

科技创新赋能行业新质生产力发展

洛阳轴承研究所有限公司党委书记、董事长 高元安

党的二十大报告指出，必须坚持科技是第一生产力、创新是第一动力，创新驱动发展战略，开辟发展新领域新赛道，不断塑造发展新动能、新优势。2023年9月，习近平总书记在黑龙江考察时强调，“要扎实推进先进制造业高质量发展，加快推动传统制造业升级，发挥科技创新的增量器作用，加快形成新质生产力。”由此可见，科技创新已成为国家核心发展战略。

一、行业科技创新现状

当前，我国已成为产量和销售额居世界第三位的轴承大国。在强基工程等国家政策的牵引下，轴承行业通过加大自主创新，在航空航天、机床、风电、盾构等领域的高端轴承方面取得了一定突破，自主化率由“十三五”时期的15%提高到了目前的25%左右。然而，我国轴承行业在基础理论、材料、表面完整性制造、试验评价技术等方面的研究还不够深入，产品性能与国际先进水平仍存在一定差距，急需加大科技创新力度，推动轴承行业高质量发展。

二、轴研所服务行业的科技创新举措

1. 优化组织架构，加强行业服务功能

为了更好地提升行业服务能力，洛阳轴承研究所有限公司（以下简称轴研所）对原有的组织架构进行了优化，先后成立了制造服务事业部和装备试验事业部。制造服务事业部下设金属材料开发部、特种材料开发部、非金属材料开发部和国家轴承质量检验检测中心，主要负责金属材料、陶瓷材料、粉末冶金材料、高分子材料、防锈与润滑材料的研究与开发、轴承质量的检验检测、标准件计量、失效分析等业务。装备试验事业部下设试验机开发部、

试验技术部、仪器开发部和设备开发部，主要负责行业高端试验装备、检测仪器装备、高精密加工装备及轴承试验分析业务。通过组织结构的优化，行业服务能力得到释放，轴研所每年服务业务收入达 2.5 亿元以上，成效显著。

2.突破关键核心技术，推动产业基础高级化

2.1 承担国家重大科技专项，加强重点项目攻关

轴研所全面贯彻落实创新驱动发展战略，围绕国家战略和重点工程任务，联合高校、科研院所、上下游企业，开展联合创新研究。“十四五”期间，轴研所承担或参与国家重点研发计划、国家工信部高质量发展专项、国家智能制造专项、国家自然科学基金等各类科研项目 83 项（民口 69 项，军口 14 项）（部分项目见表 1）。例如，航空超越离合器技术、高速精密机床轴承、风电轴承、高性能电机绝缘轴承等科研项目突破了超越离合器设计与计算、精密机床轴承批产制造工艺、大功率风电主轴轴承试验模拟、绝缘轴承涂层制备及绝缘性能评价等一批关键核心技术，有效推动了行业技术进步；依托国家智能制造标准化项目“精密轴承数字化车间标准研究与试验验证”，形成轴承数字化车间建设的 3 项基础标准，后续将转化为行业标准，助力行业企业数字化车间建设。同时，还承担了工信部公共服务平台建设项目“面向轴承的检测鉴定公共服务平台”，通过该项目的实施，将搭建行业公共检测试验平台，有效提升行业检测试验能力。

表 1 国家级重大科研项目汇总表

序号	项目名称	类型	实施期
1	多维融合感知智能轴承样机研制及验证	国家重点研发计划	2020.01—2022.12
2	滚动轴承动态和渐变共存的 可靠性试验验证及评价	国家重点研发计划	2020.01—2022.12
3	面向轴承的检测鉴定公共服务平台	工信部公共服务 平台建设项目	2020.08—2022.07
4	大型掘进机主驱动轴承批量精密制造技术	国家重点研发计划	2020.10—2023.09
5	高性能电机绝缘轴承关键技术研究及应用	国家重点研发计划	2020.10—2023.09

6	高性能减速器轴承工业性验证平台搭建及性能评估技术	国家重点研发计划	2020.10—2023.09
7	基体强韧化、超细化热处理技术在精密机床轴承的应用	国家重点研发计划	2020.11—2022.01
8	大功率风电主轴轴承、齿轮箱轴承及风电轮毂开发与应用	工业和信息化部 高质量发展专项	2022.07—2025.06
9	2022年高档数控机床主轴用高精角接触球轴承项目	工业和信息化部 高质量发展专项	2022.09—2025.08
10	国产高精度支撑轴承应用技术研究及工程化应用	工业和信息化部 高质量发展专项	2022.12—2025.11
11

2.2 部署开放课题，加强基础研究

轴研所积极践行行业归口所的使命与担当，坚持科技创新的“四个面向”，部署开放课题，联合清华大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、河南科技大学等高校，广泛吸引、凝聚国内外优秀学者，围绕高性能轴承领域基础、应用基础研究的短板与瓶颈，针对精密制造、润滑失效分析、轴承性能分析、拟动力学设计软件开发、磁悬浮轴承、智能轴承等展开研究，取得了丰硕的科研成果，并实现了成果的转化和应用。

2.3 突破关键核心技术、配套重大装备

“十四五”期间，轴研所聚焦“卡脖子”“补短板”关键核心技术的研发，累计完成重点科技攻关项目80项，重点突破了航天航空、兵器舰船、工业母机等领域高端轴承关键核心技术，完成重点新产品开发40余种，包括大尺寸高精度薄壁轴承、耐酸性盐雾腐蚀环境轴承、特种电机用轴承、商业航天固体润滑轴承、空气涡轮起动机用轴承及离合器、航空起动机用离合器组件、双向逆止器、动量轮及组件、弹性箔片轴承、高档数控机床轴承、3C轴承、高速大功率电主轴等一系列高端装备核心轴承产品及组件，为国家的重大工程配套做出了重要贡献。

3.研发高端装备仪器，提升装备自主化能力

轴承高端装备的自主研发对于保障国家装备制造业的安全和可持续发展至关重要。目前我国部分高精度、高可靠性轴承装备依然依赖进口，这严重制约了我国轴承产业的升级和发展，提升轴承高端装备的自主化能力是我国轴承行业面临的紧迫任务。轴研所在此方面进行了大量富有成效的探索。

3.1 高端试验装备

(1) 开展了航空轴承组件级试验技术研究，针对单一的轴承台架试验无法实现模拟转子-支承系统等典型部件的振动传递路径、转子支承关系、结构材料特性、主机强度等模拟工况难题，研制了航空发动机带附件机匣的主轴轴承试验器及整机级试验器，解决了航空发动机主轴轴承真实工况模拟的难题，为航发主轴轴承性能提升提供了可靠的试验技术保障。

(2) 开展了风电传动链（主轴轴承、齿轮箱轴承）组件试验技术研究，研制了风电主轴轴承弯矩加载试验台，突破了传统的风电主轴轴承单套试验方法，采用风机主轴轴系模拟试验，更加真实模拟工况环境，实现了对风电主轴轴承的寿命试验、加速寿命试验、摆动磨损试验、极限载荷试验、大位移推拉试验的综合验证，为我国风电主轴轴承的研制、国产化及应用提供了重要的支撑验证平台。

(3) 开展了轨道交通牵引电机轴承试验技术研究，研制了牵引电机轴承综合模拟试验机，解决了电机轴承载荷的适应性、润滑密封结构设计的合理性以及振动环境的影响等技术研究无法验证的问题，实现了对牵引电机轴承全要素、多环境、多工况的综合模拟试验。

3.2 高精度检测装备

开展了轴承摩擦力矩检测技术研究，针对航天角接触球轴承、新能源电机轴承、重卡轮毂轴承和关节轴承对摩擦力矩的高要求，开展了精密气体轴承支承平台技术、联合载荷加载技术和摩擦力矩测量方法研究，研制了系列

摩擦力矩检测装备，发布了摩擦力矩测量方法国家标准，推广了摩擦力矩动态指标在轴承行业和主机单位中的应用。

研制了特殊轴承电脉冲测量仪，用于某型航空发动机轴承无损检测，可量化检测轴承损伤程度，解决了我国对航空发动机轴承专用测量仪的进口依赖，实现我国对该进口检测仪器的国产化替代。

研制高精度轴系装调系统，针对航天轴承高精度装配要求，开展轴承装配参数与轴系动态参数的装调测量系统技术研究，形成全流程数据采集、存储，生成产品数据包，实现航天用高精度轴系产品的全流程过程质量数字化管理，产品已应用在航天高精度轴系装配线。

3.3 高精密自动化加工装备

针对冷辗精度提高及单机功能向生产线方向转变的需求，开展液压伺服闭环控制系统和全自动连线技术研究，研制全自动辗扩生产线，在轴承企业进行了充分应用；针对滚子超精机关键技术，开展了气动高频振荡技术、精密导辊加工技术研究，探索了陶瓷滚子超精工艺研究。

针对 I 级滚子母线轮廓、圆度、粗糙度等指标要求，以及陶瓷滚子特殊材料的要求，开展滚子超精质量与超精加工工艺参数的关联关系、气动高频振荡技术、导辊精密加工技术、油石精密加压技术、快速换型技术等研究，保证滚子超精加工精度和加工效率，满足 I 级滚子超精指标要求，研发了高精度高效率滚子超精机产品。

4. 强化标准化引领，推动产业转型升级

4.1 积极开拓国际标准领域新战场

2021 年，轴研所代表中国接替美国承担了国际标准化组织滚动轴承技术委员会外球面轴承分技术委员会（ISO/TC4/SC6）、直线运动滚动支承分技术委员会（ISO/TC4/SC11）的秘书处，使得我国在国际标准化组织滚动轴承技术委员会（ISO/TC4）中拥有与世界轴承强国瑞典、德国相同数量的秘书处（均

为 2 个),极大地提升了我国在滚动轴承国际标准化领域的影响力和话语权。2023 年,两个分会各有一项新国际标准项目成功立项,并争取到了 ISO/TC4 直接管理的 2 项标准划归 SC6 归口,分会的活跃度不断提升。

截至目前,我国累计成功立项 5 项国际标准,均由轴研所牵头制定;其中 3 项已正式发布。通过不断抢占国际标准制高点,对推动中国技术方案和轴承产品“走出去”起到了较强推动作用。

4.2 持续优化标准体系

轴研所作为全国滚动轴承标准化技术委员会(SAC/TC98)秘书处承担单位,积极贯彻《国家标准化发展纲要》,围绕制造强国战略、质量强国战略,不断强化标准化对轴承行业发展的支撑性和引领性作用,助推轴承产业转型升级。

(1) 加强前沿领域标准研制力度,以标准引领行业发展。近年来,轴研所组织行业企业先后制定了高档数控机床和机器人轴承、新能源汽车轴承、高性能医疗器械轴承、盾构机轴承等高端轴承以及材料热处理、滚动体等工业“四基”重点领域急需的标准,显著推动了轴承行业整体技术水平的提升。

(2) 加强标准修订力度,适应产业发展的步伐。近五年,修订国家标准和行业标准 52 项,占现行有效标准总数的 22%,《滚动轴承 圆锥滚子》《滚动轴承 无损检测 磁粉检测》等一批重要标准得到了及时修订。

(3) 清理淘汰落后标准,倒逼行业转型升级。近年来,共废止《滚动轴承 碳钢球》《滚动轴承 碳钢深沟球轴承》等技术落后、产品应用面窄的行业标准 12 项,实现了标准的“能进能出”。

5. 夯实国检中心建设,提升行业服务能力

5.1 以质量督促检查推动行业质量提升

在促进行业质量提升方面,制定了《精品轴承技术条件》、《滚动轴承质量分等》技术文件及《全国轴承行业质量跨标杆技术管理条例实施细则》,

为滚动轴承产品质量的提档升级提供评价依据，重点突出产品质量的差异化，旨在提升企业的质量意识，提高产品质量。

2021—2024年，3次行业督促检查的各类轴承批次占比如表2所示；质量评定结果如表3所示。为促进行业质量提升，近年来在行业督促检查中严格执行了对硬度、金相组织和磨削质量等项目的控制要求，并指导相关企业进行了质量改进。在2024年度行业督促检查中，马氏体组织偏粗大和工作面磨削烧伤现象已有明显改善。从表3中可以看出，2023年的抽检质量结果同比偏低，也主要是对硬度、金相组织和磨削质量等项目加严检测所致。

表2 行业督促检查产品类型对比

序号	类型	2021-2022年度批次占比/%	2023年度批次占比/%	2024年度批次占比/%
1	球轴承	43.6	45.6	44.3
2	滚子轴承	30.8	35.9	30.4
3	滚动体	7.5	5.8	7.6
4	其他	18.1	12.7	17.7

表3 行业督促检查产品达标对比

质量等级	2021-2022年度各等级占比/%	2023年度各等级占比/%	2024年度各等级占比/%
优等品	90.3%	83.5%	91.1%
一等品	6.0%	8.7%	3.8%
合格品	3.7%	7.8%	5.1%
不合格	0	0	0

以量大面广的深沟球轴承为例，质量评定结果见表4和表5。从表可以看出，2024年度一等品及优等品占比达100%，其中优等品占比提升19.9%；第一质量标杆及以上占比达100%，其中第三质量标杆占比提升27.2%，第二质量标杆占比提升13.4%。

表 4 2024 年度行业督促检查深沟球轴承等级品评定

质量等级	各等级品占比		
	2021~2022 年度	2023 年度	2024 年度
被评为优等品	72.2%	69.0%	88.9%
被评为一等品	22.2%	20.7%	11.1%
被评为合格品	5.6%	10.3%	0
被评为不合格	0	0	0

表 5 2024 年度行业督促检查深沟球轴承各标杆达标

质量标杆	各标杆达标占比		
	2021~2022 年度	2023 年度	2024 年度
评定为达到第三质量标杆	20.0%	3.6%	30.8%
评定为达到第二质量标杆	22.9%	25.0%	38.4%
评定为达到第一质量标杆	51.4%	60.7%	30.8%
未达到第一质量标杆	5.7%	10.7%	0

综上所述，从近几年的抽检情况来看，达到质量二标杆及三标杆的比例整体处于上升趋势，并具有尺寸精度的储备，也说明行业对质量重视程度在不断加强。

5.2 以行业实验室计量比对提升行业检验基准精度

近年来成立的轴承检测实验室越来越多，为提高测试数据的一致性和有效性，做好企业生产和客户应用的技术评价工作，国检中心组织实施了 4 次轴承外径、内径、表面粗糙度、精密环形工件尺寸的能力验证工作。通过计量比对，国检中心不断指导行业企业解决轴承测量中测试方法不当、不确定度的评估不准等问题，有效保证了测量的一致性。同时，每年为行业 500 余家单位提供计量服务，校准仪器 2000 余台，主要包括内径、外径标准件，沟径、沟位置标准件，圆度、粗糙度标准件，圆锥尺寸标准件，轴向、径向游隙标准件，振动标准件，轴承专用仪器校准等。这些工作有效夯实了轴承行业高质量发展的计量基础。

5.3 基于轴承失效机理分析保障重大装备可靠服役

针对高铁、军工、风电、核电等国家重点领域，开展高端轴承的失效分析评价，构建失效分析数据库，为重大装备用高端轴承的延寿和可靠服役提供应用数据支撑。例如，在高铁领域，与长客、唐客合作，开展高铁轴承的失效机理分析，经过多年的失效案例和分析数据积累，为高铁轴承的延寿和剩余寿命预测提供了技术和数据支撑，有效降低了高铁轴承的失效概率，将高铁轴承的免维护周期由最早的不足 90 万公里延长到 145 万公里。

三、十五五科技创新重点方向

1.加强关键核心技术攻关

轴研所将围绕国家重点领域和战略新兴产业及未来产业，以国家重大需求、行业和自身发展为导向，计划实施 19 项关键技术项目，其中包含 9 项基础研究类项目、10 项应用基础研究类项目，深化轴承材料研发与应用、摩擦磨损机理、润滑与密封技术、表面处理技术、轴承寿命与失效分析、加速寿命试验技术、制造技术与基础工艺、轴承仿真分析技术、涂层制备技术、热喷涂技术、数字化智能化检测试验技术、无损检测技术等关键核心技术的研究与攻关，为实现高端轴承自主可控、产业基础高级化和行业的高质量发展增添新动能。

2.建强公共技术服务平台

2.1 仿真分析服务平台

目前，国外知名轴承公司均有自主建立的仿真分析平台。我国轴承企业虽已逐步认识到此项工作的重要性，但由于轴承仿真分析计算涉及理论力学、材料力学、弹性接触理论、流体润滑、转子动力学等多领域的专业知识，国产仿真分析平台的建设工作仍待进一步突破。轴研所将依靠多年积累的轴承基础理论、设计、材料、检测、试验、润滑、标准、信息等方面的综合技术优势，贴近行业需求，组织专家技术团队，持续优化升级滚动轴承仿真分析

软件，搭建分析计算平台，形成评价体系，为行业提供高性能的仿真计算服务，推动产品的迭代升级。

2.2 试验检测平台

依托国家轴承质量检验检测中心，通过数字实验室建设检验平台、分析平台、试验平台、计量平台，结合检验、分析、试验、校准方法研究完善标准体系，构建集设计研发、试验检验、产品分析评价、专家咨询多位一体的、面向轴承领域的检测鉴定公共服务平台。该平台将面向行业、面向客户，开展试验、检测、鉴定、分析、计量等全方位的技术服务，为行业的产品研制、应用验证、服役与分析评价提供坚实的保障，推动行业转型升级和重大装备的可靠服役。

2.3 国内外交流与合作平台

轴研所将依托国家级创新平台开展国内外科研和项目合作；开展国内及国际人才交流与培养，实施高层次人才引进计划，吸引国内外顶尖科学家和工程师开展联合创新和技术攻关，推动全球轴承科学家和研究机构的资源共享和技术交流。同时，“十五五”将依托《轴承》和中国轴承论坛，打造行业一流的技术交流与合作平台，组织“国际轴承学术交流会议”，加强国际间的技术交流，促进国内外轴承技术的交流和碰撞，为轴承行业的科技创新、成果转化、高端产品孵化和研制提供有力支撑。

3. 开辟标准化工作新领域

3.1 深入开展国际标准制定工作

结合 ISO/TC4 重点标准化领域及我国承担两个分会的平台优势，围绕轴承摩擦力矩计算、圆度与波纹度测量、工业母机用直线轴承等方面，积极提出国际标准提案，确保“十五五”期间牵头发布国际标准 2~3 项，提升我国在滚动轴承领域国际标准制订中的话语权。

3.2 加强关键、基础标准研制

结合我国轴承行业“十五五”重点发展方向，不断强化标准对轴承行业发展的支撑性和引领性作用。一是围绕航空航天、工业母机、风力发电等领域，组织制修订《火箭发动机涡轮泵轴承规范》、《滚动轴承 机床主轴用圆柱滚子轴承》、《滚动轴承 风力发电机组主轴轴承》等重点产品标准，引领产业发展。二是围绕基础材料、基础方法等方面，组织制修订《高碳铬轴承钢》、《滚动轴承 高碳铬轴承钢零件 热处理技术条件》、《滚动轴承 超声检测方法》、《滚动轴承 绝缘轴承绝缘性能试验方法》标准，推动行业转型升级。

3.2 加强数字、绿色标准供给

依托轴研所承担的国家智能制造标准化专项“精密轴承数字化车间标准研究及试验验证”取得的成果，推动《精密轴承磨削超精数字化车间 第1部分：通用要求》《精密轴承磨削超精数字化车间 第2部分：数据采集》《精密轴承磨削超精数字化车间 第3部分：质量监控分析》等企业标准转化为行业标准，为轴承行业数字化车间建设提供标准支撑。

制订《滚动轴承行业绿色工厂评价要求》行业标准，针对轴承锻造、热处理、车加工、磨削、超精等环节制定符合轴承行业特点的控制指标，为行业企业的绿色工厂建设提供标准依据。预研轴承“碳足迹”计算方法标准，不断完善轴承绿色制造标准体系。

4.创制重大技术装备

4.1 重大试验装备

针对极端尺寸、极端工况、极端环境等复杂工况下试验成本高、效率低的问题，开展计算机的仿真分析以及虚拟试验技术，开展仿真分析研究加速寿命试验理论基础及等效方法研究，开展轴承多维试验数据的等效提取技术研究，建设基于数据库的轴承性能及寿命考核试验技术基础数据平台，突破加速寿命试验技术，为轴承性能评价及寿命评估提供支撑，从整体上提升和

扩展轴承试验的广度、深度以及模拟度，掌握航空、风电以及轨道交通领域组件级试验装备结构设计的关键技术，形成组件级及整机级试验装备产品，推广市场应用。

4.2 重大检测仪器

针对高端轴承生产制造阶段自动化和数据化发展需求，以及未来高端轴承运行阶段数字化、智能化的健康状态检测需求，开展轴承零件波纹度评估、高精度滚子轮廓检测、高速轴承动态性能检测以及轴承全生命周期数字化检测技术等关键技术研究，开发轴承波纹度测量仪、高精度轮廓测量仪、全自动保持架测量仪、轴承健康状态检测系统等一批高精密检测装备，推动高精度检测仪器的国产化，有力支撑我国高端轴承产业链自主可控。