



高职高专“十一五”规划教材

化工设备 操作与维护

HUAGONG SHEBEI CAOZUO YU WEIHU

马金才 葛亮 主编
杨清香 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

化工设备操作与维护

马金才 葛 亮 主编
杨清香 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是为了适应高职高专化工类专业的教学需要编写的，重点讲述了各类化工设备的操作与维护，涉及范围广，面宽，具有较强的系统性和实用性。主要包括化工设备基础，化工设备力学基础，压力容器，物料分离设备，换热器，反应器，塔设备，蒸发设备，干燥设备，化工机泵，机械传动与连接，化工管路等内容。

本书可作为高职高专化工类专业教材，也可作为相近专业教材以及化工企业工程技术人员的阅读参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工设备操作与维护/马金才，葛亮主编. —北京：
化学工业出版社，2009.6
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-05214-8

I. 化… II. ①马…②葛… III. ①化工设备-操作-
高等学校：技术学院-教材②化工设备-维护-高等学校：
技术学院-教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 050076 号

责任编辑：于 卉 韩庆利
责任校对：李 林

文字编辑：张绪瑞
装帧设计：周 遥

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：大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 526 千字 2009 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：35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是按照高等职业教育改革发展的需要而编写的。编写本书的基本思路是：适用于目前化工类高职高专教学内容改革的需要，体现化工专业特色和我国化工企业发展需求；在介绍化工设备基本机械知识与理论的基础上，重点突出化工过程所涉及各类设备的结构、工作原理及设备操作与维护。

本书的特色在于：突出化工设备基本知识系统化，避免复杂的设计，从学生认识、了解、学习、掌握的层次出发考虑，介绍基本的理论和简单分析设计计算等；另外，选编的化工过程设备内容具体、全面，重点突出典型化工过程设备的结构与作用，操作与维护。

在编写的过程中，我们力求做到内容全面、精炼、深入浅出，且便于教学和学生自学。

本书共分十二章，由马金才、葛亮主编。葛亮编写第一章，马金才编写第三章、第六章、第十二章，祁新萍编写第四章、第五章、第十一章，林浩编写第七章，杨振波编写第十章，龙燕编写第二章、第八章、第九章。全书由马金才统稿。

杨清香教授对本书进行了认真细致的审阅，并提出了许多宝贵意见和建议，在此谨表衷心感谢。克拉玛依职业技术学院、新疆石油学院、中泰化学股份公司的老师专家也对本书提出了宝贵意见和建议，在此一并致以谢意。

因编者水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2009年2月

目 录

第一章 化工设备基础	1	二、压杆的稳定	48
第一节 化工生产及其对化工设备的 基本要求	1	思考题	49
一、化工生产的特点	1	习题	50
二、化工生产对化工设备的基本要求	2	第三章 压力容器	53
第二节 化工容器结构与分类	3	第一节 内压薄壁容器	53
一、化工容器的基本结构	3	一、内压薄壁圆筒与球壳的应力计算	53
二、化工容器与设备的分类	4	二、强度条件与壁厚计算	54
第三节 化工设备常用材料	5	三、设计参数的确定	56
一、材料常用性能	5	四、容器压力试验	58
二、钢的热处理	6	第二节 内压容器封头	61
三、金属材料	8	一、常用封头的形式	61
四、非金属材料	11	二、标准椭圆形封头及选用	62
五、选材的基本原则	13	三、半球形封头	62
六、化工容器与设备常用材料规范	13	四、碟形封头	63
第四节 金属材料的腐蚀与防护	14	五、锥形封头	64
一、腐蚀基本概念	14	六、平板形封头	64
二、腐蚀类型及机理	14	第三节 容器附件	65
三、材料防腐方法	15	一、容器设计的标准化	65
思考题	17	二、法兰连接	66
第二章 化工设备力学基础	19	三、容器的支座	70
第一节 物体的受力分析	19	四、容器的开孔与补强结构	73
一、力的概念与基本性质	19	五、容器安全装置	75
二、受力图	21	六、压力容器的其他附件	77
三、平面汇交力系	23	第四节 外压力容器	78
四、力矩和力偶	26	思考题	79
五、平面一般力系	28	习题	80
第二节 轴向拉伸与压缩	31	第四章 物料分离设备	81
一、轴向拉伸与压缩的概念	31	第一节 沉降器	81
二、轴向拉伸与压缩时横截面上的 内力	31	一、沉降的基本概念	81
三、轴向拉伸与压缩时的强度计算	32	二、沉降器的结构与分类	82
四、轴向拉压时的变形	34	第二节 过滤机	83
五、材料拉伸与压缩时的力学性能	35	一、过滤	84
第三节 剪切与圆轴扭转	38	二、过滤机的结构与分类	84
一、剪切与挤压	38	第三节 离心机	92
二、圆轴扭转	40	一、离心分离基本原理	93
第四节 直梁的弯曲与压杆的稳定	44	二、离心机基本结构与分类	94
一、直梁的弯曲	44	三、离心机的操作与管理	97
		四、离心机操作的不正常情况和故障 处理	99
		思考题	100

第五章 换热器	101	三、进出口管装置	165
第一节 换热器的分类	101	四、板式塔的流体力学特性	165
第二节 换热器的基本结构	102	五、塔板效率	167
一、管式换热器	102	六、板式塔的操作及维护	168
二、板式换热器	106	七、塔设备常见机械故障及排除方法	169
三、热管换热器	109	第三节 填料塔	171
第三节 换热器传热过程的强化	110	一、填料	171
一、传热过程的强化途径	110	二、填料塔的附属设备	175
二、管壳式换热器的设计与选型	112	三、填料塔塔设备的操作与维护	180
第四节 换热设备操作与维护	119	思考题	183
一、换热器的基本操作	119	第八章 蒸发设备	184
二、换热器的维护和保养	120	第一节 蒸发基本原理	184
第五节 换热器技术的发展及标准化	122	一、蒸发基本原理	184
一、传热理论创新	122	二、蒸发系统	185
二、设备结构的改进	123	三、多效蒸发中效数的限制	187
思考题	123	四、蒸发热力方案选择的原则	187
第六章 反应器	124	第二节 蒸发设备	188
第一节 反应器的作用与分类	124	一、蒸发设备基本构造	188
一、反应器的作用	124	二、蒸发附属装置	196
二、反应器的设计要求	124	第三节 蒸发设备操作条件的选择及 优化	197
第二节 反应器的结构	124	一、蒸发设备的选用原则	197
一、反应釜主要类型	124	二、蒸发设备的设计原则	199
二、反应釜基本结构	128	第四节 蒸发设备操作与管理	199
第三节 反应釜搅拌装置	132	一、蒸发器的操作要点	199
一、搅拌器类型	132	二、蒸发器管理常识	199
二、搅拌器的标准及选用	134	三、不正常现象及处理	200
三、搅拌轴	134	第五节 蒸发设备的安全运行	201
四、挡板与导流筒	135	一、高温蒸汽运行	201
五、反应釜传动装置	136	二、管路堵塞	201
六、反应釜轴封装置	138	三、蒸发器视镜破裂, 造成热浓料液 外泄	202
第四节 反应器的操作与维护	141	四、坠落事故	202
一、釜式反应器的日常运行与操作	141	五、检修强制循环泵时, 料液冲出 伤人	202
二、釜式反应器的故障处理及维护	142	思考题	202
第五节 其他类型的反应器	143	第九章 干燥设备	204
一、固定床反应器	143	第一节 干燥目的及设备分类	204
二、流化床反应器	145	一、干燥的目的和应用	204
三、管式反应器	151	二、干燥器的类型及选用	204
思考题	152	三、干燥附属设备的配置	205
第七章 塔设备	153	第二节 干燥装置	206
第一节 塔设备概述	153	一、气流干燥装置	206
一、塔设备在化工生产中的应用	153	二、回转筒式干燥装置	208
二、塔设备的分类及构造	153	三、立式转盘干燥机	210
三、塔设备的工艺要求和技术要求	156	四、振动式干燥机	210
四、塔设备的发展	157	五、多管式干燥机	211
第二节 板式塔	158		
一、塔盘的结构	158		
二、除沫装置	163		

六、喷雾干燥器	212	第二节 齿轮传动	262
七、沸腾床干燥器	219	一、齿轮传动的特点、类型及应用	
第三节 干燥设备操作与维护	221	场合	262
一、干燥系统的正常操作	221	二、齿轮传动比计算	263
二、干燥系统操作的不正常情况和故障处理	221	三、齿轮常用材料及结构	263
思考题	225	四、齿轮传动失效形式及原因	264
第十章 化工机泵	226	第三节 蜗杆传动	266
第一节 概述	226	一、蜗杆传动的特点、类型及应用	
一、化工生产对机泵的基本要求	226	场合	266
二、化工机泵的分类	226	二、蜗杆传动的失效形式及原因	267
第二节 离心泵	227	三、蜗杆蜗轮的常用材料与结构	267
一、离心泵的工作原理	227	四、蜗杆传动装置的润滑与维护	268
二、离心泵主要部件的结构与作用	227	第四节 轴与联轴器	269
三、离心泵的特性	230	一、轴	269
四、离心泵的密封	234	二、联轴器	271
第三节 其他形式化工泵	239	第五节 轴承	273
一、往复泵	239	一、轴承的功用和分类	273
二、喷射泵	240	二、滑动轴承	274
三、螺杆泵	240	三、滚动轴承	276
四、齿轮泵	241	四、滚动轴承的润滑、密封与维护	278
五、旋涡泵	241	第六节 螺纹连接、键连接、销连接	279
六、真空泵	242	一、螺纹连接	279
七、隔膜泵	242	二、键连接	280
八、磁力泵	243	三、销连接	282
第四节 化工泵检修与维护	244	思考题	282
一、常用化工泵零部件的检修	244	第十二章 化工管路	284
二、化工泵常见故障及排除	247	第一节 概述	284
第五节 风机	250	第二节 化工管路的安装	284
一、风机的类型	250	一、管路布置	284
二、离心式鼓风机	251	二、管路的涂色	285
三、离心式通风机	252	三、管子的材料及其选用	285
四、轴流式通风机	253	四、管件和阀门	287
五、罗茨鼓风机	255	五、管路的安装	295
思考题	256	第三节 管路的保温与防腐	298
第十一章 机械传动与连接	258	一、化工管路的保温	298
第一节 带传动	258	二、化工管道的防腐	301
一、带传动及分类	258	第四节 管路常见故障及排除方法	302
二、普通 V 带和带轮	259	一、做好管路维护工作	302
三、带传动的失效、张紧、安装与维护	260	二、管路常见故障及排除方法	302
		三、阀门故障及排除	303
		思考题	304
		参考文献	306

第一章 化工设备基础

化工生产过程和化工设备紧密相关。化工设备是化工生产过程的具体实现者，设备运行是否正常直接关系到生产的安全和稳定。要保证生产安全、稳定运行，必须了解化工生产的特点、化工生产环境对设备的各种影响因素，掌握化工生产过程对设备、材料的具体要求；在保证生产的安全、卫生和环保前提下，完成设备的正常操作、维护、故障处理，保证化工生产过程的正常进行。

第一节 化工生产及其对化工设备的基本要求

化工生产是以流程性物料（气体、液体、粉体）为原料，以化学处理和物理处理为手段，以获得设计规定的产品为目的的工业生产。化工生产过程不仅取决于化学工艺过程，而且与化工机械装备的结构、性能密切相关。不同的物料、工艺过程需要用相应的设备来完成；同一种产品、同一种工艺方法也可能由于采用不同的化工设备而取得不同的生产效果。因此，在了解物料、工艺过程的基础上，熟悉各种不同化工机械的性能、特点是化工生产取得最佳效果的有效途径之一。化工机械技术的发展和进步，也同时促进了新工艺的诞生和生产效率的提高。如大型压缩机和超高压容器的研制成功，使人造金刚石的构想变为现实，使高压聚合反应得以实现。

化工机械通常分为化工设备和化工机器两大类：化工设备指静止设备，如各种塔器、换热器等；化工机器指动设备，如各种压缩机、泵等。

一、化工生产的特点

随着计算机控制技术、机电一体化技术在化工生产中的广泛应用，化工生产设备正在不断向大型化、连续化、自动化方向发展。

与其他工业生产相比，化工生产具有其自身的特点。

1. 生产的连续性强

化工生产所处理的大多是气体、液体和粉体等流体，生产过程大都在管道和容器中连续进行，以提高生产效率，节约成本。在连续性的工艺流程中，每一生产环节都非常重要，若出现事故，将破坏生产的连续性。因此，各工序之间的相互衔接、生产过程的调度尤为重要。

2. 生产的条件苛刻

(1) 介质腐蚀性强 化工生产过程中，有很多介质具有腐蚀性。例如，酸、碱、盐一类的介质，对金属或非金属物件的腐蚀，使机器与设备的使用寿命大为降低。腐蚀生成物的沉积，可能堵塞机器与设备的通道，破坏正常的工艺条件，影响生产的正常进行。

(2) 温度和压力变化大 根据不同的工艺条件要求，介质的温度和压力各不相同。介质温度从深冷到高温，压力从真空到数百兆帕。使得有的设备要承受高温或高压，有的设备要承受低温或低压。温度和压力的不同，影响到设备的工作条件和材料选择。

(3) 介质大多易燃易爆有毒性 化工生产过程中，有不少介质是容易燃烧和爆炸的，例如氨气、氢气、苯蒸气等均属此类。还有不少介质有较强的毒副作用，如二氧化硫、二氧化氮、硫化氢、一氧化碳等。这些易燃、易爆、有毒性的介质一旦泄漏，不仅会造成环境的污

染，而且还可能造成人员伤亡和重大事故的发生。

3. 生产原理的多样性

化工生产过程按作用原理可分为质量传递、热量传递、能量传递和化学反应等若干类型。

同一类型中功能原理也多种多样，如传热设备的传热过程，按传热机理可分为热传导、对流和辐射。故化工设备的用途、操作条件、结构形式也千差万别。

4. 生产的技术含量高

现代化工生产既包含了先进的生产工艺，又需要先进的生产设备，还离不开先进的控制与检测手段。因此，生产技术含量要求高，并呈现出学科综合，专业复合，化、机、电一体化的发展势态。

二、化工生产对化工设备的基本要求

1. 安全性能要求

(1) 足够的强度 材料强度是指在载荷作用下材料抵抗永久变形和断裂的能力。屈服点和抗拉强度是钢材常用的强度判据。化工设备是由一定的材料制造而成的，其安全性与材料强度紧密相关。在相同设计条件下，提高材料强度，可以增大许用应力，减薄化工设备的壁厚，减轻重量、便于制造、运输和安装，从而降低成本，提高综合经济性。对于大型化工设备，采用高强度材料的效果尤为显著。

(2) 良好的韧性 韧性是指材料断裂前吸收变形能量的能力。由于原材料制造（特别是焊接）和使用（如疲劳、应力腐蚀）等方面的原因，化工设备的构件常带有各种各样的缺陷，如裂纹、气孔、夹渣等。如果材料韧性差，可能因其本身的缺陷或在波动载荷作用下而发生脆性断裂。

(3) 足够的刚度和抗失稳能力 刚度是设备在载荷作用下保持原有形状的能力。刚度不足是设备过度变形的主要原因之一。例如，螺栓、法兰和垫片组成的连接结构，若法兰因刚度不足而发生过度变形，将导致密封失效而泄漏。

(4) 良好的耐腐蚀性 设备处理的介质往往是腐蚀性强的酸、碱、盐。材料被腐蚀后，不仅会导致壁厚减薄，而且有可能改变设备材料的组织和性能。因此，材料必须具有较强的耐腐蚀性能。

(5) 可靠的密封性 密封性是指化工设备防止介质泄漏的能力。由于化工生产中的介质往往具有危害性，若发生泄漏不仅有可能造成环境污染，还可能引起中毒、燃烧和爆炸。因此密封的可靠性是化工设备安全运行的必要条件。

2. 工艺性能要求

(1) 达到工艺指标 化工生产过程的工艺指标是由设备来完成的。化工设备需具备一定的工艺指标要求，以满足生产的需要。如储罐的储存量、换热器的传热量、反应器的反应速率、塔设备的传质效率等。工艺指标达不到要求，将影响整个生产过程的生产效率，造成经济损失。

(2) 生产效率高、消耗低 化工设备的生产效率用单位时间内单位体积（或面积）所完成的生产任务来衡量。如换热器在单位时间单位传热面积的传热量、反应器在单位时间单位容积内的产品数量等。消耗是指生产单位质量或体积产品所需要的资源（如原料、燃料、电能等）。设备选用时应从工艺、结构等方面来考虑提高化工设备的生产效率和降低消耗。

3. 使用性能要求

(1) 结构合理、制造简单 化工设备的结构要紧凑、设计要合理、材料利用率要高。制造方法要有利于实现机械化、自动化，有利于成批生产，以降低生产成本。

(2) 运输与安装方便 化工设备一般由机械制造厂生产，再运至使用单位安装。对于中

小型设备运输安装一般比较方便，但对于大型设备，应考虑运输的可行性，如运载工具的能力、空间大小、码头深度、桥梁与路面的承载能力、吊装设备的吨位等。对于特大型设备或有特殊要求的设备，则应考虑采用现场组装的条件和方法。

(3) 操作、控制、维护简便 化工设备的操作程序和方法要简单，维护方便。设备最好能设有防止错误操作的报警装置。当操作过程中出现超温、超压、泄漏和其他异常情况时，能发出警报信号，并可对操作状态进行调节。

4. 经济性能要求

在满足安全性、工艺性、使用性的前提下，应尽量减少化工设备的基建投资和日常维护、操作费用，并使设备在使用期内安全运行，以获得较好的经济效益。

第二节 化工容器结构与分类

一、化工容器的基本结构

在化工类工厂使用的设备中，有的用来储存物料，如各种储罐、计量罐、高位槽；有的用来对物料进行物理处理，如换热器、精馏塔等；有的用于进行化学反应，如聚合釜、反应器、合成塔等。尽管这些设备作用各不相同，形状结构差异很大，尺寸大小千差万别，内部构件更是多种多样，但它们都有一个外壳，这个外壳就叫化工容器。所以化工容器是化工生产中所用设备外部壳体的总称。

由于化工生产中，介质通常具有较高的压力，化工容器一般由筒体、封头、支座、法兰及各种容器开孔接管所组成，通常为压力容器，见图 1-1。

1. 筒体

筒体是化工设备用以储存物料或完成传质、传热或化学反应所需要的工作空间，是化工容器最主要的受压元件之一，其内径和容积往往需由工艺计算确定。圆柱形筒体（即圆筒）和球形筒体是工程中最常用的筒体结构。

2. 封头

根据几何形状的不同，封头可以分为球形、椭圆形、碟形、球冠形、锥壳和平盖等几种，其中以椭圆形封头应用最多。封头与筒体的连接方式有可拆连接与不可拆连接（焊接）两种，可拆连接一般采用法兰连接方式。

3. 密封装置

化工容器上需要有许多密封装置，如封头和筒体间的可拆式连接，容器接管与外管道间的可拆连接以及人孔、手孔盖的连接等，可以说化工容器能否正常安全地运行在很大程度上取决于密封装置的可靠性。

4. 开孔与接管

化工容器中，由于工艺要求和检修及监测的需要，常在筒体或封头上开设各种大小的孔或安装接管，如人孔、手孔、视镜孔、物料进出口接管，以及安装压力表、液面计、安全阀、测温仪表等接管开孔。

5. 支座

化工容器靠支座支承并固定在基础上。随安装位置不同，化工容器支座分立式支座和卧式支座两类；其中立式支座又有腿式支座、支承式支座、耳式支座和裙式支座四种。大型容

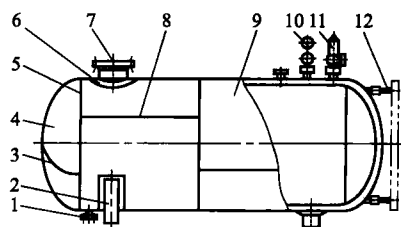


图 1-1 化工容器的总体结构

- 1—法兰；2—支座；3—封头拼接焊缝；4—封头；
5—环焊缝；6—补强圈；7—人孔；8—纵焊缝；
9—筒体；10—压力表；11—安全阀；
12—液面计

器一般采用裙式支座。卧式容器支座有支承式、鞍式和圈式支座三种；以鞍式支座应用最多。而球形容器多采用柱式或裙式支座。

6. 安全附件

由于化工容器的使用特点及其内部介质的化学工艺特性，往往需要在容器上设置一些安全装置和测量、控制仪表来监控工作介质的参数，以保证压力容器的使用安全和工艺过程的正常进行。

化工容器的安全装置主要有安全阀、爆破片、紧急切断阀、安全联锁装置、压力表、液面计、测温仪表等。

上述筒体、封头、密封装置、开孔接管、支座及安全附件等即构成了一台化工设备的外壳。对于储存用的容器，这一外壳即为容器本身。对于用于化学反应、传热、分离等工艺过程的容器而言，则须在外壳内装入工艺所要求的内部构件，才能构成一个完整的设备。

二、化工容器与设备的分类

从不同的角度对化工容器及设备有各种不同的分类方法，常用的分类方法有以下几种。

1. 按压力等级分类

按承压方式分类，化工容器可分为内压容器与外压容器。内压容器又可按设计压力大小分为四个压力等级，具体划分如下：

低压（代号 L）容器 $0.1\text{MPa} < p < 1.6\text{MPa}$ ；

中压（代号 M）容器 $1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$ ；

高压（代号 H）容器 $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$ ；

超高压（代号 U）容器 $p \geq 100\text{MPa}$ 。

外压容器中，当容器的内压小于一个绝对大气压（约 0.1MPa ）时又称为真空容器。

2. 按原理与作用分类

根据化工容器在生产工艺过程中的作用，可分为反应容器、换热容器、分离容器、储存容器。

（1）反应容器（代号 R）主要是用于完成介质的物理、化学反应的容器，如反应器、反应釜、聚合釜、合成塔、蒸压釜、煤气发生炉等。

（2）换热容器（代号 E）主要是用于完成介质热量交换的容器。如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器等。

（3）分离容器（代号 S）主要是用于完成介质流体中不同组分分离的容器。如分离器、过滤器、蒸发器、集油器、缓冲器、干燥塔等。

（4）储存容器（代号 C，其中球罐代号 B）主要是用于储存、盛装气体、液体、液化气体等介质的容器。如液氨储罐、液化石油气储罐等。

在一台化工容器中，如同时具备两个以上的工艺作用原理时，应按工艺过程的主要作用来划分品种。

3. 按相对壁厚分类

按容器的壁厚可分为薄壁容器和厚壁容器：当筒体外径与内径之比 $D/d \leq 1.2$ 时，称为薄壁容器； $D/d > 1.2$ 时，称厚壁容器。

4. 按支承形式分类

当容器采用立式支座支承时叫立式容器，用卧式支座支承时叫卧式容器。

5. 按材料分类

当容器由金属材料制成时叫金属容器；用非金属材料制成时，叫非金属容器。

6. 按几何形状分类

按容器几何形状，可分为圆柱形、球形、椭圆形、锥形、矩形等容器。

7. 按安全技术管理分类

上面所述的几种分类方法仅仅考虑了压力容器的某个设计参数或使用状况，还不能综合反映压力容器面临的整体危害水平。例如储存易燃或毒性程度中度及以上危害介质的压力容器，其危害性要比相同几何尺寸、储存毒性程度轻度或非易燃介质的压力容器大得多。压力容器的危害性还与其设计压力 p 和全容积 V 的乘积有关， pV 值愈大，则容器破裂时爆炸能量愈大，危害性也愈大，对容器的设计、制造、检验、使用和管理的要求愈高。为此，《压力容器安全技术监察规程》采用既考虑容器压力与容积乘积大小，又考虑介质危害程度以及容器品种的综合分类方法，有利于安全技术监督和管理。该方法将压力容器分为三类，级别最高的是第三类压力容器，具体情况参见《压力容器安全技术监察规程》。

该分类方法综合考虑了设计压力、几何容积、材料强度、应用场合和介质危害程度等影响因素，分类方法比较科学合理。

第三节 化工设备常用材料

一、材料常用性能

化工设备中广泛使用着各种材料，这些材料各有其性能特点。材料的性能可分为两类：工艺性能和使用性能。

工艺性能也称制造性能，反映材料在加工制造过程中所表现出来的特性。对应不同的制造方法，工艺性能分为铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能等。材料工艺性能的好坏直接影响制造成本。

使用性能反映材料在使用过程中的特性，包括物理性能、化学性能和力学性能。物理性能是材料所固有的属性，包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。化学性能是指材料抵抗各种化学介质作用的能力，包括高温抗氧化性、耐腐蚀性等。

化工设备由零部件所组成，而零部件在使用时都承受外力的作用，因此，材料在外力作用下所表现出来的性能就显得格外重要，这种性能称为力学性能。力学性能包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳等。

1. 强度

强度反映材料在外力作用下抵抗破坏的能力。这里的破坏对应两种情况：一种是发生较大的塑性变形，在外力去除后不能恢复到原来的形状和尺寸；另一种情况是发生断裂。不论哪一种情况发生，都将导致零部件不能正常工作。反映材料强度高低的数量指标有屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。屈服点 σ_s 反映材料在外力作用下抵抗发生塑性变形的能力，越高则越不易发生塑性变形；抗拉强度 σ_b 反映材料在外力作用下抵抗发生断裂的能力， σ_b 越高则越不易发生断裂。

2. 塑性

塑性反映材料在外力作用下发生塑性变形而不破坏的能力。如果材料能发生较大的变形而不破坏，则称材料的塑性好。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ， δ 和 ψ 的值越大，则材料的塑性越好。

材料塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。例如，低碳钢的塑性较好，可进行压力加工；普通铸铁的塑性很差，不能进行压力加工，但能进行铸造。同时，由于材料具有一定的塑性，不致因稍有超载而突然破断，这就增加了材料使用的安全可靠。因此，对于材料的塑性指标是有一定要求的。

3. 硬度

硬度反映金属抵抗比它更硬物体压入其表面的能力。常用的硬度试验指标有布氏硬度和

洛氏硬度两种。布氏硬度用 HB 表示，当压头为钢球时表示为 HBS，当压头为硬质合金时表示为 HBW；洛氏硬度用 HRA、HRB 或 HRC 表示，常用 HRC。

4. 冲击韧性

以很快的速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷。材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。反映冲击韧性高低的指标为冲击韧性 a_K 。 a_K 越大，则材料的冲击韧性越好，材料抗冲击能力越强。

材料的冲击韧性随温度的降低而减小，当低于某一温度时冲击韧性会发生剧降，材料呈现脆性，该温度称为脆性转变温度。对于低温工作的设备来说，其选材应注意韧性是否足够。

5. 疲劳

许多机械零件，如各种轴、齿轮、弹簧等，经常受到大小不同和方向变化的交变载荷作用。这种交变载荷常常会使材料在应力小于其强度极限，甚至小于其弹性极限（弹性极限用 σ_e 表示，和 σ_s 、 σ_b 一样通过拉伸试验获得，其值小于 σ_s 和 σ_b ，当应力 σ 小于 σ_e 时材料只发生弹性变形）的情况下，经一定循环次数后，并无显著的外观变形却发生断裂。这种现象叫做材料的疲劳。疲劳断裂与静载荷下断裂不同，无论在静载荷下显示脆性或塑性的材料，在疲劳断裂时，事先都不产生明显的塑性变形，断裂往往是突然发生的，因此具有很大的危险性，常常造成严重事故。

反映材料抵抗疲劳能力的指标主要是疲劳极限 σ_D 。当金属材料承受的交变应力 σ 小于 σ_D 时，应力循环到无数次也不会发生疲劳断裂；当 σ 大于 σ_D 时，材料在经过一定循环次数后，将发生疲劳断裂。

二、钢的热处理

热处理就是将钢在固态范围内加热到给定的温度，经过保温，然后按选定的冷却速度冷却，以改变其内部组织结构，从而获得所需要的性能的一种工艺。

通过热处理可以充分发挥金属材料的潜力，改善金属材料的性能，延长使用寿命和节省金属材料。绝大部分重要的机械零件，在制造过程中都必须进行热处理。

热处理的工艺过程是由加热、保温和冷却三个阶段组成的。随着热处理三个阶段进行的具体情况不同，则材料内部组织和性能的变化也就不同，这样形成了各种热处理方法，以满足各种要求。

热处理分为普通热处理和表面热处理两大类（图 1-2）。普通热处理包括退火、正火、淬火、回火等；表面热处理包括表面淬火、化学热处理等，这种热处理只改变工件表面层的成分、组织和性能。

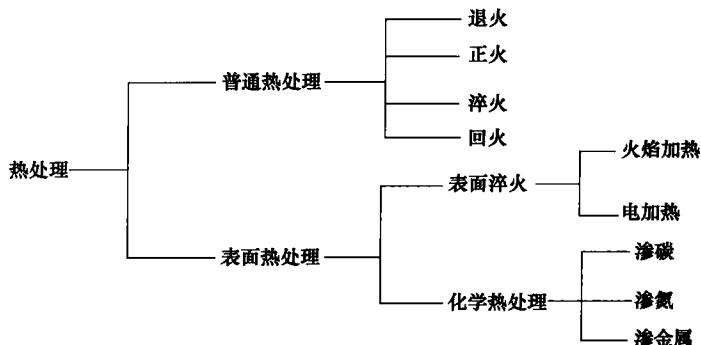


图 1-2 钢的热处理

热处理又分为预先热处理和最终热处理，它们在零件生产工艺过程中的使用顺序及目的不同。一般零件的生产工艺过程为：锻造—预先热处理—机械加工（粗加工）—最终热处理—机械加工（精加工）。预先热处理通常为退火和正火，目的是消除上道工序产生的缺陷（如硬度过高而无法切削），为后面的工序做准备；最终热处理有淬火加回火、表面淬火等，目的是获得零件使用时所要求的性能。

1. 退火和正火

退火是将钢加热到适当温度，保温一定时间，然后缓慢冷却（炉冷、坑冷）的热处理工艺。正火是将钢加热到适当温度，保温一定时间，然后出炉空冷的热处理工艺。

退火和正火主要用作预先热处理，目的是：软化钢材以利于切削加工；消除内应力以防止工件变形；细化晶粒，改善组织，为零件的最终热处理做好准备。

与退火相比，正火冷却速度较快，得到的组织比较细小，强度和硬度也稍高一些。正火的生产周期短，节约能量，而且操作简便。生产中常优先采用正火工艺，对力学性能要求不高的零件，可用正火作为最终热处理。

2. 淬火和回火

淬火是将钢加热到适当温度，保温一定时间后，快速冷却（水冷或油冷）的热处理工艺。淬火后的钢硬而脆，组织不稳定，而且有内应力，不能满足使用要求。因此，淬火后必须回火。按照温度范围不同，回火分为三类：低温回火、中温回火和高温回火。低温回火的回火温度范围为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，回火后的钢具有高硬度和高耐磨性，主要用于各种工具、滚动轴承、渗碳件和表面淬火件；中温回火的回火温度范围为 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，回火后的钢具有较高的弹性极限和屈服强度，一定的韧性和硬度，主要用于各种弹簧和模具等；高温回火的回火温度范围为 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，回火后的钢具有强度、硬度、塑性和韧性都较好的综合力学性能，广泛用于汽车、拖拉机、机床等机械中的重要结构零件，如各种轴、齿轮、连杆、高强度螺栓等。通常将淬火和高温回火相结合的热处理工艺称为调质处理。

3. 表面热处理

某些机械零件如齿轮、曲轴、活塞杆、凸轮轴等，工作时承受较大的冲击和摩擦，因此要求工件表层具有高的硬度、耐磨性以抵抗摩擦磨损，心部具有足够的塑性和韧性以抵抗冲击，即具有“外硬内韧”的性能。为满足这一要求，生产中广泛采用表面热处理。表面热处理方法有表面淬火和化学热处理。

(1) 表面淬火 表面淬火是将钢的表面快速加热至淬火温度，并立即快速冷却的淬火工艺。表面淬火后一般进行低温回火，以满足工件表层的高硬度、高耐磨性要求。表面淬火不改变钢表层的成分，仅改变表层的组织，且中心部组织及性能不发生变化。为满足对中心部的塑性和韧性要求，表面淬火前一般进行调质处理。表面淬火用于中碳钢和中低碳合金结构钢。

(2) 化学热处理 化学热处理是向工件表层渗入某种元素的热处理工艺。按照渗入元素的不同，化学热处理分为渗碳、渗氮（氮化）、碳氮共渗（氰化）、渗金属等。

渗碳是向工件表层渗入碳原子的热处理工艺，适用于低碳钢和低碳合金钢。渗碳后由于工件表层和中心部的含碳量不同，再经过淬火和低温回火热处理，便获得了外硬内韧的性能。

渗氮是向工件表层渗入氮原子的热处理工艺。渗氮用钢大都含有 Cr、Mo、Al、V 等元素（如 38CrMoAlA 钢），经渗氮后工件表层形成各种高硬度的、致密而稳定的氮化物如 AlN 、 CrN 、 MoN 等，从而使钢具有高的表面硬度、耐磨性和耐蚀性。中心部的塑性和韧性要求通过渗氮前的调质处理获得。

三、金属材料

在所有应用材料中，凡是由金属元素或以金属元素为主形成的、具有金属特性的物质称为金属材料；由两种或两种以上不同性质或不同组织的材料组合而成的材料称为复合材料；除金属材料和复合材料外的所有材料称为非金属材料。

金属材料是最重要的机械工程材料，它包括：铁和以铁为基的合金（俗称黑色金属），如钢、铸铁和铁合金等；非铁合金（旧称有色金属），如铜及其合金、铝及其合金、铅及其合金等。钢铁材料应用最广，占全部结构材料、零件材料和工具材料的90%左右。钢的分类见图1-3。

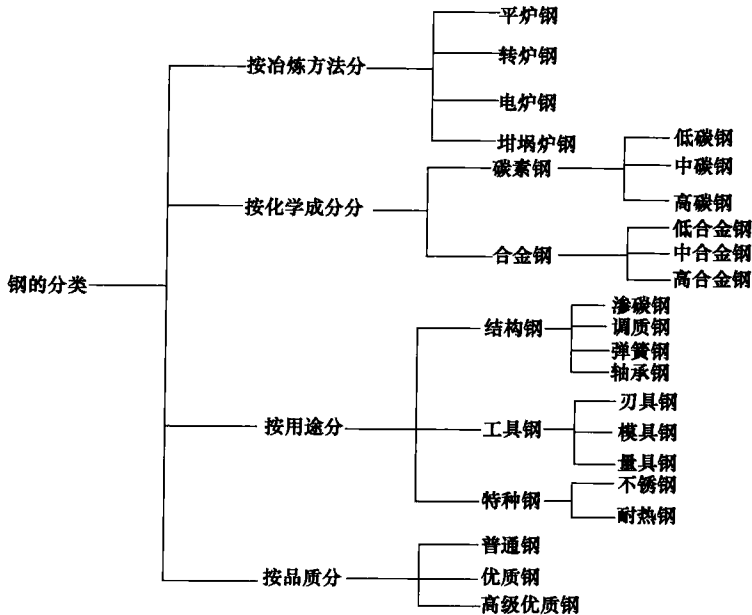


图 1-3 钢的分类

1. 碳钢

碳钢是含碳量小于2.11%的铁碳合金。按钢的用途、质量等级等，将碳钢分为碳素结构钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢等。

(1) 碳素结构钢 碳素结构钢的牌号由代表屈服极限的字母“Q”（“屈”的汉语拼音字首）、屈服极限的数值（单位MPa）、质量等级符号、脱氧方法符号四个部分顺序组成。质量等级按由低到高分为A、B、C、D四级；脱氧方法符号F、b、Z、TZ分别表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢，表示镇静钢的Z一般省略不标。

例如，Q235A表示碳素结构钢，屈服极限为235MPa，A级质量，镇静钢。

碳素结构钢有Q195、Q215、Q235、Q255、Q275五个钢种，其中Q235A钢由于价格低廉，又具有良好的强度、塑性、焊接性、切削加工性等，在化工设备制造中应用广泛。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的牌号以钢中平均含碳量的万分数（两位数字）表示。如45表示优质碳素结构钢，平均含碳量为万分之四十五，即平均 $w_C=0.45\%$ 。

优质碳素结构钢有10、15、20、25、30、35、40、45、55、65、70等，常按含碳量不同分为三类。

① 低碳钢 含碳量 $w_C \leq 0.25\%$ ，常用钢号有10、15、20、25等。这类钢强度较低但塑性较好，冷冲压及焊接性能良好，在化工设备中广泛应用。

② 中碳钢 含碳量 $w_C > 0.25\% \sim 0.60\%$ ，钢的强度与塑性适中，焊接性能较差，不适用于制造设备壳体，多用于制造各种机械零件如轴、齿轮、连杆等。常用牌号有 30、35、40、45、50、55、60 等，其中以 45 钢应用最广。

③ 高碳钢 含碳量 $w_C > 0.60\%$ ，钢的强度和硬度均较高，塑性差，常用的牌号有 65、70 钢，常用来制造弹簧。

2. 低合金钢

低合金钢与合金钢是指在碳钢基础上有目的地加入某些元素所形成的钢种。常加入的元素有 Si、Mn、Cr、B、W、V、Ni、Ti、Nb、Al 等。钢中加入这些元素的目的是为了改善钢的性能，满足使用要求，这些元素称为合金元素。

低合金钢中含有合金元素总量 $\leq 5\%$ 。低合金钢的品种较多，其中低合金高强度结构钢广泛应用于桥梁、船舶、车辆、锅炉、化工容器和输油管等。低合金高强度结构钢牌号表示方法与碳素结构钢相同，有 Q295、Q345、Q390、Q420、Q460 等，其用途举例见表 1-1，最常用的是 Q345 钢。

表 1-1 低合金高强度结构钢用途举例

牌号	原 牌 号	用 途 举 例
Q295	09MnV, 09MnNb, 09Mn2, 12Mn	车辆的冲压件、冷弯型钢、螺旋焊管、拖拉机轮圈、低压锅炉汽包、中低压化工容器、输油管道、储油罐、油船等
Q345	12MnV, 14MnNb, 16Mn, 18Nb, 16MnRE	船舶、铁路车辆、桥梁、管道、锅炉、压力容器、石油储罐、起重及矿山机械、电站设备、厂房钢架等
Q390	15MnTi, 16MnNb, 10MnPNbRE, 15MnV	中高压锅炉汽包、中高压石油化工容器、大型船舶、桥梁、车辆、起重机及其他较高载荷的焊接结构件等
Q420	15MnVN, 14MnVTiRE	大型船舶、桥梁、电站设备、起重机械、机车车辆、中压或高压锅炉及容器及其大型焊接结构件等
Q460		可淬火加回火后用于大型挖掘机、起重运输机械、钻井平台等

3. 合金钢

合金钢的牌号通常是由含碳量数字、合金元素符号、合金元素含量数字顺序组成。含碳量数字为两位数时表示平均含碳量的万分数，为一位数时表示平均含碳量的千分数；合金元素含量数字位于合金元素符号之后，通常表示合金元素平均含量的百分数，当合金元素平均含量 $< 1.5\%$ 时不标数字。例如，40Cr 钢平均含碳量为万分之四十，即 $w_C = 0.4\%$ 、平均 $w_{Cr} < 1.5\%$ ；1Cr18Ni9Ti 钢平均 $w_C = 0.1\%$ 、 $w_{Cr} = 18\%$ 、 $w_{Ni} = 9\%$ 、 $w_{Ti} < 1.5\%$ 。

合金钢的品种较多，有合金渗碳钢、合金调质钢、滚动轴承钢、不锈钢、耐热钢等。

(1) 合金渗碳钢 合金渗碳钢通常经渗碳并淬火、低温回火后使用，具有外硬内韧的性能，主要用于制造承受强烈冲击载荷和摩擦磨损的机械零件，如汽车、拖拉机中的变速齿轮，内燃机上的凸轮轴、活塞销等。

合金渗碳钢的含碳量为低碳。渗碳钢分为碳素渗碳钢和合金渗碳钢两类。碳素渗碳钢为低碳钢，常用牌号有 15、20 等；合金渗碳钢的常用牌号有 20Cr、20CrMnTi、20MnVB 等，其中 20CrMnTi 应用最为广泛。

(2) 合金调质钢 合金调质钢通常经调质后使用，具有优良的综合力学性能，广泛用于制造汽车、拖拉机、车床上的轴、齿轮、连杆、螺栓、螺母等。它是机械零件用钢的主体。

合金调质钢的含碳量为中碳，分为碳素调质钢和合金调质钢两大类。40、45、50 是常用而廉价的碳素调质钢。合金调质钢的常用牌号有 40Cr、35SiMn、35CrMo、40MnB 等，最典型的钢种是 40Cr，用于制造一般尺寸的重要零件。

(3) 滚动轴承钢 滚动轴承钢主要用于制造滚动轴承的内、外圈以及滚动体，此外还可用于制造某些工具，例如模具、量具等。

滚动轴承钢的牌号以字母“G”（“滚”字的汉语拼音字首）后附铬元素符号 Cr 及其含量的千分数及其他合金元素符号表示，碳的含量不标出。例如 GCr15 表示含 Cr 千分之十五即 1.5% 的滚动轴承钢。滚动轴承钢的常用牌号有 GCr9、GCr15、GCr15SiMn 等，最有代表性的是 GCr15。

(4) 不锈钢 一般把能够抵抗空气、蒸汽和水等弱腐蚀性介质腐蚀的钢称为不锈钢，把能够抵抗酸、碱、盐等强腐蚀性介质腐蚀的钢称为耐酸钢。在日常习惯中把不锈钢和耐酸钢统称为不锈钢。不锈钢主要用来制造在各种腐蚀性介质中工作的零件或构件，例如化工装置中的各种管道、阀门和泵，医疗手术器械，防锈刀具和量具等。

Cr 是不锈钢获得耐蚀性的基本合金元素，一般不锈钢 $w_{Cr} = 11.7\%$ 以上。不锈钢含 C 量越低，则耐蚀性越高，但强度、硬度越低。大多数不锈钢的含 C 量为 $0.1\% \sim 0.2\%$ ，但用于制造刀具等的不锈钢含 C 量则较高，可达 $0.85\% \sim 0.95\%$ ，以保证具有足够的强度、硬度。

不锈钢按化学成分可分为铬不锈钢和铬镍不锈钢两大类。铬不锈钢的耐蚀性稍差，主要用于在弱腐蚀性条件下工作的各种机械零件、工具，如汽轮机叶片、阀门零件、量具、轴承、医疗器械等；铬镍不锈钢的耐蚀性较高，主要用于在强腐蚀性条件下工作的设备。

(5) 耐热钢 耐热钢主要用于热工动力机械（汽轮机、燃气轮机、锅炉和内燃机）、化工机械、石油装置和加热炉等高温条件工作的构件。

耐热钢分为抗氧化钢和热强钢两类。在高温下有较好的抗氧化性又有一定强度的钢称为抗氧化钢，常用牌号有 0Cr19Ni9、3Cr18Mn12Si2N 等，这类钢主要用于长期在燃烧环境中工作、有一定强度的零件，如各种加热炉底板、渗碳箱等；高温下有一定抗氧化能力和较高强度以及良好组织稳定性的钢称为热强钢，常用牌号有 1Cr13、1Cr18Ni9Ti、1Cr5Mo、1Cr11Mo 等，用于汽轮机、燃气轮机的转子和叶片、锅炉过热器、内燃机的排气阀、石油裂解管等零件。

4. 有色金属

在化学工业中经常遇到强腐蚀、低温等特殊生产条件，有色金属具有耐蚀性好、低温时塑性好和韧性高等特殊性能，因而在化工设备中经常采用有色金属及其合金，主要是铝、铜、铅及其合金。

(1) 铝及其合金 工业纯铝的牌号有 1070、1060、1050 等（对应的原牌号为 L1、L2、L3），纯度依次降低。铝合金分为形变铝合金和铸造铝合金两类。形变铝合金塑性优良，适于压力加工。其牌号由四位数字组成，如 5A02、3A21 等；铸造铝合金用于铸造，其牌号由字母“Z”（“铸”的汉语拼音字首）、铝的元素符号 Al、其他元素的符号及含量百分数等顺序组成，如 ZAlSi2 表示 $w_{Si} = 2\%$ 、其余为 Al 的铸造铝合金。

铝及其合金具有许多优良的性能，因而获得了广泛的应用。如铝的耐蚀性好，纯铝的纯度越高则耐蚀性越好，可用来做耐蚀设备；铝的导热性能好，适于做换热设备；铝不产生火花，可做储存易挥发性介质的容器；铝不污染物品和不改变物品颜色，在食品工业中广泛应用，并可代替不锈钢做有关设备；熔焊的铝材在 $-196 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间韧性不下降，适于做低温设备。典型牌号铝及其合金的用途举例如下。

工业纯铝常用来做热交换器、塔、储罐、深冷设备和防止污染产品的设备。在石油化工行业中用得较多的铝合金是铸造铝合金和形变铝合金。铸造铝合金可以做泵、阀、离心机等。其耐蚀性能好，有足够的塑性、强度比纯铝高得多，常用来做与液体介质相接触的零件