

“回归工程”背景下的《数字化制造技术》 研究生课程改革探索*

陈善勇, 戴一帆, 彭小强, 解旭辉

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

【摘要】 高等工程教育需要“回归工程”, 研究生课程改革势在必行。通过分析当代机械工程技术发展趋势和国外一流大学的研究生课程体系, 以我校新一轮研究生培养方案修订为契机, 对两门研究生课程《机床与机器人数控技术》和《计算机辅助设计与制造》进行优势整合, 形成了适应新形势的《数字化制造技术》专业基础课程。确立“工程”核心, 对教学内容进行大胆改革尝试; 教学方法上以启发式教学为主, 逐步过渡到基于问题的学习方式; 探索合理的课程目标考核体系, 引入评审制度考察实验报告或大作业。

【关键词】 机械工程; 工程教育; 课程改革

【中图分类号】 G643 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672-8874 (2009) S0-0037-03

世界科技发展日新月异, 工程教育如何改革才能与之相适应, 是全世界教育界所面临的共同课题。美国工程教育已经重新制订其面向 21 世纪的发展新战略, 总的趋势就是从原来的重视工程科学 (工程背后的原理) 回到重视工程实践。美国工程院规划了 2020 年工程师的主要特质, 主要体现在如下几个方面^[1]: ①很强的分析技能; ②实践独创性; ③良好的交流技巧; ④商务和管理技能以及领导能力; ⑤高伦理标准, 有强烈的职业责任感; ⑥敏捷, 灵活变通; ⑦终身学习能力; ⑧设计和描述问题的能力。

我国的高等工程教育也要“回归工程”, 在朱高峰、张光斗院士等前辈的大力倡导下^[2,3], 这个观点已经成为大家的共识, 而“回归工程”背景下的课程体系改革也势在必行。正是在这样的背景下, 我校启动了新一轮研究生培养方案的改革。以此为契机, 我们分析了当代机械工程技术发展趋势和国外一流大学的研究生课程体系, 对两门研究生重点建设课程《机床与机器人数控技术》和《计算机辅助设计与制造》进行优势整合, 形成了适应新形势的《数字化制造技术》专业基础课程。进而从教学内容、教学方法以及教学目标评价体系方面作了有益的探索。

一、世界一流大学的相关研究生课程设置

21 世纪前 20 年是我国经济社会发展的重要战略机遇期。我国制造业将作为主导产业更快发展, 实现从“制造大国”步入“制造强国”的重要转变^[4]。“制造强国”的重要特征就是具有自主创新能力, 形成核心竞争力, 而其基础和前提就是要大力推进机械工程教育改革。教育部部长

周济在 2006 年国际机械工程教育大会上的讲话中指出, “今后若干年内中国机械工程教育要实现三大任务: 培养一大批创新型机械工程师; 在回归工程的方向上大力推进机械工程教育改革; 大力推进产学研紧密结合”^[5]。我国机械工程教育改革必须瞄准 21 世纪学科发展的新动向, 以课程体系和教学体系改革为纲, 推进教学内容和教学方法改革。

以我校新一轮研究生培养方案修订为契机, 我们调研了最新发布的国外世界一流大学的机械工程专业研究生培养方案, 总结其机械设计与制造类课程的设置情况见下表。其中大学排名引自英国泰晤士报 World Rankings 2007^[6]。

从制造科学的发展趋势看, 数字化是先进制造技术的重要发展方向之一。数字化制造作为新的制造技术和制造模式, 已成为推动 21 世纪制造业向前发展的强大动力。数字化制造利用计算机软硬件作为辅助工具, 对制造对象进行化建模、仿真、加工以及检测评定, 数字化是贯穿产品设计与制造整个过程的重要特征, 是确保计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 各环节之间信息集成的关键。以数字化为基础, 现代 CAD 技术也已发展为面向制造的设计 (DFM)、面向装配的设计 (DFA) 甚至面向产品全生命周期的设计 (DFLC) 等 DFX 技术。数字化制造是传统 CAD/CAM 向集成度进一步提高、模型进一步定量和精确化发展的结果。因此, 以数字化为特征的先进制造技术课程是机械工程专业特别是制造工程方向的研究生专业基础课程, 其内容应涵盖 CAD/CAM、计算机辅助检测 (CAI) 以及先进制造工艺等方面。表 1 中有代表性的世界一流大学在课程设置时, 都体现了这样一个特点。

* [收稿日期] 2009-04-15

[基金项目] 国防科学技术大学“十一五”研究生重点建设课程项目 (1151B010)

[作者简介] 陈善勇 (1980-), 男, 江西萍乡人, 国防科学技术大学机电工程与自动化学院讲师、博士。

表1 世界一流大学的机械工程专业研究生课程设置

大学名称	排名	课程设置
MIT	排名 10, 技术类 1, 自然科学类 2	制造工程方向包括制造物理学三门核心课程: 制造材料与工艺 (2.810), 自动化装备的分析设计与控制 (2.168), 过程优化与控制 (2.830); 另从下列课程中选修一门: 产品设计与研发 (2.739J), 产品设计 (2.744); 精密机床设计 (2.75); 公理化设计 (2.882); 装配与产品设计 (2.875J)
California Institute of Technology	排名 7, 技术类 4, 自然科学类 6	机械 CAD 导论 (ME 170), 计算机辅助工程设计 (ME 171), 面向发展中世界的产品设计 (E/ME 105, 考虑制造成本)
Carnegie Mellon University	排名 20, 技术类 7, 自然科学类 50	先进制造 (24 - 656), 计算机辅助设计 (24 - 681), 计算机辅助工程 (24 - 682), 机电一体化设计 (24 - 778)
Columbia University	排名 11, 技术类 50 后, 自然科学类 21	CAD/CAM 中的计算机几何 (MECE E4502x), 面向可制造性的产品设计 (MECE E4604x), 制造工艺学 (MECE E4608y), 计算机辅助制造 (MECE E4609y), 先进制造工艺 (MECE E4610x), 纳米加工实验室 (MECE E6710)
Purdue University	排名 77, 技术类 24, 自然科学类 50 后	本科与研究生均适用: 面向可制造性的设计 (ME 557), 制造过程的计算机控制 (ME 576)
University of Pennsylvania	排名 14, 技术类 50 后, 自然科学类 35	机械工程与应用力学专业: 面向可制造性的设计 (IPD 514), 有限元分析 (ENM 427), 微细加工的原理与实践 (ESE 460, ESE 574)
University of Washington	排名 55, 技术类 50 后, 自然科学类 50 后	有限元分析 (ME 478), 现代制造工艺 (ME 501), 计算机集成制造 (ME 505), 高级复合: 设计与制造 (ME 563), 机械工程分析 (ME 564, ME 565), 工程设计方法学: 概念设计 (ME 572), 工程设计方法学: 概率机械设计 (ME 573)

二、整合优势, 精心设计课程内容

我校“机械工程”一级学科主要设置了三个二级学科, 分别是“机械电子工程”、“机械设计及其理论”和“机械制造及其自动化”。基于对数字化制造技术的新认识, 我们提

出对《机床与机器人控制技术》以及《计算机辅助设计与制造》两门原重点建设课程进行优势整合, 形成《数字化制造技术》, 内容涵盖了以上三个二级学科, 非常适合作为我校机械工程专业研究生的专业基础课程。课程大纲主要包括“数字化建模”、“数字化制造”、“数字化测量”以及实验教学模块, 各个模块的内容设置见表 2。

表2 《数字化制造技术》的课程内容

模块	主要内容
数字化设计	1) 图形变换。包括射影平面和齐次坐标, 二维、三维几何变换。2) 自由曲线。包括曲线、曲面基础, Bézier 曲线、B 样条曲线和 NURBS 曲线。3) 自由曲面。包括 NURBS 曲面、曲线曲面操作的几何算法。4) 实体造型。包括边界表示法、构造实体几何和特征建模。
数字化制造	1) 机床数控技术基础。包括数控装置软硬件结构及其工作原理, 数控插补、刀补和速度控制原理。2) 数字伺服系统。包括伺服系统位置检测元件, 伺服系统驱动设备, 伺服系统性能分析与控制方法。3) 数控加工理论与编程技术。包括数控程序编制的代码及格式, 二维曲线、轮廓加工、曲面轮廓加工刀具轨迹, 数控加工仿真, 后置处理等内容。4) 现代光学零件数字化制造方法。
数字化测量	1) 数字化建模、制造与测量技术集成, 工件的计算定位理论与算法。2) 复杂产品形位公差计算机建模与评定方法。
实验	1) 复杂产品的数字化测量与建模; 2) 复杂产品的数字化制造; 3) 复杂产品的计算机辅助质量控制。

课程教学内容的确定取决于其在整个课程体系中的地位及其教学目标(大纲),反过来也可以说,教学内容应该要能保证教学目标的实现。在“回归工程”的大目标下,确定《数字化制造技术》的课程内容时,应注意确立“工程”这个核心,不能偏颇。作为一门专业基础课,一方面不能过分强调理论教学,回到重理轻工的老路上去;另一方面也不能一味工程技术化,退化为纯粹的技术教育。航空工程的先驱冯卡门(Theodore von Karmen)说:“科学家发现已有的世界,工程师创造未有的世界”。高素质的工程师必须具备创造性,而只有打下深厚的理论功底,才可能厚积薄发,成为具有工程创新能力的工程大师。具体来说,理论教学应注重物理、几何概念的建立和理解,而不是枯燥的公式推导和平淡的说教;注重理论的层次性和连贯性,培养学生理性思维的科学方法,达到举一反三、融会贯通的效果;注重理论的新颖性和科学性,让学生站在该领域的技术发展前沿去思考问题。

例如“图形变换”是偏于理论的一部分内容,我们在教学中以高等几何为背景,从射影平面引出,主要讲解清楚齐次坐标的几何意义。因为齐次变换是图形变换以及机床运动学的基本数学工具,在理解了齐次坐标的几何意义的基础上,再去理解图形的齐次变换就非常容易了。因而在讲解图形变换时,我们可以将重点转而放在如何正确应用,即如何根据图形变换顺序,正确写出复合变换矩阵,以及变换矩阵作用在欧氏空间中的点上,具有什么几何意义。当然,作为硕士生课程,我们还特别介绍了 Klein 用变换群研究几何学的观点,但是注意到为止,否则又与数学理论课程没有区别了。

再比如在“数字化制造”模块讲解机床运动学时,主要讲解一种新的运动学求解方法——机器人的指数积公式,并以科研实践中的两个实例进行详细阐述,其中一个为用于某弹药拆装的 7 关节工业机器人,另一个为用于子孔径拼接干涉测量的 5 轴运动装置。实践证明,这些生动的科研实例及其新颖求解方法,极大激发了学生的学习兴趣,收到了很好的教学效果。

为了进一步将课堂教学与实践紧密结合,大幅增加了实验环节的课时,设置了三个独立实验。在实验要求上因势利导,鼓励学生结合自身的科研课题开展实验研究,加强实践动手能力与科研创新能力的培养。

三、以“兴趣”为目标的教学方法改革

教学方法改革服从于教学内容的改革,课程内容在教学实施中应该是激发兴趣而又充满挑战的。作为研究生专业基础课程,其显著特点是理论与实践紧密结合,教学方法上可以在“边学边做”上下功夫,理论讲解和应用实例相结合,提高学习兴趣,并通过课后作业(包括实验环节)方式,特别是结合工程问题(取材于科研课题)完成大作业,促使学生深刻理解和灵活运用所学理论知识。

一方面要始终把培养学生兴趣作为首要目标,特别是在理论学习之前,通过介绍相关技术应用背景,使学生充分理解理论知识的工程意义。学习是主动接受知识的过程,而不是被动接收,因此教学的关键是要充分激发学生自觉

学习的意识。在教学过程中采用启发式教学,调动学生学习的主动性和积极性,从而提高授课质量和教学效果。

例如“自由曲线曲面”是课程中很重要的一章内容,同时也可以说是最枯燥的内容,因为涉及很多复杂的数学公式。为了激发学生的学习兴趣,同时增强其学习的信心,我们首先列举了飞行器和汽车车身设计的实例,说明从 CAD/CAM 技术诞生至今,曲线曲面造型模块一直是 CAD/CAM 系统最关键的部分之一。进而以自由曲面光学零件的最新研究成果和存在的巨大挑战为例,激发学生为攻克世界性难题而努力学习的决心。然后从学生已经建立的函数空间及其正交基的概念出发,逐次介绍曲线的幂基表示、Bézier 曲线、B 样条曲线和 NURBS 曲线,最后才通过张量积的概念使学生建立起曲面模型。为了避免学生过于纠缠在数学公式上,而忽略了理论背后的工程意义,在课堂讲授时主要引导学生分析上述几种数学表示的重要性质及其优缺点,进而引出另一种可以弥补其缺点的表示方法。例如幂基表示的几何意义不明显,引出 Bézier 曲线;而 Bézier 曲线不具备局部修改特性,引出 B 样条曲线;进一步为了能够精确表示二次曲线,又引出了有理曲线的概念,这样整个讲授过程环环相扣,循循善诱,起到了很好的教学效果。学生在完成 NURBS 曲面建模以及求解点到曲面的投影这样的课后作业时,都放弃使用软件包自带的样条工具箱,而是自己设计算法和编写程序,有的学生还自觉运用了曲面自适应网格划分的思想,说明通过课程教学激发了其强烈的创新意识。

另一方面,要帮助学生逐步过渡到基于问题的学习方式(Problem Based Learning, PBL)。工程专业的研究生在结束专业基础课程学习之后,即将开展课题研究工作。科研实践中遇到的不再是简单的计算题或者问答题,而是没有标准答案的技术难题,甚至还包括很多非技术性的问题,因此成功的课程教学应该引导学生采取 PBL 方式,使其在具备一定的理论知识和实践经验的基础上,形成独立发现问题、描述问题和解决问题的能力。这就要求在课程教学过程中,多让学生直接面对科研课题,多给学生独立思考的机会。

四、建立合理的课程目标考核体系

课程目标考核体系对学生的学习目的和态度具有很重要的引导作用,在教学改革中不容忽视。与其他考核体系一样,课程目标的定量考核必不可少,但将所有学生纳入同一个准绳来衡量则又难免失之偏颇。为了做到考核尽量科学合理,评分标准应该综合考虑教学中的各个环节。作为机械工程专业的基础课程,《数字化制造技术》的考核体系也应体现理论与实践紧密结合的特点。除了考虑平时课堂参与、课外作业外,还要求每个学生最后独立完成一份大作业,大作业可以结合三个实验开展综合研究。为了充分发挥学生的积极性和创造性,不限定研究对象,可以取材于各自的课题,甚至生活实践。

考虑到研究生课程内容本身的深度和广度较大,特别是综合性实验和大作业可能涉及该领域的前沿技术,为了保证课程考核的公平、客观和科学性,建 (下转第 45 页)

课程提供课程教学实验环境;同时也为进行智能系统类综合实践项目和创新实践提供实验环境。

3、制导控制技术实验室

制导控制技术实验室依托已经建成的“惯性技术试验室”,实验条件,部分实验设备是将现有的科研成果进行配套改进。实验设计以精确打击武器的制导系统为实验对象,以导航、制导与控制系统设计、仿真、测试为主要实验内容进行环境建设。为《自主导航与定位技术》、《制导控制技术》和《系统仿真基础》等研究生专业课程提供基本教学实验环境。

4、机器人技术创新基地

机器人技术创新基地结合我院控制、机械、仪器等学科的特点,以机器人技术为牵引,为研究生参加国际、国内高水平机器人竞赛等活动提供实践基地和环境,并为学校机器人文化节等服务。机器人技术创新基地可为研究生提供:

(1) 系统级专业知识综合的研究对象,为各种创新算

法提供实验验证平台;

(2) 机器人技术领域的创新实践环境,为各种平台级和系统级的创新设计提供实现验证条件;

(3) 软、硬件环境,为研究生参加各种机器人竞赛和创新杯活动提供基础条件,为学校机器人文化节提供支持。

四、结束语

通过系统构建研究生实践性教学环节和课程体系研究,努力使研究生在课程学习阶段得到全面、系统、规范的实践教学训练,可为研究生学位论文研究打下良好的工程实践基础,为确保在现有规模和生源情况下的培养质量提供有力支撑,为全面实现国家和军队要求的研究生培养目标打下基础。

(责任编辑:胡志刚)

(上接第 39 页)

议对实验报告和大作业引入评审制度。借鉴科技论文的评审标准,可设置“技术原创性”(技术难度大小,解决问题是否彻底)、“内容相关性”(是否与课程内容相关)和“表述能力”(书写规范等)几个主要的评分模块。引入评审制度要求高度重视教师队伍建设,形成主讲教师、助教等多名专家组成的教学小组。主讲教师一般是该领域具有丰富科研和教学经验的学者担任,在该领域具有一定的知名度,或曾经取得显著的科研和教学成果。助教可以是与该专业方向紧密相关的高年级博士研究生担当。

[参考文献]

[1] Charles M. Vest. Engineering Education for the 21st Century.

ASEE Annual Conference, Pittsburgh, PA June 23, 2008.

- [2] 朱高峰. 关于中国工程教育的改革与发展问题[J]. 高等工程教育研究, 2005, (2).
- [3] 张海英. 工科院校应该以培养工程师为主——张光斗院士访谈录[J]. 高等工程教育研究, 2005, (3).
- [4] 路甬祥. 中国制造科技的现状与发展[J]. 中国科学基金, 2006, (5).
- [5] 周济. 中国机械工程教育现状和未来发展方略[J]. 高等工程教育研究, 2006, (3).
- [6] World University Rankings. The Times Higher Education Supplement, November 9, 2007.

(责任编辑:胡志刚)