

分布式能源系统中的储能技术

锂离子电池与抽水蓄能技术的原理与应用

演讲人：演讲人

2023415130128 演讲人 2023428020130 组员 2023428050102 组员

东莞理工学院
化学工程与能源技术学院

2025 年 6 月 6 日

目录

引言

锂离子电池储能技术

抽水蓄能技术

储能技术对比与展望

结论

研究背景

- ▶ **能源转型背景：**全球正加速向可再生能源转型 [1, 3]
 - ▶ 中国承诺“2030 年碳达峰，2060 年碳中和” [1]
 - ▶ 欧盟“2050 年气候中和” 目标 [3]
- ▶ **可再生能源挑战：**间歇性、波动性和不可预测性 [4]
- ▶ **分布式能源系统：**贴近用户侧的小型发电和用能系统 [5]
- ▶ **储能重要性：**平衡供需、提高系统稳定性和灵活性 [2, 6]

分布式储能技术概述

分布式储能的主要价值

- ▶ 削峰填谷
- ▶ 电力平衡
- ▶ 可再生能源消纳
- ▶ 提高电网稳定性
- ▶ 降低输配电投资

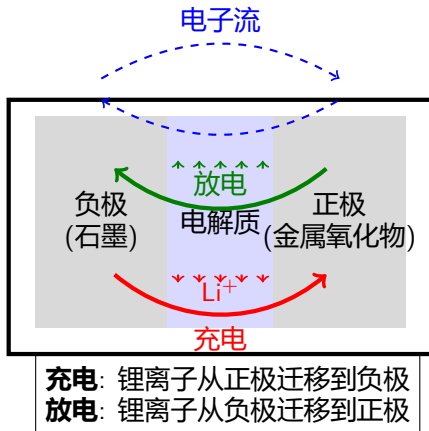
主要储能技术分类

- ▶ 电化学储能：锂离子电池、铅酸电池、流电池等
- ▶ 机械储能：抽水蓄能、压缩空气、飞轮等
- ▶ 电磁储能：超导、超级电容
- ▶ 热储能：相变材料、熔盐储热等

锂离子电池技术原理

工作原理

- ▶ 基于锂离子在正负极之间的嵌入与脱嵌
- ▶ 充电过程：锂离子从正极脱嵌，迁移至负极并嵌入
- ▶ 放电过程：锂离子从负极脱嵌，迁移至正极并嵌入



图：锂离子电池工作原理示意图

锂离子电池关键参数

- ▶ **能量密度**: 180-265 Wh/kg [7]
- ▶ **功率密度**: 250-340 W/kg [7]
- ▶ **循环寿命**: 1,000-10,000 次 [5]
- ▶ **响应时间**: 毫秒级 [4]
- ▶ **充放电效率**: 90-95% [6]
- ▶ **自放电率**: 每月约 3-5% [7]

材料体系	能量密度	安全性
LFP	中	高
NCM	高	中
NCA	高	低
LTO	低	高

表: 主要锂电池材料体系比较

锂离子电池最新技术进展

▶ 材料创新

- ▶ 高镍三元材料 (NCM811, NCA91.5): 能量密度提升至 300Wh/kg 以上
- ▶ 硅碳负极: 提高负极容量, 理论容量可达 4200mAh/g
- ▶ 固态电解质: 提高安全性, 实现能量密度 500Wh/kg 以上

▶ 电池管理系统 (BMS) 进步

- ▶ 基于大数据和人工智能的健康状态 (SOH) 预测: 准确率提升 20% 以上
- ▶ 云端基于数字孪生的电池远程运维平台

▶ 模组集成技术

- ▶ 无模组设计 (CTP/CTC): 体积能量密度提升 15-20%
- ▶ 液冷技术: 充放电速率提高, 散热效率提升 40%

分布式能源系统中的储能技术

国内案例：国网青海海南州共和光储系统（续）

► 应用场景

- 可再生能源消纳：平抑光伏出力波动
- 电网调峰：日间储存过剩光伏电力，夜间释放
- 一次调频：响应电网频率波动，提供快速响应服务
- 黑启动：区域电网故障时提供恢复电源

► 项目效益

- 提高光伏消纳率约 10%
- 减少弃光约 2000 万 kWh/年
- 降低电网波动率 87% 以上
- 减少碳排放约 1.6 万吨/年
- 延缓新建输电线路投资

国外案例：澳大利亚 Hornsdale 电池储能电站

项目概况

- ▶ **地点:** 澳大利亚南澳大利亚州
- ▶ **规模:** 150MW/194MWh
- ▶ **建成时间:** 2017 年首期, 2020 年扩建
- ▶ **供应商:** 特斯拉 Megapack

背景：2016 年南澳大利亚州发生严重停电事件后建设



图: Hornsdale 电池储能电站

国外案例：澳大利亚 Hornsdale 电池储能电站（续）

▶ 系统性能

- ▶ 响应时间：140 毫秒（远低于传统电源的秒级响应）
- ▶ 调频精度：优于传统煤电机组 10 倍以上

▶ 应用场景

- ▶ 电网频率控制服务 (FCAS)
- ▶ 虚拟输电线路服务
- ▶ 电力批发市场套利
- ▶ 系统惯量服务

▶ 项目效益

- ▶ 节省电网服务成本超过 1.5 亿澳元（2017-2020）
- ▶ 电网频率合格率提升 30% 以上
- ▶ 减少碳排放约 50 万吨/年
- ▶ 投资回报周期：4-5 年

工作原理

- ▶ 基于势能储存与转换
- ▶ 低谷电力：抽水至高水库储存势能
- ▶ 高峰时段：放水发电转换为电能
- ▶ 能量存储公式：

$$E = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot V \quad (1)$$

其中: η 为效率, ρ 为水密度, g 为重力加速度, h 为水头高度, V 为水量

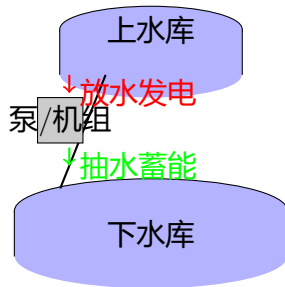


图: 抽水蓄能系统示意图

抽水蓄能关键参数

- ▶ **能量密度**：低，约 0.5-1.5 Wh/kg
- ▶ **效率**：70-85% (往返效率)
- ▶ **响应时间**：分钟级 (传统)，秒级 (新型)
- ▶ **寿命**：40-60 年
- ▶ **自放电率**：极低 (主要是蒸发损失)
- ▶ **规模**：大型，通常 100MW-3000MW

类型	优点	缺点
常规	成熟可靠	选址受限
海水	容量大	腐蚀严重
地下	占地少	建设成本高
小型化	灵活分散	经济性差

表: 抽水蓄能电站类型对比

抽水蓄能最新技术进展

▶ 可变速抽水蓄能技术

- ▶ 采用双馈异步电机或全转换器同步电机
- ▶ 优势：发电模式下可调节 50-100% 额定功率
- ▶ 效益：提高电网调频能力，往返效率提升 3-5%

▶ 小型模块化抽水蓄能

- ▶ 单机容量：1-20MW
- ▶ 设计特点：标准化设计，工厂预制装配
- ▶ 应用：分布式能源系统、微电网

▶ 泵蓄与风光互补系统集成技术

- ▶ 风光泵储一体化设计
- ▶ 联合优化调度算法：效率提升 10-15%
- ▶ 虚拟同步机技术：提供系统惯量与短路容量

国内案例：广东惠州抽水蓄能电站

项目概况

- ▶ **地点：**广东省惠州市龙门县
- ▶ **装机规模：**2400MW ($8 \times 300\text{MW}$)
- ▶ **蓄能能力：**约 16.8GWh
- ▶ **投产时间：**2011 年全部投产
- ▶ **静态投资：**约 120 亿元人民币

技术特点

- ▶ 采用单级混流可逆式水泵水轮机
- ▶ 上下水库有效落差：507 米
- ▶ 首次采用全地下式厂房布置



图：惠州抽水蓄能电站示意图

国内案例：广东惠州抽水蓄能电站（续）

▶ 运行模式

- ▶ 电网调峰：夜间低谷抽水，白天高峰发电
- ▶ 系统备用：提供旋转备用、黑启动能力
- ▶ 频率调节：响应电网频率波动，提供调频服务

▶ 项目效益

- ▶ 增加广东电网调峰能力达 2400MW
- ▶ 减少火电机组深度调峰损耗，每年节约标煤约 37 万吨
- ▶ 提高电网安全运行水平，降低系统备用容量
- ▶ 支持广东核电、风电发展，促进低碳能源结构转型
- ▶ 减少二氧化碳排放约 100 万吨/年

分布式能源系统中的储能技术

国外案例：瑞士 Nant de Drance 抽水蓄能电站（续）

► 技术特点

- 采用最新可变速技术，响应时间小于 10 秒
- 380 米落差，欧洲最高水头抽水蓄能电站之一
- 全地下洞室系统，环境影响小
- 机组额定功率：150MW，效率高达 80% 以上

► 项目效益

- 为瑞士和欧洲电网提供调峰、调频服务
- 促进欧洲可再生能源并网（特别是北海风电）
- 跨国电力交易平台（连接法国、德国、意大利电网）
- 减少碳排放约 40 万吨/年
- 提高区域电力系统稳定性和可靠性

参数	锂离子电池	抽水蓄能
能量密度	高 (180-265 Wh/kg)	低 (0.5-1.5 Wh/kg)
响应速度	毫秒级	秒-分钟级
循环寿命	1,000-10,000 次	40-60 年
效率	90-95%	70-85%
适用规模	kW-100MW 级	10MW-3GW 级
地理限制	低	高
投资成本	1500-3000 元/kWh	3000-8000 元/kW
运维成本	中等	低

表: 锂离子电池与抽水蓄能技术对比

分布式储能应用场景比较

锂离子电池优势场景

- ▶ 分布式光伏配套储能
- ▶ 商业楼宇需量响应
- ▶ 微电网稳定控制
- ▶ 电动汽车充电站辅助
- ▶ 家庭能源管理系统
- ▶ 电网辅助服务（调频）

抽水蓄能优势场景

- ▶ 大型可再生能源基地配套
- ▶ 区域电网调峰调频
- ▶ 电网黑启动支撑
- ▶ 输电通道阻塞管理
- ▶ 系统惯量与短路容量支撑
- ▶ 跨区域负荷转移

储能技术发展趋势

▶ 技术协同

- ▶ 多种储能技术互补：快响应 + 长时间 + 大容量
- ▶ 储能与能源转换技术融合（如 Power-to-Gas）

▶ 商业模式创新

- ▶ 共享储能平台
- ▶ 储能即服务 (SEaaS)
- ▶ 虚拟电厂聚合交易

▶ 技术发展方向

- ▶ 锂电池：固态电池、钠离子电池、锂硫电池
- ▶ 抽水蓄能：小型化、模块化、智能化
- ▶ 系统集成：多能互补、源网荷储一体化

▶ 政策支持

- ▶ 国家层面：能源“十四五”规划、新型电力系统
- ▶ 地方层面：储能配置要求、峰谷电价机制
- ▶ 市场机制：电力辅助服务市场、容量电价

我国储能发展规划与目标

- ▶ **《新型储能发展实施方案 (2021-2025 年)》 [1]**
 - ▶ 2025 年：新型储能装机规模达 30GW 以上
 - ▶ 锂电池成本降低 30% 以上
 - ▶ 建立健全储能市场机制
- ▶ **《“十四五”可再生能源发展规划》 [2]**
 - ▶ 风电、光伏新增项目配置 20% 以上储能容量
 - ▶ 抽水蓄能 2025 年装机目标 62GW [8]
 - ▶ 支持“新能源 + 储能”示范项目建设
- ▶ **《电力发展“十四五”规划》**
 - ▶ 构建新型电力系统，储能为关键支撑
 - ▶ 促进源网荷储协调发展
 - ▶ 加快储能技术创新与产业化

总结与建议

结论

- ▶ 储能是分布式能源系统必要组成部分
- ▶ 锂电池适合短时、分散、灵活应用场景
- ▶ 抽水蓄能适合大规模、长时间调节场景
- ▶ 技术进步降低储能成本，提高系统效能
- ▶ 储能项目经济性日益提升

建议

- ▶ 加强储能关键技术研发投入
- ▶ 完善电力市场机制设计，体现储能价值
- ▶ 因地制宜选择合适储能技术路线
- ▶ 鼓励多样化商业模式创新
- ▶ 储能与能源互联网协同发展

参考文献

-  国家发改委, 国家能源局. 《新型储能发展实施方案 (2021-2025 年)》[Z]. 2021.
-  中国电力企业联合会. 《中国电力行业年度发展报告 2023》[R]. 2023.
-  International Energy Agency (IEA). Energy Storage Report 2024 [R]. 2024.
-  P. Denholm, et al. The Value of Energy Storage for Grid Applications [J]. National Renewable Energy Laboratory, 2023.
-  国网能源研究院. 《中国储能产业发展白皮书》[R]. 2024.
-  阮洪兵, 邵志刚, 等. 大规模可再生能源并网中储能关键技术研究进展 [J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(5): 1498-1509.
-  BloombergNEF. 2024 Battery Price Survey [R]. 2024.
-  International Hydropower Association. Pumped Storage Tracking Tool [DB/OL]. 2024.

谢谢

谢谢观看

欢迎提问