

硫磺装置设备 运行与维护

LIUHUANG ZHUANGZHISHEBEI
YUNXING YU WEIHU

肖 锋 陈继明 徐 宏 主编
王百森 黄福泉 审定

中国石化出版社
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

硫磺装置设备运行与维护

肖 锋 陈继明 徐 宏 主编
王百森 黄福泉 审定

中国石化出版社

内 容 提 要

本书介绍了硫磺装置设备的作用原理、结构特点、技术指标、使用维护、设备常见故障的处理等,可作为硫磺装置设备工程师的参考书,也可作为硫磺装置操作工进行职业技能鉴定的学习材料。

图书在版编目 (CIP) 数据

硫磺装置设备运行与维护 / 肖锋, 陈继明, 徐宏主编.
—北京: 中国石化出版社, 2009
ISBN 978 - 7 - 80229 - 906 - 1

I. 硫… II. ①肖…②陈…③徐… III. ①硫磺回收 - 化工设备 - 运行②硫磺回收 - 化工设备 - 维护 IV. TE644

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 050100 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

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

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 7.5 印张 182 千字

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

定价:26.00 元

前 言

随着我国加工进口高硫原油量的增加，国家对清洁燃料的要求日趋严格，加之人们对环境保护的日益重视，硫磺装置已成为炼油厂、大型天然气净化厂、煤气净化厂、煤炭气化或液化厂的必不可少的配套装置。

国内已出版的设备技术参考书，多以讲述单体设备为主，或以炼油厂、化工厂设备为主体，而硫磺装置的设备既有炼油、化工装置设备的通性，又有其特殊性。本书介绍了硫磺装置设备的作用原理、结构特点、技术指标、运行与维护注意事项以及设备常见故障等。

本书共分十一章，由中国石化股份有限公司天津分公司肖锋、陈继明及中国石化青岛炼油化工有限责任公司徐宏共同编写。全书由中国石化股份有限公司天津分公司设备管理部王百森、天津石化 100 万吨/年乙烯及配套项目经理部黄福泉审定。编写过程中除参考了书中所列参考书目外，还参考了中国石化、中国石油相关企业硫磺装置操作规程，以及部分设备生产厂商资料，在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限及编写时间较为仓促，书中可能存在遗漏、缺陷或不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

Contents

目

录

第一章 装置概述

- 1.1 高温燃烧段内发生的反应 (1)
- 1.2 催化段内发生的反应 (1)
- 1.3 尾气还原反应(加氢反应器内) (2)
- 1.4 典型工艺流程简介 (2)

第二章 压力容器的运行与维护

- 2.1 压力容器分类 (5)
- 2.2 压力容器用钢 (6)
- 2.3 压力容器附件 (12)
- 2.4 化工容器的一般结构 (15)
- 2.5 容器的运行与维护 (16)
- 2.6 容器的检修、检测、检验 (17)
- 参考文献 (21)

第三章 塔设备的运行与维护

- 3.1 塔设备知识 (22)
- 3.2 板式塔 (22)
- 3.3 填料塔 (24)
- 3.4 塔设备结构与性能 (28)
- 3.5 塔设备运行与维护 and 检修、检测、检验 (30)
- 参考文献 (33)

第四章 反应器的运行与维护

- 4.1 反应器基本知识 (35)
- 4.2 反应器分类 (35)
- 4.3 装置反应器作用 (36)
- 4.4 装置反应器结构与性能 (36)

4.5 反应器的维护和检修、检验	(36)
参考文献	(37)

▲ 第五章 冷换设备的运行与维护

5.1 冷换设备概述	(38)
5.2 管壳式换热器	(39)
5.3 板式换热器	(44)
5.4 空冷式换热器	(47)
5.5 制硫冷换设备的特点	(53)
5.6 冷换设备的检修、检测、检验	(54)
参考文献	(57)

▲ 第六章 焚烧炉和废热锅炉的运行与维护

6.1 炉类设备基本知识	(58)
6.2 制硫系统燃烧炉的作用和结构	(58)
6.3 制硫系统焚烧炉的检修与维护	(60)
6.4 废热锅炉	(62)
参考文献	(66)

▲ 第七章 泵的运行与维护

7.1 泵类基本知识	(67)
7.2 泵的主要性能参数	(67)
7.3 离心泵	(69)
7.4 屏蔽泵和磁力泵	(72)
7.5 喷射泵	(75)
7.6 隔膜泵	(76)
7.7 离心泵的日常操作、维护和检修	(76)
参考文献	(78)

▲ 第八章 鼓风机的运行与维护

8.1 风机知识概述	(79)
8.2 风机的工作原理	(79)
8.3 离心风机的结构	(79)
8.4 风机的选用	(80)
8.5 风机的日常操作、维护和检修	(81)
参考文献	(85)

▲ 第九章 硫磺成型造粒、包装设备、液硫装车设备的运行与维护

9.1 硫磺成型知识概述	(86)
9.2 硫磺成型造粒的工作原理	(86)
9.3 硫磺包装设备介绍	(87)
9.4 硫磺成型造粒、包装设备的日常操作、维护和检查	(90)
9.5 液硫装车设备	(95)
参考文献	(96)

▲ 第十章 管道及配件的运行与维护

10.1 管道知识概述	(97)
10.2 管道法兰	(98)
10.3 阀门	(100)
10.4 垫片	(105)
10.5 液硫夹套管的制作和安装	(107)
参考文献	(110)

▲ 第十一章 装置特殊阀门简介

11.1 高温掺合阀	(111)
11.2 夹套切断阀	(111)
11.3 夹套三通阀	(111)
参考文献	(112)

第一章 装置概述

硫磺回收装置是炼油行业工艺加工后期的配套环保设施，装置主要处理胺液脱硫后的再生酸性气和污水汽提酸性气，目前此类装置在国内有着向大型化、高自动化、主要设备国产化方向发展。该装置的经济效益不大，可对于炼化装置是不可缺少的一部分。

硫磺回收装置一般由两部分组成：制硫部分和尾气处理部分。制硫装置部分一般采用克劳斯(Claus)部分燃烧法。克劳斯法制硫的基本工艺是使含 H_2S 酸性气在燃烧炉内用空气进行不完全燃烧，严格控制配风量，使 H_2S 反应后产生的 SO_2 量满足 H_2S/SO_2 分子比等于或接近于2，未反应的 H_2S 与生成的 SO_2 在没有催化剂的高温条件下进行反应，生成气态硫和水，随后经冷凝步骤分离出液体硫磺，分离硫后的过程气经加热或用高温气掺和进入催化反应器(称之为转化器)，其中未反应的 H_2S 和 SO_2 在催化剂存在下继续反应，生成单质硫和水(仍为气态)，转化段生成的单质硫也经冷凝分离加以回收。催化段反应一般分为两段，为了提高 H_2S 总转化率也有设三段甚至四段的，实际反应是比较复杂的。下面简介一下反应机理和典型工艺流程。

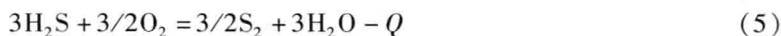
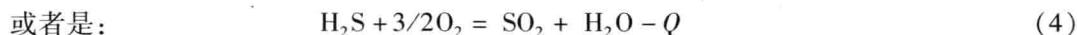
1.1 高温燃烧段内发生的反应

1.1.1 主反应(酸性气炉内)

燃烧炉内进行的高温氧化反应及总反应方程式

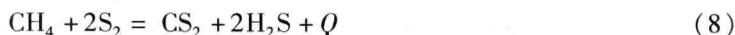
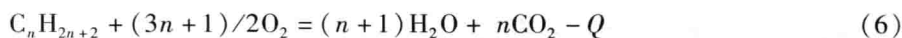


其实际反应步骤是：



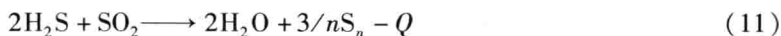
1.1.2 副反应

在高温反应段存在下列副反应：

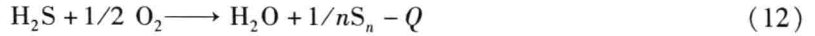


1.2 催化段内发生的反应

1.2.1 主反应(Claus 反应器内)



这是催化转化反应，还可能存在催化氧化反应。

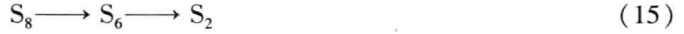


1.2.2 副反应

主要的也是有利的副反应是羰基硫与二氧化碳的水解反应：



此外，还存在着硫磺蒸气中硫分子结构随温度的变化而转化的反应：



1.3 尾气还原反应(加氢反应器内)

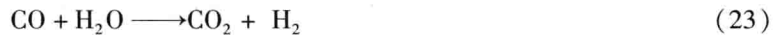
尾气部分一般采用加氢还原吸收法将制硫尾气中的 SO_2 还原成 H_2S 返回到上游装置，进一步回收硫，制硫尾气中主要含有 SO_2 、 H_2S 和单质 S 等，因此经加氢反应炉加热混合后的尾气进入加氢反应器，在加氢催化剂作用下，将尾气中的 SO_2 和单质 S 进行加氢反应生成 H_2S ，反应机理如下：



COS 、 CS_2 进行水解生成 H_2S ：



上述反应，反应温度 $330 \sim 350^\circ\text{C}$ 、压力接近于常压即可进行，同时由于 CO 的存在也可能发生下列反应：



其中生成的 COS 被进一步水解生成 H_2S ，因此上述大多数反应为放热反应，床层温度大于反应器入口温度。

经加氢还原吸收后的尾气再进入尾气焚烧炉进行燃烧，进行适合配风将尾气充分燃烧，最后经烟囱放入大气。

1.4 典型工艺流程简介

1.4.1 制硫部分工艺流程(以意大利 KTI 工艺为例)

如图 1-1 所示，来自胺脱硫再生的酸性气进入循环酸性气洗涤器 1，以分离出酸性气中的冷凝液和夹带的液体，分离后的酸性气经酸性气预热器 2 加热后与污水汽提酸性气经酸性气分液灌分离后的酸性气一并进入酸性气主燃烧器，和与来自空气鼓风机来的经空气预热器加热后的适量空气进行混合燃烧反应，紧接着在制硫燃烧炉 6 内进一步达到平衡，生成的过程气经废热锅炉 7 取热并发生蒸汽后冷却，进入第 I、II 级硫冷凝器(同壳)8 中的 I 级硫冷凝器被除氧水冷却同时发生蒸汽，过程气中的硫蒸气被冷凝、捕集分离，I 级硫冷凝器出来的过程气进入一级过程气加热器 9 加热后，第一 Claus 反应器 10 反应，反应后的过程气经

气-气换热器 12 冷却后进入 I、II 级硫冷凝器(同壳)8 中的 II 级硫冷凝器, 冷却后的过程气经气-气换热器 12 加热进入第二 Claus 反应器 11 反应, 反应后的过程气经 III 级硫冷凝器冷却后进入尾气处理装置。过程气冷却收集的液硫经过硫封进入液硫坑 14, 再由液硫泵 13 送至硫磺生产线。

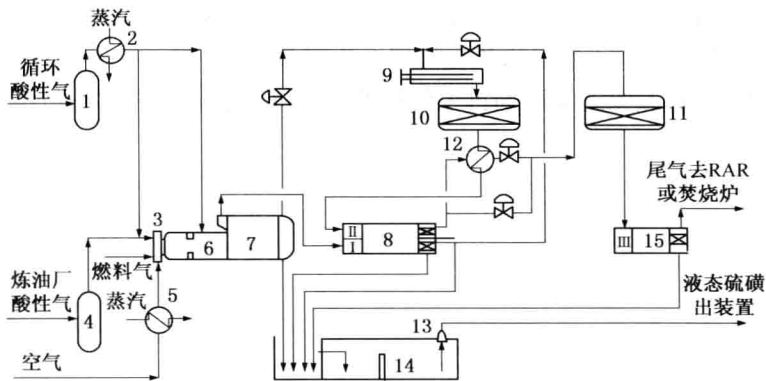


图 1-1 硫磺回收装置的 Claus 单元流程示意图(意大利 KTI 工艺)

- 1—循环酸性气洗涤器; 2—循环酸性气预热器; 3—主燃烧器; 4—酸性气分液罐;
- 5—空气预热器; 6—酸性气焚烧炉; 7—余热锅炉; 8—I、II 级硫冷凝器;
- 9—加热器; 10—第一 Claus 反应器; 11—第二 Claus 反应器; 12—气-气换热器;
- 13—液硫泵; 14—液硫坑; 15—III 级硫冷凝器

1.4.2 尾气处理部分工艺流程(以意大利 KTI 工艺为例)

如图 1-2 所示, 自制硫部分的尾气与来自加氢反应器 2 出口的过程气在气-气换热器 1 进行换热, 加热至约 300℃ 后进入加氢反应器 2, 在开车初期或低负荷运行时, 须由加热器 4 补充不足的热量, 所需 H₂ 由系统外供。在加氢反应器 2 中, 在催化剂作用下发生水解还原反应, 尾气中的各种硫化物水解、加氢还原为 H₂S。加氢后的尾气进入急冷塔 7 下部,

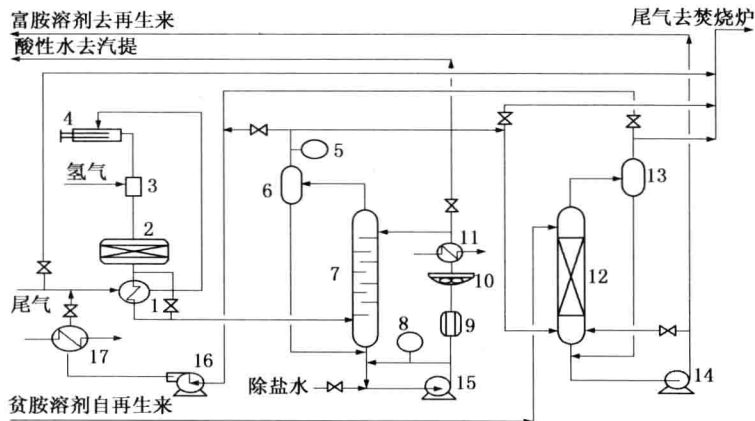


图 1-2 还原-吸收部分流程示意图(意大利 KTI 工艺)

- 1—气-气换热器; 2—加氢反应器; 3—混氢器; 4—加热器; 5—氢分析仪; 6—分液罐;
- 7—急冷塔; 8—pH 分析仪; 9—过滤器; 10—空冷器; 11—水冷却器; 12—吸收塔;
- 13—尾气分液罐; 14—富胺泵; 15—急冷水泵; 16—循环风机; 17—加热器

过程气在急冷塔中被逆流来的冷却水冷却，其中的水蒸气组分被冷凝成水。冷却后的过程气自急冷塔 7 上部出后进入分液罐 6 脱液，经氢分析仪 5 分析 H_2 含量以便于混氢器 3 处 H_2 的配比，由分液罐 6 出来的尾气进入吸收塔 12，其中的 H_2S 和部分 CO_2 等被 MDEA 溶剂吸收，吸收塔 12 顶的尾气经尾气分液罐 13 脱液进入焚烧炉焚烧。

自急冷塔 7 底的急冷水由急冷水泵 15 送至急冷水空冷器 10 和水冷却器 11 冷却至 $40^\circ C$ 后循环使用，多余的水被送至酸性水汽提装置。出吸收塔 12 底，吸收了 H_2S 和部分 CO_2 等气体的溶剂(富液)由富胺泵送至溶剂再生装置处理，再生后的溶剂(贫液)由外界供送。

第二章 压力容器的运行与维护

硫磺装置的大部分容器均为压力容器，且所有与硫磺接触的容器均为夹套容器。

工业生产中具有特定的工艺功能并承受一定压力的设备，称压力容器。储运容器、反应容器、换热容器和分离容器均属压力容器。

根据国家质量技术监督局 1999 颁发的《压力容器安全技术监察规程》同时具备下列条件的容器称为压力容器：

- ① 最高工作压力大于等于 0.1MPa(不含液体静压力，下同)；
- ② 内直径(非圆形截面指其最大尺寸)大于等于 0.15m，且容积大于等于 0.025m³；
- ③ 盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度高于标准沸点的液体。

压力容器的用途十分广泛，在石油化学工业、能源工业、科研和军工等国民经济的各个部门都起着重要作用。

压力容器一般由筒体、封头、法兰、密封元件、开孔和接管、支座等六大部分构成容器本体。此外，还配有安全装置、表计(安全附件中的压力表、双金属温度计、液位计等)及完成不同生产工艺作用的内件。

压力容器由于密封、承压及介质等原因，容易发生爆炸、燃烧起火而危及人员、设备和财产安全及环境污染事故。目前，世界各国均将其列为重要的监检产品，由国家指定的专门机构，按照国家规定的法规和标准实施监督检查和技术检验。

2.1 压力容器分类

压力容器的分类方法很多，从使用、制造和监检的角度分类，有以下几种。

2.1.1 按承受压力(MPa)的等级分

- a. 低压容器： $0.1 \leq P < 1.6$ ；
- b. 中压容器： $1.6 \leq P < 10$ ；
- c. 高压容器： $10 \leq P < 100$ ；
- d. 超高压容器： $P \geq 100$ 。

2.1.2 按盛装介质分

分为非易燃、无毒；易燃或有毒；剧毒。

2.1.3 按工艺过程中的作用不同分

- ① 反应容器：用于完成介质的物理、化学反应的容器。
- ② 换热容器：用于完成介质的热量交换的容器。
- ③ 分离容器：用于完成介质的质量交换、气体净化、固-液-气分离的容器。
- ④ 储运容器：用于盛装液体或气体物料、储运介质或对压力起平衡缓冲作用的容器。

2.1.4 我国《压力容器安全技术监察规程》分类

为了更有效地实施科学管理和安全监检，我国《压力容器安全技术监察规程》中根据工作压力、介质危害性及其在生产中的作用将压力容器分为三类。并对每个类别的压力容器在

设计、制造过程以及检验项目、内容和方式等方面做出了不同的规定。

压力容器已实施进口商品安全质量许可制度，未取得进口安全质量许可证书的商品不准进口。

2.2 压力容器用钢

压力容器使用的材料品种很多，最常用的是金属材料，如碳钢、普通低合金钢、不锈钢、铸铁及各种有色金属等。非金属材料具有优良的耐腐蚀性能，在化工设备用材中也占有一定的比例。硫磺装置中压力容器材料主要是金属材料。国家标准 GB150《钢制压力容器》对压力容器用钢的使用范围、采用的标准、材料的许用应力等都有明确的规定，这些规定应该理解为是对压力容器用钢最起码的要求。《钢制压力容器》规定中有“选择压力容器用钢应考虑容器的使用条件(如设计温度、设计压力、介质特性和操作特点等)、材料的焊接性能、容器的制造工艺以及经济合理性”。

2.2.1 金属材料性能

为更合理地使用金属材料、了解压力容器用钢，必须掌握各种金属材料制成的零、构件在正常工作情况下应具备的性能(使用性能)及其在冷热加工过程中材料应具备的性能(工艺性能)。材料的使用性能包括物理性能、化学性能。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。

2.2.1.1 金属材料的机械性能

机械性能(力学性能)：机械性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的特性，如弹性、塑性、韧性、强度、硬度等。

(1) 弹性

金属材料受到外力作用时，其形状和尺寸会发生变形。当外力去掉后，原来的形状和尺寸将得以恢复。金属材料的这种能恢复原来形状和尺寸的能力，称为弹性。

(2) 塑性

金属材料在外力作用下产生永久变形(外力去掉后不能恢复原来形状和尺寸的变形)，但不会被破坏的性能，称为金属材料的塑性。制造压力容器的材料，最主要的塑性指标是伸长率、断面收缩率和屈强比。

(3) 强度

强度是材料抵抗外力(载荷)作用不致破坏(变形或断裂)的性能指标。制造压力容器的材料，最主要的强度指标是屈服点 σ_s (或屈服强度 $\sigma_{0.2}$)、抗拉强度 σ_b 。

(4) 屈服点(σ_s)

金属材料试样在拉伸试验过程中，负荷不再增加，而试样仍继续发生变形的现象，称为“屈服”。发生屈服现象时的应力，即开始出现塑性变形时的应力，称为屈服点或屈服极限。单位用 MPa，即牛顿/毫米²(N/mm²)表示。

(5) 屈服强度 $\sigma_{0.2}$

指材料在拉伸过程中，材料所受应力达到某一临界值时，载荷不再增加，变形却继续增加或产生 0.2% 时的应力值，单位用 MPa，即牛顿/毫米²(N/mm²)表示。

(6) 抗拉强度 σ_b

也叫强度极限，金属材料试样在拉伸试验时，被拉断截面所承受的最大应力。它表示金属材料在拉力作用下抵抗塑性变形和破坏的能力。单位用 MPa，即牛顿/毫米² (N/mm²) 表示。

(7) 伸长率(δ)

金属材料试样在拉伸试验时，试样拉断后，其标距部分所增加的长度与原标距总伸长与原始标距长度的百分比，称为伸长率。

(8) 断面收缩率(Ψ)

金属材料试样在拉伸试验时，试样拉断后，在断裂处试样截面面积最大缩小的百分比，称为断面收缩率。

(9) 硬度

指材料抵抗其他更硬物压入其表面的能力。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，当压头为硬质合金球时表示为 HBW；洛氏硬度用 HRA、HRB 或 HRC 表示，常用 HRC。

(10) 冲击韧性(A_k)

材料抵抗冲击载荷的能力，单位为焦耳/厘米² (J/cm²)。

2.2.1.2 金属材料的工艺性能

工艺性能也称制造性能，指材料承受各种加工、处理能力的性能。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。材料制造性能的好坏直接影响制造成本。

(1) 铸造性能

指金属或合金是否适合铸造的一些工艺性能，主要包括流动性能(充满铸模的能力)、收缩性(铸件凝固时体积收缩的能力)、偏析(化学成分不均性)。

(2) 焊接性能

指金属材料通过加热或加热和加压焊接方法，把两个或两个以上金属材料焊接到一起，接口处能满足使用目的的特性。

(3) 顶气段性能

指金属材料能承受预顶锻而不破裂的性能。

(4) 冷弯性能

指金属材料在常温下能承受弯曲而不破裂的性能。弯曲程度一般用弯曲角度 α (外角)或弯心直径 d 对材料厚度 a 的比值表示， a 愈大或 d/a 愈小，则材料的冷弯性愈好。

(5) 冲压性能

指金属材料承受冲压变形加工而不破裂的能力。在常温进行冲压叫冷冲压。检验方法用杯突试验进行检验。

(6) 锻造性能

指金属材料在锻压加工中能承受塑性变形而不破裂的能力。

(7) 化学性能

指金属材料与周围介质接触时抵抗发生化学或电化学反应的性能。

(8) 耐腐蚀性

指金属材料抵抗各种介质侵蚀的能力。

(9) 抗氧化性

指金属材料在高温下抵抗产生氧化的能力。

2.2.2 金属的热处理

热处理就是将金属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。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，则金属材料内部组织和性能的变化也就不同，这样构成了各种热处理方法，以满足各种要求。

热处理可分为普通热处理和表面热处理两大类。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。

热处理又可分为预先热处理和最终热处理。预先热处理通常为退火和正火，目的是消除制造时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，目的是获得设备使用时所要求的性能。

2.2.2.1 预先热处理

(1) 退火

退火是将钢加热到一定温度并保温一段时间，然后使它慢慢冷却，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。退火的目的：是为了消除组织缺陷，改善组织使成分均匀化以及细化晶粒，提高钢的力学性能，减少残余应力；同时可降低硬度，提高塑性和韧性，改善切削加工性能。所以退火既为了消除和改善前道工序遗留的组织缺陷和内应力，又为后续工序作好准备，故退火是属于半成品热处理，又称预先热处理。

(2) 正火

正火是将钢加热到适当温度（即临界温度以上，使钢全部转变为均匀的奥氏体），保温一定时间，然后在空气中自然冷却的热处理工艺。正火的生产周期短，节约能量，而且操作简便。对要求不高的零件用正火代替退火工艺是比较经济的。对力学性能要求不高的零件，可用正火作为最终热处理。

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。

2.2.2.2 最终热处理

(1) 淬火

淬火是将钢加热到适当温度（临界温度以上），保温一定时间后，快速放入淬火剂中，使其温度骤然降低，以大于临界冷却速度的速度急速冷却，而获得以马氏体为主的不平衡组织的热处理工艺。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。淬火中常用的淬火剂有水、油、碱水和盐类溶液等。

(2) 回火

回火是将已经淬火的钢重新加热到一定温度，再用一定方法冷却称为回火。其目的是消除淬火产生的内应力，降低硬度和脆性，以取得预期的力学性能。回火多与淬火、正火配合使用。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 ~ 250℃，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 ~ 500℃，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 550 ~ 650℃，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。

(3) 调质处理

淬火后高温回火的热处理方法称为调质处理。调质可以使钢的性能、材质得到很大程度的调整，其强度、塑性和韧性都较好，具有良好的综合机械性能。

(4) 时效处理

为了消除精密量具或模具、零件在长期使用中尺寸、形状发生变化，常在低温回火后（低温回火温度 150 ~ 250℃）精加工前，把工件重新加热到 100 ~ 150℃，保持 5 ~ 20h，这种为稳定精密制件质量的处理，称为时效处理。对在低温或动载荷条件下的钢材构件进行时效处理，以消除残余应力，稳定钢材组织和尺寸，尤为重要。

2.2.2.3 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，芯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，且芯部组织及性能不发生变化。为满足对芯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碳低合金结构钢。

(2) 化学热处理

化学热处理是指将化学元素的原子，借助高温时原子扩散的能力，把它渗入到工件的表面层去，来改变工件表面层的化学成分和结构，从而达到使钢的表面层具有特定要求的组织和性能的一种热处理工艺。按照渗入元素的种类不同，化学热处理可分为渗碳、渗氮（氮化）、碳氮共渗（氰化）和渗金属法等四种。

① 渗碳。渗碳是指使碳原子渗入到钢表面层的过程。也是使低碳钢的工件具有高碳钢的表面层，再经过淬火和低温回火，使工件的表面层具有高硬度和耐磨性，而工件的中心部分仍然保持着低碳钢的韧性和塑性。适用于低碳钢和低碳合金钢。

② 渗氮。又称氮化，是指向钢的表面层渗入氮原子的过程。其目的是提高表面层的硬度与耐磨性以及提高疲劳强度、抗腐蚀性等。目前生产中多采用气体渗氮法。

③ 氰化。又称碳氮共渗，是指在钢中同时渗入碳原子与氮原子的过程。它使钢表面具有渗碳与渗氮的特性。

④ 渗金属。是指以金属原子渗入钢的表面层的过程。它使钢的表面层合金化，以使工件表面具有某些合金钢、特殊钢的特性，如耐热、耐磨、抗氧化、耐腐蚀等。生产中常用的有渗铝、渗铬、渗硼、渗硅等。

2.2.3 钢材分类

钢是含碳量在 0.04% ~ 1.3% 之间的铁碳合金。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，其主要方法有如下八种：

2.2.3.1 按品质分类

按照钢中硫(S)和磷(P)的含量可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。

- ① 普通钢($P \leq 0.045\%$, $S \leq 0.050\%$) ;
- ② 优质钢(P 、 S 均 $\leq 0.035\%$) ;
- ③ 高级优质钢($P \leq 0.035\%$, $S \leq 0.030\%$) 。

2.2.3.2 按化学成分分类

(1) 碳素钢

- ① 低碳钢($C \leq 0.25\%$) ;
- ② 中碳钢($C = 0.25\% \sim 0.60\%$) ;
- ③ 高碳钢($C \geq 0.60\%$) 。

(2) 合金钢

- ① 低合金钢(合金元素总含量 $\leq 5\%$) ;
- ② 中合金钢(合金元素总含量 $= 5\% \sim 10\%$) ;
- ③ 高合金钢(合金元素总含量 $> 10\%$) 。

2.2.3.3 按成型方法分类

- ① 锻钢；
- ② 铸钢；
- ③ 热轧钢；
- ④ 冷拉钢。

2.2.3.4 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、冷镦用钢。

- 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

如桥梁用钢、船舶用钢、锅炉用钢、压力容器用钢、农机用钢等。

2.2.3.5 按金相组织分类

(1) 正火状态

- ① 珠光体钢；
- ② 贝氏体钢；
- ③ 马氏体钢；