

涂装技术丛书

粉末涂装

上海市化学化工学会 统编
上海涂料公司

TUZHUANG

JISHU

CONGSHU

机械工业出版社

本书叙述了粉末涂料的分类、性能、应用、测试方法、粉末涂装的特点；粉末静电喷涂的工作原理、粉末喷涂工艺及其设备和应用实例；喷涂中的弊病及其解决措施。内容方面主要以静电粉末喷涂生产工艺为重点，对设备使用性能、型号的选择等也作了重点阐述，以便更好指导生产，本书可供生产、科研、设计等专业人员工作中的参考，亦可作培训教材。

本书由上海涂料公司韩照麟、上海仪表烘漆厂武文平编写，由上海涂料公司陈钟岱、上海洗衣机总厂研究所桑志敏审稿。

粉 末 涂 装

上海市化学化工学会 统编
上 海 涂 料 公 司

*

责任编辑：王明贤 版式设计：王 颖
封面设计：郭景云 责任校对：陈立耘
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 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $2 \frac{3}{4}$ · 字数 59 千字
1991 年 6 月北京第一版 · 1991 年 6 月北京第一次印刷
印数 0,001—4,700 · 定价：2.50 元

*

ISBN 7-111-02731-0/TQ·41

前 言

在机电产品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《粉末涂装》分册。粉末涂装是一项涂装新工艺,与普通的手工涂漆相比,具有无公害、涂膜性能好、节约涂料和能源、生产安全等特点。在机电产品和轻工产品生产中应用很广泛。

本书编写过程中,得到了上海仪表烘漆厂、新星静电喷涂设备厂等单位的大力支持和帮助,得到了戴镇方、王伟林、刘慧华、史美辛、吴国林等同志帮助,陈钟岱、桑志敏同志审阅修改,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

1991年7月

目 录

前言

第一章 概论	1
一、发展简史	1
二、粉末涂料的特点	2
三、粉末涂料的类型和品种	4
四、粉末涂装的几种方法	4
第二章 粉末涂料的分类和应用	5
一、热固性粉末涂料	5
二、热塑性粉末涂料	23
三、粉末涂料的性能检验	26
第三章 静电粉末喷涂工作原理及工艺和设备	39
一、静电粉末喷涂工作原理	39
二、热固性静电粉末喷涂工艺	44
三、热塑性粉末喷涂工艺	48
四、涂装中的弊病及解决措施	49
五、静电粉末喷涂主要设备	51
第四章 其它粉末涂装方法、工作原理及工艺和设备	57
一、流化床热涂覆	57
二、静电流化床涂覆	61
三、粉末静电振荡涂覆	68
四、粉末火焰喷涂	71
五、电泳粉末涂装法	73
第五章 静电粉末喷涂应用实例	77

IV

一、电冰箱静电粉末喷涂生产线	77
二、工业缝纫机美术粉末涂装工艺	78
三、大型开关静电粉末喷粉流水线	81

第一章 概 论

一、发展简史

粉末涂料是指不含有机溶剂或水作分散介质的一种涂料品种，它是以空气作分散介质，涂覆在被涂物表面上，经熔融或再经交联固化形成均匀的涂膜。

本世纪40年代，人们就利用塑料粉末作为涂料的试验，但由于种种原因，长期不能工业化生产。1950年聚乙烯火焰喷涂法试制成功，1952年联邦德国 GRIESHEIM 公司的 E. Gemmer 发明了将聚乙烯塑料粉末用于流化床法涂覆成功，成为当时涂料工业和涂装行业引人注目的划时代的一种涂装方法，1962年法国 SAMES 公司发明了塑料粉末的静电涂装法，使粉末涂料在工业上的应用又获得了一次新的飞跃，实现了将粉末涂在不预先加热的被涂物件上，1967年聚氯乙烯树脂粉末出现，1968年环氧树脂粉末在工业上得到应用。总之，60年代末至70年代，国外粉末涂料的品种和应用量增长十分迅速，施工工艺和施工设备也不断改进。许多公司已有成套的粉末涂覆设备和各种类型的粉末提供市场，如美国的 RANSBURG 公司、日本的 NIKKO 公司、IHB 公司、MATCO 公司、法国的 SAMES 公司、联邦德国的 ESB 公司、瑞士的 GEMA 公司、英国的 ATLAS 公司等有成套的粉末喷涂设备、奥地利的 STOLLACK 公司、比利时的 LIBERT 公司、法国的 ATO 化学公司均是生产粉末涂料的较大公司。

我国粉末涂料的发展起步较晚，1965年由广州电器科学

研究所制成的环氧树脂粉末涂料, 1968年上海无线电二十四厂试制成功了低压聚乙烯粉末涂料, 1974年化学工业部涂料研究所开展了环氧树脂粉末、聚酯树脂粉末的研究, 相继又有许多单位开始了对粉末涂料研制并投入生产, 如江苏江都华阳化工厂、无锡造漆厂、沈阳油漆厂等。为了加速我国粉末涂料的发展, 有的引进了国外的制粉设备和制粉技术, 如杭州中法有限公司, 无锡造漆厂、上海新华航头涂料厂等。有效地加快了我国粉末涂料的发展, 目前我国也能生产质量较好的环氧树脂粉末、聚酯树脂粉末、环氧、聚酯树脂粉末、美术型粉末等。

早在70年代初我国就组织了静电粉末喷涂设备攻关小组, 并取得了成效。现在国内不少设备厂都可提供成套的静电粉末喷涂设备。近几年来, 静电粉末喷涂已广泛用于洗衣机、电冰箱、缝纫机、仪器仪表、电器开关柜等产品上, 提高了产品的外观质量。

二、粉末涂料的特点

1. 粉末涂料的优点

(1) 无溶剂 溶剂涂料在涂装时, 使用溶剂或水的主要目的便于用刷涂、喷涂等方法施工, 使涂膜在形成过程中达到一定的流平效果, 涂膜形成后, 溶剂实际上全部挥发掉。粉末涂料则不需要溶剂溶解。涂膜中也没有残存的有机溶剂组分, 固体成分达100%。

(2) 减少污染 使用溶剂涂料是造成大气、水质等环境污染的因素之一, 并且还具有毒性、易燃等危害。粉末涂料是无溶剂涂料, 因溶剂挥发或水溶性涂料造成的废水处理等问题对粉末涂料来说都不存在, 它是减少污染、防止公害

和事故发生的一种较为理想的涂料。

(3) 涂膜性能好 有机溶剂作为涂料的介质,使一些合成树脂可发挥优异的特性,但对于一些在常温下不溶于溶剂的树脂,或者溶解困难,(如聚乙烯、尼龙、氟树脂等)不能进行涂装的高分子合成树脂,则可以作粉末涂料来使用。因此,能够广泛地利用各种类型的树脂以获得各种特长的高性能的涂膜。并且,涂膜在形成过程中没有溶剂挥发,故不易出现气孔等缺陷,容易得到致密的涂膜。

(4) 一次涂覆 粉末涂料一次涂装可得到 $50\sim 300\mu\text{m}$ 的厚膜,由于不含溶剂,以100%的固体组分成膜,因而避免在厚膜涂装时常出现的流挂、积滞、塌边、气孔等缺陷,粉末涂装时对于被涂物的边缘部分也能进行充分的覆盖。

(5) 涂料损失少 涂装时粉末完全涂覆在被涂物的表面上,而且粉末涂料可以回收再使用,涂料实际损失很少,一般在5%以下。

(6) 工作效率高 粉末涂料涂装与溶剂型涂料涂装不同前言,不需要较长固化时间,因此能够缩短涂装时间和工艺过程,涂装效率比溶剂型涂料提高了3~5倍。一次喷涂便可达到厚膜涂装要求,不需要重复喷涂,而且粉末涂料涂装的工艺和设备都易于处理,易达到涂装自动化。

2. 粉末涂料的缺点

(1) 涂薄层困难 溶剂型涂料很容易形成薄膜涂层,粉末涂料在涂装时却难以达到此项要求,即使是用环氧树脂粉末涂料,平均最低膜厚也是在 $50\sim 70\mu\text{m}$ 之间,当涂膜厚度小于 $40\mu\text{m}$ 时,由于膜层太薄,涂膜的流平性差,因而外观装饰效果不好,呈现严重桔皮或毛孔。

(2) 调色困难 粉末涂料不可能象溶剂型涂料一样,

可将几种色漆调配成所需要的颜色。粉末涂料的颜色是由混炼时加入的颜料决定的，因此不能随用随调色，工件使用粉末涂料的颜料配色必须从制粉开始。

(3)-换色困难 粉末静电涂装法是涂装中效果较高的一种涂装法，但操作过程中更换颜色比较困难，换色前必须将供粉桶、涂装机管道、回收装置等所有粉末涂料循环系统都要彻底清扫，吹净。

(4) 在凹形及复杂形状的物体表面涂装较困难。

三、粉末涂料的类型和品种

1. 热固性粉末涂料 包括环氧粉末涂料；聚酯粉末涂料；环氧-聚酯粉末涂料；丙烯酸粉末涂料等品种。

2. 热塑型粉末涂料 包括聚氯乙烯粉末涂料；聚乙烯粉末涂料；聚酰胺粉末涂料；氟树脂粉末涂料；氯化聚醚粉末涂料；聚丙烯粉末涂料等品种。

四、粉末涂装的几种方法

粉末涂装所采用的方法具有以下几种：

- 1) 静电喷涂；
- 2) 流化床热涂覆；
- 3) 静电流化床涂覆；
- 4) 静电振荡涂覆；
- 5) 粉末火焰喷涂；
- 6) 粉末电泳涂装。

第二章 粉末涂料的分类和应用

一、热固性粉末涂料

热固性粉末涂料是以热固性树脂作为成膜物质，加入固化剂及其它原料经加工制成了粉末涂料。热固性粉末涂料喷涂在金属工件上，在一定的温度和时间內，树脂会熔融，化学交联后固化成平整坚硬而有柔性的涂膜。固化后的涂膜不会因温度的升高而重新软化。现将常用的热固性粉末涂料简介如下：

1. 环氧粉末涂料

(1) 性能和用途 环氧粉末涂料除了具有一般粉末涂料的特点之外，还具有突出的耐化学性能、坚韧性和与金属有优异的结合力。但是，环氧粉末涂料不耐过度烘烤，长期在户外使用易于粉化和失光，因而不适于用作室外或浅色装饰性涂料。

环氧粉末涂料的固化剂有许多种，应用不同固化剂其性能亦不同。由这些固化剂所制造的粉末涂料其性能如表 2-1 所示。

环氧粉末涂料性能和环氧树脂涂膜性能见表 2-2 和表 2-3。

环氧粉末涂料主要用于涂装管道、住宅钢架、集装箱、办公用品、冰箱、制冷机、洗衣机、电子元件和装置、汽车和机床部件、农业机械等。总之，对老化性能要求不高，而需要较高机械强度和耐腐蚀性的设备和元器件，都可采用环

表2-1 固化剂对环氧粉末涂料性能的影响

性 能	固 化 剂			
	双氰胺	二酞肼	咪 唑	酸 酐
	固 化 条 件 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)			
	200/20	170/20	140/20	180/20
涂膜光泽	1	2	1	3
平整性	2	2	0	3
硬度	3	3	2	3
挠曲性	2	2	2	3
耐冲击性	2	2	2	2
漆膜白度	0	1	0	3
耐污染性	2	2	2	2
涂膜耐沸水	3	3	3	3
涂膜耐湿热	2	2	0	2
耐盐雾试验	3	2	2	2
室外曝晒	除粉化外 无意外	除粉化外 无意外	除粉化外 无意外	除粉化外 无意外
耐贮藏及耐结块	3	3	2	1

注：表中“3”为最好，“2”为较好，“1”为好，“0”为最差。

表2-2 环氧粉末涂料性能

项 目	性能指标	项 目	性能指标
粉末细度	通过180目	粉末颜色	均匀无色差
水平流动性	24.5~26.5mm	粉末在容器中 状态	干燥、均匀无结 块
固化时间 ($180 \pm 1^{\circ}\text{C}$)	2~6min		

表2-3 装饰性环氧粉末涂料涂膜性能

项 目	性 能 指 标
涂膜光泽	80%
霉斑试验28 d	0 级
盐雾试验 6 d	涂膜无明显变化
3%氯化钠10 d	涂膜无明显变化
冲击吸收功	5 J
柔韧性	≤3mm
附着力(划圈法)	2 级
铅笔硬度	2 H
表面绝缘电阻	$10^{14} \Omega$
湿热试验11 d	1 级
5%草酸10 d	涂膜无明显变化
3%氢氧化钠	涂膜无明显变化
大气曝晒45°C30 d	轻微失光变色

表2-4 环氧粉末涂料及其适用范围

用途 固化剂	家用电器	金属家具	建筑预 制件	汽车部 件	农业 机械	管道	容器	水泥 钢筋	电器 装置	散热器 锅炉
加速双氰胺	适用	适用	适用	适用	—	—	—	适用	—	
取代双氰胺					—	—	—	—		
胺类衍生物					—	—	—	—		
聚脲					—	—	—	—		
酸酐				适用	—	—	适用	—	—	
酸酐加成物										
酚醛	—	—	—	—	—	适用		适用	—	

氧粉末涂料, 各种环氧粉末涂料及其适用范围如表2-4所示。

(2) 组成和原料选用 环氧粉末涂料的组成包括环氧树脂、固化剂、添加剂、着色颜料、填充料等。

1) 环氧树脂 是粉末涂料比较理想的基料, 因为性能好、来源广、成本适中, 所以是粉末涂料中应用最多的一种树脂。专用粉末涂料的环氧树脂应具有以下要求: ①树脂色泽较浅, 适合制备浅色粉末, 以提高装饰性能; ②树脂中不含有任何胶质颗粒和机械杂质粒子, 以避免影响涂膜的平整性; ③树脂的软化点以 $85\sim 95^{\circ}\text{C}$ 为宜, 软化点太高, 流平性差; 软化点低于 60°C , 粉末贮存易结块; ④在固化温度时树脂应有较低的熔融粘度, 以便获得较佳的润湿性和流平性, 以提高涂膜的平整性; ⑤分子量在1000以上的环氧树脂, 分子量分布范围要小, 避免含有分子量太高的聚合物, 以影响涂膜性能, 分子量大小对粉末涂料性能的影响见表2-5。

表2-5 环氧树脂分子量对粉末涂料性能的影响

性 能	增大分子量对性能的影响
颜料分散性	更困难
贮藏稳定性	改进
漆膜流平性	降低
力学性能	提高
硬度	没有改进
柔韧性和耐冲击性	改进
附着力	由于降低基材润湿性而下降
耐化学性	稍有下降

2) 固化剂 环氧粉末涂料可采用许多化合物作固化

剂, 这些化合物包括双氰胺及其衍生物、三聚氰胺、固体芳胺、咪唑、酸酐和胍类化合物等, 也可以用聚合物作它的固化剂。如含羧基或含羟基的聚酯、丙烯酸树脂和聚氨酯树脂。

作为环氧粉末的固化剂必须具备的条件是: ①固化剂在室温下为固体结晶物或无定形固体, 以便于制粉; ②它能与环氧树脂在一定温度下反应, 但在室温和制粉工艺的温度下, 固化剂稳定, 不与环氧树脂反应; ③与环氧树脂有良好混溶性, 以保证涂层平整、光滑; ④与颜料和其它添加剂有良好混溶性; ⑤在固化温度下有较快的反应速度。

环氧树脂粉末涂料经常使用的固化剂有以下几种:

① 双氰胺及其衍生物 结构式为
$$\begin{array}{c} \text{NH} \\ || \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CN} \end{array}$$

双氰胺为白色结晶体, 熔点 $205\sim 207^{\circ}\text{C}$, 它有4个含氮基团可与环氧树脂反应, 其反应速度各不相同, 固化反应呈现一定梯度, 它既可与环氧基和羟基起加成反应, 又可促进环氧基自身的均聚。因而, 它与树脂的配比没有严格的定量关系, 其用量决定于树脂的种类和含量, 以及烘烤固化条件。所有配方中固化剂的用量都要用试验来确定。

细粒状双氰胺通常用量为 $3.9\sim 4.5\%$, 它在制造和贮藏过程中稳定性良好, 但是, 反应活性略低, 以致于在 185°C 还要烘30min, 或在 200°C 时烘20min才能固化。为了加速固化, 在配方中需要加入一定量的促进剂, 如二甲基咪唑或者制备双氰

胺衍生物来作固化剂, 如
$$\text{NH}_2-\begin{array}{c} \text{NH} \\ || \\ \text{C} \end{array}-\text{NH}-\begin{array}{c} \text{NH} \\ || \\ \text{C} \end{array}-\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_5$$

② 酸酐及其加成物 多元酸酐与环氧树脂在较高温度下的反应是复杂的, 在给定固化条件下, 这些反应的相对速

率决定于促进剂的使用与否，酸酐含量在某种程度上还决定于固化工艺。理论上，酸酐在环氧树脂中的用量可用等当量关系式来求出。但是，由于消耗环氧基和酸酐基的反应比较复杂，最好还是用试验来确定，作为环氧粉末涂料最适用的酸酐是偏苯三甲酸酐，二苯甲酮四甲酸酐和均苯四甲酸酐。

酸酐固化剂在粉末涂料中的最大优点是具有快速固化的特点，该类涂料具有优异的硬度、突出的机械、电器性能和良好的耐溶剂性，对于装饰性粉末涂料，烘烤温度可采用 $160\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。

酸酐固化剂的最大缺点是未固化的粉末因含有一定量的酸酐，必须要小心储藏和进行安全处理。酸酐具有强烈的刺激性，无论是制粉和施工，对人体健康有潜在危害。其次是酸酐易于吸收空气中的潮气使酐基变成羧基，降低了固化速率和交联速度，而使涂膜性能下降。为了减少它的挥发毒性，可将酸酐制成它的多元醇酯。如乙二醇双偏苯三甲酸酐酯、乙酰氧基甘油双偏苯三甲酸酐酯等，这些加成物制成后不但减少了毒性，而且降低了熔点，改善了与环氧树脂的混溶性，因而得到了外观更好的涂层。但是，应小心贮存，以避免吸收空气中的潮气。

③ 酚醛树脂 酚醛树脂可作为环氧树脂的固化剂，其交联反应是通过环氧树脂中的环氧基与酚醛树脂中的酚羟基或甲氧基进行。叔胺可促进其反应，其特点是具有高的耐化学性和良好的机械强度。为了提高涂膜的性能除了采用分子量为1400的E-12环氧树脂外，还可采用分子量更高的E-06环氧树脂。环氧树脂和酚醛树脂的重量配比一般可在90:10和60:40范围内变化，常用的比例是70:30，它们的用量主要决定于所需的涂膜性能，酚醛改性环氧粉末一般需要较高

温度才能固化，因而，促进剂是非常必须的，2-甲基咪唑作为促进剂用得最多。但是，即使如此也需要在 200°C 下固化 10min，这类涂料的色泽较深，不宜作装饰性涂料，但用作输油管道、容器内壁和化学装置的保护涂层，性能非常优良。

3) 颜料和填充料 钛白粉是白色颜料中着色最强的品种，具有优良的遮盖力和着色牢度。金红石型钛白粉粉质比较软，耐候性和耐热性较好，屏蔽紫外线的作用强，不易变黄而且耐水性也较好，因屏蔽紫外线的作用强特别适用于户外使用，有良好的光稳定性。锐钛型钛白粉的耐热性和耐光性较差，但该型略带蓝头，白度高，分散性好，适于室内使用。铬绿、氧化铁黑等颜料在烘烤温度下没有足够好的热稳定性，其它一些无机颜料热稳定性和化学稳定性较好，但也要试验固化剂存在下的各种性能，以避免颜料的表面活性处理剂对固化速度的影响。

填充料主要包括轻体碳酸钙、立德粉等。填充料在粉末涂料配方中可降低粉末成本，但随着填充料成分增大，涂料密度也增大，涂膜光泽下降、柔韧性降低，故填充料应尽量少用。

4) 添加剂 添加剂中最常用的是流平剂，以改善涂膜在熔融状态的表面张力，避免涂膜出现缩孔、桔皮等缺陷。并能改进与基材的润湿性。流平剂包括丙烯酸酯共聚物、聚乙烯醇缩丁醛、醋丁纤维素等，最常用的是丙烯酸共聚物。如美国 Monsanto 公司生产的 Modaflow；BASF 公司生产的 Acsonal 等都属于这一类。

粉末涂料用的流平剂一般是固态或高粘度的树脂，有的流平剂事先已分散于基础树脂中，这样流平剂在粉末涂料中的分散性能更为良好。在容易产生缩孔的粉末涂料中可同时

采用几种流平剂。

流平剂对某种基础树脂所制备的粉末系统的物理性能将产生一些微弱的影响，但影响不大。聚丙烯酸酯类流平剂可提高一些耐候性，但耐化学性和耐热性有所下降，硅酮型流平剂可提高耐热、耐水和耐候性。

为了提高粉末涂料在室外的耐老化性能，在粉末配方里还可以加紫外线吸收剂。这些助剂包括：水杨酸酯类、二苯甲酮类、苯并三唑类等。其中在环氧粉末里最常用的是二苯甲酮类，如二苯基乙醇酮又称安息香。

(3) 环氧粉末涂料的典型配方

E-12环氧树脂	100g
双氰胺	3.9g
二甲基咪唑	0.3g
聚乙烯醇缩丁醛	4.2g
轻质碳酸钙	18g
钛白粉	适量
颜料	适量
安息香	适量

2. 聚酯粉末涂料

(1) 性能和用途 聚酯粉末涂料与其它类型粉末涂料相比，有其独特的性质。首先，表现在聚酯粉末涂料有较好的户外使用性，即耐紫外光性能比环氧树脂好。在喷涂、烘烤等施工成型过程中，由于聚酯树脂的极性基团作用，一般上粉率比环氧树脂高，烘烤过程中不易泛黄，因此在制备装饰性涂层方面，它具有较环氧树脂更好的各种性能，如光泽度高、流平性好、漆膜丰满、颜色浅等特性。故聚酯粉末涂料一般多用于电冰箱、洗衣机、吸尘器、各种仪表外壳以及自