

# 储能电站设计的创新性与经济性分析

郑轶昕

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司 北京 100024

**摘要:** 在实现碳中和目标的背景下,新型电力系统中储能技术,在发电端、电网端以及用电端,均发挥着至关重要的作用,成为新能源消纳与电网安全运行的关键保障。随着中国2030年碳达峰计划的逐步实施,新能源发电的总装机容量,将会超过12亿千瓦。然而,新能源发电具有波动性、随机性与间歇性等典型特点,这就导致传统的电力系统平衡模式,面临诸多的挑战。因此,实现加强储能与调峰处理,成为解决这些问题的关键。本文深入探讨新型储能技术的发展趋势及其应用场景,以供参考。

**关键词:** 储能电站; 设计创新; 经济性

前言: 在国内构建以新能源为核心的新型电力系统大趋势下,储能技术正处于快速发展阶段。随着相关技术的逐渐成熟,市场规模也进一步扩大,储能技术有望进一步提高能源效率,并降低运行成本。这对于促进新能源的广泛应用、优化电力系统的运行模式、增强电网的稳定性而言,具有非常重要的意义。本文通过综合考量储能电站的设计方法、经济性分析及其应用前景,为新型储能技术的发展提供全新的视角。

## 1 锂离子电池储能电站创新设计与经济性分析

### 1.1 创新性设计

#### 1.1.1 电池选型

在电力系统构建中,锂离子电池在储能电站中发挥着重要作用。目前,磷酸铁锂电池、三元锂电池是主要的电池类型。其中,磷酸铁锂电池,以其高达170mAh/g的理论容量,以及良好的循环性能而备受青睐。该电池在90%的充放电深度下,经过3000次循环后,其容量保持率仍超过80%。此外,磷酸铁锂电池在安全性能方面也有很很好的表现,在1°C至3°C的充放电条件下,可以稳定可靠地运行<sup>[1]</sup>。相比之下,三元锂电池的理论容量更高,可以达到220mAh/g,但其充放电倍率仅在1°C至2°C之间,且安全性能相对较低。

磷酸铁锂电池的晶体结构中,氧元素以磷氧四面体形式存在,这种分子结构相对稳定,即使在高达1000°C的温度下也不会释放氧气,显示出优异的热稳定性。相比之下,三元锂电池的层状结构相对较不稳定,当温度达到约200°C时,其内部材料可能发生分解,释放氧气,从而增加热失控风险,热稳定性较差。根据2021年的数据,中国新增的锂离子电池装机容量,已经达到2GW,其中,磷酸铁锂电池占比超过95%。这充分表明,由于其出色的安全性,可以使磷酸铁锂电池,在电化学储能电

站中的应用性较高<sup>[1]</sup>。

#### 1.1.2 功率变换系统

在储能电站系统中,功率变换系统作为储能电池与电网之间的连接枢纽。它的主要任务是实现电网与储能电池之间的能量双向传输。其中,PCS内部的数字控制单元,可以实时监测电网侧以及电池直流侧的电流,并通过调节高频功率器件的开关状态,调控交流输出端的电压,从而实现能量在电网与储能系统之间的准确传输。

在储能电池的充电过程中,变流器处于整流器工作状态,将来自电网的交流电转换为直流电并存储在电池中。而在放电阶段,变流器则以逆变器状态运行,将电池内储存的直流电转换为交流电,输送到外部电网。因此,PCS在储能电站中发挥着核心作用。在选择PCS设备时,务必保证其可以与电池直流侧的额定输入电压相匹配,同时,也要兼容升压变压器的交流电压要求,以保证整体系统的稳定运行<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.3 充放电容量

在储能电站的运行中,电能的传输涉及功率变换系统、升压变压器与集电线路等多个环节。这些系统之间的协同作用,可以保证电能从储能电池高效地传输到并网点。然而,在实际的系统运行中,造成电量损失是不可避免的,特别是在充放电期间。同时,还需要考虑电池的自放电现象。电池的充放电容量,一方面,会受到充放电深度(DOD)的影响,另一方面,还与电池的使用寿命密切相关。随着使用时间的增加,电池的性能逐渐衰减,影响到其充放电能力。

## 1.2 经济性分析

近年来,锂离子电池储能技术迅速崛起,以其良好的高能量密度、迅疾的充放电能力以及极快的响应速度,成为能源问题处理的重要解决方案。目前,该技术

在新能源发电以及用户侧储能项目中,得到广泛应用。例如,锂离子电池在中国的电化学储能装机容量中,占比高达89.7%,充分体现它在新能源构建的主导地位。其次,从经济性评估来看,锂离子电池的储能度电成本,大约为每千瓦时0.67元。虽然其成本相对较高,但考虑到其能效转化率比较好,锂离子电池依然具有较强的市场竞争力。随着技术的进一步发展,未来预期电池的使用寿命将延长、成本将降低,从而进一步提高其市场优势。此外,锂离子电池储能技术的应用范围,也受到电力系统的调峰以及负荷平衡等多种因素影响,其在电动汽车、移动设备与可再生能源发电系统中的作用也不容忽视。它具体很高的高能量密度以及快速响应的特性,在需要快速充放电的情境中,表现出特别的优势<sup>[3]</sup>。

## 2 抽水蓄能电站创新设计与经济性分析

### 2.1 创新设计

在风光储一体化微电网设计中,风能与太阳能发电的固有随机性以及间歇性特点,对电网的稳定运行,提出新的要求。针对这一难题,相关的设计人员,可以引入可变速海水抽水蓄能机组作为解决能源供给的主要方案。该机组可以在水泵模式下调节轴向输入力,从而有效缓解风力发电波动对系统频率稳定性的冲击,进一步提高电力系统暂态响应速度,以满足风电并网的快速响应需求。

首先,水泵水轮机的转速变化范围,需要依据电力系统的具体需求进行确定,并在设计水泵水轮机转轮时,进行充分考虑。综合实验结果表明,在水轮机运行工况下,该水泵水轮机的最优效率,可以达到93.82%;而在水泵运行工况下,其效率为93.17%,均符合项目申报指南的要求。在满足一定条件的情况下,最小扬程功率调节幅度可达35.6%。这表明,可变速水泵水轮机的水力性能已达到国内领先水平。

在另一项创新性研究中,科研人员成功设计并制造出一台10MW的交流励磁发电电动机,它包含三种不同类型的变流器样机,主要有IGCT变流器、IGBT变流器与IEGT变流器几个部分组成。通过一系列联合调试实验,科研团队,验证出这些设备的综合性能。实验结果显示,10MW的可变速交流励磁发电电动机,一方面,通过常规检查,另一方面,还在最大转矩、电磁参数、温度与效率等方面,可以达到预期的技术指标<sup>[4]</sup>。

### 2.2 经济性分析

抽水蓄能技术作为电力系统中广泛应用的储能解决方案,此技术相对成熟,并且在大规模应用中表现出良好的效应。其优势主要包括技术完善、成本低廉、使用

寿命长、容量大以及运行效率高。截至2021年底,国内抽水蓄能装机容量已达到46.1吉瓦,占据储能市场份额的86.3%。这一数据充分展示出抽水蓄能技术,在中国储能市场中的主导地位。

经济性评估表明,抽水蓄能的储能度电成本约为每千瓦时0.31元。由此,反映出抽水蓄能技术,在电力现货市场中具备实现盈利的潜力,为其进一步发展,提供经济可行性依据。此外,在电力现货市场中,抽水蓄能通过电力需求低谷期间储存能量,并在需求高峰时释放能量,可以实现电力的平衡。通过这一机制,抽水蓄能技术可以有效地利用电力需求的波动,提高电力系统的整体效率。

## 3 压缩空气储能电站创新设计与经济性分析

### 3.1 设计

在能源系统的规划设计中,压缩空气储能技术(CAES)因其独特的优势,成为一致重要的物理储能方式。它不但具备低建设成本,而且由于其运行过程不产生污染,并且可以长时间储存能量,拥有较长的使用寿命,使其在电力系统中,充分扮演稳定电压调节器的重要角色。可以有效促进清洁能源的利用,实现电网的峰谷平衡、频率调节与提供备用电源等功能,同时在多能源耦合中发挥着关键作用。

随着技术不断进步,CAES在电源侧、电网侧以及用户侧的诸多储能应用场景中,展现出广阔的前景。其中,在设计压缩空气储能电站时,主厂房的布局设计特别重要,主要包括压缩机厂房或透平膨胀机厂房的设立。压缩机厂房中,需要安装有核心设备如压缩机、电动机与变频器,而透平膨胀机厂房还配置空气透平以及发电机等关键装置。因此,为保证设计建设,符合特定的技术要求,需要制定更为专业的设计规范,以提供强有力的技术支持。相关建设研究人员,需要加强合作,深入研究压缩空气储能电站的设计需求,制定出更科学的设计规范,以全面推动这一技术在更多领域的应用。

### 3.2 经济性分析

压缩空气储能技术作为一种重要的大规模储能方式,通过压缩空气,进行能量的储存。近年来,该技术的显著进步,促使储能效率提高至75%,虽然略低于抽水蓄能技术,但其储能度电成本,只略高于抽水蓄能,而远低于磷酸铁锂储能技术。除了效率提高之外,CAES技术具有相对较短的建设周期,以及较低的单体投资规模限制,充分展现出广阔的商业化潜力。

相较于抽水蓄能电站,压缩空气储能电站在投资建设周期上有更明显的优势。抽水蓄能电站,一般情况

下, 需要达到100万千瓦以上的规模, 才具备良好的经济性, 而压缩空气储能电站在达到10万千瓦以上的规模时, 即能展现出优越的商业性。这就导致CAES技术在大规模商业化应用中, 显示出巨大的发展潜力。压缩空气储能系统经过进一步优化设计优化, 将在未来的能源储存方面, 发挥越来越重要的作用<sup>[5]</sup>。

#### 4 钒液流电池储能电站创新设计与经济性分析

##### 4.1 设计

本文通过深入分析新能源风光大基地下的全钒液流电池储能系统(VRFB ESS)的技术形式, 力求全面优化该系统, 在实际应用中的效能。通过综合考量储能系统功率与容量的合理配比、系统集成方案、能量回收型热管理措施, 以及智能运维等关键技术, 本研究提出一套全方位的优化设计理论框架。首先, 相关的设计人员, 需要进一步优化设计数学模型的构建应用。基于对新能源发电运行特征及限电问题的深入剖析, 构建以最大化新能源发电利用率为目标优化设计数学模型。旨在探索发电收益与储能系统的额定功率及最大容量之间的函数关系, 从而实现发电收益的最大化。其次, 系统集成的优化设计。在储能系统的集成方面, 相关的设计人员, 可以以储能模块作为基本单元, 对储能逆变升压汇流单元进行优化设计。通过产品化、模块化以及集成化的方法, 一方面, 它将占地面积可以减少15%, 另一方面, 还能提高系统的操作性, 显著降低建设维护成本。再次, 相关的设计人员, 可以进一步能量回收型热管理的创新设计。为提高储能系统整体效率并实现电热互补, 可以建立能量回收型热管理的数学模型。通过计算能量回收的利用量, 提出能量回收功能的热管理系统设计方法, 使系统效率从70%大幅提高至约90%, 进一步优化储能系统的整体性能。最后, 相关的设计人员, 可以智能运维技术的应用。在针对VRFB的运维技术研究中, 可以采用基于数字孪生的多源数据融合状态监测运维方法。通过数据驱动的方式, 构建三维虚拟孪生模型, 并进一步开发多物理场数字孪生模型, 以实现系统状态的精准监测。

##### 4.2 经济性分析

钒液流电池储能技术作为一种新型的电化学储能方式, 近年来, 在经济性评价方面展现出独特的优势, 虽然, 其尚未大规模商用化, 但受到设备成本、产能受限与较高的前期投资等因素制约影响, 钒液流电池的初始费用相对较高, 约为锂电池的三倍。例如, 对于一个10MW/400MWh的储能项目, 初始投资每瓦约为13元人民币, 且每年的运维费用为每瓦0.065元人民币。

目前, 中国在钒电池技术的研发上已经初见成效, 使大规模储能项目, 为这一技术的发展, 提供巨大的发展空间。虽然全钒液流电池, 在度电成本上接近磷酸铁锂电池, 但其能量转化效率仍不及锂电池。同时, 钒液流电池在布置的灵活性以及工作环境的温控要求方面有更高的标准。目前, 钒液流电池储能技术, 正处在从示范应用向商业化转型的关键阶段, 其技术可行性, 将决定其未来在电化学储能方面发挥重要地位。

结语: 当前在全球范围内, 储能技术, 已经迎来前所未有的发展机遇。其中, 市场需求迅猛攀升, 政策大力支持, 储能行业呈现出蓬勃发展的局面。伴随技术的成熟, 抽水蓄能与锂离子电池储能, 将可以实现爆发式的增长。同时, 压缩空气储能以及钒液流电池储能等新兴技术也在迅速崛起。在经济性评价过程中, 全面考量成本效益与能效是选择储能技术的关键因素。相信通过持续的技术创新, 新兴储能技术将进一步优化, 为可持续能源系统的发展铺平道路。

##### 参考文献

- [1] 屈阳欢. 锂电池储能电站消防灭火系统设计[J]. 中国新技术新产品, 2024, (05): 143-145.
- [2] 赵泽. 锂离子电池储能电站设计要点与建设成本分析[J]. 电气技术与经济, 2024, (02): 169-171.
- [3] 刘丽影. 基于ETAP仿真的大型储能电站计算分析与设计优化[J]. 建筑电气, 2023, 42(12): 27-30.
- [4] 练志斌, 刘文平, 罗海鑫, 等. 10kV电化学储能电站设计与实现[J]. 黑龙江电力, 2023, 45(03): 210-215.
- [5] 王立娜, 谭丽平, 徐志强, 等. 锂电池储能电站一次调频设计优化及验证[J]. 储能科学与技术, 2022, 11(12): 3862-3871.