

重慶建築工程

靜電噴塗

上海華能建築工程公司
上海華能公司



重慶工程建築

涂装技术丛书

静电喷涂

上海市化学化工学会 统编
上海涂料公司



机械工业出版社

本书较为详细地阐述了静电喷涂的特点与适用范围；工作原理；作业场所的技术条件；涂料的选择；喷涂用的成套设备；喷涂实例以及作业中容易产生的弊病和解决措施等。

本书可供生产、科研、设计等专业人员工作中参考。

本书由上海涂料公司韩熙麟主编，上海市机电设计研究院张岱华、黄铁勇编写，上海涂料公司陈钟岱审稿。

静 电 喷 涂

上海市化学化工学会 统编
上 海 涂 料 公 司

*

责任编辑：刘 洁 版式设计：王 颖
封面设计：郭景云 责任校对：熊天荣
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登记证出字第 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 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $3^{5/8}$ · 字数 76 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—5,370 · 定价：2.50 元

*

ISBN 7 111-02762-0/TQ·44

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，经过固化形成涂膜，可对制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”，共分六个分册，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《静电喷涂》分册。静电喷涂是一项较新的涂装工艺。与普通的手工涂装相比，具有涂料雾飞散量少，可节约涂料10~40%；同时可减少环境污染、改善劳动条件、容易实现机械化和自动化；涂装过程在机械力和电场力作用下进行，涂膜性能优良。在机电和轻工产品方面，例如汽车、拖拉机、洗衣机、缝纫机、自行车、电冰箱、电风扇和五金制品方面应用较广。

在本书编写过程中，得到了上海市机电设计研究院的大力支持和帮助，上海机床厂张怀琛同志协助修改，谨此一并致谢。

IV

由于作者水平有限，书中的错误、缺点和不足之处难免，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

涂 装 技 术 丛 书

上海市化学化工学会 统编
上 海 涂 料 公 司

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

目 录

前言

第一章 静电喷涂的特点与适用范围	1
一、静电喷涂的特点	1
二、静电喷涂的适用范围	2
第二章 静电喷涂的工作原理	3
一、静电场的形成与作用	3
二、电晕放电在静电喷涂中的作用	6
三、涂料微粒的带电及影响因素	8
四、涂料的机械雾化及静电雾化	14
五、影响静电喷涂的主要因素	17
第三章 静电喷涂作业场所的技术条件	24
一、温度和湿度	24
二、采光和照明	24
三、清洁度	26
四、通风	27
五、静电防护	27
第四章 静电喷涂设备的组成及设计简介	29
一、静电喷涂室	29
二、高频高压静电发生器	38
三、静电喷枪	38
四、供料装置	47
五、零件的旋转吊具	52
六、静电喷涂设备的设计	55

VI

七、静电喷涂设备设计计算举例	61
第五章 静电喷涂工艺的编制与应用	63
一、编制静电喷涂工艺的程序	63
二、汽车、拖拉机的静电喷涂工艺	66
三、仪器、仪表的静电喷涂工艺	78
四、自行车的涂装工艺	82
五、洗衣机、电冰箱的涂装工艺	85
第六章 静电喷涂的废气治理	89
一、废气的来源及其特征	89
二、废气的治理方法及设备	90

第一章 静电喷涂的特点 与适用范围

静电喷涂是依靠直流高压电形成的静电场作用，使带有电荷的涂料微粒在电场力的作用下沉积在零件表面，以形成均匀的涂膜。因而，静电喷涂是一种能显著提高涂膜质量的工艺方法，可使零件表面获得高精装饰性的涂膜。

静电喷涂工艺，具有生产效率高、易于实现自动化作业、涂料利用率高、环境污染小以及能显著改善操作工人劳动条件等一系列特点，已在机电和轻工等产品生产中广泛采用。

一、静电喷涂的特点

1) 涂膜均匀、装饰性好，工艺参数控制适宜，可使涂膜平整、光滑、丰满，达到高精装饰性要求。特别是圆盘式静电喷涂成套设备的研制成功，使上述特点更加突出。

2) 生产率高，适用于成批生产和大批量生产。采用多台旋杯式静电喷枪固定安装，可实现多台静电喷枪同时喷涂，易于实现半自动化或自动化，其生产率与空气喷涂相比，可提高1~3倍。采用圆盘式静电喷涂时，生产率将更高。

3) 由于利用静电场力，对于外形较复杂的零件表面也能形成均匀的涂膜。涂料利用率比空气喷涂一般可提高20~70%，同时减少了涂料雾飞散和污染，改善了劳动条件。

4) 目前静电喷涂生产线一般都是在静电喷涂室（特别

是自动静电喷涂) 后面再设置手工空气喷涂室, 即在静电喷涂后设置手工喷涂。其作用是当静电喷涂时出现局部漏喷, 或零件上的凹孔部位、尖头部位, 因受静电屏蔽的影响, 涂膜较薄时, 可进行手工补喷, 以改善涂膜质量。

5) 静电喷涂的安全管理要求较高, 作业过程中要注意防毒、防火、防爆、防尘、防静电和防噪声。如果管理不当, 安全措施有疏忽, 很容易造成击穿放电、电晕放电、有机溶剂废气污染、火灾等事故。

二、静电喷涂的适用范围

静电喷涂宜用作喷涂面漆、最外层的一道或二道面漆以及罩光漆。目的是提高涂层的装饰性。在不同生产条件下, 底漆也有用静电喷涂的, 如采用“湿碰湿”工艺时, 喷涂底漆和面漆都可采用静电喷涂。但是, 静电喷涂多用于喷涂面漆。

静电喷涂的适用范围广泛, 对零件的外形和尺寸要求不很严格。对于生产批量大的中小型零件, 宜选用旋杯式静电喷枪或圆盘式静电喷涂成套设备进行喷涂。对于外形复杂的大型零件, 宜选用手提式静电喷枪, 或按一定方位布置的旋杯式喷枪进行喷涂, 一般都能获得较好的装饰性涂层。

静电喷涂工艺对涂料有选择性, 并非各种用作面漆的涂料都适用于静电喷涂。适用于静电喷涂的涂料, 要求具有适宜的粘度, 还必须有适宜的电导率。

静电喷涂工艺最适于成批生产或大批量生产, 这时其技术经济指标最好。所以, 在轿车、旅行车、客车、载重汽车、拖拉机、摩托车、自行车、缝纫机、电冰箱、洗衣机、仪表、电风扇等行业中得到了广泛的应用。

第二章 静电喷涂的工作原理

静电喷涂是依据静电场对电荷的作用原理而实现的。通常静电喷枪的枪头部分接负极,零件接正极,这样枪头与零件之间就形成了静电场。当电压足够高时,枪头附近区域内的空气产生强烈电晕放电,形成了气体电离区域。涂料经喷枪喷嘴雾化后喷出,被雾化的涂料微粒通过喷头边缘或喷嘴处的极针接触带电,当经过气体电离区域时再次带电。这些带电的涂料微粒在电场力的作用下向异极性的零件表面运动,被附着并沉积在零件表面上,形成了均匀的涂膜。

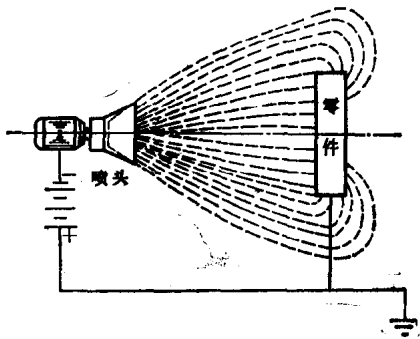


图2-1 静电喷涂原理

静电喷涂的原理如图2-1所示。

一、静电场的形成与作用

静电喷涂中静电场是通过高频高压静电发生装置形成的,它的负极接喷枪枪头,正极接到零件上,并接地。这样喷枪头部与零件之间形成了一个强大的静电场。

静电场中每一点的电场强度 E 除有大小外还有一定的方向。为更好地理解静电场这个概念，静电学中引入了假设的电力线。由于电力线上每点的切线方向与该点电场强度 E 的方向是一致的。因此，该方向也表示出作用于放在该点上正电荷 q_0 所受电场力的方向，并用电力线的疏密程度表示电场强度的大小。电力线越密表示电场强度越大。如图2-2所示。

涂料微粒在静电喷涂过程中的运动是受电场力的作用而产生的。涂料微粒所受电场力与电场强度的关系为：

$$F = Eq \quad (2-1)$$

式中 F —— 涂料微粒所受到的电场力；

E —— 电场强度；

q —— 涂料微粒的带电量。

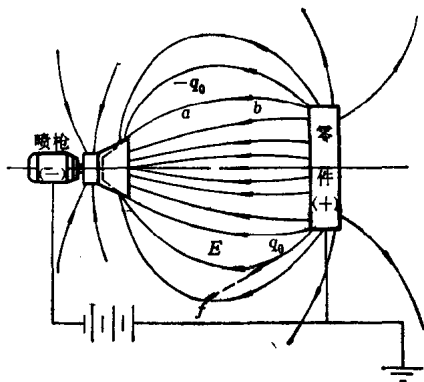


图2-2 静电场的等位面与电力线

电场强度 E 与两个电极间所施加的电压成正比，与两极间的距离成反比，用下式表示：

$$E = \frac{V}{s} \quad (2-2)$$

式中 V —— 施加在喷枪与零件上的静电电压；

s —— 喷枪与零件间的距离。

从式 (2-1)、式 (2-2) 中可以得出，电场强度 E 越大，涂料微粒所受到的电场力越大，越有利于静电喷涂。电场强

度 E 与喷枪和零件间的距离成反比, 当距离 s 越小时, 电场强度 E 越大。因此, 在进行静电喷涂作业时, 喷枪与零件的设置应该尽量靠近。但在实际生产中, 由于零件的大小、几何形状、静电发生装置的性能等多种因素的影响, 距离 s 一般取 $200 \sim 500 \text{ mm}$ 。同理, 所施加的电压越高越好, 但是, 也受到零件的大小、几何形状等因素的影响, 特别是手工静电喷涂时, 电压过高对人体会有效应, 产生不安全感, 电压过高还会造成火花放电, 发生火灾。另外, 由于涂料微粒的带电性能及高频高压静电发生装置技术指标的限制, 因此在实际生产中常用 $60 \sim 120 \text{ kV}$ 的电压。

将式 (2-1)、式 (2-2) 合并得出:

$$F = \frac{V}{s} q$$

由此可以看出, 当所施加的电压 V 和喷涂距离 s 确定后, 涂料微粒的带电量 q 就成为影响静电喷涂效果的关键因素了。涂料微粒的带电量 q 越大, 越有利于静电喷涂。

涂料大多数是高分子有机化合物, 电阻率很高, 且多为不导电的绝缘物质, 也称电介质。电介质在一般情况下不导电。因此涂料只有在静电喷涂的过程中处于一个特殊的带电环境里, 才带上电荷。对于溶剂型涂料, 除含有成膜物质和颜料等电介质外, 还含有溶剂、助剂、静电稀释剂等物质, 这样的物质除了苯、二甲苯、溶剂汽油等外, 大多数是极性物质, 电阻率较低, 有一定的导电能力, 它们往往会使涂料带电能力提高。另外在强电场的作用下, 涂料分子的极性会进一步增强。有的溶剂分子受强电场和空气电离所击发出的电子和离子的撞击作用还会变成离子, 或成为显电性的基团。鉴于上述几种因素, 涂料微粒是可以带电的。

涂料微粒在静电场的作用下，由喷枪口飞出移往零件表面，在这个过程中是要消耗功和电能的。把涂料微粒当作一个电荷，在静电场中从一点 a 移动到另一点 b 时，电场力所做的功等于电荷量与这两点的电位差的乘积，可用下式表示：

$$N_{ab} = q_0(U_a - U_b) \quad (2-3)$$

式中 N_{ab} ——电场力对移动的电荷所做的功；

q_0 ——电荷量；

U_a —— a 点的电位；

U_b —— b 点的电位。

从图2-2中可以看出，电荷 q_0 从低电位 a 点移动到 b 点，根据式 (2-3) 可以推算出所做的功 N_{ab} 。带负电荷的涂料微粒从喷枪口移到被涂覆零件表面，电场力做了功。

静电场中的各点由于所处位置不同电位是变化的，但静电场中也存在电位相同的点，电位相同的点所连成的面叫等位面。在静电场中沿等位面移动的电荷，等位面上各点电位相同，电场力所做的功等于零，根据式 (2-3) 很容易计算出。

二、电晕放电在静电喷涂中的作用

由于电晕放电现象在静电喷涂中起重要作用，因此，需要了解和研究其特性。物理学的理论和实验都证明，带电导体达到静电平衡时，导体的内部没有电荷，电荷完全分布在外表面。电荷在导体外表面的分布也是不均匀的，电荷分布的密度与该处的曲率有关。当带电体没有受到外电场的作用时，表面曲率越大，电荷密度也越大，该处的电场强度也就大。因此，带电体的尖端及尖端附近有特别强的电场。

在通常情况下，空气的分子是中性的，空气是良好的绝缘体。但是，在自然界中空气也残存着少量带电离子。经研究得知，这些少量残存的正、负离子是由于雷电、风、流动着的空气，造成分子间的摩擦，以及阳光、紫外线、宇宙射线或其它射线的作用，使空气电离，分解成正、负离子。空气中的一些离子生成的同时，另一些正、负离子重新结合成中性分子，空气的这两种变化处于动平衡状态。然而，在自然条件下存在的离子数目和中性分子数目相比是微乎其微的，所以空气是不导电的。而一旦处于外加电场中时，这种不导电的状态就会发生变化。

在静电喷涂时，喷枪头部和零件之间形成一个高压静电场。静电喷枪的头部带锐边，或带极针，此处的电荷密度很大。当施加在喷枪头部的静电压升高到一定程度时，喷枪头部锐边和极针与零件之间所形成的电场进一步加强，使喷枪头部锐边和极针的电子逸出，并飞向零件。由于电场强度大，逸出的电子动能很大，当它以高速撞击空气分子时，使空气分子电离，与此同时放出电子来，这些电子被电场加速，再去撞击其它空气分子，使其电离，这样就发生了连锁式电离反应，直至喷枪头部附近的空气被击穿，形成空气电离区，产生自激放电。伴随着自激放电的同时，空气激烈地离子化和发热，使喷枪头部锐边或极针部形成一个暗红色的晕圈，在黑暗中很容易看到，这种现象称电晕放电。

电晕放电是自激放电过程中的一种现象。电晕放电只发生在喷枪头部锐边或极针附近的空间，而不是将喷枪到零件之间的空气全部击穿，如果是那样就会产生火花放电。因此，电晕放电属于空气局部击穿状态，控制喷枪与零件之间处于电晕放电状态对于静电喷涂很重要。当静电压过高或喷

枪与零件间距过小时，喷枪头部与零件之间的空气全部被击穿，此时将发生火花放电，引起喷涂设备起火燃烧。如果有有机溶剂浓度过高时，甚至会发生爆炸。即使危害最小时也会烧坏涂膜。而当静电压过低时，不会发生电晕放电，不能激发出大量电子，不能在喷枪与零件之间形成电离区，这样涂料微粒不能很好地带电，将影响静电喷涂的效果。因此，在静电喷涂中对高频高压发生器有一定的技术性能要求。在使用中要控制好电源电压，使喷枪头部附近的空气发生稳定的电晕放电。产生电晕放电的电压要根据喷枪到零件间的距离、空气的温度和湿度、喷涂室内的风速、气流的分布、涂料对电晕放电的影响、喷枪中的极针结构及锐边的锐利程度等主要因素来确定。

在为喷枪配备静电电源（一般常用高频高压静电发生器）时，最好选用输出高压时能连续可调的电源，这样为选择最佳工作电压提供了方便。在电气控制回路中最好带有反馈系统，使电源的输出静电压能自动调节，从而保证喷枪到零件之间的空间有恒定的电场强度，确保喷枪与零件间处于电晕放电状态，即防止产生火花放电（一般称打火），同时也使涂料微粒充分带电，提高涂料的涂覆效率。

在进行静电喷涂时，喷枪绝大多数接在电源负极上，这是因为电子质量很小，容易从金属表面逸出，容易被静电场加速。喷枪接在负极上产生电晕放电所需电压低，这样对实现电晕放电有利。

三、涂料微粒的带电及影响因素

涂料微粒的带电过程是通过两个阶段完成的。第一阶段是涂料微粒与带高压静电的喷枪头部电极（有锐边结构或极

针) 接触实现的; 第二阶段由喷枪电极使其附近空气电离, 形成电离区, 当涂料微粒穿过而实现的。

1. 涂料微粒的第一阶段的带电过程 静电喷涂时所使用的喷枪有高速旋转静电喷枪, 这类喷枪喷头部分有一个旋杯或旋盘。还有手提式静电喷枪, 喷枪头部带有放电极针。喷枪头部的旋杯或旋盘的锐边、放电极针等结构都是用于实现涂料细小微粒与其接触后带上电荷的。

根据导体带电原理, 带电导体的电荷完全分布在外表面, 球形导体除外。电荷在导体的外表面分布是不均匀的, 表面曲率大的地方, 电荷密度大, 电场强度也就大。若带电导体受到外加电场的影响或其它电荷感应, 则带电导体的表面电荷分布就更加不均匀。如果把两个电动势不同的带电导体用导线连接起来, 电荷就通过导线在两个导体间流动, 两个带电导体的表面电荷密度都将发生变化, 两个带电导体的电动势也发生变化。当两个带电导体的电动势趋于平衡时, 两个带电导体间就无电荷流动。

根据上述理论, 把喷枪头部的喷杯、喷盘或极针接上高压静电时, 喷头部分的电动势由零电动势迅速上升, 同时, 电荷流向喷头的表面, 喷头表面电荷密度急速增加。当喷头的电动势与电源的电动势相等时, 流向喷头的电荷流同时停止, 这个过程是在瞬间完成的。这时喷头的外表面布满了电

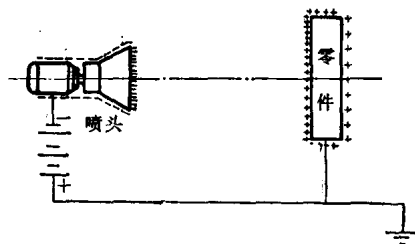


图2-3 静电喷涂时零件各部表面电荷的分布