

电力储能产品中先进材料与技术的设计应用和探讨

姜期皓¹, 张 明²

¹常州大学美术与设计学院, 江苏 常州

²南京艺术学院工业设计学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年10月10日; 录用日期: 2025年11月5日; 发布日期: 2025年11月19日

摘 要

针对电池技术发展停滞的现状, 依据全网最新能源行业观点与发现, 探讨了钾离子电池、钠离子电池、金属空气电池、超级电容器和超导储能装置等新型储能技术的基本原理和应用。这些技术具有不同的特点和发展趋势, 在能源储存和释放领域具有广泛的应用前景。未来, 随着技术的不断发展和完善, 此类新型储能技术将成为推动能源储存和释放领域创新和应用的重要力量。

关键词

二次电池, 物理电池, 化学电池, 超导储能, 电力蓄能

Design, Application, and Discussion of Advanced Materials and Technologies in Electric Energy Storage Products

Qihao Jiang¹, Ming Zhang²

¹School of Arts and Design, Changzhou University, Changzhou Jiangsu

²Industrial Design College, Nanjing University of the Arts, Nanjing Jiangsu

Received: October 10, 2025; accepted: November 5, 2025; published: November 19, 2025

Abstract

In response to the current stagnation in battery technology development, this study explores the fundamental principles and practical applications of emerging energy storage technologies, including potassium-ion batteries, sodium-ion batteries, metal-air batteries, supercapacitors, and

文章引用: 姜期皓, 张明. 电力储能产品中先进材料与技术的设计应用和探讨[J]. 材料科学, 2025, 15(11): 2044-2050.

DOI: 10.12677/ms.2025.1511217

superconducting energy storage devices, based on the latest insights and findings from the global energy sector. Each of these technologies exhibits distinct characteristics and developmental trajectories, offering broad application prospects in the fields of energy storage and release. In the future, with continuous advancements and technological refinements, such innovative storage systems are expected to become a key driving force for progress and application in the energy storage and release industry.

Keywords

Secondary Battery, Physical Battery, Chemical Battery, Superconducting Energy Storage, Electric Energy Storage

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着时代与科学技术的发展,人们对身边的电子设备续航要求不断扩大,锂电池已经成为了二次电池应用的主流。但是锂金属的化学性质不像其他金属,它尤为地活泼,这使得锂金属的制备和后续存放维护要求是十分地苛刻。本文旨在探索新材料与新技术对电池行业未来发展的帮助与开拓思路。为了更系统地分析储能技术的设计应用,本文按照储能机理和技术特征进行分类:一方面探讨基于电化学原理的新材料电池(钾离子、钠离子、金属空气电池),另一方面分析基于物理机理的新型储能装置(超级电容器与超导储能),并进一步从设计角度比较不同技术在能量密度、安全性及应用场景中的适用性。

2. 电化学储能技术在电力蓄能产品设计中的应用分析

本章属于电化学储能技术部分,主要围绕钾离子、钠离子和金属空气电池等新型材料体系展开,重点分析其关键性能与设计应用潜力。

2.1. 钾离子电池

引言提到,锂离子电池虽然是目前主流的使用电池,但是这种材料电池有着不可忽视的缺点:首先是成本较高,锂在世界范围的存量并不是非常的丰富,这就导致了锂电池在制造成本上就有一个无法逾越的大山。其次是受环境影响较大,人们都知道,在日常使用电子产品或者开新能源汽车时要避免高温与极寒,高温会导致锂电池过热自燃爆炸,低温会导致锂电池失去容量。最后,锂电池的安全性与耐用性也较差,受到较大冲击、过度使用很容易造成锂电池发生意外情况。为了解决上述问题,新材料的运用与研究迫在眉睫。

钾离子电池是一种全新的化学电池材料,它的工作原理类似于锂离子电池,使用钾离子代替锂离子进行电荷转移。钾离子电池被认为是较理想的锂离子电池替代者,其具有钾资源储量丰富、成本低廉、输出电压高等优势。相比于锂元素资源在地球上的相对有限性和世界储量分布严重不均衡,钾元素资源在地球上的储量要丰富得多[1]。钾在地壳中的含量为2.6%居第七位,海水中的含量为1.1%居第六位。

钾离子电池的工作原理与锂离子电池相同,属于“摇椅模式”,将钾离子插入阴极和阳极材料,随后由电解液传导电极化学反应的离子,并使电子通过外部电路传输而产生电流

而钾不会与铝反应产生合金,因此可以使用更便宜的铝箔代替铜箔作为集电极,从而降低了钾离子

电池板的重量和成本。而基于“摇椅模式”设计的钾离子电池, 阳极与阴极的所采用材料是目前科学界主要正在攻克的目标。目前较为通用的方案是利用碳的同位素: 石墨或其他碳同位素结构。碳材料基质可以用来缓冲转换阳极的体积变化, 对电池的安全性起到了保障。同时, 也有不少科研人员正在为更高效、高容量的需求努力试验, 吉林师范大学的相关科研人员探究发现了位于同一主族的铈、铋负极具有相似的高导电性、高理论容量和安全反应电位等优势。并针对合金型负极存在的不稳定的电极/电解质界面和巨大体积膨胀等顽固难题, 在材料结构设计层次开展研究和攻关, 为铈铋基负极材料产业化提供可行工艺路线[2]。

当然, 钾离子电池还处在研制阶段, 所面临的问题迟滞了其广泛应用。首先, 较大的钾离子使钾离子电池在充电与放电过程中的体积变化比其他碱金属离子电池更显著, 这样的情况会导致电极的结构不稳定。另外, 钾离子电池在充放电过程中与锂离子一样, 会不可避免的枝晶生长问题, 如何合理地把握电池容量、密度与散热还是最需要解决的问题。

2.2. 钠离子电池

钠离子电池是和锂离子电池几乎同时问世的产品, 但二者的研究历程略有不同。当时率先出现的钠二次电池是钠硫电池[3]。既然是同时出现的产品, 那么这几款电池的原理是一致的, 通过“摇椅模式”, 让离子通过不同的化学反应, 流过外部电路。在当时, 钠硫电池不管是在工作承受温度上、能量密度还是循环次数上都远远优于同时期的锂硫电池。但是到了 80 年代末期, 关于钠离子电池的研究进入了冰封期, 没有合适的负极材料、难以突破的技术壁垒让科学家的重心转向研究锂离子电池。时至今日, 有关二次电池的基础内容已经逐渐完善, 而锂离子电池的弊端也逐渐显现了出来, 钠离子电池的发展机会已然到来。

随着时间来到 21 世纪, 信息技术与全球经济的蓬勃发展, 材料学的研究不断地深入, 新的材料体系不断涌现。2010 开始, 钠离子的研究进入了如雨后春笋般的阶段, 并逐步尝试产业化。时至今日, 不同于钾离子电池的研究阶段, 钠离子电池已有不少的实际产品。

钠、钾、锂三种元素都同属于碱金属元素, 在物理及化学性能方面具有相似的部分, 所以三种元素都有作为电池金属离子载体[4]的研究价值。上文提到, 锂元素的含量在全球并不算多, 随着锂离子电池作为主流的应用, 锂资源进入供不应求的供需格局。我国正处于新能源产业发展的关键时期, 对锂元素的需求极其地高, 而供不应求的局面势必会在成本层面影响我国新能源产业进步, 而钠资源在地壳中元素丰度较高, 成本更低, 成本低于上文提到的钾元素, 是目前二次电池下一步发展的重要材料资源。另外, 可以在钠离子电池的正负极材料中使用铝箔材料, 铝箔材料相比于锂离子电池目前主流的正负极材料要廉价许多, 钾离子电池的研究也在尝试使用铝箔材料, 进一步降低电池的总成本。

不只是成本的低廉, 在性能层面钠离子电池也有不俗的表现: 早在 2021 年宁德时代便发布了第一代钠离子电池, 其能量密度达 160 Wh/kg, 为目前全球最高水平。虽然第一代钠离子电池的能量密度略低于目前的磷酸铁锂电池, 但其在低温性能和快充方面具有明显的优势, 特别是在高寒地区, 在 -20℃ 低温环境中, 钠离子电池也具有 90% 以上的放电保持率[5]。在溶剂化能方面, 钠离子比锂离子更低, 钠离子的界面离子扩散能力更加强大[6]。同时, 钠离子的斯托克斯直径比锂离子的小, 相同浓度的电解液具有比锂盐电解液更高的离子电导率, 钠离子电池的倍率性能更好, 电能释放、功率输出和接受能力更强[7]。

钠离子电池还有以下优势: 钠离子电池在过充、过放、短路、针刺等测试中不起火、不爆炸, 热失控温度更高, 在高温环境下容易因为钝化、氧化而不自燃; 其次, 使用寿命长, 可以循环充放电多次, 循环寿命可达到数千次以上, 远远超过传统的铅酸电池和锂离子电池。在充电速度上, 钠离子电池的性能也远远大于锂离子电池及铅酸电池。

由于产业链不完善, 钠离子电池仍处于商业化探索和完善过程中, 工程设备和供应链设施尚未形成, 产品性能、成本控制和适应性应用场景有待进一步检验, 使得钠离子电池还未做到大面积普及。但基于锂离子电池所积累的经验与当今时代的科学发展速度, 相信钠离子电池时代将会很快到来。

2.3. 金属空气电池

人们在金属原料电池的路上走了很长一段距离后, 除了反复测试新的金属离子, 也会转变思路, 寻找其他状态的材料进行电池正负极材料替换。不同于普通的金属材料化学电池, 金属空气电池采用了一端是金属材料, 另一端是空气中的氧气(使用纯氧可以进一步提升电池放电性能), 两者结合发生氧化还原反应而促发电能产生的一种特殊的化学电池。例如锌-空气电池: 锌-空气电池所需要的原材料一方面是储量丰富的锌, 另一方面是空气中的氧气, 制备成本较低, 操作方便且能量密度高, 是一种很有潜力的能量转化与存储器件, 研究锌-空气电池在实际应用中存在的问题对促进其商业化是非常有意义的[8]。作为二次电池, 它的重复充电机制与金属电池相同, 通过外接充电器还原电子, 还原后的电子在充电结束之后就可进行下一次的电子流通放电过程。

金属空气电池已经在一些领域有所应用, 市面上有助听器产品就用到了锌-空气电池。此外, 也有研究团队探索在汽车上应用锌空气电池和铝空气电池。例如, 美铝加拿大公司和以色列公司 Phinergy 的 100 kg 重的铝-空气电池能让车辆行驶 3000 公里的电量。

但是, 金属空气电池至今没有普及的原因还有很多。首先, 无法使用常规的封存保护手段来密封金属空气电池, 可能会导致内部电解质干涸或涨满, 从而减少电池循环次数。在电解质液的选用上也需十分的谨慎, 碱性的电解质液有很大概率会和金属空气电池材料发生化学反应, 生成阻碍物质, 增加电池的内阻。其次, 由于是气体材料, 存放稳定性不如液体与固体, 如果空气扩散到负极会加快负极的自放电。而对于材料的选择人们还需要多加探索, 锌-空气电池目前的负极材料首选的是多孔锌, 这种材料的加工处理需要汞齐化, 但是汞金属是有毒金属, 会对操作人员生命财产安全产生危害, 而且处理不当会污染环境, 需要其他材料代替。其他的材料也都面临着或多或少棘手的问题, 金属空气电池的发展之路还很漫长。

3. 物理储能技术在电力蓄能产品设计中的应用分析

3.1. 超级电容器

从世界上第一款电池发明直到现在, 人们日常使用的电池类型基本都属于同一种: 化学电池, 即通过离子的通过创造电流。因为是化学反应, 这种电池总会产生热量, 发生损耗, 这是化学电池无法避免的特性。而超级电容, 更像是电池和普通电容的中间值产物, 或者说是两种优点的产物, 既可以像普通电容一样具备大电流快速充放电特性, 又可以当作一种储能电池使用。

超级电容器的原理, 本质上是正负极将正负电荷拉住以达到储存能量的效果, 放电的时候再将电荷释放。理论上过程是纯粹的物理活动, 不发生任何的化学反应, 也就不会产生损耗。

超级电容器与传统电容最大的区别在于传统的电容是从平板状导电材料得到其储存电荷面积的, 想获得最大的面积需要取一块长材料进行缠绕。塑料薄膜、纸张或陶瓷等是传统电容最常用隔开电荷板的材料。因为材料的特性, 此类绝缘材料的厚度无法做薄。石墨是电力蓄能装置常用的一种存储材料, 得益于碳同位素的结构, 超级电容可以依靠其储存电荷, 多孔的结构特性使它拥有巨大的克单位数表面积。表面积与电荷之间距离的巨大单位差距, 使得装置有着远超一般电池的巨大电容。

超级电容的一种预想使用方式是用于在新能源公交车上。基于超级电容充电快, 发热少等特征, 用于公交车在各个站点等待时乘客上下车进行充电十分的合适。现在有许多新能源车厂与公共交通公司会利

用超级电容的特性,在起步和短时加速阶段,超级电容带来的提升效果远超内燃机,也有部分厂商在车辆制动部件中加入超级电容,在司机松开油门或者制动时进行能源的回收,节省整体能源消耗,提升能量利用率。

短途交通工具(公交车站点充电)、机械工作装备作为主要的设想使用场景,是因为超级电容虽然有着不同于化学电池的工作原理,充电放电效率很高,但在电池密度方面无法达到很高的水平,过高的电荷密度很可能击穿电池内部。遗憾的是,超级电容器的内阻较大,无法作用于交流电领域。

3.2. 超导储能装置

前文提到的超级电容是很好的物理电池思路,但是较大的内阻是无法泛用的最大阻碍。有这么一种材料,可以忽视电阻,这就是超导材料。

超导材料没有电阻,那么将电能储存在其中就没有损耗和发热,理论上来说是可以一直存储电能。由于没有电阻不发热,可以承受很高的充电功率,实现字面意思上的闪充。超导储能能在短路的条件下运行,长期保存的一次储能可瞬时放出,使用低电压进行励磁就可以储存相当高的能量,并且足够小的体积可以节省送电时的各种损耗。

因为超能储能体积小、储量大、损耗小的特点,瞬时大功率电器的运作就可由超导储能装置来承担。峰时和谷时用电需求不均时也可以运用超导储能存储与释放电力,保证不同时期的不同用电需求。许多精密仪器与机械工具对电源的波动与干扰十分的敏感,而超导储能可以避免这类问题的发生,绝佳的储能能力能给后续使用装置内的机械设备提供十分安全稳定的电流。

超导材料有如此多的优点,却无法在现在的科技水平投入日常使用。究其原因来源于超导无法在室温条件下生效,只能在低温或者高温的特定条件才能达到。前段时间韩国的一篇关于发现室温超导材料的论文引爆了全球的热点,如果论文所述的室温超导材料被复现成功,那么人类的生活将发生翻天覆地的变化,但最后证实只是一场相关人员忽略杂质影响误打误撞的效果。目前的超导储能装置造价高昂,并不能融入人们的日常生活。超导储能装置的核心是超导磁体,其稳定性关系着整个装置能否安全运行。超导储能磁体在进行动态响应时,会处于变化的磁场之中,不可避免地会产生交流损耗,从而加重制冷系统的负担。损耗热量累积后会造成磁体温度升高,临界电流下降,严重时可能导致磁体失超甚至烧毁[9]。如何让装置稳定运行,让装置来到室温环境运行,是超导储能装置面临的问题。

4. 储能新技术的关键属性与设计实践转化

储能材料与技术的持续演进,使得产品设计的关注点逐渐从单一的能量参数,扩展至安全性、形态可塑性、循环寿命与服务模式等多维度因素。不同技术路径在化学机理与结构构成上的差异,会直接影响电力储能产品的散热方式、外壳形态以及使用体验。如何将这些技术特征转化为具体的设计决策,已成为连接材料科学与工业设计的重要桥梁。

4.1. 以安全为核心的结构与防护策略

储能装置的安全性始终处于设计的首位。以金属空气电池为例,其独特的“呼吸式”反应特性要求电极持续与外界空气接触,以吸入氧气完成电化学反应。正是这种开放式结构,使其在防护设计上面临多重挑战:

一方面,空气通道必须保持畅通以维持反应效率;另一方面,又需防止水汽、灰尘及腐蚀性气体进入电极区域,从而引发短路或性能衰退。针对这一特性,设计中可以采用气体选择性隔膜、控湿通风孔或疏水性纳米涂层等手段,使外部空气能够进入,而液体与污染颗粒被有效隔绝。

为解决长时间反应产生的局部发热问题，可在外壳结构中引入分区散热通道与导热复合材料，让气体循环与热量排放形成联动机制。这种“呼吸 + 散热”的协同设计，既保障了化学反应的效率，又提高了整机的安全性与耐候性。

在产品层面，针对车载或户外环境的金属空气电池系统，还需在机械强度、防水等级与维护结构上进行强化，以确保在雨湿、高温及尘土环境中稳定运行。

4.2. 模块化与能量布局的系统思维

能量密度不仅决定储能单元的体积与重量，也影响整机的结构规划与空间利用效率。钠离子电池与钾离子电池因资源丰富、成本较低而在分布式储能中具备优势，但其单体能量密度相对有限。因此，设计层面可采用堆叠式模块布局，将多个小容量单元通过标准化接口组合，实现灵活扩容与快速维护。

模块化的设计思路同时具备经济性与工程可行性：在故障发生时，可单独更换模块而无需拆解整机；在不同应用场景下，还可按需调整容量与输出功率。对于大规模储能系统，还可将化学电池与超级电容器或超导储能装置组合，构建高能量与高功率并存的混合体系，以提升响应速度与负载稳定性。

4.3. 超级电容器与“即用即充”设计模式

超级电容器依靠电荷的物理吸附储能，具备极快的充放电速度和超长循环寿命。与依赖化学反应的电池不同，它的充能过程更接近于“电流传递”而非“化学转化”，这种特性为产品设计和服务体系带来了本质上的改变。

从设计角度看，超级电容器让能量的获取与使用可以同步进行，由此催生出“即用即充”的新逻辑。以可穿戴设备为例，将超级电容嵌入表带、鞋底或衣物纤维中，就能借助人体运动或环境中的微弱能量实现“边走边充”。用户不再需要刻意寻找充电器，日常活动本身就能维持设备运转，重构了人与能源之间的互动关系。

在无人机和微型机器人领域，超级电容器能瞬间释放高功率电能，支撑起飞、急转或避障等高强度动作。设计师可借此将储能单元与动力系统紧密融合，缩短能量路径、提升响应速度，在控制重量的同时实现更高性能。

超级电容器也为城市基础设施带来新的可能。例如，路灯、信号塔或公共设施可借助太阳能模块在白天充电，夜晚再由超级电容释放能量，形成一个个“自发电、自供能”的分布式能源节点。这种从“集中供能”到“就地循环”的转变，让储能单元不再是某个设备的附属品，而是构成了城市能源网络的微细胞。

因此，从设计视角来看，超级电容器不仅是一种储能介质，更是重构能源关系的载体。它推动产品从“被动充电”走向“主动补能”，为未来智能终端、便携设备乃至城市能源系统的设计，开辟出全新的思路。

4.4. 柔性材料与体验导向设计

柔性电极和固态电解质的研究推动了储能器件的可塑化发展。柔性储能装置在形态上突破了传统电池的刚性限制，为可穿戴电子、曲面终端和室内能源模块带来新的设计空间。

在设计实践中，可通过多层复合薄膜或碳基纳米材料实现器件的可弯曲结构，使储能单元既能满足能量密度要求，又能与产品外观形态一体化融合。例如，柔性储能模块可被嵌入智能家居的表面装饰层中，也可作为服饰结构的一部分，为穿戴者提供隐形供能。

同时，这类材料的低热量特征提升了使用安全性和舒适度，使储能系统逐渐从“可见组件”演变为“隐形能源”，成为未来工业设计的重要方向。

5. 结束语

在这个时代, 人类的科技不断发展。以电子产品来说, 芯片产业的进步每 18 个月就能成长一倍, 但作为续航和生命的电池却迟迟没有进步。受制于目前的电池(电力蓄能装置)技术, 电池的容量无法得到很好地突破。其他产业的蓬勃发展正在不断压榨性能的极限, 电池产业的颓势显然会对现在时代的发展起到很大的阻碍效果。于是乎, 电力蓄能产业新材料的研发, 新技术的开发迫在眉睫。无论是化学电池层面的创新研究, 还是转变思路对物理电池层面的重新开拓, 本文旨在呼吁相关材料研究人员在电力蓄能产品设计中应用新材料、新技术或新工艺, 就像锂电池的发明, 帮助人类进入到下一个科技新纪元。

参考文献

- [1] 骆欣然. 改性锡基负极材料的储钾机制研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南大学, 2024.
- [2] 常立民, 候美琪, 聂平, 等. 锂/钾离子电池铋基负极材料研究进展[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2023, 44(3): 1-10.
- [3] 朱鑫鑫, 丁益宏, 王鹏, 等. 钠离子电池负极材料的研究进展[J]. 辽宁化工, 2024, 53(2): 244-249.
- [4] 刘刚. 电解液及电极界面的调控与碱金属电池性能研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2023.
- [5] 刘通. 从 0 到 1, 钠离子电池时代开启[J]. 汽车纵横, 2023(3): 82-86.
- [6] 李明远. 钠离子电池在变电站的应用前景展望[J]. 机电信息, 2021(25): 65-66.
- [7] 张平, 康利斌, 王明菊, 等. 钠离子电池储能技术及经济性分析[J]. 储能科学与技术, 2022, 11(6): 1892-1901.
- [8] 王梦茵, 黄若贝, 熊剑峰, 等. 锌-空气电池隔膜的关键作用及其最新研究进展[J]. 物理化学学报, 2024, 40(6): 28-41.
- [9] 郭树强. 环型高温超导储能磁体状态评估方法研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2022.