http://pmse.scu.edu.cn

电子级双环戊二烯-苯酚环氧树脂的制备

王世昌[1]，郭宇航[1]，周百能[1,2]，符罗坪[2]，吴 宏[1]

(1. 先进高分子材料全国重点实验室(四川大学) 四川大学高分子研究所 橡塑材料复合成型技术四川省工程研究中心，四川 成都 610065；
2. 四川东树新材料有限公司，四川 德阳 618000)

摘要：合成双环戊二烯-苯酚环氧树脂单体(EMR-EP)目前主要通过加入相转移催化剂及助溶剂等方式来改善催化效果，存在副产物较多、产物不易分离且氯含量较高等问题。针对这些问题，文中提出了一种无相转移催化剂及采用低沸点低毒性助溶剂的合成工艺。在开环阶段，环氧当量随NaOH的加入量增加而增加，当NaOH为原料总量的0.5%时，环氧当量为276 g/eq；在闭环阶段，环氧当量随NaOH的加入量增加而降低，当NaOH为酚羟基量的1.8倍时，环氧当量为275 g/eq。纯化工艺中，采用先除无机盐后脱除环氧氯丙烷的方式，解决了水解氯含量过高的问题。精制工艺中，采用49% NaOH水溶液，加入量为酚总质量25%时得到的单体水解氯含量稳定在0.02%内，总氯含量显著降低。红外分析结果证明了环氧基团的成功引入。凝胶渗透色谱分析结果显示，合成的双环戊二烯-苯酚树脂和国外商业化双环戊二烯-苯酚环氧树脂(BSE095)在相同保留时间处出现了最大峰。2种分析结果表明了电子级双环戊二烯-苯酚环氧树脂单体的成功合成。

关键词：电子级双环戊二烯-苯酚环氧树脂；闭环碱量；开环碱量；水解氯；环氧当量

中图分类号：TQ323.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555(2025)08-0019-07

随着电子行业的迅速发展，电子产品和电路组装技术上了一个新台阶。同时，印制电路板制造技术向微孔径、细线条、高密度布线及高多层方向的发展对覆铜板的耐热性、低膨胀系数、高尺寸稳定性、低介电损耗等提出了新要求[1~3]。环氧树脂作为覆铜板的主要原材料之一[4]，面临着更多新的技术需求。环氧树脂泛指分子中含有2个或2个以上环氧基的有机高分子化合物，具有优异的稳定性、耐腐蚀性及电绝缘性，在涂料、电子电器、复合材料等领域具有广阔的应用前景[5, 6]。双环戊二烯-苯酚环氧树脂由于电性能优异、黏度低、耐热性好、吸水率低等优点，广泛应用于电子电器的塑封材料、油墨印刷等领域。随着微电子、半导体领域的快速发展，对电子封装领域材料的性能要求越来越高，尤其对氯含量的要求更加苛刻。

在双环戊二烯-苯酚环氧树脂单体的制备过程中[7~10]，醚化和闭环反应条件难以控制，导致反应体系黏度较大，会阻碍反应的进行。此外，不完全反应导致大量副产物的形成和有机氯含量的增加，影响产物纯度。目前主要通过加入相转移催化剂及助溶剂等方式[11~14]，增大碱液水相与环氧氯丙烷有机相的接触，来改善催化效果和闭环反应过程，提高产率，降低氯含量。但相转移催化剂会包覆在产物中，难以分离，且易形成副产物单缩水甘油醚，使产物分离的难度增加，降低产物纯度。助溶剂甲苯、二甲苯等原料的应用，虽然会增大催化剂与原料的相容性，得到环氧当量(EEW)较低的环氧树脂，但这些溶剂挥发性大，会使反应体系不稳定，且毒性极大，危害研究人员身体健康。另外，也有研究人员通过在闭环反应时抽真空[15]来控制水含量，减少副产物，得到的

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0148
收稿日期：2025-04-01
基金项目：东方电气集团-四川大学联合创新研究院项目
通讯联系人：吴宏，主要从事高分子材料共混复合与先进加工新技术新原理研究，E-mail: wh@scu.edu.cn

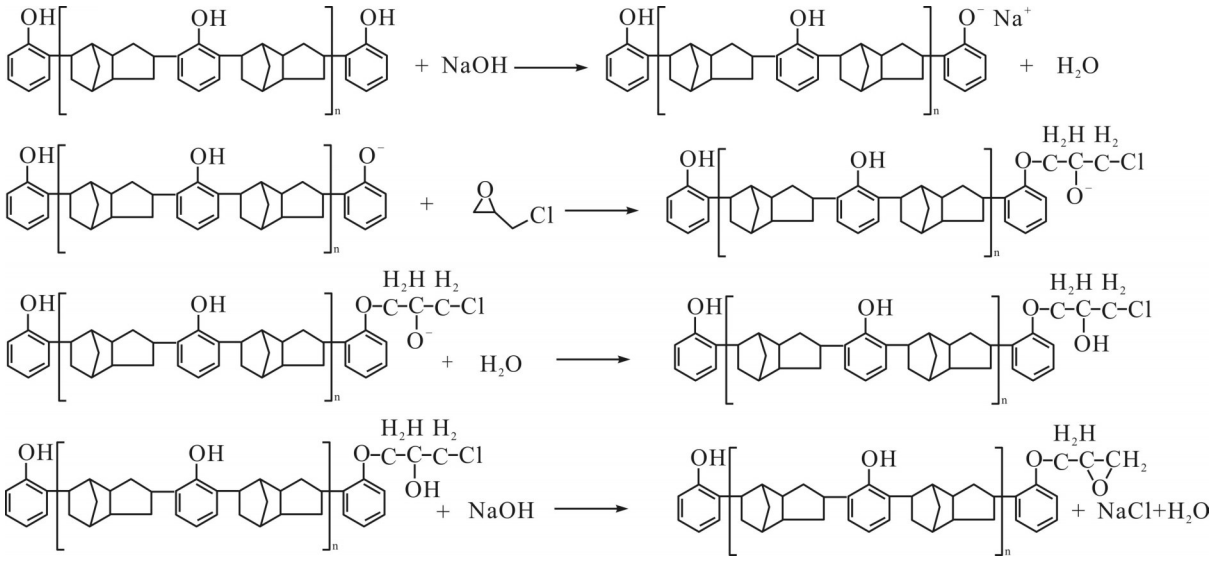


Fig. 1 Epoxy reaction equation of dicyclopentadiene

产物环氧当量为250 g/eq，水解氯含量可降低至0.0044%，但总氯含量依然较高（0.0801%）。由于环氧氯丙烷与水的沸点差异不明显，长时间采用真空会导致环氧氯丙烷抽出，使闭环反应不完全，降低产物的聚合度，导致产物在后续固化过程中交联程度有限，力学性能下降。

因此，如何通过简单的工艺路线合成纯度高、氯含量低的环氧树脂单体是制备电子级双环戊二烯-苯酚环氧树脂亟需解决的问题。为此，本文提出了一种电子级双环戊二烯-苯酚环氧树脂单体的合成工艺，在合成过程中无相转移催化剂，并使用高沸点低毒性的溶剂促进产物分离。通过控制开环和闭环反应阶段的碱液量、反应温度和反应时间，得到低环氧当量、高产率的双环戊二烯-苯酚环氧树脂单体。进一步，通过改进的纯化工艺和精制反应条件，有效减少了产物中老化树脂、含氯无机盐和未反应完全的环氧氯丙烷含量，最终单体的水解氯和总氯含量均符合电子级环氧树脂单体的要求。

1 实验部分

1.1 主要原料

双环戊二烯-苯酚树脂(EMR)：工业级，韩国松原产业株式会社；环氧氯丙烷(ECH)：工业级，山东信恒化工有限公司；NaOH：化学纯，成都科隆化学品有限公司；甲基异丁基酮：工业级，济南鑫科化工有限公司；磷酸二氢钠：化学纯，国药集团化学试剂有限公司；去离子水：市售。

1.2 实验过程

1.2.1 合成工艺：向三口烧瓶中加入EMR及ECH，质量比为1:6，持续通入氮气，流量保持0.02 L/min直至反应物料出现翻滚；在50 ºC搅拌20 min使其混合均匀，滴加酚总质量0.5%的49% NaOH，醚化反应2 h；升温至70 ºC，随后使用滴液漏斗滴加酚羟基量1.8倍的49% NaOH水溶液，30 min滴完。从滴加碱液开始计时，闭环反应时间为4 h。反应方程式见Fig.1。

1.2.2 纯化工艺：将合成溶液水洗除盐后进行分液，收集下层环氧氯丙烷相，即油相。减压蒸馏除去过量环氧氯丙烷，控制温度120 ºC，压力1~3 kPa，当无液体滴出时再抽30 min。加入酚量4倍的甲基异丁基酮溶解粗产物，加入与酚量相同的纯水，水洗除盐，得上层有机相。

1.2.3 精制工艺：向上层有机相中加入酚量30%的49%NaOH水溶液，在90 ºC进行精制反应2 h。之后加入纯水，其质量为酚量的1倍，在90 ºC保温10 min，洗去盐分，后进行分液操作，重复5次。在第3次分液时加入酚量0.5%的磷酸二氢钠使树脂呈中性。

在温度为130 ºC，压力为1~3 kPa下，减压蒸馏甲基异丁基酮，当无液体滴出时，每10 min取样。

当树脂能在常温硬化时,测试其软化点,符合规定值时停止减压蒸馏操作,得双环戊二烯-苯酚环氧树脂单体。

1.3　测试与表征

1.3.1　红外分析:采用美国NICOLET公司生产的NEXUS-670型傅里叶变换红外光谱仪对样品进行红外光谱分析。压片法,扫描波数范围为400 ~4000 cm^{-1}。

1.3.2　凝胶渗透色谱分析:采用日本东曹株式会社生产的HLC-8320GPC型凝胶渗透色谱仪(GPC,DMF体系,标样为聚苯乙烯)。

1.3.3　环氧当量测试:测试方法参考国标GB-T 1677-2008《增塑剂环氧值的测定》。采用盐酸-丙酮溶液、甲酚红-百里香酚蓝混合指示剂,利用反滴定法测定与环氧基团发生反应的HCl量来计算样品中所含环氧基团的量。

1.3.4　总氯和水解氯含量测试:测试方法参考国标GB/T 4618.2-2008环氧树脂氯含量测定的第二部分:易皂化氯。利用环氧树脂在室温与NaOH的乙二醇甲醚溶液反应,酸化该混合物,以硝酸银标准溶液通过电位滴定测定因水解而产生的氯离子浓度。

1.3.5　ICI黏度测试:采用美国TA公司生产的AR1500ex旋转流变仪,测试双环戊二烯环氧树脂在150 ℃时的黏度。使用2° 25 mm锥板进行测试。将适量样品置于流变仪平板上,温度为150 ℃,待样品完全溶解后调整间隙为200 μm,设置流变仪程序为:0~300 s,剪切速率1~100 s^{-1}, 301~400 s,剪切速率50 s^{-1},每2 s取1个数据点,最后计算50个数据点的平均值。

1.3.6　软化点测试:采用上海盈诺公司生产的SPT-A系列的环球法软化点测试仪,把确定质量的钢球置于填满试样的金属环上,在规定的升温条件下,钢球进入试样,从一定的高度下落,当钢球触及底层钢板时的温度,视为软化点。

2　结果与讨论

2.1　双环戊二烯苯酚环氧树脂红外光谱分析

从Fig.2可以看出,EMR曲线中,波数为3400 cm^{-1}, 1332 cm^{-1}处的峰对应的是羟基的振动峰;波数2942 cm^{-1}是芳烃的振动峰;波数为1592 cm^{-1},1506 cm^{-1},1450 cm^{-1}的峰对应的是苯环骨架的振动峰;波数751 cm^{-1}对应的是脂环碳链骨架振动峰。EMR树脂结构中含有以上基团结构,可以判定产品为双环戊二烯酚树脂。在EMR-EP曲线中,波数为1239 cm^{-1}的吸收峰为环氧基伸缩振动峰,波数为910 cm^{-1}吸收峰为环氧结构特征峰,这2处是环氧树脂特征官能团的特征峰,在EMR-EP曲线中,3400 cm^{-1}强度减弱说明环氧氯丙烷与树脂发生环氧化反应生成了EMR-EP。

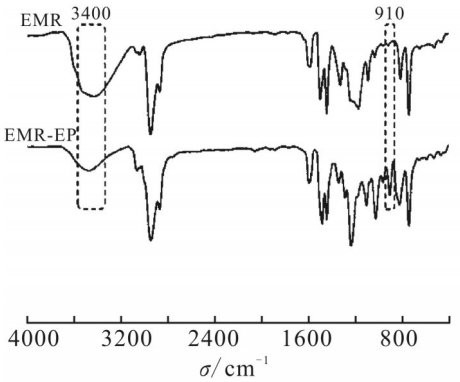


Fig. 2　Infrared spectra of dicyclopentadiene- phenol resin and dicyclopentadiene-phenol epoxy resin

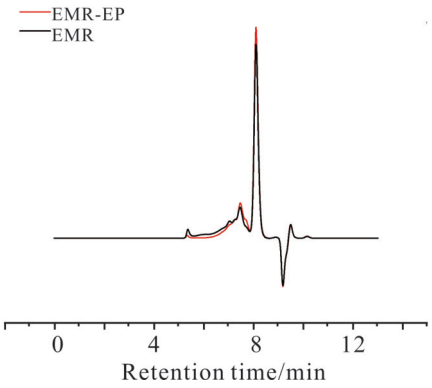


Fig. 3　GPC diagram of dicyclopentadiene phenol resin and dicyclopentadiene phenol epoxy resin

2.2　双环戊二烯-苯酚环氧树脂凝胶渗透色谱表征

Fig.3展示了本文合成的EMR-EP与国外商业化双环戊二烯-苯酚环氧树脂(BSE095)的GPC对比图。从图中可以清晰地看到,本文合成的EMR-EP的最大峰面积明显大于国外商业化生产的BSE095在相同保留时间处出现的峰的面积。这一结果表明,本文合成的EMR-EP是成功的,且含量明显大于国外商业化生产的BSE095,即转化率高于国外产品。因为如果合成失败或转化率低于国外产品,那么在GPC图中,本文合成的EMR-EP的峰面积会消

Tab. 1 Characteristic index of dicyclopentadiene-phenol epoxy resin

Test items	Unit	Test results	Standard value of electronic grade epoxy resin monomer
EEW	$g \cdot eq^{-1}$	281.2	260~290
Hy-Cl	%	0.0049	≤0.02
T-Cl	%	0.0743	≤0.1
Softing point	℃ (3 ℃·min)	87.4	80~90
ICI viscosity	150 ℃·$poise^{-1}$	2.78	2.5~4.5

note: EEW: epoxy equivalent; Hy-Cl: hydrolyzed chlorine content; T-Cl: total chlorine content

失或明显小于国外商业化生产的BSE095的峰面积。而此处本文合成的EMR-EP的最大峰面积大于国外商业化生产的BSE095的最大峰面积，说明EMR成功转化为了EMR-EP，且转化率高于国外产品BSE095，相对分子质量为328.35。

2.3 双环戊二烯-苯酚环氧树脂特性指标

对合成出来的EMR-EP进行环氧当量、水解氯含量、总氯含量、软化点及ICI黏度测试，测试结果见Tab.1。从表中看出，产物的环氧当量为281.2 g/eq，处在260~290 g/eq范围内；水解氯含量为0.0049%，远远低于标准值0.0200%；总氯含量为0.0743%，在标准值0.1%之内；软化点测试结果为87.4 ℃ (3 ℃/min)，在标准范围80~90 ℃ (3 ℃/min)之间；ICI黏度为2.78 150 ℃/poise，也在标准范围2.5~4.5 150 ℃/poise之间。综上，所有检测项目结果均在标准测试数值范围内，符合电子级环氧树脂的标准。

2.4 开环碱量对双环戊二烯-苯酚环氧树脂环氧当量的影响

碱液在环氧树脂合成的开环阶段主要起到催化作用，适量的碱可以促进环氧氯丙烷的开环反应，使反应速率加快，碱液用量过多会导致体系中水分增加，从而加速环氧氯丙烷的水解反应，而环氧氯丙烷水解会生成副产物，降低环氧树脂的产率和质量。因此，在开环阶段，碱液用量需要严格控制，以减少水解反应的发生。为此，研究了开环碱量对EMR-EP环氧当量的影响。有研究表明[16]，碱液浓度在30%~50%时，即可达到良好的催化效果，因此选择从原料总量的0.5%加入NaOH。从Fig.4中可以看出，醚化反应阶段NaOH用量对环氧当量的影响较大，随着碱量增加，环氧当量逐渐增加，当加入量为原料总量的0.5%时与标样指标一致，而且考虑到大量碱液的加入会造成资源浪费并对环境造成污染，最终选择醚化碱量为原料总量的0.5%。

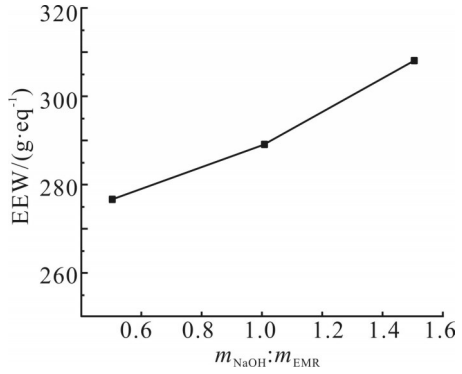


Fig. 4 Effect of etherified alkali on epoxy equivalent

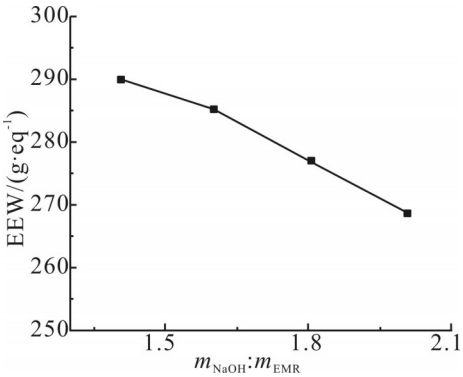


Fig. 5 Effect of closed-loop alkali content on epoxy equivalent

2.5 闭环碱量对双环戊二烯-苯酚环氧树脂环氧当量的影响

在闭环阶段，碱液也是主要作为催化剂，促进环氧树脂的闭环反应。碱液用量不足会导致反应速率降低，闭环反应不完全。而碱液用量过多则可能引发副反应，如环氧基团的开环，使产物难分离，产率下降。从Fig.5中可以看出，闭环反应阶段NaOH用量对环氧当量的影响较大，随着碱量增加，环氧当量

逐渐降低,当加入量为酚羟基量的1.8倍时与标样指标一致。综上,闭环反应所需的催化剂用量较多,但需要注意的是,在反应开始阶段极易与反应中脱出的HCl发生酸碱中和反应而导致体系温度骤升,会出现短暂的爆沸。

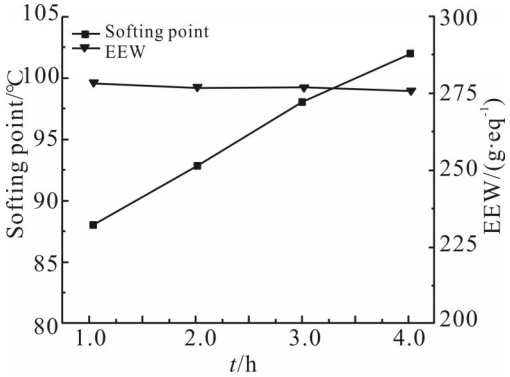


Fig. 6 Screening of closed-loop reaction time

2.6 闭环反应时间对双环戊二烯酚环氧树脂环氧当量的影响

闭环反应需要足够的时间以确保反应充分进行。如果反应时间不足,环氧树脂的分子结构中可能残留未闭环的氯醇中间体,这些中间体会影响环氧树脂的性能。从Fig.6中看出,闭环反应时间对环氧当量几乎没有影响,稳定在278 g/eq左右,原因是环氧树脂本身是一种多聚体,随着聚合度的增加,环氧当量相差不大,这一点从Tab.2的结果就可以看出,但是软化点会有明显差异。随着反应时间的延长,软化点呈线性增加。可以得出,当反应时间小于4 h时,反应不够充分,产物的聚合度偏小,产品性能明显偏低,因此,取反应时间4 h为宜。

Tab. 2 Relationship between degree of polymerization and epoxy equivalent

Degree of polymerization	*n*	EEW/(g·eq^{-1})
2	1	217
3	2	239
4	3	250
5	4	257

note: EEW: epoxy equivalent

Tab. 3 Relationship between purification conditions and hydrolyzed chlorine content

Purification conditions	Hy-Cl
Desalting followed by epichlorohydrin	0.2%
Dehydrohydrin is dehydrated first and then desalted	<0.02%

note: Hy-Cl: hydrolyzed chlorine content

2.7 纯化条件对双环戊二烯-苯酚环氧树脂水解氯含量的影响

从Tab.3的结果可以看出,由于先脱环氧氯丙烷后除盐过程中,盐极易包裹合成的树脂单体,体系黏度变大,导致环氧氯丙烷无法完全脱出;另外,由于盐不溶于甲基异丁酮,后面进行除盐操作会使环氧树脂粗品很难溶于甲基异丁酮,导致后续精制过程困难。因此,采用先除盐后脱环氧氯丙烷的纯化方法,采用这种方法,体系黏度小,可以极大程度地脱除环氧氯丙烷,后续加入甲基异丁酮,解决了氯含量

Tab. 4 Effects of refined alkali concentration and alkali amount on chlorine content

Concentration of refined bases/%	Refined alkali amount/%	Epoxy equivalent	Hy-Cl	T-Cl
10	10	280	9000+	
15	10	279	9000+	
15	25	278	9000+	
15	40	278	9000+	
20	10	280	9000+	
20	25	278	3000+	
20	40	281	3000+	
49	20	274	1000+	
49	25	273	88	731
49	30	273	60	544

note: Hy-Cl: hydrolyzed chlorine content; T-Cl: total chlorine content

不稳定的问题。

2.8 精制条件对双环戊二烯-苯酚环氧树脂水解氯和总氯含量的影响

精制反应主要是为了消除闭环反应中未完全脱除的HCl，如果体系中残留的HCl较多会导致环氧树脂中氯含量偏高，且精制过程中NaOH浓度会对产物产率及氯含量产生影响。如果体系中pH过大会使产物收率和纯度下降。因此，需要调整体系中NaOH浓度、NaOH量。

为此，进一步研究了精制碱浓度及碱量对环氧当量和氯含量的影响。从Tab.2~Tab.4中可以看出，精制过程会使环氧当量略微降低，但对氯含量有很大的影响。当NaOH浓度较小、加入量较低时，水解氯含量极高；采用49% NaOH，加入量为25%时，水解氯及总氯均达到指标要求。

3 结论

以EMR和ECH为原料，通过水解缩合反应，在反应过程中未采用相转移催化剂和有毒易挥发的助溶剂，成功制得了电子级双环戊二烯-苯酚环氧树脂。探索了开环碱量、闭环碱量、闭环反应时间、纯化条件和精制条件对反应的影响，最终得出制备低氯含量电子级双环戊二烯酚环氧树脂的最佳工艺条件。在开环反应阶段，NaOH的加入量为原料总量的0.5%时，环氧当量与标样指标一致；在闭环反应阶段，NaOH的加入量为酚羟基量的1.8倍时，环氧当量与标样指标一致，且闭环反应时间对环氧当量几乎没有影响，稳定在278 g/eq左右，但软化点有明显差异，随着反应时间的延长，软化点呈线性增加，最佳反应时间为4 h。后续的纯化工艺中，采用先除无机盐后脱除环氧氯丙烷的方式，解决了水解氯含量过高的问题。精制工艺中，采用49% NaOH水溶液，加入量为25%时得到的单体水解氯含量稳定在0.02%内，总氯含量显著降低。

参考文献：

[1] 毕治功. 环氧树脂在电器领域中的应用及市场分析[J]. 弹性体, 2021, 31(2): 61-65.
Bi Z G. Application and Market Analysis of Epoxy Resin in the Electrical Field[J]. Elastomer, 2021, 31(2): 61-65.

[2] 常杨军. 环氧树脂在电子封装中的应用及发展方向研究[J]. 当代化工研究, 2020(17): 8-9.
Chang Y J. Research on the application and development direction of epoxy resin in electronic packaging[J]. Contemporary Chemical Research, 2020(17): 8-9.

[3] Fujiwara T, Takeuchi M, Daoyuan C, *et al*. Mechanical properties of epoxy- and dicyclopentadiene-based carbon-fiber-reinforced plastics at low and room temperatures[J]. Applied Composite Materials, 2025, 32: 895-907.

[4] Dallaev R, Pisarenko T, Papež N, *et al*. A brief overview on epoxies in electronics: properties, applications, and modifications [J]. Polymers, 2023, 15: 3964.

[5] 陈小文, 姜涛, 李文戈. 电子封装用环氧树脂基复合材料的研究进展[J]. 机械工程材料, 2024, 48(12): 1-8.
Cheng X W, Jiang T, Li W G. Research progress in epoxy resin-based composites for electronic packaging[J]. Mechanical Engineering Materials, 2024, 48(12): 1-8.

[6] 崔向红, 王瑞琨, 刘晓东, 等. 电子封装用环氧树脂基导热材料研究进展[J]. 化学工程师, 2023, 37(6): 75-8.
Cui X H, Wang R K, Liu X D, *et al*. Research progress in epoxy resin-based thermal conductive materials for electronic packaging [J]. Chemical Engineer, 2023, 37(6): 75-8.

[7] Fu Z, Ma Z, Liu J, *et al*. Phosphorus-containing active esters modified dicyclopentadiene epoxy resins with simultaneously improved flame retardancy, thermal stability, and dielectric properties[J]. Chemical Engineering Journal, 2024, 482: 148998.

[8] 张雪芳, 高俊刚, 吕红秋. 相反转法制备水性环氧树脂及其固化动力学[J]. 高分子材料科学与工程, 2012, 28(7): 128-131.
Zhang X F, Gao J G, Lü H Q. Preparation of waterborne epoxy resin and its curing kinetics[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2012, 28(7): 128-131.

[9] 贺德鑫, 张文奇, 许杨, 等. 四缩水甘油醚蒽基结构环氧树脂的合成[J]. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(3): 11-14.
He D X, Zhang W Q, Xu Y, *et al*. Synthesis of tetrasiloxane ether anthracene-based epoxy resin[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2014, 30(3): 11-14.

[10] Zhang X, Zhang Z, Xia X, *et al*. Synthesis and characterization of a novel cycloaliphatic epoxy resin starting from dicyclopentadiene[J]. European Polymer Journal, 2006, 43: 2149-2154.

[11] Cheng C, Zhang C, Chen Z, *et al*. Polydicyclopentadiene toughened epoxy resin and its carbon fiber composites via sequential polymerization[J]. Polymer Composites, 2023, 44: 6929-6943.

[12] Li Y, Zhao P, Ju X, *et al*. A fully polydicyclopentadiene skeletonized epoxy resin system and its fundamental properties as an electronic material[J]. Chemical Communications, 2025, 61: 350-353.

[13] 支肖琼, 唐安斌, 李秀云, 等. PCB基板用高耐热双环戊二烯环氧树脂的合成及性能[J]. 绝缘材料, 2024, 57(11): 98-105.
Zhi X Q, Tang A B, Li X Y, *et al*. Synthesis and properties of high heat resistance dicyclopentadiene epoxy resin for PCB substrates[J]. Insulating Material, 2024, 57(11): 98-105.

[14] Bo M S, Zhao X, Gang W, *et al*. Study on preparation of novel dicyclopentadiene phenol epoxy resin materials based on different degrees of polymerization[J]. Key Engineering Materials, 2021, 6116: 222-227.

[15] Xiong Z, Yu C, Jing D, *et al*. Nickel conductive adhesive based on bisphenol A epoxy resin modified by CTBN/dicyclopentadiene epoxy resin: effects of epoxy resin structure on mechanical properties and thermal stability[J]. Journal of Molecular Structure, 2025, 1325: 141064-141064.

[16] Ren H, Sun J, Zhao Q, *et al*. Cure kinetics of an epoxy resin containing naphthyl/dicyclopentadiene moieties and bis-phenoxy (3-hydroxy) phosphine oxide system and properties of its cured polymer[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 112: 761-768.

Preparation of Low-Chlorine Dicyclopentadiene-Phenol Epoxy Resin

Shichang Wang[1], Yuhang Guo[1], Baineng Zhou[1,2], Luoping Fu[2], Hong Wu[1]

(*1. National Key Laboratory of Advanced Polymer Materials (Sichuan University), Polymer Research Institute, Sichuan Provincial Engineering Research Center of Plastic/Rubber Complex Processing Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Sichuan Dongshu New Materials Co., Deyang 618000, China*)

ABSTRACT: Currently, the synthesis of bicyclopentadiene-phenol epoxy resin monomers (EMR-EP) mainly involves improving the catalytic efficiency by adding phase transfer catalysts and co-solvents, which leads to issues such as a high number of byproducts, difficulty in separating the products, and higher chlorine content. In response to these problems, a synthesis process without phase transfer catalysts and using low-boiling, low-toxicity co-solvents was proposed. During the ring-opening stage, the epoxy equivalent increases with the addition of sodium hydroxide (NaOH), reaching 276 g/eq when the NaOH content is 0.5% of the total raw material amount. In the ring-closing stage, the epoxy equivalent decreases with the addition of NaOH, reaching 275 g/eq when the NaOH content is 1.8 times the amount of phenolic hydroxyl groups. In the purification process, a method of first removing inorganic salts and then dechlorinating was adopted to solve the problem of excessively high hydrolytic chlorine content. In the refining process, using a 49% NaOH aqueous solution with the addition amount of 25% of the total mass of phenol, the hydrolytic chlorine content of the monomer is stabilized within 0.02%, and the total chlorine content is significantly reduced. The infrared test results confirm the successful introduction of epoxy groups, and GPC analysis show that the dibicyclopentadiene-phenol resin synthesized in this study and the commercially produced foreign BSE095 have the maximum peak at the same retention time, indicating the successful synthesis of electronic grade bicyclopentadiene-phenol epoxy resin monomers.

Keywords: electronic-grade dicyclopentadiene phenol epoxy resin; alkali amount in ring-closing reaction; alkali amount in ring-opening reaction; hydrolyzable chlorine; epoxy equivalent