

## 大规模液流钒电储能技术研究进展

梅东升 毛永清 谢正和 刘吉广

北京京能能源技术研究有限责任公司, 北京 100022

DOI:10.33142/ec.v2i1.105

[摘要]大规模储能技术是解决我国可再生能源间歇性及不连续性的重要手段,液流储能技术以其大功率、长寿命、支持频繁大电流充放电、绿色无污染等优势成为大规模储能的重要技术选择,近年来钒电池在液流储能领域发展迅速,本文分析了液流钒电池在储能电池管理系统,大规模电堆开发以及电解液等关键技术现状及取得的突破。

[关键词]液流储能;钒电池;电堆;电解液

## Research Progress of Large-scale Liquid Flow Vanadium Electric Energy Storage Technology

MEI Dongsheng, MAO Yongqing, XIE Zhenghe, LIU Jiguang

Beijing Jingneng Energy Technology Research Co., Ltd., Beijing China, 100022

**Abstract:** Large-scale energy storage technology is an important means to solve the discontinuity and discontinuity of renewable energy in China. With its advantages of high power, long life, frequent high current charging and discharging, green and pollution-free, liquid-flow energy storage technology has become an important technology choice for large-scale energy storage. In recent years, vanadium batteries have developed rapidly in the field of liquid-flow energy storage. This paper analyses the application of liquid-flow vanadium batteries in energy storage. Current status and breakthroughs of key technologies such as pool management system, large-scale reactor development and electrolyte

**Keywords:** fluid energy; storage Vanadium; battery Electric; reactor electrolyte

### 前言

随着我国经济发展和人民生活水平的提高,能源需求增长迅速,然而,能源安全与环境污染已经成为我国国民经济发展的掣肘。化石能源日益消耗,2015年,我国石油和天然气对外依存度分别为60.6%和32.2%<sup>[1]</sup>。因此,如何安全、清洁的解决我国能源问题是一个重大议题。开发替代化石能源的可再生、环保、清洁的天阳能和风能势在必行,但是可再生能源的间歇性、波动性的特点对大规模储能装置提出了更高的要求。液流电池作为清洁能源存储技术之一,与目前市场中的其他电池相比,具有大功率、长寿命、支持频繁大电流深度充放电、安全稳定可靠等优点。主要应用领域有新能源消纳并网、电网侧削峰填谷、UPS 应急保障系统、孤岛海岛应用等领域。

### 1 液流电池国内外发展现状

1974年Thaller在第九届能量转换工程会议上首次提出了氧化还原液态电池,1978年意大利人A.Pellegrini等首次发表关于液流电池的专利,1984年澳大利亚新南威尔士大学(UNSW)开始对液流电池展开系列研究,并于1991年研发成功1kW电池电堆<sup>[2,3]</sup>。液流电池作为一种新型电池引起了各大高校及电力公司关注,1985年日本的住友电工(SEI)与关西电力公司(KansaiElectricPowerCo.)合作研发液流电池储能系统,并在1996年突破了450kW规模电堆,首次应用于变电站;日本电工实验室(ElectrotechnicalLaboratory, Tsukuba, Ibaraki, Japan)在液流电池的关键技术及材料上持续投入,成功研发出高纯度长寿命的电池材料与结构而成为该领域的先行开拓者,目前致力于兆瓦级液流电池电堆的研发<sup>[4]</sup>及应用推广。加拿大的VRBPowersystems公司将液流电池尤其是钒电池的应用推广到全世界<sup>[5]</sup>,并一度成为行业领军人物。2004年2月,VRB Power为Pacific Corp公司建造的2MW·h大型液流电池储能系统正式竣工,成为北美地区第一作大型商业化液流电池储能系统,主要起着削峰填谷和平衡负荷的作用<sup>[6]</sup>。2014年哈佛大学的Aziz等发表关于非金属溴/醌液流电池,此电池与钒电池能量密度接近,但是电解液的成本远远低于钒电池,对于大规模推广具有优势。

此外,德国、日本与丹麦也在联合开展液流电池在风电、光伏、孤岛等的应用研究工作,通过近十年的研究开发和示范应用,国内外液流电池技术水平得到显著提高,并积累了丰富的工程经验,包括中国在内典型示范工程见下表1所示:

**表 1 液流电池典型工程应用**

电池类型	安装地点	储能系统规格	应用供能	研发单位	运行时间	
锌溴液流电池	美国底特律	400kW*1h	应急保障	ZBB能源公司	2001	
	爱尔兰	400kW*1h	风储削峰填谷		2008	
	芝加哥	250kW*2h	应急保障		2012	
	美国拉斯维加斯	1MW*5h	削峰填谷	昆士兰大学	2012	
	澳大利亚昆士兰岛	90 kW *2h	光伏电站削峰填谷		2012	
	澳大利亚新南威尔士斯昆	100kW *2h	风光削峰填谷		澳大利亚电力公司	2012
	澳大利亚新南威尔士	100kW *2h				
氯化锌液流电池	美国加利福尼亚	25MW*3h	可再生能源削峰填谷	Primus电力公司	2012	
全钒液流电池	泰国	1kW *12h	光伏/储能应用	V-Fuel pty. Ltd	1993	
	日本	200kW *4h	平稳符合波动	住友电工	1997	
		450kW *2h	电站调峰		1997	
		1.5MW*2h	改善电能质量		2001	
		170kW *6h	风/储发电		2002	
全钒液流电池	南非	250kW *2h	应急备用	加拿大VRB	2002	
	澳大利亚金岛风场	200kW *8h	风/储发电		2003	
	美国犹他州	250kW *8h	削峰填谷		2004	
	德国	10kW *1h	偏远地区供电		2005	
	美国南卡罗纳莱州	60kW *2h	备用电源		2005	
	加拿大	10kW *1h	偏远地区供电		2006	
	丹麦	5kW *4h	风/储发电		2006	
	意大利	5kW *4h	备用电源		2006	
	中国张北	2MW *4h	风电削峰填谷, 跟踪出力	北京普能	2011	
	大连卧牛石风电场	5MW *2h	风电削峰填谷, 跟踪出力	大连融科	2012	
	中国赤峰没煤窑山风场	500kW *2h	风电削峰填谷, 跟踪出力	华鼎储能	2012	

## 2 液流电池关键技术发展现状及存在的问题

根据国内外液流储能电池工程化开发及运行经验, 目前液流储能电池技术主要存在如下四方面问题:

(1) 电解质溶液稳定性需进一步提高改善。液流储能电池的主要组成包括电解液、隔膜、双极板等, 其中电解液是关键核心部分, 其稳定性直接影响整个电池系统的稳定性, 其成本占整个电池系统超过 50%, 其中电解液主要由不同价态的含氧酸根离子、活性离子以及不同形态的水合离子组成。其中每一种物质的浓度、整个电解液的温度以及电场等因素都可能会造成电解质溶液性能的变化, 需要通过实验和工程运行经验寻找最佳配比。

(2) 大功率电堆设计。以液流钒电池为例, 其电堆需采用独有的双接触密封结构, 确保密封可靠、结构简单易装配、装配零件少。其优点是可极大的减轻电堆组装的工作强度和难度, 有效提高电堆的合格率。电堆内部具有先进的流场结构设计, 不仅考虑了各个单电池之间的液流分配而且在电堆上增加了另一种结构使之在电池堆组成储能系统时也均匀分配总管里液流之各个电池堆, 以保证各个电池堆之的泄露电流最少, 各电池堆之间的电势差最少, 以提高整个系统的效率

(3) 电池管理系统方面。以液流钒电池为例, 设计出先进成熟的工业自动化技术, 实现模块化设计可灵活配置各种系统, 降低生产成本。开发出友好的人机界面, 可以让操作人员一目了然的掌握整个系统的工作状态、运行参数。结合钒电池的结构特点, 设计待机状态下电池的能量管理, 可最低限度的减少自放电。做到电池 SOC 的精确估算, 实现能量管理系统的同时, 避免对电池造成损害, 合理利用电池所储存的电能。实现电池的均衡技术, 保证电堆之间的串并联结构不会增加系统的自放电损耗。开发出先进的故障诊断系统, 能够在管理故障数据的同时, 提供与应用程序诊断仪的诊断服务, 并建立电池系统故障显示机制和故障处理机制

(4) 电池系统成本较高。液流储能电池与铅酸、锂电池相比目前的成本相对较高, 特别是由于供给侧改革和环保压力下引起的原材料上涨, 有的关键部件还未实现国产化替代, 比如国内离子交换膜技术还未突破, 所以我们不得不使用杜邦公司的 Nafion 膜, 由于没有替代产品价格非常高, 这个将是未来我国材料企业重点攻克领域之一。

综上所述, 能否大规模推广液流储能电池在发电侧、输电侧和用户侧以及新能源并网等领域的应用及推广, 取决于我们在液流电池的关键技术领域及材料方面研发的突破, 特别是系统成本的下降以及与锂电池的综合比较优势。

## 3 液流电池发展趋势与展望

我国可再生能源的飞速发展对储能技术提出了更高的要求, 这也是液流储能电池技术的发展方向和目标<sup>[7]</sup>。如何突破解决液流储能电池关键材料(如大功率电堆、电解液、离子交换膜、电极材料等)及电池结构等问题, 提高电池整体的运行可靠性和耐久性。同时, 在关键材料的规模化生产技术开发, 实现电池关键材料的国产化以显著降低成本, 需积极开展应用示范, 为液流储能电池的产业化和大规模应用奠定基础<sup>[8]</sup>。

[参考文献]

- [1] 贾承造, 庞雄奇, 姜福杰. 中国油气资源研究现状与发展方向[J]. 石油科学通报, 2016(1): 2-23.
- [2] Tokuda N, Furuya M, Kikuoko Y, et al. Development of a redox flow (RF) battery for energy storage [C]. Power Conversion Conference, 2002. PCC-Osaka 2002. Proceedings of the. Osaka: 2002.
- [3] Hawkins JM, Robbins TP. A field trial of a vanadium energy storage system [C]. Telecommunications Energy Conference, 2001. INTELEC 2001. Twenty-Third International. Edinburgh, UK: 2001.
- [4] 崔艳华, 孟凡明. 钒电池储能系统的发展现状及其应用前景[J]. 电源技术. 2005(11): 77-81.
- [5] Kawabe K, Yokoyama A. Effective utilization of large-capacity battery systems for transient stability improvement in multi-machine power system [Z]. IEEE, 2011: 1-6.
- [6] 袁铁江, 陈洁, 刘沛汉, 等. 储能系统改善大规模风电场出力波动的策略[J]. 电力系统保护与控制. 2014, 42(04): 47-53.
- [7] 许守平, 李相俊, 惠东. 大规模储能系统发展现状及示范应用综述[J]. 电网与清洁能源. 2013, 29(08): 94-100.
- [8] 张宇, 俞国勤, 施明融, 等. 电力储能技术应用前景分析[J]. 华东电力. 2008, 36(04): 91-93.
- 作者简介: 梅东升, 男, 北京市人, 高级工程师, 主要研究方向为能源高效利用、节能环保领域。