

# 丙烯酸乳液及其工业涂料的研究和应用进展

许文彬, 徐祥麟, 牛丽涛, 司浩田, 李书明, 唐卫东, 赵新江  
(双塔涂料科技有限公司, 河南 开封 475003)

**摘要:** 介绍了丙烯酸乳液合成和改性的技术进展, 以及丙烯酸乳液在水性工业涂料中的应用。

**关键词:** 丙烯酸乳液; 水性工业涂料; 改性; 应用

中图分类号: TQ637 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)03-0045-03

## Research and Application Progress of Acrylic Latex and Its Industrial Coatings

XU Wen-bin, XU Xiang-lin, NIU Li-tao, SI Hao-tian, LI Shu-ming, TANG Wei-dong, ZHAO Xin-jiang  
(Shuangta Paint Technology Co., Ltd., Kaifeng 475003, Henan, China)

**Abstract:** The progress in synthesis and modification of acrylic latex, and its application in waterborne industrial coatings are introduced.

**Key words:** acrylic latex; waterborne industrial coatings; modification; application

### 0 引言

单组分溶剂型丙烯酸涂料具有干燥速度快、耐候性好以及施工方便等优点而被广泛使用于机械设备、钢结构和路面标线等多个工业领域, 但因其施工固体分低、VOC 含量高, 对环境和施工人员也产生了不良的影响。随着国家环保政策要求的日益趋严以及职业健康安全要求的不断提高, 各类环保型涂料的开发和应用已经成为必然的趋势, 水性丙烯酸乳液涂料具有溶剂型单组分丙烯酸涂料产品性能方面的优点, 而且环保安全, 已经从传统的内外墙涂料领域向工业涂料领域发展。

### 1 水性丙烯酸树脂

#### 1.1 水性丙烯酸树脂

依据丙烯酸树脂在介质水中分散的状态, 水性丙烯酸树脂可以分为水性丙烯酸乳液(粒径 $\geq 100$  nm)、水性丙烯酸分散体(粒径在 10~100 nm 之间)和丙烯酸树脂水溶液(粒径 $<100$  nm)。丙烯酸树脂水溶液是在溶剂型丙烯酸树脂的分子链段中引入了亲水性基

团, 从而使其具有水溶性, 一般情况下不单独作为成膜物质用来制作涂料, 主要是和氨基树脂混拼制备高温烘烤的水溶型氨基涂料, 在工业涂料领域中主要用于摩托车、酒瓶和防盗门等产品的涂装。虽然水溶性丙烯酸树脂能够在一定程度上降低有机溶剂的使用量, 但是其 VOC 含量仍旧很高, 在涂料涂装行业内被称为“假水性”体系, 随着 VOC 限量值的不断降低, 水溶性丙烯酸树脂将逐渐地被乳液或者分散体所取代。

水性丙烯酸分散体是通过“相翻转”的方法进行合成, 分子量相对较低, 一般只有几千, 在工业涂料中较为普遍的应用是和多异氰酸酯固化剂配套制备水性双组分丙烯酸聚氨酯涂料, 这类涂料的涂膜具有优异的硬度、光泽、丰满度和耐候性, 广泛作为交通工具、机械设备和钢结构等的面漆使用。丙烯酸乳液是由(甲基)丙烯酸类和非丙烯酸类单体借助乳化剂作用乳化在水中, 进行自由基聚合而成的, 分子量一般在十几万至几十万, 在涂料中以物理交联的方式进行固化成膜, 整个固化过程不存在化学反应, 具有 VOC 含量低、干燥速度快和耐候性好等优点, 并且成本较低、市场存量较大, 被广泛地应用在各种水性工业涂料中。

#### 1.2 丙烯酸乳液

有关乳液聚合的研究已经有近百年的历史, 已经

收稿日期: 2024-06-18

作者简介: 许文彬(1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂料的研发与应用工作。E-mail: 527414597@qq.com。

成为高分子合成的一个重要方法,丙烯酸乳液也同样主要通过乳液聚合的方式进行合成,以水为分散介质,通过乳化剂的作用将单体分散在水中,聚合反应在单体液滴内部通过乳液胶粒的生成、长大和完成三个阶段而形成的。乳液聚合具有较多的优点:首先,以成本较低的水作为分散介质,不仅有利于分散体系的混合而且有利于反应热的溢出,反应过程也容易进行工业控制;其次,以水为分散介质,避免了有机溶剂的使用而降低了火灾的风险,同时也有利于环境和职业健康,再次,产物可以直接以乳液的形式进行运输和使用,降低了成本。

随着聚合技术的不断进步和发展,新的乳液聚合方法对丙烯酸乳液性能的提升产生了显著的推进作用,这些乳液聚合的新方法主要有:无皂乳液聚合、核-壳乳液聚合、微乳液聚合、细乳液聚合和乳液互传聚合物网络聚合等。

与使用较多乳化剂的常规乳液聚合不同,无皂乳液聚合基本不使用乳化剂或使用很少量的乳化剂,从而减少了乳化剂残留对树脂整体性能的负面影响,可以提高涂膜的耐水性、光泽和透明度等多个方面的性能,例如马吉全等<sup>[1]</sup>采用无皂乳液聚合的方法合成了一种水性无皂丙烯酸乳液,此乳液具有较小粒径和溶剂型树脂相似的透明度,因为涂膜在固化的过程中没有乳化剂的迁移和结晶,涂膜的透明度和光泽得到显著提高,涂膜对木材的表面具有良好的渗透和填充性能。

核-壳乳液聚合是分阶段将性能不同的单体聚合在一起,从而使乳液粒子的内部和外部富集着不同类型的单体成分,使乳液颗粒的内部和外部具有不同的玻璃化温度和极性,并且通过合理设计乳液的核-壳结构,还能够提高乳液制备的涂料的物理机械性能和耐候性。例如金秀等<sup>[2]</sup>以苯乙烯、甲基丙烯酸和甲基丙烯酸甲酯作为硬单体,以丙烯酸丁酯作为软单体,通过核-壳乳液聚合的方法合成丙烯酸乳液,研究了软硬两类不同的单体分别作为乳液的核和壳对涂膜外观、拉伸强度、断裂伸长率和附着力的影响,当以硬单体为乳液的壳时可以为涂膜提供良好的拉伸强度和耐水性,当以软体为壳时可以为涂膜提供良好的附着力。

微乳液是指乳液粒径在 10~100 nm 之间,与传统乳液粒径 1~10 μm 相比,乳液粒径小,表面张力低,具有好的流平性和基材润湿能力,可以提高成膜之后的光泽、硬度和附着力等。

细乳液聚合是采用超声乳化工艺,使丙烯酸乳液形成亚微米级的分散体系,通过细乳液的聚合方法可以合成疏水型聚合物乳液、高固含聚合物乳液和聚合物微球等。

互穿聚合物网络是不同类型的聚合物分子链之间以化学键的方式连接在一起形成立体的网络结构,不同链段之间相互交联与贯穿,提高了整个聚合物网络的耐磨性、耐候性和拉伸强度等。

在单组分自干水性涂料领域,丙烯酸乳液涂料具有明显的优势:耐候性能好、干燥速度快、VOC 含量低,且随着各种乳液合成技术的发展,其性能也在不断地提升,其应用已经从传统的建筑涂料领域逐渐地向工业涂料领域发展。但是,在低温成膜性、抗闪锈性和耐盐雾性等方面还存在着一定的瓶颈,在使用的过程中主要通过物理混拼和化学改性的方式进行改善。

## 2 丙烯酸乳液的改性

### 2.1 物理改性

丙烯酸乳液的物理改性主要是物理混拼两种或者两种以上的树脂应用到涂料体系中,此方法具有简单易行的优点,但是需要特别注意不同树脂之间的相容性。江拥<sup>[3]</sup>将具有快干、耐候特性的丙烯酸乳液 MC-105 和具有防腐性能的丙烯酸乳液 BS-104 进行物理混拼后制备了一种水性钢结构表面用涂料,其人工老化性能可以达到 800 h 以上,耐盐雾性能可以达到 500 h 以上,同时能够满足大型钢结构一次喷涂达到干膜 60 μm 以上不流挂和快速干燥进行工件转运的要求。刘睿等<sup>[4]</sup>将具有高玻璃化温度 HG-54C 和低玻璃化温度 CTW-0632 的两种丙烯酸乳液进行物理混拼用来制备用于集装箱涂装的水性单组分面漆,通过寻找两种乳液在涂料中的合适比例,克服了在涂装速度快和环境温度不可控的集装箱涂装中单独使用高玻璃化温度乳液产生的开裂问题和单独使用低玻璃化温度乳液产生的低硬度问题。

### 2.2 化学改性

丙烯酸酯乳液的化学改性是在聚合反应阶段添加功能性树脂或者单体与其反应,彼此之间以化学键的方式进行链接,从而生成共聚、嵌段或接枝等不同的结构,克服了物理改性存在的相容性问题。

目前丙烯酸酯乳液的化学改性方法主要有以下 3 种:第一种是借助有机硅单体、有机氟单体、磷酸酯和异冰片酯等功能性单体对丙烯酸乳液进行改性。例如王倩等<sup>[5]</sup>将含有乙烯基团的有机硅单体通过种子乳液聚合的方法共聚到丙烯酸乳液的主链上,合成了一种有机硅改性的丙烯酸酯乳液,涂膜中的 Si—O 键具有较大的键能,可以提高涂膜的光稳定性、耐水性和耐洗刷性等多个方面的性能。而磷酸酯单体对丙烯酸乳液的防闪锈能力有显著的提高,通过聚合将磷酸酯单体合成到丙烯酸乳液分子中,对水性丙烯酸涂料的抗闪锈性有显著的改善,张东阳<sup>[6]</sup>合成了一种含有磷酸酯

功能基团的丙烯酸乳液,与一般乳液相比,这种乳液可以与金属底材之间形成一层致密的磷化膜,在提高了丙烯酸乳液与金属底材之间附着力的同时也提供了乳液的防腐性能。吕红<sup>[7]</sup>将磷酸酯同时作为乳化剂和功能单体来合成丙烯酸乳液,磷酸酯功能单体通过自由基聚合连接到分子链段上,从而限制了乳化剂亲水部分的迁移,可以提高涂膜的耐水性,同时磷酸酯基团与金属底材之间能够发生化学反应生成结构致密的磷酸盐保护膜钝化金属表面,防止腐蚀物质与金属接触从而提高涂膜的防锈性能和附着力。

第二种化学改性方法是通过纳米无机粒子对丙烯酸乳液进行改性,将无机纳米粒子应用于有机材料的改性是一种“无机有机杂化”技术,运用该技术制备的改性丙烯酸乳液呈现出特殊的表面效应、光学性能和热学性能。刘芳等<sup>[8]</sup>采用种子半连续乳液聚合法,用纳米二氧化硅粉末对丙烯酸乳液进行改性,二氧化硅粉末的添加使乳液的粒径分布更加均匀,提高了乳液的贮存稳定性,同时也使涂膜的耐热性进一步提升,制备的耐水抗覆冰涂料的涂膜凸起更均匀、更微小,性能更加优异。马冠豪等<sup>[9]</sup>将纳米二氧化硅和正硅酸乙酯通过溶胶-凝胶法引入到氟硅改性苯丙乳液中,纳米二氧化硅与乳胶粒之间以硅氧共价键相接,并在乳胶粒表面形成了山峰状的微纳米结构,使复合涂膜的 WCA (水接触角)由 74°增大至 106°,从而使其疏水性得到提升。顾靖<sup>[10]</sup>首先利用 KH-570 对纳米二氧化硅进行改性,然后将改性后的纳米二氧化硅接枝到丙烯酸聚合物上,不仅使丙烯酸乳液形成了微粒状的微观结构,而且改变了涂膜的疏水性能,从而提高丙烯酸乳液的摩擦系数和耐水性。

第三种方法是通过环氧树脂、聚氨酯树脂等不同的树脂对丙烯酸乳液进行改性,使其兼具两种树脂的性能。李玉等<sup>[11]</sup>用环氧酯与乙烯基单体共聚的方式制备多重自交联水性丙烯酸树脂分散体,这种分散体能够在成膜过程中进行多重自交联的协同反应提高涂膜的致密度,改性后的树脂具有优异的硬度、附着力、耐水性和耐溶剂性。沈文军等<sup>[12]</sup>用双酚 A 环氧二丙烯酸酯对丙烯酸进行改性制得环氧改性丙烯酸树脂的复合乳液,环氧树脂的引入提高了涂膜固化后的湿附着力和腐蚀电位,改性后的乳液可以广泛地应用于金属防护领域。

### 3 丙烯酸乳液在工业涂料中的应用

随着丙烯酸乳液合成和改性技术的发展,以及水性丙烯酸乳液涂料应用经验的不断积累,丙烯酸乳液已经在工业涂料的多个细分领域得到应用并发挥越来越重要的作用。首先,丙烯酸乳液涂料已被广泛地应用

于钢结构轻防腐的涂装,传统的醇酸钢结构涂料具有良好的外观和施工性能,但是无论溶剂型醇酸涂料还是水性醇酸涂料在 VOC 和干性等方面都制约着其进一步发展,而水性丙烯酸乳液涂料产品具有较好的干燥速度、早期耐水性和耐候性等显著优势,成为替代醇酸钢结构涂料的重要产品。其次,丙烯酸乳液涂料在车桥、板簧和履带等多种汽车零部件的涂装中得到应用。丙烯酸乳液、水性醇酸和水性环氧酯是汽车零部件防腐涂料中经常使用到的水性单组分树脂体系,因水性醇酸涂料和水性环氧酯涂料的干燥速度慢、硬度低,常不能够满足工件涂料下线后快速转运的需求,而随着丙烯酸乳液涂料防腐性能的不不断提升,其在汽车零部件防腐涂料中的占比也在逐渐地增加。再次,在起重机械、煤炭机械和农业机械等各类机械设备涂装领域,在彩钢瓦、路边标线和古建筑翻新等工程建筑涂装领域,以及集装箱和铁路货车等交通运输涂装领域,丙烯酸乳液涂料同样也得到了大量的使用。同时,因为丙烯酸乳液具有多样的改性途径,通过改性赋予了丙烯酸乳液某一方面特殊的功能性能,而被应用于特殊工业涂料领域,例如,有机硅改性丙烯酸乳液具有优异的耐候性、耐温性,可以用于耐高温环境和恶劣环境条件下的防腐涂料。

### 4 结语

丙烯酸乳液的合成技术成熟,具有多样的改性途径,凭借其 VOC 含量低,干燥速度快、耐候性较好以及施工方便的优点已经在工业涂料的钢结构、汽车零部件和机械设备等多个细分领域得到快速的发展和运用,并且其应用的领域还在不断地进行扩展。同时,也不能忽视丙烯酸乳液涂料在应用过程中出现的防闪锈性、耐盐雾性和低温成膜性等各方面的问题,随着功能化和高性能化丙烯酸乳液的不断推出,这些问题也将得到有效的解决。

### 参考文献:

- [1] 马吉全,林争超,李宁,等.一种具有高透明度和优异暖木效果的水性无皂丙烯酸乳液的制备[J].中国涂料,2017,32(6):9-12.
- [2] 金秀,盛同范,潘立志,等.丙烯酸酯核-壳乳液的合成及其可剥离性能研究[J].涂料工业,2021,51(8):25-31.
- [3] 江拥.水性防锈漆在大型钢结构表面的应用技术[J].现代涂料与涂装,2016,19(5):11-13.
- [4] 刘睿,庄振宇,张汉青,等.集装箱用水性丙烯酸面漆的研制[J].涂料工业,2019,49(8):35-40.
- [5] 王倩,张心亚,涂伟萍,等.有机硅改性丙烯酸乳液性能的研究[J].中国胶粘剂,2003,12(2):5-7.(下转第 62 页)