

虚拟轴机床的研究进展——兼谈在清华大学研制成功的VAMT1Y型原型样机

Progress in the Research of Virtual Axis Machine Tools

汪劲松 段广洪 杨向东

(国家CIMS工程技术研究中心,清华大学精密仪器系制造工程研究所 北京 100084)

一、虚拟轴机床的研究背景

自欧洲发生第一次工业革命以来,机械加工设

都着眼于系统整体,注重研究各要素间的相互关系及动态变化。从分析主义到系统科学的发展标志着人类知识和认识水平的又一次跃迁,从而引发了全球性学术观念的大转折,给研究非生命的物理学与生命科学之间,特别是与中医学之间架起了座座桥梁,如,普里高津教授的耗散结构理论,正试图用远离平衡态的开放系统的有序化涨落现象来描述生命活动和生命起源;现代分形理论,更进一步证明一切组织结构都不可能全部占满三维空间,总有一个间隙空间以分数维形式存在。这些无疑给中医经络学说和“气”的研究提供了新的、可能的探索空间和理论方向。

值得深思的是,西方生物医学长期来恰恰是这个认识论大回归潮流中的后进者,直到近二三十年来,我们才看到生物学界少数有识之士开始对自身的还原主义的批判,但其理论核心仍被分析主义和牛顿机械还原论牢牢地禁锢着。中西医结合的40年以来,肩负“中医科学化”改造任务的西医大军,不论他们中的好心报国的“爱国者”,还是出于在西医阵地竞争中失利而涉猎中医这块未开垦处女地的“淘金者”,在长期的学术封闭背景下,他们的知识结构实际上已经大大地落后了。许多掌握中医理论阵地的实权派们至今仍固执地认定:细胞为构造生命体的“生命之砖”,只有解剖镜下可见者才为真,不见则为伪。可惜我们生存的宇宙空间中,生命体的组成,并不总是以满足人类的视、听、触能力而存在的,无论宏观还是微观世界的存在绝大部分都是超出人类现有感知手段之外的,生命体作为宇宙自然界万物之骄子,其存在形式当然也不能例外。人类在认识自身的过程中必然要从细胞水平向更微观(分子、原子、粒子)和宏观(系统论、场论)两个

备经历了皮带机床、齿轮机床、数控(NC)机床、计算机数控机床(CNC)、多功能加工中心等几代的发展。在机械制造系统的发展过程中,每一代设备的更新和革命,都给制造技术和生产带来一次飞跃和

方向发展,中医对药理的研究、对“气”和经络的研究就是属于这一类的课题。因此,中医要实现自身理论的现代化,必须重组研究队伍,再建知识结构,冲破认识上“已知性”障碍,才有可能真正构筑中医现代化的理论框架。

几百年来的近代科学发展史告诉我们,西方生物学科,作为一门应用基础理论,它总是不断地从物理、化学、数学、工程学等各基础学科的前沿汲取营养武装自己的。如上述分析,既然中医学科的理论命题与西方经典生物医学所依据的本来就是两个十分不同的层次和体系,既然国家强调的是“中西医并重”发展的方针,那么有什么理由中医不能像西医一样,自主地从现代基础学科的前沿直接汲取高科技养分武装自己、发展自己呢?!笔者认为:面对现代科学系统认识论大回归的转折时刻,中医有必要也有可能不失时机地把握这一难得的科学发展契机,摆脱西方经典生物医学观念的框框,接过现代物理学、系统科学、信息科学向中医展现出的理性、理解之手,毅然决然地把中医理论研究推向现代科学的前沿。这种大跨度的跨学科结合,如同远亲姻缘必然产生“遗传优势”一样,不但可以有针对性地解决中医理论现代化所面临的一系列症结,而且,中医作为有着极其丰富的理论内涵和实践经验的古老系统科学,它将很自然地反过来给系统科学中横断学科、跨界学科和边缘学科的产生与发展注入新的活力。这种跨学科结合,既不会产生“同行拮抗”现象,也没有“挖他人之肉,补自己之疮”之嫌,何乐而不为呢?可以预见,如果这种跨越大学科之间的协同合作得以实现,必将给21世纪的生命科学带来再度辉煌。(责任编辑 蔡德诚)

进步,使机械制造业的生产能力和产品质量大幅度提高、生产成本降低和生产周期明显缩短。但是,历代制造设备在结构方面一般均采用由床身、立柱、主轴箱和工作台等部件串联而成的非对称“C”型布局。尽管这种传统布局具有作业范围大、灵活度好等优点,但亦存在如下固有缺陷:

1. 机床结构布局的非对称性可能导致受力与热变形不均匀。

2. 机床结构件不但承受拉、压载荷,而且还承受弯、扭载荷。因此,为了保证刚度,通常需要建造粗笨的结构支撑件和运动部件。这不但需要耗费较多的材料和能源,而且也制约了进给速度的大幅度提高。

3. 刀具与工件之间的相对运动误差通常为各运动坐标误差的线性累加。

4. 由于部件众多、结构复杂,因而直接影响到整个系统的可靠性。

为了克服传统机床结构布局的固有缺陷,有效地降低重量和提高对生产环境的适应性,近年来全球机床制造业都在积极地探索和研制新型制造设备与系统。其中在结构技术上的突破性进展当属 90 年代问世的虚拟轴机床(Virtual Axis Machine Tools)。虚拟轴机床实质上是机器人技术与机床结构技术结合的产物,其原型是 Stewart 平台并联机器人。它的典型结构是通过可以伸缩的六条“腿”连接定平台和动平台,每条“腿”均由各自的伺服电机和精密滚珠丝杠驱动,控制这六条“腿”的伸缩就可以控制装备主轴头的动平台在空间中的位置和姿势,以满足刀具运动轨迹的要求,实现具有六自由度运动的复杂曲面切削加工。由于这类机床采用闭环并联结构,形成全对称的“0”型布局,故具有模块化程度高、出力大、重量轻、速度快、精度高和造价低等优点。在活动平台装备机械手腕、电主轴、激光器或 CCD 摄像机等末端执行机构,在一定范围内可实现多坐标数控加工、装配与测量等多种功能。特别适合于复杂型腔、三元叶轮、透平机叶片及航空航天行业异形零件等复杂三维空间曲面的加工,还可以用于轻工机械、食品包装等领域,具有广阔的应用前景。

二、清华大学的 VAMT1Y 型研究情况

建立在清华大学精仪系、国家 CIMS 工程技术研究中心制造工程研究所的 VAMT1Y 型虚拟轴机床原型样机(见封面和封二彩图)得到清华大学“211”工程先进制造学科群建设项目的支持,同时也得到了 863 高技术计划 CIMS 主题的支持。

该项目从 1995 年 12 月开始,至 1997 年 12 月顺利完成。在样机结构设计技术、虚拟轴机床数控编程以及并联机器人机构学基础理论研究等方面,

取得了下列一系列成果。

1. 在机械结构设计方面

(1)首次采用了双八面体桁架结构和全对称控制轴结构,具有结构简单、承载/重量比高的优点并可形成全封闭工艺系统。

(2)样机研制结果表明:VAMT1Y 型虚拟轴机床原型样机最大加工范围达到 $\varnothing 500\text{mm}$,最大垂向行程超过 500mm,最大刀具转角超过 $\pm 25^\circ$,具有复杂曲面加工的能力。

2. 在数控编程技术方面

(1)开发了具有开放式体系结构的模块化的虚拟轴机床数控系统。

(2)在后处理算法中提出了有效利用多余自由度的方法,为扩大工作空间以及改善灵活度提供了有效的途径。

(3)定义了适用于并联机构控制的内部数据传输协议,采用了参数化的二进制代码格式,保证了机床控制的实时性。

3. 在设计基础理论方面

(1)提出一种描述虚拟轴机床尺度参数的通用方法和兼顾刀具实现姿态能力及运动灵活度的尺度综合方法。

(2)针对镗铣类数控加工的特点,定义了虚拟轴机床的工作空间并提出了相应的解析与数值解法。

(3)采用虚拟现实技术,开发了虚拟轴机床机构设计与运动学仿真系统。

该项目已经于 1997 年 12 月 25 日通过鉴定,被评价为我国第一台大型镗铣类虚拟轴机床原型样机。在虚拟轴机床设计理论与样机建造等关键技术方面达到国际先进水平,其中部分理论成果属国际首创。

该机的技术涉及机器人学、机构学、数学、力学、数控技术等多个学科,它的研制成功引起了相关学科专家的高度重视,已经有一些数学家和机构学家到清华大学观摩样机演示,共同探讨将数学和机构学已有的研究成果应用于制造领域,以及虚拟轴机床所带来的新的数学和机构学问题。VAMT1Y 型虚拟轴机床原型样机参加了 1998 年 4 月在北京举行的第四届中国机床商品交易会(CMTR1998),首次向公众亮相,引起了各方面的重视。

三、虚拟轴机床的发展状况

目前,国际学术界和工程界对研究与开发虚拟轴机床非常重视,对这种新型数控装备的工程应用前景和市场潜力极为乐观,纷纷投入大量人力和物力竞相开发,并于 90 年代初相继推出几种结构相似而名称各异的样机。如 1993 年美国德州自动化与机器人研究院在美国国家基金会(NSF)和德州先

进制造技术基金资助下,成功地研制出可完成铣、磨、钻、镗、抛光和高能束等多种加工的多功能并联加工机械手。1994年在芝加哥国际机床博览会上,美国 Giddings & Lewis (HEXEL) 公司和英国 Geodetic 公司首次展出了称为“变异型”(VARIAX)和“六足虫”(hexapods)的数控机床和加工中心并引起轰动,同时被多家媒体被誉为“机床结构的重大革命”、“21 世纪的新一代数控加工设备”。此后,美国的 Ingersoll 公司,俄罗斯 Lapic 公司,挪威 Multicraft 公司,日本丰田东芝机械、日立精机、三菱电机、大阪机工等公司,以及东北、筑波、京都和立命馆等大学,瑞士 ETZH 研究所和 Neos Robotics 公司,丹麦 Braunschweig 公司也纷纷斥巨资研制出不同结构形式的数控机床、坐标测量机和镗铣类加工中心样机。

特别值得提及的是,德、意、法、英、瑞士、瑞典和西班牙等七国在欧共体资助下,于 1996 年底已先后启动称之为 Manufacturing, Parallel. Thematic. Network 和 ROBOTool 三个大型跨国联合研究开发项目。据项目首席科学家、意大利机床研究所所长 Jovane 教授介绍,仅此项目的预研经费就达 300 万美元,目的在于开发虚拟轴机床商用样机,并用于鞋业模具制造的柔性生产线。1997 年在汉诺威国际机床博览会上,参展的虚拟轴机床已多达十几台。甚至已经出现了虚拟轴机床的某些专用功能部件的生产厂家。参观了这次展览会的我国机床界人士认为,这种并联结构的机床,用复杂的软

件最大限度地简化了硬件,其高刚度、高精度、工序复合化及低价格的潜力是传统机床望尘莫及的,是对传统机床的极大挑战。可以说,虚拟轴机床正在进入实用化阶段。此外,在 1997 年召开的第 47 届 CIRP 年会上,机床设计技术委员会(MTC)已将虚拟轴机床列为 1998 年大会的主题报告。同时,由美国国家基金会官员动议,今后将在欧洲和北美每年各举行一次虚拟轴机床专题研讨会。

近年来,国内亦有许多单位对这种并联机构进行研究。但投资强度与国际水平相比还有相当大的差距。目前国内有几个单位已经先后研制出基于 Stewart 平台原理的演示用机构,并且有并联机器人机构学理论及控制专著问世。1998 年 4 月 9 日生产工程学会、机床杂志社邀请从事并联机器人和虚拟轴机床研究的部分单位专家进行了座谈,讨论了名称问题及发展状况和应用前景。与会者建议生产工程学会应经常组织类似这样的专题研讨会,并建议把虚拟轴机床列为 1999 年举行的第八届全国生产工程学会的主题报告之一,还建议把虚拟轴机床作为重点开发的机床产品列入先进制造领域的产品与技术发展研究范围中,以便通过产、学、研结合推动虚拟轴机床的实用化进程。总体来看,在虚拟轴机床的研究领域,我国的技术水平与国际先进水平相差并不太大,但我国的重视程度和投资强度与国际水平相比有相当大的差距,如果这种局面不能改变,我国在这个领域将会与国际先进水平拉大差距。

(责任编辑 王宏章)

(上接第 45 页)

发展。新品种选育应当坚持高产优质和高效低耗的目标,并对市场多样化、快变化的需求作出更迅速的反映。当前应加大对优质和低耗新品种的选育研究的力度,应依据国内外大市场的动向强化优质育种,并选育抗灾低耗高效的新品种。

2. 常规技术与生物工程结合

我国目前在育种研究上普遍采用的仍是传统的常规技术,因此迫切需与生物工程结合起来,以求取得新进展。生物工程应用于育种,包括细胞工程和基因工程两个主要层次,需要从实际出发选择联合攻关的有利着力点。我国在应用细胞工程新技术上已有相当基础,有的达到国际先进水平,如分子标记辅助育种的某些方面的研究已走在世界前列;基因工程研究虽然起步较晚,也取得了可喜的进展。应在上述基础上继续攻关,以取得突破性的进展。

3. 立足国情创造出自己的特色

在新的绿色革命中首先应该加大引进力度,特别是创造条件吸引研究人才,争取在较高起点上赶超世界先进水平。但若要有更大的突破,最终必须

依靠自己的创新。我们应坚持有所为、有所不为的方针,将一大批“名特稀优”种质与生物工程高技术结合起来,创造出有自己特色的新优品种和产品。

4. 加速改革,建立科技新体制

目前我国作物育种研究的力量不足又很分散,水平不高又很重复,投入不够又很浪费。只有加速改革、理顺关系,才有可能更好地适应新绿色革命的更高要求。改革的重点应是走产学研结合的道路,逐步建立由种子企业兴办育种科研的新体制。美国先锋种子公司在 25 个国家建立 140 个育种站,每年上市 12~14 个玉米、小麦新品种,垄断了世界上近 1/3 的杂交玉米种子。1994 年公司的销售额共 14.8 亿美元,用于育种研究的经费达 1.3 亿美元。这个经验值得借鉴。我国应有重点地建立一些生物工程研究开发中心,打破部门和单位的界限,实行产学研一体化;集中优势人力、财力,跟踪世界生物工程研究的新进展,直接为我国发展外向型农业、食品、医药、环保、工业资源等新产业服务,争取在第二次绿色革命中有我国的独特贡献。

(删去全部 38 篇中文参考文献)

(责任编辑 肖庆山)