

国际工程教育理念引导下的 新工科创新创业教育课程 教学方法探讨^{*}

——以复旦大学的智能硬件创新创业课程为例

林青¹ 吕异颖²

(1. 复旦大学微电子学院、创新创业学院, 200433;

2. 复旦大学党委学生工作部、创新创业学院,

上海市杨浦区, 200433)

摘要: 在新工科建设的背景下, 结合高校深化创新创业教育改革的要求, 复旦大学开设的智能硬件创新创业课程在借鉴国际先进工程教育理念的基础上尝试探索一种适合新工科创新创业教育的课程教学方法。在介绍和比较国内外工程教育领域中运用成果导向教育(OBE)理念发展现状的基础上, 通过对课程实例的具体分析, 重点围绕三个具体问题进行了探讨。其中包括: 创新创业能力培养与新工科专业特点如何融合? 新工科创新创业课程中的OBE如何实现? OBE课程教学中创新创业能力培养成效评估和实施保障如何进行? 等等。希望通过分享这些研究经验能促进契合新型工科人才创新创业能力培养要求的课程教学取得更好成效, 进而寻找到更有效的教学模式, 为提升新工科创新创业教育的整体水平做出贡献。

关键词: 成果导向; 教学方法; 新工科; 创新创业教育

^{*} 基金项目: 中国高校创新创业教育改革研究基金项目“高校新工科专业牵引下的创新创业教育实证研究”(2017CCJG009)。

作者简介: 林青, 复旦大学微电子学院讲师, 博士, 创新创业学院导师, IC创新工场负责人。吕异颖, 讲师, 曾任复旦大学创新创业学院综合行政办公室负责人。

一、引言

2016 年中国成为《华盛顿协议》的正式成员,2017 年从“复旦共识”到“天大行动”再到“北京指南”,开启了教育部的“新工科”建设。吴爱华等^[1]认为要面向当前产业急需和未来发展不断推动新工科建设,新型工科人才培养是新经济快速发展的迫切需要,提出了“新经济”“新理念”等“五新”发展思路,并特别指出需要打造具有国际竞争力的工程教育“新质量”,建立完善中国特色、国际实质等效的工程教育专业认证制度。朱永东等^[2]提到美国工程教育专业认证标准较之前最大的变化是强调基于“产出”质量的效果评价。刘延东^[3]在全国教育工作会议上也曾指出,要坚持立足国情、为我所用,促进优秀传统教育思想和世界先进教育理念与我国当代教育改革实践更好地结合。因此,借鉴国际先进的工程教育理念完善中国的工程教育及认证成为“新工科”专业建设的内涵之一。

新工科更加重视人才创新创业能力的培养,林健^[4]认为新工科具有引领性、交融性、创新性、跨界性和发展性五个特征,并将创新创业能力作为新工科培养人才的首要能力要求。而创新创业教育是培养人才创新创业能力的重要途径,因此,如何将创新创业教育与新工科专业建设相融合已成为当前亟待研究的问题之一。

自 2010 年教育部^[5]明确指出“创新创业教育是适应经济社会和国家发展战略需要而产生的一种教学理念和模式”始,围绕相关教学理念、课程体系和教育生态等的研究成果大量涌现。在相关理论影响下,创新创业教育的共识基础已然成形^[6]:①创新创业教育直指当前经济社会发展和国家发展战略的人才需求;②创新创业教育是素质教育的时代体现,是对素质教育的深化^[7];③除了创新方法和创业技能,还应侧重培养学生的创新精神和创业意识^[8];④创新创业教育要做到全过程^[9],要面向全体学生,学校要形成自身特色的创新创业文化和教育生态;⑤创新创业教育要探索新的方法^[10]。新工科人才创新创业能力的培养也无法脱离这些共识基础。虽然新工科这个概念近两年才被明确提出,但一些高校围绕新工科专业创新创业人才培养的探索早已开始,这些高校^[11]结合新工科创新创业教育在实践平台、学科建设、学生培养和创业孵化等方面进行了初步的尝试,例如,清华大学面向工业 4.0 建立智能制造创客实践平台、北京大学筹建的“数据科学”专业、哈尔滨工业大学实施的“工程领军人才培养计划”和复旦大学建设面向新工科方向的创新工场等,但应看到这些工作目前也还仅处

于经验层面。

新工科建设与创新创业教育对人才的培养目标有共同的指向：服务国家发展战略、面向新经济。创新创业教育具体落地到新工科专业时，除立足于现有共识之外，还应结合新工科的特征和具体要求，将先进的工程教育理念运用于创新创业教学实践，用新工科的专业特点引导和带动师生积极参与，围绕这些开展相关研究对提升创新创业教育整体水平具有重要而迫切的现实意义。

本文以复旦大学开设的智能硬件创新创业课程为例，围绕国际工程教育理念引导下的新工科创新创业课程教学方法展开探索性研究。

二、国际工程教育成果导向理念的发展及在新工科创新创业课程中的借鉴意义

成果导向教育 (Outcome Based Education, OBE) 由 Spady 于 1981 年提出，后因得到美国工程与技术教育认证协会 (ABET) 的全面认可而盛行于很多国家^[12]。运用 OBE 理念在开展具体课程教学之前必须预先设计教学所希望达到的具体目标，也就是学生学习后所能取得的学习成果。学习成果应该明确具体，应该可以被评估，而不是一些抽象的培养理念或素质要求。在教学内容和环节的设计上，必须要反向实施，即从预先设定成果达成的需求出发，根据学生的基础和学习过程设计具体的内容和环节；在教学实践中，OBE 要求必须以学生为中心开展实施，教学进度和授课方法等需要根据学生的接受程度和进展效果逐步完成，尽量提高学生知识和技能的内化率；OBE 还要求教学过程能够持续改进从而不断完善。

（一）国外工程教育认证及成果导向理念的发展现状

美国工程教育认证采用 OBE 理念（1996 年）发展应用至今已有 20 多年的历史，积累的经验相当丰富。2016 年 4 月 11 日，工程教育认证国际研讨会在北京召开，国外工程教育领域专家对 OBE 理念及其在相关认证培训中的运用和发展提出的很多经验和观点值得我们进行借鉴，具体整理如表 1 所示。

表 1 有关国家或地区工程教育认证及 OBE 理念发展运用的情况

国家和地区	主要观点内容	报告人
澳大利亚	工程教育转变的中心是实施成果导向教育（OBE）	Elizabeth Taylor、Lincoln Wood
新加坡	成果导向教育认证由两部分组成：①项目教育目标（PEO）的实现性评价；②学生学习成果（SLO）的实现性评价	Kai Sang Lock
中国香港	成果导向认证克服了“结构任务指导（structured tasks tutoring）”的局限，并且自然的课程体系也满足了时代发展需求	黄耀新
爱尔兰	爱尔兰在实施成果导向教育时同时注重成果导向的必要性以及重要性	Damien Owens
美国	美国工程教育致力于培养能够解决复杂工程问题、具备实践动手能力的工程师	Michael K. J. Milligan
韩国	韩国工程教育具有以成果导向教育为方向，以同行评审为保障，以工程、计算机和工程技术委员会的独立性以及认证标准的协调性为基础的特征	Jung Soo Kim
斯里兰卡	斯里兰卡工程师协会强调了认证的国际性和条件性	Wimalasena Gamage
中国台湾	通过对硬性技能（技术、设计）与软性技能（团队合作、项目管理、终身学习等）的顶层设计要求评价判断学生的能力是否能够通过认证	林聪明
俄罗斯	俄专注于工程教育认证的全球化以及多样化发展	Yury Pokholkov
加拿大	加拿大工程教育将认证标准的重点放在课程质量、学生、教师、支持人员设备和资源等方面	Kim Allen
英国	学术认证是基于学习成果证明的，而成果导向认证（OBA）能够促进创新；学习成果在工业、学术界和行业咨询中可以得到开发和维护	Katy Turff
日本	日本工程教育呈现的问题：“多学科”团队合作缺乏，国际化水平不高等	Dr Yasuyuki AOSHIMA
马来西亚	马来西亚工程教育面临如何应对新兴学科、跨学科与多学科、产业需求等挑战	Datuk WiraIr. Md. Sidek Ahmad

资料来源：周红坊，朱正伟，李茂国. 工程教育认证的发展与创新及其对我国工程教育的启示、中国大学教学，2017（1）。

（二）国内工程教育认证及成果导向理念的发展现状

中国工程教育专业认证协会成立于 2015 年 10 月，发展时间相对较短。但中国是制造业大国，对工程性人才的需求世界第一，工程教育发展空间巨大，发展极为迅速。而在此之前，中国教育研究领域中与 OBE 理念相关

的文献已近 40 篇（检索中国知网，关键词为成果导向，时间选取 2015 年及以前），最早公开发表的文献^[13]在 2007 年。自中国高校不断深化创新创业教育改革以来，文献研究表明，中国较早将 OBE 理念与创新创业教育相结合的是香港城市大学的孙洪义^[14]（2010 年）。在 OBE 持续改进的理念引导下，其教学模式和教学方法也在不断地完善：2016 年出版的创新创业课程教材中，明确提出了“成果导向的创新创业基础 3333 教学大纲和 PIPE 教学方案”^[15]，并在香港城市大学实施多年，取得了良好的成效；其课程中完整包括了 OBE 的三大内容要素：学习结果（目标）、教学活动（方法）和考核方法（评价），建立了以问题探索、想法创造、产品创新和公司创业的 PIPE 教学模式。

（三）成果导向理念在新工科创新创业课程教学中的借鉴意义

应当注意到课程教学目前仍然是国内高校创新创业教育实施的主要形式，适合的教学方法对教育效果有决定性的影响。百森商学院的教授认为创业教育课程教学效果的好坏离不开科学的教学方法^[16]，并很早就有针对性地提出了探究式学习等课程理念和教学方法^[17]。而美国同期开设创业教育课程的高校已超过 1000 所^[18]，相关的教学方法也不断涌现，进而促进了美国创业教育的发展。

国内创新创业教育改革的深化同样需要相应教学理念和教学方法不断发展完善，对新工科创新创业教育而言，通过借鉴和融合国际先进的工程教育理念，发展合适的教学方法显得尤为迫切和重要。

本文将以复旦大学开设的智能硬件创新创业课为例，探讨一种可行的新工科创新创业课程教学方法，具体围绕如下的三个问题进行探讨：①创新创业能力培养与新工科专业特点如何融合？②新工科创新创业课程中的 OBE 如何实现？③ OBE 课程教学中创新创业能力培养成效评估和实施保障如何进行？

三、国际工程教育理念引导下的新工科创新创业课程教学方法案例探讨

复旦大学的智能硬件创新创业课程（以下简称“智能硬件课程”）开设于 2016 年秋季学期，目前总共已开设了 4 期。秉承 OBE 持续改进的理念，课程教学一直在不断完善中，其教学模式已迭代更新了 3 个版本。以成果预设为例，课程学习成果的设定从最早期的帮助学生提升专业实践技能、制作出至少 1 件智能硬件产品实物原型的第一阶段，历经了开拓国际消费

类电子产品创新视野、了解智能硬件前沿技术、提出产品创新设计方案的第二阶段，到目前洞察市场需求完成1项智能硬件创业计划的第三阶段，总共产生了3个不同的版本。受篇幅所限，后续所介绍的课程相关内容都以最新版本课程内容加以呈现。

（一）通过 OBE 中对成果目标的设定完成创新创业能力培养和新工科专业之间的深度融合与连接

创新创业教育与新工科建设对人才的培养目标有着共同的指向，二者在教育实施过程中的结合点立足于课程教学，即需要通过课程教学实践将创新创业能力培养和新工科专业特点进行深度融合。为达到好的教学效果，智能硬件课程选择将 OBE 中对学习成果的设定作为连接二者的纽带。这种连接的关系表现为三个牵引（引导并带动）：①新工科面向未来面向新经济，其结合科技前沿、创业热点和市场需求的專業特点对双创师生和企业能形成有效的牵引；②先进工程教育理念对创新创业课程体系设计和课程教学方法形成牵引；③新工科中“培养学生解决复杂性工程问题能力”的要求对创造力相关教学实践内容形成牵引。

智能硬件是当下创新创业热点之一，有众多企业资源和市场需求。同时智能硬件是新工科智能系统与工程专业的重要应用方向，智能硬件课程的开设是 OBE 理念引导下的新工科专业与创新创业教育深度融合的典型范例。以对学习成果的设定为基础，智能硬件课程建立了创新创业教育与新工科专业的连接，努力实现具有创新创业能力的新型工科人才培养目标，主要表现为：

（1）课程教学的成果目标设定为学生尝试寻找生活中真实存在的需求，并能利用智能硬件相关的方案设计加以解决，进而完成相关产品的创新实践和创业计划的策划实施。这种设定使创新创业能力中对需求的洞察力培养与智能硬件专业的属性紧密结合并形成联接点，而由于采用 OBE 理念课程对成果的获取非常重视，即在完成课程预设目标后能够收取到实际的产品成果，进而激发师生在过程中投入对课程的兴趣。

（2）在课程教学过程中，以学生为中心、教师为指导，面向新经济的发展方向和市场热点，学生可以借助智能硬件最新科技和相关校友企业资源进行开放式的创新实践活动。这种以新工科专业特征为牵引的课程教学对参与师生而言是共同的挑战，但也是吸引力和兴趣点之所在。

（3）需求所指向的问题绝大多数属于复杂性工程问题，课程需要以修读的学生为纽带，广泛结合学校除智能硬件外的其他学科专业背景的师资

和实验室进行交叉融合，并通过设计联合模型完成求解，从而有效提升学生解决复杂性工程问题的能力。

（二）OBE 课程的具体实现：以“小需求、微创新、浅创业、深挖掘”为主线的全链体验式教学模式

智能硬件课程在具体实施过程中分解成四个环节，每个教学环节都包括预设成果、教学方法、评估方案和意见反馈（教师随时随地收集反馈意见用于持续改进课程教学）。

（1）小需求。教学内容：促使学生从日常生活中洞察身边微小的需求；预设成果：找到生活学习中真实的小需求，该需求可以通过设计智能硬件来满足（强调专业属性），需求要足够小，小到学生能利用一学期的课程时间足够解决这个需求，需求虽小，但一旦被解决后应有立竿见影反响和成效；教学方法：社会调查、个人汇报；评估方案：提交给课程合作的企业专家或投资人进行评审，以验证需求真实存在，而不是伪需求；课程目的：培养学生对生活中与专业有关的需求的洞察力和敏感性。

（2）微创新。教学内容：基于自身的学识基础和能力，在智能硬件的框架内寻找解决方案，可使用现有产品进行改造，实现智能硬件产品创新；预设成果：找到或者设计出有创新元素的需求解决方案；教学方法：教授创新方法，分组讨论解决方案。评估方案：将解决方案提交相关专业领域的教师或专家，评估可行性和实施成本；课程目的：促使学生学习使用创新方法，例如微创新的5种策略、设计思维方法及TRIZ工程创新方法等。

（3）浅创业。教学内容：面向客户群体设计简单的营销方案并实施，在材料和时间成本有限的条件下通过快速迭代提升运营效率；预设成果：完成最小笔的陌生客户销售；教学方法：社会实践和分组讨论；评估方案：邀请复旦大学经管专家或校外投资人参加项目评审；课程目的：培养学生精益创业理念，根据用户反馈快速更新迭代产品后再营销。

（4）深挖掘。教学内容：探讨需求—创新—营销—迭代之间的关联并总结经验，促使学生思考自身内部学习实践能力和外部资源条件对创新创业的影响等；预设成果：完成课程论文报告；评估方案：参加创新创业类比赛；课程目的：使学生通过一门创新创业课程的学习全面体验和快速了解创新创业的全链条过程，提高学习（内化）成效，通过本课程学习引导学生在今后求学过程中能够更加明确专业学习目标，能力锻炼路径、阶段成果产出方向等。

这种以智能硬件为专业基础的全链体验互动式创新创业课程教学模式具备如下特点：

(1) 遵循“新工科”工程教育认证的 OBE 理念，课程设计以学生为中心，以成果为导向，不断持续改进和完善；

(2) 具有鲜明的“创新创业教育”特征，课程结合创新方法微创新策略、精益创业快速迭代、市场需求导向等理论具体实施，全课程师生间密切互动；

(3) 课程评估以学生项目成效为衡量尺度，鼓励学生以课程成果参加本科生院“FDURO P”学术资助计划、各类“创新创业大赛”、创新创业学院“苗圃计划”等创新创业类实践活动，在实战中总结经验提高成效。

(三) OBE 理念下的新工科创新创业课程教学实施成效评估和资源保障

OBE 课程需要预先设定成果目标，因此其教学成效的评估首先需要对照课程目标，检验学生是否拿出了预期的成果，这是对学生的直接评估；而对课程教学本身的评估则需要放在学校整体的创新创业教育环境中加以比较。

以智能硬件课程为例，学生在课程结束时根据预设成果能够完成 1 项智能硬件领域的创业项目计划，其中涉及面向的市场需求和产品原型机的创新性设计，若更进一步完成样本市场测试并取得了用户报告，则可通过迭代创新设计完成产品的升级和更新，这从课程教学的本身就能基本达到创新创业教育培养的目标，而课程学习成果的评估可以借助包括学校科创体系在内的第三方完成，例如参加全国“互联网+”大学生创新创业大赛等赛事活动。在 2018 年春季学期中，智能硬件创新创业课程提交的 4 个项目参加了复旦大学“泛海杯”“互联网+”大学生创新创业比赛，获得了 1 项一等奖、2 项二等奖、1 项三等奖的好成绩。前 3 期修读课程的学生，有的以其成果参加“INTEL 全球创新大赛”取得了大中华地区三等奖，有的其成果被投资人选中而休学创业。智能硬件课程修读学生取得的成果，不但是比赛优胜的荣誉和奖金，更是对自身能力提升的外部认可，这对于课程教学成效的整体评估具有积极的意义。

课程教学评估除了要保证好效果（effective）之外，还需要评估学生是否有高参（engaging）以及教学活动本身是否有高效率（efficient）。这是评估的教学实施整体过程通常使用的 3E 评价指标。换言之，教学过程的评估不仅仅要看课堂内的 45 分钟，而且要考察课堂外的资源保障基础和学生参与程度。

以智能硬件课程为例，为达到高参与，课程建立了预修培训体系：为保证学生在学期课程中能高质量地完成课程任务，任课教师会提前一个学期为相关专业的学生群体开设课外“零学分”兴趣培训活动（即前导课程），主要培训侧重于基础技能。其内容主要包括：智能硬件电源模块及管理系统、智能硬件计算模块及编程基础、智能硬件传感器及应用实践、智能硬件通信模块及参数调试。从已开设的3期培训效果来看，学生参加此类培训更为踊跃，参加培训与最终能够选上课的学生比例为3:1，学期开课后仍有部分选不上课的学生选择旁听课程。保障高参与的另外一个举措是任课老师组织有该方面兴趣的学生建立电子创客社团。“复旦大学电子创客社团”成立于2015年，社团骨干成员约30人，普通成员近200人，学生遍布信息、物理、材料等专业。社团为课程顺利开展需求调研、创新研发、科创比赛等提供了保障基础。

为达到高效率，课程建立了线上实时沟通交流平台。因课程性质，学生在第二课堂（课外）所花费的时间精力远超课内（约为3倍），为提高实时交流，资源分享、成果发布、成员招募效率，课程建立微信群、依托“集成电路与系统创新工场”网站（<http://emaker.fudan.edu.cn>）建立线上平台。其次，为给学生提供课外实践场所，课程依托创新创业学院和复旦大学学生创新创业实践培训基地约120平方米的开放空间，建设了智能硬件课程项目实验室，为学生24小时提供包括焊接平台、示波器、稳压电源、信号源、服务器等实验资源作为基础保障。

四、总结

创新创业教育改革作为深化高校教育改革的“牛鼻子”，在国家政策的推动下，各个高校用大决心、花大力气予以贯彻落实，不断深化；新工科建设面向中国制造2025，着力培养具有创新创业能力的新工科人才；人才培养始终是高校的第一使命，其具体实施仍然需要立足于每一次的教学实践活动中。充分借鉴国际先进的工程教育理念，结合新工科专业特点，开展OBE引导下的新工科创新创业教育是提升新型工程人才创新创业能力的有益尝试，本文通过智能硬件课程的实例分析和经验分享，希望能为提升新工科创新创业教育的整体水平做出贡献。

参考文献

- [1] 吴爱华、侯永峰、杨秋波,等.加快发展和建设新工科主动适应和引领新经济[J].高等工程教育研究,2017(1):1-9.
- [2] 朱永东,叶玉嘉.美国工程教育专业认证标准研究[J].现代大学教育,2009(3):46-50.
- [3] 刘延东.刘延东在全国教育工作会议上的讲话[N/OL].人民网,http://edu.people.com.cn/GB/12778190.html.
- [4] 林健.面向未来的中国新工科建设[J].清华大学教育研究,2017,38(2):26-35.
- [5] 教育部.教育部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.(教办〔2010〕3号).2010.
- [6] 王滨.创新创业高等教育师资资格认证培训(第四期)学习手册.2017.
- [7] 李志义.创新创业之我见[J],中国大学教学,2014(4):5-7.
- [8] 黄兆信,陈赞安,曾尔雷,等.内创业者及其特质对我国高校创业教育的启示[J].高等教育研究,2011(9):85-90.
- [9] 商云龙,王芳,王陶冶.大学人才培养全过程的创新创业教育融入机制研究[J].思想理论教育导刊,2016(10):152-155.
- [10] 刘献君.在不断研究探索中深化大学素质教育[J].中国高教研究,2017(6):8-12.
- [11] 中国高校创新创业教育联盟.“C9高校系列”创新创业教育工作体系介绍[EB/OL].中国高校创新创业教育联盟微信公众号,2017.
- [12] 李志义.成果导向的教学设计[J].中国大学教学,2015(3):32-39.
- [13] 李光梅.成果导向教育理论及其应用[J].教育评论,2007(1):51-54.
- [14] 孙洪义.创新人才培养的四个基本问题——兼叙“333”课程体系和7P教学模式的探索.创新与创业教育,2010,1(2):8-14.
- [15] 孙洪义.创新创业基础(M).北京,机械工业出版社,2016.
- [16] 胡宝华.唐绍祥.高校创业教育课程设计探讨[J].中国高教研究,2010(7):90-91.
- [17] 丁蕙,陈风华,肖云龙.美国百森商学院创业教育的特点[J].教育评论,2004(4):98-100.
- [18] 李智.从经验到理性——清华大学教授雷家啸谈创业教育[N].科学时报,2002-08-03.