

木质素磺酸钠对铅酸蓄电池胶体性能的影响

李核^{a*} 黄贤伟^a 刘何萍^a 陈红雨^a 王德喜^b

(^a华南师范大学化学与环境学院 广州 510006; ^b广州市凯捷电源实业有限公司 花都)

摘要 采用不同比例的木质素磺酸钠作为胶体电解质添加剂,探讨其添加前后胶体电解质的物理和电化学性能的变化。粘度测试、老化析水量测试以及循环伏安和交流阻抗分析表明,添加剂能影响胶体粘度,减少老化析水量,提高胶体电化学性能和减少胶体电池内阻。确定添加剂最佳添加量的质量分数为 0.005% ~ 0.01%,胶体电解质中气相二氧化硅的适宜质量分数为 3.0%。采用 UV-Vis、FT-IR 光谱、TEM 和 SEM 对添加剂和胶体电解质的结构和形貌变化进行了表征。结果表明,添加木质素磺酸钠的胶体电解质形成更为疏松多孔的结构,更有利于离子的传导和电解液的储存。

关键词 木质素磺酸钠,胶体电解质,粘度,老化,电池性能

中图分类号:O646

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2011)08-0924-07

DOI:10.3724/SP.J.1095.2011.00570

铅酸蓄电池技术有贫液吸附式(AGM)技术和胶体(GEL)技术^[1-2]两大类。胶体电池电解质是由硅溶胶或二氧化硅等凝胶剂与一定浓度的硫酸配制而成^[3-4]。胶体电解液的主要成分为凝胶剂和硫酸,具有一定的触变性^[4]。凝胶剂通过其表面的羟基形成氢键,在体系中形成空间网状结构,将硫酸和水包裹在其中,因此胶体电解液在静止不动时呈固体状。当受到一定的剪切力时,其三维网状结构迅速解体,胶体电解液呈水溶液状。而剪切力停止时,胶体电解液又会恢复到原先的空间网状结构。这种触变性赋予了胶体铅酸蓄电池便于运输和不易漏液等优点。胶体铅酸蓄电池接近于密封工作,失水很少,从而延长了维护周期^[5]。GEL技术与AGM技术相比,其优点为:1)由于胶体本身有固定作用,使胶体电池内部几乎消除了电解质的分层现象^[4];2)采用富液设计,保证了较好的深放电恢复特性,有效地防止了电解质干涸现象的发生;3)在较高的环境温度下,胶体电池有比AGM电池更长的使用寿命^[6]。正是由于胶体电池所具有的优点,加上其具有高可靠性和宽广的温度适用范围等特点,逐步变成通信和电动车用电源的发展方向,成为了国内近几年蓄电池的热点^[7-8]。

但胶体电池也存在初始电量小、胶体电解液水化分层和电阻过大等问题,其中胶体电解质是影响胶体VRLA(阀控铅酸)电池性能的重要因素^[9]。因此,可通过在胶体电解质中加入少量添加剂以改进其性能。电解液添加剂有无机添加剂和有机添加剂2种。常用的无机添加剂有硫酸盐、磷酸及硼酸等,这些添加剂主要作用是阻止硫酸盐化,并能抑制早期容量衰竭现象,提高能量密度和低温启动性能。有机添加剂不仅能改变胶体电解液的性质,也能改善电池的性能。有机添加剂分子中存在能够提供共用电子对的N和O等原子,从而与硅键合形成配位键,改变了聚合物的球形空间结构,形成类似体型为高分子化合物的空间网状结构。这种结构能更好的包裹“自由水”,降低自放电率^[10]。有机添加剂适量加入后,可以使凝胶网状结构富有弹性,也可适当减少凝胶剂的用量。这样不仅利于离子的迁移、扩散,减缓水化分层现象,而且在一定程度上可以阻止硫酸盐化,延长胶体铅酸蓄电池的寿命。常用的有机添加剂主要是一些高分子聚合物,如聚丙烯酰胺、聚乙烯醇、脂肪醇聚氧乙烯醚、糊精和甘油等^[11]。

木质素磺酸盐是芳香族木质素磺化衍生化合物^[12],是一种天然高分子聚合物(4-羟基-3-甲氧基苯的多聚物)、阴离子表面活性剂,具有良好的分散性能和独特的三维空间网状结构^[13]。木质素磺酸盐分子是大约有50个苯丙烷单元组成的近似于球状三维网络结构体,中心部位为未磺化的原本木质素三维

网络分子结构,中心外围分布着被水解且含磺酸根的侧链,最外层是由磺酸根的反离子形成的双电子层,其主要官能团有磺酸根、酚式羟基、甲氧基和羧基等。而这些官能团是木质素磺酸盐广泛应用的基础^[14]。本文采用木质素磺酸钠(简称为木钠)作为胶体电解质添加剂进行研究,探讨了木钠作为胶体添加剂对胶体电解质的粘度、析水分层以及电化学性能的影响。

1 实验部分

1.1 不同比例胶体电解质的配制

量取 150 mL 1.28 g/mL 的硫酸(分析纯)溶液,添加到聚四氟乙烯分散桶中,并固定于高速分散机(GFJ-0.4 型高速分散器)上,调节转速为 400 r/min,往其中缓慢加入一定量的气相 SiO₂(A200,比表面积 300 m²/g),再将转速调为 3 500 r/min,搅拌适当时间(1 h)后取出,分别制得气相 SiO₂ 质量含量为 2.0%、2.5% 和 3.0% 的胶体电解质。

1.2 制备含添加剂的胶体电解质

称取一定量的木质素磺酸钠(Aladdin Co.),与 150 mL 1.28 g/mL 的硫酸溶液在烧杯中初步混匀,转移到聚四氟乙烯分散桶中,在高速分散机上用 400 r/min 的转速分散 5 min 左右,然后再添加一定量的气相 SiO₂,按 1.1 节流程操作,可制得含不同比例的木钠添加剂的胶体电解质。

1.3 胶体电解质粘度测试

胶体电解质的粘度采用乌氏黏度计(毛细管内径 0.8 mm)测定,通过测量制成的胶体在乌氏黏度计上的流出时间,计算出胶体电解质的动力粘度,进行比较。

1.4 胶体老化析水测试

胶体电解质体系是一种热力学不稳定体系,在没有添加其它稳定剂存在的情况下,会逐渐析出所包裹的水分,导致胶体出现分层现象。在实际中,当胶体电解质受到外界连续振动的情况下,析水会更加明显,从而影响胶体电池电化学性能,降低使用寿命。因此,采用离心机加速老化的方法来模拟振动,考察木质素磺酸钠添加剂对胶体电解质老化析水和耐振动情况的影响。

1.5 胶体电解质的电化学测试

1.5.1 循环伏安测试 以铅(纯度 > 99.99%)电极为工作电极,Pt 电极为对电极,硫酸亚汞电极为参比电极组成三电极体系,对制得的电解液进行循环伏安(CV)测试。测试前,在金相抛光机上用砂纸将工作电极表面打磨光亮,用二次蒸馏水冲洗干净后,使用 CHI660 型电化学工作站(上海辰华仪器公司)进行测试。先在 -1.2 V 下电极预极化 10 min,以除去电极与空气接触产生的氧化层及与硫酸接触产生的 PbSO₄膜,然后在 -1.2 ~ -0.6 V 下循环 4 次,取第 4 次循环进行分析,扫速为 10 mV/s。

1.5.2 交流阻抗(EIS)测试 在开路电位下,采用 Autolab PGSTAT-30 型电化学系统(Eco Chemie BV Co.)测试不同添加剂的胶体电解质的交流阻抗谱。扫描频率为 10⁵ ~ 10⁻² Hz,振幅为 0.01 V。

1.6 样品的表征

在 Prestige-21 型 FT-IR 红外光谱仪(日本岛津)上测定木钠、纯胶体以及含有添加剂的胶体的红外光谱。探讨有无添加剂胶体电解质性质和性能的变化。

将制得的胶体电解质烘干后进行扫描电子显微镜(KYKY-1000B 型,美国 AMRAY 公司)和透射电子显微镜(日立 H300,日立公司)分析,研究有无添加剂电解质样品形貌和结构的变化。

2 结果与讨论

2.1 粘度测试

图 1 为不同含量添加剂和不同气相二氧化硅含量对粘度的影响曲线。从图 1 可知,相同含量的添加剂电解质的粘度,随着气相二氧化硅含量的增加而增加;相同气相二氧化硅含量的电解质粘度,在添加剂含量为 0 ~ 0.01% 时,气相二氧化硅含量相同的胶体电解质的粘度随着添加剂含量增加而未见明显变化;当在添加剂含量为 0.05% 时,2.0% SiO₂ 的电解质粘度变化不大,但气相二氧化硅含量为 2.5% 和 3.0% 的电解质粘度变化相当大,尤其是气相二氧化硅含量为 3.0%,添加剂含量为 0.05% 时的粘度

是无添加剂时的近 6 倍。由此可知,影响胶体电解质的主要因素是气相二氧化硅的含量,而非添加剂的含量,但添加剂的加入将改变胶体的粘度,这可能是由于木钠参与胶体网络结构的构建中,从而使其粘度也发生一定变化。

2.2 老化析水量

从图 2A ~ 2F 可知,胶体的析水量随着 SiO_2 含量的增加而减少,主要是因为 SiO_2 含量太低,不足以维持和发展稳定的三维网状结构,造成胶体强度过低,容易析出水分,抗外力扰动能力不足,从而影响到胶体电池性能和寿命,另一方面, SiO_2 的含量也不能过高,否则会导致胶体粘度过大,胶粒团聚,减少孔隙,造成胶体干硬,气体扩散困难,灌胶难度增大等问题。而高分子化合物木质素磺酸钠对胶体的析水量有明显的影。当木质素磺酸钠添加量为

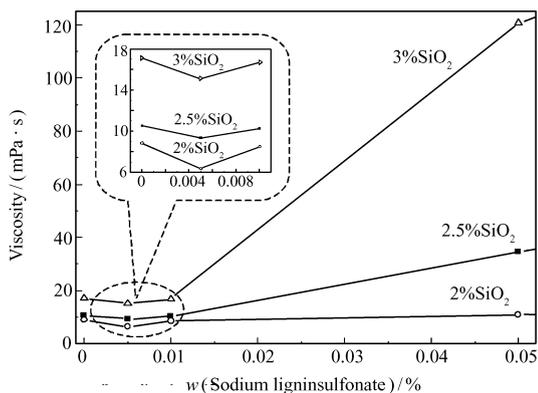


图 1 不同木钠含量胶体的粘度比较

Fig. 1 Effect of the amount of sodium ligninsulfonate on the viscosity of gelled-electrolyte

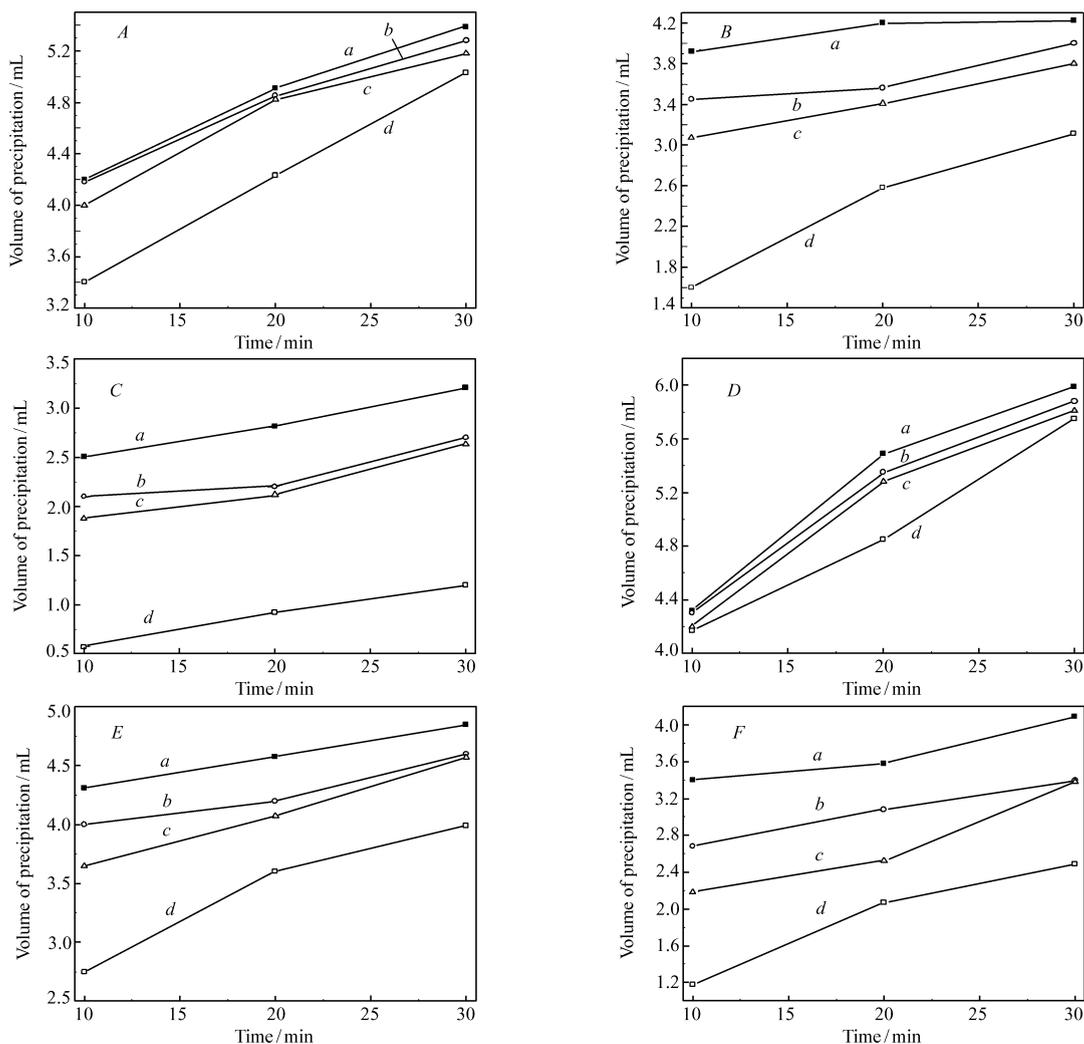


图 2 不同 SiO_2 和添加剂含量的胶体电解质分别在 2000 r/min 及 3000 r/min 下的析水量

Fig. 2 Volume of precipitation water of the gelled-electrolytes with rotational speed of 2000 r/min and 3000 r/min
A. 2.0% SiO_2 , 2000 r/min; B. 2.5% SiO_2 , 2000 r/min; C. 3.0% SiO_2 , 2000 r/min; D. 2.0% SiO_2 , 3000 r/min; E. 2.5% SiO_2 , 3000 r/min; F. 3.0% SiO_2 , 3000 r/min. a. no additive; b. 0.005%; c. 0.01%; d. 0.05%

0.005% ~ 0.05% 之间时,无论是在高速或低速离心的情况下,均能够有效地降低胶体的析水量。相比于含 SiO₂ 2.0%、2.5% 的胶体,木质素磺酸钠对 3.0% 的胶体的析水量影响更大,能更有效地降低胶体的析水量。所以可选择添加了木钠含 3.0% 的 SiO₂ 胶体电解质作为适宜的胶体电解质比例。

总体上,胶体电解质析水量呈现以下规律:1) 转速越高,相同时间析水量越大;2) 未添加木质素磺酸钠的胶体电解质析水量最大,其次是 0.005% 和 0.01%,析水量最少的是添加 0.05% 的木质素磺酸钠胶体电解质,说明添加木质素磺酸钠能有效降低析水量,增加电池的稳定性,有利于保证电池的长期稳定性。

2.3 电化学测试分析

2.3.1 循环伏安分析 依据以上粘度和析水量测试结果,选取含 3.0% SiO₂ 的胶体电解质进行循环伏安扫描,比较不同比例添加剂胶体电解质的负极充放电性能,扫描电位为 -1.2 ~ -0.6 V,扫描速度 10 mV/s(图 3)。从图 3 可以看出,具有添加剂的胶体电解质的氧化峰电流明显大于纯胶体电解质的氧化峰电流,说明添加剂能有效提高负极活性物质的放电速度和容量。其中添加 0.005% 木钠的胶体具有相对更高的峰电流和电量。选取含 SiO₂ 3.0% 和木钠 0.005% 的胶体电解质进行多次循环伏安扫描(图 4)。从图 4 可以看到,峰电量随着循环次数的增加呈逐渐上升的趋势,而氧化峰电量与负极活性物质的放电容量呈正相关性,说明随着循环的进行,负极活性物质的放电容量有一定的升高。

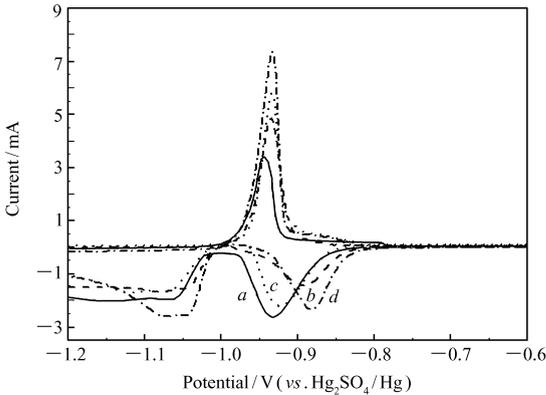


图 3 添加不同比例木钠胶体电解质的 CV 图

Fig. 3 Cyclic voltammograms of the gelled-electrolyte with and without additive(SiO₂ 3.0%)

a. no additive; b. 0.05%; c. 0.01%; d. 0.005%

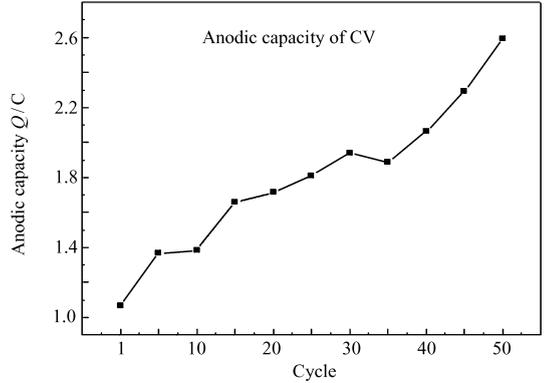


图 4 SiO₂ 3.0%, 添加剂 0.005% 胶体电解质的氧化峰电量随循环次数的变化趋势

Fig. 4 Electric quantity of oxidation peak of the gelled-electrolyte(SiO₂ 3.0%, additive 0.005%)

2.3.2 交流阻抗 选取含 3.0% 气相二氧化硅的胶体电解质,在开路电位下,测试含不同比例添加剂的胶体的交流阻抗图谱(图 5)。从图 5 可以看出,含有添加剂的胶体电解质的阻抗明显小于纯胶体,这说明添加剂的加入能在一定程度上降低电解质的电阻,这可能是添加剂的加入一定程度上改变了胶体硅氧形成的三维网络结构,使体系的阻抗发生变化。而随着添加剂含量的增多,其阻抗值也随之逐渐增大,说明加入的添加剂含量应该在一定范围之内,在本实验中,含 0.005% 比例木钠的胶体阻抗值最小。

2.4 表征

2.4.1 光谱分析 图 6 为添加剂、纯胶体及加入添加剂的胶体电解质之间的红外光谱对照图。木钠谱图中,3 334 ~ 3 369 cm⁻¹ 处宽而强的吸收峰为醇羟基和酚羟基的拉伸振动;1 597 和 1 510 cm⁻¹ 附近的吸收为苯环的特征吸收,其中 1 510 cm⁻¹ 处的吸收是苯核的振动谱带,可代表木质素的 C₉ 单元

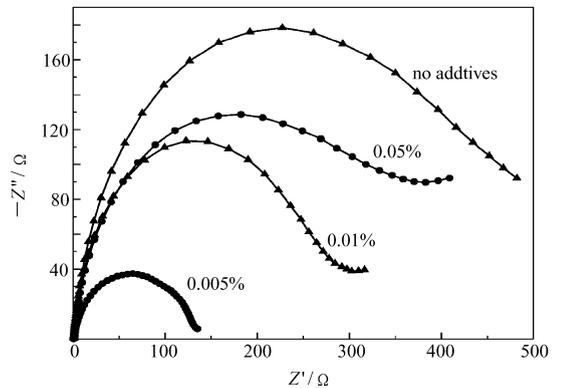


图 5 含不同比例添加剂的胶体电解质的 EIS 图谱

Fig. 5 Nyquist graphs of the gelled-electrolyte with different amounts of additive(SiO₂3.0%)

1 425 cm^{-1} 处的吸收来自甲氧基^[15]; 1 328 和 1 118 cm^{-1} 处的吸收来自紫丁香基木质素; 1 215 cm^{-1} 处的吸收为苯环与酚羟基的伸展振动; 1 043 cm^{-1} 处的吸收来自磺酸基。在纯胶体谱图中, 3 416 cm^{-1} 处的吸收峰代表硅羟基和结合水的反对称 O—H 键的伸缩振动, 属于二氧化硅表面的双重硅羟基, 峰形尖锐; 1 631 cm^{-1} 处是与游离水相关的 H—O—H 键的弯曲振动吸收峰, 表明粒子含有毛细孔水, 说明颗粒空隙相当发达, 纳米粒子是疏松的; 806、484 和 470 cm^{-1} 处的吸收峰为二氧化硅的特征吸收峰。0.005% 木钠的 3% 胶体谱图中, 806 和 460 cm^{-1} 处的吸收峰为二氧化硅的特征吸收峰。比较谱图可看出, 胶体电解质加入木钠后, 木钠的活性基团依然存在, 胶体的主要基团没有太大变化, 但羟基峰移至低波数 3 300 cm^{-1} 左右, 且峰形变宽。可能的原因是木钠上的羟基与二氧化硅表面的硅羟基部分缔合, 形成氢键, 使得吸收峰向低频率移动。说明木钠在电解质中没有发生反应, 但引起了胶体物理结构的变化。

2.4.2 TEM 分析 从图 7A 可看出, 纯胶体呈现一定的网络结构, 但结构并不均匀, 存在团聚现象。从图 7A 与图 7B 相比可见, 木质素磺酸钠的加入, 一定程度上优化了胶体的网络结构, 胶体颗粒更为细腻均匀, 粒径变小, 孔隙率明显增加。这是因为木质素磺酸钠里存在氧甲基等活性基团, 它们能够提供共用电子对, 与硅键合形成配位键, 从而改善了胶体的整体结构, 使结构更明显、更均匀, 优化了胶体孔隙率, 有利于离子传导和电解液的储存。

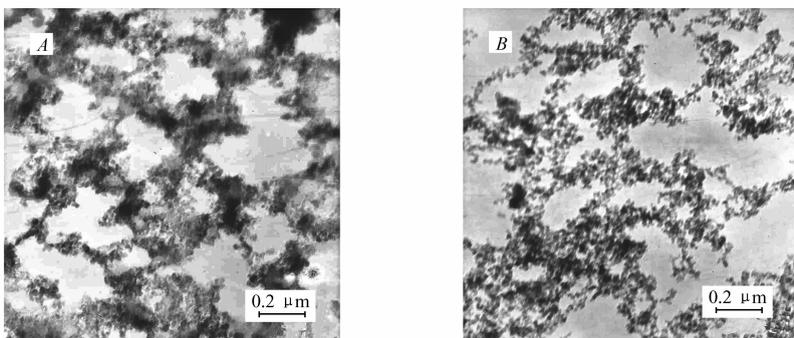


图 7 加入添加剂前(A)和后(B)胶体的透射电子显微镜图

Fig. 7 TEM images of the gelled-electrolyte without additive(A) and with additive(B)

2.4.3 扫描电子显微镜分析 在扫描电子显微镜下木质素磺酸钠、纯胶体以及含添加剂的胶体电解质的表面形貌如图 8 所示。由图 8A 可观察到颗粒之间缔合在一起, 形成具有三维立体感的小颗粒。由图 8B 可以看出, 纯胶体中出现大量团聚现象, 团聚体的半径不等, 在几微米到几十微米之间。这是由于气相 SiO_2 的表面羟基很容易与相邻粒子中的氧形成氢键, 粒子间的作用力非常大, 若没有一定的稳定剂存在, 胶体中粒子就会出现团聚。从图 8C 可看到, 胶体中加入木质素磺酸钠后, 胶体变得蓬松, 出现类似于絮状的海绵结构, 有更优良的空隙率, 更能促进电解液之间的渗透和流动以及气体之间的迁移。这与添加木钠后, 胶体电解质阻抗降低的结果是一致的。木钠改变了胶体形成的三维结构, 减少了胶粒间的团聚, 因为其分子含有甲氧基、羟基等官能团, 会与气相 SiO_2 形成氢键而吸附在 SiO_2 颗粒表面, 而木钠表面亲水基带有电荷, 使吸附木钠分子的粒子间产生静电作用而相互排斥, 从而起分散作用。

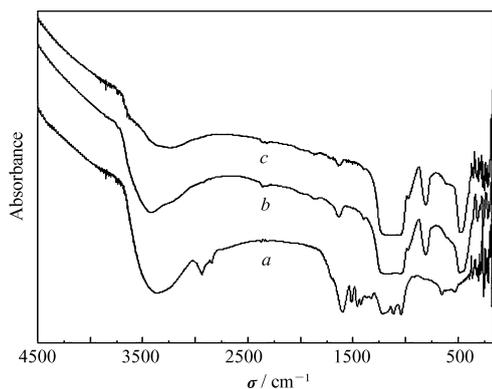


图 6 木钠及有无添加剂的胶体的红外光谱图

Fig. 6 FT-IR spectra of the sodium ligninsulfonate and gelled-electrolytes without and with sodium ligninsulfonate
a. LS; b. SiO_2 3%, no additives; c. SiO_2 3%, additives 0.005%

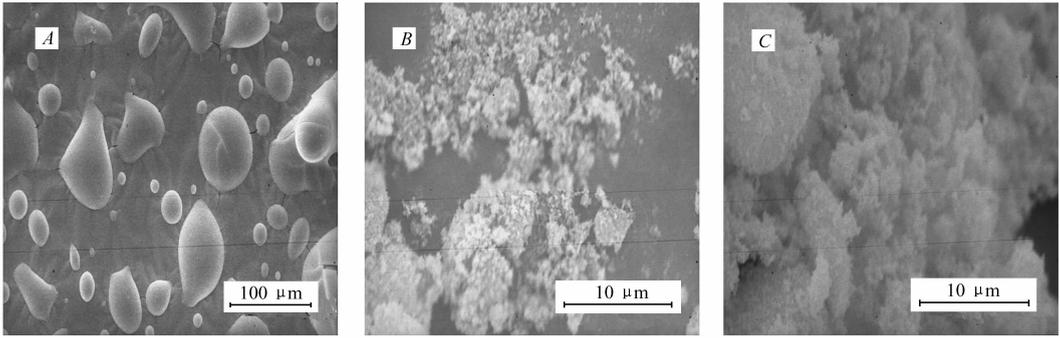


图8 木钠及胶体有无木钠添加剂时的扫描电子显微镜图

Fig. 8 SEM graphs of the sodium ligninsulfonate, gel with and without sodium ligninsulfonate

A. sodium ligninsulfonate; B. gel without sodium ligninsulfonate; C. gel with sodium ligninsulfonate

3 结论

1)加入适量的木质素磺酸钠作为添加剂,能够在一定程度上降低胶体粘度,提高胶体稳定性,减少电解质析水;2)加入适量添加剂的胶体电解质具有更高的初始放电速度和容量以及降低了反应的电化学阻抗;3)木钠改变了胶体电解质所形成的三维网络结构,使结构更加疏松,提高了孔隙率,有利于离子的传导和电解液的存储。

参 考 文 献

- [1] Bonduelle G, Muneret X. VRLA Batteries in Telecom Application: AGM or Gel [J]. TELESCON 2000. The Third International Telecommunications Energy Special Conference, 2000, 2(15): 75-79.
- [2] WU Shousong. On Application of Gelled Electrolyte Batteries [J]. *Chinese Labat Man*, 2003, (4): 181-182 (in Chinese). 吴寿松. 关于胶体蓄电池的推广 [J]. *蓄电池*, 2003, (4): 181-182.
- [3] CHEN Meiqiong, SHU Dong, LI Aiju, *et al.* Effects of Dispersion of Fumed Silica on the Electrochemical Behavior of Gelled Electrolyte [J]. *Chinese Labat Man*, 2007, (3): 117-121 (in Chinese). 陈妹琼, 舒东, 李爱菊, 等. 气相二氧化硅的分散对胶体电解质电化学行为的影响 [J]. *蓄电池*, 2007, (3): 117-121.
- [4] ZHU Songran. Technology of Lead Acid Battery [M]. Beijing: China Machine Press, 2002, 356-370 (in Chinese). 朱松然. 铅蓄电池技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002, 356-370.
- [5] Chen M Q, Chen H Y, Shu D, *et al.* Effects of Preparation Condition and Panicle Size Distribution on Fumed Silica Gelvalve-Regulated Lead-Acid Batteries Performance [J]. *J Power Sources*, 2008, 181: 161-171.
- [6] MA Boyan. Progress in the Research of the Characteristics of Gel Electrolyte [J]. *Battery Bimonthly*, 2007, 37(5): 407-408 (in Chinese). 马伯岩. 胶体电解质特性的研究进展 [J]. *电池*, 2007, 37(5): 407-408.
- [7] TANG Zheng, MAO Xianxian. The Study on Gelled-Electrolyte in VRLA Battery [J]. *Battery Bimonthly*, 2004, 34(4): 304-306 (in Chinese). 唐征, 毛贤仙. 胶体电解质在 VRLA 蓄电池中的研究 [J]. *电池*, 2004, 34(4): 304-306.
- [8] QIAN Xuelou. The Current State and Trends of the Art Review of Gel Batteries in China [J]. *Chinese Labat Man*, 2004, (1): 31-34 (in Chinese). 钱学楼. 中国胶体蓄电池的现状 & 前景 [J]. *蓄电池*, 2004, (1): 31-34.
- [9] Toniazzo V J. The Key to Success: Gelled-electrolyte and Optimized Separators for Stationary Lead-acid Batteries [J]. *J Power Sources*, 2006, 158: 1124-1132.
- [10] GUAN Feng, ZHANG Yan, LIU Hongyan, *et al.* Research Progress of Additives to Electrolytes for Lead Battery [J]. *Contemporary Chem Ind*, 2010, 39(1): 81-82 (in Chinese). 关锋, 张燕, 刘洪燕, 等. 铅蓄电池电解质添加剂的研究进展 [J]. *当代化工*, 2010, 39(1): 81-82.
- [11] YANG Li, HU Qiong. A Method for Extension of Sealed Lead Acid Battery Life: CN, 101159325 [P], 2008 (in Chinese).

杨立,胡琼. 一种密封型铅酸蓄电池使用寿命的方法:中国,101159325[P],2008.

- [12] QIU Weihua, CHEN Hongzhang. Structure, Function and Higher Value Application of Lignin[J]. *J Cellul Sci Technol*, 2006, **14**(1):52-58(in Chinese).
- 邱卫华,陈洪章. 木质素的结构、功能及高值化利用[J]. *纤维素科学与技术*, 2006, **14**(1):52-58.
- [13] YANG Dongjie, QIU Xueqing, CHEN Huanqin. The Lignosulfonates for Surfactant[J]. *Chemistry*, 2001, (7):416-420(in Chinese).
- 杨东杰,邱学青,陈焕钦. 木素磺酸盐系表面活性剂[J]. *化学通报*, 2001, (7):416-420.
- [14] CHEN Xiaochuan, LIN Yongxing. The Stability of Organic Expander Sodium Lignosulphonate in Lead-Acid Batteries[J]. *Battery Bimonthly*, 2007, **37**(6):447-448(in Chinese).
- 陈小川,林永兴. 铅酸电池中有机膨脹剂木钠的稳定性[J]. *电池*, 2007, **37**(6):447-448.
- [15] ZHAO Binyuan, HU Keao, FAN Yongzhong, *et al.* Infrared Spectroscopic Study on Lignosulfonic Acid and Its Derivatives [J]. *Chinese J Anal Chem*, 2000, **28**(6):716-719(in Chinese).
- 赵斌元,胡克鳌,范永忠,等. 木质素磺酸及其衍生物红外光谱研究[J]. *分析化学*, 2000, **28**(6):716-719.

Effects of Sodium Ligninsulfonate as Gelled-electrolyte Additive on the Performance of Gel Valve-regulated Lead-acid Battery

LI He^{a*}, HUANG Xianwei^a, LIU Heping^a, CHEN Hongyu^a, WANG Dexi^b

(^aSchool of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006;

^bGuangzhou Kaijie Power Supply Industrial Co., Ltd., Huadu)

Abstract In order to improve the performance of a gelled electrolyte and decrease its internal resistance, sodium ligninsulfonate was used as an additive to the gelled electrolyte. The properties and electrochemistry of the gelled electrolytes with and without additives were studied by viscosity test, aging test, cyclic voltammetry (CV), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The data indicated that when the mass fraction of SiO₂ was 3.0%, the viscosity of the gel electrolyte with 0.01% additives is increased by 6 times comparing with the gel electrolyte without additives. The volume of precipitated water and the internal resistance of gelled electrolyte decrease as the additive is added. The optimum conditions are obtained. The dosage (mass fraction) of additives is 0.005% ~ 0.01%, and the fumed silica is 3.0%. UV-Vis, FT-IR, SEM and TEM were used to characterize the gelled electrolyte with and without additives. The results show that the microstructure of gelled electrolyte is more porous with improved ion conduction, and the sulphuric acid solution can therefore be stored more easily with addition of sodium ligninsulfonate.

Keywords sodium ligninsulfonate, gelled electrolyte, viscosity, aging, performance of battery