

本书主要介绍电泳涂装的基本原理、性能和特点，涂装主要设备，操作工艺，产生缺陷的原因及预防和处理方法等。文字通俗，深入浅出，讲求实用。

本书可供生产、科研、设计等专业人员工作中参考，也可作为工人培训教材。

本书由上海涂料公司韩麒麟主编，上海涂料研究所吴观炎、孙招娣、上海自行车厂姚俊吾编写，由上海涂料公司审稿。

电 泳 涂 装

上海市化学化工学会 统编
上 海 涂 料 公 司

*

责任编辑：王 斌 版式设计：吴静霞

封面设计：郭景云 责任校对：肖新民

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可登记证字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $3 \frac{8}{8}$ ·字数 72 千字

1991 年 7 月北京第一版·1991 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,700·定价：2.50 元

*

ISBN 7-111-02763-9/TQ·45

前 言

在机电和轻工等产品生产中,将具有一定要求的涂料涂覆在制品表面,经过固化形成的涂膜,可对产品起到保护和装饰作用。因此,现代涂装技术在生产中已经成为一项不可缺少的新工艺,应用范围越来越广泛。

为了普及涂装新技术,进一步提高我国的涂装技术水平,适应产品的发展需要,我们组织编写了这套“涂装技术丛书”,共有六个分册,包括:《涂装前处理》、《静电喷涂》、《电泳涂装》、《粉末涂装》、《高压无气喷涂》、《涂装作业安全技术》。

本书为《电泳涂装》分册。电泳涂装是一项涂装新工艺。与普通的手工涂漆相比,具有环境污染小、涂装效率高、涂膜质量好、涂料利用率高、设备投资少等特点。在车辆、机电产品和轻工等产品生产中应用很广泛。

在本书的编写过程中,得到了上海市涂料研究所的大力支持和帮助,上海涂料公司张仁德同志审阅修改,谨此一并致谢。

由于作者水平有限,书中的错误、缺点和不足之处,敬请批评指正。

上海市化学化工学会

上海涂料公司

1990年8月

目 录

前言

第一章 电泳涂装的应用特点和条件	1
一、电泳涂装的发展概况	1
二、电泳涂装的应用特点	3
三、电泳漆和电泳设备	5
第二章 电泳涂装的基本原理和工艺	9
一、电泳涂装的基本原理	9
二、阳极电泳漆	11
三、阴极电泳	17
四、阴极电泳与阳极电泳的区别	20
五、电泳涂装工艺	22
第三章 电泳涂装前的表面处理和设备	25
一、涂装前表面处理的意义	25
二、金属表面的除油及其设备	25
三、金属表面的除锈及其设备	30
四、电泳涂装前的磷化处理及其设备	35
五、表面处理的辅助工序及其设备	38
六、实例介绍：直线式程序控制磷化机	40
第四章 电泳涂装的主要设备	50
一、电泳槽及其辅助设备	50
二、电泳涂装后的水洗设备	58
三、电泳涂装的烘烤设备	60
四、阴极电泳涂装的设备	67

五、电泳废水处理设备	70
六、实例介绍：垂直升降电泳涂装机	75
第五章 电泳漆的检验、涂装时产生的缺陷及预防和处 理方法	80
一、电泳漆的检验	80
二、电泳漆涂装时产生缺陷的原因	90
三、电泳涂装中漆膜常见缺陷及预防和处理方法	93

第一章 电泳涂装的应用特点和条件

一、电泳涂装的发展概况

1809年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溶性树脂，所以在工业上一直没有得到广泛的应用。直到1960年由英国的卜内门公司与里兰公司共同研制成功阳极电泳漆与涂装工艺。

美国福特汽车公司早在1950年即开始从事电泳漆的研究，但直到1961年在美国PPG（匹茨堡平板玻璃公司）涂料分公司的配合下才建立了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，从而解决了产品电泳水洗后污水的处理问题，同时又降低了损耗，提高了电泳漆的利用率。使电泳涂装在防止环境污染和实现经济效益方面取得了进展。

我国在1960年前后开始从事于水溶性树脂的研究，1965年9月上海市染料涂料研究所首先研制成功阳极电泳漆——水溶性酚醛醇酸电泳漆。1966年底天津化工研究院研制成功的水溶性环氧树脂电泳漆投入生产，然后又有沈阳的纯酚醛改性油电泳漆等10多个品种投入生产。长春第一汽车制造厂于1970年开始采用电泳漆涂装解放牌汽车车身和驾驶室。据资料统计：1970年我国已生产近1000 t 水性电泳漆，当时全国

约有46条电泳涂漆生产流水线。到了1973年我国已生产2000 t 水性电泳漆, 37个品种, 大约有400条大小电泳涂漆生产流水线。

从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, 先在飞利浦公司的电冰箱、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*)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已把原来使用的65条阳极电泳涂装生产线改用新的阴极电泳涂装生产线。

日本和英国1977年由美国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。

到80年代初期, 几乎所有的汽车电泳涂装线都由阴极电泳取代了阳极电泳涂装, 见表1-1。

表1-1 近年来汽车电泳槽由阳极电泳转为阴极电泳的统计

年	美 国	欧 洲	日 本
1977	10	0	0
1978	37	3	8
1979	79	18	20
1980	81	42	44
1981	82	55	65
1982	88	96	76

从1976年我国开始了阴极电泳涂漆的研究。近年来在北

京、沈阳、济南、上海、重庆及成都等地都有阴极电泳漆的生产。同时，在汽车行业引进和自建了许多阴极电泳涂装的生产流水线。80年代后期，我国汽车工业阴极电泳涂装生产流水线得到了迅速的发展，这标志着我国电泳涂装发展到了一个新阶段。

二、电泳涂装的应用特点

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沉积涂装时，随着电沉积的进行，极间电阻发生显著变化。图 1-1 显示了被涂物电沉积的进行和电场分布情况。

图 1-1 a 中 I 是靠近阴极的阳极面，此处电场最强，电沉积首先从这部分开始。

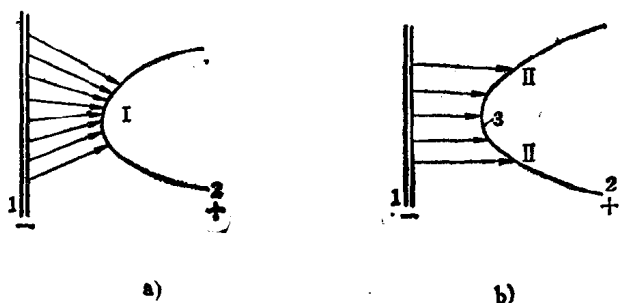


图 1-1 电沉积进行和电场分布的关系

a) 电沉积前的电场分布 b) 电沉积后的电场分布

1—阴极 2—阳极 3—初期电沉积膜

电沉积开始时先出现点状沉积，逐渐地连成片状。随着

电沉积的继续，电沉积物部分绝缘，当电阻上升到一定程度后，电沉积几乎不继续在Ⅰ处进行。电场分布逐渐向Ⅱ处移动，电沉积随着漆膜的形成逐渐向未涂部分移动，直到表面均被涂覆为止。

电泳涂装具有以下特点：

（1）涂装工艺容易实现机械化和自动化，不仅减轻了劳动强度，而且还大幅度地提高了劳动生产率。据某汽车制造厂资料统计，汽车底漆由原来浸漆改为电泳涂装后，其工作效率提高了450%。

（2）电泳涂装由于在电场作用下成膜均匀，所以适合于形状复杂，有边缘棱角、孔穴的工件如，焊接件等，而且可以调整通电量，在一定程度上控制膜厚。例如在定位焊缝缝隙中，箱形体的内外表面都能获得比较均匀的漆膜，耐腐蚀性也得到明显的提高。

（3）带电荷的高分子粒子在电场作用下定向沉积，因而电泳涂装漆膜的耐水性很好，漆膜的附着力也比采用其它方法的强。

（4）电泳涂装所用漆液浓度较低，粘度小，由于浸渍作用粘附于被涂工件，所以带出损耗的漆较少。漆可以充分利用，特别是超滤技术应用于电泳涂装后，漆的利用率均在95%以上。

（5）电泳漆中采用蒸馏水作为溶剂，因而节省了大量的有机溶剂，而且又没有溶剂中毒和易燃等危险，从根本上清除了漆雾，改善了工人的劳动条件和环境污染。

（6）提高了漆膜的平整性，减少了打磨工时，降低了成本。

由于电泳涂装具有上述许多优点，所以目前电泳涂装的

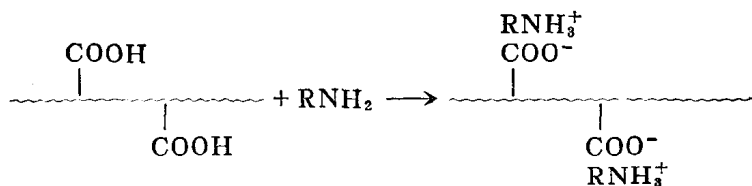
应用较广，如汽车、拖拉机、家用电器、电器开关、电子元件等均可应用。此外浅色阴极电泳漆的出现还适合于各类金属、合金，如铜、银、金、锡、锌合金、不锈钢、铝、铬等的涂装，所以在铝门窗框，人造首饰，银件，灯饰等方面均得到了广泛的应用。

三、电泳漆和电泳设备

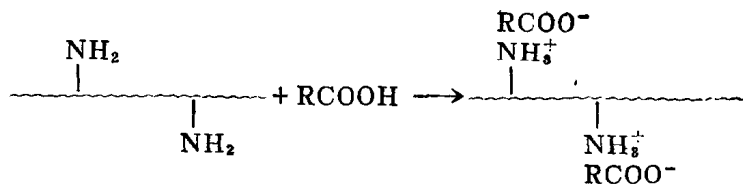
1. 电泳漆 电泳涂装时需要一种良好的水溶性漆。水溶性漆是60年代初期获得发展并在工业上得到广泛应用的新型漆料。它与溶剂型漆的主要区别在于用水作为主溶剂。

制备一种性能良好，使用稳定的电泳漆，首先要合成一种水溶性树脂。为此，必须在聚合物分子链上引进一定数量的强亲水性基团。例如含有羧基（ $-\text{COOH}$ ）、羟基（ $-\text{OH}$ ）、氨基（ NH_2 ）、醚基（ $-\text{O}-$ ）、酰胺基（ $-\text{CONH}_2$ ）等。但是这些极性基团与水直接混合时不能水溶，多数只能形成乳浊液，必须经过氨（或胺）或酸中和成盐，才可部分溶于水中，因此合成水溶性树脂绝大多数以中和成盐的形式获得。

例如阳极电沉积树脂，需带有羧酸基团的聚合物用胺中和成盐：



例如阴极电沉积树脂，需带有氨基的聚合物与羧酸中和成盐：



这些树脂加以适当的颜料、填料及助溶剂即可配制成所需要的电泳漆。在电泳槽中通电 2min 后, 工件出槽经水淋洗除去表面浮漆和气泡, 再放入烘箱(或烘道)在一定温度下烘烤, 经一定时间后便可获得一层平整光滑、性能良好的电泳漆膜。

2. 电泳设备

(1) 电泳槽(亦称电沉积涂漆槽): 通常由普通钢板制成, 槽内壁可用橡胶或环氧树脂作衬里, 使其具有绝缘性。也有用聚氯乙烯硬板制成的。

槽体大小应根据工件的形状大小和施工条件而定。连续自动化生产时, 槽体长度取决于生产线速度和电沉积时间, 槽体宽度取决于工件最大阴阳极间距(一般此间距为 200~600mm)。阴阳极面积比应根据所用电泳漆类型、工件的形状大小而定, 面积大小可用聚氯乙烯隔板调节。常用电泳槽的形状有方形、船形等。槽体则由主槽和溢流槽组成。

(2) 电流电源、电器控制及集电方式: 通常采用硅整流器作为直流电源。大型设备采用直流发电机, 也可采用直流电焊机作为电源。

电源容量根据工件面积大小、漆液特性及施工工艺条件而定。一般工作电压在 150V 以下, 有些大型电泳涂装流水线也可采用 150~250V 电压。采用高工作电压进行电泳时, 虽然可以提高漆液的泳透力, 增加漆膜厚度, 但电解反应加

刷，而且必须有特殊的防护措施。为了控制电压的高低可装调压装置，但电压必须低于湿漆膜击穿电压。

电泳涂装过程中的表观电流值，随漆的种类、工件涂漆面积的变化而变化。一般电泳涂装的电流密度为 $20 \sim 50 \text{ A/m}^2$ 。

阳极电泳中，工件或挂具作为阳极，电泳槽与电源的负极直接连接，并将槽体接地作为阴极即阴极接地法。如使用阴极罩等隔膜装置时，电源的负极悬于阴极罩内，电泳槽接地，槽内壁绝缘。工业上一般采用阳极接地法，见图 1-2。

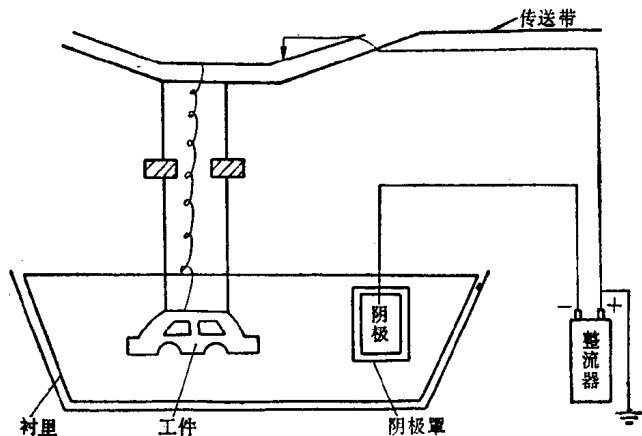


图1-2 阳极电泳槽

(3) 循环和搅拌系统：漆液循环和搅拌主要有 3 个作用：

① 可以防止体质颜料和颜料粒子沉底结块，保证电泳槽中工作漆液各处成分均匀。

② 可消除漆液的温度不均，使漆液的工作温度均匀一致。

③ 可排除电泳涂装过程中产生的气泡，保证漆膜具有良好的外观质量。

搅拌的方式可分为机械搅拌和泵循环两种。一般多采用泵循环的方式，用这种方式对漆液过滤和热交换都比较有利。循环速度可根据漆液的组成而定。一般全循环速度可在 $2 \sim 7$ 槽量/h 的范围内变动。但应用较多的铁红底漆，一般全循环则采用 $5 \sim 7$ 槽量/h 比较合适。

(4) 阴极结构：目前在阳极电泳时，多采用均匀分布在电沉积漆槽两侧的不锈钢板作阴极，这些钢板装在帆布袋制成的阴极罩内。阴极板的数目及面积由阴极和阳极面积比所决定。

在阴极电泳时，装置的极性刚好与阳极电泳中的装置相反。被涂工件是在阴极，而分布在阴极电泳槽两侧为阳极罩内放置的阳极板。

第二章 电泳涂装的基本原理和工艺

一、电泳涂装的基本原理

目前采用的电泳涂装有阳极电泳和阴极电泳两种。阳极电泳用水溶性树脂是一种高酸价的羧酸盐（一般是羧酸胺盐），在水中溶解后以分子和离子平衡状态存在于直流电场中，两极产生电位差，离子发生定向移动，阴离子向阳极移动，并在阳极表面上放出电子沉积于阳极表面，而阳离子向阴极移动，在阴极上获得电子还原成胺（氨）。阴极电泳用水溶性树脂是一种阳离子型化合物，用有机酸中和，在水中溶解后，以分子和离子平衡状态存在于直流电场中，两极产生电位差，离子发生定向移动，阳离子向阴极移动，并在阴极表面上得到电子沉积于阴极表面，而阴离子向阳极移动，在阳极上放出电子氧化成酸。这就是电泳涂装的基本原理。它是一个非常复杂的电化学反应，其中包括：电泳、电解、电沉积和电渗四个同时进行的过程。

1. 电泳 在直流电压作用下，分散在介质中的带电胶体粒子向与它所带电荷相反的电极方向移动称为电泳。电泳漆液中除带负电荷的树脂粒子可以电泳外，不带电荷的颜料和体质颜料粒子吸附在带电荷的胶体树脂粒子上也随着电泳。

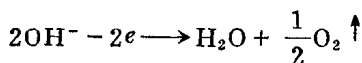
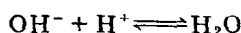
2. 电沉积 在电场作用下带电荷的树脂粒子电泳到达阳极，放出电子沉积在阳极表面，形成不溶于水的漆膜称为

电沉积。它是电泳涂装过程中的主要反应，电沉积首先在电力线密度特别高的部位，如被涂工件的边缘棱角和尖端处进行，而一旦沉积发生时，被涂工件（阳极）就具有一定程度的绝缘性，电场于是随着被涂覆的表面向后移动，直到最后得到完全均匀的涂层。

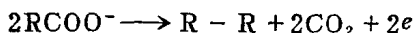
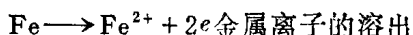
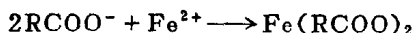
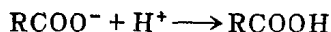
3. 电渗 它是电泳的逆过程，当漆液胶体粒子受电场影响，向阳极移动并沉积时，吸附在阳极上的介质（水）在内渗力的作用下，从阳极穿过沉积的漆膜进入漆液中称为电渗。电渗的作用是将电沉积下来的漆膜进行脱水，通常新沉积的漆膜含水量为 5~15%，可直接进入高温烘干，不会发生起泡或流挂等现象。

4. 电解 当电流通过电解质水溶液时，水便发生电解反应，在阴极放出氢气，阳极放出氧气，所以在涂装过程中应尽量降低电压并防止其它杂质离子混入漆液中，因为电解反应时放出过量气体，会影响漆膜质量。

阳极电泳涂装时的阳极反应：



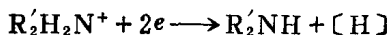
} 水的电解

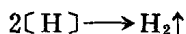
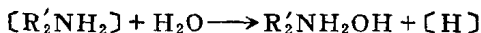
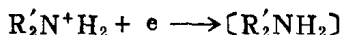


(高尔柏反应)

} 电沉积与副反应

阳极电泳涂装时的阴极反应：





此外，在电泳涂装过程中系统的电压、电流与电阻遵循着欧姆定律：

$$V = IR \quad (\text{恒电压电泳})$$

系统中产生热量是遵循：

$$W = I^2 R \quad (W)$$

系统中电沉积的重量遵循法拉第定律：

$$m = z \int_0^t I dt = zQ$$

$$\text{其中： } z = \frac{E}{F}$$

式中 m ——沉积在电极上漆膜的重量 (g)；

I ——电流 (A)；

t ——时间 (s)；

z ——电化学当量；

Q ——电量 (C)；

E ——化学当量重；

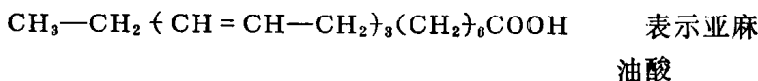
F ——法拉第常数 96494。

二、阳极电泳漆

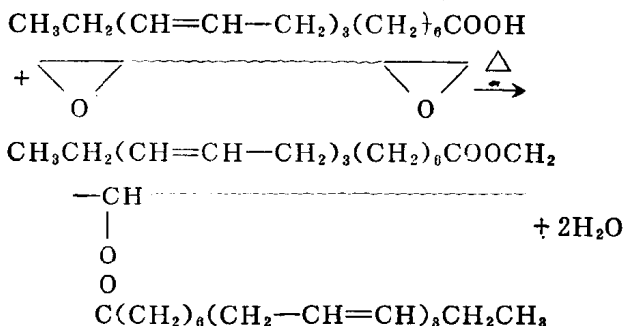
1. 水溶性环氧酯 环氧树脂具有很高的附着力和防蚀性能，但由于它的耐光性能不好，因而常被用作底漆、防蚀漆及其它方面。除脂肪族环氧树脂外，大多数的环氧树脂都不溶于水。要制成水溶性环氧聚合物，最常用的方法是先制成环氧酯，再以不饱和的二元羧酸(酐)和环氧酯的脂肪酸加

成，引进羧基。也可分别用邻苯二甲酸（酐）、磷酸和二聚脂肪酸与环氧树脂部分酯化，再引进酸性基团。后一种方法制得的环氧酯，粘度太大，水溶性比较差因此不常采用。

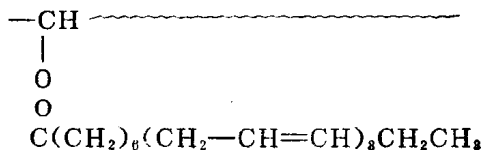
水溶性环氧酯的反应可用下列反应式表示（示意式）：

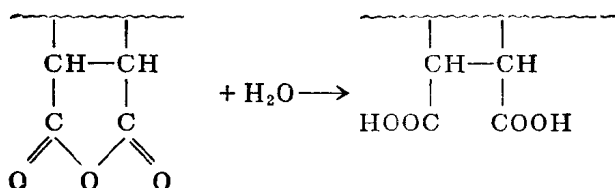
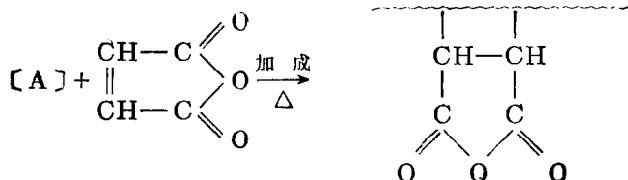


① 酯化反应为：

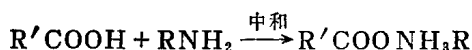


② 加成反应为：





简化以 $\text{R}'\text{COOH}$ 表示



(其中 R 可以是烷基或 H)

常用的环氧树脂有601、604、637等，以601环氧树脂用的最多。常用的油酸有亚麻油酸、豆油酸、脱水蓖麻油酸等，其中亚麻油酸用得最多。常用的不饱和羧酸有顺丁烯二酸酐、反丁烯二酸、甲叉丁基二酸等。

对于水溶性环氧酯电泳漆来说，助溶剂与中和剂对它的影响较大，醚醇类（丁基溶纤剂、乙基溶纤剂）、胺（三乙胺、二甲基乙醇胺）体系比较理想，但由于它的原料比较紧张及价格较贵，目前多数采用丁醇-乙醇胺体系。

2. 水溶性油 油分子中的双键与不饱和的二元羧酸（或酐）加成可制得水溶性油，其反应机理因油分子双键结构不同而不同。水溶性油的反应可用下列反应式表示：