

项目情况简介（省科技进步奖）

1、项目名称

面向具身智能机器人的高仿生柔性表皮规模化制造关键技术及产业化

2、主要完成人

王晶

3、提名单位

西安市人民政府

4、提名意见

该项目聚焦具身智能机器人的高仿生柔性表皮规模化制造领域，针对当前人形机器人皮肤在色彩还原度、触感真实性和量产一致性等方面的关键技术瓶颈，在全球范围内首创性地提出了“视觉+触觉”融合的多模态仿生皮肤技术方案。项目实现了三大核心技术突破：一是低色差色彩还原系统，自主研发跨设备色彩校准算法，通过高保真光谱采集与 AI 驱动的色彩映射技术，实现远程环境下精准色彩传送，色差 $\Delta E < 1.5$ ，远超行业平均 3.0 水平，色域覆盖 98% DCI-P3，达到医疗级标准；二是 AI 驱动硅胶自动化上色系统，创新性地开发了多通道微量喷涂与视觉闭环反馈实时校正工艺，单件上色时间从传统手工 4 小时压缩至 15 分钟，效率提升 16 倍，良率从 60% 提升至 98%，人工成本降低 80%，材料浪费减少 65%，是全球首个实现硅胶类人材料自动化上色的工业化解决方案；三是多模态柔性功能性皮肤，集成压力、温度、摩擦、形变四维传感技术，构建表皮、真皮、脂肪、肌肉等类人多层物理结构，在全球首次将“视觉逼真”与“触觉感知”融合为一体，为人形机器人实现自然人机交互提供了底层基础设施。项目已申请专利 28 项，授权 11 项，其中授权发明专利 3 项，实用新型 3 项，外观专利 2 项，另获美国专利 1 项、PCT 国际专利 2 项，同时主要完成人获得 5 项计算机软件著作权，构建了从核心算法到系统平台的完整知识产权壁垒。项目已在医疗仿真器官领域累计交付超 500 套仿生器官产品，产品精度达 50-100 μm ，为行业最高标准，与华西医院等多家三甲医院达成临床合作，业务拓展至德国、俄罗斯、意大利、伊拉克等多个国家和地区。项目获得第八届中国医疗器械创新创业大赛一等奖、第六届医学 3D 打印技术与临床应用全国创新大赛一等奖等 20 余项荣誉，被人民日报头版、中央电视台国际频道等权威媒体报道，入选中国科协“科创中国”全国百强。

项目主要完成人王晶博士长期深耕生物医学工程与增材制造交叉领域，主持

国家级及省部级科研项目多项，在国际权威期刊发表学术论文 14 篇，涵盖光声成像、医学图像处理、增材制造质量评估、医用材料研究等方向，为本项目的技术创新奠定了坚实的理论与方法学基础。该项目科学技术具有显著的首创性和先进性，应用前景广阔，经济社会效益显著，符合陕西省科学技术进步奖一等奖的授奖条件。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

5、项目简介

本项目由陕西麦克斯韦医疗科技有限公司自主研发，围绕人形机器人仿生皮肤的核心技术需求，首创“视觉+触觉”融合的多模态仿生皮肤技术方案，攻克了色差控制、自动化上色和多模态触觉感知三大技术难题。

核心技术包括：（1）低色差色彩还原系统——自研色彩校准算法，色差 $\Delta E < 1.5$ ，色域覆盖 98% DCI-P3；（2）AI 驱动硅胶自动化上色系统——多通道微量喷涂+视觉闭环反馈，单件 15 分钟，良率 98%；（3）多模态柔性功能性皮肤——集成压力、温度、摩擦、形变四维传感，构建类人多层物理结构。项目已申请专利 28 项，授权 11 项，其中授权发明专利 3 项，实用新型 3 项，外观专利 2 项，另获美国专利 1 项、PCT 国际专利 2 项，同时主要完成人获得定制化医疗器械生产云平台及后台管理系统等 5 项计算机软件著作权。

项目技术经济指标：色差 $\Delta E < 1.5$ （行业平均 3.0）；单件上色时间 15 分钟（传统 4 小时）；良率 98%（传统 60%）；人工成本降低 80%；材料浪费减少 65%；色域覆盖 98% DCI-P3。项目已在医疗仿真器官领域完成技术验证，累计交付超 500 套仿生器官产品（义乳、义耳、义鼻、义指等），产品精度达 50-100 μm ，为行业最高标准，已在华西医院、成都大学附属医院等多家三甲医院实现临床应用，业务拓展至德国、俄罗斯、意大利、伊拉克等多个国家和地区。技术已成功向具身机器人皮肤领域迁移，2026 年启动机器人皮肤量产准备。项目获得第八届中国医疗器械创新创业大赛一等奖、第六届医学 3D 打印技术与临床应用全国创新大赛一等奖等 20 余项荣誉，被人民日报头版、中央电视台国际频道等 50 余家权威媒体报道，入选中国科协“科创中国”全国百强。

6、客观评价

一、科技创新性评价

本项目在具身智能机器人的高仿生柔性表皮规模化制造领域实现了多项全球首创性技术突破。低色差色彩还原系统通过自研跨设备色彩校准算法与 AI 驱动的色彩映射技术，实现色差 $\Delta E < 1.5$ ，远超行业平均 3.0 水平，是全球首个实现

远程精准色彩传送的仿生皮肤技术方案。AI 驱动硅胶自动化上色系统是全球首个实现硅胶类人材料自动化上色的工业化解决方案，单件上色效率提升 16 倍，良率从 60%提升至 98%。多模态柔性功能性皮肤在全球范围内首次将“视觉逼真”与“触觉感知”融合为一体，集成压力、温度、摩擦、形变四维传感技术，构建类人多层物理结构，填补了国际空白。项目团队在生物医学工程、光学传感、增材制造等交叉领域具有深厚学术积累，第一完成人王晶博士在国际权威期刊发表学术论文 15 篇，涵盖光声成像（Optics Express、ACS Sensors）、医学图像处理（Pattern Recognition、Medical Physics）、增材制造质量评估（Journal of Manufacturing Processes）、医用材料研究（中国塑料、合成生物学）等方向，主持多项国家级及省部级科研项目，包括基于数字光成型技术的高强度可降解复合材料骨修复支架基础研究等，为本项目的技术创新提供了坚实的理论与方法学支撑。与国际竞品对比，美国 SynTouch 触觉领先但无视觉且成本高，日本 XELA Robotics 阵列传感强但缺色彩技术，特斯拉 Optimus 仿真皮肤距大批量使用尚有距离，均未实现视觉与触觉的跨域融合。本项目是唯一同时掌握低色差色彩算法、自动化硅胶着色系统与多模态柔性传感器三项核心技术的企业，形成了跨学科系统集成壁垒。

二、应用效益评价

项目技术已在医疗仿真器官领域完成规模化验证，累计交付超 500 套仿生器官产品，覆盖义乳、义耳、义鼻等多个品类，产品精度达 50-100 μ m，为行业最高标准。已与华西医院等多家三甲医院达成技术合作与产品落地合作，完成全国首例 AI+3D 打印烧伤全脸畸形赈复体修复等标志性案例。在公益领域，为甘孜藏族儿童免费定制义鼻，为消防英雄重度烧伤面部提供修复服务。项目技术已成功向具身机器人皮肤领域迁移，2026 年启动机器人皮肤量产准备。项目获得第八届中国医疗器械创新创业大赛一等奖、第六届医学 3D 打印技术与临床应用全国创新大赛一等奖等 20 余项荣誉，被人民日报头版、中央电视台国际频道等 50 余家权威媒体报道，入选中国科协“科创中国”全国百强。

7、应用情况（200 字以内）

项目技术已在医疗仿真器官定制和具身智能机器人的高仿生柔性表皮规模化制造两大领域实现应用落地。在医疗仿真器官领域，项目技术已在全国多家三甲医院和医疗机构实现规模化应用，累计交付超 500 套产品。先后联合华西医院、成都大学附属医院，完成多例 AI+3D 打印重度面部畸形、耳鼻、乳腺术后

修复临床案例，其中全国首例 AI+3D 打印烧伤全脸畸形赈复体修复（成都大学附属医院合作）获得广泛社会认可。国际上与德国爱蒙娜（义乳 20 年品牌）、伊拉克、俄罗斯和意大利康复机构建立合作关系，业务拓展至多个国家和地区。企业联动陕西省红十字基金会等机构开展“雪域复颜·公益同行”等公益项目，2025 年为甘孜色达 3 名鼻部缺损藏族儿童免费定制义鼻，并为消防英雄牛相成等重度烧伤英雄提供免费面部修复服务，相关事迹获六十余家主流媒体报道，以仿生技术践行科技向善。项目技术已成功向具身机器人皮肤领域迁移，2026 年启动机器人皮肤量产准备，已与多家人形机器人头部企业建立联系。

主要应用单位情况如下表：

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 (MW)	应用起止时间	单位联系人/电话
1	成都大学附属医院、陕西麦克斯韦医疗科技有限公司	面向具身机器人面部软组织与类人皮肤开发： 多学科协同仿生设计、机器人面部口周软组织形态重 构、眼睑软组织仿生复刻工艺；高精度三维面部扫描采集；基于生成式 AI 的机器人面部解剖结构与软组织轮廓重建算法； 3D 打印基底+	面部畸形患者 1 例	2025 年底-2026 年 3 月	王晶/13152135752

		类人皮肤复合仿生鼻组件定制技术。			
2	华西口腔医院、陕西麦克斯韦医疗科技有限公司	面向具身机器人人类皮肤仿生部件制备：高精度三维面部形貌扫描采集；生成式 AI 软组织形态推演算法；机器人仿生软组织/类人皮肤个性化定制成型工艺；仿生鼻部类人皮肤复合构件一体化制作工艺。	面部鼻缺损患者 1 例	2025 年 3 月 -2026 年 7 月	王晶/13152135752

8、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	发明专利	喷绘方法、 喷绘装置及 可读存储介 质	中国	CN20221 1148171 X	2024. 06	第 6765291 号	陕西麦 克斯韦 医疗科 技有限 公司	王晶等
2	发明专利	喷绘方法、 喷绘装置及 可读存储介 质	中国	CN20221 1148525 0	2024. 03	第 6564963 号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	王晶等
3	发明专利	一种粘性流 体介质匀化 搅拌加工装 置及加工系 统	中国	CN20221 1148154 6	2024. 05	第 8152516 号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	王晶等
4	美国专利	义乳加工系 统	美国	US19/08 6,081	2024. 09	US 12,440 ,353 B2	陕西麦 克斯韦 医疗科 技有限 公司	王晶等
5	实用新型	喷绘装置	中国	ZL20232 0408840 .6	2023. 12	第 1997164 6号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	王晶等
6	实用新型	粘性流体介 质搅拌加工	中国	ZL20232 1730175	2024. 02	第 2020242 5号	榆林兰 质蕙心	王晶等

		装置		. 9			医疗科 技有限 公司	
7	实用 新型	人体头部模 型	中国	ZL20242 1909485 . 1	2024. 12	第 2290024 7 号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	王晶等
8	实用 新型	定制加工的 人体体外器 官	中国	ZL20242 2471903 . X	2025. 01	第 2342967 3 号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	王晶等
9	外观 设计	环形比色卡	中国	ZL20253 0087700 . 8	2025. 05	第 9572805 号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	闫嘉、梁 诗阳、朱 葛、王晶
10	外观 设计	双层环形比 色卡	中国	ZL20253 0084034 . 2	2025. 05	第 9610296 号	榆林兰 质蕙心 医疗科 技有限 公司	梁诗阳、 闫嘉、朱 葛、王晶

9、主要完成人情况

序号	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	王晶	董事长 /CEO	正高级	陕西麦克斯韦医疗科技有限公司/西安交通大学	陕西麦克斯韦医疗科技有限公司	项目创始人和总负责人，提出“视觉+触觉”融合的多模态仿生皮肤技术路线。具体贡献包括：（1）主导研发了低色差色彩还原系统的核心算法，实现色差 $\Delta E < 1.5$ 的突破性指标，对应第一项技术发明；（2）主持开发了 AI 驱动硅胶自动化上色系统的整体架构和核心工艺，对应第二项技术发明；（3）提出了多模态柔性功能性皮肤的技术方案，对应第三项技术发明。王晶博士长期深耕生物医学工程与增材制造交叉领域，主持国家级及省部级科研项目多项，包括基于数字光成型技术的高强度 S-Fibroin/HA 可降解复合材料骨修复支架基础研究等，在国际权威期刊发表学术论文 15 篇，涵盖光声成像（Optics Express、ACS Sensors）、医学图像处理（Pattern Recognition、Medical Physics）、增材制造质量评估（Journal of Manufacturing Processes）、医用材料研究（中国塑料、合成生物学）等方向，获得 5 项计算机软件著作权，申请专利 54 项，授权 28 项，是本项目核心知识产权的主要发明人。

10、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	陕西麦克斯韦医疗科技有限公司	作为项目唯一完成单位，提供了完整的研发平台、实验设施和中试条件。公司是国家级高新技术企业和国家级科技型中小企业，组建了以王晶博士为核心的跨学科研发团队，研发人员占比达 70%，涵盖生物医学工程、光学、AI、材料科学、机械工程等多个学科方向。公司依托西安交通大学等高校的科研资源，与早稻田大学、西安交通大学等建立产学研合作关系，在增材制造、医用材料、生物医学工程等领域具有深厚的研究积累。公司自主研发了三大核心技术体系，申请专利 28 项，授权 11 项，形成了从核心算法到系统平台的完整知识产权保护体系。公司从 2022 年起已累计投入 2000 余万元。主导三大核心技术体系研发，申请专利 28 项，授权 11 项。累计交付超 500 套仿生器官产品，与多家三甲医院达成合作，业务拓展至多个国家。

11、完成人合作关系说明

（200 字以内）

无。