

锂离子电池

设计开发基础

目录

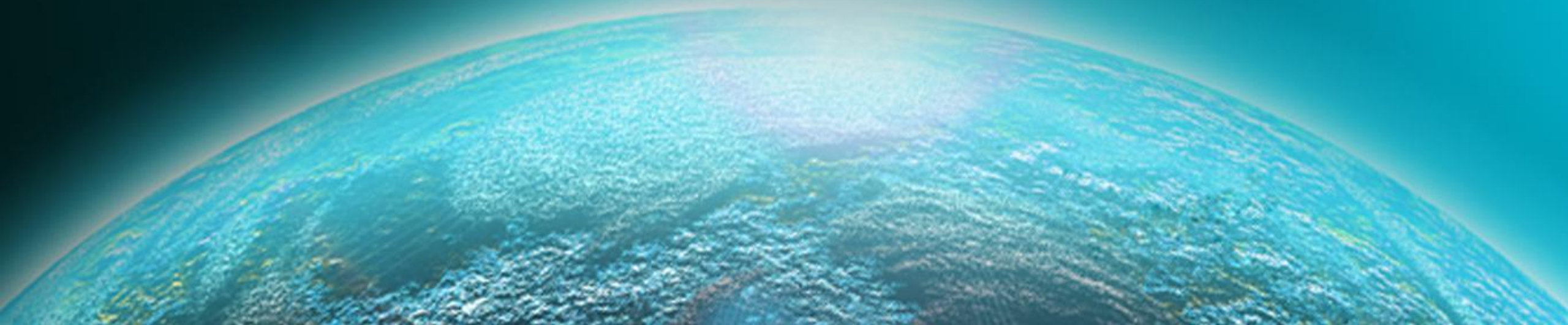
CONTENTS

- 01 锂离子电池基础介绍篇
- 02 锂离子电池设计篇
- 03 锂离子电池研发篇
- 04 锂离子电池安全性能篇





锂离子电池基础介绍篇





锂离子电池基础介绍篇



锂离子电池发展

20世纪80年代首次提出锂离子电池的概念，其后索尼公司于1991年成功推出了第一个商用锂离子电池产品，标志着锂离子电池大规模产业化的开始。尤其是在全球可持续发展越来越受到人们重视的今天，新能源汽车产业快速发展，锂离子电池的发展也随之加速。锂离子电池由于其能量密度高、循环寿命长等优点，成为当今市场上电动汽车应用最广泛的电池体系。随着电动汽车的迅速扩张，锂离子电池在国民经济中的比重和社会发展中的战略地位会越来越重要。以及锂离子电池在手机、笔记本电脑、数码相机等便携式电器中得到了广泛应用，已然成为社会生活不可缺少的必需品，锂离子电池的发展未来无可限量！



锂离子电池基础介绍篇



1. 锂离子电池化学原理



2. 锂离子电池结构



3. 锂离子电池材料



4. 锂离子电池化学性能



5. 锂离子电池分类

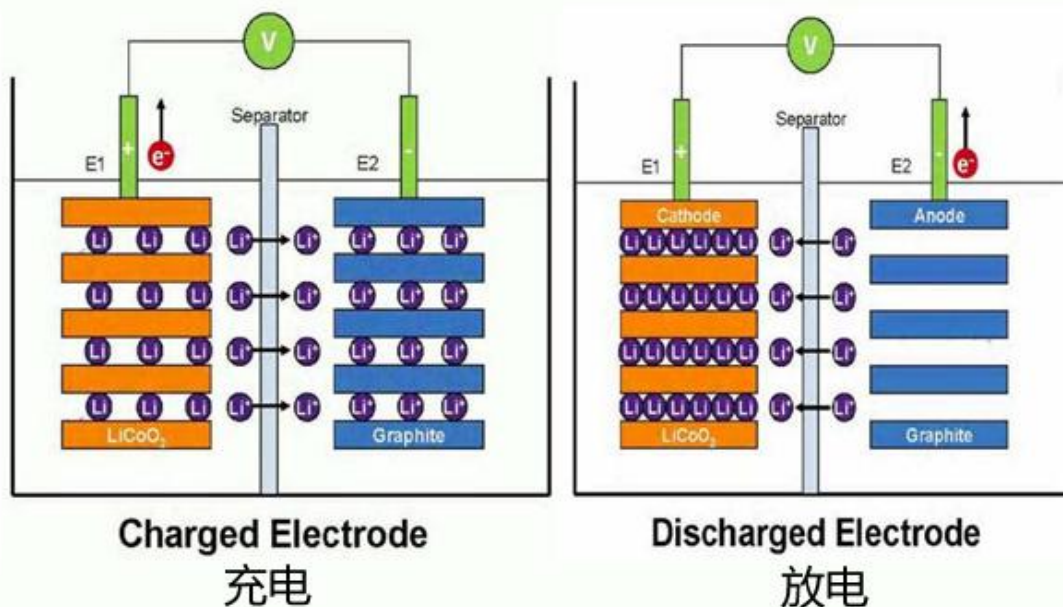


6. 一般工艺流程





化学原理



如下所示为**磷酸铁锂电池**的电化学反应方程式：

正极反应： $\text{LiFePO}_4 \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$ ；

负极反应： $x\text{Li}^+ + x\text{e}^- + 6\text{C} \rightleftharpoons \text{Li}_x\text{C}_6$ ；

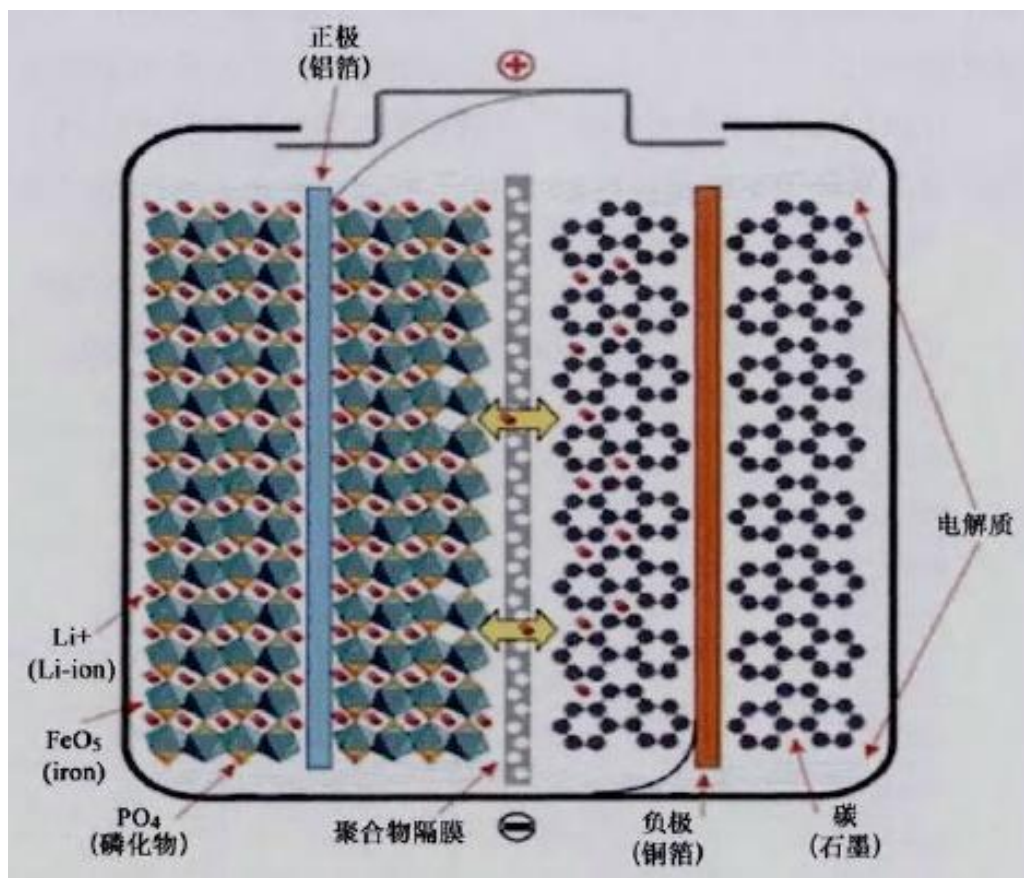
总反应式： $\text{LiFePO}_4 + 6x\text{C} \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + \text{Li}_x\text{C}_6$ 。

锂离子电池充放电时，相当于锂离子在正极和负极之间来回运动，因此锂离子电池最初被形象地称为“摇椅式电池” (rocking chair battery)



锂离子电池基础介绍篇

锂离子电池结构





锂离子电池基础介绍篇





电化学性能

容量

- 电池在一定放电条件下所能给出的电量称为电池的容量，以符号C表示。常用的单位为安培小时，简称安时（Ah）或毫安时（mAh）。
- 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)。
- 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。



电压

- 开路电压：电池在开路状态下的端电压称为开路电压。电池的开路电压等于电池的正极的还原电极电势与负极电极电势之差。
- 工作电压：工作电压指电池接通负载后在放电过程中显示的电压，又称放电电压。在电池放电初始的工作电压称为初始电压。电池在接通负载后，由于欧姆电阻和极化过电位的存在，电池的工作电压低于开路电压。

内阻

- 电流通过电池内部时受到阻力，使电池的电压降低，此阻力称为电池的内阻。
- 电池的内阻不是常数，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。
- 电池内阻包括欧姆内阻和极化内阻，极化内阻又包括电化学极化与浓差极化。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。
- 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。



循环寿命

- 电池在完全充电后完全放电，循环进行，直到容量衰减为初始容量的80%，此时循环次数即为该电池之循环寿命
- 循环寿命与电池充放电条件、环境有关
- 锂离子电池室温下1C充放电循环寿命可达300-500次（3C、消费类行业标准），动力类 ≥ 1000 次（不同体系实际值不同，三元材料、锰酸锂： ≥ 1000 次；磷酸铁锂： ≥ 2000 次）。

自放电

- 电池按标准完全充电后，常温放置一个月。然后用1C放电至3.0V，其容量记为 C_2 ；电池初始容量记为 C_0 ； $1 - C_2/C_0$ 即为该电池之月自放电率；
- 行业标准锂离子电池月自放电率小于12%，实际做到3%-6%
- 电池自放电与电池的放置环境性能有关，其大小和电池内阻结构和材料性能有关



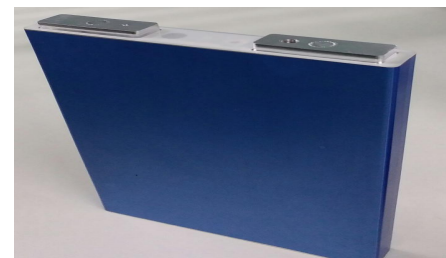
锂离子电池分类

- 根据材料分：钴酸锂 锰酸锂 铁酸铁锂 三元 钛酸锂
- 根据壳体分：钢壳 铝壳 软包电池
- 根据功能分：常规 倍率 动力电池 防爆电池
- 根据使用环境分：低温 高温电池
- 根据形状分：方形 圆柱 异形
- 其他：折叠 弯曲 异型

软包电池



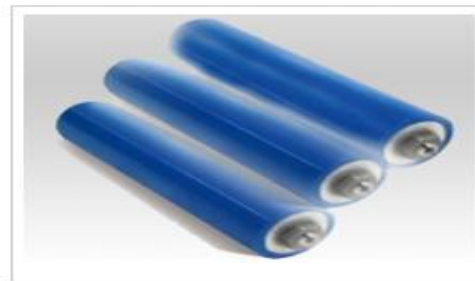
方形铝壳电池



环形电池 /Ring battery

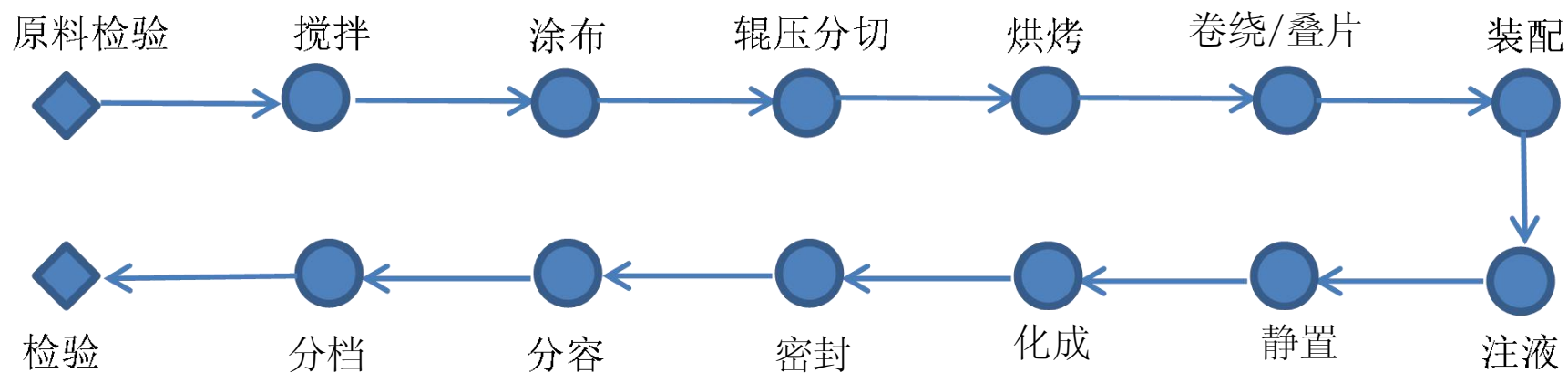


圆柱电池 /Cylindrical battery





工艺流程图





锂离子电池设计篇





锂电池设计

满足客户的需求

容量 电压 内阻 尺寸 平台 循环 使用环境

工艺装配可行性

搅拌 涂布 辊压 装配 注液 工装夹具



设计材料成本

正极 负极 隔膜 电解液 辅料 五金

供方市场

供方体系认证 供方客户群 产能 运输条件





与锂离子电池设计相关的参数有哪些，怎么决定的呢？

- 型号：电池外壳的尺寸 -----客户/市场要求
- 容量：电池的1C的放电容量 -----客户/市场要求
- 面密度：单位面积的敷料重量 -----设计计算
- 克容量：单位重量的活性物质释放的容量值 -----材料决定
- 正负极N/P：单位面积负极容量/单位面积正极容量 -----设计输入或客户要求
- 压实密度：单位体积的敷料重量 -----材料决定/设计要求
- 隔膜厚度：隔膜材料厚度，隔膜类型-----设计要求
- 箔材厚度/宽度：铜铝箔厚度/宽度-----设计计算
- 裙裕度：电芯直径（宽度）与壳体内直径（宽度） -----设计计算
- 注液系数：注液量-----设计要求



锂离子电池的设计，最基本的就是要对所用的材料**要求及性能**必须了解：

正极材料

比容量高 电压高 可逆容量高 扩散率高 平台稳
结构稳定 化学稳定 环保便宜

负极材料

比容量高 比表面积小 振实高 结构稳定 可逆容量
高 电位高 化学稳定性好 环保便宜

电解液

化学稳定性 电化学稳定窗口宽 较高的离子电导率
良好的成膜特性 温度范围(高沸点—低熔点)
安全低毒，无环境污染 便宜

隔膜

化学、电化学稳定性 机械性能（刺穿 拉伸）孔隙
率、电解液保持高度浸润性闭孔温度低（120-135）
熔点要高（大于165）热收缩性





常规锂离子电池设计参数表：

项目	蓝牙耳机	智能手机	笔记本	电动玩具	动力/储能
使用情况	2月充一次	1~2天充一次	3~5小时充一次	看使用频率	看行驶公里数
容量要求	40-1000mAh	2000-5000mAh	3000-7000mAh	不定	25-300Ah
体积尺寸	非常小	411645/523450等 根据产品尺寸	18650/26650	18650	18650,大方形等
种类	聚合物/方形	聚合物/方形	聚合物/圆柱	扣电/圆柱等	圆柱/方壳等
电压范围	2.75~4.2V	2.75~4.2V	11~16.8V	不定	27.5~42V
电流	很小	0.1~0.2C	0.5C	/	0.5C-3C
正负极材料选择	普通	低体积 高容量	普通	低体积 高容量	根据使用环境确定
正极面密度设计	40-44g/cm ²	40-44g/cm ²	40-44g/cm ²	34-41g/cm ²	35-44g/cm ²
电解液	普通	高导率	普通	专用	专用
壳体	软包	软包/铝壳	铝壳	软包/铝壳	软包/铝壳



下面以实际的电池型号进行举例设计：

电池型号：523450A 1000mAh钴酸锂材料

电池厚度5.2mm，电池宽度34mm，

电池高度50mm





锂离子电池设计篇



第一步 列出相关的固定的参数：

正极克容量：142mAh/g 负极克容量：330mAh/g 正极压实密度：3.8g/cm³ 负极压实密度：1.55g/cm³

正极钴酸锂比例：94% 负极石墨粉比例94% 隔膜厚度：0.016

首先要有一定的设计基础，对熟悉材料的特性有认识深刻，或有成熟的型号应用，作为新型号的设计理论和经验的支持



第二步 设计电极尺寸：

- 卷心最大厚度：=电池厚度-壳体厚度=5.2-0.2*2=4.8mm（一般铝壳厚度为0.2-0.3，不同地方可能不一样，但关系不大）
- 卷芯高度：除去顶盖1mm，底盖0.5mm，塑料隔圈1.5mm，预留空间1mm，那么卷芯高度=50-1-0.5-1.5-1=46mm，也就是说，隔膜可以是44mm宽。一般我们做铝壳的话，可能选20um的隔膜，做大电池的话，隔膜就可能厚点，大概25um到35um都有。
- 负极片宽度：负极肯定比隔膜窄，可以是1mm，也可以是2mm，看你怎么留了，在此假设2mm，那么负极宽度为42mm。（在做一些大型号电池时可适当加宽3-4mm）
- 正极片宽度：负极包住正极，那么正极比负极窄，1-3mm，因为是小电池，我们选1mm，正极宽度=44-1=43mm。



锂离子电池设计篇

- 下面按照经验，假设正极双面密度=40.5mg/cm²,
- 正极克容量140mAh/g, 活性物质比例94%; 负极克容量320mAh/g, 活性物质比例94%。安全系数=1.03 (也可以更高, 1.1)
那么我们可以计算出: 负极双面密度=40.5*140*94%/(320*94%)*1.05=18.45mg/cm²
正极材料可以压到3.8g/cm³; 负极可以做到1.6g/cm³; 铝箔12um, 铜箔12um。
那么可以计算出正负极厚度: 正极片厚度40.5/3.8*10+16=119um, 负极片厚度=18.45/1.6*10+16=127um;
- 那么, 卷绕一圈, 有2层, 单层厚度=正极厚度+负极厚度+2层隔膜厚度=119+127+16*2=278um, 可见, 总卷绕卷数=卷芯厚度/(单层厚度*2)=4.8*90%/(278/1000)=15.5圈, 经取整: 即负极有15折, 正极16折
(90%为电池厚度的预留空间, 厚度大小取值也不同, 主要看材料的厚度反弹来定)
- 计算卷针尺寸, 卷针宽度=卷芯宽度-卷芯厚度-2=(34-0.20*2)-4.8)*92%=27 mm
- 计算正极片长度: 正极长=(层数-2)*双层卷绕厚度+卷针宽+卷针厚度+一层卷绕厚+卷针宽度)*(层数-1)/2+卷针宽-厚度/2=((16-2)*0.278*2+(27+27+0.5+0.262))*(16-1)/2+27-5.2/2=505mm, 试卷时, 微调尺寸。
- 计算负极长度: 负极=正极长-针宽-尾刮粉位-10
- 计算容量: 设计容量=正极敷料量*克容量*活性物质比例=140mAh/g*7.516*94%=1052mAh (设计容量约为标称容量的1.05%)



锂离子电池研发篇





1.研发的方向

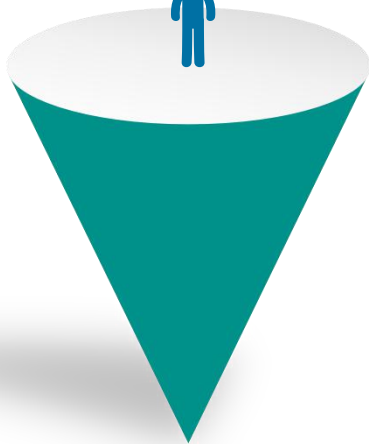
2.研发试验设计

3.研发体系流程



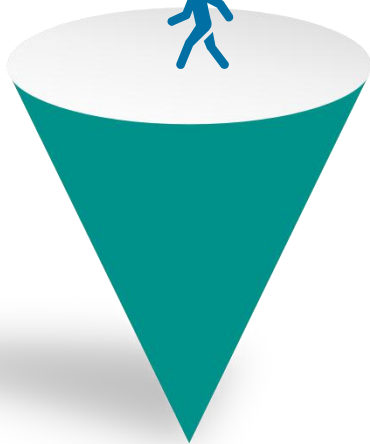


研发方向



3C电池

智能家电、手机、笔记本、无人机
高容量、倍率、低体积等



储能电池

军事 通信 能源 市政
高循环、耐宽温、高安全、高一致性等



动力电池

电动车、老年代步车、电动自行车
高安全、高一致性、倍率等





研发实验设计

1 对材料的取样

1.1 对材料的筛选要求（产品对材料的要求 价位 供应商资历 产量 批次稳定性 行业口碑 克比容量 平台 循环 其他公司对其材料的使用情况 相关的测试报告）

1.2 从中选取2-3款最具符合要求的材料进行取样。

2 实验的目的

针对性的测试材料的某一或几个性能（比如：主要测试正极材料克容量、负极材料的压实情况）



3 方案的设计

根据材料的配比，对比性实验主要以下几种设计思路：

3.1 只针对材料本身的性能的测试，在设计时用现有生产的正/负材料（或其他） 配比新的材料。不用做对比实验，直接测试新材料在现有材料的配比下发挥的性能即可（如：克比，首次库仑，加工性能，循环等）此测试的材料有可能不用于生产。

3.2 主要用于替换生产现有的材料

针对电池本身的性能：在进行方案设计时，可用生产上固定型号电池，用生产的正负极材料（或其他）与新材料同时做电池进行对比测试，如新材料在同其他材料配比的情况下发挥的性能较生产的好，说明此材料有下一步的测试价值。如没有，可放弃测试或考虑能否在其他项目上推广。

3.3 掺杂实验 对于掺杂实验

其目的主要有：降低成本 提高电池的某一性能（比如：掺杂锰提高平台 加镍钴酸锂以增加克容等等）在方案设计时，要综合的考虑不同材料的参数，如：克容 平台 价格 压实，通过理论计算找出最佳的配比值，然后进行实验验证。



4 测试的设计

实验电池做出来，我们要预先计划对电池进行哪项目的测试，已完成我们的实验目的，正负极材料一般的测试项目有：

4.1 加工性能：

配料情况（分散难易 沉降现象 合适粘度值 涂布情况及参数调整等）

极片的压实密度：最大值 设计值 厂家推荐值

极片反弹情况：装配前 6H 12H 24H 48H 电池解剖后反弹情况

4.2 电池性能：

首次库仑 %、克比容量、平台时间、循环性能、自放电（荷电保持）、倍率性能

4.3 安全测试（主要）：

过充 过放 针刺 短路 热冲击 重物冲击





研发体系流程

阶段一：定义和策划项目

阶段二：产品设计和开发

阶段三：过程设计和开发

阶段四：产品和过程确认

阶段五：反馈、评估和纠正措施

符合IATF16949质量管理体系，APQP五个阶段

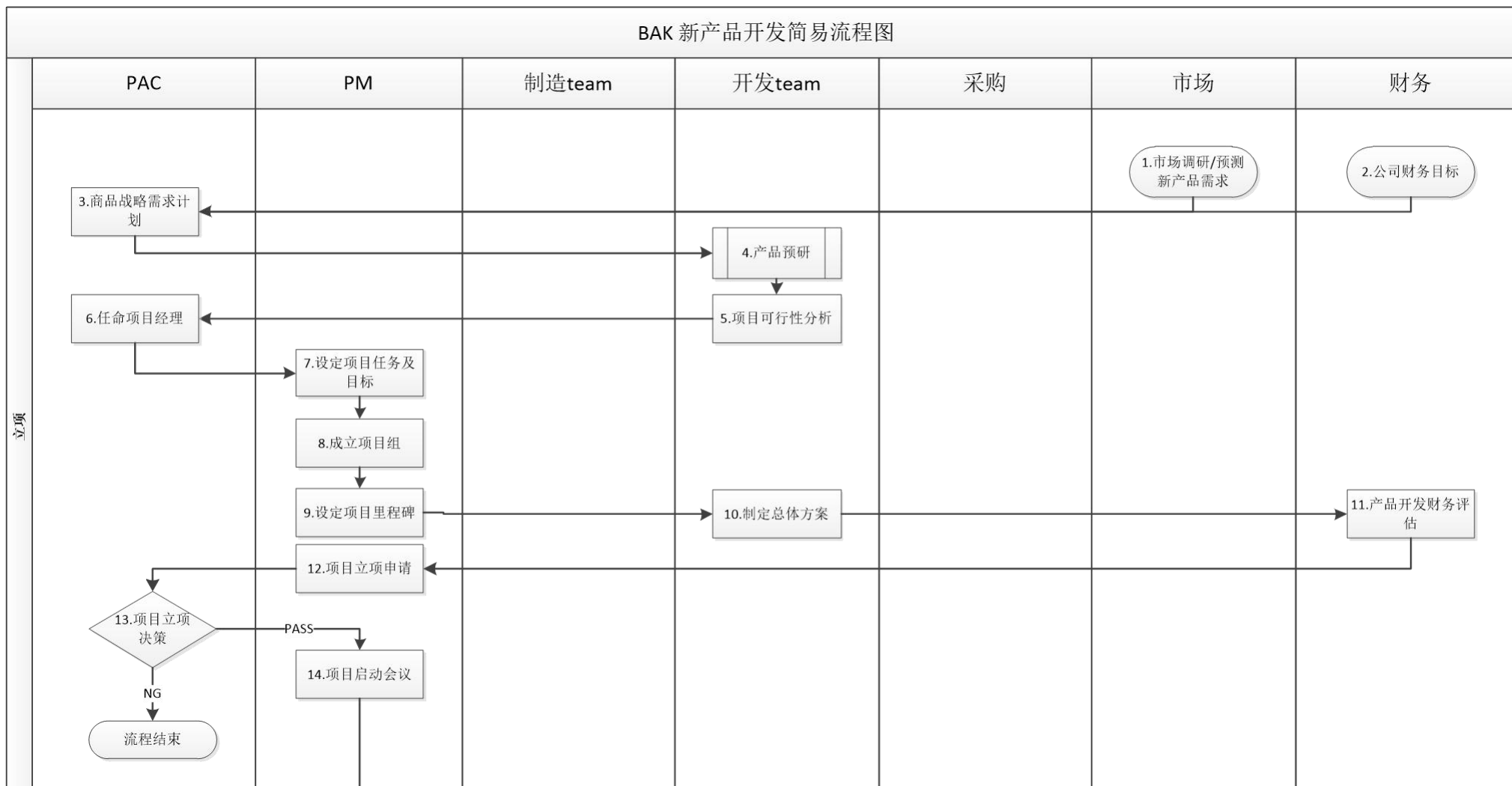
误区：研发只负责设计开发阶段

正确：研发确保产品整个生命周期，对全制造周期负责



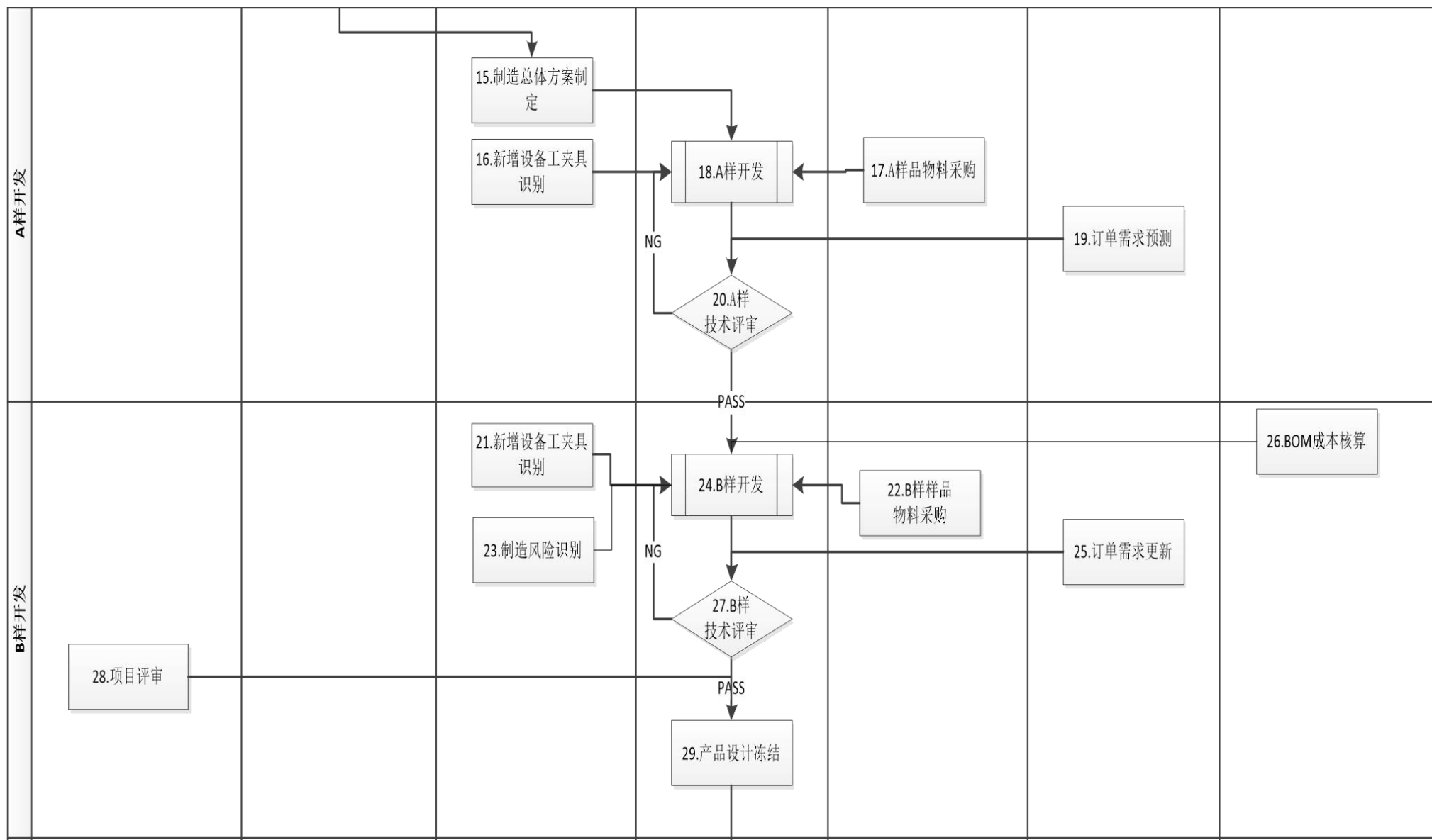


锂离子电池研发篇



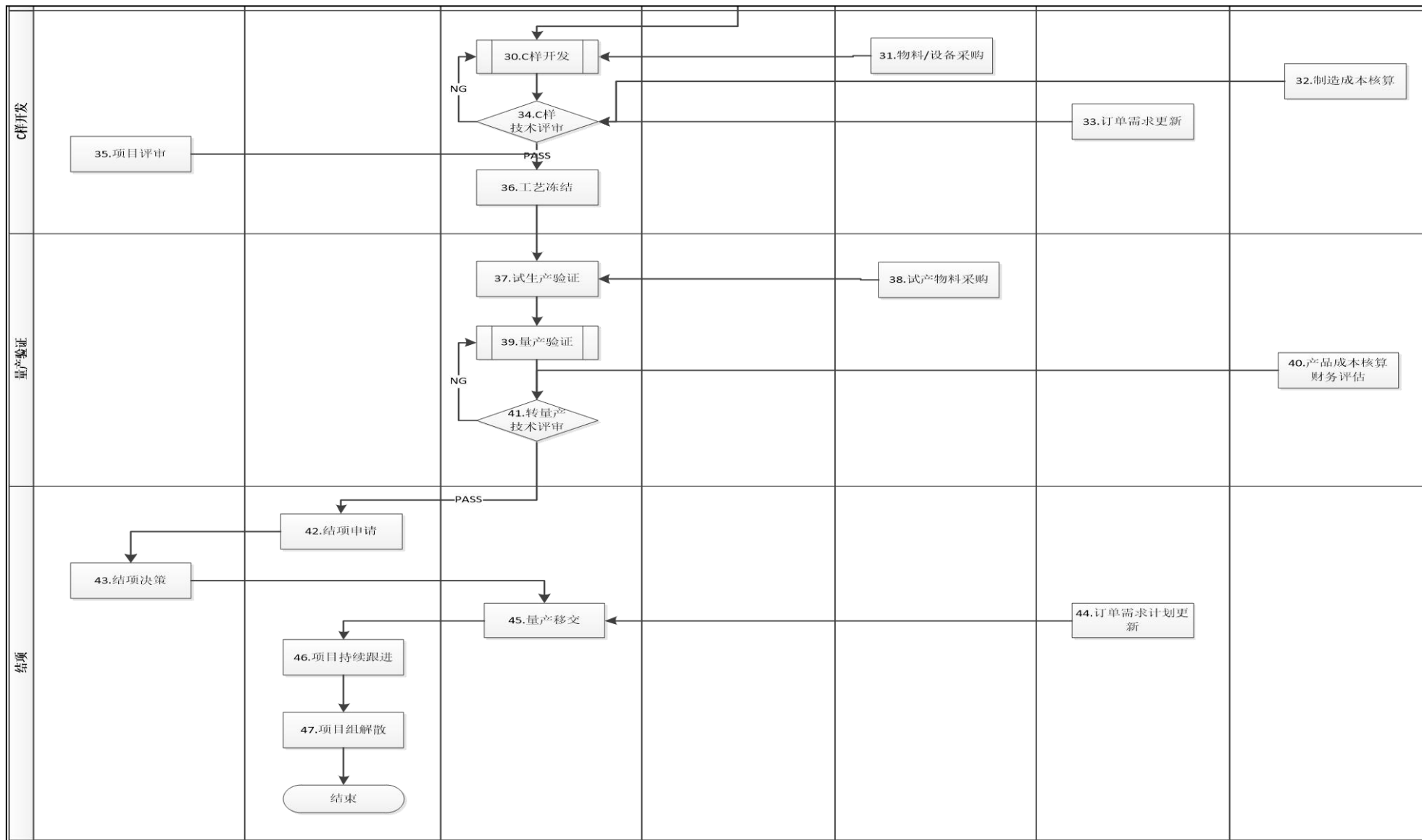


锂离子电池研发篇





锂离子电池研发篇





锂离子电池研发篇

阶段说明			
大阶段	分步流程	内容	输出
阶段一 定义和策划项目	1.市场调研/预测/客户意向	市场部调研获得的市场需求预测以及特定或重要客户的产品需求反馈至公司	《市场调研报告》
	2.确立财务指标	调研行业同类产品报价、产品信息，确立预计成本指标及财务目标	《财务目标》
	3.项目可行性分析	产品开发团队召集各开发领域专家结合输入的商品战略需求/客户需求登记表、产品预研报告以及专业技术知识，讨论开发项目的可行性分析	《项目可行性报告》
	4.设定项目任务目标	召集各主要领域技术专家商讨制定任务目标，必须包含产品性能、成本、交期、产能效率、制造优率等相关具体任务；	《项目任务书》
	5.项目小组成立	确认项目开发组内主要成员，如设计工程师（含开发系统工程师、体系开发工程师、结构工程师等）、工艺、设备、制造代表、财务专员、采购专员等主要成员	《跨功能小组职责分配表》、项目成员名单
	6.制定设计方案	制定当前开发产品的总体开发方案，需包含产品关键信息：尺寸、体系、材料、质量目标、初始工艺流程、保证计划	《设计目标》、《可靠性和质量目标》、《初始材料清单》、《初始过程流程图》、《产品和过程特殊特性清单》、《保证计划》
	7.项目立项启动	公司根据立项报告中的汇报情况进行决策，以及公司商品战略、财务等各方面情况，综合考虑是否对项目予以立项	《立项报告》、《管理者支持》



锂离子电池研发篇

阶段说明			
大阶段	分步流程	内容	输出
阶段二 产品设计和开发	1.详细实施方案制定、计划评审	根据项目任务书以及总体开发方案需求制定详细的总体方案，新增工艺工装、设备清单，可行性分析	《详细总体方案计划》《可制造性分析》、新增《设备与工装夹具需求清单》
	2.A样开发	首次样品开发，进行A样物料到货计划，产品体系设计方案初版，实验测试计划	产品体系设计方案、产品设计图纸、测试大纲、A样物料清单、关键过程控制清单（A样）、BOM表（A样）、特殊特性清单（初始）、A样制造报告、A样测试报告
	3.A样技术评审	A样阶段的开发任务后，需要先仔细核算阶段项目任务，确认阶段项目工作完成情况，并汇总整理A样技术评审报告	设计验证、设计评审
	4.B样开发	根基项目开发计划，开始B样阶段的产品开发;B样阶段主要任务是配方优化、半成品设计优化、产品安全结构件设计与优化、产品性能设计优化等；	产品结构设计图纸、半成品图纸、关键过程控制清单（B样）、BOM表（B样）、初始DFMEA，《控制计划》（B样）、锂电电芯设计及过程控制清单（B样）、新增《设备与工装夹具清单》（B样）
	5.B样技术评审	B样阶段的开发任务后，需要先仔细核算阶段项目任务，确认阶段项目工作完成情况，并汇总整理C样技术评审报告	尺寸测量-原始数据（B样）、可靠性测试报告（B样）、过程能力研究（B样）、《量具/实验设备要求》
	6.项目阶段评审	产品订单预测、BOM成本核算、制造成本、风险识别，识别不利于制造的设计缺陷，积极主动提供有利于设计实现的制造方案、产品设计冻结	B样《样品评审审批表》、B样技术评审报告、关键原材料供应商清单、《规格书》初版、产品设计详细信息（含所有图纸



锂离子电池研发篇

阶段说明			
大阶段	分步流程	内容	输出
阶段三 过程设计和开发	1.C样开发	C样主要开发任务是新产品生产拉线的准备（设备调试或拉线改造）、制造详细工艺的设计制定；围绕对量产制造工艺水平、制造成本因素，样品生产需要足够的数量，以便统计生产制造数据，如优率、产能、CPK等信息	生产设备清单、量检具清单、过程流程图检查表、C样生产报告、C样总结报告、工艺验证报告
	2.C样评审	C样制造中存在的问题与风险及其拟定的解决方案、C样测试认证结果、制造样品优率等细节数据、更新后的试产预测情况、财务目标的完成情况、C样待改进项目的主要实施方案以及相应风险等、工艺冻结	C样《样品评审审批表》、《控制计划》（C样）、控制计划检查表、工艺流程图、PMFEA、WI、SOP、过程能力研究（C样）、可靠性测试报告（C样）、安规认证报告（第三方）、测量系统分析（制程）、SIP、产品包装标准、产品包装规范
阶段四 产品和过程确认	试产验证/评审	验证产品生产相关（包含制造优率、工序CPK、生产操作、物流管控以及工艺问题收集、产品成本财务核算）、阶段性目标评审	试产过程记录及问题点记录、过程能力研究（试产）、生产件批准PPAP、包装评价、生产控制计划
阶段五 反馈、评估和纠正措施	量产	初期生产、批量生产、过程优化/变更、客户需求调查、交付和服务	改进后的产品开发资料、项目验收单





研发注意点:

- 根据公司的使命、愿景、目标和战略方向，规划公司的产品战略目标计划；根据市场需求及公司的战略规划，进行研发项目的立项或终止产品开发项目，优化公司的投资组合顺序；贴合市场部及决策层决策；
- 研发项目团队要时刻综合考虑：客户（市场）需求、供方要求、材料成本、制造成本、运输成本、售后成本，成本决定利润，利润决定成败。（在老板眼里，除了利润都是虚无）；
- 设计团队应总领系统设计、结构设计、性能&国标测试、性能安全、可靠性等领域工作，并在产品开发项目中组织相关领域责任人开展系统、结构、性能、安全、可靠性、制造难度、装配可实现性相关工作；
- 项目开发各阶段全员参与，信息共享，设计、工艺、设备、制造、采购、财务等各团队不要脱节，每阶段进行项目例会，转阶段进行阶段性评审，问题点前移，提前预防，做好先期产品质量策划、失效模式分析；
- 做好实验规划和数据记录，及时完成总结报告，积累成功（失败）经验（教训），随时做好市场需求，新项目准备。



锂离子电池安全性能篇





锂离子电池安全性能篇

随着锂离子电池行业的发展和进度，其安全性能成为锂电池设计开发的核心要求，锂电池在使用过程中不可避免地存在使用不当的情况，都有哪些呢？



A

电化学作用

过充电、过放电、内、外部短路和强制放电等

B

机械作用

跌落、冲击、针刺、挤压、振动、加速、抛射等

C

热作用

焚烧、沙浴、热板、热冲击、油浴和微波加热等

D

环境作用

低气压里、高热、低温、浸没于不同液体中、处于不同高度和处于多菌环境

*现行业内已形成专业的锂电池可靠性、安全性测试标准国标、行标、客户企标等



锂离子电池安全性能篇

锂离子电池的燃烧或爆炸主要是由热失控造成，防止热失控主要从原材料选择、电池结构设计、制造工艺控制以及电池组管理系统等途径来考虑：

- 1) 电池原材料选择** 电池原材料通常包括正负极材料、电解液、隔膜及添加剂。选择热稳定性好和放热量小的正负极材料，可以减少反应热生成和副反应放出的热量。在电解液中添加阻燃、过充等添加剂，可以增加电池在过充、高温下使用等情况下的安全性。选择高机械强度、高稳定性隔膜也可提高电池安全性。
- 2) 电池结构设计** 电池结构设计合理，可使电池温度均匀，热量容易散出，避免局部过热引发副反应；减少电池的内阻，可减小电池的正常发热量。同时设计电池安全阀，当出现热失控时释放电池的内压，防止电池发生危险。
- 3) 制造工艺控制** 结构稳定的电池，内部绝缘性能好，在不良使用环境下仍然具有良好的绝缘性。极片、极耳等金属部件毛刺短而少，能有效防止在震动、坠落等情况下的内部短路隐患。因此对生产设备、工艺条件和检测仪器具有严格的要求。
- 4) 电池组管理系统** 锂离子电池管理系统主要通过测量单体电池电压，估测电池的荷电状态（SOC），判断电池过充过放，进行充放电控制和容量均衡，温度检测和控制，与外部设备通信，防止温度过高发生安全事故。



一、原材料与安全性能

a) **正极材料** 正极材料的安全性主要包括热稳定性和过充安全性。在氧化状态正极活性物质发生分解，并放出热量和氧气，氧与电解液继续发生放热反应；或正极活性物质直接与电解液发生反应。常见正极材料中，锰酸锂在受热过程中氧的释放量最小，被认为是最安全的正极活性物质，但在50℃以上高温循环时容量衰减过快，导致锰酸锂的高温稳定性和使用寿命较短。磷酸铁锂晶体结构中 PO_4^{3-} 阴离子可以形成坚固的三维网络结构，热稳定性和结构稳定性极佳，安全性和循环寿命最好。三元材料的安全性和高温循环性能与铁锂存在一定的差距，但低温循环性高于铁锂。

正极材料	放热起始温度/℃	放热峰值温度/℃	放热量/（J/g）	电压状态/V
锰酸锂	209	280	860	4.4
磷酸铁锂	221	252	520	3.8
三元	270	297	290	4.4



b) 负极材料

负极材料中，改性天然石墨和石墨化中间相炭微球的嵌锂电位较低，有可能析锂；石墨化中间相炭微球的安全性能优于人造石墨和天然石墨。硬碳和钛酸锂的嵌锂电位较高，能够有效防止析锂的产生，从而具有良好的安全性能。钛酸锂具有良好的热稳定性，安全性能最高且具有很好的循环性能和倍率性能（结构稳定），但容量和成本较为短板。

影响锂离子电池安全性能的因素还包括正负极活性物质的颗粒尺寸及表面SEI膜等。活性物质颗粒尺寸过小会导致内阻较大，颗粒过大在充放电过程中会膨胀收缩严重。将大颗粒和小颗粒按一定比例混合可以降低电极阻抗，增大容量，提高循环性能。良好的SEI膜可以降低锂离子电池的不可逆容量，改善循环性能、热稳定性，在一定程度上有利于减少锂离子电池的安全隐患。



c) 电解液

动力锂离子电池电解液通常选择熔点低、沸点高、分解电压高的有机溶剂，不同组分电解液的分解电压不同，如EC/DEC (1:1)、PC/DEC (1:1) 和EC/DMC(1:1)的分解电压分别为4.25V、4.35V和5.1V。同时，在电解液中添加助剂也可以起到提高过充安全性、阻燃以及提高电压等作用，动力锂离子电池中常用的添加剂如表所示：

功能	添加剂
SEI成膜促进剂	CO ₂ ,SO ₂ ,CS ₂
正极保护剂 LiPF ₆ 盐稳定剂	N，N ‘-二环己基碳二亚胺 二草酸硼酸锂、1-甲基-2-吡咯烷酮、氟化氨基甲酸酯、六甲基磷酸酰胺
过充保护剂	一甲氧基苯类化合物 联吡啶或联苯碳酸盐
阻燃添加剂	磷酸三甲酯 氟化烷基磷酸酯





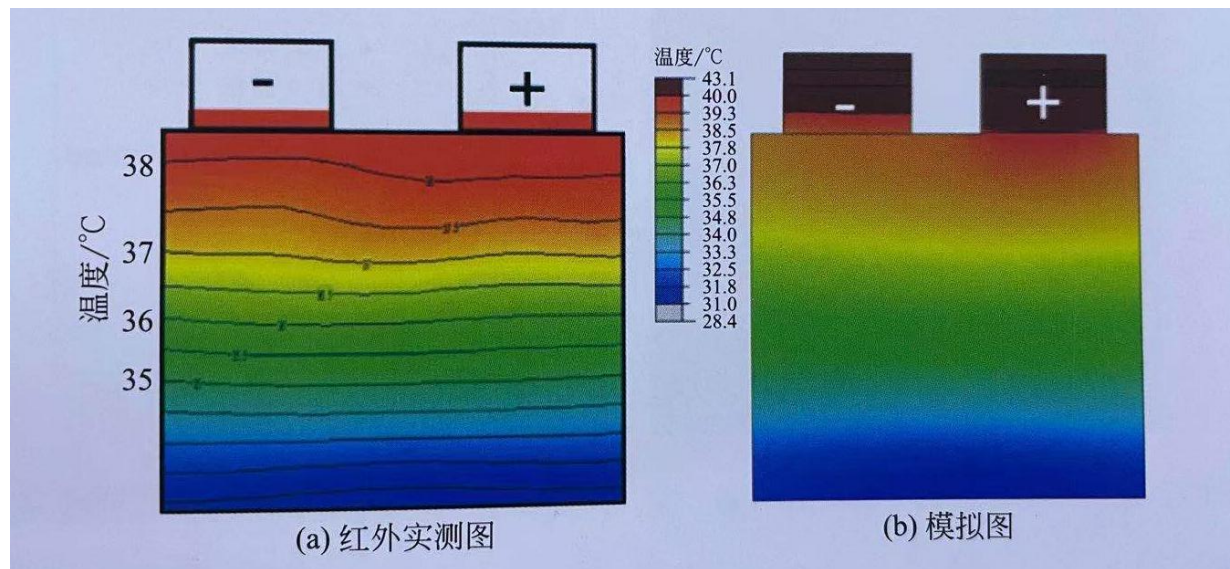
d) 隔膜

隔膜的安全性和热稳定性主要取决于其闭孔温度和破裂温度。闭孔温度是指在一定温度下多孔隔膜发生熔化导致微孔结构关闭，内阻迅速增加而阻断电流通过时的温度。闭孔温度过低时，隔膜关闭的起点温度太低，影响电池性能的正常发挥；闭孔温度过高时，不能及时抑制电池迅速产热，易发生危险。隔膜的破裂温度高于闭孔温度，此时隔膜发生破坏、熔化，导致正负极直接接触形成内短路。从电池安全性角度考虑，隔膜的闭孔温度应该有一个较宽的范围，此时隔膜不会被破坏。

锂离子电池的隔膜材料主要有单层PE、PP膜，复合的PP-PE-PP膜，以及陶瓷涂层隔膜。PE膜、PP膜以及PP-PE-PP膜的闭孔温度分别是130~133℃、156~163℃和134~135℃，破裂温度分别为139℃、162℃和165℃。因此PP-PE-PP复合膜的安全性比单层膜好。低熔点的PE在温度较低时起到闭孔的作用，而PP又能保持隔膜的形状和机械强度，防止正负极接触。但是PP-PE-PP膜高温收缩率大，强度和安全性有待提高。

二、电池结构设计

1) **电池温度分布** 以聚合物锂离子电池内部温度的红外实测图和模拟图为例，可以看出电池表面的温度分布是不均匀的，正负极极耳处温升较快，其他区域温度变化趋势一致且温度变化较小，这与电池内部的电流密度分布是对应的。电池极耳与集流体接触面积有限，内阻较大，发热较高。在锂离子电池结构设计过程中，通过调整极耳引出位置、增加极耳数量和宽度，增大极耳与集流体焊接面积，以及改变极片的长宽比例等方式，降低内阻，减小发热和提高倍率性能。



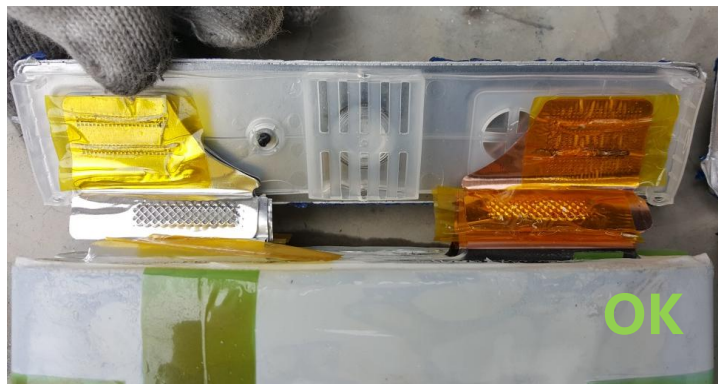
> 锂离子电池安全性能篇



短路测试起火



负极柱/极耳烧穿



正常电池



负极极耳处严重烧灼



锂离子电池安全性能篇

2) 壳体设计 圆柱卷绕电池内部卷芯电流路径长，内阻大，同时卷绕的能量集中，安全性能相对降低；且极片和隔膜在电池充放电过程中受到的局部应力非常不一致，易于出现极片断裂和其他问题。叠片电池的内阻小，100Ah的动力电池内阻小于 $0.8\text{m}\Omega$ ，是卷绕的1/5，散热也更合理。传统的电池硬质外壳能够较好地抑制内部变形，具有较高的耐内压能力，但也存在一定的安全隐患，如钢壳电池出现内短路情况时，热量不能及时散出，持续升温，更容易产生爆炸燃烧，而铝塑复合膜电池，厚度薄、性好、内部接触及热特性容易均匀、闲置空间小、内部压力容易释放、重量轻，但机械强度不足，需额外增加电池组防护

3) 安装装置 安全装置作为辅助措施可以提高锂离子电池安全性，如圆柱形锂离子电池的盖子和方形壳体设置的安全防爆阀。当电池内部气体压力达到额定值，防爆阀打开排出气体，防止电池内部气体压力过高造成爆炸。圆形锂离子电池的盖子中的正温度系数电阻元件（PTC），具有电阻随温度的升高而急剧上升的特性，当电池发生过充或外短路，PTC元件的温度由于欧姆阻抗发热而急剧升高，其电阻迅速增大，限制电流并使其迅速减小到安全范围，从而有效地保护电池。对于铝塑膜包装的电池，虽无法加装安全阀，但是内部压力增大时，铝塑膜会发生膨胀达到卸压效果。



谢谢大家的观看

Thank you for watching

