

水性集装箱涂料应用现状及研究进展

李雪琴

(重庆工业职业技术学院, 重庆 401120)

摘要: 总结了水性集装箱涂料在国内外的应用现状和最新研究进展, 指出随着人们环保意识的不断增强, 国际社会对集装箱用涂料在环保方面提出了更高要求, 集装箱涂料水性化成为一种必然, 且实践证明集装箱涂料水性化是可行的。水性集装箱涂料具有环保、安全的优点, 今后必然在集装箱涂料应用领域中产生变革性的影响。对不同体系集装箱涂料的膜厚规范, 以及溶剂型涂料体系与水性集装箱涂料体系的综合性能进行了对比, 综述了三涂层体系和二涂层体系为现有水性集装箱涂料的 2 种主流配套体系, 并对 2 种体系的基本组成及各涂层的功能进行分析, 讨论了不同集装箱涂层体系的优缺点, 指出国内水性集装箱用涂料的技术瓶颈, 列举了近年来在水性集装箱涂料方面的主要研究方向及最新研究成果, 最后结合目前国内水性集装箱涂料应用的发展水平, 提出在水性集装箱涂料的制备过程中, 可在涂料用树脂或者基料的合成、改性方面进行更深入的研究和探索, 努力提高涂料的综合力学性能, 从而实现水性集装箱涂料行业的可持续发展。

关键词: 集装箱涂料; 水性涂料; 涂料体系; 涂装

中图分类号: TQ630 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2022)10-0167-09

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2022.10.016

Application Situation and Research Development of Waterborne Container Coatings

LI Xue-qin

(Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120, China)

ABSTRACT: The application status and latest research progress of waterborne container coatings at home and abroad were summarized. It points out that as people's awareness of environmental protection continues to increase, and the international community has put forward higher requirements of environmental protection for container coatings. Waterborne container coatings have become inevitable, and practice has proved that waterborne container coatings are feasible. Waterborne container coatings have the advantages of environmental protection and safety, which will inevitably have a transformative impact on the application of container coatings in the future. In this paper, the film thickness specifications of container coatings of different systems and the comprehensive performance of solvent-based coating systems and waterborne container coating systems were compared. It is clarified that solvent-based coatings have higher corrosion resistance and salt spray resistance, and higher wear resistance and hardness than waterborne container coatings. Compared with solvent-based container coatings, waterborne container coatings are safer and more environmentally friendly, but their transportation, storage requirements and construction

收稿日期: 2021-11-11; 修订日期: 2022-02-12

Received: 2021-11-11; Revised: 2022-02-12

作者简介: 李雪琴 (1979—), 女, 硕士, 副教授, 高级物流师, 主要研究方向为物流与供应链、物流包装。

Biography: LI Xue-qin (1979-), Female, Master, Associate professor, Senior logistics engineer, main research interests are logistics, supply chain and logistics packaging.

引文格式: 李雪琴. 水性集装箱涂料应用现状及研究进展[J]. 表面技术, 2022, 51(10): 167-175.

LI Xue-qin. Application Situation and Research Development of Waterborne Container Coatings[J]. Surface Technology, 2022, 51(10): 167-175.

environment requirements are higher. The three-coat system and the two-coat system are the two mainstream supporting systems for existing waterborne container coatings. The basic composition of the two systems and the functions of each coating are analyzed. It is concluded that the waterborne epoxy coating used in the three-coat system waterborne container coating is obviously superior in adhesion and wear resistance than the two-coat system coating with waterborne acrylic as the inner and outer coatings, but the flexibility is relatively low. The waterborne vinylidene chloride resin in the two-coat system has strong barrier properties to water and oxygen, and has excellent anti-corrosion effect. The original three-coating is changed to two-coating, which improves the coating efficiency and saves the cost. It is pointed out that the technical bottlenecks of domestic waterborne container coatings mainly include high cost, harsh construction environment requirements, low wear resistance and hardness, and low salt spray resistance. The main research directions and latest research results in waterborne container coatings in recent years are listed. It is pointed out that the domestic container waterborne anti-corrosion primer has been widely used, but the waterborne epoxy-based curing agents are mainly imported brands, mainly because there is a certain gap between the domestic products and imported brands on certain aspects of salt spray resistance and stability. For domestic products, the salt spray resistance of waterborne epoxy resin dispersions varies from 200 to 600 hours. Finally, based on the current level of application development of domestic waterborne container coatings, it is proposed that in the preparation process of waterborne container coatings, more in-depth research and exploration in the synthesis and modification of coating resins or binders can be made to improve the comprehensive mechanical properties of the coatings. As the so-called three-part paint, seven-part spray, and spray paint process have been an important part of the water paint research and development process, advanced coating technology and equipment are indispensable in the process of continuous improvement and upgrading of waterborne container coatings, so as to realize the sustainable development of the waterborne container coating industry.

KEY WORDS: container coating; waterborne coating; coating system; coating

近年来，高速发展的物流行业带动了集装箱年产量的迅猛增加。目前，我国集装箱涂料一般为溶剂型，溶剂型集装箱涂料在涂装过程中会释放出大量挥发性溶剂，严重污染环境、影响人体健康，因此交通运输部和国际集装箱标准化委员会对集装箱涂料的环保、卫生方面提出了更高的要求，从而加快了水性环保集装箱用涂料的发展速度^[1-3]。水性集装箱涂料中的分散介质主要为水，以水调漆，喷涂后挥发到空气中的物质主要为水，而非有机溶剂，大幅减少了该行业挥发性有机化合物（VOC）的排放量。研究表明，水性集装箱涂料相较于溶剂型集装箱涂料，至少减少了60%的 VOC 排放量，而且能够更好地达到控制成本、环保等目的^[4-9]。

文中主要从水性集装箱用涂料的国内外发展现状、现用的2种主流涂料体系、水性集装箱涂料与溶剂型涂料性能比对等方面对水性集装箱用涂料进行阐述。

1 水性集装箱涂料

1.1 国外发展现状

国际集装箱租赁协会于1992年召开了一次行业会议，在集装箱用水性涂料的研发及应用方面给出了建议。此后，几大国际知名公司（如Hempel、Mega、Chugoku、Kansai等）在水性集装箱用涂料的研发、生产中处于国际领先行列，并取得了显著成效^[10-15]。

Hempel（美国）涂料公司在研发生产水性集装箱

涂料方面拥有世界最先进设备，成功开发出集装箱用水性环氧富锌底漆、水性环氧底漆、水性丙烯酸面漆等，在集装箱用水性涂料界处于国际领先地位^[16]。

意大利 Mega 公司研制了水性集装箱系列涂料，如 Megamar170 水性环氧磷酸锌底漆、Megamar 200 丙烯酸面漆等，并应用于 2000 TEU Contexco 集装箱中，在全球多地区推广应用^[16]。

威士伯作为全球最大的工业涂料公司，其开发的 Aquaguard TM 技术也是水性集装箱涂料的代表。Aquaguard TM 为单组分体系涂料，无需添加固化剂，可有效避免油漆固化问题，利用聚偏氯乙烯树脂配合环氧乳液制备底漆和面漆。该体系的水性涂料防腐性能优于溶剂型富锌底漆，同时在控制 VOC 排放方面优势巨大，相较于有机溶剂型涂料，其 VOC 排放量减少了90%以上。威士伯公司还开发了集装箱用两涂层体系水性涂料，两涂层体系水性涂料在防腐性能、VOC 排放指标等方面都优于传统的三涂层溶剂型富锌体系涂料^[17-19]。

美国瀚森公司作为全球大型化工企业，在水性环氧树脂分散体制备技术领域始终处于领先地位。该公司在40多年前，以EPI-REZTM商品名开发了第1批固体环氧树脂分散体，近年来又研制推出了高性能环氧分散体EPI-REZTM树脂7720-W-50。该分散体具有超低的挥发性有机化合物含量，其 VOC 含量低于50 g/L 的起始配方，可提供优异的附着力，干燥速度快且适用期长。该分散体与 EPIKUREZTM 固化剂

6870-W-53 配合使用时，这种固化剂分散体在低于 50 g/L 挥发性有机化合物 (VOC) 的情况下，其性能可与溶剂型体系媲美。

1.2 国内发展现状

目前，我国北上广地区在新型水性集装箱用环保涂料方面处于国内领先地位。涂装行业协会于 2017 年 4 月出台了相关标准，要求国内标准干货集装箱涂装生产线由水性集装箱涂料体系代替原溶剂型涂料体系，这在集装箱用涂料行业引起了巨变。国内涌现出了较先进的水性涂料生产公司，开发了适应环保理念的新技术、新工艺，不断提升了其在水性集装箱用涂料领域的行业领导力和影响力^[20-23]。

中远关西涂料化工有限公司作为国际涂料生产、销售、研发的大型企业，自 2004 年起就在水性集装箱涂料领域进行了大量研发探索工作，并于 2008 年成功将水性涂料用于集装箱生产线，后续开发推广了不同体系的水性集装箱用涂料。近年来，中远关西涂料化工有限公司在原有厂房和生产线基础上，扩建了年产 25 000 t 的水性涂料生产线，主要产品包括水性丙烯酸类涂料、水性聚氨酯类涂料、水性环氧树脂类涂料等。该公司开发的三涂层体系为水性环氧富锌底漆、水性环氧涂料、水性丙烯酸面漆的配套体系，此复合涂层耐盐雾性达到 600 h，挥发性有机物含量非常低，气味小，且储运安全，在线涂装高效。该公司开发的另一套涂层体系为以 PR-71K 防腐乳液制备的单组分水性底漆，以 HG-54C 耐候乳液制备的单组分丙烯酸面漆。其中，PR-71K 防腐乳液专用于水性高性能防锈底漆，具有优异的防锈性能，同时与各种金属底材的附着力较高，与活性防锈颜料的相容性较高。HG-54C 耐候乳液具有优异的防锈性能和金属附着力，耐水性良好。该涂料体系具有良好的抗盐雾和防水性能，体系最大的优势：在减低 VOC 排放量的同时，作为单组分涂料简化了施工工艺。采用丙烯酸共聚物胶乳制备的单组分工业漆相对于双组分工业漆，其耐盐雾性能更差。这主要是因单组分聚氨酯防水涂料为湿气固化型，与空气中湿气交联反应形成了弹性高分子橡胶防水膜，固化时间较短；双组分聚氨酯防水涂料为反应型防水涂料，是 A 料、B 料按特定比例混合搅拌均匀后喷涂于金属表面，经固化后富有弹性的整体防水胶膜。反应型双组分涂料相对于单组分涂料而言，涂层交联密度更高，且形成了机理上的差异，使其耐盐雾性能较好^[24-26]。

维新环保涂料（深圳）有限公司开发了三涂层体系涂料，涂料主要包括水性环氧富锌底漆、水性环氧中漆、水性丙烯酸面漆等。其中，水性环氧富锌底漆基材为水性环氧固化剂和水性环氧乳液，再配合锌粉、助溶剂等添加成分制备而成；水性环氧中漆的主要原料为脂肪胺改性水性环氧固化剂和固化水性环氧分散体；水性丙烯酸面漆的主要原料为三元共混乳

液，单层厚度可达 30~100 μm，涂装 1 道便可完成面漆的施工。此体系水性集装箱用涂料相较于溶剂型涂料，不仅具有效率超高（在线涂装）、VOC 排放量低等优点，而且完全满足耐水性、耐腐蚀性、硬度、光泽度等性能方面的指标^[20]。

广州集泰化工有限公司开发研制了一种三涂层体系涂料，用于涂装集装箱底架，主要由水性聚氨酯面漆、水性环氧富锌底漆、水性环氧中间漆等构成。其中，水性聚氨酯面漆由水性聚氨酯乳液配合丙烯酸乳液制备而成，涂层体系中含有防锈颜料和体质填料，具有优异的防腐性能。同时，该涂料不含有害有机类溶剂，有效减少了有害气体的排放，起到了较好的环保效能。

宝骏涂料有限公司研发生产的干货水性集装箱涂料，通过了美国食品药品管理局高耐水性基准测试，并通过了美国集装箱涂料检验机构 KTA 的检验认证，目前主要应用于马士基东莞集装箱工业有限公司集装箱生产线。同时，马士基东莞集装箱工业有限公司用水性漆替代了传统的油性漆涂料，积极响应集装箱行业提倡的自觉使用更加环保的材料代替传统油性漆的号召，以自律的方式践行“共同承诺、共同行动”，为集装箱涂料行业转型升级起到了表率作用^[27-28]。

2 涂料体系的选择

水性集装箱涂料共有 2 种主流体系：三涂层体系和二涂层体系。其中，三涂层体系是在原溶剂型集装箱涂料体系基础上将相应涂层物质水性化，其箱内采用水性环氧富锌底漆和水性环氧内面漆配套使用，箱外采用水性环氧富锌底漆、水性环氧中间漆和水性丙烯酸外面漆配套使用^[29-31]。二涂层体系的箱体内、箱体外都采用水性偏氯乙烯（PVDC）底漆、水性丙烯酸面漆配套使用。由于偏氯乙烯树脂对水和氧气的屏蔽性能较强，防腐效果优异，因此二涂层体系所用涂料为单组分且涂层数量少、施工方便高效。2 种主流水性集装箱涂料与传统溶剂型集装箱涂料的膜厚规范对比情况如表 1 所示。

2.1 三涂层体系

三涂层体系主要包括水性环氧富锌涂料、水性环氧内面漆、水性环氧中间漆、水性丙烯酸外面漆等 4 种。三涂层体系水性集装箱涂料各涂层的具体作用如表 2 所示^[31]。

2.1.1 水性环氧富锌涂料

在水性环氧富锌涂料中锌粉的活性较高，将锌作为阳极，利用锌与金属基体的电位差，牺牲阳极将保护金属箱体，延长箱体的使用寿命。水性环氧富锌涂料主要由锌粉、环氧树脂、固化剂及各种助剂制备而成，而锌粉的活性较高，易与水反应，在同一组分中不能共存，同一组分中也不能同时包含环氧涂料中的环氧树脂和固化剂，因此研究制定出 2 种配方工艺。

表1 不同体系集装箱涂料的膜厚规范对比

Tab.1 Comparison of film thickness specifications for container coatings of different systems

Box position	Solvent-based container coating		Three coating system waterborne container coating		Two coating system waterborne container coating	
	Paint name	Dry film thickness/ μm	Paint name	Dry film thickness/ μm	Paint name	Dry film thickness/ μm
Internal	Epoxy zinc-rich workshop bottom	10	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	10	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	10
	Epoxy zinc-rich primer	20	Waterborne epoxy zinc-rich primer	20	Waterborne vinylidene chloride primer	50
	Epoxy interior Paint	50	Waterborne epoxy interior paint	50	Waterborne acrylic interior paint	30
	Total film thickness	80	Total film thickness	80	Total film thickness	90
External	Epoxy zinc-rich workshop bottom	10	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	10	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	10
	Epoxy zinc-rich primer	20	Waterborne epoxy zinc-rich primer	20	Waterborne vinylidene chloride primer	50
	Epoxy intermediate paint	40	Waterborne epoxy intermediate paint	40		
	Acrylic paint	40	Waterborne acrylic exterior paint	40	Waterborne acrylic exterior paint	50
	Total film thickness	110	Total film thickness	110	Total film thickness	110

表2 三涂层体系水性集装箱涂料各涂层的作用

Tab.2 Function of each coating of waterborne container coating in three coating system

Box position	Paint name	Function
Internal	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	The activity of zinc is relatively high. Zinc is used as the anode, and the potential difference between zinc and the metal substrate is used to protect the metal substrate by sacrificing the anode
	Waterborne epoxy zinc-rich primer	Effectively shield water and oxygen, protect zinc powder paint and metal substrates
	Waterborne epoxy interior paint	High strength and toughness, to avoid mechanical damage to the paint film during handling
External	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	Zinc has a higher activity. Zinc is used as the anode, and the potential difference between zinc and the metal substrate is used to protect the metal substrate by sacrificing the anode
	Waterborne epoxy zinc-rich primer	Effectively shield water and oxygen, protect zinc powder paint and metal substrates
	Waterborne epoxy intermediate paint	
	Waterborne acrylic exterior paint	High decoration and weather resistance

1) 第1种配方是锌粉与环氧树脂在同组分中。此配方主要参考溶剂型环氧富锌涂料的配方,其两者的不同在于水性环氧富锌涂料采用可溶于水的醇醚类溶剂和可溶于水的环氧树脂(乳液)。由于此体系含有较高比例的醇醚溶剂、高密度锌粉,因此如何防沉降和防流挂成为主要难点,在配置时需要添加膨润土、气相二氧化硅、聚脲类等防沉助剂进行复配。同时,由于体系中采用含水胺类固化剂,因此需要充分考虑其在水中的溶解性,以确保其防腐性能。刘明等^[32]将改性环氧树脂、锌粉和合适的水性涂料助剂高速混合均匀,制备出具有优异耐蚀性和耐湿热性的双组分水性环氧富锌底漆。研究了不同类型的环氧固化剂、流变助剂、消泡剂及颜料体积浓度(PVC)对底漆性能的影响。该研究通过优化条件,制备的水性环

氧富锌底漆具有VOC含量低、气味小等特点,大大降低了对施工人员健康的危害,而且很好地满足了快节奏、高效率的在线涂装要求。

2) 第2种配方是锌粉与胺类固化剂在同组分中。该配方的VOC含量较低,其质量浓度在250 g/L以下,但是该配方所用的胺类固化剂较少,因此树脂对锌粉的包覆程度及控制锌粉与水分的反应速率是配置工艺过程中的难点。彭亮等^[33]以水性环氧乳液为成膜材料,锌粉为防锈颜料,制备出高性能的双组分水性集装箱用环氧富锌底漆。该体系主要考察了环氧乳液、锌粉、防沉剂的种类和用量对涂料综合性能的影响。结果表明,当环氧树脂B和环氧树脂C的质量比为3:1时,球状锌粉的质量分数为55%、片状锌粉的质量分数为12%、气相二氧化硅的质量分数为

2.5%、防沉剂 F 的质量分数为 0.6%时，该涂层具有较佳的防腐性能。

2.1.2 水性环氧内面漆

水性环氧内面漆主要有 2 种配方体系：水性环氧内面漆、水性丙烯酸环氧内面漆。

1) 水性环氧内面漆。该体系组分中采用水性环氧乳液、水性环氧固化剂代替原来的乳液和固化剂，实现了水性化，同时配合防锈填料、颜料、功能填料等制备而成。该体系采用大量的自乳化环氧乳液，利用其对温度和搅拌力度不敏感的特点，提高了体系的稳定性。如果乳化剂用量过多，则会降低涂料的耐腐蚀性、耐水性。现今，国内公司大多直接采购国外的乳化剂，因此乳化剂的研发成为国内的主流研究方向。刘正伟^[34]研制了新型乳化剂乳化环氧树脂，制备了性能优良的集装箱用水性环氧乳液。试验结果表明，以环氧树脂 E20 为原料，乳化剂的质量分数为 5%，反应温度为 90 ℃，搅拌强度为 2 000 r/min，制得的环氧乳液粒径较小、性能稳定，用其制备的水性环氧涂层的力学性能和耐腐蚀性优良，可满足集装箱防腐涂层的性能要求。

2) 水性丙烯酸环氧内面漆。该体系的主体树脂选用特种丙烯酸树脂，再配合液体环氧加以水性化。该体系的成本较低，但是应重点考虑其防腐性能、耐水性等方面，尤其需要通过防锈填料的补强作用提高其耐蚀性。

2.1.3 水性环氧中间漆

水性环氧中间漆主要有 3 种配方体系，分别为水性环氧中间漆、水性丙烯酸环氧中间漆、水性丙烯酸中间漆等。其中，水性环氧中间漆、水性丙烯酸环氧中间漆的配方设计思路类似于水性内面漆的设计思路。水性丙烯酸中间漆的配方存在差异，其主要以高分子质量的丙烯酸乳液为主体树脂。此体系由于丙烯酸乳液的防腐性较差，需要添加高含量的防腐填料、防腐助剂，以达到防腐性能要求，此体系的优势在于成本较低。

2.1.4 水性丙烯酸外面漆

水性丙烯酸外面漆具有优异的装饰性、耐候性和耐水性等。根据丙烯酸乳液单体的差异，水性丙烯酸外面漆分为纯丙乳液、硅丙乳液和苯丙乳液。其中，硅丙乳液的耐候性、耐水性、耐沾污性较优，但因引

入硅烷而提高了成本；苯丙乳液的成本最低，但性能最差；纯丙乳液的性能和成本较均衡，应用得最多。姜美佳等^[35]研发了一种基于可聚合乳化剂制备的丙烯酸乳液，相较于传统乳化剂制备的乳液，该乳液制备的涂料具有起泡性低、抗爆孔性好、施工性好等优点，并且漆膜具有较好的早期耐水性，以及同环氧体系良好的配套性和长效防腐性，能更好地满足集装箱漆的施工条件和应用要求。丙烯酸面漆所用颜料均为无重金属颜料，达到了环保要求，但是颜料的稳定性取决于 pH 值，因此在设计配方时须对 pH 值进行调整。另外，丙烯酸面漆的初期耐水性是集装箱厂家考虑的重要因素，主要取决于配方设计过程中的成膜助剂选取、功能填料的配比等因素。

2.2 二涂层体系

二涂层体系水性集装箱涂料除焊接前在箱体表面涂装了 10 μm 的水性环氧富锌车间底漆外，箱体内外所有配套涂层均由水性偏氯乙烯底漆和水性丙烯酸面漆复合而成。相比三涂层体系而言，二涂层体系水性集装箱涂料用水性偏氯乙烯底漆替代了水性环氧锌粉漆，由原来的 3 道涂装改为 2 道涂装，省掉了环氧中间漆涂装工序，大大提高了涂装效率。另外，水性偏氯乙烯底漆和水性丙烯酸面漆均为单组分涂料，没有活化期问题，无须及时冲洗涂料输送管道，在一定程度上节约了涂料，成本较三涂层体系有所降低^[31]。

水性偏氯乙烯树脂的制备一般采用悬浮聚合法，将偏二氯乙烯单体、共聚单体和引发剂混合物在分散剂的作用下，通过搅拌、加热将引发剂引发为自由基，从而引发聚合反应，此方法可以制得 VDC 含量较高的树脂，且水溶性添加剂和单体残留少，其缺点是反应时间较长，树脂分子量分布较宽，树脂中的 VC 和 VDC 组分难以控制，难以提高其分子量，因此在应用中受到较大制约^[36-38]。二涂层体系水性集装箱涂料各配套涂层的功能作用如表 3 所示。

2.3 不同涂层体系性能方面的比较

集装箱涂料的整体性能主要取决于涂料中的环氧树脂，由于水性涂料与溶剂型涂料的成膜机理不

表 3 二涂层体系水性集装箱涂料各涂层的作用

Tab.3 Function of each coating of waterborne container coating in two coating system

Box position	Paint name	Function
Internal	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	Temporary protection before box welding
	Waterborne vinylidene chloride primer	Effectively shield water and oxygen, protect zinc powder paint and metal substrates
	Waterborne acrylic interior paint	Provide decoration and abrasion resistance
External	Waterborne epoxy zinc-rich workshop bottom	Temporary protection before box welding
	Waterborne vinylidene chloride primer	Effectively shield water and oxygen, protect zinc powder paint and metal substrates
	Waterborne acrylic exterior paint	Provides decoration and weather resistance

同，导致其涂膜性能存在差异，因此水性集装箱涂料很难达到溶剂型涂料性能水平。不同涂层体系的性能各有特点，如三涂层体系水性集装箱涂料中应用了水性环氧涂料，在附着力和耐磨性方面明显比以水性丙烯酸作为内外面漆的二涂层体系涂料更优越，但柔韧性相对略低。另外，水性集装箱涂料相较于溶剂型集装箱涂料，其施工安全高效，但其运输和贮存温度要求在0℃以上，对施工环境的要求更高^[31,39]。溶剂型涂料与水性集装箱涂料体系的综合性能对比如表4所示。

3 水性集装箱涂料的优缺点

水性集装箱涂料的优势在于环保、VOC排放低等，涂装施工后的排放物质均为易降解的物质，挥发的主要成分是水分，充分响应了全球对于环保的号召。水性集装箱涂料具有耐候性、耐盐雾性、高附着力、耐腐蚀性等，在户外涂装后，其使用寿命长达20年以上，而价格仅为国外同类产品的1/2~1/3。国内水性集装箱用涂料已实现产业化、规模化生产，替代了进口产品，树立了民族工业品牌，确立了高档水性集装箱涂料产品在国际市场中的优势地位，促进了技术升级、产品升级转型。无论哪种体系的集装箱涂料，均会对环境和人体造成危害，水性集装箱涂料相对于传统涂料，其危害程度最低可以降低至10%以下，而且随着水性涂料工艺的不断改进，会进一步降低其危害性^[40]。

由于部分企业自律性较差，使用了劣质水性集装箱涂料，这反而会造成更大的麻烦，这些企业需要得到更多的引导，对其采取强制性措施。同时，水性集装箱涂料的成本高、施工环境要求高等给产品的应用带来了局限性。水性集装箱涂料由于自身特性，在施

工过程中需要一定的温度、湿度区间，良好的通风情况，导致其施工性能较差。尤其是对于温度的要求较苛刻，如水性集装箱涂料在修复补漆过程中，温度需在5~35℃之间，否则修复效果无法保证，这就导致对周围环境的高要求。水性集装箱涂料相对较薄，同时其耐磨性和硬度比传统涂料的低，导致在储运过程中抗摩擦、抗刷蹭能力下降。施工过程中工人一般都喜欢高压力、低黏稠涂料，对于水性集装箱涂料而言容易造成麻点。在能耗和污水处理方面，水性集装箱涂料的能耗相对于传统溶剂型涂料更高，且由于水性涂料中含有水溶性物质，导致污水处理难度增加。对于集装箱用水性涂料可采用集中处理方式，以减小处理成本。另外，在施工过程中，由于水性集装箱用涂料的耐水性比溶剂型涂料差，但对于表面清洁度的要求更高，导致在实际施工中工人相对较排斥或者易放弃^[41-43]。

国内集装箱用防腐底漆已经得到了广泛应用，但是水性环氧基固化剂均以进口品牌为主，主要是基于国内产品的耐盐雾性和稳定性与进口品牌存在一定差距，国内生产的水性环氧树脂分散体的耐盐雾能力为200~600 h。水、氧和离子是盐雾腐蚀的三要素。金属防腐涂料作为薄层高聚物涂膜，通过对水、氧和离子的阻止和隔断，从而起到耐盐雾腐蚀的效果，树脂固化体系对耐盐雾性会起到关键性作用。体系的固化交联度越高，形成的高分子涂膜越致密，同时涂膜的耐热性越好，抵抗涂膜变形和气泡的能力越强，越有利于阻止水、氧和离子的侵入，而国内水性环氧固化的固化交联度相对较低，影响了其耐盐雾性能。国内研制的乳化剂类型的环氧乳液含有较多增塑型乳化剂，降低了体系的交联密度、力学性能、耐热性和附着力，形成的涂膜相对缺陷较多，影响了其耐盐

表4 溶剂型涂料与水性集装箱涂料体系的综合性能对比

Tab.4 Comprehensive performance comparison of solvent-based coating system and waterborne container coating system

Project	Solvent-based container coating	Three coating system waterborne container coating	Two coating system waterborne container coating
Exterior	Excellent	Excellent	Excellent
Luster	Excellent	Excellent	Excellent
Hardness	Excellent	Excellent	Good
Corrosion resistance	Excellent	Excellent	Excellent
Weather resistance	Excellent	Excellent	Excellent
Adhesion	Excellent	Excellent	Good
Abrasion resistance	Excellent	Excellent	Good
Flexibility	Good	Good	Excellent
Constructability	Excellent	Good→excellent	Good→excellent
Dryness	Excellent	Good→excellent	Good→excellent
Construction safety	Generally	Excellent	Excellent
Environmental friendliness	Poor	Excellent	Excellent
Economy	Excellent	Generally	Good

Note: With the transformation of the container spraying line, the weakness of the drying and construction properties of waterborne coatings can be resolved.

雾性能。水作为溶剂，会对防护底漆的耐腐蚀性、耐盐雾性造成较大影响，其中水性环氧树脂固化剂的影响、固化反应的控制均对环氧体系的耐腐蚀、耐盐雾性能至关重要，因此国内对于集装箱用水性环氧树脂体系的不断研究和瓶颈突破，对提高集装箱用水性防护涂料的综合性能至关重要，任重道远^[44-46]。

水性集装箱用涂料的发展和应用是以产品综合性能的提高为前提，水性环氧技术自 20 世纪 70 年代问世以来，在涂料领域经历了 50 多年的发展，前期开发的水性环氧磷酸锌底漆在同样条件下相对于传统溶剂型涂料存在防腐性能差、耐冲击性能低、干燥速度慢等缺点。随着高性能水性环氧涂料、超耐冲击水性环氧涂料的研发生产，目前已经达到与传统溶剂型涂料相媲美或者更优的性能^[47]。

作为水性涂料的基料，水性聚氨酯涂膜具有良好的耐磨性、柔韧性、防腐性、抗疲劳性能等优势，然而未改性的水性聚氨酯是一种不含侧链的线型大分子，且富含亲水基团，因此会降低漆膜的硬度、耐水性、耐热性。通过研究发现，利用环氧树脂的机械强度高、黏附力强、化学稳定性好等特点，通过共聚交联合成环氧-聚氨酯乳液，可以大大提高漆膜的综合力学性能和耐水性。如果再引入有机硅对乳液进行改性，结合有机硅表面张力低、耐水性好、耐热性好的特性，可制备漆膜性能更好的有机硅改性环氧-聚氨酯乳液。在涂料制备过程中，应对涂料用树脂或者基料的合成、改性方面进行更深入的研究、探索，以提高涂料的综合力学性能，从而实现水性集装箱用涂料行业的可持续发展^[48-51]。

4 结语

随着社会发展和环保要求的提高，水性集装箱涂料已被广泛关注和推广应用。在国家对水性涂料的提倡和推广下，水性集装箱涂料的研发技术日趋成熟，原材料性能进一步提升，涂装及施工工艺进一步完善，水性涂料在普及和应用方面取得了长足进步，水性集装箱涂料行业逐步走向成熟。同时，随着水性集装箱涂料的持续发展，特别是在国际国内多元化经济发展形势下，水性集装箱涂料正快速融入国际化竞争浪潮中，及时关注国际标准定位，加强标准化认证，并不断制定行业内可与国际标准匹配的新方法、新工艺、新准则，力争成为国际水性集装箱涂料领域新标杆，为全球环保事业贡献力量。

参考文献：

- [1] 高雪田. 水性集装箱涂料现状与展望[J]. 涂料工业, 2018, 48(6): 51-55.
GAO Xue-tian. Current Situation and Prospect of Waterborne Container Coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2018, 48(6): 51-55.
- [2] PARK Y G, LEE Y H, RAHMAN M M, et al. Preparation and Properties of Waterborne Polyurethane/Self-Cross-Linkable Fluorinated Acrylic Copolymer Hybrid Emulsions Using a Solvent/Emulsifier-Free Method[J]. Colloid and Polymer Science, 2015, 293(5): 1369-1382.
- [3] 王瑞涛, 王成, 杜景怡. 水性集装箱涂料两种主流配套体系的对比[J]. 涂料工业, 2013, 43(9): 66-70.
WANG Rui-tao, WANG Cheng, DU Jing-yi. Comparison of Two Main Waterborne Container Coatings Systems[J]. Paint & Coatings Industry, 2013, 43(9): 66-70.
- [4] ZHANG Zhao-ying, HUANG Yu-hui, LIAO Bing, et al. Studies on Particle Size of Waterborne Emulsions Derived from Epoxy Resin[J]. European Polymer Journal, 2001, 37(6): 1207-1211.
- [5] LIU Bin, WANG Ying-han. A Novel Design for waterborne Modified Epoxy Coating with Anti-Corrosive Application Properties[J]. Progress in Organic Coatings, 2014, 77(1): 219-224.
- [6] 杨建军, 陈春俊, 吴庆云, 等. 水性聚氨酯树脂在工业水性涂料中的应用进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2017, 15(1): 1-7.
YANG Jian-jun, CHEN Chun-jun, WU Qing-yun, et al. Application Progress of Waterborne Polyurethane Resin in Industrial Waterborne Coatings[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2017, 15(1): 1-7.
- [7] 苍会升, 温义丽, 谢飞, 等. 新型环境友好型集装箱涂料的研制[J]. 中国涂料, 2019, 34(9): 45-50.
CANG Hui-sheng, WEN Yi-li, XIE Fei, et al. Development of New Environmentally Friendly Container Coatings[J]. China Coatings, 2019, 34(9): 45-50.
- [8] 刘会成. 集装箱涂料的发展动态[J]. 涂料技术与文摘, 2008, 29(9): 6-8.
LIU Hui-cheng. Trend of Container Coatings[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2008, 29(9): 6-8.
- [9] PAN Hui, WANG Xiao-dong, ZHANG Yu-dong, et al. Graphene Oxides Reduced and Modified by Hydramines - Potentials as Electrode Materials of Supercapacitors and Reinforcing Agents of Waterborne Polyurethane[J]. Materials Research Bulletin, 2014, 59: 117-124.
- [10] LIN Jia-wei, WANG Li-li, LIU Li-min, et al. Two-Stage Interface Enhancement of Aramid Fiber Composites: Establishment of Hierarchical Interphase with Waterborne Polyurethane Sizing and Oxazolidone-Containing Epoxy Matrix[J]. Composites Science and Technology, 2020, 193: 108114.
- [11] SOULA O, GUYOT A, WILLIAMS N, et al. Styrenics-Surfmer in Emulsion Copoly-Merization of Acrylic Monomers II Copolymerization and Film Properties[J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1999, 37(22): 4205-4217.
- [12] ARAMENDIA E, BARANDIARAN M J, GRADE J, et al. Improving Water Sensitivity in Acrylic Films Using Surfmers[J]. Langmuir: the ACS Journal of Surfaces and

- Colloids, 2005, 21(4): 1428-1435.
- [13] DING Bei, ZHANG Xia, ZHOU Dong-ling, et al. Toughness Properties of Concrete Modified with Water-Borne Polyurethane[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 238: 109-117.
- [14] 王成, 李建生, 邵琳. 水性集装箱涂料应用探索之路[J]. 现代涂料与涂装, 2017, 20(10): 60-62.
- WANG Cheng, LI Jian-sheng, SHAO Lin. Application of Waterborne Container Coatings[J]. Modern Paint & Finishing, 2017, 20(10): 60-62.
- [15] FREDJ N, COHENDOZ S, FEAUGAS X, et al. Some Consequences of Saline Solution Immersion on Mechanical Behavior of Two Marine Epoxy-Based Coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2010, 69(1): 82-91.
- [16] 李敏风. 我国集装箱涂料和涂装技术发展形势分析(一)[J]. 电镀与涂饰, 2010, 29(7): 70-73.
- LI Min-feng. Analysis of Development Status of Container Paint and Coating Technology in China—Part one[J]. Electroplating & Finishing, 2010, 29(7): 70-73.
- [17] RAHMAN M M, CHUN H H, PARK H. Waterborne Polysiloxane-Urethane-Urea for Potential Marine Coatings[J]. Journal of Coatings Technology and Research, 2011, 8(3): 389-399.
- [18] 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.
- LIU Rui, ZHUANG Zhen-yu, ZHANG Han-qing, et al. Development of Waterborne Acrylic Topcoat for Containers[J]. Paint & Coatings Industry, 2019, 49(8): 35-40.
- [19] 杜景怡. 集装箱涂料“十二五”回顾及“十三五”展望[J]. 中国涂料, 2016, 31(3): 27-35.
- DU Jing-yi. Review of in the 12th Five-Year Plan and Outlook for in the 13th Five-Year Plan of Container Coatings[J]. China Coatings, 2016, 31(3): 27-35.
- [20] 周枫. 我国集装箱涂料现状和发展趋势[J]. 上海涂料, 2010, 48(4): 34-36.
- ZHOU Feng. China's Current Situation and Development Trend of Container Coatings[J]. Shanghai Coatings, 2010, 48(4): 34-36.
- [21] MA Guo-zhang, GUAN Tao-tao, HOU Cai-ying, et al. Preparation, Properties and Application of Waterborne Hydroxyl-Functional Polyurethane/Acrylic Emulsions in Two-Component Coatings[J]. Journal of Coatings Technology and Research, 2015, 12(3): 505-512.
- [22] 施雪珍, 陈铤, 顾国芳. 水性环氧树脂乳液的研制[J]. 功能高分子学报, 2002, 15(3): 306-310.
- SHI Xue-zhen, CHEN Ting, GU Guo-fang. Study and Preparation of Waterborne Epoxy Resin Emulsion[J]. Journal of Functional Polymers, 2002, 15(3): 306-310.
- [23] 徐晶, 刘国军, 刘素花, 等. 水性防腐涂料的研究进展[J]. 现代涂料与涂装, 2010, 13(12): 21-23.
- XU Jing, LIU Guo-jun, LIU Su-hua, et al. Research Progress on Waterborne Anticorrosion Coatings[J]. Modern Paint & Finishing, 2010, 13(12): 21-23.
- [24] SONG Yuan-qing, GAO Yun-long, PAN Zhi-cheng, et al. Preparation and Characterization of Controlled Heparin Release Waterborne Polyurethane Coating Systems[J]. Chinese Journal of Polymer Science, 2016, 34(6): 679-687.
- [25] YIN Chuan, ROZET S, OKAMOTO R, et al. Physical Properties and in Vitro Biocompatible Evaluation of Silicone-Modified Polyurethane Nanofibers and Films[J]. Nanomaterials (Basel, Switzerland), 2019, 9(3): 367.
- [26] 刘歌. 具有隔热效果的水性防腐涂料的研究[J]. 涂料技术与文摘, 2017, 38(9): 6-11.
- LIU Ge. Preparation of Waterborne Anticorrosive Coatings with Heat Insulation Performance[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2017, 38(9): 6-11.
- [27] 刘登良, 赵君. 海洋重防腐涂料及涂装体系现状及发展趋势[J]. 中国涂料, 2014, 29(1): 19-22.
- LIU Deng-liang, ZHAO Jun. Marine Heavy Duty Coatings and Painting System Status Quo and Trend[J]. China Coatings, 2014, 29(1): 19-22.
- [28] 金贤君, 杜飞飞, 姚唯亮. 高性能水性环氧富锌底漆的研制[J]. 上海涂料, 2012, 50(6): 6-9.
- JIN Xian-jun, DU Fei-fei, YAO Wei-liang. Development of Water Based Epoxy Zinc Rich Primer with High Performance[J]. Shanghai Coatings, 2012, 50(6): 6-9.
- [29] CONRADI M, KOIJAN A, KEK-MERL D, et al. Mechanical and Anticorrosion Properties of Nanosilica-Filled Epoxy-Resin Composite Coatings[J]. Applied Surface Science, 2014, 292: 432-437.
- [30] XIAO Yao, JIANG Liang, LIU Zhi-meng, et al. Effect of Phase Separation on the Crystallization of Soft Segments of Green Waterborne Polyurethanes[J]. Polymer Testing, 2017, 60: 160-165.
- [31] WANG Hai-yun, ZHOU Yu-ming, HE Man, et al. Effects of Soft Segments on the Waterproof of Anionic Waterborne Polyurethane[J]. Colloid and Polymer Science, 2015, 293(3): 875-881.
- [32] 刘明, 左慧明, 张汉青, 等. 集装箱用双组分水性环氧富锌底漆的研制[J]. 上海涂料, 2021, 59(2): 1-5.
- LIU Ming, ZUO Hui-ming, ZHANG Han-qing, et al. Development of Two-Component Waterborne Epoxy Zinc-Rich Primer for Containers[J]. Shanghai Coatings, 2021, 59(2): 1-5.
- [33] 彭亮, 陈中华, 陈海洪, 等. 双组分水性集装箱环氧富锌底漆的研制[J]. 涂料工业, 2014, 44(12): 19-24.
- PENG Liang, CHEN Zhong-hua, CHEN Hai-hong, et al. Preparation of 2K Waterborne Epoxy Zinc-Rich Primer for Container[J]. Paint & Coatings Industry, 2014, 44(12): 19-24.
- [34] 刘正伟. 集装箱用水性环氧涂料的制备及性能研究[J]. 上海涂料, 2021, 59(3): 1-3.
- LIU Zheng-wei. Study on the Preparation and Performance of Waterborne Epoxy Coatings for Containers[J]. Shanghai Coatings, 2021, 59(3): 1-3.
- [35] 姜美佳, 沈辰中, 郭家振, 等. 基于可聚合乳化剂制备的丙烯酸乳液及其在水性集装箱外面漆中的应用[J].

- 涂料技术与文摘, 2017, 38(7): 6-10.
- [36] JIANG Mei-jia, SHEN Chen-zhong, GUO Jia-zhen, et al. Acrylic Emulsion Based on Polymerizable Emulsifier and Its Application in Waterborne Container Topcoat[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2017, 38(7): 6-10.
- [37] HAO Ning, WU Jian-ning, WAN Jiang, et al. Morphology and Mechanical Properties of UV-Curable Castor Oil-based Waterborne Polyurethane/Organic Montmorillonite Nanocomposites[J]. Plastics, Rubber and Composites, 2017, 46(8): 346-354.
- [38] BAGHERZADEH M R, MAHDAVI F, GHASEMI M, et al. Using Nanoemeraldine Salt-Polyaniline for Preparation of a New Anticorrosive waterborne Epoxy Coating[J]. Progress in Organic Coatings, 2010, 68(4): 319-322.
- [39] NING Yong-hui, ZHOU Ao-pu, DOU Hui-zhuo, et al. Screening of Dispersants in Waterborne Epoxy Coatings[J]. China Coatings, 2021, 36(8): 44-47.
- [40] URIBE-PADILLA J, GRAELLS-SOBRE M, SALGADO-VALLE J. A Novel Contribution to the Modeling of the Matting Efficiency of Aqueous Polyurethane Dispersions[J]. Progress in Organic Coatings, 2017, 109: 179-185.
- [41] DONG Shi-gang, ZHAO Bing, LIN Chang-jian, et al. Corrosion Behavior of Epoxy/Zinc Duplex Coated Rebar Embedded in Concrete in Ocean Environment[J]. Construction and Building Materials, 2012, 28(1): 72-78.
- [42] 郭兴魁, 葛圣松. 纳米材料在水性防腐蚀涂料中的应用研究进展[J]. 涂料工业, 2017, 47(8): 83-87.
- [43] GUO Xing-kui, GE Sheng-song. Research Progress in Application of Nanomaterials in Waterborne Anticorrosive Coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2017, 47(8): 83-87.
- [44] LIU J, WANG F, PARK K C. Study on Corrosive Electrochemical Behaviors of Zinc-Rich and Graphite-Filled Epoxy Coatings in 3.5wt.% NaCl Solution[J]. Materials and Corrosion, 2011, 62(11): 1008-1014.
- [45] YU Lv-hong. 水性丙烯酸酯涂料改性研究进展[J]. 科技风, 2020(12): 178.
- [46] PARK J H, YUN T H, KIM K Y, et al. The Improvement of Anticorrosion Properties of Zinc-Rich Organic Coating by Incorporating Surface-Modified Zinc Particle[J]. Progress in Organic Coatings, 2012, 74(1): 25-35.
- [47] ZHANG Shao-fei, LIU Fa-rui, HE Yu-feng, et al. Waterborne Polyurethane-Polyacrylic Ester Hybrid Emulsion for Humidity-Controlling Coatings[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2014, 39(1): 23-30.
- [48] MIZERA K, RYSZKOWSKA J. Thermal Properties of Polyurethane Elastomers from Soybean Oil-Based Polyol with a Different Isocyanate Index[J]. Journal of Elastomers & Plastics, 2019, 51(2): 157-174.
- [49] 唐慧, 杨建军, 吴庆云, 等. 环氧树脂改性含硅自消光水性聚氨酯树脂的制备及性能[J]. 精细化工, 2020, 37(10): 2099-2104.
- [50] TANG Hui, YANG Jian-jun, WU Qing-yun, et al. Preparation and Properties of Self-Matting Waterborne Polyurethane with Silicon Modified by Epoxy Resin[J]. Fine Chemicals, 2020, 37(10): 2099-2104.
- [51] KOH E, KIM N K, SHIN J, et al. Polyurethane Microcapsules for Self-Healing Paint Coatings[J]. RSC Advances, 2014, 4(31): 16214-16223.
- [52] 杨建军, 陈虹雨, 吴庆云, 等. 改性水性聚氨酯防腐涂料的最新研究进展[J]. 精细化工, 2021, 38(10): 1981-1987.
- [53] YANG Jian-jun, CHEN Hong-yu, WU Qing-yun, et al. Latest Research Progress of Modified Waterborne Polyurethane Anticorrosive Coatings[J]. Fine Chemicals, 2021, 38(10): 1981-1987.
- [54] 王朝晖, 雍涛, 杨敬霞, 等. 水性丙烯酸改性环氧醇酸树脂的制备及性能研究[J]. 涂料工业, 2021, 51(7): 36-41.
- [55] WANG Zhao-hui, YONG Tao, YANG Jing-xia, et al. Preparation and Performance of Epoxy Alkyd Resin Modified with waterborne Acrylate[J]. Paint & Coatings Industry, 2021, 51(7): 36-41.
- [56] KALENDOVÁ A. Effects of Particle Sizes and Shapes of Zinc Metal on the Properties of Anticorrosive Coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2003, 46(4): 324-332.

责任编辑: 彭颋