

化工机器与设备 检修技术

崔继哲 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心



化工机器与设备检修技术

崔继哲 编著

化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工机器与设备检修技术/崔继哲编著. —北京:化学工业出版社, 2000.6

ISBN 7-5025-1691-3

I. 化... II. 崔... III. ①化工机械-检修②化工设备-检修 IV. TQ050.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 24376 号

化工机器与设备检修技术

崔继哲 编著

责任编辑: 任文斗

责任校对: 马燕珠

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印制厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 34 $\frac{3}{4}$ 字数 862 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-1691-3/TH·33

定 价: 76.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

“工欲善其事，必先利其器”。随着科学技术的进步，化工装备技术也在日新月异地改进，为了适应社会主义市场经济发展新形势的需要，促进现代化工装置中机器与设备检修、维修技术的发展，提高化工装置中机器与设备的管理水平和检修技术水平，《化工机器与设备检修技术》一书与广大化工设备管理人员、生产工人、维修工人见面了。

设备是企业生产的重要物质基础，是创造经济效益的重要工具。设备发生故障，不仅会造成巨大经济损失，而且也危及设备人身安全和污染环境，必须及时抢修。要使设备正常运转，也必须适时地进行维修。维修技术的提高已逐渐发展为企业科技进步的重要标志，不仅有利于保证企业的安全、稳定、长周期、满负荷生产，提高设备运转率，也有利于节约维修费用。

1987年7月国务院颁布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》(以下简称《条例》)，对加强和规范企业设备管理与维修工作，提高设备管理水平，起到了重要作用。《化工机器与设备检修技术》的出版发行，将有利于更好地贯彻落实《条例》，使企业设备管理向更深更广的领域发展。大大提高设备的管、用、修水平。

《化工机器与设备检修技术》翔实地介绍了从实践中总结出的对大机组、小机泵、炉子、塔、容器的检修经验和随机故障处理的方法。也简要地介绍了企业现场机械工程师应该掌握的专业基础理论和检修的基本技能。全书具有较强的科学性、实用性，一定深受广大读者的欢迎。

中国化工机械动力技术协会

2000年4月

前 言

化工机器与设备是化工企业的主要生产手段，也是生产力的重要要素，随着科学技术的进步和资源的开发，我国的化肥、化工、炼油工业也得到了飞速发展。特别是近 20 多年来，我国成套引进了一大批石油化工大型装置，这对强化设备管理，提高广大工程技术人员和技术工人的素质，起到了促进和提高的积极作用。

化工机器与设备是化肥、化工、炼油工业生产的重要物质基础。化工机器（压缩机、风机、泵、透平）是完成化工企业安全稳定长周期满负荷运行的重要传动设备。化工设备（化工容器、换热器、反应器、转化炉、塔等）是实现化工企业正常生产的静设备，在化工装备中占 80% 以上，要保证化工机器与设备的运行，就必须对其进行日常维护和实施计划检修并加强对上述机器与设备的管理。

化工机器与设备的维修和管理是随着生产发展而产生的一门科学。也是人们生产实践中越来越重视、越来越丰富了综合学科的知识内容。在我国化工企业的发展中，也经过了日臻完善的过程。

20 世纪初，化工行业实现了工业化，从而也带来了机器与设备的管理和维修，维修技术从操作技术中分离出来，初步形成了独立的一门维修学科的基础。但对机器与设备的修理大都是事后维护与检修，即在生产过程中遇到机器的损坏，生产停止，进行检修，长年累月进行着生产—停机—检修—生产的反复过程。严重影响生产力的提高和生产要素的发展。使之事后检修的结果，导致化工企业效益低下，不能适应化工连续生产的需要。

化工过程连续流程生产的出现，即由化工反应（无机和有机的化学反应）所必须的不间断工艺流程的实现，促使了设备管理和维修必须适应和满足这种化工过程的需要，也即在 20 世纪的 40 年代计划维修和预知维修应运而生，它在实践中使人们认识到这种维修和检修方式节约时间、节约费用、提高效益，各企业也相继建立起了一套设备管理和检修的体系，适应了生产发展的需要，从而把检修技术推向了第二个阶段的发展。

大约到了 20 世纪 70 年代初，由于科学技术日新月异的发展，新技术、新设备、新流程不断的引进，逐渐形成了化肥、化工、炼油工业的设备特点，即大型化、单系列、自动化、智能化，如一旦设备故障出现，不能连续生产，就会造成巨大的经济损失。由于这种技术密集型的工厂的出现，促使了设备管理和维修技术的快速发展，实现专业的检修，例如，大型离心式压缩机、高速离心泵、燃气透平、工业汽轮机、高效换热器、综合利用的一、二段转化炉设备等均逐渐从综合的维修技术中分离出来，各大型厂和各化工大学也培养了一大批设备管理和化工机器与设备的维修高级人才，越来越实现了工艺生产和维修的独立体系。越来越多的技术人员和专家从事化工维修和维修理论的研究。化工工业中的维修已成为化工生产过程中必不可少的迅速发展的新兴领域——预防维修、预知维修、故障诊断、冗余控制、在线检修等。

化肥、化工、炼油工业有自己的行业特点，即工厂属易燃易爆，生产的全过程均是在高温、高压、深冷、真空条件下进行的，相对其他行业，工艺条件更苛刻和恶劣，机器与设备的泄漏将会导致工厂危险事故的发生，日常维修的管理特别是动态的管理更为重要。另一特

点即是腐蚀性较大，如选材不对，很快在化工腐蚀介质中损坏，而不能很快恢复生产，严重影响工人的安全。所以设备维修必须满足：①生产设备的安全稳定满负荷运行；②生产设备的高运转率；③延长设备寿命，可靠性较大；④不断改进，应用新技术。

《化工机器与设备维修技术》一书立足于现场机械工程师对随机故障的处理，重点介绍了机械工程师所应该掌握的基础知识，更重要的是总结实践经验，从基础理论分析，提高维修工程的技术深度，保证各专业的设备延长使用寿命。同时在企业进行深化改革、促进发展的条件下，探索出适合社会主义市场经济的维修方法和程序。本书共计 12 章，每章重点放在检修、检修技术和故障及故障处理上，更增强了本书的实用性和新颖的特点，所介绍的典型方法是经过多厂多年广大技术人员的实践而总结出的，是广大化肥、化工、炼油工业中从事设备管理人员、检修技术工人必不可少的阅读专业书籍。

由于编写水平有限，难免有不适合之处甚至错误，欢迎广大读者批评、指正。

参加本书编写的还有王信旗（第 4 章）、冯化艇（第 5 章）、苏华（第 6 章）、孙文立（第 8 章）、吕玉奇、常国振（第 9 章）、张振基、李有国（第 11 章）。

在编写过程得到了全国同行和专家的专业指导、支持、帮助，在此谨向他们表示衷心感谢。

编著者

2000 年 4 月

内 容 提 要

本书共分 12 章，主要介绍了现代大型化工装置中的化工机器（工业蒸汽轮机、燃气轮机、化工离心式压缩机、风机、化工泵）和化工设备（转化炉、换热器、废热锅炉、塔和容器）的结构特点、检修技术，对化工机器与设备在运行中出现的典型故障进行了详细分析，并介绍了修复技术。同时还对化工仪表维修、化工设备材料、国内外化工常用钢材对照、国内外化工常用焊接材料对照等作了介绍。

本书可供现代大型化工企业从事化工生产与设备维修管理的工程技术人员和技术工人使用，也可作为工人培训教材的参考书。

目 录

第1章 材料	1
1.1 化工厂常用金属材料	1
1.1.1 黑色金属材料	1
1.1.2 有色金属材料	13
1.2 化工厂常用非金属材料	15
第2章 化工泵	32
2.1 化工泵概述及其分类	32
2.2 离心泵	33
2.2.1 离心泵的工作原理和特性	33
2.2.2 离心泵主要部件的结构与作用	39
2.3 其他型式化工泵	51
2.3.1 往复泵的特性与类型	51
2.3.2 流体动力泵的特性	52
2.3.3 螺杆泵的特性	53
2.3.4 齿轮泵的特性	54
2.3.5 旋涡泵的特性	54
2.3.6 真空泵的特性	54
2.3.7 隔膜泵的特性	55
2.3.8 磁力泵的特性	56
2.4 化工专用泵的检修和检修技术	57
2.4.1 概述	57
2.4.2 常用化工泵零部件的检修技术	57
2.5 化工专用泵的检修	61
2.5.1 循环水泵	61
2.5.2 高速离心液氨泵	65
2.5.3 多级锅炉给水泵	76
2.5.4 卧式二级单吸式离心泵	80
2.5.5 往复式甲铵泵	82
第3章 风机	86
3.1 概述	86
3.1.1 风机的组成	86
3.1.2 风机的分类	86
3.2 离心式鼓风机	86
3.2.1 离心式鼓风机工作原理	86
3.2.2 离心式鼓风机的结构特点	86

3.2.3	离心式鼓风机的检修和检修技术	89
3.2.4	离心式鼓风机故障和故障处理	92
3.3	离心式通风机	93
3.3.1	离心式通风机工作原理	93
3.3.2	离心式通风机的结构特点	93
3.3.3	离心式通风机的检修和检修技术	94
3.3.4	离心式通风机故障和故障处理	96
3.4	轴流式通风机	96
3.4.1	凉水塔轴流式通风机结构特点	96
3.4.2	凉水塔轴流式通风机的检修和检修技术	96
3.4.3	轴流式通风机故障和故障处理	101
3.5	罗茨鼓风机	103
3.5.1	罗茨鼓风机工作原理	103
3.5.2	罗茨鼓风机分类	103
3.5.3	罗茨鼓风机的结构特点	103
3.5.4	罗茨鼓风机的检修和检修技术	104
3.5.5	罗茨鼓风机故障和故障处理	106
第4章	工业汽轮机	108
4.1	概述	108
4.2	工业汽轮机的分类及基本概念	108
4.2.1	工业汽轮机分类	108
4.2.2	汽轮机的基本概念	109
4.3	化工装置常用蒸汽轮机的结构特点	112
4.3.1	总体结构	112
4.3.2	汽轮机转子	117
4.3.3	汽轮机转子叶轮	118
4.3.4	汽轮机转子叶片	119
4.3.5	汽轮机隔板	119
4.3.6	汽轮机静叶片	120
4.3.7	汽轮机缸体	121
4.3.8	汽轮机轴承	122
4.3.9	汽轮机转速调节和保安系统	122
4.4	化工装置常用蒸汽轮机的检修与检修技术	129
4.4.1	检修周期和检修内容	129
4.4.2	汽轮机的主要拆、装程序	130
4.4.3	汽轮机主要零部件的检修	131
4.4.4	汽轮机回装	136
4.4.5	汽轮机转速调节和保安系统的检修	136
4.4.6	转速调节和保安系统的整定与试验	138
4.5	化工装置用蒸汽轮机常见故障及故障处理	139

4.5.1 常见故障及故障处理	139
4.5.2 典型故障处理	140
第5章 燃气轮机	146
5.1 概述	146
5.1.1 燃气轮机在化肥工业的应用	146
5.1.2 燃气轮机的基本概念和热动基础理论	146
5.1.3 燃气轮机的分类	149
5.2 化工装置用燃气轮机的结构特点	150
5.2.1 压气机	150
5.2.2 燃烧系统	153
5.2.3 燃气透平	155
5.3 化工装置用燃气轮机的特性	158
5.4 化工装置用燃气轮机的检修和检修技术	159
5.5 化工装置常用燃气轮机的大修	161
5.5.1 运行时间和检修内容	161
5.5.2 主要零部件的检修	163
5.5.3 大修回装后各部间隙的测量和调整	167
5.5.4 机组脱扣试验	168
5.6 化工装置用燃气轮机的故障及故障处理	171
第6章 化工离心式压缩机	173
6.1 概述	173
6.1.1 化工离心式压缩机的基本组成	173
6.1.2 化工离心式压缩机的分类	173
6.1.3 化工离心式压缩机的基础理论及概念	174
6.2 化工离心式压缩机的结构特点	193
6.2.1 主要部件的结构特点	193
6.2.2 密封的结构	201
6.2.3 轴承的结构	208
6.3 化工离心式压缩机的检修和检修技术	213
6.3.1 检修内容	213
6.3.2 主要零部件的检修及技术要求	214
6.3.3 增速箱检修及技术要求	231
6.4 化工离心式压缩机故障及故障处理	232
6.5 化工离心式压缩机典型故障分析	235
6.5.1 CRANE28 型气体密封泄漏原因分析	235
6.5.2 二氧化碳压缩机转子损坏原因分析	236
6.5.3 二氧化碳压缩机低压缸转子叶轮叶片损伤原因分析	238
6.6 化工离心式压缩机状态监测、诊断和预知维修	240
6.6.1 设备故障诊断技术	240
6.6.2 设备状态监测	242

6.6.3 状态监测维修	243
6.6.4 状态维修方式的类型	244
6.6.5 状态监测和诊断技术的应用	245
第7章 换热设备	250
7.1 概述	250
7.1.1 换热设备的基本分类	250
7.1.2 化工装置换热设备的基础理论	251
7.2 化工装置常用换热设备结构、性能和特点	252
7.2.1 管壳式换热器	252
7.2.2 板式换热器	261
7.3 换热器的诊断方法	264
7.3.1 极值分析法诊断换热器	264
7.3.2 涡流探伤腐蚀诊断	266
7.3.3 管子-管板角焊缝的诊断	267
7.4 换热设备常发生的故障及故障处理	268
7.5 典型换热器损坏原因分析与修复	268
7.5.1 高压蒸汽过热器	268
7.5.2 一段炉空气预热器翅片盘管的烧坏与修复	275
7.6 换热设备近来的发展	279
第8章 转化设备	283
8.1 概述	283
8.1.1 一段转化炉转化基本理论	283
8.1.2 二段转化炉转化基本理论	284
8.2 转化炉的分类	286
8.3 转化炉的结构与特性	286
8.3.1 一段转化炉的结构及其特性	286
8.3.2 二段转化炉的结构类型及其特性	305
8.3.3 转化炉设备不同类型结构特点比较	317
8.4 转化炉设备部件的监测、检测与寿命预测	317
8.4.1 一段转化炉管的监测、检测和剩余寿命预测	317
8.4.2 二段转化炉空气分布器的监测、检测和使用寿命评定	326
8.5 转化炉设备的检修和检修技术	328
8.5.1 转化炉设备的检查	328
8.5.2 转化设备的检修	330
8.5.3 转化设备检修技术	347
8.6 转化设备主要部件损坏原因分析与修理	359
8.6.1 转化管、原料气进气管、空气分布器的损坏及原因分析	359
8.6.2 转化设备主要部件的修理	366
第9章 塔和容器设备	369
9.1 概述	369

9.1.1	氨合成的化学反应及反应机理	370
9.1.2	化工装置氨合成塔类型与性能	372
9.1.3	化工装置氨合成塔主要部件的结构特点	381
9.1.4	化工装置氨合成塔的检修和检修技术	382
9.1.5	化工装置氨合成塔的日常检查与维护	385
9.1.6	化工装置氨合成塔的事故与分析	385
9.2	吸收塔的检修与检修技术	386
9.2.1	二氧化碳的脱除	386
9.2.2	[美] 凯洛格型二氧化碳吸收塔的检修与检修技术	387
9.2.3	UHDE-ICI 型二氧化碳吸收塔的检修与检修技术	391
9.2.4	二氧化碳吸收塔事故及分析	394
9.3	二氧化碳再生塔的检修与检修技术	395
9.3.1	二氧化碳的再生	395
9.3.2	凯洛格型再生塔的检修与检修技术	395
9.3.3	UHDE-ICI 型二氧化碳再生塔的检修与检修技术	400
9.4	化工装置尿素合成塔类型与特性	403
9.4.1	主要部件的结构特点	407
9.4.2	主要部件的检修及检修技术	412
9.4.3	检修安全注意事项	416
9.4.4	主要部件的检查与维护	417
9.5	化工装置汽提塔类型与特性	422
9.5.1	主要部件的结构特点	424
9.5.2	主要部件的检修及检修技术	428
9.5.3	检修安全注意事项	435
9.5.4	主要部件的检查与维护	436
9.6	尿素高压设备的腐蚀与防护	442
9.6.1	概述	442
9.6.2	尿素生产中腐蚀特点与类型	443
9.6.3	腐蚀原因	446
9.6.4	腐蚀造成设备缺陷的修理	447
第 10 章	废热锅炉	451
10.1	概述	451
10.2	废热锅炉热力学基础	452
10.2.1	废热锅炉传热过程的基本方式	452
10.2.2	废热锅炉的运行性能	453
10.3	化工装置废热锅炉的结构及结构特点	454
10.3.1	结构类型	454
10.3.2	列管式废热锅炉	456
10.3.3	U 形管废热锅炉	458
10.3.4	刺刀管废热锅炉	462

10.4 化工装置废热锅炉的检修与检修技术	465
10.4.1 废热锅炉的检修内容	465
10.4.2 废热锅炉主要部件的检修	465
10.5 废热锅炉的维护	467
10.5.1 开车前的检查	467
10.5.2 运行中的检查	467
10.6 废热锅炉常见故障原因及对策	468
第 11 章 化工仪表控制与检修	469
11.1 化工仪表及自动化概述	469
11.1.1 自动检测系统及传感器	469
11.1.2 自动调节系统	469
11.1.3 顺序控制	470
11.1.4 自动信号和联锁保护系统	470
11.1.5 自动执行机构	471
11.2 化工机器与设备的监控方案及特性	471
11.2.1 化工泵的监控	471
11.2.2 工业蒸汽轮机的控制	472
11.2.3 工业重型燃气轮机的控制	474
11.2.4 离心式压缩机的控制方案	475
11.2.5 换热设备的控制方案	476
11.2.6 转化炉的监控	477
11.2.7 塔和容器设备的控制	478
11.3 主要仪表装置的特点与检修	479
11.3.1 化工测量仪表	479
11.3.2 控制仪表	486
11.3.3 调节阀	490
第 12 章 附录	493
12.1 化工装置进口材料对照	493
12.1.1 钢号标准说明	493
12.1.2 化工装置常用国内、外钢材型号对照	494
12.1.3 化工装置容器常用材料对照	519
12.1.4 Inconel 600 及相似牌号材料的化学成分与力学性能	520
12.1.5 Inconel 800 及相似牌号材料的化学成分与力学性能	521
12.1.6 Armcol17-4PH、17-4PH 化学成分与力学性能	522
12.1.7 钛化学成分与力学性能	523
12.2 化工装置常用焊接材料	524
12.2.1 化工装置常用焊接材料选用	524
12.2.2 化工装置常用国内、外焊条型号对照	531
12.2.3 化工装置常用国内、外焊丝型号对照	535
12.3 化工装置常用润滑油	537

12.3.1	润滑油主要特性说明	537
12.3.2	润滑脂的主要质量指标说明	538
12.3.3	化工装置常用润滑油国内、外型号对照	539
参考文献		540

第 1 章 材 料

1.1 化工厂常用金属材料

化工厂无论是用煤为原料，还是用油田伴生气、天然气、石脑油为原料，均属易燃、易爆、高温、高压工厂，腐蚀性、有毒性介质较多。因而选择既经济又适用的化工机器与设备、化工管道的材料直接影响工厂的安全稳定生产。

随着化工生产新工艺的不断开发，化工厂机器与设备的新型材料也不断研制产生来满足化工工艺。本节介绍化工厂常用材料和近年研制的新型材料，为改造老化工厂和建设新厂提供参考，也为化工厂机器与设备零部件的检修选用材料和代用材料提供参考。

化工厂所用材料大多为金属材料，工业上把金属材料分为黑色金属材料和有色金属材料。另外，新开发的非金属材料也广泛地应用到化学工业上。

1.1.1 黑色金属材料

黑色金属材料主要是指钢和生铁。钢和生铁都是由铁（Fe）和碳（C）两种主要元素组成的合金。除了碳元素以外，钢和生铁中还含有少量的锰（Mn）、硅（Si）、磷（P）、硫（S）等元素用以提高和改变钢铁材料的性能。

钢和铁主要是根据含碳量的多少来划分的，含碳量低于 2% 的铁碳合金称为钢，而高于 2% 的铁碳合金叫做生铁。钢和铁由于含碳不同，其金相组织和性能也不一样，因而它们有不同的用途。

(1) 钢、铁的分类

钢铁分类方法较多，一般在工程使用中作如下分类。

1) 钢的分类

①按化学成分分为碳素钢和合金钢。碳素钢中对于含碳量小于或等于 0.25% 的钢为低碳钢。由于含碳量低，因而机械强度低，硬度低。但其塑性、韧性高，可锻性和焊接性能较好，冷塑性变形能力高。在化工厂中应用极为广泛，同时，它还可以不进行热处理用于制造表面渗碳处理的一般化工设备零部件。

含碳量 0.30% ~ 0.60% 的为中碳钢。中碳钢机械强度、硬度较高，塑性、韧性稍低，热压、热锻性能良好，冷变形能力好，但焊接性能较差。在化工厂中，用作机械的传动零件，可进行表面热处理强化，作调质钢。

含碳量大于 0.60% 的为高碳钢。高碳钢经热处理后可具有良好的韧性和高强度。冷作变形塑性较差，焊接性能差，切削性能较好。因含碳量高用水淬火时易产生裂纹，一般采用水淬油冷双液淬火。化工厂中常用高碳钢制作耐磨传动零部件，但须在淬火后中温回火或正火或表面淬火状态下使用。

合金钢是指在碳素钢的基础上，为了改善钢的性能，在冶炼过程中加入少量的合金元素（一般合金元素总量小于 3%）而炼制的钢。合金钢按其合金元素的总含量可分为低合金钢、中合金钢、高合金钢。低合金钢其合金元素总含量小于或等于 5%，是应用较广泛的一种钢，有较好的强度、韧性和耐磨性。当合金元素总含量大于 5% ~ 10% 为中合金钢；当合金

元素总含量大于10%为高合金钢。中合金钢和高合金钢都具高强度和足够的韧性，在化工厂中制作复杂的耐高温高压的动、静零部件常用该类钢。

②按钢的用途分类可分为结构钢、工具钢、特种钢。这些钢种均为在碳素钢冶炼过程中加入不同量的合金元素并经过一定规范的调质、渗碳处理而用在重要的机器部件或高强度螺栓上。钢的简易分类见图 1-1。

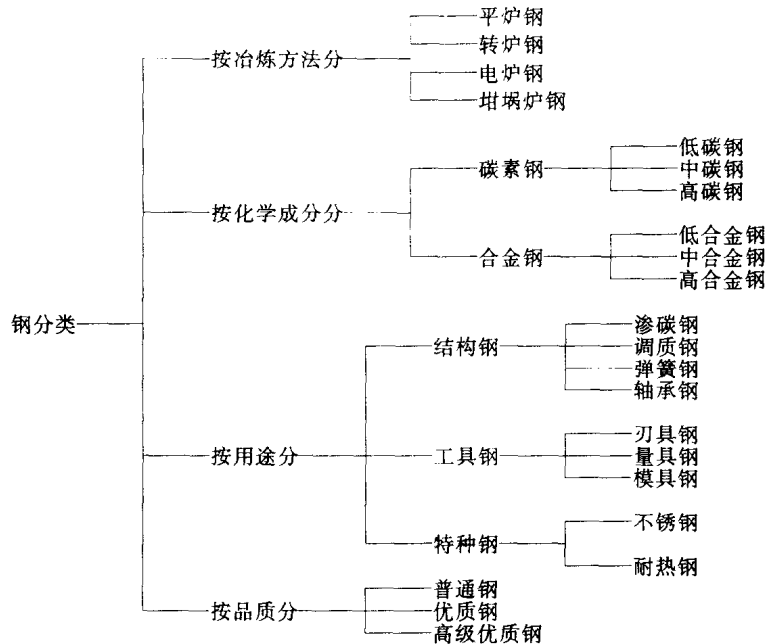


图 1-1 钢的简易分类

2) 铁的分类

用铸造方法由各种铸造生铁配制而成的铁碳合金称为铸铁。

铁按用途分为炼钢生铁，即一般含硅量较低、含硫量较高、专门供炼钢用的白口铁；另一种供铸造零部件用的叫铸造生铁，一般含硅量较高，含硫量较低，也叫灰口铁。

另外，按生产方法和组织性能又分为：①普通灰铸铁，这种铸铁中碳大部分以自由状态片状石墨形式存在，本身有一定的机械强度，是化工工业应用较普遍的一种铸铁；②可锻铸铁，它是由白口铸铁经石墨化退火后形成的，具有较高的韧性和一定的塑性；③球墨铸铁，它是在浇铸前在铁水中加入定量的球化剂和墨化剂，促使碳呈球状石墨结晶而获得的。球墨铸铁具有高强度、耐磨性和弯曲疲劳强度，易做凸轮轴、气缸盖等传动机器的零部件。

(2) 合金元素在钢中的作用

钢中的合金元素是指为了一定目的加入钢中的元素，这些元素在钢中起一定的作用。碳钢中的元素不能算做合金元素，碳钢的强度和其他性能，主要取决于碳存在的形状和碳化物的形状、大小，以及分布状态，即主要取决于钢的金相组织。由于原材料以及冶炼方法和工艺操作等影响，钢中不免存有少量的杂质和残余元素，如 Si、Mn、S、P、Cu、Cr、Ni 等不能认为是合金元素，它们的残留虽然有时也起到一些有益的作用，但产生的不利因素很大。例如：Ni、Cu 元素的存在，严重影响钢的焊接性能和冷做加工性能，所以在碳钢中都规定了元素的最高允许含量，例如： $S \leq 0.04\%$ 、 $P \leq 0.04\%$ 、 $Cu \leq 0.25\%$ 、 $Cr \leq 0.25\%$ 、 $Ni \leq 0.25\%$ 。

钢中除铁和碳外，为使达到耐酸、耐热、耐磨、耐腐蚀、高强度的要求，还要加入 Cr、

Mo、V、W、Ti、Nb、Zr、Co、Cu、Ni 及稀土 Re 等。

碳 (C): 碳在低合金钢中, 常与合金元素形成碳化物, 在室温或较低的温度下, 能起强化作用。但在高温下, 这些碳化物容易分解, 碳还会聚集、长大, 对蠕变抗力和持久强度会起不良影响。碳对钢的塑性、耐腐蚀性、抗氧化性均有不良的影响, 特别对钢的可焊性影响较大, 随着含碳量的增加, 钢的可焊性下降, 所以在耐热钢管中含碳量一般限制在 0.20% 以下。

铬 (Cr): 熔点 1920℃, 是缩小 γ 相区和形成 γ 相圈的元素。在 α 铁中无限固溶在 γ 铁中的最大溶解度为 12.5%。铬可以提高钢的耐腐蚀性和抗氧化性。铬在钢的表面形成一层附着性很强的致密氧化膜, 使钢材的氧化速度减慢, 提高了钢的抗氧化性。当含铬量大于 12% 时, 能显著提高钢的电极电位, 使钢具有良好的高温抗氧化性和耐氧化性介质的腐蚀作用。当铬含量在 2% 以下时, 能显著提高钢的再结晶温度, 增加钢的热强性。铬能阻止钢中的石墨化过程, 并降低碳化物的球化速度, 但含量高或处理不当时, 易发生 α 相和 475℃ 脆相, 即具有回火脆性, 铬能提高钢的淬透性, 焊接时易产生裂缝, 铬含量高时钢的可焊性变差。

钼 (Mo): 熔点 2610℃, 是使 γ 相区缩小形成 γ 相圈的元素, 在 α 铁和 γ 铁中最大溶解度为 4% 和 37.5%。属强碳化物形成元素。当含量较低时, 形成复合渗碳体; 当含量较高时, 则形成特殊碳化物, 在较高回火温度下, 有二次硬化作用。钼常与其他元素如锰 (Mn)、铬 (Cr) 等配合使用, 能提高钢的淬透性。它在合金钢中常用含量为 0.5% ~ 1%。

钒 (V): 钒是良好的脱氧剂, 能除去钢中的氧。它对碳、氧、氮都有较强的亲和力, 为强碳化物和强氮化物形成元素, 钒对钢的淬透性的影响和钛相似。钒细化钢的晶粒, 提高晶粒粗化粒度, 从而降低钢的过敏感性并提高钢的强度和韧性, 还可增加淬火钢的回火稳定性, 在 650℃ 以下都是稳定的, 是一个有益的元素, 但价格较贵。

钨 (W): 熔点为 338℃, 它是强碳化物形成元素, 常形成特殊碳化物, 钢中含钨高时有二次硬化作用并增加耐磨性, 钨对钢的淬透性、回火稳定性、力学性能等的影响与钼相似, 它能大大提高钢的再结晶温度, 在高温下有较好的蠕变抗力和热强性。

钛 (Ti): 熔点为 1812℃, 钛是最强的碳化物形成元素, 与氮、氧的亲和力极强, 是良好的脱氧剂和固定氮、氧的有效元素, 在低碳钢中加入足够的钛, 可消除应力交变现象。由于钛可促进渗氮层的形成, 可炼制“快速渗氮钢”。在不锈钢中, 由于钛固定碳有防止和减缓钢的晶间腐蚀和应力腐蚀作用, 钛还可提高耐热钢的抗氧化性和热强性。钛固溶状态时, 固溶强化作用很强, 它固溶于奥氏体中能提高钢的淬透性。目前钛在化肥工业特别是尿素生产中应用很广泛。

硅 (Si): 熔点为 1410℃, 硅是强脱氧剂, 它在钢中不形成碳化物, 提高钢中固溶体的强度和冷加工变形硬化率的作用较强, 其含量超过 2% 时, 钢的韧性和塑性会降低。硅还可提高钢的淬透性和抗回火性, 对钢的综合力学性能、特别是弹性极限、屈服强度的提高有显著作用, 并可增强钢在大气中的耐腐蚀性能。焊接时, 硅易形成高熔点夹杂物残留在焊缝中。

锰 (Mn): 锰是一种良好的脱氧剂, 又是一种很好的脱硫剂, 焊接时常利用它来进行脱氧和脱硫, 防止热脆现象。对铁素体和奥氏体均有较强的固溶强化作用, 提高硬度和强度。它是弱碳化物形成元素, 可形成合金渗碳体。锰在钢中含量小于 2% 时, 对于低合金钢, 可提高钢的强度和韧性, 对于中合金钢和高合金钢, 随强度增加, 其塑性和韧性会降低。增加