http://pmse.scu.edu.cn

聚异氰酸酯协同超支化环氧树脂扩链对聚苯二甲酸乙二醇酯结构与性能的影响

夏艳平[1], 白子辰[1], 朱浩强[1], 陈朝霖[1], 杨润苗[1], 杨菁菁[1], 曹 峥[2]

(1. 江苏理工学院 化学化工学院 清洁能源存储与转换省高校重点(建设)实验室, 江苏 常州 213001;
2. 常州大学 材料科学与工程学院 江苏省环境友好高分子材料重点实验室, 江苏 常州 213164)

摘要:文中采用聚异氰酸酯(HMDI)协同超支化环氧树脂(HBPs)作为复合扩链剂,与聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)进行反应性挤出,实现对 PET 的超支化扩链,得到 PET-HMDI/HBPs。采用差示扫描量热仪、旋转流变仪、熔融指数测试仪和电子万能试验机对 PET-HMDI/HBPs 的性能进行了研究。结果表明,当 HMDI/HBPs 质量比为 3/2 时,PET-HMDI/HBPs 的熔融指数为 60.12 g/10 min,特性黏数为 1.45 dL/g,黏均分子量为 48279,拉伸强度为 82.10 MPa,结晶度高达 29.10%。PET-HMDI/HBPs 的储能模量、损耗模量及复数黏度均得到了较大地提升,拓宽了 PET 材料回收利用和加工应用的场景。

关键词:聚对苯二甲酸乙二醇酯;扩链增黏;聚异氰酸酯;超支化环氧树脂
中图分类号:TQ323.4^{+}1 **文献识别码**:A **文章编号**:1000-7555(2026)05-0045-07

聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)作为一种半结晶、热塑性树脂,其优异的耐热性和化学稳定性使其广泛应用于食品饮料外包装、纺织纤维等领域[1~3]。PET 分子链中含有大量极性酯基(—COO—),易与空气中的水分子形成氢键,导致其在加工过程中会出现化学降解和氧化降解;其线性结构还会导致结晶速率低、成型困难等。此外,用于食品饮料外包装的 PET 产品的回收对于实现节能减排、资源的再利用具有重要的经济价值[4,5]。但在回收和后续加工处理 PET 回料的过程中发生的热降解、化学降解和氧化降解会导致 PET 回收料相对分子质量降低,进一步对 PET 的黏度、熔体强度和力学性能造成严重的负面影响[6~8]。因此,实现 PET 扩链增黏具有重要的研究意义。

聚酯材料的扩链反应一般是指利用聚酯末端的羧基、羟基与异氰酸酯类[9]、环氧类[10]、酸酐[11]等进行化学反应,提高相对分子质量,解决聚酯回收再加工过程中相对分子质量降低的问题[12,13]。常见的 PET 扩链方法有熔融缩聚法、固相缩聚法和反应挤出法。罗飞等[14]采用环氧值不同的环氧树脂对回收 PET 进行扩链研究。随着环氧树脂用量的增加,回收 PET 的特性黏数先增大后减小,且环氧树脂的环氧值越小,改性 PET 的特性黏数越大。程洪鹏等[15]研究了六亚甲基二异氰酸酯(HDI)含量对 PET 的增黏扩链效果,随着 HDI 含量增加,特性黏数逐渐增加。目前所报道的扩链方法制备得到的 PET 扩链产物的特性黏数改善均不太明显,而且异氰酸酯类与环氧类扩链剂复配对 PET 协同扩链增黏效果的研究也鲜有报道。

本文首次采用聚异氰酸酯(HMDI)协同超支化

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2026.0063
收稿日期: 2025-04-27
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21704008); 江苏理工学院校级课题(KYH24236, KYY25026); 2025 年江苏理工学院产教融合型课程建设项目; 2025 年省级大学生创新创业训练计划项目
通讯联系人: 曹峥, 主要从事高分子材料高性能化及功能化研究, E-mail: zcao@cczu.edu.cn

环氧树脂(HBPs)作为复合扩链剂,控制总质量分数为 1.0%,调节 HMDI 和 HBPs 的复配比例,通过熔融共混挤出的方法对 PET 进行扩链增黏。HMDI/HBPs 复配体系对 PET 起到较好的扩链效果,能够提高扩链 PET 的热稳定性。当 HMDI/HBPs 复配比例为 3/2 时,PET-HMDI/HBPs 的熔融指数、特性黏数、黏均分子量、拉伸强度及结晶度都得到了很大地提升,有效改善了 PET 在加工过程中成型困难的问题。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

PET:牌号 CR-8863,特性黏数为 0.812 dL/g,端羧基含量为 20 mmol/kg,华润聚酯(常州)有限公司;聚异氰酸酯:牌号 HA-252,NCO 含量为 16.3%~24.0%,万华化学集团股份有限公司;超支化环氧树脂:牌号 Hyper E102,黏度为 700 Pa·s,武汉超支化树脂科技有限公司;抗氧剂:168,德国巴斯夫公司;苯酚、无水乙醇:上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

微型挤出机:SJZS-10B,武汉瑞鸣实验仪器公司;微型注塑机:SZS-20,武汉瑞鸣实验仪器公司;熔体流动速率仪:MTM200,深圳三思纵横科技股份有限公司;差示扫描量热仪:Pyris 1,美国珀金埃尔有限公司;旋转流变仪:Physica MCR301,德国安东帕公司;电子万能试验机:WDT-10,深圳市凯强机械有限公司。

1.2 PET-HMDI/HBPs 的制备

将 PET 原料进行真空烘干处理以脱除原料中的水分,其中真空热处理条件为 120 ℃,12 h。按照 Tab.1 将 0.1%的抗氧剂 168 与经热处理的 PET 粒料充分混合。将 HDMI 与 HBPs 总的质量分数保持在 1.0%,调节两者不同的复配比进行反应挤出,得到 PET-HMDI/HBPs。其中,挤出机各段温度分别设定为:进料段 190 ℃,压缩段 230 ℃,计量段 250 ℃,机头 260 ℃。

Tab. 1 Formulation design of chain-extending PET samples

Sample	m(PET)/g	m(HMDI)/g	m(HBPs)/g	m(Antioxidant 168)/g
PET	1000	0	0	1
PET-HMDI	1000	0	10	1
PET-HMDI/HBPs(1/4)	1000	2	8	1
PET-HMDI/HBPs(2/3)	1000	4	6	1
PET-HMDI/HBPs(3/2)	1000	6	4	1
PET-HMDI/HBPs(4/1)	1000	8	2	1
PET-HBPs	1000	10	0	1

note:PET, polyethylene terephthalate; HDMI, hexamethylene diisocyanate; HBPs, hyperbranched epoxy resin

1.3 测试与表征

1.3.1 熔体流动速率测试:按照国标 GB/T 3682—2000,对 PET-HMDI/HBPs 进行熔体流动速率测试。测试条件为温度 260 ℃,载荷 2160 g。

1.3.2 特性黏数及黏均分子量分析:25 ℃恒温环境中对 PET-HMDI/HBPs 进行特性黏数和黏均分子量测试,溶剂为苯酚-1,1,2-三氯乙烷混合溶剂(m(苯酚):m(三氯乙烷)= 2∶3)。

1.3.3 力学性能分析:按照标准 ISO 527—1 对 PET-HMDI/HBPs 进行拉伸性能测试。拉伸速率为 50 mm/min,测试样品数 5 组,取平均值。

1.3.4 差示扫描量热分析:气氛为 N_2,以 20 ℃/min 从 30 ℃升温至 280 ℃,恒温 1 min 以消除热历史;后以 5 ℃/min 的速率降至 30 ℃,再以 5 ℃/min 升温至 280 ℃。

1.3.5 流变性能分析:采用旋转流变仪对样品的流变性能进行研究。在 265 ℃,采用小幅振荡剪切模式,测试频率范围为 0.1~100 rad/s。

2 结果与讨论

2.1 PET-HMDI/HBPs 的熔体流动速率分析

Tab.2 为 PET-HMDI/HBPs 的熔体流动速率

(MFR)、特性黏数([η])、黏均分子量($\overline{M}_\eta$)及拉伸强度数据。从 Tab.2 中可以看出,随着复配体系中 HMDI 的增加,PET-HMDI/HBPs 的熔体流动速率逐渐降低,熔体黏度逐渐增大,黏均分子量和拉伸强度也呈现增大的趋势。当 HMDI 与 HBPs 的质量比为 3/2 时,MFR 为 60.12 g/10 min,[η]为 1.45 dL/g,$\overline{M}_\eta$ 为 48279,拉伸强度高达 82.10 MPa。当 HMDI 与 HBPs 的质量比为 1/4,2/3 和 4/1 时,熔体流动速率接近。其原因可能是 PET 熔体分子链间作用力较小,导致 PET 熔体在短时间内以很快的速度流出。当 HMDI 与 HBPs 的质量比为 3/2 时,熔体流动速率下降幅度最大,$\overline{M}_\eta$ 和[η]得到了明显地提升,进一步说明,经过 HMDI 和 HBPs 反应挤出后,PET 扩链效果较好。PET-HMDI/HBPs 的分子链经断链-扩链-重组后,支化结构增多,$\overline{M}_\eta$,[η]及拉伸强度均得到了提升。

Tab. 2　Melt mass-flow rate, intrinsic viscosity and viscosity average molecular weight of PET-HMDI/HBPs

Sample	MFR/(g·(10 min)$^{-1}$)	[η]/(dL·g^{-1})	$\overline{M}_\eta$	Tensile strength/MPa
PET	80.00	0.80	23370	55.00±2.75
PET-HMDI	70.56	0.83	24443	59.21±2.96
PET-HMDI/HBPs(1/4)	65.65	0.91	27347	65.32±3.26
PET-HMDI/HBPs(2/3)	64.52	0.93	28082	66.90±3.34
PET-HMDI/HBPs(3/2)	60.12	1.45	48279	82.10±4.10
PET-HMDI/HBPs(4/1)	63.45	1.21	38716	80.14±4.00
PET-HBPs	70.21	0.83	24443	58.99±2.94

2.2　PET-HMDI/HBPs 的结晶熔融行为分析

聚合物的结晶熔融行为与材料本身的分子结构有着密切的关系。Fig.1(a)和(b)为 PET-HMDI/HBPs 的熔融曲线和结晶曲线。Tab.3 为纯 PET 和 PET-HMDI/HBPs 在熔融和冷却过程中对应的特征值。从 Fig.1(a)可以看出,PET 在 248.5 ℃左右出现了明显的熔融峰,在 203.3 ℃出现结晶峰,熔融热焓为 46.59 J/g。随着 HMDI 和 HBPs 的加入,经反应挤出的 PET-HMDI/HBPs 的熔融曲线在 250 ℃和 240 ℃附近均出现熔融双峰。随着 HMDI 比例提高,PET-HMDI/HBPs 的熔融峰依次逐渐向低温方向移动。上述实验现象表明,经 HDMI 和 HBPs 扩链之后,PET 分子链的规整性遭到破坏,形成了不同完善程度的晶体结构,出现二次结晶现象[16]。

固定 HDMI/HBPs 的质量分数为 1.0%,改变 HMDI 和 HBPs 的比例,对 PET 进行反应挤出扩链。从曲线 Fig.1(b)中可以发现,PET-HMDI/HBPs 的结晶峰随着 HMDI/HBPs 配比的变化而逐渐向高温方

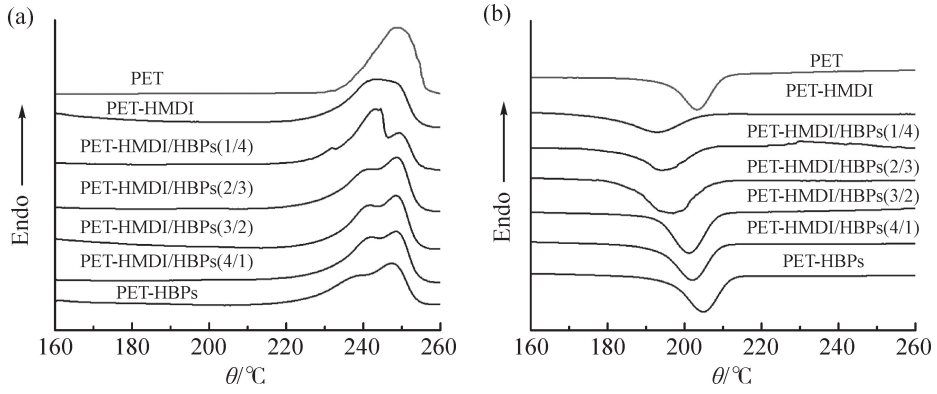


Fig. 1　(a) Melting and (b) crystallization curves of PET-HMDI/HBPs with different formulations

Tab. 3 Melting and Crystallization curve characteristic results of PET-HMDI/HBPs

Sample	T_{m1}/℃	T_{m2}/℃	T_c/℃	ΔH_m/(J·g^{-1})	X_c/%
PET	248.5		203.3	46.59	33.25
PET-HMDI	243.4		193.6	35.22	25.14
PET-HMDI/HBPs(1/4)	243.6	249.4	194.2	39.94	28.54
PET-HMDI/HBPs(2/3)	240.9	248.6	196.7	39.62	28.32
PET-HMDI/HBPs(3/2)	241.0	248.6	201.2	40.73	29.10
PET-HMDI/HBPs(4/1)	241.5	248.4	201.8	38.63	27.58
PET-HBPs	238.5	247.1	204.8	36.93	26.40

note: T_{m1} and T_{m2} are the melting peak temperatures; T_c is the crystallization peak temperature; ΔH_m is the melting enthalpy; X_c is the crystallinity

向移动。

2.3 PET-HMDI/HBPs 的流变性能分析

应变扫描可以确定材料储能模量与损耗模量的变化幅度,当应变小于临界应变值(γ_c)时,聚合物熔体表现出线性黏弹行为,当应变超过临界应变值时,聚合物熔体的模量开始下降。由 Fig.2(a)可知,PET 原料的损耗模量大于其储能模量,表明 PET 原料在高温熔融状态下主要表现出黏性,其储能模量在应变范围 1%~10% 内有波动。因为 PET 原料的储能模量较小,且在应变 60% 后开始出现明显的模量下降,因此可以认为应变范围 0.1%~60% 时 PET 原料均处于线性区。Fig.2(b)显示了 PET,PET-HDMI 和 PET-HMDI/HBPs(1/4)在测试应变范围内的储能模量,与 PET 原料非常接近,临界应变值均在 60% 附近; PET-HMDI/HBPs(2/3), PET-HMDI/HBPs(3/2)和 PET-HMDI/HBPs(4/1)在测试应变范围内的储能模量较 PET 原料有明显上升,其临界应变值分别为 60%,70% 和 60%,为确保 PET-HMDI/HBPs 熔体均处于线性区,选择应变为 10%。

为了确保 PET-HMDI/HBPs 在测试过程中性能稳定,对其进行了应变为 10%、角频率为 5 rad/s,持续 900 s 的时间扫描。Fig.3 为 PET 原料与不同复配体系扩链产物的时间扫描趋势图。由 Fig.3(a)可知,随着测试时间延长,PET 熔体的损耗模量和复数黏度无明显变化,储能模量在 200 s 后开始下降,下降幅度不明显。这主要是因为测试温度高于 PET 的熔点,长时间测试会使 PET 出现热解现象。但是测试过程在 N_2 氛围中进行,避免了 PET 熔体在有氧环境中的快热氧化降解,因此,损耗模量和复数黏度基本不变,储能模量下降趋势缓慢[17]。Fig.3(b)显示,各

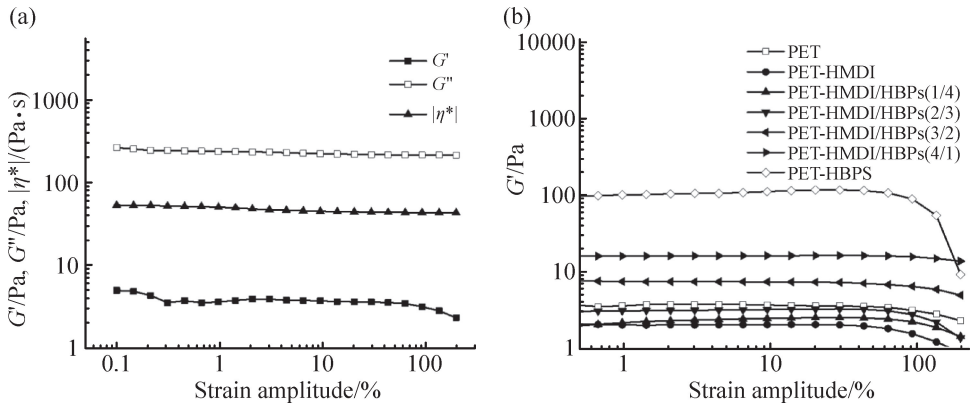


Fig. 2 (a) Relationship between strain amplitude and complex viscosity (η^*), storage modulus (G') and loss modulus (G'') of PET; (b) relationship between strain amplitude and storage modulus of PET-HMDI/HBPs

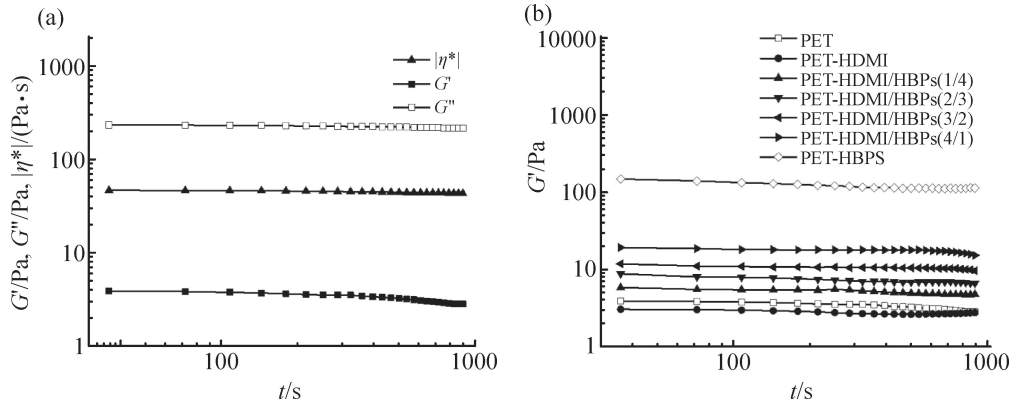


Fig. 3　(a) Relationship between scan time and η^*, G' and G'' of PET; (b) relationship between scan time and storage modulus of PET-HMDI/HBPs

组储能模量曲线随测试时间的延长没有明显变化,扩链产物性质较稳定。研究发现,PET-HDMI/HBPs(3/2)的储能模量曲线在接近 900 s 时先上升后下降,这可能是由于反应挤出时扩链反应没有完全反应,此时高温情况下,残余扩链剂继续参与反应。

Fig.4 为 PET 原料以及经过不同比例 HDMI 与 HBPs 复配扩链剂改性后的扩链 PET 的储能模量、损耗模量、复数黏度随角频率的变化曲线。Fig.4(a)显示,PET 原料的储能模量在角速度为 1~10 rad/s 时最低,当 HDMI 添加比例较少时,储能模量随角频率变化曲线与 PET 原料相近,且能明显观察到,复配体系扩链产物在角频率较低时,模量增长速率较高。Fig.4(b)曲线可以观察得到,随着复配体系 HDMI 占比增加,扩链 PET 的储能模量的变化程度大于损耗模量的变化程度,这表明复配扩链剂的加入对 PET 进行了扩链反应,增加了其相对分子质量,形成了支

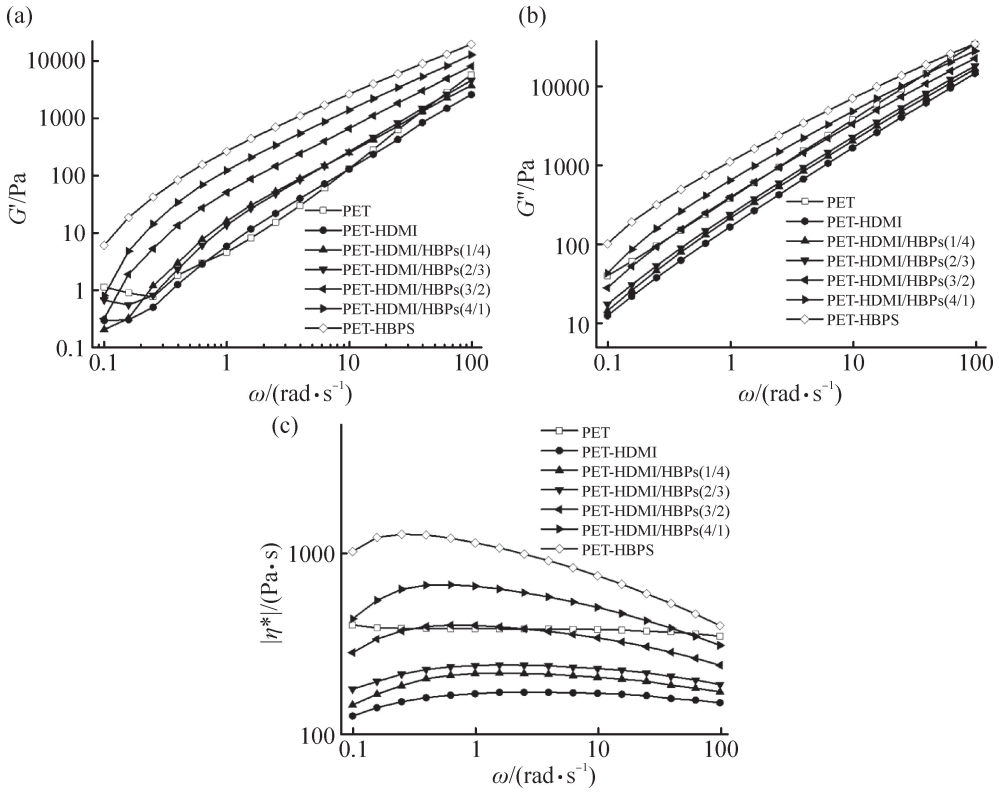


Fig. 4　(a) G', (b) G'' and (c) η^* of PET-HMDI/HBPs

化结构或交联结构。Fig.4(c)中明显可以看出,复配体系扩链产物均有不同程度的剪切变稀现象,复数黏度角频率的增加先增加后降低。当 HDMI 添加比例较少时,复数黏度低于 PET 原料,说明其熔体中链分解程度比链延长程度高,体系中短链过多,导致在受到外部作用力时,链段、分子链容易相对滑移,因此,复数黏度较低。可以得出结论:复配扩链体系中 HDMI 占比越多,复数黏度在低剪切角频率时变化幅度越明显,储能模量和损耗模量均随着角频率的增加而升高。进一步验证了聚合物相对分子质量及其分布,以及链段与整个分子链的运动能力均对流变曲线有明显影响[18]。

3 结论

本文采用 HMDI 协同 HBPs 作为复合扩链剂,与 PET 进行反应性挤出,实现了 PET 的超支化扩链,得到了 PET-HMDI/HBPs。对 PET-HMDI/HBPs 的结构与性能进行了研究,主要结论如下。

(1)采用 HMDI 协同 HBPs 作为复配扩链剂,通过熔融共混挤出的方法对 PET 进行扩链增黏,成功制备了 PET-HMDI/HBPs。

(2)合理调控 HMDI 和 HBPs 的复配比例,可以明显改善 PET 的加工性能,避免了纯 PET 在加工过程易水解降解、力学性能降低等缺陷。PET 经过 HMDI 协同 HBPs 扩链后,PET 扩链效果明显。PET-HMDI/HBPs 的支化结构增多,$\overline{M}_\eta$、[η]及拉伸强度均得到了提升。PET-HMDI/HBPs(3/2)的熔融指数为 60.12 g/10 min,特性黏数为 1.45 dL/g,黏均分子量为 48279,拉伸强度为 82.10 MPa,结晶度高达 29.10%。

(3)进一步地,复配扩链体系中 HDMI 占比越多,复数黏度在低剪切角频率时变化幅度越明显,储能模量和损耗模量均随着角频率的增加而升高。进一步有效拓宽了 PET 的高值化利用。

参考文献:

[1] Jang J Y, Shin H J, Seo J C. In-situ chain extension of polyethylene terephthalate flakes using reactive extrusion as an upcycling approach[J]. Chemical Engineering Science, 2023, 282: 119289.

[2] Li J, Li B, Huang S W, *et al*. Epoxy chain extender grafted pyrophyllite/poly (ethylene terephthalate) composites with enhanced crystallinity and mechanical properties[J]. Polymer Composites, 2022, 43: 6404-6415.

[3] 李聪, 王春燕, 李建军, 等. 废旧 PET 的固相缩聚工艺与黏度快速检测研究[J]. 广州化工, 2024, 52(24): 56-59.
Li C, Wang C Y, Li J J, *et al*. Solid-state polycondensation reaction process and rapid viscosity detection of recycled PET[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2024, 52(24): 56-59.

[4] Wang M J, Li Y Q, Zheng L, *et al*. Recycling and depolymerisation of poly(ethylene terephthalate): a review[J]. Polymer Chemistry, 2024, 15: 585-608.

[5] Chen Q H, Yan H, Zhao K, *et al*. Catalytic oxidation upcycling of polyethylene terephthalate to commodity carboxylic acids[J]. Nature Communications, 2024, 15: 10732.

[6] Wu W J, Sun X L, Chen Q H, *et al*. Recycled poly(ethylene terephthalate) from waste textiles with improved thermal and rheological properties by chain extension[J]. Polymers, 2022, 14: 510.

[7] Ye B Y, Zhou R R, Zhong Z X, *et al*. Upcycling of waste polyethylene terephthalate to dimethyl terephthalate over solid acids under mild conditions†[J]. Green Chemistry, 2023, 25: 7243-7252.

[8] 陈先娇, 梁锦涵, 胡圣飞. 超临界 CO_2 辅助聚对苯二甲酸乙二醇酯/聚对苯二甲酸丁二酯珠粒发泡[J]. 高分子材料科学与工程, 2024, 40(8): 50-59.
Chen X J, Liang J H, Hu S F. Supercritical CO_2 assisted polyethylene terephthalate/polybutylene terephthalate beads foaming[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2024, 40(8): 50-59.

[9] Han Y Z, Fan P, Jiang J J, *et al*. Cyclodextrin-based isocyanate functional chain extender and its application in poly(butylene adipate-co-terephthalate)-based agricultural materials[J]. ACS Applied Polymer Materials, 2024, 6: 5988-6000.

[10] Li B, Li J, Huang S W, *et al*. Design of novel polylactide composite films with improved gas barrier and mechanical properties using epoxy chain extender-grafted organic montmorillonite[J]. Journal of Polymer Science, 2023, 61: 1572-1583.

[11] Jang J Y, Sadeghi K, Seo J. Chain-extending modification for value-added recycled PET: a review[J]. Polymer Reviews, 2022, 62: 860-889.

[12] 郝艳平, 梁宏玉, 边俊甲, 等. 扩链改性对聚(3-羟基丁酸酯-co-4-羟基丁酸酯)性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(3): 39-42.
Hao Y P, Liang H Y, Bian J J, *et al*. Effects of chain-extended modification on properties of poly(3-hydroxybutyrate-co-4-

hydroxybutyrate)[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2014, 30(3): 39-42.

[13] Zhao Y Y, Zheng J X, Guo P, *et al*. Study on chain extension blending modification and foaming behavior of thermoplastic polyamide elastomer[J]. ACS Omega, 2023, 8: 9832-9842.

[14] 罗飞, 周湘剑, 贺泽. 不同环氧值环氧树脂对回收 PET 扩链研究[J]. 广东化工, 2017, 44(10): 26-27.
Luo F, Zhou X J, He Z. Study on extension of recycled PET by epoxy resin of different epoxy value[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2017, 44(10): 26-27.

[15] 程洪鹏, 薛茗心, 燕志祥, 等. 六亚甲基二异氰酸酯增黏 PET 的研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(9): 134-138.
Cheng H P, Xue M X, Yan Z X, *et al*. Study on thickening PET with hexamethylene diisocyanate (HDI)[J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(9): 134-138.

[16] Zhao Z Y, Wu Y Q, Wang K L, *et al*. Effect of the trifunctional chain extender on intrinsic viscosity, crystallization behavior, and mechanical properties of poly(ethylene-terephthalate)[J]. ACS Omega, 2020, 5: 19247-19254.

[17] 沈超, 蒋团辉, 李胜男, 等. 异氰尿酸三缩水甘油酯诱导扩链改性对聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯发泡性能的优化[J]. 高分子材料科学与工程, 2024, 40(5): 67-75.
Shen C, Jiang T H, Li S N, *et al*. Foaming performance of poly(butylene adipate-co-terephthalate) optimized through isocyanuric triallyl cyanurate induced chain extension modification[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2024, 40(5): 67-75.

[18] Mestry J, Abdelwahab M A, Elkholy H M, *et al*. Mechanical recycling of a bottle-grade and thermoform-grade PET mixture enabled by glycidol-free chain extenders[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2024, 63: 18067-18074.

Effects of Hexamethylene Diisocyanate Coordinated Hyperbranched Epoxy Resin Chain Extension on the Structure and Properties of Polyethylene Terephthalate

Yanping Xia[1], Zichen Bai[1], Haoqiang Zhu[1], Zhaolin Chen[1], Runmiao Yang[1], Jingjing Yang[1], Zheng Cao[2]

(*1. School of Chemistry and Chemical Engineering, the Jiangsu Key Laboratory of Clean Energy Storage and Conversion, Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Environmentally Friendly Polymeric Materials, School of Materials Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China*)

ABSTRACT: A combination of hexamethylene diisocyanate (HMDI) and hyperbranched epoxy resin (HBPs) was used as composite chain extender and reacted with polyethylene terephthalate (PET) through reactive extrusion to achieve hyperbranched chain extension of PET, obtaining PET-HMDI/HBPs. The properties of PET-HMDI/HBPs were studied by differential scanning calorimetry, rotational rheometers, melt flow index testing, and universal testing machine. The experimental results show that when the HMDI/HBPs mass ratio is 3/2, the melt flow index of PET-HMDI/HBPs is 60.12 g/10 min, the intrinsic viscosity is 1.45 dL/g, the viscosity-average molecular weight is 48279, the tensile strength is 82.10 MPa, and the crystallinity reaches as high as 29.10%. The storage modulus, loss modulus, and complex viscosity of HMDI/HBPs/PET are significantly improved, broadening the scope of recycling and processing applications for PET materials.

Keywords: polyethylene terephthalate; chain expansion and viscosity; poly-isocyanate; hyperbranched epoxy resin