

导弹飞行动力学与控制课程建设的思考*

孟云鹤, 陈克俊, 郑伟, 汤国建

(国防科学技术大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

[摘要] 本文介绍了“导弹飞行动力学与控制”课程的地位及我校的研究特点, 分析了原“飞行力学”课程的特点与作用, 通过对比总结了修订后的“导弹飞行动力学与控制”课程大纲的特色, 并提出了对该课程建设的几点思考。

[关键词] 导弹飞行动力学与控制; 课程建设

[中图分类号] G643 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874 (2009) S0-0016-02

进入新世纪, 航天技术飞速发展并直接影响国家的地位和国防安全, 研究导弹与运载尖端技术、培养高素质人才是光荣使命, 导弹飞行动力学、制导与控制相关课程的研究生教学工作处于非常重要的地位。

近年来, 我校该方向教学执行的是航天与材料工程学院2002年研究生培养方案的“飞行力学”课程大纲。2008年, 在对研究生课程教学大纲进行修订的过程中, “导弹飞行动力学与控制”被确定为航空宇航科学与技术等学科的核心课程, 这为推动“导弹飞行动力学与控制”课程建设工作带来了新的契机。

相比“飞行力学”, “导弹飞行动力学与控制”课程教学大纲在内容广度与深度上都有大幅度提高, 不仅侧重于介绍基本概念、基本原理与基本方法, 而且密切结合我国国防技术的发展, 关注国际上技术的前沿进展。本文将对新旧方案进行比较分析, 并对课程建设的一些思考做概要总结。

一、“导弹飞行动力学与控制”课程地位与我校研究特色

“导弹飞行动力学与控制”是研究飞行器运动规律的一门专业技术基础课程, 属于工程技术基础理论范畴, 它不仅包括导弹飞行器的动力学问题, 还包括与之密切相关的制导与控制。它与导弹等飞行器的工程设计和实际应用有着密切的关系, 是型号设计、飞行器性能分析、系统可靠性研究、精度评估、攻防对抗仿真、飞行试验与仿真、作战训练与使用的理论基础, 是一门覆盖面广、综合性强、系统性强的课程。

我校在老一辈专家、学者几十年科研与教学工作的基础上, 在弹道导弹和运载火箭的飞行动力学研究中形成了研究特色, 完成了相关的一系列重大科研项目, 编著了以《远程火箭弹道学》等为代表的一系列特色教材, 得到了航天部、知名高校以及相关科研院所的一致好评, 至今仍在广泛使用。

“导弹飞行动力学与控制”研究生课程建设对于促进我校科学研究与人才培养意义重大。首先, 从应用角度来说, 该课程侧重于研究运载火箭和弹道导弹的动力学与控制问题, 其研究对航天运载技术与武器装备技术的发展有着重要意义; 其次, 从课程内容而言, 包括飞行器的动力学、制导与控制等研究, 课程所涵盖的知识点以及课程中所采用的研究思路与方法早已成为航天飞行动力学的基础, 是航空宇航学科的基础课程; 再者, 从课程内涵而言, 本课程研究飞行器在复杂环境下受力、运动分析与制导控制问题, 导弹飞行器所处的力学环境复杂, 飞行弹道各阶段特点各异, 质心运动与绕心运动紧密耦合, 制导控制与姿态控制协调统一, 这是一门典型的应用工程控制论思想的、并具有强系统性的课程, 对于培养学员科学的、系统的思维方法作用不可低估。因而, 我校一直以来重视和支持该相关课程体系的建设, 而新一轮研究生教学大纲修订工作又为“导弹飞行动力学与控制”的建设带来了新机遇。

二、原“飞行力学”课程的特点与作用

原培养方案中的“飞行力学”课程的教学目的是: 根据理论力学的普遍规律较深入地分析弹道导弹和运载火箭及其有效载荷这一特定对象作机械运动时的特殊矛盾, 建立描述其运动的微分方程, 揭示飞行器运动的客观规律, 为应用这些规律来解决工程实际问题奠定理论基础。

由于导弹飞行器是一个复杂的系统, 描述其运动的微分方程组, 在战术、技术所要求的精度指标愈高时就愈为复杂, 在工程上需要将这类飞行器的运动分为质心的运动和绕质心的运动两大部分进行研究, 与之对应, “飞行力学”教学大纲主要内容包括弹道学和动态分析两大部分。

“飞行力学”研究生课程教学大纲的特点在于: 主要介绍飞行器动力学问题, 基本不涉及制导与控制, 学时较长, 对于受力与运动特性分析等具体问题阐述细致, 具有基础性特点。与其他知名大学相关专业的课程相比较, 该课程大纲有其鲜明的特色。

* [收稿日期] 2009-04-15

[作者简介] 孟云鹤 (1978-), 男, 河北永清人, 国防科学技术大学航天与材料工程学院讲师, 博士。

“飞行力学”教学大纲在教学实践过程中起到了很好的作用。由于专业调整等多方面原因,当时多数研究生在本科阶段没有学习过相关的基础课程,“飞行力学”研究生课程满足了这一需求,通过这门课程的细致讲授与扎实学习,为进一步深造与开展课题研究打下了坚实的基础。

可以说,“飞行力学”教学大纲在特定情况下起到了特定的历史作用。然而,随着近年来航天技术的快速发展,随着我院本科阶段“飞行力学基础”课程的普及,研究生飞行力学基础素质逐渐提高,“飞行力学”教学大纲逐渐显现出不足:首先,广度与深度上不够;其次,缺少制导与控制部分内容,系统性不够;再者,对于当前快速发展的技术前沿关注不够。因此,“飞行力学”教学大纲不再适应学科与技术的发展和我校人才培养的需求,对该教学大纲进行修订势在必行。

三、“导弹飞行动力学与控制”课程教学大纲的特色

修订后的课程教学大纲应弥补“飞行力学”教学大纲的不足,因而在名称上改为“导弹飞行动力学与控制”,以突出对于飞行器的制导与控制内容的涵盖。

“导弹飞行动力学与控制”教学大纲明确提出其教学目的在于通过本课程的学习掌握飞行器弹道设计与分析、弹体环节动态特性分析的基本方法和基本技能、飞行器制导与控制的基本原理和基本方法,为后续课程的学习,以及以后从事有关飞行器设计、分析、试验和使用等工作建立良好的基础。

与“飞行力学”教学大纲相比,“导弹飞行动力学与控制”大纲具有诸多鲜明的特点:

第一,在内容深度和广度上进一步提升,系统性更强。将原“飞行力学”教学大纲动力学部分内容适当整合,增加制导与控制部分内容,对于导弹飞行动力学方程建模概要讲授,对各段动力学特性进行深入分析,在此基础上系统介绍导弹主动段与再入段的各种制导与导引方法,并进一步在弹体固有特性的分析基础上进行导弹姿态控制系统的分析与设计的原理介绍,从而使学员能对课程体系形成完整而系统的认识,对导弹这类在复杂环境下自主运行飞行器的GNC系统有总体而全面的把握。

第二,近年国际上出现了“可重复使用运载器技术(RLV)”、“空间作战飞行器(SOV)”和“空间机动飞行器(SMV)”的研究热潮,这些新概念、新技术不仅对空天往返运输意义重大,而且可用在未来战略威慑的武器系统之中而影响一个国家的空间安全、国防安全,因此新教学大纲紧密结合这些技术发展前沿,突出了再入段动力学与制导原理等部分的课程内容。这有助于学员从技术上去揭开这些“神秘飞行器”的面纱,为他们今后从事维护国防安全的相关工作打下基础。

第三,新教学大纲紧扣航天技术的发展现状,在讲授基本概念、基本原理、基本方法之外,还增加了前沿技术理论的介绍,主要包括:先进的姿态控制系统设计方法概述,先进的主动段制导方法概述,以及先进的再入制导方法概述等内容,使得该课程兼顾到了基础理论讲授与前沿

技术介绍两个方面。不仅能够进一步帮助学员将理论基础条理化和系统化,而且有助于开阔研究视野,拓宽研究思路。

第四,新教学大纲增加了较多内容,但在学时上却减为原来的三分之二,这对于教学实施提出了严格要求,要求课程讲授要精,侧重于方法、思路与知识点的衔接,而不是对每个知识点逐一详细介绍。

第五,新教学大纲考虑到原教材《远程火箭弹道学》出版时间较为久远(1993年),将新的教材编著任务列入了课程建设计划中,争取在一到两年的时间内编著一套能够系统覆盖“导弹飞行动力学与控制”全部内容的、理论基础与技术前沿并重的高质量教材。无论对于提高教学效果,还是推进学科建设,这都是必要的和重要的。

四、课程建设的进一步思考

通过新教学大纲的制定,我们对课程建设也有了新的思考:

1、系统讲授导弹的动力学、制导与控制等内容

将飞行动力学、制导与控制理论作为一个整体介绍给学员,让他们形成对这种在复杂环境中自主飞行器运动与控制的系统概念,这对于理解课程内涵、掌握理论与方法、全面认识导弹技术非常重要。

限于历史条件,2002研究生教学大纲未能实施这一理念,但在制定导弹工程合训指挥本科专业教学大纲时考虑到了这一点。设置了一门60学时的“飞行动力学、制导与控制”专业基础课程,内容涵盖了弹道导弹的动力学、制导与控制方面。2007年给首届导弹工程学员的课程教学实践取得了良好效果,分析其原因,系统概念起了很大作用。由于从系统角度阐述问题,使学员能窥到导弹系统运动与控制问题的全貌,这样反而便于消化和理解,否则就是“盲人摸象”而“不识庐山真面目”。这对于“导弹飞行动力学与控制”课程大纲的制定是有所帮助的。

2、密切结合技术前沿进行授课

“导弹飞行动力学与控制”是一门相对经典的课程,如何在授课中与目前世界上的研究热点相结合、与技术前沿相结合是值得深入考虑的问题。

导弹技术的发展源于纳粹德国的V-2与V-1导弹,这两者分别成为了弹道导弹与巡航导弹的鼻祖。当前,存在着形形色色的导弹,如:远程、近程、战略、战术、陆基、空基、海防、潜射等等;也存在着各种新技术,如突防、反导、拦截、攻防对抗等等。这些技术的基础都要落实到弹道导弹的飞行动力学与制导控制问题上来,其弹道分析与制导控制方法是除巡航导弹之外的各种导弹技术的源头。同样,RLV、CAV、SOV技术、“神舟”飞船再入技术、航天飞机返回技术等也离不开导弹的飞行动力学与制导控制技术,其研究在方法论层次上并无两样,只不过是某些方面引入了新元素而已。因此,对再入问题进一步展开就能与这些新技术相接轨。

“导弹飞行动力学与控制”课程大纲丰富了对导弹再入问题的研究,将飞行器升阻比增加,“弹头再入”自然地过渡到“弹道一升力式再入”以及“升力式(下转第20页)

用所学专业知 识,然后查阅文献、文献阅读、方法实现、仿真试验、撰写研究报告等过程,使学员能够较为完整地完 成本学科专业课程的一次研究活动,有利于帮助学员掌握知识和培养科学研究的能力。

在新的培养方案制定过程中,特别强调了多种考核方式的应用,如闭卷考试、课程作业和课程实践等都得到了广泛的应用,如图1所示。从图中可以看出,超过40%的研究生专业课程选择了课程作业作为考核的一部分,29.63%的专业课程选择了课程实践作为考核的一部分,突出 了对研究生自主学习和开展科学研究能力的培养,同时有将近80%的课程还保留了闭卷考试作为考核的方式,有利于研究生对专业课程知识的掌握。

六、结论

新一轮研究生培养方案的颁布实施,将使研究生在掌握系统深入的专业知识基础上,更加注重自主学习能力的培养。研究生在课程学习结束和毕业后将具备能够独立从

事本学科及相关学科领域的科学研究和教学工作的能力,更好地满足军队和国防科技发展对军队新型创新人才的需求。

[参考文献]

- [1] 古瑶,蔡继红.当代技术自主创新的趋势与工科研究生的培养[J].科学管理研究,2007,(6):101-104.
- [2] 涂丹.研究生专业课程考核的几点思考[J].高教高职研究,2007,(5):43-44.
- [3] 朱聪玲,卢伟,姜冬华,陈振.专业基础课教学改革思考[J].佳木斯大学社会科学学报,2004,(5):114-115.
- [4] 黄明,文明超.案例研究方法评述[J].江西金融职工大学学报[J],2008,(4):137-138.
- [5] 刘冬岩.案例教学:提升教师教育质量的有效途径[J].福建教育学院学报,2008,(7):50-52.

(责任编辑:林聪榕)

(上接第17页)

再入”,由于作用力不同,飞行环境不同,相应地其控制执行机构以及制导与控制方法也要变化发展,新方法、新技术、新概念飞行器也因而出现。通过这一主线贯穿,可以使学员根据各类导弹的运动特点进行分析,剥除形形色色大气飞行器的面纱,得识其真面目,并具备根据参数资料判断其性能水平的能力。所以,在基本原理与技术前沿之间并非存在难以逾越的技术“鸿沟”,关键在于能否理清思路讲授技术本质。

3、立足现有学时打造精品课程

在“导弹飞行动力学与控制”教学大纲制订过程中,对于学时问题曾存在一些争议,认为36学时对于“导弹飞行动力学与控制”的教学内容来说太紧张了。由此直接涉及到的问题是:课程应该讲什么,怎么讲?再进一步分析则是“学员需要学什么,怎么学”的问题。

授课对象的基础怎样呢?调查表明:目前我院航天研究生半数以上来自本学院,本科都修读了“飞行力学基础”课程,而来自于校外的学员中有至少三分之一也学过类似课程,因此总人数上三分之二以上的选课学员都具有必要的基础。

研究生学员应学什么,怎么学?很多专家对此做过论著,不再重复。至少,不能象低年级本科生那样进行“知识点”的“阵地战”,而应该侧重于思维方法、研究方法的总结和提炼。

“导弹飞行动力学与控制”是一门系统性强、方法性强、工程背景强的课程,是一门典型的应用工程控制论思想的课程,其丰富的内涵为培养学员分析问题、解决问题的能力大有裨益。

基于学员知识基础与研究生教学的特点,基于主讲教员几十年的教学与研究经历,本课程定为36学时,希望能够通过侧重脉络、思路的系统讲授,使学员思维中的障碍如多米诺骨牌一样顺次倒下,用最短的学时实现最好的教学效果。因此,也希望将此课程教学作为一种尝试,为我 校研究生教学改革积累经验。

[参考文献]

- [1] 刘晓恩,曹秀云.美国空间武器发展分析[J].中国航天,2007,(5):32-36.
- [2] 贾沛然,陈克俊,何力.远程火箭弹道学[M].长沙:国防科技大学出版社,1993.
- [3] 赵汉元.飞行器再入动力学和制导[M].长沙:国防科技大学出版社,1997.
- [4] Robert H. Chen, Walton R. Williamson, Jason L. Speyer. Optimization and implementation of periodic cruise for a hypersonic vehicle[J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 2006, 29(5): 1032-1040.

(责任编辑:林聪榕)