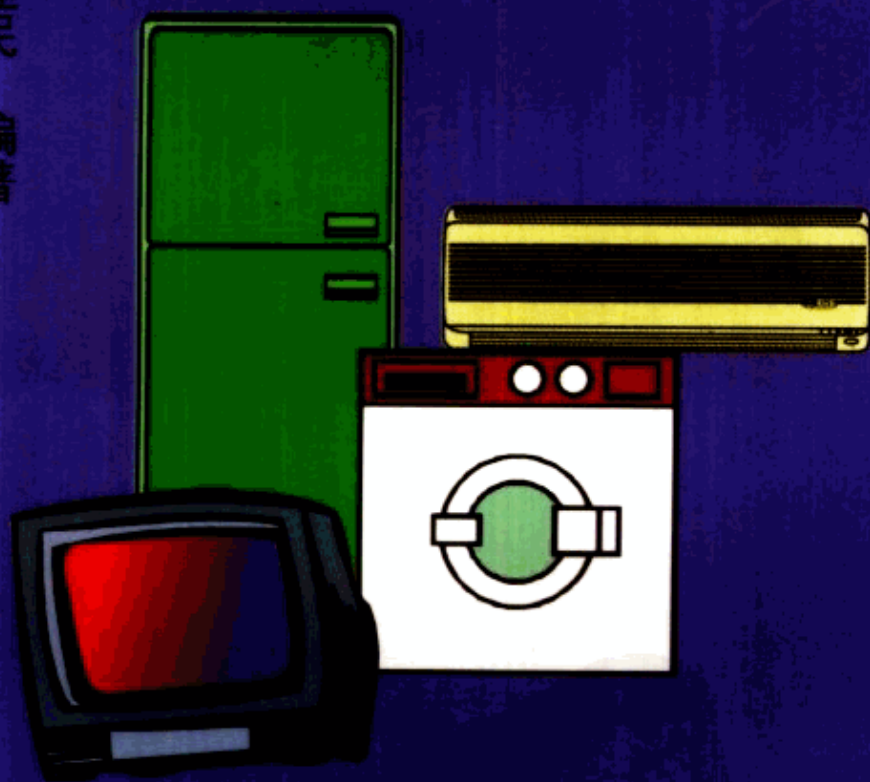


家用电器涂装技术

○孙建民 编著



.05



辽宁人民出版社

前 言

随着国民经济的发展，人民生活水平的不断提高，各行各业更加重视产品的质量及装饰性，尤其是家用电器的装饰性、耐腐蚀性，已成为产品在国内国际市场竞争的内容之一。家用电器的涂装是提高其装饰性和保护性的主要手段之一。它在装饰方面赋予家用电器丰富的色彩，提高其外观质量；它在防护方面能提高家用电器的耐蚀性，延长其使用寿命；它在功能方面具有不粘、耐高温等特点，可满足一些特殊情况下的使用要求。

目前，家用电器涂装技术已发展成为利用现代物理学、高分子化学和机电一体化方面等新技术的边缘性综合技术。

近几年来，国外家用电器涂装已向高效、优质、低耗、多花色、功能全等方面发展，我国的家用电器涂装技术亦得到促进。

由于我国的家用电器涂装历史短，从业技术力量薄弱和操作工人素质较低，远远不能满足日益发展的家用电器涂装之要求，所以国内一些家用电器生产厂，往往不能正确地选择合适的涂料、经济的施工方法以及先进的设备与工艺，结果造成家用电器涂层质量差、涂装材料利用率低和能源消耗大。

家用电器涂装的重要性不言而喻，但是国内迄今尚无一本这方面的专著。因此，编写“家用电器涂装技术”已成当务之急，亦符合广大从事家用电器涂装工作者的希望和心

愿。

、笔者从事技术工作 30 年，其间以搞涂装技术与工艺为主，曾到国外学习过家用电器的涂装施工，并主持设计、制造了一些专用涂装设备，积累了不少这方面的经验。

笔者认为，涂装本来就是一种应用技术，它自身的技术进步也主要靠实践经验，如果努力把这种实践经验，在尽可能的范围内与基础研究相结合，并使之系统化，则将有助于我国涂装技术的发展。因此，笔者将过去在涂装方面的一些心得和成果加以整理，参考有关的技术资料，编纂了这本书，旨在填补我国家用电器涂装方面无专著的空白，推动家用电器涂装技术与工艺的进步，供涂装界同仁参考。

为帮助读者解决一些实际问题，及时地修改和完善此书，我愿向广大读者提供涂装技术咨询及授课，并且希望你们对这本书提出建议或要求。

本人联系地址、电话：邮编 266071，青岛市澄海三路 6 号，孙建民涂装技术工作室，(0532) 5899818。

本书若能成为中国家用电器涂装技术未来发展的一块引玉之砖，笔者则将甚感荣幸。由于笔者才疏学浅，不足之处在所难免，敬请各位读者指正。

本书在编纂过程中，得到了许多朋友的支持和帮助，借此一并致谢。

孙建民

1999.9

第一章 概 论

1.1 家用电器知识

家用电器是指在家庭及类似场所，居民日常生活中应用的电器器具。俗称“日用电器”或“民用电器”。

1.1.1 简史

1879年实用电灯的发明标志着家用电器时代的开始，大约1900年电熨斗的大量生产并投放市场，才真正为家用电器的广泛使用开拓了道路。随后，电冰箱、洗衣机、电烤箱以及吸尘器等相继问世了。本世纪20年代，家用电器工业首先在美国形成并且迅速发展起来。美国是制作家用电器的鼻祖，至今在家用电器制造与技术的许多领域上仍然处于领先地位。到了30~40年代，家用电器工业的雏形已在西欧和日本相继出现。虽然在第二次世界大战期间遭到巨大打击，家用电器工业一度处于凋敝，但是在战后短短几年内，它又恢复了战前的水平并且进一步发展。尤其是在50年代以后，电子工业的兴起为家用电器工业发展开辟了一个新天地。电子工业不仅为家用电器工业制造了许多电子设备和仪器，而且还为家用电器提供了大量电子元件，使这些产品的质量得到了提高。60年代后期，不少国家的家用电器生产增长率曾达20%以上。以致70年代后半期，家用电器市场趋于饱和，增长率明显变慢。80~90年代，各种新技术、新材料、新工艺的采用，又促使家用电器向更高的层面拓展。

改革开放以后，国内众多家用电器生产厂从国外引进一些先进的生产线，带动了我国家用电器制造业的发展。特别是近几年来，我国的家用电器工业发展很快，不论是产品的结构、性能，还是生产工艺、加工技术都有了飞跃的发展，其产品之新、品种之多、速度之快、范围之广是前所未有的。当前，家用电器已成为我国人民不可缺少的生活用具，这一类产品在国内老百姓生活中的普及程度和更新速度，标志着中国的科学技术进步和经济水平的提高。

1.1.2 分类

目前，国际上对家用电器的分类尚未统一，许多国家由于历史原因和生活习惯，有着各自不同的分类方法，我国较常见的有如下三种：

表 1-1 家用电器分类一览表

方 法	种 类	家用电器
按能量转换方式分类	电动器具 电热器具 制冷器具 照明器具 声像器具	电风扇、洗衣机、吸尘器等 电熨斗、电热水器、电饭锅等 电冰箱、冷柜、冷饮机等 各类灯具等 收音机、电视机、录音机、录像机等等
按用途分类	空调器具 取暖器具 厨房用具 清洁用具 美容与保健器具 照明器具 声像器具 冷冻器具 其他器具	空调器、除湿机、排气风扇等 电暖器、电热毯、电热炉子等 洗碗机、电热炊具、绞肉机等 洗衣机、吸尘器、地板打蜡机等 电吹风、电动按摩器、电剃刀等 各类照明及装饰灯具等 电视机、收音机、录音机、录像机等 电冰箱、冷柜等 凡不适于以上八类的，可归于此，例如：电动缝纫机、电动割草机等等

续表

方法	种类	家用电器
按商品经营目录分类	家用电子器具	包括各种收音机、录音机、电唱机、电视机、音响组合、电子元器件等
	家用电器器具	包括各种电冰箱、冷柜、洗衣机、空调器、微波炉、电烤箱、电器器具的维修元件等

1.2 涂装技术基础

1.2.1 定义及功能

在被涂物表面形成涂层的工艺，称为涂装。涂装工艺一般由前处理，涂布和固化这三大基本工序组成。已固化的涂料膜称之为涂层。

通常，涂装有以下几方面的功能：

保护作用——世界上每年因腐蚀造成的损失可达钢铁总产量的 20% ~ 30%，涂装是最行之有效的防腐蚀方法之一，在物体表面涂布一层具有一定耐腐蚀性能的涂膜，可以有效地保护被涂物，延长其使用寿命。

装饰作用——如果人们生活中没有色彩点缀，那将是不可思议的。涂装可以使被涂物具有颜色、光泽、立体感以及标志作用，给人们美的感觉。

特殊功能——涂装能调节热、电等的传导性，防止生物的附着，显示温度，控制声波以及产生夜光等。

1.2.2 基本要素

涂装材料、涂装工艺、涂装设备及工具、涂装作业人员技能、涂装施工管理是涂装的基本要素，它是获得最佳涂层

质量和取得良好经济效益的关键。

涂装材料的质量和作业配套性，是获得最佳涂层的基本条件。在选择涂料时，我们要从涂膜性能、作业条件和经济，效果等方面综合考虑，不要只贪图涂料价格低，而忽视涂膜的性能，那样会缩短涂层的寿命，造成涂装返修，经济损失更大。如果涂料选用不当，即使精心施工，涂层也不会耐久，像将内用涂料当做户外面漆使用，涂层就会过早的失光、变色和粉化。

涂装工艺的合理性、先进性是获得最佳涂层的先决条件。合理先进的涂装工艺，不仅能最大限度地利用已有生产条件，获得高质量的涂层，而且便于管理，节省材料及生产开支。

涂装设备及工具是提高涂装效率，减少人为涂层的质量问题和涂装生产的必备条件。国内家用电器生产厂都不惜花费巨额资金，从外国购进先进的涂装设备及工具，目的就是确保涂层质量稳定，提高涂装自动化水平。

涂装作业人员技能是获得最佳涂层的必要条件，它主要体现在喷涂操作，设备使用和工艺参数控制方面。一个不懂涂装要领的作业人员，从事高技术含量的涂装施工，给涂装生产带来的危害可想而知。

涂装施工管理是保证涂装工艺正确实施，获得最佳涂装效果的重要条件。涂装施工管理主要是对涂装工艺的宣传贯彻和复审，使操作工严格按照工序干活。一件家用电器涂装要几十道工序才能完成，每道工序都有许多工艺参数直接影响涂层质量，没有涂装施工管理是不行的。

1.3 家用电器与涂装技术

1.3.1 涂装特点

大部分家用电器是在室内使用的，涂装施工要充分考虑这一点。由于家用电器是日用品，所以要求表面涂装美观、大方。要求涂层能很好地起到保护家用电器的作用，以免发生锈蚀和涂层剥落，降低家用电器的商品价值。随着家用电器的普及，商品的价格竞争更加激烈，降低涂装成本势在必行。家用电器的产量大，适合于流水线涂装方式。家用电器涂装工艺应简单化，涂装系统以一涂一烘工艺为主。

1.3.2 发展趋势

金属涂塑在家用电器上的应用日益广泛，其中粉末涂料具有良好的耐腐蚀性能和装饰作用，特别适用于家用电器的涂装，估计今后会有更大的发展。

用工程塑料代替金属材料来制作家电配件，如今已相当普遍，这就需要开发一些对多种塑料有较好配套性和结合力的专用塑料喷漆。

复合金属板材用于家用电器愈来愈多。PVC覆塑金属板，以加工简便、可随意成型、色彩高雅、不污染环境等优越性，异军突起。用预涂金属板来代替金属材料的涂漆工艺，是值得引起涂装行业注意的技术动向。

家用电器的丝网印刷方兴未艾。随着市场上各种专卖连锁店的扩张，一些印刷特殊标志和图案的专用家用电器需求量增大，家用电器的丝网印刷术亦日益得到重视。

第二章 家用电器涂装前处理

2.1 钢铁表面前处理

家用电器的钢铁工件在涂装之前，表面上往往带有氧化皮、焊渣、铁锈、尘土和油污等，这些污物必须在涂装前彻底清净。否则，不但影响涂层的附着力，而且氧化皮和铁锈在涂层下面继续发展，甚至连涂层一起脱落。为得到附着力良好的涂层，延长涂层的使用寿命，我们在家用电器钢铁工件涂装前必须进行表面前处理。

2.1.1 除油

经过钣金、冲压和焊接等工序后，钢铁工件表面形成一层油污。当工件进行涂装时，油污将钢铁与涂层隔离，极大地影响涂层的附着力。涂层与钢铁表面不能牢固的结合，在一定条件下就会起泡、开裂、脱落，造成涂装质量事故。

2.1.1.1 油污的性质及分类

按油污的化学性质，可分为两大类：皂化类和非皂化类。凡由动植物体制备的，不溶于水的油腻物质称为油脂。这类油脂与碱起作用而分解成能溶于水的脂肪酸盐（肥皂）和甘油，属于皂化类。凡由矿物中提炼或合成的油脂称为矿物油。矿物油是烃类碳氢化合物的混合物，这类油不溶于水，称为非皂化类。

2.1.1.2 除油之方法

掌握了油的特性之后，可以有针对性地选择除油方法。

(1) 溶剂法：有机溶剂除油的实质是应用有机溶剂溶解皂化油脂与非皂化油。常用的溶剂有煤油、汽油、甲苯、四氯化碳、三氯乙烯等。三氯乙烯和四氯化碳不会燃烧，可以在较高的温度下除油，效果比较好。在易燃的有机溶剂中除油，是将工件依次浸入两个或三个以上的有机溶剂槽中，用刷子刷净工件表面玷污较厚的油膜，在最后一个槽中盛有不断更新的洁净溶剂，进行最后的清洗，以达到彻底干净的要求。用不燃性有机溶剂的除油方法很多，可以将工件在溶剂中浸洗，也可以用溶剂的蒸气对工件除油，或用溶剂喷洗除去工件的油。采用有机溶剂除油，毒性较大，特别是三氯乙烯，必须有良好的封闭式除油设备和通风装置。

(2) 化学法：即碱液除油，碱液一般以氢氧化钠为主，在大多数情况下可以与碳酸钠、硅酸钠、磷酸三钠等混合使用，效果不错。

碱液除油的施工方法，主要是浸洗或喷淋，溶液温度在 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。喷淋方法适用于大批量生产的家用电器工件流水作业，喷淋用碱液浓度较浸洗的浓度低，喷淋压力以 0.2MPa 左右为宜。经碱液除油的工件要彻底清洗，以防残留碱液破坏涂层。常用碱液除油配方和工艺条件见表 2-1。

2.1.2 去锈

钢铁与周围多种腐蚀介质相接触，在表面产生氧化还原反应，会生铁锈。铁锈是一种氧化物，由氧化铁 (FeO)、三氧化二铁 (Fe_2O_3)、四氧化三铁 (Fe_3O_4) 等组成。钢铁在热轧、焊接、热处理、铸锻时，表面易产生氧化皮。遇到潮湿、水气时，产生氧化作用，生成氢氧化铁 [$\text{Fe}(\text{OH})_3$]，它是铁锈的一种，呈松散、膨胀状态存在于钢铁表面。涂层

表 2-1 钢铁工件碱液除油配方和工艺条件

配方 (g/L) 工艺条件	浸洗 1	浸洗 2	喷 淋
氢氧化钠	80	80 ~ 100	4
碳酸钠	45	20 ~ 30	8
磷酸三钠	30	30 ~ 40	4
硅酸钠	3 ~ 5		
温度 (°C)	90	85 ~ 90	60
时间 (min)	3 ~ 5	10 ~ 15	2

下如有锈蚀物存在, 会使腐蚀继续发生, 因锈蚀物体积增大, 产生膨胀而顶坏涂层, 一起脱落下来。在涂装前必须彻底清除锈蚀物, 才能保证涂层的牢固附着。

2.1.2.1 锈蚀物的特征

普通钢铁锈蚀之初, 表面发暗, 轻锈呈暗灰色, 进一步发展成褐色, 或棕黄色, 严重的呈棕色或褐色疤痕、锈坑。发蓝钢铁工件的锈蚀, 呈褐黄色锈层或呈点、斑状态。涂层下面的锈蚀, 会因渗水、渗氧和渗腐蚀介质, 而使涂层起泡、膨胀, 以致脱落。

2.1.2.2 去锈的方法

钢铁表面的除锈通常为机械法、化学法和电解除锈法三类, 现分述如下。

1) 机械法

机械法去锈是对钢铁表面锈层进行喷砂、抛丸和手工处理, 在工件表面得到整平的同时除去锈层。

(1) 喷砂处理: 喷砂是用压缩空气或电动叶轮, 把一定粒度的细砂喷射到金属表面上, 利用砂粒的冲击力, 除去金

属表面的锈蚀、氧化皮或污垢等，使金属表面恢复原来的光泽和具有一定的粗糙度，涂料与金属的表面接触增大了，从而形成牢固的附着力。喷砂还可以提高金属材料的耐疲劳强度。喷砂处理分干喷、湿喷两种，其工艺程序详见图 2-1。

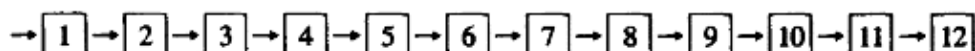


图 2-1 干、湿喷砂工艺流程

1. 除油 2. 保护 3. 干喷砂或湿喷砂处理 4. 除保护
5. 清理 6. 磷化 7. 冷流水洗 8. 热水洗 9. 封闭
10. 热水洗 11. 风干或自干 12. 涂装

湿喷砂是在砂料中加入定量的水和防锈剂，使之成为砂-水混合物。湿喷砂能减缓砂料对金属材料的冲击作用，从而减少金属材料的去除量，使金属的表面粗糙度更细。

干喷砂有吸入式、压力式、自流、离心式等数种，工厂中常用吸入式和压力式两种。吸入式设备简单，但效率低，适用于小零件。压力式主要适用于大、中型零部件，由于效率高，适用性广，多用于大批量生产。

(2) 抛丸处理：抛丸处理的工作原理，是丸粒从旋转的叶轮经分配室的窗口射向转动轮的叶片上，在离心力的作用下，以 80m/s 的速度向被处理表面喷射多达 130kg/min 的丸粒，丸粒呈喷流扇状。多保护抛丸轮叶片不受丸粒磨损。在转动轮上多安装氧化铝基特种陶瓷管状叶片，这样可提高叶片的耐磨性并通过改进叶片方向，扩大抛料流密度，以及增大被处理件的色容面积，而提高处理过程的生产能力。

钢铁工件在抛丸处理前，应将待处理件预热到 $40 \sim 45^\circ\text{C}$ ，目的是为了去掉钢铁在自然环境下形成的潮气，并缩

短处理和涂装的干燥时间。处理氧化皮和铁锈应使用粒径为 0.5~1.5mm 的丸粒。粒度更小的丸粒不能保证完全清除掉氧化皮，而更大的丸粒则会产生粗糙度不均匀的粗糙表面。处理金属件可使用圆球状丸料，也可用打碎的丸粒，其效果更好。

(3) 手工处理：手工处理有刷光、磨光、抛光、滚光以及高压水去锈等方法。

刷光是利用弹性很好的钢丝刷或铜丝刷，搓刮金属表面的锈皮和污垢。磨光是利用粘附有氧化铝和碳化硅等磨料的砂纸、砂布或砂轮进行摩擦，以除去金属表面的铁锈和氧化皮。抛光是利用抛光轮和抛光膏等精细磨料，对金属表面进行轻微的切削和研磨，以除去锈蚀和表面的细微不平。滚光是利用滚筒的转动，使金属表面和磨料之间进行磨搓，清除零件上由于铸造或冲压所形成的毛刺、氧化皮和铁锈。高压水去锈，是一种较新的工艺，常用 20~80MPa 的连续射流高压水，处理大面积的与底金属有很强附着力的锈层、氧化皮、老漆旧涂层等。

2) 化学法

化学法去锈是用酸或碱溶液对金属件进行强浸蚀处理，使工件表面的锈层通过化学作用，和强浸蚀过程所产生的氢气泡的机械剥离作用而被除去。

钢铁工件表面上的锈一般为 Fe_2O_3 和少量的 FeO ，热处理的氧化皮由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 和少量 FeO 组成。 FeO 易与各种酸溶液发生化学作用。由于高价铁的硫酸盐在硫酸中的溶解度较小，所以 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 在硫酸中的反应速度较慢。但是当酸液与锈层中的铁或锈层下面基体金属铁作用时，产生

出的初生态的氢能将高价铁的氧化物还原成易与酸作用的 FeO ，所产生的氢气泡能将锈层机械剥落，从而加速了浸蚀过程。虽然可以用单一的酸来浸蚀，但是如果用硫酸-盐酸（有时加硝酸）的混合液，可使浸蚀获得更好的效果。化学去锈液的配方参见表 2-2。

表 2-2 钢铁工件化学去锈液配方及工艺条件

配方 (g/L) 工艺条件	1	2	3	4
硫酸 (H_2SO_4)	150 ~ 250	100 ~ 200	150 ~ 250	
盐酸 (HCl)		100 ~ 200		200 ~ 350
氯化钠 (NaCl)			100 ~ 200	
若丁	0.5 ~ 1	0.5 ~ 1		0.5 ~ 1
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	50 ~ 70	40 ~ 60	40 ~ 60	20 ~ 40
时间	至锈除尽	至锈除尽	至锈除尽	至锈除尽

3) 电解法

电解去锈的机理是把被处理件放在电解液中通以直流电，通过电化学反应达到去锈的目的。电解去锈液见表 2-3。

电解去锈基本上分为两类，一类是把去锈件做为阳极，另一类是把去锈件做为阴极。阳极除锈，是通电后金属溶解，利用在阳极产生氧气的机械力量来分离锈层。阴极除锈，是通电后在阴极产生氢气用以还原氧化铁，使它易溶于酸液中，再以氢的机械力量使锈蚀物从被处理件表面脱落。阳极除锈法，由于阳极在电解质中被腐蚀，因此被处理件表面锈蚀物被除去的同时，金属基体也难免于被腐蚀，如仅为去锈，最好不用此法。阴极除锈是利用阴极上析出氢气的作用，同时还对被处理件表面起到阴极保护的效果。阴极除锈

表 2-3 钢铁工件电解去锈液配方及工艺条件

配方(g/L) 工艺条件	1	2	3	4
硫酸(H_2SO_4)	200 ~ 250		100 ~ 150	120 ~ 150
盐酸(HCl)		320 ~ 380		30 ~ 50
氢氟酸(HF)		0.15 ~ 0.3		
温度($^{\circ}C$)	40 ~ 60	30 ~ 40	40 ~ 50	30 ~ 50
电流密度(A/dm^2)	5 ~ 10	5 ~ 10	3 ~ 10	3 ~ 10
辅助电极材料	铁或铅	铁或铅	铅或铅锡合金	铅或铅锡合金
时间(min)	10 ~ 20	15 ~ 30	10 ~ 15	5 ~ 10

注：配方 1、2 用于阳极去锈，配方 3、4 用于阴极去锈

时所采用的电流密度比阳极除锈的要大得多，故被处理件在电解质中没有被腐蚀的现象。

2.1.3 磷化

钢铁在某些酸式磷酸盐（如锌、锰、铁、钙等）为主的溶液中，加温处理，使其表面沉积，形成一层不溶于水的磷酸盐保护膜，这个过程叫钢铁的磷化。

2.1.3.1 磷化膜的性质及用途

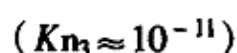
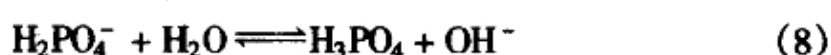
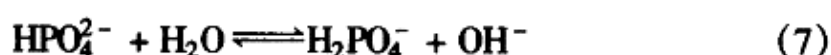
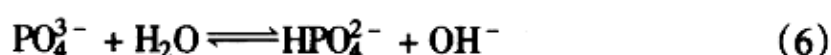
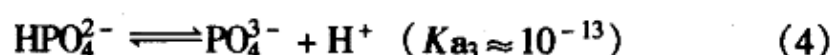
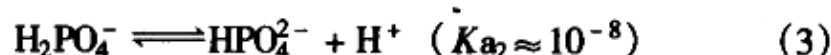
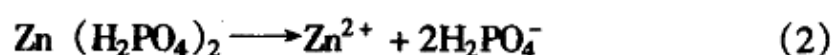
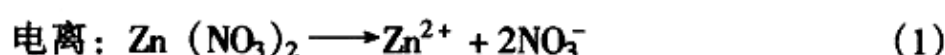
目前，普遍采用磷酸锰铁盐，磷酸锌盐溶液进行磷化。磷化膜是由磷酸铁、锌、锰盐所组成的，表面呈灰和暗灰色的结晶状，厚度一般在 $5 \sim 15\mu m$ 。磷化基本不改变被处理件的尺寸，这是因为磷化膜生成的同时，基体金属表面有部分溶解在磷化液中的缘故。磷化膜有较高的电阻绝缘性质，若在其表面涂装后更可提高耐电压性能。磷化膜与基体结合的十分牢固。经磷化处理后，钢铁的机械强度、磁性等基本不变。磷化膜在空气、动植物油、矿物油、苯及甲苯等介质中均有抗蚀能力，但在酸、碱、海水、氨气及蒸汽的侵蚀下，

不能防止基体金属的锈蚀。若在磷化表面涂装、浸油后，抗蚀能力可大大提高。磷化膜在 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 的温度下，可经受短时间的烘烤，过高温度能使磷化膜抗蚀能力降低。磷化膜结构呈松孔，能被清漆、肥皂液和锭子油浸润，与涂料有较高的结合力。磷化膜除可作为金属涂装防护层外，还具有润滑性能，所以需要冷压、冷拉的工件，可以用它减少摩擦力和裂纹。由于磷化处理所需设备简单、操作方便和生产效率高，所以机电行业广泛采用它作为产品的防护层。

2.1.3.2 磷化膜的形成机理

磷化反应本身包括着复杂的化学反应，涉及电离、水解、氧化还原、沉淀、络合等，以锌系磷化为例，其机理可用离子反应方程做如下解释：

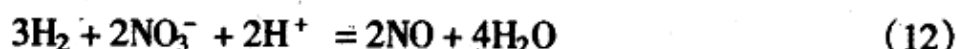
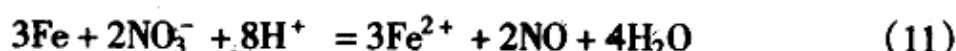
磷化前，磷化液中存在两类化学平衡：



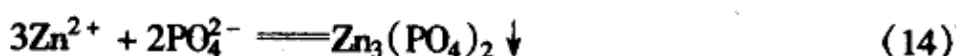
由于磷化液 pH 值在 2 左右, Zn^{2+} 的水解可以忽略, 但酸根离子的水解是明显的。微弱电离反应式 (4) 产生的 PO_4^{3-} 水解趋势很大, 所以磷化液中 PO_4^{3-} 的浓度很小。水解反应式 (7) 的结果使 HPO_4^{2-} 的浓度也很小。当溶液的 pH 值介于 2~3 时, 各离子浓度的相对大小为:

$$[\text{Zn}^{2+}] \geq [\text{H}^+] \approx [\text{H}_2\text{PO}_4^-] > [\text{HPO}_4^{2-}] \geq [\text{PO}_4^{3-}]$$

磷化时, 在钢铁表面上同时发生氧化还原和沉淀反应:



反应式 (9) ~ (11) 表示酸对钢铁的浸蚀, 反应式 (12) 表示 NO_3^- 的去氢, 使氢气难以逸出, 伴随反应式 (9) ~ (11) 的进行, 相界面 H^+ 浓度下降, pH 值升高, Fe^{2+} 浓度增大, 尽管 PO_4^{3-} 和 HPO_4^{2-} 的浓度很小, 也能达到 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ 和 FeHPO_4 的溶度积, 于是在钢铁表面上发生下列反应:



磷化膜的成分是 FeHPO_4 、 $2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ 的混合物, 根据对磷化膜 X 射线检测和显微电子探针检查证实, 铁含量最大值总是在靠近金属表面处, 由此得出结论: 磷酸铁盐在钢铁表面上的析出先于磷酸锌盐, 磷酸铁盐是磷酸锌盐沉淀的基础。磷化对溶液中发生下列反应:

