

# 机械电子工程人才培养创新模式研究

王少萍

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 围绕国家对复杂机电系统全生命周期创新人才的迫切需求, 借鉴国外著名大学相关专业人才培养体系, 以航空航天为特色, 构建了基于全生命周期的“机械电子工程”三维专业教学体系和实现环境。深入探讨了全生命周期人才培养内涵, 凝练和优化了各维课程体系知识能力要素布局。有效利用国外优质高水平教育资源, 引入动态国际课程, 提升了研究生学科基础理论研究水平, 拓展研究生学术研究视野和学科前沿把握程度。建成了创新实践平台, 提供了自主创新环境, 培养具有创新品质和实践能力的高水平优秀研究型人才。实践证明, 面向信息驱动、强化知识要素、注重科技创新、具有国际视野的全生命周期机械电子工程专业教学创新体系可以全面提升“机械电子工程”人才培养质量。

**关键词:** 人才培养; 机械电子工程; 三维课程体系; 创新模式

中图分类号: G643 文献标识码: B 文章编号: 1008-2204(2009)S-0055-04

## Study on Innovation Professional Training of Mechatronic Engineering

WANG Shao-ping

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract:** In order to meet the requirement of innovation professionals and with a view to complex life-cycle mechatronic system, this paper presents a new three-dimension professional training system (TPTS) and realization environment based on aeronautics, astronautics and product life-cycle management for mechatronic engineering. Through investigating the connotation of product life-cycle, extract and optimize the essential knowledge in theoretical courses, practical courses and science and technology innovation platform. By aid of the international teaching resources, the TPTS can improve students' theoretical level with importing dynamic international courses and expand collaborative research project. Making use of the innovation platform, TPTS provides the independent innovation environment for students, improves their innovation trait and trains excellent research talent for the society. Application indicates that TPTS based on information drive, key knowledge factors and international outlook can improve the professional quality comprehensively of mechatronic engineering.

**Key words:** professional training; mechatronic engineering; three-dimension curriculum system; innovation teaching pattern

### 一、机械电子工程专业课程体系综述

20 世纪 80 年代初, 日本最早提出了机械电子工程的概念, 它是集机械、电子、控制、计算机为一体的交叉学科,<sup>[1]</sup>其学科范围广、知识点丰富、

适用面宽、新技术和新方向发展迅猛, 全面覆盖了提升国家经济实力最重要的支柱领域。近年来, 随着电子、计算机和控制技术的迅猛发展, 机电系统向着信息化、智能化、综合化方向发展, 目前已很难在国民经济重要部门中找到没有渗透电子、控制和计算机技术的纯机械领域。<sup>[2]</sup>因此国民经济关键部门迫切需要全面掌握机、电、控制和计算

机的机械电子专业复合型人才。围绕社会对机械电子专业人才的需求,目前有两种人才培养思路和课程体系建设理念:一种是以美国为首的通识教育模式<sup>[3]</sup>;另一种是以欧洲为代表的精英工程师模式<sup>[4]</sup>。通过比较美国麻省理工学院(MIT)、斯坦福大学(Stanford)、普度大学(Purdue University)、英国巴斯大学(Bath University)、德国亚琛大学(Rwthaachen)和东京工业大学等6所世界知名大学的机械电子工程本科专业课程设置及涵盖的知识点,发现不同的大学机械电子工程专业课程设置的基点不同,有基于机械类设置课程体系的,也有基于控制类搭建课程构架的;有注重通识教育的,也有注重精英教育的,但均以机械、电子、控制和计算机支柱构建机械电子工程专业课程体系,内容覆盖机电产品设计、分析、控制、仿真、实验等产品全生命周期的主要环节,且设置了大量的系列实验课程。

纵览国外著名高校机械电子工程专业的教学体系,越来越多的著名大学相关专业将全生命周期理论引入课堂教学,通过信息流的产生、管理、使用和控制构建教学体系以适应快速变化的市场对全生命周期创新人才的需求。为了适应中国对复杂产品全生命周期管理创新人才的需求,迫切需要构建与之相适应的机械电子工程理论课程、实践课程和科技创新课程体系,以便为像“神七”一样复杂系统的快速高质量研制提供创新人才。

## 二、基于全生命周期的机械电子工程三维教学体系研究

### (一) 产品全生命周期人才培养内涵及其知识能力要素研究

产品全生命周期管理的关键是信息。综合分析产品在需求分析、设计、制造、试验(仿真)、使用、维护、质量评价和报废处理等环节的信息特征,可以发现其信息链涉及到的知识要素包括:力学分析→几何建模→动力学分析→运动学分析→传动与控制设计→综合性能仿真→故障检测与故障诊断→质量评价,而人才培养的内涵就是要在相应的教学体系中充分体现这些知识要素。

为此,需解析复杂机电系统从需求分析、设计、制造、试验、使用、维护到报废的全生命周期过程,提取其信息共享、驱动及其耦合的人才培养内

涵,凝练出与信息链相关的力学、设计、建模、控制、传动、仿真及质量控制等102个机械电子工程专业人才培养核心知识能力要素点。<sup>[5](P4)</sup>很显然,“机械电子工程”专业人才培养需要配置力学、建模、电子、控制、传动、检测及其质量评价等课程教学内容。

### (二) 机械电子工程人才培养的三维教学体系

本着航空航天产品全生命周期研制的特殊需求,借鉴国外著名研究型大学相关专业的课程体系,<sup>[6][7]</sup>围绕机载机电系统从设计、控制、仿真、试验、故障诊断、信息管理到质量评价全寿命周期关键技术,有效重组和优化知识能力要素布局,构建知识能力要素衔接良好、突出实践创新、加强三维覆盖的机械电子工程三维教学体系,如图1所示,从而使得北京航空航天大学(以下简称“北航”)培养出来的机械电子工程人才既具备飞行器总体协同设计能力,又能掌握产品研发各阶段的关键技术。

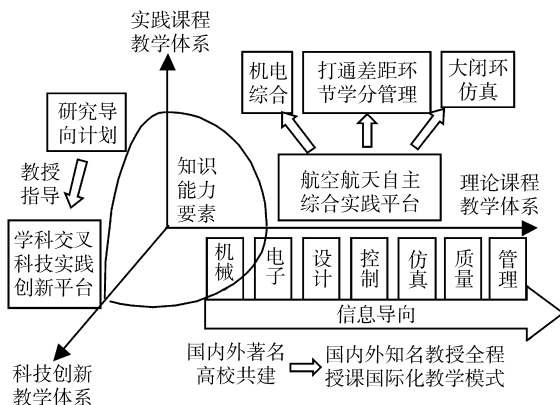


图1 新型机械电子工程人才培养的三维教学体系

### (三) 机械电子工程三维课程体系分维优化研究

#### 1. 理论课程优化

本科生理论课程以机载液压系统为对象,将原来基于液压系统的课程体系拓展为面向复杂产品全生命周期管理的课程体系,优化重组课程内容,合理布局知识能力要素,并将前沿技术融入课程教学内容。为了提高机械电子工程专业研究生的创新能力,掌握学科学术前沿,自2005年开始新设硕士生“机电系统前沿讲座”和博士生“机电系统综合课”两门学科前沿系列讲座课程。为了与国际接轨,借助教育部/外专局的“111引智计划”,每年为研究生开设两门以上的动态国际课

程,邀请美国、英国、法国、德国、加拿大等知名大学教授讲学,以扩展学生的国际视野,掌握最前沿的学术研究热点。

## 2. 实践课程优化

配合理论课程建设,依据机电综合、自主开放的设计思路,本科生实践课程新建了透明的流体实验系统和液压伺服系统综合自主试验系统,学生可以自主、综合、开放设计系统结构组成,选择多种控制方法和传动方式,以实现理论课教学的实验验证。基于机电系统网络环境下大闭环仿真设计思路,紧密结合航空航天前沿技术,突出信息驱动和共享,研究生实践课程新建负载模拟器、刹车与惯量模拟、直流调速系统、气/液加速寿命、遥操作及机载系统综合管理和电机-泵-阀组合复合控制实验系统。

## 3. 科技创新课程优化

面向国家科技竞赛和航空航天特色,新建月球机器人和先进伺服系统科技实践创新平台,为优秀学生参与研究导向计划、挑战全国科技赛事提供创新实践环境和实战演练的平台,并给予相应学分,即将实践课程教学与创新性科技实践活动融为一体,为优秀学生提供更高档次和更灵活的选择。

## 4. 机械电子工程专业三维教学体系耦合优化

为了定量解析机械电子工程三维教学体系关键知识能力要素的耦合关系,采用关联矩阵和三维耦合体表征机械电子工程三维体系关键知识能力要素布局,得到如图2所示的耦合关系。此外,还探讨了三维课程内容的衔接关系、课程间深度耦合和宽度耦合,表明机械电子工程系三维教学体系彼此强耦合(86.5%),三维强化了学生对机械电子工程全生命周期的知识能力要素的掌握。

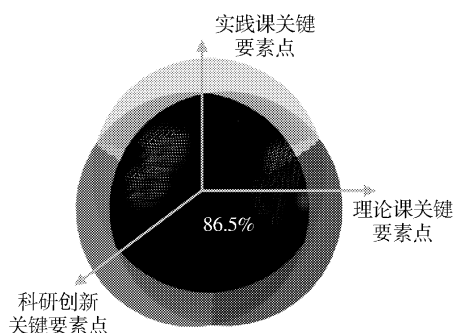


图2 三维课程体系知识能力要素点的耦合关系

# 三、机械电子工程三维教学体系实现环境

依托教育部/外专局“111引智计划”,引入国外先进的教学理念和教学模式,设计创新思维训练计划,建立和规范教学管理体系,为三维教学体系的稳健实施提供了良好的实现环境。

## (一) 基于国际动态课程的教学模式

围绕产品全生命周期关键技术,选择产品全生命周期课程体系中学科所缺少的课程,聘请美国普度大学著名教授讲授“机电系统全生命周期管理”课程,<sup>[8][9]</sup>聘请英国 UMIST 大学教授讲授“容错控制系统故障诊断”课程,聘请法国 INSA 研究院教授讲授“先进伺服传动系统”课程,聘请新加坡机床研究院教授讲授“模块化机器人”课程。以上教授均成为北航聘期5年的客座教授,每年定期到北航共建动态国际课程。

## (二) 创新思维培养训练计划

在研究生一年级就开始为每位研究生指定创新思维训练计划题目,要求学生:第一学期完成不少于50篇的文献综述(其中30篇为外文文献);第二学期完成研究方案和技术路线的确定,1个月汇报一次计划进展;于开题报告前完成创新思维计划,获得学分和开题资格。

## (三) 教学大纲与研究生培养方案的改革

配合机械电子工程三维教学体系改革与实践,规范研究生培养管理,通过研究生培养专题研讨,重新修订了本科生和研究生教学大纲。形成贯穿研究生综合能力培养过程的培养方案和管理条例,以加强学生的创新思维训练,规范细节过程管理。

## (四) 新型学分管理制度

为了鼓励学生参与科技创新,制定了灵活的学分管理制度,<sup>[5][17]</sup>学生可以通过选择科技创新课程、参与国家级科技竞赛和选修动态国际课程获得学分,并成为奖学金、短期出国访问学生和硕博连读的候选人。

## (五) 机械电子工程专业三维教学体系应用

根据人才培养规律,精心设计应用实施过程,首先在毕业年级实施,逐渐分布扩展到其他专业教学年级。设计调查问卷,及时收集学生反馈意见,不断调整和丰富理论课程内容、拓展实践教学

环节和增设科技创新项目。面向北航直博生、硕博连读生和外校攻读硕士、博士研究生制定不同的应用实施过程,量化评估人才培养质量,总结调整指导下轮实施计划。3年的实践表明,机械电子工程系人才培养三维课程体系普适性强、知识能力要素掌握扎实、创新思维训练系统,全面提升了学生的科技创新能力。

#### 四、实施效果分析

自2005年项目开始研究以来,一直贯彻边建设边实施,动态反馈实时调整的原则,尽量考虑学生需求,不断调整和丰富理论课程内容,拓展实践教学环节和增设科技创新项目。经过3年的实践,学生普遍反映现在的机械电子工程理论课程体系、实践课程体系和科技创新体系布局合理,三维教学体系不仅强化了学科知识能力要素点,完善了课程内容间的衔接,而且环环紧扣,相得益彰。国际动态课程由国外著名教授全程授课,使学生感受到了国际教学模式,拓展了学科前沿的视野。创新思维训练计划设计精致,学分制度灵活,提高了学生投身科技创新的积极性,严格的培养方案和过程管理增强了学生自主创新意识,大大提高了学生科技创新能力。3年来已培养硕士生约100名,其中:获国家科技竞赛奖6人、北航科技竞赛奖18人,获得校优秀学位论文2人,出国攻读博士学位和联合培养学生近20人,出国参加国际会议10多人,邀请国外著名教授20余人,发表学术论文12篇。美国NASA高级顾问普度大学John Sullivan教授和机械工程系主任Mileta Tomovic教授在参与项目3年的共建后表示,北航机械电子工程三维教学体系基本可以与普度大学研究生培养接轨,可以尝试北航-普度互认学分的合作形式。

#### 五、结论

解析了产品全生命周期信息共享、驱动及其

耦合的人才培养内涵,凝练出机械电子工程人才培养核心知识能力要素。基于创新人才培养模式,构建了融理论教学、实践教学和科技创新为一体的具有航空航天特色的机械电子工程三维教学体系,重组、优化和建成了信息导向型理论课程和国际动态课程,创建了具有航空航天特色的机电综合实践教学平台,新建了月球机器人和先进伺服系统科技创新平台,实现了三维教学体系的分维优化和三维耦合优化。依托引智计划,构建了高效的机械电子工程三维教学体系实现环境,形成稳定的国际课程共建机制和国内外知名专家教授全程授课新模式,设计了创新思维训练计划,制定了完备的过程管理措施。

#### 参考文献:

- [1] Kevin Craig. Is Anything Really New in Mechatronics Education? [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2001, 8(2): 12-19.
- [2] Imme Ebert-Uphoff, John F Gardner, William R Murray, et al. Preparing for the Next Century: The State of Mechatronics Education [J]. IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, 2000, 5(2): 226-227.
- [3] Trumper D L, Ludwick S J. Development of 2.737 Mechatronics at MIT[A]. Proc. 1999 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics[C]. Atlanta: GA, 1999. 446-451.
- [4] Bergh C F, Kita A, Ume I C. Development of Mechatronics Course in the School of Mechanical Engineering at Georgia Tech[A]. Proc. 1999 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics [C]. Atlanta: GA, 1999. 459-465.
- [5] 王少萍. “机械电子工程”人才培养创新研究与实践[R]. 北京: 2008年北京市教育教学成果奖总结报告, 2008.
- [6] James Trevelyan. Study Guides for 2004 BE (Mechatronics)[M]. Perth: The University of Western Australia, 2004. 1-3.
- [7] Mazid A M. Philosophy of Mechatronics Course Development[A]. IEEE ICIT'2002[C]. Bangkok: IEEE Industrial Electronics Society, 2002. 1337-1341.
- [8] Rolf Isermann, Norbert Müller. Design of Computer Controlled Combination Engines[J]. Mechatronics, 2003, (13): 1067-1089.
- [9] Mileta M Tomovic. Simulation Software Makes Mechatronic Course Interesting and Challenging[R]. Salt Lake City: FIE'96 Proceedings, 1996. 1405-1410.