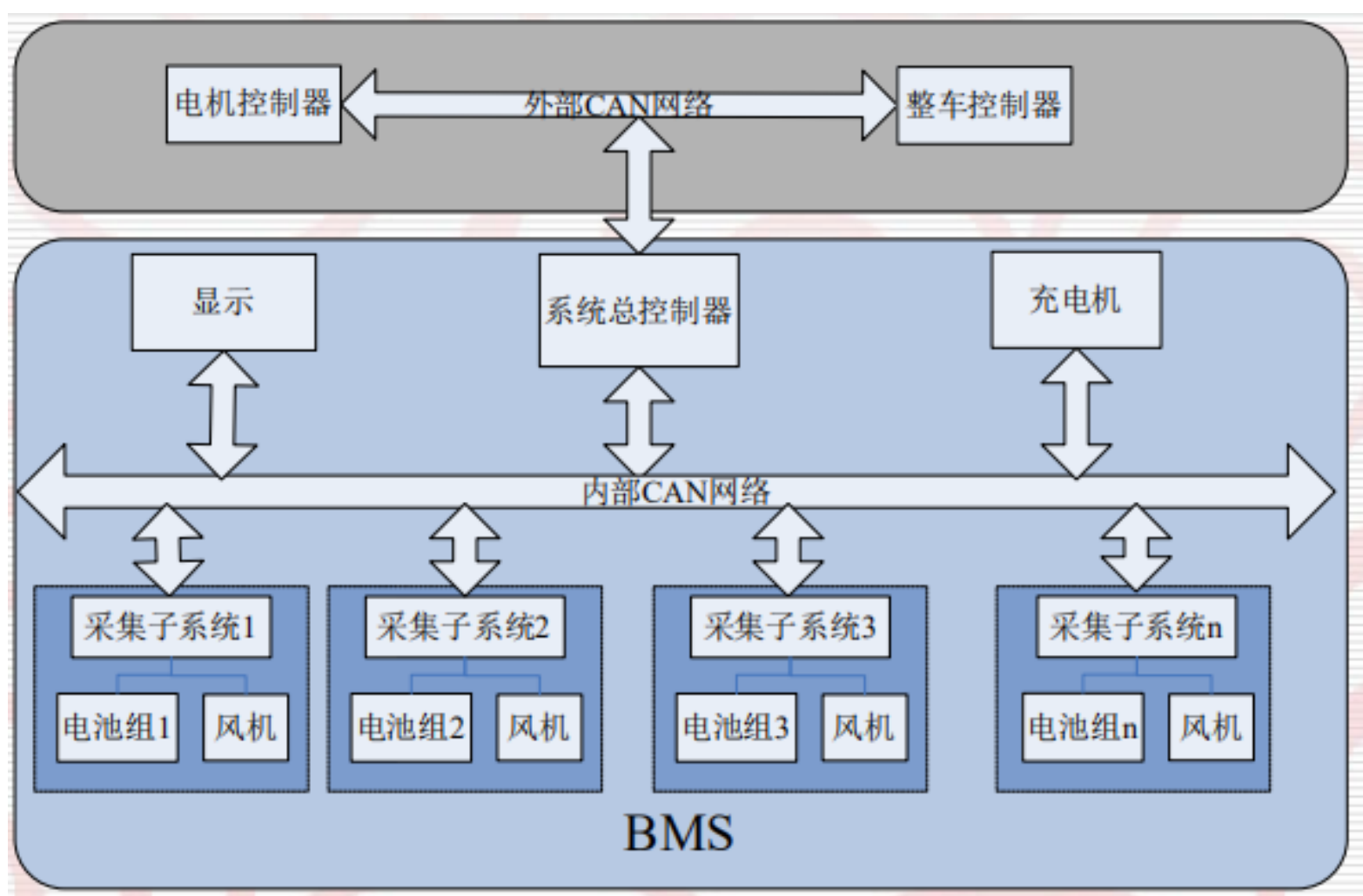
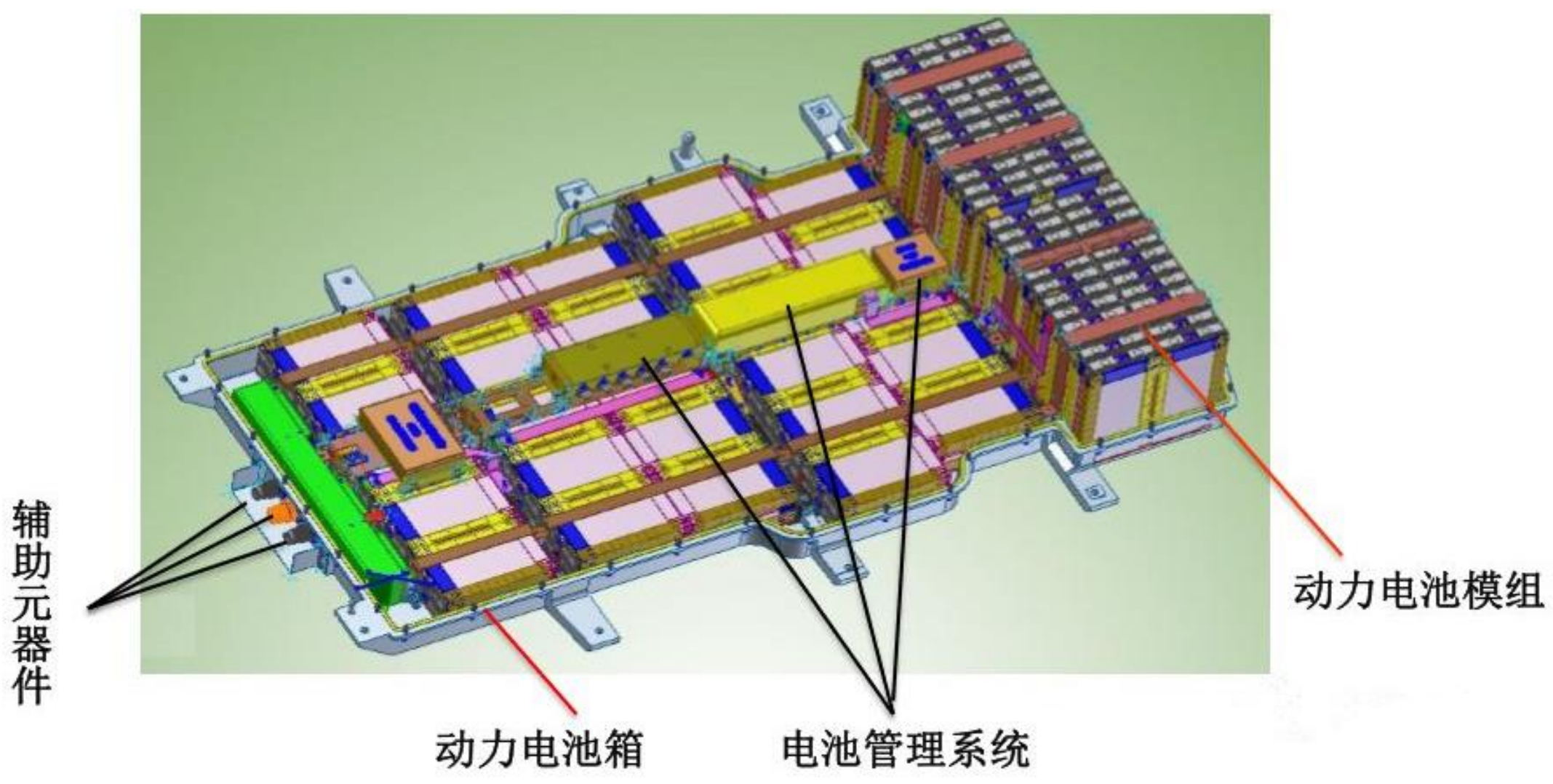


NO.010

汽车动力电池技术及发展方向

动力电池的基本构成

- 电池管理系统（BMS）：主体和温度、电压、电流传感器等
- 电池箱：支撑、固定、包围电池组的箱体，包含上盖和下托盘，辅助元器件如连接件、护板、螺栓等
- 辅助元器件：包括如熔断器、继电器、分流器、接插件、紧急开关、烟雾传感器、维修开关、密封条、绝缘材料等
- 电池系统：单体电池串、并联组成的多级单元
- 主/被动散热系统（氟冷/水冷/风冷）



电池管理系统组成

动力电池基本理论

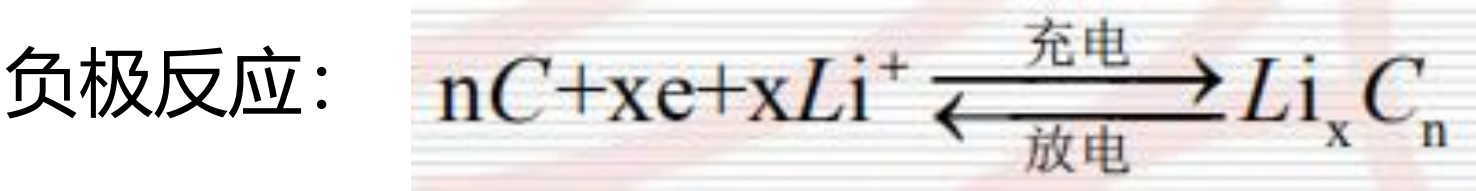
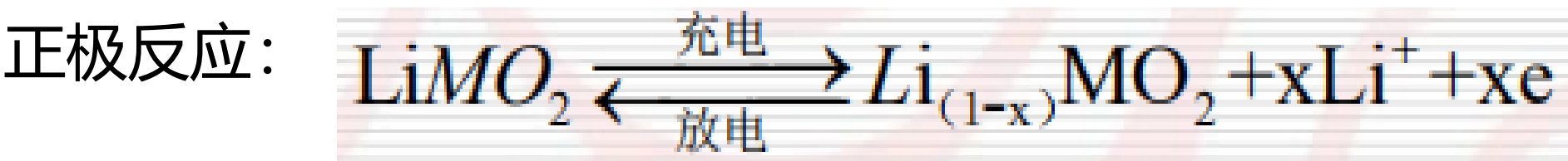
动力电池作为电能直接来源，主要应用于插电式混合动力汽车 (PHEV)、纯电动汽车(BEV) 和燃料电池汽车 (FCEV)等新能源汽车。要求比能量高、比功率大、寿命长、成本低。

基本分类

根据电池的基本原理，动力电池可分为化学电池、物理电池、生物电池三类。1)化学电池：利用物质的化学反应储存和（或）释放能量，如铅酸电池、离子电池、燃料电池等；2)物理电池：利用光、热、物理吸附等物理能量储存和（或）释放能量，如超级电容、飞轮电池、太阳能电池等；3)生物电池：利用生物化学反应产生电能，如生物太阳能电池、酶电池、微生物电池。

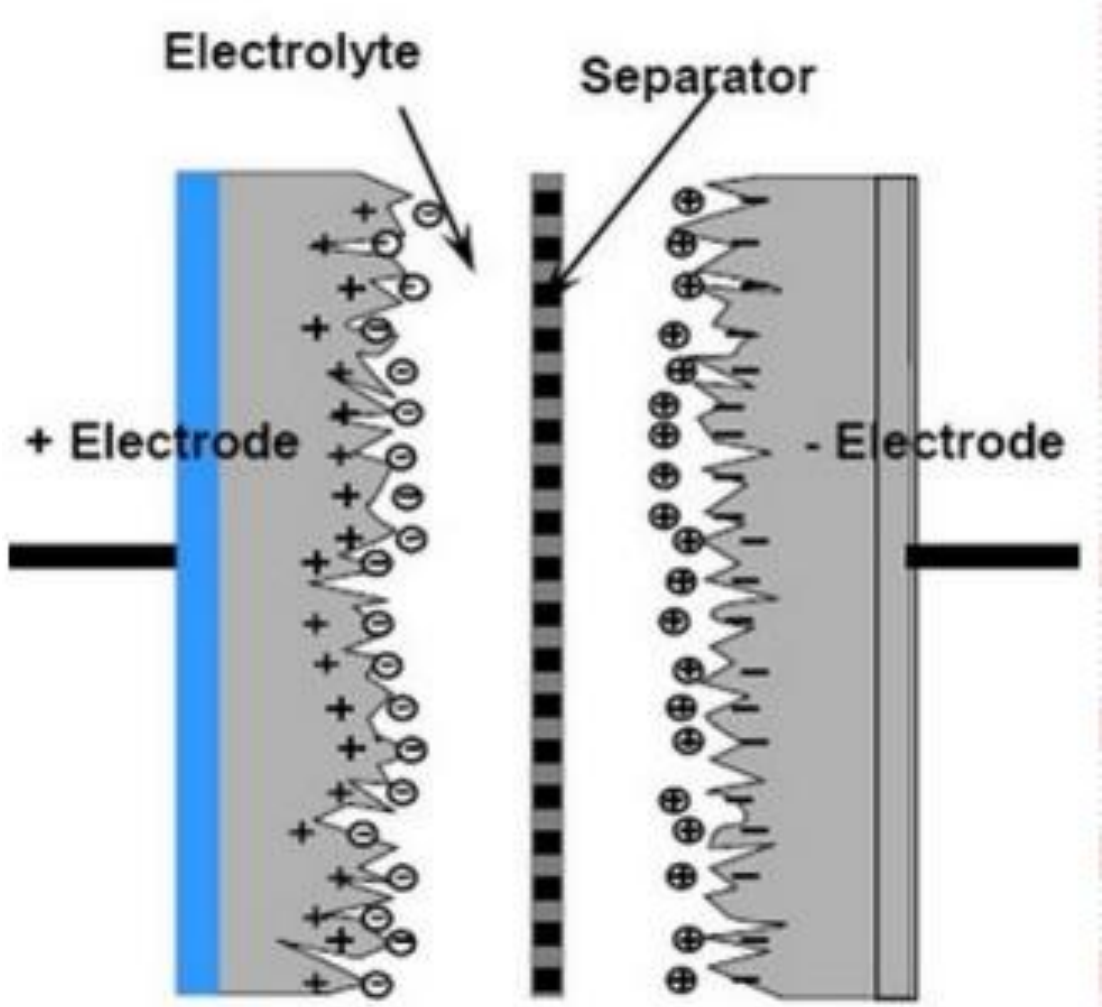
基本原理

锂离子动力电池电化学表达式：



正极化合物有LiCoO₂，LiNiO₂，LiMnO₄，LiFeO₂，LiFePO₄等，
负极化合物有Li_xC₆，TiS₂，WO₃，NbS₂，V₂O₅等。

超级电容器：利用多孔电极和电解质组成双层电容结构，外加电压时，正负极板分别吸引电解液中的带电离子，建立两个电荷储层，从而实现电能存储。



超级电容器结构

车用动力电池种类及特性

电动汽车用电池经过多年的发展，已取得了突破性的进展。

第一代是铅酸电池，目前主要是阀控铅酸电池（VRLA），由于其比能量较高、价格低和能高倍率放电，因此是目前大批量生产和广泛应用的电动汽车用电池，主要用于低端车辆上。

第二代是碱性电池，主要有镍镉（Ni-cd）、镍氢（Ni-MH）、钠硫（Na/S）、锂离子（Li-ion）和锌空气（Zn/Air）等多种电池，其比能量和比功率都比铅酸电池高，因此大大提高了电动汽车的动力性能和续驶里程，但其价格却比铅酸电池高。目前已经大批量生产和普遍应用。

第三代是燃料电池。燃料电池直接将燃料的化学能转变为电能，能量转化效率高，比能量和比功率都高，并且可以控制反应过程，能量转化过程可以连续进行，因此是理想的汽车用电池，但目前还处于研制和小批量试用阶段，一些关键技术还有待突破。

车用动力电池分类

各类型动力电池主要性能参数

类型	比能量 (W·h/kg)	能量密度 (W·h/L)	比功率 (W/kg)	循环寿命（次）	价格 (美元 /KW·h)
铅酸电池	20-50	60-100	200-400	400-6--	120-150
镍氢电池	50-70	100-140	150-300	800-2000	150-200
Li-ion	120-140	240-280	200-300	1200	150-180

（1）铅酸电池

铅酸电池采用金属铅作为负极，二氧化铅作为正极，用硫酸作为电解液。现在比较广泛的采用免维护的阀控式铅酸电池(VRLA)。

分类：①普通铅酸电池：电解液是硫酸水溶液。电压稳定、价格低，比能量低、使用寿命短，维护频繁，多用于车辆辅助电源。②干式铅酸电池：使用时加入电解液，储电能力强。③免维护蓄电池：目前在车用动力电池中使用较多，其中阀控铅酸蓄电池(VRLA)具有电流大、寿命长等特点。

主要优点：大电流放电性能好；价格低廉；无记忆效应；易于识别荷电状态；

主要缺点：比能量低；寿命短，使用成本高；原料含铅，有污染；充电时间长。



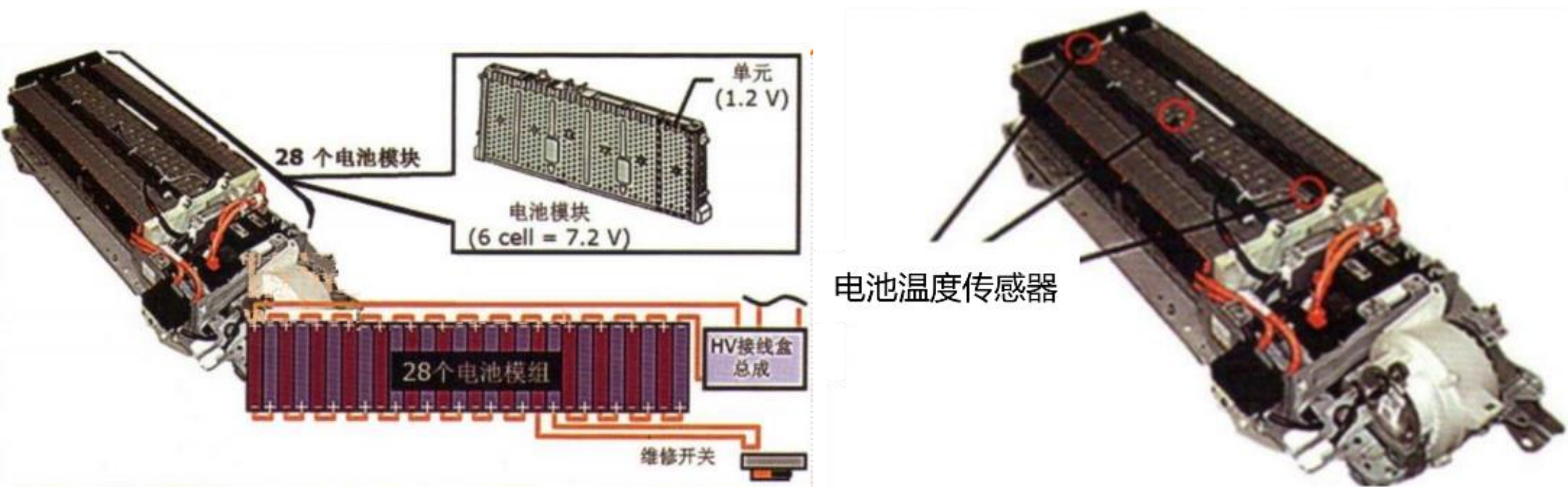
(2) 镍氢电池

镍氢蓄电池正极活性物质采用氢氧化镍（NiOH），负极活性物质为贮氢合金（MH），电解液为30%的氢氧化钾溶液，电池充电时，正极的氢进入负极贮氢合金中，放电时过程正好相反。在此过程中，正、负极的活性物质都伴随着结构、成分、体积的变化，电解液也发生变化。

镍氢电池具有不明显的“记忆效应”。记忆效应大大缩小了电池的储存电容量，直接影响电池的使用。即电池在循环充放电过程中容量会出现衰减，而过度充电或放电，都可能加剧电池的容量损耗。

因此对于厂商来说，镍氢电池控制系统在设定上都会主动避免过度充放电，如将电池的充放电区间人为控制在总容量的一定百分比范围内，以降低容量衰减速度。

镍氢电池主要特点：比功率高；无污染；耐过充过放；无记忆效应；温度范围宽；自放电率高；高温性能差；过充过放会排出气体。



镍氢单体电池的额定电压为1.2V，通常由六个或十个单体电池构成一块电压为7.2V或12V的电池模组。丰田普锐斯混合动力车型上就用了这种7.2V一节的电池，如图示。电容量为6.5Ah，实测每节外形尺寸为274mm×106mm×20mm，质量为1.1kg，有28节串联共计201.6V。

(3) 锂离子电池

锂离子电池使用锂碳化合物作负极，锂化过渡金属氧化物作正极，液体有机溶液或固体聚合物作为电解液。在充放电过程中，锂离子在电池正极和负极之间往返流动。

分类：锂离子电池根据正极材料的不同，种类很多，其中较为广泛应用的主要有磷酸铁锂电池、钴酸锂电池、锰酸锂电池、三元锂电池。

三元锂电又分NCM/NCA两种材料

NCM：($\text{LiNi}_{0.7}\text{Co}_{0.15}\text{Mn}_{0.15}\text{O}_2$) 正极材料由镍钴锰三种材料按比例组合而成；

NCA ($\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$)，正极材料是由镍钴铝构成。

两种三元材料的前两者是一样的，都是镍和钴，只有最后一个不同，前者为锰，后者为铝。NCA生产过程中比NCM的生产工艺要求更为严格。

NCM中镍：钴：锰的摩尔比常见为5：2：3或1：1：1，而NCA中镍：钴：铝常见的摩尔比为8：1.5：0.5，由于NCA中铝的含量过少，因此也常称为二元材料。

而NCA中以Al（过渡金属）代替锰，实际是将镍钴锰酸锂通过离子掺杂和表面包覆进行改性，离子掺杂可以增强材料的稳定性，提高材料的循环性能。

制作过程中由于Al为两性金属，不易沉淀，因此NCA材料制作工艺上难度大。由于NCA的技术更高端，生产难度更大。

NCM的生产厂家众多，包括LG和中国的主要动力电池厂家。

锂离子电池规格

GB/T34013-2017 《电动汽车用动力蓄电池产品规格尺寸》。

表1 蓄电池尺寸范围

产品尺寸	尺寸范围
< 10	±0.5
≥10, < 100	±2.0
≥100, < 500	±5.0
≥500	±10.0

表2 圆柱形电池尺寸系统

序号	外形尺寸mm	
	N1	N3
1	18	65
2	21	70
3	26	65/70
4	32	70/134
注：所列尺寸其尺寸范围参照表1.		



方形电池尺寸系列

序号	外形尺寸mm		
	N1	N2	N3
1	20	65	138
2	20/27	70	107/120/131
3	12/20	100	141/310
4	12/20	120	80/85
5	27	135	192/214
6	20/27/40/53/57/79/86	148	91/95/98/129/200/396
7	12/20/32/40/45/48/53/71	173	85/110/125/137/149/166/184/200
8	32/53	217	98

注：1.所列尺寸范围参照表1。
2.考虑整车布置的需要，推荐方形电池极柱高度不超过10mm。

N1——方形电池的厚度；

N2——方型电池的宽度；

N3——不包含极柱的电池高度。



锂离子电池分类及特点

- 1) 磷酸铁锂电池 — 大量应用，优点：寿命长、充放电倍率大、安全性好、高温性好、元素无害、成本低。缺点：能量密度低、振实密度低(体积密度)。
- 2) 钴酸锂电池，优点：电池结构稳定、容量比高、综合性能突出；缺点：安全性差、成本非常高。主要用于中小型号电芯，广泛应用于笔记本电脑、手机、MP3/4等小型电子设备中3C产品。
- 3) 锰酸锂电池，优点：振实密度高、成本低。缺点：耐高温性差，锰酸锂长时间使用后温度急剧升高，电池寿命衰减严重(如日产电动车LEAF)。
- 4) 三元锂电池 — 应用日益广泛，优点：能量密度高、振实密度高。缺点：安全性差、耐高温性差、寿命差、大功率放电差、元素有毒。

几种锂离子电池综合对比

参数	磷酸铁锂	钴酸锂	锰酸锂	三元锂
振实密度 (g/cm3)	1.0~1.4	2.8~3.0	2.2~2.4	2.0~2.3
比表面积 (m2/g)	12~20	0.4~0.6	0.4~0.8	0.2~0.4
容量密度 (Ah/kg)	130~140	135~140	100~115 1	155~165
电压平台 (V)	3.2	3.7	3.6	3.6
循环性能	>2000	>300	>500	>800
过度金属	非常丰富	贫乏	丰富	贫乏
原料成本	低廉	很高	低廉	高
环保	无毒	含钴	无毒	含镍、钴
安全性能	优秀	差	良好	良好

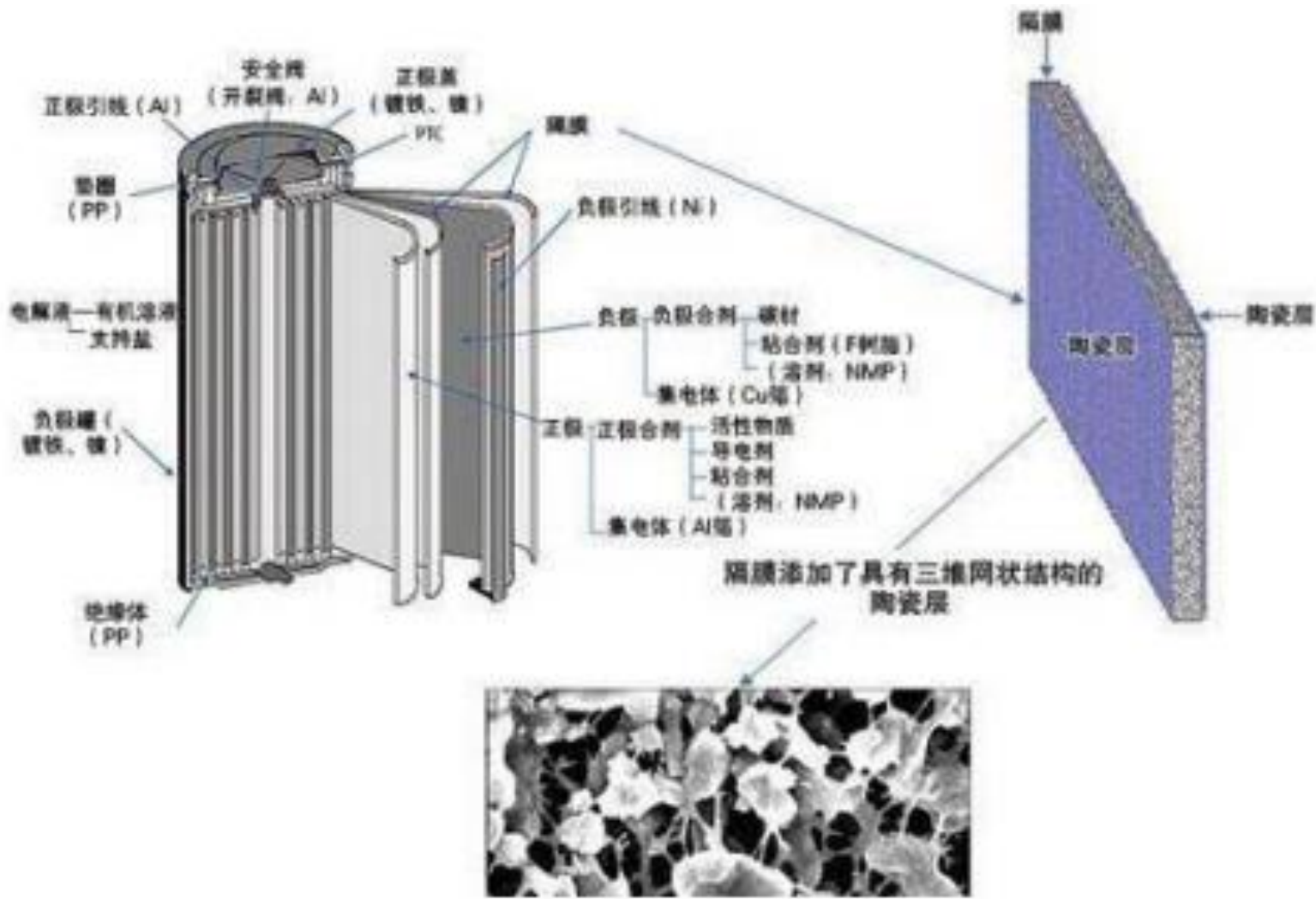
几种锂离子电池性能参数对比

各类锂离子电池主要性能参数

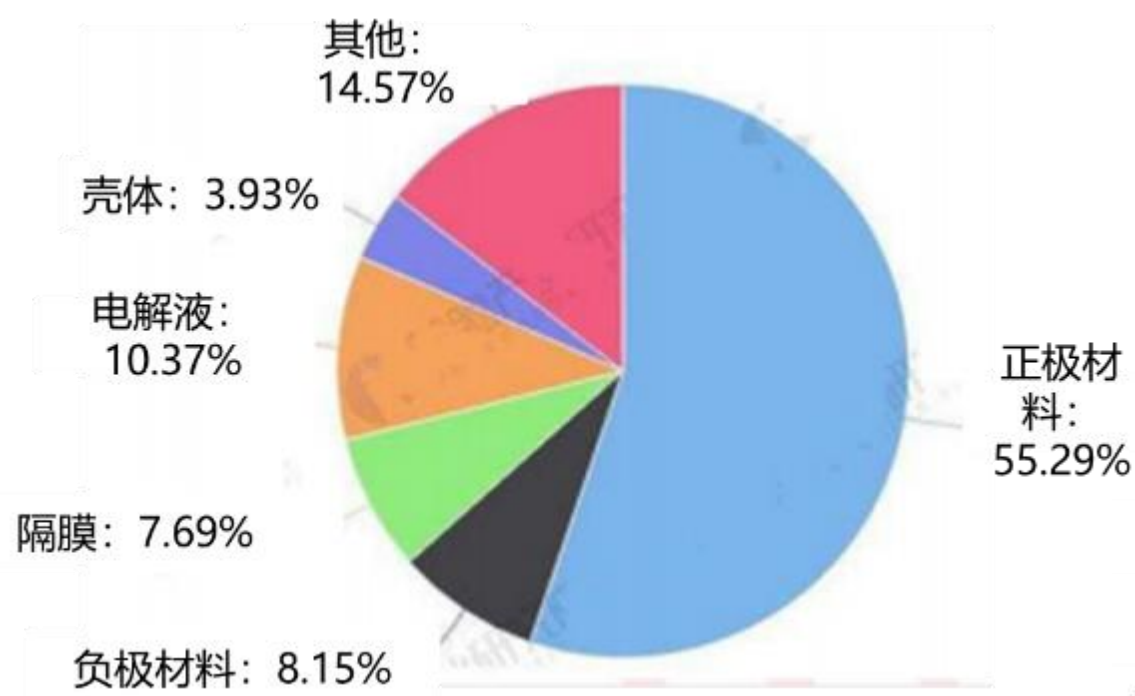
类型	工作电压 (V)	阴极	晶体结构	阳极	能量密度 (W·h/kg)	循环寿命 (次)	热失控温度 (°C)
钴酸锂	3.7	LCO	层状岩盐	C	130-160	300-500	180
锰酸锂	3.7	LMO	尖晶石	C	130-160	600-1000	265
碳酸铁锂	3.2	LFP	橄榄石	C	100-130	2000	310
镍钴锰	3.7	NCM	层状岩盐	C	150-180	1500	210
镍钴铝	3.7	NCA	层状岩盐	C	170-200	1500	160
钛酸锂	2.3	NCM	层状岩盐	LTO	80-100	10000	210

锂离子电池构造工艺

锂离子电池构造



三元电池成本



锂离子电池正极构造： 活性物质+导电剂+粘结剂+集流体（铝箔） ，
正极配方：

组分	材料	配比
活性物质	三元（ $\text{LiCo}_{1-x-y}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ）	93.5%-96.5%
导电剂	导电碳黑（sp）、导电石墨（ks-6）	1.5%-4%
粘结剂	聚偏氟乙烯（PVDF）	2.0%-2.5%
集流体	铝箔	-

锂离子电池负极构造： 活性物质+导电剂+增稠剂+粘结剂+集流体（铜箔） ， 负极配方：

组分	材料	配比
活性物质	人造石墨（C）	93.5%-95.6%
导电剂	导电碳黑（sp）、导电石墨（ks-6）	1.0%-2.5%
增稠剂	羧甲基纤维素钠（CMC）	1.3%-1.5%
粘结剂	丁苯橡胶乳液（SBR）	2.1%-2.5%
集流体	铜箔	-

锂离子电池构造 – 隔膜：使电池的正、负极分隔开来，防止两极接触而短路，此外还具有能使电解质离子通过的功能。有厚度均匀性、力学性能（包括拉伸强度和抗穿刺强度）、透气性能、理化性能（包括润湿性、化学稳定性、热稳定性、安全性）等四大指标。

隔膜构造--聚烯烃隔膜的结构及特点：

结构	单层、双层	单层、双层	三层
材料	PP	PE	PP/PE/PP
生产方法	干法	干法、湿法	干法
优点	耐热性好、透过性好	机械强度高低温闭孔（130℃左右）	综合了PP、PE膜优点，机械强度好，安全性更高
缺点	安全关断温度（闭孔温度 > 140℃）高于PE	耐高温性能不如PP	高温透过性差
应用范围	数码电池、动力电池	数码电池	数码电池

锂离子电池构造- 极片



电池种类	额定电压	工作电压	充电电压
铅酸电池	2V	1.8V~2V	2.25V~2.5V
镍氢电池	1.2V	1.1V~1.5V	1.45~1.5V
锂离子电池	3.6V	2.75V~3.6V	4.1V~4.2V

动力电池特性

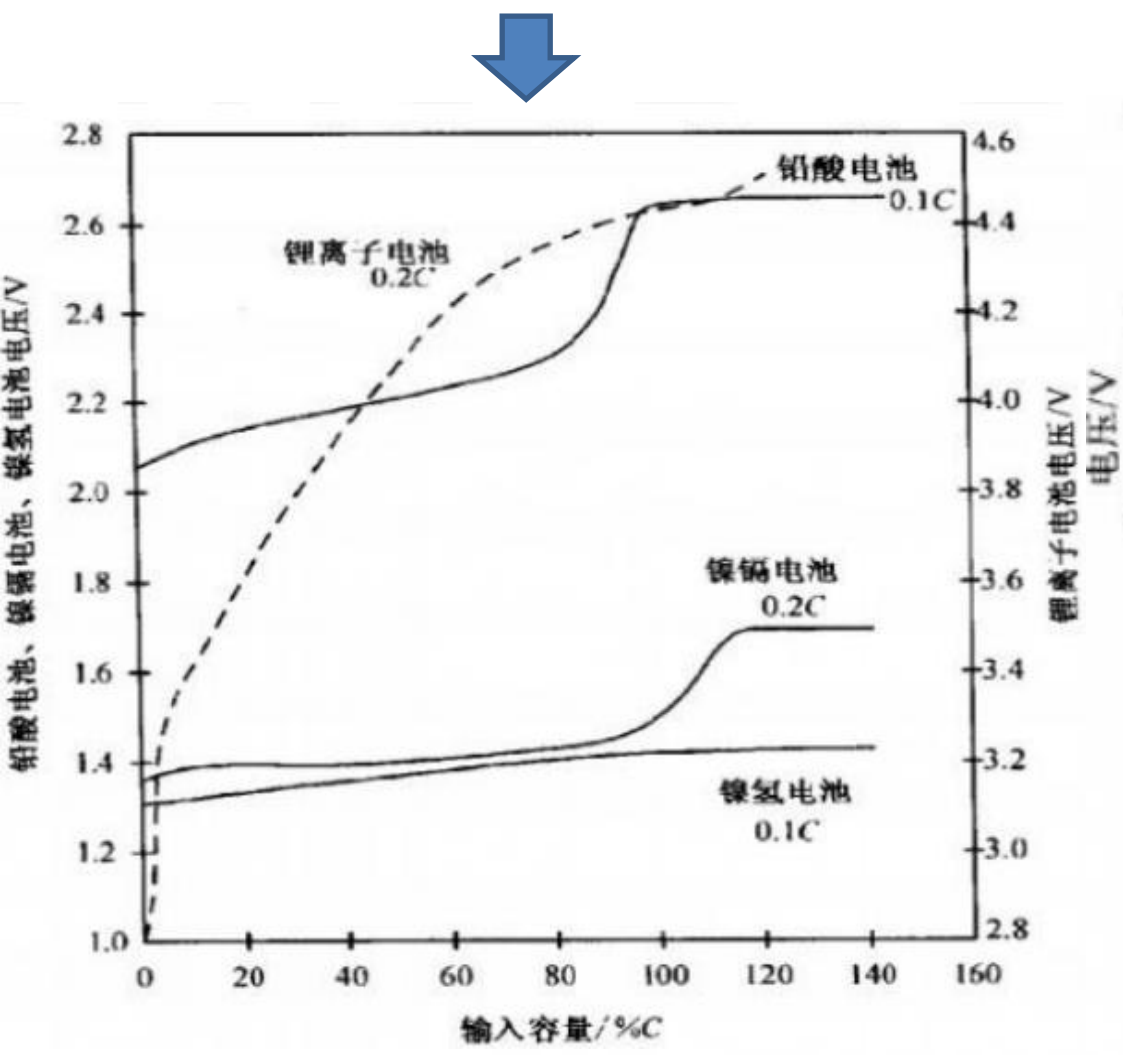
- 1) 电压/额定电压：公称电压、工作时标准电压。工作电压：电池实际放电电压范围。充电电压：外电路直流电压对电池充电的电压。
- 2) 内阻（mΩ）， 蓄电池的内阻包括：正负极板的电阻，电解液的电阻，隔板的电阻和连接体的电阻等；动力电池内阻是电池发热的主要原因之一，同时影响电池的充放电效率，因此控制电池内阻至关重要；电池的内阻在放电过程中会逐渐增加，而在充电过程中则逐渐减小。故端电压在放电时低于电池的电动势，充电时又高于电池的电动势。

- 3) 比能量 (Wh/kg)：单位质量的电极材料放出电能的大小，它标志着纯电动模式下电动汽车的续航能力。
- 4) 比功率密度 (Wh/L)：燃料电池所能输出的最大功率除以整个燃料电池的重量或体积，用来描述电池在瞬间能放出较大能量的能力。
- 5) 比功率 (W/kg)：单位质量的电池所能提供的功率，用来判断电动汽车的加速性能和最高车速，直接影响电动汽车的动力性能。
- 6) 循环寿命 (次)：电池充电一放电循环一周的次数，是衡量动力电池寿命的重要指标。循环次数越多，动力电池的使用时间越长。
- 7) 自放电率 (%/月)：单位时间自放电量与容量比值。
- 8) 充电特性：充电过程中电压与容量关系。
- 9) 放电特性：放电过程中电压与容量关系。
- 10) 电池安全：电池漏电、热稳定性、电力稳定性
- 11) 热失控：单体电池放热连锁反应引起电池自温升速率急剧变化，不可逆，引起过热、起火、爆炸现象。

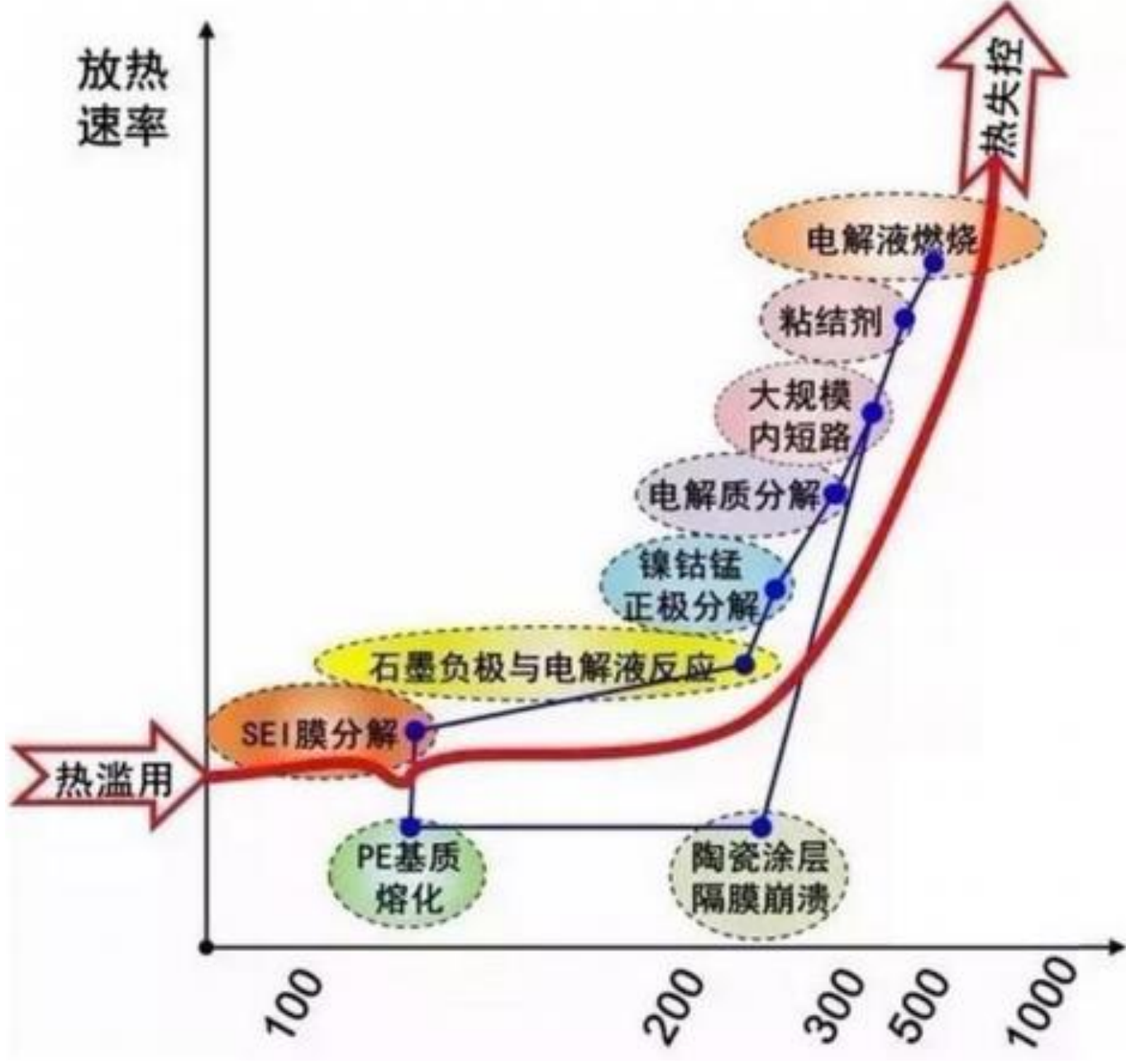
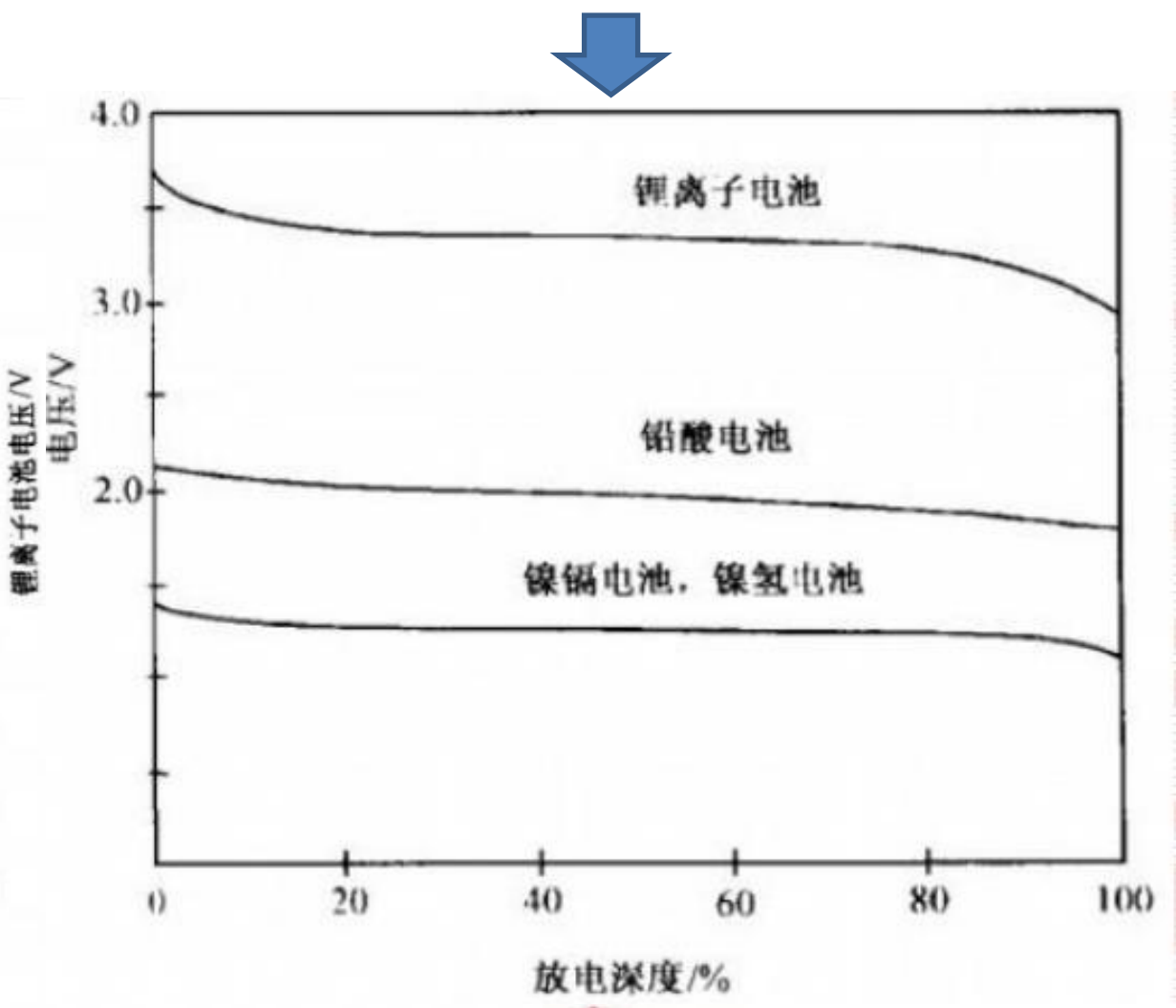
锂离子动力电池热失控的机理：热失控发生时，各种材料相继发生热化学反应，放出大量的热量，形成链式反应效应，使得电池体系内部温度不可逆快速升高。链式反应过程中，电解液气化及副反应产气造成电池体系内压力升高，电池喷阀破裂后，可燃气体被点燃发生燃烧反应。单体电池的热失控特性表现为其组成材料反应热特性的叠加。

热失控一般是从负极与电解液界面上开始的，但是随着温度的快速升高，这一过程的整体产热量是由正极与电解液的反应主宰的。因此，稳定的正极材料对锂离子电池的热安全性至关重要。

几种动力电池充电特性曲线



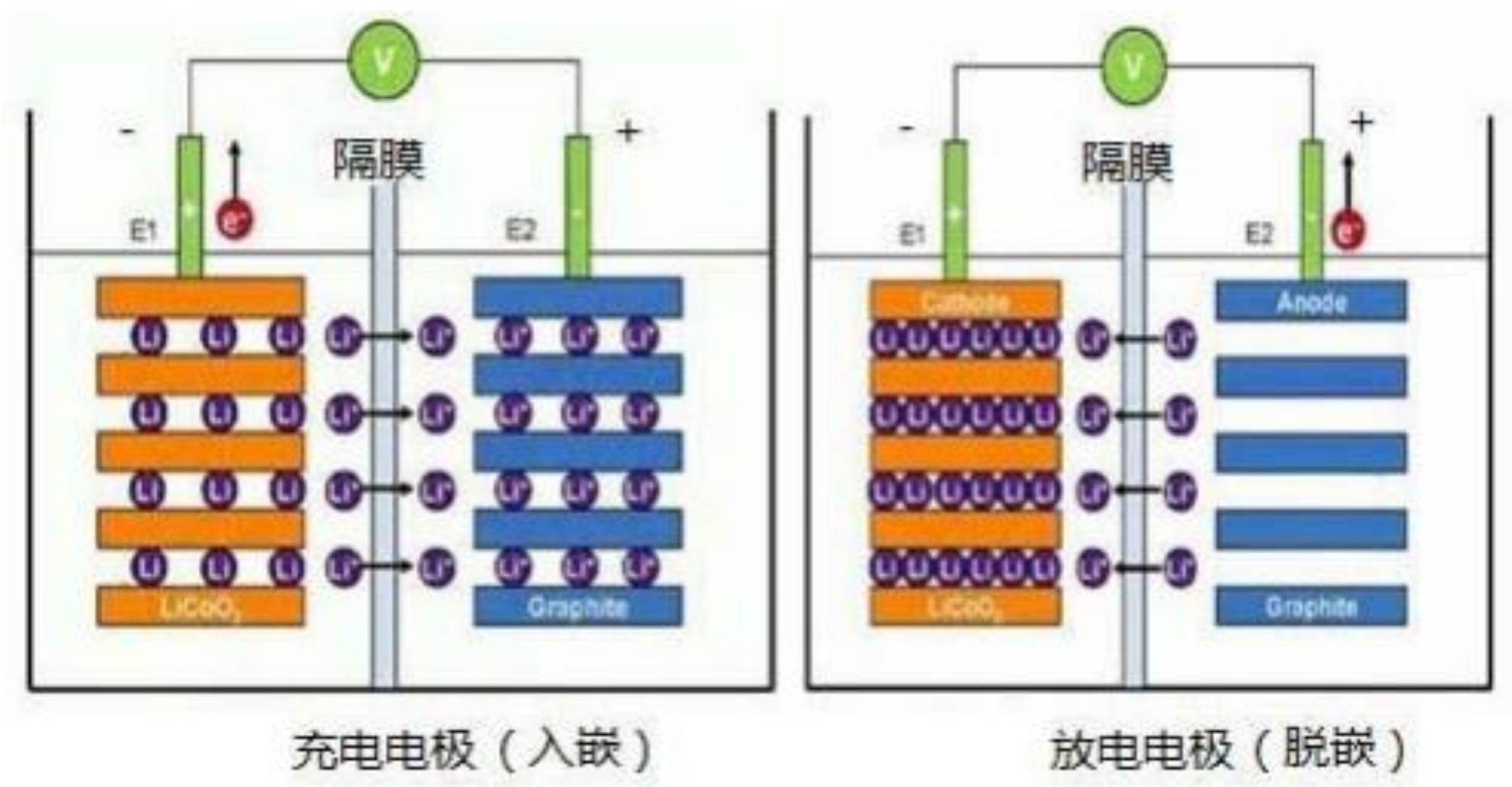
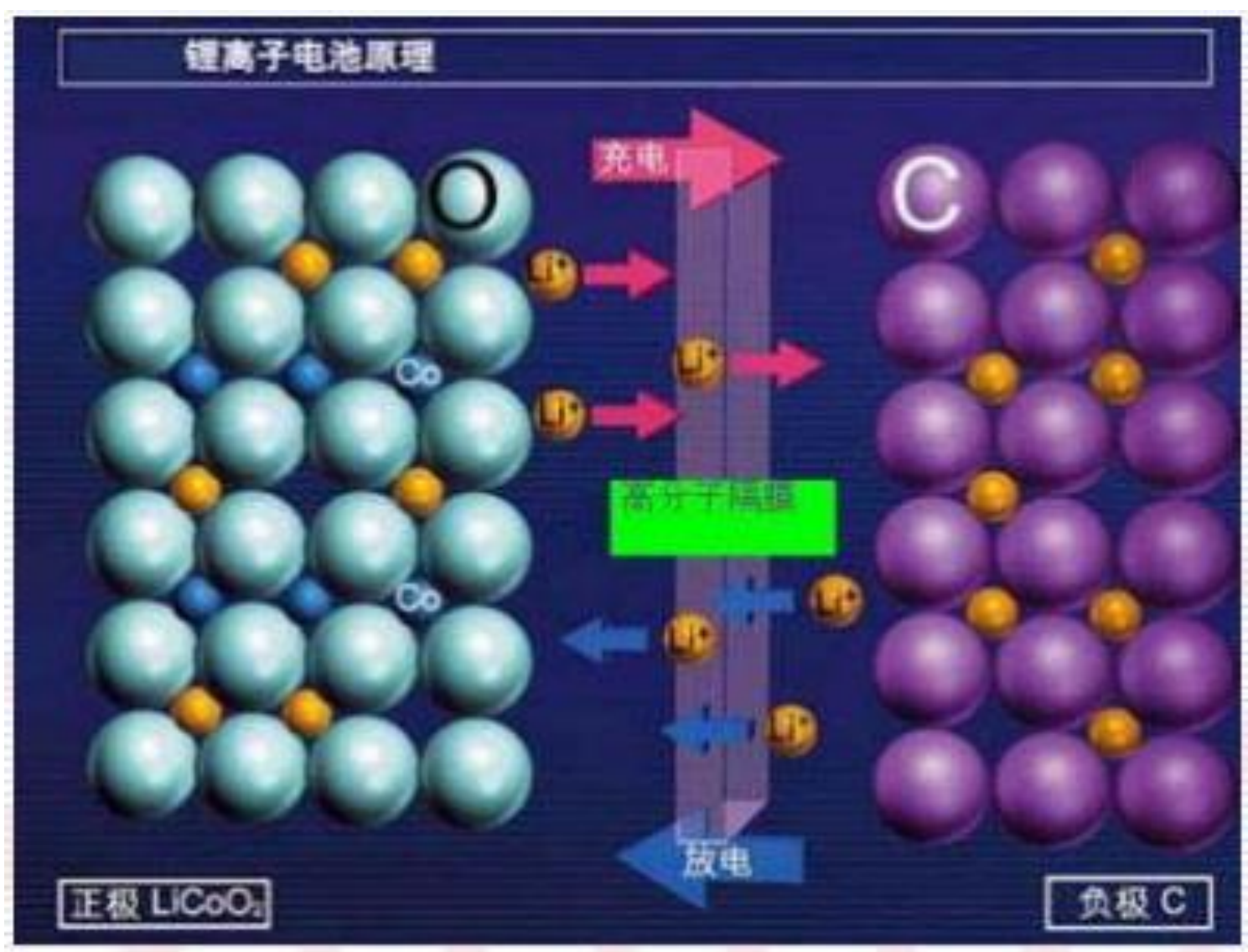
几种动力电池放电特性曲线



机械诱因、电诱因和热诱因

	单体	模组	系统
防机械诱因	GB/T31485-2015: 针刺、挤压、跌落	GB/T31485-2015: 针刺、挤压、跌落	GB/T3167.3: 机械冲击、振动、跌落、翻转、模拟碰撞、挤压
防电诱因	GB/T31485-2015: 过充电、过放电、短路	GB/T31485-2015: 过充电、过放电、短路	GB/T3167.3: 过充电保护、过放电保护、短路保护
防热诱因	GB/T 31485-2015: 加热	无	无

枝晶效应：在充电过程中，锂离子从正极脱嵌，穿越隔膜，跳进电解液后，在充电器给予的外电场作用下向负极运动，依次进入石墨组成的负极，在负极表面形成碳锂化合物。当充电速度过快时，锂离子还来不及钻进负极的小洞穴，就在负极附近的电解液中聚集起来，一些靠近碳负极的锂离子就会与电子结合，从而变成金属锂。时间一长，金属锂就会在负极堆积起来、形成像树枝一样的晶体，这种树枝状晶体为“枝晶”。枝晶大到一定程度会刺穿正负极之间的隔膜，一旦刺穿，电池会立即短路，轻者电池报废，重者发生爆炸。



车用动力电池成组技术：满足车辆需求的电池参数设计：HEV（功率型）/EV（能量型）/PHEV（能量功率兼顾型）；从整车需求出发进行设计；单体电池电气连接设计：混连方式/便于制造组装。可靠性：机械连接、固定工艺；防水、防尘、防撞、电磁兼容。电池单体一致性控制与选配。

成组技术发展方向：建立车用动力电池性能指标体系；综合电池多方面性能的参数标准化；电池分选标准化；基于热管理、能量管理的混联配组技术。

热管理技术：目的--电池组温度较高时进行散热；温度较低时进行适当加热，保证低温环境下充放电安全和效率；减小电池单体工作环境差异，保证电池组一致性。

温度控制策略：电池温度分区采集、分级管理。针对不同区域温度变化采取不同级别的措施。

发展方向：传热介质和传热路径优化；低温电池加热技术；热量的产生/传导/耗散规律研究；电/热/化多能量耦合热管理系统设计。

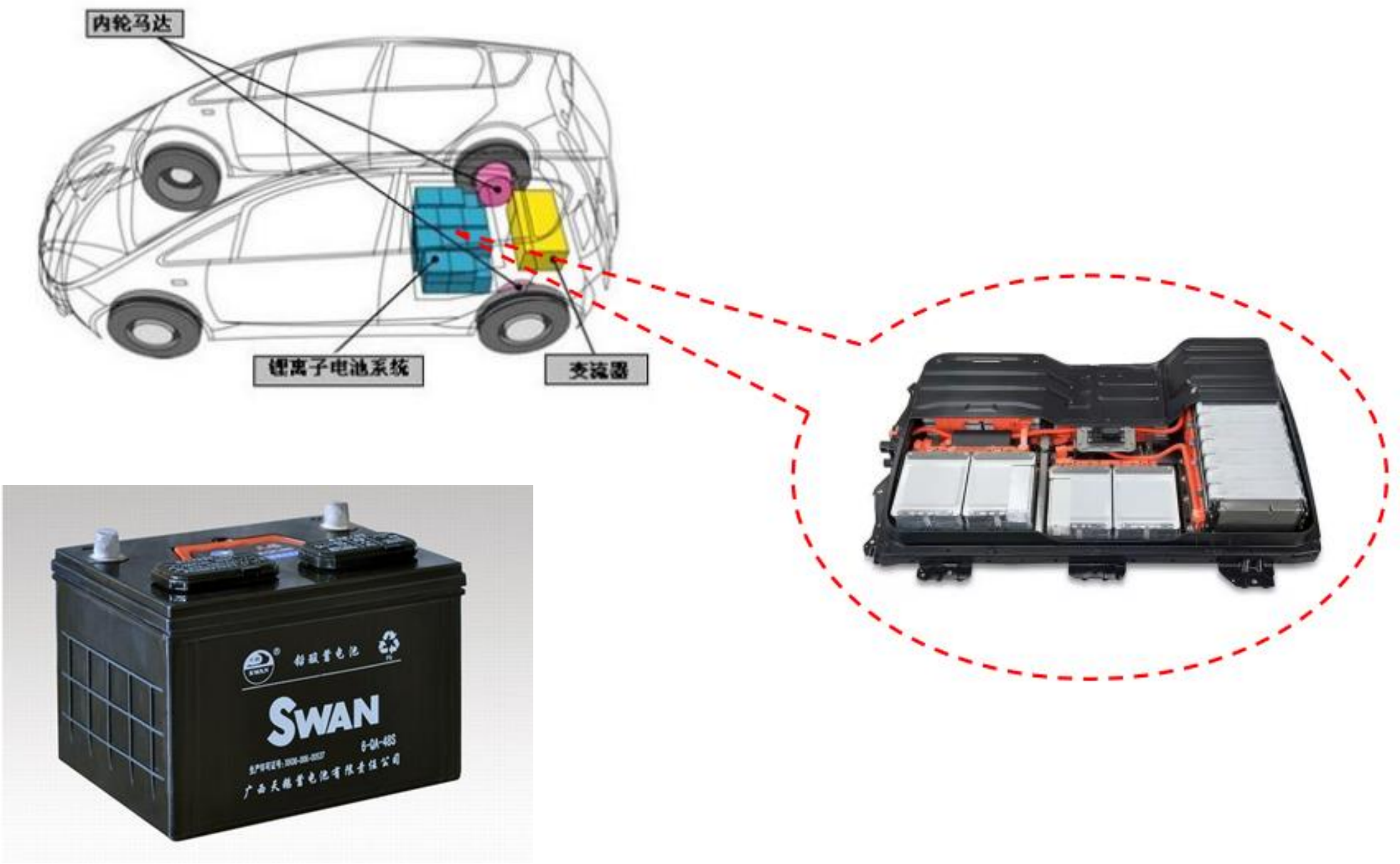
能量管理技术--电池管理系统（BMS）：参数检测、状态估计、在线诊断、安全控制与报警

电池状态检测与估计：对象--单体电池、电池组

估计阶段不同，方法、运算量、精度有所不同：①行驶时：状态估计器；②静置时：均衡、利用VOC校正SOC；③充电时：均衡、更新初始SOC；④车检时：以试验数据更新SOH估计。

发展方向：电池不一致性的低成本、高精度状态估计技术；面向不同用户特征（充电频率、平均形成）、不同工况（动力型、寿命型、续航型）进行不同能量管理策略；结合车联网、大数据等技术。

动力电池特性与问题



汽车动力电池不同于普通汽车铅酸电瓶

	铅酸电瓶	动力电池（主流锂电池）
内部架构	电解液+铅板	诸多小容量单体电池以积木式组合连接，以阻燃耐高温材料壳体封装，配备充/放电管理、电压/温度检测、电加热、通风导热、自动灭火、泄压阀等功能模块而成的大型电池模组
用 途	启动电源/低速电动车	长时间、远距离驱动车辆
技术特性	低电压、大电流 (适合短时间、大电流放电)	高电压、大电流 (适合长时间、大电流放电)
能量密度	30WH/Kg	100~200WH/Kg
技术含量	低	高
循环寿命	短	长
单位价格	低	高
其 他	单体电压、充放电特性、记忆特性等不同	

备注：特斯拉MODEL S电池组重达900多公斤，由7104节18650电芯组成

动力电池与热管理：动力电池的最关键性能指标是能量密度(Wh/Kg)，不断提升中，车辆实际续航能力受热管理（Thermal Management）能力影响极大——充/放电过程发热大、温度高，工作环境相对封闭，原则上应控制在0℃~+55℃。

电池热管理定义：通过温度检测、开关充电回路、启停加热/散热等措施使电芯温度范围稳定在合理范围内。

解决方案：保障电池安全之热管理技术：①第一层面：单体电池电芯层面， 选择合适电芯（镍氢电池、磷酸铁/三元锂离子/锰酸铁锂电池）、内部隔膜材料。②第二层面：电池模组热量控制，主动 /被动+导热材料，加强电池的加温和散热能力，保证每个电池单体工作在合适的温度范围内和保持电池箱内合理的温度分布，避免单体级别的热失控扩展到整个电池系统的热失控级别

安全保障技术

碰撞安全：分区构造车体，多重机构保护。

强电安全：避免直接接触：布局、绝缘。避免间接接触：等电位。

电流保护：智能开关、保险丝。

热安全：热安全性能预测，动力系统整体隔热。

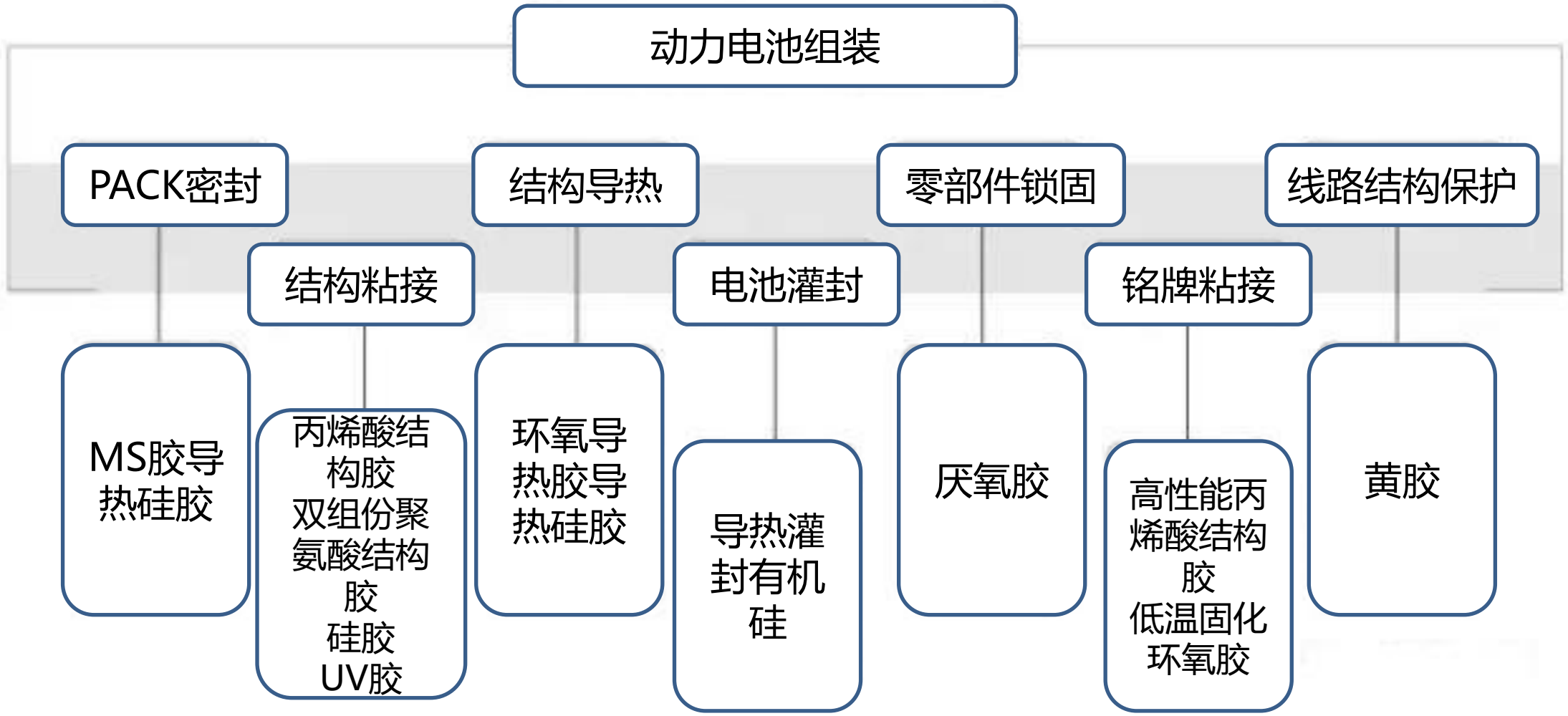
发展方向：电池安全性全面检验及认证方法；基于量产型传感器的实时监测与诊断技术；非解体、无损健康诊断技术；基于物联网技术的整车嵌入式安全管理系统。

热管理技术的实现

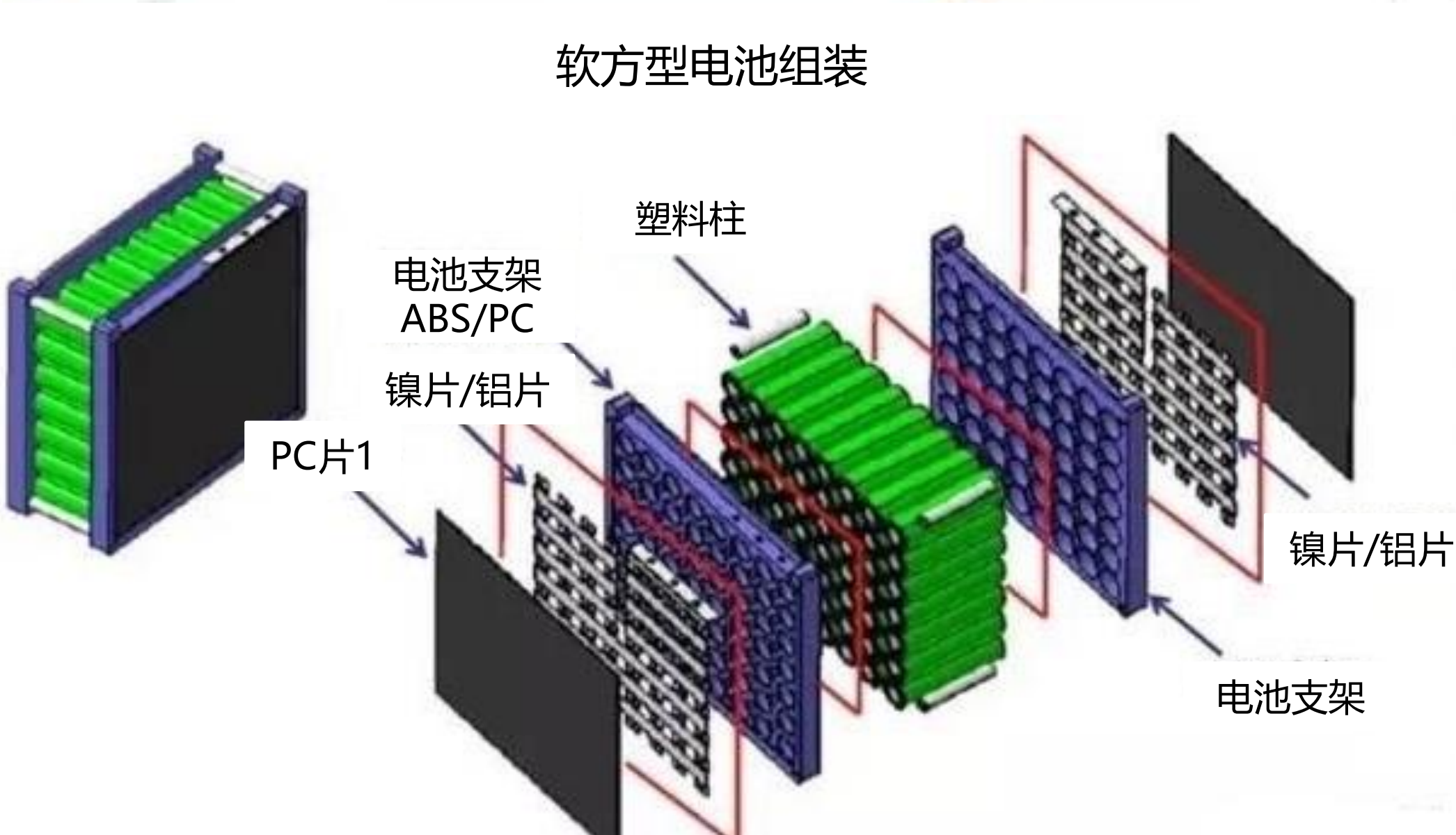
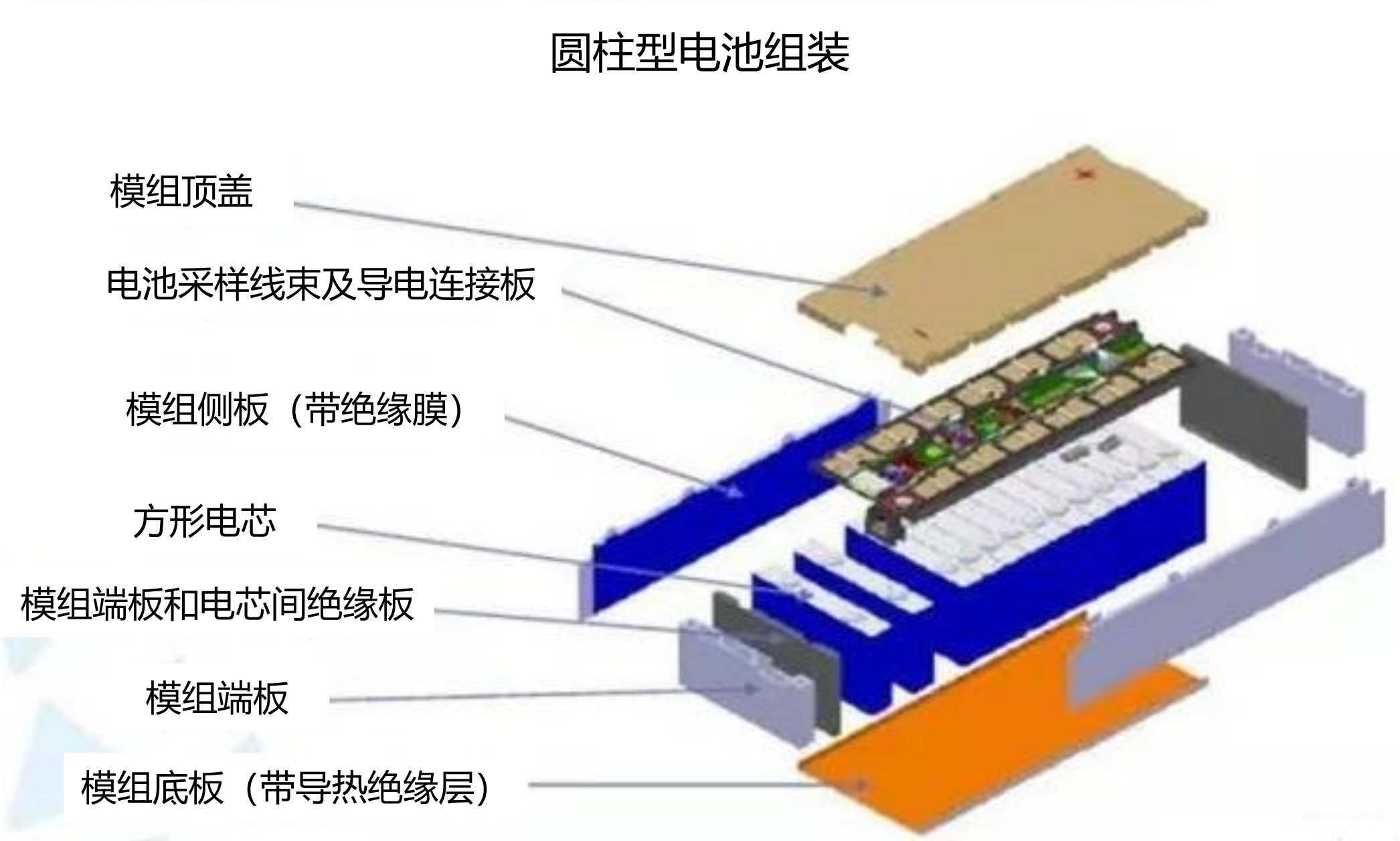


- 防撞防震、防水 $\rightarrow$ 机械结构+连接件锁固+导热灌密封胶
- 固定电池组、填充间隙 $\rightarrow$ 导热结构胶/导热胶片
- 散热导热 $\rightarrow$ 主动/被动散热+导热灌密封胶/导热胶片
- 阻燃、防水 $\rightarrow$ 壳体材料+MS/导热硅胶

动力电池组装用胶点

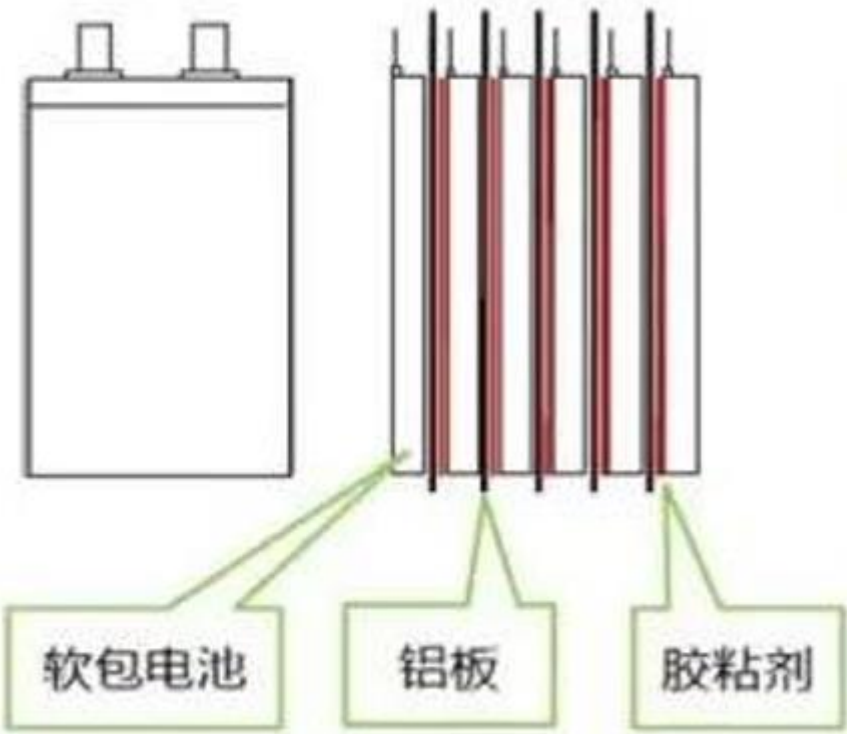


车用锂电池单体的三种结构

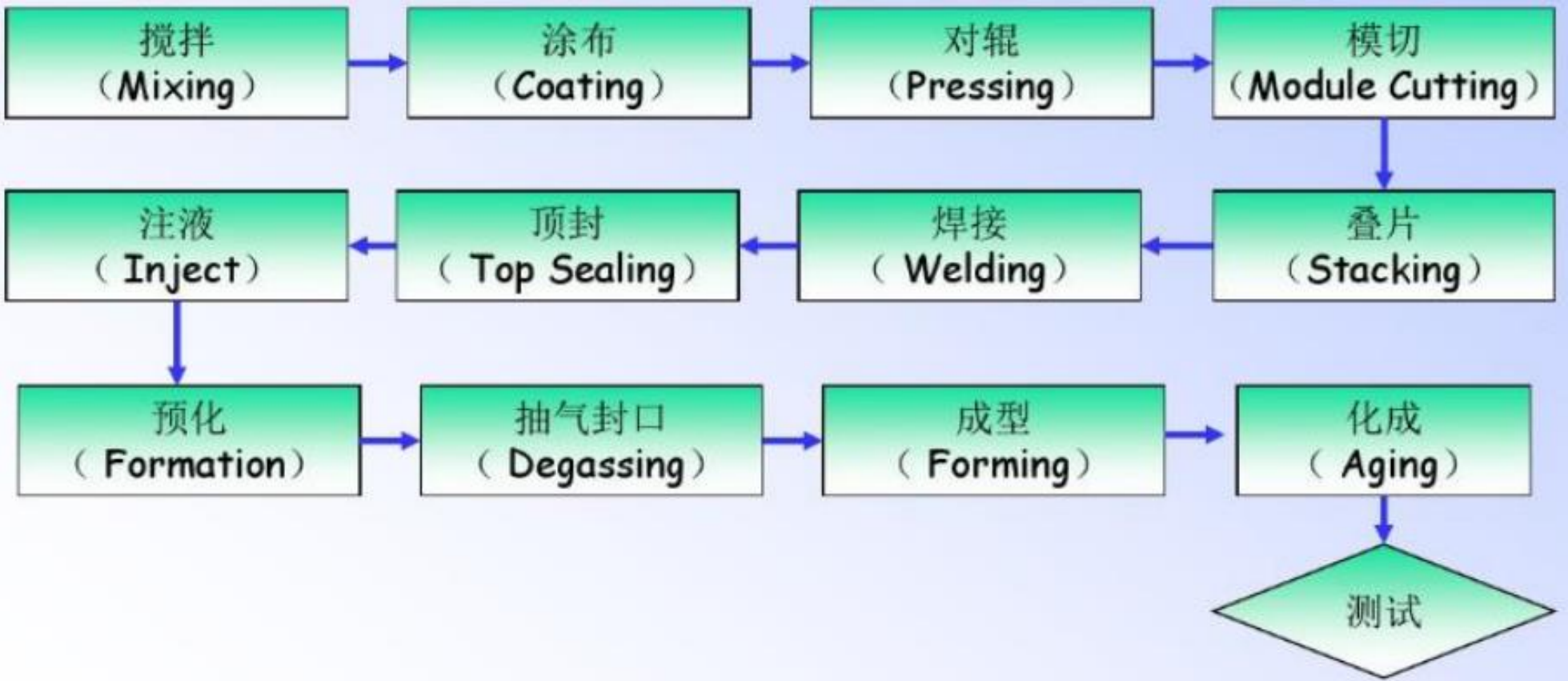
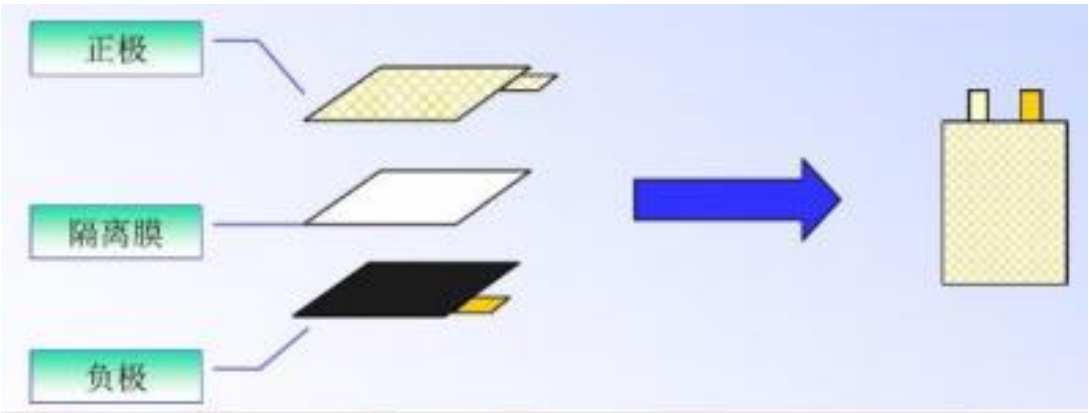


对胶共同要求：防撞防震、导热、阻燃、防水

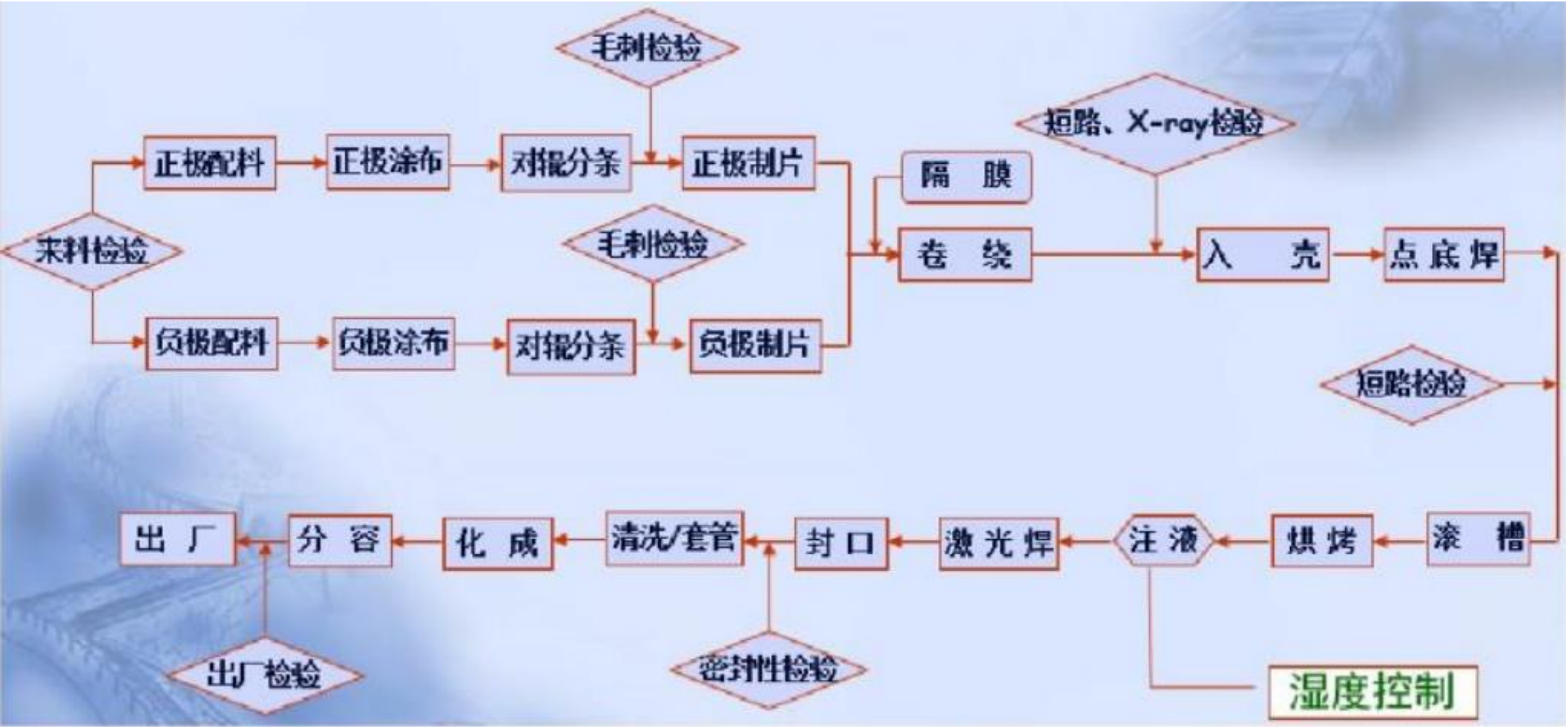
包型电池组装



锂离子电池生产工艺

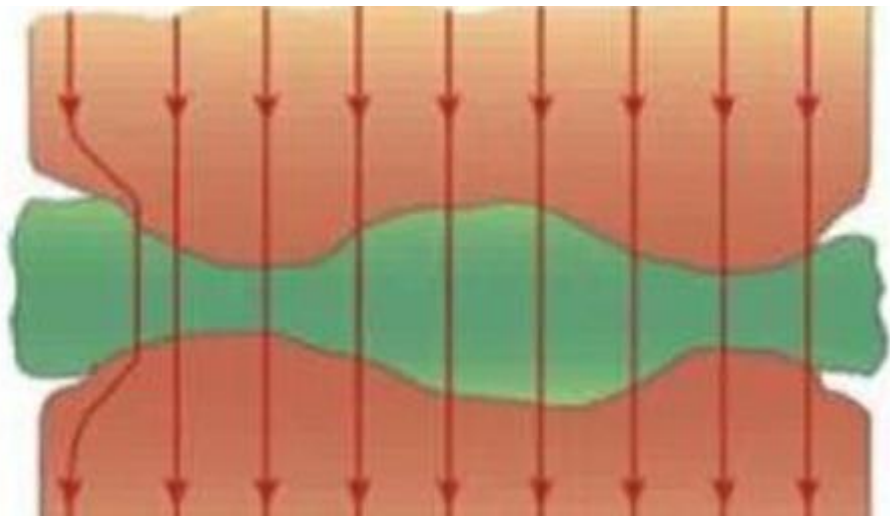
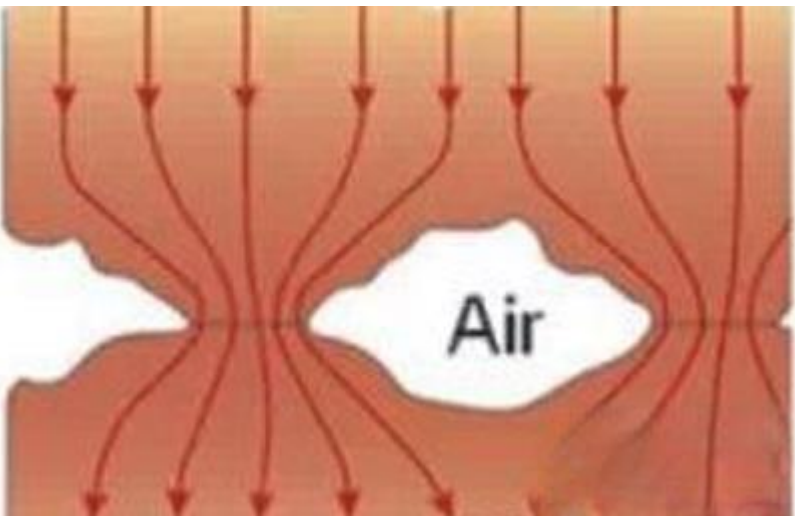


锂离子电池生产工艺



导热材料（胶、垫片）分类应用

导热材料的四种作用：①为动力电池提供防护效果；②实现安全可靠的轻量化设计；③热管理辅助；④帮助电池应对更复杂的使用环境。



导热灌封胶：通过对模组的整体灌封，将热量从电池模组传导到散热壳体上，借助灌封胶的高介电强度的优点，能在模组设计中减少间隙的大小；耐受热冲击，固化时收缩率极低，可靠保护电子元件

导热-结构胶粘剂（胶或导热垫片）：提升设计灵活度，不受机械夹具的约束，能够粘合各种基底材料，令设计更加从容，降低对紧固件的需求，从而简化电池模组设计，优化冷却系统。

导热间隙填充材料（胶或导热垫片）：填充电芯、壳体之间的间隙，缓解由温度差异和弯曲变形引发的应力，缓冲运行振动，可挥发的硅氧烷含量可以控制在ppm级别。

电池灌封用胶分类

聚氨酯密封胶

环氧密封胶

有机硅密封胶

聚氨酯灌封胶：毒性较大，容易使人产生过敏症状，生产制作需要十分注意。

环氧灌封胶：粘接强度高，防盗版；固化放热大，易有应力，抗冷热变化能力较弱，受冷热冲击时胶体可能开裂，水分、湿气可能渗入到电子元器件内，造成隐患或故障。

有机硅型灌封胶：



有机硅已经被证明能够满足汽车工业的“热”要求

- 有机硅在非常宽的温度范围内性能一致稳定可靠，耐温高达180℃（特殊型号产品耐温230℃）
- 导热性有机硅帮助散热和热管理



有机硅保护敏感性电子

- 低模量凝胶型有机硅的封装，保护敏感电子部件免受外部环境以及机械应力传递所造成的的干扰和破坏



有机硅帮助实现功能的安全性

- 紧固密封：长期，抵抗（潮湿、化学品、冷却液）
- 电绝缘：在非常宽的温度、频率范围内，绝缘强度相对一致稳定
- 抗振阻尼：在-45℃至180℃以上温度范围内



有机硅帮助生产工艺快速、便捷、经济

- 匹配不同的生产工艺需要，可进行灵活调配（如流动性、润湿性、粘接力、固化速度等）
- 容易实现自动化生产

导热灌封胶技术指标：热力学性能—导热率；电力学性能—介电强度、体积电阻率和介电常数；工艺性能—流动性、密度和粘接性；对电子元器件无应力或低应力；抗硫、磷等化合物“中毒”；可返修性。

动力电池研究新动向

石墨烯-锂离子电池，石墨烯 - 碳原子以 sp^2 杂化轨道组成六角型呈蜂巢晶格的二维碳纳米材料，①概念：以石墨烯为电池负极的基本单元材料。②特点：石墨烯基电极材料同时具有良好的电子传输通道和离子传输通道，利于锂离子电池功率性能提高。③优势：石墨烯具有极大的比表面积和良好的电学性能，利于实现高能量密度、高功率密度，成本低廉、安全可靠。④挑战：大功率充电。

避免电解液的高温分解；电池正极采用单晶三元材料，提高材料的热稳定性；采用石墨烯可实现锂离子电池与环境间的高效散热。

纳米线电池，①概念：以纳米线（硅纳米线、金纳米线等）复合材料取代传统的石墨阳极。②特点：纳米线可避免金属锂与材料反应，解决了电极充电膨胀问题。③优势：循环寿命长，容量损失小。④挑战：材料制备、生产技术尚不成熟，工艺需要提高。

锂硫电池，①概念：锂硫电池以硫为正极反应物质，以锂为负极。②特点：理论比容量高，环境友好。③优势：原料丰富，成本低廉。④挑战：单质硫容易流失，电极反应活性低。

空气电池，①概念：以金属为阴极，以多孔活性炭作为阳极介质，氧化剂取自空气中的氧气。主要包括锌空气电池、锂空气电池、铝空气电池。②特点：能量密度高，如锂空气电池能量密度可达到普通锂离子电池的10倍。③优势：免维护，耐恶劣环境。④挑战：循环寿命较短，功率密度小。

锌空气电池，①阴极：起催化作用的碳从空气中吸收氧。②阳极：锌粉和电解液的混合物，呈糊状。③电解液：高浓度的氢氧化钾水溶液。④隔离层：用于隔离两极间固体粉粒的移动。

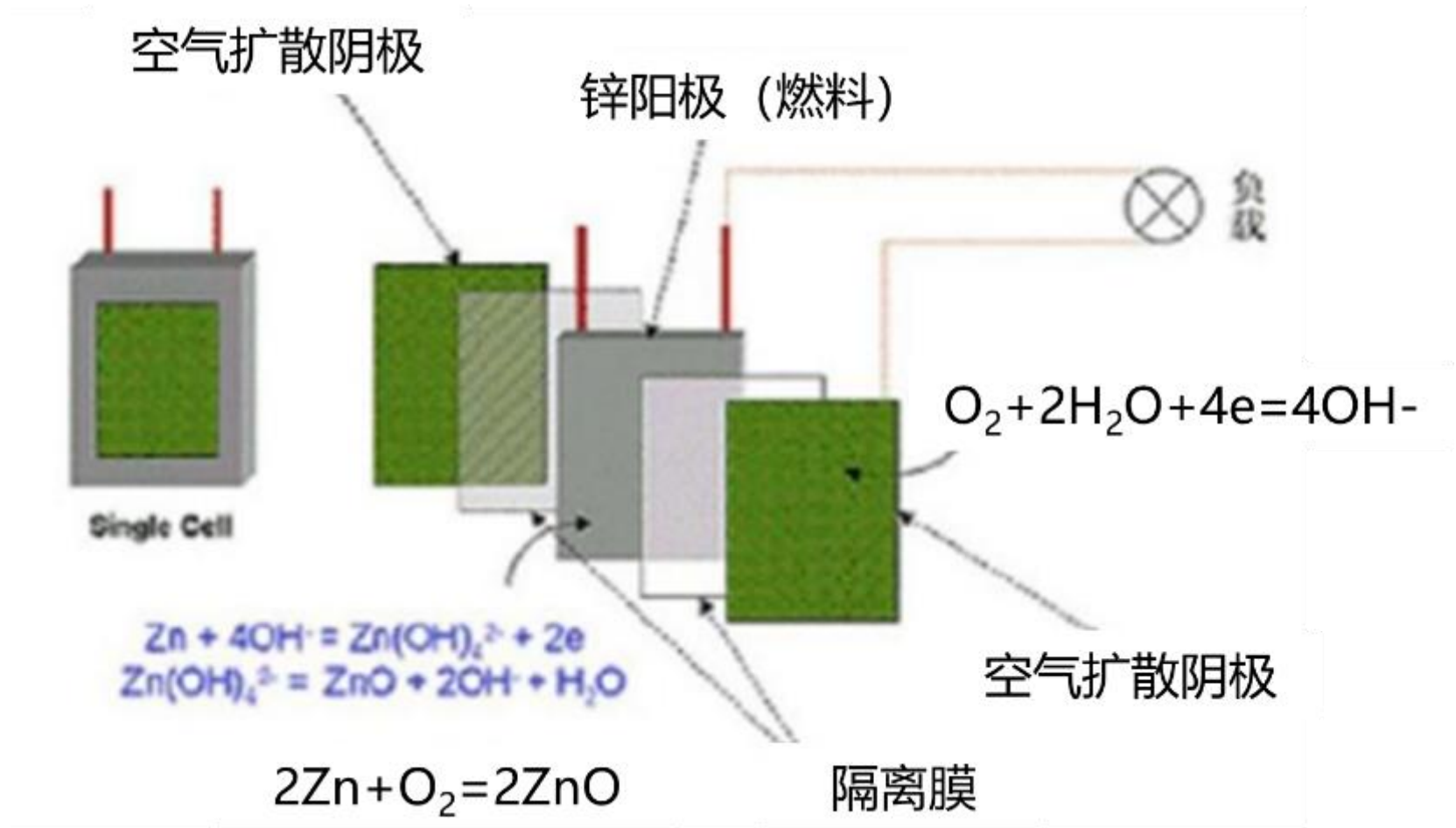
绝缘和密封衬垫 - 尼龙材料。

电池外表面 - 镍金属外壳，具有良好的防腐性的导体。

阳极： $\text{Zn} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

阴极： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

综合： $2\text{Zn} + \text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{ZnO}$



锌空气电池具有安全、零污染、高能量、大功率、低成本及材料可再生等优点，其缺点：①使用成本相对高，充电过程相对复杂。机械充电要将锌电极取出在专用充电槽中充电，操作复杂。②实际使用寿命短，电池密封困难，易漏液；锌空气电极必须制成多孔电极吸附氧气，也吸附部分二氧化碳，使电解液碳酸盐化，效率大大下降。③批量生产加工工艺不够成熟。

固态锂电池，聚合物锂盐固态电池、氧化物玻璃体系固态电池、硫化物玻璃体系固态电池、Nasicon体系氧化物玻璃陶瓷固态电池、 $\text{Li}_2\text{S}-\text{P}_2\text{S}_5$ 基质固态电池体系、陶瓷固体电解质体系（Nasicon/钙钛/Thio_x0002_lisicon/garnet类型）。

- ①概念：电解质为固态的锂离子电池。
- ②特点：功率密度、能量密度大。
- ③优势：封存简单降低成本，安全性提高，易于电子控制。
- ④挑战：单质硫容易流失，电极反应活性低。