

石照耀

齿轮工程及精密测量技术专家

■ 石照耀 Shi Zhaoyao

长江学者特聘教授

Chang Jiang Scholar

北京工业大学机电学院教授、博士生导师

Professor and Doctor Supervisor of College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology

：目前，精密测量技术已成为发展先进制造技术、确保产品质量的重要组成部分。请您谈一下您带领科研团队在这个领域取得了哪些重要成果。

石照耀：我们团队面向高端制造业，致力于齿轮测量、精密复杂零件的在线快速测量、特大型零件的精密测量、智能机械等方面的研究，研究成果覆盖了从理论到技术再到产品的全过程。

在精密测量技术领域，我们的主要成果有三方面：一是精密测量的基本理论；二是齿轮测量；三是测量机技术。

在精密测量的基本理论方面：发现了阿贝原则涉及的5要素、解密了其隐含的3个条件，提出了广义阿贝原则。提出“免形状(Form-free)测量”的概念并初步完成了基本理论建构。提出并论证了曲面测量存在各向异性，建立了复杂螺旋类齿轮刀具测量的全套数学模型，提出了动态测量中异常数据的灰色理论判别法。

针对齿轮测量前沿问题，主要研究成果有：提出了“以小测大”的特大齿轮激光跟踪测量方法，与合作单位共同研发出特大齿轮现场测量成套技术；提出了小模数齿轮单面啮合“双向驱动同步测量”新原理，研制了小模数齿轮传动误差测量仪；提出了齿轮双面啮合多维测量原理并研制出仪器；提出了齿轮波度样板的基本理论及实物基准，并在国内首先开展渐开线量值传递中的非渐开线方法研究。在精密仪器关键部件上，基于广义阿贝原则，发明了二维共平面导轨的新结构，它具有高精度、高稳定性、不受载荷影响等特点；研发了一种新型的球内反射式光纤测头，兼具接触式测量和非接触式测量的优点。

：您作为国际标准化组织(ISO)齿轮技术委员会(TC60)的中国委员，全程参与了齿轮精度新版国

际标准(ISO1328-1)的起草。您认为该标准的实施为中国齿轮行业带来哪些深远影响？

石照耀：齿轮精度标准是机械行业的基础标准，作为国内唯一参与ISO1328-1起草者，我深有感触。

新标准对测量仪器的要求更严格。由于仪器测量不准确导致部分合格产品被误判为不合格，这是新国际标准严格控制的。标准一发布，国外相关企业就推出了适应新标准的产品。

我国是ISO常务理事国，20多年前曾有专家参加过TC60工作会议，后因诸多原因未能参与上一轮齿轮国际标准的制定。此次参与ISO1328-1的制定，不仅意味着我们可以了解国际齿轮标准制定过程，更意味着中国恢复了在国际齿轮标准制定中的话语权。

：您在“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项中承担了重要的课题研究。请与我们分享一下这些课题的主要内容及进展情况。

石照耀：2010年，我们牵头承担的一项课题为“特大型齿轮激光跟踪在位测量系统”，参与的两项为“高效高性能精密复杂切削刀具研制”、“汽车变速器智能化在线检测试验装备”；2013年，参与的一项为“汽车齿轮快速检测及高效配对系统的研发”。我们还在重大专项的资助下开发了大滚刀检测技术和汽车变速箱的检测技术。

：国产机床经过多年的发展，整体水平已经得到很大提升。要实现国产数控机床在航空制造领域的批量应用，您认为还有哪些关键问题需要解决？

石照耀：航空制造有其特殊性，对机床的要求应该是最高的。要实现国产数控机床在航空制造领域的批量应用，我认为急需解决的关键问题主要有：(1)机床系统的可靠性问题。这是个老问题，解决的进展很慢，反映的是我国机床整体设计水平、装配工艺、装配工的手艺和关键部件的质量问题。(2)刀具与切削工艺数据库问题。航空制造常常是超硬加

石照耀：工学博士，博士生导师，教育部长江学者特聘教授。因其在精密测试技术及仪器和齿轮工程领域做出的重要贡献入选科学中国人(2010)年度人物。

现为国际标准化组织ISO TC60(齿轮技术委员会)委员、先进成形技术与装备国家重点实验室特聘专家、机械传动国家重点实验室学术委员会委员、中国仪器仪表学会机械量测试技术及仪器分会副理事长、全国齿轮标准化技术委员会副主任、曾任机械工业部成都工具研究所副总工程师。

迄今，获国家科技进步二等奖1次，获授权发明专利16项、软件著作权27项，发表论文120多篇、专著1本。



工，机床厂不重视切削机理研究和工艺数据

库的完善、航空刀具依赖进口、企业切削数据库的信息量不足，整体制约了国产数控机床性能的发挥。(3)工装夹具问题。航空薄壁件加工往往依赖工装夹具，而国产数控机床缺乏工装夹具配套，国内工装夹具生产企业缺乏。(4)配套成线问题。当前我国航空制造业快速发展中的紧迫问题是：组成生产线、为航空制造提供整体解决方案。

我国航空制造业的发展为我国数控机床的发展提供了难得的提升机床行业整体水平的良机。我国数控机床要满足我国航空制造业的需求，依然任重道远。

(采访 亦非 责编 亿霖)