文章编号: 1001-4543(2020)04-0341-07 DOI: 10.19570/j.cnki.jsspu.2020.04.013

工程教育认证背景下的“现代控制理论”课程教学改革探索

张淑平

(上海第二工业大学 工学部, 上海 201209)

摘 要: 针对“现代控制理论”课程理论性强、概念多且晦涩难懂的特点及当前教学中该课程的工程性不突出, 不利于工程教育认证中培养目标达成的问题, 以能力要求为出发点, 围绕工程教育认证中毕业要求的分解指标, 从主辅相兼的教学内容、模块化的教学模式、开放自主的实践过程, 多元的考核方式和可持续的改进闭环机制 5 个方面, 提出了以能力培养为目标的“现代控制理论”课程教学改革。特别是设计了可持续改进闭环机制, 以实现培养目标、毕业要求和课程目标达成情况的动态平衡。

关键词: 现代控制理论; 工程教育认证; 多元考评方式; 可持续改进闭环机制

中图分类号: G642.3 **文献标志码**: B

Exploration on the Teaching Reform of Modern Control Theory under the Background of Engineering Education Certification

ZHANG Shuping

(College of Engineering, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

Abstract: Aiming at two problems in the course of Modern Control Theory: First, as a theoretical course, there are a lot of concepts which are abstract and difficult to understand. Second, its engineering nature is not prominent in the current teaching process, which is not conducive to the smooth implementation of engineering certification. Taking the capability requirements as the starting point and focusing on the decomposition indicators of graduation requirements in engineering certification, this paper proposes a modern control theory teaching reform program with the goal of capacity cultivation. It contains 5 aspects, including the teaching content combining one teaching main line and three teaching auxiliary lines, the modular teaching mode, the open and independent practice process, a closed loop mechanism of sustainable improvement. In particular, the closed loop mechanism of sustainable improvement can achieve the dynamic balance of training objectives, graduation requirements and course achievement.

Keywords: modern control theory; engineering education certification; multiple evaluation methods; closed loop mechanism of sustainable improvement

0 引言

2013 年 6 月, 国际工程联盟大会正式接纳我国加入《华盛顿协议》, 成为该协议的预备会员, 2016 年 6 月, 我国成为其正式会员。截至 2018 年底, 全国共有 227 所高等学校的 1 170 个专业通过了工程教育认证, 分布于机械、化工与制药等 21 个工科专业类, 近两年申请认证的专业数量大幅增加, 说明越来越多的高校认可工程教育认证, 并且积极参与进来。

收稿日期: 2020-09-27

通信作者: 张淑平 (1983–), 女, 河北衡水人, 讲师, 博士, 主要研究方向为机器视觉、智能控制与优化。
E-mail: spzhang@sspu.edu.cn

基金项目: 上海第二工业大学重点课程建设项目 (JG2020-32) 资助

工程教育认证是中国高等教育领域“双一流”建设的重要抓手[1], 它将宏观的培养目标分解为若干条具体的毕业要求, 进而由此建立课程体系, 并制定出教学大纲用于具体实施。工程认证强调各评价环节的规范性和可溯性[2-3], 不仅明确了认证的各环节的相关要求, 而且要求对各环节的达成情况进行评价, 形成从输入到输出的完整培养体系。

现代控制理论是各高校自动化专业工程教育认证的核心课程之一, 与经典控制理论和智能控制理论在控制思想上逻辑贯通, 在理论体系上互相支撑, 构成控制领域解决复杂工程问题的核心理论依据[4]。为突出本课程的工程性, 艾志伟等[5]将应用项目引入课程的实践教学环节; 黄苏丹等[6]将抽象的理论概念与强逻辑性的控制系统分析与设计方法循序渐进地应用到同一个自动化工程实例中。这些改进融合了本课程的工程性元素, 但工程教育认证是一个科学的系统性评价体系, 因此如何将教学环节的改革与其他环节的评价有效构成可改进和优化的闭环就尤为重要了。

本文以我校自动化专业的工程教育认证为背景, 以工程认证中关于毕业要求的 12 条通用标准及其分解指标为依据, 以培养学生具备分析和解决复杂工程的能力为目标, 从教学内容、实践设计、教学模式、考评方式和持续改进机制 5 个方面, 探索“现代控制理论”课程的工程化教学改革。

1 现代控制理论的课程目标及对毕业要求的支撑

按照工程认证关于毕业要求的 12 条通用标准及我校自动化专业定位于系统集成领域的高层次应用型人才培养的专业特色所提出的分解指标点, 毕业 5 年后的系统工程师应掌握自动化系统的运维技术, 掌握复杂工程设计能力、系统集成应用能力。对标毕业要求的分解指标点, 现代控制理论课程所能支撑的毕业生工程能力包括[7-8]: ① 将数学、自然科学、工程基础和专业知识用于计算分析工程问题的工程能力; ② 能够基于数学、自然科学和工程科学, 对自动化工程问题进行建模分析, 获得有效结论的问题分析能力; ③ 能够针对用户复杂自动化需求的特点制定解决方案, 设计满足特定需求的系统、单元或工艺流程的创新设计能力; ④ 能够初步运用恰当的现代工程工具对复杂自动化工程应用问题进行预测和模拟, 并且具备理解所用现代工具的工作原理及其局限性的现代工具使用能力。

为支撑以上毕业要求指标点的达成, 现代控制理论的课程目标设计为:

课程目标 1 理解状态变量、状态空间、状态向量、动态方程等基本概念; 学会根据系统物理机制、微分方程、传递函数和系统框图建立状态空间表达式的具体方法, 培养学生利用数学知识和专业理论对电路、机械等实际控制系统的建模能力。

课程目标 2 学会定量分析连续/离散系统的运动状态, 定性分析系统能控性、能观测性和稳定性, 培养学生对实际控制系统的分析能力。

课程目标 3 掌握极点配置原理和状态观测器的设计方法, 能够根据具体的控制要求, 实现对实际控制系统的校正, 培养学生利用现代控制方法满足特定需求的创新设计能力。

课程目标 4 熟练使用 MATLAB 仿真平台对控制系统进行设计和模拟仿真, 培养学生自主学习和熟练运用现代专业工具的能力。

2 教学中存在的问题

(1) 教材内容没有突出现代控制理论在解决多变量复杂控制问题中的优越性

有别于经典控制理论主要解决单输入单输出系统的建模问题, 现代控制理论主要解决多输入多输出系统的建模, 它是分析和解决自动化复杂工程问题的有力手段。从现代控制理论应用领域广泛的特点不难看出, 其控制对象绝大部分是多输入多输出的, 这为现代控制理论提供了良好的应用环境, 也更能体现现代控制理论在解决多变量复杂控制系统中的优越性, 但这一特点在大部分教材中常常被忽视。

(2) 传统的教学模式没有克服现代控制理论中概念多且晦涩难懂的问题

由于理论性较强, 传统教学中教师往往注重理论分析和公式推导, 加之缺乏灵活先进的教学手段, 导致大多数学生将较多时间花在对理论知识的理解及对典型例题的深究, 忽视了对课程内容的拓展和对课程相关知识的实践。因此本课程的理论体系被肢解, 内容被碎片化, 工程性被掩盖, 学生对相关工

程性问题的理解只能停留在教材中的概念层面, 并不能真正系统性地理解古典控制和现代控制在控制对象、控制策略、分析方法上的联系性、继承性和区别性; 也无法灵活运用状态空间理论、李雅普诺夫稳定性分析等深刻理论去分析和解决实际工程性问题。

(3) 实验教学内容以验证性为主, 系统设计环节缺失, 与实际应用脱节明显

受传统教育观的影响, 现代控制理论课程的实验教学环节一直被当做理论教学的附属, 用以辅助理论教学中对晦涩概念的理解, 却没有自己的内容体系, 缺少大型实验、研究性实验和设计性实验, 缺乏完整性、开拓性和创新性。实验内容上以线性系统的状态空间建模、能控性、能观性及稳定性验证为主, 在方法上主要采用 MATLAB 的仿真来实现。虽然 MATLAB 具有强大的数学计算和分析能力, 但由于实验内容简单, 缺少对实际案例的分析和建模过程, 所以软件仿真过程对辅助学生理解深奥的控制理论、体会现代控制理论在解决多输入多输出复杂工程问题中所具备的优越性上, 所起作用有限。

(4) 考核方式过于依赖总结性评价, 弱化了过程管理和形成性评价的作用

以期末考试为主要方式的总结性评价是一种 “回顾式” 评价, 受限于考试中计算过程需要手算, 不能采用计算机辅助, 故只能通过低阶次的系统来考查学生对知识的掌握程度, 所以从试卷分析中也仅能获得学生知识记忆能力和理论理解能力, 无法立体全面地评价学生对理论的应用能力和对复杂工程问题的分析能力, 在弱化了过程管理和能力形成过程中的形成性评价, 对实现教学质量的持续改进就失去了有力的指挥棒。

因此, 鉴于现代控制理论在工程认证中核心课程的重要地位、课程自身的特点和当前教学过程存在的以上问题, 通过教学内容、教学方式、实验设计、考核评定等一系列改革, 探索符合工程教育认证要求的现代控制理论课程的教学改革思路具有必要性。

3　重构教学方案

结合本课程对工程教育认证的毕业要求指标点的支撑贡献, 从教学内容、教学模式、实践设计、考评方式和持续改进机制 5 个方面, 重构本课程的教学方案, 具体教学方案设计框图如图 1 所示。

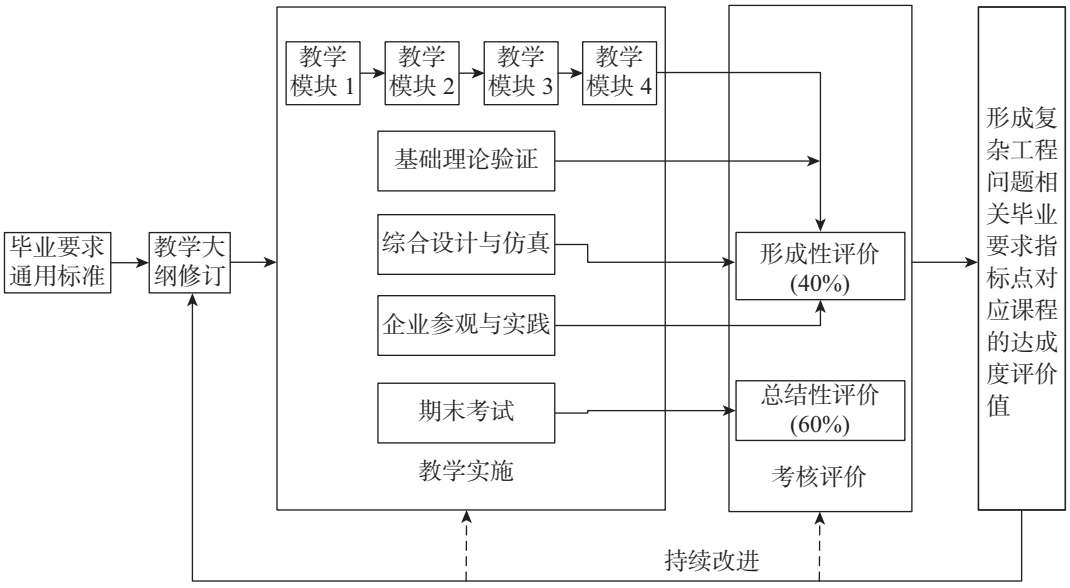


图 1　教学方案设计框图

Fig. 1　The block diagram of teaching scheme design

3.1　以能力要求为出发点整合教学内容, 强化课程理论的统一性和工程性

解决复杂工程问题的核心是从掌握知识到运用知识的转变, 因此以能力要求为出发点, 围绕复杂工程问题的核心特征, 整合教学内容, 构成 “一主三辅” 的内容结构。

一条主线是 “系统数学模型建立 - 系统性能的定量计算和定性分析 - 系统的控制策略设计”。它贯

穿整个教学过程, 通过状态空间建立、状态转移计算、能控性、能观性和稳定性分析、状态观测器设计等具体方法来培养学生具备毕业要求所提出的对复杂工程问题的建模、计算分析与设计的基本能力。

三条辅线是: ① 自动控制理论、现代控制理论和智能控制理论这一完整控制理论体系发展脉络。强调控制理论的联系性和统一性, 使该课程的体系和结构清晰完整。② 基础案例验证向实际工程案例设计的进阶。以学生熟悉的电路实验辅助晦涩概念的理解, 然后引入四旋翼无人机、无人车、机器人、新能源发电、多级倒立摆等工程实例, 给现代控制理论赋予较强的物理概念及工程背景, 克服学习现代控制理论时容易陷入纯数学推导而不易建立工程概念的难点。③ 先进专业软件的工程计算与仿真。借助先进专业软件集数据分析、建模、可视化、程序编制、系统控制等功能于一体的优势, 给现代控制理论学科所涉及到的相关数学建模和数据分析提供更优质的解决方式。

3.2 以知识点之间的纵向联系为纽带, 提炼知识模块, 确保教学内容的完整性和系统性

将 “运用数学和工程理论对复杂工程问题进行建模、计算分析与设计的能力” 分解成由浅入深、环环相扣的教学过程, 并辅以形成性阶段评价, 封装成 4 个相对独立的教学模块。

模块 1 系统建模。以状态空间的基本概念和构建状态空间表达式的基本方法为主要内容的系统建模模块, 通过对简单工程案例的建模来培养学生灵活运用基础理论对复杂工程问题的建模能力。

模块 2 系统分析。以系统的运动分析、能控性、能观测性和稳定性判定为主要内容的系统分析模块, 通过对实际工程案例的分析和实验仿真, 培养学生分析系统模型并严谨论证模型正确性的能力。

模块 3 综合系统设计。以极点配置、状态反馈、输出反馈和状态观测器的设计等控制策略为主要内容的系统设计模块, 以模块 2 的工程案例分析为基础, 设计合理的控制策略, 培养学生根据系统模型设计控制策略的能力。

模块 4 创新实验与实践综合。以基础理论的实验验证、工程项目分解和系统仿真、企业参观实践等为主要内容的创新实验与实践综合模块, 通过专业软件对模块 3 完成的复杂工程的控制策略进行仿真和验证, 以培养学生熟练使用各类专业软件进行设计和系统仿真的能力。此外, 实际生产企业参观可以开阔学生眼界, 锻炼学生观察现象和发现问题, 培养学生对持续发展所需知识的终身学习能力。

3.3 构建立体的创新实验和实践平台

创新实验和实践平台是利用专业软件集数据分析、建模、可视化、程序编制、系统控制等功能于一体的优势, 对基础理论予以验证; 进而采用实际工程案例模拟工程项目的设计流程, 完成模拟实战过程; 最后进入企业生产环节进行参观和实践, 从而在真实的生产环境下, 观察现象, 发现问题, 给出解决草案。在这一过程中强调对现代控制理论在多输入多输出工程案例中优越性的验证, 以及设计方案的有效性。创新实验和实践平台的结构如图 2 所示。

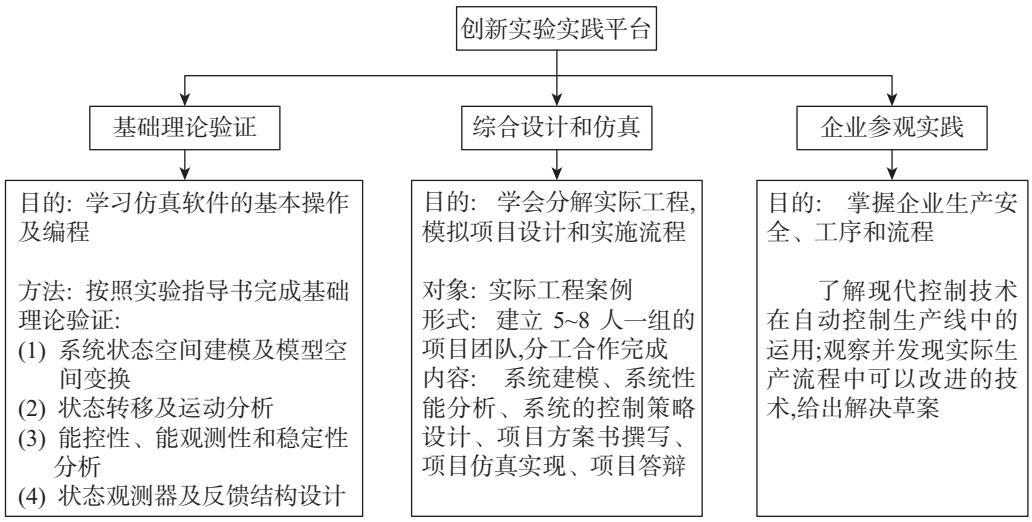


图 2 创新实验与实践平台结构图

Fig. 2 Block diagram of innovation experiment and practice platform

在综合仿真环节中, 开设具有研究性、自主性、综合性的多级倒立摆控制系统、多容水箱液位控制和串联机器人控制等实验项目。学生可自行选择实验设备、自行选择控制方案, 完成控制律设计、仿真和系统的调试, 完成项目方案书撰写和项目答辩汇报。这是一种真正以学生为中心, 完全自主、开放、研究型的实验教学方式, 有利于加强学生综合应用能力、工程训练和创新能力的培养。

3.4　建立总结性和形成性评价相结合的灵活多元考核评价机制

采集模块化教学中 4 个独立模块的考核要素, 构成以形成性评价和总结性评价相结合的灵活多元的考核机制。形成性评价注重考核学生学习过程, 涵盖系统建模能力、系统分析能力、控制策略设计能力、团队协作能力, 以及专业软件运用熟练度、口头表达和方案撰写、终身学习等多方面能力考核。总结性评价注重考核学生在课程结束后, 理解理论知识程度和能力水平, 它以期末考核为主要手段, 涵盖理论知识的理解能力、基于数学的计算能力、逻辑分析与判断能力的考核。

围绕课程目标, 按照表 1 中考核要素及相应权重构建结合形成性评价和总结性评价的多元立体的评价机制, 并按照

$$\text{课程分目标达成度} = \frac{\text{总评成绩中支撑该课程目标相关考核环节平均得分之和}}{\text{总评成绩中支撑该课程目标相关考核环节目标总分}}$$

建立对各课程目标的达成情况分析。根据评价结果持续动态改进和完善教学实施过程, 真正做到 “ 教学实施 - 考核评价 - 持续改进” 的课程教学闭环。表 1 所示为主要的考核要素及权重。

表 1　考核要素及权重

Tab. 1　Assessment elements and weights

课程目标	形成性评价 (40%)		总结性评价 (60%)	
	考核要素	权重/%	考核内容	权重/%
实际控制系统的建模能力	上课考勤	3	多类状态空间模型的建立	9
	多类实际系统的建模练习	5		
实际控制系统的分析能力	各教学模块的理论测试	5	系统的运动分析	9
	实践工程项目的控制系统性能分解	8	系统的能控性、能观测性、稳定性分析	18
利用现代控制方法满足特定需求的创新设计能力	实践工程项目的控制方案设计与实现	10	系统综合	12
	企业参观与实践的工程问题总结及改进设计	4	状态观测器的设计	12
自主学习和熟练运用现代专业工具的能力	使用 MATLAB, 自主实现实践工程项目的控制方案的仿真与验证	5		

3.5　建立可持续的闭环改进机制

持续改进是专业工程教育认证的三大基本理念之一, 对引导和促进专业建设与教学改革、保障和提高工程教育人才培养质量至关重要。因此, 为了监督教学过程对学生培养目标达成的支撑程度, 实现培养目标、毕业要求和教学过程的持续改进, 本次教学改革中引入以 “毕业要求达成” 为内环, 以 “培养目标达成” 为外环的可持续闭环改进机制, 其结构图如图 3 所示。

内环控制主要依靠校内的资源和各类保障来实现。它以毕业要求的指标点为输入信号, 以毕业生能力培养为输出信号, 通过前向通道的各环节, 如学校内部的课程体系建设、教学过程改革、师资水平提升、各类监督机制保障等手段, 确保毕业要求的达成。“毕业要求达成度” 作为衡量毕业要求达成程度的反馈信号, 与输入信号进行比较, 当两者不一致时, 通过调整课程体系, 科学改进具体的课程教学过程等手段持续改进, 直到系统达到动态平衡。

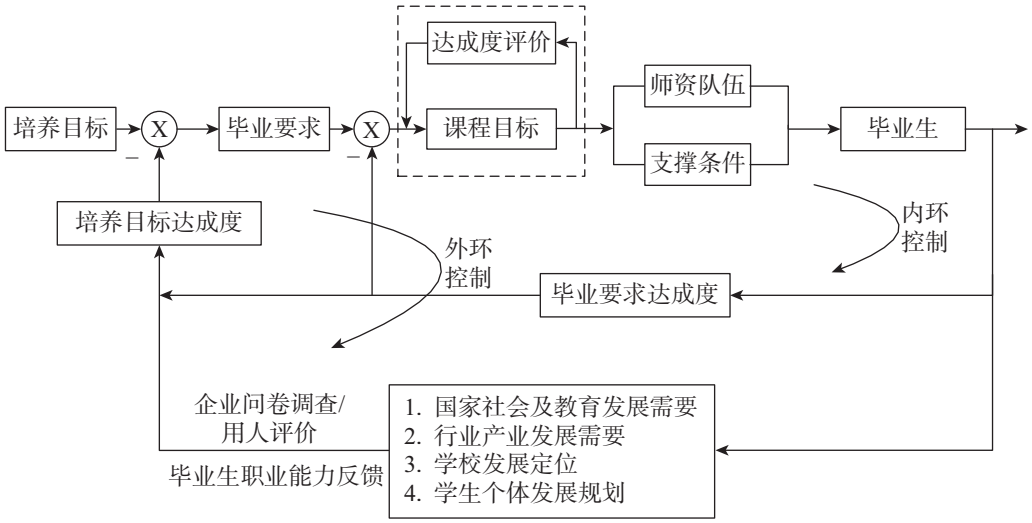


图 3 可持续的闭环改进机制

Fig. 3 Sustainable and closed loop teaching improvement mechanism

外环控制主要依靠来自外部的信息反馈, 如企业的用人评价和已毕业 5 年的学生的职业能力反馈。它以 “依据内外需求确定的本专业的培养目标” 为输入信号, 以毕业生能力培养为输出信号, 在前向通道上以内环系统中 “毕业要求的达成” 为主要环节来实现输出控制。而企业用人评价、毕业生职业能力反馈、应届学生的毕业要求达成度都作为外环反馈通道中 “培养目标达成度分析” 的重要构成要素。当反馈信号与输入信号不一致时, 内环系统作为随动系统将通过调整 “毕业要求指标点” 及相应的教学实施过程来持续改进外环输出, 直至达到动态平衡。

如图 3 所示, 在闭环改进机制中, 课程目标的实现是内环控制的重要环节, 当课程目标高质量的实现时, 其对师资水平提升、优化各类保障机制和支撑条件, 进而提升毕业生的各项能力, 及促进毕业要求中 “工程设计能力、分析能力、创新能力和使用现代工具解决问题的能力” 的达成起到了不可或缺的正向强支撑作用。当课程目标实现不理想时, 其不足以支撑毕业要求的达成, 因此内环控制和外环控制都会出现偏差, 进而促使课程体系建设、教学过程发生相应改进和调整, 以不断修正课程目标的实现和毕业要求的达成度偏差, 从而完成动态的闭环改进。

在可持续的闭环改进机制中, 以外环发挥主导作用, 通过社会和行业需求、学校定位发展和学生个体发展规划来及时调整培养目标, 并落实为可追溯可评价的毕业要求指标点; 内环作为随动子系统根据毕业要求的改变, 而改变课程体系和课程教学过程, 从而促进新的培养目标的达成, 构成完整的持续改进过程。

4 结 语

以工程教育认证为背景, 从主辅相兼的教学内容、模块化的教学模式、开放自主的实践过程, 多元的考核方式和可持续的闭环改进机制 5 个方面, 提出了以能力培养为目标的现代控制理论教学改革。通过教学实践, 获得学生在理论学习和创新实践两方面较好的教学反馈。

需要指出的是, 在持续改进的闭环改进机制中, “毕业要求的达成度分析” 和 “培养目标的达成度分析” 恰好分别处于内环控制和外环控制的反馈环节, 因此, 建立科学的、有效的 “毕业要求的达成度” 和 “培养目标的达成度” 分析方法, 将是接下来重点解决的问题。

参考文献:

[1] 高新勤, 王学通. 工程教育认证背景下的 “双一流” 建设: 基于我国进入全球工程教育 “第一方阵” 的工科专业分析 [J]. 高教学刊, 2019(5): 18-21.

[2] 杨毅刚, 王伟楠, 孟斌. 以提升解决 “复杂工程问题” 能力为目标的工程教育培养模式改进研究 [J]. 高等工程教育研究, 2017(4): 63-67.

[3] 尤佳, 李擎, 崔家瑞. 面向新工科建设的数电课程教学模式探索 [J]. 高等理科教育, 2019(3): 95-100.

[4] WILLIAMS D E, FRIEDLAND B. Modern control theory for design of autopilots for bank-to-turn missiles [J]. Jour-

nal of Guidance Control & Dynamics, 1986, 10(4): 1130-1136.

[5] 艾志伟, 嵇建波, 黄书童, 等. 以应用项目为导向的 “现代控制理论” 实践教学过程探索 [J]. 教育教学论坛, 2020(3): 180-181.

[6] 黄苏丹, 胡智勇, 曹广忠, 等. 融合工程实践的现代控制理论课程教学改革 [J]. 高教学刊, 2020(29): 79-82.

[7] 王婕, 周颖, 孙曙光, 等. 工程教育认证背景下《现代控制理论》课程教学改革探索 [J]. 教育现代化, 2019, 6(44): 58-59.

[8] 肖小庆, 周磊. 现代控制理论课程工程化教学改革 [J]. 高师理科学刊, 2018, 38(1): 82-84.

简　讯

刘文教授喜获 “上海市先进工作者” 荣誉称号

12 月 2 日下午, 2020 年上海市劳动模范 (先进工作者) 和上海市模范集体表彰大会举行。我校马克思主义学院院长刘文教授喜获 2015—2019 年度 “上海市先进工作者” 荣誉称号。

上海市劳动模范 (先进工作者) 和模范集体每 5 年评选一次, 本次上海高校共有 21 名上海市先进工作者和 5 个上海市模范集体获得表彰。建校 60 年来, 我校有 130 余位全国及上海市劳动模范在校学习工作, 其中教职工队伍中也涌现出 13 位劳动模范, 形成了我校特有的劳模文化品牌。

刘文教授是我校近年来涌现的一线教学、科研、管理者中的优秀代表, 担任上海高校思想政治理论课教学指导委员会高职高专思想政治理论课分教学委员会副主任委员, 上海市劳模文化研究中心主任, 全国劳模文化研究联盟秘书长等职, 先后荣获上海市育才奖、宝钢优秀教师奖、上海市思政课教学名师、上海市五一劳动奖章, 连续两次获上海市教学成果一等奖、上海大学生社会主义核心价值观和中华优秀传统文化教育优秀示范项目等荣誉称号。刘文积极推动劳模精神进校园, 牵头创建了劳模文化育人示范基地和劳动教育共享基地, 推动成立了劳模讲师团, 打造 “劳模大讲堂”, 参与筹建上海劳模学院和上海市劳模文化研究中心, 发起成立全国劳模文化研究联盟, 开发劳模文化资源库, 开展上海劳模口述史料等专题研究, 编撰了《走近劳模》《时代领跑者》书籍, 打造《工匠中国》“中国系列” 重点在线课程, 为 “双教材、双课程、双基地、双师资、双结对” 的劳模文化育人体系做出了积极贡献。