

MHMWPE/iPP/EPDM渔用单丝的 力学性能与动态力学行为

余雯雯^{1,2}, 石建高^{2*}, 陈晓雪², 闵明华², 王鲁民², 宋伟华¹

(1. 浙江海洋大学浙江省海洋渔业装备技术研究重点实验室, 浙江舟山 316022;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 采用中高分子量聚乙烯(MHMWPE)、等规聚丙烯(iPP)、乙丙橡胶(EPDM)进行熔融共混、纺制MHMWPE/iPP/EPDM渔用共混单丝, 研究iPP和EPDM含量对共混单丝的力学性能和动态力学行为的影响。结果显示, iPP或EPDM含量基本不会对共混单丝中MHMWPE的玻璃化转变温度(T_g)造成影响。共混单丝中iPP含量的增加使MHMWPE的结晶生长受阻, 结晶度下降, α 峰对应损耗因子峰值($\tan\delta_\alpha$)下降, α 峰峰温(T_α)向高温移动。共混单丝中EPDM含量的增加使MHMWPE的结晶度下降, α 转变移向低温, $\tan\delta_\alpha$ 增加。研究表明, 一定含量的iPP可有效改善共混单丝的力学性能, 提高单丝的断裂强度和结节强度, EPDM的引入可进一步增加渔用单丝韧性和结节强度。

关键词: 渔用单丝; 共混; 结构; 动态力学行为; 力学性能

中图分类号: S 971.1

文献标志码: A

合成纤维及其网线和绳索是构成渔具的基本要素。其中, 纤维性能对渔具的力学性能、渔获性能、使用寿命和制造成本均具有重要作用。聚乙烯是目前渔业中应用最普遍的材料, 具有优良的渔用性能, 如良好的韧性、较高的强度、较低的密度, 表面光滑、吸湿性极小、良好的滤水性、耐磨性和抗老化性等^[1], 聚乙烯单丝是制作拖网、围网、定置网、养殖网箱和各种绳网的首选材料, 所制作的渔具具有较好的经济性、渔获性能和操作效率。但聚乙烯单丝由于抗蠕变和耐热性能较差, 且高倍牵伸下韧性下降, 其应用范围受限^[2-3]。为拓宽应用范围, 共混改性是一条很重要的途径, 它具有开发周期短、耗资少、经济效益高等特点。采用聚乙烯与聚丙烯进行共混, 可获得综合性能优良的复合材料^[4-7]。张弓等^[8]研究了聚丙烯/聚乙烯(PP/PE)共混体系在高剪切作用下相形态、晶

态、取向与性能的关系, 发现共混体系拉伸强度取决于试样中串晶的数量和大分子链定向程度, 而冲击强度取决于两组分相分离程度。Jose等^[9]研究了聚丙烯与高密度聚乙烯(HDPE)共混体系的形态、结晶行为和力学性能, 发现共混体系为两相结构, 且分散相尺寸随组分增多而增大, 结晶热焓随另一组分的增加而减小, 杨氏模量随HDPE含量增加而先增大后减小。聚丙烯与聚乙烯材料虽同为聚烯烃, 又均为非极性结晶性聚合物, 但由于熔体黏度差, 仍呈两相结构, 为不相容体系, 所以需要加入合适的相容剂减小相分离程度。励杭泉等^[10]研究了低分子量乙丙共聚物(LMW-EP)对PP/PE共混体系转矩流变以及动态流变性能的影响, 结果发现, LMW-EP的加入有效改善了PP/PE共混体系的流动性。Vranjes等^[11]研究了三元乙丙橡胶(EPDM)对HDPE/iPP共混体系的形态、性能的影响。

收稿日期: 2016-01-29 修回日期: 2016-10-08

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2015T01); 国家科技支撑计划(2013BAD13B02); 水产浙江省一流学科开放课题(20160014)

通信作者: 石建高, E-mail: jiangaooshi666@163.com

响,发现EPDM的引入使三元共混体系的结晶颗粒呈细化趋势,且冲击强度增大。

中高分子量聚乙烯(MHMWPE)是一种具有优良综合性能的新型纤维材料,其分子量约在 10^5 ,高于目前渔业中应用最普遍的HDPE材料($\sim 10^4$)。MHMWPE材料因熔体黏度较超高分子量聚乙烯(UHMWPE)低,可进行熔融纺丝,成本较低,而MHMWPE由于高结晶度、高取向度,其强度、模量均高于HDPE^[12]。陈占春等^[13]将少量的中高分子量聚乙烯引入到HDPE,在双重诱导的作用下制备了性能良好的聚合物材料,其拉伸强度和缺口冲击强度都有大幅度提高。MHMWPE纤维因高强高模可取代HDPE纤维应用于制作拖网、围网、定置网、养殖网箱和各种绳索等,但是有关MHMWPE纤维的研究报道甚少。本实验通过等规聚丙烯(iPP)/EPDM对MHMWPE进行共混改性,选取相应低黏度的EPDM作为相容剂,共混后进行熔融纺丝,以提高渔用单丝的综合性能,特别是提高渔用单丝的结节强度。采用差示扫描量热法(DSC)、动态力学分析(DMA)和万能试验机考察了不同iPP/EPDM对比对MHMWPE/iPP/EPDM渔用单丝体系动态力学行为和力学性能的影响。

1 材料与方 法

1.1 主要原料

中高分子量聚乙烯, MFI为3 g/10 min, $M_w=8000\ 000$, 山东齐鲁石油化学公司生产; 等规聚丙烯PPH-T03, MFI为2.5 g/10 min, 扬子石油化学公司生产; 三元乙丙橡胶3722P, 丙烯含量为29 wt%, $ML_{1+4}^{125^\circ\text{C}}=20\text{MU}$, 美国陶氏化学公司生产。

1.2 共混工艺

将以上原料按一定比例用双螺杆挤出机进行熔融挤出, 空气中经水槽冷却后造粒。双螺杆直径35.6 mm, 长径比36。共混工艺参数: 螺杆转速60 r/min; 挤出段温度分别为300、300、310和305 °C(表1)。

1.3 MHMWPE/iPP/EPDM渔用单丝的制备

首先将共混切片在80 °C下真空干燥24 h, 然后采用SJ-45C型单螺杆纺丝机进行熔融纺丝, 得到MHMWPE/iPP/EPDM初生纤维。纺丝挤出段

表 1 各共混体系配比及样品号

Tab. 1 The content of iPP, MHMWPE and EPDM for various blending monofilaments wt%

样品 samples	MHMWPE	iPP	EPDM
MHMWPE	100	0	0
80/20	80	20	0
90/10/2	90	10	2
85/15/2	85	15	2
80/20/2	80	20	2
70/30/2	70	30	2
80/20/5	80	20	5
80/20/8	80	20	8

温度分别为320、345、350和350 °C。MHMWPE/iPP/EPDM初生纤维经二次热水浴后牵伸制备MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝。单丝直径约为0.2 mm。牵伸水浴温度分别为97和98 °C, 采用的牵伸倍数为8.3。

1.4 测试与表征

差示扫描量热法(DSC)测试采用Netzsch 204F1差示扫描量热仪(德国)测试共混单丝熔融温度, 氮气气氛保护。试样从常温升温至180 °C, 升温速率均为10 °C/min, 氮气流量为50 mL/min。结晶度 $X_c = \left(\frac{\Delta H_f^{obs}}{\Delta H_f^0} \right) \times 100$, 其中, ΔH_f^{obs} 为实测熔融焓, ΔH_f^0 为100%完全结晶的聚合物熔融焓(文献值聚乙烯为288 J/g, 聚丙烯为207 J/g)^[14-15]; 动态力学行为采用Netzsch 242C型动态力学分析仪(德国, 拉伸模式), 振幅为30 μm , 纤维预张力为0.005 N, 先采用液氮降温至-180 °C, 再以3 °C/min的升温速率升至150 °C; 力学性能采用INSTRON-4466型万能试验机(美国, 拉伸模式)按SC/T 5005-2014标准在常温下测试, 纤维夹距为500 mm, 拉伸速度为300 mm/min。样品测试10次, 取平均值, 得到纤维力学强度(σ)、结节强度(σ')和断裂伸长率(ϵ)。 σ' 为单丝打结后的抗拉强度, 是渔用单丝的一项重要评价指标。

2 结果与分析

2.1 iPP含量的影响

MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的断裂强度和结节强度均优于HDPE对比样。不同的iPP含量

对共混单丝的力学性能具有显著影响。与纯MHMWPE单丝相比, MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的断裂强度和结节强度均有提高。随iPP含量的增加, MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的断裂强度增大, 而断裂伸长率变化不大。结节强度随iPP含量的增加而先增大后减小(表2)。图1为不同iPP含量MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的DSC分析曲线, 其中, MHMWPE熔点、MHMWPE结晶度、iPP结晶度和总结晶度列于表3。与纯MHMWPE单丝相比, 共混单丝中MHMWPE的 T_m 升高, 而结晶度下降, 结晶熔融峰变宽, 这与Jose等^[9]研究的共混改性HDPE结果一致^[9]。

图2给出了不同iPP含量的MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的储能模量(E')和损耗因子($\tan\delta$)与温度的变化曲线。MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的 E' 相比纯MHMWPE单丝均有所提高

表 2 不同iPP含量对共混单丝力学性能及其变异系数(CV)的影响

Tab. 2 Mechanical properties and coefficient of variation of blending monofilaments with different iPP contents %

样品 samples	σ (cN/dtex)/CV	σ' (cN/dtex)/ CV	ϵ / CV
90/10/2	5.94/1.2	3.94/3.6	12.1/5.1
85/15/2	6.36/0.9	4.15/4.0	13.2/4.1
80/20/2	6.46/2.1	4.51/2.2	11.8/6.5
70/30/2	6.48/1.5	4.34/3.1	12.6/4.6
MHMWPE	6.38/2.2	3.58/4.3	10.0/5.5
HDPE	4.10/3.2	3.28/4.5	13.9/5.3

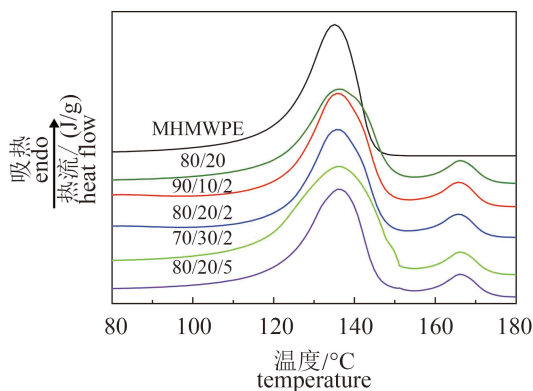


图 1 MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的DSC曲线
Fig. 1 DSC heating curves of MHMWPE/iPP/EPDM blending monofilaments

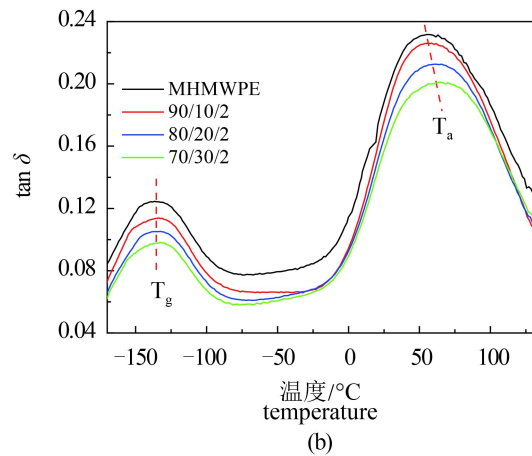
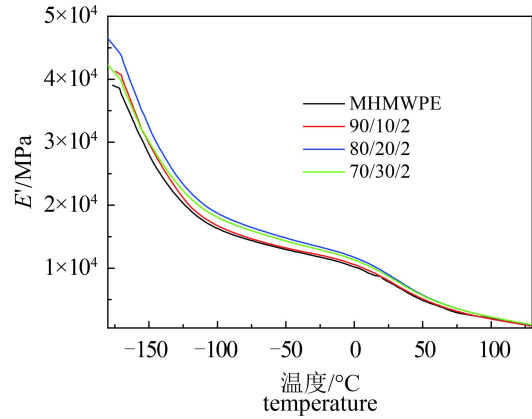


图 2 不同iPP含量的共混单丝(a) E' 和(b) $\tan\delta$ 与温度的关系

Fig. 2 Temperature dependence of (a) E' and (b) $\tan\delta$ for blending monofilaments with different iPP contents

(图2-a), 这说明iPP的引入增加了共混单丝材料的刚性, 这与共混单丝的总结晶度增加有关(表3)。当iPP含量为20 wt%时, 同一温度下共混单丝的 E' 达到最大值。在宽的测试温度范围内, 不同iPP含量的共混单丝均被检测到两个转变峰(图2-b), 其对应的温度和 $\tan\delta$ 峰值($\tan\delta_{max}$)列于表4。其中, 低温下出现的较弱峰对应为MHMWPE的玻璃化转变。可知, 随iPP含量的增加, T_g 基本不变, 但 $\tan\delta$ 峰值降低。高温区出现的转变(α 转变)与聚乙烯结晶区附近受限链段的运动有关。聚乙烯的 β 转变来源于无定形相, 涉及到较长的链段运动, 具有微布朗运动性质^[16]。MHMWPE及其共混单丝均未能检测出 β 松弛峰。此外, 共混单丝中低含量iPP的松弛峰均被MHMWPE α 松弛峰掩盖。

2.2 EPDM含量的影响

当MHMWPE/iPP含量固定, 不同EPDM含量

表3 共混单丝的MHMWPE熔点、MHMWPE结晶度、iPP结晶度和总结晶度

Tab. 3 T_m , percent crystallinity of MHMWPE, percent crystallinity of iPP, and total crystallinity for blending monofilaments

样品 samples	MHMWPE的熔点/ $^{\circ}\text{C}$ T_m of MHMWPE	MHMWPE的结晶度/% percent crystallinity of MHMWPE	iPP的结晶度/% percent crystallinity of iPP	总结晶度/% total crystallinity
MHMWPE	134.1	52.7	0	52.7
90/10/2	135.9	5.2	9.9	55.1
80/20/2	135.8	1.2	17.1	58.3
70/30/2	136	2.1	21.7	53.8
80/20	136.4	1.8	18.2	60
80/20/5	136.2	1.1	16	57.1

表4 不同iPP含量对共混单丝动态力学参数的影响

Tab. 4 Dynamic mechanical parameters of blending monofilaments with different iPP contents

样品 samples	T_g / $^{\circ}\text{C}$	T_{α} / $^{\circ}\text{C}$	$\tan\delta_{\max}$ (at T_g)	$\tan\delta_{\alpha}$
MHMWPE	-134.6	55.0	0.124	0.231
90/10/2	-133.7	56.3	0.114	0.226
80/20/2	-133.4	61.7	0.106	0.213
70/30/2	-133.8	66.0	0.098	0.201

对MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝力学性能的影响列于表5, 添加EPDM后, MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的断裂强度下降, 结节强度增大。而MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的断裂强度和断裂伸长率随着EPDM含量的增加逐渐减小, 结节强度则随之逐渐增大。

DSC分析结果表明, MHMWPE和iPP的 T_m 几乎不随EPDM的组成而变化(图1), 但结晶度略有下降, EPDM进一步破坏了MHMWPE和iPP的结晶完善程度使其有序性降低。

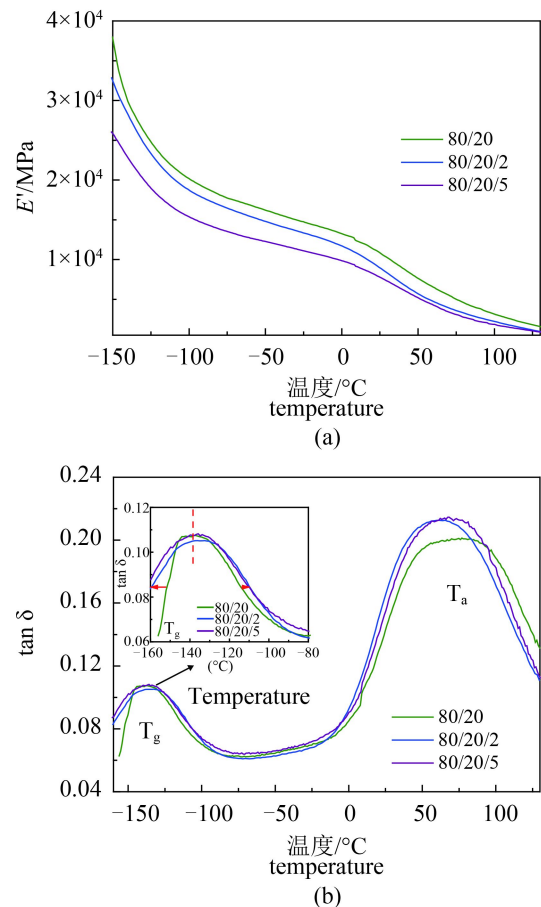
不同EPDM含量的MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的 E' 和损耗因子与温度的变化曲线显示, MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝的 E' 随EPDM含量

表5 不同EPDM含量对共混单丝力学性能及其变异系数的影响

Tab. 5 Mechanical properties and CV of blending monofilament with different EPDM contents %

样品 samples	σ (cN/dtex)/CV	σ' (cN/dtex)/CV	ϵ /CV
80/20	6.75/2.5	3.25/4.2	10.5/6.0
80/20/2	6.46/2.1	4.51/2.2	11.8/6.5
80/20/5	6.39/2.6	4.66/3.2	10.7/7.1
80/20/8	6.22/1.5	4.68/3.7	8.8/4.4

的增加而下降(图3)。在共混单丝中引入EPDM柔性链段后单丝刚性下降, 强度也相应下降。由图3-b中左上角的低温峰放大图可知, 与MHMWPE/iPP二元共混单丝相比, 三元体系的 T_g 几乎不变, $\tan\delta$ 峰变宽。随着EPDM的引入, α 转变移向低温, 其对应 $\tan\delta_{\alpha}$ 峰值增加。

图3 不同EPDM含量的共混单丝(a) E' 和(b) $\tan\delta$ 与温度的关系Fig. 3 Temperature dependence of (a) E' and (b) $\tan\delta$ for blending monofilaments with different EPDM contents

3 讨论

通过三元共混纺丝, 制备了MHMWPE/iPP/EPDM渔用单丝。随iPP含量的增加, MHMWPE的 T_g 基本不变, 结晶度下降。iPP组份的引入破坏了MHMWPE的结晶完善程度, 使其有序性降低、结晶度下降。当共混单丝中iPP含量增加时, MHMWPE和iPP的 T_m 变化不大, 而iPP结晶度增加, 总结晶度增加, 同时MHMWPE结晶度下降。这一方面是因为MHMWPE组分的减少, 另一方面是由于共混单丝中iPP与MHMWPE大分子链间相互缠结, 限制了MHMWPE大分子进一步砌入晶格的运动, 使MHMWPE的结晶度下降。此外, 动态力学分析中, $\tan\delta$ 峰的形状和位置与结晶、增塑剂、分子结构等密切相关。由于iPP分子链束缚了聚乙烯分子链的运动, 从而导致了共混单丝损耗因子的降低。高温区出现的转变(α 转变)对应为聚乙烯结晶区附近受限链段的运动^[16-18], 其对应损耗因子峰值($\tan\delta_\alpha$)下降, T_α 向高温移动。这表明iPP的引入限制了聚乙烯结晶区附近分子链的运动。当iPP含量为20 wt%时, MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝材料的断裂强度相比普通HDPE单丝增加了36.5%, 结节强度增加了37.5%。石建高等^[19]发现, 二元共混改性中高分子量聚乙烯/聚丙烯单丝较普通HDPE单丝断裂强度提高32.3%、结节强度提高25.6%。相比二元共混单丝体系, MHMWPE/iPP/EPDM三元共混单丝体系具有更高的断裂强度和结节强度。在保持断裂强度优势的前提下, 以MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝绳网替代普通HDPE绳网, 能使远洋拖网与养殖网具用原材料消耗及水阻力减小, 从而实现渔业生产的降耗减阻。共混单丝断裂强度的提高取决于试样中的晶体数量和大分子链取向程度, 而韧性则取决于相分离的程度^[8]。单丝结节强度大小与其韧性相关。本实验中, MHMWPE结晶熔融峰变宽及高温处出现iPP熔融峰, 这表明一部分iPP成为了晶核, 参与了MHMWPE的结晶过程, 另一部分与MHMWPE呈微相分离关系。聚乙烯单丝强度和韧性得到改善可能与其总结晶度增加及微相分离有关。当iPP含量为30 wt%时, iPP与MHMWPE相分离加剧。表现为单丝表面不光滑, 熔融峰显著加宽, 其结节强度下降。

当EPDM含量增加, 三元体系的 T_g 几乎不变,

$\tan\delta$ 峰变宽, 说明EPDM弹性体链段与MHMWPE有一定程度相容, 柔性分子链段间的缠结增加了体系的内耗。随着EPDM的引入, α 转变移向低温, 其对应 $\tan\delta_\alpha$ 峰值增加。共混体系中聚乙烯结晶区附近受限分子链段的自由运动变得比较容易, 在此温度区间共混材料的柔韧性有所提高。当EPDM增至8 wt%时, 结节强度相比二元共混单丝体系增加了44%。与EPDM共混后, 由于两者存在明显的相界面, 导致受力时内部应力分布不均匀, 因而其拉伸强度和伸长率均随着EPDM含量的增加而下降。单丝结节强度大小与韧性相关, 产生增韧过程必须具备两个重要条件: 一是基体微晶粒足够小, 发生形变时不与基体迅速脱离; 二是体系内具有足够多的物理交联点^[20-21]。在MHMWPE/iPP二元单丝体系中, 由于两组分的相容性较差, MHMWPE微晶粒取向不明显。加入EPDM后, 提高了MHMWPE和iPP之间的界面相容性, MHMWPE非晶区的物理交联点增加, 应力可以迅速地由MHMWPE相传递到EPDM相, 作为弹性体的EPDM就可以大量地吸收冲击能量, 使三元体系的韧性增大。因此, EPDM的加入能进一步改善单丝的韧性和结节强度。

MHMWPE/iPP/EPDM共混单丝具有高结节强度优势, 满足了渔业生产中绳网、远洋拖网与养殖网具所需的更高承载与抗风浪流需求, 有利于提高渔具或网具的适配性与安全性。本实验建立了力学性能与动态力学行为之间的关联, 当渔具或网具用绳网需要更高结节强度时, 可继续增加EPDM的含量。本实验采用三元共混纺丝方法制备了渔用共混单丝, 调控不同组分配比, 制得了综合力学性能优异的渔用共混单丝, 为提高我国渔用纤维材料的性能提供了新的方法和思路。

参考文献:

- [1] 张师军, 乔金樑. 聚乙烯树脂及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
Zhang S J, Qiao J L. Polyethylene resin and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011(in Chinese).
- [2] 闵明华, 黄洪亮, 石建高, 等. 渔用聚乙烯纤维研究现状及趋势[J]. 海洋渔业, 2014, 36(1): 90-96.
Min M H, Huang H L, Shi J G, et al. Research and tendency of fishery polyethylene fiber[J]. Marine

- Fisheries, 2014, 36(1): 90-96(in Chinese).
- [3] 王鲁民. 渔用乙纶单丝性能的影响因素[J]. 渔业现代化, 1999(6): 38-39.
- Wang L M. The influences on polyethylene monofilament for fishing gear[J]. Fishery Modernization, 1999(6): 38-39(in Chinese).
- [4] Tjong S C, Li W D, Li R K Y. Impact toughening behaviour of quaternary PP/HDPE/EPDM/EP blends[J]. European Polymer Journal, 1998, 34(5-6): 755-760.
- [5] Na B, Zhang Q, Wang K, *et al.* Origin of various lamellar orientations in high-density polyethylene/isotactic polypropylene blends achieved via dynamic packing injection molding: Bulk crystallization vs. epitaxy[J]. Polymer, 2005, 46(3): 819-825.
- [6] Mourad A H I. Thermo-mechanical characteristics of thermally aged polyethylene/polypropylene blends[J]. Materials & Design, 2010, 31(2): 918-929.
- [7] Lovinger A J, Williams M L. Tensile properties and morphology of blends of polyethylene and polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1980, 25(8): 1703-1713.
- [8] 张弓, 傅强, 申开智, 等. 高强超韧高密度聚乙烯/聚丙烯共混物性能与微相分离结构的研究[J]. 高分子学报, 2000(3): 306-310.
- Zhang G, Fu Q, Shen K Z, *et al.* The high mechanical properties and micro-phase separation of high density polyethylene and polypropylene blends[J]. Acta Polymerica Sinica, 2000(3): 306-310(in Chinese).
- [9] Jose S, Aprem A S, Francis B, *et al.* Phase morphology, crystallisation behaviour and mechanical properties of isotactic polypropylene/high density polyethylene blends[J]. European Polymer Journal, 2004, 40(9): 2105-2115.
- [10] 励杭泉, 杨帅, 张晨, 等. 低分子量乙丙共聚物对聚乙烯/聚丙烯共混体系流变性能的影响规律[J]. 塑料, 2009, 38(5): 50-51.
- Li H Q, Yang S, Zhang C, *et al.* The effect of low molecular weight ethylene-propylene copolymer on the rheological behavior of PP/PE blends[J]. Plastics, 2009, 38(5): 50-51(in Chinese).
- [11] Vranjes N, Rek V. In Effect of EPDM on morphology, mechanical properties, crystallization behavior and viscoelastic properties of iPP+HDPE blends[J]. Macromolecular Symposia, 2007, 258(1): 90-100.
- [12] Chu D, Nguyen Q, Baird D G. Effect of matrix molecular weight on the dispersion of nanoclay in unmodified high density polyethylene[J]. Polymer Composites, 2007, 28(4): 499-511.
- [13] 陈占春, 王荣飞, 高磊, 等. HDPE在少量HMWPE和剪切应力双重诱导作用下结构与性能的关系[J]. 工程塑料应用, 2008, 36(6): 26-29.
- Chen Z C, Wang R F, Gao L, *et al.* Morphologies and mechanical properties of HDPE induced by small amount of high molecular weight polyethylene and shear stress[J]. Engineering Plastics Application, 2008, 36(6): 26-29(in Chinese).
- [14] Khonakdar H A, Morshedjan J, Wagenknecht U, *et al.* An investigation of chemical crosslinking effect on properties of high-density polyethylene[J]. Polymer, 2003, 44(15): 4301-4309.
- [15] Wunderlich B. Macromolecular Physics[M]. New York: Academic Press, 1973.
- [16] 董孝理, 蔡燎原. 聚乙烯的动态力学转化行为[J]. 高分子材料科学与工程, 1989(6): 7-12.
- Dong X L, Cai L Y. Dynamic mechanical relaxation of polyethylenes[J]. Polymeric Materials Science and Engineering, 1989(6): 7-12(in Chinese).
- [17] Boyd R H. Strengths of the mechanical α , β - and γ -relaxation processes in linear polyethylene[J]. Macromolecules, 1984, 17(4): 903-911.
- [18] Khanna Y P, Turi E A, Taylor T J, *et al.* Dynamic mechanical relaxations in polyethylene[J]. Macromolecules, 1985, 18(6): 1302-1309.
- [19] 石建高, 刘永利, 王磊, 等. 渔用共混改性MMWPE/PP单丝和普通PE单丝拉伸力学性能的比较[J]. 河北渔业, 2015(10): 5-8, 21.
- Shi J G, Liu Y L, Wang L, *et al.* Comparison of tensile properties between blending modification MMWPE/PP monofilament and PE monofilament[J]. Hebei Fisheries, 2015(10): 5-8, 21(in Chinese).
- [20] 汪晓东, 冯威, 励杭泉, 等. 超高分子量聚乙烯增韧聚丙烯的“原位复合”增韧机理[J]. 材料研究学报, 1996, 10(6): 645-650.
- Wang X D, Feng W, Li H Q, *et al.* Study on the *in-situ* composite mechanism for toughening PP with UHMWPE [J]. Chinese Journal of Materials Research, 1996, 10(6): 645-650(in Chinese).
- [21] 朱晓光, 漆宗能. 聚合物增韧研究进展[J]. 材料研究学

报, 1997, 11(6): 623-638.

[J]. Chinese Journal of Materials Research, 1997, 11(6):

Zhu X G, Qi Z N. Progress on polymer toughening research

623-638(in Chinese).

The mechanical properties and dynamic mechanical behavior of MHMWPE/iPP/EPDM fishery monofilaments

YU Wenwen^{1,2}, SHI Jianga^{2*}, CHEN Xiaoxue², MIN Minghua²,
WANG Luming², SONG Weihua¹

(1. Key Laboratory of Marine Fishery Equipment and Technology Research in Zhejiang Province,
Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: With the development of aquaculture, it is an important development direction of fishery engineering to design new types of fiber nets. Polyethylene is widely used in fishery because of its high strength, light weight and cost-effectiveness. However, there are also the problems such as easy to damage for ordinary polyethylene fiber net in aquaculture. Middle high molecular weight polyethylene (MHMWPE) monofilaments have greater molecular weight, higher strength and cost-effectiveness than high density polyethylene (HDPE), which can be prepared by melt-spinning and drawing process. To obtain better mechanical property, we should be willing to modify MHMWPE monofilaments. MHMWPE, isotactic polypropylene (iPP) and ethylene propylene diene monomer (EPDM) were melt blended to spin fishery monofilaments. The effect of the iPP and EPDM contents on the dynamic mechanical behavior and tensile strength of the blending monofilaments was studied by thermal property analysis, dynamic mechanical properties analysis and mechanical properties testing. Results showed that T_g was influenced neither by iPP content nor by EPDM content. The degree of crystallinity and the maximum of loss factor ($\tan\delta_\alpha$) for MHMWPE decreased while the temperature of α -transition increased with the increase of iPP content. In addition, the degree of crystallinity decreased, α -transition moved to low temperature and the value of $\tan\delta_\alpha$ increased with the increase of EPDM content. The stretching strength and knot strength increased by increasing iPP content to a certain value. The toughness and knot strength of the fishery blending monofilaments were further raised by blending of EPDM.

Key words: fishery monofilament; blend; structure; dynamic mechanical behavior; mechanical property

Corresponding author: SHI Jianga. E-mail: jjiangaoshi666@163.com

Funding projects: Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes (East China Sea Fisheries Research Institute) (2015T01); the National Key Technology R&D Program (2013BAD13B02); Project Supported by the Open Foundation from Fishery Sciences in the First-Class Subjects of Zhejiang (20160014)