

Ymer N120 改性非离子型 水性环氧乳液的制备与性能研究

孙世雄^{1,2}, 陈亚军^{1,2}, 张明辉^{1,2}, 赵本波^{1,2}, 邓 平^{1,2}, 程 原^{1,2}

(1. 中北大学化学工程与技术学院, 太原 030051; 2. 中北大学德州研究分院, 德州 253034)

摘 要: 为克服当前水性环氧乳液的环氧基团含量和固含量低导致的涂料和涂膜性能差的缺点, 本文从分子结构设计角度出发, 首先以聚乙二醇 400(PEG400)为软段, 制备了非离子型水性环氧(WEP)乳液; 然后以侧基亲水扩链剂(Ymer N120)对其进行改性, 合成了改性非离子型水性环氧(YWEP)乳液, 研究了 Ymer N120 的用量对 YWEP 乳液和涂膜性能的影响。结果表明, WEP 乳液的环氧基团含量(以环氧值表示)最高可达 0.36, 引入侧基亲水基团后 YWEP 乳液可在保持较高环氧值的条件下进一步将固含量由 30% 提高至 52%, 提高了 73.3%。固化后涂膜的拉伸强度由 57.3 MPa 增大至 64.8 MPa。腐蚀电流密度由 $7.97 \times 10^{-8} \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 减小至 $9.99 \times 10^{-9} \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。综上所述, 亲水基团由主链转移至侧基后可有效提高水性环氧乳液、涂料和涂膜的性能。

关键词: 环氧乳液; 侧基亲水扩链剂; 非离子型; 固含量

中图分类号: O633.4

文献标识码: A

DOI: 10.19907/j.0490-6756.2022.045002

Preparation and properties of Ymer N120 modified non-ionic waterborne epoxy emulsion

SUN Shi-Xiong^{1,2}, CHEN Ya-Jun^{1,2}, ZHANG Ming-Hui^{1,2},
ZHAO Ben-Bo^{1,2}, DENG Ping^{1,2}, CHENG Yuan^{1,2}

(1. School of Chemical Engineering and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. School of Dezhou Graduate, North University of China, Dezhou 253034, China)

Abstract: In order to overcome the disadvantage of low content of epoxy group and solid in current waterborne epoxy(WEP) emulsion, polyethylene glycol 400 (PEG400) was used as soft section to prepare non-ionic WEP emulsion firstly. Then, the modified non-ionic waterborne epoxy(YWEP) emulsion was synthesized with the side hydrophilic chain extender (Ymer N120). The effects of the dosage of Ymer N120 on the properties of YWEP emulsion and paint film were studied. The results showed that the epoxy group content (represented by epoxy value) of WEP emulsion could be increased as high as 0.36, and the solid content of YWEP emulsion increased by 73.3% from 30% to 52% while maintaining the high epoxy value. After curing, the tensile strength of the film increases from 57.3 MPa to 64.8 MPa. The corrosion current density decreased from $7.97 \times 10^{-8} \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ to $9.99 \times 10^{-9} \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$. In conclusion, the transfer of hydrophilic groups from the main chain to the side group can effectively improve the properties of waterborne epoxy emulsions, coatings and coatings.

Keywords: Epoxy emulsion; Side base hydrophilic chain extender; Nonionic; Solid content

收稿日期: 2022-04-20

基金项目: 山西省高等学校科技创新项目(2020L0322)

作者简介: 孙世雄(1989-), 男, 河北石家庄人, 博士, 讲师, 主要从事固体推进剂及功能高分子材料方向研究。

通讯作者: 赵本波, E-mail: zhaobenbo@163.com; 程原, E-mail: chengyuan@nuc.edu.cn

1 引言

环氧树脂(Epoxy Resin)是指分子中含有 2 个或 2 个以上环氧基团的有机高分子,其固化后性能优异,可广泛应用于涂料、黏结剂、灌封材料、压层板等,在国民生产生活中占据重要地位. 环氧树脂为油性高分子,常温下黏度很大,须将其溶于有机溶剂中配制成溶液才能使用^[1-3];但在应用过程中,有机溶剂会挥发到环境中,污染环境的同时危害施工人员的身体健康. 随着环保法规的日益严格以及人们环保意识的加强,环氧树脂水性化成为研究热点^[4]. 水性环氧树脂具有附着力强、固化收缩率小、耐化学品性好等优点^[5,6],应用前景广阔. 随着应用场景的复杂化以及使用要求的提高,故通常引入其他链段对其进行结构改性^[7,8],以提高其性能. 例如,有机硅改性环氧树脂^[9]、丙烯酸改性环氧树脂^[10,11]、醇酸树脂改性环氧树脂以及聚氨酯改性环氧树脂^[12-16]等. 水性环氧树脂按照亲水方式可分为阴离子型改性环氧树脂、阳离子改性环氧树脂和非离子改性环氧树脂^[17-20]. 阴离子改性在反应后期加入的中和剂会使部分环氧基团开环,降低水性环氧乳液的环氧基团含量和固含量^[21],导致其与颜填料搭配使用时易出现失稳现象,且固

化之后涂膜交联密度低性能差^[22]. 而阳离子改性由于反应后期需要季铵盐化,工艺比较复杂,因此发展一直比较落后.

本研究从分子结构设计角度出发,将非离子型亲水基团引入聚氨酯改性环氧树脂分子链段的侧基. 一方面非离子亲水链段的引入避免了中和剂的加入,可以提高乳液中环氧基团的含量;另一方面将亲水链段引入侧基,减小了改性大分子主链长度,使体系黏度减小,从而制备了一种固含量高、环氧基团含量(以环氧值表示)高、粘度低的非离子型水性环氧乳液. 通过该乳液制备的涂膜表现出了优异的力学性能和耐腐蚀性能.

2 实验部分

2.1 实验原料

双酚 A 型环氧树脂(E44),山东优索化工科技有限公司;异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI),分析纯,德国拜耳公司;聚乙二醇 400(PEG400),分析纯,美国陶氏化学公司;非离子二元醇(Ymer N120),柏斯托(上海)化工产品贸易有限公司;二月桂酸二丁基锡(DBTDL),二乙烯三胺(DETA),上海阿拉丁生物科技股份有限公司.

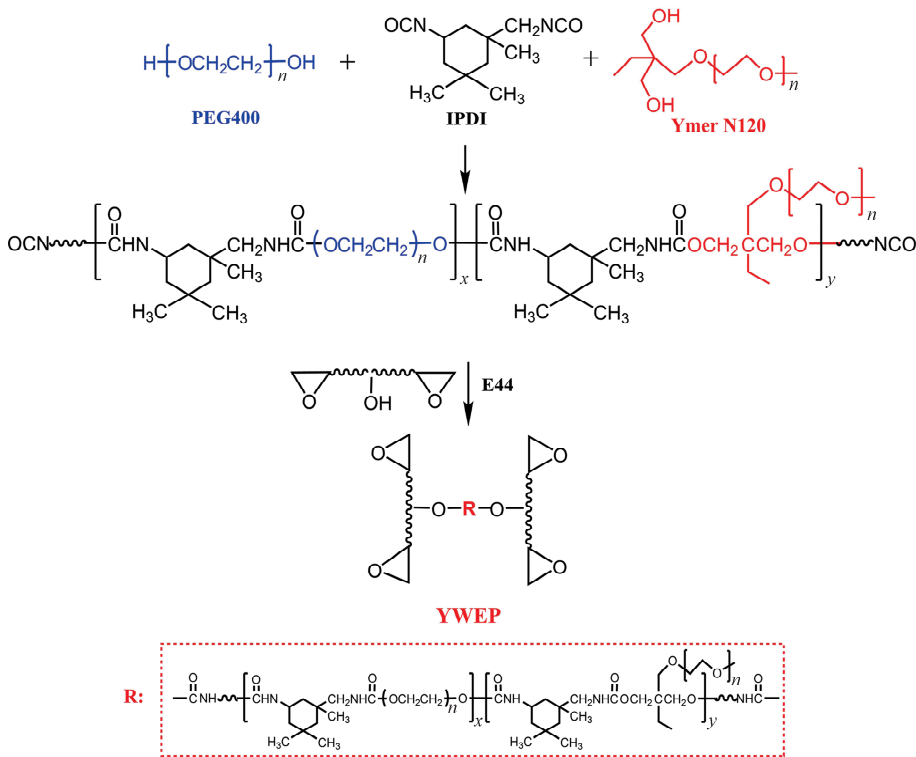


图 1 侧基亲水型非离子水性环氧乳液的合成原理

Fig. 1 Synthesis principle of side-base hydrophilic non-ionic aqueous epoxy emulsion

2.2 实验仪器

恒温加热油浴锅, DF-101S; 电动搅拌器, D2010W; 电子分析天平, ME204; 高速离心机, TG16-WS; 纳米粒度仪, Nicomp 380 N3000; 旋转粘度计, DV2TRVTJ0; 傅里叶红外光谱仪, TEN-SOR27.

2.3 侧基亲水型非离子水性环氧乳液的合成

首先, 将 PEG400 置于四口烧瓶中, 于 120 °C 真空干燥 2 h, 去除原料中的水分. 降至室温后加入 IPDI, 搅拌均匀并加入催化剂二月桂酸二丁基锡, 缓慢升温至 80 °C 并保温, 每隔 30 min 取样测定异氰酸酯基含量, 待其达到理论值时停止反应.

然后, 将制备的聚氨酯预聚体降至室温, 加入不同含量的 E44 后缓慢升温至 80 °C 并保温, 每隔 30 min 取样测试直至异氰酸酯基含量达到理论值时停止反应. 体系降至 40 °C 后在高速剪切下快速加入去离子水乳化 1 h, 得到一系列不同环氧基团含量的非离子水性环氧乳液.

以 Ymer N120 代替部分 PEG400, 重复上述操作, 得到一系列不同 Ymer N120 含量的侧基亲水扩链剂改性非离子水性环氧乳液.

2.4 测试与表征

黏度测定: 参照国标《GB/T22314-2008 塑料环氧树脂黏度测试方法》, 使用旋转粘度计在 25 °C 下测定乳液粘度.

乳液稳定性测试: 参照中华人民共和国化工行业标准《HG/T4737-2014》的规定, 采用离心加速沉降实验模拟水性环氧乳液的储存稳定性. 测试过程为: 将试样放入离心机, 在室温下以 3000 r/min 的转速离心 30 min, 若试样无沉降, 可认为乳液能稳定贮存 6 个月.

乳液粒径测定: 采用 Nicomp 380 N3000 型纳米粒度仪对按 1 : 1000 稀释的蓝色透明乳液进行粒径及粒径分布测定, 测定温度为 25 °C.

傅里叶红外光谱测试: 采用溴化钾压片法, 将水性环氧树脂的四氢呋喃溶液滴加在溴化钾片上烘干, 在红外光谱仪上进行测定.

3 结果与讨论

3.1 非离子水性环氧乳液红外光谱分析

图 2 为 IPDI、E44 和非离子水性环氧乳液 WEP 的红外光谱图. 如图 2 所示, IPDI 在 2270 cm^{-1} 处出现异氰酸酯基吸收峰, E44 在 3500 cm^{-1} 处出现 -OH 特征吸收峰, 这两个峰在产物 WEP 的

红外光谱中消失, 且 WEP 在 3322、1725、1525、1100 和 910 cm^{-1} 处分别出现 -N-H、-C = O、-CONH-、C-O-C 和环氧基的特征吸收峰^[23], 说明 E44 上的羟基与 -NCO 完全反应, 环氧树脂成功接入聚氨酯主链上.

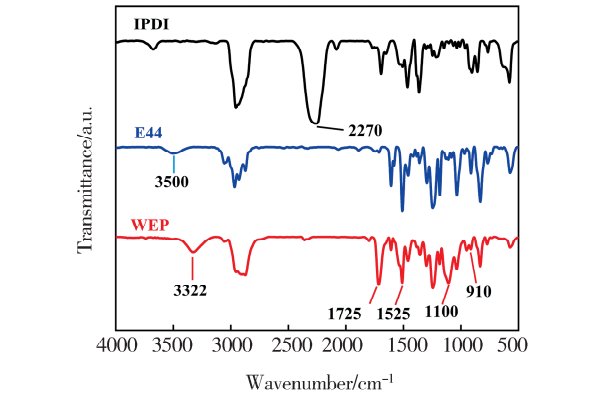


图 2 IPDI、E44 和 WEP 的红外光谱图
Fig. 2 FT-IR spectra of IPDI, E44 and WEP

3.2 环氧基团含量对非离子环氧乳液固含量和乳液性能的影响

不同环氧基团含量下制备的非离子型水性环氧乳液固含量和基本物理特性如表 1 和图 3 所示. 由表 1 和图 3 可以看出, 随着环氧基团含量的提高, 乳液粘度逐渐增大, 乳液粒径和分布系数逐渐增大, 乳液的固含量逐渐减小. 这是因为环氧基为疏水基团, 随着其含量增大分子的疏水性增加, 亲水性减弱, 相反转难度增大, 从而使体系粘度、粒径增大^[24], 且完成相反转所需的水量增加, 导致体系固含量减小. 综上可得, WEP 乳液环氧基团最大含量为 0.36, 该值已明显高于其他类型水性环氧乳液^[25-27]. 但此时乳液的固含量较低, 稳定性较差.

表 1 不同环氧基团含量乳液的性能
Tab. 1 Properties of emulsions with different contents of epoxy groups

样品编号	环氧值	平均粒径/nm	粒径分布	黏度/(mPa · s)
WEP1	0.28	320.5	0.121	698
WEP2	0.30	347.2	0.183	812
WEP3	0.32	358.3	0.240	923
WEP4	0.34	374.7	0.324	1021
WEP5	0.36	444.5	0.402	1130

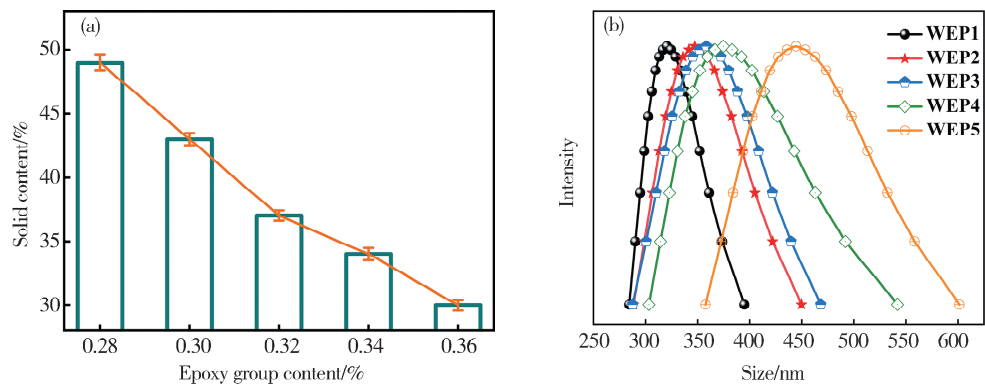


图 3 不同环氧基团含量的乳液固含量(a)和乳液粒径分布图(b)

Fig. 3 Solid content (a) and particle size distribution (b) of emulsion with different epoxy group content

3.3 Ymer N120 含量对非离子水性环氧乳液固含量的影响

为进一步提高水性环氧乳液的固含量和稳定性,在 WEP5 基础上引入侧基亲水扩链剂 Ymer N120 部分代替 PEG400,制备了一系列环氧树脂乳液. 表 2 为不同 Ymer N120 含量时制备的 YWEP 稳定性结果(YWEP0 即为 WEP5),图 4 为不同 Ymer N120 含量时制备的 YWEP 的固含量.

表 2 Ymer N120 含量对非离子水性环氧乳液外观及稳定性的影响

Tab. 2 Effect of Ymer N120 content on appearance and stability of YWEP emulsion

样品	Ymer N120 含量/%	外观	离心稳定性 /3000 rpm	储存稳定性/月
YWEP0	0	乳白	沉降	<6
YWEP1	1.8	乳白泛淡蓝	无沉降	>6
YWEP2	2.8	乳白很泛蓝	无沉降	>6
YWEP3	3.8	半透明	无沉降	>6
YWEP4	4.8	半透明	无沉降	>6
YWEP5	5.8	半透明	无沉降	>6

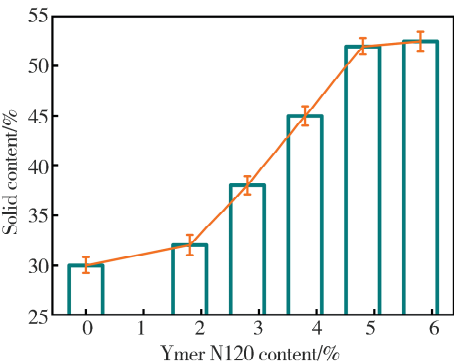


图 4 不同 Ymer N120 的含量对非离子水性环氧乳液固含量的影响

Fig. 4 Effect of different content of Ymer N120 on solid content of non-ionic aqueous epoxy emulsion

由表 2 与图 4 可知,当体系中无 Ymer N120 时,乳液外观为乳白色,固含量为 30%,随着 Ymer N120 添加量由 0%增加至 4.8%,乳液的外观逐渐由乳白变为半透明,乳液的固含量由 30%增加至 52%. 这是因为 Ymer N120 为长侧基结构,这是因为 Ymer N120 为长侧基结构,可以避免将长的亲水聚醚链段引入主链,体系粘度降低,水分子更容易扩散进入树脂本体中,与树脂内部的分子、链段产生相互作用,乳化过程难度下降,从而提高了乳液的固含量^[28]. 当 Ymer N120 的添加量为 1.8%~4.8%时,乳液在 3000 rpm 的离心下均不分层,可保证乳液有超过 6 个月的储存稳定性,证明亲水基团转移至侧链后可有效提高环氧树脂的固含量和稳定性. 继续提高 Ymer N120 的添加量对乳液的固含量影响不大,这可能是因为当 Ymer N120 过量时,过多的聚醚侧基导致缠结程度过大,体系粘度增大,相反转难度增加^[28],不利于环氧树脂的乳化,因此乳液固含量趋于稳定. 由此可以得出,Ymer N120 的最佳添加量为 4.8%.

3.4 Ymer N120 含量对非离子水性环氧乳液性能影响

不同 Ymer N120 含量时制备的非离子水性环氧乳液的粒径和粘度表征结果如表 3 和图 5 所示. 由表 1 和 3 及图 3 和 5 可知,体系中无 Ymer N120 时,乳液的粒径为 444.5 nm,粒径分布系数为 0.402,此时乳液粒径与粒径分布系数均较大. 随着 Ymer N120 添加量的增加,乳液粒径与粒径分布系数逐渐减小,当 Ymer N120 的添加量为 4.8%时,乳液粒径为 206 nm,粒径分布系数为 0.050,继续提高 Ymer N120 的添加量对乳液性能影响不大. 这是因为 Ymer N120 的侧基为亲水的聚醚链段,亲水性的长链侧基相互缠绕将疏水性的环氧基

团包裹在内部促进了体系的乳化,所以乳液粒径变小,粒径分布均匀. 但当 Ymer N120 的添加量达到一定程度时,聚合物分子上过极性基团使分子间的作用力增大,乳化时需要更大的剪切力,乳化难度增加^[29],所以 Ymer N120 的最佳添加量为 4.8%.

表 3 不同 Ymer N120 含量时非离子水性环氧乳液的粒度和粘度

Tab. 3 Particle size and viscosity of YWEP emulsion with different Ymer N120 contents

样品	Ymer N120/%	平均粒径/nm	粒径分布	黏度/mPa·s
YWEP1	1.8	232.4	0.120	870
YWEP2	2.8	211.6	0.100	536
YWEP3	3.8	206.7	0.082	432
YWEP4	4.8	206.0	0.050	323
YWEP5	5.8	205.8	0.047	367

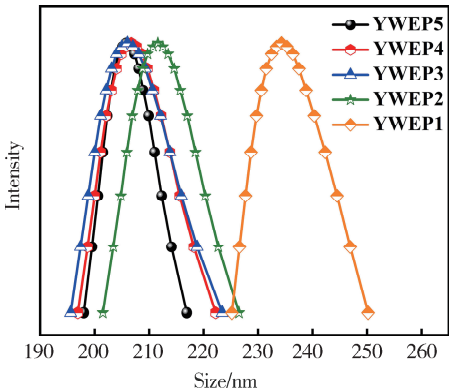


图 5 不同 Ymer N120 含量的非离子水性环氧乳液粒径分布图

Fig. 5 Particle size distribution of non-ionic aqueous epoxy emulsions with different contents of Ymer N120

3.5 Ymer N120 含量对非离子水性环氧乳液涂膜性能的影响

将制备的环氧乳液与二乙烯三胺(DETA)配置成涂膜固化(乳液中环氧基团与 DETA 中活泼氢物质的量比为 1 : 1),并对其性能进行表征,结果如表 4 所示.

由表 4 可知,随着 Ymer N120 含量由 0 增至 4.8%,涂膜的吸水率及吸丙酮率略有增加,涂膜拉伸强度由 57.3 MPa 增大至 64.8 MPa,断裂伸长率由 56.3%降低至 39.6%. 这是因为,随 Ymer N120 含量的增加,水性环氧乳液体系的环氧值增加,与固化剂反应固化时交联密度增加,链段运动阻力增大,故涂膜的拉伸强度提高^[30]. 但是,Ymer

N120 的加入方式是等摩尔替代原有配方中的部分聚乙二醇,与其相比,虽然 Ymer N120 的亲水基团含量增加了约 127%,但 Ymer N120 的加入量较少,仅占原有聚乙二醇的 8%,合成的树脂中亲水基团含量仅增加了约 10%,故涂膜的耐水性和耐丙酮性没有明显改变.

表 4 Ymer N120 含量对非离子水性环氧乳液涂膜性能的影响

Tab. 4 Effects of Ymer N120 content on properties of non-ionic water-based epoxy emulsion coatings

Ymer N120 含量/%	吸水率/%	吸丙酮率/%	附着力	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
0	11.4	14.2	1	57.3	56.3
1.8	11.4	14.3	1	59.7	52.3
2.8	11.4	14.4	0	60.4	48.1
3.8	11.7	14.4	0	62.5	45.7
4.8	12.1	14.5	0	64.8	42.2
5.8	12.5	14.5	0	65.4	39.6

3.6 Ymer N120 含量对环氧防腐涂料性能的影响

不同 Ymer N120 含量环氧乳液所制涂层的电化学测试如表 5 和图 6 所示. 由表 5 和图 6 可知,随着 Ymer N120 含量的增加,涂层的腐蚀电位 E_{corr} 由 -0.404 V 增加到 -0.360 V ,腐蚀电流密度 I_{corr} 由 $7.97\times10^{-8}\text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 减小至 $9.99\times10^{-9}\text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$,涂层的容抗弧直径逐渐变大,涂层保护基材防止腐蚀介质侵蚀的能力逐渐增强,说明 Ymer N120 可增强涂层的防腐蚀性能. 这可能是因为 Ymer N120 侧基为具有一定长度的聚醚链段,乳液固化成膜后侧基相互缠结形成物理交联网络,增加了涂膜的致密性,腐蚀介质难以进入、透过聚合物分子,使涂膜防腐性能增强.

表 5 YWEP 乳液所制涂层的腐蚀电位与腐蚀电流密度

Tab. 5 Corrosion potential and density of coatings prepared from YWEP emulsion

样品编号	Ymer N120/%	腐蚀电位/V	腐蚀电流密度/(mA·cm ⁻²)
A ₁	0	-0.404	7.97×10^{-8}
A ₂	2.8	-0.379	5.07×10^{-8}
A ₃	3.8	-0.368	1.91×10^{-8}
A ₄	4.8	-0.360	9.99×10^{-9}

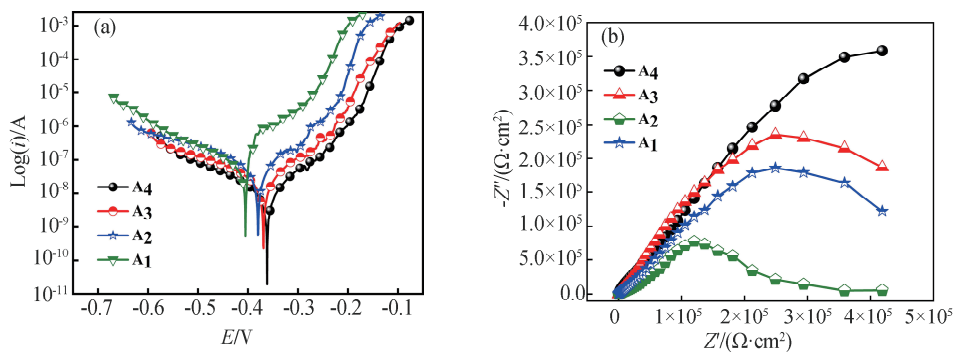


图 6 不同 Ymer N120 含量乳液所制涂层极化曲线(a)和交流阻抗谱(b)

Fig. 6 Polarization curves (a) and AC impedance spectra (b) of coatings prepared by emulsion with different content of Ymer N120

4 结 论

以 PEG400 为软段制备了非离子型水性环氧乳液,然后以侧基亲水扩链剂对其进行改性,合成了改性非离子型水性环氧乳液. 结果表明,非离子型的 WEP 具有可负载较高的环氧基团. 侧基亲水改性后,随着侧基亲水链段的增加,整个分子的亲水性增强,所得水性环氧树脂更容易乳化,且制备过程与其他改性方法相比不损失环氧基团,从而使环氧树脂乳液中环氧基团含量与固含量均明显提高,乳液的粒径与黏度较低. 当 Ymer N120 含量为 4.8% 时,水性环氧乳液的环氧含量和固含量达到最大,分别为 0.36 和 52%. 由此制备的水性环氧树脂涂膜的力学性能和防腐性能有所改善,拉伸强度提高至 65.4 MPa,涂膜的腐蚀电流密度降低至 $9.99 \times 10^{-9} \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$.

综上所述,侧基亲水型水性环氧乳液固含量高、环氧值高、粘度低,通过该乳液制备的涂层表现出了优异的力学性能和耐腐蚀性能. 本文为制备高性能的非离子型水性环氧树脂乳液提供了思路.

参考文献:

[1] Mohan P. A critical review: the modification, properties, and applications of epoxy resins [J]. Polym; Plast Technol Eng, 2013, 52: 107.

[2] Verma C, Olasunkanmi L O, Akpan E D, *et al.* Epoxy resins as anticorrosive polymeric materials: a review [J]. React Funct Polym, 2020, 156: 104741.

[3] Jin F L, Li X, Park S J. Synthesis and application of epoxy resins: a review [J]. J Ind Eng Chem, 2015, 29: 1.

[4] Xie T L, Kao W Y, Sun L Y, *et al.* Preparation

and characterization of self-matting waterborne polymer-an overview [J]. Prog Org Coat, 2020, 142: 105569.

[5] Cheng X, Chen Y X, Du Z L, *et al.* Effect of the structure of curing agents modified by epoxidized oleic esters on the toughness of cured epoxy resins [J]. J Appl Polym Sci, 2011, 119: 3504.

[6] 陈子豪, 阮英波, 杨杰. 环氧树脂增韧方法及机理研究进展[J]. 热固性树脂, 2022, 37: 64.

[7] Dang Z M, Zhang B, Li J G, *et al.* Copper particles/epoxy resin thermosetting conductive adhesive using polyamide resin as curing agent [J]. J Appl Polym Sci, 2012, 126: 815.

[8] 成煦, 王海波, 杜宗良. 端活性聚丙二醇对环氧树脂的增韧改性 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2016, 48: 213.

[9] Yang X F, Liu J, Wu Y F, *et al.* Fabrication of UV-curable solvent-free epoxy modified silicone resin coating with high transparency and low volume shrinkage [J]. Prog Org Coat, 2019, 129: 96.

[10] Duan Y F, Huo Y D, Duan L. Preparation of acrylic resins modified with epoxy resins and their behaviors as binders of waterborne printing ink on plastic film [J]. Colloid Surface A, 2017, 535: 225.

[11] Zhou P P, Zou L S, Zha S W, *et al.* Compatibility and thermal decomposition behavior of acrylic block copolymer modified epoxy resin [J]. J Polym Res, 2020, 27: 4.

[12] Kostrzewa M, Hausnerova B, Bakar M, *et al.* Property evaluation and structure analysis of polyurethane/epoxy graft interpenetrating polymer networks [J]. J Appl Polym Sci, 2011, 122: 1722.

[13] Meng L Q, Shi X Z, Zhang R L, *et al.* Preparation and properties study of waterborne polyurethane synthesized by mixing polyester diols and isocyanates [J]. J Appl Polym Sci, 2020, 137: 49314.

[14] Yi Y, Ye F Y, Huang C, *et al.* Study on synthesis of polyurethane-epoxy composite emulsion [J]. J Appl Polym Sci, 2010, 115: 451.

[15] Xu Y, Luo J, Liu X Y, *et al.* Polyurethane modified epoxy acrylate resins containing ϵ -caprolactone unit [J]. Prog Org Coat, 2020, 141: 105543.

[16] He Q S, Zhang H L, Li J, *et al.* Performance evaluation of polyurethane/epoxy resin modified asphalt as adhesive layer material for steel-UHPC composite bridge deck pavements [J]. Constr Build Mater, 2021, 291: 123364.

[17] 瞿金清, 向波, 陈焕钦. 多环氧交联剂改性水性聚氨酯的性能 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2012, 44: 154.

[18] 娄星原, 冯朝波, 黎灿光, 等. 聚氨酯改性环氧树脂的增韧性能探究 [J]. 广东化工, 2021, 48: 46.

[19] Ai D, Mo R B, Wang H H, *et al.* Preparation of waterborne epoxy dispersion and its application in 2K waterborne epoxy coatings [J]. Prog Org Coat, 2019, 136: 105258.

[20] Peng Z G, Zhou Z Y, Feng Q, *et al.* Synthesis and performance application of self - crosslinking water-borne epoxy resin for cementing [J]. J Appl Polym Sci, 2021, 138: 51351.

[21] 王明英, 赵才德, 袁艳, 等. 环氧树脂改性高固含量水性聚氨酯乳液的制备[J]. 聚氨酯工业, 2021, 36: 8.

[22] Dai X Y, Li P H, Sui Y L, *et al.* Synthesis and performance of flexible epoxy resin with long alkyl side chains via click reaction [J]. J Polym Sci, 2021, 59: 627.

[23] Yang G L, Wang C H, Fu H, *et al.* Waterborne epoxy resin-polyurethane-emulsified asphalt: preparation and properties [J]. J Mater Civil Eng, 2019, 31: 04019265.

[24] 杨红涛, 陆文明, 周如东, 等. 水性环氧乳液的制备工艺优化[J]. 涂层与防护, 2018, 39: 38.

[25] 艾丹. 水性环氧乳液的制备及其应用研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2019.

[26] 马承银, 郑文姬, 周迪武, 等. 新型水性环氧树脂的合成研究 [J]. 广州化学, 2005, 30: 6.

[27] 李晋, 李鹏, 蔡晴, 等. 非离子型水性环氧树脂乳液的合成与性能研究[J]. 化工新型材料, 2015, 43: 178.

[28] 刘斌, 王武生, 曾俊. 一种高固含量阴非离子水性聚氨酯的制备与性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2010, 19: 17.

[29] 韩颜庭, 董伟, 陈政, 等. 高固含量聚醚/聚酯型阴/非离子水性聚氨酯性能研究[J]. 皮革科学与工程, 2015, 25: 24.

[30] Sun Z Y, Xu L, Chen Z G, *et al.* Enhancing the mechanical and thermal properties of epoxy resin via blending with thermoplastic polysulfone [J]. Polymers, 2019, 11: 461.

引用本文格式:

中 文: 孙世雄, 陈亚军, 张明辉, 等. Ymer N120 改性非离子型水性环氧乳液的制备与性能研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2022, 59: 045002.

英 文: Sun S X, Chen Y J, Zhang M H, *et al.* Preparation and properties of Ymer N120 modified non-ionic water-borne epoxy emulsion [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2022, 59: 045002.