

专家论文 6:

基础研究与轴承工业技术发展

瓦房店轴承集团有限责任公司 孙茂林

轴承工业作为精密制造产业，是制造业与装备制造业，乃至重大装备制造技术发展的关键性、基础性产业。轴承工业产品技术发展主要涉及四个方面内容，即产品市场技术需求与产品设计开发、高端产品研发与实验测试、产品制造工艺流程与质量控制、产品服役性能实现与主机对象融合。事实上，所谓轴承产业技术及产品发展的基础研究，就是围绕产业升级而进行的产品设计、试验、制造与服役上的核心技术发展问题。面对我国轴承工业发展的新形势，特别是在发展构建我国轴承工业技术创新体系及推动企业转型升级问题上，基础研究与核心技术的全面发展，对促进产品产业化核心技术与自主创新发展更有现实意义。具体来讲，通过围绕高端轴承产品发展中存在的技术难题，开展一系列基础技术或核心技术识别研究，支持高端产品精量化微尺度设计，支持产品制造质量控制技术，实现产品用户服役性能要求，是满足企业产品技术转型升级的迫切需求；同时，完善、健全基础研究及核心技术发展的管理系统或平台建设，更是有效推动产品核心技术发展，实现产业化技术升级的重要前提。

作为重大装备关键技术的高端轴承产品，其运行工况的复杂性及服役性能更高要求，远不同于一般工业与民用轴承产品。轴承组件多界面系统中各种宏微观因素对轴承服役性能有着极其复杂的影响。然而，在现代科学技术发展迅猛今天，我国轴承工业技术发展却依然延续于 60 年代左右所形成的技术发展理念，这大大束缚企业技术自主创新发展能力的提升，无法满足、适应当前轴承产业迫切发展的重大需求。例如在产品复杂界面系统中诸多宏微观或微尺度影响因素，对产品研制表现出的复杂物理现象及机理问题缺乏有效解释，就无法支持高端轴承参

加产品设计与制造技术的进步，更谈不上支持轴承产业化技术的发展。因而，面对当前高端轴承制造过程关键技术现状，迫切需要对关键科学与技术问题或物理现象加以研究，有效推动基础研究涉及的产品设计、制造与服役全过程所涉及的内在机理与方法、先进实验、测试技术、项目发展及管理。可以看到，先进制造技术发达国家非常重视精密制造及轴承产业技术的基础研究和核心技术研究，以保持其制造业技术水平的优势。如在瑞典开展的轴承摩擦学行为研究，在英国开展的轴承新型材料研究，在荷兰开展的高速润滑技术研究，在德国开展的轴承变形工程及制造补偿技术研究，以及某些大型国际轴承企业集团致力发展用于轴承产品设计开发的轴承数值实验模拟系统等。总体来讲，我国轴承工业目前研发仍然处于比较低的水平，甚至缺乏先进的、新颖的旨在推动产业层面上的技术发展概念和项目发展管理理念，导致产品技术发展长期处于徘徊局面，难以满足快速发展的轴承工业需求。因此，深入开展轴承产业精密制造基础研究，有效进行高端轴承产品核心技术识别，对我国轴承行业和装备制造业的发展是至关重要的，是一项重大产品工程。

随着我国制造业和装备制造业的发展，用户主机市场对轴承产品性能与产品技术的要求日益提高，产品设计与开发需要上水平才能满足这样的需求。基础研究要能够推动满足这样产品精量化设计水平的提升的需求，发展产品设计支持系统或技术平台。经过长时间人才及技术积累，我国轴承行业已经具备进军中高端轴承产品市场的技术潜力。然而，少数产品虽可暂时冲击高端市场，但仍然缺乏稳定、先进的产品设计平台，不了解产品技术机理，导致难以维持产品质量稳定等问题。在金融危机的背景下，各主机用户为节约成本，中高端产品的需求目光开始转向国内轴承行业，要抓住机遇走出去，稳定市场中端产品需求，急需在已有条件的基础上，认清轴承产品设计机理，提高制造精度等级与管理水平。这就需要开展诸如围绕动态接触模拟、动力学与运动学、润滑接触力学等基础理论及

技术机理研究，包括诸如轴承滚道结构参数与微观表面形式、滚动体质量与微观几何特征、保持架运动状态与摩擦磨损等问题研究。通过基础研究与设计技术发展，为轴承产品发展提供先进设计平台，满足市场技术需求。

产品研发是基础研究与核心技术发展的过程，是产品市场开发的基石；研发更加注重对产品核心技术的掌握和发展，为产品设计与开发提供技术规范和技术标准。针对市场产品技术需求提高和高端轴承产品发展需要，基础研究必然面临诸如探索高端轴承复杂界面系统表面拓扑结构、润滑剂、运动工况以及轴承材料性能等因素对界面局部与整体动态接触的影响规律问题研究；开展多域、多尺度方式开展界面耦合场动态微接触及动力学行为问题研究；认识微观动态接触场、热弹性润滑失稳、润滑剂物理化学行为等现象，揭示高端轴承接触、摩擦、磨损等设计技术的科学实质。同时，产品研制过程需要进行动态运行质量研究，评估在动态过程中起到重要影响的关键参数与识别及掌握产品先进制造过程的核心技术。为此，需要设计面向关键技术识别，开展轴承动态质量专项实验及测试，这需要发展先进的实验方法和识别手段，完善和修正高端轴承系统动态运行过程的关键参数发展模型。通过开展基础研究工作，发展合适的数值模型和试验台架；通过一系列数值模拟试验和台架试验，推动高端轴承产品核心技术和技术机理识别研究，为高端产品研发铺平道路。

轴承产品滚道与滚动体制造过程表现出来的多尺度拓扑结构特征对轴承动态运行质量起到至关重要的影响作用；其技术上深层次地隐含着诸如动态接触机理、高速切削机理、高速磨削机理、材料去除摩擦学行为机理、磨削过程参数优化、材料处理过程与表面层残余应力控制等一系列核心技术掌握的机理性问题。高端轴承制造技术发展需要面对具体产业化制造过程表现研究各种宏微观制造参数对加工质量的影响和进一步对轴承性能的影响。例如，轴承多界面多物理场动态摩擦学行为的研究，有助于了解滚道和滚动体表面加工质量对滚动体运动姿

态控制的影响，因此优化制造工艺过程参数不但满足产品制造过程需要，也需要结合轴承性能实现为前提。产业化制造技术发展是建立在对技术机理的科学把握基础之上的。先进制造过程是综合技术整合与发展的结果，没有技术或创新技术含量的质量控制或质量管理是难以驾驭产业化制造质量水平的提升。产品制造工艺过程中的基础技术研究和质量控制对保障轴承产品达到高精密、高可靠性等性能要求具有重要支撑作用。

轴承工业产品制造与研发一般独立于主机制造业发展，这降低了轴承与主机对象技术的融合与匹配，有时难以满足客户需求。轴承产品从设计到服役，均依赖于服役系统工况条件及其变化以及安装过程控制和服役周期的确定。针对轴承服役具体工况条件，通过对动态摩擦学行为数值模拟和实验测试，如润滑脂的流变学性能衰减对轴承界面刚度与阻尼的影响规律，动力学表现及摩擦学行为的影响，有助于研究产品服役性能和服役周期，确定服役条件和服役参数的调整。此外，如装配过程洁净度、安装预紧水平、转子动平衡等，均对轴承产品性能表现产生影响，甚至缩短服役周期。轴承基础研究面对这样诸如服役过程微观演化规律问题统计研究，如轴承表面运行的微观磨损及表面拓扑演化是其精密轴承稳定运行与精度保持的关键；此外，研究如何提高润滑有效性和可控性对轴承服役安全也至关重要。对产品服役全过程和服役条件进行基础技术研究，开展服役过程特征问题的模拟和关键技术的识别，有助于推动产品服役性能实现与主机对象技术融合。

基础研究及核心技术的发展需要有优良科学素质和创新理念的人才队伍来推动。两年来，瓦轴集团与国家大型轴承工程技术研究中心联合西安交通大学轴承动态润滑接触及产品精量化设计技术、武汉科技大学冶金装备及轴承技术、上海交通大学材料及热处理技术等研究团队联合开展研究工作；基于国家重点基础研究发展计划项目、国家自然科学基金项目、国家高新技术发展项目和企业创新

技术发展平台等支持，开展高端轴承产品基础研究与关键新技术识别的研究工作，取得了重要技术成果，不但为合作研究单位的基础理论与机理研究提供了重要的工业技术实践平台，也为高端轴承人才培养创造了有利条件。实践表明，有效的轴承产业技术基础或产品机理性研究，促进了高端产品核心识别发展，有助于推动轴承产业基础研究基地和轴承产品核心技术创新发展基地建设，培养高端轴承专家及创新技术人才及团队，为加快我国轴承产业产品技术升级和转型步伐提供人力资源基础。

面对整个轴承产业产品制造水平的升级要求，实现基础研究与核心技术研究根本问题，说到底还是一个如何建设创新、有效、集成的管理体系和平台的问题。在当前我国轴承工业发展历史的新阶段，面对市场形势和高端轴承创新技术发展的复杂性和艰巨挑战，围绕高端轴承开展基础研究和产品和新技术发展，在技术创新机制上和技术管理体系建设方面，需要重视研发项目发展管理的先进理念和创新的思维的推广利用，这是开展轴承产业基础研究与产品核心技术发展的重要推动力。我国轴承工业几十年来的发展经验告诉我们，开展这样有效的产品技术基础研究是十分必要的，而且有效的管理需要更加到位发展理念。瓦轴集团正基于国家大型轴承工程技术研究中心建设契机，借鉴国外基础研发理念和项目发展管理模式，围绕轴承产品设计、制造及服役过程，全面开展轴承基础研究与相应核心技术发展，全方位推动高端轴承产业技术的发展，适应市场发展新形势，在推动我国轴承产业技术发展上承担自身的历史责任。

轴承产业技术基础研究与核心技术发展，是一项涉及面非常宽广，对轴承产业提升产品设计水平、精密制造质量控制及产品服役过程性能的实现，具有极为重要的支撑作用。在当前的轴承产业技术基础研究具体实践方面，包含规划开展的基础研究项目发展与项目管理两个层次问题，前者旨在推动产品设计、制造与服役过程的关键技术或核心技术的识别，而后者是在整个产业技术层面保障有效

开展基础研究的管理基础。因此，面向我国轴承产业技术发展新形势，基础研究与产品核心技术识别的集成发展，是一项极为重要的重大产品工程项目，具有极为重要的战略价值。

参考文献：

- [1] 中国机械工程学会，“中国机械工程技术路线图”，科学出版社，2011.
- [2] 王凤才、卢秉恒，“高性能滚动轴承基础研究—轴承界面系统动态接触机理”，国家重点基础研究发展计划(973 计划)，
- [3] 国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）.
- [4] 国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定，2010 年 10 月.
- [5] 国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要，2011 年 03 月 16 日.
- [6] 张相木、李东、屈贤明，“中国装备制造业发展报告”，机械工业出版社，2009.
- [7] 工业与信息部，机械基础零部件产业振兴实施方案，2010.10
- [8] 卢刚. 浅谈滚动轴承设计制造技术及发展[J]，机械研究与应用，2007:118—120.
- [9] 谢友柏. 摩擦学的三个公理[J]，摩擦学学报，2001（3）:161—166.
- [10] 温熙森，陈循，唐丙阳. 机械系统动态分析理论与应用[M]. 北京：国防科技大学出版社，1998. 4.

作者简介：孙茂林，高级工程师，瓦房店轴承集团有限责任公司副总经理，国家大型轴承工程技术研究中心副主任