



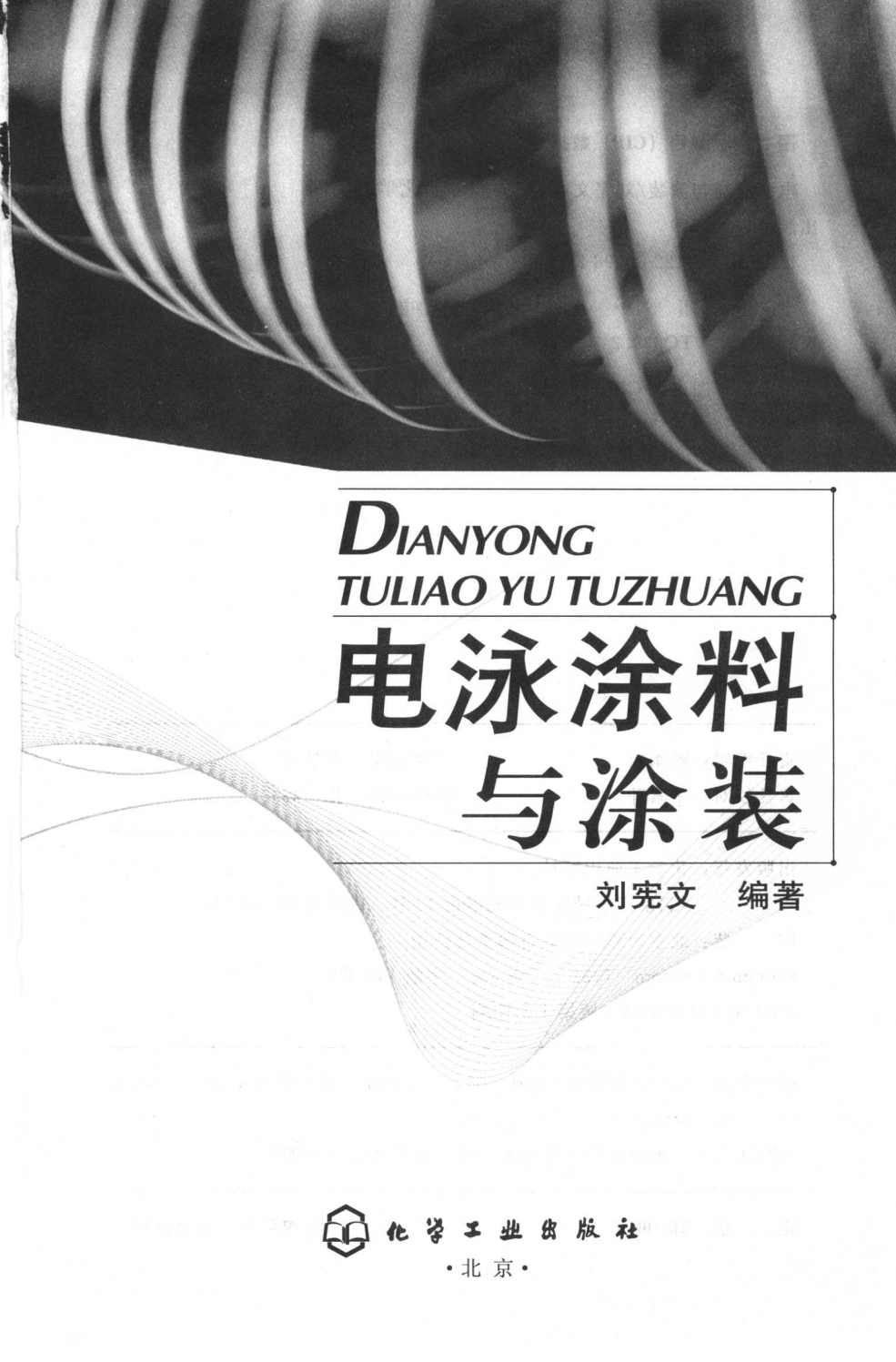
DIANYONG
TULIAO YU TUZHUANG

电泳涂料 与涂装

刘宪文 编著



化学工业出版社



**DIANYONG
TULIAO YU TUZHUANG**

电泳涂料 与涂装

刘宪文 编著



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

电泳涂料与涂装/刘宪文编著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-122-00998-2

I. 电… II. 刘… III. ①电泳涂料②电泳涂装
IV. TQ637 TQ639.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 128330 号

责任编辑: 顾南君

文字编辑: 管景岩

责任校对: 王素芹

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 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 6½ 字数 146 千字

2007 年 9 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: 20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着科学技术和社会经济的发展，人们的生活水平日益提高，与此同时人类对环境保护意识在不断增强，也对涂料和涂装技术提出了更高的要求。电泳涂料是 20 世纪 60 年代出现的新型环保型水性涂料，采用电泳涂料涂装是涂装金属工件最有效的方法之一。电泳涂料及涂装技术与其他涂料涂装体系相比，具有无可比拟的优点，如涂料的利用率高，涂层均一性强，环保以及适合工业化生产等，该技术得到了广泛的应用及迅速发展。到目前为止，全世界几乎 100% 的汽车涂装采用了电泳涂料涂装。该技术还大量应用于轻工、五金等产品的涂装领域。

目前，国内还没有专门系统介绍电泳涂料与涂装的书籍。四年前，应化学工业出版社之邀，作者在《涂料制造技术》第七篇第一章的基础上，结合多年来从事电泳涂料及涂装工艺研究与应用的经验，查阅了大量的相关文献，编写了本书。

全书共分五章，分别介绍了电泳涂料与涂装的基本知识；几种阳极电泳涂料的制备方法；典型阴极电泳涂料的制备过程；涂装前表面处理；电泳涂装的系统设计要求、工艺操作要求、控制参数测试方法、涂膜及涂装故障处理方法；电泳涂装的环保技术知识。

本书主要参考了《涂料制造技术》第七篇第一章、BASF 公司的“Electrodeposition for Industrial Metal Finishing”，在此对

原作者表示感谢。同时，本书在编写过程中得到了湖南湘潭大学钟萍博士的大力支持，在此表示衷心感谢。

本书可作为从事电泳涂料研发、生产及应用的工程技术人员的参考书。

由于作者水平所限，加上时间紧，疏漏在所难免，希望电泳涂料与涂装领域的专家和广大读者批评指正。

刘宪文

2007 年 5 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 引言	1
第二节 电泳理论	3
一、电泳及电泳涂料的发展历史	3
二、电泳的特点	5
三、电化学反应	8
第三节 电泳涂料的组成	14
一、成膜物	14
二、颜、填料	14
三、助溶剂	16
四、助剂	16
五、丙二醇苯基醚 (PPH) 在电泳涂料中的特殊作用	16
第四节 电泳涂料的种类	17
一、阳极电泳涂料	17
二、阴极电泳涂料	17
第五节 专门名词术语	19
 第二章 阳极电泳涂料的制备	22
第一节 环氧酯阳极电泳涂料	22
一、水性环氧酯树脂的制备	22
二、环氧酯阳极电泳涂料的制造	30

第二节	酚醛阳极电泳涂料	34
第三节	聚丁二烯阳极电泳涂料	35
第四节	其他阳极电泳涂料及其所用树脂简介	38
第三章	阴极电泳涂料的制备	42
第一节	阴极电泳涂料的特点	42
第二节	合成水溶性阳离子型树脂的理论基础	45
第三节	阴极电泳涂料的组成及其树脂合成路线	47
一、	阴极电泳涂料的组成	47
二、	典型阴极电泳涂料的制造	50
第四节	几种阴极电泳涂料简介	54
一、	厚膜阴极电泳涂料	54
二、	中厚膜阴极电泳涂料	55
三、	低温固化型阴极电泳涂料	55
四、	底面合一(彩色)阴极电泳涂料	56
五、	丙烯酸阴极电泳涂料	56
第五节	阴极电泳涂料的进展	57
第四章	涂装前表面处理	60
第一节	涂装前表面处理的意义	60
一、	涂装前表面处理的目的	60
二、	涂装前表面处理的分类	60
第二节	前表面处理工序	61
一、	除油脱脂	61
二、	除锈	68
三、	中和	69
四、	表面调整	70

五、磷化	70
六、钝化	70
第三节 磷化（化学）处理	71
一、磷化的分类	72
二、磷化基本原理	77
三、磷化过程的控制项目	79
四、影响磷化处理的因素	81
第四节 磷化膜质量的评价	82
一、防锈型磷化膜	83
二、涂装前处理用磷化膜	83
第五节 磷化工艺过程的管理	85
第六节 磷化工艺过程缺陷的处理	87
一、轻铁系磷化	87
二、锌系、锰系、锌钙系磷化	88
第七节 前处理工艺、质量控制检测方法	90
 第五章 电泳涂装工艺	 93
第一节 电泳系统设计要求	93
一、槽结构材料	93
二、前处理	94
三、槽液的循环	98
四、过滤	99
五、超滤	100
六、后冲洗	102
七、阳极液系统	104
八、电泳	104
九、润滑剂	107

十、废水处理	107
十一、热交换系统	108
十二、纯水装置	108
十三、干燥系统	108
十四、其他系统设计考虑	110
第二节 电泳工艺操作	112
一、初次投槽	112
二、预处理	115
三、加料——树脂/颜料浆	118
四、涂料循环	118
五、冷却	119
六、过滤	119
七、超滤	120
八、后冲洗	121
九、阳极液系统	122
十、配电系统	123
十一、烘烤	125
十二、清槽	125
第三节 电泳参数测试	126
一、重点关注的电泳参数及注意事项	127
二、电泳涂料及其涂膜性能的测试方法	130
三、涂装线槽液参数及其控制规程	146
第四节 电泳涂装中常见故障及解决方法	149
一、预处理	149
二、涂料的循环	150
三、过滤	151
四、超滤	151

五、后冲洗·····	152
六、阳极液系统·····	153
七、配电·····	154
八、烘烤·····	154
九、电泳涂装的注意事项·····	155
第五节 电泳涂膜缺陷的起因和纠正办法·····	157
 第六章 电泳涂装的环保技术·····	162
第一节 废气的处理·····	162
第二节 废水处理办法·····	165
一、超滤技术及其设备·····	165
二、气浮法及其设备·····	167
三、化学法处理废水·····	168
 附录 HG/T ××××-××××阴极电泳涂料（报批稿）·····	170
 参考文献·····	193

第一章 概 述

第一节 引 言

电泳涂料作为一类新型的低污染、省能源、省资源、起着保护和防腐蚀作用的涂料，具有涂膜平整、耐水性和耐化学性好等特点，容易实现涂装工业的机械化和自动化，适合形状复杂，有边缘棱角、孔穴工件的涂装，目前被大量应用于汽车、自动车、机电、家电等五金件的涂装。其应用不再局限于材料的防腐性，而是兼有材料的表面装饰作用。

电泳涂料及涂装法在 20 世纪 60 年代后获得工业应用已有 40 多年的历史。这种技术解决了人们要求的降低或完全消除使用涂料时释放的易燃有毒有机溶剂的问题，采用电泳涂料可以进行全封闭循环系统运行，涂料几乎 100% 利用。电泳涂料及涂装技术从问世以来得到了快速的发展，特别是在汽车金属件涂装方面更是得到了广泛的应用，几乎 100% 的车身涂装都采用电泳涂装法。在提倡环保的 21 世纪，电泳涂料及涂装技术将会进一步发展。

电泳涂料以水溶性或水分散性离子型聚合物为成膜物，被涂工件可以是阳极也可以作为阴极。水性涂料在 20 世纪 40 年代就已得到应用，但应用范围很有限，主要原因是水性涂料是以水为溶剂，由于水具有很高的表面张力，导致涂膜在工件的边缘部位容易产生流挂，在干燥过程中出现表面起皱等病态。

直到 20 世纪 60 年代才将水性涂料以电沉积的方法转化成涂膜，从而有效地克服了水性涂料的上述缺陷。

电泳涂料按被涂工件电极分为阳极电泳涂料和阴极电泳涂料；也有的按成膜物在水中存在的离子形态将电泳涂料分为阴离子电泳涂料和阳离子电泳涂料。阴极电泳涂料按水分散状态还可进一步分为水乳型（PPG 体系）和水溶型（Hoechst 体系）阴极电泳涂料，还可按涂膜厚度分为薄膜型、中厚膜和厚膜型阴极电泳涂料。

电泳涂装法（electro-deposition, ED）按被涂工件电极分为阳极电泳法（anodic electro-deposition, AED）和阴极电泳法（cathodic electro-deposition, CED）。

阴极电泳涂料较阳极电泳涂料而言，具有泳透率高、涂层耐腐蚀性非常优良的特点。阴极电泳涂料在近 40 年间快速发展，逐步取代了阳极电泳涂料。至今仅有对耐腐蚀性要求较低的金属部件采用阳极电泳涂装。

经过近 40 年的努力，电泳涂料与涂装技术不断完善。到目前为止，阴极电泳涂料已成为汽车车身、车轮和车架等涂装用底漆的最主要的涂料品种。为满足不同层次的要求，涂料供应商开发了一系列阴极电泳涂料品种。如低加热减量阴极电泳涂料、低温固化阴极电泳涂料、无铅无锡环保型阴极电泳涂料、边角覆盖型阴极电泳涂料、具有耐候性的双涂层阴极电泳涂料、粉末/电泳（PD/ED）倒置阴极电泳涂料等。上述产品有的已大量供应市场。

目前市场上常用的阳极电泳涂料品种有襄樊的 D2035、日本清水的 AM-系列等。市场上的主要阴极电泳涂料品种有：PPG 的 ED4、ED5，BASF 的 CG100、CG200，关西的 HB2000、HB1500、9210，赫伯茨的 G1083、G1183、EC3000

及国内开发的 ST-2（常州涂料研究所）、TH11-92（天津灯塔涂料有限公司）等。

第二节 电泳理论

电泳是涂装金属工件最有效的方法之一。电泳涂装是将具有导电性的被涂物浸渍在装满水稀释的浓度比较低的电泳涂料槽中作为阳极（或阴极），在槽中另设置与其对应的阴极（或阳极），在两极间接通直流电一段时间后，在被涂物表面沉积出均匀细密、不被水溶解涂膜的一种特殊的涂装方法。

电泳施工被广泛地应用于汽车、摩托车、拖拉机以及其他具有高防腐蚀要求的工业产品。它传统的施工体系相比，具有无可比拟的优点，如涂料的充分利用、涂膜的均一性、有效地减少对环境的污染、大幅度提高产量以及节省涂装费用等。

一、电泳及电泳涂料的发展历史

电泳涂料是最早开发的水性涂料之一。它最主要的特点是涂装效率高、经济、安全、污染小，便于自动化规模生产。早在 19 世纪初，俄国科学家列斯首先发现了胶体粒子在电场作用下能产生电泳的现象。但由于当时缺少良好的水分散性树脂，所以工业上一直没有得到广泛的应用，直到 1960 年由英国卜内门公司与里兰公司共同研制成功阳极电泳涂料与涂装工艺，电泳涂料及涂装技术才进入了快速发展时期。

美国福特汽车公司早在 1950 年即开始从事电泳涂料的研究，直到 1961 年在美国匹茨堡平板玻璃公司（PPG）的配合下才创建了世界上第一条电泳涂装汽车车轮的试验生产线。

1969 年，美国在电泳涂装设备中又成功地使用了超滤装置，从而解决了电泳生产过程中的污水问题，同时又降低了涂料损耗，提高了电泳涂料的利用率，使电泳涂装在防止环境污

染和实现涂装的规模和经济效益方面取得了长足的进展。

我国在 20 世纪 60 年代初开展了阳极电泳涂料的研究开发。1965 年 9 月，上海市染料研究所首先研制成功水溶性酚醛醇酸阳极电泳涂料。1966 年底，（原化工部）天津化工研究院研制成功水溶性环氧树脂阳极电泳涂料并投入生产。长春第一汽车制造厂于 1970 年开始应用电泳涂料涂装解放牌汽车车身和驾驶室。据资料报道，1970 年我国已生产近 1000t 阳极电泳涂料，当时全国约有 46 条阳极电泳涂装生产流水线。到 1973 年，我国电泳涂料生产量已达 2000t，有 37 个阳极电泳涂料品种，大约有 400 条大小电泳涂装生产线。

20 世纪 60 代中期，美国 PPG 公司和德国 BASF 公司首先进行了阳离子树脂的研制。1971 年，美国 PPG 公司首先研制成功阴极电泳涂料，并在飞利浦电冰箱、洗衣机等耐腐蚀性要求高的家用电器上作底漆应用。1976 年 6 月，美国通用汽车公司将汽车部件采用 PPG 公司 CED-3002[#] 阴极电泳涂料涂装获得成功，并于 1977 年开始正式采用阴极电泳涂料作为底漆涂装汽车车身。1978 年，美国通用汽车公司和福特汽车公司基本上已把原来使用的 65 条阳极电泳涂装生产线用新的阴极电泳涂装生产线所代替。

到 20 世纪 90 年代初期，欧洲几乎所有的汽车电泳涂装线都由阴极电泳工艺替代了阳极电泳涂装工艺。

我国在“六五”期间，沈阳油漆厂引进日本关西公司的 9210 阴极电泳涂料制造技术，成功生产出阴极电泳涂料；北京红狮涂料公司从奥地利 Stallack 引进生产了 G1083 单组分阴极电泳涂料；武汉双虎涂料公司于 1992 年从德国 BASF 公司引进生产了 CG100 型中厚膜阴极电泳涂料；南京龙华汽车涂料有限公司、长春油漆厂、湖南关西汽车涂料有限公司、重庆三峡关西

汽车涂料有限公司也先后从德国、日本引进成套阴极电泳涂料生产线和制造技术，并生产阴极电泳涂料，成功地与有关车厂配套。面对引进技术和国外企业的冲击，从 1976 年我国便开始了阴极电泳涂料的研究开发，常州涂料研究所、天津灯塔涂料公司和重庆“五九”所等单位坚持走自主创新的道路，进行了大量的研究开发工作，于 1986 年终于研制成功国产阴极电泳涂料，并已批量生产供应国内广大用户，其性能接近进口技术生产的同类产品水平。20 世纪 90 年代后，国内一些民营企业依靠自己的力量也开始投入重兵开展阴极电泳涂料的研制与生产，对促进我国阴极电泳涂料工业发展取得了一定作用。广东科德化工实业有限公司生产的阴极电泳涂料在东风汽车等汽车、机械、家电等涂装领域得到了广泛的应用，其产品质量达到国外技术生产的同类产品水平，但价格便宜，使之深受消费者好评。

改革开放以来，世界各大涂料生产企业纷纷进入中国，如美国 PPG 公司、德国 BASF 公司、日本关西涂料等知名企业相继在我国建立了独资或合资企业，促进了国内阴极电泳涂料及涂装的技术进步，使得我国阴极电泳涂料技术与世界水平基本接轨。

二、电泳的特点

电泳涂装除与一般无机电解质受电场的作用表现不同外，它和电镀也不相同，主要表现在电沉积物质的导电性方面。电镀时，电沉积后极间导电性并不发生变化，而有机涂层则由于具有绝缘性，所以在水性涂料进行电泳涂装时，随着电泳的进行，极间电阻发生显著变化。以阴极电泳涂装为例，图 1-1 显示了电泳的进行和电场分布情况。

图 1-1(a) 中 I 是靠近阳极的阴极（工件）面，此处电场最强，电沉积首先从这里开始。

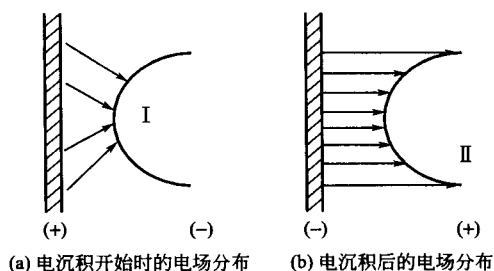


图 1-1 电泳的进行和电场的分布

电泳开始时先出现点状沉积，逐渐地连成片状。随着电泳的继续，电沉积物部分绝缘，当电阻上升到一定程度后，电泳几乎不继续在 I 处进行。电场分布逐渐向 II 处移动，直到表面均被涂覆为止。

金属工件采用电泳工艺，与传统的施工体系相比，具有许多特点：

① 电泳涂装可实现完全机械化、自动化，不仅减轻了劳动强度，而且还大幅度提高了劳动生产率，适用于大量流水线作业。电泳涂装体系的高度自动化，使电泳涂装过程能节省劳动力，加之较低的能量消耗，使它成为独一无二的有效节省费用的涂装方法，自动化也提供了生产的连续性，这意味着次品的出现概率大大降低。

② 电泳涂料泳透率高，在水中完全溶解或乳化，配制成槽液后黏度很低，很容易浸透到被涂物的袋状构造部及缝隙中，特别适合于异型导电材料的表面涂装。

③ 电泳槽液具有较高的导电性，涂料粒子能在电场作用下快速泳动，在被涂物表面被中和后形成电中性的湿漆膜，随着湿漆膜的增厚其电阻增大，涂料粒子沉积量逐渐变小，从而形成均匀细密的涂膜。通过选择电泳涂料品种和调整电泳条件

(如电压、电流、通电时间、表面积比等),在一定程度上能控制膜厚。

④ 涂料利用率高,高达 95% 以上甚至 100%。由于槽液的固体含量低、黏度小,被涂物带出的涂料少,尤其是应用超滤(UF)和反渗透(RO)技术后,实施涂装过程的封闭循环,涂料回收率高,如 BASF 公司生产的 CG 系列阴极电泳涂料无 UF 液排放,涂料利用率可达到 100%,因此对水质和大气污染小。

⑤ 涂膜的防腐蚀能力强,电泳涂装由于在电场作用下成膜均匀,因此采用电泳涂装法能使工件的内腔、焊缝、边缘耐腐蚀性显著提高,20mm 厚的阳极电泳涂膜的耐盐雾性超过 300h,使用阴极电泳法,漆膜耐盐雾性能可大于 500h,甚至高达 1000h 以上。

⑥ 电泳涂料是最早开发的水性涂料品种,与其他水溶性涂料相比,溶剂含量低(槽液溶剂含量 $\leq 4.5\%$,甚至低于 1.5%),一是有利于环保,二是生产安全性好。

⑦ 电泳湿膜溶剂含量少,在烘干过程中不会像其他涂料那样容易产生流挂、橘皮、积漆等弊病。

当然,电泳涂装也存在以下局限性:

① 电泳涂装必须在通电的条件下才能进行,因此仅适用于具有导电性的被涂物。如木材、塑料、橡胶、布匹等无导电性的物件则不能采用这种涂装方法。

② 导电特性不一样的多种金属组合成的被涂物,不宜采用电泳涂装工艺,如有一些电泳涂料对 Cu、Sn 等金属离子会产生过敏现象。

③ 电泳涂料湿膜须烘烤后才能形成致密的漆膜,因此不能耐高温的被涂物也不能采用电泳涂装工艺。目前,一般工业