

电化学储能行业ESG白皮书

EVERY TIME YOU TRY IS A LIMITED EDITION

摘要

在全球能源转型的浪潮中，电化学储能崭露头角。本白皮书深度剖析电化学储能行业全貌，从基础的储能技术及电化学储能技术解析，到其价值链、市场系统集成与多元应用场景的呈现，全方位洞察行业架构。进而深入探究锂离子、钠离子、液流、钠硫等关键电池类型，以及特斯拉、宁德时代、纬晟储能等企业的 ESG 实践案例，为行业发展提供宝贵借鉴与指引。



PREFACE

前言

随着全球对清洁能源的需求与日俱增，以及能源结构调整步伐的不断加快，电化学储能作为一种关键的能源存储解决方案，正逐渐步入发展的黄金时期，深刻地改变着能源格局与工业生态。

电化学储能技术以其独特的优势，在电力系统削峰填谷、可再生能源并网消纳、分布式能源与微电网的稳定运行等多个领域发挥着不可替代的作用，为构建清洁、高效、智能的能源体系提供了坚实的支撑。

本白皮书旨在全面且深入地呈现电化学储能行业的发展现状与未来趋势，为广大读者提供系统而详实的行业洞察。在内容编排上，我们首先对电化学储能行业进行了概览，详细介绍了各类储能技术以及电化学储能技术的特点、电化学储能的价值链构成、市场系统集成模式以及丰富多样的应用场景，使读者能够对行业的基本框架有清晰的认识。

我们着重关注了电化学储能行业的 ESG 发展。深入解读了相关政策法规，剖析了如产品质量与安全、可持续/负责任供应链、污染物管理、电池循环经济、碳足迹管理等一系列核心议题，展现了行业在可持续发展道路上的努力与挑战。此外，还分别对锂离子电池、钠离子电池、液流电池、钠硫电池等主流技术路线进行了细致的阐述，分析各自的技术特点、应用前景与发展瓶颈。最后，通过特斯拉、宁德时代、纬辰储能等行业领军企业的 ESG 实践案例，为其他企业提供了具有参考价值的实践范例与经验借鉴。

希望本白皮书能够为读者带来电化学储能行业的 ESG 前沿，共同推动电化学储能行业朝着更加绿色、可持续的方向蓬勃发展。

ANALYST

研究员

万红军	高级注册ESG分析师：23RZQLKC002073A
冯诗佳	CFA ESG证书：102159114
李奎	高级注册ESG分析师：24RZQLKC600663A
卞勇	CFA ESG证书：102168833
	高级注册ESG分析师：23RZQLKC003198A
李江波	高级注册ESG分析师：24RZQLKC005221A
郑田喜	高级注册ESG分析师：24RZQLKC600736A
谢捷	CFA ESG证书：100338760
陈尧	中级注册ESG分析师：24RZQLKC006160B
季渊杰	高级注册ESG分析师：23RZQLKC002529A
石卉晞	高级注册ESG分析师：24RZQLKC600574A

CONTENTS

目录

第一章 电化学储能行业概览

- 07 储能技术及电化学储能技术
- 09 电化学储能的价值链
- 17 储能市场系统集成
- 22 电化学储能的应用场景

第二章 电化学储能行业的ESG发展

- 35 电化学储能的相关政策
- 40 电化学储能的ESG核心议题
 - 议题1：产品质量与安全
 - 议题2：可持续/负责任供应链
 - 议题3：污染物管理
 - 议题4：电池循环经济
 - 议题5：碳足迹管理

第三章 锂离子电池

第四章 钠离子电池

第五章 液流电池

第六章 钠硫电池

第七章 企业ESG实践案例

- 63 特斯拉
- 67 宁德时代
- 68 纬景储能



The image shows a large industrial facility with several tall, cylindrical storage tanks. The tanks are made of corrugated metal and have metal railings on top. They are situated on a grassy area with a clear blue sky in the background. In the foreground, there are some pipes and a concrete wall.

第一章 电化学储能行业概览

第一节 储能技术及电化学储能技术

一、储能行业简介

能源的发展历程呈现出从固态（如柴火与煤）、液态（石油）逐步迈向气态（天然气）的演变轨迹，与此同时，能源中的碳含量也经历了从高碳（柴火和煤）、中低碳（石油与天然气）向无碳（新能源）的过渡态势。展望未来，能源领域大概率会沿着资源类型减碳化、生产技术持续进阶以及利用方式多元化这三个主要方向持续推进。当下，全球能源领域正同步推进化石能源低碳化变革、新能源规模化变革以及能源管理智能化变革，这三大变革相互交织，共同塑造出“新煤炭”“新油气”“新电网”的全新能源格局。

自工业化时代起始，伴随能源形态的更迭转换，二氧化碳排放量呈现出持续攀升的态势，进而引发了全球气温升高、冰川消融、海平面上升等一系列严峻的环境问题，人类生存环境正面临前所未有的严峻威胁与巨大挑战。

据相关统计数据显示，自 1850 年起，大气中二氧化碳浓度从 280×10^{-6} 攀升至 450×10^{-6} ，全球气温上升幅度达 0.9 至 1.2°C，海平面上升高度约为 20 厘米。尤其是在近 30 年间，全球气温与海平面上升速率显著加快，气温每 10 年上升 0.2°C，海平面每年上升 0.32 厘米。倘若到本世纪末全球气候升温幅度达到 2°C，海平面上升高度将介于 36 至 87 厘米之间，届时 99% 的珊瑚礁将面临消失殆尽的厄运，陆地约 13% 的生态系统将遭受严重破坏，众多动植物物种亦将面临灭绝的高危风险。因此，削减二氧化碳等温室气体排放，有效控制全球气温上升幅度，已然成为全人类的共同使命与奋斗目标。

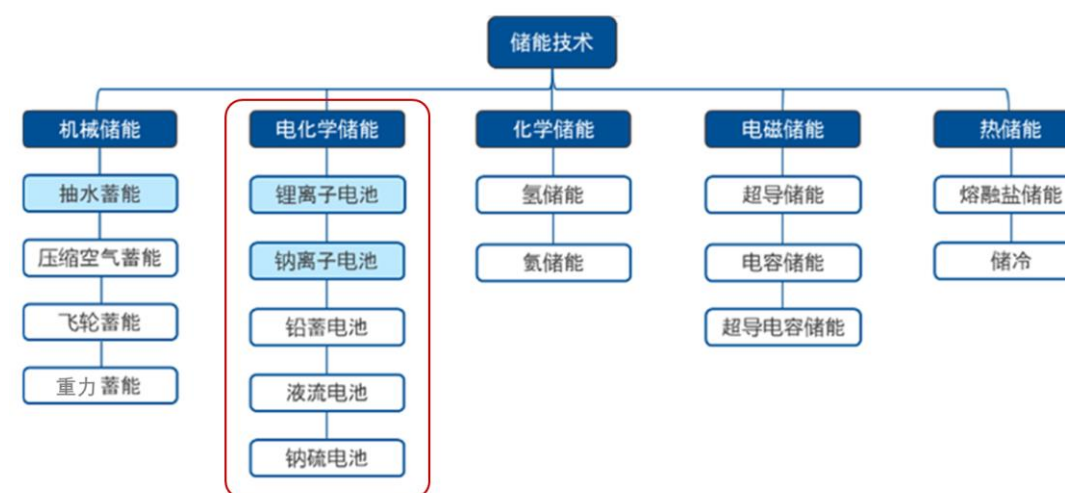
人类活动所产生的二氧化碳排放主要源于化石燃料的燃烧过程。大力发展新能源、积极推进能源转型、逐步减少对化石能源的依赖，并构建绿色低碳的能源体系，乃是减少二氧化碳排放、实现全球碳中和目标的关键举措与重要途径。新能源作为第三次能源转换进程中的核心力量，在实现碳中和目标的宏伟征程中必然要承担起主导性的关键作用。

新能源的应用与储能系统的协同运作为实现能源高效利用与稳定供应的关键路径。新能源具有间歇性与波动性等特质，例如风能和太阳能，其发电功率会随自然条件的变化而产生显著波动。储能系统则能够在新能源发电过剩时储存电能，在发电不足之际释放电能，以此平衡电力供需，确保电力供应的稳定性与持续性。通过这种有机结合，不仅可以有效提升新能源在能源结构中的占比，推动能源体系朝着清洁低碳的方向转型，还能为各类用电场景提供更为可靠、优质的电力服务，无论是工业生产中的大型设备运转，还是日常生活中的家庭用电需求，都能得到更好的保障与满足。

二、电化学储能简介

电化学储能通常也被称为电化学电池，是指利用化学反应将电能以化学能的形式储存起来，并在需要的时候将化学能转化为电能释放出来的一种储能方式。主要包括锂离子电池储能、钠离子电池储能、铅蓄电池储能、液流电池储能、钠硫电池储能等。

图 1：储能技术的分类



锂离子电池以其能量密度、高效的充放电效率以及迅捷的响应速度等优势，在当下新型储能技术领域中发展势头最为迅猛，占比超过 90%。在大型储能电站的应用场景中，方形电池凭借其适配性与稳定性等特点占据主导地位；而于户用储能领域，大圆柱电池则正呈现出加速渗透的强劲态势。

钠离子电池在容量方面已逐渐逼近磷酸铁锂电池，其丰富的资源储备优势日益凸显，故而在储能等诸多领域对锂电池予以有力补充。钠离子电池理论比容量可观，原材料来源广泛且合成工艺简便，能够在很大程度上复用锂电路线，产业传导路径顺畅，在众多新兴技术中率先具备了产业化的基础条件，当下发展态势也成熟完备。

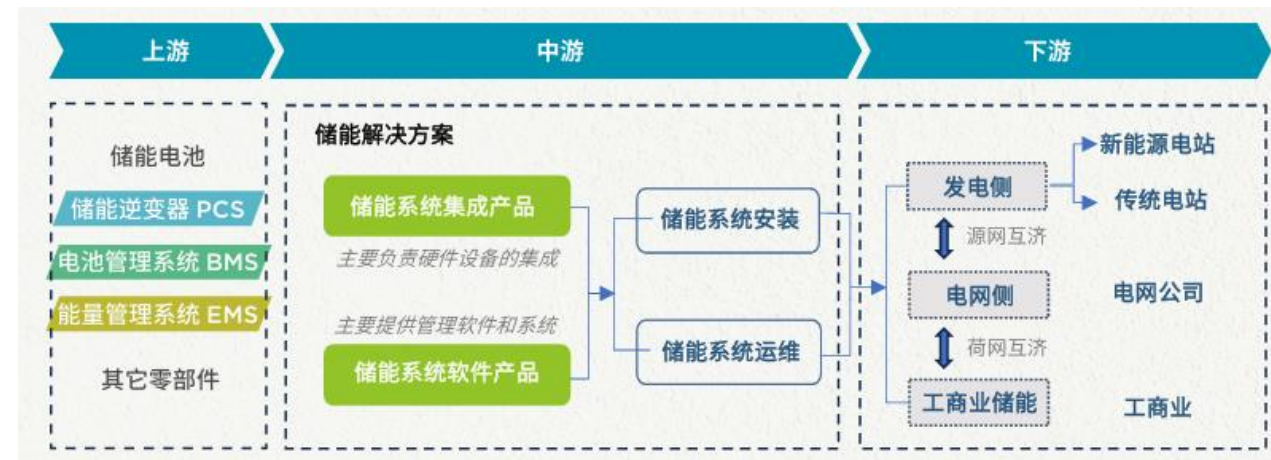
伴随长时储能技术路线需求的持续攀升，全钒液流电池迎来了前所未有的发展契机。全钒液流电池具备循环寿命超长、容量巨大、生命周期经济性优良以及环境负荷较低等诸多优点，有效突破锂离子电池在长时储能方面的局限性，因而具备可观的发展潜力。然而，当前其初始投资成本偏高，制约了它的大规模推广应用。但随着储能电站时长的逐步拉长、电解液租赁模式的推行以及离子交换膜等关键材料实现国产替代，全钒液流电池有望在储能市场中占据更为重要的一席之地。

表 1: 主要电化学储能电池的特点

储能类型	特点
锂离子电池储能	能量密度高、循环寿命长
钠离子电池储能	原材料来源广泛且工艺简便, 但能量密度较低、循环寿命较短
液流电池储能	安全性高、储能容量大、可灵活调节, 但系统较为复杂, 成本较高
铅蓄电池储能	成本较低, 但能量密度相对低、循环寿命短

第二节 电化学储能的价值链

图 2: 电化学储能行业的价值链



来源: 搜狐《储能产业发展的现状、趋势及机遇!》

电化学储能行业价值链分为上游原材料及零部件、中游出能解决方案、下游各场景应用。

一、上游: 原材料及零部件

1. 核心设备——电池组

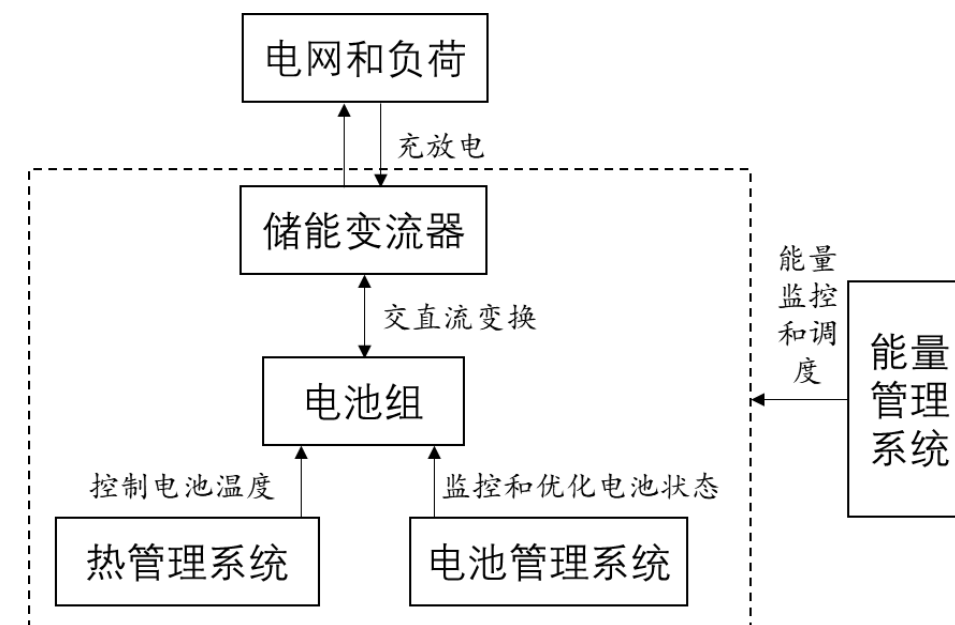
电池组是储能系统的最核心部件, 用于储存和释放电能。电池组充电和放电的功能, 对可再生能源的发展至关重要, 从而对双碳目标和国家可持续发展目标提供重要的保障。

电池组由诸多电池单体通过串联的方式组合而成, 是储能电池组的基本单元, 通常包括正极、负极、电解质和隔膜等部分。常见的储能电池单体有锂离子电池、钠离子电池、铅蓄电池等。

2. 关键设备

- **电池管理系统 (BMS)**: 负责对电池组进行监测、评估、保护以及均衡管理, 确保电池在安全、有效的条件下运行。主要用于对储能电池组或动力电池组进行监控、保护和管理, 确保电池的安全、可靠和高效运行。由传感器、控制器、均衡电路、保护电路、通讯接口组成。
- **能量管理系统 (EMS)**: 主要负责数据采集、网络监控和能量调度等功能, 是整个系统的决策中枢设备, 尤其在储能领域发挥着重要作用。由传感器与数据采集模块、控制器与决策模块、执行机构、通讯模块、用户界面等组成。
- **储能变流器 (PCS)**: 也称为双向储能逆变器, 用于控制电池的充电和放电过程, 并进行交直流的变换, 是实现电能双向流动的核心部件。由功率模块, 控制单元、传感器、滤波器、冷却系统等组成。
- **热管理系统**: 包括冷却系统、通风系统等, 用于维持电池组在适宜的温度范围内工作, 防止过热或过冷影响电池性能。

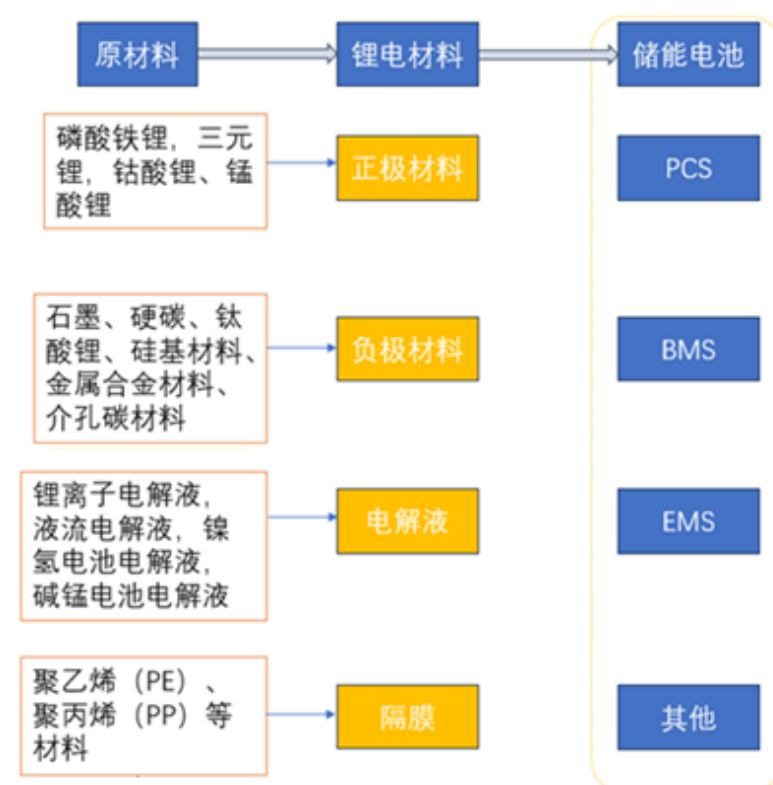
图 3: 电化学储能行业的价值链上游



3. 电池组的原材料

组成核心设备电池组部分，可以进一步拆解至底层原材料。主要有正极材料、负极材料、电解液/电解质、隔膜材料、导电添加剂等。

图 4：电池的原材料及组成



(1) 正极材料

正极材料是电化学储能设备中最重要的组成部分之一，常见的正极材料包括锂离子电池的层状、尖晶石和聚阴离子型正极材料，钠离子电池的层状过渡金属氧化物和聚阴离子型钠离子电池正极材料等。

- 磷酸铁锂是近年来广泛使用的锂电池正极材料，具有高安全性、低成本、长寿命、循环次高、无污染；能量密度，充电性能都不如三元锂。
- 三元锂：由镍、钴、锰三种元素组成，具有高能量密度的特点，充电速度快，但是安全性与磷酸铁锂电池没法比，成本也比磷酸铁锂电池高，循环寿命比较低。

- 钴酸锂：结构稳定、容量比高、综合性能突出，具有较高的体积能量密度，适合对体积要求较高的小型储能设备；但安全性差、成本非常高，主要用于中小型号电芯，如笔记本电脑、手机、MP3/4 等小型电子设备中，在大规模储能领域的应用相对较少。
- 锰酸锂电池：锰酸锂资源丰富、成本较低，合成工艺相对简单。其高温性能较好，在较高温度下的循环稳定性相对不错；但能量密度和循环寿命相对较低，长期使用过程中容量衰减较快，因此在对储能性能要求较高的大型储能项目中的应用受到一定限制。
- 富锂锰基电池（固态电池）：能量密度锂电池最高、循环次数很高、耐高温，安全性高、富锂锰基材料丰富，但尚处于发展阶段，没有大规模商业用，有望成为下一代锂电池。

(2) 负极材料

负极材料同样重要，常见的负极材料包括嵌入型负极材料、合金化负极材料和转换型负极材料，以及石墨、硅基材料等。

- 天然石墨：成本较低、导电性好、结晶度高等优点，在充放电过程中锂离子的嵌入和脱出相对容易，因此能够实现较高的充放电效率。天然石墨主要用于低端电动汽车以及一些对能量密度要求不那么极致的储能领域。不过，天然石墨的倍率性能较差，在大电流充放电时性能下降明显；另外，它的结构稳定性相对较差，在长期的充放电循环过程中可能会出现结构坍塌等问题，影响电池的使用寿命。
- 人造石墨：通过对原材料进行高温处理、石墨化等工艺制备而成。相较于天然石墨，人造石墨的结构更加规整，颗粒大小和形状可以根据需求进行调控，因此具有更好的循环性能和倍率性能，能够满足高功率储能设备的需求。目前，人造石墨是储能电池负极材料中应用最为广泛的一种，在各类储能电站、便携式储能设备等领域都有大量应用。
- 硬碳：指在高温下难以石墨化的碳材料，其来源广泛，可以是生物质（如椰壳、果壳、动植物组织等）、合成聚合物（如酚醛树脂、聚丙烯腈等）或化石燃料（如沥青、煤焦油等）。硬碳材料具有较高的比容量，能够储存更多的锂离子，这使得基于硬碳负极材料的储能电池具有较高的能量密度。此外，硬碳的结构稳定性较好，在充放电过程中不易发生结构坍塌，循环寿命较长。不过，硬碳材料的首次充放电效率相对较低，且其成本相对较高，目前主要应用在一些对能量密度和循环寿命要求较高的储能场景。

- 钛酸锂材料：具有独特的尖晶石结构，这种结构使得钛酸锂在充放电过程中具有良好的结构稳定性，能够承受快速的充放电循环，因此具有较长的循环寿命。钛酸锂的倍率性能优异，在大电流充放电时性能表现良好，适合应用于需要快速充放电的储能场景，如调频储能等。此外，钛酸锂的安全性较高，在充放电过程中不会产生明显的热量。但是，钛酸锂的能量密度相对较低，限制了其用于能量密度要求较高的领域。
- 硅基材料：包括纳米硅粉、硅碳复合材料等。硅的理论比容量非常高，是一种极具潜力的负极材料。硅基材料在充放电过程中能够吸收大量的锂离子，从而实现高能量密度的储能。然而，硅在充放电过程中体积膨胀可达 300% 以上，破坏电极结构，影响电池的循环性能。对此，研究人员通过将硅与碳材料复合等方法，来缓解硅的体积膨胀问题，提高硅基负极材料的性能。目前，硅基材料仍处于研发和改进阶段。
- 金属合金材料：一些金属合金（如锡基合金、铝基合金等）被用作储能电池的负极材料。金属合金材料具有较高的比容量和较好的导电性，能够提供较高的能量输出。但金属合金材料在充放电过程中也会面临体积膨胀、电极结构不稳定等问题。
- 介孔碳材料：具有三维孔状结构和高比表面积，这种结构使得介孔碳材料能够提供更多的锂离子存储位点，从而具有较高的比容量。同时，介孔碳材料的导电性较好，能够实现快速的电荷传输，具有较好的倍率性能。此外，介孔碳材料的结构稳定性较好，在长期的充放电循环过程中能够保持较好的性能。介孔碳材料的制备可以利用废旧沥青等废弃物作为碳源，不仅能够降低成本，还能够实现资源的回收利用。

(3) 电解液

电解液是电化学储能设备中用于传导离子的液体或凝胶，其性能直接影响电池的稳定性和寿命。

- 锂离子电解液：常规液态电解液的主要成分包括有机溶剂、锂盐等。六氟磷酸锂是最常用的锂盐，具有较高的离子导电率和较好的电化学稳定性。另外，根据使用场景，通过添加不同的添加剂，可以制成高/低温电解液、高压电解液等，应对不同需求。
- 液流电解液：

全钒液流电池电解液由钒元素构成，能避免正负极互异元素的交叉污染，理论上可永久循环使用。该电解液具有能量效率高、循环寿命长等优点，是目前商业化程度较高、技术成熟度较强的液流

电池电解液，但钒电解液成本较高，占电池成本的比例较大。

铁铬液流电池是最早被提出的液流电池技术之一。其电解液在正负极两侧分别含有不同价态的铁离子和铬离子，通过它们的氧化还原反应来实现电能的储存和释放。不过，该技术存在负极析氢、正负极电解液互串交叉污染、铬氧化还原性差、最佳工作温度较高等问题。

(4) 隔膜

隔膜用于分隔正负极材料，防止短路，同时允许离子通过，是电化学储能设备中不可或缺的组成部分。

- 聚烯烃类隔膜：如干法单拉隔膜、干法双拉隔膜、湿法聚烯烃隔膜，它们是主流的隔膜，利用聚乙烯、聚丙烯等聚合物，加上添加剂、改良剂，并通过不同的工艺来生产，成本与性能各有特点。
- 复合类隔膜：多层复合隔膜（如 PP 与 PE 复合）结合多种材料优势，或是有机 / 无机复合隔膜（无机材料涂覆聚烯烃等），以提升电池性能。
- 特殊材质类隔膜：陶瓷隔膜（基膜加陶瓷层）增强安全性；无纺布隔膜（静电纺丝制）孔隙率大；纤维素基隔膜（纤维素纤维制）环保可再生；纳米纤维涂层隔膜（纳米纤维涂覆基膜）改善多种性能。

二、中游：储能解决方案

中游将电池组、电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）、储能变流器（PCS）等子系统集成到一个系统中，并进行安装和维护。

1. 系统集成（详细内容请见本章第三节）

储能系统集成是将储能电池、电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）、储能变流器（PCS）、热管理等各个单元进行有机组合，实现储能系统的整体功能和性能优化，为储能技术各类场景打造“一站式”解决方案。储能系统集成主要包括技术整合、方案设计、项目实施和运维服务四大方面。

系统集成技术的好坏直接影响储能系统的效率、可靠性、安全性和成本。

- 系统集成能够让储能系统核心部件相互配合、协同工作，充分发挥各自的性能优势，从而提高整个储能系统的效率和可靠性。

- 不同的应用场景对储能系统的需求存在差异，如户用、工商业、发电侧、电网侧等场景的储能需求各不相同。系统集成商能够根据客户的具体需求，提供定制化的储能系统解决方案，满足客户的个性化需求。
- 对储能项目的规划、设计、采购、安装、调试等各个环节进行有效的管理和协调，确保项目按时、按质、按量完成。在项目实施过程中，能够及时解决出现的问题，降低项目的风险和成本。
- 通过对储能系统的整体设计和优化，能够采取有效的安全防护措施，提高系统的安全性，降低安全事故的发生概率；从系统的角度出发，综合考虑储能系统的初始投资、运行维护成本、设备寿命等因素，进行优化设计和选型，降低储能系统的全生命周期成本。
- 作为产业链的中间环节，能够向上衔接设备厂商，向下服务于用户，促进储能产业链各环节之间的协同发展。

2. 储能系统的安装和运维

为了整个系统高效、安全、稳定的运行，全方位、专业的安装和运维必不可少。

安装方面

- 场地准备：选择合适的安装场地。对于大型储能系统，需要考虑场地的承载能力，确保地面能够承受储能系统的重量。同时，要考虑环境因素，如温度、湿度和通风条件。例如，锂电池储能系统在高温环境下性能可能会受到影响，所以安装场地要有合适的温度控制措施，或者良好的自然通风条件，以保证系统在适宜的温度范围内运行。
- 设备安装顺序：安装电化学储能系统时，要按照一定的顺序进行。一般先安装电池模组，要确保模组的安装位置准确，连接牢固。在连接电池模组之间的线路时，要严格按照电气安装规范操作，保证线路连接的正确性和安全性。之后安装电池管理系统（BMS），它是电化学储能系统的大脑，能够实时监测电池的状态，所以其安装和调试非常关键。最后安装功率转换系统（PCS）以及其他辅助设备，如冷却系统等。
- 安全防护措施安装：在安装过程中，做好安全防护措施，以应对可能出现的火灾情况。同时，设置合理的电气安全防护装置，如漏电保护开关、过流保护装置等，确保在发生电气故障时能够及时切断电路，保障人员和设备的安全。

运维方面

- 日常巡检：日常运维的关键是巡检。运维人员需要定期检查电池系统的外观，查看电池模组是否有鼓包、漏液等情况。检查连接线路的紧固程度，防止因线路松动而引发故障。对于 BMS 和 PCS，检查其运行状态，查看数据是否正常，如电池的电压、电流、温度等参数是否在正常范围内。同时，还要检查冷却系统是否正常工作，确保储能系统在合适的温度下运行。
- 故障诊断与修复：当储能系统出现故障时，快速准确的故障诊断。运维人员可以通过 BMS 记录的数据来分析故障原因。例如，如果某个电池模组的电压出现异常下降，可能是该模组内部的电池单体出现了短路或者老化等问题。在诊断出故障原因后，及时修复。
- 性能优化与升级：随着技术的发展和储能系统的使用，需要对系统进行性能优化和升级。例如，通过软件升级来优化 BMS 的控制算法，提高电池的充放电效率和使用寿命。在适当的时候，也可以对储能系统的硬件进行升级，如更换更高性能的 PCS，以提高系统的功率转换效率，更好地满足实际应用需求。

三、下游：应用（详细内容请见本章第四节）

风/光发电站，数据中心储能，光储充电站，工商用户储能，通信基站储能，有轨电车，微电网，生态园区，普通家庭户储，别墅储能等。

四、价值量的分布

从价值量的分布角度来看：

- 储能系统成本占比：电池成本占 52%，储能变流器（PCS）占 19%，电池管理系统（BMS）占 15%，能量管理系统（EMS）占 2%，其他配套系统占 12%。
- 电池各组件的成本占比：正极占 38%，负极占 29%，隔膜占 3%，电解液占 9%，电池壳体及盖板占 6%，人工、电费占 9%，折旧占 6%。

从成本占比来看，整体电池厂商、正极材料和储能变流器（PCS）是整个价值链中比较重要的部分，毛利率可以达到 20%-30%，其他环节的价值量较为平均，毛利率约 10%-20%。

表 2：储能价值链核心环节的价值分布

	储能电池	PCS	温控	储能系统集成	储能EPC
市场规模	500~1200亿元	140~190亿元	75~150亿元	1500~3000亿元	2800~3800亿元
毛利水平	15%~20%	20%~30%	25%~30%	10%~20%	10%~15%
集中度	高	较高	较低	中	较高
行业特点	<ul style="list-style-type: none"> 参与者以动力电池企业居多，具备技术积累优势，格局“一超多强” 头部企业扩产，参与者增多导致竞争加剧 	<ul style="list-style-type: none"> 技术壁垒较高，是储能系统的关键环节 主要参与者为光伏逆变器厂商 	<ul style="list-style-type: none"> 电芯容量增大对温控的要求提高 精密温控、工业温控、汽车温控参与者技术较为成熟，具有竞争优势 	<ul style="list-style-type: none"> 参与者众多，竞争较为激烈 系统集成方案尚不统一 技术壁垒正在形成，竞争优势包括对电网的理解、核心部件和系统自研能力、项目经验 	<ul style="list-style-type: none"> 参与者以央企为主，其他企业多以联合体参与竞标 资质、资金壁垒较高
技术趋势	大容量电芯	组串式、构网型、高压、大容量、液冷，一体机	液冷	交直流一体化、高压级联式	--

来源：wind、券商研报、普华永道

第三节 储能市场系统集成

储能系统是一个多学科技术融合的系统，它涵盖电化学、电力电子、IT、电网调度等多个领域技术，各技术领域相互关联且存在复杂的交互作用。而且储能系统包含多种硬件设备，不同厂家、不同型号的设备在性能、接口、通信协议等方面存在差异。这对不同领域的技术融合、设备之间的兼容性问题提出了很高的要求，在技术积累和市场需求的驱动下，逐渐形成了储能市场的系统集成。

一、储能系统集成的发展历程

储能系统集成是依托储能技术的发展而发展起来的，它起源于 20 世纪中期，大致经历了探索阶段、技术突破阶段、商业化应用阶段和智能化阶段，具体如下：

- 初期探索阶段（20 世纪中期 - 20 世纪末）：这一时期，政府和市场对储能技术的关注度较低，储能技术的发展主要依赖于科研机构 and 少数企业的自主研发。在储能技术方面，主要集中在抽水蓄能和铅蓄电池等传统技术上。储能系统主要用于电网的调频和调峰以及一些特定的应急备用场景，应用范围较为狭窄。

- 技术突破阶段（20 世纪末 - 21 世纪初）：锂离子电池技术在这一阶段取得重大突破，其能量密度、循环寿命等性能指标不断提升，并且逐渐从消费电子产品领域向电动汽车和储能系统扩展；国家开始出台政策，支持储能技术的研发和应用，特别是在可再生能源和电动汽车领域，这为储能系统集成的发展提供了政策支持和发展机遇。
- 商业化应用阶段（21 世纪初 - 2010 年代）：电动汽车市场的快速增长推动了锂离子电池技术的大规模生产和成本下降，这也为储能系统的商业化应用奠定了基础；储能项目的数量和规模迅速增加，储能系统开始广泛应用于电力系统、通信基站、数据中心等领域，成为平衡新能源波动性和提高电网稳定性的关键技术。
- 系统集成和智能化阶段（2010 年代 - 至今）：这一阶段，储能系统与电力电子设备、能量管理系统、通信网络等进行深度集成，实现了更高效的能源管理；同时融合了大数据、人工智能、物联网等技术，储能系统具备了智能监控、优化调度和预测分析等功能。通过对储能系统的实时监测和数据分析，可以实现对储能系统的优化运行和故障预警，提高了系统的可靠性和效率。

这个阶段最显著的特点，就是出现了多种不同的集成方案，以满足不同应用场景的需求。例如，集中式储能集成方案通过将多个电池簇在直流侧进行并联后连接到储能变流器，主要面向源网侧的大型储能电站；集散式方案在电池簇和直流母线之间增加了能量优化器（DC/DC），提高了对电池的控制精度；分布式方案则将电池簇、PCS、BMS 等集成到一体化的小机柜中，实现了灵活扩容和更高的安全性，广泛应用于用户侧和大型的源网侧项目。

二、储能系统集成的关键技术

储能系统集成的关键技术主要包括电池技术、储能变流器（PCS）技术、电池管理系统（BMS）技术、能量管理系统（EMS）技术、热管理技术、安全防护技术、系统集成与测试技术。

1. 电池技术：包括电池选型与成组技术

- 电池选型：根据不同的应用场景和对能量密度、功率密度、循环寿命、安全性等需求，选择合适的电池类型，如锂离子电池、铅蓄电池、液流电池等。
- 成组技术：成组过程中，需要确保电池组的一致性，包括电压、容量、内阻等参数的一致性，以提高电池组的性能和寿命，通过优化电池成组方式，提高电池组的一致性和可靠性。

2. 储能变流器 (PCS) 技术: 高效的电能转换和功率控制与调节

- 电能转换: PCS 负责将电池的直流电转换为交流电 (DC/AC), 或者将交流电转换为直流电 (AC/DC), 实现电能的双向流动。因此, PCS 需要具备高效的电能转换效率, 以减少能量损耗。一般会通过先进的电力电子器件和控制技术, 如碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN) 等新型半导体器件, 以及脉宽调制 (PWM) 技术、多电平技术等, 提高 PCS 的性能和效率。
- 功率控制和调节: PCS 需要能够根据系统的需求, 快速、准确地调节输出功率, 实现对储能系统的功率控制。适应不同的负载变化和电网波动, 保证储能系统的可靠运行。

3. 电池管理系统 (BMS) 技术: 包括电池状态监测和电池均衡管理

- 电池状态监测: BMS 采用高精度的传感器和测量技术, 实时监测电池的电压、电流、温度、SOC 等参数, 了解电池的运行状态。通过对这些参数的监测, 可以及时发现电池的异常情况, 如过充、过放、过温、短路等, 采取相应的保护措施, 防止电池损坏。
- 电池均衡管理: BMS 需要通过均衡管理技术, 对电池组进行均衡充电或放电, 使单体电池的 SOC 保持一致, 提高电池组的性能和寿命; 均衡管理技术包括被动均衡和主动均衡两种方式, 被动均衡通过电阻消耗多余电量实现均衡, 主动均衡则通过能量转移的方式实现均衡。

4. 能量管理系统 (EMS) 技术: 主要包括能量优化调度和系统协调控制。

- 能量优化调度: EMS 根据系统的需求和电网的状态, 对储能系统的能量进行优化调度, 制定合理的充放电策略, 实现储能系统的高效运行。例如, 在峰谷电价差较大的地区, EMS 可以根据电价变化, 在低谷时段充电, 高峰时段放电, 为用户节省用电成本。
- 系统控制协调: EMS 需要具备良好的通信能力和兼容性, 能够与不同的设备和系统进行通信和交互, 与电网、分布式能源、负荷等进行协调控制, 实现储能系统与外部系统的无缝对接, 实现系统的集成和协同工作, 维持微电网的稳定运行。

5. 热管理技术: 包括电池热管理和系统热管理

- 电池热管理: 电池在充放电过程中会产生热量, 如果热量不能及时散发, 会导致电池温度升高, 影响电池的性能和寿命, 甚至引发安全事故。因此, 需要采用有效的热管理技术, 对电池进行散热或加热, 保持电池的温度在合适的范围内。

- 系统热管理: 储能系统中的其他设备, 如 PCS、变压器等, 也会产生热量, 需要进行热管理。系统热管理需要考虑整个储能系统的散热需求, 采用合理的散热方案, 确保系统的稳定运行。

热管理技术包括风冷、液冷、相变材料冷却等方式, 需要具备良好的可靠性和耐久性, 能够在不同的环境条件下正常工作, 应根据不同的应用场景和需求选择合适的热管理方式。

6. 安全防护技术: 包括电气安全和消防系统

- 电气安全: 储能系统涉及高电压、大电流的电气设备, 需要采取有效的电气安全防护措施, 如接地保护、漏电保护、过压保护、过流保护等, 防止电气事故的发生。
- 消防系统: 储能系统存在火灾风险, 需要配备完善的消防系统, 如火灾探测器、灭火装置等。消防系统需要能够及时发现火灾并进行灭火, 防止火灾蔓延, 保障人员和设备的安全。

7. 系统集成与测试技术: 包括系统集成设计、系统测试和验证

- 系统集成设计: 系统集成需要进行全面的系统设计, 包括电气设计、结构设计、热管理设计等。系统设计需要考虑系统的性能、可靠性、安全性、可维护性等因素, 确保系统的整体优化。
- 系统测试和验证: 在系统集成完成后, 需要进行严格的测试和验证, 确保系统的性能和功能符合设计要求。测试内容包括电气性能测试、功能测试、安全测试、环境适应性测试等。

三、储能系统集成的模式

储能系统集成主要有全链发展模式、专业化集成模式和设备商转型集成商模式等三种模式。

- 全链发展模式: 全链发展模式是储能系统集成中一种较为全面且具有较高掌控力的发展模式, 主要指企业自己能生产制造储能系统的主要部件, 如电芯、储能变流器 (PCS) 等, 然后通过自主设计部门进行系统集成服务, 提供一站式的解决方案。其主要特点是垂直整合产业链、自主研发与创新能力强、定制化服务能力突出。

采用全链发展模式的代表性企业有: 宁德时代、比亚迪、国轩高科、亿纬锂能、欣旺达等。

- 专业化集成模式：专业化集成模式指企业专注于储能系统集成方案的设计和优化，为客户量身定做高效、可靠的储能系统解决方案。主要特点是自身专注系统集成方案设计，外部核心部件采购，强调自身的专业服务能力。

专业化集成模式的代表企业有华为、阳光电源、南都电源、科华数能等。

- 设备商转型集成商模式：指原本是 PCS 企业、电池厂商等单一设备供应商，基于自身在某一设备领域的技术和产品优势，向系统集成商方向转型。

设备商转型模式的代表企业有：科陆电子、金盘科技、科士达等。

四、储能市场系统集成技术发展方向

1. 高性能储能技术及新型电池应用

提升现有电池性能：持续改进锂离子电池性能，提高其能量密度、功率密度、循环寿命和安全性，降低成本。比如通过优化电池材料、电极结构及制造工艺，使锂离子电池在储能系统中更具竞争力。

新型电池技术研发：积极探索钠硫电池、液流电池、钾离子电池等新型电池技术。这些新型电池各有优势，如钠硫电池能量密度高、液流电池寿命长且可深度充放电、钾离子电池成本相对较低等，未来有望在不同应用场景中成为主流储能技术 1。

2. 智能控制与管理系统优化

智能控制技术发展：采用高可靠性、高可用性的智能控制技术，实现储能电站与电网的高效通信和调度。例如利用先进的传感器、通信技术和数据分析算法，实时监测储能系统和电网状态，精准控制充放电过程，提高运行效率和稳定性 1。

能量管理系统升级：开发功能更强大、智能化程度更高的能量管理系统（EMS）。EMS 不仅能实现对储能系统的实时监控，还能优化调度策略，根据电网需求、电价波动、新能源发电预测等因素，自动调整储能系统的充放电功率和时间，参与电力市场交易，实现收益最大化。此外，EMS 还将具备更强的数据分析和故障诊断能力，提前预警潜在问题，保障系统安全可靠运行。

3. 多能联储与混合储能技术推广

多能联储技术应用：将不同形式和来源的能源（如风能、太阳能、水能等）以及储能系统进行有机整合，实现多能互补和协同运行。例如，通过智能控制系统，在风光资源充足时将多余电能存储起来，在风光不足或用电高峰时，与其他能源形式一起供电，提高能源利用效率和系统稳定性，减少对单一能源的依赖。

混合储能技术发展：结合多种不同类型的储能电池（如锂离子电池与超级电容器、铅蓄电池与液流电池等），以及其他储能方式（如压缩空气储能、飞轮储能等），发挥各自优势，弥补单一储能技术的不足。比如在应对短时间高功率需求时，超级电容器可快速放电；而在需要长时间储能时，锂离子电池或液流电池发挥作用，实现储能容量更大化、能量密度和输出功率的增强、精度的提高等，满足多样化的应用场景需求。

4. 系统集成与安全技术提升

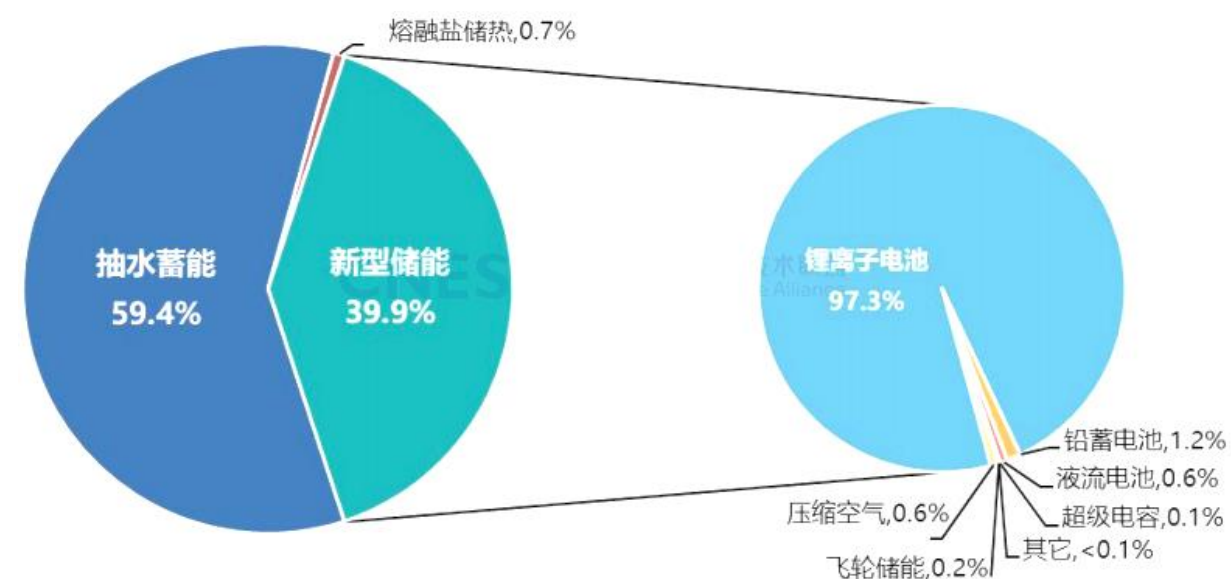
系统集成优化：致力于储能系统的整体优化设计，提高集成度和兼容性。包括对储能设备、电力电子装置、监控保护设备等各组件的优化布局和协同工作进行深入研究，减少系统能量损耗、提高响应速度和可靠性，降低成本。例如采用一体化设计，将电池管理系统（BMS）与储能变流器（PCS）等深度融合，简化系统结构，提高系统性能。

安全技术强化：储能系统的安全性始终是关键问题。未来将加强安全技术研发，如开发更精准可靠的电池安全监测技术，实时监测电池内部状态（如温度、电压、电流等），及时发现过热、过充、过放等异常情况并采取保护措施；采用先进的消防技术和灭火材料，提高储能系统在火灾等紧急情况下的应对能力；制定完善的安全标准和规范，加强系统的安全评估和认证，确保储能系统在各种工况下安全稳定运行。

第四节 电化学储能的应用场景

电化学储能具有响应速度快、能量密度高、无地域限制、项目建设周期短、经济性逐步提高等优点。截至 2023 年底，在全球电力储能累计装机量中新型储能占比高达 31.6%。在中国，新型储能装机占比高达 40%，其中以锂离子电池为主要应用的新能源储能占比已超过 97%。目前电化学储能技术路线不断发展创新，其技术多元化发展趋势明显，新兴技术例如钠离子电池、液流电池将有望成为未来电化学储能的发展方向，但是目前尚处于研究阶段，未开始商业化应用。

图 5：中国电力储能项目累计装机分布



数据来源：中关村储能产业技术联盟

电化学储能三大应用场景为发电侧、电网侧、用户侧。其中发电侧储能是目前主流的储能应用类型，其次为用户侧储能和电网侧储能。

一、发电侧

发电侧储能是指在火电厂、风电场、光伏电站内建设集中式储能电站。在中国，发电侧主要通过解决弃电提高发电收入以及参与调峰辅助服务获取补贴实现经济性，目前主要由政策驱动。

储能在发电侧主要功能包括平抑出力、调频/调压、削峰填谷。其中削峰填谷是储能在发电侧最核心的功能，即在新能源发电高峰时消纳，在新能源发电不足时放电，来平滑发电输出，提高新能源发电的利用率。

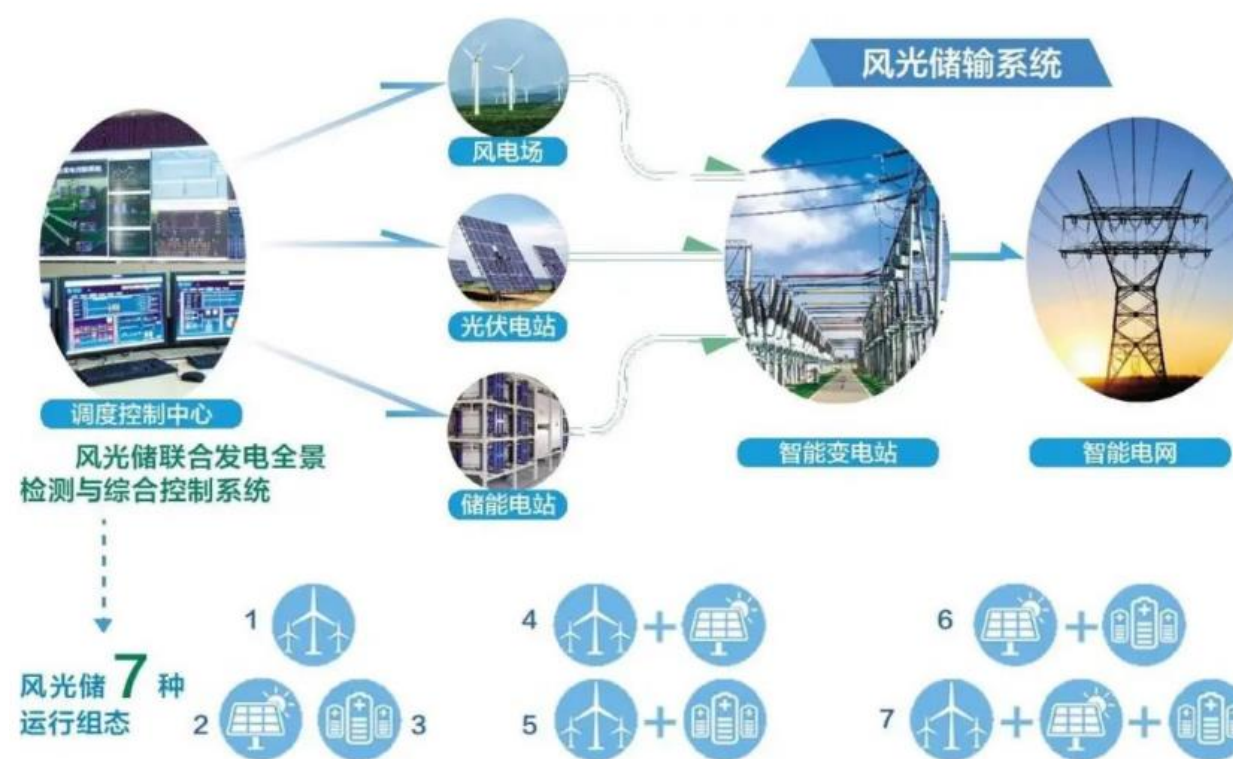
案例实践：张北风光储输示范工程

工程采用世界首创的风力发电、光伏发电、储能系统和智能输电“四位一体”的联合发电技术路线，当风电、光伏发电出力足够时，可将多余的发电出力储存到电池中；风光出力不够时，通过智能全景优化控制系统控制，使得储能系统放出电量。该工程将风电、光伏发电、储能等电源联合接入张北 1000 千伏特高压变电站，所发电能通过 1000 千伏张北—雄安特高压交流输电工程送出。

该工程已建成风力发电装机容量 496 兆瓦、光伏发电装机容量 100 兆瓦、储能容量 32 兆瓦。目前正在筹建 182 兆瓦构网型风光储示范工程，其中风电 136 兆瓦、光伏 14 兆瓦，化学储能 30 兆瓦、飞轮储能 1.2 兆瓦、超级电容储能 1.2 兆瓦。每年可为雄安新区输送 70 亿千瓦时以上的绿色电力，实现雄安新区 100%清洁能源供电。

特点 1：该项目可以提供风光储七种运行组态的联合发电，即风力发电、储能发电、太阳能光伏发电、“风+光”发电、“光+储”发电、“风+储”发电、“风+光+储”发电。通过实时调节风、光、储各单元的运行状态，使联合发电系统能够准确、快速地参与电网调度任务，解决了单一的风力发电、光伏发电难预测、难控制、难调度的技术问题，将不稳定的间歇性、波动性电能变换成接近常规火电的绿色电源，破解了大规模新能源并网的技术瓶颈。

图 6：张北风光储输系统



来源：北极星电力网

特点 2：化学储能技术被运用到风力发电+太阳能光伏发电的联合发电系统中，实现风光储联合运行。在风力发电+太阳能光伏发电的联合发电系统中加入储能技术，在发电量充沛时将电能储存起来，在出力波动时通过智能风光储联合发电全景检测与综合控制系统，进行实时调节、抑制波动、削峰填谷，使

电能平稳输出，该工程示范电站 10 分钟平均波动率低于 5%、而常规风电场 10 分钟平均波动率在 30% 以上，是典型的并网友好型新能源电站。

特点 3：国家风光储输示范工程可以实现黑启动功能。在突然失去外部电网供电的情况下，通过自有大规模电化学储能电站的反向送电功能，由小至大，逐级启动，最终完成整体启动，成为具有黑启动功能的大规模新能源联合发电站。

二、电网侧

电网侧储能是指储能电站与配电网合作，参与电网的调峰、调频等电力辅助服务获取辅助服务补贴实现经济性。电网侧储能主要的应用场景包括独立储能（包括共享储能等）、替代型储能（包括变电站、移动电源车等）。

储能在电网侧的功能以电力辅助服务为主，主要包括调峰、调频、无功调节、电力系统备用和黑启动。其中调峰、调频是主要的辅助手段。

案例实践：青海海西蒙古族藏族自治州弘柳储能电站

该项目在光伏发电产业园区建设分布式储能电站，为电网系统调峰调频和紧急功率支撑等提供保障，有助于促进新能源消纳、缓解电网阻塞、有效改善电能质量和降低电网负荷压力、实现电网稳定运行。

图 7：青海海西蒙古族藏族自治州弘柳储能电站



来源：国际储能网

电站采用户外预制舱式磷酸铁锂电池储能系统，包含 3 个储能区域 69 个储能单元。项目装机容量为 225 兆瓦，是国内一次性投运单体规模最大的电网侧电化学储能电站。

项目采用磷酸铁锂电池，具有工作电压低，能量密度大，循环寿命长，安全性能好，自放电率小，无记忆效应的优点，充放效率较第一代提升 85%。由于海西区当地具备光伏与风电两种资源，项目初期考虑到光伏中午超发，风电夜间超发，因此储能场站每天理想情况下可有 2 次调峰机会。另外，在电网侧线路的上游设置储能装置，当线路出现拥堵时，可以将不能传输的电能储存在储能装置中，当线路负载低于其承载能力时，就可以将其释放出去。在公开竞争的电力市场中，若在发电成本较高的一侧安装储能装置，则可以利用储能装置在低谷时充电，在高峰时释放，有效地减少用电高峰时对其它装置的用电。

该项目每年可调用充放电次数不低于 300 次，预计每年提供清洁能源电量约 2.7 亿千瓦时，能够有效提升区域电力系统调峰能力和电力系统源网荷储协同调度灵活性，提高能源利用效率和电网整体资产利用率。

三、用户侧

电化学储能在用户侧的应用分为户用储能和工商业储能，多数以分布式储能形式存在。

户用是指家用光伏配置储能，通过存储光伏发电为家庭用户提供电力，使光伏发电无法工作的时间段（如夜间或阴雨天）仍能保证电力的自给自足，通过节省用电费用来实现经济性。

工商业指分布式光伏配置储能及独立储能。光伏配置储能的作用为节省工商业企业的用电费用并保证特殊情况下的电力供应；而独立储能则通过峰谷价差套利，以节省企业用电成本实现经济性。工商业储能主要用于工商业企业和数据中心。

用户侧储能主要功能有“削峰填谷”、新能源电力消纳和容量管理，其中“削峰填谷”是用户侧最主要的商业模式，既用来套利也可用来存储电能。对于一般工商业用户而言，通常利用储能在电价便宜的时候充电，在电价贵的时候放电，来达到降低度电成本的效果；对于 5G 基站、数据中心这类用户而言，电能断供将会带来巨大损失，所以储能更多的是充当备用电源的角色。

随着储能电池市场的快速发展，电化学储能有望在用户侧场景应用更加丰富多元，为行业发展带来持续动力。

用户侧储能应用场景：

1. 新能源汽车+储能

储能技术在新能源汽车领域的应用非常重要，因为它可以解决新能源汽车所面临的一些痛点问题，包括车辆补能、充电时长、电池续航里程问题。目前，储能技术在新能源汽车领域的具体应用在于车载电池和换电站方面，电池包括锂离子电池储能、液流电池储能、钠离子电池储能；在充电桩领域有储能充电桩。

- 锂离子电池是电动汽车的主要储能技术，目前广泛应用为车载动力电池和充换电站。它能够在短时间内储存大量的电能，具有能量密度高、寿命长和较低的自放电率的特点。
- 液流电池储能：液流电池是一种新型的储能技术，其通过电解液来储存电能。是未来电化学储能的发展方向之一。它具有功率密度高、可扩展性和低成本等优点。在新能源汽车中，液流电池通常用于平衡电池组的能量分布，从而提高电池组的整体性能。目前还没有商业化应用。
- 钠离子电池储能：钠离子电池作为一种新型的电化学储能技术备受关注。与传统的锂离子电池相比，钠离子电池具有高能量密度、高功率密度、长循环寿命、低成本等特点。目前还没有商业化应用。

光储充一体化充电站

图 8：光储充一体化充电站



来源：腾讯网

光储充电站内集光伏发电、大容量储能电池、智能充电桩等多项技术为一体。通过储能技术，将一定量的能量存储在充电器内，在用电高峰时为车辆或家庭提供电力。当电池电量相对充足时，充电器能够将额外的能量售回电网，为充电点运营商创造额外收益。随着对快速电动汽车充电基础设施的新需求，储能充电桩是电网升级的替代方案，有助于平滑电网峰谷负载。

案例实践：智充科技联合比亚迪推出“NET ZERO 净零系列”多功能储能充系列产品

采用比亚迪高性能弗迪电池作为储能装置，将超快充和智慧储能系统集成起来。产品延续了数字能源网络的理念，增加支持绿电接入和智能微网系统。搭配新研发的 X Charge SaaS 架构，净零系列储能一体机可在最大模式 / 经济模式 / 用户自定义模式 / 能量存储模式 / 动力电池与电网的能量交互模式 5 种模式之间切换，优化能耗，降低用电成本，最大节省近一半投资周期。净零系列是充电桩与新型储能的有机结合，不仅能削峰填谷维护电网体系的运行效率，还实现了“停电也能充电”的突破，让更多电网稳定条件较差的地区实现充电可能。

2. 数据中心+储能

数据中心是为集中放置的电子信息技术提供运行环境的建筑场所，其作为算力基础设施的重要组成部分，是支撑 5G、人工智能、云计算等新一代数字技术发展的数据中枢和算力载体，对数字经济增长起到重要助推作用。储能技术在数据中心的应用主要是为了应对数据中心的能源需求、提高能源利用效率、保障数据中心的稳定运行。目前铅酸蓄电池以其材料普遍、价格低廉、性能稳定、安全可靠等特点，是数据中心储能电池的主要应用形式。

储能技术在数据中心的优势包括：

- 降低能耗成本：数据中心的能耗成本非常高，而储能系统可以在低电价时段进行充电，在高电价时段进行放电，降低数据中心的能耗成本。
- 改善能源结构：数据中心通常依赖于传统的化石能源，而储能系统可以结合新能源（如太阳能、风能等）进行使用，改善数据中心的能源结构，降低对传统能源的依赖。
- 提高应急响应能力：在自然灾害等突发事件发生时，储能系统可以为数据中心提供紧急备用电力，提高数据中心的应急响应能力。

案例实践：“全国一体化算力网络”和林格尔数据中心集群绿色能源供给示范项目

图 9：林格尔数据中心集群



来源：澎湃新闻

应用模式：和林格尔数据中心集群绿色能源供给示范项目入选了“算力与绿色电力一体化融合”全国案例，该项目采用了一种创新的绿色能源供给模式，该模式旨在通过高效利用可再生能源，实现数据中心的高效、绿色运行。这一模式的核心在于将算力与绿色电力一体化融合，通过新能源发电以及电网配套设施的建设，实现绿色供电。

项目以新能源发电以及电网配套设施为主，其中绿色供电项目总容量 36 万千瓦，风电装机容量为 30 万千瓦，光伏装机容量为 6 万千瓦，配建 6.5 万千瓦/26 万千瓦时的储能系统，以确保电力供应的稳定性和可靠性。绿电直供中国移动、中国电信、并行科技等负荷侧用户数据中心，共计 23 万千瓦负荷。

利用内蒙古丰富的风能、太阳能再生资源，通过“风—光—储”一体化项目，将风能通过风力发电机转化为电能，将太阳能通过太阳能电池板转化为电能，利用储能技术在风能和太阳能不足时提供稳定的电力供应，保证系统的连续运行，并有效解决风能和太阳能发电的间歇性和波动性问题，提高能源利用效率，为和林格尔新区内 4 家数据中心用户提供绿色电力。

案例实践：合盈数据（怀来）科技产业园“源网荷储”一体化项目

合盈数据中心采用“新型算力基础设施+绿色能源”模式，通过实施“源网荷储”一体化项目，实现绿电就地消纳，负荷就地用能，建设 100%使用可再生能源电力的绿色数据中心。在规划之初就全面采用风电、光电、水电绿色能源供给，是数字经济和双碳战略背景下数据中心绿色化、集约化发展的代表。

新能源与数据中心项目完全投产以后，一年可发绿电 130 亿度，满足数据中心每年的用电需求，可以达成“投产即零碳”以及 100%绿电供应。

实施“源网荷储”一体化项目，实现绿电就地消纳。“源”是指在张家口地区，部署 5.53W 的风能、光伏新能源发电项目，项目并网发电后，平均每年可提供绿色电力 4.7 亿度；“网”是通过当地成熟的电网设施及自建园区变电站来实现绿电供应；“荷”是怀来地区内部署的大规模数据中心集群，现已有一些头部的互联网客户开服并且快速扩展业务，实现了能源的本地消纳；“储”是利用当地高位水库进行储能，抽水蓄能电站可通过电网调度，在用电低谷时利用富余的风电、光伏电能把水抽到山上，在用电高峰时放水发电，是最为经济可靠的调节电源和储能电源。同时也在不断探索电化学储能、氢储能等先进的储能技术，以保证新能源电力的稳定供应。

3. 零碳智慧园区+储能

传统工业园区中设备较多，具有用电功率大、长时间高负荷、设备能耗大等特点。为达到减碳目标，智慧园区中可再生能源被大量使用，但由于其不稳定性，会导致供电不足或过剩的情况，这时就需要储能系统来调节供需电平。

在“智慧园区+储能”模式下，储能系统可以收集太阳能、风能等多余的电力，然后在主要用电时间供应到电网。这样不仅能够稳定电网，储能系统可以在紧急情况下向电网提供备用电力来保证园区的正常运转。且我国工业园区有较高的电价差，适用于储能项目的峰谷套利。

案例实践：江苏溧阳零碳智慧园区

园区通过建设全省规模最大的微电网、工商业新型储能系统、光储充检一体化充电站等应用场景，串联起了丰富的城市场景和工业场景，助力低碳减排、提高能效。

智慧能源网共规划铺设光伏面积超 720 万平方米，装机总量超 560 兆瓦，通过“光伏+”和“储能+”等场景应用，每年生产绿电超 5.6 亿度，年均减少碳排放量超 45 万吨，实现光伏发电 100%就地消纳，绿电占比超 40%，微网内用户能源成本下降 20%。

图 10: 江苏溧阳零碳智慧园区



来源: 网易

在储能应用方面,以“聚焦用户侧,供用能一体化”设计理念,因地制宜,利用屋顶、车棚、球场进行分布式光伏改造,建设“光储充检”一体化场站,打造“自发自用、余电上网”的智慧能源微网应用场景,为微电网提供稳定的能源供应。“光储充检”,即为“光伏+储能+充电+检测”,由分布式光伏、大容量储能电池、智能充电桩等设施组成。它采用白天光伏发电,储能吸收光伏转换电力或谷电的方式,既可以在用电高峰进行动态增容,避免变压器超容,也可通过削峰填谷与电网需求侧相应,提高电能质量、提升场站收益,还能实现并网、离网两种不同运行模式,有效缓解充电桩大电流充电时对区域电网的冲击。

储能充电桩不仅可以用于新能源车充电,还可以将新能源车的动力电池变为储能设备,实现新能源发电消纳以及办公场所应急用电。

4. 港口+储能

在港口码头部署储能系统,与岸电系统相结合,形成智能化的港口岸电系统。当船舶靠港时,储能系统可以迅速响应,为船舶提供稳定的电力供应。在船舶离港或电网电价低谷时段,储能系统则充电储存电能,以备下次使用。这种应用模式不仅减少了船舶辅机发电带来的噪音和污染,还降低了船舶的运营成本,提升了港口的环保形象。

案例实践:浙江省首个低碳码头示范工程——宁波舟山港“绿电码头”

图 11: 宁波舟山港“绿电码头”



来源: 搜狐

通过集成和应用风电、光伏发电、储能系统等可再生能源技术,建设风光储一体化项目,依托智能能源管理系统,实现清洁能源在港口码头的高效利用和优化配置,实现港口的绿色、低碳、可持续发展。

项目风电与光伏年发电量约 5917 万千瓦时,轻松满足港区岸电以及智能换电站等设备的用电需求。利用风机、光伏板将港口的自然风光转变成电能,为船舶、集卡、龙门吊等提供动力,用不完的绿色电能将汇聚到储能设备里,以备港口用电高峰期时使用,多余的电能则并入国家电网。该项目优化了港口能源供给结构,提高风电、光伏等绿色清洁能源使用比例,为全国提供了一个可推广、可复制的“低碳”港口建设标志性工程及典型能源低碳解决方案。



第二章 电化学储能行业的ESG发展

第一节 电化学储能的相关政策

表 3：国际电化学储能的政策

区域	国家	政策	具体内容
美洲	美国	美国各州和联邦政府推出了一系列支持电化学储能发展的政策，包括税收减免、补贴、研发资金支持等。	<p>联邦投资税收抵免 (ITC)：联邦投资税收抵免 (ITC) 允许光伏储能系统的所有者在安装后的税收年度内，申请高达 30% 的税收抵免。这一政策大幅降低了系统初期投资成本，促进了光伏储能技术的普及。虽然抵免比例在未来几年内将逐步减少，但 ITC 仍是推动市场增长的重要因素。</p> <p>净计量政策：净计量政策允许光伏系统用户将多余电力回馈电网，并根据电力生产量获得抵扣。这项政策鼓励用户安装光伏储能系统，通过储存和回馈电力来降低电费。各州的净计量政策有所不同，但普遍支持了光伏储能系统的经济性。</p> <p>绿色能源标准和可再生能源配额：绿色能源标准和可再生能源配额要求公共事业公司提高可再生能源使用比例，推动光伏储能项目的发展。这些政策促使公司投资储能系统，以满足州政府的能源目标，从而推动市场扩展和技术进步。</p>
欧洲	欧盟及其成员国	关于电化学储能的战略规划、资金支持计划等	<p>欧盟通过“Fit for 55”计划和 REPowerEU 计划，明确了可再生能源发展目标，如到 2030 年可再生能源发电量占比提升至 45%，并提出对某些屋顶强制安装光伏的规定，这些措施直接促进了储能装机需求的提升。欧洲各国如希腊和意大利也制定了具体的储能安装目标，预示着储能市场将迎来显著增长。</p> <p>储能产业链本土化政策：为了减少对外部依赖，欧洲推行了一系列本土化措施。欧洲电池联盟(EBA)和欧盟委员会通过《绿色协议产业计划》等，提出加速本土电池产业链建设，目标是到 2025 年和 2030 年，本地制造能满足当地电池需求的 69%和 89%。同时，欧盟还推出多项法规和基金支持，如“创新基金”、“净零工业法案”和“欧洲关键原材料法案”，以保障原材料供应、提升本土制造能力，并鼓励技术创新。</p> <p>财税支持政策：欧洲各国采取了多样化的财税优惠政策以促进储能技术的应用。德国免除了屋顶光伏系统的所得税和户用光储系统的增值税，英国则通过拨款支持创新性长时储能项目，这些措施降低了用户的成本负担，提升了储能系统的经济性。</p> <p>市场规则政策：欧洲各国在市场规则上也进行了调整，如德国通过法律修正案明确储能系统的法律地位，简化注册流程;英国取消了电池储能项目的容量限制，提升了项目部署效率，并不断丰富储能参与电力市场的服务品种，为储能技术提供了更多参与机会和盈利途径。</p>
亚洲	日本	电化学储能相关政策	<p>再生能源促进法案与储能激励：日本政府在《再生能源促进法案》下，对二次电池储能系统提供了多项激励措施，以推动可再生能源的广泛使用。该法案包括对安装储能系统的住宅和企业提供补贴，尤其是在与太阳能和风能结合使用的情况下。这些补贴降低了储能系统的初始投资成本，鼓励更多消费者采用储能技术。此外，政府还设立了电价优惠机制，对于将多余电力回馈至电网的用户，提供额外的经济补偿。</p> <p>智能电网与储能技术融合：日本政府致力于推动智能电网的发展，将二次电池储能（电化学储能）技术与智能电网系统相结合，以优化能源分配和管理。政府推出了一系列政策，支持智能电网的建设与应用，包括提供资金支持和技术指导，促使电力公司和私人企业加快智能电网与储能技术的整合。通过这种融合，储能系统不仅可以平衡电力供需，还能够提高电网的稳定性和可靠性，减少电力浪费。</p> <p>灾害应对与社区储能支持：鉴于日本地震、台风等自然灾害频发，政府特别制定了社区储能支持政策，重点在于提升灾害应对能力。政策鼓励地方政府在社区范围内部署二次电池储能系统，以保障在电力中断时仍能维持关键设施的运行。政府提供专项资金支持这些社区项目，并推动与本地能源供应商的合作，确保储能系统在紧急情况下的高效运作。</p> <p>全国电网储能一体化计划：日本政府制定了全国电网储能一体化计划，旨在通过二次电池储能技术来增强电网的灵活性和稳定性。政策包括对储能技术研发的资金支持，以及对电网公司部署储能系统的激励措施。这一计划的核心是通过储能系统平衡峰谷负荷，减少电力浪费，同时提高电网应对波动性可再生能源输入的能力。</p>

表 4：国内电化学储能的政策

发布日期	发布单位	政策名称	主要内容
2023 年 6 月	国家能源局	《新型电力系统发展蓝皮书》	新型电力系统是以确保能源电力安全为基本前提，以满足经济社会高质量发展的电力需求为首要目标，以高比例新能源供给消纳体系建设为主线任务的新型电力系统。这一系统强调源网荷储多向协同、灵活互动，以坚强、智能、柔性电网为枢纽平台，以技术创新和体制机制创新为基础保障。
2023 年 8 月	工信部等四部门	《新产业标准化领航工程实施方案（2023-2035 年）》	聚焦锂离子电池领域（电化学储能） ，研制电池碳足迹、溯源管理等基础通用标准，正负极材料、保护器件等关键原材料及零部件标准，以及回收利用标准。面向 钠离子电池（电化学储能） 、氨储能/氨燃料电池、 固态电池（电化学储能） 等新型储能技术发展趋势，加快研究术语定义、运辅安全等基础通用标准，便携式、小型动力、储能等电池产品（电化学储能）标准。
2023 年 11 月	国家能源局综合司	《关于加强发电侧电网侧电化学储能电站安全运行风险监测的通知》等文件	对新型储能规划设计、施工验收等全过程提出安全管理要求。 1. 增强基础台账管理能力。电力企业应利用信息化技术建立电化学储能电站基础台账管理体系，保存本企业投资、运维的电化学储能电站建设基础台账信息，包括业主单位、建设单位、设计单位、施工单位、建设规模、设计方案、接入系统方案，及其主要设备选型、关键参数等，实现基础台账全面信息化管理。 2. 增强运行风险监测及分析预警能力。电力企业应对本企业投资、运维的电化学储能电站电池组、电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）、储能变流器（PCS）、消防系统、网络安全、运行环境以及其他重要电气设备运行安全状态实施监测和管理，定期分析安全运行情况，强化运行风险预警与应急处置，对存在安全隐患的设备及系统，应能够及时预警并采取有效措施消除隐患。各电力企业应于 2024 年 12 月 31 日前完成本企业监测能力建设，2025 年以后新建及存量电化学储能电站应全部纳入监测范围。 3. 增强防范运行风险能力。电力企业应根据电化学储能电站运行风险监测信息，综合评估电站安全运行状况，制定落实相应风险控制方案，推动运行风险常态化管控。应组织评估风险控制方案的实施效果，督促检查电站风险防控措施落实情况，保障各项运行风险有效管控。
2024 年 2 月	国家发展改革委，国家能源局	《关于加强电网调峰储能和智能化调度能力建设的指导意见》	到 2027 年，基本建成保障新型储能市场化发展的政策体系。 到 2027 年，电力系统调节能力显著提升，抽水蓄能电站投运规模达到 8000 万千瓦以上，需求侧响应能力达到最大负荷的 5%以上，保障新型储能市场化发展的政策体系基本建成，适应新型电力系统的智能化调度体系逐步形成，支撑全国新能源发电量占比达到 20%以上、新能源利用率保持在合理水平，保障电力供需平衡和系统安全稳定运行。
2024 年 3 月	国务院	《政府工作报告》	新型储能首次被写入《政府工作报告》。 积极稳妥推进碳达峰碳中和。扎实开展“碳达峰十大行动”。提升碳排放统计核算核查能力，建立碳足迹管理体系，扩大全国碳市场行业覆盖范围。深入推进能源革命，控制化石能源消费，加快建设新型能源体系。加强大型风电光伏基地和外送通道建设，推动分布式能源开发利用，提高电网对清洁能源的接纳、配置和调控能力，发展新型储能，促进绿电使用和国际互认，发挥煤炭、煤电兜底作用，确保经济社会发展用能需求。
2024 年 4 月	国家能源局	《关于促进新型储能并网和调度运用的通知》	规范新型储能并网接入管理，优化调度运行机制，有助于充分发挥新型储能作用，支撑构建新型电力系统。 明确接受电力系统调度新型储能范围。接入电力系统并签订调度协议的新型储能，可分为调度调用新型储能和电站自用新型储能两类。 - 调度调用新型储能：具备独立计量装置，并且按照市场出清结果或电力调度机构指令运行的新型储能，包括独立储能电站、具备条件独立运行的新能源配建储能等； - 电站自用新型储能：与发电企业、用户等联合运行，由发电企业、用户等根据自身需求进行控制的新型储能，包括未独立运行的新能源配建储能、火电联合调频储能、具备接受调度指令能力的用户侧储能等。
2024 年 7 月	国家发展改革委、国家能源局、国家数据局	《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》	探索应用一批新型储能技术。 围绕不同应用场景对爬坡速率、容量、长时间尺度调节及经济性、安全性的需求，探索建设一批液流电池、飞轮、压缩空气储能、重力储能、二氧化碳储能、液态空气储能、钠离子电池（电化学储能）、铅炭电池（电化学储能）等多种技术路线的储能电站。通过合理的政策机制，引导新型储能电站的市场化投资运营。
2024 年 8 月	国家发展改革委办公厅、国家能源	《能源重点领域大规模设备更新实施方案》	建立健全充电基础设施、新型储能、氢能、电力装备等领域标准体系 ，加强能源行业标准供给和升级，提高设备效率和可靠性。

除了国家层面颁布的政策，各省份也纷纷发布促进新型储能发展的政策，包括财政补贴、税收优惠、融资支持等激励措施。例如，浙江省、山东省、河南省、江苏省、广东省等省份均推出了具体的支持政策。

以浙江省为例，分别从省级和地市级的层面发布相关政策。

省级政策及规划：浙江省发改委、浙江省能源局等政府部门发布了多项关于新型储能的政策文件，如《关于浙江省加快新型储能示范应用的实施意见》、《浙江省能源发展“十四五”规划》、《浙江省“十四五”新型储能发展规划》等，这些文件为电化学储能的发展提供了宏观指导和政策支持。

地市级政策：浙江省内各地市也根据本地实际情况，制定了相应的储能政策和规划，如杭州市的《碳达峰碳中和背景下杭州新能源（储能）发展战略规划（征求意见稿）》、萧山区的《杭州市萧山区电力保供三年行动方案（2022-2024）》等，这些政策更加具体地指导了当地电化学储能的发展。

◆ **浙江省政府：《浙江省“十四五”新型储能发展规划》**

- 建设目标：“十四五”期间建成新型储能装机规模 300 万千瓦左右。此外，浙江省还发布了具体的储能建设计划，如 2024 年度新型储能建设计划总计 19 个项目，规模为 1470MW/2866MWh。
- 补贴政策：浙江省对新型储能项目给予了一定的补贴支持。例如，电网侧储能项目按 200 元、180 元、170 元/千瓦·年退坡给予容量补偿；杭州市萧山区对建成年利用小时数不低于 600 小时的区统调储能项目，按储能功率 300 元/千瓦给予投资经营主体一次性补贴；杭州市萧山经济技术开发区管委会对企业自建储能项目，按储能功率 200 元/千瓦给予资助，单个企业最高不超过 50 万元。

◆ **浙江省能源局：《浙江省用户侧电化学储能技术导则》**

- 技术导则：提出了用户侧电化学储能在建设条件与容量确定、并网、储能系统、监控系统、保护通信与控制、电能计量、防雷与接地、验收与调试、消防与安全、运行维护及退役、应急处置等方面的技术要求。

◆ **浙江省能源局：《浙江省新型储能项目管理办法（试行）》和《用户侧储能建设导则》**

- 管理规范：出台了针对储能建设、运营的管理规范以促进行业的健康发展。

第二节 电化学储能的 ESG 核心议题

议题 1：产品质量与安全

电化学储能以锂电池为典型代表，而锂电池最大的安全事故莫过于火灾。一方面，储能行业正处在快速发展阶段，随着储能技术与产业的快速发展，储能系统的复杂性不断增加；另一方面，随着大容量电芯、大容量系统不断迭代以及新的应用场景出现，新的安全风险越来越需要被重视。

近年来储能电厂由于锂电起火的事件频发，因难以扑灭，导致影响深远，不仅社会普遍关注，政府部门在政策方面也向消费安全倾斜。因此储能电池的安全极其重要，这是储能行业中最核心的实质性议题。行业中诸多公司在实质性议题排序时，将此项目列为最优先级，比如宁德时代，阳光电源等。

应对火灾不仅仅要做到储能电池不易着火，还需要储能电站运营管理上做出周密的防火流程。电化学储能站的火灾事故危害大，会引发连锁式的爆炸和复燃，同时产生毒性气体。因此，做好全生命周期的系统安全保障在业界已经形成共识。

表 5：不同类型电化学储能电池的安全性特点

电池类型	安全性特点
锂离子电池	热失控是主要的安全隐患。过充电、短路、挤压等可能导致起火或爆炸。 不同类型的锂离子电池有各自安全性特点： - 磷酸铁锂（LFP）：具有高热稳定性和长循环寿命，安全性较高。 - 锰酸锂（LMO）：在安全性上优于钴酸锂，但容量逊于三元锂电池。 - 钴酸锂（LCO）：能量密度高，但安全性相对较低。 - 三元锂电池（NCM/NCA）：包括镍钴锰酸锂（NCM）和镍钴铝酸锂（NCA），能量密度高，但存在过热和燃烧风险。
钠离子电池	内阻较大，短路时瞬时发热量少，温升较低，短路情况下相对更安全。 电解液稳定性较好。无过放电情况，长期储存和长途运输优势显著。
铅蓄电池	采用密封设计，防止泄漏和燃烧。相比锂电池，在意外冲撞造成结构破坏时更安全。在高温环境下存在安全隐患。
液流电池	储能介质为水溶液，没有爆炸或着火的风险。正极和负极以电解质溶液形式储存于外部储罐中，安全性更好。
钠硫电池	使用液态钠，遇水有爆炸危险。热稳定性差，容易发生破裂，导致严重安全事故。

2011 年 9 月，在日本茨城县的三菱材料筑波制作所内，一组钠硫电池（由日本 NGK 制造）发生火灾。火势持续长达两周。事故当天，日本 NGK 成立了调查委员会，并宣布将暂停钠硫电池的生产。

由于钠硫电池的结构和工作原理，存在以下两大安全风险。首先，由于其中含有钠，因此在发生火灾时不能用水扑灭，必须采取沙子覆盖等方法，这要求设置单位和消防机构采取特殊措施。其次，由于钠硫电池的工作温度需在 300°C-350°C 之间，一旦出现火灾，火势很容易蔓延至周围的其他电池单元，控制火势需要大量时间。

据日本 NGK 介绍，事故中涉及的钠硫电池中有一个“不合格”的电池单元，其破损导致高温熔融物（液态钠和硫）从内部泄漏。每个电池模块分为四个区块，区块之间设有防止短路和火势蔓延的砂层。然而，这次泄漏物越过了砂层，并导致相邻区块之间发生了短路。虽然各区块内部设有用于防止大电流流过的保险丝，但相邻区块之间却没有设置保险丝。

由于区块间发生了短路，随着大电流的不断通过，模块内部开始升温，导致更多电池单元损坏。这一过程使得火势蔓延到整个模块，扩散至相邻模块。

在火灾事故发生后，日本 NGK 采取了一系列措施，包括在相邻区块间设置保险丝，以减少短路引发大电流连续流过的可能性；在区块之间设置防短路板，以防止熔融物流出导致短路；在模块之间设置防火势蔓延板，以阻止火势传播。

案例：欣旺达——稳抓产品质量，数智助力生产

欣旺达高度重视储能质量和安全，为实现产品质量全生命周期管理，积极布局数智化，研发链、供应链、生产链实现数智共享，为消费者提供安全、高品质的储能产品，巩固公司在储能市场的地位。

公司各主要业务板块的产品合格率均接近 100%，且未发生任何因质量原因导致的产品召回事件，亦未发生影响消费者生命安全的产品事件。公司作为新能源行业首家企业通过智能制造成熟度四级评审获得国家工信部“数字领航企业”荣誉称号。

1. 数智化助力全产业链质量信息化管理

欣旺达依托“互联网+物联网+大数据+云计算+AR/VR+AI+数字孪生+区块链”八大核心技术，结合欣旺达自身特点和多年应用实践，构建特色数字化价值链体系，形成以智能生产链、智能研发链和智能供应链三维一体的端到端体系，助力公司打造全流程管理的高品质产品。

研发链-PLM 系统帮助公司提高产品开发效率、优化产品设计质量、降低产品开发成本、加强内部协同、改善客户满意度、支持数据分析和决策。完成工艺管理模块开发及应用，实现研发工艺一体化管理。

供应链-实现计划-现场-物流-质量-设备-资源等要素的全面集成和协同管控，“人-机-料-法-环”互联互通，产品全流程可追溯。

生产链-通过构建供应链一体化平台，实现外部上下游协同，及时获取客户订单预测信息，并将供应商物料需求准确传递给供应商；内部协同则通过供应链中枢系统将需求计划转化为生产计划、物料计划及要货计划。基于区块链平台自主研发的点链产业互联网平台，实现关键部件供应商生产、物流、库存、采购订单的信息协同。

2. 流程建设

公司已建立完整成熟的管理制度和流程，并通过三率（完整率、完善率、遵从率）日常管理机制，对各类流程进行分析，结合业务痛点，输出关键改进举措。在现场落实上，建立专项稽查组织，进行现场专项稽查，标准轮读活动，提升对标准和流程的遵从度和现场管理能力。为提高质量管理效率，规范各质量管理标准，公司自主研发了质量管理体系（QMS），实现全生命周期的质量数据记录、统计、分析与追溯。

3. 制度保障

公司建立系统的质量管理体系，在物料采购、产品设计与开发、产品生产及售后服务等全流程严格遵守，致力于以产品零缺陷的目标，为客户提供卓越产品。公司依据《质量&HSF 手册》《内部审核管理规定》等制度，每年对质量管理体系进行全面内审，及时发现问题并采取措施，以确保体系的有效性。公司质量管理体系持续通过第三方体系认证，已取得 ISO9001 质量管理体系、IECQC080000 有害物质管理体系、IATF16949 汽车行业质量管理体系及德国汽车工业协会质量管理体系认证。

议题 2：可持续/负责任供应链

电池在应对气候变化、实现全球能源转型方面发挥关键作用。从全球范围看，为鼓励和支持本国新能源产业发展，美国、欧盟、日本、韩国以及东南亚、印度、中东等新兴市场均开始制定或出台相关产业政策，积极参与全球锂电池产业竞争。中国在 3060 双碳目标、新发展理念、新质生产力等要求下，供应链的健康稳定成为锂电池企业实现可持续发展的关键议题。

在可持续/负责任供应链方面，矿物的开采利用尤为重要。一方面，电池涉及到关键矿物的开采利用，包括锂、钴、镍、锰、钒等，需要考虑自然资源可持续利用；另一方面，矿产开采、运输、加工、生产等产业链上，劳工权益保障是重要的社会范畴问题。

例如，常见的锂电池正极材料包括锂钴氧化物（如 LiCoO_2 ），这类矿产主要集中在刚果金，由于刚果金政治不稳定，战乱不断。储能企业需要对供应链进行严格审查，避免因购买刚果金的矿产间接支持战争。比如苹果手机的血钻事件，不仅对声誉造成影响，而且股价也被波及。

案例实践：亿纬锂能——构建可持续供应链

亿纬锂能致力于将可持续发展价值观、实践经验传递给供应链合作伙伴，携手打造负责任供应链生态，共筑绿色高水平锂电产业链。

1. 加强供应链社会环境风险管理，打造稳定供应链

亿纬锂能构建了完善的供应链管理体系，制定了《供应商管理程序》《战略供应链管理程序》《采购控制程序》《供应商业绩评价管理规定》《供应商审核及辅导管理规定》《供应链可持续发展管理规定》等管理制度。公司严格把控供应源搜寻、供应商筛选、供应商准入认证、定点、绩效评价及淘汰等全流程，致力于持续提升供应链的管理绩效，同时全力保障供应商的合法权益，打造公开透明的采购环境。

严格执行新供应商准入流程：

- 潜在供应商调查：通过行业内应用及网络或其它信息等渠道收集供应源，公司对目标供应商的基本信息、质量体系认证、技术信息、财务信息、品质管控信息、知识产权，土地证、房产证或租赁合同等进行调查。
- 潜在供应商审核：为了加强符合性和风险管理，应优先考虑获得有害物质过程管理体系（IECQ HSPM）认证的供应商，同时对供应商进行《供应商环境有害物质风险评价》。
- 协议的签署：在与供应商正式合作前，供应链管理中心应与供应商完成相关协议的签署，包括：《商务合作协议》《质量保证协议》《供应商廉洁承诺书》《保密协议》《合作伙伴贸易安全履行承诺书》《社会责任、职业健康安全、环境保护和商业道德要求告知书》《环境有害物质不使用承诺书》。

为形成更稳定有力的商业合作关系，公司利用自身资源和行业经验，赋能各合作伙伴。公司定期为全体供应商或被识别为高风险的供应商开展质量改善培训，包括每年 1 次的质量工具使用培训及每年 2 次的环保管理培训。

2. 负责任采购、负责任矿产尽责管理

亿纬锂能十分重视供应链的环境和社会风险管理，将环保、社会责任等供应商可持续发展要求融入公司的供应链管理制度，携手广大合作伙伴构建负责任、可持续的产品价值链。

公司制定《负责任矿产供应链管理程序》，对于原材料中含有金、钽、钨、钴、锡、锰、锂、镍、石墨、云母等品类金属或矿物的供应商，公司与其签署《负责任矿产供应链尽职管理协议》，并对其开展负责任矿产尽职调查。同时，公司与供应商签订《供应商行为准则》，明确要求供应商应制定清晰的政策或建立完善的流程，以避免故意购买冲突矿产，并采取合理的措施确保其生产的产品中所含的锡、钽、钨、金和钴等金属不得直接或间接资助或惠及严重侵犯人权行为的武装团体。公司还要求供应商对这些矿物的来源和产销监管链进行深入的尽职调查，并提供必要的尽职调查信息。

公司按照“五步法”进行负责任矿产尽职管理，并规定了选择负责任矿产供应商应该满足的条件，对新增含锡、钽、钨、金、钴材料的供应商进行负责任矿产供应商调查。

图 7：亿纬锂能负责任矿产尽责管理流程



来源：亿纬锂能 2023 年度可持续发展报告

亿纬锂能 2023 年共计完成 231 家供应商的年度审核评价（包含环境、社会影响评估）。公司原材料本地化供应商占比为 21.6%，有效降低物料供应风险，支持当地经济发展。

议题 3: 污染物管理

电池的生产阶段、使用阶段和回收阶段都面临环境保护的问题。

- 生产阶段会产生多种废弃物，正极/负极材料在加工过程会产生粉尘和边角料，暴露在空气中会污染空气，边角料对土壤有腐蚀作用。生产电解液的过程中，存在电解液泄露的风险，对空气、水、土地都会造成不同程度的污染。
- 使用阶段如果电池发生故障（如热失控、短路等），可能会导致电池内部的电解液泄漏，电池老化后需要退役，电池中含有重金属，需要按照标准流程进行存放，否则会环境造成危害。
- 电池回收阶段会面临拆解电池，重新提炼锂元素，这里也有电解液泄露的风险。

案例实践：宁德时代的污染与废弃物管理

宁德时代从管理制度，以及废水、废气、废物治理等四个维度应对污染与废弃物。

- 针对生产经营过程中产生的废水、废气、厂界噪声、固体废弃物的治理，公司不断优化原有的管理程序。例如 2023 年对《废水排放控制管理程序》《废气排放控制管理程序》《固体废物污染控制管理程序》等 7 项内部环境管理制度文件进行修订，细化管理要求，确保环保设施正常运行，各项污染物满足排放限值和处置要求。根据相关法规要求，公司制定涵盖废水、废气、厂界噪声等项目的自行监测方案，并按要求开展自行监测，监测结果均满足相关要求。
- 废水治理：工业污水有工厂界内污水处理系统和市政污水处理厂处理达标后排放。对工业污水进行分类，不同类别污水单独设计治理工艺，治理设备选型，对治理后的污水进行标准化检验，确保达到排污标准。目前已在在宜春时代、时代长安、贵州时代、厦门时代落地。为了更高效的监测污染源，公司持续推动自动监测设备的升级改造和规范运行，并制定了《污染物在线监测装置运行工作指示》规范污染物在线监测系统的建设、验收以及日常维护。在龙岩思康等基地开展污水排放口化学需氧量（COD）、氨氮（NH₃-N）在线监测设备升级，进一步提高水质监测精度，确保废水达标排放。

- 废气治理：对生产设备进行升级，比如使用低氮燃烧锅炉实现锅炉 NO_x 排放浓度小于等于 50mg/m³。升级废气治理设备，针对电解液废气针对电解液废气，在宁德时代、江苏时代、宜春时代等 6 个分子公司基地导入蓄热式热氧化装置（RTO）处理系统，并增加备用炉升级为 RTO+系统，有效提高系统运行稳定性，实现挥发性有机物（VOCs）治理效率从 80%提升至 95%以上。同时，公司关注氟化物等特定气体的逸散排放，针对所有基地高压开关设备的六氟化硫（SF₆）气体设置低压报警装置，实现气体逸散的早发现、早处理。通过一系列措施，应对“到 2025 年，单位产能氮氧化物（NO_x）排放量较 2021 年减少 10%”的减量目标。
- 废弃物治理：在宁德时代、江苏时代、蕉城时代、瑞庆时代等 9 个基地或区域推行废弃胶水包装桶处置流程优化，通过改进来料包装及现场操作程序，确保废胶桶中无残余胶水，保证废胶桶不具有危险特性，将其从危险废物转变为一般工业固体废物，有效降低危险废物产生量。此外，公司建立固体废物处置商准入审核和监督性审核机制。

议题 4: 电池循环经济

电池生产环节以及电池生产过程中，锂、钴等原材料的提取和精炼伴随着较高的碳排放。国务院以及国家发改委、工信部、生态环境部等部委多次发文提出要加强废旧动力电池的循环利用，推动新能源汽车动力电池回收利用体系的建设。在此背景下，越来越多的电池企业开始探索循环经济的发展模式。可以通过研发绿色低碳材料、绿色环保包装、电池回收再利用等形式，来实现可持续循环利用。

案例实践：亿纬锂能——循环经济解决方案

为实现电池全生命周期低碳管理，亿纬锂能研发了低碳环保的废旧锂电池回收利用技术，构建构建起“废旧锂电池—化学材料—电池材料—锂电池”的循环经济绿色供应链，实现动力电池低碳排放达标，完善动力蓄电池的回收体系。此外亿纬锂能建设的 1.8 万吨废旧锂电池综合回收利用项目，在保证电池质量和性能的前提下，打造从“摇篮”到“摇篮”绿色闭环。

- 在材料设计方面，亿纬锂能将绿色理念融入产品的科技创新中，采用“长寿命、免回收”有机材料技术，聚焦下一代关键材料和电池技术发展方向，形成领先核心技术。
- 在包装方面，亿纬锂能应用绿色包装方案，优先采用可循环、可降解和更轻量的包装材料。
- 在回收方面，亿纬锂能携手行业伙伴构建起“废旧锂电池-化学材料-电池材料-锂电池”循环经济绿色供应链，为社会提供全生命周期的解决方案。

1. 绿色材料技术，实现技术降碳

亿纬锂能研发的钠离子电池，采用全有机正负极材料，具有自然降解免回收的潜力，电池外壳采用具有可回收再利用的铝合金材料，回收废旧电池铝外壳经过回炉重熔处理，被熔炼成再生铝实现循环利用，符合绿色发展理念。电极技术无溶剂化，降低能耗和成本，钠离子电池的发展有利于锂资源压力的平衡。

此外，公司应用硅碳材料体系技术，硅元素在地壳中含量丰富，使用低碳的硅碳材料较石墨可降低碳排放量 20% 以上，基于 2000mAh/g 以上高比容量硅碳负极材料，实现 15min 快充 1500 次长循环寿命。

2. 可持续包装材料和技術，打造低碳环保包装

公司积极探索绿色包装方案，优先采用可循环、可降解和更轻量的包装材料，针对长距离运输，采取折叠设计，最大化利用运力减少碳排放。

- 电池模组包装采用可降解包装箱，实现循环使用 5 年，并且可自然降解。
- 采用通用的环保围板箱，相比原金属料架减重 60%，循环使用寿命大于 3 年，通用性和标准化的尺寸可满足高兼容和高效的循环能力。

图 8：亿纬锂能绿色环保的围板箱



来源：亿纬锂能

- 电池系统料架采用兼容性设计，实现循环利用，满足不同模组快速切换，循环使用寿命大于 5 年；单模组每年减少超过 30 个木箱使用。
- 以纸代木，较木箱减重 $\geq 30\%$ ，可自然降解，或回收制成纸浆模塑。

3. 废旧电池循环利用

亿纬锂能坚持推动电池回收利用技术发展和落地，通过梯次使用或再生利用废旧电池，建立完善的闭环业务生态。

简单来说，梯次利用就是指对于一些性能下降但未完全失效的电池，可以进行梯次利用，例如电动汽车上的动力电池达到一定寿命后，可拆卸下来用于储能系统的电池或备用电池。

公司规划建设电池梯次利用工厂，梯次利用线体可实现全流程自动化和数字化，可自动上料、自动切割、集成式冷冻、自动拆解、自动分容与测试，可实现高效精确分类、智能诊断。分级后电池梯次应用在通讯及家用储能产品上，最大化实现退役电池的经济价值和环境价值。

议题 5：碳足迹管理

锂电池是欧盟《电池与废电池法》重点管控的对象，要求进口至欧盟的锂电池必须开展碳足迹声明并且碳足迹低于特定的限制要求，因此锂电池碳足迹管理是面临合规要求的关键议题。

新法规要求所有在欧盟市场销售的动力电池必须提供碳足迹声明，并从 2025 年 2 月起，需提供详细的碳足迹标签。此外，从 2027 年开始，只有持有合格电池护照的电池才能进入欧洲市场，记录包括制造商信息、材料成分、碳足迹、供应链等详细信息。这将迫使国内电池企业加强数字化工具的应用，以搜集与供应链相关的碳足迹数据，并建立统一的标准数据库。

新法规明确了电池回收利用的要求，规定了生产商责任组织（PRO）必须达到更高的废旧便携式电池和轻型交通工具电池的收集率目标。这意味着电池制造商需要建立更完善的回收体系，确保电池中有价值材料的闭环利用。

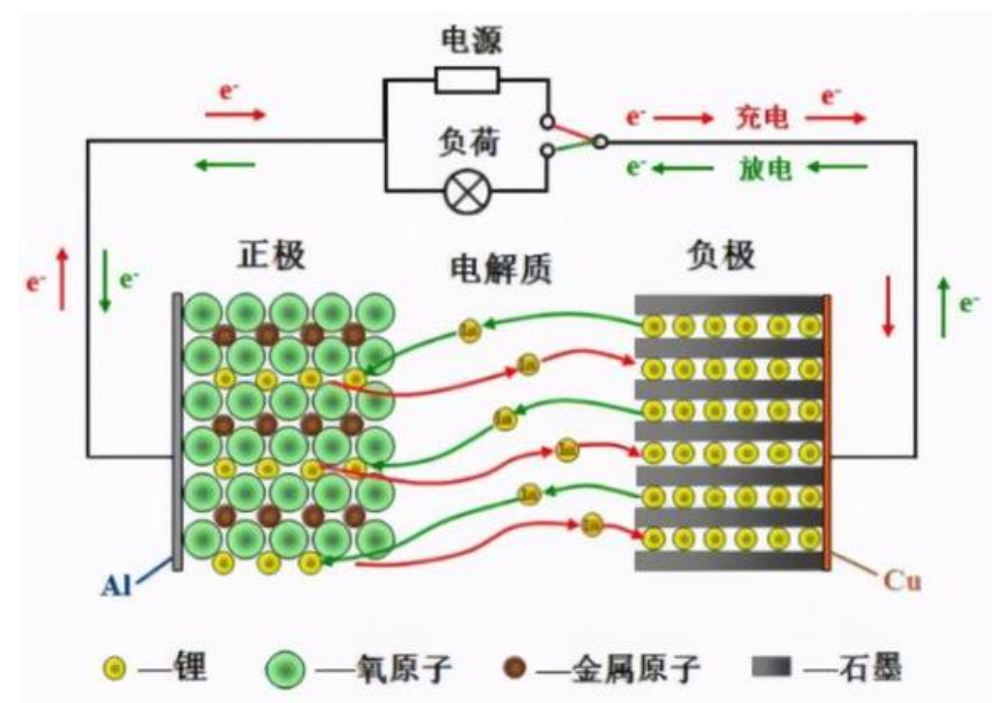
新法规还严格限制了电池中有害物质的使用，并对电化学性能和耐久性提出了更高的要求。例如，所有容量大于 2kWh 的可充电工业电池、LMT 电池和 EV 电池都需要提供包含所需参数的电化学性能和耐久性测试报告。

第三章 锂离子电池



锂离子电池储能，通过锂离子在正负极材料之间的嵌入和脱嵌来实现充放电过程。充电时，锂离子从正极材料中脱出，经过电解质嵌入负极材料，同时电子从外电路流向负极，使电池储存能量；放电时，锂离子从负极材料中脱出，经过电解质嵌入正极材料，同时电子从负极经外电路流向正极，释放能量。

图 9：锂离子电池工作原理



来源：百度

由于锂离子电池能量密度高、循环寿命长、响应速度快，广泛应用于电力系统储能和电动汽车等领域。

一、锂离子电池发展历程

1970 年，埃克森的 M.S. Whittingham 采用硫化钛为正极材料，金属锂为负极材料，制成首个锂电池。

1982 年，伊利诺伊理工大学的 R.R. Agarwal 和 J.R. Selman 发现锂离子具有嵌入石墨的特性，同时贝尔实验室试制成功首个可用的锂离子石墨电极，这为锂离子电池的发展奠定了基础。1988 年，索尼申请第一份锂电池专利，并把新产品命名为 Li-ion Battery。

1991 年，索尼公司推出了第一款商业锂离子电池，标志着锂离子电池正式进入商业化应用，电脑、手机等电子产品大量使用锂离子电池。

21 世纪，锂离子电池进入快速发展阶段。2008 年，随着 LG、三星等韩国企业的崛起，国际锂电市场被中日韩三分天下。2011 年之后，随着特斯拉电动汽车的上市，锂离子电池正式进入规模应用阶段。

如今，锂离子电池储能的发展仍在继续，科学家们不断探索更高能量密度、更快充电速度、更长循环寿命的新材料和新技术，以推动锂离子电池技术的进一步突破，满足人们对电池能源不断增长的需求。在应用方面，锂离子电池储能不仅广泛应用于消费电子、电动汽车领域，在电力储能等大型储能项目中的应用也越来越重要，市场规模持续扩大。

二、锂离子电池的优点

- **高能量密度**：能够储存较多的能量，在相同体积或重量下，比其他类型的电池（如铅蓄电池）能提供更高的电量，有助于实现设备的小型化和轻量化。
- **长循环寿命**：一般可循环充放电数百次甚至数千次，使用寿命较长，降低了频繁更换电池的成本和工作量。
- **高充放电效率**：充放电过程中的能量损失相对较少，能更高效地将电能储存和释放，提高能源的利用效率。
- **自放电率低**：在未使用状态下，自身电量的损耗较慢，可长时间保持电量，减少了维护和充电的频率。
- **响应速度快**：能够快速地进行充电和放电，适应对电能快速存储和释放的需求，例如在应对电网的调频、调峰等方面具有优势。
- **环保性相对较好**：不含有铅、汞等重金属有害物质，对环境的污染相对较小。

三、锂离子电池的缺点

- **安全性问题**：如果电池受到过充、过放、短路、高温、挤压等异常情况，可能会引发发热失控，导致起火甚至爆炸等安全事故。
- **成本较高**：尤其是其原材料成本相对较高，使得锂离子电池储能系统的初始投资较大，在一些对成本敏感的应用场景中可能受到限制。

- **资源有限**：锂资源在地球上的储量有限，且分布不均，随着大规模应用，可能面临锂资源供应紧张和价格波动的问题。
- **性能受温度影响大**：在高温环境下，电池的性能会下降，甚至可能出现安全问题；在低温环境下，电池的容量和充放电性能也会显著降低，影响其正常使用。

四、锂离子电池的应用场景

用户侧储能主要指家庭用和工商业用，储能对用户侧的作用主要是：提升供电可靠性，降低电费，利用峰谷电价差进行套利。基于以上三点思考，用户侧储能在供电系统不稳定、高电费以及峰谷电价差高的地区更具必要性。在高电价及供电不稳定地区，用户侧配储能的必要性凸显，但是经济性成为制约因素。

发电侧储能主要指风电或光伏配置储能，由于可再生能源如光伏和风电具有明显的季节性和波动性，其发电占比提升势必影响电力系统的稳定，储能作为存放电力的装置，可以平衡电能和时间上的供需关系，维持电能供需平衡及电网稳定。

发电侧配储能可以平抑可再生能源波动。以风电为例，风电场的原始输出功率具有间歇性、波动性等不稳定因素，若直接并入电网会对电网造成冲击，影响电网的电能质量。故需使用储能系统对此功率进行平抑，避免对电网正常运行造成影响，储能系统能够快速响应的特性，大功率地吞吐能量，削减功率的偏差，从而满足电力系统对风电功率的要求。

电网侧储能让火储调频具备经济性。中国电网的频率是 50Hz，当电网输出有功小于负荷需求有功时，系统频率会降低，反之，当电网输出有功大于负荷需求有功时，系统频率会升高。系统有功功率不平衡是产生频率偏差的根本原因。我国电力系统的正常频率偏差允许值为 0.2Hz，当系统容量较小时，频率偏差值可以放宽到 0.5Hz。频率下降时，火电机组的汽轮机叶片的振动变大，影响使用寿命，甚至产生裂纹而断裂。频率上升时，转速增加转子的离心力增大，对机组的安全运行不利，因此需要通过一定调节实现供需平衡。

目前国内电力市场仍以传统能源火电、水电、燃电为主。煤电机组、燃气机组以及水电机组虽然具有一定的自身调节能力，但是由于机械质量的存在，轴系统旋转过程中存在不可避免的转动惯量。同时，由于机械精度和控制精度的原因，调频总体表现为调节延迟、偏差(超调和欠调)等。最新发展起来的储能技术采用电力电子技术进行控制，响应速度快，控制精度高，功率外特性好，是优质的调频资源。

五、锂离子电池发展趋势

1. 电芯容量增加

大型储能电站以方形电池为主，电芯容量正向 280 Ah 及以上快速迭代。大容量 280 Ah 及以上电池相比 50 Ah、100 Ah 产品，体积能量密度更高，PACK 端零部件使用量更少，可大幅节省成本投入。生产制造方面，容量增大能够有效简化后续集成、装配工艺流程，节约设备、能耗与人力。

2. 能量密度提升

逐渐提升能量密度将是磷酸铁锂正极未来的发展趋势，目前通过预锂化、硅碳负极等技术改进，磷酸铁锂电池能量密度可以突破 200Wh/kg，电池单体到系统的体积成组效率从 40%增加到 60%。国轩高科在 2021 年发布的一款采用掺硅补锂技术的磷酸铁锂电池，容量达到 210Wh/kg。

3. 循环次数提升

大幅提高电池循环次数及使用寿命。多家储能电池企业加大投入，开发循环寿命更长的电芯，行业内多家公司陆续推出循环寿命 10000 次甚至 12000 次的储能电芯，此前行业内储能电芯的循环寿命一般在 6000-8000 次。

电芯循环寿命的提升，有望改善储能电站度电成本。数据显示，当储能电池的循环次数提升到万次后，储能成本有望降至 1000 元/kWh 以下。目前我国电化学储能电站度电成本在 0.5 元/kWh 以上，抽水蓄能电站度电成本在 0.25 元/kWh 左右，若伴随着使用寿命增长及原材料价格平稳，远期电化学储能电站的度电成本有望降至 0.3 元/kWh 左右，接近抽水蓄能。

4. 方形储能电池长薄化

方形储能电池长薄化，叠片和卷绕工艺形成竞争之势。相较传统卷绕生产工艺，280Ah 及以上容量电芯中叠片工艺使用率加速渗透。

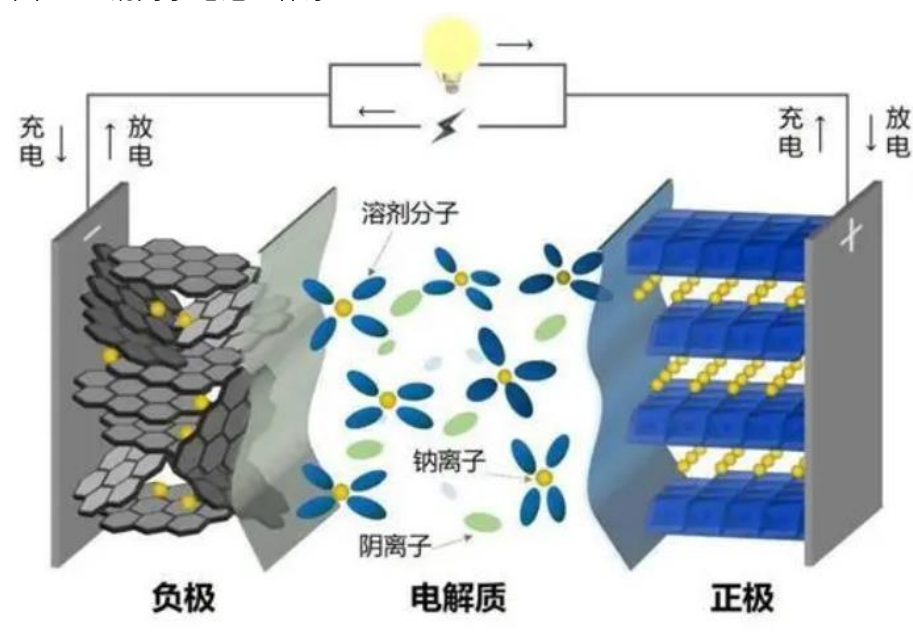
叠片电池与大容量电池具有天然的兼容性，叠片电池的极耳数量是卷绕工艺的两倍，极耳数量的增加能够缩短电子传输距离，降低电阻，减少产热，理论循环寿命更长；叠片工艺相较于卷绕工艺，单极片的长度缩短 100 倍；叠片电池封装极片过程中不存在 C 角问题，能够充分利用壳体边角空间，提升体积和质量能量密度。因此叠片工艺的电池理论上拥有更高体积能量密度上限、更稳定的内部结构和更长的循环次数。全模切极耳数量变为两倍，可解决电子电导的集流问题，提升电池快充性能。此外，叠片技术还可减少 Pack 零部件数量，提升电池集成度，有利于减少储能系统占地面积和土建支出。

第四章 钠离子电池



钠离子电池的工作原理与锂离子相似，充电时，Na⁺从正极材料中脱出，经过电解液嵌入负极材料，同时电子通过外电路转移到负极，保持电荷平衡；放电时则相反。理论上，钠离子电池的充电时间可以缩短到锂离子电池的 1/5。

图 10：钠离子电池工作原理



来源：网络

钠离子电池最主要的特征就是利用 Na⁺代替了价格昂贵的 Li⁺，为了适应钠离子电池，正极材料、负极材料和电解液等都要做相应的改变。相比于锂元素，钠离子电池的优势在于资源丰富，钠资源约占地壳元素储量的 2.75%。获得钠元素的方法也十分简单，因此相比于锂离子电池，钠离子电池在成本上将更加具有优势。

一、钠离子电池的发展历程

钠离子电池研究最早开始于上世纪八十年代前后，早期被设计开发出来的电极材料如 MoS₂、TiS₂ 以及 Na_xMO₂ 电化学性能不理想，发展非常缓慢。

2010 年以来，根据钠离子电池特点设计开发了一系列正负极材料，在容量和循环寿命方面有很大提升，如作为负极的硬碳材料、过渡金属及其合金类化合物，作为正极的聚阴离子类、普鲁士蓝类、氧化物类材料，特别是层状结构的 Na_xMO₂ (M= Fe、Mn、Co、V、Ti) 及其二元、三元材料展现了很好的充放电比容量和循环稳定性。

表 6：钠离子电池和锂离子电池的性能参数比较

材料与设备		钠离子电池	锂离子电池
资源	地壳丰度	2.75%	0.007%
	分布	全球	75%分布在澳大利亚和南美区域
技术性能	储能时长	<4 h	<4 h
	循环次数	>2000	3000-6000
	能量密度 (wh/kg)	100-150	130-200
电池原材料成本 (元/wh)		0.25-0.3	0.3-0.5
环境友好性		原料丰富，资源分布平均，一定程度缓解资源短缺。电池原材料成本相较锂电池低。	原料有限，资源分布集中，电池回收技术不成熟，原材料价格高位波动。
安全性		安全性较好，内阻相较锂电池高，短路情况时放热量少，热失控温度高。	有机溶剂易燃性，正负极稳定性较差，电池过充性能较差，但大部分磷酸铁锂电池安全性优于三元电池。

来源：高工产研锂电研究所 GGII

2015 年，法国国家科学研究中心的研究人员首次开发出了业界标准的 18650 规格的钠离子电池；2021 年 7 月，宁德时代正式推出钠离子电池。2022 年 4 月，湖南立方新能源科技有限责任公司举行第一代钠离子电池发布会；2022 年 11 月，全球首条吉瓦时 (GWh) 级钠离子电池生产线产品下线仪式在安徽省阜阳市举行。

二、钠离子电池的优点

- **安全性能高**：钠的活性比锂稳定，钠盐电解质的电化学窗口较大，电解质在参与反应的过程中分解的可能性更低，电池系统的稳定性更高。在过充、过放、短路、针刺等测试中不起火、不爆炸，降低了存储和运输成本。
- **工作温区宽松，低温性能强**：在零下 20°C 的环境里，钠离子电池的放电效率依旧有 90%，远高于锂离子电池和铅蓄电池。

- **充电速度快**：导电性好，充放电快，可以用低浓度的电解液。钠离子电池的充电速度大大快于锂离子电池和铅蓄电池。以宁德时代第一代钠离子电池为例，常温下充电 15 分钟，电量可达 80% 以上。相比较而言，目前量产的三元锂电池即使是在直流快充的加持下，将电量从 20% 充至 80% 通常需要 30 分钟的时间，磷酸铁锂则需要 45 分钟左右。所以在补能效率方面，钠离子电池也有着明显的优势。
- **成本低**：钠在地壳中的储量是锂的 400 倍，算是储量极为丰富的金属且分布广泛。同时，钠离子电池正极不需要使用稀有贵金属如钴、镍等，制备相对简单，进一步降低了制造成本和对资源的依赖。此外，由于钠离子电池与锂离子电池工作原理、结构类似，所以可以利用现有的锂离子电池生产线进行生产，也能节约一部分设备投入。

三、钠离子电池的缺点

- **循环寿命短**：目前磷酸铁锂电池的循环寿命已经达到了 6000 次，而钠离子电池的循环寿命只能达到 2000-3000 次，距离前者还有很大的差距。另外，按照 10 年以上甚至 20 年以上的储能要求来看，目前钠离子电池的循环寿命仍无法满足。
- **能量密度低**：目前，钠离子电池的表现相比锂离子电池，仍处于劣势。宁德时代的第一代钠离子电池的能量密度虽然已经达到了 160Wh/kg，但锂离子电池阵营中的三元锂已经做到了 300Wh/kg。

四、钠离子电池未来发展方向

1. 提高性能

- **提升能量密度**：研发新型的正负极材料和电解液，优化材料的结构和组成，提高钠离子电池的能量密度，使其更接近锂离子电池的水平，以满足电动汽车等对能量密度要求较高的应用场景。
- **延长循环寿命**：通过改进材料的稳定性、优化电池的充放电管理策略等方式，延长钠离子电池的循环寿命，降低电池的衰减率，提高电池的可靠性和使用寿命。
- **加快充放电速度**：进一步提高钠离子电池的倍率性能，缩短充电时间，提高电池的充放电效率，以满足快速充电和大电流放电的应用需求。

2. 降低成本

- **优化原材料供应**：随着钠离子电池产业规模的扩大，进一步优化原材料的采购和供应渠道，降低原材料的成本。同时，加强对钠资源的开发和利用，提高钠资源的提取和纯化效率，降低钠源的成本。
- **简化生产工艺**：研发更加简单、高效的生产工艺，降低生产过程中的能耗和设备成本，提高生产效率，从而降低钠离子电池的整体成本。

3. 拓展应用领域

- **电动汽车领域**：随着钠离子电池性能的不不断提升和成本的降低，有望在电动汽车领域得到更广泛的应用，尤其是在中低端电动汽车、微型电动汽车和电动公交车等领域，为电动汽车的普及提供新的动力选择。
- **储能领域**：在大规模储能领域具有广阔的应用前景，如电网储能、分布式储能等。未来将进一步提高钠离子电池在储能领域的安全性和可靠性，降低储能成本，为可再生能源的大规模应用提供支持。
- **其他领域**：在电动自行车、电动工具、智能家居等领域也具有潜在的应用价值，未来将不断拓展钠离子电池在这些领域的应用市场。

4. 加强产业链协同

- **上下游企业合作**：加强钠离子电池产业链上中下游企业之间的合作，共同推进钠离子电池技术的研发和产业化。上游原材料供应商、中游电池生产企业和下游应用企业之间建立紧密的合作关系，实现产业链的协同发展，提高整个产业链的效率和竞争力。
- **跨行业合作**：与新能源汽车、储能系统、智能电网等相关行业开展跨行业合作，共同推动钠离子电池在不同领域的应用和发展。例如，与新能源汽车企业合作开发适用于电动汽车的钠离子电池系统，与储能系统企业合作开发大型储能电站用钠离子电池储能系统等。

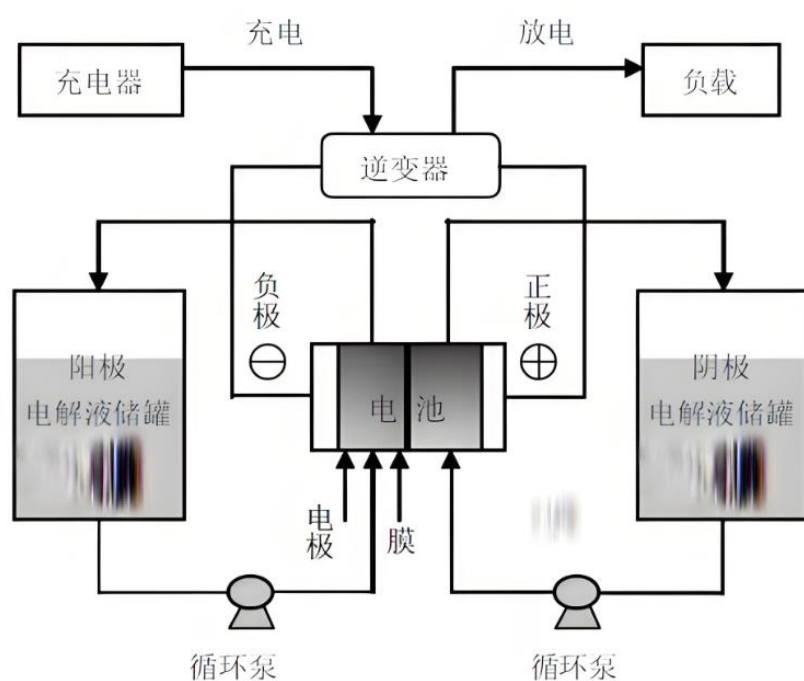
A close-up photograph of a glass Erlenmeyer flask containing a clear blue liquid. A white pipette is positioned above the flask, with a small amount of purple ink-like substance being dispensed into the liquid. The purple substance is spreading and mixing with the blue liquid, creating a delicate, branching pattern. The background is a soft, out-of-focus light blue.

第五章 液流电池

液流电池通过正、负极电解液中的活性物质发生氧化还原反应，实现电能和化学能的相互转化，进而实现电能的储存和释放。

液流电池一般由电池堆、正极电解液和负极电解液构成，电池堆主要包括正极、负极和隔膜。主要有全钒液流电池、锌溴电池、铁铬电池、多硫化钠溴电池 4 种技术路线，其中全钒液流电池的技术成熟度和产业链建设完善度相对较高。

图 11：液流电池工作原理



来源：网络

一、液流电池的发展历程

液流电池的发展可以粗略划分为早期发展、研发示范及初步商业化两个阶段。

1884-1973 年是液流电池的早期发展阶段，不同国籍的科学家分别进行初步研究实践，但并未明确提出液流电池概念。其中，法国工程师 Charles Renard 于 1884 年发明锌-氯液流电池，用作飞艇“La France”的动力源，但由于重量大、效率低、续航时间短，这种电池并未得到进一步的应用。法国工程师 Pissort 于 1933 年提到了将钒在不同氧化状态下作为电池的想法，但没有进行进一步实验。德国科学家 Kangro 于 1949 年提交了关于电力储存方法的专利，提供了液流电池历史上的首个实验结果。

美国科学家 Thaller 于 1974 年正式提出液流电池概念，并在 20 世纪末期逐步开展示范应用，经过多年的验证与淘汰，锌溴液流电池和全钒液流电池开始商业化，全钒液流电池的商业化进程更加超前。2006-2020 年，中国、美国、英国出现相当部分全钒液流电池公司，但在全球钒价格大幅波动的情况下大多公司的发展遭遇波折。当前海外的全钒液流电池公司包括住友电工、美国 UET、澳洲 Cellstrom 等。

我国对全钒液流电池的基础研究起步较早。中国地质大学和北京大学于 20 世纪 80 年代末建立了全钒液流电池的实验室模型。1995 年，中国工程物流研究院研制出 1kW 样机，并拥有电解液制备、导电塑料成型等专利。2016 年，国家能源局批复了第一个百兆瓦级全钒液流电池储能电站，规模为 200MW/800MWh，也是全球最大规模的液流电池储能电站。

表 7：主流液流电池的发展阶段和主要限制

氧化还原电对	当前阶段	主要限制
全钒	被重点研究的技术路线，目前已经进入商业化	原料昂贵，规模效应不显著；电解液沉淀限制运行温度区间；高氧化电位限制材料选择
铁-铬	示范应用阶段	电解质价格较高；电解质互串；对膜稳定性要求高
锌-溴	示范应用阶段，且运行效果较好	电解质具有毒性；锌枝晶的形成，电池寿命受到限制
溴多硫化物	实验性研究阶段	电解质具有毒性；高温性能不良；高温和高电位限制材料使用范围；电池运行有一定安全问题
氢-溴	早期研究阶段	电解质具有毒性；价格昂贵
锌-铈	最早由 Plurion 开发，但 Plurion 已破产	锌枝晶形成限制电池寿命；高氧化电位限制材料选择

来源：腾讯网

二、液流电池的优点

- **设计灵活**：液流电池的容量由储液罐的大小和电解液的浓度决定，功率由电极的总表面积大小决定，容量和功率可分别调控，有利于大规模储能。
- **自放电小**：正负极电解液在长时间存储过程中分别存放在外部的储液罐中，不会互相混合，避免了自放电。
- **能量效率高**：商业液流电池的能量效率通常在 80% 左右。

- **循环寿命长**：一般的液流电池可循环数千次，部分技术路线甚至可达到两万次以上。
- **深度放电能力和过载能力强**：电极本身在反应过程中不会发生变化，即使电流突然增大，也不会破坏电极结构，无记忆效应。
- **安全性好**：大多采用水溶液，本身不可燃，电解液不断循环，流速可调，容易控制，不会发生热失控。
- **易维护**：如果某一组件损坏，只需更换相应组件即可，不用更换整个电池。

三、液流电池的缺点

- **体积较大**：能量密度相对较低，导致其体积较大，在一些对空间要求较高的应用场景中受到限制。
- **建设成本较高**：初建投资成本高，通常是锂电池的 2-3 倍，其中反应电堆和电解液占比超七成。
- **技术成熟度较低**：尽管液流电池技术在不断进步，但相比于成熟的锂离子电池技术，液流电池的商业化应用还处于发展阶段。
- **系统复杂度较高**：液流电池系统包含多个组件，如电解液储罐、泵、管路等，这增加了系统的复杂性和安装维护难度。

四、全钒液流电池的发展

随着“源网荷储一体化”发展，以“新能源+储能”为主体的新型电力系统对于长时大容量储能需求增加。全钒液流电池具有循环寿命长、电解液可循环使用、容量大、自放电率低、生命周期经济性好及环境负荷低，原料易回收等优点，并能够突破锂离子电池在长时储能方面的限制，因此具有一定的发展空间。

全钒液流电池的储能容量由电解液容量和浓度决定，输出功率由电堆大小和数量决定，因此其储能容量和输出功率可灵活调节。但其能量密度相对较低，一般为 15-50 Wh/kg，同铅蓄电池相当，与锂电池相比更低。因此全钒液流电池储能系统实际占地面积较大。但新能源配储等大型储能电站一般建设于远离城市、地广人稀的区域，因此用地压力不大，考虑全钒液流电池在安全性、环保等方面的优势，在大型储能建设的应用方面有较大空间。

五、液流电池的发展方向

成本是制约液流电池发展的核心问题，而电解液成本是液流电池系统成本的大头。液流电池的能量密度低，因此同规模下电池的电解液使用量较大，总成本较高。

以全钒液流电池为例，储能时长为 4h 的全钒液流电池储能系统，初次投资成本约为 3000 元/kWh，其中电解液成本约占系统总成本的 50%；而对于储能时长为 10h 的储能系统，初次投资成本约为 2100 元/kWh，电解液的成本占系统总成本的 70%。

由于电解液在循环过程中耗损较低，因此回收利用率较高。一旦借助合适的商业模式，可有效降低电解液模块的成本，从而有效解决液流电池初始投资较高的问题。





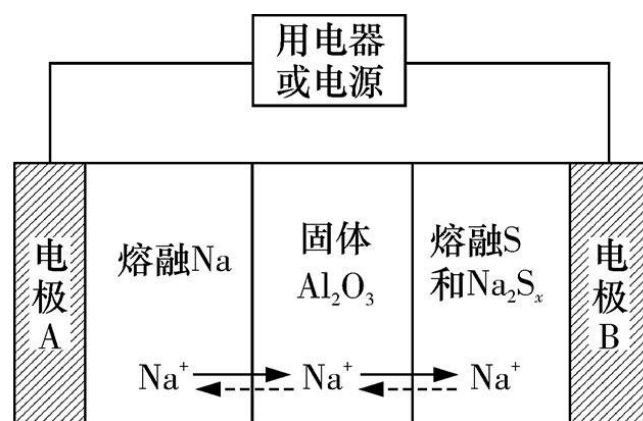
第六章 钠硫电池

钠硫电池，作为一种拥有高能量密度和低成本优势的化学电源，被认为是较有前景的储能技术之一。钠硫电池构成包括正极、负极、电解质、隔膜和外壳，其中负极采用熔融金属钠作为活性物质，正极则使用液态硫和多硫化钠熔盐。为确保钠硫电池的高效能量储存和释放，采用固体电解质，如 β -氧化铝，这种材料具有对钠离子高导电性的特点，但对硫则具有阻隔作用。

在放电过程中，负极的钠失去电子变为 Na^+ ， Na^+ 通过固体电解质迁移至正极，与硫离子反应生成多硫化钠。同时，电子通过外电路到达正极，使硫变为硫离子。在充电过程中，这一过程逆向进行， Na^+ 通过固体电解质返回负极，与电子结合生成金属钠。

通常情况下，钠硫电池的工作温度维持在 300°C - 350°C 之间。在这个温度范围内，钠离子能够通过固体电解质发生可逆反应，而整个钠硫电池则被置于真空隔热盒内，以实现能量的储存和释放。

图 12：钠硫电池工作原理



来源：GREPOW

一、钠硫电池的发展历程

钠硫电池最初是在 1960 年代由美国福特公司开发，作为电动汽车的动力电池。福特公司制造了大约 100 辆小型实验型电动货车 Ecostar，这些车在装货区域的车板下方安装了一个 37kWh 的钠硫电池，并配备了一台 75 马力 (56kW) 的电动机。Ecostar 满电可行驶 151 公里，最长续航里程为 249 公里。然而，在使用过程中发生了多起起火事故，导致福特公司放弃了钠硫电池技术。20 世纪 90 年代，福特将这项技术出售给了日本 NGK Insulators 公司。由于日本拥有丰富的钠和硫资源，NGK 不断发展这一技术，逐渐成为该领域的领军企业。目前，NGK 公司开发的钠硫电池在全球有超过 250 个大型储能项目，总功率和容量达到 700MW/4.9GWh。

1992 年，日本建立了第一个示范储能电站，在 2002 年实现了商业化。至今，日本有 200 多个功率超过 500kW、总容量超过 300MW 的储能电站正在运行，用于电网峰谷差平衡、电能质量改善、应急电源、风力发电等可再生能源的稳定输出。其中，最大功率的电站达到 34MW，用于风力发电站的稳定输出。超过一半的储能电站用于电力平衡，覆盖了商业、工业、电力、水处理等各个领域。钠硫电池储能系统的效率可达 80%以上，寿命可达 15 年。

我国在钠硫电池在电动汽车应用方面的研究几乎与国际同步。早在 1968 年，上海硅酸盐研究所就开始了相关研究，并于 1977 年成功组装并示范运行了国内第一辆功率为 6kW 的钠硫电池电动车。然而，到了 20 世纪末，我国的车用钠硫电池研究陷入了困境，研究工作几乎停滞不前，国内仅有上海硅酸盐研究所保留了研究队伍。

2006 年，上海市电力公司与上海硅酸盐研究所合作，共同投资开发钠硫电池储能技术。2007 年成功研制出容量达到 650Ah 的单体钠硫电池，相当于 2250 节 5 号电池。2009 年建成了我国首条年产能达 2MW 的钠硫电池中试生产线，能够批量生产 650Ah 单体电池。该中试生产线配备了 100 余台工艺和检测设备，其中近 2/3 为自主研发，拥有多项自主知识产权，形成了独具特色的钠硫电池关键材料和电池评价技术。其电池比能量达到 150Wh/kg，前 200 次循环的退化率为 0.003%每次，与国际先进水平相当，整体性能接近 NGK 公司产品水平。2010 年上海世博会期间，实现了 100kW/800kWh 的钠硫电池储能系统并网运行，当时是国内规模最大的能量电化学储能电站。

2012 年 1 月，上海电气集团、上海电力公司和上海硅酸盐研究所共同成立了“上海电气钠硫储能技术有限公司”，旨在建设钠硫电池生产线，计划在 2015 年前实现年产能达 50MW，成为全球第二大钠硫电池生产企业。然而，该公司目前已经注销。

二、钠硫电池的优点

钠硫电池具有利用效率高、响应快、能量密度高，以及原材料成本低、使用寿命长等优势。

- **高能量密度**：钠硫电池的核心优势之一在于其极高的能量密度。这意味着在相同的体积或重量下，钠硫电池能够比许多其他类型的电池储存更多的电能。高能量密度直接转化为更小、更轻的储能系统，在空间有限的应用中尤为重要，例如城市中心微电网、移动设备或电动汽车，可以显著减少空间占用、降低运输和安装成本。
- **高功率密度**：钠硫单体电池的功率可达到 120W 以上，形成模块后，模块功率通常达到数十千瓦，可直接用于储能。

- **长寿命**：钠硫电池的寿命可达 4500 次以上的充放循环，长达 10 至 15 年。其循环寿命通常可达数千次充放电循环，意味着在设计寿命内，电池能保持较高的容量和性能稳定性。这种耐久性减少了更换电池的频率，降低了维护成本，并确保储能系统长期可靠运行。长寿命特性对于需要稳定供电的场景尤为重要，比如远程通讯基站、不间断电源系统（UPS）等。
- **快速响应与灵活调度**：钠硫电池采用固态电解质，几乎没有自放电现象，并且充放电效率高达 100%。其快速充放电特性使其在调节电网频率、满足电力需求峰值等方面表现突出。在电力需求需要快速调整的情况下，钠硫电池能够迅速响应，吸收或释放电能，有助于平稳电力输出，提升电网的稳定性和效率。这种快速响应能力对于整合可再生能源、增强电力系统的灵活性和可靠性至关重要。
- **环境适应性强**：由于电池在保温箱内运行，其环境适应性广泛，通常工作温度范围为-40~60°C。
- **经济性**：钠硫电池在成本效益方面具有双重优势——原材料和运营成本。首先，钠和硫都是地球上丰富的元素，钠资源充足且价格低廉，远低于锂等贵金属；硫作为石油精炼的副产品，供应充足且成本极低。因此，钠硫电池的原材料成本相对较低。其次，由于其较长的循环寿命和高能量效率，整个电池系统的长期运营成本也能有效控制，减少更换频率和能源损失，提高经济效益。

图 13: 钠离子电池与锂离子电池成本对比



来源：未来智库

三、钠硫电池的缺点

钠硫电池的安全性较差，温度要求高。尤其是安全性方面，钠硫电池的电极使用液态钠，有遇水爆炸的危险，灭火比其他储能火灾更为困难。

- **高温操作的挑战**：钠硫电池的工作温度通常在 300°C-350°C 之间，这要求电池系统必须具备精密的热管理设施以维持恒定的高温环境。这种高温操作不仅增加了系统的复杂性和成本，还带来了安全隐患。设计、制造和维护热管理系统都需要高度专业知识和技术，任何热失控都可能导致严重后果。持续的高温作业也会加速部分组件的老化，影响电池的长期稳定性。
- **安全性措施的要求高**：高温钠硫电池存在特殊构造和工作原理，主要涉及两类安全风险。首先，由于工作温度需达到 300°C 至 350°C，一旦电池单元起火，火势易蔓延至其他单元，难以迅速控制。其次，含有金属钠，易与水 and 空气中氧气发生剧烈反应，可能导致火灾或爆炸。因此，需要在无水、无氧环境下操作，并采用特殊密封技术和安全设计来隔离钠电极，防止泄露。这些安全措施增加了设计难度和成本，并要求在整个生命周期内进行严格的安全管理和监控。在我国钠硫电池技术尚未完善的情况下，国家不推荐将其用作中大型储能技术。
- **材料和制造工艺的优化需求**：为提高电池整体性能，特别是能量密度、循环稳定性和功率密度，需持续优化电解质材料、电极材料及其制备工艺。尽管当前的β-氧化铝电解质有效阻止钠离子与硫直接接触，但离子电导率仍须提高。此外，寻找更高效的催化剂以促进电化学反应、减少内阻，对提升电池性能至关重要，但研发工作耗时且资金密集。

第七章 企业ESG实践案例



第一节 特斯拉

电化学储能是一种重要的能源储存技术，广泛应用于可再生能源领域以及电动汽车等领域。随着技术的不断发展和创新，电化学储能持续发挥着重要作用，推动清洁能源的普及和可持续发展。

作为全球最知名的电动汽车制造商之一，特斯拉也是电化学储能领域的重要参与者。特斯拉开创了大规模商业化锂离子电池市场，并推出了其著名的超级电池工厂——Gigafactory。该工厂拥有极大的生产规模，有效降低了电池成本，带动整个行业的发展。同时，特斯拉通过 Powerpack 和 Powerwall 等产品，推动家庭和商业储能系统的普及，解决电力供需间断的问题。

1. 在储能领域的战略定位与发展背景

特斯拉在储能领域的战略定位是推动全球向可持续能源转型的关键力量。公司通过其创新的储能产品，如 Powerwall、Powerpack 和 Megapack，为家庭、商业和电网规模的能源需求提供解决方案。特斯拉的储能技术发展背景建立在其电动汽车业务的基础上，利用其在电池技术和能源管理方面的专业知识，扩展到储能市场。

2. 核心技术与产品线

(1) Powerwall 家用储能系统

Powerwall 是特斯拉推出的家用储能解决方案，旨在为家庭提供清洁、可持续的能源存储。该系统不仅能够存储太阳能板产生的电力，还能在电网断电时提供备用电源，确保家庭用电的连续性和稳定性。

Powerwall 采用锂离子电池技术，具有高能量密度和长循环寿命的特点。设备具有优雅的外观设计，可与现代家居环境相融合。同时集成了智能软件，能与家庭太阳能系统无缝配合，实现能源的智能管理。

Powerwall 可用于夜间或电力需求高峰时段的电力供应，减少对电网的依赖。在电力供应不稳定或高电价时段，Powerwall 可以释放存储的电能，降低电费支出。对于安装了太阳能板的家庭，Powerwall 能够存储白天产生的过剩电力，供夜间使用。

(2) Powerpack 商业储能系统

Powerpack 是特斯拉为商业和工业用户设计的储能产品，适用于更大规模的能源存储需求，如商业中心、办公楼和工业设施。

Powerpack 由多个电池模块组成，可以根据需求灵活扩展储能容量。系统设计考虑了商业应用的高可靠性和安全性，采用了先进的电池管理和监控技术。

Powerpack 因其高能量密度、灵活的配置和较低的维护成本，已被应用于多个商业储能项目，如零售用户通过使用 Powerpack 实现了能源成本的优化。

(3) Megapack 大规模储能系统

Megapack 是特斯拉推出的超大型储能系统，专为大规模商业项目和公共事业设计，能够支持电网级别的能源存储需求。Megapack 每个单元提供高达 3MWh 的储能容量和 1.5MW 的逆变器容量。设计上实现了高度集成和模块化，简化了安装和扩展过程。

Megapack 已被用于多个大规模储能项目，如南澳大利亚的 Hornsdale Power Reserve。

3. 电池技术与研发进展

特斯拉电池组设计的核心在于电芯技术、电池组结构和热管理的创新与优化。

电芯技术：特斯拉最新的电芯，以其更大的尺寸和改进的化学成分，提供了更高的能量密度和功率输出。这种电芯在制造工艺上采用了干电极技术，减少了生产成本并提高了电池的循环稳定性。

电池组结构：电池组的结构设计对于确保电芯在充放电过程中的热稳定性至关重要。特斯拉采用液冷系统，有效管理电池组的温度，防止过热导致的性能下降和潜在安全风险。此外，电池组的模块化设计允许灵活配置，以适应不同规模的应用需求。

热管理：特斯拉对电池寿命和可靠性的研究不仅限于电芯层面，还包括电池管理系统（BMS）的智能化。通过实时监控电池状态和预测电池健康，BMS 能够优化充放电策略，延长电池寿命。同时，特斯拉在电池的化学成分上进行持续研究，以提高电池的热稳定性和循环性能。

4. 能源管理系统与智能调度

能源管理软件与算法：特斯拉开发了一套能源管理软件生态系统，支持其各类能源硬件产品。该软件利用超过 15 年的电池性能技术，为能源产品提供专属功能，提升了大规模能源管理的效率。软件平台覆盖了从 Megapack 到 Powerwall 的多个产品，还包括了对太阳能、车辆充电以及非特斯拉资产的微电网和公共事业电厂的支持。

实时监控与智能调度：特斯拉的能源管理系统通过实时监控和智能调度，优化能源分配和使用。系统能够自动将能源使用转移到成本较低的时段，减少高峰期用电费用，并确保能源消费者遵守操作限制以获取能量存储激励价值。

与电网的协同与互动：特斯拉的能源管理系统不仅优化单个站点的能源支出，还支持客户使用其能源资产为电网提供有价值的服务。系统能够解决结合多个收入流的复杂用例，同时遵守站点出口限制以及吞吐量备份限制。

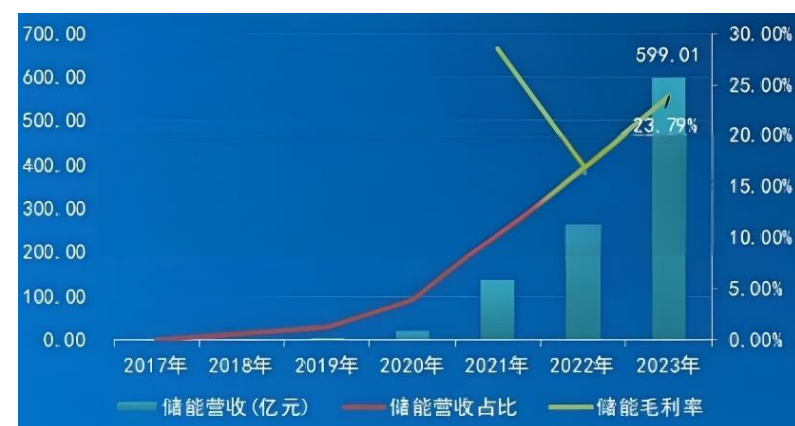
第二节 宁德时代

宁德时代成立于 2011 年，致力于为全球新能源应用提供一流的解决方案和服务，是全球领先的新能源创新科技公司。宁德时代总部位于福建宁德，目前在全球已设立六大研发中心，十三大电池生产制造基地。其中宁德基地、宜宾基地、溧阳基地被世界经济论坛评选为全球灯塔工厂，这是锂电行业仅有的三座灯塔工厂。宜宾基地是全球首家电池零碳工厂。在德国慕尼黑、法国巴黎、日本横滨、美国底特律等地设有子公司。

根据 SNE Research 的数据，2023 年，宁德时代动力电池全球市占率达 37%，连续 7 年稳居全球榜首；储能电池全球市占率达 40%，连续 3 年蝉联世界第一。

宁德时代 2023 年年报显示，宁德时代储能板块营收达 599 亿元，贡献了接近 15% 的营收，毛利率达 23.8%。

图 14：宁德时代历年储能营收



来源：东方财富网

一、宁德时代的业务范围

宁德时代主要从事动力电池及储能电池的研发、生产及销售，围绕三大战略发展方向进行产业布局。

1. 电化学储能+可再生能源发电

以“电化学储能+可再生能源发电”为核心，替代化石能源的替代，摆脱对火力发电的依赖。宁德时代的化学储能产品是锂离子储能电池。

宁德时代有电芯、电池柜、储能集装箱及交流侧系统，构成了储能产品的解决方案。产品面向发电侧、输配电侧以及用户侧。

2020 年，宁德时代推出了磷酸铁锂储能集装箱，EnerOne。集装箱的单体电芯容量是 280Ah，循环寿命长达 10000 次。使用寿命长、集成度高，安全性也高。并且，它内置集成的变频液冷系统，能把电池之间的温差控制在 3°C 以内，有助于延长整个储能集装箱的使用寿命。

图 15：宁德时代的水冷解决方案



来源：宁德时代官网

2. 动力电池+新能源车

以“动力电池+新能源车”为核心，摆脱交通出行领域对石油的依赖。

宁德时代动力电池产品包括电芯、模组/电箱及电池包。宁德时代的产品包括凝聚态电池、三元高镍电池、三元高压中镍电池、M3P 电池、磷酸铁锂电池以及钠离子电池等，覆盖不同能量密度区间，满足快充、长寿命、长续航、高安全、宽温度适应性等多种功能需求。

在乘用车领域，其产品可应用于纯电动车、插电式混合动力车、混合电动汽车等不同细分市场，广泛应用于私家车、运营车等乘用车领域。客户有特斯拉、宝马、现代、福特、戴姆勒、长城汽车、理想、蔚来，华为问界，小米等。

在商业及工程机械应用领域，其产品可应用于道路客运、城市配送、重载运输、道路清洁等客车及商用车领域，叉车、装载机、挖掘机等工程机械领域，游船、拖轮、货船等电动船舶领域以及电动商用飞机领域。客户有福田、吉利、东风、一汽解放、江淮汽车、庆铃汽车等。

此外，宁德时代动力电池还可应用于无人机、吸尘器、电动工具、电动两轮车、泛机器人等领域。

以宁德时代的第三代 CTP 技术麒麟电池为例，相比于市场上的其他电池，麒麟电池的亮点包括：

- 可实现 4C 快充倍率，支持 5 分钟快速热启动，及 10 分钟快充；
- 能量密度高，达到 255Wh/kg；体积利用率高，达到 72%；磷酸铁锂电芯系统能量密度高，达到 160Wh/kg；电池包集成度为当时全球最高。在相同的化学体系、同等电池包尺寸下，麒麟电池包的电量可提升 13%。
- 续航里程长，支持 1000km 续航里程。目前，搭载麒麟电池的热门车型包括极氪、哪吒、问界、理想、小米等。

3. 电动化+智能化

以“电动化+智能化”为核心，推动市场应用的集成创新。

宁德时代在电池材料、电池系统、电池回收等产业链领域拥有核心技术优势及前瞻性研发布局，致力于通过材料及材料体系创新、系统结构创新、绿色极限制造创新及商业模式创新，为全球新能源应用提供解决方案和服务。

在储能业务领域，宁德时代加大各环节客户覆盖，在海外，与 Tesla、Fluence、Wärtsilä、Flexgen、Sungrow、Hyosung 等全球新能源行业领先客户开展多区域、多领域的业务合作；在国内，与国家能源集团、国家电力投资集团、中国华能、中国华电、中国广核集团、中国长江三峡集团、中国能源建设集团等在新能源领域合作达成战略合作协议。

国内首个吉瓦时级的共享储能项目

2021 年，山东省济宁市首个采用 314Ah 大电芯的 100MW/200MWh 独立储能项目，使用了宁德时代 EnerD-5MW/10MWh 储能单元产品。这是一种集装箱式 5MWh 储能液冷电池预制舱构造，最大储能额定为 20 万度。

山东省作为全国重要的能耗大省和碳排放大省，能源消费总量和碳排放总量均占到全国的近 1/10。通过加快新能源规模化高质量发展，不仅能够为山东能源结构“降压减负”，还能为全国实现“双碳”战略目标做出贡献。

这一项目的实施将推动山东省由能源消费大省向现代能源强省转变。通过积极构建“风光核储氢”等多能协同的能源供给体系，加快推动能源领域投资迈上新的台阶。随着胶东半岛核电、海上风电、鲁北风光储输一体化等大型清洁能源基地的开发建设，将直接新增投资近万亿元，并带动先进核电、大型海上风电装备、钙钛矿电池、氢燃料电池等高端装备产业集群化发展，切实将资源优势转化为发展优势。

宁德时代独供北美 Gemini 项目

2022 年 10 月，宁德时代与 Primergy Solar LLC 合作，宁德时代为内华达州克拉克县的 Gemini 光储项目供应电池。

Gemini 项目是一个 690MW (ac)/966MW (dc) 的太阳能电池阵列，配有一个 1416MWh 的储能项目。项目总投资 12 亿美元，是美国最大的光伏储能项目之一，在用电高峰期可为 40 多万户家庭提供绿色电力。

这一项目上，Primergy 研发了直流耦合电池储能系统，利用自研的软件工程和电气架构来平衡现场超过 185 个存储子系统的能源负载。宁德时代则为 Primergy 提供户外液冷储能电柜 EnerOne。EnerOne 采用 280Ah 磷酸铁锂电芯，循环寿命可达 10000 次。

二、宁德时代的“零碳”行动

1. “零碳”工厂

宁德时代旗下子公司新津时代获得认证机构 SGS 颁发的 PAS 2060: 2014 碳中和认证证书，成为宁德时代第 4 座零碳工厂。

◆ 可再生能源与智能用能管理双管齐下

新津时代的工厂 100% 采用可再生能源。为了实现能源的高效利用，工厂导入能源管理系统，实时检测各设备的用能状态。通过数据采集与分析，协同优化系统总能耗与各子设备工况。例如，在生产高峰期，系统能够合理调配能源，优先保障关键设备的运行，同时对其他设备进行智能调控，避免能源的浪费与过度消耗。

◆ 构建全环节电动物流生态链

新津时代的工厂内部，通过无人驾驶物流车、电动叉车、电动自动导引运输车等多种电动设备，实现了内部物流的全面电动化。在供应链环节，鼓励供应商采用电动运输工具进行货物配送；在生产端，优化物流路线与运输调度，确保电动车辆的高效运行；在用户端，通过与合作伙伴的协同，推动电动物流在产品交付过程中的应用。

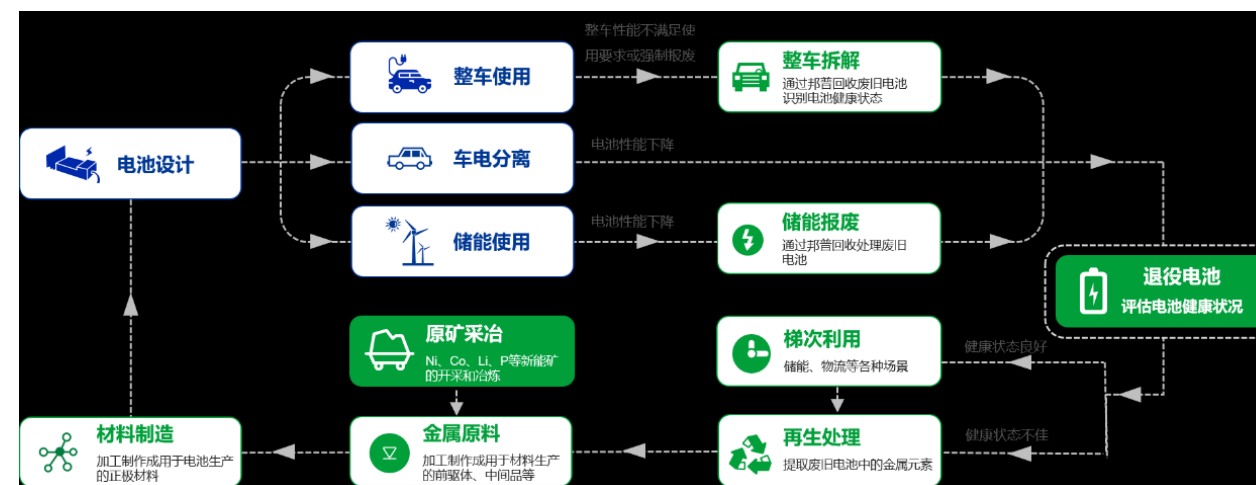
◆ 节能降耗与资源回收并行

绿色制造是新津时代零碳工厂建设的核心环节。

- 工厂借助生产运营系统（MES）实现产线节能。MES 系统通过对生产流程的精细化管理，优化设备的运行参数，减少不必要的能源消耗。例如，在生产过程中，根据订单需求动态调整设备的功率与运行速度，避免设备在空转或低负荷状态下的能源浪费。
- 工厂导入多个节能项目，如 N-甲基吡咯烷酮（NMP）回收器冷冻水降耗项目。NMP 是生产过程中的重要溶剂，通过回收器对其冷冻水进行降耗处理，减少了能源消耗。
- 资源回收利用方面，新津时代的制造端废料全部回收利用。无论是金属废料、塑料废料还是其他可回收材料，都经过专业的回收处理流程，重新进入生产循环。

动力电池包含钴、锂、镍、铜等有色金属，电池回收已成锂电池资源争夺关键环节。宁德时代构建循环生态闭环，子公司邦普循环是电池产业生态重要部分。邦普全年回收 10 万吨废旧电池，再生 1.3 万吨碳酸锂，镍、钴、锰回收率 99.6%，锂回收率 91%。

图 16：宁德时代的绿色循环



来源：宁德时代 2023 年 ESG 报告

2. “零碳”制造

“零碳”制造从工艺创新角度出发，专注于通过优化工艺需求、设备升级改造等方式降低制造过程中的碳排放强度，并逐步在基地开展推广和复制。

2023 年，宁德时代遵循设备小型化、数智化等理念，持续优化产线设备及工艺，在宜春基地引入自主研发且行业领先的技术和设备，实现化成容量、搅拌涂布、环境管控等多方面的优化和改进，相较于传统产线满产情况下，宜春基地单位产品能耗下降约 20%。

3. “零碳”设计

宁德时代在新体系产品研发中充分考虑“零碳”因素，持续完善产品碳足迹数据库，引入全生命周期预测（LCA），对概念阶段及技术早期的产品碳足迹、水污染影响、土壤污染影响及生物毒性影响等指标进行评价分析，大力开发低碳材料及技术，并将相关研究成果赋能价值链伙伴。

宁德时代自主设计并开发的“时代碳链”系统，是一款集碳排放数据收集、建模、核算与分析于一体的平台，与宁德时代厂务设施管理系统（CFMS）进行实时数据共享，可实时监控能源消耗及碳排放。同时，此平台依托宁德时代强大的供应链管理体系，深入产业链各层级，联动自身及行业权威背景数据库，根据生命周期评价（LCA）方法对产品进行碳足迹计算，为建立健全锂电池产业链材料及产品碳足迹数据库提供支持。

4. “零碳”供应

根据 UNGC《动力电池碳足迹及低碳循环发展白皮书》的数据，三元电池和磷酸铁锂电池原材料获取阶段的碳排放约占 80%，供应链对于产品碳足迹的下降至关重要。宁德时代将原料碳足迹作为评估供应商的重要指标之一，协助供应商开展工艺优化和提升，针对主要正负极供应商设定零碳电力使用比例目标，并为供应商提供分布式光伏项目技术支持。

三、宁德时代的研发创新

宁德时代拥有电化学储能技术国家工程研究中心、福建省锂离子电池企业重点实验室、中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认证的测试验证中心、21C 创新实验室、未来能源（上海）研究院、厦门研究院、江苏研究院等各具特色的研发机构，为其持续创新提供完善组织保障与有力支撑。

1. 材料及材料体系方面

凝聚态电池：采用高动力仿生凝聚态电解质，并构建微米级别自适应网状结构，调节链间相互作用力，在增强微观结构稳定性的同时，提高电池动力学性能，提升锂离子运输效率。同时，凝聚态电池单体能量密度高达 500Wh/kg，能够实现高比能与高安全兼得，亦具备快速量产的能力。

神行超充电池：全球首款 4C 磷酸铁锂电池，通过超电子网正极技术、石墨快离子环技术、超高导电液配方等创新，整车实现 700 公里续航，同时兼具全温域快充和高安全等优势。神行超充电池成为全球动力电池行业首个获得 AUTOBEST 最佳技术（TECHNOBEST）奖的产品，宁德时代也成为首个且唯一获得最佳技术奖的中国企业。

2. 系统结构方面——动力电池系统

凝聚态电池：采用高动力仿生凝聚态电解质，并构建微米级别自适应网状结构，调节链间相互作用力，在增强微观结构稳定性的同时，提高电池动力学性能，提升锂离子运输效率。同时，凝聚态电池单体能量密度高达 500Wh/kg，能够实现高比能与高安全兼得，亦具备快速量产的能力。

神行超充电池：全球首款 4C 磷酸铁锂电池，通过超电子网正极技术、石墨快离子环技术、超高导电液配方等创新，整车实现 700 公里续航，同时兼具全温域快充和高安全等优势。神行超充电池成为全球动力电池行业首个获得 AUTOBEST 最佳技术（TECHNOBEST）奖的产品，宁德时代也成为首个且唯一获得最佳技术奖的中国企业。

CTP3.0 麒麟电池：体积利用率达 72%，换热面积扩大 4 倍，能量密度高达 255Wh/kg，续航超 1,000 公里，10 分钟快充至 80%，实现续航、快充、安全、寿命、效率及低温性能全面提升。报告期内，CTP3.0 麒麟电池获得由德国汽车管理中心发起的汽车创新奖“最具创新力车企供应商——动力总成”类别大奖。该电池已实现量产并交付。

3. 系统结构方面-储能电池系统

5MWh EnerD 系列液冷储能预制舱系统：采用新一代储能专用 314Ah 电芯，结合 CTP 液冷高效成组技术，以及模块化和标准化的设计理念，实现 20 尺单集装箱电量从 3.4MWh 到 5.0MWh 提升，同时在安全性、可靠性等方面也得到提升，降低储能电站的占地面积、施工工程量与缆线用量，缩短整站调试周期，提升储能电站的经济性。

零辅源光储融合解决方案：配备行业内首款长寿命高温电芯，系统循环寿命达 15,000 次。此外，通过自研的光储变流器，配合高温电芯技术和先进的自加热技术，零辅源光储融合系统实现了光储协同运行，达到毫秒级响应，输出功率“零”偏差，是全球首个零辅源光储融合解决方案。

4. 绿色极限制造方面

超级拉线：公司新一代超级拉线开始全面应用，通过突破工艺效率瓶颈、集约式低能耗装备、高速智能物流、智能质检等手段，实现新产能工艺、工程升级。与上一代产线相比，超级拉线能够显著提升生产效率、升级产品质量、降低单位能耗。

灯塔工厂：溧阳基地获评达沃斯世界经济论坛（WorldEconomicForum,WEF）“灯塔工厂”，这是继宁德基地、宜宾基地后，获评的第三座“灯塔工厂”，目前全球锂电行业仅有的 3 座“灯塔工厂”均来自宁德时代。

第三节 纬景储能

纬景储能成立于 2018 年，是一家以高科技驱动的液流电池研发和智能制造公司。它专注于液流电池产品的研发、智能制造和多样化应用，致力于构建新型电力系统，实现能源的可持续、绿色、平价目标。特别是其珠海“超 G 工厂”的投产，标志着纬景储能引领新型储能走向产业化发展的重要里程碑。

纬景储能珠海“超 G 工厂”位于斗门区富山工业园，是一座集标准化、自动化、数智化等于一体的零碳智能制造工厂，于 2023 年 10 月投产，全面达产后年产能将超过 1.5GW。这是全球首个投产的吉瓦

级液流电池工厂，标志着行业实现了从兆瓦级向吉瓦级产能的巨大跨越，将推动液流电池进入规模化、产业化发展的新时代。

图 17：纬景储能珠海“超 G 工厂”



来源：艾邦液流电池网

纬景储能的核心产品为锌铁液流电池，其选用储备丰富、成本低且价格波动平稳的锌和铁两种金属配对。

该电池优势明显：

- 安全性能方面：具备本征安全性能，不会燃烧和爆炸。
- 储能时长方面：能实现 4 - 8 小时长时间储能，如新一代产品 GP110 使用寿命可达 25 年。
- 循环寿命方面：循环次数多、寿命长，在 100% DOD（放电深度）下充放电循环寿命超 30000 次，约是锂电池的 3 倍。
- 成本方面：度电成本表现出色，3 年内低于 0.2 元/度，性价比高。
- 环境适应性方面：可在零下 55 摄氏度至零下 10 摄氏度环境温度下稳定运行，且系统可回收再利用，对环境友好。
- 模块特性方面：具备功率模块和容量模块可解耦特性，能通过独立扩容灵活调整系统规模和储能时长。

凭借这些优势，锌铁液流电池可在风光电站、数据中心、5G 基站等多场景进行部署应用。

纬景储能的 ESG 实践

◆ 环境方面

- **绿色生产与零排放目标**：通过液流电池生产全过程的数智化，建立了数字化管理体系，与公司智能制造工厂耦合，形成能源资源数据规范化、可视化，提高数据分析处理效率和及时率，从而更有效地管理资源，减少浪费。
- **清洁能源使用**：纬景储能的绿色工厂在生产过程中大比例使用光伏等绿电，打造绿色建筑，进一步减少碳排放。例如，珠海的“超 G 工厂”就是一个净零碳示范工厂。
- **产品全生命周期减碳**：以“用绿色产品、构建绿色未来”为环境管理方针，梳理产品温室气体各排放节点，建立产品全生命周期减碳方案。

◆ 社会方面

- **推动能源绿色低碳转型**：液流电池产品具有安全、绿色、适合大规模、长时储能的应用场景等优势，有助于推动能源绿色低碳转型。公司承诺从 2025 年起为社会提供超过 180 亿度的年储能电量，相当于 690 万辆新能源车一年所需电量，年减少碳排放超过 1000 万吨。
- **促进地方经济发展与乡村振兴**：通过建设产线与示范项目，助力赣州、三明等地建设革命老区高质量发展示范区，在全国首个农村能源革命建设试点县河南兰考县开展示范项目，助力绿色能源点亮乡村振兴之路。

◆ 治理方面

- **完善气候相关战略与治理体系**：制定并完善气候相关战略，自上而下开展气候变化治理。公司全面导入 ESG 体系，确保“可持续、永创新”这一价值观贯穿公司业务发展、团队成长和治理管控的全过程、各环节。
- **强化数字化管理与智能化生产**：组建数字化团队，计划字技术赋能公司能源、资源管理，提高数据分析处理效率和及时率。同时，注重智能制造和规模化量产能力的提升，以降低成本、提高产品质量和市场竞争力。

参考资料

1. 宁德时代官网公告及产品手册
2. 《宁德时代2023年环境、社会与公司治理（ESG）报告》
3. 《供应链ESG管理的最佳实践——以宁德时代为例》，现代商业杂志社
4. 亿纬锂能官网
5. 《盛新锂能：2023年度环境、社会及治理（ESG）报告》
6. 观点 | ESG案例——天齐锂业可持续发展报告（ESG报告）研析，
中联律所
7. 《江西永兴特钢新能源科技有限公司120万吨/年锂矿石高效选矿与综合利用项目竣工辐射环境保护验收监测报告》
8. 《重庆贝思众远动力系统有限公司年处理1万吨废旧动力蓄电池的回收及梯次利用项目环境影响报告书（公示版）》
9. 《新能源电池环保循环利用项目二期扩建环境影响报告书（报批稿）》
10. 《实现碳中和，新能源的地位与作用详解》，全国能源信息平台
11. 联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）官网

INTRODUCTION



关于上海现代服务业联合会

上海现代服务业联合会，是由本市主要从事服务业的行业协会、学会、商会等社会组织及企事业单位自愿组成的跨行业、跨领域的综合性枢纽型非营利社团组织。拥有会员单位1500余家，其中200余家为行业协会、学会、商会等社会组织，覆盖了金融、信息、科技、商务、生产、公共、专业服务等多个领域，基本囊括上海市服务业的所有行业。

以联合会为主发起设立了上海现代服务业企业促进中心、上海经贸商事调解中心、上海现代服务业发展研究院、上海现代服务业发展基金会、上海现代服务业标准创新发展中心等五个民非实体机构，并牵头成立长三角现代服务业联盟，具有全面服务社会、助推经济发展的综合实力和核心竞争力。

2024年3月，上海市商务委关于印发《加快提升本市涉外企业环境、社会和治理（ESG）能力三年行动方案（2024-2026年）》，明确上海现代服务业联合会承担着“加大对ESG理念的宣传力度”的主要任务。



关于荣续ESG智库研究中心

荣续ESG智库研究中心，致力于推动“绿色共赢”的可持续发展理念，成为企业ESG发展的长期伙伴。我们通过ESG行业研究、优秀案例研究、政策和标准研究、热点和趋势分析等，解决气候变化、环境、社会、公司治理等领域的信息缺乏或信息不对称的问题，为企业提供可落地、可复制、可持续的ESG解决方案，帮助企业践行ESG理念，创造长期价值。

荣续智库研究中心汇聚了各行业的ESG专家和研究员，他们在各自领域拥有丰富经验和卓越能力。这些专家大部分是来自品职教育的ESG持证学员。品职教育拥有超过百万的活跃ESG学习社群，以及超过3万名ESG人才组成的人才库，是荣续智库坚实的人才资源。

荣续智库将继续发挥行业经验，秉持深刻洞察力和强大执行力，帮助企业将ESG有效整合到核心战略中，助力企业在ESG领域实现突破，创造社会和经济双重价值。

ESG白皮书系列

- | | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|--|
| 01 纺织服装行业ESG白皮书 | 13 包装印刷行业ESG案例白皮书 | 25 银行绿色金融行业ESG白皮书 | 37 酒旅行业ESG白皮书 | 49 基建行业ESG白皮书 |
| 02 食品饮料行业ESG白皮书 | 14 家电行业ESG白皮书 | 26 跨境电商行业ESG白皮书 | 38 零碳产城融合项目发展白皮书 | 50 气候金融ESG白皮书（基础篇） |
| 03 汽车行业ESG白皮书 | 15 美妆行业ESG白皮书 | 27 光储充行业ESG白皮书 | 39 零碳产城融合项目案例白皮书 | 51 气候金融ESG白皮书（实务篇） |
| 04 化工行业ESG白皮书 | 16 钢铁行业ESG白皮书 | 28 电子元器件分销行业ESG白皮书 | 40 白酒行业ESG白皮书 | 52 新能源汽车行业ESG白皮书（电池类） |
| 05 环保行业ESG白皮书 | 17 物流及航运物流行业ESG白皮书 | 29 建筑材料行业ESG白皮书 | 41 电力行业ESG白皮书 | 53 新能源汽车行业案例白皮书（电池类） |
| 06 新能源行业ESG白皮书 | 18 航空物流行业ESG白皮书 | 30 通信服务行业ESG白皮书 | 42 物业行业ESG白皮书 | 54 新能源汽车行业ESG白皮书（氢能·
甲醇·生物质·天然气·太阳能类） |
| 07 半导体行业ESG白皮书 | 19 建筑行业ESG白皮书 | 31 通信设备行业ESG白皮书 | 43 有色金属行业ESG白皮书 | 55 医养康行业ESG白皮书 |
| 08 医药行业ESG白皮书 | 20 储能行业ESG白皮书 | 32 家居装饰行业ESG白皮书 | 44 零碳物流园区发展白皮书 | 56 公共建筑行业ESG白皮书 |
| 09 财会行业ESG白皮书 | 21 机械储能行业ESG白皮书 | 33 互联网教育行业ESG白皮书 | 45 零碳园区发展白皮书 | 57 智能制造行业ESG白皮书（航空航天） |
| 10 金融“一带一路”ESG白皮书 | 22 电化学储能行业ESG白皮书 | 34 医疗器械行业ESG白皮书 | 46 传媒行业ESG白皮书 | 58 微电网与虚拟电厂行业ESG白皮书 |
| 11 包装行业ESG白皮书 | 23 化学储能行业ESG白皮书 | 35 医疗卫生行业ESG白皮书 | 47 造纸行业ESG白皮书 | 59 中国企业出海ESG白皮书（更新版） |
| 12 印刷行业ESG白皮书 | 24 出海欧盟 行业ESG白皮书 | 36 康复辅具行业ESG白皮书 | 48 煤炭行业ESG白皮书 | 60 零碳园区案例白皮书（系列） |

合作咨询请联系
(扫码添加联系人)



欢迎关注荣续ESG智库研究中心
为您提供最新的ESG资讯
共同探索可持续发展的未来

