·实验教学·

工程教育下机械创新实验教学研究与实践

周　龙，郑岳久，刘建国，来　鑫，王　飞

（上海理工大学 机械工程学院，上海 200093）

摘要：在工程教育的环境下，传统的实验教学模式已不能完全适应高校实践教学的需求，存在诸多弊端。该文不断进行改革探索，针对现有实验教学存在的不足进行分析，开展工程教育背景下机械创新实验教学探索与实践，详细分析了工程教育背景下机械创新实验教学意义和教学理念，探讨机械创新实验教学体系和人才培养模式，提出以融入产出成果的创新实验教学实施方案，结合上海理工大学机电控制创新实验课程改革进行案例分析并统计近年学生在科技类赛事、申请专利、论文等一系列成果，表明机械工程创新实验教学模式能够有效地激发学生创新思维，提高创新实践能力。

关　键　词：实验教学；创新能力培养；成果导向；工程教育；复杂问题；机械工程

中图分类号：G642　　**文献标志码：**A　　DOI: 10.12179/1672-4550.20180575

Research and Practice of Mechanical Innovation Experiment Teaching under Engineering Education

ZHOU Long, ZHENG Yuejiu, LIU Jianguo, LAI Xin, WANG Fei

（College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China）

Abstract: Under the environment of engineering education, the traditional experimental teaching model can no longer fully meet the needs of practical teaching in colleges and universities, and there are many drawbacks. We continue to carry out reform and exploration. Based on the analysis of the shortcomings of the existing experimental teaching, the exploration and practice of mechanical innovation experimental teaching in the context of engineering education are carried out, the significance and teaching concept of mechanical innovation experimental teaching in the context of engineering education are analyzed in detail, and the mechanical innovation experiment and teaching system and talent training model are studied. Finally an innovative experimental teaching implementation plan that integrates the output is proposed. Combined with Shanghai University of Technology's electromechanical control innovation experiment course reform, case analysis and statistics of a series of achievements made by students in science and technology events, patent applications, and papers in recent years, the results have shown that the mechanical engineering innovation experiment teaching model can effectively stimulate students' innovative thinking and improve innovation practice ability.

Key words: experimental teaching; innovative ability training; outcome orientation; engineering education; complex problems; mechanical engineering

高校实验教学是大学生进行实践、创新能力培养的重要手段[1]。随着我国工程教育的发展和创新创业教育的提升，机械工程创新实验教育也需不断改革创新，现有的实验教学方法和模式弊端凸显，如何满足新形势工程教育背景下学生的实践创新能力培养的需求，是摆在高校实践教学面前的一道难题。近年来很多高校在培养学生创新和实践能力培养上进行了一系列的改革，如文献 [2] 针对机械类本科生创新设计能力存在的不足，提出了一种基于阶梯式实验教学的大学生机械创新设计能力的培养方法；文献 [3] 以南京理工大学机械工程专业人才培养为例，介绍了一种需求牵引能力导向多模式培养机械工程创新人才培养模式；文献 [4] 针对目前机械设计课程教学与工程设计相脱节的现状，提出工程项目引导的机械设计教学模式，将教学与工程实际紧密联系在一起。

收稿日期：2018-11-05；**修回日期：**2018-12-24

基金项目：上海理工大学 2019 年度教学发展研究一般项目（CFTD18022Y）；2018 年上海高校教师产学研践习计划。

作者简介：周龙（1987-），男，硕士，实验师，主要从事智能制造创新实践教学方面的研究。

286.33643
538.55
56.8
309.01358

以上机械工程创新教学改革对学生创新和实践能力培养有较大的促进作用，但没有系统地将工程教育认证培养要求和理念融入机械创新实验教学改革中去。本文立足高校机械工程创新实验教学工作实际，提出工程教育背景下机械工程创新实验教学思路和模式，推动机械工程创新实验教育模式科学合理，为高校机械工程创新类实验教学提供可复制的经验。

1 机械工程创新实验教学的重要意义

1.1 大学生实践能力培养的必要举措

高校是培养国家事业建设者和接班人的重要摇篮，同时高校担负着引领国家科技创新和进步的重要使命。大学生实践能力的培养关系到国家各项事业的健康有序发展，国家的教育主管部门一直重视大学生实践能力的培养，机械工程创新实验教学作为机械类专业实践教育的重要组成部分，在提高学生综合素质、培养学生创新精神与实践能力的过程中发挥着不可替代的作用[5]。

1.2 实施创新创业教育的基本保障

教育部在《关于大力推进高等学校创新创业教育和大学生自主创业工作的意见》中指出：“在高等学校开展创新创业教育，积极鼓励高校学生自主创业，是深化高等教育教学改革，培养学生创新精神和实践能力的重要途径[6]。机械工程创新实验教学的目标就是培养具有创新实践能力的机械产品设计制造、检测控制的综合型工程技术人才。为了满足国家对创新创业教育的总体要求，高校开设一定比例的机械创新类实验课程是学生创新和实践能力的培养的基本保障，机械创新类实验课程在激发学生创新创业思维起到积极作用。近年来，创新类实验课程对大学生创新创业能力的培养发挥越来越重要的作用。

1.3 专业工程认证的重要内容

专业工程认证是基于 OBE 理念的人才培养体系构建、以学生为中心的教学过程及质量保障、教学评价及改进、学生发展与成效等方面的内容[7]，工程教育背景下机械工程创新实验教学改革将工程认证的 OBE 理念的人才培养模式融入实验教学中。坚持以成果为导向、以学生为中心，在实验教学过程中持续改进。在教学方法、实验设备和实验内容不断地推陈出新，满足新科技新技术对实验教学的要求。

2 机械工程创新实验教学存在的主要问题

2.1 实验教学内容单一，缺少多学科交叉融合实验

机械类专业实验课程在内容设置上普遍较单一，没有将学科交叉融合贯穿实验课程的内容中，当今科技竞争日益激烈，高校担负着培养学生解决复杂工程问题的能力，其中机械类实验课程在对培养学生解决复杂问题能力方面起到重要的作用[8–10]。设置学科融合，知识综合的机械工程创新实验是应对这一需求的必然选择。对于机械专业学生来说，除了对机械结构、机械设计、制造工艺要深入了解，还应对控制技术、测试技术、大数据、人工智能、智能制造、数字孪生等领域有所了解。现阶段的单一实验教学内容的主要问题是缺少以上学科交叉融合。

2.2 实验教学方式未突出学生主体地位，不能较好的激发学生创新思维

实验教学实践和理论相结合的课程，特别突出实践的内容，做实验的过程是老师和学生相互交流学习的过程。在现阶段的实验课程教学中，很多老师仍然采取纯讲解的方式，学生被动的灌输所学内容，忽视了学生在实验教学中的主体地位[11]，因而很少有学生做完实验后能够独立的举一反三，能够重新设置新的实验内容，因此学生很难产生创新的实验想法，同时导致学生缺乏自主的学习设置实验能力。当今社会科技发展迅猛，如果学生的这方面能力没有得到培养，就很难适应未来激烈的社会竞争。因此，要重视学生的学习方法的掌握和自主学习能力的培养，这就要求老师在实验教学的过程中，改变现有的传统教学观念，将学生主体地位放在突出的位置上。

2.3 实验教学缺乏以成果为导向的评价机制

大部分的高校在进行实验考核设置时候，将实验报告作为主要的考核指标，缺乏成果形式的评价机制，学生做完实验，完成报告就能得到一个比较好的分数，然而在这个实验的教学中，学生并没有得到较大能力的提升，以成果为导向的实验教学活动环节的关键在于学生从实验教学中学到什么，教学过程中需要增加一个评价的环节，可以是完成的一项真实性的任务或者成果来进行评价，这个成果可以是多种形式的，可以是大学生科技类赛事获奖，也可以是论文或者专利等等，学生在达成各项成果中，老师需要鼓励学

生进行自我反思，培养其探究与创新能力。

3　工程教育背景下机械工程创新实验教学模式

3.1　机械工程创新实验教学理念

以工业 4.0 和中国制造 2025 为导向，以先进制造为主线，以面向学生的创新实践能力培养为指导思想，将理论教学、实验教学和创新实践有机融合[12]。坚持理论、实践、创新相互促进的教学理念，结合先进制造业发展趋势，面向制造业前沿，通过多模块、多层次的实验课程体系将创新能力培养延伸到基础课程学习阶段，形成理论与实验教学既相互独立又有机结合、既注重能力培养又实施个性化创新教育的实验教学模式。

开设“基础型实验—综合设计型实验—探索创新型实验”3 个层次的实验项目，逐步提高综合性与创新性实验的比例；将培养科学思维、实践能力、创新能力和探索精神落实到每门课程之中。在实验教学的设置上，将研究项目与一系列创新实验有机衔接，加强了先进创新手段与经典实验内容的联系。

3.2　机械工程创新实验教学体系

在教学体系建设中，坚持以人为本，始终坚持坚持知识、能力、素质协调发展先进教学理念和教学改革思路[13]。根据实验教学的特点，分阶段、分层次、分模块对学生的实践能力和创新能力进行培养。

在满足培养目标基本要求的基础上，推行以验证模仿型实验向创新设计型实验转变，同时利用产学研等实践优势提高实验教学的应用水平。根据学生在不同阶段理论知识的掌握程度，对实验教学体系进行了分阶段、分层次、分模块的实验教学改革，尤其突出实验过程中的创新性、综合性和复杂性。

3.3　机械工程创新实验教学人才培养模式

1）网络化、虚实结合的人才培养模式

依托机械工程实验中心信息化平台，开发共享多媒体课件及网络实验，供学生进行实验预习和模拟操练，同时还可与实验指导教师进行网络互动交流。各创新实验室经学生在实验平台上网络预约后开放。

2）国际化、创新型工程人才培养模式

按照合作办学要求，有针对性地先后派出多名实验指导教师，赴德国汉堡应用科技大学、德国富特旺根应用科技大学等高校学习德国实验教学方法，邀请德国知名教授参与实验项目建设及工程指导，先后开发了机床动刚度测试等多个实验。每年向国外派出数十名本科生进行交流培养，形成对外交流、合作办学的联合实践教学平台，先后与德国斯图加特大学等多所高校建立合作办学关系。通过联合实验室的先进实验条件及国际合作为学生提供创新实践平台，指导学生在联合实验室中进行创新创意设计，多项创新项目转化为创新成果。每年培养来自德国的交流生，通过创新实验教学，融合中德双方优势，培养学生实践创新能力。国际化的实验教学平台于 2014 年顺利通过 ASIIN 认证，并取得欧洲工程教育认证联盟（ENAEE）的欧洲工程师教育认证（EUR-ACE）。

3）开创校企合作双导师培养模式

实验教学坚持专职与兼职相结合、培养与引进相结合、教学与科研相结合的教学队伍建设模式[14]，形成一支思想作风好、事业心强、技术水平过硬的实验教学队伍。其中一项重要措施是引进企业导师制，通过企业导师使学生全面了解工程实际及企业需求；另一举措是鼓励青年博士教师进实验室及产学研基地完成半年以上实践活动，吸引尽可能多的青年教师参加实验中心的实验教学活动。

3.4　融入成果产出机械工程创新实验教学模式

工程教育背景下要求学生具备一定的工程实践能力[15−16]，机电控制创新实践实验室承担着全校本科生机械结构认识和创新实验的课程，毕业答辩前学生必须修满一定的创新学分，否则不能顺利参加毕业答辩。在机电控制创新实验课程设置过程中引入了成果产出教学手段，学生在课程结束前的最后一次课堂上需要分组进行项目答辩，指导教师不断指导并提出改进方案，将可行的创新项目需要申请专利、参加大学生科技赛事等，获得一定数量的成果来进行实验教学的产出。如图 1 所示为融入成果产出机电创新实验教学模式实施方案，以机电控制创新实践平台基地为中间环节，搭建创新成果产出−机电创新实验教学−大学生系列赛事的桥梁作用。将创新实验教学过程中好的想法和项目引导推荐参加大学生科技类赛事，以专利、教学论文、项目产品等形式作为产出成果。具体实施方案为利用机电控制创新实验和机械结构认识实验两门课程凝炼学生创新

创业想法。以不同专业背景学生组队、项目实施和参加大学生赛事三种方式进行项目的完善，最终产出的结果主要形式有方案、专利、赛事获奖、教改经验。学生则得到解决复杂系统问题能力的提升，教师在实施过程中同时获得教学改革经验等。

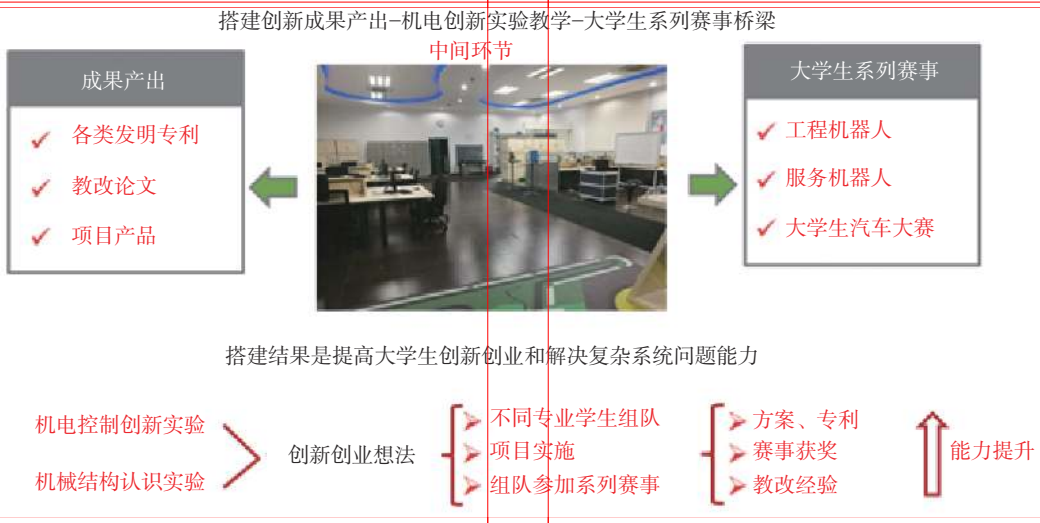

图 1　融入成果产出机电创新实验教学模式实施方案

3.5　机械工程创新实验教学案例分析

为了有效地体现工程教育背景下机械工程创新实验教学模式的可行性，以上海理工大学机电控制创新实验为例进行分析，详细介绍了机械创新实验方面的改革经验，以便更好地为其他高校实验教学提供参考和借鉴。

1）课程简介

① 学习慧鱼创意模型，从了解该实验设备开始认知机械结构及机械传动。

② 学习机电产品的结构设计，参照模型，培养动手能力，学些机电产品的构造过程。

③ 机电产品设计和装配调试，通过学习基本的机电产品的设计组装，掌握产品的设计过程，会做基本的运动分析和简单的电气控制设计。

④ 学习智能机器人的认识和控制，会用基本传感器和程序控制。

⑤ 综合培养学生在机电产品创新方面的基本能力。

2）实验教学目的与任务

本实验课程是面向全校本科生的公共选修课。主要通过对慧鱼机电模型的组建，使学生掌握基本的机械结构与传动、电气元器件的使用、传感器的应用及电气连接和控制调试等相关知识，培养学生对机电产品有基本的认识。通过慧鱼模型的装配和调试使学生的动手实践能力在训练过程中有所提高，从而为学生在机电产品控制创新能力方面的提升打下一定的基础，达到激发学生的学习兴趣，培养创新能力。

3）实验教学的基本要求

首先利用模型图纸组建模型，同时了解模型的工作原理，用计算机编制程序并控制模型的运动轨迹，在深入了解慧鱼模型的工作原理后，可根据自己的设计思路，利用慧鱼创新模型包对产品进行仿真并实现自主创新。主要教学模块设置如表 1 所示。

表 1　慧鱼创意机器人教学内容模块设置

类别	实验内容	学时	教学性质
模块一	产品结构的认识	8	综合性
模块二	机电产品控制创新设计	8	设计性
模块三	机器人及传感器的应用	8	实践性
模块四	创新实验设计	8	创新性

各模块内容及其要求有如下 4 点。

① 模块一

内容及其要求：使学生对机械产品的结构和传动形式有初步的认识，培养理论知识的兴趣以及智能制造在机械产品中的重要性；搭建实验模型，实现基本的运动控制，用计算机程序调试出运动轨迹。

② 模块二

内容及其要求：根据给定运动轨迹自己设计机械结构从装配到调试成功；熟悉 LLWIN 软件，

并按指定运动轨迹编程；介绍数字孪生在机械设计中的作用；加深巩固理论知识，培养动手能力，使其对机电一体化有进一步了解；根据给定运动轨迹自己设计机械结构。

③ 模块三

内容及其要求：机器人的结构及应用，从整体和系统的两个角度来认识和了解机器人的产品结构，掌握产品的设计原理和运动规律，融会贯通机电一体化的相关知识；应用人工智能算法对机器人进行控制；了解各类传感器的原理和应用，掌握机器人的驱动、传感系统，掌握机器人相关编程知识。

④ 模块四

内容及其要求：根据创新设想完成创新方案的构思及完善；大数据方法的融合；创新实验模型的搭建调试，自主搭建所构思的创新模型。

4）考核与成绩评定

实验报告的主要内容应包含实验项目的概述、设计方法、产品的工作原理，以及设计的产品在调试中产生问题的原因和解决的方法。考核要求是以任务书上指定的设计要求，在规定的学时内完成并在计算机上完成仿真模拟，并能解答产生问题的原因和解决思路。

5）实验指导书及参考资料

指定用书：《慧鱼创意机器人设计与实践教程》(第二版)，曲凌，上海交通大学出版社，2015 年 8 月。

参考书：

①《慧鱼各系列搭建手册》：实验机器人，工业机器人，传感机器人，气动机器人。

② 慧鱼产品说明资料：智能接口板，plc 接口板。

③《智能移动机器人的设计制作与应用》，秦志强，电子工业出版社，2012 年 5 月。

3.6　机械工程创新实验教学成果对比分析与展望

在教学成果方面，近三年来以机械工程创新实验教学平台为载体学生组队参加了一系列大学生科技赛事，主要包括中国工程机器人大赛、中国服务机器人大赛暨国际公开赛、中国大学生方程式汽车大赛、上海市机械工程创新大赛、中国机器人大赛暨 RoboCup 公开赛、大学生“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛、全国大学生机械创新设计大赛慧鱼组竞赛等省部级以上赛事。取得了 35 项国家级获奖，90 余项省部级获奖。在专利申请数和授权数上，近三年以机械工程创新实验教学平台获得国家发明专利 20 余项，实用新型专利 50 余项，目前近 20 余项专利在实审阶段。指导教师撰写教学改革论文 20 余篇，并不断改进教学方法和技巧，教师教育教学能力同步得到提高。机械工程创新实验教学成果改革前后对比如图 2 所示。改革后的教学类成果相比改革前增加了 4 倍。

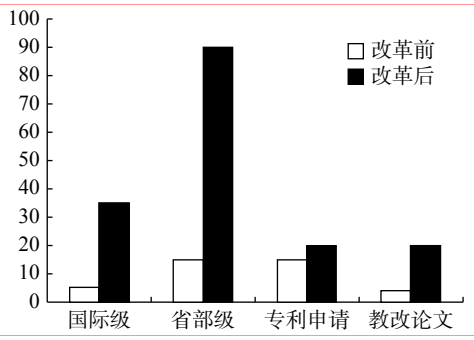

图 2　机械工程创新实验教学成果对比图

依托机械工程学科及实验教学创新平台，以大学生创新大赛为抓手，通过创新科研项目和创新实验教学有效激发学生创新意识和创新兴趣，培养学生创新性思维和创新实践能力，不断将创新意识及设计转化为创新成果。目前已开发 200 多个创新实验项目，其中一半以上的项目在国家和上海市机械创新设计大赛上获奖，许多创新项目转化为成果或实验教学平台，形成了创新项目成果反哺实验教学的良性循环。

工程教育下机械创新实验教学探索与实践在大学生创新能力方面取得了积极的进展，极大地满足了工程教育认证以成果导向的要求，下一步将拓展和加强将机械设计，制造与测控方进行综合实践性项目探索，将制造技术、设计方法、测控技术进行有效的融合，并增加人工智能、大数据、智能制造相关课程内容。开设智能制造技术综合实验课程。以培养学生解决复杂工程问题的能力，将以成果导向和培养解决复杂工程问题的能力两个方面进行有效融合。实现工程教育背景下机械创新实验课程的综合改革。

4　结束语

本文针对高校机械工程创新实验教学中存在的问题，提出了工程教育背景下机械工程创新实验教学模式，分别详细阐述了机械工程创新实验教学理念、教学体系、人才培养模式、融入成果产出、成果分析五部分。实践表明：

1）机械工程创新实验教学理念是将培养学生科学思维、探索精神、实践能力和创新能力贯穿到实验课程之中，以创新研究的方式将一系列实验项目有机衔接，加强了先进创新手段与经典实验内容的联系；

2）在实验课程体系建设中，根据学生在不同时期机械理论知识的掌握程度，对机械工程实验教学体系和内容进行了分阶段、分层次、分模块的创新性改革；

3）网络化、虚实结合、国际化、创新型工程人才培养模式，通过联合先进实验条件及国际合作为学生提供创新实践平台，指导学生在联合实验室中进行创新创意设计；

4）提出了融入成果产出机电创新实验教学模式实施方案，将创新实验教学过程中的想法和项目引导参加大学生科技类赛事，以专利、教学论文、项目产品等形式产出成果；

5）依托机械工程学科及创新实验教学平台，形成创新成果反哺实验教学的良性循环，提升学生创新性思维和创新实践能力。

参 考 文 献

[1] 宋宝玉, 李旦, 王娜君, 等. 强化工程创新能力培养的机械专业实践教学建设[J]. 高等工程教育研究, 2018(1): 58−61.

[2] 郭婷, 权双璐, 桂亮, 等. 基于阶梯式实验教学的机械创新设计能力培养[J]. 机械设计, 2018, 35(S2): 74−77.

[3] 乔莉, 袁军堂, 汪振华, 等. 需求牵引能力导向多模式培养机械工程创新人才[J]. 中国大学教学, 2019(5): 19−23.

[4] 朱林剑, 陈庆红. 工程项目引导的“机械设计”教学模式探讨[J]. 机械设计, 2018, 35(S2): 95−97.

[5] 于惠力, 毕耕, 高宇博, 等. 建立完整的实践教学体系培养学生的实践能力和创新意识[J]. 实验室科学, 2010, 13(6): 3−6.

[6] 张玉华. 高校打造创新创业教育“改革升级版”的路径选择[J]. 中国成人教育, 2017(24): 61−63.

[7] 李志义. 解析工程教育专业认证的成果导向理念[J]. 中国高等教育, 2014(17): 7−10.

[8] 李仁兴, 施江澜. 机械实验教学创新及其改革实践[J]. 职业技术教育, 2004, 25(25): 55−56.

[9] 甘辉霞, 黄景光, 陈铁, 等. 实践教学解决复杂工程问题的探索——以继电保护综合实验为例[J]. 高教学刊, 2017(23): 106−108.

[10] 阎群, 李擎, 崔家瑞, 等. 大学生解决复杂工程问题能力的培养[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(11): 178−181.

[11] 李发宗, 徐忠朝, 崔仲华, 等. 以能力培养为核心的汽车专业实验教学体系的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(4): 24−28.

[12] 胡红生, 王娟, 孙江, 等. 机器换人产业背景下的地方高校应用型人才培养模式[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 186−191.

[13] 史宁中. 坚持以人为本的现代教育理念[J]. 中国教育学刊, 2010(2): 3.

[14] 王靖, 雷洪德. 美国精英文理学院教师教学发展的组织支持[J]. 高等工程教育研究, 2016(5): 172−177.

[15] 王绍清, 唐跃刚. 面向工程教育专业认证的学生实践能力培养探析[J]. 教育理论与实践, 2018(3): 18−19.

[16] 都昌满. 对我国工程教育专业认证试点工作若干问题的思考[J]. 高等工程教育研究, 2011(2): 27−32.

编辑 钟晓