

2026 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

定制化 AI 调控促骨活化生物陶瓷仿生骨增材制造及应用

二、提名者及提名意见

提名者：中共陕西省委军民融合发展委员会办公室

提名意见：

该项目面向骨缺损精准修复和高端骨科植入物国产化重大需求，历经 17 年攻关，首创 AI 调控仿生骨多尺度智能设计、功能材料性能反演、常温生物陶瓷增材制造装备及发育能力量化评估等关键技术，形成“设计-材料-制造-评估”全链条技术体系，总体达到国际先进水平，其中生物陶瓷仿生骨增材制造装备为国际首创。成果已在 60 余家三甲医院应用，助力 2 家企业获批 III 类医疗器械证，核心专利实现转化，近三年相关产品累计销售近 5 亿元，经济社会效益显著。项目材料完整，创新突出，成效显著，同意提名陕西省技术发明奖一等奖。

提名该项目为陕西省技术发明奖 一 等奖。

三、项目简介

“十五五”规划《纲要》和 2025 年《政府工作报告》明确提出，**打造生物制造新增长引擎**，推动生物技术、新材料、高端医疗器械创新发展。该项目面向**骨缺损精准修复和骨科高端医疗器械研发重大战略需求**，属机械工程、生物医学工程与人工智能深度交叉前沿领域。

我国每年骨缺损患者**超过 1000 万**，**人工骨移植是骨缺损修复重建的主要技术手段**。传统金属、高分子植入物仅能满足支撑与运动功能，无法实现生长发育。磷酸钙生物陶瓷人工骨虽能参与骨骼新陈代谢，却面临“**个性仿生难、活性适配难、增韧制造难、发育评估难**”的挑战，同时缺损部位的“拓扑形态结构、力学生物环境、新陈代谢速率”各异，迫使植入物必须能精准匹配患者的解剖结构与生理特征，实现与宿主骨骼协调的动态生长与重塑。项目组依托国家重点研发计划等 30 余项国家级课题，历经 17 年持续攻关，**开发 AI 调控的多孔骨支架智能设计方法，开创骨支架智能化、个性化的精准仿生结构设计体系；实现 rhBMP2 成熟肽临床转化，开发国际先进的“促骨活化”骨修复材料体系，融合神经网络与全军骨库，突破骨修复材料动态适配关键技术，形成“无中生有-追根溯源-化虚为实-优中选优”的一体化全链条治疗方案。**系列产品通过生物力学适配、降解时序调控和组织诱导再生三重机制协同，使骨折复位精度提升 40%，骨愈合周期缩短 30%，儿童二次手术率下降至 12%，实现骨修复“发育适配”的重大突破。项目构建定制化 AI 调控促骨活化生物陶瓷仿生骨增材制造技术体系，推动人工骨研制由经验试制向数据驱动的根本转变。**主要技术发明如下：**

技术发明一：开发了 AI 调控仿生骨多尺度智能设计方法，发明个性化仿生

骨结构智能生成范式，设计效率较传统方案提升 100 倍，实现仿生骨结构“无中生有”。针对传统人工骨设计依赖手工建模、难以实现个性化仿生和可制造性协同，首创 AI 调控的多尺度结构设计方法，通过 CNN 识别患者 CT 和天然骨多尺度特征、GAN 生成个体化梯度仿生结构，结合有限元开展多目标校核，实现力学承载、孔隙连通、营养传输与成形约束协同优化，使人工骨设计由手工建模和反复试制转向特征识别、智能生成、仿真筛选和快速迭代，显著提升个性化结构设计效率。建立全军首个骨科创伤数据库与患者 CT 骨结构知识库，构建“骨库-支架-患处”快速响应映射设计模型，实现快速个性化匹配与精准定制化设计，临床决策时间缩短 30%以上，保肢率提升 60%。

技术发明二：发明面向个体骨质的功能材料性能反演与细胞活性调控技术，形成材料组分-工艺参数精准筛选和骨诱导-降解-力学协同调控方法，实现材料配比“追根溯源”。针对传统材料筛选依赖经验试制、难以匹配个体骨质和功能目标的难题，构建仿生骨材料库，利用 CNN 预测候选材料性能、GAN 生成满足约束的材料组分与工艺参数组合，实现面向患者骨质与目标性能的反演筛选；发明仿骨单元多级结构生物陶瓷复合粉体，融合截短型 rhBMP2 成熟肽，进一步发明基于特异性细胞外基质 ECM 调控干细胞成骨分化方法，改善细胞黏附、扩增和定向成骨微环境，形成“AI 材料反演”协同技术，实现界面结合强度提升 30%、骨整合效率提高 40%。

技术发明三：国际首创常温生物陶瓷增韧增材制造装备，突破活性物质微米级精准成形与高精度制造瓶颈，实现功能化仿生骨“化虚为实”。针对陶瓷粉体与生物活性物质协同成形难题，研发国内首台 3DP 生物陶瓷常温快速增材制造成型装备，突破多粒径梯度铺粉、常温压电超微雾化喷洒和多材料有序固结技术，实现负载 rhBMP2 的功能化生物陶瓷仿生骨常温高精度高韧性精准制造，骨结构翘曲变形量降低 90%以上，挠曲强度达到 140MPa，制造精度达到 50 μm ，实现促骨活化陶瓷骨的常温增韧精准制造，建成国内首个量产平台，实现常温增韧陶瓷仿生骨时效可控的快速精准制造。

技术发明四：创建基于 AI 预测的仿生骨发育能力量化评估与闭环优化体系，突破发育能力难以术前评估的世界性难题，渗透率测量误差波动较国外技术提升 40%，实现陶瓷仿生骨“优中选优”。针对仿生骨发育能力缺乏量化评价手段的难题，基于 Darcy 定律建立多场不饱和连续渗流模型，结合 CNN 构建仿生骨发育能力与渗透率映射关系，研制骨支架渗透率测量仪，测量波动率小于 0.3%，优于国外同类设备 0.5%的水平；评估结果反馈至结构设计、材料反演和制造参数，形成“设计-制造-检测-优化”闭环，相关技术已进一步拓展至椎间融合器的渗透性能与发育能力评价，覆盖不同缺损部位、材料体系和临床需求，形成具有通用性和可推广性的共性技术平台，为功能化仿生骨及高端骨科植入物的研发、检测和临床应用提供了重要支撑。

项目**形成“基础机理-关键技术-核心装备-注册产品-临床应用”全链条成果体系**，实现了从基础理论突破、关键技术攻关、核心装备研制、医疗器械注册

到临床应用的完整贯通。建立了覆盖结构设计、材料筛选、制造工艺、装备检测、发育评估、注册检验和临床应用的分级验证体系，通过数字仿真、材料试验、装备检测与临床反馈的多层级校核，确保数字方案可制造、可检测、可注册、可临床转化。在此基础上，构建“无中生有-追根溯源-化虚为实-优中选优”的一体化全链条治疗范式，形成了可工程实施、可质量评价、可注册转化的“AI+生物制造”应用模式，推动人工骨研制由经验试制向数据驱动、智能决策转变，加速成果从实验室走向临床和产业，为高端骨科植入物国产化和个性化精准治疗提供了系统化解决方案。

研究成果获中国发明协会创业创新奖一等奖 1 项【附件 4-1】、陕西省高等学校科学技术奖 2 项【附件 4-2~3】，陕西省科技工作者创新创业大赛一等奖 1 项、金奖 1 项【附件 4-13~14】，制定 3D 打印医疗器械团体标准 5 项【附件 3-4~5、4-4~6】；围绕四个发明点形成 32 项国家发明专利，21 项软件著作权【附件 1-1、3-1~7】，在 ADV SCI、CHEM ENG J、J MANUF PROCESS 等期刊发表学术论文 125 篇【附件 3-6~7】。相关成果经张兴栋、卢秉恒院士鉴定，总体达到国际先进水平，其中生物陶瓷仿生骨增材制造装备为国际首创【附件 4-7】。生物陶瓷骨仿真假人实现军民融合，项目核心成员任新舟 600 搜救系统副总师【附件 4-12】。陶瓷仿生骨及相关产品已在北京协和医院、西京医院、北京大学第三医院、南京鼓楼医院等 60 余家三甲医院应用【附件 2-1~10】，助力 3 家企业获批 3 项Ⅲ类 NMPA 证书【附件 4-8~10】；核心专利作价 1200 万元转化【附件 4-11】，相关产品累计销售近 5 亿元【附件 2-1~10、1-2】，取得显著临床应用效果、产业经济效益和广泛社会效益，有力支撑高端骨科植入物国产化和个性化精准治疗。

四、客观评价

1. 成果鉴定与科技查新。

由张兴栋院士、卢秉恒院士等专家组成的鉴定专家组认为，相关成果总体达到国际先进水平，其中生物陶瓷仿生骨增材制造装备为国际首创【附件 4-7】。科技查新围绕生物陶瓷复合粉体、常温中性固结液、多喷头协同制造、个性化仿生骨及植入前发育能力评估开展国内外检索，检索结果显示，除本团队发表的相关文献外，国内外均未见与本项目查新点相同的文献报道【附件 5-1】。

查新点与四项技术发明逐一对应：骨库/CT 数据驱动的 AI 结构生成，生物陶瓷粉体-固结液-rhBMP2 功能复合，多粒径铺粉与多喷头常温协同制造，以及以渗透率为核心的植入前发育评估。鉴定意见对本项目技术先进性的认定，基于促骨活化生物陶瓷粉体常温固结、多组分活性材料同步喷洒、个体化骨结构制造及配套发育评价等整体技术能力。

2. 第三方检测与国际同类技术比较。

陕西省电子工业产品质量监督检验机构对生物增材制造成形机进行检测，直线运动精度为 0.02mm、重复定位精度为 0.025 mm，装备运行稳定。骨支架渗透率测量仪的测量波动率小于 0.3%，优于美国麦克、康塔同类设备 0.5%的水平。

制造端实现 600 DPI 多材料协同喷洒、50 μm 制造精度，人工骨翘曲变形量降低 90%以上、挠曲强度达到 140 MPa，体现了复杂结构精度、力学性能和活性保持的综合优势【附件 5-2】。

在制造性能方面，装备直线运动精度 0.02 mm、重复定位精度 0.025 mm，实现喷头-粉床高精度稳定定位；600DPI 喷洒支持固结液、rhBMP2 和生物墨水分区沉积，制造精度达到 50 μm ，关键细微结构经优化达到 25 μm ；人工骨翘曲变形量降低 90%以上、挠曲强度达到 140MPa，实现制造精度、结构稳定性与承载性能协同提升。

在评价性能方面，骨支架渗透率测量设备的测量波动率小于 0.3%，优于国外同类设备 0.5%的水平，并完成用户单位金属人工骨小梁测试；第三方及用户应用结果验证了低流量条件下密封、稳流、压力/流量感知和数据处理的工程可靠性，可为结构优化与产品注册提供稳定数据。

3. 医疗器械注册和临床效果。

在注册与临床应用方面项目技术助力 2 家企业获批 2 张 III 类 NMPA 证书【附件 4-8~9】。rhBMP2 骨诱导活性材料用于难愈性脊柱疾病，脊柱融合率由 88.4% 提高至 96.5%，与国外代表性产品 95.7% 相当。

用户应用资料显示，生物陶瓷仿生骨具有天然骨样多孔结构和良好生物相容性，支持细胞在支架表面及孔道内黏附、增殖，植入后与自体骨融合并逐步恢复功能；术前诊断模型辅助确定钢板、螺钉和植入位置，发育评估结果与国际科研评价结果一致，从结构设计、材料功能、制造精度和评价可靠性四个方面验证了项目技术链。

4. 重要科技奖励与成果产出。

“可发育生物陶瓷仿生骨精准制造关键技术及应用”获中国发明协会一等奖【附件 4-1】、陕西省高等学校科学技术奖 2 项【附件 4-2~3】。项目形成系列授权发明专利、软件著作权和专著，制定 3D 打印医疗器械团体标准 5 项，成果被写入美国教材《Digital Orthopedics》，体现了原创技术、工程实现和行业规范的综合贡献【附件 5-3】。

在 ADV SCI、CHEM ENG J、J MANUF PROCESS 等期刊发表 SCI 论文 125 篇【附件 3-6~7】，出版专著 2 部【附件 5-4~5】，相关研究成果形成授权发明专利 32 件、软件著作权 21 项【附件 1-1、3-1~7】、参与起草 3D 打印医疗器械团体标准 5 项【附件 3-4~5、4-4~6】。

5. 国内外同行与用户评价。

国内外生物材料、组织工程和增材制造领域专家公开评价认为，项目生物陶瓷仿生骨三维制造达到国际先进水平，骨支架兼具天然骨样微观孔隙、力学梯度和良好生物相容性。西京医院、唐都医院、南京鼓楼医院、北京大学第三医院等用户应用资料显示，术前模型可缩短 30%-50% 的手术时间，促骨活化生物陶瓷骨支持细胞攀爬并与自体骨融合，发育评估设备测量性能与国际科研评价结果一致。

中国工程院杨华勇院士公开评价团队“基于复杂骨科患者临床应用的仿生人

工骨特性测试方法，解决了仿生人工骨在术前存在黏性弹性、各向异性及不均匀运动模型缺乏相应性能测试方法的问题，并为选择用于通过 3D 打印技术制备的羟基磷灰石 (HA) 骨支架强度增韧的粘合剂提供了理论和参数依据”【附件 5-6】。中国科学院院士张立群评价“Wang 等揭示了 3 种黏合剂的黏合机制，从而为利用 3D 打印技术制备的骨支架的黏合剂提供了依据”【附件 5-7】。

项目相关技术已作为科技成果转化改革案例推广，核心专利作价入股、企业获证、医院应用和产品销售构成从创新发现到规模应用的完整证据链，受到中央电视台“活起来的人工骨”专题报道【附件 5-8】。

科技查新、鉴定意见和授权专利支撑原创性，第三方检测支撑装备与产品性能，医疗器械注册、临床应用、专利转化和销售数据支撑安全有效性及市场价值；各类证据相互独立、相互印证，覆盖技术发明、工程实现、临床价值和产业贡献。

6. 综合评价。

综合鉴定、查新、检测、注册、临床和产业化资料，项目以 AI 贯通结构设计、材料反演、活性功能化、精准制造和发育评估，形成原创发明、工程实现和应用效益相互支撑的证据链，并与四项技术发明及主要指标逐项对应。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

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	北京大学第三医院	发育评估技术	技术、30 例	2014.03-至今	刘忠军 / 010-82267368
2	中国人民解放军空军军医大学附属西京医院	植入物	产品、300 例	2015.01-至今	丁坦 / 029-84771026
3	中国人民解放军空军军医大学附属唐都医院	仿生骨植入物	产品、25 例	2015.01-至今	张波 / 029-84777728
4	南京大学鼓楼医院	植入物	产品、150 例	2015.01-至今	鲍虹达 / 025-68182022
5	中国人民武	诊断模型	产品、185 例	2013.01-至今	李战宁 / 029-82231515

	装警察部队 陕西省总队 医院				
6	西安市红会 医院	诊断模型	手术方案的制定 /58 例	2015.01-至今	马建兵 / 029- 87800002
7	中国兵器工 业五二一医 院	仿生骨植入物	产品、12 例	2015.01-至今	梁高峰 / 029- 81122631
8	苏州鼎安科 技有限公司	仿生骨植入物	产品、448 千克	2013.01-至今	李亚军/ 0512- 63395618
9	西安博恩生 物科技有限 公司	诊断模型	产品、2034 例	2020.01-至今	李晓艳 / 029- 81105202
10	西安真我三 维科技有限 公司	诊断模型	产 品 、1862	2013.01-至今	孙盈军 / 029- 68740968

项目形成 AI 仿生结构设计与材料反演平台、功能化生物陶瓷仿生骨精准制造装备、骨支架发育能力评估设备，以及复合粉体、个体化仿生骨和大段骨等系列产品；成果已在 60 余家三甲医院、20 余家企业及国家重大工程中应用，覆盖术前设计、材料制备、人工骨制造、临床植入、注册检验和质量评价。

建立“临床需求-脱敏 CT 重建-AI 结构生成与仿真校核-材料性能反演-梯度铺粉与多材料制造-尺寸/力学/渗透评价-临床反馈优化”流程，以设计文件、材料批次和质量数据贯通医院、高校与企业，实现个体化人工骨研制全过程可追溯。

1. AI 结构与个体化诊疗。

基于患者 CT 构建 1:1 解剖模型和缺损结构，利用 CNN 识别天然骨形态与骨小梁特征、GAN 生成候选人工骨结构，再经有限元和渗流分析筛选匹配方案，用于骨盆、脊柱、胸廓和大段负重骨等复杂部位的手术规划、固定方案演练与个体化植入物设计。术前诊断模型累计应用 1 万余例，手术时间缩短 30%-50%。

2. 功能材料与促骨活化生物陶瓷人工骨。

生物陶瓷复合粉体用于人工骨直接成形和金属植入体表面功能化，相关产品取得 III 类 NMPA 注册证并实现临床应用；个体化生物陶瓷仿生骨完成 300 余例临床研究，与自体骨融合良好。截短型 rhBMP2 成熟肽及牙周组织 ECM/牙周膜干细胞成骨调控成果强化骨诱导微环境，脊柱融合率达 96.5%。

3. 精准制造装备与产业化平台。

3DP 生物陶瓷快速增材制造装备用于复合粉体梯度铺放、固结液/rhBMP2/生物墨水常温协同喷洒和个体化人工骨批量制造，形成装备、软件、工艺包与材料包协同输出的制造平台；整体技术孵化西安博恩、苏州鼎安等高新技术企业，并在北京桐源三维、西安真我三维等 20 余家企业应用，推动陶瓷人工骨由实验室定制向规范化生产转化【附件 1-2、2-1~10】。

4. 发育能力评估与注册检验支撑。

骨支架渗透率测量技术已用于北京大学第三医院 Ti6Al4V 人工骨小梁评价，测量波动率控制在 0.3%以内，支撑 3D 打印椎间融合器注册和生产许可【附件 2-1】；设备可比较不同孔径、梯度、成形工艺和材料的多孔植入物，识别低通达区域并反馈优化孔隙连通、材料分区和制造参数，为植入前筛选、注册检验与跨机构数据共享提供统一量化依据。

5. 重大任务拓展应用。

生物陶瓷骨支架应用于航天 921 载人工程抗骨质疏松药物筛查，将周期由 6 个月缩短至 14 天，揭示了宇航员空间骨丢失机制，并提供了防护策略【附件 6-5】；术前彩排模型服务中柬“和平天使-2023”卫勤联演，提升野战手术训练效能；多感知假人服务新舟 600 搜索救生系统优化【附件 4-12】。医院、高校、企业及评价设备形成“需求-研发-注册生产-性能验证-临床反馈”闭环，并实行临床产品、术前模型和科研支架分级管理，确保应用边界清晰。

2. 应用效益

1. 经济效益。

项目通过专利许可/作价入股、装备和材料销售、医疗器械产品转化等方式实现产业化。3 项核心植入骨制备专利作价 1200 万元增资企业【附件 4-11】，形成产学研医协同转化模式；项目助力 2 家企业获批 2 张 III 类 NMPA 证书【附件 4-8~10】，近三年陶瓷仿生骨及相关产品累计销售近 5 亿元【附件 2-1~10、1-2】。

项目形成四类产业化收益：复合粉体和活性材料销售，个体化术前模型与人工骨产品销售，增材制造/评价装备及技术服务，核心专利许可和作价入股。通过“知识产权-工艺参数-核心装备-注册产品”组合转化，形成一次性技术转化收益与企业持续生产销售相结合的产业化模式。

2. 临床与社会效益。

项目形成覆盖术前智能设计、个体化植入物制造和植入前发育评价的骨缺损修复技术链：术前诊断模型累计应用 1 万余例，用户反馈手术时间缩短 30%-50%；促骨活化生物陶瓷仿生骨开展 300 余例临床研究，与自体骨融合良好。AI 结构设计、天然骨样梯度孔道、rhBMP2 骨诱导和植入前发育评价协同提高修复精准性，降低重复手术与康复延误风险。

国产产品价格约为进口同类产品的 1/7，在保持临床效果相当的同时降低患者和医疗机构负担；可降解、生物陶瓷仿生骨减少永久异物和重复手术，具有减轻患者痛苦、缩短康复周期和节约医疗资源的综合价值。

对于儿童、老年骨质疏松及大段骨缺损等人群，人工骨与宿主骨动态重塑的理念突破永久性静态植入物局限；对于难愈性脊柱疾病，国产 rhBMP2 方案降低进口依赖和使用成本。相关技术面向我国庞大骨缺损人群，具有显著公共卫生价值，契合“十五五”规划《纲要》和 2025 年《政府工作报告》。

3. 行业带动效益。

项目打通生物陶瓷复合粉体、活性因子、个体化人工骨、增材制造装备和评价仪器产业链，孵化 2 家高新技术企业并在 20 余家企业推广，推动骨科产品由仿制替代向 AI 设计和智能制造升级；制定 3D 打印医疗器械团体标准 5 项，以 AI 模型、装备参数和发育评价数据贯通研发生产，为个体化植入物规范化、规模化制造提供依据。

项目构建医工交叉团队和科研平台，培养掌握人工智能、增材制造、材料和临床需求的复合型人才；大型科研设备开放和工艺标准化服务周边单位，提升区域创新资源利用效率。专利转化 19 件、软件著作权和专著论文等成果，增强行业知识供给，并为企业后续产品迭代形成持续技术来源。

4. 科技与战略效益。

成果获中国发明协会一等奖 1 项、陕西省高等学校科学技术奖 2 项，形成系列发明专利、软件著作权、论文和专著；其中牙周组织特异性细胞外基质 ECM 制备及应用、细胞外基质调控牙周膜干细胞成骨分化两项国家发明专利，拓展了功能材料与细胞调控成果链。相关成果被美国教材《Digital Orthopedics》收录，核心专利转化入选科技成果转化改革案例，并服务航天抗骨质疏松药物筛查、卫勤训练和搜索救生装备。

项目实现由基础机理、智能算法到功能材料、核心装备、注册产品和临床应用的全链条贯通，降低部分高端骨科材料及生物活性产品的进口依赖，促进医疗器械、生物材料与智能制造交叉融合，为“健康中国 2030”和陕西省高端装备、生物医药产业升级提供技术支撑。其中，陕西省内完成核心算法、制造装备和关键材料研发，建成校企联合研究中心并孵化高新技术企业，形成高校原创、军医临床验证和企业工程化协同的区域创新链。

在国家重大工程方面，陶瓷骨支架将抗骨质疏松药物筛选时间从 6 个月缩短至 14 天，为航天员长期在轨骨健康研究提供工具；卫勤联演和搜索救生装备应用验证相关仿生制造与多场感知技术在复杂环境下的工程价值。项目由临床骨修复向航天医学、应急救援拓展，放大了基础研究和装备技术的战略效益。

项目形成数据可积累、模型可学习、装备可柔性制造、产品可量化评价的人工骨创新平台。其贡献既体现为专利转化、产品销售和临床病例等现实效益，也体现为建立自主可控的功能化生物陶瓷人工骨研发与制造范式，为高端医疗器械国产替代、质量安全和国际竞争提供持续技术支撑。

六、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	一种基于 AI 的骨科 3D 打印方法和装置	中国	ZL202210200495.7	2022.0527	5188238	西安博恩生物科技有限公司	汪焰恩;张卫红;罗卓荆;李欣培;张驰;毛海龙;刘喆维
2	发明专利	一种生长因子浓度梯度可控的人工硬骨支架制备方法	中国	ZL201810423738.7	2021.0507	4406287	西北工业大学	汪焰恩;宋瑶;国玉鸿;蔡显轩;柴卫红;杨明明;王国伟;饶逸文;姜安国
3	发明专利	一种基于人工智能的口腔图像多组织全自动分割方法	中国	ZL202311295349.8	2025.12.12	8573888	西安博恩生物科技有限公司	汪焰恩;张驰;李欣培;乔虎;刘喆维;毛海龙
4	发明专利	一种基于细胞外基质的调控牙周膜干细胞成骨分化的方法	中国	ZL201910127920.2	2019.07.01	6249627	中国人民解放军第四军医大学	武俊杰;金作林;文艺;杨鸿旭;王阿嫻;陈晓东

5	发明专利	一种骨发育能力评价的方法及装置	中国	ZL202510799044.3	2025.07.15	3005013	西安博恩生物科技有限公司、博恩生物医学（浙江）有限公司、海宁长三角空天动力研究院有限公司	张驰；汪焰恩；毛海龙；刘喆维；罗松；张亚匡
6	发明专利	一种高分子人工骨支架 3D 打印装置	中国	ZL202310765637.9	2023.06.27	8374776	西北工业大学	汪焰恩；陈小虎；刘智胜；李明阳；刘敏艳；王硕；张娟；崔佳澍；潘思宇；胡昊男
7	发明专利	孔隙率可控的人工骨支架制备方法	中国	ZL201110347242.4	2011.11.04	1794807	西北工业大学	汪焰恩；魏庆华；秦琰磊；李鹏林；杨明明；潘飞龙；郭叶叶；叶东东；龙水军；毛海龙；韩琴；王月波；周金华；魏生民

8	团体标准	注射用羟基磷灰石微球填充剂技术要求	中国	T/CIET 1832-2025	2025.09.10	中国国际经济技术合作促进会	西北工业大学、上海瑞邦生物材料有限公司、苏州鼎安科技有限公司、苏州大学附属第一医院、上海倍尔康生物医学科技有限公司、陕西佰做再生医学有限公司、浙江来益美生物医药有限公司、上海贝融生物基因工程有限公司，四川绵阳兴合益新材料科技有限公司、润美时光(北京)生物科技有限公司、上海久鸿泉新材料科技有限公司、陕西省	汪焰恩；付劫；李想；李欣培；谢宏程；李亚东；李克；王成伟；樊杏利；沈大冬；桂成林；何冰；何路伟；李亚军；袁军林；张天阳；张晓宇；何伟；刘时璋；李然然；刘岩；吴永利；汪贤峰；时俊伟；王艳杰；徐敬铭；包瑾；吴斌
---	------	-------------------	----	------------------	------------	---------------	--	---

							人民医院、通 标中研标准化 技术研究院(北 京)有限公司、 途邦认证有限 公司	
9	论文	Effects of dispersant concentration on the properties of hydroxyapatite slurry and scaffold fabricated by digital light processing	中国	109 (2024) 460- 470	2023.12.04	Journal of manufacturing processes	Northwestern Polytechnical University、 Xi' an Gaoxin Hospital	Minyan Liu, Yanen Wang, Xiaowu Liu, Qinghua Wei, Haonan Zhang, Mingyang Li, Zhisheng Liu, Chengwei Bao, Kun Zhang
10	论文	Sortilin- Mediated Inhibition of TREK1/2	中国	2024.11.2310295	22024.11	Advanced science	Wei Sun, Fan Yang, Yan Wang, Yan Yang, Rui Du,	The Fourth Military Medical University

		Channels in PrimarySensory Neurons Promotes Prediabetic Neuropathic Pain					Xiao-Liang Wang, Zhi-Xin Luo, Jun-Jie Wu,*, Jun Chen*	
--	--	--	--	--	--	--	---	--

七、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
汪焰恩	1	副院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	1、发明了常温固液，实现了生物陶瓷的常温固化；2、研究了生物陶瓷粉体强韧固化工艺，解决了陶瓷骨强韧兼容、力学匹配难题；3、设计并研制 AI+生物陶瓷骨支架生长发育评估测量技术及装备。
张驰	2	无	无	西北工业大学	西北工业大学	1、参与研制骨支架常温中性精准制造装备，骨支架系列产品产业化； 2、参与发明了生物陶瓷羟基磷灰石粉体，解决了陶瓷材料生物活性及功能化的难题；
武俊杰	3	无	教授	中国人民解放军空军军医大学	中国人民解放军空军军医大学	重点承担临床试验组织、生物学评价及 rhBMP2 与干细胞成骨分化相关研究。系统完成功能化生物陶瓷仿生骨及 rhBMP2 产品的安全性、有效性和临床疗效验证。

续惠云	4	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	主要承担功能化生物陶瓷仿生骨的生物学评价与成骨活性机制研究。系统开展了生物陶瓷复合粉体及负载 rhBMP2 支架的细胞相容性、骨诱导活性和降解行为评价，建立了从细胞黏附、增殖到成骨分化的体外评价体系，支撑了功能化生物陶瓷仿生骨产品从实验室研究向临床转化的衔接。
任博	5	无	副主任医师	西安市红会医院	西安市红会医院	提供骨缺损修复的临床需求分析、适应证筛选和影像数据支持；负责开展体外细胞实验、动物实验及必要的临床前评价，组织相关临床病例收集和随访；及时向反馈支架在生物学性能、力学适配性和可操作性等方面的改进建议
刘智胜	6	无	无	西北工业大学	西北工业大学	建立骨库与患者 CT 驱动的仿生结构知识库，构建“CNN 特征识别-GAN 结构生成-有限元校核”协同设计框架，实现宏观外形、介观孔道与微观骨小梁多尺度协同仿生，输出可直接用于增材制造的结构方案。

八、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	西北工业大学充分发挥在机械工程、材料科学与生物医学工程交叉领域的基础研究和工程化优势，牵头承担国家重点研发计划等国家级课题，组织多学科团队历经 17 年持续攻关，全面主导项目顶层设计、关键技术创新与成果集成。在科技创新方面，学校首创 AI 驱动的仿生骨多尺度智能设计方法，建立全军首个骨科创伤数据库和患者 CT 骨结构知识库，实现个性化仿生骨结构智能生成与精准定制；发明面向个体骨质的功能材料性能反演与细胞活性调控技术，构建仿生骨知识库与材料库，形成材料组分-工艺参数精准筛选和骨诱导-降解-力学协同调控方法；国际首创常温生物陶瓷增材制造装备，突破活性物质微米级精准成形与高精度制造瓶颈，建成国内首个量产平台；创建 AI 赋能的仿生骨发育能力量化评估与闭环优化体系，研制骨支架渗透率测量仪，测量精度优于国外同类设备。在应用推广方面，学校主导构建“基础机理-关键技术-核心装备-注册产品-规模应用”递进式成果链和分级验证体系，推动成果在北京协和医院、西京医院等 60 余家三甲医院应用，助力 2 家企业获批 III 类 NMPA 证书，核心专利作价 1200 万元转化，近三年相关产品累计销售近 5 亿元，有力支撑了高端骨科植入物国产化和个性化精准治疗，为项目整体科技创新和产业推广作出了核心贡献。
中国人民解放军 空军军医大学	2	空军军医大学作为项目核心完成单位之一，充分发挥军队医院在骨创伤救治、临床资源整合和生物医学评价方面的突出优势，重点承担临床试验组织、生物学评价及 rhBMP2 与干细胞成骨分化相关研究。学校依托全军骨科创伤数据库和丰富临床病例资源，牵头开展多中心临床试验、适应证筛选和长期随访，系统完成功能化生物陶瓷仿生骨及 rhBMP2 产品的安全性、有效性和临床疗效验证，为相关产品获批 III 类 NMPA 证书提供了关键临床证据。在生物

		实验方面，系统开展支架细胞相容性、骨诱导活性、降解时序及体内成骨效果评价，阐明材料与宿主骨界面整合规律。在 rhBMP2 与干细胞成骨分化方面，参与完成 rhBMP2 成熟肽临床转化，建立负载 rhBMP2 功能化生物陶瓷的活性评价体系；发明特异性细胞外基质 ECM 制备方法及基于细胞外基质调控干细胞成骨分化方法，揭示 ECM 微环境对干细胞定向成骨分化的调控机制，为“促骨活化”骨修复材料体系设计和活性优化提供了关键理论与技术支撑。学校同时推动成果在军地医院转化应用，为项目临床转化和规模化推广作出重要贡献。
西安市红会医院	3	提供骨缺损修复的临床需求分析、适应证筛选和影像数据支持；负责开展体外细胞实验、动物实验及必要的临床前评价，组织相关临床病例收集和随访；及时向反馈支架在生物学性能、力学适配性和可操作性等方面的改进建议

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

1. 第二完成人张驰，参与研发 AI+材料反演模型，与本人共同发明知识产权-国家发明专利-一种基于 AI 的骨科 3D 打印方法和装置。
2. 第三完成人武俊杰，参与研发截短型重组人骨形态发生蛋白-2 (rhBMP2) 成熟肽，负责牙周膜干细胞体外扩增相关研究，与本人共同获得 2023 年陕西省科技工作者创新创业大赛一等奖。
3. 第四完成人续惠云，系统开展了生物陶瓷复合粉体及负载 rhBMP2 支架的细胞相容性、骨诱导活性和降解行为评价，与本人共同承担载人航天工程航天医学实验领域项目“基于骨细胞连接蛋白(Connexin)43 的空间骨丢失机制及其防护策略研究”。
4. 第五完成人任博，提供骨缺损修复的临床需求分析、适应证筛选和影像数据支持；负责开展体外细胞实验、动物实验及必要的临床前评价。曾与本人进行科研合作并签署科研合作协议。

5. 第六完成人刘智胜, 建立骨库与患者 CT 驱动的仿生结构映射, 实现宏观外形、介观孔道与微观骨小梁多尺度协同仿生, 与本人共同获得 2024 陕西省高等学校科学技术一等奖。