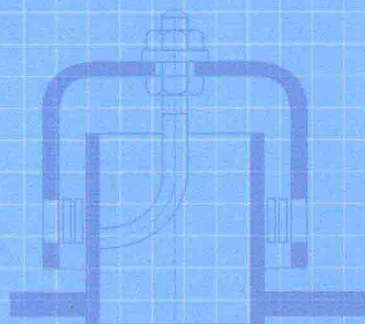
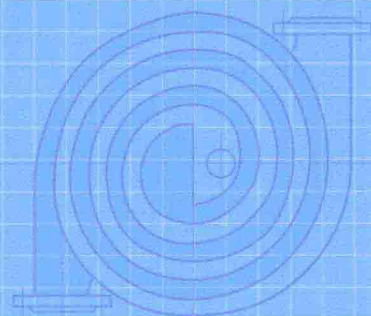
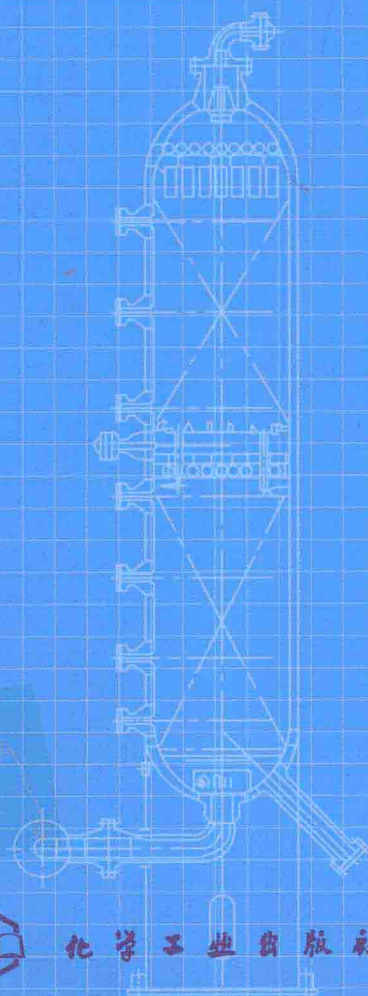




L I A N Y O U S H E B E I

炼油设备

马秉骞 主编



化学工业出版社

炼油设备

马秉骞 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从炼油生产的实际出发,对常用设备的材质选用、标准规范、强度计算、结构特点、作用原理、使用维护等方面进行了较为详细的介绍。内容包括:炼油设备所用材质及选用、标准规范介绍、工艺设备强度计算及主要零部件;换热设备、塔设备、反应设备、储存设备、加热设备;液体输送设备、气体压缩及输送设备;过滤机、烟气轮机、工业汽轮机、套管结晶器等其他常用炼油设备。

本书是专门针对炼油、化工企业生产一线的技术人员、管理人员和技术工人而编写的,可作为企业员工的岗位培训教材;也可作为各类院校炼油、化工类专业,化工机械专业教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

炼油设备/马秉骞主编. —北京:化学工业出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-122-16931-0

I. ①炼… II. ①马… III. ①石油炼制-机械设备 IV. ①TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 065690 号

责任编辑:高 钰
责任校对:宋 玮

文字编辑:项 激
装帧设计:刘丽华

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 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$ 字数 539 千字 2013 年 7 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:48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

石油炼制工业是把原油经过一系列工艺过程的加工，得到汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡及其他化工产品的过程工业，是整个石油工业的重要组成部分。炼油生产的各种工艺过程都是要借助于不同的设备来实现的，所以，在炼油厂中，各种生产装置都是由不同类型的设备所构成的，这些设备性能的优劣及使用者对其掌握的程度，将直接关系到炼油生产的正常进行。

本书是专门针对炼油、化工企业生产一线的技术人员、管理人员和技术工人而编写的，可作为企业员工的岗位培训教材，也可供各类院校炼油、化工类专业、化工机械专业作为教学用书。

本书从炼油生产的实际出发，对常用设备的材质选用、标准规范、强度计算、结构特点、作用原理、使用维护等方面进行了较为详细的介绍。内容包括：炼油设备所用材质及选用、标准规范介绍、工艺设备强度计算及主要零部件；换热设备、塔设备、反应设备、储存设备、加热设备；液体输送设备、气体压缩及输送设备；过滤机、烟气轮机、工业汽轮机、套管结晶器等其他常用炼油设备。

本书由马秉骞教授任主编。第一、第二、第七、第八章及第九章的第一、二、三节由马秉骞编写，第三、第四章及第十章的第一、二、三、五、六节由王宇飞编写，第五、第六章由张春兰编写，第九章的第四节、第十章的第四节由兰州石化公司卢世忠高级工程师编写。全书统稿工作由马秉骞完成。本书插图由吴笛老师协助完成。

在此，对吴笛老师、有关作者及所有对本书的出版给予支持和帮助的同志，表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2013 年 1 月

目 录

第一章 炼油设备概述	1
第一节 炼油设备的类型及应用	1
一、炼油设备的应用	1
二、炼油设备的类型	2
三、炼油设备的基本要求	3
第二节 炼油设备常用材料	4
一、金属材料的力学性能	4
二、炼油设备常用金属材料	7
三、非金属材料	10
第三节 炼油设备的腐蚀与防护	11
一、腐蚀的概念及类型	11
二、常用防腐措施	12
三、炼油设备常见腐蚀与防护	13
第二章 炼油设备的强度计算及主要零部件	16
第一节 压力容器的分类及标准规范介绍	16
一、压力容器的类型	16
二、压力容器规范介绍	18
第二节 中低压容器设计	20
一、压力容器的强度计算	20
二、设计参数的确定	22
三、容器的压力试验	24
第三节 炼油设备的主要零部件	32
一、法兰连接	32
二、容器的开孔与补强	39
三、容器的支座	40
四、人孔、手孔结构	43
第三章 换热设备	47
第一节 换热设备的类型及工作过程	47
一、换热设备的分类	47
二、评价比较换热设备的指标	48
三、换热设备的工作过程	49
四、换热设备的选型	51
第二节 管壳式换热器	51

一、管壳式换热器的结构类型及特点	51
二、管壳式换热器的分程及流体流程	54
三、管壳式换热器的主要零部件	57
四、管壳式换热器的检修与维护	61
第三节 其他类型的间壁式换热设备	63
一、水浸式、喷淋式冷却器	63
二、空气冷却器	64
三、板面式换热器	66
四、热管式换热器	69
第四章 塔设备	72
第一节 塔设备的类型及工作过程	72
一、塔设备的分类	72
二、对塔设备的基本要求	73
三、塔设备的工作过程	74
第二节 板式塔	76
一、塔盘的形式及特点	76
二、板式塔的适宜工作区	79
三、板式塔的主要零部件	80
四、塔设备的检修	86
第三节 填料塔	87
一、填料及支承结构	88
二、液体分布装置	89
三、板式塔与填料塔的比较	91
第五章 反应设备	94
第一节 反应设备的类型及工作过程	94
一、反应设备的分类	94
二、反应设备的基本要求	95
三、反应设备的工作过程	96
第二节 搅拌釜式反应器	96
一、搅拌釜式反应器的特点	96
二、搅拌釜式反应器的结构	96
第三节 催化裂化反应器和再生器	100
一、流化催化裂化反应-再生装置类型	100
二、催化裂化反应器的结构	103
三、催化裂化再生器的结构	113
四、三阀	122
五、催化裂化反应器、再生器的检修	123
第四节 催化重整反应器	126

一、催化重整反应器的类型和结构	126
二、重整再生器	133
第五节 加氢裂化反应器	135
一、加氢反应器的类型和结构	135
二、沸腾床加氢裂化反应器	142
三、低反应热加氢反应器	143
四、加氢反应器的腐蚀与防护	143
第六章 加热设备	149
第一节 管式加热炉的类型及应用	149
一、管式加热炉的分类	149
二、管式加热炉的总体结构	150
三、管式加热炉的工作过程	152
四、管式加热炉的炉型及比较	152
第二节 管式加热炉的主要部件	157
一、管式加热炉的炉体及炉管	157
二、管式加热炉的燃烧器	160
三、管式加热炉的空气预热器	163
第三节 管式加热炉的操作与维护	166
一、加热炉的主要技术指标	166
二、管式加热炉的操作	170
三、管式加热炉的维护与保养	173
四、管式加热炉的检修	174
五、管式加热炉故障处理	177
第七章 储存设备	179
第一节 储存设备的类型及应用	179
一、炼油生产用储存设备的类型	179
二、储罐的材质及制造	181
三、储罐的容量	181
第二节 立式油罐	181
一、立式油罐的总体构造及类型特点	181
二、立式油罐的主要附件	187
三、立式油罐的使用、维护与检修	195
第三节 其他类型储存设备	201
一、卧式储罐	201
二、球形储罐	202
第八章 液体输送设备	208
第一节 泵的分类	208

一、按工作原理分类·····	208
二、按用途分类·····	209
三、各类泵的适用范围·····	209
第二节 离心泵的构造与性能·····	209
一、离心泵的工作原理·····	210
二、离心泵的基本构造及分类·····	210
三、离心泵的主要零部件·····	212
四、离心泵的主要性能参数·····	217
五、离心泵的管路系统及流量调节·····	220
六、离心泵的汽蚀·····	226
七、离心泵的安装高度·····	228
第三节 离心泵的选择使用与维护·····	228
一、离心泵的选用·····	228
二、离心泵的操作·····	231
三、离心泵的常见故障及排除方法·····	232
四、炼油生产常用离心泵介绍·····	233
第四节 其他常用泵类设备·····	235
一、往复泵·····	235
二、齿轮泵·····	237
三、螺杆泵·····	238
四、屏蔽泵·····	239
五、隔膜泵·····	240
六、轴流泵·····	241
 第九章 气体压缩与输送设备·····	243
第一节 气体压缩及与输送设备的类型·····	243
一、按工作原理分类·····	243
二、按用途分类·····	244
三、各类压缩机的适用范围·····	244
第二节 活塞式压缩机·····	244
一、活塞式压缩机的基本构造及其分类·····	244
二、活塞式压缩机的工作循环·····	247
三、活塞式压缩机的主要性能参数·····	249
四、多级活塞式压缩机·····	252
五、活塞式压缩机的使用与维护·····	252
第三节 离心式压缩机·····	258
一、离心式压缩机的基本构造及分类·····	259
二、离心式压缩机的主要性能参数·····	260
三、离心式压缩机的性能曲线·····	260
四、离心式压缩机的流量调节·····	263

五、离心式压缩机的使用与维护·····	267
第四节 轴流式压缩机·····	269
一、轴流式压缩机的应用·····	269
二、轴流式压缩机的基本结构·····	269
三、轴流压缩机的工作过程·····	274
四、轴流式压缩机的运行·····	280
五、轴流式压缩机的操作·····	284
第十章 其他炼油设备 ·····	290
第一节 过滤机·····	290
一、过滤机的工作原理及分类·····	290
二、板框式压滤机·····	293
三、转鼓式真空过滤机·····	295
四、过滤机的型号编制及选择·····	296
第二节 烟气轮机·····	297
一、烟气轮机的作用原理及结构·····	297
二、烟气轮机的使用·····	302
第三节 套管结晶器·····	306
一、套管结晶器的作用原理及结构·····	306
二、套管结晶器的使用·····	309
第四节 工业汽轮机·····	314
一、汽轮机的分类及工作过程·····	314
二、国产汽轮机的型号·····	316
三、工业汽轮机的本体结构·····	317
四、常见故障及处理·····	327
第五节 风机·····	328
一、离心式风机·····	328
二、罗茨鼓风机·····	332
第六节 真空泵·····	333
一、往复式真空泵·····	333
二、水环式真空泵·····	335
三、滑板式真空泵·····	336
参考文献 ·····	337

第一章 炼油设备概述

石油炼制工业是以原油为基本原料，经过各种工艺过程的加工得到汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡和石油焦等不同类型产品的过程工业，而各种工艺过程都是通过不同的设备来实现的，炼油厂的各种生产装置也都是由不同类型的设备所构成的。本章主要介绍炼油设备的种类及应用，炼油生产对炼油设备的要求，炼油设备常用金属材料的性能及选用，炼油设备的腐蚀及防护等内容。

第一节 炼油设备的类型及应用

一、炼油设备的应用

炼油生产企业的各种装置都是由不同类型的设备所构成的，石油产品是按照一定的工艺过程，利用与之相配套的设备生产出来的，如常减压装置，需要加热炉、蒸馏塔、冷换设备、电脱盐罐、气液分离罐、各种油泵、抽真空器等设备。几种典型的炼油生产装置所需的设备见表 1-1。

表 1-1 典型炼油生产装置所需的设备

序号	生产装置名称	所需的主要设备
1	常减压蒸馏	加热炉、蒸馏塔、换热器、空气冷却器、各种油泵、电脱盐罐、气液分离罐、蒸汽喷射抽真空器等
2	催化裂化	加热炉、提升管反应器、沉降器、再生器、旋风分离器、分馏塔、吸收解吸塔、空气冷却器、压缩机、各种油泵、各类容器、滑阀等
3	催化重整	加热炉、高压反应器、预分馏塔、抽提塔、甲苯分离塔、二甲苯分离塔、芳烃水洗塔、各种换热器、各种油泵、气液分离罐、脱水罐、氢气压缩机等
4	溶剂脱沥青	加热炉、抽提塔、沥青蒸发塔、沥青汽提塔、压缩机、换热器、混合冷凝器、离心泵、往复泵等
5	溶剂脱蜡	酮苯脱蜡:加热炉、套管结晶器、转鼓式真空过滤机、安全气发生机、压缩机、溶剂蒸发塔、溶剂干燥塔、溶剂回收塔、换热器、冷凝冷却器、各种泵、安全气储罐等 稀冷脱蜡:稀冷塔(这是与酮苯脱蜡的套管结晶器主要区别,其他与酮苯脱蜡基本相似)
6	催化加氢	加热炉、反应器、油水分离器、分馏塔、换热器、冷凝冷却器、新氢压缩机、循环氢压缩机、分液器、各类泵等

从表 1-1 可见，炼油生产离不开各种设备，炼油设备是炼油生产必不可少的物质技术基础，是生产力的主要因素之一，是石油产品质量保证体系的重要组成部分。炼油设备性能的优劣及使用者对其掌握的程度，将直接关系到炼油生产的正常进行，并对整个装置的产品质

量、生产能力、消耗定额以及“三废”处理和环境保护等各方面都有重大的影响。不同的炼油工艺对炼油设备提出了不同的要求，而设计合理、质量优良的新型高效炼油设备又会促使产品质量和产量的提高及消耗的降低，甚至使原来难以实现的生产工艺成为现实，生产出许多新的产品。

二、炼油设备的类型

炼油装置的生产任务不同，其所配备的设备也不尽相同。按炼油设备在生产中的作用可将其归纳为流体输送设备、加热设备、换热设备、传质设备、反应设备及储存设备等几种类型。

1. 流体输送设备

流体输送设备是将原料、成品及半成品，包括水和空气等各种液体和气体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、鼓风机以及与其相配套的管线和阀门等。这类设备的一个共同特点是它们可以用于许多场合，不仅限于炼油或化工生产，因此也称其为通用设备。

在炼油厂中，机泵、阀门和管线的用量是很大的。例如在常减压装置中，泵的投资约占总投资的5%；催化裂化装置中的“三机”（增压鼓风机、气体压缩机、主风机）的投资约占总投资的7%~8%；加氢裂化装置中机泵的动力消耗相当于整个装置能耗的60%。一个工艺装置所需的阀门数以千计，管线的总长可达上万里。所以，常把流体输送设备喻为炼油、化工厂的“动脉”。

2. 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。在炼油生产中常用的加热设备是管式加热炉，它是一种火力加热设备，按其结构特征有圆筒炉、立式炉及斜顶炉等，其中应用较多的是圆筒炉。炼油生产中所用的管式加热炉不同于其他工业中所用的一般加热炉，它是利用燃料在炉膛内燃烧时产生的高温火焰与烟气作为热源，加热在炉管中高速流动的物料，使其在管内进行化学反应或达到后续工艺过程所需求的温度。

3. 换热设备

换热设备是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。换热设备的种类很多，按其使用目的有加热器、换热器、冷凝器、冷却器及再沸器等，按换热方式可分为直接混合式、蓄热式和间壁式。在炼油生产中，应用最多的是各种间壁式换热设备。其投资约占全部工艺设备总投资的35%~40%。换热设备在动力、原子能、冶金、轻工、制药、食品、交通及家电等工业部门也有着广泛的应用。

4. 传质设备

传质设备是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。这类设备就其外形而言，大多都为细而高的塔状，所以通常也叫塔设备，如精馏塔、吸收塔、解吸塔、萃取塔等。按结构组成塔设备可分为板式塔和填料塔，其中板式塔应用较多。在炼油、化工生产装置中，塔设备的投资费用占整个工艺设备费用的25%~30%。有些设备外形呈塔状，但工作原理是反应或换热，如凉水塔等。

5. 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。反应设备在炼油生产中应用也很多，如催化裂化、催化加氢、催化重整、加氢精制等工艺过程，都要用到反应设备；在炼油生产中，如催化裂化、催化重整、加氢裂化、加氢精制等装置，都采用不同类型的反应设备。

6. 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。这类设备属于结构相对比较简单容器类设备，所以又称为储存容器或储罐，按其结构特征有立式储罐、卧式储罐及球形储罐等。球形储罐用于储存石油气及各种液化气，大型卧式储罐用于储存压力不太高的液化气和液体，小型的卧式和立式储罐主要作为中间产品罐和各种计量、冷凝罐用。在炼油厂的储运系统用量最多的是大型的立式储油罐，按其罐顶的构造可分为拱顶油罐、外浮顶油罐和内浮顶油罐等。

在上述各种设备中，有些设备是依靠自身的运转进行工作的，如各种泵、压缩机、风机等，称为“转动设备”，习惯上也叫做“动设备”或“机器”；有些设备工作时其零部件之间没有或很少有相对运动，而是依靠特定的机械结构及工艺等条件，让物料通过设备时“自动”完成工作任务，如各种塔类设备、换热设备、反应设备、加热设备等，称为“工艺设备”，习惯上也叫做“静设备”或“设备”。本书所指的“炼油设备”，包括工艺设备和转动设备。

三、炼油设备的基本要求

炼油生产介质大多易燃、易爆、有毒、腐蚀性强，有时操作条件也比较苛刻，加之生产装置大型化、生产过程具有连续性和自动化程度高等特点，因此要求炼油设备既能满足工艺过程的要求，又能安全可靠地运行，同时还应具有较高的技术经济指标及便于操作和维护的特点。炼油生产装置中的各种设备是为了实现确定的生产工艺而配置的。随着生产工艺的改进和新工艺的出现，对设备提出了新的、更高的要求，促进了设备的发展，而设计合理、性能优良的设备又为先进的工艺过程的实现提供了保证。不同的工艺所使用的设备不同，对设备的要求也不尽相同，但概括起来主要有以下三方面的要求。

（一）满足工艺要求

设备是为工艺服务的，所以首先应满足工艺所提出的各项要求。如流体输送设备应能按要求输送工艺需要的流体，反应设备应能在规定的温度、压力、浓度等条件下进行所需要的化学反应，且反应率及反应速度达到工艺要求，传质设备应能将处于混合状态的物料实施分离并达到工艺要求的分离效果和处理能力，换热设备应能在规定的流量和温度条件下实施规定的热量交换等。

（二）安全可靠地运行

炼油生产的原料、产品及使用的催化剂、添加剂，大多都是易燃、易爆、有毒及腐蚀性的物质，而且生产过程一般都是在一定的压力、温度甚至于高温、高压下进行的，一旦发生事故，不仅设备本身遭到破坏，往往还会诱发一连串恶性事故，造成重大人身伤亡和经济损失，所以生产的安全性尤为重要。

为了确保设备安全可靠运行，首先要求其具有足够的强度、刚度、良好的密封性和耐蚀性。强度是指设备在载荷作用下抵抗破坏的能力，每台设备不论壳体或部件，都应该有足够

的强度以保证正常操作和人员安全；刚度是指设备在载荷作用下抵抗变形的能力，刚度不足同样也会使设备丧失工作能力，如在减压下操作的设备若刚度（稳定性）不足，将由于失稳（失去原有形状）而不能正常工作；耐蚀性也是保证设备安全运行的一个基本要求，炼油生产中的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，而且有可能改变材料的组织和性能，所以要选择合适的耐蚀材料或采取相应的防腐蚀措施，以提高设备的使用寿命和运行的安全性；密封性对炼油设备来说也是非常重要的，易燃、易爆、有毒性及强腐蚀的介质若泄漏出来，不仅给环境带来严重污染，使人员的健康受到严重损害，而且还可能引发火灾、爆炸等恶性事故，对于真空设备即使其壳体内无有毒介质，但若密封不严漏进空气，破坏了真空，也是不允许的。所以要求设备在操作时应该严密不漏。

保证设备安全可靠运行除了对设备本身的要求外，还需从使用和日常操作方面着手，配备合格的操作人员和具有相关知识及技能的管理人员，严格执行操作规程、加强日常维护，按有关规定对设备主体以及安全附件定期进行检查、检验和维修，及时发现和消除不安全因素，保证设备的安全运行。

（三）结构简单、造价低廉、操作维护方便

炼油设备在炼油厂投资中占有很大的比重，设备的投入费用是产品的成本之一，所以在满足工艺要求和安全运行的前提下，设备的结构要简单，尽量采用标准型号和通用零部件，这样既可使设备本身的制造成本较小，而且操作维护也较为方便，减少了操作的动力消耗和维护费用，降低了石油产品的成本，提高了经济效益。另外还要求设备具有良好的运转性能，无噪声及振动，能连续进行操作，自动化程度高且易于维持等。

第二节 炼油设备常用材料

一、金属材料的力学性能

材料在外力作用下，在变形和强度方面所表现出来的性能称为材料的力学性能。金属材料的力学性能是材料固有的特性，它与材料的化学成分、冶炼方式、加工和热处理方法及使用条件等因素有关。金属材料的力学性能是通过各种力学试验所得到的，如拉伸、压缩、弯曲、冲击、疲劳、硬度等试验。

（一）材料的弹性和刚度

拉伸试验是确定材料性能的基本试验，试验时所用的标准试件如图 1-1 所示。图中 L 为标距，是用来测量变形的工作长度， F 为拉力， d 为试件中部等直部分的直径。试件受到外力作用后其内部各部分之间产生了相互作用力，称为内力，垂直于单位面积截面上的内力称为正应力，用 σ 表示。试件受到外力作用后其原始尺寸或形状发生了变化，这种变化称为变形，变形的量与原始尺寸的比值称为应变，用 ϵ 表示。现以 $\sigma = F/s_0$ （ s_0 为试件的原始截面积）为纵坐标， $\epsilon = \Delta L/L$ （ ΔL 为拉伸时的变形量）为横坐标得出低碳钢（因为低碳钢应用

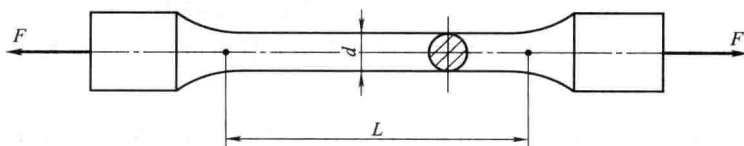


图 1-1 拉伸标准试件

较为广泛，而且拉伸试验中所表现出来的力学性能也最具有代表性和典型性）拉伸时的应力-应变曲线，如图 1-2 所示。

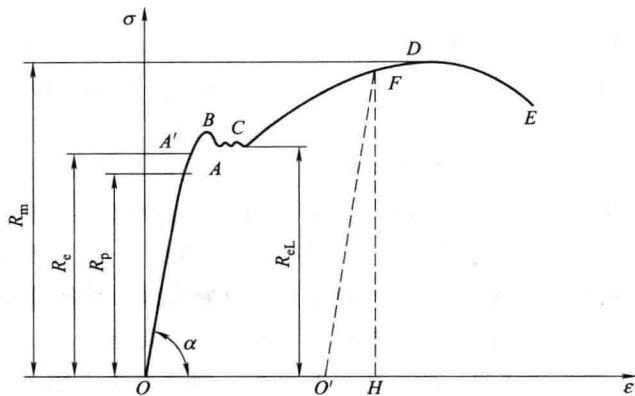


图 1-2 低碳钢的 $\sigma\epsilon$ 曲线

由图 1-2 可见，在拉伸的初始阶段， σ 与 ϵ 的关系为直线 OA ， A 点所对应的应力称为比例极限，用 R_p 表示。这表明当应力不超过比例极限时，应力和应变成正比关系， OA 为成正比阶段，材料服从弹性定律，即虎克定律 $\sigma = E\epsilon$ 。在 OA 阶段，如果消除外力所发生的变形也随之消失，试件恢复到原状。直线 OA 的斜率 $\tan\alpha = E$ ，很显然比例极限是材料的应力和应变成正比关系的应力极限值。因此虎克定律只适用应力 σ 不超过比例极限 R_p 的范围。 $E = \sigma/\epsilon$ 称为材料的弹性模量，它反映了材料抵抗弹性变形的能力，即刚度。 E 值越大，材料的刚度也就越大，越不容易发生弹性变形， E 值越小、材料的弹性越好，越容易发生弹性变形。几种材料在 常温（室温）下的弹性模量见表 1-2。

表 1-2 几种材料在常温下的弹性模量 E $\times 10^4 \text{ MPa}$

材 料	E 值	材 料	E 值
金刚石	102	铝及铝合金	7.0~8.1
硬质合金	41~55	木材(纵向)	0.9~1.7
钢	20~21.4	尼龙	0.2~0.4
铸铁	17.3~19.4	橡胶	0.001~0.01
铜及铜合金	10.5~15.3	聚氯乙烯	0.0003~0.001

超过比例极限以后，从 A 点到 A' 点， σ 与 ϵ 不再为直线关系，稍有弯曲，说明应力与应变不再符合虎克定律，但变形仍是弹性的。这时如果消除外力，变形也随之消失，试件也能恢复到原状。试件在外力作用下，发生了变形，而当外力消除以后变形也随之消失，试件恢复到原来的形状，不会产生永久性的变形，这种性质就称为材料的弹性。 A' 点所对应的应力称为弹性极限，用 R_e 表示， OA' 为材料的弹性阶段。比例极限和弹性极限是两个不同的概念，但是在 $\sigma\epsilon$ 曲线上两点相距很近，故工程上并不严格区分，因此也可以认为，当应力不超过弹性极限时应力与应变成正比关系，即材料符合虎克定律。

（二）材料的强度和塑性

强度是指材料抵抗塑性变形和断裂的能力。如果试件在外力作用下，发生了变形但并未断裂，当外力消除后，变形也没有完全消失而是有一部分被永久性保留了下来，试件也并没

有恢复到它原来的形状。没有恢复而被永久性保留下来的那一部分变形称为塑性变形，材料能够产生塑性变形的性质就称为材料的塑性。

1. 强度指标

如图 1-2 所示，当应力超过弹性极限后，在应力变化不大的情况下应变却增加很快，在 σ - ϵ 曲线上出现了一段接近水平线的小锯齿形线段。这种应力变化不大而应变显著增加的现象称为材料的屈服。BC 为屈服阶段，此阶段所对应的最低应力称为屈服点，用 R_{eL} 表示。当应力达到屈服点时，材料会出现明显的塑性变形， R_{eL} 越大材料越不容易发生塑性变形，所以 R_{eL} 是材料抵抗塑性变形能力的体现，是衡量材料强度的重要指标之一。过了屈服阶段以后，材料又恢复了抵抗变形的能力，这种现象称为材料的强化。CD 为强化阶段，D 点所对应的应力称为抗拉强度，用 R_m 表示。抗拉强度是材料在断裂前所能承受的最大应力， R_m 越大材料越不容易断裂，所以 R_m 是衡量材料强度的又一重要指标。

工程上把 R_{eL}/R_m 称为屈服比。屈服比小的材料，即使发生了较大的塑性变形，也不至于立刻断裂。但若屈服比过小，材料强度的有效利用率太低。有一部分金属材料在做拉伸试验时，并不像低碳钢那样有明显的屈服现象，这时通常以产生 0.2% 的塑性应变时的应力作为屈服应力，称为名义屈服强度或条件屈服强度，用 $R_{eL 0.2}$ 表示。

2. 塑性指标

由于抗拉强度是材料在断裂前所能承受的最大应力，所以在图 1-2 中过 D 点以后，塑性变形急剧增加，试件出现颈缩现象直至 E 点被拉断。出现颈缩后，使试件继续伸长所需的拉力也相应减少，用试件的原始横截面积 s_0 算出的应力 σ 也随之下降，所以曲线 DE 呈下降之势。

试件被拉断后，弹性变形消失，塑性变形保留了下来。试件标距伸长量与原始标距的百分比称为材料的断后伸长率，用 A 表示。

$$A = \frac{L_1 - L}{L} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 L_1 ——拉断试件对接后测出的标距长度，mm；

L ——试件的原始标距，mm。

试件拉断后缩颈处的横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比，称为材料的断面收缩率，用 Z 表示。

$$Z = \frac{s_0 - s_u}{s_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 s_0 ——试件的原始横截面积， mm^2 ；

s_u ——试件断口处的横截面积， mm^2 。

A 和 Z 都是衡量材料塑性性能的指标，其值越大，说明材料在断裂前产生的塑性变形越大，材料的塑性越好。当试件的标距 L 是其直径 d 的 5 倍时，断后伸长率用 A_5 表示；当 L 是 d 的 10 倍时，断后伸长率就用 A 表示。

3. 冷作硬化

如果将试件拉伸到强化阶段的某点，如图 1-2 中的 F 点，停止加载而逐渐卸载至零，此时，应力和应变则沿着几乎与 OA 平行的直线 $F O'$ 回到 O' 点，这说明材料在卸载过程中应力与应变成线性关系。F 点所对应的总应变是 OH，其中 $O'H$ 是恢复了的弹性应变， $O O'$ 是保留下来的塑性应变。卸载后短期内重新加载，则应力和应变将沿着 $O'F$ 返回 F 点，以

后仍沿曲线 FDE 变化,直至拉断。可见再次加载时,材料在 F 点以前的变形是弹性的,过 F 点以后才出现塑性变形,这种现象称为材料的冷作硬化。冷作硬化提高了材料在弹性阶段的承载能力,但降低了材料的塑性。

(三) 材料的硬度

材料抵抗他物压入或划痕的能力称为硬度。硬度可以通过硬度试验进行测定,根据测定方法的不同,有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度,常用的表示符号分别是 HBS、HRC 及 HV,单位是 MPa。硬度是表征材料性能的一个综合物理量,通常材料的硬度越高,其耐磨性越好。

(四) 材料的冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性。对承受动载荷作用的零部件除要求具备足够的强度、塑性和硬度外,还应有足够的韧性。材料韧性的大小反映了材料在断裂前吸收变形能量的多少,常用的冲击韧性指标是冲击吸收功,用 A_{KV} 表示,其值可通过常温下的冲击试验测得,单位面积上的冲击吸收功称为冲击韧度,用 a_k 表示。

(五) 温度对材料力学性能的影响

一般而言,随着温度的升高,钢材的强度下降、塑性提高。材料在高温情况下,如碳钢 400°C 以上、低合金钢 450°C 以上、不锈钢 550°C 以上,应该考虑蠕变的问题。“蠕变”是指材料在高温下,受某一固定应力的作用,随着时间的延续所发生的缓慢而连续不断的塑性变形的现象。材料在高温下抵抗塑性变形能力的指标称为蠕变极限,用 R_h 表示,在高温下抵抗断裂能力的指标称为持久强度,用 R_D 表示。 R_h 和 R_D 的值与材料、温度及允许的蠕变速度和持续而不断裂的时间有关。如在石油化工中常规定:某种材料在某温度下,经过 10^5h 其蠕变变形量不超过 1% 时所对应的应力值称为这种材料在该温度、该蠕变速度条件下的蠕变极限;在某温度下经过 10^5h 断裂时所对应的应力值称为这种材料在该温度、该持续时间内的持久强度。在低温情况下,如 -20°C 以下,材料的强度提高而塑性和韧性降低,使材料产生冷脆性。

二、炼油设备常用金属材料

1. 碳钢

工业上使用的金属材料大多是由金属与金属、金属与非金属熔合在一起的合金。以铁为主,碳含量小于 2.11% 并含有少量的锰、硅、硫、磷等元素的合金称为碳钢,按 GB/T 221—2000 的规定称为非合金钢。

碳的含量小于等于 0.25% 时称为低碳钢,这种钢强度较低,但塑性好、焊接性能好,在炼油设备中广泛应用。碳的含量为 $0.25\%\sim 0.60\%$ 时称为中碳钢,这种钢强度、硬度高,塑性、韧性稍差,焊接性较差,不适宜制造炼油工艺设备的壳体,多用于制造传动设备的零件。碳的含量大于等于 0.60% 时称为高碳钢,这种钢强度、硬度很高,塑性差、焊接性差,常用来制造弹簧、刀具及钢丝绳等。

碳钢中硫的存在会使钢产生热脆性,磷的存在会使钢产生冷脆,因此一般认为硫和磷是有害元素,硫和磷的含量越少,碳钢的品质越好。当碳钢中硫和磷的含量不超过 0.045% 时称为普通碳钢,硫和磷的含量不超过 0.035% 时称为优质碳钢,硫和磷的含量不超过 0.025% 时称为高级优质碳钢。炼油设备中常用的普通碳钢见表 1-3,优质碳钢见表 1-4。

表 1-3 普通碳钢的力学性能及应用

钢号	质量等级	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A_s /%	性能及应用
Q195	—	195	315	33	用于制作承受载荷不大的金属结构件、铆钉、垫圈、地脚螺栓,冲压件及焊接件等
Q215	A,B	215	335	31	
Q235	A,B C,D	235	375	26	有良好的强度、塑性和焊接性,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。B、C在限定条件下可制作压力容器的壳体
Q255	A,B	255	410	24	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
Q275	—	275	490	20	

表 1-4 部分优质碳钢的力学性能及应用

钢号	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A_s /%	Z /%	性能及应用
10	335	205	31	55	强度、硬度低,塑性、韧性高,冷塑性加工性和焊接性优良,切削加工性欠佳
20	410	245	25	55	
40	570	335	19	45	综合力学性能好,热塑性加工性和切削加工性能较差,冷变形能力和焊接性中等,多在调质或正火下使用,45 钢应用最广
45	600	355	16	40	
60	670	400	12	35	强度、硬度高,耐磨性、弹性好,切削加工性能中等,焊接性能不佳,可做弹簧、钢丝绳等
65	695	410	10	30	
60Mn	695	410	11	35	淬透性和强度较高,可用制造截面尺寸较大的零件,65Mn 常用
65Mn	735	430	9	30	

表 1-3 中 Q235-B 和 Q235-C 在限定条件下可用其制作压力容器的壳体。Q235-B、Q235-C 的使用温度均为 0~300℃,用作压力容器壳体时厚度不超过 16mm、容器的设计压力也不得超过 1.6MPa,不得用于毒性程度为高度或极度危害介质的压力容器。用于其他受压元件时,Q235-B 的厚度不大于 30mm,Q235-C 的厚度不大于 40mm。

2. 合金钢

合金钢是在低碳钢的基础上,加入了一定量的合金元素而得到的。常加的元素有锰、钼、铌、钒、钛、镍、铬、硅、硼、钨、铝等。当合金元素总量不超过 5% (一般不超过 3%) 时称为低合金钢。低合金钢的牌号由“平均含碳量的万分数+元素符号+该元素平均含量的百分数”表示,当钢中某合金元素的平均含量不超过 1.5% 时,牌号中只标出元素符号而不标明含量,当含量大于 1.5% 而不超过 2.5% 时,在该元素后只标整数 2,依此类推。如 09Mn2V,平均含碳量为 0.09%、锰含量为 1.4%~1.8%、钒的平均含量在 1.5% 以下(0.04%~0.1%)。化工设备常用低合金钢见表 1-5、表 1-6。

不锈钢是炼油设备中使用较多的一种合金钢,其牌号由“平均含碳量的千分数+元素符号+该元素平均含量的百分数”表示,如 1Cr13,平均含碳 0.10%、铬的平均含量为 13%。当碳的含量为 0.03%~0.10% 时,含碳量用“0”表示;含碳量小于等于 0.03% 时,用“00”表示。如 0Cr18Ni10Ti 钢的平均含碳量为 0.03%~0.10%,00Cr19Ni10 钢的平均含碳量小于等于 0.03%。化工设备常用不锈钢见表 1-7。