http://pmse.scu.edu.cn

超高分子量聚乙烯锂电池隔膜湿法工艺及性能

秦升学[1]，秦亚磊[1]，张 影[2]，董秋春[2]，张弘斌[1]，刘 杰[1]
(1.山东科技大学 机械电子工程学院，山东 青岛 266590; 2. 中材锂膜有限公司，山东 滕州 277500)

摘要：文中针对超高分子量聚乙烯(UHMWPE)锂电池隔膜湿法制备工艺，研究了螺杆转速和熔体温度对20%固含量UHMWPE/石蜡油(LP)共混物挤出及微孔膜性能的影响。结果表明，适当提高熔体泵前压力可提高挤出稳定性，不同转速下铸片中的含油量没有明显波动，转速在70~120 r/min范围内，UHMWPE与LP的塑化效果较好。转速升高会使铸片相对分子质量降低，转速超过100 r/min时，相对分子质量下降明显。转速为90 r/min时，UHMWPE分子链骨架结构较强，微孔膜的微孔大小均匀性好，此时微孔膜的力学性能也较高。不同熔体温度挤出结果表明，随着温度从210 ℃升高到250 ℃，铸片微观褶皱结构更加细密，并有利于微孔膜成孔。铸片相对分子质量及微孔膜的拉伸强度和穿刺强度都随温度升高而降低，隔膜热收缩率则随温度升高而增大。

关键词：锂电池隔膜；超高分子量聚乙烯；石蜡油；湿法制备工艺；微孔；力学性能
中图分类号：TQ325.1+2 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555(2025)08-0010-09

锂电池隔膜是一种具有微孔结构的薄膜。锂电池隔膜的性能决定了电池的界面结构和内阻，进而影响电池的容量、循环性能等关键特性[1]，关系到锂电池能否安全、高效地运行[2]。锂离子电池微孔膜多采用聚烯烃类基材，其制备工艺分为干法(熔融拉伸法，MS法)、湿法(热致相分离法，TIPS法)两大类[3]。TIPS法制取的隔膜在力学性能和透气性能方面有一定优势：湿法隔膜厚度更薄，孔隙率更高，透气性更好，有着更为均匀的孔径和更好的力学性能[4]，有利于延长电池寿命，更能适应锂离子电池高能量密度化的发展趋势[5]。

超高分子量聚乙烯(UHMWPE)微孔膜具有良好的力学性能和耐化学稳定性[6]，虽然其综合性能优异，但存在耐热稳定性差等缺点[7]，因此，制备高孔隙率、高强度和良好热稳定性的UHMWPE锂电池隔膜是当前研究的重点[8]。目前，国内外研究者和企业主要通过表面改性对UHMWPE隔膜进行功能化改性[9]，而基膜的性能很大程度上决定了改性的效果。本文基于湿法将UHMWPE与溶剂液体石蜡油(LP)混合制备微孔膜[10]，UHMWPE与LP的塑化熔融效果会影响挤出过程的稳定性，并决定微孔膜的孔径结构，进而影响微孔膜的其他性能[11]。石蜡油含量、挤出温度、螺杆转速等是影响塑化效果的主要因素[12]。目前少有文献对UHMWPE微孔膜的成型工艺进行系统研究，为了探索UHMWPE微孔膜更高性能的成型工艺参数，本文对挤出机的熔体料温和螺杆转速进行了实验研究，通过实验结果分析了挤出压力对稳定性的影响，研究了不同转速和温度对UHMWPE微孔膜的微观结构、孔隙率、透气性及热收缩性能的影响。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

UHMWPE：VH135U，相对分子质量135万，大

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0143
收稿日期：2024-09-12
基金项目：山东省重点研发计划资助项目(2024CXGC010217)
通讯联系人：刘杰，主要从事聚合物挤出工艺研究，E-mail: 15275177928@163.com

Tab. 1 Twin-screw extrusion process parameters

t_1/℃	t_2/℃	t_3/℃	t_4/℃	t_5/℃	t_6/℃	n/(r·min^{-1})	w_1/%
160	180	200	200	200	210	70~120	80
180	200	220	220	220	230	80	80
200	220	240	240	240	250	80	80

韩油化；LP：50#，浙江正信石油科技有限公司；二氯甲烷：分析纯，鲁西化工集团有限公司。

双螺杆挤出机：TSB-35，江苏诚盟装备股份有限公司；相对分子质量测试系统：JULABO VISCO 370，德国优莱博；电子扫描显微镜：ZEISS Sigma300，德国蔡司公司；王研式透气度试验机：EG01-55-1MR，日本旭精工株式会社。

1.2　微孔膜制备

将UHMWPE与LP按照质量比20:80进行预混，混合后送入双螺杆挤出机中挤出。挤出工艺设置如Tab.1所示，其中t_1~t_5为双螺杆挤出机的分区温度，t_6为熔体温度，n为螺杆转速，w_1为LP的质量分数。UHMWPE粉料经双螺杆挤出机通过模头挤出，流延到冷却辊上冷却，最终收卷保存UHMWPE铸片。对铸片进行双向拉伸，拉伸温度为120 ℃，拉伸时间为100 s，拉伸倍率为7×7。将拉伸后的UHMWPE薄膜浸入二氯甲烷中进行萃取，制备微孔膜，并进行热定型处理[13]。

1.3　测试与表征

1.3.1　含油量测试：将铸片放在电子天平上称量，得到初始质量m_0，将铸片浸泡在二氯甲烷溶液中萃取若干小时，然后置于40 ℃的电热鼓风干燥箱中干燥，再次称量得质量m。重复实验直至铸片质量(m)不再变化，利用式(1)计算铸片的含油率

$$\varepsilon = \frac{m_0 - m}{m_0} \tag{1}$$

式中：m_0——萃取前铸片的质量；m——萃取后铸片的质量；ε——铸片的含油率。

1.3.2　相对分子质量测定：将UHMWPE粉末、十氢萘和抗氧剂按照一定比例配成0.002 g/mL的溶液，在150 ℃加热1 h，然后打开相对分子质量测试系统加热至135 ℃，保温0.5 h小时后将配好的溶液倒入，进行相对分子质量测试[14]。

1.3.3　扫描电镜表征：将萃取干燥后的微孔膜剪下10 mm×10 mm的大小，重复喷金2次，每次10 s，将样品放置在扫描电子显微镜下观察微观形貌特征。电压1 kV，放大倍数1×10^{4}倍。

1.3.4　微孔膜透气性测试：将隔膜裁剪成100 mm×100 mm的试样，采用王研式透气度试验机测量隔膜的透气值。

1.3.5　微孔膜力学性能测试：裁取150 mm×15 mm的试样，夹于万能材料试验机的上下夹具之间，上下夹具间距离为100 mm，使用250 mm/min的速度进行拉伸，直至试样断裂，读取拉伸强度数据。将隔膜沿横向方向裁成100 mm×100 mm的试样，借助压力测试仪测量隔膜的穿刺强度，记录数据，测量5次取平均值计算穿刺强度。

1.3.6　微孔膜热收缩率测试：裁取100 mm×100 mm的试样，用记号笔和钢板尺在试样上沿横向(TD)、纵向(MD)画2条垂直线，测量热收缩前TD方向长度记作W_0，MD方向长度记作L_0，烘箱温度设定为120 ℃，试样在烘箱中处理12 h后取出冷却至室温，测量收缩后的TD方向试样长度W_1，MD方向试样长度L_1。使用式(2)和式(3)计算试样的热收缩率

$$\varepsilon_1 = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \tag{2}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \tag{3}$$

2　结果与讨论

2.1　挤出稳定性分析

螺杆转速和熔体压力的数值大小有直接关系，当转速可以提供足够的剪切力时，有利于混合均匀，塑化效果好，挤出机压力和电流趋于稳定，挤出量波动小，厚度一致性高。记录不同熔体泵入口压力下的泵前与泵后压力数据，每5秒记录1次，共25次，如Fig.1所示。Tab.2为不同转速下泵前泵后压力比较，其中，n为挤出机转速；P_1，P_2分别为提高泵前压力前的平均泵前

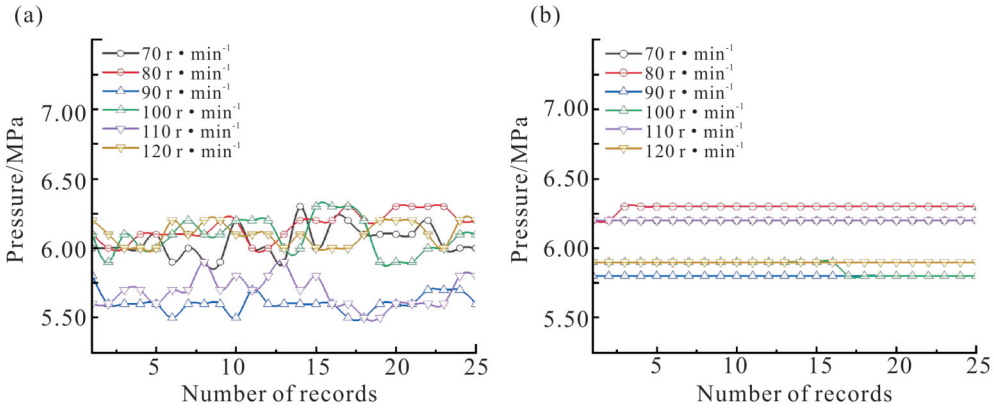


Fig. 1 Pressure fluctuations (a) before and (b) after the pump at different speeds

Tab. 2 Comparison of pressure before and after the pump at different speeds

n/(r·min^{-1})	P_1/MPa	P_2/MPa	P_3/MPa	P_4/MPa	ε/%
70	0.48	6.05	2.14	6.2	35
80	0.49	6.16	2.11	6.29	34
90	0.44	5.61	2.11	5.8	36
100	0.5	6.09	1.94	5.86	33
110	0.4	5.68	1.96	6.2	32
120	0.5	6.1	2.36	5.9	40

压力和平均泵后压力；P_3，P_4分别为提高泵前压力后的平均泵前压力和平均泵后压力；ε为泵前与泵后压力的比值。

数据表明，增大泵前压力可减小泵后压力波动，提高挤出稳定性。在泵前压力提高前，泵后压力波动明显，会导致UHMWPE/LP共混熔体挤出量不稳定，铸片厚度不均匀，混合性不佳，塑化效果不好。当泵前压力达泵后压力的30%~40%时，挤出量稳定，说明转速可以提供足够的剪切力使混合均匀。提高泵前压力最直接的方式为增大下料量，适当增大螺杆填充率可减小熔体压力波动。

Fig.2给出了挤出机转速为90 r/min时UHMWPE和LP共混体系在熔体温度为210 ℃，230 ℃和250 ℃时的挤出压力随时间变化曲线图。Tab.3为不同温度下泵前泵后压力比较，其中，P_1为平均泵前压力，P_2为平均泵后压力，ε为泵前压力与泵后压力的比值。由Fig.2可见，随着挤出温度升高，熔体泵出口压力稳定。由Tab.3可见，泵前压力约为泵后压力的30%。温度越高，挤出压力越小，因为在高温时分子链运动加快，分子链取向能力增强，松弛时间缩短，此时熔体的黏度降低，挤出过程中熔体的流动性更强。

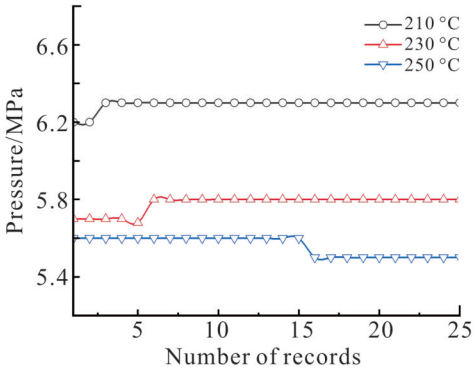


Fig. 2 Curves of extrusion pressure with time at different melt temperatures

Tab. 3 Comparison of pressure before and after the pump at different temperatures

t/℃	P_1/MPa	P_2/MPa	ε/%
210	2.11	6.29	34.0
230	5.72	1.72	30.0
250	5.55	1.60	28.8

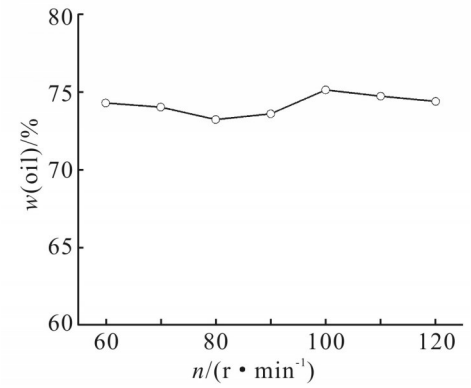


Fig. 3 Oil content of the cast sheet at different rotational speeds

2.2 铸片含油量与微观形貌分析

LP是微孔膜成孔的关键影响因素，其含量和分布直接影响孔隙率的大小和孔径的数量。UHMWPE/LP铸片由挤出机挤出，经冷却辊固化后，表面会析出部分LP，因此铸片中LP的含量与熔融共混时有所不同，为确定铸片中LP的真实含量，需进行含油率测试。

在熔体料温为210 ℃，LP初始投放质量分数为80%，挤出机转速为60~120 r/min时挤出铸片，然后进行萃取称量，根据式(1)计算含油率。Fig.3给出了铸片的含油率。结果显示，不同转速下铸片的含油率在73%~75%左右，与初始投放质量相比，LP有部分流失，但差别较小，说明UHMWPE与LP的塑化效果较好。

为了探究不同温度下UHMWPE与LP的混合比例，对不同温度的铸片进行萃取，明确其含油量。在210 ℃，230 ℃和250 ℃时，平均含油率分别为73.2%，75.3%和77.27%。随着温度升高，铸片的含油量略有增加，说明升高挤出温度有利于二者混合。然而，升高温度可能会导致UHMWPE分子链热降解，需进一步进行相对分子质量测试确认[15]。

Fig.4给出了在210 ℃时不同转速下铸片表面SEM图。通过SEM图观察不同转速下的铸片表面，发现铸片萃取后均形成了较大的孔腔，符合低浓度UHMWPE/LP体系的相分离微观特征，70 r/min和120 r/min转速下铸片微观形貌无显著变化，说明70 r/min转速已能够提供足够的剪切作用使UHMWPE和LP均匀混合。

Fig.5给出了不同熔体温度下铸片的表面SEM图。从Fig.5中可知，随着挤出熔体温度增加，铸片孔洞尺寸增大。温度升高有利于LP扩散形成大液滴，同时促进UHMWPE分子链解缠结，降低体系黏度。挤出熔体温度越低，铸片冷却时间越短，UHMWPE分子链的结晶速度越快，LP来不及扩散，最终形成较小的液滴相存在于晶体结构间。

2.3 铸片相对分子质量变化

在高剪切速率和温度下，UHMWPE分子链可能会被剪断导致相对分子质量降低，进而影响其性能。同时，过高的温度可能会导致UHMWPE分子链热降解。Fig.6给出了不同转速和不同温度下UHMWPE铸片的相对分子质量。由Fig.6可见，当挤出机转速从70 r/min增加到120 r/min时，与纯UHMWPE粉料相比，铸片的相对分子质量有所降低。铸片相对分子质量分别下降了7.7%，9.3%，10.8%，12.8%，16.5%和

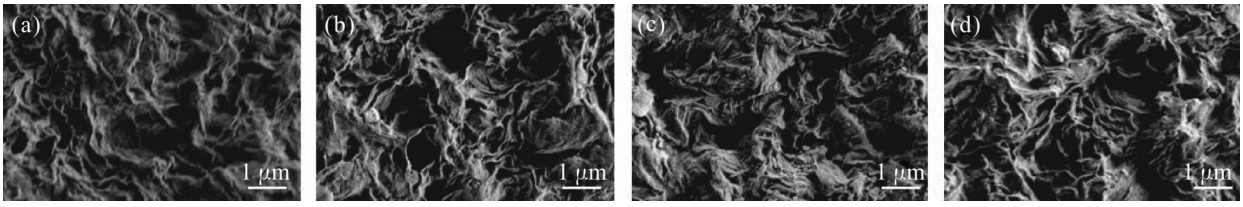


Fig. 4 SEM images of the surface the castings at different rotation speeds: (a) 70 r/min; (b) 80 r/min; (c) 110 r/min; (d) 120 r/min

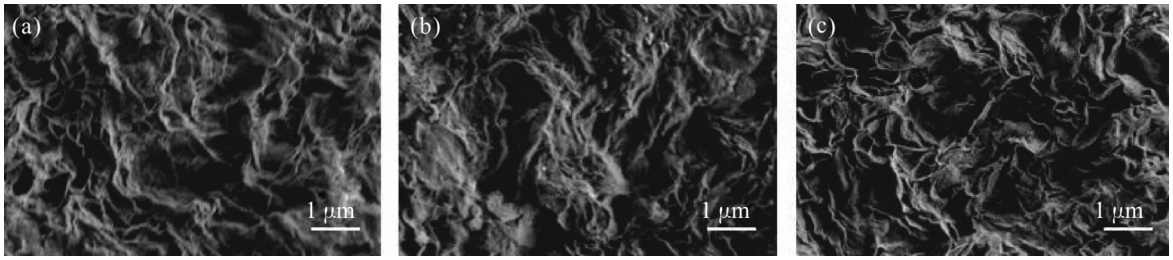


Fig. 5 SEM images of the surface of cast pieces at different melt temperatures: (a) 210 ℃; (b) 230 ℃; (c) 250 ℃

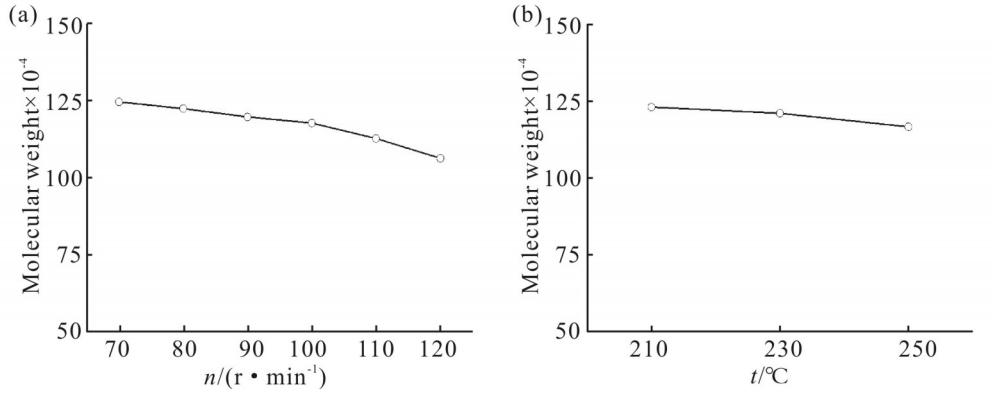


Fig. 6 Average molecular weight of the cast at different (a) rotational speeds and (b) temperatures

21.3%。当转速超过100 r/min时，相对分子质量下降趋势明显，表明UHMWPE分子链因剪切作用过大而导致降解趋势增加。当熔体温度由210 ℃升至250 ℃时，相对分子质量呈下降趋势。相较于纯粉料，铸片相对分子质量分别降低了6.7%，10.4%和13.7%，因此，在温度达到250 ℃时，热降解效应最显著。

2.4 微孔膜孔隙率和透气性分析

挤出速度的改变会影响UHMWPE/LP体系的黏度。随着转速增加，螺杆的剪切作用增强，导致黏度减小。当剪切达到一定程度时，体系黏度的变化不再显著。Fig.7为210 ℃时不同转速下制备UHMWPE微孔膜的孔隙率和透气度值。由Fig.7可见，孔隙率的变化没有明显波动，在70 r/min至100 r/min范围内约为40%，110 r/min时增至44%，120 r/min时降至37%。因为在转速70 r/min时已提供足够的剪切作用使UHMWPE与LP充分混合，并且在冷相分离时温度和冷却速率相同，因此，形成的微孔结构没有明显差异。随着转速持续增加，强烈的剪切作用可能导致UHMWPE分子链断裂，降低骨架强度。

Fig.8给出了不同转速下制备微孔膜的微观结构图。由Fig.8可见，当转速为70 r/min时，孔径大小分布宽，且小孔偏多。在90 r/min时，微孔大小的均匀性提高。当转速达到120 r/min时，UHMWPE分子链中包含小分子链，这些小分子链容易在受力取向后形成大孔，同时小分子链也容易解取向，导致收缩不均，孔径分布宽即均匀性差。

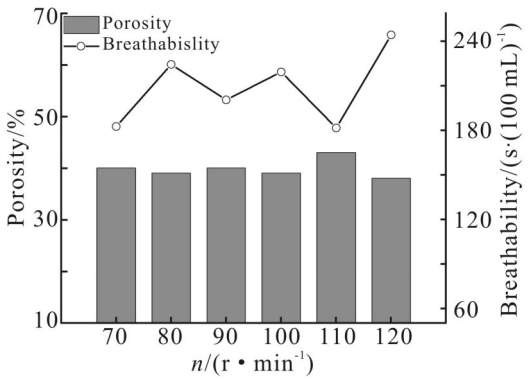


Fig. 7 Porosity and permeability of microporous film at different rotational speeds

在210 ℃，230 ℃和250 ℃制备的微孔膜孔隙率分别为38.6%，43%和49.1%，透气值分别为247 s/100 mL，236 s/100 mL和215 s/100 mL。随着温度升

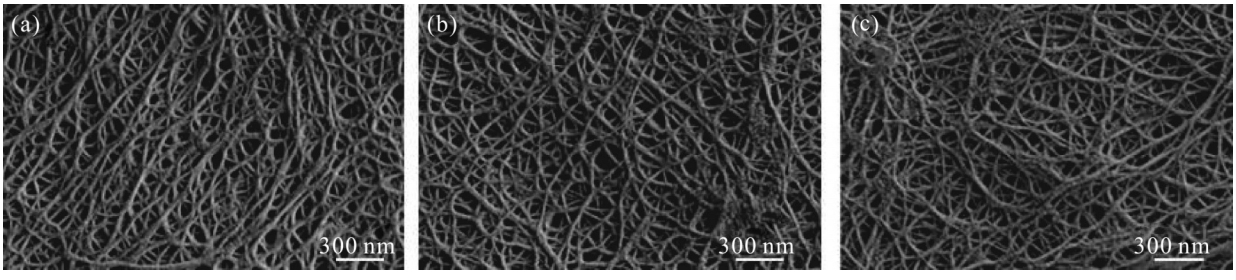


Fig. 8 Microstructure image of microporous membrane at different rotation speeds: (a) 70 r/min; (b) 90 r/min; (c) 120 r/min

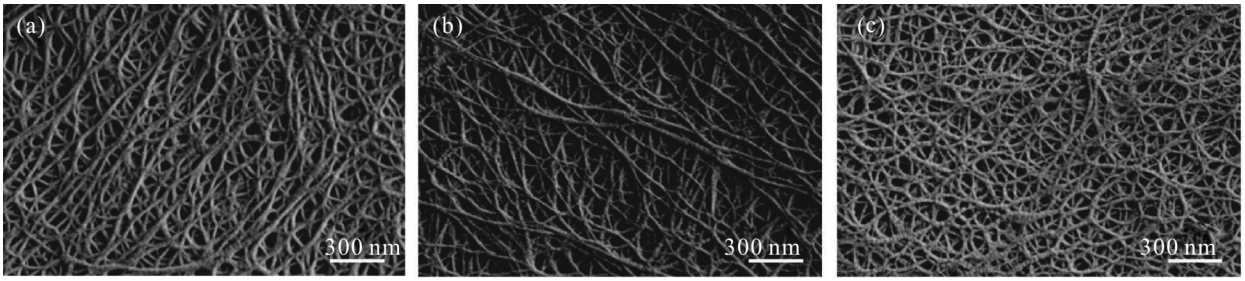


Fig. 9 Microstructure image of microporous membrane at different temperatures: (a) 210 ℃; (b) 230 ℃; (c) 250 ℃

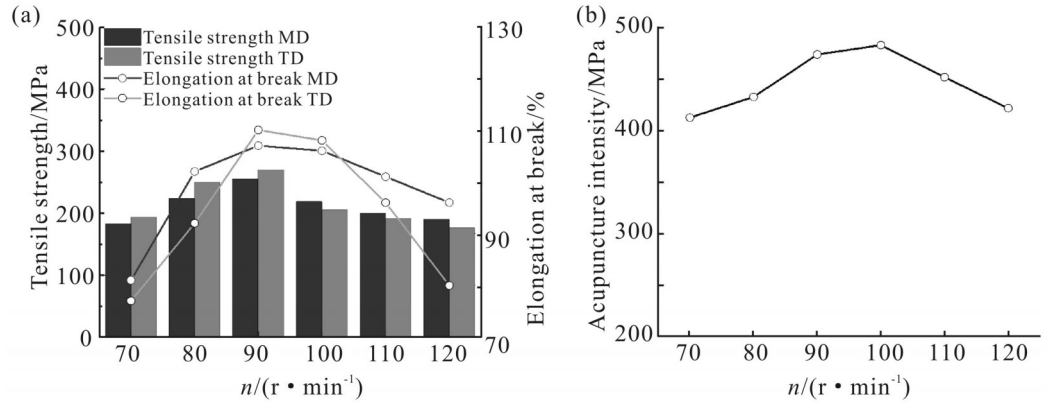


Fig. 10 (a) Tensile strength and (b) acupuncture intensity of microporous membrane at different screw speeds

高，孔隙率增加，表明更高的熔体温度有利于微孔膜的成孔。这是因为高温延长了冷却时间，为LP分子的迁移提供了更多时间。Fig.9给出了不同熔体温度制备的微孔膜的微观结构图。由Fig.9可见，随着挤出温度的升高，微孔膜表面的孔分布更加均匀，微孔数量增多，分子链缠绕形成的骨架减少。UHMWPE分子链运动能力增强，有利于提高UHMWPE与LP的相容性。此外，分子链的剧烈运动也会破坏链的缠结结构，导致体系黏度降低。同时，冷却辊的温度保持不变，熔体在冷却辊上的冷却时间变长，使UHMWPE和LP有更多时间发生相分离，从而使微孔膜孔径逐渐增大，孔隙率升高，透气度值减小，透气性变好。

2.5　微孔膜力学性能分析

Fig.10为在210 ℃，仅改变螺杆转速制得UHMWPE微孔膜的力学性能变化。结果显示，当螺杆转速从70 r/min增至90 r/min时，微孔膜的力学性能增加，但随后随着螺杆转速的增大呈现下降趋势。在低转速范围内，UHMWPE/LP熔体在挤出机内受到的剪切时间短，导致分子链的降解程度较低，因此力学性能呈上升趋势。继续增大螺杆转速，双螺杆的强剪切作用使得UHMWPE分子链被切断，部分长分子链降解为短分子链，分子链的断裂降低了UHMWPE的相对分子质量，导致微孔膜的力学性能降低。同时短链比例的增加导致微孔膜结构松散，抗穿刺能力下降。

Fig.11为在90 r/min下，熔体温度分别为210 ℃，230 ℃和250 ℃时制得微孔膜的力学性能。随着挤出温度升高，微孔膜的拉伸强度和穿刺强度都减小。在210 ℃制备的微孔膜表现出最佳的力学性能，而250 ℃表现较差。这一现象的原因是，随着熔体温度的提高，UHMWPE超长分子链的运动能力增强，分子链间的缠结减少，分子链取向程度增大，然而过高的温度会导致分子链过度解缠结与热降解。拉伸时缠结点减少，导致拉伸应力传递效率降低，取向度降低，从而使拉伸强度降低。热降解会缩短部分分子链长度，使拉伸强度和穿刺强度降低。

2.6　微孔膜热收缩性分析

不同螺杆转速制备的UHMWPE微孔膜的热收缩率如Tab.4所示，其中，ε_1为纵向热收缩率，ε_2为横向热收缩率。由Tab.4可见，微孔膜的收缩率随着转速的增大呈现先下降后上升的趋势。转速增加，

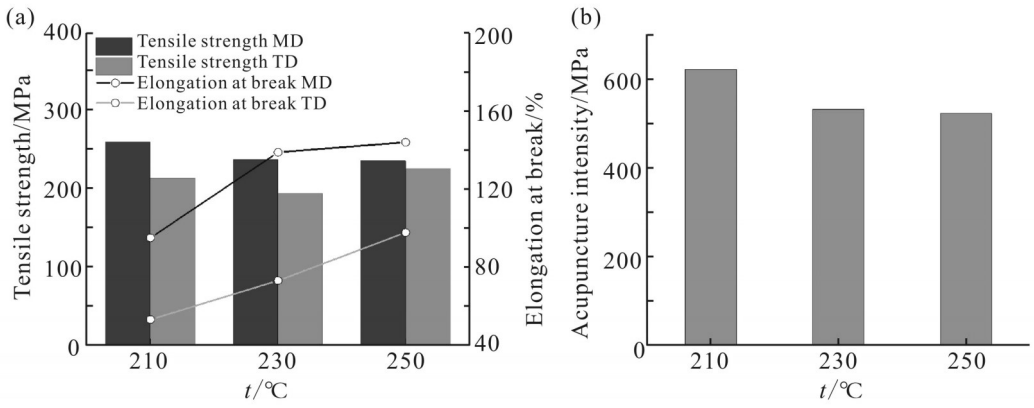


Fig. 11 (a) Tensile strength and (b) acupuncture intensity of microporous film at different melt temperatures

UHMWPE分子链间的缠结结构遭到破坏，导致分子链运动加剧，有利于分子链进行规整排列，增强了UHMWPE的结晶能力。在105 ℃的热缩温度下，非结晶区域的分子链开始解缠结，随着转速的进一步增加，非晶区域减少，解缠结和解取向的分子链数目也随之减少，从而使得微孔膜的热收缩率降低。当转速增加到110 r/min时，横向(TD)与纵向(MD)的热收缩率均开始增大。分析原因为剪切作用的增强导致UHMWPE链中包含的小分子链增多，而小分子链的耐热性较差，因此，随着剪切速率增大，相对分子质量降低，UHMWPE微孔膜的耐热性也随之降低。

Tab. 4 Thermal shrinkage of microporous film at different screw speeds

n/(r·min^{-1})	ε_1/%	ε_2/%
70	8	6.4
80	7.6	6.1
90	7.4	5.6
100	6.2	5.3
110	8	5.9
120	9.4	6.9

Tab. 5 Thermal shrinkage of microporous film at different melt temperatures

t/℃	α_1/%	α_2/%
210	7.6	6.8
230	8.9	7.23
250	9.15	8.4

不同熔体温度制备的UHMWPE微孔膜的热收缩率如Tab.5所示，其中α_1为纵向热收缩率，α_2为横向热收缩率。由Tab.5可见，微孔膜的热收缩率随熔体温度的升高而增大。在热致相分离过程中，若冷却辊温度保持不变而熔体温度升高，则熔体完全冷却的时间变长，LP相生长时间增加，使得微孔膜孔径与孔隙率增大。在105 ℃热缩温度时，分子链运动剧烈，微孔膜的大孔径与大孔隙率为分子链的运动提供了更多的空间，促进了UHMWPE分子链的运动，分子链取向程度增大。因此，在105 ℃加热1 h后UHMWPE微孔膜的尺寸减小，热收缩率增大。

3 结论

本文通过调控螺杆转速和熔体温度，揭示了UHMWPE/LP湿法隔膜制备中工艺参数对材料结构与性能的影响机制。结果表明，剪切作用与热效应的协同调控是平衡加工稳定性与产品性能的核心，抑制剪切与热降解对分子链的破坏可提升隔膜的性能。适当提高熔体泵压力可显著提升挤出稳定性，泵前压力达到泵后压力的30%~40%时，熔体泵出口压力基本稳定，挤出量均匀。过高螺杆转速或温度会因剪切降解或热降解作用导致相对分子质量下降，进而削弱隔膜力学性能。温度升高虽促进相分离形成更大孔隙，但降低了分子链缠结度，导致力学性能下降，热收缩率上升。在转速为90 r/min、温度为210 ℃时，UHMWPE分子链骨架结构完整，力学性能最佳，微孔分布均匀性最优。本文研究结果丰富了高黏度聚合物的精密加工工艺体系，通过剪切速率与温度的匹配设计，可兼顾加工效率与产品性能。

参考文献：

[1] 雷世龙. 聚烯烃在锂离子电池隔膜领域的应用进展[J]. 石油化工, 2024, 53(5): 752-763.
Lei S L. Progress in the application of polyolefin in the field of lithium ion battery separator[J]. Petrochemical Technology, 2024, 53(5): 752-763.

[2] 郑宁来. UHMWPE隔膜技术研发[J]. 合成材料老化与应用, 2019, 48(1): 130-131.
Zheng N L. UHMWPE diaphragm technology development[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2019, 48(1): 130-131.

[3] Zhang L, Li X, Yang M, *et al*. High-safety separators for lithium-ion batteries and sodium-ion batteries: advances and perspective [J]. Energy Storage Materials, 2021, 41: 522-545.

[4] 顾旭, 郑泓, 周持兴, 等. 热致相分离法UHMWPE/HDPE微孔膜的制备及性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2012, 28(12): 138-141.
Gu X, Zheng H, Zhou C X, *et al*. Preparation and properties of UHMWPE/HDPE microporous membranes by tips[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2012, 28(12): 138-141.

[5] 刘志伟, 陈俊生, 陈先亮, 等. 锂电池聚丙烯微孔隔膜孔隙品质提升的研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(9): 135-139.
Liu Z W, Chen J S, Chen X L, *et al*. Research on improving pore quality of polypropylene microporous membrane of lithium battery[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(9): 135-139.

[6] Zhai P, Liu K, Wang Z, *et al*. Multifunctional separators for high-performance lithium ion batteries[J]. Journal of Power Sources, 2021, 499: 229973.

[7] 张文阳, 茆汉军, 吴正文, 等. 超高分子量聚乙烯锂电池隔膜的制备及其发展趋势[J]. 上海塑料, 2020(2): 13-18.
Zhang W Y, Mao H J, Wu Z W, *et al*. Preparation and development trend of ultrahigh molecular weight polyethylene lithium battery separator[J]. Shanghai Plastics, 2020(2): 13-18.

[8] Basko A, Pochivalov K. Current state-of-the-art in membrane formation from ultra-high molecular weight polyethylene[J]. Membranes, 2022, 12: 1137.

[9] 鲁成明, 虞鑫海, 王丽华. 国内外锂离子电池隔膜的研究进展[J]. 电池工业, 2019, 23(2): 101-105.
Lu C M, Yu X H, Wang L H. Research progress of lithium ion battery separator at home and abroad[J]. Chinese Battery Industry, 2019, 23(2): 101-105.

[10] Li A, Yuen A C Y, Wang W, *et al*. A review on lithium-ion battery separators towards enhanced safety performances and modelling approaches[J]. Molecules, 2021, 26: 478.

[11] 杨大伟, 贺建芸, 赵长松, 等. UHMWPE微孔膜的制备工艺对膜性能的影响[J]. 塑料, 2018, 47(5): 77-80.
Yang D W, He J Y, Zhao C S, *et al*. Effect of preparation technology of UHMWPE microporous membrane on membrane performance[J]. Plastics, 2018, 47(5): 77-80.

[12] 赵长松, 贺建芸, 杨大伟, 等. 锂离子电池隔膜用UHMWPE微孔膜的制备及性能[J]. 塑料工业, 2018, 46(9): 44-47.
Zhao C S, He J Y, Yang D W, *et al*. Preparation and properties of UHMWPE microporous membrane for lithium-ion battery separator[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(9): 44-47.

[13] Liu R, Wang X, Yu J, *et al*. Development and evaluation of UHMWPE/woven fabric composite microfiltration membranes via thermally induced phase separation[J]. RSC Advances, 2016, 6: 90701-90710.

[14] Sheng L, Zhang Y, Xie X, *et al*. Morphology of porous UHMWPE originating from the S–L phase separation in UHMWPE/liquid paraffin (LP) blends[J]. Iranian Polymer Journal, 2022, 31: 1047-1056.

[15] Zhao C, He J, Li J, *et al*. Preparation and properties of UHMWPE microporous membrane for lithium ion battery diaphragm[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 324: 012089.

Wet Manufacturing Processes and Performance of UHMWPE Separator for Lithium-Ion Batteries

Shengxue Qin[1], Yalei Qin[1], Ying Zhang[2], Qiuchun Dong[2], Hongbin Zhang[1], Jie Liu[1]

(*1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. Sinoma Lithium Battery Separator Co., Ltd., Tengzhou 277500, China*)

ABSTRACT: The wet manufacturing process of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) lithium-ion battery separators was investigated, and the effects of screw speed and melt temperature on the extrusion and performance of 20% solid content UHMWPE/paraffin oil (LP) blends were examined. Experimental results demonstrate that increasing the melt pump pressure appropriately can enhance the extrusion stability. The oil content in the cast films shows no significant fluctuations at different speeds ranging from 70 r/min to 120 r/min, indicating good plasticization effects of UHMWPE and LP at these speeds. Higher speeds lead to reduced molecular weight of the cast films, with a notable decrease observed beyond 100 r/min. At a rotational speed of 90 r/min, the molecular chain framework of UHMWPE is strengthened, resulting in improved uniformity of micro-pores in the membrane and enhanced mechanical properties. Extrusion at different melt temperatures reveals that higher temperatures result in finer microscopic wrinkle structures in the cast films, facilitating pore formation in the micro-porous membrane. However, increasing temperature reduces the molecular weight of the cast films, as well as the tensile and puncture strengths of the membrane, while increasing thermal shrinkage.

Keywords: lithium- ion battery separator; ultra- high molecular weight polyethylene; paraffin oil; wet manufacturing processes; micropores; mechanical properties