

实用电镀技术丛书 (第二批)

中国表面工程协会电镀分会组织编写

钢铁制件热浸镀与渗镀

李新华 李国喜 吴 勇 等编著

GANGTIEZHJIAN REJINDU YU SHENDU



化学工业出版社

实用电镀技术丛书 (第二批)

中国表面工程协会电镀分会组织编写

钢铁制件热浸镀与渗镀

李新华 李国喜 吴 勇 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《实用电镀技术丛书》(第二批)的一个分册。

本书重点阐述了以钢铁制件为主要实施对象的热浸镀锌、铝、铅、锡和渗镀锌、铝的基本原理、工艺与设备、质量标准与质量控制。对热浸镀锌层与渗锌层、热浸镀铝层与渗铝层的特点作了深入分析。同时介绍了这些传统技术的最新发展和应用前景。本书内容丰富,具有较强的实用性。

本书适合从事表面处理行业的工程技术人员、生产管理人员和操作人员阅读;亦可供金属腐蚀与防护专业的大专院校师生和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁制件热浸镀与渗镀/李新华,李国喜,吴勇等编著. —北京:化学工业出版社,2009.1
(实用电镀技术丛书:第二批)
ISBN 978-7-122-03927-9

I. 钢… II. ①李…②李…③吴… III. ①钢-热浸涂②铁-热浸涂
③钢-表面合金化④铁-表面合金化 IV. TG178 TG156.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第168075号

责任编辑:杜进祥

文字编辑:丁建华

责任校对:边涛

装帧设计:张辉

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风印装厂

850mm×1168mm 1/32 印张15¼ 字数433千字 2009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:39.80元

版权所有 违者必究

序

在过去漫长的历史进程中，人们对电镀技术所应概括的内容，并不十分明确。若从字面的含义看，电镀自然应当是通过金属在器件表面上的电沉积，形成能满足各种需求的覆盖层的工艺。但在早期出版的各类电镀教材、专著、手册中，不仅可将化学镀、金属的化学氧化与电化学氧化、磷化、电泳涂装、金属的电抛光等在原理上与电镀有一定关联的工艺包括在内，而且还会涉及热浸镀、真空镀、机械镀等在应用上与电镀密切相关的技术。这表明电镀的包容性还是相当大的。因此，过去国内外学者在编写电镀书籍和手册时，常会被它应限定的范围所困扰。不过近些年来，随着科学技术的不断进步，一些原来依附于电镀书籍中作为一章的重要课题，均已能独立成书，当然这个问题也就迎刃而解了。

我们从 2002 年开始组织编写与出版《实用电镀技术丛书》。当时选定的各分册，主要是针对与金属表面上通过电化学反应而形成的各种镀层有关的内容。这也正是电镀领域内应用面较广，且为众多从业人员十分关心的一些问题。丛书在陆续出版的过程中受到了广大读者的热烈欢迎。对已经出版的书籍踊跃购买，先睹为快；对尚未出版的，则是不断催问，希冀早日面市。此外，还有不少人感到原来的出版计划尚不能完全满足实际工作的需要，迫切要求能在更广阔的范围内组织编写更多的在工艺上颇具特色，在生产上应用价值很高，而市场又不多见的一些专业书籍。本丛书的第二批就是在这种力量的推动下顺利出台的。我们希望经过认真筛选的《实用电镀技术丛书》第二批出版的各分册，也能像第一批那样，在推动电镀科技发展的过程中发挥重要的作用。

在科学技术发展的长河中，事物总是在不断地消长变化着。譬如有些器件（像汽车用的某些部件）原来一直使用的防护装饰性电镀层，目前已被一些涂料涂装和电喷涂等工艺取代了。这就容易给人一种错觉，似乎电镀正在走向衰落。事实上绝非如此。多年来电

镀在防护装饰性保护层的应用中，所占比重甚大，损失一些后，所剩余的规模依然十分可观。而且事物发展的规律也正是在相互竞争，在有得有失的基础上不断前进的。多年实践表明，在防护装饰性电镀层的应用范围出现适当衰减的同时，电镀技术也正在积极开拓新领地，作为功能性镀层的开发利用，已在迅速地增长着。例如，制备电解工业中使用的高效廉价的催化电极、在半导体上形成金属膜层，实现金属半导体接触、以表层材料取代整体的非晶态材料、在氧化铝模板纳米孔中沉积纳米金属线，制备高性能的磁性材料和碳纳米管、电子器件微型化过程中，电镀在制备芯片及在微机电系统的作用正在逐步得到加强等。此外，历史悠久的电刷镀也正以崭新的面貌出现在设备修复等各项重大工程之中。总之，这类例子还可举出很多。可以认为，在采用不同科技手段解决同一问题（达到同一目的）时，与其他方法相比，电镀常常是成本最低的一个。这一特点正是电镀在竞争中常立于不败之地的重要原因之一。《实用电镀技术丛书》（第一批）受到了读者的热烈欢迎，这从一个侧面也证明了电镀行业强大的生命力。

为了使电镀科技在今后得以持久地茁壮成长，我们大家似应在两个方面进行不懈的努力。一个是要守住原有的阵地，要提高质量（包括要有稳定的高质量），降低成本，减少对环境的污染；另一个则是要不停地打开新局面，不满足于原有的应用范围，要大力开发有广阔应用前景的功能性镀层，让电镀在可能的条件下渗透入各个科技领域之中。它的前途是十分光明的。通过广大电镀工作者的艰苦奋斗，定会迎来美好的明天。愿这批图书的出版，也能为武装从事电镀科技的人员，发挥一定的作用。

**中国表面工程协会电镀分会名誉理事长
郭鹤桐**

前 言

热浸镀与渗镀是具有悠久历史、应用广泛、效果显著的钢铁表面防腐蚀工艺方法。近二十多年来得到了飞速发展，生产规模日益扩大，技术水平不断提高，尤以锌、铝及其合金镀层的应用更为普遍。

热浸镀的产品通常分为两大类：一是钢材类，包括钢带、钢丝、钢管；二是钢铁制件类，包括各种钢结构、冷加工零部件、铸件、螺纹紧固件等。本书重点阐述钢铁制件的热浸镀与渗镀。

热浸镀与渗镀虽然属于两种工艺类型，但存在着密切的内在联系。它们都是通过制件与某种介质相接触，在一定的温度条件下，发生吸附、浸润、扩散、沉积及合金化反应，从而得到金属或合金镀层。此过程的属性为冶金过程，镀层与基体之间为冶金结合。二者的不同点是：热浸镀是为了在基体表面获得连续的金属或合金覆盖层；而渗镀则是为了获得渗入金属与基体的金属间化合物相层。实际上，在很多情况下，这两种镀层结构会同时存在。通过延长反应时间，或特殊的气相沉积以及高温扩散处理得到渗镀层，所以又称其为扩散镀层。

本书将锌和铝的热浸镀与渗镀结合论述，是因为它们在金属防腐蚀中具有同一性和互补性。可使读者对它们有一个完整的、系统的认识和了解，以便在实践中融会贯通，灵活运用。

从镀层的种类上看，除了重点叙述传统的钢铁基体上的锌、铝、铅、锡镀层以外，还介绍了热浸镀铜、渗铜，非铁金属上的锌、铝镀层以及在渗铝基础上发展起来的铝化物耐热涂层。将传统工艺与现代表面工程前沿技术相联系，强调了继承与发展的重要意义。

本书遵循理论与实践并举的原则，在介绍常用、成熟工艺方法的同时，也特别关注国内外的新技术、新工艺、新材料的应用，并充分考虑其实用性。所列出的工艺参数、操作程序、设备设计制造与选型等内容，均有一定的参考价值。

本书共分六章，由李新华、李国喜、吴勇等编著。其中，第一

章、第二章、第四章及第六章第六节由李新华编写；第三章由李国喜编写；第五章由吴勇编写；第六章第一节至第五节由李春燕编写。全书由李新华策划和统稿，屠振密主审。在编写过程中，参阅和引用了大量文献资料，在此谨向有关作者致以谢意。

由于作者的经验与水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

李新华

2009 年 1 月于哈尔滨

目 录

第一章 绪论	1
第一节 金属的腐蚀与防护概述	1
一、腐蚀过程与控制	1
二、金属在自然环境中的腐蚀	6
三、金属在高温环境下的腐蚀	13
四、锌镀层的防护应用	18
五、铝镀层的防护应用	24
第二节 热浸镀与渗镀的特点与应用	29
一、工艺类型与特点	29
二、不同工艺方法形成的锌（铝）镀层性能	33
三、热浸镀锌（铝）的应用及经济性分析	36
参考文献	39
第二章 热浸镀锌	42
第一节 热浸镀锌的基本原理	42
一、热浸镀锌层的形成与镀层结构	42
二、锌液成分对镀层结构及性能的影响	50
三、钢的化学成分对镀层结构及性能的影响	59
四、浸镀温度与时间的影响	64
第二节 热浸镀锌前处理	69
一、钢基体镀前表面状态分类及其影响	69
二、脱脂处理	71
三、表面特定清除物与漆膜的清除	85
四、酸洗与清洗	86
五、溶剂处理与烘干	96
第三节 热浸镀锌工艺参数及操作方法	107
一、锌液合金成分的控制	107
二、锌炉运行与锌锅维护	117
三、热浸镀锌温度和时间	128

四、工件的浸入与取出	130
第四节 热浸镀锌的后处理	134
一、去余锌	134
二、冷却	138
三、钝化处理	139
四、修整与矫直	146
五、局部漏镀与镀层损伤的修复	147
六、储存和运输	149
七、镀锌层上的覆盖涂层处理	152
第五节 热浸镀锌层质量要求与控制	154
一、钢铁制件热浸镀锌层的标准概况	154
二、热浸镀锌层的技术要求	157
三、热浸镀锌层的检测方法	162
四、热浸镀锌层质量控制与缺陷分析	165
第六节 热浸镀锌设备	169
一、热浸镀锌厂房布置与建筑设计要求	169
二、锌锅与加热炉	176
三、助镀剂加热与净化再生装置	197
四、“三废”处理设施	202
第七节 钢铁制件热浸镀锌典型应用分析	218
一、钢构件的热浸镀锌	218
二、铸件热浸镀锌	225
三、螺纹紧固件及标准件的热浸镀锌	233
参考文献	238
第三章 热浸镀铝	242
第一节 热浸镀铝的基本原理	242
一、热浸镀铝工艺的分类与定义	242
二、钢铁制件热浸镀铝的基本原理	252
第二节 钢铁制件热浸镀铝工艺及影响镀层的因素	267
一、钢铁制件的热浸镀铝工艺	267
二、影响热浸镀铝层厚度、结构及性能的因素	279
第三节 钢铁制件的热浸渗铝工艺	301
一、氯化锌法热浸渗铝工艺	302

二、碳酸盐法热浸渗铝工艺	303
第四节 不同工艺方法的热浸镀铝层在质量及使用性能方面的差别	305
一、不同工艺方法的热浸镀铝层在质量及耐腐蚀性能方面的差别	306
二、不同工艺方法的扩散型镀铝层在抗高温氧化性能及使用寿命方面的差别	317
第五节 热浸镀铝设备	325
一、镀铝锅	326
二、炉体结构	329
三、热浸镀铝炉的温度控制	331
第六节 钢件热浸镀铝的产品标准及质量要求	332
一、国内外热浸镀铝的主要标准	332
二、热浸镀铝层的种类	332
三、对原材料及二次扩散处理工艺的要求	334
四、热浸镀铝层的质量要求	336
五、热浸镀铝层的试验方法	341
第七节 钢铁制件热浸镀铝的应用实例	343
一、一浴法高速公路护栏热浸镀铝	343
二、二浴法钢管的热浸镀铝	353
参考文献	358
第四章 热浸镀锡与铅锡合金及其他	360
第一节 热浸镀锡	360
一、热浸镀锡层的形成与组织结构	360
二、热浸镀锡工艺	364
三、热浸镀锡层的性能与应用	367
第二节 热浸镀铅锡合金	369
一、热浸镀铅锡合金层的形成与组织结构	369
二、热浸镀铅锡合金工艺	372
三、铅锡合金镀层的性能与应用	374
第三节 热浸镀锡锌合金	375
一、合金成分特点	375
二、工艺特点	375

三、性能测试	375
第四节 热浸镀铜及其合金	377
一、热浸镀铜层的形成与组织结构	377
二、热浸镀铜的工艺流程	380
三、热浸镀铜的性能特点与应用	381
四、渗铜的性能特点与应用	382
参考文献	386
第五章 渗锌	388
第一节 渗锌原理	388
一、渗锌层的形成过程	388
二、渗锌层的组织与结构	389
三、渗锌层的厚度	390
第二节 渗锌工艺与生产	392
一、前处理	392
二、渗锌	393
三、渗锌后处理	398
第三节 渗锌的质量要求及检测方法	399
一、渗锌前处理质量要求及检测方法	399
二、渗锌件的外观要求	399
三、渗锌层的附着强度	399
四、力学性能要求	400
五、渗锌层厚度	400
第四节 渗锌层的性能及特点	402
一、渗锌层的耐腐蚀性能	402
二、渗锌工艺对材料力学性能的影响	405
三、渗锌层的涂装性能	408
四、渗锌的其他特点	409
第五节 渗锌、热镀锌、电镀锌的比较、选择及应用	410
一、渗锌与热镀锌、电镀锌的比较	410
二、渗锌、热镀锌、电镀锌的选择	411
三、渗锌的应用举例	415
第六节 渗锌的研究进展	416
一、锌铝共渗	417

二、镁及镁合金渗铝	419
参考文献	419
第六章 渗铝	421
第一节 渗铝原理	421
一、渗铝层的形成过程及化学反应	421
二、渗铝层的组织结构与成分	423
三、渗铝层厚度影响的因素	425
第二节 渗铝工艺及设备	427
一、固体渗铝	427
二、膏剂渗铝	431
三、气相渗铝	435
四、喷涂-扩散渗铝	438
五、熔盐电解渗铝	439
六、热浸镀-扩散渗铝	441
第三节 渗铝层的性能	441
一、抗高温氧化性能	441
二、高温下的耐介质腐蚀性能	443
三、力学性能	443
第四节 非铁金属及合金的渗铝	444
一、钛合金渗铝	444
二、铜合金渗铝	446
第五节 多元共渗和复合渗铝	449
一、铝铬共渗（或铬铝共渗）	449
二、铬铝硅共渗	450
三、镀镍渗铝及镀镍铝铬共渗	450
四、铝稀土共渗	451
五、镀铂渗铝	451
第六节 渗铝的发展与应用	452
一、渗铝的发展过程	453
二、渗铝应用与研究的新进展	461
三、渗铝在制取铝化物涂层方面的应用举例	465
参考文献	466

第一章 绪 论

第一节 金属的腐蚀与防护概述

一、腐蚀过程与控制

(一) 腐蚀防护的重要性

腐蚀问题遍及国民经济和人类活动的各个领域，大量的工程构件、设备和设施因腐蚀而失效，给国家带来巨大的经济损失。无论在工业环境或自然环境中，材料的腐蚀都会发生，并具有各自的规律和特点。

1999~2001 年发布的中国腐蚀调查报告指出，我国每年为腐蚀支付的直接费用据不完全统计，已达人民币 2000 亿以上。如果考虑间接损失，国民经济花费在腐蚀方面费用的总和估计可达 5000 亿元，约占国民经济总产值的 5%，每人平均每年要支付 500 元的腐蚀费用。这是一笔相当可观的损耗，它大于各自然灾害所造成的损失的总和。世界上发达国家多年的统计数字也是在 3%~5% 之间，其中最严重、最复杂的是金属的腐蚀。据统计，世界上每年因腐蚀而损失的钢铁材料占总产量的 1/5。腐蚀对现代工业造成严重破坏，甚至会危及人民的生命和财产安全，因此必须采取有效的防护措施。为此须支付必要的费用，合理调整腐蚀损失和防腐蚀费用之间的关系，从而达到防护的目的，而使支出的总费用降至最低，这项工作称为腐蚀控制。实现腐蚀控制是使国民经济基础设施和各种设备、装备处于良好运行状态的保障，是国家现代化进程中不可缺少的重要组成部分，具有深远的战略意义。

(二) 腐蚀的基本过程

1. 腐蚀的定义

由于材料与环境反应而引起的材料的破坏或变质（性能的降低）统称为腐蚀。材料的腐蚀（机械破坏除外）所发生的变化实际

上是一种由不稳定状态向稳定状态发生的转变（回归自然的过程）。

由于地球环境中氧元素的广泛存在，广义上讲，腐蚀过程实质上是一个氧化过程，比如铁的生锈、有机体的腐败。这里所说的材料，包括金属（钢铁及有色金属）与非金属。

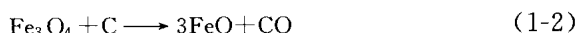
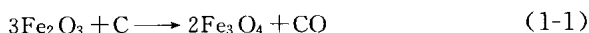
应当指出，这里的氧化并不是单纯指某物质与氧分子的化学反应，而是泛指在反应中（化学、电化学过程）失去电子的过程。

2. 金属腐蚀的基本过程

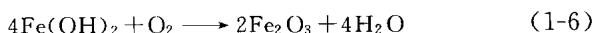
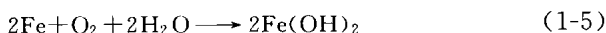
就金属材料而言，在自然界中大多数是以矿石形式存在，例如，铁在自然界多以化合物形式存在。赤铁矿其主要成分是 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，而铁的腐蚀产物也是 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，可见铁的腐蚀过程就是回归自然的过程。

3. 热力学观点对钢铁腐蚀基本过程的分析

以钢铁为例，钢铁的腐蚀源于热力学性质的不稳定。钢是由铁与碳元素以及其他合金元素制成的。而铁是在高炉中用焦炭对赤铁矿（ Fe_2O_3 ）进行还原而得到的。下面用化学反应式表达这一还原过程。



从热力学观点来看，为了使化合物转变为纯金属，必须提供足够能量，这就使纯金属与化合物中的该金属存在能量的差异，亦即纯金属比它的化合物（通常是氧化物和碳化物）具有更高的自由能，它是不稳定的，因此纯金属会自发地释放能量，再回到热力学上更稳定的自然存在的形式上去。放出能量的过程就是腐蚀的过程。如前所述，腐蚀过程本质是氧化过程，下面用化学反应式来表达这一氧化过程。



其中 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 是铁腐蚀的初始形式，此时的铁锈是鲜艳的绿色，它是不稳定的，它会被氧化成稳定的人们所熟悉的红褐色的铁锈，其化学式为 $\alpha\text{-FeOOH}$ （或 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ），也可称为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot$

H_2O 。这就是通常在大气、水和土壤中铁锈的存在形式。

虽说腐蚀是难以避免的自发的过程，但却不是不可控制的。经过努力，采用控制手段可在一定时期内，减缓其腐蚀的速度，使其达到所要求的使用寿命。

4. 腐蚀反应动力学观点对金属腐蚀与耐腐蚀现象的解释

如上所述，很多纯金属具有回归到原始的矿石状态的倾向，比如铁锈和赤铁矿具有相同的化学成分和结构。那么为什么有些金属（如 Al、Cr）却不符合这个规律呢？这是一个非常有趣的问题，英国学者伊文斯（U. R. Evans）说得好。他说解释金属为什么腐蚀是容易的，而要解释金属为什么不腐蚀、为什么很长时间不回复到矿石状态却是困难的。科学家研究已证实，几乎所有的金属（包括铁在内），当与空气接触会在极短的时间内（几分之一秒或几十分之一秒）在其表面生成一层氧化膜。凡是引进时间概念与反应速率这一参数时，就进入了反应动力学的研究范畴。金属腐蚀速率通常取决于所形成的表面膜的厚度、致密性以及保护金属不受外界影响的能力，也就是是否具有抵御外界腐蚀介质侵入的能力。金属的耐蚀性不仅仅取决于其自身的特征属性，在很大程度上，取决于其表面的氧化膜的特征属性，这就是用反应动力学观点来解释金属腐蚀与耐蚀性问题。

具体地说，普通碳钢表面在大气中不能生成致密的具有保护功能的氧化膜，而铬的表面、不锈钢的表面生成的 Cr_2O_3 薄膜则可以，所以不锈钢在大气中的腐蚀速率远低于普通碳钢。

同理，铝是一种非常活泼的金属，可以在极短时间内与大气中的氧起反应，生成极致密的厚度仅为几十纳米的 Al_2O_3 薄膜，将铝及其合金与周围环境隔绝开来，与铁相比，其耐蚀性大为提高。通常将形成的含有铬、镍元素的这种薄膜称为钝化膜（即钝态氧化膜），其含义同上所述，没有改变。

（三）控制腐蚀的基本思路与手段

1. 倡导预见性防腐蚀措施

柯伟院士曾指出，腐蚀研究要从研究腐蚀早期过程开始，防腐蚀工作要与设施、设备的研制、设计同步进行，同时开始，同时结束。例如，在两个相同设备上不同时采取相似的防腐蚀措施后的应

用效果不同。通过比较,可以发现如果从开始设计就考虑结构和具体零部件的防腐蚀问题,服役过程中的腐蚀程度显然要轻微得多;如果是发现腐蚀后再采取补救措施,则腐蚀程度还要继续发展一段时间才能降低到原来的水平。可见预防性防腐蚀措施大大优于补救性防腐蚀措施。

2. 影响腐蚀过程的环境因素

(1) 材料与构件所处的周围环境 具体地说即周围的介质,可以分为以下三种。

① 气体 自然条件的大气和运行条件(高温、高压、强腐蚀等)的气体。

② 液体 海水、淡水、具有腐蚀性的酸碱溶液、熔盐或熔融金属。

③ 固体 土壤、水泥、异种材料紧密接触而引起的腐蚀情况。

(2) 环境的物理因素

① 温度 在多数情况下降低温度可以减轻材料的腐蚀。但也有例外,比如沸腾的海水对钢铁的腐蚀速率比热海水要低。因为盐水中的溶解氧随温度上升而下降。钢铁材料的高温腐蚀(氧化)值得引起重视。

② 湿度 表征为水分的存在,当不存在水分的情况下,几乎不发生电化学腐蚀。

③ 流速 介质流速增加往往会加速材料的腐蚀。

④ 浓度 气体及液体中的腐蚀性物质浓度提高通常会加速腐蚀,但也有例外,如浓硝酸对纯铝几乎不腐蚀,这是因为其强氧化性有利于 Al_2O_3 保护膜的生成并保持完整性。在液体中添加缓蚀剂可明显降低对材料的腐蚀。

⑤ 应力 封闭容器中的液体或气体的压力或结构件的外力都会引起材料内部产生应力。当拉应力达到一定数值后会加速材料的腐蚀,从而造成应力腐蚀。比如在强碱性的水溶液中(超过 pH13 时)钢铁材料在应力的作用下会发生强腐蚀泄漏或断裂破坏,亦称苛性脆裂。

3. 控制腐蚀的基本手段

(1) 提高材料的自身抗蚀性 研制和使用具有高性能价格比的

新材料；从热力学原理出发，提高材料在该介质中的稳定性。

(2) 改善环境 这是工程和设备的设计者应当考虑的问题，通过不同的选项改善环境或改变结构；在周围环境（介质）中添加缓蚀剂（包括气相缓蚀剂）。

(3) 从电化学角度进行防护 在自然环境中对金属材料采用阴极保护和某些特定条件下对金属材料采用阳极保护。

(4) 表面工程技术 对金属材料而言，重点的防护措施是在金属表面采用各种覆盖层（又称保护层或防护层）和进行材料自身的表面改性，这就是表面工程技术领域的任务。它是内涵深奥、外延广泛的多种学科相交叉的一门科学。

(5) 改进设计 这是一项十分重要的工作，它主要体现在以下几个方面。

① 改进产品结构的设计，包括材料的优化选择和匹配、结构与强度设计（包括构件的连接方式，防止产生接触腐蚀及缝隙腐蚀）。

② 表面覆盖层的设计，选择具有最佳性能价格比的防腐蚀覆盖层品种及其组合（复合膜层）。

③ 设计中充分考虑表面覆盖层形成的可行性，从而保证该种防腐工艺性能，达到最佳防腐蚀效果。

4. 表面覆盖层按工艺方法的分类

表面覆盖层是防止金属材料腐蚀的最普遍而重要的方法。其按工艺方法分类如下。

① 金属表面转化膜 包括化学氧化、电化学氧化、磷化、钝化等。

② 电镀 包括电镀、化学镀、电刷镀或摩擦电喷镀。

③ 热浸镀 包括连续式热浸镀和间歇式热浸镀（即钢铁制件热浸镀）。

④ 渗镀 亦称扩散镀，包括固体法、液体法和气相沉积。

⑤ 热喷镀 包括火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂、爆炸喷涂等。

⑥ 涂装 包括喷漆、静电涂装、电泳涂装、粉末浸涂等。

⑦ 包覆金属 是把耐腐蚀金属薄层压合到基体金属表面上，