

船舶涂料研究进展

王晓¹, 俞建², 李钦哲³, 张善贵¹, 李雷¹, 孙琰¹, 邵亚诗¹,
郭莉莎¹, 李其原¹, 杨凯¹, 郭常青¹, 吴航³, 侯佩民¹

(1.海洋化工研究院有限公司,海洋涂料国家重点实验室,山东青岛266071;2.海军装备部,武汉4300641;
3.东北大学,沈阳110057)

摘要: 对船舶涂料的分类进行梳理,为今后进一步探索船舶涂料的新材料、新工艺和新应用提供指导。

关键词: 船舶涂料; 防腐; 防污

中图分类号:TQ637 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2024)06-0031-05

Research Progress of Ship Coatings

WANG Xiao¹, YU Jian², LI Qin-zhe³, ZHANG Shan-gui¹, LI Lei¹, SUN Yan¹, SHAO Ya-shi¹,
GUO Li-sha¹, LI Qi-yuan¹, YANG Kai¹, GUO Chang-qing¹, WU Hang³, HOU Pei-min¹

(1.Marine Chemical Research Institute Co., Ltd., State Key Laboratory of Marine Coatings, Qingdao 266071, Shandong, China;
2.Naval Equipment Department, Wuhan 4300641, China; 3.Northeast University, Shenyang 110057, China)

Abstract: This article summarizes the classification of ship coatings, providing guidance for further exploration of new materials, processes, and applications of ship coatings in the future.

Key words: ship coatings; anticorrosive; anti-fouling

0 引言

船舶涂料,不单是船艇建造与维养的基石,更是一门跨越化学、材质学、工程及环境科学等多门学科的深奥技术。其不但要赋予船舰雅观的外表,亦需具备卓越的保护性能,如耐腐蚀、耐候、防水、防火等功能^[1]。一方面,船舶涂料须具备强韧的黏附力及耐受盐蚀的特性,以期确保船身材质能抵御海水的侵蚀,这一特质不单是延伸船体寿命的关键,亦是维护船舶稳固与安全的重要保障。另一方面,船舶涂料也需拥有防止海生生物如贝类、藻类等附着的能力。这些生物的附着不但会令船体摩擦力增加,还会拖慢航速,影响燃油效能^[2-4]。经由创新研发的船舶涂料,能显著抵御海洋生物的着床,进而提升船只的燃油经济性。同时,环保理念也正成为船舶涂料研究的核心。

在环境保护意识愈发强烈的今日,无毒害、易分解的船舶涂料应运而生,成为产业的新潮流。这类涂料不单满足航行器的基本需求,更能减缓对海洋生态的冲击,助力构筑可持续海疆环境。船舶涂料的研发还涉及涂装技术与设备的进步、涂装条件的精准调优以及涂料性能的严密测试与评估,这一系列环节皆需化学、物理、材料等跨学科的知识,是船舶工程领域内的一项重要课题^[5]。

总而言之,船舶涂料作为融汇船舶工程、化学、材料、环境保护等众多学问的交汇学科,其研究价值与运用潜力是极为广泛的。它不仅牵涉到船舶的实用效能和效率,更直接关乎人类对海洋资源的持续利用,乃至全球生态的守护。未来的探究必将深化对船舶涂料新材料、新技术及新应用的挖掘^[6]。

1 船舶涂料的分类

船舶涂料的防护性是船舶保养与安全的核心要素,蕴含着一连串错综复杂的工程及化学运作。其首要使命在于防护与美化,按其职能主要可划分为防腐与防污两大类^[7]。

收稿日期:2023-09-21

作者简介:王晓(1981—),女,博士,正高级工程师,主要从事水性工业涂料和无溶剂涂料的研发工作。E-mail:wangxiaqingdao@126.com。

1.1 防腐涂料

船舶防腐涂料主要致力于钢铁构造的护理,通过塑造一层防护屏障,隔离湿气与氧分子,从而预防腐蚀现象的发生。其作用是确保金属表层免遭氧化与侵蚀。在防腐涂料的分类上,按溶剂性质划分,主要分为溶剂型和水性两大类;按树脂种类划分,则可分为环氧、丙烯酸、聚氨酯等系列。

1.1.1 按照溶剂类型分类

1) 溶剂型防腐涂料

溶剂型防腐船舶涂料作为船舶保养常用之涂料,其构成包括树脂、颜料、填料、助剂和溶剂。其中树脂乃涂料之基础,可选环氧、丙烯酸或聚氨酯等类型树脂;而颜料与填料则赋予涂层色泽与质感,并提升其防腐能力。作为船舶维护保养的利器,溶剂型防腐涂料不只提供卓越的抗蚀防护,亦增强了船身的美观与性能。选取适宜的溶剂型防腐涂料需考量船体所用材料、航行环境、涂装工艺等多项因素,以期满足特定的应用要求。同时,施工中应恪守安全与环保的规范,确保作业人员的健康与海洋生态的保护。

2) 水性防腐涂料

水性防腐涂料作为一种新型环保涂料,以水替代有机溶剂作为主要液相介质。在船舶防护领域中,这种涂料日益受到青睐,其基本配方中采用的是特制水性树脂,如水性丙烯酸、水性环氧和水性聚氨酯等。借助水和各种助剂,该涂料具备了更佳的流动性与施工性。水性涂料最显著的优势在于其绿色环保特性,排放极低的挥发性有机化合物(VOC),大幅减轻了对环境与健康的负面影响。随着水性树脂性能的不断增强,水性防腐涂料亦已广泛应用于钢结构、船舶等要求苛刻的重防腐领域。

1.1.2 按树脂类型分类

船舶防腐涂料是专为守护船舶构造免遭蚀损而设计的涂层,在造船与船只维养领域扮演着至关重要的角色。它施以保护,使得船舶得以抵御腐蚀之害,从而延长船舶的使用寿命,并有助于保持其运行效能与外观的雅观。在防腐涂料的分类中,依树脂的种类可细分为环氧、丙烯酸、聚氨酯、有机硅、有机氟等多种树脂涂料。

1) 环氧树脂涂料

船舶环氧涂料作为船体保养的关键材质,广泛应用于各式船只及海洋构筑物的表层护理。该涂料由环氧树脂、固化剂、体质颜料与各类助剂构成,提供超群的附着性、抗化学性及耐候性。根据所含溶剂类型可划分为溶剂型和水性环氧涂料。

环氧涂料以其卓绝的附着强度、硬度及化学稳定

性而闻名,在防腐领域得到普遍应用。然而,水性环氧涂料在固化成型过程中,涂层内部有孔隙和微裂痕的风险,这些问题在使用过程中可能加速腐蚀介质向涂层与底材之间的扩散,损害防腐性能。为应对此问题,研究人员考虑添加纳米级填料,如碳纳米管、二氧化硅、二氧化钛等纳米粒子,以强化涂层性能^[8-10]。

Li H 等^[11]通过在氧化石墨烯表面偶联疏水性基团,并与水性树脂表面的官能团反应,成功在涂层内部形成了复杂的迷宫式腐蚀路径。这种结构有效地阻挡了腐蚀性介质渗透至涂层与底材之间。此外,通过交联反应,还解决了由非极性基团引起的相分离问题。显然,利用带有疏水官能团的偶联剂来提升涂层的耐腐蚀性是一项前景广阔的技术。

近年来,国内外对这一领域的研究取得了显著进展,随着表征技术的不断提升,防腐涂料的作用机理也变得更加清晰。例如,Zhong F 等^[12]通过使用单宁酸(TA)对石墨烯(Gr)进行修饰,增强了 Gr 的水分散性,并利用聚苯胺(PANI)包裹五氧化二钒(V_2O_5)以增进导电性,这有助于快速形成钝化膜。同时,通过 Π - Π 相互作用,将 PANI 包裹的五氧化二钒(PV)与 Gr-TA 自组装,制备出了具有优异防腐性能和自愈能力的水性环氧涂层(Gr-TA@PV/WEC)。Kasaeian M 等^[13]则通过非共价官能化手段,将氧化石墨烯(GO)纳米片与 1H-苯并咪唑(BIM)分子结合,制得了具有卓越自修复性能的防腐环氧涂层。通过将氧化石墨烯(GO)纳米片与 1H-苯并咪唑(BIM)分子非共价官能化,制备了具有优异自修复性能的防腐环氧涂层,研究发现,在环氧涂层中仅添加 0.1% 的 GO-BIM 便可构建一个更高效的耐腐蚀系统,显著提高了阻隔性和活性抑制性能。Roselli S N 等^[14]研究了不同活性磷酸盐颜料添加到水性环氧防腐涂料中的效果,并将涂层暴露于半工业环境长达 7 年之久,以此探讨实验室测试与实际应用之间的相关性。结果显示,颜填料的悬浮液与金属底材的性能无关,而涂料的性能完全取决于树脂本身的特性。尽管磷酸铁锌和锌磷酸铝在悬浮液中的性能较差,但当它们被添加到涂层中时,所制得的涂层展现出最高的电阻和最低的薄膜电容,这表明户外暴露测试的结果与阻抗测量结果存在关联。

2) 丙烯酸树脂涂料

丙烯酸树脂涂料由丙烯酸及甲基丙烯酸酯单体聚合形成,属于多功能且性能卓越的涂料种类。这种涂料以快干、耐候和环保等特性著称,在众多工业与商业应用领域备受青睐,其杰出的耐候性能和粘接力使其在船舶制造和维护中也得到了广泛的运用。

近年来,随着改性丙烯酸技术的不断进步,通过引

入硅、氟等功能性基团,显著提升了丙烯酸树脂涂料的性能。例如,张昭等^[15]研究了将有机硅原子加入到丙烯酸树脂分子中的效果,发现纳米级的 SiO₂ 粒子能够在丙烯酸树脂的分子间隙中均匀分散,这有助于形成微米至纳米级别的结构,从而大幅度增强了涂层的疏水性和抗污能力。采用这种方法制备的树脂非常适合应用于船壳的面漆。Vengadaesvaran B 等^[16]在对有机硅改性丙烯酸树脂的不同配方进行研究时,发现当丙烯酸酯与有机硅的质量比为 7:3 时得到的改性丙烯酸树脂具有优良的抗冲击性和弹性,这一发现有效解决了传统丙烯酸树脂易脆裂的问题。而在钟荆祥等^[17]的研究中,通过向水性丙烯酸涂料中添加纳米二氧化钛,增强了涂层的耐腐蚀性。特别是当纳米二氧化钛的添加量达到 3% 时,涂层的耐腐蚀性表现最佳。这一发现对于上层建筑领域水性涂料的应用提供了有价值的参考。

3) 氯化橡胶树脂

氯化橡胶涂料主要由氯化橡胶(如氯丁橡胶)构成,并通常包含挥发性溶剂以及可能的颜料和各种添加剂。这种涂料以其卓越的耐酸性、耐碱性、耐盐性以及对其他化学物质的腐蚀抵抗能力著称,同时也表现出优良的耐候性和强大的附着力。自 19 世纪 60 年代起至 2010 年前后,它一直是船舶、集装箱、石油化工、水利和电力等行业中最重要的涂料品种之一^[18]。然而,由于水性氯化橡胶涂料的技术难度相对较高,即便是溶剂型氯化橡胶涂料的固体含量也仅有约 35%,并且需要添加大量稀释剂,导致 VOC 含量较高,因此,氯化橡胶涂料已逐步退出市场。尽管如此,合肥工业大学开发的水性氯化橡胶乳液在防腐涂料领域开辟了新的应用方向,为这一传统材料注入了新活力。李石等^[19]通过使用醇酸环氧树脂对氯化橡胶进行改性处理,并添加了适当的分散剂、消泡剂和附着力促进剂,从而赋予改良后的氯化橡胶涂料出色的装饰效果以及增强的耐海洋大气腐蚀、耐曝晒、耐盐雾的性能,同时也提高了涂层的附着力和柔韧性。

4) 有机硅树脂涂料

有机硅树脂涂料是由含有硅氧键的高分子化合物构成的一类涂料,这些化学键提供了特殊的耐候性和热稳定性。有机硅高分子的主链由硅氧结构组成,而侧链则由有机基团构成。这种独特的结构组合了有机硅和无机硅材料的特点,使得该材料拥有优异的热稳定性、介电性能和疏水性。由于硅氧键的键能高达 462 kJ/mol,远高于碳碳键的 347 kJ/mol,因此有机硅改性的环氧类树脂特别适用于需要耐高温的重防腐应用领域^[20]。

Chiu Y C 等^[21]进行了一项对比研究,探讨了硅烷偶联剂 KH-550 和 KH-560 的不同官能团对环氧树脂涂料属性的影响。通过应用溶胶凝胶技术对 DGEBA 型环氧树脂(EP)进行改性处理,成功制备了两种混合树脂系统:EP-APTMS-BTB 和 EP-GPTMS-BTB。马宁波等^[22]研究发现,氢键作用可以显著提升有机硅单体或低聚物与环氧树脂基体的兼容性。此外,采用有机硅核壳聚合物(CSP)对环氧树脂黏合剂进行改性,以增强其韧性,是一种有效的方法。

5) 聚氨酯树脂涂料

聚氨酯树脂涂料由异氰酸酯与多元醇反应生成,以其卓越的耐候性、抗紫外线能力、柔韧性和耐冲击性而著称。与其他涂料相比,聚氨酯涂料还具备更优秀的附着力和对化学品的抵抗性。鉴于近年来日益严格的环境保护法规,水性聚氨酯分散体受到了越来越多的关注,它们有潜力替代传统的基于溶剂的聚氨酯产品。尽管水性聚氨酯技术已经有了显著的进步,但在船舶重防腐领域,其目前主要应用于集装箱外壳的涂装,而在船舶本身的应用中,溶剂型聚氨酯依然占据主导地位。Jena K K 等^[23]通过使用 3-氨丙基三乙氧基硅烷(APTES)作为偶联剂来修饰氧化锌(ZnO)和硅改性的石墨烯(CRG),进而改进水性聚氨酯(WPU)。这一过程产生了(WPU)-APTES-ZnO 和(WPU)-APTES-CRG 复合材料。APTES 的使用有效提升了有机材料与无机材料间的兼容性,确保了纳米粒子在水性聚氨酯基质中的均匀分散。这种修饰方法不仅提高了树脂的稳定性,还增强了其拉伸强度、附着力以及耐冲击性和柔韧性等关键力学性能。

6) 锌基涂料

锌基涂料通常由锌粉、树脂、固化剂以及一系列其他添加剂构成,可以划分为无机和有机两个类别。在这类涂料中,锌粉不仅是关键的活性成分,而且通过牺牲阳极的方式为钢结构提供防腐的阴极保护。这种防护机制确保了一旦涂层被破坏,锌将优先于钢材发生氧化,从而防止底层的钢结构继续遭受腐蚀。锌基涂料特别适用于海洋环境中的工程结构,如码头和港口设施等,其分类见表 1 所列。

表 1 锌基涂料的分类

类别	举例	特点
有机锌基涂料	Zinc Clad	适合极端环境
无机锌基涂料	Galva Coat	耐候性强
有机无机杂化锌基涂料	Galvosil Zinc	防腐性能和柔韧性兼备

1.2 防污涂料

船舶防污涂料是一种特殊配方的涂层,旨在减少

船只在水中航行时表面的生物污垢积累。这种涂料对于维护船体的洁净、优化燃料效率以及降低对海洋生态的影响具有重要作用。其工作原理是利用特定的化学成分来抑制海藻、贝壳等海洋生物在船体上的附着。这些涂料通常以环氧树脂或丙烯酸树脂为主要成分,确保了其耐磨性和良好的附着力。在航海领域,防污涂料得到了广泛应用,并分为含有毒性成分的传统类型和低毒性或无毒环保型防污涂料两大类。

1.2.1 有毒防污涂料

1) 传统防污涂料

在船舶行业中,传统防污涂料被广泛采用以防止海洋生物如藻类和贝壳等附着在船体上。这些涂料的关键成分包括有害金属(如三丁基锡)和铜的化合物以及有机溶剂^[24]。其中,有害金属成分负责抑制生物的附着,而有机溶剂则贡献了涂层的黏合力和干燥特性。根据防污剂释放的方式,传统防污涂料可分为基体溶解型和基体不溶型两种,其主要成分见表2所列^[24]。

表2 传统船舶防污涂料

类别	主要成分	特点
基料可溶型	松香+氧化亚铜	基体分解难控,防污效率低,有效期1 a左右
基料不溶型	丙烯酸+氧化亚铜; 氯化橡胶+氧化亚铜	有效期3~5 a; 后期效果差,高固体分

在传统的防污涂料中,氧化亚铜作为主要的防污剂使用,通过向海水释放铜离子来使海洋生物的蛋白质发生变性,并最终导致这些生物死亡。但氧化亚铜存在渗出率难以控制的问题,这可能导致防污效果的持续时间较短,从而造成涂料的浪费。为了改善这一状况,研究者们对氧化亚铜进行了改性研究。高秋红等^[25]通过添加纳米级氧化亚铜到防污涂料中,成功延长了防污效果的有效期,并增强了涂料的贮存稳定性。王佳兴等^[26]采用化学还原法制备了不同形状和粒径的纳米氧化亚铜颗粒,发现粒径为801.5 nm的立方形氧化亚铜颗粒具有最慢的释放速率。熊杨凯则运用软模板法和自模板法合成了氧化亚铜空心微球,这种方法在确保防污效果的同时显著降低了氧化亚铜的使用量。

1.2.2 低毒或无毒防污涂料

近年来,为了应对环境保护的挑战和遵守相关法规的限制,低毒或无毒的防污涂料作为一种新型环境友好型解决方案被开发出来。这些涂料减少了对海洋生态系统有害成分的使用,或者完全摒弃了这些成分,从而提供了一种更加可持续的防污选择。其工作原理基于物理阻隔手段和生物方法:一方面,通过创建超疏

水或超疏油表面来降低海洋生物的附着概率;另一方面,采用非有害的生物活性物质,以自然的方式阻止生物的附着。这些涂料通常由天然活性成分(如海藻提取物)构成,代替了传统的重金属化合物,它们不仅符合许多地区和国际组织对环保的规定,而且还能提供长期的防护效果,并减少维护工作的需求。

PPG公司推出的SigmaSlide 1290产品^[27]是一种成本较低的低表面能防污涂料,它用价格相对更低的有机硅替代了昂贵的氟化物成分。在另一个创新中,Wohlgemuth等^[28]模仿海豚表皮的结构,在环氧树脂表面植入了一层极短而密集的纤维,研发出了具有仿生特性的防污涂料。樊艳达^[29]则通过原位聚合技术合成了聚苯胺/碳纳米管的复合材料,这种材料不仅具有良好的导电性,还具备防腐蚀性能,从而减少了因外加电流而导致的船体腐蚀加速的风险,创造了一种具有导电功能的防污涂料。

2 结语

船舶涂料技术的进展体现了工业需求、环境保护、法规约束和科学研究之间错综复杂的互动关系。近年来,这一领域的研究取得了突破性成就,不仅增强了涂料的功能性、降低了维护成本,还促进了更广泛的可持续发展目标的实现。

从性能角度考虑,通过优化配方和采纳尖端的应用技术,新一代的船舶涂料提供了更卓越的耐久性和效率。无论是预防生物附着、抵抗锈蚀还是防止腐蚀,这些先进的涂料都能有效地维护船体结构,延长其服务周期,同时有望减少维修和保养的需求及相关开支。

环境保护现已成为推动船舶涂料研发的核心动力。由于传统涂料中的某些成分对海洋生态系统造成了长期的伤害,这促进了人们对于低毒性和无毒替代品的研究与发展。通过环境工程与生态学领域的跨学科协作,化学家和工程师们得以创造出更为环保的涂料产品,从而减少对海洋生态造成的不良影响。

未来的船舶涂料研究将着重于开发具有多重功能和智能化特性的先进涂料,这些新型涂料或将具备自愈、自洁以及适应特定环境变化的能力。通过融合纳米科技、生物科技以及尖端的材料科学,下一代的船舶涂料预计将展现出史无前例的性能和适应性。整体来看,船舶涂料行业显示出巨大的发展潜力和多样化趋势,它不仅是船舶制造业与材料科学交汇的关键领域,也是未来创新的热点。成功将依赖于不同学科领域的合作、不断的技术革新以及对全球可持续发展目标的坚定承诺。通过整合现有科学技术知识并积极开拓新的研究路径,船舶涂料领域有望为船舶工业的持续发展贡献力量,同时也在保护和修复我们宝贵的海洋生态

系统中扮演重要角色。

参考文献:

- [1] 朱娅妮.船舶用耐热防腐涂料的制备及性能研究[D].武汉:华中师范大学,2015.
- [2] 叶章基.新型船舶防污涂料研制及应用[D].广州:华南理工大学,2018.
- [3] 王现乐.用于船舶结构的自修复涂料的设计与检测[D].沈阳:沈阳建筑大学,2016.
- [4] 李俊霖.水性船舶防腐涂料的制备与性能[D].天津:天津大学,2014.
- [5] 周鸿飞.船舶防污涂料及其减阻效应评价研究[D].大连:大连海事大学,2013.
- [6] 夏杰.聚氨酯改性有机硅船舶防污涂料研究[D].北京:北京化工大学,2020.
- [7] 王东.性船舶涂料的应用研究[J].化工设计通讯,2018(8):73.
- [8] 张春明,李颖.溶剂型双组分重防腐涂料的制备及性能研究[J].有色金属材料与工程,2019(4):35-41.
- [9] 张达志,王立,谭海龙,等.水性环氧涂料的制备与性能研究[J].现代涂料与涂装,2021(11):1-3.
- [10] Li C, He Y, Li Z, et al. Graphene loaded with corrosion inhibitor cerium (III) cation for enhancing corrosion resistance of waterborne epoxy coating: Physical barrier and self-healing[J]. Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects,2021,635:128048.
- [11] Li H, Xue C, Gao L, et al. "Labyrinthine structure" anticorrosive water-based composite coatings [J]. Progress in Organic Coatings,2021,150:105974.
- [12] Zhong F, He Y, Wang P, et al. Graphene/V2O5@ polyamine ternary composites enable waterborne epoxy coating with robust corrosion resistance [J]. Reactive and Functional Polymers,2020,151:104567.
- [13] Kasaeian M, Ghasemi E, Ramezanzadeh B, et al. Construction of a highly effective self-repair corrosion-resistant epoxy composite through impregnation of ¹H-Benzimidazole corrosion inhibitor modified graphene oxide nanosheets (GO-BIM)[J].Corrosion Science,2018,145:119-134.
- [14] Roselli S N, Romagnoli R, C Deyá. The anti-corrosion performance of water-borne paints in long term tests [J]. Progress in Organic Coatings,2017,109:172-178.
- [15] 张昭,陈宇,刘姣,等.一种有机硅改性丙烯酸防污涂料的研究[J].装备环境工程,2016(4):1-7.
- [16] Vengadaesvaran B, rau S R, Ramesh K, et al. Preparation and characterisation of phenyl silicone acrylic polyol coatings[J]. Pigment & Resin Technology,2010(5):283-287.
- [17] 钟荆祥,胡中源,郭越超.不饱和聚酯改性丙烯酸树脂及其涂料的研制[J].上海涂料,2014(3):6-8.
- [18] HG/T 4346—2012 涂料用氯化橡胶树脂[S].
- [19] 李石,殷绍明,郭晓军,等.船舶用氯化橡胶防腐涂料的研制[J].上海涂料,2014(4):17-21.
- [20] 张华栋.改性耐高温有机硅树脂的制备及其性能研究[D].济南:齐鲁工业大学,2021.
- [21] Chiu Y C, Huang C C, Tsai H C. Synthesis, characterization, and thermomechanical properties of siloxane-modified epoxy-based nano composite [J].Journal of Applied Polymer Science,2015(21):8558-8572.
- [22] 马宁波,白云翔,张春芳,等.有机硅核壳聚合物增韧环氧树脂胶黏剂[J].应用化工,2016(2):249-252.
- [23] Jena K K, Narayan R, Alhassan S M. Highly branched graphene siloxane polyurethane-urea (PU-urea) hybrid coatings[J].Prog Org Coat,2017,111:343-353.
- [24] 毛田野,陆刚,迟钧瀚,等.船舶防污涂料的技术研究和应用现状[J].材料保护,2019(2):113-118.
- [25] 高秋红,于良民,赵静,等.纳米氧化亚铜的制备及其在防污涂料中的应用[J].上海涂料,2008(12):30-33.
- [26] 王佳兴,张剑锋,赵文杰,等.氧化亚铜纳米颗粒的制备及其释放速率测定[J].中国表面工程,2015(2):38-143.
- [27] 边蕴静.船舶防污涂料最新发展[J].中国涂料,2015(8):9-12.
- [28] Wohlgenuth. 瑞典研制新型船体防污涂料 [J]. 航海,2002(6):43.
- [29] 樊艳达. 聚苯胺/聚氨酯复合导电涂层的制备与性能研究 [D].大连:大连海事大学,2012. ◆

欢迎关注

《现代涂料与涂装》公众微信号



电话:0931-8496343

邮箱:a8496343@foxmail.com

投稿 QQ:1056418548