

现代化学基础丛书 38

涂料化学

(第三版)

洪啸吟 冯汉保 申亮 编著

非
外
借

 科学出版社

现代化学基础丛书 38

涂 料 化 学

(第三版)

洪啸吟 冯汉保 申亮 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以化学为中心,系统地介绍涂料科学的基础理论,涂料制备与应用原理,并将理论与实际相结合。内容包括成膜过程,与涂料有关的流变学、表面化学、颜色学以及溶剂、颜料和成膜物的作用、性质与制备方法等。除了介绍涂料中重要的品种外,还介绍了涂料科学的前沿课题及各种新型涂料。

本书可供从事涂料科学与高分子教学、研究、生产及应用的技术人员,大专院校的学生、研究生和教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

涂料化学/洪啸吟,冯汉保,申亮编著. —3版. —北京:科学出版社,2019.5

(现代化学基础丛书 38/朱清时主编)

ISBN 978-7-03-060581-8

I. ①涂… II. ①洪… ②冯… ③申… III. ①涂料-应用化学 IV.TQ630.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 030917 号

责任编辑:杨震 刘冉 / 责任校对:杜子昂

责任印制:肖兴 / 封面设计:时代世启

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天津文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1997年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019年5月第 三 版 印张:27 3/4

2019年5月第二十四次印刷 字数:560 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《现代化学基础丛书》编委会

主 编 朱清时

副主编 (以姓氏拼音为序)

江元生 林国强 佟振合 汪尔康

编 委 (以姓氏拼音为序)

包信和 陈凯先 冯守华 郭庆祥

韩布兴 黄乃正 黎乐民 吴新涛

习 复 杨芑原 赵新生 郑兰荪

卓仁禧

《现代化学基础丛书》序

如果把牛顿发表“自然哲学的数学原理”的 1687 年作为近代科学的誕生日，仅 300 多年中，知识以正反馈效应快速增长：知识产生更多的知识，力量导致更大的力量。特别是 20 世纪的科学技术对自然界的改造特别强劲，发展的速度空前迅速。

在科学技术的各个领域，化学与人类的日常生活关系最为密切，对人类社会的发展产生的影响也特别巨大。从合成 DDT 开始的化学农药和从合成氨开始的化学肥料，把农业生产推到了前所未有的高度，以致人们把 20 世纪称为“化学农业时代”。不断发明出的种类繁多的化学材料极大地改善了人类的生活，使材料科学成为 20 世纪的一个主流科技领域。化学家们对在分子层次上的物质结构和“态态化学”、单分子化学等基元化学过程的认识也随着可利用的技术工具的迅速增多而快速深入。

也应看到，化学虽然创造了大量人类需要的新物质，但是在许多场合中却未有效地利用资源，而且产生了大量排放物造成严重的环境污染。以至于目前有不少人把化学化工与环境污染联系在一起。

在 21 世纪开始之时，化学正在两个方向上迅速发展。一是在 20 世纪迅速发展的惯性驱动下继续沿各个有强大生命力的方向发展；二是全方位的“绿色化”，即使整个化学从“粗放型”向“集约型”转变，既满足人们的需求，又维持生态平衡和保护环境。

为了在一定程度上帮助读者熟悉现代化学一些重要领域的现状，科学出版社组织编辑出版了这套《现代化学基础丛书》。丛书以无机化学、分析化学、物理化学、有机化学和高分子化学五个二级学科为主，介绍这些学科领域目前发展的重点和热点，并兼顾学科覆盖的全面性。丛书计划为有关的科技人员、教育工作者和高等院校研究生、高年级学生提供一套较高水平的读物，希望能为化学在新世纪的发展起积极的推动作用。

朱清时

第三版序

自《涂料化学》2005年第二版发行以来,涂料科学和技术又有了很大发展,国内涂料领域更是发生了翻天覆地的变化,产量已达到两千万吨以上,成为世界第一涂料大国,不仅是涂料企业,许多高校、科研院所都投入了涂料研究,大大提高了国内涂料科技水平。近年来国家对环保要求更为严格,促使涂料界的产品升级换代,为提高科技水平提供了最好的机会。由于涂料的发展,大批科技人员迈入涂料领域,为了满足发展的需要,许多科研院校也重视对涂料人才的培养,有的学校还建立了涂料系。《涂料化学》一书的重要目的是为刚进入涂料领域的技术人员提供较全面的涂料基础知识,这一目的刚好契合这一时期的需要,不少单位还选择它为涂料教材,因此颇受欢迎,已印刷23次。

涂料虽然是一个古老学科,但未能成为一个成熟的学科,它是一门要求与时俱进的学科,随着其他领域科技的发展和种种新要求出现,需要不断完善。《涂料化学》第二版已发行十余年,已不能完全反映国内外涂料的迅速发展情况,因此决定再版,以满足读者需求。

在第三版的编写中我们邀请了申亮教授参加,申亮教授在清华大学获博士学位,曾先后到美国利哈伊大学(Lehigh University)乳液聚合研究所和马萨诸塞大学高分子系进修,并多次参加北达科他州立大学等大学举办的多种涂料讲习班,因此他有坚实的涂料基础知识和宽广的国际视野,了解涂料的前沿,更重要的是他参加工作后,一直从事涂料教学科研工作,创办了国内第一个涂料系,同时他和许多企业有着合作关系。因此他不仅了解涂料教学中的重点难点,也了解涂料企业的实际需求。他加入编写,必使《涂料化学》一书大大增色,使基础内容更严谨全面,应用内容更接地气,更近前沿。

在编写第三版时,我们仍将重点放在基础知识上,改正了第二版中的个别错误,删减了一些不重要的内容,添加了一些必要内容,使基础知识更为严谨全面,并力图保持原书重点突出、简洁易读的原则。例如删去基团转移反应,因多年发展说明它的应用不如期望得那样大,但增加了活性聚合内容;在表面化学中增加了花瓣效应,它和荷叶效应结合在一起才能更好地了解表面;添加了一些最近发展的有关反应如非异氰酸酯聚氨酯的制备反应;在辐射固化涂料中扩展了LED灯的介绍,因为它是发展的方向;由于水性涂料日趋受到重视,适当增加了对乳液聚合和水可稀释性树脂的介绍;另外为了使读者对涂料研究热点有全面了解,我们增加了生物基涂料、自修复涂料、智能涂料和艺术涂料等内容。

本书编写过程中得到很多读者和朋友的支持，特致谢忱。我们特别要感谢江西科技师范大学涂料与高分子系老师的支持，除申亮教授参加编写外，付长清副教授也参加了编写工作。我也衷心感谢科学出版社杨震先生对本书的一贯支持。

本书难免存在不妥或不足之处，敬请批评指正。

洪啸吟

2019年5月

第二版序

编写《涂料化学》的初衷是为了提高我国涂料界技术人员的理论水平和高等院校学生理论联系实际的能力，并为刚进入涂料领域的技术人员提供比较全面的涂料基础知识。本书自发行以来，受到读者欢迎，已印刷五次，现在仍有需求，我们很感欣慰，同时也感谢读者对本书的肯定。

《涂料化学》一书第一版发行至今已近十年。在这期间，科学与技术发生了空前的进步，出现了不少新概念、新技术与新材料，它们对涂料界是巨大的推动，涂料中同样也出现了许多新概念、新技术与新品种，这些内容在第一版是不可能包含的。再版时，我们必须将其添加进去，例如，在第三章中增加了超支化聚合物的合成、性质与应用；在第四章中增加了纳米复合材料的介绍；在第五章中增加了荷叶效应和二氧化钛的光致超双亲性；在第六章中增加了超临界二氧化碳及溶剂与环境的内容；在第七章中增加了纳米颜料；在第十章中增加了聚脲；在第二十一章中增加了光固化粉末涂料与水性光固化涂料；在第二十三章中增加了防污涂料的新发展及吸波和透波涂料；等等。在这十年里，我国的涂料工业也有了飞速的发展，2003年我国涂料的年生产量已达241.5万吨，成为世界第二大生产国，仅次于美国。涂料的发展越来越受到国人的关注，也有越来越多的人进入涂料行业。为了使读者对涂料的品种有较全面的认识，我们又增加了两章：第二十四章工业涂料，其中包括卷钢涂料、木器涂料、塑料涂料、汽车涂料、船舶涂料、家电涂料和美术涂料等；以及第二十五章建筑涂料，其中包括内外墙涂料、地面涂料和功能型建筑涂料等。

再版时除了增加上述相关内容外，还对第一版中存在的错误进行了修改。但由于水平所限，难免仍有错误与不妥的地方，敬请有关专家批评指正。希望本书的再版能够对我国从事涂料的研究、生产和应用的技术人员以及在高等院校学习涂料知识的同学有较大帮助。

本书的再版得到科学出版社杨震先生的热情支持和帮助，也曾得到涂料界朱传荣、江磐、程文环、刘国杰、梁曦等先生的鼓励。有关内容参考了杨永源、陈用烈、施文芳、石玉梅、钱伯容、李永德、李效玉、王献红、唐黎明和徐坚等先生的文稿，在此深表谢意。

第一版序

作者于1981~1985年期间在美国北达科他州立大学(NDSU)的聚合物与涂料系工作,在那里有幸听了 Z. W. Wicks 教授、S. P. Pappas 教授、J. Ed. Glass 教授和 F. N. Jones 教授的有关现代涂料的课程,他们讲授的内容涉及面广,深入浅出,理论密切联系实际,非常引人入胜。当时国内对现代涂料缺乏了解,高等院校内尚无此类课程,也尚未见到有关理论的介绍。为此,我们于1982年介绍 Wicks 教授来华讲学,受到涂料界的广泛欢迎。1985年作者回国后,又和 Wicks 教授一起在东北、内蒙古、山东等地讲学,认识了国内涂料界的许多朋友,了解到国内急需现代涂料的知识。于是作者先后应邀在北京红狮涂料公司、武汉飞虎涂料公司、武汉材料保护所、西安涂料总厂、杭州化工总公司和清华大学等为涂料界举办了多次现代涂料讲习班,对象是具有涂料生产和研究经验的技术人员以及刚进入涂料界的高校毕业生,目的是帮助他们提高理论水平和解决实际问题的能力。由于现代涂料科学是一门涉及化学(高分子化学、有机化学、无机化学、物理化学)、物理(光学、颜色学、流变学、力学)和工艺学的科学,综合性很强,对提高化学专业的高年级学生和研究生的理论联系实际和综合各科知识解决具体问题的能力,加深对专业理论的理解,很有益处,因此,作者先后在北京市化工研究院、北京大学化学系、清华大学化学系开设了现代涂料化学课程,并在浙江大学高分子系等单位举办了讲座。为了满足教学需要,我们于1986年编写了“涂料化学讲义”,并先后由红狮涂料公司、北京大学、武汉飞虎涂料公司、西安涂料总厂和清华大学多次印刷,每次印刷都有修改。涂料化学讲义兼顾了涂料界技术人员和高等学校学生的需要,在帮助工业界技术人员提高理论水平和帮助提高高等院校学生理论联系实际能力方面均取得了较好的效果,受到广泛欢迎,并希望将其成书出版,以满足国内更多读者的需要,本书便是在原讲义基础上编写的。

本书主要是参考了美国北达科他州立大学数门有关涂料课程的内容,结合当前涂料发展的方向及我国的实际情况而编写的。因此,首先要感谢北达科他州立大学的各位教授,特别是 Wicks 教授对涂料教学所做出的贡献。听过本人讲授涂料课程的几百名涂料界技术人员和北京大学、清华大学的学生,曾对讲义内容提出过不少宝贵意见,并改正了讲义中诸多错误,使内容得以不断完善。在本书编写过程中,得到了马庆林、胡汉峰、章志瑄、项端士、蔡国衡、刘会元、战凤昌、余尚先以及许多涂料界前辈和同仁的支持与帮助,有的还曾提供他们所写的资料作为本书的参考。本书的出版得到了北京大学化学系冯新德院

士,中国科学院化学研究所漆宗能教授的推荐和科学出版社的支持及中国科学院科学出版基金的资助。此外,清华大学化学系领导与同事曾给予大力支持,特别是李秀荣同志为本书的计算机输入和编排付出了大量精力,在此一并致谢。没有他们的支持和贡献,本书是难以问世的。

希望本书能对我国涂料科学与工业的发展起到一定作用。由于水平有限,错误在所难免,敬请批评指正。

目 录

《现代化学基础丛书》序

第三版序

第二版序

第一版序

第一章 绪论	1
1.1 涂料的发展	1
1.2 涂料的功能	2
1.3 涂料的基本组成及其作用	3
1.4 涂料的分类与命名	4
1.5 涂料面临的挑战	6
1.6 涂料的研究	6
第二章 漆膜的形成及有关的基本性质	8
2.1 固态漆膜的性质	8
2.2 流动与黏度	8
2.3 聚合物溶液的黏度与相对分子质量	11
2.3.1 聚合物溶液黏度的几种表示法	11
2.3.2 聚合物浓溶液的黏度	12
2.3.3 聚合物的平均相对分子质量与相对分子质量分布	14
2.4 无定形聚合物的玻璃化温度与自由体积理论	16
2.4.1 自由体积理论	17
2.4.2 自由体积与黏度的关系	19
2.4.3 影响玻璃化温度的多种因素	20
2.5 膜的形成	23
2.5.1 溶剂挥发和热熔的成膜方式	23
2.5.2 化学成膜方式	24
2.5.3 乳胶的成膜	24
2.5.4 聚氨酯水分散体的成膜	25
2.6 热固性涂料的贮存稳定性与固化速度问题	26
2.7 涂装技术	28
2.7.1 被涂物的表面处理	29
2.7.2 涂装方法	30

第三章 聚合反应	32
3.1 逐步聚合反应	32
3.1.1 线型缩聚	33
3.1.2 体型缩聚	34
3.1.3 几种逐步聚合反应	36
3.2 自由基聚合反应	38
3.2.1 自由基聚合反应的历程和反应速度	39
3.2.2 引发体系	41
3.2.3 阻聚与缓聚	44
3.2.4 聚合物的平均相对分子质量	45
3.2.5 活性/可控自由基聚合	47
3.3 共聚合反应	48
3.3.1 共聚合反应的目的	48
3.3.2 自由基共聚合反应	49
3.3.3 逐步共聚合反应	53
3.4 聚合反应方法	55
3.4.1 本体聚合	55
3.4.2 悬浮聚合	55
3.4.3 溶液聚合	55
3.4.4 乳液聚合	56
3.5 超支化聚合物及其合成	62
3.5.1 超支化聚合物的性质	63
3.5.2 超支化聚合物的合成	64
3.5.3 超支化聚合物的应用	65
第四章 聚合物改性	67
4.1 聚合物的反应	67
4.1.1 聚合物的基团反应特点	67
4.1.2 几种聚合物的改性	69
4.2 成膜物的老化和防老化	71
4.2.1 老化的各种类型	71
4.2.2 聚合物的防老化与稳定剂	73
4.3 聚合物基复合材料	76
4.4 聚合物合金	76
4.5 纳米复合材料	78
4.5.1 纳米材料与纳米复合材料概念	78
4.5.2 纳米粒子的表面改性	78

4.5.3	纳米复合材料的制备方法	79
第五章	涂料中的流变学与表面化学	81
5.1	涂料中的流变学问题	81
5.1.1	流体的类型	81
5.1.2	分散体系的黏度	83
5.2	表面化学	85
5.2.1	表面张力	85
5.2.2	润湿作用与接触角	86
5.2.3	粗糙表面的润湿	89
5.2.4	荷叶效应与双疏表面	92
5.2.5	花瓣效应与滚动角	93
5.2.6	二氧化钛的光致超双亲性	94
5.2.7	润湿的动力学	94
5.2.8	毛细管力	95
5.3	流平与流挂	96
5.4	涂料施工中的表面张力问题	97
5.5	表面活性剂及其应用	99
5.5.1	表面活性剂的类型	100
5.5.2	表面活性剂的 HLB 值	101
第六章	溶剂	102
6.1	溶剂的分类	102
6.1.1	石油溶剂	102
6.1.2	苯系溶剂	102
6.1.3	萜烯类溶剂	103
6.1.4	醇和醚	103
6.1.5	酮和酯	103
6.1.6	氯代烃和硝基烃	104
6.1.7	超临界二氧化碳	104
6.2	溶剂的挥发性	104
6.3	溶剂的溶解力	107
6.3.1	溶解度与溶解度参数	107
6.3.2	聚合物溶解的特点	111
6.4	溶剂对黏度的影响	114
6.5	混合溶剂	115
6.5.1	混合溶剂的挥发性	115
6.5.2	混合溶剂的溶解度	117

6.6	水	118
6.7	溶剂与环境	120
第七章	颜料	122
7.1	颜料的作用与性质	122
7.2	颜料的主要品种	125
7.3	纳米颜料	132
7.4	颜料的吸油量和颜料体积浓度(PVC)	134
7.5	乳胶漆的 CPVC(LCPVC)	137
第八章	漆膜的表现与颜色	138
8.1	基本光物理概念	138
8.1.1	光的反射与折射	138
8.1.2	光的吸收	139
8.1.3	光的散射	140
8.1.4	Kubelka-Munk 公式	141
8.2	遮盖力	142
8.3	光泽	142
8.3.1	光泽的概念	143
8.3.2	光泽的测定	143
8.3.3	影响光泽的各种因素	144
8.3.4	鲜映度	145
8.3.5	消光	145
8.3.6	闪光	146
8.4	光和颜色	146
8.4.1	光与颜色的关系	146
8.4.2	物体的颜色	147
8.4.3	颜色的三属性	148
8.4.4	芒塞尔和 CIE 表色系	149
8.4.5	颜色的调配	151
8.4.6	颜色的心理因素	151
8.4.7	配色	152
8.4.8	计算机配色	152
第九章	颜料的分散与色漆的制备	154
9.1	颜料的分散过程	154
9.2	颜料分散体的稳定作用	156
9.2.1	颜料的沉降	156

9.2.2	颜料的絮凝	157
9.2.3	贮存时黏度上升	159
9.2.4	漆膜鲜映性的变化	159
9.3	表面活性剂的作用	160
9.4	聚合物的保护作用与丹尼尔点	161
9.5	分散设备	162
9.6	色漆制备	164
9.6.1	色漆制备的步骤	164
9.6.2	研磨终点的判断	165
9.6.3	调稀中的问题	166
第十章	漆膜的力学性质与附着力	167
10.1	无定形聚合物力学性质的特点	167
10.1.1	模量与温度的关系	168
10.1.2	黏弹性与力学松弛	168
10.1.3	动态力学松弛	169
10.2	漆膜的强度	172
10.2.1	应力-应变曲线与聚合物的强度	172
10.2.2	漆膜的展性	173
10.2.3	漆膜的伸长与复原	174
10.2.4	漆膜的耐磨性	175
10.2.5	漆膜的抗冲击	175
10.2.6	影响聚合物材料强度的因素	176
10.3	漆膜的附着力	178
10.3.1	黏附的理论	178
10.3.2	影响实际附着力的因素	179
第十一章	干性油、松香与大漆	182
11.1	干性油与油性涂料	182
11.1.1	干性油与活泼亚甲基	182
11.1.2	油的干燥与催化剂	184
11.1.3	具有共轭双键的干性油	185
11.1.4	油基涂料	186
11.2	松香	187
11.3	大漆	187
11.3.1	生漆的主要成分	187
11.3.2	大漆的成膜	188
11.3.3	大漆的改性	189

11.4	腰果酚	189
11.5	蔗糖脂肪酸酯	190
第十二章	醇酸树脂与聚酯	192
12.1	醇酸树脂	192
12.1.1	醇酸树脂的组成与干性	192
12.1.2	醇酸树脂的凝胶及配方设计	195
12.1.3	醇酸树脂的制备方法	198
12.1.4	各种因素对醇酸树脂性能的影响	200
12.1.5	改性醇酸树脂	201
12.1.6	触变型醇酸树脂	203
12.1.7	水性醇酸树脂	203
12.1.8	高固体分醇酸树脂	204
12.2	聚酯树脂	204
12.2.1	端羟基聚酯	205
12.2.2	端羧基聚酯	206
12.2.3	水稀释性聚酯	207
12.2.4	高固体分聚酯树脂	207
12.3	不饱和聚酯	208
12.3.1	不饱和聚酯的组成与原料的选择	208
12.3.2	引发体系	209
12.3.3	操作寿命	211
12.3.4	空气的阻聚作用	211
第十三章	氨基树脂及其他交联剂	212
13.1	三聚氰胺-甲醛树脂	212
13.1.1	三聚氰胺-甲醛树脂的制备及其醚化	213
13.1.2	不同类型的甲醚化 MF 树脂的比较	214
13.1.3	酸催化剂、潜酸催化剂	217
13.1.4	丁醇醚化与甲醇醚化	218
13.2	其他交联剂	218
13.2.1	丙烯酰胺羟乙酸酯醚	218
13.2.2	2-羟基烷基酰胺	219
13.2.3	多氮杂环丙烷	220
13.2.4	碳二亚胺	221
13.2.5	乙酰乙酸酯	221
13.2.6	双丙酮丙烯酰胺	222

第十四章 丙烯酸树脂	223
14.1 丙烯酸单体与聚合物	223
14.1.1 丙烯酸单体与甲基丙烯酸单体	223
14.1.2 丙烯酸酯的共聚物与共聚单体	224
14.1.3 丙烯酸树脂的交联反应	226
14.2 溶剂型丙烯酸树脂	226
14.2.1 热塑性丙烯酸树脂	226
14.2.2 热固性丙烯酸树脂(TSA)	227
14.3 高固体分丙烯酸树脂	229
14.4 水稀释性丙烯酸树脂	230
14.5 丙烯酸乳胶与非水分散体系	231
第十五章 环氧树脂	233
15.1 环氧树脂的制备	233
15.2 环氧酯与环氧树脂的固化成膜	236
15.2.1 环氧酯	236
15.2.2 胺固化体系	237
15.2.3 酸与酸酐的固化体系	240
15.2.4 合成树脂的固化体系	241
15.3 环氧化合物的均聚	242
15.4 无溶剂环氧	242
15.5 水性环氧树脂	243
第十六章 聚氨酯	246
16.1 异氰酸酯的反应	246
16.1.1 反应物结构与反应速度	248
16.1.2 异氰酸酯结构与反应速度	248
16.1.3 异氰酸酯反应中的催化剂	248
16.1.4 异氰酸酯反应中的溶剂	251
16.2 二异氰酸酯及其加成物与封闭型异氰酸酯	251
16.2.1 几种重要的二异氰酸酯	251
16.2.2 多异氰酸酯的加成物、缩二脲与三聚体	254
16.2.3 封闭型异氰酸酯	255
16.2.4 亲水改性异氰酸酯	257
16.3 单组分聚氨酯涂料	257
16.3.1 线型热塑性聚氨酯	257
16.3.2 氨基酯油和氨基醇酸	257