http://pmse.scu.edu.cn

纳米碳酸钙/聚乙烯醇涂覆改性聚丙烯电池隔膜及其性能

王占宇[1]，周展鹏[2]，曾小平[1]，王大威[1]，吴江渝[1]，王 玮[2]
（1. 武汉工程大学 等离子体化学与新材料湖北省重点实验室，湖北 武汉 430205；
2. 华中科技大学 材料成型与模具技术全国重点实验室，湖北 武汉 430074）

摘要：目前商用聚烯烃隔膜存在电解液亲和性和热稳定性差等问题，导致所组装电池的充放电性能和安全性有所欠缺。为改善电解液的亲和性及热稳定性，采用聚乙烯醇为黏结剂将纳米碳酸钙涂覆至聚丙烯隔膜表面，通过扫描电子显微镜、电化学测试、热稳定性分析等方法对改性后的隔膜进行了研究。结果表明，纳米碳酸钙质量分数为1.5%的改性隔膜孔隙率可达到46.47%±0.42%，电解液吸液率提升到168.03%±3.46%，改性后隔膜的电解液亲和性得到了改善。170 ℃时热收缩率为18.59%±4.12%，拉伸强度提升至169 MPa左右，隔膜的热稳定性与力学性能得到提升。改性后隔膜的离子电导率从0.50 mS/cm提升到了0.78 mS/cm，500次充放电循环后磷酸铁锂正极的放电比容量保持率为84.10%，并且在充放电循环过程中更加稳定。

关键词：聚烯烃隔膜；涂覆改性；电解液亲和性；热稳定性；安全性
中图分类号：TM912 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555（2025）07-0158-07

锂离子电池由正极、电解质、隔膜、负极组成。隔膜在电池中不参与反应，但允许锂离子在其中传递，并防止正极与负极直接接触[1]。聚烯烃隔膜主要有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)及其与其他物质的混合物等。聚烯烃隔膜虽然具有力学性能与化学稳定性好，无毒性，成本低等优点，但在电解液亲和性、热稳定性等方面还有所欠缺[2,3]，因此，对其改性的研究一直受到广泛关注。

无机/有机表面涂覆改性工艺简单、易于工业化，是常用的改性方法之一。目前主要使用的无机纳米粒子有氧化铝(Al_2O_3)、二氧化硅(SiO_2)、二氧化钛(TiO_2)等[4-6]，但对纳米碳酸钙(n-$CaCO_3$)的研究尚少。n-$CaCO_3$具有比表面积大，热稳定性好，成本低及来源广泛等优点[7,8]。n-$CaCO_3$与极性溶剂的强相互作用可以减小溶剂中Li^+络合物的离子半径，从而增加Li^+的转移数。此外，n-$CaCO_3$还能诱导Li^+形成力学强度高且亲锂的$CaLi_2$，防止Li^+形成锂枝晶影响组装电池的性能[9]。在涂覆改性中选用的有机黏结剂包括水溶性黏结剂如聚乙烯醇(PVA)[10,11]和油溶性黏结剂如聚偏氟乙烯(PVDF)[12,13]。水溶性黏结剂相较油性黏结剂对环境更友好，也更安全。

本文采用n-$CaCO_3$为无机纳米粒子，PVA为黏结剂，十二烷基磺酸钠为表面活性剂对PP隔膜进行改性[14,15]。实验结果表明，改性后隔膜的电解液亲和性得到改善，力学性能、热稳定性及电化学性能得到提升，在充放电过程中更加安全且稳定。

1 实验部分

1.1 主要原料

聚丙烯隔膜：Calgard2400，国药集团化学试剂有限公司；聚乙烯醇（PVA）：1750±50，上海沪试实验室器材股份有限公司；十二烷基硫酸钠（SDS）：上海沪

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0116
收稿日期：2024-07-26
基金项目：国家自然科学基金资助项目(52177216)
通讯联系人：吴江渝，主要从事功能薄膜材料、智能响应材料研究，E-mail: wujy@wit.edu.cn；
王玮，主要从事面向电网的大规模储能新材料与新技术，电化学新方法理论与技术应用研究，E-mail: wei_wang@hust.edu.cn

试实验室器材股份有限公司；正丁醇（NBA）：分析纯，国药集团化学试剂有限公司；纳米颗粒尺寸碳酸钙（n-$CaCO_3$）：粒径50 nm，麦克林；三氟甲磺酰亚胺锂（LITFSI）、1,2-二甲氧基乙烷（DME）、1,3-二氧环戊烷（DOL）：成都市科隆化学品有限公司；硝酸锂（$LiNO_3$）：苏州多多化学科技有限公司；磷酸铁锂（$LiFePO_4$）：成都艾科达化学试剂有限公司；纽扣电池外壳（规格2032）、金属锂片（直径15.5 mm）：深圳市科晶智达科技有限公司。

1.2　改性隔膜的制备

称取0.5 g PVA固体颗粒，加入40 mL去离子水中，85 ℃恒温搅拌0.5 h，待PVA完全溶解后停止加热。溶液恢复室温后加入0.1 g SDS继续搅拌至溶解，得到涂覆涂料记作a。重复上述步骤后分别向混合溶液中加入0.2 g，0.4 g和0.6 g，0.8 g n-$CaCO_3$，继续搅拌5 h，得到涂覆涂料记作b_2，b_4，b_6和b_8。

通过浸涂法将PP隔膜浸入到涂料a中1 min，取出隔膜静置30 s后再次浸入涂料a中。重复该操作3次后取出隔膜，自然风干2 h后35 ℃恒温烘干24 h，得到改性隔膜记作PP-A。重复上述操作将PP隔膜分别浸入涂料b_2，b_4，b_6和b_8中，得到改性后的隔膜记作PP-B_2，PP-B_4，PP-B_6和PP-B_8。

1.3　测试与表针

1.3.1　*表面形貌表征*：隔膜的表面形貌通过扫描电子显微镜(SEM，JSM-5510LV，日本电子光学公司)进行表征。测试电压为10 kV。

1.3.2　*孔隙率分析*：使用高精度测厚仪(上海九量五金有限公司)对隔膜的厚度进行测量，通过圆柱体体积公式得到隔膜的体积。称量出隔膜的质量，再将隔膜浸入正丁醇中浸泡2 h，随后取出隔膜快速擦干表面后称量其质量，通过式(1)计算隔膜的孔隙率

$$P = \frac{m_1 - m}{\rho \times V} \tag{1}$$

式中：P——隔膜的孔隙率，%；m——浸入之前隔膜的质量，g；m_1——浸入之后隔膜的质量，g；ρ——正丁醇密度，g/cm³；V——隔膜体积，cm³。

1.3.3　*电解液亲和性分析*：通过接触角测试仪(DSA100，德国Krüss公司)对隔膜进行电解液滴液测试。

电解液吸液率：配置V(DME):V(DOL)=1:1的混合溶液，将隔膜称量后浸入该混合溶液中，浸泡5 min后取出，快速擦干隔膜表面残留溶液后称量，按式(2)计算电解液吸液率

$$\eta = \frac{m_3 - m_4}{m_4} \tag{2}$$

式中：η——隔膜的电解液吸液率，%；m_4——浸入之前隔膜的质量，g；m_3——浸入之后隔膜的质量，g。

1.3.4　*热稳定性分析*：将隔膜放入真空干燥箱中，分别设置不同温度(140 ℃，150 ℃，160 ℃，170 ℃)，对隔膜进行恒温热处理0.5 h后计算隔膜的面积，并通过式(3)计算隔膜的热收缩率

$$\alpha = \frac{S - S_1}{S} \tag{3}$$

式中：α——隔膜的热收缩率，%；S——热处理前隔膜的面积，cm²；S_1——热处理后隔膜的面积，cm²。

1.3.5　*力学性能测试*：将隔膜样品制成宽1 cm，长5 cm的样条，通过万能试验机（Instron5567，美国Instron公司）进行拉伸测试，拉伸速率为20 mm/s。

1.3.6　*循环伏安曲线（CV）分析*：通过电化学工作站(chi660E，北京泊菲莱)对组装电池进行CV测试，扫描速率设置为1×10^{-4} V/S，扫描电压区间设置为2.5～4.2 V。

1.3.7　*循环性能分析*：在氩气手套箱中组装纽扣电池，组装锂片‖含电解液PP隔膜‖磷酸铁锂电极、锂片‖含电解液n-$CaCO_3$改性PP隔膜‖磷酸铁锂电极半电池。再使用Land系统(CT2001A tester，武汉蓝电)对组装好的纽扣电池进行充放电循环测试，充放电电流设置为1 C，充放电电压设置为2.5～4.2 V。

1.3.8　*离子电导率分析*：使用电化学工作站对组装的电池进行界面阻抗及离子电导率测试。交流阻抗扫描频率设置为10^{-2}～10^{-5} Hz，正弦振幅设置为5 mV，通过式(4)计算离子电导率

$$\delta = \frac{d}{R_s \times S} \tag{4}$$

式中：δ——离子电导率，mS/cm；d——隔膜的厚度，cm；R_s——液接电阻，Ω；S——隔膜的有效面积，cm²。

2　结果与讨论

2.1　表面形貌表征

Fig.1为原PP隔膜与改性隔膜PP-B_6的SEM图。从中可以看出，改性之后的隔膜表面形成了有

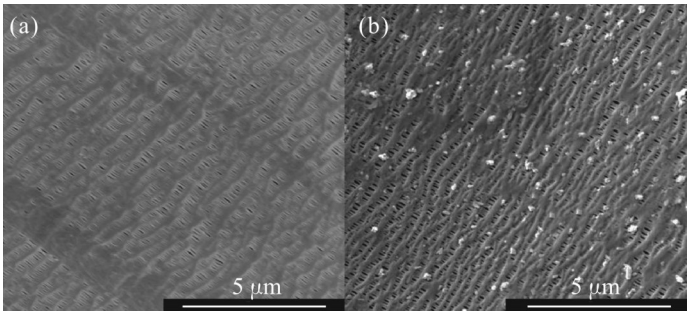


Fig. 1 SEM images of (a) original PP separator and (b) PP-B_6 separator

Tab. 1 Thickness of the original and modified PP separators

Separator	PP	PP-A	PP-B_2	PP-B_4	PP-B_6	PP-B_8
Thickness/μm	25.00 ± 0.10	25.12 ± 0.10	25.32 ± 0.10	26.05 ± 0.10	26.65 ± 0.20	27.10 ± 0.20

机/无机复合涂层，对比原始PP隔膜，改性后的隔膜表面更加粗糙。n-$CaCO_3$通过PVA有机涂层分散在隔膜表面，增大了隔膜的比表面积，从而利于隔膜与电解液的接触和吸收，为Li^+的传输提供了更多的通道[16]。

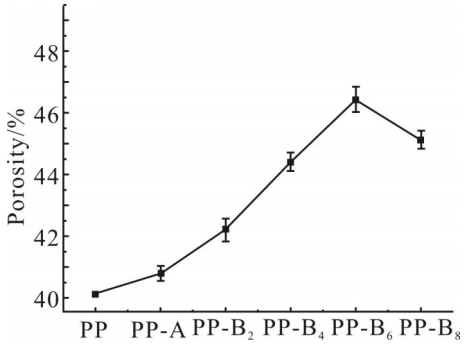


Fig. 2 Porosity of the original and modified PP separators

2.2 孔隙率分析

孔隙率对Li^+在隔膜中的传输有着直接的影响。较大的孔隙率通常会为Li^+提供更多的传输途径，同时使更多的电解液浸入隔膜的孔隙中，增大隔膜的电解液湿润性，提高电解液的吸液率[17]。Tab.1为原始隔膜及改性隔膜的厚度，Fig.2为原始隔膜及改性隔膜的孔隙率。从Tab.1中可以看出，随着n-$CaCO_3$含量的增加，隔膜的厚度增加。从Fig.2中可以看出，随着n-$CaCO_3$含量增加，隔膜的孔隙率呈现先上升后下降的趋势。当n-$CaCO_3$的添加量为0.6 g时，隔膜有着最大的孔隙率，为46.47% ± 0.42%。当n-$CaCO_3$的添加量为0.8 g时，因为无机纳米粒子过多，在隔膜表面发生了团聚，堵塞了隔膜原本的孔隙，导致孔隙率下降。改性之后隔膜的孔隙率均大于原始PP隔膜，主要是因为n-$CaCO_3$的比表面积大，同时n-$CaCO_3$表面具有多孔的特点，其与PVA形成的复合涂层粘附在隔膜表面增加了隔膜的粗糙度，进而提高了隔膜的孔隙率，使隔膜能够更好地被电解液浸湿，为Li^+的传输提供更好的条件。

2.3 电解液亲和性分析

Fig.3(a)为原始PP隔膜和改性隔膜的电解液接触角，Fig.3(b)为原始PP隔膜和改性隔膜的电解液吸液率。从Fig.3(a)中可以看出，引入PVA和n-$CaCO_3$后，隔膜的电解液接触角呈下降趋势，改性后的PP-B_6隔膜相比于原始PP隔膜的电解液接触角从80.00° ± 1.34°下降到44.23° ± 1.72°。从Fig.3(b)中可以看出，随着n-$CaCO_3$含量的增加，隔膜的电解液吸液率呈现先上升后下降的趋势。当n-$CaCO_3$的添加量为0.6 g时，隔膜有着最大的电解液吸液率，为168.03% ± 3.46%，大于原始PP隔膜的电解液吸液率92.23% ± 1.73%。这主要是因为PP本身属于非极性高分子，与电解液的亲和性较差，PVA和n-$CaCO_3$的引入带来了大量的极性基团(—OH)，增大了隔膜与电解液的亲和性，从而增加了隔膜的电解液吸液率。但n-$CaCO_3$的添加量为0.8 g时，因为无机纳米粒子堵塞了隔膜的孔隙，使得电解液接触角增加，电解液吸液率下降。后续相关测试选取最佳改性隔膜PP-B_6进行表征与分析。

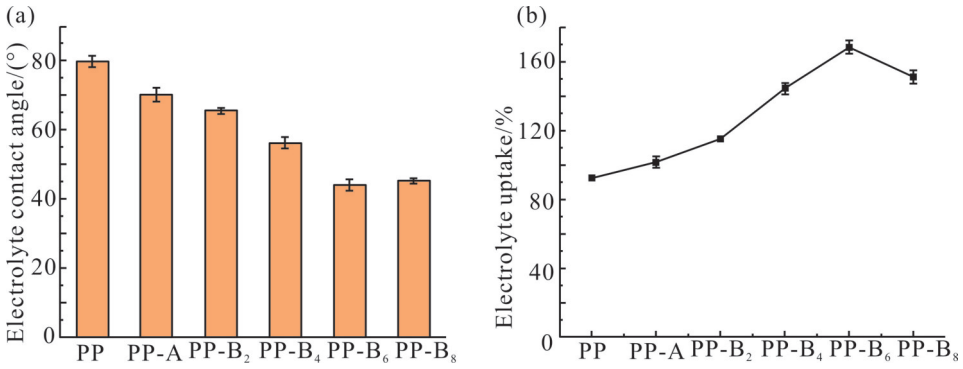


Fig. 3 (a) Electrolyte contact angle and (b) electrolyte uptake of the original and modified PP separators

2.4 热稳定性分析

Fig.4 为原始 PP 隔膜及改性隔膜在 140 ℃，150 ℃，160 ℃和 170 ℃的热收缩率图。从图中可以看出，在 140 ℃时几种隔膜的热收缩率差距不大，温度逐渐升高时，隔膜的热收缩率差距随之变大。当温度为 170 ℃时，原始 PP 隔膜的热收缩率为 42.50% ± 3.45%，而 PP-B_6 隔膜的热收缩率为 18.59% ± 4.12%，热收缩率下降约 23.91%，热稳定性得到提升。这主要是因为 n-$CaCO_3$ 具有热稳定高的特点，PVA 和 n-$CaCO_3$ 通过表面活性剂 SDS 在 PP 隔膜表面形成了一层稳定的骨架涂层，温度升高时可以阻止隔膜发生收缩，提高隔膜的热稳定性，并且改性隔膜在电解液极性环境中也可以保持良好的热收缩率，能够使隔膜在较高的温度正常工作，从而提高电池的安全性。

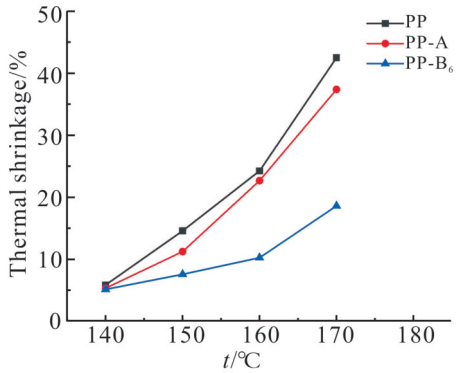


Fig. 4 Thermal shrinkage of the original and modified PP separators

2.5 力学性能分析

Fig.5 为原始 PP 隔膜和改性 PP-B_6 隔膜的应力-应变曲线。原始 PP 隔膜的拉伸强度为(139 ± 4) MPa，而改性隔膜的拉伸强度为(160 ± 6) MPa，改性后提升了约 21 MPa，其断裂伸长率也从 155% ± 11% 提升到 192% ± 13%。这归因于 n-$CaCO_3$ 优异的强度及硬度，通过 SDS 与 PVA 黏结在隔膜表面形成稳定的涂层结构，使得该涂层结构能够阻止隔膜发生断裂，从而提高隔膜的结构稳定性，使隔膜的安全性能得到改善。

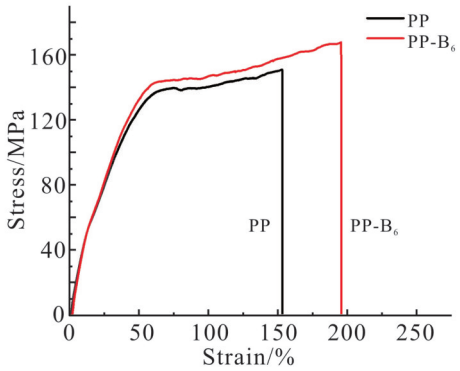


Fig. 5 Stress-strain curves of the original PP and PP-B_6 separators

2.6 循环伏安性能分析

Fig.6 为原始 PP 隔膜(a)与改性隔膜 PP-B_6(b)的 CV 曲线。从图中可以看出，改性隔膜的还原峰与氧化峰的对称性优于原始 PP 隔膜，说明改性后电池中充放电反应的可逆性更好。随着循环次数的增加，改性隔膜的氧化峰与还原峰的重现性优于未改性的 PP 隔膜。这是因为 n-$CaCO_3$ 的引入不仅可以增加隔膜的电解液湿润性和吸液率从而提高 Li^+ 的传递，同时 Ca^{2+} 还可以促进 Li^+ 的解离，防止其形成锂枝晶导致充放电中的损耗，改善了电池的极化现象，提高了电池的放电容量，增强了电池的循环稳定性。

2.7 循环性能分析

Fig.7(a)为原 PP 隔膜和改性 PP-B_6 隔膜组装成扣式电池后的循环性能图。从图中可以看出，在循环初期(25 次以内)，电池的放电容量呈上升趋势，这主

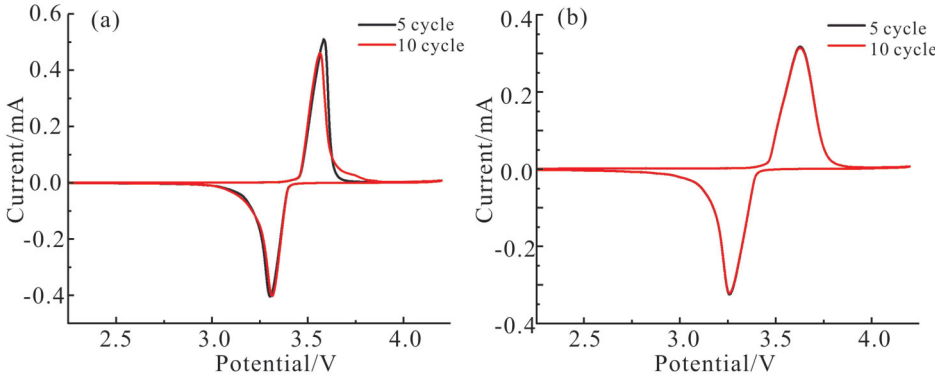


Fig. 6 Cyclic voltammetry (CV) curves of (a) the original PP and (b) PP-B_6 separators

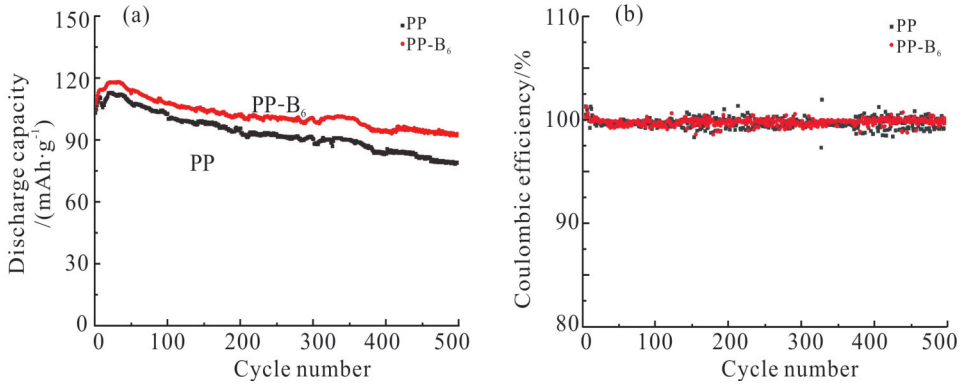


Fig. 7 (a) Cycling performance and (b) coulombic efficiency of the lithium-ion half cells with the original PP and PP-B_6 separators

要是因为循环初期电池中存在欧姆电阻，随着电场的引入，电解液不断渗入电极孔隙，欧姆电阻随着循环次数的增加逐渐下降，电压也随之下降，循环到25圈时，电压重新上升，开始正常充放电，该过程属于电池的活化过程。随着循环次数的增加，由于电池中存在极化现象，加上正负极、电解液、隔膜的逐渐损耗，同时Li^+会在隔膜上发生沉积形成锂枝晶[18]，放电容量呈下降趋势。循环100圈时，原始未改性PP隔膜的放电比容量为93.18%，而改性后的PP-B_6隔膜能够保持98.38%的放电比容量，当循环次数到达200次时，PP-B_6的放电比容量还能够保持92.79%。这归因于PVA和n-$CaCO_3$的引入提高了隔膜的孔隙率及电解液湿润性，提高了离子的迁移能力，同时Ca^{2+}还能促进Li^+的解离，防止其形成锂枝晶导致电池性能下降。当循环次数到达500次，改性隔膜的放电比容量还能够保持84.10%，而原始PP隔膜的放电比容量只剩71.55%。Fig.7(b)为该充放电循环中的库伦效率图，从中可以看出，改性隔膜的库伦效率优于原始PP隔膜，相比之下更接近一条直线，表明在每次循环中电池的容量损耗更小，通过PVA和n-$CaCO_3$改性隔膜的循环性能得到了明显提升。

2.8 离子电导率分析

Fig.8为原始PP隔膜和改性PP-B_6隔膜的交流阻抗图谱，在高频区可以视作一个圆弧，在低频区可以视作一条直线。通过Zview软件可以拟合出电池内部各部分间的阻抗。高频区阻抗曲线与横轴的交点代表电池的液接电阻（R_s），R_s的大小可以反应电解液和隔膜体系的整体电阻。拟合结果显示，采用未改性隔膜电池的R_s为2.55 Ω，而通过PVA和n-$CaCO_3$在隔膜上改性（PP-B_6），电池的R_s下降到1.78 Ω，这归因于改性后的隔膜具有更好的电解液亲和性，保证了负极/电解液/正极之间良好的接触，实现了Li^+的高效传输。高-中频区的圆弧电解液与电极界面的电荷转移电阻R_{ct}，采用未改性PP隔膜的电池R_{ct}为227 Ω，隔膜经过改性后R_{ct}降低到了169 Ω，这主要是因为通过PVA和n-$CaCO_3$改性后的PP-B_6隔膜与电极界面的电荷转移速率得到明显改善。改性后，隔膜的孔隙率得到提高，增加了Li^+的传输通道，改性后

隔膜的离子电导率从0.50 mS/cm提升到0.78 mS/cm，整体上改善了电池充放电反应的动力学。

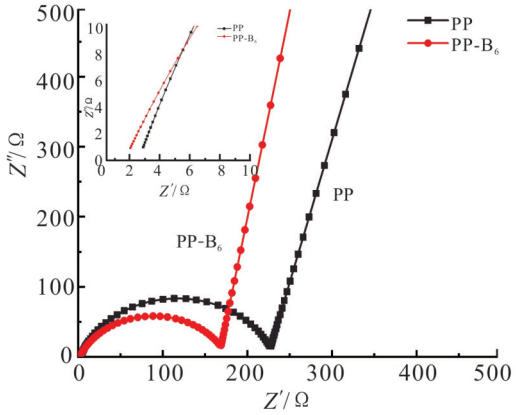


Fig. 8 Electrochemical AC impedance spectra of the original PP and PP-B_6 separators

3 结论

以PVA为黏结剂，质量分数为1.5%的n-$CaCO_3$涂覆在PP隔膜上制得的改性隔膜性能最佳。该隔膜拥有最大的孔隙率，更小的电解液接触角，改性隔膜相比未改性隔膜电解液亲和性得到提升。改性隔膜的离子电导率从0.50 mS/cm提升到0.78 mS/cm，液接电阻从2.55 Ω下降至1.78 Ω；电荷转移电阻从227 Ω下降到169 Ω，电化学性能得到明显提升。采用改性隔膜组装的磷酸铁锂扣式半电池在1 C的倍率下充放电500次后容量保持率可达84.10%，相比采用未改性隔膜的电池，循环稳定性得到显著提升。同时改性隔膜PP-B_6与未改性PP隔膜相比热收缩率下降了23.91%左右，拉伸强度提升约21 MPa，有望增强电池在实际工况下运行的安全性与稳定性。

参考文献：

[1] Huang X, S. Separator technologies for lithium-ion batteries[J]. Journal of Solid State Electrochemistry, 2011, 15: 649-662.

[2] Guo Y F, Zeng X Y, Li J, *et al*. A high performance composite separator with robust environmental stability for dendrite-free lithium metal batteries[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2023, 642: 321-329.

[3] Liu Y, Li C Y, Li C, *et al*. Highly thermally stable, highly electrolyte-wettable hydroxyapatite/cellulose nanofiber hybrid separators for lithium-ion batteries[J]. ACS Applied Energy Materials, 2023, 6: 2862-3871.

[4] Zheng H, Wang Z Y, Shi L, *et al*. Enhanced thermal stability and lithium-ion conductivity of polyethylene separator by coating colloidal SiO_2 nanoparticles with porous shell[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2019, 554: 29-38.

[5] Wang X, Hua H M, Peng L Q, *et al*. Functional separator for promoting lithium-ion migration and its mechanism study[J]. Applied Surface Science, 2021, 542: 148661.

[6] Choi H, Lee B S. Pilot scale hybrid organic/inorganic coatings on a polyolefin separator to enhance dimensional stability for thermally stable long-life rechargeable batteries[J]. Polymers, 2022, 14: 4474.

[7] Peng Q K, Liu Z Y, Jiang L H, *et al*. Optimized cycle and safety performance of lithium-metal batteries with the sustained-release effect of nano $CaCO_3$[J]. Advanced Energy Materials, 2022, 12: 2270079.

[8] Mao H J, He B, Guo W, *et al*. Effects of nano-$CaCO_3$ content on the crystallization, mechanical properties, and cell structure of PP nanocomposites in microcellular injection molding[J]. Polymers, 2018, 10: 1160.

[9] Kim Y M, Kim H S, Park B K, *et al*. Flattening of lithium plating in carbonate electrolytes enabled by all-in-one separator[J]. Small, 2023, 19: 2301754.

[10] Yu L H, Jin Y, Lin Y S. Ceramic coated polypropylene separators for lithium-ion batteries with improved safety: effects of high melting point organic binder[J]. RSC Advances, 2016, 6: 40002-40009.

[11] Zhang Y H, Du S B, Pang Y F, *et al*. Enhanced thermostability and electrochemical performance of separators based on an organic/inorganic composite binder composed of polyvinyl alcohol and inorganic phosphate for lithium-ion batteries[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2022, 895: 162646.

[12] Shekarian E, Nasr M R J, Mohammadi T. Preparation of 4A zeolite coated polypropylene membrane for lithium-ion batteries separator[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136: 47841.

[13] Liu J S, Li W S, Zuo X X, *et al*. Polyethylene-supported polyvinylidene fluoride-cellulose acetate butyrate blended polymer electrolyte for lithium-ion battery[J]. Journal of Power Sources, 2013, 226: 101-106.

[14] Ye F, Xu C, Liu G, *et al*. Effect of pulse electrodeposition parameters on electrocatalytic the activity of methanol oxidation and morphology of Pt/C catalyst for direct methanol fuel cells[J]. Energy Conversion and Management, 2018, 160: 85-92.

[15] Wang H H, Luan W W, Sun L, *et al*. Study on polyvinyl butyral purification process based on Box-Behnken design and artificial neural network[J]. Chemical Engineering Research and Design,

2022, 184: 291-302.

[16] 扬承沅. 氧化铝与勃姆石陶瓷在聚酰亚胺纳米纤维表面的可控包覆及其作为锂离子电池隔膜的应用[D]. 北京: 北京化工大学, 2020.
Yang C Y. Controllable coating of alumina and boehmite ceramics on the surface of polyimide nanofibers and its application as a diaphragm for lithium-ion batteries[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2020.

[17] Fang L F, Shi J L, Zhu B K, *et al*. Facile introduction of polyether chains onto polypropylene separators and its application in lithium ion batteries[J]. Journal of Membrane Science, 2013, 448: 143-150.

[18] Kong L X, Xing Y J, Pecht M G. In-situ observations of lithium dendrite growth[J]. IEEE Access, 2018, 6: 8387-8393.

$CaCO_3$ Nano Particles/Polyvinyl Alcohol Coated Polypropylene Separator for Battery and Its Performance

Zhanyu Wang[1], Zhanpeng Zhou[2], Xiaoping Zeng[1], Dawei Wang[1], Jiangyu Wu[1], Wei Wang[2]

(*1. Hubei Key Laboratory of Plasma Chemistry and Advanced Materials Materials, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China; 2. State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*)

ABSTRACT: Currently, the commercial polyolefin separators suffer from deficiencies such as inadequate electrolyte affinity and poor thermal stability, resulting in the lack of charge-discharge performance and safety of assembled batteries. To enhance its electrolyte affinity and thermal stability, calcium carbonate nano particles were modified onto the surface of the polypropylene separator using polyvinyl alcohol as binder. The surface morphology, electrolyte uptake and thermal stability of the modified separators were characterized, and their electrochemical performance was evaluated. The results indicate that the porosity of the modified separator with 1.5% calcium carbonate can reach 46.47%±0.42%, while the electrolyte uptake increases to 168.03%±3.46%, thereby improving electrolyte affinity of the modified separator. At 170 ℃, the thermal shrinkage rate of the modified separator is 18.59%±4.12%, with an increased tensile strength of about 169 MPa, and the mechanical properties and thermal stability of the separator are improved. Compared with the original separator, the ionic conductivity of the modified separators increases from 0.50 mS/cm to 0.78 mS/cm, and the specific discharge capacity could be maintained at 84.10% after 500 charge and discharge cycles, remaining more stable during the charge and discharge cycle.

Keywords: polyolefin separator; coating modification; electrolyte affinity; thermal stability; security