

高等学校教材

涂料与涂装原理

TULIAO YU TUZHUANG YUANLI

郑顺兴 编



化学工业出版社

013069716

TQ63-43
03

高等学校教材

涂料与涂装原理

郑顺兴 编



TQ63-43

03



化学工业出版社

· 北京 ·



北航

C1677757

元 00.18 价 定

01308216

本书从原理上分析介绍涂料和涂装的基础知识和工艺流程,直接结合国际期刊的综述文章介绍涂料和涂装科学研究前沿与现状,努力做到既讲透科学原理,又密切结合实际需要。书中采用适当的例题来介绍基本原理的应用,并在每章后编写了练习题,以方便学习。

本书适用于材料专业本科及研究生学习,同时也可作为涂料工业科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

涂料与涂装原理/郑顺兴编. —北京:化学工业出版社,
2013.6
高等学校教材
ISBN 978-7-122-16940-2

I. ①涂… II. ①郑… III. ①涂料-高等学校-教材②涂漆-
高等学校-教材 IV. ①TQ63

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第067923号

责任编辑:杨菁
责任校对:蒋宇

文字编辑:林丹
装帧设计:孙远博

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:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张22½ 字数560千字 2013年9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:49.00元

版权所有 违者必究

前 言

涂料与涂装共同目的是得到符合性能要求的漆膜。工业上应用涂料很经济,漆膜厚度通常很薄,只有1mm的几分之一或十几分之一,就能达到要求的性能。因此涂料与涂装在生产上广泛应用,两者都涉及庞大的工业体系。我国涂料厂数千多家,年产涂料数百万吨,生产一千多个涂料品种。涂装是把涂料施工于产品表面,如建筑物、汽车、飞机、机床、轮船、家具等的表面。

涂料与涂装从远古时代就已开始,我国河姆渡考古中就发现木胎漆碗,但过去涂料与涂装仅仅是作为一门技艺而存在,现代科技的发展使涂料与涂装逐步从传统工艺向现代科学技术转型,即阐明其科学原理,并在此基础上进一步发展。目前的现实是:涂料和涂装书籍大多介绍生产工艺,给读者的感觉是与现代科学知识脱节。因为涂料和涂装是实际应用的工业技术,涉及高分子化学与物理、流变学、色度学、胶体与界面化学,以及涂料施工工艺和设备,而有实际工作经验的人很难全面理解这些学科的基础知识,就无法从科学原理的角度深入探讨写作。在本书中,作者结合相关著作,如《涂料工艺》、威克斯等的《有机涂料科学和技术》和兰伯恩等的《涂料与表面涂层技术》等,从原理上来分析介绍涂料和涂装的基础知识和工艺流程,努力做到既密切结合工业的实际需要,又讲透科学原理。由于有的知识点还没有书籍论述,本书部分内容就直接结合国际期刊的综述文章进行写作,如水分散体涂料、超级疏水性涂层、溶胶凝胶法制备的有机无机杂化涂料、溶解度参数理论、高分子与溶剂之间优先吸附等。许多传统内容也更加透彻深入地叙述,如磷化、聚氨酯扩链剂的原理、EIS评价防腐蚀涂层、植物油脂氧化聚合机理、醇酸树脂配方设计等。

大学生从学科的角度学习无机化学、有机化学,研究的是纯化合物和化学反应原理,这样能够得到系统深入的基础知识,但通常这些知识离实际问题和工艺过程相距较远。将要参加工作的大学生需要了解工业实践方面的基本知识;深造的大学生在读过硕士、博士学位后,通常在某个专业方向上进行过精深的研究,但相关工业背景知识却往往不足。本书从原理出发介绍涂料与涂装,使他们能够看得懂相关的技术资料,理解相关工业背景,为将来的职业生涯或学术发展提供基础。

在我国由制造大国走向制造强国的过程中,要提升我国制造的品质,就要在充分理解科学原理的基础上,来学习探讨工艺过程,这样就可以使学生:①在从事一线生产时,能够像科学家一样思考,创造性地解决实际问题,而不仅仅就事论事。②技术总是在发展,单纯的配方和工艺容易被模仿和超越,只有深入理解原理,才能为源源不断的创新提供基础。③在充分理解原理的基础上,就能把贯彻质量要求转化为自觉行动,提升我国制造的品质。④在市场经济条件下,增强学生对工作环境的适应性。本书介绍的原理并不仅仅限于涂料,在工业上有更广泛的应用,如油墨、黏合剂、照相软片上的涂料、贴花和化妆、塑料层压制品等。同样,涂装技术不仅仅限于涂装,也是目前在很多生产场合广泛使用的技术。本书努力用明白流畅的语言和化学反应方程式,来叙述涂料组成性能、涂料制造和涂装过程的原理,一方面把学生在基础学科学到的知识与涂料和涂装联系起来,便于掌握;另一方面通过基本工艺和原理的学习,达到举一反三、触类旁通的效果。

本书作者 2007 年出版的《涂料与涂装科学技术基础》，重点解决了涂料与涂装涉及的知识面广、内容庞杂、难以组织教学的问题，在使用《涂料与涂装科学技术基础》教学几年的基础上，根据学生反馈，从方便学习和时代要求的角度，写作本书。本书充分继承《涂料与涂装科学技术基础》的优点，并进行大幅度修改、增补，语言也更简明。每章增加了内容概要，以了解该章核心内容和关键问题。采用适当例题来介绍基本原理的应用，作者根据每章的主要内容，编写练习题突出要掌握的重要内容，习题有填空、名词解释、计算和问答的形式，形成难度梯度，以方便学习。

编者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 涂料的基本概念	1
1.1.1 涂料的定义	1
1.1.2 涂料的作用	1
1.1.3 涂料的组成	2
1.2 涂装的概念	3
1.3 涂料的分类和基本品种	4
1.3.1 涂料的分类	4
1.3.2 我国涂料产品的命名原则	5
1.3.3 涂料的基本品种	8
1.4 涂料用高分子基础知识	9
1.4.1 高分子树脂的 T_g	10
1.4.2 涂料溶液的 T_g	10
1.4.3 热固性涂料的 T_g	11
1.5 涂料的应用与发展	11
练习题	13
第 2 章 涂料中常用的高分子树脂	14
2.1 挥发型涂料	14
2.1.1 纤维素聚合物	14
2.1.2 氯化聚合物	15
2.1.3 热塑性丙烯酸酯	17
2.1.4 溶剂挥发型涂料的发展	18
2.2 自由基聚合固化涂料	18
2.2.1 氧化聚合型涂料	18
2.2.2 不饱和聚酯涂料	36
2.2.3 辐射固化涂料	38
2.3 缩合聚合固化涂料	41
2.3.1 氨基树脂	41
2.3.2 丙烯酸涂料	46
2.3.3 聚酯涂料	49
2.3.4 聚氨酯漆	51
2.3.5 环氧漆	59
2.3.6 其他常见涂料	64
2.4 涂料应用机制	68
2.4.1 双组分涂料	68
2.4.2 单组分涂料	68
2.4.3 单组分涂料的反应动力学	69
2.5 高固体分涂料	69
2.5.1 提高固含量的方法	70
2.5.2 高固体分树脂	70
2.5.3 高固体分涂料的问题	72
参考文献	72
本章概要	73
练习题	74
第 3 章 高分子溶液的形成、黏度和挥发成膜	76
3.1 涂料用溶剂	76
3.1.1 溶剂的作用及问题	76
3.1.2 常用有机溶剂	76
3.2 高分子溶液的形成	78
3.2.1 高分子的溶解及溶解度参数	78
3.2.2 影响溶解的因素	84
3.3 涂料的流变学	87
3.3.1 黏度的概念	87
3.3.2 流体流动	87
3.3.3 涂料的黏度	90
3.3.4 黏度的测量	93
3.4 溶剂的挥发	96
3.4.1 溶剂挥发	96
3.4.2 湿涂层的溶剂挥发	98
3.5 有机溶剂的安全性	101
3.5.1 安全性	101
3.5.2 环保和立法要求	102
3.5.3 环境友好型涂料	103
参考文献	103
本章概要	103
练习题	104
附录 有机溶剂挥发速率的测量	105
第 4 章 颜料、涂层装饰性和保护性	107
4.1 颜料的分类和性质	107
4.1.1 颜料的分类	107

4.1.2 颜料体积浓度	108	4.4.2 浸渍环境	131
4.1.3 颜料的通性	110	4.4.3 防腐蚀涂料	137
4.2 颜色	112	4.4.4 防腐蚀涂层评价	140
4.2.1 影响颜色的因素	112	4.5 涂料中常用的颜料	143
4.2.2 颜色的表征	114	4.5.1 白色颜料	143
4.3 涂层的装饰性	121	4.5.2 有色颜料	144
4.3.1 涂料调色	121	4.5.3 体质颜料	147
4.3.2 涂层的光泽	123	参考文献	148
4.4 涂层的保护性	126	本章概要	148
4.4.1 大气环境	127	练习题	149
第5章 涂料生产和色漆制备	151		
5.1 涂料生产概述	151	5.3.2 颜料体积分数对研磨料黏度的影响	161
5.1.1 颜料在色漆中的用量	151	5.3.3 研磨漆浆组成	162
5.1.2 基础配方(标准配方)的拟订	153	5.3.4 调漆阶段的稳定化	166
5.1.3 生产配方的拟订	154	5.4 分散设备和工艺	166
5.2 颜料的分散与稳定	154	5.4.1 分散设备	167
5.2.1 润湿	154	5.4.2 分散程度评估	171
5.2.2 颜料解聚	156	5.4.3 设计工艺配方的程序	172
5.2.3 分散体系的稳定	156	参考文献	173
5.2.4 浮色和发花	160	本章概要	174
5.3 工艺配方	161	练习题	174
5.3.1 研磨漆浆的方式	161		
第6章 水性涂料和粉末涂料	176		
6.1 水性涂料	176	6.3.1 电晕静电喷涂	204
6.1.1 乳胶漆	176	6.3.2 其他粉末涂装方法	209
6.1.2 水稀释涂料	184	6.3.3 粉末涂装的特点	210
6.1.3 电泳涂装	192	6.3.4 新型粉末涂层	211
6.2 粉末涂料	197	6.4 涂料成膜原理总结	211
6.2.1 粉末涂料的基料	197	参考文献	212
6.2.2 粉末涂料的性能	201	本章概要	212
6.2.3 粉末涂料的制造	202	练习题	213
6.3 粉末涂装	204		
第7章 涂料施工干燥和成膜过程	215		
7.1 手工施工方法	215	7.4 其他机械施工方法	247
7.2 喷涂	216	7.4.1 浸涂	247
7.2.1 空气喷涂	216	7.4.2 淋涂	248
7.2.2 高压无气喷涂	221	7.4.3 辊涂	249
7.2.3 静电喷涂	225	7.4.4 涂布过程的分析	250
7.2.4 其他喷涂方法	231	7.5 漆膜的干燥	251
7.2.5 喷漆室	235	7.5.1 干燥的方式、过程和分类	251
7.3 自动涂装系统	243	7.5.2 对流式干燥	253
7.3.1 自动涂装机	244	7.5.3 辐射式干燥	256
7.3.2 涂装机器人	245	7.5.4 电感应和微波干燥	259
7.3.3 自动涂装生产线	246	7.5.5 紫外线固化干燥	260

7.6 漆膜形成过程	261	7.6.5 平滑面和粗糙面	270
7.6.1 成膜过程中的流动	261	参考文献	271
7.6.2 流挂控制	264	本章概要	271
7.6.3 表面张力	266	练习题	272
7.6.4 泡沫和消泡	269		
第8章 涂装工艺	274		
8.1 涂装工艺概述	274	8.3.2 汽车车身涂装	316
8.1.1 涂装技术标准	274	8.4 涂装管理和质量评价	321
8.1.2 涂装设计	276	8.4.1 制定涂装质量标准	321
8.1.3 制定涂装工艺	279	8.4.2 涂装质量管理	322
8.2 漆前表面处理	281	8.4.3 涂层厚度测定	324
8.2.1 金属表面的化学处理	282	8.4.4 涂层力学性能	326
8.2.2 卷材涂装	292	8.4.5 涂层测试	328
8.2.3 机械方法处理	294	8.5 涂装安全生产概述	329
8.2.4 船舶涂装	304	参考文献	330
8.3 复合涂层	308	本章概要	330
8.3.1 复合涂层的组成	309	练习题	330
第9章 非金属表面的涂装	332		
9.1 木材涂装	332	9.3 建筑涂装	341
9.1.1 木材表面前处理	332	9.3.1 建筑材料	341
9.1.2 木材涂装	334	9.3.2 混凝土前处理	342
9.1.3 人造板饰面	335	9.3.3 建筑涂料	343
9.2 塑料涂装	337	9.3.4 特殊涂装	344
9.2.1 塑料用涂料	337	9.3.5 建筑涂装场合	348
9.2.2 塑料表面前处理	338	参考文献	349
9.2.3 塑料涂漆工艺	340	本章概要	349
9.2.4 汽车塑料件涂装	341	练习题	350

第1章 绪论

1.1 涂料的基本概念

1.1.1 涂料的定义

涂料是流体或粉末状态的物质，把它涂布于物体表面上，经过自然或人工方法干燥固化，形成一层薄膜，能够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。该膜称为涂膜，又称为漆膜、涂层。

涂料的应用无处不在。在室内，涂料用在墙壁、家具上；在户外，涂料用在房屋和汽车上。从飞机、轮船、跨海大桥到不易觉察的电动机电线、电视机内印刷电路、录音带、录像带和光盘，都广泛地采用了涂料。涂料是材料应用的一种形态，它涉及的原理应用得更广泛，如油墨、纸张和织物生产上应用的聚合物，贴花和层压制品，以及化妆品等，但我们通常并不把它们包括在涂料中。

1.1.2 涂料的作用

涂料的主要作用是装饰和保护。实际使用中涂层发挥多种作用，有以下几个方面。

(1) 装饰作用 最早的涂料主要用于装饰，现代涂料更是将这种作用发挥得淋漓尽致。涂料涂覆在物体表面上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。

(2) 保护作用 物件暴露在大气之中，受到氧气、水分等的侵蚀，造成金属锈蚀、木材腐朽、水泥风化等破坏现象。在物件表面涂以涂料，形成一层保护膜，能够阻止或延迟这些破坏现象的发生和发展，使各种材料的使用寿命延长。

金属的腐蚀是世界上最大的浪费之一，它不仅腐蚀金属，而且会因为腐蚀引发严重事故。钢铁是最常用的金属材料，但钢铁在环境中从热力学上讲就不稳定，要自发生成它的高价氧化态，如 $\text{FeO}(\text{s})$ 的标准吉布斯函数变 $\Delta_r G_m^\ominus = -244 \text{ kJ/mol}$ ； $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}, \text{赤铁矿})$ 的为 $\Delta_r G_m^\ominus = -742.2 \text{ kJ/mol}$ ； $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}, \text{磁铁矿})$ 的为 $\Delta_r G_m^\ominus = -1015.4 \text{ kJ/mol}$ ，因此钢铁表面需要保护才能在规定的服役期内保护材料免遭腐蚀。靠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手段，目前钢铁防腐蚀费用的约三分之二用于涂料和涂装上。

(3) 标志作用 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，在黑夜里依然清晰明亮。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的作用。

(4) 特殊作用 涂料还可赋予物体一些特殊功能，例如，电子工业中使用的导电、导磁

涂料；航空航天工业上的烧蚀涂料、温控涂料；军事上的伪装与隐形涂料等，这些特殊功能涂料对于高技术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。

1.1.3 涂料的组成

涂料有四个组成部分：主要成膜物质、颜料、溶剂和助剂。

1.1.3.1 主要成膜物质

涂料要成为黏附于物体表面的薄膜，须有黏结剂，黏结剂就是涂料的主要成膜物质。按主要成膜物质，涂料可分为有机涂料和无机涂料，在工业上具有重要意义的是有机涂料，有机涂料的主要成膜物质包括植物油和树脂（见表 1-1）。植物油是植物种子压榨后得到的油脂，如豆油、花生油等。树脂的原始含义为树木渗出物，如松香、生漆等，现在泛指合成的、还没有进一步应用的聚合物，如醇酸树脂、氨基树脂等。主要成膜物质既可以单独形成漆膜，又可以黏结颜料颗粒成膜，是构成涂料的基础物质，并且在很大程度上左右漆膜的性能。没有成膜物质的表面涂覆物不能称为涂料。

表 1-1 有机涂料中使用的主要成膜物质

有机涂料	主要成膜物质	
植物油	桐油、亚麻仁油、豆油、蓖麻油等	
树脂	天然树脂	松香、生漆、虫胶、天然沥青等
	人造树脂	纤维素衍生物、氯化橡胶等
	合成树脂	醇酸树脂、氨基树脂、环氧树脂等

用作塑料、橡胶和纤维的多数高聚物相对分子质量为 $10^4 \sim 10^6$ ，而用于涂料和粘接剂的相对分子质量多数在 10000 以下，含有 2~20 个链节，称为低聚物。低聚物和高聚物间没有明确界限。

主要成膜物质称为漆基，加溶剂后配成黏稠的溶液，称漆料、基料。把颜料颗粒加进去，进行充分地分散，颜料颗粒不溶解在漆料中，制备出各种颜色不透明的涂料，就是色漆。从获得涂料颜色的角度看，漆料又称为展色剂。

以植物油为基料的涂料，有很好的韧性、气密性、水密性及附着力，具有很好的耐气候性，但保护作用有限、不能适应现代工业高效快速涂装的要求。涂料中使用的树脂要赋予涂膜保护和装饰性能，如光泽、硬度、弹性、耐水性、耐酸性等。为了满足涂层多方面的性能要求，常多种树脂拼用，或树脂与油脂合用作为主要成膜物质。

我国古代把涂料称作油漆，主要是因为当时采用的漆料是桐油和生漆。桐油是由桐树果实压榨而得的，在常见的植物油中干燥最快、漆膜坚硬、耐水耐碱性好，表现出优良的制漆性能。生漆是从漆树上割出的乳白色黏稠液体。生漆经精制加工后成为熟漆，熟漆用于涂装漆器。我国生漆产量约占世界的 80%，而且质量优异。桐油和生漆都是我国的特产。

现代涂料工业是随高分子科学的发展而形成的。漆料采用高分子树脂后，涂料品种大幅度增加，而且赋予涂料各种优异的性能。现代涂料主要以高分子树脂为主要成膜物质。

1.1.3.2 颜料

颜料粒径一般在 $0.2 \sim 10 \mu\text{m}$ 之间，呈粉末状态。颜料不溶于涂料的溶剂或漆料中，在

涂料中仍以颗粒存在。颜料赋予涂层颜色和遮盖力,也就是使漆膜呈现所需要的颜色,而且涂层不透明。颜料还能提高涂层的力学性能,改善涂料的流变性,增强保护效果,降低涂料的成本。有的颜料还赋予涂料某些特定功能,如防腐蚀、导电、阻燃等。颜料通过涂料生产过程中的研磨分散,均匀分散在漆料中,成为涂料的一个组成部分。

颜料最重要的功能是使漆膜呈现要求的颜色。在颜料部分将学习颜色的相关知识及表达方法。遮盖是漆膜覆盖在底材上,使底材呈现不出原有的颜色。漆膜通常很薄,为达到遮盖功能,就需要研究颜料的遮盖能力。颜料为实现保护功能,要求树脂形成的涂膜耐久性好、通透性小、附着力好,颜料要有防腐蚀功能。

颜料分为防锈颜料、着色颜料、体质颜料三大类。着色颜料不溶于水和油,具有美丽的颜色和遮盖力,在涂料中起着着色和遮盖作用,如锌铬黄(黄色)、铁红(红色)、酞菁蓝(蓝色)、二氧化钛(白色)、炭黑(黑色)、铝粉浆(银色)等。防锈颜料具有特殊的防锈能力,可防止金属的锈蚀,甚至漆膜略有擦破也不致生锈。体质颜料又称填充料,多为惰性物质,与涂料其他组分不起化学作用,价格低廉,替代部分好而贵的着色颜料。

1.1.3.3 溶剂

溶剂溶解或分散树脂成为流体。尽管溶剂在形成漆膜的过程中挥发掉,但对于形成漆膜的质量非常重要,合理选择和使用溶剂可以提高涂层性能,如外观、光泽、致密性等。有机溶剂挥发后对大气造成污染,对于涂料中有机溶剂种类和用量各国都有严格限制。常用品种有:水、200号溶剂汽油、甲苯、二甲苯、乙醇、丁醇、乙酸丁酯、丙酮等多种。

1.1.3.4 助剂

助剂在涂料中用量很少,一般不超过5%,如聚合反应的催化剂、控制涂料流动性的助剂等。它们用于显著改善涂料生产加工、存储、涂布、成膜过程中的性能。并不是每种涂料都同时需要这些助剂,不同涂料需要不同的助剂。

并不是每种涂料都同时具有主要成膜物质、颜料、溶剂和助剂。没有颜料的涂料是黏性透明流体,称为清漆。极少数涂料中只有植物油作为主要成膜物质,这些涂料称为清油。有颜料的涂料称为色漆。加有大量颜料的稠厚浆状体涂料称为腻子。没有溶剂呈粉末状的为粉末涂料。溶剂是有机溶剂的涂料称为溶剂型涂料。以水作主要溶剂的为水性漆。

涂料是工业上直接应用的高分子材料,而工业上以同样形态应用的还有胶黏剂、层压复合材料中使用的胶液,有机摩擦材料的胶液等。由高分子出发制备橡胶、塑料使用的各种添加剂,其基本原理与涂料中的是同样的。本教材主要介绍这些工业上常用的物质及其使用的基本原理。

1.2 涂装的概念

涂料虽然作为商品在市场上流通,实际是半成品,涂料只有形成涂膜,才能发挥作用,具有使用价值。涂料在被涂表面上形成涂膜的过程,通称涂料施工,也称涂装。

涂装(Organic finishing)是指将涂料涂布到清洁的(即经过表面处理的)表面上,干燥形成涂膜。它是由漆前表面处理、涂料涂布、涂料干燥三个基本工序组成。

(1) 漆前表面处理 即被涂物的表面预处理,目的是为被涂表面和涂膜黏结创造良好条件,如钢铁表面经过磷化处理,可以大大提高涂膜的附着力和防腐蚀性能。漆前表面处理是涂装取得良好效果的基础和关键,在现代涂料施工中特别受重视。

(2) 涂料涂布 也称涂饰、涂漆,有时也称涂装。用不同的方法、工具和设备将涂料均匀涂覆在被涂物的表面。涂布质量直接影响涂膜的质量。对不同的被涂物和不同的涂料,应该采用最适宜的涂布方法和设备。

(3) 漆膜干燥 也称涂膜固化。将湿涂膜干燥固化成为连续的干涂膜。

涂装的分类方法很多。按照被涂物类型分类,有钢铁涂装、镀锌板涂装、铝合金涂装、塑料涂装、木材涂装、水泥制品涂装等,它们的最大差别是漆前表面处理方法不同。按照施工方法来分,有空气喷涂、高压无空气喷涂、静电喷涂、静电粉末喷涂、电泳涂装等。本书后面章节有介绍。

1.3 涂料的分类和基本品种

1.3.1 涂料的分类

涂料应用历史悠久,使用范围广泛,根据长期形成的习惯,涂料有以下分类方法。

(1) 按形态分 分为有溶剂性涂料、高固体分涂料、水性涂料及粉末涂料等。高固体分涂料通常是涂料的固含量高于70%。

(2) 按用途分 分为建筑涂料、工业涂料和维护涂料。工业涂料包括汽车涂料、船舶涂料、飞机涂料、木器涂料、卷材涂料、塑料涂料等。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涂上涂料或层压上塑料薄膜后,以成卷或单张出售的有机金属板材,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,不需要再涂装。

(3) 按涂膜功能分 有防锈漆、防腐漆、绝缘漆、防污漆、耐高温涂料、导电涂料等。

色漆主要有两大类品种:底漆和面漆。底漆要求对被涂面附着牢固,保护作用好;面漆的装饰性和户外耐久性好。底漆和面漆配套使用,构成一个坚固的涂层,称为复合涂层。常将面漆称为磁漆(也称为瓷漆),磁漆中选用耐光性和着色性良好的颜料,形成的漆膜平整光滑、坚韧耐磨,像瓷器一样。

(4) 按施工方法分 有喷漆、浸渍漆、电泳漆、烘烤等。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。靠电泳方法施工的水性漆称为电泳漆。烘烤是指必须经过一定温度的烘烤,才能干燥成膜的涂料品种,特别是用两种以上树脂混合成的涂料,常温不起反应,只有经过烘烤,才能使不同树脂分子间的官能团发生交联反应,形成漆膜。

(5) 按成膜机理分 有转化型涂料和非转化型涂料。非转化型涂料在成膜过程中不需要发生化学反应,如挥发性涂料、热塑性粉末涂料、乳胶漆等。转化型涂料则发生化学反应,如气干性涂料、用固化剂的涂料、烘烤固化的涂料及辐射固化涂料等。固化通常就是指发生化学反应。气干性涂料是室温时,涂料与空气中的氧气或潮气(H_2O)反应就能固化的涂料。

(6) 按主要成膜物质分 按主要成膜物质分成17类(参见表1-2)。主要成膜物质包括树脂和油脂,起黏合剂的作用,使涂层牢固附着于被涂物表面,形成连续涂膜。颜、填料的粉末被其黏合,形成色漆层。主要成膜物质对涂料和涂膜的性质起决定作用,而且每种涂料中都含有主要成膜物质,其他组分却并不一定含有。涂料的分类要以主要成膜物质来划分。

1.3.2 我国涂料产品的命名原则

1.3.2.1 以主要成膜物质分类

我国目前已定型的涂料产品（不包括辅助材料）近千个。GB/T 2705—92《涂料产品分类和命名》对我国涂料产品进行了分类。下面首先简要介绍该分类方法，有一个初步了解，有关的名词及化学反应机理在第2章中探讨。

表 1-2 涂料按主要成膜物质分类

序号	涂料类别	代号	主要成膜物质
1	油脂漆	Y	天然植物油、鱼油、合成油
2	天然树脂漆	T	松香及其衍生物、大漆及其衍生物、虫胶、动物胶
3	酚醛树脂漆	F	改性酚醛树脂、甲苯树脂
4	沥青漆	L	天然沥青、石油沥青、煤焦沥青
5	醇酸树脂漆	C	醇酸树脂及改性醇酸树脂
6	氨基漆	A	三聚氰胺甲醛树脂、脲醛树脂等
7	硝基漆	Q	硝基纤维素、改性硝基纤维素
8	纤维素漆	M	苧基纤维素、乙基纤维素、羟甲基纤维素、醋酸丁酸纤维素等
9	过氯乙烯漆	G	过氯乙烯树脂、改性过氯乙烯树脂
10	乙烯树脂漆	X	氯乙烯共聚树脂、聚酯酸乙烯系列、含氟树脂、氯化聚丙烯等
11	丙烯酸漆	B	丙烯酸树脂
12	聚酯树脂漆	Z	聚酯树脂、不饱和聚酯树脂
13	环氧树脂漆	H	环氧-胺、环氧酯等
14	聚氨酯漆	S	聚氨酯树脂
15	元素有机漆	W	有机硅树脂、有机氟树脂
16	橡胶漆	J	氯化橡胶及其他合成橡胶
17	其他漆	E	无机高分子材料

为帮助初步熟悉表 1-2 中的聚合物，从化学反应的角度来看，有这样几个反应。

(1) 酯化反应 多元醇和多元酸反应生成酯 ($\text{—OH} + \text{—COOH} \rightarrow \text{—COO—}$)。表 1-2 中有聚酯树脂、不饱和聚酯树脂，其中不饱和聚酯树脂分子中含有双键。醇酸树脂是用大量植物油改性的聚酯树脂。天然树脂漆中的主要品种酯胶是松香（分子中含有羧基）与多元醇酯化生成的。硝基漆是纤维素（分子中含有羟基）与硝酸 (HO—NO_2) 的酯化产物。

(2) 氨基树脂与羟基的反应 每个氨基树脂分子中含有多个 —NHOR ，氨基树脂与其他树脂分子上的羟基在加热条件下，发生反应 ($\text{—NHOR} + \text{polymer—OH} \rightarrow \text{—NHO—polymer} + \text{ROH}$)。氨基树脂起交联剂的作用。表 1-2 中的氨基漆是氨基树脂交联的醇酸树脂。热固性丙烯酸漆主要是氨基树脂交联的羟基丙烯酸树脂。

(3) 自由基聚合反应 植物油分子中含有双键，在空气中 O_2 作用下发生氧化，生成过氧化氢 (—OOH)，过氧化氢分解成自由基，引发双键聚合，形成新的化学键，使不同的植物油分子交联在一起。室温干燥的醇酸漆、酚醛漆、天然树脂漆、油脂漆、植物油改性环氧树脂（环氧酯）漆等，都是靠漆中结合进植物油分子中的双键进行氧化交联。需要注意的是，这些漆中在其他的干燥方式下（如加热固化），就不一定采用这种交联方式。

在不饱和聚酯漆中, 不饱和聚酯树脂中的双键与溶剂苯乙烯的双键发生自由基聚合而交联。丙烯酸树脂以及其他乙烯树脂都是自由基聚合生成的。

(4) 异氰酸根与羟基的反应 带有多个异氰酸根 (—NCO) 的树脂与带有多个羟基的树脂发生交联反应生成氨基甲酸酯官能团 (简称氨酯) ($\text{—NCO} + \text{polymer—OH} \rightarrow \text{—NHCOO—}$)。聚氨酯漆主要应用的就是该反应。

(5) 环氧-胺 环氧树脂和多元有机胺发生交联反应, 就是环氧-胺涂料, 即双组分室温固化环氧树脂漆。



(6) 甲醛缩合反应 甲醛与酚类缩合形成酚醛树脂 (形成羟甲基 $\text{—CH}_2\text{OH}$), 与三聚氰胺、尿素等的氨基反应 (也形成 $\text{—CH}_2\text{OH}$) 成为氨基树脂。为在有机溶剂中能溶解, 通常还用丁醇把羟甲基 ($\text{—CH}_2\text{OH}$) 醚化, 生成 $\text{—CH}_2\text{OC}_4\text{H}_9$ 。

表 1-2 成膜物质分类表中的前三类产品是以干性油和松香衍生物为基本原料, 经高温熬炼到一定黏度后, 加入各种金属催干剂成为成膜物质的。它们的特点是施工性能较好, 价廉, 具有一般的保护性能, 但干燥慢, 力学性能较差, 不能适应严酷腐蚀环境的防护需要。表 1-2 中第五类开始的各类树脂为合成树脂, 主要应用的有醇酸树脂、氨基树脂、丙烯酸树脂、环氧树脂、聚氨酯树脂、含氯和氟的聚合物树脂以及酚醛树脂。以这些树脂为主要成膜物质制成的涂料统称合成树脂涂料, 是目前工业上应用广泛的涂料。

1.3.2.2 涂料的名称

涂料的名称由三部分组成: 即颜料或颜色的名称、主要成膜物质的名称、基本名称。

涂料全名 = 颜色或颜料名称 + 主要成膜物质名称 + 基本名称

涂料颜色位于最前面, 如红色醇酸磁漆。若颜料对漆膜性能起显著作用, 则用颜料名称代替颜色名称, 如锌黄酚醛防锈漆, 锌黄是防腐蚀颜料。

基本名称仍采用我国广泛使用的名称, 如清漆、磁漆、底漆等, 见表 1-3。在成膜物质和基本名称之间, 必要时可标明专业用途或特性, 如醇酸导电磁漆、白色硝基外用磁漆。

凡是烘烤干燥的漆, 名称中都有“烘干”或“烘”字样, 如果没有, 即表明该漆是常温干燥或烘烤干燥均可, 如绿色环氧电容器烘漆、白色氨基烘干磁漆等。不同烘漆各有其规定烘烤温度范围和烘烤时间, 温度过高或时间过长, 会使漆膜变色或发脆, 降低性能; 温度过低或时间过短, 则不能达到全部交联聚合, 涂层耐久性和光泽都不好。

需要注意的是, 国际科技期刊杂志上一般使用成膜物质称呼涂料, 如醇酸树脂漆、氨基树脂漆、酚醛树脂漆、聚氨酯树脂漆、环氧树脂漆、聚酯树脂漆、丙烯酸树脂漆。我国行业内或涂料销售时通常采用基本名称, 而不考虑涂料的组成, 如家具漆、船舶漆、铅笔漆。

涂料基本名称代号划分如下: 00~13 代表涂料的基本品种; 14~19 代表美术漆; 20~29 代表轻工用漆; 30~39 代表绝缘漆; 40~49 代表船舶漆; 50~59 代表防腐蚀漆; 60~79 代表特种漆; 80~99 代表其他用途漆。

为了区别同一大类涂料中的各个品种, 也为了在产品的设计图纸上表示方便, 采用涂料型号来表示涂料。涂料的型号包括三部分内容: 主要成膜物质的种类代号、涂料的基本名称和序号。序号表示一大类涂料的各个品种之间在组成、配比、性能、用途方面的差异。例如 C04-2 (C 代表醇酸树脂, 04 代表磁漆, 2 代表序号) 是醇酸磁漆, Q01-17 (Q 代表硝酸纤维素, 01 代表清漆, 17 代表序号) 是硝基清漆。涂料序号的命名规则见表 1-4。

表 1-3 涂料的基本名称及代号

代号	基本名称	代号	基本名称	代号	基本名称
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	耐火漆
04	磁漆	32	(绝缘)磁漆	61	耐热漆
05	粉末涂料	33	(黏合)绝缘漆	62	示温漆
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	67	隔热涂料
12	乳胶漆	38	半导体漆	80	地板漆
13	其他水性漆	40	防污漆	81	渔网漆
14	透明漆	41	水线漆	82	锅炉漆
15	斑纹漆	42	甲板漆	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、马路画线漆
19	晶纹漆	51	耐碱漆	98	胶液
20	铅笔漆	52	防腐漆	99	其他

表 1-4 涂料产品的序号

涂料品种	序 号	
	自干	烘干
清漆、底漆、腻子	1~29	30 以上
有光	1~49	50~59
磁漆 半光	60~69	70~79
无光	80~89	90~99
清漆	1~9	10~29
有光磁漆	39~49	50~59
专业用漆 半光磁漆	60~64	65~69
无光磁漆	70~74	75~79
底漆	80~89	90~99

注意：氨基漆不完全符合此规则。

涂料型号举例：Y53-31 红丹油性防锈漆；A04-81 黑色氨基无光烘干磁漆；H52-98 铁红环氧酚醛烘干防腐底漆；G64-1 过氯乙烯可剥漆；S54-31 白色聚氨酯耐油漆。

常用涂料的辅助材料有 5 种：稀释剂（代号为 X）；防潮剂（代号为 F）；催干剂（代号为 G）；脱漆剂（代号为 T）；固化剂（代号为 H）。

辅助材料型号：X-5 是丙烯酸漆稀释剂；X-10 是聚氨酯漆稀释剂，其中 5 和 10 是序号，表示同一类型（稀释剂）中的不同品种。

国家标准 GB/T 2705—92 对涂料产品的分类有一定的局限性。除称呼起来名称太长,较烦琐外,还表现在涂料品种众多,按国标进行分类命名时,会产生大量重复和雷同,不利于厂家品牌的确立。因此,很多厂家又都有各自的产品命名,命名方法依据产品的性能、功用、特色而不同,有些涂料产品甚至有多个不同的名称。选用涂料时,要仔细阅读生产厂家说明书。如某造漆厂生产的 615 氯化橡胶铝粉防锈漆,又名 CAC150 氯化橡胶铝粉防锈漆,其国家标准命名为 J44-26。

涂料分为 17 大类,我国生产的有近一千个品种。在目前工业实际应用中,并不是每个品种都应用得一样多,主要集中在几个品种上:醇酸漆、氨基漆、酚醛漆、聚氨酯漆、环氧漆、聚酯漆、丙烯酸漆、含氯和氟的聚合物漆。

表面看来涂料的种类和品种繁多,但从固化机理上看,涂料固化过程中的成膜方式有溶剂挥发成膜、油脂氧化聚合成膜、热固性树脂基涂料固化成膜和聚合物粒子分散体凝聚成膜四种。溶剂挥发成膜和聚合物粒子分散体凝聚成膜属于物理过程。油脂氧化聚合成膜是靠植物油中的双键发生自由基聚合而交联,我国产量很大的醇酸树脂漆、酚醛树脂漆、环氧酯漆都是靠这种方式发生交联。热固性树脂基涂料固化成膜使用的化学反应主要是高分子树脂上的羟基与三聚氰胺甲醛树脂之间的反应(这包括工业上重要的两种涂料氨基-醇酸漆和热固性丙烯酸漆)、环氧-胺固化体系以及异氰酸酯与羟基的反应。

1.3.3 涂料的基本品种

(1) 清油 代号是“00”,又名熟油,俗名“鱼油”。干性油经过精漂(用 NaOH 稀溶液洗去油脂中的脂肪酸,同时还除去大部分油脂中的蛋白质、磷脂等。再用白土将油脂中的色素吸附除去)后,加热使其聚合到一定黏度,并加入催干剂制成的。它可以单独作为一种涂料应用,也可用来调稀厚漆。

(2) 清漆 代号是“01”,它和清油的区别是组成中含有各种树脂。清漆中不含颜料,但可以有透明的染料。清漆分为下面两种。

① 油基清漆 该漆是用油脂与树脂熬炼后,加入溶剂等而成,俗名凡立水。常见品种有酯胶清漆、酚醛清漆等。它们和清油比较,干性快,漆膜硬,光泽好,抗水及耐化学药品性、绝缘性等都有改进。

② 树脂清漆 成膜物质只有树脂。常见品种有醇酸、氨基、环氧、丙烯酸、硝基、过氯乙烯等清漆,优点是漆膜坚韧、光亮、耐磨、抗化学药品性强,是现代涂料工业使用的主要清漆品种。

(3) 厚漆 代号是“02”,俗名铅油,是用着色颜料、大量体质颜料和 10%~20%精制干性油或炼豆油,并加入润湿剂研磨而成的稠厚浆状物。厚漆使用时,须加入清油或清漆、溶剂、催干剂等调和均匀。厚漆中的油料因未经高温熬炼聚合,人工调配也难以均匀,除 Y02-2 锌白厚漆外,质量较调和漆差,适用于要求不高的建筑和维修工程上。

(4) 调和漆 代号是“03”,是已经调和好可直接使用的涂料。它是以干性油为基料,加入颜料,溶剂、催干剂等配制而成。基料中可加入树脂,也可不加树脂。没有树脂的叫油性调和漆,有树脂的叫磁性调和漆,按所含树脂而分别称为酯胶调和漆、酚醛调和漆、醇酸调和漆等。调和漆中树脂与干性油的比例一般在 1:3 以上。如果树脂与干性油之比为 1:2 或树脂更多时,则称为磁漆。油性调和漆漆膜柔韧,容易涂刷,耐气候性好,但光泽和硬度较差,干燥慢。在磁性调和漆中,醇酸调和漆适用于室外,而酯胶、酚醛调和漆用于室内外,所涂饰的物面初期光泽好,但耐久性较差。

(5) 磁漆 代号是“04”。磁漆现在主要指面漆,尤其是有光面漆。漆料中含树脂多,或不用植物油,并使用鲜艳的着色颜料,漆膜坚硬耐磨,光亮美观。磁漆选用耐候性好,颜色鲜艳的漆基和颜料制成。用什么树脂制成,就称什么磁漆。

① 按装饰性分为有光、半光、无光磁漆。其中有光磁漆含颜料分少,光泽好。半光和无光磁漆都含有一定数量的体质颜料和消光剂,多用于仪器、仪表和室内装饰。

② 按使用场所分为内用与外用。外用磁漆所用的树脂和颜料是能经受风、雨、霜、露侵蚀,经紫外线照射也不易失光粉化。内用磁漆切忌应用于室外。有些没有标明内用或外用的酚醛、硝基、醇酸等磁漆,可内用也可外用。

(6) 粉末涂料 代号是“05”,不含溶剂,是由固体树脂、颜料、固化剂等混匀制成的。

(7) 底漆 代号是“06”,直接施涂在被涂物表面上,作为复合涂层的基础。

(8) 腻子 代号是“07”,用来填补被涂物体的不平整处(如洞眼、砂眼、纹路、凹坑等),以提高底漆膜的平整性,通常用在底漆之上。腻子呈厚浆状,刮涂施工,干燥后还要打磨平整。

(9) 水性漆 水溶漆、乳胶漆、电泳漆统称为水性漆,它们的代号分别是“08”、“12”、“11”。

(10) 大漆 代号是“09”,是由天然生漆精制或改性制成的。它们在后面有关章节中具体介绍。

1.4 涂料用高分子基础知识

高分子由分子量很大的大分子组成。分子量之所以大是因为它们由很多小分子(单体)聚合而成。每个单体聚合后就成为高分子链的一个链节。如平均分子量43000的聚氯乙烯,每个分子就是由平均886个单体氯乙烯聚合而成。它与小分子有许多差异,色散力随分子量大幅度增加而增加,达到或超过化学键的强度。高分子的链很长,拉直有的甚至达毫米级。聚异丁烯的相对分子质量约为 5.6×10^5 ,若将分子拉直,长度为 $2.5 \times 10^5 \text{ \AA}$ ($=250 \mu\text{m}$),截面直径约为 $5 \text{ \AA}$,其长度和截面直径比为 5×10^4 。一根长度比直径大5万倍的钢丝,如果没有外力的作用,要完全伸直也是不可能的。高分子链存在分子内旋转,链要比钢丝更柔软,更容易卷曲成无规线团。高分子链扭曲相互缠绕成固体材料时,就具有了机械强度。

链节以链状连接时,称为线型聚合物(有的可能带分枝)。如果每一个高分子链上的几个点都与其他相邻高分子结合成共价键,就形成交联或网状的聚合物。这种连接聚合物或低聚物成网状聚合物的反应称为交联反应。通过交联反应,整个聚合物就成为一个大分子。能经历这种交联反应的聚合物和低聚物称为热固性聚合物。不经历交联反应的聚合物称为热塑性聚合物,如线型结构(包括支链结构)高聚物,由于有独立分子存在,在溶剂中能溶解,加热能熔融变成黏稠液体,即“可溶可熔”,而交联高聚物由于没有独立大分子存在,即整块都是一个分子,所以就不能溶解和熔融,只能吸收溶剂溶胀,即“不溶不熔”。

一种热塑性高分子在低温时为硬如玻璃的固体,称为玻璃态,逐渐加热升温,这种高分子就变成软如橡胶的固体,称为高弹态,再继续加热,就成为黏性流体,称为黏流态,见图1-1。 T_g 为玻璃化转变温度, T_f 为黏流温度。交联高聚物不存在黏流态。

高分子处于玻璃态时,仅有链节、侧基、键长、键角能动,链段和整个分子链都处于冻