

关于拟提名陕西省科学技术进步奖项目的公示

一、项目基本信息

1. 项目名称：高端滚动功能部件及关键装备研制
2. 提名者：汉中市人民政府
3. 提名等级：二等奖
4. 项目任务来源：国家科技计划

二、提名意见

本次提名项目所提交材料属实，项目团队不涉及外籍和外资，团队成员为国内滚动功能部件及关键加工装备行业专业技术人员及大学教授，在行业内具有一定的影响力。

提名项目针对工业母机、新能源汽车、航空航天、军工等国家重点领域用高精度高可靠性滚珠丝杠副及直线导轨副，围绕滚动功能部件及关键设备的产品设计技术、先进制造技术、生产过程及检测技术等，开发了高端滚珠丝杠副、直线导轨副、高精度螺纹磨床，在工业母机、新能源汽车、航空航天、军工等行业实现了批量应用，研制的滚道表面质量专用检测装置，填补了国内空白，提升了关键加工设备加工精度及可靠性，解决了行业“卡脖子”问题，实现了进口替代。项目技术在滚动功能部件、精密螺纹磨床具有创新性突破，已实现规模化应用。项目技术创新性突出，经济、社会效益显著。完成人、完成单位排序真实准确，知识产权、成果佐证材料齐全。经核查，本项目未获得过同等级别省部级及以上科技奖励，不存在科研诚信问题。经审查，同意提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目面向工业母机、新能源汽车、航空航天及军工领域对滚动功能部件高精度、高可靠性的现实需求，针对国产滚动功能部件及关键加工装备高端产品严重依赖进口等“卡脖子”难题，开展系统技术与工程化开发。项目系统突破热处理变形控制、结构设计优化、高精度集成磨削、精密装配、多级伸缩设计、环境适应性提升及薄壁深孔加工等关键技术，并同步研制高精高效内、外螺纹磨床，形成从机理分析、结构创新、工艺优化到装备研制的全链条技术能力。

项目主要技术创新点：

1. 高精度滚珠丝杠副结构创新与多级伸缩集成制造技术：针对反向器，通过有限元仿真优化钢球运动，创新分段五次反向曲线及沟槽曲率半径，确保平稳循环；提出分体式包络结构，减少磨损；国内首创三维外循环导管，降低噪音和温升，提升传动效率。针对军工装备空间受限，开发多级伸缩丝杠副，实现单级驱动多级同步伸缩。突破性磨杆结构设计，内螺纹磨削工件长度从 600mm 提升至 3500mm；采用国内首创盲孔内循环反向器孔设计，完成大型薄壁件加工。研究滚道表面形貌及质量控制技术，耐磨性提升 2 倍以上，精度、精度

保持性、噪音、温升、热伸长、可靠性等指标达到国内领先水平，创新设计的多级伸缩丝杠为国内首次研制，填补行业空白。

2. 高精度直线导轨设计及加工技术：导轨采用高刚性滚道布局，滑块国内首创滚道与基体分体式结构，反向循环装置采用柔性设计和多段曲线，提升刚性和精度保持性。材料采用优质合金钢及特殊预处理，关键尺寸基准与滚道一次装夹复合加工；基于比对测量和杠杆原理的快速检测装置，实现在线高精度分组检测，产品动态预紧拖动力波动、温升、噪音等关键指标达到国内领先水平。

3. 高精高效螺纹磨床设计技术：采用直接驱动技术（DDL）替代传统传动，结合先进传感与控制系统实现实时误差补偿；运用三维 CAD/CAE 构建虚拟样机，仿真优化结构并精确控制磨削温度场，减少热变形；国内首创集成制造技术，在数控内螺纹磨床上增加外磨砂轮及修整器，实现一次装夹完成螺母外圆、端面及内螺纹滚道复合加工，提高形位公差和效率；开发复杂型线砂轮修整与自动补偿技术及 CAM 软件；升级恒温大流量双重过滤冷却系统及多点式淋浴冷却装置，结合精密制造与磨削参数优化，全面提升加工精度与表面质量。

4. 高精度滚动功能部件精度保持性机理研究：针对 P0、P1 级产品，应用分形理论、磨损理论、弹流润滑理论、应力强度干涉理论及误差分析方法，以预紧力退化、摩擦磨损、接触疲劳为优化目标，建立零件几何尺寸、表面形貌与精度可靠度的关系模型；通过理论与试验分析敏感参数影响规律，给出滚道淬硬层深度、硬度、粗糙度、轮廓度、波纹度等具体指标要求，为工艺控制提供设计依据。

项目形成了涵盖创新结构设计、高精高效加工工艺、专用磨削装备及精度保持性评估的完整技术体系，开发出 P0 级滚珠丝杠副、1 级直线导轨副及数控内/外螺纹磨床等系列产品，解决了高端滚动功能部件自主可控不足的行业痛点。整体技术达到国内领先水平。

四、客观评价

围绕工业母机、新能源汽车、航空航天、军工领域用滚动功能部件高精度、高可靠性等工况要求，开展了高精度滚动功能部件精度保持性机理研究，热处理变形控制技术、结构设计优化、高精度磨削技术、集成磨削技术、精密装配技术；多级滚珠丝杠副设计技术、环境适应性能力提升、薄壁深孔零件加工等技术研究，提高产品精度、可靠性、环境适应性，满足了应用需求。

针对高精度滚珠丝杠副加工需求，从高精度成套装备结构设计技术、高精高稳定制造技术、运行性能检测评价技术、工艺应用技术、在线检测和智能化技术、磨削冷却及过滤技术、砂轮平衡及砂轮修整技术内容入手，以产品工艺性分析和现有技术能力为基础，开展了高效高精磨削工艺与装备的研发制造，突破制约精密螺纹加工关键技术，提升机床的精度保持性，开发了高精度数控内、外螺纹磨床，并在行业领域推广应用。

序号	单位名称	应用对象及规模	应用起止时间
1	秦川机床工具集团股份有限公司	高精度滚珠丝杠副、滚动直线导轨副，655 台套	2021.7-2025.12
2	重庆机床	高精度滚珠丝杠副、滚动直线导轨副，2251 台套	2021.7-2025.12
3	秦川格兰德	高精度滚珠丝杠副，370 台套	2021.7-2025.12
4	北京精密机电控制设备研究所	高可靠性滚珠丝杠副，1395 台套	2021.7-2025.12
5	南京工艺装备有限公司	高精高效数控外螺纹磨削机床6 台	2022-2025.12
6	广东凯特精密机械有限公司	高精高效数控外螺纹磨削机床2 台	2022.1-2024.12
7	滨州三合盛滚珠丝杠副制造有限公司	高精高效数控内、外螺纹磨削机床1 台	2022.1-2024.12
8	温州人本轴承	高精高效数控内、外螺纹磨削机床65 台	2022.1-2025.12
9	慈兴集团	高精高效数控内、外螺纹磨削机床56 台	2022.1-2025.12
10	比亚迪	高精高效数控内、外螺纹磨削机床25 台	2022.1-2024.12
11	南京汇川	高精高效数控外螺纹磨削机床3 台	2025.1-2025.12
12	八环科技	高精高效数控内螺纹磨削机床4 台	2025.1-2025.12

五、应用情况与效益

1、应用情况

通过本项目的实施，大大提升了项目国产高精度直线导轨和高精度滚珠丝杠的市场核心竞争力，增强了为国产数控机床以及工业母机国防军工的配套的能力。高精度直线导轨和高精度滚珠丝杠在秦川格兰德 MKE1 系列高精度外圆磨床、秦川机床 YK73 系列精密磨齿机、秦川机床 YK72 系列数控蜗杆砂轮磨齿机、重庆机床 YKS31 系列高速数控滚齿机、中平机床 MKW7675B 数控往返复式双端面磨床等高端工业母机实现批量进口替代，为国产中高档滚动功能部件在工业母机应用起到示范引领作用。

项目研制的 SGK7432×15、SKR7620C 高精度螺纹磨床加工丝杠导程精度从最高 P1 级提高到 P0 级，可以实现稳定加工 P1 级，在比亚迪、人本集团、慈兴集团、南京工艺、广东凯特、恒立液压、汇川技术等新能源汽车、工量具、滚动功能部件行业批量应用，技术成果已实现数百台销售。项目研制的大导程内螺纹滚道成型磨削机床，主要指标达到国际领先水平，实现了自主可控和进口替代。

2、经济效益和社会效益

①经济效益

项目的实施助推企业更好的发挥了研发、生产优势，生产高附加值产品，提升产品品质，提高生产效率，促进国家基础装备制造与国防建设快速发展、促进产业升级，产学研用 ” 合作，能够有效提升国家基础装备制造的核心竞争力和国防力量，进而实现工业强基。通过项目的实施，有效地增强了高精度滚动功能部件及滚道加工设备研发能力和产业化能力。项目实施以来，已实现高精度滚珠丝杠副及滚动直线导轨副销售收入 3855.96 万元，航空航天及核电用高可靠性电动缸及作动器滚珠丝杠副，销售收入 3376.26 万元。合计 6447.08 万元上述产品应用范围不断扩大，销售收入逐年递增。高精度数控螺纹磨床的研制和产业化应用，将带来显著的经济效益，近三年在高端制造业及汽车行业合计创造营 20748.49 万元，预计未来每年可增加 5000 万销售收入；通过提高滚珠丝杠副螺母生产效率和产品质量，将大幅降低客户生产成本和能耗；通过扩大市场份额和提高产品附加值，将增加企业收入和利润，带动相关产业的发展和就业增长，为地方经济发展做出贡献。

②社会效益

本项目的顺利实施，实现了滚珠丝杠副和滚动直线导轨产业化生产制造，完善了高精密滚动功能部件用钢相关标准体系，满足多种产业对滚动功能部件的综合性能要求和供货要求。通过建立创新平台，突破高档数控机床及高端国防装备用滚动功能部件依赖进口的瓶颈，替代进口，达到国际先进水平，项目产品的成功应用是对国家重点战略需求的积极响应和有力支撑，保证了武器装备、核电设施自主化和安全。

高精度数控螺纹磨床的研制成功，将打破国外在高精度滚珠丝杠副领域的垄断地位，实现国产高端滚珠丝杠副的自主生产。将解决国内制造业在高端数控机床核心部件方面“卡脖子”问题，推动国内制造业整体水平的提升。依托“产学研用”创新体系，强化企业为主体、市场为导向，快速突破技术瓶颈，促进科技成果的快速转化及相关产品产业化。盘活地方人力资源，吸纳高素质人才，增强当地经济活力。

六、主要知识产权和标准规范目录

序号	知识产权/标准名称	授权/发布时间	类型	权利人
1	滚珠丝杠滚道法向截面仿形淬火感应器	2025 年 2 月 7 日	发明专利	陕西汉江机床有限公司
2	一种滑块滚道开档尺寸检测装置	2023 年 1 月 17 日	实用新型	陕西汉江机床有限公司
3	一种机械传动部件正反向运动测量系统	2025 年 8 月 22 日	实用新型	陕西汉江机床有限公司
4	汉江机床螺纹加工设备嵌入式控制软件 V3. 2. 0	2024 年 7 月 22 日	软件著作权	陕西汉江机床有限公司

5	内螺纹磨削中心精密磨削控制软件 V2.21.0	2025 年 11 月 12 日	软件著作权	陕西汉江机床有限公司
6	滚珠丝杠副 第 2 部分：公称直径、公称导程、螺母尺寸和安装螺栓 公制系列	2025 年 10 月 31 日	国家标准	陕西汉江机床有限公司/排名第 3
7	航空航天用微型滚珠丝杠副技术要求	2025 年 8 月 8 日	团体标准	陕西汉江机床有限公司/排名第 4
8	人形机器人用行星滚柱丝杠副技术要求	2025 年 1 月 8 日	团体标准	陕西汉江机床有限公司/排名第 12
9	微型滚珠丝杠副性能测试规范	2025 年 8 月 11 日	团体标准	陕西汉江机床有限公司/排名第 4
10	无人机用微型滚珠丝杠副技术要求	2025 年 8 月 8 日	团体标准	陕西汉江机床有限公司/排名第 4

七、主要完成人情况（按排名顺序）

序号	姓名	职称	工作单位	排序	对本项目主要贡献
1	王建修	高级工程师	陕西汉江机床有限公司	1	项目总体技术路线制定和项目实施。
2	冯虎田	教授	南京理工大学	2	滚动功能部件摩擦、磨损机理研究。
3	邓顺贤	正高级工程师	陕西汉江机床有限公司	3	项目总体技术方案指导、资源协调。
4	高晖	工程师	陕西汉江机床有限公司	4	关键装备 SGK7432×15 高精度数控丝杠磨床的设计、研发。
5	虞洋	工程师	陕西汉江机床有限公司	5	关键装备 SKR7620C 内螺纹磨削中心的设计、研发。
6	张旭	工程师	陕西汉江机床有限公司	6	高端滚珠丝杠副设计、研发。
7	李军	高级工程师	陕西汉江机床有限公司	7	关键加工设备内外螺纹磨床研发技术研究、方案评审。
8	欧屹	研究员	南京理工大学	8	高精度、高可靠性滚动功能部件设计分析研究。
9	田毅	高级工程师	陕西汉江机床有限公司	9	多级丝杠副选材、热处理及加工技术研究
10	刘辉	工程师	陕西汉江机床有限公司	10	关键加工设备内外螺纹磨床电气、软著研究。

八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	单位名称	排序	对项目的创新、研发、推广贡献
1	陕西汉江机床有限公司	1	通过本项目的实施，研制的高精度直线导轨和高精度滚珠丝杠在五轴加工中心、精密磨齿机、精密卧式加工中心等高端工业母机实现批量进口替代，大大提升了国产高精度直线导轨和高精度滚珠丝杠的市场核心竞争力，增强了为国产数控机床以及工业母机国防军工的配套的能力，为国产中高档滚动功能部件在工业母机应用起到示范引领作用。 项目研制的 SGK7432×15 高精度数控丝杠磨床、SKR7620C 高精度内螺纹磨削中心，加工丝杠导程精度从最高 P1 级提高到 P0 级，可以实现稳定加工 P1 级，在比亚迪、人本集团、慈兴集团、南京工艺、广东凯特、恒立液压、汇川技术等新能源汽车、工量具、滚动功能部件行业批量应用，技术成果已实现数百台销售。其中项目研制的大导程内螺纹滚道成型磨削机床，主要指标达到国际领先水平，实现了自主可控和进口替代。
2	南京理工大学	2	南京理工大学是我国“211”工程大学，冯虎田教授团队在我国滚动功能部件行业具有巨大影响力，冯教授团队以滚珠丝杠副预紧力退化和摩擦磨损等为优化目标，建立零件与精度、可靠度的模型，开展典型产品的精度、性能测试试验研究，分析滚珠丝杠和滚动直线导轨副高精度、高可靠性保持性的机理，补齐滚动功能部件精度保持性、可靠性低的短板；从滚道表面粗糙度开展表面质量对滚道接触的影响分析，从表面形状误差（波距大于 10mm），表面波纹度（波距 110mm），表面粗糙度（波距小于 1mm）三个方面出发，找出表面几何特征形貌统计的敏感和关键因素，确定改变滚动功能部件宏观接触特性的微观形貌参数阈值，制定工作母机对滚动功能部件表面质量要求的设计规范。完成了高端精密滚珠丝杠副设计加工关键基础理论研究，为产品优化、质量提升提供了理论依据。冯教授团队的技术研究成果和团队成员服务于各个重点行业，能够将项目产生的技术和产品推广至各个领域，推动提升国产滚动功能部件质量。