

高等教育“十二五”规划教材

涂料化学 与涂装技术基础

鲁钢 徐翠香 宋艳 编著



化学工业出版社

高等教育“十二五”规划教材

涂料化学与涂装技术基础

鲁 钢 徐翠香 宋 艳 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面系统地介绍了涂料基础知识、品种、制备和选用及涂料涂装工艺、成膜形式和漆膜质量评价。本书第一章和第二章详细介绍了涂料的基础知识,包括涂料的分类和组成及各组成的特点和作用;第三章重点阐述了涂料成膜机理、成膜质量影响因素和干燥设备;第四章和第五章详细介绍了涂料的品种、制备和如何选用,突出了环保节能新型涂料品种;第六章对漆膜的质量评价和涂装工艺做了详尽的阐述,特别详述了各种典型的涂装工艺。

全书深入浅出,将涂料化学与涂装技术有机结合、并重介绍,注重基础知识和先进技术结合、理论和实践结合,全面反映了现代涂料与涂装技术,适合作为各类与涂料相关专业的必修课或选修课教材,也可作为广大工程技术人员的自学教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

涂料化学与涂装技术基础/鲁钢,徐翠香,宋艳编
著. —北京:化学工业出版社,2012.1
高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-12497-5

I. 涂… II. ①鲁…②徐…③宋… III. ①涂料-应用化学-高等学校-教材②涂漆-技术-高等学校-教材 IV. ①TQ630.1②TQ639

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第206427号

责任编辑:陶艳玲
责任校对:顾淑云

文字编辑:糜家铃
装帧设计:周 遥

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:北京市振南印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张17 $\frac{3}{4}$ 字数441千字 2012年1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: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

涂料的最早应用可以追溯到两千多年以前，但是现代涂料工业的生产、涂装等技术的形成才只有一百多年的历史，尤其是如今石油化学工业的迅猛发展和科技发展水平的不断提高，使得涂料的品种层出不穷，功能更加精细、全面和卓越，但是涂料的功能只有通过正确、先进的涂装技术才能最终体现在被涂物表面，为此，本书将涂料化学与涂装技术有机结合、并重介绍，注重基础知识和先进技术结合、理论和实践结合，使得从事化学专业的人员在学习涂料制造的过程中，很容易了解并掌握涂装技术和设备，而机械领域的人员在学习、开发涂装技术和设备的过程中，也更容易了解涂料的化学特性。

随着社会和科技的不断进步，对我国的理工科本科教学也提出了更高的要求，大学教育更注重培养全面的高素质人才，所以，除了不断提高有关教师的教学水平和调动学生的学习积极性外，对教材进行改革是必不可少的举措。此外，涂料与涂装技术对各个工业部门和科技领域的辅助作用或主导作用已经越来越明显，所以在我国现行的本科专业中，如“高分子”、“化学”、“应用化学”、“材料化学”、“材料物理”、“复合材料”、“化学工程与工艺”、“林产化工”、“包装工程”、“纺织工程”、“轻化工程”等许多专业的必修课和选修课的教学中都安排了涂料相关的课程。因此，根据这样的教学发展趋势和南京工业大学、南京化工职业技术学院、常州大学等院校教师多年来对于各种专业教授涂料化学与涂装技术的教学讲义和积累的经验编写了本书。

本书共六章，第一章和第二章由南京化工职业技术学院徐翠香老师编写；第三章和第五章由常州大学宋艳老师编写；第四章和第六章由南京工业大学鲁钢老师编写。鲁钢老师对全书进行了校对和修订并最终定稿。

本书是在参考了国内外众多优秀的涂料与涂装及其相关的教科书和专著的基础上编写而成的，对这些作者深表敬意并感谢。

在编写过程中，由于作者水平有限，一定会存在一些不妥之处，敬请读者指正。

编 者
2011年7月

目 录

第一章 绪论	1	二、表面张力对涂料质量的影响	77
第一节 涂料的定义和功能	1	三、表面张力对涂层质量的影响	80
一、涂料的定义	1	第三节 漆膜干燥方法与设备	81
二、涂料的功能	1	一、涂膜干燥性能及其测试方法	81
第二节 涂料的分类和命名	2	二、漆膜干燥方法	83
一、涂料的分类	2	三、烘干设备	87
二、涂料的命名	3	思考题	90
第三节 涂料与涂装技术发展的趋势及面临的挑战	4	第四章 涂料品种与选用	91
一、涂料的发展趋势	4	第一节 反应性涂料	91
二、涂装技术的发展趋势	7	一、酚醛树脂涂料	91
三、涂料面临的挑战	7	二、环氧树脂涂料	92
第二章 涂料的组成及各组成的作用	9	三、醇酸树脂和聚酯涂料	101
第一节 涂料的结构组成概述	9	四、氨基树脂涂料	104
第二节 主要成膜物质的组成、特性及其作用	10	五、聚氨酯涂料	107
一、油料	10	六、丙烯酸树脂涂料	111
二、树脂	15	七、氟树脂涂料	113
三、无机高分子材料	37	八、有机硅树脂涂料	117
第三节 次要成膜物质的组成、特性及其作用	38	第二节 挥发性涂料	120
一、颜料的构成及在涂料中的作用	38	一、挥发性涂料类型及特性	120
二、颜料的分类、特性及选择和应用	38	二、挥发性涂料的缺点及改进	133
三、颜料体积浓度理论、配色技术及在配方中的应用	51	第三节 内外墙涂料	133
第四节 辅助成膜物质的组成、特性及其作用	53	一、内墙涂料	134
一、溶剂的性质、选择及应用	53	二、外墙涂料	136
二、助剂的性质、选择及应用	59	第四节 环境友好型涂料	140
思考题	70	一、高固体分涂料	140
第三章 涂料表面化学与干燥成膜	71	二、水性涂料	142
第一节 涂料成膜机理	71	三、粉末涂料	145
一、溶剂挥发成膜和热熔型成膜	71	四、辐射固化涂料	150
二、化学反应成膜	72	第五节 特种功能型涂料	153
三、乳胶成膜	74	一、防火涂料	154
第二节 表面张力对涂料与涂层质量的影响	75	二、防污涂料	156
一、表面张力的概念	75	三、伪装涂料	160
		四、示温涂料	163
		五、导电涂料	167
		六、润滑、防滑、耐磨涂料	168
		七、耐核辐射涂料	173
		八、重防腐涂料	178
		第六节 涂料的选用	184

一、不同用途对涂料的选用	184	第二节 涂装前的表面处理	217
二、不同材质对涂料的选用	186	一、金属表面处理	217
三、不同使用环境对涂料的选用	188	二、混凝土表面处理	221
思考题	188	三、木材表面处理	223
第五章 涂料的制备过程	190	四、塑料表面处理	224
第一节 颜料的分散过程及分散体的稳定		第三节 涂装方法及特点比较	225
作用	190	一、刷涂	226
一、颜料的分散过程	190	二、浸涂	227
二、分散体的稳定作用	192	三、滚涂	227
第二节 丹尼尔点的意义及测定	193	四、空气喷涂	228
第三节 涂料生产设备	195	五、无气喷涂	230
一、预分散设备	195	六、静电涂装	232
二、研磨分散设备	197	七、粉末涂装	235
三、调漆设备	202	八、电泳涂装	237
四、过滤设备	203	九、自泳涂装	243
第四节 涂料的制备工艺	204	第四节 涂装方法的选择及提高涂装效率的	
一、配料	205	装备	244
二、预分散	205	一、涂装方法的选择	244
三、研磨分散	205	二、提高涂装效率的几种涂装	
四、调稀与调漆	206	方法	245
五、过滤与包装	207	三、机器人涂装方法的选择	247
思考题	207	第五节 涂装工艺	249
第六章 涂料与涂装质量评价及涂装		一、汽车涂装工艺	250
技术	208	二、塑料涂装工艺	259
第一节 涂料与涂装质量评价	208	三、木器涂装工艺	264
一、涂物理化性能	208	四、混凝土涂装工艺	267
二、涂料施工性能	209	五、重防腐涂装工艺	269
三、漆膜质量评价	210	思考题	275
四、漆膜使用性能和寿命	215	参考文献	276

第一章 绪 论

第一节 涂料的定义和功能

一、涂料的定义

涂料是一类流体状态或粉末状态的物质，把它涂布于物体表面上，经过自然或人工的方法干燥固化形成一层薄膜，均匀地覆盖和良好地附着在物体表面上，具有防护和装饰的作用。这样形成的膜通称涂膜，又称漆膜或涂层。以前常被称为“油漆”的原因是因为采用植物油作为成膜物质。自 20 世纪以来，各种合成树脂获得迅速发展，用其作主要成分配制的涂装材料被更广义地称为“涂料”。

石油化工和有机合成工业的发展，为涂料工业提供了新的原料来源，使许多新型涂料不再使用植物油脂。所以，“油漆”这个名词就显得不够贴切，而代之以“涂料”这个新的名词。因此，可以这样定义涂料：涂料是一种可用特定的施工方法涂布在物体表面上，经过固化能形成连续性涂膜的物质，并能通过涂膜对被涂物体起到保护装饰等作用。

二、涂料的功能

人类生产和使用涂料已有悠久的历史，涂料对人类社会的发展做出过重要贡献，而在今后将继续发挥更大的作用。涂料对所形成的涂膜而言，是涂膜的“半成品”，涂料只有经过使用即施工到被涂物件表面形成涂膜后才能表现出其功能。涂料通过涂膜所起的作用，可概括为如下几个方面。

(1) 保护作用

物体暴露在大气中，受到水分、气体、微生物、紫外线等各种介质的作用，会逐渐发生腐蚀，造成金属锈蚀、木材腐朽、橡胶老化、水泥风化等破坏现象，从而逐渐丧失其原有性能，使其寿命降低。在物件表面涂以涂料，形成一层保护膜，使腐蚀介质不能直接作用于物体，避免了腐蚀的发生，从而延长物品的使用寿命。金属腐蚀是人们面临的一个十分严重的问题。粗略估计，每年因腐蚀而造成的金属结构、设备及材料的损失量大约相当于当年金属产量的 20%~40%，全世界每年因腐蚀而报废的金属达 1 亿吨以上，经济损失占国民经济总产值的 1.5%~3.5%。如金属材料在海洋、大气和各种工业气体中的腐蚀极为严重，一座钢铁结构的设备若不用涂料加以保护，只能有几年的寿命，若使用合适的涂料保护并维修得当，寿命可达百年以上。有机涂料在钢铁表面形成漆膜来保护钢铁是最常用的防腐蚀措施，目前钢铁防腐蚀费用中约 2/3 用于涂料和涂装上。所以，保护作用是涂料的一个主要功能。

(2) 装饰作用

随着社会科学技术的发展，人类对生活质量的追求日益提高，人们对居住、工作和生活环境的要求已经从满足基本的需要上升到追求舒适和品位的高层次需求，因此，涂料的装饰功能就显得更为重要。涂料涂覆在物体表面上，不仅可以改变物体原来的颜色，而且涂料本

身可以很容易调配出各种各样的颜色，这些颜色既可以做到色泽鲜艳、光彩夺目，又可以做到幽静宜人。通过涂料的精心装饰，可以将火车、轮船、自行车等交通工具变得明快舒适，可使房屋建筑和大自然的景色相匹配，更可使许多家用器具不仅具有使用价值，而且成为一种装饰品。因此涂料是美化生活环境不可缺少的，对于提高人们的物质生活与精神生活有不可估量的作用。

(3) 标志作用

涂料可作色彩广告标志，利用不同色彩来表示警告、危险、安全、前进、停止等信号。特别是在交通道路上，通过涂料醒目的颜色可以制备各种标志牌和道路分离线，它们在黑夜依然清晰明亮。在工厂中，各种管道、设备、槽车、容器常用不同颜色的涂料来区分其作用和所装物质的性质。电子工业上的各种器件也常用涂料的颜色来辨别其性能。有些涂料对外界条件具有明显的响应性质，如温致变色、光致变色涂料可起到警示作用。

(4) 特殊作用

涂料还可赋予物体一些特殊的功能，例如，阻燃涂料可以提高木材的耐火性；防腐涂料可以延缓材料的腐蚀进程；导电涂料可以赋予非导体材料以表面导电性和抗静电性；防污涂料可以防止海洋微生物在船体表面的附着；隐身涂料可以达到军事上的伪装与隐形；阻尼涂料可以吸收声波或机械振动等交变波引起的振动或噪声，用于舰艇可吸收声纳波，提高舰艇的战斗力和用于机械减振，可大幅度延长机械的寿命。这些特殊功能涂料对于高技术的发展有着重要的作用。高科技的发展对材料的要求愈来愈高，而涂料是对物体进行改性最便宜和最简便的方法。因为不论物体的材质、大小和形状如何，都可以在表面上覆盖一层涂料从而得到新的功能。

第二节 涂料的分类和命名

一、涂料的分类

涂料应用历史悠久，使用范围广泛，品种近千种。根据长期形成的习惯，有以下几种分类方法。

① 按涂料形态分类 分为溶剂型涂料、高固体分涂料、水性涂料、非水分散涂料及粉末涂料等。其中非水分散涂料与乳胶漆相似，差别在于乳胶漆以水为分散介质，树脂依靠乳化剂的作用分散于水中，形成油/水结构的乳液，而非水分散涂料则是以脂肪烃为分散介质，形成油/油乳液。高固体分涂料通常是涂料的固含量高于70%的涂料。

② 按涂料用途分类 分为建筑涂料、工业用涂料和维护涂料。工业用涂料包括汽车涂料、船舶涂料、飞机涂料、木器涂料、皮革涂料、纸张涂料、卷材涂料、塑料涂料等工业化涂装用涂料。卷材涂料是生产预涂卷材用的涂料，预涂卷材是将成卷的金属薄板上涂一层或层压上塑料薄膜后，以成卷或单张出售的有机材料/金属板材。它又被称为有机涂层钢板、彩色钢板、塑料复合钢板等，可以直接加工成型，不需要再进行涂装。预涂卷材主要用于建筑物的屋面或墙面等。

③ 按涂膜功能分类 分为防锈漆、防腐漆、绝缘漆、防污漆、耐高温涂料、导电涂料等。涂料工业中的色漆主要是两大类品种：底漆和面漆。底漆注重附着牢固和防腐蚀保护作用好；面漆注重装饰和户外保护作用。两者配套使用，构成一个坚固的涂层，但其组成上有很大的差别。面漆的涂层要具有良好的装饰与保护功能。常将面漆称为磁漆（也称为瓷漆），

磁漆中选用耐光和着色良好的颜料，漆膜通常平整光滑、坚韧耐磨，像瓷器一样。

④ 按施工方法分类 分为喷漆、浸渍漆、电泳漆、烘漆等。喷漆是用喷枪喷涂的涂料。浸渍漆是把工件放入盛漆的容器中蘸上涂料的。靠电泳方法施工的水溶性漆称为电泳漆。烘漆是指必须经过一定温度的烘烤，才能干燥成膜的涂料品种，特别是用两种以上成膜物质混合组成的品种，在常温下不起反应，只有经过烘烤才能使分子间的官能团发生交联反应以便成膜。

⑤ 按成膜机理分类 分为转化型涂料和非转化型涂料。非转化型涂料是热塑性涂料，包括挥发性涂料、热塑性粉末涂料、乳胶漆等。转化型涂料包括气干性涂料、固化剂固化干燥的涂料、烘烤固化的涂料及辐射固化涂料等。气干性是涂装后在室温下涂料与空气中的氧或潮气反应就自行干燥。

⑥ 按主要成膜物质分类 根据原化工部颁布的涂料分类方法，按主要成膜物质分成 17 类，如表 1-1 所示。

表 1-1 涂料按主要成膜物质分类

序号	代号(汉语拼音字母)	发音	成膜物质类别	主要成膜物质
1	Y	衣	油性漆类	天然动植物油、清油(熟油)、合成油
2	T	特	天然树脂漆类	松香及其衍生物、虫胶、乳酪素、动物胶、大漆及其衍生物
3	F	佛	酚醛树脂漆类	改性酚醛树脂、纯酚醛树脂、二甲苯树脂
4	L	肋	沥青漆类	天然沥青、石油沥青、煤焦沥青、硬脂酸沥青
5	C	雌	醇酸树脂漆类	甘油醇酸树脂、季戊四醇醇酸树脂、改性醇酸树脂
6	A	啊	氨基树脂漆类	脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂
7	Q	欺	硝基漆类	硝基纤维素、改性硝基纤维素
8	M	模	纤维素漆类	乙基纤维、苕基纤维、羟甲基纤维、醋酸纤维、醋酸丁酯纤维、其他纤维及酯类
9	G	哥	过氯乙烯漆类	过氯乙烯树脂、改性过氯乙烯树脂
10	X	希	乙烯漆类	氯乙烯共聚树脂、聚酯酸乙烯及其共聚物、聚乙烯醇缩醛树脂、聚二乙烯乙炔树脂
11	B	玻	丙烯酸漆类	丙烯酸酯树脂、丙烯酸共聚物及其他改性树脂
12	Z	资	聚酯漆类	饱和聚酯树脂、不饱和聚酯树脂
13	H	喝	环氧树脂漆类	环氧树脂、改性环氧树脂
14	S	思	聚氨酯漆类	聚氨基甲酸酯
15	W	吴	元素有机漆类	有机硅、有机钛、有机铝等元素有机聚合物
16	J	基	橡胶漆类	天然橡胶及其衍生物、合成橡胶及其衍生物
17	E	额	其他漆类	上述 16 大类未包括的成膜物质，如无机高分子材料、聚酰亚胺树脂等

二、涂料的命名

我国国家标准 GB/T 2705—1981 中对涂料的命名原则有如下规定：

涂料全名 = 颜料或颜色名称 + 成膜物质 + 基本名称

例如红醇酸磁漆、锌黄酚醛防锈漆等。

对于某些有专业用途及特性的产品，必要时在成膜物质后面加以说明。如醇酸导电磁漆、白硝基外用磁漆。

涂料的组成和含义如同其他工业产品一样，其型号是一种代表符号。涂料的型号由三部分组成：第一部分是成膜物质，用汉语拼音字母表示；第二部分是基本名称，用两位数字表示；第三部分是序号，用自然数顺序表示，以表示同类产品间的组成、配比或用途的不同。基本名称编号如表 1-2 所示。

表 1-2 基本名称编号

代号	代表名称	代号	代表名称	代号	代表名称
00	清油	22	木器漆	53	防锈漆
01	清漆	23	罐头漆	54	耐油漆
02	厚漆	30	(浸渍)绝缘漆	55	耐水漆
03	调和漆	31	(覆盖)绝缘漆	60	防火漆
04	磁漆	32	绝缘(磁、烘)漆	61	耐热漆
05	粉末漆料	33	黏合绝缘漆	62	变色漆
06	底漆	34	漆包线漆	63	涂布漆
07	腻子	35	硅钢片漆	64	可剥漆
09	大漆	36	电容器漆	66	感光涂料
11	电泳漆	37	电阻漆、电位器漆	67	隔热涂料
12	乳胶漆	38	半导体漆	80	地板漆
13	其他水溶性漆	40	防污漆、防蛆漆	81	渔网漆
14	透明漆	41	水线漆	82	锅炉漆
15	斑纹漆	42	甲板漆、甲板防滑漆	83	烟囱漆
16	锤纹漆	43	船壳漆	84	黑板漆
17	皱纹漆	44	船底漆	85	调色漆
18	裂纹漆	50	耐酸漆	86	标志漆、路线漆
19	晶纹漆	51	耐碱漆	98	胶液
20	铅笔漆	52	防腐漆	99	其他

辅助材料型号分两个部分，第一部分是种类，用汉语拼音的第一个字母表示；第二部分是序号，用自然数表示，如表 1-3 所示。

表 1-3 辅助材料分类

序号	代号	发音	名称	序号	代号	发音	名称
1	X	希	稀释剂	4	T	特	脱漆剂
2	F	佛	防潮剂	5	H	喝	固化剂
3	G	哥	催干剂				

第三节 涂料与涂装技术发展的趋势及面临的挑战

一、涂料的发展趋势

世界工业涂料向环保型涂料方向发展的趋势已经形成，传统的低固体分涂料由于存在大

量有害溶剂挥发物，受到世界各国 VOC 法规限制。产量将逐渐下降，最终将逐步被淘汰，其占有率由 2000 年的 30.5% 下降到 2010 年的 7%，而无污染、环保型的水性涂料、粉末涂料、高固体分涂料等将成为涂料的主角。

1. 高固体分涂料

在环境保护措施日益强化的情况下，高固体分涂料有了迅速发展。其中以氨基、丙烯酸和氨基-丙烯酸涂料的应用较为普遍。近年来，美国 MObay 公司开发了一种新型汽车涂料流水线用面漆。这种固体分高、单组分聚氨酯改性聚合物体系，可用于刚性和柔性底材上，并且有优异的耐酸性、硬度以及颜料的捏合性。采用脂肪族多异氰酸酯如 Dsemodur N 和聚己内酯，可制成固体分高达 100% 的聚氨酯涂料。该涂料各项性能均佳，施工方法简便。用 Dsemodur N 和各种羟基丙烯酸树脂配制的双组分热固性聚氨酯涂料，其固体含量可达 70% 以上，且黏度低，便于施工，室温或低温可固化，是一种非常理想的装饰性高固体分聚氨酯涂料。

一般固体分含量在 65%~85% 的涂料便可称为高固体分涂料，即固体分含量较高的溶剂型涂料。由于溶剂型涂料在技术和性能等多方面的优势，在今后相当长时间内仍会存在，特别是通过降低树脂相对分子质量、极性和玻璃化温度 (T_g) 使树脂更易溶解于有机溶剂，同时还可使用催化剂来提高反应活性。目前国内外高固体分涂料的研究开发重点是低温或常温固化型、官能团反应型、快固化且耐酸碱、耐擦伤性好的高固体分涂料。总之，采用各种办法减少 VOC 排放，保留溶剂型涂料的优越性，高固体分涂料就会得到发展。高固体分涂料发展到极点就是无溶剂涂料（无溶剂涂料又称活性溶剂涂料），如近几年迅速崛起的聚脲弹性体涂料就是此类涂料的代表。它目前主要应用于汽车工业、石油化工储罐以及海洋和海岸设施等重防腐工业等。

与传统溶剂型涂料相比，超高固体分涂料有如下特点：其一可节约大量有机溶剂，若以 85% 的超高固体分涂料替代目前固含量为 55% 的普通涂料，以我国现有年产量计，每年可节约有机溶剂近百万吨；其二超高固体分涂料的使用，大大降低了有机溶剂对环境的污染和对人们健康的危害；其三有机溶剂是造成涂料生产过程中毒与火灾事故的主要原因，而超高固体分涂料的生产基本实现了无溶剂操作；其四能够提高施工效率、降低涂饰成本；其五可使用传统的设备来生产和使用高固体分涂料，基本上不需要重新投资建设生产厂和施工设施。

2. 无溶剂涂料

无溶剂涂料，又可称活性溶剂涂料，指溶剂最终成为涂膜组分，在固化成膜过程中不向大气中排放 VOC。典型的无溶剂涂料就是粉末涂料，不含有有机溶剂的液体无溶剂涂料有双液型（双包装）、能量束固化型、单液（单包装）型等。粉末涂料是 100% 的固含量的涂料，具有一次成膜、厚度大、少污染、环境友好等特点，主要用于门窗、围墙和电杆、护栏等以及建筑用管材的涂装。粉末涂料是发展最快的涂料品种。粉末涂料理论上是绝对的零 VOC 涂料，具有其独特的优点，也许是将来完全摒弃 VOC 后涂料发展的最主要方向之一，但目前还存在一定的缺点和局限性，例如涂料的制造成本高，烘烤固化温度高，涂料的调色麻烦，涂装时需要专用涂料设备，涂膜外观不如溶剂型涂料，涂膜厚度过厚，涂装时换色不方便等问题。为了使其在工业涂料中的比例不断增加，粉末涂料将向低温固化、薄膜化、功能化、专用化等方向发展。

3. 光固化涂料

光固化是一种快速发展的绿色新技术,从20世纪70年代至今,辐射固化技术在发达国家的应用越来越普及。其和传统涂料固化技术相比,辐射固化具有节能、无污染、高效、适用于热敏基材、性能优异、采用设备小等优点。

辐射固化涂料是以采用辐射固化技术为特征的环保节能型涂料。光固化涂料在光照下几乎所有成分参与交联聚合,进入到膜层,成为交联网状结构的一部分,可视为100%固含量的涂料,光固化涂料具有固化速度快(因而生产效率高)、少污染、节能、固化产物性能优异等优点,是一种环境友好型绿色涂料。

辐射固化技术从辐射光源和溶剂类型来看可分为紫外(UV)固化技术、非紫外光固化技术、油性光固化技术、水性光固化技术。

辐射固化技术产品中80%以上是紫外线固化技术(UVCT)。随着人类环保意识增强,发达国家对涂料使用的立法越来越严格,在涂料应用领域,辐射固化取代传统热固化必将成为一种趋势。在近几十年中,该领域的发展非常迅猛,每年都在以20%~25%的速度增长。

光固化涂料也是一种不用溶剂、很节省能源的涂料,主要用于木器和家具等。在欧洲和发达国家的木器和家具用漆的品种中,光固化涂料市场潜力大,很受大企业青睐,主要是木器家具流水作业的需要,美国现约有700多条大型光固化涂装线,德国、日本等大约有40%的高级家具采用光固化涂料。最近又开发出聚氨酯丙烯酸光固化涂料,它是将有丙烯酸酯端基的聚氨酯低聚物溶于活性稀释剂(光聚合性丙烯酸单体)中而制成的。它既保持了丙烯酸树脂光固化涂料的特性,也具有特别好的柔性、附着力、耐化学腐蚀性和耐磨性,主要用于木器家具、塑料等的涂装。

4. 水性涂料

由于水性涂料的优越性十分突出,因此,近十年来水性涂料在一般工业涂料领域的应用日益扩大,已经替代了不少惯用的溶剂型涂料。随着各国对挥发性有机物及有毒物质的限制越来越严格,以及树脂和配方的优化和适用助剂的开发,预计水性涂料在用于金属防锈涂料、装饰性涂料、建筑涂料等方面替代溶剂型涂料将取得突破性进展。乳胶涂料在水性涂料中,乳胶涂料占绝对优势。如美国的乳胶涂料占建筑涂料的90%。乳胶涂料的研究成果约占全部涂料研究成果的20%。近年来对金属用乳胶涂料做了大量研究并获得十分可喜的进展,美国、日本、德国等国家已生产出金属防锈底漆、面漆,在市场上颇受欢迎。热塑性乳胶基料常用丙烯酸聚合物、丙烯酸共聚物或聚氨酯分散体,通过大相对分子质量的颗粒聚结而固化成膜。乳胶颗粒的聚结性关系到乳胶成膜的性能。近几年来,着重于强附着性基料和快干基料的研制,以及混合树脂胶的开发。一般水性乳胶聚合物对疏水性底材(如塑料和净化度差的金属)附着性差。为提高乳胶附着力,必须注意乳胶聚合物和配方的设计,使其尽量与底材的表面接近,并精心选择合适的聚结剂,降低水的临界表面张力,以适应临界表面张力较低的市售塑料。新开发的聚合物乳胶容易聚结,使聚结剂用量少也能很好地成膜,现已在家具、机器和各种用具等塑料制品上广泛应用。新研制的乳胶混合物弥补了水稀释性醇酸/刚性热塑性乳胶各自的不足,通过配方设计,已解决了混溶性和稳定性差的问题。

以水为溶剂或分散介质的涂料均称为水性涂料。水性涂料分为水溶性和水乳性两大类。水性涂料以水为溶剂,使成膜物质均匀分散或溶解在水中。它具有以下优点:①水来源方便,易于净化;②施工储运过程中无火灾危险;③不含苯类等有机溶剂,有益于人类健康;④可采用喷、刷、涂、流、浸、电泳等多种施工,容易实现自动化涂装。水性涂料的最大特

征是以水取代有机溶剂作溶剂,与溶剂型涂料相比,不仅具有成本低、施工方便、不污染环境等特点,而且从根本上消除了溶剂型涂料在生产和施工过程中因溶剂挥发而产生的火灾隐患,也减少了有害有机溶剂对人体的危害,深受广大用户的喜爱。水性涂料对建筑涂料的前瞻产品是十分重要的,在汽车和木器家具方面也有非常乐观的应用前景。欧洲、日本、美国等发达国家对水性涂料的开发和应用非常重视,水性涂料已占德国建筑涂料总量的 93%,发展最慢的挪威也已经有 47% 的建筑涂料实现水性化。到 20 世纪末,水性涂料的产量已占世界涂料总产量的 30% 左右,与溶剂型涂料基本相当。预计到 2015 年,水性涂料将占世界涂料市场 40% 的份额。

二、涂装技术的发展趋势

涂料的涂装施工,从涂刷、揩涂发展到气压喷涂、浸涂、辊涂、淋涂和最近的高压空气喷涂、电泳涂装、静电粉末喷涂等,还可以用机器人来涂装。如日本有系列 U5000 型涂装机器人,德国 TR-300 机器人,英国 MIL 型机器人,美国有万能涂装机器人。我国也有 PJ-1 型喷涂机器人、HRGP-1 型喷涂机器人东方 I 型喷涂机器人。

涂料涂装技术发展主要向着减少污染、节省能耗、提高施工效率,提高涂层装饰性以及涂设备的通用化、系列化、自动化方向发展。国外已经出现了大量工艺先进、自动化程度高的大型生产线,尤其是汽车工业发展极为迅速。如德国欧宝公司采用高涂装效率的自动静电涂装线,宝马公司的车身粉末罩光线,通用汽车公司的皮卡车粉末中涂喷线;日本汽车在提高涂层质量如外观装饰性、耐久性、耐酸雨性和抗划伤性等方面做了大量的工作,近几年将环保作为汽车涂料的首选。涂装设备和超滤设备、喷粉室、喷涂室、回收系统和喷枪等设备逐步趋于标准化、系列化。自动喷涂系统(涂装机器人)的性能和智能化程度大大提高,并在轿车涂装线上得到应用。总体来说,涂装的发展方向是智能化、低污染、省资源、无公害、水性化。

三、涂料面临的挑战

涂料发展的早期,人们关心的只是其外观和保护性能,例如,最早的热塑性油漆,有的固含量仅为 5%,这意味着有 95% 的溶剂飞到大气中成为污染物。有毒有害涂料在涂料历史发展的长河中曾为人类做出了巨大的贡献,至今仍在市场上占有一定的分量。但其对环境和人类健康的负面影响使其今日风光不再,在未来新世纪最终遭受被淘汰的命运。无毒无害的绿色涂料替代有毒有害涂料是必然的趋势。人们自意识到毒性涂料对环境的污染和人类健康的影响,就开始制定了一系列相关的法令、法规和措施,限制或禁止有毒有害涂料的生产和使用。1966 年美国洛杉矶地区首先制定了 66 法规,禁止使用能发生化学反应的溶剂,其后发现涂料的容积都具有光化反应能力,从而修改为对溶剂用量的限制,涂料的固含量需要在 60% 以上。自从 66 法规公布以后,其他地区及环保局也都先后对涂料有机溶剂的使用做了严格的规定。铅颜料是涂料中广泛使用的颜料,1971 年美国环保局规定,涂料中铅含量不得超过总固体含量的 1%,1976 年又将指标提高到 0.06%。乳胶漆中常用的有机汞也受到了限制,其含量不得超过总固体量的 0.2%。以后又发现在水性涂料中使用的乙二醇醚和醚酯类溶剂是致癌物,从而被禁止使用。这些严格的规定是对涂料发展提出的挑战,因此涂料的研究必然要集中到应战这一目标上来。不言而喻,发展无毒低污染的涂料是涂料研究的首要任务,因此研究和开发高固体分涂料、水性涂料、无溶剂涂料(粉末涂料和光固化涂料)成为涂料科学的前沿研究课题。

涂料发展面临的另一挑战是对涂料性能上的要求越来越高。随着生产和科技的发展，涂料被用于条件更为苛刻的环境中，因此要求涂料在性能上要有进一步的提高，例如石油工业中所有石油海上平台和油田管道的重防腐涂料，各种表面能很低的塑料用涂料，烟囱衬里用的耐高温涂料，微电子工业中用的耐高温、导热性好且绝缘的封装材料，以及其他种种具有特殊性能的专用涂料。发展这些高性能的涂料不仅是涂料界研究的重要任务，也是其他行业的重要研究课题。

另外，由于很多高性能的涂料经常需要高温烘烤，能量消耗很大，为了节约能量，特别是电能，在保证质量的前提下，降低烘烤温度或缩短烘烤时间，即达到“低温快干”，也是涂料发展的一个方向。

与世界上其他国家一样，我国正面临着严峻的环境污染问题。由于我国工业企业生产能耗高、物耗大、废料多，环境治理措施滞后，严重污染的环境威胁着生态平衡和人民的健康。如酸雨面积占国土面积的 20%，86%的城市河段水质超过国家规定水质标准等。

随着全球性清洁生产计划的铺开，我国涂料生产企业做出了相应的反应和调整，绿色涂料的发展具有十分广阔的发展前途。发展绿色涂料，取缔有毒有害的涂料，提高产品质量和环保价值含量，适应时代的要求是当今涂料生产企业深化改革，由粗放型向集约型转化，排除环境污染困扰，实现可持续发展的唯一途径，也是企业立足于清洁、健康的 21 世纪的根本。

第二章 涂料的组成及各组成的作用

第一节 涂料的结构组成概述

涂料要经过施工在物件表面而形成涂膜，因而涂料的组成中就包含了为完成施工过程和组成涂膜所需要的组分。其中组成涂膜的组分是最重要的，是每一个涂料品种中所必须含有的，这种组分通称成膜物质。在带有颜色的涂膜中颜料是其组成中的一个重要组分。为了完成施工过程，涂料组成中有时含有溶剂组分。为了施工和涂膜性能等方面的需要，涂料组成中有时含有助剂组分。

表 2-1 涂料的组成

组 成		原 料
主要成膜物质	油料	动物油: 鲨鱼油、带鱼油、牛油等 植物油: 桐油、豆油、蓖麻油等
	树脂	天然树脂: 虫胶、松香、天然沥青等 合成树脂: 酚醛、醇酸、氨基、丙烯酸酯树脂等
次要成膜物质	颜料	无机颜料: 钛白粉、氧化锌、铬黄、铁蓝、炭黑等 有机颜料: 甲苯胺红、酞菁蓝、耐晒黄等 防锈颜料: 红丹、锌铬黄、偏硼酸钡等
	体质颜料	滑石粉、碳酸钙、硫酸钡等
辅助成膜物质	助剂	增塑剂、催干剂、固化剂、稳定剂、防霉剂、防污剂、乳化剂、润湿剂、防结皮剂、引发剂等
	稀释剂	石油溶剂(如 200# 油漆溶剂)、苯、甲苯、二甲苯、氯苯、松节油、环戊二烯、醋酸丁酯、丁醇、乙醇等

涂料的组成如表 2-1 所示，其中，作为主要成膜物质的树脂是最重要的组成部分，涂料最终的物理机械性能，主要取决于主要成膜物质的性质。植物油和天然树脂曾经是最早的主要成膜物质，直到今天，它仍是油性漆不可缺少的重要组成部分。随着石油工业的发展，合成树脂作为一类新的成膜物质迅速在涂料领域得到了广泛的应用和发展。由于原料丰富、成膜性能良好并具有植物油和天然树脂所无法替代的优异性能，如今，绝大部分涂料都是以合成树脂作为主要成膜物质。

作为次要成膜物质的颜料主要包括着色颜料和体质颜料。

体质颜料又称填料，是通过天然石料研磨加工或通过人工合成方式制造而成的不溶于基料和溶剂的微细粉末物质，在涂料中没有着色作用和遮盖能力。在其涂料中的主要作用是降低涂料的成本，同时，它对涂料的流动、沉降等物理性能以及涂膜的力学性能、渗透性、光泽和流平性等也有很大的影响。最常用的品种主要有：重晶石粉、沉淀硫酸钡、滑石粉、碳酸钙、瓷土、云母粉和石英粉等。

着色颜料按其化学成分可分为无机颜料和有机颜料，这两种颜料在性能和用途上有很大区别，但在涂料中应用都是很普遍的，共同之处是用来使涂料具有各种色彩和遮盖力。作为

保护性涂料（包括各种防锈涂料等）主要使用无机颜料，而有机颜料则主要用于各种装饰性涂料中。最常用的几种着色颜料主要有：用作白色颜料的钛白粉、立德粉、氧化锌和铅白、锑白等；作为黄色颜料的铬黄、锌铬黄、铁黄、镉黄等无机颜料以及耐晒黄、联苯胺黄 G、永固黄等有机颜料；作为红色颜料的氧化铁红、红丹等无机颜料以及甲苯胺红、大红粉、甲苯胺紫红等有机颜料；作为蓝色颜料的铁蓝、群青等无机颜料以及酞菁蓝 BS 等有机颜料；此外，还有黑色的炭黑、绿色的铅铬绿、酞菁绿 G 等无机和有机着色颜料。

催干剂、固化剂、分散剂、流平剂、增稠剂、消泡剂等助剂以及稀释剂等辅助成膜物质，对涂料的物理性质、施工性能、成膜性能以及成膜后的涂层物理机械性能等都有很大的影响。各类助剂的合理选用，可以大大改善涂层的装饰与防护性，同时，助剂的合理应用也是涂料研制者需要花大力气研究的问题。

第二节 主要成膜物质的组成、特性及其作用

一、油料

在涂料工业中，油类（主要为植物油）是一种主要的原料，用来制造各种油类加工产品、清漆、色漆、油改性合成树脂以及作为增塑剂使用。在目前的涂料生产中，含有植物油的品种，仍占相当比重。

涂料工业应用的油类，分为干性油、半干性油和不干性油三类，鉴别的依据是测定它们的碘值。油的这一干性差异，决定于所含不饱和酸的双键数目及其位置等因素。甘油三酸酯的平均双键数，6 个以上为干性油，4~6 个为半干性油，4 个以下为不干性油。表 2-2 列出了一些常见油的组成。

表 2-2 涂料用植物油脂肪酸的组成

单位：%

植物油	己酸	辛酸	癸酸	月桂酸	豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	2,4- 癸二 烯酸	油酸	蓖麻 醇酸	亚油 酸	亚麻 酸	桐油 酸	花生 酸	十六 碳一 烯酸	山萘 酸
桐油	—	—	—	—	—	4	1	—	8	—	4	3	80	—	—	—
豆油	—	—	—	—	痕	11	4	—	25	—	51	9	—	痕	—	—
蓖麻油	—	—	—	—	—	2	1	—	7	87	3	—	—	—	—	—
亚麻油	—	—	—	—	—	6	4	—	22	—	16	52	—	痕	—	—
核桃油	—	—	—	—	0.2	5.8	1	—	22	—	63	8	—	—	—	—
苏子油	—	—	—	—	—	7	2	—	13	—	14	64	—	—	—	—
大麻油	—	—	—	—	—	6	2	—	12	—	55	25	—	—	—	—
梓油	—	—	—	—	—	9	9	3~6	20	—	25~30	40	—	—	—	—
棉子油	—	—	痕	痕	1	29	4	—	24	—	40	—	—	痕	2	—
椰子油	痕	6	6	44	18	11	6	—	7	—	2	痕	—	—	—	—
玉米油	—	—	—	—	—	13	4	—	29	—	54	—	—	痕	—	—
葵花油	—	—	—	—	—	11	6	—	29	—	52	2	—	—	—	—
米糠油	—	—	—	—	0.5	11.7	1.7	—	39.2	—	35.1	—	—	0.5	—	0.4

1. 干性油

这类油具有较好的干燥性能，干后的涂膜不软化，薄膜实际很少被溶剂所溶解，它们的碘值一般在 140 以上。

(1) 桐油

桐油是我国特产，由桐树的果实压榨而得，不能食用。在油类中干燥性最快，所得皮膜坚硬，抗水耐碱性能优良，是制造油基树脂漆的重要油类品种。

桐油的主要组成为桐油酸，即共轭的十八碳三烯酸。从理论上讲，它的几何异构体有八种，目前发现了六种。在天然桐油中，只含 α -桐油酸，在日光、碘、硫磺等的催化下， α -桐油酸可转化为 β -桐油酸。 β -桐油酸不存在于天然植物油中。

α -桐油酸：十八碳三烯（9顺、11反、13反）酸，熔点：48℃

β -桐油酸：十八碳三烯（9反、11反、13反）酸，熔点：71℃

另外四种异构酸，曾发现于其他的油类中。桐油在储存过程中，暴露于光线下，常会看到出现很少的白色结晶粒子，直到全部变成白色固体为止，这就是 α -桐油酸转变为 β -桐油酸的结果，目前由 β -酸转化为 α -酸尚未实现。 β -桐油酸不溶于一般溶剂，且聚合速度快于 α -桐油酸，储存过久的桐油，有可能产生变型，其结果是高温更易成胶，按成胶试验测定其胶化时间有时将缩短至4min以下，使熬炼的控制更加困难，干燥性能则反而有所减退。因此为了避免变型，桐油应密闭储存，防止进入杂质，发现有少量的 β -酸，应迅速使用，不要再久储。

与其他干性油比较，桐油在制造油基树脂漆时，有突出的优点：一是它的聚合速度快，不必先经聚合，直接使用生桐油就可以与树脂一起高温熬炼，制得的产品涂刷后不会产生发黏等弊病，这与其他油类常需先制成聚合油后再使用是不同的；二是桐油的干燥速度快，漆膜坚硬致密。桐油的干燥以聚合为主，在干燥过程中，由氧化分解所产生的羧酸类较少，因而能耐碱耐水，漆膜不易膨胀。如与其他干性油适当配合使用，可以发挥桐油的一切优点，增进漆膜的耐久性能。

桐油制漆所得漆膜质硬，这一方面是优点，但与亚麻油相比较漆膜容易失去应有的弹性，不能适应受温度变化所发生的伸缩作用，引起漆膜的早期破裂。所以，使用纯桐油制漆，虽经日晒不易失光及粉化，但易早期形成微细的裂纹，促进漆膜整体破坏。亚麻油的漆膜虽然易失光及粉化，但能在较长时期中不失去弹性，漆膜整体不易早期破坏。

桐油另一个缺点是抗气性问题。生桐油涂成薄膜干后形成严重的皱纹表面。熬炼得不好桐油，涂膜仍然会出现霜花、网纹、丝纹等现象。如受到二氧化氮、二氧化硫、二氧化碳等气体的影响，漆膜表面会出现晶纹。以二氧化氮的作用最为显著，空气中含有二氧化氮为 0.4×10^{-6} 时，即可促成晶纹的出现。这就是桐油的抗气性问题。霜花、网纹、丝纹、晶纹等都是皱纹的不同表现形式，结果都引起漆膜不平整，并促使漆膜早期破坏。产生上述现象的原因，与桐油酸的共轭三烯结构有关，一是桐油酸的氧化聚合速度极快，在干燥过程中，可能因分子聚合不均所造成，一般认为系由于转化为 β -桐油酸而引起， α -桐油酸则无此问题。

解决桐油的抗气性问题，可将桐油迅速加热到260℃以上，并快速冷却。温度是一个重要条件，如低于此温度，仍有可能出现抗气性不好的缺点。

升温与降温的速度对抗气性也有影响，升温慢，或低温保持较长时间，或降温过慢都有可能引起抗气性不好。

桐油的聚合速度受温度的影响极为明显，如在150℃时约需60h才能胶化，而在280℃时的胶化时间不超过10min。温度每上升13.9℃，胶化速度约增加2倍。桐油聚合系放热反应，热能不易被桐油的聚合体导出，因而促使温度继续增长，此种循环因素使炼制桐油离火后自动升温，控制不当会引起胶化，甚至可能有发生燃烧的危险。