

刘宏 编著



铝型材粉末涂料 静电喷涂与生产



化学工业出版社



刘宏 编著



铝型材粉末涂料 静电喷涂与生产



化学工业出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铝型材粉末涂料静电喷涂与生产/刘宏编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-122-05680-1

I. 铝… II. 刘… III. ①铝-金属型材-粉末涂料-喷涂
②铝-金属型材-粉末涂料-生产工艺 IV. TQ637

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 077923 号

责任编辑: 王湘民
责任校对: 陶燕华

装帧设计: 杨 北

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 装: 北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 8 字数 209 千字

2009 年 8 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

金属型材以其优异的耐久性、装饰性和加工成型性的特点，广泛用于建筑行业。而铝型材因其加工性能佳、质量轻等特点，占金属型材用量的80%以上，尤其是粉末涂料喷涂的铝建材，与阳极氧化、电泳涂装表面处理方法相比，对水和大气污染程度、能耗明显降低，涂膜的力学性能如硬度、耐磨性、耐酸性等指标却大幅提高，使用寿命比普通阳极氧化铝型材高出一倍，且色彩丰富，更能体现建筑的多样化、个性化。目前粉末静电喷涂已成为国内铝型材表面涂装中的热点，铝型材用粉末喷涂结合热转印技术会使其更时尚，使粉末喷涂的型材具有更大的发展空间。为此笔者以多年来的铝型材粉末涂料生产与涂装的研究并结合生产实践经验编写了此书。

本书共分7章，系统地介绍了铝型材粉末涂料静电喷涂生产技术。第1章铝型材表面处理技术简介，第2章铝型材粉末喷涂表面前处理，第3章粉末涂料涂装工艺，第4章铝型材用粉末涂料的基本组成，第5章粉末涂料生产工艺，第6章铝型材用粉末涂料的配方设计，第7章粉末涂料及铝型材喷涂产品质量检测，附录中介绍了铝型材粉末涂料静电喷涂的一些技术、安全标准。本书中的内容是根据作者多年来从事铝型材粉末涂料与涂装的研究和生产工作经验与体会及结合湖南省教育厅科技处课题(08D051)研究编写的，很多是在《涂料工业》、《中国涂料》、《表面技术》、《电镀与涂饰》、《现代涂料与涂装》等专业杂志上发表的论文研究成果。本书适用于从事粉末涂料与涂装的生产一线工人、工程技术人员和管理人员使用，也可作为大中专院校涂料与涂装方面的教材。

由于作者水平有限，探讨过程中有些问题观点上可能存在不妥之处，恳请读者提出宝贵的意见。本书在编写过程中得到北京汉森邦德化工科技有限公司高级工程师师立功帮助，在此表示衷心感谢。

刘 宏

2009年5月 于株洲

目 录

1 铝型材表面处理技术简介	1
1.1 铝型材表面处理技术	1
1.1.1 阳极氧化、着色	1
1.1.2 电泳涂漆	3
1.1.3 粉末静电喷涂	5
1.1.4 氟碳喷涂	7
1.1.5 热转印	8
1.2 铝型材粉末涂料喷涂的特点	8
1.3 铝型材静电喷涂技术的发展趋势	10
1.3.1 耐候性粉末涂料	10
1.3.2 低温固化型及 UV 固化型粉末涂料	11
1.3.3 粉末涂料的复合化	12
1.3.4 粉末涂料的薄涂膜化	13
1.3.5 粉末涂料制造新工艺	14
2 铝型材粉末喷涂表面预处理	15
2.1 概述	15
2.2 表面处理工艺	15
2.3 除锈	24
2.3.1 铁锈的组成及去除方法	24
2.3.2 化学除锈液成分及作用	24
2.3.3 除锈液配方	26
2.3.4 除油除锈“二合一”	27
2.4 磷化	28
2.4.1 磷化及分类	28
2.4.2 磷化膜的形成机理及结构	29
2.4.3 磷化处理的工艺	31

2.4.4	影响磷化处理的因素	32
2.4.5	除油、除锈、磷化“三合一”处理工艺	35
2.5	铝合金氧化处理	35
2.5.1	除油	36
2.5.2	化学氧化	36
2.5.3	磷铬化处理工艺参数的控制	37
2.6	前处理槽液性能的测定	39
2.7	铝合金轮毂粉末涂装前处理工艺举例	40
2.8	铝型材前处理废水处理	41
2.8.1	废水产生	41
2.8.2	废水排放标准	42
2.8.3	废水处理常用的方法	42
2.8.4	废水处理实例	44
3	粉末涂料涂装工艺	48
3.1	粉末涂料喷涂方法简介	48
3.1.1	空气喷涂法	48
3.1.2	流化床浸涂法	49
3.1.3	火焰喷涂法	49
3.1.4	真空吸引涂装法	50
3.1.5	静电粉末喷涂法	51
3.2	静电喷涂原理及工艺	52
3.2.1	高压静电粉末喷涂原理	52
3.2.2	摩擦静电喷涂原理	56
3.3	静电喷涂主要工艺参数的确定	58
3.3.1	喷涂电压	58
3.3.2	供粉气压	59
3.3.3	粉末体积电阻率	60
3.3.4	喷涂距离	61
3.3.5	湿度	61
3.3.6	工件接地	62
3.3.7	涂膜固化	62
3.4	影响喷涂质量影响因素的控制	65
3.4.1	上粉率	65

3.4.2	色差	67
3.4.3	橘皮	70
3.4.4	粉末涂料流平性	73
3.4.5	粉末涂料的光泽	77
3.5	粉末喷涂技术常见问题的分析处理	81
3.6	粉末涂料静电喷涂主要设备	93
3.6.1	静电粉末喷枪	93
3.6.2	供粉器	98
3.6.3	粉末回收装置	100
3.6.4	喷粉室	102
3.6.5	自动喷枪往复机	103
3.6.6	辅助系统	104
3.6.7	粉末固化的主要设备	104
4	铝型材用粉末涂料的基本组成	108
4.1	概述	108
4.1.1	涂料与涂装技术的优点	108
4.1.2	涂料与涂装技术的缺点	109
4.2	粉末涂料的树脂	110
4.2.1	树脂性能指标	110
4.2.2	聚酯树脂	115
4.3	固化剂	121
4.3.1	固化剂类型及选择原则	121
4.3.2	铝型材粉末涂料用固化剂	122
4.4	颜料	127
4.4.1	颜料的选用原则	127
4.4.2	颜料的分类和性能	128
4.5	填料	133
4.6	各种助剂	135
4.6.1	助剂的作用及常见品种	135
4.6.2	常用助剂举例	136
4.6.3	在配方设计中主要成分之间匹配和用量的选择	138
5	粉末涂料生产工艺	143
5.1	铝型材用粉末涂料的生产方法简述	143

5.2	粉末涂料生产原理及工艺流程图	144
5.3	粉末涂料生产工艺过程及参数控制	146
5.3.1	配方物料的称量	146
5.3.2	原料的预混合	146
5.3.3	熔融混合挤出冷却破碎	148
5.3.4	冷却破碎	150
5.3.5	粉碎和分级过筛	150
5.3.6	包装	152
5.4	影响粉末涂料质量因素的分析	153
5.4.1	粉末粒径	153
5.4.2	粉末涂料的稳定性	159
5.4.3	粉末涂料的混融性	161
5.5	粉末涂料生产的主要设备	162
5.5.1	预混合器的选择	162
5.5.2	熔融混合挤出机	164
5.5.3	压片机	170
5.5.4	空气分级磨	172
5.5.5	振动筛	177
5.6	其他粉末涂料生产方法	179
5.6.1	蒸发法	179
5.6.2	喷雾干燥法	179
5.6.3	沉淀法	181
5.6.4	水分散法	181
5.6.5	超临界流体法	181
6	铝型材用粉末涂料的配方设计	184
6.1	粉末涂料配方设计原则	184
6.1.1	粉末涂料应用要求	184
6.1.2	产品涂层要求	185
6.2	铝型材用聚酯/TGIC粉末涂料配方设计	186
6.2.1	聚酯树脂的影响	186
6.2.2	固化剂的影响	187
6.2.3	填料	188
6.2.4	颜料的影响	188

6.2.5	助剂	190
6.3	粉末涂料专项性能的配方设计	193
6.3.1	配方中颜、填料的设计	193
6.3.2	流平与外观的设计	193
6.3.3	光泽的设计	194
6.3.4	遮盖力	194
6.3.5	抗划性	194
6.3.6	边角遮盖力	195
6.3.7	柔韧性	195
6.4	建筑铝型材用聚酯粉末涂料实例	196
6.4.1	聚酯/TGIC 型聚酯粉末涂料	196
6.4.2	聚酯/HAA 型聚酯粉末涂料	198
7	粉末涂料及铝型材喷涂产品质量检测	201
7.1	概述	201
7.2	粉末涂料检测	201
7.2.1	外观和状态	201
7.2.2	表观密度	202
7.2.3	粒度和粒度分布	205
7.2.4	安息角	206
7.2.5	流出性	207
7.2.6	流度	208
7.2.7	熔融流动性	208
7.2.8	贮存稳定性	210
7.3	铝型材喷涂产品质量检测	211
7.3.1	涂膜制备	211
7.3.2	涂膜颜色及外观	212
7.3.3	涂膜厚度	212
7.3.4	铅笔硬度	214
7.3.5	镜面光泽	216
7.3.6	附着力	218
7.3.7	柔韧性	220
7.3.8	耐冲击性	222
7.3.9	杯突试验	224

7.3.10	耐化学药品性	225
7.3.11	耐沸水性	226
7.3.12	耐盐雾性	226
7.3.13	人工加速老化试验	227
附录 涂装作业安全规程：粉末静电喷涂工艺安全		
	(GB 15607—1995)	230
参考文献		240

1 铝型材表面处理技术简介

1.1 铝型材表面处理技术

铝材是有色金属中使用量最大、应用面最广的金属材料，我国铝的总消费量仅次于美国，是世界第二大铝消费国。金属铝型材以其优异的耐久性、装饰性和加工成型性的特点，广泛应用于建筑物的各个方面，用量占金属型材的 80% 以上。目前铝型材的表面处理方式大体存在着阳极氧化、电泳涂装及粉末喷涂三种处理方式，每一种方式都各有优势，占有相当的市场份额。

铝合金建筑型材是当今门窗和幕墙主要的结构材料，在建筑装饰行业广泛应用。铝合金挤压型材（未经表面处理的）外观单一，并且在潮湿大气中容易腐蚀，因而很难满足建筑材料高装饰性和强耐候性的要求。为了提高装饰效果、增强其抗腐蚀性及其延长其使用寿命，铝型材一般都要进行表面处理。因此表面处理是铝合金建筑型材生产的一道必不可少且极为重要的工序。铝型材表面处理技术因原理不同，其工艺也有较大区别。根据保护层的性质和工艺特点，铝型材表面处理技术可分为阳极氧化处理、阳极氧化-电泳处理、有机涂层处理三大类，其中有机涂层处理包括粉末喷涂、氟碳漆喷涂和木纹处理（见图 1-1）几种方式。

1.1.1 阳极氧化、着色

阳极氧化于 20 世纪 50 年代应用于铝型材生产，是应用最早也是目前应用最广泛的建筑铝型材表面处理法。阳极氧化型材的突出特点是外观金属质感强。铝的阳极氧化法是把铝作为阳极，置于硫酸等电解液中，施加阳极电压进行电解，在铝的表面形成一层致密

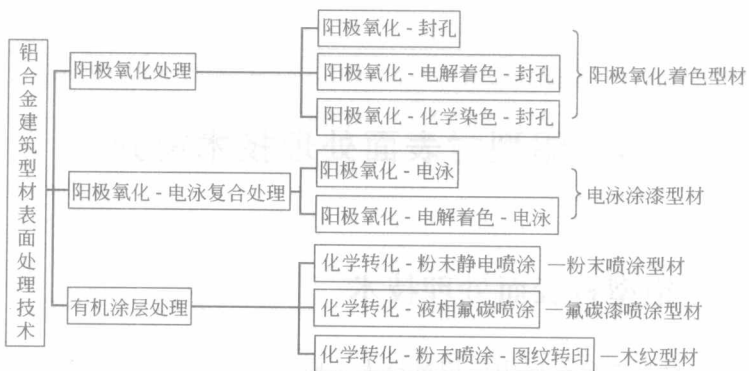


图 1-1 铝合金建筑型材表面处理技术

的 Al_2O_3 膜，该膜是由致密的阻碍层和柱状结构的多孔层组成的双层结构。阳极氧化膜可分为两大类，一是多孔质型——在硫酸、草酸等酸电解浴中生成并垂直于表面形成非常细微的孔的膜；二是壁垒型——在硼酸铵等中性盐电解浴中生成的、无孔的极薄的膜，通常被用于电解电容器等。用于形成多孔质膜阳极氧化处理的电解液有硫酸、草酸、铬酸及其他有机酸，分别得到性能各异的膜。目前以硫酸浴用得最多，所获得的膜无色透明。草酸浴中所获得的膜着金黄色，比在硫酸浴中得到的膜耐蚀性高。从环保考虑铬酸浴已渐不使用，但其膜的抗弯强度高、挠性好。

根据不同的需求，铝型材的阳极氧化膜还可以具有以下特定的功能。

① 物理功能 包括电气功能（导电性、感应性、绝缘性等）、磁性、光学功能（发光、吸光等）、热功能（传热、辐射特性等）、几何学功能（微孔的利用等）。

② 化学功能 包括耐蚀性、耐候性、抗氧化性、耐药物性、抗菌性、表面化学功能（疏水性、亲水性、附着性、催化剂功能等）。

③ 机械功能 包括强度、硬度、耐磨性、润滑性、装饰功能等。

通过阳极处理在铝材表面生成一层氧化物保护膜,使铝材基本与大气隔绝,因而具有一定的耐蚀性和耐候性。但由于阳极氧化膜属于两性氧化物,它在酸性或碱性环境中均会发生缓慢腐蚀,所以阳极氧化铝型材只能用于普通装修场合,不宜用于沿海地区、酸雨频发地区和酸雾碱雾弥漫的地域。目前单一的阳极氧化铝合金建筑型材在实践中的应用已明显减少,而以其为基础的电解着色氧化膜、有机着色氧化膜以及瓷质氧化膜、硬质氧化膜、仿不锈钢氧化膜等得到广泛应用。

阳极氧化仍是我国 20 世纪 90 年代最基本和最通用的铝型材表面处理方法。为了消除挤压条纹,提高外观档次,我国开发了碱蚀亚光表面,但是铝耗和碱耗都很高。近年来在国外成功采用机械预处理的基础上,分别引进了机械抛光机和机械喷砂(抛丸)机,作为阳极氧化表面机械预处理的手段,在消除表面条纹,提高表面质量和外观档次上取得了成功。我国浙江和福建两家工厂从欧洲进口的设备已顺利运转两年多。20 世纪 90 年代末,广东、江苏等省已从西班牙、意大利、英国和韩国等进口多台(套)机械设备,并有继续扩大应用的趋势。鉴于市场对多色化的追求,古铜色市场逐年萎缩,浅色(仿不锈钢色和香槟色)和黑色阳极氧化膜逐渐受到用户的青睐。着色并不困难,关键在于颜色和色调的稳定性、重复性和易控性。这就涉及新型着色电源的引入,着色工艺改进和添加剂的创新。在探索生产稳定色调的浅色系铝型材中,生产厂家已逐步认识到阳极氧化膜的性能(包括色泽和色调的一致性)是铝型材全生产过程中各步骤质量的总和,它涉及原料、熔铸、均匀化处理、挤压、模具、阳极氧化等一系列工艺。而把铝型材表面处理的质量作为一个系统工程来处理正是我国铝型材工业在 20 世纪 90 年代一个认识上的飞跃,这必然会带来工艺技术和产品质量的稳定和提高。

1.1.2 电泳涂漆

电泳涂漆起源于日本,实际上也是在阳极氧化基础上的进一步深加工处理,电泳涂层兼有阳极氧化膜和聚合物涂层双重优点。电

泳涂漆是把工件和对应电极放入水溶液树脂制成的电泳漆液中，接上直流电源后，在电场的作用下，涂料在工件上沉积形成均匀涂膜的一种工艺，具有漆膜均匀、附着力强、涂料利用率高、施工速度快等优点，克服了喷涂、电镀废物排放量大、污染大的缺点，而且对于异形型材也有很好的涂装效果。

在阳极电泳工艺中，用于铝型材的表面处理为丙烯酸涂料。丙烯酸分子式为 CH_2CHCOOH ，形象地看聚合成的丙烯酸树脂就像一团乱麻，其中最外的羧基有 70% 被氨基所取代，因其树脂中存在 $-\text{COONHR}$ ，使树脂具有水溶性，树脂在高温下进行交联固化反应而得以成膜。涂料分子的均匀性对工艺操作有很大影响，一般来说乳化越好，分子越均匀。

铝合金电泳涂漆工艺的原理是基材表面经阳极氧化处理后，形成由 Al_2O_3 与 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 所构成的多孔性蜂巢式保护层。在直流电压作用下，铝合金作为阳极，电流通过氧化膜微孔电解水，产生 H^+ 和 O_2 ，同时电泳涂料液在电场作用下，向阳极被涂物移动，与 H^+ 反应并沉积于被涂物上。在电场的作用下，膜中的水分子渗透析出，最终膜中水分含量低至 2%~5%。经过烘烤产生交联反应而硬化，电泳涂漆起到封闭多孔质氧化膜的作用。电泳涂漆一般认为有 4 个过程。

(1) 电解 $\text{R-COONH}_2 \longrightarrow \text{R-COO}^- + \text{NH}_2^+$ ； $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$

(2) 电泳 电荷粒子在导电介质中受电位影响而移动。粒子的移行率与粒子的 Zeta 电位、电场大小、介质的介电系数成正比，而与漆液的黏度成反比关系。

(3) 电沉积 $\text{R-COO}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{RCOOH} \downarrow$
 $3\text{R-COO}^- + \text{Al}^{3+} \longrightarrow (\text{RCOO})_3\text{Al} \downarrow$

(4) 电渗透 析出于阳极上的涂料膜，构造如同无数的毛细管。毛细管与水的界面存在电气二重层，水分在电场作用下，透过涂料膜脱水，而互换相反电荷造成渗透现象，称为电渗透。其主要工艺流程如图 1-2 所示。

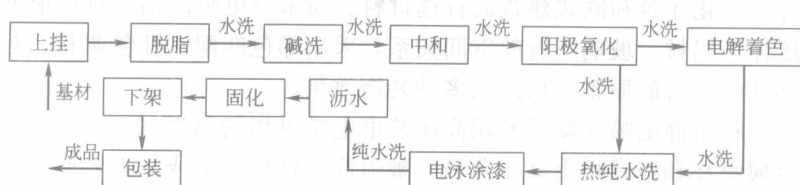


图 1-2 铝型材电泳涂装工艺流程

在阳极氧化基础上，通过电泳方法再在铝材表面涂一层致密的高品质丙烯酸漆膜。由于内层无机氧化膜和外层有机漆膜的双层保护，使电泳涂漆铝型材具有较强的耐蚀性和耐候性。电泳涂漆铝型材具有广泛的适用性，既适合在恶劣环境下使用，也适用于现代化的中高档建筑。尽管彩色电泳涂漆的外观和品质优良，但其设备投资和生产成本明显高于粉末喷涂。随着涂漆工艺中反渗透技术的成熟与应用，电泳漆液的回收率逐渐提高，甚至达到 100%，使生产成本大幅下降，并实现了无污染生产，为电泳涂漆工艺的推广使用奠定了坚实的基础。

电泳涂层是 20 多年前日本开发成功的，兼有阳极氧化膜和有机聚合物涂层的优点。电泳丙烯酸聚合物层以其平滑光亮在日本和亚洲地区受到青睐。虽然用于铝建材的白色电泳涂层已问世多年，但建筑业上当前仍以透明膜为主。国外目前也在开发电泳氟碳涂层，但尚未大批量工业生产。我国电泳涂层铝建材开始都是从日本或港台地区引进的，其中电泳漆是从日本哈尼公司进口的。近年来我国自行设计生产线生产的电泳漆，产品性能大体上也达到了检测标准。但从技术和装备水平、生产稳定性及产品质量分析，目前与国外相比尚存在差距。

1.1.3 粉末静电喷涂

将铝材进行铬化处理，利用静电喷涂技术在铬化膜上涂覆一层聚酯涂层，使铝型材具有良好的耐蚀和耐候性。粉末静电喷涂铝型材的色泽和质感非常丰富，多样化的色彩以及外观效果为风格各异的建筑物提供了广阔的选择空间。因此粉末静电喷涂铝型材是各

种个性化建筑和欧式建筑的首选材料。粉末静电喷涂铝型材可根据墙体、铝材、玻璃三者的空间关系，采用邻色匹配、补色调和、对称补色映衬的原则，构造出多种装饰效果。

粉末静电喷涂就是利用高压静电电晕电场的原理。在喷枪头部金属喷杯和极针接上高压负极，被喷涂工件接地形成正极，使喷枪和工件之间形成一个较强的静电电场。当作为运载气体的压缩空气，将粉末涂料从供粉桶经粉管送到喷枪的喷杯和极针时，由于它接上高压负极产生的电晕放电，在其附近产生了密集的负电荷，使粉末带上负电荷，进入电场强度很高的静电场，在静电力和运载气体推动力的双重作用下，粉末均匀地飞向接地工件表面形成厚薄均匀的粉层，再加热固化转化为耐久的涂膜。其主要工艺流程方框图如图 1-3 所示。

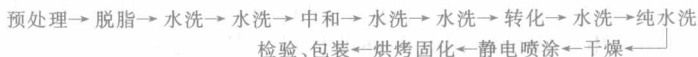


图 1-3 粉末涂料静电喷涂工艺流程示意

粉末静电喷涂型材抗腐蚀性能优良，耐酸碱盐雾能力大大优于氧化着色型材。由于这种型材的生产采用绿色环保工艺，占地面积小，工艺流程简单，操作方便，节约能源和资源，近年来得到迅速推广。粉末静电喷涂聚酯涂层在欧洲备受欢迎，所占比例已与阳极氧化膜相当，其色彩丰富，重现性好，工艺控制方便，环境效益好。我国的静电粉末喷涂生产线大多从美国诺信公司、瑞士金马公司和德国瓦格纳公司引进。开始时是高压静电（Corona）法，如 20 世纪 90 年代初我国进口的世界上较先进的溢流床直立碟式静电喷涂设备。美国诺信公司推出均布能力强的摩擦枪（Tribomatic）法，明显改善了装饰效果。我国已进口摩擦枪建立静电喷涂生产线。聚酯粉末涂料在国内也已有生产，并可满足建筑用铝合金的需要。在铝建材方面，它与阳极氧化、电泳涂装表面处理方法相比，水、大气的污染程度、能耗明显降低，涂膜的力学性能如硬度、耐磨性、耐酸性等指标却大幅提高，使用寿命比普通阳极氧化铝材高出一倍，且色彩丰富，更能体现建筑的多样化、个性化，因此用粉