

 WILEY

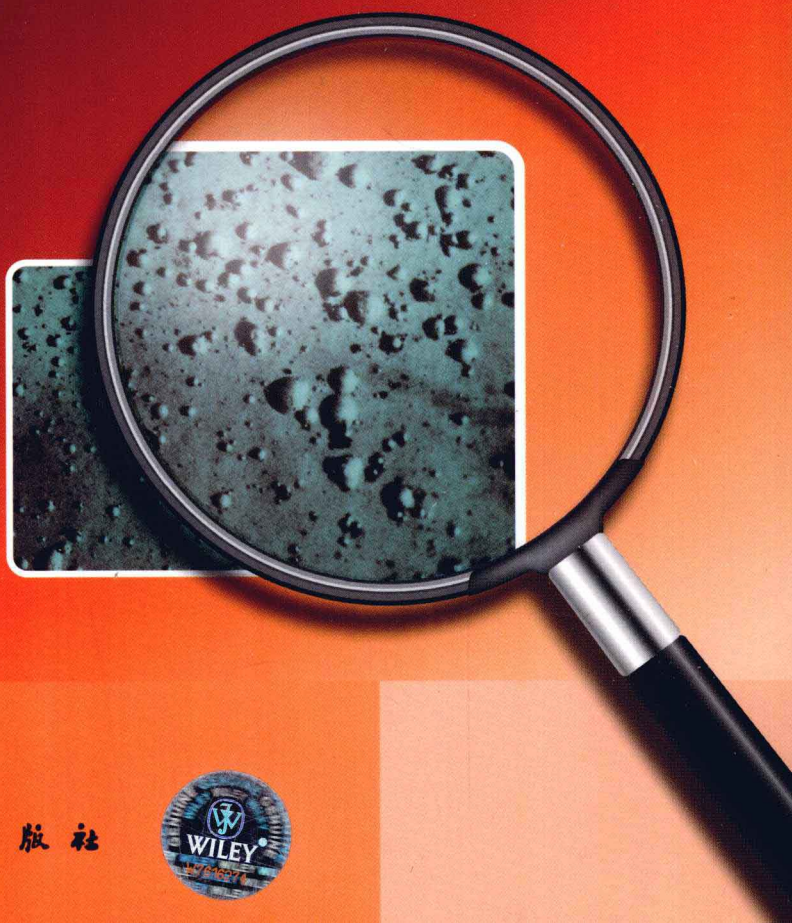
[原著修订版]

涂层失效分析

Failure Analysis of Paints and Coatings

[美] 德怀特 G. 韦尔登 (Dwight G. Weldon) 著

杨 智 雍兴跃 等译



化学工业出版社



 WILEY

[原著修订版]

涂层失效分析

Failure Analysis of Paints and Coatings

[美] 德怀特 G. 韦尔登 (Dwight G. Weldon) 著
杨 智 雍兴跃 等译



化学工业出版社

· 北 京 ·

修订版前言

从本书第一版出版至今已经超过 8 年了。在此期间，虽然许多种涂料的类型保持不变，但是相继出现了一些新型的涂料，并且这些新型涂料都进行了大量的市场推广。除此之外，表面处理技术已经取得了进展，获得培训和教育的机会也比以往任何时候都要多。然而，涂料行业仍然为涂层失效付出了应有的代价。

涂层失效不仅仅涉及一些涂料的成本。同时，修复已有涂层建筑物的代价也是极其昂贵的。如果工厂因为进行涂层修复而不得不关闭、停止生产，这将会导致生产时间的损失。如果某种容器或铁路油槽车的内衬涂层失效，大量的产品将会滞销，并可能不得不进行处理。这样，不但会使厂商声誉受到损害，而且涂层失效的成本代价也是非常昂贵的。

在本书的第一版中，介绍了涂料配方和化学的一些基本概念，这里进行了补充、更新，包括了一些其他类型的涂料，如聚脲、聚硅氧烷和粉末涂料。一些有关表面处理、起泡机制和氨致发白的化学机理讨论也包含在内。分析技术如气相色谱-质谱法和差式扫描量热法也进行了更详细的讨论。然而，与第一版一样，有关涂料化学和分析化学的内容还是给出了一些入门知识的介绍。虽然必须进行失效分析的讨论，但是关于这些内容已经分布于各章节的文字中。

正如第一版前言中所言，《涂层失效分析》全是关于问题的解决。解决问题是一个很难以教授的课题，并且很可能对好奇心和经验的依赖比其他东西都更重要。因此，除了涂料化学和分析化学的基础知识外，好奇心和经验也是构成本书的基础。在这本书中，还包含了许多现实中涂层失效的实际例子。事实上，第一版和修订版最大的区别在于第 10 章讨论了更多数量的涂层失效的实例。在这一章节中，一共增加了 8 个涂层失效调查实例，其数量在第一版的基础上几乎翻了一番。我希望读者们能像作者一样喜欢研究这些具体的实例。

Dwight G. Weldon
Weldon Laboratories, Inc.
PO Box 40
Imperial, PA 15126, USA

第一版前言

以作者的观点来看，没有事情比解决某一问题更令人满意。涂料与涂层的失效分析既是关于问题的解决，同时也是一项吸引人的且充满着挑战的重任。这需要融汇聚合物化学、分析化学、涂料科学知识，甚至包括像侦探般地进行细致的观察。除了最后一项例外，所有这些技巧都可在学校或从书本上学到。将这些整合到一起不但需要一定的工夫，而且也是我编写这本书的动力。在写作这本书的过程中，最困难的或许是如何决定对该书材料进行组织。在解决涂层失效问题的过程中，至关重要包括涂层缺陷、强度在内的透彻分析。然而，对涂层/底材系统化学和物理性质的了解也具有同样的重要性，这也包括常规的样品和背景资料的收集、整理。所有这些都最终取决于初始时对涂层技术的基本了解和掌握。如果没有这方面的知识，也是不可能决定在实验室内所要研究、寻求的目标。

关于本书的主题，虽然也有一些优秀和全面的文本，但是如果没有事先说明我们正在研究内容的性质时，似乎是不可能编写一本关于失效分析的手稿。熟悉的读者可以跳过其中的一些章节，但应该指出，在树脂和聚合物的章节中也包含了一些关于失效机制的具体内容。同样，在不事先讨论涂料理论背景的前提下，似乎也是不可能写成各种分析方法。诚然，这些讨论是非常简短的，因为全书已经有很多关于每个技术的内容。事实上，由于我个人特别喜欢分析化学，因此在本书中虽然不那么全面，但是其内容很吸引人。我希望自己能尽量地克制，编写出一本关于失效分析而不是化学分析的书。然而，对各种技术的基本知识了解是很重要的，这是为了认识它们的局限性。如果不清楚某种技术的局限性，就很有可能导致严重的错误判断。

在一个理想化的世界中，不存在油漆失效，我将会找到一个不同的工作方式。在一个近乎理想化的世界中，人们将拥有无限的时间、优秀的样本和可观的预算用以解决出现的问题。通常，这些条件是不会存在的。此外，虽然取得了很大的进步，但是我们关于油漆和涂层的基本知识仍然存在着相当的差距。如果不清楚一些事物为什么起作用，那就很难说清楚其为什么不起作用。由于上述原因，有些时候就无法明确地确定涂层失效的机制。但是，如果从开始就对涂层技术有充分的了解，那么运用许多可用的有效的分析技术，保持开放和探究的精神，大部分的涂层失效问题都可以得到解决。希望本书将成为在这一方向迈出的一步。

Dwight G. Weldon

致谢

感谢 Carolyn Smith 女士在本书初稿中提供的所有帮助。同时，感谢我父母对这本书的关爱。所有这些，我都会永记不忘，包括我所有朋友对我的鼓励。

译者前言

涂料在工业、家居等方面应用广泛。目前，涂料的品种、牌号很多，性能大同小异。但是，服役寿命却千差万别。这是研究人员、工程技术人员面临的亟待解决的问题。

涂层失效的原因很多，不仅涉及涂料本身，而且涉及涂层施工工艺、被涂层基体材料表面处理等诸多方面。由此，研究人员需要研究涂层失效机理，为开发新型涂料提供理论依据；生产企业更是需要了解涂层应用过程中失效的原因，以便改进、提高涂料质量。工程技术人员则需要掌握涂层失效分析的方法，现场分析、判断引起涂层失效的可能因素，以避免类似情况在涂料工程中的再次发生。可见《涂层失效分析》一书的出版，可以满足研究、生产和工程建设方面的需要。

除此之外，在军工产品、航天航空产品的保护方面，涂料的应用也更为广泛。这不但要求开发新型的涂料，而且也迫切需要开展有关涂层服役过程中的失效分析与研究，这对于提高军品服役寿命，保证相关产品的安全运行同样具有重大意义。

本书系统地概述了涂料配方的原理与组成，涂层的工作机制和失效机理。同时，对各种颜料、助剂和溶剂进行了系统介绍，有利于读者掌握涂料新品种开发的基本原理。在此基础上，该书系统地介绍了 14 个系列涂料，有利于读者了解涂料的品种及其性能；介绍了开展涂层失效分析的现场方法、物理方法、现代分析仪器方法，有利于研究人员和工程技术人员系统了解、掌握如何研究涂层失效。同时，该书结合 18 个实例，对涂层失效进行了具体的分析，有利于工程技术人员掌握现场评判和分析涂层失效的工作程序。总而言之，该书以涂层失效为主线，系统阐述了其原理、方法和实例，涵盖了目前涂料产品与涂层失效研究等方面，实用性强，并且具有普遍性。各章节内容丰富翔实、全面，重点突出，论述通俗易懂，对于涂料领域中的研究人员，生产、工程技术人员和初学者都是很好的参考书。

为了促进我国涂料领域的研究、生产和施工技术发展，中国航空工业集团第一飞机设计院杨智、北京化工大学雍兴跃两位同志负责组织将该书译成了中文。其中，杨智翻译了第 1 章涂料配方原理、第 4 章添加剂和溶剂、第 7 章实地调查法；雍兴跃翻译了修订版前言、第一版前言、第 2 章涂层的作用与失效原理、第 3 章颜

料、第 11 章涂层失效的修复；中国航空工业集团第一飞机设计院张小明翻译了第 6 章施工问题；中国航空工业集团第一飞机设计院杨利翻译了第 9 章物理方法；楼瑞祥翻译了第 10 章涂层失效案例；北京化工大学王际东翻译了第 8 章分析方法；海洋涂料化工研究院王贤明、张燕翻译了第 5 章涂层类型与一般失效模式。最后，雍兴跃、王贤明翻译了涂层失效分析术语。全书由杨智、雍兴跃负责校译。此外，在本书的翻译、出版过程中，邹冠驰、姜深行等研究生做了大量工作。同时，本书还得到了化学工业出版社和中国航空工业集团第一飞机设计院的大力支持。对此，我们表示诚挚的感谢！

由于该书涉及领域广泛，译者水平有限，可能存在一些翻译不够准确之处，恳请广大读者提出宝贵的意见。

杨智 雍兴跃
2011 年 8 月

目 录

1 涂料配方原理	1
1.1 引言	1
1.2 胶黏剂	1
1.3 颜料	3
1.4 溶剂	4
1.5 添加剂	4
1.6 配方概念：颜料与胶黏剂的比例	4
1.7 配方概念：颜料体积浓度	5
1.8 配方概念：密度、固体重量与体积	5
参考文献	6
2 涂层的作用与失效原理	7
2.1 涂层的工作原理	7
2.1.1 附着力	7
2.1.2 润湿	8
2.1.3 表面预处理	10
2.1.4 黏结强度	17
2.1.5 渗透性	17
2.2 涂层的失效原理	18
2.2.1 机械应力	19
2.2.2 内应力	22
2.2.3 化学腐蚀	23
2.2.4 老化应力	24
2.2.5 渗透起泡	25
2.2.6 电渗起泡	27
参考文献	27
3 颜料	28
3.1 无机颜料	28
3.1.1 无机着色颜料——白色	28
3.1.2 无机着色颜料——黄色	29
3.1.3 无机着色颜料——橙色	29
3.1.4 无机着色颜料——红色	29
3.1.5 无机着色颜料——蓝色	29

3.1.6 无机着色颜料——绿色	29
3.2 体质颜料	30
3.2.1 二氧化硅/硅酸盐	30
3.2.2 碳酸钙	31
3.2.3 重晶石	31
3.3 耐腐蚀颜料	31
3.4 有机颜料	33
3.4.1 有机红颜料	34
3.4.2 有机黄颜料	34
3.4.3 有机蓝颜料	35
3.4.4 有机绿颜料	35
参考文献	35
4 添加剂和溶剂	37
4.1 添加剂	37
4.1.1 稳定剂	37
4.1.2 黏度调节剂	38
4.1.3 表面活性剂和乳化剂	38
4.1.4 消泡剂和防泡剂	39
4.1.5 快干剂	39
4.1.6 增塑剂	39
4.1.7 紫外线稳定剂	39
4.1.8 防结皮剂	40
4.1.9 杀菌剂	40
4.1.10 流平剂	41
4.2 溶剂	41
参考文献	46
5 涂料类型与一般失效模式	47
5.1 天然树脂与油	47
5.1.1 天然树脂	47
5.1.2 油	49
5.2 醇酸树脂和环氧树脂	51
5.2.1 醇酸树脂	51
5.2.2 环氧树脂	53
5.3 环氧树脂类	54
5.3.1 环氧树脂用胺和酰胺固化剂	55
5.3.2 环氧树脂失效模式	57
5.4 改性环氧树脂	61

5.4.1	丙烯酸环氧树脂	61
5.4.2	煤焦油环氧树脂	61
5.4.3	环氧酚醛树脂	61
5.5	酚醛树脂	62
5.5.1	甲阶酚醛树脂	62
5.5.2	线型酚醛树脂	63
5.5.3	酚醛树脂失效模式	63
5.6	氨基树脂	63
5.7	丙烯酸树脂	65
5.7.1	溶剂型丙烯酸漆	65
5.7.2	丙烯酸乳胶漆	66
5.7.3	热固性丙烯酸树脂	68
5.8	聚酯树脂	70
5.8.1	饱和聚酯树脂	70
5.8.2	不饱和聚酯树脂	72
5.9	聚氨酯树脂	73
5.9.1	双组分多异氰酸酯/多元醇涂料	74
5.9.2	脲基醇酸树脂	77
5.9.3	潮气固化聚氨酯	77
5.9.4	聚氨酯清漆和分散体	78
5.9.5	双组分水性聚氨酯	78
5.10	乙烯基树脂	79
5.10.1	乙烯树脂溶液	79
5.10.2	塑溶胶和有机溶胶	79
5.10.3	氟乙烯树脂	80
5.10.4	聚乙烯醇缩丁醛	80
5.10.5	乙烯乳液	81
5.11	沥青涂料	81
5.12	无机和有机硅改性涂料	83
5.12.1	有机硅涂料	83
5.12.2	硅酸盐涂料	84
5.12.3	聚硅氧烷涂料	86
5.13	聚脲	87
5.14	粉末涂料	89
	参考文献	90
6	施工问题	91
6.1	刷涂和滚刷	91

6.2 喷涂的应用	91
6.2.1 空气(传统)喷涂	92
6.2.2 无气喷涂	92
6.2.3 复合喷涂	92
6.2.4 静电喷涂	93
6.3 流水线喷涂	93
6.4 滚涂	93
6.5 粉末喷涂	93
6.6 与应用相关的涂层失效	94
参考文献	98
7 实地调查法	99
8 分析方法	103
8.1 光学显微镜	103
8.2 红外光谱	109
8.2.1 理论	109
8.2.2 仪器	120
8.2.3 样品处理	123
8.2.4 应用	129
8.3 气相色谱	150
8.3.1 气相色谱理论	150
8.3.2 仪器	153
8.3.3 裂解色谱	160
8.3.4 气相色谱的应用	160
8.4 凝胶渗透色谱	164
8.4.1 理论	164
8.4.2 仪器	167
8.4.3 应用	167
8.5 离子色谱	170
8.5.1 理论	171
8.5.2 应用	175
8.6 扫描电子显微镜	175
8.6.1 成像理论	176
8.6.2 X射线光谱元素分析	177
8.6.3 样品制备	179
8.6.4 扫描电镜的应用	180
8.7 差式扫描量热	182
8.7.1 理论	182

8.7.2 校正和样品准备	184
8.7.3 DSC 的应用	186
8.8 其他分析方法	190
参考文献	191
9 物理方法	192
9.1 附着力	192
9.2 韧性和抗冲击性	194
9.3 耐溶剂性	195
9.4 耐候性	195
9.5 耐化学腐蚀性	196
9.6 抗冷热性能	198
9.7 操作参数	199
参考文献	201
10 涂层失效案例	202
10.1 聚氨酯面漆从环氧涂层上脱落	202
10.2 环氧树脂罐涂层的起泡	205
10.3 砖石墙上环氧涂料体系涂层的裂纹和分层	207
10.4 铝制卷材上的涂料变色	209
10.5 热塑性树脂涂料的脱层、变色	211
10.6 地坪涂料的脱层	215
10.7 快干醇酸漆的脱层	217
10.8 煤焦油环氧树脂的失效	219
10.9 无机富锌底漆的龟裂	222
10.10 电泳涂装样板的缺陷	225
10.11 灯柱上涂料的失效	226
10.12 事例 1 混凝土地坪涂料的鼓泡	228
10.13 事例 2 混凝土地坪涂料的起泡	232
10.14 金属椅子上涂层的脱皮	234
10.15 铁路车厢涂层失效	238
10.16 桥梁用石油磺酸钙改性醇酸面漆的失效	240
10.17 家具乳胶漆的退色	242
10.18 罐车衬里涂层的失效	245
参考文献	250
11 涂层失效的修复	251
附录 涂层失效分析术语	254

1

涂料配方原理

1.1 引言

在讨论一种新涂层的化学和力学性能之前，请读者花 1~2min 想想在日常生活中所见到的涂料用品。这是一个很长的清单，包括了桥梁、水箱（包括内外层）、汽车、飞机、多种用途的结构钢、化工容器、各式木制品、塑料保险杠、家具、混凝土块、水泥地板、船舶壳体、墙粉、无浆砌墙、日常用具和食品容器。这清单似乎是无穷尽的。但是，这并不奇怪，因为这是在第一步配制涂料过程中要问的一个简单的问题，即该涂料将被用于何处？

这是一个关键问题，因为每一种涂料都是一个综合考虑的结果。一种涂层不可能又软又硬，也不可能既光滑又平整。比如，乙基硅酸盐富锌底漆具有超耐腐蚀性能，可以用在结构钢上。然而，如果作为甲板的涂料使用时，则可能失败。所以，一旦涂料使用目标确定，那么在涂料生产过程中，则必须遵循一些基本原则。

大部分的涂料由四种基本成分构成：即胶黏剂^❶、颜料、溶剂和添加剂。但是，有一些涂料却未必全包含这四种成分。例如，一种 100% 固体喷涂环氧就不含溶剂，而一种汽车的清漆则不含颜料。不过，重要的是作为研究涂料配方的人员必须懂得这些基本成分的作用，包括它们之间是如何相互起作用的。

本章的目的不是让读者来配制一种涂料，而是要了解涂料的作用机制，并由此明白涂层为何失效。

1.2 胶黏剂

简单来说，涂料的胶黏剂是一种能够使其聚合的“胶水”，其主要功能保证与

❶ 胶黏剂在涂料配方中也称作“成膜物质”。——译者注

基材的黏附。除了少数例外，胶黏剂几乎都是有机物，并且都是由天然树脂，或者人造聚合物、预聚物组成。

有多种类型的胶黏剂分别用于不同的用途，如醇酸树脂、乙烯基树脂、天然树脂和油、环氧和聚氨酯树脂等。这些树脂和聚合物的许多特殊性质将于本文后面讨论。下面，主要讨论胶黏剂一些普通性能。

通常依据其固化方式，胶黏剂被分成一种或两种类型。那些完全由溶剂挥发而固化的胶黏剂被称为热塑性胶黏剂，有时或被叫做不可逆转胶黏剂。而那些在应用期间或之后通过化学反应而固化的胶黏剂被称为热固性胶黏剂。

胶黏剂的命名看起来似乎很简单，但在一些行业领域仍然会产生混淆。比如，磁漆和醇酸涂料。在一个化学家看来，术语“磁漆”表示一种通过化学反应固化的热固性涂料。而在一个营销或广告人员眼中，该术语经常被看做是一种硬而有光泽的涂料，与其固化机理无关。这是否有可能存在软的热固性涂料，甚至还有相对较硬的热塑性涂料呢？因此，磁漆作为描述性的词语比作为科学术语更常用。

醇酸基本上是天然油改性的聚酯，如亚麻籽油。它们的用途很广泛，包括建筑外墙涂料，并经常称为热塑性涂料。然而，这个用词通常是不正确的。

没错，亚麻油醇酸树脂是通过溶剂挥发而干化的。然而，这仅仅是其固化过程中的第一步。第二步不是与涂料中的其他成分进行化学反应，而是与空气中的氧气进行反应。这个反应并不快，在反应基本完成之前很可能要几个星期或几个月的时间。事实上，共同反应物不是油漆的一部分，而且反应如此缓慢，导致在划分涂料类型上的一些错误，将其划分为热塑性涂料，而实际上是热固性涂料。

黏度是涂料配方人员需要了解胶黏剂的另一基本性质。直观上，黏度是指某种材料的抗流动性。厚的黏性材料，如枫树糖浆不像水那样的低黏性材料容易从一个容器内流出。有很多种方式可用来测量涂料的黏度，所以黏度的单位也有很多种。虽然黏度与流变学的详细讨论已经超出了文本的范围，但是对它们的理解具有非常重要的现实意义。

一种涂料必须有足够低的黏度使之满足传统器具的涂刷使用（如刷子、滚筒和喷雾器），而且还要有足够高的黏度以免涂层形成凹陷或流挂缺陷。至少涂料的黏度必须适合在一个短的时间内，涂层后能够使涂料自流平。这是不仅为消除缺陷，如涂刷痕迹的需要，而且也为涂层在热力学上润湿基材的需要。后一个性质是实现良好附着力的关键。

影响胶黏剂黏度的主要因素为胶黏剂的分子量。在其他条件相同的情况下，高分子聚合物要比低分子聚合物具有更高的黏性。这是一个重要的事实，对于涂料配方设计，可以采用两种方法控制涂料的黏度：改变聚合物或树脂的分子量，或者利用溶剂稀释。所采用的方法都会对涂料有关的物理与化学性质产生重大的影响。

在以前，人们通常选择比较容易的方法，就是稀释。高分子聚合物比低分子聚合物有着更优异的性能，而且溶剂也相对便宜。然而，如今随着监管和环保意识加强，一般倾向于选择低分子量的高固体涂料。在许多方面，这与说趋向于选择热固

性涂料而不选择热塑性涂料是一个意思。

典型的聚醋酸乙烯酯或聚氯乙烯 (PVA/PVC) 涂料在建筑、轻工等行业上有许多用途, 它的相对分子质量可达到 200000 或更高。事实上也必须如此, 要得到开始时就要有所付出。因为作为热塑性涂料, 低分子聚合物一旦通过溶剂挥发固化后就不会简单地具备了需要的物理特性。高分子量材料带来的结果是高黏度。这样的涂料可能含有 70% 的溶剂, 以保证涂料黏度在可应用的范围之内。

相反, 让我们看看双组分胺固化环氧树脂涂料。这类涂料由一种环氧组分 (可以是透明或添加颜料的) 和一种单独包装的含胺活性组分组成。在使用之前, 将这两种组分短暂地混合, 胺与环氧反应生成一种硬而坚韧的高交联涂料。环氧分子量仅仅只有 500~1000, 而含胺的分子量甚至更低。因此, 它们的初始黏度很低, 这类涂料大概只含有 10% 或 20% 的溶剂。

以前的讨论主要集中于分子量, 因为分子量与黏度有关。对于双组分涂料来说, 在涂料配方中的另一重要变量, 是当量重量。一种聚合物当量重量是由它的分子量除以聚合物分子反应官能团数目得到的。以胺固化环氧树脂为例, 主要反应的官能团环氧树脂是三元环氧树脂, 或环氧乙烷, 如图 1.1 所示。

假若某种环氧树脂的相对分子质量为 380, 且每个分子含有 2 个环氧乙烷, 则它的当量为 190。这是很重要的, 因为尽管“分子与分子间的反应”这个说法有时是正确的, 但是“当量与当量间的反应”这个说法才是永远正确的。

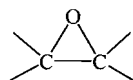


图 1.1 环氧官能团的结构

如果有人选择当量为 43 的某种胺类固化剂, 使之与上述的环氧树脂完全反应或交联, 则需将 190g 的环氧树脂与 43g 的胺类固化剂混合。而在一些情况下, 该反应可能需要某组分相对另一组分的轻微过量, 显然有关当量的理解是涂料配方制备过程中的关键。

1.3 颜料

颜料能够影响涂料的耐腐蚀性能, 物理性质及外观。颜料通常被分为两大类: 即无机颜料与有机颜料。

无机颜料由分散的微粒组成。这些微粒本质上通常都是晶体化合物, 分散在涂料中, 常常作为特殊的添加剂以改善颜料与各类树脂系统的兼容性。无机颜料对上述涂层三种的功能, 即耐腐蚀性、物理性质和美观, 都是有幫助的。

最常用的两种无机颜料是二氧化钛和氧化铁。二氧化钛被广泛用做白色颜料, 特别是作为表面涂层。二氧化钛具有较高的折射率, 这意味着它具有优良的覆盖能力, 并且对阳光中紫外线的照射具有稳定性, 而紫外线照射对大多数涂料黏结剂都有降解作用。氧化铁有许多种类, 最常见的无机红色颜料, 通常用于底漆还是面漆。氧化铁有合成的也有天然的。

体质颜料是无机颜料中的一个分支。体质颜料尽管对涂料的颜色和耐腐蚀性没有多大的作用，但是它却能影响涂料的某些性质，如密度、流动性、硬度和渗透性。最常见的三种体质颜料是碳酸钙（也被称为白粉和白垩），各类的硅酸盐如陶土（高岭土）和云母及硫酸钡（重晶石）。

市场上有机颜料的种类非常多。这些有机颜料通常都具有相当复杂的有机分子，其中一些可能会在某些树脂和溶剂中部分溶解。有机颜料极少用做底漆和重防腐工业涂料，其主要优点是色调鲜明，可产生丰富的色彩。

1.4 溶剂

除了极少数例外，大多数的涂料需要溶剂来溶解胶黏剂以改变黏度。这样，才能采用传统方法使用涂料。当涂料涂装之后，溶剂将挥发，这有助于涂料的流动使涂层平整，以及润湿基材。溶剂一般认为是有机液体，但是乳胶涂料的主要溶剂是水。

某些溶剂比其他溶剂能更有效地溶解或裂解一些树脂。溶剂的溶解能力反映在溶解度参数的大小。这个概念同时适用于溶剂和树脂。溶解度参数遵循有机化学中最简单的规则之一，即“相似相溶”原理。例如，极性溶剂比非极性溶剂能更有效地溶解极性树脂。溶解度参数将在下文进行详细的讨论（见 4.2 节）。

除了相容性之外，溶剂的挥发率也很重要。对于高饱和蒸汽压和挥发迅速的溶剂被称为快或热挥发性溶剂，而那些挥发缓慢的溶剂被认为是慢挥发性溶剂。溶剂的挥发率对涂料的性质有重大影响，几种常见的缺点都可追溯到溶剂的不适当选择。如果某种溶剂的挥发率过快，涂料就可能没有机会自流平，形成连续的薄膜。一个常见的例子是一些汽车面漆上偶尔出现的“橘皮”状纹理。如果溶剂的挥发率过慢，就会出现流挂现象。涂层橘皮和流挂只是两个与溶剂选择不当有关的较为明显的视觉缺陷。正如我们将在后面章节中看到的，有几个不太明显的影响也会造成严重的后果。

1.5 添加剂

虽然在 4.1 节将对添加剂进行更彻底的论述，但是添加剂涵盖了化学作用和功能这样一个广泛的范围，应该作为专题讨论。添加剂就是各类化学品，通常添加小剂量就能够对涂料的性质产生极大的影响。其中，包括表面活性剂、紫外线吸附剂、分散剂、催干剂和增塑剂。然而，一些化学家不认为增塑剂是添加剂，因为增塑剂有时是构成涂料的主要成分。

1.6 配方概念：颜料与胶黏剂的比例

一旦涂料选定了合适的成分，它们将以适当的比例混合。涂料的一个基本参数

是颜料与胶黏剂的比例（颜基比）。颜料与胶黏剂之比（P/B）就是颜料的重量与胶黏剂的重量比值。1gal（1gal = 3.7854dm³）的涂料含有 8.0lb（1lb = 0.453592kg）的颜料和 4.0lb 的胶黏剂，因此该涂料的颜基比（P/B）是 2.0。面漆的颜基比（P/B）通常是 1.0 或以下，而底漆的颜基比（P/B）通常是 2.0~4.0。在所有其他条件相同的情况下，光亮涂层的颜基比（P/B）将比流平涂层的更低。

1.7 配方概念：颜料体积浓度

颜料与胶黏剂之比在涂料配制中一个易于衡量且有用的概念。一个具有更深远影响的概念是颜料的体积浓度（PVC）。体积浓度（PVC）等于颜料的体积（V_p）除以颜料的体积与固体胶黏剂体积（V_b）和，具体表示如下：

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_b}$$

当这个值乘以 100，这参数称为体积浓度（PVC）的百分率。由上述显然可见，通过使用不同密度的颜料，可以得到两种相同的颜基比（P/B）值，但体积浓度（PVC）值是明显不同的涂料。

一个与体积浓度（PVC）的术语是临界颜料体积浓度（CPVC）。临界颜料体积浓度是指完全覆盖每个颜料粒子表面时所需要胶黏剂的量。在临界浓度以上，没有足够的黏结剂润湿所有的染料。而在临界浓度以下，会有过量的黏结剂。

通过改变涂料配方中颜料体积浓度（PVC），能够使涂料的一些性质受到显著的影响。例如，对于涂层的耐磨性和拉伸强度，通常是低于临界颜料体积浓度（CPVC）最好，而在接近临界颜料体积浓度时会迅速降低。涂层的渗透率在低于临界颜料体积浓度（CPVC）时，一般较低；而当接近或超过临界颜料体积浓度（CPVC）时，涂层的渗透率会迅速增大。所以，基于许多物理性质的劣化，对于大部分高性能或外墙涂料配方，其颜料体积浓度都不应该高于临界颜料体积浓度（CPVC）。

1.8 配方概念：密度、固体重量与体积

密度，固体重量和固体体积等物理量，包括颜料百分率和胶黏剂百分率，常常被称作涂料的“物理常数”。在涂料配方时，需要了解这些物理量，并且需要掌握如何测量或计算这些物理量。

涂料的密度或加仑重量，通常表示为每加仑多少磅，并且能方便地使用比重瓶测量。比重瓶是一个简单的量具，可以精确地测定液体的体积。在涂料行业，它通常被称为重量加仑杯。由于涂料配方中各种组分的密度各不相同，因此当生产某一批次涂料时，通过测量成品的密度就可以快速而简易地判定涂料是否合格。

涂料的固体重量有时称为非挥发性重量百分率，就是由固体材料的重量除以涂