

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

电泳涂装技术

宋 华 主编 王锡春 主审

DIANYONG TUZHUANG JISHU



化学工业出版社

实用电镀技术丛书 (第一批)

实用电镀添加剂
现代功能性镀层
防护装饰性镀层
电镀溶液与镀层性能测试
电镀溶液分析技术
电镀设备的设计与选用
电镀清洁生产工艺
化学镀实用技术

实用电镀技术丛书 (第二批)

电泳涂装技术

电镀前处理与后处理
彩色电镀技术
电铸技术
钢铁制件热浸镀与渗镀
贵金属和稀有金属电镀
铝镁及其合金的表面处理技术

ISBN 978-7-122-02674-3



9 787122 026743 >

销售分类建议：化工 / 涂料涂装
机械 / 表面技术与防腐

定价：25.00元

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

电泳涂装技术

宋 华 主编 王锡春 主审

 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。全书系统介绍了电泳涂装及涂料方面的基础知识、涂装工艺管理及设备、漆膜弊病及性能测试方法、涂装应用及污水处理技术等内容。在涂装应用方面还列举了一些实例。

本书可作为从事汽车、摩托车、农机、轻工、家用电器及其他工业电泳涂装的工程技术人员和管理人员的工作指南;也可作为电泳涂装及设备设计、科研、电泳涂料生产厂和应用部门科技人员的参考读物;还可作为大专院校和专业培训班的教材。

图书在版编目(CIP)数据

电泳涂装技术/宋华主编. —北京:化学工业出版社,
2008.5

(实用电镀技术丛书(第二批))

ISBN 978-7-122-02674-3

I. 电… II. 宋… III. 电泳涂漆 IV. TQ639.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第059713号

责任编辑:杜进祥 宋 薇 装帧设计:张 辉
责任校对:吴 静

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:北京市彩桥印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张8 $\frac{3}{4}$ 字数227千字
2009年1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。

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

2007年7月于天津大学

前 言

电泳涂装技术源自汽车工业，它是为适应汽车车身的涂装技术要求、解决汽车车身底漆涂装工艺中存在的问题开发和发展起来的新的车身涂底漆方法（含新型的电泳涂料、电泳涂装工艺和涂装设备及其配套的附属装置等），是当今汽车车身涂底漆工艺的主流涂装方法。

电泳涂装法在实际应用中具有高效、优质、安全、经济等优点，受到世界各国涂装界的重视。随着新型电泳涂料的开发和涂装技术的进步，尤其是阳离子型电泳涂料和阴极电泳涂装技术的开发（1977年世界上第一条车身阴极电泳涂装线在美国投产），电泳涂装工艺迅速普及，在1965年只有1%的汽车车身涂底漆采用电泳涂装法，1970年为10%，1985年汽车车身阴极电泳化率达90%以上，而现今汽车车身几乎100%采用阴极电泳涂装。并由汽车工业推广应用到建材、轻工、农机、家用电器等工业领域。

我国电泳涂料和涂装技术的开发也有40多年的历史，在1965年上海涂料所开发成功阳极电泳涂料后，有些油漆厂也相继试制成功。到20世纪70年代我国汽车工业中已建成几条汽车零部件和驾驶室阳极电泳涂装线。我国第一代阴极电泳涂料是由当时的兵器部五四研究所（现改为五九所）于1979年首先研制成功，并在军工产品上得到了一定的应用，上海涂料所、常州涂料所、沈阳等油漆厂也做了大量开发工作，开发的产品也在生产线上得到了应用。在“六五”期间我国涂料工业和汽车厂分别从日本、奥地利和英国引进了阴极电泳涂料的制造技术和涂装技术，第一条现代化的、大流水生产的汽车车身阴极电泳涂装生产线于1986年7月13日在一汽车身厂投产，随后在我国汽车工业中形成车身涂底漆采用阴极电泳涂装替代阳极电泳涂装之势。

但目前国内专门介绍电泳涂装技术方面的书籍还很少。在 20 世纪六七十年代，涂装技术人员基本是靠生产实际过程中的摸索、积累经验；到了 20 世纪 80 年代，随着国外涂装及涂料技术的引进，基本是参考国外汽车厂和涂料公司信息 and 资料。本书是国内第一本专门介绍电泳涂装技术方面的专业书籍。愿本书的内容对提高电泳涂装工艺人员，涂装设备设计、制造技术人员和电泳涂装材料开发及现场服务人员的技术、管理水平有所帮助。

本书是《实用电镀技术丛书》(第二批)中的一本分册，全书共九章，第一章、第二章、第六章、第七章、第八章由宋华编写，并统稿，第二章中第一节四、第二节由李华宁编写；第三章由宫金宝、高成勇编写；第四章由李文刚编写；第五章由宋华、李文刚编写；第九章由张智、曾玉库编写。全书由涂装行业资深专家王锡春主审，他对全书的每一章节都进行了认真审阅，并提出了大量的宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中，还得到了中国第一汽车集团公司技术中心主任助理吴涛同志、表面防护研究室主任高成勇同志的支持与帮助；同时还得到了中国第一汽车集团公司技术中心材料部表面防护研究室赵晓红、庞虹同志的协助，在此一并表示感谢。

限于编者水平有限，若有不妥之处，望同行多提宝贵意见，共同探讨，共同提高。

编者

2008 年 3 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 电泳涂装的发展历史及电泳涂装的定义	3
一、电泳涂装的发展历史	3
二、电泳涂装的定义	5
第二节 电泳涂装的机理及特点	6
一、电泳涂装的机理	6
二、阳极、阴极电泳涂装的不同点	9
三、阴极电泳涂装工艺与电镀工艺的相同点及其差异	9
四、电泳涂装的特性及优点	9
第二章 电泳涂料	15
第一节 电泳涂料的基本知识	15
一、电泳涂料的定义	15
二、电泳涂料的组成	16
三、阴极电泳涂料的特性	16
四、电泳涂料各组成的功能及制备、选择	17
五、电泳涂料的性能	20
第二节 电泳涂料的品种及主要生产工艺	21
一、阳极电泳涂料	21
二、阴极电泳涂料	34
第三节 电泳涂料的发展历程	37
一、各代电泳涂料发展简介	38
二、国际著名涂料公司电泳涂料的发展历史	39
第四节 国内外电泳涂料的现况	41
第五节 电泳涂料消耗定额的计算	42

一、电泳涂料消耗定额计算公式	42
二、电泳涂料消耗定额计算实例	42
第三章 电泳涂装工艺及其控制管理	44
第一节 电泳涂装前处理工艺及其管理	44
一、涂装前处理工艺	46
二、涂装前处理工艺各工序的功能及其控制要点	49
三、涂装前处理工艺管理	53
四、生产线管理	54
五、前处理设备管理和保养	57
第二节 电泳涂装工艺及其管理	58
一、电泳涂装工序及其工艺参数	58
二、电泳涂装的现场管理	62
三、电泳涂膜的固化（烘干）	69
第三节 新建涂装线电泳槽投槽工作要点	73
一、涂装设备的清洗	73
二、电泳工作液的配制	74
三、涂装线试涂装（过件）	75
第四章 阴极电泳涂装设备	77
第一节 电泳槽及附属设备	77
一、电泳槽、备用槽	77
二、电泳槽循环过滤装置和过滤系统	80
三、热交换器	85
四、超滤（UF）装置	86
五、涂料补加装置	89
六、电泳用直流电源和阳极系统	90
七、电泳涂装室	92
八、电泳后冲洗设备	93
第二节 被涂物的运输方式及设备	97
一、普通悬链输送机	97

二、推杆悬链	100
三、自行电葫芦和程控行车	102
四、全旋反向输送机 (Ro-Dip 输送机)	105
五、多功能穿梭输送机	108
六、电气控制	108
第三节 电泳烘干设备	110
一、烘干室的设计、计算	111
二、烘干室实体尺寸的计算	111
三、烘干室的热量计算	113
四、循环风量的计算	115
第五章 电泳涂装技术的应用	117
第一节 电泳涂装技术在汽车领域的应用	118
一、电泳涂装技术在汽车车身上的应用	118
二、电泳涂装技术在汽车零部件上的应用	125
第二节 电泳涂装技术在其他工业领域的应用	132
一、电泳涂装技术在摩托车、五金家电、轻工产品领域的 应用	132
二、电泳涂装技术在铝型材上的应用	138
第六章 自泳漆涂装 (自沉积涂装) (Autophoretic) 技术 ..	140
一、创始阶段 (1973~1979 年)	140
二、完善和推广阶段 (1980~1999 年)	140
三、创新和发展阶段 (2000 年至今)	140
第一节 自泳漆涂装的定义及特点	141
一、自泳漆涂装的定义	141
二、自泳漆涂装的特点	142
第二节 自泳漆涂装的原理及工艺	142
一、自泳漆涂装的原理	142
二、自泳漆涂装工艺	142
第三节 自泳漆涂装和电泳漆涂装的比较	143

一、自泳漆涂装和电泳漆涂装机理的比较	143
二、自泳漆涂装和电泳漆涂装工艺过程的比较	143
三、自泳漆涂装与阴极电泳涂装漆膜主要性能比较	144
第四节 自泳漆涂装设备的设计要点	144
第五节 自泳漆涂装技术的应用	146
第七章 电泳涂装的漆膜弊病（缺陷）及其防治	148
第一节 常见的电泳涂装漆膜弊病及其病因和防治方法	148
一、颗粒	148
二、缩孔（陷穴）	149
三、针孔	150
四、再溶解	151
五、泳涂的膜厚偏薄	151
六、泳涂的漆膜过厚	152
七、异常附着	153
八、泳透力变差	154
九、二次流痕	154
十、水滴迹	155
十一、干漆迹	156
十二、涂面斑印	156
十三、电泳涂膜外观不良	157
十四、带电入槽阶梯弊病	158
十五、电泳涂膜剥落	158
第二节 产生电泳涂膜缺陷时的检查要点	159
第八章 电泳涂料及漆膜性能测试方法	161
第一节 电泳涂料原漆、工作液及施工性能测定方法	161
一、pH 值测定方法	161
二、电导率测定方法	162
三、阴极电泳漆 MEQ 值测定方法	163
四、沉淀性测定方法	165

五、灰分测定方法	165
六、筛余分测定方法	167
七、库仑效率测定方法	167
八、泳透力测定方法	168
九、水平面沉积效果 (L-效果) 测定方法	174
十、破裂电压测定方法	174
十一、GEL 分率测定方法	175
十二、加热减量测定方法	176
十三、再溶解性测定方法	176
十四、使用稳定性测定方法	178
第二节 电泳漆膜性能测定方法	179
一、表面粗糙度测定方法	179
二、锐边防腐性测定方法	180
三、循环交变腐蚀试验测定方法	181
四、漆膜耐腐蚀性能评价方法	182
第九章 电泳涂装工艺的水处理	184
第一节 纯水制备	184
一、纯水的基本知识	184
二、纯水的制备方法	187
第二节 清洗水的循环再生技术	198
一、工序再生法	198
二、污水处理后再生法	199
第三节 阴极电泳涂装线污水处理工艺及设备	200
一、污水处理工艺	200
二、污水处理系统主要设备	204
附录 1 电泳涂料及涂装专用名词解释	206
附录 2 阴极电泳涂料 (HG/T 3952—2007)	214

附录3 阴极电泳涂装通用技术规范

(JB/T 10242—2001) 236

参考文献 262

· 机械工业出版社 北京 2001年12月第1版第1次印刷

· 机械工业出版社 北京 2001年12月第1版第1次印刷

第一章 概 述

电泳涂装技术源自汽车工业，它是适应汽车车身的涂装技术要求、解决汽车车身底漆涂装工艺中存在的问题而开发和发展起来的新的车身涂底漆方法（含新型的电泳涂料、电泳涂装工艺和涂装设备及其配套的附属装置等），是当今汽车车身涂底漆工艺的主流涂装方法。

汽车车身“打底工艺”（即漆前表面处理工艺加涂底漆工艺）是汽车车身防腐蚀和获得优质涂层的基础，是直接影响车身使用寿命的关键工艺。“打底工艺”所追求的目标是：

① 能将汽车车身的 100% 表面（含内腔、焊缝表面）处理完善，涂上底漆。

② 底涂层的耐腐蚀应优异（达到产品设计要求），对底材的附着力强，与中涂、面漆的配套性应优良。

③ 底涂层的机械性能好，且平整光滑，不需打磨，为面漆创造良好的基底。

④ 涂装能实现自动化，且安全又环保。

⑤ 材料利用率高，经济性好，高效且性价比高。

在世界汽车工业 100 多年的历史中，汽车车身涂底漆的方法已经历刷涂、喷涂、浸涂、阳极电泳、阴极电泳等多次变革，在克服或消除前种涂底漆的方法存在的工艺问题的基础上逐步走向完善。汽车车身的各种涂底漆方法的特征及优缺点请参见表 1-1。

表 1-1 中所列的也是近 100 年的汽车车身涂底漆工艺的演变史，从中可看出电泳涂装法是从浸涂水性涂料工艺的基础上开发出来的新的涂装方法。基于电泳涂装后的湿膜表面附着的槽液（浮漆）可用超滤（UF）液和纯水清洗回收，并能吹干，它克服了浸涂的“溶落”现象，确保了涂膜的均匀性和平滑性，提高了涂料利

表 1-1 汽车车身涂底漆方法一览表

涂装方法	特 征	存在的工艺问题	备 注
刷涂	手工作业、工装简单	1. 内腔、焊缝内涂不上漆 ^① 2. 作业效率低 3. 漆面有刷痕	仅适用于小批量、作坊式生产
喷涂(空气喷涂和高压无气喷涂)	适用于快干底漆(如硝基漆、双组分底漆);作业效率有较大幅度提高	1. 内腔、焊缝内涂不上漆 ^① 2. 涂着效率低;材料利用率低	适用于流水作业式生产和各种底漆的涂装
浸涂	拖式浸涂(slipper dip)	1. 涂膜上下不均,有流痕,采用滚动浸涂有改善 2. 缝隙中产生“溶落” ^② 现象,涂膜变薄 3. 大槽浸漆,火灾危险大	为不影响外观,在拖式浸涂后车身外表面涂膜擦洗掉后再喷涂 在美国曾产生一次浸漆槽火灾,促使改用水性漆 浸涂法已被电泳涂装法淘汰
	滚动浸涂(Rotodip)	在浸涂和沥漆过程中车身旋转滚动,易实现自动化	
电泳涂装	阳极电泳	产生阳极溶解,涂层的耐腐蚀性差	在车身涂装中已被阳极电泳涂装淘汰
	阴极电泳	因车身为阴极,不产生阳极溶解,涂膜的耐腐蚀性高,泳透力优异	已成为大量流水生产的汽车车身涂底漆的主流工艺 ^③

① 内腔、缝隙内涂底漆,锈蚀就从里向外烂,产生“穿孔腐蚀”,大大降低汽车车身的使用寿命。

② “溶落”现象是指浸渍到缝隙中的涂料,在烘干过程中随溶剂蒸发将涂膜洗落掉,从而使涂膜变薄、抗腐蚀性降低。

③ 随着先进的输送车身体械(如旋转输送机 Rodip-3 和多功能穿梭机)与阴极电泳涂装工艺的配套,使汽车车身 100% 面积涂装完善(消除车身顶盖下的“气泡”),可克服车身主要装饰面的“L”效应,并使车身带槽液量大大减少;使阴极电泳涂装成为现今最理想的车身涂底漆工艺技术。上述“打底工艺”所追求的五大目标几乎都能实现。

用率(达95%以上),大幅度削减了VOC(挥发性有机化合物)的排放量;消除了大槽浸漆的火灾危险性等浸涂法存在的缺点和工艺问题,致使电泳涂装法在车身涂装领域普及速度十分迅速,很快就淘汰了浸涂法。

又基于阴极电泳涂装法的泳透力好,且消除了阳极溶解这一工艺问题;涂膜的耐腐蚀性比阳极电泳涂膜成倍提高,在车身涂装领域阴极电泳涂装很快取代了阳极电泳涂装。并随一代一代阴极电泳涂料和涂装技术的进步,高泳透力和超高泳透力阴极电泳涂料、低VOC含量和低加热减量的阴极电泳涂料、阴极电泳涂料烘干温度低温化、耐候性阴极电泳涂料、锐边耐腐蚀性阴极电泳涂料、电泳-反渗透(ED-RO)封闭式电泳后清洗工艺等的开发应用,使阴极电泳涂装工艺成为最理想的环保友好型涂装方法,在汽车车身涂装领域至今尚无理想的可取代它的身打底方法,并在其他工业涂装领域得到普及应用。

第一节 电泳涂装的发展历史及电泳涂装的定义

一、电泳涂装的发展历史

电泳涂装的原理发明于19世纪30年代,但因当时水性涂料尚不发达而未得到工业应用。为提高汽车车身内腔和焊缝里的防腐蚀性,美国福特汽车公司在Dr. George Braer的领导下于1957年开始着手研究电泳涂装法,于1961年建成一条车轮阳极电泳涂装线,1963年世界上第一个用于汽车车身的电泳槽在福特汽车公司Wixom装配厂投入使用,使用的是阳极电泳漆。

电泳涂装法在实际应用中显示出的高效、优质、安全、经济等优点,受到世界各国涂装界的重视。随着新型电泳涂料的开发和涂装技术的进步,尤其是阳离子型电泳涂料和阴极电泳涂装技术的开发(1977年世界上第一条车身阴极电泳涂装线在美国投产),电泳涂装工艺普及速度是史无前例的,在1965年只有1%的汽车车身涂底漆采用电泳涂装法,1970年为10%,1985年汽车车身阴极电