

## 1. 电池系统结构优化简介

提高电池包能量密度两个路径：电芯密度提升和系统（电池包）密度提升，系统结构优化是提升电池包密度的路线之一，目前是从传统电池包向CTP再到CTC的路线发展。

## 2. 传统电池包

### 2.1. 定义

传统电池包由电芯(Cell)→模组(Module)→电池包(Pack)组成。

电芯：指单个含有正、负极的电化学单元，一般不直接使用；

模组：多个电芯（外加对应的导电排、采样单元）被同一个外壳框架封装在一起，通过统一的边界与外部进行联系；

电池包：数个模组被BMS和热管理系统共同控制或管理起来的整体。

### 2.2. 优缺点

优点：任何一个电池模组出现故障或者短路，可以快速更换单个模组，方便和节省后期维护成本；

缺点：附加零件增多，单位体积下的重量也随之增加，不利于控制电池包的制造成本以及重量优化。

### 2.3. 模组功能

模组是动力电池初始发展阶段因生产特性而开发的工艺，在电池系统中起到提升稳定性的关键作用：动力领域要求大容量高功率，因此需要多个电芯串并联，但因技术发展问题，初期单体电芯一致性与稳定性较差，因此需要采用模组将一致性好的电芯组合起来作

为过渡，从而确保电池包的安全性。模组发挥安全作用的方式在于对其中的电芯进行管控，例如监测故障快速响应，此外模组还能对电芯起到支撑固定的作用。

## 2.4. 空间利用率及成本

在这种多层级电池 Pack 结构下，电芯对于电池包的空间利用率仅为 40%，其中电芯对模组的空间利用率为 80%，模组对电池包的空间利用率为 50%，模组的硬件费用约占电池总成本 15%。降本增效减重的诉求下，电芯到整车各环节去除多余零件、繁杂工艺、冗余材料进行优化就成了主要手段，电池结构简化技术会提速实现大范围应用，预计到 2025 年各种简化结构的电池占比会达到 80%以上。

## 3. CTP

### 3.1. 定义

CTP（无模组动力电池包）技术，即 Cell to Pack，电芯直接集成为电池包，从而省去了中间模组环节。

### 3.2. 优缺点

优点：减少辅件数量，提升系统能量密度，降低制造成本；

缺点：后期维护成本高，电芯结构强度要求高。

### 3.3. CTP 技术路线概况

模组大型化、去模组化能够减少零部件，从而降低成本，尤其电芯层面安全性提升，模组所起的稳定与管控作用逐渐弱化，行业内去模组诉求提升。

国内 CTP 技术分为两种路线：一种是以比亚迪刀片电池、蜂巢能源 L600 “6 条” 电池为代表的完全无模组方案，另一种是以宁德时代为代表的以

大模组代替小模组的方案。

### 3.4. 比亚迪刀片电池

#### 3.4.1. 简介

比亚迪的刀片电池是一种长电芯 CTP 方案（基于方形铝壳的叠片电池），对电芯的厚度减薄，并增大电芯的长度，跳过模组由电芯直接阵列在电池包中充当结构件，从而增加整个系统的强度。

图：比亚迪第一代刀片电池简图



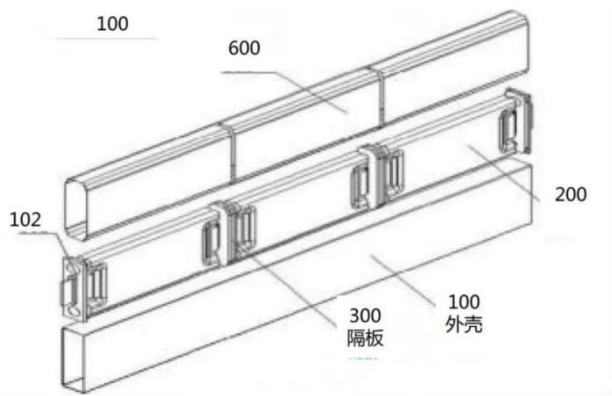
图：比亚迪刀片电池阵列



#### 3.4.2. 具体结构

单块刀片电池是由多个并联的电芯组组成（电压 3.2V），两个相邻的极芯组之间设置有隔板，（ ）将电芯的空间分隔成若干个容纳腔，这些容纳腔形成类似的蜂巢结构，并且具备密封和注液通道。

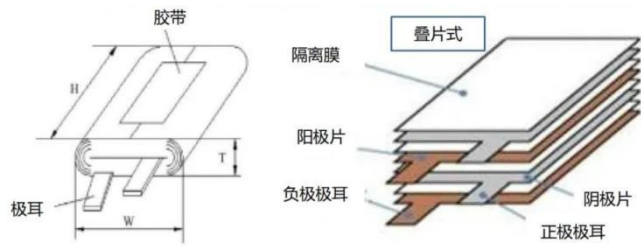
图：第一代刀片电芯内部结构



### 3.4.3. 创新点

1. 并联电芯的设计保证了刀片的可拓展性：通过改变电芯数量可使刀片的长度从 400mm 到 2500mm 变化，无论是乘用车和公交车都可以使用，在整车长度设计上更加灵活。
2. 刀片电池的设计大幅提高安全性：1) 边梁内含排气管道，防爆阀开启后内部一旦有火焰、烟雾等，可以通过排气管道排出，避免对单体产生二次伤害；2) 扁平化设计，大大增加了散热面积，内部回路长；3) 磷酸铁锂失控温度高，产气量少；4) 陶瓷阻燃层。
3. 刀片电池采取叠片工艺：卷绕无法制造大电芯和长电芯（大尺寸电芯卷绕时易起褶皱），卷绕工艺做出来的长电芯在内阻、内部温度一致性、内部应力等方面，都无法与叠片工艺匹敌；叠片利于可以多极耳，内阻小，充放电倍率性好、厚度容易控制，提升体积利用率。

图：卷绕和叠片示意图与截面图



卷绕和叠片示意图



卷绕工艺电芯 叠片工艺电芯

4. 刀片电池阵列上下使用蜂窝铝板：增加刀片电池横向剪切力的强度，同时蜂窝状结构可以在保证结构强度的同时减重。

5. 刀片电池采取更先进的热管理：第一代刀片电池的水冷方案是把水冷板放在整个电池包的上面，与模组顶板的直接接触，对电芯侧面窄边进行冷却。同时为提高导热效率，模组顶板与电芯侧面之间有导热板，整个包的温度差控制在  $1^{\circ}\text{C}$  以内。

#### 3.4.4. 优缺点

优点：增加了安全性，提升空间利用率，降低电池成本； 缺点：增加电池内阻（铜/铝箔被迫加厚），维护成本高，磷酸铁锂能量密度上限较低，生产效率低。

#### 3.4.5. 难点

1. 叠片工艺要求高：叠片极片分切、堆叠时精度和一致性要较高，且面临虚焊、极片毛刺、 )粉尘等问题，因此控制和操作难度更大，目前电池良率不高，需要进一步开展相关设备改进、提升工艺效率。

2. 电芯做长电解液易分解：电极液会因为前后的电位差高而极可能发生分解，导致单体电池失效（目前采取并联电芯的方式解决）。

3. 电极厚度减薄困难：电芯做长集流体导电路径过长，阻抗偏大，迫使铜箔铝箔要做厚一些。

### 3.4.6. 整体性能提升情况

比亚迪第一代刀片电池，相比传统方壳电池空间利用率由 40%（电芯到模组 80%，模组到电池包 50%）提升至 60%，能量密度提升 15%，整车续航提高 20%，电池寿命延长 20%~30%，整体降本 20%左右。

### 3.4.7. 刀片升级

表：刀片电池升级情况

|           | 第一代刀片       | 第二代刀片       | 第三代刀片        | 功率型刀片      |
|-----------|-------------|-------------|--------------|------------|
| 尺寸 (mm)   | 960×90×13.5 | 960×90×13.5 | 517×128×14.2 | 200×140×20 |
| 适用车型      | EV          | EV          | EV           | DM-i       |
| 主打方向      | 能量密度        | 能量密度        | 能量密度+倍率性能    | 倍率性能       |
| 设计        | 方壳          | 方壳          | 软包+铝壳        | 软包+铝壳      |
| 壳体厚度 (mm) | 0.3         | 0.3         | 0.3          | 0.3        |
| 叠片方式      | 层叠          | 层叠          | Z 叠          | 卷绕         |
| 方案        | CTP         | CTP         | CTC          | CTP        |
| 冷却方案      | 液冷          | 直冷          | 直冷           | 液冷         |
| 平台        | e2.0        | e2.0        | e3.0         | e2.0       |
| 单体电压 (V)  | 3.2         | 3.2         | 3.2          | 3.2        |
| 单块刀片电池电   | 3           | 3           | 2            | 1          |

|                               |                            |                            |                          |         |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|
| 芯数量                           |                            |                            |                          |         |
| 单体能量密度<br>( Wh/kg )           | 170                        | 182                        | 205                      | 120-150 |
| 系统能量密度<br>( Wh/kg )           | 140                        | 150                        | 175                      | 100-130 |
| 隔膜                            | 干法 14μm                    | 干法 12μm                    | 湿法                       | 湿法 12μm |
| 铜箔                            | 8μm                        | 6μm                        | 6μm                      |         |
| 铝箔                            | 15μm                       | 13μm                       | 13μm                     |         |
| 压实密度<br>( g/cm <sup>3</sup> ) | 2.65 ( 正极 )<br>1.54 ( 负极 ) | 2.65 ( 正极 )<br>1.62 ( 负极 ) |                          |         |
| 面 密 度<br>( g/m <sup>2</sup> ) | 360 ( 正极 )<br>169 ( 负极 )   | 440 ( 正极 )<br>201 ( 负极 )   |                          |         |
| 石墨颗粒比例<br>二次 : 一次             | 1 : 1                      | 8 : 2                      |                          |         |
| 电芯成本 ( 元<br>/Wh )             | 0.47                       | 0.49-0.50                  |                          |         |
| 产业化时间                         | 已量产                        | 2022 年 Q1 量产               | 2022Q2 上市, 2023<br>年批量装车 | 已量产     |
| 其他                            |                            |                            | 正极补锂 ( 15% )、<br>未来固态软包  |         |

注：EV 长刀片分三种尺寸，960×90×13.5（主打，138.5mAh，A 级以上）、700×90×13.5（A0 级）、960×102×13.5（SUV）

### 3.4.8. 刀片电池深入思考

#### 1. 刀片电池为何不用三元体系

三元高镍存在气体膨胀，硅碳固体膨胀的问题，利用卷绕工艺+圆柱电池可以有效抵抗膨胀；刀片电池采取叠片工艺，模切时的毛刺、粉尘会带来短路的安全隐患，并且其电子导电路径长，阻抗偏大不利于热管理，因此不适合高安全性要求的三元体系。

## 2. 刀片电池横向对比

刀片电池 VS 方型电池：刀片电池去模组更彻底，体积能量密度提升显著，同时有效降低成本；

刀片电池 VS 圆柱电池：圆柱电池单节容量小数量多，体积利用率低，但抗膨胀可匹配高镍和硅负极；刀片电池无法匹配三元体系，叠片工艺中的毛刺、粉尘会带来短路的安全隐患。

## 3. 比亚迪独家层叠工艺究竟好在哪

主要很大提升了生产效率，层叠工艺一次可以叠 15 个极芯出来，叠就是把隔膜盖到极片上，叠完之后约 70 多层，极芯间隔膜要裁断，需要用一把热刀切下去，把材料边缘融化锁边（核心难点）。比亚迪发现干法三层共挤的隔膜材质热切后可以融化锁边（做成一个很多层的袋子），而传统 PE 做不到这个效果。

## 4. EV 中刀片电池 CTP 是如何排列

EV 是 178 个电芯串联侧立，下面是 150 个电芯，车后排座位有 28 节电芯。直接把电芯加到电池托盘两个横梁上，体积利用率很高，体积能量密度提升显著。

## 5. PET 复合箔为何不适合长刀片电池

长刀极片比较长，电池导电路径比较长，物理阻抗增大，本身 PET 膜占一些厚度，给到铜箔的使用空间就小了，对刀片电池来讲进一步增加了阻抗，因此不适合与长刀。



## 6. 叠片工艺的刀切是否可换成激光切

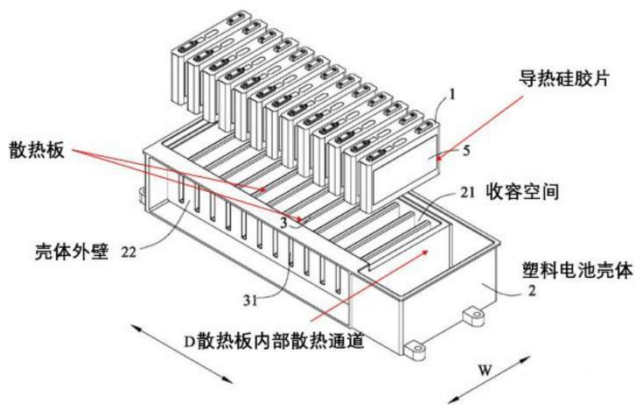
叠片工艺目前利用模切刀热切成型，激光模切也可以使用，但存在部分问题，激光切正极会有熔珠的问题（铝的熔点较低），未来负极可能使用激光切，正极仍使用模切刀，但主要存在设备替换问题。

### 3.5. 宁德时代 CTP

#### 3.5.1. 原理

宁德时代主要思路是在以大模组替代之前的小模组，而非完全取消模组：电芯采取卷绕工艺，把之前的小模组去掉侧板，用扎带连接起来，把模组做大。在模组与模组间采用一种套筒的连接方式紧贴在一起，同时套筒设有固定装置与整车相连，这样整个模组简化了结构，在实现电池包轻量化的同时，也提高了电池包与整车的连接强度。

图：宁德时代 CTP 专利图



#### 3.5.2. 整体性能提升情况

公司于 2019 年法兰克福车展披露无模组动力电池包 CTP 技术，较传统电池包体积利用率提高 15%-20%，零部件数量减少 40%，生产效率提升 50%，投入应用后将大幅降低动力电池的制造成本。在能量密度上，传统

的电池包能量密度平均为 140-150Wh/kg，CTP 电池包能量密度则可达到 200Wh/kg 以上。

## 4. CTC

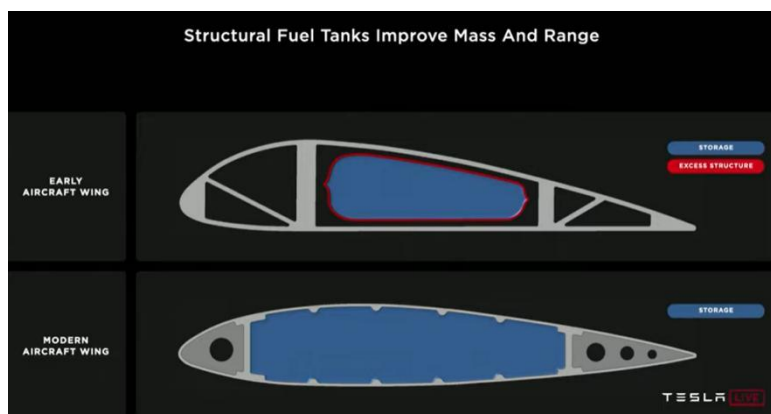
### 4.1. 定义

CTC 技术，即 Cell to Chassis，电芯直接集成在底盘上，从而实现更程度的集成化。

### 4.2. CTC 技术原理

马斯克以飞机来类比 CTC 技术原理，飞机油箱从机翼+油箱变为机翼=油箱，因此车身+电池包也可变成车身=电池包，并且电芯本身的壳体结构可以让其成为整体承重结构的一部分。

图：能量单元结构化



### 4.3. 优缺点

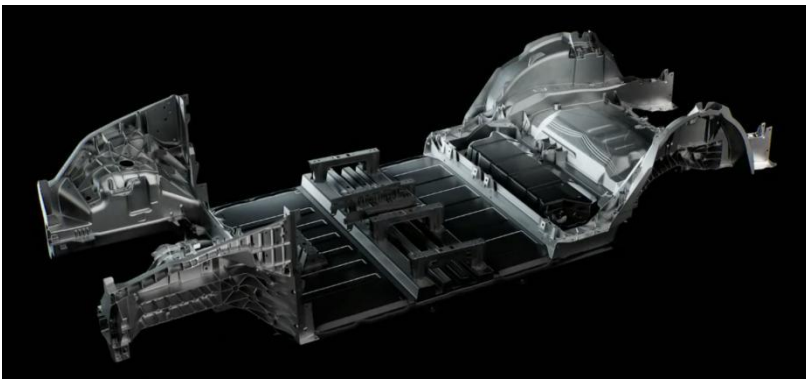
优点：减少辅件数量，提升系统能量密度，降低制造成本；

缺点：后期维护成本高。

### 4.4. Tesla CTC

#### 4.4.1. 具体结构

图：Tesla 底盘整体情况



图：Tesla 底盘中大圆柱电池排布情况



可以看出 Tesla 采用的 CTC 技术为结构化电池（Structural Battery），将电池直接集成在电动车底盘上，取消了 4680 电池阵列上的电池盖板，电池上表面的零件与车身结构连接集成了座椅固定及车身横梁的功能，同时承担电池的密封功能。因此节省了一层上盖板的设计，增加了空间利用率。

在电池包结构方面，4680 大圆柱电池结构强度增大，且 Tesla 使用一种兼顾结构胶+耐火阻燃胶的多功能胶，将电芯与上下结构件的固定起来，以应对最为苛刻的剪切力。

#### 4.4.2. 优缺点

优点：

1. 减少结构冗余放入更多的电芯，提高能量密度；
2. 电芯集中整体惯量小操控更敏捷；
3. 电芯位置更居中，侧向撞击更难接触到电芯，电池保护更好；
4. 配合特斯拉前舱和后地板的一体压铸结构，零件数量大幅减少。

缺点：

1. 电池包无法单独拆解，后期维护成本高；
2. 无法采用换电技术；
3. 电池包的密封及安全性认证难度加大；
4. 制动管高压线等管线排列问题。

#### 4.4.3. 难点

CTC 一体化设计进一步提高了工艺要求，一旦灌封后制造过程中不合格，报废的就不是单个电芯或模组了，成可维修性极低，梯次利用也只能整包来进行；冷却系统设计难度大布置空间有限，留给大圆柱电芯冷却的空间只有底部和顶部；此外 4680 电池结构强度是否足够，电池包的密封及安全性认证问题，制动管高压线等管线排列都会成为设计难题。

#### 4.4.4. 整体性能提升情况

Tesla 采用了 CTC 技术后，配合一体化压铸技术，整车可以节省 370 个零部件，为车身减重 10%，将每千瓦时的电池成本降低 7%，增加 14% 的续航。

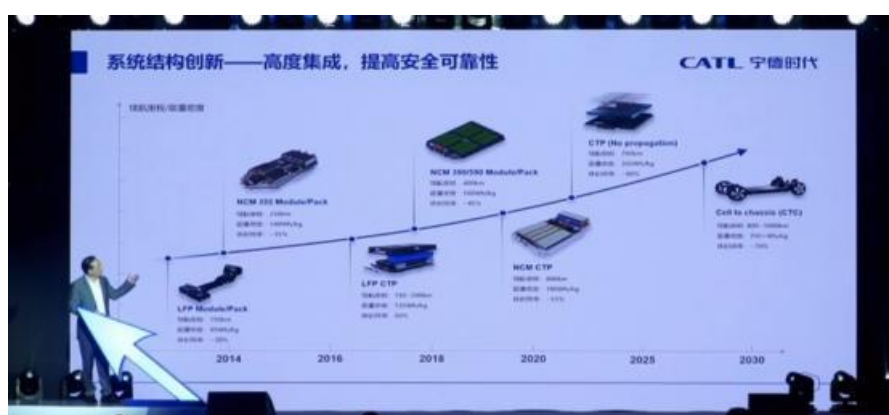
#### 4.5. 宁德时代 CTC

宁德时代将于 2025 年前后正式推出高度集成化的 CTC ( Cell to Chassis ) 电池技术， )2028 年前后有望升级为第五代智能化的 CTC 电动底盘系统，预计与 Tesla 的结构化电池一样，

直接将电芯集成在电动车底盘上，再把电机、电控、整车高压如 DC/DC、OBC 等通过创新的架构集成在一起，并通过智能化动力域控制器优化动力分配和降低能耗。

按照宁德时代董事长曾毓群此前介绍，宁德时代 CTC 技术将使新能源汽车成本可以直接和燃油车竞争，“在续航方面，由于省去了铸件的电池包，CTC 技术可最大程度降低电池包重量和空间，从而可使电动汽车的续航里程至少可以达到 800 公里。”

图：宁德时代 CTC 战略布局



## 4.6. 比亚迪 CTC

长刀电池短期通过内部材料体系再提升能量密度较为困难，因此比亚迪采取结构件减重提高能量密度，第三代刀片将采用软包+铝壳的方式，改用 CTC 的一体化方案提升续航。

### 4.6.1. 软包定义

动力电池形状主要分为三种，圆柱、方形、软包电池。软包电池与圆柱、方形的最大区别在于软包采用铝塑膜作为外壳，而方形和圆柱电池则采用金属材料作为外壳。

### 4.6.2. 软包优缺点

优点：

1. 能量密度更高：铝塑膜重量轻，空间利用率高，使电芯能量密度相对提升；
2. 电池尺寸更灵活：体积形状可变，可以放入车中狭窄的空间，提高体积利用率；
3. 电池内阻小：降低了电池的内自耗；

缺点：

1. 产品一致性差：采取叠片方式，生产工艺更复杂，封装环节难控制，容易发生鼓包；
2. 安全性能差：易受外界挤压、冲撞导致电池变形受损，且铝塑膜易破损，一旦破损将导致电解液泄露甚至更严重的安全事故，此外大电流时容易产生鼓包、胀气等问题，需要额外加入金属防护层；
3. 成组效率较低：额外的金属防护层降低电池的成组效率。

#### 4.6.3. 软包难点

封装一致性控制较难，软包至少三个边需要加热封边，软包铝塑膜成型时需要真空封口，真空度太高电解液会干掉，不利于循环发挥，真空度太低有气体会造成强度不足、进水进气、极耳松动等问题，容量发挥受到影响；铝塑膜也需要冲坑，四个角拉伸形变一致性，生产设备稳定性关系到局部薄弱点；电芯固定在铝壳中没有很多结构件支撑，只能通过灌胶的方式，存在均匀性问题。

#### 4.6.4. 比亚迪第三代软包刀片+CTC

比亚迪第三代 EV 软包刀片使用独创的 Z 叠工艺，使用直接装到底盘的 CtC 方案。由于软包容易产生鼓包安全性问题，因此三元软包难度技术较大，未来进一步提升能量密度可能使用固态电池+软包+CTC 技术。

预计 2025 年前比亚迪仍采用通过磷酸铁锂结构件减重的方式提高能量密

度，之后将使用固态、半固态高能量密度电池进一步突破能量密度瓶颈。

#### 4.6.5. 软包刀片深入思考

##### 1. 采取软包+铝壳 CTC 方案而非长刀 CTC 方案

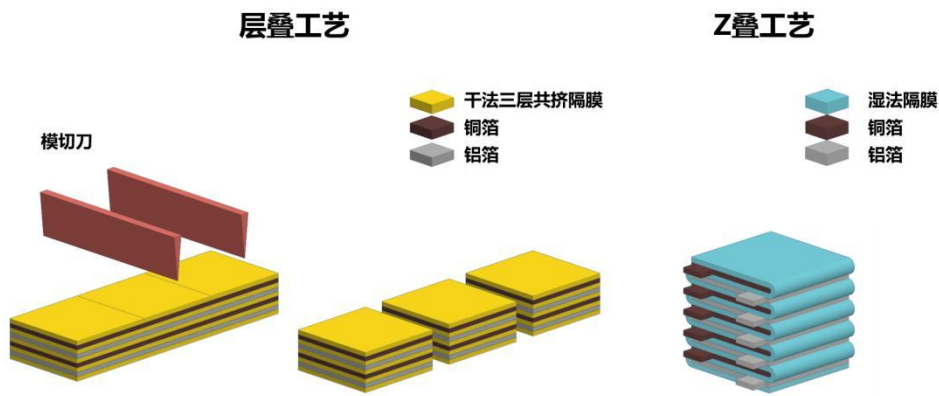
1) 软包适合做高电压体系：软包尺寸小，在相同体积下串联数量更多，实现高电压的目标；2) 软包 CTC 成本更低：软包结构件用量更少，比长刀降本 40%；3) 长刀倍率性能差：长刀阻抗大，电池加速、快充性能在大阻抗时容易发热；4) 长刀干法隔膜存在打皱：长刀干法隔膜存在打皱问题，在长时间使用是可能带来风险；5) 长刀存在静电问题：铝壳带静电，有绝缘风险。软包膜不带电装铝壳内，无绝缘风险（极耳端做好绝缘即可）。

##### 2. 软包 Z 叠和长刀层叠的区别

层叠工艺：长刀生产时一次叠 15 个极芯，极芯间隔膜要裁断，比亚迪发现干法三层共挤的隔膜材质可以热切锁边，而传统 PE 做不到这个效果，因此需采用干法隔膜。但干法隔膜较厚，且有打皱的问题，注液后张力释放有皱纹，在锂离子通过时有析锂长期可能刺穿隔膜。

Z 叠工艺：单个极芯的 Z 型折叠，因此不存在隔膜热切（多个极芯才需要切开），因此无需采用干法三层共挤的隔膜，可以使用能量密度高、更薄、性能更好的湿法隔膜，但价格会更贵，并且 Z 叠相比层叠生产效率会降低。

图：层叠与 Z 叠工艺对比



层叠到 Z 叠设备的变化：都是叠片机来做，前端可共用，但中后端（封装到检测）差别大，主要是叠片机和封装设备有区别。

### 3. 软包外铝壳冲坑设备

采取卷绕或叠片工艺做成的电芯叫极芯，之后需装到一个方形铝壳中，其中需要挤压成型做成一个腔体，把极芯装进去，把铝塑膜做成一个外壳从而极芯可以装进去这个步骤就叫做冲坑，冲坑设备由比亚迪自制。

### 4. 软包刀片与功率型刀片对比

封装难度大，加上预锂化（草酸锂易产气），整体难度较高。

### 5. 软包的铝壳是否可以换成钢壳

可以，钢壳虽刚度高但是重。

## 5. 结论

从传统电池包向 CTP 再到 CTC，通过不断优化系统结构提升集成程度，可以减少辅件数量、提升系统能量密度、降低制造成本，但后期维护成本高、电芯结构强度要求高。

CTC 追求的是一体化设计，因此放弃了换电技术，打破电池与整车的界



限，将造车逻辑从前舱+座舱+后舱组合推向超级底盘+上车体的模式，提高了电池厂在供应链里的话语权，有利于电池厂与车厂实现深度捆绑。建议关注：比亚迪、宁德时代、蜂巢能源。

# 十大精选热门主题资料库下载

