



## 郝继贵 ZHU Jigui

长江学者特聘教授

Chang Jiang Scholar

国家杰出青年科学基金获得者

Winner of the National Science Fund  
for Distinguished Young Scientists

天津大学教授,博士生导师,国家杰出青年基金获得者,教育部长江学者特聘教授,国家有特殊贡献中青年专家,教育部创新团队“先进制造现场测量理论与技术”学术带头人。

一直从事计量测试技术及仪器专业的科研教学工作,创新性地研究了基于激光技术、计算机视觉和精密测量理论的新型测量原理、方法及其工程应用,成功解决了一些重点行业领域内的测量新难题,并获得了广泛引用及应用。

获得国家技术发明二等奖2项、国家科技进步二等奖1项、中国专利优秀奖1项,另获教育部技术发明一等奖、天津市技术发明一等奖等多项奖励。

# 大尺度空间的精密测量

——访天津大学精密仪器与光电子工程学院郝继贵教授

Precise Measurement Technology for Large Scale Space

本刊记者 谷雨

**记者:** 目前,有哪些针对航空领域大尺寸结构的先进的测量方法?您和您的团队开展了哪些研究工作?未来关注的重点是什么?

**郝继贵:** 随着航空制造向数字化、智能化方向发展,以激光跟踪仪为代表的现有测量方法和技术设备


越来越难以满足制造现场的高性能测量需求,网络化整体测量方法兴起并成为研究热点。区别于常规的单站测量设备,网络化整体测量是在测量空间内布置一定数量的测量单元(站),组成整体测量网络,位于测量网络中的被测目标被多个测量单元

测量观测,通过空间交会定位原理解算其三维坐标。网络化整体测量最突出的优点是可扩展性和灵活性,理论上,可以在不损失精度的前提下,通过增加单元数目有效扩展量程;调整单元布局可适应不同几何空间,改变单元的类型可实现不同的测量

功能,这为解决航空制造中多样化的测量需求提供可能。此外,网络化整体测量还具有高冗余性、高可靠性的特点,多个测量单元相互配合,不仅可以利用冗余测量信息提高测量精度,还可实时监控各单元状态,及时发现故障,从而动态调整网络结构,保证整体系统的正常工作。

课题组通过借鉴地球 GPS 概念,研究了面向大型制造的多基站、空间角度约束的整体三维测量场理论与方法,重点关注了空间角度传感新原理、整体测量场定位理论模型、空间非均匀误差分析与测量精度控制、网络布局优化等问题,通过系统深入研究,实现大尺度、高精度、多任务、准动态测量新模式。同时结合大型装备研制工程应用背景,研制了高性能测量仪器及系统。此外,我们还提出并研究了异构网络坐标测量方法,即构造一个整体测量网络,网络节点由不同种类的测量单元(设备)、控制场及基准尺等多种基准单元构成,通过空间非均匀误差理论分析方法将多源(元)数据进行融合,实现更高测量性能;同时着眼于现场测量操作高效性、测量功能多样性以及对测量环境适应性,进行测量组合优化研究。

未来会更关注大空间现场测量的量值溯源问题。在现有的大尺度空间测量定位研究中,角度姿态是构造空间精确结构的基本约束信息,长度则作为刻度信息存在。角度信息具有封闭性,而长度信息是开放的,必须经量值溯源实现量值统一,因大尺度空间“测量场”是在现场组建,必须研究提供异于常规小尺度的量值溯源手段。

:与汽车领域的测量相比,航空领域的测量技术具有哪些突出特点?存在哪些技术难点?


**郝继贵:**现代汽车制造已实现了大批量、标准化和自动化生产,面向汽车制造的测量技术必须满足流

水线制造工艺的在线测量需求,保证工艺稳定性和一致性是测量技术的主要目的。而航空制造中产品批量不大,自动化流水线制造工艺非必需,服务于数字化制造装配过程则是测量技术主要目标,考虑到航空产品体积庞大、形貌复杂、制造现场环境开放(半开放),相对精度要求高且多个测量任务并存,面向航空制造的测量技术具有新的特点:

首先,必须具备大尺度空间范围内的精密测量能力。大型航空产品整体尺寸能达数十米以上乃至上百米,同时对绝对定位精度有很高要求,低至亚毫米,某些局部细节特征甚至更低,对测量动态范围和相对测量精度有极高要求。

其次,能适应多样化的测量对象和复杂现场环境条件。航空产品(部件)大都结构复杂,特征丰富多样,各类测量对象所需信息不尽相同。此外,在现场环境中存在大量工装设备,空间关系复杂,理想测量条件得不到有效保证,且在开放空间中,误差因素不易控制,都要求测量技术必须具备适应并解决复杂现场测量问题的能力。

不同于常规尺度的空间测量问题,大尺度空间测量在测量原理方法、标定与量值溯源、精度控制与补偿、应用环境控制等方面显著不同,尤其是绝对精度高和量程范围大之间的矛盾以及测量效率要求高和大复杂空间之间的矛盾非常突出,这些对测量方法、技术和设备提出了巨大的挑战。

:您从事科研工作多年,能否与大家分享一下对您产生过重要影响的经历与感悟?

**郝继贵:**多年来一直从事精密测量相关的技术研发和工程应用工作,积累了一些经验体会,也形成了一些个人认识,主要有两方面:

一是研究选题,尤其是工科类型的研究工作,力求符合实际的应用背

景,工程目标明确,在此前提下提炼科学问题,规划研究方向,才能逐步形成自己的研究特色和主线,研究工作才有持续的生命力。我们团队研究始终着眼于工程需求,尤其关注工业制造发展过程中出现的重要测量新问题,以汽车、航空制造为代表,从实际需求中发掘研究内容,把握研究方向。比如我们及时注意到鉴于传统的使用单一仪器测量的方法难以满足飞机等大型装备制造现场恶劣环境下的测量需求,提出了分布式和异构网络式测量方法和原理,为快速发展的大型装备制造技术提供了有力的测量手段和工具。在多年的实践中,结合自身学科背景,逐渐形成了以面向制造的大尺寸几何量测量为主的研究方向,在此方向上深耕细作,在服务于重要工程应用的同时,不断探索新的研究内容,展现出强大的生命力,形成自己的品牌特色。

二是注重学科交叉与融合,通过借鉴和结合其他学科的研究方法、研究成果不断充实本领域研究内涵,补充新鲜血液。虽然不同学科之间具体研究内容不同,但是他山之石可以攻玉,很多研究思想可以借鉴互通,研究成果可以为我所用。比如,在异构网络式测量方法的研究中我们就受到了建筑工程中网状结构的启发,将建筑网状结构节点等效为测量节点,结构拉伸力、扭力等效为测长、测角,各结构件的受力强度等效为测量不确定度,进而为大尺寸测量的研究提供了新的解决思路。另一方面,学科与学科之间的边界不断交互融合,可以产生新的研究方向。比如近年发展起来的大尺寸几何量测量,即测量空间覆盖几米到几十米乃至上百米范围内的精密测量,就是介于传统精密测量和工程测绘之间,是传统精密测量从常规尺寸向大尺寸发展以及工程测绘向精密方向发展的结果。

(责编 大漠)