



Safety Test of Li-ion battery

US-China Electric Vehicle and Battery Technology Workshop
on 4-5 Sep., Argonne, USA

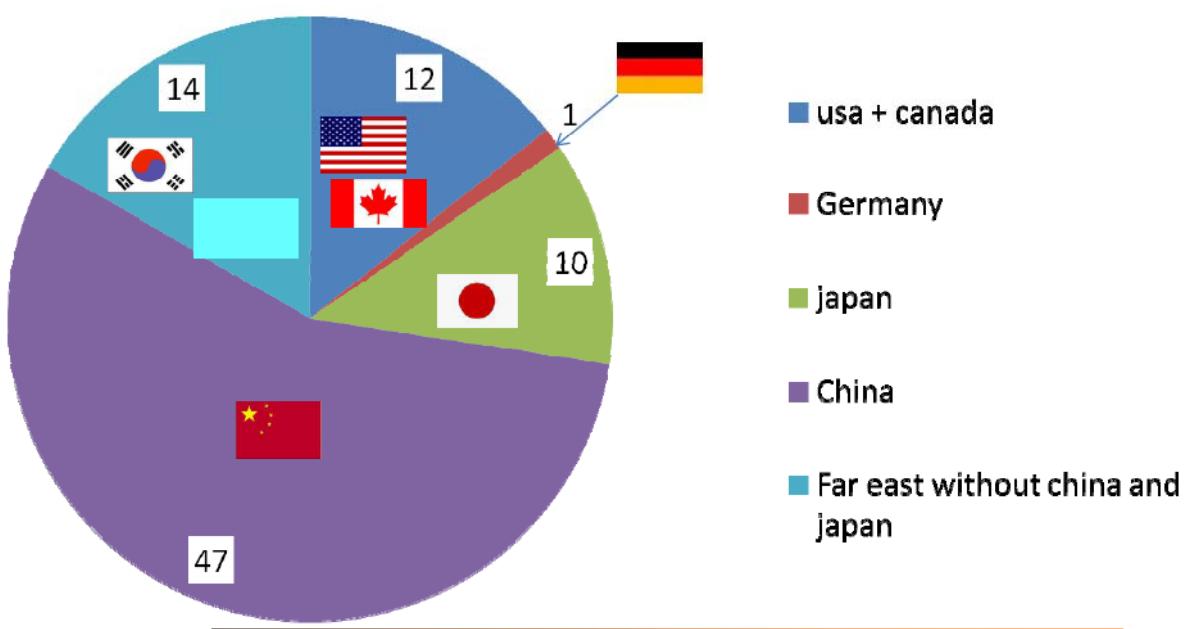
Tsinghua University
清华大学核研院锂离子电池实验室
hexm@tsinghua.edu.cn

Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University



Far-East manufacturers dominate the market 中日韩在动力电池制造方面占支配地位

84 High power lithium cells Manufacturers

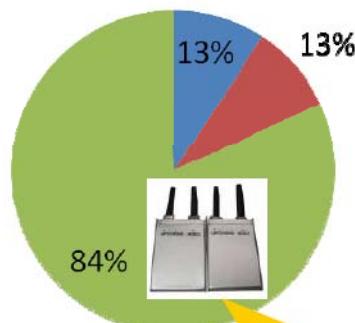


Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University



动力电池的包装方式

High power lithium pouch cells dominant the market, Higher weight energy density, Better heat transfer, Lower cost



- Cylindrical cells
- Prismatic cells
- Pouch cells



Pouch cells



Cylindrical cells



Prismatic cells

- 较好的传热
- ✓ 安全性好
- ✓ 使用寿命长



动力电池的安全性问题

动力电池的安全性问题将影响其市场命运

If it is not safe it will not survive...



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

Safety cases



Safety cases

- 苹果PowerBook爆炸起火



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

2011年4月11日杭州电动出租车自燃



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

锂离子电池安全标准的制定情况

Test Criteria/Standard	UL					IEC		NEMA	SAE	UN	IEEE		JIS	BATSO
	UL 1642	UL 2054	UL Subject 2271	UL Subject 2580	UL 2575	IEC 62133	IEC 62281	C18.2M, Pt2	J2464	Pt.III,S 38.3	IEEE 1625	IEEE 1725	C8714	BATSO 01
External short circuit	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Abnormal charge	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Forced discharge	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Crush	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Impact	•	•	•	•			•	•		•	•	•	•	
Shock	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Vibration	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Heating	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Temperature cycling	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Low pressure (altitude)	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Projectile	•	•	•	•							•	•		
Drop			•	•		•	•	•					•	•
Continuous low rate charging						•								•
Molded casing heating test								•						
Open circuit voltage									•					
Insulation resistance				•					•					
Reverse charge			•	•										
Penetration			•	•					•					
Internal short circuit test	•			•									•	



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

锂离子电池安全性标准制定组织

- **Underwriters Laboratories**美国保险商实验室 **UL**
- **Institute of Electrical and Electronics Engineers**电气电子工程师协会 **IEEE**
- **National Electrical Manufacturers Association** 美国电气制造商协会**MEMA**
- **Society of Automotive Engineers**美国汽车工程师学会**SAE**
- **International Electrotechnical Commission**国际电工委员会 **IEC**
- **United Nations (UN)**联合国
- **Japanese Standards Association**日本标准协会 **JSA (JIS)**
- **Battery Safety Organization**国际电池安全组织 **BASTO**
- 中国标准化委员会2008已经成立“锂离子电池安全标准特别工作组”（见<http://www.libat.cesi.cn/>）

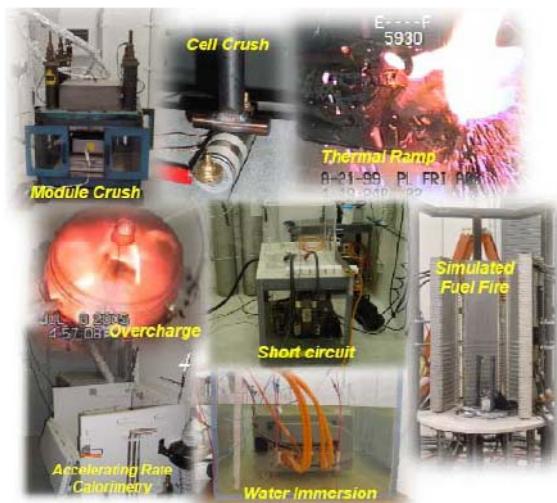


安全性的概念

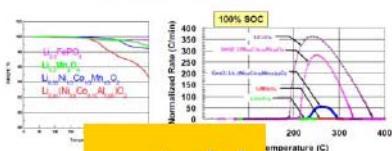
- 滥用安全性 **abuse thermal runaway**
 - **Mechanical** 机械的
 - crush, nail penetration 挤压、针刺
 - **Electrical** 电的
 - short circuit, overcharge 短路、过充
 - **Thermal** 热的
 - thermal ramp, simulated fire 热箱、火烧
- 现场安全性 **field failure thermal runaway**
 - **Manufacturing defects** 由制造瑕疵引起
 - Loose connection, separator damage, foreign debris 连接问题、隔膜损坏、粉尘
 - Can develop into an internal short circuit 随机发生，引起内短路
 - Can lead to overheating and thermal runaway 引起过热与热失控



滥用安全性

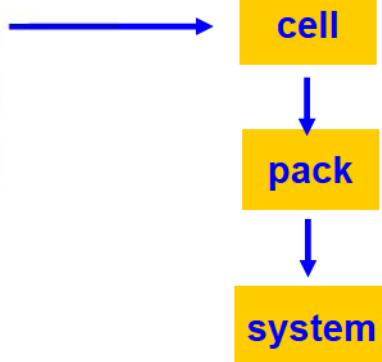


Amount of oxygen release from the cathode impact significantly the cell safety



In general the cathodes that get away of the cell. Cathodes characteristics

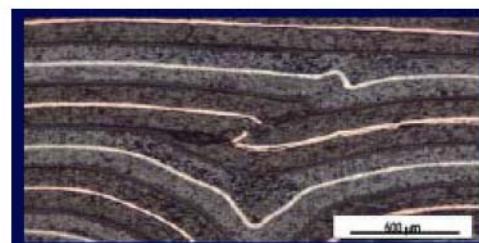
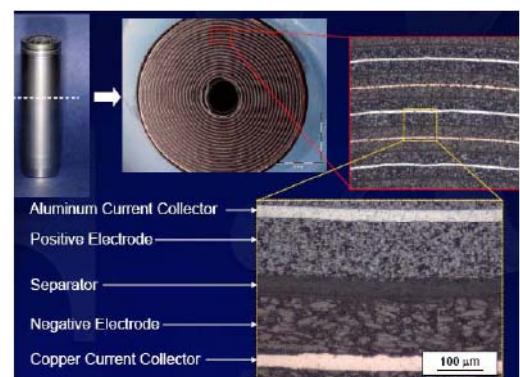
LiFePO4>LiMn2O4>NMC>NCA>LiCoO2



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

现场（随机）安全性

Field Failure Consumer Electronics



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

两种安全性概念的差异

滥用安全性

- ✓ Predictable 可预测的
- ✓ Common to all cells 对每一个电池
- ✓ Can/should be evaluated at the cell level 可以通过测试进行评估
- ✓ Time constants relatively long 发生过程较长
- ✓ Can be augmented by protection devices 可以通过保护措施进行改善

现场安全性

- ✓ Not predictable 不可预测的
- ✓ One-in-a-million (or less) 随机小概率发生
- ✓ Difficult to evaluate at the cell level, or through QC 无法通过测试进行评估，也不能通过质量管理来完全消除
- ✓ can occur quickly 发生很突然
- ✓ PTC, CID, shutdown separators, electronic controls not are effective 目前所有的安全性措施，均不能完全消除锂离子电池安全隐患



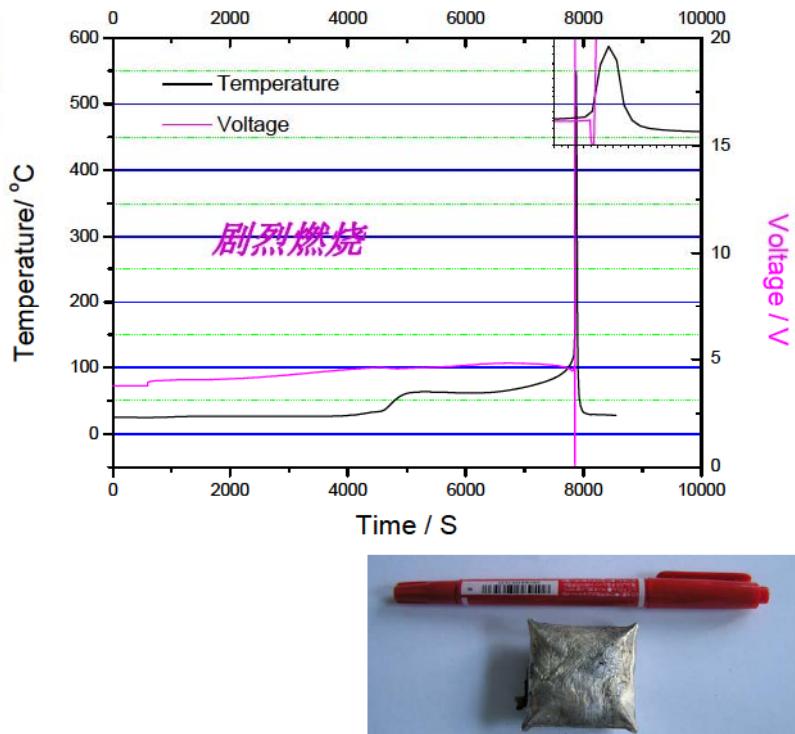
锂离子电池的安全性是一个复杂的系统问题

- 动力电池安全性是一个系统问题。
- 从单纯的电池材料改性（正极、负极、电解质、隔膜...）是不能完全解决安全性问题，但可以大幅度地提高。



市场手机电池过充实验

- 正品**600mAh**手机电池，拆其电芯，进行过充实验。
- 但充电电压在**5V**以上，电池温度逐步上升。当温度接近**150℃**时，电池发生热失控，温度急剧上升到**520℃**，电池发生剧烈燃烧。



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University



改进钴酸锂手机电池安全性技术

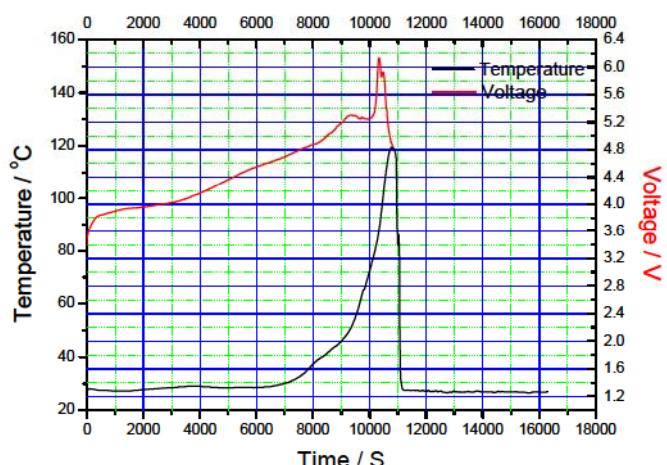
• 320mAh电池，用绝热层包裹，进行过充电实验。未燃烧、未爆炸。



充电前

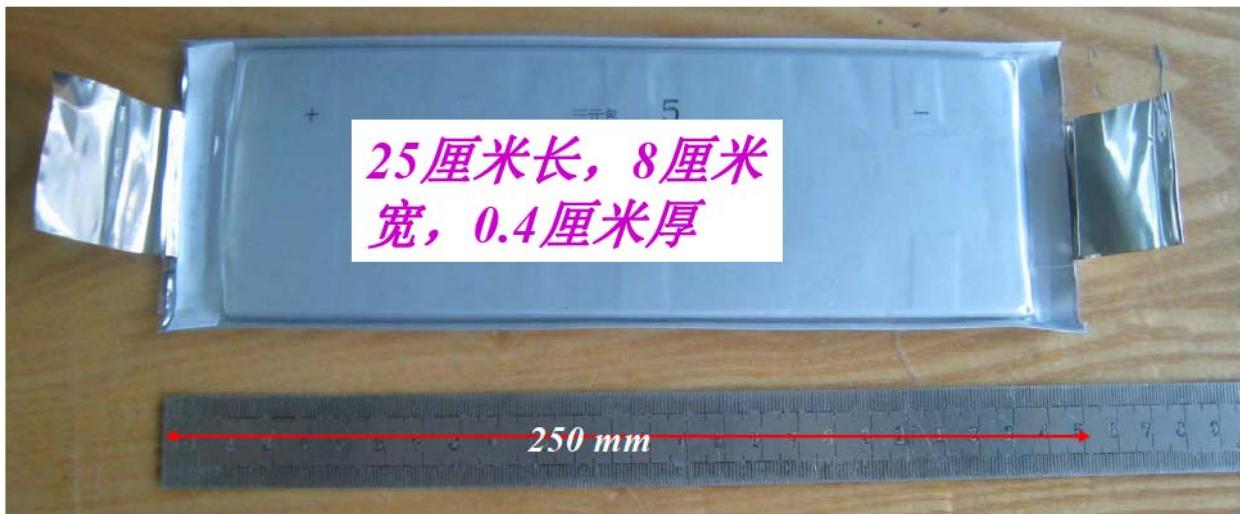


充电后



- 本实验室制备的钴酸锂电池电芯，进行过充实验。
- 但充电电压在5V以上，电池温度逐步上升到80℃。继续过充，电池最高温度急剧上升到120℃，电池发生外形变化。但没有燃烧爆炸。

本实验室制备12Ah高安全性动力电池

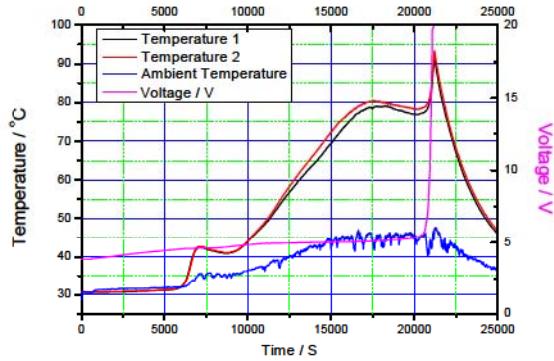
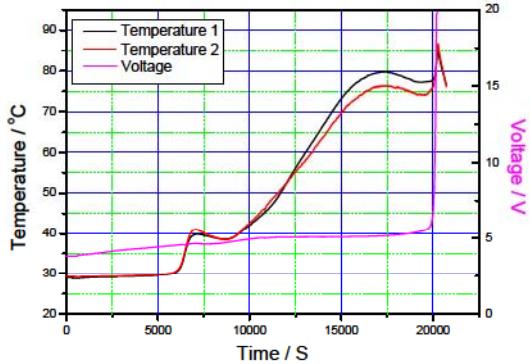


- 比能量: 160 Wh/kg.
- 比功率: 1200 W/kg
- 充电时间: 12分钟



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

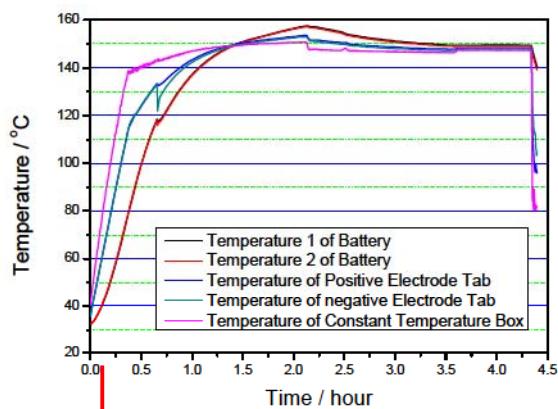
20V, 0.5C过充实验



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University



充电态（4.2V）150°C 3h加热实验

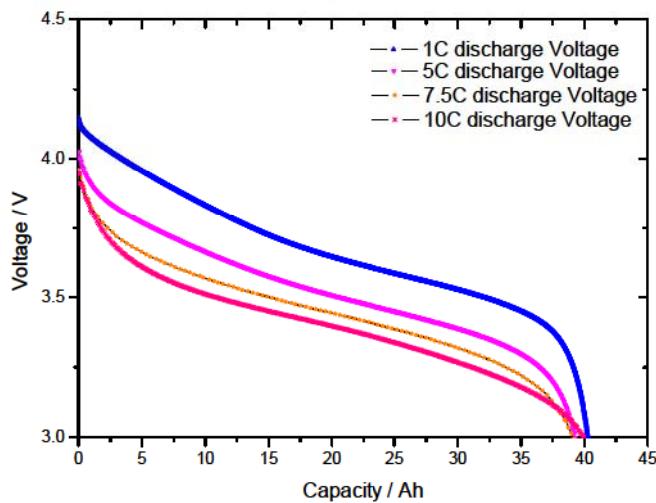


Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University



本实验室制备高安全性40Ah动力电池

- 电池比能量为**160Wh/kg**。比功率为**1200W/kg**。

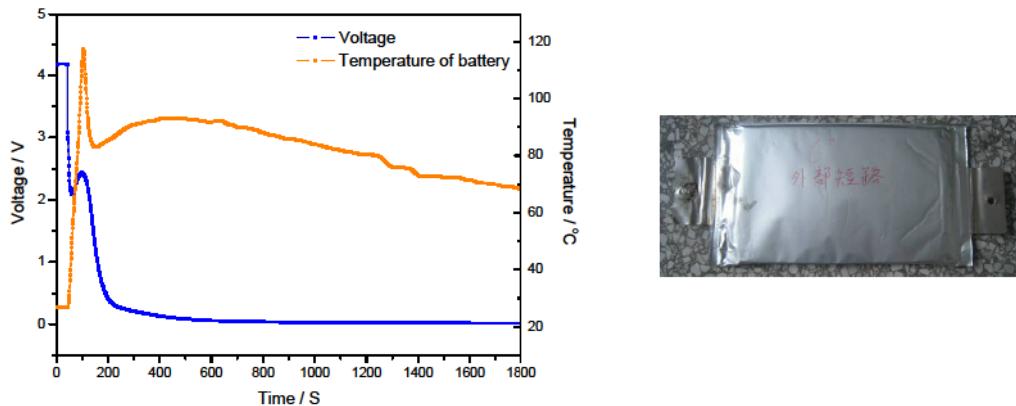


倍率放电性能。1C, 5C, 7.5C和10C放电。



40Ah动力电池 安全性 短路

- 将电池用**1C**电流充电至**4.2V**，然后恒压充电至截至电流**2A**，此时的电池已是满电状态，用中间接有电闸的两根**100mm²**的阻值为**4mΩ**的导线将电池正负两极接好，在电池的侧部接热电阻来测试短路过程中的温度变化，同时监测电池的电压变化。测试时合上电闸，电池的温度开始升高，**100秒后**达到最大值约**117℃**，然后开始下降(如下图所示)，此时测得的电压为**2.4V**左右。

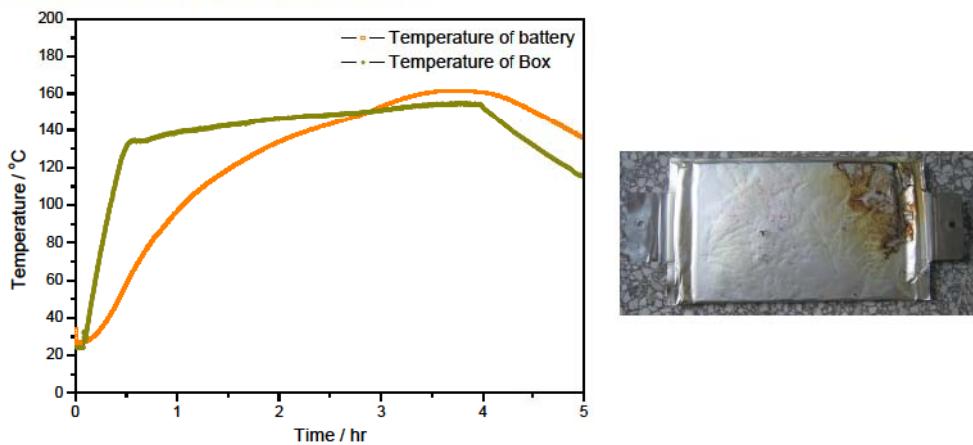


电池的外部短路实验中电池的温升、电压变化曲线及实验后电池照片



40Ah动力电池 安全性 热箱

- 测试前，用1C电流对电池进行充电，先恒流充电到4.2V，然后再4.2V恒压充电到电流小于2A，使电池完全充满电。下图是150 oC热箱实验的温度曲线和试验后的电池外形。当电池温度升到150℃以后，保持2个小时以上，没有冒烟燃烧爆炸。



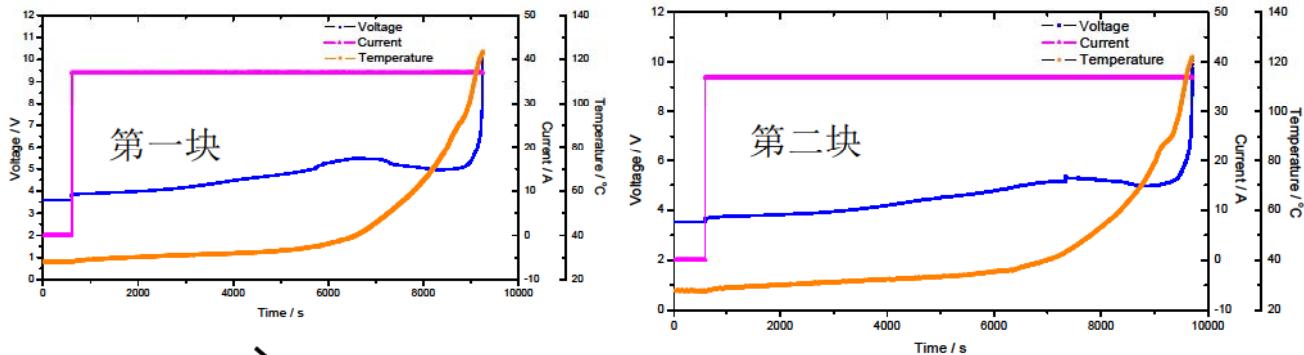
4.2V满电态37Ah电池150℃热箱实验及实验后电池照片



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

40Ah动力电池 安全性 过充电

- 电池过充时，电压大概在5.4V附近有个拐点，继续充电，电压缓慢下降。当电池充电电压超过7V后，电池的电压急剧上升到10V，没有着火爆炸，最高温度为124 °C，



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University

相关录像

- 外部短路
 - 实验1
 - 实验2
 - 实验3
- 过充电
 - 实验1
 - 实验2
 - 实验3
- 满电态150℃加热
 - 实验1
 - 实验2
 - 实验3





Thanks for your attention!



Institute of New Energy Technology, INET, Tsinghua University