

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8874.2010.01.022

# 国内外“空气动力学”课程实践教学的对标分析\*

刘伟<sup>1</sup>, 姚莉<sup>2</sup>, 杨小亮<sup>1</sup>, 易仕和<sup>1</sup>

(国防科学技术大学 1. 航天与材料工程学院; 2. 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

**[摘要]** 本文对麻省理工学院(MIT)的“空气动力学”课程实践教学环节设置进行了细致的调研,对其内容的安排、实践教学的目的、组织方式及教学评价方式进行了分析,并在实践教学方式、课程内容设置、教学体系设置等方面与国内相关院校“空气动力学”课程实践内容进行了对标分析,最后结合我国高校目前本科生教育现状给出了一些初步的思考和体会。

**[关键词]** 课程实践教学; 空气动力学; 教学模式; MIT

**[中图分类号]** G649 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2010)01-0068-04

## Preliminary Analysis of the Practice-teaching of Undergraduate Specialized Courses

—some inspiration from the comparison of practice-teaching between domestic and abroad aerodynamics

LIU Wei<sup>1</sup>, YAO Li<sup>2</sup>, YANG Xiao-liang<sup>1</sup>, YI Shi-he<sup>1</sup>

(1. College of Aerospace and Material Engineering; 2. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** We investigate the practice-teaching of aerodynamics in Massachusetts Institute of Technology (MIT) in detail, and analyze its content, purpose, organizational mode, and evaluation criteria. By comparing the practice-teaching of aerodynamics in MIT with the same undergraduate course of the domestic university in practical teaching style, curriculum, and teaching system, we analyze the gap between them and its causes. Finally, based on the status quo of our country's undergraduate education, some preliminary thinking and experience are presented.

**Key words:** practice-teaching; aerodynamics; teaching mode; MIT

现代科学技术的发展使得对创新型人才的培养愈加重视,我国高等教育领域也越来越多地出现了对现行本科生培养模式的反思和探讨。在本科生教学活动中,本科课程教学的重要一环——课程实践教学环节是对课堂教学内容的深化和实践,其设置的科学性对于课程基本知识学习的理解及掌握具有重要影响,对于培养学生发现并解决问题的创新型思维模式的形成具有潜移默化的作用。从上世纪80年代开始,由于现代科学发展的需求,促使美国政府、教育界和大学将改革本科生教育体系及本科教学方式提到重要的议事日程<sup>[1]</sup>。在整个改革体系中,美国将研究式学习(research-based learning)作为教学标准贯穿于整个本科生教学环节中<sup>[1-3]</sup>。在美国大学本科课程教学中,其课程实践教学环节的设置十分具有特色,特别体现了美国研究式学习的教育理念。

本文通过对麻省理工学院航空宇航工程专业的主干课程“空气动力学”的实践教学环节的调研<sup>[4]</sup>和理解,对其内容的安排、实践教学的目的、组织方式及教学评价方式进行了分析,并在实践教学方式、课程内容安排、教学体系设置等方面与国内相关大学的“空气动力学”课程实践

内容进行了对标分析。

### 一、麻省理工学院“空气动力学”课程实践教学情况

#### (一) 实践教学项目及内容

在美国麻省理工学院(MIT, Massachusetts Institute of Technology),航空宇航工程专业(Aeronautics and Astronautics)的学生在学习空气动力学课程的过程中,要求参加以小组形式完成的课程实践项目,课程实践的内容是针对波音公司发展的关于翼身融合体(Blended-wing-body aircraft, BWB)飞行器的设计及气动分析项目,如图1。

整个课程实践项目围绕对翼身融合体飞行器的气动研究和设计来展开,课程实践包括的研究内容较多,具体分为五个设计(Projects):

Project 1. 针对翼身融合体飞行器的风洞模型,进行空气动力学性能工程计算分析。计算不同风洞试验条件下的来流马赫数Ma和雷诺数Re。采用涡格法及半经验理论估算翼身融合体飞行器模型的升力系数 $C_L$ 、俯仰力矩系数 $C_M$ 及阻力系数 $C_D$ ,阻力包括:压差阻力 $C_{Dp}$ 、摩擦阻力 $C_{Df}$ 及

\* [收稿日期] 2010-01-29

[作者简介] 刘伟(1965-),男,湖南长沙人,国防科学技术大学航天与材料工程学院教授,博士。

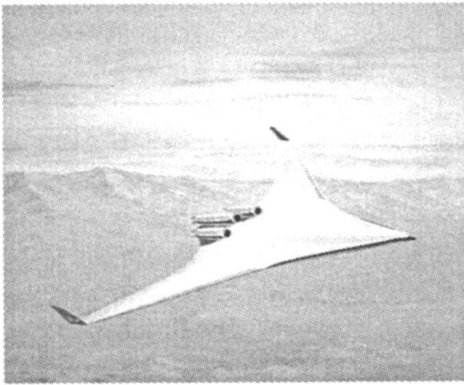


图1 翼身融合体 (Blended-wing-body aircraft, BWB) 草图 (摘自 MIT 网站<sup>[41]</sup>)

诱导阻力  $C_{Di}$ 。

Project 2. 将 Project 1 的气动估算结果与风洞试验数据进行对比分析, 考察计算方法的有效性。考虑模型支撑和洞壁干扰效应的影响, 完成对风洞原始数据的修正, 并将实验数据整理成无量纲形式。

Project 3. 分析翼身融合体飞行器的巡航和着陆性能。主要应用前面验证过的方法考察翼身融合体飞行器的巡航和着陆参数是否满足给定飞行条件的要求, 同时对翼身融合体飞行器进行纵向静态稳定性分析。

Project 4. 分析二维翼根剖面的跨声速特性。采用二维可压缩欧拉方程模拟翼根剖面的流动, 并应用计算流体力学的方法数值离散求解二维 Euler 方程, 重点分析跨声速流动影响。

Project 5. 本部分是整个教学实践的重点, 要求以小组形式完成对翼身融合体飞行器的改进设计, 要求对改进的方案完成前面所做的全部分析。此外, 还要针对摩阻和升致阻力极小化设计方案的翼身融合体飞行器性能是否满足给定条件的起飞、着陆要求进行分析。

在课程实践项目完成的过程中, 研究报告的提交也是研究内容的一部分, 包括前期实践报告以及翼身融合体飞行器改进设计的阶段性报告和最终的实践设计报告。

## (二) 实践教学目的、实施安排及评价

### 1、实践教学目的

麻省理工学院“空气动力学”课程实践就是希望通过直接的参与使学生能够掌握尽可能多的知识, 该课程的特点是通过一套成系列的课程实践项目和充分的相关的研究资料, 使学生能够对空气动力学研究的全过程以及研究成果的展示有一个整体的理解。每个实践环节都设置了目标明确的教学实践内容, 使学生能够掌握以下技能: 能够使用简单的气动估算方法和经验理论方法, 快速分析飞行器的空气动力性能; 学习气动实验数据的修正方法以及计算结果与实验数据对比分析的方法; 掌握将估算方法、实验方法以及计算流体力学的方法应用到飞行器具体参数的研究、设计过程中; 通过完成对翼身融合体飞行器的改进设计, 形成对空气动力学研究方法的总体认识, 通过提交设计报告, 掌握展示研究成果的方法。

### 2、实践教学安排

麻省理工学院“空气动力学”课程实践的时间安排为三个月左右 (以 2005 年为例): 在授课学期的前两个月,

在课程助手的指导下完成实践设计项目 Project 1—Project 4, 学生可以自由组合成两人一组来完成一个设计项目, 但不同的设计项目组合不能相同。通过该过程的学习, 要求学生掌握对翼身融合体飞行器进行分析所要采用的基本方法及基本技能。在课程进行的最后一个月, 要求学生组成三个人左右的研究小组各自去完成翼身融合体飞行器的改进设计, 这期间这些小组将分别完成实践设计任务, 最后将他们的研究成果以文档的形式整理出来, 形成研究报告。

每周三下午 3 到 5 点在电教室进行周实践设计例会。在设计实践的头两个月, 指导老师会一直协助学生完成实践内容。到最后一个月, 实验室将完全交给学生来独立完成他们的课程实践项目, 指导老师仅在必要的时候给予指导, 同时记录学生的到课率。

课程设计实践依据内容分为五个部分, 并以此设定相应的时间节点来依次完成 (以 2005 年为例):

Project 1: 在 09 月 21 日前完成。

Project 2: 在 10 月 05 日前完成。

Project 3: 在 10 月 19 日前完成。

Project 4: 在 11 月 09 日前完成。

Project 5: 在 12 月 09 日前完成。

每个课程设计实践都要求每个人提交一份研究报告, 研究报告包括给出规定的曲线和图表, 要求包括如何完成实践项目的明细, 报告必须有队友的签名。

### 3、实践教学评价方式

学生个人课程实践项目评价基于两个方面: 合作项目的得分和个人贡献的得分, 合作项目完成情况的得分占个人得分的 20%, 个人贡献占得分的 80%, 个人贡献的评价主要基于以下三个方面:

- 整个学期中, 团队合作时的活跃程度, 包括提出的指导性建议, 交流情况以及到课情况。

- 每个实验以后, 所有人将对本小组成员的贡献进行书面的评价, 包括对自己的评价, 并将书面评价通过电子邮件发给任课教师, 任课教师将这些书面评价作为个人得分的参考。

- 每个人对最终研究报告撰写的贡献。

## 二、国内院校“空气动力学”课程实践性教学环节设置情况介绍

作为航空航天技术重要的基础性课程, “空气动力学”在国内航空航天类院校或专业都作为核心类课程进行设置。总体来说, 国内由于在历史上受传统的接受式教育模式影响较深, 课程体系及实践性教学环节的设置方式比较接近。由于情况基本类似, 以下仅以国防科技大学的“空气动力学”课程实践性教学环节作为主要对象, 对课程实践内容进行介绍和分析。

### (一) 实践教学项目及内容

国防科技大学飞行器系统与工程专业、空间工程专业及导弹工程专业的“空气动力学”课程实践性教学环节有三项, 两项是实验教学, 一项是上机实践。具体内容是:

#### 1、低速翼型表面压强分布测量实验

实验内容: 将实验模型和风速管安装在风洞的实验段内, 将压力扫描阀、计算机按要求安装完毕; 检查风洞是

否运转正常, 检查实验模型及数据采集系统是否工作正常; 在不同攻角 $\alpha$ ( $\alpha = -5^\circ, 0^\circ, 10^\circ$ ) 状态下, 通过扫描阀和计算机采集各点的相对压力值。

### 2、Laval 喷管多种运行工况的调试实验

实验内容: 选择一套超声速 Laval 喷管, 安装在超声速风洞上。运行超声速风洞, 采用流动显示方法, 仔细观察超声速喷管射流的流动结构。连续调节喷管运行压力比, 观察在不同压力比下的射流结构, 并结合教材进行分析。

### 3、超音速翼型表面压力分布及气动力计算

教学内容: 给定翼型剖面:  $Z_{\pm} = \pm 0.3x(-x)$ , 采用激波-膨胀波理论推导二维翼型表面压力分布及气动力/力矩计算公式, 通过计算机编程给出在马赫数 2、2.5、3, 攻角 0、1、2 下的表面压力分布及升、阻力、力矩特性。分析计算结果, 编写计算总结报告(含程序)。

## (二) 实践教学目的、实施安排及评价

### 1、实践教学目的

实践教学项目 1 的教学目的: 使学生通过对实验的具体操作, 掌握机翼表面压强分布的测量方法; 通过实验测量, 加深对有关气动原理的理解; 了解有关测试仪器和仪表的原理和使用方法; 结合课程涉及的相关理论进行解释和分析。

实践教学项目 2 的教学目的: 观测超声速流动激波、膨胀波现象; 通过实验观察, 了解 Laval 喷管多种运行工况的流动结构, 掌握不同工况下的流动特点, 从而达到深入领会掌握课堂教学内容的目的。

实践教学项目 3 的教学目的: 采用激波-膨胀波理论推导二维翼型表面压力分布及升、阻力计算公式, 通过计算机编程给出不同马赫数及不同攻角下的表面压力分布及气动力/力矩特性。掌握课程所讲授的气动力估算的实用方法及计算机编程实现的基本方法。

### 2、实践教学安排

三个实践教学项目的安排见表 1。

教学项目的安排

序号	实践教学项目名称	课内学时
1	低速翼型表面压强分布测量实验	2
2	Laval 喷管多种运行工况的调试实验	2
3	超音速翼型表面压力分布及气动力计算	6

### 3、实践教学评价方式

组织方式: 现场测试及独立编程调试

成绩评定: 实践教学环节的评定总成绩占“空气动力学”课程总分数的 20%, 即 20 分。其中: 实践教学项目 1、2 各占总分数的 5%, 两者总共 10 分。实践教学项目 3 占总分数的 10%, 即 10 分。记分标准: 根据实验/上机编程情况、完成实验/计算报告情况以及对实验/计算现象分析情况来考核和评价。

## 三、课程实践教学内容安排的差异及背景

在教学体系的安排上, 国内航空航天院校或专业的空气动力学课程实践内容设置之间主题还不够突出(难以围

绕一条主线), 综合强度、深度还不够。而 MIT 的实践教学设置主题十分突出, 5 个课程设计围绕翼身融合体外形的气动力特性分析及设计展开, 使学生能够掌握简单的气动估算方法、二维流动条件下的计算流体力学的模拟方法及一定的气动分析能力, 并对气动实验数据的修正方法有一个实践性的了解, 通过完成对翼身融合体飞行器的改进设计, 形成对空气动力学研究方法本身的总体认识。以上国防科技大学的情况为例, 一些对比情况如下:

(1) 国防科技大学与麻省理工学院(MIT)在“空气动力学”教学重点上是有所不同的, 这些不同也在实践教学内容的安排方面体现出来。MIT 的空气动力学教学主要侧重于低速流动, 这可以从其课堂教学内容安排及 5 个教学实践的内容体现出来。而国防科技大学“空气动力学”的教学内容除低速流动方面外(这是空气动力学的基础部分), 考虑到学科总体发展方向侧重于高超声速流动研究, 因此补充了反映超声速流动激波、膨胀波现象较为典型的 Laval 喷管实践教学环节, 希望学生通过掌握 Laval 不同工况下的流动特点, 达到深入理解、掌握超声速流动重要现象、特点的目的。设置上虽然兼顾了亚、超声速不同流动特点, 但三个项目(包括上机编程环节)的关联性不强。

(2) 国防科技大学与 MIT 在“空气动力学”课程设置的差异使得在实践教学的安排存在差异。MIT 在“空气动力学”课程之前设置了一门先导性综合系列课程“统合工程学”, 其课程内容比一般麻省理工学院一学期课程内容的四倍还要多。“统合工程学”是麻省理工学院航空宇航系二年级必修工程课程, 许多不同工程领域以统合的方式被介绍, 并以此展现航天工程的系统化本质。“统合工程学”由“计算机与程序设计”、“流体力学”、“材料与结构”、“讯号与系统”、“系统与试验”、“热力学推进”、“统合观念”七门课程组成, 其中“流体力学”大致讲授 48 小时, 另有复习/实习 30 小时(2 小时/周, 共 15 周)。而其“空气动力学”是学完“流体力学”课程后的深化课程, 讲授 45 小时, 另有复习/实习 30 小时(2 小时/周, 共 15 周)。

国防科技大学“空气动力学”教学内容是 MIT“流体力学”和“空气动力学”合二为一的缩减版, 故在教学内容上较之 MIT 浅, 教学重点放在概念和基本方法的掌握上, 实践教学环节的设置偏基础, 综合性程度较低。

总体来说, 目前国内航空航天院校或相关专业设置的“空气动力学”类课程里还难以看到类似 MIT“空气动力学”那样主题十分突出, 系统性、综合性相当强的课程实践内容。事实上, 这种差异的核心在于双方在课程实践设置的出发点或目的性的不同。正如前言所述, 美国将研究式学习作为教学标准贯穿于整个本科生教学环节中, 这种教学理念也贯穿于其课程实践设置中, 如其所选取的外形是目前较为前沿的翼身融合体飞行器类型, 通过简单的工程计算分析、较为复杂的计算流体力学(CFD)分析、模型实验分析、飞行性能分析来达到对飞行器气动设计研究方法的掌握, 并在其过程中增强对基本概念的理解。与此不同的是, 目前国内航空航天专业课程(如“空气动力学”)的教学仍侧重于传统的接受式学习模式, 课程实践教学的设置注重于对课堂教学基本知识的进一步理解及深化, 并不强调对整体系统研究的掌握。课程实践内容设置的差异只

是两者教学模式(理念)不同的一个折射。

#### 四、启示与思考

从表面来看,国内外在本科生课程实践教学环节上的差别似乎仅是一个教学的局部问题,但反映的实质却是一个涉及不同教学理念、教学目标的根本性问题。美国大学的培养宗旨侧重于研究能力和创新,正如MIT网站所述:“自从上世纪五十年代的工程科学革命之后,大学的科技教育目标就是教授基础的知识。随着教育变得更为抽象,充斥着大量的类别,我们担心基础知识的深度和理解度都开始下降。因此,我们将会创造一个可以强化和更深化基础知识的学习环境,让我们年轻的工程师可以利用他们的知识和技巧来更有信心、更有生产力地进行创造和创新<sup>[4]</sup>”。也就是说,MIT意在创造一个新的整合性教育,来达到“在技术基础上提供学生深入的工作知识、使受教育的工程师成为新产品或新系统创造和执行过程中的领导者、灌输研究者们对自己工作重要性和策略价值的认知<sup>[4]</sup>”的教育目标。

反观我国本科生课程教学的目标和培养理念,长期以来都是以知识传承为核心,“教师讲、学生学”是主要的教学模式,所设置的课程实践教学环节依然是这一理念的延伸,意在巩固深化课堂的教学内容,而对学生研究能力及创新意识的培养方面考虑较少。近年来,我们在教学实践过程中也遇到与MIT当初同样的困惑,例如对像“空气动力学”这样的专业方向,以前开设有七、八门相关课程,课程时数也相对较多,而现在由于信息、电子等技术知识的补充,空气动力学相关课程门数及课程学时数都大大减少,因此如何在打牢学科基础知识与培养学生较宽知识面方面取得新的平衡,为未来的工程师、研究者进行创造和创新提供坚实的知识结构和较强的研究能力,是我们需要深思和实践的教学难题。

MIT在实践教学环节上的设置给予了我们许多启示。我们与MIT的差别,不仅仅是一个实践教学的设计问题,而是涉及整体教学理念、教学体系的建立及组织问题,否则只能学其表面,而未能达到其效果。我们认为以下几个方面是本科生专业课程实践教学应重点关注的一些问题:

- 教学理念及教学模式的改变:现代科学技术的发展使得知识及信息量的膨胀十分迅速,在四年的本科教育时间里,采用传统的接受式教育模式已经难以适应现代科技对创新型人才的需求,因此本科生教育应转向研究型教学模式,在新的教学模式下设计研究型的本科生专业课程实践教学,以达到深化专业知识,培养研究能力与创新意识的目的。

- 教学实践内容的选择:选题应涉及学科前沿,体现综合应用学科知识,完整解决问题的过程。相关学科前沿的选题有利于启发学生的兴趣,而完整解决专业领域问题的实践过程将极大地增强学生未来工作或研究的自信心。同时,综合演练有利于培养学生分析问题、解决问题的能力,以及综合运用学科知识的能力,使学生能够主动思考,形成对问题的洞察力和判断力,启发原创性思维。这个过

程不仅深化了专业知识,更重要地是为学生今后创造和创新提供了良好的基础。

- 实践教学的组织方式:在一个完整的研究过程中,有针对性地培养和考核学生的各类能力。例如选择课题、制定研究计划、进行试验、撰写试验报告和研究报告、课堂报告与研讨、研究成果展示等。

- 评价学生的考核方式:应科学、合理和多方位的进行。国外对学生的考核方式与国内相比更为细致,如前所述,在MIT的考核方式中,有合作项目得分和个人贡献得分。而个人项目的得分既有教师对学生表现的评价、学生自己的实际工作成果(如实验报告、研究报告等),还有不同合作者的评价。不仅如此,对合作小组的限制(如大小、研究过程中每次合作对象不能相同等)也很重要,有效地限制了研究中可能出现的不公正现象。科学、合理地设置考核方式对客观评价学生的实践能力,同时鼓励独立思考和合作研究具有十分重要的意义。

我国本科生实践教学环节设置的改革并非易事,还有一些十分具体的困难需要我们去思考和解决,我们认为目前在本科生实践教学环节设置中还面临着以下一些具体问题和挑战:

- 如何转变大学本科教育的总体教学理念及教学思维?如何建设与现代科学技术发展的创新性要求相适应的教学模式?

- 国内大学的课程体系结构是否支持整合性教育模式?国内大学的实验室环境、设备条件、计算机软、硬件公共平台及开放程度是否能够支持综合性较强的实践教学活动?

- 国内大学配套的教学软件环境、人文环境及管理环境是否适应类似于MIT的实践教学环节?

- 国内大学的课程教学往往面对上百名学生,制定什么样的实践教学环节、采用什么样的组织方式和考核评价模式才能使综合性实践教学环节对大多数学生来说不留于形式?才能使学生积极地、独立地、诚信地参与并完成?

- MIT的实践教学环节对目前国内多数院校在缺乏助教(MIT有课程助理的设置)的情况下,工作量相当大(特别是对上百名学生的课程来说),因此如何调整教学与科研的关系,调动教师的积极性、主动性(甚至一定的创造性),也是综合性实践教学环节能否达到预期效果的必要条件。

#### [参考文献]

- [1] 李正,林凤,卢开聪.美国本科生科研及对我国的启示[J].高等教育研究,2009,(3).
- [2] 刘存利等.美国研究型大学本科生的科研发展及其启示[J].西安电子科技大学学报(社会科学版),2006,(5).
- [3] Jackson, M., Sudhakaran, C., & Agarwal, V. Key Elements to Building a Sustainable Undergraduate Research Program. AAC&U 2007 Conference: The Student as Scholar: Undergraduate Research and Creative Practice
- [4] <http://myoops.org/coow/mit/index.htm>

(责任编辑: 阳仁宇)