

文章编号: 1001-3849(2006)06-0022-04

# 阴极电泳涂装的应用及发展<sup>①</sup>

齐智远<sup>1</sup>, 孙淑萍<sup>2</sup>

(1. 燕山大学 材料科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066005; 2. 燕山大学 环境与化学工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:** 阴极电泳涂料具有高耐候性、高耐蚀性、高透明度、装饰性好和环保安全且对金属基体无腐蚀性等特点而广泛应用于金属表面涂装处理。概述了国内外阴极电泳涂装的发展状况,并介绍了几种特殊阴极电泳涂料,如紫外光固化电泳涂料和自分层阴极电泳涂料等。阐述了阴极电泳的特点和在涂装行业中的应用以及电泳涂料发展的最新动态。

**关键词:** 阴极电泳涂料; 耐腐蚀; 紫外光固化电泳涂料; 自分层阴极电泳涂料

**中图分类号:** TG174.461 **文献标识码:** A

## The Application and Development of Cathodic Electrophoretic Painting

QI Zhi-yuan<sup>1</sup>, SUN Shu-ping<sup>2</sup>

(1. Materials Science and Engineering College, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2. Environment and Chemistry College, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract** Cathodic electrophoretic paints have characteristics of high weather resistance, high corrosion resistance, high transparency, good decoration effect, environment friendly, safety and no corrosion to the metal substrates, and are widely applied in surface painting treatment of metals. Development situation of cathodic electrophoretic painting at home and abroad are reviewed, and several special cathodic electrophoretic paints are introduced such as ultraviolet ray curable paint and self-stratifying cathodic electrophoretic paint, etc. The features of cathodic electrophoretic painting and its application in painting industry are described, recent developments in electrophoretic paints are introduced as well.

**Keywords** cathodic electrophoretic paint; corrosion resistance; ultraviolet ray curable electrophoretic paint; self-stratifying electrophoretic paint

### 引 言

电泳涂料源于 20 世纪 30 年代,从 20 世纪 60

年代中期开始研究合成阳离子型树脂,并于 20 世纪 70 年代初用于对耐腐蚀性能要求高的家用电器上作底漆,随后逐渐开发出了耐蚀性能更高且具有装

① 收稿日期: 2006-03-27

作者简介: 齐智远 (1981-),男,陕西乾县人,燕山大学材料科学与工程学院硕士研究生。

饰性效果的阴极电泳涂料,由于其具有优良的防腐蚀性、高泳透率、高流平性、高装饰性且涂装自动化程度高、涂装污染少等特点,广泛应用于机动车工业中,并推广应用到建材、轻工、家用电器等工业领域以及五金和工艺品的表面防腐和装饰<sup>[1,2]</sup>。

## 1 阴极电泳的特点

1)与传统的溶剂型涂料和其它浸涂、喷涂水性烘烤漆相比,阴极电泳涂料具有无可比拟的优越性:涂底漆工序可实现完全自动化,适用于大流水生产;可得到均一的膜厚;泳透性好,提高了工件内腔的防腐蚀性,尤其是阴极电泳涂膜的耐腐蚀性;涂料利用率高;安全性比较高,是低公害涂料;涂膜的外观好,烘干时有较好的展平性<sup>[3,4]</sup>。

2)与阳极电泳涂装法相比,它具有如下优点:被涂物不发生阳极溶解,使涂膜与底材的附着力和防腐蚀性均有所提高;漆基中含有防止底材腐蚀的基团(如含氮基团),耐腐蚀性和泳透力均高于阳极电泳涂料,因而使被涂物的内腔和焊缝泳涂得更好<sup>[4]</sup>。

## 2 阴极电泳涂装的应用

目前,世界汽车生产中有 92%使用涂料(ED),其中有 90%采用阴极电泳涂料(CED)。以福特和通用汽车公司为例,从 1977年 1月开始投建汽车车身阴极电泳涂装线至今,这两个公司的阴极电泳涂装线占汽车车身涂装线的 99%;而日本各汽车公司为在各国际市场上获得竞争能力,继美国之后,于 1977年 10月投建了第一条汽车车身阴极电泳线至今,也有 93%以上的汽车车身采用了阴极电泳涂装线。我国汽车工业于 20世纪 80年代中期应用阴极电泳漆,如今第二汽车制造厂的东风汽车车身,大众的桑塔纳,还有奥迪、标志等轿车车身百分之百采用了阴极电泳漆,其它如汽车零部件、车箱、车架等,为提高这些薄板件的使用寿命,也纷纷采用了耐蚀性高的阴极电泳漆。例如新研制的高流平性阴极电泳涂料,已经在美国汽车制造厂中使用。其代表产品有 PPG公司(匹茨堡平板玻璃公司)的 Ed11厚膜阴极电泳涂料、Ed12中厚膜阴极电泳涂料、杜邦的 Cormax™ 厚膜或中厚膜阴极电泳涂料,其主要性能改进是使漆膜表面粗糙度下降<sup>[5,6]</sup>。

由于阴极电泳涂料有着优良的防腐蚀、渗透性

和装饰性能,不但应用在汽车行业中,还广泛地应用在其它行业中。如在建筑材料中,防火门、钢窗等涂装耐候性好的双涂层的环氧树脂阴极电泳涂料,钢制家具和间壁材料使用丙烯酸树脂系阴极电泳涂料。在五金行业中,电泳锁具、金属眼镜架、自行车部件、文具、皮箱扣、打火机等用品,均取得了令人满意的效果<sup>[7,8]</sup>。

除此之外,阴极电泳还应用于金属氧化物的沉积和金属膜的制备从而获得某种特殊性能的材料。例如,将  $ZnCo_2O_4$  电泳沉积在以镍为基体的电极上作氧化反应的催化剂,能获得催化性好、机械稳定性高的电极<sup>[9]</sup>。将固态热解反应制备的高纯氧化锌粉末通过电泳沉积的方法生成高质量的氧化锌薄膜,这种薄膜能够在室温下发射出波长为 390 nm 的紫外线<sup>[10]</sup>。

## 3 国外阴极电泳发展概况

阴极电泳涂装最先在美国应用。早在 20世纪 60年代中期联邦德国 BASF 公司和美国 PPG 公司首先进行了阳离子型树脂的合成(即阴极电泳的研究)。1971年美国的 PPG 公司开始应用第一代阴极电泳漆。先在菲利普公司的电冰箱、洗衣机以及干燥机等耐腐蚀性能要求高的家用电器上作底漆。1976年 6月美国通用汽车公司将汽车部件采用 PPG 公司第二代阴极电泳漆(CED-3002<sup>®</sup>)获得成功。1977年开始正式用阴极电泳漆为底漆来涂装汽车车身。1978年美国通用汽车公司和福特汽车公司基本上把原来使用的 65条阳极电泳涂装生产线改用新的阴极电泳涂装生产线。1977年日本和英国由美国 PPG 公司引进技术以后,他们的汽车涂装从 1978~1979年也向阴极电泳涂装转化。到 1978年底初步统计,世界上约有 120条阴极电泳涂装线,其中美国有 70条以上,日本有 20条,欧洲有 10条<sup>[11]</sup>。

由于美国、日本、德国等许多涂料公司的不懈开发,20世纪 80年代阴极电泳涂料又取得了许多新的成就。其中最具有代表性的是<sup>[12]</sup>厚膜型阴极电泳涂料、低温固化型阴极电泳涂料及彩色阴极电泳涂料。20世纪 80年代末期,国际上形成了三大体系:以美国 PPG 公司为开端的防锈蚀阳离子型电泳涂料;以德国 Hoechst 公司为先驱的轿车、卡车用阳离子型电泳底漆;以日本神东、关西涂料公司为代表的改进型阳离子电泳涂料。

20世纪 90年代后相继开发和发展了多种性能优异的阴极电泳涂料,如紫外光固化电泳涂料,自分层阴极电泳涂料,边角防锈型阴极电泳涂料等。

### 3.1 紫外光固化电泳涂料

紫外光(UV)固化涂料是利用紫外光照射涂料树脂发生聚合架桥反应的固化方式,在低温的条件下短时间内就能完成涂料的固化过程。它能提高生产效率,同时具有节约能源、防止环境污染等许多优点。UV固化涂料由于其固化温度低,除适用于一般的电泳涂装的产品外还用于金属镀层上的装饰、防腐,金属蒸发膜上的保护,受热易变形材料上的涂装和电子产品及精密产品上的封闭、印刷等的加工<sup>[13,14]</sup>。目前国内外研究的UV固化阴极电泳涂料的基体树脂主要集中于丙烯酸树脂、环氧树脂及聚氨酯<sup>[15]</sup>。

### 3.2 自分层阴极电泳涂料

自分层涂料指涂料一次施工在底材上后,能自发的直接产生相分离,在成膜过程中分成两个连续的不同功能涂层,形成不同组成的复合涂层系统,每层显示出不同的特性。这种一次施工的多层涂层,不仅节约了劳动力,而且解决了多层涂装系统的层间附着问题。其机理有如下几种:重力作用机理,选择性润湿机理,不同渗透速率机理,颜料润湿机理,界面张力梯度机理,相收缩机理<sup>[16,17]</sup>。

现在市场上开发研究的耐候性阴极电泳涂料就属于自分层涂料的一种。这种涂料树脂的主要组成为环氧系树脂和丙烯酸系树脂,利用两者表面张力的不同,烘烤时表面张力大的环氧树脂沉于下层,表面张力小的丙烯酸树脂浮于表面层,形成了耐候性和耐腐蚀性都较好的“底面合一”型阴极电泳涂料。

### 3.3 边角防锈型阴极电泳涂料

汽车车身和零部件在冲压加工时形成大小不同的棱边和尖角。这些边角在涂装时,由于覆盖性不好,容易生锈。在电泳烘烤后,由于涂膜的粘度下降而产生热流动,加上表面张力的作用,使边角露底。因此,提高边角覆盖性,但同时涂膜的平滑性却受到损害。为解决这种矛盾,日本油脂公司采用了高相对分子质量树脂作为涂膜加热时的流动调整剂,并通过流变学控制技术,使涂膜边角覆盖性和表面平整性得以兼顾,成功开发了边角防锈型涂料。这种涂料在涂膜熔融时,由于高相对分子质量树脂添加剂的作用而抑制了涂膜的热流动性,达到固化温度后,由

于该树脂自身的熔融和交联反应而形成均匀的涂膜<sup>[18]</sup>。

从阴极电泳涂料的发展状况来看,总的发展趋势是:漆膜厚度由薄到厚,泳透率由低到高,有机溶剂含量由高到低,烘干温度由高到低。

## 4 国内阴极电泳发展概况

我国于1976年开始阴极电泳涂漆的研究。第一代阴极电泳涂料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。随后上海涂料所、兰州涂料所、沈阳、北京、天津等大中型造漆厂也做了大量阴极电泳涂料的开发研制工作<sup>[19]</sup>。在“六五”期间我国涂料工业从日本、澳大利亚和英国引进了阴极电泳涂料制造技术和涂料技术。前几年我国先后从美国、德国、意大利等国引进先进涂料技术和涂装设备。第一条现代化流水生产的汽车车身阴极电泳涂装生产线于1986年7月在第一汽车制造厂车身厂投产。随后第二汽车制造厂和济南车身阴极电泳线相继投产,在我国汽车工业中形成了阴极电泳涂装替代阳极电泳涂装趋势。到1990年底共建成投产的阴极电泳涂装线有21条(其中车身涂装线16条)。至1994年底投产的已接近40条,还有几条生产能力为10万辆以上阴极电泳涂装线(一汽大众、上海大众、天津夏利等大槽电泳线)。到1999年我国已有几十条生产线投产,仅十万辆以上的阴极电泳涂装线就有5条以上(如:第一汽车制造厂大众有限公司、上海别克汽车有限公司等上百吨的电泳槽生产线)已于2000年之前建成投产。今天阴极电泳漆已占汽车涂装市场的大部分<sup>[20]</sup>。

## 5 阴极电泳涂料的发展方向

阴极电泳涂料经过30年的发展,国际上以美国PPG公司和德国Herberts公司为代表的涂料供应商不断采用新技术,开发新产品,使电泳涂料不断更新换代。新一代的阴极电泳涂料应具有以下特点:

1)新一代阴极电泳涂料的泳透率应进一步提高。泳透率越高,车身内部膜厚就越均匀,从而提高车身整体防腐性,降低施工电压,减少涂料用量。

2)提高边缘防腐性。电泳过程中,一些边缘部分由于涂料电化学反应,造成边角涂层特别薄,从而腐蚀易在此处发生,通过改善涂料性能提高防腐能力。

3)降低颜基比。颜基比就是涂料中颜料与树脂的比例,降低它可以增加树脂的含量,提高涂料的流动性,降低胶体的沉降整速率,减少颜料絮凝和保护泵,降低材料消耗。

4)降低溶剂量。溶剂含量越高对环境污染越大,不利于工作。降低它有利保护环境,节约投资。

5)无铅无锡,更趋环保型。铅在电泳涂料的防腐蚀催化、钝化和加速交联等方面起着重要作用,但含铅的颜料对裸钢板的防腐蚀影响很大,且铅本身是毒性很强的元素,环保上对其限制甚严。锡的性能与铅比较接近,通常二者混用。新一代电泳涂料通过改进树脂去除铅等重金属,更有利于环保<sup>[21]</sup>。

阴极电泳涂装的涂层均匀性和优良耐蚀性、生产性以及低污染性对涂装今后的发展起着积极的作用,它作为一种涂装工艺在金属表面处理的防护、装饰方面得到广泛应用。因此,阴极电泳涂装在涂料开发和应用领域的开拓方面有着很大的潜力。

## 参考文献:

- [1] Krylova I. Painting by electrodeposition on the eve of the 21st century [J]. Progress in Organic Coatings, 2001, 42(3~4): 119-131.
- [2] 上海市化学化工学会,上海涂料公司. 电泳涂装 [M]. 北京:机械工业出版社,1991,1-3.
- [3] 周义. 电泳涂装新工艺 [M]. 北京:地质出版社,1999,1-2.
- [4] 王锡春. 电泳涂装技术问答(1) [J]. 材料保护,1995,28(4): 37-39.
- [5] 康志萍,徐本海. 阴极电泳涂装的应用 [J]. 环境技术,1991,17(5): 29-30.
- [6] 陈安宇,陆克久. 汽车涂料的发展现状及动向 [J]. 湖北汽车,2003,(1): 74-76.
- [7] 王伟平. 电泳涂装应用和展望 [J]. 电镀与环保,2002,22(3): 25-27.

- [8] 吴守智. 日本关西涂料公司新型电泳涂料 [J]. 沈阳化工,1990(4): 36-40.
- [9] Chi Bo, Yang Xiao-Zhan, Lin Hong, et al. Electrophoretic deposition of  $ZnCo_2O_4$  spinel and its electrocatalytic properties for oxygen evolution reaction [J]. Electrochimica Acta, 2005, (50): 2059-2064.
- [10] Wang Zhi-jun, Wang Zhi-jian, Li Shou-chun, et al. Ultraviolet emission of ZnO film prepared by electrophoretic deposition [J]. Chinese Physics, 2004, 13(5): 750-753.
- [11] 许强龄. 现代表面处理新技术 [M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1994,459-460.
- [12] 张兴义. 国内外阴极电泳涂料概况和发展动向 [J]. 电机电器技术,1998,(3): 13-18.
- [13] 刘仁,熊万斌,刘晓亚. UV固化阴极电泳涂料研究进展 [J]. 化工进展,2005,24(3): 265-268.
- [14] 王伟平. 紫外线固化电泳涂装技术及应用 [J]. 电镀与环保,1998,18(4): 26-30.
- [15] Fieberg A, Reis O. UV curable electrodeposition systems [J]. Progress in Organic Coatings, 2002, 45(2-3): 239-247.
- [16] 董雪,戎宗明,英徐根. 自分层涂料的理论与应用 [J]. 涂料工业,2001,31(1): 1-6.
- [17] Funke W. Preparation and properties of paint films with special morphological structure [J]. Journal of the Oil and Colour Chemist Association, 1976, 59(11): 398-403.
- [18] Liu Xia-wen. Performance of FT25-7225 middle-thick film cathodic electrophoresis coating [J]. Materials Protection, 1994, 27(4): 23-26.
- [19] 孙兰新,宋文章,王善勤,等. 涂装工艺与设备 [M]. 北京:中国轻工业出版社,2001,148-149.
- [20] 宋华,王锡春. 国内外阴极电泳涂料的进展 [J]. 涂料工业,1994,(6): 33-37.
- [21] 陈慕祖. 阴极电泳涂装技术的新发展 [J]. 上海涂料,1998,(4): 197-200.

(上接第 13页)

- [5] Kirmann J, Roizard X, Pagetti J, et al. Effects of the alkaline permanganate etching of epoxy on the peel adhesion of electrolessly plated copper on a fibre-reinforced epoxy composite [J]. Adhesion Sci. Technol., 1998, 12(4): 383-397.
- [6] Mandich N V, Krulik G A. Substitution of nonhazardous for hazardous process chemicals in the printed circuit industry [J]. Metal Finishing, 1992, 90: 49-51.

- [7] 陈亚. 现代实用电镀技术 [M]. 北京:国防工业出版社,2003. 315-316.
- [8] Wang Zenglin, Akihiko Furuya, Keiichirou yasuda, et al. Adhesion improvement of electroless copper to a polyimide film substrate by combining surface micro-roughening and imide ring cleavage [J]. J Adhesion Sci. Technol., 2002, 16(8): 1027-1040.
- [9] 姜郁英. 电镀塑料亚微观粗化表面参数的分析及应用 [J]. 电镀与精饰,1995,17(5): 12-16.