

Construction and Application of Experimental Platform in Teaching of Aero-Engine Control

Zhigang Liu

College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin
Email: zgliu@cauc.edu.cn

Received: Mar. 16th, 2020; accepted: Mar. 31st, 2020; published: Apr. 7th, 2020

Abstract

The new economy, which is represented by new technology, new business model, new model and new industry, has put forward new requirements for the training of engineering science and technology talents, and the university actively promotes the reform of engineering education, while the comprehensive and innovative teaching experimental platform plays an important role in improving the students' engineering ability. This research is based on the micro-gas turbine engine as the core and digital virtual engine as auxiliary, through the development of the experimental project to integrate the teaching resources, the engine running and the control experiment practice platform, and applied in the aviation engine control curriculum teaching. In the teaching practice, the teaching mode of "competition & project" is constructed, the innovation ability and the comprehensive application ability of the students are trained and the students are trained, and the teachers' practical ability is improved. This paper probes into the effective evaluation mechanism of the experimental teaching target, evaluates the learning effect through the combination of the experiment participation degree, the writing experiment report and the reply query, continuously improves the teaching method and the means, and improves the teaching quality. The teaching practice surface, the construction and application of the platform solve the problem of the insufficiency of professional practice teaching and the lack of teaching research, which has promoted the reform of professional engineering education and achieved good teaching effect.

Keywords

Aero-Engine, Engine Control, Experimental Platform, Teaching Practice

《航空发动机控制》教学实验平台建设与应用

刘智刚

中国民航大学航空工程学院, 天津

Email: zgliu@cauc.edu.cn

收稿日期: 2020年3月16日; 录用日期: 2020年3月31日; 发布日期: 2020年4月7日

摘要

以新技术、新业态、新模式、新产业为代表的新经济蓬勃发展,对工程科技人才培养提出了新要求,促使高校积极开展工程教育改革,而综合性、创新性教学实验平台对学生工程能力的提高发挥着重要作用。本研究以微型燃气涡轮发动机为核心、数字虚拟发动机为辅助,通过开发实验项目整合教学资源,建成了发动机运行与控制实验实践平台,并应用于航空发动机控制课程教学。在教学实践中,构建了“竞赛+项目”的教学模式,培养和锻炼学生的创新能力和综合应用能力,同时使教师的工程实践能力得到提高。探索了实验教学目标有效达成评价机制,通过实验参与程度、撰写实验报告和答辩问询相结合的方式综合评定学习效果,持续改进教学方法和手段,提高教学质量。教学实践表明,平台的建设与应用解决了专业实践教学环节不足、教学研究深度不够等问题,推动了专业工程教育改革,取得了良好的教学效果。

关键词

航空发动机, 发动机控制, 实验平台, 教学实践

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2017年以来,为主动应对新一轮科技革命和产业变革,教育部积极推进新工科建设,要求各高校开展工程教育改革来适应新经济对工程技术人才的新要求[1]。作为高等教育的重要组成部分,实验实践教学在培养学生能力、提高教学质量及人才培养质量等方面发挥着重要作用,是高校教育教学中必不可少的环节。中国民航大学飞行器动力工程专业(简称“飞动”)是国家级特色专业、天津市品牌专业和“新工科(卓越2.0)”试点专业,以高素质应用型人才培养为目标,为民航企业输送机务类毕业生,必然要求学生具有很强的实践能力和动手能力。为实现专业培养目标的有效达成,实验实践教学环节的合理设置和有序开展尤为重要。

构建实验平台是实现教育资源整合、大型仪器设备开放共享的有效途径,也是提高仪器设备使用率和共享率的重要举措[2]。国内很多高校都在积极探索专业实验教学平台的建设思路和运行管理机制,并取得了一些成果与经验[3][4][5][6]。实践表明,综合性实验平台的建设与开放,有利于发挥研究人员的主观能动性,有利于培养学生的综合能力、创新精神和科学素养[7]。在飞动专业改革与建设过程中,航空发动机控制课程组通过整合实验资源,充分发挥大型设备的实验能力,建成了开放共享的发动机运行与控制实验平台,并应用于航空发动机控制课程的教学实践,对培养学生实践能力和创新能力具有重要意义。

2. 平台建设的必要性和建设理念

发动机运行与控制实验平台于2011年启动建设,并于2013年正式投入教学实践。建设之初,实践教学环节存在以下突出问题:第一,软、硬件实验资源匮乏,教学实验项目数量很少,与课程大纲和专

业培养目标存在很大差距；第二，实践教学环节以控制元件、控制系统的参观讲解为主，缺乏综合性实验项目，无法通过实验操作锻炼学生的动手能力，不能保证学生及时有效地应用基础理论知识；第三，囿于实验条件的限制，教学改革和教学研究的深度明显不够，课程组教师的工程实践能力、实验创新能力存在不足。

为解决上述问题，满足专业培养方案和培养目标的要求，有效支撑航空发动机控制和航空发动机原理等课程的理论教学，课程组遵循的“综合性与创新性实验相结合”“实操实验与虚拟仿真实验相结合”“实验技术与实验管理相结合”“工程实践与教学实践相结合”的建设理念，以小型燃气涡轮发动机为核心开发发动机运行与控制实验平台(图 1)，并开展相应的教学实验项目设计。经过 7 年的教学实践和持续改进，逐渐完善了飞行专业实践教学体系，为多门专业核心课程的理论教学提供了有力支撑，也为课程建设、教育教学改革项目的开展奠定了实验基础。此外，在平台应用过程中，逐渐形成科技实践能力，营造了良好的实验创新氛围，培育大学生科技创新项目，使教师实验创新能力得到提高。

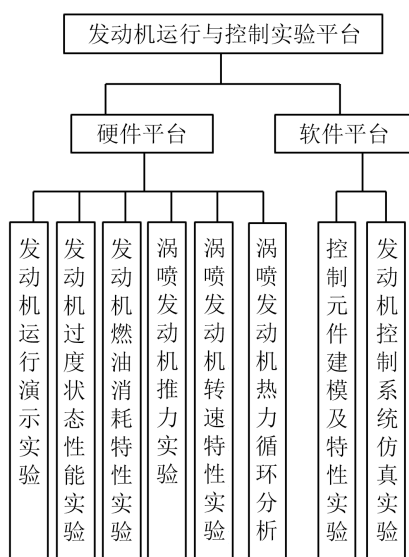


Figure 1. Overview of engine running and control experimental platform

图 1. 发动机运行与控制实验平台概况

3. 平台建设内容

3.1. 以平台承载力为基础，开发和丰富教学实验项目

发动机运行与控制实验平台建设目标是通过搭建小型燃气涡轮发动机试车台帮助学生理解航空发动机推力的产生、发动机效率的评价和发动机运行控制规律。小型燃气涡轮发动机尺寸小、推功比大，具有良好的模型代表性、学科延展性和经济性，有很高的研究价值和实用价值[8]。本实验平台所采用的小型燃气涡轮发动机包含一套完整的发动机运行演示系统，能够通过发动机试车实验采集发动机数据，展示航空燃气涡轮发动机的工作原理和工作过程。该实验系统包括燃气涡轮发动机本体、电子起动机、控制和数据采集子系统、燃油子系统和引燃气体供应子系统；其中发动机本体是一部典型的涡轮喷气式航空发动机，包含进气装置、单级离心式压气机、环形燃烧室、单级轴流式涡轮和尾喷管等部件。发动机试车实验采集的参数非常丰富，如发动机主要站位处的温度、压强等热力学参数，以及转速、推力、流量等工作性能参数，可以利用这些测试数据结合不同的课程开展综合性实验分析，开发的教学实验项目

有：

1) 发动机运行与演示实验：通过开机准备、启动运行、加减速控制、停车等完整流程的动手操作，使学生掌握燃气涡轮发动机地面试车方法，观察各阶段实验现象，采集发动机试车数据。

2) 涡轮喷气式发动机过渡状态性能实验：通过调节转速控制器改变发动机工作状态，研究发动机状态转换的瞬态工作过程中转速、推力、空气流量等性能参数随时间变化特性，获取发动机稳态及非稳态运行规律。

3) 涡轮喷气式发动机燃油消耗特性实验：通过测定发动机在开机、调速控制及停机一系列启动循环中的燃油消耗量，分析燃油消耗率随转速调节变化规律，其目的是在启停循环中合理控制发动机转速状态，优化运行流程。

4) 发动机推力实验：利用动量方程计算小型涡喷发动机推力，并与测量值进行对比，分析理论值与测量值误差原因，提出改进措施。

5) 涡喷发动转速特性实验：利用空气流量、燃油流量、推力、转速等参数绘制地面试车条件下的转速特性线，分析单位推力、燃油消耗率随转速的变化规律。

6) 涡喷发动机热力循环分析：基于热力循环基本理论，利用温度、压强等热力学参数分析压气机效率、涡轮效率和整机效率，计算焓、熵等参数，据此绘制涡喷发动机 $p-v$ 图、 $T-s$ 图和 $h-s$ 图。

以上实验项目对航空发动机控制(项目 1~3)、航空发动机原理(项目 4、5)、工程热力学(项目 6)等主干课程的理论教学提供了有力支撑，丰富和完善了飞动专业实验教学体系，图 2 给出了部分实验结果。

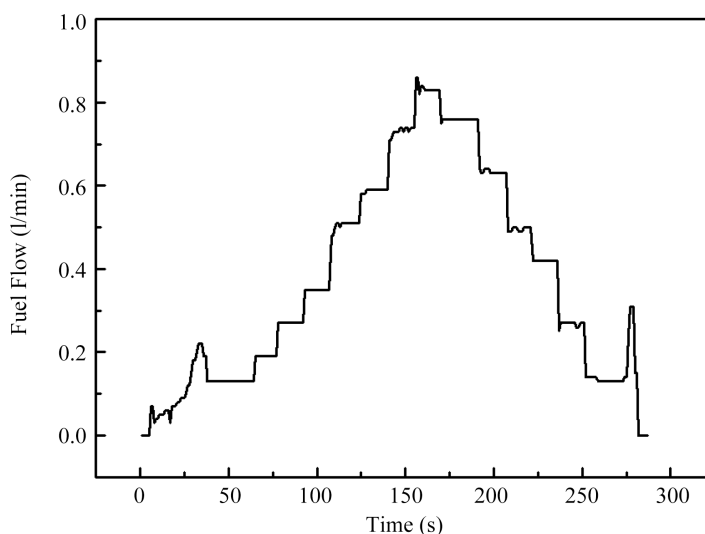


Figure 2. Part of experimental result

图 2. 部分实验结果

软件平台方面，自主开发了控制元件建模及特性实验，开展部件级别的特性分析，使学生掌握民航发动机燃油调节器关键元器件的结构组成、工作原理和部件特点，分析结构尺寸参数对部件工作特性的影响，并利用快速成型设备实现部件的建模。基于 Matlab/Simulink 开发了航空发动机控制系统仿真实验(图 3)，进行系统级别的特性分析，实现民航发动机控制规律和发动机性能模拟，以及多变量控制回路性能分析。

小型燃气涡轮发动机硬件平台提供了详实的测试数据，与数字发动机的软件平台综合运用、虚实结合，借助虚拟实验的优势拓宽发动机运行包线，在突破发动机实物只能进行地面试车限制的同时降低了

实验成本。

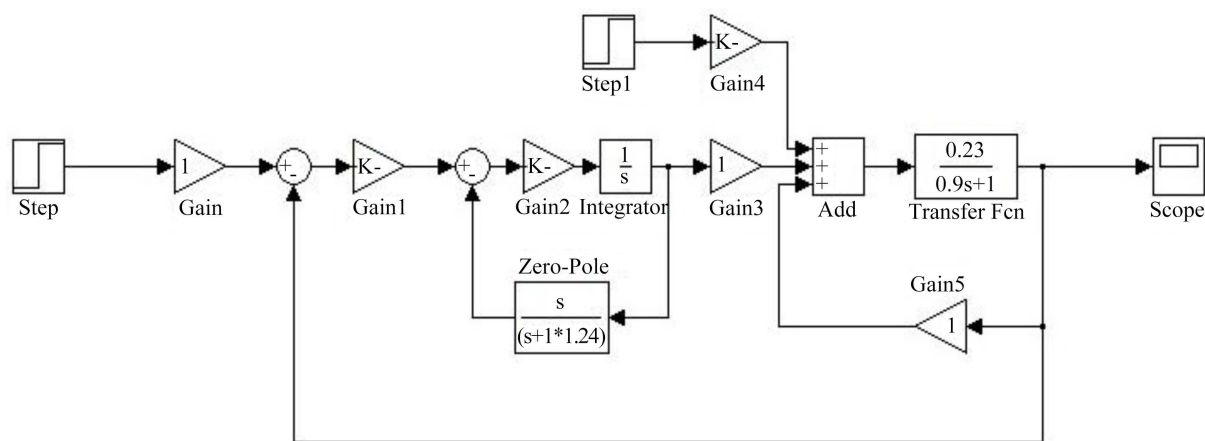


Figure 3. Simulation experiment of aero-engine control system

图 3. 航空发动机控制系统仿真实验

3.2. 构建“竞赛 + 项目”实践教学模式

学科竞赛是学生实践创新能力培养的有效手段，以科技竞赛和创新项目为载体的综合性实验平台的应用能够为提高学生能力发挥关键作用[9]。在平台应用中，以“竞赛 + 项目”为主线、教师为主导、学生为主体，激发学生的实践兴趣和主动实践能力，为学生积极参与科技创新活动提供了有利条件。截至 2018 年 12 月，平台支撑了 12 项大学生创新创业训练计划项目的开展，参与学生共计 40 人次，指导学生发表项目研究论文十余篇。基于平台指导学生积极参加各类学科竞赛，获得国家级、省部级竞赛奖励 6 项，带有代表性的成果有学生自制的小型涡喷发动机、商用高涵道比涡轮风扇发动机 3D 模型等。“项目 + 竞赛”的实践教学模式使大学生在校期间尽早接触科学研究，理论与实践相结合，培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力，提高学生综合应用知识的能力，形成了崇尚科学、追求创新的良好氛围，促进学生知识、素质和能力的协调发展。

实验平台按照常规开放和预约开放两种模式运行，前者依据实验教学大纲及教学进程面向全专业学生开放，后者主要面向学科竞赛、大创项目学生开放，在保证教学活动的顺利开展的前提下，为学生积极参与高水平竞赛项目创造了有利条件。学科竞赛和大创项目学生开展实践项目具有不确定性，对耗材、工具也有不同的使用要求，因此引入了现场管理的理念，实现了物品的定置管理，保障实验平台有序运行。

4. 平台特色及教学实践效果

发动机运行与控制实验平台直接服务于飞动专业实验教学，为航空发动机原理、控制等课程的讲授提供了有力支撑，解决了飞动专业实践教学环节不足的问题。平台的建设和应用填补了飞动专业燃气涡轮发动机实验的空白，自主开发的教学实验项目，以及完整的实验教学资源开发丰富了飞动专业实验教学体系，推动专业内涵式发展。“发动机运行与控制创新实验实践平台开发与应用”获得 2014 年中国民航大学教学成果二等奖、2018 年中国民航教学成果二等奖。

平台为课程建设、教研项目的开展奠定了实验基础，解决了教学研究深度不够的问题。平台促进《航空发动机控制基础》课程教学改革与实践、航空发动机控制课程综合化改革与建设[10]、《发动机热防护》专题化教学改革与实践等教育教学研究课题的深入研究，有机地助推了为飞动专业改革和建设。

在平台建设和教学实践过程中,逐渐形成了以中年教师为骨干、锻炼青年教师的实验队伍。以平台主要硬件设备小型燃气涡轮发动机为核心,课题组教师结合自身研究方向凝练实验创新课题,获批中国民航大学实验技术创新基金项目3项,自主研制了微型发动机水流模拟试验台、整体燃烧室试验台、涡轮叶栅试验台等,并在教学实践中得到应用,提高了教师的实验创新能力,解决了教师工程实践能力不足的问题。

5. 结束语

以具有创新精神和实践能力的高素质应用型人才培养为目标,建设发动机运行与控制实验平台,为专业核心课程及民航特色课程创造实践教学条件,落实培养方案,提高民航机务人才培养质量。基于平台构建了“竞赛+项目”的教学模式,坚持以学生为中心,充分发挥学生的主体作用和教师的主导作用,以学科竞赛参与和大创项目为契机,激发了学生的创新思维和实践意识,使学生的科技创新能力和动手实践能力得到培养和提高。平台的开发与应用推进了教育教学改革进程,为课程建设、教材建设和教研课题的开展奠定了实验基础,加强了教学研究的深度。平台营造了良好的实验创新氛围,在平台开发和教学实践过程中,教学团队的工程实践能力得到锻炼和提高,自主设计制作的实验仪器在教学中得到应用。

基金项目

中国民航大学实验技术创新基金项目(2017SYCX11);中央高校基本科研业务费项目(3122014D015)。

参考文献

- [1] 李建新,王永川,徐美娟. 能源动力类立体化实践教学体系构建[J]. 教育教学论坛, 2019(8): 188-190.
- [2] 赵明,宋秀庆,祝永卫. 高校大型仪器设备开放共享多元模式运行机制研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(1): 12-15.
- [3] 黄正均,张磊,李长洪. 开放共享型岩石力学实验教学平台建设[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(9): 109-112.
- [4] 李敏惠,邹强,阳泰. 开放式综合性实验平台规范化管理的实践与探索[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(1): 259-261.
- [5] 钱洁,刘志学,唐吉吉. 开放式研究型实验教学平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(6): 155-158.
- [6] 高云鹏,滕召胜,黎福海. 开放实验室与学科竞赛平台相结合的创新人才培养模式[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(4): 360-262.
- [7] 张明锐,吴严严,王佳莹. 电力系统综合实验平台的教学实践与应用[J]. 实验室科学, 2018, 21(5): 50-53.
- [8] 李聪. 微型燃气涡轮发动机数值仿真技术研究[C]//中国宇航学会固体火箭推进专业委员会. 中国宇航学会 2005年固体火箭推进第22届年会论文集(发动机分册). 中国宇航学会固体火箭推进专业委员会: 推进技术编辑部, 2005: 240-243.
- [9] 丁丽. 浅谈学科竞赛和科研项目双管齐下的大学生实践创新能力培养[J]. 文教资料, 2019(3): 165-166.
- [10] 杨晓军. 航空发动机控制课程综合化改革探索与分析[J]. 教育教学研究, 2014(2):18-19.