

工程教育范式与新生工程导论课发展的观察与思考

纪阳¹, 郭沛², 吴振宇¹, 邹起¹

(1. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876; 2. 北京邮电大学 网络教育学院, 北京 100876)

摘要:新工科对工科人才培养提出了新的要求。作为本科高等工程教育的第一个环节,新生工程导论课必须为适应新的要求而做出改变。在明确新生工程导论课内涵的基础上,通过文献调查,梳理国内外新生工程导论课在历史发展进程中的各种类型。结合新工科的特征,指出新工科背景下新生工程导论课应选择哪些类型进行设计与实施,并聚焦实施中遇到的难题,提出相应措施。本研究旨在为新工科背景下新生工程导论课的设计与实施带来一定的启发和借鉴意义。

关键词:工程导论课;设计或实践型工程认知模式

中图分类号:G420

文献标识码:A

文章编号:1008-7729(2021)01-0106-07

一、工程教育范式

工程教育与社会发展息息相关,随着社会发展的不断演进,工程教育在某一时期形成了相应的工程教育范式。历史进程中,共形成了三次工程教育范式,分别是技术范式、科学范式和工程范式。不同范式对工程有不同的理解,在工程教育方面也各有侧重。技术范式形成于工程教育发展初期,这一时期人们认为工程即技术,工程教育中重视工程实践,强调技术应用;科学范式形成于20世纪40年代,这一时期人们认为工程是科学的一个分支,是科学原理的应用,工程教育中重视基础科学教育,重视科学研究;工程范式形成于20世纪90年代,这一时期人们认为工程是综合运用科学和技术等进行的改造世界的活动,工程教育注重实践与理论的平衡,注重学生“大工程观”的培养。自2017年起,世界范围内新一轮科技革命和产业变革以及席卷全球的新经济的蓬勃发展,对工程教育的改革和发展提出了新的挑战,国内外工程教育界均开始酝酿新工科教育改革。我国先后发布“复旦共识”“天大行动”“北京指南”新工科改革三部曲,揭开了新工科改革的序幕。在“天大行动”的表述中,第一条就是要“探索建立工科发展新范式”^[1]。那么,这个工科发展新范式究竟是什么呢?就笔者的观察而言,技术范式、科学范式和工程范式的工程教育,其共同特点是关注认知客体,但对认知主体的发展过程关注较少。然而,认知主体应该是工程教育未来探索的重要方向。在未来面向不确定性进行创新与探索的过程中,相较于知识而言,一个人的思维、能力、素养将对其工程成果带来更为重要的影响。因此,对于面向思维、能力、素养的工程教育的需求,在技术范式、科学范式和工程范式时代并不凸显,但是,产业界在应对充满变化的未来时,迫切需要采用这种教育模式培养的创新型人才。从这一个角度看,工科发展新范式的价值主张应该是“工程教育应回归育人,应面向工程创新情境中学生的成长”。

那么,高校应从哪个切入点进行新工科范式的教学改革呢?审视整个工程教育体系,可以看到,原有工科课程体系存在结构性问题,工程专业实践一般在大学三年级时才开始,学生接触创新实战过

收稿日期:2020-09-02

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金项目(17YJA870006)

作者简介:纪阳(1972—),男,内蒙古自治区呼和浩特人,博士,教授

晚，能力训练不足。面向工程创新的能力、素养、思维养成需要经历一段时间才能收到效果，新工科范式的尝试只有从新生工程教育开始，才能使学生在充分的时间进行工程创新实践与自我调整。在新生阶段引导学生理解工程并非始于新工科时代，事实上，许多工科强校对这一环节极为重视。例如，美国的普渡大学在 20 世纪 60 年代甚至专门设置了新生工程系，以求进行专业化的工程认知引导^[2]。在国际 CDIO 组织所定义的 12 条标准中，第 4 条明确规定应该设立这样一门工程导论课，引导学生了解“个人能力、人际能力和对产品、过程和系统的构建能力是如何反映在培养计划中”的，并关注“工程导论在多大的程度上激发了学生在相应核心工程领域的应用方面的兴趣和动力”两个重要问题。值得注意的是，这也是 CDIO 标准中唯一定义的一门课^[3]。

为了弄清楚新工科范式下新生工程导论课的特征，方便开设工程导论课的学校和教师更好地设计和实施新生工程导论课，笔者通过文献调查，对国内外涉及新生工程导论课的论文进行了广泛阅读。调查中发现，各类工程导论课的差异主要表现为对工程认知模式的设计有所不同。进一步地，对这些工程认知模式进行了分类梳理和特征归纳。对工程认知模式的细分研究有利于理解新工科工程教育的内涵，聚焦解决新生工程教育的关键难点问题，找到推进教学改革升级演进的途径。

二、新生工程导论课的类型

新生工程导论课是指高校通常在大学一年级上学期为工科学生开设的专业导论课，其目标是帮助工科学生形成对工程的基本认知，并指导学生未来四年的工程专业学习。新生工程导论课旨在使学生认识到工程是为人类服务的、解决实际问题的一种实践活动，目的是使人类的生存以及生活更加美好。工程不仅是对有关技术学科知识的整合应用，还需要考虑社会、政治、经济、环境和文化等因素，以及全球化趋势下的产业协作状况。这种工程的综合性特征要求学生在未来的工程专业学习中不仅要学习科学技术知识，还应将其与社会、政治、经济、环境和文化等相关知识融合在一起，解决生产生活中存在的问题。新生工程导论课对刚入学的工科学生具有认识论和方法论层面的意义，能够引导新生在今后的专业学习、职业及价值观等方面形成正确的认知，对新生的成长具有重要意义。新生工程导论课的重要性毋庸置疑，但如何上好工程导论课，达到工程导论课的课程目标，是一个难题。

笔者以中国知网学术期刊全文数据库为中文文献数据来源，以 IEEE Xplore 为外文文献数据来源，分别以“工程导论课”“introductory course of engineering”作为主题词进行检索，经筛选得到 168 篇相关文献，其中中文文献 64 篇，外文文献 104 篇。对文献中表述的新生工程导论课按照教师的主要授课形式进行大致梳理，将其分为 5 种基本的工程认知形态(如表 1 所示)。笔者列举了每一类型新生工程导论课的一些代表案例，并分析了每一类型工程导论课的主要授课形式、学生特征性输出、优缺点或适用性，以期为新工科背景下新生工程导论课的设计与实施提供现实基础。

表 1 新生工程导论课分类

序号	类别名称	主要授课形式	学生特征性输出	相关高校案例
1	介绍型工程认知	教师课堂讲授 工程专业讲座	课程报告	浙江大学 ^[4] 杭州电子科技大学 ^[5]
2	研讨型工程认知	以问题为基础 小组研讨	小组研讨报告	北京航空航天大学 ^[6] 东南大学 ^[7] 宾夕法尼亚州立大学 ^[8]

续表

序号	类别名称	主要授课形式	学生特征性输出	相关高校案例
3	实验型工程认知	学生观察实验展示 学生动手进行实验	实验报告	亚利桑那州立大学 ^[9] 宾州约克学院 ^[10]
4	设计型工程认知	以项目/问题为基础 小组协作自主探究	设计方案	汕头大学 ^[11] 新加坡科学设计大学 ^[12] 亚利桑那州立大学 ^[13]
5	实践型工程认知	以项目/问题为基础 小组协作自主探究	课程作品	上海交通大学 ^[14] 北京邮电大学 ^[15]

(一) 介绍型工程认知导论课

介绍型工程认知导论课是工程导论课的基本形态,以教师课堂讲授及工程专业讲座为主要授课形式,并辅以一定的课堂互动讨论、现场观摩等形式。喜欢此类教学方法的教师,往往是将工程作为工程学(即一种自成框架的知识体系)介绍给学生。这需要超越具体的工程领域,凝练出横跨各个工程实践领域的共性问题,如工程概念、工程师、工程的意义与价值、人类在各个领域的重大工程成就、工程技术与科学的联系与区别、工程过程、工程知识特征、大工程观、工程史、工程创新模式等,然后进行深入的讲解与分析。一般会要求学生在学期末输出课程报告,内容包含对工程、专业及未来学习规划的认知。介绍型工程认知导论课课程内容涵盖范围较广,能够使学生在正式接触专业知识之前获得对于今后学习的系统认识,培养其工程基本素养。但由于大部分学生之前并没有工程体验,这种讲授为主的教学方式会使得学生觉得课程内容枯燥,学生学习较为被动,只能对一些重要概念获得浅层次认识,学习效果的持久性不容乐观。

(二) 研讨型工程认知导论课

研讨型工程认知导论课将“小组研讨课”的教学模式应用于工程导论课的教学中,课上围绕研讨主题展开学生小组之间、学生与教师之间的讨论,并辅以教师课堂讲授或翻转课堂模式下的学生自主学习与探究。研讨课可以一学期围绕一个大课题展开,也可以每节课围绕不同的小主题展开,主题内容根据课程内容进行设计。这种课程形式下,学生一般需要输出研讨成果报告及课程总结报告。这一授课形式使得学生由知识的被动接受者变为主动参与者,有利于增强学生的学习兴趣,体现了以学生为中心的教学思想。同时,作为“新生研讨课”的一种外延,研讨型工程认知导论课具有“新生研讨课”的特点,它能够帮助新生适应陌生的大学环境,在小组协作中建立新的人际关系,适应不同于高中的大学新的学习方法,顺利完成从高中阶段到大学阶段的过渡^[16]。研讨型工程认知导论课使得学生通过讨论、展示、总结与反思了解工程、专业等相关知识,但学生对于工程的本质、工程师的职责等的认知仍然是浅层次认知。

(三) 实验型工程认知导论课

实验型工程认知导论课多是在实验室展开,为学生提供动手实验的机会,并辅以一定的实验展示及教师课堂讲授。学生在每次实验中都需完成相应实验报告,报告中除了有实验相关操作、数据、结果等内容外,更重要的是学生需要对实验进行反思,包括从实验中学到了什么及实验与现实生活的关系等。实验型工程认知导论课能够让学生接触到真实的实验材料,亲自动手完成一些实验任务,可以提高学生的工程动手实践技能,触发学生的思维想象,提升学生学习工程的兴趣。但这些实验的目的大多数是验证科学原理或呈现技术现象,与真实的工程间还有相当的距离。因此,学生对于工程过程、工程与社会的联系、工程创新等工程相关问题的认知仍然是浅层次认知。

（四）设计型工程认知导论课

设计型工程认知导论课是“回归工程”运动中“回归工程设计”的产物。有学者认为回归工程就是要回归设计这一工程的本质^[17]，设计是工程最古老却又最核心的灵魂^[18]，这些观点反映在新生工程导论课中，即出现了设计型工程认知导论课。这一类型导论课通常采用基于问题或项目的教学方式，并辅以课堂教学：教师营造情境让学生像工程师一样工作；学生以小组为单位完成调研、发现问题、提出解决方案（构思与设计）、方案评估与表达的全过程，在课程结束后输出设计方案及课程报告。设计型工程认知导论课通过创设模拟真实工作的情境，能让学生接触到工程，模拟工程师的工作，从而建立工程专业认知，发展专业兴趣，提升工程师所需的各项能力。这一类型课程聚焦于设计，对如何将设计的内容真正实现出来并不做过多要求，因此，大学一年级学生虽然受限于技术实现能力，但可以通过体验工程设计环节来学习如何建立工程思维。对于受限于场地技术实践条件较难开展实际工程训练的专业（如土木工程专业、汽车工程专业等），这种设计型工程认知课尤为适用。

（五）实践型工程认知导论课

实践型工程认知导论课的出现是新生工程导论课教学模式的创造性突破。实践是工程的本质，仅凭教师讲授、现场参观、研讨等形式无法让学生体会到这一点，因此，实践本身应该成为一种工程认知方式。实践型工程认知导论课也常采用基于问题或项目的教学方式，并辅以课堂教学，引导学生动手解决实践问题或完成项目，强调在做中学。在这种课程形式下，学生一般会在学期末完成一件工程作品。在完成作品的过程中，学生能够体会到真实的工程及工程师的职责与所需具备的能力。在实践型工程认知导论课中，设计是其中的必备环节，设计思维与能力在工程实践中发挥着重要的作用。这一类型导论课能让学生真正参与到工程项目之中，可培养学生的工程认知能力、设计能力与创新能力，让学生对工程有一个总体的认知并将理论知识用于实践，从中培养学生解决复杂工程问题的能力，使学生在真实的实践中学习工程师需要具备的知识与能力。

上述新生工程导论课的类型是根据文献研究，按照工程导论课中授课形式的突出特征进行划分归类，事实上，新生工程导论课的课程组织是这些认知模式的组合。一个课程之中，可能既有介绍型认知，也有研讨型认知，还有实践型认知。介绍型工程认知导论课课程形态相对传统，课程效果依赖于内容选择。除介绍型工程认知导论课之外，其他类型工程导论课均以小组为单位展开，学生需要进行自主探究与学习，学生从被动的接受者变为主动参与者，课程对学生的学习能力有较高要求。由于学生能力发展水平具有多样性，教师的教学设计必须既能指向重点关注方向，课程难度也应具有一定的伸缩性，要给学生留出足够的探索与成长空间。而课程效果，则依赖于师生的共同努力。

三、新工科背景下新生工程导论课的实施

（一）类型选择

设计型工程认知导论课和实践型工程认知导论课能够以项目为媒介，为学生提供一种沉浸式的学习体验。学生所获得的知识中，除了能够以图文表述的、与工程有关的各种显性知识以外，还包括一些与工程有关的经验和直觉等隐性知识。相对来说，实践型工程认知导论课能够触及的工程过程环节，要比设计型和实验型工程认知导论课更为全面，因此，这种类型的工程认知课让学生所积累的隐性知识的类型更为丰富。学生经历实际工程过程后，有可能积累起关于工程的隐性知识。这种通过动手实践形成的体会，是工程认知的重要结果之一，也是工程类课程区别于科学类课程的重要特征之一。

对于显性知识部分，如果采用布鲁姆认知层级理论对这几类工程认知模式进行分析（如表2所示），不难发现，相对于介绍型、研讨型或实验型工程认知导论课，设计型和实践型工程认知导论课所触及的认知层级更多也更高。

表 2 新生工程导论课类型与其对应的布鲁姆认知层级

新生工程导论课类型	介绍型工程认知	研讨型工程认知	实验型工程认知	设计型工程认知	实践型工程认知
能够达到的最高布鲁姆认知层级	理解	理解	评价	创造	创造

综上所述,在新工科时代,新生工程导论课应尽可能以设计型或实践型工程认知模式为主进行规划。在此基础上,可根据教学具体情况,采用介绍型、研讨型或实验型引导方式进行一些辅助或补充教学。这样,可让学生在大学起始阶段尝试和体验产品、过程和系统的构建活动,从而触发其更多的主动思考,并使其了解工程师所应具备的个人能力和人际能力,建立起内涵丰富的工程认知。尽管过程艰辛,但完成一个工程作品之后,学生往往会获得极大的成就感,从而对工程产生兴趣。

(二) 难点

实践型工程认知导论课可以让学生获得全过程的工程体验,但其复杂度较高,实施难度较大。实施实践型工程认知导论课需要从整体上考虑课程资源建设、师资培养、学生能力评估及教师评价体系等问题,存在很多挑战。

从学生角度看,挑战主要表现为学生能否适应新的学习方式。在实践型工程认知导论课中,学生不仅要面对实践中知识的不足,还要调整自己的学习方式。从老师事无巨细的指导到自己摸索和自主学习,从关注知识点到关注大系统,从动笔写算到动手制作,从单一学科到全面综合,从单打独斗到团队合作,从学习到做事,从应试思维到创新思维等,这些调整与变化均意味着挑战。有些大学一年级新生会乐于接受挑战,而有些新生则无法很快认同这样的变化。一些学生关于如何学习的思维已经在准备高考阶段得到了强化,形成了习惯性意识,对于需要自己引导学习方向的主动探索过程非常不适应。有些人甚至会否定这样的学习模式,认为这是不可能完成的任务。如果学生自身解决不了上述问题,那么,这些问题就会转化为教师需要面对的工作或挑战。

从教师角度看,挑战主要表现在以下三个方面:课程资源建设、学习过程支撑以及自我激励问题。首先,在课程资源建设方面,由于要支持动手实践,需要为学生提供实践的材料、环境和学习资源。新生阶段,问题会更多;而且新生没有专业知识背景,回答新生问题时需要采用新生能理解的方式。这方面的课程资源建设难度和工作量都很大。其次,在学习过程支撑方面,由于学生在完成工程实践型任务的过程中会遇到一些靠自身能力难以解决的问题,若不能及时解决这些问题,学生会产生挫败感,并容易放弃。如果支持过多,则学生得不到应有的锻炼。因此,需要建立一个强有力的学习过程支撑体系,并能够根据学生能力发展水平进行灵活的过程指导。最后,在自我激励方面,建设实践型工程导论课的工作量相对较大,其教学改革不可能一蹴而就。多数高校不可能做到完全根据教师的付出程度进行激励,需要教师自己对教改探索有浓厚兴趣,并能够通过学生进步和教师相互鼓励来激励自己进行更多尝试,完成持续探索与改进。

(三) 措施

1. 学校为教师教学改革提供支持

与指导高年级学生进行创新实践不同,新生创新实践中的非专业性因素更多,学生的情况更复杂,教育内涵更丰富,教育界的成功经验也较少。因此,教师不仅要进行创新突破,还要深入学习教育基础理论,并在指导学生过程中付出更多的耐心,这对教师提出了更高的要求。因此,学校应采取一定的措施帮助教师进行教学改革。首先,建立宏观战略愿景规划,将新工科模式的新生工程教育改革作为学校实施教改的重点内容,并制定激励机制。其次,建立产教学一体化协作共同体,为教改摸索过程与持续改进计划建立相应的工作机制。最后,聚焦突破,组织跨学科团队进行协作,集中优势力量进行教改攻坚,调动更多教师进行课程资源建设。

2. 学校根据学生情况在课程实施时进行变通

学生要动手完成工程作品并有所创新,往往需要根据任务需求自学一些技术。对于很多学生来说,这并不是一件轻松的事情。初次尝试创新实践的学生有时候会制定雄心勃勃的计划,而如果在一定时间内无法攻克技术难关,就得考虑通过变通措施来更换方案,并需要经历一些新的学习过程。虽然工业界的实际情况也是如此,但并非所有学生都能理解这一点,并乐意面对挑战及承受相应的压力。

如果判断大部分学生都无法通过主动学习完成实践创新任务,就应该考虑采用变通的方式。例如,一种可行的方式是将新生引导过程延长为一年,在第一学期实施以介绍型或研讨型为主的工程导论课,介绍与工程有关的宏观概念,同时开设一些技术类课程,而在第二学期尝试实施以综合设计与创新实战为主的工程导论课。这样,学生进行创新实践时已经具有一定的技术基础,师生的压力都相对小一些。另一种建议,就是先以设计型工程认知作为主要方式实施课程,而将实践创新作为学生获得优秀成绩的加分因素来鼓励学生挑战更高难度的学习任务。这样,通过多次迭代积累经验,逐年增加实践创新的比重和难度,逐步过渡到实践型工程认知模式。

四、小 结

以新生工程导论课作为切入点尝试新工科改革,是一种教育内涵整体升级的变革开拓,其重要性和迫切性都十分鲜明。新生工程导论课改革对学生和教师都具有很高的挑战度,需要进行一段时间的攻坚和摸索。新生课程一旦改革升级成功,后续课程将自然而然地受到影响,因此,推动新工科建设可以先从新生工程认知与创新素质培养开始。当前,“破五唯”已经从一种呼声逐步走向具体的行动,在这样的历史时期,各个大学的决策层可以将新生工程导论课改革作为新工科教育改革的战略突破口,加大支持力度,设计合理的激励机制,吸引更多教师进行这方面的教改创新探索。

参考文献:

- [1] “新工科”建设行动路线(“天大行动”)[J]. 高等工程教育研究,2017(2):24-25.
- [2] 林健,彭林, JESIEK B. 普渡大学本科工程教育改革实践及对新工科建设的启示[J]. 高等工程教育研究,2019(1):15-26.
- [3] 汕头大学工学院. 资料:CDIO 标准及考察的关键问题[J]. 高等工程教育研究,2008(3):10.
- [4] 邱秧琼,宋扬,顾征,等. 工程导论:工科大学生的必修课[J]. 高等工程教育研究,2009(1):115-119.
- [5] 陈国金,张建辉. 新生工程类学科导论课的几点思考[J]. 课程教育研究,2015(14):223-224.
- [6] 张有光,林晓阳,曾琅,等. “电子信息工程导论”新生研讨课教学模式探索[J]. 工业和信息化教育,2016(12):15-19.
- [7] FAN H, DONG Z, HU G, et al. An engineering introductory seminar course for first-year college students[C]// IEEE International Conference on Teaching. Hong Kong:IEEE, 2012.
- [8] LUCK S J, STEPHENS J A. An introduction to engineering through a "freshman seminar" course[DB/OL]. [2020-06-30]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/683350>.
- [9] KARAM L J, MOUNSEF N. Increasing retention through introduction to engineering design[DB/OL]. [2020-06-30]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5739209>.
- [10] BLANDING W, MEAH K. Laboratory-Based project-oriented introductory course for electrical engineering[C]// International Conference on Electrical & Computer Engineering. Dhaka: IEEE, 2014.
- [11] 王英姿,胡文龙,熊光晶. 工程教育导论类课程引入“设计”的探究式教学:以“土木工程设计导论”为例[J]. 高等工程教育研究,2014(4):180-184.
- [12] GRAHAM R. The global state of the art in engineering education[EB/OL]. (2018-03)[2020-06-21]. http://neet.mit.edu/wp-content/uploads/2018/03/MIT_NEET_GlobalStateEngineeringEducation2018.pdf,2018.
- [13] CLAVEAU D. A multidisciplinary design project for an introduction to engineering course[C]// Interdisciplinary Engineering Design Education Conference. Santa Clara: IEEE, 2014.

- [14] 张执南,陈珏蓓,朱佳斌,等. 逆向教学设计法在项目式教学中的应用:以上海交通大学“工程学导论”为例[J]. 高等工程教育研究,2018(6):145-149.
- [15] 纪阳,吴振宇,尹长川. 新生工程教育问题与引导方式创新[J]. 高等工程教育研究,2018(4):55-60.
- [16] 张红霞. 美国大学的新生研讨课及其启示[J]. 中国大学教学,2009(11):93-96.
- [17] 项聪. 设计范式:工程教育发展的应然选择[J]. 高等工程教育研究,2014(6):12-19.
- [18] 邹晓东,姚威,翁默斯. 基于设计的工程教育(DBL)模式创新[J]. 高等工程教育研究,2017(1):17-23.

Observation and Thinking of Engineering Education Paradigm and Introductory Course of Engineering for Freshman

JI Yang¹, GUO Pei², WU Zhen-yu¹, ZOU Qi¹

- (1. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;
2. School of Network Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The emerging engineering education puts forward new requirements for the cultivation of engineering talents. As the first step of higher engineering education at the undergraduate level, the introductory course of engineering for freshman must adapt to the new requirements and make changes. The connotation of the introductory course of engineering for freshman is clarified. Through a literature review, the various types of introductory course of engineering for freshman at home and abroad in the historical development process are sorted out. Combined with the characteristics of the emerging engineering education, it is pointed out which types of engineering course should be selected for design and implementation. The difficulties encountered in implementation is emphasized, and corresponding solutions are proposed. It is hoped that the research will bring certain inspiration and reference for design and implementation of the introductory course of engineering for freshman under the background of the emerging engineering education.

Key words: introductory course of engineering; design or practical engineering cognitive model