

DOI: 10.13715/j.issn.2096-644X.20251103.0001

引用格式:张欣蕊,蒋春源,纪海臻,等.乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的研究进展[J].湘潭大学学报(自然科学版),2026,48(2):89-98.

Citation: ZHANG Xinrui, JIANG Chunyuan, JI Haizhen, et al. Research progress of emulsion polyacrylate pressure-sensitive adhesives [J]. Journal of Xiangtan University (Natural Science Edition), 2026,48(2):89-98.

乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的研究进展*

张欣蕊^{1,2}, 蒋春源^{1,2}, 纪海臻^{1,2}, 吉立业^{1,2}, 陈青青², 田锦盛², 陈茹玉², 李因文^{1,2}

(1. 临沂大学 化学化工学院, 山东 临沂 276000; 2. 临沂大学 材料科学与工程学院, 山东 临沂 276000)

摘要:【目的】压敏胶作为一类在轻微压力下就能迅速黏附于各种表面的黏弹性聚合物材料,被广泛应用于胶带、标签及保护膜等行业.随着绿色化学和清洁生产的需要,乳液型压敏胶因其结构可设计性强、黏接性能优异以及绿色环保等优点而备受重视.【方法】该文综述了乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的研究进展,探讨了乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的分类、组成和制备工艺,并着重从交联组分改性、增黏组分改性和无机纳米组分 3 个方面进一步探讨了提高乳液型聚丙烯酸酯压敏胶黏接性能的改性研究进展.最后,对乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的未来发展进行了展望.【结果】乳液型聚丙烯酸酯压敏胶凭借其环境友好特性和良好的综合黏接性能,已成为该领域的重要发展方向之一,可通过聚合物改性、纳米复合与应用的协同并进,推动产品向高性能化、功能化和应用多元化方向发展.【结论】该文可为乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的研究提供理论支持.

关键词:乳液型聚丙烯酸酯压敏胶;制备;交联;增黏;无机纳米

中图分类号: TQ43

文献标志码: A

文章编号: 2096-644X(2026)02-0089-10

Research progress of emulsion polyacrylate pressure-sensitive adhesives

ZHANG Xinrui^{1,2}, JIANG Chunyuan^{1,2}, JI Haizhen^{1,2}, JI Liye^{1,2},
CHEN Qingqing², TIAN Jinsheng², CHEN Ruyu², LI Yinwen^{1,2}

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Linyi University, Linyi 276000, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Linyi University, Linyi 276000, China)

Abstract: 【Objective】 Pressure-sensitive adhesives (PSAs) are a class of viscoelastic polymeric materials capable of rapidly adhering to various surfaces under light pressure, and they are widely used in industries such as tapes, labels, and protective films. With the growing emphasis on green chemistry and clean production, emulsion PSAs have garnered significant attention due to their tunable structure, excellent adhesive performance, and environmental friendliness. 【Method】 This review systematically summarizes recent research progress in emulsion polyacrylate PSAs, discussing their classification, composition, and preparation processes. Special emphasis is placed on three modification strategies-cross-linking component modification, tackifying component modification, and inorganic nanomaterial incorporation-to enhance the adhesive performance of emulsion polyacrylate PSAs. Finally, future development prospects for emulsion polyacrylate PSAs are outlined. 【Result】 Emulsion polyacrylate pressure-sensitive adhesives, with their environmentally friendly characteristics and excellent overall adhesion properties, have become one of the important development directions in this field. Through the synergistic advancement of polymer

* 收稿日期: 2025-11-03

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(22172070, 22275076); 山东省自然科学基金青年面上专项(ZR2025MS212)

通信作者: 李因文(1982-), 男, 山东临沂人, 教授, 硕士生导师. E-mail: liyinwen06@126.com

modification, nanocomposite integration, and application development, they can drive products toward high performance, functionality, and diversified applications, providing a clear pathway to meet future high-end market demands. **【Conclusion】** This paper can provide theoretical support for the research of emulsion polyacrylate pressure-sensitive adhesives.

Key words: emulsion polyacrylate pressure-sensitive adhesives; preparation; crosslinking; tackification; inorganic nanofillers

0 引言

压敏黏合剂, 简称压敏胶, 是一类具有永久黏性的软质聚合物材料. 其特点在于仅需施加轻微压力, 即可在短时间内实现对多种表面的快速黏合. 作为一种特殊的黏弹性半固体材料, 压敏胶在流变学上处于黏弹态, 能够在压力作用下润湿基材表面并形成牢固黏接, 而在剥离时又可被轻松移除, 且不残留胶渍, 不损伤被黏物表面^[1], 其作用原理如图 1 所示. 压敏胶广泛应用于胶带、标签、保护膜、汽车及医疗等领域. 根据使用形式, 压敏胶可分为溶剂型、乳液型、热熔型、紫外光固化型及辐射固化型等; 按其化学成分则可分为橡胶型、聚丙烯酸酯型、聚乙烯基醚型和聚氨酯型等. 这些分类方式存在交叉性, 如聚丙烯酸酯类压敏胶又可进一步划分为溶剂型与乳液型等^[2]. 在众多类型中, 溶剂型与乳液型压敏胶应用较为广泛. 随着环保与健康意识的提高, 乳液压敏胶由于其聚合工艺简单、环境友好特性日益受到重视. 相比之下, 溶剂型压敏胶因挥发性有机物 (VOCs) 排放问题, 应用受到较大限制^[3]. 乳液压敏胶不仅在聚合工艺上更为简便, 还具有使用安全、环境友好、成本低、生产周期短等优势. 同时, 其对多种材料均表现出良好的黏接性能, 涂膜透明, 综合性能优异^[4]. 因此, 乳液压敏胶已成为当前压敏胶发展的重要方向之一, 并在未来绿色材料体系中占据越来越重要的地位.

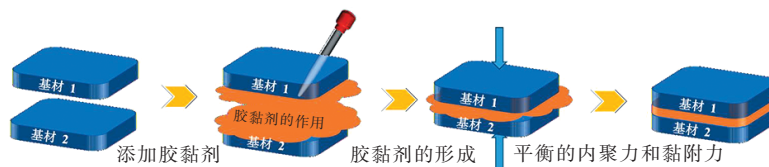


图 1 胶黏剂工艺

Fig. 1 Adhesive process

乳液型聚丙烯酸酯压敏胶以丙烯酸酯类单体为主要原料, 通过乳液聚合法制备而成. 该聚合体系通常包含丙烯酸酯单体、乳化剂、引发剂、去离子水、缓冲剂、链转移剂及其他功能助剂等^[5]. 研究表明, 压敏胶的最终黏接性能主要取决于其黏弹性、弹性与耗散性能之间的平衡, 通过初黏力、剥离强度和持黏力 (剪切强度) 等关键指标来表征. 其中, 初黏力反映压敏胶对基材表面的快速润湿能力; 剥离强度体现其与被黏物之间的界面结合强度; 而持黏力则用于衡量压敏胶的内聚强度. 尽管乳液型聚丙烯酸酯压敏胶因其可设计性强、成膜性能好、适用基材广、成本较低等优势, 在建材、纺织、包装等领域得到广泛应用, 但其体系中所含的乳化剂、缓冲剂及功能单体等组分引入大量亲水基团、极性基团或离子电荷, 导致该类压敏胶及其制品在某些性能上仍存在明显缺陷, 主要包括: 黏接强度不足、黏接强度随时间波动大、耐水性与耐候性较差, 以及涂布后干燥时间较长等^[6-7]. 因此, 对乳液型聚丙烯酸酯压敏胶进行改进研究 (如表 1 所示), 以适应不同应用场景对材料性能的需求, 具有重要现实意义.

表 1 乳液型聚丙烯酸酯压敏胶改性方法比较
 Tab. 1 Comparison of modification for emulsion polyacrylate pressure-sensitive adhesives

改性方法	改性原理	优点	缺点
交联组分改性	通过固化剂反应或引入活性官能团, 构建交联结构	内聚强度与耐蠕变性能 耐高温和耐溶剂性能 增强持黏与剥离性能	初黏力下降 乳液易预交联导致凝胶 工艺控制要求高, 柔韧性降低
增黏组分改性	通过分子量分级作用与氢键引入, 提升润湿性、黏性及内聚力	初黏力与表面润湿性好 提高黏弹性 工艺简单, 成本较低	耐高温性能和内聚强度差 持黏力下降, 易产生残胶 影响乳液稳定性
无机纳米组分改性	借助纳米材料独特效应与压敏胶协同, 强化胶膜及界面作用	增强黏接性能 赋予功能性 (如阻燃、导热、紫外屏蔽) 提高热稳定性与尺寸稳定性	纳米粒子易团聚 降低透明度 工艺复杂, 成本高

1 乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的设计与制备

按照绿色化学与清洁生产的要求, 压敏胶制品在原材料选择、生产过程及应用环节均需满足对人体健康和环境无毒无害的标准. 在此背景下, 乳液聚合已成为推动压敏胶环保化发展的关键技术路径之一. 乳液聚合是指在机械搅拌与乳化剂共同作用下, 将聚合单体预先分散于水中形成乳状液, 再借由水溶性引发剂引发自由基加成反应, 最终获得聚合物乳液. 尽管传统溶剂型压敏胶因黏接性能优异而广泛应用, 但其在生产与使用过程中会释放大量有机溶剂, 对身体健康及生态环境造成危害. 相比之下, 乳液型压敏胶以水为分散介质, 不仅有效避免了有机溶剂的使用, 具备显著的环境友好特性, 还具有成本较低、聚合过程易于控制等优势, 便于制备高固含量、低黏度的产品, 因而已逐步发展成为压敏胶行业的主流体系. 在这类体系中, 乳液型聚丙烯酸酯压敏胶通过乳液聚合法制备, 目前已广泛应用于建材、纺织、包装等众多领域. 其基本组成包括水、丙烯酸酯类单体、水溶性引发剂和乳化剂等. 丙烯酸酯单体按其功能可分为三类: 第一类为软单体, 如丙烯酸乙酯 (EA)、丙烯酸丁酯 (BA)、丙烯酸异辛酯 (EHA) 等, 其玻璃化转变温度 (T_g) 较低, 主要用于提高聚合物的黏附性; 第二类为硬单体, 如丙烯酸甲酯 (MA)、甲基丙烯酸甲酯 (MMA)、苯乙烯 (St) 等, 具有较高的 T_g 和较强的内聚强度, 用于增强压敏胶的力学强度和抗蠕变性能; 第三类为含官能团的功能单体, 如丙烯酸 (AA)、丙烯酸羟乙酯 (HEA)、丙烯酰胺 (AM) 等, 它们可引入极性基团或参与交联反应, 从而改善压敏胶的内聚力及乳液体系的稳定性. 乳化剂作为表面活性剂, 其分子结构由亲水基和亲油基两部分组成. 在乳液聚合中, 乳化剂不仅能够降低界面张力, 发挥乳化、分散和增溶作用, 其种类与用量更是决定聚合过程成败的关键因素之一. 此外, 乳化剂还直接影响最终乳液的性能, 如粒径分布、储存稳定性、分子量及涂膜光泽度等^[8]. 引发剂在聚合反应中同样至关重要, 其类型与用量直接决定反应速率与产物性能. 在乳液聚合中常选用水溶性引发剂, 如过硫酸盐类无机化合物. 该类引发剂在热分解过程中可产生羟基自由基与硫酸根离子, 进而引发链增长反应, 但也可能因硫酸根残留而使压敏胶带有一定的亲水性. 为进一步提升性能, 常在丙烯酸酯压敏胶配方中引入交联剂. 交联剂可使线型聚合物分子间形成化学桥接, 构建三维网络结构, 从而限制分子链运动, 显著提高材料的内聚强度. 该改性方式能有效防止使用过程中因内聚破坏导致的胶层残留问题, 提升压敏胶的再剥离性与界面清洁度^[9].

经过数十年的持续发展与深入研究,目前已发展出多种新型乳液聚合技术与工艺,包括连续乳液聚合、半连续乳液聚合、预乳化、种子乳液聚合、微乳液聚合及核壳乳液聚合等(如图2所示)。连续乳液聚合是在设定温度下,将预先混合均匀的单体、引发剂、乳化剂和分散介质以恒定速率连续滴加至反应体系。半连续乳液聚合则先将部分原料投入反应器,待反应进行到一定阶段后再分批或一次性加入剩余部分。预乳化通过高速搅拌将乳化剂、单体和分散介质预先乳化成稳定体系,再与引发剂同步匀速滴加反应。种子乳液聚合需先制备乳胶种子,再以其为基础进一步聚合。具体过程为:在种子反应釜中加入部分原料和过量引发剂,升温反应生成种子,随后将其投入主反应釜作为聚合起点^[10]。微乳液聚合适用于功能性丙烯酸酯乳液的制备,所得乳液尺寸小、表面张力低,具有优异的渗透性、润湿性和流平性,能显著提升涂膜硬度、致密性、附着力及光泽度^[11]。在聚丙烯酸酯乳液聚合体系中,其动力学过程依据胶束-粒子演化机制可分为三个阶段:阶段Ⅰ(增速期)单体转化率逐步上升,聚合速率加快,乳胶粒数量随胶束成核而持续增加;阶段Ⅱ(恒速期)转化率线性增长,聚合速率稳定,乳胶粒数目恒定,单体液滴持续供给反应;阶段Ⅲ(降速期)单体液滴逐渐耗尽,乳胶粒内单体浓度下降,转化率增速趋缓,聚合速率逐步降低。

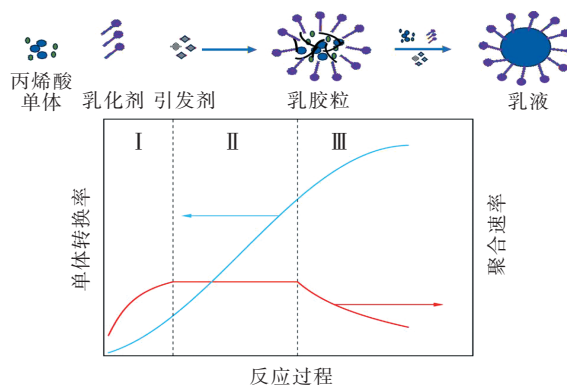


图2 乳液的制备工艺

Fig. 2 Preparation process of emulsion

罗丹等^[12]通过半连续种子乳液聚合,并引入氮丙啶交联剂与真空处理工艺,成功制备了一种综合性能优良的聚丙烯酸酯乳液压敏胶。研究表明,当氮丙啶交联剂添加量为1.0%~1.5%并对乳液进行60 min真空处理后,所得压敏胶表现出优异的综合性能:其初黏力达0.37 N,180°剥离强度为1.85 N·cm⁻¹,同时具备良好的耐暗影性。该胶黏剂实现了易黏、易揭且无残留的平衡,在表面保护膜领域展现出良好的应用潜力。俞健钧等^[13]研究了丙烯酸酯单体对乳液型丙烯酸酯压敏胶的影响,发现丙烯酸丁酯对压敏胶的内聚力、颜色和软硬度影响较大,丙烯酸羟乙酯对压敏胶的机械稳定性影响较大,而丙烯酸对压敏胶的黏度影响较大;甲基丙烯酸甲酯可解决压敏胶偏软的问题,丙烯酸异辛酯可提高压敏胶的初黏性。

罗丹等^[12]通过半连续种子乳液聚合,并引入氮丙啶交联剂与真空处理工艺,成功制备了一种综合性能优良的聚丙烯酸酯乳液压敏胶。研究表明,当氮丙啶交联剂添加量为1.0%~1.5%并对乳液进行60 min真空处理后,所得压敏胶表现出优异的综合性能:其初黏力达0.37 N,180°剥离强度为1.85 N·cm⁻¹,同时具备良好的耐暗影性。该胶黏剂实现了易黏、易揭且无残留的平衡,在表面保护膜领域展现出良好的应用潜力。俞健钧等^[13]研究了丙烯酸酯单体对乳液型丙烯酸酯压敏胶的影响,发现丙烯酸丁酯对压敏胶的内聚力、颜色和软硬度影响较大,丙烯酸羟乙酯对压敏胶的机械稳定性影响较大,而丙烯酸对压敏胶的黏度影响较大;甲基丙烯酸甲酯可解决压敏胶偏软的问题,丙烯酸异辛酯可提高压敏胶的初黏性。

2 乳液型聚丙烯酸酯压敏胶的改性方法

2.1 交联组分改性

通常而言,随着乳液压敏胶分子量的增大,体系的持黏力与内聚力增强,但其黏度也会相应上升。过高的黏度会严重影响压敏胶的润湿性、涂布效果和涂布量等^[14]。因此,仅通过直接提高分子量来改善压敏胶的黏接性能,效果往往不够理想。相比之下,通过交联组分进行改性,能够更高效地提升其综合黏接性能。目前,交联改性主要有两种途径:一是在乳液压敏胶中额外添加固化剂(如常用的氮丙啶),利用其与压敏胶中的羧基、羟基等活性基团发生反应,实现固化交联,从而优化黏接性能,此为目前工业中最普遍采用的方法;二是通过聚合物结构设计,在乳液压敏胶分子中引入环氧基、多酚基、硅氧烷等活性官能团,借助这些基团与压敏

胶内部原有官能团或外加交联剂之间的化学反应, 构建稳定的交联网络结构, 从而进一步提升其黏接性能^[15-16].

Bowen 等^[17]用己二胺 (HDA) 对环氧化大豆油 (ESO) 进行交联, 制备了环氧化大豆油-己二胺压敏黏合树脂, 探讨 ESO 及 HDA 含量对胶黏剂的影响. 结果表明, 当 ESO 与 HDA 的摩尔质量比为 1:3 时, 聚合物的初黏力、持黏度及剥离性均得到改善, 更容易生成可提升整体性能的稳健的交联网络结构. Fang 等^[18]则采用双官能交联剂 EGDMA 制备交联型丙烯酸酯乳液, 发现其能显著增强胶膜的热稳定性与耐水性. 然而, 该策略在提升内聚强度的同时, 也导致环黏性与剥离强度的下降, 体现了性能平衡的普遍挑战.

作者所在团队也开展了一系列研究工作, 将丙烯酸酯类单体与含多酚、硅氧基以及环氧基等功能单体有机结合, 对聚合物结构设计、聚合工艺、结构与性能以及黏接机理等进行了较全面的研究, 获得了一系列性能优异的新型聚丙烯酸酯乳液压敏胶. 其中, 受贻贝黏附蛋白启发, 通过 3,4-二羟基苯甲醛 (DHBA) 对聚丙烯酸酯进行接枝改性, 成功制备了高性能压敏胶 (HPSAs). 其黏接作用机理如图 3 所示^[19]. 该改性策略显著提升了材料的综合性能: 当 DHBA 添加量为 4.0% 时, 环黏力与 180°剥离强度分别达到 5.75 N 和 825.4 gf/25 mm, 较未改性样品实现了约 2.5 倍和 2 倍的提升. 同时, 改性胶带展现出优异的耐热性 (耐热 90 °C 持续 1 h 且不留残胶) 和较低的吸水率 (4.33%), 在高端应用领域潜力巨大.

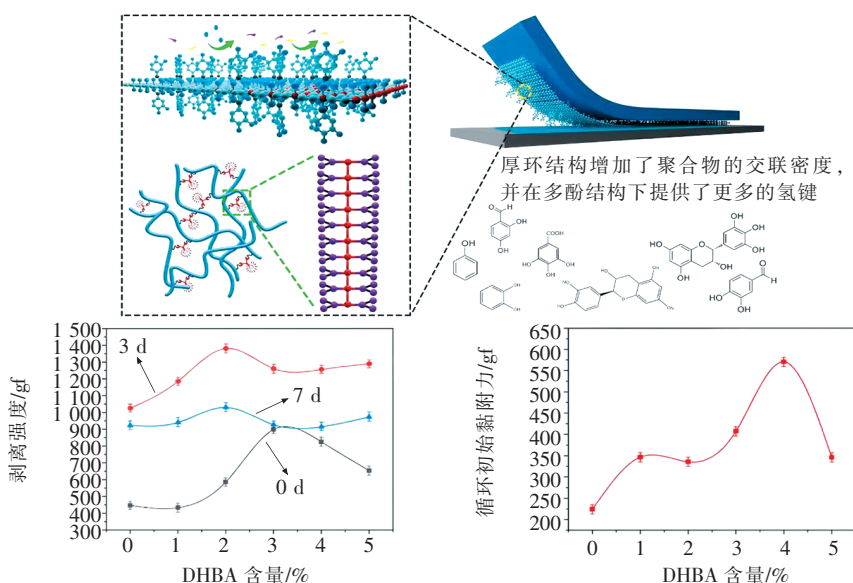


图 3 HPSA 的黏附机制^[19]

Fig. 3 Adhesion mechanism of HPSAs^[19]

此外, 作者所在研究团队借助仿生学贻贝类多巴胺体系的黏接效能与思路, 在聚丙烯酸酯乳液分子结构中协同引入多酚和环氧交联功能组分, 获得了一系列新型聚丙烯酸酯乳液压敏胶. 为攻克传统聚丙烯酸酯压敏胶在聚乙烯 (PE) 保护膜上塑-塑复合效能不佳的难题, 采用了一种多酚改性策略. 该工作通过引入甲基丙烯酸缩水甘油酯 (GMA) 与多巴胺 (DOPA) 进行接枝改性, 利用多酚基团的强黏附性与环氧基团的高交联密度之间的协同作用, 成功制备了新型压敏胶 (PPSAs). 当 GMA 与 DOPA 添加量分别为 5.0% 与 0.5% 时, 所得 PPSAs₅ 样品性能达到最优, 其初黏力、180°剥离强度和持黏时间分别高达 5.17 N、2.65 N·cm⁻¹ 及超

过 72 h, 综合性能远超传统产品, 在 PE 保护膜的自黏接应用中展现出卓越的复合效能, 其界面黏接机理如图 4 所示^[20].

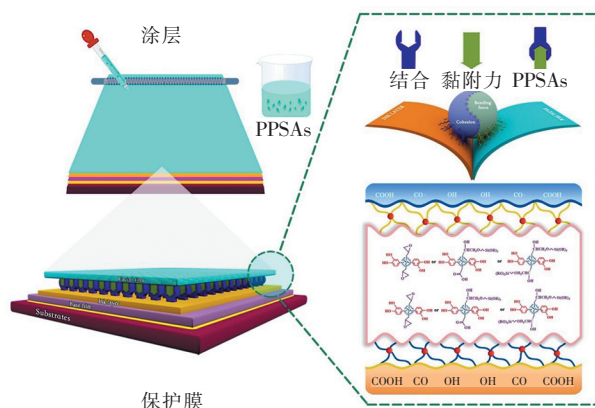


图 4 塑料/塑料层压复合材料用 PPSAs 的界面黏接机理^[20]

Fig. 4 Interfacial bonding mechanism of PPSAs for plastic/plastic laminated composite^[20]

有机硅材料通常分为硅烷、硅油、硅树脂和硅橡胶等类别, 其独特的 Si-O-Si 主链结构赋予材料卓越的综合性能, 如突出的耐热性、良好的耐候性 (抗紫外线和氧化)、稳定的电绝缘性 (高频性能优异)、持久的憎水性以及宽广的温域适应性和柔韧性. 基于这些特性, 可采用乳液聚合法将有机硅与丙烯酸酯单体进行共聚, 制备有机硅改性聚丙烯酸酯乳液. 该方法有机结合了有机硅的稳定性和丙烯酸酯的成膜性, 使改性后的涂层在性能方面实现显著提升^[21-22].

硅烷与聚丙烯酸酯通过缩合或硅氢加成反应形成以牢固 Si-O-Si 键为核心的互穿网络, 构建了一个“刚柔并济”的协同结构. 该结构既发挥了聚丙烯酸酯的高内聚强度和黏附力, 又融合了聚硅氧烷的柔韧性与卓越的化学稳定性, 通过高效分散应力和抵抗环境老化, 长效地维持黏接性能的稳定. 为提升聚丙烯酸酯压敏胶的附着力并解决其剥离后强度上升、耐温性差与残留等问题, Zhang 等^[23]引入乙烯基硅烷 (DY-401/DY-402) 进行改性. 研究表明, 硅烷偶联剂通过其有机官能团与聚合物反应, 另一端硅氧烷基水解缩合形成自交联网络, 从而显著提升材料性能. 当双端乙烯基硅烷 DY-402 添加量为 5.0% 时, 改性压敏胶 (DPSAs) 性能最优: 耐热温度提升至 110 °C, 吸水率降至 4.9%, 且有效抑制了剥离后强度的过度增长. 其合成机理如图 5 所示. Yu 等^[24]通过衣康酸 (IA) 与硅烷偶联剂 KH571 对丙烯酸树脂进行共聚改性, IA 提高了乳液稳定性与交联密度, 而 KH571 则引入疏水性的 Si-O-Si 网络. 该协同作用使涂层接触角提升至 90.49°, 耐水时间从 1 d 显著延长至 17 d, 同时, 抗拉强度与杨氏模量分别提高 56% 和 193%. Gao 等^[25]则利用硅橡胶 (SR) 与聚氨酯 (PU) 构建互穿聚合物网络 (IPNs). 当 SR/PU 质量比为 1:3 时, 所获得的 SR/PU75 复合材料展现出最优异的综合性能: 杨氏模量与压缩模量较纯 SR 分别提升了 312% 和 289%, 黏接强度更是大幅提高了 369%, 同时, 在耐磨性与机械稳定性方面表现突出.

液,发现所得乳液在成膜过程中,环氧基团与聚丙烯酸酯上的伯胺发生交联反应,显著提高了EP/PA复合涂层的阻隔性能.很明显,高EP含量有助于EP/PA复合材料获得致密的交联点,从而达到理想的耐腐蚀性能.张开涛等^[30]使用氢化松香二甘醇酯作为改性剂,采取细乳液两步法对丙烯酸酯类压敏胶进行改性,着重探讨了最佳的氢化松香二甘醇酯的用量和聚合条件.

2.3 无机纳米组分改性

纳米材料凭借其小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应、宏观量子隧道效应,以及比表面积与表面能高等独特性质^[31],在与乳液型聚丙烯酸酯压敏胶复合时表现出显著的协同增强作用.这种协同不仅能在胶膜内部形成强化网络结构,实现材料增韧增强并提高内聚力,还能在基材-胶层与被黏物界面处增强界面作用力,从而全面提升体系的黏接性能^[32].纳米复合技术在优化压敏胶力学性能、耐水性与耐热性的同时,还可赋予材料光、电、磁等新型功能特性^[33-34].然而,无机纳米组分的引入可能导致压敏胶透明度下降.此外,纳米粒子因粒径小、比表面积大,易发生团聚,形成二次粒子,丧失其纳米尺度特有的功能特性,进而影响压敏胶的综合性能与长期稳定性.因此,在使用纳米粒子进行改性时,需对其表面进行适当处理,如添加分散剂、偶联剂或采用其他物理化学方法,以确保纳米粒子在乳液中均匀分散并保持稳定.研究表明,多种纳米填料(如碳纳米管、白炭黑、纳米黏土、纳米二氧化硅和纳米二氧化钛等)均可有效提升复合材料的综合性能^[35].

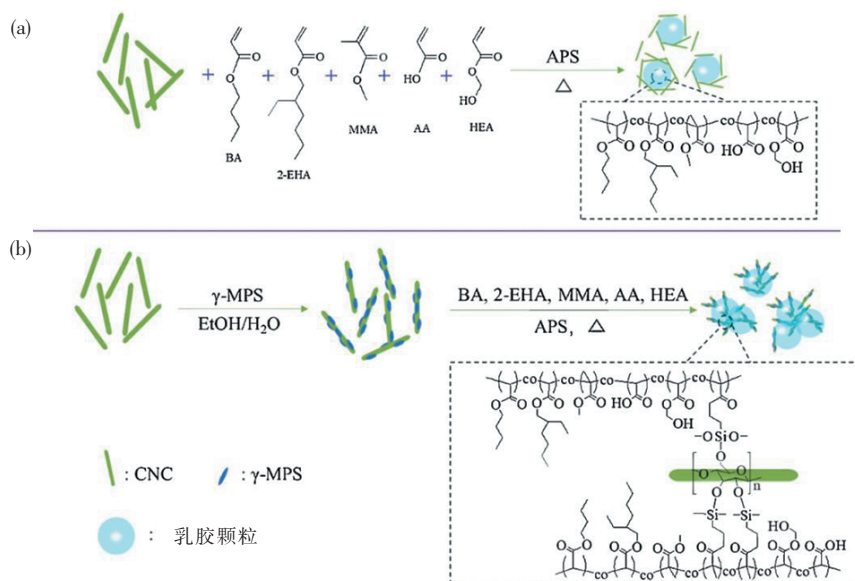


图7 CNC/丙烯酸 (a) 和 fCNC/丙烯酸 (b) 乳液聚合反应示意图^[36]

Fig. 7 Schematic reaction illustration of CNC/acrylic (a) and fCNC/acrylic (b) latex^[36]

Yu等^[36]通过硅烷偶联剂处理制备了功能化纤维素纳米晶(fCNC),并通过原位乳液聚合将其引入丙烯酸压敏胶体系.研究表明,fCNC相比未改性CNC能更显著地提升压敏胶的综合性能,其初黏力、持黏时间及180°剥离强度分别达到27 N、70 h和5.36 N·cm⁻¹,较纯丙烯酸压敏胶分别提升35%、100%和163%.Vu等^[37]则研究了油胺功能化氧化石墨烯(OA-f-GO)对压敏胶性能的影响,发现表面改性有效解决了GO的团聚问题,使其在基体中均匀分散.当添加5% OA-f-GO时,复合材料在2 000 mJ·cm⁻²紫外能量下的导热率较未添加填料

的 PSA 提高了 300%, 展现出优异的热管理潜力。

3 结论

乳液型聚丙烯酸酯压敏胶凭借其环境友好特性和良好的综合黏接性能, 已成为该领域的重要发展方向之一。面向未来, 其技术演进将聚焦于三大核心路径: 首先是高性能化。通过研发新型高分子链结构单体和高效交联体系, 致力于解决初黏力、剥离力与持黏力和内聚力之间的固有矛盾, 全面提升压敏胶的综合力学性能和长期耐久性(如耐高温、耐老化)。其次是功能化。超越传统的黏接角色, 通过复合纳米材料、引入智能响应型单体等手段, 开发具有导热、电磁屏蔽、可重复粘贴或对温度/光刺激产生响应的高附加值产品。再者是应用领域拓宽化。其关键在于发展先进的表面处理技术与精细的界面设计, 以满足在各类基材(尤其是难黏接的低表面能材料)上进行可靠黏接的需求, 从而适配汽车、新能源、柔性电子及医用敷料等高端场景。综上所述, 通过性能、功能与应用的协同并进, 推动产品向高性能化、功能化和应用多元化方向发展, 已成为满足未来高端领域需求的明确路径。

参 考 文 献

- [1] MARTIJN A D, RESAT A, ALEXANDRE S, et al. Biobased acrylic pressure-sensitive adhesives[J]. *Progress in Polymer Science*, 2021, 117: 101396.
- [2] FANG C, JING Y, LIN Z. The application research of environment-friendly reactive surfactants in acrylate emulsion pressure sensitive adhesives[J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2017, 73: 1-7.
- [3] 李勇. UV 光固化压敏胶的制备方法及研究进展[J]. *中国胶粘剂*, 2019, 28(9): 43-46, 62.
- [4] PARK H W, PARK J W, LEE J H, et al. Property modification of a silicone acrylic pressure-sensitive adhesive with oligomeric silicone urethane methacrylate[J]. *European Polymer Journal*, 2019, 112: 320-327.
- [5] MAPARI S, MESTRY S, MHASKE S T. Developments in pressure-sensitive adhesives: A review[J]. *Polymer Bulletin*, 2021, 78: 4075-4108.
- [6] 蒋春源, 张欣蕊, 田锦盛, 等. 保护膜用高抗撕裂聚丙烯酸酯乳液压敏胶的制备与应用研究[J]. *高分子通报*, 2025, 38(3): 487-495.
- [7] 郭佳美, 韩卓洒, 杨金磊, 等. 有机硅改性丙烯酸酯分散体的制备及性能研究[J]. *涂料工业*, 2023, 53(8): 62-68.
- [8] 冯锦, 张兴华. 包装用丙烯酸酯压敏胶的制备与研究[J]. *材料研究与应用*, 2021, 15(5): 544-549.
- [9] 程祥峰. 包装保护膜用丙烯酸酯压敏胶的制备及性能研究[J]. *中国包装*, 2024, 44(6): 23-28.
- [10] WU Y, QI X, ZHANG Y, et al. Study on preparing the latexes composed of polyvinyl chloride-acrylate copolymers with core-shell structure for increasing water resistance of its coating[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2025, 200: 109014.
- [11] JONAS B, SEBASTIAN K, KLAUS S, et al. Microemulsion and microsuspension polymerization of methyl methacrylate in surfactant-free microemulsions (SFME)[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023, 648: 755-767.
- [12] 罗丹, 王志政, 张耘瑞, 等. 耐暗影水性聚丙烯酸酯乳液压敏胶黏剂的制备[J]. *精细化工*, 2025, 42(1): 215-223.
- [13] 俞健钧, 马海建, 梅锦岗, 等. 单体对乳液型丙烯酸酯压敏胶性能的影响[J]. *中国胶粘剂*, 2017, 26(9): 30-33.
- [14] 段银河, 蒋付良, 董慧娴, 等. 交联型氟硅改性聚丙烯酸酯乳胶及其在涤纶织物染色中的应用研究[J].

- 浙江理工大学学报(自然科学版), 2024, 51(3): 329-336.
- [15] DIEGO L B, KAI J, FRANCISCO J, et al. Molecular dynamics study of the mechanical properties of polydisperse pressure-sensitive adhesives[J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2019, 92: 58-64.
- [16] 杜方凯, 李梦汝. 甲基丙烯酸乙酰乙酰氧基乙酯改性丙烯酸酯乳液压敏胶的制备及其性能[J]. *化工新型材料*, 2019, 47(8): 74-79.
- [17] BOWEN L, HISHAM E, LI Z, et al. Facile preparation of epoxidized soybean oil-hexanediamine resin for fabrication of pressure-sensitive adhesives[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2023, 182: 107633.
- [18] FANG C, WU C, ZHAO X. Preparation and characterization of high solid content acrylate latex pressure sensitive adhesives with difunctional cross-linker EGDMA [J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2023, 125: 103403.
- [19] JIANG C, ZHANG X, ZHANG X, et al. Integrating bioinspired natural adhesion mechanisms into modified polyacrylate latex pressure-sensitive adhesives[J]. *Polymers*, 2024, 16(13): 2404.
- [20] JIANG C, ZHANG X, ZHANG X, et al. Paradoxical adhesion and polyethylene based plastic/plastic laminated composite improvement of polyphenols modified polyacrylate latex pressure-sensitive adhesives [J]. *Reactive and Functional Polymers*, 2025, 208: 106158.
- [21] 赵红伟, 申峻, 薛春峰, 等. 水性丙烯酸涂层改性研究进展[J]. *应用化工*, 2024, 53(7): 1716-1722, 1728.
- [22] MOZELEWSKA K, ANTOSIK A K. Influence of silicone additives on the properties of pressure-sensitive adhesives[J]. *Materials*, 2022, 15(16): 5713.
- [23] ZHANG X, JIANG C, ZHANG J, et al. Synthesis and performance of single/double-vinyl terminated silane-modified polyacrylate latex pressure-sensitive adhesives[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2025, e57897.
- [24] YU Z, YAN Z, ZHANG F, et al. Waterborne acrylic resin co-modified by itaconic acid and γ -methacryloxypropyl triisopropoxidesilane for improved mechanical properties, thermal stability, and corrosion resistance[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2022, 168: 106875.
- [25] GAO M, ZHAO J, WANG G, et al. High adhesive and mechanically stable SR/PU IPNs coating with dual-functional antifouling/anticorrosive performances [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2023, 176: 107385.
- [26] 朱翔, 赵荣帆, 丁浩亮, 等. 高性能聚丙烯酸酯压敏胶的制备与性能研究[J]. *应用化工*, 2024, 53(9): 2078-2082, 2088.
- [27] TANG K, ZHANG A, GE T, et al. Research progress on modification of phenolic resin[J]. *Materials Today Communications*, 2020, 26: 101879.
- [28] 柴坤刚, 徐志君, 纪红兵. 松香基丙烯酸酯乳液压敏胶的制备[J]. *精细化工*, 2018, 35(1): 163-169.
- [29] YAO M, TANG E, GUO C, et al. Synthesis of waterborne epoxy/polyacrylate composites via miniemulsion polymerization and corrosion resistance of coatings[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2017, 113: 143-150.
- [30] 张开涛, 王丹, 商士斌, 等. 压敏胶用氢化松香酯核/壳型丙烯酸酯乳液的研究[J]. *中国胶粘剂*, 2015, 24(12): 1-5.
- [31] LIU Y, LIU H, GUO S, et al. A review of carbon nanomaterials/bacterial cellulose composites for nanomedicine applications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2024, 323: 121445.
- [32] 尉晓丽, 傅和青. 改性水性丙烯酸酯压敏胶研究进展[J]. *化工进展*, 2012, 31(增刊1): 176-184.

(下转第 116 页)