



华北电力大学  
NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY

# 储能中的一些热管理技术

徐超

国家储能技术产教融合创新平台

华北电力大学

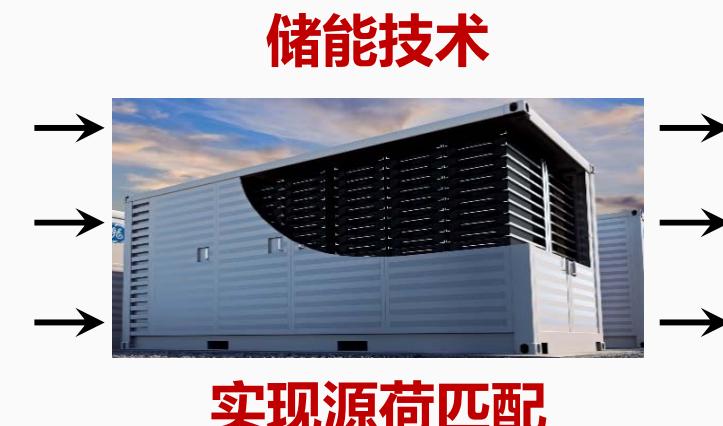
2023年1月14日

# 报告提纲

- 储能技术背景
- 电化学储能中的热管理与热安全
- 卡诺电池储能中的热管理
- 国家储能技术产教融合创新平台介绍

# 储能技术背景及发展现状

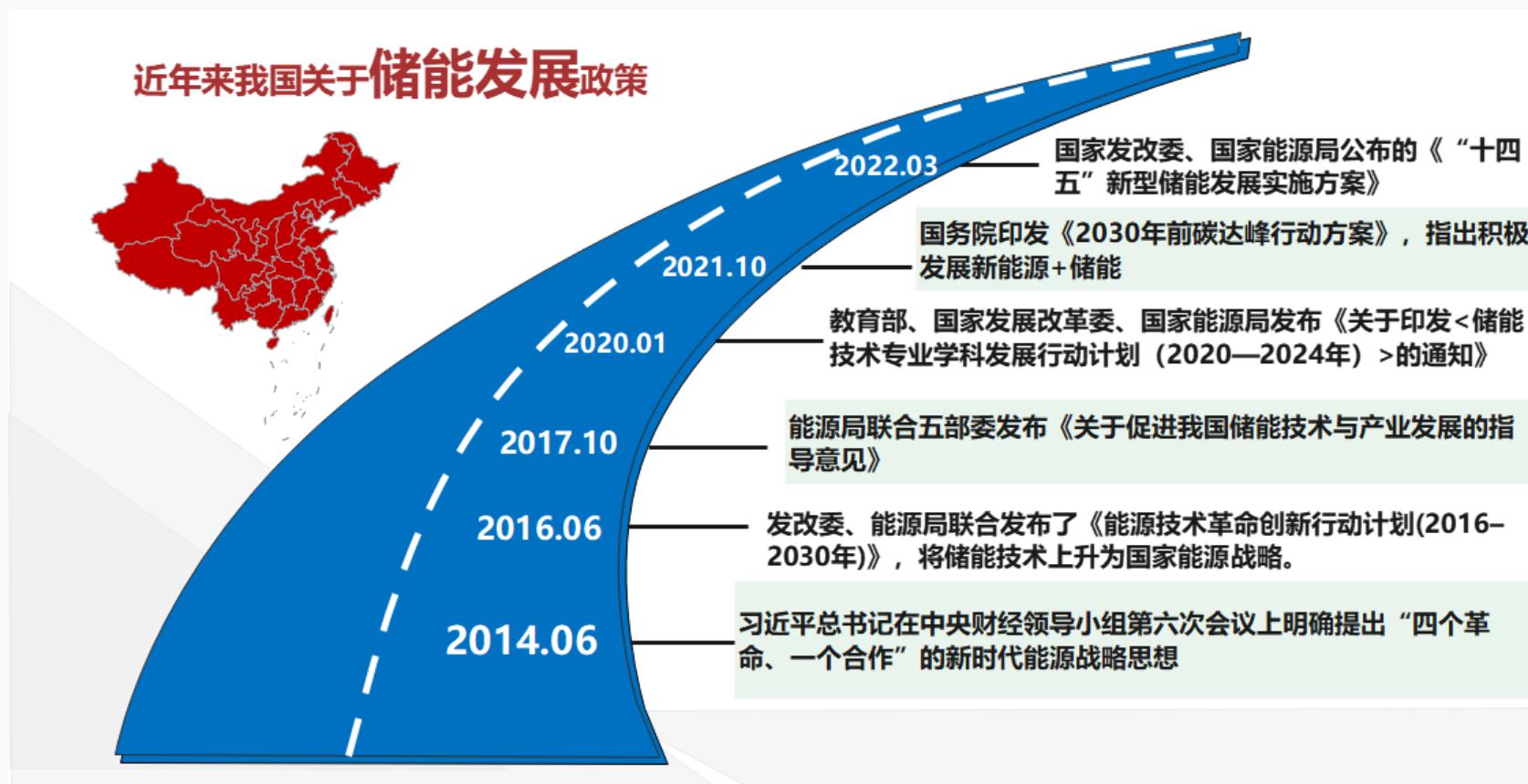
能源结构正在从化石能源向新能源转型，风、光为主的新能源具有间歇性和波动性，造成能源供需不匹配。



储能技术是未来新能源革命的核心

# 储能技术背景及发展现状

自2014年，提出“四个革命、一个合作”的新时代能源战略思想以来，国家各相关单位已出台多项**储能发展**的相关政策。



# 储能技术背景及发展现状

到2025年，新型储能从商业化初期向规模化发展，装机规模达3000万千瓦；到2030年，装机规模基本满足新型电力系统相应需求。——发改委、能源局《关于加快推动新型储能发展的指导意见》

风电、光伏的装机总量、装机比例显著上升，从配角逐渐上升为主角

灵活燃煤电站是电网调峰重要基础，是电网的安全基石

主导：新能源

基石：灵活火电

新型电力能源系统：3060主载体

枢纽：储能

调度：智能电网

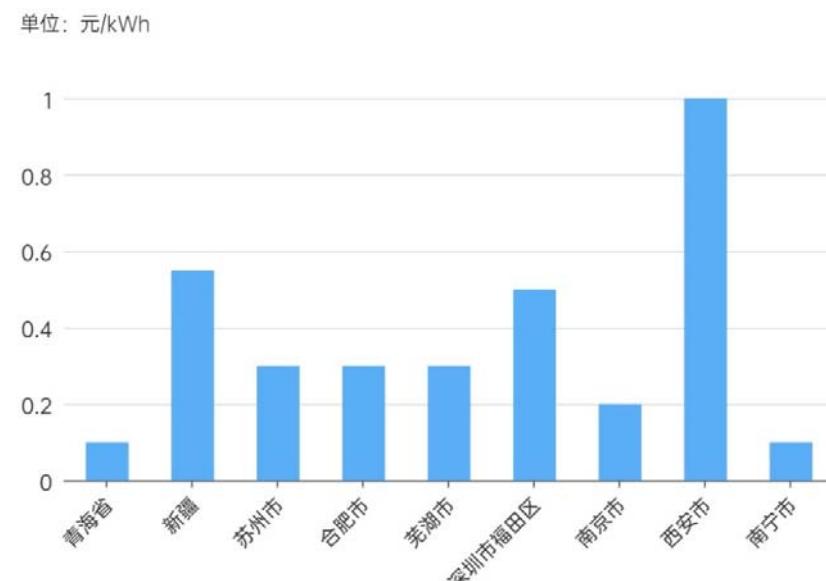
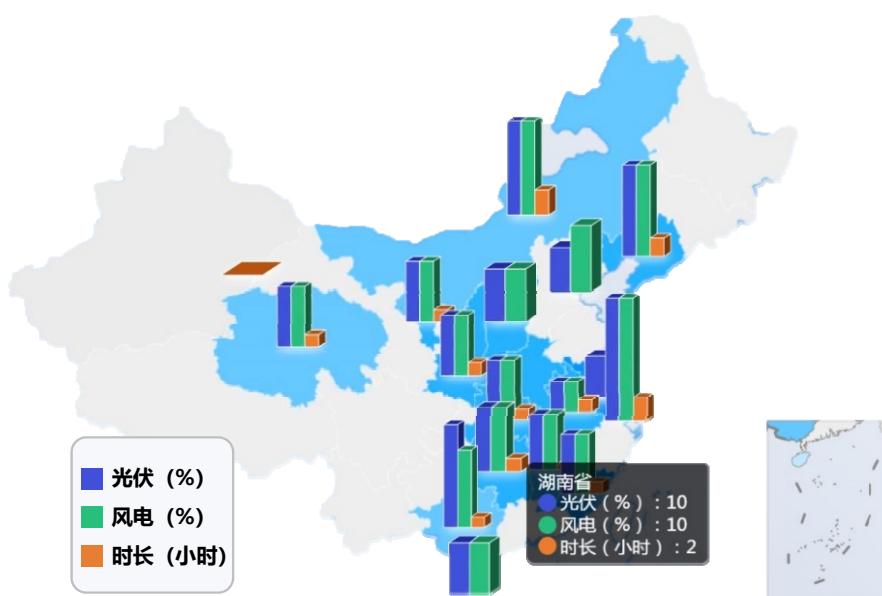
电力系统中灵活调峰电源至少需占10-15%，大型储能系统将作为重要组成部分

能源电力系统的复杂化要求电网具有综合能源智能调度功能

作为功率和能量缓冲，  
储能是新型能源转换和安全的保障

# 储能技术背景及发展现状

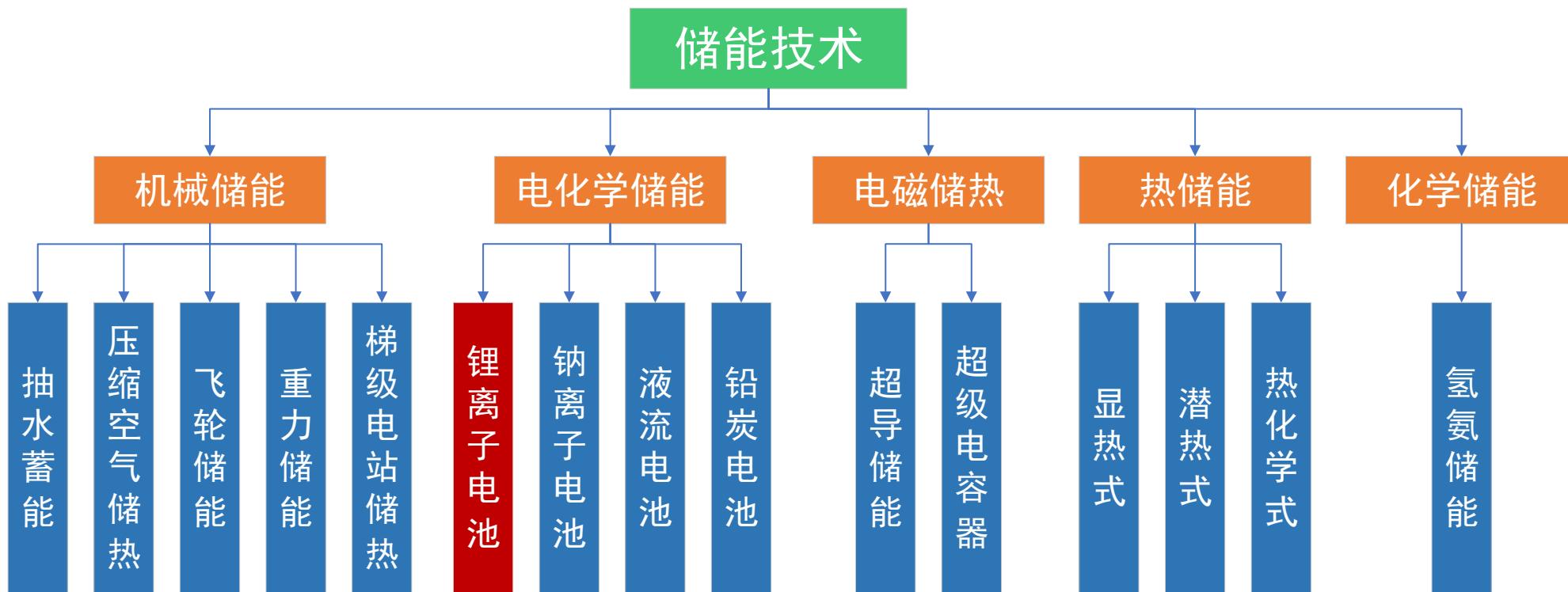
**地方层面配置要求、补贴政策双管齐下** 多省份明确提出风光开发配置储能要求，比例在5-20%之间，时长多在2小时。各地补贴额度虽差别较大，但整体属于利好时期，储能前景清晰。



地方储能补贴情况

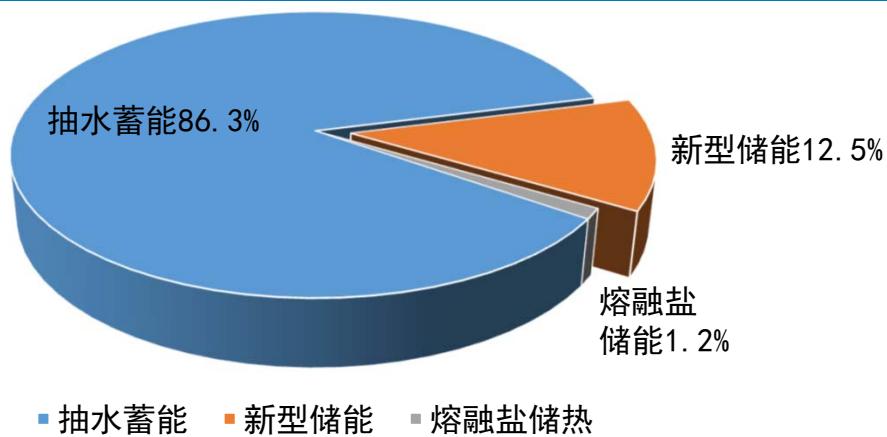
# 储能技术背景及发展现状

储能技术主要分为五大类 不同储能技术特性差别显著，适用范围也不尽相同，都各具优缺点。其中，电化学储能技术是储能领域发展的重点方向，而锂离子电池则是电化学储能技术发展的重心。

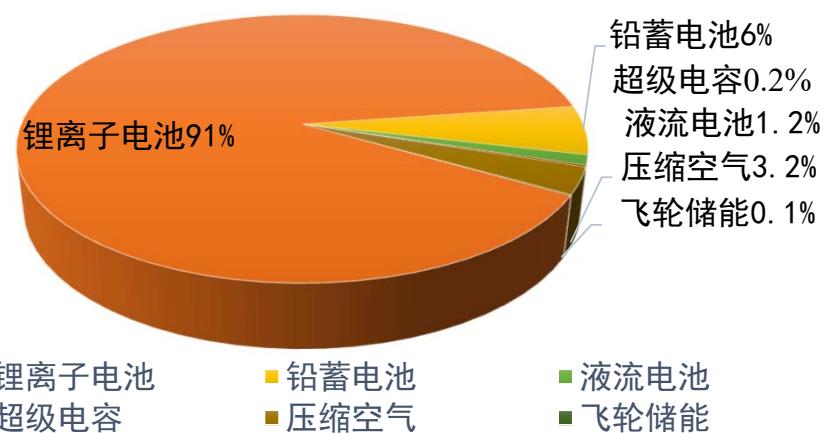


# 储能技术背景及发展现状

**我国储能市场装机占比** 截至2021年，中国储能市场累计装机规模达到43.44GW，其中抽水蓄能和新型储能占主要比重。电化学累计装机规模达到5.12GW，占比达到11.8%，其中锂离子电池装机占比达91%，规划在建规模超20GW。



中国储能市场装机占比

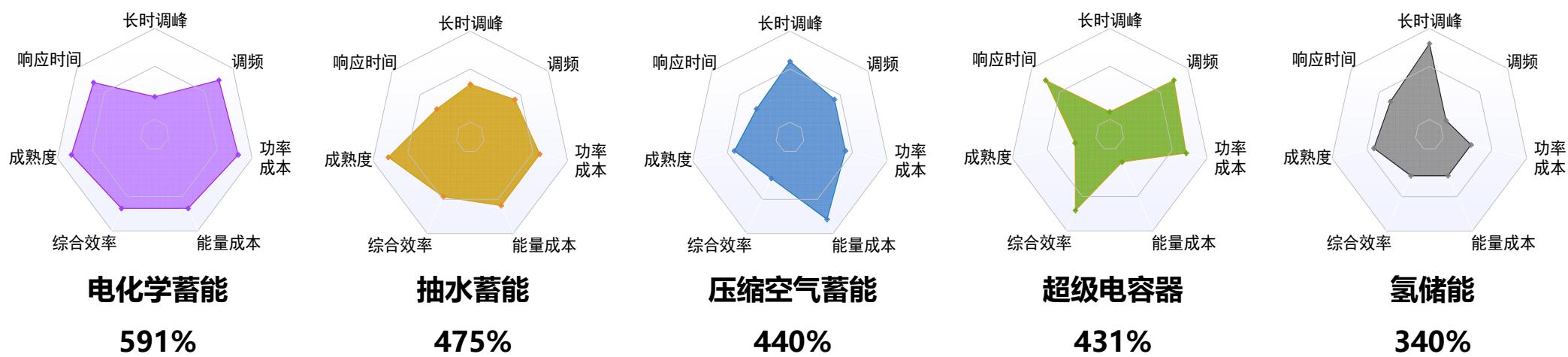


新型储能技术装机占比

**新型储能中电化学储能装机占比最高**

# 储能技术背景及发展现状

**新型储能技术综合对比** 根据长时调峰、功率成本、能量成本、综合效率、成熟度及响应时间的雷达图，发现抽水蓄能、压缩空气储能技术适合于系统调峰，超级电容器储能适合于需要提供短时较大的脉冲功率场合，氢能储能适合大规模应用于电厂的储能发电上，电化学储能则主要运用于光、风发电等波动较大的可再生能源发电侧。



减小成本是未来电化学储能的发展方向

# 报告提纲

- 储能技术背景
- **电化学储能中的热管理与热安全**
- 卡诺电池储能中的热管理
- 国家储能技术产教融合创新平台介绍

# 电化学储能技术应用领域

储能电站



电动汽车



电子产品



储能过程的核心问题：能量密度、使用安全

# 储能系统总体情况

储能系统核心设备**锂离子电池**对温度较为敏感，因此**电池热管理相关问题是决定其使用性能、安全性、寿命及使用成本的关键因素**。



# 电池储能热管理与热安全防护需求

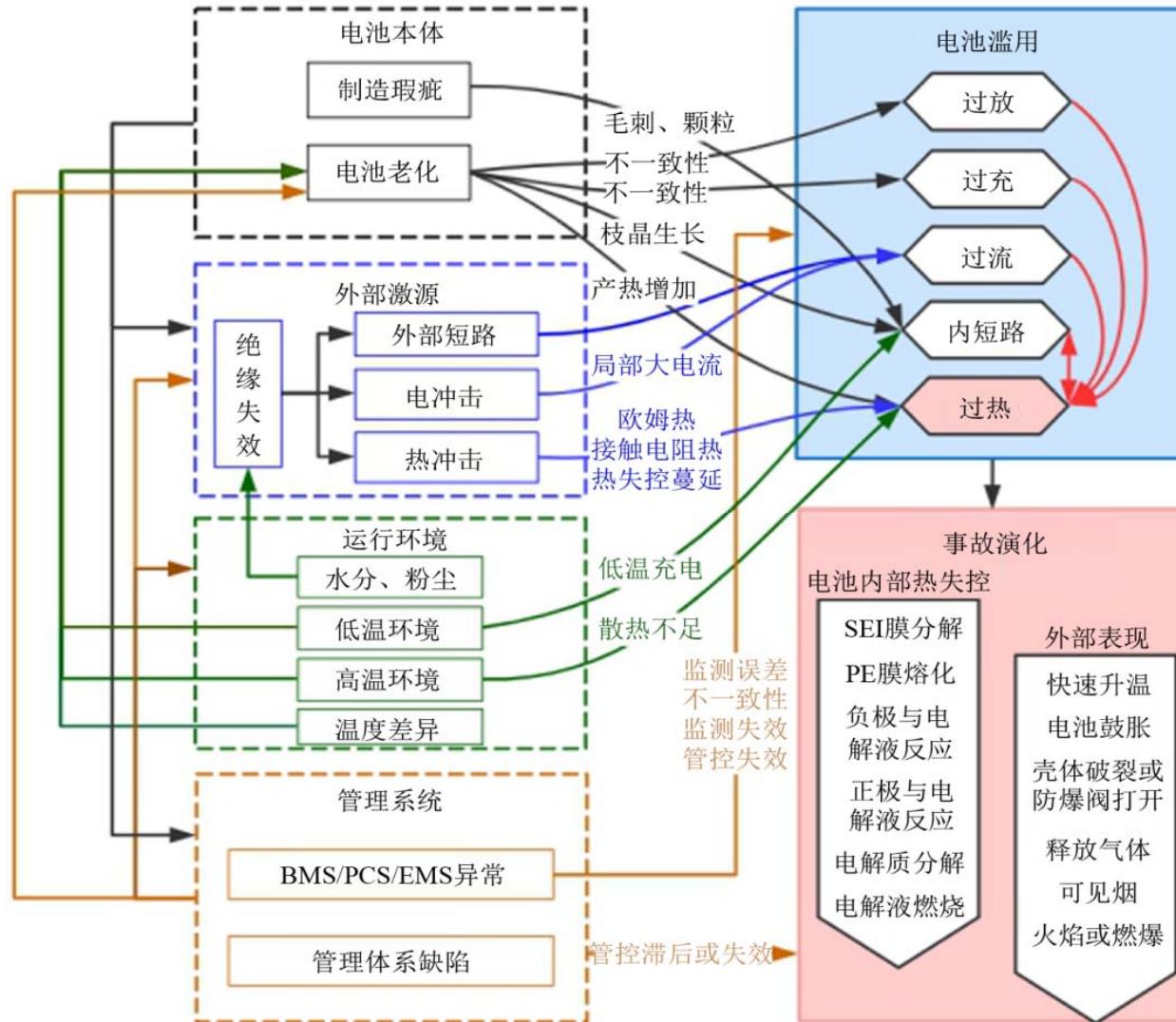
电池在内外部激源的影响下，超出安全技术承受能力，突发热失控。事故的发生往往由内外部诱因交互作用演化发展，电池储能安全是一个系统性问题。



序号	项目名称	电池类型	电站状态	事故时间
1	韩国庆尚北道储能项目	三元	——	2021-03
2	韩国忠清南道光伏储能项目	三元	投运3年	2021-04
3	澳大利亚Bohle Plains储能项目	三元	投运1.2年	2021-04
4	北京丰台大红门储能项目	磷酸铁锂	投运2年	2021-04
5	美国密歇根州 Standish储能项目	——	建设中	2021-04
6	法国Boulouparis, New Caledonia	——	——	2021-07
7	德国诺伊哈登贝格机场	磷酸铁锂	投运5年	2021-07
8	美国伊利诺伊州Grand Ridge	磷酸铁锂	投运6.2年	2021-07
9	澳大利亚维多利亚特斯拉大电池储能项目	三元	调试中	2021-07
10	美国加州蒙特雷县Moss Landing	三元	投运0.8年	2021-09
11	京港澳高速武汉江夏区	磷酸铁锂	运输中	2022-01
12	韩国蔚山SK工厂储能项目	三元	投运2年	2022-01
13	韩国庆尚北道军威郡牛宝郡新谷里太阳能发电厂储能项目	三元	投运3年	2022-01
14	江西上饶黄金埠某储能项目	磷酸铁锂	调试中	2022-02
15	美国加州蒙特雷县Moss Landing	三元	投运1年	2022-02
16	台湾工研院龙井储能项目	三元	投运2年	2022-03
17	美国加州Valley Center储能项目	三元	投运0.2年	2022-04
18	美国亚利桑那Chandler电池	三元	投运3年	2022-04

# 电池储能热管理与热安全防护需求

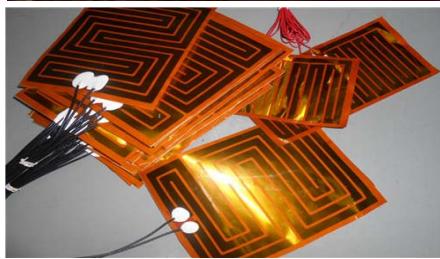
## 电池储能系统安全事故诱因及其交互关系



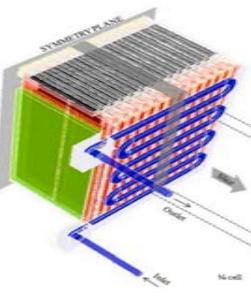
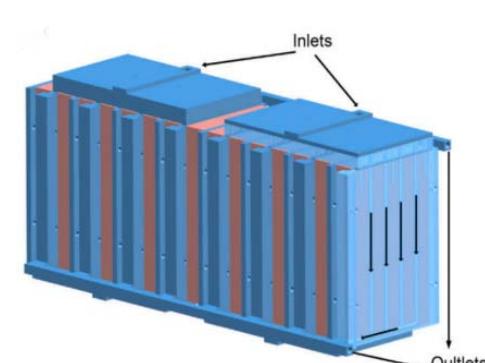
事故最终指向  
↓  
**热失控**

# 电池储能热管理与热安全防护需求

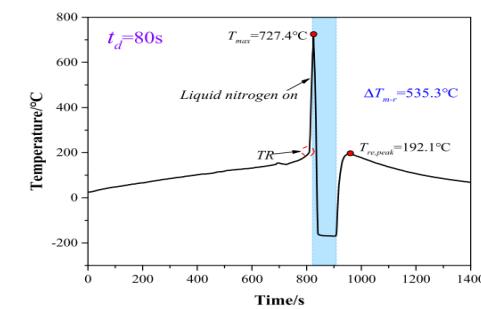
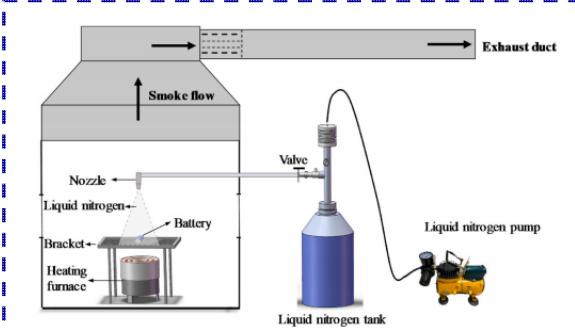
## 储能电池热管理与热安全性防护



低温加热



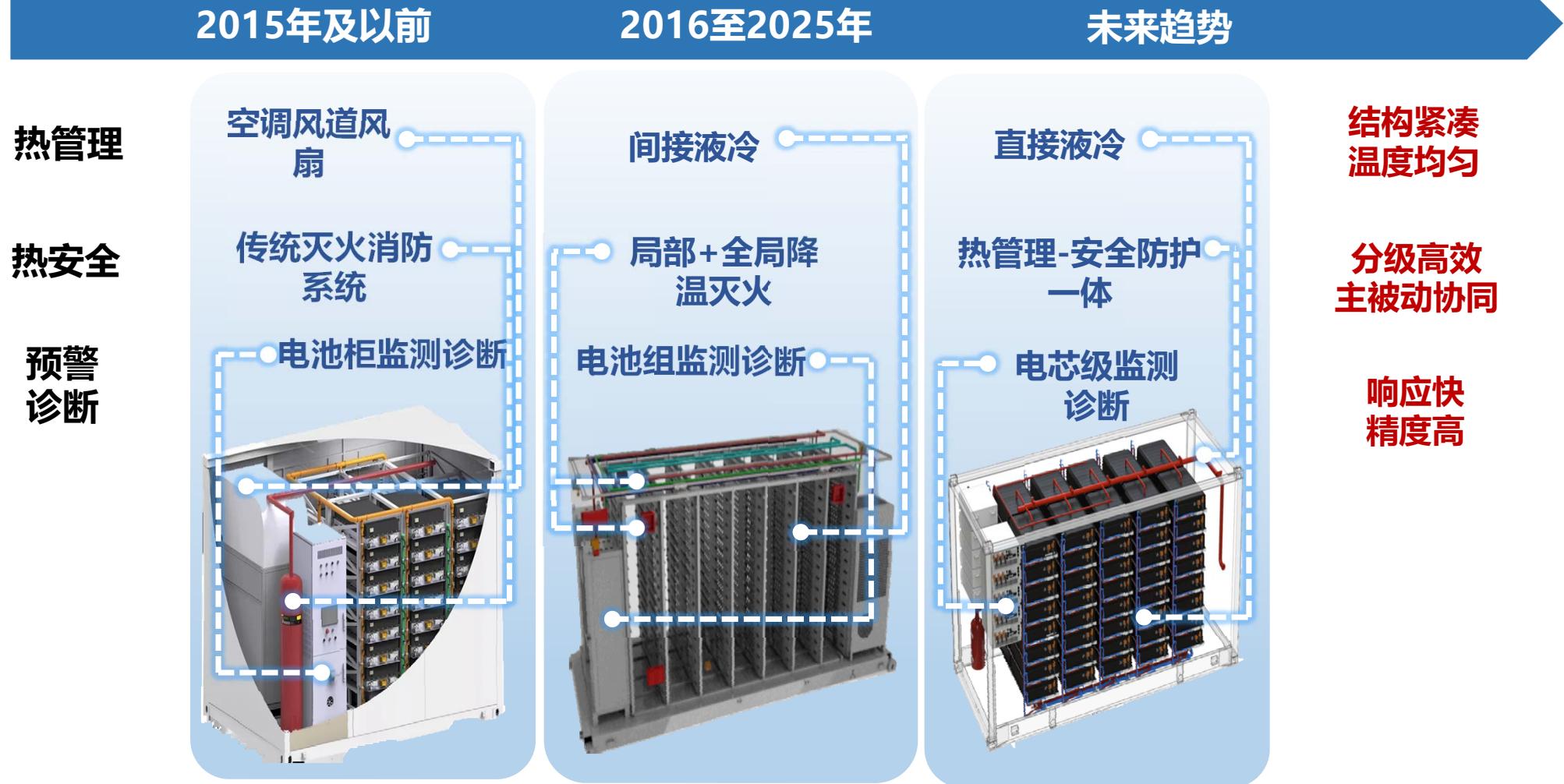
常规散热



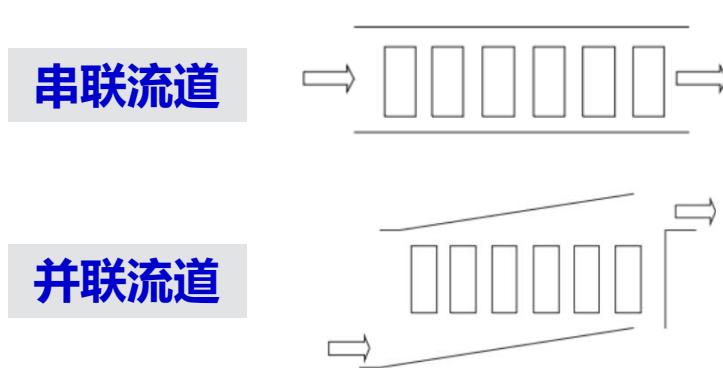
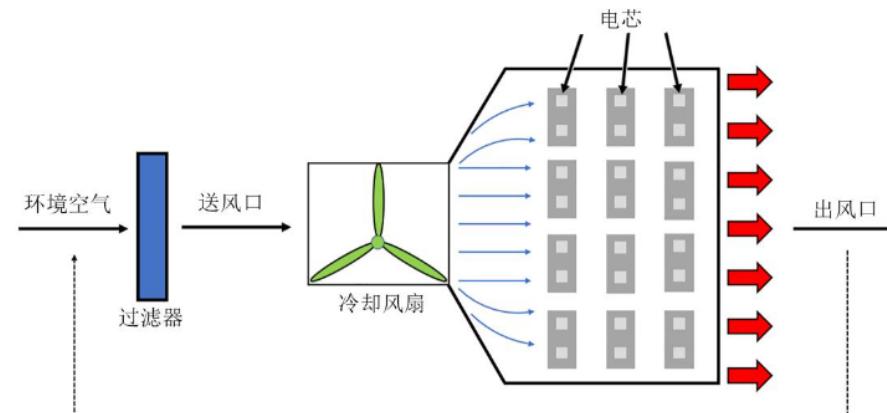
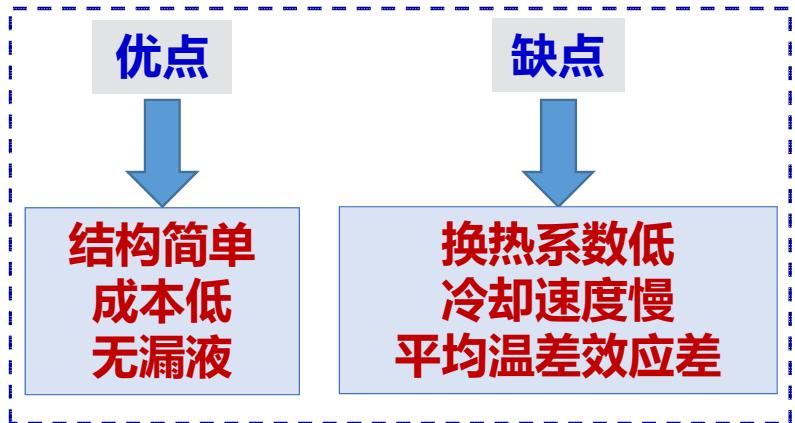
热蔓延阻隔

低温下有效加热，可以阻止锂枝晶的产生，防止内短路及热失控；常温下有效散热，可以避免热失控的触发，确保电池组的安全；热失控过程中，既要及时散热，也要阻止热蔓延，提升热安全性防护能力。

# 电池储能热管理与热安全技术发展



# 电池储能热管理技术-空气冷却



增加电池间的散热片、散热槽及距离，可以采用串联式和并联式通道

空冷作为最传统的冷却方式广泛应用于电动汽车BTMS领域。

知豆汽车

丰田普锐斯

日产Leaf

比亚迪E6

由于动力锂电池向高能量密度发展的趋势，空气冷却逐渐难以满足热管理技术要求。

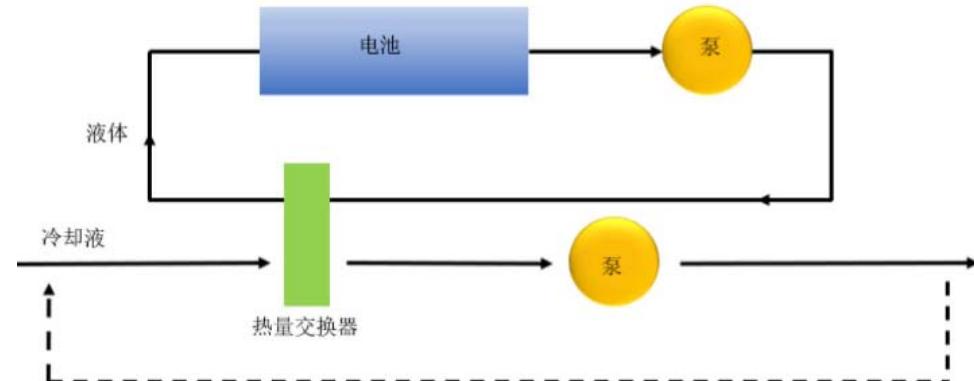
# 电池储能热管理技术-液体冷却

优点

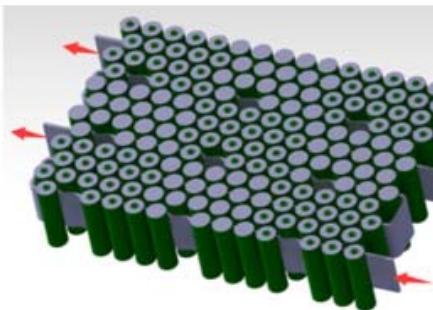
导热系数高  
冷却效率高  
温度一致性

缺点

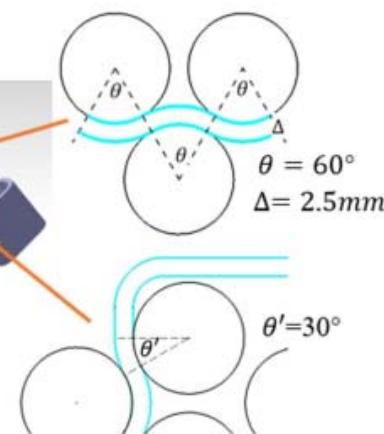
结构相对复杂  
密封要求高  
系统重量大



液体冷却结构示意图



蛇形流道液冷



多数电动乘用车都选择液体冷却方式。  
江淮iEV7S、比亚迪元EV360、东南DX3EV400  
北汽新能源EX360、特斯拉Model S采用的是蛇形串联液冷。

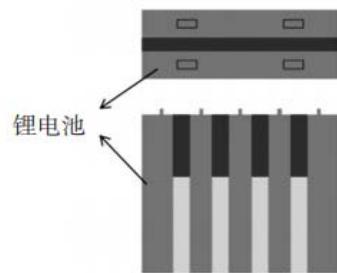
# 电池储能热管理技术-相变冷却

优点

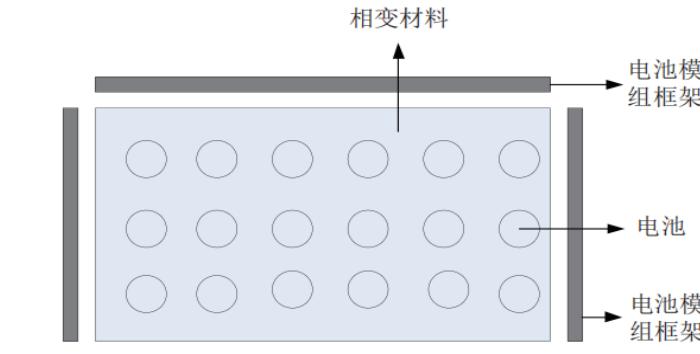
储热密度高  
控温均匀性  
高低温保温

缺点

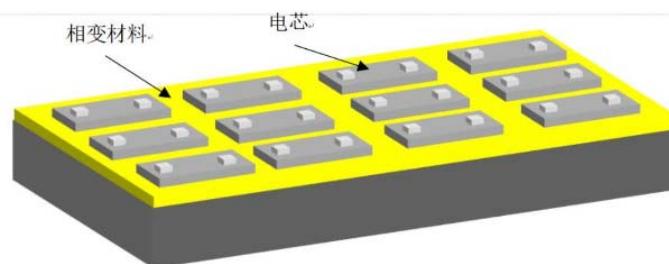
体积变化大  
容易泄漏  
热导率较低



相变材料与液冷耦合的分层式散热图



相变冷却示意图



相变冷却结构示意图

将相变冷却与其他热管理方式相结合，及时将相变材料吸收的热量散失到外界环境中，则可持续发挥相变材料的冷却作用。

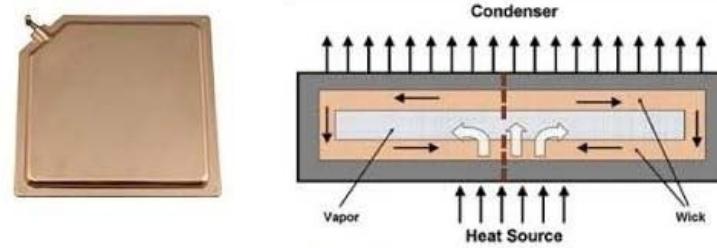
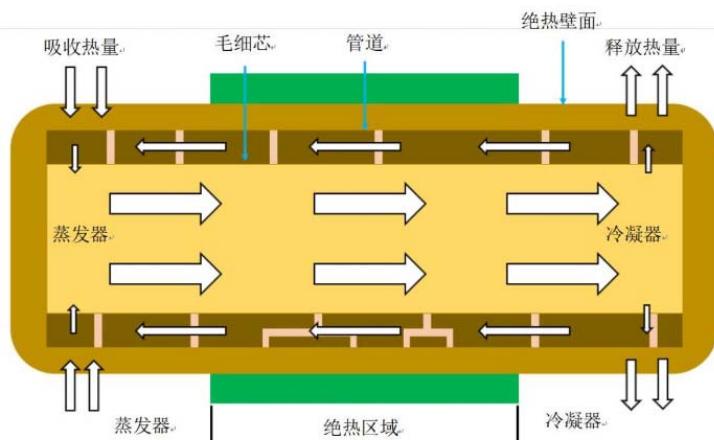
# 电池储能热管理技术-热管冷却

优点

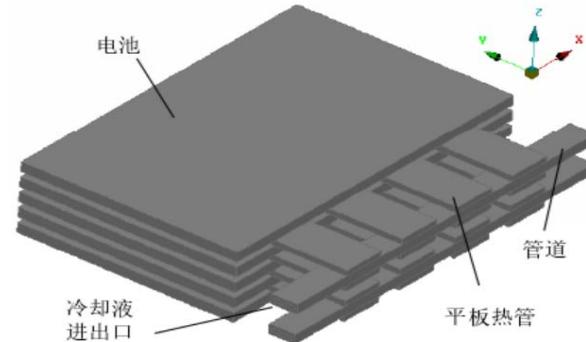
冷却效率高  
灵活性好  
适用范围广

缺点

制造成本高  
系统结构复杂  
温度均匀性差



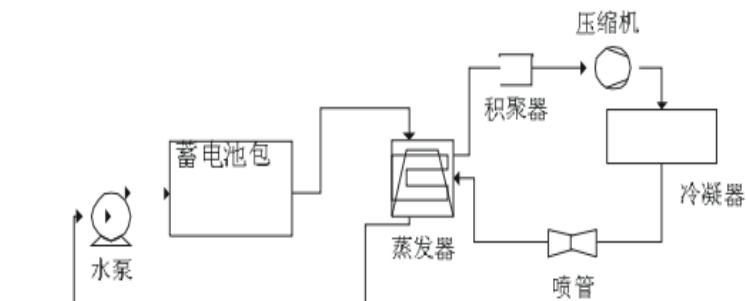
平板热管(VC)结构图



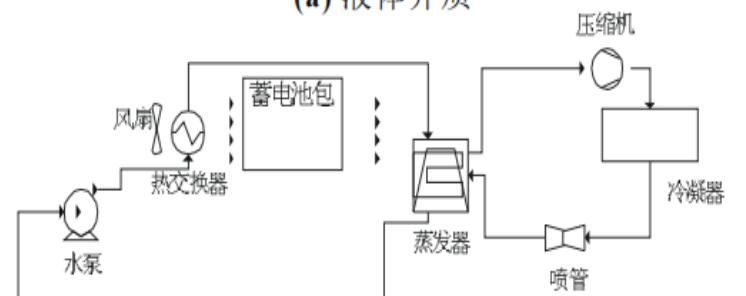
目前热管冷却还不适合大规模应用于动力锂电池热管理系统，应向小型化、简单化发展，提高热管冷却系统的普适性是今后的发展目标。

# 电池储能热管理技术-复合冷却

锂离子电池的多种**不同热管理方式相互耦合**，能够兼顾不同的冷却需求，或实现热量从内部局部向大空间的转移。



(a) 液体介质



(b) 空气介质

空调冷却

复合冷却

优点

系统紧凑  
冷却性能好  
经济节能

缺点

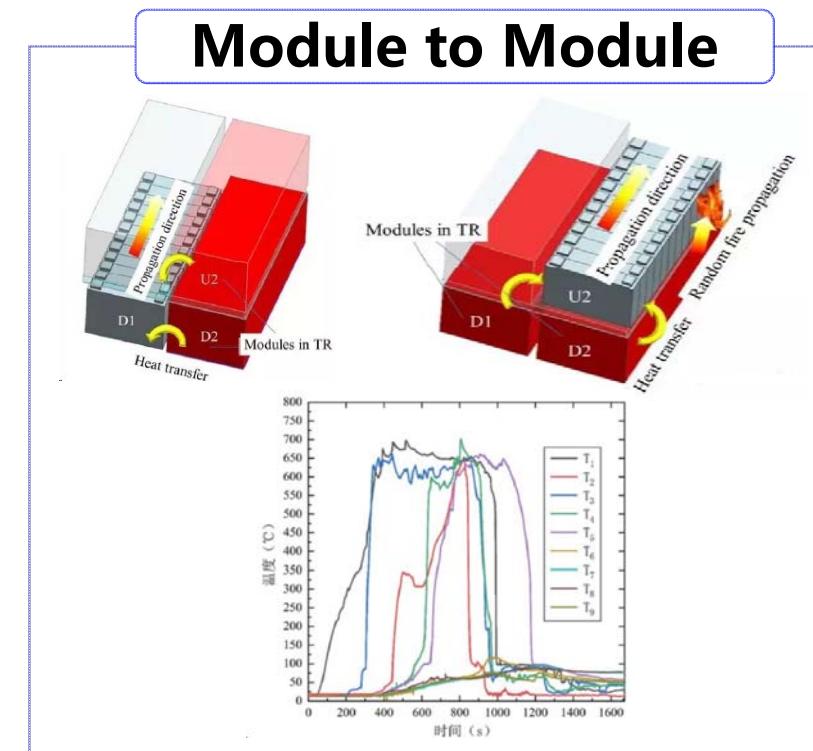
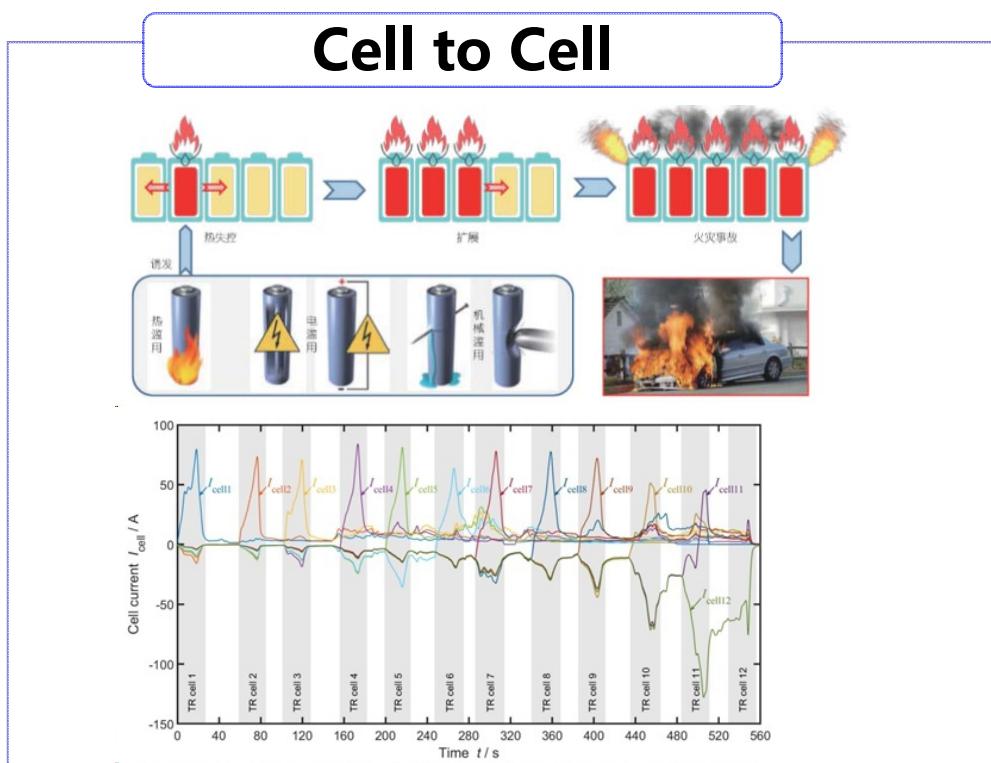
系统复杂  
成本高  
控制复杂



复合相变材料与散热翅片组合

# 电池储能热安全防护技术

正极改性、负极改性、提升电解液的稳定性、采用热稳定性高的隔膜等仍**不可避免**热失控。

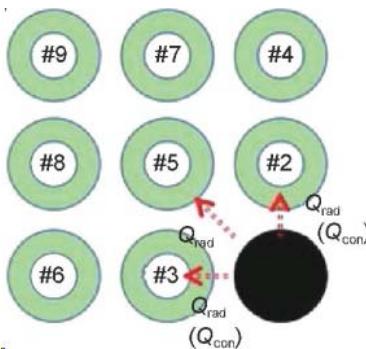


热失控在电池单体和模组间均存在传播**时间差**。

# 电池储能热安全防护技术

**单电池尺度——由低导热系数、耐高温材料对独立电池或电池包进行分区“隔离”，控制TR热量向邻近电池传播。**

## 电池间的气隙



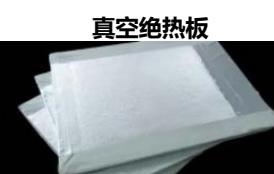
电池仓体积 ×

TR后电池膨胀 ×

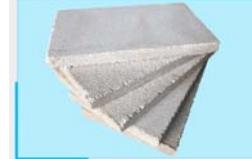
## 传统隔热材料



泡沫套  
铝箔压制板



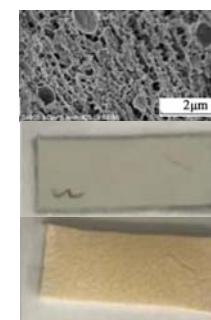
纤维棉  
真空绝热板



石墨复合板  
陶瓷纤维板

## 新型隔热材料

改性橡胶



纳米气凝胶

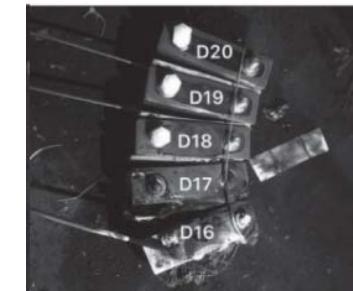
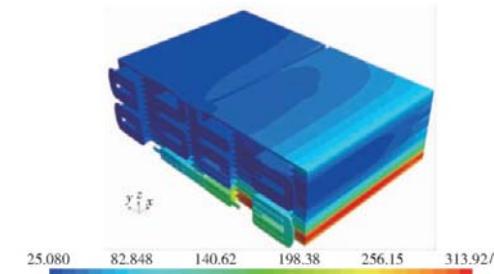
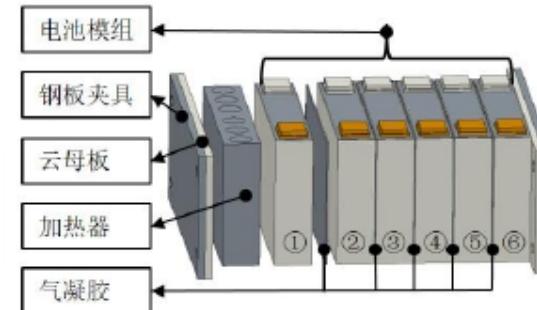
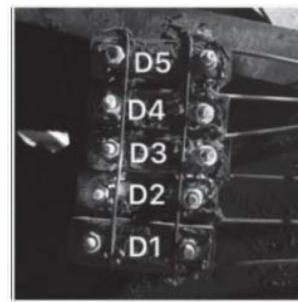
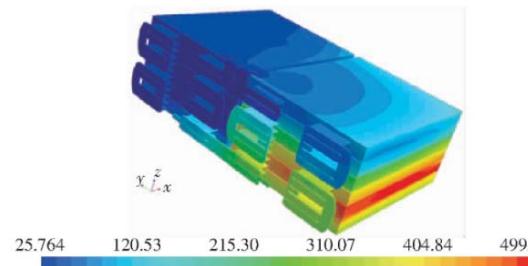


**耐高温，可柔性，气体阻隔性**

# 电池储能热安全防护技术

隔热阻燃材料：在电池或模组之间形成一道**防火墙**。

无阻燃材料



有阻燃材料

爆炸后阻燃剂形成炭层或陶瓷体

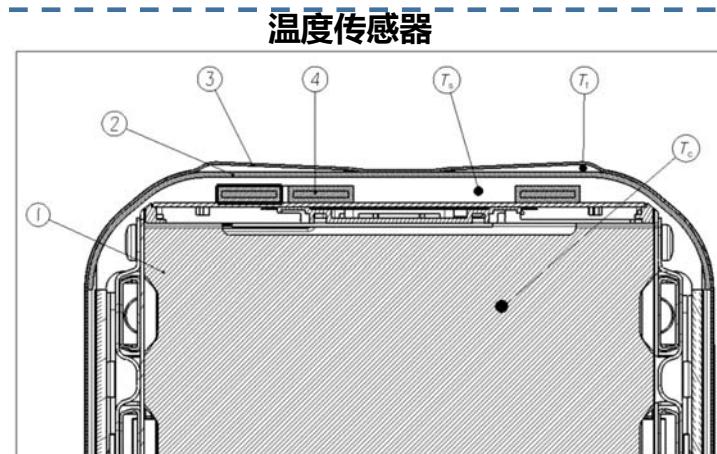
→ 孔隙减少、导热系数下降

→ **隔热隔氧**

# 电池储能热安全防护技术

## 局部降温及灭火

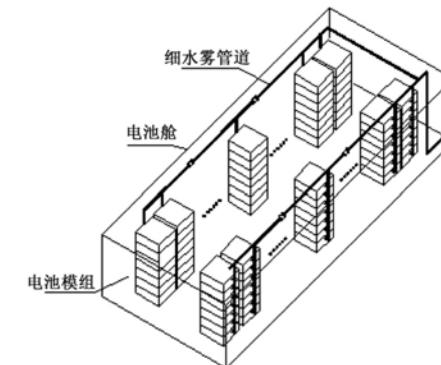
热失控传感器监测



二氧化碳喷淋



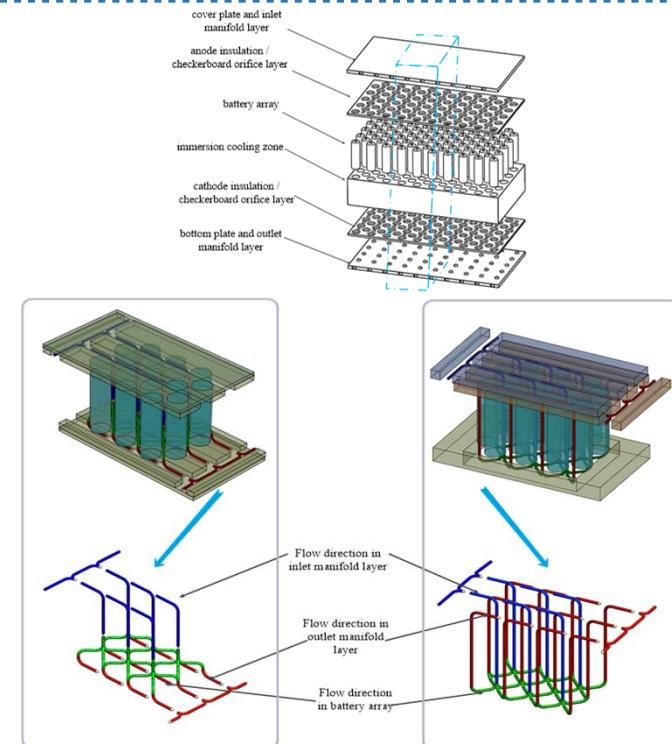
水雾喷淋



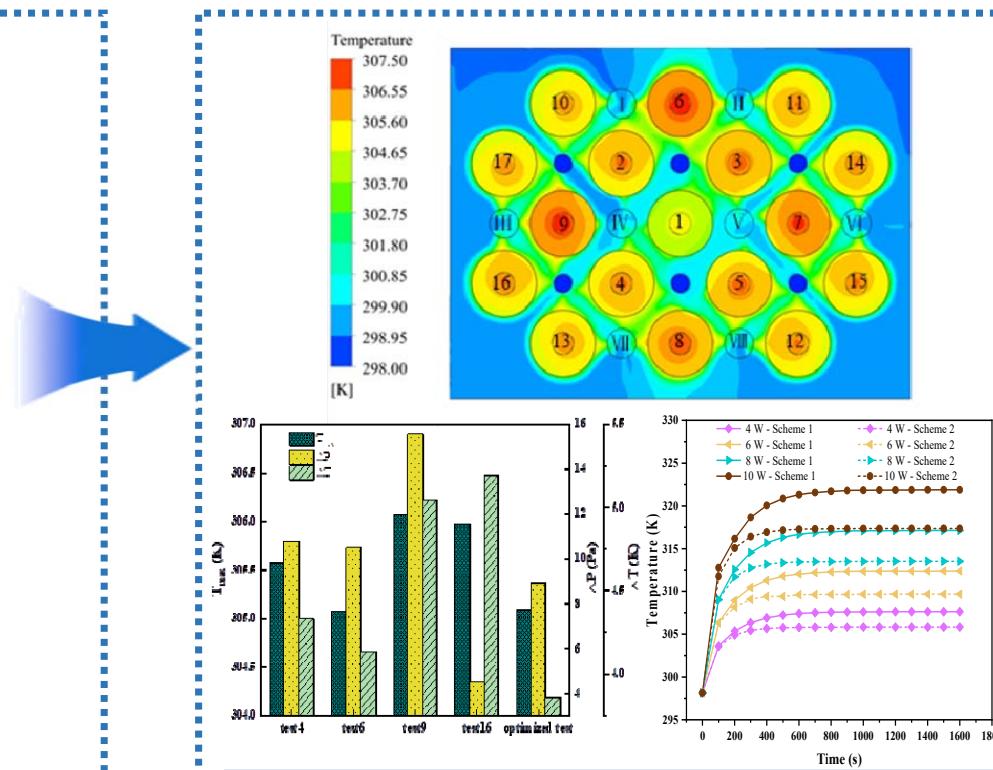
温度、压力、气体检测装置预警热失控，开启局部降温。

# 技术创新1 浸没式圆柱型锂离子电池

基于圆柱型锂离子电池自身形态特点，结合单相淹没、强制对流与棋盘拓扑分流设计进行热管理研究。



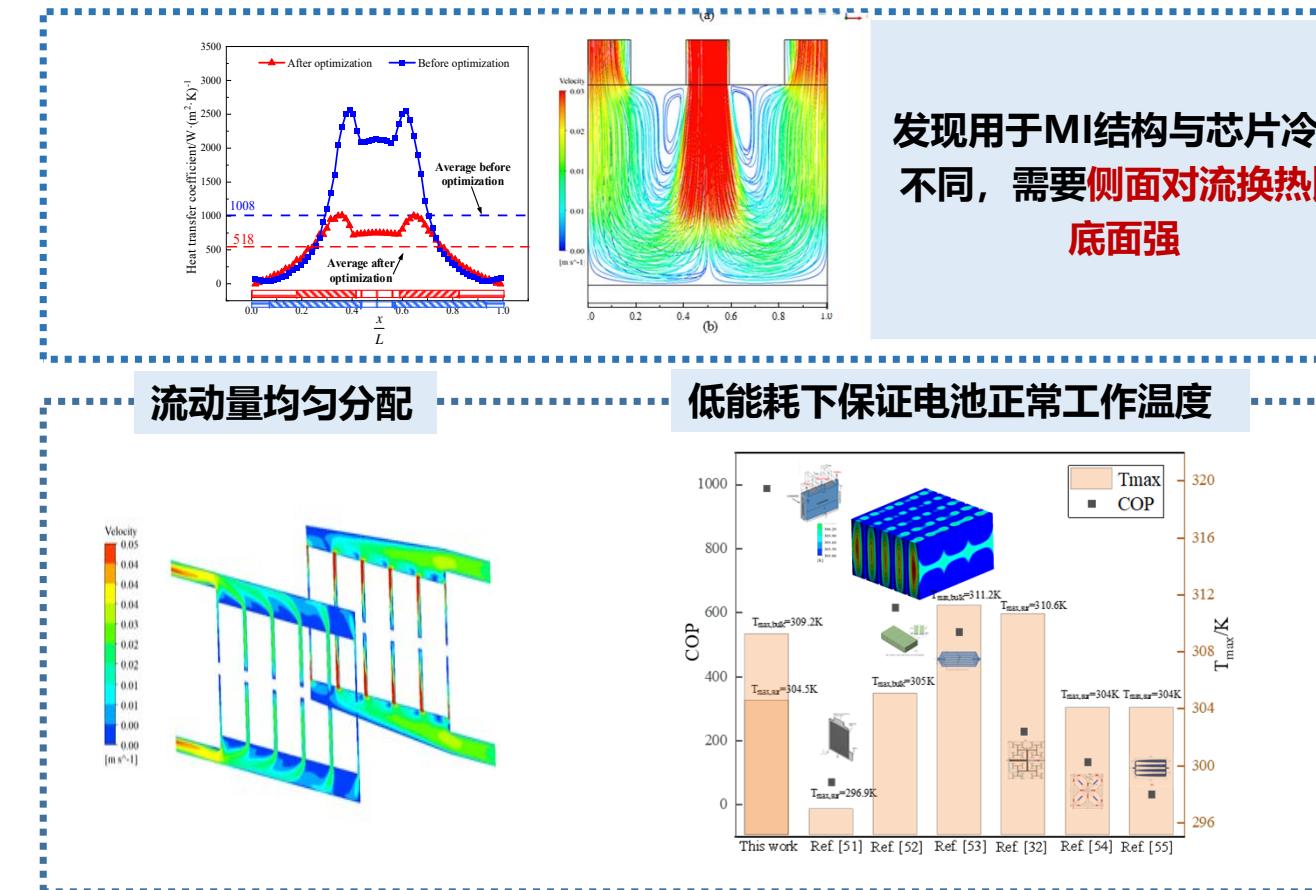
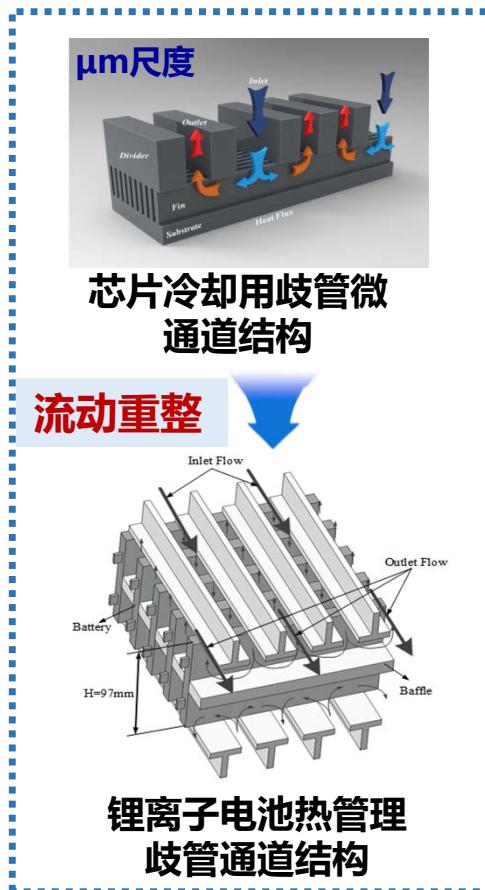
浸没结构设计  
克服结构匹配度差的问题



优化分析  
最佳性能结构与参数组合

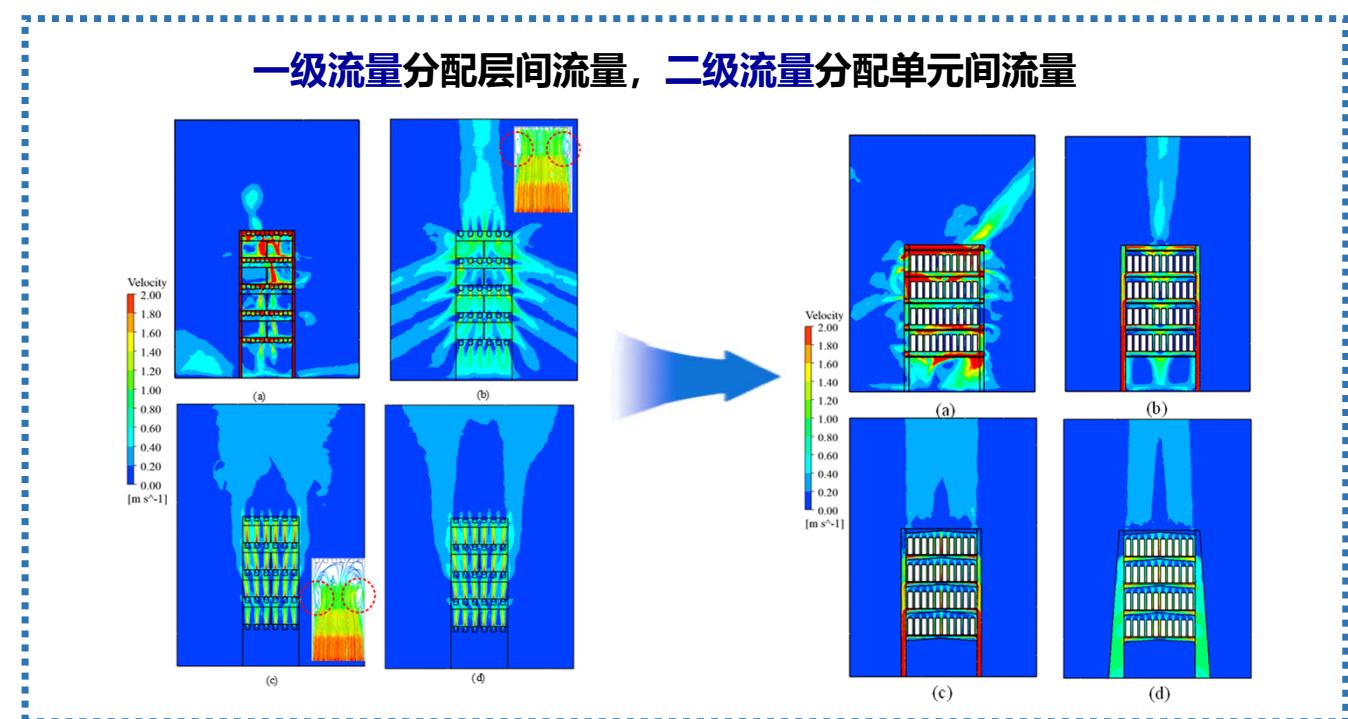
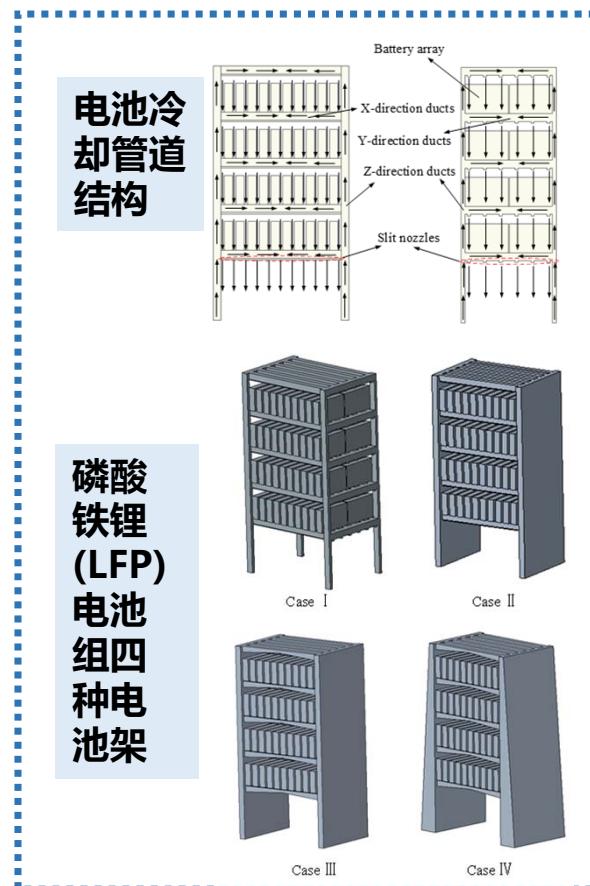
## 技术创新2 浸没式方型锂离子电池

提出了一种**基于插指型通道的**，用于方形锂离子**电池热管理的歧管浸没式 (MI) 冷却方案。**



## 技术创新3 储能系统自成型风冷电池架

结合储能电池本身的形状，设计了储能系统自成型风冷电池架。电池架的框架作为风道，大大降低了系统的复杂性。

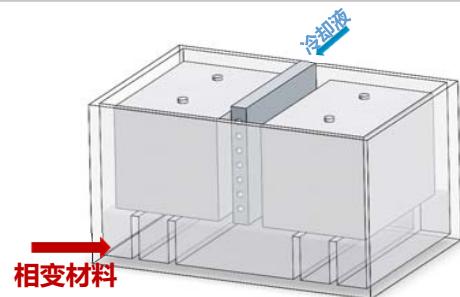


自成型电池架由于风道呈锥形，  
具有最高的流量和最好的温度均匀性。

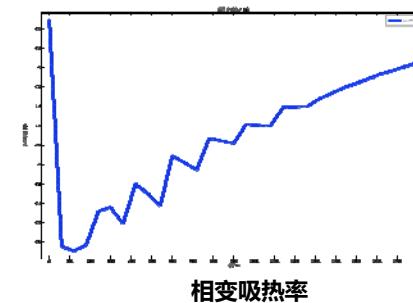
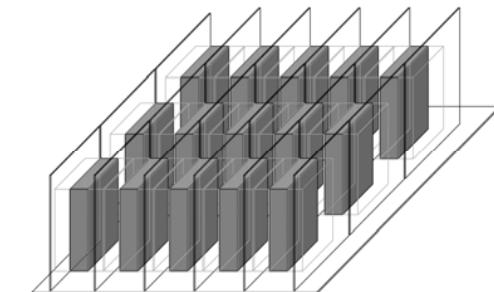
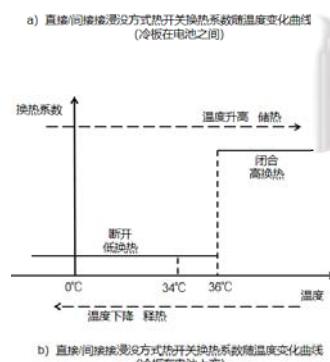
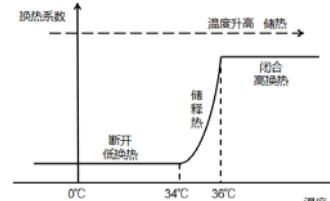
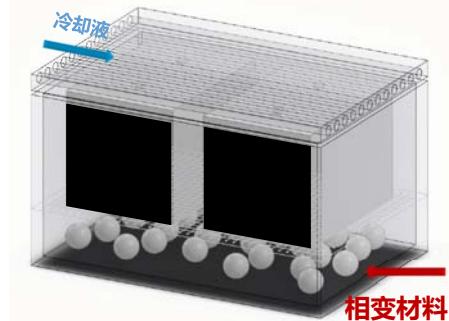
## 技术创新4：被动热调节器/热开关

### 电池热调节器/热开关——兼顾散热与保温

连续式  
调节结构



阶跃式  
调节结构



优势：不受外部电路故障的影响，故障率低，反馈途径短，有效性高；具有连续性和阶跃性双重性质，调节精准，自适应能力强，减少外部算力。

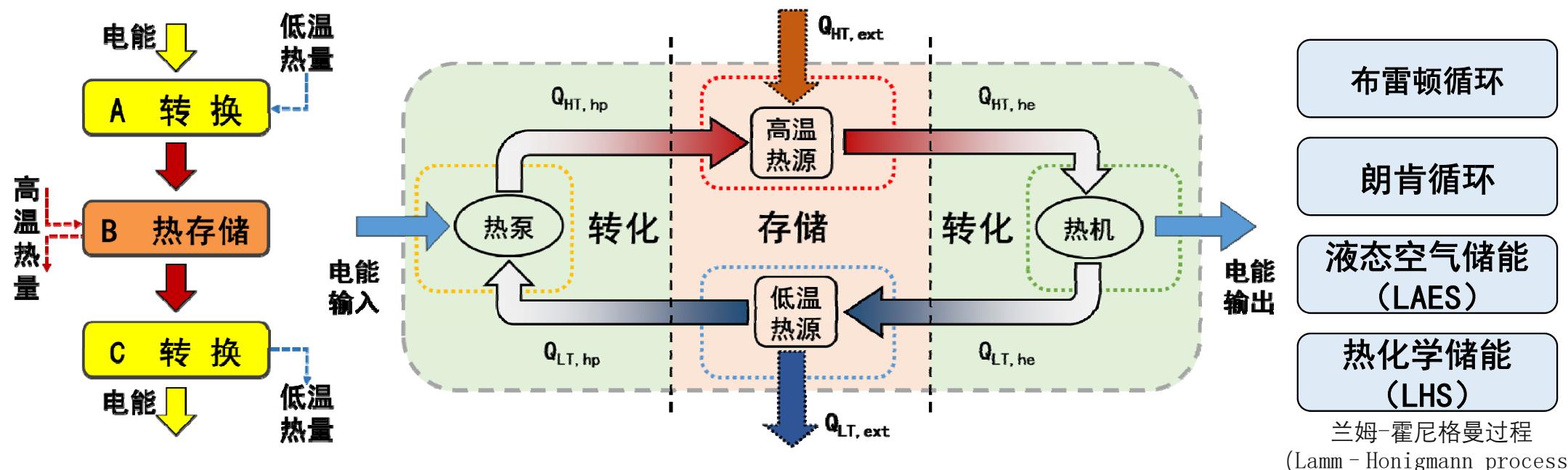
# 报告提纲

- 储能技术背景
- 电化学储能中的热管理与热安全
- **卡诺电池储能中的热管理**

---
- 国家储能技术产教融合创新平台介绍

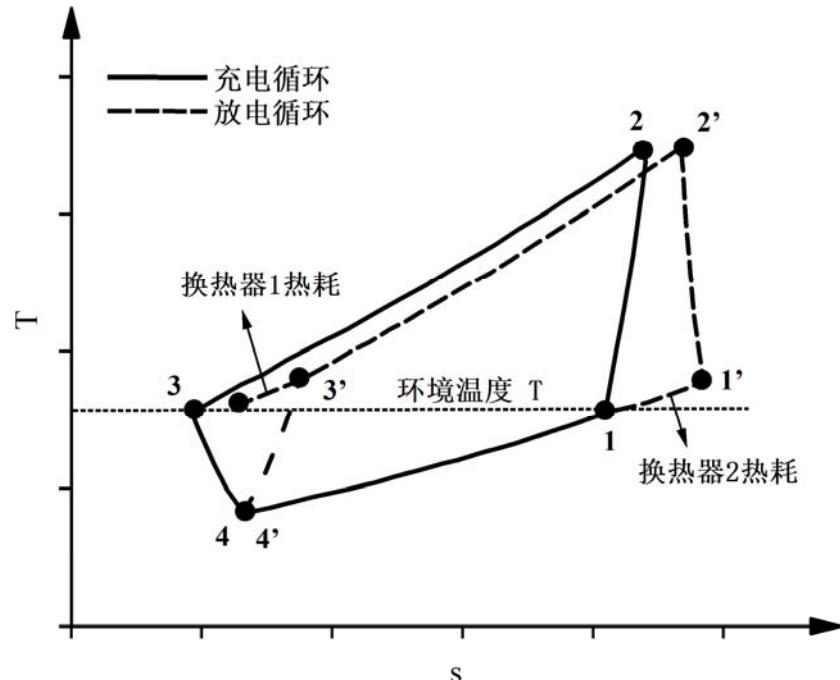
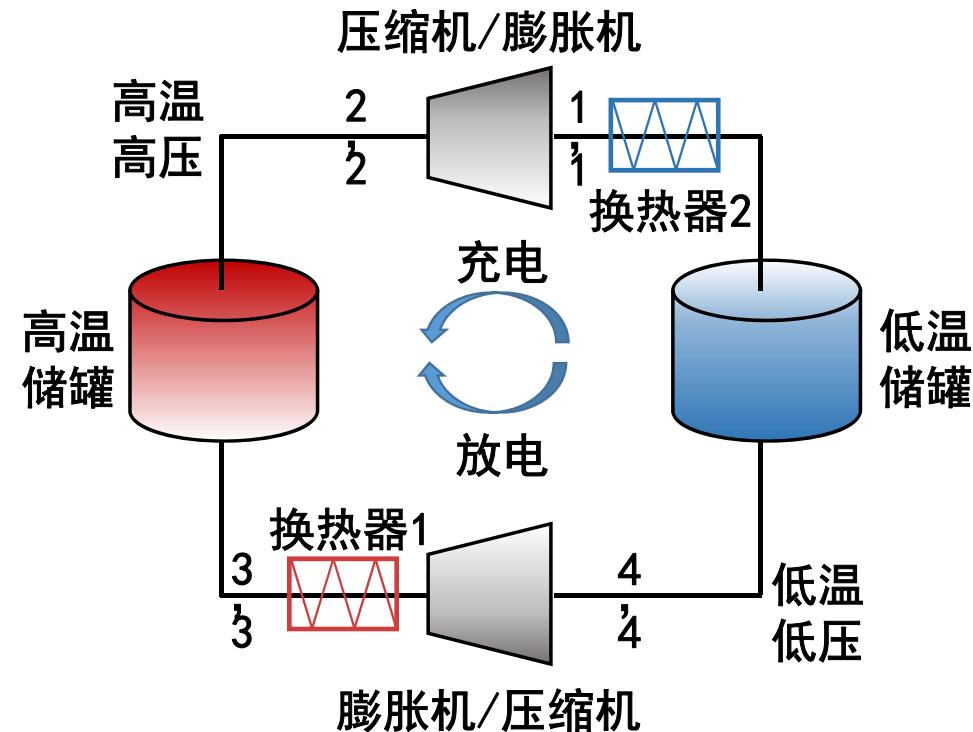
# 卡诺电池 (Carnot Battery)

卡诺电池是一种以热能形式储存电能的储能技术。在储电过程中，电能驱动热泵循环将低温热“泵送”至高温热并存储起来；在放电过程中，利用存储的高/低热能驱动热机循环，将热能转化为机械能，进而驱动发电单元发电。



# 卡诺电池的分类

## ➤ 基于布雷顿循环的卡诺电池

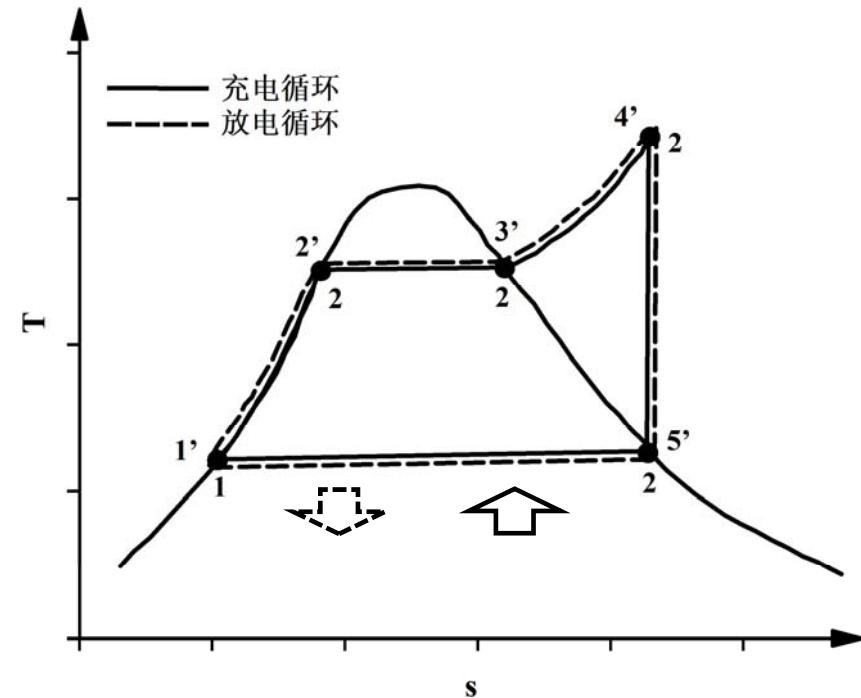
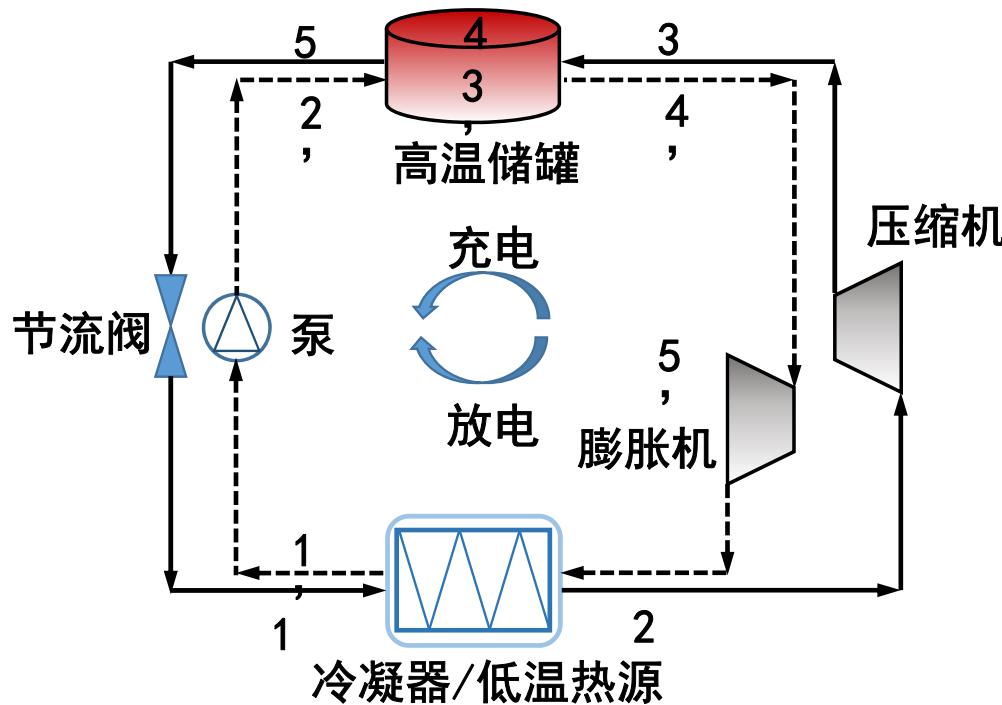


特点：利用超临界气体作为工作流体，如空气，Ar，sCO<sub>2</sub>等；运行温度范围宽，可达-70—1000°C；系统往返效率在45%—75%之间。

- 2011, 英国Isentropic公司, 布雷顿循环热泵储电示范项目, 2WM/16WMh

# 卡诺电池的分类

## ➤ 基于朗肯循环的卡诺电池



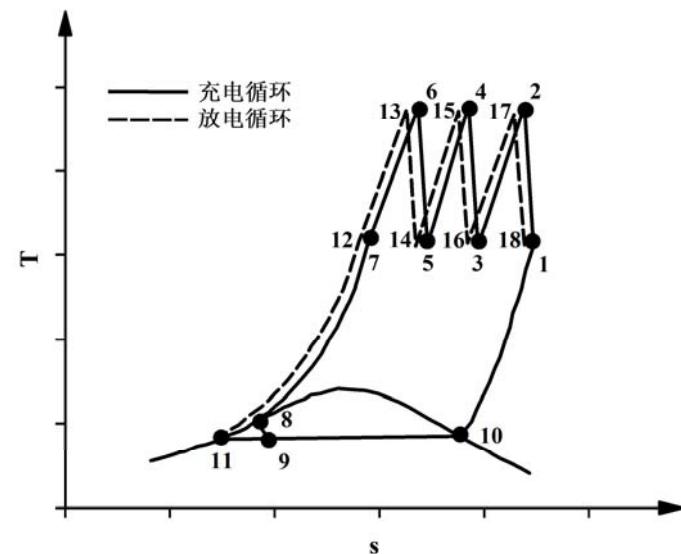
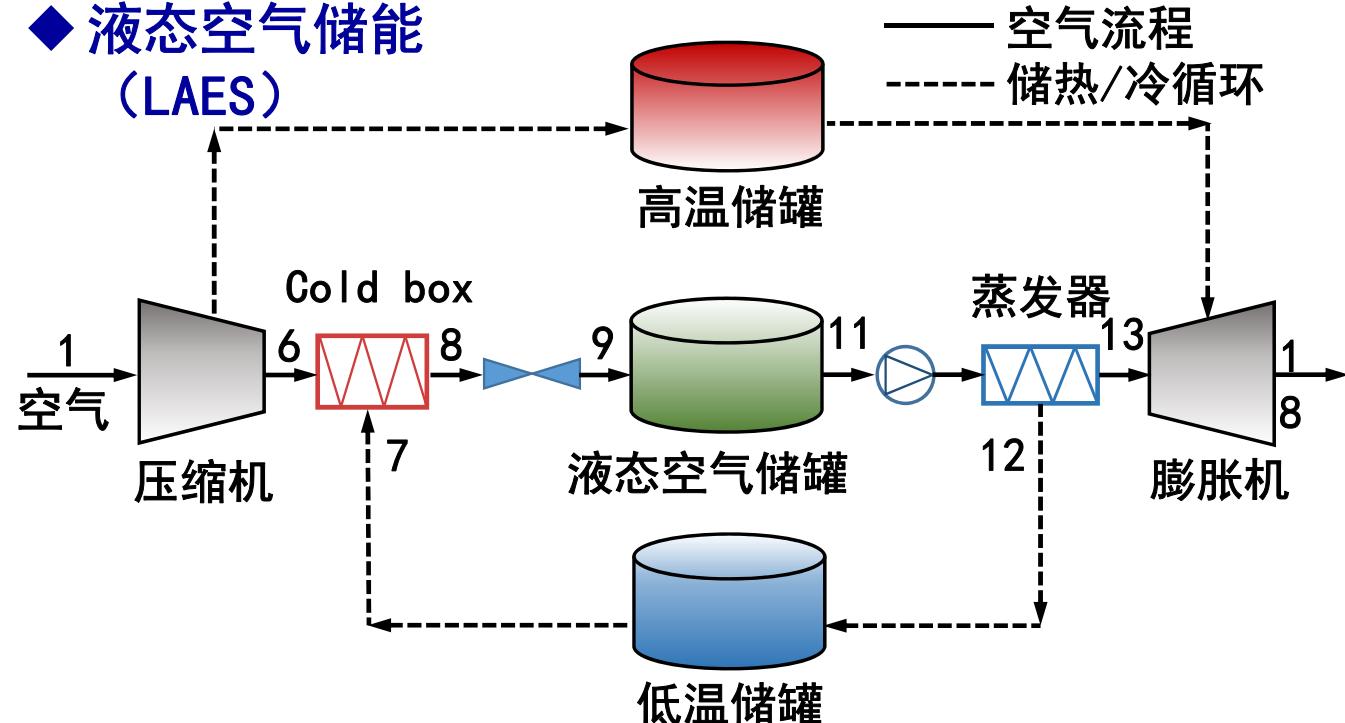
特点：工作流体发生**相变**，同时存储显热和潜热；运行温度为**中低温**，约为-20—180°C；系统往返效率在40%—70%之间。

- 2017, 德国汉堡, 西门子风电公司, 蒸汽朗肯循环卡诺电池示范项目, 700kW/4-5MWh

# 卡诺电池的分类

## ➤ 其他类型的卡诺电池

### ◆ 液态空气储能 (LAES)



特点：空气以常压液态形式储存；同时实现储热（压缩热）和高品位储冷（液态空气），温度范围约为-170—200°C；系统往返效率在40%—60%之间。

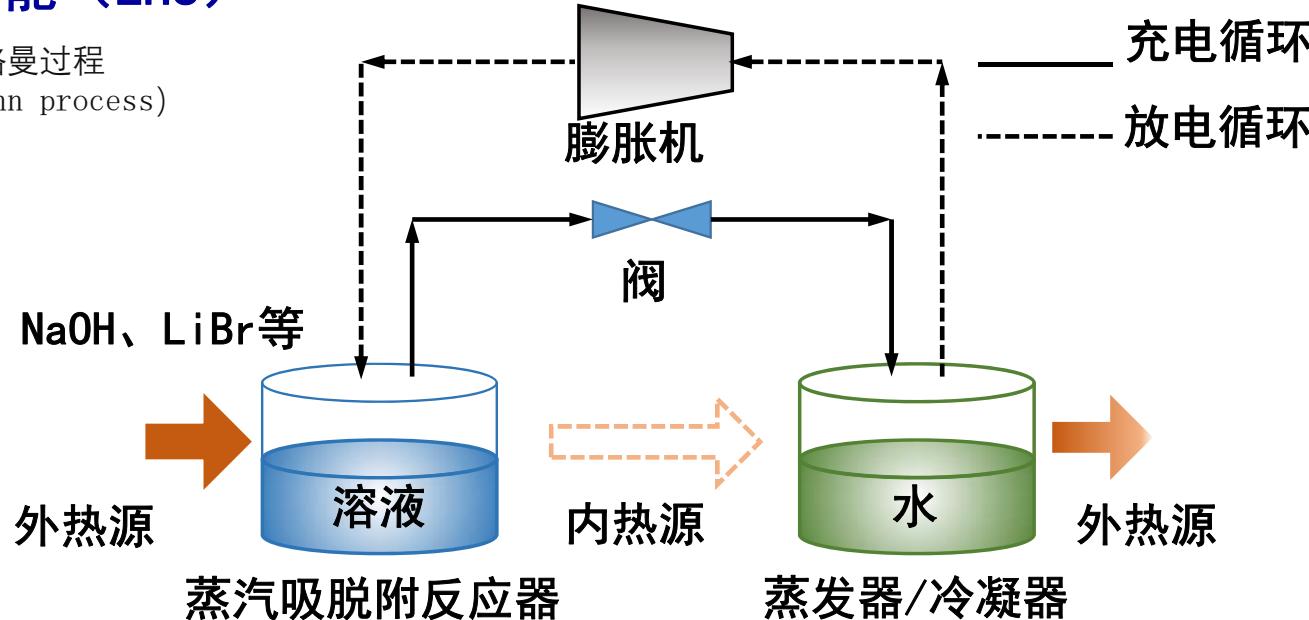
- 2014, 英国伯明翰大学, 液态空气储能电站, 350kW, 2.5GWh,

# 卡诺电池的分类

## ➤ 其他类型的卡诺电池

### ◆ 热化学储能 (LHS)

兰姆-霍尼格曼过程  
(Lamm - Honigmann process)



特点：利用热化学储能和可逆吸附反应实现能量的储释放；温度范围较窄，约为40—120°C；系统往返效率在20%—40%之间。

- 2013, 慕尼黑理工大学, LiBr/H<sub>2</sub>O热化学储能实验装置, 40—120°C

# 卡诺电池的关键部件和技术需求

旋转机械

## ➤ 压缩机、膨胀机、泵

- 压缩机高等熵效率，研发先进耐热材料、设计合理的散热方案
- 膨胀机体积比与大温差下流体密度的变化相匹配
- 对两相流、变工况等复杂运行条件的适配及部件寿命

换热部件

## ➤ 冷却器、再热器、蒸发器、冷凝器、cold box 等

- 冷/热能充分回收、最小熵产、高经济性的需求
- 大流量换热、快速换热、多流股换热的需求

储热/冷部件

## ➤ 储热罐（显热/潜热/热化学）、储冷罐

- 低成本存储介质、方法的选择，合理储罐运行方式的确定
- 防止填充床储罐斜温层退化的特殊设计方法

其他部件

## ➤ 节流阀、缓冲容器、电加热部件、管道等

- 高可靠性、长运行寿命
- 低热/压力损失、防腐蚀等

# 报告提纲

- 储能技术背景
- 电化学储能中的热管理与热安全
- 卡诺电池储能中的热管理
- 国家储能技术产教融合创新平台介绍

# 华电储能专业和学科建设

华北电力大学获批首批储能科学与工程本科专业、首个氢能科学与工程本科专业，获批储能和氢能两个交叉博士点，组织召开全国首届储能专业学科建设论坛。



2019.09  
储能专业  
建设筹备



2020.09  
全国储能技术专业  
学科建设论坛



2021.02  
储能科学与工程  
新专业获批备案



2021.08  
储能交叉学科  
学科博士点获批



2022.02  
国家储能技术产教  
融合创新平台获批



2020.04  
储能方向招生



2020.10  
储能科学与工程  
教研室成立



2021.06  
储能科学与工程  
留学生培养

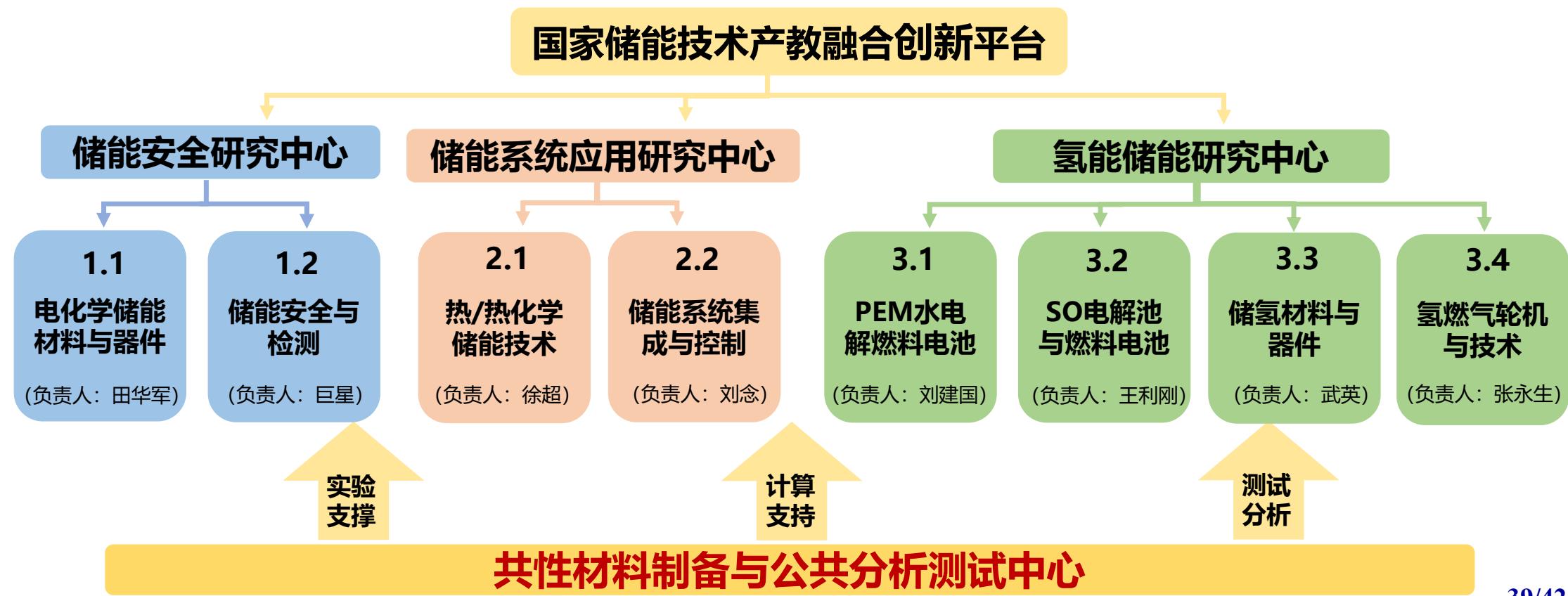


2022.02  
氢能科学与工程  
新装也获批备案

基于能源电力特色，全力推动储能专业建设

# 储能平台科研建设总体架构

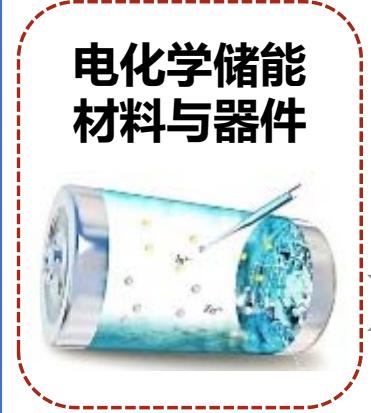
平台由储能安全研究中心、氢能储能研究中心、储能系统应用研究中心、共性材料制备与公共分析测试中心，共计4大板块组成，设置8个科技攻关方向。



# 科技攻关方向-储能

## 储能安全研究

## 储能系统应用

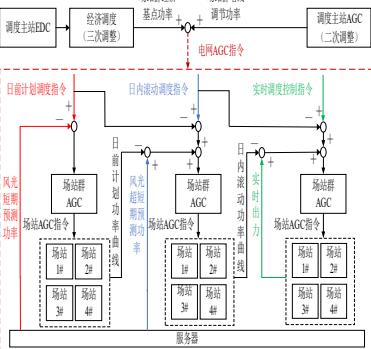


材料安全



系统安全

储能系统  
集成与控制



方向1.1  
电化学储能材料与器件  
负责人  
田华军 教授



方向1.2  
储能安全与监测  
负责人  
巨 星 副教授



方向2.1  
热/热化学储能技术  
负责人  
徐 超 教授



方向2.2  
储能系统集成与控制  
负责人  
刘 念 教授

热 / 热化学储能技术



Solar thermal power plants

参数工艺

# 科技攻关方向-氢能

## 氢能储能研究

制氢

储氢

用氢

PEMEC



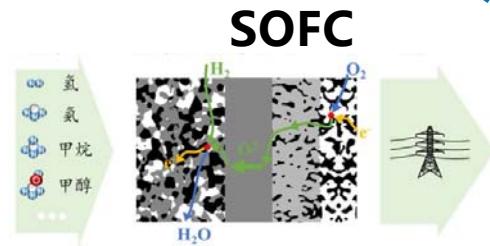
PEMFC



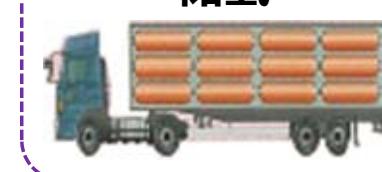
SOEC



SOFC



储氢



氢燃气轮机



方向3.1

PEM水电解与燃料电池

负责人

刘建国 教授



方向3.2

SO电解池与燃料电池

负责人

王利刚 教授



方向3.3

储氢材料与器件

负责人

武英 研究员



方向3.4

氢燃气轮机与技术

负责人

张永生 教授



# 祝大家新年快乐！

## 欢迎大家来华北电力大学指导工作！



个人微信