

构建国家重点实验室 提升轴承行业技术水平

洛阳 LYC 轴承有限公司副总经理 庞碧涛

中国轴承工业经过几十年的发展，取得了长足的进步，已成为世界轴承制造的大国。但是，从技术层面上讲，要完成从制造大国向制造强国的转变，是一个艰难的过程。国内轴承行业产业集中度低，骨干企业规模小，高精度、高技术含量和高附加值产品少，低端轴承产能过剩，高端轴承供给不足的现象，充分暴露出轴承行业基础研发与原始创新的不足。同时，在技术创新体系方面，各企业技术研发尚未形成支撑行业发展的技术体系，这些因素都影响着轴承行业快速健康的发展。按照国家技术创新的总体思路，构建国家重点实验室，以此为依托，在行业内开展应用技术和竞争前共性技术研究，对轴承行业技术发展具有重要意义。

2015年9月，国家科技部正式批准组建航空精密轴承国家重点实验室，就是要以高端轴承和重大装备用轴承为背景，系统开展滚动轴承技术研究，培养人才，为行业健康发展创造条件，走出一条自主创新的道路。

面对滚动轴承技术涉及面广、多学科交叉、工作环境和工况条件复杂等特点，国家重点实验室重点开展以下四个方面的工作：

一、高速轴承和重载轴承设计理论研究

高速轴承和重载轴承常常用在关键装备的关键部位，工作环境和机理复杂。

例如，航空发动机主轴轴承、直升机传动系统轴承和大型盾构主轴轴承等，处于高速轻载、高速重载和重载大扭矩等极端工况，并且轴承的非预期工况多变复杂，对其研究的结果具有典型代表性。

针对高速和重载轴承，拟从动力学、接触弹流润滑及热耦合效应三个研究方向入手，研究一整套能对滚动轴承进行全面的接触弹流润滑状况、热一流一固耦合及系统动力学特性分析的方法和技术；建立相关试验台，通过开展滚动轴承打滑及热稳定性两个专项研究，结合轴承动态性能检测，开展动力特性检测等相关试验，并验证理论及数值分析方法的正确性；形成一套高速轴承和重载轴承动力学分析平台；应用 6σ 设计理论，采用概率分析的方法开发能快速分析各种设计参数对系统影响的方法和软件，初步构建实

用的精密轴承辅助设计软件平台，为将精密轴承设计水平由常规设计推进到基于 6 σ 概率分析的精细化设计打下基础。

二、精密轴承抗疲劳制造技术研究

根据精密轴承的特点，开展精密轴承的材料及热处理技术、精密加工技术和表面改性及评价技术研究。

(一)精密轴承的材料及热处理技术

随着轴承服役指标的高速化、重载化、精密化、长寿命和高可靠性，轴承的使用环境越来越多样化，对轴承性能的要求也越来越苛刻；轴承需要通过控形控性制造，获得高精度、高性能和高稳定性。针对精密轴承在复杂苛刻服役条件下所需要的性能场、残余应力等要求，建立热力耦合作用下的组织演变模型，对热处理过程中的温度场、组织性能和残余应力相互耦合进行计算机数值模拟，指导进行精准的热处理工艺控制，实现对精密轴承的组织 and 性能预测。

同时，积极开展新材料适用性研究，构建适用范围更广、综合性能更高且相对完善的主辅材料体系。

(二)轴承的精密加工技术

高性能轴承要取得良好的抗疲劳性能，需要制造过程来保证。没有制造过程的工艺保障，材料与设计的抗疲劳预期就无法实现。

完善现有加工工艺稳定性技术研究，以表面抗疲劳性能为目标，探索相关指标参数对可靠性和寿命等性能的影响，逐步构建加工表面性能指标的评价体系。开展高精度轴承零件加工和测量技术研究，探索精密轴承精度寿命设计和评价方法，以满足高端轴承精度要求。

(三)精密轴承的表面改性及评价技术

针对实际工况对精密轴承服役性能的要求，探索适用于精密轴承的表面改性方法，研究轴承表面改性工艺的技术特征及其影响因素，探索轴承工作表面改性工艺、表面特性及其与轴承工作性能之间的内在联系，揭示表面改性的演化规律与损伤机理，分析轴承工作表面特性、润滑状态及工况条件对轴承滚动接触疲劳性能和寿命的影响规律，建立精密轴承表面特性的检测方法，为提高精密轴承可靠性、耐久性和抗表面损伤能力提供理论和技术支持。

三、航空精密轴承试验及评价技术研究

目前，轴承试验的种类大致有基础性能试验、专项性能试验、设计验证试验、寿命试验和可靠性试验等。重点实验室在开展规范常规试验方法研究的同时，开展特殊和极端工况环境轴承试验，有针对性地开展高低温、低振噪、低摩擦、高极限转速、高精度适应性和贫油工况等试验研究。

结合服役工况开展试验分析技术研究，积累试验数据，并开展轴承评价技术研究，逐步解决轴承评价依靠主机验证的被动局面。

四、构建滚动轴承基础数据库

轴承可靠性的提升取决于轴承设计、材料、制造和试验的各个环节，每个环节都存在大量的数据，构建轴承基础数据库，进行相应数据的分类管理与积累，对持续提升高端轴承的可靠性具有重要意义。

因此，拟以航空精密轴承为对象，建立精密轴承数据收集和数据处理系统，收集、分析现场数据和失效件，建立轴承材料性能、设计及工艺参数和试验数据库。建立轴承现场数据的可靠性数据模型，进而形成相关的标准和规范体系。

航空精密轴承国家实验室目前拥有一支由著名高校、科研院所和企业专家组成的实力雄厚的专家队伍，有以清华大学雒建斌院士为首的学术委员会，指导国家重点实验室以航空精密轴承为切入点，瞄准国际前沿技术，面向我国轴承行业当前和未来发展的重大需求，开展技术研究。

实验室拥有高精度断层扫描系统、扫描电子显微镜及能谱检测系统、电子探针显微分析仪、高温显微镜等一批先进的、能够跟踪国际前沿技术发展的检测分析仪器。拥有真空渗碳炉、高精度多表面复合磨床等一批代表着轴承行业先进制造水平的试制装备，能为国家重点实验室开展应用技术和竞争前共性技术研究提供有力支撑。

国家重点实验室具有较为完备的试验和分析手段，相继开发研制了航空发动机主轴轴承系列试验机、直升机轴承系列试验机和高速铁路轴承系列试验机等国内先进的试验设备；具有高速、重载、冲击、摆动等各种条件的轴承试验测试能力，可为航空与重大装备精密轴承研发提供强有力的实验保障。

航空精密轴承国家实验室按照“开放、流动、联合、竞争”的运行机制，开展高水平的学术交流，重视吸引一流学者专家到实验室开展学术技术交流，引进和培养轴承行业技术人才，并设立开放性课题，广泛开展滚动轴承应用技术和竞争前共性技术研究。通过实验室建设与运行，打造成国内一流的科技创新平台，在高端精密轴承设计理论、

制造工艺、试验技术等方面取得创新成果；积极承担各类国家科研项目，研究制定国家和行业标准，引领和带动我国精密轴承的技术进步；聚集和培养精密轴承领域急需的优秀人才，打造国内高端轴承研发人才培养基地；为大幅度提升我国航空工业和轴承行业的自主创新能力，打破在高端轴承领域长期受制于人的局面，提高精密轴承产品的国际竞争力，保障国家安全做出新的贡献。

* 庞碧涛：博士，教授级高级工程师，航空精密轴承国家重点实验室主任