

2

项目

新能源汽车单体动力电池生产工艺



项目目标

知识目标

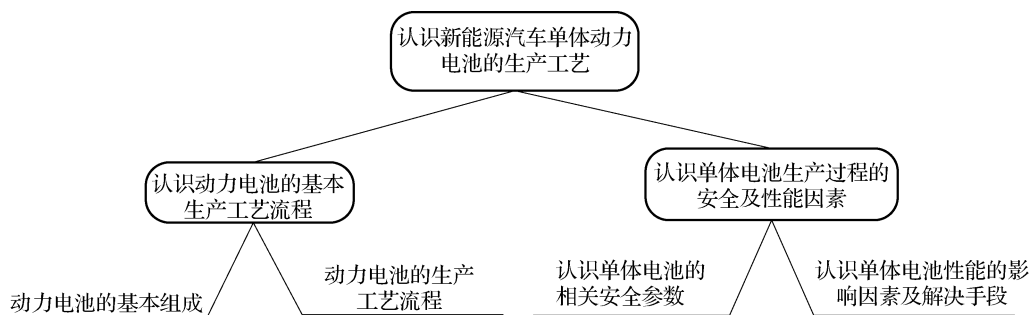
- ①了解新能源汽车动力电池的基本组成；
- ②掌握动力电池的基本生产工艺；
- ③理解单体电池的相关参数与其性能之间的关系；
- ④掌握单体电池性能的影响因素及解决方式。

能力目标

- ①能充分掌握动力电池的基本结构；
- ②能理解动力电池生产的各个工艺环节；
- ③能根据动力电池相关参数分析电池或电池组的基本特性。



知识脉络图



内容引入

在新能源汽车动力电池概况、基本特性和关键技术的学习基础上，本项目主要认识并理解以下问题：

- (1) 动力电池是由哪些部件组成的？动力电池是怎样生产出来的？
- (2) 单体电池在生产过程中的安全参数有哪些？单体电池的性能受哪些因素影响？可以采取哪些解决措施？

2.1 动力电池基本的生产工艺流程

了解动力电池的生产工艺流程，首先必须理解动力电池的基本组成结构，再根据各种结构的生产确定动力电池的生产工艺。因此，本任务首先介绍动力电池系统各种结构的组成，并对各种组成的生产工艺进行介绍，进而阐述整个动力电池生产的工艺及流程。

2.1.1 动力电池系统及单体电池的基本组成

动力电池系统是指单体动力电池经串并联组合后加以其他配套管理系统及机械系统后，提供整车需求电能的组合体。动力电池系统的主要组成如图 2-1 所示。

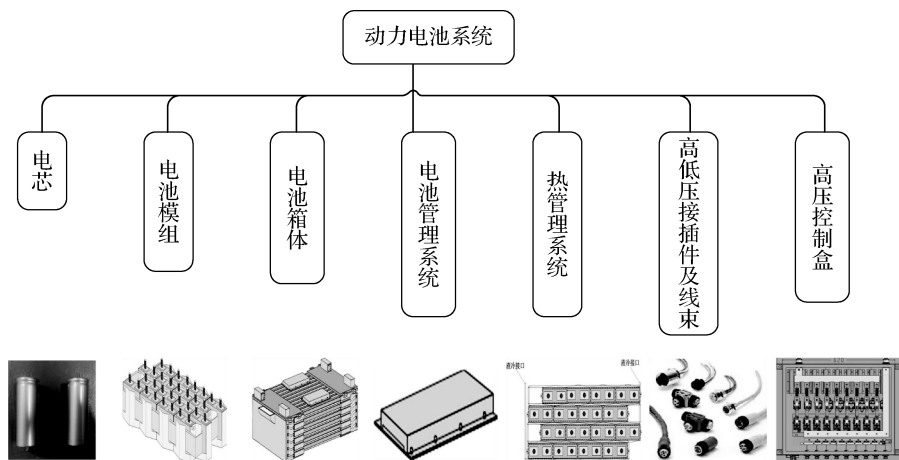


图 2-1 动力电池系统的主要组成

(1) 电芯，即单体电池能量输入输出的核心，是动力电池系统最小的组成单元，其主要功能是实现电能与化学能之间的转换。但在很多场合，电芯经常与“电池”混淆。电池由正极材料、负极材料、隔膜、保护电路、外壳、极柱等组成，如图 2-2 所示。但严格来说，电芯指由单个含有正、负极的电化学材料组成，一般不可直接使用。

(2) 电池模组是一组单体电池串并联连接之后的组合体，可作为一个单元实现替换。由于单体电芯的能量无法支撑整车能量的输出，对于多数的新能源汽车而言，通常采用多数电芯串联或并串组合所构成的电源结构实现能源系统的构成。为了方便规模化生产，通常会采用少量电芯串并连接组成一个小型模组（图 2-3）作为一个能量模块，有利于能源系统结构化工艺设计及能源工业的流水化生产。

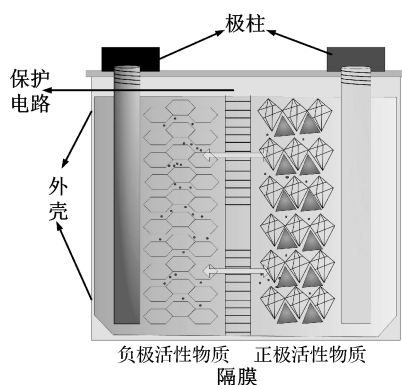


图 2-2 电池的组成

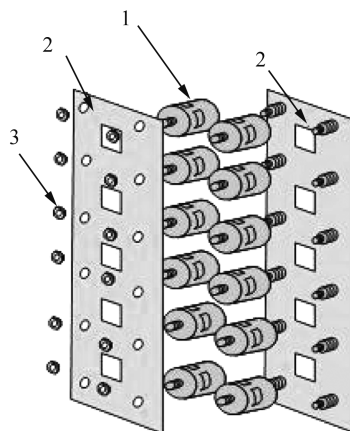


图 2-3 电池模组的组成

1—电芯；2—连接板；3—固定件

(3) 电池箱体是支撑、固定及包围电池模组等结构的组件。如图 2-4 所示，电池箱体一般由上盖、侧板、下托盘、密封元件、支架及护板、管理系统外盖等组成，起承载及保护动力电池系统的作用，还要根据电池箱体的散热情况设置散热通道，对电池的安全和防护起关键作用。

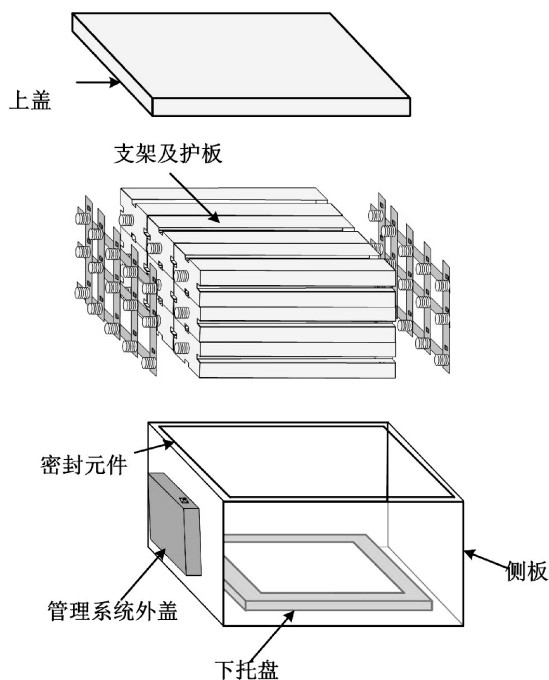


图 2-4 电池箱体组成

(4) 电池管理系统 (Battery Management System, BMS) 是动力电池系统的“大脑”。BMS 通过检测各单体电池的状态调整控制策略，实现数据采集、状态检测、均衡控制、安全保护、信息管理等功能。该设备的主要目的是保证电池安全、稳定可靠地工作，同时充分发挥电池的能力，延长其使用寿命。另外，BMS 也是电池和整车控制器、驾驶员之间的沟通桥梁。

(5) 热管理系统确保动力电池系统工作在适宜的温度范围内，主要由电池箱体、传热介质、检测设

备等部件组成，实现电池温度检测、散热、加热、通风、温度场均匀分布等功能。

(6) 高低压接插件及线束实现了整车电能的传输，具有耐压、耐高温、屏蔽、防水、防尘等功能。

(7) 高压控制盒，又称高压配电箱或配电盒，是动力电池系统与其他高压用电设备之间电源和信号传递的桥梁，保障高压电能的传输并随时检测高压系统的绝缘、断路、接地等故障。

在动力电池系统中，电池单体是能源系统最小的单元，也是能源组成的核心部分。以锂离子电池为例，其主要由正负电极、电解液、隔膜、安全阀等部件组成，如图 2-5 所示。

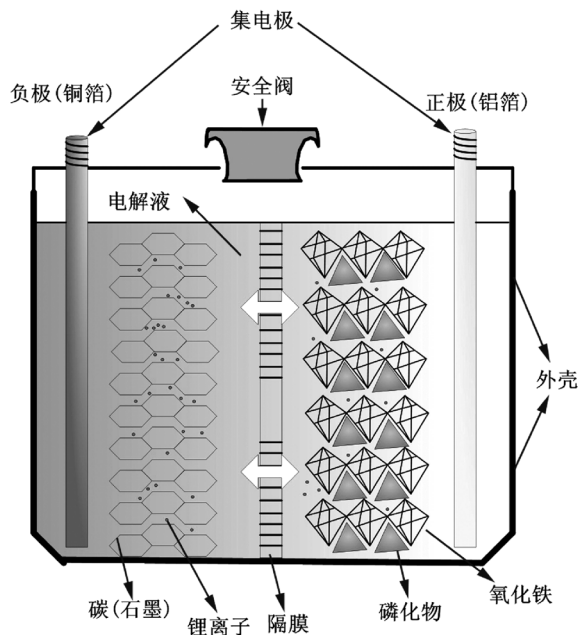


图 2-5 锂离子电池结构示意图

①正极：常用的正极活性物质有 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiMn_2O_4 、 LiFePO_4 、聚合物材料等，正极材料的热稳定性越高，放电时所释放的热量则越少。为使电池能更加稳定、安全地工作，通常采用导电剂、黏合剂等材料，并将其涂覆在正极活性物质的铝质基体上。

②负极：主要以碳基活性材料为主，涂覆在铜质的基体上。负极材料应具有尽可能低的电位、尽可能高的锂嵌入量和锂脱嵌可逆性。常用的负极材料有石墨、焦炭、无定形碳、碳纳米管等碳材料，以及合金、金属及其氧化物等非碳材料。其中应用最广泛的是石墨。

③电解液：充当正、负极之间传输离子的媒介作用。锂电池的电解液为混合溶剂，有机电解质溶液，由电解质锂盐、有机溶剂和少量添加剂组成，与正负极活性材料均具有化学稳定性的特点。

④隔膜：隔离正极、负极，防止两极接触而发生短路，并且允许电解质离子通过，以聚乙烯、聚丙烯等材料制成的微孔膜为主。

⑤安全阀：当锂电池由于使用不当而内部压力异常升高时，内部将会产生气体或鼓包，这时安全阀会释放气体避免电池破裂，降低起火和爆炸的概率。安全阀实际上是一次性、非修复式的破裂膜，只要进入工作状态，电池将停止工作。

电池生产过程中涉及多种材料，每种材料都直接影响电池的性能和成本，其中比较重要的以正极材料、负极材料和电解液为主。根据相关研究，正极材料的比容量提高 50%，电池功率密度相应地提高 28%，负极材料的比容量提高 50%，电池功率密度相应提高 13%；正极材料、负极材料、电解液分别占

电池成本的 40%、5%、16%。因此要提高锂电池的比能量、寿命、安全性等各项性能，需要不断研究新型的材料并提高生产工艺的水平。

▶▶ 2.1.2 动力电池的生产工艺流程 ▶▶ ▶

以磷酸铁锂电池为例，将电池各种原材料进行加工，并组合形成电池产品，必须建立一系列生产工艺加以保证，同时定制合理的生产工序以保证生产过程合理。锂电池生产工艺复杂、工序繁多，而且不同的电池类型、不同的生产厂家，锂电池的生产工艺流程会有一些的差异，每一项工序都对电池性能有影响。总体来说，锂电池的基本生产工艺流程分为极片制作、电芯装配及分容配组三大步骤，如图 2-6 所示。

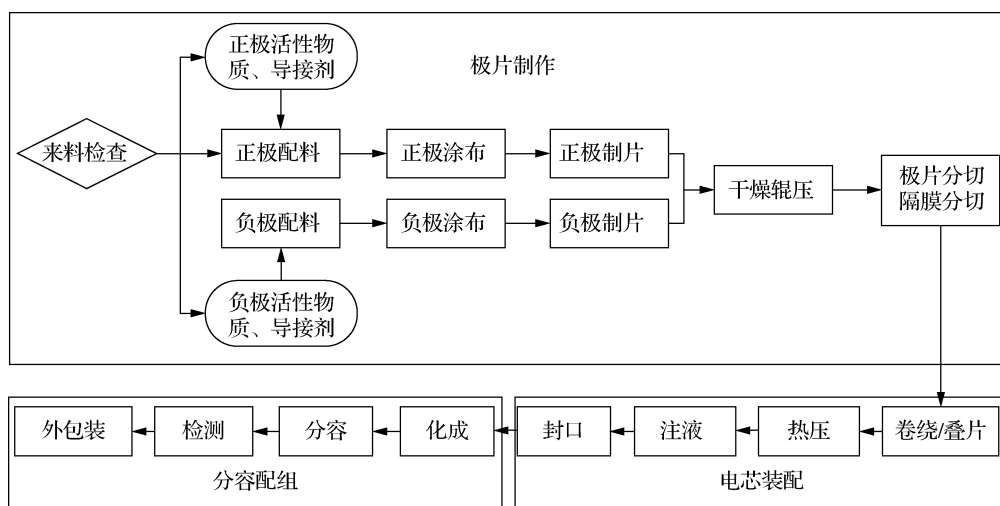


图 2-6 单体锂电池生产的基本工艺流程

(1) 极片制作，即对电池的正负极片进行生产。由于正负极片直接影响电池充放电过程的安全性及一致性，因此此项工作是单体电池生产过程中的关键步骤。该流程的主要工艺包括配料、搅拌、拉浆、涂布（涂覆）、辊压、分切、制片、极耳成型等工序。

(2) 电芯装配主要包括卷绕或叠片、热压、注入电解液、电芯预封装等工序。

(3) 分容配组包括电芯化成、分容、检测及外包装等工序。

(4) 在电池出厂前，还必须通过合理的配组，保证电池出厂的一致性，再提交给用户。

在单体锂电池生产过程中，所使用到的主要设备及其用途见表 2-1。

表 2-1 单体锂电池的主要生产设备及其用途

设备名称	主要用途
真空搅拌机	将正负极材料均匀地搅拌成浆料
涂布机	将浆料均匀地涂覆在金属箔片上
对辊机（辊压机）	将涂布后的极片进行辊压
真空干燥箱	烘干干燥
分切机	将极片裁剪成合适的大小和形状

设备名称	主要用途
焊接机	焊接极耳
卷绕机	将极片卷绕成裸电芯
手套箱	注液过程的容器
注液机	将电解液注入电芯内

1. 极片制作

(1) 配料。极片的制作步骤如图 2-7 所示。

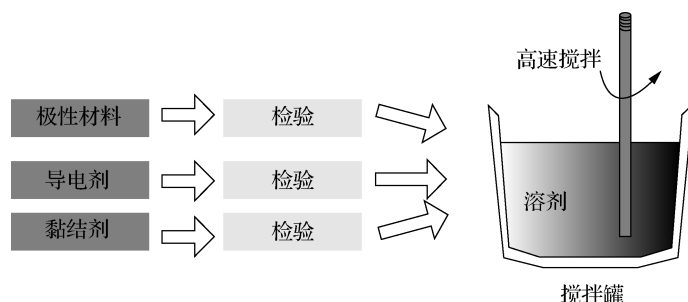


图 2-7 电池配料的制备步骤

首先对采购的正负极活性材料、导电剂、黏结剂等原材料进行严格的检验。检查好锂电池的制作材料后，然后配置正负极材料。如图 2-8 所示，将不同比例的粉末状的正负极活性物质、导电剂、黏结剂等材料按照一定顺序倒入真空搅拌罐，经过一定时间的高速搅拌后混合均匀，调制成浆状的正负极材料。搅拌过程中要尽量保证没有气泡产生，正负极活性物质颗粒间靠黏结剂粘接在一起，搅拌效果直接影响电池性能。在配料过程中，活性物质、导电剂和黏结剂的配比对电池的各项性能（如电池的比容量、电压、内阻、循环寿命等）有很大的影响，正负极材料的配比也是目前国内外相关机构的研究热点。

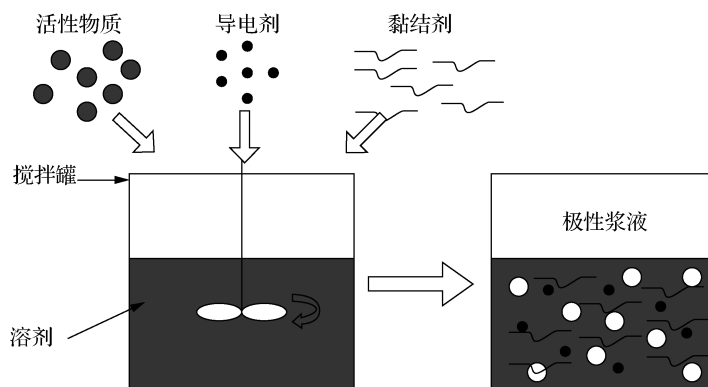


图 2-8 正负极配料示意图

(2) 涂布。如图 2-9 所示，把制作好的极性浆液通过涂布机连续、均匀地涂覆在电极集流体表面。在这个过程中，黏结剂进一步将活性物质和导电剂粘接在电极集流体上。值得注意的是，黏结剂有助于液态锂离子电池在电极材料和电解液之间形成钝化膜（SEI 膜），该膜有利于锂离子经过钝化层自由地嵌

人和脱出，因此均匀地将黏结剂与极性浆液涂覆于电极集流体这一流程至关重要。

在涂布过程中，活性物质涂覆的均匀性直接影响电池的质量。常用方法有辊涂工艺涂布、条缝挤压涂布等。辊涂工作原理如图 2-10 所示，其中辊涂机由涂布辊、背辊、刮刀辊及其驱动系统组成。将浆液加入到料槽中，涂辊和背辊同时转动，背辊上的浆液就会转移到有箔片的涂布辊上，实现浆液均匀涂覆在电极板，通过调整刮刀与背辊之间的间隙可以调节浆液转移量的多少。箔片的运行速度、箔片的张力、涂布辊的制造精度、转动速度和平稳性、烘干的温度等参数将会直接影响涂布的质量，进而影响锂电池的各项性能。

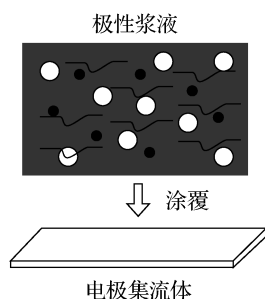


图 2-9 涂布示意图

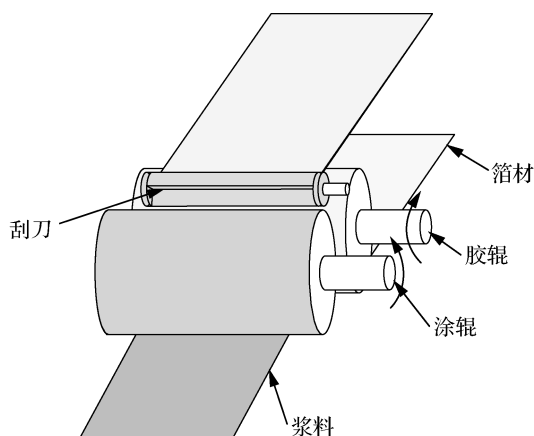


图 2-10 辊涂工作原理示意图

条缝挤压涂布工作原理如图 2-11 所示，一定流量 (Q) 的浆料从挤压头上料口进入模头内部型腔，并形成稳定的压力，浆料最后在模头狭缝出口喷出，涂覆在箔材上，涂层在烘箱中进行干燥。在狭缝外流场的浆料流动过程中，由于基材移动使浆料沿着涂布方向流动，浆料内部相对运动产生相互的剪切力作用，同时形成一个速度梯度，称为剪切速率。剪切应力与剪切速率的比例系数即为浆料的剪切黏度。锂离子负极浆料属于具有剪切稀释现象的非牛顿流体，黏度随着剪切速率的增大而减小。因此，合理地调整浆料喷射速度是保证涂布质量的一项重要步骤。

在涂布过程中，还必须严格控制环境的湿度和正负极材料、电解液中的含水量。研究表明，水分过多时将会与正负极活性物质及电解液发生化学反应，造成气胀和电池容量下降的现象。因此，浆料涂覆在集流体上的过程中需要进行及时的烘干干燥，将浆液里的水分和其他可挥发性有机物挥发，最终制成正、负极片。

(3) 辊压。涂布完成且对极片烘干后，需要通过辊压机对极片进行辊压，如图 2-12 所示，使极片上的活性物质与箔片变得更加致密、紧凑并将极片压实到合适的密度和厚度。

在辊压过程中，辊缝间隙的调整直接影响成型后的电池极片间距。极片间距过小，活性物质粒子之间距离太过于紧密，电子导电性增强，但是离子移动通道变窄，将不利于电荷量发挥，甚至将会出现极片涂料起皮、极片褶皱等现象，也会影响后续的叠片或卷绕工艺的质量；极片间距过大，活性物质与箔片之间的黏附性将大幅下降，极片在电解液中浸泡一段时间后黏附性将进一步下降，这将导致活性物质粒子间距增大，有利于粒子移动，但不利于电子导电，放电极化增大；极片间距合适时，活性物质与电解液将得到充分的接触，有利于活性物质参与电化学反应，宏观表现为电池内阻减小。因此，通过调节空载辊缝对涂布后的整片极片间距进行控制，最后采用分切机将极片裁剪成合适的大小和形状（也称为分条），为电芯叠片或卷绕提供半成品。

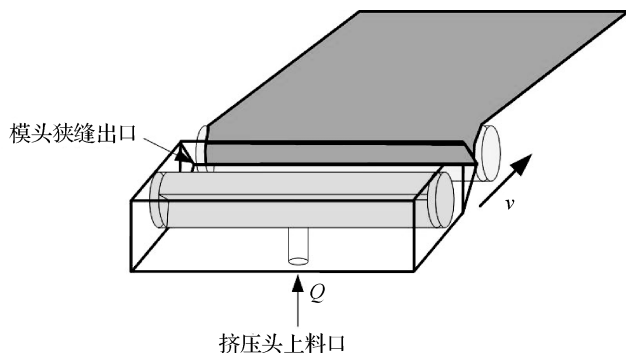


图 2-11 条缝挤压涂布工作原理示意图

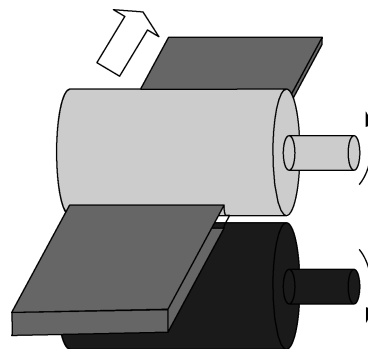


图 2-12 辊压过程的原理示意图

2. 电芯装配

(1) 叠片/卷绕。电芯有叠片和卷绕两种不同的工艺，采用叠片机或卷绕机将正、负极片和隔膜制成电芯的过程是电池生产过程的关键工序。

叠片（图 2-13）是通过手工或夹具将正极极片、隔膜、负极极片规则地层叠在一起，之后将多个极耳一起焊接成为裸电芯。

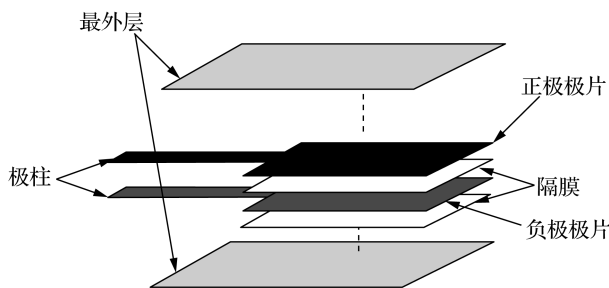


图 2-13 叠片式电芯的示意图

卷绕是将裁剪好的正、负极极片、隔膜先按图 2-14 (a) 所示的顺序叠放，然后按照卷绕的方式形成卷绕体，切断处粘贴终止胶带做成裸电芯，如图 2-14 (b) 所示。

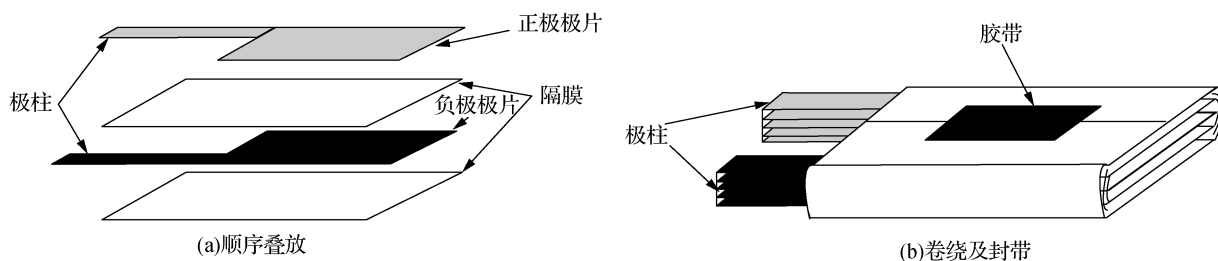


图 2-14 卷绕式电芯示意图

卷绕与叠片各有优缺点，这两种工艺支撑的电芯在电池内阻、电池寿命、电芯内部受力情况等方面的对比见表 2-2。

表 2-2 卷绕式电芯和叠片式电芯的性能对比

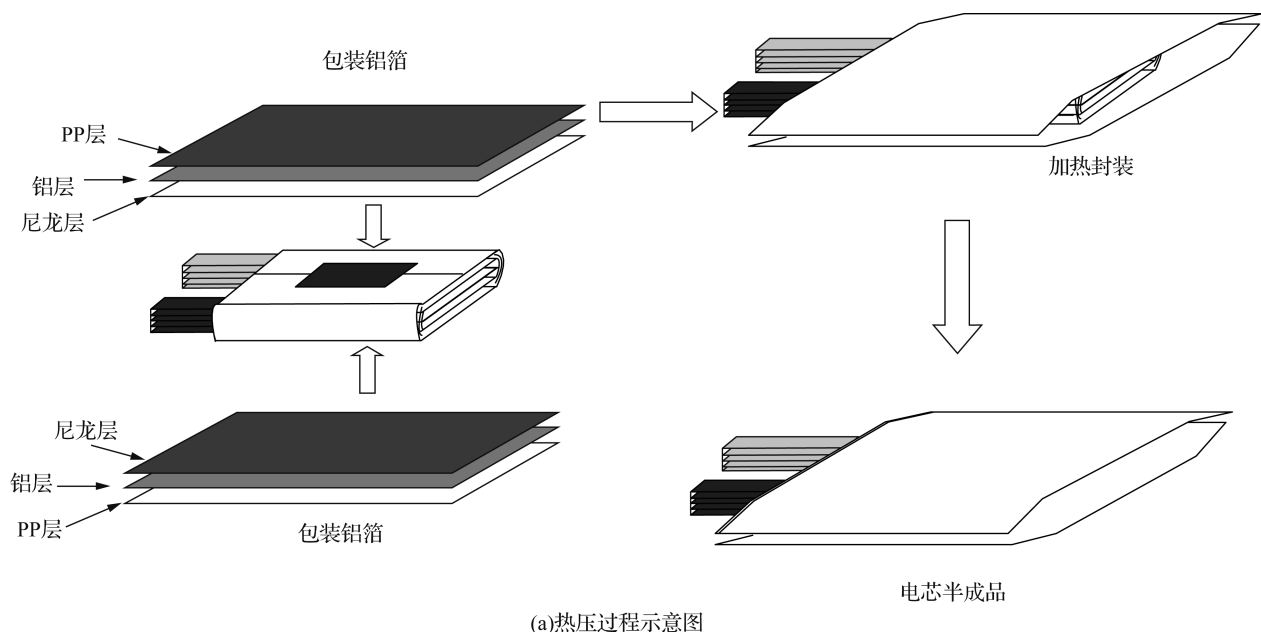
性能	卷绕式电芯	叠片式电芯
电池内阻	卷绕式的电芯通常是单一极耳，内阻较高。在充放电循环产生的热量较高，电池容量衰减较快	叠片式电芯采用多极耳式进行组合，大大降低了其内阻。在充放电循环产生的热量较低，电池容量衰减较慢
电池寿命	由于极片与隔膜之间只有单方向的热传递方式，就导致温度梯度分布现象比较严重，出现内部高温、外部低温的现象。温度分布不均将会导致高温位置活性物质率先失去活性，不能进行脱嵌锂离子的功能，长期循环使用将影响电池性能	由于叠片式本身的结构特性，使得其内部温度分布较为均匀
电芯内部受力情况	卷绕式电芯的边缘处是应力集中所在，极片弯折处更易出现微短路、电击穿以及析锂的现象。应力集中点是电池失活的首要位置，这也是卷绕式电池的循环寿命降低的原因之一	电芯极片隔膜之间受力面积一致，无明显应力集中点，电池在使用过程中也不会出现某个部位急剧破坏
电池倍率性能	单一极耳导致倍率性能略差	相当于多极片进行并联，更易于短时间内大电流的充放，利于电池的倍率性能
电池容量密度	卷绕工艺使得两边为圆形且卷绕的最后两层隔膜占据了一定的厚度，电池容量密度较低	其内部空间利用较为充分，电池容量密度更高
极片制作复杂度	在电芯完成过程中，仅需开头和结尾两刀，工艺简单易操作，容易实现产业化，设备成本较低	在电芯完成过程中，每个极片都需要四刀，且要求极片质量（断面、毛刺等）保持高度的一致性，使得对极片精度要求高。相对而言，目前极片分切合格率低，设备成本高
电芯制作复杂度	操作比较简便，无论是半自动或全自动都可以快速完成	工艺复杂程度较高，人工操作费时费力，自动化则由于设备问题而难以产业化
质量控制程度	工艺较简单，易于实现质量控制及产品一致性	由于工艺步骤烦琐，较难达到很好的一致性
生产成本	较低	较高

综上所述，从理论上讲，卷绕电芯的内阻较高，不适合大电流充放电，倍率不如叠片电芯。但叠片电芯的工艺更复杂，极片焊接过程也较难操作，所花费的成本也比较高，产品一致性没有卷绕式电芯的产品一致性高。在生产过程中，需要根据自身的条件和电池要求来选择合适的工艺，进而确定极片分切和后面的焊接、组装等工艺。

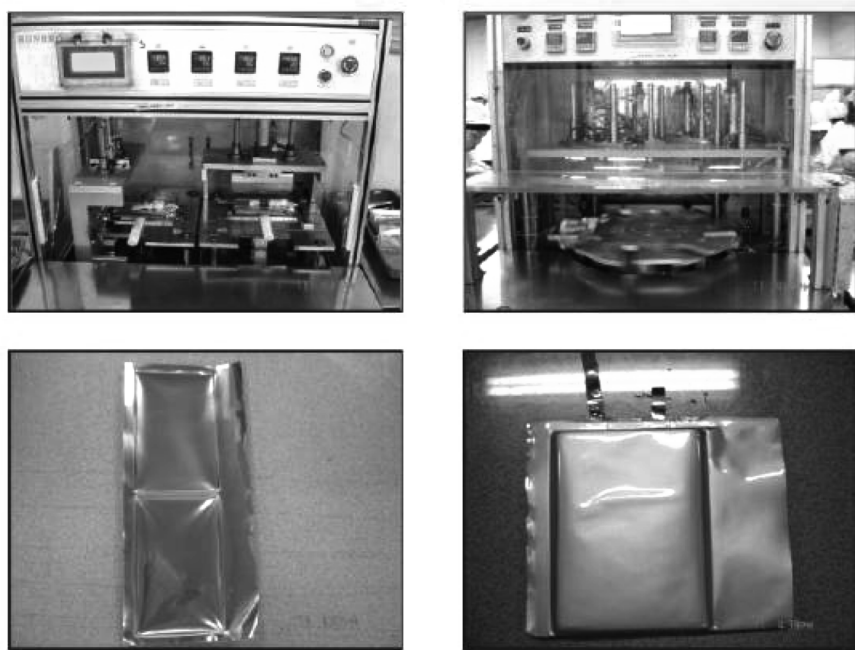
(2) 热压。热压是电芯注入电解液之前的压缩成型工艺。在裸电芯上包装铝箔，对顶部和侧边进行热封装（图 2-15），其中包装铝箔分为三层（尼龙层、铝层及 PP 层），封装时通过加热使 PP 熔化，同时加压（封头压合）使两层包装铝箔粘在一起，达到封装的目的。

值得注意的是，在热压过程中若压力过小将无法形成有效的压缩，压力过大将容易出现极片褶皱甚

至压断等问题，合适的压力才能减少正负极的接触距离，减少电子传导路径，增强电池的性能。



(a)热压过程示意图



(b)热压设备及热压成品

图 2-15 热压示意图

(3) 注液、封口。为了减少湿度对电池性能的影响，需要对制成的电芯通过真空干燥箱进行再次干燥除水 [图 2-16 (a)]。最后在手套箱中将电解液加入干燥后的电芯并进行静置，使电解液充分浸润极片，之后采用真空封口机将电芯完全封住。注液过程需要严格控制水分、氧气等环境条件在一定的范围内，一般需要在充满工业氮气的手套箱中进行操作。图 2-16 (b) 为电池注液过程。

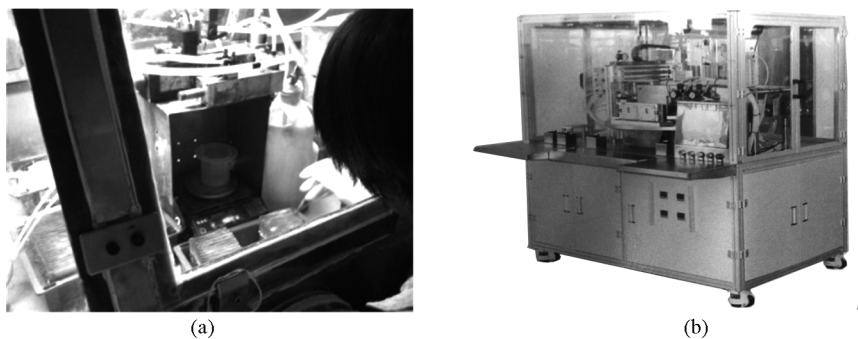


图 2-16 电池注液过程

3. 分容配组

分容配组的流程如图 2-17 所示，主要包括以下四道工序。

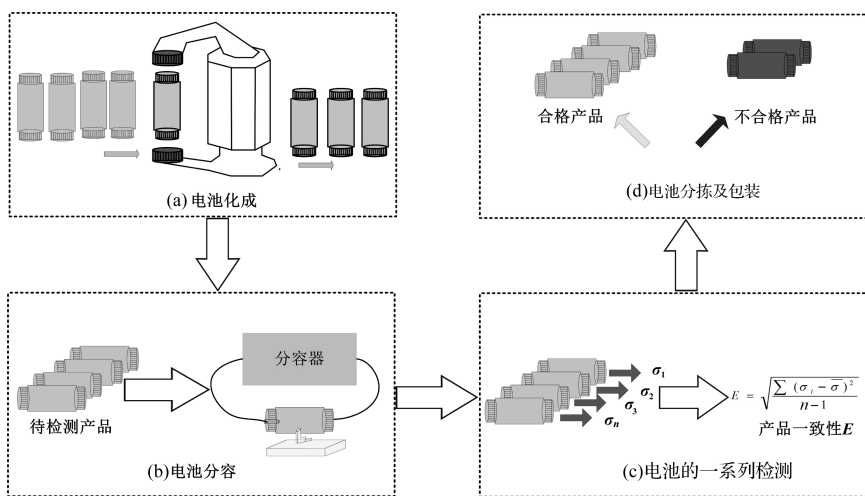


图 2-17 分容配组的流程

(1) 电池化成。在分容配组过程中，首先通过充放电方式将其内部正负极物质激活，同时在负极表面形成一层良好的钝化层，即固体电解质相界面（SEI 膜），这就是化成工艺，实际上就是对电池进行第一次充电的过程。SEI 膜的成分、厚度及质量直接影响电池的循环寿命、稳定性、自放电率、安全性等多项性能。化成时，锂离子是第一次嵌入负极活性物质中，在石墨碳负极表面形成 SEI 膜，在此过程中将有部分锂离子被消耗。不同的化成制度形成的 SEI 膜有所差别，对电池的性能也有很大的影响，因此选择合适的化成制度是电芯生产过程中的关键，也是目前国内外相关机构的研究热点。小电流化成制度有助于形成稳定的 SEI 膜，但会增大 SEI 膜的阻抗且耗时长。阶梯式和恒流式是两种典型的化成制度。

(2) 电池分容。化成后对电芯外形做最后加工，主要包括高温老化、释放产生的气体、切边和折边等工艺。形成稳定 SEI 膜后还需进行电池分选，通过分容测试，即检测电芯容量。电池的化成和分容通常集成在一个化成分容检测柜（图 2-18）中完成。

(3) 电池检测。经过化成和分容之后，对电芯进行一系列检测（包括外观、性能检测、气密性检测、耐久度检测等），并得出各个电芯的各项性能参数。

(4) 电池分拣及包装。根据步骤（3）获得的性能参数，分拣出合格产品，并对其进行包装；对于

不合格产品，将其置于不合格分类区，待进一步处理。

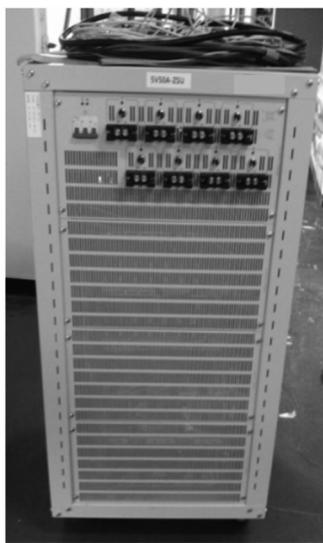


图 2-18 电池化成分容检测柜



2.2 单体电池安全保护及性能的影响因素

2.2.1 单体电池的相关安全参数

动力电池作为高能量的载体，若使用过程中出现短路，则可能导致能量非正常释放而引起燃烧，产生巨大的破坏力；同时车辆的运行和使用环境非常复杂，既有高温高湿的条件也有高原高寒的条件，既有平坦的路面也有崎岖不平的路面，既有干燥环境也有经常涉水的地方，使用环境对动力电池系统的安全运行构成了严峻的挑战。单体电池与安全性能相关的参数按照性质不同可分为两类：材料安全参数和电气安全参数。

1. 材料安全参数

单体电池内部的电化学反应过程是决定电池安全性的根本因素。电池在充放电过程中内部会发生化学变化，同时伴随吸热和放热，如果热量不能及时散发，将导致电池温度分布不均匀，热量持续不能散发将发生热失控，产生电解液泄漏、起火和燃烧等现象，因此温度是影响电池安全性能的重要因素。在电芯开发过程中，需要确保在各种运行条件和使用情况下电芯的材料和热稳定性。

电池的材料安全参数包括比热容、热导率等。比热容指单位质量的某种物质升高或下降单位温度所吸收或放出的热量，单位为 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，表示物体吸热或散热的能力。热导率表示材料热传导的能力大小，单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。单体电池内部各部件的热物理参数见表 2-3。

表 2-3 单体电池内部各部件的热物理参数值

	比热容/ ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	热导率/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
铜箔	385	398
铝箔	903	238
正极涂层	1 269	1.58
负极涂层	1 437	1.04
隔膜	1 978	0.33
正极极耳	903	238
负极极耳	385	398

2. 电气安全参数

电气安全是确保电池正常工作的关键条件。电池的电气安全参数主要包括电压、电流及温度等。锂电池电压过高将会带来一系列问题，如正极材料的晶体结构受到破坏而恶化循环寿命，加剧电解液在正极表面的氧化而引发热失控，负极析锂而引发短路和热失控等安全性问题。电压越高，危险性也越大，因此锂电池充电过程中要做好防过充保护措施。锂电池的电压也不能过低，电压过低时电芯内部部分材料会开始受到破坏，因此锂电池在放电过程中要设置放电电压下限。锂电池电流过大将会产生大量的热量，电芯内部隔膜会收缩或完全破坏，这将造成电池内部短路而产生更多热量的同时内部压力迅速升高，当电芯外壳无法承受时，电芯将会爆炸。

为确保电池能够安全地应用在新能源汽车上，国家制订了一系列标准，强制要求电池生产厂家所出厂的电池必须通过国家认可的第三方检测机构的一系列测试，并出具相应的强检报告，方可允许在新能源汽车上使用。根据国家标准《电动汽车用动力蓄电池安全要求及试验方法》(GB/T 31485—2015)、《电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法》(GB/T 31486—2015)，单体电池相关的电气安全参数和性能要求包括：

(1) 极性。电池端子极性应正确，并应有正负极的清晰标识。

(2) 20℃放电性能。电池充电后在(20±5)℃下1C电流放电，直到放电终止电压，放电量应不低于额定容量同时不应高于额定容量的110%。电池常温放电性能曲线如图2-19所示。

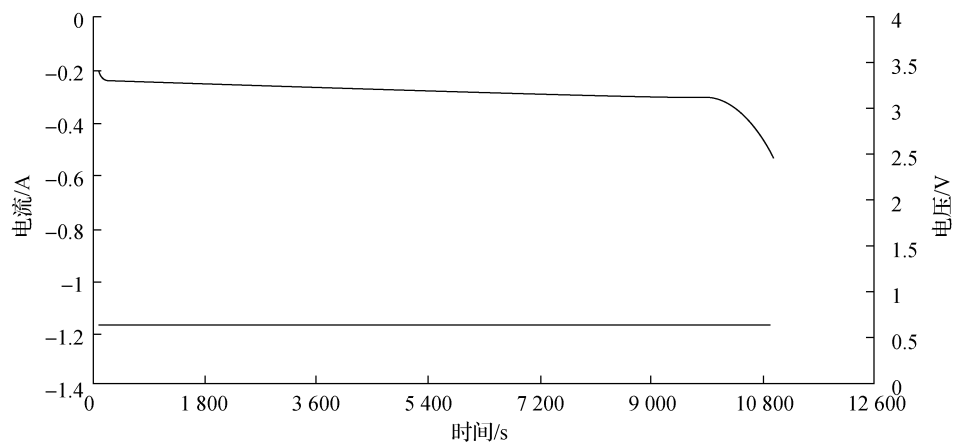


图 2-19 电池常温放电性能曲线

(3) $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 放电性能。电池充电后在 $(-20\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮存 20 h，然后在同一温度下，以 1C 电流放电，直到放电终止电压。放电量不低于额定容量的 70%。电池低温放电性能曲线如图 2-20 所示。

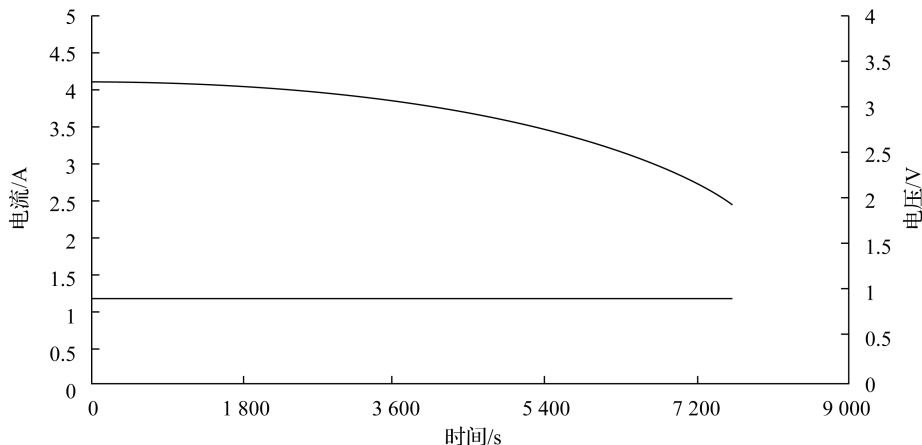


图 2-20 电池低温放电性能曲线

(4) $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 放电性能。电池充电后，在 $(55\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮存 5 h，然后在同一温度下，以 1C 电流放电，直到放电终止电压。放电量不低于额定容量的 95%。电池高温放电性能曲线如图 2-21 所示。

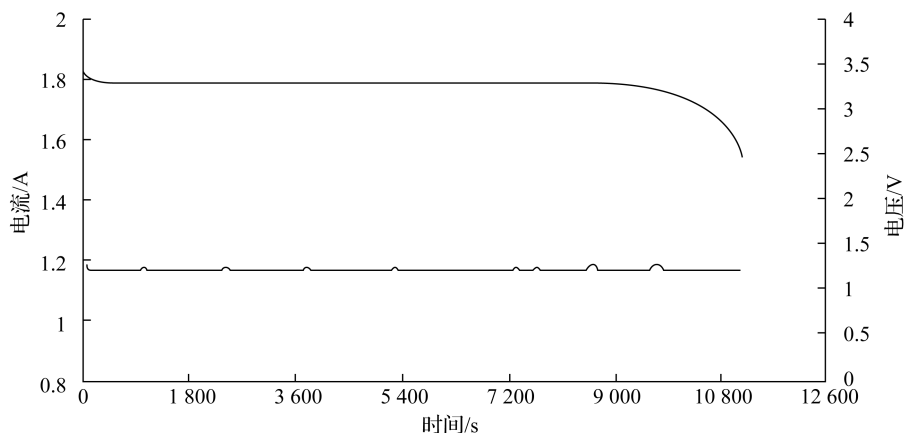


图 2-21 电池高温放电性能曲线参考图

(5) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 倍率放电性能。电池充电后，在 $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 4.5C 电流放电，直到放电终止电压。放电量不低于额定容量的 80%。电池倍率放电性能曲线如图 2-22 所示。

(6) 常温荷电保持及恢复能力。电池充电后在 $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮存 28 天；然后在同一温度下，以 1C 电流放电，直到放电终止电压；接着将其充满电，并在 $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下以 1C 电流放电，直到放电终止电压。保持能力不低于额定容量的 80%，恢复能力不低于额定容量的 90%。

(7) 高温荷电保持及恢复能力。电池充电后，在 $(55\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮存 7 天；然后在 $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下恢复 5 h，以 1C 电流放电，直到放电终止电压；再充电，然后在 $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 1C 电流放电，直到放电终止电压。保持能力不低于额定容量的 80%，恢复能力不低于额定容量的 90%。

(8) 过放电性能。电池充电后在 $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，以 1C 电流放电，直至电池电压为 0 V (图 2-23)。电池应不爆炸、不起火、不漏液。

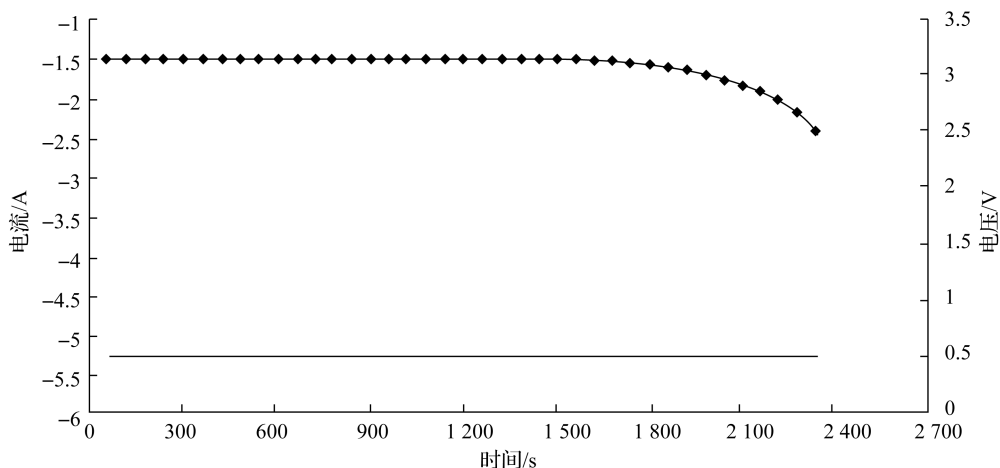


图 2-22 电池倍率放电性能曲线参考图

(9) 过充电性能。电池充电后，以 3C 电流充电，至电池电压达到 5 V 或充电时间达到 90 min（其中任意一个条件优先达到即可停止试验），电池应不爆炸、不起火（图 2-24）。



图 2-23 电池过放电试验参考图



图 2-24 电池过充电试验参考图

(10) 短路性能。充电后，将电池经外部短路 10 min，外部线路电阻应小于 5 mΩ，电池应不爆炸、不起火（图 2-25）。

(11) 跌落性能。电池充电后在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下，从 1.5 m 高度处自由跌落到厚度为 20 mm 的硬木地板上，每个面 1 次。电池应不爆炸、不起火、不漏液（图 2-26）。

(12) 加热性能。充电后，将电池置于 $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ 恒温箱内，并保温 120 min。电池应不爆炸、不起火（图 2-27）。

(13) 挤压性能。如图 2-28 所示，垂直于电池极板方向施压，保证挤压头面积不小于 20 m^2 ，将电池挤压直至电池壳体破裂或内部短路（电池电压变为 0 V）。在挤压过程中电池应不爆炸、不起火。

(14) 针刺性能。充电后，用直径范围为 3~8 mm 的耐高温钢针、以 10~40 mm/s 的速度从垂直于电池极板的方向贯穿（图 2-29），钢针停留在电池中。电池应不爆炸、不起火。

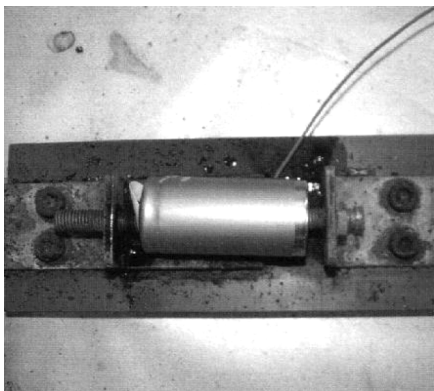


图 2-25 电池短路试验参考图



图 2-26 电池跌落试验参考图

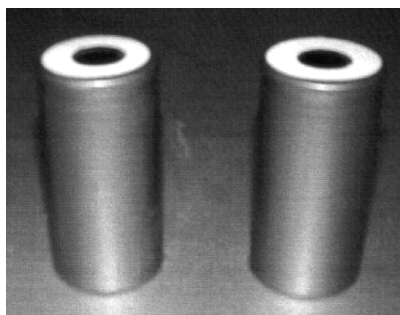


图 2-27 电池加热试验参考图

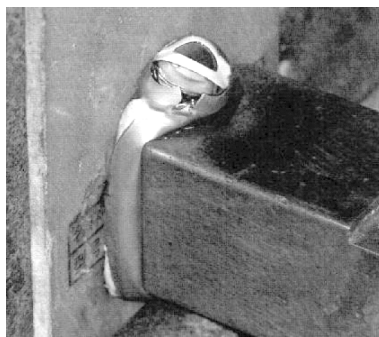


图 2-28 电池挤压试验参考图



图 2-29 电池针刺试验参考图

(15) 循环寿命。电池充满电后，在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下，以 $3C$ 电流放电，直至放电量达到额定容量的 80% 。再以 $3C$ 电流充电直至充电截止电压，然后再以充电截止电压恒压充电，直至电流降至 $0.1C$ ，静置 1h 。按此步骤连续重复 24 次，检查电池容量，如果电池容量小于额定容量的 80% ，终止试验，循环次数不少于 500 次（图 2-30）。

(16) 储存。电池充满后，在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下，以 $1C$ 电流放电 2h ，然后在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下储存 90 天；在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下，以 $1C$ 电流充电至充电截止电压，然后以充电截止电压恒压充电，直至电流降至 $0.1C$ ；以 $1C$ 电流放电，直到放电终止电压。放电量不低于额定容量的 95% 。

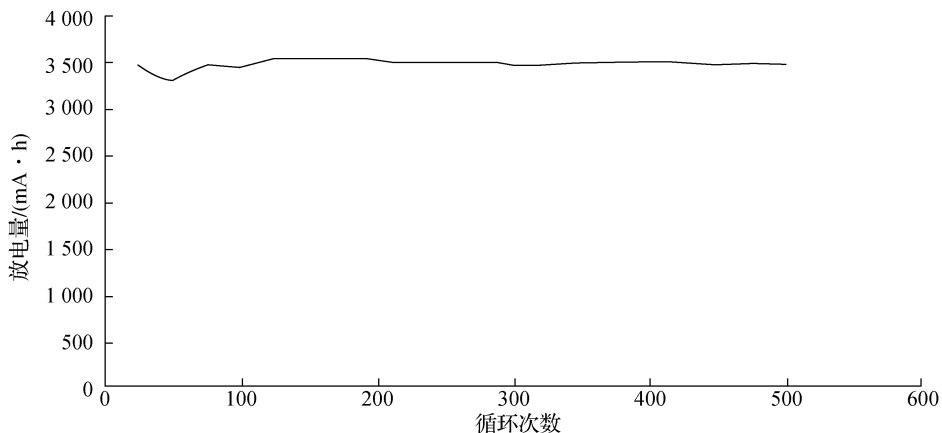


图 2-30 电池循环寿命试验参考曲线

▶▶ 2.2.2 单体电池安全性能的影响因素及解决方案 ▶▶ ▶

电池发生安全事故的原因有两类，由锂离子电池自身的质量问题引起，如极片之间混入金属微粒、极片活性物质的剥落等；由非正常使用（滥用）导致，包括过充电和过放电、碰撞、挤压、浸水、外部短路、着火、刺穿等情况。影响单体锂电池安全性能的因素可以归结为化学、电气、机械等方面。

提高电芯的安全性，首先需要选择更安全的内部材料或生产工艺，包括电解液、正负极材料等部分。提高电解液的安全性是提高电池安全性的有效方法。采用加入功能添加剂，如阻燃添加剂、防过充添加剂等安全保护添加剂，使用新型锂盐和新型溶剂，如羧酸酯、有机醚类等有机溶剂，这些方式都可提高电解液的安全性。正极材料与电解液的热化学反应产生热量较大，因此需要选择安全性能更高的正极材料或对其进行包覆修饰以提高正极材料的安全性。负极表面的 SEI 膜是锂电池中最容易发生热化学反应的地方，同样采用新型材料或通过修饰可提高 SEI 膜的热稳定性进而提高负极材料的安全性。

还可以通过采用各种安全保护措施提高电芯的安全性，如选择更高安全性的安全阀，当内部压力或温度达到一定值时，安全阀打开进行卸压，防止内部气体累积过多而发生形变最终导致壳体爆裂；加入热熔保险丝，当通过其的电流产生的热量或环境温度达到熔点，保险丝熔断；选择热关闭性能好的隔膜，在热失控之前封闭隔膜上的微孔等。

当电池温度或充电电压过高时，很容易引发放热反应。单体电池发生热失控将会产生电解液泄漏、起火和燃烧等现象，能量释放的过程是一个渐进的过程，这给电池管理系统和有关人员一定的预警和处置时间。由锂电池热失控而引发电动汽车起火事故屡见报道。在电芯开发过程中，需要确保在各种运行条件和使用情况下电芯的化学性能和热稳定性，因此动力电池必须配备热管理系统。

针对动力电池系统的其他组件，化学安全还涉及电解液或冷却液泄漏所导致的化学腐蚀（有可能造成内部短路）、盐雾腐蚀、阻燃和有害气体排放等。

为了避免电池过充电和过放电，锂电池必须配备专用的电池管理系统，以确保锂电池的安全使用。电池管理系统将使电池始终保持在最佳工作状态，最大限度地降低安全问题的发生概率并能延长电池寿命。电池管理系统一般要具备过充电保护、过放电保护、过电流保护及高低温保护等功能。电气安全不仅要做到被动防护，如接插件和线束的绝缘保护、等电位连接、短路防护、高低压隔离及良好的电磁兼容，还要在故障发生的初期就主动介入，做到故障的自诊断和主动防护，如绝缘状态监控、高压连接器互锁、接触阻抗检测等。

对于单体电池的壳体及内部的各种结构件，需要确保在各种机械载荷和外部因素作用下，电池的基本特性不发生较大的变化，这些因素包括 IP 防护、振动、碰撞、挤压、跌落、碎石冲击、重物锤击、翻滚、金属物穿刺、火烧等。



内容总结

(1) 动力电池系统主要由电芯、电池模组、电池箱体、电池管理系统、热管理系统、高低压接插件及线束、高压控制盒等部件组成。单体锂电池的生产过程有极片制作、电芯装配、分容配组三大步骤。极片制作包括配料、搅拌、拉浆、涂布（涂覆）、辊压、分切、制片、极耳成型等工序；电芯装配包括卷绕或叠片、电芯预封装、注入电解液等工序；分容配组包括电芯化成、分容检测等工序。

(2) 单体电池的安全参数包括材料安全参数（化学安全参数和热物理参数）和电气安全参数两类，其中化学安全参数主要指温度，热物理参数包括比热容、热导率等，电气安全参数包括电压和电流。单体电池的安全性能是受到化学、电气、机械等方面因素的影响，可以通过选择更安全的内部材料和部件、配备热管理系统及电池管理系统等措施提高安全性。



思考与练习

基本信息	姓名	班级	成绩
	学号	考核日期	

1. 哪些因素会导致锂电池产生热失控？
2. 单体锂电池中的隔膜主要起什么作用？
3. 单体锂电池生产的基本工艺流程有哪些？
4. 锂电池正负极材料的浆液是如何制作的？
5. 极片的间距是如何影响锂离子电池性能的？