

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

大尺寸单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品研制

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省知识产权局

提名意见：

该项目围绕**大尺寸、长寿命、低成本及高纯度**单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品的制备，研制开发了碳纤维连续缠绕针刺预制体成型技术、二元炭基体优化组合快速低成本致密技术、炭/炭复合材料表面抗侵蚀涂层技术等，并突破材料制备过程中关键工艺装备的开发难题，实现了大尺寸单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品的**批量制备**。

该项目技术攻关难度大，创新成果显著，关键核心设备及工艺技术完全自主可控，拥有多项自主知识产权，总体技术达国际先进水平。自 2017 年起，西安超码科技有限公司成功研制并批量生产涵盖百余种规格型号的炭/炭热场产品，建成年产 2000 吨产能，产品广泛应用于国内三十余家主流光伏单晶硅企业。2023-2025 年累计实现销售收入 8.24 亿元，新增税收 1945 万元，新增就业人口 30 余人。该项目有力推动了关键部件进口替代，大幅降低光伏制造成本，支撑了我国光伏产业高质量发展。

项目提名材料齐全、内容真实规范，知识产权权属清晰，完成人排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖二等奖授奖条件。陕西省知识产权局提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

单晶硅直拉炉用炭/炭热场材料主要用于光伏行业、半导体行业中的单晶硅长晶、拉制过程，其核心热场部件包括坩埚、保温筒、导流筒等。项目旨在研制 30 吋、32 吋、36 吋及 40 吋等大尺寸炭/炭热场，实现大尺寸炭/炭热场的长寿命、高纯度及低成本批量化制备。

本项目主要技术特点如下：

（1）提出了一种新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术，提高了炭/炭坩埚预制体连续碳纤维含量，实现了大尺寸高强度预制体的可控制备。

（2）采用天然气气相沉积和树脂液相浸渍/炭化相结合的技术，解决了大尺寸单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品密度不均匀、抗硅蒸汽侵蚀效果差的难题，从而大幅提升最终产品的性能和使用寿命。

（3）开发了高性能复合涂层制备技术，大幅提升产品的抗硅化侵蚀性能和

使用寿命。

炭/炭热场产品的各项技术指标均已达到设计指标。坩埚类产品使用寿命稳居行业第一，最长可达 12 个月；保温筒、外导流筒等使用寿命已超过 18 个月，处于行业前列，主要技术指标见下表。

本项目产品技术性能指标

类别 项目		坩埚	保温筒	外导流筒
体积密度, g/cm ³		1.42-1.65	1.15-1.46	1.36-1.63
压缩强度(⊥), MPa		146	124	108
弯曲强度, MPa		100	73.2	85.9
热膨胀系数(//), ×10 ⁻⁶ /K		1.430 (200℃)	/	0.756 (200℃)
导热系数(⊥), W/m·k		/	9.772 (800℃)	22.941 (800℃)
灰分, ppm	标准级	171	155	168
	高纯级	42	44	39

2017 年至今，公司研制生产了 30 吋、32 吋、36 吋、40 吋等百余种型号规格的单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品，形成年产 2000 吨炭/炭复合材料的生产规模，成功应用于隆基绿能、晶科能源、曲靖阳光、晶澳太阳能、北京京运通等三十余个光伏单晶硅企业，2023-2025 年累计实现销售收入 8.24 亿元，新增税收 1945 万元，新增就业人口 30 余人，具有良好的经济效益。

该成果技术难度大、创新性强，关键设备及技术完全自主可控，拥有多项自主知识产权，获授权发明专利 17 项，实用新型专利 4 项。

四、客观评价

该项目研制大尺寸、长寿命、低成本单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品，突破三项核心技术：碳纤维连续缠绕针刺预制体成型技术、双元炭基体优化组合快速低成本致密技术、炭/炭复合材料表面抗侵蚀涂层技术。成功开发 30-40 吋百余种型号热场产品，年产 2000 吨，坩埚寿命最长 12 个月，保温筒等超 18 个月，居行业前列。2017-2025 年该项目产品累计销售额约 16.18 亿元，新增就业 150 余人。获授权发明专利 17 项、实用新型 4 项，参与国标 2 项、企标 3 项。经孙晋良、孙以泽等院士、专家鉴定，总体技术达国际先进水平。

主要技术创新点与国内外同领域技术对比情况表

创新点	国内现状	国外现状	本技术
-----	------	------	-----

碳纤维预制体成型	普遍以 2.5D 布网复合针刺工艺为主，该工艺不易成型，且存在连续集中炭布断口，影响最终产品性能，产品在使用过程中易出现竖向、横向开裂，寿命通常 ≤ 6 个月。	2D 碳纤维湿法缠绕工艺，该工艺碳纤维层间无纤维增强固定、容易导致发生变形、分层、掉皮等缺陷。	采用碳纤维连续缠绕针刺成型技术，碳纤维连续性好、可设计强，易成型，制备形成的预制体完整性优，使用寿命得到大幅提升，使用寿命 ≥ 10 个月。
炭炭复合材料致密技术	普遍以天然气化学气相沉积为主，该工艺受设备及产品的影响导致气场均匀性差，产品后期增密受结壳影响效率低，产品密度一般控制在 $1.1-1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 之间，致密时间一般水平在 500-700 小时左右，部分厂家甚至长达 900 小时。	在 2D 湿法缠绕的基础上，主要以液相致密技术为主，增密效率偏低。	采用微纳米多尺度双元炭基体优化组合的快速低成本致密技术，充分发挥两种致密方式的优势，致密效率高，孔隙率低，产品密度 $\geq 1.40\text{g}/\text{cm}^3$ ，产品致密时间控制在 400 小时以内，且产品弯曲强度 $\geq 120\text{MPa}$ 。
表面涂层技术	通常不进行涂层处理或者进行 CVD 化学气相沉积热解炭涂层，涂层厚度 $\leq 10\text{ }\mu\text{m}$ ，且很难做到完全封孔，对产品使用寿命的提升有限。	进行 CVD 热解炭涂层，不能有效的进行产品表面封孔	通过等离子喷涂与真空烧结相结合的方法，进行碳化硅-氧化铝高性能纳米复合涂层的制备，涂层厚度 $100-200\text{ }\mu\text{m}$ 厚度，能够隔绝炭/炭基材和硅蒸汽，从而大幅提升产品的抗硅化侵蚀性能。

五、应用情况

2017 年以来，超码科技研制和生产的 30 吋、32 吋、36 吋以及 40 吋等百余种型号炭/炭热场产品，形成了年产 2000 吨的生产规模，在国内三十余个光伏单晶硅企业中得到了广泛应用，在光伏单晶硅的生产过程中发挥着至关重要的作用，为光伏单晶硅企业提供了高效、稳定的生产环境，提高了生产效率和产品质量。

量。

2024-2025 年虽受光伏行业周期影响，企业经营承压，但产品质量和市场占有率稳居行业前列。2025 年，光伏热场材料销售收入达到了 14565 万元，占公司营收的 63%，成为公司目前赖以生存的核心主导产品。下表为主要应用单位情况表。

主要应用单位情况表					
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/电话
1	隆基绿能科技股份有限公司	大尺寸单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品研制	炭/炭坩埚 3500 余件，炭/炭保温筒 5000 余件，炭/炭外导流筒 2000 余件	2020 年 7 月-至今	刘诗雨 15122639379
2	曲靖阳光新能源股份有限公司	大尺寸单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品研制	炭/炭坩埚 1570 件，炭/炭保温筒 2886 件，炭/炭外导流筒 899 件	2021 年 2 月-至今	李贺 13201845675
3	宁晋县晶樱光电科技有限公司	大尺寸单晶硅直拉炉用炭/炭热场产品研制	炭/炭坩埚 556 件，炭/炭保温筒 86 件，炭/炭外导流筒 9 件	2021 年 5 月-至今	贾映雪 13932969149

以下是我们其他客户的使用情况：

（1）TCL 中环新能源科技股份有限公司

TCL 中环新能源科技股份有限公司单晶硅拉制炉炉型为晶盛炉型、KAYEX 炉型。从 2017 年开始，其规格型号从 28 吋炭/炭热场升级换代为目前 36 吋热场，反馈我公司提供的炭/炭热场部件使用寿命长，质量稳定可靠，超码科技现已成为该企业单晶硅直拉炉热场主要供应商。

（2）晶科能源股份有限公司

超码科技自 2017 年为晶科能源提供 28 吋及以上大尺寸炭/炭热场产品，使用寿命大大超出国内外同类产品，客户对产品认可度很高，现已形成长期供应关系。

（3）晶澳太阳能科技股份有限公司

自 2018 年试用超码科技提供的炭/炭热场产品，其中炭/炭坩埚使用寿命达

到了 10 个月，超过国内外其他厂家提供的同型号炭/炭坩埚，由于质量稳定、节能降耗明显，被客户列为主要供应商，现已形成长期供应关系。

（4）北京京运通科技股份有限公司

自 2018 年为京运通提供提供了 32 吋、36 吋炭/炭热场产品，使用寿命稳定，客户对产品认可度很高，现已形成长期供应关系。

其他光伏单晶硅企业如江苏协鑫、锦州阳光能源有限公司、四川永祥股份有限公司、天合光能股份有限公司、高景太阳能股份有限公司、云南宇泽半导体有限公司等企业均使用超码科技提供的热场产品，并将超码科技列为主要供应商。

六、主要知识产权与标准规范目录（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	普通发明	一种提高缠绕成型炭/炭复合材料层间结合强度的方法	中国	ZL201911422008.6	20220304	4976070	西安超码科技有限公司	赵松，程皓，党瑞萍，彭志刚，张灵玉，代丽娜，张永辉
2	普通发明	一种炭/炭坩埚及其制造方法	中国	ZL202011173057.3	20220408	5056563	西安超码科技有限公司	程皓，张灵玉，赵松，闵明，康文杰，党瑞萍，王晶晶，邢如鹏，侯卫权，孟凡才
3	普通发明	一种含有氧化铝涂层的 C/SiC 复合材料坩埚	中国	ZL202111658860.0	20230905	6302435	西安超码科技有限公司	程皓，张永辉，白鸽，郁荣，康媛媛，候雯菲，程凯峰

4	普通发明	回转体类炭/炭复合材料的制备方法	中国	ZL201911425012.8	20220607	5217255	西安超码科技有限公司	赵松，程皓，彭志刚，张灵玉，党瑞萍，张永辉
5	普通发明	一种具有碳化硅/硅涂层的炭/炭导流筒及其制备方法	中国	ZL202010723997.9	20220902	5429332	西安超码科技有限公司	张永辉，白鸽，程皓，赵杉，康文杰，康媛媛
6	普通发明	一种具有碳化硅/硅涂层的炭/炭坩埚及其制备方法	中国	ZL202010723996.4	20220902	5426039	西安超码科技有限公司	张永辉，赵杉，程皓，白鸽，康媛媛，康文杰
7	普通发明	一种具有碳化硅/硅涂层的炭/炭保温筒及其制备方法	中国	ZL202010723986.0	20220513	5147768	西安超码科技有限公司	张永辉，程皓，白鸽，赵杉，康媛媛，康文杰

8	企标	单晶硅拉制炉用 炭/炭复合材料坩 埚	中国	Q/XCK 001-2023	20230911	/	西安 超码 科技 有限 公司	康文杰、程皓、邢如鹏、 赵松、赵大明、张灵玉、 张旭辉、寇毅星、武珂 欣、冯宇霞、党瑞萍、 王旭鹏、张亮、孟凡才、 谢乔、侯卫权
9	企标	单晶硅拉制炉用 炭/炭复合材料保 温筒	中国	Q/XCK 002-2023	20230911	/	西安 超码 科技 有限 公司	张灵玉、程皓、赵大明、 张亚超、苏超、韩李煜、 康文杰、寇毅星、李泽 进、邢如鹏、赵松、孟 凡才、王宇浩、侯卫权
10	企标	单晶硅拉制炉用 炭/炭复合材料导 流筒	中国	Q/XCK 003-2023	20230911	/	西安 超码 科技 有限 公司	苏超、程皓、赵大明、 王佳、康文杰、寇毅星、 李泽进、张灵玉、赵松、 邢如鹏、孟凡才、谢乔、 侯卫权

七、主要完成人情况

排名	完成人	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	程皓	董事长	高级工程师	陕西中天火箭技术股份有限公司	西安超码科技有限公司	1、负责项目整体技术方案、研制工作流程的具体逻辑的设计； 2、参与设计了新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术路线，授权专利《一种提高缠绕成型炭/炭复合材料层间结合强度的方法》； 3、参与设计了天然气气相沉积和树脂液相浸渍/炭化相结合技术路线，授权专利《一种具有碳化硅/硅涂层的炭/炭保温筒及其制备方法》； 4、参与设计了高性能复合涂层制备技术路线，授权专利《一种含有 α -Al ₂ O ₃ 涂层的 C/SiC 复合材料坩埚》。
2	张灵玉	副总经理	高级工程师	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	1、参与项目技术方案整体设计； 2、参与设计新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术路线，授权专利《一种缠绕成型高强高纯炭/炭复合材料回转体的制备方法》； 3、参与设计了天然气气相沉积和树脂液相浸渍/炭化相结合技术路线，并承担了技术方案的验证，负责双元炭基体致密工艺的优化及孔隙率控制、不同比例的双元炭基体试验、不同比例双元炭基体产品的使用寿命验证，授权专利《一种炭/炭坩埚及其制造方法》。

3	张永辉	无	研究员	西安交通大学	西安超码科技有限公司	1、参与设计了高性能复合涂层制备技术； 2、负责涂层材料的选择； 3、负责硅原子与氧化铝涂层反应能模拟分析、复合涂层热震试验、涂层制备与寿命验证等，授权专利《一种含有氧化铝涂层的低密度 C/C-SiC 复合材料坩埚》，《一种含有 α -Al ₂ O ₃ 涂层的中密度 C/C-SiC 复合材料坩埚》等。
4	邢如鹏	副总经理	高级工程师	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	1、具体实施了天然气气相沉积和树脂液相浸渍/炭化相结合技术路线的开发与验证，具体为双元炭基体致密工艺的优化及孔隙率控制、不同比例的双元炭基体试验、不同比例双元炭基体产品的使用寿命验证； 2、对产品计划、生产环节关键节点进行跟进，确保产品保质保量完成交付，保证产品交付节点，授权专利《一种炭/炭坩埚及其制造方法》。
5	侯卫权	无	研究员	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	1、参与实施了新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术路线的开发与验证； 2、参与实施了天然气气相沉积和树脂液相浸渍/炭化相结合技术路线的开发与验证，授权专利《一种炭/炭坩埚及其制造方法》。
6	孟凡才	安全总监	研究员	陕西中天火箭技术股份有限公司	西安超码科技有限公司	参与了双元炭基体致密工艺的优化及孔隙率控制、不同比例的双元炭基体试验、不同比例双元炭基体产品的使用寿命验证，授权专利《一种炭/炭坩埚及其制造方法》。

7	赵大明	总经理	研究员	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	1、通过参与实施新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术，解决了现有单晶硅直拉炉用坩埚存在的环向力学性能不高、使用过程中纵向开裂的问题； 2、参与实施了双元炭基体致密工艺的优化实验，降低了炭/炭复合材料孔隙率，并参与实施了不同比例双元炭基体产品的使用寿命验证； 3、对项目产品进行质量监测，确保生产产品保质保量完成交付。
8	谢乔	副总经理	工程师	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	1、具体负责了项目研发试用产品长期的应用结果及数据积累； 2、负责项目产品的市场推广； 3、并参与实施了高性能复合涂层制备技术的技术开发与寿命验证。
9	赵松	副部长	高级工程师	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	提出了一种新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术并参与开发实施，解决了现有单晶硅直拉炉用坩埚存在的环向力学性能不高、使用过程中纵向开裂的问题，授权专利《一种提高缠绕成型炭/炭复合材料层间结合强度的方法》、《一种缠绕成型高强高纯炭/炭复合材料回转体的制备方法》《回转体类炭/炭复合材料的制备方法》等。

10	康文杰	部长	高级工程师	西安超码科技有限公司	西安超码科技有限公司	1、参与实施新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术，具体负责了预制体实物制作及寿命考核。 2、具体实施了不同比例的双元炭基体试验，降低了炭/炭复合材料孔隙率，提高了产品致密密度，授权专利《一种炭/炭坩埚及其制造方法》、《一种具有碳化硅/硅涂层的炭/炭导流筒及其制备方法》等。
----	-----	----	-------	------------	------------	--

八、主要完成单位及创新推广贡献

主要完成单位为西安超码科技有限公司，其提供了项目研制所需的人力、物资、资金、场地等资源；提供了技术开发所需的技术支持、研制计划管理，质量体系监督；提供了项目市场销售服务。

九、完成人合作关系说明

程皓作为项目第 1 完成人，不仅设计了项目整体技术方案和研制工作流程，确保了各项工作的顺利推进，还参与了多个创新点的技术路线设计，如新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术、双元炭基体优化组合快速低成本致密技术等，并成功授权多项专利。

项目第 1 完成人程皓、第 2 完成人张灵玉、第 3 完成人张永辉、第 9 完成人赵松共同参与了新型碳纤维缠绕针刺预制体成型技术的开发。通过不断试验与工艺优化，成功解决了单晶硅直拉炉用坩埚的环向力学性能不高、纵向开裂等问题，显著降低了炭/炭复合材料的孔隙率，提高了产品的致密性和使用寿命，并共同授权发明专利《一种提高缠绕成型炭/炭复合材料层间结合强度的方法》。

项目第 2 完成人张灵玉、第 4 完成人邢如鹏、第 5 完成人侯卫权、第 6 完成人孟凡才、第 9 完成人赵松、第 10 完成人康文杰具体实施了天然气气相沉积和树脂液相浸渍/炭化相结合技术路线的开发与验证工作。对双元炭基体致密工艺进行了优化，完成了不同比例双元炭基体产品的使用寿命验证，并与项目第 1 完成人共同授权发明专利《一种炭/炭坩埚及其制造方法》。

项目第 7 完成人赵大明、第 8 完成人谢乔在项目管理和市场推广方面做出了重要贡献。他们严格把控产品生产任务节点，确保产品保质保量完成交付；同时，他们还参与了市场推广工作，为项目产品的商业化应用奠定了坚实基础，并与项目第 1 完成人程皓、第 2 完成人张灵玉、第 4 完成人邢如鹏、第 5 完成人侯卫权、第 6 完成人孟凡才、第 9 完成人赵松、第 10 完成人康文杰共同完成了《单晶硅拉制炉用炭/炭复合材料坩埚》企业标准的编制。

项目第 1 完成人程皓、第 2 完成人张灵玉、第 4 完成人邢如鹏、第 5 完成人侯卫权、第 6 完成人孟凡才、第 7 完成人赵大明、第 9 完成人赵松、第 10 完成人康文杰共同完成了《单晶硅拉制炉用炭/炭复合材料保温筒》企业标准的编制。

综上所述，本项目各完成人之间形成了紧密合作、相互支持的良好关系。他们凭借各自的专业素养和团队精神，共同攻克了技术难关，实现了项目的成功研制。