

应用与教学一体化工业工程实验课程体系探索与实践

郭瑞琴, 张新艳, 顾海燕

(同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804)

摘要: 现代制造业技术的快速发展, 对工业工程专业人才培养提出了新的要求。在分析工业工程实验课程体系现状和工业工程活动范围的基础上, 提出了一种工程应用与教学一体化的工业工程实验课程体系。分别对实验课程体系中 IE 活动范围内的工程技术归类问题、理论课程的模块化分类以及实验课程模块的构建方法进行了详细研究。结合同济大学工业工程专业培养计划, 给出了应用与教学一体化实验课程体系的具体组成。最后通过具体实例, 说明了模块化实验课程体系的实施方法, 以及在实验教学中尝试性应用的效果。

关键词: 工业工程; 实验教学; 工程应用

中图分类号: G642 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1672-4305.2019.05.035

Exploration and practicing of an integrated experimental curriculum system for the education of industrial engineering

GUO Rui-qin, ZHANG Xin-yan, GU Hai-yan

(College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: With the rapid development of modern manufacturing technology, new requirements have been put forward for Industrial Engineering professionals. An integrated experimental curriculum system was proposed, in which the application and the teaching of Industrial Engineering knowledge were included. Firstly current situation of experimental curriculum system for the education of Industrial Engineering was analyzed, and the engineering and technical issues in Industrial Engineering were summarized. On this basis, all the theory knowledge involved were analyzed and classified, then by considering the curriculum system of the education of industrial engineering in Tongji University, the framework of an integrated experimental curriculum system was proposed. Finally a specific example was introduced to elaborate how to implementate this integrated experimental curriculum system.

Key words: industrial engineering; experimental teaching; engineering application

现代工业工程是以大规模工业生产及社会经济系统为研究对象, 以工程学、管理学和系统工程学等学科为基础, 从工程系统高度解决管理效率、产品质量和产品成本问题。随着国家工业 4.0 和国家智能制造战略计划大力推进, 工业机器人、人工智能、智能物流、大数据、互联网等技术得到了快速发展, 制造业的装备水平得到了很大的提高。如何有效利用

先进的装备, 合理地从系统的高度对生产过程中的人员、物料、设备、能源和信息所组成的制造系统进行规划、设计、评价等, 实现低成本、高质量、高效管理是现代智能制造亟待解决的问题, 也是现代工业工程学科研究的核心和目标^[1]。

工业工程作为一种先进的系统设计与管理理念得到了国家的高度重视, 并于 20 世纪末在我国众多高校设立了工业工程专业。鉴于工业工程专业具备工程学和管理学的双重属性, 国内高校在机械工程学院和管理学院均设置有工业工程专业。在工业工程专业建设初期, 两类学院的理论课程和实验课程基本采用国外传统的工业工程知识体系, 区别不明显。随着社会需求的不断发展, 智能制造成为国家

基金项目: 2017-2018 年度同济大学教改项目(项目编号: 20170414)。

通讯作者: 张新艳(1974-), 女, 江西九江人, 博士, 讲师, 主要研究方向为仓储物流系统规划、设计与仿真分析。

发展的重点,制造业对科学规划、高效管理、个性化生产的要求也越来越高,工程类学院和管理类学院工业工程专业人才培养的重点发生了明显的变化,工业工程专业的工程系统管理属性更加明显,对工业工程人才的培养也提出了新的要求^[2-3]。

为了适应社会发展对工程技术人才需求的变化,工业工程学科体系在不断变革,高校工业工程专业人才培养计划也在逐年修订,实验教学的要求和实验内涵也应随之发生改变。国内不同层次的高校都在不断调整培养方案,寻找适合高校自身水平和特点的专业定位,培养适合不同专业方向的工业工程人才^[4]。

本文紧扣国家智能制造的发展趋势,以工业工程在现代制造业生产经营过程中的IE活动为依据,分析生产经营中工业工程专业的工程技术问题,理论知识的工程属性,探讨工程应用与理论及实验教学一体化的实验教学体系的构建方法,巩固理论知识,实现工业工程专业人才培养的目标,满足社会对工程人才的需求,同时解决目前高校存在的理论教学与实践教学脱节的问题。

1 应用与教学一体化实验课程体系

1.1 工业工程实验课程体系现状

实验课程体系是实验教学的核心,体现了实验教学的基本要求和内涵,实践教学在人才培养体系中有不可替代的作用。为此,国家推出高校实验教学示范中心的建设政策,并明确指出“先进的实验教学体系应当从人才培养体系整体出发,建立以能力培养为主线,分层次、多模块、相互衔接的科学系统的实验教学体系”^[5],进一步强调了人才培养体系的整体性与系统性,以能力培养为核心的基本思想。遵循国家高校实践教学的基本思想,国内学者从不同的角度、针对不同层次的培养对象,对工业工程现有的实践教学体系进行改革优化,形成了具有不同特色的工业工程实验课程体系。

目前比较有代表性的实验课程体系主要有四类:第一类是按人才培养计划中的知识体系和课程计划形成的“基础性、综合性、创新与实践性”三个知识层面的实验课程,配合理论课程的进度,分学期开设实验,分课程组织实验项目,形成以培养计划为依据指导下的实验课程体系^[6-7]。第二类是以课程知识点为依据,整合实验设备、实验内容交叉、建立各知识点间的关联关系,形成由点到面逐步强化的实践课程体系^[8]。第三类是以应用能力培养为主,以社会需求为基本准则,构建“校内强化—校校合

作—校企拓展”三层递进式的实践教学体系^[9]。第四类是既考虑工业工程实验内容和实验手段,同时又考虑实验类型、专业方向和技术特征的多方向、多类别、多模块和多层次的实验教学课程体系^[10]。

上述四类实验教学课程体系,以不同的方式体现实验教学的特征,实现实验教学目的,但是也存在一定的不足。基于培养计划的实验教学体系,能够很好地与理论课程衔接,但是实验知识点相对独立,缺乏系统性,不利于综合实践能力的培养。其他三类实验教学课程体系注重学生综合能力的培养,能较好地帮助学生建立工程系统的理念,特别是多方位、多层次的实验教学体系结合了工业工程的技术特征,有利于培养学生理论与实践相结合的工程应用能力。但是该实验课程体系考虑的因素较多,体系结构复杂,具体实施难度较大。总的来说,后三类实验课程体系都或多或少存在与理论教学进度不一致的现象。

1.2 应用与教学一体化实验课程体系

现有的工业工程实验课程体系能够在某些方面实现较好的教学效果,但是总体上没有系统地将工程应用、理论教学以及实验教学进行有机结合,出现理论课程与实验课程脱节、理论知识与工程应用关系不清晰等问题,形成知识孤岛,不利于学生工程系统意识的建立。为了改善以上问题,本文提出以工程学科为背景,借鉴第一类培养计划指导下分知识层面的实验课程体系和第四类多方向、多类别、多模块和多层次的实验课程体系,根据工业工程在工业企业生产经营过程中的IE活动,系统整合和规划实验设备,构建“工程应用—理论教学—实验教学”三维一体化的实验教学课程体系,该课程体系的总体结构如图1所示。

该实验课程体系的基本思想是以工业工程人才社会需求为培养目标,以高校工业工程专业人才培养计划为依据,依照工业工程在工业生产经营活动中的活动范围,将IE活动所涉及的工程技术问题进行归类。按照理论知识的技术功能,将理论课程划分成与技术问题相对应的理论课程模块。根据理论课程模块的教学大纲,规划和组织实验教学内容,设计实验项目,形成注重解决工程技术问题,又与理论教学密切关联的模块化实验课程体系。

2 应用与教学一体化实验课程体系建立

2.1 工业工程专业的工程技术问题

根据图1给出的一体化实验教学课程体系,工业工程在工业企业生产经营过程中的活动范围涵盖



图1 工程应用与教学一体化实验课程体系结构

了生产制造主体、前端供应商、后端营销和客户,IE活动的作用是从工程系统学的角度,解决其活动范围内的系统规划设计、管理控制和分析评价等问题,达到提高效率,稳定质量,降低成本等目的^[11]。根据IE活动所涉及的技术问题进行归类,一般可归结为六大类工程技术问题^[12-14],即:供应链问题、规划与设计类问题、工效学类问题、管理控制类问题、分析评价类问题、营销与客户管理类问题。

这六类技术问题构成了工业工程学科解决工程活动中的共性技术问题,是一种相对比较通用的技术分类方法。在技术问题归类问题上,工程学科的工业工程专业和管理学科的工业工程专业所关注的技术问题有所不同,各院校专业背景不同和专业培养目标的差异,使得所关注的IE技术问题会有所不同。因此,各院校可以根据各自学科的特点,调整或细分图中工程技术问题的分类,以满足各院校专业人才培养的需求。

2.2 理论课程的模块化分类

专业培养计划是高校理论教学的指导性文件,在对理论课程进行模块化分类时,应以专业培养计划为依据,通过分析培养计划中理论课程的知识体系和理论课程的性质,建立理论课程与工程技术问题的对应关系。

笔者收集了国内30多所高校工程类和管理类工业工程人才培养计划,并对理论课程设置进行了分析对比,分析结果表明,各高校课程设置大致相同,稍有差异。目前,国内高校工业工程专业理论课程设置主要分为基础理论课、专业基础课和专业课三大类,各高校课程设置的差异主要体现在技术专业课程设置方面,这主要与各高校专业特点有关。参考同济大学工业工程专业人才培养计划,遵循图

1给出的实验课程体系的基本思想,将理论课程按技术问题进行模块化归类,形成与工程技术问题相对应的理论课程模块如表1所示。

表1 理论课程模块化归类表

课程类别	课程名称	
公共基础课	1.工程力学	5.机械制造技术基础
	2.现代工程制图	6.先进制造系统
	3.机械设计基础	7.电子电工学
	4.工程材料与测量技术	8.数据库基础及应用
专业基础课	1.运筹学	4.系统工程
	2.管理学	5.基础工业工程
	3.工程经济学	
供应链类	1.供应链管理	2.物流工程与管理
	1.设施规划与物流分析	3.建模与系统仿真
规划设计类	2.仓储系统设计	
	1.人因工程	2.基础工业工程
工效学类	1.生产计划与控制	3.质量管理与可靠性
	2.项目管理	4.管理信息系统
管理控制类	1.质量管理与可靠性	3.安全工程
	2.可靠性与设备管理	
分析评价类	1.市场营销	2.服务工程
	2.服务工程	
营销与客户管理类		

表1给出的理论课程设置和分类具有通用性,不同院校可以根据各院校的培养计划进行归类调整,形成体现本校人才培养特色的模块化理论课程体系,为构建模块化的实验课程体系提供依据。

2.3 应用与教学一体化实验课程体系建立

实验教学依附于理论教学,根据工程应用与教学一体化实验课程体系的基本思想,每个理论课程模块设置一个与之知识点相关的实验课程模块,用于巩固该理论模块的知识点,训练模块知识的工程应用能力。在各实验模块基本能力训练的基础上,增加专业设计与创新实验模块,用于专业知识综合应用能力的培养,从而形成由一个基础实验模块、六个专业技术实验模块和一个专业设计与创新实验模块组成的实验课程体系,实验课程体系的详细构成如图2所示。

实验课程体系的三大类实验模块中,基础实验模块包含公共基础实验模块和专业基础实验模块。公共基础实验模块以工程基础技能培养为目的,巩固公共基础理论课程的知识 and 工程认知,教学重点在工程认知上,如零件公差类型、齿轮传动特性等。实验项目以认知和验证性实验项目为主,选择性开

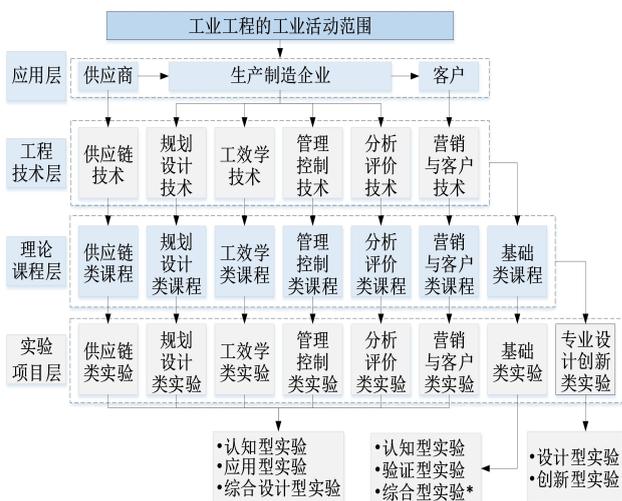


图2 应用与教学一体化实验课程体系

设综合性实验项目。专业基础实验模块以巩固专业基础知识和培养基本工程应用能力为目的,教学重点在于基础知识的工程应用,为专业实验奠定基础,实验项目以专业认知和验证型实验项目为主,选择性开设综合型实验项目。

专业技术实验模块围绕工程技术问题展开,以巩固专业知识和培养专业技术方法的工程应用能力为目的,教学重点在于训练专业技术知识的应用,掌握专业技术在工程中的应用方法,设置认知型实验、应用型实验和综合型实验项目。技术认知型实验主要目的是了解专业技术在工程中的应用,应用型实验的目的是学习专业理论和技术的工程应用方法,综合设计型实验的目的是使学生系统地了解此类工程技术问题的求解流程、相关技术、方法和手段,培养综合解决此类工程技术问题的能力。

专业设计创新实验模块均为设计型与创新型实验,该实验模块的重点在于使学生树立工程系统的理念,引导学生进行创新思维,学会综合应用专业知识和实验技术的方法,系统解决工程实际问题的能力和创新能力。

3 实验教学体系的实施

工程应用与教学一体化的实验课程体系,能较好地将工程应用、理论教学和实验教学三者有机结合起来,使学生从开始进入实验环节时,就能够树立系统工程意识,从系统工程的高度去理解工业工程学科解决工程问题的理念。以同济大学工业工程专业为例,探讨一体化实验教学的具体实施。

同济大学工业工程专业设置在机械与能源工程学院,学科以机械制造及自动化学科的公修课为基础,培养既掌握工程技术又具备先进管理科学知识

的高素质IE人才为目标;以培养具有对离散系统进行规划、设计、仿真、评价以及管理能力的IE人才为专业特色。专业培养计划课程设置除表1中营销与客户管理类课程外,其他模块的课程设置与表1基本相同。同济大学工业工程专业毕业生去向以制造业为主。因此专业课程设置重点在于规划设计、工效学、管理控制和分析评价四类模块理论知识的学习。

按照图2所示的实验课程体系,同济大学实验课程体系中的技术问题分类、理论课程划分、实验项目模块以及实验类型设置均与图2相同。在新旧实验课程体系转换时,将现有基础工业工程、人因工程、物流实训系统、生产及物流仿真系统、综合物理仿真系统等实验设备组合使用,修改完善现有认知和基本技能训练实验项目,适当增加综合型和设计与创新型实验项目,体现工程应用与教学一体化实验课程体的基本思想。目前,主要在工效学类和规划设计类两大类实验课程中尝试进行了实验教学改革,以下以规划设计技术模块为例,简述一体化实验课程体系的具体实施方法。

表1中,规划设计类技术模块包含设施规划与物流分析、仓储系统设计、建模与系统仿真分析三门理论课程,根据三门理论课程的教学大纲,该模块需要掌握的理论知识点主要有设施选址、工厂物流分析、设施规划与设计、物料搬运系统设计、库存管理、仓库规划、系统建模方法、设施及系统问题的虚拟仿真等。分析模块基本知识点的特征,实验内容与项目的设计按照建立系统概念、基本知识应用、知识综合应用训练的流程,实现从面到点的认识过程,从点到面的应用能力培养过程。该模块设置认知型、应用型 and 综合设计型三类实验项目,详细实验项目设置如表2所示。

表2 规划设计类实验项目

理论课程	实验项目	实验类型
	1.工厂物流认知实验	认知型
	2.智能生产系统认知实验	
	3.物流装备认知实验	
1.设施规划与物流分析	4.工艺流程分析实验	应用型
2.仓储系统设计	5.输送系统规划实验	
3.建模与系统仿真	6.生产线规划实验	
	7.仓储系统设计及仿真	
	8.装配车间规划与仿真	
	9.减速器工厂的规划与仿真	综合设计型



根据实验课程学时分配,该模块设计了九个实验项目,其中三个认知实验项目、四个应用型实验项目和两个综合设计实验项目。工厂物流认知实验的目的是以一个产品从原材料获得到制成成品的流动过程,建立物流系统的整体概念;智能生产系统认知实验和物流装备认知实验项目的目的是了解产品制造中两个关键环节中的基本技术问题,建立感性认识。应用型实验选取突出专业特色的知识点设计实验项目,在完成产品工艺流程分析实验的基础上,输送系统规划实验设置仓储输送系统规划和生产输送系统规划2个小实验项目;生产线规划实验设置操作研究、时间研究和生产线平衡3个小实验项目;仓储系统规划与仿真实验设置物流分析实验、仓库布局规划、仓库货位优化设计、业务流程仿真4个小实验项目。综合设计实验在实验内容的设计上,继承应用型实验的实验对象和实验结果,使实验具有连贯性,学会知识的系统应用,从综合设计实验过程中体会解决单一技术问题与系统工程问题思维方式和工作重点的不同之处,帮助学生树立系统解决工程问题的理念。综合设计型实验设置生产车间和工厂两个不同宏观范围的实验,体现综合设计实验能力培养的渐进性。综合设计实验在系统仿真软件平台上进行,仿真系统包含了构建工具、工作组件、操作设定等组件,可以构建三维虚拟仿真系统,满足学生实验要求和创新设计要求。

4 结语

工业工程的众多理论、技术和方法都来源于实践,学科具有鲜明的工程技术和管理学的双重特性,工程应用与教学一体化的工业工程实验课程体系以工业生产经营活动中的IE活动和工程作用为基础,以高校人才培养计划为依据,以工业工程所涉及的工程技术问题为主线,构建实验教学课程体系,规划实验内容,设计实验项目,将工程应用、理论教学和实验教学三者有机融合,实验教学具有鲜明的工程应用背景。不同层次实验模块设置,可以由点到面地引导学生树立工程系统理念,培养学生从工程系统的高度解决工程问题的能力。模块化的实验课程与现有专业培养计划知识传授顺序基本一致,能够较好地解决实验课程与理论课程脱节的问题。一体化实验课程体系具有实际可操作性,各高校可以通过合理规划工程技术问题、分配实验模块的学时占

有比例、规划实验内容来体现专业特色,形成具有不同特色的实验课程体系。

应用与教学一体化的实验课程体系已经同济大学机械与能源工程学院在大三学生的实验教学中进行了尝试应用,在原有工业工程实验设备系统的基础上,对工效学模块、规划设计模块和管理控制模块中的部分实验项目进行了修改完善,强调知识的综合应用和模块间实验内容的交叉,取得了良好的实验教学效果。

参考文献(References):

- [1] 汪应洛.工业工程基础[M].北京:中国科学技术出版社,2005.
- [2] 江志斌.论新时期工业工程学科发展[J].工业工程与管理,2015,20(1):17.
- [3] 吴斌倪,卫红,钱存华.“中国制造2025”背景下工业工程专业课程体系建设研究[J].科教文汇,2017(1):61-65.
- [4] 万鹏,马莲欣,原丕业.基于实践能力培养的工业工程专业人因工程课程教学改革[J].大学教学,2015(6):100-104.
- [5] 教育部.关于开展高等学校实验教学示范中心建设和评审工作的通知(高教[2005]8号).[EB/OL].[2005-05-12].http://old.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/moe_1073/201001/xxgk_79341.html.
- [6] 杜春沈.工业工程实验教学系统的设计与实施[J].实验室研究与探索,2006,25(6):733-736.
- [7] 郑玉巧,赵家黎,吴苍.基于制造业视角的工业工程实践教学研究[J].实验科学与技术,2016,16(3):92-95.
- [8] 蒋增强,陈国华.实验体系研究[J].实验室研究与探索,2010,32(10):141-145.
- [9] 乐承毅,王军,冯良清.工业工程专业“三层协同递进式”实践教学体系设计[J].实验科学与技术,2016,14(6):120-123.
- [10] 陆刚,孙宇博.工业工程实验教学课程体系研究[J].价值工程,2016(1):184-187.
- [11] 焦玉国,马映君.改革实验室管理体制,加强实验室建设[J].实验室研究与探索,2009,28(3):267-269.
- [12] 齐二石,霍艳芳.工业工程与管理[M].北京:科学出版社,2011.
- [13] 蒋增强,鄂明成.工业工程实验与实践教程[M].北京:科学出版社,2016.
- [14] 薛伟,蒋祖华.工业工程概论[M].北京:机械工业出版社,2009.

收稿日期:2018-11-09

修改日期:2019-04-18

作者简介:郭瑞琴(1962-),女,河南新乡人,博士,副教授,主要研究方向为机器人技术与产品开发,实验技术与教学管理。