

2025 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

高安全、高比能固态锂电池关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：随着无人飞行器、电推进系统等战略装备和安防巡查、消费电子产业快速发展，开发高安全、高比能固态锂电池已成为国家重大战略需求。然而，传统电池体系面临电解质易燃易爆、负极材料循环寿命短、活性锂初始损耗大三大技术瓶颈，严重制约其能量密度与安全性提升。项目围绕此重大难题，开展了原创性技术攻关：首创了阻燃超薄一体化固态电解质膜材料，从根本上提升了电池本征安全性；发明了低成本、高稳定性硅碳负极材料，显著提升了电池能量密度与循环寿命；创制了高效催化补锂隔膜，精准补偿了活性锂初始损耗，突破了能效瓶颈。项目研究成果选题准确，理论上有原创性高水平论文、核心发明专利体系，受到国内外学术界与行业的一致好评和认可，同时完成了多项成果转化和技术落地，为省内外新能源领域研究和固态电池行业发展产生了引领和示范作用。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件。

提名该项目为陕西省技术发明奖 二 等奖。

三、项目简介

随着无人飞行器、电推进系统等战略装备和安防巡查、消费电子产业快速发展，开发高安全、高比能固态锂电池已成为国家重大战略需求。然而，传统电池体系面临电解质易燃易爆、负极材料循环寿命短、活性锂初始损耗大三大技术瓶颈，严重制约其能量密度与安全性提升。该项目围绕此重大难题，开展了原创性技术攻关：首创了阻燃超薄一体化固态电解质膜材料，从根本上提升了电池本征安全性；发明了低成本、高稳定性硅碳负极材料，显著提升了电池能量密度与循环寿命；创制了高效催化补锂隔膜，精准补偿了锂损耗，突破了能效瓶颈。该项目在国家自然科学基金、省军民融合、秦创园重点产业链、省杰青等项目的支持下，历经 8 年系统研究和关键技术开发，开发的固态锂电池成功解决了能量密度与本征安全性难平衡的技术难题，产品通过 GJB-2374-2013 和 GJB4477-2002 性能和安全测试认证，并且完成了在无人机电推进系统、极地单兵装备和遥测装置中的应用验证。主要科学发现和创新性成果归纳如下：

1. 首创了基于多功能阻燃填料与仿生支撑结构的超薄固态电解质膜原位制备量产技术：针对高比能固态锂电池中传统聚氧化乙烯(PEO)基电解质易燃、机械强度差、厚度大导致能量密度低的核心瓶颈，本发明点首创了一种兼具高安全性与高力学强度的超薄复合固态电解质膜原位制备技术。核心技术在于：

其一，创新性地设计并合成了以埃洛石纳米管（HNT）为载体、高效阻燃剂磷酸三甲酯（TMP）为内核的“HNT@TMP”多功能填料，实现了阻燃剂在聚合物基体中的稳定、均匀固载，在热失控时高效气相淬灭火焰，从根本上解决了固态电池的燃烧隐患，同时避免了小分子塑化剂对电化学性能的破坏。其二，独创了以高柔韧、高热稳定的多孔纤维素纳米纤维（CN）膜为三维支撑骨架，将含上述填料的PEO基电解质浆料双面涂覆并热压集成，构建了“三明治”仿生结构。该设计在实现电解质超薄化（ $<20\text{ }\mu\text{m}$ ）的同时，赋予了其卓越的机械强度和界面接触稳定性，保障了固态电池的长周期循环安全，为提升电池体积与重量能量密度奠定了关键材料基础。该技术是实现固态锂电池高安全与高比能协同提升的重大原始创新。基于此发明技术，成功建设千万平米产能的超薄阻燃固态电解质膜卷对卷批量生产示范线，建立了稳定可靠的工程化产线和完整的质量控制体系。目前该技术已获授权发明专利11项，完成科技成果专利转化5项，指导了秦创园重点企业、国家高新技术企业、陕西省“三项改革”科技成果转化示范企业陕西瑞智新能源科技有限公司固态电解质膜的多款产品开发及生产销售，2023年为企业实现新增产值超6500万元。

2. 发明了适配固态锂电池的高稳定性硅碳快充负极材料制备新技术：针对高比能固态锂电池对负极材料高容量、长寿命及低成本的迫切需求，本技术成功攻克了硅基材料体积膨胀剧烈、循环稳定性差及制备成本高昂三大产业难题。首先，独创了“微米硅粉高能球磨原位纳米化”技术，通过引入高效分散剂，在低成本微米硅粉高效转化为均匀纳米硅的同时，有效抑制了纳米颗粒的团聚，实现了活性单元尺寸与分布的精准调控，为获得高比容量硅碳材料奠定了结构基础。其次，创新性地开发了“沥青均匀包覆-原位碳化”技术，利用沥青与纳米硅粉良好的浸润性，实现了无定形碳在每一个纳米硅颗粒表面的原位、致密、均匀包覆，巧妙构建了“核壳”结构。该碳壳层发挥了“缓冲骨架”和“导电网络”的双重功能：一方面，其优异的机械强度有效约束了硅核在充放电过程中（ $>300\%$ ）的巨大体积变化，防止电极结构坍塌；另一方面，显著提升了材料的整体导电性，确保了界面离子的高效传输，大幅提高了材料的快充性能。该技术打破了高性能硅碳负极依赖昂贵纳米硅原料的传统工艺壁垒，成功实现了低成本、高性能、易产业化制备，为提升固态电池能量密度与循环安全性提供了关键的负极解决方案。上述技术指导提升了痕量电解液工况下（ $<1.5\text{g/Ah}$ ）与固态电解质膜匹配的高面容（ $>5\text{mAh cm}^{-2}$ ）硅负极6分钟快充性能，为同期报导最高值的两倍。目前该技术已获得授权专利4项，科技成果专利转化1项，指导合作高新技术企业完成千吨级高容硅负极材料产线建设，产品应用于郑州比克集团、合容电气股份有限公司、蓝海黑石有限公司的多款电芯型号中，实现新增产值超1.8亿元。

3. 创制了基于氮化碳/石墨烯催化复合层的多功能补锂隔膜，建立界面精准离子补偿辅助高比能电芯构筑新技术：针对高比能固态锂电池因初始库伦效率低、活性锂不可逆损耗严重导致的实际能量密度骤降和循环寿命缩短的核心

瓶颈，本技术发明了一种兼具隔膜功能与高效补锂特性的新型关键材料。首先，独创性地设计并构建了以无金属、高催化活性的石墨相氮化碳（g-C₃N₄）与导电薄层石墨烯纳米片通过静电自组装形成的“二维叠层复合催化剂”。该结构充分利用了 g-C₃N₄ 的催化活性位点和石墨烯的高导电网络，协同显著降低了高稳定性补锂试剂草酸锂的分解势垒，解决了其分解电压高、与电池体系不兼容的产业化难题。其次，创新了“浆料涂覆-界面功能化”工艺，将上述复合催化剂、补锂试剂和粘结剂制成均匀浆料，精准涂覆于商业 PP 隔膜表面，构建了具有“催化-导电-补锂”三重功能的复合层。该设计实现了在电池首次充电过程中，活性锂离子的快速、可控和精准释放，高效补偿负极 SEI 膜形成造成的不可逆锂损耗，大幅提升全电池的首次库伦效率和可循环锂源总量。本技术普适性强，可与多种电极体系匹配，为突破固态锂电池能量密度与寿命提供了原创性的解决方案。该技术成功开发了容量范围 10—200Ah 的高比能固态电池，该系列电池可实现能量密度 >500 Wh kg⁻¹，远高于传统液态锂离子电池（250—350 Wh kg⁻¹）的 2 倍以上，相较于目前固态行业龙头企业清陶能源发布的新一代固态锂金属电池（368 Wh kg⁻¹）能量密度提高 36%。目前该技术已获授权专利 9 项，为中国兵器工业集团第二一二研究所交付 3.4 Ah 电芯 2000 支，符合 GJB4477-2002 要求，产品应用于-56℃ 极端环境的单兵装备和遥测装置中。

该项目围绕高安全、高比能固态锂电池关键技术取得重大突破，形成显著成果。项目团队发表高水平 SCI 论文 150 余篇，获授权国家发明专利 24 项，完成知识产权作价与技术转移 5 项。核心技术成功应用于国家高新技术企业、陕西省秦创园产业链重点企业瑞智新能源和晶泰新能源，建成硅碳负极与改性涂覆隔膜示范生产线，有力支撑了我省新质生产力培育 and 经济发展。创新技术还成功应用于中国兵器工业集团第二一二研究所特种电源开发，实现产品批量装备。与郑州比克集团、福建蓝海黑石、西安合容新能源等知名企业深度合作，完成高比能锂电池关键辅材粘结剂及电芯产品的技术升级与迭代，显著提升产品竞争力。项目成果获陕西高等学校科学技术研究优秀成果一等奖和中国材料研究学会科学技术奖，体现了学术界与产业界的高度认可，为提升我省固态电池技术国际竞争力作出重要贡献。

四、客观评价

本项目针对固态锂电池产业化面临的核心瓶颈，在固态电解质、硅碳负极及补锂技术方面取得了系列原创性突破，获得了国内外同行的广泛认可，产生了显著的经济和社会效益。客观评价如下：

1. 技术创新性与国内外比较，鉴定评价

该项目的技术发明点具有显著的创新性和先进性，与国内外同类技术相比，优势明显：（1）针对“阻燃超薄 PEO 基固态电解质”，首创基于 CN 支撑骨架和 HNT@TMP 多功能填料的“三明治”结构电解质，在超薄化、机械强度和本征阻燃性方面实现协同提升，与中科院大连化物所相关工作（Nano Energy, 2025, 111398）相比，在安全性一体化设计方面取得更全面突破；（2）关于“低

成本高稳定性硅碳负极”，开发基于微米硅原位纳米化和沥青均匀包覆的技术路线，经三方测试膨胀率降至 7.38%，原材料成本降低 40%以上，相比国内负极龙头企业贝特瑞开发的膨胀率 12%的硅碳负极以及国轩高科“金石电池”中采用的“三维介孔硅材料”方案更具成本优势；（3）针对“氮化碳催化 PP 基高效能补锂隔膜”，创新性地将补锂功能集成于隔膜，并首创了 $g-C_3N_4$ /石墨烯复合催化层，有效解决了高稳定性补锂剂分解电压高的应用瓶颈，将草酸锂分解电势从 $>4.5V$ 降至 $<4.2V$ ，首次效率从 $<85\%$ 提升至 94.2%，能量密度提升 12.8%，相比楚能新能源方案，无需金属锂和复杂气氛保护，成本降低 40%，工艺更安全简便，目前已与头部电池企业开展中试合作，经济效益显著。

综上所述，该项目经教育部科技查新工作站查新（报告编号：202436000L290171），结论表明项目成果在“固态锂电池关键材料”技术方面具有明显新颖性，未见相同文献报道。经中国复合材料学会组织、侯晓院士领衔的专家组鉴定认为：该项目研究难度大、创新性强，拥有多项自主知识产权，核心技术自主可控，总体达到国际先进水平。项目核心技术为航空航天、电动车辆、储能系统等领域用高比能固态锂电池提供了关键技术支持，具有广阔的推广应用前景。

2. 国内外重要科技奖励

表 1 国内外重要科技奖励

序号	获奖项目名称	奖励名称	等级	授予机构	获奖时间	排名
1	高能量密度特种固态电芯关键材料技术开发	陕西高等学校科学技术研究优秀成果一等奖	厅局级	陕西省教育厅	2024	1/4
2	高安全固态电芯储能技术开发	中国材料研究学会青年科技奖	协会	中国材料研究学会	2024	1/1
3	金属锂负极的电结晶调控理论、方法与应用基础	陕西省高等学院科学研究成果一等奖	厅局级	陕西省教育厅	2021	5/9
4	第八届“创客中国”高校成果转化中小企业创新创业大赛	一等奖	国家级	工信部	2023	1/5

3. 国内外同行在学术期刊评价

（1）澳大利亚工程院院士窦世学教授、美国工程院院士，Argonne 国家实验室 Khalil Amine 教授以及瑞典皇家科学院院士，Linköping 大学 Reverant Crispin 教授分别在 Energy Environ. Sci. 2022, 15, 2753, Advanced Materials, 2023, 35, 2300369 中高度评价我们通过独特的聚合物的导电添加剂构筑策略，并且实现了高离子电导率、高离子利用率以及阻燃型高容量固态金属电池构筑，充分肯定了该项目提出的局部高浓电解质界面抑制高容量负极体积变化的有效策略；（2）中国科学院院士、美国工程院院士，黄维教授在研究论文

中 (Adv. Energy Mater., 2023, 13, 2302695) 充分肯定了该项目对合金相亲锂位点修饰电极的失效机制研究。南开大学副校长, 中科院陈军院士、国家杰青, 清华大学张强教授分别在 Energy Environ. Sci., 2022, 15, 1711 的综述中长篇评注了该项目提出的界面共掺杂改性方法对于高比能电芯内正极高温性能的有效提升, 能够满足商业应用的对于高温自放电的指标需求; (3) 清华大学何向明教授 (Adv. Funct. Mater., 2023, 34) 高度评价了该项目非对称涂层隔膜的工作, 指出隔膜正极侧分子筛和磺化三聚氰胺甲醛有机无机杂化涂层捕获电解液水杂质功能对电池循环稳定性的重要性。中科院兰州化学物理研究所张俊平教授 (Small, 2023, 19, 2301237) 长篇幅评价了 Li-Ag 合金界面层调控高比容金属电池界面稳定性的策略优势, 一方面实现了原位构筑了锂负极与合金的紧密界面层, 同时还提升了隔膜侧离子迁移数和离子电导率。

1. 企业、科研院所应用评价

该项目开发的高安全、高比能固态锂电池关键技术得到了多家企业及科研院所的实际应用验证, 取得了显著的经济和社会效益。(1) 与中国兵器工业集团第二一二研究所合作开发的 3.4Ah 18650 型电芯已实现批量化应用 (2000 支), 环境适应性完全符合 GJB4477-2002 要求, 已成功应用于极端低温环境的单兵装备和遥测装置中; (2) 与郑州比克集团合作开发的硅基软包电芯及圆柱电芯能量密度较同规格产品提高 35% 以上, 已通过国家安规 CQC、UL1642 等标准认证, 批量应用于消费电子和电动工具领域, 为企业新增产值 1.8 亿元; (3) 与陕西瑞智新能源科技有限公司联合开发的“轻薄通韧”型固态电解质膜, 2023 年实现 400 万 m^2 批量供货, 新增产值 6500 万元; (4) 与陕西晶泰新能源科技有限公司合作开发比容量 $>2300 \text{ mAh g}^{-1}$ 、首次库伦效率 $>93\%$ 的高性能硅基负极材料, 2023 年新增产值 5600 万元; (5) 与福建蓝海黑石新材料科技有限公司联合开发的硅基负极补锂型粘结剂, 将高容硅基负极首效提高至 93.5%, 成功解决高面容硅基负极剥离强度差的行业难题, 2023 年为企业新增产值 5000 万元; (6) 与合容电气股份有限公司联合开发的 10kW-5S 高功率储能模组, 采用离子预补偿技术, 使电芯能量密度提高 28% 以上, 服务于西部大开发清洁能源储能示范工程, 提升负荷削峰填谷效率 20% 以上。项目技术还成功应用于航空飞行器电推进系统, 实现能量密度 435 Wh kg^{-1} 10 分钟充电 80% 的突破, 续航时间从 45 分钟提升至 90 分钟, 满足了装备的特殊需求。

这些应用评价充分证明了该项目技术在提升电池性能、推动产业创新、建设等方面具有重要的价值和广阔的应用前景。

4. 应用情况和效益

1. 应用情况

该项目开发的高安全、高比能固态锂电池关键技术经过多年的研发与优化, 已在多个领域实现规模化应用, 取得了显著的经济效益和社会效益。

(1) 军工领域的应用

该项目与中国兵器工业集团第二一二研究所深度合作, 开发出 3.4Ah

18650 型高能量密度特种电芯，已实现批量化应用 2000 支。该电芯在-56℃极端环境下仍能保持 0.5C 放电容量达室温容量的 53%，环境适应性完全符合 GJB4477-2002 要求，成功解决了极端低温条件下锂电池无法放电的行业难题。目前该产品已批量应用于单兵装备、遥测装置等多个重点领域，为提升我国的能源保障能力提供了重要技术支撑。

与北方智能微机电集团有限公司（原 5424 厂）合作，将本项目开发的高离子电导率固态电解质膜材料及高能量密度、宽温域特种固态电芯成功应用于无人巡航系统、单兵电源装备等系列产品中。具体表现为：单体电池能量密度实现 >320Wh/kg；在 25℃、10C 倍率下，电池经过 1200 次充放电后容量保持率可达 80%以上；在-43℃、3C 倍率充电条件下容量保持率仍可达到 25℃1C 倍率容量的 70%以上。这些产品已通过穿刺、重物冲击、热失控等三方安规测试，为特种锂电池提供强有力的技术保障。

（2）消费电子与电动工具领域的应用

与郑州比克集团（国家级高新技术企业，国家认定企业技术中心）合作，成功开发了硅基软包电芯（U506586P、U616077P）及圆柱电芯（N21700CG-5.3Ah）。该系列电芯较同规格产品能量密度提高 35%以上，已通过国家安规 CQC、UL1642 等标准认证，批量应用于消费电子、电动工具等产品中，为企业新增产值 1.8 亿元。

与陕西晶泰新能源科技有限公司（国家级高新技术企业）合作，建立了千吨级硅基负极生产线，开发出比容量 >2300mAh/g、首次库伦效率 >93%的高性能硅基负极材料。该产品批量供货于国内外多家消费类电动工具、两轮电动车用电芯企业，2023 年实现新增产值 5600 万元。

（3）储能系统领域的应用

与合容电气股份有限公司（国家级高新技术企业）联合开发了 10kW-5S 高功率储能模组，单体电芯应用离子预补偿技术，能量密度较商业产品提高 28%以上，可实现持续放电电流 ≥50A。该产品服务于西部大开发示范项目-清洁能源储能示范工程，较商业储能装备提升负荷削峰填谷效率 20%以上，显著提高了光伏-储能系统的经济效益。

（4）产业链协同创新应用

与陕西瑞智新能源科技有限公司（国家级高新技术企业）联合开发了“轻薄通韧”型固态电解质膜，通过双相复合技术与协同喷涂改性技术，实现了面密度 <1.2mg cm⁻²、厚度 <10 μm、室温离子电导率 >15 mS cm⁻¹、抗穿刺强度 >53.1 MPa 的优异性能。该产品 2023 年实现 400 万 m² 批量供货，新增产值 6500 万元。

与福建蓝海黑石新材料科技有限公司（国家级高新技术企业）联合开发了硅基负极补锂型粘结剂，首次通过改性粘结剂复合配方将高容硅基负极首效提高至 93.5%（比容量 >2000mAh/g），较市场竞品提高首效值 7%，成功解决高面容硅基负极（>4mAh/cm²）剥离强度差的行业难题。该产品 2023 年为企业新增

产值 5000 万元。

该目技术通过与多家企业的深度合作，不仅实现了技术创新和突破，更在产业化应用中取得了显著的经济效益和社会效益，为我省新能源产业的发展做出了重要贡献。

表 2 主要应用单位情况汇总表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人
1	中国兵器工业集团第二一二研究所	高能量密度低温钢壳特种电芯	遥测装置，多款能源保障装置，单兵携行装备。	2022 年 2 月 1 日-至今	周涵
2	北方智能微机电集团有限公司（原 5424 厂）	高能量密度特种固态锂电池开发	无人巡航系统、单兵电源装备等系列产品中	2024 年 10 月 1 日—至今	曾涛
3	郑州比克集团有限公司	硅基负极在高比能电池型号中的应用	高能量密度软包电池，手机，平板电脑，电动工具，新增产值 1.8 亿元。	2022 年 5 月 30 日—至今	贾秋荣
4	陕西瑞智新能源科技有限公司	高比能固态电解质膜材料开发	高能量密度固态电芯，已供货多家下游企业，2023 年已实现新增产值超 6500 万元。	2022 年 1 月 1 日-至今	王鑫
5	陕西晶泰新能源科技有限公司	锂电池关键负极材料开发	高能量密度软包/钢壳电池，两轮车，电动工具，智能家居，新增产值超 5600 万元。	2022 年 1 月 1 日-至今	杨亚宏
6	福建蓝海黑石新材料科技有限公司	新型高比能锂电池硅基负极粘结剂开发	新型抗碱性硅基负极粘结剂，2023 年新增产值超过 5000 万元。	2022 年 2 月 15 日-至今	赵晓东
7	西安合容新能源科技有	高比容负极材料预锂化技术	高能量密度储能电源系统，目	2022 年 5 月 15 日-	康子龙

	限公司		前应用于 3C 领域和电动工具领域。	至今	
--	-----	--	--------------------	----	--

2. 应用效益

1) 经济效益

该项目技术已在多家企业实现产业化应用，近三年累计实现新增产值超过 4 亿元。其中：郑州比克集团新增产值 1.8 亿元，陕西瑞智新能源新增产值 6500 万元，陕西晶泰新能源新增产值 5600 万元，福建蓝海黑石新增产值 5000 万元。

主要完成单位西北工业大学近三年应用该项目技术所取得的经济效益情况收入如下表所示：

表 3 该项目主要技术合同收入情况汇总表

序号	技术合同名称	对应科技创新点	合同金额 (万元)	到账金额 (万元)
1	锂离子电池功能隔膜及固态电解质开发	创新点一	1000	850
2	高安全性改性隔膜及固态电解质膜项目相关专利权、专利申请权科技成果转化项目		500	500
3	固态电解质等相关 3 项发明专利申请权转让		100	100
4	轻薄、强韧的阻燃聚合物电解质设计及固态电池的界面调控机制研究		50	50
5	先进负极材料开发	创新点二	450	300
6	硅基负极功能界面层的层次构筑和离子利用率提升机制的原位分析		66.7	66.7
7	基于硅碳负极的高比能、高安全性锂离子电池及系统的产业化		60	60
8	高容量负极在高能量密度锂电池应用端的产品开发		50	50
9	高能量/高功率密度航空动力电池系统开发	创新点三	200	200
10	多物理场耦合原位 X 射线衍射技术辅助锂电池离子利用率优化		50	50
11	高比能准固态电池体系优化		50	50

12	高安全高能量密度固态储能电池的技术开发		30	10
合计			2606.7	2306.7

主要完成单位陕西瑞智新能源科技有限公司近三年应用该项目技术所取得的经济效益情况如下：该项目通过科技成果专利转化与陕西瑞智新能源科技有限公司（秦创园重点示范企业、国家高新技术企业、陕西省“三项改革”科技成果转化示范企业）完成了知识产权作价投资入股。目前瑞智新能源已完成两轮融资工作，首轮融资招募萃英创投等两家市场化基金投资入股，融资额 1000 万元。第二轮融资（Pre-A 轮）中瑞智新能源以 3 亿元估值出让 10% 股权，完成融资 3000 万元。

此外，该项目与瑞智新能源联合开发了新型固态电解质膜，目前已成功通过多家电芯企业的安规测试，2023 年实现 400 万平米的批量供货，实现新增产值超 6500 万元，具有极大的市场前景。

2) 社会效益

高安全、高比能特种固态电芯的关键技术开发与应用在推动科学技术进步、保障陕西省和社会安全以及培养人才等方面起到了重要作用。

在科学技术进步方面，本技术推动了能源存储领域的创新。固态电芯因其高安全性和高能量密度，逐渐成为替代传统锂电池的理想选择。其独特的电解质材料和设计方案，显著提升了电池的安全性能，减少了热失控和起火爆炸的风险。同时，高比能特性使得电芯在同等体积下能够储存更多的能量，满足了高效能量存储的需求，促进了新能源技术的进步。

高安全、高比能特种固态电芯提供了更可靠的能源解决方案。装备对电池的性能和安全性要求极高，这项技术的应用能确保设备在各种极端环境下稳定运行。高能量密度使得国防装备能够携带更多能量，延长了其作战时间和续航能力，增强了作战效能。此外，陕西省作为中国的高科技产业重镇，引进和发展高安全、高比能固态电芯技术，有助于提升本地高科技产业的竞争力。同时，这项技术还推动了陕西省在电动汽车等绿色交通工具领域的发展及产业链升级。

该项目技术的发展对我省新能源领域的人才培养也具有积极促进作用。高安全、高比能特种固态电芯技术的研究与应用，需要多学科的交叉合作，涵盖了材料科学、化学、电子工程等领域。通过该项目的研究，培养了一大批具有前沿知识和创新能力的行业专业人才。这些人才不仅为行业技术升级提供了动力支撑，也为国家和地方经济的可持续性增长奠定了基础。

综上所述，高安全、高比能特种固态电芯关键技术的开发与应用，在推动科学技术进步、保障陕西省和社会安全以及培养人才等方面发挥了重要作用，具有广阔的发展前景和深远的社会意义。

5. 主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种阻燃超薄 PEO 基固态电解质的制备方法	中国	ZL202310513066.X	2023.08.04	6204807	西北工业大学	马越，刘婷
2	发明专利	复合阻燃剂改性的 PEO 基固态聚合物电解质及制备方法	中国	ZL202110261409.9	2023.04.25	5910656	西北工业大学	马越，孙长春
3	发明专利	高机械强度和高锂离子通量的轻薄改性 PE 隔膜制备方法	中国	ZL2024102280443	2024.06.21	7123098	西北工业大学	马越，刘婷，李云淞
4	发明专利	一种铜交联纤维素基抗菌可降解生物塑料的制备方法	中国	ZL202210421912.0	2023.02.28.	5752043	湖南大学	汪朝辉，曾志
5	发明专利	一种单层氮化硼改性的 PEO 聚合物电解质及其制备方法	中国	ZL201910282938.X	2021.09.17	4687112	陕西瑞智新能源科技有限公司	马越
6	发明专利	热稳定、超薄轻质、阻燃 PEO 基固态电解质的制备方法	中国	ZL202211250182.9	2023.01.31	5718077	西北工业大学	马越，王田雨，张敏，刘婷
7	发明专利	预锂化锂离子电池硅基负极的中间缓冲膜的制备方法和使用方法	中国	ZL202110012264.9	2023.07.21	6156943	西北工业大学	马越，王鹤霖，张敏，白苗，刘甫
8	发明专利	一种硅碳负极材料及制备	中国	ZL2021108907	2024.06	7104277	西北工业大	马越，白苗，

		方法		49.8	.14		学	汤晓宇, 王鹤林
9	发明专利	一种 PP 基补锂隔膜制备及无负极锂离子电池	中国	ZL202310806113.X	2023.10.20	6417994	西北工业大学	马越, 刘婷, 姚宁
10	发明专利	一种氮化碳催化 PP 基高效能补锂隔膜的制备方法及应用	中国	ZL202410228045.8	2024.05.10	6986779	西北工业大学	马越, 刘婷, 姚宁

6. 主要完成人情况（不超过 6 人）

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
马越	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	完成人对本项目的实质性贡献对应主要技术发明中所列第一、二、三项技术发明，完成人通过建立界面精准离子补偿辅助高比能电芯构筑的新方法，成功解决了多型号高能量密度电芯在极端服役条件下稳定性差的“卡脖子”问题，开发了具有高安全、高比能的全固态锂离子电池，已通过 GJB-2374-2013 和 GJB4477-2002 性能和安全测试认证，解决了目前锂电池能量密度低、循环性能差、安全性低的行业技术难题，服务了国家重大战略需求。
刘婷	2	无	助理研究员	西北工业大学	西北工业大学	完成人对本项目的实质性贡献对应主要技术发明中所列第一、二、三项技术发明，完成人开发超薄阻燃固态电解质膜技术，成功解决了固态电解质材料成膜工艺中的瓶颈问题。这项技术在提高固态电解质膜生产效率的同时降低了制备成本，同时保证了电解质膜的稳定性和一致性。

汪朝晖	3	无	教授	湖南大学	湖南大学	完成人对本项目的实质性贡献对应主要技术发明中所列第一项技术发明，完成人开发固态电解质膜材料的优化设计，通过高空隙的聚烯烃支撑层、快离子陶瓷、聚合物的热复合工艺，成功解决了传统固态电解质材料成膜工艺中的稳定性和一致性问题，提高了生产效率，降低制备成本。
王鑫	4	无	无	陕西瑞智新能源科技有限公司	陕西瑞智新能源科技有限公司	完成人对本项目的实质性贡献对应主要技术发明中所列第一项技术发明，完成人通过设计开发智能化量产工艺系统，完成了固态电解质膜的规模化工艺开发，建立了稳定可靠的工程化产线和完整的质量控制体系，成功实现了固态电解质膜批量化卷对卷工程化生产工艺。
穆天	5	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	完成人对本项目的实质性贡献对应主要技术发明中所列第二项技术发明，完成人通过设计开发智能化量产工艺系统，完成了硅碳材料的规模化工艺开发，建立了稳定可靠的工程化产线和完整的质量控制体系，成功实现了硅碳材料低成本工程化生产工艺管理。
	6					

7. 主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	<p>本项目的的主要完成单位为西北工业大学，是一所以发展航空、航天、航海等领域人才培养和科学研究为特色的国家“双一流”建设高校，综合实力强，研发设备齐全，科研经费充足。申请人团队所在的“纳米能源材料研究中心”隶属于西北工业大学材料学院，材料学院拥有材料科学与工程国家一级重点学科和材料学、材料加工工程国家二级重点学科，拥有材料科学与工程和光学工程两个一级学科博士学位授予权、材料科学与工程全国优秀博士后科研流动站，是人才培养、科学研究、技术创新和学术交流的重要基地。申请人研究团队依托凝固技术国家重点实验室、陕西省石墨烯联合实验室、材料科学与工程国家一级重点学科等平台，具备项目所需材料合成、物相与微观结构表征分析设备。此外，申请人以学校工程中心搭建 18650 型圆柱（1-3 Ah）/软包电池中试线为器件开发平台，该平台为高能量密度特种固态电芯关键材料技术开发提供产业化开发支撑，确保项目顺利进行，取得预期的研究目标与成果。</p>
湖南大学	2	<p>本项目的的主要完成单位湖南大学在陕西省科学技术奖项目的技术发明和应用推广方面作出了突出贡献。他们通过提供良好的研发平台和科研环境，促进了本项目的技术攻关，解决了多项关键技术难题，提高了固态电解质膜材料的生产效率，降低了制备成本，同时保证了电解质膜的稳定性和批次一致性。相关产品被应用于瑞智新能源等公司，为陕西省的科技进步和经济发展作出了重要贡献，带来了一定经济效益。</p>
陕西瑞智新能源科技有限公司	3	<p>本项目的的主要完成单位陕西瑞智新能源科技有限公司在本项目的应用推广方面作出了突出贡献。他们积极推动本项目的创新科技成果的转化和应用，通过广泛的技术培训和推广活动，将先进技术和创新成果在全省范围内进行普及，显著提升了相关行业的技术水平和竞争力。这些努力不仅促进了项目成果的广泛应用，还为陕西省的经济发展和技术进步提供了有力支持。</p>

8. 完成人合作关系说明

作为陕西省科学技术进步奖项目的第一完成人，我深感荣幸能够与一群优秀的科研人员共同合作。

我们与第二完成人合作开发超薄阻燃固态电解质膜技术，成功解决了固态电解质材料成膜工艺中的瓶颈问题。这项技术在提高固态电解质膜生产效率的同时降低了制备成本，同时保证了电解质膜的稳定性和一致性。

我们与第三完成人合作开发固态电解质膜材料的优化设计技术，通过高空隙的聚烯烃支撑层、快离子陶瓷、聚合物的热复合工艺，成功解决了传统固态电解质材料成膜工艺中的稳定性和一致性问题，提高了生产效率，降低制备成本。

我们与第四完成人合作设计开发智能化量产工艺技术，完成了固态电解质膜的规模化工序开发，建立了稳定可靠的工程化产线和完整的质量控制体系，成功实现了固态电解质膜批量化卷对卷工程化生产工艺。

我们与第五完成人合作设计开发智能化量产工艺技术，完成了硅碳材料的规模化工序开发，建立了稳定可靠的工程化产线和完整的质量控制体系，成功实现了硅碳材料低成本工程化生产工艺管理。

这些紧密合作的经历不仅使本项目在科研上取得了重要成果，也建立了深厚的友谊和信任。我们相信，只有通过团结协作，才能不断攀登科技高峰，为陕西省的科技进步和社会发展贡献更多的力量。