



赵万生 ZHAO Wansheng

特种制造及智能控制实验室带头人

Leader of Laboratory of Nontraditional Manufacturing and Intelligent Control

上海交通大学教授

Professor of Shanghai Jiao Tong University

博士生导师, 国家政府特殊津贴获得者、航天总公司跨世纪学术和科技带头人、教育部首批高等学校优秀骨干。担任中国机械工程学会理事、中国机械工程学会特种加工分会副理事长, 中国特种加工机床标准化委员会副主任委员、美国机械工程师学会高级会员, 日本精密工学会会员等学术职务。曾经以“外国人博士研究员”和“客座教授”身份在日本东京大学和美国内布拉斯加-林肯大学工作。在放电加工技术、微细特种加工、开放式体系结构的特种加工数控系统、微型电火花加工装置等研究方向取得多项研究成果。获得国家专利40余项, 获上海市科技进步一等奖及其他省部级科技进步奖多项。发表学术论文200余篇, 出版学术专著1部, 编著教材3本。

与制造业需求紧密结合的特种加工技术

——访上海交通大学赵万生教授

Nontraditional Manufacturing Technology Advances With its Deep Integration into the Manufacturing Industry

本刊记者 海山

海山: 近年来您所带领的团队围绕特种加工技术开展了哪些工作? 取得了哪些创新性的研究成果?

赵万生: 这些年来国家对航空航天、先进制造和智能制造等技术领域高度重视, 科技投入前所未有。我

们团队与特种加工界的多家合作单位一起, 共同承担了国家863重点项目、04重大专项等一系列与特种加工技术相关的科研项目。完成这些科研项目, 不仅提升了我国在特种加工技术方面的研发实力和水平, 也

锻炼了科研团队解决科研难题的能力。与此同时也加强了与工业界、学术界合作单位之间的协作关系。回顾起来, 我们主要在以下几个方面取得了进步, 也为今后谋求更大的发展奠定了坚实的基础。(1) 封闭式整体


叶盘类零件的多轴联动数控电火花加工技术。其中包含了为完成这一类特殊结构和特殊材料复杂零件加工所需要的一系列技术,包括工具电极的自动生成与规划多轴联动空间复杂轨迹位姿运动的专用 CAD/CAM 软件;六轴联动电火花加工数控系统与机床;提高加工效率和质量的特殊工艺等。这一技术成果获得了 2015 年度上海市科技进步一等奖。

(2) 发明了基于流体动力断弧机制的“高速电弧放电加工技术”,这一独特的高效去除新技术对航空航天发动机难切削材料的大余量高效率粗加工而言拥有非常明显的优势。在国家自然科学基金重点项目的支持下,我们从加工原理、工艺特性、控制技术、专用装备等方面开展了深入的研究,取得了一系列突破。在航空航天发动机制造领域的初步应用效果表明,这一技术具有很好的应用前景。

(3) 在多年研究的基础上,我们在微细放电加工工艺与装备的研制方面已经掌握了多项核心关键技术,初步实现了产业化发展的能力,为未来的工业应用奠定了坚实的基础。

(4) 在国家 863 重点项目和 04 重大专项课题的带动下,我们在特种加工数控系统的底层基础技术方面有一些新的突破,特别是以“单位弧长增量法”插补原理、基于编码器/播放器的新概念数控系统架构为代表的专利技术的提出与持续研发,为我们在移动互联网与物联网时代如何重新定义和构建特种加工的数控系统提出了一整套新方法和新途径。目前基于上述技术体系重新构建的特种加工数控系统已经成功应用于电火花成形加工、线切割加工、小孔高速加工、微细加工、激光加工等特种加工机床的控制。与以往数控系统的架构越来越复杂的技术路线相比,我们笃信“大道至简”的哲理,完全摆脱传统数控系统体系架构的束缚,借鉴音乐播放器的技术原理,采用最

新的 ARM 嵌入式硬件和系统级芯片,以及全新的软件开发工具和开源生态重新构建了新一代的特种加工数控系统。这一系统具有极简的硬件架构和强大的软件体系,原生支持“互联网+”等技术特性,支持面向工业 4.0 技术,充分体现了这一技术体系的先进性和强大生命力。相信经过了广泛的应用案例验证和时间考验,这一新的特种加工数控系统能够在不久的将来被越来越多的特种加工机床厂家所采用,从而为特种加工机床行业的升级换代提供先进且强大的设备控制器。

: 随着航空工业对精密化、轻量化技术需求的日益提高,航空特种加工技术的发展趋势将会如何转变?

赵万生: 在先进的飞机和航空发动机的设计中,为提高其性能采用了大量的先进材料和复杂结构,这对航空制造技术提出了严峻的挑战。传统的以单一能量场为主的加工工艺越来越难以应对航空工业日益增长的精密化、轻量化需求。因此,一大批采用多种能量场复合,以优势互补的方式来增强制造能力和水平的多能量场复合加工技术应运而生。例如,水导激光、超声切削、旋转超声磨削、电化学放电加工、基于流体动力断弧的高速电弧放电加工等。这些复合加工工艺往往是为应对特定的加工对象和特定的加工要求而提出的,具有很强的针对性,对某些应用场合特别有效。另一方面也会有很鲜明的局限性,并不是所有应用场合都能取得好的效果。此外,基于复合加工方法的专用装备也是一个重要的发展方向,与典型的成熟传统加工工艺装备不同,这类装备的设计、实现和控制都是围绕更好地发挥多种能量场的复合加工效果而进行的,多数以专用装备的形式出现。有了这些专用装备才能更好地发挥多能场复合加工的效能。多能场复合

加工也是特种加工技术发展的重要趋势。制造领域的国际权威学术机构——国际生产工程科学院(CIRP)近 10 年来高度重视复合加工技术(Hybrid Machining),成立了专门的技术委员会,对学术界和工业界研发和应用的多种复合加工方法进行了广泛深入的调研和分析,得出了很多有益的结论,也对复合加工技术的定义进行了规范化,对复合加工的发展方向也给出了有价值的论述。这一成果以两篇大会主题报告为代表,获得了全世界制造领域的高度重视和一致好评。

另一个重要的发展方向是高表面完整性加工技术。各种高表面完整性加工技术越来越受到重视。如以南航朱荻院士为代表的团队在精密微细电化学加工领域取得了一系列令人瞩目的成果。在压气机整体叶盘制造、微细传感器件加工等方面展现了很强的技术优势。随着激光器技术的飞速发展,超快(皮秒、飞秒)激光加工也在高表面完整性加工方面展现了极大的技术优势和发展潜力,值得高度重视。特别是在陶瓷基复合材料、复合结构零件、高精度制孔等方面将会获得越来越多的应用。精密微细电火花加工和线切割加工技术的发展也突破了人们传统认知范围,热影响层厚度可以得到很好的控制,完全可以胜任一些以往令人担心的加工场合。例如经过多年研究和技术验证,利用精密线切割加工技术直接切割叶片榫槽,取代了传统的拉削技术,目前这一技术已经获得了国际主流航空发动机企业的认可和广泛采用。对于加工表面完整性这一发展方向,国际生产工程科学院(CIRP)也给予了高度重视,已经设立了表面完整性制造的专门技术委员会,并且定期召开国际会议,以推动这一技术发展向上的国际交流与合作,并进一步促进这一技术领域的发展。目前这一国际会议及其发

表的论文也获得了国内学术界和工业界的广泛关注。

：高速电弧放电加工技术在航空发动机零部件加工中有哪些优势？目前在应用方面存在哪些难点？

赵万生：高速电弧放电加工技术是我们团队近年来提出并发展起来的一种将电弧放电与高速流场结合在一起的综合加工新技术。这一技术的核心原理是利用电弧放电所形成的高温等离子体作为高能量密度热源，利用高速流体所产生的流体动力效应对其施加有效的控制，从而实现高效率材料去除。由于电弧放电是一种稳态的自持放电，其等离子体温度高达 1000℃，是一种很好的高效热源。然而电弧放电如不加以有效的控制就会驻留在某一点，对工件材料和电极造成破坏性损伤。幸运的是我们在基础研究过程中发现了流体动力可以有效地作用于放电等离子体，使其产生移动甚至切断这一现象，悟出了有效控制电弧放电的方法，从而发明了基于流体动力断弧机制的高速电弧放电加工技术。这种技术特别适合于高温合金、钛合金、金属基复合材料、导电陶瓷等难切削材料的大余量高效去除加工。经过 6 年多时间的基础研究、装备研制和初步的工程应用，这一技术已经逐步走向成熟。通过一系列专利技术的实施，目前不仅能够实现“电弧放电铣削”加工模式，还能实现“侧铣”、“扫掠”、“沉入式”等加工模式，通过实施叠片电极专利技术，我们还在国际上首次实现了半封闭流体通道的加工。在初步应用阶段，我们已经解决了不少航空、航天难切削材料高效大余量粗加工难题。面向应用推广目前所遇到的主要难点是公众的认知度还不够高，还需要通过更多具体案例的实施来有效地扩大这种新的复合加工方法在工业界的影响力，从而在急需这种技术的行业或领域获得更多、更快、更有效的推广。

：在科技成果转化与产学研用方面有哪些经验与我们分享？

赵万生：科学家的使命就是探索未知的世界，他们的发现也许在相当长的一段时间里都不知道该往哪里应用。而工程师则不同，其使命就是要综合已有的科学原理，通过发明和创新实现某一特定的技术目标，进而实现价值创造。如发明一种符合特殊要求的材料，研制一套具有特殊功能的机器，设计并制造出某种具有特定用途的产品等。所以我们团队认为工程专业的主要科研目标就是要更好地解决工程难题。如果某一工程类的研究成果根本不能应用于实际，则无异于浪费钱财和生命。当然需要说明的是，工程领域也同样有偏基础的、以发现和探索为目标的研究内容，也就是“工程科学”领域的基础研究，是不能以直接应用为目的。我们团队一直以来都非常重视工程科学的基础研究，同样也非常重视“产—学—研—用”的紧密结合。我们的很多科研选题来自于工业界的迫切需求。因此，将研究成果应用到实际生产也是我们科研团队的一项重要任务。这就要求我们和制造企业紧密结合，通过双方团队的共同努力来达成这一目标。另一方面，我们也通过这种结合从生产实际中了解到制约技术发展的一些难题，从中发掘出值得深入研究的科学问题，再寻求解决难题的新方法，在这一过程中实现新一轮的技术创新。因此科研成果的转化在我们团队也就成了很重要的一个科研延伸环节，在成果转化、应用的同时不断寻求新的科研需求，从而形成一个良性循环的发展过程。当然，与“关起门来搞研究”相比，这也需要付出更多的努力。

随着我国企业研发能力的增强，大学在科技创新体系中的定位将逐渐向基础性、前沿性、交叉性方向发展。我们既要面向未来做好基础研究，又要对接国家重大需求。作为团

队就要把握好两个方面的平衡，在国家发展过程中发挥更大的作用。

：上海市是我国大型商用飞机和发动机的研发总装与全球服务中心，团队是如何充分利用地缘优势来发展航空智能制造方向的？

赵万生：上海交通大学在上海市政府的支持下，于 2015 年底在临港地区成立了“上海市智能制造研究院”，重点服务于大飞机和商用航空发动机，以及上海的大型能源装备、航天、船舶与海洋装备、汽车等支柱产业。这对上海交通大学的机械学科、能源与动力学科、材料学科等是一个对接国家重大需求的大好机遇。从产业链的形态来看，全球的几家大型商用飞机及其发动机公司，都采取了主承包商和供应商的产业模式，我国也不例外。可以预见的是，除了依托我国航空工业现有的制造体系，商用飞机的产业链发展和供应商培育也必定是一个重要的发展方向。我们已经和一些国外先进的制造装备供应商组成了联合实验室，形成了先进切削技术和特种加工技术的综合研发能力与高端人才的培养环境。其目标是充分发挥最先进的装备和人才优势，联合航空制造骨干企业共同承担国家两机专项以及民机专项等重大课题，解决航空制造领域的核心关键制造技术难题。另一方面，我们还要对接国内有能力的民营制造企业，为他们提供先进的制造工艺和装备的整体解决方案，帮助他们进入到民用航空制造领域，成为有资质、有竞争力的零部件供应商。我们希望在未来 5 年内达成这一目标，这就需要获得上海市政府、航空骨干制造企业以及社会各界的支持与帮助，通过事业和机制吸引优秀青年才俊加入到航空智能制造的行列里来，共同打造出具有国际影响力的、开放式的航空智能制造研发平台，助力我国民用航空产业的蓬勃发展。

(责编 大漠)