

高等教育“十三五”规划教材



电化学设备 与工程设计

徐国荣 宋海申 主编

Dianhuaxue Shebei Yu Gongcheng Sheji

Dianhuaxue Shebei
Yu Gongcheng Sheji

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

”规划教材

电化学设备与工程设计

主 编 徐国荣 宋海申



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书分 11 章。第 1 章绪论;第 2 章介绍电化学工程设备常用材料及材料腐蚀和防腐蚀;第 3 章电镀工艺设备,介绍镀前表面处理、电镀处理和镀后处理设备以及电镀自动生成线;第 4 章表面阳极氧化处理设备,介绍阳极氧化前处理设备、阳极氧化设备、后处理设备、水洗设备及附属设备;第 5 章铅酸电池制造专用设备,介绍铅粉制造、板栅制造、铅膏制造、涂板、化成和电池组装设备;第 6 章锂离子电池制造专用设备,介绍混料、涂覆、极片压光、裁切、封装、注液和化成、分容设备;第 7 章电解设备,介绍熔盐电解中的电解槽和新型电极,湿法电冶金中的电解槽、溶液加热及循环设备,以及氯碱工业中的盐水精制、电解槽、固体烧碱、氯气处理、氢气处理设备;第 8 章化学电源,介绍化学电源设计程序、设计准备工作、化学电源设计一般步骤及锂离子电池设计举例;第 9 章电化学工程设计,介绍设计的基本程序,设计各个阶段的主要工作任务;第 10 章工艺流程设计,介绍物料衡算及热量衡算、典型设备选型;第 11 章车间布置设计,介绍厂房的整体布置及设备布置等问题。

图书在版编目(CIP)数据

电化学设备与工程设计/徐国荣,宋海申主编. —
徐州:中国矿业大学出版社,2018.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3932 - 7

I. ①电… II. ①徐… ②宋… III. ①电化学—化工
设备—工程设计 IV. ①TQ150.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 058969 号

书 名 电化学设备与工程设计

主 编 徐国荣 宋海申

责任编辑 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州市今日彩色印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 18.25 字数 456 千字

版次印次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

电化学工业是指将电化学的基本原理应用于化学工业、冶金工业、电镀工业和其他工业中解决物质的分离、化合、精制、浓缩、镀制、涂装等一系列化工生产过程的有关问题。如电解铝、电解食盐水制备氯气和烧碱、己二腈电合成都是熟悉的大吨位电化学工业。依据电化学反应原理进行工作的化学电源具有能量转换效率高、能量密度大、移动方便、绿色环保等突出优点,以其驱动的电动汽车能够消除尾气排放,大大改善人类居住环境。因此,化学电源将会在国民经济、国防建设以及日常生活中发挥越来越重要的作用。由于电化学工业涉及的行业范围很广,社会对电化学专业的人才需求也很旺盛,但是专业划分中没有电化学专业,与电化学相关的内容较分散,目前也没有一本专门介绍电化学设备方面的教材。为适应新世纪电化学工业发展的需要,编者结合多年工作经验及体会编写了《电化学设备与工程设计》一书。

本书分 11 章。第 1 章绪论;第 2 章介绍电化学工程设备常用材料及材料腐蚀和防腐蚀;第 3 章电镀工艺设备,介绍镀前表面处理、电镀处理和镀后处理设备以及电镀自动生成线;第 4 章表面阳极氧化处理设备,介绍阳极氧化前处理设备、阳极氧化设备、后处理设备、水洗设备及附属设备;第 5 章铅酸电池制造专用设备,介绍铅粉制造、板栅制造、铅膏制造、涂板、化成和电池组装设备;第 6 章锂离子电池制造专用设备,介绍混料、涂覆、极片压光、裁切、封装、注液和化成、分容设备;第 7 章电解设备,介绍熔盐电解中的电解槽和新型电极,湿法电冶金中的电解槽、溶液加热及循环设备,以及氯碱工业中的盐水精制、电解槽、固体烧碱、氯气处理、氢气处理设备;第 8 章化学电源,介绍化学电源设计程序、设计准备工作、化学电源设计一般步骤及锂离子电池设计举例;第 9 章电化学工程设计,介绍设计的基本程序,设计各个阶段的主要工作任务;第 10 章工艺流程设计,介绍物料衡算及热量衡算、典型设备选型;第 11 章车间布置设计,介绍厂房的整体布置及设备布置等问题。

通过本课程的学习,有利于培养学生工程设计能力,有利于提高大学生综合素质及运用所学知识解决实际工程技术问题。

本书第2章、第3章、第5章、第9章、第10章和第11章由徐国荣编写,其余由宋海申编写。湖南科技大学化学化工学院周智华教授、刘立华教授和唐安平副教授等老师对本书的编撰提出了许多宝贵建议。本书内容参考了许多专家、学者的文献资料,引用了参考文献中的部分内容、图表和设计计算实例,在此特向文献作者致以诚挚的谢意!本书的编写还得到了湖南科技大学和中国矿业大学出版社的大力支持,并得到了湖南省普通高校“十三五”专业综合改革试点项目(湘教通2016[276]号)、“化工与材料”国家级实验教学示范中心建设项目(教高厅函2016[7])和2017年湖南省普通高等学校教学改革研究项目(湘教通[2017]452号)的资助,在此一并表示感谢!

限于编者水平有限,可以参考的资料较少,不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2017年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电化学工业概述	1
1.2 电化学工程设备的类型	2
1.3 电化学工艺设计特点	3
第 2 章 设备材料及防腐蚀	4
2.1 材料的性能	4
2.2 黑色金属材料	6
2.3 有色金属材料	8
2.4 非金属材料	11
2.5 设备材料的腐蚀与防护	14
2.6 设备材料的选择	18
第 3 章 电镀工艺设备	19
3.1 镀前表面机械处理	19
3.2 固定槽及挂具设计	24
3.3 滚镀设备	46
3.4 电镀自动线	57
3.5 工艺辅助设备	77
第 4 章 表面阳极氧化处理设备	85
4.1 氧化处理概述	85
4.2 铝的阳极氧化工艺	86
4.3 铝的阳极氧化处理设备	88
第 5 章 铅酸电池制造专用设备	97
5.1 铅酸电池制造专用设备概述	97

5.2	铅球(铅块)制造专用设备	98
5.3	铅粉制造专用设备	110
5.4	板栅铸造机	118
5.5	铅膏制造专用设备	120
5.6	涂板及管式极板填充专用设备	125
5.7	化成设备	129
5.8	干荷电制造设备	132
5.9	铅酸电池装配专用设备	134
第6章	锂离子电池制造专用设备	139
6.1	概述	139
6.2	锂离子电池工作原理	139
6.3	锂离子电池生产设备	140
第7章	电解设备	153
7.1	融盐电解设备	153
7.2	湿法电冶金设备	164
7.3	氯碱工业设备	179
第8章	化学电源设计过程	205
8.1	电池设计的终极目标与实现	205
8.2	电池设计的基本程序	206
8.3	电池设计前的准备	210
8.4	电池设计的一般步骤	225
8.5	电池设计举例	229
第9章	电化学工程设计概论	242
9.1	工程项目基本建设与设计工作基本程序	242
9.2	工程设计前期工作	243
9.3	初步设计与施工图设计	247
9.4	电化学工程设计的内容	251
9.5	厂址选择与总图布置	253
第10章	工艺流程设计与设备选型	257
10.1	工艺流程设计	257
10.2	物料衡算与热量衡算	263
10.3	工艺设备的设计、选型	265

第 11 章 车间布置设计	269
11.1 概述	269
11.2 车间厂房布置设计	271
11.3 车间设备布置设计	273
11.4 车间布置设计技术文件	277
参考文献	283

第1章 绪 论

1.1 电化学工业概述

电化学工程设备与工艺设计是一门实践性很强的学科,是以材料学、电化学科学、化学工程等相关学科的理论和工程技术为基础,研究和探讨化工产品从原料、半成品到成品,进行加工的过程所使用的设备与方法的一门应用性学科。

电化学工业在电池、电解、电子电工、化工、冶金、原子能、医药、卫生、材料保护、环境保护等学科已经得到广泛的应用,其实际应用大致分为以下几方面:

① 化学品的合成。主要无机产品有 Cl_2 、 NaOH 、 H_2 , 氯的含氧酸盐, F_2 、高锰酸钾等强氧化剂,以及 MnO_2 、 Cu_2O 等电活性金属氧化物。主要的有机产品有己二腈、四烷基铅、邻苯二甲酸、 $\text{C}_3\text{F}_7\text{COF}$ 、蒽醌、葡萄糖酸等。

② 金属的提取与精炼。例如熔盐电解制取 Al 、 Na 、 K 、 Li 、 Mg , 湿法电冶 Zn 、 Cu 、 Pb 、 Ni 、 Co 、 Ag 、 Au 等。

③ 化学电源。例如锌锰电池、铅酸电池、镉镍电池、锂离子电池、燃料电池、太阳能电池。

④ 金属腐蚀和防护的研究。例如电化学保护、缓蚀剂。

⑤ 表面精饰。包括电镀、阳极氧化、电泳涂漆等。

⑥ 电解加工。包括电成型(电铸)、电切削、电抛磨。

⑦ 电化学分离技术。例如电渗析、电凝聚、电浮离等应用于工业生产或废水处理。

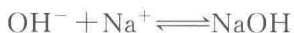
化学品和金属的电化学制备统称为电解工业,电解和电池是两个规模庞大的电化学工业体系。当前电化学工业在国民经济很多部门发挥了巨大的作用。为了更好地学习本书内容,有必要对电化学工业中的重要过程进行一些具体的了解。

1.1.1 电化学工业

用电解法电解食盐水来制取 Cl_2 、 H_2 和 NaOH (烧碱)等三种基本化工原料的工业叫作氯碱工业。其基本原理如下:



溶液中阴极区碱性增强,发生化学反应:



其他的电解工业还有很多,如电解水制取氢气和氧气,电解过硫酸铵制取双氧水等。用电解方法还可以制取金属,称为电冶金或湿法冶金。如电解熔融氧化物制取碱金属和碱土

金属(Na、K、Li、Mg等)。现代工业中的重要金属材料如铝和钛等常用电解法制取。高纯度的铜、锌、镉、镍等金属也是通过电解法进行精炼。

电镀是电化学技术的又一个重要工程应用。通过电镀可以使产品获得金属防护层或具有特种功能的表面层。类似的工业生产还有阳极氧化、电泳涂装、电铸及其他表面装饰技术。

在电解加工过程中,将待加工的零件作为阳极、刀具作为阴极,中间以电解液相连。通电之后,金属工件随刀具的吃进按照刀具外形发生阳极溶解,从而加工成型。这种加工过程不需要刀具或工件旋转,刀具不易磨损,特别适合韧性强的金属零件作复杂型面的加工。

1.1.2 化学电源

化学电源是通过具有自发倾向的化学反应将化学能转化为电能电化学体系或装置。化学电源具有性能稳定可靠、移动便利等优势,是一种非常重要的能源装置。从日常生活到航空航天等各个领域都需要不同种类的化学电源,并且随着科学技术的发展,对化学电源也提出了更多的要求,需要它向体积小、质量轻、寿命长等方向发展。随着工业发展,环境污染问题日益严重,化学电源作为清洁的能源方式,必将具有更加重要的地位。

1.1.3 金属腐蚀与防护

金属的腐蚀是指材料在周围环境的化学和电化学作用下的损坏。常温下的大多数金属腐蚀都是一个电化学过程。例如,锅炉炉壁和管道受锅炉用水的腐蚀,船体和码头台架受海水腐蚀,桥梁钢架在潮湿空气中的腐蚀等,这些都是金属与电解质溶液接触时,由于金属构件、环境条件的不均匀性构成了许多微小的自发电池体系,其中的金属原子作为阳极而被腐蚀变为离子,不断溶解。这种电化学过程持续下去,金属就遭到腐蚀破坏。

腐蚀的危害是惊人的,据估计,工业生产的钢材因腐蚀而报废的占年产量的1/3左右。如能利用现代科学技术加以防止,则腐蚀造成的损失可以大大减少。在防腐措施中,很大部分是电化学工程技术的应用,如电镀、阳极氧化、缓蚀剂、电化学保护等。所以,电化学是腐蚀与防护科学的最重要的理论基础之一。

此外,电化学科学还应用于其他许多方面,如用电化学理论研究生物学中的某些问题——生物电化学。它在探讨生命过程的机理和解决医学上的难题中意义非常重大。又如用电化学方法处理污水、废渣等,用化学电源代替内燃机中燃料的燃烧而作为动力能源,避免大气污染等。因此,电化学在解决环境污染中发挥着重大作用。

电化学在理论上和实际应用上有着很强的生命力,是近代高速发展的学科之一。

1.2 电化学工程设备的类型

广义地,电化学工程设备是指生产工艺中为顺利进行生产所采用的各种机械设备,包括电化学体系专用设备和非电化学专用的其他设备。本书中所指的电化学工程设备主要是指实现电化学反应回路所用到的专用设备,包括电源系统、导电路径、反应容器、电极等。

1.2.1 电源系统

电源系统为电化学反应体系提供能量支持,保持反应持续进行,主要包括整流设备和输电线路。电化学工业主要用到直流电,因此,必须用整流器将从发电厂或变电所输送来的交

流电转变为直流电。输电线路包括槽边导电排,槽间导电板,阴、阳极母线、电极导电棒等。槽边导电排与整流器供电导线相连,通过电流为电解槽的总电流。

1.2.2 反应容器

电化学反应发生的主要场所,也是整个电化学体系的主要组成部分,比如电解工业中的电解槽等。现普遍采用的电解槽槽体为钢筋混凝土槽体。钢筋混凝土电解槽有整列就地捣制,单槽整体预制,随后又发展到预制板拼装式槽体。整列就地捣制施工快、造价低,但是检修更换不便,绝缘处理难,易漏电;而单槽整体预制,搬运、安装、检修、更换方便,绝缘好,漏电少,为多数工厂所采用;预制板拼装式电解槽搬运、安装、更换方便,造价低,节省车间面积。近些年,在湿法电解工业中,聚乙烯整体槽得到广泛应用,主要原因是造价低、重量轻、耐腐蚀、绝缘性好,也耐 60℃ 以下的温度,施工和安装都方便。

1.2.3 电极

全部电化学反应中电荷的转移都发生在电极表面,然后电子经电极传导至外电路,因此,电极是电化学体系中不可缺少的关键部分。电化学体系所用的电极材料及结构是多种多样的,随电解工艺和电解产品的不同而不同。比如对于电解精炼,如铜与铅的电解精炼,其阳极是为被精炼的粗金属。对于电解沉积,如铜与锌的电积,则阳极一般为不溶性的 Pb-Ag 合金(含银约 1%),银的加入可延缓铅阳极的溶解。近年来,不锈钢板、钛板被逐渐用作不溶性阳极板。对于 Al、Mg 等金属的熔盐电解工艺,阳极主要是焙烧成型的炭阳极,炭材料具有优良的导电性和强度,在使用过程中会逐渐消耗。

湿法提取中所用的阴极尺寸一般较阳极略大,目的是减少周边枝晶产生而引起的短路。铜与铅的电解精炼或电积的阴极一般用对应的纯金属为始极片,近年来,一种发展趋势是不锈钢板被用来作为铜电极的阴极板。熔盐电解中使用成型的炭块作为阴极。

1.3 电化学工艺设计特点

工艺设计是进行产品生产流程设计及厂房间布局、设备选型等的先决条件,也是进行后续设计计算与施工的首要环节。其中,工艺流程设计是整个设计中最重要、最基础的设计环节,直接关系到产品的质量、产量、成本、生产能力、操作条件等根本问题。

生产工艺流程设计是通过图解(工艺流程图)和必要的文字说明,形象地反映出某个生产装置由原料进入到产品输出(包括污染物治理)全过程中物料和能量发生的变化及流向,以及生产中所经历的工艺过程和使用的设计仪表,还要标识出全部管道、所有阀门和管件及控制点。工艺流程图集中地概括了整个生产过程或装置的基本面貌。

工艺流程设计是工艺设计的核心。在整个设计中,设备选型、工艺计算、设备布置等工作都与工艺流程直接相关。

本书在前面章节主要对常见的几类电化学过程进行了系统的介绍,重点介绍了生产过程当中所用到的工程设备,包括设备类型、组成、结构及工作原理等;随后,对电化学工艺设计过程进行了简要介绍,并选取化学电源为对象,详细介绍其工艺设计过程。

第2章 设备材料及防腐蚀

2.1 材料的性能

按化学组成固体材料分为金属、无机非金属、聚合物和复合材料。按材料的功能性质材料分为结构材料 and 功能材料。结构材料主要用作产品、设备和工程等的结构部件。材料的性质包括力学性能、物理性能、化学性能和加工工艺性能。

2.1.1 力学性能

力学性能是指材料在外力作用下抵抗变形或破坏的能力,有强度、硬度、弹性、塑性和韧性等。这些性能是进行设备材料选择及计算决定允许应力的依据。

(1) 强度

材料的强度是指材料抵抗外加载荷而不致失效破坏的能力。按所抵抗外力作用的形式强度可分为抵抗外力的静强度,抵抗冲击外力的冲击强度,抵抗交变外力的疲劳强度。按环境温度其可分为常温下抵抗外力的常温强度,高温或低温下抵抗外力的高温强度或低温强度。材料常温作用下的强度指标有屈服强度和抗拉强度。屈服强度表示材料抵抗开始产生大量塑性变形时的能力。抗拉强度则表示材料抵抗外力而不致断裂的最大应力。工程上,不仅要求材料的屈服强度高,而且还要考虑屈服强度与抗拉强度的比值(屈强比)。根据不同设备要求,其比值应适当。屈强比较小的材料制造的零件,具有较高的安全可靠。因为在工作时,万一超载,也能由于塑性变形使材料的强度提高而不致立即断裂。但如果屈强比太低,则材料强度的利用率降低。过大、过小的屈强比都是不适宜的。

操作温度对力学性能有影响。通常随温度升高材料强度降低而塑性增加。材料在高温下长期工作时,在一定压力下,会随时间延长,缓慢并且不断地发生塑性变化,称之为“蠕变”现象。例如高温高压蒸汽管路,虽然其承受的外力远小于工作温度下材料的屈服点,但在长期使用过程中会产生缓慢而连续的变形使管径日趋增大,最后可导致破裂。对于长期承受交变应力作用的金属材料,还有考虑“疲劳破坏”。所谓“疲劳破坏”是指金属在小于屈服强度极限的循环载荷长期作用下发生的破坏现象。疲劳断裂与静载荷作用下的断裂不同,无论是静载荷作用下显示脆性或韧性的材料,在疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形。断裂是突然发生的,因此有很大的危险性,常常造成严重事故。

(2) 硬度

硬度是指固体材料对外界物体机械作用的局部抵抗能力,可采用不同的试验方法来表征不同的抗力。硬度不是独立的基本性能,而是反映材料弹性、强度与塑性的综合性能指标。一般情况下,硬度高的材料强度高,耐磨性能好,但切削加工性能差。

(3) 塑性

材料的塑性是指材料受力时,当应力超过屈服点后,能产生显著的形变而不立即断裂。塑性的指标在设备设计中具有重要意义,有良好的塑性才能进行成型加工,如弯曲和冲压等。良好的塑性性能可使设备在使用过程中产生形变以避免发生突然的断裂。但过高的塑性会导致强度降低。

(4) 冲击韧性

对于承受波动或冲击载荷的零件及其在低温条件下使用的设备,其材料性能仅考虑以上几种指标是不够的,必须考虑冲击性能。材料的抗冲击能力常以使其破坏所消耗的功或吸收的能除以试件的截面积来衡量,称之为材料的冲击韧度,以 a_k 表示,单位 J/cm^2 。韧性可理解为材料在外加动载荷突然袭击时的一种及时迅速塑性变形的能力。韧性高的材料一般具有较高的塑性指标,但塑性指标较高的材料,却不一定具有较高的韧性。其原因是静载荷下能够缓慢塑性变形的材料,在动载荷下不一定能迅速地塑性变形。

2.1.2 物理性能

金属材料的物理性能有密度、熔点、比热容、热导率、线膨胀系数、导电性、磁性、弹性模量与泊松比等。

2.1.3 化学性能

化学性能是指材料在所处介质中的化学稳定性,即材料是否会与周围介质发生化学或电化学作用而引起腐蚀。金属的化学性能指标有耐腐蚀性和抗氧化性。

① 耐腐蚀性。金属与合金对周围介质如大气、水气、各种电解质侵蚀的抵抗能力叫作耐蚀性能。电化学工业中所涉及的物料,常有腐蚀性。材料的耐蚀性不强,必将影响设备使用寿命。

② 抗氧化性。在高温下,钢铁不仅与自由氧发生氧化反应,使钢铁表面形成结构疏松容易剥落的氧化物,还会与水蒸气、二氧化碳、二氧化硫等气体产生高温氧化与脱碳作用,使钢铁力学性能下降,特别是降低了材料的表面硬度和抗疲劳强度。因此,高温设备必须选用耐热材料。

2.1.4 加工工艺性能

金属和合金的加工工艺性能指可铸造性能和可切削加工性能等。这些性能直接影响设备和零部件的制造工艺方法和质量。

(1) 可铸性

可铸性主要是指液体金属的流动性和凝固过程中的收缩和偏析倾向。流动性好的金属能充满铸型,故能浇铸较薄的与形状复杂的铸件。铸造时,熔渣与气体较易上浮,铸件不易形成夹渣与气孔,且收缩小。铸件中不易出现缩孔、裂纹、变形等缺陷,偏析小,铸件各部位成分较均匀。这些都使铸件质量有所提高。合金钢与高碳钢比低碳钢偏析倾向大。因此,铸造后要用热处理方法消除偏析。常用金属材料中,灰铸铁和锡青铜铸造性能较好。

(2) 可锻性

可锻性是指金属承受压力加工(锻造)而变形的能力,塑性好的材料,锻压所需外力小,可锻性好。低碳钢的可锻性比中碳钢及高碳钢好;碳钢比合金钢可锻性好。铸铁是脆性材料,目前,尚不能锻压加工。

(3) 焊接性

焊接性指能用焊接方法使两块金属牢固地连接,且不发生裂纹,具有与母体材料相当的强度。焊接性好的材料易于用一般焊接方法与工艺进行焊接,不易形成裂纹、气孔、夹渣等缺陷,焊接接头与母体材料相当。低碳钢具有优良的焊接性,而铸铁、铝合金等焊接性较差。

(4) 可切削加工性

可切削加工性是指金属是否易于切削。切削性好的材料,刀具寿命长,切削易于折断脱落,切削后表面光洁。

2.2 黑色金属材料

2.2.1 碳钢与铸铁

碳钢与铸铁是工程应用最广泛、最重要的金属材料。它们是由 95% 以上的铁和 0.05%~4% 的碳及 1% 左右的杂质元素所组成的合金,称“铁碳”合金。一般碳含量在 0.02%~2% 者称为钢,大于 2% 者称为铸铁。当碳含量小于 0.02% 时,称纯铁(工业纯铁);含碳量大于 4.3% 的铸铁极脆,二者的工程应用价值都很小。由于碳钢与铸铁具有优良的机械性能,资源丰富,与其他金属相比其价格又较便宜,而且还可以通过采用各种防腐措施,如衬里、涂料、电化学保护等来防止介质对金属的腐蚀,所以它们是设备制造首选材料。

2.2.1.1 碳钢

(1) 碳钢的耐蚀性能

碳钢在大气和水中易生锈,在很多介质中耐蚀性也不好。但它对诸多环境,如碱性溶液、各类气体、液态金属、有机液体等的耐腐蚀性良好。在中性溶液中,其耐蚀性随氧含量而定,即在无氧或低氧的静止溶液中,腐蚀很轻微,在高氧和搅拌情况下,腐蚀可增大几十倍,但当氧化能力达到金属钝化程度时,腐蚀状况又大大减轻;在还原性酸中,腐蚀很快,但在强氧化性酸如浓硫酸中,由于产生钝化膜,腐蚀状况又大大减轻;在碱性溶液中,生成了钝化膜,腐蚀性减小;在酸和碱中,腐蚀均匀,但在中性溶液中可能产生孔蚀。

(2) 分类与编号

根据实际生产和应用的需求,可将碳钢进行分类与编号。分类方法有多种,如按用途可分为建筑及工程用钢、结构钢、弹簧钢、轴承钢、工具钢和特殊性能钢;按含碳量分为低碳钢、中碳钢和高碳钢;按脱氧方式分为镇静钢和沸腾钢;按品质可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。

① 普通碳素钢。普通碳素钢钢号冠以“Q”,代表钢材屈服强度,后面数字表示屈服强度数字(MPa),如 Q235,其屈服强度值为 235 MPa。必要时钢号后面可标出表示质量等级和冶炼时脱氧方法的符号。质量等级分为 A, B, C, D。脱氧方法符号分为 F, b, Z, TZ。脱氧方法符号 F 是指只用弱脱氧剂 Mn 脱氧,脱氧不完全的沸腾钢。这种钢在钢液往钢锭中浇铸后,钢液在锭模中自脱氧反应,钢液中放出大量 CO 气体,出现“沸腾”现象,故称为沸腾钢。若在冶炼过程中加入硅、铝等强还原剂,钢液完全脱氧,则称镇静钢,以 Z 表示,一般情况 Z 省略不标;脱氧情况介于以上二者之间时,称为半镇静钢,用符号 b 表示。若采用特殊脱氧工艺冶炼时脱氧完全,称特殊镇静钢,以符号 TZ 表示。化工压力容器一般用镇静钢。

普通碳素钢有 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275 五个钢种。各个钢种的质量等级可参见 GB 700—2006。其中屈服强度为 235 MPa 的 Q235-A 有良好的塑性、韧性及加工工艺性,

因加工成本比较便宜,故在化工设备制造中应用极为广泛。Q235-A 板材用作常温低压设备的壳体和零部件,Q235-A 棒材和型钢用作螺栓、螺母、支架、垫片、轴承等零部件,还可做阀门、管件等。

② 优质碳素钢。优质碳素钢含硫、磷有害杂质元素少,其冶炼工艺严格,钢材组织均匀,表面质量高,同时保证钢材的化学成分和力学性能,但成本较高。

优质碳素钢的编号仅用两位数字表示,钢号顺序为 08、10、15、20、25、30、35…80 等。钢号数字表示钢中含碳量的万分之几。如 45 号钢表示钢中含碳量平均为 0.45%。锰含量较高的优质非合金钢,应将锰元素标出,如 45Mn。根据含碳量的不同,优质碳素钢可分为优质低碳钢(含碳量小于等于 0.25%)、优质中碳钢(含碳量 0.3%~0.6%)、优质高碳钢(含碳量大于 0.6%)。优质低碳钢的强度低,但塑性好,焊接性能好,在化工设备制造中常用作热交换器列管、设备接管、法兰的垫片包皮(08、10)。优质中碳钢的强度高,韧性较好,但焊接性能较差,不适宜作化工设备的壳体。但可作为换热设备管板、强度要求较高的螺栓、螺母等。45 号钢常用作化工设备额传动轴(搅拌轴)。优质高碳钢的强度和硬度均较高。60、65 钢主要用来制造弹簧,70、80 钢用来制造钢丝绳等。

(3) 碳钢的品种及规格

碳钢的品种有钢板、钢管、型钢、铸钢和锻钢。

① 钢板。钢板分为薄钢板和厚钢板两大类。薄钢板厚度有 0.2~4 mm 冷轧和热轧两种。厚钢板为热轧。例如,压力容器主要用热轧厚钢板制造。依据厚度不同,钢板厚度间隔也不同。钢板厚度在 4~6 mm 时,其厚度间隔为 0.5 mm;厚度在 6~30 mm 时,厚度间隔为 1 mm;厚度在 30~60 mm 时,厚度间隔为 2 mm。

② 钢管。钢管有无缝钢管和有缝钢管两类。无缝钢管有热轧和冷轧两种,冷轧无缝钢管外壁和壁厚的尺寸精度均较热轧为高。另外,还有专门用途的无缝钢管,如热交换器用钢管、石油裂化用无缝钢管、锅炉用无缝钢管等,有缝管、水煤气管,分镀锌(白铁管)和不镀锌管(黑铁管)两种。

③ 型钢。型钢主要分为圆钢、方钢、扁钢、角钢(等边与不等边)、工字钢和槽钢。各种型钢的尺寸和技术参数可参阅有关标准。圆钢与方钢主要用来制造各类轴件;扁钢用来制造桨叶;角钢、工字钢和槽钢可做各种设备支架、塔盘支撑及各种加强结构。

④ 铸钢和锻钢。铸钢用 ZG 表示,牌号有 ZG25、ZG35 等,用于制造各种承受重载荷的复杂零件,如泵壳、阀门、泵叶轮等。锻钢有 08、10、15…50 等牌号。化工容器用锻件一般采用 20、25 等材料,用以制造管板、法兰、顶盖等。

2.2.1.2 铸铁

工业上常用的铸铁,其含碳量(质量分数)一般在 2%以上,并含有 S、P、Si、M 等杂质。铸铁是脆性材料,其抗拉强度低,但具有良好的铸造性、耐磨性、减振性及切削加工性,在一些介质(浓硫酸、醋酸、盐溶液、有机溶剂)中具有相当好的耐蚀性能。铸铁生产成本低廉,因此在工业上得到普遍应用。铸铁可分为灰铸铁、球墨铸铁和特殊性能铸铁等。

① 灰铸铁。灰铸铁中碳大部分或全部以自由状态的片状石墨形式存在,断面呈暗灰色,一般含碳量在 2.7%~4.0%。灰铸铁的抗压强度很大,抗拉强度很低,冲击韧性低,不适于制造承受弯曲、拉伸、剪切和冲击载荷的零件。但它的耐磨性、耐蚀性较好,与其他钢材相比,有优良的铸造性、减振性能,较小的缺口敏感性和良好的可加工性,可制造承受压应力

及要求消振、耐磨的零件,如支架、阀体、泵体(机座、管路附件)。

② 球墨铸铁。球墨铸铁简称球铁,是大体上为球状的石墨颗粒,分布在以铁为主要的金属基体中而构成的铸铁材料。球墨铸铁在强度、塑性和韧性方面大大超过灰铸铁,甚至接近钢材。在酸性介质中,球墨铸铁的耐蚀性较差,而在其他介质中耐蚀性比灰铸铁好,它的价格低于钢。由于它兼有普通铸铁和钢的优点,从而成为一种新型结构材料。过去用碳钢和合金钢制造的重要零件,如曲轴、连杆、主轴、中压阀门等,目前不少改用球墨铸铁。

③ 高硅铸铁。高硅铸铁是特殊性能铸铁中的一种,是往灰铸铁或高硅铸铁中加入一定量的合金元素硅等熔炼而成的。高硅铸铁具有很高的耐蚀性能,且随含硅量的增加而增加,高硅铸铁强度低、脆性大及内应力形成倾向大,在铸造加工、运输、安装及使用过程中若处置不当容易发生脆裂。高硅铸铁热导率小,线膨胀系数大,故不适于制造温差较大的设备,否则容易发生裂纹。它可用于制造各种耐酸泵、冷却管和热交换器等。

④ 高镍铸铁。高镍铸铁也是特殊性能铸铁中的一种,其含镍量为 14%~32%。其韧性、延展性、抗拉强度较普通铸铁大大提高,耐蚀性能,特别是耐酸碱性能也有所提高。随着含镍量的提高,耐温程度也提高。另外,含铜高的高镍铸铁对硫酸的耐蚀性能较好。高镍铸铁主要用作泵、阀、过滤板和反应釜。

2.2.2 奥氏体不锈钢

以铬镍为主要合金元素的奥氏体不锈钢是应用最为广泛的一类不锈钢,此类钢包含 Cr18Ni8 系不锈钢以及在此基础上发展起来的含铬镍量更高并含钼、硅、铜等合金元素的奥氏体类不锈钢。这类钢的特点是,具有优异的综合性能,包括优良的力学性能,冷、热加工和成型性,可焊性和良好的耐蚀性,是目前用来制造各种贮槽、塔器、反应釜、阀件等设备的最广泛的一类不锈钢材。铬镍不锈钢除具有氧化铬薄膜的保护作用外,还因镍使钢形成单一奥氏体组织而得到强化,使得在许多介质中比铬不锈钢更具耐蚀性。如对浓度 65% 以下,温度低于 70℃ 或浓度 60% 以下,温度低于 100℃ 的硝酸,以及对苛性碱(熔融碱除外)、硫酸盐、硝酸盐、硫化氢、醋酸等铬镍不锈钢都很耐蚀;但对还原性介质如盐酸、稀硫酸则是不耐蚀的。在含有氯离子的溶液中,铬镍不锈钢有发生晶间腐蚀的倾向,严重时往往引起钢板穿孔腐蚀。

奥氏体不锈钢的品质很多,以 0Cr18Ni9 为代表的普通型奥氏体不锈钢用量最大。我国原以 1Cr18Ni9Ti 为主,近几年正逐步被低碳或超低碳的 0Cr18Ni9 或 00Cr18Ni10 所取代。奥氏体不锈钢产品以板材、带材为主。它在石油、医药、化工、食品、制糖、酿酒、油脂及印染工业中得到广泛应用,使用温度范围 -196~600℃。

由于钢含镍量高,因而其价格较高。为节约镍并使钢种仍具有奥氏体组织,以用容易得到的锰和氮代替不锈钢中的镍,发展出了铬锰镍氮系和铬锰氮系不锈钢,例如 Cr18Mn8Ni5、Cr18Mn10Ni5Mo3N。

2.3 有色金属材料

铁以外的金属称有色金属。有色金属及其合金的种类很多,常用的有铝、铜、铅、钛等。

有色金属有很多优越的特殊性能,例如良好的导电性、导热性,密度小、熔点高,有低韧性,在空气、海水以及一些酸、碱介质中耐腐蚀,但有色金属价格较高。

2.3.1 铝及其合金

铝是一种银白色金属,密度小,约为铁的三分之一,属于轻金属。铝导电性、导热性好,仅次于金、银和铜;塑性好、强度低,可承受各种压力加工,并可进行焊接和切削。铝在氧化性介质中易形成 Al_2O_3 保护膜,因此在干燥或潮湿的大气中,在氧化剂的盐溶液中,在浓硝酸及干氯化氢、氨气中,都是耐腐蚀的。但含有卤素离子的盐类、氢氟酸以及碱溶液都会破坏铝表面的氧化膜,铝不宜在这些介质中使用。铝无低温脆性、无磁性,对光热的反射能力强和耐辐射,冲击不产生火花。

铝合金种类很多,根据生产方法的不同可分为变形铝合金和铸造铝合金。

2.3.1.1 变形铝合金

(1) 工业纯铝

纯铝中有:① 工业高纯铝,牌号为 1A85、1A90,可用来制造对酸腐蚀要求较高的浓硝酸设备,如高压釜、槽车、贮槽阀门、泵等;② 工业纯铝,牌号如 8A06。工业纯铝应用于制造含硫石油工业设备、橡胶硫化设备及含硫药剂生产设备,同时也应用于食品工业和制药工业中要求耐腐蚀、防污染而不要求强度的设备。

(2) 防锈铝

防锈铝主要是由铝锰系或铝镁组成的合金,牌号有 5A02、5A03、5A05、5A06 等。防锈铝能耐潮湿大气的腐蚀,有足够的塑性,强度比纯铝高很多,常用来制造各式容器、分馏塔、热交换器等。其中 5A02、5A03 应用于中等强度的零件或设备;5A05 适用制造油箱、管路、低压容器、铆钉;5A06 用于受力零件及焊制容器。

2.3.1.2 铸造铝合金

铸造铝合金是铝、硅合金,可分为 4 类:

① Al-Si 系。俗称“硅铝明”,典型牌号 ZAlSi7Mg,合金号为 ZL101。

② Al-Cu 系。这是工业上应用最早的铸造合金,特点是热强性比其他铸造铝合金都高,适用温度可达 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。它的密度较大,耐蚀性能较差。典型牌号 ZAlCu5Mn,合金号为 ZL201。

③ Al-Mg 系。其室温力学性能高,密度小,耐蚀性能好,但热强性低,铸造性能差,因而使用受到限制,典型牌号 ZAlMg10,合金号为 ZL301。

④ Al-Zn 系。Zn 在 Al 中溶剂度大,再加入硅及少量镁、铬等元素,该系具有良好的综合性能,典型牌号 ZAlZn11Si17,合金号为 ZL401。

铸铝的铸造性、流动性好,铸造时收缩率和生产裂纹的倾向性都很小。由于表面生成 Al_2O_3 、 SiO_2 保护膜,铸铝耐蚀性好,且密度小,广泛用来铸造形状复杂的耐蚀零件,如管件、泵阀门、气缸、活塞等。

2.3.2 铜和铜合金

铜属于半贵金属,密度为 8.94 g/cm^3 。铜及铜合金具有高的导电性和导热性,较好的塑性、韧性及低温性能,在许多介质中具有高耐受性。

2.3.2.1 纯铜

纯铜是紫红色,又称紫铜。纯铜有良好的导电、导热和耐蚀性,也有良好的塑性,低温时可保持较高的塑性和冲击性能,用于制造深冷设备和高压设备的垫片。