

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

微流控合成生物医药微球关键技术研发及产业化

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：

该项目由西安交通大学郝南京教授团队牵头，依托多项国家级、省部级计划，历经四年产学研协同攻关，在微流控连续流合成技术领域取得系统性重大突破。

项目围绕微尺度传质效率低、非牛顿流体液滴生成难以控制、反应器放大困难等共性技术瓶颈，发明了主动式声学微流控驱动与三维特斯拉阀混合等核心技术，构建了覆盖“芯片设计-装备制造-工艺控制”的完整微流控连续流合成平台技术体系。制备的色谱填料微球粒径 $2-50\mu\text{m}$ 可调、 $\text{CV}<3\%$ 、分离效率较商品化填料提升 15% 以上；钛酸钡纳米颗粒四方相纯度 $\geq 95\%$ 、介电常数较同类提升 35%；金磁微粒饱和磁化强度 $\geq 34\text{emu/g}$ 、稳定性超 3 个月。项目获授权发明专利 8 项、其他知识产权 13 项，发表 SCI 论文 39 篇。经中科合创科技成果评价中心鉴定，项目技术总体处于国际先进水平，其中高端钛酸钡等纳米结构粉体的精准可控合成达到国际领先水平。相关成果荣获 2026 年日内瓦国际发明展金奖等多项奖励。项目成果已成功转化并建成百吨级连续化生产线，在 10 余家企业实现推广应用，近三年新增销售额累计超 11.87 亿元。项目打破了国外长期垄断，有力推动了我国生物医药微球及功能纳米材料领域的国产化替代进程，经济和社会效益显著。

该项目创新性突出、技术先进性显著、应用效果良好，对行业科技进步推动作用明显。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

1.主要技术内容

本项目属于化学反应工程与生物医药材料交叉领域，聚焦高端纳米微球——被《科技日报》列为制约我国工业发展 35 项关键核心技术之一的基础材料。长期以来，色谱填料微球等生物医药核心耗材被美国 Cytiva、日本东曹、荷兰 Corbion 等国际巨头垄断，严重制约我国生物医药产业链自主可控。传统制备方法存在多项突出问题，无法兼顾粒径精准控制与规模化生产。

本项目依托多项国家级、省级计划支持，由 5 家单位协同攻关四年，在微流控连续流合成技术领域取得系统性突破。项目围绕四类共性技术瓶颈，发明三项核心技术，构建覆盖芯片设计、装备制造、工艺控制的完整微流控连续流合成平台技术体系，实现多品种高端微球与纳米材料的可控制备与规模化生产。

1) 将声波引入微反应通道构建可控扰动环境，揭示声波诱导微尺度涡流强化传质机理，传质效率提升 3 个数量级；

2) 阐明非牛顿流体在阶梯式 T 型微通道中的液滴生成界面演化与卫星液滴形成机制，创新设计侧通道结构实现卫星液滴分离；开发三维特斯拉阀结构微反应器，建立多向动量交换提升混合效率的流体力学模型；

3) 设计三维螺旋盘管水热反应通道，揭示二次流效应对传质与晶型转变的调控规律。构建适配光刻、3D 打印、精雕等多材质的集成化液滴微反应器，揭示液滴模板法合成微球的粒径-孔结构-材料化学性质独立调控机制，建立致孔剂相分离行为与孔结构形成模型。研制并行多通道高通量微反应器，揭示多通道并联流量分配规律，实现从实验室毫克级到百吨级产能跨越；

4) 阐明连续流合成中纳米颗粒成核生长动力学机制，建立工艺参数与粒径形貌关联模型，实现金磁微粒等核壳结构的定制化调控。

2.授权专利情况

项目获授权国内发明专利 5 件、国际发明专利 3 件、实用新型专利 6 件、软件著作权 7 件，发表 SCI 论文 39 篇，形成涵盖芯片设计、装备制造、工艺控制

的完整知识产权体系。经中科合创科技成果评价中心组织专家鉴定，项目技术总体处于国际先进水平，其中高端钛酸钡等纳米结构粉体的精准可控合成达到国际领先水平。国内外查新报告表明，除委托人前期成果外，无与查新点内容相同的文献报道。相关成果荣获 2026 年日内瓦国际发明展金奖、第十一届国际发明展览会金奖、发明创业奖项目奖二等奖等多项奖励。

3.技术经济指标

项目技术经济指标显著优于国内外同类技术：色谱填料微球粒径 2 至 50 微米可调，变异系数小于 3%，比表面积 150 至 300 平方米每克，金属离子含量低于 5 ppm，分离效率较商品化填料提升 15%以上，反应转化率接近 100%；可降解 PCL 医美微球粒径 20 至 1000 微米可调，变异系数不超过 3%，合成效率提升 50%以上，成本为进口产品一半以下；糖基生物微球（如葡聚糖和壳聚糖等）粒径 30 至 300 微米可控，成本仅为美国 GE 公司同类产品的 40%，可定制特殊类型荧光聚合物微球；锐钛矿二氧化钛、四方相与立方相钛酸钡微球可实现粒径 20 至 200 纳米，分散系数不超过 0.05，四方相纯度不低于 95%，介电常数较同类提升 35%；金磁微粒饱和磁化强度不低于 34 emu/g，金壳层厚度可控，稳定性超过 3 个月；二氧化硅纳米流体冷却液导热系数达 0.952 瓦每米每开，是传统冷却液的 5 倍；连续微流控合成相比间歇式反应釜，表面活性剂用量减少约 50%，溶剂消耗降低 60%，生产周期从数天缩短至数小时，良品率提升至 95%以上。

4.应用推广及效益情况

项目成果由西安交通大学联合西安微化精工、江阴微化精工共同转化，建成百吨级连续化生产线，具备稳定供货能力。产品已在 10 余家企业推广应用，覆盖多个高附加值领域；金磁微粒层析法检测试剂盒已在医疗机构临床使用。近三年新增销售额累计超过 11.87 亿元，新增利润 1.27 万元，孵化两家专业化公司，累计获得股权融资 2000 万元、政府人才资助 450 万元。

打破国外长期垄断，为我国电子信息、生物医药、新能源等战略性新兴产业提供关键基础材料自主保障；氧化锌纳米颗粒光催化技术使污水处理 COD 降低率提高 25%，重金属去除率提升 20%，处理周期缩短 30%；纳米流体冷却液应用于数据中心、5G 基站等高热流密度场景，降低制冷能耗，助力双碳目标；微流控

分选装备用于肿瘤早筛和罕见病诊断，推动精准医疗发展；产学研协同培养专业技术人才 50 余名，10 余名团队成员入选国家级青年人才计划及省市级人才项目，为我国微纳制造领域可持续发展提供人才支撑。

四、客观评价

1.科技成果鉴定意见：2026 年 4 月 15 日，中科合创(北京)科技成果评价中心组织专家对“微流控连续流先进纳米微球合成关键技术开发及产业化应用”进行了成果评价，专家组认为:该项目技术总体处于国际先进水平，其中在高端钛酸钡等纳米结构粉体的精准可控合成方面达到国际领先水平。

2.查新报告意见：2025 年 10 月 15 日，针对项目“微流控先进纳米钛酸钡微球关键技术研发及产业化”的国内外查新显示，检索范围内文献仅涉及部分研究内容，除委托人前期成果外，无与查新点内容相同的文献报道；2026 年 4 月 15 日针对项目“多维集成式微流控反应器研发及其微球连续流动合成产业化应用”的国内查新显示，检索范围内文献仅涉及部分研究内容，除委托人前期成果外，无与查新点内容相同的文献报道。

3.国内重要科技奖励：相关成果获得了 2026 年日内瓦国际发明展虚拟参赛中荣获金奖；第十一届国际发明展览会金奖、发明创业奖项目奖二等奖，并在 2025 年中国国际大学生创新大赛校内赛中斩获银奖，在西安交通大学“腾飞杯”创新创业大赛中荣获优秀奖及院赛二等奖，咸阳市第一届“三项改革”成果转化大赛新材料行业赛中夺得三等奖。

4.技术检测：经第三方检测机构测试，本项目微流控连续流合成的两种纳米流体产品性能优良。冰点低于零下 44 摄氏度，沸点高于 109 摄氏度，泡沫体积小且消泡迅速，对汽车有机涂料无影响，经 60 摄氏度 336 小时老化试验后样品无明显变化，导热系数最高达 0.952 瓦每米每开。测试结果验证了该技术制备的纳米流体具有优异的分散稳定性和热物性，可满足工业热管理应用需求。

5.学术性评价意见：国内外多位院士和知名教授在权威学术期刊上对本项目的微流控体系和技术给予了高度评价，清华大学骆广生院士、北京大学段慧玲院士、加拿大张雪花院士，以及宾夕法尼亚大学 Shu Yang 教授、香港城市大学于

欣格教授、哈尔滨工业大学(深圳)朱永刚教授等国内外知名学者在《Chemical Engineering Journal》等权威期刊上对本项目的微流控技术给予高度评价，认为其在液滴精准控制、声学微混合强化、纳米流体合成及热管理等方面具有显著创新性。

6.新闻报道：媒体报道:中国教育报、中国日报网、陕西日报、江阴发布推出《创新“链”动未来》系列报道等主流媒体对项目进行了深入报道，强调了项目从技术成果概念验证到产业化落地的全过程，以及其在推动科技成果转化、培育科学家商业思维、服务区域产业发展等方面的积极作用。

五、应用情况

本项目技术成果已成功应用于无锡贺氏惠仁医药、无锡特蓁智能装备、江阴特利特新材料、陕西万华仪器、陕西英拓信通等 10 余家企业，覆盖抗肿瘤药物缓释微球、化学发光免疫分析磁珠、精细化工中间体、细胞培养微载体、体外诊断微球等多个高附加值领域。项目已建成百吨级连续化生产线，形成稳定供货能力；金磁微粒层析法检测试剂盒已在医疗机构临床使用。近三年新增销售额累计超过 11.87 亿元，新增利润 1.27 亿元，有力推动了我国生物医药微球及功能纳米材料领域的国产化替代进程。

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	无锡贺氏惠仁医药科技有限公司	微流控载药缓释微球合成装备系统	用于抗肿瘤药物缓释微球、激素类长效制剂微球等领域	2024.6-2026.6	韩省力/ 029-82655451
2	无锡特蓁智能装备有限公司	微流控磁性微球合成装备系统	用于化学发光免疫分析磁珠、核酸提取磁珠、细胞分选磁珠等领域	2024.6-2026.6	王仔龙/ 18100658531
3	江阴特利特新材料技术有限	多维集成式微流控反应器系统	用于精细化工、微纳米功能材料、医药中	2024.3-2026.6	李合理/ 0510-66250

	公司		间体等多个高附加值领域		186
4	无锡西交智汇技术转移有限公司	微流控细胞培养微载体合成系统	用于 Vero 细胞、CHO 细胞、间充质干细胞等大规模培养场景	2024.7-2026.6	孙召兵/ 18100658531
5	无锡西交智汇技术转移有限公司	微流控连续流壳聚糖生物微球制备技术	用于细胞培养微载体、药物缓释载体、生物分离介质等高附加值领域	2024.2-2026.6	孙召兵/ 18100658531
6	无锡西交智汇技术转移有限公司	微流控功能化诊断微球制备系统	用于传染病检测、肿瘤标志物检测等多个体外诊断领域	2024.3-2026.6	孙召兵/ 18100658531
7	陕西万华仪器设备有限公司	微流控分选装备系统	用于生物学检测、细胞治疗及单细胞分析	2024.2-2026.6	强小龙/ 17809274223
8	陕西英拓信通科技发展有限公司	液滴微流控连续流动合成系统装备	用于高性能微纳材料、高端医药中间体规模化试制与生产	2024.3-2026.6	侯涛/ 15109278922
9	无锡步拓科技有限公司	微流控多通道集成连续流化工系统	用于精细化工合成、高端新材料制备及医药中间体研发	2024.3-2026.6	李赫天/ 18618311961
10	江阴市博奥智芯生物科技有限公司	微流控智能生物芯片调控技术	用于生物学检测、生物医药中间体研发	2024.2-2026.6	丁诚/ 13395131086

六、主要知识产权和标准规范等目录

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	一种微反应通道结构及基于其的微反应器和纳米材料合成系统	中国	ZL20211158479 6.6	2023.2.24	5749982	西安微化精工 科技有限公司	赵雄,郝南京
2	发明	一种用于分选微纳米粒子的惯性微流控芯片	中国	ZL20231010175 7.9	2025.11.4	8432967	西安交通大学	赵雄,郝南京
3	发明	基于体声波的多功能纸基微流控芯片及其制备方法与应用	中国	ZL20231017975 8.5	2026.4.11	8850083	西安交通大学	赵雄,郝南京
4	发明	一种用于分选微纳米粒子的惯性微流控芯片	卢森堡	LU505776	2024.6.13	/	西安交通大学	赵雄,郝南京
5	实用新型	一种缠绕式立体螺旋微通道混合器	中国	ZL20242145848 6.9	2025.07.0 4	23050628	西安交通大学	郝南京,黄磊,于亚杰
6	实用新型	一种用于有机聚合微球高通量制备的集成微反应器	中国	ZL20242100275 0.8	2025.01.0 3	22271998	江阴微化精工 科技有限公司	郝南京,马丽,黄磊, 姚一龙
7	实用新型	一种模块化的可拆卸并行阵列微反应器	中国	ZL20242250802 0.1	2025.11.0 7	23505650	西安微化精工 科技有限公司	郝南京;赵雄
8	实用新型	一种基于 3D 打印的集成一体化微反应器	中国	ZL20242145865 9.7	2025.04.0 1	22688855	江阴微化精工 科技有限公司	郝南京,黄磊,于亚杰
9	论文	Sharp-edgeed driven spiral acoustic micromixers for functional nanoarray engineering	中国	/	2023.04.1 1	/	西安交通大学	X. Zhao, H. Chen, Y. Xiao, J. Zhang, S. Watanabe, N. Hao
10	论文	Rational Design of Liquid-Liquid Microdispersion Droplet Microreactors for the Controllable Synthesis of Highly	中国	/	2024	/	西安交通大学	Li Ma, Yilong Yao, Xiong Zhao, Junsheng

		Uniform and Monodispersed Dextran Microspheres						Hou,Lei Huang,Zihan Ding,Xinlan Lu,Jinjia Wei,Nanjing Hao
--	--	---	--	--	--	--	--	---

七、主要完成人情况

序	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	郝南京	致公党陕西省委海外联络和留学人员委员会副主任	正高级	西安交通大学	西安微化精工科技有限公司	首创主动式声学微流控驱动—特斯拉阀混合—螺旋盘管一体化技术路线，主导百吨级生产线建设与产学研协同转化
2	黄梦雪	/	/	西安微化精工科技有限公司	西安微化精工科技有限公司	参与高通量并行微反应器设计与优化，实现二氧化硅、氧化锌等多种纳米流体的可控制备及两相传热性能验证
3	郭莉莉	研发总监	高级工程师	西安金磁纳米生物技术有限公司	西安金磁纳米生物技术有限公司	利用微流控技术制备高均一性磁性材料，开发系列体外诊断试剂，实现 15 分钟内快速检测，辅助临床精准诊疗
4	卢新兰	西藏民族大学医学院副院长	副主任医师	西安交通大学第一附属医院	西安交通大学第一附属医院	参与可降解聚合物微球（PCL）合成工艺优化与生物相容性评价，主导糖基生物微球在细胞培养微载体、药物缓释载体方向的生物学验证

5	秦宁	副主任	教授	山东大学	山东大学	为项目提供微尺度流体动力学理论支撑,主导多种微流控芯片设计与开发,助力反应器通道构型优化
6	陈真真	研发生产总监	/	江阴微化精工科技有限公司	江阴微化精工科技有限公司	负责微通道内流体动力学仿真与 PIV 实验,为声波参数与混合效率定量模型提供关键数据,参与声学微流控技术在钛酸钡、糖基微球合成中的应用
7	赵雄	/	/	西安交通大学	西安交通大学	主导多材质集成化液滴微反应器结构设计与制造工艺开发,实现通道特征尺寸 10-500 μm 、偏差 $\leq\pm 5\%$ 的高精度加工
8	马丽	/	助理工程师	西安交通大学	西安交通大学	负责非牛顿流体液滴生成机理研究与糖基微球制备工艺开发,建立非牛顿流体稳定操作范围及液滴尺寸预测模型
9	马乐	研发副总	中级	西安金磁纳米生物技术有限公司	西安金磁纳米生物技术有限公司	主导磁定量免疫层析检测技术研究及新型生物标志物检测产品开发,组织科研合作与学术推广,推动成果在生物医药领域应用

八、主要完成单位及创新推广贡献

排序	完成单位	对本项目的贡献
1	西安微化精工科技有限公司	主导核心装备工程化开发与百吨级连续化生产线建设，建立全国销售网络，牵头制定团体标准
2	西安交通大学	阐明声场-流场耦合强化传质机理，发明主动式声学微流控驱动等核心技术
3	西安金磁纳米生物技术有限公司	负责金磁微粒制备工艺优化与表面功能化修饰，开发系列体外诊断产品
4	江阴微化精工科技有限公司	承担液滴微反应器工程化设计与量产工艺优化，建成多条微流控装备生产线，参与制定团体标准并推动华东市场拓展
5	西安交通大学第一附属医院	提供骨修复、药物递送等场景的临床需求分析与应用验证，参与载药缓释微球临床前评价，推动项目成果向临床转化
6	山东大学	提供液滴生成与操控的基础理论指导，主导多种微流控芯片设计与开发，支撑反应器通道构型优化。

九、完成人合作关系说明

本项目完成人共九位，包括郝南京、黄梦雪、郭莉莉、卢新兰、秦宁、陈真真、赵雄、马丽、马乐。团队围绕微流控技术、微纳材料合成、生物检测及芯片封装等方向，通过共同知识产权、论文合著、共同获奖、共同立项及产业合作等方式建立了紧密合作。

郝南京与赵雄自 2021 年起合作完成多项微反应通道、惯性微流控芯片等专利，并合著声学微混合器论文。郝南京与马丽于 2024 年合作开发集成微反应器，并与卢新兰、赵雄共同发表液液微分散设计论文。郝南京与陈真真、赵雄、马丽共同获得微流控先进功能微纳材料合成装备与技术奖项。郝南京与秦宁于 2025 年共同立项 AI 芯片封装盖板研究。郝南京与黄梦雪、陈真真、郭莉莉、马乐合作开展氧化型低密度脂蛋白检测试剂盒产业研发。

其他成员之间亦有协作，卢新兰在液滴研究中与赵雄、马丽协同实验，陈真真在装备开发中与赵雄、马丽联合攻关，郭莉莉与马乐在试剂盒研发中与黄梦雪、陈真真密切配合。团队形成了从基础研究到产业应用的全链条合作体系。