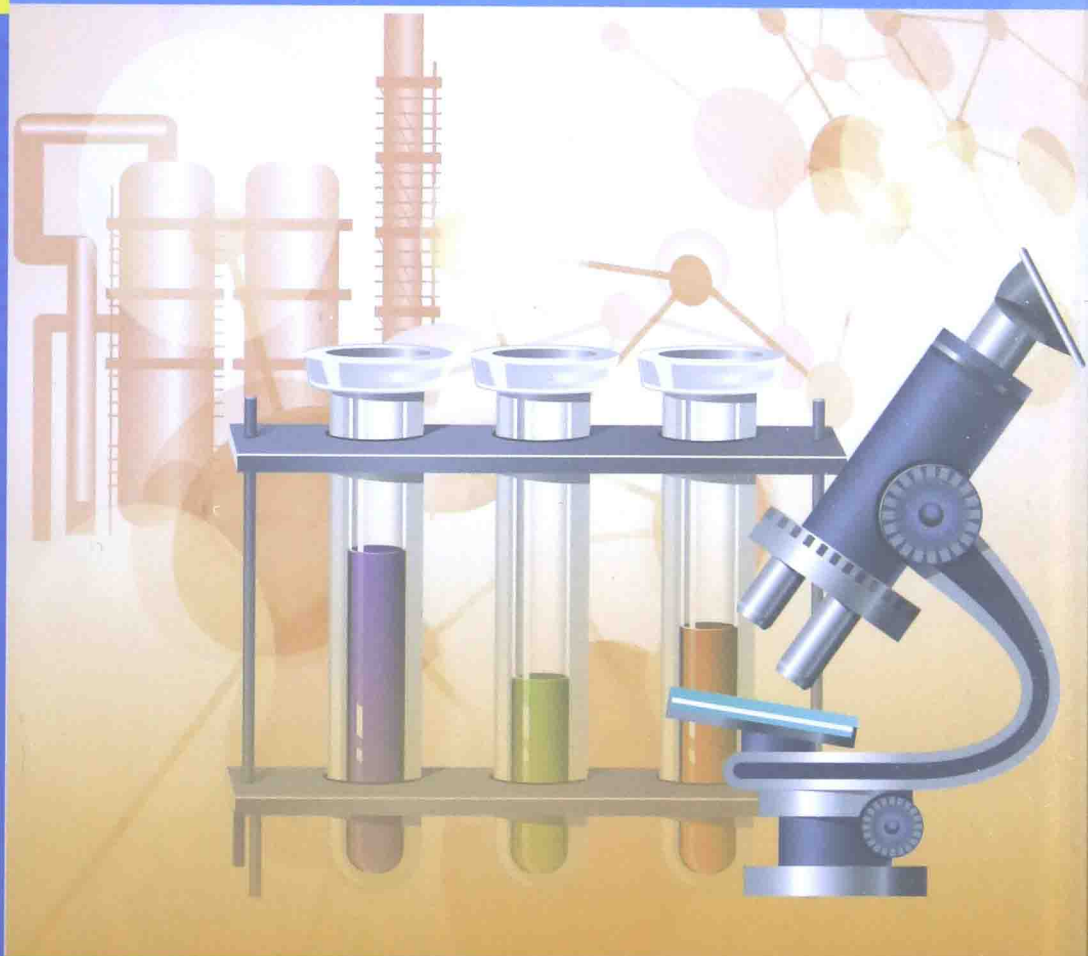


中央广播电视大学教材

HUAGONG SHEBEI SHIYONG YU WEIHU

化工设备使用 与维护

© 许春树 主编



中央广播电视大学出版社

中央广播电视大学教材

化工设备使用与维护

许春树 主编



中央广播电视大学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

化工设备使用与维护/许春树主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2012. 7

中央广播电视大学教材

ISBN 978 - 7 - 304 - 05630 - 8

I. ①化… II. ①许… III. ①化工设备 - 使用方法 - 广播电视大学 - 教材 ②化工设备 - 维修 - 广播电视大学 - 教材 IV. ①TQ050. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 132124 号

版权所有, 翻印必究。

中央广播电视大学教材

化工设备使用与维护

许春树 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 58840200

总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 杜建伟

责任版式: 张利萍

责任编辑: 王国华

责任校对: 王 亚

责任印制: 赵联生

印刷: 北京集惠印刷有限责任公司

印数: 0001 ~ 1500

版本: 2012 年 7 月第 1 版

2012 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 15 字数: 332 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 05630 - 8

定价: 22.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前 言

本书是根据中央广播电视大学开放教育应用化工技术专业（专科）人才培养目标编写的。

本书从广播电视大学开放教育的特点出发，突出了“以应用为目的，以能力培养为目标”的教育理念，体现了“以必需、够用为度”的原则。精心选择教学内容，全书紧密联系实际，内容精练，资料翔实，实用性强。每章后均附有自我测评。

课程的主要内容包括化工设备基础知识，化工生产中常用的换热设备、塔设备、反应设备、管道和阀门、泵、压缩机、离心机等设备的使用与维护，典型化工设备的运行管理。

全书共9章，包括化工设备基础知识、换热设备的使用与维护、反应设备的使用与维护、塔设备的使用与维护、管道和阀门的使用与维护、泵的使用与维护、压缩机的使用与维护、离心机与风机介绍、典型化工设备的运行管理等内容。

本书由天津渤海职业技术学院高级工程师、副教授许春树担任主编。许春树编写第1章、第2章、第4章、第6章、第8章、第9章；天津渤海职业技术学院张翠宣副教授编写第3章；天津渤海职业技术学院兰俊平副教授编写第5章；天津渤海职业技术学院李松涛副教授编写第7章。全书由许春树统稿，由天津大学化工学院柴诚敬教授担任主审。在本书编写过程中得到天津大沽化工有限公司衣品卿副总工程师、天津渤化集团天津化工厂邱泽勤副总工程师、天津渤海职业技术学院徐红升教授、天津渤海职业技术学院简华副教授等的大力支持，编者在此表示衷心的感谢。

鉴于学科内容的不断发展变化，加之作者知识和写作水平有限，书中难免存在不妥甚至错误之处，欢迎专家和读者指正。

编 者
2012年5月

Contents

目 录

1 化工设备基础知识	1
1.1 化工设备的应用、类型及基本要求	1
1.1.1 化工设备的应用	1
1.1.2 化工设备的类型	2
1.1.3 化工设备的基本要求	3
1.2 化工设备常用材料	4
1.2.1 金属材料的力学性能	4
1.2.2 化工设备常用金属材料	6
1.2.3 化工设备常用非金属材料	12
1.3 化工设备的腐蚀与防护	13
1.3.1 腐蚀的概念及类型	13
1.3.2 常用防腐措施	15
1.4 压力容器的构造、类型及规范	16
1.4.1 压力容器的构造	16
1.4.2 压力容器的类型	17
1.4.3 压力容器规范介绍	17
1.5 钢制压力容器的设计计算	18
1.5.1 容器的强度计算	18
1.5.2 设计参数的确定	20
1.5.3 容器的耐压试验	24
1.6 压力容器的主要零部件	28
1.6.1 法兰连接	28
1.6.2 开孔与补强	36
1.6.3 人孔(手孔)结构	37
1.6.4 设备的支座	38
本章小结	41
自我测评	41

2	换热设备的使用与维护	43
2.1	换热设备的应用及类型	43
2.1.1	换热设备的应用	43
2.1.2	换热设备的类型	44
2.1.3	换热设备性能对比及选择	46
2.2	换热设备的结构	47
2.2.1	管壳式换热器的类型及特点	47
2.2.2	管壳式换热器的结构	50
2.2.3	管壳式换热器的标准	55
2.2.4	其他类型换热设备简介	57
2.3	换热设备的使用与维护	61
2.3.1	换热器的操作	62
2.3.2	换热器的日常维护	62
2.3.3	换热器的故障及其处理办法	64
2.3.4	换热器的试压及维护顺序	64
2.3.5	换热器的清洗(扫)	65
	本章小结	67
	自我测评	67
3	反应设备的使用与维护	69
3.1	反应设备的应用及类型	69
3.1.1	反应设备的应用	69
3.1.2	反应设备的类型	70
3.2	反应设备的构造及特点	70
3.2.1	釜式反应器	70
3.2.2	管式反应器	73
3.2.3	鼓泡塔式反应器	74
3.2.4	固定床反应器	75
3.2.5	流化床反应器	75
3.3	反应设备的使用与维护	76
3.3.1	釜式反应器的运行与操作	76
3.3.2	固定床反应器的操作与维护	80
	本章小结	83
	自我测评	84

4 塔设备的使用与维护	85
4.1 塔设备的应用及类型	85
4.1.1 塔设备的应用	85
4.1.2 塔设备的一般要求	86
4.1.3 塔设备的分类	87
4.2 塔设备的结构	89
4.2.1 板式塔	89
4.2.2 填料塔	97
4.2.3 板式塔与填料塔的比较	100
4.3 塔设备的使用与维护	101
4.3.1 精馏塔的开、停车与调节	101
4.3.2 塔设备的巡回检查内容及方法	106
4.3.3 塔的常见故障诊断与处理	106
4.3.4 典型塔设备的操作及维护	108
本章小结	109
自我测评	110
5 管道和阀门的使用与维护	111
5.1 化工管路的使用与维护	111
5.1.1 管道的分类	111
5.1.2 管道的布置、安装及连接	116
5.1.3 管道配件	120
5.1.4 管道的使用与维护	121
5.2 阀门	123
5.2.1 阀门的分类与型号	123
5.2.2 常用阀门的结构及特点	128
5.2.3 阀门的使用与维护	132
本章小结	135
自我测评	135
6 泵的使用与维护	136
6.1 离心泵的结构与工作原理	136
6.1.1 泵的分类及应用范围	136
6.1.2 离心泵的结构与分类	137
6.1.3 离心泵的工作原理	139
6.2 离心泵的性能	140



6.2.1	离心泵的主要性能参数	140
6.2.2	离心泵的性能曲线	141
6.2.3	离心泵的工作点	143
6.2.4	离心泵的流量调节	144
6.3	离心泵的汽蚀与安装高度	147
6.3.1	离心泵产生汽蚀的原因及其危害	147
6.3.2	离心泵的允许汽蚀余量	147
6.3.3	防止离心泵汽蚀的措施	148
6.3.4	离心泵的安装高度	148
6.4	离心泵的使用与维护	149
6.4.1	离心泵的选用	149
6.4.2	离心泵的操作	152
6.4.3	离心泵的常见故障及排除方法	153
6.4.4	化工生产常用泵介绍	155
6.5	其他类型泵	159
6.5.1	往复泵	159
6.5.2	齿轮泵	161
6.5.3	螺杆泵	163
	本章小结	164
	自我测评	164
7	压缩机的使用与维护	166
7.1	压缩机的分类和应用范围	166
7.1.1	压缩机的分类	166
7.1.2	各类压缩机的应用范围	168
7.2	活塞式压缩机	168
7.2.1	活塞式压缩机的基本构造及工作过程	168
7.2.2	活塞式压缩机的主要性能参数	170
7.2.3	活塞式压缩机的使用与维护	172
7.2.4	DW-6.7/7.5-13 型氢气压缩机操作规程	181
7.3	离心式压缩机	183
7.3.1	离心式压缩机的总体结构及性能参数	183
7.3.2	离心式压缩机的工作点和性能调节	185
7.3.3	离心式压缩机的使用与维护	187
	本章小结	190
	自我测评	191

8 离心机与风机介绍	192
8.1 离心机	192
8.1.1 离心机的应用	192
8.1.2 离心机的分类和使用范围	192
8.1.3 离心机的分离因数和临界转速	195
8.1.4 离心机的结构、工作过程	197
8.1.5 离心机的使用与维护	200
8.2 风机	204
8.2.1 离心式通风机	204
8.2.2 离心式鼓风机	205
8.2.3 鼓风机操作规程	206
本章小结	207
自我测评	207
9 典型化工设备的运行管理	209
9.1 压力容器的安全附件	209
9.1.1 压力容器的超压及泄漏	209
9.1.2 安全阀	210
9.1.3 爆破片	213
9.1.4 压力表	214
9.1.5 液面计、测温仪表和安全联锁装置	215
9.2 压力容器的安全使用	217
9.2.1 压力容器的使用登记与技术档案	217
9.2.2 压力容器的安全使用	218
9.2.3 压力容器的紧急停运	220
9.2.4 压力容器安全操作规程	221
9.3 典型化工设备常见事故案例	222
9.3.1 压力容器事故案例统计及事故原因	222
9.3.2 典型压力容器爆炸案例及分析	223
9.3.3 转动设备常见事故案例	224
本章小结	225
自我测评	225
自我测评部分参考答案	226
参考文献	228

1 化工设备基础知识

学习目标

1. 了解化工设备的类型及在化工生产中的应用。
2. 了解化工设备常用金属材料的性能及应用、常见的化工设备腐蚀类型及防护措施；能够根据化工设备不同使用条件，对照标准进行选材。
3. 了解压力容器的类型及主要的标准规范，理解压力容器设计参数的含义。
4. 掌握压力容器强度计算的方法、主要零部件的构造；能够根据工艺条件，对压力容器进行强度核算，正确选用主要零部件。

1.1 化工设备的应用、类型及基本要求

1.1.1 化工设备的应用

化工设备是化学工业生产中所用的机器和设备的总称。下面以邻苯二甲酸二辛酯（聚氯乙烯增塑剂，简称 DOP）的生产为例说明化工设备在生产中的应用。图 1-1 是 DOP 酯化工序的部分生产流程。

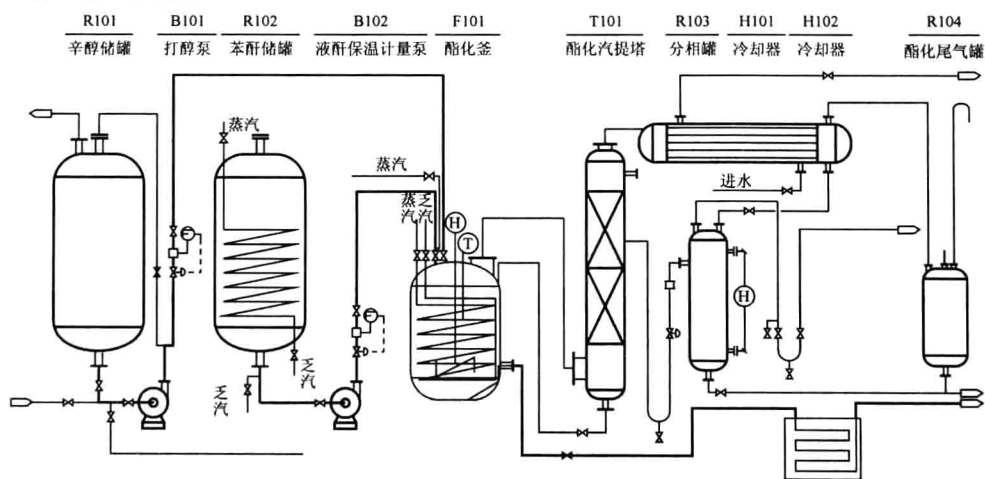


图 1-1 DOP 酯化工序的部分生产流程



经蒸汽加热，过量的辛醇和苯酐在酯化釜（F101）中进行减压酯化反应，反应生成的水受热汽化，经酯化汽提塔（T101）上升至冷却器（H101），转变为液态。水混合物被收集到分相罐内：分相罐上层——辛醇回流入塔内，与上升的气态醇水混合物换热传质；分相罐下层——水在酯化完成后排至中和第一碱水沉降罐。回流醇采取釜顶回流方式，返回釜内继续参加反应。

从图 1-1 可看出，DOP 的生产使用了酯化反应釜、塔、换热器、泵、储罐以及管路和阀门等设备。化工生产就是以液体（或气体和粉体）等流动性物料为原料，经过各种工艺过程（存储、原料预处理、化学反应以及反应产物的分离和精制）的加工获得不同的产品的过程。实现这些过程所用的机器和设备，常常都被划归为化工设备。

1.1.2 化工设备的类型

化工设备按其在生产中的作用可分为以下六种类型。

1. 储存设备

储存设备是用来盛装生产用的原料气、液体、液化气等物料的设备，如图 1-1 DOP 生产中的辛醇储罐（R101）、苯酐储罐（R102）。这类设备属于结构相对比较简单的容器类设备，所以又称为储存容器或储罐，按其结构特征分为立式储罐、卧式储罐及球形储罐等。

2. 反应设备

反应设备的作用是完成一定的化学和物理反应，其中化学反应是起主导和决定作用的，物理过程是辅助的或伴生的，如图 1-1 DOP 生产中的酯化釜（F101）等。反应设备的种类很多，有的已标准化。

3. 加热设备

加热设备是将原料加热到一定的温度，使其汽化或为其进行反应提供足够的热量的设备，如 DOP 生产中的汽水混合加热炉、石油化工生产中的管式加热炉。

4. 换热设备

换热设备将热量从高温流体传给低温流体，以达到加热、冷凝、冷却的目的，并从中回收热量，节约燃料，如图 1-1 DOP 生产中的冷却器（H101）。

5. 传质设备

传质设备利用物料之间某些物理性质（如沸点、密度、溶解度等）的不同，将处于混合状态的物质（气态或液态）中的某些组分分离出来。在进行分离的过程中，物料之间发生的主要是质量的传递，故称其为传质设备，如图 1-1 DOP 生产中的酯化汽提塔（T101）等。这类设备就其外形而言，大多呈细而高的塔状，所以通常也叫塔设备。

6. 流体输送设备

流体分为液体和气体。通常，将输送液体、提高液体压力的机械称为泵；将输送气体的机械按所产生压强的高低分别称为压缩机、鼓风机、通风机和真空泵。流体输送设备的作用

是将原料、成品、半成品从一个设备输送到另一个设备，或者使其压力升高以满足化工工艺的要求，包括各种泵、压缩机、鼓风机以及与之相连接的管道和阀门，如图 1-1 DOP 生产中的打醇泵（B101）、液酞保温计量泵（B102）；此外还有中和离心泵 B201、真空泵 B301、压滤泵 B401、空压机 B402（图 1-1 中限于篇幅未画出）和 IH80-65-160 化工离心泵等。

虽然，化工生产所用的机械设备种类繁多，但总体上可分为静设备和动设备两大类型。静设备是工作时其本身零部件之间没有或很少有相对运动的设备，包括各种储存设备、反应设备、塔设备、换热设备等，习惯上也称为化工工艺设备。这类设备在结构上外壳多为承受压力的容器，也可统称为压力容器。动设备是在正常工作时其本身零部件之间具有相对运动的设备，包括各种类型的泵、压缩机、离心机、风机等，习惯上又称为机器。流体输送设备中的许多管道是承受一定压力，并且可能引起燃爆或中毒等危险性较大的管道，我们称之为压力管道。压力容器和压力管道属于特种设备，它们的使用与维护必须遵守《特种设备安全监察条例》以及有关压力容器、压力管道的安全技术监察规程等法规。本书将化工工艺设备和机器统称为化工设备，主要介绍换热设备、反应设备、塔设备、管道和阀门、泵、压缩机、离心机等常用化工设备的使用与维护。

1.1.3 化工设备的基本要求

化工生产具有高温（低温）、高压（真空）、易爆、有毒、有腐蚀以及生产设备大型化、生产过程连续性和自动化程度高等特点，因此化工设备要满足下面几项基本要求。

1. 安全可靠要求

化工生产专业性强，工艺复杂，且大多易燃易爆、有毒有害、高温高压，危险源点多，易产生事故隐患。为了保证化工生产安全可靠地进行、防止事故的发生，化工设备应该具有足够的强度、韧性、刚度、抗失稳能力、密封性和耐腐蚀性。

强度是指设备抵抗破坏的能力。因为化工设备一般承受一定内压的作用，如果压力超过材料的极限应力，设备就会产生塑性变形甚至爆炸破坏，所以化工设备及其零部件要有足够的强度，以保证安全运行。

刚度是指设备抵抗变形或保持原有形状的能力。刚度与设备结构、尺寸及材料等有关；强度足够的设备刚度不一定满足要求。对于法兰连接，如果法兰刚度不够、变形过大，会导致密封失效而泄漏。对于外压力容器（如夹套搅拌反应釜中内筒体、真空容器等），有时它们的失效也不是因为强度不够发生破坏，而是由于设备丧失其原有的形状，即“失稳”（压扁），设备失去应有的功能。因此，刚度不足“失稳”也是化工工艺设备失效的主要形式之一，所以外压力容器、真空容器等化工设备应该具有足够的刚度，以防设备“失稳”。

密封性是指化工设备在正常操作条件下阻止介质泄漏的能力。化工设备必须要有良好的密封性，否则易燃、易爆、有毒介质泄漏出来，不仅使生产和设备本身受到损失，而且威胁操作人员的安全、污染环境，甚至引起爆炸，造成极其严重的后果。因此，良好的密封性是化工设备安全使用的必要条件。

耐腐蚀性也是保证化工设备安全运行的一项基本要求。化工生产中的酸、碱、盐腐蚀性很强，其他许多介质也都有不同程度的腐蚀性，腐蚀不仅使设备壁厚减薄、使用寿命缩短，而且有可能改变材料的组织和性能，在应力集中及两种材料或构件焊接处等区域造成更为严重的腐蚀，结果引起泄漏或爆炸。所以要选择良好的耐腐蚀材料或采取相应的防腐蚀措施，以延长设备的使用寿命和提高运行的安全性。

2. 工艺性能要求

化工设备是为工艺生产过程服务的，这就是要求设备从结构形式和性能特点上应能在指定的生产条件下完成指定的生产任务。例如，反应设备的反应速率、换热设备的传热量、塔设备的传质效率、储存设备的储存量等要能满足工艺性能要求；此外还应有较高的生产效率和较少的资源消耗。

3. 便于使用、维护，经济合理和环保要求

在满足工艺要求和安全可靠运行的前提下，要求设备结构合理，节省材料，制造简单，成本低廉，运输与安装方便，操作、控制及维护简便，节能环保，基本建设投资和日常维护、操作费用低，以获得较好的综合经济效益。

1.2 化工设备常用材料

1.2.1 金属材料的力学性能

1. 材料的弹性模量

将材料做成标准试件在试验机上进行拉伸是确定材料性能的基本试验方法。图 1-2 是拉伸前、后的标准试件，图中 L_0 是原始标距，即两标点间的距离， S_0 为试件原始横截面积， F 为拉力。物体受到外力作用后其内部各部分之间产生了相互作用力，称之为内力，单位面积上的内力称为应力，用 R 表示，单位为 Pa 或 MPa，应力大小 $R = F/S_0$ 。物体受到外力作用后其原始标距的增量称为伸长，原始标距的伸长与原始标距 L_0 的比值称为伸长率，用 e 表示。材料的力学性能可用应力 - 伸长率 ($R - e$) 曲线图来描述，图的纵坐标为应力 R ，横坐标为伸长率 e (详见 GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验 第 1 部分：室温试验》)。低碳钢应用广泛，它的拉伸试验表现出来的力学性能具有代表性。低碳钢的 $R - e$ 曲线如图 1-3 所示。

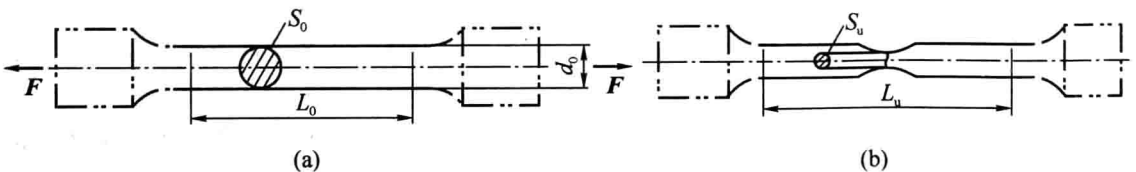
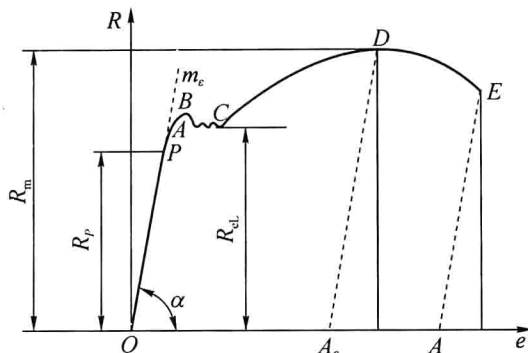


图 1-2 拉伸前、后的标准试件

(a) 试验前；(b) 试验后

图 1-3 低碳钢的 $R-e$ 曲线

2. 材料的强度和塑性

在图 1-3 中的 $R-e$ 曲线上, OP 段为直线, P 点对应的应力值称为比例极限, 记为 R_p 。在此阶段, 应力与伸长率成正比, 即满足胡克定律 $R = Ee$ 。其比值 $E = R/e$ (MPa) 称为弹性模量。 E 标志着材料抵抗弹性变形的能力, 用以表示材料的刚度。 E 值越大, 材料的刚度就越大, 也就越不容易发生弹性变形; E 值越小, 材料的弹性越好, 就越容易发生弹性变形。 E 值大小主要取决于各种材料的本性, 一些处理方法 (如热处理、冷热加工、合金化等) 对它影响很小。常用材料在常温下的弹性模量 E 值为: 钢, $20 \times 10^4 \sim 21.4 \times 10^4$ MPa; 铸铁, $17.3 \times 10^4 \sim 19.4 \times 10^4$ MPa; 铜及铜合金, $10.5 \times 10^4 \sim 15.3 \times 10^4$ MPa; 铝及铝合金, $7.0 \times 10^4 \sim 8.1 \times 10^4$ MPa。从这里可以看出, 钢的弹性模量变化范围很小, 所以, 为了提高刚度, 选择价贵的合金钢并不会比采用一般碳钢取得更明显的效果; 提高零件刚度的方法是增大横截面积或改变截面形状。金属的 E 值随温度的升高而逐渐降低。

在外力作用下, 材料抵抗变形和破坏的能力称为强度, 主要有屈服极限 R_{eL} 和强度极限 R_m 。在图 1-3 上, 当曲线超过 P 点后, 若卸去外加载荷, 则试样会留下不能恢复的残余伸长, 这种不能随载荷去除而消失的残余伸长称为塑性变形。当曲线达到 A 点时, 曲线出现水平线段, 表示外加载荷虽然没有增加, 但试样的伸长量仍自动增大, 这种现象称为材料的屈服。 BC 段为屈服阶段, 此阶段所对应的最低应力值称为屈服强度, 记为 R_{eL} 。对于没有屈服现象的塑性材料, 取 $e = 0.2\%$ 的塑性伸长相对应的应力为名义屈服极限, 用 $R_{0.2}$ 表示。在图 1-3 上, 材料发生屈服后, 在 CD 阶段材料又恢复了抵抗伸长的能力, 这种现象称为材料的强化, CD 曲线为强化阶段。在 D 点应力达最大值, 即强度极限 R_m 。过 D 点以后, 试样产生“缩颈”, 迅速伸长, 应力明显下降, 最后断裂, DE 阶段称为“缩颈”阶段。最大应力值 σ_b 称为抗拉强度或强度极限。

材料在外力作用下, 产生永久残余伸长而不被断裂的能力, 称为塑性。工程上常用断后伸长率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

(1) 断后伸长率。试样在拉断后的相对伸长量称为断后伸长率, 用符号 A 表示, 即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中： L_0 ——试样原始标距长度，mm；

L_u ——试样拉断对接后测量出的标距长度，mm。

(2) 断面收缩率

试样被拉断后横截面积的相对收缩量称为断面收缩率，用符号 Z 表示，即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中： S_0 ——试样原始的横截面积， mm^2 ；

S_u ——试样拉断处的横截面积， mm^2 。

断后伸长率和断面收缩率的值越大，表示材料的塑性越好。

3. 材料的硬度

硬度是指材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度测试应用得最广的是压入法，即在一定载荷作用下，用比工件更硬的压头缓慢压入被测工件表面，使材料局部塑性变形而形成压痕，然后根据压痕面积大小或压痕深度来确定硬度值。工程上常用的硬度指标有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC）和维氏硬度等。布氏硬度一般用于较软的材料，如有色金属、热处理之前或退火后的钢铁。洛氏硬度一般用于较硬的材料，如热处理后的材料等。维氏硬度试验测量范围较宽，从较软材料到超硬材料，几乎涵盖各种材料。

4. 材料的冲击韧性

冲击韧性是指材料在冲击载荷作用下，抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力，通常用冲击韧性指标 a_k 来度量。 a_k 是试件在一次冲击实验时，单位横截面积（ m^2 ）上所消耗的冲击功（MJ），其单位为 MJ/m^2 。 a_k 值越大，表示材料的冲击韧性越好。

5. 材料的高温蠕变

一般情况下，金属在高温（碳钢在 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 以上，低合金钢在 $450\text{ }^\circ\text{C}$ 以上，不锈钢在 $550\text{ }^\circ\text{C}$ 以上）和低于屈服强度的应力作用下，材料的塑性变形量会随着时间的延续而增加，这种现象就叫蠕变。材料在高温下的力学性能指标有蠕变极限 σ'_n 、持久极限 σ'_D 等。

以上几项性能指标，都是材料在静载荷作用下的性能指标。而许多零件和制品经常受到大小及方向变化的交变载荷，在这种载荷的反复作用下，材料常在远低于其屈服强度的应力下即发生断裂，这种现象称为“疲劳”。材料在规定次数（一般钢铁材料取 10^7 次，有色金属及其合金取 10^8 次）的交变载荷作用下而不引起断裂的最大应力称为“疲劳极限”。

1.2.2 化工设备常用金属材料

钢是化工设备常用的金属材料。钢是对碳质量分数介于 $0.02\% \sim 2.11\%$ 的铁合金的统称，按化学成分可分为非合金钢（碳素钢）、合金钢两大类。另外，还有复合钢板、铸铁及有色金属等材料。

1. 非合金钢

非合金钢是以铁为主，碳的质量分数小于2%，并含有少量的硅、锰、硫、磷杂质元素的铁碳合金。实际上碳的质量分数比小于2%小很多，一般在1.3%以下。非合金钢按照碳的质量分数分为低碳钢（ $0.0218\% < w_c \leq 0.25\%$ ）、中碳钢（ $0.25\% < w_c \leq 0.60\%$ ）、高碳钢（ $0.60\% < w_c \leq 1.30\%$ ）；按照冶炼质量等级分为普通质量非合金钢（ $w_s = 0.035\% \sim 0.050\%$ ， $w_p = 0.035\% \sim 0.045\%$ ）、优质非合金钢（ $w_s \leq 0.035\%$ ， $w_p \leq 0.035\%$ ）和特殊质量非合金钢（ $w_s \leq 0.025\%$ ， $w_p \leq 0.025\%$ ）三类；按照用途分为碳素结构钢、碳素工具钢；按照冶炼时脱氧程度的不同分为沸腾钢（F）、镇静钢（Z）、半镇静钢（b）和特殊镇静钢（TZ）。另外还可以按专业、冶炼方法等进行分类。一般用于压力容器受压元件的钢板应当是低碳（ $w_c \leq 0.22\%$ ）并且磷、硫元素含量很低的专用钢。硫在钢中存在会使钢产生“热脆”现象，磷在钢中存在会使钢在低温时产生“冷脆”现象，因此，磷、硫是有害元素。碳素结构钢不得用于GC1级管道，沸腾钢和半镇静钢不得用于有毒、可燃介质管道。

2. 合金钢

合金钢是在普通碳素钢基础上添加适量的一种或多种合金元素而构成的合金。合金钢可以获得各种特殊性能，并且其强度、韧性、耐腐蚀性、低温和高温性能等均优于相同含碳量的非合金钢。合金钢种类很多，通常按总合金元素质量分数高低分为低合金钢（含量 $< 5\%$ ）、中合金钢（含量为 $5\% \sim 10\%$ ）、高合金钢（含量 $> 10\%$ ）；按照性能和使用特性分为工程结构合金钢、机械结构合金钢、滚动轴承钢、合金工具钢与高速钢、不锈钢和耐热钢、特殊物理性能钢等。

低合金钢是一类可焊接的低碳低合金结构用钢，大多在热轧或正火状态下使用。低合金钢按照性能和使用特性，可分为可焊接的低合金高强度结构钢、低合金耐候钢、低合金钢筋钢、铁道用低合金钢、矿用低合金钢和其他低合金钢等。

化工设备常用部分碳素结构钢和低合金结构钢的性能及应用见表1-1。

用于压力容器受压元件的钢材，一般要求 $w_p \leq 0.030\%$ 、 $w_s \leq 0.020\%$ ；标准抗拉强度下限值大于等于540 MPa的钢材，磷、硫含量要求为 $w_p \leq 0.025\%$ 、 $w_s \leq 0.015\%$ ；用于设计温度低于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 并且钢材标准抗拉强度下限值小于540 MPa的钢材， $w_p \leq 0.025\%$ 、 $w_s \leq 0.012\%$ ；用于设计温度低于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 并且钢材标准抗拉强度下限值大于等于540 MPa的钢材，磷、硫含量要求为 $w_p \leq 0.020\%$ 、 $w_s \leq 0.010\%$ 。用于焊接的非合金钢和低合金钢钢材，其含碳量不应当大于0.25%。压力容器用非合金钢和合金钢、低温压力容器用低合金钢可以查《固定式压力容器》（GB 150—2011）、《锅炉和压力容器用钢板》（GB 713—2008）、《低温压力容器用低合金钢钢板》（GB 3531—2008）、《压力容器用调质高强度钢板》（GB 19189—2011）等标准。压力容器应选用已取得压力容器专用钢板特种设备制造许可证的钢板生产厂家生产的钢板，或按《固定式压力容器安全技术监察规程》（TSG R0004—2009）规定通过技术评审的钢板。部分压力容器用非合金钢和低合金钢钢板使用性能见表1-2。



表 1-1 化工设备常用部分碳素结构钢和低合金结构钢的性能及应用

钢号	质量等级	R_{eL} / MPa	R_m / MPa	A	Z	性能及应用
碳素结构钢						
Q195	—	195	315	33%	—	强度较低, 用于制作承受载荷不大的金属结构件、铆钉、垫片、地脚螺丝、冲压件及焊接件等
Q235	A、B、C、D	235	375	26%	—	强度、塑性、焊接性良好, 用于制作一般的金属结构件、钢筋、型钢螺栓、螺母、轴、非受压容器
Q275	—	275	490	20%	—	强度较高, 用于制作承受中等载荷的零件, 如键、销、转轴、拉杆及链轮等
低合金高强度结构钢						
Q295	A、B	295	390	23%	—	强度较高, 可以大幅度减小结构质量, 节约钢材, 特别用于桥梁、车辆及压力容器等方面, 其中 Q345 (16Mn) 应用最广泛
Q345	A~E	345	470	21%	—	
Q460	C、D、E	460	550	17%	—	
优质碳素结构钢 (含部分低合金钢)						
10	—	335	205	31%	55%	压力容器用钢; 强度、硬度低, 塑性、韧性高, 冷塑性加工性和焊接性优良, 切削加工性能欠佳
20	—	410	245	25%	55%	
40	—	570	335	19%	45%	综合力学性能好, 不适合制造压力容器的壳体, 适合做轴、齿轮, 45 钢应用最广
45	—	600	355	16%	40%	
65	—	695	410	10%	30%	强度、硬度高, 耐磨性、弹性好, 切削性能中等, 焊接性不佳, 可做弹簧、钢丝绳等
65Mn	—	695	410	10%	30%	

注: ① 碳素结构钢 (包括部分低合金结构钢) 的牌号通常由“前缀符号+强度值 (以 N/mm^2 为单位, 如 Q 代表屈服强度, 其他见标准) + 钢的质量等级 (A、B、C、D、E、F 等) + 脱氧方式符号 (F、Z、TZ 等) + 产品用途、特性和工艺方法符号 (R、G、DR、NH 等)”来表示。例如, Q345R 中的 345 表示屈服强度是 345 MPa, R 表示锅炉、压力容器专用钢板。

② 表中优质碳素结构钢钢号栏数字表示平均碳的质量分数的万分数。如 45 钢表示碳的质量分数为 0.45%; 较高含锰量时可在数字后面加元素符号 Mn, 如 65Mn 也可称为低合金结构钢。