

NO.021

汽车锂离子电池和PACK 设计开发

1 锂离子电池术语

(1) 电压 (V) :

开路电压 (OCV) : 指电池在没有连接外电路或者外负载时的电压。开路电压与电池的剩余能量有一定的联系, 电量显示就是利用这个原理。

工作电压 (WV) : 是指电池在工作状态下即电路中有电流流过时电池正负极之间的电势差。在电池放电工作状态下, 当电流流过电池内部时, 必须克服内阻的阻力, 故工作电压总是低于开路电压。

放电截止电压 (DCV) : 指电池充满电后进行放电, 放完电时达到的电压 (若继续放电则为过度放电, 对电池的寿命和性能有损伤) 。

充电限制电压(LCV): 充电过程中由恒流变为恒压充电的电压。

(2) 电池容量 (Ah) :

电池容量是指电池所能够储存的电量多少, 容量是电池电性能的重要指标, 它由电极的活性物质决定。

容量用C表示, 单位用Ah (安时) 或mAh (毫安时) 表示。

公式: $C=It$, 即电池容量 (Ah) = 电流 (A) x 放电时间 (h) 。

容量为10安时的电池, 以5安培放电可放2小时, 以10安培放电可放1小时。

电池的容量可以分为理论容量、额定容量、实际容量。

理论容量是把活性物质的质量按法拉第定律计算而得的最高理论值。

为了比较不同系列的电池, 常用比容量的概念, 即单位体积或单位质量电池所能给出的理论电量, 单位为Ah/kg (mAh/g)或Ah/L(mAh/cm³)。

现国家已经就能量密度提出了要求，动力电池系统能量密度不低于90Wh/kg（高于120Wh/kg的按1.1倍给予补贴）

实际容量是指电池在一定条件下所能输出的电量。它等于放电电流与放电时间的乘积，单位为 Ah，其值小于理论容量。

额定容量也叫保证容量，是按国家或有关部门颁布的标准，保证电池在一定的放电条件下应该放出的最低限度的容量。

电池的实际容量主要取决于以下几个因素：活性物质的数量、质量；活性物质的利用率。

(3) 内阻 ($m\Omega$) :

电池的内阻是指电池在工作时，电流流过电池内部受到的阻力。内阻大小主要受电池的材料、制造工艺、电池结构等因素的影响。

电池内阻包括欧姆内阻和极化内阻，欧姆内阻是由电极材料、电解液、隔膜电阻及各部分零件的接触电阻组成，极化内阻包括电化学极化和浓差极化引起的电阻。

由于内阻的存在，当电池放电时，电流经过内阻要产生热量，消耗能量，电流越大，消耗能量越多，所以内阻越小，电池的性能越好，不仅电池的实际工作电压高，消耗在内阻上的能量也少。

内阻的存在，使电池放电时的端电压低于电池电动势和开路电压，充电时端电压高于电动势和开路电压。

电池的内阻不是常数（电阻分为物理内阻与极化内阻），在放电过程中随时间不断变化，因为活性物质的组成、电解液浓度和温度都在不断地改变。

欧姆电阻遵守欧姆定律；极化电阻随电流密度增加而增大，但不是线性关系，常随电流密度的对数增大而线性增大。

(4) 负载能力

当电池的正负极两端连接在用电器上时，带动用电器工作时的输出功率，即为电池的负载能力。

(5) 内压

指电池的內部气压，是密封电池在充放电过程中产生的气体所致，主要受电池材料、制造工艺、电池结构等因素影响。其产生原因主要是由于电池内部水分及有机溶液分解产生的气体于电池内聚集所致

(6) 充电率(C-rate):

C是Capacity的第一个字母，用来表示电池充放电时电流的大小数值。例如：充电电池的额定容量为1100mAh时，即表示以1100mAh(1C)放电时间可持续1小时，如以200mA(0.2C)放电时间可持续5小时，充电也可按此对照计算。

(7) 过放电(Over discharge):

电池若是在放电过程中，超过电池放电的终止电压值，还继续放电时就可能会造成电池内压升高，正、负极活性物质的可逆性遭到损坏，使电池的容量产生明显减少。

(8) 过充电 (Over charge) :

电池在充电时，在达到充满状态后，若还继续充电，可能导致电池内压升高、电池变形、漏液等情况发生，电池的性能也会显著降低和损坏。

(9) 充、放电深度 (SOC DOD) :

电池保有容量数值的表示方法。充、放电深度以百分比率来表示。

如：容量为10Ah的电池放电后容量变为2Ah，可以称为80%DOD。

如：容量为10Ah的电池，充电后容量为8Ah，80%SOC。形容满充满放，通常称为100%DOD。

(10) 自放电率（%/月）

- 1)定义：电池在储存过程中，容量会逐渐下降，其减少的容量不电池容量的比例，称为自放电率。
- 2)原因：由于电极在电解液中的不稳定性，电池的两个电极发生了化学反应，活性物质被消耗，转为电能的化学能减少，电池容量下降。
- 3)影响因素：环境温度对其影响较大，过高温度会加速电池的自放电。
- 4)表示：电池容量衰减（自放电率）的表达方法和单位为：%/月。
- 5)产生结果：电池自放电将直接降低电池的容量，自放电率直接影响电池的储存性能，自放电率越低，贮存性能越好

(11) 充电循环寿命（ Cycle life ）

概念：二次电池经历一次充放电称为一个周期或一次循环，电池在反复充放电后，容量会逐渐下降.在一定的放电条件下，电池容量降至80%时，电池所经受的循环次数就是循环寿命。

循环寿命与电池充放电条件有关：锂离子电池室温下0.5C充放电循环寿命可达3000-5000次（行业标准）。

影响因素：不正确使用电池，电池材料，电解质的组成和浓度，充放电倍率，放电深度（DOD%），温度，制作工艺等都对电池的循环寿命有影响。

(12) 放电倍率（A）

放电倍率是指在规定时间内放出其额定容量（C）时所需要的电流值，它在数值上等于电池额定容量的倍数。根据放电倍率的大小，可分为低倍率（<0.5C）、中倍率（0.5-3.5C）、高倍率（3.5-7.0C）、超高倍率（>7.0C）。以10Ah电池举例：以2A放电，则放电倍率为0.2C；以20A放电，则放电倍率为2C。

(13) 电池能量 (Wh)

定义：指电池储存的能量的多少，用Wh来表示

公式：能量 (Wh) = 额定电压 (V) ×工作电流 (A) ×工作时间 (h)。

举例：3.2V15Ah单体电芯的能量为48Wh，3.2V100Ah电池组的能量为320Wh。电池能量是衡量电池带动设备做功的重要指标，容量不能决定做功的多少。

(14) 能量密度 (Wh/Kg)

指单位体积或质量所释放的能量，通常用体积能量密度 (Wh/L) 或质量能量密度 (Wh/kg) 表示。

如一节锂电池重325g，额定电压为3.7V，容量为10Ah，则其能量密度为113Wh/kg，下表为理论值，在实际应用情况中需要考虑电池结构中的壳体、零件等各方面因素。

目前锂电池的能量密度是镍镉和镍氢电池的3和1.5倍，能量密度的高低是由材料密度不结构决定的。

能量密度	铅酸电池	镍镉电池	镍氢电池	锂离子电池
Wh/kg	30—50	50—60	60—70	130—150
Wh/L	50—80	130—150	190—200	350—400

(15) 记忆效应(Memory effect)

定义：电池的记忆效应是指未完全放电的电池，在下一次充电时所能充电的百分比。

原因：电池内物质产生结晶，如镍镉电池中，Cd不断聚集成团形成大块金属镉，降低了负极的活性。

避免：为了消除电池的记忆效应，在充电之前，必须先完全放电，然后再充电。锂离子电池无记忆效应!

(16) 化成

电池制成后，通过一定的充放电方式将其内部正负极活性物质激活，改善电池的充放电性能及自放电、贮存等综合性能的过程称为化成。电池经过化成后才能体现其真实的性能。同时化成过程中的分选过程能够提高电池组的一致性，使最终电池组的性能提高。

(17) 分容

电池在制造过程中，因工艺原因使得电池的实际容量不可能完全一致，通过一定的充放电制度检测，并将电池按容量分类的过程称为分容。

(18) 放电平台

指放电曲线中电压基本保持水平的部分。锂离子电池完全充电后，放电至3.6V时的容量记为C1，放电至3.0V时的容量记为C0，C1/C0称为该电池的放电平台

放电平台越高、越长、越平稳，电池的放电性能越好。

行业标准1C放电平台为70%以上。

(19) 充电时间

充电时间(小时)=充电电池容量(mAh)/充电电流(mA)*1.5的系数。

假如你用1600mAh的充电电池，充电器用400mA的电流充电，则充电时间为： $1600/400*1.5=6$ 小时。

(20) 电池组的一致性

由多个单体电芯串连、并联在一起就组成了电池组。电池组的整体性能和寿命取决于其中性能较差的一个电芯，这就要求电池组中每个电芯性能的一致性要高。

除了单体电芯本身性能的误差和原材料质量的好坏，最主要原因是制造工艺，工艺的改进对提高电池的质量非常重要。

2 锂离子电池介绍

(1) 什么叫锂离子电池：

锂离子电池是指Li+ 嵌入化合物为正、负极的二次电池。

正极采用锂化合物：LiFePO₄、 LiMn₂O₄和LiCoO₂

负极采用锂-碳层间化合物Li_xC₆。

电解质为溶解有锂盐LiPF₆、 LiAsF₆等有机溶液。

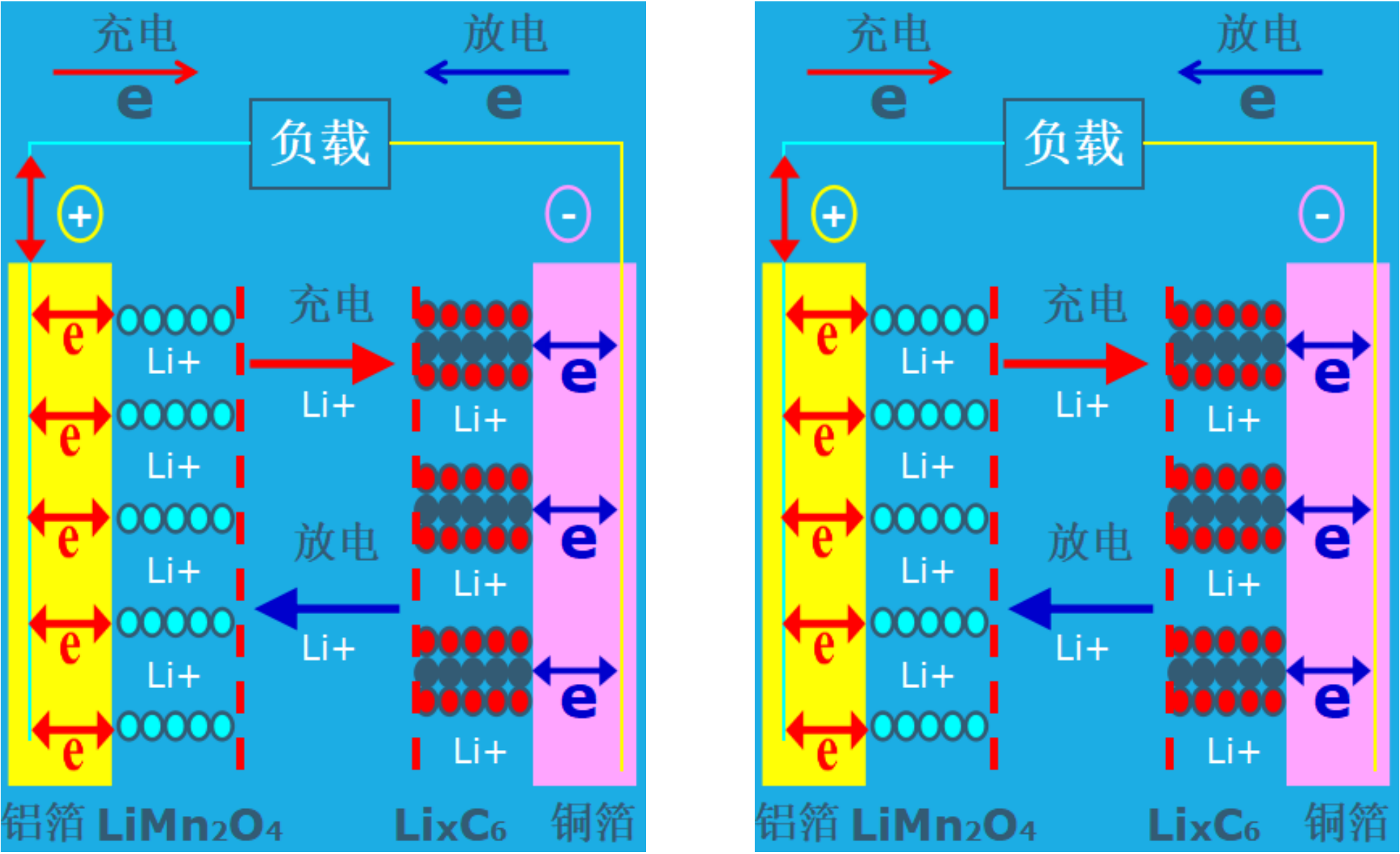
(2) 锂离子电池分类：

- 1) 按外型分：方形锂电池（如普通手机电池）和圆柱形锂电池（如18650）；
- 2) 按外包材料分：铝壳锂电池，钢壳锂电池，软包电池；
- 3) 按正极材料分：钴酸锂（LiCoO₂）、 锰酸锂（LiMn₂ O₄）、 三元锂（LiNix Coy Mnz O₂）、 磷酸铁锂（LiFePO₄）；
- 4) 按电解液状态分：锂离子电池（LIB）和聚合物电池（PLB）；
- 5) 按用途分：普通电池和动力电池。
- 6) 按性能特性分：高容量电池、高倍率电池、高温电池、低温电池等。

(3) 锂离子电池结构：

- 1) 正极：活性物质（LiFePO₄、 LiMn₂O₄和LiCoO₂）+导电剂（乙炔黑）+粘合剂（PVDF）+集流体（铝箔）
- 2) 负极：石墨+导电剂（乙炔黑）+粘合剂（PVDF）+集流体（铜箔）
- 3) 电解质：LiPF₆、 LiAsF₆等+DMC EC EMC
- 4) 隔膜（PP+PE）
- 5) 外壳五金件：铝壳、盖板、极耳、绝缘片

(4) 锂离子电池工作原理：



充电时：正极的Li⁺和电解液中的Li⁺向负极聚集，得到电子，被还原成Li镶嵌在负极的碳素材料中。

放电时：镶嵌在负极碳素材料中的Li失去电子，进入电解液，电解液内的Li⁺向正极移动。

充电过程：电源给电池充电，此时正极上的电子e从通过外部电路跑到负极上，正锂离子Li⁺从正极“跳进”电解液里，“爬过”隔膜上弯弯曲曲的小洞，“游泳”到达负极与早就跑过来的电子结合在一起。

正极上发生的反应为 $\text{LiMn}_2\text{O}_4 = \text{Li}_{1-x}\text{Mn}_2\text{O}_4 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$ 负极上发生的反应为 $6\text{C} + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- = \text{Li}_x\text{C}_6$

放电过程：电池放电，此时负极上的电子e从通过外部电路跑到正极上，正锂离子Li⁺从负极“跳进”电解液里，“爬过”隔膜上弯弯曲曲的小洞，“游泳”到达正极，与早就跑过来的电子结合在一起。

正极上发生的反应为 $\text{Li}_{1-x}\text{Mn}_2\text{O}_4 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- = \text{LiMn}_2\text{O}_4$ 负极上发生的反应为 $\text{Li}_x\text{C}_6 = 6\text{C} + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$

(5) 锂离子电池性能：

- 1) 常规性能：容量、电压、内阻
- 2) 电化学性能：充电特性、放电特性、循环寿命、倍率充电特性、倍率放电特性、低温特性、电池组放电特性
- 3) 安全性能：挤压、针刺、短路、过充、过放、热冲击、热循环、振动、低压、湿水

(6) 锂离子电池生产所用设备：

真空搅拌机、拉浆机（涂布机）、裁切机、辊压机、卷绕机、激光焊机、真空注液机、化成检测柜。

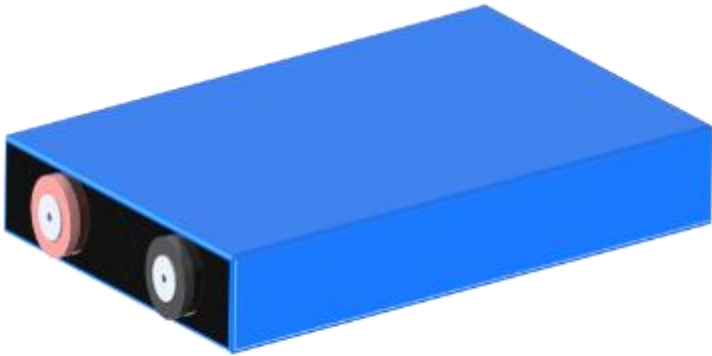
3 电池包的基本组成

(1) 电池包总成基本构成：

序号	构成名称	分构成名称	子构成名称
1	电池包	模组	
		结构件	钣金箱体、塑料件
		汇流排	铜排、铝排、插件
		线束	
2	电池管理系统 总成	BMU	电压采集线件、温度采集件
		BCU	
		显示模块	
3	高压箱	电流采集回路	霍尔
		充放电总回路	总正继电器、总负继电器
		预充回路	预充继电器、功率电阻
4	热控制系统 (选配)	加热模块	
		散热模块	

(2) 单体动力电池：

构成动力电池模块的最小单元。一般由正极、负极、电解质、隔膜、外壳及端子（极端）等组合而成，可实现电能与化学能之间的直接转换。



(3) 电池的命名方法：

不同的厂家有不同的命名规则，但通用电池大家都遵循统一的标准，根据电池的名称可以知道电池的尺寸等。例如方型电芯，其命名方式为：LFP代表磷酸铁锂电芯，29135220，29为电芯厚度，135为电芯宽度，220为电芯高度，因此电芯型号为LFP29135220

(4) 电池的串并联：

电池包是有电池单体和模块通过串并联来组成。

电池： 串联增加电压， 容量不变 $V_n = n \times V_i$ $C_n = C_i$

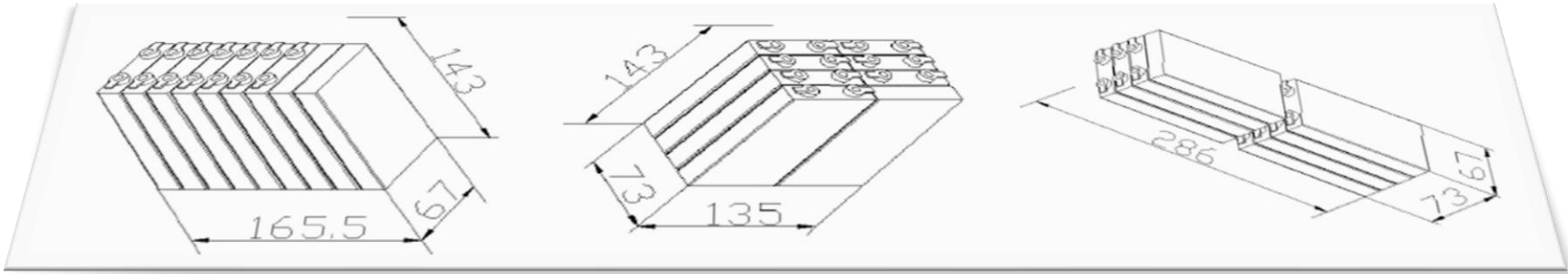
并联增加容量电压不变 $C_n = n \times C_i$ $V_n = V_i$

电容： 串联增加电压容量变小 $V_n = n \times V_i$ $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$

并联增加容量电压不变 $C_F = n \times C_i$ $V_n = V_i$

复联：可同时增加电池的电压和容量来组成。

注意：组合电池数越多， 电池组的可靠性越差， 一般在组合电池时， 应采用 同一系列， 同一规格尺寸， 性能相同的电池。这 就是我们常说的电池的一致性问题。
通常表现的参数：电压、容量和内阻。



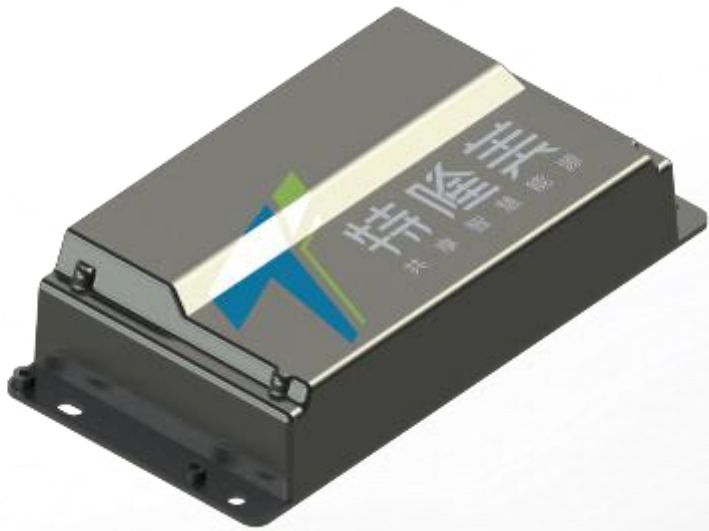
(5) 电池模块：

单体动力电池在物理结构和电路上连接起来的构成电池包或系统的最小分组，可作为一个单元替换。

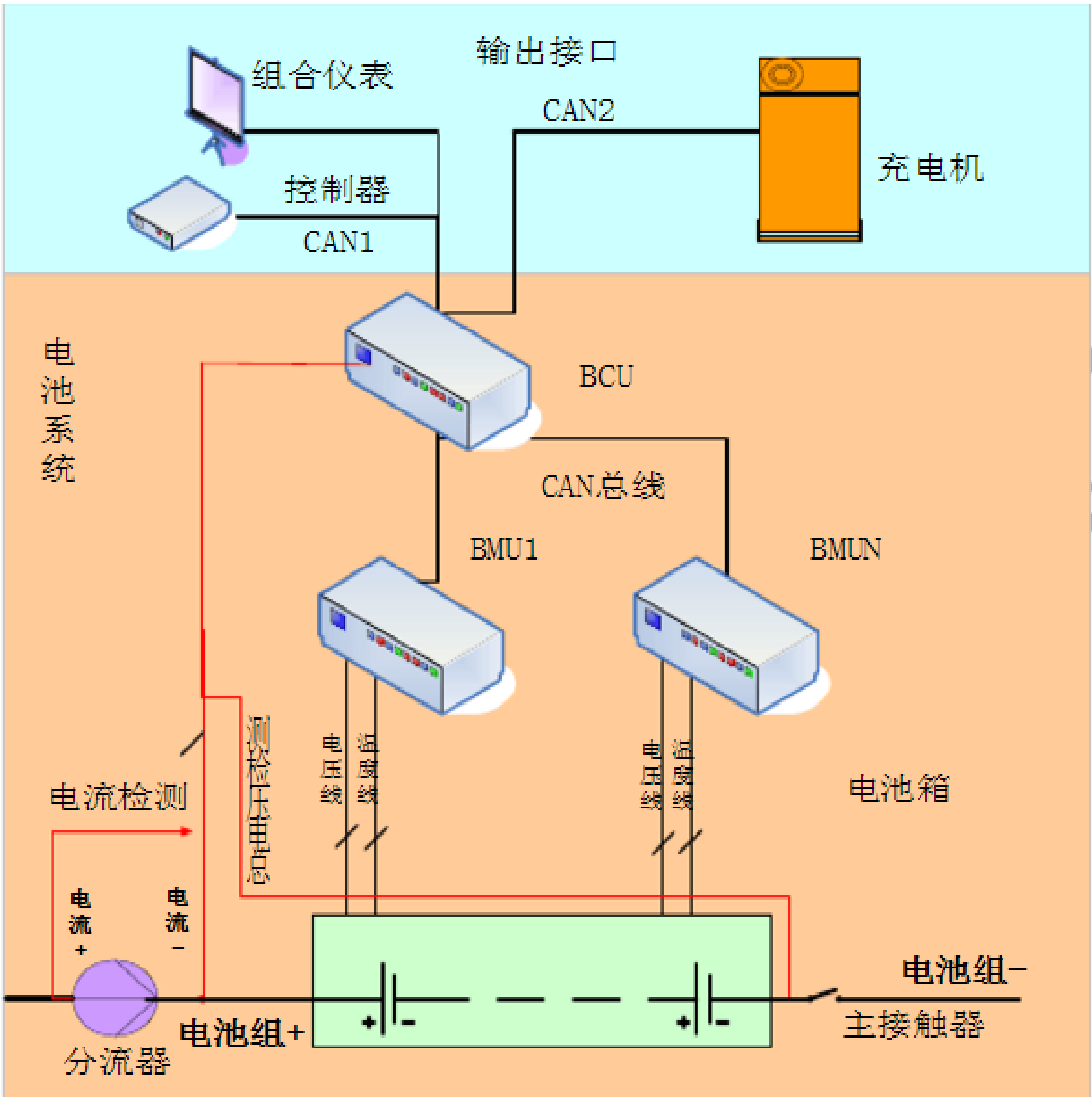
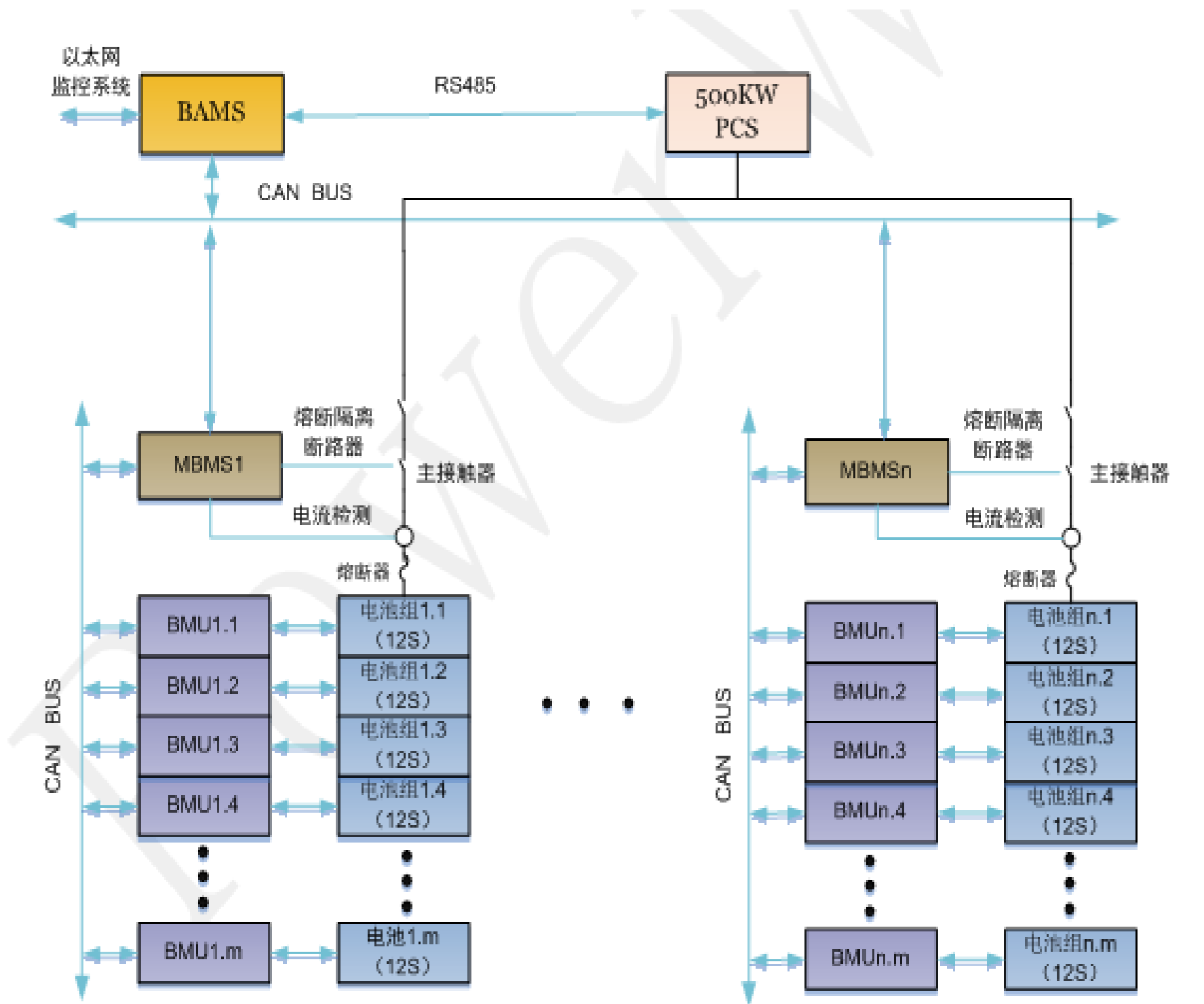


(6) 电池管理系统：

电池管理系统（BMS）的作用为了提高电池的利用率，防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，监控电池的状态

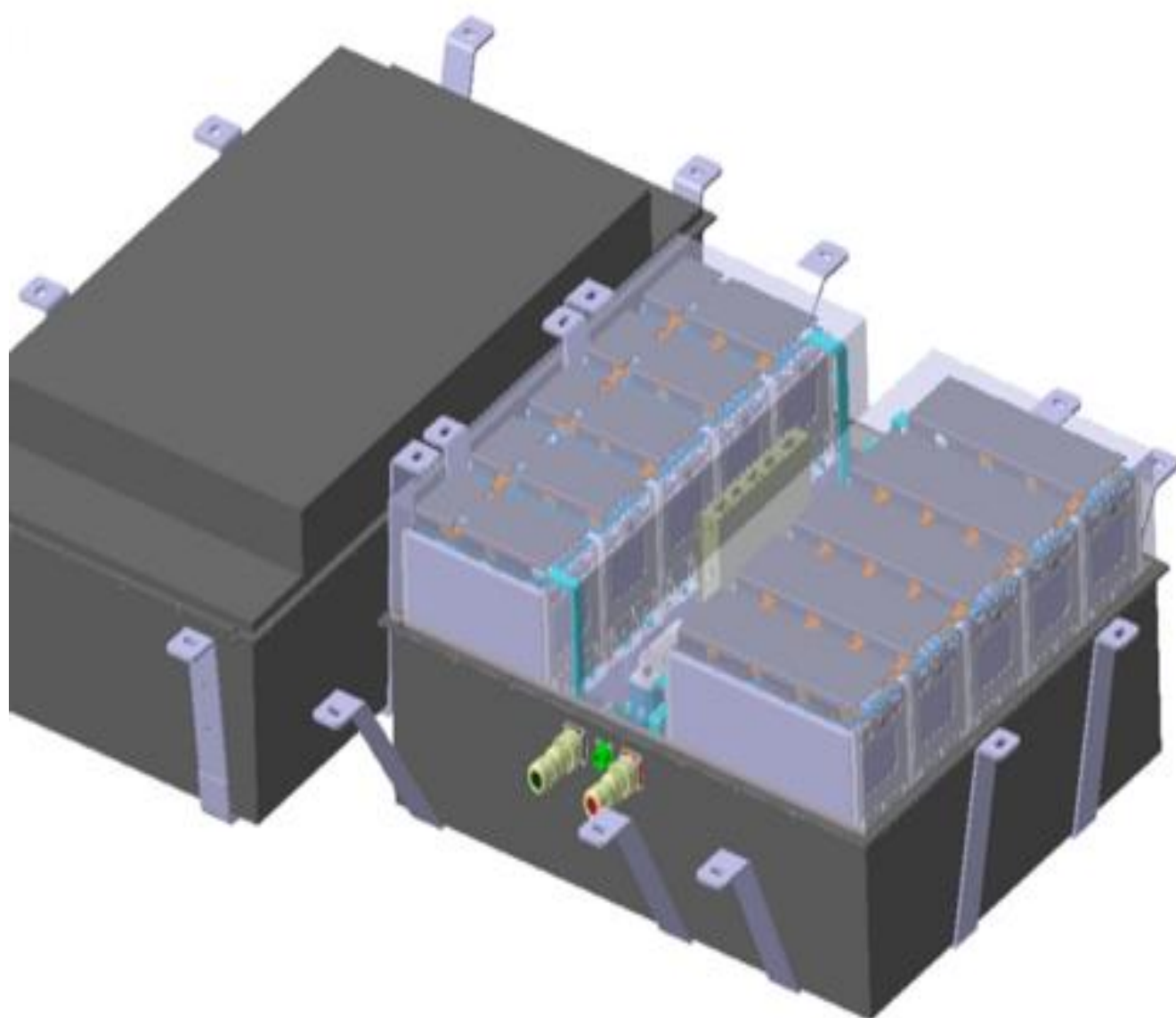
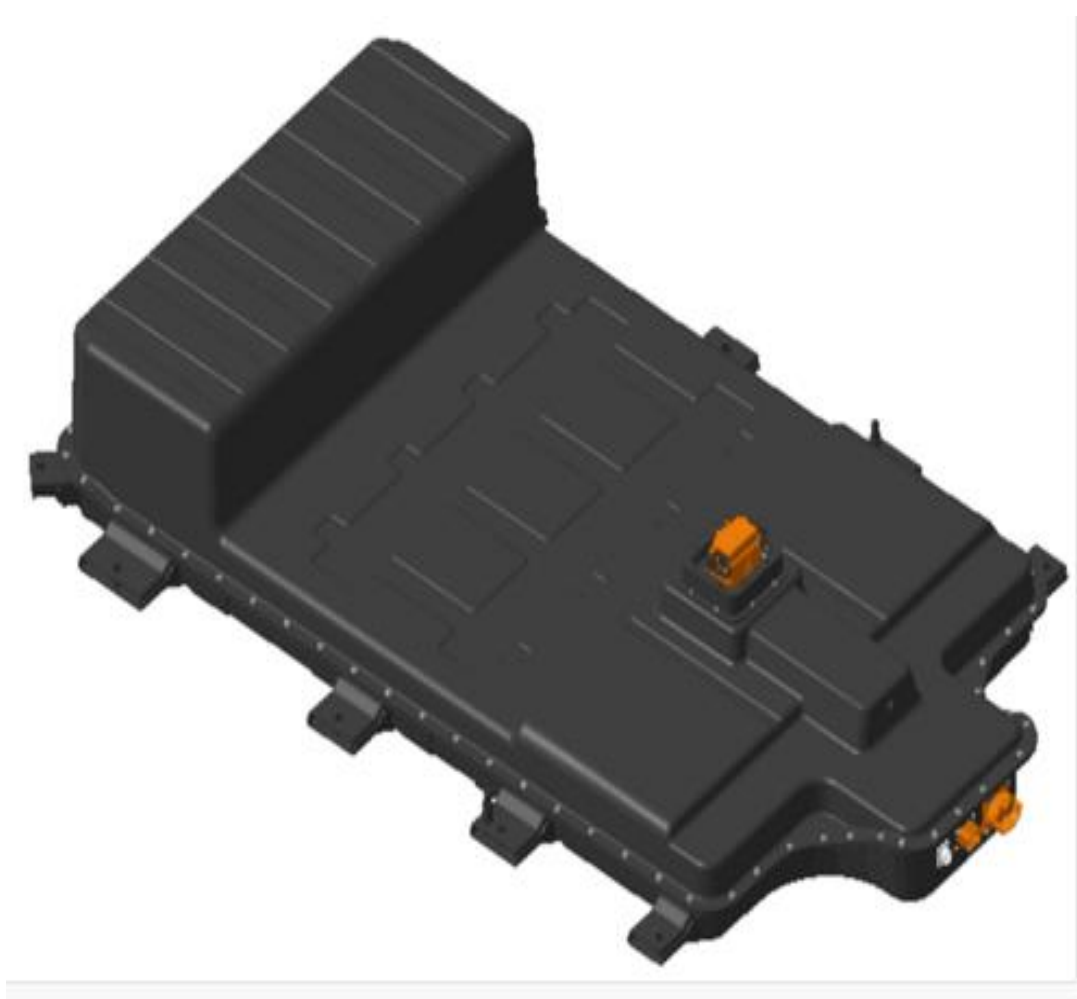


(7) 电池管理系统拓扑图：

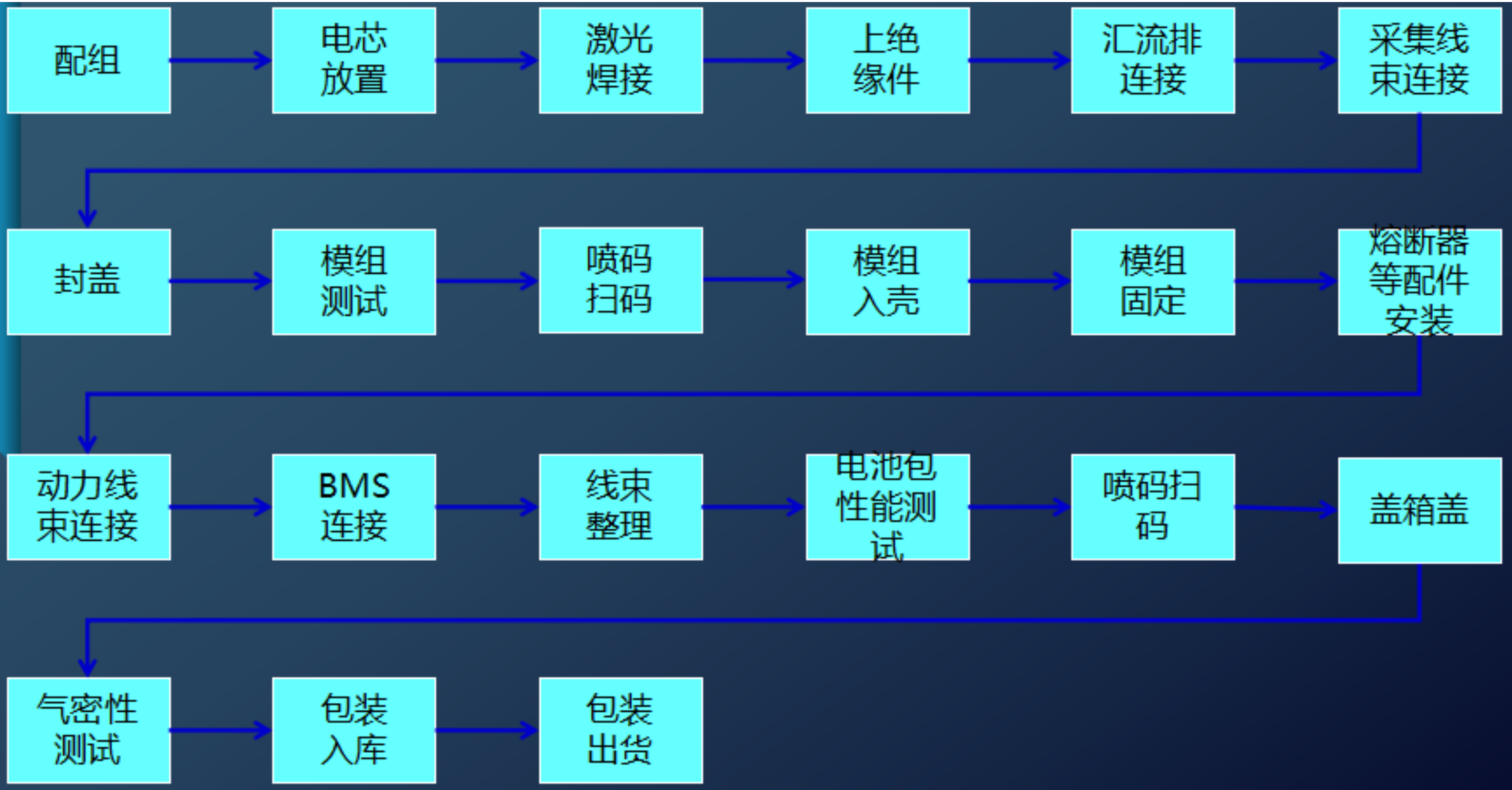


(8) 动力电池包：

能量存储装置，包括单体与模块，通常还包括电池电子部件、高压电路、过流保护装置，电池箱以及与其他外部系统（如冷却、高压、辅助低压和通讯等）的接口。



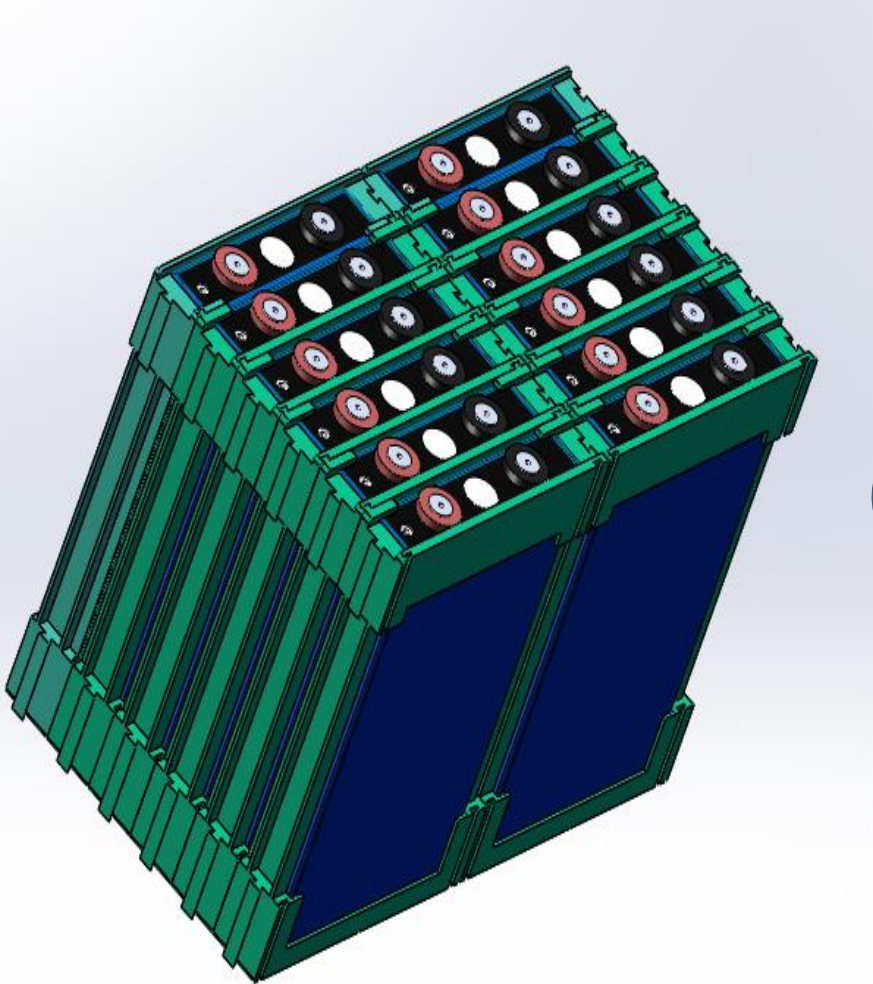
(9) 电池包生产流程:



4 电芯PACK的主要工艺及其零部件

电芯塑料支架

主要作用：①固定电芯；②将电芯与电芯之间给隔绝，防止短路；③便于电芯之间的装配连接；

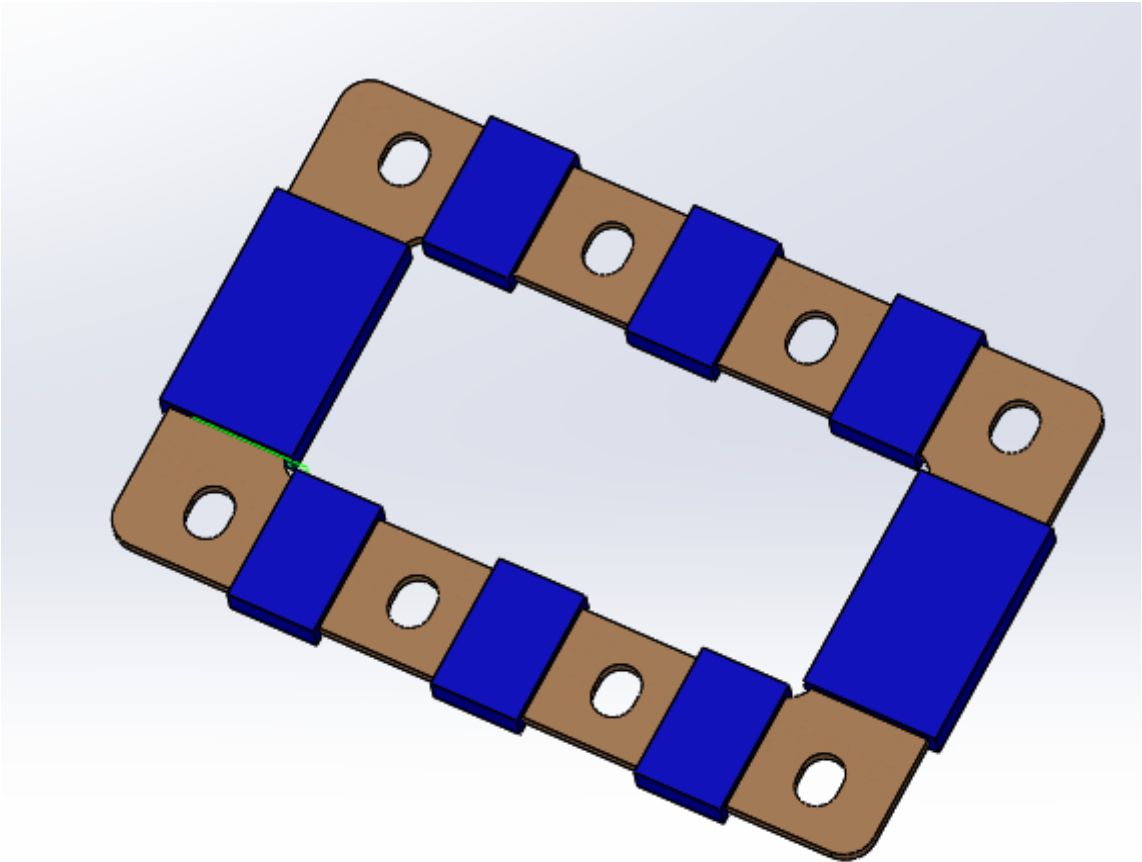


电芯的装配方式主要有三种：

- ✓ 塑料支架装配式
- ✓ 电芯直接堆叠焊接固定
- ✓ 电芯捆绑固定
- ✓ 支架焊接混合固定

汇流排：主要作用：使电芯之间串并联，形成最终高电压 高容量的电池包，需要注意的事项是所用汇流排的材料、截面积的最终目的是能通过预定最大电流而不发热

汇流排与电芯之间连接方式有3种：①内阻焊连接；②激光焊接；③螺栓连接。图中汇流排与电芯之间的连接是螺栓连接。



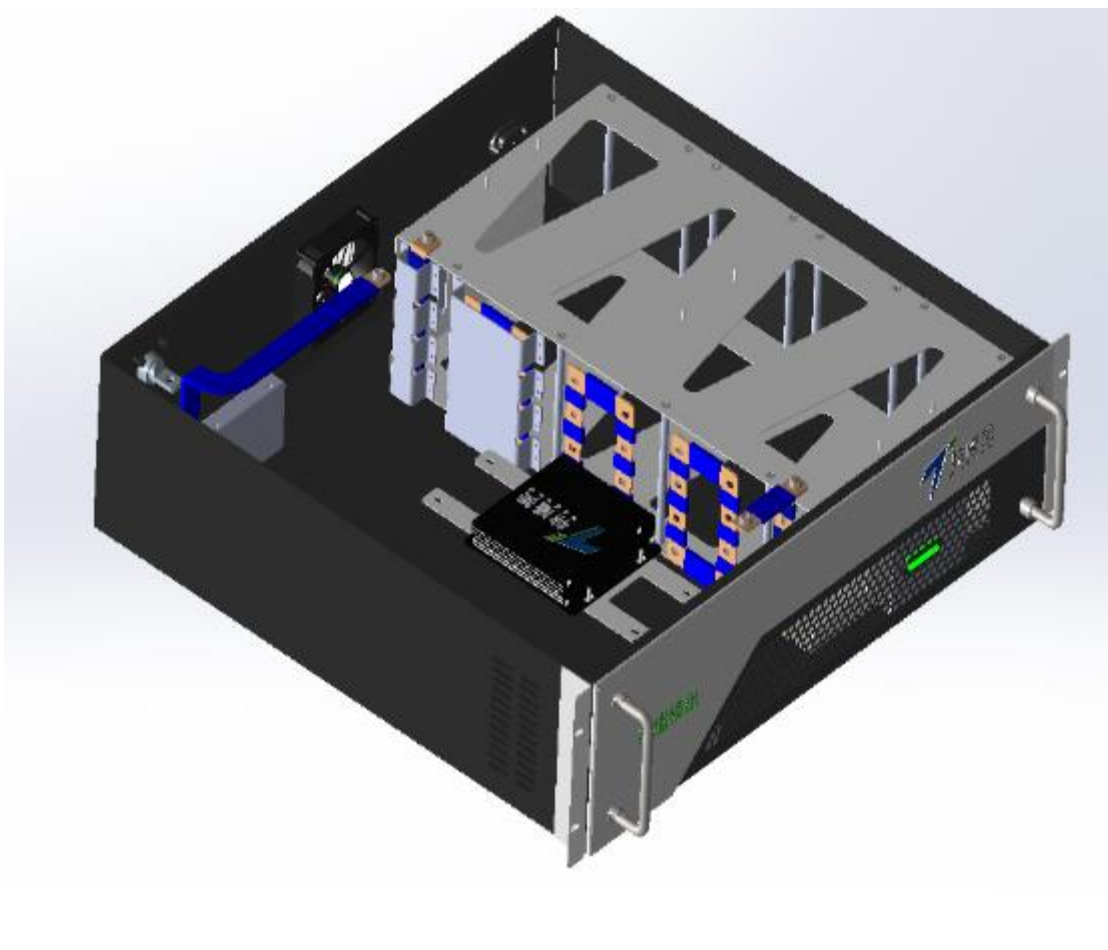
BMS采集：①通过线束采集每个串电芯的电压及相应位置的温
度；②通过监控到的电压、温度、电流、绝缘等相应数据，控制
电路的通断，保证回路的安全运行；③通过线束不断的调整电芯
之间的容量差，确保电芯的一致性，从而增加电池包的循环寿命。



装配及钣金件

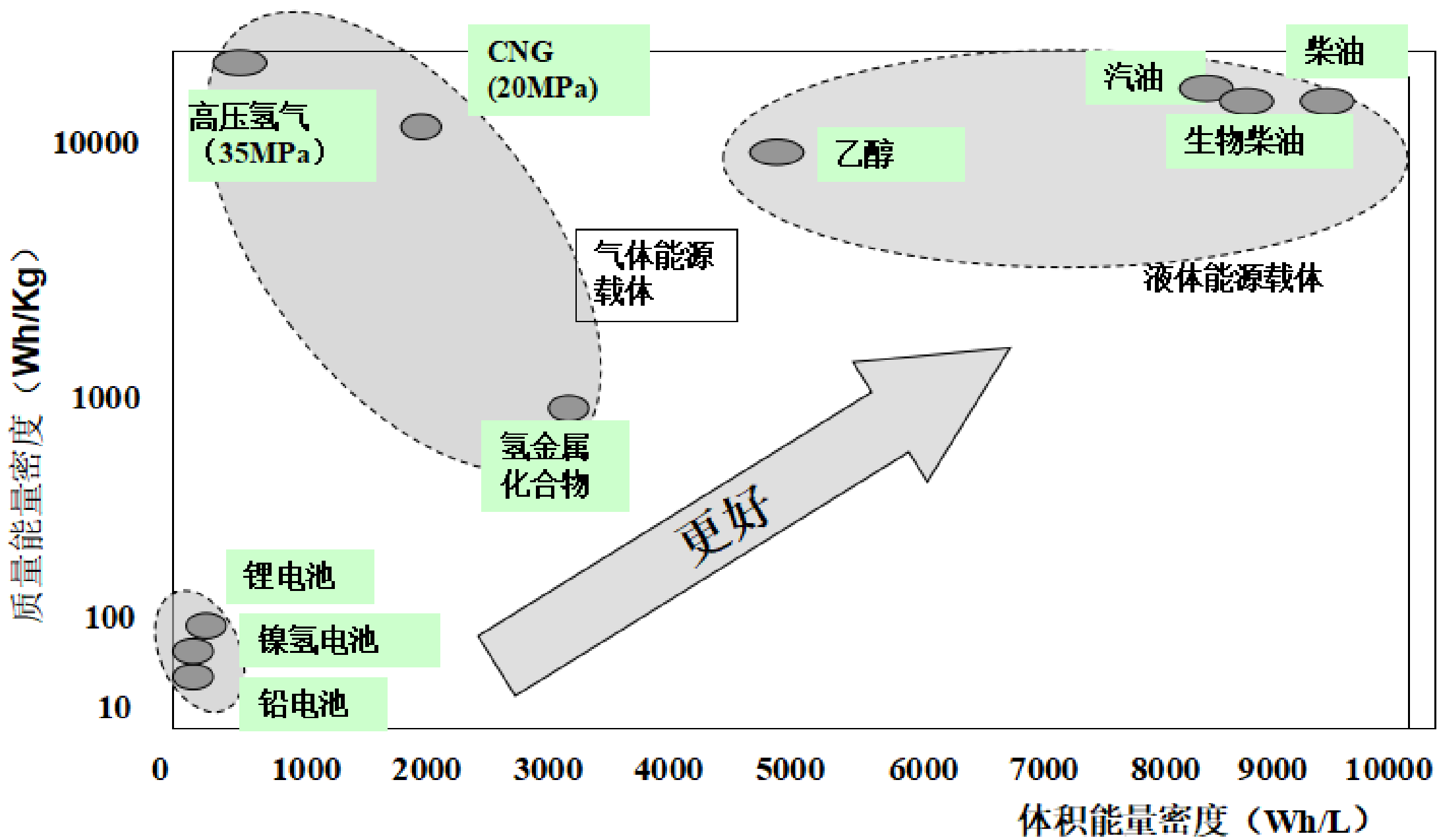
钣金件的作用：①对电芯组进行固定与保护；②形成统一外观，便
于观赏与运输；③便于集合，安装电池包的其他配件。

钣金设计要点：①钣金设计在保证结构强度的情况下尽可能的降
低重量，可以通过建加强筋、做
结构框架、冲孔等方式；②钣金
件应预先考虑装配问题，比如拧
螺丝是否方便等，也应该考虑加
工问题，比如5mm的折边不易加
工，考虑运输问题，比如怎么将
产品运转到另一地方；③尽可能
使钣金件远离电芯极柱。

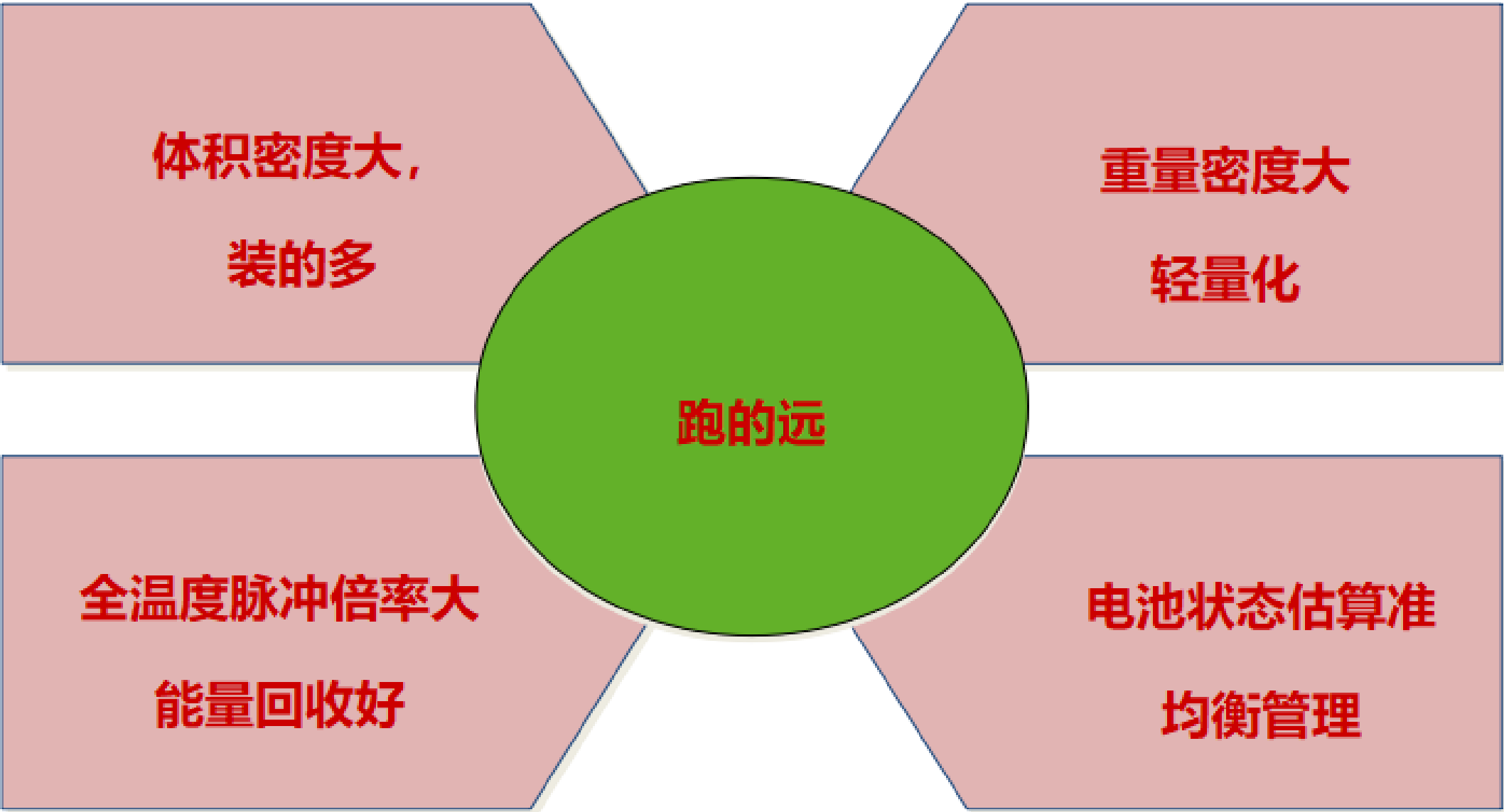


5 电动汽车发展趋势对动力电池系统需求

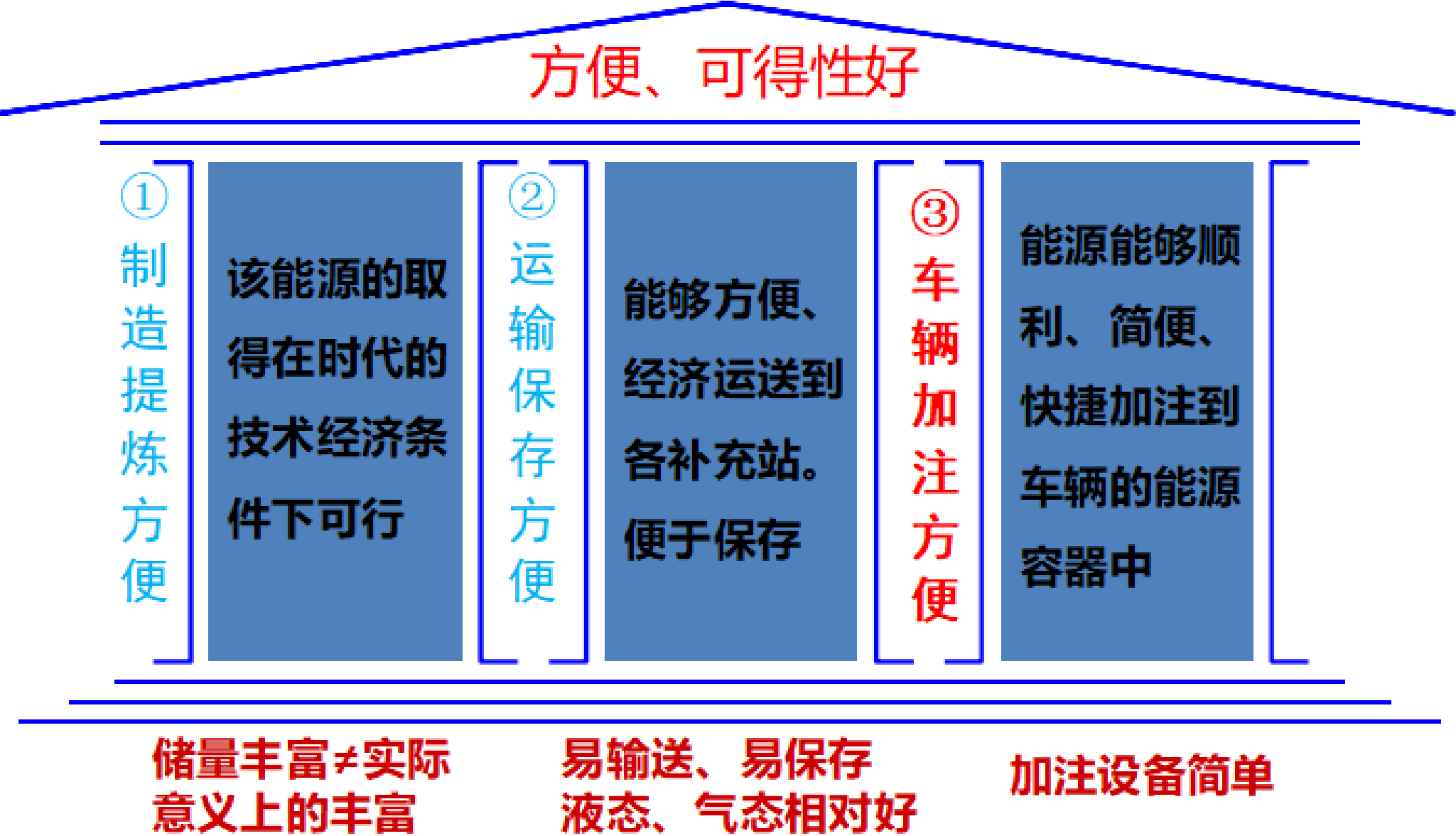
(1) 动力电池工程化的需求-能量密度衡量-跑的远



(2) 动力电池工程化的需求-用户对能量密度关注点



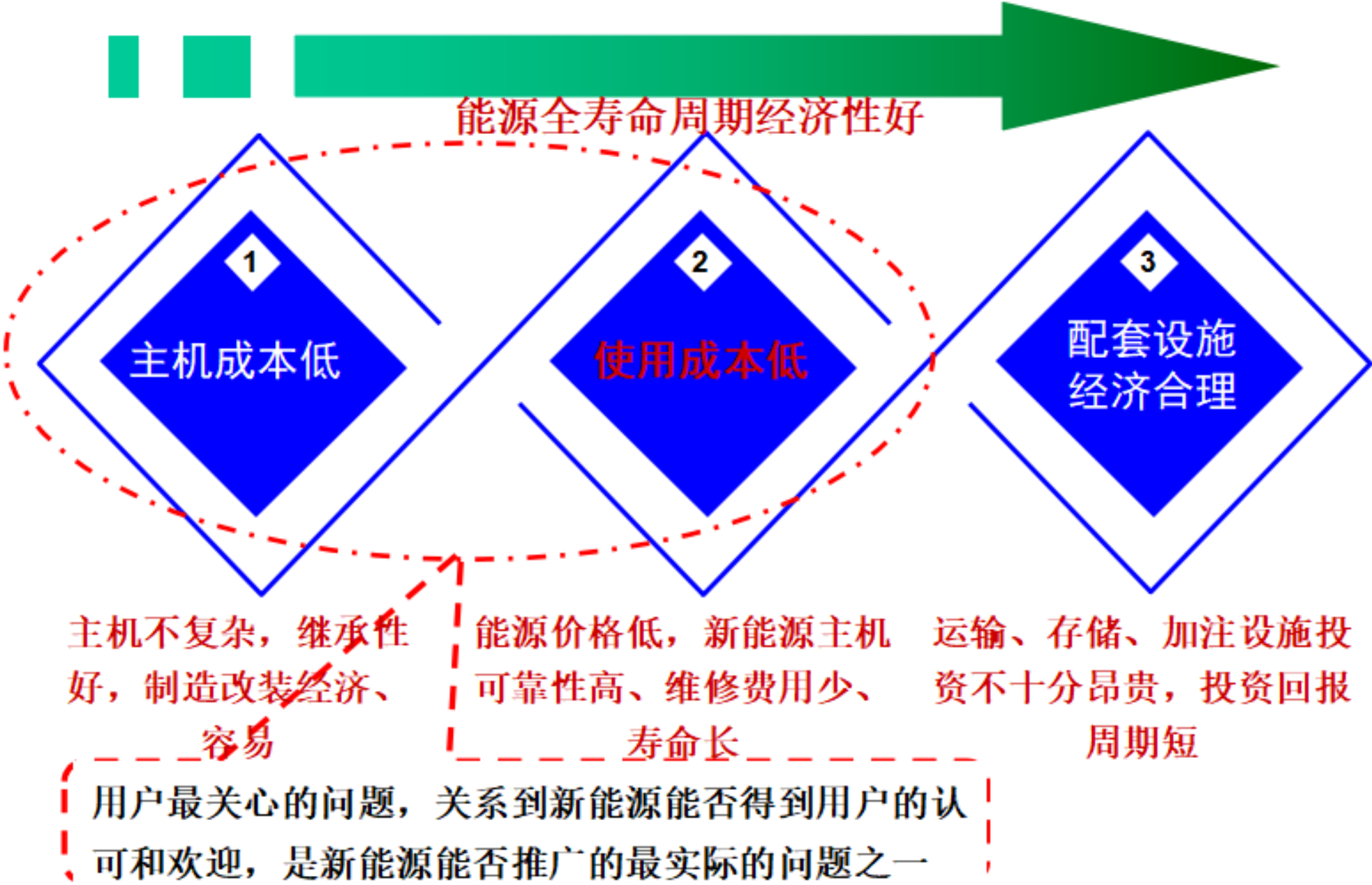
(3) 动力电池何为便利



(4) 动力电池用户的关注的经济点



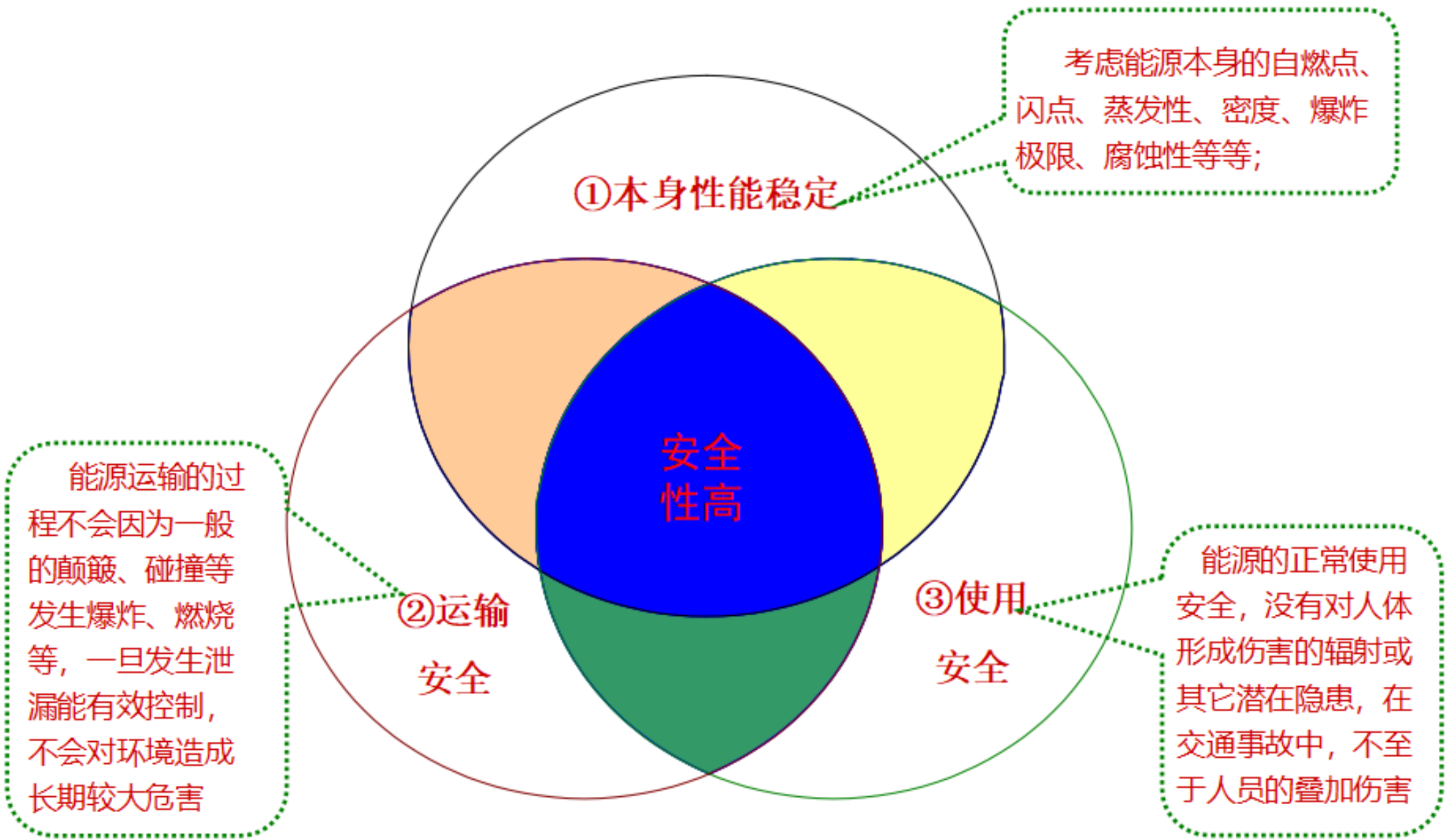
(5) 动力电池何为经济



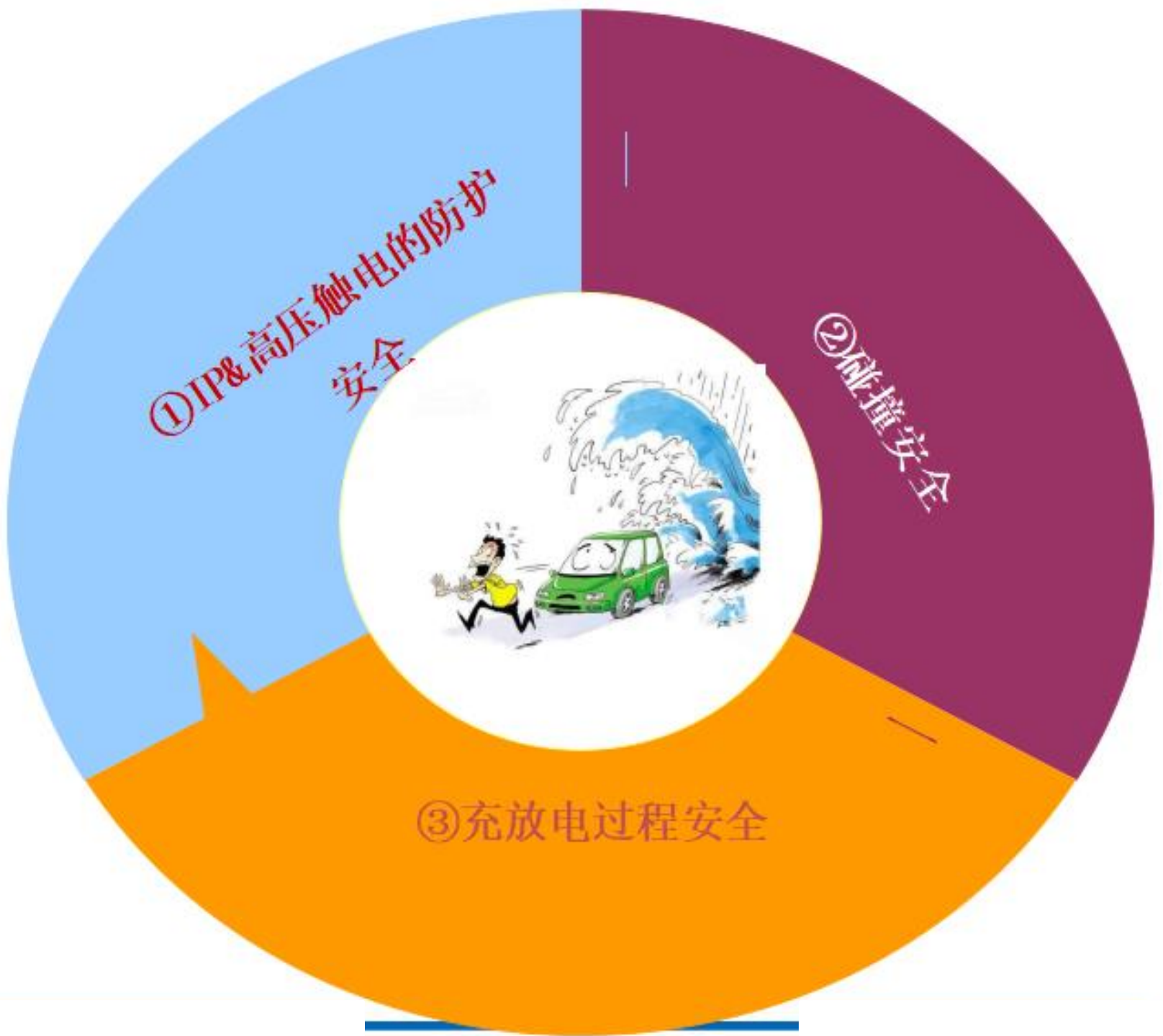
(6) 动力电池用户关注的经济点



(7) 动力电池安全

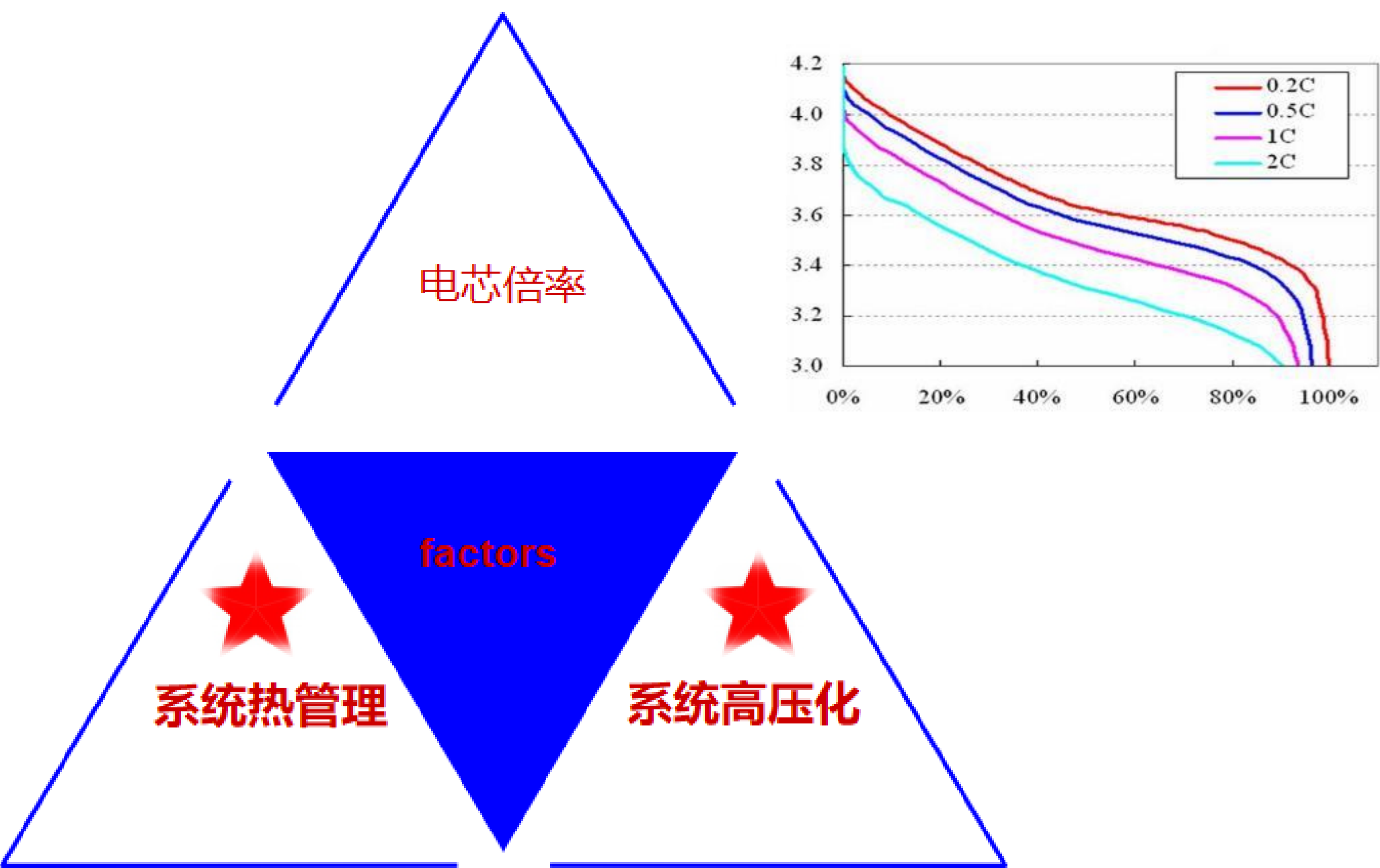


(8) 动力电池用户关注的安全点



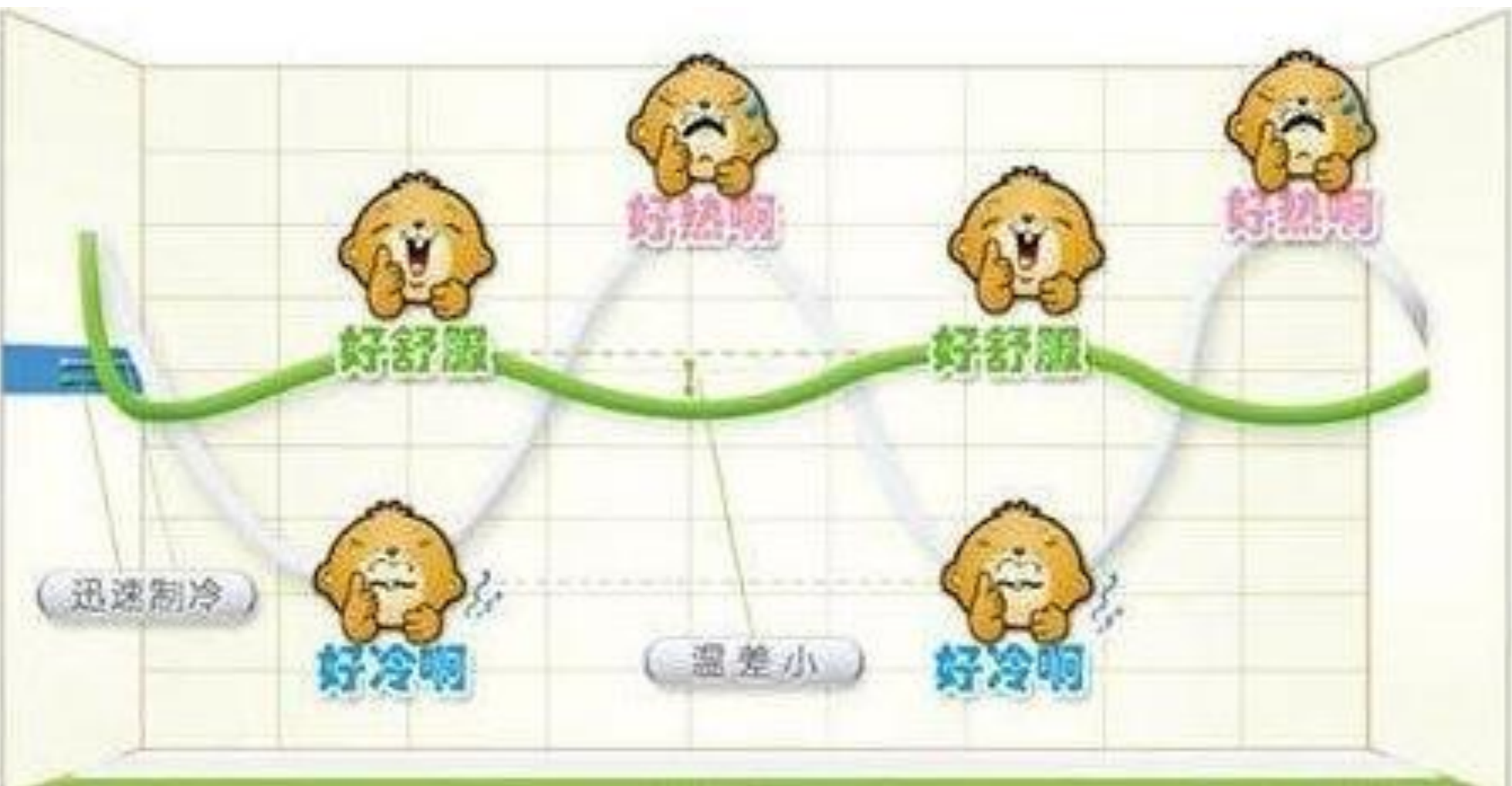
6 满足用户需求的设计应对

(1) 动力电池全环境快速充电设计应对-因素



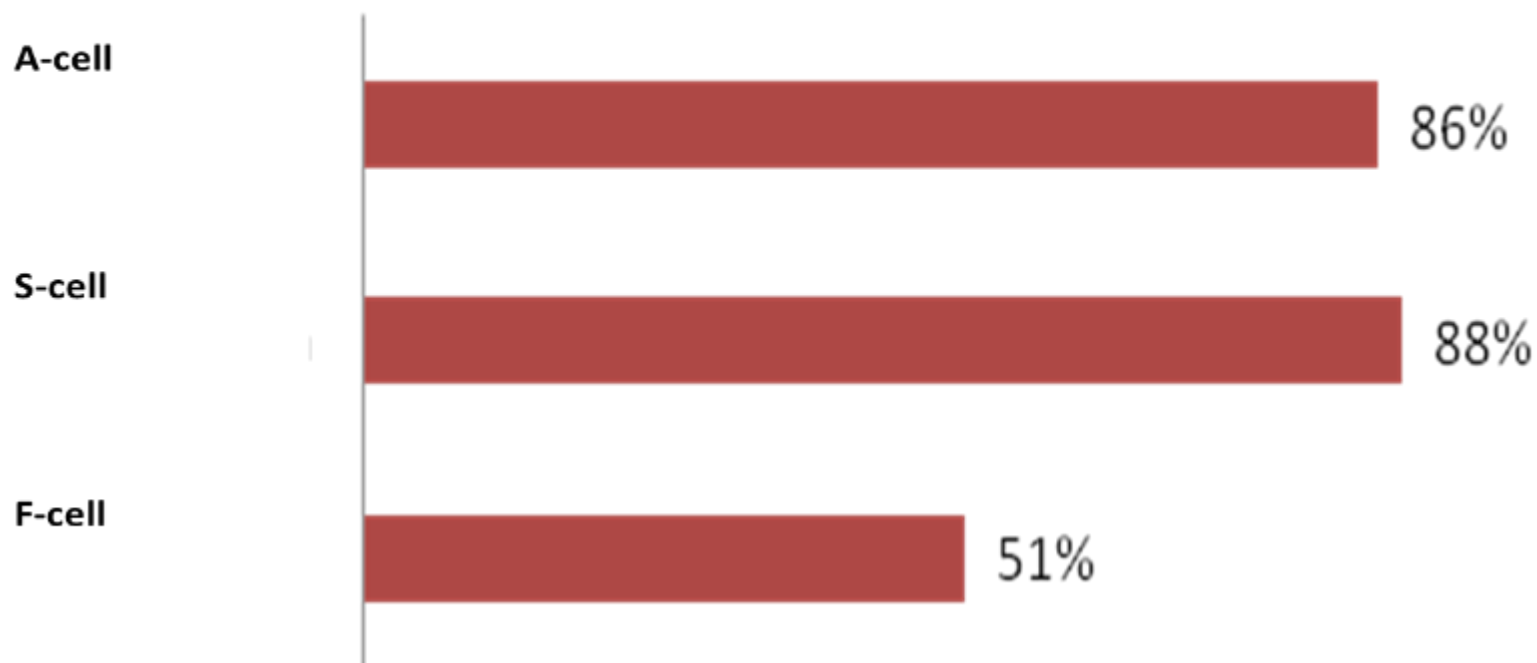
(2) 动力电池系统的热管理

设计的设定温度工作范围和温度均一性

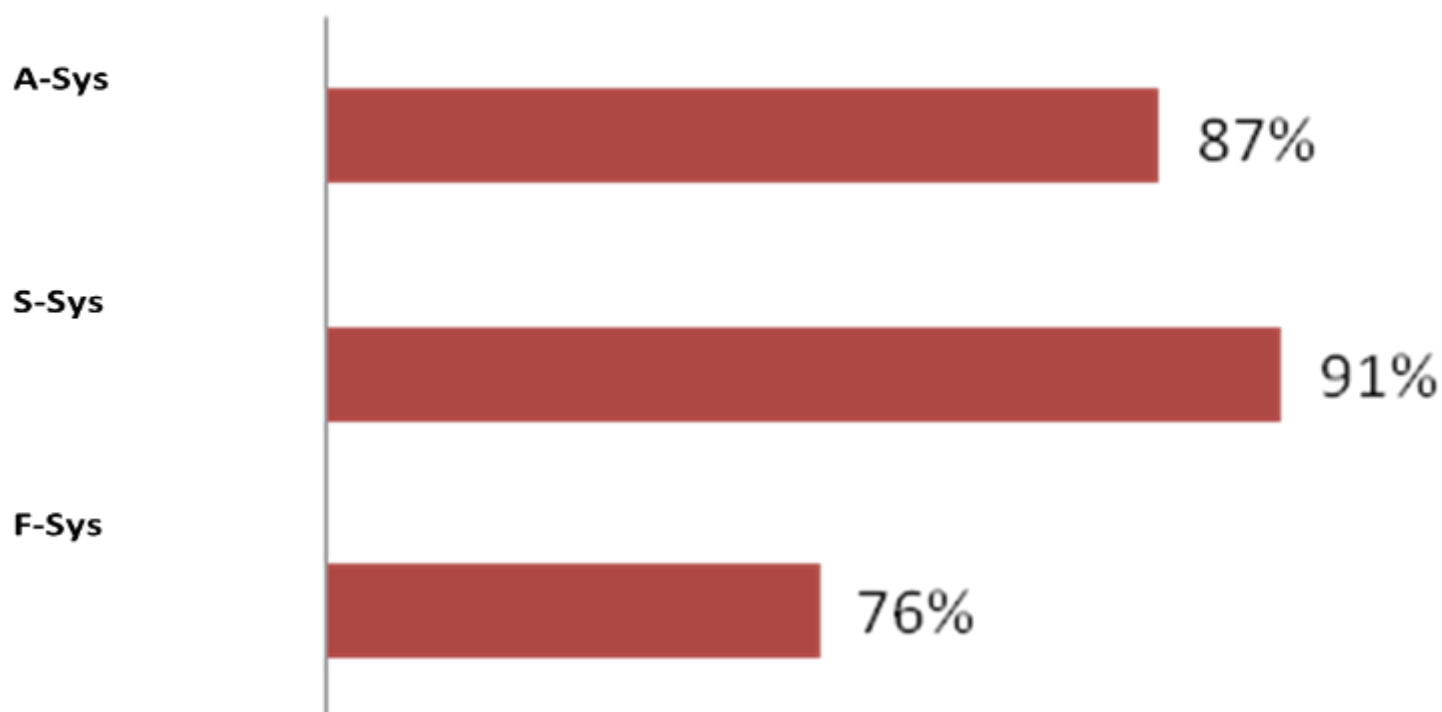


①电池衰减速度-使用寿命；②充放电性能-车辆性能；③电芯衰减一致性-使用寿命；④控制策略上对于温度归一化的处理。

-5度下电芯NEDC工况放电能量/标称能量

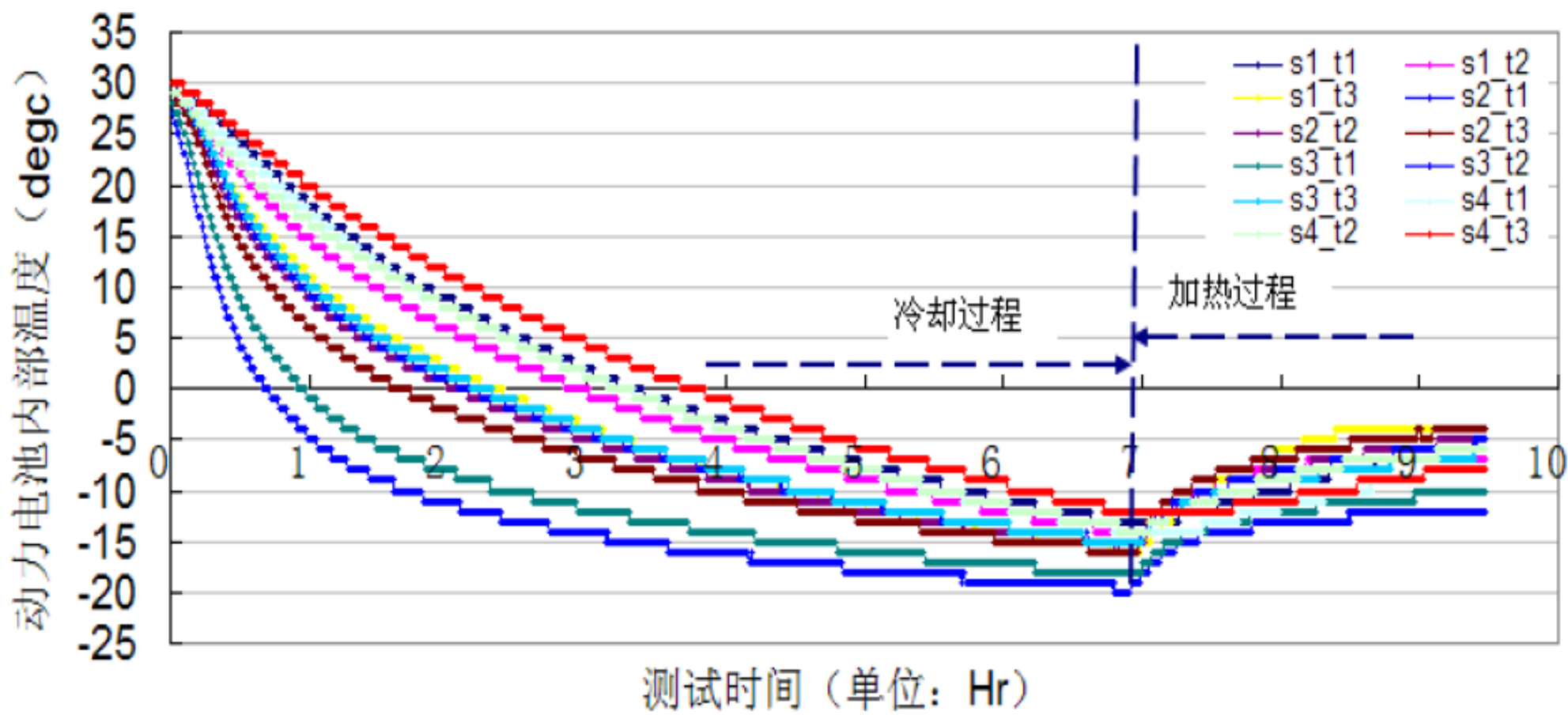


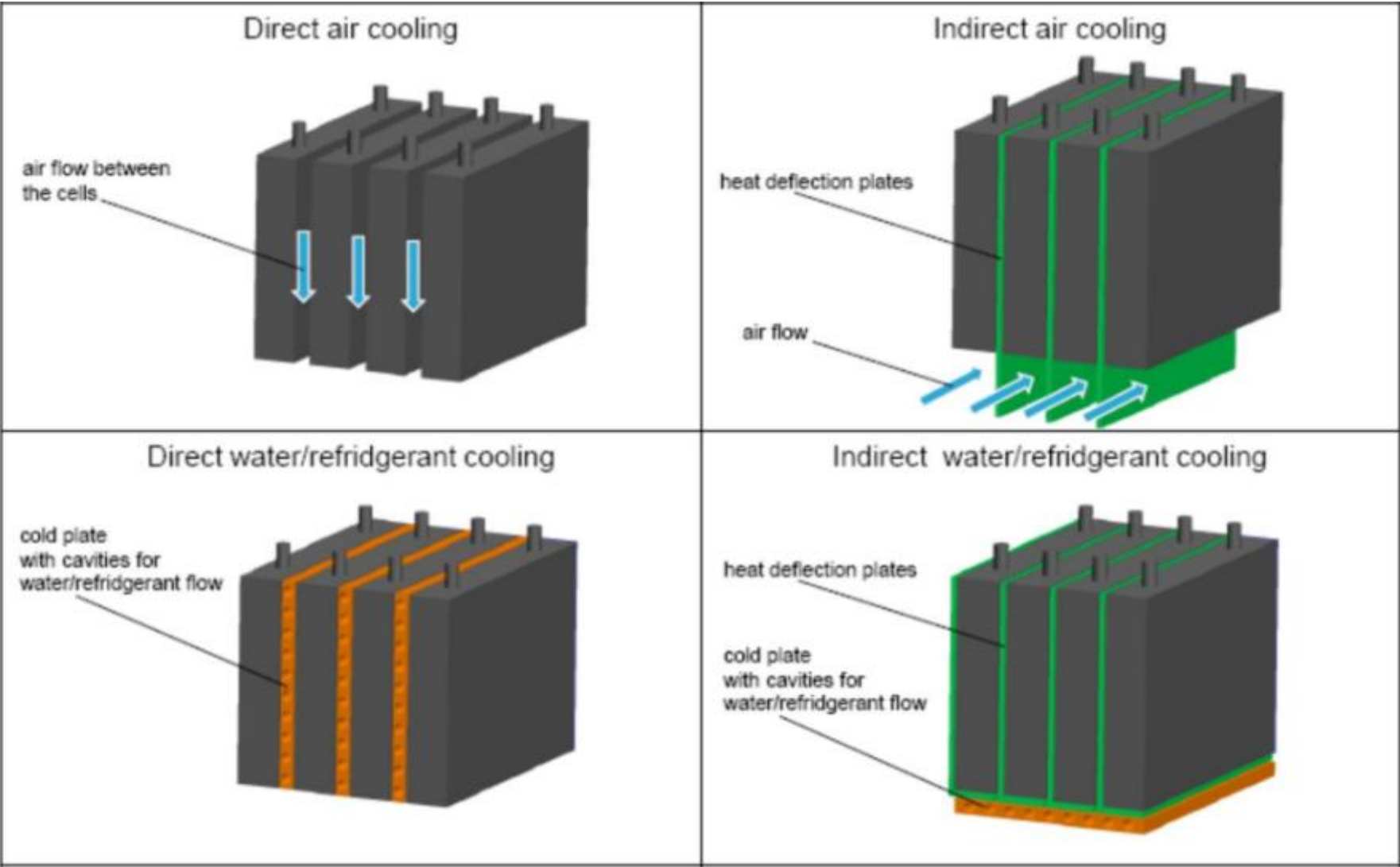
-5度下系统NEDC工况放电能量/标称能量



不只是冷却，还有加热和保温

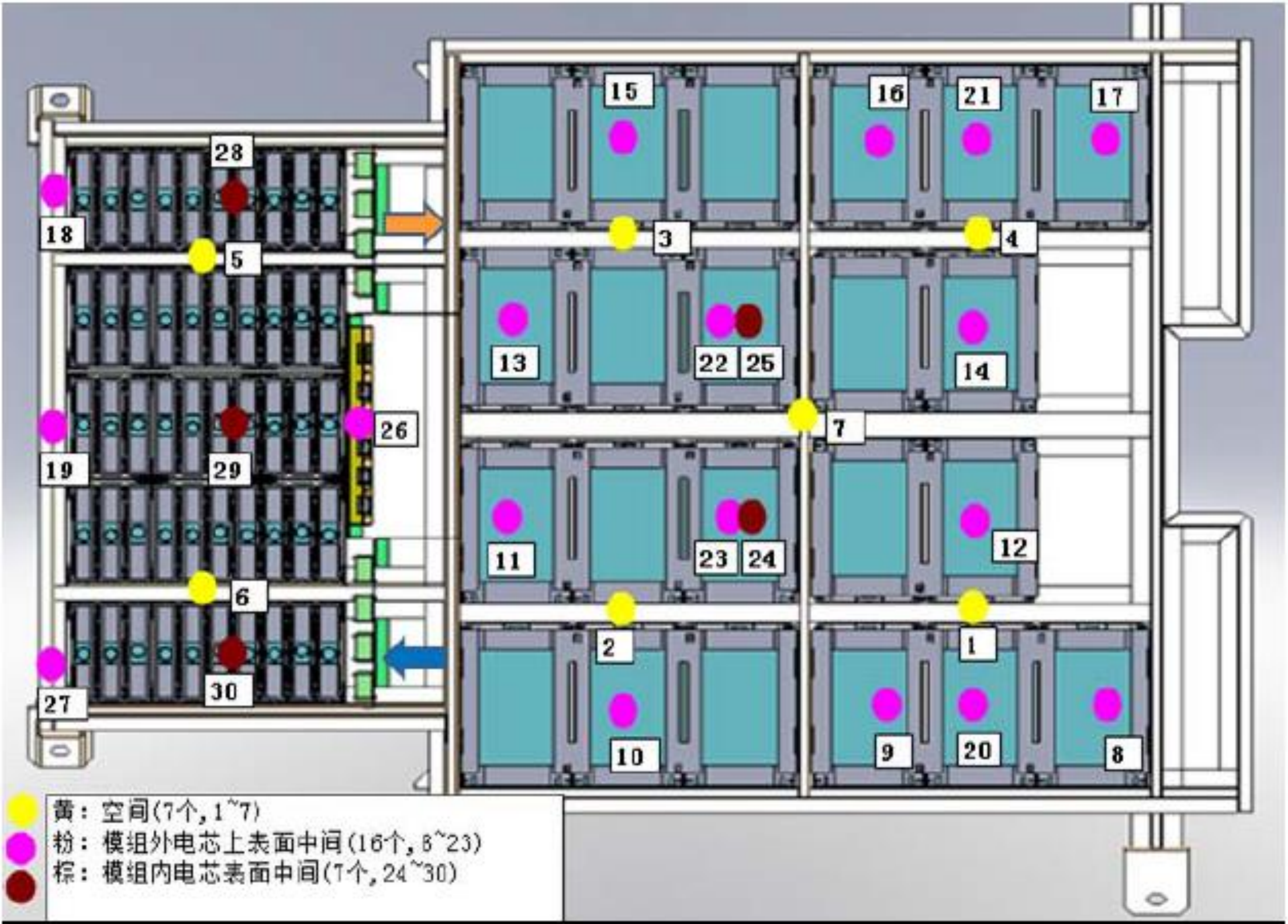
某款电动汽车电池内部温度分布



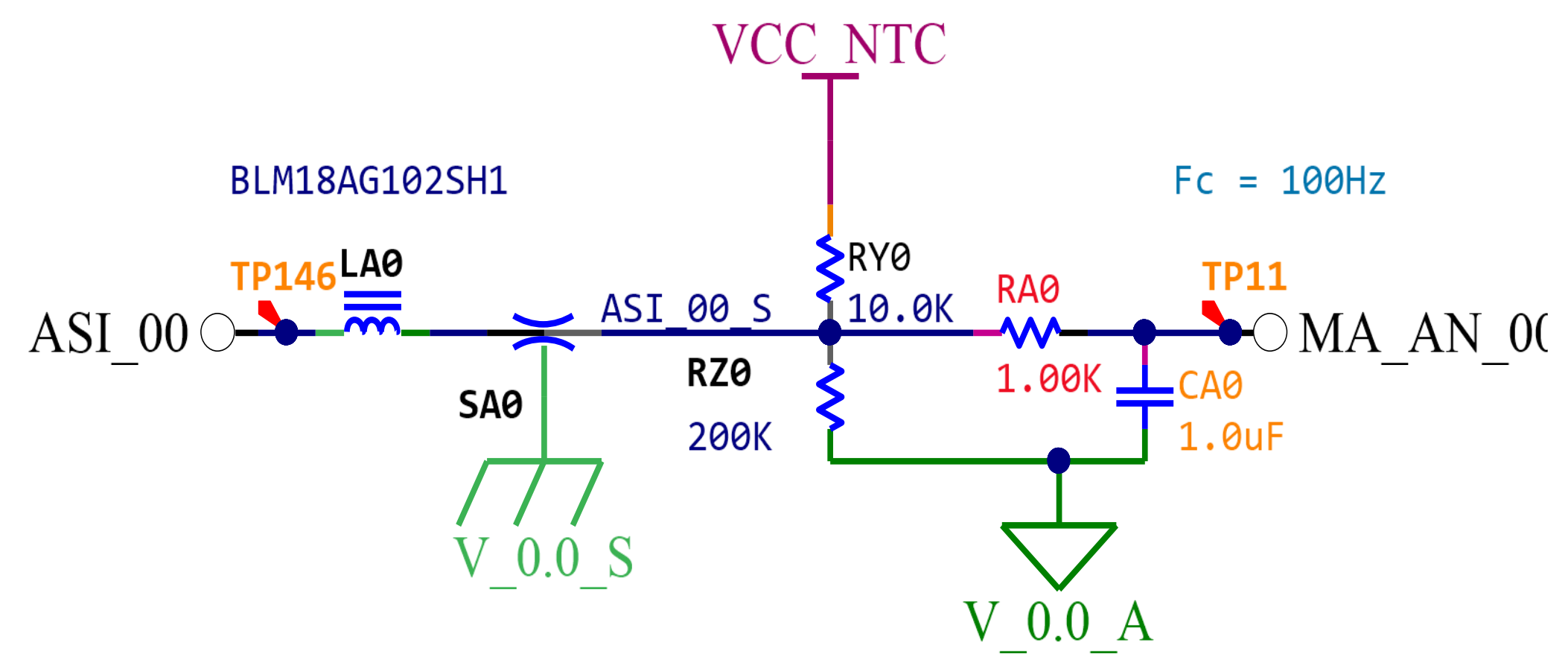


①风冷方式、水冷方式；②直接式、介质式（间接式）；③内部式、外部式；④外部隔热；⑤工艺性。

温度采集点的布置



温度布置点：电芯本身最高温度点-极柱；仿真分析+试验的温度极值点。温度点个数的和成本关系



硬件的实现

温度点的数据有效诊断：①极限情况下温度的变化特性；②采集温度趋势比对。温度点的规划一处理：电池本身设计的温度特性。



奔驰AMG Project One

800V，混动，450/735kW



奥迪AICON

800V，700km，260kW



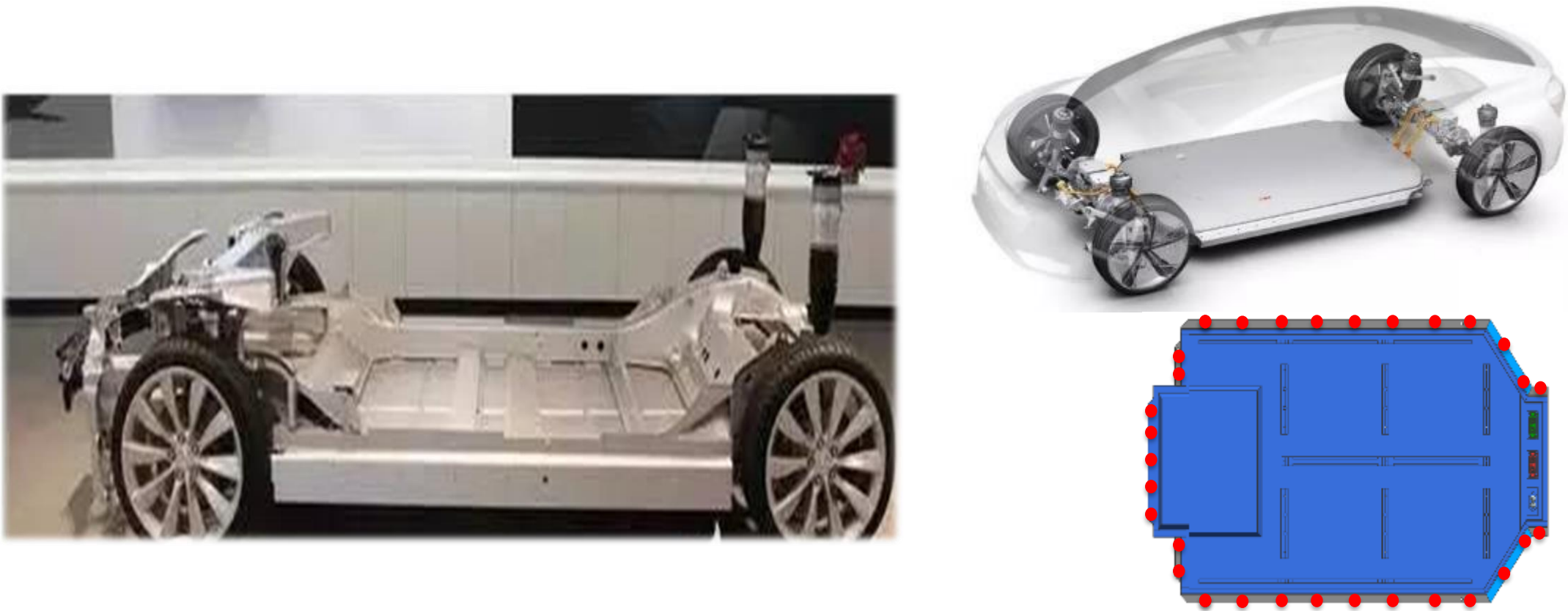
保时捷MissionE，800V，500km，440kW

产品趋势： ①电池容量将达到100kWh左右，续航里程将达到400-600km； ②快充需求重新定义15min； ③充电机功率达350-500kw； ④充电电流350-500A； ⑤充电电压达800V以上； ⑥系统在100-125AH其他器件。

提升能量密度和轻量化-因素



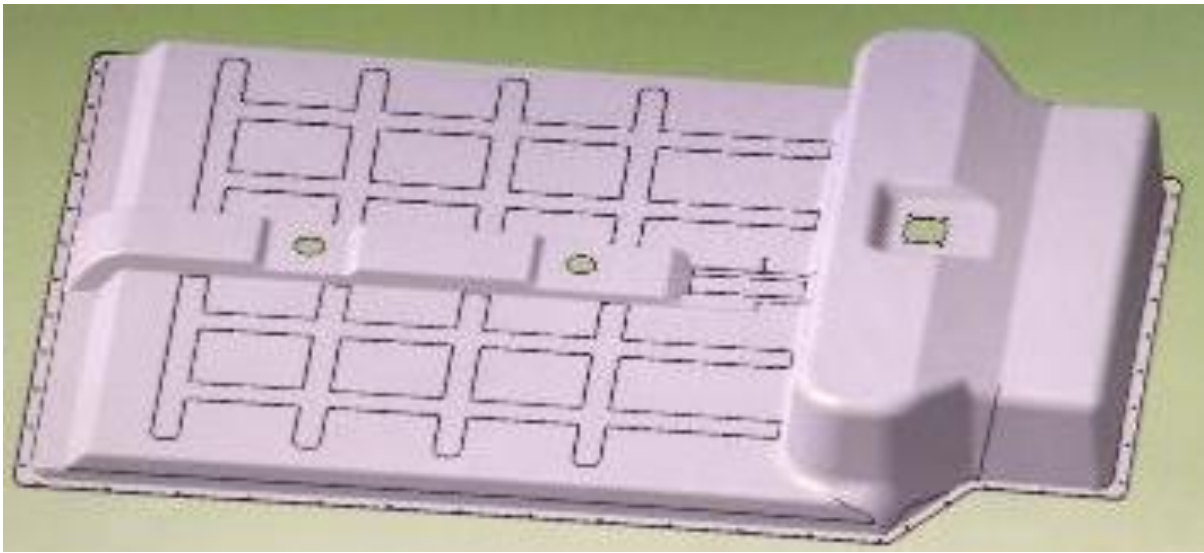
提升能量密度和轻量化-PACK车身一体化



- 对A0级乘用车，降低50kg，预计可以降低耗1%
- 现有三元材料到811，200mAh/g@1C，4.2V
- 去模组化，将模组构造将与pack结合，实现减重；
- 一体化设计降低对电池包结构件的强度需求，降低电池包重量

提升能量密度和轻量化-新材料&工艺

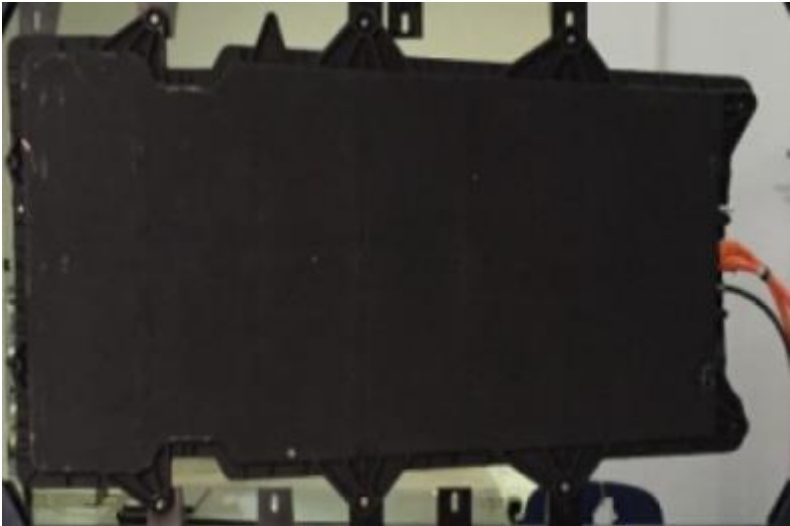
上箱体



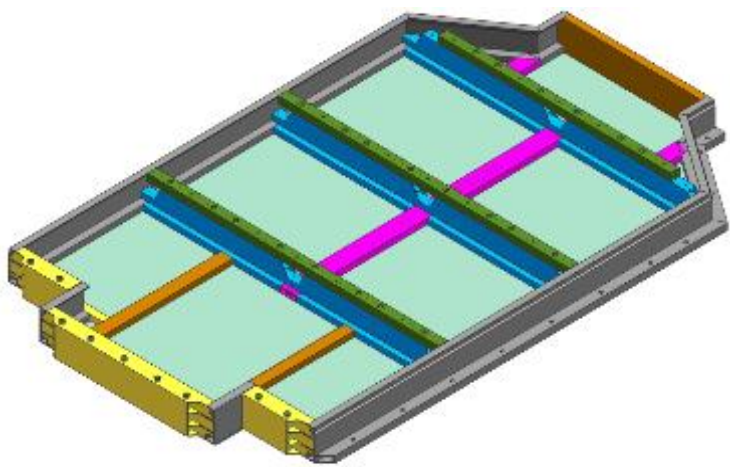
特斯拉例外

玻璃钢SMC

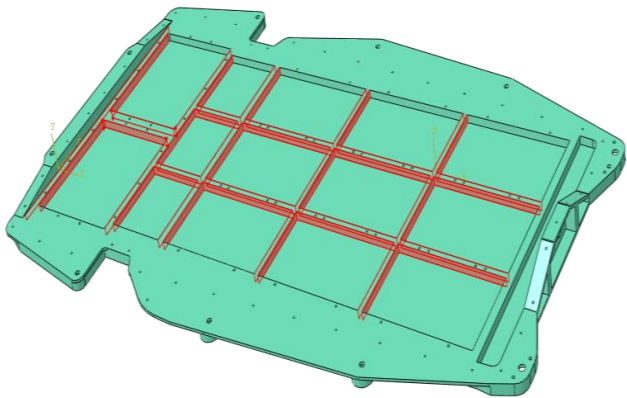
下箱体



铸铝材料壳体



挤压铝型材工艺



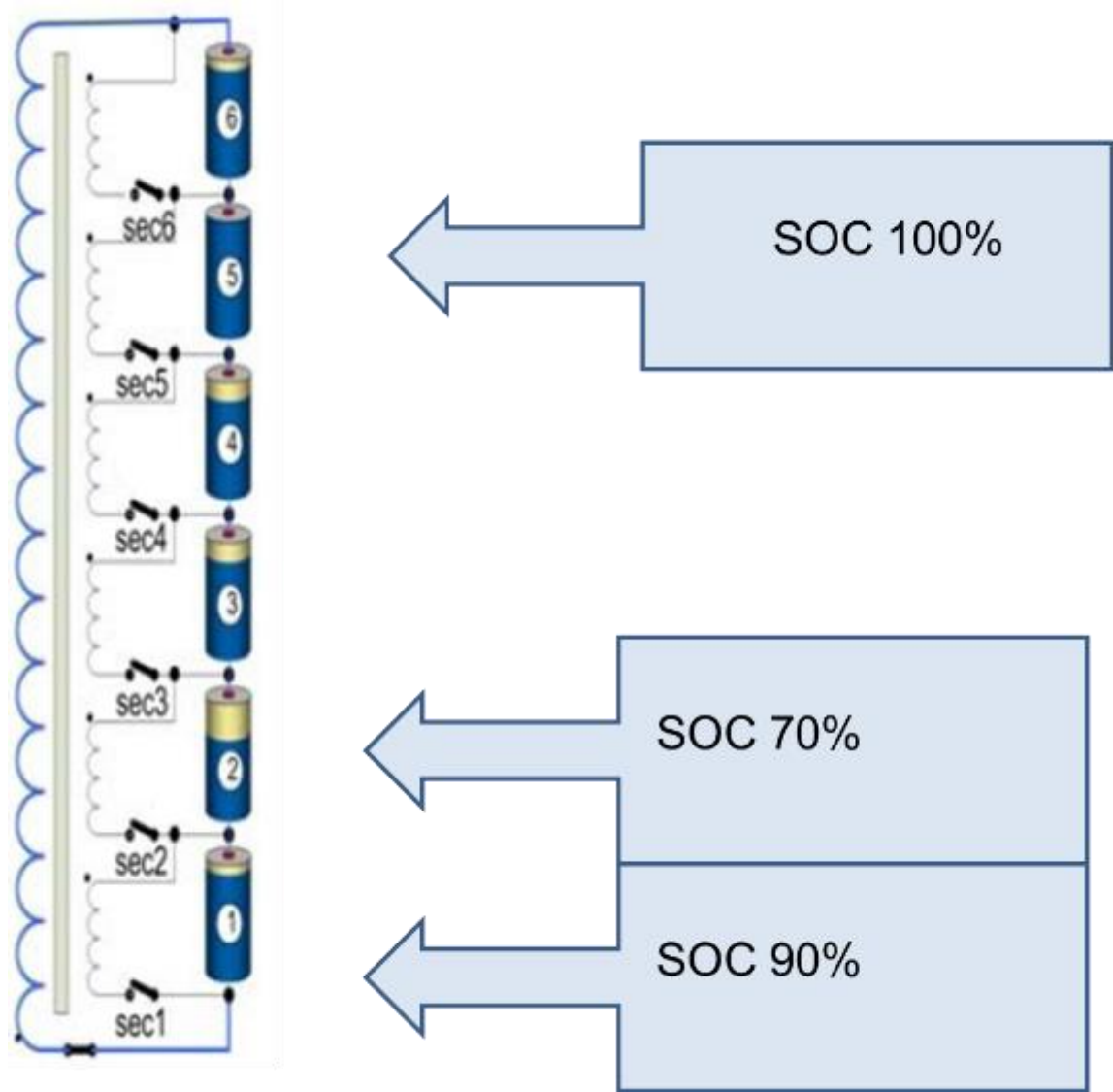
复合材料电池壳体

- 开始商业化应用
- 不一定适用全部电池包，较小电池包可能铸铝有优势

某款车 碳纤维增强复合材料，模压成型，无需喷涂处理，设计重量由铸铝39kg降低约25.4kg，减重13.6kg，减重比例34.8%

提升能量密度和轻量化-状态估算准确

SOC（state of charge）定义---即电池的荷电状态。用来反映电池剩余容量占总容量的比值。



目前soc上下端修正就是为了保护电芯不被过充或过放，一致性差会导致soc上下修正幅度大，电池包的系统实际荷电状态小，车辆可用容量；容量小的电芯放电深度大，加剧了电池包的寿命衰减。

SOC（state of charge）在整车层面的应用



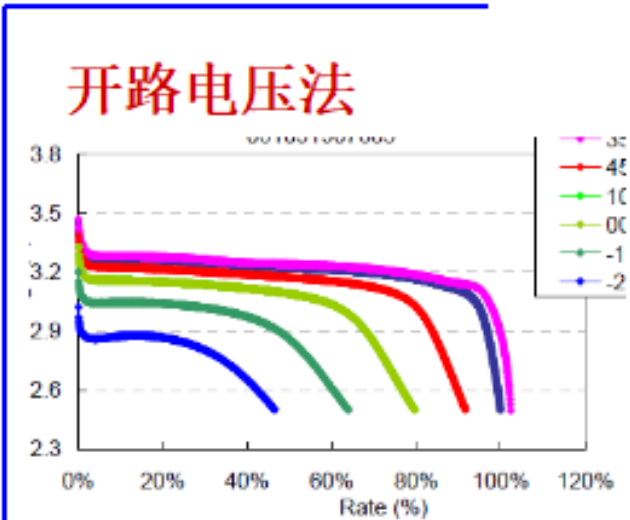
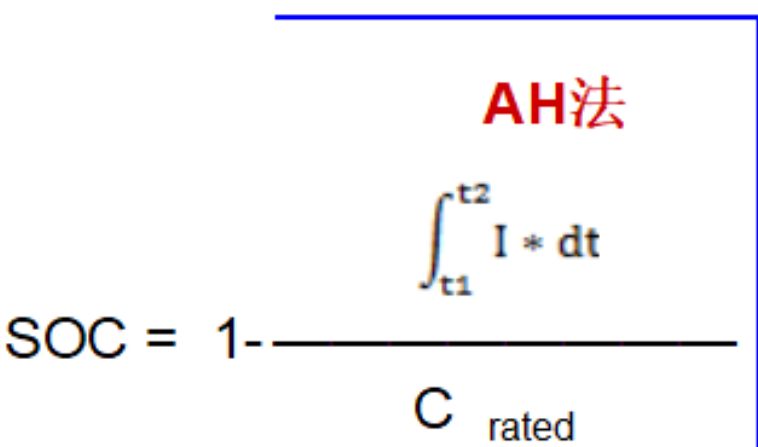
	-30℃	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	40℃	55℃
5%	0	0	6	13	22	22	22	6
10%	0	0	16	22	36	36	36	20
20%	0	0	22	27	72	72	72	36
30%	0	22	27	33	144	164	164	36
40%	0	22	36	44	144	180	180	36
50%	0	22	36	72	180	216	216	36
60%	0	22	36	98	180	216	216	36
70%	0	22	36	98	180	216	216	36
80%	0	22	36	98	180	216	216	36
90%	0	22	36	98	180	216	216	36
100%	0	20	33	90	165	198	198	33

作为电池放电能力的一维变量，利用插值法计算电池对外做功能力

	-30℃	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	40℃	550℃
5%	0	0	6	13	22	22	22	6
10%	0	0	16	22	36	36	36	20
20%	0	0	22	27	72	72	72	36
30%	0	22	27	33	144	164	164	36
40%	0	22	36	44	144	180	180	36
50%	0	22	36	72	180	216	216	36
60%	0	22	36	98	180	216	216	36
70%	0	22	36	98	180	216	216	36
80%	0	22	36	98	180	216	216	36
90%	0	22	36	98	180	216	216	36
100%	0	20	33	90	165	198	198	33

➤ 作为电池放电能力的一维变量，利用插值法计算电池对外做功能力

当前SOC计算方法及修正策略

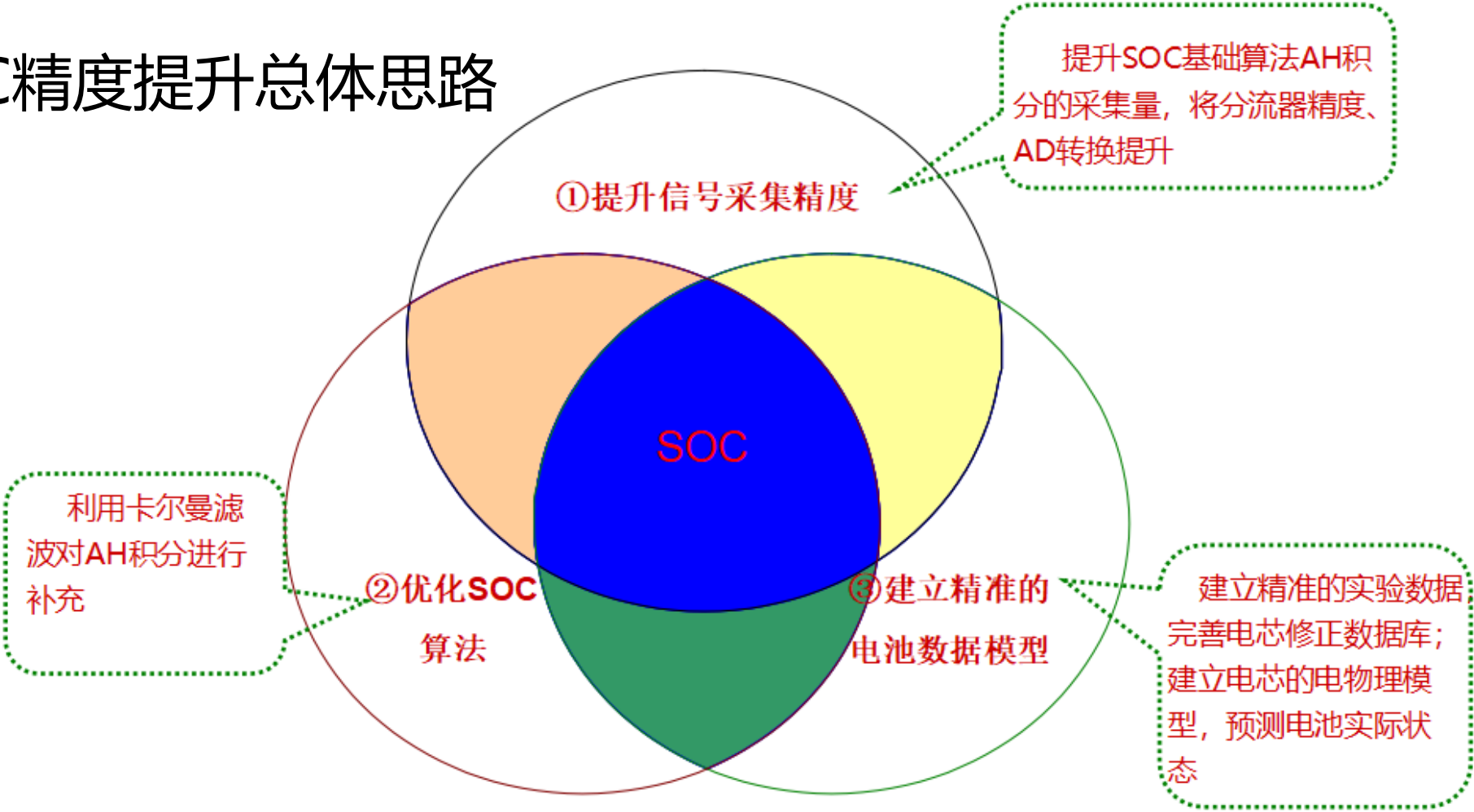


Q： C rated 采用的是标准工况进行测得的；

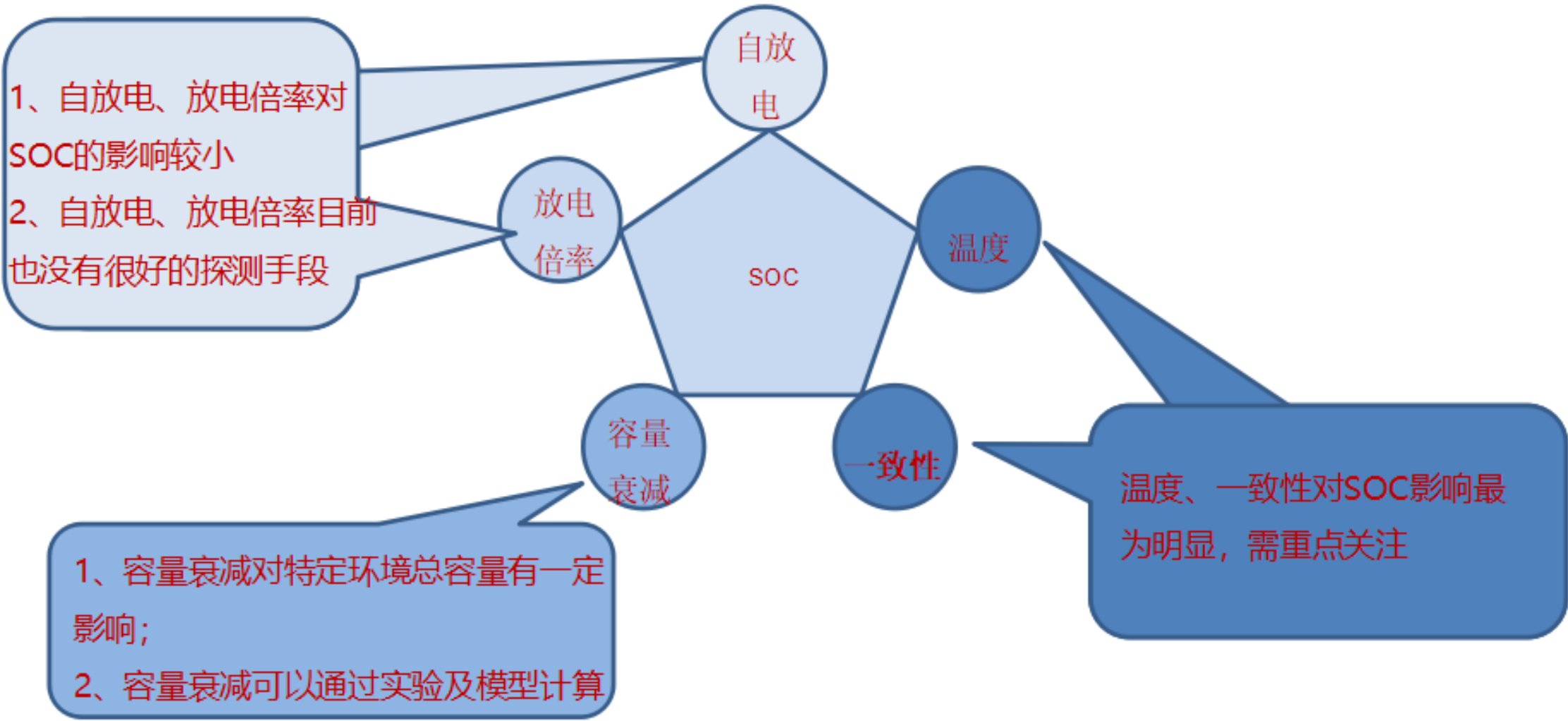
Q： 没有考虑温度的差异；

两者结合应用、给予电芯试验数据做修正、初始化容量。

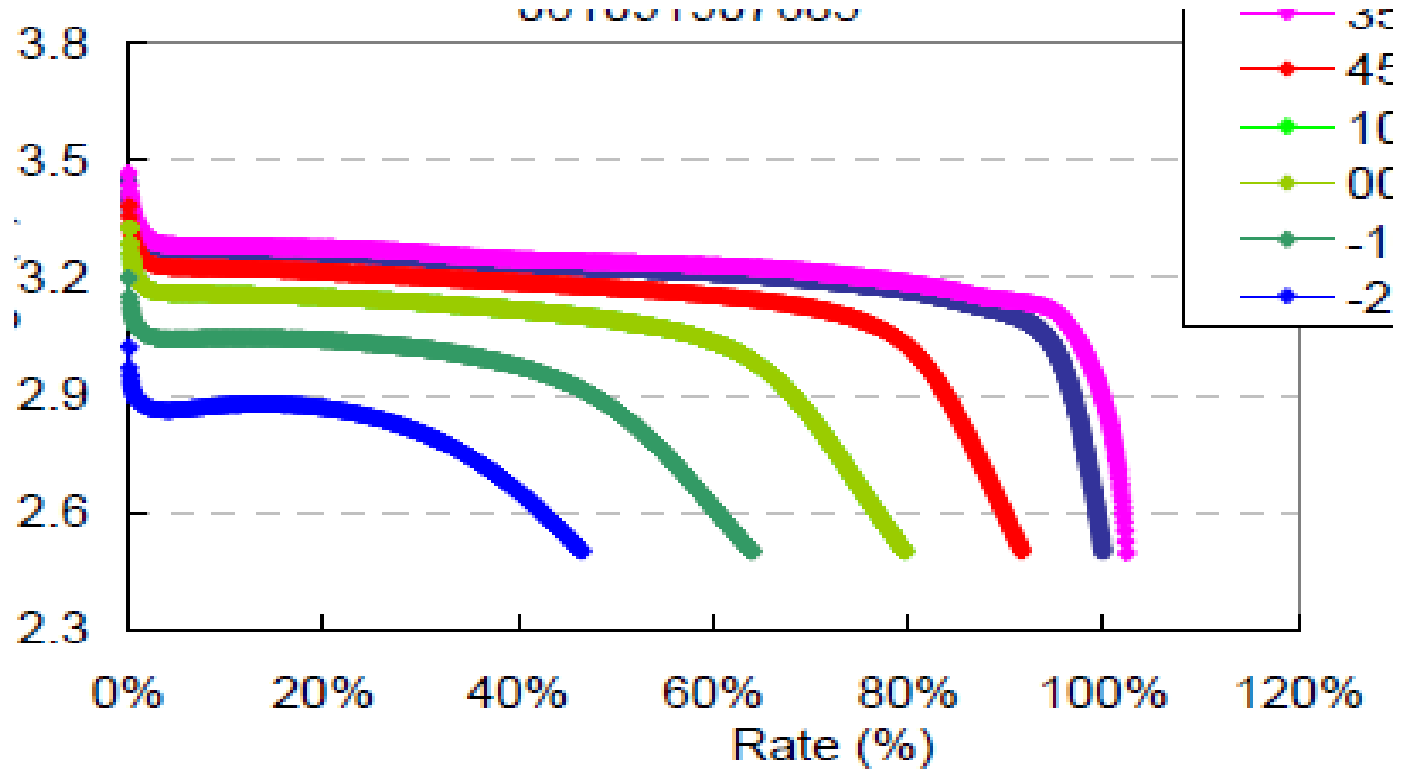
SOC精度提升总体思路



SOC影响的要素分析

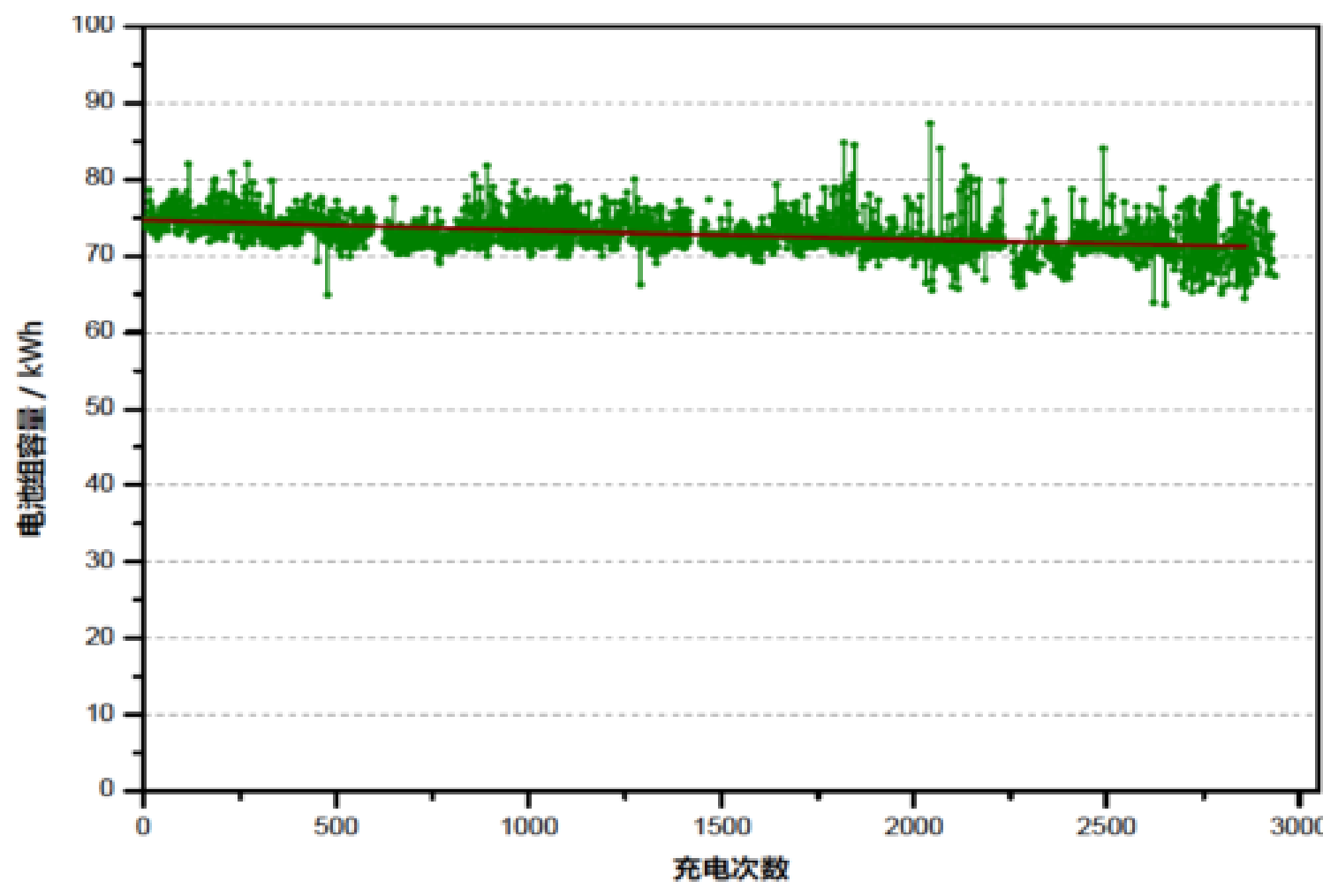


SOC影响的要素分析--温度分析



电芯的容量将随温度的变化而变化，这一变化可以通过实验进行系统数据规律统计，温度主要修正可用容量。

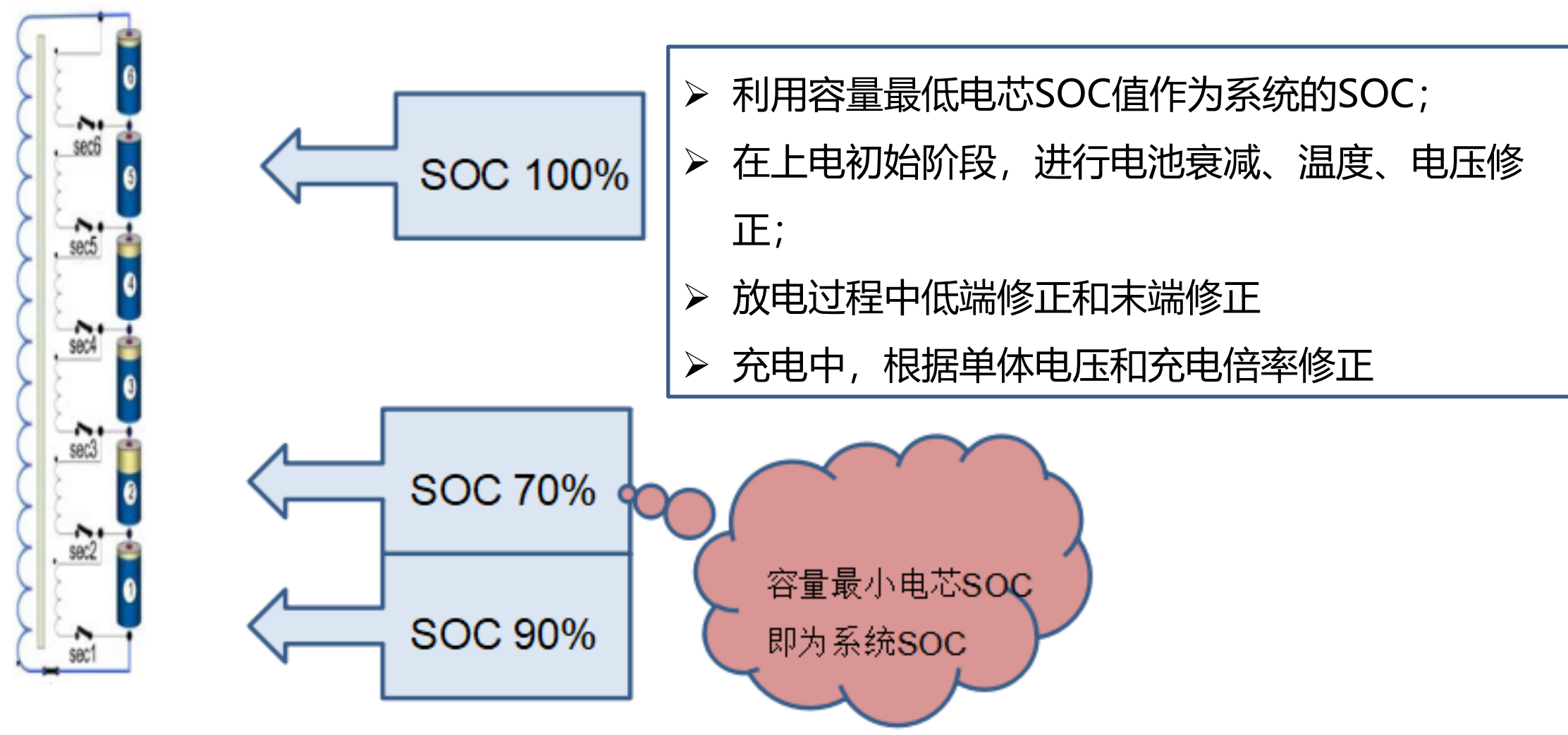
SOC影响的要素分析--SOH



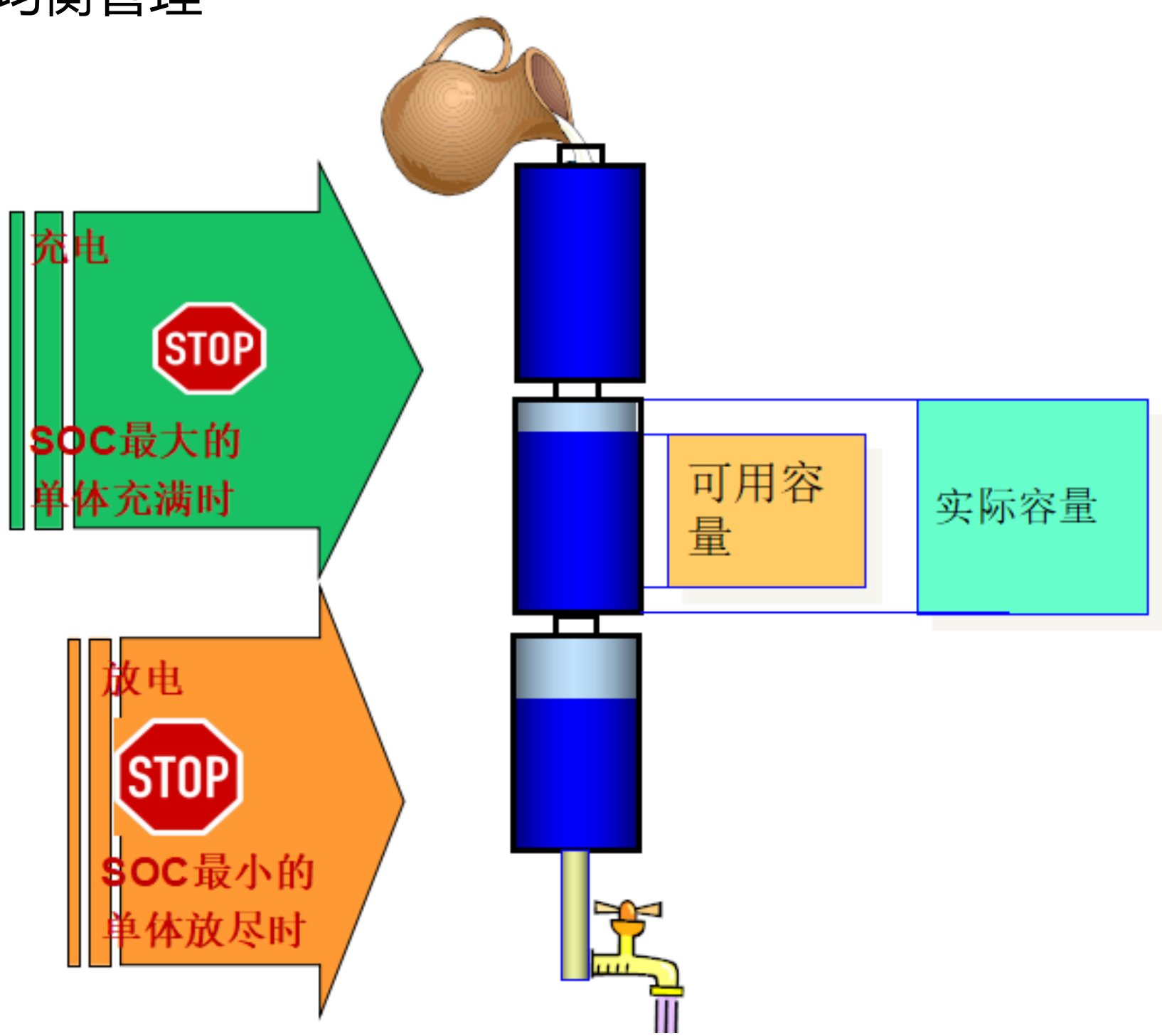
电芯的容量将随循环次数的增加而减小，这一变化也可以通过大量实验进行系统数据规律统计

SOH主要修正标定容量

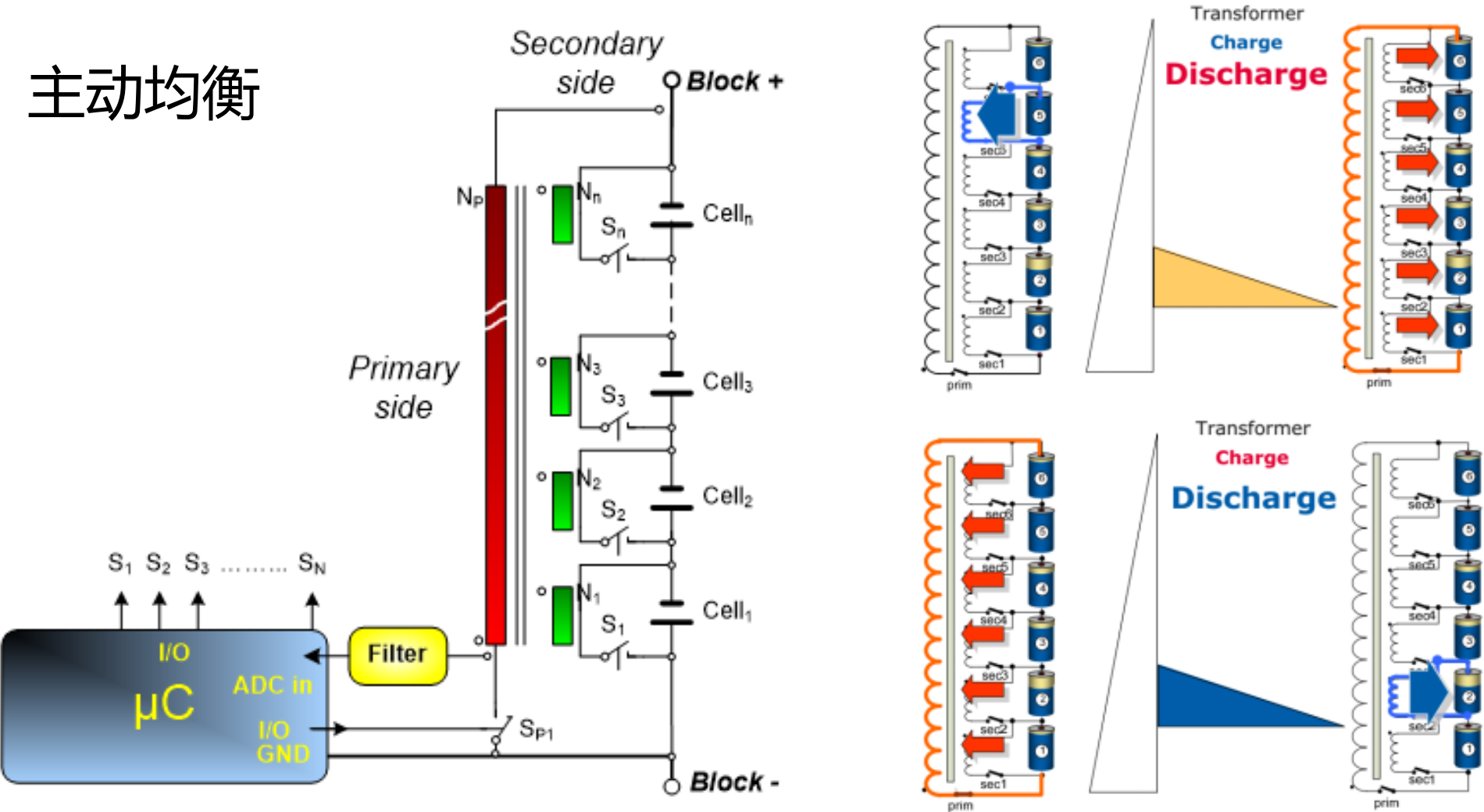
SOC影响的要素分析--一致性



电池的均衡管理



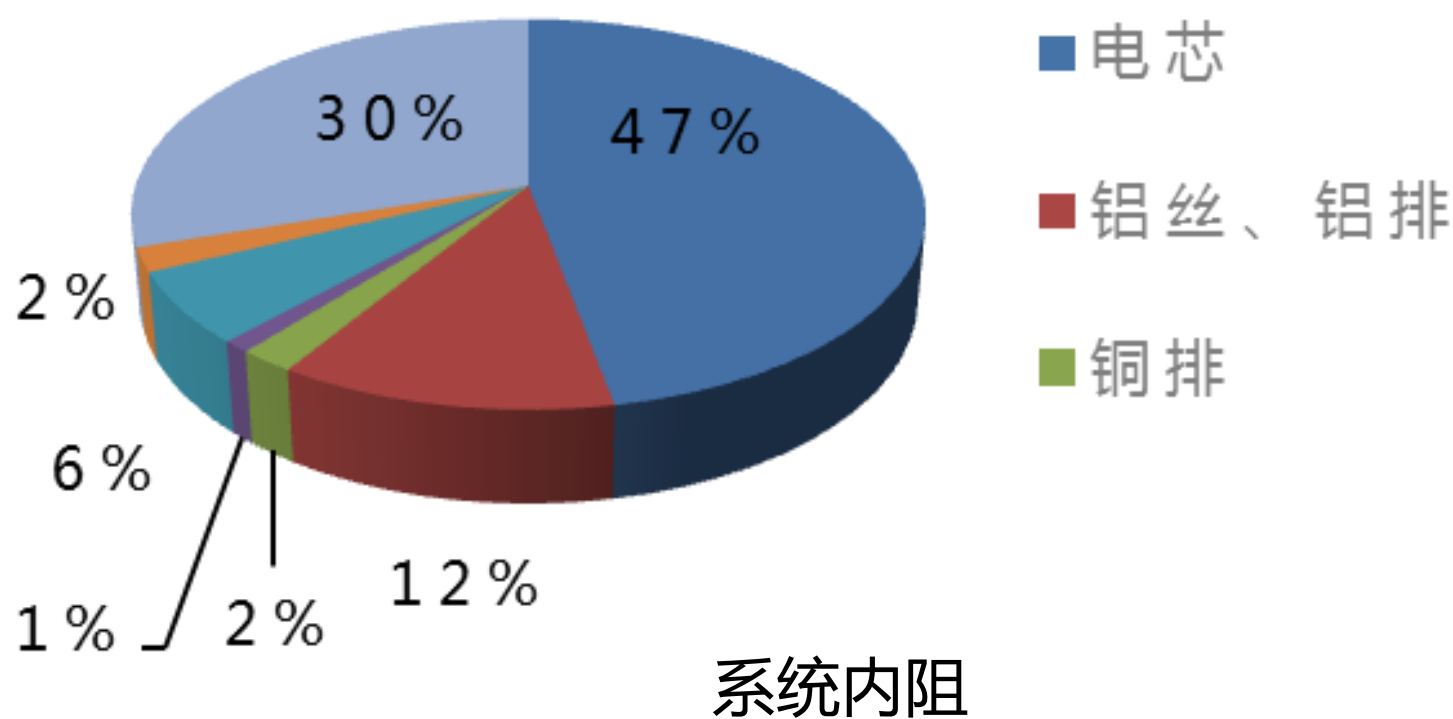
主动均衡



每节电池都需参与均衡，无需均衡的电池也要参与频繁的充放电 均衡变压器设计复杂。目前在放电末端使用单体最低电压进行SOC和放电功率的修正，动态电压不能反映单体真实的荷电状态，会造成SOC“跳变”。进行开路电压在线估算的研究，进而使用开路电压法进行SOC修正，会得到较真实的单体荷电状态。

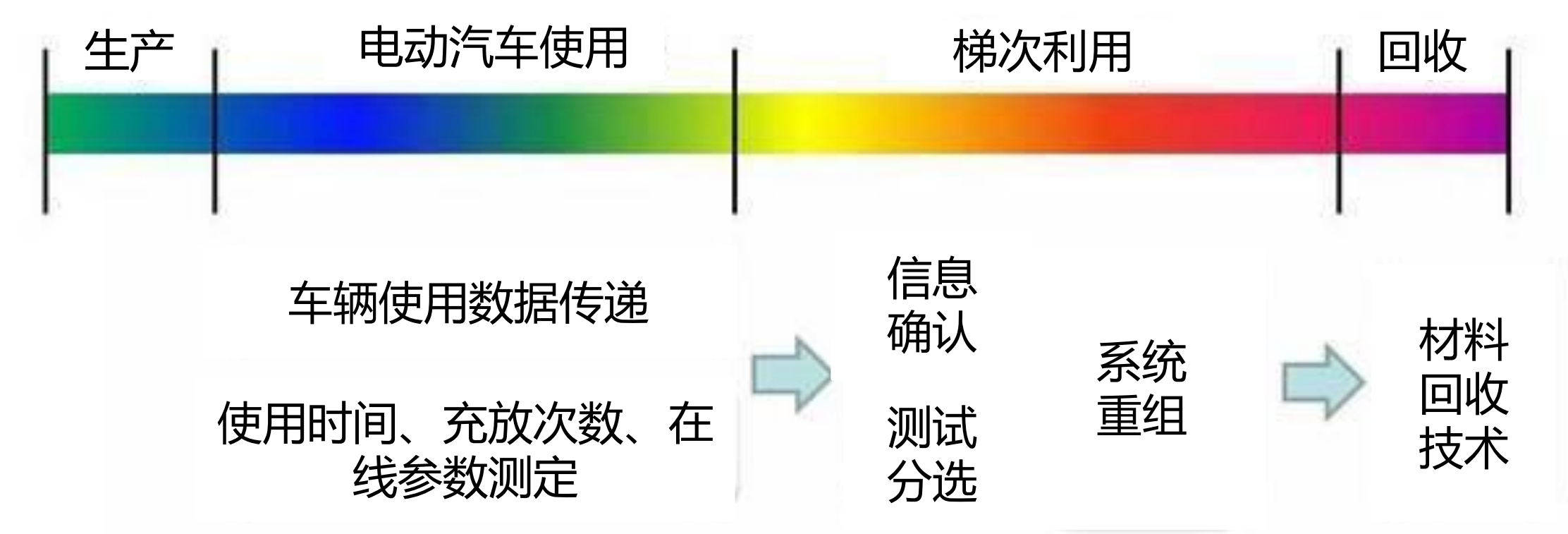
(1) 经济性设计应对-效率

电芯层面：①材料，三元大于磷酸铁锂，方形大于软包大于圆柱；②同一容量电芯，充放电窗口大，效率高；③温度升高，效率升高；④充放电倍率小，效率高；⑤同一放电窗口，容量小的电芯，(1C)效率高。



优化内部高压设计，规划铜牌最优路径；减少连接点，优化接错内阻：①接触面材质；②接触面平整度；③接触面面积；④连接方式；⑤螺钉/垫片尺寸；⑥螺钉锁紧力（扭矩）。

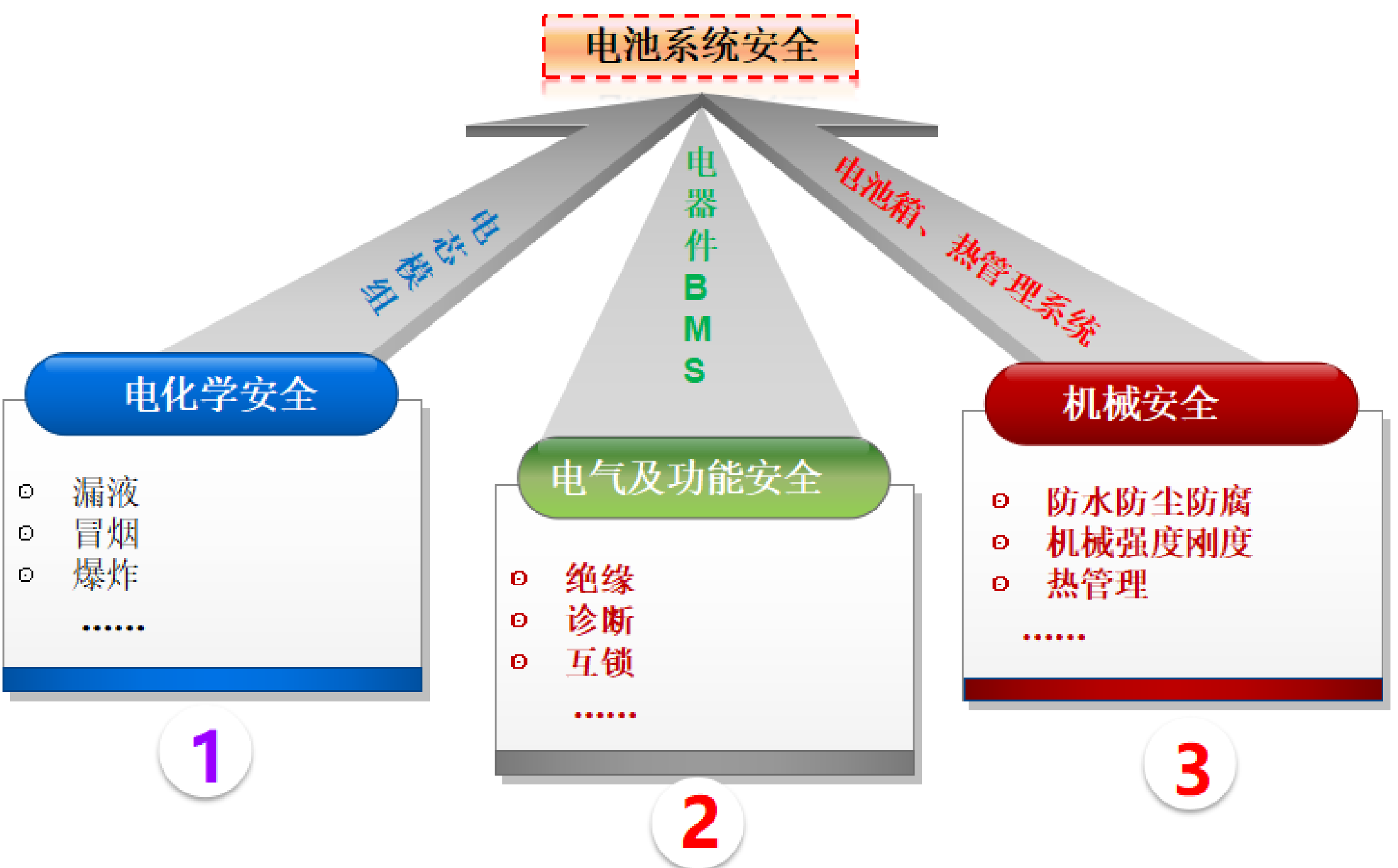
(2) 经济性设计应对-成本



①电芯寿命，掌握好续驶里程和电芯寿命的关系，质保8年20万km，250km，800次；②热管理强化电池包内温度一致性，防止快速衰减和衰减的不均衡；③电芯模组化，提高生产效率，减少梯次利用的重组成本（去模组化关系）。

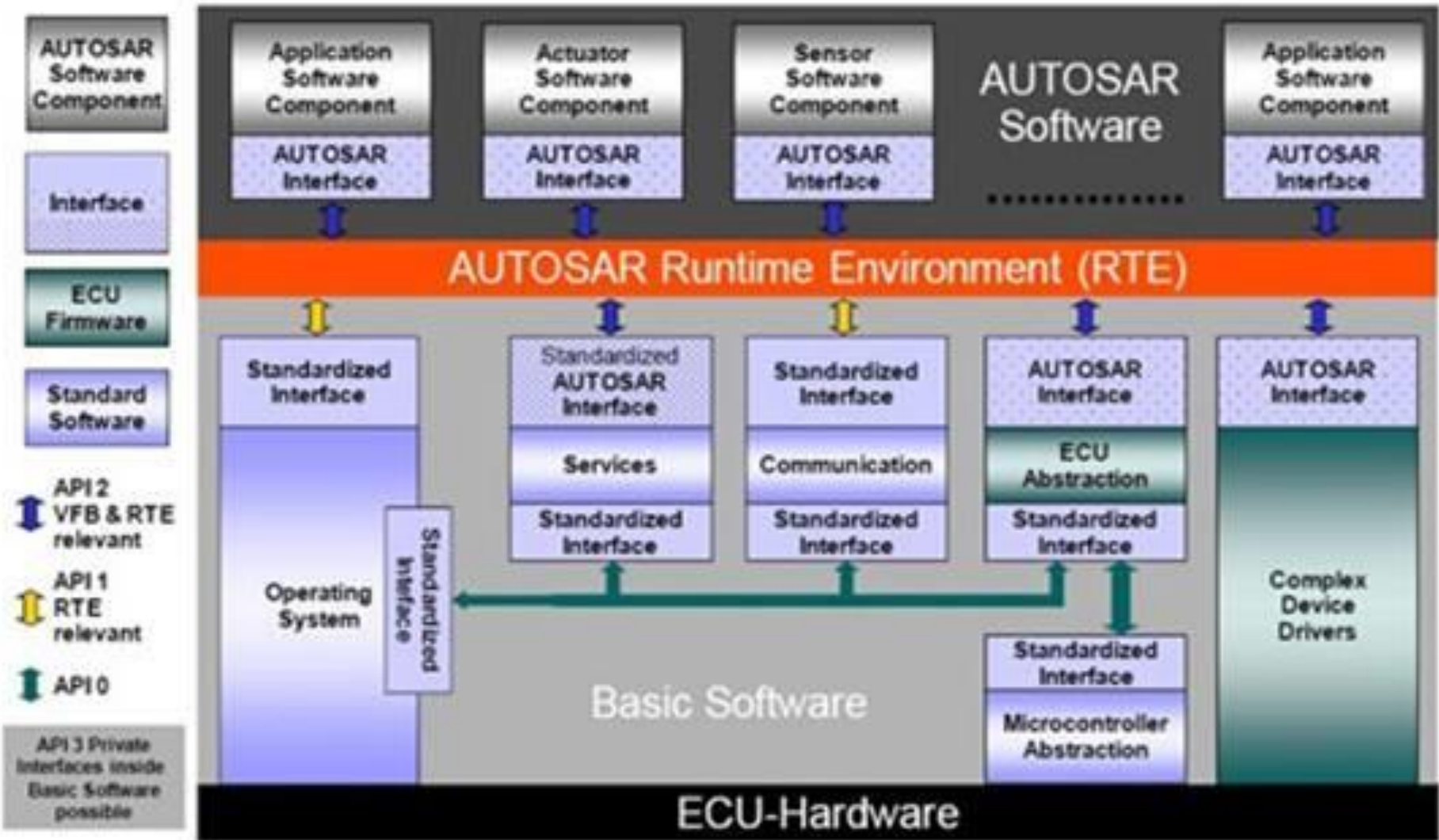
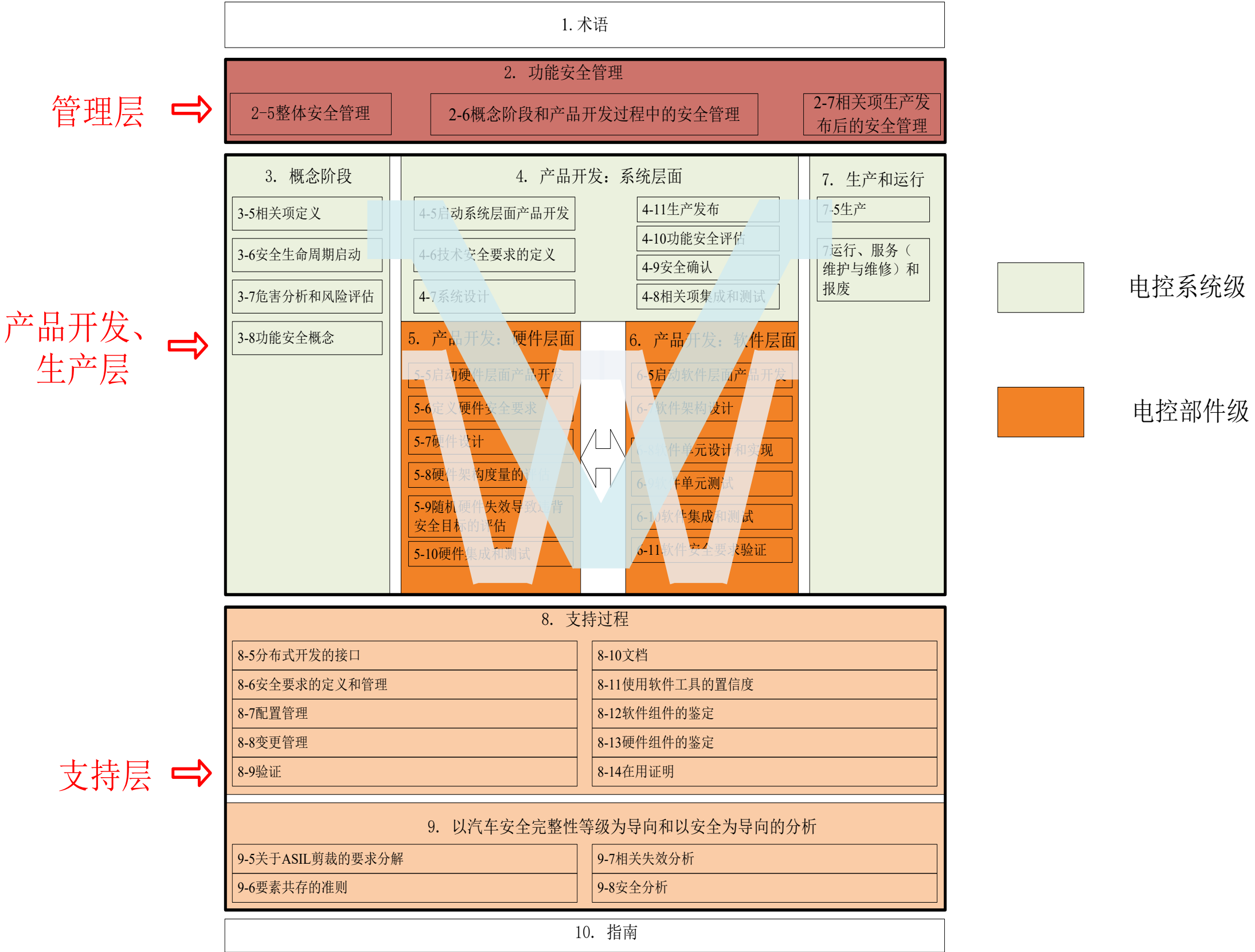
(3) 安全性设计应对-因素

三级安全防护措施，也是被动到主动过程

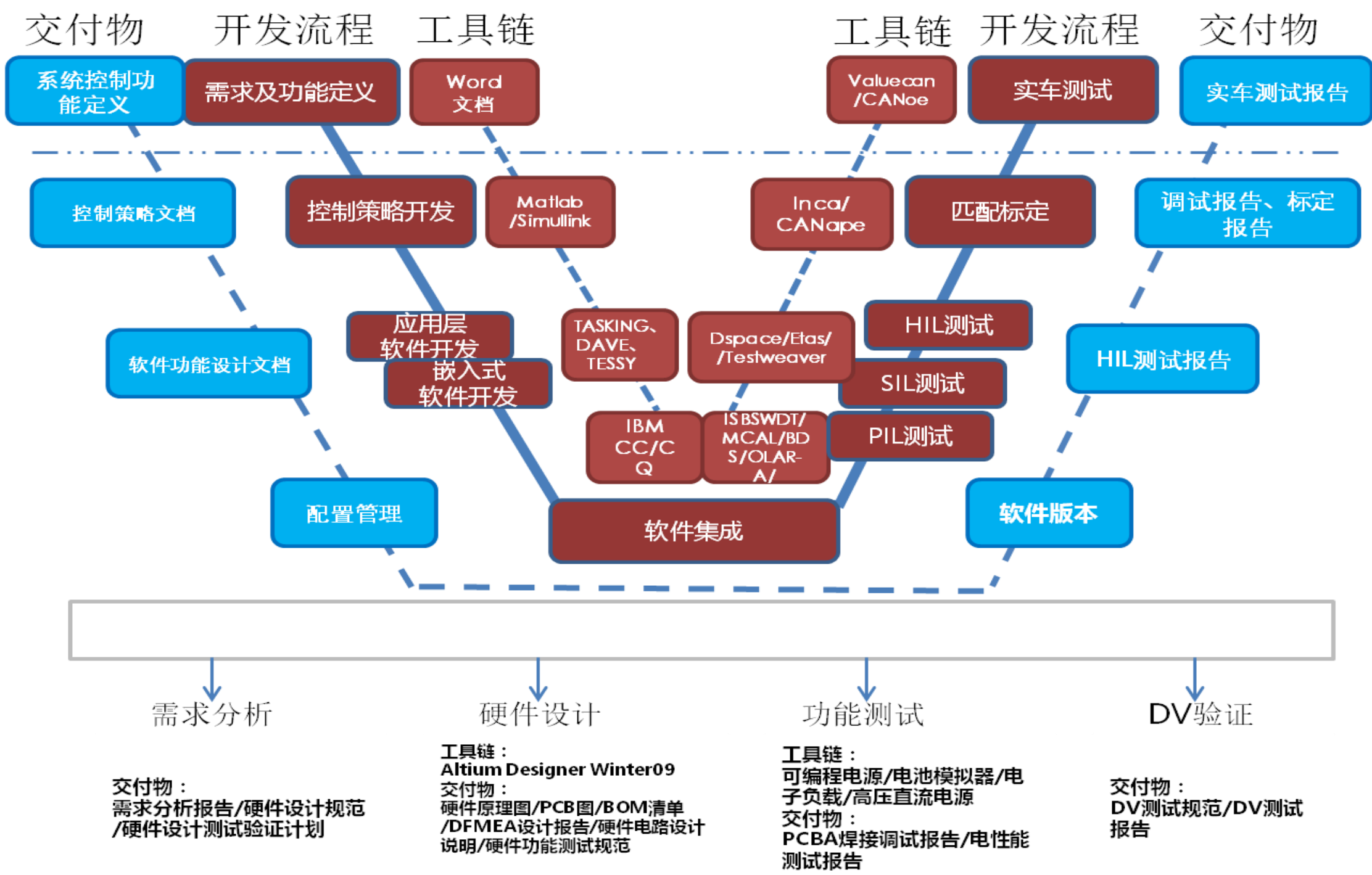


(4) 安全性设计应对-电气及功能安全

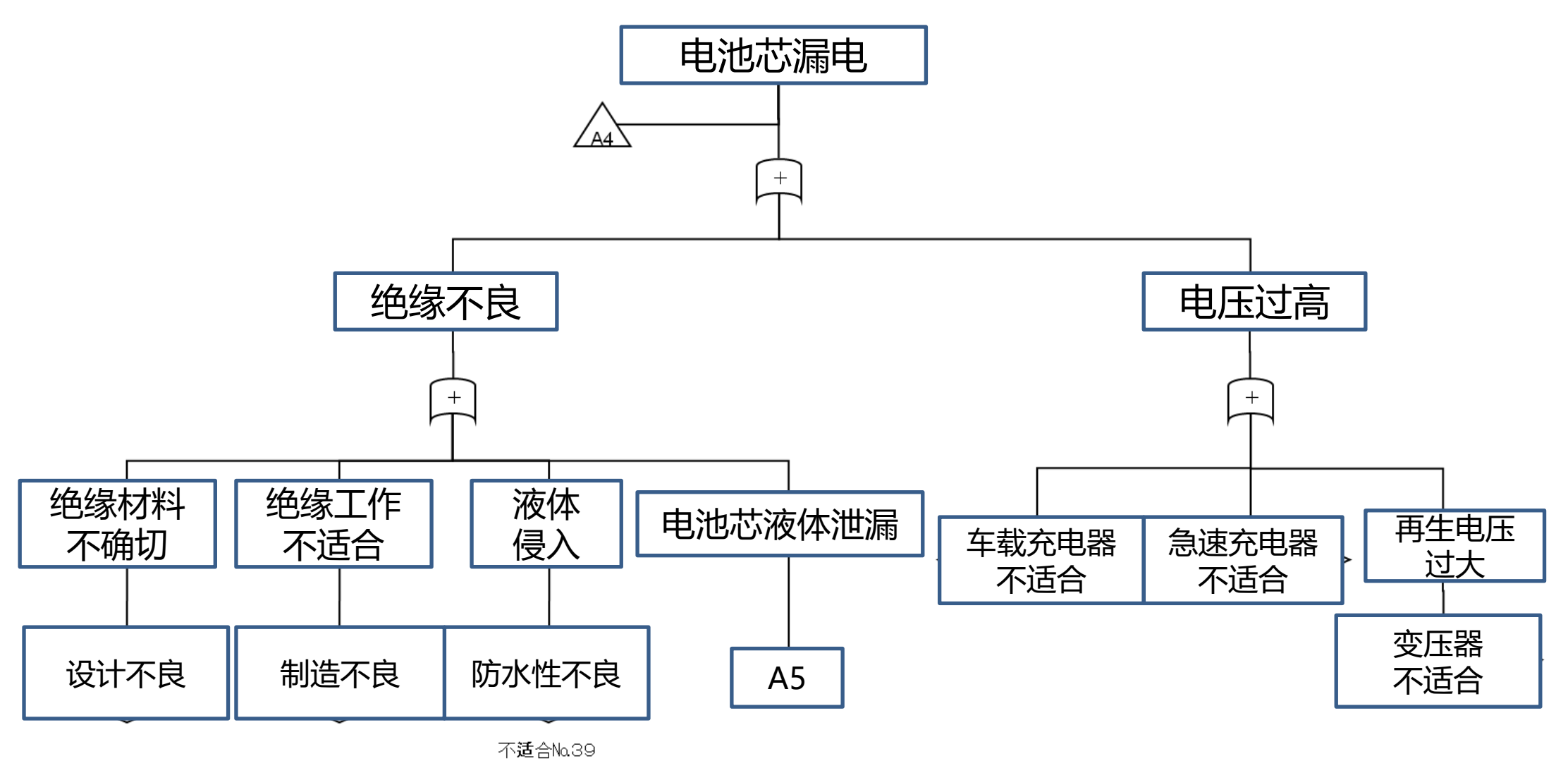
BMS开发体系



BMS开发体系



FTA分析



(5) 安全性设计应对-机械安全

- ip防护的可靠性，
- 密封垫连续
 - 挤压无塑性变形
 - 下盖体做卡槽设计
 - 箱体无形变
 - 上下箱体连接点密度



- ip防护的可测性
- 机密性测试孔
 - 气密性实时监测？？

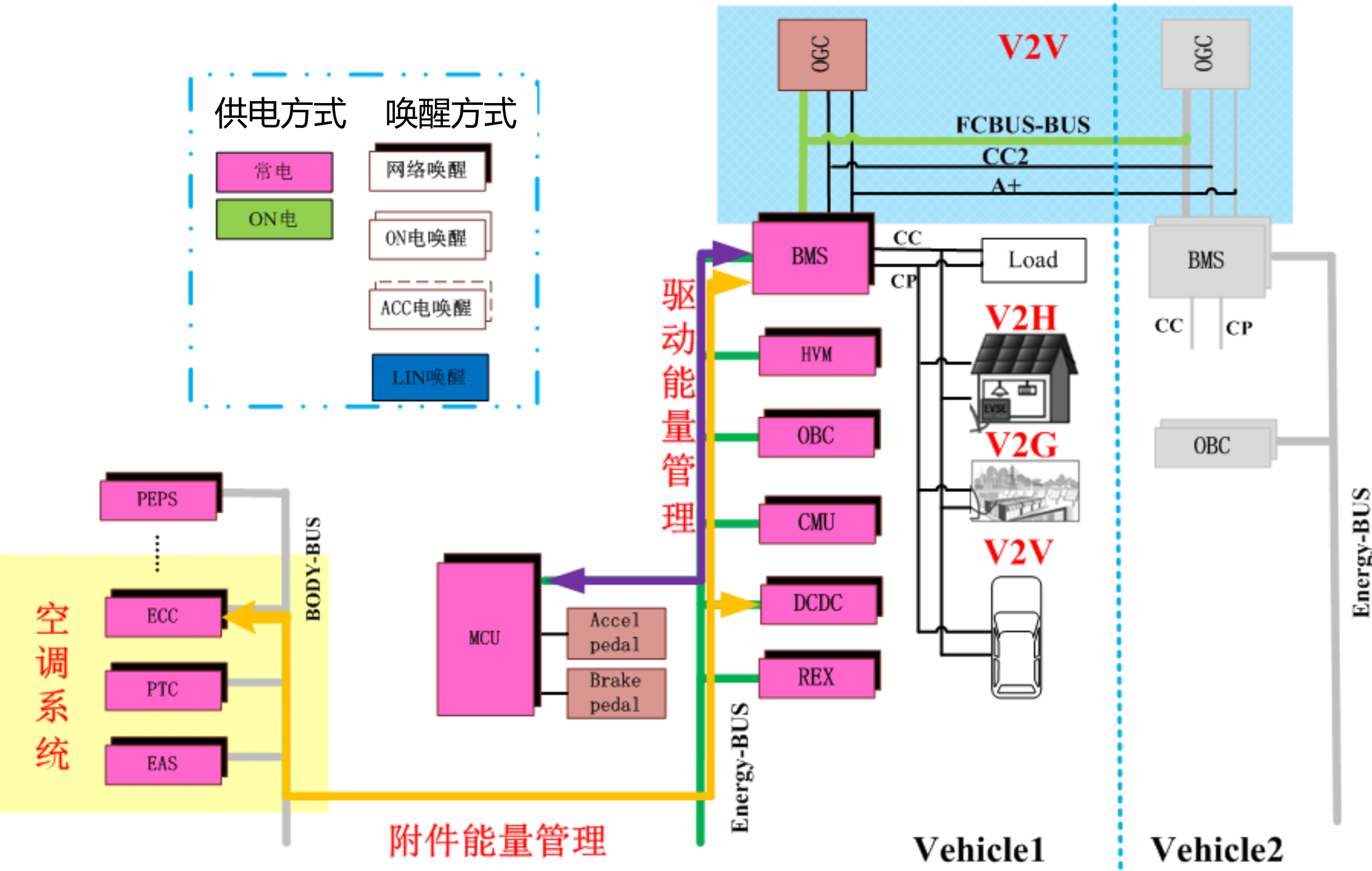
- ip防护的重用性
- 密封垫重用性

振动设计

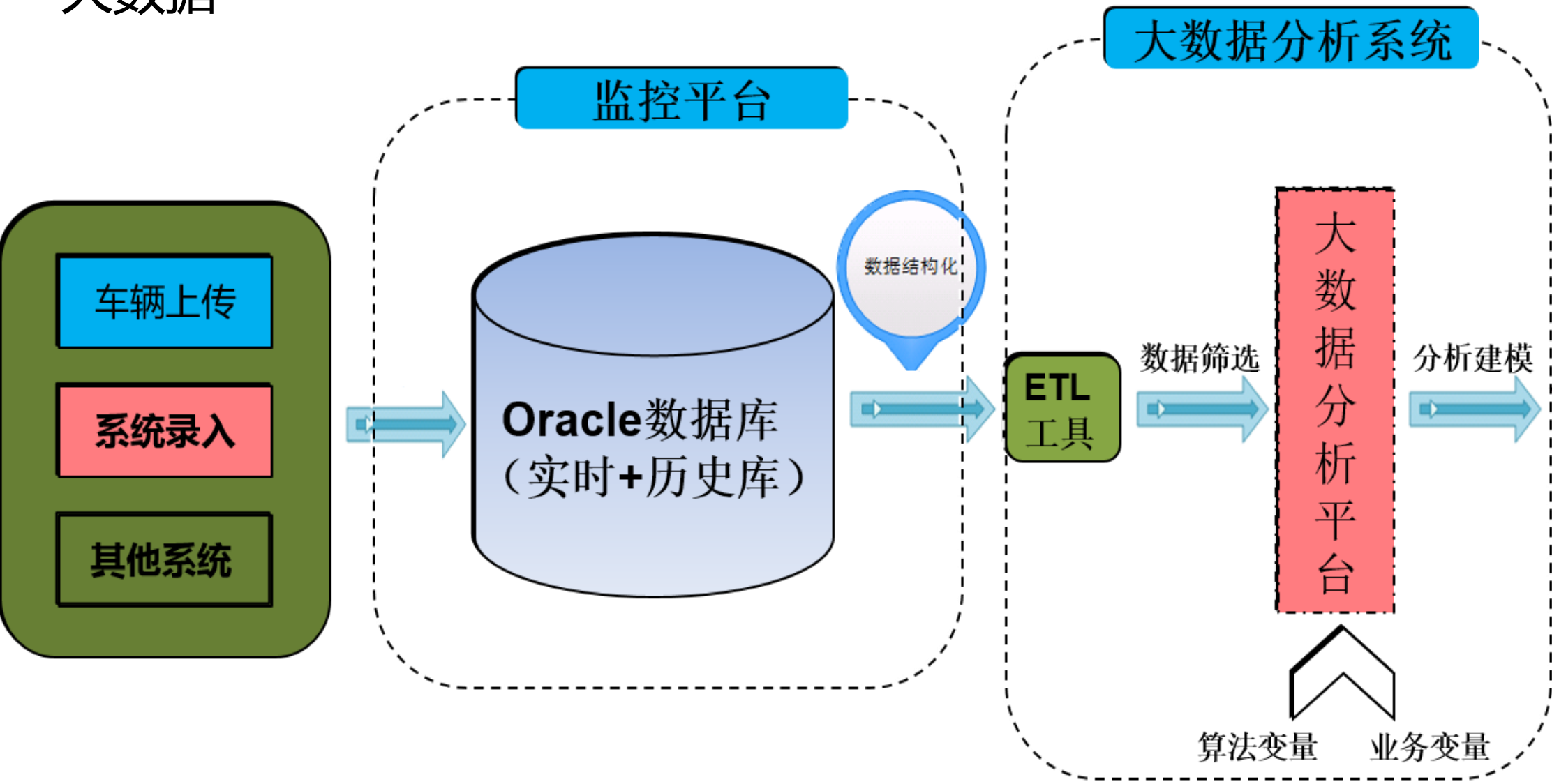
- 系统模态，尽量少用长模组
- 模组塑料覆盖件
- 尽量少用金属件链接
- 采用机械连接合理控制力矩
- 多用防松螺母
- 电压采样线，连接线送到的可测性



BMS整车中的位置及作用



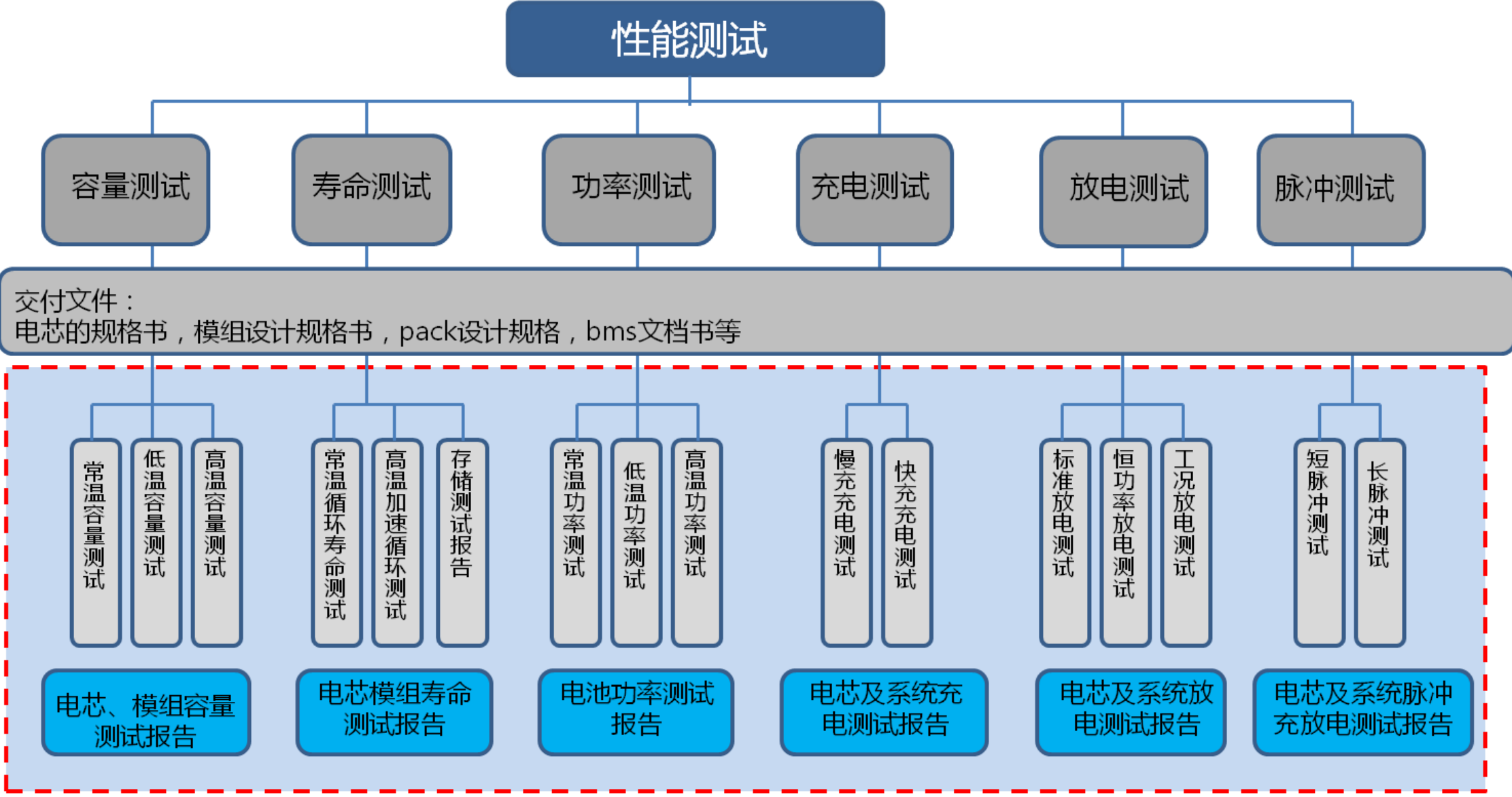
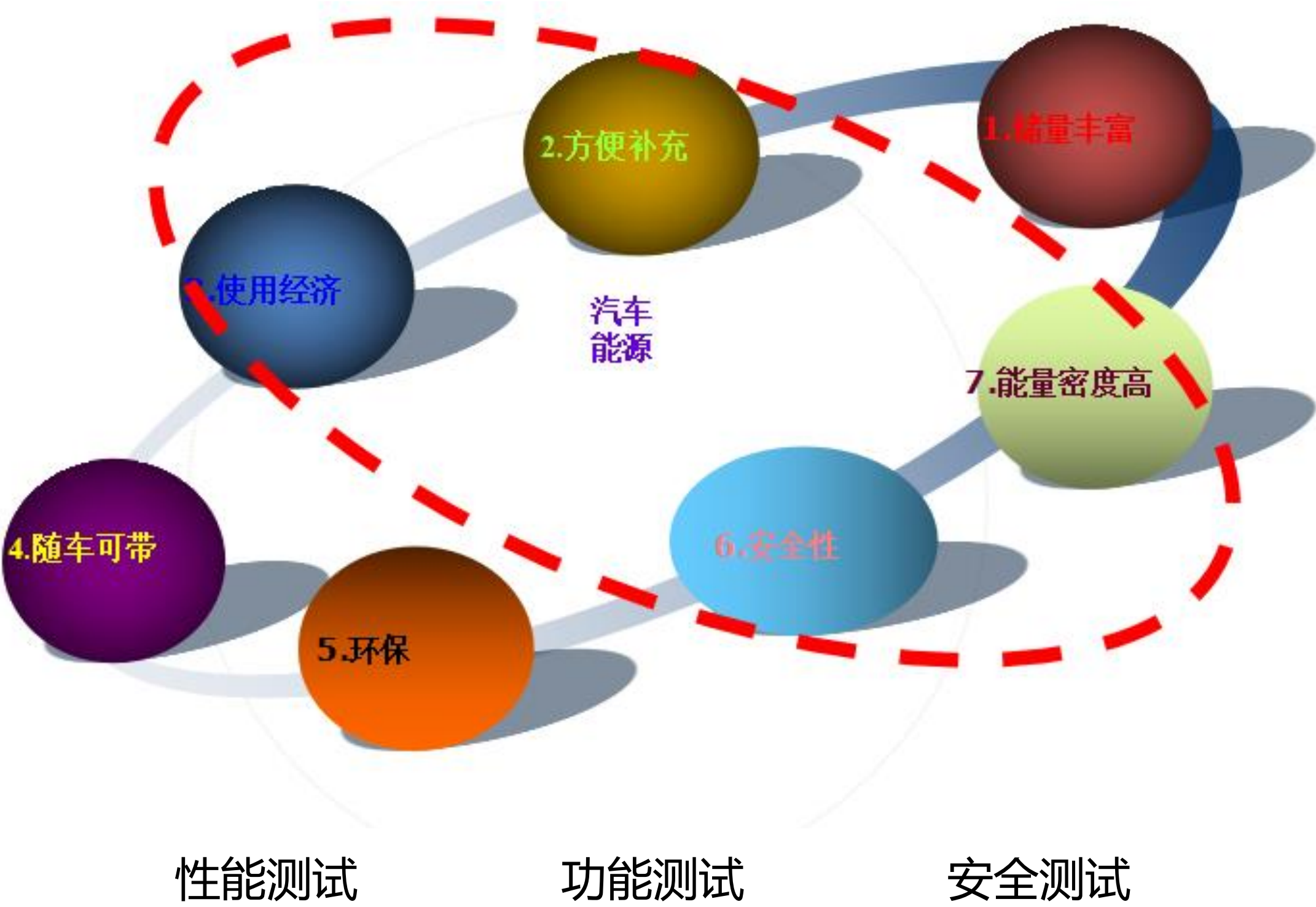
大数据



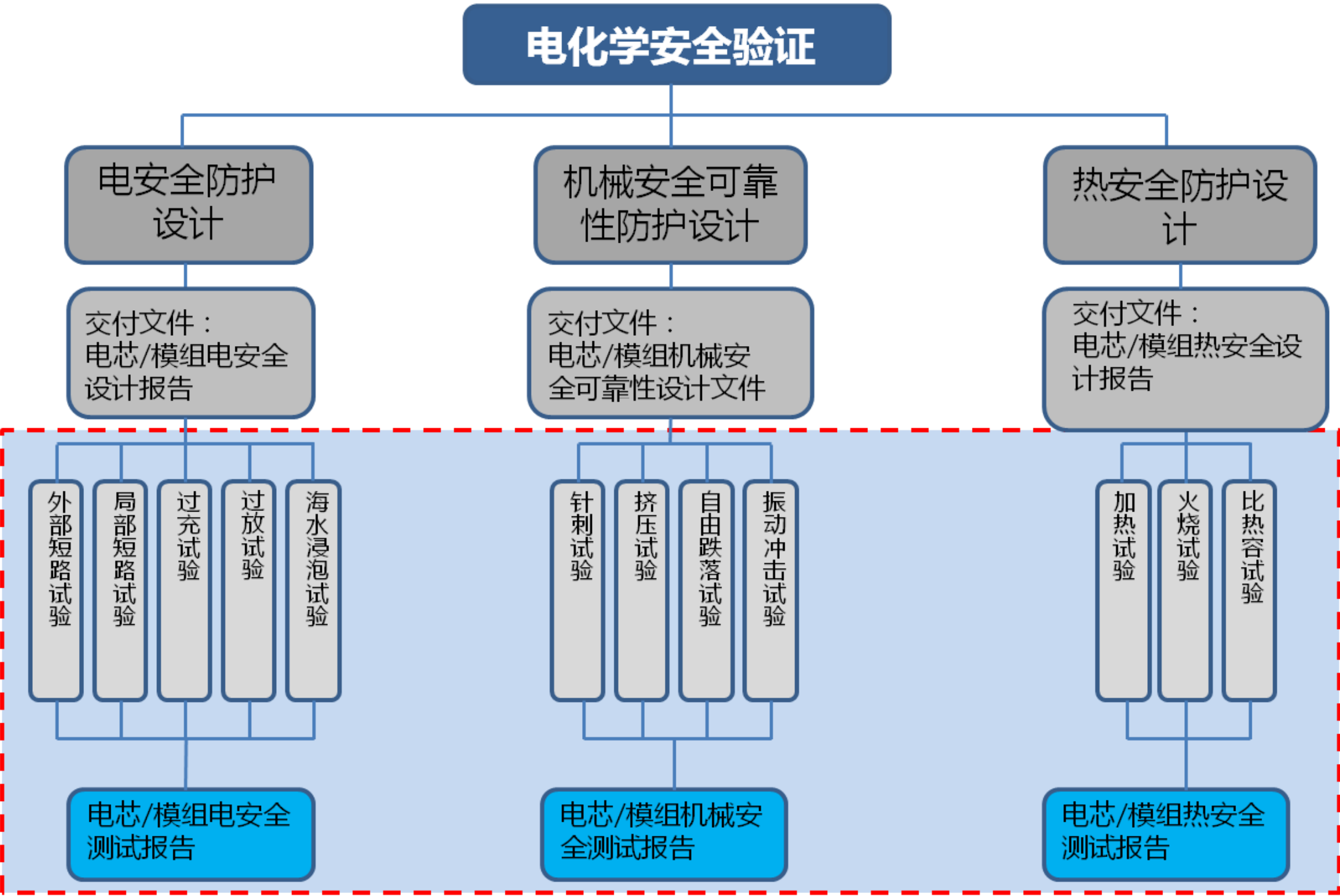
电池衰减及因素分析：继电器，保险等器件寿命分析等，数据“众包” 闭环到控制系统

电池系统评价测试体系

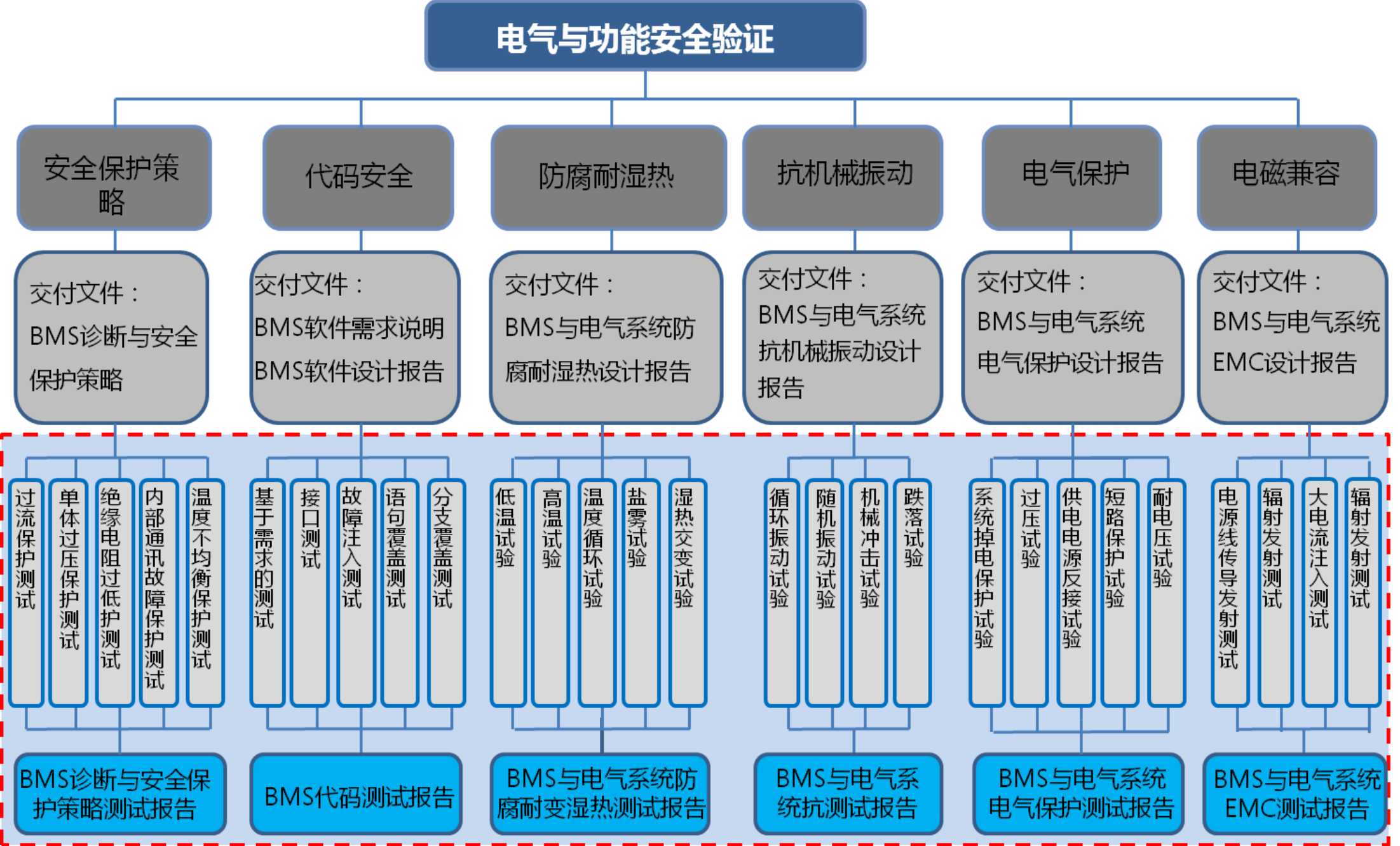
(1) 指标体系



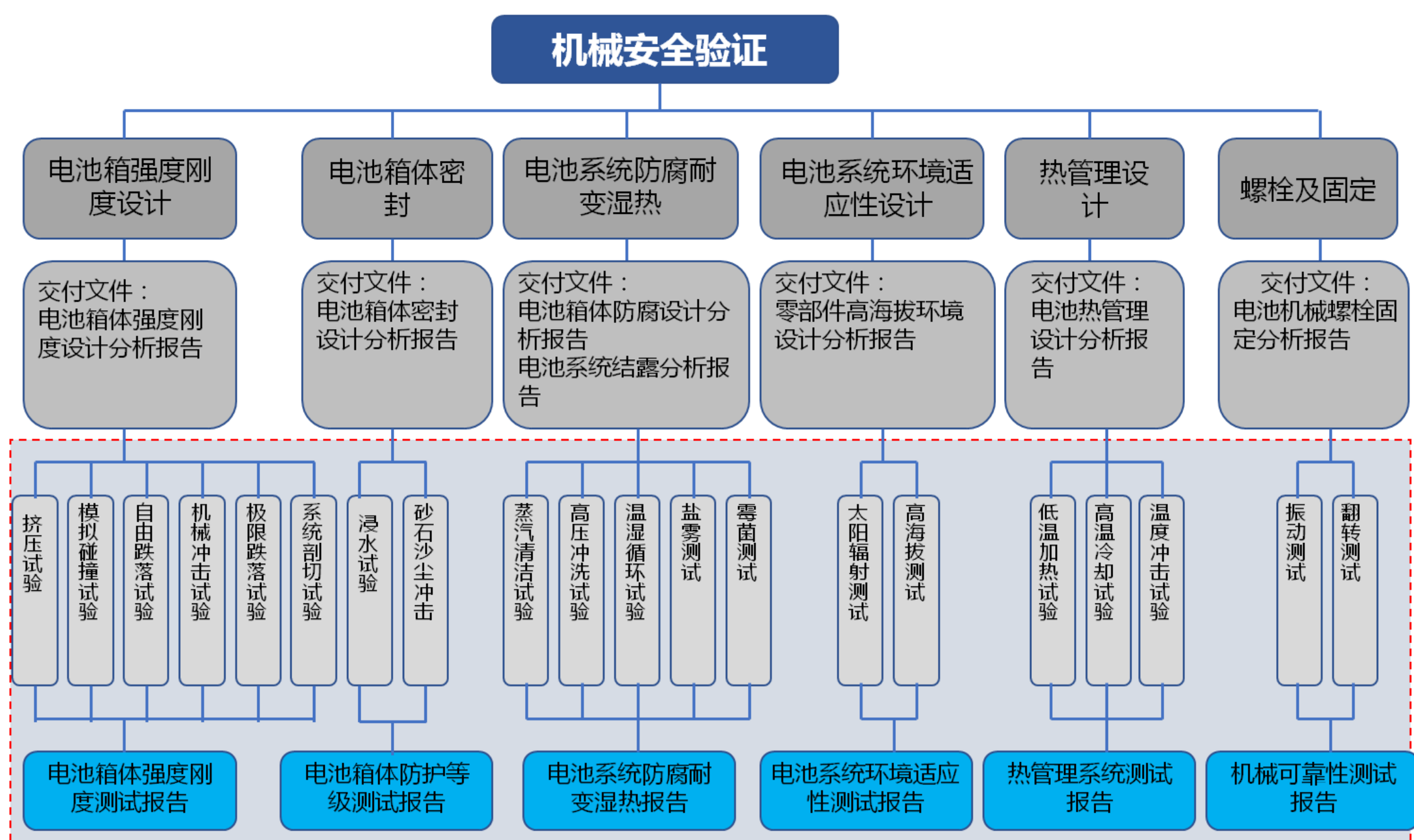
(2) 电化学



(3) 电气及功能



(4) 机械安全



(5) 系统安全

