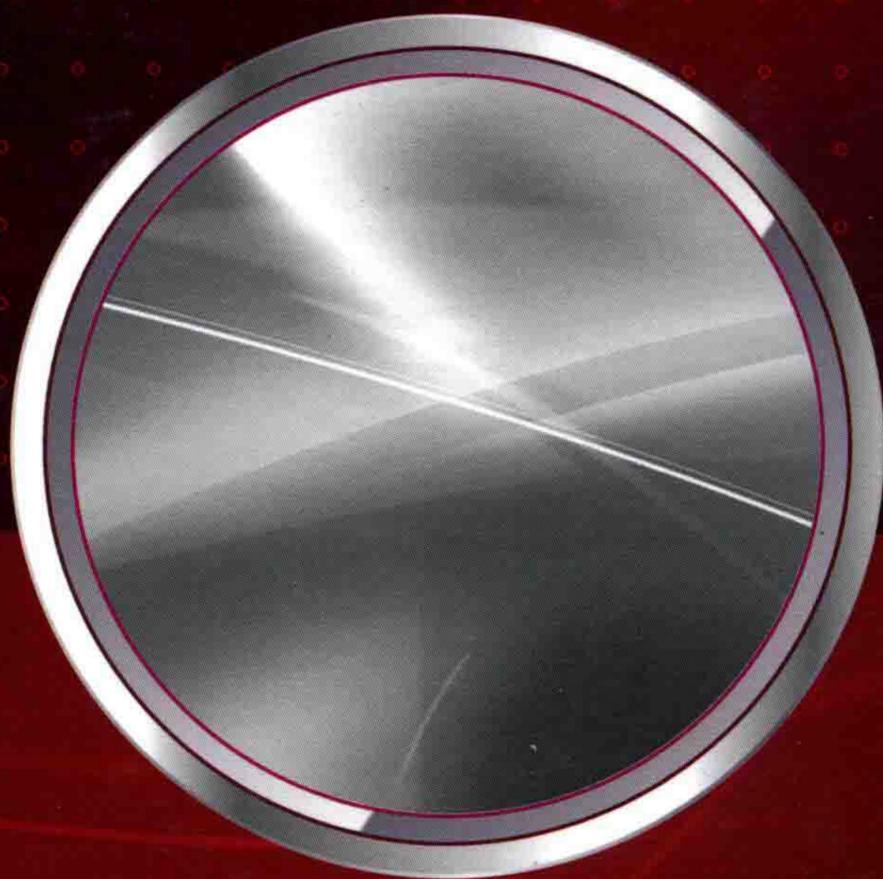


ELECTROPLATING WORKSHOP
PROCESS DESIGN MANUAL

电镀车间工艺 设计手册

傅绍燕 编著



化学工业出版社

ELECTROPLATING WORKSHOP
PROCESS DESIGN MANUAL

电镀车间工艺 设计手册



化学工业出版社

· 北京 ·

减少电镀公害、提高电镀质量、降低电镀成本一直是电镀技术发展的主题。本手册的内容正是围绕这三个主题展开的。本手册共6篇、35章，内容包括第1篇常用资料（数理化、电化学及电镀基础资料）、第2篇电镀工艺（电镀单金属、电镀合金、特种材料上的电镀、化学镀及金属转化膜处理等）、第3篇电镀设备（前处理、镀槽、滚镀及电镀自动线、电镀电源、电镀配套以及化验、工艺试验等的设备仪器）、第4篇清洁生产及职业安全卫生、第5篇电镀污染治理（废水、废气处理及废液、废渣、污泥治理等）、第6篇电镀车间工艺设计（车间平面布置、车间人员、材料及动力消耗、电镀车间设计阶段、内容和方法，以及建筑、公用工程等）。

手册内容全面，重点突出，实用性强，提供大量数据及图表，可供从事与电镀技术领域有关的设计、生产、科研等的工程技术人员、管理人员、院校师生以及相关的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电镀车间工艺设计手册/傅绍燕编著. —北京: 化学工业出版社, 2017.1

ISBN 978-7-122-28506-5

I. ①电… II. ①傅… III. ①电镀-工艺设计-手册
IV. ①TQ153-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 274245 号

责任编辑: 赵卫娟 仇志刚

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 宋 玮

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: 三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 57½ 字数 1595 千字 2017 年 4 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: 268.00 元

版权所有 违者必究

前言

电镀是对基体金属及非金属等表面进行防护、装饰以及获得某些特殊功能的一种工艺方法，广泛地应用于国民经济各工业部门及国防工业部门。电镀工程技术已经发展成为国家经济建设中一个重要的组成部分，随着科学技术和现代工业的高速发展，我国电镀工业经历了一个较大变化和发展过程，现已成为我国工业发展中不可缺少的重要行业。

电镀工程与涂装工程相结合，所形成的复合表面处理技术，大大提高了制品的耐蚀性、装饰性和功能性，提高制品的应用价值。而更重要的是要减少或防止对环境的污染，为人类生产创造一个无害的优美环境，这是金属表面处理科学发展的必然趋势。

电镀车间设计是工程建设的主要组成部分，是电镀工程中的一个重要环节。它要求全面贯彻国家的方针政策，力求按照科学性、经济性的原则，做到“先进、可靠、经济、节能、环保”，实现电镀作业的“清洁生产、优质、高产、无公害或少公害”的最佳的整体设计。

作者依据电镀作业生产的实践，国内先进、成熟、实用的经验，吸收的国外先进技术，收集及积累的专业资料，并结合自身50多年的设计实践，编写了这本《电镀车间工艺设计手册》。手册的编写力求完整性、规范性、实用性并重。规范性，取材力求标准、规范，资料数据尽量准确可靠，充分应用国内标准、规范。手册突出实用性，根据电镀技术特点，比较全面、系统地对电镀工艺设备，特别对电镀车间设计过程的各个环节，所涉及到的基本问题逐一具体介绍，努力做到层次分明，对一些专门性的技术问题，也作提示，并提供大量数据及图表，以供查阅。

本手册较系统、全面地介绍了电镀车间设计各阶段的设计内容、深度、方法以及编制设计文件、绘图等的格式和方法，内容系统完整、实用性强。此外，还介绍了电镀车间有关的建筑（包括结构）、给水排水、采暖通风、热力供给、电气照明等专业的设计要求和设计一般做法。

本手册还系统地介绍了电镀清洁生产、节能、减排，三废治理，电镀职业安全卫生等的要求、技术措施及处置方法等。电镀车间设计应为实现上述的清洁生产等创造条件，提供技术支持。

电镀生产高能耗、强腐蚀、重污染，电镀车间设计技术复杂、牵涉专业较多。电镀车间设计不但要做好工艺设计，还要做好有关的建筑及公共工程的设计。所以本手册还介绍了工艺与有关各专业协同设计的方法、要求及一般做法。电镀车间设计应能充分体现先进、合理、经济、安全、可靠、节能、环保，以取得设计任务所期望的经济效益和社会效益。

本手册由范国清、赵松鹤等同志校对。在编写过程中收到一些工厂提供的信息资料并得到有关单位的支持和帮助，在此表示感谢。

本手册引用了有关手册、专著、期刊等的许多资料（数据、图表、公式等），在此谨向有关文献的作者和单位表示衷心感谢！

由于手册涉及面较广，编写时间仓促和编者水平所限，错漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正，提出宝贵意见。

编著者

2016年10月

目录

第1篇 常用资料

第1章 数学物理资料	1	3.2.6 电镀零件面积的计算	48
1.1 数学资料	1	第4章 镀覆层选择和标识方法	50
1.1.1 计量单位	1	4.1 金属的防护方法	50
1.1.2 常用单位换算	2	4.1.1 表面保护层防腐蚀	50
1.1.3 几何图形的面积和体积计算	2	4.1.2 阴极保护	51
1.2 物理资料	5	4.1.3 腐蚀介质的处理	51
1.2.1 某些元素的物理性质	5	4.2 镀层要求和分类	52
1.2.2 物质的密度、比热容、热导率	6	4.3 镀覆层选择	53
1.3 水的主要物化常数和硬度	9	4.3.1 互相接触的金属或镀层的选择	53
1.4 电工资料	11	4.3.2 防护性镀覆层	54
1.4.1 功率换算	11	4.3.3 防护-装饰性镀覆层	56
1.4.2 材料的电阻率	11	4.3.4 高硬度的耐磨镀覆层	58
1.4.3 导电材料特性	12	4.3.5 功能性镀覆层	59
第2章 化学资料	13	4.4 各种金属零件防护体系的选择	59
2.1 元素符号及原子量	13	4.4.1 钢铁零件防护体系的选择	59
2.2 电镀常用物质的溶解度	15	4.4.2 铝及铝合金零件防护层的选择	60
2.3 常用金属化合物的金属含量和性质	21	4.4.3 镁合金零件防护层的选择	61
2.4 酸、碱和盐的溶解性能	23	4.4.4 铜及铜合金零件防护层的选择	61
2.5 pH值与酸和碱的浓度关系	24	4.4.5 钛合金零件防护层的选择	61
2.6 金属氢氧化物及氧化物沉淀的pH值	25	4.4.6 其他金属零件防护层的选择	62
2.7 难溶物质的溶度积	26	4.5 镀覆层厚度系列、应用范围及其特性	62
2.8 配离子的不稳定常数	28	4.5.1 锌镀层厚度系列及应用范围	63
2.9 各种金属离子可供选择的配位剂	29	4.5.2 镉镀层厚度系列及应用范围	65
2.10 电解质溶液	30	4.5.3 铜镀层厚度系列及应用范围	67
2.11 溶液浓度的表示方法	31	4.5.4 锡镀层厚度系列及应用范围	67
2.12 溶液浓度的换算	33	4.5.5 镍镀层厚度系列及应用范围	68
第3章 电化学及电镀基础资料	40	4.5.6 工程用铬镀层厚度系列及应用范围	70
3.1 电化学资料	40	4.5.7 镍+铬和铜+镍+铬电镀层厚度系列	70
3.1.1 电化当量	40	4.5.8 塑料上镍+铬电镀层厚度系列	75
3.1.2 电极电位	41	4.5.9 铅镀层厚度系列及应用范围	76
3.2 电镀基础资料	44	4.5.10 铁镀层厚度系列及应用范围	76
3.2.1 电流效率	44	4.5.11 银镀层厚度系列及应用范围	76
3.2.2 镀层硬度	44	4.5.12 金镀层厚度系列及应用范围	77
3.2.3 电镀基本计算	45	4.5.13 锌合金铸件防护装饰性镀层的厚度	77
3.2.4 镀层沉积速率的计算	46	4.5.14 化学镀镍-磷合金镀层厚度系列	78
3.2.5 镀层金属的质量	47	4.5.15 铜-锡合金镀层厚度系列	79

4.6 金属镀覆及化学处理标识方法	80	标识	82
4.6.1 标识的组成部分	80	4.7.4 钢铁上锌电镀层、镉电镀层的标识	82
4.6.2 标识方法的排列顺序	80	4.7.5 工程用铬电镀层标识	83
4.6.3 金属镀覆方法及化学处理常用符号	81	4.7.6 工程用镍电镀层标识	83
4.7 典型镀覆层的标识示例	81	4.7.7 化学镀(自催化)镍-磷合金镀层标识	84
4.7.1 金属基体上镍+铬和铜+镍+铬电镀层标识	81	4.7.8 工程用银和银合金电镀层标识	84
4.7.2 塑料上镍+铬电镀层标识	82	4.7.9 工程用金和金合金镀层标识	85
4.7.3 金属基体上装饰性镍、铜+镍电镀层		4.7.10 金属基体上锡和锡合金镀层标识	85

第2篇 电镀工艺

第5章 电镀前处理	87	6.1.1 氰化镀锌	112
5.1 电镀前处理方法	87	6.1.2 锌酸盐镀锌	113
5.2 机械前处理	88	6.1.3 氯化钾镀锌	113
5.2.1 喷砂	88	6.1.4 氯化铵镀锌	114
5.2.2 滚光和刷光	88	6.1.5 硫酸盐镀锌	115
5.2.3 磨光	90	6.1.6 除氢处理	116
5.2.4 抛光	92	6.1.7 锌镀层钝化处理	116
5.2.5 成批光饰	93	6.1.8 铬酸盐钝化	117
5.3 除油	94	6.1.9 军绿色钝化	121
5.3.1 概述	94	6.1.10 黑色钝化	122
5.3.2 有机溶剂除油	95	6.1.11 金黄色钝化	123
5.3.3 化学除油	95	6.1.12 三价铬钝化	124
5.3.4 电化学除油	98	6.1.13 无铬钝化	128
5.3.5 超声波清洗除油	99	6.1.14 不合格锌镀层的退除	130
5.3.6 擦拭除油和滚筒除油	99	6.2 镀镉	130
5.4 浸蚀	100	6.2.1 氰化镀镉	131
5.4.1 概述	100	6.2.2 硫酸盐及氨羧配位化合物镀镉	132
5.4.2 钢铁零件的化学浸蚀	100	6.2.3 有机多磷酸盐(HEDP)镀镉	132
5.4.3 铜及铜合金零件的化学浸蚀	101	6.2.4 镉镀层的后处理	133
5.4.4 其他金属零件的化学浸蚀	102	6.2.5 除氢	134
5.4.5 电化学浸蚀	103	6.2.6 不合格镀层的退除	134
5.5 去接触铜、除浸蚀残渣	104	6.3 镀锡	134
5.6 工序间防锈	105	6.3.1 锡镀层特性及镀锡工艺方法	134
5.7 化学抛光	105	6.3.2 硫酸盐镀锡	135
5.7.1 钢铁件的化学抛光	105	6.3.3 甲基磺酸盐镀锡	136
5.7.2 不锈钢件的化学抛光	106	6.3.4 氟硼酸盐镀锡	137
5.7.3 铜及铜合金件的化学抛光	106	6.3.5 碱性镀锡	137
5.7.4 铝及铝合金件的化学抛光	107	6.3.6 晶纹镀锡	138
5.7.5 其他金属件的化学抛光	108	6.3.7 锡镀层防变色处理	139
5.8 电化学抛光	108	6.3.8 不合格锡镀层的退除	140
5.8.1 钢铁件的电化学抛光	109	第7章 镀铜、镀镍、镀铬	141
5.8.2 不锈钢件的电化学抛光	109	7.1 镀铜	141
5.8.3 铜及铜合金件的电化学抛光	110	7.1.1 预镀及预浸渍处理	141
5.8.4 铝及铝合金件的电化学抛光	110	7.1.2 氰化镀铜	143
第6章 镀锌、镀镉、镀锡	112	7.1.3 硫酸盐酸性镀铜	144
6.1 镀锌	112	7.1.4 焦磷酸盐镀铜	147

7.1.5	有机膦酸镀铜	148	8.2.5	不合格镀层的退除	191
7.1.6	柠檬酸盐镀铜	149	第9章	电镀贵金属	192
7.1.7	其他镀铜	150	9.1	镀银	192
7.1.8	不合格铜镀层的退除	152	9.1.1	氰化镀银	192
7.2	镀镍	153	9.1.2	无氰镀银	194
7.2.1	概述	153	9.1.3	镀银的预处理	195
7.2.2	镀镍添加剂	153	9.1.4	镀银后处理及防变色处理	196
7.2.3	普通镀镍	154	9.1.5	不合格银镀层的退除	199
7.2.4	镀多层镍	154	9.2	镀金	199
7.2.5	半光亮镀镍	156	9.2.1	氰化镀金	200
7.2.6	光亮镀镍	157	9.2.2	柠檬酸盐镀金	201
7.2.7	镀高硫镍	159	9.2.3	亚硫酸盐镀金	202
7.2.8	封闭镀镍	160	9.2.4	丙尔金镀金	202
7.2.9	镀高应力镍	161	9.2.5	商品添加剂的镀金工艺规范	203
7.2.10	镀缎面镍	161	9.2.6	不合格金镀层的退除	204
7.2.11	镀黑镍	162	9.3	镀钯	204
7.2.12	镀枪色镍和合金	163	9.4	镀铈	205
7.2.13	其他镀镍	164	9.5	镀铂	206
7.2.14	不合格镍镀层的退除	165	9.6	镀钢	207
7.3	镀铬	166	第10章	电镀合金	208
7.3.1	普通镀铬	167	10.1	概述	208
7.3.2	防护-装饰性镀铬	169	10.2	电镀防护性合金	208
7.3.3	镀硬铬	170	10.2.1	电镀 Zn-Ni 合金	208
7.3.4	滚镀铬	171	10.2.2	电镀 Zn-Fe 合金	210
7.3.5	复合镀铬	172	10.2.3	电镀 Zn-Co 合金	212
7.3.6	自动调节镀铬	173	10.2.4	电镀 Sn-Zn 合金	213
7.3.7	快速镀铬	173	10.2.5	电镀 Zn-Cd 合金	214
7.3.8	冷镀铬	174	10.3	电镀装饰性合金	215
7.3.9	四铬酸盐镀铬	174	10.3.1	电镀 Cu-Zn 合金	215
7.3.10	双层镀铬	175	10.3.2	电镀 Cu-Sn 合金	217
7.3.11	镀乳白铬	175	10.3.3	电镀 Ni-Fe 合金	222
7.3.12	镀黑铬	176	10.3.4	电镀 Sn-Ni 合金	222
7.3.13	松孔镀铬	177	10.3.5	电镀 Cu-Sn-Zn 合金	224
7.3.14	三价铬镀铬	178	10.4	电镀功能性合金	226
7.3.15	三价铬镀黑铬	183	10.4.1	概述	226
7.3.16	低铬酸镀铬	184	10.4.2	电镀可焊性合金	226
7.3.17	稀土镀铬	184	10.4.3	电镀耐磨性合金	231
7.3.18	不合格铬镀层的退除	185	10.4.4	电镀磁性合金	232
第8章	镀铅、镀铁	187	10.4.5	电镀减摩性轴承合金	235
8.1	镀铅	187	10.5	电镀非晶态合金	236
8.1.1	氟硼酸盐镀铅	187	10.5.1	概述	236
8.1.2	甲基磺酸盐镀铅	187	10.5.2	电镀非晶态合金特性和用途	236
8.1.3	不合格镀层的退除	188	10.5.3	电镀镍基非晶态合金	237
8.2	镀铁	188	10.5.4	电镀铁基非晶态合金	238
8.2.1	氯化物镀铁	188	10.5.5	电镀三元非晶态合金	239
8.2.2	硫酸盐镀铁	190	第11章	特种材料上电镀	241
8.2.3	氨基磺酸盐镀铁	191	11.1	铝及铝合金的电镀	241
8.2.4	氟硼酸盐镀铁	191	11.1.1	概述	241

11.1.2	电镀工艺流程	241	第13章 化学镀	290
11.1.3	镀前处理	242	13.1 化学镀镍	290
11.1.4	中间处理	244	13.1.1 概述	290
11.1.5	电镀	247	13.1.2 化学镀 Ni-P 合金	291
11.2 锌合金压铸件的电镀	247	13.1.3 化学镀 Ni-B 合金	293	
11.2.1 锌合金压铸件电镀工艺流程	248	13.1.4 联氨(胼)作为还原剂的化学镀镍	295	
11.2.2 机械前处理	248	13.1.5 化学镀镍工艺	295	
11.2.3 除油	249	13.2 化学镀铜	295	
11.2.4 弱浸蚀	250	13.2.1 甲醛还原剂化学镀铜	295	
11.2.5 中和、活化处理	251	13.2.2 非甲醛还原剂化学镀铜	296	
11.2.6 预镀	251	13.3 化学镀锡	297	
11.2.7 后续电镀	253	13.3.1 浸镀锡(置换法)	297	
11.3 不锈钢的电镀	254	13.3.2 化学镀锡(还原法)	298	
11.3.1 不锈钢电镀工艺流程	254	13.4 化学镀银	299	
11.3.2 前处理	254	13.4.1 银盐与还原剂混合液的化学银镀	299	
11.3.3 活化和预镀	256	13.4.2 甲醛及酒石酸盐化学镀银	299	
11.3.4 电镀	258	13.4.3 葡萄糖及胼盐化学镀银	300	
11.4 塑料电镀	258	13.4.4 喷淋(镀)化学镀银	300	
11.4.1 概述	258	13.4.5 浸镀银(置换法)	301	
11.4.2 电镀塑料材料的选择	259	13.5 化学镀金	301	
11.4.3 塑料电镀的工艺流程	260	13.5.1 硼氢化物化学镀金	301	
11.4.4 ABS 塑料的电镀	260	13.5.2 次磷酸盐及胼盐化学镀金	302	
11.4.5 热塑性聚丙烯(PP)塑料的电镀	268	13.5.3 二甲基胺硼烷化学镀金	302	
11.4.6 其他塑料的电镀	269	13.5.4 置换法浸镀金	303	
11.4.7 不合格镀层的退除	272	13.5.5 无氰化学镀金	303	
第12章 刷镀	273	13.6 化学镀钯	304	
12.1 概述	273	13.7 化学镀铑和化学镀铂	305	
12.2 刷镀工艺特点和适用范围	273	13.8 化学镀铂	306	
12.3 刷镀设备装置	274	13.9 化学镀钴	306	
12.3.1 镀笔(阳极)	274	13.9.1 次磷酸盐化学镀钴	306	
12.3.2 刷镀电源	276	13.9.2 硼氢化钠及二甲基胺硼烷化学镀钴	307	
12.4 刷镀的镀层选择	278	13.9.3 胼盐化学镀钴	307	
12.5 刷镀的溶液种类	278	第14章 金属转化膜处理	308	
12.6 刷镀的预处理	279	14.1 钢铁的氧化处理	308	
12.6.1 电化学除油(电净)	279	14.1.1 概述	308	
12.6.2 活化	279	14.1.2 钢铁碱性化学氧化	308	
12.7 刷镀单金属	280	14.1.3 钢铁酸性化学氧化	309	
12.7.1 刷镀镍	280	14.1.4 不锈钢的化学氧化	310	
12.7.2 刷镀铜	282	14.1.5 不锈钢的钝化处理	311	
12.7.3 刷镀铁	283	14.1.6 不锈钢化学氧化的工艺流程	311	
12.7.4 刷镀锡	283	14.1.7 不合格氧化膜的退除	311	
12.7.5 刷镀其他金属	284	14.2 钢铁的磷化处理	312	
12.8 刷镀合金	285	14.2.1 磷化处理分类	312	
12.9 刷镀耐磨复合镀层	286	14.2.2 高温磷化处理	313	
12.10 刷镀层的安全厚度	286	14.2.3 中温磷化处理	315	
12.11 刷镀工艺流程	287	14.2.4 低温、常温磷化处理	316	
12.12 刷镀前处理操作条件	288	14.2.5 黑色磷化处理	318	
12.13 刷镀的有关计算	289	14.2.6 钢铁磷化工艺流程	319	

14.2.7	钢铁其他磷化处理	321	14.3.12	铝及铝合金氧化的后处理	339
14.2.8	不合格磷化膜的退除	322	14.3.13	不合格氧化膜的退除	340
14.3	铝和铝合金的氧化处理	322	14.4	镁合金的氧化处理	340
14.3.1	概述	322	14.4.1	镁合金化学氧化	340
14.3.2	碱性化学氧化处理	323	14.4.2	镁合金三价铬及无铬转化处理	341
14.3.3	酸性化学氧化处理	324	14.4.3	镁合金的阳极氧化	343
14.3.4	硫酸阳极氧化	325	14.4.4	镁合金微弧氧化	343
14.3.5	铬酸阳极氧化	326	14.4.5	不合格氧化膜的退除	344
14.3.6	草酸阳极氧化	327	14.5	铜和铜合金的氧化处理	344
14.3.7	磷酸阳极氧化	328	14.5.1	铜和铜合金的化学氧化	344
14.3.8	瓷质阳极氧化	328	14.5.2	铜和铜合金的阳极氧化	345
14.3.9	硬质阳极氧化	330	14.5.3	铜和铜合金的化学钝化	346
14.3.10	微弧氧化	331	14.5.4	不合格氧化膜及钝化膜的退除	346
14.3.11	阳极氧化膜的着色	333			

第3篇 电镀设备

第15章	机械前处理及精整设备	347	17.1.1	各种镀槽的基本要求	377
15.1	概述	347	17.1.2	镀槽常用的规格	377
15.2	喷射清理设备	347	17.2	常用槽的制作材料和结构要求	378
15.2.1	干式喷砂机	347	17.3	镀槽及其附属装置的选用和设计要点	381
15.2.2	湿式(液体)喷砂机	351	17.3.1	槽体	381
15.3	滚光设备	354	17.3.2	加热装置	382
15.3.1	卧式滚筒滚光机	354	17.3.3	冷却装置	386
15.3.2	涡流式研磨机	356	17.3.4	搅拌装置	388
15.3.3	行星式离心滚光机	357	17.3.5	镀槽导电装置	391
15.4	振动光饰设备	358	17.3.6	槽体绝缘与安全接地	392
15.5	磨光及抛光机	362	17.4	镀槽的常用制作材料	392
15.5.1	轮式磨光及抛光机	362	17.4.1	槽子材料的选用原则	392
15.5.2	带式磨光机	363	17.4.2	碳钢	392
15.6	刷光机	365	17.4.3	不锈钢	393
第16章	电镀挂具	368	17.4.4	钛	393
16.1	概述	368	17.4.5	铅及铅合金	394
16.2	电镀挂具的设计原则	368	17.4.6	紫铜和黄铜	394
16.3	挂具的组成	369	17.4.7	聚丙烯塑料	395
16.4	电镀挂具的制作材料	370	17.4.8	硬聚氯乙烯塑料	396
16.5	电镀挂具的截面积计算	372	17.4.9	软聚氯乙烯塑料	397
16.6	电镀挂具吊钩的导电接触	372	17.4.10	氯化聚氯乙烯塑料	397
16.7	电镀挂具的基本类型	373	17.4.11	有机玻璃	398
16.7.1	通用挂具	373	17.4.12	聚四氟乙烯及聚偏氟乙烯	398
16.7.2	专用挂具	373	17.4.13	玻璃钢	399
16.8	小零件电镀挂(提)篮	374	17.4.14	化工陶瓷	400
16.9	化学处理挂具	374	17.4.15	化工搪瓷	401
16.10	电镀挂具的绝缘处理	375	第18章	滚镀设备及电镀自动线	402
16.10.1	电镀挂具绝缘材料的性能要求	375	18.1	概述	402
16.10.2	电镀挂具绝缘处理方法	375	18.2	滚镀设备	402
第17章	镀槽	377	18.2.1	卧式滚筒镀槽和滚镀机	403
17.1	概述	377	18.2.2	卧式滚筒翻转式滚镀机	410

18.2.3	倾斜式滚筒镀槽	410	20.4.2	pH计及电导率仪	460
18.2.4	滚镀铬槽	411	20.5	镀层测厚仪	463
18.2.5	微型滚镀机	414	20.6	化验室配套设备	465
18.3	振动式电镀机	415	20.6.1	电热干燥箱及箱式电阻炉(马弗炉)	465
18.4	直线式电镀自动线	416	20.6.2	恒温水槽及恒温加热板	467
18.4.1	直线式电镀自动线的设计要点	417	20.6.3	电热蒸馏水器	468
18.4.2	门形吊车直线式自动线	418	20.7	人工加速腐蚀试验设备	468
18.4.3	中柱吊车直线式自动线	420	第21章	电镀配套设备及辅助设备	473
18.4.4	悬臂吊车直线式自动线	420	21.1	溶液过滤设备	473
18.4.5	直线式滚镀自动线	421	21.1.1	概述	473
18.4.6	螺旋形滚筒直线式自动线	422	21.1.2	过滤设备的选择	473
18.4.7	直线式电镀半自动线	424	21.1.3	筒式过滤机的结构及过滤介质	475
18.5	环形电镀自动线	424	21.1.4	镀前处理溶液除油过滤机	477
18.5.1	垂直升降式环形自动线	424	21.1.5	普通电镀溶液过滤机	478
18.5.2	摆动升降式环形自动线	426	21.1.6	镀铬溶液过滤机	482
18.6	悬挂式输送链通过式自动线	427	21.1.7	化学镀溶液过滤机	483
18.7	单工序挂镀机	430	21.1.8	袋式过滤机	484
18.7.1	旋转阴极电镀机	430	21.1.9	带辅料筒的溶液过滤机	484
18.7.2	单工序环形挂镀机	430	21.1.10	电镀溶液活性炭过滤机	485
第19章	电镀电源设备	431	21.1.11	循环过滤机(液下泵)	486
19.1	概述	431	21.2	耐腐蚀泵	487
19.2	电镀电源种类	431	21.3	搅拌溶液等用的小型气泵	490
19.3	电镀电源的选择	432	21.4	干燥设备	493
19.4	常用的电镀电源设备	434	21.4.1	离心干燥机	493
19.5	脉冲电镀电源设备	438	21.4.2	干燥槽	495
19.6	镀铬电源设备	441	21.4.3	干燥平台	495
19.7	镀贵重金属电源设备	443	21.4.4	空气吹干设备	496
19.8	实验用电镀电源设备	444	21.4.5	干燥箱	497
19.9	铝合金(或铝型材)氧化及着色电源设备	445	21.4.6	干燥室	501
19.10	微弧氧化电源设备	449	21.5	电镀参数和镀槽自动控制装置	503
19.11	低温镀铁电源设备	449	21.5.1	溶液温度自动控制装置	504
19.12	刷镀电源设备	450	21.5.2	pH值自动调节装置	506
19.13	电铸电源	452	21.5.3	电流密度控制装置	508
19.14	电泳电源	452	21.5.4	药剂和添加剂自动添加装置	510
19.15	直流电源纹波测试仪	454	21.5.5	清洗水槽电导率的自动控制	517
第20章	化验室和实验室设备及仪器	456	21.6	物料搬运设备	518
20.1	概述	456	21.6.1	物料搬运设备选用的基本原则	518
20.2	化验分析台及其他台柜	456	21.6.2	搬运(起重)设备高度的确定	519
20.3	化验室通风柜	458	21.6.3	电动葫芦	520
20.4	分析仪器	459	21.6.4	电动单梁悬挂起重机	523
20.4.1	分析天平和一般电子天平	459	21.6.5	电动梁式(单梁)起重机	524
			21.7	维修间设备	527

第4篇 清洁生产及职业安全卫生

第22章	电镀清洁生产	528	22.2.1	清洁生产的定义	529
22.1	概述	528	22.2.2	清洁生产是控制污染的最佳模式	529
22.2	清洁生产基本概念	529	22.3	现代清洁生产与传统污染控制的比较	529

22.3.1	清洁生产的目标及技术方法	529	23.4.3	多级逆流清洗	566
22.3.2	清洁生产应坚持的原则	530	23.4.4	逆流清洗闭路循环系统	570
22.3.3	清洁生产与传统污染控制的比较	530	23.4.5	槽内化学清洗技术	574
22.4	清洁生产审核	531	23.4.6	其他节水技术	574
22.4.1	清洁生产审核的定义	531	23.5	照明节能	575
22.4.2	清洁生产审核的目的及主要原则	531	23.5.1	照明节能原则	575
22.4.3	清洁生产审核的工作程序及内容	532	23.5.2	照明节能的技术措施	575
22.5	电镀清洁生产标准	533	23.5.3	实施照明功率密度值指标	577
22.6	电镀清洁生产评价	536	23.6	电镀减排技术	577
22.6.1	评价指标体系结构	537	23.6.1	采用无毒或低毒工艺	577
22.6.2	考核评分计算方法	537	23.6.2	采用低浓度处理工艺	578
22.6.3	电镀行业清洁生产的评价指标	539	23.6.3	减少镀液带出量的措施	578
22.7	实现电镀清洁生产的主要途径	541	23.6.4	收回物料,减少排放	580
22.8	淘汰、限制重污染的化学品和生产 工艺	543	23.6.5	其他减少物料排放的措施	581
22.9	替代电镀工艺或镀层	543	23.7	加强电镀生产过程管理	581
22.9.1	无氰电镀	543	第24章	电镀职业安全卫生	583
22.9.2	代镉镀层	544	24.1	概述	583
22.9.3	代铅镀层	545	24.1.1	电镀行业职业危害因素	584
22.9.4	代铬镀层	545	24.1.2	安全卫生设施设计的一般原则	585
22.9.5	代镍镀层及节镍工艺	547	24.2	电镀生产安全卫生的基本要求	585
22.9.6	仿金合金镀层	547	24.3	电镀企业基建改建的基本要求	591
22.9.7	三价铬镀铬和镀锌层三价铬钝化	547	24.4	机械前处理作业安全卫生	591
22.9.8	镀锌层无铬钝化	548	24.5	化学前处理作业安全卫生	592
22.9.9	其他替代工艺	548	24.5.1	有机溶剂除油	592
22.10	低浓度处理工艺	549	24.5.2	碱液除油	593
22.10.1	低浓度电镀工艺	549	24.5.3	浸蚀(酸洗)处理	593
22.10.2	镀锌层低铬及超低铬钝化	550	24.6	电镀及化学处理作业安全卫生	593
22.11	低温处理工艺	550	24.6.1	氰化电镀作业安全卫生	593
22.12	前处理清洁生产工艺	551	24.6.2	钢铁件氧化处理作业安全卫生	594
22.12.1	机械前处理	551	24.6.3	电泳涂漆作业安全	594
22.12.2	化学前处理	551	24.6.4	槽液配制作业安全卫生	595
22.13	绿色照明	554	24.6.5	其他作业安全卫生	595
22.14	提高资源综合利用率	555	24.7	操作人员的个人防护	596
22.15	降低能源消耗	556	24.8	电镀生产装置作业安全卫生	596
22.16	加强企业管理和环境管理	557	24.8.1	电镀及化学处理槽	597
22.17	搞好电镀车间设计	559	24.8.2	镀槽导电与电源装置	597
22.18	提倡电镀协作,建立电镀工业园区	559	24.8.3	槽液加热系统	598
第23章	节能减排	561	24.8.4	槽液搅拌系统	598
23.1	概述	561	24.8.5	槽液过滤系统	598
23.2	电镀节能减排的基本原则	562	24.8.6	通风装置	599
23.3	电镀节能技术	563	24.8.7	排水系统	599
23.3.1	节电技术措施	563	24.8.8	工作平台、通道和梯子、栏杆	599
23.3.2	节热技术措施	564	24.9	车间排放系统及废水处理站的安全 措施	600
23.3.3	节气及其他节能技术措施	564	24.10	搬运和输送设备安全防护	600
23.4	电镀节水技术	565	24.10.1	搬运设备	600
23.4.1	改进清洗水槽的进水方式	565	24.10.2	输送设备	601
23.4.2	喷淋清洗和喷雾清洗	565	24.11	电气安全防护	601

24.12 防机械伤害、噪声及安全标志	602	要求	604
24.12.1 防机械伤害	602	24.13.2 电镀化学品储存安全要求	604
24.12.2 噪声控制	603	24.13.3 电镀化学品使用作业安全	605
24.12.3 安全标志与指示	603	24.14 消防	606
24.13 危险化学品使用和储存的作业安全	604	24.15 安全卫生管理	606
24.13.1 化学品的运输、储存、使用的基本			

第5篇 电镀污染治理

第25章 废水处理	608	25.7.8 内电解法处理含铬和混合废水	664
25.1 概述	608	25.8 活性炭吸附法处理废水	667
25.1.1 电镀废水处理技术的确定和选用		25.8.1 含铬废水处理	667
原则	608	25.8.2 含氰废水处理	668
25.1.2 电镀生产废水的污染物	608	25.9 反渗透法处理废水	669
25.1.3 电镀废水的危害性	609	25.9.1 含镍废水处理	671
25.2 废水处理基本规定和要求	609	25.9.2 含镉废水处理	672
25.3 废水收集、水量和水质确定	610	25.9.3 反渗透膜深度处理	672
25.4 废水处理方法	612	25.10 生物化学法处理废水	672
25.5 化学法处理废水	612	25.10.1 含铬废水处理	673
25.5.1 含铬废水处理	613	25.10.2 含铜废水处理	673
25.5.2 含氰废水处理	619	25.10.3 混合(综合)废水处理	674
25.5.3 含镉废水处理	621	25.11 电镀废水处理药剂	675
25.5.4 含锌废水处理	622	25.12 电镀废水处理设备	677
25.5.5 含镍废水处理	623	第26章 废气处理	683
25.5.6 含铜废水处理	623	26.1 概述	683
25.5.7 含铅废水处理	624	26.2 粉尘废气净化处理	684
25.5.8 含金废水处理	625	26.2.1 袋式除尘器	684
25.5.9 含银废水处理	625	26.2.2 滤筒除尘器	687
25.5.10 含氟废水处理	625	26.2.3 旋风除尘器	688
25.5.11 酸、碱废水处理	626	26.3 铬酸废气处理	689
25.5.12 混合废水处理	629	26.4 酸废气净化处理	692
25.5.13 金属捕集沉淀剂(DTCR)处理重金		26.4.1 湿式酸废气净化处理	692
属废水	631	26.4.2 干式酸废气净化处理	694
25.6 离子交换法处理废水	634	26.5 氰化物废气净化处理	695
25.6.1 概述	634	26.6 有机溶剂废气净化处理	696
25.6.2 含铬废水处理	637	第27章 废液、废渣及污泥的治理	697
25.6.3 含镍废水处理	641	27.1 概述	697
25.6.4 含铜废水处理	644	27.2 废液处理和回收利用	698
25.6.5 含锌废水处理	647	27.2.1 废酸回收利用	698
25.6.6 含金废水处理	650	27.2.2 含铜废液回收利用	699
25.7 电解法处理废水	651	27.2.3 含铬废液回收利用	700
25.7.1 概述	651	27.2.4 含镍废液回收利用	701
25.7.2 含铬废水处理	652	27.2.5 镀银废液回收处理	703
25.7.3 含铜废水处理	656	27.2.6 镀金废液回收处理	703
25.7.4 含银废水处理	658	27.2.7 镀钯废液回收处理	703
25.7.5 含金废水处理	660	27.2.8 其他废液回收处理	704
25.7.6 含氰废水处理	661	27.3 废渣处置和利用	704
25.7.7 微电解-膜分离法处理混合废水处理	663	27.3.1 铬废渣处理	704

27.3.2 镍废渣处理	704	27.5.1 重金属回收利用	707
27.3.3 硫酸铜废渣处理	704	27.5.2 电镀污泥的综合利用	708
27.4 电镀污泥处理要求和污泥减量处理	704	27.6 电镀污泥无害化处理	711
27.4.1 电镀污泥处理要求	705	27.6.1 污泥固化/稳定化处置	711
27.4.2 污泥减量处理	706	27.6.2 污泥焚烧处置	712
27.5 电镀污泥资源化	707	27.6.3 电镀污泥填埋处置	712

第6篇 电镀车间工艺设计

第28章 电镀车间工艺设计概论	714	30.2.5 服务人员定员	753
28.1 概述	714	第31章 材料消耗	754
28.2 工艺设计原则	714	31.1 概述	754
28.3 工艺设计内容	716	31.2 阳极材料消耗	754
28.4 工艺设计水平的评价	717	31.3 化学品材料消耗	754
第29章 车间平面布置	720	31.3.1 电镀的材料消耗	754
29.1 电镀车间在总图中的位置	720	31.3.2 其他的化学处理等的材料消耗	755
29.2 电镀车间建造及建筑物形式	720	31.3.3 研磨、抛光材料消耗的平均定额	756
29.2.1 电镀车间建造形式	720	31.4 涂料等其他材料消耗	756
29.2.2 电镀车间建筑物形式	720	第32章 动力消耗	758
29.2.3 辅助间在建筑物中的位置	723	32.1 概述	758
29.3 设备、槽子等布置间距及通道宽度	724	32.2 水消耗量	758
29.3.1 设备、槽子等布置间距	724	32.2.1 清洗用水消耗量	758
29.3.2 通道及门的宽度	727	32.2.2 设备(或槽液)冷却用水量	760
29.4 生产线的组织形式	728	32.2.3 喷漆室及涂层湿打磨的水消耗量	761
29.5 车间组成	730	32.2.4 其他用水的水消耗量	761
29.6 平面布置要点	730	32.2.5 以设备进水管管径确定其水消耗量	762
29.7 车间面积分类	733	32.3 蒸汽消耗量	763
29.8 车间平面布置示例	734	32.3.1 加热方式及升温时间	763
29.9 工作间设备布置示例	738	32.3.2 加热溶液蒸汽消耗量	764
29.9.1 喷砂间	738	32.3.3 加热清洗水槽蒸汽消耗量	767
29.9.2 抛光间	739	32.3.4 烘干箱(室)加热蒸汽消耗量	767
29.9.3 汽油除油间	739	32.3.5 以设备进汽管径确定其蒸汽消耗量	768
29.9.4 浸蚀间(酸洗间)	739	32.4 压缩空气消耗量	768
29.9.5 溶液配制室	741	32.4.1 压缩空气消耗量计算	768
29.9.6 挂具制造及维修间	741	32.4.2 吹嘴压缩空气消耗量	769
29.9.7 工艺试验室	742	32.4.3 喷砂(丸)压缩空气消耗量	770
29.9.8 化验室	743	32.4.4 搅拌溶液的压缩空气消耗量	770
29.10 工具镀铬间设备布置	744	32.4.5 喷涂压缩空气消耗量	771
29.11 管道架设	745	32.4.6 气动工具压缩空气消耗量	772
29.11.1 管道架设的要求及架设方法	745	32.4.7 其他用压缩空气消耗量	772
29.11.2 管道架设示例	747	32.5 燃气、燃油消耗量	773
第30章 车间人员组成及定员	750	第33章 建筑	774
30.1 车间人员组成	750	33.1 概述	774
30.2 车间人员定员	750	33.2 对厂房建筑的要求	774
30.2.1 生产工人定员	750	33.2.1 一般要求	774
30.2.2 辅助工人定员	752	33.2.2 防腐要求	775
30.2.3 检验工人定员	752	33.3 电镀建筑物的建筑形式及参数	777
30.2.4 工程技术人员及行政管理人员	753	33.3.1 电镀建筑物的建筑形式	777

33.3.2	电镀建筑物参数	777	34.4.6	吹吸式排气罩	830
33.4	电镀建筑物的采光等级	777	34.4.7	通风柜局部排风	833
33.5	电镀车间设置的卫生辅助设施	778	34.4.8	喷砂(丸)室局部排风	835
33.6	电镀车间建筑物的装修要求	778	34.4.9	磨光、抛光机的局部排风	836
33.7	腐蚀介质对建筑材料的腐蚀性分级	780	34.4.10	电泳涂漆及喷漆等的局部排风	836
33.7.1	腐蚀性分级	780	34.4.11	全面换气通风	838
33.7.2	建筑材料的腐蚀性等级	781	34.4.12	通风系统的组织	839
33.8	建筑结构选型及防护	781	34.4.13	通风机布置和风管敷设	840
33.8.1	结构选型的原则	781	34.5	蒸汽供给系统	842
33.8.2	结构选型	782	34.5.1	蒸汽管道敷设	842
33.8.3	钢筋混凝土结构及其防护	782	34.5.2	蒸汽供给及凝结水处置	843
33.9	防腐蚀地面	784	34.6	压缩空气供给系统	846
33.9.1	对电镀车间防腐蚀地面的要求	784	34.6.1	压缩空气质量等级	847
33.9.2	地面面层材料	784	34.6.2	电镀车间用压缩空气质量要求	849
33.9.3	地面面层厚度	786	34.6.3	压缩空气供给装置	849
33.10	防腐蚀地面用的耐酸块材	788	34.6.4	压缩空气管道及其敷设	851
33.11	块材、整体地面构造	789	34.7	供电	851
33.12	地面隔离层的设置	791	34.7.1	直流供电	851
33.13	地面、地沟、地坑的排水和防护	792	34.7.2	直流供电母线的敷设	855
33.13.1	地面排水	792	34.7.3	交流供电	856
33.13.2	地沟、地坑排水和防护	792	34.7.4	低压电器及线路敷设	857
33.14	建筑构件及构筑物的防护	793	34.8	照明	858
33.14.1	结构及构件的表面防护	793	34.8.1	照度标准系列分级	858
33.14.2	墙体防护	795	34.8.2	照明方式和照明种类	858
33.14.3	基础防护	796	34.8.3	电镀车间的照明照度	859
33.14.4	门窗	797	34.8.4	照明灯具选用	860
33.14.5	储槽、废(污)水处理池	797	34.8.5	应急照明	861
33.15	防腐蚀涂料	798	第35章	电镀车间设计阶段、内容和方法	862
33.15.1	防腐蚀底层涂料及面层涂料的选择	798	35.1	概述	862
33.15.2	防腐蚀涂料的配套性	798	35.1.1	工程(工厂)设计的地位和作用	862
第34章	公用工程	801	35.1.2	工程(工厂)设计遵循的基本原则	862
34.1	给水	801	35.1.3	电镀车间整体设计组成	862
34.1.1	对供水的水质、水压、水温的要求	801	35.2	工程(工厂)建设程序和阶段	863
34.1.2	各种设备的用水方式	804	35.3	工程(工厂)设计阶段	864
34.1.3	给水管道敷设及管材	804	35.3.1	项目建议书	864
34.2	排水	805	35.3.2	可行性研究报告	864
34.2.1	各种设备的排水性质、方式和温度	805	35.3.3	初步设计	865
34.2.2	车间废水浓度的估算	806	35.3.4	施工图设计	865
34.2.3	排水沟管的设置和布置	808	35.4	电镀车间工艺设计内容	865
34.3	采暖	811	35.4.1	初步设计内容	865
34.3.1	概述	811	35.4.2	施工图设计内容	866
34.3.2	冬季室内采暖温度	812	35.5	初步设计文件编写内容、格式及方法	867
34.4	通风	813	35.5.1	设计依据	867
34.4.1	通风的一般要求	813	35.5.2	车间现状(新建厂略)	867
34.4.2	局部排风	813	35.5.3	车间任务和生产纲领	868
34.4.3	槽子局部排风	814	35.5.4	协作关系	868
34.4.4	条缝式槽边排气罩	821	35.5.5	工作制度和年时基数	869
34.4.5	平口式槽边排气罩	827	35.5.6	设计原则和主要工艺说明	870

35.5.7	设备选择与计算	871	35.5.18	初步设计平剖面图的绘制内容及方法	878
35.5.8	人员	873	35.6	施工图设计文件编写内容、格式及方法	879
35.5.9	车间组成、面积和平面布置	873	35.6.1	说明书的编写内容、格式及方法	879
35.5.10	材料消耗	874	35.6.2	设备明细表的编写内容和格式	880
35.5.11	物料运输	874	35.6.3	施工图设计平剖面图的绘制内容及方法	880
35.5.12	节能和能耗	875	35.7	工艺提出的协作设计资料内容及表格形式	880
35.5.13	环境保护	875			
35.5.14	职业安全和卫生	876			
35.5.15	主要数据和技术经济指标	876			
35.5.16	需要说明的问题及建议	878			
35.5.17	设备明细表的编写内容和格式	878			

附录

附录 1	各种能源折算标准煤系数	887	附录 6	电镀污物排放标准	891
附录 2	有机溶剂蒸气特性	888	附录 7	我国主要城市所属的温湿度气候分区	896
附录 3	大气环境腐蚀性分类	889	附录 8	我国主要城市和地区的冬季及夏季室外计算温度	897
附录 4	压缩空气的饱和含湿量	889	附录 9	电镀行业标准及相关标准	901
附录 5	一般使用的压缩空气质量等级	889			

参考文献

第1篇

常用资料

第1章

数学物理资料

1.1 数学资料

1.1.1 计量单位

计量单位见表 1-1。

表 1-1 计量单位

类别	代号	名称	对主单位的比	折合市制	类别	代号	名称	对主单位的比	折合市制	
长度	μm	微米	0.000001 米		容量	mL	毫升	0.001 升		
	cmm	忽米	0.00001 米			cL	厘升	0.01 升		
	dmm	丝米	0.0001 米			dL	分升	0.1 升	=1 市合	
	mm	毫米	0.001 米	=3 市厘		L	升	主单位	=1 市升	
	cm	厘米	0.01 米	=3 市分		daL	十升	10 升	=1 市斗	
	dm	分米	0.1 米	=3 市寸		hL	百升	100 升	=1 市石	
	m	米	主单位	=3 市尺		kL	千升	1000 升		
	dam	十米	10 米	=3 市丈		体积	mm^3	立方毫米	0.000000001 立方米	
	hm	百米	100 米				cm^3	立方厘米	0.000001 立方米	
	km	千米	1000 米	=2 市里			dm^3	立方分米	0.001 立方米	
				m^3	立方米		主单位			
质量	mg	毫克	0.000001 千克		面积	mm^2	平方毫米	0.000001 平方米		
	cg	厘克	0.00001 千克			cm^2	平方厘米	0.0001 平方米		
	dg	分克	0.0001 千克	=2 市厘		dm^2	平方分米	0.01 平方米		
	g	克	0.001 千克	=2 市分		m^2	平方米	主单位		
	dag	十克	0.01 千克	=2 市钱		km^2	平方千米	1000000 平方米		
	hg	百克	0.1 千克	=2 市两	土地面积	ca	公厘	0.01 公亩		
	kg	千克	主单位			a	公亩	主单位		
	q	公担	100 千克	=2 市担		hm^2	公顷	100 公亩		
t	吨	1000 千克								

1.1.2 常用单位换算

常用英制与米制单位换算见表 1-2。

常用单位换算见表 1-3。

温度单位换算见表 1-4。

电流密度单位换算见表 1-5。

表 1-2 常用英制与米制单位换算

英制	米制	英制	米制
1 密耳(mil)	=0.002540 厘米(cm) =25.4 微米(μm)	1 磅(lb)	=453.5924 克(g)
1 英寸(in)	=2.540 厘米(cm)	1 盎司(oz)	(常衡) =28.3495 克(g) (金衡) =31.1035 克(g)
1 英尺(ft)	=30.480 厘米(cm)	1 盎司/加仑	美,常衡 =7.489 克/升(g/L) 英,常衡 =6.236 克/升(g/L)
1 码(yd)	=91.440 厘米(cm)	1 磅力(lbf)	=0.4536 千克力(kgf)
1 英寸 ² (in ²)	=6.4516 厘米 ² (cm ²)	1 磅/美加仑(lb/USgal)	=0.1198 克/毫升(g/mL)
1 英尺 ² (ft ²)	=9.2903 分米 ² (dm ²)	1 磅/英加仑(lb/UKgal)	=0.0998 克/毫升(g/mL)
1 加仑(美加仑 USgal)	=3785.4 厘米 ³ (cm ³) =3.7854 升(L)	1 磅/英寸 ³ (lb/in ³)	=27.68 克/毫升(g/mL)
1 加仑(英加仑 UKgal)	=4546 厘米 ³ (cm ³) =4.546 升(L)	1 磅/英尺 ³ (lb/ft ³)	=0.016 克/毫升(g/mL)
		1 安/英尺 ² (ft ²)	=0.1076 安/分米 ² (A/dm ²)

表 1-3 常用单位换算

单位换算	单位换算
1 达因(dyn) = 10^{-5} 牛顿(N)	1 标准大气压(atm) = 1.0133×10^5 帕(Pa)
1 英寸(in) = 0.0254 米(m)	1 毫米水柱(mH ₂ O) = 9807 帕(Pa)
1 英里(mile) = 1.609 千米(km)	1 千卡(kcal) = 4.1868 千焦(kJ)
1 公顷(hm ²) = 15 市亩 = 10000 平方米(m ²)	1 千焦(kJ) = 0.2388 千卡(kcal)
1 市亩 = 666.7 平方米(m ²)	1 英热单位(Btu) = 1.055 千焦(kJ)
1 英寸 ³ (in ³) = 0.0164 升(L)	1 英热单位(Btu) = 0.252 千卡(kcal)
1 英尺 ³ (ft ³) = 28.32 升(L)	1 英加仑/秒(UKgal/s) = 4.546 升/秒(L/s)
1 英吨(UKton) = 1016 千克(kg)	1 美加仑/秒(USgal/s) = 3.785 升/秒(L/s)
1 美吨(US ton) = 907.2 千克(kg)	1 英尺 ³ /秒(ft ³ /s) = 28.32 升/秒(L/s)
1 千克力(kgf) = 9.8067 牛顿(N)	1 立方码/秒(yd ³ /s) = 764.5 升/秒(L/s)

表 1-4 温度单位换算

热力学温度(K)	摄氏度(°C)	华氏度(°F)	列氏度(°Re)
K	°C + 273.16	$5/9(^{\circ}\text{F} - 32) + 273.16$	$5/4^{\circ}\text{Re} + 273.16$
K - 273.16	°C	$5/9(^{\circ}\text{F} - 32)$	$5/4^{\circ}\text{Re}$
$9/5(K - 273.16) + 32$	$9/5^{\circ}\text{C} + 32$	°F	$9/4^{\circ}\text{Re} + 32$
$4/5(K - 273.16)$	$4/5^{\circ}\text{C}$	$4/9(^{\circ}\text{F} - 32)$	°Re
备注	换算计算示例: 已知摄氏温度(°C), 计算热力学温度(K), 则按下式计算: $K = ^{\circ}\text{C} + 273.16$		

表 1-5 电流密度单位换算

单位换算	单位换算
1 A/dm ² (安/分米 ²) = 0.01 A/cm ² (安/厘米 ²)	1 A/in ² (安/英寸 ²) = 15.5 A/dm ² (安/分米 ²)
1 A/cm ² (安/厘米 ²) = 100 A/dm ² (安/分米 ²)	1 A/dm ² (安/分米 ²) = 0.0645 A/in ² (安/英寸 ²)
1 A/m ² (安/米 ²) = 0.01 A/dm ² (安/分米 ²)	1 A/ft ² (安/英尺 ²) = 0.1076 A/dm ² (安/分米 ²)
1 A/dm ² (安/分米 ²) = 100 A/m ² (安/米 ²)	1 A/dm ² (安/分米 ²) = 9.29 A/ft ² (安/英尺 ²)

1.1.3 几何图形的面积和体积计算

平面几何图形的面积计算见表 1-6。