

CIBF2024

先进电池前沿技术研讨会

Conference on the Frontier Technology of Advanced Batteries



CIBF2024

先进电池前沿技术研讨会

130

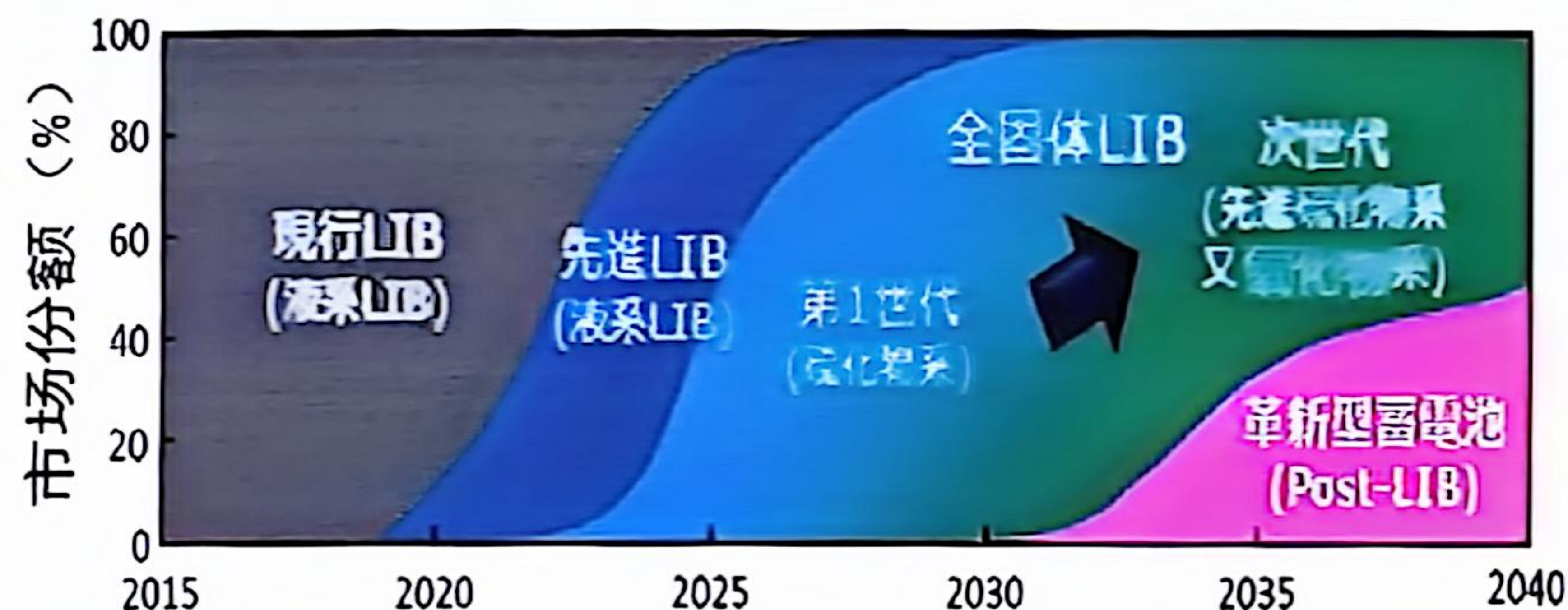


产学研协同构建中国全固态电池技术平台

欧阳明高

ouymg@tsinghua.edu.cn

国外全固态电池技术趋势：日本全固态电池技术路线图2020



事業開始時点
(第1期の成果)

第1世代全固体LIB

次世代全固体LIB



- 活物質高密度充填
- 電解質層の薄膜化

硫化物系
電解質



三元系

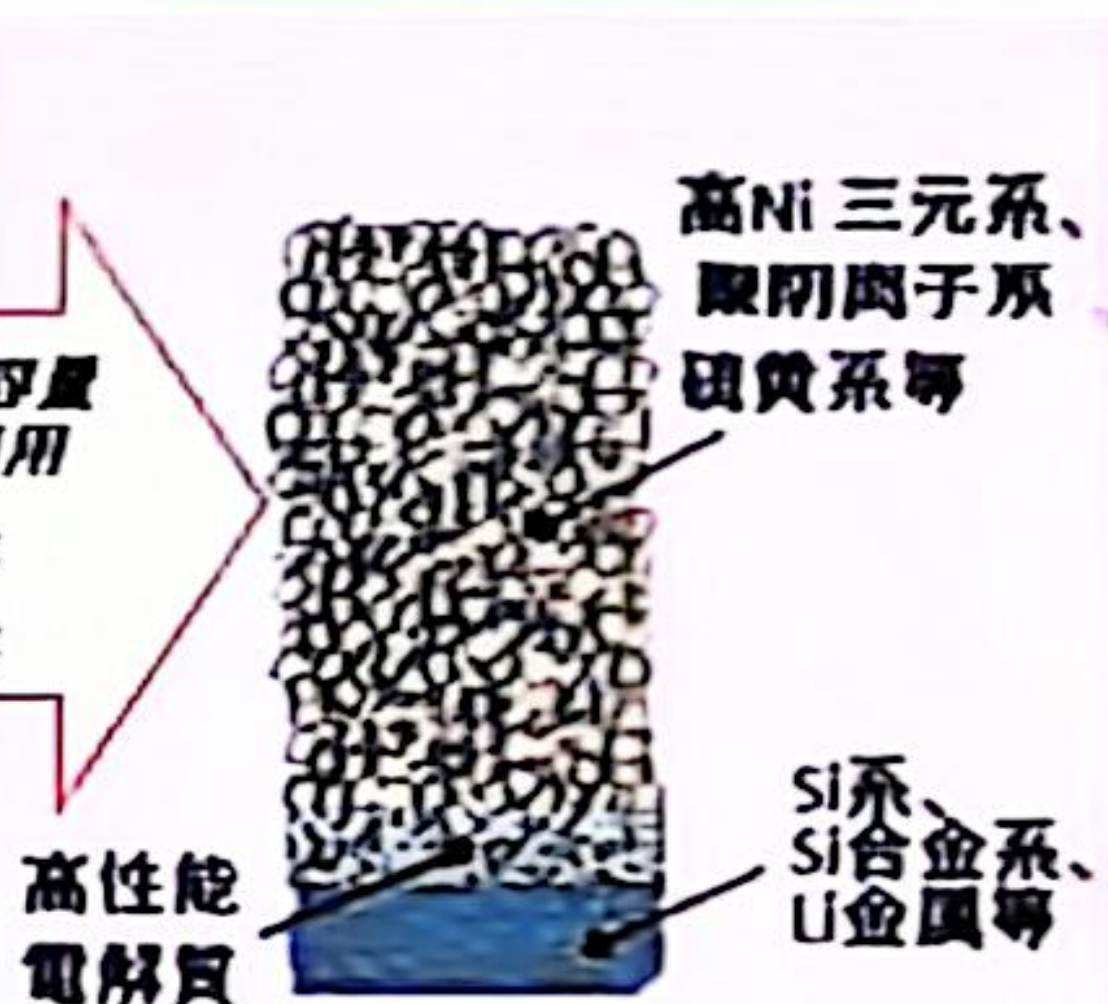
- 高電位・高容量
活物質の適用
- 正極厚膜化
- 負極薄膜化

石墨系

実証目標: 450Wh/L, 6C充電



- 中型層圧電池
- 連続制备



高Ni 三元系、
限閉陽子系
硫黄系等

高性能
電解質

Si系、
Si合金系、
Li金属等

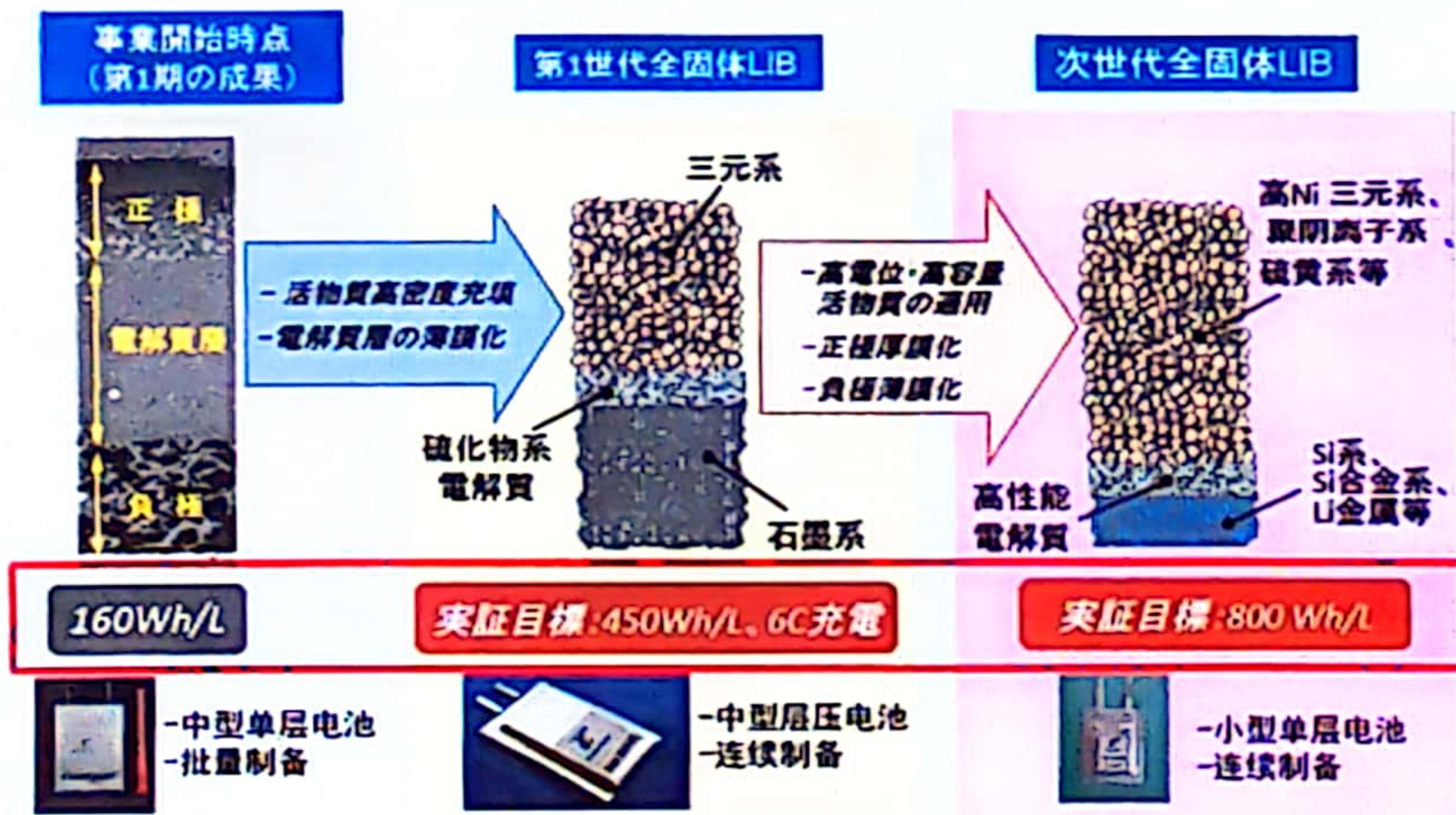
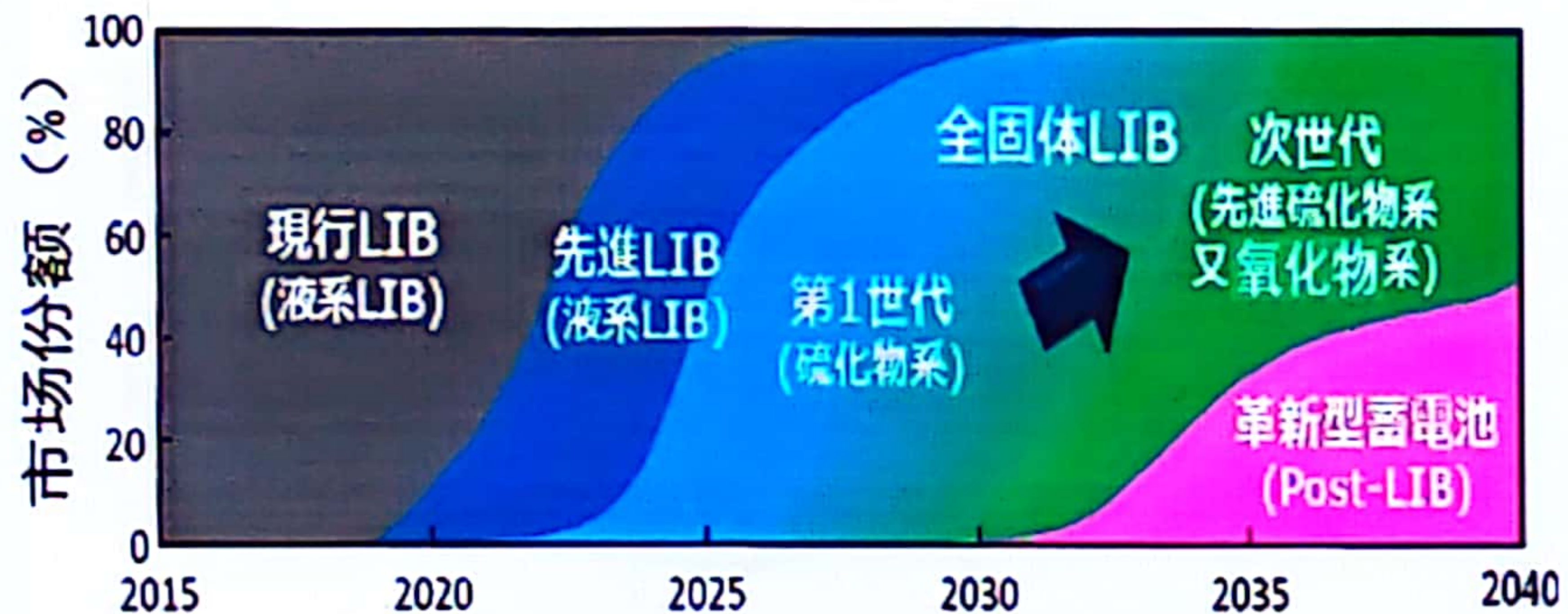
実証目標: 800 Wh/L



- 小型单层電池
- 連続制备

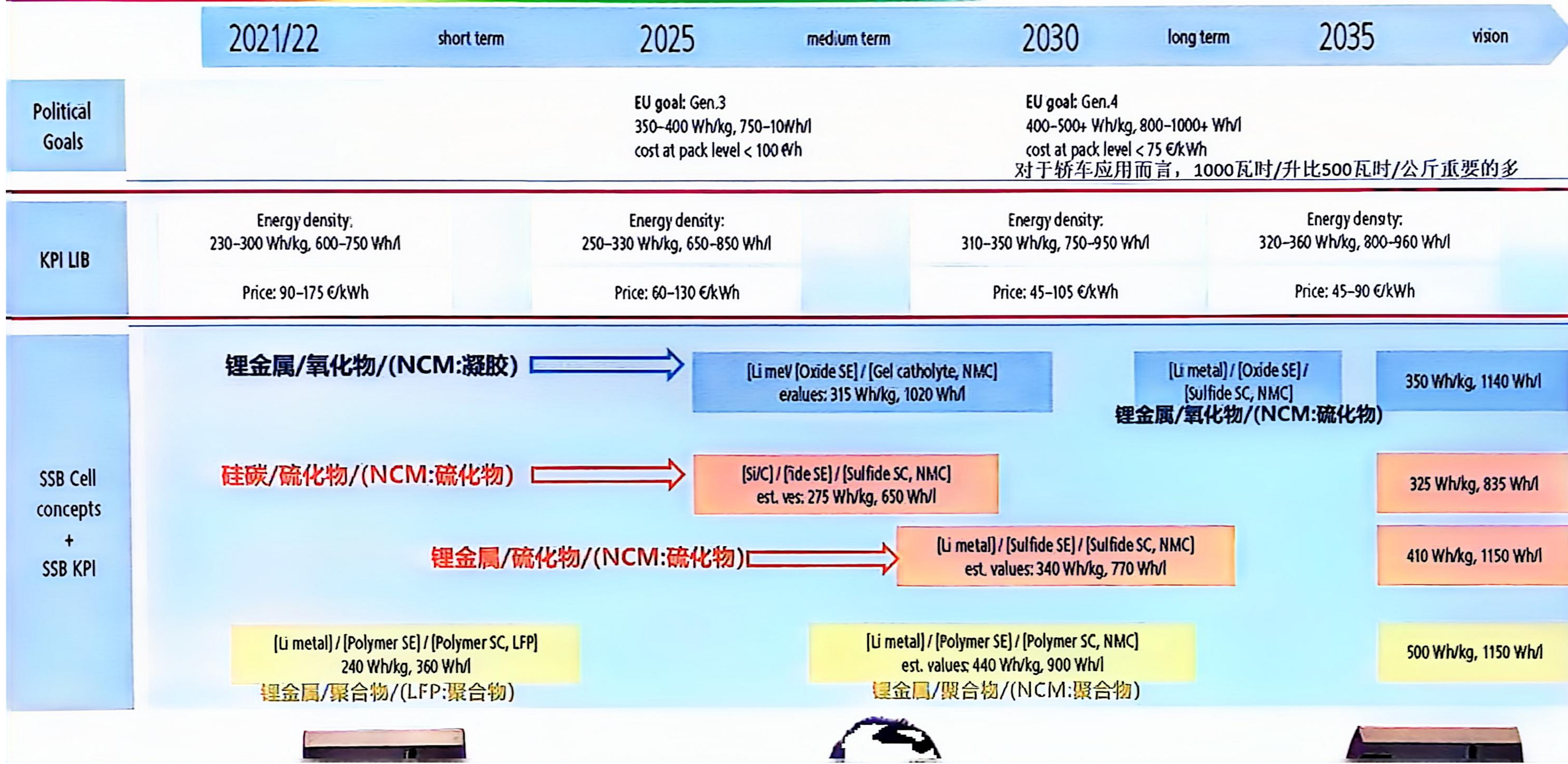
普及期	2025年推广模式		2030年推广模式	
蓄電池种类 (电解质类型)	第1代全固态LIB(硫化物系) 正极:三元系等 负极:碳系等		下一代全固态LIB (高离子传导性 硫化物系或氧化物系)	
车辆种类	EV	PHEV	EV	PHEV
电动行驶距离	400公里	200公里	480公里	240公里
电池组容量成本	1.5万日元/kWh		1万日元/kWh	
电池组重量	133kg	67kg	100kg	50kg
电池组重量能量密度	300Wh/kg		400Wh/kg	
电池组体积	67L	33L	50L	25L
电池组体积能量密度	600Wh/L		800Wh/L	
电池组重量输出密度	2000W/kg		2500W/kg	
电池组日历寿命	10年		15年	
电池组循环寿命	1500次		2000次	
车辆环境温度	-30-60℃		-30-60℃	
电池组安全性	和汽油车同等的可确保安全性		和汽油车同等的可确保安全性	
电池组充电时间 (快速充电)	20分钟	10分钟	20分钟	10分钟

国外全固态电池技术趋势：日本全固态电池技术路线图2020



普及期	2025年推广模式		2030年推广模式	
蓄电池种类 (电解质类型)	第1代全固态LIB(硫化物系) 正极:三元系等 负极:碳系等		下一代全固态LIB (高离子传导性 硫化物系或氧化物系)	
车辆种类	EV	PHEV	EV	PHEV
电动行驶距离	400公里	200公里	480公里	240公里
电池组容量成本	1.5万日元/kWh		1万日元/kWh	
电池组重量	133kg	67kg	100kg	50kg
电池组重量能量密度	300Wh/kg		400Wh/kg	
电池组体积	67L	33L	50L	25L
电池组体积能量密度	600Wh/L		800Wh/L	
电池组重量输出密度	2000W/kg		2500W/kg	
电池组日历寿命	10年		15年	
电池组循环寿命	1500次		2000次	
车辆环境温度	-30-60°C		-30-60°C	
电池组安全性	和汽油车同等的可确保安全性		和汽油车同等的可确保安全性	
电池组充电时间 (快速充电)	20分钟	10分钟	20分钟	10分钟

国外全固态电池技术趋势：德国全固态电池技术路线图2022



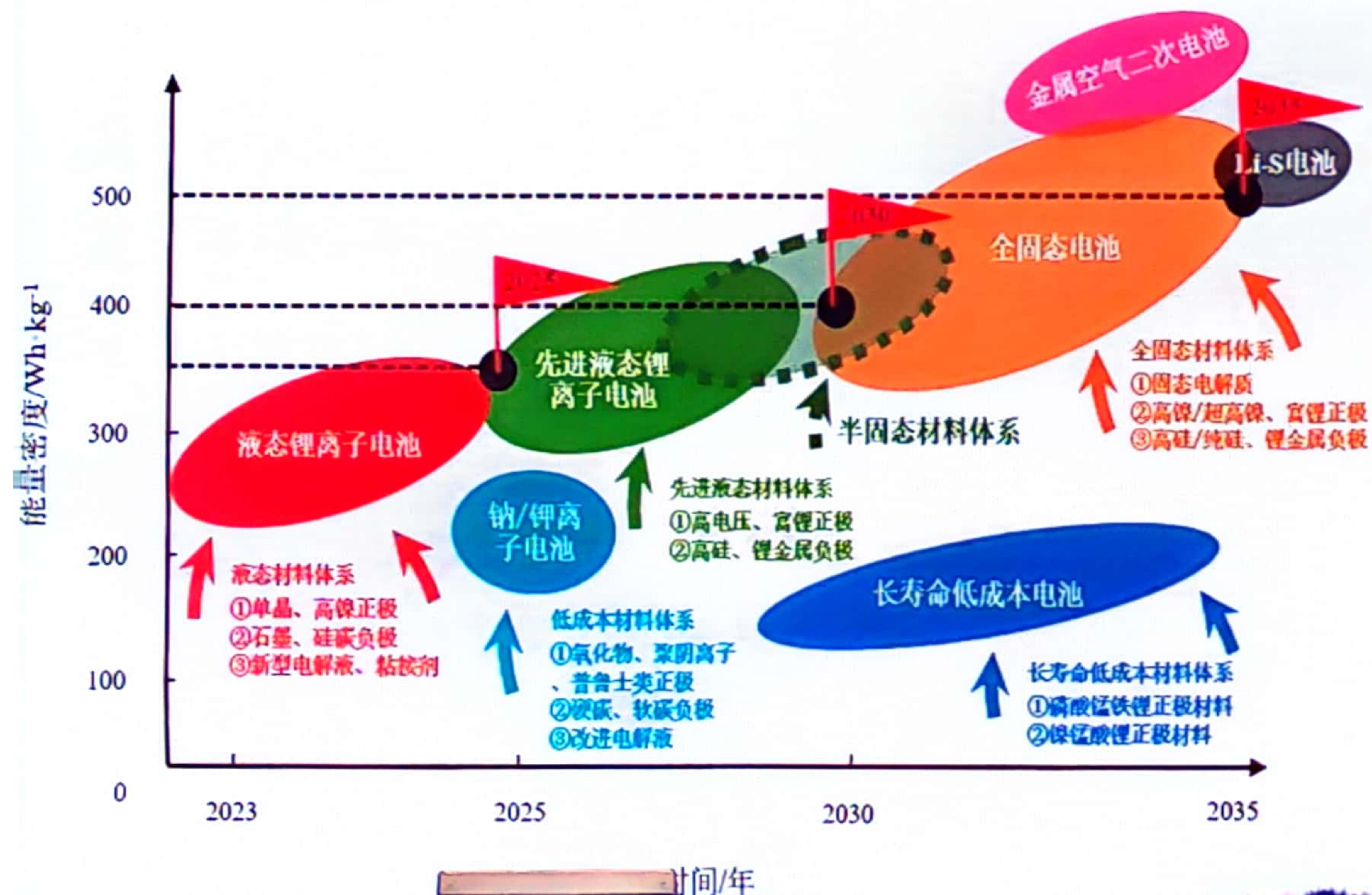
国外全固态电池技术趋势：研发现状

关键设计			技术现状							
	400Wh/kg	固态电池参数	Quantum Scape	SK On	Solid Power	三星SDI	丰田	日产	Bolloré	Ionic Materials
负极	活性材料	Li金属	无负极	Li	Si	Ag-C	Gra	Li	Li	Gra
	厚度	20μm	/	/	20-50	5~10	/	/	/	/
固态电解质	密度	2.0g/cm ³	~4.0	/	~1.5	~1.5	~1.5	/	~1.3	~1.3
	致密性	>96%	/	/	75%	75%	75%	/	/	/
	厚度	25μm	~30	/	20~50	30	20~50	/	/	30
	离子电导率	2mS/cm	~1	1.7	5~10	5~10	5~10	/	/	/
正极	克容量	215mAh/g	/	/	/	/	/	/	/	/
	面容量	4.5mAh/cm ²	3.2~4.0	/	3.0~4.0	6.8	/	/	/	/
性能需求	容量	Ah级	4-5	可提高25%	20	5.87 (1 st)	20-60	/	10~30	31
	循环至80%	5000圈	1000@95%	/	800	1000 (0.6Ah)	/	/	4000	270
	工作温度	25°C	25	/	45	60	/	/	50-80	25
	能量密度	400Wh/kg	~320	/	320	427	250-300	1000Wh/L	242	220
			氧化物		硫化物				聚合物	

典型企业	<2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030+
丰田&松下	原型电池 搭载HEV车型		第一代全固态电池(NCM:硫化物:石墨) 300 Wh/kg, 600 Wh/L			第二代全固态电池, 2030年量产 400 Wh/kg, 800 Wh/L				
日产	3~5 A·h 软包电池(实验室样品)			全固态电池试点工厂建设 (NCM: 硫化物: 锂金属)			全固态电池量产 1000瓦时/升			
三星	~1 A·h样品	全固态电池生产建设	20 A·h原型电池		40 A·h原型电池		电池量产 900 Wh/L (NCA: 硫化物: 带功能层的无负极结构)			

国内固态电池技术趋势：动力电池技术路线图

- 中国还没有正式发布国家级全固态电池技术路线图
- 以重量比能量为标志的中国动力电池材料体系研发与产业化发展趋势如下图



高比能电池

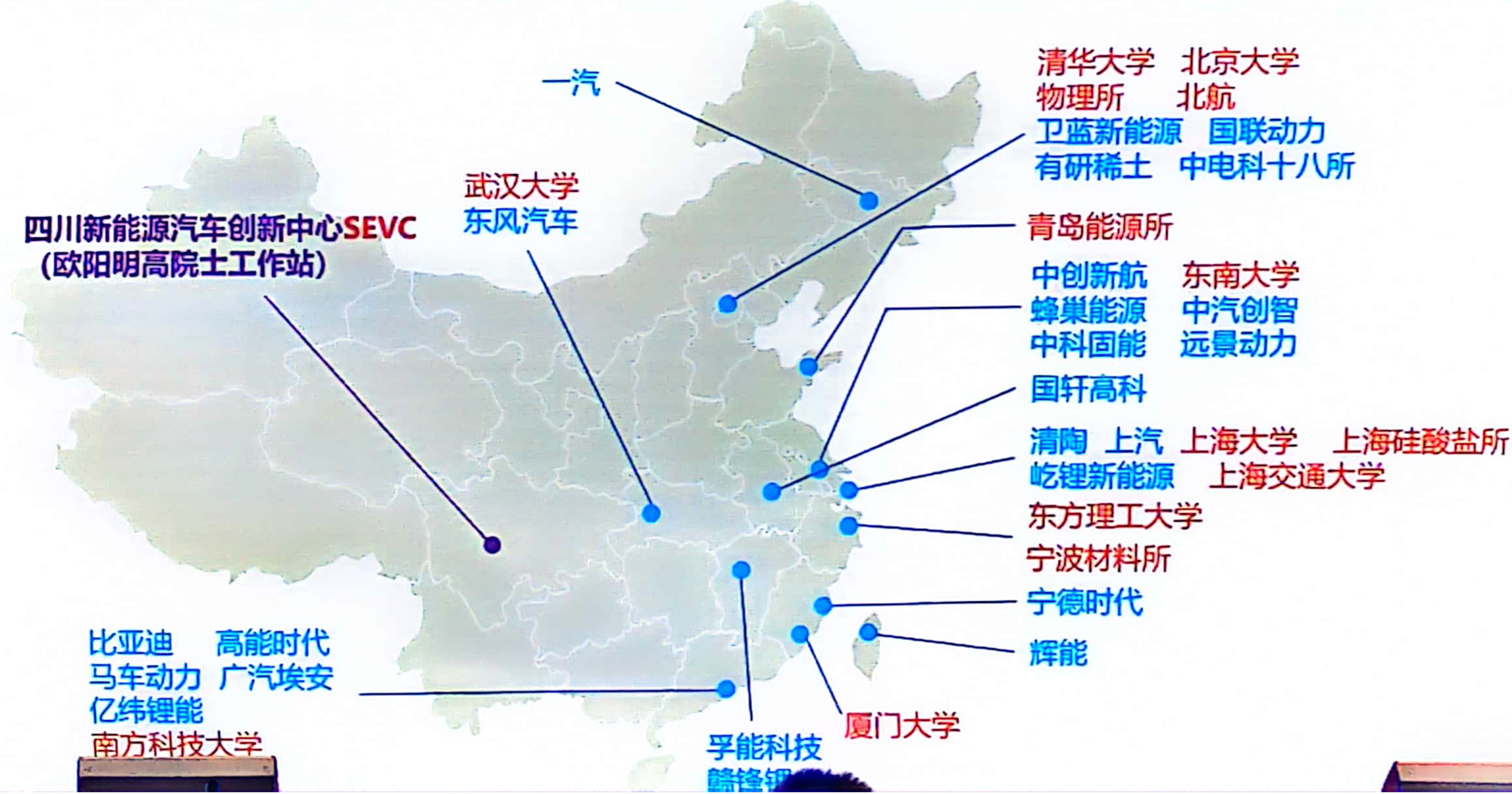
- 2022-2025年：高镍三元等正极，石墨和硅碳负极，发展新型电解液和添加剂，实现车规级单体350 Wh/kg的目标
- 2025-2030年：高镍三元、富锂正极和高硅、金属锂负极，液态电解质或固态电解质（二者其一或二者都行），实现车规级400 Wh/kg的目标
- 2030-2035年：高镍三元和富锂锰正极、锂金属负极和固态电解质、金属/空气及锂硫材料体系的成功应用，实现车规级500 Wh/kg的目标

低成本电池

- 磷酸铁锂、镍锰酸锂、磷酸锰铁锂及其与三元掺混
- 低成本钠离子电池、Zn/Al电池和其他金属空气电池体系等

国内固态电池技术趋势：研发现状

- 国内众多高校及企业致力于固态电池研发，技术路线多元化，半固态/全固态均有布局
- 相比国外，重点以**半固态（固/液混合）为特色**，固/液混合电池布局早，产业链完整，企业正尝试装车
- 对全固态认知不一，技术方案多元，主流技术路线尚未确定，舆论上一般均以宣传高比能量凸显先进性



确立面向2030年全国固态电池技术路线的总体原则

◆ 全固态电池的技术现状小结

- 从产业化计划最落实的丰田、日产和SDI看，均采用高镍三元正极，硫化物电解质，差别只在负极
- 目前国内外还没有开发出大于400瓦时/公斤，满足综合性能要求，能够商业化的全固态车用电池
- 总体看全固态电池需攻克一系列工程难题，目前技术方案百花齐放，主流技术路线尚未完全统一

*目标时间为规模产业化时间，近期指3-5年；中期指5-10年

确立面向2030年全国固态电池技术路线的总体原则

◆ 全固态电池的技术现状小结

- 从产业化计划最落实的丰田、日产和SDI看，均采用高镍三元正极，硫化物电解质，差别只在负极
- 目前国内外还没有开发出大于400瓦时/公斤，满足综合性能要求，能够商业化的全固态车用电池
- 总体看全固态电池需攻克一系列工程难题，目前技术方案百花齐放，主流技术路线尚未完全统一

◆ 已有技术路线的回顾与总结

- 新能源汽车技术路线：国际燃料电池轿车与中国纯电驱动轿车、日本油电混动与中国插电式混动
- 动力电池的技术路线：早期国际镍氢中国锂电、后来国际三元电池为主与中国磷酸铁锂电池为主
- 研发模式与技术路线：氢燃料电池研发模式国外材料-膜电极-电堆-系统从下至上，中国从上至下

◆ 全固态电池技术路线总原则

- 我国新能源汽车和液态锂离子电池技术路线引领全球，应当在全固态电池开发中也建立起中国技术路线
- 保优势防颠覆，攻克全固态，兼顾优化液态；重点攻关负极，突破锂金属，兼顾硅碳（固态/液态共用）
- **近期面向300瓦时/公斤:600瓦时/升目标，打通全固态动力电池全技术链，实现现有轿车动力电池换代**
- **中期面向500瓦时/公斤:1000瓦时/升目标，突破高比能量全固态动力电池，实现未来交通的全面电动化**

* 目标时间为规模产业化时间 近期指3-5年；中期指5-10年

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

四川新能源汽车创新中心（欧阳明高院士工作站） 300瓦时/公斤：600瓦时/升硫化物全固态电芯设计

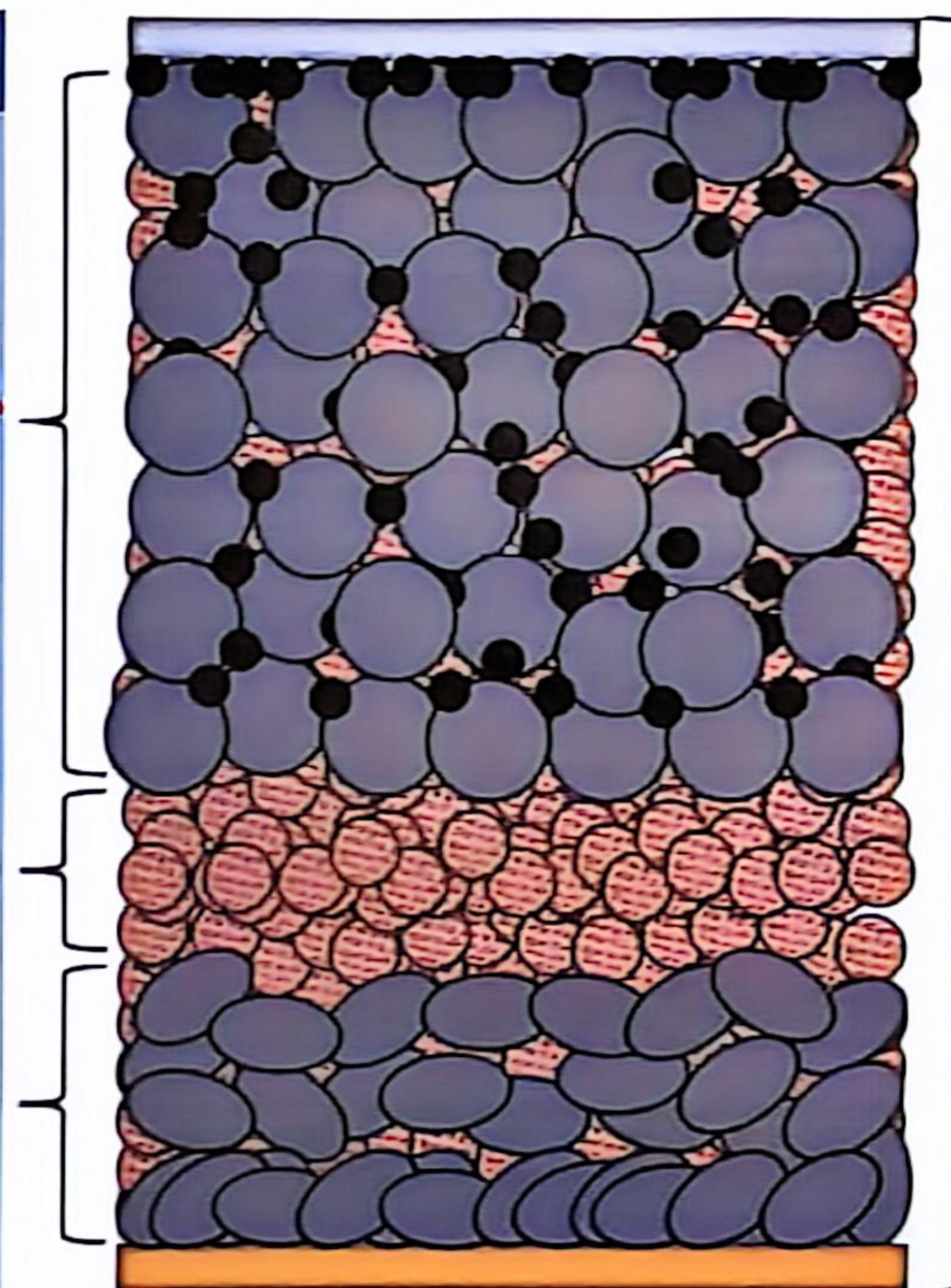
项目	正极	负极
克容量 (mAh/g)	220	450
双面面密度 (g/m ²)	500	294
活性物质占比	85%	72%
叠片层数	30	31
电解质膜厚度 (μm)	30	
电芯容量 (Ah)	45	
电芯重量 (g)	538	
质量比能量 (Wh/kg)	300	
体积比能量 (Wh/L)	608	

材料开发

NMC三元正极、
表面包覆技术、
级配技术。

超薄电解质膜、
高性能固态电
解质、结构设
计的粘结剂。

低形变长寿命
硅碳负极、高
性能粘结剂。



装配工艺

应力/形变管
理。

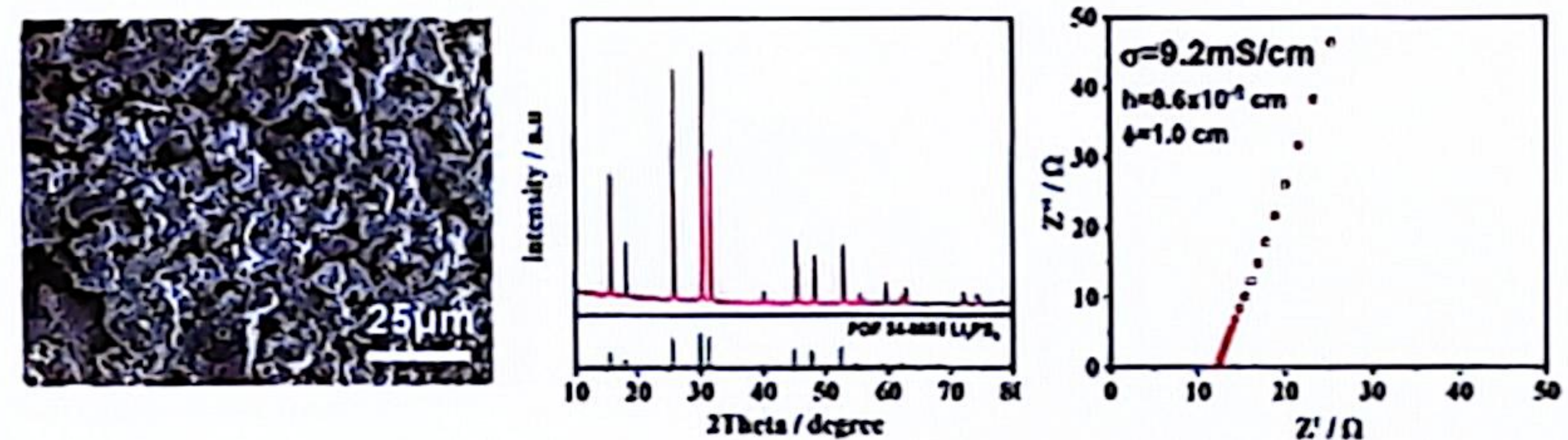
固态电解质、
复合正负极、
电芯的高效
制备技术。

与现有轿车用磷酸铁锂电池相比体积比能量提升一倍，并全面改善快充、低温、安全等性能
与现有轿车用高镍三元电池相比安全性能大幅提升，并全面改善其他性能，并为比能量提升一倍打下基础

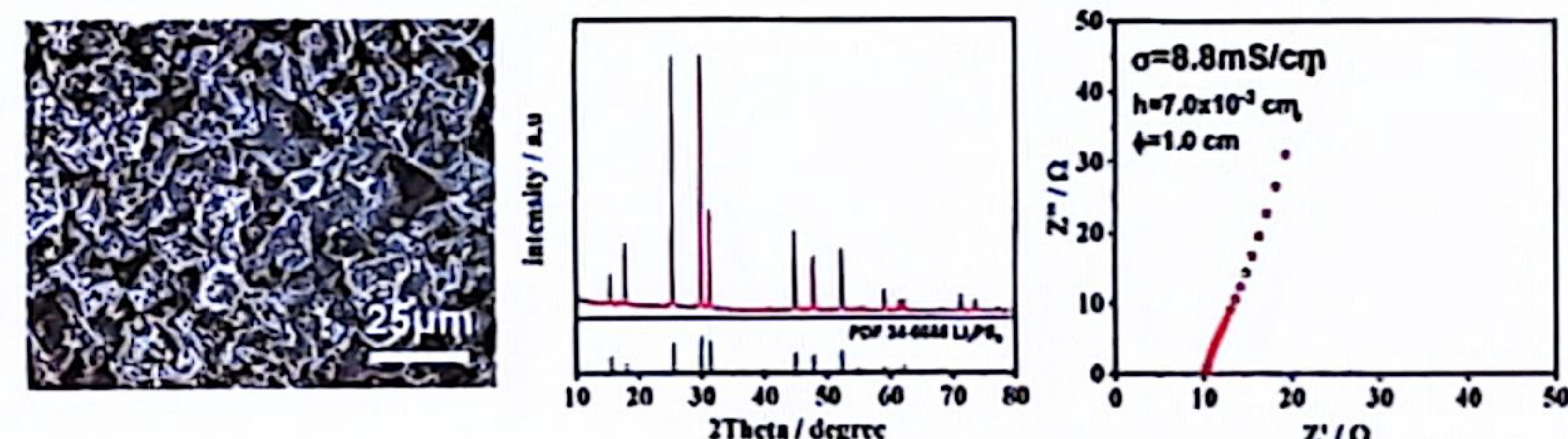
打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ **固态电解质：**自主开发了一系列硫化物固态电解质，基础材料离子电导率超过10 mS/cm，可进行纳米级粒径调控，已实现单批次公斤级稳定制备。

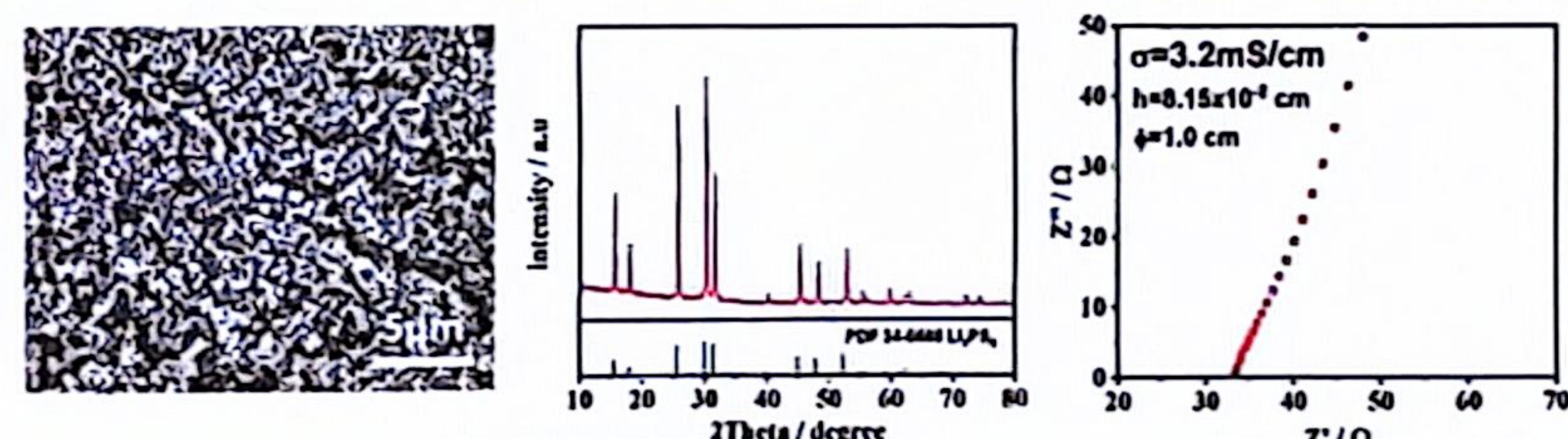
基础型



掺杂型



纳米型



◆ 通过元素掺杂与界面调控两种手段，实现了硫化物固态电解质综合稳定性的显著优化，有效改善了工艺加工性与全固态电芯性能发挥。

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ **固态电解质**：分析预测硫化物电解质价格，并考虑回收，未来全固态电芯的成本有希望低至0.4元/Wh

当前硫化物材料价格昂贵的原因：

- 1、硫化物全固态电池目前尚处于产业化探索阶段，材料需求量不大，属于小众市场。
- 2、相关工艺设备尚不成熟，材料制备效率较低，人力、原料、设备、耗材等摊销很大。
- 3、工艺门槛较高，掌握关键技术的单位很少。

每吨Li ₂ S的BOM成本构成			
基于目前国内主流的碳热还原工艺进行核算。	主要原料		辅料/耗材
	硫酸锂	碳源	溶剂、添加剂、磨料等
用量（吨）	2.8	2	/
吨价（万元）	11	1	/
总价（万元）	30.8	2	3
总BOM（万元）		35.8	

材料锂含量计算		
分类	材料	锂含量（质量）
锂盐	Li ₂ S	30.1 %
	LiOH	28.9 %
	Li ₂ CO ₃	18.7 %
	LiCl	16.3 %
	Li ₂ SO ₄	12.6 %
硫化物 固态 电解质	Li ₆ PS ₅ Cl	15.5 %
	Li _{5.4} PS _{4.4} Cl _{1.6}	14.0 %
	Li _{9.54} Si _{1.74} P _{1.44} S _{11.7} Cl _{0.3}	12.1 %
	Li ₃ PS ₄	11.5 %
	Li ₇ P ₃ S ₁₁	9.8 %
	Li ₇ P ₂ S ₈ I	9.8 %

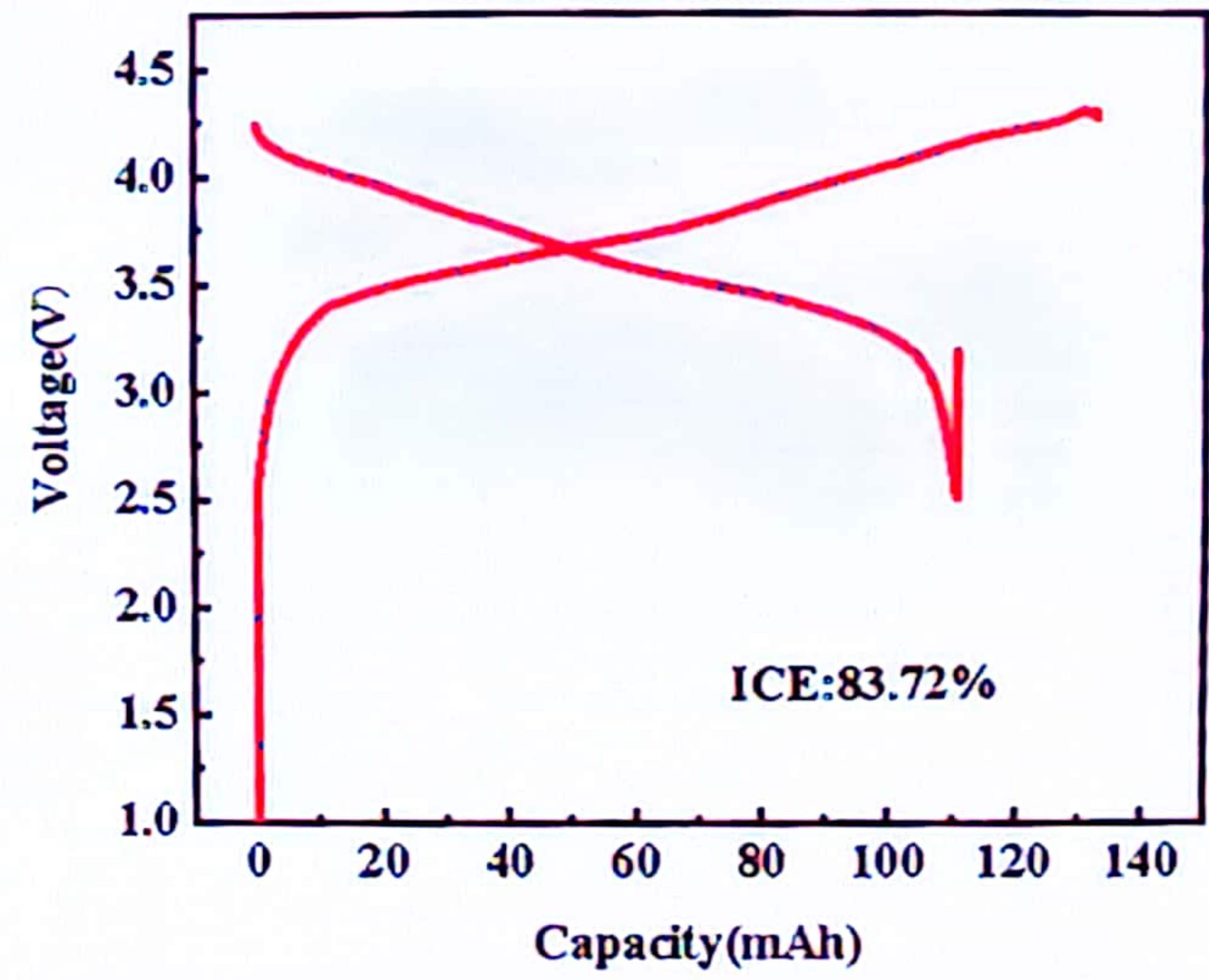
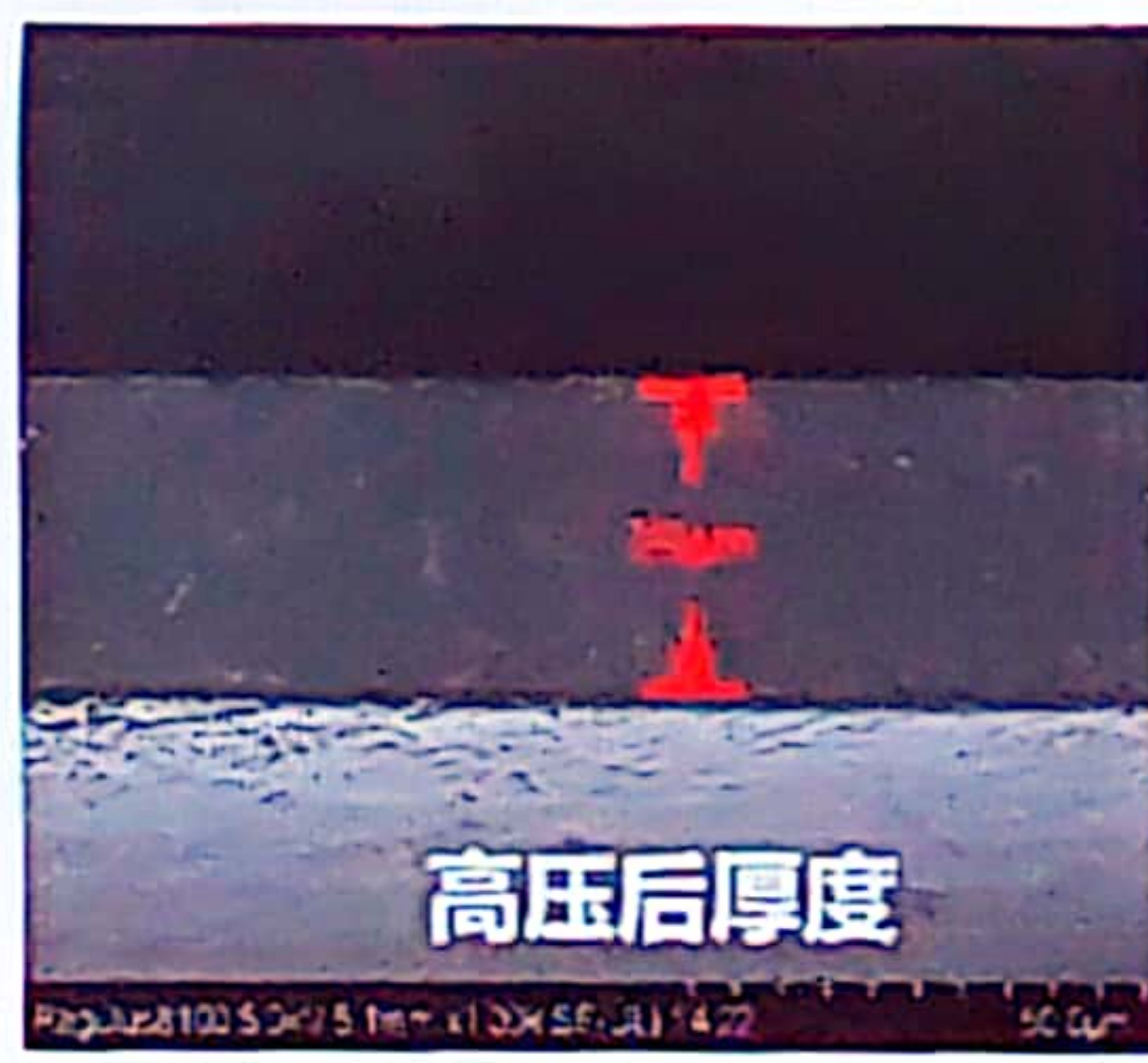
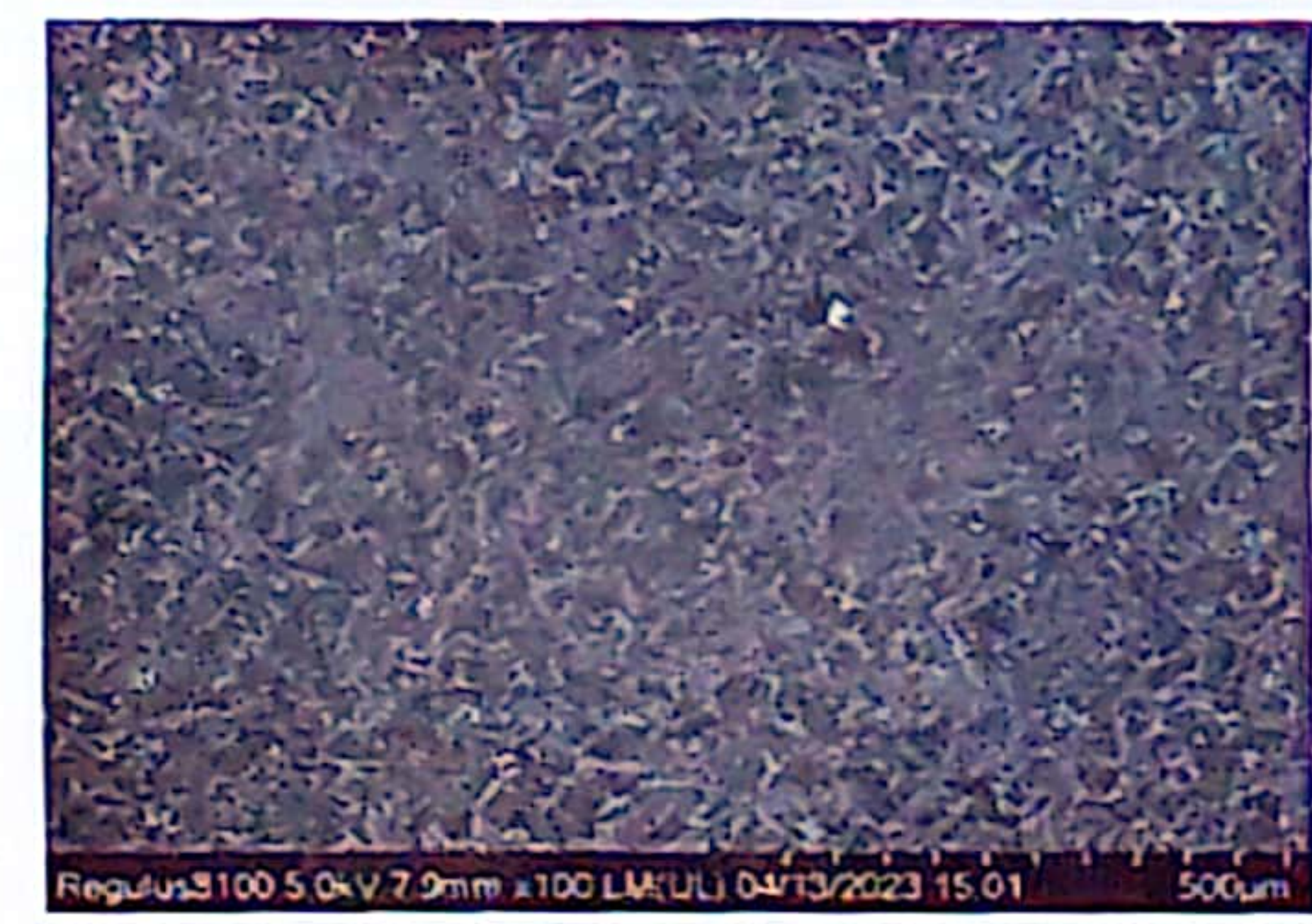
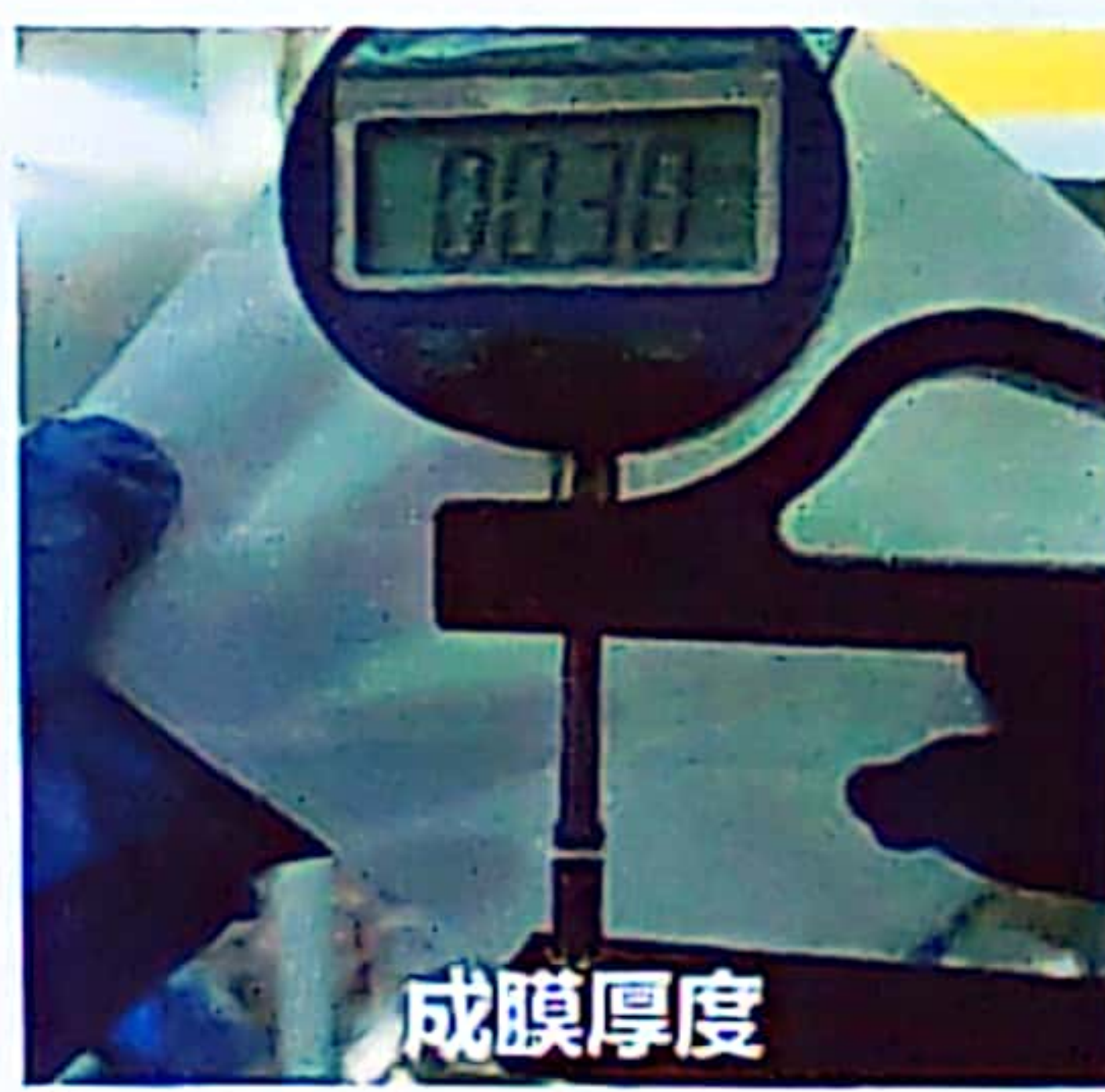
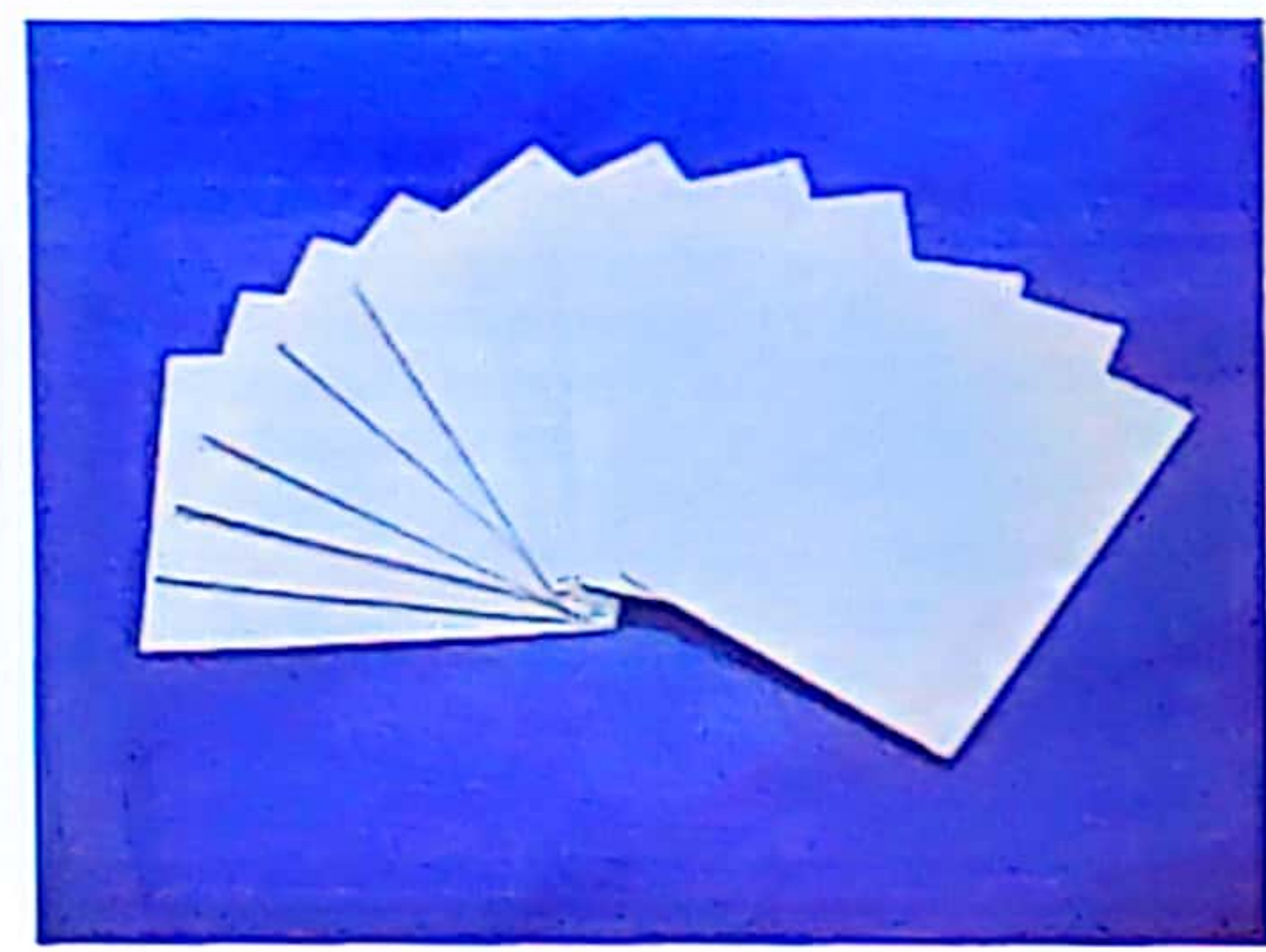
未来硫化物关键材料的价格趋势判断：

- 1、随着硫化物全固态电池走向产业化，规模化效应将导致生产成本的大幅降低。
- 2、随着技术成熟，工艺门槛降低，原材料（元素）价格将成为生产成本的决定因素。硫化锂中的锂元素含量高于其他锂盐，且对环境、设备、储运的要求更高，必然是一种高价格锂盐；但由于硫化物固态电解质中的锂元素含量远低于硫化锂，其吨价将很可能低于硫化锂。

每吨Li _{5.4} PS _{4.4} Cl _{1.6} 的BOM成本构成				
基于当前国内主流的固相法工艺进行核算。	主要原料			辅料/耗材
	硫化锂	氯化锂	五硫化二磷	溶剂、添加剂、磨料等
用量（吨）	0.33	0.25	0.42	/
吨价（万元）	50	15	15	/
总价（万元）	16.5	3.8	6.3	2
总BOM（万元）		28.6		

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

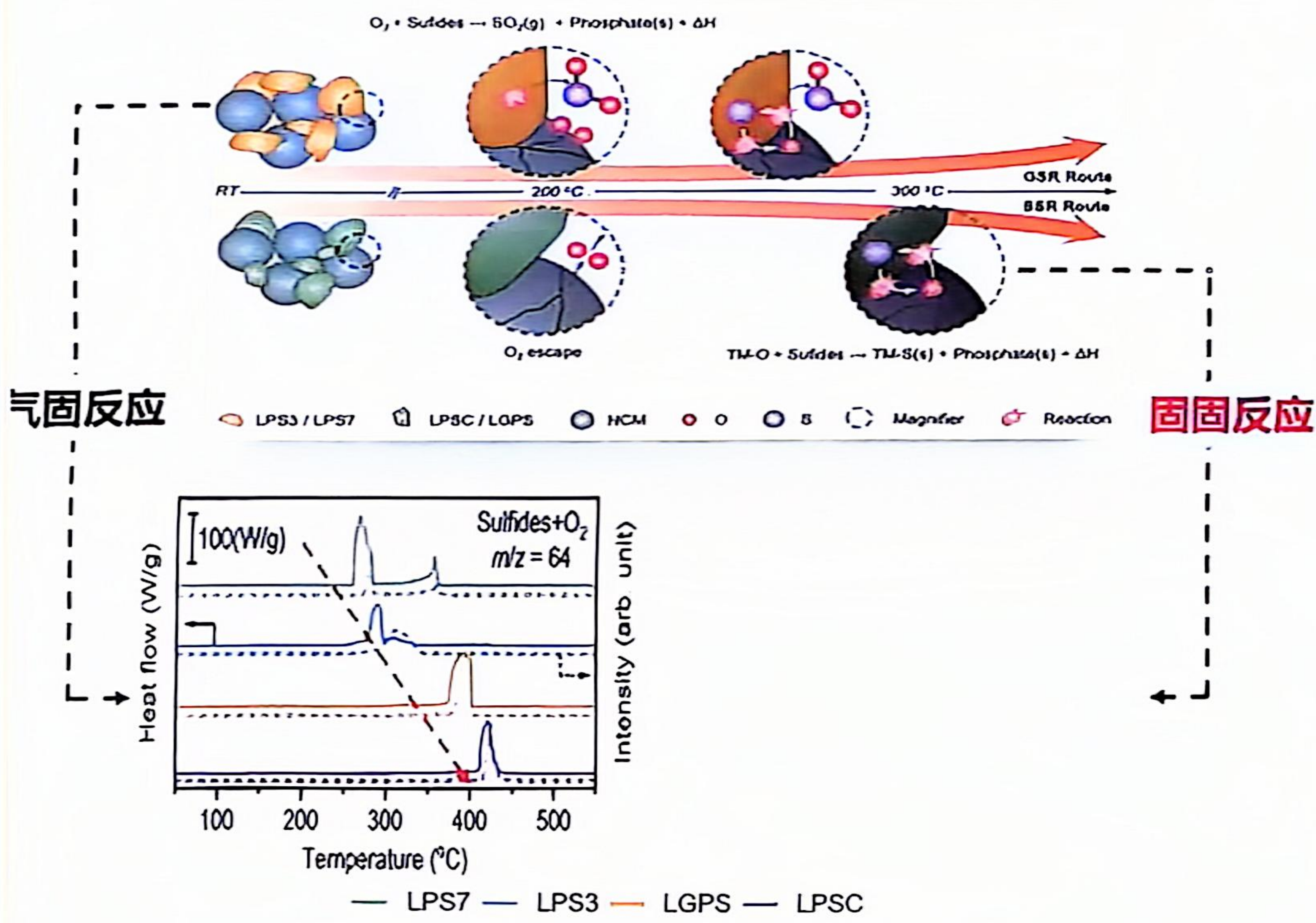
- **固态电解质**：采取粘结剂设计改性、溶剂适配、粒度匹配等措施，研发了超薄高机械强度硫化物固态电解质膜，厚度薄至25um，并在软包电池体系中实现了验证



厚度	孔隙率	离子导率
25μm	6%	3 mS/cm

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ **固态电解质**：研究硫化物电解质热稳定性，揭示了硫化物电解质与高镍正极存在两种不同失效机理：
气固反应、固固反应



不同温度下的材料表征确定产物演变规律

Figure showing material characterization results across different temperatures (25°C, 150°C, 250°C, 400°C) for various electrolyte materials (LPS, LGPS, LPSC).

➤ LPS7/LPS3电解质在较低的温度下与正极释放的O₂发生反应，属于**气固反应**失效路径。

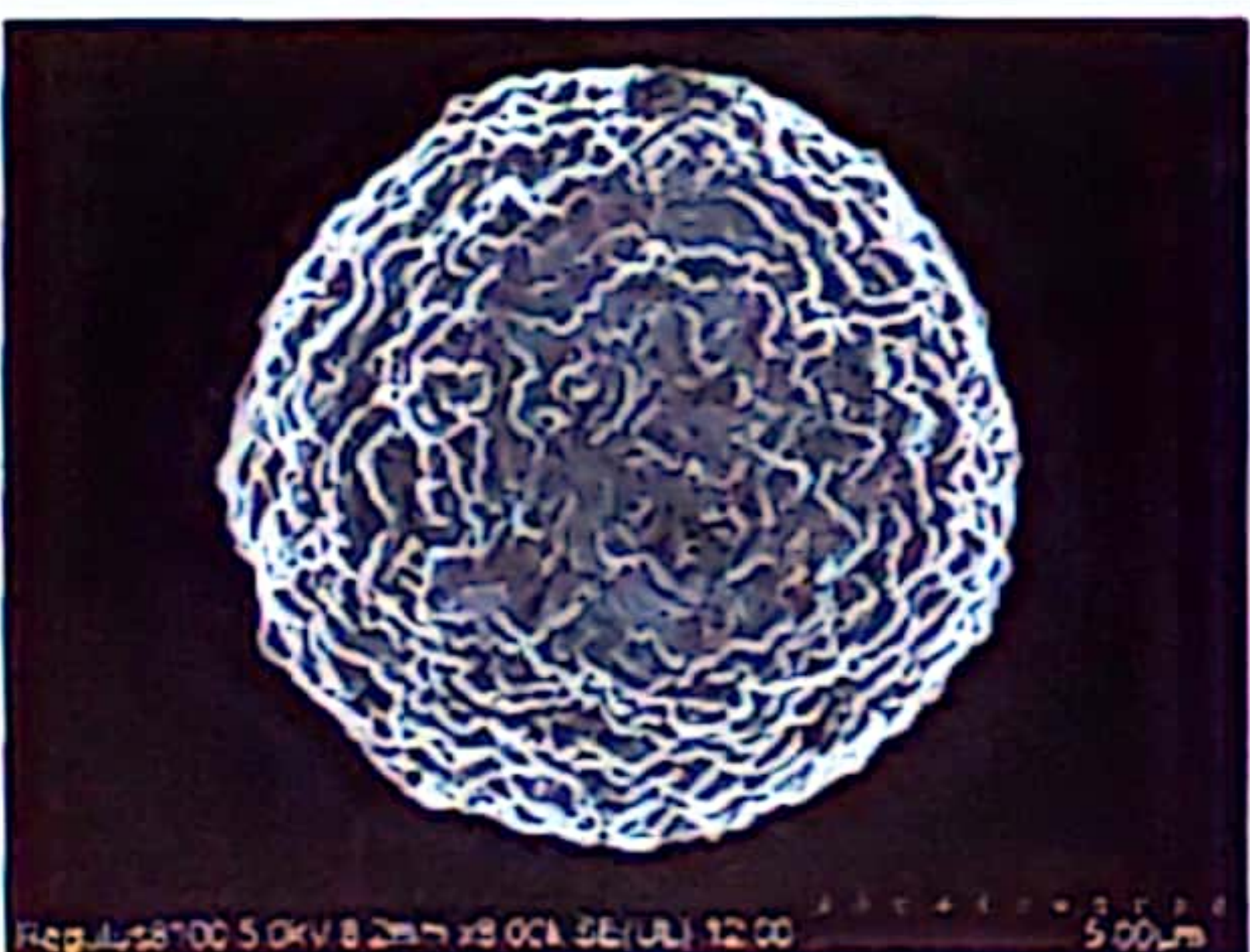
➤ LPSC/LGPS硫化物与正极的热失效反应为**固固反应**，反应发生的温度比较高，安全性大幅改善

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ **复合正极：**通过前驱体结构设计及结构调控，制备了**匹配硫化物全固态电池的Ni90高镍正极**，全固态电池体系下容量超过**235mAh/g**，1C稳定循环超过**1000圈**，5C下循环超过**10000圈**

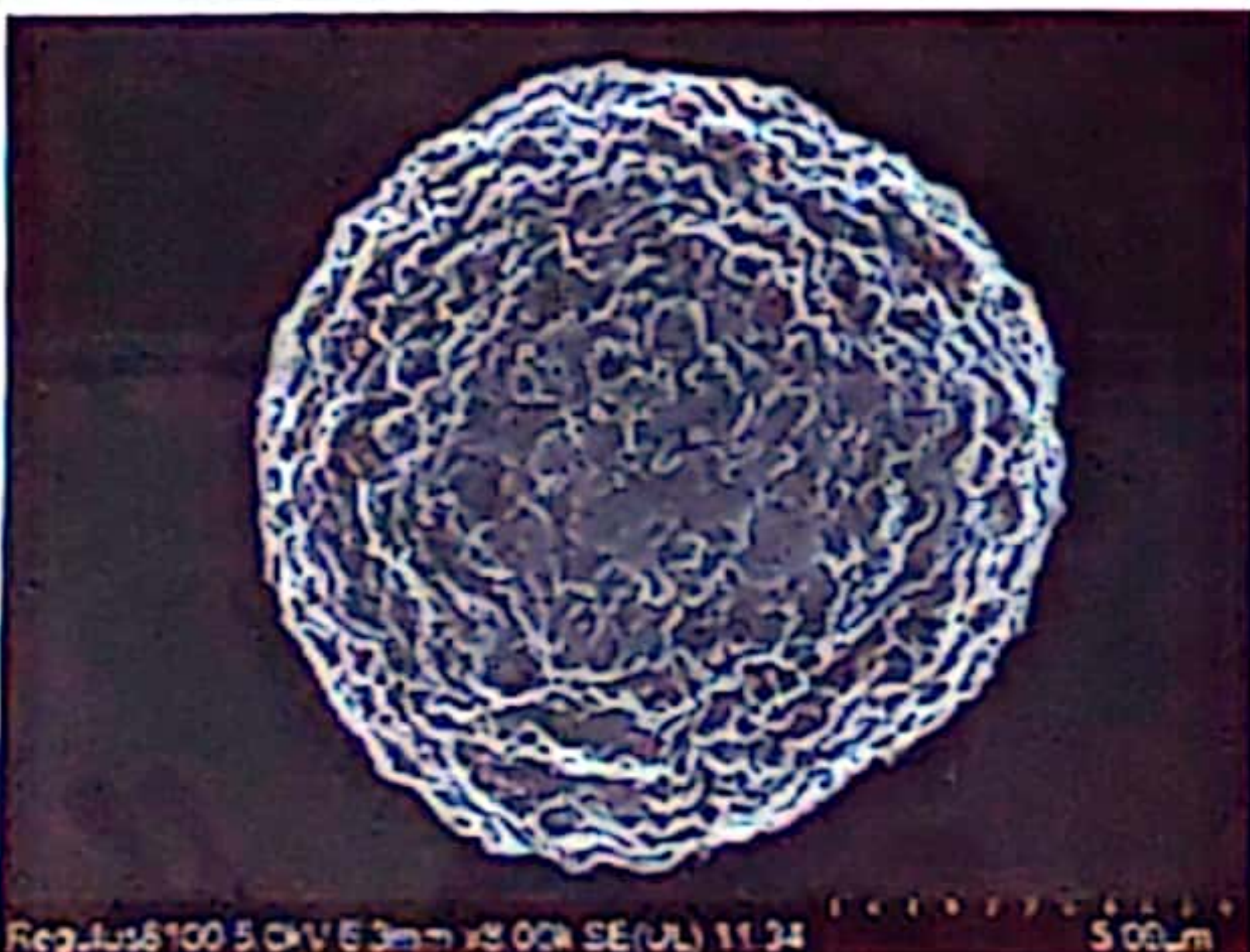
传统多晶正极
一次颗粒
约500nm

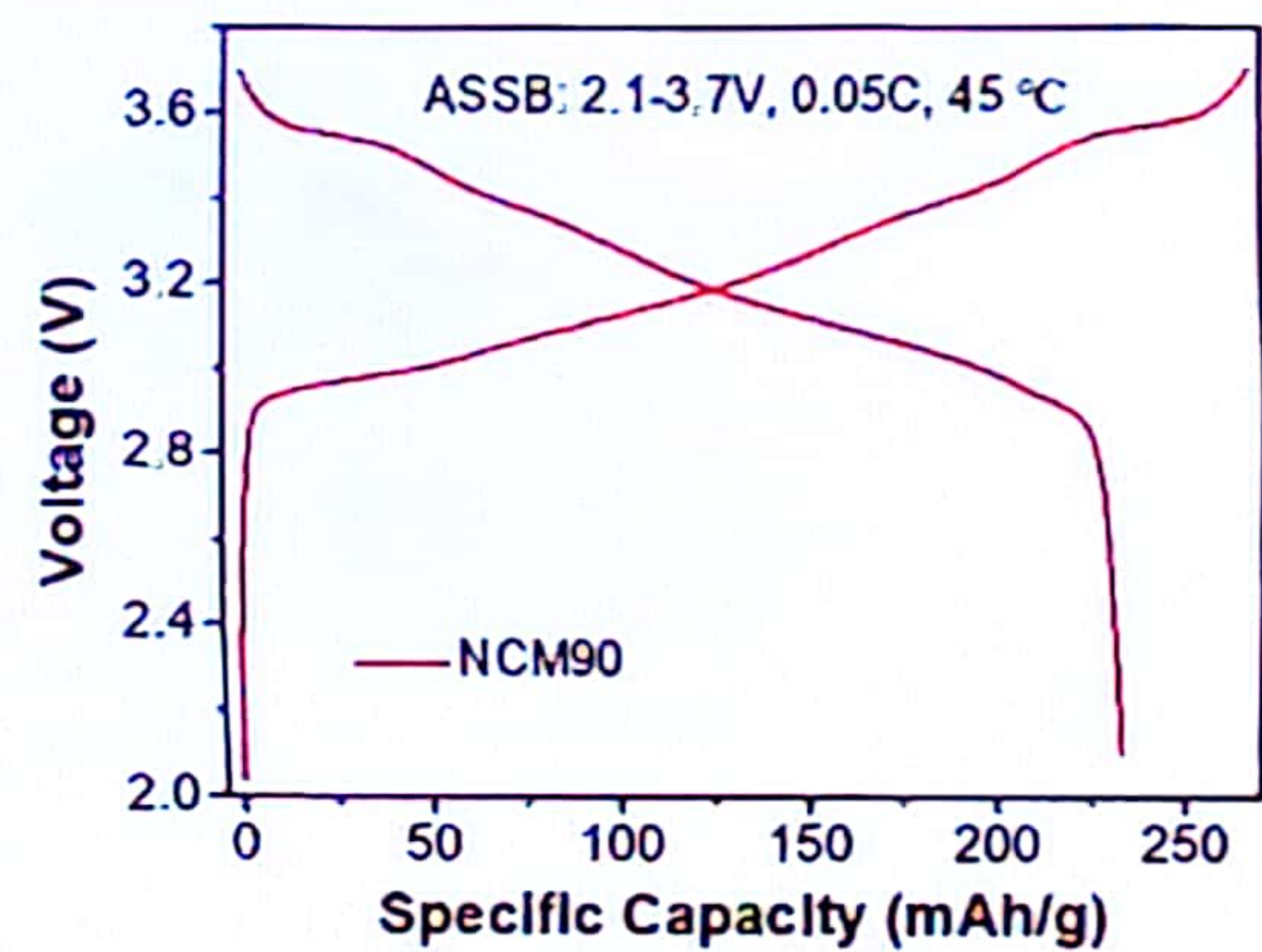
结构稳定性
较差



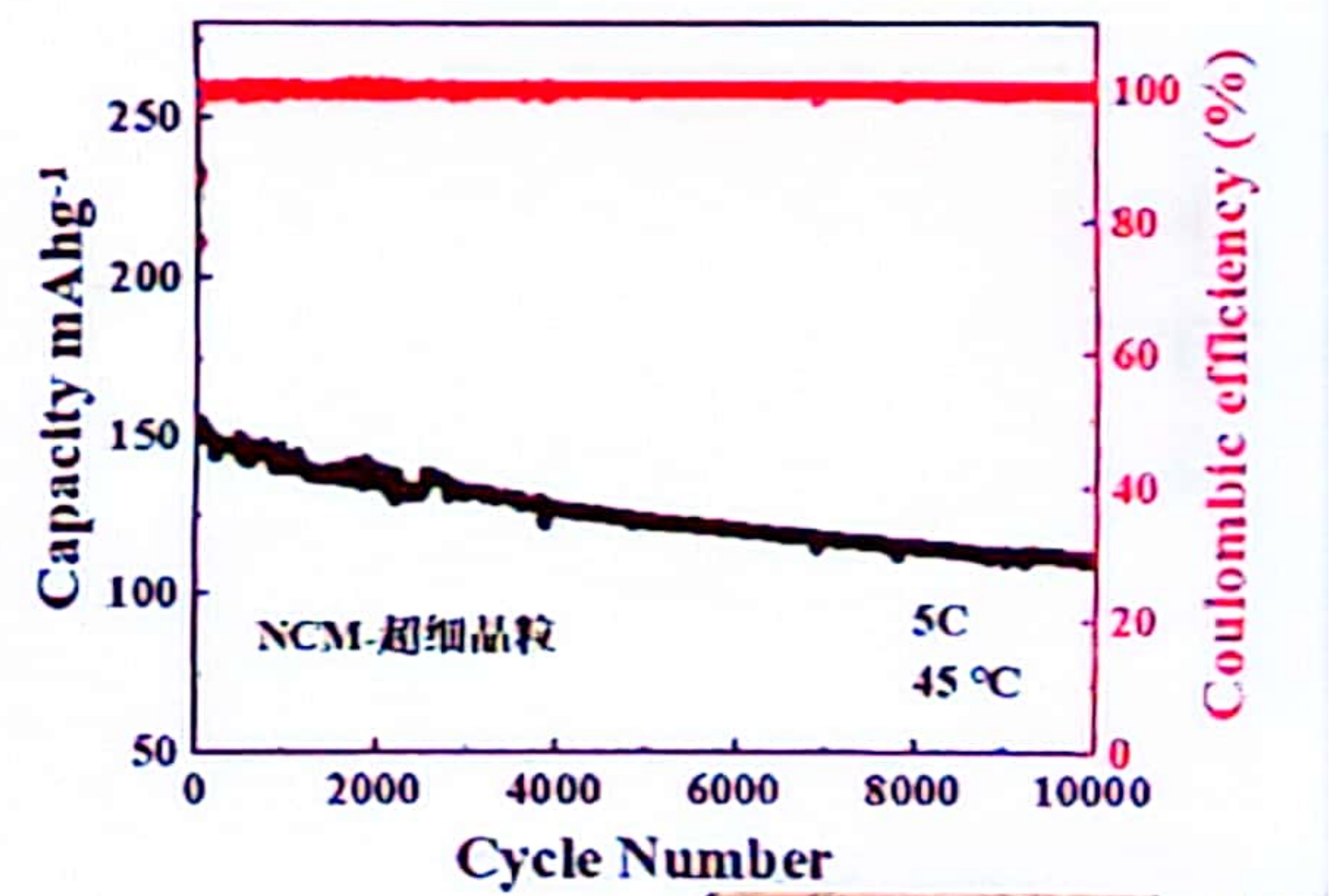
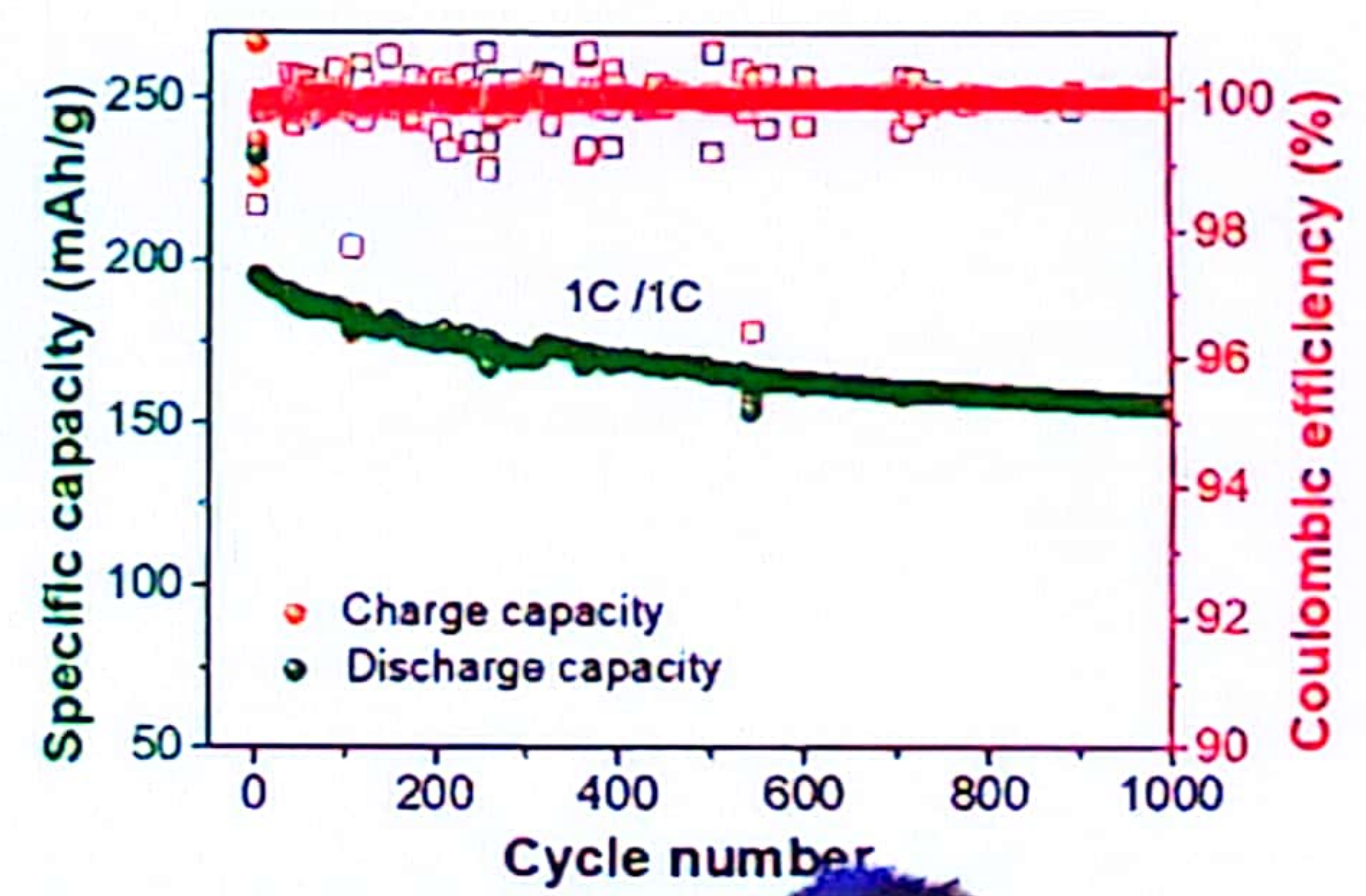
超细晶粒
高镍正极
一次颗粒

高离子扩散率
高结构稳定性





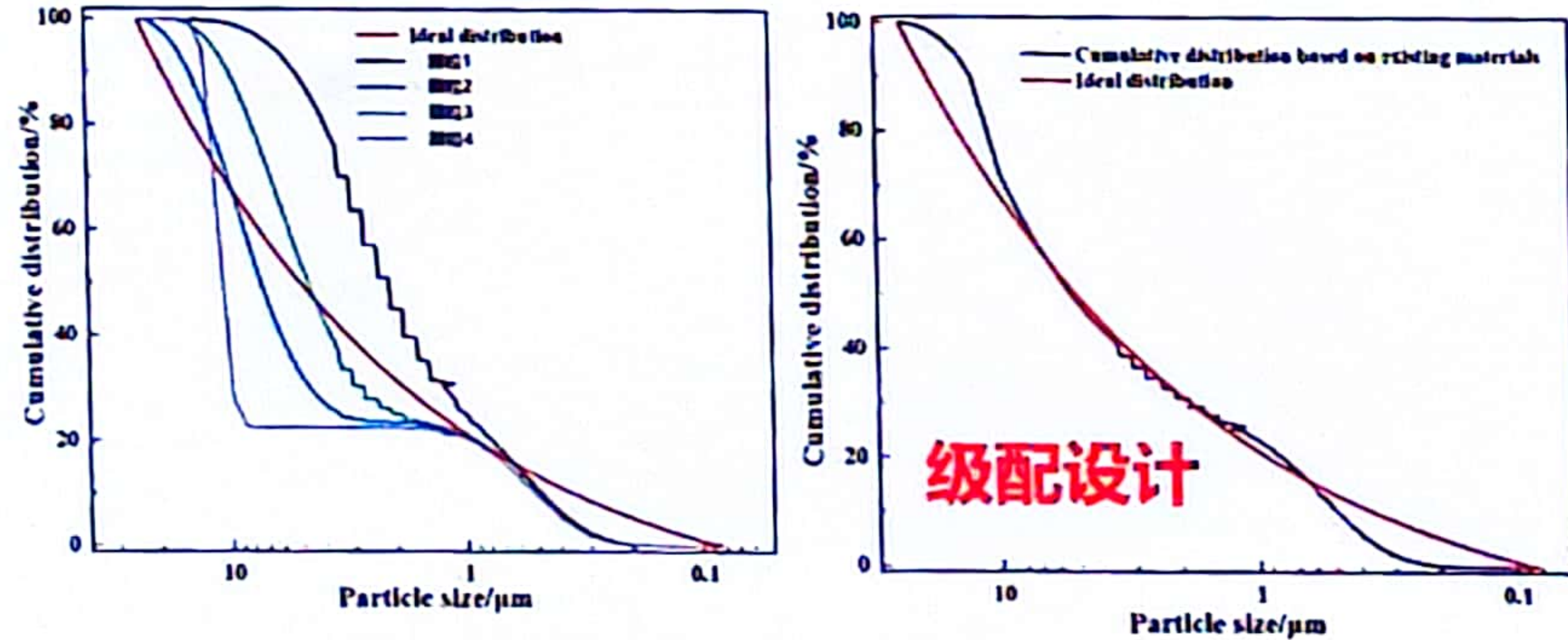
- 全固态Ni90正极首圈放电比容量达到235.2mAh/g, 1C放电比容量达到195.54mAh/g,
- 1C循环1000周容量保持率达到79.4% (~ 80%)
- 5C循环10000圈容量保持率达71.8%



打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

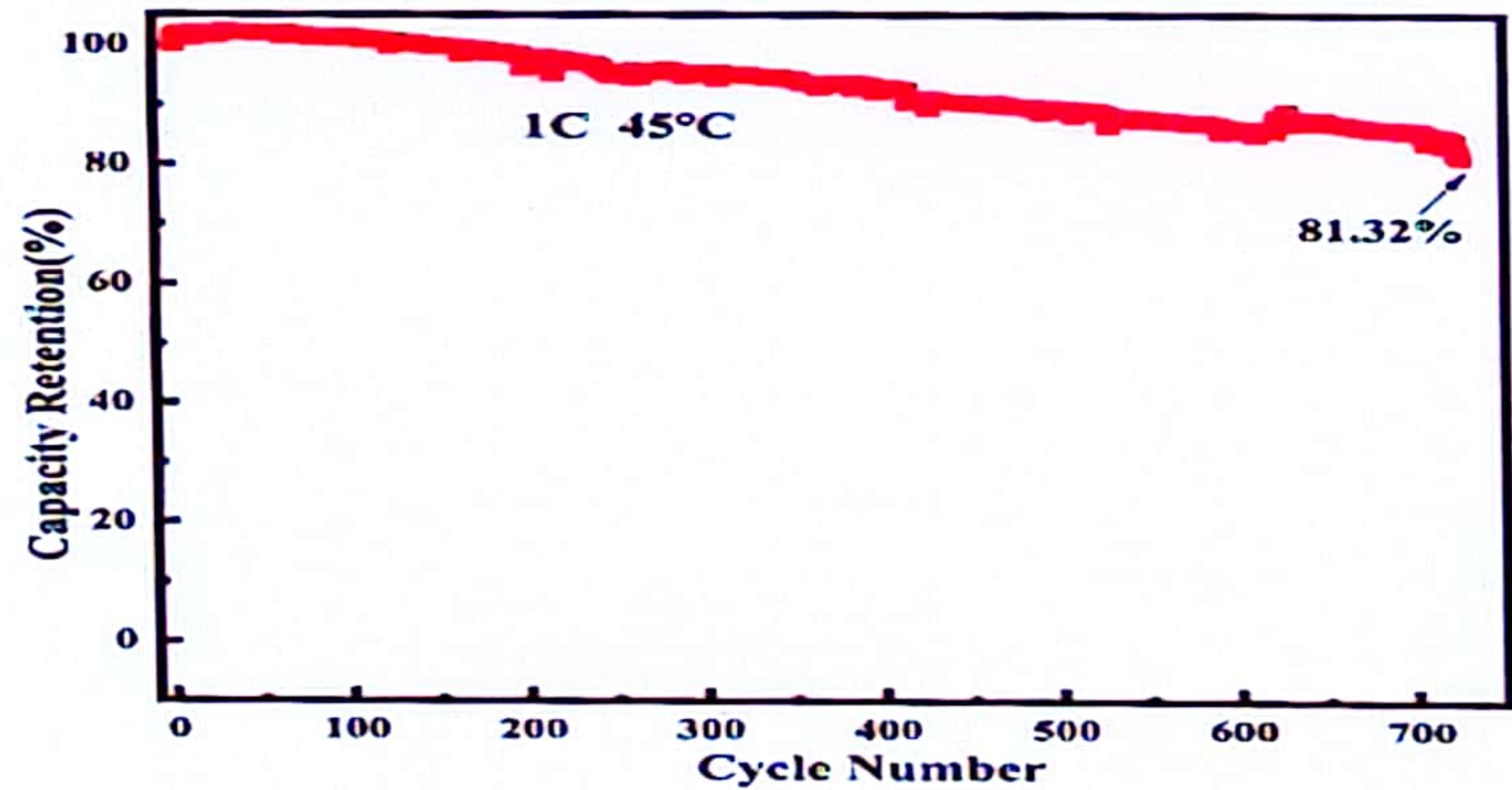
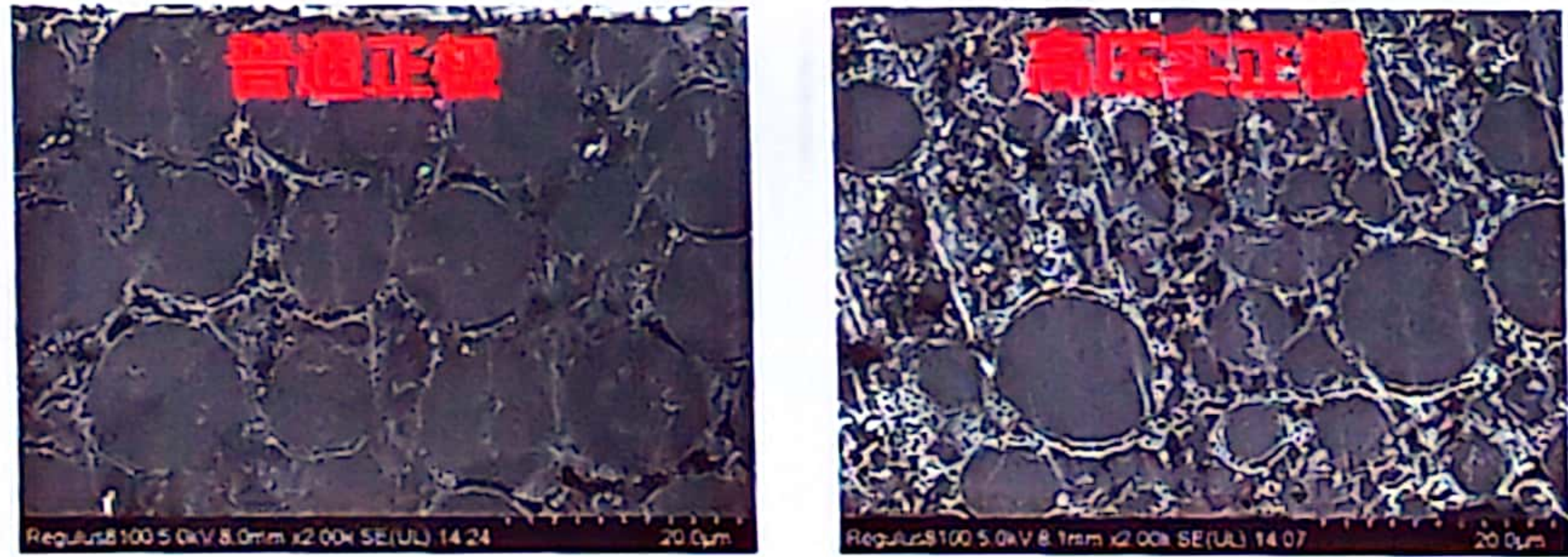
■ **复合正极：**通过活性材料、电解质等尺寸及比例设计，开发了高压实复合正极，压实密度达3.5g/cm³，达到业内领先水平

理论分析



样品	首效(%)	面容 (mAh/cm ²)	压实密度 (g/cm ³)
普通正极	85.74	> 6	2.7
高压实正极1	89.12	> 6	3.4
高压实正极2	88.17	> 6	3.5

微观表征



打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

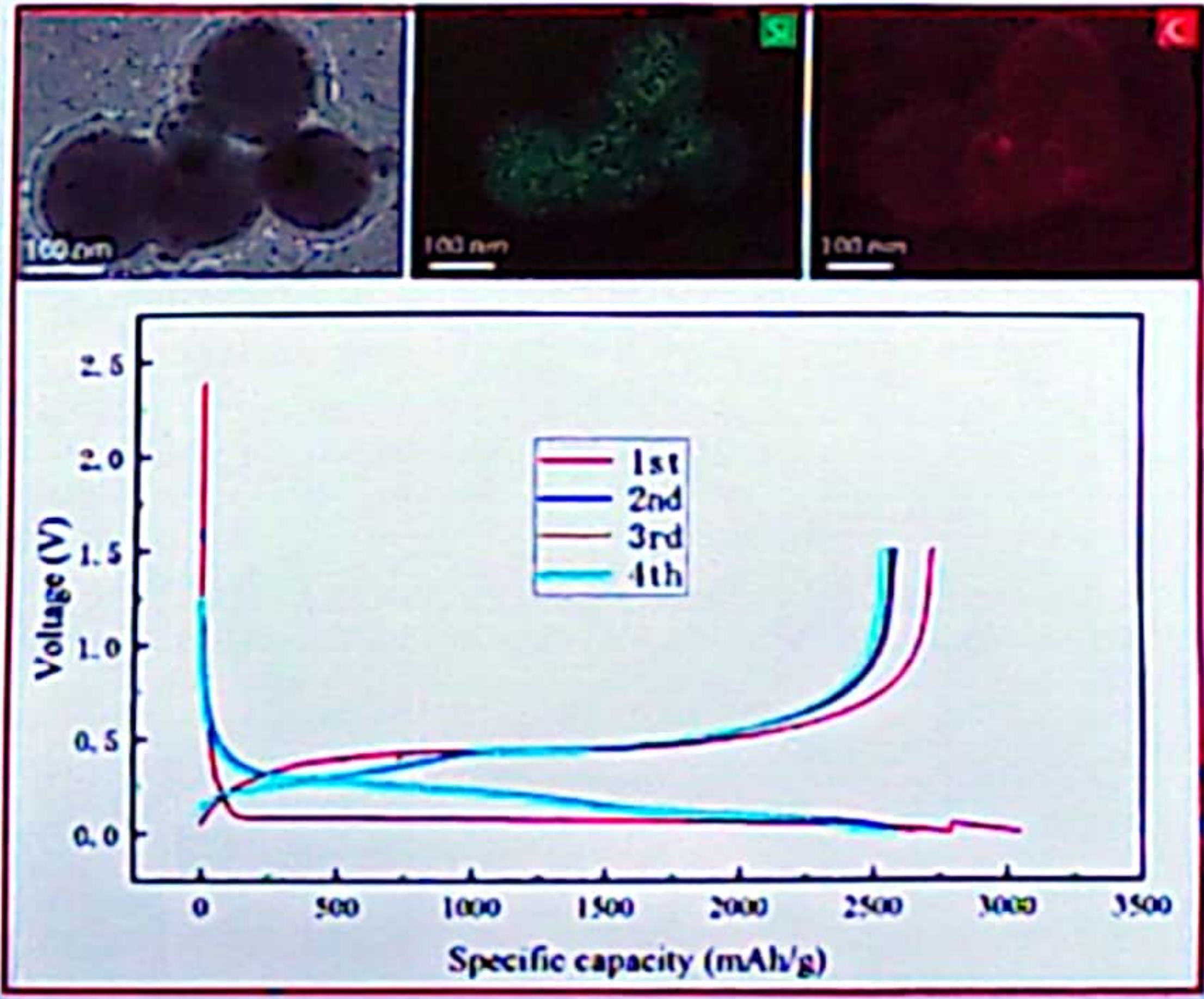
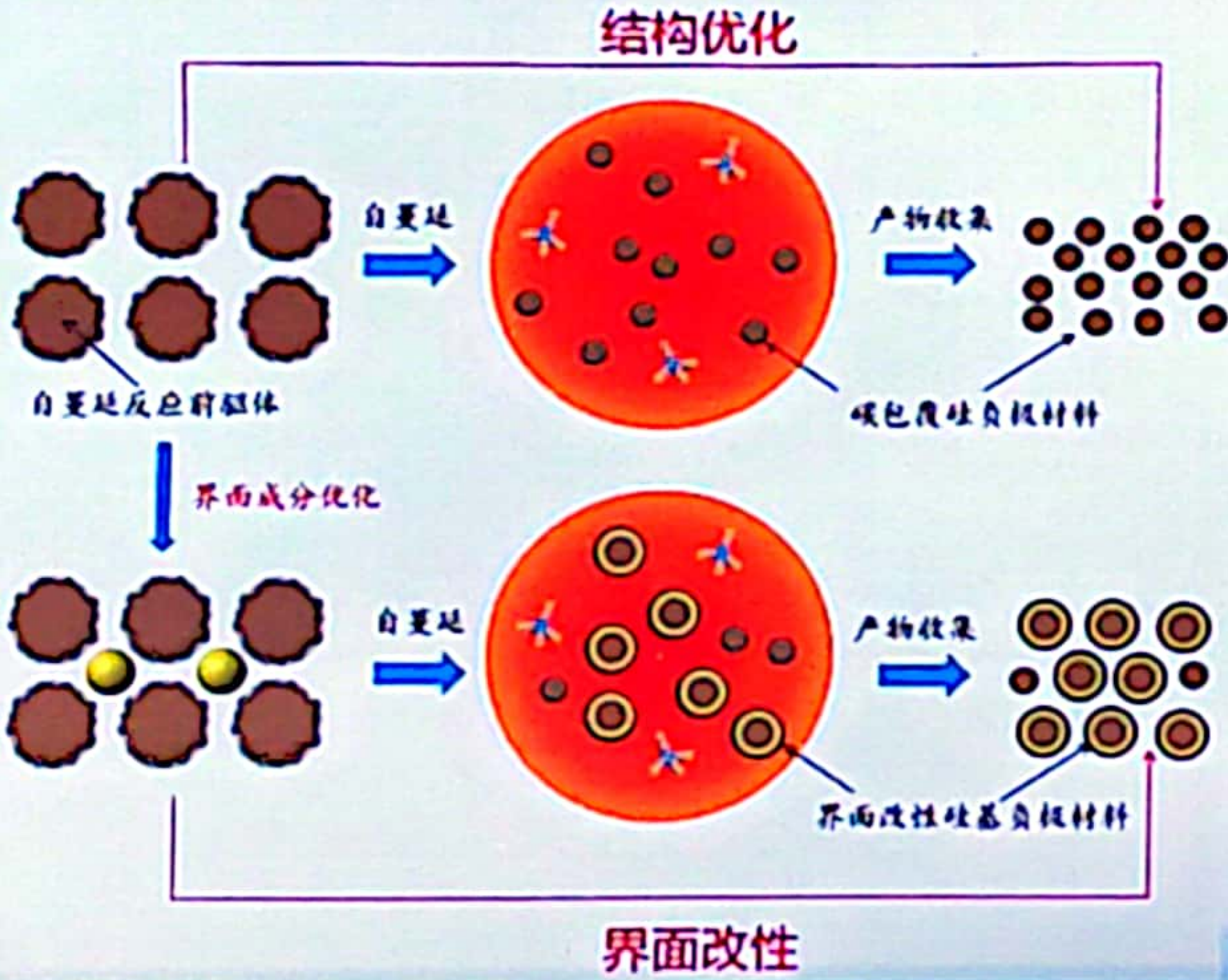
复合负极： 欧阳明高院士工作站-华宜清创公司创新性提出硅碳负极材料的一步法制备技术



低成本

低能耗

低碳化



纳米化

球形化

碳包覆

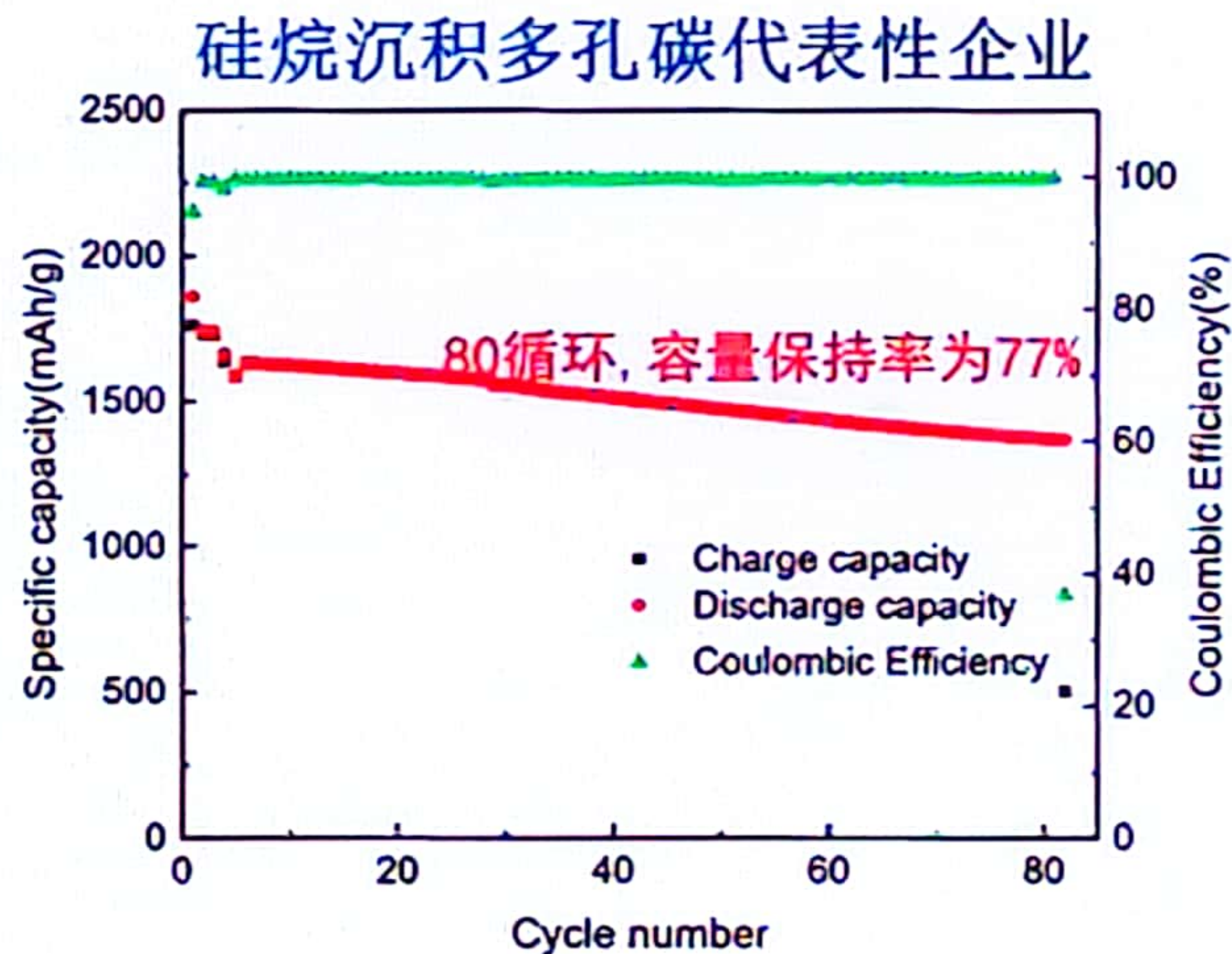
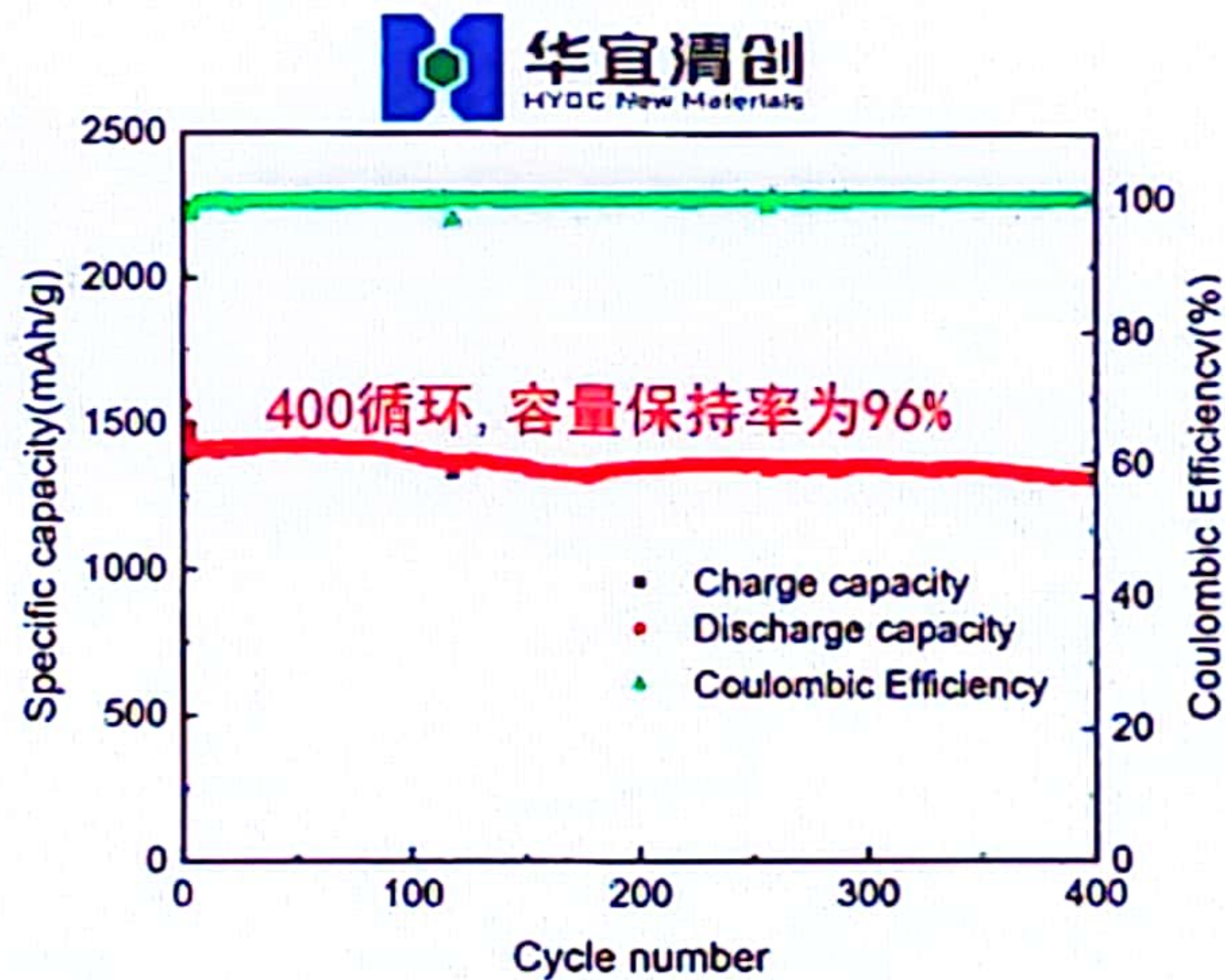
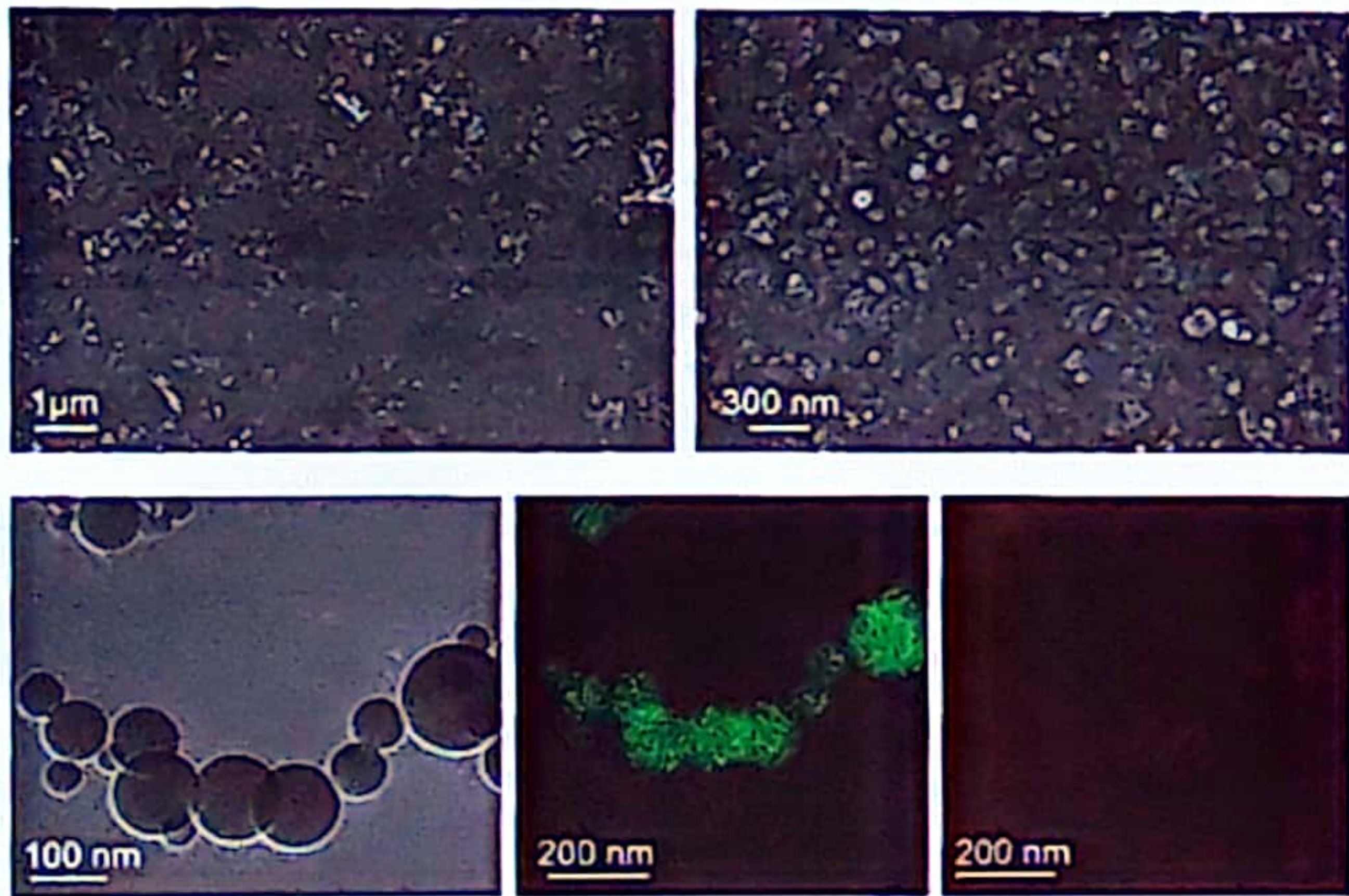
高比容量

长寿命

高首效

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

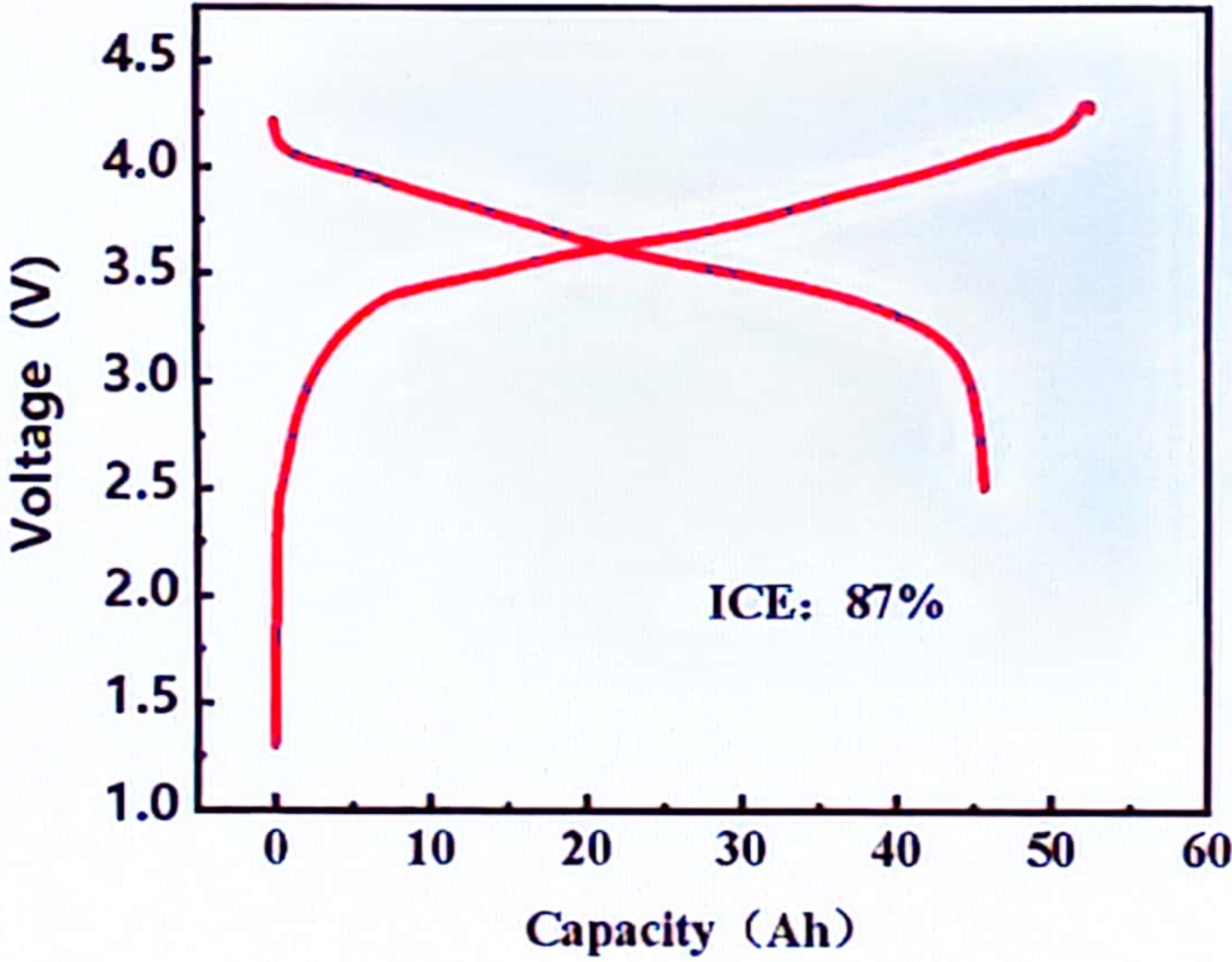
■ **复合负极：**通过采用高锂离子导率、低电子导率的材料作为界面修饰材料，提高硅碳负极材料和硫化物电解质的界面稳定性，改善硅碳负极材料的循环性能。



- 界面修饰的硅碳负极材料应用于硫化物全固态电池，硅碳负极材料的首次放电比容量为1500 mAh/g，
- 首次充电比容量为1350 mAh/g，首次库伦效率为89%，1000次循环后材料的容量保持率为82%。

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ **单体电池：**打通了硫化物全固态电池装配流程，实现安时级软包全固态电池的**稳定装配**。

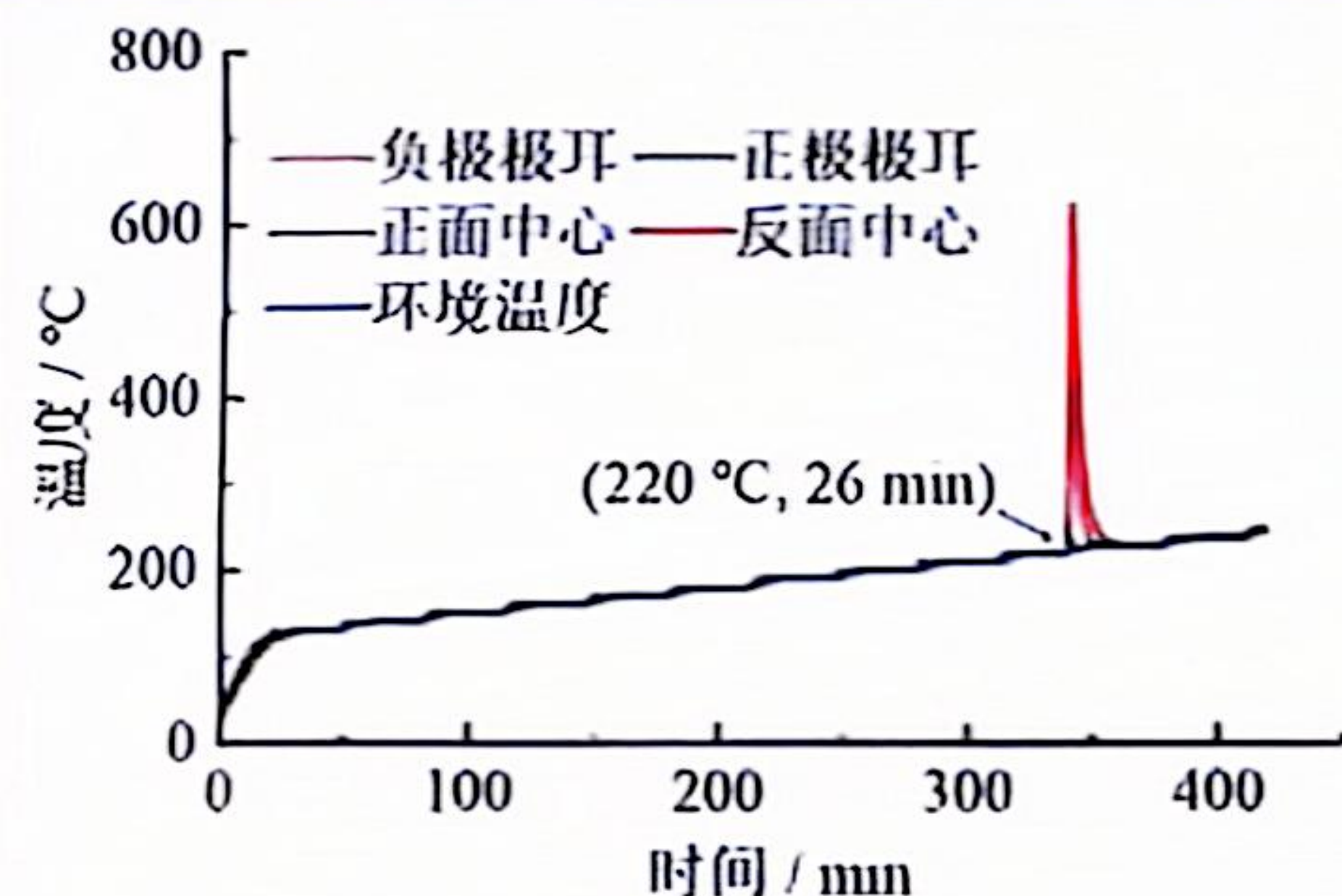


容量	热箱耐受温度
45Ah	210℃
能量密度	工作温度区间
300Wh/kg	-40~120℃

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

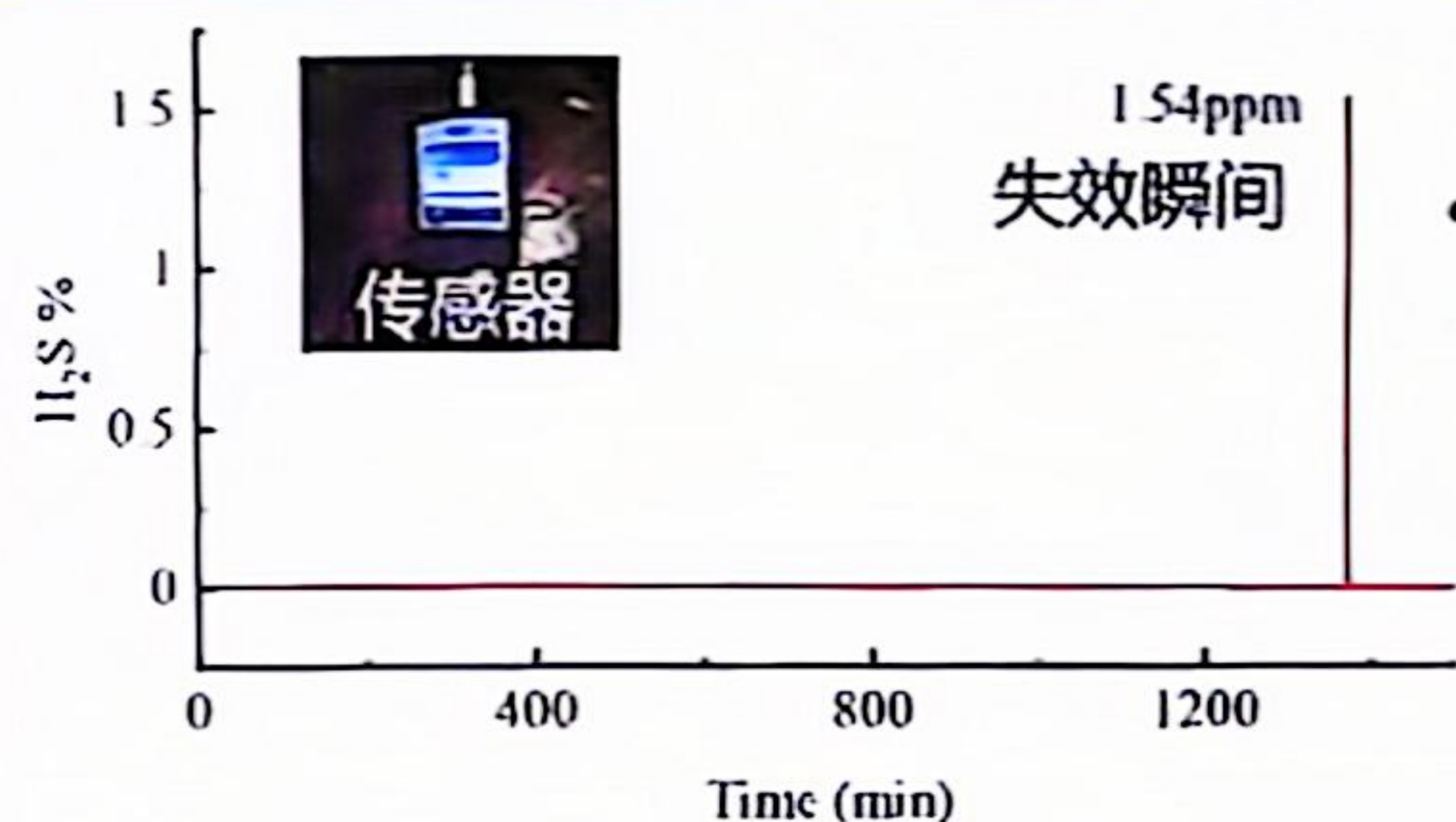
单体电池： Ah级硫化物全固态电池通过210°C热箱测试，热滥用失效后释放少量H₂S，针刺不起火不爆炸，相较于传统液态电池安全性有大幅提升。

硫化物全固态电池热滥用测试



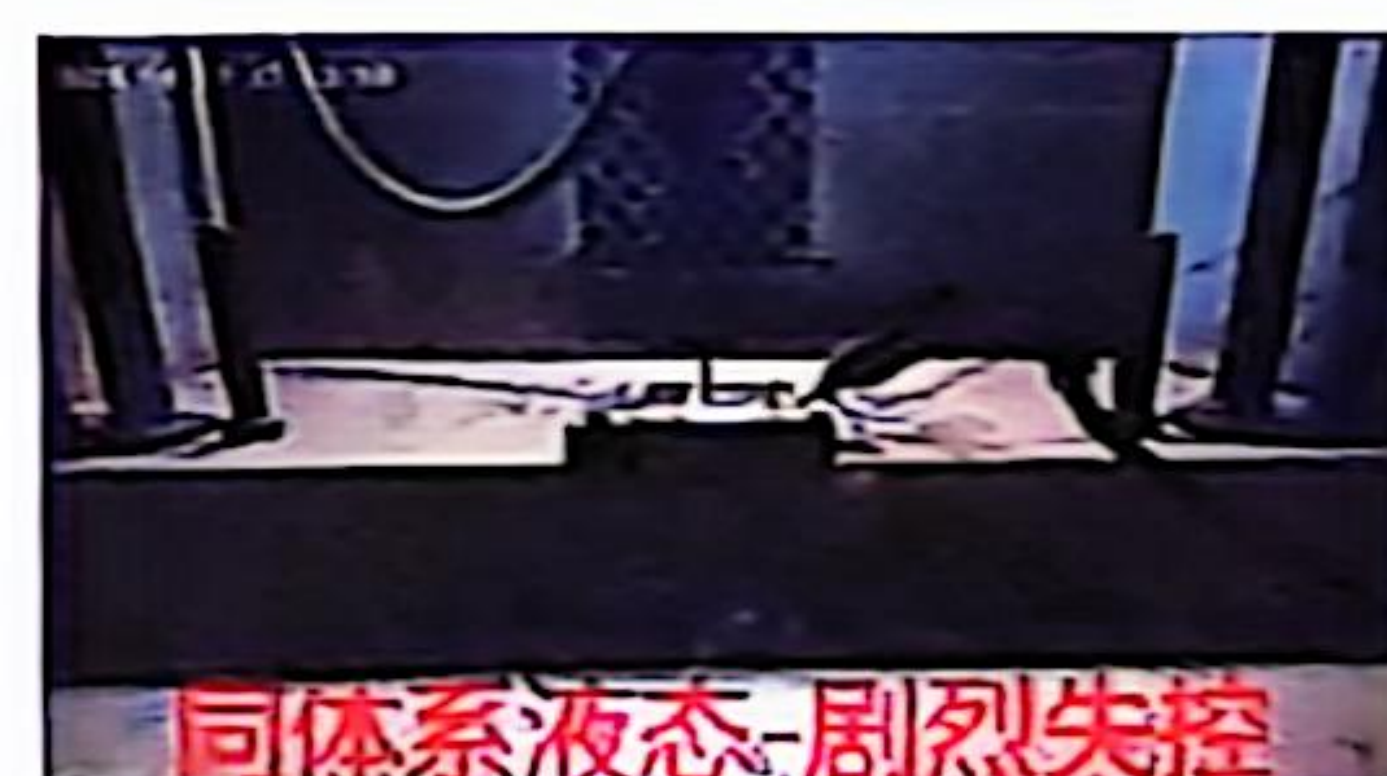
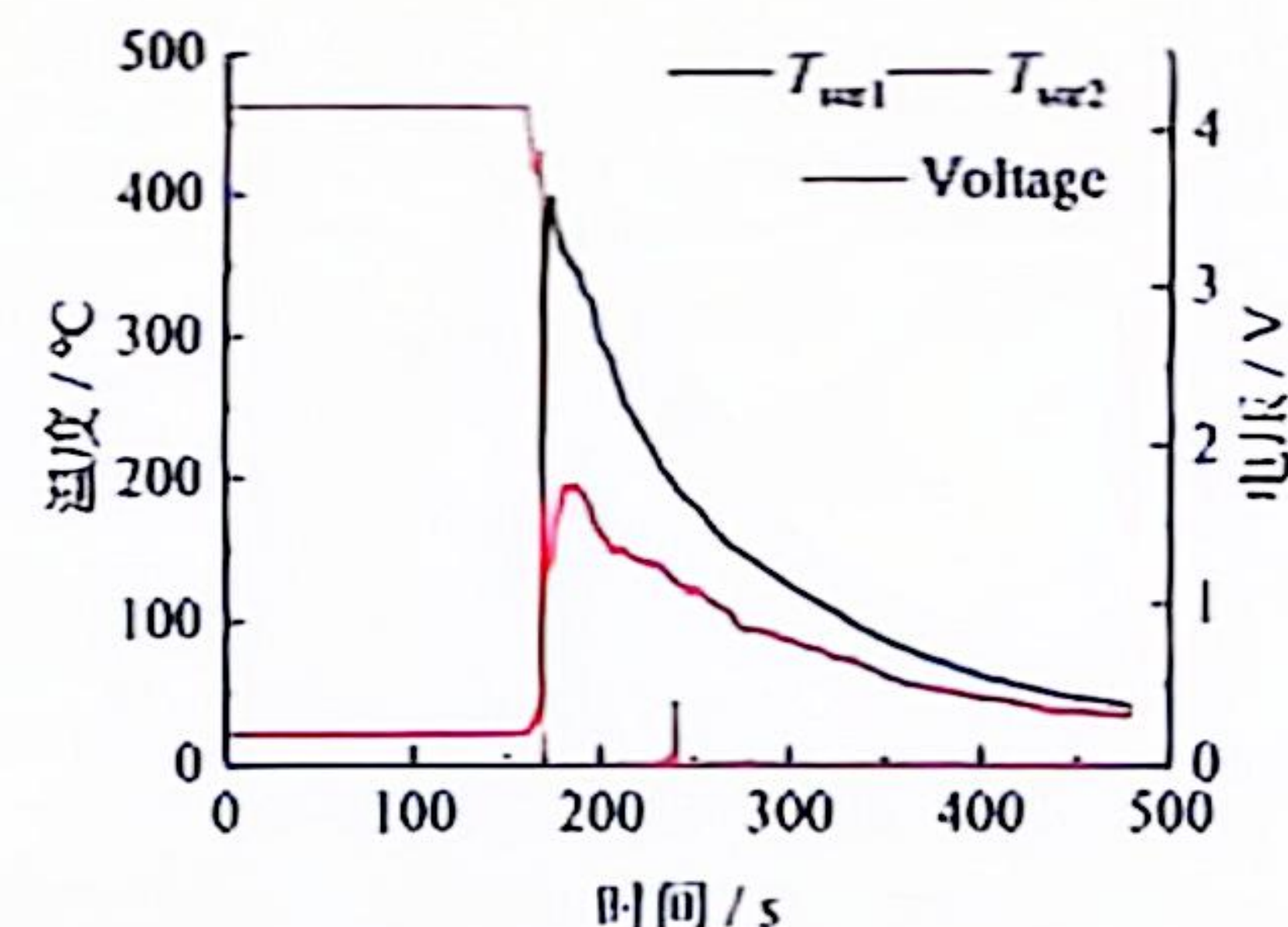
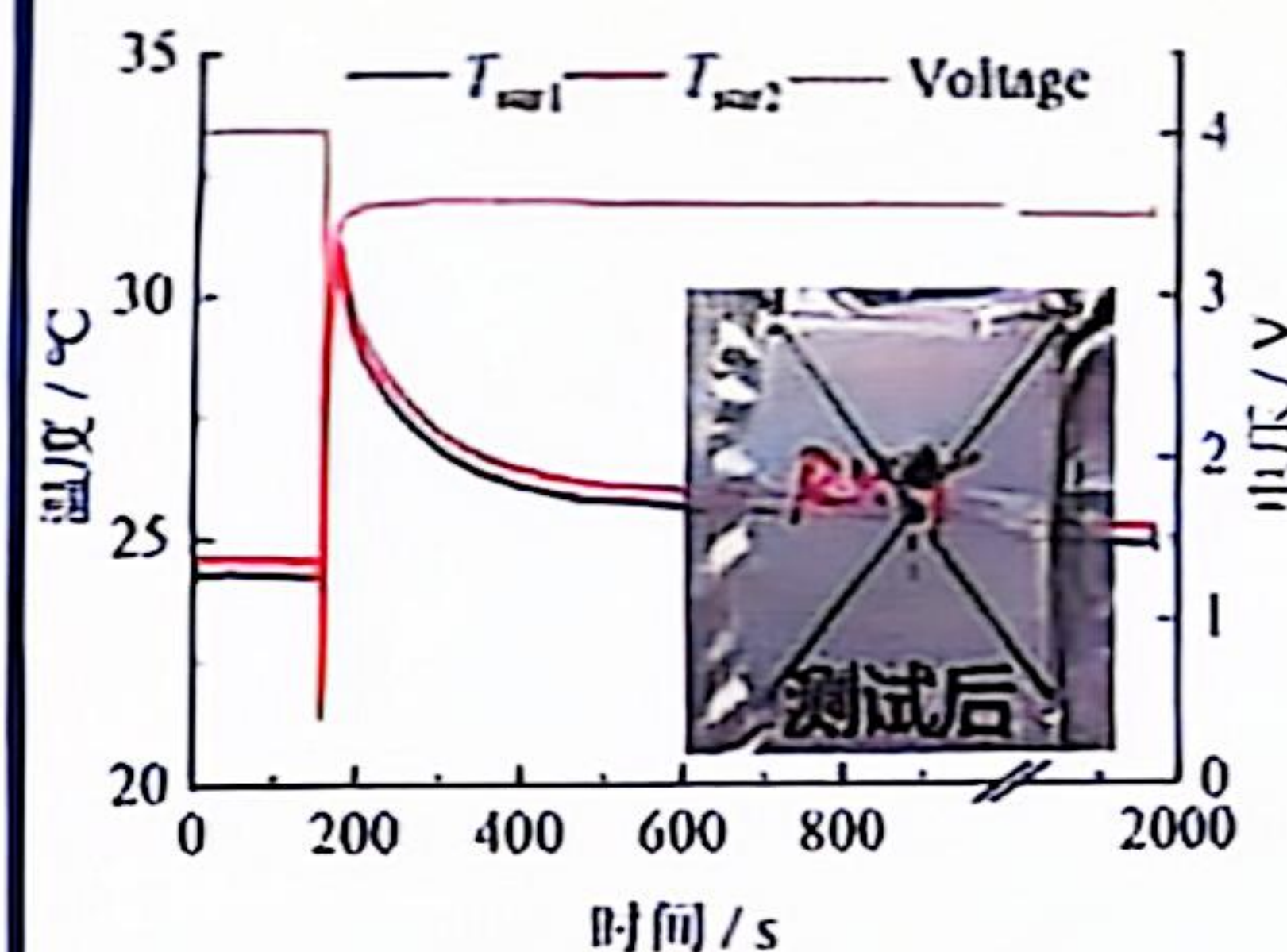
- 全固态通过210°C热箱，220°C维持26min后电池失效

H₂S气体检测



- 失效瞬间释放少量H₂S(1.54ppm)，低于10ppm^{*}

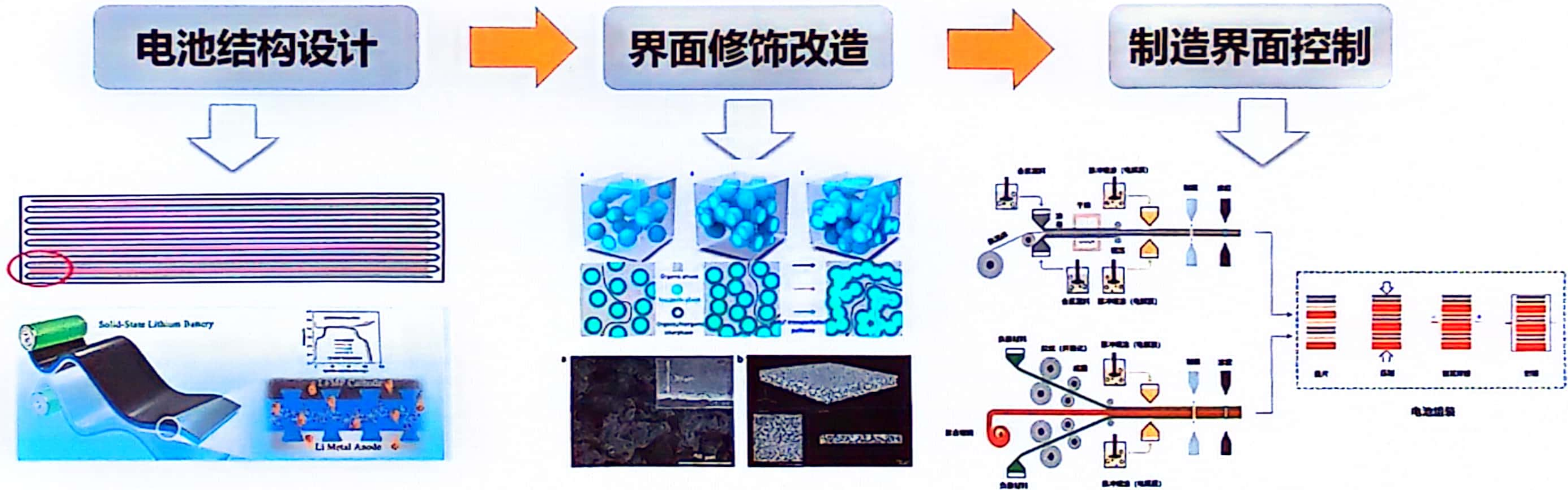
硫化物全固态电池针刺滥用测试



- 全固态3mm/5mm针刺实验观察30min不起火不爆炸。

打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ 制备工艺：固态电池复合极片制造



电池充放电过程的体积效应，在固态电池中很难得到弥合，叠片电池维持界面的贴合度为最佳。

原位界面固化 人工SEI
2D打印 微胶囊修复缺陷

复合方法：平面静压、连续复合
复合参数：压力、速度、应力、温度分布



打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

■ 制备工艺：全固态电池电芯制造工艺

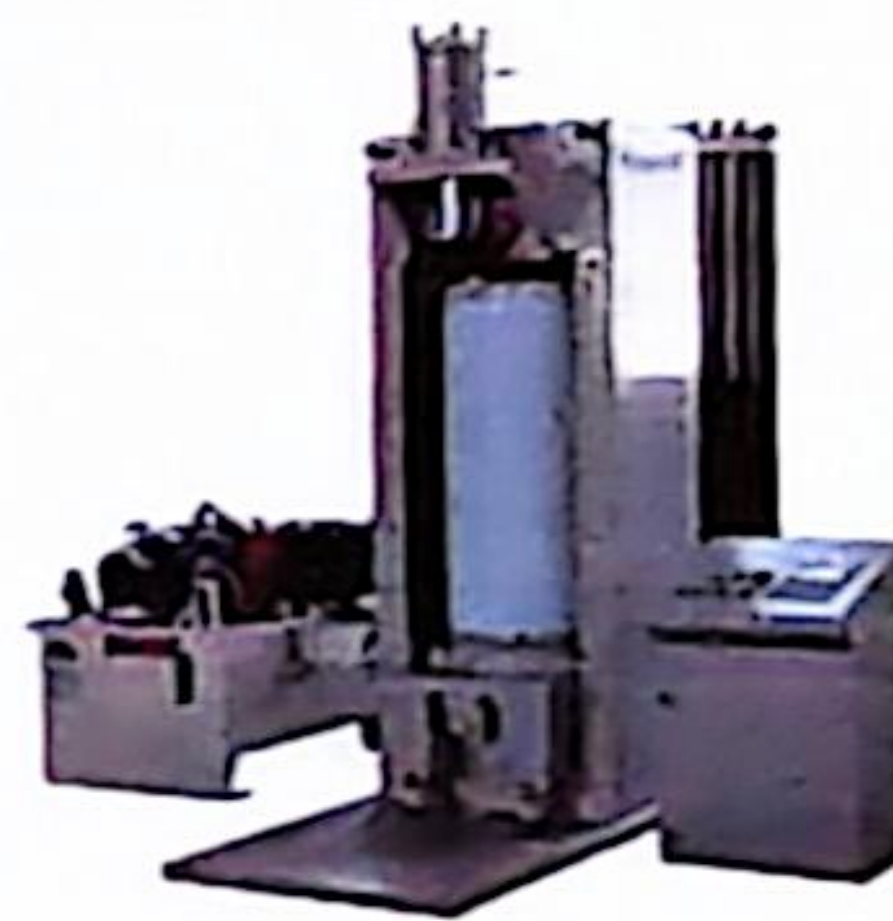
液态软包电芯生产流程



全固态软包电芯生产流程（湿法路线）液态设备利用率约为38%，标■为需要匹配固态重新设计的设备，标■为新增设备

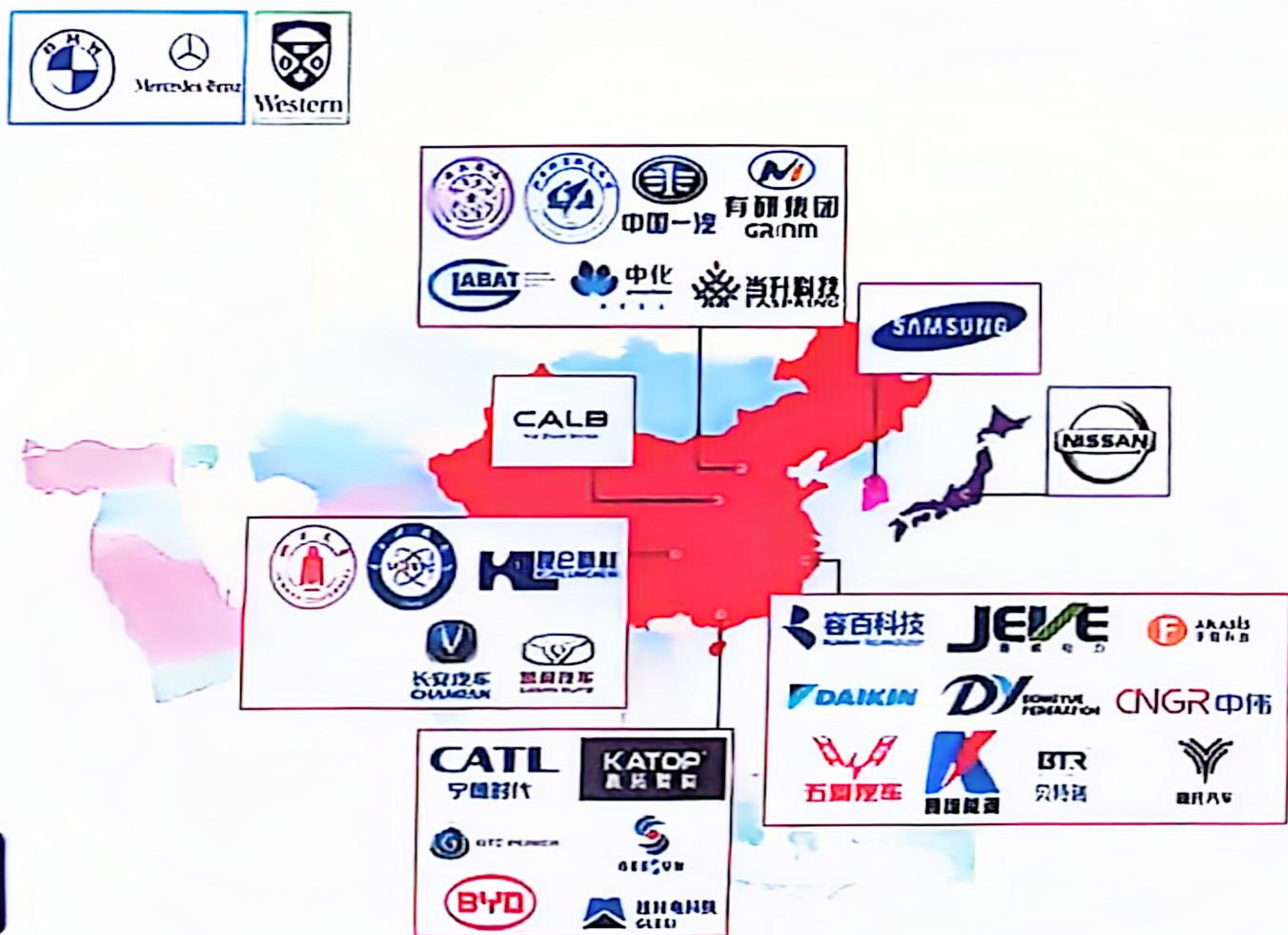


全固态软包电芯生产流程（干法路线）液态设备利用率约为26%，标■为需要匹配固态重新设计的设备，标■为新增设备



打通全固态电池技术链：硅碳:硫化物/硫化物/(NCM:硫化物)

- **制造工艺：**正在与头部设备厂商合作，共同开发专用设备，打通了全固态电芯的连续装配工艺流程，将建设全固态电池生产线，可实现每年至少**650万个60 Ah电芯**的产量，对应**1.4GWh**的产能



1. 确立全固态电池技术路线

2. 打通全固态电池的技术链

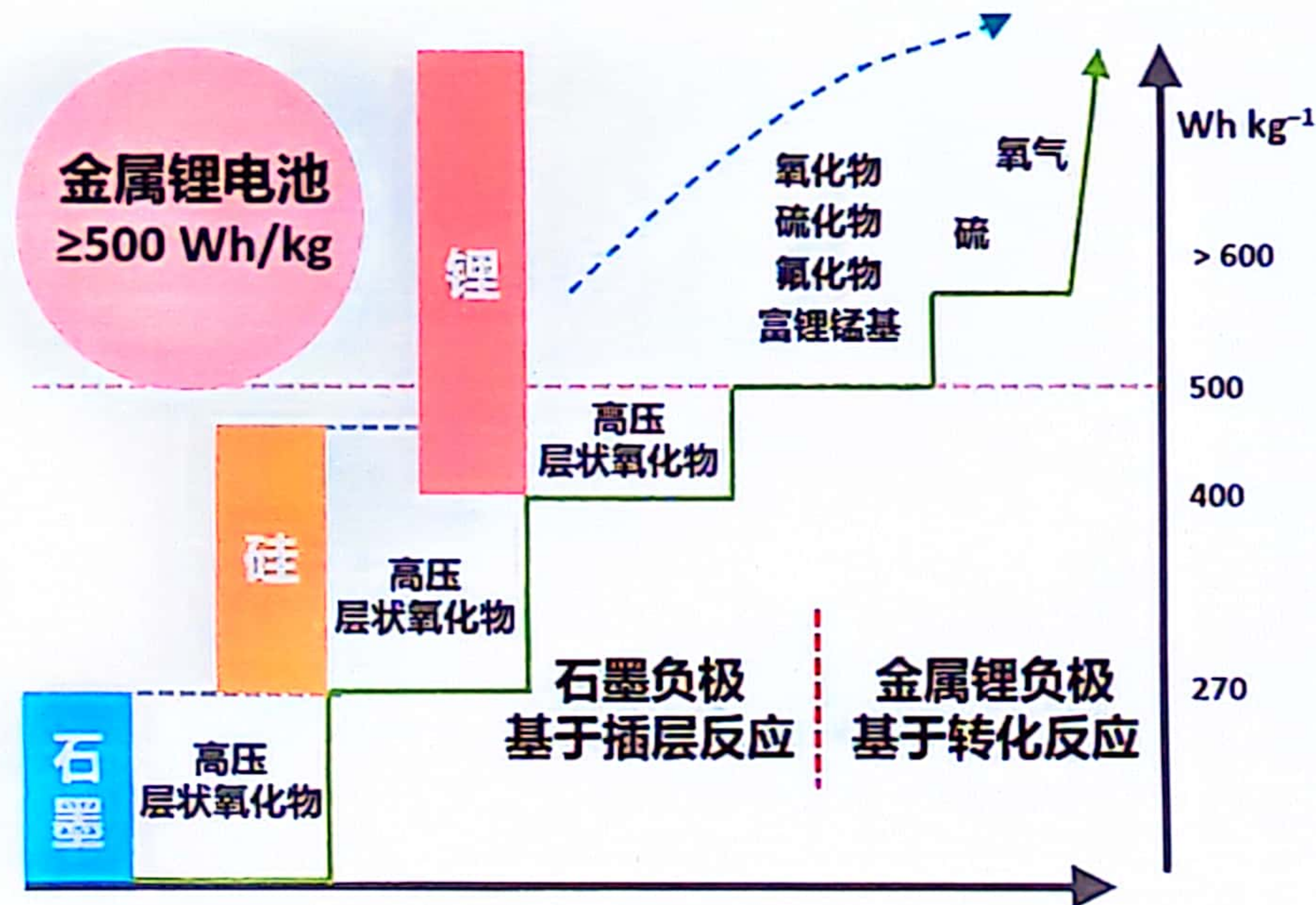
(面向300瓦时/公斤:600瓦时/升目标, 实现现有轿车动力电池换代)

3. 突破高比能量全固态电池

(面向500瓦时/公斤:1000瓦时/升目标, 实现未来交通的全面电动化)

攻克面向500瓦时/公斤电池的高容量锂金属负极技术

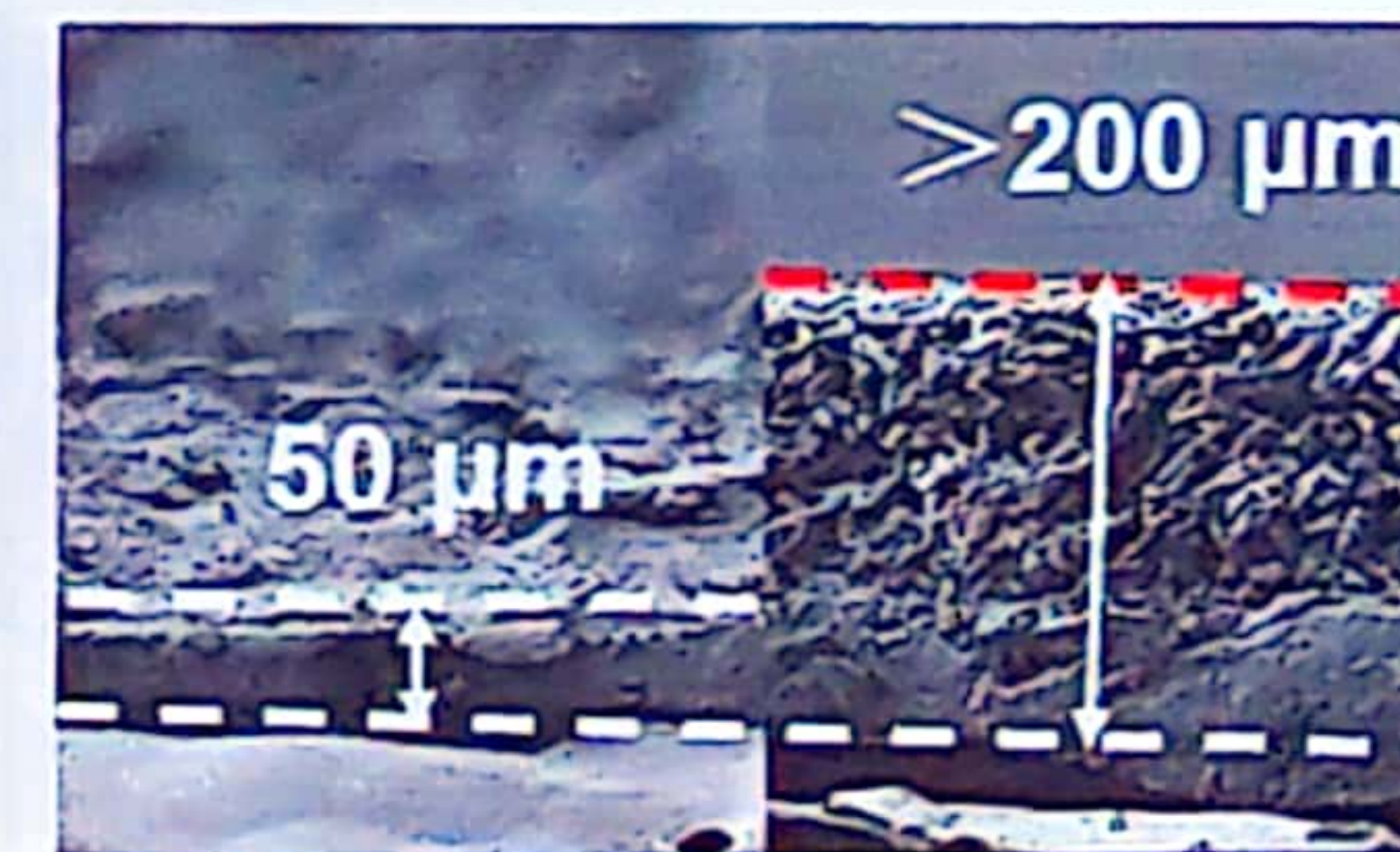
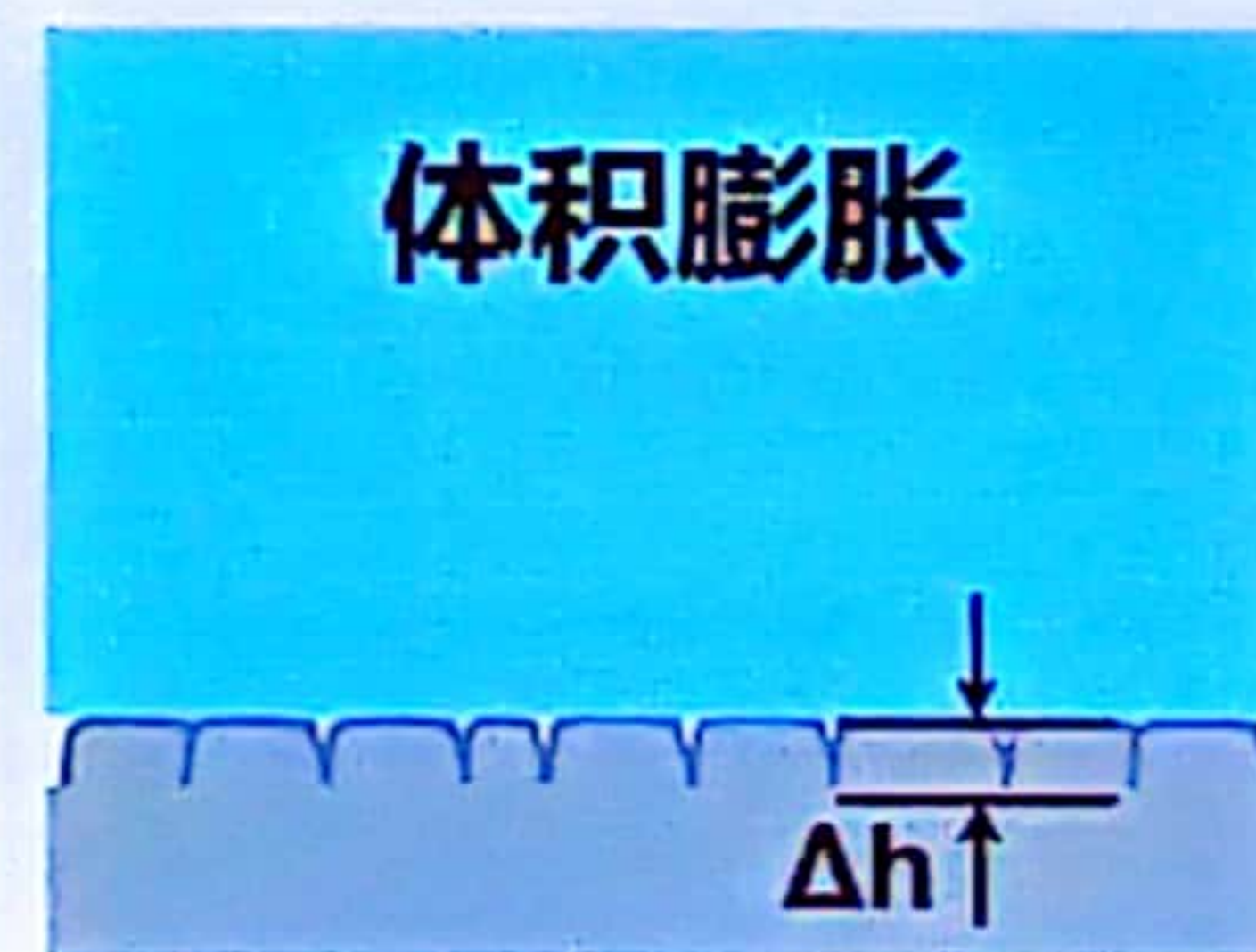
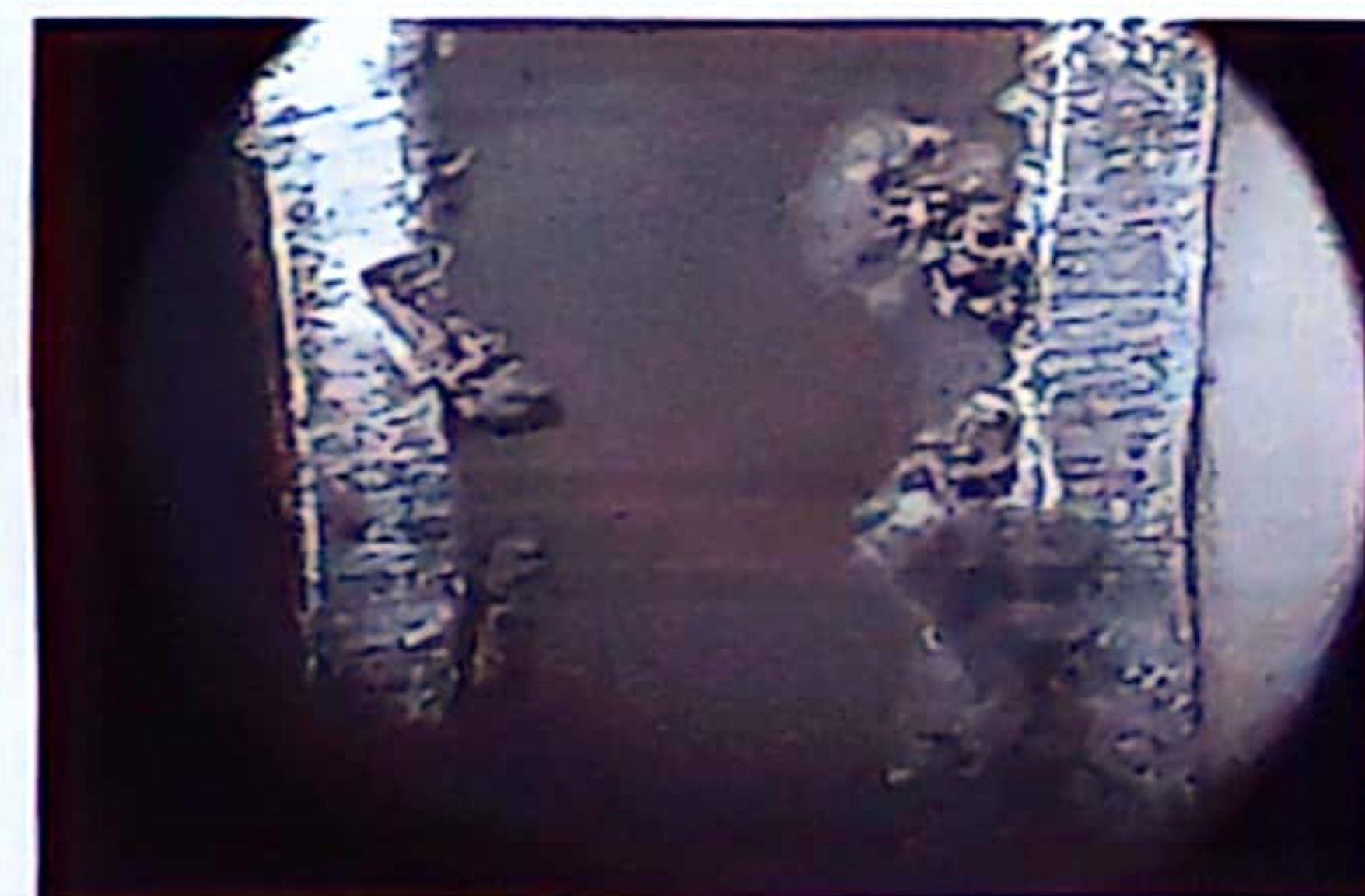
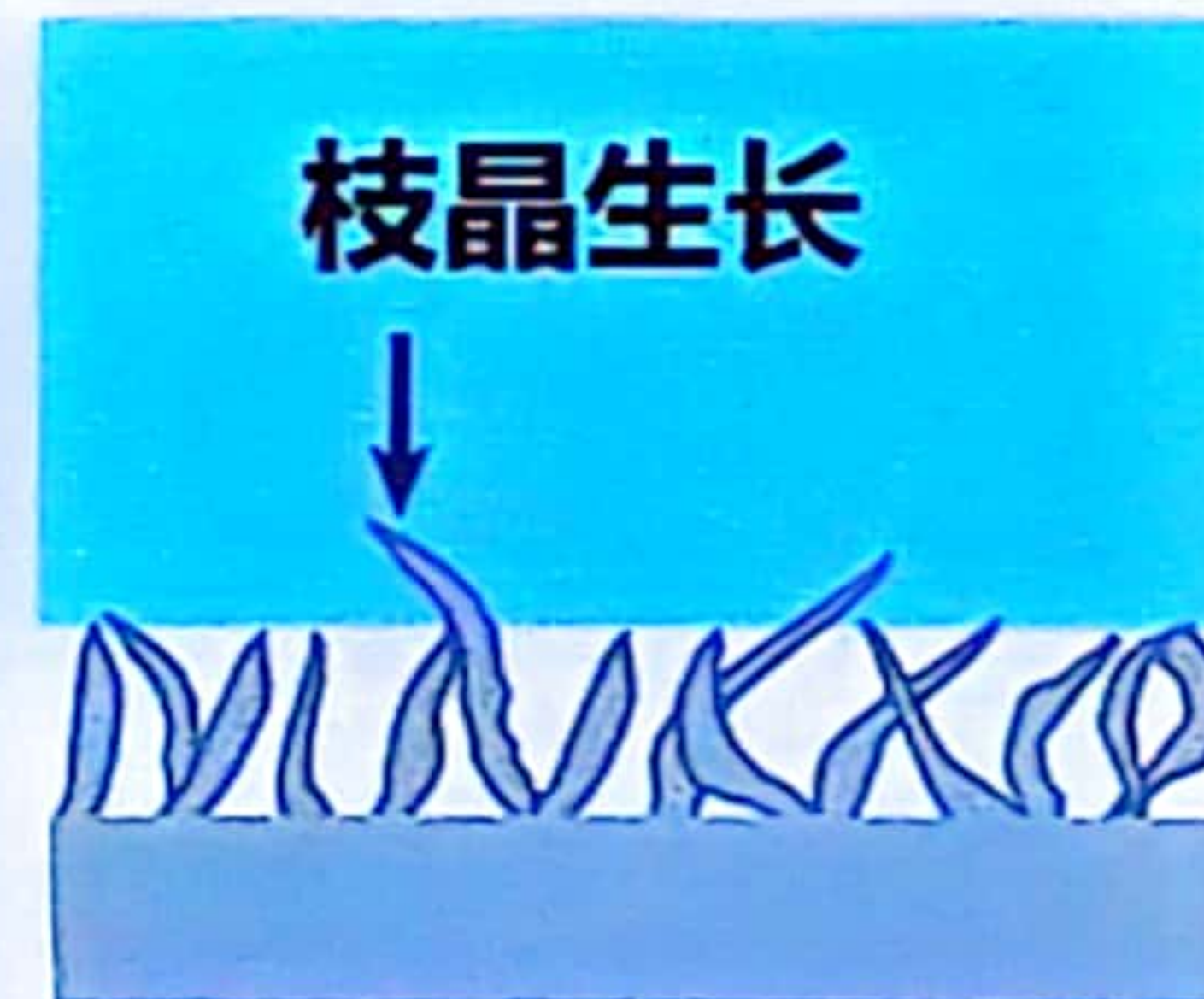
■ 金属锂负极是实现 $\geq 500 \text{ Wh/kg}$ 高能量密度电池重要负极材料！



锂金属负极优势：

极高的理论比容量 (3860 mAh/g)

极低的电极电势 (-3.04 V , 相对标准氢电极)



锂金属负极挑战：

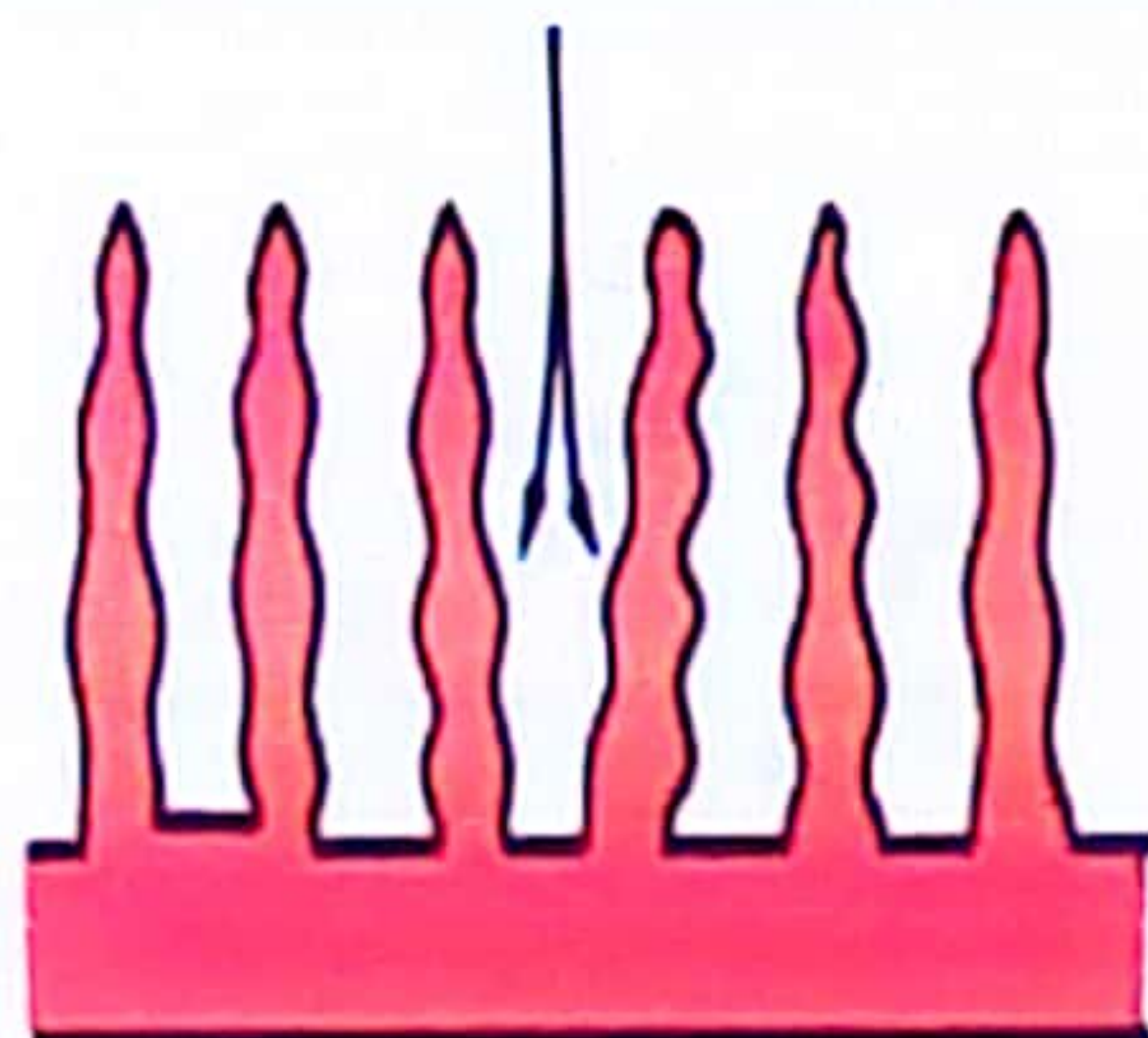
形成锂枝晶、“死锂”

巨大的体积膨胀，界面高反应活性

攻克面向500瓦时/公斤电池的高容量锂金属负极技术

■ 复合金属锂负极设计：“三步走”实现金属锂可控体积膨胀、均匀沉积、界面稳定

方向1 构建三维复合骨架



三维金属基骨架

3D-Cu-Li

3D-Ni-Li

3D-M-Li



三维碳基骨架

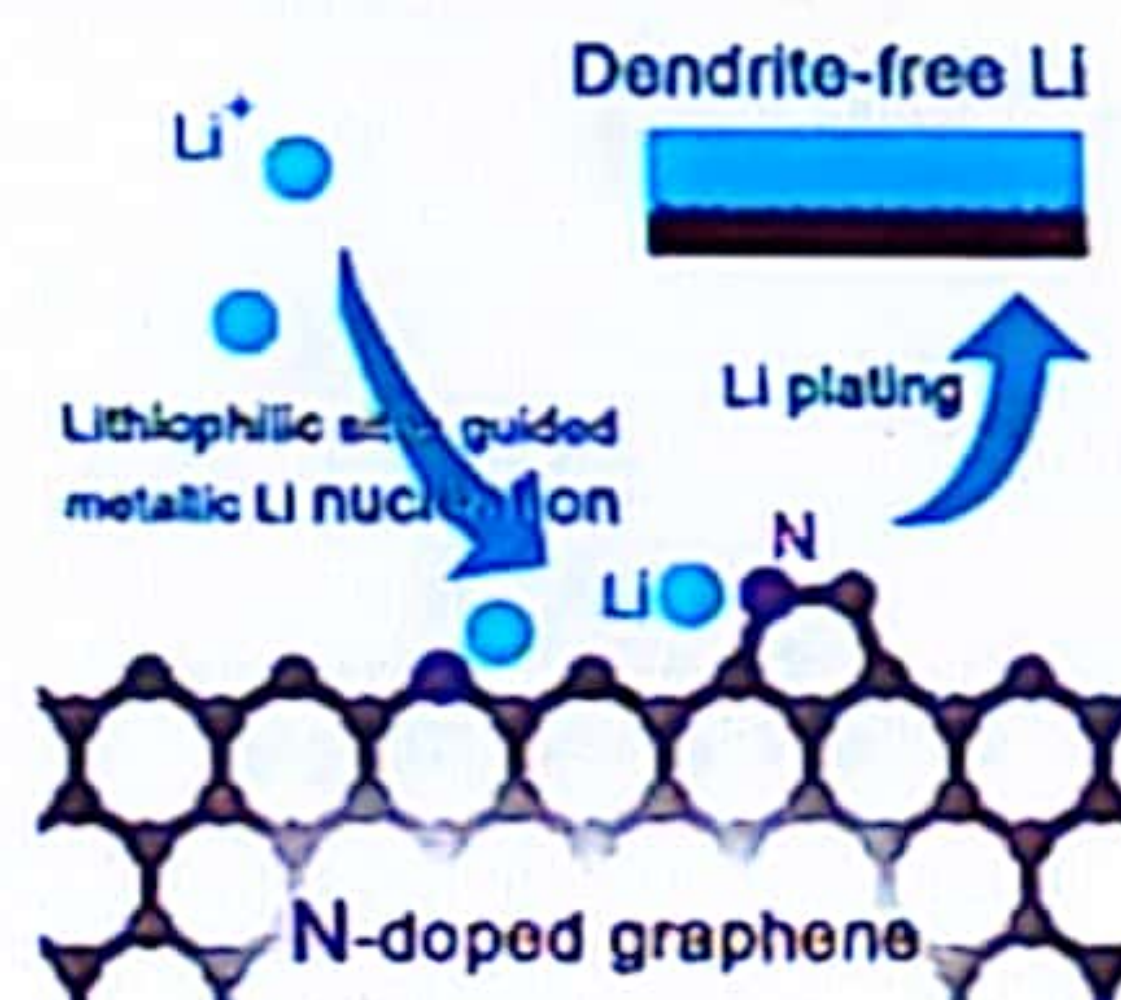
纳米/微米/中空

碳球结构

碳纤维材料

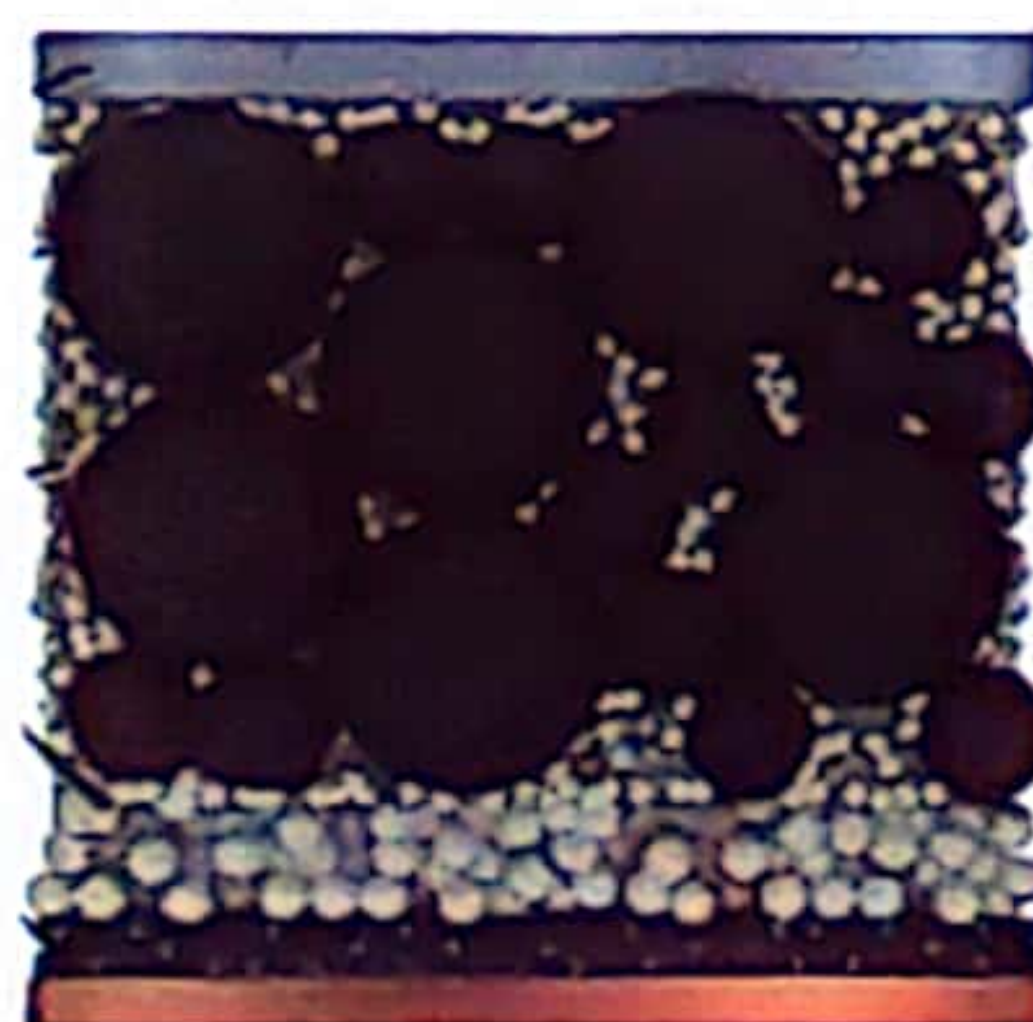
- 高金属锂负载能力
- 避免负极体积膨胀

方向2 开展亲锂表面改性



杂原子掺杂

氮掺杂石墨烯等



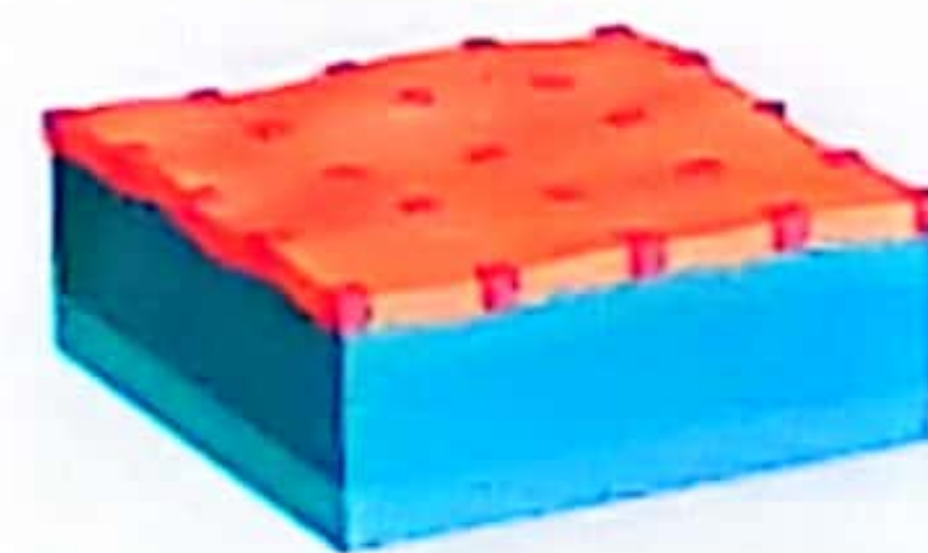
合金化

Ag-C亲锂层

Au/Mg/Zn/In-C

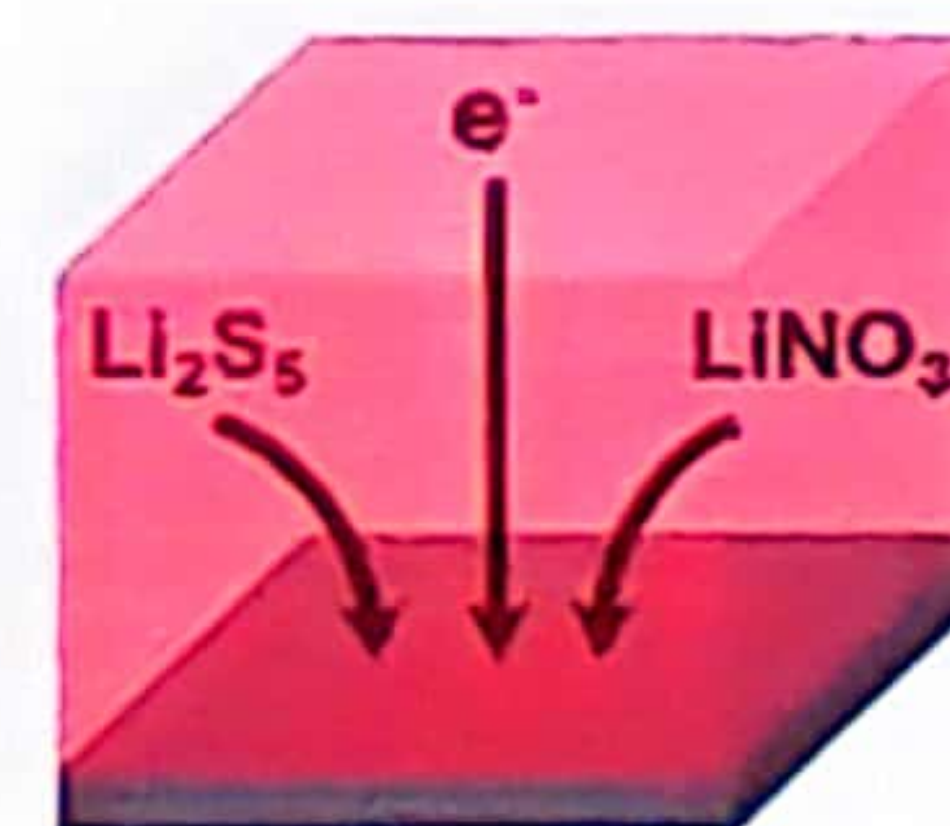
- 均化锂离子分布
- 抑制锂枝晶产生

方向3 引入人工界面层



非原位人工界面层

包括聚合物层、无机层等，通过喷涂/刮涂等方法引入



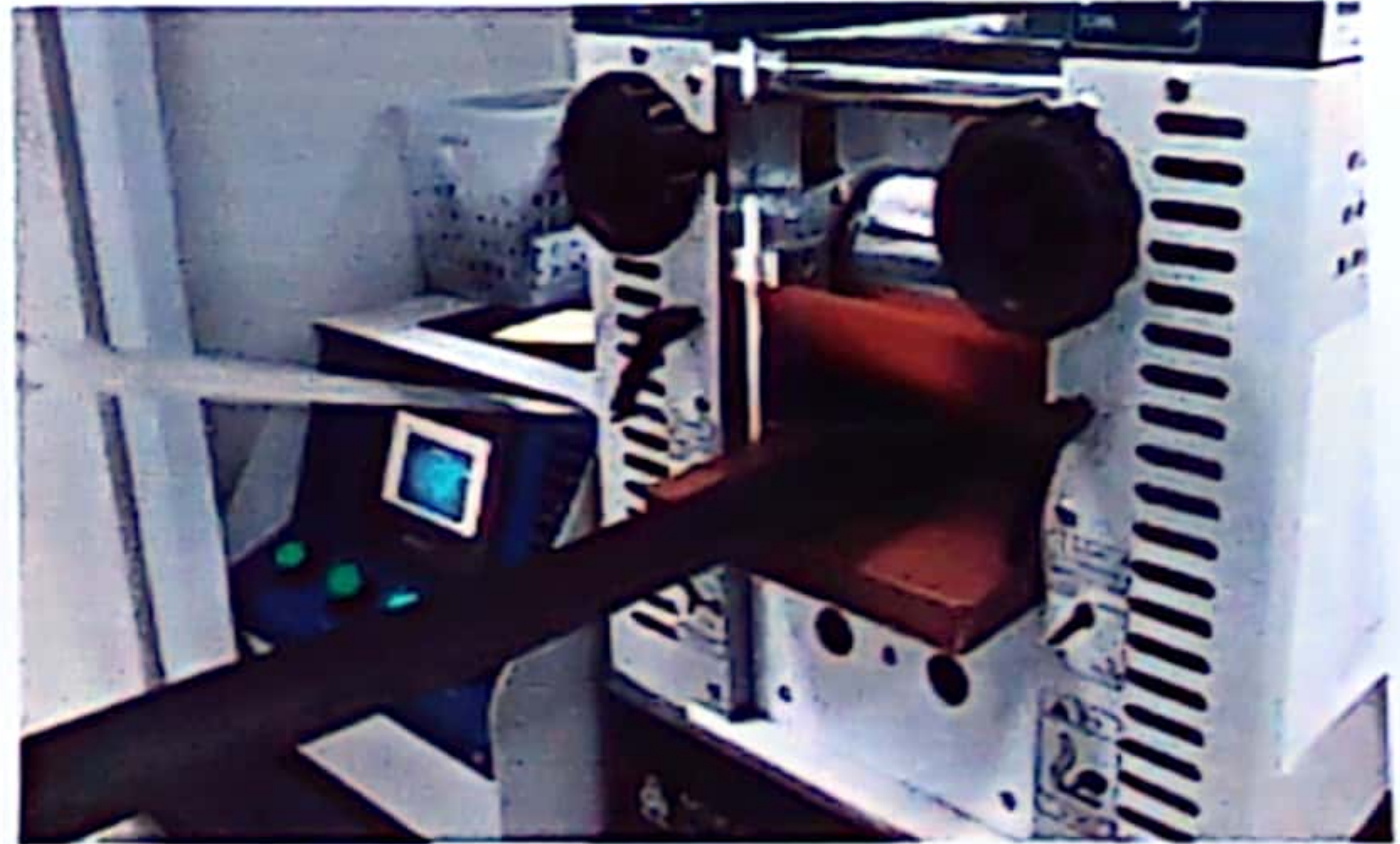
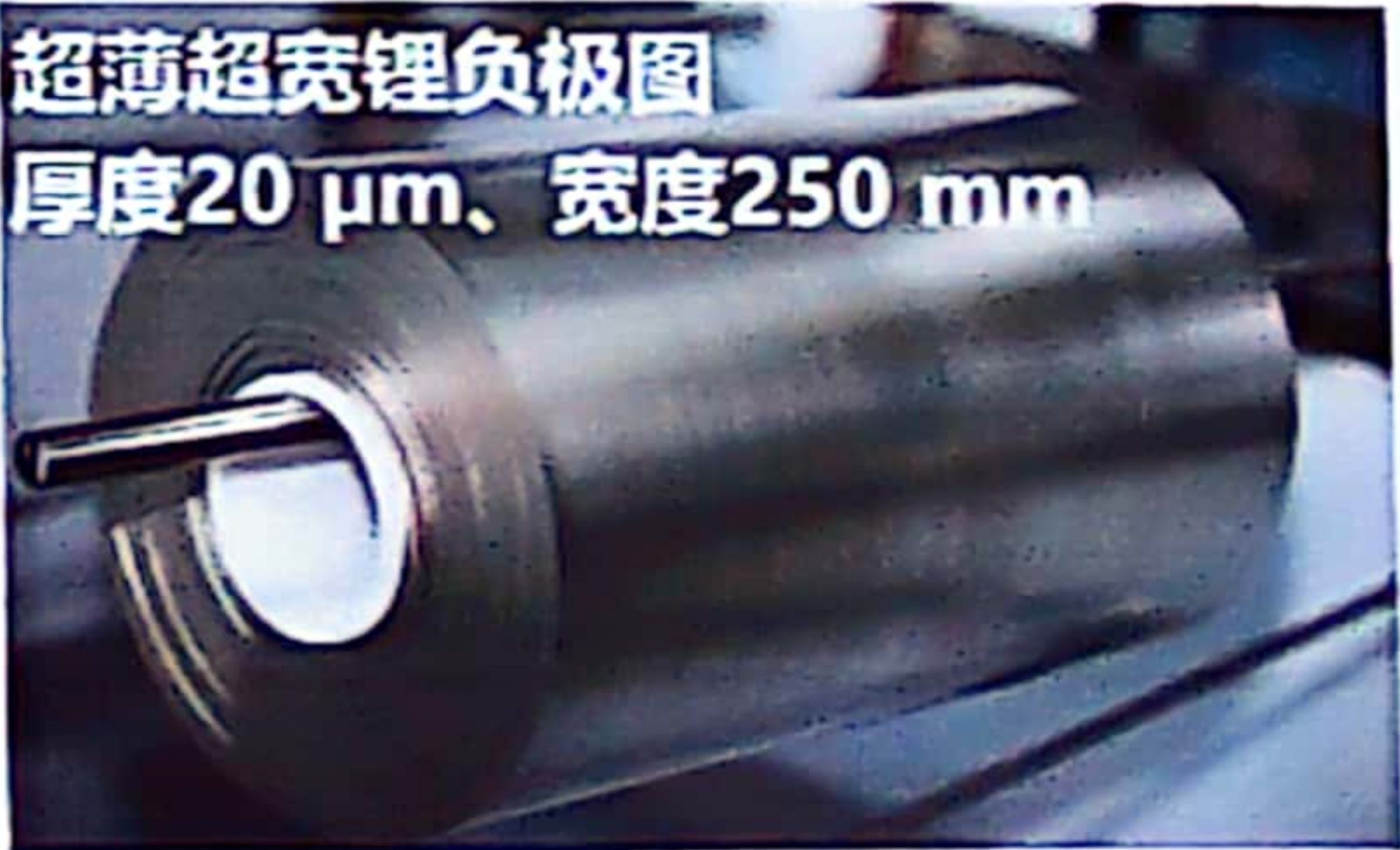
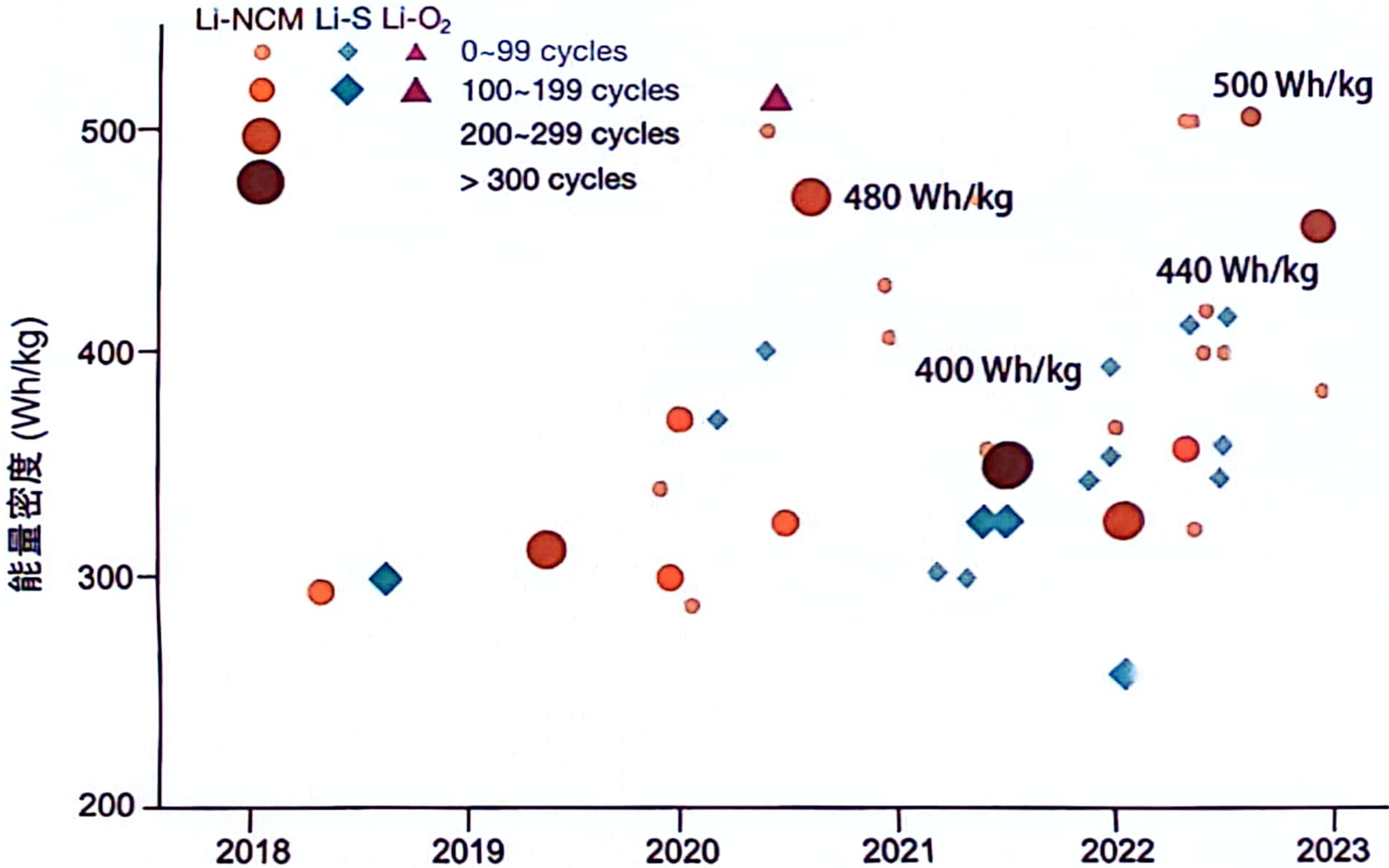
原位反应界面层

包括含氟、含硫等界面层，通过化学反应等方法引入

- 降低界面副反应
- 提高负极循环效率

攻克面向500瓦时/公斤电池的高容量锂金属负极技术

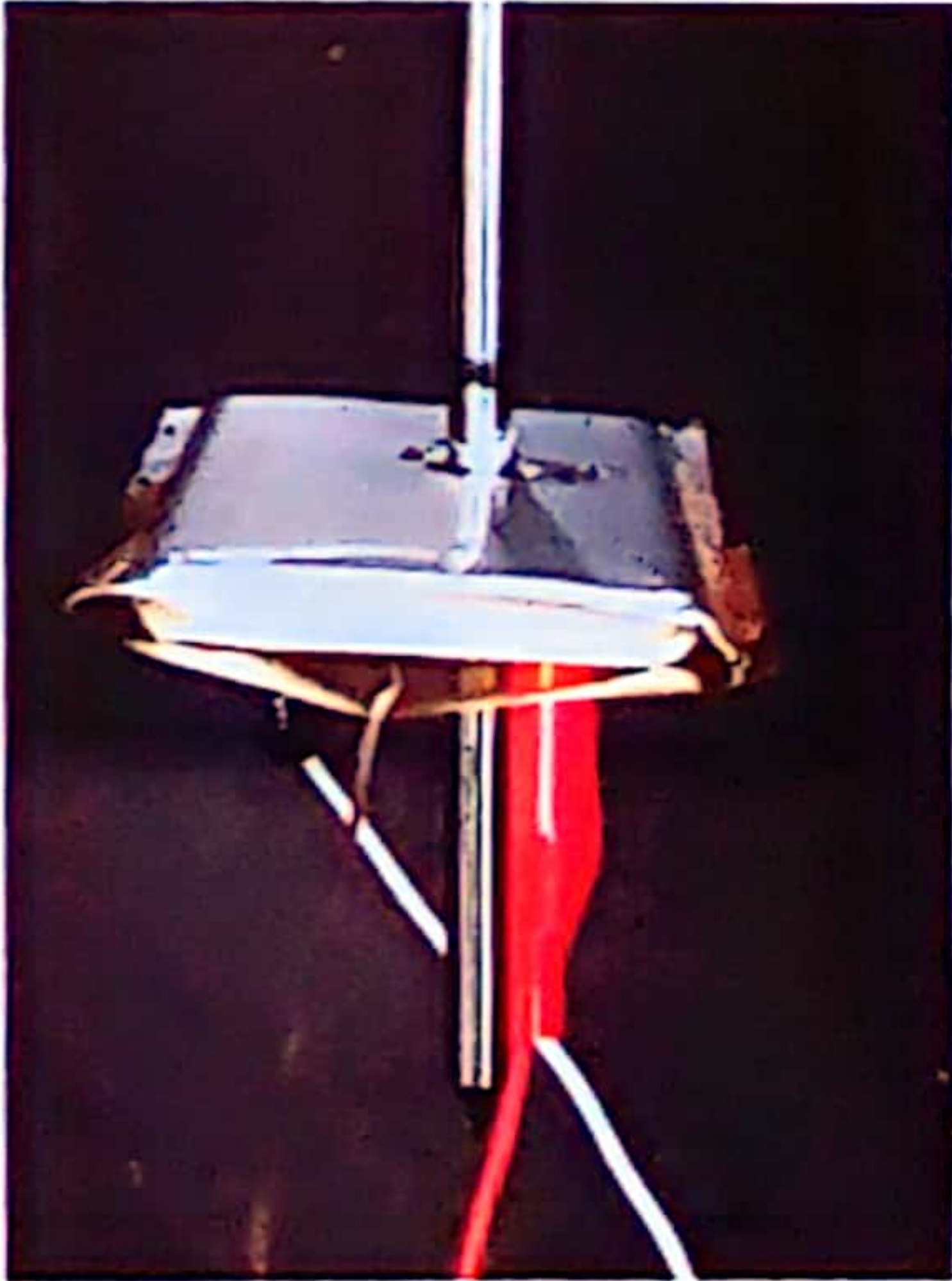
■ 复合金属锂负极应用：面向高能量密度电池



三星公司披露的全固态电池体积能量密度300 Wh/L，循环寿命1000圈。

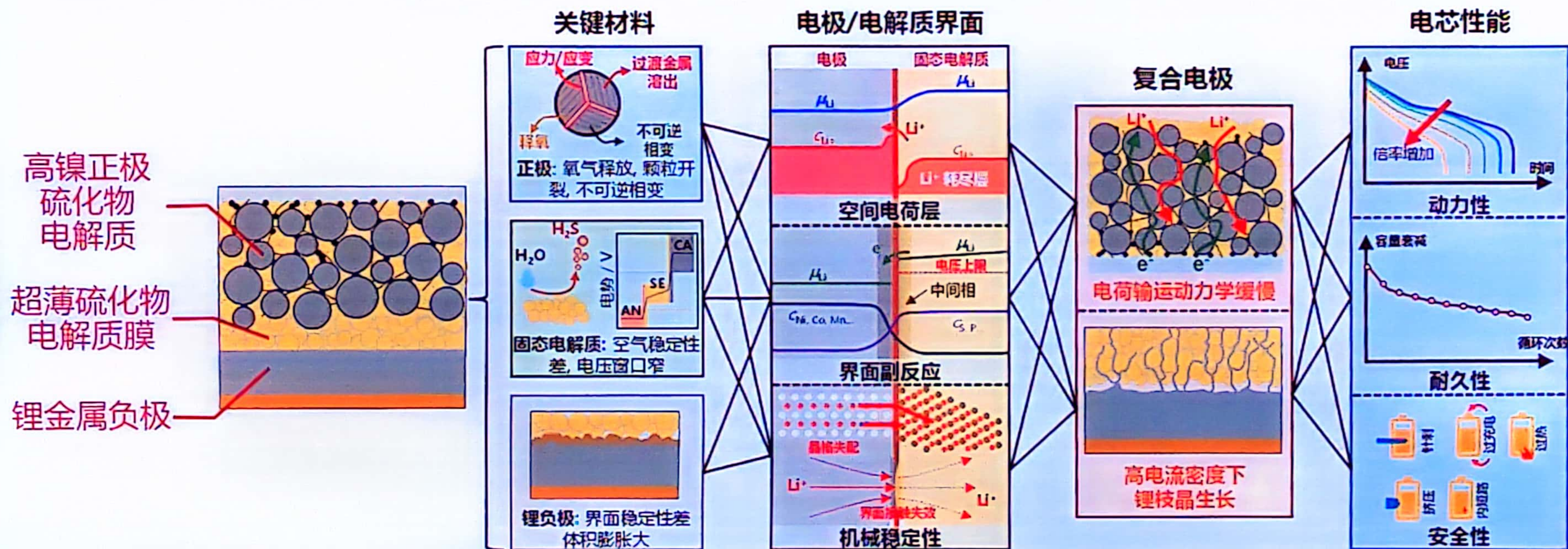
攻克面向500瓦时/公斤电池的高容量锂金属负极技术

■ 复合金属锂负极的未来发展方向：**长循环、快充、安全**

长循环	快充	安全
		
实现长服役时间	实现宽温域快充	提升安全性（锂金属熔点 180°C）

攻克面向500瓦时/公斤电池的高容量锂金属负极技术

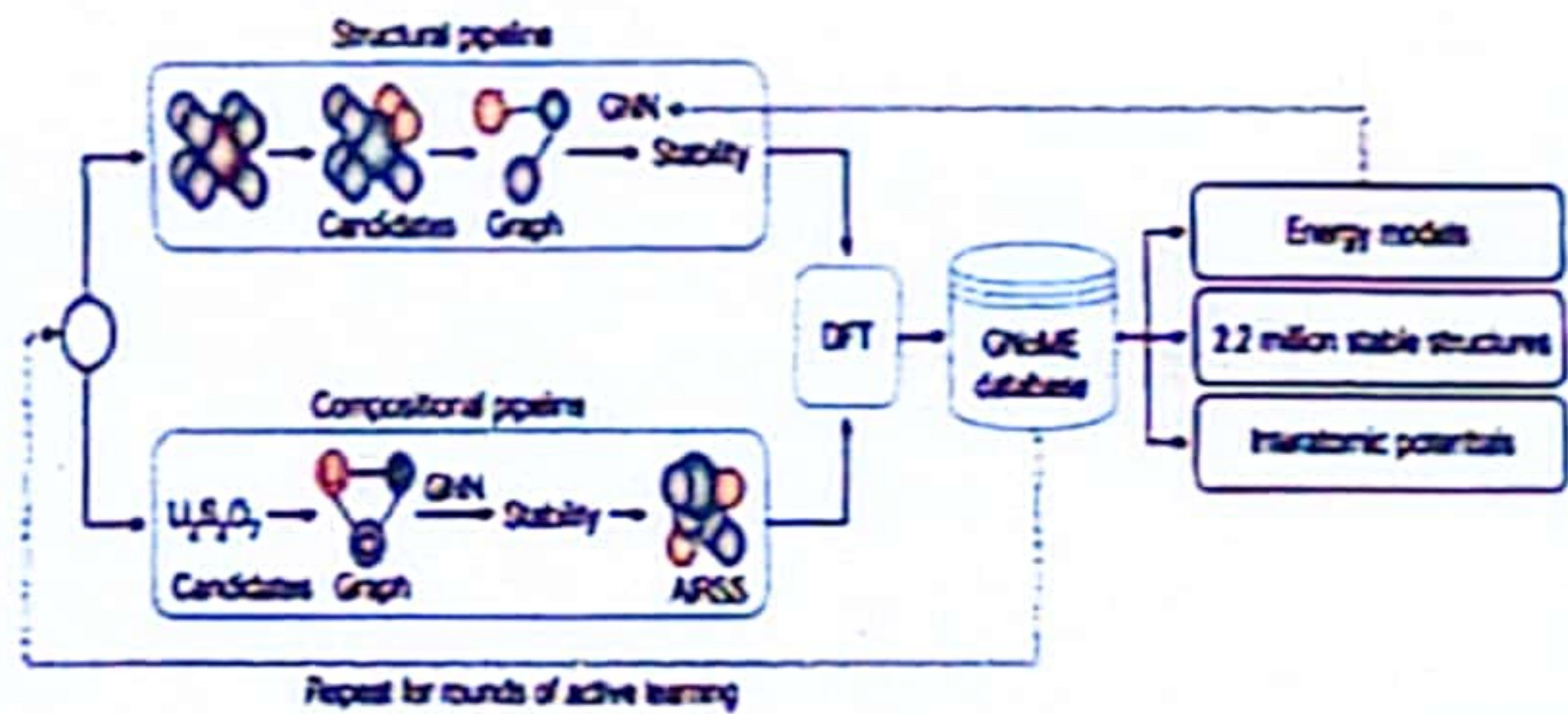
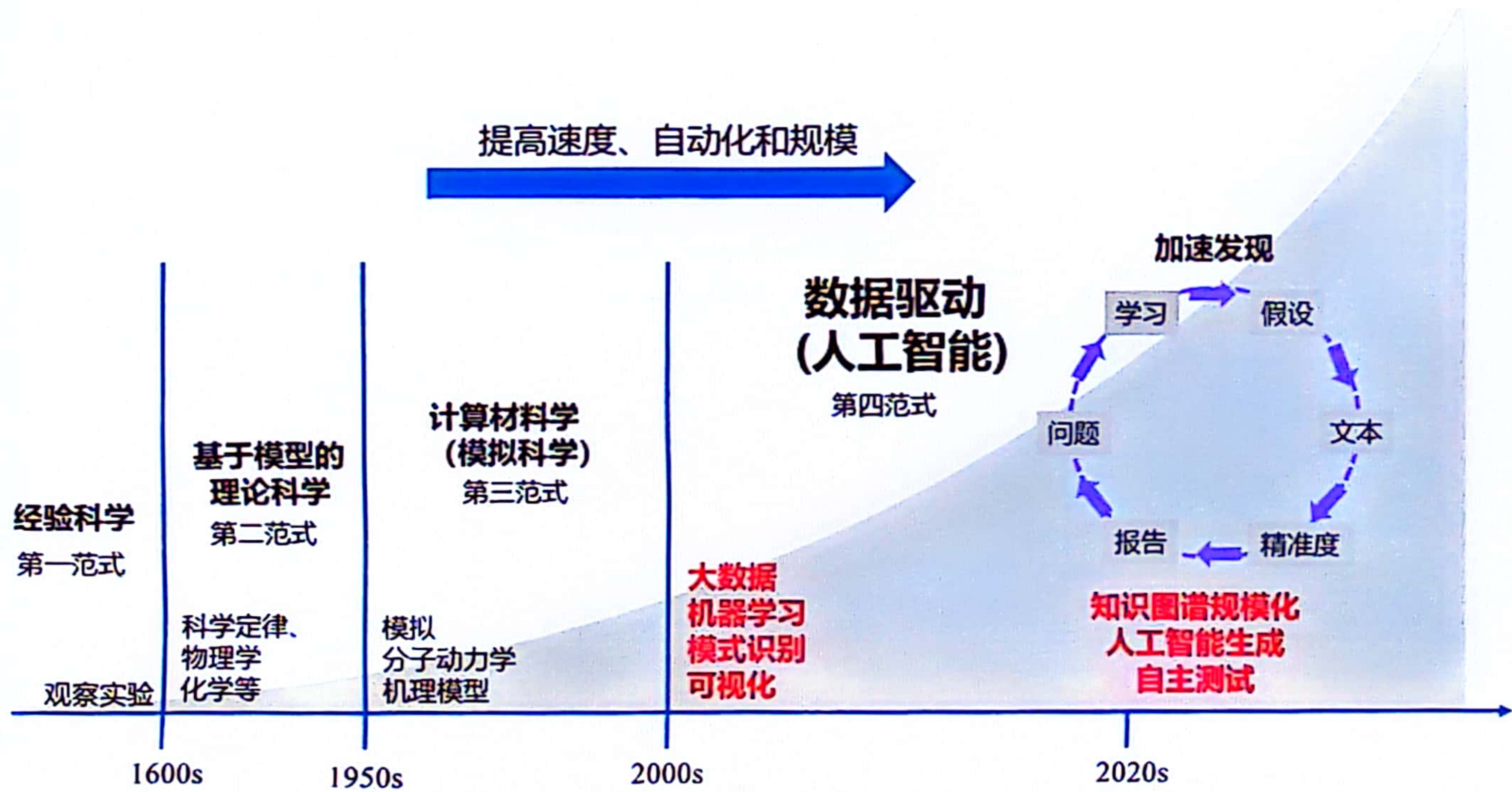
■ 采用锂金属负极的500瓦时/公斤:1000瓦时/升高比能量全固态电池产业化科学技术难题



- **材料层级:** 硫化物电解质化学稳定性和空气稳定性差, 批量生产难题; 正极材料NCM优化、锂金属负极的过渡层材料
- **界面层级:** 电极材料-固态电解质的界面相容性, 包括界面副反应、固-固界面机械接触和体积变化, 需要包覆与掺杂材料
- **电极层级:** 高面载复合电极动态应变条件下的电荷输运缓慢; 高电流密度下锂负极的循环稳定性; 需要粘结剂与分散剂材料
- **电芯层级:** 环境... 等静压压制方式的效率低, 电芯做大做厚难, 车载工况下电芯性能综合评估... 等

建立基于人工智能的全固态电池新型研发范式

■ 人工智能正在改变材料研发范式，将大幅加速全固态电池研发速度



Google DeepMind利用AI+DFT计算发现了220万个可能稳定结构



美国加州大学伯克利分校 A-Lab 自主设计合成新材料

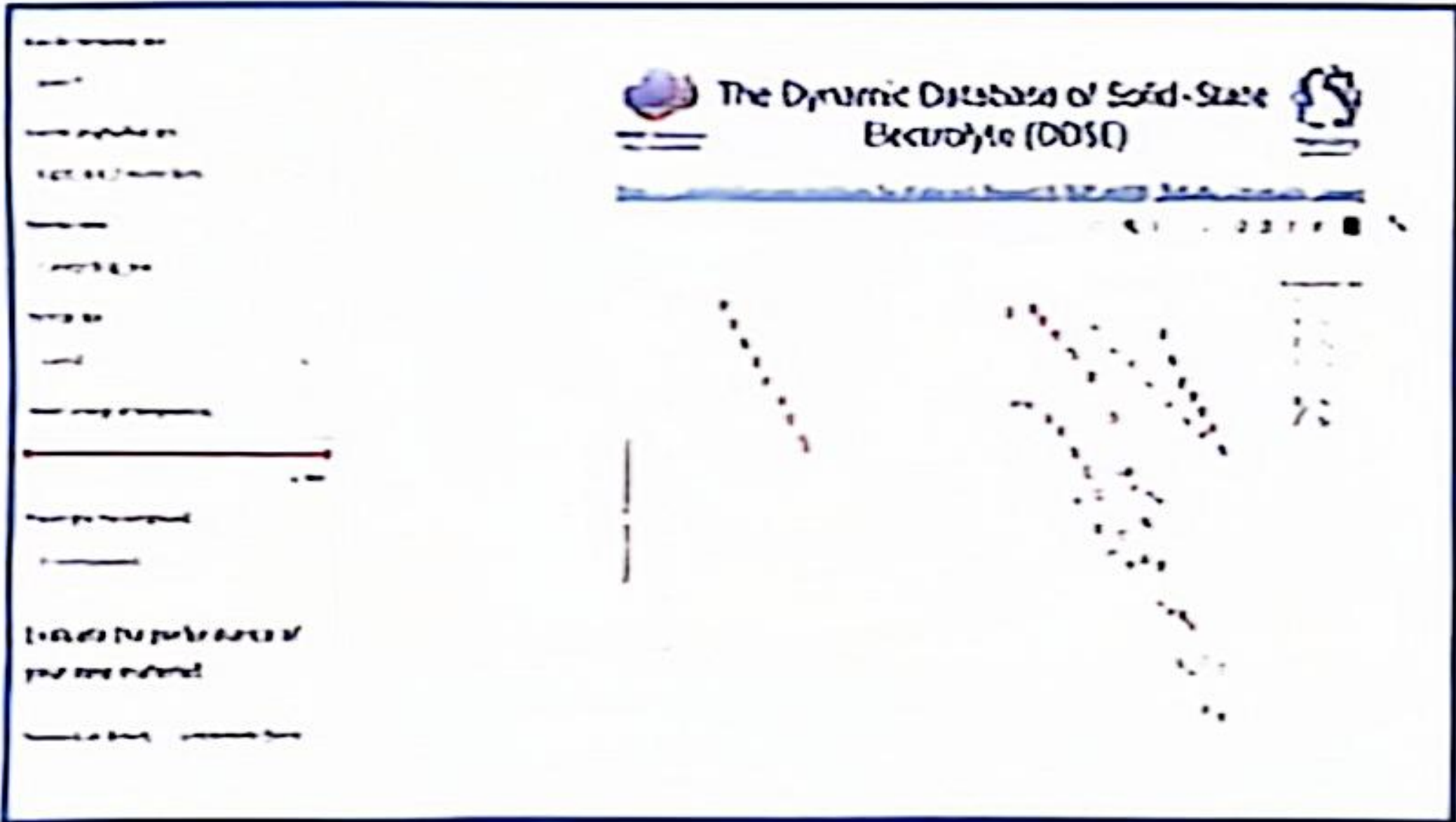
建立基于人工智能的全固态电池新型研发范式

- 国内缺少固态电池核心技术数据库，不利于明晰关键技术环节，难以集中研发力量
- 自GPT3.5、垂类大模型涌现，基于大数据与大模型的科学发现成为新一代研发范式
- 国际上开始用AI筛选固态电解质，国内急需大数据大模型提供智能服务，助力科研突破

知识产权及核心技术数据库缺失

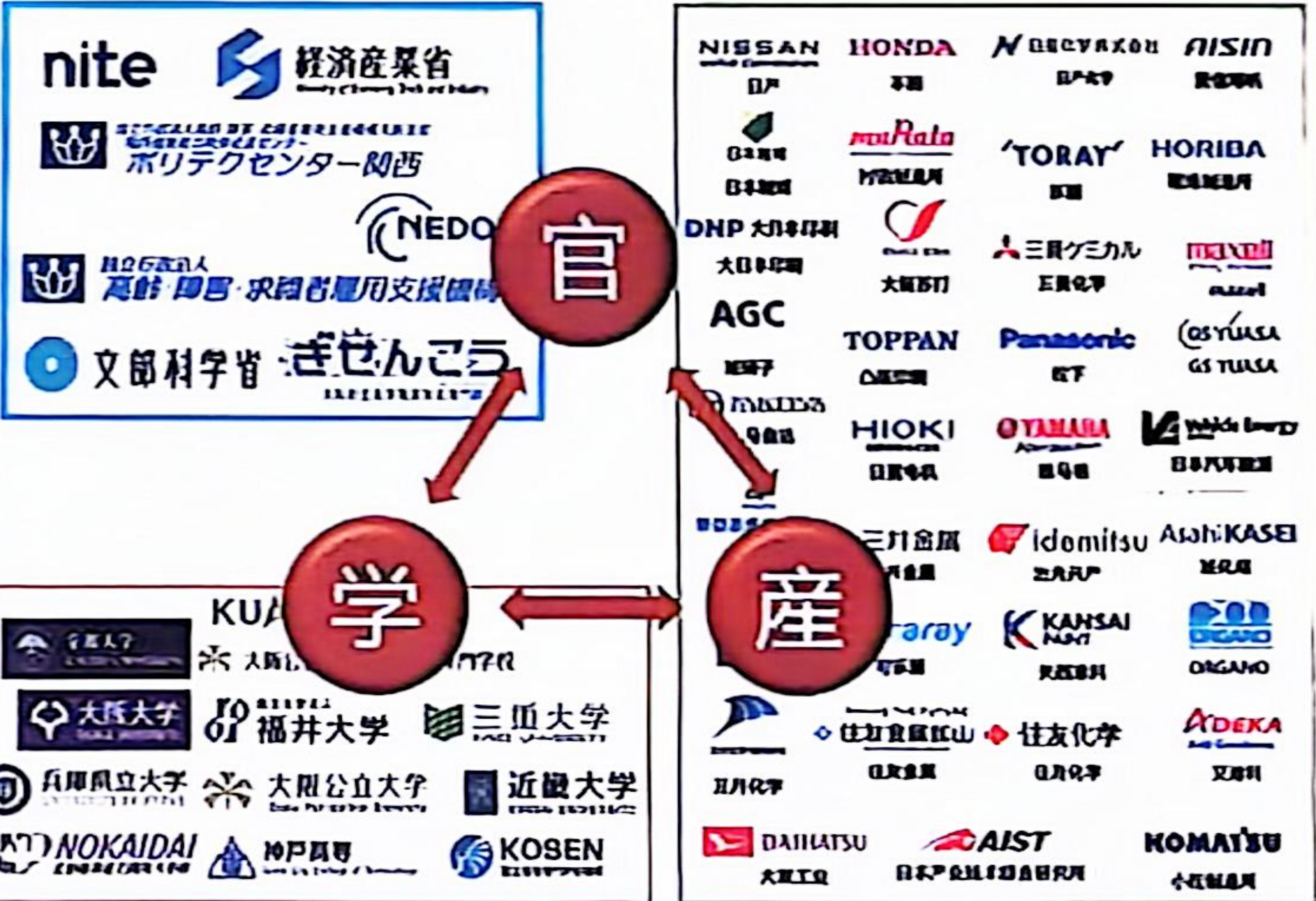
➢ 基于数据挖掘讨论固态电解质性质、发展历程，并预测新型固态电解质

➢ 我国全固态电池领域核心技术数据库尚未建立



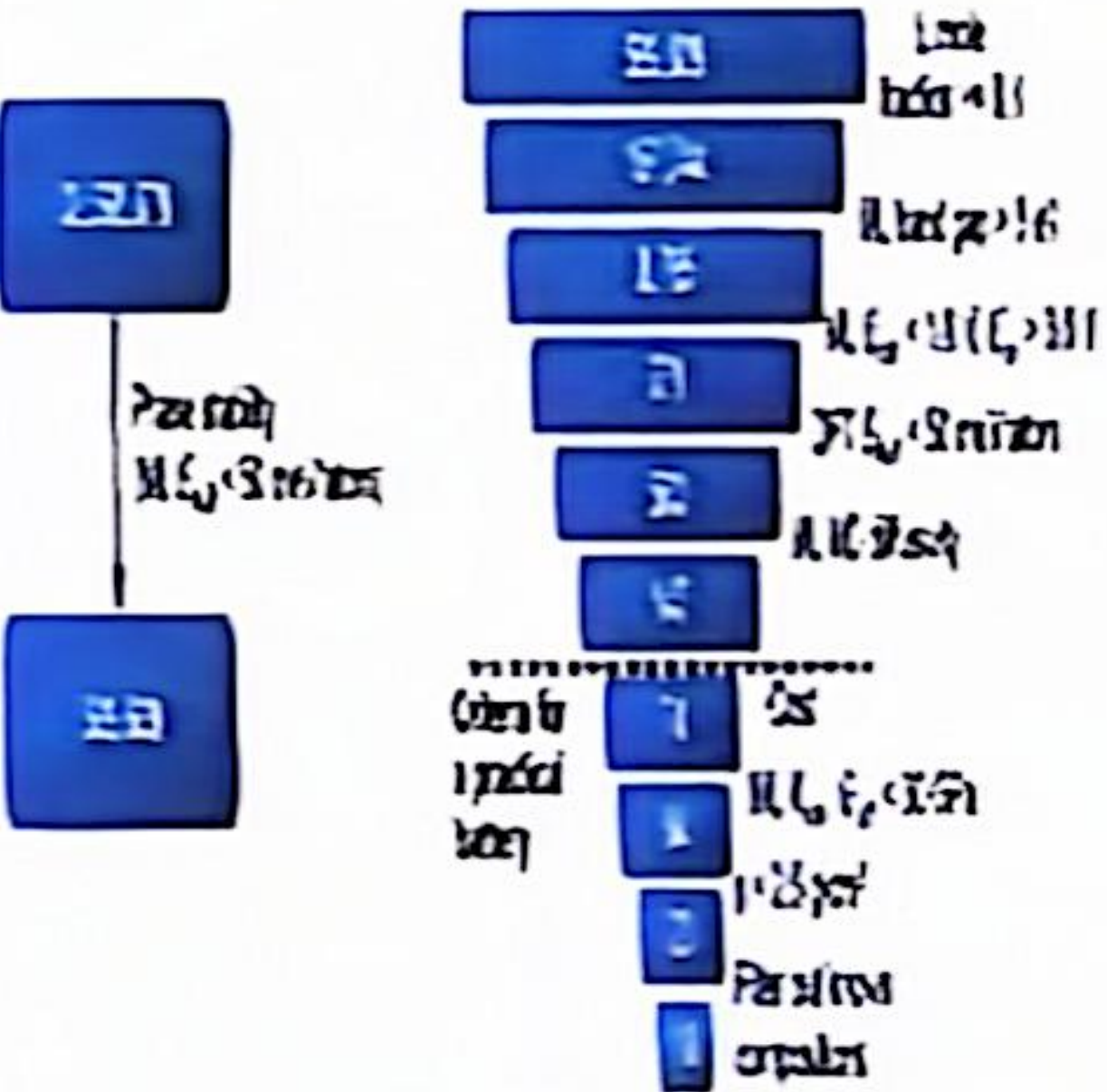
日本东北大学DDSE
dynamic database of solid-state electrolyte

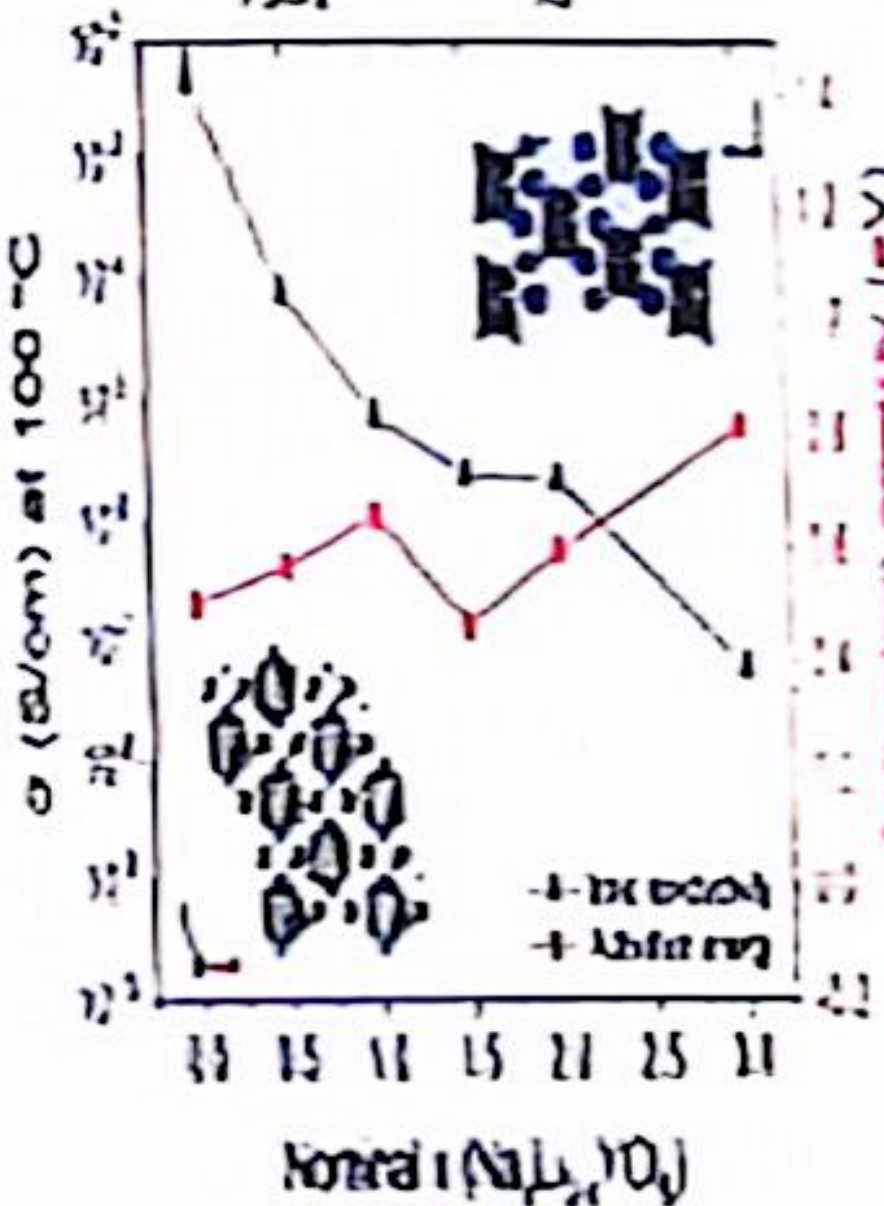
日本成立国家锂离子电池材料评估研究中心 (LIBTEC)



美国利用人工智能和高性能云计算筛选全固态电池电解质

➢ 微软与PNNL合作，从3200万种无机材料中选出1种固态电解质，完成预测到实验的闭环

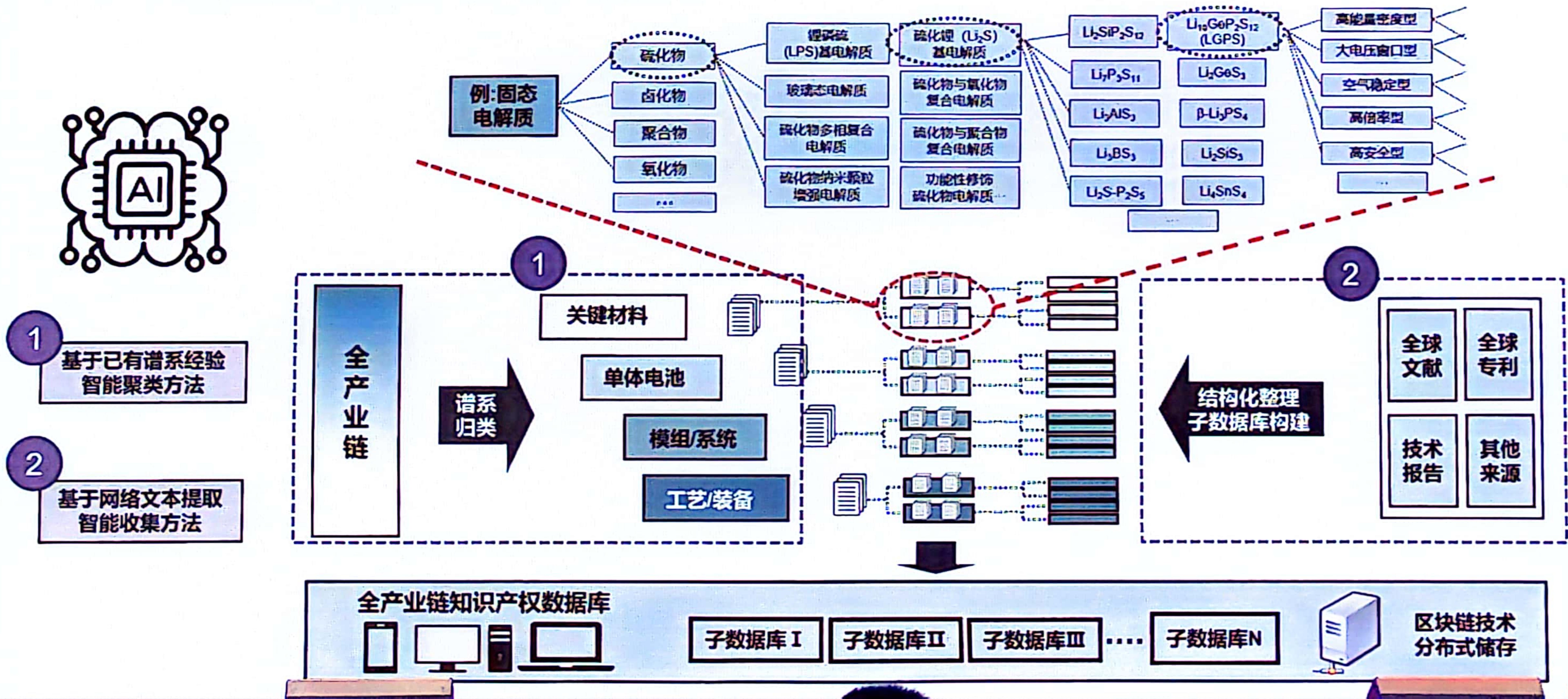




固态电解质筛选过程 实验验证

建立基于人工智能的全固态电池新型研发范式

■ 全产业链技术谱系及知识产权数据库建设



建立基于人工智能的全固态电池新型研发范式

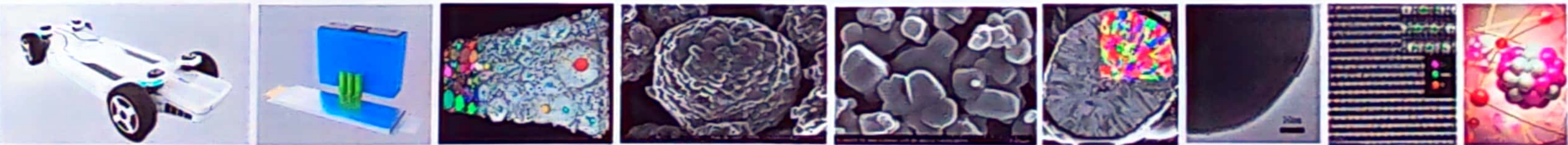
■ 从微观到宏观的表征-计算-分析-设计-开发平台建设



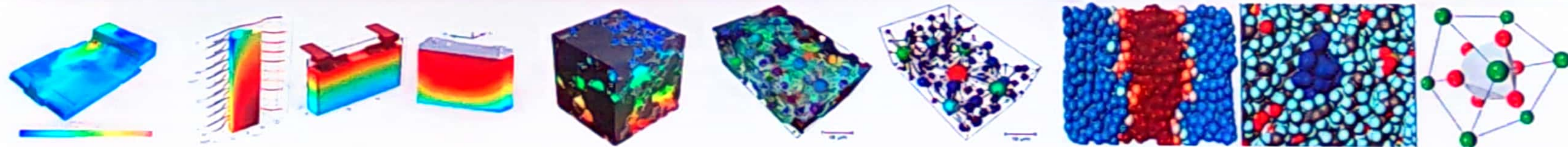
表征分析

宏观	安全性	可靠性	力学性质	物理性质	化学性质
电学、热学	BTS ARC IBC EIS LSV CV STA DSC				
波谱、光谱、色谱、质谱	HPLC GC IC ICP MS IR Raman NMR				
能谱、衍射	XRF ND XRD XAFS EBSD XPS EDS EELS				
形貌	Industrial CT		Micro CT		SEM SPM TEM STEM STM

多尺度问题

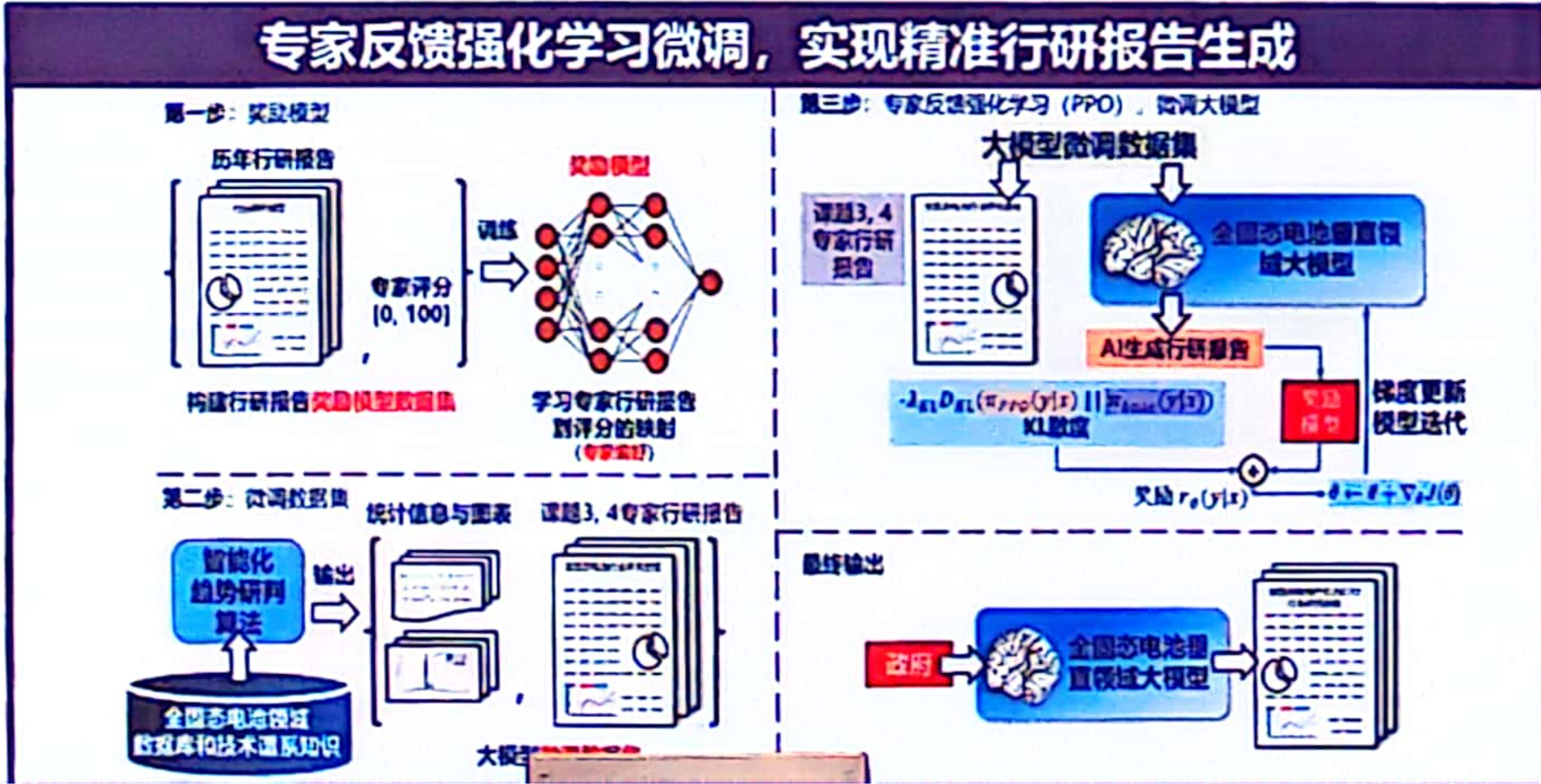
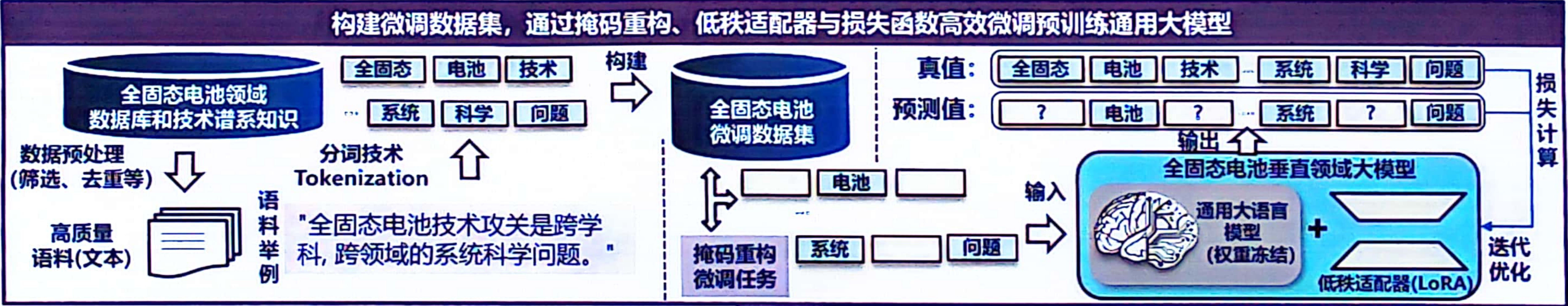


计算仿真



建立基于人工智能的全固态电池新型研发范式

■ 固态电池垂直领域大模型和智能化公共服务平台的研发





■结束语

- **产学研协同构建中国全固态电池技术平台：**2024年1月21日，欧阳明高院士牵头，院士专家，领军企业、知名高校、研究机构，以及地方政府联合发起，建立了**中国全固态电池产学研协同创新平台（CASIP）**

