



普通高等教育“十三五”规划教材



煤化工设备 操作与维护

张国伟 张 伟 祝存恩 编著
侯 侠 主审

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

煤化工设备操作与维护

张国伟 张 伟 祝存恩 编著
侯 侠 主审

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤化工设备操作与维护 / 张国伟, 张伟, 祝存恩编著.
-北京: 中国石化出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-5114-4530-8

I. ①煤… II. ①张… ②张… ③祝… III. ①煤化工-
-化工设备-操作②煤化工-化工设备-维修 IV. ①TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 146907 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市朝阳区吉市口路 9 号
邮编: 100020 电话: (010) 59964500

发行部电话: (010) 59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 22 印张 451 千字
2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷
定价: 46.00 元

前言

“煤化工设备操作与维护”是煤化工技术专业化工工艺理论知识学习与煤化工装置实操工作相结合的一门核心课程，该课程对学生煤化工设备基本知识和煤化工装置操作技能提出了较高的要求，是煤化工技术专业学生理论及实践学习过程中一门十分重要的课程。“煤化学”、“煤化工生产技术”、“煤气化生产技术”等课程为“煤化工设备操作与维护”的学习奠定了良好的基础。在学习该课程并掌握了煤化工装置操作与控制技术后，可将所学知识用于后续课程“顶岗实习”及“毕业设计/论文”之中。“煤化工设备操作与维护”对学生今后从事煤化工及相关行业的职业能力培养起到了支撑作用，使学生能够胜任煤化工装置生产操作岗位的相关工作。

《煤化工设备操作与维护》为课程配套教材，内容主要为新型煤化工项目核心设备的操作与维护，主要包括：煤化工设备材料基础知识，管道、管件及阀门，大型压缩机、泵，换热器，煤气化炉、F-T合成塔、甲烷化合成塔等煤化工反应器，输煤和碎煤设备，空分设备，净化回收设备，沉降槽、过滤器、捞渣机等物料分离设备，蒸发与干燥设备等的结构及其操作与维护。本教材的出版为煤化工企业与高职院校培养技术技能型人才提供了教材支撑，服务于国家“十三五”新型煤化工产业的发展。

本书共十章，第一、二、六、七章由张国伟、祝存恩编写，第八、九章由张伟编写，第五、十章由吴桐编写，第三、四章由姚惠娟编写，全书设备结构图由王迪绘制。本书由兰州石化职业技术学院侯侠教授审定。每位作者根据自己的学术专长与煤化工现场设备操作实际开展编写工作，内容紧扣知识培养目标 and 能力培养目标，突出以就业为导向，以适应职业岗位需要为准绳的特色，旨在培养理论够用、技能过硬、综合素质较好的应用型人才。同时，以培养学生“三种能力(基本能力、专业能力和实践能力)、三种素质(基本素质、专业

素质和综合素质)”为重点，结合生产实际，在实际情境中培养学生真正的职业能力，并使其理论认知水平得到提升。

本书的出版得到了新疆中泰化学阜康能源有限公司的支持，贵公司将企业员工的技能培养需求融入到教材的知识体系中，使本教材更好地体现了“工学结合”的特点。

目 录

第一章 煤化工设备概述	(1)
第一节 煤化工基本概念及其特点	(1)
第二节 煤化工生产的特点及对设备的要求	(2)
第三节 煤化工设备材料基础知识	(5)
第四节 金属材料的腐蚀性	(14)
第二章 压力容器、压力管道基本知识	(20)
第一节 压力容器基本知识	(20)
第二节 压力管道基本知识	(41)
第三节 管道器材	(55)
第四节 阀门产品的分类及用途	(65)
第三章 煤化工机泵	(79)
第一节 概 述	(79)
第二节 离心泵	(80)
第三节 容积式泵	(95)
第四节 润滑的基础知识	(121)
第四章 风机及压缩机	(131)
第一节 概 论	(131)
第二节 往复式压缩机	(132)
第三节 离心式压缩机	(143)
第五章 换热器	(165)
第一节 换热器的分类	(165)
第二节 常用换热器简介	(167)
第三节 高压换热器	(172)

第四节	换热器的传热过程强化·····	(174)
第五节	换热设备的操作与维护·····	(179)
第六章	煤化工反应器 ·····	(182)
第一节	煤化工反应器的种类及类型·····	(182)
第二节	气化炉·····	(183)
第三节	F-T 合成反应器 ·····	(209)
第四节	加氢反应器·····	(214)
第五节	釜式反应器·····	(217)
第六节	管式炉·····	(225)
第七章	输煤、碎煤和破渣设备 ·····	(237)
第一节	磨煤机基础知识·····	(237)
第二节	输煤设备·····	(242)
第三节	破渣设备·····	(261)
第八章	非均相物系的分离设备操作与维护 ·····	(264)
第一节	沉降槽·····	(264)
第二节	过滤机·····	(266)
第三节	捞渣机·····	(278)
第九章	塔设备 ·····	(283)
第一节	概 述·····	(283)
第二节	板式塔·····	(285)
第三节	填料塔·····	(299)
第十章	蒸发设备与干燥设备 ·····	(310)
第一节	蒸发设备·····	(310)
第二节	干燥设备·····	(322)
参考文献	·····	(345)

第一章 煤化工设备概述

第一节 煤化工基本概念及其特点

一、基本概念

简单的说煤化工就是以煤为原料生产化学品、能源产品的工业。换句话说煤化工是以煤为原料，经过化学加工使煤转化成气体、液体、固体以及化学品的过程。

按照产业发展成熟度和发展历程，可将煤化工分为传统煤化工和现代新型煤化工两大类。传统煤化工主要包括煤焦化、煤气化制甲醇和合成氨、煤制电石等，由于技术门槛较低，国内产能过剩的情况较为严重，未来将以转型升级为主。

现代新型煤化工主要包括将煤液化生产油品、煤气化生产甲醇进而生产下游产品，其主要产品包括煤制油、煤制甲醇、煤制烯烃、煤制二甲醚、煤制天然气、煤制乙二醇、煤制芳烃及 IGCC 发电等。两者的工艺流程及其产品分别如图 1-1、图 1-2 所示。

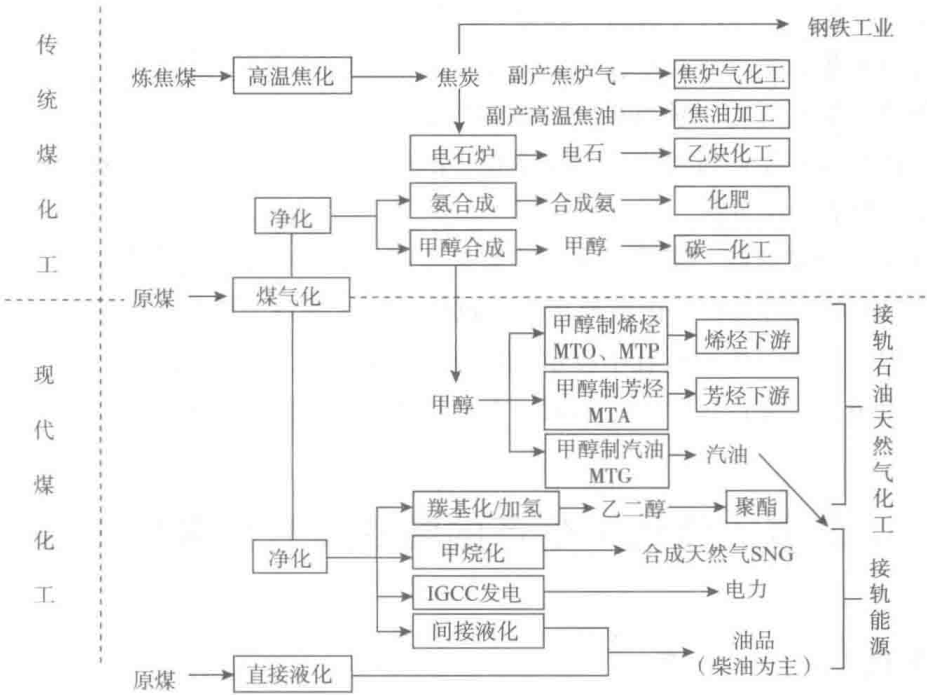


图 1-1 传统煤化工与现代新型煤化工生产工艺与产品比较

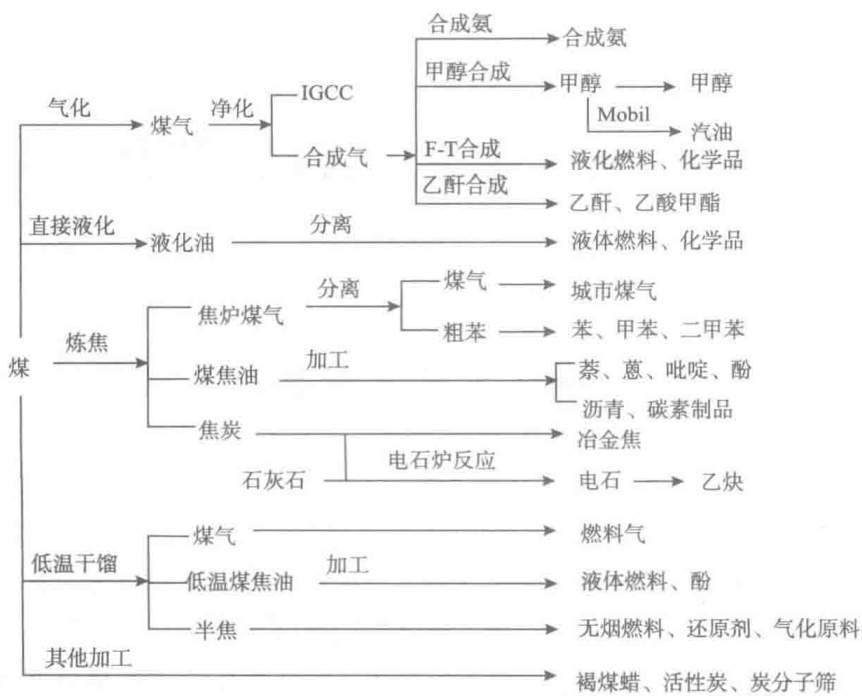


图 1-2 煤化工主要产品范畴

二、煤化工的特点

煤化工主要包括下述特点：

- (1) 资源密集：煤资源、水资源消耗量大，一个较大的煤化工产业园需要百亿吨煤炭资源做保障，常年至少需水 $(2000 \sim 3000) \times 10^4 \text{ m}^3$ 。
- (2) 技术密集：现代煤化工技术是当今最为前沿的化工生产技术之一。
- (3) 资金密集：煤化工项目投资一般达数十至数百亿元。
- (4) 副产物多：生产过程中要求企业很多的生产技术高度融合，提高副产品和联产品的加工深度，有效利用资源。
- (5) 安全生产要求高：煤化工多为连续化生产，生产介质多为有毒有害物质，生产过程常伴有易燃易爆的可能性，因而要求生产过程控制水平高、操作水平高。
- (6) 环保要求严：生产过程中废水、废气、废渣排放量大，治理难度大。
- (7) 物流量大：生产过程中运输量、吞吐量，要求配套交通便利。

第二节 煤化工生产的特点及对设备的要求

一、煤化工生产的特点

随着计算机控制技术、机电一体化技术在煤化工生产中的广泛应用，煤化工生产设备

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，煤化工生产具有其自身的特点。

1. 生产的连续性强

煤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。煤化工生产过程中，有很多介质具有腐蚀性，例如酸、碱、盐类介质，会对金属或非金属物件造成腐蚀，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) 介质大多易燃易爆且具有毒性。煤化工生产过程中，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

煤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。故煤化工设备的用途、操作条件、结构形式也千差万别。

4. 生产的技术含量高

现代煤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、煤化工生产对煤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。煤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，减薄煤化工设备的壁厚，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。对于大型煤化工设备，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,煤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。密封性是指煤化工设备防止介质泄漏的能力。由于煤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,密封的可靠性是煤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。煤化工生产过程的工艺指标是由设备来完成的。煤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,将影响整个过程的生产效率,造成经济损失。

(2) 生产效率高、消耗低。煤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煤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。煤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。煤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。煤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,降低维护、操作费用,并使设备在使用期内安全运行,应尽量减少煤化工设备的基建投资和日常维护以获得较好的经济效益。

三、我国煤化工设备的生产状况

近年来,伴随煤化工工业的发展,我国装备制造业在积极引进先进的技术装备、管理理念和管理制度的基础上,结合我国国情进行消化吸收和再创新,自主创新能力不断增强,一些煤化工重大技术装备,如特大型加氢反应器、特大型空分装置、大型煤气化炉、大型煤浆泵、大型煤气压缩机和相应泵阀等,已能与国外知名大公司抗衡。

通过重大技术装备国产化,扶持了一批装备加工手段齐全、制造技术水平较高的大型装备制造企业,已形成中国一重集团、中国石化南化机械公司、金州重型机器集团、锦西化工机械(集团)有限责任公司、兰州石油机械设备有限公司、沈阳鼓风机(集团)有限公司、陕西鼓风机集团有限公司、杭州汽轮机动力集团有限公司、杭州制氧机集团有限公司、大连大耐泵业有限公司、哈尔滨电站集团锅炉公司、自贡高中压阀门股份有限公司和北京航天动力研究所(十一所)等一批煤化工工业装备制造业的骨干企业。他们的生产规模、加工设备、加工能力等在国际上属一流水平。同时一些民营企业、合资企业及外资企业,如上海凯士比泵业公司、浙江嘉利特荏原泵业有限公司、大连苏尔寿泵及压缩机有限公司等,凭借其先进的理念、机制和技术,在促进我国煤化工装备自主创新和国产化方面也发挥了重要作用。目前,我国煤化工装备制造业的生产能力、制造水平、产品质量、可靠性等均已取得长足进步。如中国一重集团引进日本日立制钢所临氢设备的冶炼、锻造、焊接和检验技术,制造的煤液化加氢反应器,产品质量好,在国际上有较高竞争力,目前已制造出世界最大的煤直接液化加氢反应器,单台重达 2020t。

沈阳鼓风机集团股份有限公司引进意大利新比隆公司、日本日立公司和德国德马格公司技术,研制了大型煤化工的甲醇项目——榆林 $60 \times 10^4 \text{ t/a}$ 甲醇的低温大型离心压缩机系列;引进德国勃西格公司和瑞士阿克公司技术,研制了我国首台煤制油装置用 4M50 系列的大型往复式压缩机系列。陕西鼓风机集团公司引进瑞士苏尔寿公司技术,研制了大型煤气轴流风机系列。杭州汽轮机动力集团有限公司引进德国西门子公司技术,消化吸收再创新已可制造 $5 \times 10^4 \text{ kW}$ 及以上的工业驱动汽轮机系列。杭州制氧机股份有限公司引进德国林德公司和美国 S-W 公司技术,研制了大型空分设备和板翅式换热器(冷箱)系列等。这些成果有效加快了我国煤化工重大技术装备的产品升级换代速度,提高了国产化水平,降低了我国大型煤化工工程建设的投资,有力地增强了装备制造业的自主创新能力和国际竞争能力。

第三节 煤化工设备材料基础知识

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。

(1) 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。

(2) 使用性能反映材料在使用过程中所表现出来的特性，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会承受外力的作用，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。无论哪一种情况发生，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 一样通过拉伸实验获得,其值小于 σ_s 和 σ_b 。当 σ_s 和 σ_b 均小于 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 $\sigma < \sigma_D$ 时,应力循环到无数次也不会发生疲劳断裂;当 $\sigma > \sigma_D$ 时,材料在经过一定循环次数后,将发生疲劳断裂。

二、金属材料的分类

金属材料来源丰富,并具有优良的使用性能和加工性能,常用以制造机械设备、工具、模具,并广泛应用于石油化工、煤化工、机械工程等工程项目领域。金属材料大致可分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属通常指钢和铸铁;有色金属是指黑色以外的金属及其合金,如铜合金、铝及铝合金等。

1. 黑色金属和有色金属

在介绍钢的分类之前先简单介绍一下黑色金属与有色金属的基本概念。

1) 黑色金属

黑色金属是指铁和铁的合金。如钢、生铁、铁合金、铸铁等。钢和生铁都是以铁为基础,以碳为主要添加元素的合金,统称为铁碳合金。铁合金是由铁与硅、锰、铬、铁等元素组成的合金,铁合金是炼钢的原料之一,在炼钢时做钢的脱氧剂和合金元素添加剂用。

2) 有色金属

有色金属又称非铁金属,指除黑色金属外的金属和合金,如铜、锡、铅、锌、铝以及黄铜、青铜、铝合金和轴承合金等。另外在工业上还采用铬、镍、锰、钨、钼、钴、钒、钨、钛等,这些金属主要用作合金附加物,以改善金属的性能,其中钨、钛、钼等多用以生产刀具用的硬质合金。

2. 钢的分类

钢是含碳量在0.04%~2.3%之间的铁碳合金。为了保证其韧性和塑性,含碳量一般不超过1.7%。钢的主要元素除铁、碳外,还有硅、锰、硫、磷等。钢的分类方法多种多样,主要有以下7种。

1) 按品质分类

按照钢中硫(S)和磷(P)的质量分数可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。

①普通钢($C_p \leq 0.045\%$, $C_s \leq 0.055\%$); ②优质钢($C_p \leq 0.035\%$, $C_s \leq 0.035\%$);

③高级优质钢 ($C_p \leq 0.035\%$, $C_s \leq 0.030\%$)。

2) 按化学成分分类

(1) 碳素钢: ①低碳钢 ($C_c \leq 0.25\%$); ②中碳钢 ($0.25\% < C_c \leq 0.60\%$); ③高碳钢 ($C_c > 0.60\%$)。

(2) 合金钢: ①低合金钢 (合金元素总质量分数 $\leq 5\%$); ②中合金钢 (合金元素总质量分数为 $5\% \sim 10\%$); ③高合金钢 (合金元素总质量分数 $> 10\%$)。

3) 按成形方法分类

①锻钢; ②铸钢; ③热轧钢; ④冷拔钢。

4) 按金相组织分类

(1) 退火状态: ①亚共析钢 (铁素体 + 珠光体); ②共析钢 (珠光体); ③过共析钢 (珠光体 + 渗碳体); ④莱氏体钢 (珠光体 + 渗碳体)。

(2) 正火状态: ①珠光体钢; ②贝氏体钢; ③马氏体钢; ④奥氏体钢。

(3) 无相变或部分发生相变。

5) 按用途分类

(1) 建筑及工程用钢: ①普通碳素结构钢; ②低合金结构钢; ③钢筋钢。

(2) 结构钢: ①机械制造用钢: a. 调质结构钢; b. 表面硬化结构钢, 包括渗碳钢、渗氮钢、表面淬火用钢; c. 易切结构钢; d. 冷塑性成形用钢, 包括冷冲压用钢、冷墩用钢。②弹簧钢。③轴承钢。

(3) 工具钢: ①碳素工具钢; ②合金工具钢; ③高速工具钢。

(4) 特殊性能钢: ①不锈钢耐酸钢; ②耐热钢: 包括抗氧化钢、热强钢、气阀钢; ③电热合金钢; ④耐磨钢; ⑤低温用钢; ⑥电工用钢。

(5) 专业用钢: 桥梁用钢、船舶用钢、锅炉用钢、压力容器用钢、农机用钢等。

6) 综合分类

(1) 普通钢: ①碳素结构钢: a. Q195; b. Q215 (A、B); c. Q235 (A、B、C、D); d. Q255 (A、B); e. Q275。②低合金结构钢。③特定用途的普通结构钢。

(2) 优质钢 (包括高级优质钢): ①结构钢: a. 优质碳素结构钢; b. 合金结构钢; c. 弹簧钢; d. 易切钢; e. 轴承钢; f. 特定用途优质结构钢。②工具钢: a. 碳素工具钢; b. 合金工具钢; c. 高速工具钢。③特殊性能钢: a. 不锈钢耐酸钢; b. 耐热钢; c. 电热合金钢; d. 电工用钢; e. 高健耐磨钢。

7) 按冶炼方法分类

(1) 按炉种分: ①平炉钢: a. 酸性平炉钢; b. 碱性钢。②转炉钢: a. 酸性转炉钢; b. 碱性转炉钢。③电炉钢: a. 电弧炉钢; b. 电渣炉钢; c. 感应炉钢; d. 真空自耗炉钢; e. 电子束炉钢。

(2) 按脱氧方法分: ①沸腾钢; ②镇静钢; ③半镇静钢; ④特殊镇静钢。

3. 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 4 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”的汉语拼音首字母）、铝的元素符号 Al、其他元素的符号及质量含量百分数的顺序组成，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和深冷设备中的液空吸附过滤器、分馏塔等。

2) 铜及其合金

工业纯铜按杂质含量可分为 T1、T2、T3、T4 共 4 个牌号，纯度依次降低。

铜合金按主要合金元素的种类分为黄铜、青铜等，黄铜是以锌为主要合金元素的铜合金；青铜是以锌以外的其他元素为主要合金元素的铜合金。以锡为主要合金元素的青铜称为锡青铜，以锡以外的其他元素为主要合金元素的青铜称为无锡青铜。

工业纯铜和黄铜具有极好的导热性，优越的低温力学性能和耐蚀性能（但铜在氨或铵盐溶液及各种浓度的硝酸中不耐蚀），因而在化工行业中获得了广泛的应用。如 T2、T3、T4 可用来做深度冷冻设备和换热器。压力加工黄铜可作深度冷冻设备的简体、管板、法兰及螺母等。

青铜具有良好的耐蚀性和耐磨性，主要用来制造轴瓦、蜗轮等机械零件和泵壳、阀门等化工设备。

3) 铅及其合金

铅在许多介质中，如亚硫酸、磷酸（ $<85\%$ ）、铬酸、氢氟酸（ $<60\%$ ）等，特别是在硫酸中，具有很高的耐蚀性。但铅在蚁酸、醋酸、硝酸和碱溶液中不耐蚀。由于铅强度和硬度都低、不耐磨、非常软、密度大，因而不适宜单独做化工设备，只能做设备衬里。铅与锑的合金称为硬铅，强度和硬度都比纯铅高，可用来做加料管、耐酸泵和阀门等零件。

4) 滑动轴承合金

滑动轴承合金用来制造滑动轴承的轴瓦及其内衬（称为轴承衬）。常用的滑动轴承合金有锡基轴承合金（又称锡基巴氏合金）、铅基轴承合金（又称铅基巴氏合金）、铜基轴承合金和铝基轴承合金。

三、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 3 个阶段组成的。随着热处理 3 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类（图 1-3）。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。

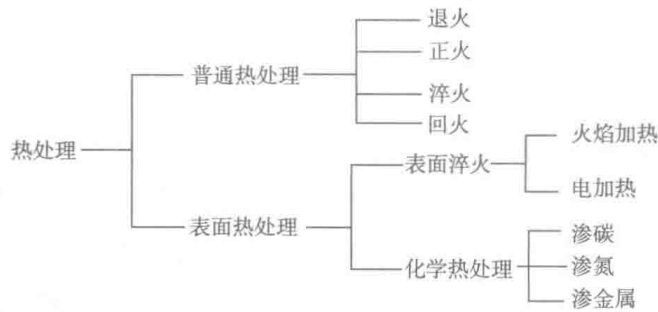


图 1-3 钢的热处理

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理、局部热处理和化学热处理等。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同，每一类又可区分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺，可获得不同的组织，从而具有不同的性能。钢铁是工业上应用最广泛的金属，而且钢铁显微组织也最为复杂，因此钢铁热处理工艺种类繁多。

1. 整体热处理

整体热处理是对工件整体加热，然后以适当的速度冷却，以改变其整体力学性能的金属热处理工艺。钢铁整体热处理有退火、正火、淬火和回火 4 种基本工艺。

1) 退火

将钢加热到一定温度并保温一段时间，然后使其慢慢冷却，称为退火。钢的退火是将钢加热到发生相变或部分相变的温度，经过保温后缓慢冷却的热处理方法。退火又可分为完全退火（重结晶退火）、去应力退火和再结晶退火。完全退火主要用于亚共析钢和热轧