

储能与电动中国

李泓 胡勇胜 陈立泉

(中科院物理所)

俞会根 罗飞
(卫蓝新能源 天目先导)

2021.12.15 电机工程学会网上会

电动中国

能源形势:

富煤、少气、缺油

2018年能源状态:

- 煤 59.0%
 - 石油 18.8%
 - 天然气 7.8%
 - 水风光核 13.8%
 - 其它 0.6%
- 85.6%

自产原油**1.9亿吨**

原油进口**4.6亿吨**

对外依存度**71%**

(汽车保有**2.4亿辆**)



能源互联网

胡焕庸线西北

80%以上陆地风能；
70%以上太阳能；
60%以上水能

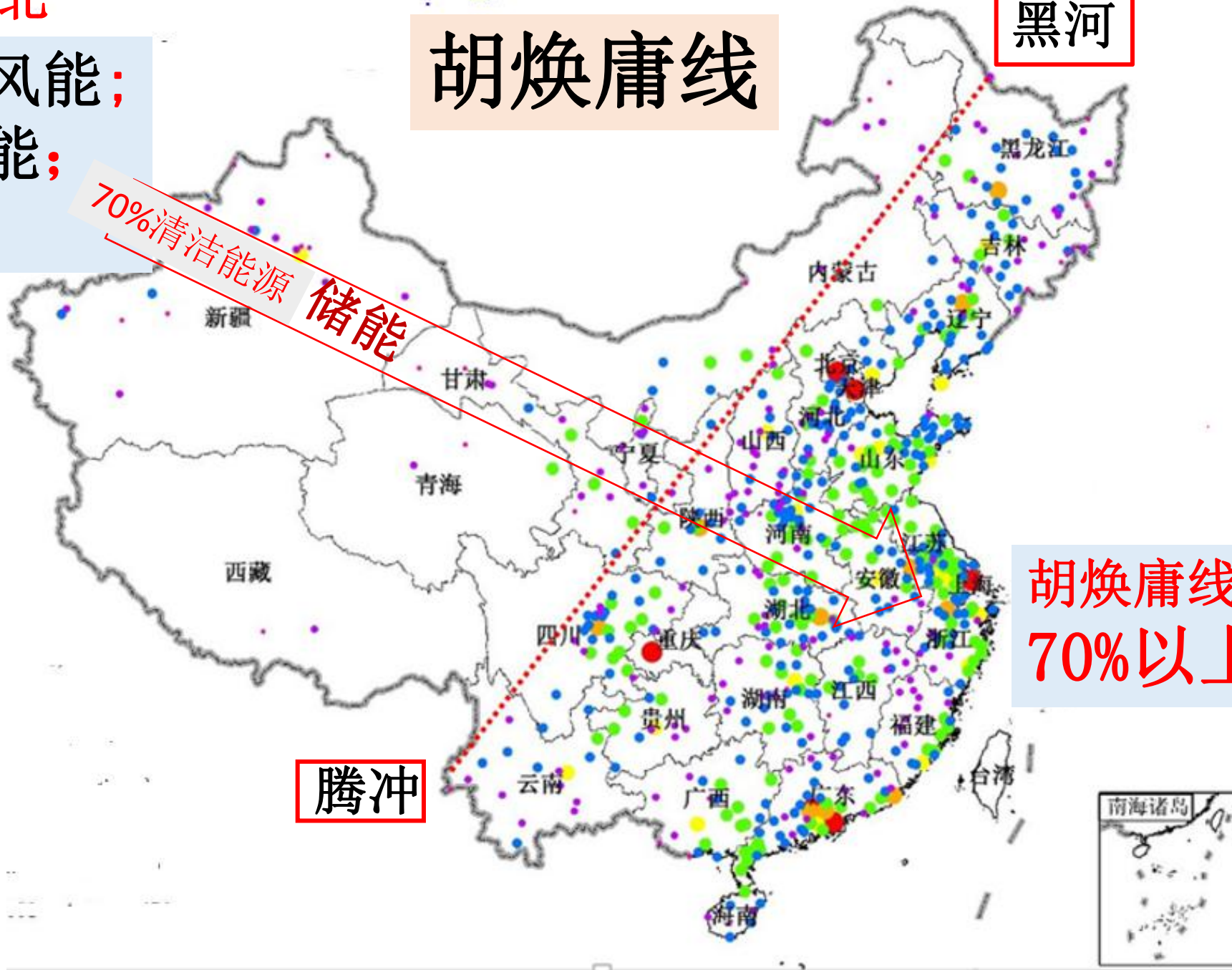
胡焕庸线

黑河

70%清洁能源
储能

胡焕庸线东南：
70%以上负荷

腾冲



发展可再生能源.....

2015年习主席倡议构建全球能源互联网，以清洁和绿色方式满足全球电力需求。

最近提出：“2030年前碳排放达到峰值”
“2060年达到碳中和”；

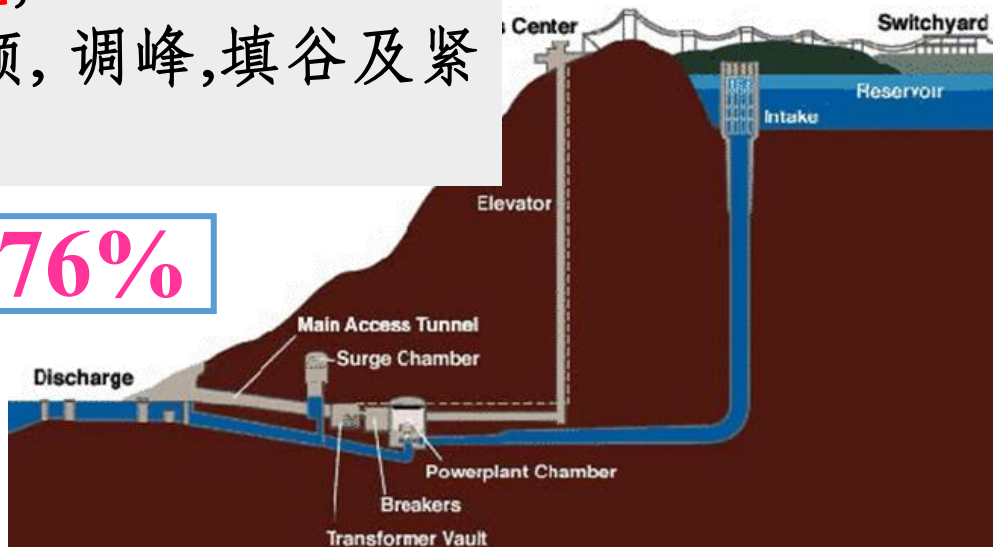
为此2030年非化石能源将达到~25%，风、光伏发电总装机将达12亿千瓦以上。（截至2021年10月，我国可再生能源发电累计装机容量突破10亿千瓦。）

储能是关键

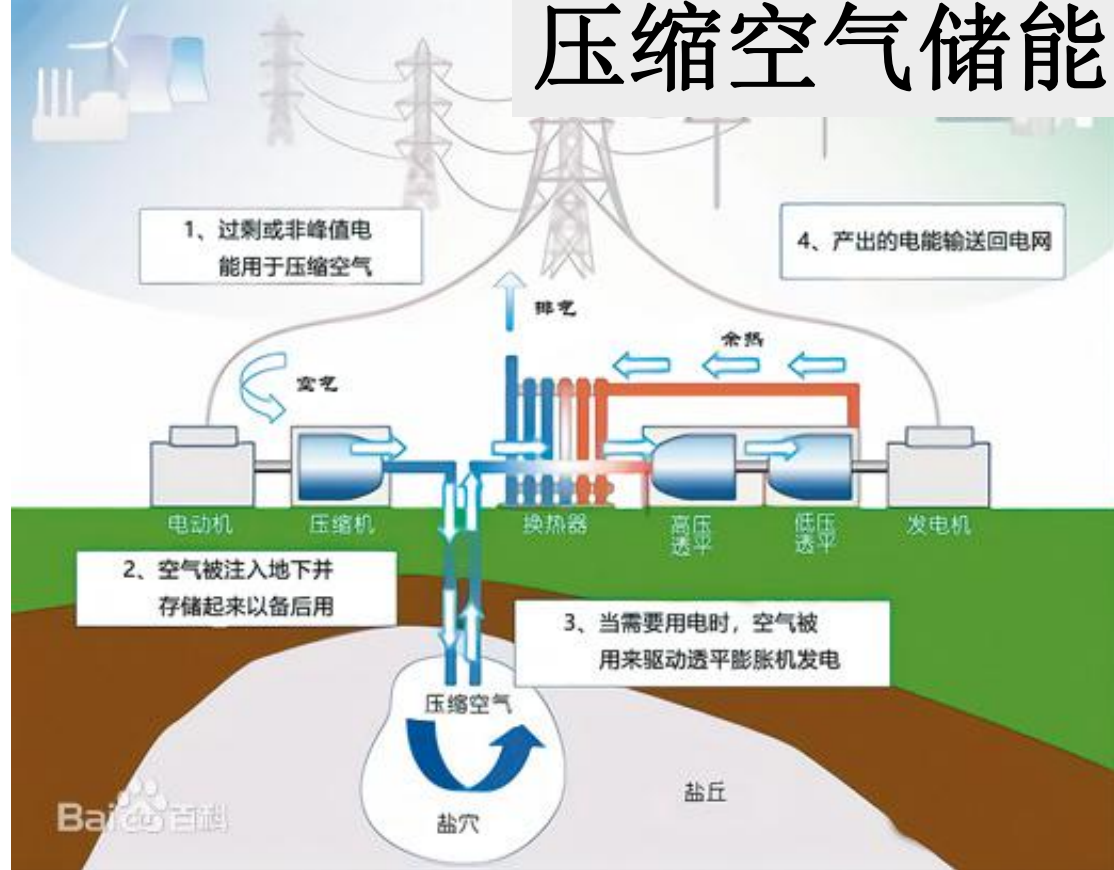


有4台200MW发电机组；
 总装机**80万KW**；7年建成，工程总投资**37.3151亿元**；
 为北京提供调频，调峰，填谷及紧急备用电源。

效率：70-76%



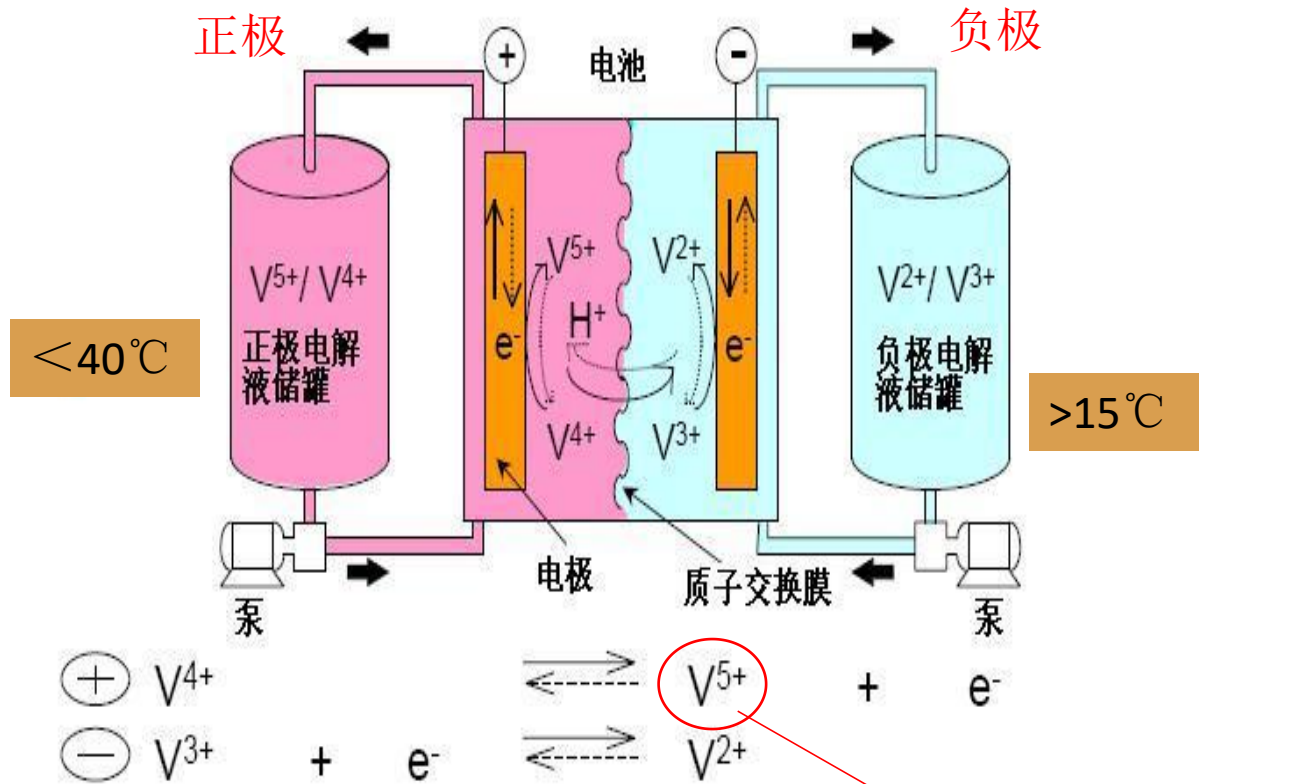
压缩空气储能



利用**低谷电驱动压缩机**，将高压空气压入**地下储气洞里**；白天峰荷时，储存的压缩空气带动发电机发电。

系统效率40-55%

全钒液流电池



V^{5+} 离子有毒

电池总反应: $\text{VO}_2^{+} + 2\text{H}^{+} + \text{V}^{2+} \rightleftharpoons \text{VO}^{2+} + \text{V}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$

$V_{\text{output}} = 1.4 - 1.6 \text{ V}$ 能量密度: $25-35 \text{ Wh/kg}$

效率: $75-80\%$ 工作温区窄 ($15-40^\circ\text{C}$, 结晶)

铅碳电池

价格低,
浅充放 (70% DOD) 循环
寿命可达数千次;
可用于 MW/MWh 级储能。
比能量可达: $40-45 \text{ Wh/kg}$
能量效率: $71-79\%$

深充放 循环寿命短;
电池一致性尚需改善;
回收不当对环境负面。

“电解水制氢储能高潮”何时到来？

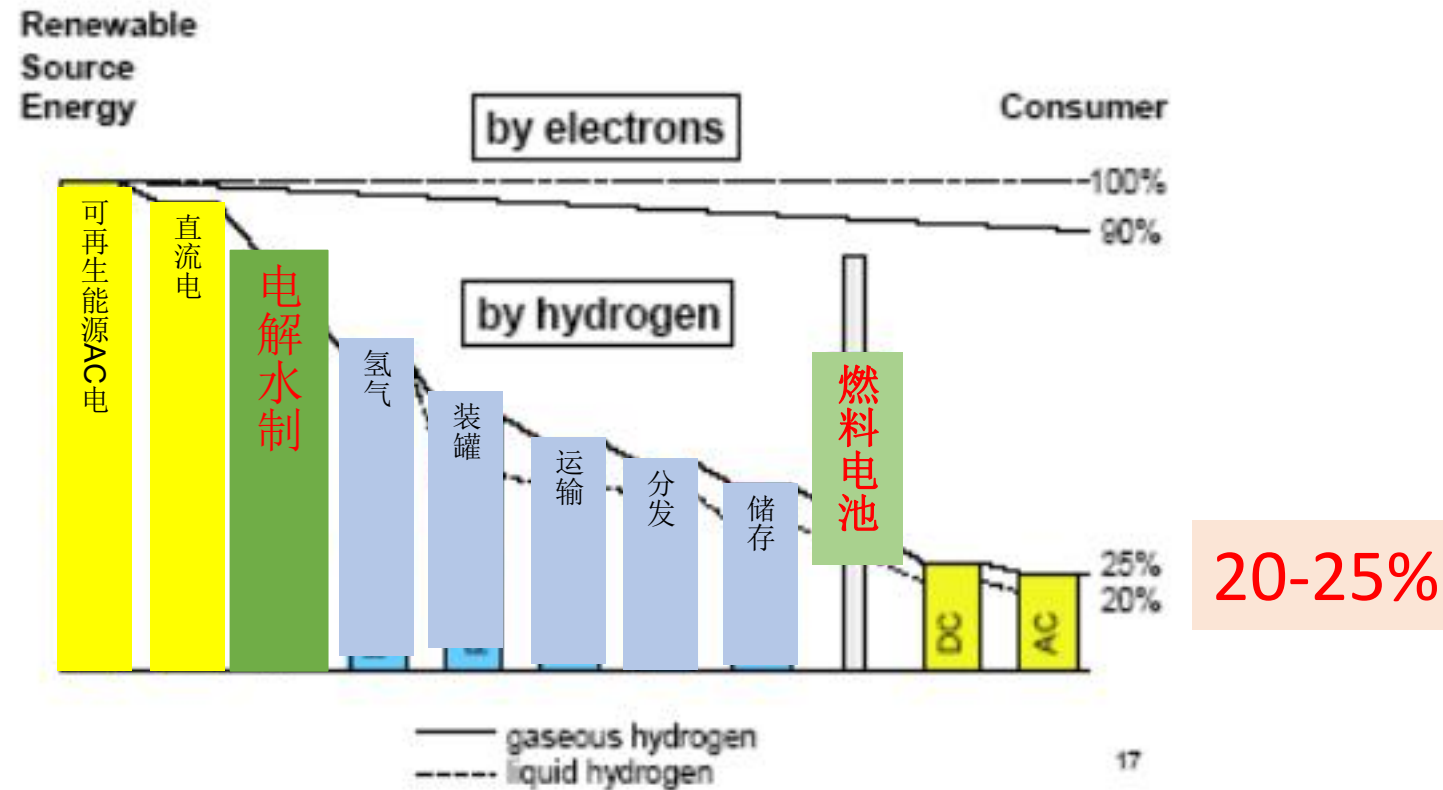


Figure 9 Transport of renewable electricity by electrons and by hydrogen. 25% of the original energy become useful for the hydrogen path

能源互联网的五大特征

可再生

1. 可再生能源是能源互联网的主要来源。它具有间歇性、波动性，传统的能源网必须转型才能不受冲突。

互联性

3. 需要将分布式发电装置、储能装置和负载组成的微型能源网络互联起来。

开放性

5. 是一个对等、扁平化和能量双向流动的能源共享网络，发电装置、储能装置和负载能够“即插即用”。

储能
Li/Na 电池

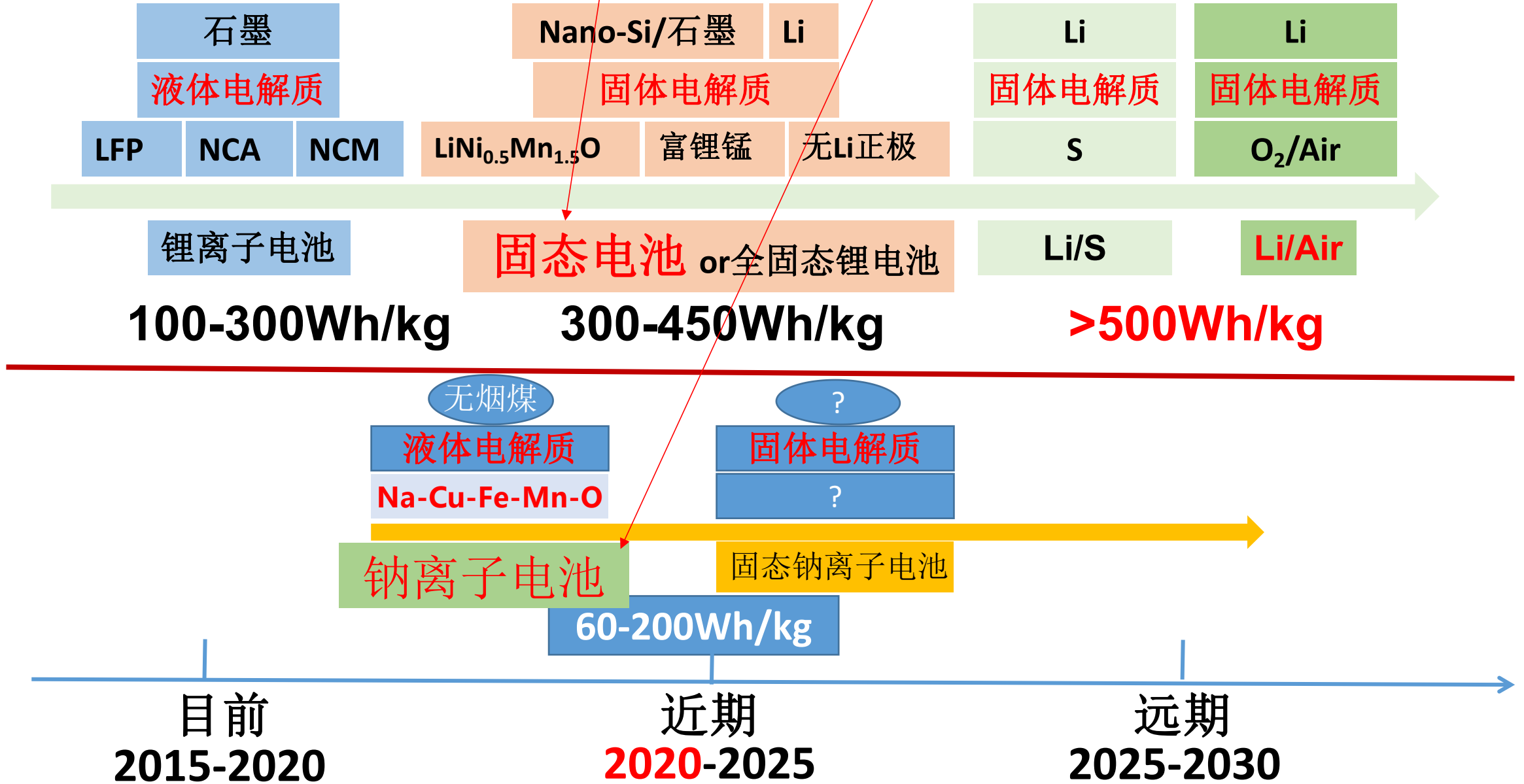
分布式

2. 可再生能源是分散，需要建立就地收集、存储和使用能源的网络，成为能源互联网的一个节点。

智能化

4. 能源的产生、传输、转换和使用都该具备一定的智能。

新一代动力/储能电池: 固态锂电池和钠离子电池



2018年中国有6个锂离子电池企业位居动力电池世界市场占有率前10，其中宁德时代以37.23%稳居第一，日本松下只有21.54%排名第二。

拜登承认，“电动车关键的零件就是电池。但现在，中国比任何国家都拥有更大规模的制造。”

拜登表示，凭借1740亿美元的电动车投资，美国有望引领全球电动汽车市场。

提高安全性和续行里程--发展固态锂电池

能量密度 $\approx 300\text{Wh/kg}$,
安全事故: fire, explode!

负极石墨
372mAh/g

液体电解质

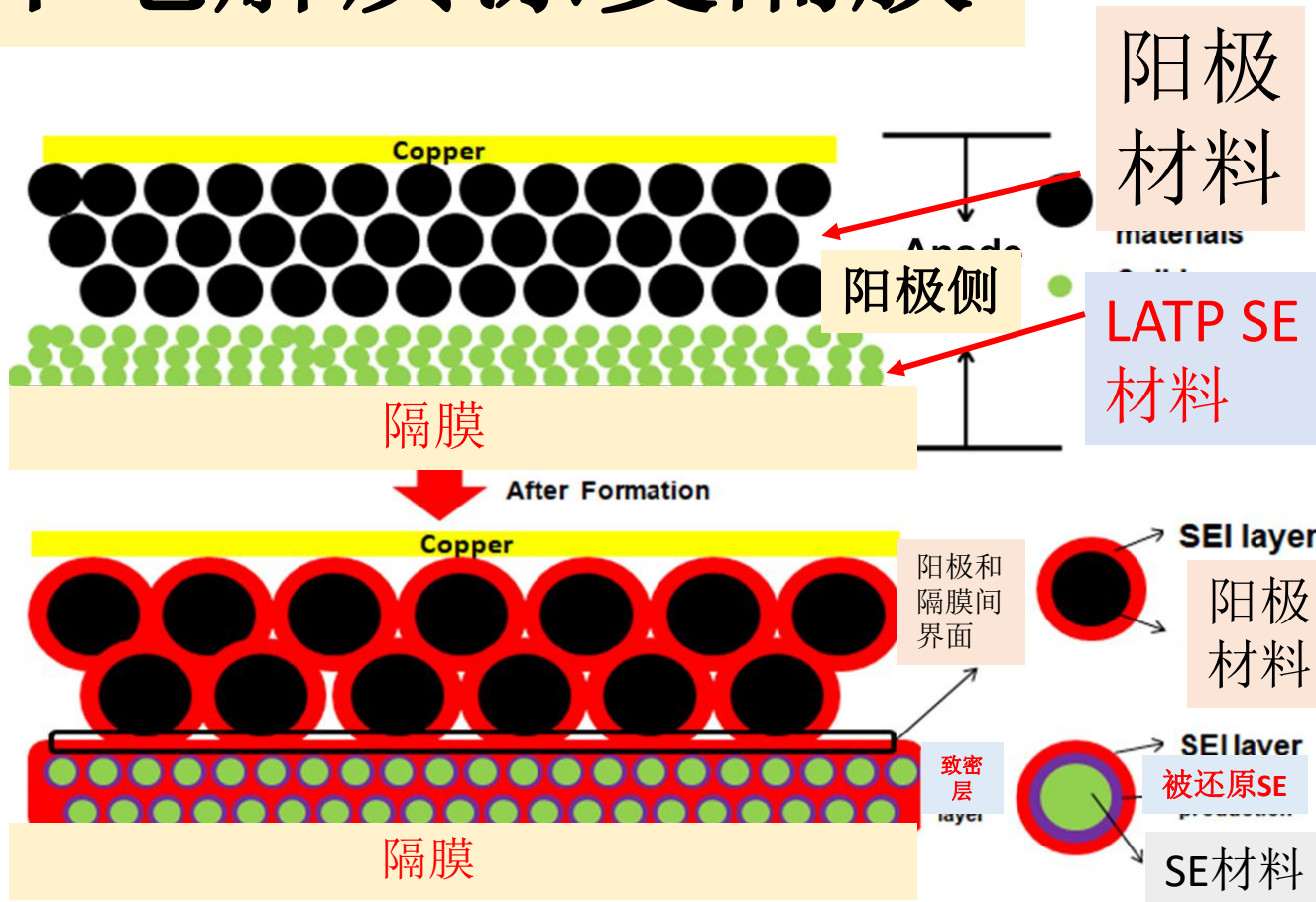
正极 (140-200mAh/g)

- 能量密度 $> 500\text{Wh/kg}$
- No fire, No explode!

原位固态化

什么是原位固态化？

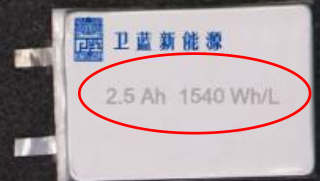
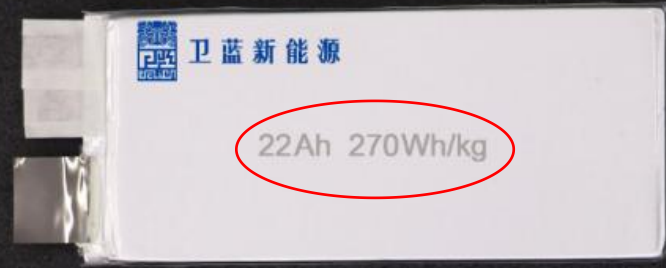
固体电解质涂复隔膜



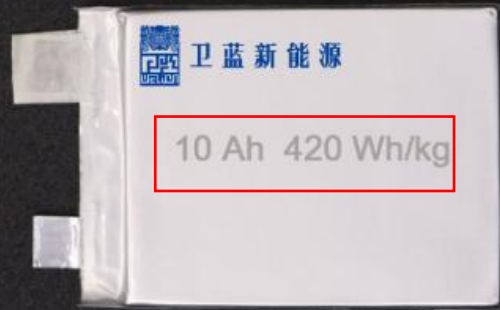
几个循环后混合离子导体 **LATP** 被部分还原。在其颗粒表面形成 **SEI** 膜并形成致密的离子导体层，它能阻止锂枝晶。

而且阳极的 **SEI** 和固体电解质的 **SEI** 可长成一体，从而阻止 **SEI** 继续生长，不再消耗电解液。

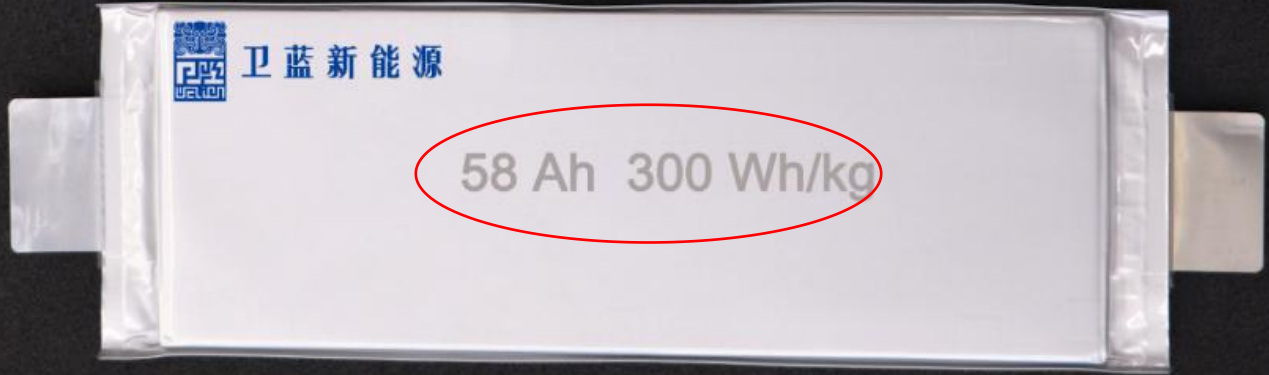
卫蓝新能源公司部分产品



2.5Ah, 1540Wh/L



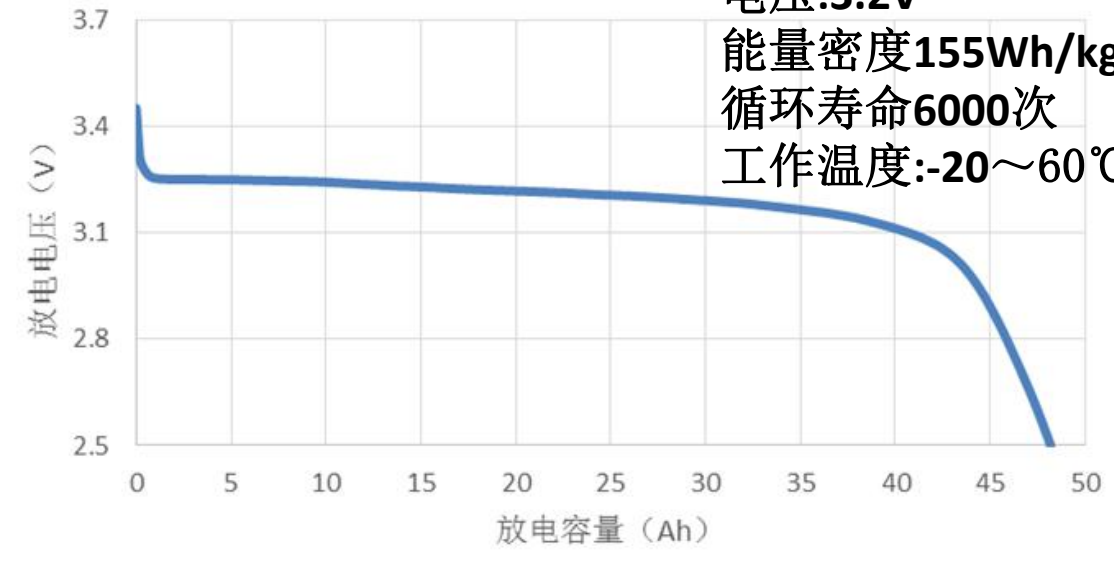
600Wh/kg



储能电池

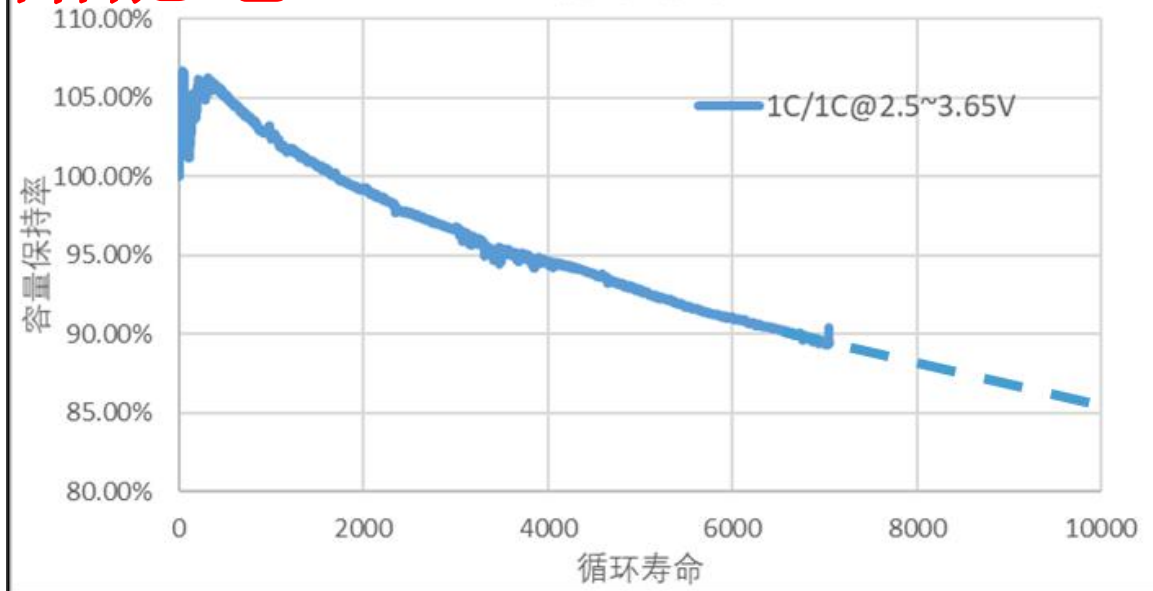
0.5C放电容量

容量: 46Ah
电压: 3.2V
能量密度 155Wh/kg
循环寿命 6000次
工作温度: -20~60°C



储能电池

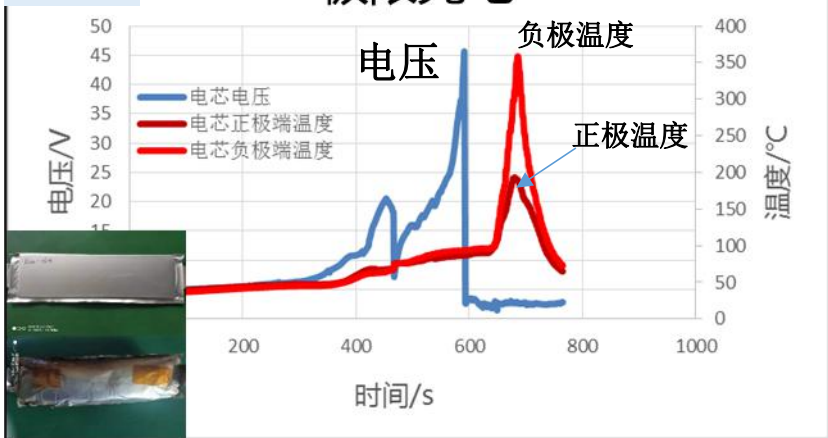
25°C-循环测试



46Ah储能电池安全性能测试

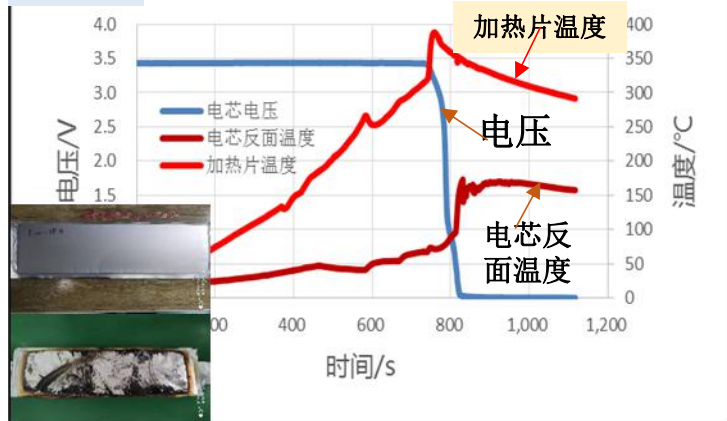
过充

极限充电



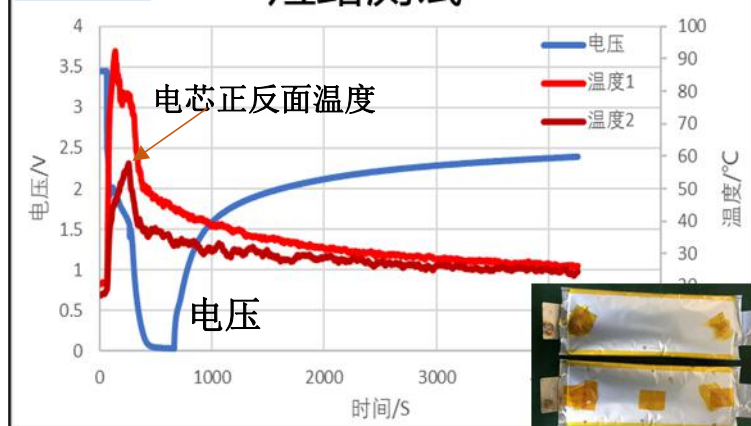
过热

加热触发热失控



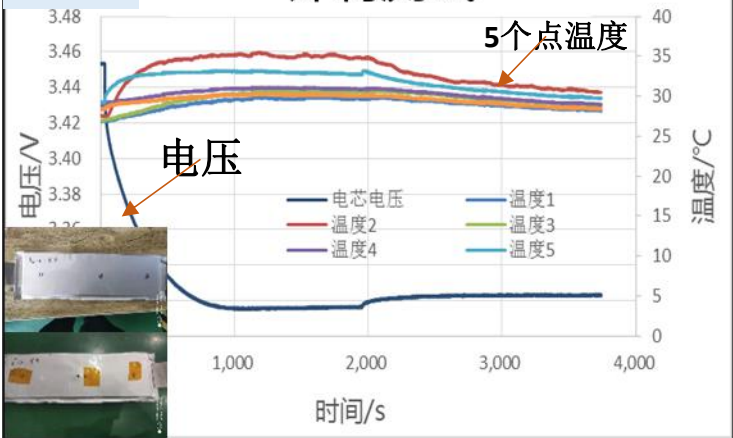
短路

短路测试



针刺

针刺测试



枪击2次, 子弹7.62mm

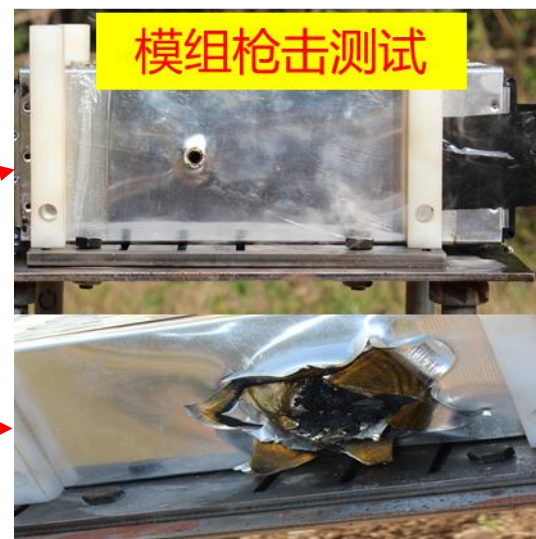
枪击测试

枪击后
电压
3.28V

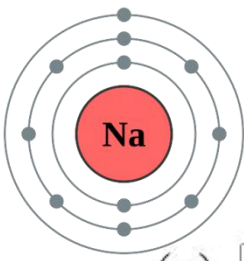


6个电芯串联

模组枪击测试

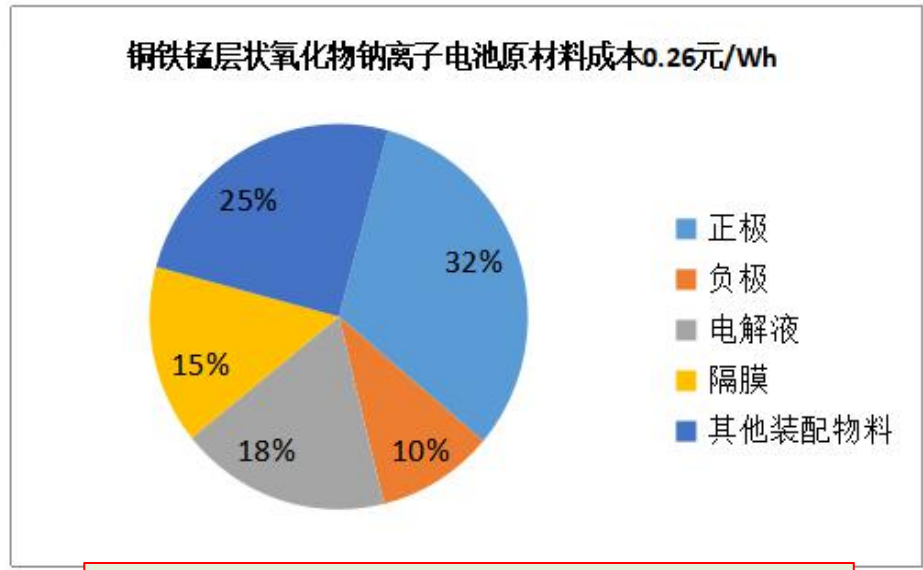


发展Na离子电池 构建能源互联网

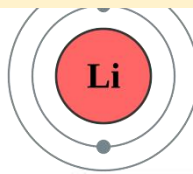


2.75%

煤/铜铁锰氧化物

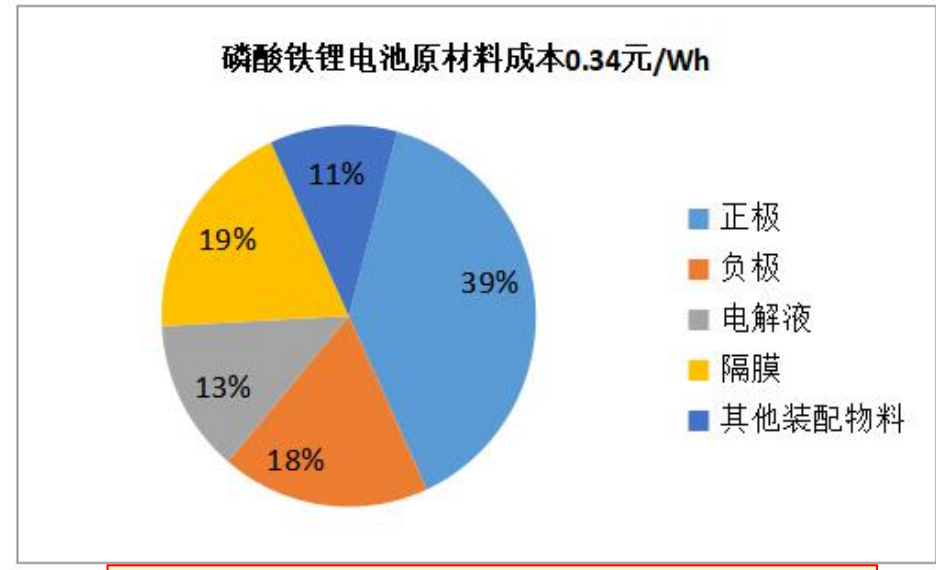


原材料成本**0.26元/Wh**



0.0065%

石墨/磷酸铁锂



原材料成本**0.34元/Wh**

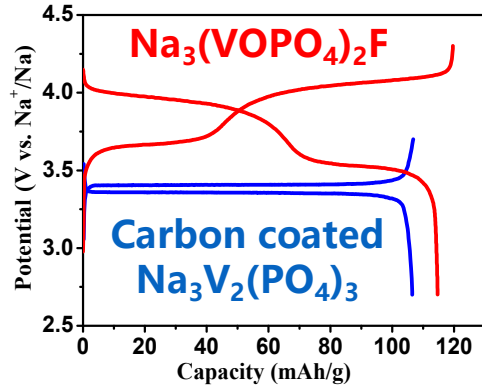
几年前

进入2021年，电池级**碳酸锂价格持续上涨**，1月4日报价**54000元/吨**，**上月上涨到20000元/吨**。磷酸铁锂正极材料涨到9万元/吨。电芯超过0.8元/Wh。

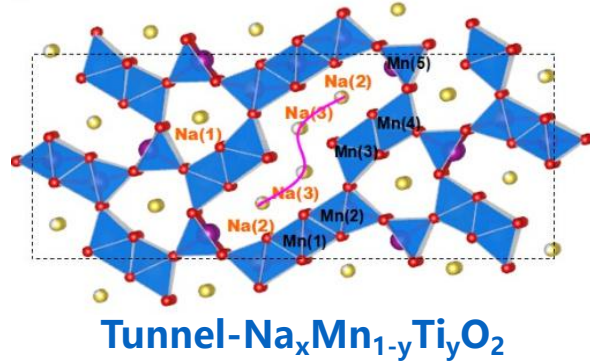
物理所研制出多种新型钠离子正、负极材料

2010年 7月开始, 申请中国发明专利 40余项, 已授权20项

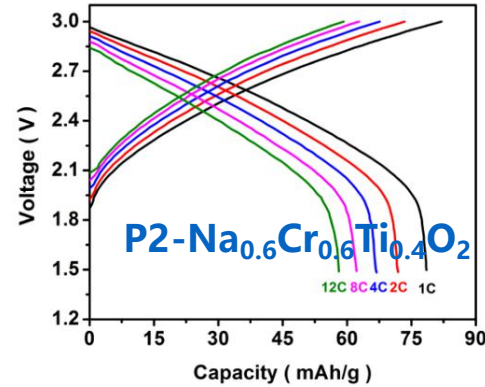
正极



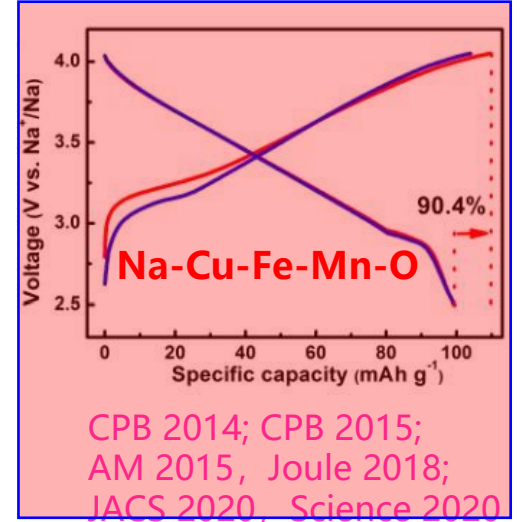
EC 2012; AEM 2013; AFM 2014
Angew Chem 2015; JMCA 2016,
Nature Commun 2017; Joule 2018



Nature Commun 2015
AEM 2015; AEM 2015



Nature Commun 2015



CPB 2014; CPB 2015;
AM 2015, Joule 2018;
JACS 2020, Science 2020

聚阴离子

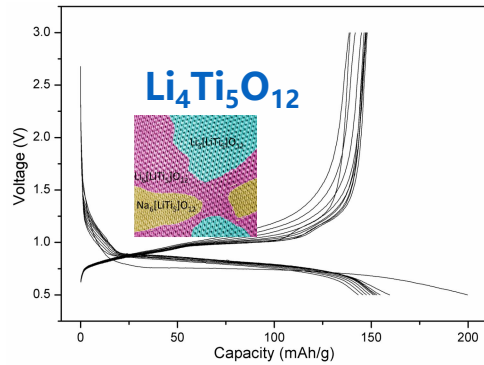


隧道型氧化物



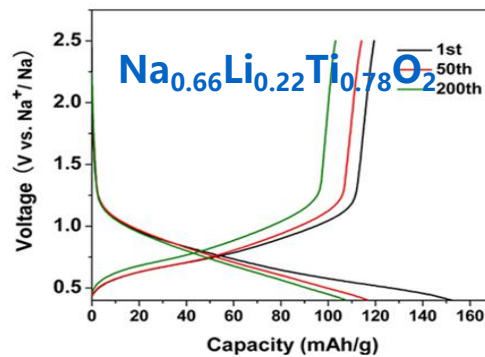
层状氧化物

负极



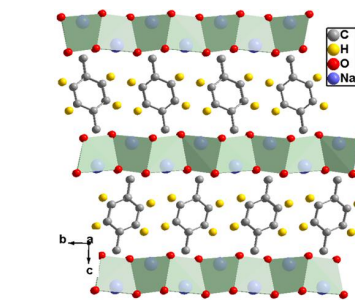
CPB 2012; NL 2013
Nature Commun 2013

尖晶石



Nature Commun 2013

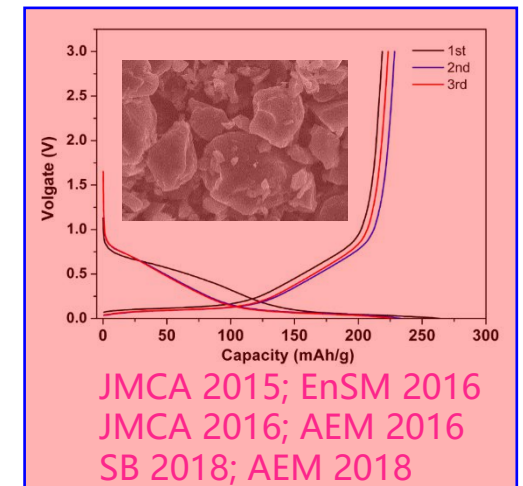
层状氧化物



Organic electrodes

AEM 2012; JMCA 2015
Science Advances 2015

有机材料

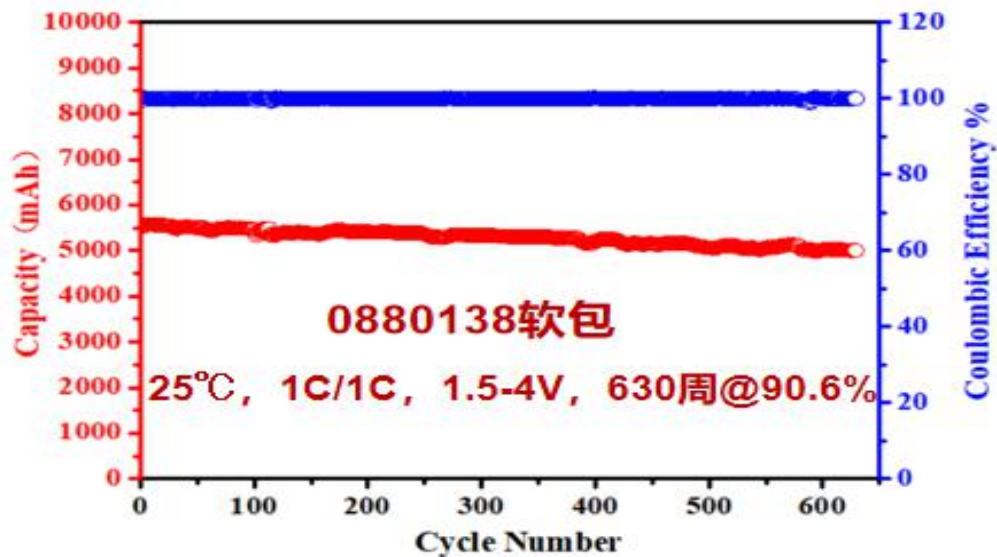


JMCA 2015; EnSM 2016
JMCA 2016; AEM 2016
SB 2018; AEM 2018

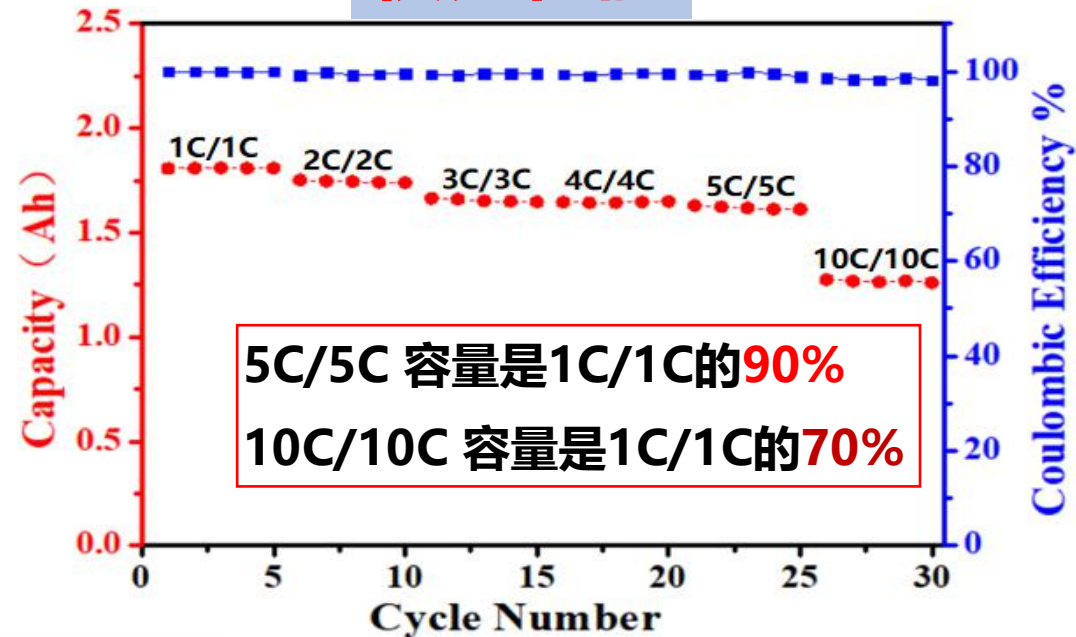
碳材料

钠离子电池部分性能

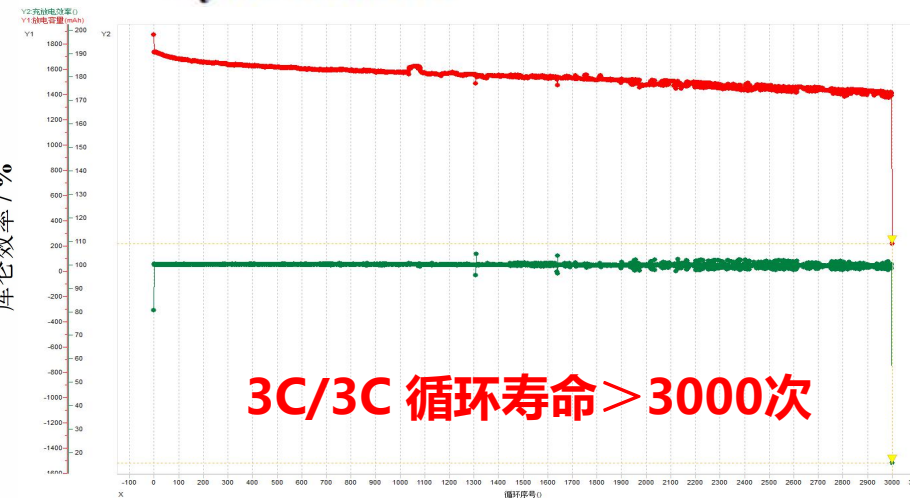
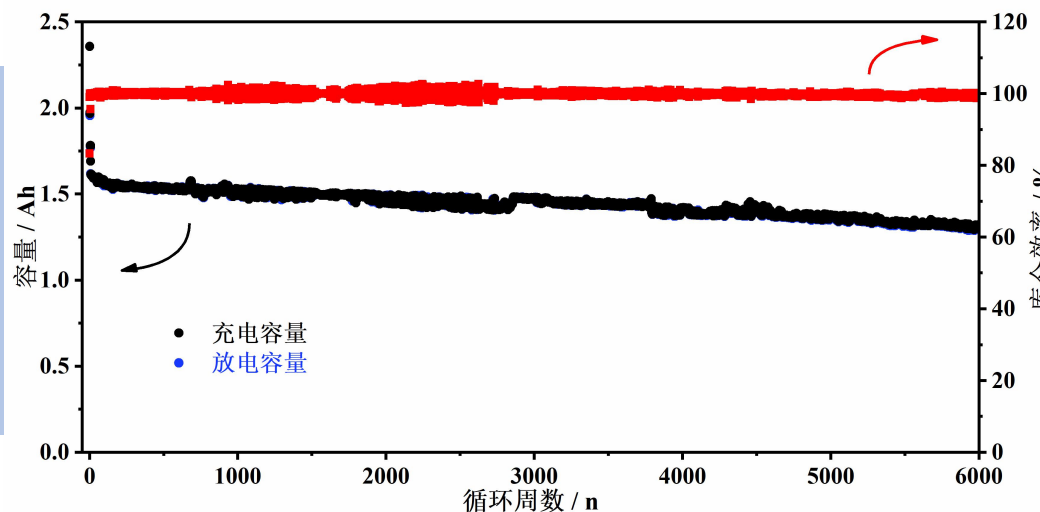
6 Ah 软包电池, 能量密度达到 145Wh/kg



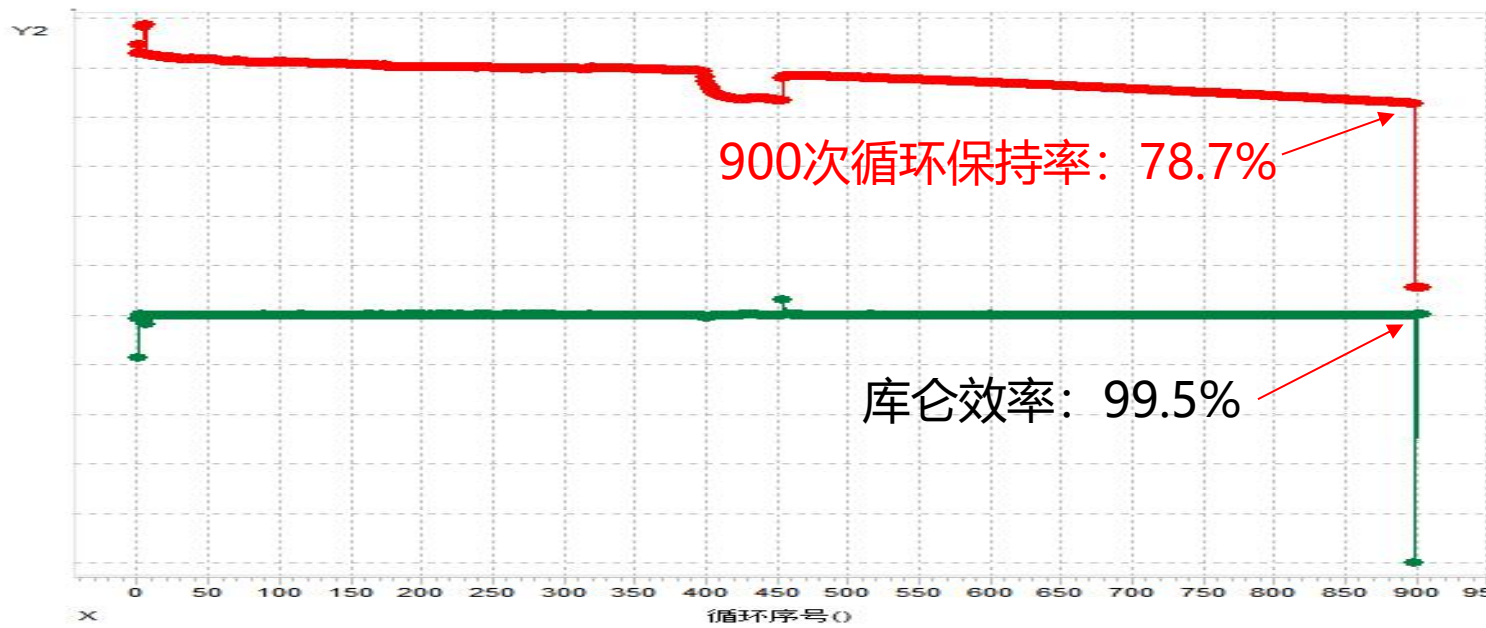
快充性能



1C/1C
循环寿命达
6000次



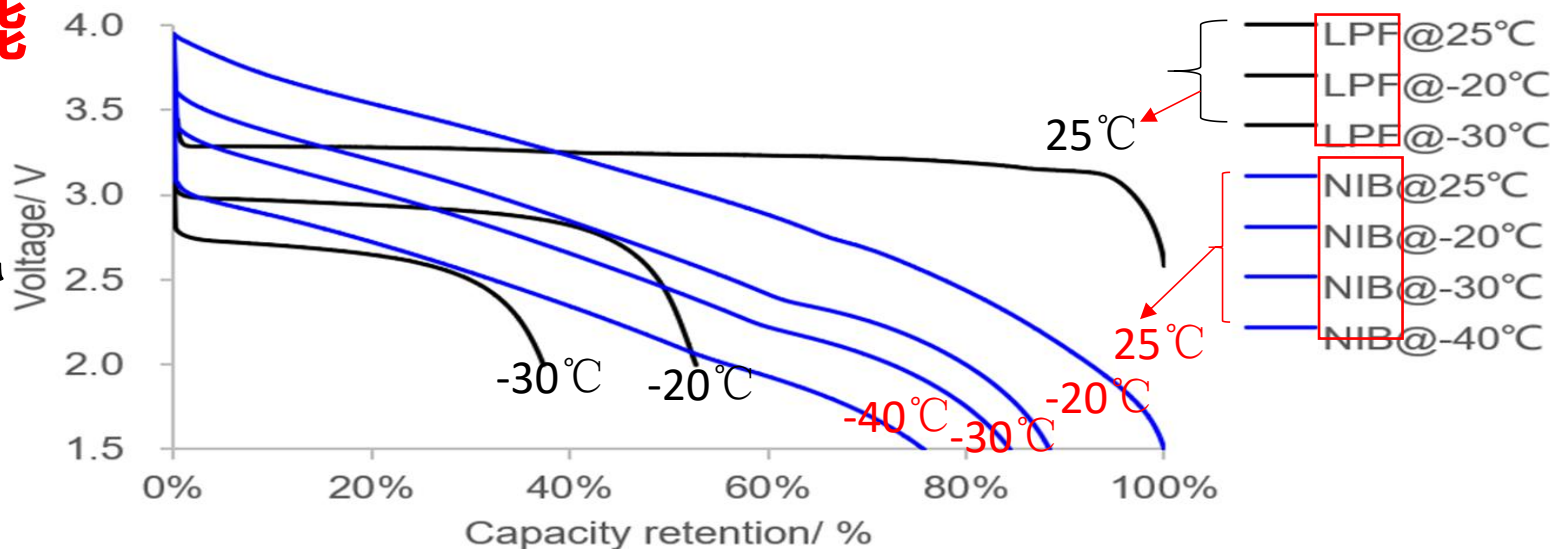
钠离子电池： 80°C循环性能



0.2C Discharge @ Different Temperature

钠离子电池：低温性能

钠离子电池低温性能
明显优于磷酸铁锂电池

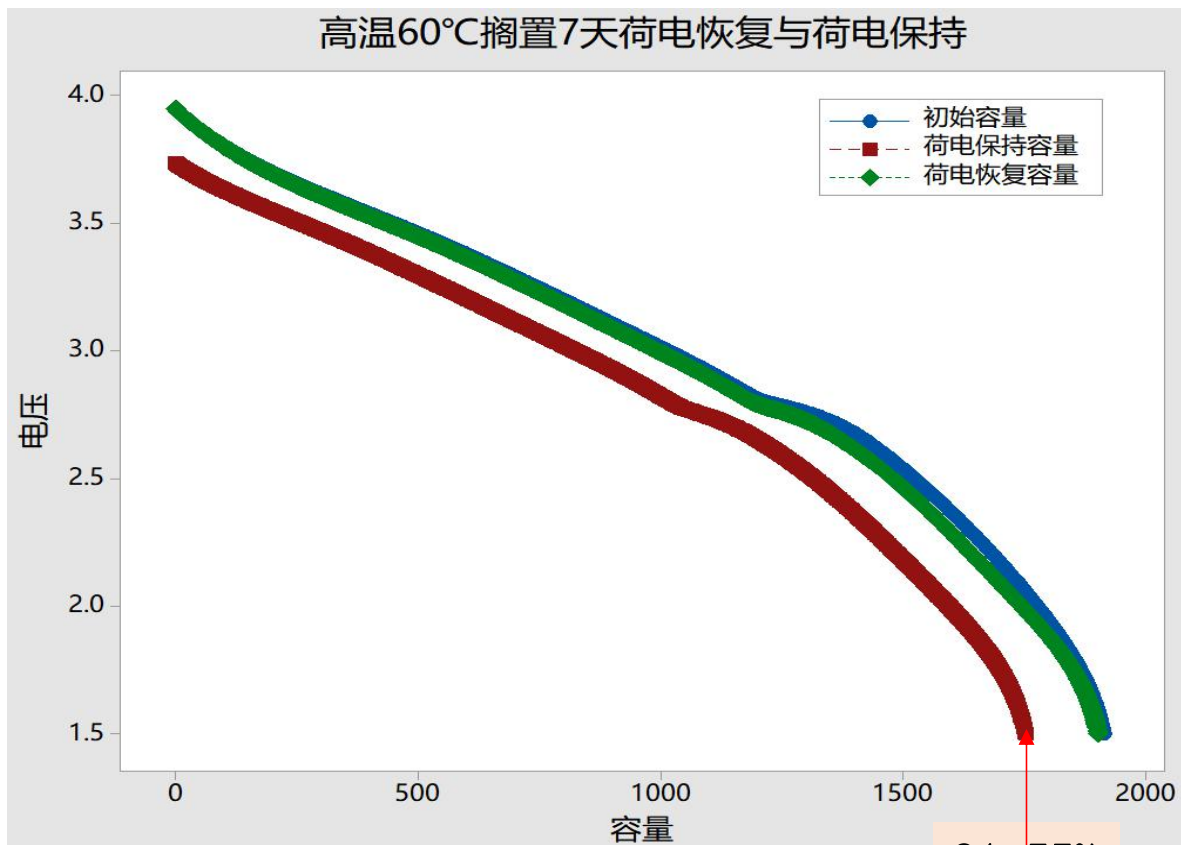


钠离子电池 高温存储性能

60°C 7 天后荷电恢复

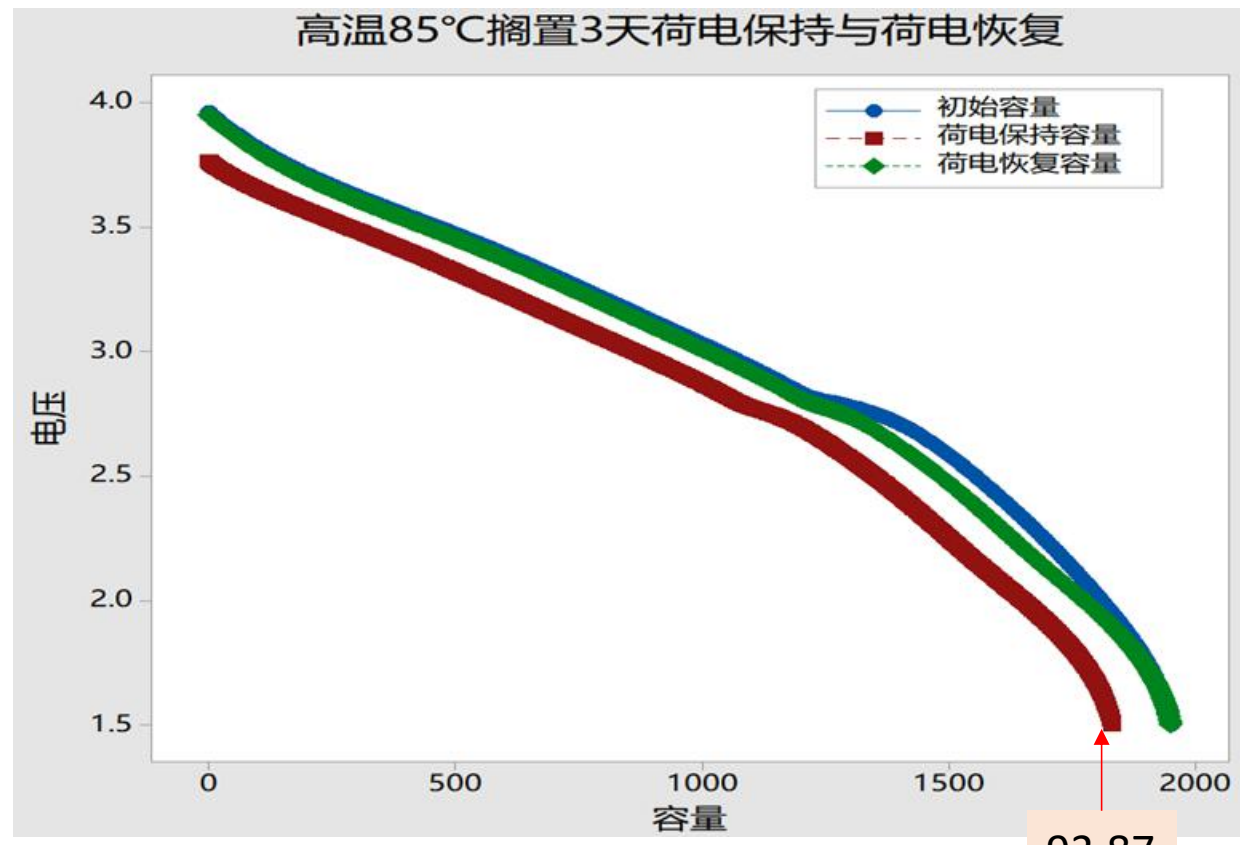
85°C 3 天后荷电恢复

高温60°C搁置7天荷电恢复与荷电保持



91.55%

高温85°C搁置3天荷电保持与荷电恢复



93.87%

充满电60°C存放7天后再在室温测试，容量只有91.55%，接下来充放电性能完全恢复。

充满电85°C存放3天后再在室温测试，容量只有93.87%，接下来充放电性能完全恢复。

全球首套1MWh钠离子电池储能系统



中科院物理所与中科海钠在山西太原综改区联合推出了**全球首套1MWh钠离子电池光储充智能微网系统**，成功投入运行。该系统以钠离子电池为储能主体，结合市电、光伏和充电设施形成一个微网系统，可根据需求与公共电网智能互动。

谢谢!