

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2024.11.012

## 临时保护型可剥涂料应用分析

党文伟\*, 李晓升, 李 鲲, 赵金龙

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** 临时保护型可剥涂料是一种可起到清洁、防腐、防护等作用的功能性涂料。本文详细介绍了可剥涂料的作用机理及主要特性,并根据可剥涂料体系所使用专用溶剂类型的不同,系统阐述了溶剂型可剥涂料和水性可剥涂料的研究情况,分析了可剥涂料的功能性拓展方向,并对临时保护型可剥涂料的研究和应用方向进行了展望。

**关键词:** 临时保护;可剥涂料;作用机理;应用前景

中图分类号: TQ630

文献标识码: A

## Application analysis of temporary protective peelable coatings

Dang Wenwei\*, Li Xiaosheng, Li Kun, Zhao Jinlong

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** Temporary protective peelable coating is a functional coating that can play the role of cleaning, corrosion prevention, protection, etc. In this paper, the action mechanism and main characteristics of peelable coatings are introduced in detail. According to the different types of solvents used, the research status of solvent-based peelable coatings and water-based peelable coatings are systematically described, the functional expansion directions of peelable coatings are analyzed, and the research and application directions of temporary protective peelable coatings are prospected.

**Keywords:** temporary protection; peelable coating; action mechanism; application prospect

玻璃制品、精密仪器、汽车零部件等产品在内部制造、外部运输过程中极易遭受搬运磕碰、硬物划伤、油液污染、环境腐蚀等侵蚀损伤,从而造成产品表面损伤进而影响其外观形貌,甚至会导致产品相关性能下降<sup>[1-3]</sup>。为了降低上述侵蚀作用对产品外观损伤程度,同时达到保证产品性能及延长使用寿命的效果,通常会在产品表面涂覆一层临时保护涂层。

可剥涂料作为一种临时保护涂层,通常采用喷涂、刷涂或浸渍的方式覆盖于被保护材料表面,其经短时间常温或高温固化后即可形成具有优异柔韧性和附着力的可剥涂层,而当该可剥涂层完成后续保

护作用或达到使用期限要求时,又能够快速便捷的将其从被保护物质表面剥离下来<sup>[4]</sup>。可剥涂料与普通涂料的组成相似,都是由树脂基成膜物、专用溶剂、颜填料及功能助剂等成分组成,其中专用溶剂的主要组成分类为有机溶剂和水,助剂的主要组成分类为增稠剂、增韧剂、消泡剂、催干剂和表面活性剂等。与传统涂料相比,可剥涂料不仅具有与基体材料之间附着力低、形成的可剥涂层自身内聚力强、防护效果优异等特点,同时还兼顾了施工方便、成本低廉、不易燃烧等特性,其凭借上述特征已被广泛应用于航空航天、仪器仪表、机械电子等行业<sup>[5]</sup>。

本文着重介绍了可剥涂料的作用机理及主要特

收稿日期: 2024-03-02

修回日期: 2024-05-05

作者简介: 党文伟(1991—),男,硕士,工程师,从事空空导弹表面防热与非金属材料应用研究, email: dangwenwei@126.com.

性,概述了溶剂型可剥涂料和水性可剥涂料在表面防护、表面除污领域的研究应用情况,分析了可剥涂料在不同领域的功能性拓展,并对临时保护型可剥涂料的研究和应用方向进行了展望。

## 1 可剥涂料的作用机理及性质

### 1.1 可剥涂料作用机理

可剥涂料自身的内聚力和附着力是可剥涂层剥离过程的关键因素<sup>[6]</sup>。当剥离外力作用于可剥涂层时,剥离外力既需要克服可剥涂层与基体材料之间的附着力,同时还需弱于可剥涂料的内聚力,其整体剥离原理及受力分析如图 1 所示。剥离外力  $F$  作用于可剥涂层时,根据力的正交分解法可将外力  $F$  先后分解为两个分力  $F_1$ 、 $F_2$ ,其中  $F_1$  为竖直向上的拉力, $F_2$  为水平向左的拉力。可剥涂层剥离过程中,既需要竖直分力  $F_1$  克服垂直向下的基材附着力  $F_3$ ,还需要水平分力  $F_2$  远小于涂层自身内聚力,上述两者构成了可剥涂层有效剥离的必要条件。此外,在剥离过程中剥离外力并非决定有效剥离的唯一因素,更需要结合可剥涂层实际的剥离工况及自身其它的物理化学性能进行综合考量。同时,在可剥涂料设计时还需将可剥涂层的弹性模量设计考虑在比较适宜的范围内,如果其弹性模量过大会造成可剥涂层硬度偏高,其弹性模量过小又会导致涂层整体偏软。因此,确保可剥涂层具有适宜的拉伸强度和延伸率是保证弹性模量的关键。

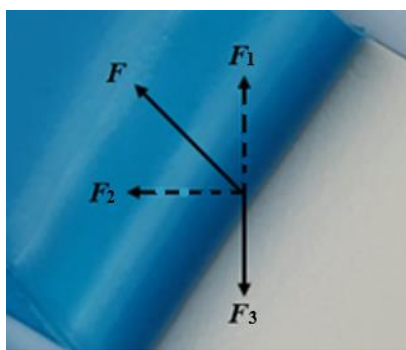


图 1 可剥涂层剥离原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of peelable coating peeling principle

### 1.2 可剥涂料的性质

#### 1.2.1 可剥性

剥离外力、涂层自身内聚力及附着力是可剥涂层剥离过程中的主要作用力,只有上述作用力相互

匹配,才能确保涂层有效剥离且无残留。在可剥涂料体系中添加表面能较低的成膜树脂及脱模剂不仅可以有效降低基体材料与可剥涂层之间的附着力,而且能够进一步降低可剥涂层的剥离强度,从而提高可剥涂层自身的可剥性。因此,将不同种类的有机聚合物、脱模剂及添加剂应用于可剥涂料体系,可以制备一系列剥离强度不同、剥离效果不同、适用于不同功能场景的可剥涂料<sup>[7]</sup>。

#### 1.2.2 防护性

可剥涂料经短时间固化后可在基体材料表面形成一层均匀致密的可剥涂层,该可剥涂层可以作为基体材料免于外界腐蚀介质侵蚀的屏障,能够大大减缓基体材料在腐蚀环境下的腐蚀失效速率,从而起到腐蚀防护的作用。同时,这层可剥涂层自身也具有适宜的弹性模量,能够有效缓冲来自外部的磕碰、刮蹭、撞击等物理作用,从而起到物理防护的作用<sup>[8]</sup>。

#### 1.2.3 除污性

可剥涂料的除污机理主要分为表面吸附、自身黏力、化学键力三种作用形式。表面吸附作用是由于黏度较低的可剥涂料在其固化过程中可以吸附、包裹基体材料表面的多余物,并待其固化完毕揭去涂层时即可起到去除污染物的目的。自身黏力作用是可剥涂料体系中的黏性物质在与多余物接触时能够凭借自身黏力与多余物充分黏牢。化学键力作用主要是由于可剥涂料体系中的反应化学键能够与涂层表面附着的活性污染物发生反应,依靠自身化学键力阻止污染物侵入,并将其牢牢的锁定在涂层表面<sup>[9]</sup>。

## 2 可剥涂料的分类及研究进展

制备可剥涂料体系的成膜物质主要有乙烯基聚合物、聚氨酯、丙烯酸、纤维素及其衍生物等<sup>[10]</sup>,不同的成膜物质具有不同的特性,同时复配专用溶剂及功能性填料可使可剥涂料在不同的应用场景展现出特定的物理化学性质。目前,可剥涂料体系主要使用有机溶剂和水作为专用溶剂。根据可剥涂料体系所使用的专用溶剂类型不同,通常将可剥涂料划分为两种主要类型,其分别为溶剂型可剥涂料和水性可剥涂料。溶剂型可剥涂料是一种成膜时间短、力学性能优异、耐候耐蚀性较强的临时保护性涂料,而水性可剥涂料是一种涂膜工艺简单、可剥离性能强、

膜层环保友好的临时保护性涂料,上述两种可剥涂 料常用成膜树脂的种类及特点如表 1 所示。

表 1 溶剂型及水性可剥涂料常用成膜树脂的种类及特点

Tab.2 Types and characteristics of commonly used film-forming resins for solvent based and water-based peelable coatings

可剥涂 料种类	成膜物种类	特征基体结构	特性
溶剂型	过氯乙烯类	$\left[ \text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\overset{\text{Cl}}{\text{C}}} \right]_n$	良好的成膜性、耐腐 蚀、耐水
溶剂型	苯乙烯-丁二烯-苯乙 烯嵌段共聚物(SBS) 类	$\left[ \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} - \text{CH}_2 \right]_n$	优良的拉伸强度、弹 性和电性能
溶剂型/ 水性	乙烯基聚合物	$\left[ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$	柔韧性、耐磨性、耐水
溶剂型/ 水性	聚丙烯酸类	$\left[ \text{CH}_2 - \underset{\text{C}(=\text{O})\text{OH}}{\text{CH}} \right]_n$	成本低、耐候性好
水性	聚氨酯类	$\left[ \underset{\text{H}}{\text{N}} - \underset{\text{O}}{\text{C}} - \text{O} \right]_n$	优良的拉伸强度、耐 磨性
水性	聚乙烯醇类	$\left[ \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 \right]_n$	无毒无害,可生物降 解

## 2.1 溶剂型可剥涂料

溶剂型可剥涂料主要采用乙烯基聚合物、丙烯酸聚合物、苯乙烯—丁二烯—苯乙烯嵌段共聚物(SBS)等基体树脂作为成膜物质,并依次添加专用有机溶剂、功能助剂、功能填料等混合均匀得到。溶剂型可剥涂料在涂层拉伸强度、伸长率、耐环境腐蚀性等方面表现出优异性能,目前已经成为临时保护型可剥涂料市场上的主流产品<sup>[11-12]</sup>。

李辰<sup>[13]</sup>以乙烯类高聚物为成膜物制备的半透明可剥涂料具有防潮、防腐蚀特性,对飞机机架和机柜具有良好的机械保护性能。李志广等<sup>[14]</sup>在乙烯基高分子树脂基础上复配缓蚀剂、增韧剂、抗氧化剂等助剂制得了一种在常温下可快速成膜,并且膜层柔韧

性、耐冲击、耐候性表现优异的可剥涂层。刘伟振等<sup>[15]</sup>通过正交试验方法验证了以过氯乙烯为主要成膜物质制备可剥涂料的最优配方,该型可剥涂层具备优良的可剥离性和耐蚀性。张坤<sup>[16]</sup>利用丙烯酸单体溶液聚合的方法制备了丙烯酸类可剥离涂层,该涂层不仅能够低温成膜,并且涂层剥离整体去污率达78%。吴师<sup>[17]</sup>在乙基纤维素体系中添加碳素纤维增强相制备溶剂型可剥涂料,该涂料仅需刷涂便可在金属基体表面形成具有高效抗拉、耐蚀性能的防护涂层。秦瑞等<sup>[18]</sup>采用氢化苯乙烯—丁二烯嵌段共聚物(SEBS)作为可剥涂料主要成膜物质,通过添加酚醛树脂与之共混完成物理改性从而制备得到化学铣切可剥保护涂料。在化学铣切加工应用后,该可

剥涂层不仅未出现色差变化,同时表现出可重复利用性,符合化学铣切工艺质量要求。李文凯等<sup>[19]</sup>为了充分优化SBS类可剥涂料化学铣切末端工序的浸蚀比,通过添加苯乙烯完成对SBS的接枝改性,从而有效提高了该类可剥涂料的剥离性能。其中,接枝反应开始由引发剂或辐射等手段引发SBS中

聚丁二烯的烯丙位或双键产生活性自由基,而后与苯乙烯单体在接枝点聚合后形成接枝共聚物,反应过程如图2所示。雷瑞丞等<sup>[20]</sup>考察了SEBS体系中树脂重均分子对可剥涂层成膜性能的影响,当重均分子量小于140000时,可有效避免涂层成膜开裂问题。

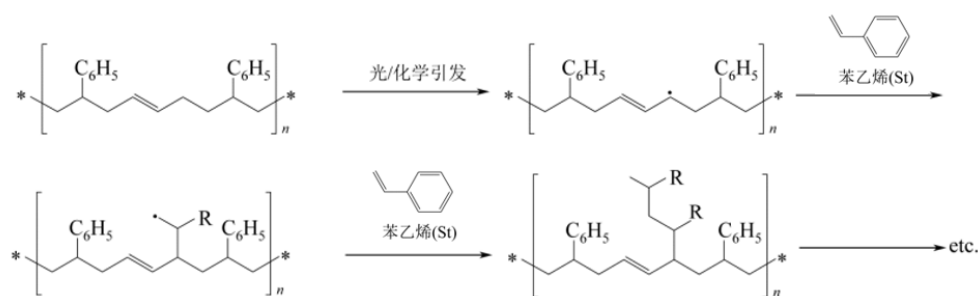


图2 SBS接枝反应过程<sup>[19]</sup>

Fig.2 Process of SBS grafting reaction<sup>[19]</sup>

## 2.2 水性可剥涂料

水性可剥涂料主要采用聚氨酯、聚乙烯醇、聚丙烯酸树脂等基体树脂作为成膜物质,并依次添加专用水性溶剂、功能助剂、功能填料等混合均匀得到。水性可剥涂料具有安全环保、成本低廉等优点,目前已经成为可剥涂料的研究热点<sup>[21]</sup>。

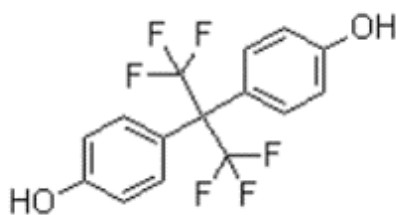
丁祖群等<sup>[22]</sup>分别采用以自乳化型聚氨酯、聚碳化二亚胺、水作为成膜物质、固化剂、专用溶剂,辅以功能助剂制备的水性可剥涂料表现出优异的耐水性能和剥离能力。刘静月等<sup>[23]</sup>通过丙酮法合成了双酚AF(结构参见图3)改性水性聚氨酯可剥涂料,该涂层在表现出优异的力学性能和热稳定性能的同时,还兼顾一定的表面耐水性,试验测得其表面水接触角已能够达到85.6°。Toader等<sup>[24]</sup>开展了聚乙烯醇可剥涂料清洁铜表面重金属污染的研究,该研究正是利用可剥涂料配位和吸附机制成功地去除了铜表面所含的重金属污染。张利等<sup>[25]</sup>采用聚乙烯醇作为可剥涂料的主要成膜物质,通过添加戊二醛、尿素与其分子链上的羟基基团完成缩醛交联(反应过程参见图4),并通过添加不同种类的增塑剂对其修饰改性,从而提高可剥涂层的拉伸强度和耐水性能。束树军<sup>[26]</sup>设计独特的大分子“空间位阻”附着力控制方式(设计原理参见图5),制备了具有丰富典型结构的丙烯酸酯乳液,并在该乳液基础上进一步添加一定的颜料和助剂得到了高性能水性可剥涂料,该水性可剥涂料不仅可在多种基材表面形成良好的临时

保护型防护涂层,而且涂层整体表现出优异的可剥离能力。何智宇等<sup>[27]</sup>通过预乳液聚合法合成了以丙烯酸、丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯不同混合比例的三元体系可剥涂料,并将该涂料采用多种方式分别不同的基体材料表面进行涂覆作业。涂覆结果显示,该可剥涂料能够在不同基体材料上表现出连续成膜及完整剥离的特性。此外,该涂层具有良好的热稳定性,能够达到对核元素吸附去污要求。杨瑞等<sup>[28]</sup>采用丙烯酸乳液作为可剥涂料体系的成膜物质,制备出了在耐水性、耐温性、耐候性、耐老化等各方面表现优异的可剥涂层,该丙烯酸乳液制备的可剥涂料体系可满足全方位环境使用场景要求。侯继宗等<sup>[29]</sup>以聚氨酯乳液为成膜体系,结合特定颜基比添加不同含量剥离剂制备了新型水性可剥涂层,上述涂层性能指标均能达到相关设计技术要求。何文诗<sup>[30]</sup>采用乳液聚合工艺研究成分设计对硅氧烷-丙烯酸酯共聚可剥涂层的影响。结果表明,采用9wt.%硅氧烷单体进行接枝时剥离效果最好。

## 3 可剥涂料的功能性拓展

腐蚀防护是可剥涂层临时保护方向必备的重要技术。腐蚀是由于环境介质作用在被保护材料表面产生化学反应或电化学反应而产生的,而涂层对被保护材料的保护作用是通过抑制上述反应达到的<sup>[31-33]</sup>。相关抑制反应主要是依靠涂层表面屏蔽、缓释、电化学保护作用实现,其中屏蔽作用是依靠涂

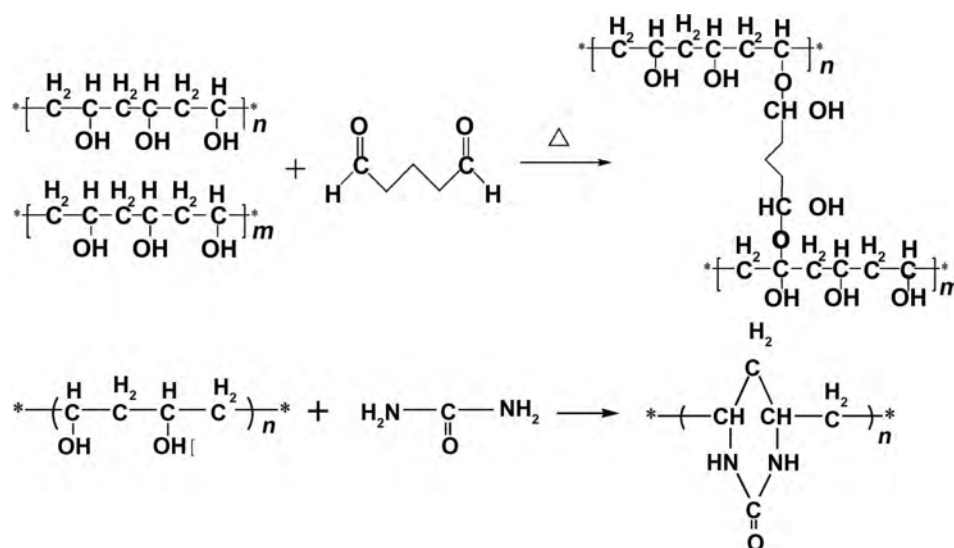
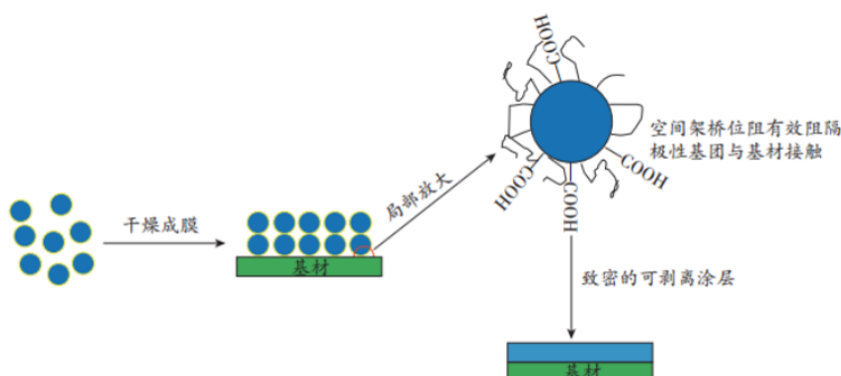


图3 双酚AF结构式<sup>[23]</sup>Fig.3 Structural formula of Bisphenol AF<sup>[23]</sup>

层表面对腐蚀介质呈现化学惰性,借助自身高介电常数阻止腐蚀电路形成。由于成膜体系具有一定透气性,想要提升抗腐蚀性能必须提高其抗渗性。目前,抗渗性提升方法主要有:(1)成膜物质使用交联密度大、结晶度高的树脂;(2)填料使用滑石粉、云

母、高岭土等惰性粉末;(3)调节溶剂组成,使成膜过程溶解度变化平缓。缓释作用是借助抗腐蚀填料自身钝化或生成保护性的物质以提高涂层的保护作用。电化学保护作用是使用金属粉末产生电接触表面,从而起到牺牲阳极保护阴极的作用。

静电防护也是可剥涂层临时保护方向必须考虑的关键技术之一。由于在可剥涂层表面静电可通过接触、诱导、摩擦等方式产生并积聚,进而导致被保护电子器件容易发生静电击穿现象,甚至引起燃烧、爆炸等安全事故。因此,可剥涂层静电防护的核心是开发满足表面电阻率约在  $10^5 \sim 10^{12} \Omega$  或体积电阻率约在  $10^4 \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  范围内的抗静电涂层材料<sup>[34]</sup>。可剥涂料抗静电功能的实现一般依靠作为成膜物的抗静电聚合物、作为功能填料的导电物质、作为功能助剂的抗静电剂,其中成膜物主要包含聚氨

图4 戊二醛、尿素与聚乙烯醇交联反应过程<sup>[25]</sup>Fig.4 Crosslinking reaction process of glutaraldehyde, urea and polyvinyl alcohol<sup>[25]</sup>图5 附着力控制方式设计原理<sup>[26]</sup>Fig.5 Design principle of adhesion control method<sup>[26]</sup>

酯、环氧树脂、有机硅树脂等,导电物质主要包含金属及其氧化物、碳系材料、导电聚合物、复合导电材料,抗静电剂主要包含阳离子型(季铵盐类)抗静电剂、阴离子型(烷基磺酸盐类)抗静电剂、两性离子(烷基氨基酸类)抗静电剂和非离子型(脂肪酸多元醇酯类)抗静电剂,上述主要成分能够通过其涂料配方设计来调节可剥涂层相应的成膜、光学、热学、磁学、电学、力学等综合性能<sup>[35-37]</sup>。

此外,结合特定情况的实际应用需求,通过进一步赋予可剥涂料表面的疏水、抗菌、耐磨等其它防护功能,同样能够更好地扩大可剥涂料的应用范围<sup>[38-41]</sup>。其中,采用设计增加涂层表面粗糙度、降低涂层表面能的方式赋予可剥涂料表面疏水功能<sup>[23,42]</sup>,采用添加抗菌因子填料成分、改善分子结构设计的方式赋予可剥涂料抗菌功能<sup>[43-44]</sup>,采用添加新型材料复合的方式赋予可剥涂料耐磨、柔性、增韧等其它功能<sup>[45-46]</sup>。

#### 4 可剥涂料的发展方向与展望

溶剂型可剥涂料具备涂装简单、力学性能优异的优势,但体系中的有机溶剂容易挥发污染也是其最大短板。水性可剥离涂料虽然具备安全环保、剥离性能优异的优势,但体系中的水溶剂也导致其存在力学性能偏低、环境适应性偏弱等问题。未来,可剥离涂料的发展方向可以为:(1)功能性。单一结构的有机树脂作为成膜物质难以满足现代场景实用需求,颜填料、剥离剂、稳定剂等其它组分的添加更决定了涂层的各项性能指标。通过采用各型树脂混合及改性形式,并复配适宜的添加物质可实现可剥涂层从单一功能向综合防护功能发展。(2)环保性。从绿色环保的角度出发,溶剂型可剥涂料的环保问题已成为其发展瓶颈,后续其它新型环保无污染可剥涂料将替代溶剂型可剥涂料并被广泛应用。(3)可循环性。现有的可剥涂料使用寿命仅有一次,该使用方式不符合绿色可持续发展要求,开发可回收可多次循环利用的可剥涂料将成为未来发展的关键。

临时保护型可剥涂料是一种可起到清洁、防腐、防护等作用的功能性涂料,目前已被广泛应用于航空航天、仪器仪表、机械电子等行业。可剥涂料自身的内聚力和附着力是可剥涂层剥离过程中的关键因素,只有剥离外力、涂层内聚力及附着力相互匹配时,才能确保涂层有效剥离且无残留。根据可剥涂

料体系使用专用溶剂类型的不同,可将可剥涂料划分为溶剂型可剥涂料和水性可剥涂料。虽然两种类型可剥涂料各具优势,但也分别存在有机溶剂挥发污染、环境适应性较弱的问题。未来,临时保护可剥涂料的发展研究方向主要为功能性、环保性、可循环性等方向,其应用范围也必将扩大至各个工业、生活领域。

#### 参考文献

- [1] 刘宏宇, 张松. 可剥离防护涂料的研究进展[J]. 化工新型材料, 2010, 38(4): 33-35.
- [2] 李鹏, 王红. 可剥离涂料在大型机械产品上的应用研究[J]. 一重技术, 2011(3): 42-44.
- [3] 周斌, 张松, 沈铁斌. 可剥离涂料在新造船中的应用[J]. 造船技术, 2013(4): 35-38.
- [4] 雷瑞丞, 汪洋, 刘兰轩, 等. 可剥涂料改性研究进展[J]. 材料保护, 2021, 54(5): 138-143.
- [5] 张海龙, 王虎, 王莹莹, 等. 可剥离涂料研究进展及展望[J]. 化工新型材料, 2018, 46(6): 39-42, 47.
- [6] 田志强, 束俊杰, 郭蓓, 等. 水性可剥涂料研究进展[J]. 材料保护, 2021, 54(9): 133-137.
- [7] 韦利军, 张强. 可剥涂料在飞机临时防护上的应用[J]. 环境技术, 2021, 39(2): 175-178.
- [8] 王靖, 高磊, 于杰. 水性可剥防护涂料的研制[J]. 中国涂料, 2019, 34(5): 30-34.
- [9] 谷兵, 周元林, 谢长琼, 等. 可剥离去污涂料的研究现状及展望[J]. 化工新型材料, 2008, 36(9): 8-9, 23.
- [10] 何智宇, 周元林, 谢长琼, 等. 丙烯酸酯类可剥离涂料基材制备及其性能研究[J]. 化工新型材料, 2017(6): 239-241.
- [11] Muller M, Scharfer H. Influence of non-volatile additives on the diffusion of solvents in polymeric coatings[J]. Chemical Engineering & Processing, 2011(3): 153-159.
- [12] 刘伟振. 溶剂型功能可剥涂料的制备与性能研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2016.
- [13] 李辰. 可剥性漆面保护涂料的研制[J]. 航天工艺, 1997, 3: 10-12.
- [14] 李志广, 黄红军, 张敏, 等. 一种可剥性气相防锈涂料的研制[J]. 材料保护, 2006(2): 50-52.
- [15] 刘伟振, 赫放, 杨景伟, 等. 过氯乙烯基可剥涂料的制备与性能[J]. 电镀与涂饰, 2016, 35(10): 511-515.
- [16] 张坤, 曹兴伟, 王静, 等. 用于表面去污的丙烯酸均聚物低温成膜可剥离材料研究[J]. 材料导报, 2020, 34(增1): 576-580, 584.
- [17] 吴师. 基于增强碳素纤维的溶剂型可剥性涂料研究[J].

- 化工设计通讯, 2024, 50(2): 110-112.
- [18] 秦瑞, 李清材, 孙哲, 等. SEBS新型可剥性化铈保护涂料的研制[J]. 材料保护, 2016, 49(3): 52-54.
- [19] 李文凯, 王李军, 周如东, 等. 高性能化学铈切临时保护涂料的研制[J]. 涂料工业, 2019, 49(7): 26-29.
- [20] 雷瑞丞, 汪洋, 秦卫华, 等. 可剥涂料用SEBS树脂的成膜性能研究[J]. 材料保护, 2022, 55(8): 31-35.
- [21] 赵欣. 水性可剥涂料的研究进展[J]. 当代化工, 2018, 47(8): 150-152, 205.
- [22] 丁祖群, 傅念清, 王云英. 水性聚氨酯的合成及可剥涂料的性能研究[J]. 表面技术, 2017, 46(9): 60-65.
- [23] 刘静月, 胡林清, 何小航, 等. 双酚AF改性水性聚氨酯的合成与性能研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(3): 39-43.
- [24] Toader G, Stnescu P O, Zecheru T, et al. Water-based strippable coatings containing bentonite clay for heavy metal surface decontamination[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2019, 12(8): 4026-4034.
- [25] 张利, 李普旺, 杨子明, 等. 高性能改性聚乙烯醇薄膜的制备及性能表征[J]. 功能材料, 2020, 51(4): 4153-4159.
- [26] 束树军. 水性丙烯酸树脂在可剥离涂料应用中的制备及研究[J]. 涂料工业, 2020, 50(2): 80-87.
- [27] 何智宇, 周元林, 谢长琼, 等. BA/MMA/AA三元共聚物基可剥离去污涂料的制备及性能研究[J]. 涂料工业, 2015(9): 51-55.
- [28] 杨瑞, 原玲, 刘虎, 等. 水性可剥涂料的研制及性能研究[J]. 电镀与涂饰, 2016, 35(2): 53-57.
- [29] 侯继宗, 张美明, 李志宝, 等. 新型水性可剥临时保护涂料的研制及性能研究[J]. 现代涂料与涂装, 2023, 26(7): 1-4.
- [30] 何文诗. 硅氧烷-丙烯酸酯共聚物的合成及其在水性可剥涂层中的应用研究[J]. 广州化工, 2023, 51(13): 91-94.
- [31] 于建龙, 李清材, 郑翔翔, 等. 新型阻燃可剥涂料的研制[J]. 现代涂料与涂装, 2022, 25(6): 1-3, 7.
- [32] 蒋坤. 有机硅改性酚醛树脂及高性能化铈可剥涂料的制备与应用[D]. 大连: 大连海事大学, 2023.
- [33] 徐生亮, 李清材, 于建龙, 等. 钛酸酯偶联剂在化铈保护可剥涂料中的应用[J]. 现代涂料与涂装, 2022, 25(11): 1-4, 18.
- [34] 李占齐, 周萌, 陈帅, 等. 水性抗静电涂料的研究进展[J]. 涂料工业, 2022, 52(11): 61-67, 76.
- [35] 师晋超. 石墨烯基复合材料的结构设计与导电性能调控[D]. 北京: 北京化工大学, 2021.
- [36] 张文娜, 陈帅, 徐景坤. PEDOT/PSS水性导电涂料的研究进展[J]. 江西科技师范大学学报, 2016(6): 43-49.
- [37] Jiang H, Xu L, Chen G, et al. Aqueous solution blending route for preparing flexible and antistatic polyimide/carbon nanotube composite films with core-shell structured polyimide/graphenemicrospheres[J]. Polymer Composites, 2022, 43: 6062-6073.
- [38] Liang X, Deng Y, Li S, et al. Waterborne polyurethaneacrylate polyaniline: interfacial hydrogen bonding for enhancing the antistatic, damping, and mechanical properties[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2022, 33(9): 2667-2681.
- [39] Mirmohseni A, Azizi M, Dorraji M S. Cationic graphene-oxide nanosheets intercalated with polyaniline nanofibers: a promising candidate for simultaneous anticorrosion, antistatic, and antibacterial applications[J]. Progress in Organic Coatings, 2020, 139: 105419.
- [40] Wang F, Feng L, Huang Y, et al. Effect of the gradient distribution of multiwalled carbon nanotubes on the bond strength and corrosion resistance of waterborne polyurethane conductive nanocomposites[J]. Progress in Organic Coatings, 2020, 140: 105507.
- [41] 李占齐, 余佳芮, 陈帅, 等. 生物基环氧固化剂的应用研究进展[J]. 涂料工业, 2022, 52(4): 81-88.
- [42] 李婷婷. 新型水性可剥涂料的制备及性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015: 40-41.
- [43] 任蓝图, 许雨茵, 叶芷欣, 等. 纳米银的抗菌原理及在抗菌涂料中的研究进展[J]. 材料导报, 2023, 37(增2): 337-342.
- [44] 徐世欣, 姚红蕊, 李先亮, 等. 无机抗菌剂在抗菌涂料中研究进展[J]. 辽宁化工, 2023, 52(11): 1639-1643.
- [45] Kim K, Park H, Shim G, et al. Mechanical properties and decomposition performance of peelable coating containing UiO-66 catalyst and waterborne silane-terminated polyurethane dispersions[J]. Journal of Materials Science, 2020, 55(6): 2604-2617.
- [46] 沈宇飞, 史子兴. 蒽改性聚乙烯醇水凝胶的制备与表征[J]. 塑料工业, 2020, 48(3): 44-48.