

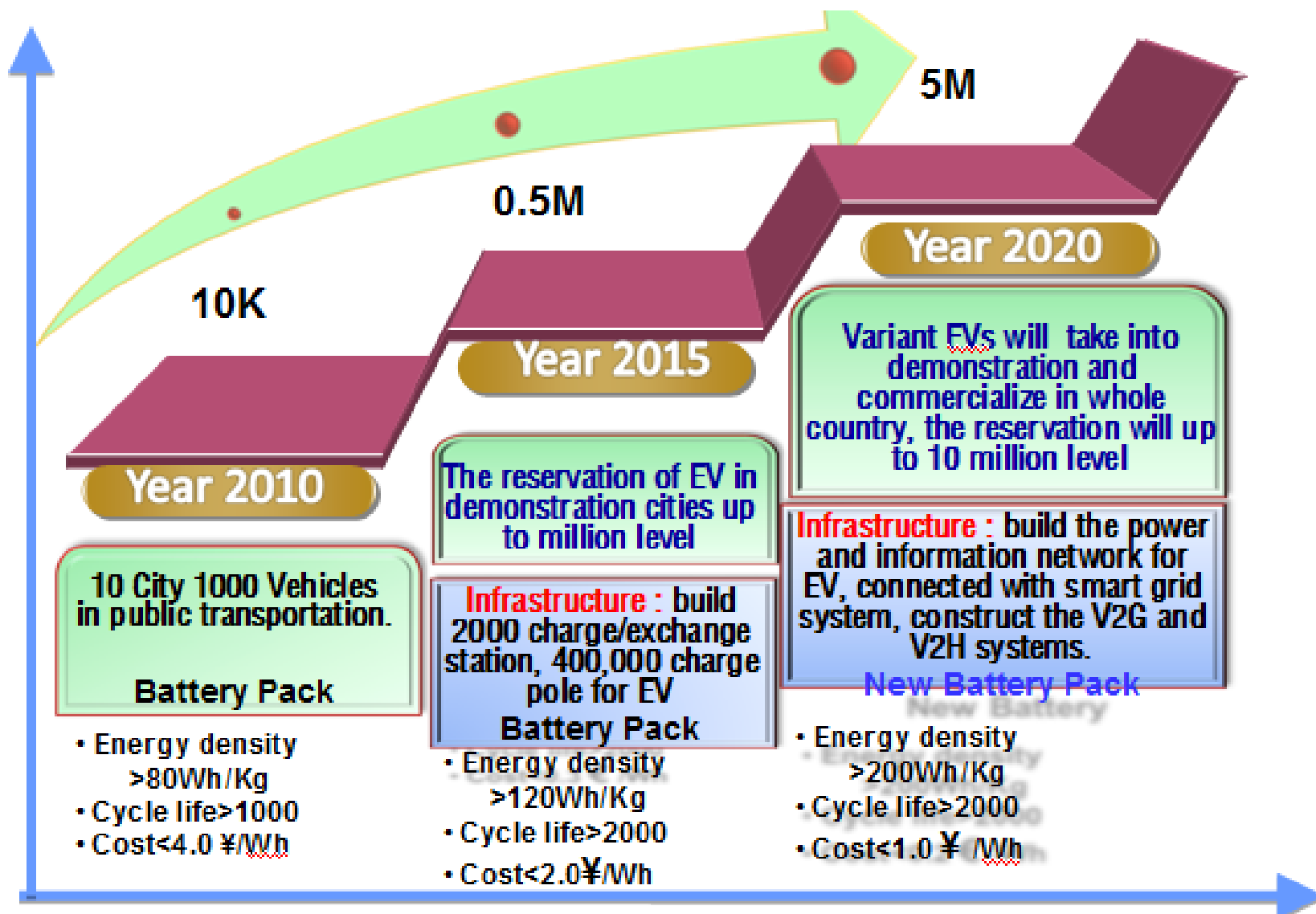


中国车用动力电池发展现状及趋势

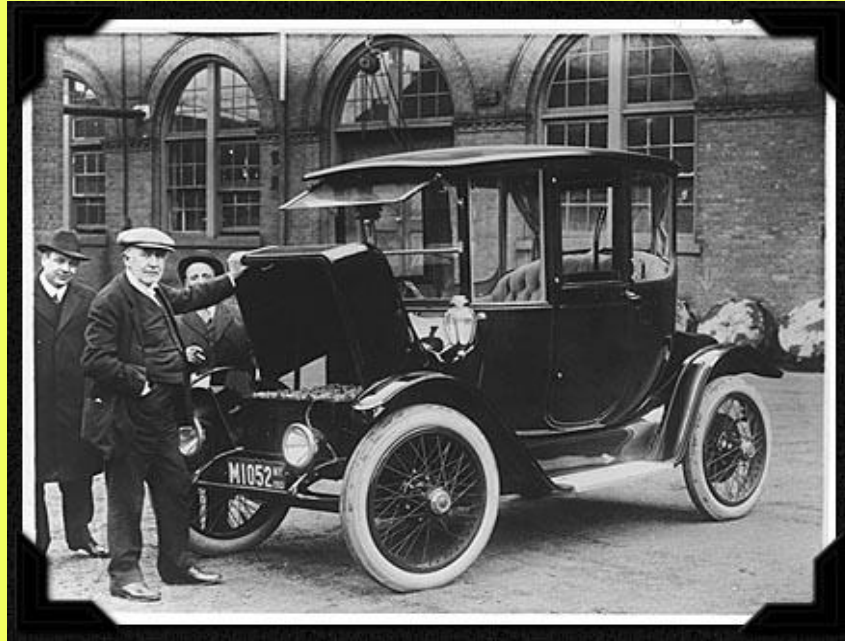
黄学杰

中国科学院物理研究所

2014.11.21



Tomas Edison and his electric car invent in 1913

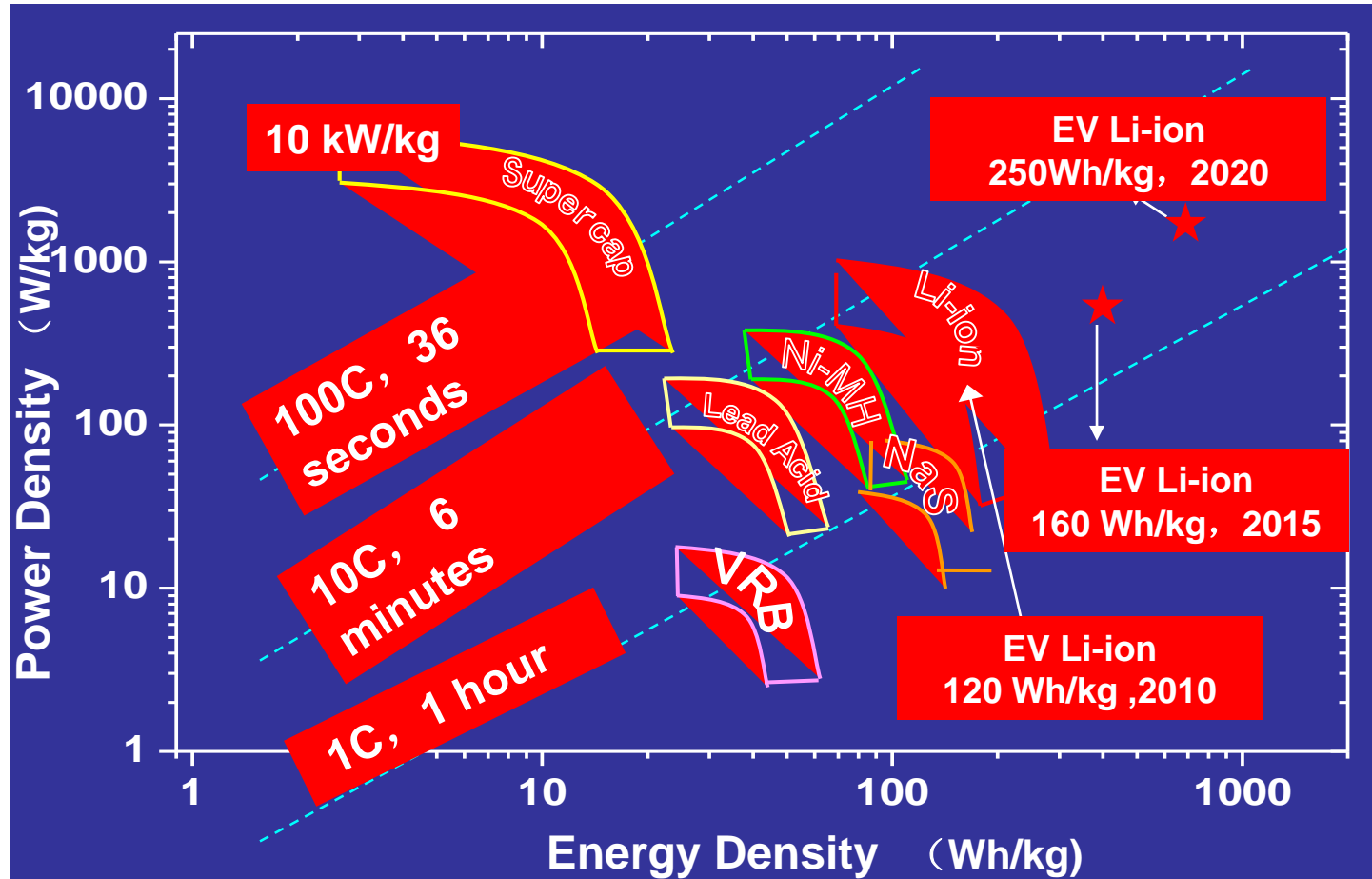


“Better batteries 10 years away”

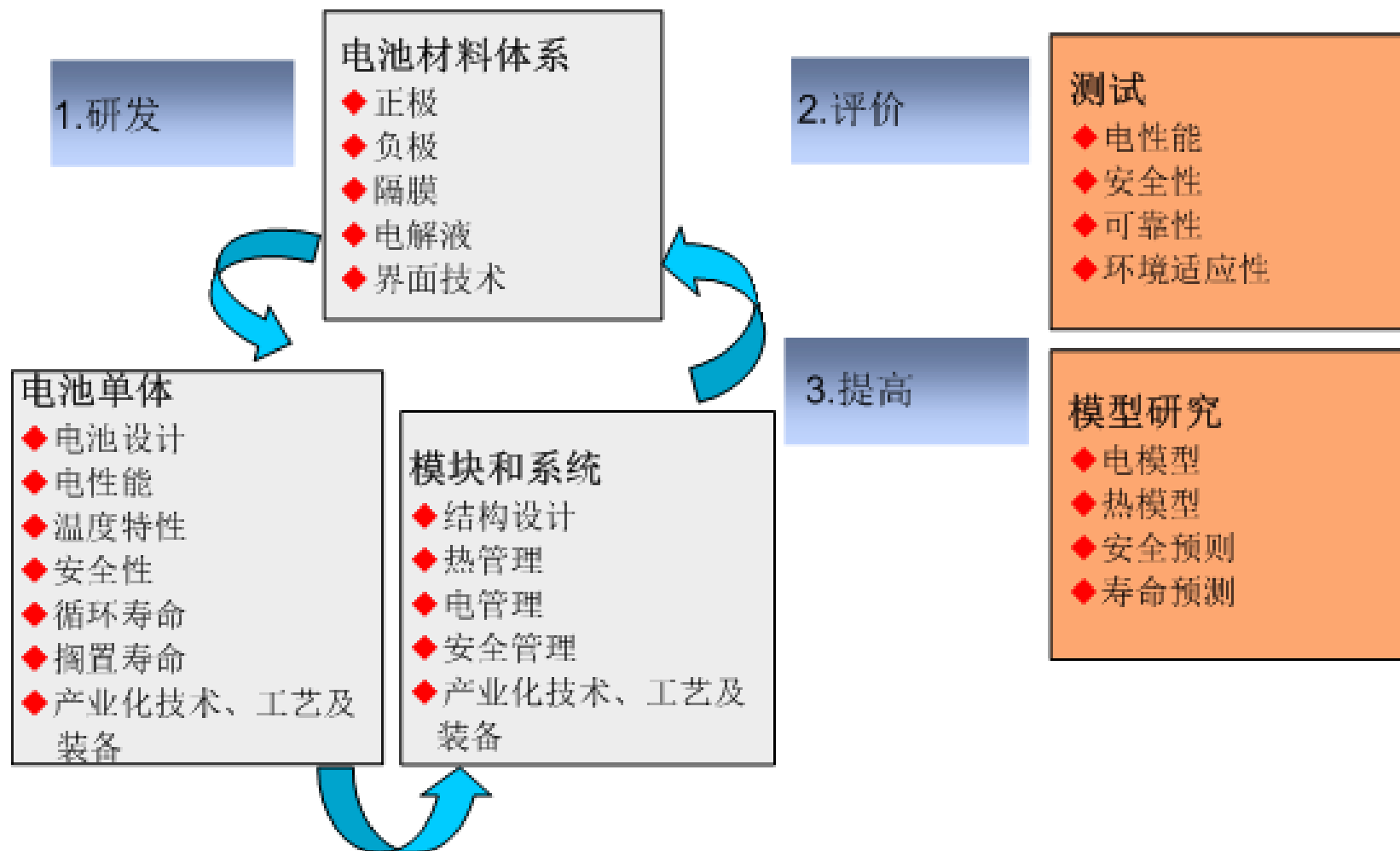
“Liars, damn liars, and battery manufacturers.” -Thomas Edison (Ni-Fe)

Source:
US DOE

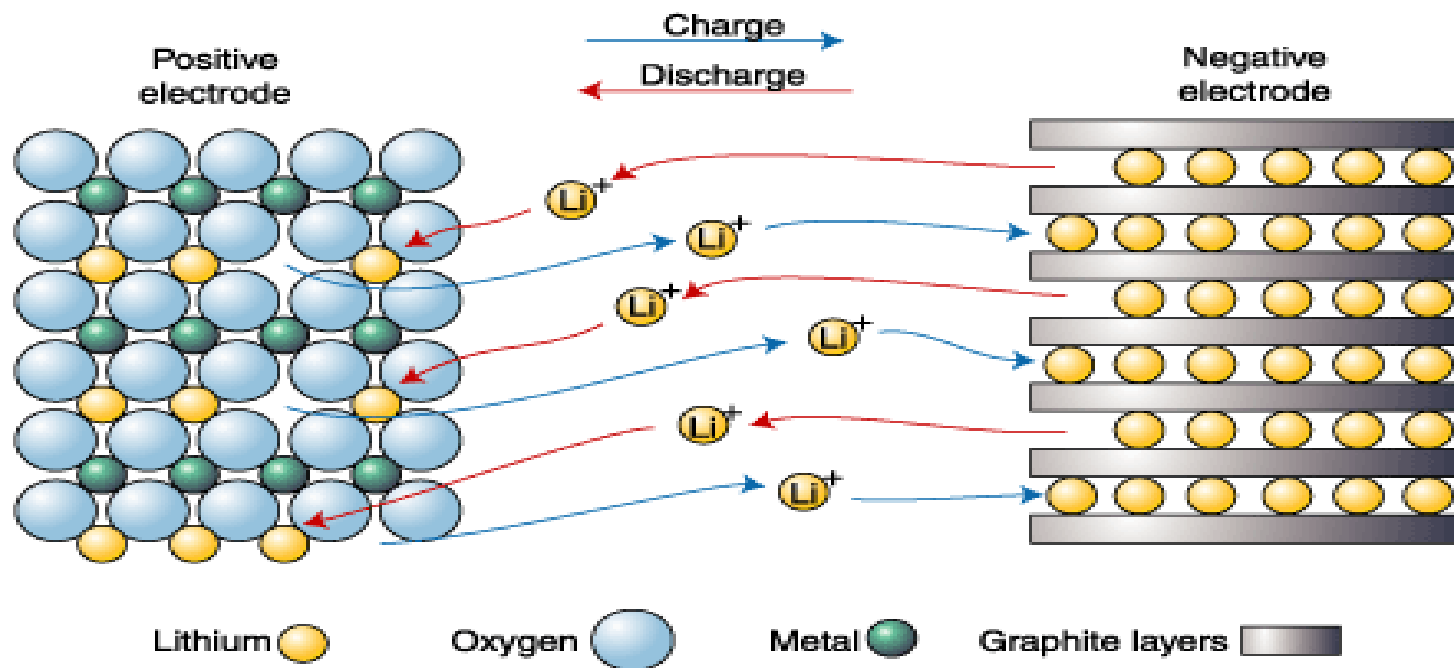
Electrochemical energy storage technologies



动力电池技术链



高性能电池的发展依赖于正极/负极/隔膜/电解质等关键材料技术的进步



正极

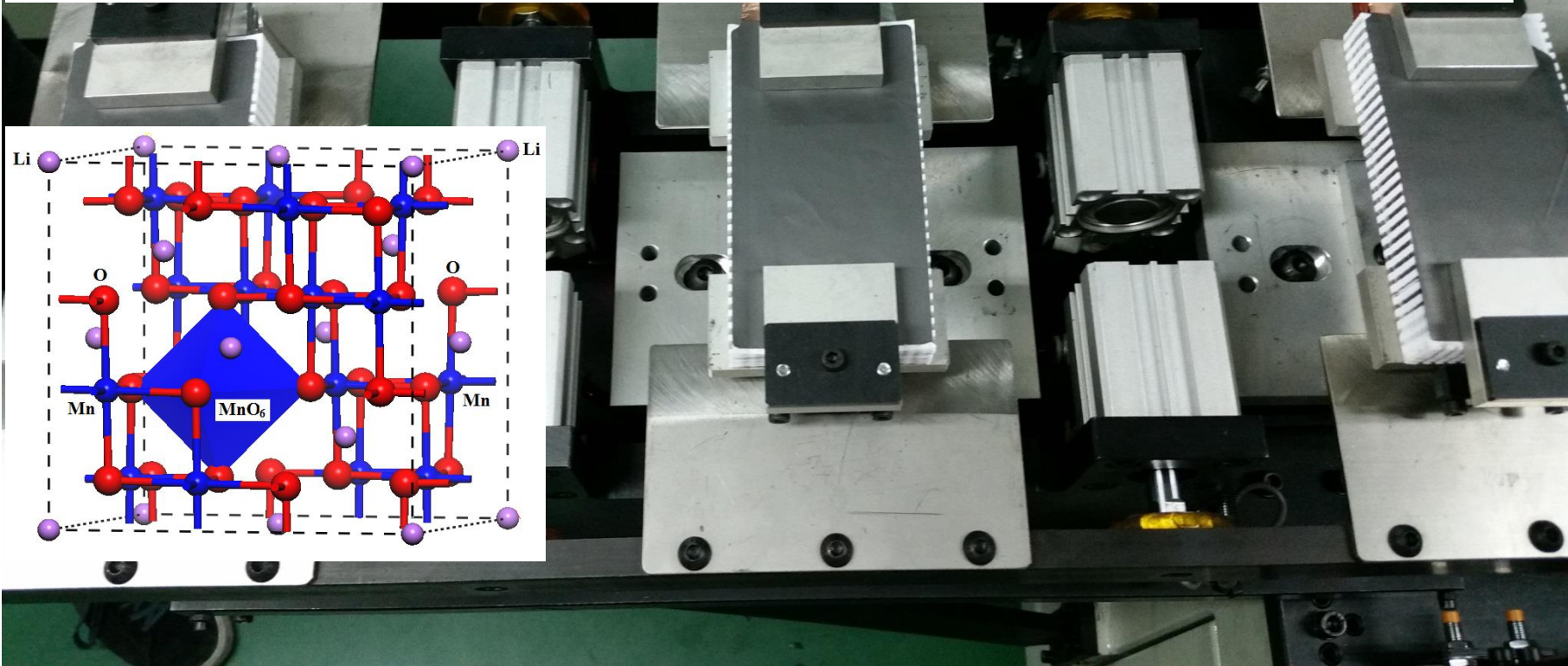
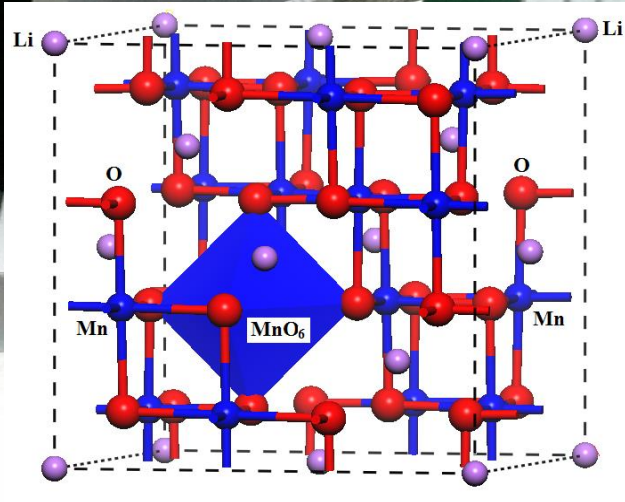
隔膜/电解质

负极

| 正极材料 Cathode materials | 相对于金属锂的平均电压 (V vs Li) | 可用比容量 (mAh/g) | 正极材料比能量 (Wh/kg, 按相对于金属锂的平均电压计算) | 与石墨负极结合电池预期比能量 (Wh/kg) | 安全性和成本和寿命预测 |
|--|--------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 钴酸锂 LiCoO ₂ | 3.9 | 140 | 546 | 200 | 电池体积能量密度高, 寿命长, 成本高、安全性低 |
| 改性锰酸锂 LiMn ₂ O ₄ | 4.0 | 110 | 440 | 140 | 安全性好, 成本低, 但寿命较短 |
| 磷酸铁锂 LiFePO ₄ | 3.4 | 155 | 527 | 160 | 安全性最好, 成本较低, 寿命很长 |
| 三元材料 NCM | 3.8 | 160 | 646 | 220 | 安全性偏低, 成本较低, 寿命较长 |
| 高压锂镍锰尖晶石 LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ | 4.7 | 130 | 611 | 200 | 安全性高, 成本较低, 技术待突破 |
| 富锂锰基正极材料 Li-rich oxides | 3.6 | 270 | 972 | 280 | 安全性偏低, 成本较低, 需继续研究 |

LiMn₂O₄(LMO) cells

- High safety
- Low cost
- 140Wh/Kg



自主开发机械装备

◆ 装备特点：适应平板包膜的自主开发

根据工艺特点，成功地开发了包膜机，并获得了专利权。将隔膜包覆在正极表面，直接进行叠层作业。



第一代包膜机

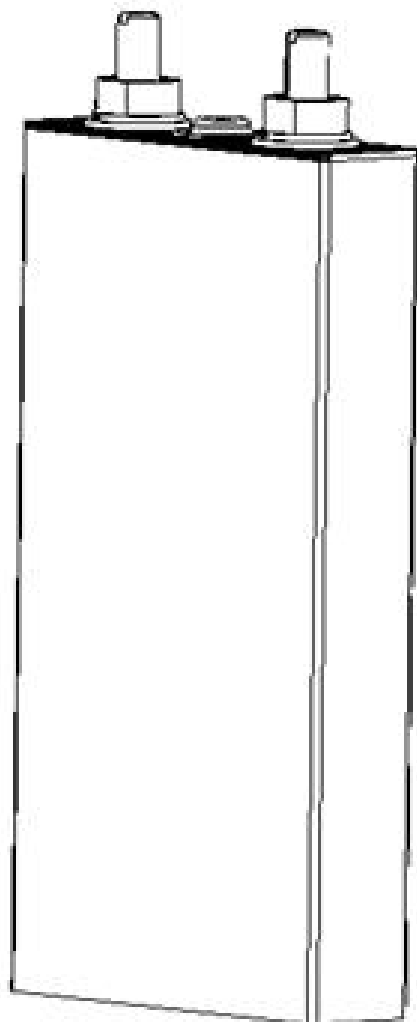


第二代包膜机



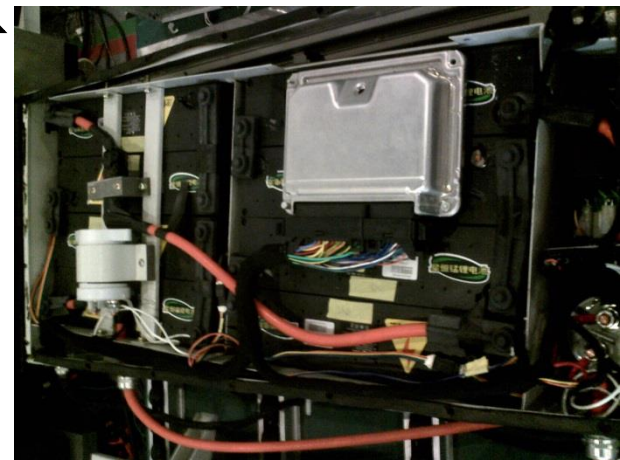
叠片机

星恒产品——高功率锰酸锂电芯



| 1．基本特性 | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------|
| 型号 | IMP20/66/148-08PS | |
| 厚 × 宽 × 高 | 20mm × 66mm × 148mm | |
| 额定电压 | 3.7V | |
| 额定容量 | 8Ah | |
| 内阻 | ≤6mΩ | |
| 放电截止电压 | 2.7V | |
| 最大充电电压 | 4.2V | |
| 最大充电电流 | 8C（10s） | |
| 充电方法 | CC/CV（恒流恒压） | |
| 最大放电电流 | 20C（20s） | |
| 重量 | <420g | |
| 工作温度 | 充电 | 0～45℃ |
| | 放电 | -20～45℃ |
| 存储温度（半电存储，3个月需补充电一次） | -10～35℃ | |
| 2．技术特性 | | |
| 常温容量C ₁ | ≥7.5Ah | |
| 倍率放电 | 2C | >95% C ₁ |
| | 3C | >90% C ₁ |
| | 5C | >85% C ₁ |
| 循环寿命 | 1000次（常温1C循环至60%，100%DOD） | |

星恒锂离子电池： 从电动自行车走向电动汽车



LiFePO₄(LFP) cells

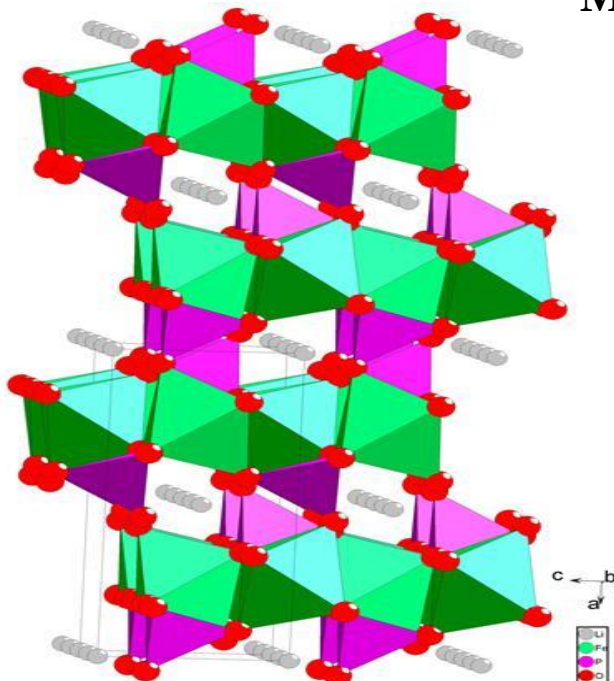


M. Armand

~170 mAh/g

$\varphi_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 3.4 \text{ V}$

$\varphi_{\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}} = 4.0 \text{ V}$



LiFePO₄

1999

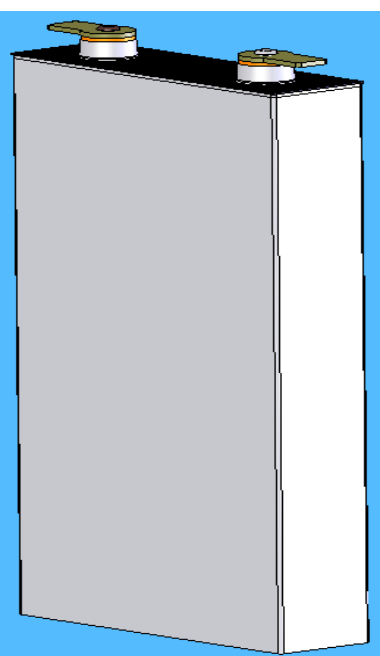
Carbon Coating

□ High Safety

□ Low cost

□ Long life

40Ah LFP cells(120Wh/Kg, 1000W/Kg)



the standard in safety Underwriters Laboratories

NOTICE OF AUTHORIZATION TO APPLY THE UL MARK 2009-07-29

Yllon Battery (suzhou) Co Ltd
 JAMES LEE
 Jiangyang Rd
 Suzhou Jiangsu 215011, CN

UL Reference: File MH29933, Vol. 1 Project Number: D9CA21458
 Our Reference: Susie Huang, 4-7-09
 Object Scope: USR - Secondary Lithium Ion cell, Model IFP32101/192HA for UL Investigation.

Dear Mr. JAMES LEE:

UL's investigation of your product(s) has been completed under the above Reference Number and the product was determined to comply with the applicable requirements.

This letter temporarily supplements the UL Follow-Up Services Procedure and serves as authorization to apply the UL Mark only at authorized factories under UL's Follow-Up Service Program.

To provide the manufacturer with the intended authorization to use the UL Mark, the addressee must send a copy of this notice to each manufacturing location currently authorized in File MH29933, Vol. 1.

This authorization is effective from the date of this Notice and only for products at the indicated manufacturing locations. Records in the Follow-Up Services Procedure covering the product are now being prepared and will be sent in the near future.

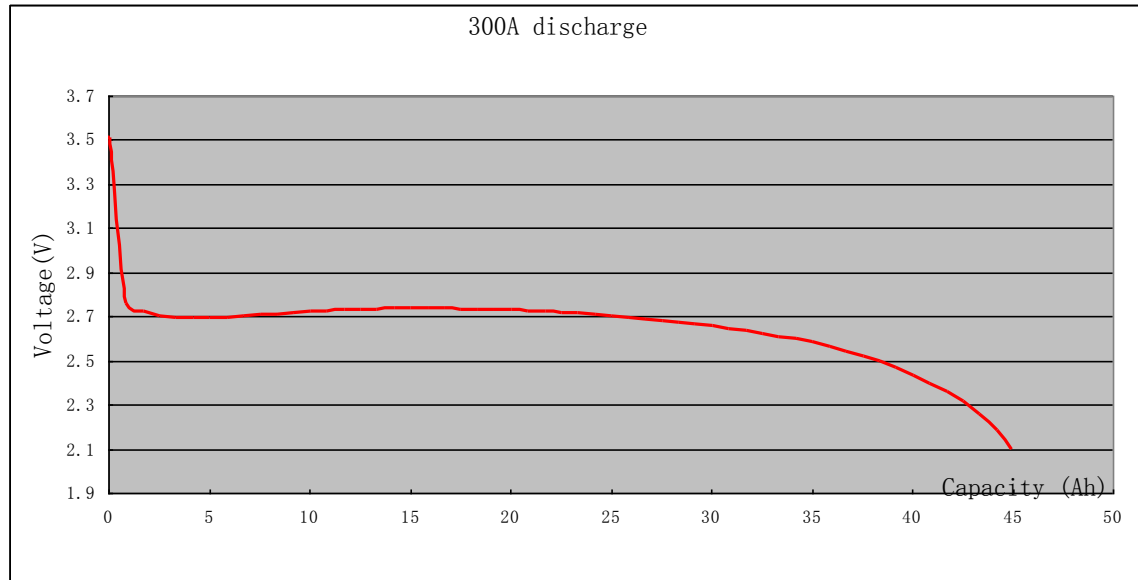
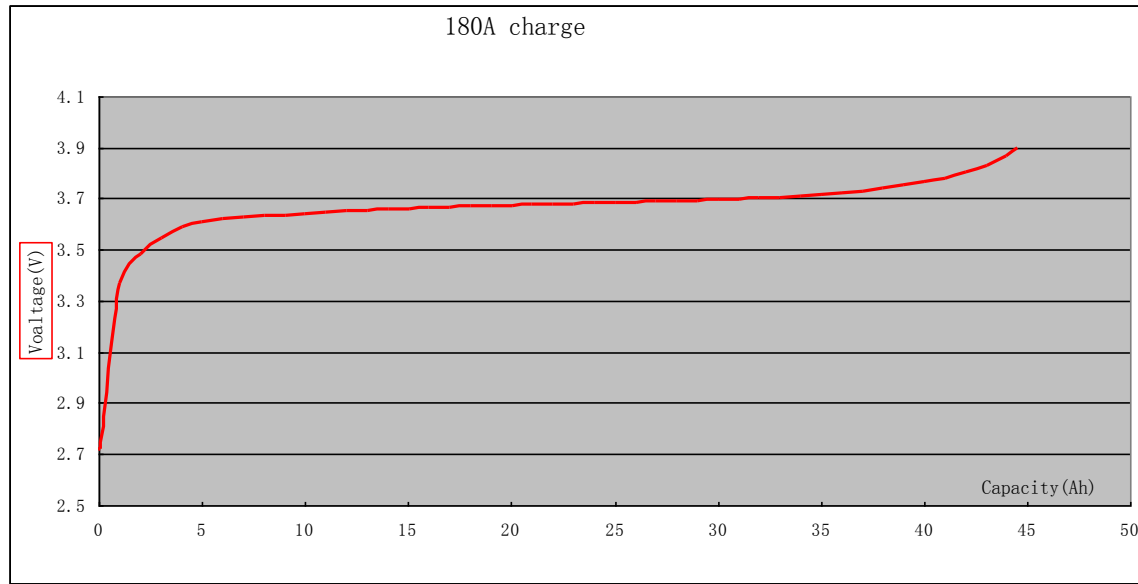
Products that bear the UL Mark shall be identical to those that were evaluated by UL and found to comply with UL's requirements. If changes in construction are discovered, appropriate action will be taken for products not in conformance with UL's requirements and continued use of the UL Mark may be withdrawn. UL may elect to withdraw use of the UL Mark if the Applicant or Manufacturer fails to comply with UL's requirements including ongoing compliance of the product, under UL's Follow-Up Service.



This is an electronically generated letter. Signatures are not required for this document to be valid. Page 1 of 2

| | | |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------|
| Dimensions | 32mm x 100mm x 192mm | |
| Nominal Voltage | 3.2V | |
| Impedance (1KHz AC) | ≤2mΩ | |
| Power density | 1000W/Kg | |
| Energy density | 120Wh/Kg | |
| Operating temperature range | Charge | 0~45℃ |
| | Discharge | -20~45℃ |
| Storage temperature range | -10~35℃ | |
| 1C Discharge capacity | ≥40Ah (C ₁) | |
| Rate Capability | 5C | >90% C ₁ |
| Cycle life | >2000 (100%DOD) | |

Rate performances of 40Ah LFP cell at 25°C

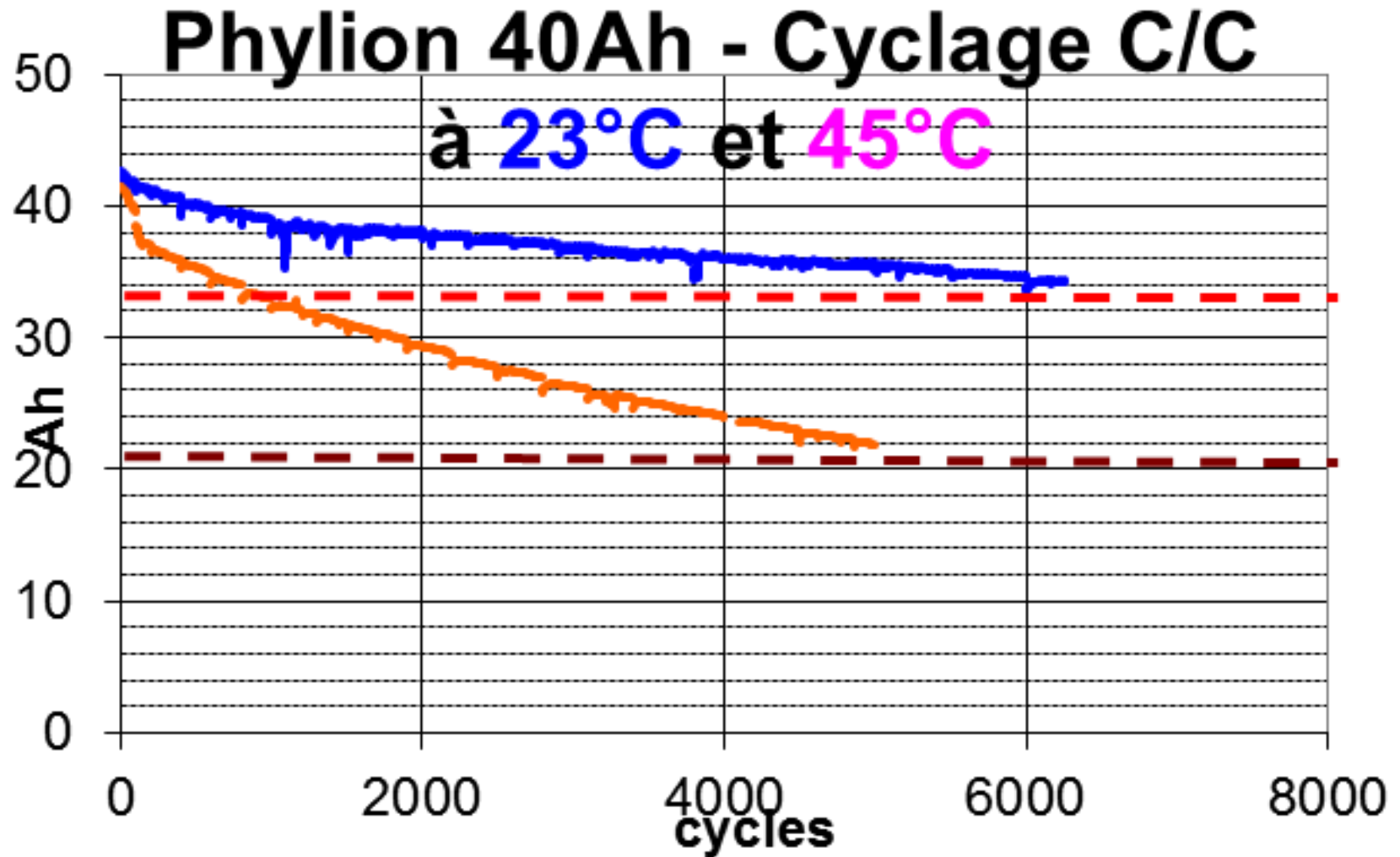




- 法国MIA电动汽车
 - 续航里程：128~130公里*
 - 最高时速：110公里/小时
 - 充电时间：3小时
 - 市场售价：19500~22500欧元
 - 主推行业：城市汽车共享租赁。
- 2010年10月开始推广，首批销售73辆；
 - 2011年进入共享租车业务，订单为938辆；
 - 2012年开始对私人销售。

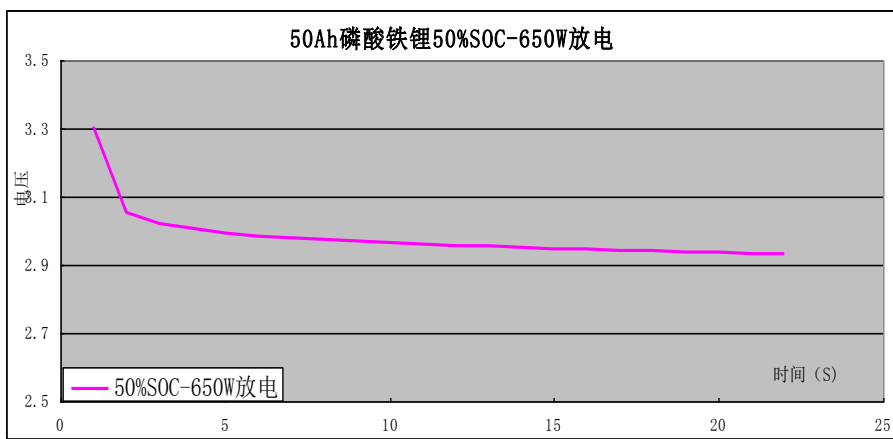


40Ah Cell test by EDF in France (2008-2010)

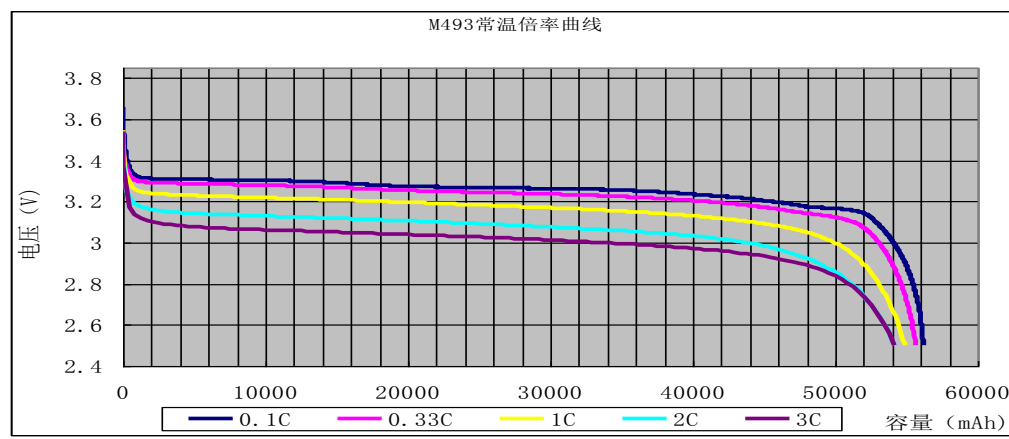


50Ah磷酸铁锂铝壳动力电池

| 50Ah磷酸铁锂电池 | 单位 | 最终指标 | 2013年实测 |
|------------|-------|-------------|-------------|
| 容量 | Ah | 50 | 54.772 |
| 功率密度 | W/Kg | ≥ 600 | 915.578 |
| 能量密度 | Wh/Kg | ≥ 140 | 146.982 |
| 循环寿命 | %SOC | ≥ 1600 | 1200次余94.1% |



功率密度测试曲线

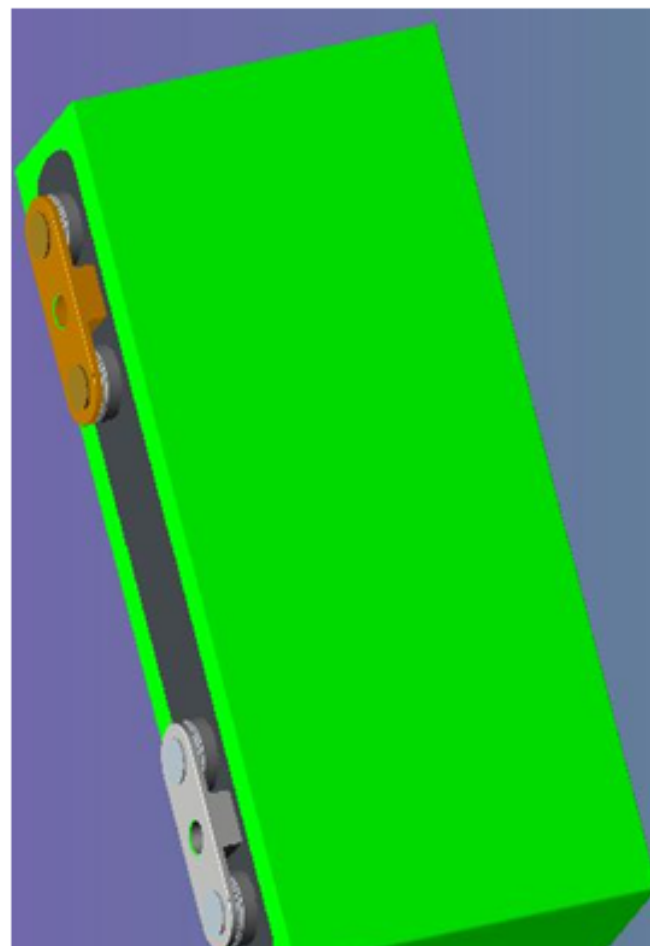


常温倍率测试曲线

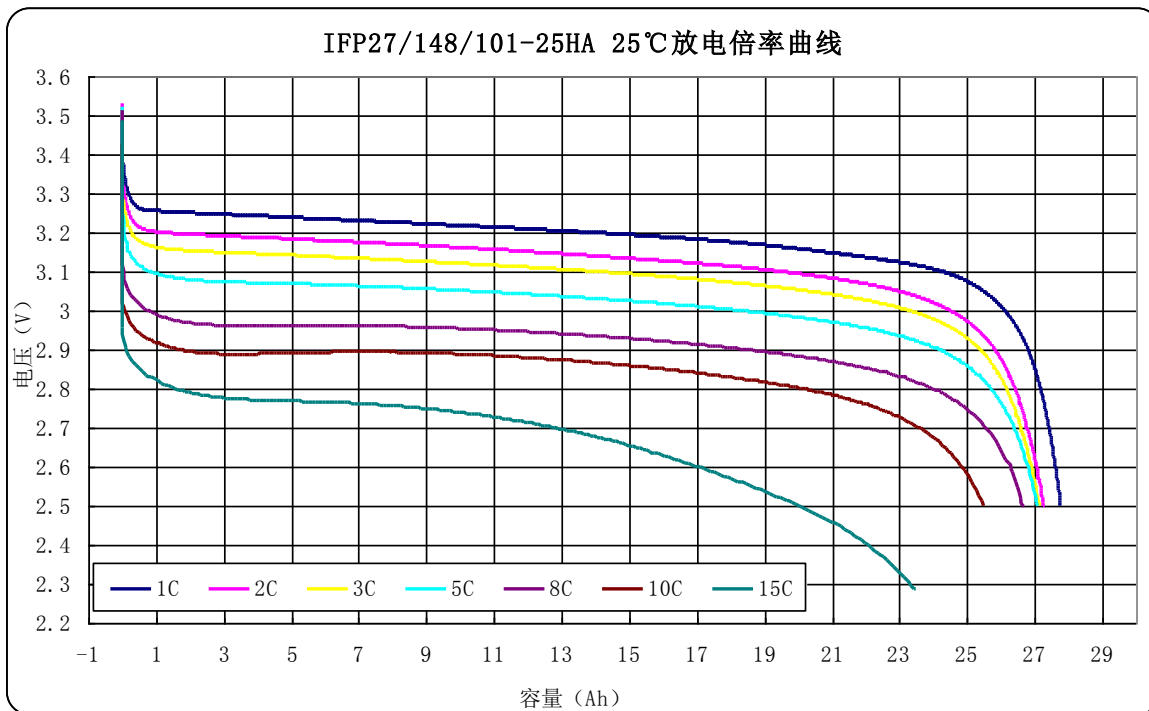
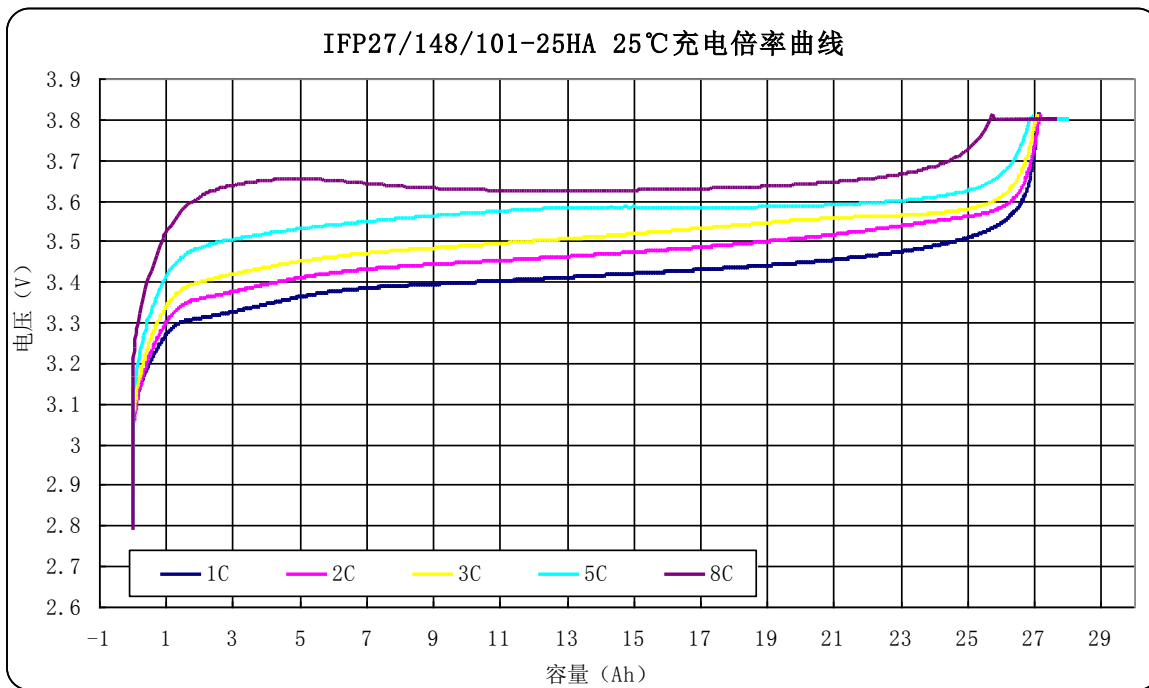
25Ah LFP Comprising Energy and Power Cell

1. IFP27/148/101-25HA Prismatic Al Case Cell Specification

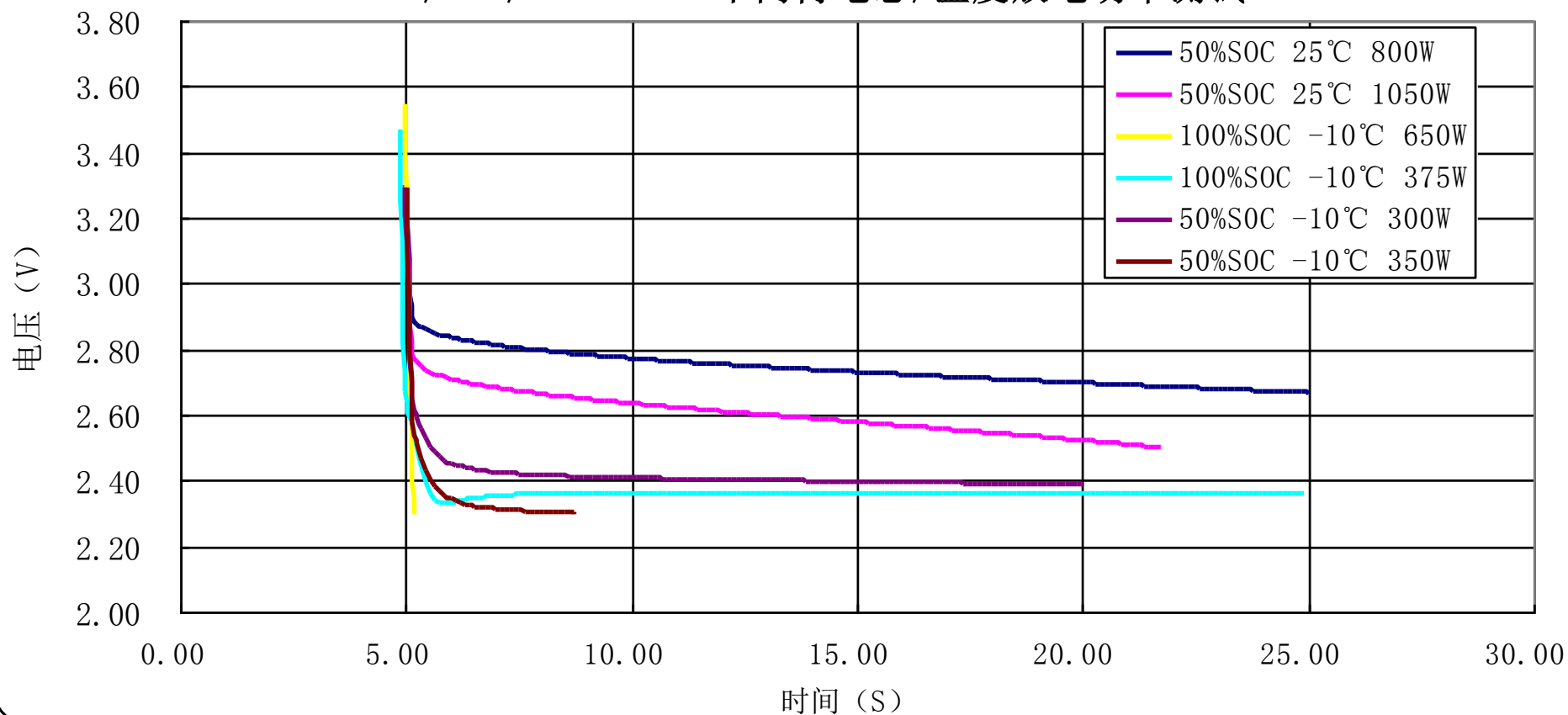
| IFP27/148/101-25HA Prismatic Al Case Cell Specification | | Shanghai H&D EV Battery |
|---|----------------------|-------------------------|
| 1 Basic parameter | | |
| Type | IFP27/148/101-25HA | |
| T x W x H (max) | 27mm x 148mm x 101mm | |
| Nominal Voltage | 3.2V | |
| Nominal CapacityC ₂ | 25Ah (0.5C) | |
| Internal Resistance | ≤1.5mΩ | |
| Discharge Voltage Limit | 2.5V | |
| Charge Voltage Limit | 3.8V | |
| Max. Charge Current | 5C | |
| Max. Discharge Current | 8C | |
| Charge Method | CC/CV | |
| Weight | ≤775g | |
| Operate Temp. | Charge | 0~45℃ |
| | discharge | -20~50℃ |
| Storage Temp.(storage | | |



LFP/graphite cell

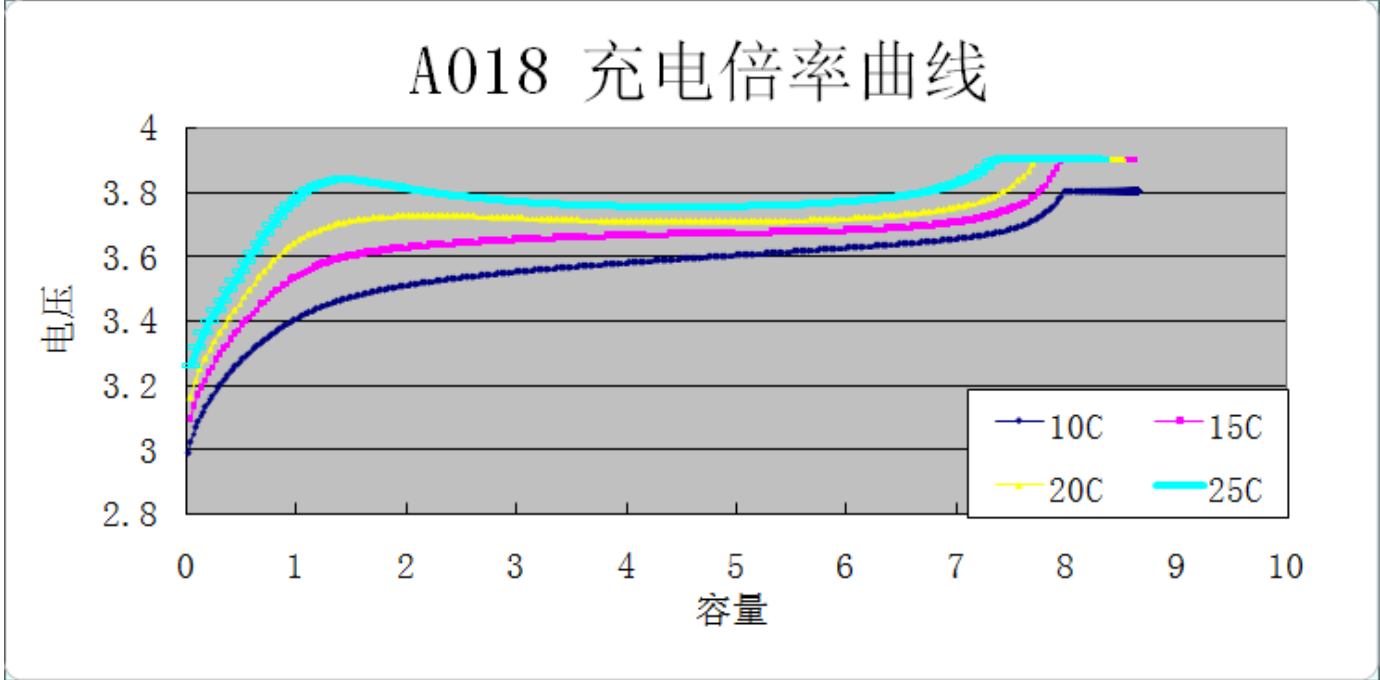


IFP27/148/101-25HA 不同荷电态/温度放电功率测试

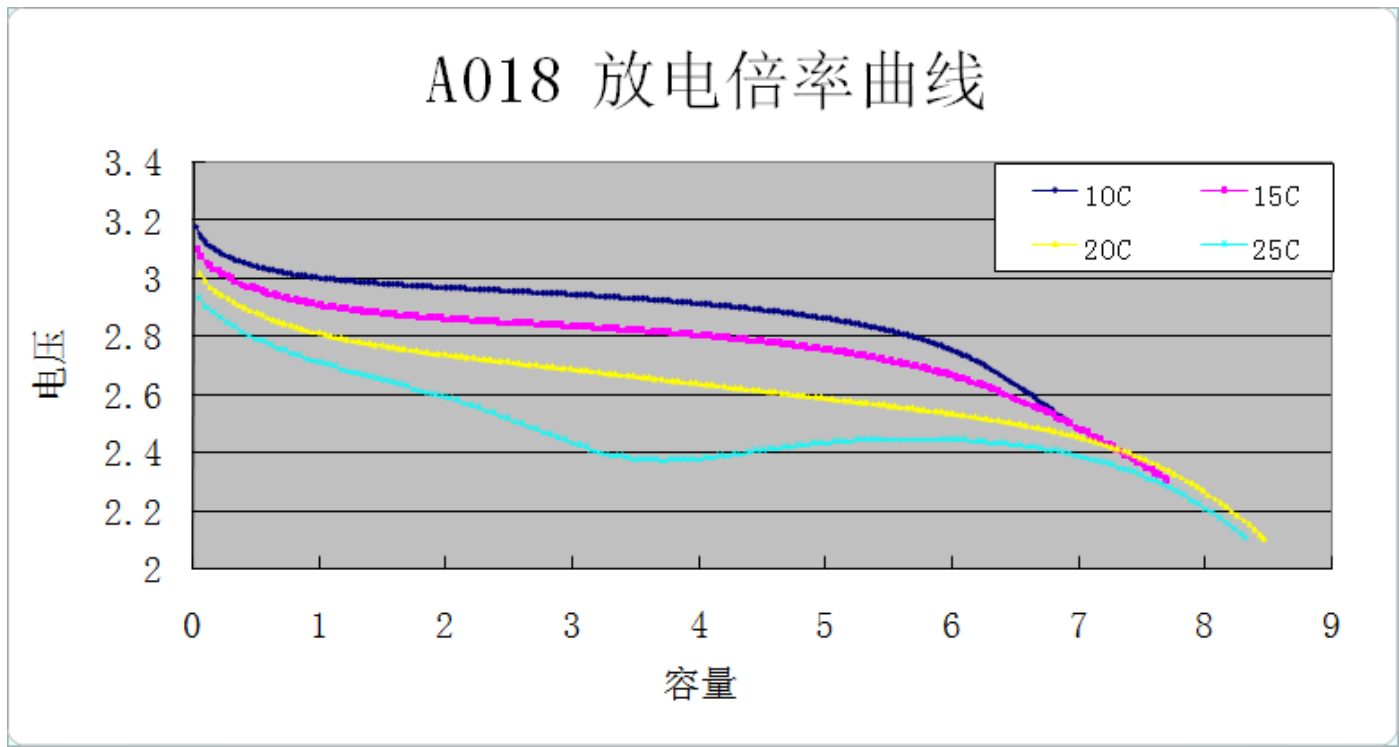


LFP/graphite cell

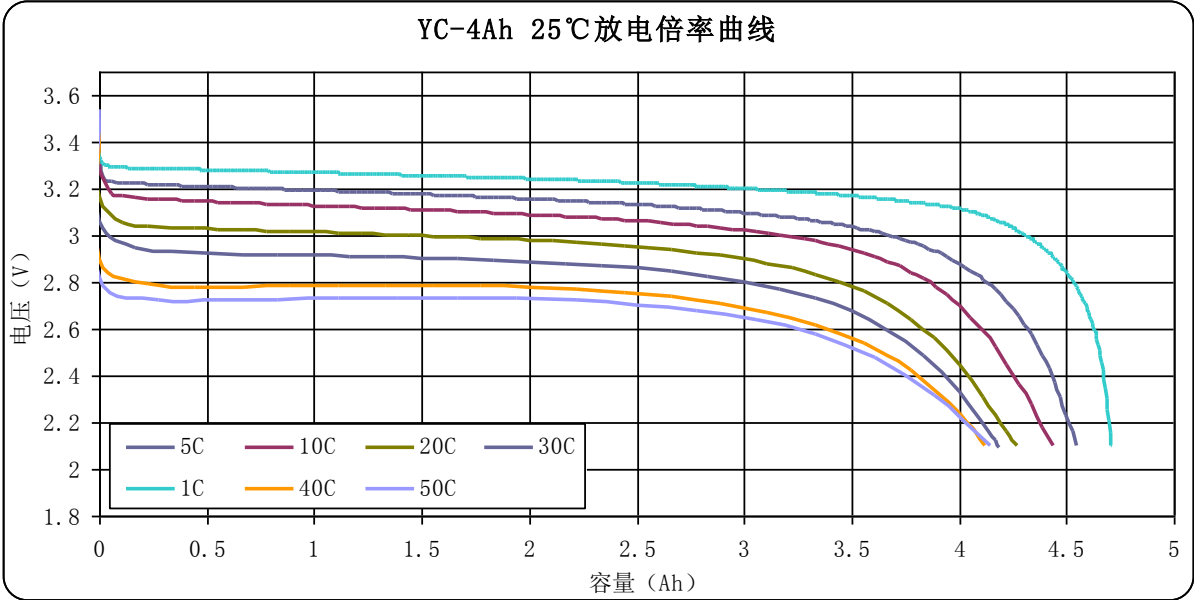
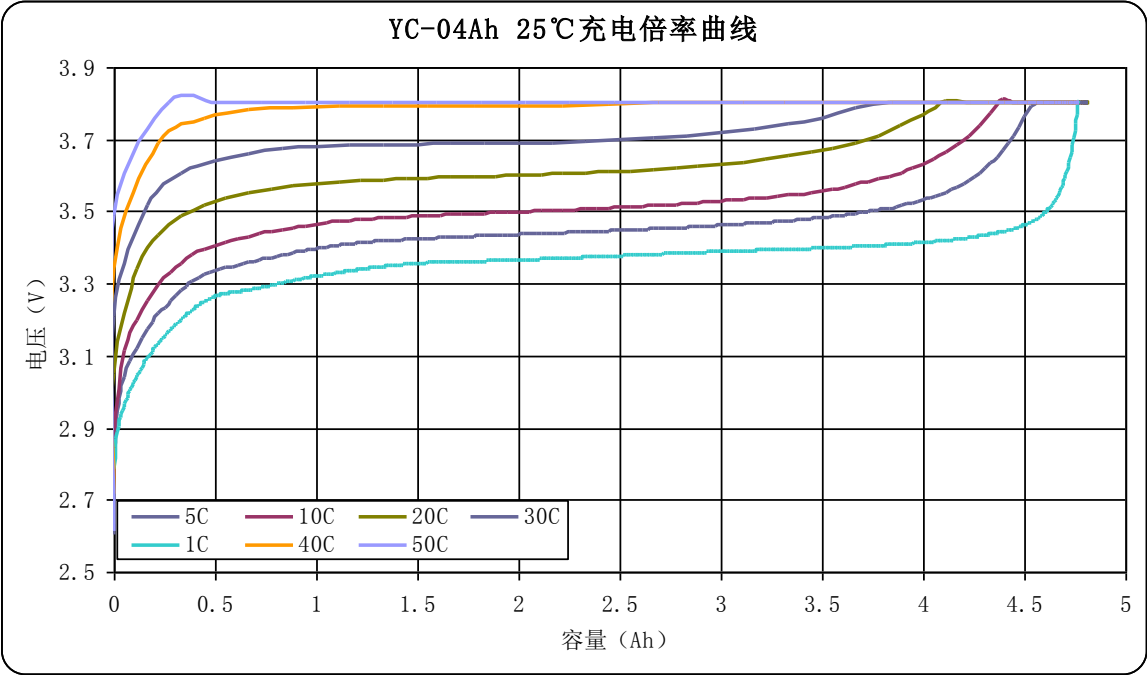
A018 充电倍率曲线



A018 放电倍率曲线

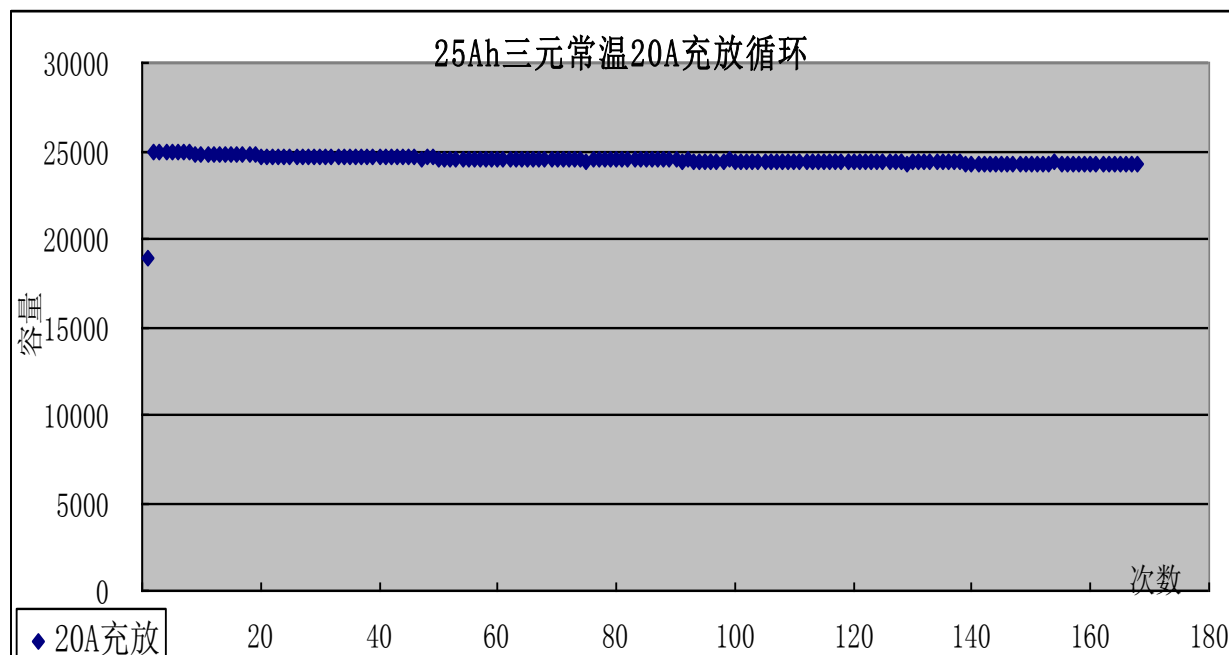


LFP/graphite+HC cell



锰酸锂+三元材料能量功率兼顾型动力电池

| 25AhLM0/NCM电池 | 单位 | 最终指标 | 实测 |
|---------------|-------|------------|---------|
| 容量 | Ah | 25 | 28.077 |
| 功率密度 | W/Kg | ≥ 600 | 976.465 |
| 能量密度 | Wh/Kg | ≥ 160 | 169.773 |



LMO+NCM能量功率兼顾型动力电池安全测试结果(第三方)

结论：高温、针刺、短路、过充、挤压。电池无爆炸、无起火。



单体过放



单体过充



单体短路



单体跌落



单体高温



单体挤压



单体针刺



模块过放



模块高温



模块短路



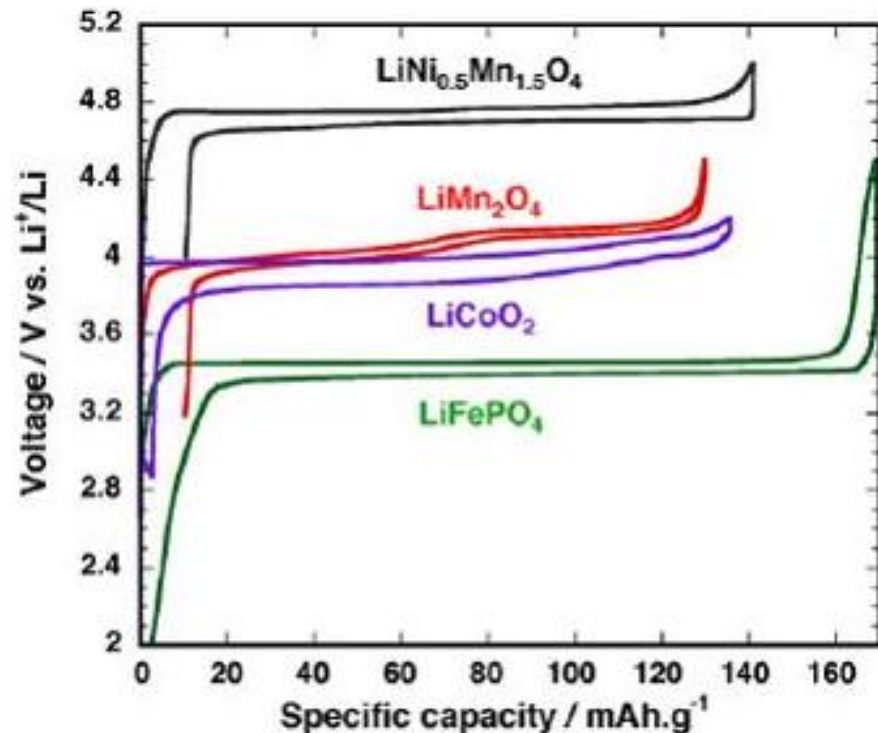
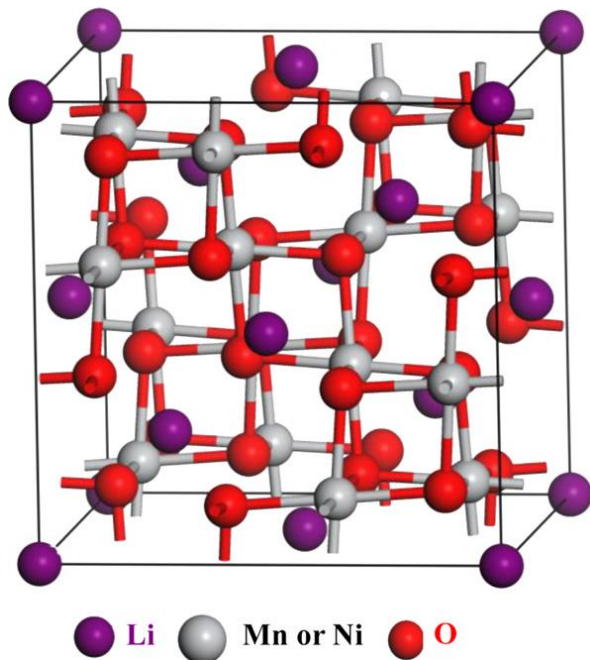
模块挤压

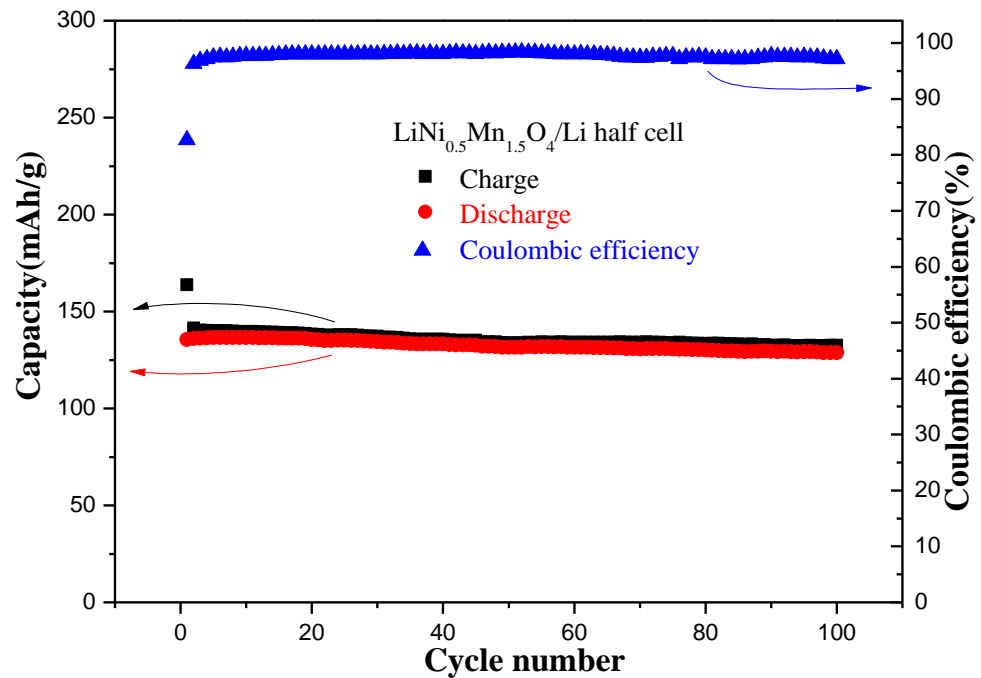
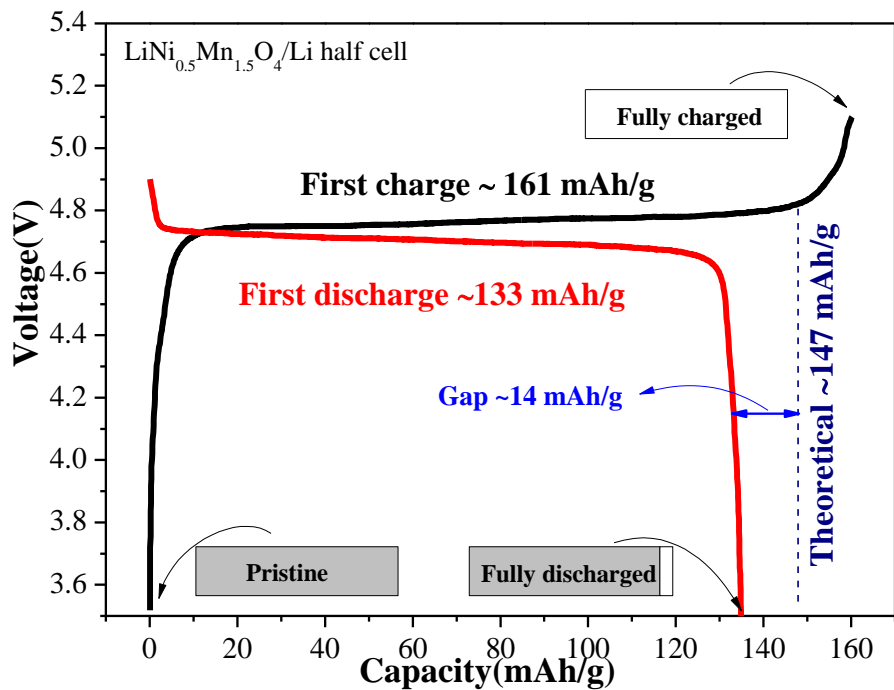


模块针刺

$\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ (LNM)

- High Voltage
- Low cost
- High safety





250Wh/Kg in 2020

典型锂离子正极材料锂利用效率

- $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 正极材料实际可用容量~
135mAh/g, 其中锂可100%利用, 具有 4.7 V 电压平台 (相对于金属锂), 锂资源利用效率最高
1 Kg Li ~ 16 KWh
- LiCoO_2 ~ 7 KWh,
- LiMn_2O_4 ~ 11 KWh,
- LiFePO_4 ~ 12 KWh.

动力电池与电池管理

完善动力电池产业链，重点加强设计制造与系统集成能力

电池单体

电池系统

| | 材料 | 单体设计 | 电池量产 | 成组 | 车用 |
|------|--------|----------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 研发内容 | 新型材料开发 | 车辆精细需求 | 中试技术 | 机械连接 | BMS/充电/通讯 |
| | 材料特性表征 | 部件选型 | 工艺设计 | 电气安全 | 车用工况 |
| | 材料生产技术 | 设计准则 | 品质控制 | 热流设计 | 用户特征 |
| | | 特性测评 | 设备开发 | 可靠性管理 | 梯次利用 |
| 核心科技 | 材料 | 材料/电化学 物质传输 热机电流耦合设计 | 检测 | BMS | |
| | 纳米 | | 生产设备自动化 品质管理 | 机械 电气 流动 控制 | 状态预估 整车通讯 车型开发 工况分析 |
| 开发时间 | 10年 | 数年 | 数年 | 数年 | 数年 |

共性核心技术：1.动力电池与电池管理

电池系统的发展重点：安全性与系统管理

安全性

（单体通过安全测试，系统仍出现安全事故）

过温起燃



鼓胀漏液



接触松动



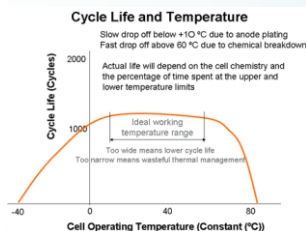
其他滥用



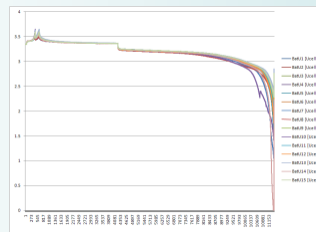
耐久性

（系统寿命小于单体）

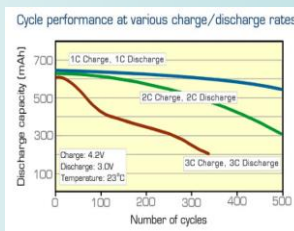
高低温



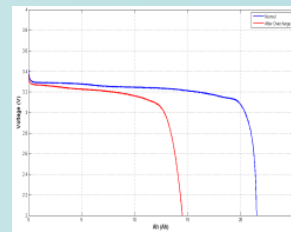
过充放



大电流充放



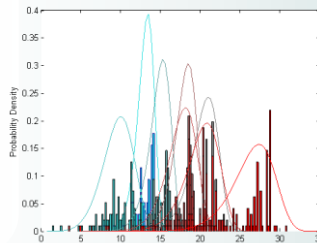
其他因素



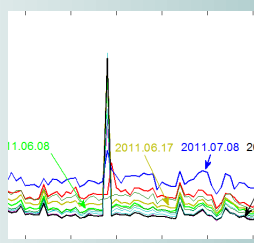
一致性

（系统比能量小于单体）

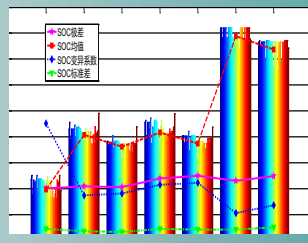
制造容量



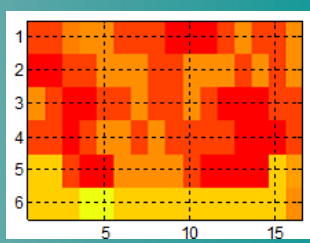
材料内阻



自放电率

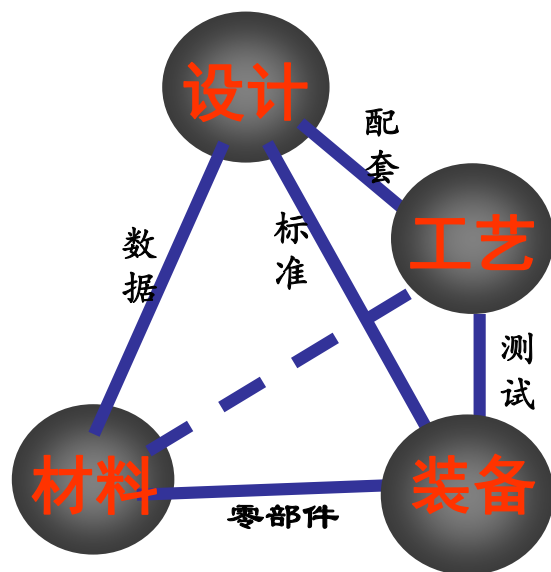


热分布



其他

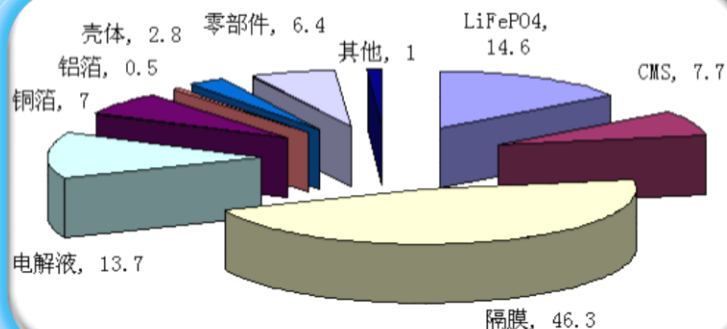
先进工艺装备研发



产业化工艺和装备一直是我国产业发展的“短板”

降低综合成本

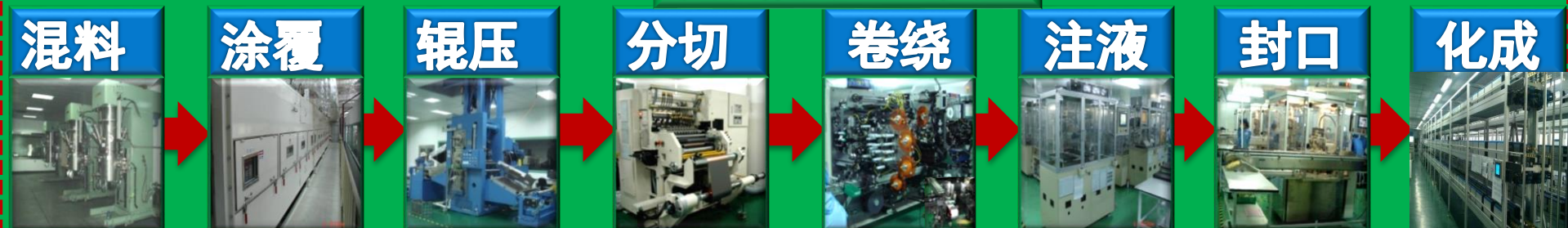
锂离子动力电池成本分布图



降低成本途径

- 关键材料国产化
- 规模化生产
- 提高产品良品率

提高产品品质



工艺装备技术基础服务平台工业示范实验室

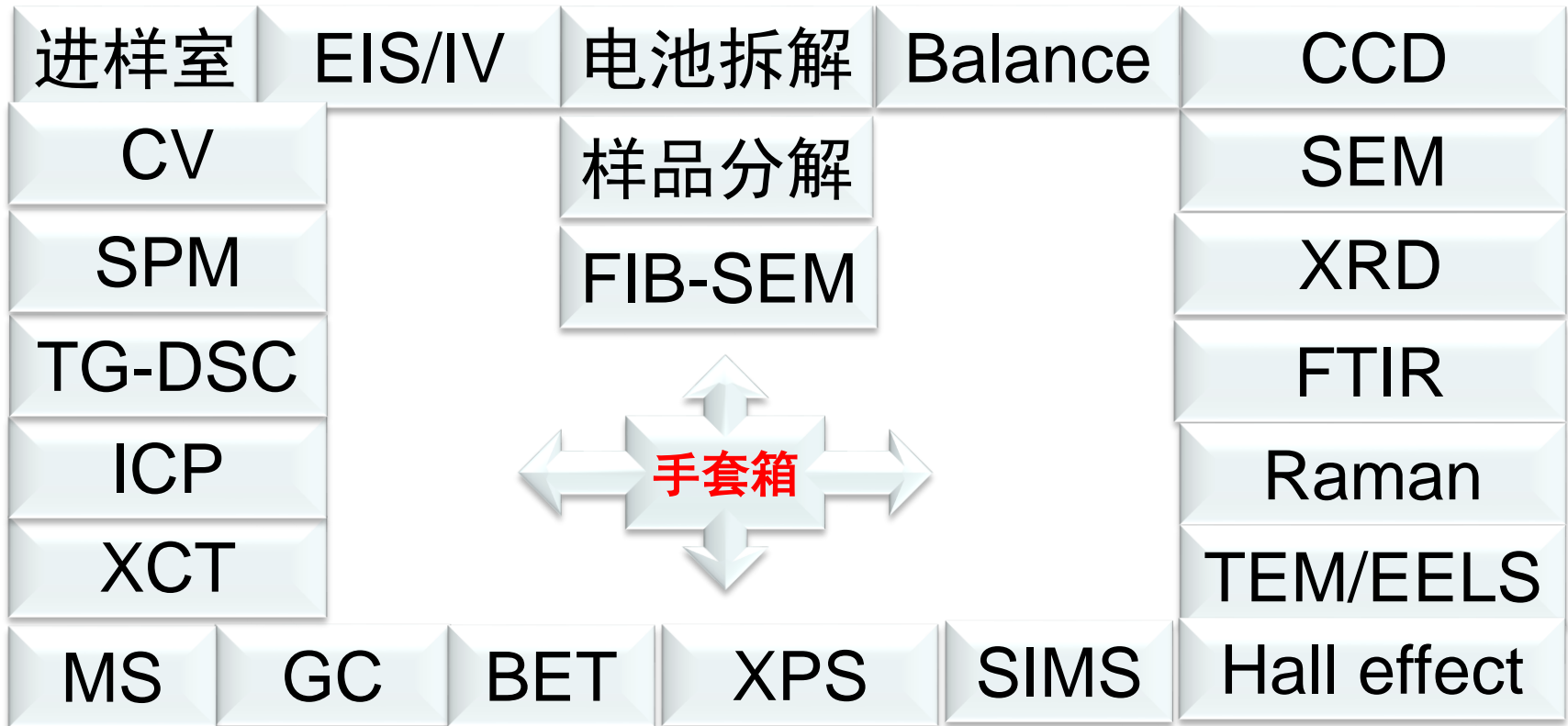


激光切割+叠片 电芯制造系统



电池综合分析测试平台

北京中科院物理所



1. 通过手套箱及样品转移系统将各类测试仪器互联；
2. 一站式电池材料与器件全流程全分析；
3. 提供原位、非原位测量；
4. 高水平研发、测试、诊断、失效分析平台；
5. 服务于研究机构、企业等，对全球开放。

谢谢！