

2014-02-25

Electrochemical Performance of LiMn₂O₄ in PyR₁₄TFSI Containing Electrolyte at 50 °C

Li-zhen WANG

Department of Material and Chemical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China; Henan Provincial Key Laboratory of Surface Interface Science, Zhengzhou 450001, China;
wlz@zzuli.edu.cn

Xin-ke SUN

Xu-zhao YANG

Lin-sen ZHANG

Yong ZHANG

Wen-jing ZHANG

Recommended Citation

Li-zhen WANG, Xin-ke SUN, Xu-zhao YANG, Lin-sen ZHANG, Yong ZHANG, Wen-jing ZHANG.

Electrochemical Performance of LiMn₂O₄ in PyR₁₄TFSI Containing Electrolyte at 50 °C[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2014 , 20(1): 66-72.

DOI: 10.13208/j.electrochem.130110

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol20/iss1/12>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

DOI: 10.13208/j.electrochem.130110

Artical ID:1006-3471(2014)01-0066-07

Cite this: *J. Electrochem.* 2014, 20(1): 66-72

Http://electrochem.xmu.edu.cn

含 PyR₁₄TFSI 电解液 LiMn₂O₄ 正极高温电化学性能

王力臻^{1,2*}, 孙新科¹, 杨许召¹, 张林森¹, 张勇^{1,2}, 张文静¹

(1. 郑州轻工业学院材料与化学工程学院, 河南 郑州 450000; 2. 河南省表面科学重点实验室, 河南 郑州 450000)

摘要: 利用差示扫描量热仪(DSC)、电化学工作站、BTS 电池测试系统、X-射线衍射仪(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)和 X 射线能量色散谱(EDS)等方法,研究了含离子液体 N-甲基丁基吡咯烷二(三氟甲基磺酰)亚胺盐(PyR₁₄TFSI)电解液性能以及 LiMn₂O₄ 电极高温电化学性能。结果表明,随着 1 mol·L⁻¹ LiPF₆ EC/EMC/DMC (1:1:1, by volume)中 PyR₁₄TFSI 添加量的增大,电解液的电导率逐渐增大,添加量为 2.5%(by mass)时,电解液 DSC 曲线由 89.3 °C、201 °C、224 °C 三个强吸热峰变为 116.6 °C 和 244.3 °C 两个强吸热峰;50 °C 下, LiMn₂O₄ 倍率性能显著提高,2C 放电比容量提高 16 mAh·g⁻¹,100 循环周期后容量保持率为 88.3%(提高 2.2%)。PyR₁₄TFSI 添加有利于电极结构的稳定。

关键词: 离子液体; 尖晶石型锰酸锂; N-甲基丁基吡咯烷二(三氟甲基磺酰)亚胺盐; 安全性

中图分类号: TM911

文献标识码: A

离子液体(Ionic Liquids, IL)作为新型的电解液溶剂,电化学窗口宽、无蒸汽压、电化学稳定性好、液程宽^[1],可作为电解质溶剂^[2-3]、与传统碳酸酯类复配^[4-5]以及作为添加剂^[6-7]。对商业化生产,添加剂可在几乎不增加生产成本的前提下,提高锂离子电池的性能,但离子液体作为添加剂添加于常规电解液的研究仍较少。

离子液体 N-甲基丁基吡咯烷二(三氟甲基磺酰)亚胺盐(PyR₁₄TFSI)室温下为液体(熔点 251.5 K),电导率高(大于 1 mS·cm⁻¹),电化学窗口宽(大于 5.5 V),稳定电位远低于锂负极的溶解/沉积电位^[8]。本文利用 PyR₁₄TFSI 作传统碳酸酯类电解液添加剂,研究含 PyR₁₄TFSI 电解液电导率和热稳定性以及 LiMn₂O₄ 电极电化学性能,以期改善其高温性能,减少锂离子电池安全隐患。

1 实验

1.1 电解液的配制

将 1 mol·L⁻¹ LiPF₆ EC/EMC/DMC (1:1:1, by volume, 下同)电解液在充满氩气的手套箱中添加 2.5%、5%(by mass, 下同)PyR₁₄TFSI(99%)。

1.2 电池的组装

将粘接剂聚偏二氟乙烯(PVDF)溶于 N-甲基吡咯烷酮(NMP),配成 10%(by mass)的溶液。按电极活性物质 LiMn₂O₄:SP:PVDF = 8:1:1(by mass),先将 LiMn₂O₄ 和 SP 充分混合研磨,再倒入称量好的 PVDF 溶液中,加入适量 NMP 调整粘度。将其均匀地涂布于铝箔(0.02 mm)上,真空干燥箱 100 °C 烘干 10 h,10 MPa 压制成型,与金属锂片(99%)、Celgard2400 隔膜,在充满氩气的手套箱中组装成 CR2016 电池。

1.3 电化学性能测试

使用 BTS 电池测试系统(新威)测试电池倍率和循环性能。使用电化学工作站(CHI660C,上海辰华)测试 LiMn₂O₄ 电极循环伏安曲线(锂片为辅助电极和参比电极),扫描电位区间 3.0 ~ 4.3 V,扫描速率 0.1 mV·s⁻¹。

1.4 表征测试

使用电导率仪(DDS-307)测量电解液电导率,电导电极 DJS-1C 型。使用差示扫描量热仪(Q100,美国 TA)测试电解液的 DSC 曲线,温度范围 25 °C

~ 300 °C, 升温速率 5 °C·min⁻¹.

在充满氩气的手套箱中拆解循环过后的电池, 极片经碳酸二甲酯(DMC)溶剂冲洗, 洗去极片表面残留电解液, 80 °C 真空烘干.

使用 X 射线衍射仪 (D8ADVANCE, 德国 Bruker) 分析极片表面物质物相, Cu(K_α) 靶辐射源, 管电压 40 kV, 电流 100 mA, 扫描速率 4°·min⁻¹, 扫描范围 10°~90°.

使用扫描电子显微镜(JSM-6490LV, 日本电子株式会社) 观察循环后极片形貌和 EDS 分析样品.

2 结果与讨论

2.1 含 PyR₁₄TFSI 电解液的性质

1) 电解液电导率

电解液的电导率影响着电池欧姆内阻. 常温下大多数离子液体粘度较高, 降低了导电离子的迁移速率. 含 PyR₁₄TFSI 电解液的电导率列于表 1.

表 1 25 °C 下电解液的电导率

Tab. 1 Ionic conductivity of the PyR₁₄TFSI containing electrolytes at 25 °C

PyR ₁₄ TFSI/%	0	2.5	5
Ionic conductivity/(mS·cm ⁻¹)	10.3	10.38	10.39

从表 1 中可以看出, 随着 PyR₁₄TFSI 添加量的增大, 电解液电导率逐渐增大. 电解液的电导率 $\sigma(T)$ 与锂盐含量和离子的迁移有关^[9]:

$$\sigma(T) = \sum n_i q_i u_i \quad (1)$$

式中, n_i 为载流子数目, q_i 为载流子电荷, u_i 为载流子迁移速率. 在确定载流子电荷(Li⁺)和 25 °C 下, 电导率主要由载流子数目和迁移速率决定. 添加 PyR₁₄TFSI 后, 电解液粘度增大(PyR₁₄TFSI 动力粘度为 85 cp)^[10], 离子迁移速率降低, 即 u_i 减小; 同时, PyR₁₄TFSI 与电解液溶剂可发生溶剂化作用^[11], 增加了溶液中载流子数目, 即 n_i 增大; 添加少量离子液体时, n_i 的增大起主导作用, 导致电导率有所增大.

2) 电解液的 DSC 曲线

图 1 给出含 PyR₁₄TFSI 电解液的 DSC 曲线, EC 沸点为 238 °C, DMC 沸点为 90 °C, EMC 沸点为 108 °C^[12]. 图 1 中, 1 mol·L⁻¹ LiPF₆ EC/EMC/DMC 电解液 DSC 曲线上 89.3 °C 处较宽的吸热峰对应于 DMC 和 EMC 相变, 225.8 °C 吸热峰对应于 EC

相变, 201 °C 吸热峰对应于 LiPF₆ 的晶型转变^[12]. 而添加 2.5% PyR₁₄TFSI 后, DSC 曲线上仅有 116.6 °C 和 244.3 °C 两个强吸热峰, 这可归因于 PyR₁₄TFSI 的憎水亲油性质, 其与溶剂相容性强并发生溶剂化作用, 这将有效改善 116.6 °C 以下由温度升高电解液气化而导致的电池内压升高问题. 60 °C 吸热峰可能是由于离子液体难于纯化, 含有微量的水分, 造成电解液中小分子杂质如有机酸、醇等^[13]浓度升高.

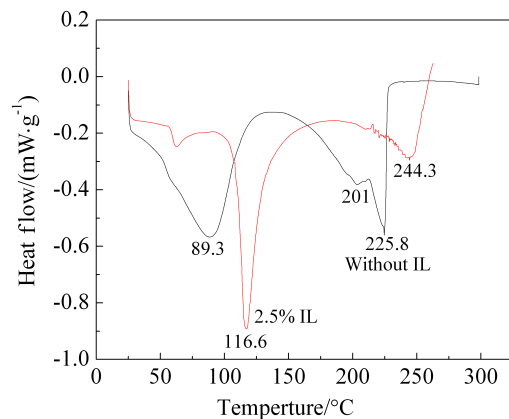


图 1 含 PyR₁₄TFSI 电解液的 DSC 曲线

Fig. 1 DSC analysis of the PyR₁₄TFSI containing electrolytes

2.2 含 PyR₁₄TFSI 电解液 LiMn₂O₄ 电极电化学性能

1) 室温循环稳定性

图 2 是不同 PyR₁₄TFSI 含量电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池室温下 2C 循环寿命曲线. 从图 2 中可以看出, 无 PyR₁₄TFSI 电解液电池、含 2.5% 和 5%

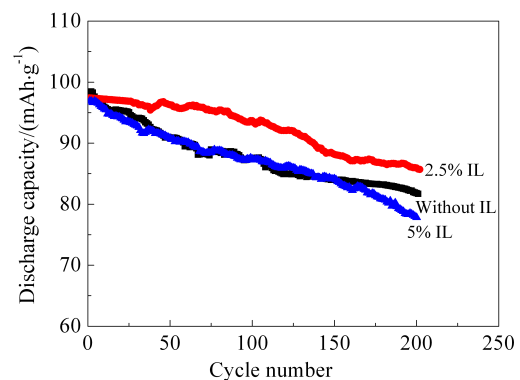


图 2 含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 2C 室温下的循环寿命曲线

Fig. 2 Cycling performances at 2C for Li/LiMn₂O₄ cells using PyR₁₄TFSI containing electrolytes at room temperature

PyR₁₄TFSI 电解液电池初始放电比容量分别为 98.3 mAh·g⁻¹、97.4 mAh·g⁻¹ 和 96.9 mAh·g⁻¹. 随着循环的进行, 含 2.5% PyR₁₄TFSI 电解液电池容量逐渐高于无 PyR₁₄TFSI 电解液电池, 80 循环周期时高出 6.8 mAh·g⁻¹. 200 循环周期后, 三种电池的容量保持率分别为 83.12%、88.00% 和 80.33%. 可见, 添加 2.5% PyR₁₄TFSI 显著改善了尖晶石型锰酸锂室温下的循环稳定性, 当添加量继续增大, 循环稳定性变差.

2) 室温充放电曲线

图 3 为室温下不同 PyR₁₄TFSI 含量电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池的第 1 (A)、第 100 (B) 和第 200 (C) 循环周期充放电曲线. 从图 3A 可以看到, 无 PyR₁₄TFSI 电解液、含 2.5% 和 5% PyR₁₄TFSI 电解液电池放电比容量分别为 98.30、97.43 和 96.3 mAh·g⁻¹. 随着 PyR₁₄TFSI 添加量的增大, 放电比容量逐渐降低, 且放电平台逐渐降低, 这是因为 PyR₁₄TFSI 添加后电解液对电极材料表面的润湿更

加困难^[14]. 由图 3B 看到, 无 PyR₁₄TFSI 电解液、含 2.5% 和 5% PyR₁₄TFSI 电解液电池的放电比容量分别为 86.71 mAh·g⁻¹、93.68 mAh·g⁻¹ 和 87.6 mAh·g⁻¹, PyR₁₄TFSI 添加后充电平台下降, 放电平台提高. 从图 3C 看出, 无 PyR₁₄TFSI 电解液、含 2.5% 和 5% PyR₁₄TFSI 电解液电池的放电比容量分别为 81.65 mAh·g⁻¹、85.92 mAh·g⁻¹ 和 78.01 mAh·g⁻¹, 此时充放电平台无显著差异, 所以高温实验选择 PyR₁₄TFSI 的添加量为 2.5%.

3) 50 °C 循环伏安与充放电曲线

图 4 为含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 50 °C 下的循环伏安曲线. 从图 4 中可以看出, LiMn₂O₄ 电极正负向扫描均出现 2 个峰, 分别对应于 LiMn₂O₄ 的 2 个充放电过程^[15].

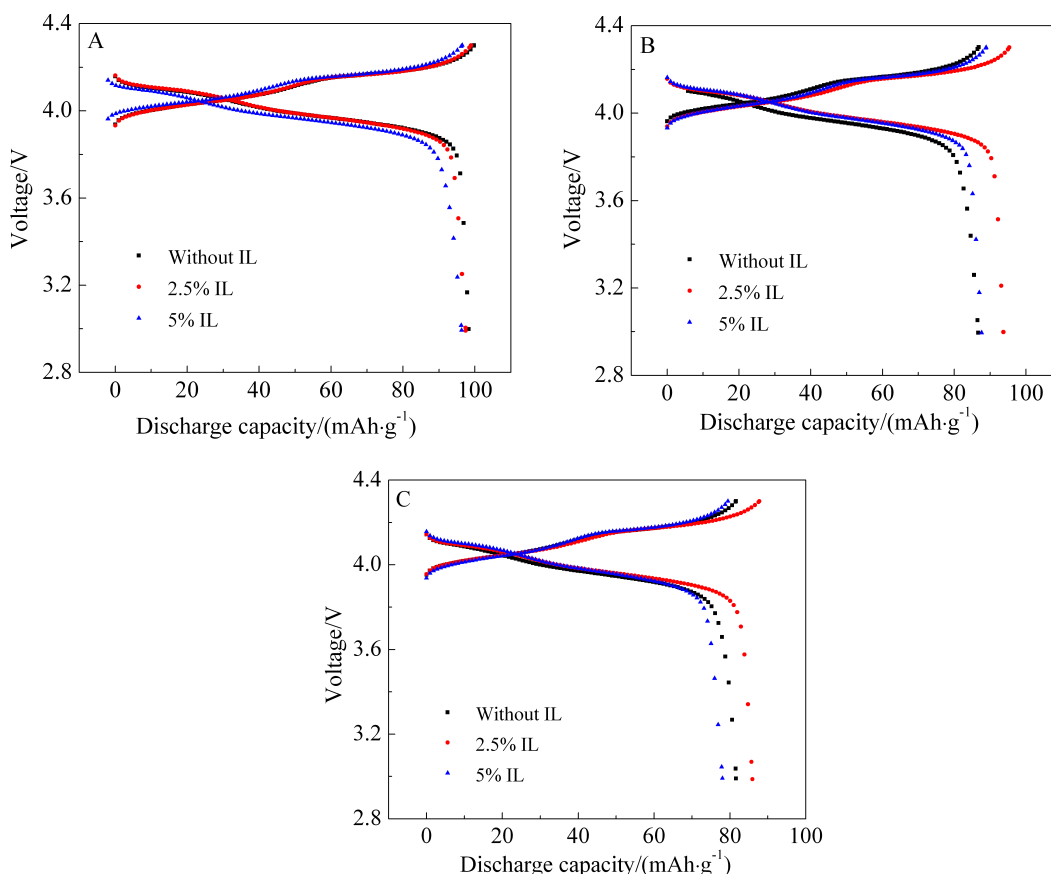
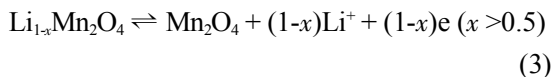
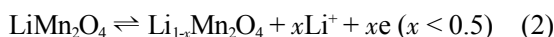


图 3 含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池的室温充放电曲线

A. 第 1 周期; B. 第 100 周期; C. 第 200 周期

Fig. 3 Charge/discharge profiles at 2C for Li/LiMn₂O₄ cells using PyR₁₄TFSI containing electrolytes at room temperature

A. 1st cycle; B. 100th cycles; C. 200th cycles

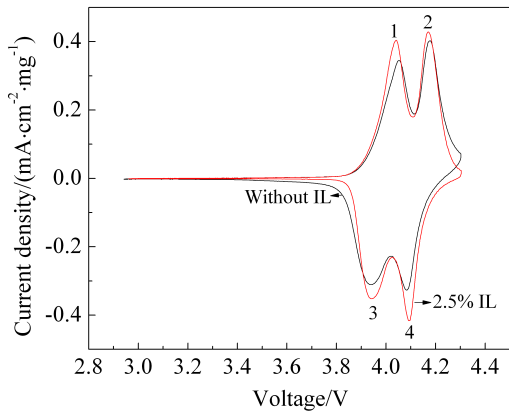


图 4 含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 50 °C 循环伏安曲线

Fig. 4 Cyclic voltammograms for Li/LiMn₂O₄ cells using PyR₁₄TFSI containing electrolytes at 50 °C

循环伏安曲线 1、3 峰对应于反应(2)的正逆过程, 2、4 峰对应于反应(3)的正逆过程. 含 PyR₁₄TFSI 电解液其峰面积增大, 即提高了充放电容量. PyR₁₄TFSI 主要影响 1、3 峰电位, 即反应(2)的脱嵌锂过程.

图 5 为含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 50 °C 下 2C 充放电曲线. 从图 5 中可以看到, PyR₁₄TFSI 使充电平台下降, 尤其是高电位区的充电平台下降更明显. 充电容量增加, 其高电位区放电平台无明显变化, 低电位区放电平台略有升高且延长, 从而使总体的放电平台更加平稳、放电比容量显著增加.

4) 50 °C 倍率性能

图 6 是含和不含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄

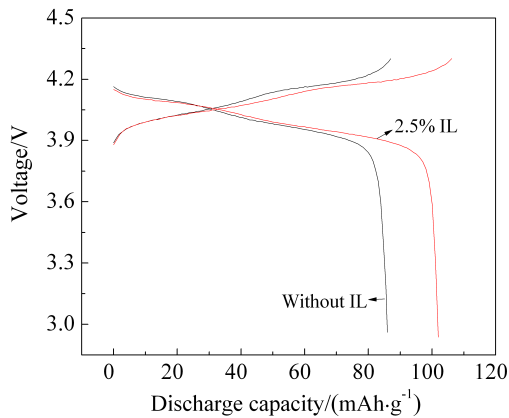


图 5 含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 2C 充放电曲线 (50 °C)

Fig. 5 Charge/discharge curves at 2C for Li/LiMn₂O₄ cells using PyR₁₄TFSI containing electrolytes at 50 °C

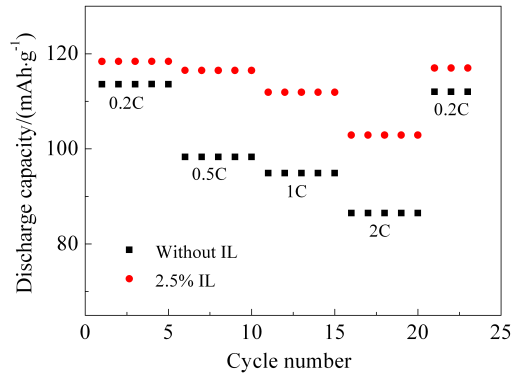


图 6 含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 50 °C 倍率性能曲线

Fig. 6 Rate performances for Li/LiMn₂O₄ cells using PyR₁₄TFSI containing electrolytes at 50 °C

电池 50 °C 下分别经 0.2C、0.5C、1C、2C 和 0.2C 充放电循环后的放电比容量. 由图 6 可知, 含 PyR₁₄TFSI 电解液电池各倍率放电比容量显著提高, 2C 比容量提高 16 mAh·g⁻¹; 无 PyR₁₄TFSI 电解液电池其 2C 放电容量只有 86.5 mAh·g⁻¹, 相应于 0.2C 放电比容量 76.14%; 而含 PyR₁₄TFSI 电解液电池 2C 放电比容量相应于 0.2C 下 86.92%. 从 2C 调回 0.2C, 其放电比容量与初始相当.

5) 循环稳定性 50 °C

图 7 为含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 50 °C 下 2C 充放电循环寿命曲线. 从图 7 中可以看到, 含 PyR₁₄TFSI 电解液第 10 循环周期放电比容量为 100.6 mAh·g⁻¹, 100 循环周期后, 含 PyR₁₄TFSI 电解液电池容量保持率为 88.3%, 高于无 PyR₁₄TFSI 电解液电池的 86.1%, 提高了 LiMn₂O₄ 电极 50 °C 下的循环稳定性.

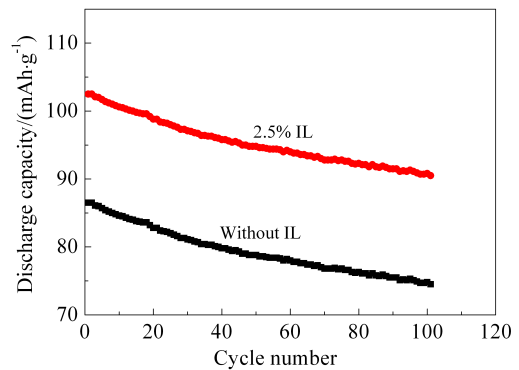


图 7 含 PyR₁₄TFSI 电解液 Li/LiMn₂O₄ 电池 2C 下 50 °C 循环寿命曲线

Fig. 7 Cycling performances at 2C for Li/LiMn₂O₄ cells using PyR₁₄TFSI containing electrolytes at 50 °C

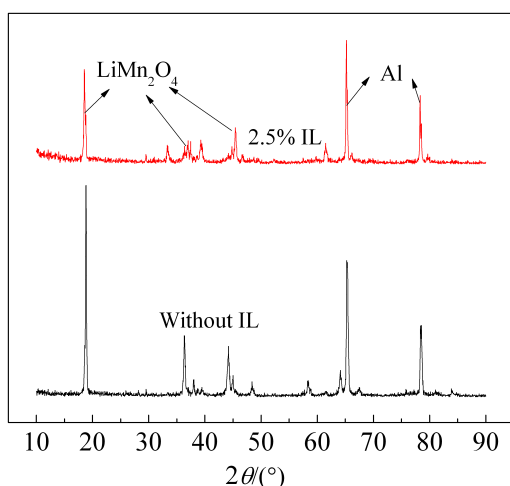


图 8 50 °C 下 2C 充放电循环 100 周期后 LiMn_2O_4 电极 XRD 谱图

Fig. 8 XRD patterns of LiMn_2O_4 electrode after 100 charge/discharge cycles at 50 °C

2.3 物性表征

1) LiMn_2O_4 晶型结构

图 8 为 50 °C 下 LiMn_2O_4 极片在含 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 电解液中循环后的 XRD 谱图. 从图 8 中可以看出, 添加 $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 对 LiMn_2O_4 的特征峰位置无明显影响, 仅强度有所减弱, 这说明未产生新产物, 仅活性材料的结晶度下降.

2) LiMn_2O_4 电极表面形貌及元素分析

图 9 为 50 °C 下 LiMn_2O_4 电极 (A) 及其在无 (B)、有 (C) 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 电解液中 2C 充放电循环 100 周期后的 SEM 照片. 从图 9 中可以看出, LiMn_2O_4 电极表面有明显的颗粒物, 无裂纹 (A); 电极在无 $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 电解液中循环后, 电极表面颗粒粉化, 出现明显的裂纹 (B); 而电极在含 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 电解液中循环后, 观察不到颗粒物, 其表面趋于均一化 (C).

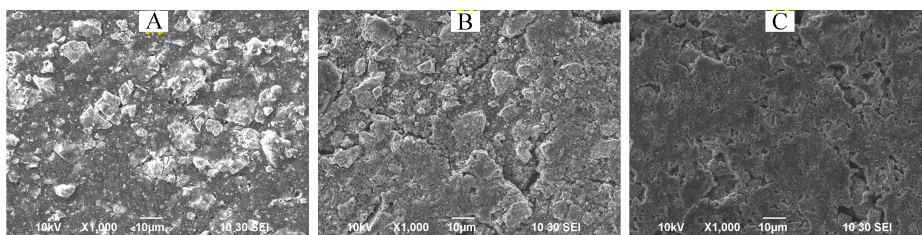


图 9 LiMn_2O_4 电极 (A) 及其在无 (B)、有 (C) 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 电解液中 50 °C 下 2C 循环 100 周期后 LiMn_2O_4 电极表面形貌
Fig. 9 SEM images of LiMn_2O_4 electrode (A), without (B) and with (C) 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ containing electrolytes after cycled for 100 times at 2C and 50 °C

图 10 是 50 °C 下含 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 的 LiMn_2O_4 电极 2C 充放电循环 100 周期后的 EDS 谱图. 从图 10 中可以看出, 电极上含有 C、O、Mn、F、P、S 等元素. 其中 C、O、Mn、F 和 P 元素来源于电极活性物质、导电剂以及电解液, S 元素来源于离子液体 $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$, 这是 PyR_{14}^+ 和 TFSI^- 由于静电作用较易被吸附在电极表面, 阻止电极和电解液之间的副反应^[8], 从而增强了电极结构的稳定性.

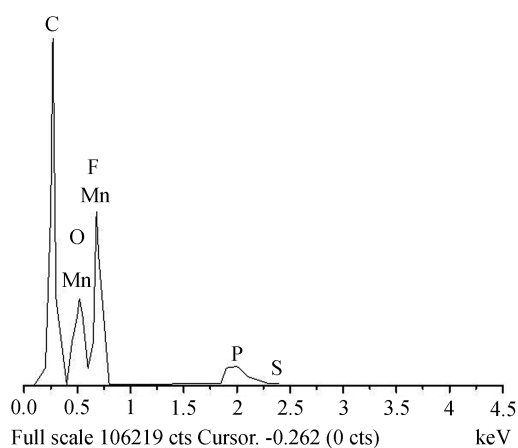


图 10 含 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ 电解液中 50 °C 下 2C 循环 100 周期后 LiMn_2O_4 电极表面元素分析

Fig. 10 EDS analysis of LiMn_2O_4 electrode after cycled for 100 times at 50 °C in 2.5% $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ containing electrolytes

3 结 论

在 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ LiPF_6 EC/EMC/DMC 添加 2.5% 的 $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$, 提高了电解液的电导率, 电解液由 89.3 °C、201 °C、224 °C 三个强吸热峰转变为 116.6 °C 和 244.3 °C 两个强吸热峰, 这将有效改善 116.6 °C 以下由温度升高电解液气化而导致的电池内压升高的问题. LiMn_2O_4 在 50 °C 下倍率性能得到提高,

2C 放电比容量提高 16 mAh·g⁻¹, 100 循环周期, 容量保持率为 88.3% (提高了 2.2%)。PyR₄TFSI 可作为常规碳酸酯类电解液添加剂, 显著提高尖晶石型锰酸锂的电化学性能, 减少锂离子电池的安全隐患。

参考文献(References):

- [1] Ohno H Y. Electrochemical aspects of ionic liquids[M]. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. 2005: 1-2.
- [2] Fang S H, Tang Y F, Tai X Y, et al. One ether-functionalized guanidinium ionic liquid as new electrolyte for lithium battery[J]. Journal of Power Sources, 2011, 196(3): 1433-1441.
- [3] Lewandowski A P, Hollenkamp A F, Donne S W, et al. Cycling and rate performance of Li-LiFePO₄ cells in mixed FSI-TFSI room temperature ionic liquids[J]. Journal of Power Sources, 2010, 195(7): 2029-2035.
- [4] Boor S L, Nobuko Y M, Minato E S, et al. A mixture of triethylphosphate and ethylene carbonate as a safe additive for ionic liquid-based electrolytes of lithium ion batteries [J]. Journal of Power Sources, 2010, 195(21): 7426-7431.
- [5] Kühnel R S, Böckenfeld N, Passerini S, et al. Mixtures of ionic liquid and organic carbonate as electrolyte with improved safety and performance for rechargeable lithium batteries [J]. Electrochimica Acta, 2011, 56(11): 4092-4099.
- [6] Lee J S, Quan N D, Hwang J M, et al. Ionic liquids containing an ester group as potential electrolytes[J]. Electrochemistry Communications, 2006, 8(3): 460-464.
- [7] Zhang Z X, Zhou H, Yang L, et al. Both imidazolium and aliphatic ammonium-based asymmetrical dicationic ionic liquids as potential electrolytes additives applied to lithium ion batteries[J]. Electrochimica Acta, 2008, 53(14): 4833-4838.
- [8] Zheng J M, Zhu D R, Yang Y, et al. The effects of N-methyl-N-butylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide-based electrolyte on the electrochemical performance of high capacity cathode material Li [Li_{0.2}Mn_{0.54}Ni_{0.13}Co_{0.13}]O₂ [J]. Electrochimica Acta. 2012, 59(1): 14-22.
- [9] Wu Y P (吴宇平), Zhang H P (张汉平), Wu F (吴锋), et al. Polymer lithium ion battery[M]. Beijing, Chemical Industry Press (化学工业出版社), 2007: 13.
- [10] Zhang S J, Lu X M, Qing Z, et al. Ionic liquids physicochemical properties[M]. Amsterdam, Elsevier B V. 2009: 231.
- [11] Perry R, Jones K, Scott W, et al. Densities, Viscosities, and conductivities of mixture of selected organic cosolvents with lewis basic aluminum chloride + 1-methyl-3-ethylimidazolium chloride molten salt [J]. Journal of Chemical & Engineer Data, 1995, 40(3): 615-619.
- [12] Zheng H H (郑洪河). Lithium ion battery electrolyte[M]. Beijing, Chemical Industry Press (化学工业出版社), 2007, 23-25.
- [13] Zhuang Q C (庄全超), Wu S (武山), Liu W Y (刘文元). Influence of impurities in the electrolyte solutions for Li-ion batteries and the removing methods[J]. Chinese Battery Industry (电池工业), 2006, 11(1): 48-52.
- [14] Yide J, Fang S H, Li Y, et al. Functionalized ionic liquids based on guanidinium cations with two ether groups as new electrolytes for lithium battery[J]. Journal of Power Sources, 2011, 196(24): 10658-10666.
- [15] Huang S T (黄松涛), Kan S R (阚素荣), Chu M Y (储茂友), et al. Cyclic voltammetry and electrochemical properties of LiMn₂O₄ and Li₂CO₃ modified LiMn₂O₄[J]. Chinese Journal of Rare Metals (稀有金属), 2006, 30(4): 448-452.

Electrochemical Performance of LiMn_2O_4 in $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ Containing Electrolyte at 50 °C

WANG Li-zhen^{1,2*}, SUN Xin-ke¹, YANG Xu-zhao¹, ZHANG Lin-sen¹, ZHANG Yong^{1,2},
ZHANG Wen-jing¹

(1. Department of Material and Chemical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Provincial Key Laboratory of Surface & Interface Science, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In this work, with an aim to improve the performance of spinel lithium manganese and to reduce the safety concern of Li-ion battery system, the effects of N-methyl-N-butylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl) imide ($\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$) on performance of electrolyte and spinel lithium manganese are studied by using differential scanning calorimetry (DSC), BTS battery test system, electrochemical work station, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). The results indicate that the ionic conductivity of electrolyte is increased with the increase of $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ concentration. When the concentration of $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ is 2.5% (by mass), the DSC curves of the $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ containing electrolyte are changed from three strong endothermic peaks (89.3 °C, 201 °C, 224 °C) to two strong endothermic peaks (116.6 °C, 244.3 °C). At 50 °C, the rate capability is enhanced, the discharge capacity is increased by 16 $\text{mAh}\cdot\text{g}^{-1}$, and the capacity retention is 88.3% (increased by 2.2%) after cycled for 100 times. $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$ is beneficial to the stability of the electrode structure.

Key words: ionic liquids; spinel lithium manganese; $\text{PyR}_{14}\text{TFSI}$; safety