

武汉市科技计划项目验收 执行情况报告

计划类别： 应用基础前沿专项

项目名称： 面向柔性显示器件高性能柔性电池关键材料及应用

项目编号： 2018010401011285

承担单位： 江汉大学 (公章)

项目负责人： 曹元成 联系电话： 13071258468

项目联系人： 张文静 联系电话： 027-84225407

执行期： 2018 年 7 月 至 2020 年 12 月

填报日期： 2020 年 12 月 26 日

武汉市科学技术局

二〇二〇年制

编写提纲

一、项目研究内容

以柔性显示器件为代表的新型显示产业是武汉重点打造的战略性新兴产业，与柔性显示器件相匹配的高性能柔性电池因而也得到越来越广泛的关注，市场潜力巨大。高性能电池特别是具有较强的机械稳定性和电化学稳定性、高容量、安全型柔性电池是未来柔性移动显示终端的关键组件之一。针对未来柔性显示领域对柔性电池的迫切需求，本项目拟开展以碳纳米管作为柔性支撑体，MgO 为“碳笼”原位生长位点和离子交换前体，通过 CVD 技术得到具有高交联结构的柔性电极，该柔性电极借助表面原位碳层与柔性碳纳米管形成紧密交联结构，有效解决活性材料与柔性支撑体界面稳定性问题，从而有效提升柔性电极的机械稳定性和电化学稳定性；为了制备安全型高容量柔性电池，采用聚合物固态电解质，拟通过原位和非原位聚合技术探究柔性电极-聚合物固体电解质界面复合方式对电池性能的影响，重点研究电极在不同弯曲程度和次数下的电化学稳定性；最后，筛选出性能优异的柔性电极作为负极，与商业正极材料组装成柔性固态锂电池，对其进行电化学、稳定性和安全性能测试，期望通过选用主流柔性显示屏与该柔性电池进行系统整合，以期在未来柔性移动显示终端提出有效的一体化电源解决方案。

二、项目总结报告（总结项目立项以来所开展的工作，采取的技术路线、解决的关键技术、主要创新点、推广应用前景、存在的问题等）

（一）总结项目立项以来所开展的工作，采取的技术路线

本项目围绕以上研究内容，重点开展了自支撑柔性电极的制备与表征、聚合物固体电解质的制备及柔性电极-固体电解质复合材料制备、柔性电极性能测试和评价等方面的研究工作。采取的技术路线如图 1 所示。开展的具体研究工作和

研究结果总结如下。

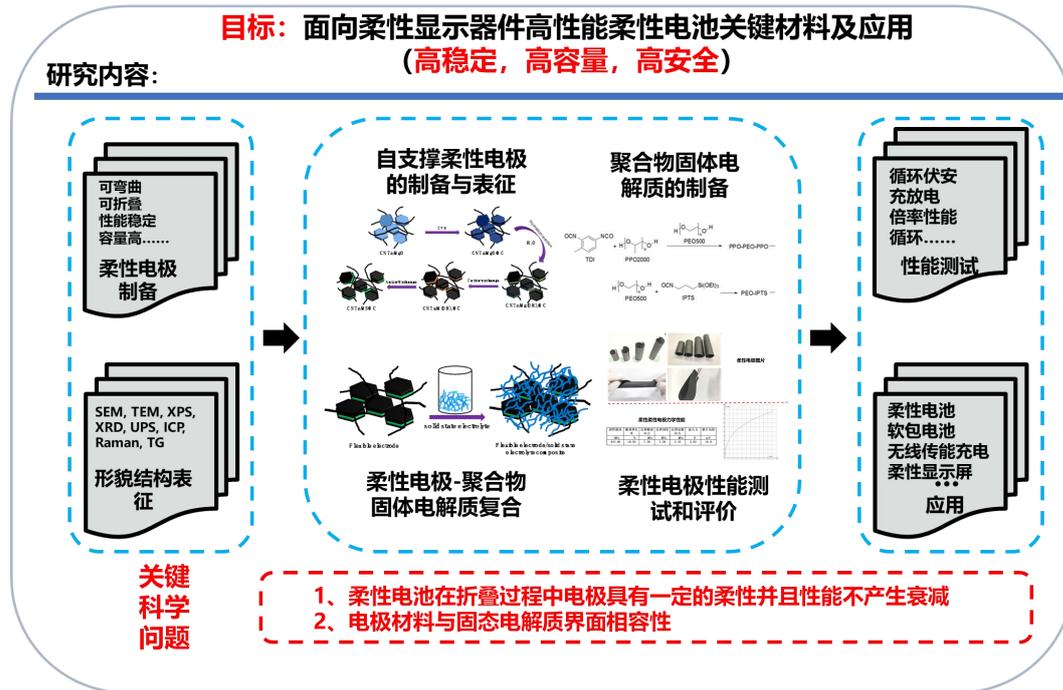


图 1 技术路线图

1、自支撑柔性电极的制备与表征

柔性自支撑 CNTs/MgO@C 离子交换前体的制备,其合成示意图如图 2 所示,具体如下。首先采用沉淀方法制备 MgO 片,然后与碳纳米管按一定比例分散在氮甲基吡咯烷酮溶液中,通过抽滤得到 CNTs/MgO 膜材料;接着将其放入管式炉中,以氰胺为碳源,在 MgO 表面进行化学气相沉积,由于 MgO 表面包覆碳层可以使得其与柔性支撑体 CNTs 形成紧密的结构,从而最终得到机械强度更好的自支撑结构 CNTs/MgO@C 柔性膜。我们认为这种方法是可行,因为类似结构在 *J. Mater. Chem. A* (2014, 2, 10869-10875) 已有报道。接着根据溶度积规则,将 CNTs/MgO@C 膜放入需要交换的金属盐溶液中,如 Ni(NO₃)₂、Co(NO₃)₂ 等,选择合适的温度、浓度和交换时间让其进行金属阳离子交换,得到 CNTs/M(OH)₂@C。接着通过选择硫化物,如 Na₂S 溶液,将得到 CNTs/M(OH)₂@C 可以进行阴离子交换,转变成自支撑结构的 CNTs/MS@C 电极。通过 SEM、TEM 和 XRD 来判断形貌和物相的变化,利用 Raman 光谱来研究材料的石墨化程度。

为了探究交换过程具体变化情况，可以利用 XRD 来检测不同交换时间产物的物相变化；此外，由于在交换过程中 Mg^{2+} 被交换出来，通过 ICP 检测产物中 Mg^{2+} 残留含量来研究交换过程是否完全，最终提出材料制备的机理。将得到柔性电极利用万能材料测试机，来检测其机械强度；利用氮气吸脱附来研究材料的比表面积和孔径分布，利用热重 (TG) 来检测金属的含量。

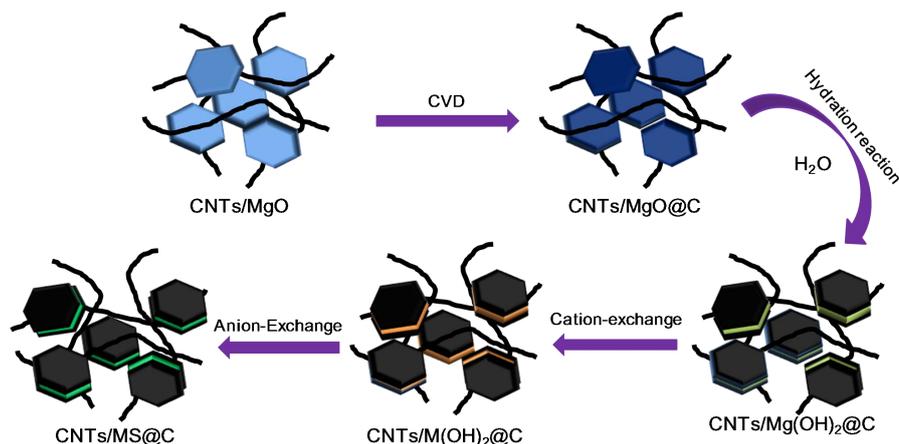


图 2 离子交换技术制备自支撑 CNTs/MOS@C 柔性电极材料示意图

2、聚合物固体电解质的制备及柔性电极-固体电解质复合材料制备

结合项目团队成员现在研究内容，采用 PEO-PPO 基凝胶聚合物固态电解质，具体合成方法参考 *Nature Communication* (6:10101, 2015)，但是做了一些改进，其合成示意图如图 3 所示。通过引入 TDI 和表面修饰 OH 的 SiO_2 纳米颗粒，与短链 PEO-500 和 PPO-2000 在氯仿溶液中进行原位预聚合，得到聚合物固体电解质前驱溶液，待用；也可以将其倒入聚四氟乙烯模具中，通过加热干燥逐渐固化形成聚合物膜。

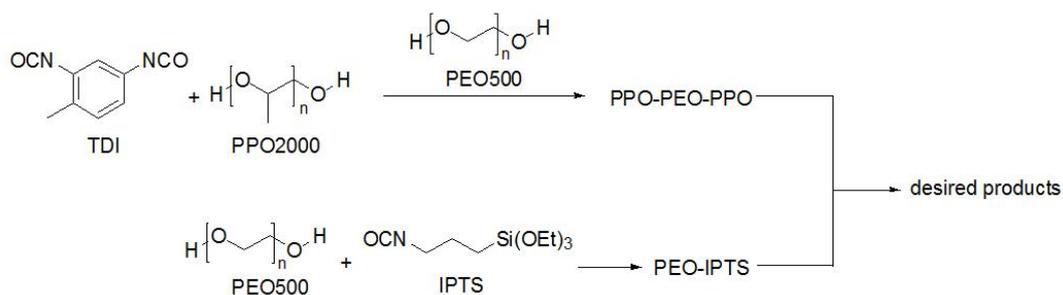


图 3 聚合物固体电解质合成反应机理

传统聚合物固体电解质大多是先制成聚合物膜，然后再与电极片进行组装成三明治结构，这会造成电极与电解质接触不充分，导致界面电阻增大，从而降低电池的性能。拟通过原位聚合技术增强聚合物电解质与柔性电极材料之间的固-固界面，提升界面的兼容性和稳定性，其过程如图 4 所示。将前期得到的柔性电极放入聚四氟乙烯模具中，加入一定量上述得到的聚合物固体电解质前驱溶液，在一定温度下蒸发溶剂使得前驱液中的预聚体扩散到柔性电极内部并进行聚合，干燥后的柔性电极-聚合物固体电解质复合材料再浸泡在一定量锂盐溶液中。通过改变聚合物预聚体的含量，探讨不同浓度聚合物固体电解质对复合后柔性电极的厚度影响，优化出最佳比例和工艺技术；将得到的复合材料进行断面，利用 SEM 观察聚合物电解质与柔性电极的复合程度。

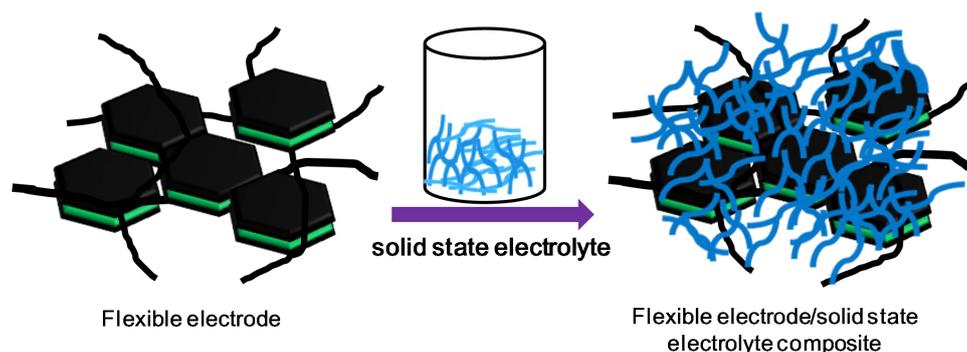


图 4 自支撑柔性电极-聚合物固体电解质复合示意图

3、柔性电极性能测试和评价

借助铝塑封装技术，将前面得到的柔性电极-聚合物固体电解质与锂片组装成柔性电池，测试在不同弯曲条件下的电化学性能；同时为了对比聚合物固体电解质与柔性电极不同复合方式对电化学性能影响，将得到的柔性电极、凝胶聚合物固体电解质膜和锂片组成三明治结构，测试其电化学性能。其机械稳定性测试和评价，可以对电池进行不同弯曲程度和弯曲次数下的电化学性能测试，如循环伏安测试，根据电化学数据来判段电极的机械稳定性。在恒定电流密度下对电极进行充放电测试，探究电极的电化学稳定性；在循环反应后，将柔性电池拆开，利用 SEM 和 TEM 分析电极结构变化，进一步加深对电极材料稳定性认识。为

了评价得到柔性电极的实际应用情况,筛选出一种柔性电极作为负极(例如 Co_3S_4 等), 选用商业化的正极材料(如 LiCoO_4), 组装成全电池, 测试其电化学性能, 通过进行穿刺和剪切测试来检测其安全性能; 试用某柔性 5 寸显示屏, 用柔性电池进行一体化整合, 提出能源供给整体解决方案。

本项目采用抽滤以及化学气相沉积处理, 得到自支撑柔性电极, 扩展电极材料在柔性电池中应用范围。采用 PEO-PPO 基凝胶聚合物固态电解质引入 TDI 和表面修饰 OH 的 SiO_2 纳米颗粒, 与短链 PEO-500 和 PPO-2000 在氯仿溶液中进行原位预聚合, 通过原位聚合技术增强聚合物电解质与柔性电极材料之间的固-固界面, 提升界面的兼容性和稳定性。最终结合软包电池的制备技术得到柔性软包电池。该项目的实施能有效解决基于柔性电极材料在实际应用中的关键障碍, 从而柔性电池在柔性器件中的实际应用。

4、项目取得的技术成果

(1) 申请人指导研究生在柔性负极的制备与应用方面有很好的前期积累。例如柔性负极目前采用 8 微米铜箔做集流体, 采用电池用水系粘结剂粘结和纤维添加物, 配置出的浆料流动性较好, 未出现果冻和颗粒沉降现象, $500\mu\text{m}$ 涂布器制备的膜片表面均匀, 且在 180° 弯折不开裂不掉粉, 并且具备良好的粘附性, 如下图 5 所示。



图5 柔性负极

(2) 申请人指导研究生在柔性正极的制备与应用方面有很好的前期积累, 例如: 柔性正极目前采用 $12\mu\text{m}$ 涂碳铝箔做集流体, 以 CNT 作为正极柔性改善

添加剂，采用三元油系体系配置浆料，目前制备的浆料流动性良好，制备的膜片外观无颗粒，表面均匀，如图6-7所示。



图 6 柔性正极

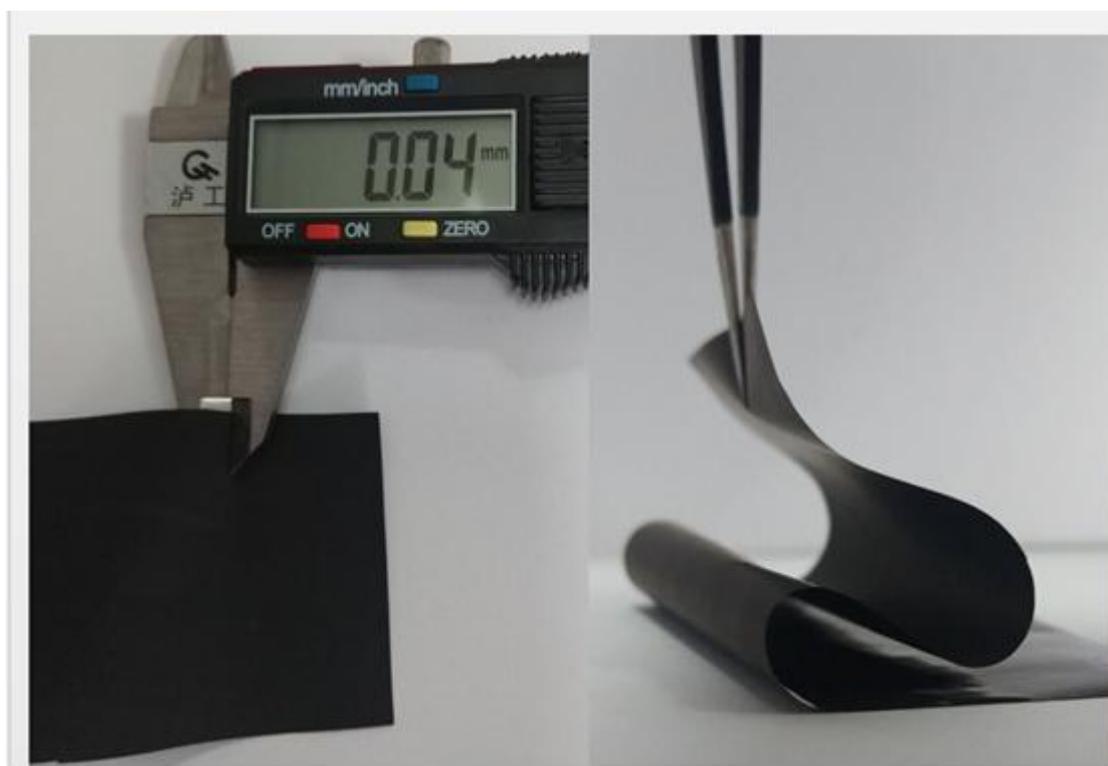


图 7 柔性 CNT 基正极材料

(3) 申请人研究了基于抽滤法制备自支持柔性电极技术，例如：以碳材料作为柔性支撑体，MgO为“碳笼”模板和离子交换前体，先通过化学气相沉积技术在MgO表面包覆碳得到柔性CNTs/MgO@C，接着采用离子交换技术将MgO转变成过渡金属硫化物，最终得到具有自支撑结构的碳包覆过渡金属硫化

物柔性电极材料。由于过渡金属硫化物与碳骨架结构形成一个整体，所以电极具有柔性；电极活性物质包埋在与碳纳米管支撑体紧密接触的“碳笼”中，避免金属化合物直接与柔性碳纳米管支撑体接触产生的弱界面稳定问题，从而提升电极的机械稳定性；同时对活性物质进行碳包覆，活性物质稳定在“碳笼”中，避免电极活性物质在充放电过程中粉化从集流体上脱落，从而提升柔性电极的电化学稳定性。该技术可以为柔性自支撑电极材料的制备提供另外一个途径，这些制备方法的掌握为完成该项目提供了技术保障（图8）。

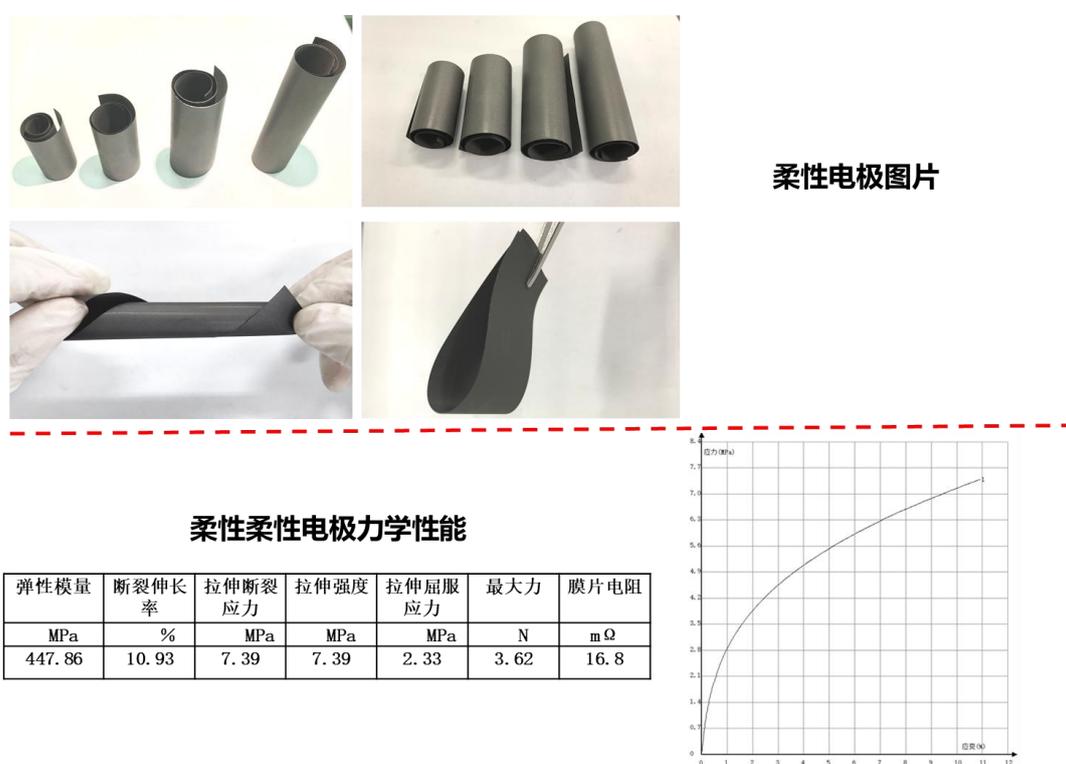
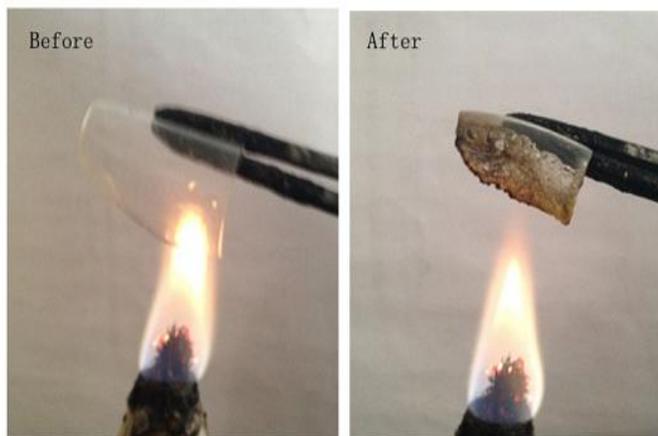
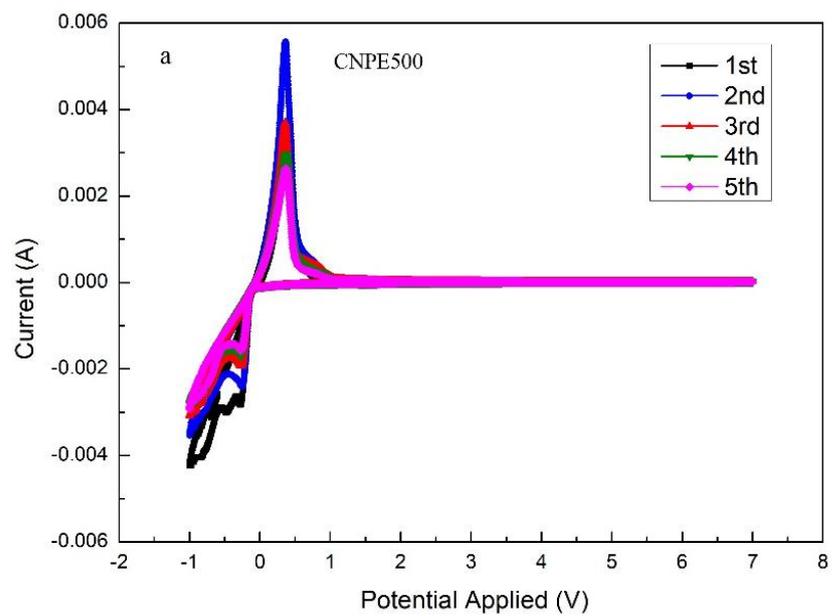


图 8 柔性电极力学性能

(4) 申请人当前开发的固态电解质膜具备良好的耐弯折，柔韧性和良好的电性能，如图 9。当前已经能够满足柔性电池的需求。结合项目团队成员现在研究内容，采用 PEO-PPO 基凝胶聚合物固态电解质，通过引入 TDI 和表面修饰 OH 的 SiO₂ 纳米颗粒，与短链 PEO-500 和 PPO-2000 在氯仿溶液中进行原位预聚合，得到聚合物固体电解质前驱溶液。通过喷涂技术将固态电解质前驱体涂在电池正负极表面，加热烘干得到均匀的固态电解质膜，并且具有较好的固固界面接

触性。实现了弯曲 10000 次关键指标，实现了固态电解质离子导电率 10^{-3} S/cm，耐化学稳定窗口 >5.5V。



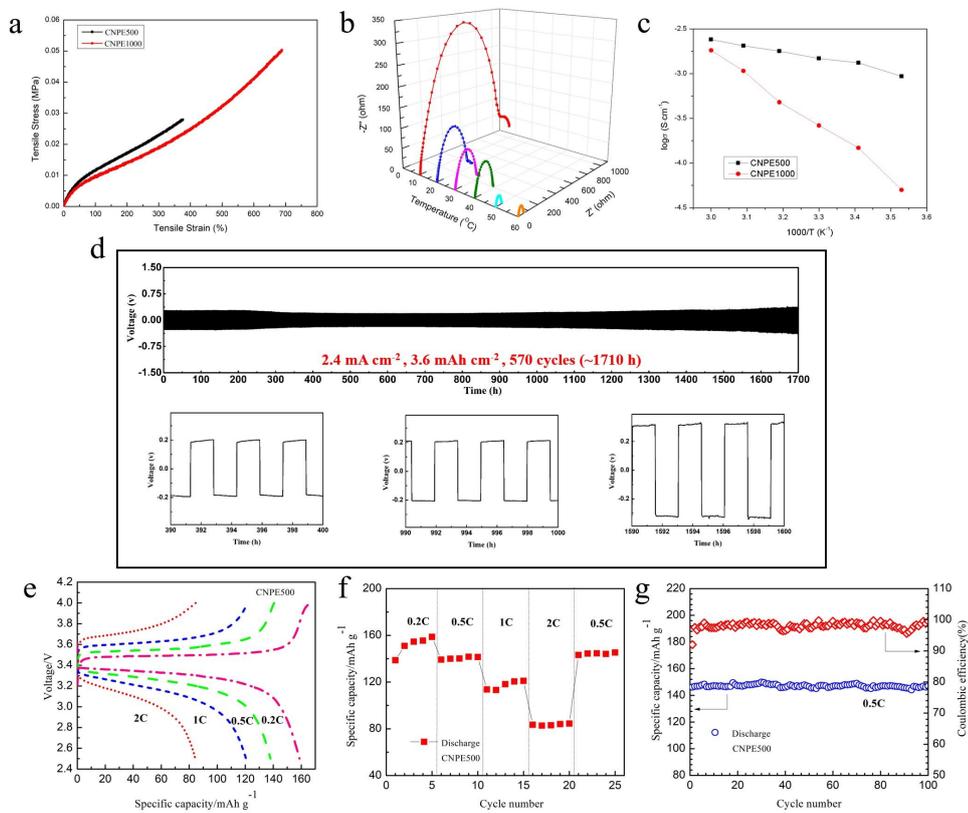


图9 固态电解质性能及柔性电池电化学性能

(5) 申请人所在的团队研究柔性锂离子封装测试进行了多种技术对比，例如：封装衬底材料来料的验证，验证不同厂家的封装衬底材料的密封性能；柔性封装测试流程设计，测试软包电池热膨胀性能，极片剥离力，耐电解液测试，温热老化测试，水分渗透测试，气密性测试，柔性测试等（图10，脱密）。

(6) 申请人研究基于柔性测试仪对材料的柔性进行测试（图11）。结果表明，在90°弯曲的测试条件下，电池可以弯曲10000次以上。在180°折叠，电池没有明显的折痕，满足当前的柔性显示屏的应用需求。

弯曲测试示意图

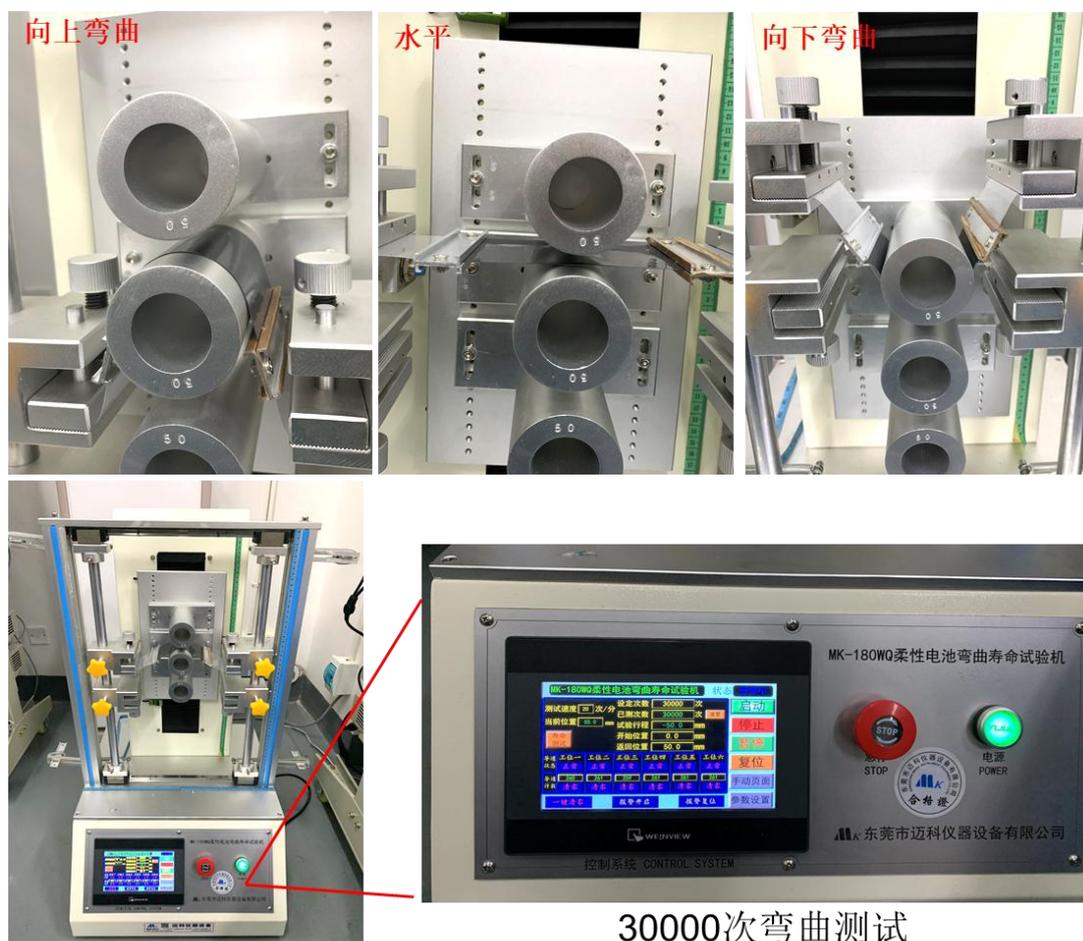


图 11 柔性电池性能测试

(7) 申请人基于柔性电池的研究，制备出一种阻燃型耐高压聚合物固体电解质，电化学稳定窗口 $>6.5V$ ，离子电导率 $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ s/cm}$ 。在室温条件下，电

压窗口为-1.0 至 7.0 V 的扫描范围内，通过 Li/CNPE/不锈钢（SS）电池的循环伏安（CV）实验研究了 CNPE 的电化学稳定性。如图 12 a-d 所示，在大约-0.5 V 处观察到的显着阴极峰对应于 Li^+ 离子在 SS 电极上的镀覆，而在 0.4 V 左右的阳极峰则表明锂的剥离。CNPE500 与 Li^+/Li 相比具有至少 6.5 V 的大稳定性窗口，而 CNPE1000 在经过 5 次扫描后与 Li^+/Li 相比产生了高达 7.0 V 的阳极稳定性范围。CNPEs 增强的电化学稳定性可归因于聚合物链的改进稳定性和液体电解质中稳定的自发形成的 SEI。从理论上讲，由于相邻的吸电子氨基甲酸酯基团和接枝的二氧化硅纳米粒子，聚醚基团对电化学氧化可能更稳定。

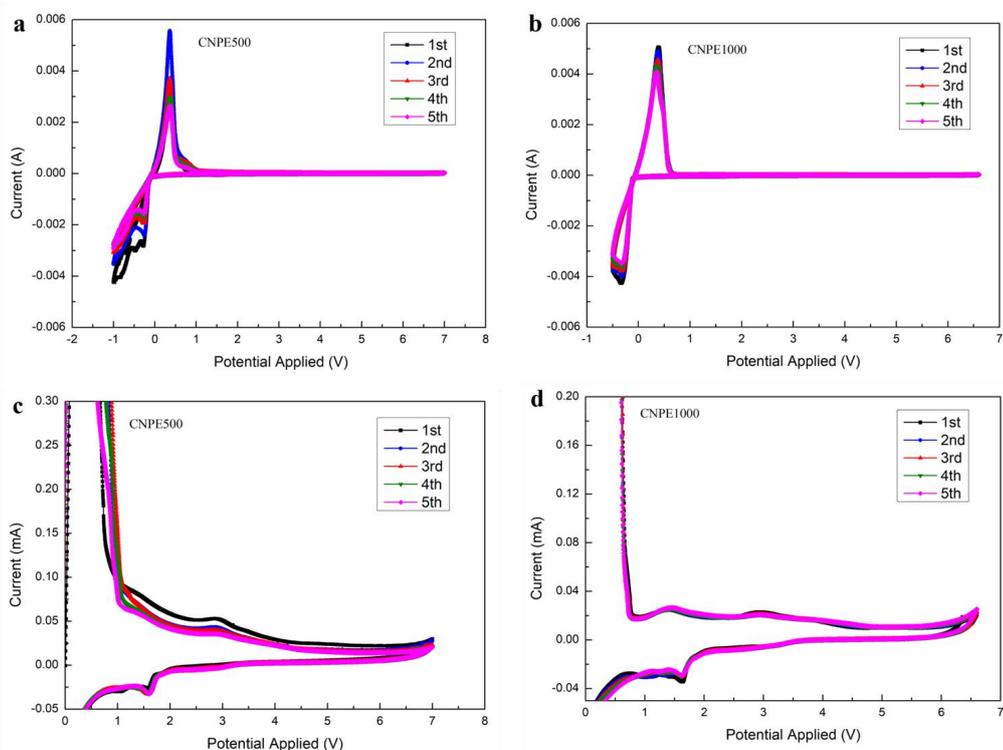


图 12 高压电解质电化学性能

(8) 申请人在前期研究了柔性电池一体化方案及封装膜制备工艺优化：热辊压工艺条件（其他工艺条件如下：1.CPP电晕处理,85-90/4,双面，多次处理；2.将固化剂加入到干法内层胶中（1.3:100）；3.将干法内层胶覆涂在PI/Cu上，控制湿膜厚度在 $35\mu\text{m}$ （刮涂器），经 $120^\circ\text{C}/3\text{min}$ 干燥，热辊压，测试热辊压合工艺条件，最终 100°C A4纸夹层固定，控制进膜张力，辊压贴合，140直接

过辊复合多次（避免高温pp形变和低温胶水未融化）；4.将覆合过的PI/Cu/ CPP
熟化80 °C，3天。）最终可以制备得到一体化的柔性电池（图13）。



图13 一体化柔性电池样机

(9) 内容脱密。



图14 固态电池样机能量密度测试报告(>400Wh/kg)

(10) 长寿命固态电池体系配合新型聚合物固态电解质的稳定性, 大大延长了器件整体的循环寿命。常规的测试手段从单批电芯组装到循环完成是一个非常耗时的过程。以 5000 次充放电和 0.5C 的倍率为例, 仅单个电池寿命测量的实验就需要 2.5 年以上。整个实验周期还包括材料选择和参数优化, 工程量将非常庞大。

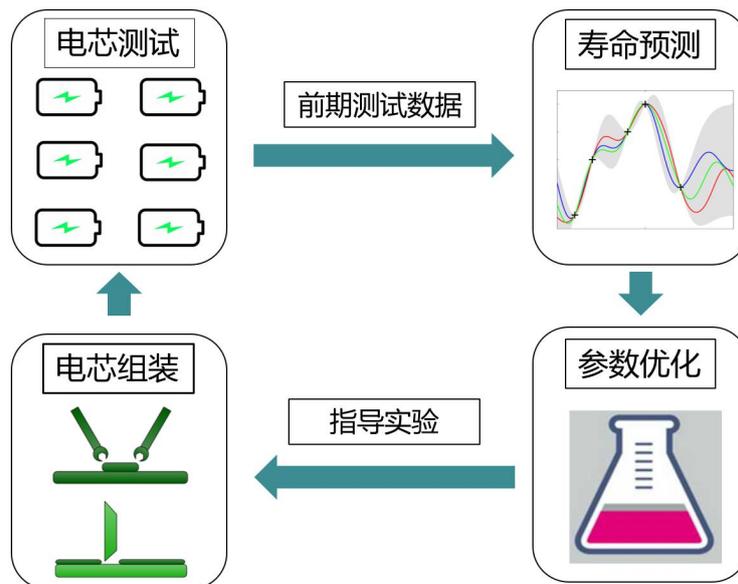


图 15 机器学习加速测试流程示意图

但如果在电池寿命测试中引入机器学习的方法，如图 15 所示，利用弹性网络算法挖掘电芯前 100 圈的衰减规律，则可以大大缩短实验周期。该算法模型仅需要两个月制备定量样品（数百个电芯），整理数据，提取首次容量，电芯内阻，服役温度，电流大小，前 100 圈放电容量和循环圈数拟合后的斜率和截距等电池特征，整理代码训练模型，利用正则化方法限制模型复杂度，不断输出电池样本进行调参。模型的训练过程结束后，只需要前 100 圈测试结果便可以在数秒内预测单个电芯寿命，百分误差在 9% 以内。再以预测的结果来指导整个电池工程的海量参数的设计。这样可以大大减少所需实验的数量和持续时间，从而将整个流程缩减到半年以内（图 15、16）。经过实验及 AI 算法预测，样机循环次数 >5000 次 @0.5C，容量保持率 >90%。该结果跟第三方测试结果基本吻合，从而证明了基于 AI 的评测方法的有效性。



图 16 AI 辅助循环寿命预测软件

(11) 申请人指导研究生在柔性电池在无线传能的应用方面有很好的前期积累，选用升降压型控制器来实现电压的调节和控制，选用电流控制器来实现

电流的调节和控制。在对锂电池充电时，电池管理芯片检测充电的电流电压与设定的比较器进行比较，并控制 DC-DC 转换器以最贴近最佳曲线充电（图 17）。柔性电池的研究有利于无线传能技术的进一步发展。



图 17 柔性电池无线充电技术

(12) 项目在执行过程中，针对超薄电池在充电接口上存在挑战。由于充电口厚度远远超出电池的厚度，在传统接口条件下无法完成充电。项目团队通过设计制备柔性感应无线充电器件，并完成柔性充电样机的制备，性能满足第六代 5 寸柔性显示屏对电池柔性及功率需求，完成了无线充电的解决方案，如图 18 所示。

脱密

图 18 柔性电池-无线充电系统与柔性显示屏一体化解决方案

（二）解决的关键技术与主要创新点

1、解决的关键技术

关键科学问题 1: 柔性电池在折叠过程中电极具有一定的柔性并且性能不产生衰减

从电极稳定性角度考虑，采用自支撑的电极结构模式，使得活性物质填充在碳支撑体紧密结合的“碳笼”中，避免在强的外力作用下，活性物质脱落问题出现，提升柔性电极的机械稳定性；另外，借助碳包覆工艺，活性物质稳定在“碳笼”中，避免电极活性物质在充放电过程中粉化从集流体上脱落，从而提升柔性电极的电化学稳定性。该柔性电极一石二鸟，既解决了机械稳定性，同时也解决了电化学稳定性问题。在制备方法上，巧妙借助 MgO 为离子交换前体，先通过前期高温碳包覆，然后选择合适离子进行交换，制备出碳包覆过渡金属硫化物结构。该方法避免了传统高温碳化过程中过渡金属硫化物发生相变的问题。

关键科学问题 2：电极材料与固态电解质界面相容性解决的另一个关键科学问题

聚合物电解质可以在很大程度上缓解甚至解决二次电池所面临的电解液泄漏、挥发、燃烧和爆炸等潜在安全问题。但传统聚合物电解质成型工艺繁琐冗赘，且制备过程中存在溶剂挥发污染环境等缺点，原位生成聚合物电解质除可以有效解决上述安全问题外，还可以在二次电池内部形成稳定的固体电解质界面，实现界面融合，减少固/固界面阻抗，有利于提高二次电池循环寿命，具有很好的应用前景。

2、创新点

本项目特色在于面向新型柔性显示器件对柔性能源存储技术的重大需求，针对柔性锂电池在弯曲折叠工况下电极材料及界面承受之变应力特征，采用高弹性聚合物固体电解质在原位固化工艺下一体化集成柔性碳基正、负电极材料，克服了固态电池界面阻抗过高、弯曲折叠易失效等关键问题，还避免液态电解液的使用，不但实现柔性电池的安全性和高能量密度，还对后续器件的封装，特别是跟柔性显示器件、无线充电模块的集成都有很好的帮助。

本项目创新之处在于：

- (1) **技术创新**：通过发展聚合物固体电解质结合高负载碳包覆柔性

正极和高稳定锂负极的一体化制备有效方法，研究新型柔性电极在抗机械疲劳和电化学稳定等方面的特性，在弯曲折叠条件下原位研究柔性电极的物理/化学稳定性及其构效关系。

(2) **理论上创新**：通过探索变应力下柔性电池界面问题的新原理新方法，研究分子以上层次材料失效的产生、传递机制，及性能优化调控的新途径，实现变应力条件下柔性储能器件电化学界面在分子尺度上的失效机理与调控新途径。

(三) 推广应用前景、存在的问题

柔性电池相比传统刚性电池具有较大优势，因此目前市场对于柔性电池的呼声较高，随着手机、可穿戴设备等消费类电子产品逐渐向柔性化方向发展，市场对于柔性电池的需求逐渐增加。此外，柔性电池还可以使电子产品向更加美观、更加符合人体结构的方向发展，因此有着广阔的市场需求。在以电力为驱动源的可植入医疗器械市场，柔性电池对于传统电池的可替代性较大，在植入式心脏起搏器、植入式神经刺激器、植入式机电心脏循环系统、植入式人工耳蜗等方面，柔性电池的特性使其更容易搭配适应人体结构要求的器械。此外，柔性电池的应用场景还将随着其技术的发展逐渐增多，有些应用可能是目前无法预计的，但在未来有着良好发展前景。

综合来看，柔性电池的市场广阔，目前已有众多可替代场景，未来发展不可估量。但这一切都需要柔性电池技术的进一步发展。

存在问题：

(1) 如今的锂离子电池材料本身不具备柔性，如何让电池材料适应这种应用场景。

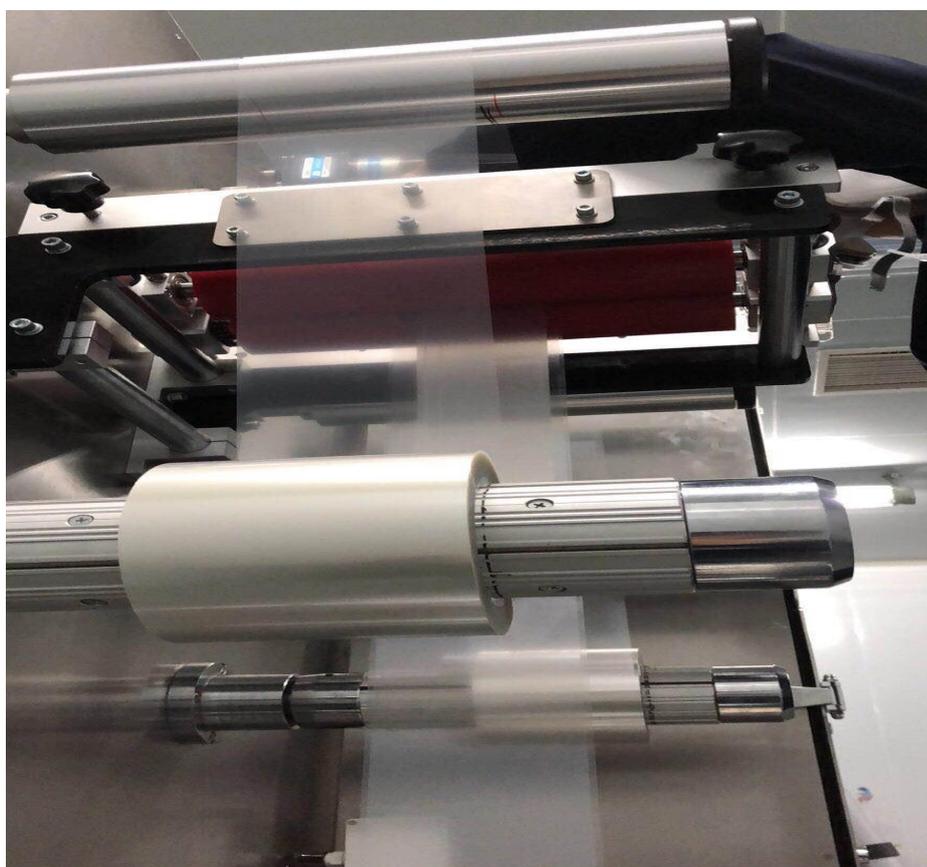
(2) 电池被弯曲/扭曲时，如何维持电池材料颗粒之间良好的接触，减低接触阻抗。

(3) 在电池被弯曲/扭曲的场景下，如何保证电池不漏液。

(4) 如何提高活性物质载量，提高电池容量。

从上述研究结果中，可以看出通过项目的前期资助，已经取得了良好的产业化基础，特别是在关键材料如柔性电极、固态电解质等的设计、合成等方面具备产业化应用的基础。但是由于，资金和时间的限制，项目在进一步推广应用之前，还需要更多的工程化方面的研究需要推进。

目前在积极推进关键材料-固态电解质膜的规模化制备和电芯工艺的研究，希望在武汉市科技局的进一步支持下，早日实现产业化。



三、目标完成情况（对照《武汉市科技计划项目任务书》中确定的考核指标，逐一说明完成情况）

对照本项目计划任务书，完成情况如表 1 所示。

表 1 项目计划任务完成情况对比表

项目考核指标	完成情况
开发出适用于柔性显示器件的柔性电极等关键材料，制备出柔性支撑电极材料 2 种以上，弯曲/扭曲次数>10000 次。	完成 2 种电极的制备方法、1 种固态电解质的设计和制备；柔性电极弯曲/扭曲次数>12000 次。 超出指标。
制备出 1 种以上阻燃型耐高压聚合物固体电解质，电化学稳定窗口>5.5V,离子电导率 $10^{-4}\sim 10^{-2}$ s/cm。	实现了 1 种阻燃耐高压固态电解质设计和合成，固态电解质离子电导率 10^{-3} S/cm，耐化学稳定窗口>6.5V。 完成指标。
基于固体电解质，制备出柔性固态电池；0.5C 电流密度循环 5000 次，电池容量保持在 80%以上；固态电池能量密度 300wh/kg。	完成柔性电池样机制备，循环次数>5000 次 @0.5C，容量保持大于 80%；固态电池样机比能密度第三方测试为 405Wh/kg。 超出指标。
针对第六代 5 寸柔性显示屏，争取制备出 1 款与之匹配的柔性电池，并提供电源整体解决方案。	完成柔性电池样机的制备，性能满足第六代 5 寸柔性显示屏对电池柔性及容量需求，同时提出无线充电的解决方案。 完成指标。
培养本科生 10-15 名，硕士研究生 3-4 名；申请专利 5-7 项，发表高质量科研论文 5-6 篇。	培养本科生 12 名，硕士研究生 4 名；申请专利 13 项；发表论文 9 篇，其中 SCI 论文 7 篇。 超出指标。

四、项目取得成效

（一）项目执行期内取得的知识产权情况

专利申请	发明专利 <u>11</u> 件	实用新型专利 <u>2</u> 件	外观设计专利 <u>0</u> 件
专利授权	发明专利 <u>1</u> 件	实用新型专利 <u>2</u> 件	外观设计专利 <u>0</u> 件
软件著作权证书 <u>1</u> 项	新药证书 <u>0</u> 类 <u>0</u> 项		
标准 <u>0</u> 个	农业新品种 <u>0</u> 个		
新产品 <u>0</u> 个	新工艺 <u>0</u> 项		

（二）对本单位、产业发展、行业技术进步等方面的意义

能源的存储与转化是江汉大学教育部重点实验室的发展方向之一，在该领域此项目弥补了实验室在电池电解质材料上空缺，形成完成的储能电池研发体系。固态电池采用固态电解质取代挥发性易燃、易爆的有机液态电解质，在能量密度上具有很大的潜力和发展空间。固态锂电池与传统液态电池相比消除了电解液泄露和热失控的安全隐患，具有更高的稳定性和安全性；简化了电池模块，减轻电池组重量；无电化学副反应或很少电化学副反应，从而具有更长的循环寿命。此外，由于使用了固态电解质，使得金属锂作为负极成为可能，从而能进一步提升能量密度。

柔性电池是柔性器件的心脏，其中全柔性手机具备柔性显示屏被媒体冠以“腕机”之名，它不仅能够实现中间部分的折叠，更能够实现整体手机的自由弯折，方便佩戴在手腕等部分，实现与人体更好的结合。目前的折叠屏手机仍然采用的是普通的刚性电池，避开了使用柔性电池的难题。

若想推出革命性的全柔性电子器件，必须开发相应的柔性电源植入其中。因此，开发具有高能量密度的柔性锂离子电池，将对推动可穿戴的柔性电子器件的发展产生重要意义。

柔性电池的设计也是层出不穷，但是大多数柔性电池的设计都会导致锂离子电池的能量密度的大幅降低，影响可穿戴设备的续航时间。结合锂离子电池的结构特点，通过仿生结构极大的减小了弯曲和扭转等变形对于集流体和活性物质造成的破坏，在保证电池的柔性的同时，还极大的提高了柔性电池的能量密度，提高了实用性，该柔性锂电池在未来的可穿戴设备，特别是智能手表、柔性显示屏等方面有广阔的应用前景。

武汉市在发展储能技术方面具有一定的产业优势，例如在汽车制造，电网技术等重要储能市场在全国处于优势地位，然而武汉市锂电池产业现状表明这一优势并未充分发挥，产量只占到全国 2.63%，基本上属于第三梯队，在广东省、江

苏省等产能大省持续增加投资的情况下，有数据表明武汉市的占比在进一步下降。以工信部发布的参数指标为参照，依靠本项目实施的固态电池技术有望在国内电池储能领域实现弯道超车。

五、项目经费情况

武汉市科技计划项目经费决算表 单位：万元

项目名称：面向柔性显示器件高性能柔性电池关键材料及应用			项目编号：2018010401011285		
收 入			支 出		
科 目	预算数	实际数	科 目	金 额	其中：市科技研发资金
合 计	200	221.80	合 计	209.54	41.30
市科技研发资金	50.00	50.00	一、设备费	91.46	0.00
自筹资金	150.00	171.80	二、能源材料费	60.26	29.95
其 他	0.00	0.00	三、测试化验加工费	5.48	4.09
			四、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1.78	0.09
			五、会议/差旅/国际合作与交流费	4.13	1.59
			六、人力资源费	40.54	5.15
			1、劳务费	39.68	5.15
			2、绩效支出	0.00	0.00
			3、专家咨询费	0.86	0.00
			七、管理费用	3.00	0.00
			八、其他支出	2.89	0.43
<p>承担单位财务部门意见：</p> <p>本项目单独核算，专款专用，已保存全部会计凭证备查。本项目经费决算表数据真实，若有失实和造假行为，愿承担相关责任。</p> <p style="text-align: right;">单位财务负责人（签名）：（单位财务章：）</p> <p style="text-align: right;">2021年4月29日</p>					
<p>备注：</p> <p>1、劳务费开支不设比例限制；绩效支出比例可达项目经费扣除设备购置费后的40%；软件开发类和咨询服务类项目，绩效支出比例可达60%；管理费用不得超过该项目经费的5%。</p> <p>2、其他支出请详细说明。</p> <p>3、本表请打印在一页，务必签字盖章。</p>					

六、附件材料

(一) 《武汉市科技计划项目任务书》。

(二) 项目经费证明材料

1、单位从会计核算系统打印输出的、未经任何加工的项目经费核算账簿。

2、报销金额最大的 1 张会计凭证复印件（包含记账凭证及其后附的原始凭证）。

3、除应用基础前沿项目外，市科技研发资金 50 万元及以上的项目需提供项目专项审计报告原件。

(三) 项目完成情况证明材料

与项目相关的检验检测报告、用户报告、专利证书、专利受理通知书、新药证书、软件著作权证书、标准、论文、产学研合作协议、奖励证书、销售合同、经济指标证明材料等。

(四) 项目取得的亮点及成效概述（不限任务书中指标。请概述与该项目有关创新性成果，获得的各类奖项，解决的实际问题，培养的人才，带动的社会经济效益等，800 字以内。）