

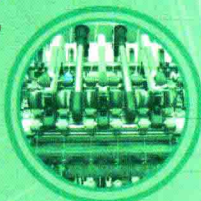


“十三五” 职业教育部委级规划教材

化工设备基础

HUAGONG SHEBEI
JICHU

王显方 主 编
路程 李秉昌 副主编
殷常亮 主 审



中国纺织出版社



“十三五”职业教育部委级规划教材

化工设备基础

王显方 主编

路 程 李秉昌 副主编

殷常亮 主审

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书共六章,包括化工设备常用材料及性能、化工设备的主要零部件、化工容器及设备、换热器、塔设备及反应设备。内容涉及化工厂的主要生产设备,及化工一线技术人员应该具备的基础知识。每章节阐述了设备概述、分类、结构、操作及其维护等,实用性强,舍弃了传统教材中过多的理论分析和设计计算,内容通俗易懂,便于掌握。

本书可作为化工类非机械专业学生的教材,也可作为相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备基础 / 王显方主编. -- 北京: 中国纺织出版社, 2016.7

“十三五”职业教育部委级规划教材

ISBN 978-7-5180-2582-4

I. ①化… II. ①王… III. ①化工设备-职业教育-教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 095293 号

责任编辑: 范雨昕 责任校对: 王花妮
责任设计: 何 建 责任印制: 何 建

中国纺织出版社出版发行

地址: 北京市朝阳区百子湾东里A407号楼 邮政编码: 100124

销售电话: 010—67004422 传真: 010—87155801

http: //www.c-textilep.com

E-mail: faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 http: //weibo.com/2119887771

三河市延风印装有限公司印刷 各地新华书店经销

2016年7月第1版第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.75

字数: 271千字 定价: 48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前言

本书从现代化工企业对一线从业人员能力的需求出发,依据高等职业教育对化工类非机械专业人才培养目标的要求,以化工类专业学生实际工作为立足点,本着理论适度、重在应用的原则进行编写,编者中既有活跃在高职教育一线的教师,也有企业工程师,能更好地符合现代企业对操作人员职业能力的需求。

本书共分六章,分别为化工设备常用材料及性能、化工设备的主要零部件、化工容器及设备、换热器、塔设备及反应设备。内容涵盖了化工厂主要生产设备,提供了化工一线技术人员职业领域中必备的基础知识。每章节阐述了设备概述、分类、结构、操作及维护等,实用性强,剔除了传统教材中过多的理论分析和设计计算,内容通俗易懂,便于掌握,书中带*部分为教师上课时根据学生实际情况自选内容。

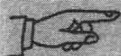
本书可作为化工类非机械专业学生的教材,也可作为化工厂工人和技术人员学习、培训的材料。

本书具体编写分工为,陕西工业职业技术学院王显方编写第一、第五章,路程编写第二、第三章;陕西能源职业技术学院段雅琦编写第六章,李秉昌编写第四章及附录;全书由王显方负责拟定编写提纲,并做最后的统稿和定稿;殷常亮担任本书的主审。

在编写过程中由于编者水平有限,时间仓促,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2015年5月



课程设置指导

课程名称：化工设备基础

适用专业：应用化工技术、工业分析与检验、化工设备维修等专业

总学时：64

课程性质：“化工设备基础”是化工类专业进行岗位能力培养的一门专业技术课程，本课程针对人才需求组织教学内容，按照工作过程设计教学环节，为岗位需求提供职业能力，为培养技术人才提供保障。

课程目的：

1. 知识目标

- A1. 掌握化工设备常用材料及性能；
- A2. 了解化工设备常用零部件的结构及作用特点；
- A3. 掌握压力容器的分类、结构及作用特点；
- A4. 掌握压力容器的日常检修方法；
- A5. 掌握换热设备的结构及作用原理；
- A6. 掌握塔设备的结构及作用原理；
- A7. 掌握反应设备的结构及作用原理。

2. 能力目标

- B1. 能正确选择化工设备常用材料的牌号；
- B2. 能根据不同设备合理选择配套的零部件；
- B3. 能正确查找各类标准，并对压力容器进行分类；
- B4. 具备压力容器故障排查能力；
- B5. 能设计简单的管壳式换热器；
- B6. 能设计简单的塔设备；
- B7. 能设计简单的反应设备。

3. 素质目标

- C1. 培养学生实事求是、精益求精的治学态度；
- C2. 培养学生安全、质量及环保意识；
- C3. 培养学生良好的语言表达能力，有条理地表达自己的思想、态度和观点；

C4. 培养学生勤于思考、敢于创新的认识；

C5. 培养学生认真、细致、严谨的学习态度和工作作风，吃苦耐劳、克服困难、勇于探索的创新精神。

课程教学的基本要求

教学环节包括实验教学、作业和考试。通过各教学环节，重点培养学生对理论知识的认识和实验技能的掌握，提高学生分析问题、解决问题的能力。

1. 理论教学：共 16 周，合计 64 学时。

2. 考试：

（1）观察学生平时表现，如课前预习、课堂出勤、回答提问、任务或作业完成等对学生进行过程性评价，占总成绩的 30%。

（2）观察学生实训过程中的主动性，与其他同学的协作能力，提出问题和解决问题的能力作为评价的参考，占总成绩的 10%。

（3）重视学生的考试、测验成绩，进行成果性评价，占总成绩的 60%。

教学环节学时分配表

章数	讲授内容	学时分配
第一章	化工设备常用材料及性能	12
第二章	化工设备的主要零部件	10
第三章	化工容器及设备	12
第四章	换热器	10
第五章	塔设备	10
第六章	反应设备	10
合计		64

目录

第一章 化工设备常用材料及性能.....001

 第一节 化工设备常用材料001

 一、金属材料001

 二、非金属材料007

 三、纳米材料010

 第二节 化工用金属材料的性能010

 一、金属材料的力学性能010

 二、材料的物理性能019

 三、化学性能019

 四、加工工艺性能019

 思考题020

第二章 化工设备的主要零部件.....021

 第一节 法兰021

 一、法兰的技术标准021

 二、法兰的分类023

 三、法兰的公称直径、公称压力和钢管外径024

 四、法兰密封025

 五、法兰连接030

 第二节 开孔与补强031

 一、开孔类型及对容器的影响031

 二、对容器开孔的限制032

 三、补强结构033

 四、标准补强圈及其选用034

 五、人孔、手孔及接管035

 第三节 设备的安全附件036

 一、安全阀036

 二、爆破片037

 三、压力表038

 思考题041

第三章 化工容器及设备	042
第一节 容器的分类和结构	042
一、容器的分类	042
二、化工容器的结构形式	044
第二节 压力容器筒壁厚度计算（内压）	050
一、圆柱形容器筒壁厚度的计算	050
二、球壳筒壁厚度的计算	050
三、封头	051
第三节 化工容器常见故障	051
一、化工设备腐蚀与防护	051
二、裂纹	053
三、变形	054
第四节 压力容器维护检修规程*	055
一、总则	055
二、完好标准	056
三、使用管理及维护保养	056
四、检验	058
五、检修	072
六、试车（投运）及验收	078
七、维护、检验、检修安全注意事项	079
第五节 容器压力试验方法及安全规则*	081
一、基本规定和要求	081
二、压力试验方法	082
三、合格标准	082
四、安全规则	082
思考题	083
第四章 换热设备	084
第一节 传热原理	084
一、传热能力	084
二、传热温差	085
三、传热系数	085
四、传热面积	086
五、压力降	087

第二节 换热设备的种类	088
一、直接接触式换热器	088
二、蓄热式换热器	088
三、间壁式换热器	089
第三节 管壳式换热器	092
一、管壳式换热器的分类	093
二、管壳式换热器的结构	095
三、换热管与管板连接	101
四、壳体与管板的连接	102
第四节 换热器的应用、操作及故障分析*	103
一、换热器的应用	103
二、换热器操作	104
三、换热器的故障分析	105
第五节 低温换热器故障*	108
一、进口气体—出口气体换热器	108
二、气体制冷器	109
思考题	110
 第五章 塔设备	111
第一节 概述	111
一、化工生产对塔设备的基本要求	111
二、塔设备的分类和构造	111
三、塔设备的工作过程	113
第二节 板式塔	114
一、板式塔分类	114
二、板式塔的主要结构	118
第三节 填料塔	127
一、填料	127
二、填料支承装置	129
三、液体喷淋装置	130
四、液体再分布装置	133
第四节 塔类设备维护检修*	137
一、总则	137
二、检修周期与检修内容	137

三、试验与验收	143
四、日常维护	144
五、安全注意事项	145
思考题	146
第六章 反应设备	147
第一节 概述	147
一、反应设备的应用及分类	147
二、常见反应设备的特点	148
三、搅拌反应器的结构	150
第二节 搅拌反应器的罐体	150
一、罐体尺寸的确定	151
二、传热结构	151
三、筒体和夹套壁厚的确定	153
四、顶盖和工艺接管	154
第三节 搅拌装置	155
一、搅拌器的形式和选择	155
二、搅拌器附件	158
三、搅拌器功率	159
第四节 搅拌反应器的传动装置	160
一、电动机	160
二、减速器	160
三、联轴器	161
第五节 搅拌反应器的轴封	166
一、填料密封	166
二、机械密封	168
思考题	171
附录一：年产___吨合成氨厂变换工段列管式热交换器工艺设计任务书	172
附录二：乙醇水溶液筛板精馏塔的工艺设计任务书	192
附录三：常用数据表格	206
参考文献	209

第一章 化工设备常用材料及性能

学习目标：掌握化工设备常用材料基本的力学性能和化学成分及分类方法。

能力目标：能识别材料，并对材料的基本性能进行实验；具备根据化工生产的需要合理选择材料的能力。

第一节 化工设备常用材料

材料是构成化工设备的物质基础，要正确设计制造化工设备，合理选用材料是至关重要的。现代化的化工生产工艺过程是非常复杂的，工艺条件又是多种多样的，反应温度从低温到高温；压力从真空到超高压；物料有易燃、易爆、剧毒或强腐蚀等。为确保化工设备长期、稳定、安全地运行，在设计制造化工设备时，必须合理选择材料，保证所使用的材料具有足够的强度、良好的高温力学性能或低温性能，满足材料的防腐蚀要求等。

化工设备常用材料的种类繁多，大致可分为金属材料、非金属材料 and 纳米材料三大类，其中金属材料是最常用的化工设备材料。金属材料包括铁或以铁为主的合金及有色金属及其合金；非金属材料由于其独特的优越性，在一些特殊场合下使用，包括耐火、隔热、耐腐蚀及陶瓷材料等；纳米材料具有较高的强度、较强的耐腐蚀性、很好的绝缘性等，是近年来发展迅速的一类工程材料。选用材料一般有如下要求：

- (1) 材料品种应符合我国资源和供应情况。
- (2) 材质可靠，能保证使用寿命。
- (3) 足够的强度，良好的塑性和韧性，耐腐蚀。
- (4) 便于制造加工，焊接性能良好。
- (5) 性价比尽量高。

一、金属材料

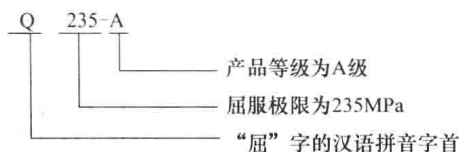
在工业上使用的金属材料一般不是纯金属，而是合金。合金是一种金属与其他金属或非金属熔合在一起的金属材料。铁与碳及少量其他元素熔合的合金为铁碳合金。

1. 碳钢

碳钢是含碳量小于 2.11% 的铁碳合金。除了铁和碳外，碳钢还含有少量的磷、硫、硅、锰等其他杂质元素。其中硫易使碳钢发生热裂，也易使焊缝处发生热裂；磷可以提高钢材的

强度和硬度，同时也降低钢的塑形和韧性，使低温工作的碳钢零件冲击韧度很低，脆性很大。因此硫、磷是有害杂质。硫、磷含量越小，碳钢的品质越好，依此碳钢分为两类：普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。根据碳钢的用途又可分为制造机器设备的结构钢和制造刀具、量具等的工具钢及特殊用途钢，如锅炉钢、容器用钢等。

(1) 普通碳素结构钢。普通碳素结构钢含碳量较低，杂质含量较高，是质量不高的碳钢，具有一定的力学性能。这种钢价廉，广泛用于要求不高的金属结构和机械零件。国家标准规定，这类钢材按保证力学性能供应，并按屈服点将其分成不同的牌号。每种牌号又按质量分为 A、B、C、D 四级。A 级、B 级为普通钢，C 级、D 级为优质钢。普通碳素结构钢牌号举例：



普通碳素结构钢的常用牌号是 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275。其中 Q195、Q215 可用于承受轻载的零件，Q235、Q275 可用于制造螺栓、螺母等。

在化工设备中应用最多的是 Q235 碳素结构钢，它属于低碳钢，具有良好的塑性和韧性，Q235A 是最常用的钢号，其板材可以用于制造常温低压压力容器的壳体，钢板执行 GB/T 3274—2007 标准，板材厚度 3 ~ 40mm，常温下屈服强度为 235MPa，抗拉强度为 375MPa，在 100℃ 下的许用应力为 113MPa。棒料常用于制造连接件，如螺栓、螺母和支架等。

(2) 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢在供货时，除保证钢材的力学性能和化学成分外，还对硫、磷的含量严格控制，品质较高，多用于重要的零件，应用非常广泛。依据含碳量的不同，这种钢可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

① 低碳钢。含碳量小于或等于 0.25%，钢的强度较低，但塑性好，焊接性能好，在化工设备中广泛使用。

② 中碳钢。含碳量为 0.25% ~ 0.60%，强度、硬度高，塑性、韧性稍差；焊接性能较差，不宜用于制造化工设备壳体，多用于制造传动设备的零件。

③ 高碳钢。含碳量大于 0.60%，它的强度和硬度均较高，塑性、焊接性差，不适于制造化工设备，常用来制造弹簧、刀具及钢丝绳等。

优质碳素结构钢根据含锰量不同，又可分为普通含锰量优质碳素钢和较高含锰量优质碳素钢。锰可以改善钢的热处理性能。优质碳素结构钢的牌号是两位数字，表示含碳量的万分数。例如 20 钢，表示平均含碳量为 0.20% 的钢。如果优质碳素结构钢中含锰量较高，则在两位数字后标以汉字锰或元素符号 Mn。例如，20Mn 表示较高含锰量优质碳素钢。特殊用途钢，规定在数字后加注字母。R 为容器用钢，20R 表示含碳量 0.20%，普通含锰量的容器用优质碳素结构钢。

20R 板材可以用于制造高压压力容器的壳体，钢板执行 GB 713—2014 标准，板材厚度 6 ~ 100mm，常温下屈服强度为 245MPa，抗拉强度为 400MPa，在 100℃ 下的许用应力为 132MPa。

2. 合金钢

随着科学技术和工业的发展,对材料提出了更高的要求,如更高的强度,抗高温、高压、低温、耐腐蚀、磨损以及其他特殊物理和化学性能的要求,碳钢已不能完全满足要求。

碳钢在性能上主要有以下几方面的不足:

①透性低,一般情况下,碳钢水淬的最大淬透直径只有 10 ~ 20mm。

②屈服强度比较低,如普通碳钢 Q235 钢的屈服强度为 235MPa,而低合金结构钢 16Mn 的屈服强度则为 360MPa 以上。

③回火稳定性差,故碳钢在进行调质处理时,为了保证较高的强度,需采用较低的回火温度,这样钢的韧性就偏低;为了保证较好的韧性,采用高的回火温度时强度又偏低,所以碳钢的综合力学性能水平不高。

④不能满足特殊性能的要求。碳钢在抗氧化、耐蚀、耐热、耐低温、耐磨损及特殊电磁性等方面往往较差,不能满足特殊使用性能的需求。

为了改善碳钢的力学性能和耐腐蚀性能,向钢中加入少量合金元素,如铬、镍、钛、锰、钼、钒等,所得到的钢统称为合金钢。化工设备生产中常用的主要类型有低合金结构钢、压力容器用钢、合金结构钢及低温用钢等。

(1) 低合金结构钢。低合金结构钢由含碳量较低(含碳量小于 0.20%)的碳素钢加入少量合金元素(锰、钒、铌、镍、铬、钼等)熔合而成,合金元素的含量一般小于 5%。由于合金元素的作用,改善了低合金结构钢的综合力学性能和加工性能,如可焊性、冷加工性能得到改善,低温性能和中温性能比碳素钢好,在化工设备及压力容器上应用广泛。

新国家标准中采用普通碳素结构钢的牌号表示方法,来表示低合金钢中的低合金高强度结构钢的牌号,其牌号有 Q295、Q345、Q390、Q420 和 Q460。另外,以化学元素符号表示含有何种合金元素,合金元素后面的数字表示该元素含量的百分数,当合金元素含量小于 1.5% 时不标数字,平均含量为 1.5% ~ 2.5%、2.5% ~ 3.5%……时,则相应标注 2、3……例如,16MnR 表示含碳量为 0.16% 左右,含锰量小于 1.5% 的压力容器用低合金结构钢。16Mn 对应于 Q345,15MnVN 对应于 Q420。

常用低合金结构钢有以下几种:

① 16Mn 是我国低合金高强钢中用量最多、产量最大的钢种。强度比普通碳素结构钢 Q235 高 20% ~ 30%,耐大气腐蚀性能高 20% ~ 38%。

② 15MnVN 是中等级别强度钢中使用最多的钢种。强度较高,且韧性、焊接性及低温韧性也较好,被广泛用于制造桥梁、锅炉、船舶等大型结构。

③强度级别超过 500MPa 后铁素体和珠光体组织难以满足要求,于是发展了低碳贝氏体钢。加入 Cr、Mo、Mn、B 等元素,有利于空冷条件下得到贝氏体组织,使强度更高,塑性、焊接性能也较好,多用于高压锅炉等高压容器。

(2) 压力容器用钢。压力容器用钢广泛应用于石油、化工、电站锅炉等行业,适用于制作容器的壳体、封头和板状构件等,如反应器、换热器、液化气罐、水电站设备等。压力容器用钢板关系到生命财产安全,技术要求高,生产难度大,属于执行强制性标准的重要产品。

压力容器用钢常处在高温、高压或低温下运行,对材料性能要求很高。例如,要求材料具有较高的强度;良好的塑性、韧性和冷弯性能;较低的缺口敏感性;良好的焊接性能;良好的冶炼质量及良好的加工工艺性能等。压力容器用钢材料品种很多,这里主要介绍制造压力容器筒体等承压构件的常用板材。

压力容器钢板的牌号,对于碳素钢和低合金钢,其牌号用屈服强度值和“屈”字、压力容器“容”字的汉语拼音首字母表示,例如:Q245R、Q345R、Q370R;对于钼、铬—钼高合金钢,其牌号用平均含碳量和合金元素字母、压力容器“容”字的汉语拼音首字母表示,如14Cr1MoR、12Cr2Mo1R、12Cr1MoVR、13MnNiMoR、18MnMoNbR、15CrMoR。

以下介绍几种常用锅炉及压力容器钢板。

① Q345R 是锅炉和压力容器中的应用最为广泛、使用量最大的钢板之一,广泛应用于制造单层卷焊容器、多层包扎容器、整体多层夹紧容器、热套容器和球形容器。该钢板执行 GB 713—2014 标准,板材厚度 16 ~ 100mm,常温下屈服强度为 355MPa,抗拉强度为 570MPa,在 100℃下的许用应力为 185MPa。

② Q370R (15MnNR) 主要用于生产球形容器、大型塔器和热套容器。该钢板执行 GB 713—2014 标准,板材厚度 36 ~ 60mm,常温下屈服强度为 400MPa,抗拉强度为 530MPa,在 100℃下的许用应力为 177MPa。

③ Q420R (18MnMoNbR) 用于氨合成塔和尿素合成塔单层厚壁容器,该钢板执行 GB 713—2014 标准,板材厚度 16 ~ 100mm,常温下屈服强度为 410MPa,抗拉强度为 590MPa,在 100℃下的许用应力为 190MPa。

④ 13MnNiMoR 用于单层卷焊厚壁压力容器,该钢板执行 GB 6654—1996 标准,板材厚度 16 ~ 120mm,常温下屈服强度为 380MPa,抗拉强度为 575MPa,在 100℃下的许用应力为 172MPa。

(3) 合金结构钢。合金结构钢的牌号是以前面两位数字表示含碳量的万分数,或以前面一位数字表示含碳量的千分数;以化学元素符号表示含有何种合金元素,合金元素后面的数字表示该元素含量的百分数。化工设备使用的合金结构钢主要是不锈耐酸钢和耐热钢。

① 不锈耐酸钢。不锈耐酸钢是不锈钢和耐酸钢的总称。不锈钢是在大气、水及较弱腐蚀性介质中耐腐蚀的钢,不锈耐酸钢是指能抵抗酸及强腐蚀介质的钢,耐酸钢同时是不锈钢。

不锈耐酸钢中的主要合金元素是铬、镍、钼、钛,它们对钢的性能影响为:

a. 铬是不锈耐酸钢中起耐腐蚀作用的主要元素。钢只有在含铬量为 12% 以上时才有耐腐蚀性,不锈耐酸钢的平均含铬量都在 13% 以上。但含铬量不能超过 30%,否则会降低钢的韧性。

b. 镍可扩大不锈耐酸钢的耐蚀范围,特别是提高耐碱能力。化工设备生产中广泛使用的含铬 18%、含镍 8% 的不锈耐酸钢具有良好的耐腐蚀性,习惯上称为 18-8 型不锈钢。

c. 钼能提高不锈耐酸钢对氯离子的抗蚀能力,钼还可提高钢的耐热性能。

d. 钛能提高不锈耐酸钢抵抗晶间腐蚀的能力。

含碳量越低,不锈耐酸钢的耐蚀性越强。为了提高耐蚀性,含碳量应小于 0.03% ~ 0.06%,如果对耐蚀性有更高要求,则可采用含碳量小于 0.01% ~ 0.03% 的超低碳不锈钢。现在正向含碳量小于 0.01% 超低碳不锈钢方向发展,以适应不断提高的耐蚀性要求。

不锈钢的牌号采用两位数字（或一位数字）表示含碳量，后加合金元素符号（或汉字），再加表示合金元素含量百分数的数字。由于这种钢的含碳量很低，其含碳量以千分数表示。合金元素含量为 1% ~ 1.5% 时省略不标。例如，不锈钢 1Cr13，表示含碳量为 0.10%，平均含铬量为 13%。当含碳量为 0.03% ~ 0.10% 时，含碳量用“0”表示，当含碳量小于或等于 0.03% 时，用“00”表示。例如，0Cr18Ni9Ti 钢，00Cr18Ni9Ti 钢。不锈钢耐酸钢的应用举例见表 1-1。

表1-1 几种常用的不锈钢耐酸钢

牌号	耐蚀性	应用举例
0Cr13	耐水蒸气、碳酸氢铵母液及540℃以下含硫石油等介质腐蚀	制造设备衬里、内部元件、垫片等
1Cr13	在30℃以下的弱腐蚀介质中有良好的耐蚀性，在淡水、蒸汽和潮湿环境中有足够的耐蚀性	一般使用温度450℃以下，制造法兰、汽轮机叶片、螺栓、螺母等部件
1Cr17	对氧化性酸（如一定温度和浓度的硝酸）耐蚀性良好	制造介质腐蚀性不强的防污染设备、家用物品、家用电器等部件
00Cr18Ni8	对氧化性酸（如硝酸）有强的耐蚀性，对碱液及大部分有机酸和无机酸也有一定的耐蚀性，有一定耐晶间腐蚀能力	制造食品设备、化工设备、输酸管道、容器等
00Cr18Ni10	耐蚀性比0Cr18Ni9Ti好，耐硝酸、大部分有机酸和无机酸的水溶液、碱等的腐蚀，耐晶间腐蚀	使用温度-196 ~ 600℃，制造硝酸维尼纶、制药等工业设备和管道
Cr17Ni12Mo2	在海水和其他介质中耐蚀性比0Cr18Ni10好，主要作为耐小孔腐蚀材料，高温下有良好的蠕变强度	制造大型锅炉过滤器、蒸汽管道、高温耐蚀螺栓及螺母等零件
1Cr18Ni9Ti	在不同温度和浓度的各种强腐蚀性介质中耐蚀性良好	使用温度-196 ~ 600℃，广泛用于制造耐酸设备、管道、衬里等

②耐热钢。在高温条件下，具有抗氧化性和足够的高温强度以及良好的耐热性能的钢称作耐热钢。

为了抵抗高温蠕变、高温氧化等而发展起来的耐热钢，与碳素结构钢相比，在使用温度大于 350℃ 时，无显著的蠕变（具有抗热性），在 570℃ 以上不发生氧化现象（具有热稳定性）。钢中熔入铬、铝、硅可提高热稳定性，熔入镍、铝、钨、钒等可提高钢的抗热性。耐热钢包括抗氧化钢（或称高温不起皮钢）和热强钢两类。

耐热钢常用于制造锅炉、汽轮机、动力机械、工业炉和航空、石油化工等工业部门中在高温下工作的零部件。这些部件除要求高温强度和抗高温氧化腐蚀外，根据用途不同还要求具有足够的韧性、良好的可加工性和焊接性及一定的组织稳定性。此外，还发展出一些新的低铬镍抗氧化钢种。

（4）低温用钢。我国通常将温度低于或等于 -20℃ 称为低温。通常将各种液化石油气、液氨、液氮等生产、储存容器和输送管道以及在寒冷地区工作的容器，称为低温容器，制造这些设备所用的钢，称为低温用钢。

对于低温用钢的技术要求，首先要保证在使用温度下具有足够的冲击韧性值，从断裂力学的观点考虑，要求材料在使用温度下具有足够的抗脆性开裂的能力。在特殊的重要结构上，

为防止意外事故发生，还要求材料具有抗脆性裂纹扩展的止裂性能。低温用钢一般要求在低温下具有足够的强度和充分的韧性，具有良好的工艺性能、加工性能和耐腐蚀性等，其中低温韧性，即低温下防止脆性破坏发生和扩展的能力是最重要的因素。低温用钢一般分为无镍钢和有镍钢，有镍钢从 2.5Ni 钢一直到 9Ni 钢，9Ni 钢的最低使用温度可以到 -196°C 。

3. 铸铁

铸铁是含碳量为 $2\% \sim 4.5\%$ 的铁碳合金。在工业生产中，因冶炼、原材料等因素，铸铁成分中一般还含有硅、锰、磷、硫等元素，所以实际应用的铸铁是以铁、碳、硅为主的多元铁基合金。铸铁与钢在化学成分上的主要区别是前者的碳、硅以及杂质元素磷、硫含量较高。铸铁的生产成本较低，具有优良的减震性、较好的耐磨性、良好的铸造工艺性和切削加工性。按照石墨的形态不同，铸铁可分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、耐蚀铸铁及热铸铁等。

(1) 灰铸铁。碳元素以片状的石墨存在，石墨割裂了铸铁基体，使灰铸铁的抗拉强度和塑性比钢低很多，但抗压强度并不降低。石墨的存在还使灰铸铁具有良好的耐磨性、减震性、铸造性能和切削性能。灰铸铁常用于制造机座、带轮、不重要的齿轮、烧碱大锅、淡盐水泵等，灰铸铁还可以用来制造常压容器，使用温度在 $-15 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 之间，并且不允许用来储存剧毒或易燃的物料。灰铸铁牌号由“灰铁”两字的汉语拼音首字母“HT”及后面的一组数字组成，数字表示最低强度极限。例如，HT150 表示灰铸铁，其强度极限为 150MPa。

(2) 球墨铸铁。碳在铸铁基体中以球状石墨存在，它的强度和塑性比灰铸铁高，综合力学性能接近于钢，可以代替钢制造一些机械零件，如曲轴、阀门等。球墨铸铁以“QT”为首（“球铁”两字汉语拼音首字母），后面的两组数字表示强度极限和伸长率，如 QT400-18。

(3) 可锻铸铁。铸铁中的石墨呈团絮状，与灰铸铁相比有较高的强度、塑性和韧性。因其有一定的塑性变形能力，故得名可锻铸铁，实际上可锻铸铁并不能锻造。

(4) 耐蚀铸铁和热铸铁。在铸铁中加入适量的合金元素后形成具有耐蚀、耐热性能的铸铁，如加入硅形成的耐蚀铸铁、加入铬形成的耐热铸铁等，常用于铸造化工机械的泵、阀门等。

4. 有色金属及合金

在化工生产中，由于腐蚀、低温、高温、高压等特殊工艺条件的要求，设备的材料也经常用有色金属及其合金。常用的有铝、铜、钛、铅及其合金材料等。

(1) 铝及其合金。铝密度小，导电性、导热性好，塑性好，但强度低，铝压力加工性能好，还可以焊接和切削。铝能耐硝酸、乙酸（醋酸）、碳酸氢铵及尿素的腐蚀。纯铝中高纯铝 L01、L02 可以用来制造浓硝酸设备；工业纯铝 L2、L3、L4 等用来制造热交换器、塔、储罐、深冷设备及防止污染产品的设备。铝合金中最常用的是铝与硅、镁、锰、铜、锌等组成的合金。铝合金的强度比纯铝高得多。在化工中用得较多的是铸造铝合金和防锈铝。铸造铝合金可以制作泵、阀、离心机等。防锈铝的耐蚀性好，常用来制作与液体介质相接触的零件和深冷设备中液气吸附过滤器、分离塔等。纯铝和铝合金最高使用温度为 150°C ，低温时铝和铝合金韧性不降低，适宜制造低温设备。

(2) 铜及其合金。铜具有很高的导热性、导电性和塑性。在低温下可保持较高的塑性和韧性，多用于深冷设备和换热器。铜在大气、水及中性盐、苛性碱中都相当稳定；在稀的和

中等浓度的盐酸、乙酸、氢氟酸及其他非氧化性酸中也有较高的耐蚀性；在氨及铵盐中不耐蚀。

铜与锌的合金称为黄铜。它的铸造性好，强度比纯铜高。化工上常用的牌号有 H80、H68 等（H 后的数字表示平均含铜量的百分数）。

铜与锡、铅、铝、铋等组合成的合金统称青铜。它具有较高的耐蚀性和耐磨性，常用来制造耐蚀和耐磨的零件。

（3）钛及其合金。纯钛密度为 4.51g/cm^3 ，约为钢或镍合金的一半，其强度高于铝合金及高合金钢，导热系数小，是低碳钢的 $1/5$ ，铜的 $1/25$ ，无磁性，在很强的磁场中不被磁化，无毒且与人体组织及血液有很好的相容性，受到机械振动及电振动后，与钢、铜相比，其自身振动衰减时间最长，因熔点高，使得钛被列为耐高温金属，可在低温下保持良好的韧性及塑性，是低温容器的理想材料，化学性质非常活泼，在高温下容易与碳、氢、氮及氧发生反应，在空气中或含氧的介质中，钛表面生成一层致密的、附着力强的、惰性大的氧化膜，保护钛基体不被腐蚀。

在钛中添加锰、铝或铬、钒等金属元素，能获得性能优良的钛合金。合金的强度比纯钛高，耐热性能更好，钛及其合金是很有发展前途的材料，但目前价格较贵。

由于钛及其合金具有优良的耐腐蚀性、力学性能和工艺性能，被广泛地应用于国民经济的许多部门，特别是在化工设备生产中，用钛代替不锈钢基合金和其他稀有金属作为耐腐蚀材料，已成为制造化工设备的理想材料，例如，氯碱工业中用钛制造金属阳极电解槽、湿氯冷却器、脱氯塔、冷却洗涤塔，苯酚生产装置中用钛制造的中和反应釜、盘管冷却器和搅拌器轴套等。

（4）铅及其合金。铅强度低，硬度低，不耐磨，非常软，不适于单独制造化工设备，只能作为设备衬里。铅耐硫酸，特别在含有 H_2 、 SO_2 的大气中具有极高的耐蚀性，不耐甲酸、乙酸、硝酸和碱溶液等腐蚀。

铅与铋的合金称为硬铅，强度、硬度都比纯铅高，化工上用它制造输送硫酸的泵、阀门、管道等。

二、非金属材料

在化工设备生产中，由于非金属材料具有优良的耐腐蚀性而获得广泛使用。非金属材料包括除金属材料以外的所有材料，依其组成为无机非金属材料、有机非金属材料两大类。

1. 无机非金属材料

无机非金属材料的主要化学成分是硅酸盐。主要用于化工设备生产中的有化工陶瓷、化工搪瓷、玻璃和辉绿岩铸石等。

（1）化工陶瓷。化工陶瓷由黏土、瘠性材料和助熔剂用水混合后经过干燥和高温焙烧而成。其表面光亮，断面像致密的石质材料。化工陶瓷具有良好的耐蚀性，除氢氟酸和含氟的其他介质以及热浓磷酸和碱液外，能耐几乎所有化学介质如热浓硝酸、硫酸甚至“王水”的腐蚀。化工陶瓷是化工设备生产中常用的耐蚀材料，许多设备都用它制作耐酸衬里，还可以用于制造塔器、容器、管道、泵、阀等化工生产设备和腐蚀介质输送设备。但是，由于化工陶瓷是脆性材料，其抗拉强度低，冲击韧性差，热稳定性差，在使用时应防止撞击、振动、