

钒钛材料与应用

Al元素对钒电池电解液电化学及 电池性能影响研究

张忠裕¹ 赵 焕² 刘 磊¹ 赵 锋¹ ,
何虹祥² 赵金玲² 王绍亮² 刘建国² 严川伟²

(1. 四川明星能源环保科技有限公司 四川 成都 610100; 2. 中国科学院金属研究所 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 电解液作为全钒液流电池能量储存和转换的核心材料,其杂质含量在很大程度上影响电解液的物理化学性质、电极反应可逆性和电池的充放电性能。针对常见的杂质元素 Al,研究其对电解液物理化学性质的影响规律,并采用循环伏安法和充放电测试等方法研究了 Al 元素对电解液电化学反应以及电池性能的影响规律。结果表明,随 Al/V 摩尔比的升高,电解液的黏度和密度升高,电导率明显降低,当 Al/V 摩尔比为 1:3.0 时,黏度和密度分别增加 64% 和 2.8%,电导率降低 34%;Al 离子降低了正极和负极反应的可逆性;随着 Al/V 摩尔比的升高,电池库伦效率升高,电压效率降低,能量效率降低,同时,Al 离子降低了负极的运行稳定性。

关键词: 全钒液流电池; 电解液; Al 元素; 电化学反应; 电池性能

中图分类号: TF841.3 TM911 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2020)05-0051-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2020.05.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Influence of Al on Electrochemical Performances of Electrolyte and Battery of Vanadium Redox Battery

Zhang Zhongyu¹ Zhao Huan² Liu Lei¹ Zhao Feng¹ ,
He Hongxiang² Zhao Jinling² Wang Shaoliang² Liu Jianguo² Yan Chuanwei²

(1. Sichuan Xingming Energy and Environmental Protection Technology Co., Ltd., Chengdu 610100, Sichuan, China; 2. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, Liaoning, China)

Abstract: As the core material for energy storage and conversion of vanadium redox battery, the composition of electrolyte, especially the impurity content in the solution, greatly affects the physicochemical properties of electrolyte, reversibility of electrode reactions and the charge-discharge performance of battery. The influence of Al concentration on the physicochemical properties of electrolyte was studied, and the effect of Al on the electrochemical performances of electrolyte and battery was analyzed by cyclic voltammetry and charge-discharge test. The results indicate that with the increase of Al/V (molar ratio), both of the viscosity and density of the electrolyte increase, with the conductivity obviously decreased. At the molar ratio of Al to V of 1:3.0, the viscosity and density of the electrolyte increase by 64% and 2.8% respectively, and the conductivity of the electrolyte decreases by 34%. Furthermore, Al reduces the reversibility of positive and negative electrode reactions. Meanwhile, with increase in the molar ratio of Al to V, coulombic efficiency of the battery increases, with its voltage efficiency and energy efficiency significantly decreased. In addition, the stability of negative electrolyte is decreased due to the existence of Al.

Key words: vanadium redox battery; electrolyte; aluminum element; electrochemical performances; battery performances

收稿日期: 2020-06-17

基金项目: 沈阳市重大科技成果转化项目(项目编号: Z17-7-026)。

作者简介: 张忠裕(1982—),男,四川南江人,研究生,工程师,主要从事钒电池电解液研究。Email: zhongyugg@163.com。

0 引言

近年来,随着化石能源等不可再生能源的消耗和环境污染的日益加重,风能、太阳能等清洁高效的可再生能源受到广泛关注,并成为解决能源危机与环境污染的有效手段。然而,由于风能、太阳能等可再生能源的不连续性和不可控性,寻求大规模的储能装置来满足其大规模并网成为了迫切需求^[1-3]。全钒液流电池(钒电池)作为一种新型的储能系统,具有能量效率高、寿命长、设计灵活、稳定性好以及低维护成本和环境友好等特性,被认为是可再生能源最具潜力的大规模储能技术之一^[4-6]。

钒电池主要通过电解液中不同价态的钒离子氧化还原对($\text{VO}_2^+/\text{VO}^{2+}$ 、 $\text{V}^{3+}/\text{V}^{2+}$)相互转化实现能量的存储与释放。因此,电解液作为钒电池能量储存和转化的核心,在很大程度上决定了钒电池的性能。由于钒电解液成本较高,限制了钒电池的应用推广。通过使用不同的含钒原料,从而降低钒电池电解液成本成为产业发展的研究热点,例如使用钒钛磁铁矿、石煤矿、废弃催化剂等提取物来制备电解液。然而,不同的含钒原料,都不可避免地含有杂质离子,同时,电解液在使用过程中,也可能会引入杂质离子,从而对电池性能产生不同程度的影响^[7]。虽然国内外学者针对钒电解液中杂质离子进行了大量的研究,例如 Zn^{2+} ^[8]、 Mn^{2+} ^[9]、 Cr^{3+} ^[10]、 K^+ ^[11]、 Mg^{2+} ^[12]、 Fe^{3+} ^[13]和 NH_4^+ ^[14]等离子,都在一定程度上对电池的电极反应活性、溶液稳定性及电池性能产生了影响。铝作为一种含钒原料中常见的元素^[15],也是地壳中含量丰富的元素之一,因含钒原材料的不同来源导致电解液中也可能存在不同含量的 Al^{3+} 离子^[16],然而Al元素尤其是 Al^{3+} 离子对电池关键材料及电池性能的影响,还未见有系统的研究。

因此,笔者对不同的Al/V摩尔比对钒电池电解液的物理化学性质、电极反应特性和电池性能的相关影响进行研究,旨在揭示Al元素(尤其是大摩尔比)对电极可逆性、电池效率和隔膜材料的影响行为,对研究杂质元素对钒电池及其关键材料的作用机制和电解液的有效维护提供有益的帮助。

1 试验部分

1.1 试剂

$\text{VO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (纯度 $\geq 99.5\%$,沈阳海中天精细化工厂);浓硫酸(分析纯,国药集团化学试剂有

限公司);三氯化铝 AlCl_3 (分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);高纯水(电阻率 $>18.2\text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$,实验室自制)。

1.2 溶液制备

在室温下将 $\text{VO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 溶解于浓硫酸中,加入高纯水稀释后恒压电解至 $1.65\text{ M V}^{3.5+} + 3\text{ M H}_2\text{SO}_4$ 溶液(空白溶液),然后加入三氯化铝,制备浓度为 $1.65\text{ M V}^{3.5+} + 3\text{ M H}_2\text{SO}_4 + x\text{ M AlCl}_3$ ($x=0.15, 0.25, 0.35, 0.45$ 和 0.55)的电解液,对应Al/V摩尔比分别为1:11.0、1:6.6、1:4.7、1:3.67、1:3.0。

1.3 分析与测试

采用紫外分光光度计(TU-1900,北京普析通用仪器有限责任公司)分别测定空白溶液和Al/V摩尔比为1:6.6电解液中钒离子的紫外吸收光谱。

分别采用数字黏度计(Lovis 2000M,安东帕(上海)商贸有限公司)、数字密度计(DMA4500M,安东帕(上海)商贸有限公司)以及电导率仪(S230-K-CN,梅特勒—托利多国际贸易(上海)有限公司)对空白溶液和不同Al/V摩尔比的电解液的物理化学性质(黏度、密度、电导率)进行测试,测试温度为 $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

采用三电极体系对不同Al/V摩尔比的电解液进行循环伏安测试(CV)。其中,工作电极为直径1.5 mm的高纯石墨电极,参比电极为饱和甘汞电极(SCE),辅助电极为 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 的铂片。CV测试在美国Gamry电化学仪器公司的Reference 600电化学工作站上进行,测试温度为 $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$,扫描速率为 20 mV/s ,扫描电压范围分别为 $-0.9 \sim -0.1\text{ V}$ 和 $0.1 \sim 1.4\text{ V}$ 。

采用单电池对空白溶液和不同Al/V摩尔比的电解液进行电池性能测试。其中,电极为 $3\text{ cm} \times 3\text{ cm} \times 0.2\text{ cm}$ 的石墨毡(辽宁金谷炭材料有限公司),隔膜为Nafion212膜(美国杜邦公司),集流体为导电塑料板(自制)。采用蓝电电池测试系统(CT2001 5 V 3 A,武汉市蓝电电子股份有限公司)进行恒电流充放电性能测试,测试电流密度分别为100、120、140、150、200、250、300 mA/cm,充放电截止电压 $0.75 \sim 1.65\text{ V}$,电解液流量为 40 mL/min 。

充放电测试后的隔膜形貌及成分测试采用扫描电子显微镜(FEI INSPECT F,配有EDS能谱系统)进行。样品测试前,避免膜中Al等元素的溶出,采用空白溶液清洗,经烘干及喷碳处理,处理后用导电胶粘于样品台后测试。沉淀物的成分分析采用X-射

线光电子能谱(XPS, ESCALAB250Xi, Thermo Scientific)测试。

2 试验结果与讨论

2.1 紫外可见吸收的影响

图1为空白溶液和Al/V摩尔比为1:6.6电解液的紫外可见光光谱,紫外吸收峰位置与吸光率可以反应出钒离子的配位状态和价态。从图1可以看出,Al离子的加入,电解液的紫外光谱吸收峰位置和吸光率变化较小,说明在没有充放电的情况下,铝离子和钒离子之间相互作用较弱,从而对钒离子配位状态、价态没有明显影响^[17-18]。

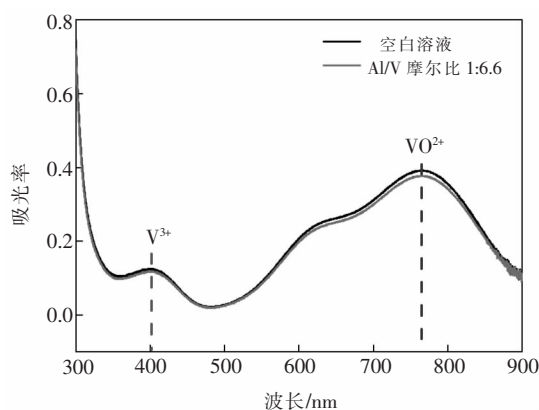


图1 空白溶液和Al/V摩尔比为1:6.6电解液的紫外可见光谱

Fig.1 The UV-visual spectra of the pristine electrolyte without and with a molar ratio of Al/V at 1:6.6

2.2 电解液物化性质的影响

由于电解液在应用过程中,其电导率直接影响钒电池的内阻,密度和黏度在一定程度上会影响电解液在电池内部的离子传输和均匀分布,引起浓差极化的变化,影响钒电池的性能,同时密度和黏度的变化也会引起泵耗的变化,从而影响系统能耗的变化。因此,对空白溶液和不同Al/V摩尔比的电解液分别进行电导率、密度和黏度的测试,结果见图2。

结果表明,随着氯化铝含量(Al/V摩尔比)的增加,电解液的电导率明显降低,而电解液的密度和黏度都有所增加。其中,Al/V摩尔比为1:3.0的电解液的电导率降低了34%,而密度和黏度分别增加2.8%和64%。可见,当电解液中的Al离子将会造成电池内阻的升高^[19],导致电池欧姆极化的增加,同时黏度增大,会阻碍钒离子扩散,引起浓差极化的增加,导致电极反应可逆性变差^[20],物化性质

改变的综合作用结果将会造成钒电池性能的降低。此外,需要更大的流量来克服传质过程中的阻力,从而造成系统能耗的增加^[21]。

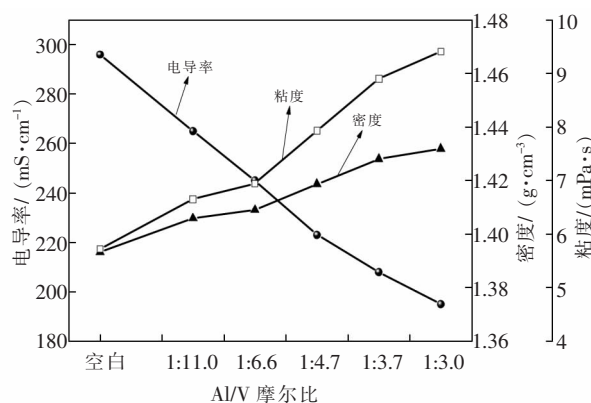


图2 空白及不同Al/V摩尔比电解液的电导率、密度和黏度

Fig.2 The conductivity, density and viscosity of the pristine electrolyte with different molar ratios of Al to V

2.3 电极反应可逆性的影响

图3为空白及不同Al/V摩尔比电解液在20 mV/s扫速下的负极和正极循环伏安曲线,表1、2为循环伏安曲线对应的相关参数^[22]。可以看出,不同的Al/V摩尔比,正负极反应的阳极峰电流和阴极峰电流均有所降低,且峰电位差明显增大,说明Al离子的存在降低了正负极反应的可逆性。Al离子对正极的峰电位差峰电流比的影响要明显大于负极,说明在所研究的钒离子浓度下,Al/V摩尔比对正极可逆性的影响要大于负极。

2.4 电池性能的影响

为了进一步分析Al离子对钒电池充放电性能的影响,分别对空白及不同Al/V摩尔比的电解液进行单电池性能测试,得到电池效率的变化规律(见图4,能量效率=库仑效率×电压效率)。可以看出,随着Al/V摩尔比的增加,在不同的电流密度下,库仑效率都有不同幅度的提升。库仑效率一般与隔膜阻隔能力相关,库仑效率的提升推测是由于Al元素对隔膜起到一定的封闭作用,降低了钒离子的透过性,提高了库仑效率。对于电压效率,尽管在1:11.0、1:6.6、1:4.7范围内,各电流密度下呈现平稳的变化趋势,但总体上Al离子的引入明显降低了电池的电压效率。因此,综合库仑效率和电压效率的影响,能量效率随添加量的增加呈现出先降低再升高再降低的过程,但均低于空白溶液的能量效率。

量效率,尤其是在高含量下(1:3.7、1:3.0),电池无法在 200 mA/cm^2 以上运行。能量效率的变化主要是由于溶液性质(包括黏度、电导、以及电极可逆性)改变和隔膜等材料演变的综合作用:一方面是由于 Al 元素对隔膜的封闭导致膜电阻升高,另外,

由于电解液电导率的降低导致电池内阻的升高,电解液粘度的增加,也使得离子扩散阻力增大,造成电池内部浓差极化增加。同时,Al 离子对电极反应可逆性的影响,也在一定程度上反应为电池电压效率的降低。

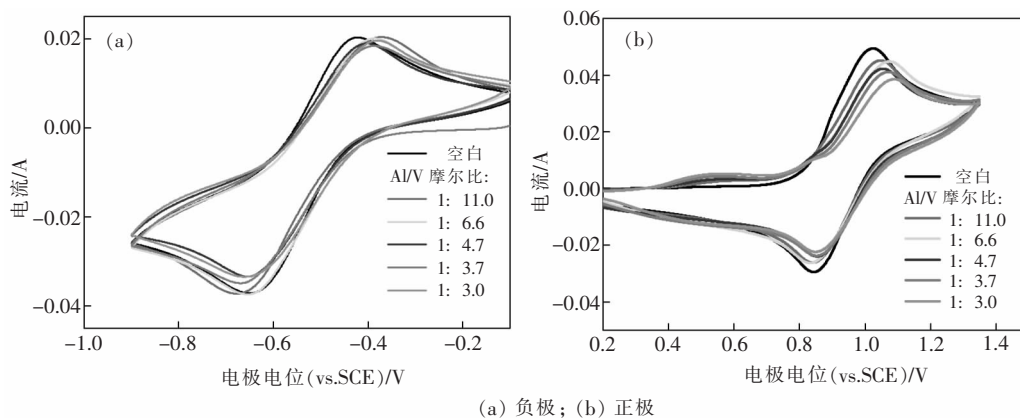


图 3 空白及不同 Al/V 摩尔比电解液在 $20 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ 扫速下的循环伏安曲线

Fig.3 Cyclic voltammograms of the pristine electrolyte with different molar ratios of Al to V at the scan rate of $20 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$

表 1 图 3(a) 中循环伏安曲线对应的参数

Table 1 The corresponding parameters of cyclic voltammograms in Fig.3(a)

Al/V (摩尔比)	阳极峰		阴极峰		$\Delta E_p / \text{V}$	$-I_{pa}/I_{pc}$
	E_{pa}/V	I_{pa}/mA	E_{pc}/V	I_{pc}/mA		
空白	-0.421	20.3	-0.649	-37.1	0.228	0.55
1:11.0	-0.372	20.4	-0.678	-37.3	0.306	0.55
1:6.6	-0.386	20.1	-0.673	-36.9	0.287	0.54
1:4.7	-0.404	18.9	-0.654	-33.4	0.250	0.57
1:3.7	-0.387	18.4	-0.667	-34.9	0.280	0.53
1:3.0	-0.379	19.6	-0.660	-33.4	0.281	0.59

表 2 图 3(b) 中循环伏安曲线对应的参数

Table 2 The corresponding parameters of cyclic voltammograms in Fig.3(b)

Al/V (摩尔比)	阳极峰		阴极峰		$\Delta E_p / \text{V}$	$-I_{pa}/I_{pc}$
	E_{pa}/V	I_{pa}/mA	E_{pc}/V	I_{pc}/mA		
空白	1.024	49.5	0.843	-29.5	0.181	1.68
1:11.0	1.047	45.2	0.839	-26.2	0.208	1.73
1:6.6	1.074	44.8	0.832	-26.3	0.242	1.70
1:4.7	1.056	42.2	0.855	-23.9	0.201	1.77
1:3.7	1.07	41.1	0.853	-23.7	0.217	1.73
1:3.0	1.089	38.5	0.851	-22.3	0.238	1.73

为研究 Al 离子对电解液稳定性的影响,观察电池运行 50 周期后溶液体系的稳定性情况,发现随 Al/V 摩尔比的升高,负极侧溶液出现不同程度的沉淀(图 5),而正极均未出现明显的沉淀,说明 Al 的添加降低了负极溶液的稳定性。将负极电解液(Al/V 摩尔比为 1:3.0)进行过滤,对过滤后的沉淀采用 XPS 进行元素分析,测试结果如图 5(c) 所

示。XPS 结果表明沉淀物中含有 C、O、S 和 V 元素,未检测出铝元素,因此可以推测沉淀物应为钒的某种化合物,在一定程度上也可以说明 Al 离子导致负极溶液的稳定性降低。

为验证 Al 离子对隔膜的影响,将 Al/V 摩尔比为 1:3.0 电解液充放电测试后的隔膜两侧进行 SEM 和 EDS 测试(测试结果见图 6)。

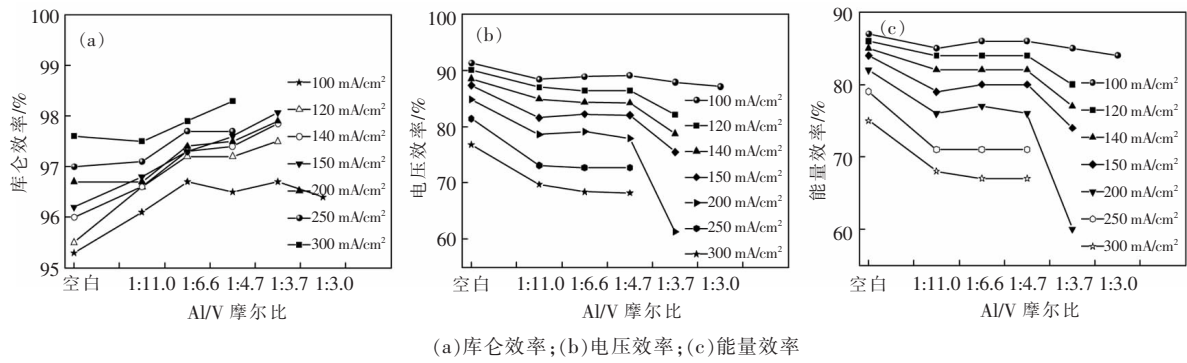


图 4 空白及不同 Al/V 摩尔比电解液的电池效率

Fig. 4 The coulombic efficiency (a) voltage efficiency; (b) and energy efficiency; (c) of the pristine electrolyte with different molar ratios of Al to V

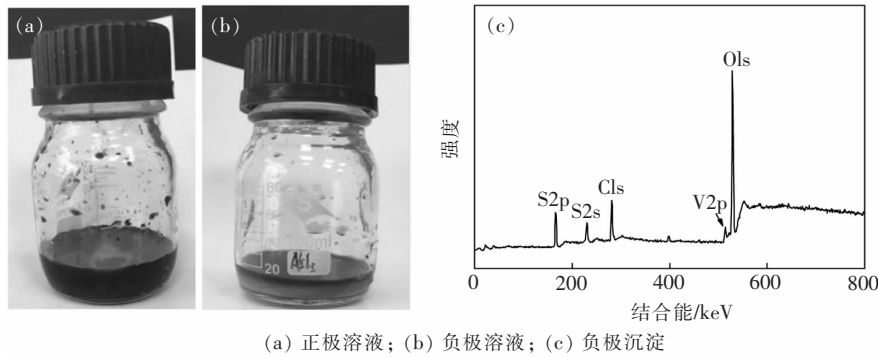


图 5 电解液(Al/V 摩尔比为 1 : 3.0)充放电循环 50 次后的 XPS 谱

Fig. 5 The photo of the positive electrolyte (a) and negative electrolyte; (b) with a molar ratio of Al to V at 1 : 3.0 after 50 charge/discharge cycles and the XPS of the precipitation in the negative electrolyte (c)

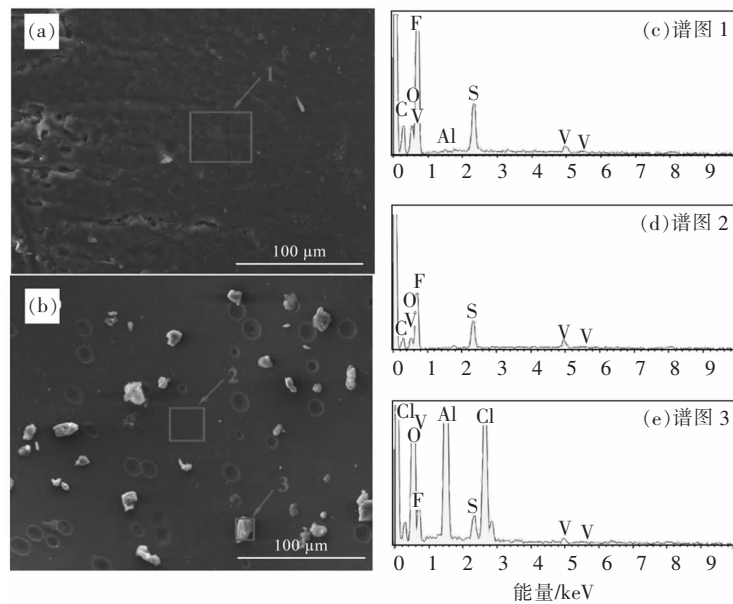


图 6 充放电测试(电解液 Al/V 摩尔比为 1 : 3.0)后隔膜和沉淀的 SEM 形貌

Fig. 6 SEM-EDS of the membrane and the precipitation in the electrolyte with a molar ratio of Al to V at 1 : 3.0 after 50 charge/discharge cycles

可以看出,隔膜正极侧发生了明显的坑洼和褶皱(图 6(a)),没有明显的颗粒存在。这是由于在电池运行中,推测是正极溶液的强氧化性环境所致。对正极侧隔膜表面进行成分分析(图 6(c)),发现清洗后的隔膜仍有少量 Al 的存在。推测在充放电循环过程中,溶液中的 Al 离子在电池运行过程中,沿着电场方向由正极向负极扩散迁移,渗入隔膜内部,通过 Donan 效应及堵塞隔膜微孔的作用^[20],提升隔膜阻钒能力,导致库仑效率的提高和电压效率的降低。

然而在隔膜负极侧(图 6(b)),隔膜表面虽经清洗,但仍有少量固体颗粒存在于膜表面。隔膜负极侧无沉淀区域只有 V(来自钒溶液)和 S、F(来自磺酸基团)的成分而未发现有 Al 的存在(图 6(d))。推测 Al 离子并未进入隔膜负极侧。对固体颗粒的分析结果表明颗粒的成分为 Al、V、Cl、O、S、F 等元素(图 6(e))。结合负极沉淀的 XPS 结果分

析,可以推测 Al 并未与三价钒发生共沉淀在负极溶液中析出,而是与溶液中的其他杂质生成沉淀物,并夹杂一定量的三价钒的沉淀物沉积于膜表面。

3 结 论

1) Al 离子对钒离子的电极反应有较大影响,随 Al/V 摩尔比的增加,峰电流减小,峰电位差增大,表明 Al 离子降低了钒离子电极反应的可逆性。

2) 在 100 ~ 300 mA/cm² 的电流密度范围内,随 Al/V 摩尔比的增加,库仑效率升高、电压效率降低,能量效率先降后升,但总体呈降低趋势,尤其在 Al/V 摩尔比时,电池无法在 200 mA/cm² 以上高电流密度下运行。

3) 随 Al 离子含量的增加,溶液黏度和密度逐渐增大,电导率则逐渐降低; Al 离子沿电场方向扩散渗入隔膜内部; Al 离子影响负极溶液的运行稳定性。

参考文献

- [1] Liu Jun, Zhang Jiguang, Yang Zhenguo, *et al.* Materials science and materials chemistry for large scale electrochemical energy storage: From transportation to electrical grid[J]. *Advanced Functional Materials* 2013 23(8): 929–946.
- [2] Huskinson Brian, Marshak Michael P, Suh Changwon, *et al.* A metal-free organic-inorganic aqueous flow battery [J]. *Nature*, 2014, 505: 195–198.
- [3] Ding Cong, Zhang Huamin, Li Xianfeng, *et al.* Vanadium flow battery for energy storage: Prospects and challenges [J]. *Journal of Physical Chemistry Letters* 2013 4(8): 1281–1294.
- [4] Fabjan Ch, Garche J, Harrer B, *et al.* The vanadium redox-battery: An efficient storage unit for photovoltaic systems [J]. *Electrochimica Acta* 2001 47(5): 825–831.
- [5] Wu Xiongwei, Liu Jun, Xie Hao, *et al.* Latest advance on carbon electrode materials for all vanadium redox flow battery [J]. *Scientia Sinica Chimica* 2014 44(28): 1280–1288.
(吴雄伟, 刘俊, 谢浩, 等. 全钒液流电池碳电极材料的研究进展 [J]. *中国科学: 化学* 2014 44(28): 1280–1288.)
- [6] Oriji Gaku, Katayama Yasushi, Miura Takashi. Investigation on V(IV)/V(V) species in a vanadium redox flow battery [J]. *Electrochimica Acta* 2004 49(19): 3091–3095.
- [7] Cao Liuyue, Skyllas-Kazacos Maria, Menictas Chris, *et al.* A review of electrolyte additives and impurities in vanadium redox flow batteries [J]. *Journal of Energy Chemistry* 2018 27(5): 1269–1291.
- [8] Jong Ho Park, Jung Jin Park, Jyun Ju Lee, *et al.* Influence of metal impurities or additives in the electrolyte of a vanadium redox flow battery [J]. *Journal of the Electrochemical Society* 2018 165(7): A1263–A1268.
- [9] Huang Fei, Wang Guixin, Yan Kangping, *et al.* Influence of Mn²⁺ concentration on the electrochemical behavior of the anolyte for vanadium redox flow batteries [J]. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry* 2012 28(5): 898–904.
(黄斐, 王贵欣, 闫康平, 等. Mn²⁺ 浓度对钒液流电池正极液的电化学性能影响 [J]. *无机化学学报* 2012 28(5): 898–904.)
- [10] Huang Fei, Zhao Qiang, Luo Chunhui, *et al.* Influence of Cr³⁺ concentration on the electrochemical behavior of the anolyte for vanadium redox flow batteries [J]. *Chinese Science Bulletin* 2012 57(27): 2653–2659.
(黄斐, 赵强, 罗春晖, 等. Cr³⁺ 浓度对钒液流电池正极液的电化学性能影响 [J]. *科学通报* 2012 57(27): 2653–2659.)
- [11] Ding Muqing, Liu Tao, Zhang Yimin. Investigations of the influences of K⁺ impurity on the electrolyte for vanadium redox flow battery [J]. *Ionics* 2020 26: 3415–3423.
- [12] Ding Muqing, Liu Tao, Zhang Yimin, *et al.* Effect of impurity magnesium ion on electrolyte performance of vanadium redox flow battery [J]. *Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy)* 2018 7: 46–49.
(丁木清, 刘涛, 张一敏, 等. 镁杂质离子对钒电池电解液性能的影响 [J]. *有色金属(冶炼部分)* 2018 7: 46–49.)

- [13] Ding Muqing ,Liu Tao ,Zhang Yimin *et al.* Effect of Fe(III) on the positive electrolyte for vanadium redox flow battery [J]. Royal Society Open Science 2019 6: 181309.
- [14] Kubata Michiru ,Nakaishi Hiroyuki ,Tokuda Nobuyuki. Electrolyte for redox flow battery ,and redox flow battery ,USA: US 7 , 258 947 [P]. 2007-08-21.
- [15] Wei Qing ,Dai Zilin ,Wu Haiying *et al.* High purity V_2O_5 preparation with vanadium-rich liquid extracted from stone coal [J]. Metal Mine 2013 42(12) : 66-69.
(危青 ,戴子林 ,吴海鹰 ,等. 石煤提钒富液直接制备高纯 V_2O_5 [J]. 金属矿山 2013 42(12) : 66-69.)
- [16] Shao Yanhai. Theory and technology of high purity ultrafine alumina preparation from spent Al_2O_3 -based catalyst [D]. Changsha: Central South University 2009.
(邵延海. 由废铝基催化剂制备高纯超细氧化铝的理论及技术研究 [D]. 长沙: 中南大学 2009.)
- [17] He Zhangxing ,Chen Lei ,He Yaoyi *et al.* Effect of In^{3+} ions on the electrochemical performance of the positive electrolyte for vanadium redox flow batteries [J]. Ionics 2013 19: 1915-1920.
- [18] Mehboob Sheeraz ,Mehmood Asad ,Lee Juyoung *et al.* Excellent electrocatalytic effects of tin through in situ electrodeposition on the performance of all-vanadium redox flow batteries [J]. Journal of Materials Chemistry A 2017 5: 17388-17400.
- [19] Liu Jianlei ,Liu Suqin ,He Zhangxing *et al.* Effects of organic additives with oxygen- and nitrogen-containing functional groups on the negative electrolyte of vanadium redox flow battery [J]. Electrochimica Acta 2014 130: 314-321.
- [20] Jing Minghua ,Wei Zengfu ,Su Wei *et al.* Improved electrochemical performance for vanadium flow battery by optimizing the concentration of the electrolyte [J]. Journal of Power Sources 2016 324: 215-223.
- [21] Zhao Yang ,Liu Le ,Qiu Xinping *et al.* Revealing sulfuric acid concentration impact on comprehensive performance of vanadium electrolytes and flow batteries [J]. Electrochimica Acta 2019 303: 21-31.
- [22] Zha Quanxing. Introduction to the kinetics of electrode process(3rd Ed) [M]. Beijing: Science Press 2002.
(查全性. 电极过程动力学导论(第三版) [M]. 北京: 科学出版社 2002.)

编辑 杨冬梅

鞍钢极限规格包覆铜包钢盘条全国首发

(2020 年 9 月 28 日消息) 近日 鞍钢成功研制生产直径 14 mm 极限规格包覆铜包钢盘条 ,该产品打破常规直径 6.5 mm 规格局限性 ,填补了国内大规格包覆铜包钢盘条产品空白 ,实现全国首发 ,各项指标完全满足客户协议要求 ,并通过了客户检验评价。该品种的开发成功对推动高导电率材料行业发展提供了示范样板 ,为鞍钢品种结构调整及创效提供了有力支撑。

常规包覆铜包钢盘条规格是直径 6.5 mm ,广泛应用于电话通信芯线、电子元器件的接插件、电力电缆编织屏蔽线等领域。随着通信、电子信息行业不断发展 ,包覆铜包钢盘条应用领域不断扩展 ,同时对产品功能性提出了更高要求。直径 14 mm 极限规格包覆铜包钢盘条主要应用在同轴电缆、安防线等高电导率产品、高精尖产品制造领域 ,一般由直径 14 mm 规格盘条包覆铜拉拔至直径 1.02 mm 规格 ,压缩比高达 99.5%。为保证盘条拉拔性能和使用性能 ,对盘条各项指标均提出了极严要求 ,控制难度非常大。

鞍钢集团钢铁研究院长材产品研究所棒线材研发团队联合鞍钢股份线材厂、制造管理部、炼钢总厂 ,打破以往超低碳钢生产工艺 ,设计了一整套全新的工艺路径 ,开展了实验室模拟、板切方工艺设计、钢质纯净度控制、盘条表面质量及组织性能控制、盘条尺寸精度控制等方面研究工作。通过克服炼钢浇注絮流、切割质量不稳定、线材超低碳钢难轧制等困难 ,成功解决了坯料质量、方坯切割质量、线材粗中轧堆钢等方面问题。经过不断优化工艺、细化标准、固化工艺 ,现已实现稳定生产。

该品种成功研制生产后 ,鞍钢铜包钢产品现已由软态类逐步向半硬态、硬态、含钛类扩展 ,品种规格由直径 6.5 mm 扩展至 14 mm ,为后续系列品种钢开发提供了参考依据。未来 鞍钢将持续加大自主研发攻关力度 ,实现铜包钢产品国产化及国际化 ,提高市场占有率 ,引领国内外铜包钢行业发展 ,成为铜包钢产品的领跑者。

摘自 <http://www.ansteelgroup.com/mtzx/xwzx/3349-2020-09-28-00-48-38>