

大豆蛋白基抗冻凝胶电解质的制备及性能研究

(孙月¹, 南静娅¹, 王春鹏¹, 储富祥¹)

(1.中国林业科学研究院林产化学工业研究所;江苏省生物质能源与材料重点实验室;国家林业和草原局林产化学工程重点实验室;林木生物质低碳高效利用国家工程研究中心,江苏南京 210042)

摘要: 随着经济和社会的可持续发展,人们对于储能设备的需求不断提升,对储能设备的温度使用区间要求更高,尤其是低温环境的使用性能。水系储能器件(电池、电化学电容器等)因具有高安全性、低成本、环境友好等特点而成为重要的发展方向。虽然目前在耐低温器件取得部分进展,但仍存在两大缺陷:盐类或有机物质浓度过高会显著降低水系电解质的离子电导率,常见的液态水系电解质无法适应器件的各种形变要求,同时存在液体泄漏和电极错位等安全隐患。因此,本研究借助大豆蛋白-聚丙烯酰胺的三维网络框架将液态水锁住,通过调整 ZnCl_2 浓度制备出具有优异抗冻性能的凝胶材料,形成准固态的凝胶电解质,并以此作为水系电解质组装成电化学电容器,以期能为水系储能器件的抗冻研究提供新思路。以大豆蛋白(SPI)、丙烯酰胺(AAm)和 ZnCl_2 为原料,热引发聚合制备了一种具备抗冻特性的大豆蛋白基凝胶电解质材料,探究了温度对材料离子电导率和力学性能的影响,并分析了其作用机制。研究表明:该凝胶电解质具有优异的抗冻性能,其中 ZnCl_2 的引入形成了大量 Zn^{2+} 的溶剂化结构,破坏了水分子间的氢键,降低了凝胶电解质的凝固点;凝胶基体和盐离子的协同作用赋予了凝胶电解质高压缩回弹性和耐疲劳强度。对水凝胶电解质的低温离子电导率分析表明: $\text{ZnCl}_2 \geq 5 \text{ mol kg}^{-1}$, 凝胶电解质在 $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ 的低温下离子电导率仍有 $3.65 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 。对凝胶电解质的低温力学性能分析发现:凝胶电解质在 $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ 下经历应变为 80% 的 100 次压缩循环后仍能保持结构完整,应力保持率 $>85\%$, 塑性变形率为 15%。同时,利用凝胶电解质组装的电化学电容器表现出良好的耐低温性能,电流密度 5 A g^{-1} 下,器件在 $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ 下仍能够正常工作,其电容保持率达 83.2%,在 $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ 下经历 10 000 次循环充放电电容保持率达 92%。

关键词: 凝胶电解质; 抗冻性能; 压缩回弹; 电容保持率