

粉末涂料与 涂装技术

FENMOTULIAO
YUTUZHUANG
JISHU

安徽科学技术出版社

464

粉末涂料与涂装技术

陈安迪 陈振发 主编

邱鹤年 周师岳 王念恩 胡家蓁

周筱楨 柯子瑛 何德泉

安徽科学技术出版社

责任编辑：刘海山
封面设计：凌卓平

粉末涂料与涂装技术

陈安迪 陈振发 主编

*

安徽科学技术出版社出版
(合肥市跃进路1号)

安徽省新华书店发行 安徽新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：10.5 字数：222,000
1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷
印数：00,001—15,500

统一书号：15200·85 定价：2.00元

序

粉末涂料和静电粉末喷涂工艺,是继水溶性电泳涂料后,在涂料和涂装工艺方面的又一项革新。

它是一种以粉末形态出现、完全不含有机溶剂、涂装效率高的新型涂料。在静电喷涂过程中,过量喷出的粉末,可回收利用。所以从节约资源、能源,消除环境污染,提高工效等方面,比水溶性电泳涂料向前迈进了一步。

世界新的产业革命的重点发展途径是向微电子技术、生物工程、通讯技术、激光、机器人和新型合成材料进军,而粉末涂料是属于新型合成材料之一。它为我国今后发展新技术、电子信息、能源开发、提高涂层装饰和防腐性能、产品更新换代等方面,提供了重要的物质基础。

世界涂料工业的发展,较少地受到整个石油化工发展形势的影响,而更多地接受生态平衡、节能、经济效益和生产、合理使用等方面的支配。根据涂料界人士预测,最近十年内,主要的研究力量,将着重试制无溶剂或低溶剂的新型涂料,以代替传统的溶剂型涂料,如发展粉末涂料、水溶性涂料和辐射固化涂料等新品种。

粉末涂料目前在西欧、北美、日本等国发展较快,产量平均每年以10~15%的速度增长。我国粉末涂料虽起步较晚,但自党的十一届三中全会以来,在为全面开创社会主义现代化建设新局面的形势下,粉末涂料无论从科研、生产和使用等

领域里都得到了较快的发展。据初步统计,目前国内从事粉末涂料工作的单位,已有一千多个。

最近中国化工学会涂料学会先后在上海、南宁、广州等地连续召开了三次粉末涂料学术交流会。会上有很多同志提出,为了祖国四化建设、进一步提高技术水平,应组织力量编写一本粉末涂料与涂装的参考书籍。学会经过研究,接受了这个建议,特邀请了国内从事这方面工作的、有实践经验的一些专家编写了《粉末涂料与涂装技术》一书。本书取材广泛,内容较为充实,可供行业内有关人员参考。

但限于时间、业务水平以及收集资料不能全臻完善,本书仅作为初步尝试。书内难免有不足之处,请读者及时指出,以便在再版时修订。

中国化工学会涂料学会秘书长、高级工程师

季沛铎

1986.3

前 言

粉末涂料及其涂装技术是近年来发展较快的一种新材料、新工艺、新技术。它具有不用溶剂,减少环境污染,节省能源和资源,减轻劳动强度,涂膜机械强度高等特点,是一种基本无污染涂料。人们把粉末涂料的出现称之为对传统油漆工艺的一次强有力的冲击。粉末涂料能广泛应用于电风扇、电冰箱,洗衣机、汽车、玩具、仪器仪表、自行车、缝纫机,机电设备、轻工器材、农业机械、建筑五金等产品的外壳和零部件中高级装饰性的涂装,还能应用于电机、电器、电子元件等产品的变压器、铁芯、线圈、电阻器、蓄电池、电容器的绝缘防潮涂层,以及化工池槽、石油管道,食品工业、家庭用品、电镀夹具、渔业用具等的防腐涂层。

全书共分十二章,系统地介绍了热塑性粉末涂料,热固性环氧、聚酯、丙烯酸粉末涂料,流化床涂敷、静电喷涂、静电流化床涂敷;粉末涂料的制造和检验技术;对粉末涂料的制粉设备、涂装工艺、施工设备、检测手段及有关机理也作了比较详细的阐述。本书可供工厂、科研院所、大专院校等单位从事粉末涂料涂装工作的工程技术人员、技术工人、教师及生产管理人员学习参考。

本书由中国化工学会涂料学会组织编写。陈安迪、陈振发任主编,参加编写的有邱鹤年、周师岳、王念恩、胡家薰、周筱祯、柯子瑛、何德泉等同志。中国化工学会涂料学会秘书长季

沛铨高级工程师审阅了全部书稿,并作序。

由于编写时间仓促,编者的水平有限,书中错误之处难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

1986·3

†

目 录

第一章 概论	(1)
一、发展简史	(1)
二、粉末涂料的类型和品种	(4)
三、粉末涂料产量迅速增加的原因	(6)
四、产量及产品分配	(7)
五、发展趋势	(9)
第二章 热塑性粉末涂料	(12)
一、概述	(12)
二、聚乙烯	(13)
三、热塑性聚酯	(24)
四、聚丙烯	(27)
五、聚酰胺	(29)
六、聚氯乙烯	(34)
七、氯化聚醚	(36)
八、其它热塑性树脂	(38)
第三章 热固性环氧粉末涂料	(43)
一、概述	(43)
二、环氧树脂化学与制造	(44)
三、树脂固化剂	(52)
四、制备工艺及基础配方	(60)
五、发展动态	(65)
第四章 热固性聚酯粉末涂料	(71)
一、聚酯树脂的设计	(71)

二、聚酯树脂的制备	(80)
三、聚酯粉末涂料	(96)
四、聚酯粉末涂料应用注意事项	(106)
五、发展趋势	(109)
第五章 热固性丙烯酸粉末涂料	(114)
一、概述	(114)
二、树脂与涂料制造方法	(115)
三、固化方式及性能比较	(119)
四、树脂合成和涂料配方	(121)
五、发展动态	(125)
第六章 被涂工件的前处理和粉末涂料烘烤成膜	(131)
一、被涂工件的前处理	(131)
二、粉末涂料的烘烤成膜	(161)
第七章 流化床涂敷工艺	(172)
一、涂敷工艺原理	(172)
二、流化床的结构及各部分的特性	(175)
三、工艺流程	(182)
四、流化床应用结构实例	(185)
五、流化床热熔涂敷工艺的应用范围	(188)
第八章 静电喷涂工艺	(190)
一、概况	(190)
二、静电喷涂工艺的基本原理	(191)
三、粉末静电喷涂工艺的主要设备	(198)
四、粉末静电喷涂的工艺流程	(215)
五、工艺参数	(219)
六、粉末静电喷涂流水线应用实例	(221)
第九章 静电流化床涂敷工艺	(224)
一、概况	(224)

二、静电流化床涂敷方法及设备	(229)
三、工艺流程	(239)
四、粉末偶极化静电吸附效应	(243)
五、工艺参数对涂膜性能的影响	(247)
六、静电流化床应用实例	(249)
第十章 其它粉末涂装法	(253)
一、静电振荡粉末涂装法	(253)
二、粉末热熔射喷涂法	(257)
三、低容量静电云雾室喷涂法	(259)
四、粉末电泳涂装法	(260)
五、粉末喷涂法、散布法	(265)
第十一章 粉末涂料的制造工艺及其设备	(266)
一、粉末涂料的制造	(266)
二、熔融混合法的工艺及设备	(269)
三、安全与卫生	(288)
第十二章 粉末涂料的检验	(290)
一、粒度和粒度分布的检验	(290)
二、粉末稳定性的测定	(296)
三、粉末流动性的测定	(299)
四、粉末熔融流动性的测量	(300)
五、粉末的熔融粘度的测定	(302)
六、粉末沉积效率的测定	(304)
附 录	
一 各种粉末涂料的粉尘爆炸极限浓度	(310)
二、每平方米粉末涂料原料的价格	(310)
三、筛孔与颗粒大小的关系	(311)
四、涂料检验方法	(312)

五、涂覆用环氧粉末的细度测定方法	(318)
六、涂覆用环氧粉末涂膜铅笔硬度测定法	(319)
七、中华人民共和国电子工业部部颁涂覆用的环氧粉末标 准(SJ2168-82)	(320)

第一章 概 论

一、发展简史

粉末涂料是一种含有 100% 固体份的、以粉末形态进行涂装并形成涂层的涂料。它与一般溶剂型涂料和水性涂料不同,不是使用溶剂或水作为分散媒介,而是借助于空气作为分散媒介。

本世纪四十年代,具有良好耐化学性能的聚乙烯树脂产量迅速增加并开始应用于金属表面涂装工业部分。但在加工过程中发现聚乙烯很难溶解,因而开始研究采用火焰喷涂技术。约 1950 年,聚乙烯火焰喷涂法试验成功。当时,除了火焰喷涂法外,还采用散布法。这是一种将树脂粉末均匀地撒在加热工件表面,并使粉末熔融形成涂层的施工方法。为了使散布法能自动进行,1952 年西德 Gemmer 提出了流化床法,此法乃通过空气或惰性气体作用,使粉末在专门容器内流动浮游,并使其熔融附着于预热工件上,通过加热使其熔融流平,从而得到光滑的涂层。当时所应用的树脂主要是聚乙烯、聚氯乙烯、尼龙等热塑性树脂粉末。

热固性环氧粉末涂料的问世,使粉末涂料的发展进入了一个重要的发展阶段。热固性环氧粉末涂料的生产,开始于五十年代后期。初期制法相当简单,即将环氧树脂、颜料和固化剂先加以干混合,然后用球磨粉碎。由于混合不均匀,所以

当用流化床法涂布时，各种组分很易按其颗粒大小和重量而分开，因而使涂层质量不稳定，表面粗糙。当时这种涂层，并没有考虑作为装饰性涂料，而是应用于防化学腐蚀或电绝缘方面，涂膜的厚度一般在 $200\ \mu\text{m}$ 以上。

六十年代初期，Shell 公司研究所致力于粉末涂料制法的研究。它们提出了热固性环氧粉末涂料的两种制备方法^[1]。第一种制法是将液体环氧树脂和液体固化剂进行聚合反应，生成一种能制成细粉状、低熔点的部分聚合固化的 B 阶树脂。这种 B 阶树脂再通过高温烘烤而得到完全固化的 C 阶树脂。该法的缺点在于 B 阶树脂对微小温度变化很敏感以及在低温时形成 B 阶树脂时间很长，所以极难保证产品各批次质量的重复。另外，该法还有一个致命的缺点，就是当涂层较厚时，将会发生放热反应，因而 B 阶树脂很快发生交联变成 C 阶树脂，所以贮存期短，难以商品化。

Shell 公司提出的第二种制法为熔融法。此法乃将固体环氧树脂、颜料和固化剂在加热的 Z 型叶片混合器中熔混。这对于热固性粉末涂料生产发展无疑是前进了一步。但是此法仍存在两个问题：第一，批次生产之间的清洗时间长；第二，产品仅局限于低反应体系。这些缺点限制了 Z 型混合器的应用。

1964 年 Shell 公司对粉末涂料的生产方法加以改进，提出了现今工业上连续生产粉末涂料所普遍采用的挤压法，使粉末涂料生产开始走上工业化。

粉末涂料施工方法最重要的发展，是 1962 年法国 Sames 公司研究成功静电粉末喷涂装置。其原理乃采用静电粉末喷枪，利用库伦力将粉末涂在被涂物表面上。这样就首次实现了

将粉末涂在不预先加热的被涂物件上。不过初期的喷枪是手工操作，并且较为粗陋。目前，已发展成为轻型的自动化喷枪，并且施工方法也得到了发展。1965年前后，西德、英、美以及日本等相继出售静电涂装设备。1967年聚氯乙烯树脂粉末涂料出现，1968年环氧树脂粉末涂料的生产线开工，从而使粉末涂装实现了工业化。

我国粉末涂料的研究和生产起步较晚，至今品种不多，生产量小。1965年广州电器科学研究所试制成功环氧绝缘粉末涂料，并在常州绝缘材料厂投产。上海无线电二十四厂于1968年开始了粉末静电涂装的试验，采用低压聚乙烯粉末来喷涂机电产品外壳，以代替氨基醇酸烘漆，取得了成功。1974年化工部涂料所先后开展了环氧粉末涂料、聚酯粉末涂料、粉末涂料流平剂、节能粉末涂料等项目的研制工作，并于1980年在江都华阳化工厂、成都电器厂、沈阳油漆厂等处分别进行了的投产和试产。

我国粉末涂料产量，1983年初步统计为近300吨，1984年达到600吨。品种有防腐蚀环氧粉末涂料、装饰性环氧粉末涂料、聚酯-环氧粉末涂料、聚酯粉末涂料、美术型粉末涂料、节能粉末涂料等。预计不久，粉末涂料品种与产量均会有明显地增加。

近年来，我国施工工艺及设备研究也进展较快。例：电子工业部1421所云雾室喷涂设备，航空工业部贵阳电机厂静电流化床设备，第一汽车制造厂静电振荡涂装设备等均具有特色。北京738、761厂等静电涂装流水线已正式使用。1981年中国化工学会涂料学会粉末涂料学组在上海正式成立，加强了国内粉末涂料有关单位的联系，从而促进了粉末涂料的

生产、研制、施工、设备等方面的发展。

二、粉末涂料的类型和品种

粉末涂料可分为热塑性粉末涂料和热固性粉末涂料两种类型。

热塑性粉末涂料是以热塑性树脂作为成膜物质的。热塑性树脂的特点是该树脂可随着温度的升高而变软，冷却后变得坚硬。这个过程可反复进行多次。通常热塑性树脂具有较高的分子量，所以具有优良的抗化学性、韧性和弯曲性能。应用于粉末涂料的热塑性树脂主要有聚氯乙烯、尼龙、聚乙烯、聚丙烯和热塑性聚酯。它们主要应用于化学容器衬里、管道涂料、玻璃瓶涂层、家具等方面。

热固性粉末涂料是以热固性树脂作为其成膜物质。热固性树脂的特点是用某些较低聚合度的预聚体树脂，在一定温度下，或加入固化剂固化成不能够溶化或熔融的、质地坚硬的最终产物。温度再升高，产品只能分解不能再软化。热固性树脂分子量较低，但固化以后会形成高分子量的交联结构。由于固化前树脂分子量低，所以有较好的流平性、润湿性，因而能很好地粘附在工件表面，并具有较好的装饰性能。应用于粉末涂料的热固性树脂主要有环氧树脂、聚酯树脂、丙烯酸树脂、聚氨酯树脂。它们分别应用于防腐石油管道涂料、家具、仪器仪表、家用电器等方面。

热塑性粉末涂料的应用比热固性粉末涂料早。在流化床施工中，热塑性粉末熔融粘附于加热的工件表面，待流平冷却后形成连续涂层。

但是,应用这种涂布技术、涂层厚度往往大于200微米,使费用增加,而且一般均需要底漆,增加了施工的麻烦。另外,高分子量的热塑性树脂,质地较为柔韧,一般需采用昂贵的冷冻粉碎技术来粉碎,这样就增加了加工困难和成本。

在热固性粉末涂料中,环氧粉末涂料发展最早,但如今仍占最大比例。环氧粉末涂料经久不衰的原因,主要是贮存稳定性好、附着力和抗化学性极为优良,并能和多种类型的固化剂反应,以得到不同的涂层性能。环氧树脂的最大缺点是耐候性差,这方面聚酯和丙烯酸树脂明显优于它,尤其是丙烯酸粉末涂料具有极优的耐候性和装饰性能,因而它最有希望应用于室外高装饰性用途方面。

将含羟基树脂,用异氰酸酯交联可产生聚氨酯涂料。在聚氨酯粉末涂料中,异氰酸酯交联剂应采用封闭型异氰酸酯的固体状交联剂。该类型粉末涂料在介封闭过程中有挥发性物逸出,是较大的缺点。目前所生产的聚氨酯粉末涂料,一般

表 1-1 1978 年不同类型粉末涂料的产品消耗比例^[2]

树脂类型	西欧(%)	美国(%)	日本(%)
环 氧	40	70	25
聚酯/环氧	35	10	25
聚酯/酸酐	5	10	
聚酯/异氰酸酯	10		
聚 氨 酯	5	5	5
丙 烯 酸	5	5	35
总消耗量(t)	18,000	20,000	8,000

采用含羟基聚酯树脂,并用封闭型异氰酸酯固化,有时把它归在聚酯粉末涂料一类。

随着装饰性应用范围的扩大,美术漆品种相继问世。其中有皱纹型、龟甲型、花纹型、金属闪光型、锤纹型、梨皮型等品种。

三、粉末涂料产量迅速增加的原因

在七十年代初,许多国家的年增长速度达到25~30%,中期高达50~100%,后期及八十年代初增长速度趋于降低,但仍在10%以上。然而,我国粉末涂料前几年发展极快,年增长率为100%左右,这种发展速度估计近几年不会改变。粉末涂料产量增长快的原因有以下几点:

(1) 在一些工业发达国家,例:美国、西德、日本曾相继通过法案,限制有机溶剂对环境的污染。粉末涂料由于不含溶剂、基本无污染而得到重视,并得到政府的鼓励发展。

(2) 原材料利用率高 理论上应全部可利用,实际上在生产及施工环节上均有所损耗,但通过适当的回收装置,材料利用率可达95%以上,在各类涂料中居首位。

(3) 可厚涂层施工 其厚度可由几十微米到几百微米,而一般溶剂型涂层为20微米左右,所以一道粉末涂装可相当于多道溶剂型涂料涂装,因而粉末涂装具有省时、省工,有利于采用自动涂装生产线。

(4) 涂层坚固耐用 由于能使用在溶剂中难以溶解的高分子量、性能优良的树脂,并且不会因溶剂挥发而造成涂层缺陷(如针孔、气泡等),因而防护性能优良。一般说来,粉末涂