

姓 名	袁治章	性 别	男	出生年月	1989/11/19	
出生地	湖北武汉	婚姻状况	未婚	政治面貌	中共党员	
获博士学位时间	2017年7月	学位授予单位	中国科学院大学			
博士学位论文题目	全钒液流电池用非氟离子传导膜的结构设计及氧化稳定性研究					
博士论文指导教师姓名及联系方式	指导老师: 李先锋 研究员; 张华民 研究员 E-mail: lixianfeng@dicp.ac.cn ; zhanghm@dicp.ac.cn 电话: 0411-84379669; 0411-84379072					
拟开展的研究方向	高性能锌基液流储能电池技术的研究开发					
拟应聘的研究组	DNL 17室 储能技术研究部					
是否有亲属在所内工作或学习	无					
联系方式	手机	15998558172		办公电话	0411-84379536	
	Email	yuanzhizhang@dicp.ac.cn				
学习及工作经历 (从高中阶段开始填, 内容包括时间、单位、学位、所学专业、从事专业、专业技术职务情况, 时间段要连续, 准确到月份)						
起止年月	院校 (专业及学位)					
2005.9—2008.7	湖北省武汉市 江夏区第一中学 (高中)					
2008.9—2012.7	湖北省荆州市 长江大学 (化学工程与工艺, 工学学士)					
2012.9—2013.7	中国科学院大学北京玉泉校区集中教学					
2013.8—至今	中国科学院大连化学物理研究所 (化学工程, 硕博连读)					

如内容较多, 本栏目填不下时, 可另纸接续 (下同)。

主要学术成就、科技成果及创新点:

随着社会的发展,人们对能源需求日益增加,普及应用可再生能源,提高其在能源消耗中的比重是实现社会和经济可持续发展的必然选择。但是,风能、太阳能等可再生能源发电具有不连续、不稳定、不可控的特性,大规模并入电网会给电网的安全、稳定运行带来严重冲击。大规模储能技术可有效实现可再生能源发电的调幅调频、平滑输出、跟踪计划发电,从而减小可再生能源发电并网对电网的冲击,提高电网对可再生能源发电的消纳能力,解决弃风、弃光问题。因此,大规模储能技术是国家能源安全和实现节能减排目标的重大战略需求。

全钒液流电池(VFB)储能技术具有安全性高、寿命长和环境友好等特点,是大规模高效储能的首选技术之一。离子传导膜是液流电池的关键材料之一,起着阻隔正负极电解液中钒离子的交叉共混,传递离子(质子或硫酸根、硫酸氢根)形成电池回路的作用,其物化性质与成本直接影响到电池系统的性能和成本。目前,VFB用商品化膜主要是美国杜邦公司生产的全氟磺酸离子交换膜(商品名:Nafion®)。然而其生产工艺复杂,价格昂贵(\$ 600-800/m²)。此外,该类膜离子选择性低,长期运行过程中造成容量衰减和性能降低。非氟离子交换膜具有选择性高、成本低的优势,但其在VFB环境下的氧化稳定性较差,阻碍了其商业化运行。此外VFB所处高电位、强氧化性、强酸性环境中,降解机理较为复杂,缺乏全面深入的研究。因此,阐明非氟离子交换膜的降解机理,开发高性能和低成本的材料是液流电池实用化和产业化的关键。

为解决以上关键科学与技术问题,申请者在大连化物所读博期间开展了非氟离子传导膜的结构设计及氧化稳定性研究的相关研究,并将基础研究与应用研究相结合。在阐明非氟离子交换膜降解机理的基础上,通过分子设计、结构优化成功制得成本低廉、氧化稳定性优异的非氟离子传导膜。主要研究成果如下:

1. 阐明了非氟离子交换膜在VFB环境下的降解机理

选取传统的磺化聚醚醚酮阳离子交换膜(SPEEK)为模型化合物,采用“离线测试”和“在线测试”的方法对SPEEK氧化后的产物进行分析,发现在酸性环境下,SPEEK主链中的醚键极易质子化,质子化的醚键与强吸电作用的磺酸基团使得苯环上碳成为亲电中心,该亲电中心极易在钒氧物种亲核试剂的进攻下发生反应(Phys. Chem. Chem. Phys., 2014, 16, 19841-19847)。随后制备出易质子化的聚二唑(POD)膜,进一步证实了质子化作用对膜氧化稳定性的影响(J. Membr. Sci.,

2015, 488, 194-202)。此外, 申请者采用类似的方法阐明了阴离子交换膜的氧化降解机理 (ACS Appl. Mater. Inter., 2015, 7, 19446-19454)。在揭示离子交换膜降解机理的基础上, 成功设计并制备出稳定性较好的离子交换膜 (Polym. Chem., 2015, 6, 5385-5392), 证实了所提出的降解机理的准确性。这部分研究作为后续开发高性能、低成本的膜材料提供了理论指导。

2. 验证了离子筛分机理, 设计并开发出高选择性、高稳定性多孔离子传导膜材料

前期研究表明, 非氟离子交换膜中的离子交换基团的存在是导致其稳定性下降的根本原因。多孔离子传导膜通过“离子筛分传导”从分子尺度上实现对钒离子的隔离和质子的传导, 有效避免了离子交换基团对膜氧化稳定性的影响 (J. Mater. Chem. A, 2016, 4, 12955-12962)。然而, “离子筛分传导”机理在 VFB 中一直未从理论上得到证实。为解决这一难题, 申请者将孔径介于 0.35 ~ 0.54 nm 之间的 ZSM-35 分子筛引入到 VFB 中, 精确地实现了钒离子 (半径 > 0.6 nm) 和质子 (半径 < 0.24 nm) 的分离, 首次从理论上证实了离子筛分传导机理的正确性, 深化了学术界对 VFB 离子传输机理的认识 (Angew. Chem. Int. Ed., 2016, 55, 3058-3062)。

基于对非氟离子交换膜降解机理及多孔离子传导膜的研究, 申请者通过分子设计、结构优化成功制备出高选择性、高稳定性的非氟多孔离子传导膜。用所开发的膜材料所组装的单电池在 80 mA cm^{-2} 的充放电条件下, 电池的能量效率超过 90%, 并经过 13,000 余次充放电循环考察, 电池性能无明显衰减, 表现出优异的稳定性。相关研究结果以封面形式发表在能源类权威杂志 Energy Environ. Sci. (Energy Environ. Sci., 2016, 9, 441-447) 上, 并入选“ESI 高被引论文”。

3. 多孔离子传导膜的初试放大

为了进一步推进膜材料的产业化, 申请者对所开发的膜材料经实验室规模放大, 用其组装出的千瓦级液流电池电堆在 120 mA cm^{-2} 的恒流充放电条件下, 电堆的库伦效率高于 99%, 能量效率达 81%, 大幅度降低了液流电池成本。该成果对于推进液流电池的产业化应用具有重要的意义。

主要论著目录:

(1. 论文作者、题目、期刊名称、年份、卷期、页、总引次数、他引次数、期刊影响因子; 2. 著作: 著者、书名、出版社、年份)

目录列表最后请注明论文总引次数、他引次数、期刊影响因子的查询截止时间和查询数据库。

1. **Yuan Zhizhang**, Zhu Xiangxue, Li Mingrun, Lu Wenjing, Li Xianfeng and Zhang Huamin, A Highly Ion-Selective Zeolite Flake Layer on Porous Membranes for Flow Battery Applications. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2016, 55, 3058-3062 (期刊影响因子: **11.709**)
2. **Yuan Zhizhang**, Duan Yinqi, Zhang Hongzhang, Li Xianfeng, Zhang Huamin and Ivo Vankelecomd, Advanced porous membranes with ultra-high selectivity and stability for vanadium flow batteries. *Energy Environ. Sci.* (封面文章, 入选ESI高被引论文), 2016, 9, 441-447 (期刊影响因子: **25.427**)
3. **Yuan Zhizhang**, Dai Qing, Zhao Yuyue, Lu Wenjing, Li Xianfeng, Zhang Huamin, Polypyrrole modified porous poly (ether sulfone) membranes with high performance for vanadium flow batteries. *J. Mater. Chem. A*, 2016, 4, 12955-12962 (期刊影响因子: **8.262**)
4. **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Zhao Yuyue and Zhang Huamin, Mechanism of Polysulfone-Based Anion Exchange Membranes Degradation in Vanadium Flow Battery. *ACS Appl. Mater. Inter.*, 2015, 7, 19446-19454 (期刊影响因子: **7.145**)
5. **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Duan Yinqi, Zhao Yuyue and Zhang Huamin, Highly stable membranes based on sulfonated fluorinated poly (ether ether ketone) s with bifunctional groups for vanadium flow battery application. *Polym. Chem.*, 2015, 6, 5385-5392 (期刊影响因子: **5.687**)
6. **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Duan Yinqi, Zhao Yuyue and Zhang Huamin, Application and degradation mechanism of polyoxadiazole based membrane for vanadium flow batteries. *J. Membr. Sci.*, 2015, 488, 194-202 (期刊影响因子: **5.557**)
7. **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Hu Jinbo, Xu Wanxing, Cao Jingyu and Zhang Huamin, Degradation mechanism of sulfonated poly (ether ether ketone) (SPEEK) ion exchange membranes under vanadium flow battery medium. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2014, 16, 19841-19847 (期刊影响因子: **4.449**)
8. Lu Wenjing, **Yuan Zhizhang**, Zhao Yuyue, Li Xianfeng, Zhang Huamin and Ivo Vankelecomd, High-performance porous uncharged membranes for vanadium flow battery applications created by tuning cohesive and swelling forces. *Energy Environ. Sci.*, 2016, 9, 2319-2325 (期刊影响因子: **25.427**)

9. Lu Wenjing, **Yuan Zhizhang**, Li Mingrun, Li Xianfeng, Zhang Huamin and Ivo Vankelecomd, Solvent-Induced Rearrangement of Ion Transport Channels: A Way to Create Advanced Porous Membranes for Vanadium Flow Batteries. *Adv. Funct. Mater.*, 2017, 27, 1604587 (期刊影响因子: **11.382**)
10. Zhao Yuyue, **Yuan Zhizhang**, Lu Wenjing, Li Xianfeng, Zhang Huamin, The porous membrane with tunable performance for vanadium flow battery: The effect of charge. *J. Power Sources*, 2017, 342, 327-334 (期刊影响因子: **6.333**)
11. Cao Jingyu, **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Xu Wanxing and Zhang Huamin, Hydrophilic poly(vinylidene fluoride) porous membrane with well connected ion transport networks for vanadium flow battery. *J. Power Sources*, 2015, 298, 228-235 (期刊影响因子: **6.333**)
12. Xu Wanxing, Zhao Yuyue, **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Zhang Huamin and Ivo Vankelecomd, Highly Stable Anion Exchange Membranes with Internal Cross-Linking Networks. *Adv. Funct. Mater.*, 2015, 25, 2583-2589 (期刊影响因子: **11.382**)
13. Zhao Yuyue, Li Mingrun, **Yuan Zhizhang**, Li Xianfeng, Zhang Huamin and Ivo Vankelecomd, Advanced Charged Sponge-Like Membrane with Ultrahigh Stability and Selectivity for Vanadium Flow Batteries. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 210-218 (期刊影响因子: **11.382**)
14. Shi Junli, Xia Yonggao, **Yuan Zhizhang**, Hu Huasheng, Li Xianfeng, Zhang Huamin and Liu Zhaoping, Porous membrane with high curvature, three-dimensional heat-resistance skeleton: a new and practical separator candidate for high safety lithium ion battery. *Sci. Rep.*, 5, 8255, DOI: 10.1038/srep08255 (期刊影响因子: **5.228**)
15. Shi Junli, Xia Yonggao, **Yuan Zhizhang**, Hu Huasheng, Li Xianfeng, Jiang Hui, Zhang Huamin and Liu Zhaoping, Composite membrane with ultra-thin ion exchangeable functional layer: a new separator choice for manganese-based cathode material in lithium ion batteries. *J. Mater. Chem. A*, 2015, 3, 7006-7013 (期刊影响因子: **8.262**)
16. Zhao Yuyue, Lu Wenjing, **Yuan Zhizhang**, Qiao Lin, Li Xianfeng, Zhang Huamin, Advanced Charged Porous Membrane with Flexible Internal Crosslinking Structure for Vanadium Flow Batteries. *J. Mater. Chem. A*, DOI: 10.1039/C7TA00117G (期刊影响因子: **8.262**)

论文总引次数: 108

他引次数: 79

期刊影响因子的查询截止时间: 2017年3月3日

查询数据库: Web of Science

主持(参与)科研项目及申请专利(项目来源、项目名称、经费、个人在其中的作用)

参与过的重大科研项目:

1. 国家重大基础研究计划(973计划)课题“高性能离子交换膜构效关系、多孔离子传导机理及制备方法研究”(No. 2010CB227202), 517万元, 参与
2. 自然科学基金青年基金, “全钒液流储能电池用高选择性聚合物复合多孔分离膜的设计制备及基础研究”(No. 21206158), 25万元, 参与
3. 国家自然科学基金面上基金, “全钒液流电池用多孔离子传导隔膜离子传输网络的构建及离子传输机理的研究”, 80万元, 参与
具体负责全钒液流电池离子交换膜氧化稳定性、离子传导隔膜的研发、性能评价及构效关系研究

申请专利:

1. 张华民, 李先锋, 袁治章, 赵于月, 一种液流电池用具有分级孔结构的多孔膜及其制备和应用。发明专利: 201510571868.1
2. 李先锋, 张华民, 袁治章, 赵于月, 鲁文静, 一种分子筛复合多孔膜在锂硫电池中的应用。发明专利: 201610490175.4
3. 李先锋, 张华民, 袁治章, 一种具有微相分离结构的离子传导膜及其制备和应用。发明专利: 201610493496.X
4. 李先锋, 张华民, 袁治章, 赵于月, 鲁文静, 戴卿, 主链与离子交换基团分离的离子交换膜及其制备和应用。发明专利: 201610493534.1
5. 李先锋, 张华民, 袁治章, 段寅琦, 谢聪鑫, 一种碱性锌铁液流电池。发明专利: 201611133465X
6. 李先锋, 张华民, 袁治章, 赵于月, 磺化聚醚酮类离子交换膜在锌银电池中应用。发明专利: 2016110567116
7. 段寅琦, 张华民, 李先锋, 袁治章, 史丁秦, 一种液流储能电池用分子筛复合多孔膜及其制备和应用。发明专利: 201510919743.3
8. 李先锋, 段寅琦, 张华民, 袁治章, 一种多孔膜在碱性锌铁液流电池的应用。发明专利: 201611088069X
9. 李先锋, 张华民, 赵于月, 袁治章, 一种液流电池用多孔离子传导膜及其制备和应用。发明专利: 201610490219.3
10. 李先锋, 张华民, 鲁文静, 袁治章, 赵于月, 一种液流电池用聚合物多孔离子传导膜的溶剂处理方法。发明专利: 201610443530.2

获科技奖情况（项目名称、奖项、获奖时间、本人在其中的作用及排名、获奖总人数）

无

获各类荣誉奖情况：

2016 年度延长石油优秀博士生一等奖学金

2016 年博士研究生国家奖学金

2016 年卢嘉锡优秀研究生奖学金

2016 年大连市科技论文奖·特等奖

2016 MRS Fall Meeting 最佳学生报告奖（获奖人数：3 人/参会人数：~6000 人）

2016 年大连化物所优秀研究生

2015-2016 学年大连化物所三好学生标兵

2014-2015 年度大连化物所优秀学生干部

2014 年大连化物所原创科普作品大赛一等奖（科研进展、科研方向类）

受聘后拟开展研究工作的计划和思路（包括研究方向、内容和目标）：

拟开展的研究计划如下：

1. 多孔离子传导膜的成膜工艺和规模放大技术的研究

我在读博期间开发的非氟离子传导隔膜，电池性能远优于杜邦公司昂贵的 Nafion 115 膜，经过小试放大后组装的千瓦级液流电池电堆具有优异的电堆性能，而成本价格不到 Nafion 115 膜的 1/10，极具应用前景。依托研究室的平台，通过工程化开发，建立该类膜的规模放大工艺及产业化技术平台，为全钒液流储能电池提供高性能低成本的离子传导膜，从而推进液流储能电池的实用化和产业化进程，促进风能、太阳能等可再生能源的普及应用。

2. 高性能锌基液流储能电池技术的研究开发

以液流储能技术发展为契机，深入开展以应用研究为主、基础研究为辅的锌基（锌铁、锌溴、锌镍）液流储能电池技术研究。经过博士期间对锌基液流电池的初步探索，发现锌基液流电池在储能领域更具优势，如更高的开路电压、更高的活性物质溶解度及成本优势。然而要实现锌基液流电池的大规模应用，还有很多问题需要解决。其一，需进一步明晰锌枝晶的调控原理，通过优化电池结构、调控电解液组分、控制电池充放电模式等方法解决负极锌累积问题，同时改善锌的非均匀、非致密沉积。其二，需阐明不同体系下（中性体系及碱性体系）锌离子的沉积溶解的机制；其三，针对不同应用场合，继续进行关键材料和方法创新。

3. 高比能量新型液流储能电池技术的研究开发

面向国际电池技术发展前沿，开展高比能量新型液流储能电池（新型有机液流电池及新型水系液流电池）的研究，解决传统液流电池开路电压低、活性物质浓度低等问题。该研究与传统液流电池的研究有较大的相似之处，希望结合我所已有的电池技术，在 5-10 年内开发出多种新型液流储能电池，并将电池性能提高到国际一流水平，以满足国家对大规模储能技术的重大需求。