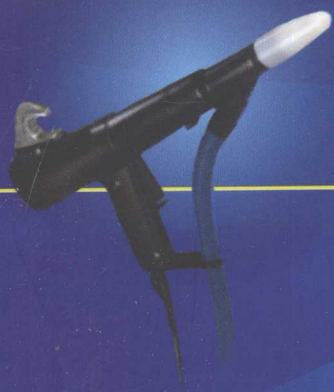
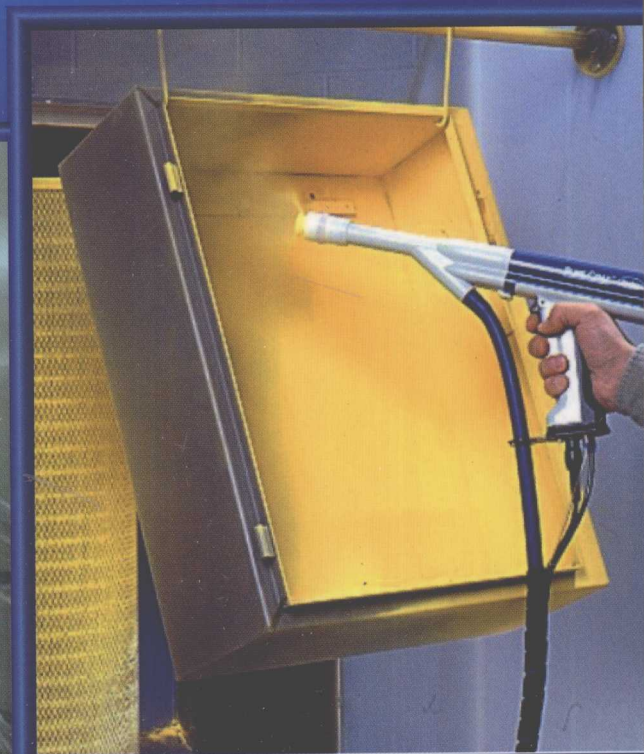
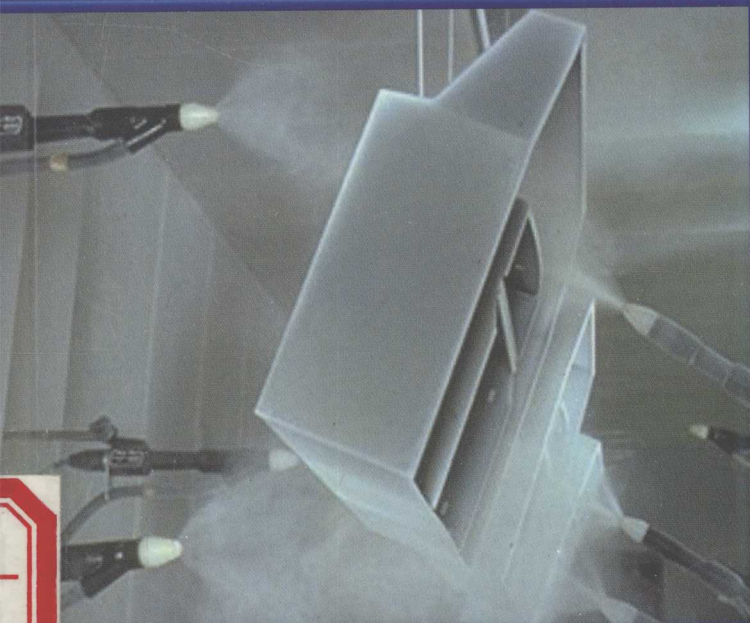


粉末涂料 **与** 涂装工艺学



FENMO TULIAO YU
TUZHUANG GONGYIXUE

张俊智 主编 周师岳 副主编



化学工业出版社

粉末涂料与 涂装工艺学

FENMO TULIAO YU
TUZHUANG GONGYIXUE

张俊智 主编 周师岳 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末涂料与涂装工艺学/张俊智主编. —北京: 化学工业出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-122-02062-8

I. 粉… II. 张… III. 粉末涂料—涂漆 IV. TQ637

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 016552 号

责任编辑: 顾南君
责任校对: 蒋 宇

文字编辑: 咎景岩
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 31 $\frac{3}{4}$ 字数 800 千字 2008 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 65.00 元

版权所有 违者必究

主 编：张俊智

副主编：周师岳

编委会 (按汉语拼音排序):

胡宁先

刘泽曦

王德中

王国钧

张俊智

周师岳

吉林

民 工 8005

前 言

粉末涂料与涂装技术在我国应用已有近 40 年的历史。由于粉末涂料不含溶剂，固体分 100%，生产和涂装工艺简单，材料利用率可达 99% 以上，易于实现自动化生产，节省资源和能源，提高劳动生产率，同时减少污染，改善环境，因此近年来粉末涂料行业得到了长足发展。我国粉末涂料产量从 1984 年的 180 吨，已经增加到 2006 年的 63 万吨，成为全球第一的粉末涂料生产和使用国。

为了促进我国粉末涂料与涂装技术水平的继续提高，普及粉末涂料与涂装技术知识，作为中国粉末涂料行业唯一的行业组织，中国化工学会涂料涂装专业委员会多年来一直重视粉末涂料涂装技术的推广和应用，1997 年组织有关专家和技术人员编写了《粉末涂料涂装工艺学》，为本书的改版提供了基础。

经过 20 年的发展，粉末涂料与涂装新技术、新工艺不断涌现出来，原书中很多方面已经不能适应行业发展的需要，新的技术需要及时补充。为此中国化工学会涂料涂装专业委员会再次组织人员对第一版进行了大量的修改，增补了许多近年最新开发的粉末涂料与涂装技术的内容，充分及时地反映了粉末涂料与涂装行业技术发展状况。本书不仅对原有章节内容进行了大量的修改和增减，还增加了最新的粉末涂料与涂装技术，包括低温固化粉末涂料、UV 固化粉末涂料、重防腐粉末涂料、超细薄涂粉末涂料、管道粉末涂装技术等章节。为了方便读者查阅，本书还收录了最新的国际国内粉末涂料与涂装相关标准。具体编写分工如下：第 1 章绪论由刘泽曦编写，第 2 章原料由冯素兰、王德中、顾宇昕、章晓斌、胡宁先等改编，王国钧、周思聪提供部分资料；第 3 章粉末涂料由王国钧、孙毅等改编，谢大章、蒋文群、郭黎晓、梁平辉等补充了部分内容；第 4 章粉末涂装工艺由周师岳改编，慕小青增写了部分内容；第 5 章检测与安全由陈和翰、周师岳等改编；全书由张俊智通读修改，并由胡宁先、刘泽曦、王德中、王国钧、张俊智、周师岳等复查。

本书的编写不仅得到上述行业专家和有关技术人员的大力支持，也得到中化建常州涂料化工研究院、宁波南海化学有限公司、上海魄力聚合物材料有限公司、烟台金泓塑粉有限公司、上海新星静电粉末喷涂设备有限公司、广州擎天粉末涂料实业公司、杜邦华佳化工有限公司、氰特特种表面技术公司、辉旭微粉技术（上海）有限公司、常熟佳发化学有限公司等企业的支持，在此一并致谢。

编者

2008 年 1 月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 发展历程	1	1.3.4 粉末涂料的发展方向	10
1.2 粉末涂料与涂装工艺分类	6	1.4 粉末涂料的技术和市场发展	12
1.3 粉末涂料的特点和发展方向	7	动态	12
1.3.1 粉末涂料的优点	7	1.4.1 复合树脂类型的粉末涂料	12
1.3.2 粉末涂装的经济效益和社会	8	1.4.2 功能性粉末涂料	13
效益	8	1.4.3 粉末涂料制造工艺的进展	14
1.3.3 粉末涂料的缺点	9	1.4.4 粉末涂料涂装工艺的发展	15

第 2 章 粉末涂料原材料

2.1 环氧树脂	17	2.3.6 技术发展动向	72
2.1.1 主要应用领域	17	2.4 固化剂及固化促进剂	73
2.1.2 双酚 A 型环氧树脂	18	2.4.1 概述	73
2.1.3 线型酚醛环氧树脂	30	2.4.2 环氧型粉末涂料用固化剂及	74
2.1.4 环氧树脂的性能与特点	32	固化促进剂	74
2.1.5 环氧树脂分类	33	2.4.3 羧基聚酯、羧基丙烯酸型	82
2.1.6 与粉末涂料相关的其他重要	34	树脂用固化剂	82
环氧树脂品种	34	2.4.4 羟基聚酯、羟基丙烯酸树脂	91
用固化剂	91	2.5 流平及流平剂	96
2.2 聚酯树脂	35	2.5.1 粉末涂料的流平	96
2.2.1 原料	36	2.5.2 粉末涂料流平剂	101
2.2.2 配方设计	37	2.5.3 粉末涂料流平剂的新	103
2.2.3 聚酯树脂的物性参数与所配	39	进展	103
制粉末涂料性能的关系	39	2.6 消光及消光剂	105
2.2.4 制备聚酯树脂的化学反应	44	2.6.1 物体的光泽及涂料的	105
2.2.5 聚酯树脂的制备方法	44	消光	105
2.2.6 聚酯树脂的新进展	47	2.6.2 物理消光剂	107
2.3 丙烯酸树脂	55	2.6.3 化学消光剂	110
2.3.1 原料	58	2.6.4 耐候粉末涂料消光剂及消光	118
2.3.2 丙烯酸树脂的配方设计	58	固化剂	118
2.3.3 制备丙烯酸树脂的化学	63	2.7 粉末涂料用其他助剂	126
反应	63	2.7.1 光稳定剂	126
2.3.4 制备工艺	64		
2.3.5 主要树脂品种及技术指标	71		

2.7.2 美术型助剂	136	2.8 颜料与填料	156
2.7.3 增塑剂-增韧剂	141	2.8.1 颜料的定义及功能	156
2.7.4 消泡剂	145	2.8.2 颜料的基本性质	157
2.7.5 偶联剂、边缘覆盖剂和防 结块剂	148	2.8.3 常用颜料分类	160

第3章 粉末涂料

3.1 热固性粉末涂料	178	3.1.9 各类热固性粉末涂料的特性 与配方	204
3.1.1 概述	178	3.2 热塑性粉末涂料	255
3.1.2 分类及其特性	179	3.2.1 概述	255
3.1.3 生产工艺	181	3.2.2 生产工艺	256
3.1.4 生产设备的选择	183	3.2.3 原材料的选择	257
3.1.5 原料的选择	193	3.2.4 生产设备	258
3.1.6 颜填料选用与配色	196	3.2.5 配方设计	259
3.1.7 配方设计	199	3.2.6 热塑性粉末涂料的配制与 性能	260
3.1.8 质量问题及解决方法	202		

第4章 粉末涂料的涂装工艺

4.1 概述	284	4.4.3 静电流化床涂装法	336
4.1.1 粉末热涂装工艺	284	4.4.4 静电振动粉末涂装法	341
4.1.2 粉末涂装工艺的分类	285	4.5 其他涂装法	345
4.2 涂装前的表面预处理	286	4.5.1 火焰喷涂法	345
4.2.1 概述	286	4.5.2 粉末热喷涂法	347
4.2.2 除油	286	4.5.3 振动床法和瀑布法	352
4.2.3 除锈	291	4.5.4 真空吸涂法	352
4.2.4 磷化	294	4.5.5 粉末电泳涂装法	354
4.2.5 铝合金氧化处理	298	4.5.6 无喷嘴静电喷涂	355
4.2.6 前处理槽液性能的测定	299	4.6 钢管涂装工艺	356
4.2.7 前处理工艺应用实例	300	4.6.1 钢管涂装用粉末涂料	356
4.2.8 前处理废水处理	302	4.6.2 施工工艺	356
4.3 流化床涂装法	307	4.6.3 主要涂装设备	357
4.3.1 流化床涂装原理	307	4.6.4 影响涂层均匀性的几个 因素	359
4.3.2 流化床涂装设备	309	4.6.5 钢管喷涂工程实例	359
4.3.3 流化床涂装工艺	310	4.7 木材粉末涂装工艺	359
4.3.4 流化床涂装工艺应用 实例	314	4.7.1 概述	359
4.4 静电涂装法	317	4.7.2 应用原理	360
4.4.1 高压静电喷涂法	317	4.7.3 工艺流程	360
4.4.2 摩擦静电喷涂法	332	4.7.4 涂装施工设备	361

4.7.5 施工工艺	367	4.9.1 超声波清洗	391
4.7.6 典型应用实例	370	4.9.2 静电喷涂技术	392
4.8 输送系统和固化炉	371	4.9.3 转翼式滤芯粉末回收 装置	395
4.8.1 输送设备	371	4.9.4 快速换色技术	395
4.8.2 干燥固化设备	387		
4.9 粉末涂装技术发展动态	391		

第5章 检测与安全

5.1 粉末涂料成膜前的性能试验		5.2.4 杯突试验	411
方法	397	5.2.5 耐弯曲性	412
5.1.1 粒度分布	397	5.2.6 边角覆盖率	413
5.1.2 表观密度	399	5.2.7 光泽	414
5.1.3 粉末流出性	400	5.2.8 涂层气孔率(均匀性 试验)	415
5.1.4 粉末流化流动性	400	5.2.9 耐磨试验	416
5.1.5 软化温度	402	5.2.10 耐化学药品性等性能	416
5.1.6 胶化时间	402	5.3 安全生产及环境保护	417
5.1.7 不挥发物含量	404	5.3.1 安全生产的重要意义	417
5.1.8 熔融流动性	404	5.3.2 卫生与安全问题的提出	418
5.2 粉末涂料成膜后的性能试验		5.3.3 影响卫生和安全的因素	420
方法	406	5.3.4 卫生、安全与环保措施	421
5.2.1 冲击强度	406	5.3.5 生产组织管理	422
5.2.2 硬度	407		
5.2.3 划格试验	408		
附录一 热固性粉末涂料 (HG/T 2006—2006)	425		
附录二 铝合金建筑型材第4部分:粉末喷涂型材 (GB 5237.4—2004)	429		
附录三 粉末涂料检测标准指南 (ASTM D 3451—01)	436		
附录四 涂装作业安全规程——粉末静电喷涂工艺安全 (GB 15607—1995)	449		
附录五 粉末涂料——第10部分:沉积效率的测定 (ISO 8130-10; 1992)	454		
附录六 中华人民共和国石油天然气行业标准钢质管道单层熔结环氧粉末——外涂层 技术规范 [SY/T 0315—2005 (代替 SY/T 0315—1997)]	456		
附录七 粉末涂料——第5部分:粉料/空气混合物的流动性测定 [ISO 8130-5; 1992 (E)]	471		
附录八 热固性粉末涂料在给定温度下胶化时间的测定 (GB/T 16995—1997/ISO 8130—6; 1992)	474		
附录九 粉末涂料烘烤时质量损失的测定 [GB/T 16592—1996 (ISO 8130—7; 1992)]	476		
附录十 粉末涂料——第8部分:热固性粉末贮存稳定性的评定 [ISO 8130-8; 1994 (E)]	478		

附录十一	铝型材和铝板上着色有机涂膜的技术规范、性能要求及试验程序 (AAMA 2603—98)	482
附录十二	挤塑铝型材和板材表面高性能有机涂层的技术指标、性能要求和 测试方法 (AAMA 2604—02)	486
附录十三	挤塑铝型材和板材表面超耐候性有机涂层的技术指标、性能要求和 试验方法 (AAMA 2605—02)	493
参考文献	.....	500

411	.....	408
412	.....	408
413	.....	408
414	.....	408
415	.....	408
416	.....	408
417	.....	408
418	.....	408
419	.....	408
420	.....	408
421	.....	408
422	.....	408
423	.....	408
424	.....	408
425	.....	408
426	.....	408
427	.....	408
428	.....	408
429	.....	408
430	.....	408
431	.....	408
432	.....	408
433	.....	408
434	.....	408
435	.....	408
436	.....	408
437	.....	408
438	.....	408
439	.....	408
440	.....	408
441	.....	408
442	.....	408
443	.....	408
444	.....	408
445	.....	408
446	.....	408
447	.....	408
448	.....	408
449	.....	408
450	.....	408
451	.....	408
452	.....	408
453	.....	408
454	.....	408
455	.....	408
456	.....	408
457	.....	408
458	.....	408
459	.....	408
460	.....	408
461	.....	408
462	.....	408
463	.....	408
464	.....	408
465	.....	408
466	.....	408
467	.....	408
468	.....	408
469	.....	408
470	.....	408
471	.....	408
472	.....	408
473	.....	408
474	.....	408
475	.....	408
476	.....	408
477	.....	408
478	.....	408
479	.....	408
480	.....	408
481	.....	408
482	.....	408
483	.....	408
484	.....	408
485	.....	408
486	.....	408
487	.....	408
488	.....	408
489	.....	408
490	.....	408
491	.....	408
492	.....	408
493	.....	408
494	.....	408
495	.....	408
496	.....	408
497	.....	408
498	.....	408
499	.....	408
500	.....	408

第1章 绪论

1.1 发展历程

粉末涂料及其涂装技术是近年来发展迅速的新工艺、新技术,具有节省能源与资源、减少环境污染、工艺简便、易实现自动化、涂层坚固耐用、粉末可回收再用等特点,它的出现引起世界各国涂料和涂装行业的广泛重视和兴趣。20世纪80年代,法国、德国、意大利、英国、美国、日本等发达国家的粉末涂料产量平均年增长在10%左右。现在粉末涂料的应用已经涉及家用电器、仪器仪表、建筑材料、机电设备、纺织机械、石油化工设备和管道、农业机械、金属网架、火车客车车厢、汽车零部件、飞机舱板、电子元器件、船舶防锈等诸多领域,取得了巨大的经济效益和社会效益。随着粉末涂料新产品的不断开发,粉末涂装工艺的创新以及制粉设备和涂装施工设备的自动化程度不断提高,所涂覆底材正由传统的金属材料扩展到塑料、木材、复合材料等非金属材料,并由于符合涂料行业低污染化的发展趋势,粉末涂料的应用领域将会进一步拓展,并显示其更大的发展空间。

粉末涂料是一种含有100%固体分、以粉末形态涂装的涂料,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介质,而是借助于空气作为分散介质。

早在20世纪40年代,由于石油化工等行业的迅速发展,聚乙烯、聚氯乙烯、聚酰胺树脂产量迅速增长,从而开拓了聚乙烯树脂等在金属表面的涂装工艺研究。由于这类树脂很难溶解成液态,因而开始研究采用火焰喷涂技术,将树脂粉末熔融涂覆于金属表面。1950年,树脂粉末除应用火焰喷涂法外,还采用直接撒布法。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最简便施工方法。为了使撒布法能自动进行,1952年,德国试验成功了流化床法。此法是通过空气或惰性气体作用,使粉末在专门容器中浮动,并使其附着于预热工件上,然后加热使其熔融流平,得到光滑平整的涂层。当时所应用的树脂主要是聚乙烯、聚氯乙烯、聚酰胺(尼龙)等热塑性树脂粉末。

20世纪50年代,欧洲开始了热固性粉末涂料的研究。经过多年改进,到50年代后期,热固性环氧粉末涂料率先研制成功,并开始批量生产。最初开发的是适用于流化床涂装工艺的几个品种,主要应用于电气绝缘以及化学防护方面。热固性粉末涂料的出现,使粉末涂料的发展进入了实质性阶段。

20世纪60年代初,Shell公司研究中心致力于粉末涂料制造的研究。他们开发了热固性环氧粉末涂料的两种制备方法。第一种制法是将液体环氧树脂和液体固化剂进行加成反应,生成一种能制成细粉状、低熔点的部分聚合的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,低温下形成B阶树脂的时间很长,所以极难保证产品批次质量的稳定。另外,该法还有一个致命的缺陷,即当涂层较厚时,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。所以产品贮存期短,难以商品化。

Shell公司开发的第二种制法为熔融法。此法是将固体环氧树脂、颜料和固化剂在加热的Z形叶片混合器中熔混。这对于热固性粉末涂料生产的研究无疑是前进了一步,但是此

法仍存在两个问题：第一，批次生产之间的清洗时间较长；第二，产品仅局限于低反应体系，这些缺点限制了 Z 形混合器的应用。

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出法，使粉末涂料生产开始走上工业化。

粉末涂料施工工艺最重要的发展是 1962 年法国 Sames 公司研究成功的静电粉末喷涂装置，其原理是采用静电粉末喷枪，利用库仑力将粉末喷涂在工件表面，这样就首次实现了将粉末涂在未预热的工件上。不过初期的喷枪是手动操作，且较为简陋，目前已经发展成为轻型自动化喷枪，施工方法也得到改进，涂装效果大为改善。1965 年前后，德国、英国、美国以及日本等相继推出商品化的静电涂装设备。1967 年聚乙烯树脂粉末涂装工艺出现，1968 年环氧树脂粉末涂料的涂装生产线开工。

步入 20 世纪 70 年代，粉末涂料及其涂装工艺经历了发展、推广和应用的实践，热固性粉末涂料品种已基本形成了环氧、环氧/聚酯、聚酯/异氰酸三缩水甘油酯 (TGIC)、聚氨酯、丙烯酸酯等几个大类，粉末涂料的生产以熔融挤出法为主要工艺，推出了混合、熔融挤出、冷却压片、粉碎为主的全套设备，粉末涂装施工围绕静电涂装工艺研制成功了自动化静电涂装生产流水线，从而使粉末涂料涂装实现了工业化。

20 世纪 80 年代，世界粉末涂料迈入了发展阶段，年增长率在 10% 左右，特别是欧洲、北美和日本这些发达国家，鉴于环保法规的出台和限制有机溶剂的排放，粉末涂料以其无溶剂、省资源、高性能等显著特点，而更具发展优势。

粉末涂料进入市场首先是为了替代溶剂型涂料，使涂料制造商和用户能够达到空气污染防治标准。20 世纪 80 年代，持续稳步的经济增长也为粉末涂料行业的发展提供了机遇，西欧粉末涂料的平均年增长率达到 12%，美国为 14%，90 年代欧美国家粉末涂料的年增长率为 10% 左右。

20 世纪 80 年代和 90 年代全球粉末涂料以相对较高 (13%) 的速度增长，相比之下，西欧和日本粉末涂料的增长较慢，北美和中国增长很快。1986~1995 年，全球粉末涂料的消耗量平均年增长率为 15%，1995 年北美和中国达到 20% 左右的增长率，而欧洲的增长率低于 10%。20 世纪 90 年代欧洲的粉末涂料产量占全球产量的 55%，但现在降至 45%，目前亚太地区的增幅最大，但市场规模依然要比北美和欧洲小很多。全球热固性粉末涂料产量的增长情况见表 1-1。

全球粉末涂料的增长率约为整个涂料行业增长率的 2 倍，在过去，粉末涂料主要用于替代液体涂料，发展速度比较平稳。但到 2001 年，粉末涂料行业受经济大环境的影响首次凸现出来，北美的粉末涂料消耗量大幅降低，西欧所受影响相对较小。北美的汽车和卡车产量比 2000 年减少了 10%，家用电器减少了 3%；欧洲的汽车产量下降了 5%，家用电器产量减少了 2%~3%。2001 年上半年，欧洲的粉末涂料产量与 2000 年持平，随后开始下降，这是北美以及欧洲经济不景气造成的后果。相比之下，日本的粉末涂料产量要比西欧和北美少很多，据日本涂料工业会统计，其粉末涂料产量 2001 年为 2.6 万吨，2005 年为 3.0 万吨，几乎没有增长，粉末涂料产量仅占全部涂料产量的 1.5% 左右。一个主要的原因在于，尽管环保法规对溶剂的控制比较严格，但大量的日本工业涂料用户依然没有对粉末涂料引起足够的重视。与之不同的是，2001 年中国加入 WTO 后，国民经济以平均 9% 的速度增长，因此粉末涂料以两位数的速率增长，到 2002 年全国粉末涂料产量达到 20 万吨左右，2006 年达到 63 万吨，年均增长 23.4%。欧洲各国粉末涂料的产量情况见表 1-2。

表 1-1 全球热固性粉末涂料产量的增长情况^①

单位: kt

年份	西欧	北美 ^②	日本	亚洲其他地区	世界其他地区	总计
1980	45	16	11		8	80
1982	52	17	12		14	95
1984	65	28	13		23	129
1986	75	30	13		42	160
1988	111	44	15		41	211
1989	119	49	16		48	232
1990	140	53	18		52	262
1991	159	57	20		55	289
1992	165	68	20		60	313
1993	171	85	21		83	360
1994	195	104	23		105	427
1995	214	127	23		124	488
1996	225	133	25		174	557
1997	255	143	25		194	617
1998	290	160	22	119	73	664
1999	300	165	22	130	90	707
2000	335	175	24	144	120	798
2001	325	160	25	169	114	793
2006	435	220	27	250	168	1100

① 包括装饰性和功能性粉末涂料。

② 美国占北美粉末涂料总产量的 87%，加拿大占 8%，墨西哥占 5%。

表 1-2 欧洲各国热固性粉末涂料的产量变化

单位: kt

年份	意大利	德国	英国	西班牙	法国	斯堪的纳维亚	其他 ^①	总计
1991	39.7	43.0	17.2	13.0	18.7	8.8	22.5	162.9
1995	64.0	51.5	23.0	15.5	25.0	12.2	39.7	230.9
1997	86.1	58.6	25.3	16.0	30.9	12.0	37.3	266.2
1998	94.0	58.7	33.0	26.0	34.5	14.4	49.8	310.4
1999	99.0	57.7		29.9	39.6			315.0
2000	109.8	63.4	43.2	39.6	37.8	14.4	54.0	362.2
2001		62						

① 包括土耳其、东欧。2000 年土耳其约 1.5 万吨，东欧约 1.3 万吨，因此西欧总产量约为 33.5 万吨。

1995 年南美的粉末涂料产量为 1.65 万吨，1998 年达到 2.9 万吨，巴西是南美粉末涂料的主要生产国。由于从西欧国家引进家用电器和其他高档产品，近年来东欧各国的粉末涂料产量有所增加。而亚洲各国粉末涂料的消耗量在不断增长。

据报道，2000 年印度的粉末涂料产量为 8500t，1991 年仅为 1700t。粉末涂料市场将以 12% 的年增长率拓展。其中混合型粉末涂料占 75%，纯环氧型占 20%，聚酯/TGIC 体系占 5%，聚酯/异佛尔酮二异氰酸酯 (IPDI) 体系和丙烯酸体系不到 1%。白色家电行业是其最大的用户，主要用于电冰箱和洗衣机的涂装。其他应用领域包括汽车零部件（如车门把手、燃油过滤器、刹车、轮毂、雨刷、脚凳、保险杠、行李架等）、自行车、摩托车、踏板车。

在韩国的粉末涂料市场上，混合型粉末涂料占 74%，纯环氧型占 5%~10%，聚酯型占 15%~20%（TGIC 型 10%~15%，IPDI 型 3%~4%，Primid 型 1%~2%），丙烯酸粉末涂料占 1% 左右。

印度尼西亚粉末涂料的市场规模很小，但呈现增长趋势。2001 年粉末涂料用量为 2800~2900t，2000 年粉末涂料的增长率为 15%，2001 年下降为 5%~10%。

菲律宾的粉末涂料产量很小，但近年来的增长率达到 10%，2001 年的粉末涂料产量为

1800~2000t。

在东盟粉末涂料市场上，混合型粉末涂料占70%，纯环氧为10%，其余为聚酯体系（主要为TGIC型，IPDI型和Primid型的市场份额很小）。

在澳大利亚，聚酯/Primid体系占到68%，混合型体系仅为21%，纯环氧和聚酯/TGIC体系的量分别为4%~5%。世界粉末涂料产量见表1-3。

表 1-3 世界粉末涂料产量

单位：kt

国家或地区	1996	1997	1998	1999	2000	2001
澳大利亚	8	9	9	11	11	12
巴西	13	22	21	21	21	21
东欧	8	8	10	12	13	14
印度	6	7	6	6	7	9
韩国	21	22	14	15	19	20
南非	7	7	7	17	31	35
中国台湾	22	24	23	23	24	23
泰国	9	9	8	8	9	9
亚洲其他国家和地区	14	16	15	9	10	12
大洋洲、中东、非洲的其他国家	14	15	17	20	23	24
南美其他国家	7	6	8	9	10	11
总计	129	145	132	151	178	190

世界粉末涂料应用分类见表1-4。

表 1-4 世界粉末涂料应用分类

用途	欧洲/%	日本/%	美国/%
金属物品	14	12	42
室外建筑金属件	15	20	4
家电制品	17	16	30
汽车部件	8	11	
泵用钢	2	9	
机械部件	8	8	
电气关联专业及其他	2	7	24
塑料件	24		
需要量/t	170000	18000	55000

我国粉末涂料的研究和生产起步较晚，1965年广州电器科学研究所首先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年化工部涂料工业研究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。

20世纪90年代以来，我国的粉末涂料行业发展迅速，粉末涂料产销量直线上升。由于电冰箱、洗衣机、空调机、微波炉、电风扇等家用电器行业的兴起，粉末涂料以其色彩鲜艳、坚固耐用等特点打入家用电器外壳市场，引起各个行业的兴趣和重视，热固性粉末涂料产量从1982年的180t发展到1994年的3300t，2000年后我国粉末涂料的产销量增长率一直在20%以上，2005年达到51万吨的水平，这个发展速度在涂料工业历史上是少见的。应该说下游市场需求的快速增长是我国粉末涂料行业发展的主要推动力。中国粉末涂料产量的变化情况见表1-5。

表 1-5 中国粉末涂料产量的变化

单位: kt

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
产量	1.2	2.5	5.0	7.2	10	12	15	20	26	33	40
年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
产量	50	60	80	95	11.8	150	270	340	420	510	

注: 2002 年以后的产量数据来源于中国化工学会涂料涂装专业委员会的统计结果。

从粉末涂料与涂装行业的地域分布来看, 我国粉末涂料与涂装企业主要分布在长江三角洲和珠江三角洲, 这两个地区的粉末涂料产量占全国粉末涂料产量的 80% 以上; 其中长江三角洲占 42%~45%, 珠江三角洲占 35%~38%, 其次是京津地区, 约占 10%; 全国其他地区仅占 10% 左右。

中国化工学会涂料涂装专业委员会 2005 年行业数据统计结果显示, 我国粉末涂料的品种结构为: 环氧/聚酯混合型粉末涂料占 53%, 聚酯/TGIC 占 23%, 聚酯/Primid 为 4%, 纯环氧为 19%, 其他体系为 1%。详见表 1-6。

表 1-6 2003~2005 年我国粉末涂料品种结构的变化

单位: %

年 份	纯环氧	环氧/聚酯混合型	聚酯/TGIC	聚酯/Primid	其他
2003	16	65	15	3	1
2004	15	63	17	4	1
2005	19	53	23	4	1

据统计, 我国粉末涂料行业共有 2000 多家企业, 最近两年有兼并重组的初步趋势, 原因在于原材料价格上涨, 大大增加了粉末涂料企业的经营成本和风险, 在此情况下, 一些中小企业已经停产或转产。但与之同时, 社会上的闲散资金, 尤其是一些有实力的液体涂料企业由于下游客户的要求, 纷纷进入粉末涂料行业, 投资建立粉末涂料工厂。

我国粉末涂料的生产企业从投资主体看主要有以下几种类型: 外商投资企业、台商投资企业和国内民营企业。以阿克苏·诺贝尔、杜邦华佳为代表的外资企业在我国粉末涂料行业虽然数量不多, 仅占 5% 左右, 但高端客户、资信度好的大客户基本为这些企业所占领, 市场份额占到 15% 左右。台商投资企业在我国粉末涂料的发展过程中, 无论是在产品开发、生产工艺技术, 还是人才培养方面都发挥了积极的作用, 但近年来多方面的原因导致这类企业在粉末涂料行业中的影响逐渐减少, 市场开始萎缩。与之相反的是, 民营企业在粉末涂料行业却蓬勃发展起来, 据统计, 2002 年年销量上千吨的民营企业仅有 17 家, 2005 年年销量超过 5000t 的企业就已经达到 15 家, 上千吨销售量的企业达到 63 家。主要外资企业、台商企业和民营企业 2005 年粉末涂料的生产和销售情况见表 1-7 和表 1-8。

表 1-7 2005 年外资企业和台商企业的粉末涂料销售情况

序号	企 业 名 称	企业性质	销售量/t
1	阿克苏·诺贝尔·长诚涂料(广东)有限公司	外资	18000
2	杜邦华佳化工有限公司	外商合资	17339
3	阿克苏·诺贝尔·长诚涂料(宁波)有限公司	外资	15500
4	绮色佳粉体涂料有限公司	台资	8000
5	南宝树脂(昆山)有限公司	台资	6000
6	阿克苏·诺贝尔·长诚涂料(苏州)有限公司	外资	5654
7	廊坊立邦立东涂料有限公司	外资	5500
8	阿克苏·诺贝尔·长诚(北京)有限公司	外资	5500
9	无锡三协化工有限公司	外商合资	5000

表 1-8 2005 年国内主要民营企业的粉末涂料销售情况

序号	企业名称	企业性质	销售量/t
1	江苏华光粉末有限公司	民营	8500
2	漳州万顺塑料粉末有限公司	民营	8000
3	漳州市万安实业有限公司	民营	7770
4	北京圣联达金属粉末有限公司	民营	7500
5	浙江玉石塑粉有限公司	民营	7200
6	青岛美尔塑料粉末有限公司	民营	7200
7	温州市立邦塑粉有限公司	民营	6530
8	浙江华彩化工有限公司	民营	6300
9	廊坊市燕美化工有限公司	民营	5100
10	佛山市顺德区星晖实业有限公司	民营	5000
11	东莞市厚街阳河粉末涂料有限公司	民营	5000
12	广州擎天粉末涂料实业有限公司	国有	5000

中国的粉末涂料技术大多数是靠购买国外的技术配方而形成的,具有自主知识产权的粉末涂料与涂装技术非常少。国内几家权威的涂料研究机构由于多方面的原因均放弃了粉末涂料与涂装技术的研究。从整个行业来看,民营企业粉末涂料的技术研发工作较薄弱。因此,从我国粉末涂料的技术水平来看,众多企业只能生产常规的、普通的粉末涂料品种,特种功能型粉末涂料品种却严重不足,且主要由外资企业生产。

1.2 粉末涂料与涂装工艺分类

粉末涂料从固化成膜过程可分为热固性、热塑性两大类。由于这两大类合成树脂的成膜机理不同,使它们的制粉工艺,涂覆方法,成膜后的化学、物理性能也各具特色,应用范围也有所区别。

热固性粉末涂料是以热固性合成树脂为成膜物质,它的特点是用某些较低聚合度含活性官能团的预聚体树脂,在固化剂存在下经一定温度的烘烤交联反应固化,成为不能溶解或熔融的质地坚硬的最终产物。当温度再升高时,产品只能分解不能再软化,成膜过程属于化学交联变化。这类合成树脂一般分子量较低,但当固化时能交联成网状的高分子量化合物。由于树脂分子量低,成膜时有较好的流平性、润湿性,能牢固地黏附于金属工件表面,固化后有较好的装饰性和防腐蚀性。这种类型的树脂主要有环氧树脂、聚酯树脂、丙烯酸树脂和聚氨酯树脂等,应用领域主要有家用电器、仪器仪表、金属家具、建筑五金、石油化工管道等作装饰防腐和绝缘。热固性粉末涂料是粉末涂料的主体,目前基本采用熔融挤出法工艺生产。如图 1-1 所示。

热塑性粉末涂料是以热塑性树脂作为成膜物质,它的特点是合成树脂随温度升高而变软,以至熔融,经冷却后变得坚硬。这种过程可以反复进行多次。粉体成膜过程无交联反应发生。通常这种树脂的分子量较高,有较好的耐化学性、柔韧性和弯曲性能。用作热塑性粉末涂料的合成树脂主要有聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺、聚碳酸酯、聚苯乙烯、含氟树脂、热塑性聚酯等,主要应用于化学容器的衬里、管道涂覆、金属家具、农用机械、金属丝网、拦架、玻璃器皿的涂层等,基本的生产工艺如图 1-2。

粉末涂料必须通过特定的涂装设备和涂装工艺进行施工。涂装设备的选择由涂装工艺决定。热塑性粉末涂料除用静电喷涂法外,还可用热熔喷射法和撒布法涂装。热固性粉末涂料

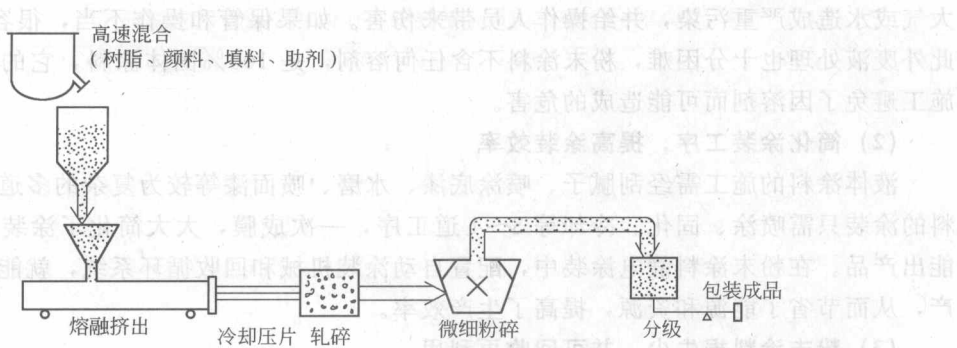


图 1-1 典型热固性粉末涂料生产工艺

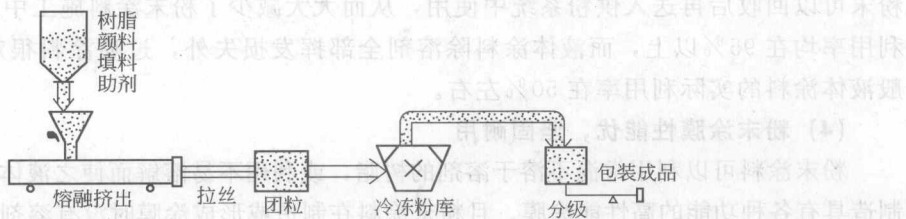


图 1-2 热塑性 (PE) 粉末涂料生产工艺

的涂装工艺主要有静电喷涂法、流化床法、静电流化床法，以及静电振荡法、低容量静电云雾室法和粉末电泳法等。这些涂装方法各有利弊，用户可根据自己的实际情况扬长避短，合理选用。典型的静电粉末喷涂工艺较有普遍性，且热固性、热塑性树脂粉末都能采用。该涂装工艺的研究已较为成熟，具备自动化和半自动化流水线作业的条件。其基本流程如图 1-3。

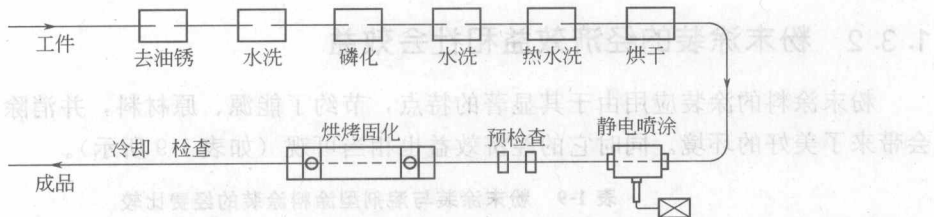


图 1-3 典型静电粉末喷涂工艺

1.3 粉末涂料的特点和发展方向

粉末涂料具有省能源、省资源、低污染和高效能的特点，它与高固体分涂料、无溶剂涂料、水性涂料等新型涂料一样，具有很大的发展潜力。

1.3.1 粉末涂料的优点

(1) 无溶剂，减少公害

液体涂料均系用有机溶剂或水等挥发物作溶剂，在搬运、流转、施工成膜之际，这些溶剂都会挥发，特别是涂料最终形成涂膜时，溶剂几乎全部挥发。这些溶剂含量一般要占涂料总量的 40%~60%，相当可观。液体涂料的生产、运输和施工过程中由于溶剂的挥发会给

大气或水造成严重污染，并给操作人员带来伤害。如果保管和操作不当，很容易引起火灾。此外废液处理也十分困难，粉末涂料不含任何溶剂，是100%固体涂料，它的制造、运输和施工避免了因溶剂而可能造成的危害。

(2) 简化涂装工序，提高涂装效率

液体涂料的施工需经刮腻子、喷涂底漆、水磨、喷面漆等较为复杂的多道工序。粉末涂料的涂装只需喷涂、固化、冷却等3~4道工序，一次成膜，大大简化了涂装工序，当天就能出产品。在粉末涂料静电涂装中，配置自动涂装机械和回收循环系统，就能形成自动化生产，从而节省了能源和资源，提高了生产效率。

(3) 粉末涂料损失少，并可回收再利用

与液体涂料相比，粉末涂料可以直接涂覆到工件表面，经烘烤固化形成涂膜，而且过喷粉末可以回收后再送入供粉系统中使用，从而大大减少了粉末涂料施工中的损失，粉末涂料利用率均在95%以上，而液体涂料除溶剂全部挥发损失外，过喷涂料很难回收再用，故一般液体涂料的实际利用率在50%左右。

(4) 粉末涂膜性能优，坚固耐用

粉末涂料可以利用常温不溶于溶剂的树脂，或利用不易溶解而使之液体化的高分子树脂来制造具有各种功能的高性能涂膜。且粉末涂料在制造或形成涂膜时没有溶剂加入和放出，不易形成贯通涂膜的针孔，可以得到致密的涂膜。与液体涂膜相比，粉末涂膜更加坚固耐用。

(5) 可实现一次性涂装

粉末涂料一次涂装就能得到50~300 μm 厚的涂膜，且不易产生液体涂料厚涂时的滴垂或流挂，不发生溶剂针孔，不造成厚膜涂装的缺陷，边角覆盖率也很高。而液体涂料一次涂装的膜厚一般在5~20 μm ，如果要得到厚涂膜或中高档要求的涂膜，必须经过多次涂装方可实现。

1.3.2 粉末涂装的经济效益和社会效益

粉末涂料的涂装应用由于其显著的特点，节约了能源、原材料，并消除了污染源，给社会带来了美好的环境。同时它的经济效益也相当可观（如表1-9所示）。

表 1-9 粉末涂装与溶剂型涂料涂装的经费比较

项 目	静 电 喷 涂			空 气 喷 涂	
	粉末涂料	溶剂型涂料		溶剂型涂料	
		环氧漆	氨基漆	氨基漆	丙烯酸漆
涂料价格/(日元/kg)	1000	700	200	200	300
涂料固体含量/%	100	60	50	50	50
涂装损失/%	5	20	20	40	40
稀释剂价格/(日元/kg)		200	100	100	100
涂层厚度/ μm	50	50	50	50	50
涂料需用量/(g/m ²)	69	130	150	182	181
涂料价格/(日元/m ²)	69	91	31	36	55
稀释剂用量/g		60	80	90	90
稀释剂价格/(日元/m ²)		12	8	9	9
合计材料费用/(日元/m ²)	69	103	39	45	64
涂装次数	1	2	2	2	2
涂装费用/(日元/m ²)	70	140	140	140	140
总计经费/(日元/m ²)	139	243	179	185	204