

TULIAO PEIFANG
SHEJI 6BU

李桂林 苏春海 编著

涂料 配方设计

涂料配方应用
体系设计

涂料配方组成
体系设计

涂料溶剂
体系设计

涂料助剂
体系设计

涂料颜填料
体系设计

涂料成膜物
体系设计



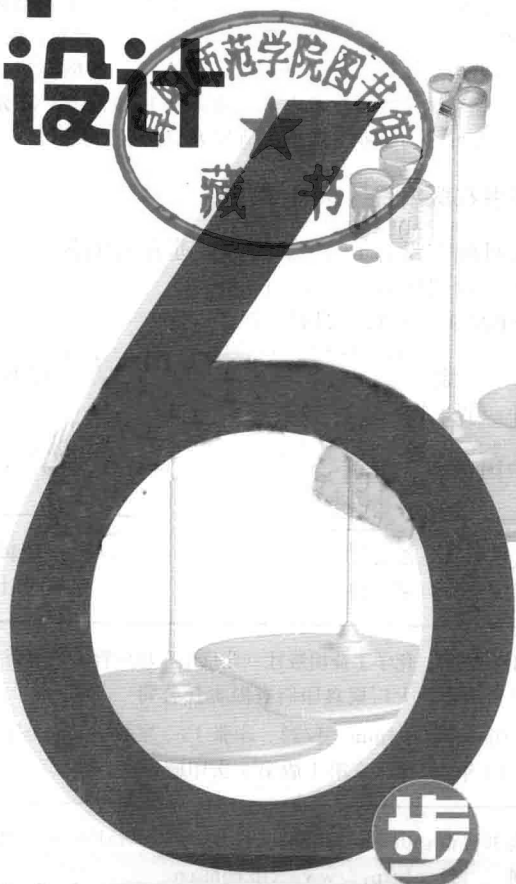
化学工业出版社



TULIAO PEIFANG
SHEJI 6BU

李桂林 苏春海 编著

涂料 配方设计



步



化学工业出版社

· 北京 ·

涂料配方设计是生产的前提,在涂料行业中占有重要的地位。本书充分利用涂料各基元组分的本质特性、基本原理、优势技术、预测规律、操作规则及合理的设计思路,以理论加案例的形式,全面讲解了如何以模块化的理念进行涂料配方设计,包括涂料成膜物体系设计、涂料颜填料体系设计、涂料助剂体系技术、涂料溶剂体系设计、涂料配方组成体系设计、涂料配方应用体系设计等6步设计方法。每一步都包括设计原理、设计关注点、原料选择、注意事项以及设计举例等内容。本书带给读者全面、宏观、新颖、实用的涂料配方设计与剖析方法,并提供了常用的参数、配合比例等。

本书理念新颖、理论系统、内容全面、实例丰富,可供涂料研制、开发和生产等领域的专业技术人员以及高校精细化工、高分子材料等专业的师生参考,也可作为企业涂料配方研发人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

涂料配方设计 6步/李桂林,苏春海编著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-122-21444-7

I. ①涂… II. ①李… ②苏… III. ①涂料-配方-
设计 IV. ①TQ630.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 168159 号

责任编辑:傅聪智

文字编辑:糜家铃

责任校对:宋 玮

装帧设计:王晓宇

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张13 字数 371千字

2014年11月北京第1版第1次印刷

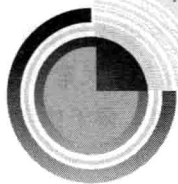
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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



FOREWORD 前言

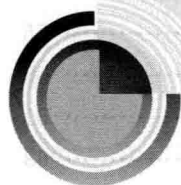
21 世纪以来, 涂料配方设计技术快速发展, 涂料新品种不断涌现, 应用范围迅速扩展, 逐步满足市场需求, 用新产品代替、否定或淘汰过时产品, 为涂料产品升级换代与涂料产业持续健康有序发展注入新动力。“十二五”起步年(2011 年), 中国涂料总产量达 1137 万吨, 在涂料发展史上创造了奇迹, 跨入到涂料年产千万吨的新时代。紧跟时代步伐, 适应涂料行业的新变化、新特点和新需求, 必须全面提升涂料工业整体质量与水平。涂料产品从数量增长过渡到品质提高是赢得竞争主动权的途径, 涂料品种向环境友好型转变是涂料发展的航向标, 涂料类型的专用(个性)化、功能化、系列化、配套化、多元化和涂料组分绿色化是涂料开发应用的切入点, 涂料配方设计的实用化与科学化成为市场开拓的主流与主旋律。

《涂料配方设计 6 步》采用市场“出题目”, 配方设计制造者“做答卷”的方式, 充分利用涂料各基元组分本质特性、基本原理、优势技术、预测规律、操作规则及合理的设计思路, 激发创造活力, 提升涂料配方设计档次及水平, 得到各具特色、接地气、有生命力的涂料产品; 在涂料配方组分、组成选择试验中, 剖析涂料各组分间相互依存、互为因果的非线性关系, 探寻涂料配方设计的预示性与规律性; 吸取同行专家的相关论述, 系统整理笔者的实践与感悟、成功经验与操作技巧, 以市场为导向, 将涂料配方组分及组成设计、涂料制造技术、涂料涂装技术和性能检测融为一体, 解决并回答了涂料产业的热点问题及实际问题。

涂料配方设计涉及内容丰富多彩、形式开放多样, 为涂料配方设计者及读者保留着深入探讨创新与施展才华的空间, 涂料市场需求无止境, 涂料配方设计无终点, 总有创新梦想要实现。

本书由涂料配方设计概述、涂料配方组分、涂料配方组成和涂料配方应用构成，提出涂料配方设计的创新理念、思维方法及相关案例，展现涂料配方设计的概括性、可操作性、指导性和规律性。限于作者的学识水平，不妥及遗漏之处难免，敬请读者不吝指教。

李桂林 苏春海
2014 年 4 月于江苏常州



CONTENTS 目录

第一章 涂料配方设计概述 1

第一节 涂料配方设计要点 1

一、涂料配方设计的目的与措施 1

二、服役环境对涂料配方设计的要求 2

三、涂料应用要求与检测标准 5

四、涂料配方设计路线与内容 6

五、涂料配方设计方法 8

六、涂料配方设计通则 10

第二节 涂料配方设计应用技术 12

一、成膜物结构更新技术 12

二、协同增效技术 14

三、复配改性技术 16

四、助剂匹配技术 19

五、纳米复合技术 20

六、涂装技术 22

第三节 涂料配方设计 6 步概述 23

第二章 涂料成膜物体系设计 25

第一节 成膜物品种与用途 25

一、成膜物性能简介 25

二、基料类型与用途 26

三、交联固化剂品种及应用 48

四、活性稀释剂品种与用途 51

第二节 成膜物固化及固化体系	55
一、固化促进剂品种和应用	55
二、成膜物的成膜方式	61
三、物理成膜体系	63
四、化学成膜固化体系	64
五、成膜物复合固化体系	71
第三节 成膜物固化体系组成技术	76
一、成膜物及固化促进剂选用规则	76
二、固化体系组分配比计量	78
三、固化体系组成选择试验	82
四、成膜物固化体系应用举例	89
第四节 使用成膜物的安全措施	91
一、使用胺类化合物的安全措施	91
二、使用异氰酸酯化合物的安全措施	92
三、丙烯酸酯类单体的危害性及防护	94
四、沥青的危害及预防	96

第三章 涂料颜填料体系设计

第一节 颜填料品种及用途	98
一、着色颜料	98
二、防锈颜料	104
三、无机体质颜料(填料)	106
四、有机体质颜料	111
第二节 颜填料应用特性	113
一、颜填料本质特性	113
二、颜填料专用特性	116
三、颜填料功能性	118
四、颜填料反应性	121
第三节 颜填料表面处理	123
一、颜料表面处理技术	123

二、填料表面处理技术	126
第四节 选用颜填料操作技术	128
一、颜填料体积分数和颜基比	128
二、颜填料润湿与分散	135
三、选用颜填料规则	141
四、选用颜填料的关注点	143
五、涂料用颜填料选择	146

第四章 涂料助剂体系设计

第一节 助剂品种及用途	156
一、助剂类型及作用	156
二、润湿剂及分散剂	158
三、流变控制剂	162
四、消泡剂	165
五、防缩孔、流平剂	167
六、增滑及抗划伤剂	170
七、防霉杀菌剂	171
八、成膜助剂	172
九、增稠剂	174
十、偶联剂	176
十一、光稳定剂	179
十二、阻燃剂	180
十三、消光剂	183
十四、纳米助剂	186
十五、其他助剂	189
第二节 助剂结构及应用特性	194
一、助剂结构与性能关系	194
二、助剂的应用特性	203
三、助剂的协同效应	204
四、选用助剂的关注点	207

第三节 匹配助剂体系	212
一、助剂的匹配规则	212
二、匹配助剂体系选择	213
三、匹配助剂组成	215
第四节 助剂使用技术	217
一、选用助剂的基本原则	217
二、助剂使用方法与加入方式	217
三、选择涂料助剂组分	229
四、用助剂解决涂料及涂膜的弊病	238

第五章 涂料溶剂体系设计

第一节 溶剂的作用与种类	241
一、溶剂的作用	241
二、溶剂的种类	242
第二节 溶剂的基本性能	245
一、溶剂的溶解力	245
二、溶剂的挥发性	246
三、溶剂的表面张力	250
四、溶剂的电性能	251
五、溶剂的黏度	252
六、溶剂的其他性能	252
七、水及助溶剂性能	253
第三节 溶剂应用特性	256
一、丙二醇丁醚在水性涂料中应用	256
二、苯甲醇的不同功效	257
三、二甲苯应用特性	257
四、酮类溶剂结构及专用性能	259
五、高沸点溶剂应用特性	261
六、溶剂对涂膜内应力的影响	262
第四节 选择溶剂关注点	263

一、选择溶剂注意事项	263
二、涂料用溶剂选择示例	264
三、溶剂的安全性	267
四、溶剂低污染化及绿色化	270

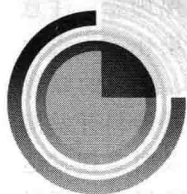
第六章 涂料配方组成体系设计

第一节 涂料配方组成设计要求与程序	273
一、涂料配方组成设计要求	273
二、涂料配方组成设计程序	274
三、涂料基础配方组成设计示例	275
第二节 涂料配方实用化设计	279
一、涂料配方系列化设计	279
二、涂料配方配套化设计	282
三、涂料配方组分优化设计	286
四、涂料非原标考量设计	289
五、涂料试样现场考核	292
第三节 涂料配方组成与应用举例	293
一、常规及专用涂料配方及应用	293
二、功能性涂料配方及应用	301
三、水性涂料品种及应用	306

第七章 涂料配方应用体系设计

第一节 涂料制造技术	311
一、涂料制造设备与工艺选择	311
二、涂料制造的操作程序	314
三、涂料质量问题及解决办法	320
四、涂料制造安全防护及废弃物治理	324
第二节 涂料涂装技术	330
一、被涂物件表面处理及其质量评定	330
二、涂料品种及配套体系选择	335

三、涂料用量及价格计算	346
四、涂料涂装操作要点	352
五、涂料涂装举例	359
第三节 涂料及涂膜性能检测	369
一、概述	369
二、液态涂料性能检测	371
三、涂料施工性能检测	377
四、涂膜性能检测	380
第四节 涂料配方设计创新与效率	390
一、涂料配方设计创新	390
二、涂料配方设计效率	392
三、涂料开发应用建议	395
参考文献	399



第一章

Chapter 01

涂料配方设计概述

涂膜服役环境及使用寿命是涂料配方设计的唯一依据。明确涂料配方设计的目的、要求、路线、内容、方法、通则及性能分析评价等基本要素,以成膜物结构更新技术、协同增效技术、复配改性技术、助剂匹配技术、纳米复合技术及涂装技术为涂料配方设计的技术支撑。涂料配方设计6步概括了涂料配方组分、组成及应用设计的全部内容。

第一节 涂料配方设计要点

一、涂料配方设计的目的与措施

1. 涂料配方设计的目的

涂料配方设计是一种具有创新性和挑战性的研发工作,任何一种涂料产品都必须满足特定的服役环境和使用寿命。涂料配方设计是采用多种基元组分、物理化学作用、产生叠加、协同增效等交互影响与渗透,使涂料产品达到预想的应用效果;涂料配方设计应以成膜物化学结构和成膜机理为依据,预测涂料性能并确定成膜条件与方式;涂料配方设计应以熟知成膜物和颜填料基本特性为基础,充分考虑助剂和溶剂(包括水)的功效,确定涂料的基本组成;在保证涂料应用性能的前提下,还应受到成本的制约。总之,理论与实践相结合,设计出适宜性价比、最适用的涂料新品种。

2. 涂料配方设计的基本措施

开发设计涂料配方时，应合理分工、优化整合；突出重点、逐步减少挥发性有机化合物（VOC）的含量；抓住科技创新、注重开拓市场、保证企业活力与后劲；坚持重在质量和环保理念、注意速度与效益协调增长。特别注重涂料基元组分的低污染化、无毒化及绿色化。如采用无污染、无毒害的混合溶剂体系，溶剂的绿色化，开发无毒性颜料，选择环境友好型助剂等措施，是涂料开发应用的基本保障措施。促使我国涂料工业与国际接轨，及时掌握发达国家涂料的新方向、新动向，确定我国涂料研发的高起点、高目标。为此应加强国际间信息交流与合作，同时加强国内同行业间的交流，建立资料信息库，瞄准世界先进水平，缩短与先进国家间的差距。

二、服役环境对涂料配方设计的要求

环境因素在涂料的选择上非常重要，是干燥还是潮湿，是一般工业还是重工业，是室内还是室外，是腐蚀环境还是通常的大气环境下使用，是南方气候（光照充足、多雨）还是北方气候使用等，均直接影响涂料应用的选择。

涂料配方设计者应将涂料使用环境作为选择涂料品种的依据之一，否则会导致配方设计失败。除上述环境因素外，还应关注如下参数：涂膜使用温度、湿度、接触化学药品（酸雾、酸、碱、溶剂、油等）、辐射、生物污染（生物侵蚀、霉等）。

关注涂膜服役环境，根据环境条件确定涂料配方组成路线和涂料品种，是保障涂料应用性的核心。下面以海洋环境为例分析海洋中的腐蚀状况及对涂料使用的要求。

1. 海洋环境腐蚀类型

（1）大气中的腐蚀 海洋大气环境中，由于存在着 NaCl ，同时在金属表面湿度较大，很容易形成一层腐蚀性的水膜，加上氧在水膜中的溶解，可形成一层电解液，导致电化学腐蚀。

（2）干湿交替区的腐蚀 干湿交替区是一个特殊区域，对于舰船来说，除了在大气中发生的腐蚀外，在海水中的腐蚀也会同时体现在其身上，因此腐蚀特别严重。金属表面受到海水的周期性润

湿、海浪的冲击,最易形成电解液膜,加上表面供氧速度在海水冲击等机械作用下大大提高,加快了金属腐蚀的阴极过程,导致腐蚀加快。

(3) 海水中的腐蚀 海水中的腐蚀受多种因素影响,最主要的因素是海水中的 NaCl 、 MgCl_2 、 MgSO_4 等盐分,它们使海水成为一种天然的电解质溶液,同时海水中还存在大量浮游生物、悬浮的泥沙、由于人类活动和其他自然因素产生的各种杂物和废弃物,这些因素的综合作用影响了金属在海水中的腐蚀程度。

2. 舰船不同部位腐蚀状况

舰船在海洋中航行,根据其所暴露在海洋环境中的位置,主要分为:水线以下船壳、水线区、水线以上船壳、上层建筑、甲板和舰船内舱等。不同部位的腐蚀情况也各不相同。水线以下船壳部位是完全浸泡在海水中的,因此其腐蚀情况就是上面所述的海水中的腐蚀情况;水线区域在舰船空载和满载时暴露在海水中的情况有所变化,是一种干湿交替区,其腐蚀情况与金属在干湿交替区的腐蚀情况相同;水线以上船壳部位主要是暴露在海洋大气环境中,其腐蚀情况与金属在海洋大气环境中的腐蚀情况相同。

3. 对舰船涂料应用性能的要求

(1) 舰船涂料的作用 舰船涂料的作用用一句话概括就是:提高舰船在海洋环境中的抗腐蚀性能,保护舰船的基体材料免受海洋环境的腐蚀,提高舰船的在航率,延长舰船的使用寿命,同时还可以减少舰船的维护次数,节约维修经费。

(2) 对船底防锈涂料的要求 船底防锈涂料由于长期浸泡在海水中,其性能要求与大气环境中的防锈涂料有较大的不同,其主要要求如下:

① 具有优异的耐水性,可防止海水渗透进漆膜,阻止海水与金属底材起化学作用而腐蚀底材;

② 具有良好的耐碱性,舰船通常在使用涂料保护的同时还加上阴极保护,因此整个船体部位会存在过量的 OH^- 而呈碱性,要求涂料还应有良好的耐碱性;

③ 与底材有优良的附着力,舰船航行在大海中,经受着海水和海水中各种介质的冲刷,为了有很好的保护作用,漆膜与底材须



有优良的附着力；

④ 干燥快，在一年4个季节中，都要有一个良好的干燥速度，以缩短涂装间隔时间，减少船坞占坞时间，节约建造和维修费用。

目前舰船所用的船底防锈涂料技术指标要求如下：小型舰船的船底防锈涂料的防护期效 $\geq 3a$ ，大型舰船的船底防锈漆的防护期效 $\geq 5a$ 。

(3) 对中间层涂料的要求

① 中间层涂料的主要作用 中间层涂料的主要作用是在底涂层和面涂层之间起到过渡作用，同时兼有防锈、防腐蚀的功能，目前舰船船底漆一般采用环氧沥青或纯环氧涂料作防锈、防腐蚀底漆，而面漆在船底漆中一般为防污漆，最常用的是沥青类涂料，现在新出现的防污漆有自抛光丙烯酸类防污漆及各种低表面能防污漆（常为有机氟树脂基料），面漆与底漆之间存在着严格的配套性问题，因此使用中涂层起一个桥梁作用，使面漆与底漆能很好地结合在一起，发挥它们各自的作用。

② 中间层涂料的技术指标要求

a. 与底漆、面漆都有很好的附着力。涂料的配套问题主要是“硬性”涂层与“软性”涂层不能很好地结合在一起，因此中层涂料要与底面漆都有很好的相容性，才能起到桥梁的作用。

b. 中层漆对底漆不能产生“咬底”现象，即中层漆所用的溶剂系统应比底漆所用的溶剂系统弱，如果中层漆所用溶剂能溶解底漆，则会破坏底漆，产生“咬底”现象。

(4) 防污涂料的作用及技术要求

① 防污涂料的作用

a. 节约耗油量。由于使用防污涂料，减少了船底海生物的附着，特别是现代高性能自抛光防污涂料，不但防污性能好，而且涂层表面光滑，具有降阻作用。因此，对减少阻力、节约燃料具有重要作用。

b. 延长坞修间隔。由于使用现代高性能防污涂料，船舶的坞修间隔延长到5a，减少了船舶坞修费用。特别是采用高性能长效船底防锈涂料与自抛光防污涂料配套体系，随着自抛光防污涂料的不断溶解，到第一个5年进坞维修时，防污涂层基本耗尽，而防锈

底漆仍然完好,因此,不用进行喷砂处理便可涂装新的防污材料,既减少坞修期,又节约表面处理费及对废涂层的处理费,经济效益非常可观。

c. 防止生物腐蚀。生物污损往往与生物腐蚀紧密联系在一起。附着生物的代谢腐蚀介质对钢底材腐蚀性很强。

d. 保持舰船性能。军舰的航速是其机动性和战斗力的基础。一艘海生物严重污损的舰船,航速可从 18 节 (1 节 = 1.852km/h) 降到 13 节。因此,减少舰船船底污损,特别是声呐罩、海底门及海水管路部位的污损对保证舰船在航率和战斗力具有重要意义。

防污涂料的作用,从本质上讲就是提供一种在规定的有效期内无生物附着的涂层表面。可以采用不同的防污技术,目前最实用、最有效的方法还是通过使用有效的防污剂,并控制有效防污剂的释放浓度,达到长期防止海生物附着的目的。

② 防污涂料的技术指标要求

外观 平整,有规定颜色

细度 $<80\mu\text{m}$

黏度 符合专用产品技术要求

相对密度 符合专用产品技术要求

干燥时间 表干 $<8\text{h}$, 实干 $<21\text{h}$

耐划水实验 符合特定要求

减阻实验 符合特定要求

耐干湿交替实验 符合特定要求

防污性能 在规定期效内,污损物小于 5% 为合格产品

防污期效是相对概念,主要由使用要求来定。例如,大中型船舶的坞修期一般为 3~5a,普通近海型运输船和渔船为 2a,而小型渔船一般半年至一年上岸一次。因此,对防污涂料的要求可粗略地分为 5a、3a、2a、1a。其中舰船一般要求采用 3a 以上防污涂料品种。

三、涂料应用要求与检测标准

1. 掌握涂料应用要求

涂料配方设计应坚持以涂料产品应用技术指标为切入点,以满



足应用要求为目的。在从事涂料配方设计时，必须牢记涂料产品应用性能，采取达到应用性能的措施，如深入用户单位调查、交流；有的放矢地确定涂料应用技术指标；了解涂料性能指标间相互影响（如高耐磨性涂膜应采用降低涂膜表面摩擦系数与提升涂膜硬度相结合；涂膜的丰满度不同于涂膜的光泽度等）；被保护底材和涂料固化条件、涂装技术及施工方法等都是涂料应用要求的内容。

2. 涂料检测标准与产品确认

当决定开发涂料新产品时，提出开发新产品者与涂料配方设计者应共同确定涂料检测标准、产品验收方法并确定产品达到要求的应用指标，作为新产品验收考证依据。当涂料检测标准无法与实际应用性能相吻合或标准中的指标与应用性能无关联时，应与供应商、使用单位协商修订验收指标和方法；也可采用已知的使用涂料产品做参比实验，最终确定新开发产品是否符合预测应用技术要求。不同应用单位对涂料产品应用性能或质量要求存在差异，新开发的涂料产品最终由供应商、生产单位和应用单位联合确认。必要时，新开发的涂料产品要通过现场应用的使用考核，合格后再正式推向市场。

四、涂料配方设计路线与内容

1. 涂料配方设计路线

用户提出开发任务时，可能包括多个应用技术指标，配方设计者应将全部应用技术指标认真分析、分清主次、确定主要指标（通常对完成配方设计起关键作用）。涂料产品应用性能的主要指标是涂料配方设计路线的关键点。同时应关照次要应用技术指标，避免影响涂料整体功效。特别要正确处理 and 解决相互矛盾或影响的应用技术指标，如涂膜的交联密度与柔韧性、涂膜的亲水性与防水性、涂膜的耐蚀性与装饰性等都是配方设计技术路线应考虑的技术关键。在制定配方技术时，应注意以下两点。

（1）确定成膜物及固化体系 成膜物是涂膜网络结构的基础构架，应根据涂料应用性能、服役环境及寿命，确定可供选择的成膜物类型与品种；根据保护涂装底材特性与涂装要求，确定涂料固化体系及成膜方式。