



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

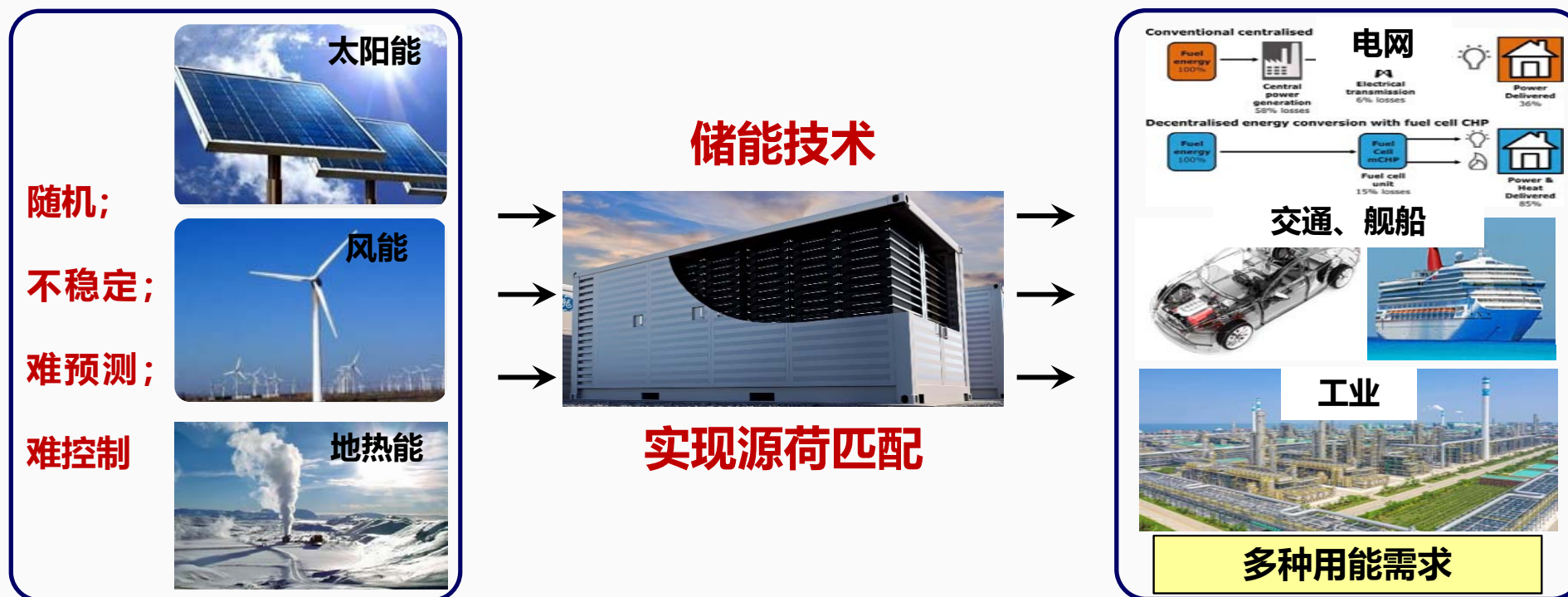
报告提纲

- **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

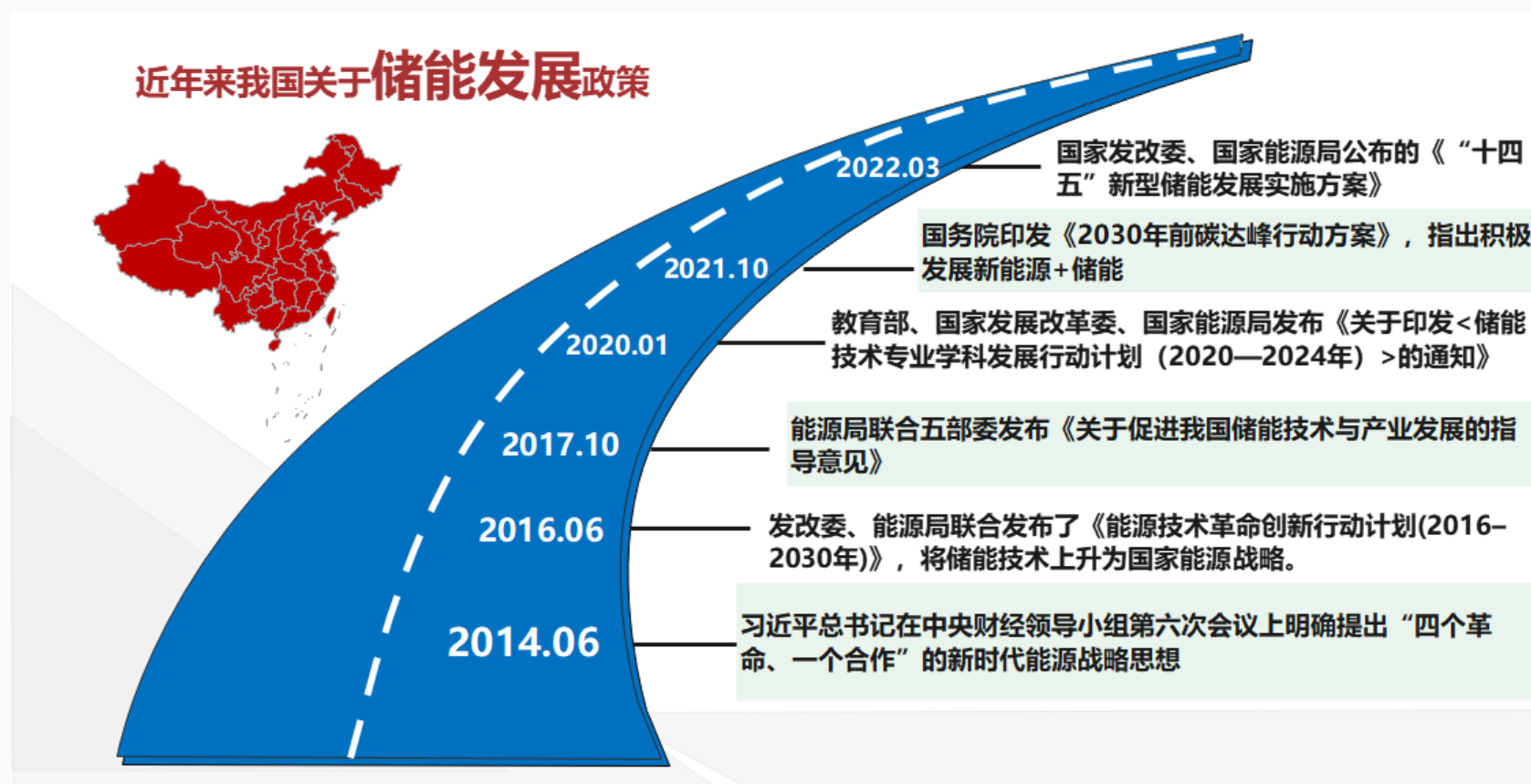
能源结构正在从**化石能源向新能源转型**，风、光为主的新能源具有间歇性和波动性，造成**能源供需不匹配**。



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

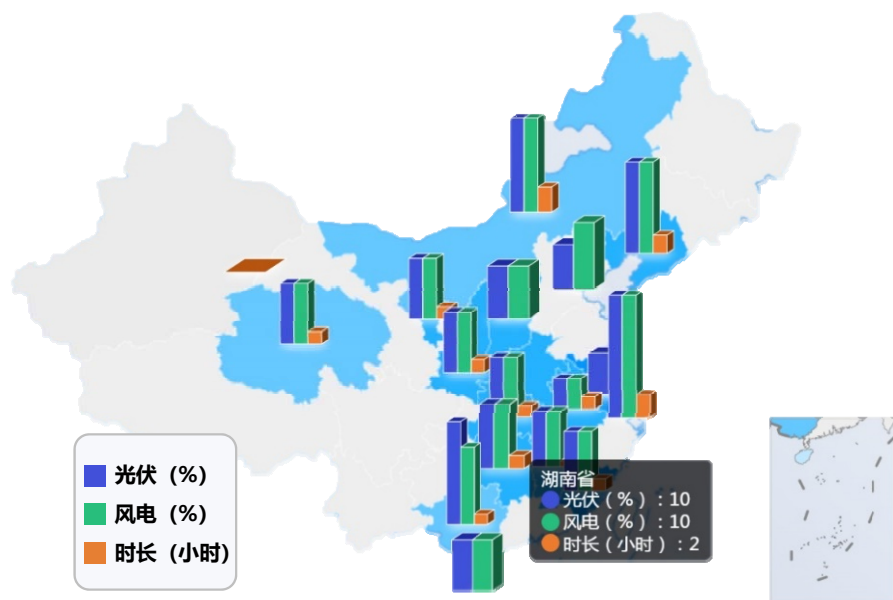
电力系统中灵活调峰电源至少需占10-15%，大型储能系统将作为重要组成部分

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

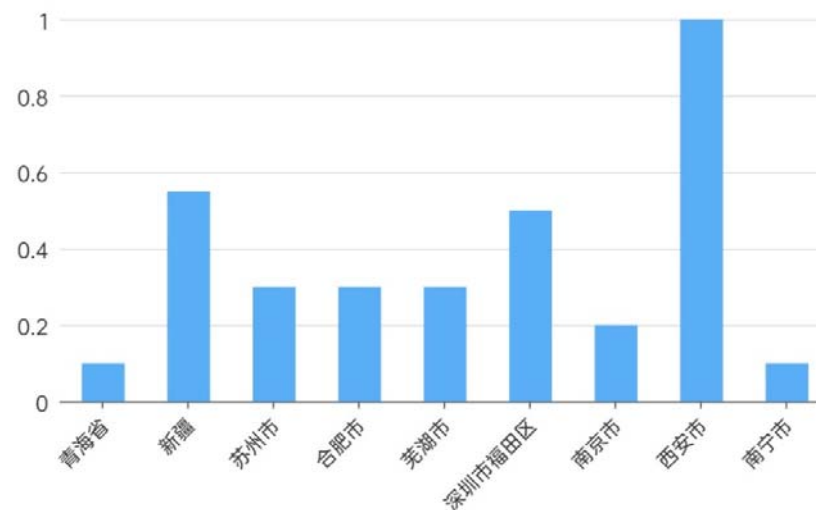
储能技术背景及发展现状

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。



各省市储能强制配套政策分布

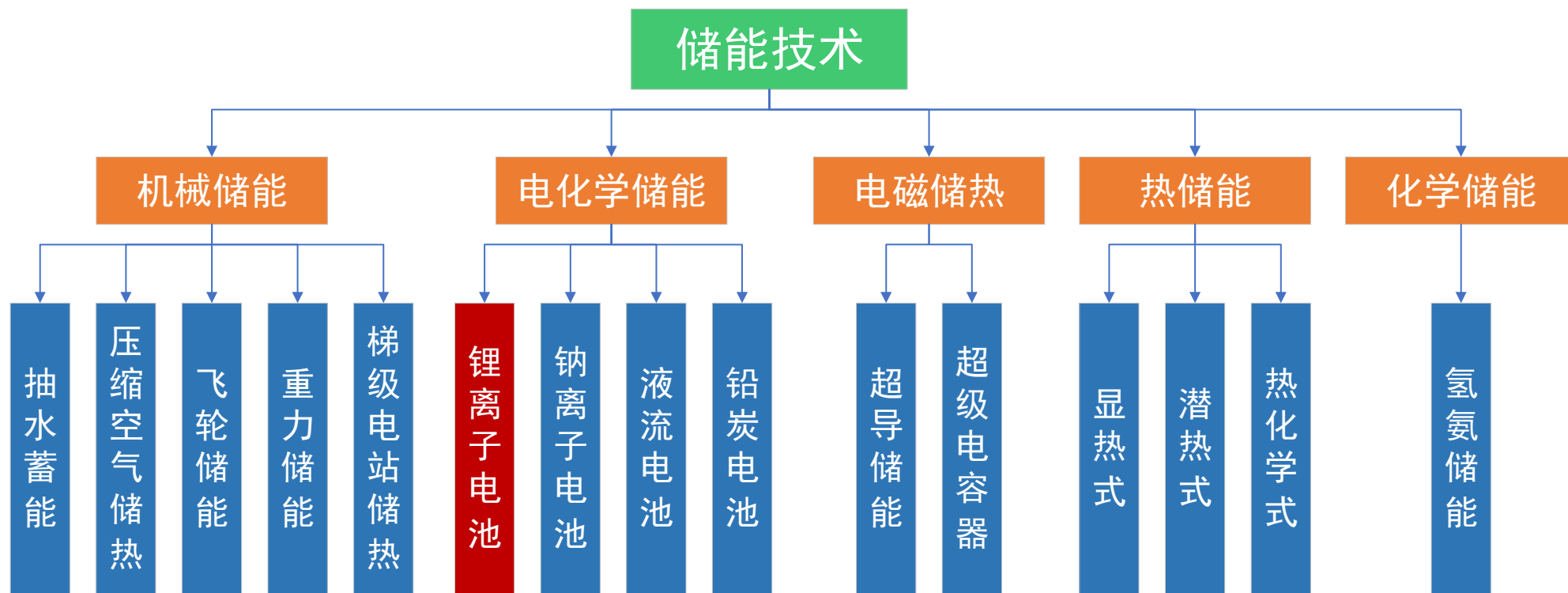
单位: 元/kWh



地方储能补贴情况

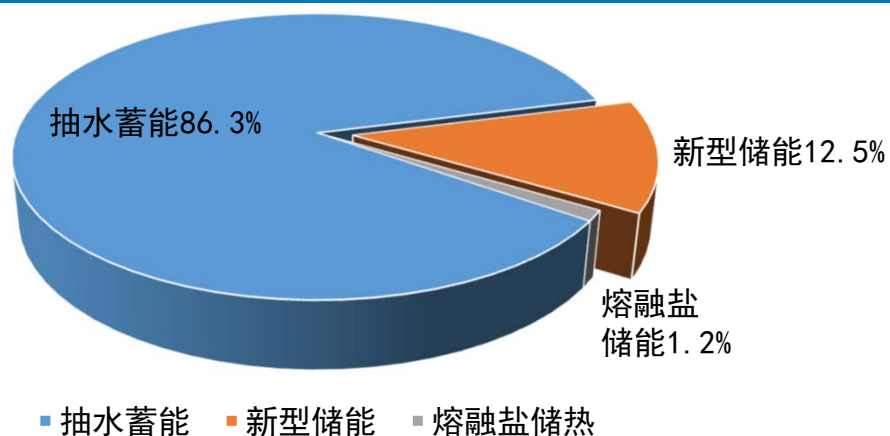
储能技术背景及发展现状

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。

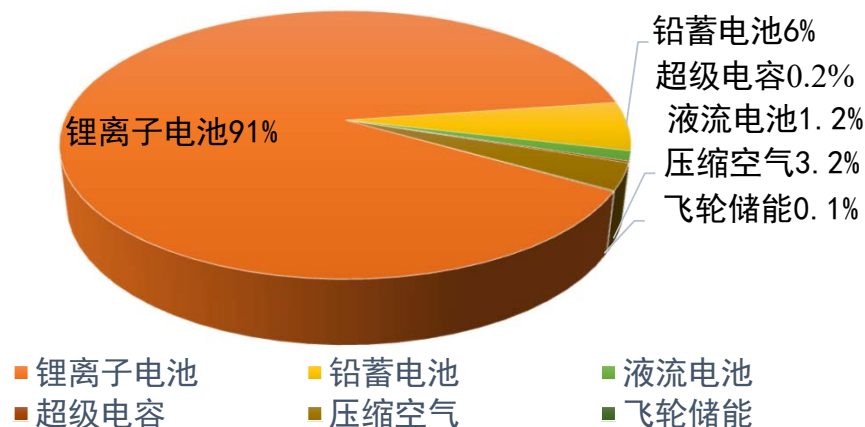


储能技术背景及发展现状

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

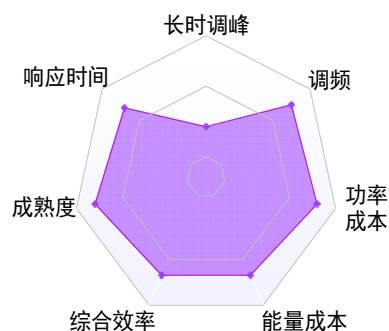


新型储能技术装机占比

新型储能中电化学储能装机占比最高

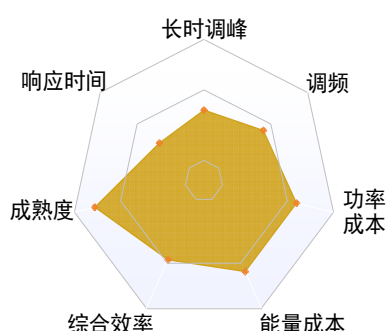
储能技术背景及发展现状

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。



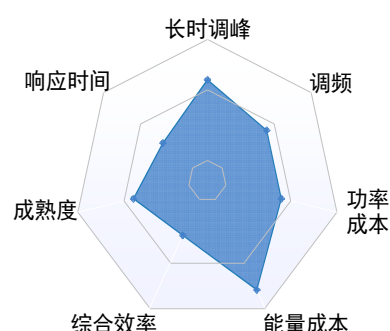
电化学蓄能

591%



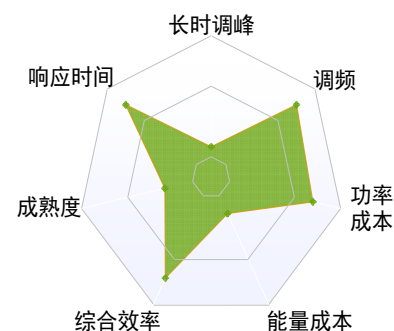
抽水蓄能

475%



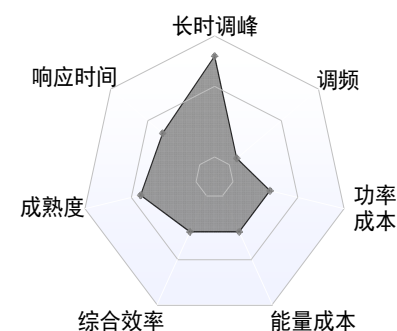
压缩空气蓄能

440%



超级电容器

431%



氢储能

340%

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。



集装箱式储能系统

锂电池系统

电池管理系统

储能交流器

能量管理系统

热管理系统

消防系统

①保证电池表面温度处于**15~35℃**。

②保持电池间温度的一致性，温差不超过**5℃**

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**。



2022年1月，韩国蔚山南区电池储能

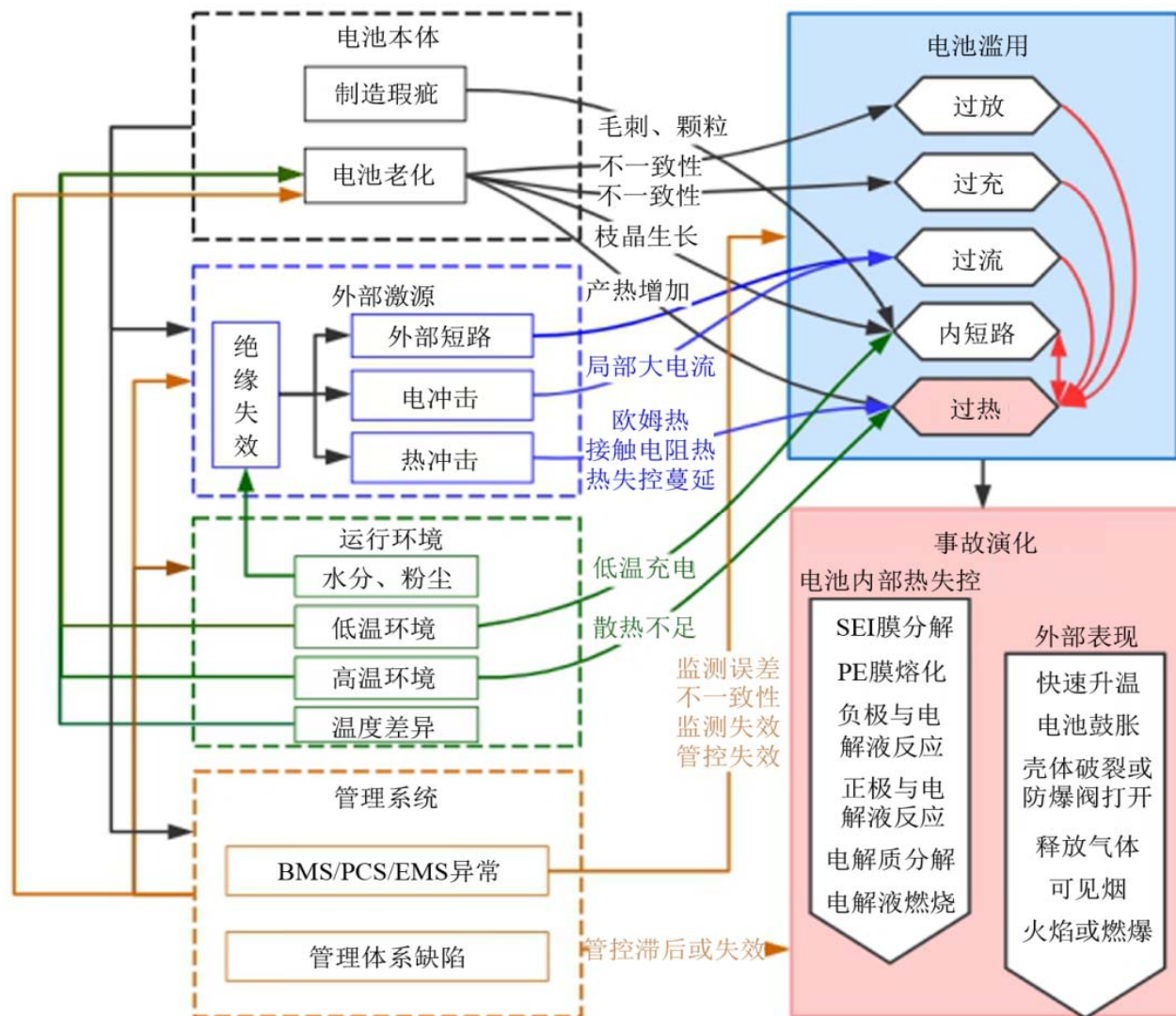


2021年4月，北京市丰台区储能电站

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



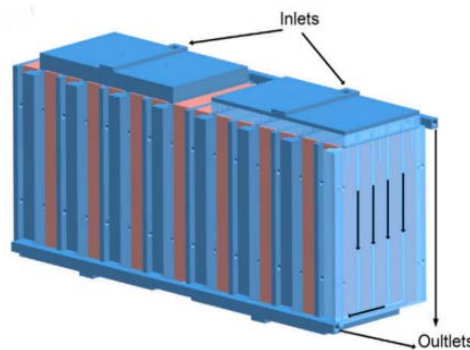
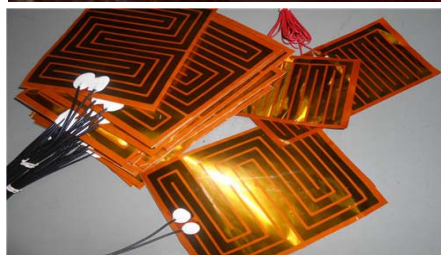
热失控

电池储能热管理与热安全防护需求

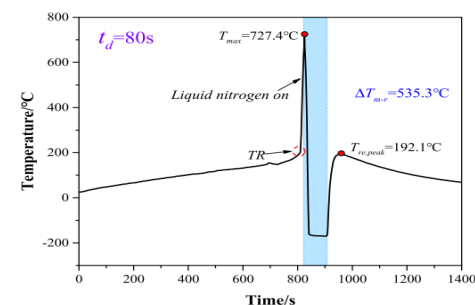
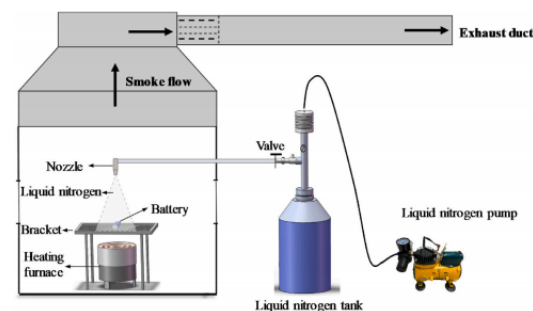
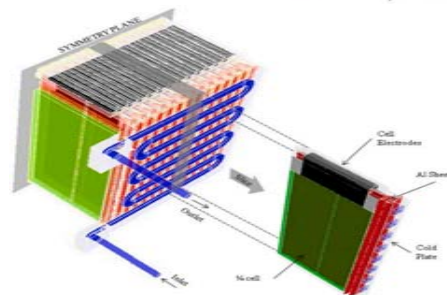
储能电池热管理与热安全性防护



低温加热



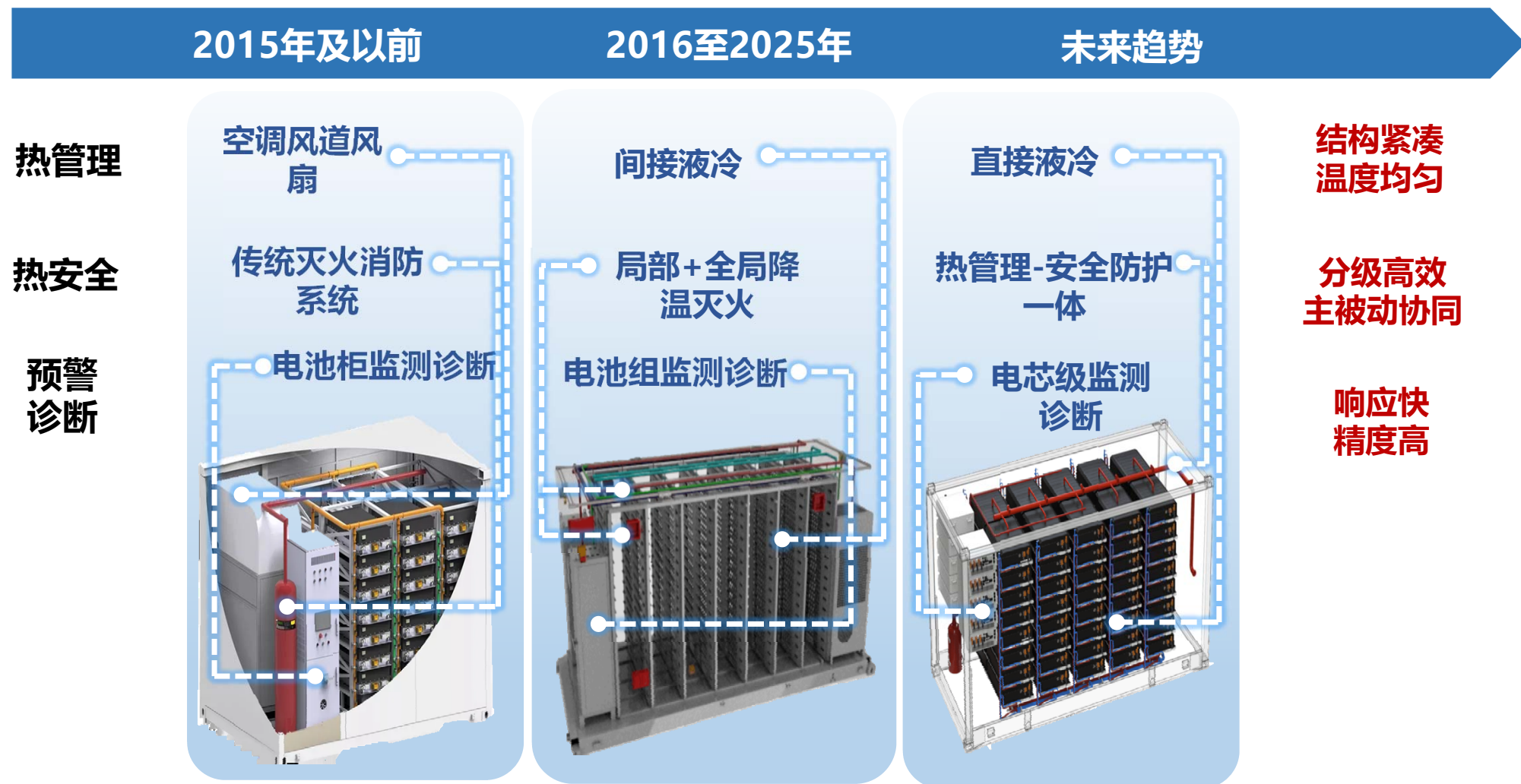
常规散热



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

优点

结构简单
成本低
无漏液

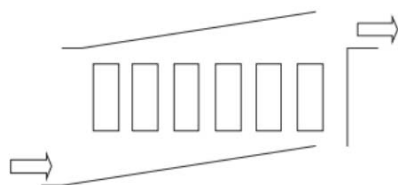
缺点

换热系数低
冷却速度慢
平均温差效应差

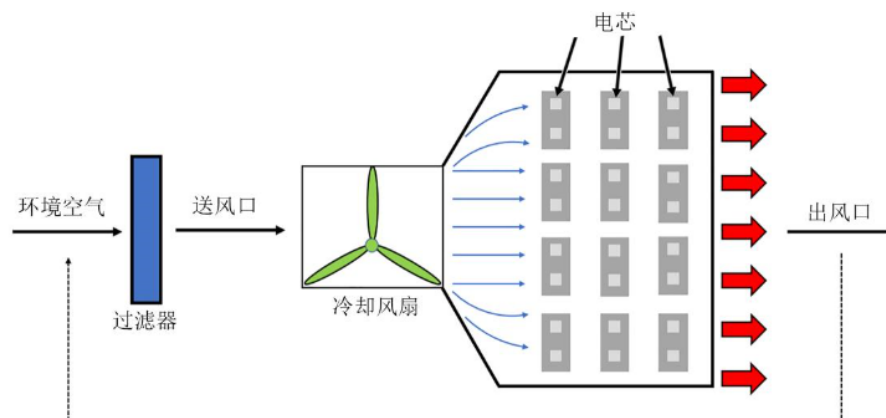
串联流道



并联流道



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。

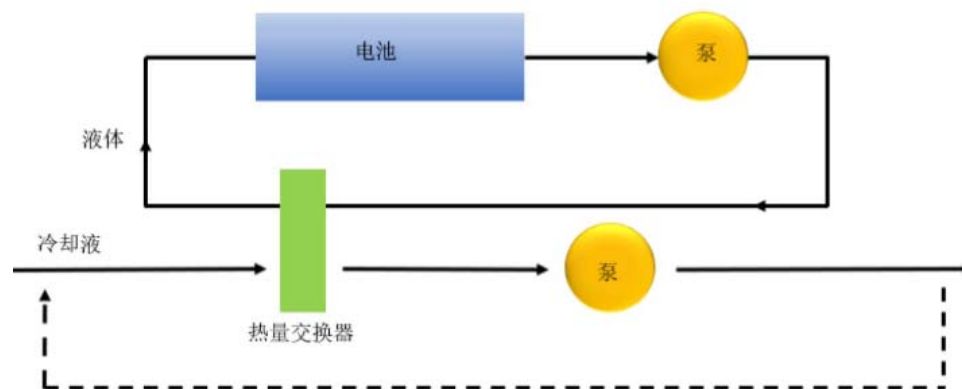
电池储能热管理技术-液体冷却

优点

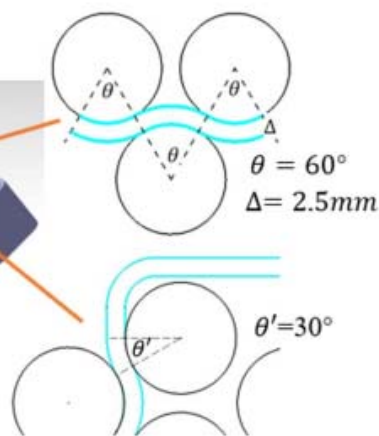
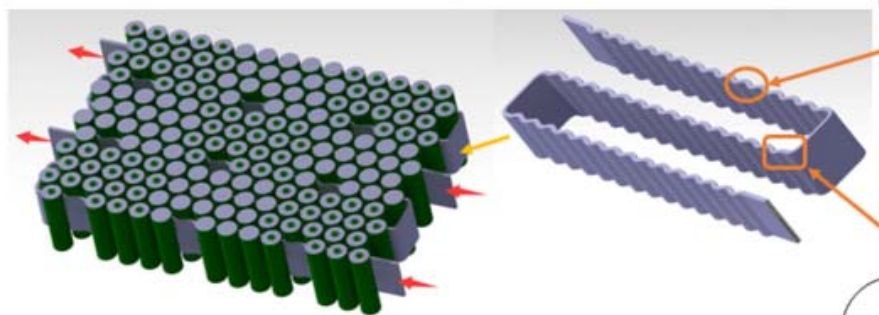
导热系数高
冷却效率高
温度一致性

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。

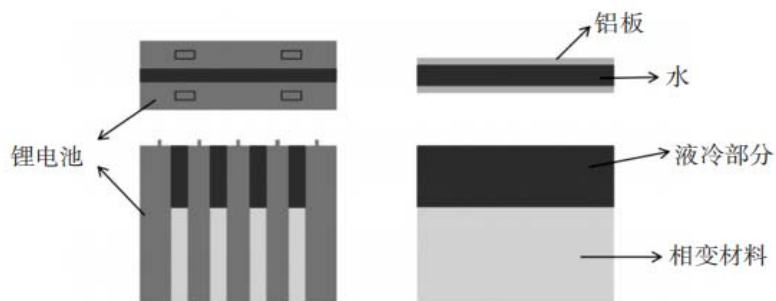
电池储能热管理技术-相变冷却

优点

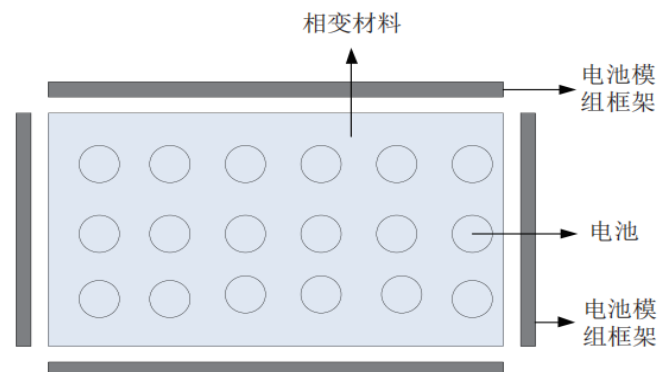
储热密度高
控温均匀性
高低温保温

缺点

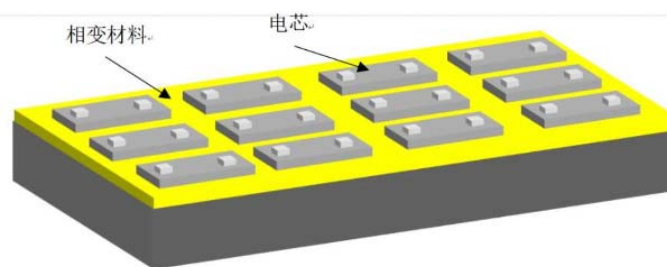
体积变化大
容易泄漏
热导率较低



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。

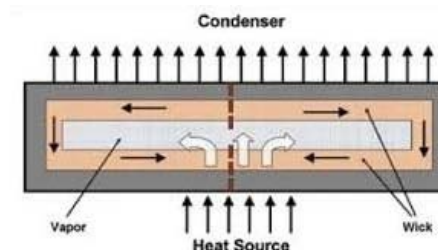
电池储能热管理技术-热管冷却

优点

冷却效率高
灵活性好
适用范围广

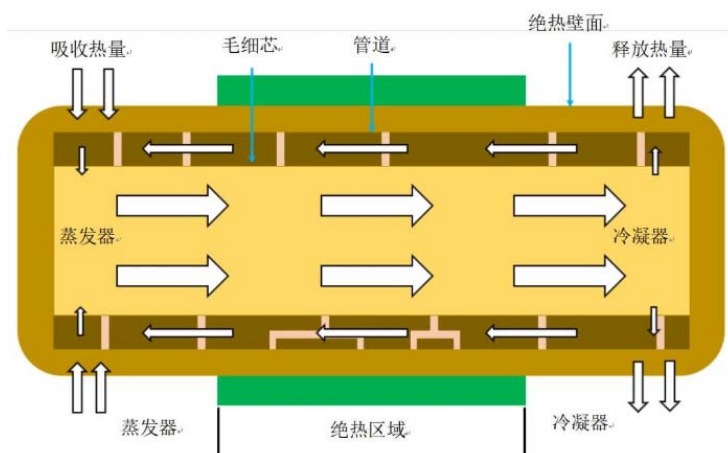
缺点

制造成本高
系统结构复杂
温度均匀性差

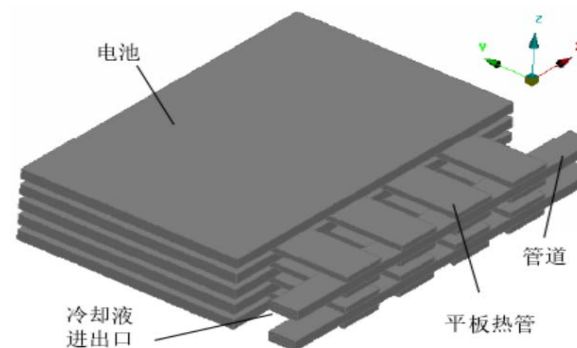


Vapor Chamber

平板热管(VC)结构图



热管冷却结构示意图

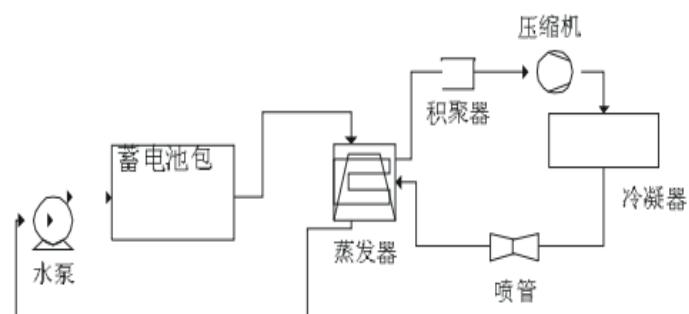


电池模组结构

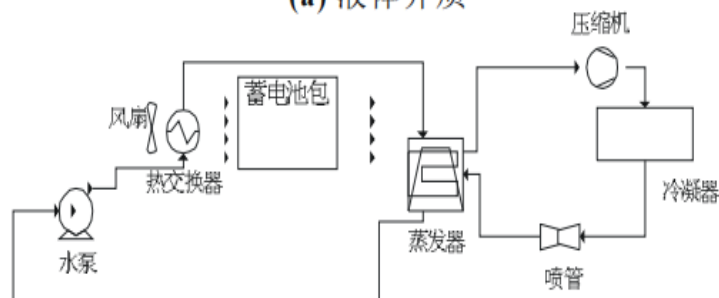
目前热管冷却还不适合大规模应用于动力锂电池热管理系统, 应向小型化、简单化发展, 提高热管冷却系统的普适性是今后的发展目标。

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

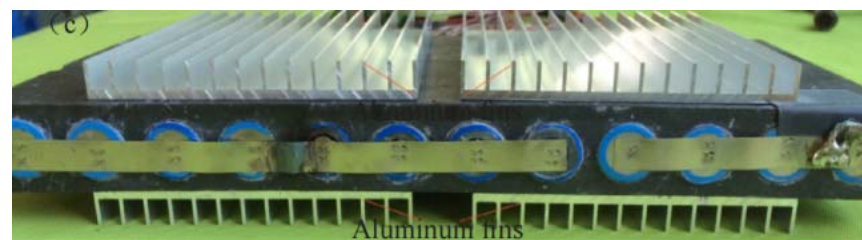
复合冷却

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

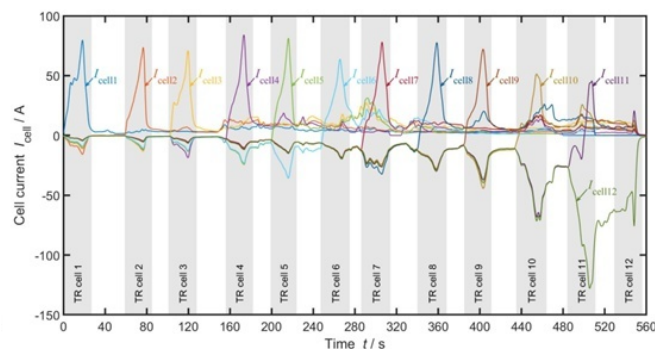
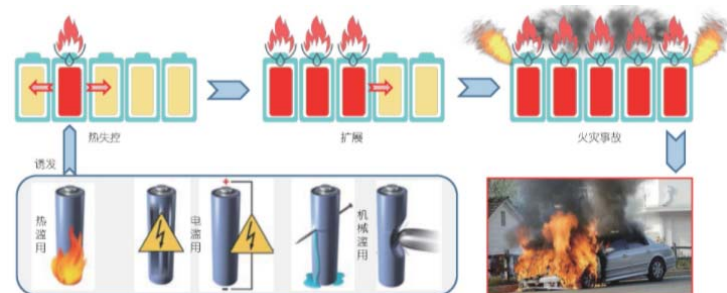


复合相变材料与散热翅片组合

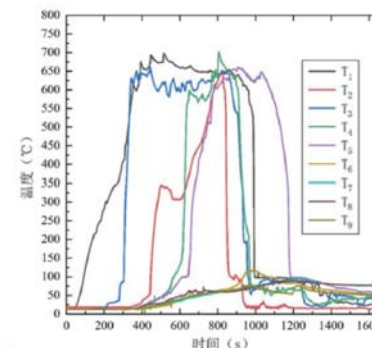
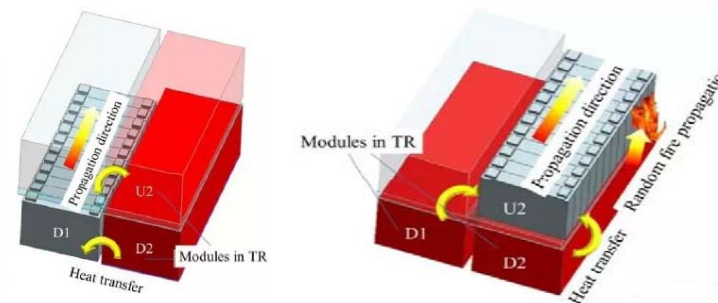
电池储能热安全防护技术

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**。

Cell to Cell



Module to Module

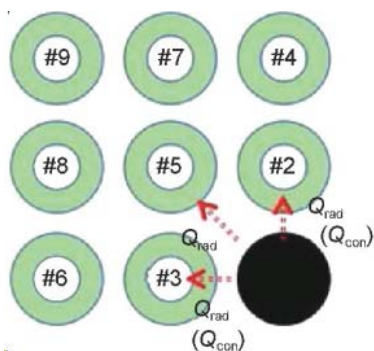


热失控在电池单体和模组间均存在传播**时间差**。

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



纤维棉



铝箔压制板



真空绝热板



石墨复合板

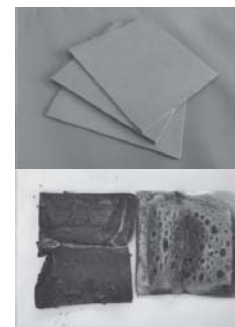
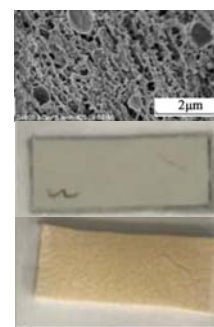


陶瓷纤维板



新型隔热材料

改性橡胶



纳米气凝胶

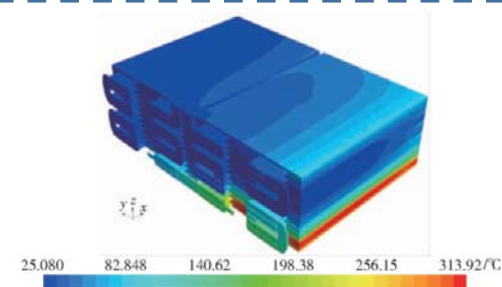
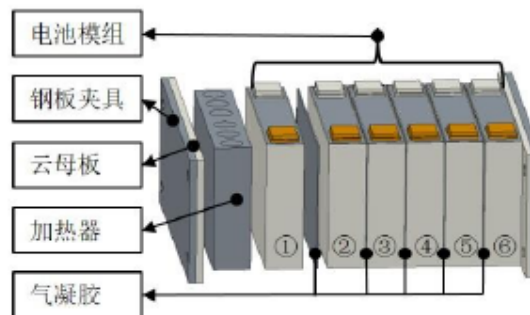
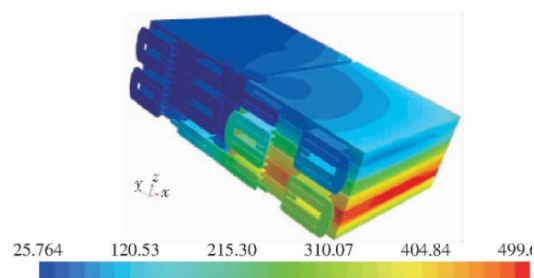


耐高温，可柔性，气体阻隔性

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

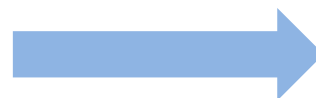
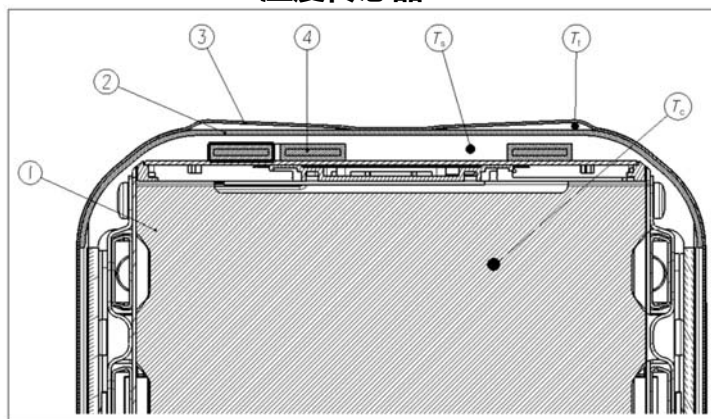
→ 隔热隔氧

电池储能热安全防护技术

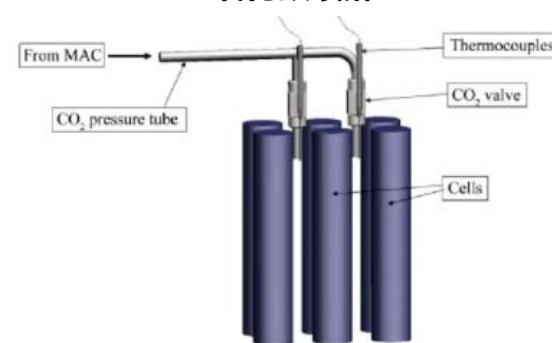
局部降温及灭火

热失控传感器监测

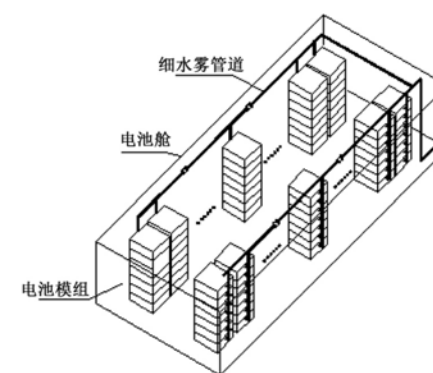
温度传感器



二氧化碳喷淋



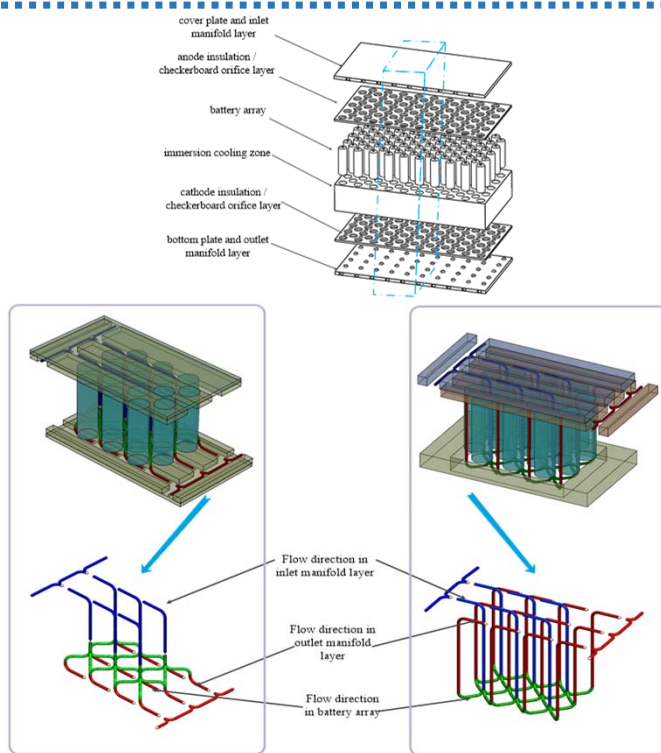
水雾喷淋



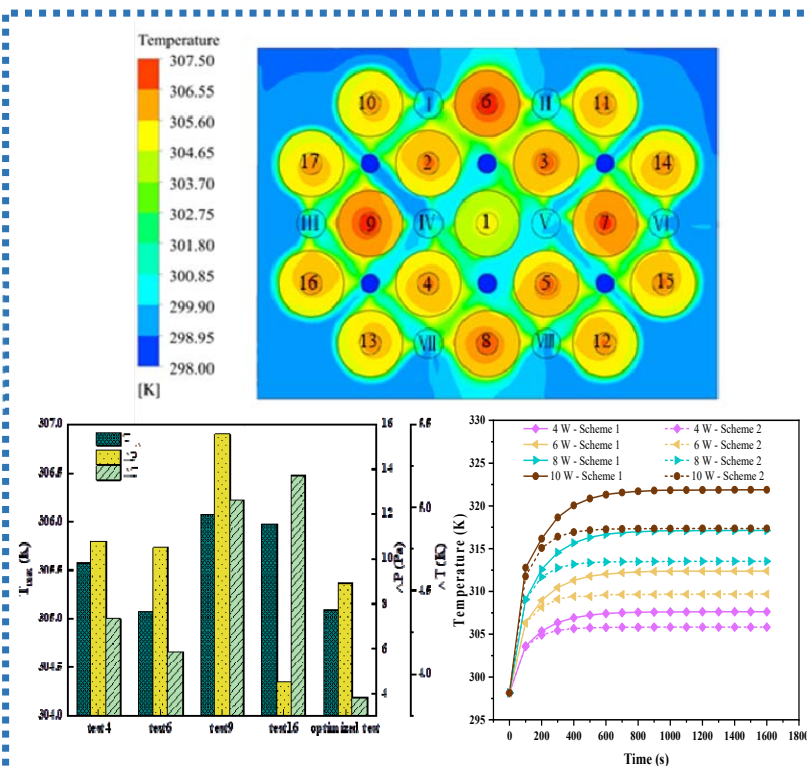
温度、压力、气体检测装置预警热失控，开启局部降温。

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，结合单相浸没、强制对流与棋盘拓扑分流设计进行热管理研究。



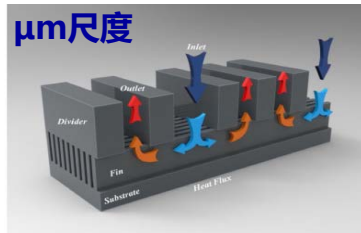
浸没结构设计
克服结构匹配度差的问题



优化分析
最佳性能结构与参数组合

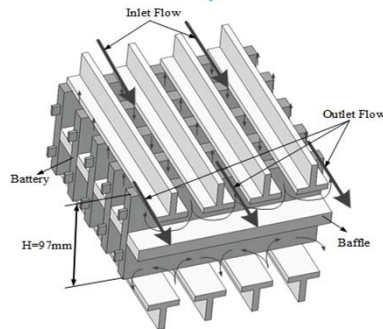
技术创新2 浸没式方型锂离子电池

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。**

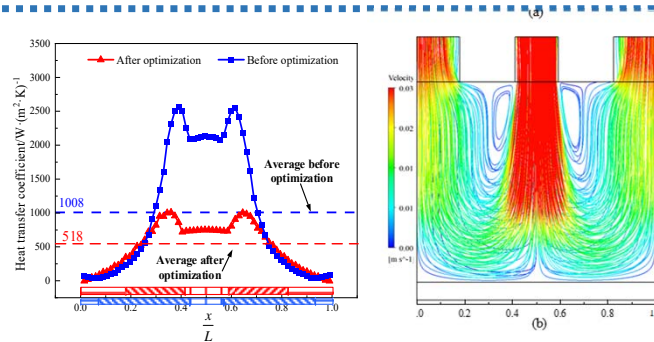


芯片冷却用歧管微通道结构

流动重整

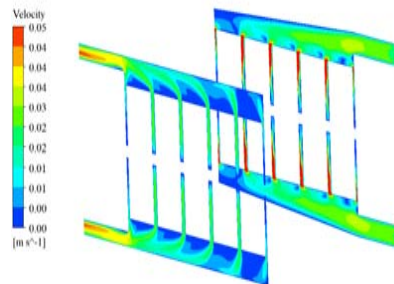


锂离子电池热管理歧管通道结构

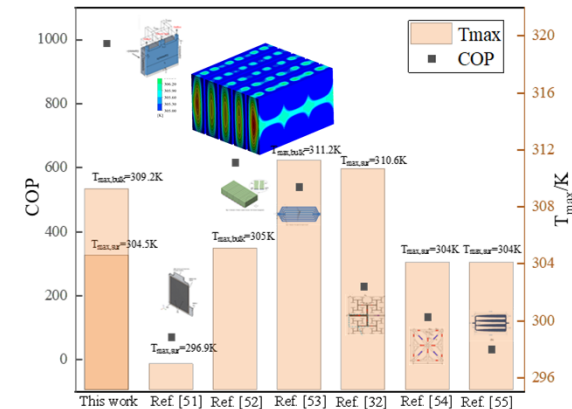


发现用于MI结构与芯片冷却不同，需要**侧面对流换热比底面强**

流动量均匀分配



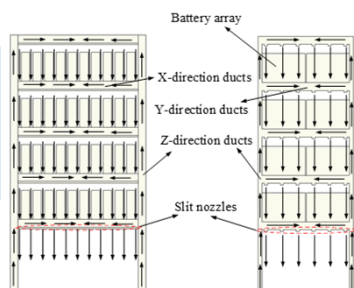
低能耗下保证电池正常工作温度



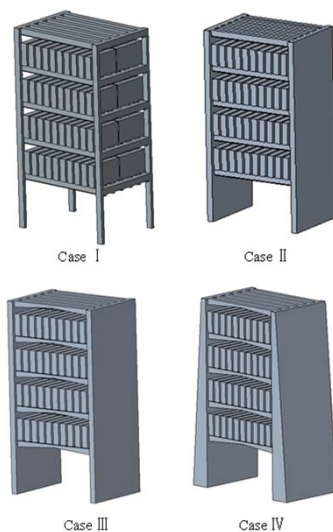
技术创新3 储能系统自成型风冷电池架

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。

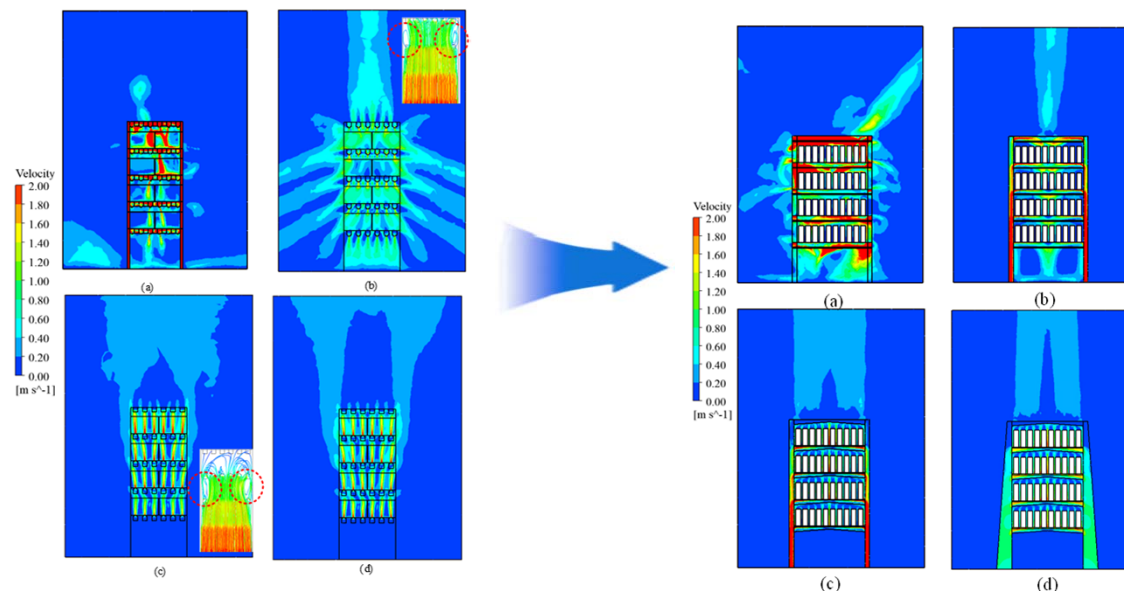
电池冷却管道结构



磷酸铁锂 (LFP) 电池组四种电池架



一级流量分配层间流量，二级流量分配单元间流量

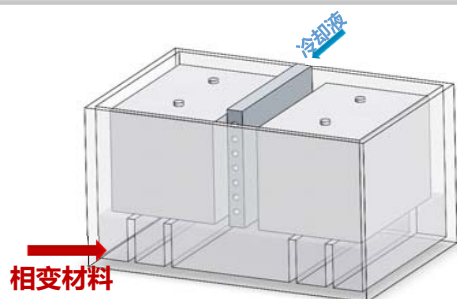


自成型电池架由于风道呈锥形，
具有最高的**流量**和最好的**温度均匀性**。

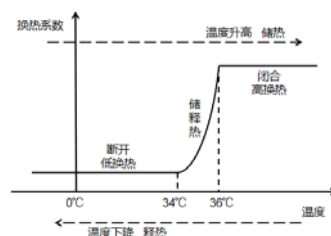
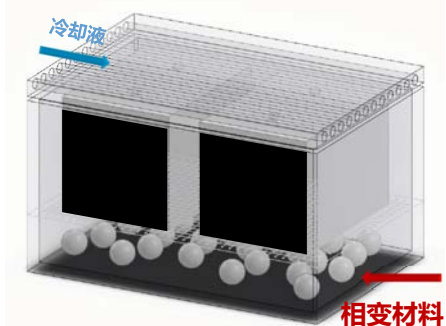
技术创新4：被动热调节器/热开关

电池热调节器/热开关——兼顾散热与保温

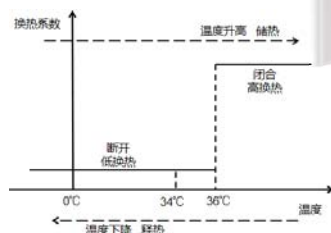
连续式
调节结构



阶跃式
调节结构

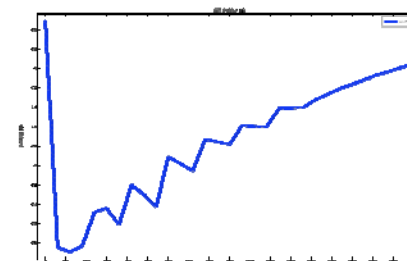
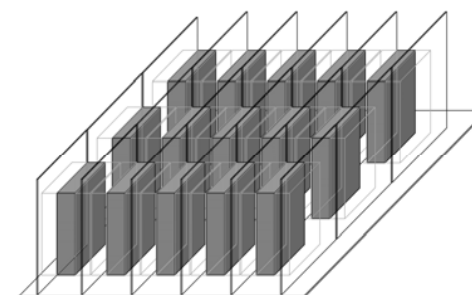


a) 直接/间接浸没式热开关换热系数随温度变化曲线
(冷板在电池之间)



b) 直接/间接浸没式热开关换热系数随温度变化曲线
(冷板在电池上方)

模组化



相变吸热率

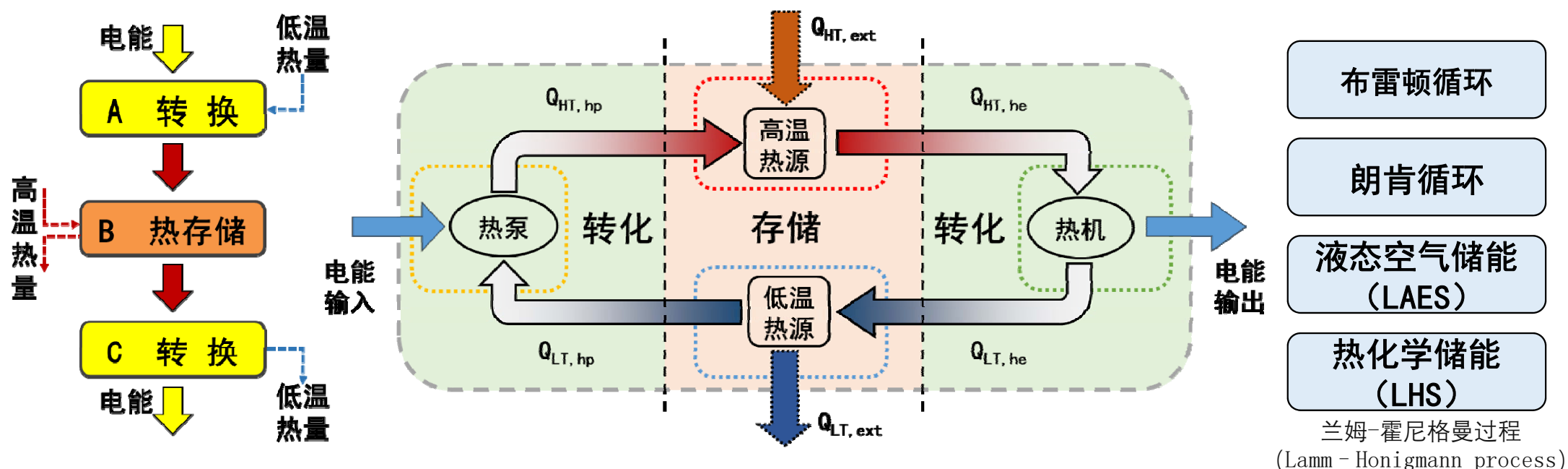
优势：不受外部电路故障的影响，故障率低，反馈途径短，有效性高；具有连续性和阶跃性双重性质，调节精准，自适应能力强，减少外部算力。

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

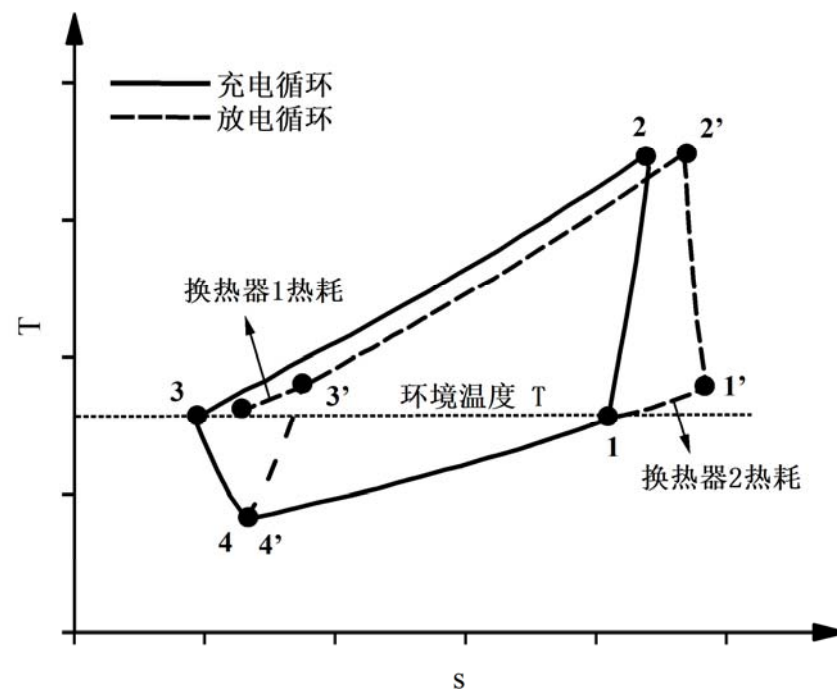
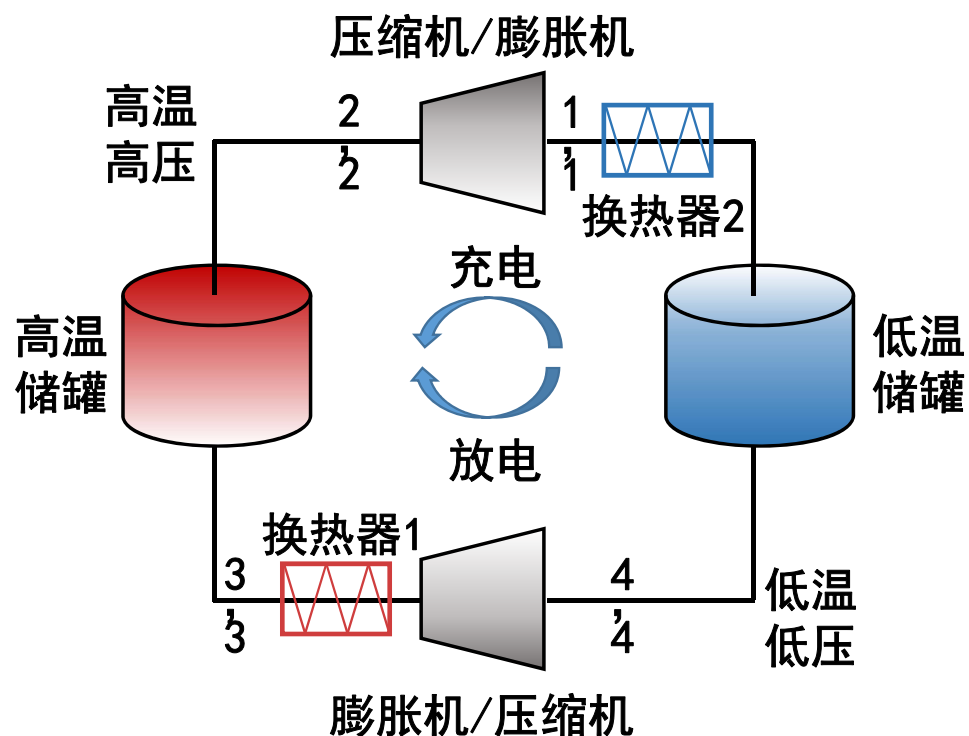
卡诺电池 (Carnot Battery)

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/低温热能驱动**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

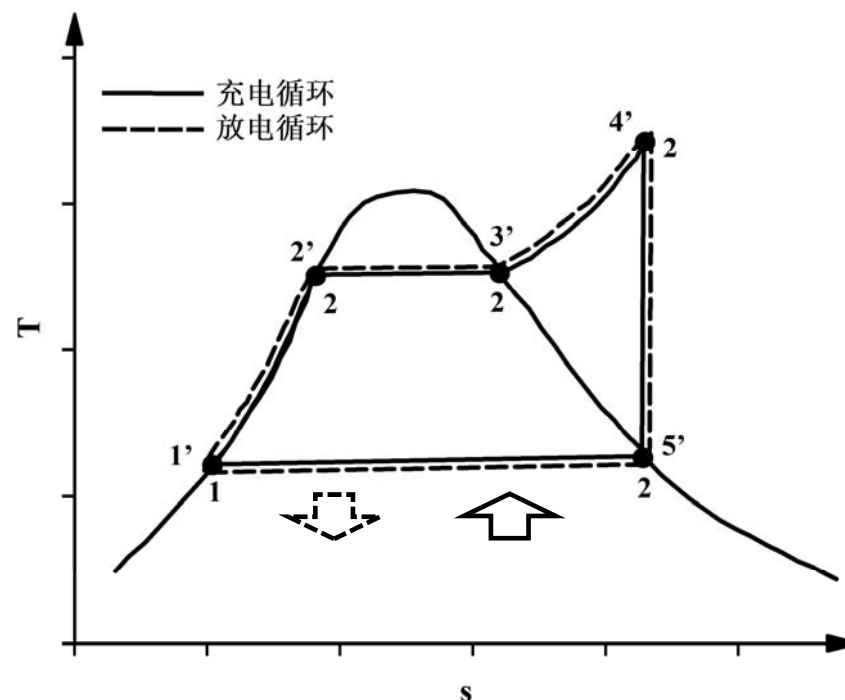
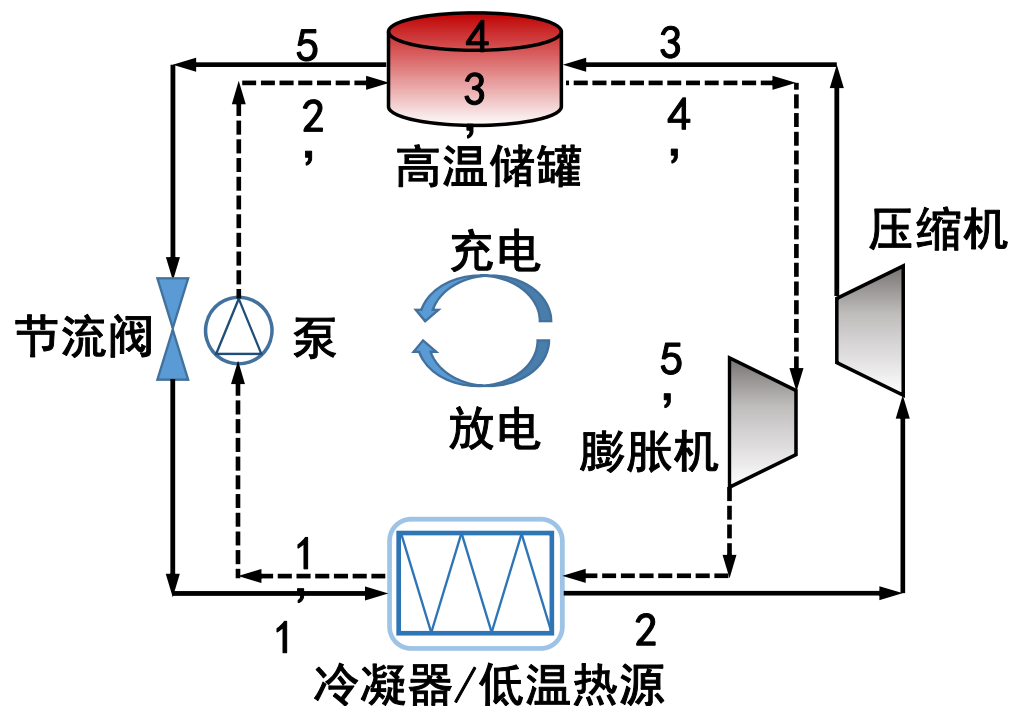


特点：利用超临界气体作为工作流体，如空气，Ar，sCO₂等；运行温度范围宽，可达-70—1000℃；系统往返效率在45%—75%之间。

- 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



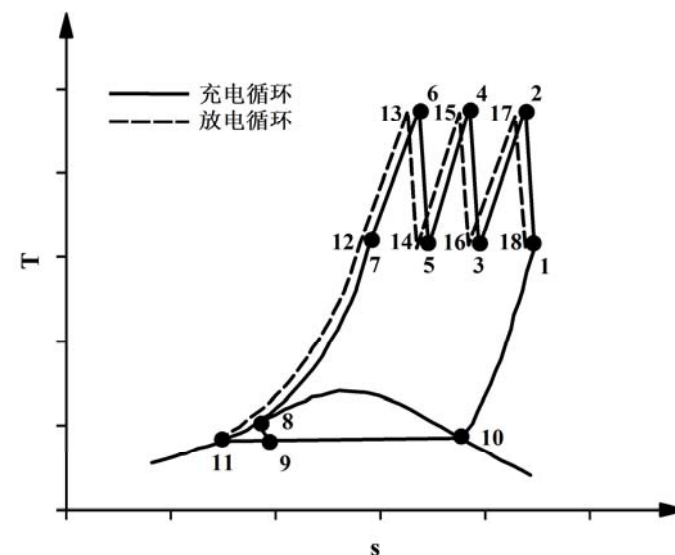
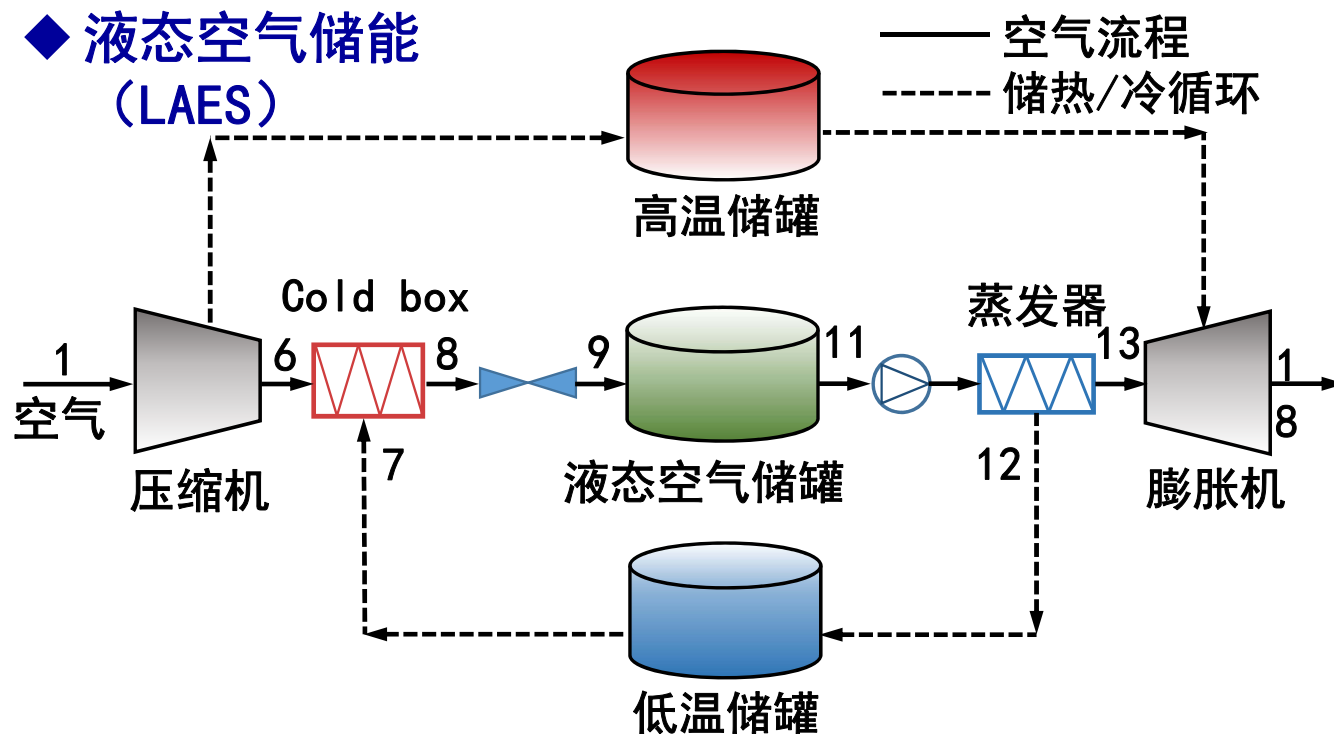
特点：工作流体发生**相变**，同时存储显热和潜热；运行温度为**中低温**，约为-20—180°C；系统往返效率在40%—70%之间。

- 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℃；系统往返效率在40%—60%之间。

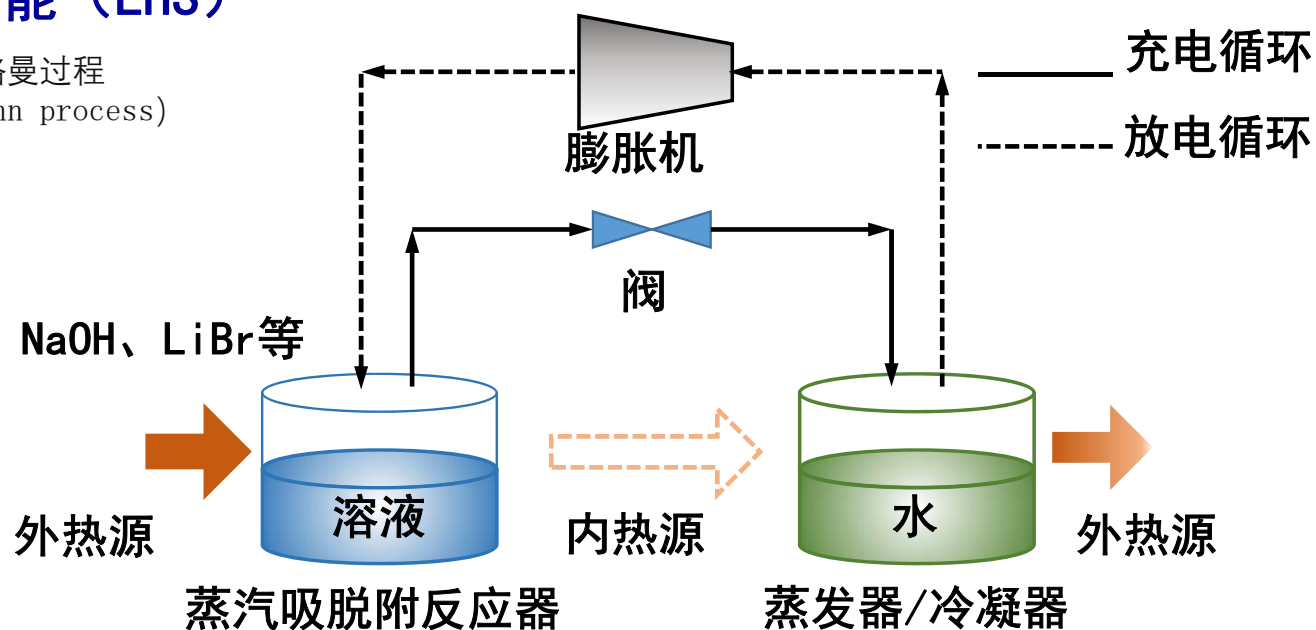
- 2014，英国伯明翰大学，液态空气储能电站，350kW，2.5GWh，

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℃；系统往返效率在20%—40%之间。

- 2013，慕尼黑理工大学，LiBr/H₂O热化学储能实验装置，40—120℃

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



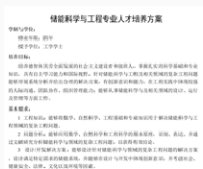
2021.02
储能科学与工程
新专业获批备案



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**。

国家储能技术产教融合创新平台

储能安全研究中心

1.1

电化学储能
材料与器件

(负责人：田华军)

1.2

储能安全与
检测

(负责人：巨星)

储能系统应用研究中心

2.1

热/热化学
储能技术

(负责人：徐超)

2.2

储能系统集
成与控制

(负责人：刘念)

氢能储能研究中心

3.1

PEM水电
解燃料电池

(负责人：刘建国)

3.2

SO电解池
与燃料电池

(负责人：王利刚)

3.3

储氢材料与
器件

(负责人：武英)

3.4

氢燃气轮机
与技术

(负责人：张永生)

实验
支撑

计算
支持

测试
分析

共性材料制备与公共分析测试中心

科技攻关方向-储能

储能安全研究

电化学储能材料与器件



材料安全

储能安全与监测

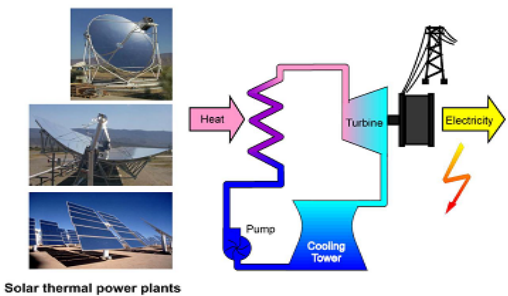


系统安全

储能系统 集成与控制

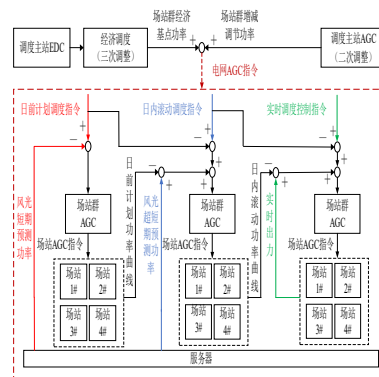


热 / 热化学储能技术



Solar thermal power plants

参数工艺



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

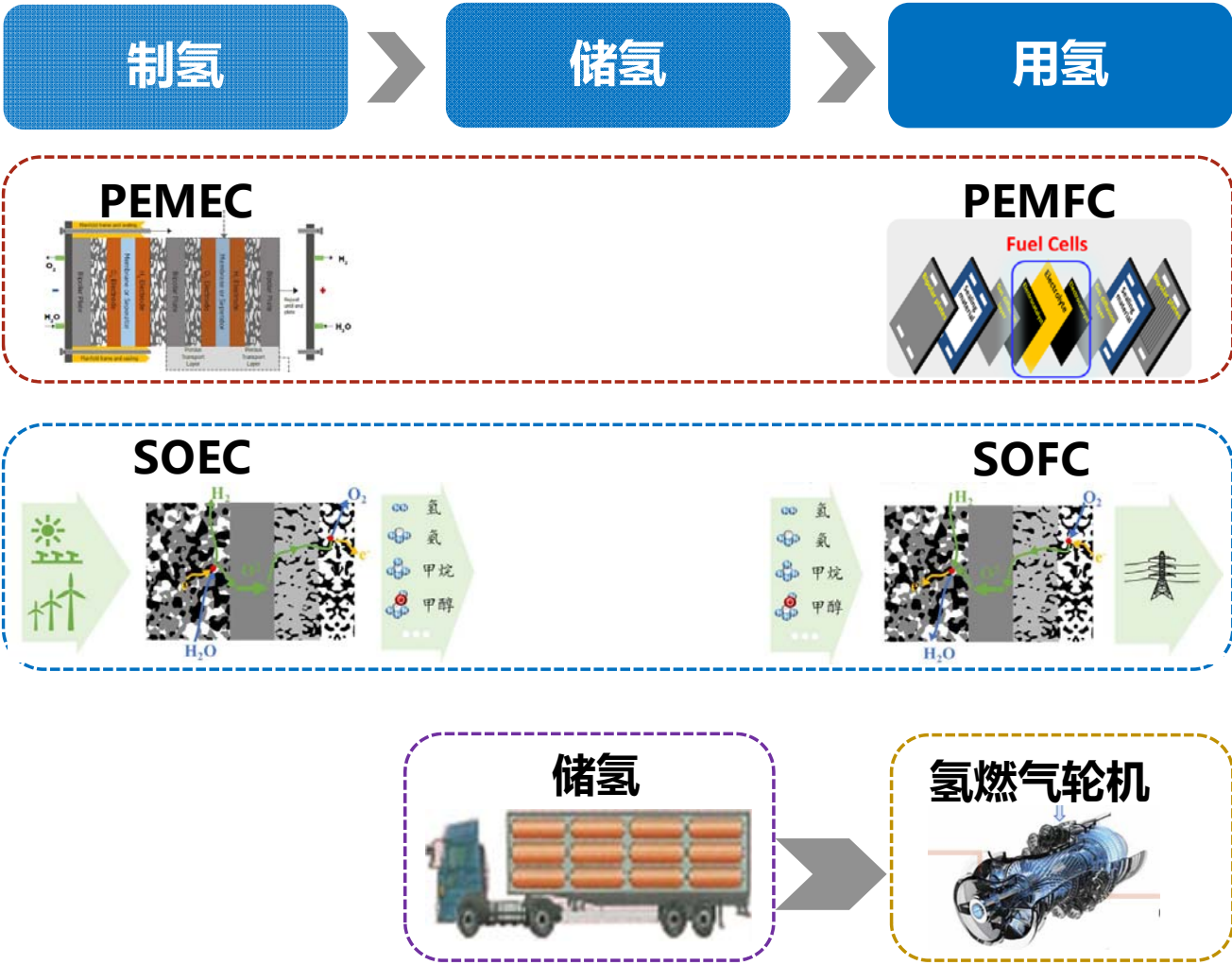
储能系统集成与控制

负责人

刘念教授

科技攻关方向-氢能

氢能储能研究



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