

化学储能技术及其现行应用领域研究

管彦诏 马晓霆 林 兵

中车青岛四方车辆研究所有限公司 山东 青岛 266000

摘 要：化学储能技术依据电化学反应实现电能存储与释放，包括锂离子电池、铅酸电池、液流电池等类型，具有高能量密度、响应快、可模块化设计等特点。在电力系统、交通运输、分布式能源等领域应用广泛，但也面临成本、安全、寿命、兼容性等挑战。未来将向高能量密度、低成本等发展，需企业、行业协会等协同应对。

关键词：化学储能技术；应用领域；研究

引言：在能源转型与低碳发展的时代背景下，化学储能技术作为连接能源生产与消费的关键纽带，通过电化学反应实现电能高效存储与灵活释放，在电力系统、交通运输及分布式能源等领域展现出重要应用价值。本文将从技术原理、分类特点出发，系统分析主流化学储能技术，探讨其应用现状、挑战及发展趋势，为推动技术创新与产业升级提供参考。

1 化学储能技术概述

1.1 技术原理

化学储能技术是依据电化学反应原理来实现电能存储与释放的重要手段。在充电阶段，当外部电源接入储能装置时，在电场力的驱动下，装置内部的电极材料会发生特定的氧化还原反应。正极材料失去电子被氧化，负极材料得到电子被还原，这一过程中，电能被有效地转化为化学能，并以化学键等形式稳定地储存在电极材料及其周围的电解质体系中。而在放电阶段，当储能装置与外部负载连接形成闭合回路时，电极材料再次发生氧化还原反应，不过此时的反应方向与充电时相反。正极材料得到电子被还原，负极材料失去电子被氧化，储存的化学能随之重新转化为电能，并通过外电路释放出来，为负载提供所需的电力支持，进而实现了电能的高效存储与灵活释放，在能源存储领域发挥着关键作用。

1.2 技术分类

依据储能介质以及电化学反应体系的差异，化学储能技术可划分为多种类型，主要包括锂离子电池、铅酸电池、液流电池、钠-硫电池等。（1）锂离子电池以锂离子在正负极之间的嵌入与脱嵌实现充放电，其能量密度较高，能在有限空间内储存更多电能，且循环寿命长，可进行多次充放电循环，自放电率低，能有效保持电量，在电动汽车、便携式电子设备等众多领域得到广泛应用。（2）铅酸电池技术发展成熟，成本相对低廉，在

一些对成本较为敏感且对性能要求不高的场景，如备用电源、小型动力设备等，仍占据一定市场份额。（3）液流电池通过正负极电解液中活性物质的氧化还原反应实现能量转换，具有功率大、循环寿命长、安全性高的特点，非常适用于大规模储能场景，如电网调峰、可再生能源并网等。（4）钠-硫电池以钠和硫作为活性物质，具有高能量密度和高效率，在电力储能方面展现出良好的应用潜力，有望为电力系统的稳定运行提供有力支持。

1.3 技术特点

化学储能技术具备一系列显著特性，在能源存储领域展现出独特优势。它具有较高的能量密度，能够在相对较小的体积和重量下储存较多的能量，这使其在空间受限或对设备轻量化有要求的场景中极具竞争力。同时，该技术响应速度快，在接收到充放电指令后，能迅速做出反应，实现电能的快速存储与释放，满足电网调频、应急供电等对响应时间有严格要求的场景需求。此外，化学储能技术支持模块化设计，可依据实际储能需求，将多个储能模块灵活组合，便于安装与后续的扩容操作，能很好地适应不同规模的储能项目，无论是小型分布式储能系统，还是大型电网级储能电站。值得注意的是，不同类型的化学储能技术在能量密度、功率密度、循环寿命、充放电效率等关键性能指标上存在明显差异。例如，锂离子电池能量密度相对较高，适用于对体积和重量敏感的应用场景；液流电池功率密度大，可满足大规模、长时间的储能需求^[1]。

2 主要化学储能技术分析

2.1 锂离子电池

锂离子电池作为当下应用广泛的化学储能装置，其工作原理基于锂离子在正负极材料间的嵌入与脱嵌过程。在充电时，锂离子从正极材料中脱出，经电解质迁移至负极，嵌入负极材料中；放电时则相反，锂离子从负极脱出，回到正极，电子通过外电路形成电流，实现

化学能与电能的相互转换。其正极材料种类丰富,常见有钴酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂等,不同正极材料赋予电池不同的性能特点;负极材料通常采用碳材料。锂离子电池优势显著,能量密度较高,可达100-260Wh/kg,能满足设备对长续航的需求;循环寿命长,一般可达1000-3000次,降低了使用成本;自放电率低,每月约5%-10%,可长时间保持电量。然而,它也存在成本较高的问题,且在高温环境下可能出现热失控等安全隐患,安全性有待进一步提升。

2.2 铅酸电池

铅酸电池作为最早实现商业化的化学电源,在储能领域有着深厚的应用基础。其电极材料采用铅及其氧化物,电解质为硫酸溶液,通过电极材料在硫酸溶液中发生的化学反应来实现电能的存储与释放。铅酸电池具备诸多显著优势。首先,成本优势突出,单位储能成本大约在0.3-0.5元/Wh,这使得它在一些对成本极为敏感的应用场景中备受青睐。其次,技术成熟度高,经过长期的发展和完善,生产工艺稳定,产品质量可靠。此外,它的高低温性能良好,能在较宽的温度范围内正常工作,适应不同的环境条件。因此,铅酸电池常被应用于汽车启动电池、备用电源等领域。不过,铅酸电池也存在一些明显的缺点。其能量密度较低,约为30-50Wh/kg,限制了其在一些对空间和重量有严格要求的场景中的应用。循环寿命较短,一般为300-500次,增加了更换成本。而且,电池中含有重金属铅,若处理不当,容易对环境造成污染^[2]。

2.3 液流电池

液流电池作为化学储能领域的重要类型,主要涵盖全钒液流电池、锌溴液流电池等。其独特之处在于,电池的正负极活性物质并非固定在电极内部,而是存储于外部的储液罐中。在工作时,依靠泵将电解液在电池堆和储液罐之间循环输送,从而引发电化学反应,实现电能与化学能的相互转换。液流电池优势显著。它功率大,能满足大规模储能对功率输出的要求;循环寿命极长,可达10000次以上,大大降低了长期使用成本;安全性高,电解液不易燃烧爆炸,减少了安全隐患;充放电深度高,可达100%,提高了能源利用效率。因此,液流电池非常适用于大规模储能、可再生能源消纳等场景,有助于电网的稳定运行和可再生能源的高效利用。然而,液流电池也存在一些不足。其能量密度较低,约为20-40Wh/L,限制了其在空间受限场景的应用;系统复杂度高,涉及多个子系统和控制环节;成本也相对较高,制约了其大规模推广应用。

3 化学储能技术现行应用领域

3.1 电力系统

在电力系统的各个环节,化学储能技术均发挥着重要作用,可广泛应用于发电侧、输电侧和配电侧。(1)在发电侧,以风电、光伏为代表的可再生能源发电具有间歇性和波动性,这给电网的稳定运行带来挑战。化学储能技术可通过配套建设储能电站,在可再生能源发电功率过剩时储存电能,在发电功率不足时释放电能,从而平滑发电功率波动,提高可再生能源的并网比例,促进可再生能源的大规模消纳。(2)在输电侧,随着电力需求的增长和电网结构的复杂化,输电线路阻塞问题日益突出。储能装置可作为灵活的电力调节资源,在用电低谷时储存电能,在用电高峰时释放电能,缓解输电线路的阻塞状况,提高电网的输电能力和资源优化配置水平。(3)在配电侧,分布式电源的接入给配电网的供电可靠性和电能质量带来了新的问题。化学储能设备能够快速响应,调节电压和频率,提高配电网的供电可靠性,改善电能质量,有效解决分布式电源接入带来的电压波动、频率偏移等问题。

3.2 交通运输

在交通运输领域,化学储能技术正深刻改变着行业的能源格局。锂离子电池凭借其卓越性能,成为电动汽车的核心动力来源。近年来,随着材料科学、电池管理系统等技术的持续进步,锂离子电池的能量密度不断提高,这使得电动汽车在相同体积或重量下能够储存更多电能,续航里程显著增加,有力推动了电动汽车产业从概念走向大规模普及,加速了汽车行业的电动化转型。与此同时,铅酸电池凭借成本低、技术成熟等优势,在电动自行车、低速电动车等对成本敏感且性能要求相对不高的细分市场,依旧占据着一定的市场份额。化学储能技术在交通运输领域的广泛应用,意义重大。它有效减少了交通运输对传统化石燃料的依赖,大幅降低了尾气排放,对改善空气质量、应对气候变化具有积极作用。此外,还促进了智能电网与交通系统的深度融合,为未来的智能交通、能源互联网发展奠定了坚实基础。

3.3 分布式能源

分布式能源系统以其靠近用户侧、灵活高效等显著特点,在现代能源体系中占据着重要地位,而化学储能技术在其发展过程中扮演着关键角色。(1)在分布式光伏、小型风力发电等项目中,可再生能源的发电功率受自然条件影响较大,具有间歇性和波动性。化学储能装置能够及时将发电高峰时段产生的多余电能储存起来,当能源供应不足,如夜间光伏无法发电、风力减弱时,

再将储存的电能释放出来,保障能源的稳定供应,提高了分布式能源系统的可靠性和能源利用率。(2)化学储能技术还可广泛应用于微电网系统。在微电网中,储能装置可以增强微电网的独立运行能力,使其在脱离大电网时仍能维持稳定的电力供应。同时,通过合理控制储能装置的充放电,能够实现微电网与大电网之间的灵活互动,根据大电网的实时需求和电价信号,优化微电网的能源调度,提升整个能源系统的运行效率和稳定性^[3]。

4 化学储能技术应用面临的挑战与发展趋势

4.1 面临的挑战

化学储能技术在蓬勃发展的同时,在应用过程中也面临着诸多亟待解决的挑战。(1)成本问题是制约其大规模推广的关键因素之一。部分化学储能技术,像锂离子电池、液流电池,由于原材料成本高、生产工艺复杂等原因,整体成本居高不下。这使得在一些对成本敏感的应用场景中,其竞争力受到限制。(2)安全性方面同样不容乐观。锂离子电池在过充、过放、高温等条件下,存在热失控的风险,可能引发燃烧甚至爆炸,对人员和财产安全构成威胁。铅酸电池虽技术成熟,但其中的重金属铅若处理不当,会造成严重的环境污染。(3)寿命问题也较为突出。尽管部分电池理论循环寿命较长,但在实际应用中,环境温度的波动、不合理的充放电策略等因素,都会导致电池性能加速衰减,实际寿命往往低于理论值。(4)技术兼容性也是一大难题。不同化学储能技术与其他能源系统、电力设备之间的兼容性有待提高,这可能会影响整个能源系统的稳定性和运行效率,限制了化学储能技术的进一步发展。

4.2 发展趋势

未来,化学储能技术将围绕高能量密度、低成本、高安全性、长寿命的目标持续进步。(1)材料研发上,科研人员会深入探索新型电极材料和电解质材料。新型电极材料有望提升电池的比容量和充放电效率,新型电解质材料则可增强离子传导率与稳定性,进而提高电池整体能量密度和性能。(2)技术创新层面,开发新电池结构和制造工艺。新结构能优化电池内部空间利用,新工艺可降低生产能耗与成本。(3)安全管理方面,加

强电池安全监测与防护技术,利用智能监测手段实时预警,研发高效防护措施保障安全。(4)应用模式上,推动与智能电网等深度融合,拓展应用场景。在政策与市场助力下,化学储能技术商业化应用将加速^[4]。

4.3 应对策略

为促进化学储能技术蓬勃发展并实现广泛应用,多方需协同共进。(1)企业作为核心力量,要加大研发投入,组建专业且富有创新精神的研发团队,针对化学储能技术中的能量密度提升、成本降低、安全性保障等关键难题开展深入攻关。同时,积极加强与高校、科研机构的产学研合作,借助其科研优势和人才资源,加速技术突破与成果转化。通过优化生产流程、采用先进制造工艺等方式降低成本,严格把控产品质量,提升产品安全性能,以增强市场竞争力。(2)行业协会应发挥规范与引领作用,加强行业标准的制定和完善,确保产品质量和安全有章可循。同时,组织行业内的技术交流活

结束语

综上所述,化学储能技术在能源存储领域意义重大,虽面临成本、安全、寿命及兼容性等挑战,但未来在高能量密度、低成本等方向前景广阔。企业加大研发与产学研合作,行业协会完善标准与促进交流,多方协同发力,将推动化学储能技术持续进步,为能源转型与可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]马明明,张世超,张楠.打造国内氢能技术创新和生产制造高地[N].张家口日报,2022-11-27(001).
- [2]冯云,曹田田,宋海涛等.分布式制氢技术进展及成本分析[J].石油炼制与化工,2022,53(11):11-16.
- [3]韩利,李琦,冷国云等.氢能储存技术最新进展[J].化工进展,2022,41(S1):108-117.
- [4]蒋东方,贾跃龙,鲁强,等.氢能在综合能源系统中的应用前景[J].中国电力,2020,618(5):139-146.