中国特色的工程训练教学模式与内容思考

曹其新， 李翠超， 张培艳
(上海交通大学 工程训练中心，上海 200240)

摘　要: 针对中国工程训练的特点和发展现状，结合国际工程教育认证的能力要求，阐述了工程训练在落实工程教育中的重要作用。从工程训练的通识教育属性出发，探讨了工程训练课程新的功能定位、内容范围和发展趋势，并对中国特色工程训练的教学模式和内容提出了改革建议。

关键词: 工程训练; 工程教育认证; 通识教育; 产品全生命周期; 智能制造
中图分类号: G 642.0　　**文献标志码:** A
文章编号: 1006－7167(2016)01－0129－03

On Teaching Modes and Contents of Engineering Training with Chinese Characteristics

CAO Qi-xin， *LI Cui-chao*， *ZHANG Pei-yan*
(Engineering Training Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Presently, with China's accession to the 'Washington Accord', engineering training, regard as the engineering practical education with Chinese characteristics, is facing on challenge of knowledge aging and marginalization. In order to establish status and adapt the development trend of international engineering education, compare to foreign engineering education, special mission of engineering training is illustrated in this paper. Combining with capacity requirement of international engineering education accreditation, the importance of engineering training in engineering education implementation is described in detail. After the general education nature of engineering training is reaffirm this paper, some reform suggestions on teaching modes and contents of engineering training are proposed. Based on consolidation of practical teaching core function of engineering training center, course content shall cover each technology of modern manufacturing, course range shall extend to product overall lifecycle. What's more, engineering training shall achieve coordination development with other disciplines, follow with "Industry 4.0", and move with times. By serving to our country transform from big manufacturing to a strong one, engineering training can provide better function and show self-worth.

Key words: engineering training; engineering education accreditation; general education; product lifecycle; intelligent manufacturing

0 引　言

工程训练是在我国特有的工程实践教育方式，最初起源于金工实习，经过十多年的发展，工程训练已从一种单一的以金工实习为主要内容的实践教学方式，拓展成一种实践教育方式，成为高等工程教育的重要组成部分[1-2]。

目前工程训练站在了新一轮发展的历史舞台，在创新国家建设以及制造大国向智造大国转变的今天，“金工＋电工”实习为核心，实训为目的工程训练课程时刻面临着知识老化、新技术更新、地位边缘化等挑

收稿日期: 2015－03－20

作者简介: 曹其新(1960－)，男，上海人，教授，博士生导师，上海交通大学工程训练中心主任，教育部高等学校工程训练教学指导委员会副主任; 主要研究方向: 工程实践教学、移动机器人、智能控制。
Tel.: 13501832438; E-mail: qxcao@sjtu.edu.cn

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

战。在这种情况下，如何在各学科专业蓬勃发展的背景下确立地位，体现价值；怎样顺应国际工程教育发展趋势，既符合国情又理念创新，培育中国特色，实现工程训练的转型和发展，最终得到国际同行认可，本文进行了一些探索。

1 中国特色的工程训练

世界各国都非常重视工程实践教育，采取各具特色的工程实践教育模式，以培养出高质量的工程师。以德法为代表的欧洲模式，采用大学工程师职业精英培养模式，注重工程实践能力培养，致力于培养成品工程师，其工程实践教育主要依靠社会资源，在企业中进行，一般设立专门的工程训练机构。如德国工科大学学生在校的一半时间是在社会的企业中进行工程实践。美国模式则注重培养集经济、管理、工程、技术等于一体的工程师毛坯，采用多样化的工程实践模式，利用社会资源甚至国外资源开展有针对性训练。日本工程实践教育采用课程训练和毕业后教育相结合的形式，高层次实践训练会放在企业，企业通常会用 1 年以上的时间对刚进入企业的大学生进行专门的训练[3-4]。

在我国，学生在校期间要进入企业完成工程实践训练比较困难，即使千方百计进入企业实习，也是走马观花，流于形式，无法真刀真枪完成工程实际任务。学生毕业后通常直接进入工作岗位，多数企业很少对学生进行有计划的工程实践能力培训。在这种特殊的国情下，工程训练在服务于高校的认知实习、实践教学、创新训练、科研探索等的同时，承担起了中国企业未能完成的为社会培养工程人才的使命[1-2]。我国的工程训练是是学生走向社会的一个不可或缺的重要过程，更是一座通往现场工程师不可或缺的桥梁，这样的工程实践教育模式在国际上没有参考案例，是我国工程教育的特有产物。我国的工程训练，只能根据中国国情，探索具有自身特色的可持续发展途径，从课程定位，课程目标、教学内容和教学模式等方面进行改革。

2 面向工程教育认证的工程训练

工程教育国际互认已成为一个必然的发展趋势，2013 年 6 月，我国成为《华盛顿协议》的预备会员，标志着我国工程教育认证迈出了里程碑的一步[5]。依据《华盛顿协议》毕业生素质要求，我国现行的工程教育认证标准（2012 年 7 月修订）明确规定了工程毕业生应具有的 10 条能力要求，简要列举如图 1 中横坐标所示[6-8]。这 10 条能力标准阐明了工程教育的产出要求和培养目标，是我国各工程专业人才培养的核心。

分析这 10 条能力标准可见，现代工程教育十分注重实践与创新能力的锻炼（3，4，5 条），强调多学科系统思维的培养（3，4，5 条），并且关注工程意识、团队精神、协调沟通、自主学习等综合素质的提升[1,9]（6，7，8，9，10 条）。10 条能力标准可经过三个目标层次逐步推进，第一层（认知），第二层（理解），第三层（应用），有的可通过理论学习获得相应的目标层次，有的则必须通过工程实践才能达到最终的目标，如图 1 所示。理论教育对认知与理解学习更有效，而工程实践对应用学习更有效[10]。课堂教学可以为获取上述能力打下基础，但是不能充分给学生传授实际环境下的技能和素质。

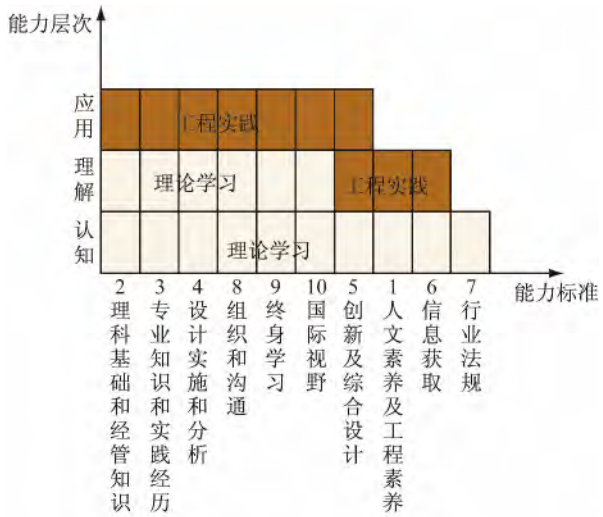

图 1 中国工程教育认证能力标准、能力层次与工程实践的关系

随着当今技术的飞跃发展，工程系统愈来愈呈现出复杂、不确定、多尺度、多学科交叉等特点，许多工程问题无法用单一的现成理论指导，这时，以综合性、实践性、设计性、研究性、创新性见长的工程训练更有助于培养解决复杂工程问题的能力[11]。现代工程教育，已绝非传统的专业教育能独自胜任，如果说传统的专业教育是导引工程教育能力标准的有效环节，那工程实践则真正兑现了工程教育的能力目标。工程实践是落实工程教育的必由之路，把工程实践纳入工程教育认证的核心实施流程是深化工程教育的有效途径。

3 对工程训练教学内容和模式的几点思考

3.1 工程训练课程特点再认识

初期工程训练课程，主要是为一、二年级本科生提供工程技能和操作实践训练，同时也为其他课程设计、毕业设计等提供相应的实践条件。受思维定势的影响，更多关注的是此类课程的专业属性，实际上工程训练课程具有通识性和公共基础性的特征，是面向本科各专业，给学生以工程实践的教育、工业制造的了解和工程文化的体验，是各专业人才培养不可缺少的支撑，也是实现学科交叉、文理交融、科研教学结合的创新教育新模式[12]。在逼真的工程环境中组织教学，具备逼

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

真的工程背景；呈现以“做中学”和“做中融”为特点的实践性，及以学科专业内知识的综合、专业间的交叉融合为特点的综合性，是该类课程的突出特点，并具备教学平台运行与学科专业面向的开放性特点[13]。

从课程体系来看，工程训练系列课程不仅包括了面向工科专业的工程训练系列课程、面向非工科（理科、人文社科）的工程素质训练系列课程及基于工程实践的创意创新创业类系列课程、工程训练特色课程或项目以及第二课堂、学科竞赛、工程创新活动等。

3.2　工程训练教学内容要体现系统性与综合性

3.2.1　课程内容涵盖产品现代制造各类技术

工程训练由原来的以机械和电子为主，逐渐演变到材料、能源、信息、环境、管理、系统工程等各类现代技术的综合使用，拓展成了一个更广阔的平台[14]。从机械制造领域传统的冷热加工（历史上的金工），到新型的制造技术（如数控加工技术、特种加工技术、快速原型制造技术、机电一体化技术等），再到先进的制造集成技术（如计算机集成制造、数字化柔性制造、绿色制造、虚拟制造等），工程训练，已逐渐向产品现代制造各类技术拓展，不断充实现代工程实践内容，反映现代制造工艺的全貌及前沿。

在现代工程训练中，学生全方位学习体验各类制造技术，灵活运用不同技术进行产品的加工制造，同时考虑时间、质量、成本、服务、环境等因素，融入系统工程及管理科学，培养综合利用各种手段解决复杂问题的能力，提高其综合素质。

3.2.2　工程训练范围扩展至产品生命全周期

在面向大制造工程领域的背景下，工程训练逐步打通了设计、制造与运行之间的隔膜，从产品设计、物料选择、加工装配到质量检测、经营管理、市场销售和服务等，现代工程训练强调将制造全过程的一系列活动综合为系统，将制造工业中科学、技术、非技术与工程实践融为一体，力求让学生在一个完整而逼真的工程活动系统中，进行产品全生命周期的运作体验，建立全面的工业生产意识。

以产品全生命周期为载体，让学生充分理解各环节的分工和紧密联系，使其能把加工能力、装配困难、客户需求等都能反映到设计中，进行系统地设计考虑。学生在此训练模式下不仅提高了实践创新能力、工程素质等，更重要的是锻炼了在准企业和工业环境下的构思-设计-实施-运行能力。

3.3　工程训练教学内容要体现时代性与发展性

3.3.1　工程训练内容的与时俱进

随着制造业不断吸收信息技术和现代管理技术的成果，智能制造成为了制造业发展新的焦点。德国 2013 年提出的以智能制造为主导的“工业 4.0”（第四次工业革命）引起了社会各界的广泛关注，“工业 4.0”是一种革命性的生产模式，其涉及到信息物理系统与制造、物流技术深度融合，以及物联网、大数据和服务网在工业生产中的应用，智能工厂是“工业 4.0”的核心。机器人技术、3D 打印技术、大数据技术等新技术的集成与融合将成为智能化的主流[15]。

在这种背景下，工程训练应始终保持着与时俱进的步伐，顺应制造大国向智造大国转变的趋势，密切配合工业化、现代化的发展，使工程训练课程成为学生接触工业新技术、了解工业前沿动向的主要阵地。工程实践教育，不可能脱离社会这个大背景孤立存在[16]，只有在一个保持先进与充满活力的准工业环境中才能培养出真正的工程师。

3.3.2　工程训练与各学科的协同发展

工程训练中心具有独特的优势，拥有近乎完备的工艺装备，拥有技能娴熟的技师和工程能力较强的教师。在完成教学的基础上，应该独立开展研究，进行新技术、新工艺、新材料、新产品等方面的拓展研究，发展自己的科研方向，甚至创建隶属于工程训练的学科。

同时，工程训练中心应该运用自己优势，与各学科开展科研项目协作。目前各专业院所在开展课题时，常因缺乏工艺设备而进展不顺畅。工程训练中心可以提供加工制造服务，承担工艺试验，参与各学科的课题研究，实现与各学科的共同发展。还可以用科研成果扩充实践教学的内容，增加实践的技术深度，为工程训练的可持续发展创造有利的条件。

3.4　工程训练教学模式转变

工程训练实践教学，由传统的师傅带徒弟式的基本技能培训逐渐发展到集基本技能训练、先进技术训练、工程素质和工程文化训练、综合与创新实践训练为一体的综合训练模式[17]，这是一个正向的本质变化。为适应这些变化，建议更多地采用 MOOCS（慕课）、翻转教学、CDIO、科技竞赛、项目驱动等新的教学手段。积极探索问题式、引导式、讨论式和探究式的授课方式，考虑部分课程与慕课接轨，探索“蜂巢”式教学模式，探讨在大量学生参与的情况下，以项目牵引来完成综合训练与创新实践训练，注重对学生科学思维和创新思维的培养，实现“技能学习”向集知识、能力、素质和创新实践为一体的“工程实践”的转变。

4　小结与展望

工程训练是我国特有的工程实践教育方式，其具有通识实践教育属性，是落实工程教育、实现工程教育认证能力标准的重要环节。现代的工程训练，不仅仅服务于课程教学，更是一个完整而逼真的工程活动系统，内容涵盖产品现代制造各类技术，范围扩展至产品生命全周期，在面向大制造工程领域的训练体验中，不

（下转第 160 页）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

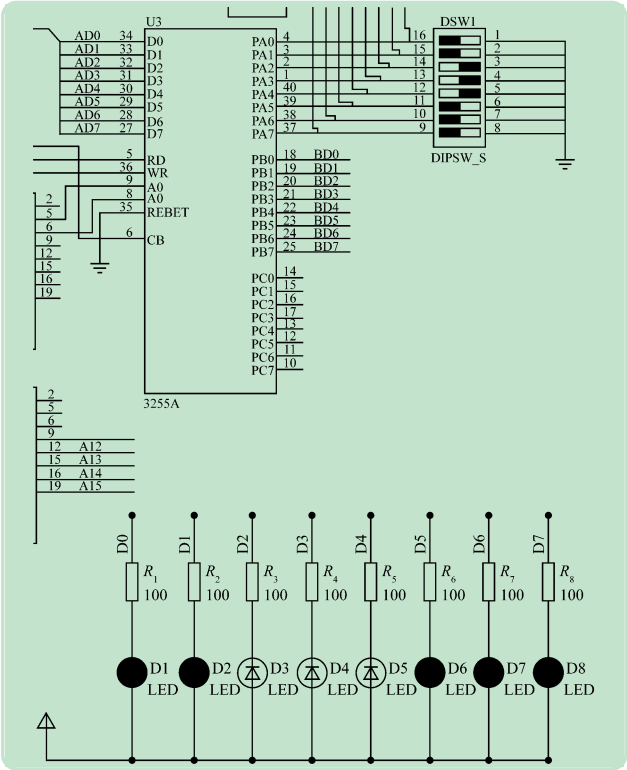

图 5 仿真执行效果图

参考文献(References) :

[1] 李秋洁. “微机原理及接口技术”课程教学探讨 [J]. 教育教学论坛,2015(4) : 126-128.

[2] 王凤芹,李 瑛,曲 宁. 以专业应用为导向,改革计算机硬件基础教学 [J]. 计算机工程与科学,2014, 36(A2) : 104-107.

[3] 杨道业,徐 启. “微机原理与接口技术”课程建设与改革初探 [J]. 中国电力教育,2009(10) : 117-118.

[4] 吴小花. 基于 Proteus 的电子电路设计与实现 [J]. 现代电子技术,2011, 34(15) : 174-176.

[5] 伍冯洁,谢 斌. 基于 Proteus 与 Keil 的单片机实验教学改革 [J]. 实验室研究与探索,2009, 28(7) : 125-127.

[6] 刘心红,郭福田,孙振兴,等. Proteus 仿真技术在单片机教学中的应用 [J]. 实验技术与管理,2007, 24(3) : 96-102.

[7] 陈 越,顾 晖,梁惺彦. Proteus 虚拟仿真在微机原理教学中的应用 [J]. 电子技术应用,2012, 38(1) : 106-108.

[8] 陈红卫,袁 伟. 虚拟仿真在课堂教学中的应用—以微机原理与接口技术课堂教学为例 [J]. 长春教育学院学报,2014, 30 (7) : 3-5.

[9] 赵国增,郭恒川. 《微机原理与接口技术》课程教学探索与实践 [J]. 现代计算机(专业版) ,2014(3) : 45-48.

[10] 刘 娟,黄 忠. 《微机原理与接口技术》教学现状与改进 [J]. 安庆师范学院学报(自然科学版) ,2014, 20(1) : 129-132.

[11] 陈朝元,鲁五一. Proteus 软件在自动控制系统仿真中的应用 [J]. 系统仿真学报,2008, 20(2) : 318-320.

[12] 周灵彬. 基于 Proteus VSM Studio 的电子产品开发技术 [J]. 现代电子技术,2015, 38(6) : 129-132.

[13] 李干林,李 升. 微机原理及接口技术实验指导书 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2010: 164.

[14] 姚 睿,李增武,付大丰,等. 基于 Proteus 的 DSP 虚拟实验系统设计与开发 [J]. 实验技术与管理,2015, 32(3) : 123-125, 136.

[15] 李忠武,陈静锐,夏春梅. Proteus 软件与微机原理接口技术课程实验对接的应用 [J]. 网友世界·云教育,2014(3) : 36.

(上接第 131 页)

仅让学生学习工程领域各种技术、技能和工程工具,还让学生接触到工程系统的分析和管理,工程训练具有专业教育无法取代的实践性、整合性、创新性特点。因此只有转变理念,改革工程训练教学模式及内容,顺应工程教育发展趋势,将工程训练有机融入到学科专业发展与学生个人发展中,这样工程训练才能在本科人才培养的服务与支撑中体现更多价值与优势,才能培养出在国内外得到更广泛的认可的工程人才。

参考文献(References) :

[1] 孙康宁,傅水根. 浅论工程实践教育中的问题、对策及通识教育属性 [J]. 中国大学教学,2011(9) : 17-20.

[2] 傅水根. 我国高等工程实践教育的历史回顾与展望 [J]. 实验技术与管理,2011, 28(2) : 1-4.

[3] 张安富,刘兴凤. 实施“卓越工程师教育培养计划”的思考 [J]. 高等工程教育研究,2010(4) : 56-59.

[4] 覃凌云. 欧美工程师的培养模式及认证研究 [D]. 上海: 华东理工大学,2012.

[5] 方 峥. 中国工程教育认证国家化之路 [J]. 高等工程教育研究, 2013(6) : 72-76.

[6] 教育部. 工程教育专业认证标准(试行) [EB/OL]. http: //www. moe. gov. cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/s3861/201110/125419. html

[7] ABET. EngineeringChange: AStudyoftheImpactofEC2000 [EB/OL]. http: //www. abet. org/uploadedFiles/Publications/Special_Reports/EngineeringChange-executive-summary. pdf.

[8] 毕家驹. 美国 ABET 的工程专业鉴定新进展 [J]. 高教发展与评估,2005, 21(5) : 44-51.

[9] 林 健. “卓越工程师教育培养计划”通用标准研制 [J]. 高等工程教育研究,2010(4) : 21-29.

[10] 胡 珏. 工程教育改革背景下的工程训练平台研究 [D]. 杭州: 浙江大学,2009.

[11] 李 蓓,姚 庆,管图华. 工程训练中心平台在实施“卓越工程师计划”中的作用探析 [J]. 实验技术与管理,2014, 31(5) : 167-170.

[12] 陆顺寿,曹其新. 新颖的创新实践场所“实学创新工坊”建设 [J]. 实验室研究与探索,2012, 31(2) : 98-100.

[13] 卢达溶,汤 彬,李双寿,等. 基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验 [J]. 清华大学教育研究,2009, 30(2) : 33-38.

[14] 徐志农,周继烈,倪益华,等. 大工程背景下工程训练课程项目设置及建设 [J]. 实验室研究与探索,2012, 31(9) : 98-101.

[15] 张 曙,工业 4.0 和智能制造 [J]. 机械设计与制造工程,2014, 43(8) : 1-5.

[16] 朱华炳,阚绪平. 准工业化工程训练基地建设与教学改革实践 [J]. 实验科学与技术,2008, 6(4) : 121-123.

[17] 李晓春,曲晓海,杨 洋,等. 工程训练教学改革探索与实践 [J]. 实验室研究与探索,2014, 33(1) : 229-232.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net