 管理

容器中绝大部分为压力容器，在设计、用材、制造、检验、应用、维修、进出口贸易等各方面都由政府机构进行安全性方面的强制监督，而机泵阀则多没有政府的严格监督。压力容器属政府监督的设备，机泵阀属一般设备。

1.1.2 设计

几乎每台容器都要由石化设备的设计人员进行设计。而机泵阀一般都有现成的产品系列，石化设备的设计人员不必自己再进行设计，而只需根据石化工艺参数的要求，在现有产品系列中选用。即使存在现有产品系列中不能满足要求的情况，也只需由石化设备的设计人员提出技术要求，委托机泵阀制造企业进行专门设计（或改进设计）、制造即可。

容器的设计均应严格按照有关法规和标准进行。例如，承压构件的计算应按照规定的方法、安全系数、许用应力、焊接接头系数等进行。而机泵阀的强度计算多按照一般机械的设计方法进行，甚至有的重要构件如离心泵的叶轮，其厚度往往并不主要考虑强度确定，而是根据叶片形状的需要、根据工艺要求铸造叶轮所应达到的最小厚度等确定。

1.1.3 用材

容器主要采用压力加工材料，其中采用板材和管材的最多，采用铸件较少。机泵阀中有

很多异形件，如叶轮、机壳、泵壳、阀体、管件等则常采用铸件，只有用于承载大而形状不复杂的构件如高压往复泵缸体、高压阀体等时才使用锻件。轴类采用棒材，而板材和管材用得不多。

容器用材一般应按容器标准规定的牌号、状态和尺寸范围选择，超过规定范围的材料应按规定评审通过后方可使用。机泵阀的用材没有太严格的规定，若采用产品系列中所规定牌号的材料，制造厂批量生产较为方便，要采用产品系列规定之外牌号的材料，则需供需双方协商。

容器对用材有严格的技术要求，这些要求常高于一般材料的要求，如容器要求用材必须保证室温屈服强度 (R_e) 或规定非比例延伸强度 ($R_{p0.2}$ 等) 下限值合格，而机泵阀用材大多没有此项要求。容器用材应保证较高的断面伸长率，有些钢材应保证有高的冲击韧性，机泵阀用材大多没有高的要求，塑性、韧性较低的铸铁也用得不少。容器用材常有专用材料标准，如压力容器用板材、换热器用管材、压力容器用锻件等。当采用通用材料标准时也常会提出一些必要的附加技术要求。而机泵阀用材一般都采用通用材料标准。容器制造厂用的管、板材料都向冶金厂购买，而机泵阀厂所用的铸件、锻件等材料则大多靠自己生产。

1.1.4 操作条件

机泵阀的操作温度常不会很高，也不会很低，而容器操作温度有的很高，如中国压力容器标准中最高达 950°C ，而低温容器的操作温度有的可达 -268°C 。容器中介质的腐蚀性也比机泵阀中的强，这有两个方面的原因：在同样的介质条件下，容器中的温度高，介质的腐蚀性强；另外，许多化学反应都在容器中进行，有些反应过程中的中间反应产物腐蚀性很强，而在机泵阀中的化学反应则很少。一般而言，介质在机泵阀中的流速要比在容器中为高，因而机泵阀中的磨损和磨蚀常较容器中的更为严重。

1.1.5 制造

容器多为大型焊接构件，不仅要求材料有良好的焊接性能，而且由于大型构件很难进行设备整体的热处理，因此，要求材料在焊后状态具有良好的力学性能、耐蚀性能等应用性能。机泵阀多为小型和中型构件的组合，焊接构件不多（有的风机用焊接叶轮、有的离心机转鼓用焊件），即使是焊接构件也可较容易地进行热处理，因此机泵阀用材一般不要求材料有好的焊接性能，可通过热处理来提高构件材料的性能。

容器构件常需要对板材或管材进行冷成形或热成形，要求材料有良好的成形性能，而且应考虑冷、热成形后构件如何获取最好的力学性能与耐蚀性能。容器的机械加工量不多，如焊接剖口、密封面等。机泵阀的构件多系铸件、锻件和棒材机械加工而成，需冷、热变形的构件很少，因而原材料经过加工后材料性能的变化不大。例如，固溶处理状态的奥氏体不锈钢或镍铬合金，在制造容器时经过焊接、热成形，其耐晶间腐蚀性能会显著下降，而在制造机泵阀时，机械加工不会使耐蚀性明显下降，即使因焊接而下降也可再对构件进行固溶处理恢复其耐晶间腐蚀性能。同样用不锈钢或镍铬合金制造容器和机泵阀这两类设备，在材料牌号选用、制造工艺的确定以及质量检验等方面是相差很大的。

容器在容器制造厂中一般都是单件制造，即使是完全相同的容器也只有几台一批制

造。而机泵阀多为系列定型产品，常为批量生产。容器要有订货合同才能投产制造，而许多机泵阀，特别是一些通用机械，不一定先有订货，可以按系列批量生产后投入市场销售。

1.1.6 应用

石化设备为化工过程设备，一台重要设备的失效常会造成整个过程生产的停顿，损失很大。容器尺寸较大，一般都不用备件，因此对容器的可靠性要求较高，设计寿命常为十年、二十年以上，定期大修也要一年或更长的时间。而泵、阀等常可有设备备件以及易损件备件（如叶轮、阀门填料等），可以在不影响过程生产的情况下更换设备备件或易损件备件，不影响石化生产。这些设备或易损件在设计制造时可以不考虑太长的可靠性和寿命。例如，有时在有些腐蚀的条件下也采用铸铁泵，几个月更换一次泵或过流部件，并不影响生产，经济上也合算。由于容器的可靠性要求越来越高，容器用材的档次也在升级，容器用材的一次性投资虽有所提高，但能延长石化生产的大修间隔期，能延长设备的使用寿命，提高石化产量。总体说来，还是很经济的。

1.2 有色金属制容器标准

和钢制压力容器一样，有色金属制压力容器也有专门的标准，或在整个压力容器标准中有专门的章节。各主要工业国家或地区的压力容器基础标准的标准号和名称列于表1-1。这些压力容器基础标准对可用的有色金属材料的牌号、状态及尺寸范围等也进行了规定（表1-2）。

表 1-1 主要工业国家或地区的压力容器基础标准

国家或地区	标准号	标准中文名称
美国	ASME B & PV Code—2007	锅炉及压力容器规范
日本	JIS B 8265—2003	压力容器的构造——一般事项
	JIS B 8266—2003	压力容器的构造——特定规格
德国	AD—2000	压力容器技术规范
法国	CODAP—2000	非火压力容器建造规范
英国	BS 5500—1997(PD 5500—2003)	非火熔焊压力容器规程
欧盟	EN 13445—2002	非火压力容器
俄罗斯 ^①	ГОСТ 14249—1989	钢制容器及设备、强度计算方法及规定
	ГОСТ 24306	钢制焊接容器和设备技术要求
	ГОСТ 26158—1984(1988)	有色金属容器和设备、强度计算规定与方法——一般要求
	OCT 26-01-858—1988	镍基耐蚀合金焊制容器与设备——一般技术要求
	OCT 26-01-279—1978	钛制容器和设备——强度计算公式与方法
	OCT 26-II-06—1985(1987)	钛及钛合金焊制容器和设备——一般技术要求

续表

国家或地区	标 准 号	标准中文名称
中国	GB 150—1998	钢制压力容器
	JB 4732—1995	钢制压力容器——分析设计标准
	JB/T 4735—1997	钢制焊接常压容器
	JB/T 4734—2002	铝制焊接容器
	JB/T 4745—2002	钛制焊接容器
	JB/T 4755—2006	铜制压力容器
	JB/T 4756—2006	镍及镍合金制压力容器

① 俄罗斯沿用前苏联标准。
注：ASME B & PV Code——美国机械工程师学会锅炉压力容器规范；
JIS——日本工业标准；
AD——德国压力容器规范；
CODAP——法国压力容器规范；
BS——英国标准；
EN——欧盟标准；
ГОСТ——前苏联国家标准；
ОСТ——前苏联工业标准；
GB——中国国家标准；
JB——中国机械工业标准。

制造容器的金属材料中，有色金属材料有铝、铜、镍、钛、锆、铅及其合金。表 1-2 中 AD—2000 的材料章有详述的材料才列入表 1-2 中，而在制造章 HP5/2 中提到了镍、钛、锆、钽、钎等材料的制件应进行的试验内容，由于材料章中没有提及，故未列入。CODAP 的材料章只详述了有色金属铝、镍及其合金，而对于铜、钛、锆及其合金只给出了确定许用应力的安全系数，材料章中没有详述，因此表 1-2 中也未列入。

表 1-2 主要工业国家或地区的压力容器基础标准适用的塑性金属材料的类型和牌号数

国家或地区	压力容器标准号	碳素钢及低合金钢	高合金钢	铝	铜	镍	钛	锆	铅
美国	ASME B & PV Code—2007	250	86	22	42	50	13	2	—
日本	JIS B 8265—2003	228	55	30	50	15	5	—	4
	JIS B 8266—2003	128	33	15	10	13	3	—	—
德国	AD—2000	约 85	61	10	11	—	—	—	—
法国	CODAP—2000	按 EN	按 EN	9	—	33	—	—	—
英国	BS 5500—1997(PD 5500—2003)	138	56	11	—	—	—	—	—
欧盟	EN 13445—2002	115	69	—	—	—	—	—	—
俄罗斯	ГОСТ 14249—1989	14	15	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 26158—1984(1988)	—	—	10	7	—	—	—	—
	OCT 26-01-858—1988	—	—	—	—	7	—	—	—
	OCT 26-01-279—1978	—	—	—	—	—	3	—	—
	OCT 26-Ⅱ -06—1985(1987)	—	—	—	—	—	4	—	—

续表

国家或地区	压力容器标准号	碳素钢及低合金钢	高合金钢	铝	铜	镍	钛	锆	铅
中国	GB 150—1998	67	13	—	—	—	—	—	—
	JB 4732—1995	40	12	—	—	—	—	—	—
	JB/T 4735—1997	10	10	—	—	—	—	—	—
	JB/T 4734—2002	—	—	21	—	—	—	—	—
	JB/T 4745—2002	—	—	—	—	—	9	—	—
	JB/T 4755—2006	—	—	—	25	—	—	—	—
	JB/T 4756—2006	—	—	—	—	中国 15 ISO 19 ASME 45	—	—	—

由表 1-2 可见,美国、日本、德国、法国、英国、欧盟均在总的压力容器标准中包含了各种材料压力容器的内容,而俄罗斯和中国则将各种材料的压力容器分别制订了单独的标准。

压力容器的强度设计分规范设计和分析设计两种,我国钢制压力容器 GB 150—1998 为规范设计,JB 4732—1995 为分析设计。我国已有的铝、铜、镍、钛等有色金属制压力容器标准均为规范设计,没有分析设计的内容。有色金属制压力容器一般承压不太高(压力高时常用衬里或复合板,由钢层承载),要求进行分析设计的情况不多。如要进行分析设计,现在只能参照 JB 4732—1995。

由表 1-2 中压力容器用各类材料牌号数量的比较可见,我国不但压力容器用钢的牌号数量比美国、日本等少得多,在有色金属材料中,中国用铜牌号数量也比美国等少,中国镍及镍合金只用了 15 个牌号,而美国用了 50 个牌号,法国用了 33 个牌号,因而在 JB/T 4756—2006《镍及镍合金制压力容器》标准中,除采用中国牌号外,同时可采用 19 个 ISO 牌号和 45 个美国牌号。这也是由于中国压力容器用镍及镍合金材料绝大部分仍靠进口的实际情况所决定的。中国压力容器用钛材牌号比美国少,是由于美国近年研制了一些低钎的钛钎合金、钛钎合金等,这些材料的牌号已进入美国钛材标准中,且为 ASME 标准所采用。而中国 2007 年的钛材标准只有一些低钎的钛钎合金牌号,而没有钛钎合金牌号,因而 JB/T 4745—2002 中还没有这些牌号。

容器类的设备按压力分,设计压力 $p \geq 0.1\text{MPa}$ 或 $p \leq -0.02\text{MPa}$ 为压力容器, $p = -0.02 \sim 0.1\text{MPa}$ 为常压容器。我国的标准为:GB 150—1998《钢制压力容器》,JB/T 4735—1997《钢制焊接常压容器》。对于有色金属容器,JB/T 4734—2002《铝制焊接容器》和 JB/T 4745—2002《钛制焊接容器》两个标准可适用于压力容器和常压容器。JB/T 4755—2006《铜制压力容器》和 JB/T 4756—2006《镍及镍合金制压力容器》两标准只适用于压力容器,但常压容器可参考这两个标准。

压力容器标准分为基础标准和特种结构和用途的压力容器标准,表 1-1 中所列仅为基础标准,我国其他特种结构和用途的压力容器如管壳式换热器、球罐、塔器、空调制冷容器等的标准,与基础标准相比主要是结构和用途方面有些特殊,其所用的材料(包括有色金属材料)一般都引用基础标准中的材料。

我国现在尚没有锆制压力容器的国家标准和行业标准,这是由于我国还没有化工级锆材标准。非核用化工容器主要应用锆材的耐蚀性,只宜采用化工级锆材。我国已有核能级锆管和锆

棒的国家标准，为保证有良好的抗热中子辐射脆化性能，要求锆中的铅含量低于0.01%。而化工级锆控制铅含量低于4.5%即可。由于锆矿与铅共生，锆、铅性能相近，分离成本较高，核能级锆的价格要比化工级的高得多。化工设备不可能采用核能级锆。目前我国化工级锆材基本上靠进口，锆制压力容器标准目前仅有企业标准。一般参照采用美国的化工级锆材标准。

铅制压力容器只有日本压力容器标准中有。我国虽然也有铅板和铅管材料标准，但由于铅及铅合金的强度低（ $R_m=14\sim18\text{MPa}$ ）、熔点低（纯铅熔点 327.4°C ），很少单独用铅制造单层容器的筒体与封头，一般常采用衬铅或搪铅。我国没有制订铅制压力容器专门标准，现只有化工行业标准 HG/T 20671—1989（2004）《铅衬里化工设备》。

1.3 采用有色金属的目的

石化设备和其他机械设备一样，选用材料既要要求材料有良好的应用性能和工艺性能，也要考虑材料尽量便宜、易得。在石化设备常用的金属材料中，按单位重量的价格计，价格由低到高的顺序大致为：铸铁<碳素钢<低合金钢<铝<高合金钢<铜<镍<钛<锆。有色金属材料中，除铝比高合金钢便宜外，其他都要比钢铁贵，镍、钛、锆的价格大约比普通钢铁高两个数量级，因此只要在材料性能基本能满足设备技术要求的情况下，石化设备的首选材料当然是最便宜、易得的普通钢材。对于压力加工材料而言，首选材料当然是碳素钢和低合金钢。可以说制造容器的材料绝大部分都用碳素钢和低合金钢，其次是采用高合金钢、只在钢材不能满足设备的技术要求的情况下才采用有色金属材料。在石化设备用材中，有色金属材料的用量是很少的，只能是黑色金属材料的补充。

从石化设备用材的发展过程看，有色金属材料应用的比例还是有所增加的，主要由于随着石化工业的发展，设备的使用条件更加苛刻，要求采用性能更好的材料。即使有些设备原有的使用条件没有变化，由于石化企业的资本实力越来越雄厚，有条件采用比以前所用材料价格更贵、性能也更好的材料（其中相当多地采用有色金属材料），以较多的一次性投资，获得设备更大的可靠性，减少检修，延长定期大修的时间，延长设备的使用寿命，增加石化生产的产量，对提高石化生产的经济效益是很有利的。

石化设备采用有色金属材料主要是因为有色金属材料比钢铁具有更好的应用性能。

1.3.1 耐腐蚀性能

碳素钢和低合金钢对于具有腐蚀性的石化介质是不耐蚀的，当石化设备要求耐蚀性时，首选材料是不锈钢，不锈钢在许多腐蚀介质条件下有良好的耐蚀性，但不锈钢并不是在所有腐蚀介质中都有足够的耐蚀性的。不锈钢的最主要的耐蚀合金元素是铬，靠在介质中的腐蚀过程中产生含 Cr_2O_3 的钝化膜而耐蚀，因此一般不锈钢只有在氧化性介质中才能耐蚀，而在还原性较强的腐蚀介质中常不耐蚀。卤素元素的酸如氢氟酸（HF）、盐酸（HCl）、氢溴酸（HBr）和氢碘酸均为强还原性酸，不锈钢对这些酸不具有耐蚀性，氢氟酸可采用镍铜合金，盐酸和氢碘酸可采用锆或镍钼合金。尿素合成塔中的尿素合成介质有很强的腐蚀性，且温度越高，腐蚀性越强，合成尿素的转化率也越高。荷兰水溶液全循环法尿素合成塔设计温度约 190°C ，衬里层用00Cr17Ni14Mo2（尿素级）可耐蚀，合成尿素的转化率约为60%~70%。日本三井东压化学工业公司的东洋高压法改良C法尿素合成塔设计温度 205°C ，转化率比荷兰的有所提高，用00Cr17Ni14Mo2不能耐蚀，而采用工业纯钛。美国CPI-Allied法

尿素合成塔操作温度达 230°C ，不锈钢和钛均不能耐蚀，而采用了工业纯锆，合成尿素的转化率可达 $80\%\sim 90\%$ 。又如，在含氯离子的溶液中，一般的钢和不锈钢均不能耐蚀，接触海水和盐水的石化设备常采用钛，有时也采用铝青铜、铜镍合金等。

石化设备采用有色金属材料很重要的目的是利用有色金属材料在许多条件下有比钢铁更优的耐蚀性。其中铝的耐蚀介质范围较窄，但铝最便宜，镍、钛、锆的耐蚀介质范围宽、耐蚀性好，但价格较贵，实际应用中应根据具体介质情况而定。

1.3.2 防止介质受铁离子污染

有些石化介质有腐蚀性但并不很高，一般碳素钢和低合金钢制设备虽有些轻微腐蚀但仍能保持较长的寿命，但是由于腐蚀产物中有较多铁离子进入介质中，使石化产品中含有超量的铁，而许多石化产品要求成品中的铁含量应较低，如化纤产品中含有过量铁会使颜色发黄，成品尿素中含铁超量也不合格，一些食品、医药、染料中也不允许含过量的铁，这时这些设备不宜采用碳素钢和低合金钢，而应采用不锈钢和有色金属。有色金属中铝最便宜，价格多低于不锈钢，是防止介质和化工产品受铁离子污染的常用材料。有时食品、药品生产中也用铜。虽然用镍、钛、锆等材料能更有效地达到防止铁离子污染的目的，但由于价格太高，专门为防止铁离子污染而采用镍、钛、锆的情况较少。

1.3.3 耐高温性能

石化设备用材的耐高温性能包括高温下组织、性能的稳定性和高的高温强度（包括高温短时强度，如抗拉强度和屈服强度或规定延伸强度；高温长时强度，如持久强度和蠕变强度），以及在大气环境中的抗氧化性等。在压力容器标准中规定的各材料牌号的允许最高设计温度并没有包括该温度区域在容器介质中的耐蚀性问题。在有色金属材料中，铝、铜、钛、锆、铅的允许最高设计温度均低于钢材，只有部分镍合金的允许最高设计温度高于高合金钢。高合金钢最高可达 700°C ，某些镍合金可以最高用到 950°C 和 900°C 。

1.3.4 耐低温性能

铁素体钢由于在一定低温下会产生低温脆性，因而对各牌号的最低设计温度有不同的规定。 $9\%\text{Ni}$ 钢最低设计温度可达 -196°C 。奥氏体钢只有在 $20\sim 42\text{K}$ 的极低温度下才会发生低温脆性，但也要避免一些亚稳定奥氏体钢中存在少数铁素体相，提高了钢的脆性转变温度。奥氏体钢最低设计温度可在 -269°C 左右。低温用钢均必须在不高于设计温度的温度或规定低温下进行冲击韧性试验，其冲击功或侧向膨胀量（常用于奥氏体钢）或断裂韧性不得低于规定值，否则不能使用。对于有色金属压力加工材料而言，面心立方晶格的金属一般没有低温脆性现象。铝材可用至 -268°C 以上不用进行任何附加试验（如冲击试验），铜材和镍材可用至 -196°C 以上不用进行任何附加试验，但在 $-196\sim -268^{\circ}\text{C}$ 之间应检测不低于设计温度时的断后伸长率达到要求时才可使用。密集六方晶格的钛和锆可用至 -60°C 以上不用进行附加试验，但在 -60°C 以下应检测不低于设计温度时的断后伸长率达到要求才能使用。总之，有色金属有优良的耐低温性能，由于镍、钛、锆的价格高，很少专门用作低温材料。低温可用的有色金属材料中最常见的是铝，既便宜，又轻。在 ASME 中规定 5083 铝在低温压力容器的设计中，不按通常规定的室温许用应力进行计算，而是按设计低温时的较高的许用应力进行计算。除铝外，常用的低温用有色金属还有铜。