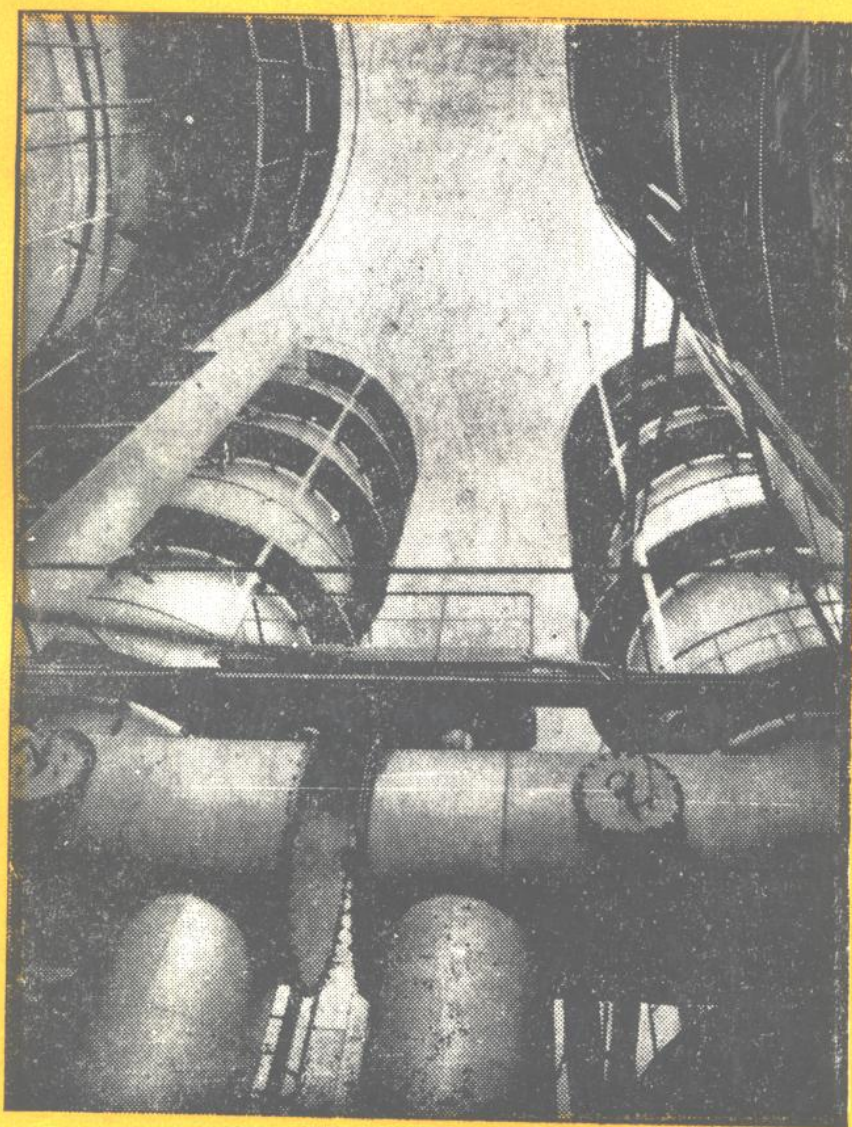


HUAGONG SHEBEI SHEJI JICHU

化工设备 设计基础



顾芳珍 陈国桓 编
天津大学出版社

化工设备设计基础

顾芳珍 陈国桓 编

天津大学出版社

内 容 提 要

本书扼要介绍化工设备常用材料的性能、分类、牌号及选用原则；以容器、列管换热器、塔器和搅拌反应器为典型，叙述了化工设备各种零部件的结构、设计计算方法和标准的选用；讲述了化工管路和阀门的类型、结构和功用；通过设计实例，阐明化工设备设计的具体步骤。书中有例题和习题供学习时参考。

本书为大学本科化工工艺类专业、化学工程专业、各大专及成人教育学院化工类专业教科书，也可供化机专业师生、石油化学工业类工厂与设计单位的科技人员参考。

化工设备设计基础

顾芳珍 陈国枢 编

*

天津大学出版社

(天津大学内)

邮编:300072

天津市宝坻县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:14 字数:350千

1994年8月第1版 1997年6月第2次印刷

印数:4001—8000

ISBN 7-5618-0611-6

TQ·20 定价:15.00元

前 言

化工设备一般指在化工生产中用于传热、传质和化学反应等过程的装置，如换热器、塔器、反应器等。化工容器通常用于贮存物料，但由于化工设备一般都需用一个容器作为外壳，所以它也是化工设备的一个基本组成部分。化工容器及设备都是化工、石油、轻工、冶金、国防、生化及农副产品生产中的重要生产装置。

化工容器及设备的设计包括工艺设计和机械设计两部分。工艺设计是根据设计任务提供的原始数据和生产工艺要求，通过工艺计算确定设备主要尺寸（常称工艺尺寸），如容器直径与高度、换热器换热面积以及塔设备的塔径、塔板数、塔板距等。机械设计是根据工艺尺寸设计容器及设备的整体结构与零部件结构；选择结构材料；进行强度、刚度、稳定性等机械设计计算；最后绘出设备及其零部件的施工图。这两部分工作虽各有分工，但又紧密相关。目前，我国化工工艺专业人员的任务虽主要进行工艺设计，但也经常遇到许多机械设计问题，必须注意加强化工工艺类、化学工程类专业人员的机械知识和设计能力。本书以容器、塔器、换热器、反应器为典型，阐明基本结构、常用材料及设计计算方法，配合课程设计，学习施工图绘制，了解我国有关化工设备设计标准，为化工工艺类、化学工程类本科生及大专层次学生提供工程教育的基础知识。

由于生产过程的多样性，化工容器与设备的种类很多，具体结构更是多种多样，各种结构都必须满足强度、刚度与稳定性、耐久性、密封性等要求。为提高设计水平、使结构具有通用性、互换性、化工设备零部件应尽可能采用国家标准或有关工业部标准。本书理论分析从简，主要介绍规范设计。附录中摘录了若干标准及若干国内外标准代号，便于熟悉和运用。

化工部教育司曾组织大专院校、设计与产业部门进行讨论，认定化工工艺类专业学生应具有化工制图、材料力学、机械传动、化工设备常用材料及化工设备机械设计方法等机械基础知识。《化工设备机械基础》一书包括了以上全部内容。考虑到一些综合性工科大学学生在低年级时已学过工程制图、工程力学、机械零件等课程，《化工设备机械基础》已不能适应教学需要。据此，本书只编写常用化工材料与设备设计内容，教学时数一般为64学时，其中课程设计一般为24学时。使用本教材时，可根据课程设计内容与要求，增减授课时间。

本书是根据本校试用讲义改编的，编写中力求精简内容，加强工程概念，其中计算公式、图表、结构等均注意引入最新标准，采用法定计量单位。

本书共分六章。第一、二、六章及前言、附录由顾芳珍编写，第三、四、五章由陈国桓编写。

限于水平，错误与不足在所难免，敬请读者指正。

编 者

1993年8月

8/1/18
4

目 录

前 言	(I)
第一章 化工设备材料	(1)
第一节 材料的一般性能	(1)
一、 力学性能	(1)
二、 物理性能	(2)
三、 化学性能	(2)
四、 加工工艺性能	(4)
第二节 碳钢与铸铁	(4)
一、 铁碳合金的组织结构	(4)
二、 钢的热处理	(6)
三、 碳钢	(7)
四、 铸铁	(9)
第三节 合金钢	(10)
一、 合金钢的分类与编号	(10)
二、 普通低合金钢	(11)
三、 特殊性能钢	(11)
第四节 有色金属	(14)
一、 铝及其合金	(14)
二、 铜及其合金	(15)
三、 钛及其合金	(15)
四、 镍及其合金	(16)
五、 铅及其合金	(16)
第五节 化工设备材料选择	(16)
习 题	(17)
第二章 容器设计	(19)
第一节 概 述	(19)
一、 容器的结构	(19)
二、 容器的分类	(19)
三、 容器零部件标准化	(20)
第二节 内压薄壁容器设计	(23)
一、 薄壁容器设计的理论基础	(23)

二、筒体强度计算	(27)
三、设计参数确定	(28)
四、最小壁厚	(30)
五、压力试验	(30)
六、球形容器强度计算	(32)
七、边缘应力的概念	(32)
第三节 外压圆筒设计	(33)
一、外压容器失稳	(33)
二、临界压力计算公式	(33)
三、外压圆筒的设计	(35)
四、外压容器的试压	(43)
五、加强圈	(44)
第四节 封头设计	(45)
一、椭圆形封头	(45)
二、碟形封头	(47)
三、锥形封头	(48)
四、平板封头	(52)
第五节 法兰联接	(55)
一、法兰联接的工作情况	(55)
二、法兰的结构与种类	(56)
三、法兰密封面的型式及其所用垫片	(58)
四、法兰标准	(59)
第六节 容器的支座	(66)
一、卧式容器的支座	(66)
二、立式容器的支座	(69)
第七节 容器开孔与附件	(74)
一、容器的开孔与补强	(74)
二、容器的接口管与凸缘	(76)
三、人孔、手孔、视镜与液面计	(76)
第八节 容器设计举例	(79)
习 题	(84)
第三章 塔设备	(86)
第一节 概 述	(86)
第二节 板式塔结构	(86)
一、总体结构	(86)
二、整块式塔盘	(87)
三、分块式塔盘	(90)
第三节 填料塔	(96)

一、	液体分布装置	(96)
二、	液体再分布装置	(100)
三、	填料支承装置及填料压板	(100)
第四节	其 它	(102)
一、	裙式支座	(102)
二、	接管	(103)
三、	除沫装置	(106)
四、	塔设备技术要求	(107)
第五节	塔体和裙座的强度计算	(108)
一、	塔设备所承受的各项载荷计算	(108)
二、	塔体壁厚校核	(115)
三、	裙座	(116)
第四章	管壳式换热器	(121)
第一节	概 述	(121)
第二节	管壳式换热器的结构型式	(121)
一、	固定管板式换热器	(121)
二、	浮头式换热器	(122)
三、	填料函式换热器	(123)
四、	U形管式换热器	(123)
五、	簿管板换热器	(124)
第三节	管壳式换热器构件	(125)
一、	换热器	(125)
二、	管板	(126)
三、	管板与换热管的连接	(130)
四、	管板与壳体的连接	(135)
五、	管箱与管板的连接	(136)
六、	折流板和支承板	(136)
七、	防短路结构	(139)
八、	防冲与导流	(140)
第四节	管壳式换热器的强度计算	(141)
一、	温差应力的计算	(141)
二、	管子拉脱力的计算	(143)
三、	膨胀节的选用与计算	(144)
第五节	管壳式换热器标准简介	(146)
第五章	搅拌反应釜	(150)
第一节	概 述	(150)
第二节	釜体与换热装置	(151)
一、	釜体直径与高度	(151)

二、	夹套的直径与高度	(152)
三、	壁厚的确定	(154)
四、	蛇管的布置	(154)
五、	工艺接管	(156)
第三节	搅拌装置	(157)
一、	搅拌器的型式、特点及安装方式	(157)
二、	搅拌附件——挡板和导流筒	(163)
三、	搅拌器型式的选择	(164)
四、	搅拌轴的计算	(167)
五、	搅拌轴的支承	(173)
第四节	传动装置	(175)
一、	电动机的选用	(175)
二、	减速机的选用	(177)
三、	传动装置的机架	(180)
四、	底座设计	(182)
第五节	轴封	(183)
一、	填料箱密封	(184)
二、	机械密封	(187)
第六章	管路与阀门	(197)
第一节	石油化工用管	(197)
第二节	阀门	(198)
附录		(204)
参考文献		(212)

第一章 化工设备材料

合理选用化工设备材料是设计化工设备的重要环节。现代化工生产条件很复杂。温度从低温到高温，压力从真空到超高压，物料有腐蚀性，有易燃、易爆或剧毒等等。不同的生产条件对设备材料有不同的要求。例如，有的要求材料具有优良的力学性能，有的要求材料耐腐蚀，有的要求材料耐高温或低温，等等。因此，必需熟悉材料的各种性能及应用范围，才能从使用、加工、安全、经济等各个方面综合考虑，合理选用。

第一节 材料的一般性能

材料的性能指力学性能、物理性能、化学性能和加工性能等。

一、力学性能

力学性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性，如强度、硬度、弹性、塑性、韧性等。这些性能是化工设备设计中材料选择及计算中决定许用应力的依据。

1) 强度 材料的强度是指材料抵抗外力作用不发生破坏的能力。关于材料在常温下的强度、弹性、塑性知识在工程力学课程中，以应力应变图对此作了详尽阐述，这里仅介绍高温强度的知识。在高温下，金属材料的屈服限 σ_s 、抗拉强度限 σ_b 都会发生显著变化。通常随着温度增加，金属的强度降低，塑性增加。

高温时，在一定应力下，应变随时间增加的现象称为“蠕变”。例如，高温高压蒸汽管道由于蠕变，其管径会随时间延长而不断增大，最后可能导致破裂。

材料在高温条件下抵抗这种缓慢塑性变形的能力，用蠕变极限 σ_c 表示。蠕变极限是指材料在某一温度下，在 1 万（或 10 万）小时内产生的变形量为百分之一的最大应力。

2) 硬度 材料的硬度是指材料抵抗压入物体（钢球或锥体）压陷能力的大小。它同时体现了材料对局部塑性变形的抵抗能力。

常用硬度指标有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HRC、HRB）和维氏硬度（HV）等。

一般情况下，硬度高的材料强度高，耐磨性能较好，而切削加工性能较差。根据经验，硬度和强度之间有如下近似关系：

$$\text{低碳钢} \quad \sigma_b = 0.36 \text{ HB}$$

$$\text{高碳钢} \quad \sigma_b = 0.34 \text{ HB}$$

$$\text{灰铸铁} \quad \sigma_b = 0.1 \text{ HB}$$

因而可用硬度近似地估计抗拉强度。

由于硬度测试方法简便、迅速、经济、不破坏被测零件，因此，在制造零件的技术条件中也常标注硬度。

3) 塑性 材料的塑性是指材料受力时，当应力超过屈服点后，能产生显著的变形而不即行断裂的性质。残余的变形称塑性变形。工程上常以伸长率 δ 和断面收缩率 φ 作为材料塑性的指标。 δ 和 φ 值愈大，材料塑性愈好。塑性指标在化工设备设计中具有重要意义。有良好的塑性才能进行成型加工，如弯卷、冲压、焊接等；良好的塑性能使设备在使用中产生

塑性变形而避免发生突然的断裂。承受静载荷的容器及零件，其制作材料都应具有一定塑性，一般要求 $\delta_s = 10\% \sim 20\%$ 。过高的塑性常常会导致强度降低。

4) 冲击韧性 对于承受有波动或冲击载荷的零件及在低温条件下使用的设备，其材料性能仅考虑以上几种指标是不够的，必须考虑抗冲击性能。表示材料抵抗冲击载荷能力大小的指标称冲击韧性 α_k ，以每单位横断面积所消耗的功 (J/cm^2) 表示。

韧性可理解为材料在外加动载荷突然袭击时的一种及时并迅速塑性变形的能力。韧性高的材料一般都有较高的塑性指标，但塑性指标较高的材料，却不一定具有较高的韧性，原因是在静载下能够缓慢塑性变形的材料，在动载下不一定能迅速地塑性变形。

大多数材料（除铜、铝、镍铬不锈钢及少数低温用钢外）的 α_k 值，在低温时会有不同程度的下降。在化工设备中，低温容器所用钢板， α_k 值不得低于 $30 J/cm^2$ 。

二、物理性能

金属材料的物理性能有密度、熔点、比热、导热系数、热膨胀系数、导电性、磁性、弹性模量与泊桑比等。

密度是计算设备重量的常数。熔点低的金属和合金，其铸造和焊接加工都较容易，工业上常用于制造熔断器、防火安全阀等零件。熔点高的合金则可用于制造要求耐高温的零件。双金属材料的焊接，要考虑它们的线膨胀系数是否接近，否则会因膨胀量不等而使容器或零件变形或损坏。有些设备的衬里及其组合件，其线膨胀系数应和基本材料相同，以免受热后因热胀量不同而松动或破坏。导热性好的金属材料，如铜、铝及其合金则常用来制造散热器及其它换热器的传热元件。

常用金属材料的物理性能列于表 1-1。

表 1-1 几种常用金属的物理性能

金属	密度 ρ g/cm ³	熔点 t_m C°	比热容 J/kg · K	导热系数 λ W/(m · K)	线膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6}$ 1/C°	电阻率 ρ $\Omega \cdot mm^2/m$	弹性模量 E MPa	柏松比 μ
灰铸铁	7.0~7.4	1250~1280	0.54	25~27	11.0	0.6	(1.5~1.6) $\times 10^5$	0.23~0.27
高硅铁 Si-15	6.9	1220	—	5.2	4.7	0.63	—	—
碳钢及 低合金钢	7.85	1400~1500	0.46	46~58	11.2	0.11~0.13	(2.0~2.1) $\times 10^5$	0.24~0.28
1Cr18Ni9Ti	7.9	1400	0.50	14~19	17.3	0.73	2.1×10^5	0.25~0.30
铜	8.94	1083	0.39	384	16.4	0.017	1.0×10^5	0.31~0.34
68 黄铜	8.5	940	0.38	104~116	20.0	0.072	1.0×10^5	0.36
铝	2.71	657	0.91	219	24.0	0.026	0.69×10^5	0.32~0.36
铅	11.35	327	0.13	35	29.2	0.22	0.17×10^5	0.42
镍	8.8	1452	0.46	58	34	0.092	1.7×10^5	0.27~0.29

三、化学性能

金属的化学性能是指材料在所处介质中的化学稳定性，即材料是否会与周围介质发生化学和电化学作用而引起腐蚀。金属的化学性能指标主要有耐腐蚀性和抗氧化性。

1. 耐腐蚀性

金属和合金对周围介质，如大气、水汽、各种电解液浸蚀的抵抗能力叫耐腐蚀性。化工生产中所处理的物料，常有腐蚀性。材料的耐蚀性不强，必将影响设备的使用寿命，有时还会影响产品质量。

腐蚀是金属与外部介质发生化学和电化学反应而引起的破坏。均匀腐蚀是材料表面均匀地遭到腐蚀，其结果一般是设备的壁厚减薄。当介质对材料的腐蚀速度在 0.1mm/a 以下时，可以认为这种材料是耐蚀的。非均匀腐蚀包括点腐蚀、局部腐蚀、晶间腐蚀等。它们的危险性比均匀腐蚀大得多，其破坏的形式是产生麻点、局部穿孔、组织变脆以及设备突然开裂等。大多数非均匀腐蚀的结果导致设备突然破坏。

工程上常粗略地将耐腐蚀性评为三级，列于表 1-2。

表 1-2 耐腐蚀性能三级标准

耐腐蚀性能分类	耐蚀等级	腐蚀速度 (mm/a)
耐 蚀	1	<0.1
尚耐蚀、可用	2	0.1~1
不耐蚀、不宜用	3	>1

常用金属材料在酸、碱、盐类介质中的耐腐蚀性能见表 1-3。

表 1-3 常用材料在不同温度和浓度的酸碱盐类介质中的耐蚀性

材料	硝 酸		硫 酸		盐 酸		氢氧化钠		硫酸铵		硫化氢		尿 素		氨	
	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C
灰铸铁	×	×	70~100 (80~100)	20 70	×	×	(任) (480)		×	×			×	×		
高硅铁 Si-15	≥40 <40	≤沸 <70	50~ 100	<120	(<35)	(30)	(34)	(100)	耐	耐	潮湿	100	耐	耐	(25)	(沸)
碳钢	×	×	70~100 (80~100)	20 (70)	×	×	≤35 ≥70 100	120 260 480	×	×	80	200	×	×		(70)
18-8 型 不锈钢	<50 (60~80) 95	沸 (沸) 40	80~ 100 (<10)	<40 (<40)	×	×	≤70 (熔体)	100 (320)	(饱)	250		100			溶液 与 气体	100
铝	(80~95) >95	(30) 60	×	×	×	×	×	×	10	20		100			气	300
铜	×	×	<50 (80~100)	60 (20)	(<27)	(55)	50	35	(10)	(40)	×	×				×
铅	×	×	<60 (<90)	<80 (90)	×	×	×	×	(浓)	(110)	干燥 气	20			气	300
钛	任	沸	5	35	<10	<40	10	沸						耐	耐	

注：表中数据及文字为材料耐腐蚀的一般条件，其中，带括弧 () 者为尚耐蚀；“×”为不耐蚀；“任”为任意浓度；“沸”为沸点温度；“饱”为饱和温度；熔体为熔融体。

2. 抗氧化性

在化工生产中，有很多设备和机械是在高温下操作的，如氨合成塔、硝酸氧化炉、石油气制氢转化炉、工业锅炉、汽轮机等。在高温下，钢铁与自由氧、水蒸汽、二氧化碳、二氧化硫等气体产生高温氧化与脱碳作用，使钢铁表面形成 FeO 氧化皮，结构疏松容易剥落。脱碳使钢的力学性能下降，特别是降低了材料的表面硬度和抗疲劳强度。因此，高温设备必须选用耐热材料。

四、加工工艺性能

金属和合金的工艺性能是指可铸造性能、可锻造性能、可焊性能和可切削加工性能等。这些性能直接影响化工设备和零部件的制造工艺方法和质量。故加工工艺性能是化工设备选材时必须考虑的因素之一。

1) 可铸性 可铸造性主要是指液体金属的流动性和凝固过程中的收缩和偏析倾向（合金凝固时化学成分的不均匀析出叫偏析）。流动性好的金属能充满铸型。灰铸铁的流动性比钢好，故能浇铸较薄的与形状复杂的铸件。铸造时，熔渣与气体较易上浮，铸件不易形成夹渣与气孔，且收缩小。铸件中不易出现缩孔、裂纹、变形等缺陷；偏析小，铸件各部位成分较均匀。这些都使铸件质量有所提高。合金钢与高碳钢比低碳钢偏析倾向大，因此，铸造后要用热处理方法消除偏析。常用金属材料中，灰铸铁和锡青铜铸造性能较好。

2) 可锻性 可锻性是指金属承受压力加工（锻造）而变形的能力，塑性好的材料，锻压所需外力小，可锻性好。低碳钢的可锻性比中碳钢及高碳钢好；碳钢比合金钢可锻性好。铸铁是脆性材料，目前，尚不能锻压加工。

3) 焊接性 这是指能用焊接方法使两块金属牢固地联接，且不发生裂纹，具有与母体材料相应的强度，这种能熔焊的性能称焊接性。焊接性好的材料易于用一般焊接方法与工艺进行焊接，不易形成裂纹、气孔、灰渣等缺陷，焊接接头强度与母材相当。低碳钢具有优良的焊接性，而铸铁、铝合金等焊接性较差。化工设备广泛采用焊接结构，因此材料焊接性是重要的工艺性能。

4) 可切削加工性 切削加工性是指金属是否易于切削。切削性好的材料，刀具寿命长，切屑易于折断脱落，切削后表面光洁。灰铸铁（特别是 HB180—200）、碳钢都具有较好的切削性。

除上述基本性能之外，尚应注意材料的化学成分与金相组织的稳定性及热处理性能，了解热处理对材料物理、力学性能的影响。

第二节 碳钢与铸铁

一、铁碳合金的组织结构

钢铁是工程应用最广泛的最重要的金属材料。它们是由 95% 以上的铁和 0.05%~4% 的碳及 1% 左右的杂质元素所组成的合金，称“铁碳合金”。一般，含碳量在 0.02%~2% 者称钢，大于 2% 者称铸铁。当含碳量小于 0.02% 时，称纯铁（工业纯铁）；含碳量大于 4.3% 的铸铁极脆，此二者工程应用价值很小。

1. 金属的组织与结构

在金相显微镜下看到的金属显微组织，简称组织，如图 1-1 所示。如用电子显微镜，可以观察到金属原子的各种规则排列。这种排列称为金属的晶体结构，简称结构。

纯铁在不同温度下具有两种不同的晶体结构，即体心立方晶格与面心立方晶格，如图 1-2 所示。

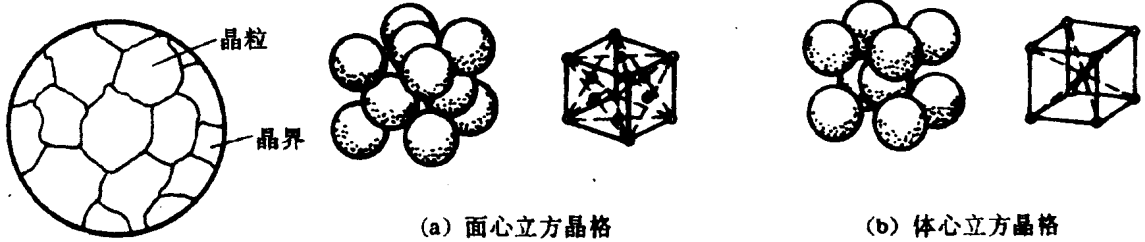


图 1-1 金属的显微组织

图 1-2 纯铁的晶体结构

灰口铸铁中石墨有不同的组织形式，如图 1-3 所示。其中球状石墨的铸铁强度最高，细片状墨次之，粗片状最差。

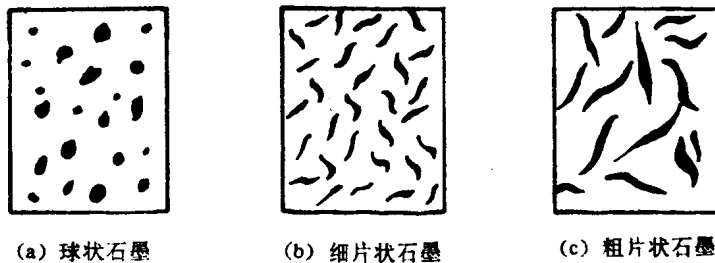
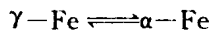


图 1-3 灰铸铁中石墨存在的形式与分布

2. 纯铁的同素异构转变

体心立方晶格的纯铁称 α -Fe，面心立方晶格的铁称为 γ -Fe。

α -Fe 经加热可转变为 γ -Fe，反之高温下的 γ -Fe 冷却可变为 α -Fe。这种在固态下晶体构造随温度发生变化的现象，称同素异构转变。纯铁的同素异构转变是在 910°C 恒温下完成的。



(面心立方晶格) (体心立方晶格)

这一转变是铁原子在固态下重新排列的过程，是钢进行热处理的依据。

3. 碳钢的基本组织

碳对铁碳合金性能的影响很显著。铁中加入少量碳，强度显著增加，这是由于碳引起了铁内部组织的变化。碳在铁中的存在形式有固溶体、化合物和混合物三种。不同的存在形式，形成不同的碳钢组织。

1) 铁素体 碳溶解在 α -Fe 中形成的固溶体称铁素体。由于 α -Fe 原子间隙小，溶碳能力低，所以铁素体强度和硬度低，但塑性和韧性很好。低碳钢是含铁素体的钢，具有软而韧的性能。

2) 奥氏体 碳溶解在 γ -Fe 中形成的固溶体称奥氏体。 γ -Fe 原子间隙较大，故碳在

γ -Fe 中的溶解度比 α -Fe 中大得多，碳钢中的奥氏体组织只有在加热到临界点（730℃）时， α -Fe 组织发生同素异构转变时才存在。奥氏体钢强度、硬度较低，塑性韧性较好，且无磁性。

3) 渗碳体 铁、碳合金中的碳不能全部溶入 α -Fe 或 γ -Fe 中，其余部分的碳和铁形成一种化合物（一碳化铁），称渗碳体。它的熔点约为 1600℃，硬度高（约 HB800），塑性几乎等于零，纯粹的 Fe_3C 又硬又脆无法应用。但在塑性很好的铁素体基体上散布着这些硬度很高的微粒，将大大提高材料的强度。

渗碳体在一定条件下可以分解为铁和碳，其中碳以石墨形式出现。铁碳合金中，碳和硅的含量愈高，冷却愈慢，愈有利于碳以石墨形式析出，析出的石墨散布在合金组织中。

铁碳合金中，当含碳量小于 2% 时，其组织是在铁素体中散布着渗碳体，这就是碳素钢。随着含碳量的增加，碳素钢的强度与硬度也随之增大。当含碳量大于 2% 时，部分碳以石墨形式存在于铁碳合金中，这种合金称铸铁。石墨本身性软，且强度很低。从强度观点分析，分布在铸铁中的石墨，相当于在合金中挖了许多孔洞，所以铸铁的抗拉强度和塑性都比碳钢低。但是石墨的存在，并不削弱抗压强度，并且使铸铁具有一定消震能力。

碳钢经过热处理尚能得到其它组织结构，如珠光体。珠光体是铁素体与渗碳体的机械混合物，其机械性能介于铁素体和渗碳体之间，即其强度、硬度比铁素体显著提高，塑性、韧性比铁素体差，但比渗碳体要高得多。莱氏体是珠光体和初次渗碳体的共晶混合物，具有较高的硬度，是一种较粗而硬的金相组织，存在于白口铁、高碳钢中。马氏体是钢和铁从高温急冷下来的组织，是碳原子在 α -Fe 中过饱和的固溶体，具有很高的硬度，很脆。

二、钢的热处理

钢、铁在固态下通过加热、保温和不同的冷却方式，改变金相组织以满足所要求的物理、化学与力学性能，这种加工工艺称为热处理。常见钢的热处理方法有退火、正火、淬火、回火等。

1. 退火和正火

退火是把工件放在炉中缓慢加热到临界点以上的某一温度，保温一段时间，随后，随炉缓慢冷却下来，一般需 20~40h 或更长时间。

正火与退火不同之处，在于正火是将加热后的工件从炉中取出置于空气中冷却下来，它的冷却速度要比退火快一些，因而晶粒变细。

退火和正火作用相似，可以降低工件硬度，提高塑性，调整金相组织，部分改善力学性能，促进组织均匀化，消除部分内应力，防止工件变形。铸、锻件在切削加工前一般要进行退火和正火，目的是消除内应力，减少变形，改善组织，降低硬度，便于切削加工。

2. 淬火和回火

淬火是将工件加热至淬火温度（临界点以上 30~50℃），并保温一段时间，然后投入淬火剂中冷却的一种热处理工艺。淬火剂有空气、油、水、盐水。其冷却能力按上述顺序递增。碳钢一般在水和盐水中淬火，合金钢导热性能比碳钢差，为防止产生过高应力，一般在油中淬火。淬火可以增加零件的硬度、强度和耐磨性。淬火时冷却速度太快，容易引起零件变形或裂纹。冷却速度太慢则达不到技术要求。因此，淬火常常是产品质量的关键所在。

回火是零件淬火后进行的较低温度的加热与冷却热处理工艺。回火可以降低或消除零件淬火后的内应力，使金相组织趋于稳定，并获得技术上需要的性能。回火处理有以下几种。

1) 低温回火 零件淬火后再加热至 150~250℃，保温 1~3h，然后在空气中冷却，得到回火马氏体组织。该组织脆性有所降低，残余应力得到部分消除。当要求零件硬度高、强度大、耐磨时，一般要进行低温回火处理。

2) 中温回火 当要求零件具有一定的韧性和弹性，并有较高硬度时，可采用中温回火。中温回火温度是 300~450℃。

3) 高温回火 要求零件具有强度、韧性、塑性等都较好的综合性能时，采用高温回火。高温回火温度为 500~680℃。在工厂中习惯将淬火加高温回火的操作称为调质处理。由于调质处理比其它热处理方法能更好地改善综合力学性能，故广泛应用于各种重要零件的加工中。表 1-4 为 45 号钢经正火与调质两种不同热处理后的力学性能。

表 1-4 45 号钢 (Ø20~40) 热处理后力学性能

处理方法	σ_b MPa	δ %	α_k J/cm ²	HB
正火	700~800	15~20	50~80	163~220
调质	750~850	20~25	80~120	210~250

此外，生产上还采用时效热处理工艺。时效可进一步消除内应力，稳定零件尺寸。时效与回火作用类似。

3) 化学热处理 将零件放在某种化学介质中，通过加热、保温、冷却等方法，使介质中的某些元素渗入零件表面，改变表面层的化学成分和组织结构，从而使零件表面具有某些性能。

化学热处理有渗碳、渗氮（氮化）、渗铬、渗硅、渗铝、氰化（碳与氮共渗）等。其中，渗碳、氰化可提高零件的耐磨性；渗铝可提高耐热、抗氧化性；氮化与渗铬的零件，表面比较硬，显著提高了耐磨和耐腐蚀性；渗硅可提高耐酸性；渗硼可使表面特别硬，同时可提高耐磨性与耐腐蚀等。

三、碳钢

1. 常存杂质元素对钢材性能的影响

普通碳素钢除含碳以外，还含有少量锰 (Mn)、硅 (Si)、硫 (S)、磷 (P) 等元素。这些元素并非为改善钢材质量有意加入的，而是由矿石及冶炼过程中带入的，故称为杂质元素。现讨论这些杂质对钢性能的影响。

1) 硫的影响 硫是炼钢时由矿石与燃料焦炭带到钢中来的杂质。它是钢中的一种有害元素。硫以硫化铁 (FeS) 的形态存在于钢中。FeS 和 Fe 形成低熔点 (985℃) 化合物。钢材的热加工温度一般在 1150~1200℃ 以上，故当钢材热加工时，由于 FeS 化合物的过早熔化而导致工件开裂，这种现象称为热脆。含硫量愈高，热脆现象愈严重，故必须对钢中含硫量进行控制。高级优质钢： $S \leq 0.02\% \sim 0.03\%$ ；优质钢： $S \leq 0.03\% \sim 0.045\%$ ；普通钢： $S \leq 0.055\% \sim 0.7\%$ 以下。

2) 磷的影响 磷是由矿石带入钢中的,一般说磷也是有害元素。磷虽能使钢材的强度、硬度增高,但引起塑性、冲击韧性显著降低。特别是在低温时,它使钢材显著变脆,这种现象称冷脆。它使钢材的冷加工及焊接性变坏。含磷愈高,冷脆性愈大,故钢中对含磷量控制也较严。高级优质钢: $P \leq 0.025\%$; 优质钢: $P \leq 0.04\%$; 普通钢: $P \leq 0.085\%$

3) 锰的影响 锰是炼钢时作为脱氧剂加入钢中的。由于锰可以与硫形成高熔点(1600℃)的 MnS ,一定程度上消除了硫的有害作用,并能提高钢的强度和硬度。因此,锰在钢中是一种有益元素。一般认为,钢中含锰量在 $0.5\% \sim 0.8\%$ 以下时,把锰看成是常存杂质。技术条件中规定,优质碳素结构钢中,正常含锰量是 $0.5\% \sim 0.8\%$; 而较高含锰量的结构钢中,其量可达 $0.7\% \sim 1.2\%$ 。

4) 硅的影响 硅也是炼钢时作为脱氧剂而加入钢中的元素。硅含量小于 0.3% 时,脱氧不完全(如沸腾钢)。硅在钢中溶于铁素体内使钢的强度、硬度增加。由于钢中硅含量一般不超过 0.5% ,对钢性能影响不大。

2. 分类与编号

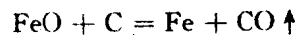
根据实际生产和应用的需要,可将碳钢进行分类和编号。分类方法有多种。如按用途可分为建筑钢、结构钢、弹簧钢、轴承钢、工具钢和特殊性能钢(如不锈钢、耐热钢等);按冶炼质量可分普通碳素钢、优质钢和高级优质钢。

1) 普通碳素钢 1988年,国家标准局发布了新的碳素钢标准《GB700—88》,1992年10月正式施行。

根据 GB700—88 规定,普通碳素钢钢种以屈服强度数值区分,其钢号表示方法为:屈服强度的汉语拼音字首 Q、屈服强度数值、质量等级符号及冶炼时的脱氧方法四部分按顺序组成,如 Q235—A·F。

碳钢的质量分为 A、B、C 及 D 四个等级。A 级不做冲击试验。B 级做常温冲击试验, V 型缺口。C 与 D 级作重要的焊接结构,有更多的质量检验要求。

为适应各种使用要求,碳钢冶炼工艺中有不同的脱氧方法,如只用弱脱氧剂 Mn 脱氧,脱氧不完全,这时钢液往钢锭中浇注后,钢液在锭模中发生下列自脱氧反应



钢液中放出大量 CO 气体,出现“沸腾”现象,这种冶炼方法所得的钢材叫沸腾钢,用代号 F 表示。如脱氧不完全的 Q235—A 钢,标记为 Q235—A·F。

若在熔炼过程中加入硅、铝等强氧化剂,钢液完全脱氧,则称镇静钢,用代号 Z 表示。Z 在牌号中可不标出,如脱氧完全的 Q235A 钢,标记为 Q235—A。

脱氧情况介于以上二者之间时,称半镇静钢,用代号 b 表示,如 Q235—A·b。

采用特殊脱氧工艺冶炼时脱氧完全,称特殊镇静钢。用代号 TZ 表示,牌号中也可不标出。

普通碳素钢有 Q195、Q215、Q235、Q255 及 Q275 五个钢种。各个钢种的质量等级及其与《GB700—79》中规定的钢号对照,参考附表 4。

Q235 屈服强度为 235MPa,分 A、B、C 及 D 四个等级,其中 Q235—A 有良好的塑性、韧性及加工工艺性,价格比较便宜,在化工设备制造中应用极为广泛。Q235—A 板材用作常温低压设备的壳体和零部件, Q235—A 棒材和型钢用作螺栓、螺母、支架、垫片、轴套等零部件,还可制作阀门、管子、管件等等。

2) 优质钢 优质钢与普通钢不同之处在于前者含硫、磷有害杂质元素较少,其冶炼工艺严格,钢材组织均匀,表面质量高,同时保证钢材的化学成分和力学性能,但成本较高。

优质碳钢的编号仅用两位数字表示,钢号顺序为08、10、15、20、25、30、35、40、45、50、…80等。钢号数字表示钢中平均含碳量的万分之几。如45号钢表示钢中含碳量平均为0.45% (0.42%~0.50%)

含碳量低于0.30%的称优质低碳钢,有08、10、15、20、25。它们强度较低,但塑性好,焊接性能好。在化工设备制造中常用作垫片包皮(08、10)、热交换器列管、设备接管、法兰等。含碳量在0.27%~0.60%之间者称优质中碳钢,有30、35、40、45、50与55。它们强度较高、韧性较好,但焊接性能较差,不适宜做化工设备的壳体。35号钢常用作换热设备管板,强度要求较高的螺栓螺母等。45号钢常用作化工设备中的传动轴(搅拌轴),平均含碳量在0.6%以上者称优质高碳钢,钢号有60、65、70、80。它们的强度与硬度较高。60、65钢主要用来制造弹簧。70、80钢用来制造钢丝绳等。

优质钢中若含锰量较高,钢号中将标有Mn元素。如30Mn、40Mn…等。30Mn中数字30代表平均含碳量为0.3%,标出Mn表示其含锰量较高,达0.7~1.0%

为适应各种工业用钢的特殊要求,我国发展了许多专门用途的钢材,如锅炉用钢、压力容器用钢、焊接气瓶用钢等。它们的编号方法是在钢号后面分别加注g、R、HP等。这类钢质地均匀、杂质含量低,能满足某些力学性能的特殊检验项目要求。制造锅炉用的碳钢,牌号有20g、16Mng。它们与16MnR、20HP等钢种相同。常用作制造压力容器。

3. 碳钢的品种及规格

碳钢的品种有钢板、钢管、型钢、铸钢、锻钢等。

1) 钢板 钢板分薄钢板和厚钢板两大类。薄钢板厚度有0.2~4mm的冷轧与热轧两种。容器制造中主要用热轧厚钢板。钢板厚度大于4~6mm时,其厚度间隔为0.5mm;厚度大于6~90mm时,间隔为1mm;厚度大于30~60mm时,间隔为2mm。

一般碳素钢板材有Q235-A、Q235-A·F、08、10、15、20、20g等。普通低合金钢板有16Mn、16MnR、15MnV等。还有不锈钢复合钢板、塑料复合钢板等品种。中厚钢板可用来制作容器、气柜及塔器等设备的外壳。

2) 钢管 钢管有无缝钢管和有缝钢管两类。普通无缝钢管常用材料有10、15、20、16Mn等。除此,尚有专门用途的无缝钢管,如热交换器用钢管、化肥用高压无缝管、石油裂化用无缝管、锅炉用无缝管等。有缝管常见的有水管,工程上称水、煤气输送管,分镀锌(白铁管)和不镀锌(黑铁管)两种。每一种又都有带螺纹和不带螺纹之分。

3) 型钢 型钢常用以下几种:圆钢与方钢有Q235-A·F、20、25、45及普通低合金钢及合金钢,主要用来制造各类轴件。扁钢有Q235-A、Q235-A·F、20及16Mn等,常用作各种浆叶。角钢、工字钢及槽钢有Q235-A、Q235-A·F、16Mn等,可做各种设备的支架、塔盘支承及各种加强结构。

4) 铸钢和锻钢 铸钢用ZG表示,牌号有ZG25、ZG35等,用于制造各种承受重载荷的复杂零件,如泵壳、阀门、泵叶轮等。锻钢有08、10、15、…、50等牌号。石油化工容器用锻件一般采用20、25、16Mn、1Cr18Ni9等材料,用以制作管板、法兰、顶盖等。

四、铸铁

工业上常用的铸铁,其含碳量约为2.5%~4.0%,含有S、P、Si、Mn等杂质。