**水性丙烯酸涂料的改性及其功能化应用研究进展**

**林锐[[1]](#footnote-1)，刘朝辉1，林壮文2，贾艺凡3，王飞4**

**（**1. 放军后勤工程学院 化学与材料工程系，重庆 401311；2. 中国人民解放军92619部队，深圳 518107；

3. 中国人民解放军61517部队，北京 100850；4. 中国人民解放军94786部队，江西 331200）

**摘要：**简述了环氧树脂改性水性丙烯酸、聚氨酯改性水性丙烯酸、有机硅改性水性丙烯酸、有机氟改性水性丙烯酸以及纳米粒子改性水性丙烯酸的研究进展，并对其发展趋势进行展望。对水性丙烯酸涂料体系功能化应用进行了分类介绍，最后提出了水性丙烯酸涂料将向着高性能、多功能的方向发展。

**关键词：**水性丙烯酸；涂料；改性；功能化

中图分类号：TG174.44 文献标识码：A 文章编号：1001-3660(2017)01-0001-07

DOI：10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.01.001

**The study of modification and functional application of waterborne acrylic coating**

**LIN Rui1, LIU Zhao-hui1, LIN Zhuang2, JIA Yi-fan3, WANG Fei4**

**（1. Department of Chemistry＆Materials Engineering, LEU, Chongqing 401311, China**

**292619 Unit of PLA, Shenzhen 510107, China**

**361517 Unit of PLA, Beijing 100850, China**

**494786 Unit of PLA, Jiangxi 331200, China)**

**Abstract:** Bestowed with rich sources of raw materials, waterborne acrylic resin possesses bounds of characters, such as low-prices, a well-developed processing industry. Waterborne acrylic resin also has the virtues of excellent chemical stabilities, a good light aging resistance, good adhesion to the substrate and a good color retention. However, for waterborne itself, there are some shortcomings, such as thermal bonding cold brittleness, poor heat resistance, a requirement for high temperature for forming film. Certain modifications are usually applied to improve its performance. Here we briefly summarized the research progress of the epoxy-modified waterborne acrylic, urethane modified waterborne acrylic, silicone-modified waterborne acrylic, waterborne acrylic and fluorine-modified organic nanoparticle-modified acrylic waterborne and the research prospective was also included. Based on the prior research, Functional application of water-based acrylic paint were introduced by category. For the waterborne acrylic, it has important applications in waterproof coatings, fire retardant paintings, anti-corrosion coatings, marine antifouling coatings and insulation coatings and other functional directions. The characters and functional applications of waterborne acrylic were finally concluded. Some new methods and techniques, the new synthetic techniques, rational use of modified resin, organic-inorganic composite were described by the category, concluded with the claim that waterborne acrylic paints future will move towards high-performance and multi-function directions.

**Key Word:** waterborne; acrylic acid; coating; modify; functionalization; application

水性丙烯酸涂料价格低廉，具有安全环保、耐老化性优异、耐碱性佳、合成加工简单等特点[1]，在防水、防火、防腐、防污、隔热保温等功能上有着重要的应用。水性丙烯酸涂料也存在一些不足，如耐热性不良、热粘冷脆等。因此，常对水性丙烯酸树脂进行改性，常见的改性方法有环氧树脂改性、聚氨酯改性、有机硅改性以及有机氟改性[2]。文中主要从水性丙烯酸树脂的改性以及水性丙烯酸树脂涂料的功能化应用两个方面进行综述。

**1 水性丙烯酸树脂的改性**

虽然水性丙烯酸涂料因其优异的性能而应用十分广泛，但是其本身存在的问题也限制了它的发展，因此，通过改性改善它的有关性能，具有重要的现实意义。当前，水性丙烯酸树脂改性主要有环氧树脂改性、聚氨酯改性、有机硅改性、有机氟改性以及纳米改性等。

* 1. **环氧树脂改性**

环氧树脂含有环氧基团以及大量活性和极性基团，能够在多种类型的固化剂作用下发生交联固化，固化后的环氧树脂热稳定性、化学稳定性突出，力学性能优良，与基材附着力好，但是耐候性较差。用环氧树脂改性丙烯酸树脂，能够将两者的优点结合在一起，改性后的乳液既能具有环氧树脂的高强度、优异的防腐性以及良好的附着力，又能兼具丙烯酸树脂保光保色、耐老化性优异等优点，克服自身的缺陷，从而扩大使用范围。当前，环氧树脂改性丙烯酸树脂已经成为国内外学者研究的热点，并有了大量的研究应用。

潘桂荣等[3]用乳液接枝聚合方法合成环氧树脂改性的丙烯酸树脂，研究了单体浓度和引发剂与乳化剂用量对改性乳液粒径、分子量等的影响，并对这类接枝聚合机理进行了讨论。陈鹏等[4]通过研究环氧树脂的种类及添加量，溶剂的种类，反应温度等对改性乳液性能的影响，制备了性能优良的密封胶用环氧树脂改性丙烯酸树脂。辛秀兰等[5]研究环氧树脂E44的添加量对环氧树脂改性的丙烯酸乳液附着力、稳定性、干燥性以及吸水率等性能的影响规律，实验表明，改性乳液中E44的添加量为5%时综合性能最好。YianZheng等[6]先通过开环反应使环氧树脂具有双键，再与丙烯酸单体进行聚合反应，得到耐溶剂性、耐蒸煮性优异的环氧树脂改性丙烯酸树脂。候光宇等[7]利用环氧树脂和有机硅油共同改性丙烯酸树脂，实验表明，该树脂热稳定性、耐水煮性优异，同时具有光泽度好、硬度高、附着力强等特点，适用于高档玻璃烤漆。黄畴等[8]利用环氧树脂改性丙烯酸树脂，发现改性后涂层附着力显著增强，耐盐雾性和抗腐蚀性能较未改性丙烯酸树脂显著增强。

虽然有关环氧树脂改性水性丙烯酸树脂的研究比较多，且取得了很大的进展，但其成膜、改性机理较为复杂，这方面的研究深度还不够，因此，应加大开展基础研究的力度，从而为产品开发应用提供理论支持。

* 1. **聚氨酯改性**

聚氨酯是聚氨基甲酸酯的简称，具有良好的力学性能、耐油性和耐低温性[9]，但是耐碱性较差。通过聚氨酯改性后的丙烯酸乳液，既保留了聚氨酯的高机械耐磨性、耐低温性，也具备丙烯酸树脂良好的户外耐候性及耐碱性。当前，聚氨酯改性丙烯酸树脂已在涂料、油墨等多领域广泛应用。

杨文涛等[10]通过核壳乳液聚合法合成聚氨酯改性丙烯酸乳液，改性乳液兼具两种树脂性能优点，硬度高、抗划伤性好以及成膜温度低。Xu等[11]对自制的聚氨酯改性丙烯酸树脂进行一系列测试，结果表明，改性乳液具有优良的耐水、耐碱性，在建筑涂料中有着广泛的应用前景。庄彩虹等[12]采用自制的聚氨酯预聚体对环氧丙烯酸酯进行改性，研究表明，聚氨酯改性显著改善材料的力学性能，当聚氨酯含量为25%时，拉伸强度为未改性时的4.7倍，抗压强度为1.6倍。

聚氨酯改性丙烯酸乳液原材料易得、价格便宜，合成工艺较为成熟，可以通过开发新的合成路径来提高改性乳液的综合性能，以及往改性乳液中引入适当的功能性组分以满足特殊领域应用的需要。

* 1. **有机硅改性**

有机硅中含有烷氧基、羟基等活性基团，具有良好的疏水性、耐热性、耐沾污性和耐化学介质性等[13]。用有机硅改性丙烯酸树脂，可有效改善丙烯酸树脂成膜后的热粘冷脆、质软、容易沾污等问题，因此大大扩大了丙烯酸树脂的应用范围。

张昭等[14]在丙烯酸树脂分子中引入有机硅，实验表明，纳米级的SiO2粒子能够在丙烯酸树脂分子间的空隙中较好地分散，促进微米-纳米结构的形成，从而显著提高了涂层的疏水及防污性能。李秀玲等[15]通过接枝反应合成有机硅改性丙烯酸树脂，合成的无色透明改性树脂硬度高、附着力强、耐候性优异、透水气性好，兼具丙烯酸树脂和有机硅的优点。张莹娇等[16]采用溶液聚合法合成有机硅改性丙烯酸树脂，结果表明，改性后的分散性变好，涂层的硬度、冲击强度和附着力都有不同程度的提高。Vengadaesvaran等[17]通过对不同含量有机硅改性后的丙烯酸树脂的研究，结果表明，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拥有良好的抗冲击性和弹性。

有机硅改性丙烯酸树脂是水性丙烯酸树脂改性的重要发展方向之一，但是对于改性机理的研究仍需进一步深入，同时也应对新的聚合技术加大研究力度，通过新技术提高改性乳液的综合性能。

* 1. **有机氟改性**

碳氟化合物的介电常数和损耗因子都很小，故而氟系涂料具备热稳定性、耐候性和耐化学性极好的优点[18]。通过有机氟改性丙烯酸树脂，既能保留丙烯酸树脂耐碱性、保色保光性优良等特点，又能兼具有机氟涂料的优点。由于有机氟改性丙烯酸树脂综合性能优异，已成为当前国内外丙烯酸树脂改性领域研究的热点之一。

Peng等[19]通过悬浮乳液聚合法成功合成有机氟改性丙烯酸乳液，研究表明，改性乳液粒子尺寸大，稳定性好，具有良好的耐水耐油性。何庆迪等[20]将有机硅、有机氟与丙烯酸酯类单体进行共聚，制备出一种高性能氟硅改性丙烯酸弹性乳液，研究表明，改性乳液拉伸性能及耐沾污性较未改性时显著提高。翁睿等[21]通过有机氟、有机硅与水性丙烯酸单体的自由基共聚，得到聚合产物单一的改性乳液，研究表明，改性乳液较未改性时耐候性、耐酸碱性明显增强，且耐热性也有所提高。杨飞等[22]研究氟改性和硅改性丙烯酸聚氨酯涂层在不同环境中的失效行为，结果表明，硅、氟改性均能有效提高涂层的疏水性，硅改性涂层耐温性更好，氟改性涂层耐光老化性能更好。Cheng等[23]采用半连续种子乳液聚合法，合成互穿网络结构的有机氟改性丙烯酸乳液，发现互穿网络结构的改性乳液具有更好的耐水性、耐溶剂性以及热稳定性。

有机氟改性丙烯酸乳液性能优异，但是目前氟单体价格比较昂贵，用有机氟和有机硅共同对丙烯酸树脂改性，不仅可以减少氟单体的用量从而降低成本，而且氟硅共同改性的丙烯酸乳液更加优异。因而，氟硅改性将引起越来越多的学者关注。

**1.5其他改性**

目前，水性丙烯酸树脂也常用纳米二氧化硅、氧化锌、二氧化钛、碳酸钙等纳米粒子改性，其中应用最广泛的是纳米二氧化硅和纳米二氧化钛。纳米粒子能够有针对性地使水性丙烯酸的耐候性、耐老化性、耐洗擦性等得到极大的提高。Dashtizadeh等[24]通过纳米二氧化硅与水性丙烯酸单体共聚，提高了改性乳液的玻璃化转变温度和涂层硬度以及光泽度。Lewis等[25]在水性丙烯酸涂料中添加纳米二氧化钛，结果表明，涂层的耐腐蚀性因为加入了纳米二氧化钛而得到改善，且当纳米二氧化钛添加量为3%时，涂层的耐腐蚀性最好。

虽然纳米粒子改性水性丙烯酸树脂性能优异，但是纳米粒子的分散与稳定问题制约了这种改性方法的发展[26]。通过纳米微粒表面处理技术能够有效降低纳米微粒的表面张力，从而改善纳米粉体在水性丙烯酸树脂中的分散稳定性，继而提高改性树脂的性能。

除上述改性方法外，其他的改性方法也多有应用。钟荆祥等[27]用不饱和聚酯树脂和苯乙烯、丙烯酸单体共聚，合成改性羟基丙烯酸树脂。改性树脂既具有饱和聚酯树脂高光泽、高硬度的特点，又具备丙烯酸树脂快干的特性。刘小华等[28]通过苯乙烯改性丙烯酸树脂，得到核-壳结构的苯丙乳液，结果表明，改性乳液成膜性、稳定性良好，吸水率低，耐水性好。余剑英等[29]通过有机蒙脱土改性丙烯酸乳液，结果表明，当有机蒙脱土添加量为3%时可有效提高涂膜的机械性能、耐水性、以及耐光、热老化性。

**2 功能化分类**

水性丙烯酸树脂有许多优异的性能，并且配方比较灵活，改性研究也较为成熟，通过添加不同性能的颜填料或与功能性单体共聚等方式可配制成满足不同的功能化需要的水性丙烯酸涂料。水性丙烯酸涂料在防水、防火、防腐、海洋防污以及隔热保温涂料等功能方向上有着广泛的应用。

**2.1水性丙烯酸防水涂料**

渗漏是新老建筑都可能面对的问题，不仅造成住户直接的经济财产损失，而且会对住户的身体健康带来一定的影响。水性丙烯酸涂料作为一种常见的防水材料，在屋顶、外墙、厨卫间、阳台、地坪等地方有广泛的应用。

李雪梅等[30]从应用性能及力学性能方面对比丙烯酸及乙烯-醋酸乙烯共聚物（VAE）两种防水涂料，结果表明，丙烯酸防水涂料的耐水性能、力学性能好，但施工性能稍逊。罗明等[31]通过正交设计法研究弹性丙烯酸乳液，制备出吸水率较低、拉伸强度和断裂伸长率良好的防水涂料。董建波等[32]选用高弹丙烯酸乳液为基料，通过调整乳液含量，合理搭配颜填料，研究乳液对涂料吸水率的影响，研究发现，涂膜吸水率随着乳液含量的增加而上升。陈吉涛等[33]对几种丙烯酸类乳液进行防水、耐沾污、可见光反射率等性能研究，实验表明，水性丙烯酸涂料力学性能优异，防水性能良好，耐沾污性及可见光反射率都较高。卞治和[34]发明一种水性丙烯酸防水涂料，该防水涂料具备超强耐水、耐候性，以及高达740%以上的断裂伸长率，可用于建筑屋顶、外墙、厨卫间、阳台、地坪防水。

从水性丙烯酸防水涂料的研究现状分析可以看出，水性丙烯酸防水涂料的机械性能以及吸水率是研究的重点，在保持防水涂料良好的性能时附带其他功能性作用则是研究的难点。

**2.2水性丙烯酸防火材料**

在材料表面涂刷防火涂料，能够降低材料表面的可燃性，阻滞火势的蔓延，从而提高材料的耐火极限。膨胀型丙烯酸防火涂料作为国内防火涂料的第一种产品[35]，在防火涂料中扮演着重要的角色。

陈伟红等[36]利用隧道燃烧法测试了自制空心玻璃微珠丙烯酸防火涂料，对于非膨胀型丙烯酸防火涂料，随着空心玻璃微珠用量增加，防火性能先提升后降低；对膨胀型丙烯酸防火涂料而言，空心微珠抑制了涂料中的膨胀元素发挥作用，反而会导致防火性能下降。吴锦添等[37]用硅丙乳液和环氧改性丙烯酸酯乳液制备水性超薄防火涂料，涂层受热膨胀后形成了致密的“蜂窝”状结构，具有较好的防火性能。Wan Zaharuddin W A等[38]往水性丙烯酸中添加膨胀蛭石和阻燃剂，实验表明，加入膨胀蛭石后可明显提高涂层的防火性能，且膨胀碳层的孔径小，对火焰向基材的热传递起到了良好的阻滞作用。董延茂等[39]采用氨基树脂改性丙烯酸树脂作为防火涂料的成膜物质，结果表明，当树脂含量添加量为25%，丙烯酸树脂与氨基树脂的配比为1:2时，发泡细而致密，灼烧后附着力较好，碳层较硬，阻燃效果较好。

水性丙烯酸防火涂料的研究现状表明，目前研究人员主要通过树脂改性、合理选用功能性阻燃颜填料等方式来研制性能良好的防火涂料。

**2.3水性丙烯酸防腐材料**

水性丙烯酸防腐涂料主要对基材起到保护作用，涂覆于基材表面形成附着牢固的连续涂膜，从而使基材免受各种腐蚀介质侵蚀。水性丙烯酸防腐涂料一般在中、轻度防腐领域应用，根据在涂层体系中涂刷的位置分为底漆、中涂、面漆三种防腐涂料。

Zhong等[40]将具有防闪蚀作用的羟基磷酸酯单体引入丙烯酸树脂分子中，制备出性能优良的水性苯乙烯-丙烯酸共聚乳液，涂层耐水性达到300 h，耐盐雾达到240 h。Chougrain等[41]往丙烯酸乳液中添加二磷酸丙烯酸酯单体，二磷酸丙烯酸酯的存在，不仅提高了涂膜与基材的粘接力，而且提高了涂膜的耐盐雾性，可达1200 h。Fu等[42]通过在水性丙烯酸乳液合成过程中加入偏二氯乙烯(VDC)单体，制备了高固含量的改性水性丙烯酸乳液。研究表明，VDC含量的提高可降低涂膜的氧气透过率和水汽透过率，当VDC的质量分数为80%时，涂膜的耐盐雾达250 h以上。Wang等[43]自制一种无皂化的含氟丙烯酸防腐乳液，发现随着涂膜表面含氟官能团的增加，接触角增大、吸水率降低、乳液稳定性大幅度提高。张爱黎等[44]以自制的有机硅改性环氧丙烯酸乳液为基料，以钛白粉和玻璃鳞片为颜填料，制备了水性防腐涂料。实验表明，涂层腐蚀电流为0.37 μA，耐盐雾600 h涂层无明显变化，耐水1440 h无异常，综合防腐效果良好。

水性丙烯酸防腐涂料的研究日臻成熟，尽管目前市场占有率仍然较溶剂型防腐涂料小，但是增长率要比溶剂型防腐涂料高得多。目前，水性丙烯酸防腐涂料的性能越来越优良，但是其本身仍然存在一些不足，如亲水性基团的残留导致耐水性较差、易闪蚀等。因此，今后的研究重点应该是在着力解决上述问题的基础上，向着复合化、全面化、功能化方面发展。

**2.4水性丙烯酸海洋防污材料**

海洋生物附着在船舶底部，不仅使船舶燃油消耗加大，还会使金属腐蚀加速，通过在船舶底部涂装海洋防污涂料，可有效、便捷、经济地减轻这种危害[45]。

于雪艳等[46]采用自抛光型丙烯酸锌基体树脂制备无锡环保型防污涂料，经实船涂装海洋航行36个月后，验证该防污涂料具有优异的防污效果，同时不会对海洋环境产生危害。史洪微等[47]采用二步法制备具有微-纳米表面结构的有机硅改性丙烯酸防污涂料，涂层的水接触角大于120°，表面能低于15 mN/m，具有良好的耐水性、耐热性、耐化学腐蚀性和耐溶剂性，并且安全不含有毒有害物质。刘苏静等[48]用改性纳米TiO2与丙烯酸树脂复合，制备具有微米-纳米表面结构的疏水性海洋防污涂料，涂层的接触角为115°，经海上挂板实验6个月验证，该防污涂料可有效抑制大型污损生物的附着。舒礼伟等[49]自制交联水解型丙烯酸锌树脂，该树脂可与多种环境友好型防污剂进行复配，经浅海挂板实验50 d，防污涂层表面没有出现大型污损生物，具备良好的防污效果。GRAHAM等[50]通过往全氟丙烯酸树脂中接枝-(CH2)2-(CF2)*n*-F单元（其中*n*＞10），可将改性树脂的表面能降低至6 mN/m以下。

随着环保意识的增强和海洋公约的实施，水性丙烯酸海洋防污涂料将在解决海洋生物污染问题上起到越来越重要的作用。水性丙烯酸海洋防污涂料正向着无毒自抛光、低表面能、功能性超疏水方向发展，利用新聚合技术、微相分离技术、微纳米技术、有机-无机杂化技术等新技术制备性能更加优异的水性丙烯酸树脂基体，水性丙烯酸海洋防污涂料才能出现革命性的突破。

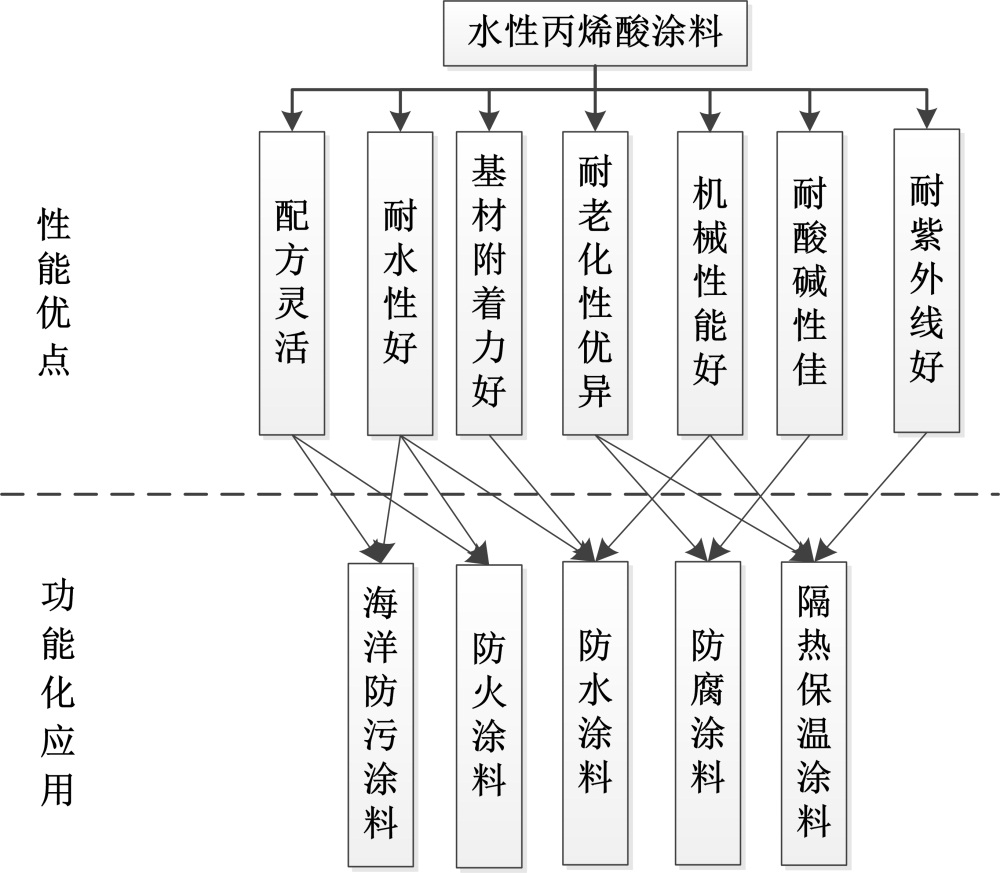
**2.5水性丙烯酸隔热保温涂料**

随着人们生活水平的不断改善，人们日益增长的资源需求与有限的资源之间的矛盾越来越突出，节能减排已成为当今科学研究与技术开发的基本目标之一。水性丙烯酸隔热保温涂料是近年来快速发展起来的节能环保功能涂料，对降低综合工程造价、提高建筑物的耐久性具有显著的经济、环境和社会效益[51]。

Chonan等[52]将ATO（氧化锡锑）纳米粉体掺入丙烯酸紫外光固化树脂中，成膜后涂层对太阳辐射透过率低于56.5%。赵苏等[53]将二氧化钛粉体作为无机组分，制备具有较高反射率的复合苯丙乳液，实验表明，当TiO2掺量为0.4%时，涂料对太阳光的反射率较高，隔热效果较好。杜威等[54]采用半连续滴加法将纳米ATO与苯丙乳液复合，研究发现，随着纳米ATO含量的增加，涂层透光率逐渐降低，当ATO质量分数为7%时，涂层的隔热效果最好，可见光透过率和近红外光屏蔽率约为70%。吕维华等[54]采用二步法制备高硅含量自交联无皂硅丙乳液，加入幻彩珠光珠制成丙烯酸保温涂料，因为幻彩珠光纸的存在使涂层呈现疏松层叠状结构，起到了阻热阻水的作用，涂层具备优良的保温隔热性能。

目前，水性丙烯酸隔热保温涂料热性能的测试标准还不统一，其性能表征方法千差万别。研究学者还应该进一步加深光热反射、吸收、辐射以及热能传递、转化等基础理论的研究，制定出相对规范、严格的表征标准来指导水性丙烯酸隔热保温涂料的发展。

**3水性丙烯酸涂料优点以及功能化应用总结**

水性丙烯酸涂料具有许多优良的特性以及广泛的应用，通过对水性丙烯酸涂料的优点以及其功能化应用现状进行细致的分析，总结其性能优点以及功能化应用如图1所示。

**4 结语**

图1水性丙烯酸涂料功能化应用研究

Fig.1 The study of functional application of waterborne acrylic coating

随着人们环保意识的增强和法律法规的完善，水性丙烯酸涂料在许多方面得到越来越多的应用。尽管水性丙烯酸涂料在一些性能上跟溶剂型丙烯酸涂料仍然存在一定的差距，但是随着研究的一步步深入，通过新的合成技术、树脂改性、合理选用颜填料、有机-无机复合等新方法新技术，水性丙烯酸涂料的性能将变得越来越好，从而更好地适应功能化应用的需要，未来水性丙烯酸涂料将会向着高性能、多功能方向发展。

**参考文献：**

[1]仇伟, 刘见祥, 潘鲁, 等. 新型喷涂用双组分聚脲/丙烯酸聚氨酯复合涂料[J]. 表面技术, 2013, 42(2): 119—121.

QIU Wei, LIU Jian-xiang, PAN Lu, et al. Novel Tow-component Polyurea/Acrylic Polyurethane Composite Coating for Spray[J]. Surface Technology, 2013, 42(2): 119—121.

[2]陈永军, 候发秋, 卿宁. 丙烯酸酯涂料改性研究进展[J].材料导报, 2013, 27(1): 236—240.

CHEN Yong-jun, HOU Fa-qiu, QING Ning. Developmental Trend of Modifying Acrylate Coating[J]. Materials Review, 2013, 27(1): 236—240.

[3]潘桂荣, 武利民, 张竹青, 等. 缩聚物/加聚物复合胶乳的制备Ⅰ.环氧树脂/丙烯酸树脂乳液接枝聚合反应[J]. 高分子材料科学与工程, 2002(3): 39—43.

PAN Gui-rong, WU Li-min, ZHANG Zhu-qing, et al. The Study on Emulsion Graft Polymerization of Epoxy Resin/ Acrylic Resin[J]. Polymer Materials Science And Engineering, 2002(3): 39—43.

[4]陈鹏, 朱传方. 密封胶用环氧改性丙烯酸树脂生产工艺的研究[J]. 现代涂料与涂装, 2007, 10(4): 1—3.

CHEN Peng, ZHU Chuan-fang. Research on Preparation Process of Epoxy Modified Acrylate Resin for Sealant[J].Modern Paint& Finishing, 2007, 10(4): 1—3.

[5]辛秀兰, 于洋, 徐宝财, 等. 环氧改性丙烯酸树脂乳液的制备和性能研究[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 1—6.

XIN Xiu-lan, YU Yang, XU Bao-cai, et al. Preparation and Properties of Polyacrylate Emulsion Modified by Epoxy Resin[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(23): 1—6.

[6] ZHENG Y, ZHOU L, YANG Y, et al. Synthesis and Application of a Novel Epoxy Grafted Thermosetting Acrylic Resin[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 107(6): 4053—4060.

[7]侯光宇, 聂俊, 谭征兵. 环氧有机硅油改性丙烯酸树脂的合成及性能[J]. 热固性树脂, 2007, 22(6): 11—13.

HOU Guang-yu, NIE Jun, TAN Zheng-bing. Synthesis and Properties of Acrylate Resin Modified by Epoxy Resin and Organosilicon[J] Thermosetting Resin, 2007, 22(6): 11—13.

[8]黄畴, 易英, 叶发银, 等. 甲基丙烯酸二甲基氨基乙酯改性丙烯酸环氧粉末涂料[J]. 现代涂料与涂装, 2006, 9(11): 1—2.

HUANG Chou, YI Ying, YE Fa-yin, et al. Dimethylamino Ethyl Methacrylate Modified Acrylic-Epoxy Powder Coatings[J]. Modern Paint& Finishing, 2006, 9(11): 1—2.

[9]王晓, 王华进, 赵薇, 等. 风电叶片涂料用树脂研究进展[J]. 表面技术, 2016, 45(6): 28—35.

WANG Xiao, WANG Hua-jin, ZHAO Wei, et al. Research Progress in Resins for Wind Turbine Blades Coatings[J]. Surface Technology, 2016, 45(6): 28—35.

[10]杨文涛, 曾庆乐, 熊峰. PU 大单体改性丙烯酸酯乳液聚合技术及其应用[J]. 中国涂料, 2012, 26(12): 32—33.

Yang Wen-tao, Zeng Qing-le, Xiong Feng. PU Macro-monomer Modified Acrylate Emulsion and the Use in Water-borne Woodenware Coatings[J]. China Coatings, 2012, 26(12): 32—33.

[11]XU H, YANG D, GUO Q, et al. Waterborne Polyurethane-acrylate Containing Different Polyether Polyols: Preparation and Properties[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2012, 51(1): 50—57.

[12]庄彩虹, 王晖, 尹健, 等. 环氧丙烯酸酯树脂的制备及其聚氨酯改性[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(7): 2574—2579.

ZHUANG Cai-hong, WANG Hui, YIN Jian , et al. Preparation of Epoxyacrylate Resin and its Polyurethane Modification[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(7): 2574—2579.

[13]ZHANG K, FU H, HUANG H, et al. Waterborne Epoxy-Acrylic Dispersions Modified by Siloxane[J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2007, 28(8): 1209—1217.

[14]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, 13(4): 1—7.

ZHANG Zhao, CHEN Yu, LIU Jia, et al. Antifouling Coating Made of Organic Silicon Modified Acrylic Resin[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(4): 1—7.

[15]李秀玲, 杨帅, 刘俊杰, 等. 有机硅改性丙烯酸树脂性能研究[J]. 现代涂料与涂装, 2012, 15(1): 1—2.

LI Xiu-lin, YANG Shuai, LIU Jun-jie, et al. Study on Properties of Silicone Modified Acrylate Resins[J]. Modern Paint& Finishing, 2012, 15(1): 1—2.

[16]张莹娇, 陈姚, 于欣伟, 等. 硅溶胶/有机硅改性丙烯酸树脂复合材料的制备[J]. 电镀与涂饰, 2014, 33(2): 66—69.

ZHANG Ying-jiao, CHENG Yao, YU Xin-wei, et al. Preparation of Silica Sol/Organic Silicon Modified Acrylic Resin Composite Materials[J]. Electroplating & Finishing, 2014, 33(2): 66—69.

[17]VENGADAESVARAN B, RAU S R, RAMESH K, et al. Preparation and Characterisation of Phenyl Silicone-acrylic Polyol Coatings[J]. Pigment & Resin Technology, 2010, 39(5): 283—287.

[18]LI X, ZHANG J, ZHOU X, et al. Synthesis of Core-shell Fluoroacrylate Copolymer Latex Via Emulsion Polymerization and Its Application in Ink-jet Ink[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 126(1): 110—115.

[19]PENG S, SONG L, WANG Y, et al. The Suspension–emulsion Combined Polymerization of Fluorinated Acrylic Monomer and the Fluorinated Latex Film Surface Properties[J]. Colloid and Polymer Science, 2011, 289(2): 149—157.

[20]何庆迪, 蔡青青, 刘银. 氟硅改性丙烯酸弹性乳液的研制[J]. 涂料技术与文摘, 2016, 37(5): 43—47.

HE Qing-di, CAI Qing-qing, LIU Yin. Development of Fluorine-Silicone Modified Acrylic Elastic Emulsion[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2016, 37(5): 43—47.

[21]杨飞, 朱立群, 李春雨, 等. 氟改性和硅改性丙烯酸聚氨酯涂层的制备及环境行为[J]. 表面技术, 2015, 44(2): 19—23.

YANG Fei, ZHU Li-qun, LI Chun-yu, et al. Preparation of Fluorinated and Silicone Acrylic Polyurethane Coatings and Their Environmental Behaviors[J]. Surface Technology, 2015, 44(2): 19—23.

[22]CHENG X, CHEN Z, SHI T, et al. Synthesis and Characterization of Core-shell LIPN-fluorine-containing Polyacrylate Latex[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2007, 292(2): 119—124.

[23]DASHTIZADEH A, ABDOUSS M, MAHDAVI H, et al. Acrylic Coatings Exhibiting Improved Hardness, Solvent Resistance and Glossiness by Using Silica Nano-composites[J]. Applied Surface Science, 2011, 257(6): 2118—2125.

[24]LEWIS O D, CRITCHLOW G W, WILCOX G D, et al. A Study of the Corrosion Resistance of a Waterborne Acrylic Coating Modified with Nano-sized Titanium Dioxide[J]. Progress in Organic Coatings, 2012, 73(1): 88—94.

[25]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, 52(3): 6—8.

ZHONG Jin-xiang, HU Zhong-yuan, GUO Yue-chao. Development of Unsaturated Polyester Modified Acrylic Resin and Its Coatings [J]. Shanghai Coatings, 2014, 52(3): 6—8.

[26]王震宇, 韩恩厚, 刘福春, 等. 纳米二氧化钛浓缩浆对硼酚醛环氧涂料性能的影响[J]. 表面技术, 2015, 44(12): 1—5.

WANG Zhen-yu, HAN En-hou, LIU Fu-chun, et al. Effect of TiO2 Nano-concentrates on the Properties of Boron Phenolic-epoxy Coatings[J]. Surface Technology, 2015, 44(12): 1—5.

[27]刘小华, 杨春明, 蒋敏, 等. 三元乳化体系中 “核-壳” 结构苯丙乳液的制备及其性能研究[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2016, 47(1): 41—47.

LIU Xiao-hua, YANG Chun-ming, JIANG Min, et al. Synthesis and Properties of Core-shell Structure Styrene-acrylic Emulsion Prepared Under Ternary Emulsifier System[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2016, 47(1): 41—47.

[28]余剑英, 周虎, 罗小锋, 等. 蒙脱土插层改性丙烯酸酯乳液水泥基复合防水涂料的研究[J]. 化学建材, 2005, 21(1): 18—19.

YU Jian-ying, ZHOU Hu, LUO Xiao-feng, et al. Study of Poly-acrylate Emulsion-Cement Compounded Waterproof Coating Modified with Organic-Montmorillonite (OMMT) by Way of Intercalation[J]. Chemical Materials for Construction, 2005, 21(1): 18—19.

[29]李雪梅, 潘永恒, 曾志伟. 聚合物 VAE 与丙烯酸防水涂料的性能比较研究[J]. 橡塑技术与装备, 2016 (12): 78-79.

LI Xue-mei, PAN Yong-heng, ZENG Zhi-wei. Performance Comparison of Polymer VAE and Acrylic Water Proof Coating[J]. China Rubber/ Plastics Technology and Equipment, 2016 (12): 78—79.

[30]罗明, 黄志强, 张发爱. 用于防水涂料的自交联丙烯酸弹性乳液[J]. 中国涂料, 2013, 28(10): 33—36.

LUO Ming, HUANG Zhi-qiang, ZHANG Fa-ai. Study on the Self-crosslinking Acrylic Elastic Emulsion[J]. China Coatings, 2013, 28(10): 33—36.

[31]董建波, 刘莹, 高飞, 等. 金属屋面丙烯酸防水涂料涂膜吸水率影响因素的研究[J]. 新型建筑材料, 2015, 42(11): 79—80.

DONG Jian-bo, LIU Ying, GAO Fei, et al. A Study on Film Water Absorption Influencing Factors of Acrylic Waterproof Coating for Metal Roof[J]. New Building Materials, 2015, 42(11): 79—80.

[32]陈吉涛, 徐悟龙. 屋面用热反射涂料性能研究[J]. 中国建筑防水, 2011(22): 26—30.

Chen Ji-tao, Xu Wu-long. Study on Performance of Roofing Thermal Reflective Coating[J]. China Building Waterproofing, 2011(22): 26—30.

[33]卞治和. 一种水性环保防水涂料及其制备方法､应用和使用方法: 中国, CN102618140A[P]. 2012-08-01.

BIAN zhi-he. An Aqueous Green Waterproof Paint and Preparation Methods, Application Methods and Use: China, CN102618140A[P]. 2012-08-01.

[34]中国涂料工业信息总站. 1990涂料工业年鉴[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.

China Paint And Coatings Industry Information Terminal. 1990 Paint and Coatings Industry Annual[M]. Beijing: Chemical Industry Press,1991.

[35]陈伟红, 周亮, 杨迎, 等. 空心玻璃微珠改性丙烯酸乳液防火涂料防火性能研究[J]. 新型建筑材料, 2010(4): 62—64.

CHEN Wei-hong, ZHOU Liang, YANG Ying, et al. Study on Fireproof Performance of Acrylic Emulsion Fireproof Coating Modified by Hollow Glass Microspheres[J]. New Building Materials, 2010 (4): 62—64.

[36]吴锦添, 罗伟昂, 许一婷, 等. 丙烯酸酯类水性超薄膨胀型钢结构防火涂料的研制[J]. 高分子材料科学与工程, 2014(3): 170—174.

WU Jin-tian, LUO Wei-ang, XU Yi-ting, et al. Preparation of Acrylics Water-Based Ultra-Thin Intumescent Fire Retardant Coatings for Steel Structures [J] Polymer Materials Science And Engineering, 2014(3): 170—174.

[37]Effect of Vermiculite on Fire Protectiveness of Water-based Acrylic Fire Retardant Coating[C]// 2010 IEEE Student Conference on Research and Development. Malaysia, 2010.

[38]董延茂, 倪春华, 郭叶书, 等. 抗静电超薄型钢结构防火涂料的研制[J]. 苏州科技学院学报: 自然科学版, 2012, 29(3): 51—56.

DONG Yan-mao, NI Chun-hua, GUO Ye-shu, et al. Preparation and Performance of Antistatic Ultra-thin Fire Retardant Coating for Steel Structure [J]. Journal of Suzhou University of Science and Technology (Natural Science ) , 2012, 29(3): 51—56.

[39]ZHONG Z, YU Q, YAO H, et al. Study of the Styrene–acrylic Emulsion Modified by Hydroxyl-phosphate Ester and its Stoving Varnish[J]. Progress in Organic Coatings, 2013, 76(5): 858—862.

[40]CHOUGRANI K, BOUTEVIN B, DAVID G, et al. Acrylate Based Anticorrosion Films Using Novel Bis-phosphonic Methacrylates[J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2008, 46(24): 7972—7984.

[41]FU C, QIN H W, BEN H J, et al. Acrylate-vinylidene Chloride Copolymers Derived from Corresponding Water-borne Latexes: Influence of Acrylate Units on Their Potential as Heavy-duty Anticorrosive Coating Materials[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2014, 131(8): 631—634.

[42]WANG J, ZENG X R, LI H Q. Preparation and Characterization of Soap-free Fluorine-containing Acrylate Latex[J]. Journal of Coatings Technology and Research, 2010, 7(4): 469—476.

[43]张爱黎, 田坤, 常彩彩, 等. 改性环氧丙烯酸水性防腐涂料制备研究[J]. 电镀与精饰, 2015, 37(11):15—19.

ZHANG Ai-li, TIAN Kun, CHANG Cai-cai, et al. Preparation and Performance Study of Modified Epoxy Acrylate Water-borne Anticorrosive Paint[J]. Plating and Finishing, 2015, 37(11):15—19.

[44]黄宗国. 海洋污损生物及其防除[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 219—228.

HUANG Zong-guo. [M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 219—228.

[45]FAŸ F, CARTEAU D, LINOSSIER I, et al. Joint-action of Antifouling Substances in Copper-free Paints[J]. Colloids and Surfaces B: Bio-interfaces, 2013, 102(1): 569—577.

[46]于雪艳, 陈正涛, 王科, 等.环境友好型自抛光防污涂料的研制及性能[J]. 化工新型材料,2016(7): 252—254.

YU Xue-yan, CHEN Zheng-tao, WANG Ke, et al. Research on Environmental Friendly Self-polishing Antifouling Paint[J] . New Chemical Materials, 2016(7): 252—254.

[47]史洪微, 刘福春, 韩恩厚, 等. 纳米 SiO2/改性丙烯酸树脂低表面能防污涂料[J]. 中国材料进展, 2014, 33(2): 95—100.

SHI Hong-wei, LIU Fu-chun, HAN En-hou, et al. Antifouling Coating with Low Surface Energy Based on Silicone Modified Acrylic Resin and Nano SiO2[J]. Materials China, 2014, 33(2): 95—100.

[48]刘苏静, 马星, 栾永胜, 等. KH-570 改性纳米 TiO2 复合丙烯酸防污涂料性能研究[J]. 涂料工业, 2015, 45(7): 14—18.

LIU Su-jing, MA Xing, LUAN Yong-sheng, et al. Property of Acrylic Composite Antifouling Coatings Based on Nano-TiO2 Modified with KH-570[J]. Paint & Coatings Industry, 2015, 45(7): 14—18.

[49]舒礼伟, 韩娇, 刘轶龙, 等. 无铜交联型丙烯酸锌防污树脂的研究[J]. 化学工程师, 2013, 27(12): 4—5.

SHU Li-wei, HAN Jiao, LIU Yi-long, et al. Study on Copper-free Zinc-acrylate Antifouling Coatings[J]. Chemical Engineer, 2013, 27(12): 4—5.

[50]姚梦佳, 李春福, 何俊波, 等. 隔热保温涂料的研究发展及应用[J]. 表面技术, 2015, 44(7): 61—67.

YAO Meng-jia, LI Chun-fu, HE Jun-bo, et al. Research Development and Application of Heat Insulation Coating[J]. Surface Technology, 2015, 44(7): 61—67.

[51]CHONAN T, KUNO H. Fine Particles of Antimony Tin Oxide for Sunscreen, Dispersion Thereof for Sunscreen Material Formation, Sunscreen Material and Transparent Base Material for Sunscreen: US, 0163999[P]. 2004-01-08.

[52]赵苏, 吕剑, 孙艳丽, 等. 外墙隔热涂料用复合苯丙乳液的研制[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2016(1): 132—140.

ZHAO Su, LYU Jian, SUN Yan-li, et al. Development of Composite Acrylic Emulsion Paint for External Wall Insulation[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science) , 2016(1): 132—140.

[53]杜威, 臧金燕, 殷昊, 等. 苯丙乳液/纳米ATO隔热涂料的制备与性能[J]. 河北工业大学学报, 2015(5): 83—85.

DU Wei, ZANG Jin-yan, YIN Hao, et al. Preparation and Heat Insulation Performance of Poly (Styrene-acrylate) Emulsion /Nano-ATO Coating[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2015(5): 83—85.

[54]吕维华, 夏德强, 杨兴锴, 等. 自交联无皂硅丙乳液在隔热涂料中的应用研究[J]. 新型建筑材料, 2015(2):11—16.

LYU Wei-hua, XIA De-qiang, YANG Xing-kai, et al. Study on the Application of the Self-crosslinking Emulsifier-free Silicone-acrylic Emulsion in Thermal Insulation Coating[J]. New Building Materials, 2015(2):11—16.

1. 收稿日期：2016-09 -09；修订日期：2016-11-01

   Received: 2016-09 -09；Revised：2016-11-01

   基金项目：全军后勤科研计划项目(BY115C007)、重庆市自然科学基金（cstc2014jcyjA50026）

   Fund: Supported by Logistical Scientific Research Projects of Army(BY115C007)、 the National Natural Science Foundation of Chongqing（cstc2014jcyjA50026）

   作者简介：林锐（1990—），男，广东人，硕士研究生，主要研究方向为涂料。

   Biography: WANG Fei(1988-), Male, M aster graduate student, from Guangdong, Research focus: coating.

   通讯作者：刘朝辉（1965—），男，重庆人，教授，博士，主要研究方向为涂料。

   Corresponding author：LIU Zhao-hui(1965-), Male, from Chongqing, Professor, Ph.D., Research focus: coating. [↑](#footnote-ref-1)