

综合能源服务用钒电池储能

文/大力电工襄阳股份有限公司 罗丽娟 史小虎 余龙海

钒电池作为一种安全环保、循环寿命长、配置灵活和选址自由的储能装备，在综合能源服务中具有良好的应用前景。主要叙述了钒电池的原理、组成和特点，分析了钒电池的具体应用领域，并介绍了钒电池的发展方向。

随着能源体制变革、能源转型加速、能源互联网技术和分布式发电技术的发展，“综合能源服务”逐渐成为能源行业内的热点，成为当前和今后一段时期内的发展方向。综合能源的内涵是多能互补，旨在提升能源使用效率，为用户提供稳定、安全及高效的能源服务与增值收益。综合能源服务是一种以满足客户多元化、个性化能源需求为中心，提高能源利用效率，降低用户用能成本，促进新能源发展为目标的新业态。储能在综合能源系统乃至整个能源系统中起着核心作用，扮演着纽带的角色。由于综合能源系统集成各种不同特性的电源，为达到电能系统实时平衡，只有通过储能系统的充放电调节。为达到节能环保，国家推行新能源发电，而风电、光伏等新能源发电具有随机性、间歇性等特点，直接并入电网将导致电能质量下降、造成电能浪费。需要配备一定规模的储能装备，将不稳定电能储存起来，输出平滑电力。目前镍系电池、锂系电池和铅酸电池的应用比较成熟，逐渐开始规模化应用。但是，这些电池仍然存在很多问题，比如铅酸电池的比能量和比功率都不高，对环境有污染。镍镉电池耐过充电能力强，维护简单，但是容易出现严重的记忆效应，大大降低使用寿命。另外锂离子电池不易集成大规模储能系统，且有爆炸起火等风险，因而规模化应用较难。

全钒液流电池具有系统配置灵活、寿命长、可深充深放及环保安全等独特的优势，成为近

年来规模化储能的热点。目前大功率的全钒液流储能系统已日渐成熟并投入使用。随着容量规模的扩大、集成技术的日益成熟，钒电池储能成本进一步降低，在综合能源服务中具有广阔的应用前景。

钒电池原理及简介

1. 钒电池工作原理

全钒液流电池是一种二次充电电池。利用 $\text{VO}^{2+}/\text{VO}_2^{+}$ 、 $\text{V}^{2+}/\text{V}^{3+}$ 两对氧化还原电对的钒离子溶液分别作为正极和负极的活性物质，分别储存在各自的电解液储罐中。对电池进行充/放电时，电解液通过泵的作用，由外部储罐分别循环流经电池的正极室和负极室，并在电极表面发生氧化和还原反应，实现对电池的充/放电。

充电时，正负极电解液伴随着外部电流进入电堆，钒离子价态发生改变（负极钒离子价态由三价转变成二价，正极钒离子由四价转变成五价）正负极之间的电势差增大，外部电能转换为化学能储存起来。放电时，所储存的化学能通过相反的反应在电堆里转换为电能释放出来。储能电量的多少取决于电解液的体积和浓度，电解液的浓度越高、体积越大，储存的电能越多。放电所带负载的大小由电堆功率决定，电堆功率越大，充电越多，放电所带最大负载也越大。

2. 钒电池的组成

1) 功率系统。主要由电堆组成。电堆是提供电化学反应的场所，是实现储能系统电能和化

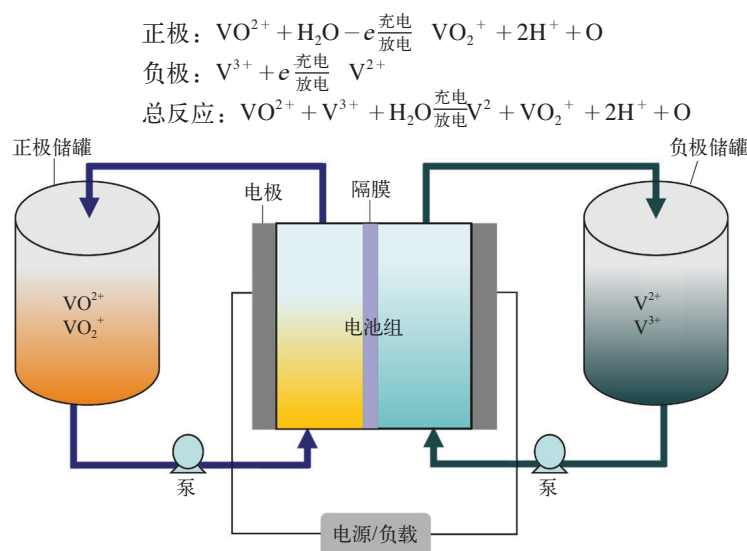


图 钒电池基本原理图

学能相互转换的场所，是钒电池系统的核心部分。主要包括端板、隔膜、电极、双极板、液流框、密封件和紧固件等。

2) 容量系统。主要由电解液组成。钒电池电解液不仅起着导电的作用，也是钒电池中的活性物质，是钒电池系统的核心部分。电解液的纯度、稳定性及活性等关键性能直接决定着整个钒电池充放电性能的优劣。

3) 电解液输送系统。是电解液循环的动力源，实现电解液的输送。主要包含储罐、管道、泵、阀和法兰等。

4) 控制管理系统。用于电池的充放电、数据显示与存储、系统监视和管控及电池保护等。主要由变频器、传感器、储能变流器、控制/监测单元、线缆和PLC等组成。

5) 辅助系统。用于钒电池系统的美化、温度控制和安全防护等。主要包括机箱（集装箱）、电堆架、防漏围堰、空调器和冷凝管等。

3. 钒电池的特点

1) 配置灵活。钒电池设计灵活，功率和容量独立设计。电池的输出功率由电堆大小决定，增加单电池数量和有效面积，即可增加电堆功率；电池的容量大小由电解液的量决定，增加电解液的体积和浓度，即可增加电池容量；可根据各种应用场所和领域的负载大小进行功率和容量的调节。

2) 循环寿命长。循环次数 ≥ 13 000 次以上，使用寿命可达20年以上。

3) 安全性高。系统在常温下运行，无爆炸、起火等危险，备有防漏装置，避免发生电解液泄漏。

4) 深充深放。系统深充深放不会对电池性能造成影响，系统放电深度（DOD）≥ 90%。在快速、大电流密度下充放电，不会对电池造成损伤。

5) 环境友好。电解液均为液体，能无限次循环使用，且电解液可回收利用，不会对环境造成污染；电堆材料中电极采用炭/石墨毡，双极板大多采用石墨或碳材料，报废后不会对环境造成污染。其他材料多为高分子材料，可回收利用。

钒电池的应用

1. 光伏/风电系统

光伏发电需要阳光，在晚上和阴雨天气都不能发电，就造成晚上和阴雨天气不能正常用电，因此需要配备一定的储能装置，将白天多余的电力储存起来，不至于影响整个用电系统的可靠稳定性。光伏系统的使用寿命一般为20年，钒电池的使用寿命与光伏发电非常吻合。在光伏发电系统中使用长寿命的钒电池储能系统，能大幅减少电池维护和更换成本。

风力发电由于风速具有随机性和间歇性等特点，使得风电场输出功率波动性很大，从而影响电力系统的稳定性和电能质量。因此配备一定容量的储能设备能很好地平滑风电场输出功率，提

高电力的稳定性。钒电池适应频繁的充放电，并且能够承受深度充放电，非常适应于风力发电这种不稳定发电系统中。

2. 智能微网

智能微网是微网的延伸，指由分布式电源、储能系统、控制装置、负荷及开关等组成的小型电力系统，采用先进的电力通信技术，通过计算机控制技术实现自我控制、保护和管理的自治系统，既可以与外部电网并网运行，也可以孤立运行。并网运行时，微网中配置的大规模储能可以支持分布式能源供电，大量应用新能源，实现智慧调节。

在智能微网系统中，需将各种发电装置的电力统一管理，这些发电装置在发电过程中存在一定的不足，如风力发电和光伏发电存在随机性和间歇性的特点，造成供电不稳定；柴油发电响应速度慢，导致发电系统功率不稳定。因此必须利用储能技术，保证电力的稳定性和可靠性。同时利用储能技术有效地支撑多种能源形式的融合，优化全网电源结构，延缓输配电投资，提高用户侧的供电质量。全钒液流储能系统作为一种长寿命、环保和选址自由的储能技术，在智能微网体系中具有广阔的前景。

3. 电网调峰

为提高配电网设备的资产利用率，储能可以作为“削峰填谷”的手段之一，谷负荷时充电，峰负荷时放电，缓解电网的压力。同时在我国很多省份都存在峰谷电价差和容量费用管理的问题，用户可根据自身需求调整用电计划，实现降低电费。

目前电网调峰的主要手段是抽水储能电站，抽水储能电站受地理条件限制，占地面积大，维护成本高。钒电池选址自由，维护成本低，可作为电网削峰填谷用的储能电站。随着钒电池技术的发展，钒电池蓄能电站将逐步取代抽水蓄能电站，在电网调峰中发挥重要的作用。

4. 电网调频

电网频率是判断电能质量好坏的标准之一，发电侧机组的脱网下线以及用户侧负荷的变化都对电力系统频率造成影响。电网频率的变化对发电及用电设备的寿命及安全性产生影响，因此电网频率调节至关重要。目前，传统的火电调频机组由于爬坡速率慢、响应滞后和调节准确度低等缺点，难以满足电网调频需求。电网调频对响应

速度要求一般为秒级，钒电池的响应时间为毫秒级。通过控制管理系统控制电池SOC，钒电池可以灵活地进行充放电状态切换，精准灵活地对电网进行调频。钒电池在大电流下充放电，不会对电池造成损失。钒电池储能可用于辅助电网调频，增加电网调频性能保证电网的稳定运行，有效减小火电机组的损耗。

5. 备用电源

由于用户侧用电的波动性和随机性比较大，常常由于某一时段用电量大增，造成频繁断电现象。要启动一座燃煤机组至少需要48 h，长时间的电力缺口对很多企业、医院、指挥中心、数据处理和通信中心、商业大楼、政府要害部门、军事基地、精密制造业和通信基站等造成不可挽回的损失。因此，需要一定功率的储能电池作为后备电源。钒电池具有容量功率配置灵活、选址自由、安全稳定、使用寿命长和响应快速等特点，在备用电源上的应用具有其他储能电池无可比拟的优势。

钒电池发展方向及展望

国际权威咨询机构麦肯锡将储能技术定位为影响未来世界发展的12项颠覆性技术之一。国际能源署（IEA）预计，到2050年全球储能市场规模将达数万亿美元。Pike Research《2011—2021年全球各种储能技术应用投资预测》液流电池在未来电力储能中将占1/3份额，其中风能和太阳能电力在后面几年将大幅提升。钒电池储能系统随着新能源和储能的大规模应用而不断发展和进步，市场潜力和市场份额进一步的提升。

目前钒电池的发展还面临着一些问题，如成本居高不下，行业仍处在示范到商业化的前期，供应链不成熟，市场仍处在开发阶段。为降低钒电池成本，可从以下几方面着手。

1. 提升关键材料的性能及利用率

材料成本在储能系统成本中占很大比重，在钒电池电堆中，电极、隔膜及集流体占电堆成本的80%~85%，通过材料性能的提升，设计优化等，使电池的电流密度提高，电性能提升，达到降低成本的目的。

2. 采用电解液租赁模式

由于钒电池电解液可以无限次循环使用，而电解液在整个系统中所占成本比重较大。可以与钒资源优势企业合作，采用租赁的模式配备钒电

池电解液。当钒电池寿命终止时，由钒矿企业回收电解液。这样大大降低了钒电池储能系统的初期投资总成本，解决了使用者后期的废液处理问题。钒矿企业把钒电解液回收处理后钒资源不流失，可二次销售，不会造成环境污染。

3. 形成规模化

除了科技进步所带来的成本降低，钒电池生产规模的扩大也带来全行业的成本降低。这主要来源于规模效应所带来的原材料采购成本的下

降，供应链专门化所带来的采购成本下降和效率提升，以及开发设计电堆、配套辅助材料和控制系统等都可节约人力成本。专用生产工艺设备和生产经验的积累，带来了良率提高和效率提升等。

4. 提高系统可靠稳定性

钒电池具有寿命长的优势，长期使用，系统的维护等费用必不可少，所以系统长期使用的可靠稳定对成本是重要。EA

(上接第25页)

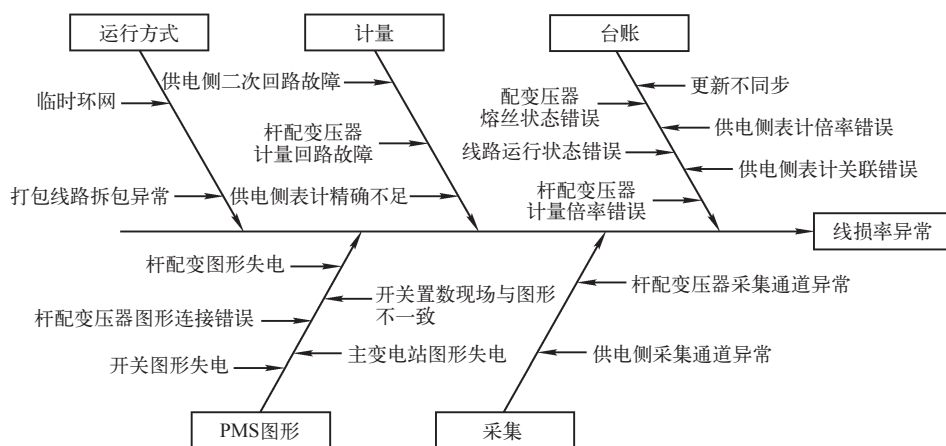


图6 只含杆配变的10 kV公共线路同期线损率异常分析因果图

统中台区线损率为负；②杆配变压器采集通道异常；③杆配变压器计量回路故障。

(2) 线损率<0

1) 拓扑关系。①图形上环网，造成环网的两条线路均为负线损；②开关置数现场与PMS2.0图形不一致。

2) 售电侧。①杆配变的计量倍率在台账中异常偏小；②采集通道异常。

(3) 线损率不可计算

由于线损率不可计算为供电侧电量异常导致，因此可能原因及分析方法同专线。

综上，同样通过现场核查，对系统中的异常源端数据进行整改，使线损率达到合理范围。

结束语

本文分析了PMS2.0、GIS系统、SG186系统、电采系统和用采系统等各系统的源端数据对10 kV分线同期线损计算的影响，以及各数据之间的耦合；针对10 kV专用线路和公共线路，分别从供电侧、拓扑关系和售电侧分析了可能异常原因，以及相关系统数据问题；以异常线损率为出发点，提出了清晰有效的线损异常分析步骤，并将异常线损率分为三个不同数值区间，基于多系统数据，分别展开具体分析，能快速准确定位到异常数据；通过电量还原以及现场核查，对系统异常源端数据进行及时整改，使线损率达到合理范围。EA