锂动力电池安全性问题的探讨

2020广州汽车智能制造论坛

广州鹏辉能源科技股份有限公司
有研工程技术研究院有限公司

报告人：罗熳

2020.08.19

目录

contents

1 动力电池的发展简述

2 锂动力电池的安全问题分析

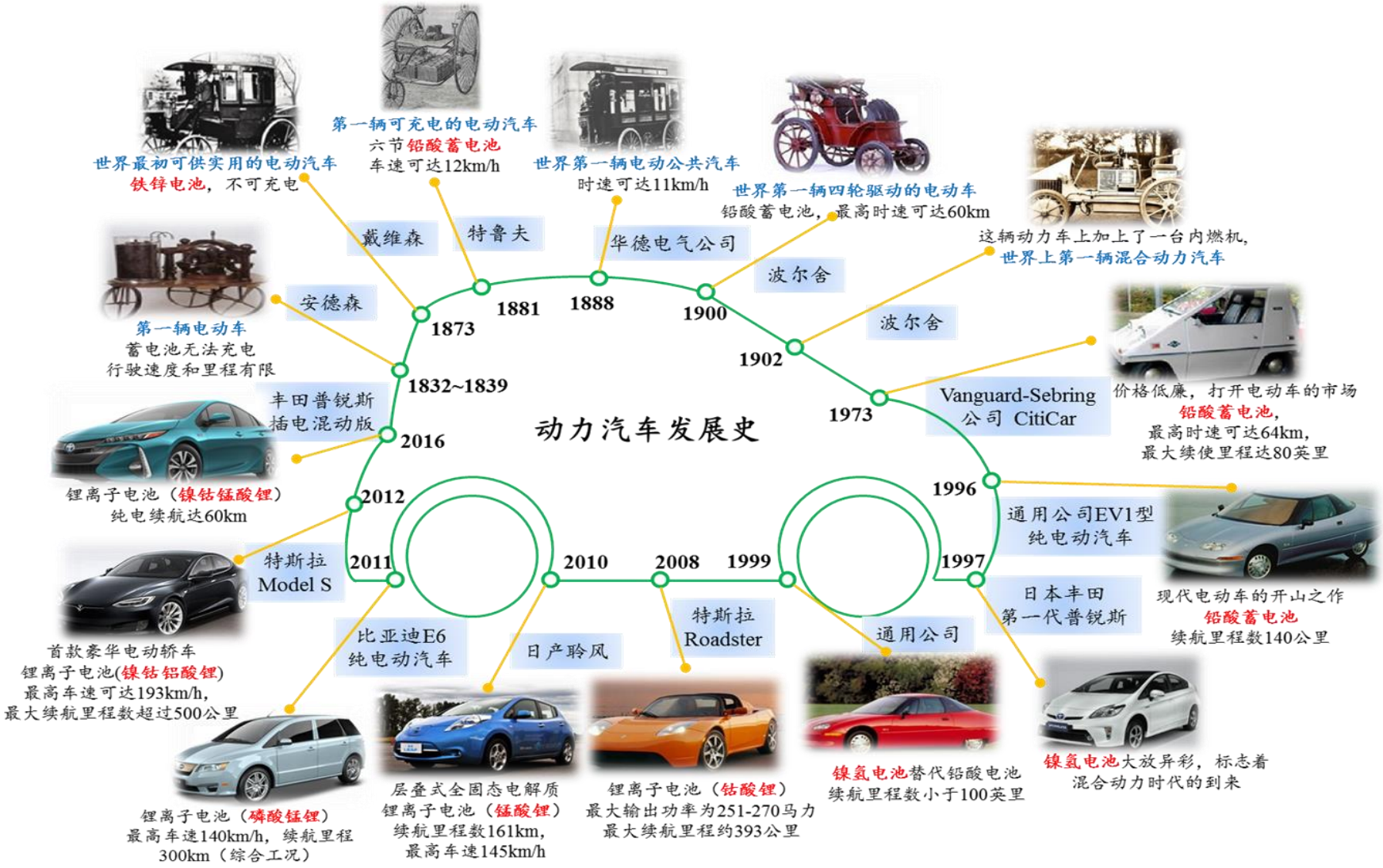
3 锂动力电池的安全要求和预警方法

4 公司介绍和工作

1

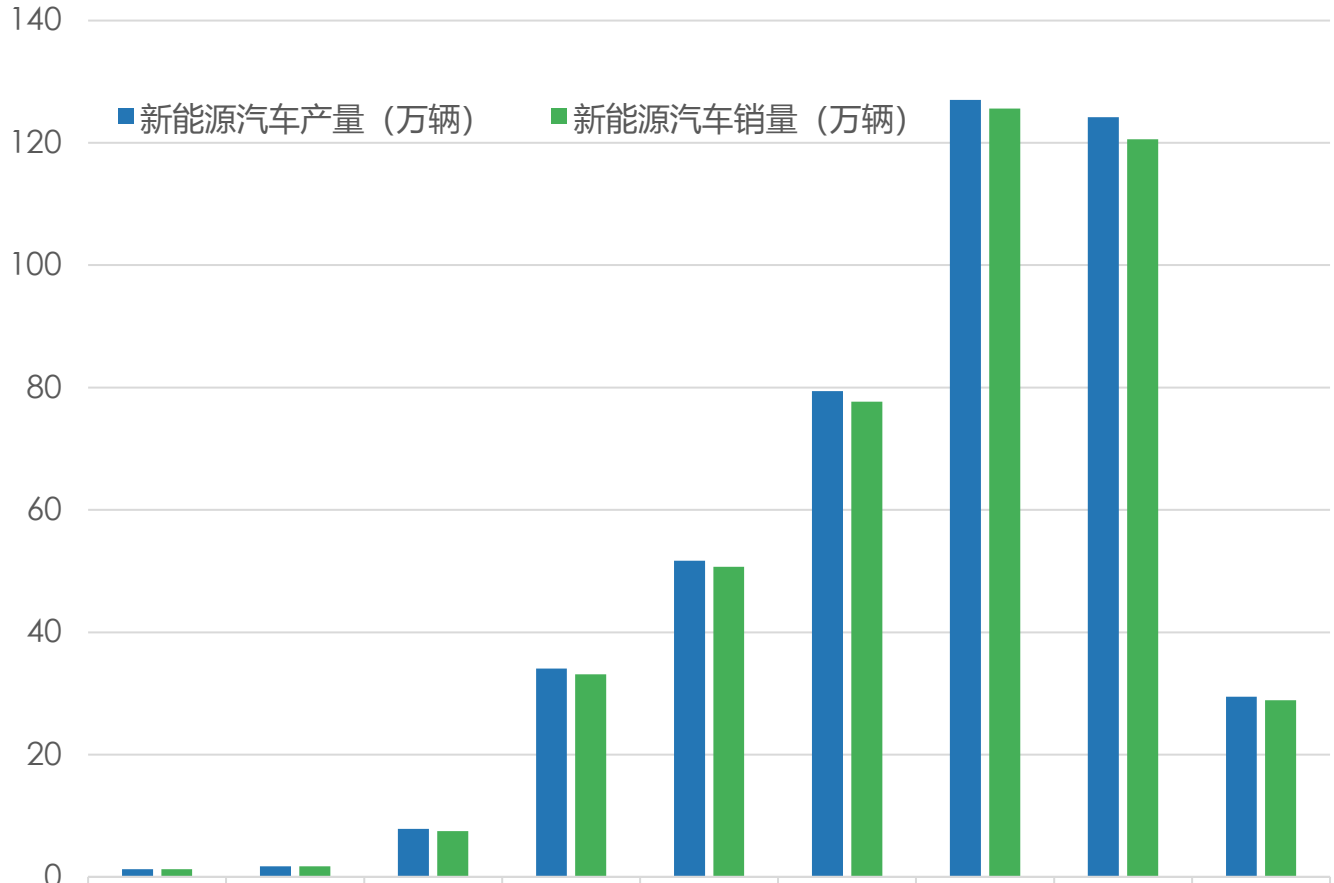
动力电池的发展简述

电动汽车的发展



电动汽车的发展史

电动汽车近年来产销量情况



	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020.1-5
新能源汽车产量（万辆）	1.26	1.75	7.85	34.05	51.7	79.4	127	124.2	29.47
新能源汽车销量（万辆）	1.28	1.76	7.48	33.11	50.7	77.7	125.6	120.6	28.9

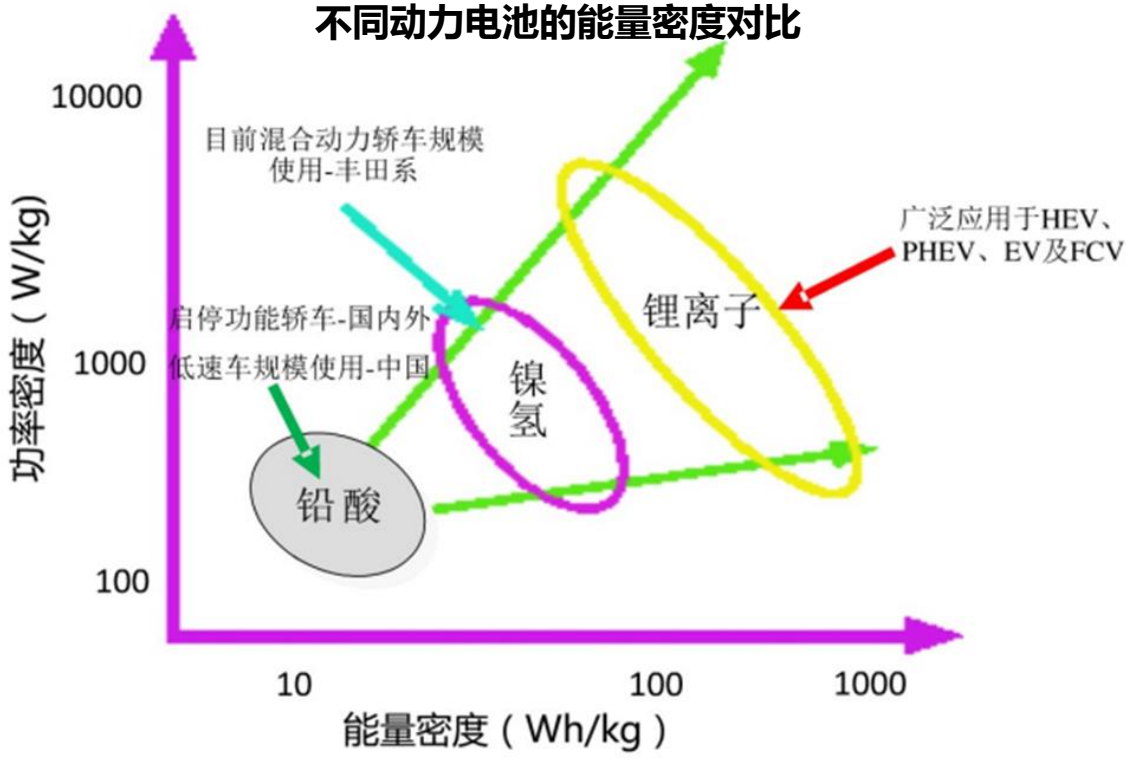
电动汽车历年来的产销量情况

动力电池的性能及应用对比

动力电池作为能量储存装置，是电动汽车的动力部件，其性能的优劣直接影响电动汽车的市场应用和普通消费者的接受度，除了能量密度外，还有安全性、比能量、比功率、功率密度、寿命及成本等。

动力电池发展历程： 铅酸蓄电池 → 镍氢/镍镉电池 → 锂离子电池

不同动力电池的能量密度对比



锂离子充电电池系统表现出优越的性能特征

- 能量密度和功率密度高
- 长寿命和可靠性
- 无记忆效应
- 额定电压平台高
- 环境温差变化适应性强
- 自放电率低

现有锂动力电池体系

我国锂动力电池的能量密度、成本、寿命等关键性能指标得到一定的提高。形成以三元、磷酸铁锂、尖晶石锰酸锂为正极材料，石墨为负极材料的电池体系。

当前实现产业化的电池体系

正极材料	负极材料	隔膜材料	电解质盐	单体能量密度(Wh/kg)	应用领域
磷酸铁锂	石墨	PP或PE，部分采用涂层膜	六氟磷酸锂，功能性添加剂，碳酸酯类溶剂	120-180	已实现商业化，持续应用（EV、PHEV）—大巴车为主，乘用车和物流车等。
锰酸锂混合镍钴锰（如5:5）	石墨	PP或PE，部分采用涂层膜		120-200	已实现商业化，持续应用（EV、PHEV）—大巴车、乘用车和物流车等。
镍钴锰（333或532型）	石墨	PE为主，部分采用涂层膜		160-230	大容量电池实现批量化应用，小容量电池（如18650）实现了规模化应用—乘用车和物流车等。
镍钴锰（333或532型）	钛酸铝或石墨混合软包	PP、PE、PVDF及芳纶等		80-200	已实现商业化（主要为快充领域），持续应用（EV、PHEV等）—大巴车为主。
镍钴锰（811型）或镍钴铝	石墨/硅碳	PE为主，薄型化或涂层改性（无机、有机涂层）		200-260	小容量电池实现了规模化应用（18650、21700等）—乘用车和物流车等。
镍钴锰（622或811型）	石墨	PE为主，薄型化或涂层改性（无机、有机涂层）		200-260	大容量实现了规模化应用—乘用车等。

中国新能源汽车国家计划的电池内容

《节能与新能源汽车国家规划（2012-2020）》

- 电池模块的质量密度达到300Wh/kg以上，成本降至1.5元/Wh以下。

“十三五”计划-新能源汽车重点研发专项（2016-2020）

- 产业化的锂离子电池能量密度达到300Wh/kg以上，成本降至0.8元/Wh以下；
- 电池系统能量密度达到200Wh/kg以上,循环寿命达到1200次以上，成本降至1.2元/ Wh以下；
- 新型锂离子电池能量密度达到300Wh/kg以上，新体系电池能量密度达到500Wh/kg以上.

《中国制造2025》

- 2020年：电池能量密度达到300Wh/kg以上；
- 2025年：电池能量密度达到400Wh/kg以上；
- 2030年：电池能量密度达到500Wh/kg以上；

《汽车产业中长期发展规划》

- 2020年：电池能量密度达到300Wh/kg以上，力争实现350Wh/kg，系统比能量力争达到260Wh/kg、成本降至1元/Wh以下；
- 2025年：电池能量密度达到350Wh/kg.

车用动力电池技术路线图-EV电池

车用动力电池技术路线图—EV电池

2020 | 2025 | 2030

能量型锂离子电池 → **新体系电池**

2020年达到：	2025年达到：	2030年达到：
比能量：单体350Wh/kg，系统250 Wh/kg； 能量密度：单体650Wh/L，系统320 Wh/L； 比功率：单体1000W/kg，系统700 W/kg； 寿命：单体4000次/10年，系统3000次/10年； 成本：单体0.6元/Wh，系统1.0元/Wh	比能量：单体400Wh/kg，系统300 Wh/kg； 能量密度：单体800Wh/L，系统500 Wh/L； 比功率：单体1000W/kg，系统700 W/kg； 寿命：单体4500次/12年，系统3500次/12年； 成本：单体0.5元/Wh，系统0.9元/Wh	比能量：单体500Wh/kg，系统350Wh/kg； 能量密度：单体1000Wh/L，系统700 Wh/L； 比功率：单体1000W/kg，系统700 W/kg 寿命：单体5000次/15年，系统4000次/15年； 成本：单体0.4元/Wh，系统0.8元/Wh

备注：电池寿命为全寿命周期要求。

比能量的提升：

基于现有高容量材料体系、优化电极结构、提高活性物质负载量 → 应用新型材料体系、提高电池工作电压 → 优化新型材料体系、使用新型电池结构

寿命的提升：

开发长寿命正、负极材料、提升电解液纯度并开发添加剂、优化电极设计、优化生产工艺与环境控制 → 采用电极界面沉积、开发新体系锂盐、优化生产工艺与环境控制 → 引入固态电解质、优化固液界面

安全性的提升：

新型隔膜、新型电解液、电极安全涂层、优化电池设计 → 新型隔膜、新型电解液、电极安全涂层、优化电池设计 → 固、液电解质结合技术、新型材料体系

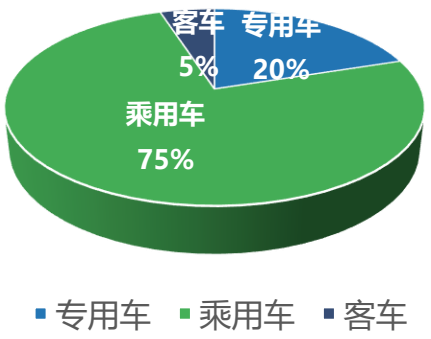
成本的控制：

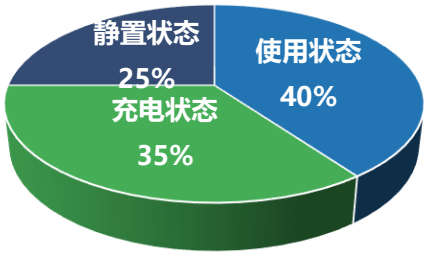
优化设计、提升制造水平 → 新材料应用、新制造工艺和装备 → 新型材料体系、新型制造工艺路线

电动汽车的安全事故

2020年上半年国内电动汽车起火事故盘点（数据来源：高工产业研究院）

序号	时间	地点	品牌	车型	电池供应商	电池类型	车辆类型	动力类型	数量（辆）	数量（起）	起火原因
1	2020.1.7	临沂	众泰	—	—	—	乘用车	纯电动	1	1	行驶中自燃
2	2020.2.6	呼和浩特	—	—	—	—	客车	纯电动	9	1	停电瓶漏液未及时发现
3	2020.3.23	重庆	—	—	—	—	专用车	纯电动	1	1	充电自燃
4	2020.4.6	江西新余	—	—	—	—	乘用车	纯电动	1	1	充电自燃
5	2020.4.8	深圳	—	—	—	—	乘用车	纯电动	1	1	行驶中自燃
6	2020.4.19	西双版纳州景洪市	—	—	—	—	乘用车	纯电动	1	1	充电自燃
7	2020.4.28	深圳	陆地方舟	陆地方舟235	苏州宇量	三元	专用车	纯电动	1	1	充电自燃
8	2020.5.4	杭州	瑞风	—	—	—	乘用车	纯电动	1	1	行驶中自燃
9	2020.5.8	长沙	理想汽车	理想ONE	宁德时代	三元	乘用车	纯电动	1	1	前机舱冒烟
10	2020.5.8	东莞	郑州日产	帅客EV	比克电池	三元	乘用车	纯电动	1	1	充电自燃
11	2020.5.18	广州	广汽乘用车	Aion5	—	三元	乘用车	纯电动	1	1	停车自燃
12	2020.5.26	深圳	南京依维柯	—	—	—	专用车	纯电动	1	1	追尾相撞
13	2020.5.28	深圳	比亚迪	比亚迪秦pro EV	比亚迪	三元	乘用车	纯电动	1	1	充电自燃
14	2020.6.5	湖州	江铃	易至EX5	—	三元	乘用车	纯电动	1	1	停车自燃
15	2020.6.13	漳州	—	—	—	—	乘用车	纯电动	1	1	行驶中自燃
16	2020.6.20	晋江	东风	—	—	—	专用车	纯电动	1	1	行驶中自燃
17	2020.6.22	保定	长城	欧拉iQ	孚能	三元	乘用车	纯电动	1	1	充电自燃
18	2020.6.23	郑州	比亚迪	比亚迪唐DM	比亚迪	三元	乘用车	纯电动	1	1	行驶中自燃
19	2020.6.27	杭州	力帆	力帆820EV	—	三元	乘用车	纯电动	1	1	停车自燃
20	2020.6.28	杭州	吉利	帝豪EV	—	三元	乘用车	纯电动	1	1	停车自燃





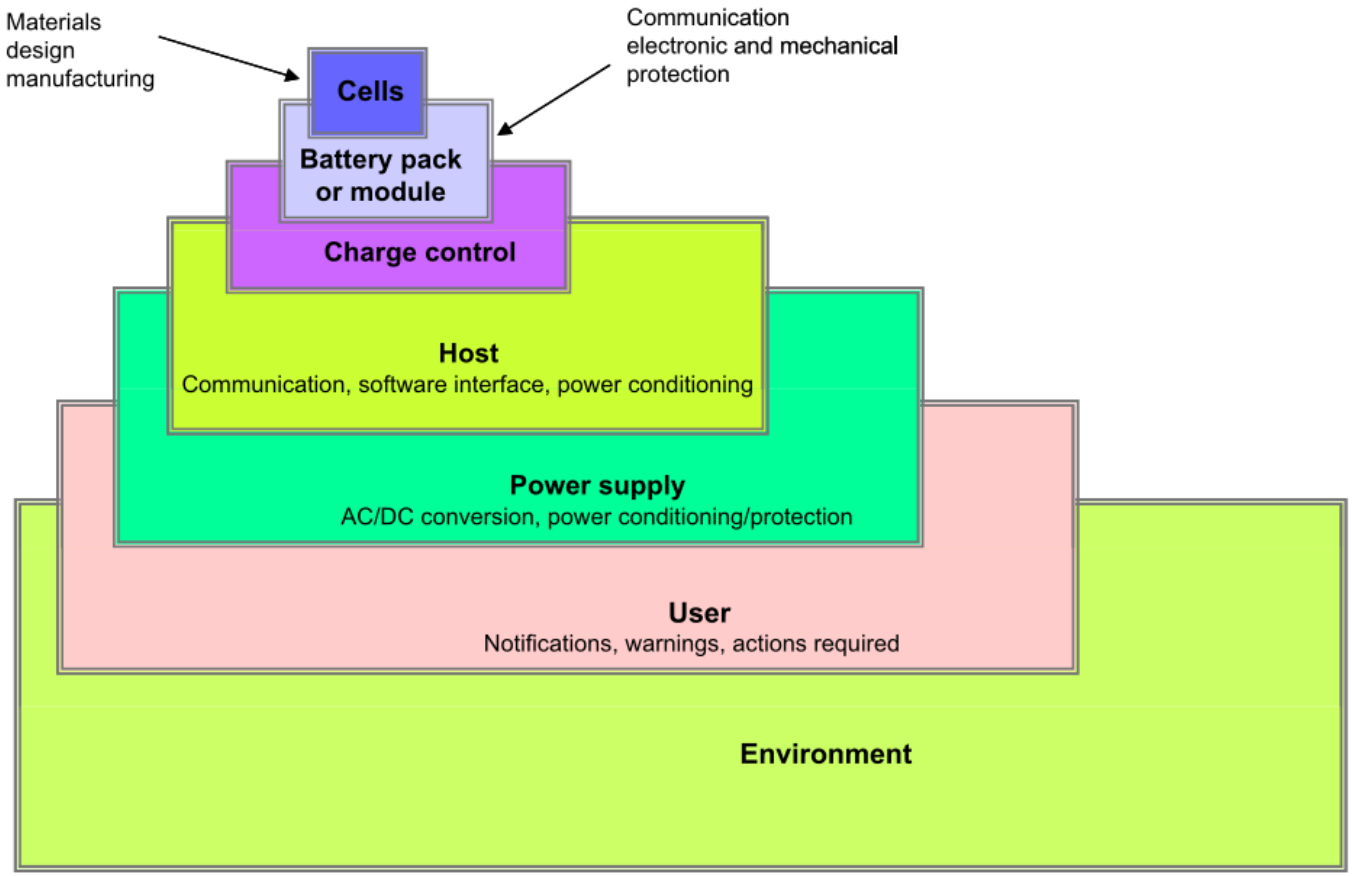
- 动力类型来看：起火事故均为纯电动，纯电动车型依然是起火事故的主力车型。
- 车辆状态来看，使用中起火8起，充电中起火7起，静置中起火5起。

2

锂动力电池的安全问题分析

锂动力电池的系统安全

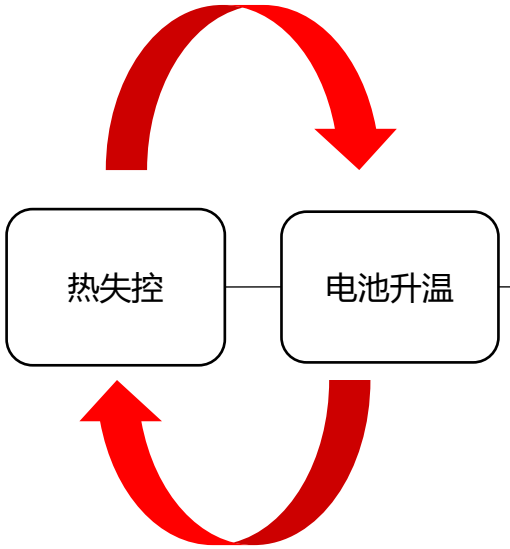
- 安全：是指电池/电池组制造商和用户之间就在特定操作条件下使用这种电池/电池组达成的协议，以及在没有高能热失控的情况下进行耐滥用试验。
- 不安全：是指在规定的正常操作或耐受条件下，锂离子电池发生过热、着火、冒烟或爆炸等热行为。



锂动力电池的系统安全

锂动力电池电芯的是安全核心

电池系统的安全必须由电芯来解决，评估动力汽车整车的安全性应该在源头上的基本安全严格把控。



锂离子电池的热失控是动力电池安全的核心原因

- 机械滥用
- 电滥用
- 热滥用

- 隔膜/电极表面导电粉尘
- 正负极错位
- 极片毛刺
- 电解液分布不均导致局部析锂

- 正极中存在金属杂质

- 震动、跌落、碰撞等
- 漏液或电池进水引起短路，采样或通讯接触不良引起过充、过放
- 受在内外热源时，电池内部正负极材料及其与电解液反应隔离膜在高温下熔化收缩导致正负极短路

- 负极析锂：低温、大电流充电、负极性能衰减过快

- 大电流充电导致的局部过充
- 极片涂层、电解液分布、电极间距不均引起局部过充
- 正极性能衰减过快等造成过程

- 工艺因素
- 材料因素
- 应用过程

锂动力电池热失控的触发因素

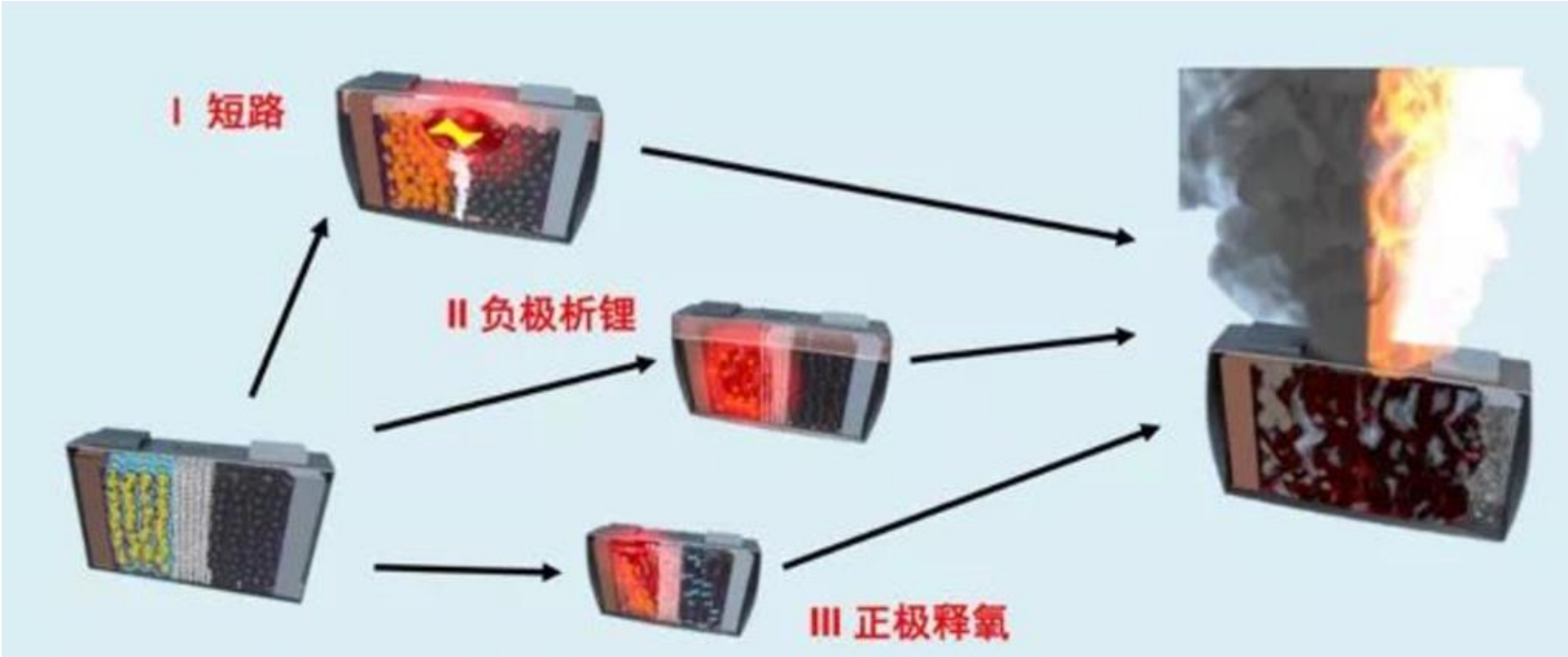
热失控的机理

热失控三种机理：

- 短路引发热失控
- 高比能量电池正级析释活性氧
- 快充或者过充引起的负极析活性锂

热失控的三个特征温度：

- 自生热的起始温度T1
- 热失控的触发温度T2
- 热失控的最高温度T3

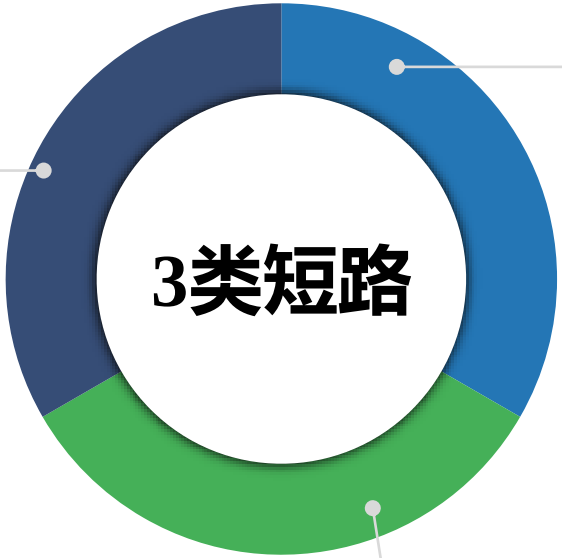


造成锂动力电池热失控的三大机理

热失控机理：短路

- 短路是造成动力电池热失控的主要原因（> 90%）
- 短路可以由多个可能的情况造成，是电池热失控过程中普遍伴随的共性特征

正负极直接接触造成外短路，连接件的松动、车辆碰撞、海水浸泡以及误操作等都会形成外短路。

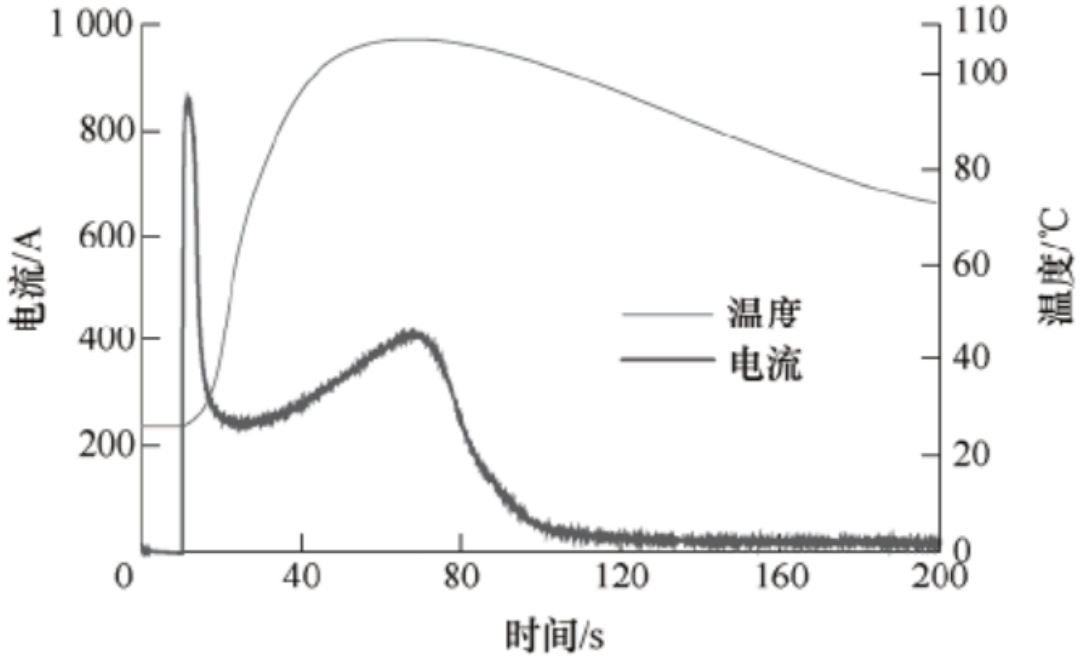


当电池受到尖锐物体穿刺或者受到碰撞、挤压时，电池内部受到外物作用引发内短路。

析锂导致枝晶生长，枝晶刺穿隔膜诱发内短路，也称自引发内短路

热失控机理：短路——外短路

外短路时外部连接电阻 < 5mΩ，由于连接电阻很小，引起的快速放电现象，且放电电流很大，导致电池端子温升严重，甚至熔断。

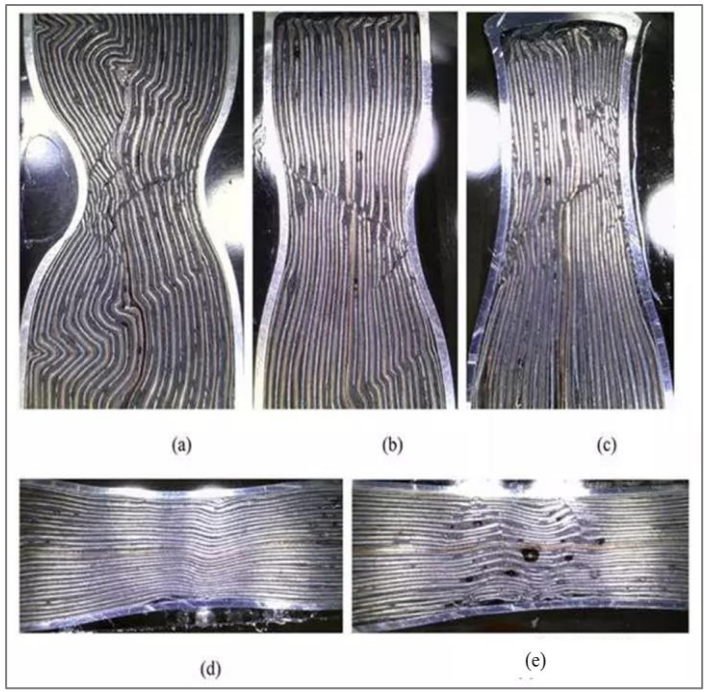


锂离子电池典型外短路电流和温度曲线

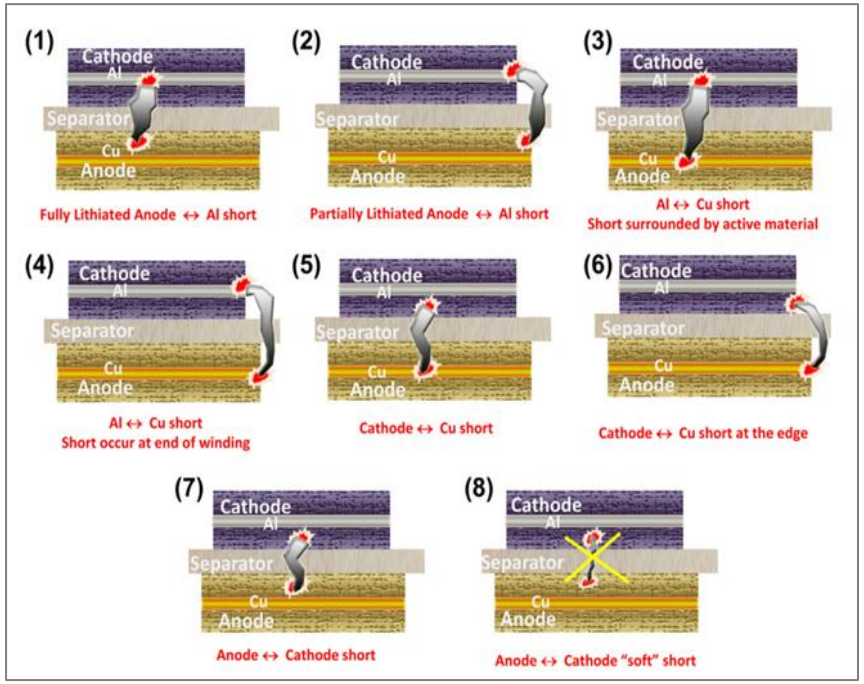
热失控机理：短路——内短路

热失控过程中都会伴随有内短路的发生，同时，内短路所产生的热量会进一步引发新的连锁反应，因此内短路是锂离子电池热失控的共性环节。在机械滥用、电滥用和热滥用等滥用情况条件下，锂离子电池可能会立即发生内短路。

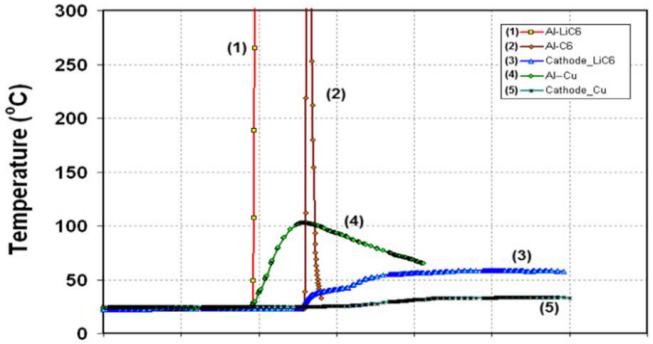
锂电挤压后照片



可能发生内短路的类型



对各种短路情况下电池的实验测量和总结

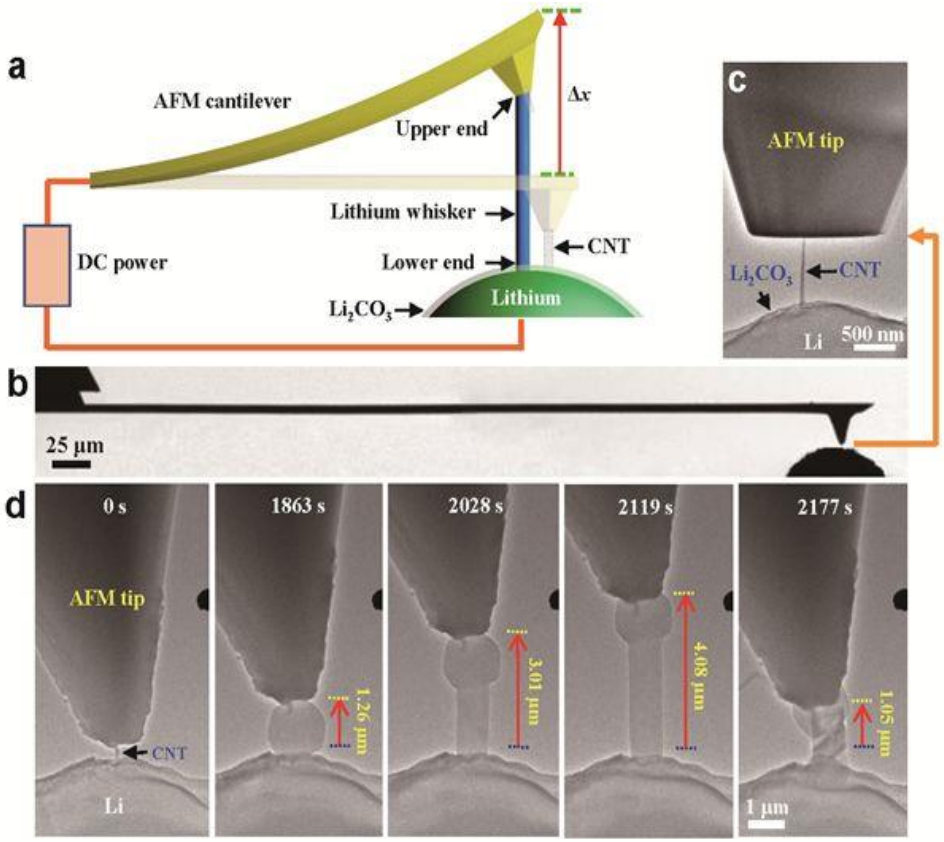


Case	Hard Short (Location)	Power	Chemical Reactant	Thermal Runaway Possibility from a Hard Short
1	Al—completely lithiated anode (inside)	High	Involved	Very high
2	Al—partially lithiated anode (edge)	High	Depends on Li amount	Low when Li content is small
3	Al–Cu (inside)	High	Involved	Could be high depending on cell size and design
4	Al–Cu (edge)	High	Not involved	Very low
5	Cu-cathode (inside)	Low	Involved	Very low
6	Cu-cathode (edge)	Low	Depends on cathode material	Very low
7	Anode–cathode (inside)	Low	Involved	Could be very low depending on cell size and design

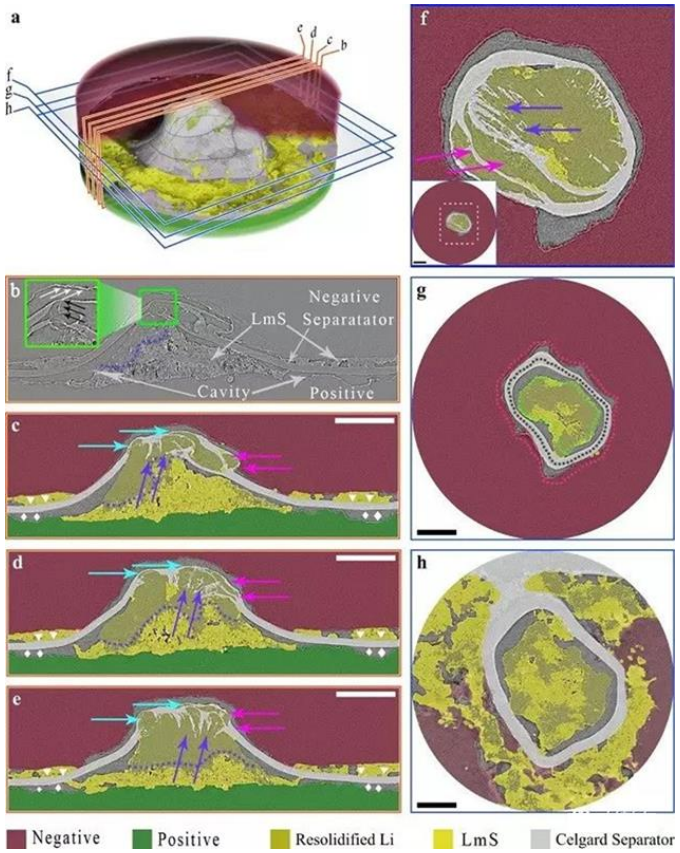
内短路中，Al集流体和充电石墨之间的短路是最危险的，因为这种情况下短路电阻小，电流大，热功率高，热量传导、散热比较慢，而且碳负极的活性高，所以容易造成后续一系列的电、化学反应，以致酿成事故 。

热失控机理：短路——自引发内短路

随着电池循环次数的增多，副反应所形成的尖锐物质的锂枝晶会刺穿隔膜引发内短路。而这种自引发内短路的演化时间长，整个过程存在于电池工作的全生命周期内。



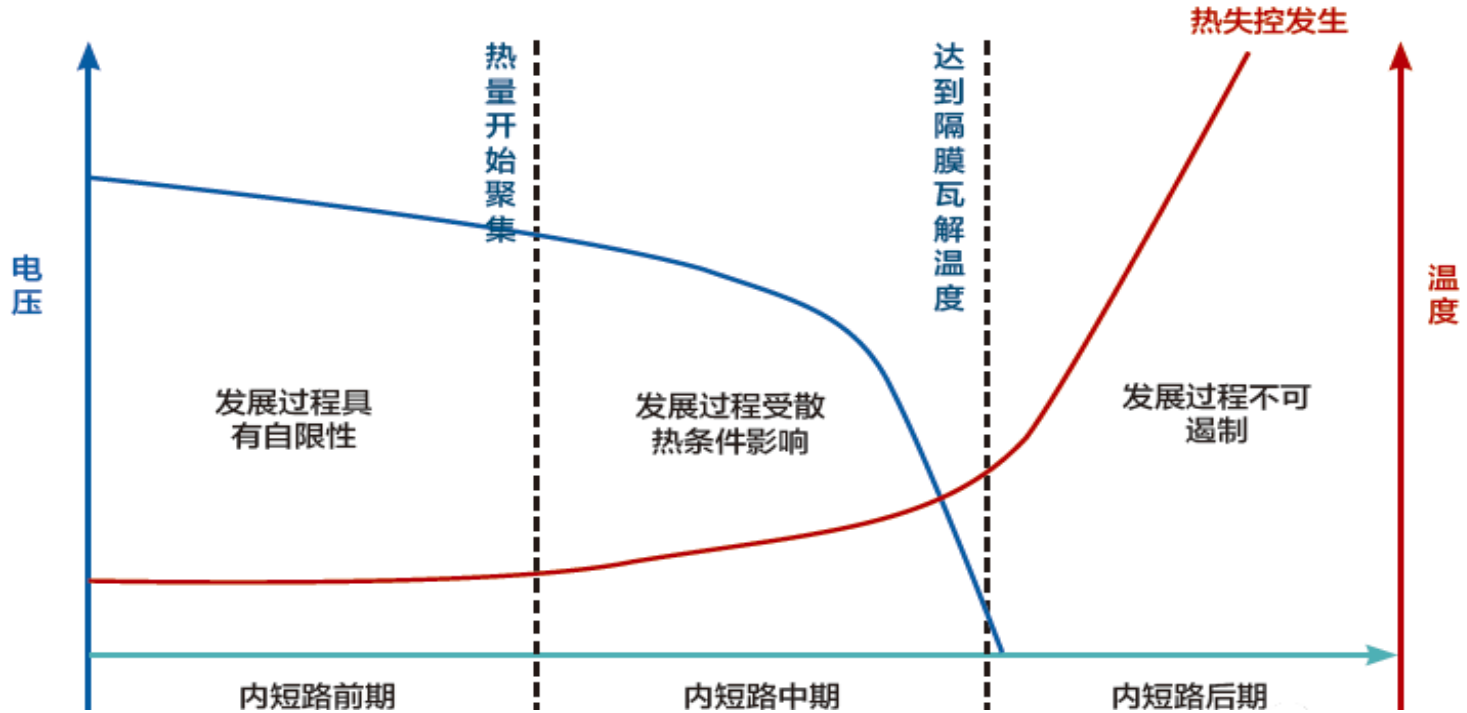
原位观测锂枝晶生长机制



枝晶生长引发内短路原位观察

热失控机理：短路——三个演化阶段

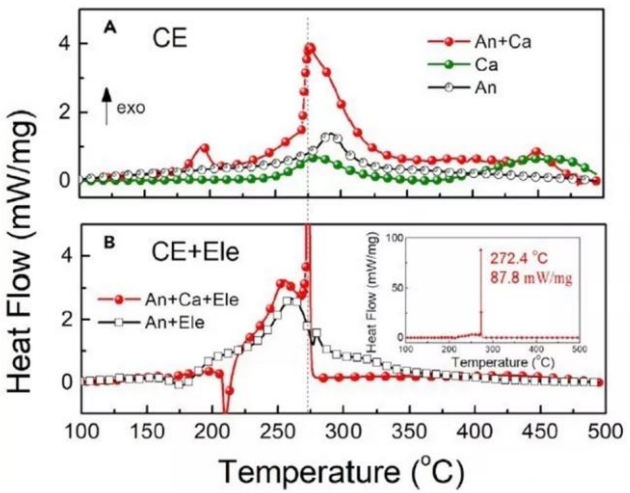
电池发生内短路时根据自放电速率和产热速率可分为三个不同的演化阶段



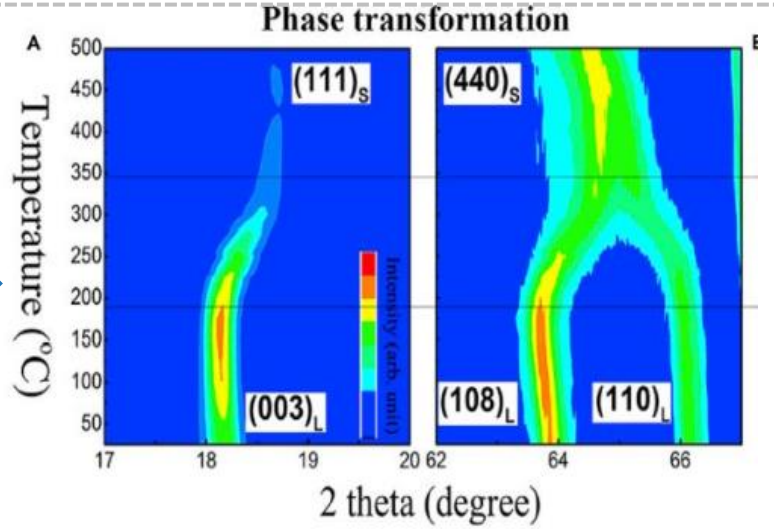
- 电池发生了非常缓慢的自放电现象，其发展具有自限性，过程中几乎没有热量产生，这时电池的压降十分缓慢，且几乎没有温升；
- 热量开始聚集，电池的内短路现象开始变得明显，电压下降速率变大，温度快速升高；
- 温度达到了隔膜的瓦解温度，电池内短路加剧，放热链式反应发生，温度异常升高，隔膜进一步的瓦解，造成大面积内短路，从而使电池不可遏制地发生了热失控，其表现为电压消失、温度急剧上升。

热失控机理：正极释氧

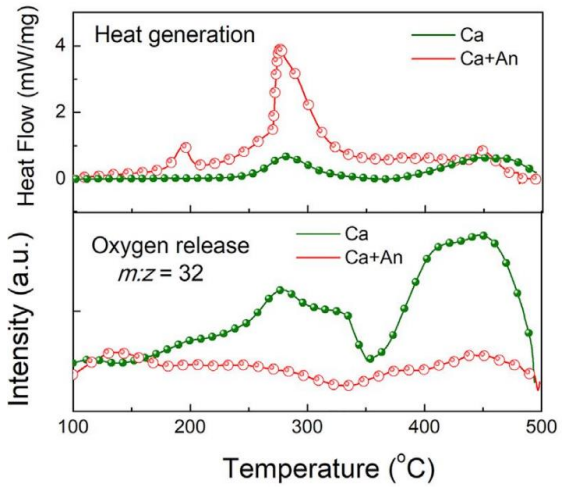
正极分解并释放出氧气，与负极形成剧烈反应，引发热失控。产热来自正极析氧与负极反应的剧烈放热。



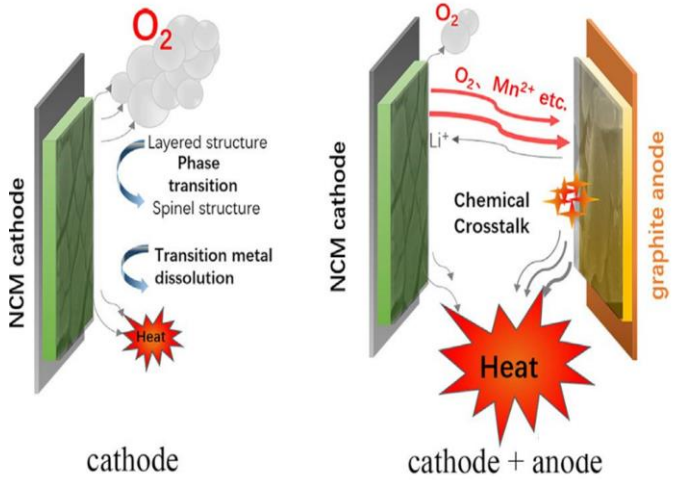
DSC测试充电态电池各组件的产热情况



高温XRD表征充电态正极材料的结构转变



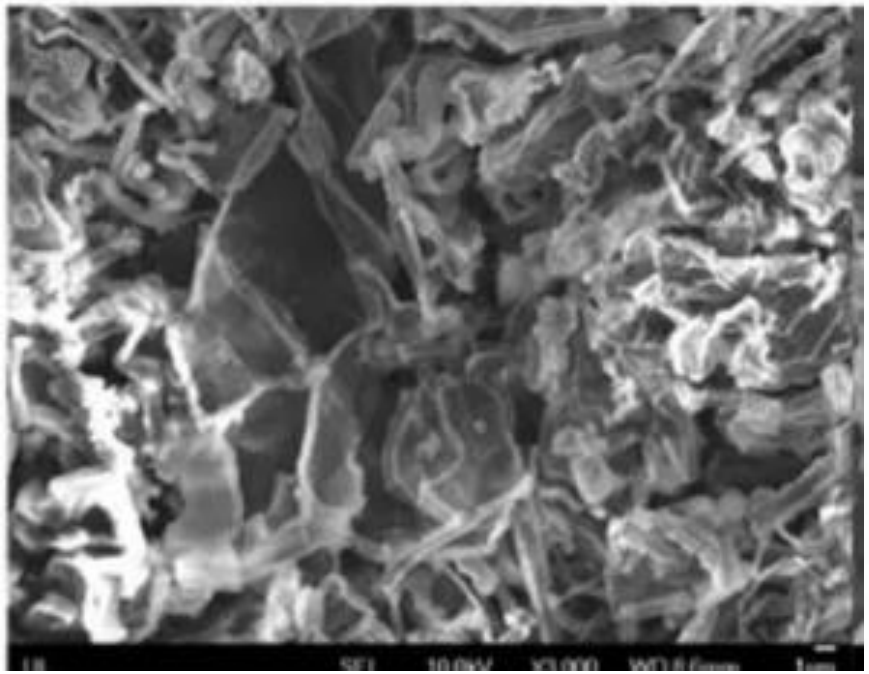
单独/组合电极产热和产气情况



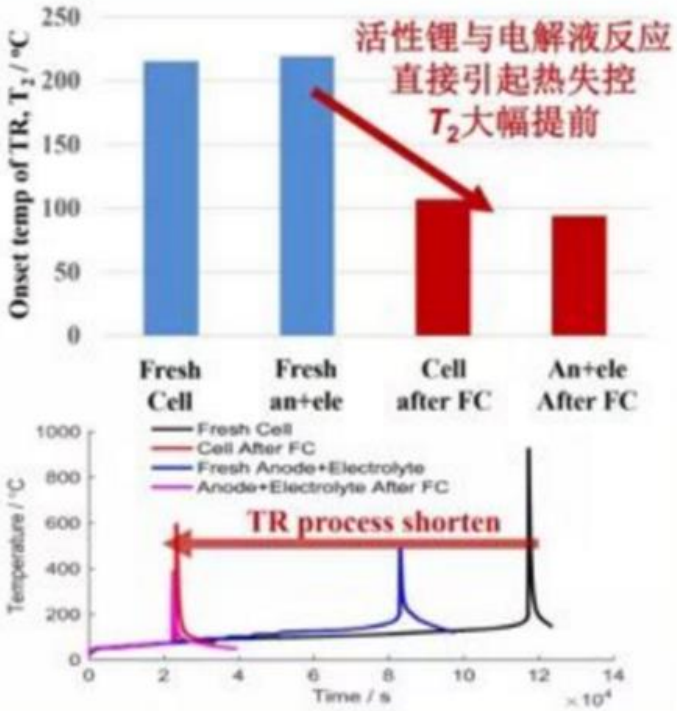
正极与负极之间存在基于化学反应的相互交扰

热失控机理：负极析锂

负极析锂主要是低温充电，大电流充电和电池老化等因素造成



低温充电时负极出现锂枝晶



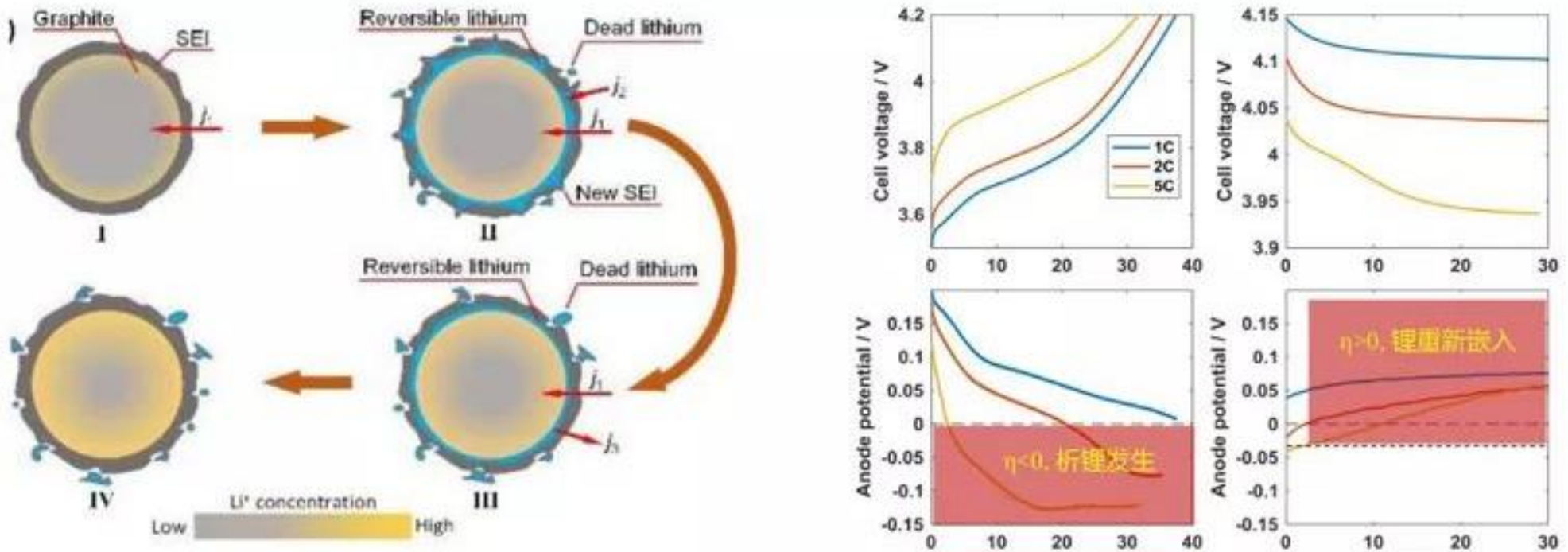
	新鲜电池	新鲜负极+电解液	快充电池	快充负极+电解液
T_1/°C	91.0	121.8	67.4	63.2
T_2/°C	215.2	219.0	107.0	94.1
T_3/°C	925.0	486.1	594.7	388.4
T_1到T_2时间 / s	82666	\	8943.2	\

- 电芯快充衰减后，热失控的时间大幅缩短，T_1、T_2急剧降低，T_2从215.2°C降低至107.0°C，安全性急剧下降
- 快充后负极析锂，与电解液反应活性急剧增加。析锂负极与电解液的反应是引发电池在107.0°C热失控的原因

快充、电池老化析锂

热失控机理：负极析锂

析锂/嵌锂平衡的打破是负极析锂的基本原理，负极表面过电势是析锂问题的关键。



负极析锂机理示意图

3

锂动力电池的安全要求和预警方法

电动汽车锂离子动力蓄电池安全要求-三项强标

电动汽车锂离子动力蓄电池安全性能要求

序号	测试项目	适用范围	判定标准	安全类别
1	振动试验	蓄电池包或系统	无泄漏、外壳破裂、着火、爆炸	机械安全性
		蓄电池包或系统电子装置		
2	机械冲击	蓄电池包或系统		
3	跌落	蓄电池包或系统		
4	翻转	蓄电池包或系统		
5	模拟碰撞	蓄电池包或系统		
6	挤压	蓄电池包或系统		
7	温度冲击	蓄电池包或系统	无泄漏、外壳破裂、着火、爆炸	环境安全性
8	温热循环	蓄电池包或系统		
9	海水浸泡	蓄电池包或系统	无着火、爆炸	
10	外部火烧	蓄电池包或系统	无爆炸	
11	盐雾	蓄电池包或系统	无泄漏、外壳破裂、着火、爆炸	
12	高海拔	蓄电池包或系统		
13	过滥保护	蓄电池系统	管理系统起作用，无泄漏、外壳破裂、着火、爆炸	电安全性
14	短路保护	蓄电池系统		
15	过充电保护	蓄电池系统		
16	过放电保护	蓄电池系统		

- 5月12日，由国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会批准发布GB 18384-2020《电动汽车用动力蓄电池安全要求》、GB 30381-2020《电动汽车安全要求》和GB 38032-2020《电动客车安全要求》三项强制性国家标准
- 标准将于2021年1月1日起开始实施。
- 三项强标是我国电动汽车领域首批强制性国家标准，对提升新能源汽车安全水平、保障产业健康持续发展具有重要意义。

锂动力电池安全预警目标

虽然锂离子动力电池和电池包在上市前都要经过严格的测试，但是动力电池安全事故依然频发，这与热失控发生的随机性、发生机理的不明确性以及安全管理方法匮乏有很大关系。因此，需要建立安全预警方法。

锂动力电池安全预警

- **分级预警：**改善能够判断电池异常状态（SOC、温度、漏液），并根据电池异常状态的严重性进行分级报警
- **防止误预警**：防止电池状态估计不准确，信号线电磁干扰造成的误判断、误报警
- **预判预警：**对于电池的热失控能做出提前预判
- **精准预警：**对于故障电池的位置能做出有效辨识，根据预警信息快速定位

锂离子动力电池安全预警技术现状

电池故障

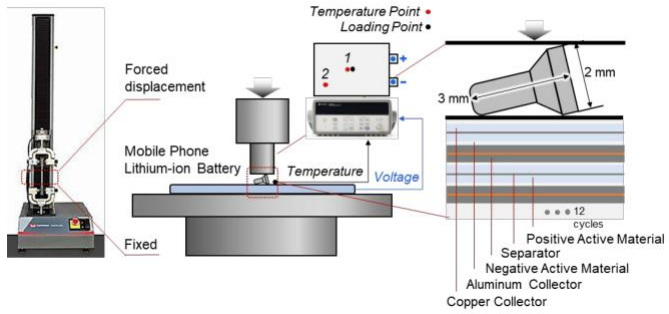
- 电池过充
- 电池过放
- 电池过热
- 电池自引发内短路
- 电池破损漏液
- 长期使用绝缘性降低
- 负极锂枝晶生长
- 电池内部副反应加剧

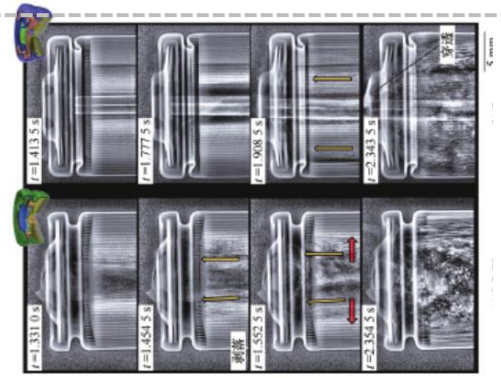
预警手段

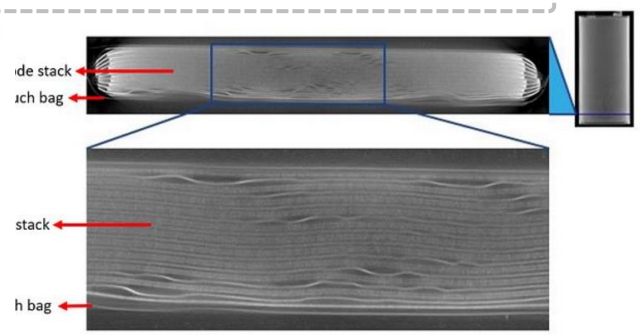
- 单体电压监控
- 单体温度监控
- 单体温升监控
- 状态估计算法
- 气体浓度监控
- 绝缘检测
- 超声检测、X射线断层扫描检测
- 光纤压力检测

电池管理系统措施

- 过放电、过充电保护
- 输出短路保护
- 过温保护（强制散热vs热失控）
- 高压断电保护
- 过流断开保护（并联无效）
- **无法提前预判内短路**







4

公司介绍

鹏辉®
GREAT POWER

完整的电池解决方案供应商

股票代码：300438

公司大事记

2001 公司成立

同年1800mAh镍氢电池科技成果鉴定为 “国际先进水平”

2002 珠海鹏辉成立

率先拥有锂离子软包电池专利; 成立国家级博士后工作站国内首家； 世界第二家推出锂铁电池

2007 国家火炬计划重点高新技术企业

2013 河南鹏辉成立

2015 公司上市

并购日本耐克赛

2018 建立江苏工业园

销售额达35亿元 集团员工超6000人; 动力电池出货量行业排名第6名

2019 3月份建立柳州工业园

六大工业园区

河南鹏辉工业园

方形铝壳、圆柱铝壳生产区

- 总投资15亿元
- 占地270亩
- 韩国进口全自动先进设备

广州集团总部

研究院、数码电池、一次电池生产区

- 电芯、PACK研发和中试基地 锂铁、
- 锂锰电池和特色电池生产基地

日本NEXCELL

锌空电池生产区

珠海鹏辉工业园

储能电池主要生产区、镍氢电池生产区

- 大型（铝壳和聚合物）动力、储能电池生产基地手机和3C消费电池（圆柱和聚合物）生产基地镍氢电池生产基地
- 占地250亩

常州鹏辉工业园

汽车电池生产区

- 拟固定资产投资58亿
- 占地650亩

柳州鹏辉工业园

汽车PACK生产区

- PACK自动化组装线

五大核心竞争力

鹏辉能源

创业板上市公司

2.81亿注册资本，6000人规模，6大工业园区

产品线最长的锂电企业之一

4大领域，方形圆柱软包扣式电池一应俱全

超高性价比

产品各项性能优秀，安全性达国家标准，价格普遍低于行业平均水平

超过20年的技术沉淀

超过20年的电池制造经验，用专业服务客户，定制适配电源方案

超强研发实力

研发成果无论在国内还是国际上都处于领先水平

主营产品应用场景介绍

数码类	手机、平板电脑、电脑、充电宝、安防、智能物联、灯具、电子烟、ETC、TWS耳机、蓝牙设备、智能穿戴
新能源动力类	低速车、乘用车、专用车、客车、大巴车、电动船舶、48V微混动力系统
储能类	UPS备用电源、通讯基站备用电源、便携式储能、大型用户侧储能、工商业用户侧储能、电网储能、家用储能
轻　型动力类	电动工具、电动自行车、电动摩托车、启动电源、平衡车、扫地机、吸尘器、无人机

客户展示

- 2019年动力电池装机量全国前十
- 2019年动力磷酸铁锂电池装机量全国前五
- 工信部第327批公告：乘用车配套第一名

汽车类	储能类	数码类	轻动类
上汽通用五菱 SGMW	CHINA TOWER 中国铁塔	HARMAN	TTI 创科集团
奇瑞汽车	Trinasolar 天合光能	Honeywell	哈啰出行
东风汽车	WOLONG 卧龙	VARTA	哈啰换电
广汽集团 GAC GROUP	LEOCH 理士電池 Leoch Battery	小米 xiaomi.com	超威集团 CHILWEE
长安汽车	LONGi 隆基	GoerTek 歌尔	bhagwati group
LEVDEO 雷丁电动汽车	NorthStar	HUAWEI	Einhell

广汽新能源

广汽集团
GAC GROUP

超级快充电池测试现场

高续航铁锂电池 400km以上高续航

超级快充电池 充电30min，续航500km

上汽通用五菱

上汽通用五菱
SGMW

宝骏E100 乘用车

宝骏E200 乘用车

战略合作伙伴

宝骏新能源电池的主力供应商

2019年12月，工信部第327批公告：

鹏辉能源配套4款宝骏牌纯电动轿车

汇报完毕，谢谢观看！