

工程教育改革背景下传统工科专业的挑战与应对

——基于十校“电气工程及其自动化”培养方案的实证调查

白逸仙 柳长安 艾欣 廖偲伶

【摘要】面对科技革命和产业变革引发的新一轮工程教育改革,本研究结合 STEM 教育内涵和“新工科”的建设要求,提出新一轮工程教育改革的新标准。根据这些标准,以“电气工程及其自动化”专业人才培养方案为研究对象,探讨传统工科专业的改造升级问题,重点考察“实践能力、创新创业能力和跨界整合能力”在人才培养目标以及课程体系中的贯彻情况。研究发现,人才培养目标缺乏工程核心素养,课程体系对人才培养目标的支撑度不够;实践能力的培养缺乏系统性;创新创业能力发展缺乏保障;跨界整合能力培养缺乏课程支撑。我们建议:对标“新工科”的新要求科学制定人才培养目标,强化课程对培养目标的支撑度;全方位、系统化构建实践教学体系,提高学生的综合实践能力;建立“创意—创新—创业”相融合的教育体系,增强学生的创新创业能力;以“解决复杂工程问题”为导向整合不同专业课程,培养学生的跨界整合能力。

【关键词】工程教育改革 传统工科专业 电气工程及其自动化专业 人才培养方案

一、问题与研究设计

(一) 问题。

为应对新科技革命和新产业革命对工程科技人才培养提出的新要求,全球范围内兴起了新一轮工程教育改革,推出了一些重大的工程教育改革计划,其中,以美国发起的 STEM 教育和中国的“新工科”尤其引人注目。

新一轮工程教育改革,一方面要设置和发展一批新兴工科专业,另一方面要推动传统工科专业的改革创新。“土、电、机、化”是传统工科的四大支柱,也是工程教育改革主要的改造升级对象。其中,“电气工程及其自动化”(以下简称“电气工程”)是围绕电能生产、传输和利用所开展活动的总称。20 世纪是全球电气化的世纪,进入 21 世纪,经济社会发展对电力的需求仍不断增长,电力及相关工业发展潜力巨大。在信息化时代,电气工程正向智能化方向发展,范围早已超出了传统的电力工业,扩展到电气装备制造、新能源产业等

广泛的相关行业。在新工业革命的背景下,“电气工程”这样的传统工科专业应如何培养适应未来新产业、新经济发展的工程科技人才,是一个值得我们关注的问题。

本文以我国 10 所高水平大学的“电气工程”专业为例,对标国际工程教育和“新工科”提出的改革要求,对其本科专业人才培养方案进行实证研究,找问题、做诊断、促发展,为传统工科专业的“新工科”建设提供政策与建议。

(二) 研究设计。

本研究扎根中国、放眼全球,借鉴国际工程教育理念,从“新工科”人才所需核心能力为切入点,透视“电气工程”专业本科人才培养方案,探讨传统工科专业建设存在的问题及其改造升级的可能路径。所谓人才培养方案,是指在特定的教育思想和教育理论指导下,对人才培养目标、培养规格、课程结构、教学内容、进度计划、考核评价等各环节要素进行综合设计而形成的操作性文本,是

收稿日期: 2018-02-03

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“基于 STEM 教育理念的高水平行业特色型高校工程人才培养改革与政策研究”(71704054)

作者简介: 白逸仙,华北电力大学教务处副研究员;柳长安,华北电力大学教务处处长、教授;艾欣,华北电力大学电气与电子工程学院副院长、教授;廖偲伶,厦门大学公共事务学院硕士研究生。

学校人才培养和教学运行最重要的纲领性文件。^[1]一个完整的人才培养方案包含专业人才培养目标、专业培养基本要求、学时与学分、专业核心课程、学制与学位等方面的内容,是专业建设的核心内容和重要依据,是人才培养的根本保证。本研究以本科人才培养方案为研究对象,分析新工科背景下传统工科专业(“电气工程”)的挑战与应对,重点考察“新工科”人才亟需的“实践能力、创新创业能力和跨界整合能力”在人才培养目标及课程设置中的体现情况,以期寻找传统工科专业的改造升级路径。

为保证样本具有代表性且数据易采集,首先,我们根据中国学位与研究生教育信息网《2012年全国高校学科评估结果》中“电气工程”一级学科整体水平得分、中国科学评价研究中心联合中国科教评价网推出的《中国大学及学科专业评价报告(2017—2018)》中“电气工程”专业排名情况、电气工程网《2012年电气工程及其自动化专业全国高校排名情况》、大学生必备网《全国电气工程及其自动化专业大学排名2017》,选取了我国“电气工程”专业排名前十位的大学作为调查对象;然后,通过大学官方网站和咨询调研等途径,查找与搜集了这10所大学“电气工程”专业最新版的本科专业人才培养方案,具体情况如表1。

表1 全国“电气工程”专业前十名高校本科专业人才培养方案基本情况

全国排名	学校名称	电气工程及其自动化专业本科专业人才培养方案版本
1	清华大学	2014版
2	华中科技大学	2016版
3	西安交通大学	2015版
4	浙江大学	2013版
5	重庆大学	2014版
6	华北电力大学	2013版
7	哈尔滨工业大学	2015版
8	天津大学	2015版
9	西南交通大学	2016版
10	上海交通大学	2015版

数据来源:官方网站及调研获得,数据采集时间截至2016年12月。

二、国际工程教育改革新方向与中国新工科建设

(一) 国际工程教育改革新趋向。

为应对新工业革命的挑战,世界兴起新一轮工程教育改革,各国均把工程科技人才竞争提升到国家战略的高度,其中以STEM人才的竞争最

为关键。STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)教育是国际工程教育改革的新方向,强调整合科学、技术、工程、数学等学科的学习,用以应对学科割裂所造成的学生实践能力、创新能力和跨界整合能力缺乏的现状。STEM教育起源于美国,已逐步扩展到全球范围。新世纪以来,以美国、英国、德国为代表的主要发达国家,都在国家战略层面制定了促进STEM人才培养的政策措施。

STEM教育的提出,使传统的理工科教育不再停留在单一的学科内部,而是通过加强科学、技术、工程、数学等学科之间的联系,打破学科壁垒,采取更加灵活的学习方式,让学习者在真实情境下开展深度学习和实践,有利于高水平科技人才的培养。^[2]可以说,STEM教育是教育领域的综合改革,起到牵一发而动全身的作用,改变教育观念、改革教育政策、创新人才培养模式、撬动课程改革等都会产生系统性影响。

STEM教育在工程教育改革背景下应具有其独特的内涵,主要包括四个方面:①强调STEM教育与国家战略发展与产业需求相结合,确定学生发展的核心素养,进而设置课程体系。②理论教学与实践教学一体化,重视学生实践能力的培养。课程设置强调以工程为中心,突出创新实践课程;同时,为学生创造尽可能多的实践环境,加强行业企业与STEM教育的联合,形成多元主体合作育人的局面。③重视科教融合,通过研究性教学和项目式教学提高学生的创新能力。STEM教育主张通过教学与科研相结合的方式提升学生的创新能力;同时强调项目式学习,在真实任务中的学习,培养学生团队合作、解决问题的能力以及系统性思维等。④重视学科交叉融合,培养学生的跨界整合能力。以解决复杂问题为导向,将不同领域的课程进行跨学科整合,强调学科之间的关联。

(二) 中国“新工科”建设的新要求。

为主动应对新一轮科技革命与产业变革,支撑国家创新驱动发展战略,中国积极推进新工科建设,全力探索引领国际工程教育的中国模式。“复旦共识”提出了新工科的概念,并从宏观层面提出了新工科建设的目标;“天大行动”从“六问”着手明确了新工科建设的基本路径;“北京指南”是推进新工科建设的具体方案。归纳起来,中国“新工科”建设对人才培养方面提出了如下新的要

求:① 面向国家和区域重大战略需求,把握新工科人才的核心素养,将行业对人才培养的最新要求引入教学过程,培养学生设计思维、工程思维、批判思维和数字化思维。② 强调产教融合,将产业和技术的最新发展引入学校,更新教学内容和课程体系,深入推进产学研合作育人,系统培养学生的创新实践能力。③ 强调科教融合,推进教师将研究成果及时转化为教学内容,向学生介绍学科研究新进展,鼓励本科生参加科学研究,培养学生的创新创业能力。④ 强调学科交叉融合,探索面向复杂工程问题的课程模式,组建跨学科教学团队、跨学科项目平台,推进跨学科合作学习,培养学生的跨界整合能力。

(三) 新一轮工程教育改革的新标准。

国际工程教育改革的新趋向和中国“新工科”改革的新要求,存在诸多共同之处,归纳起来主要有四点。第一,面向社会需求确定人才培养目标,根据培养目标确定课程体系。第二,通过产教融合、合作教育等方式培养学生实践能力。第三,强调科教融合,通过研究性教学、项目式教学、本科生科研等方式培养学生的创新创业能力。第四,重视学科交叉,通过问题导向的课程、跨学科合作学习等培养学生的跨界整合能力。这些构成了新一轮工程教育改革的重要标准。事实上,我国传统的工程教育模式不能培养创新竞争所需要的人才,培养的学生实践能力不强,创新能力不足,跨界能力和适应能力较弱,无力承担引领产业转型升级的重任。新经济快速发展迫切需要新型工科人才支撑,需要高校面向未来培养具有创新创业能力和跨界整合能力的工程科技人才。应该说,这些新标准既可以发挥工科专业的传统优势,又能够弥补传统工科专业人才培养的弊端,在新一轮工程教育改革背景下引入这些新标准极具适切性。

三、调查结果的描述与分析

(一) 人才培养目标体系。

培养目标本身具有系统性和层级性。第一层是人才培养总体目标,决定人才培养工作的行动方向及水平层次;第二层是人才培养规格,即毕业生所需达到的基本要求;第三层是课程目标,即每门课程对学生达到毕业要求的贡献以及课程结束后将具备的能力。

1. 人才培养的类型和特性。

专业人才培养目标,是根据学校人才培养目

标的宗旨,结合时代发展需求和本专业使命,对本专业毕业生在毕业后5年左右能够达到的职业和专业成就的总体描述。总体来看,10所大学“电气工程”专业培养目标注重自然科学基础知识,并强调人文素养,要求学生具有国内外竞争力,重视创新能力、研发能力、实践能力,旨在使学生成为能从事科学研究、工程设计、技术开发、试验分析、系统运行、经济管理等方面工作的优秀人才。

分析发现,本科人才培养目标大多从人才的类型和特性两方面界定,以“培养××的人才”的方式进行描述。其中,人才类型是指以分类的方式表述人才的价值和定位;人才特性是指人才所具备的特征和品质。通过10所大学的“电气工程”专业人才培养目标与“新工科”所要求人才的类型和特性进行比对,可发现其异同之处。

(1) 人才类型:“新工科”要求人才培养具有多样化、个性化、创新型,而10所大学对人才培养的多样化、个性化的描述少。

新经济产业形态的多样性决定了工程科技人才的多样性,既要培养面向新一代信息技术、现代交通、航天等领域高端领军人才,也要培养面向劳动力密集的加工制造等领域的工程科技人才。个性化强调要充分考虑每个学生的个体差异,为学生提供自由发展的空间,这是培养学生创新创业能力和跨界整合能力的内在要求。^[3]10所大学“电气工程”专业描述了6种人才类型,根据出现频次高低,依次为“高级工程技术人才”“复合人才”“创新人才”“管理人才”“领军人才”“研究人才”。其中,浙江大学、华北电力大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学4所大学强调培养“复合型高级工程技术人才”,这与电气类专业培养目标的国家标准相吻合。浙江大学、重庆大学、哈尔滨工业大学3所大学提到要培养“高素质”、“高水平”人才,浙江大学同时提到要培养“创新人才”。有2所大学提到培养“管理人才”和“研究型人才”。但是这些大学基本没有提及要培养“个性化”人才,没有体现出“新工科”建设要求。

(2) 人才特性:“新工科”要求培养的人才具备创新创业能力和跨界整合能力,而10所大学对人才的创业意识和跨学科能力提及少。

新经济的一个突出特点是创新周期短,产业更新快,这要求工程技术人才必须具备创新创业的意识和能力。当前以“互联网+”为核心的新一轮科技和产业革命,具有极强的跨界渗透能力,面

对技术革命“学科交叉融合”的特征,工程科技人才应具有交叉复合特征,具备跨学科、跨产业的跨界整合能力。^[4]10所大学在人才特性的表述上存在一致性。如厚基础、宽口径、创新能力、科学研究与实践能力、国际视野、综合素质、人文素养等为大多数大学提及。首先,“基础”最受关注,几乎10所大学的人才培养目标均对基础有要求,如“基础扎实”、“基础宽厚”、“扎实的基础理论”等。其次是“创新”、“研究开发”和“管理能力”,9所大学的培养目标中有“创新能力”、“创新意识”、“创新精神”,9所大学提及“科学研究”、“技术开发”、“创新研发”,9所大学出现“经济管理”、“组织管理”、“技术管理”。再次是“国际视野”、“人文素养”和“实践能力”,7所大学提及“国际视野”、“国际竞争力”、“国际接轨”,7所高校提到“人文素养”、“人文与社会科学”、“社会科学素养”,华中科技大学、重庆大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学、上海交通大学5所大学提到“实践能力”。

虽然这些大学大都提到“创新意识、创新精神和创新能力”,但是只有西安交通大学提及毕业生要具有较强的“创业能力”,其他9所大学均未提及“创业意识或创业能力”,这与“新工科”建设的要求存在差距。至于“跨界整合能力”,无一大学提及,但大部分大学都描述了培养“具有较好自然科学基础、人文社科基础、管理科学基础、外语综合能力”的人才,这与“新工科”建设所倡导的“学科交叉融合”的跨学科能力截然不同。

2. 人才培养规格要求。

人才培养方案对毕业生的基本要求一般是具体条目化的人才培养规格,它与培养目标相呼应。我们整合了《面向2030工程师核心素质标准》^①、中国工程教育专业认证协会发布的《工程教育认证标准(2015版)》^②以及教育部高等学校电气类专业教学指导委员会制定的《电气类专业教学质量国家标准》^③中对人才培养的基本要求,归纳出16条“新工科”人才的核心素质通用标准。我们将10所大学“电气工程”专业人才培养基本规格要求与通用标准相比对,以寻找传统工科专业人才培养目标存在的问题及改进的方向。

多数大学将培养方案的基本要求描述为“培养要求”、“毕业要求”、“基本规格要求”等。西南交通大学的人才培养基本要求与《工程教育认证标准(2015版)》中提出的毕业要求完全一致。由图1可知,10所大学的工科专业普遍重视实践能

力、研发设计能力、问题分析能力、自主终身学习能力、人际沟通与团队合作能力。有50%的大学提及创新创业意识或能力,但大都只提“创新意识”,没有明确提及“创业意识或创业能力”。

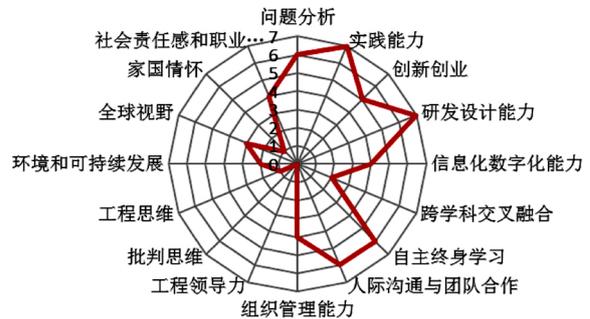


图1 10所大学“电气工程”专业本科人才培养规格要求与工程人才素质通用标准的契合度

10所大学在人才培养规格要求方面存在的突出问题有:第一,规格要求与培养目标脱节。比如“全球视野”很受重视,在人才培养目标中有7所大学提到学生必须具备“国际视野”、“国际竞争力”或“与国际接轨”,但在基本要求中,只有清华大学、华中科技大学、西南交通大学提及类似的要求。第二,工程核心素养缺失。“跨学科交叉融合”、“环境和可持续发展”、“工程思维”、“家国情怀”等出现频率较低;“工程领导力”和“批判思维”鲜有表述。第三,与“新工科”人才标准存在较大差距。“新工科”要求工程专业更加注重专业和产业对接,更加注重学科交叉,更加注重创新创业育人体系建设,更加注重以学生为中心,更加注重全球视野,更加注重家国情怀。^[5]但10所大学人才培养规格要求与“新工科”人才的核心素质通用标准仍存在较大差距。

3. 课程目标。

专业目标是通过每门课程的具体目标来实现,课程目标描述了每门课程对毕业生规格要求的支撑度和贡献度。课程体系与培养目标的内在相关性一般通过课程矩阵来表达,这样不但可以明确课程目标,而且有助于优化课程体系,提高目标达成度。10所大学中,只有重庆大学和华北电力大学的人才培养方案有所体现,前者的课程矩阵包括知识贡献、能力贡献和素质贡献^④(表2),后者的课程矩阵包括知识目标体系、能力目标体系和素质目标体系。

(二) 课程体系与教学内容。

1. 总体描述。

人才培养方案中的课程设置结构可通过纵向和横向来描述。纵向结构包括通识与公共基础课程、学科大类课程、专业课程、实践教学环节；横向结构分为必修课与选修课。

表 2 重庆大学“电气工程”专业课程目标矩阵

课程		新生研讨课	工程制图	
培养目标	知识贡献	K1	✓	
		K2		
		K3	✓	
		K4	✓	
	能力贡献	A1		✓
		A2		
		A3		✓
		A4	✓	
		A5	✓	
		A6	✓	
	素质贡献	Q1	✓	
		Q2		
		Q3	✓	✓
Q4		✓	✓	
Q5				

(1) 纵向结构课程。

通识与公共基础课程：为学生掌握最基本的学习技能、具备通用能力并为未来发展奠定基础而开设的课程。^[6]其必修课主要有思政类、外语类、计算机类、军训体育类等；选修课通常包括自然科学、人文社科等。

学科大类课程：学习本学科或本专业必须修读的基本理论、知识和技能的课程。通常是将专业基础课在学科范围内打通开设。^[7]“电气工程”专业的学科大类课程主要包括大学物理、电路原理、微积分、数字电子技术等。在 10 所大学的培养方案中，有 5 所大学将数学类课程归为公共基础课程，5 所大学将其划为学科大类课程。

专业课程：依据学科专业对人才培养的特殊要求而设置，体现专业特色，是本专业最重要的课程。“电气工程”专业的专业课程主要涉及电路、电机、电力系统分析、发电厂电气等多方面内容。

实践教学环节：把理论运用于实践而开展的课程。一般包括各类实验课程、电力系统专业课程设计和毕业设计、综合类实践，以及认识实习、生产实习、毕业实习、金工实习、专业实习等。

(2) 横向结构课程。

横向结构的必修课与选修课，是处于同一水平层次的课程。选修课是为满足不同学生需要和兴趣而开设、由学生自由选择并修读的课程。一

般来说，公共选修课是 10 学分左右，所占学分比例不高；专业选修课大多有 20 学分以上，由本专业学生选修。^[8]

2. 10 所大学课程结构描述。

10 所大学总学分的平均值为 170 学分(图 2)。其中，总学分最高的是华北电力大学(193.5 学分)，最低为西安交通大学(155 学分)。华北电力大学的通识与公共基础课程、实践教学环节的学分均高于其他学校，分别达到 81.5、42 学分。西安交通大学各类课程学分设置较少，另有 8 学分的课外实践没有计入总学分。电气类专业教学国家质量标准指出，本科总学时不宜超过 2800，总学分不宜超过 180，学时学分的设置应与学生能力相适应。华北电力大学学分过高，挤占了学生自主学习的时间和空间。

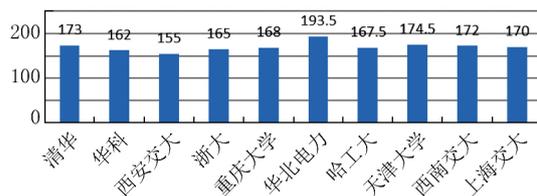


图 2 10 所大学“电气工程”专业总学分

(1) 课程的纵向结构。

总体而言，在 10 所大学“电气工程”专业人才培养方案中，通识与公共基础课程学分平均值为 54.7 学分，占 32.2%；学科大类课程学分平均值为 53.9 学分，占 31.7%；专业课程学分平均值为 33.7 学分，占 19.8%；实践教学环节学分平均值为 27.9 学分，占 16.4%(图 3)。根据电气类专业教学国家质量标准，理论课学分不多于 80%，实践课学分不少于 20%。由此可见，绝大部分高校仍是重理论、轻实践，学生的实践能力、创新能力和跨界整合能力难以得到有效培养。

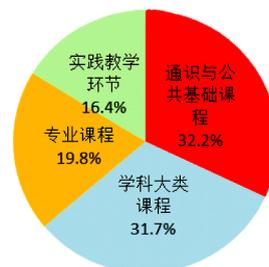


图 3 10 所大学“电气工程”专业四类课程学分占比平均值

通过进一步分析可以发现各大学之间四类课程的差异(图 4)。在通识与公共基础课程方面，

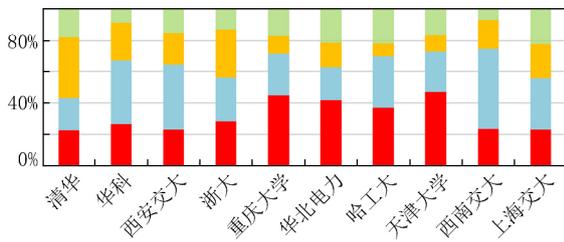


图4 10所大学“电气工程”专业四类课程学分占比。天津大学和重庆大学的学分要求最高，分别是82.5和81.5学分，在总学分中的占比达47.3%和44.9%；西安交通大学最低（36学分），在总学分中的占比为23.2%。天津大学设置了人文与社会科学、训练与健康、数学与自然科学三大类通识课程，要求学分自然很高。西安交通大学的通识与公共基础课程设置内容较少，仅有必修24学分，限选6学分，任选6学分。根据电气类专业教学国家质量标准，根据需要可以补充普通化学的核心内容和生物类基础知识，只有清华大学在通识与大类基础课程中设置了化学、生物相关课程。

在学科大类课程方面，西南交通大学学分最高，为87学分（占50.6%），清华大学学分最低，36学分（占20.8%）。西南交通大学此类课程中包含实验部分，设置了0.25~1不等的课内实践学分，使每门课程学分达3~4学分。清华大学此类课程设置简单，统称为“数学和自然科学基础课程”，包括7门数学课、4门物理课、1门生物/化学课，有34学分的专业基础课放置在专业相关课程中。电气类专业教学国家质量标准将学科大类课程分为工程基础类课程、专业基础类课程，建议至少占总学分的25%以体现数学和自然科学在本专业应用能力培养。这10所大学此类课程的学分占比都超过25%。

在专业课程方面，清华大学、西安交通大学、浙江大学学分要求较高，分别占38.7%、38.2%、31.5%，其中清华大学的学分要求最高，为67学分，主要因其将34个学分的专业基础课程由学科大类课程划归专业课程。总之，这三所大学对专业课很重视。天津大学和哈尔滨工业大学的学分要求较低，分别是18学分（10.5%）和13.5学分（8%）。

在实践教学环节方面，华北电力大学学分要求最高，为45学分（占22.9%），西南交通大学的学分要求最低，仅12学分（占7%）。华北电力大学的实践教学内容较为丰富，实验类课程单列，且

比其他学校学分高。西南交通大学部分实践课程列入了专业课程，且很多实验课直接列入理论课程部分而并未单列。

(2) 课程的横向结构。

10所大学“电气工程”专业以必修课为主、选修课为辅（图5）。必修课学分占比的平均值为81%，选修课学分占比的平均值为19%。其中，哈尔滨工业大学必修课程占比最高，达95%；华北电力大学必修课程学分要求最高，但其学分占比仅居第二，为84%。西南交通大学和浙江大学必修课占比最低，分别为70%和71%；选修课占比最高，分别达到30%和29%。根据国家有关政策，在设置必修课保证核心内容的前提下，应根据学校条件逐步加大选修课比例力度，各大学应不断推进选修课程，给学生更多选择机会，以满足不同人才的个性化需求，从而有利于创新人才培养。

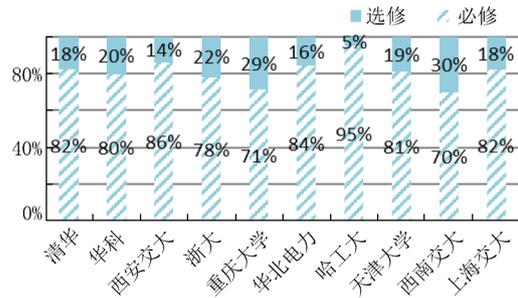


图5 10所大学必修课与选修课占比

3. 课程体系对实践能力、创新创业能力、跨界整合能力的支撑状况。

(1) 培养实践能力的课程。

这类课程以实践教学环节为主，还有部分大学的课外实践创新学分。综合分析，10所大学的实践教学环节（图6），主要包括实习类、设计类、实践类和实验类，这四大类的平均学分分别是5.8、16、4、2，在实践教学环节中的占比分别为22%、59%、13%、6%。设计类学分最高，实验类学分最低。其中，天津大学、重庆大学设计类学分占比最高，分别为85%、72%。华北电力大学的实验类课程占比明显最高，有15学分。

10所大学所界定的实践教学环节主要指课内实践环节，但也有课外学分（课外实践环节）。课内实践教学环节中，工程实践训练最为核心。比如西安交通大学工程坊的实习、华中科技大学针对工程实践的综合训练、哈尔滨工业大学的科技创新课程以及上海交通大学的工程实践与科技创新课程模块。课外实践环节通常体现在课外学

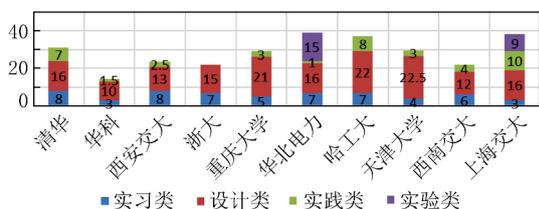


图 6 10 所大学实践教学环节各类课程学分占比。比如华中科技大学设置了 5 学分的课外学分,要求学生至少参加一次各类竞赛,或“大创”项目或专业教师的科研课题;重庆大学设置了第二课堂 2 学分,包括健康教育、社会实践、大学生科研训练计划(SRTP)学科竞赛等综合社会实践;西安交通大学也提出了课外 8 学分要求;浙江大学提出了第二课堂 4 学分要求。可见,这些高水平大学的电气专业十分重视通过分模块、分层次、课内课外相结合的多种方式提高学生的实践创新能力。

(2) 培养创新创业能力的课程。

这类课程主要指通过科研项目或科技创新项目来培养学生的创新能力的课程。华中科技大学将传统电气工程学科方向拓展到超导电力、等离子体、加速器强电磁工程领域,并将新的学科研究方向成果融入到人才培养中,形成了国际学科发展特色。重庆大学开设了研讨类特色课程,包括新生研讨课、电力系统污秽与覆冰绝缘、数字信号处理器及应用等,同时建议学科基础好的学生选修“科研训练”1 学分。哈尔滨工业大学设置了创新教育 2 学分,学生可通过以下途径获得:选修创新研修课程、创新实验课程;参加各类科技竞赛活动;申报并完成大学生创新创业训练计划项目;发表学术论文;协助教师完成教研或科研工作。天津大学设置了创新与研修类 3 学分,包括研究与创新课程 1 学分,跨学科选修课程和学生创新实践计划(PSIP)合计 2 学分。

(3) 培养跨界整合能力的课程。

随着人类知识生产方式的转型,部分学校开始注意跨学科、跨领域的知识融合,以培养学生的“大工程观”。当前,这 10 所大学主要通过开设个性化课程、文化素质课程等方式,培养学生的跨界整合能力。

第一,以个性化课程促进学生跨学科发展。10 所大学中,有部分大学开设了“个性化课程”。浙江大学的个性化课程有 14.5 学分,包括:一是学生可根据兴趣修读本专业推荐的专业选修课

程,也可跨大类自主修读其他大类的大类课程或跨专业自主修读其他专业的专业课程;二是学生在专业确认前多学的课程和学分;三是学生境内外交流学习所转换的课程、学分;四是各类综合性的分析类课程、工程设计类课程,以及各类具有学科专业特色的科研实践、人文成果、工程设计成果、学科成果等创新创造类课程。上海交通大学的个性化课程是指学生可任意选修的课程,需 20 学分;学分来源为除本专业培养方案中通识教育课程、专业教育课程、实践教育课程三个模块要求学分之外的所有课程的学分,如外专业实践环节选修课、本科生研究计划(PRP)、科技创新等。重庆大学的个性化课程体现在非限制选修课中,要求不低于 10 学分,如至少跨学科修读 1 门、不同方向的学生修读不同的课程等。

第二,开设文化素质课程。10 所大学中,有一半为学生设置了人文社科知识、经济管理知识、环境保护知识等相关课程,要求学生跨学科学习。清华大学文化素质课(理工类)包括文化素质核心课及新生研讨课和一般文化素质课,要求修满 13 学分。文化素质核心课及新生研讨课为限选,至少 8 学分,其中必须选修 1 门基础读写认证课;一般文化素质课程为任选。除新生研讨课外,其它划分为 8 个课组:哲学与伦理,历史与文化,语言与文学,艺术与审美,等等。西南交通大学的通识教育系列课程设置了 6 个模块:历史、文化与人文情怀课程模块,哲学智慧与批判思维课程模块,艺术体验与审美修养课程模块,等等,从 6 个模块中限选至少 4 个模块的 8 个学分。

四、结论与讨论

为了培养具有实践能力、创新创业能力和跨界整合能力的“新工科”人才,本研究依据新一轮工程教育改革的新要求,分析了 10 所高水平大学的“电气工程”专业人才培养方案,得到如下 4 个结论:

第一,人才培养目标缺乏工程核心素养,课程体系对培养目标的支撑度不够。整体来看,10 所大学的“电气工程”专业人才培养目标与培养规格之间缺乏连贯性,培养规格与“新工科”人才核心素养的新标准存在明显差距。人才培养目标主要是通过相应的课程体系来实现。国际通行做法是根据每门课程对培养规格的支撑度和贡献度,建立课程体系与培养规格之间的矩阵关系,有目的地对课程体系进行优化和整合。但是 8 所大学培

养方案没有说明如何通过具体的课程和教学环节来达成培养目标。

第二,实践能力的培养缺乏系统性和有效性。培养学生实践能力主要通过实践教学环节进行。多数大学将实践教学环节称为“集中实践环节”,包括课程设计、各类实习、毕业设计等独立设置的实践教学内容;而与理论课程相应的实践课程,一般是配合理论课程设置在理论课程中,以验证性等常规性实验居多。对10所大学的分析表明,整体的实践教学环节较为零散,它们之间的承接关系和结构联系不清晰,内容缺乏整体设计。而且学分要求偏少,10所大学实践教学环节学分占比集中在15~25%之间。

第三,创新创业能力发展缺乏保障。在10所大学的培养方案中,从培养目标到课程设置,几乎没有见到对学生创业意识和创业能力的要求和相应的相关课程。虽然每一个学校都很重视创新能力,但是其课程体系不利于创新能力培养。创新能力课程仍是少数且学分偏少,同时参加大学生创新创业训练计划项目的只是少数学生,受益面不大。而且从必修课与选修课的比例关系看,在10所大学“电气工程”专业的培养方案中,选修课在总课程中的平均占比为19%,比例过低,不利于学生个性化发展和创新能力培养。

第四,跨界整合能力培养缺乏课程支撑。跨界整合能力的培养需要跨学科课程来实现,当前跨学科课程存在的主要问题有:一是通识教育课程的融合性不够。在大学设置的通识与公共基础课程中,外语、计算机、体育、思政课程约占通识公共基础课程的70%以上,而真正的通识课程仅占10%左右。这些通识课程缺乏整体规划设计,只是不同学科课程的简单拼凑,并没有达到跨学科学习的实质性要求,学生难以形成跨学科综合的知识体系。二是通识教育课程仍以知识传授为主,缺乏对学生通用能力的训练,如语言表达能力、团队合作能力、设计创新能力等。通用能力的养成需要学生“做中学”。

面对新一轮工程教育改革,传统工科专业要抓住新技术创新和新产业发展的机遇,建议从以下4个方面改造升级:

第一,对标“新工科”的新要求科学制定人才培养目标,强化课程对培养目标的支撑度。^①根据“新工科”人才的通用标准制定传统工科专业人才培养目标和培养规格。加强产业结构分析和市

场调研,掌握产业发展最新的人才需求和未来发展方向,科学制定专业人才培养目标,使其与学校人才培养总目标相一致,同时将人才培养目标规格与课程体系相对应,通过课程学习达成目标。

②构建具有工程逻辑的模块化课程,明确每个模块课程群的核心知识和能力要求,以及对这些要求的有效考核方式;然后再确定模块课程中每门课程的目标、课程内容以及预期学习效果,做到与行业企业的紧密衔接,有效提升学生的社会适应能力。

第二,全方位、系统化构建实践教学体系,提高学生的综合实践能力。将实践教学内容与理论课程有机衔接,将学科竞赛、大学生创新创业训练计划与国家级实践平台建设相结合,从单元到系统、基础到综合、课内到课外、入门到创新,全方位构建实践教学体系。^①加强并优化校内实践教学环节,使其充分体现目的性、层级性、连贯性。首先,把学生通过实践所达到的能力和素质目标分解到各个实践环节中,使每个环节的教学都有明确的目的性;其次,根据学生的学习次第,设计难易适中的实践内容,增加设计性和综合性实验课程比例;再次,重视项目式教学,用大小不一的各种项目,将知识点串联,让学生通过做项目的实践过程,认识已知并探索未知,深入学习并建构自己的知识体系。^②以产品“构思、设计、实施、运行”的全生命周期为背景,深入实施产教融合、校企协同育人。行业企业要参与人才培养全过程,以提升学生适应能力与工程实践能力为目标,校企共同制定人才培养方案,共同搭建校外实践教学平台,共同打造“工程化”师资队伍。

第三,建立“创意—创新—创业”相融合的教育体系,增强学生的创新创业能力。^①加大选修课比例。西方发达国家选修课比例一般在总课程的1/3以上,甚至已达1/2。^[9]因此,我们有必要将选修课比例提高至30%左右,为学生提供更加多样化的学习空间,满足学生多元发展需求。^②实施个性化教育。个性发展的核心是创造精神和创造能力的发展。学校应“以学生为中心”,引导和帮助大学生发现自己的兴趣和潜能,从而明确自己的创新方向,增强创新能力。^[10]^③积极推进科教融合走入本科生课堂。要求教师把研究成果转变为课程内容,为学生提供最前沿的学科知识;鼓励本科生参与科学研究活动,得到科研训练,达到提高科研素质、培养创新能力的目的。^④大力开

展创新创业教育。将创新创业教育、特别是创业教育纳入培养方案,设置相当的学时学分。从课堂、实践教学平台、众创空间、创业孵化基地等多方面对学生进行创新创业的知识教育、能力教育、素养教育。以创意驱动创新,以创新带动创业。鼓励学生积极参与创新创业活动,将创意设计转变为创新成果,最终实现成果的产业化应用。

第四,以“解决复杂工程问题”为导向整合不同专业课程,培养学生的跨界整合能力。科技快速发展所需的人才要具有“大工程观”,关键在于培养学生解决复杂问题的意识和能力,这也是新一轮工程教育改革的核心。因此,要以“解决复杂工程问题”为导向整合课程,打破学科专业壁垒,科学设置通识教育课程和跨专业课程,将相关学科知识系统性重组,打通工程多学科的关联以及产业链之间的关联,超越专业之外,注重与社会生活的联系、与文化的联系,使得工程科技人才在行业专精的基础上,进一步拥有跨行业、跨学科的知识储备。同时,要从学校层面进行顶层设计,加快组织管理变革,建立跨院系、跨学科、跨专业交叉培养人才的新机制,建立跨学科组织,开展跨学科项目,开设跨学科课程。

注 释

- ① 天津大学钟登华校长于2017年4月8日在全国工科优势高校新工科建设研讨会上做了题为《新工科建设路线图》的报告,谈到《面向2030工程师核心素质标准》,指出了未来的卓越工程人才所需具备的10种能力和素质,分别是:(1)家国情怀。(2)创新创业。(3)跨学科交叉融合。(4)批判性思维。(5)全球视野。(6)自主终身学习。(7)沟通与协商。(8)工程领导力。(9)环境和可持续发展。(10)数字化能力。
- ② 中国工程教育专业认证协会发布的《工程教育认证标准(2015版)》中提出,专业制定的毕业要求应完全覆盖以下12项内容:(1)工程知识。(2)问题分析。(3)设计/开发解决方案。(4)研究。(5)使用现代工具。(6)工程与社会。(7)环境和可持续发展。(8)职业规范。(9)个人和团队。(10)沟通。(11)项目管理。(12)终身学习。
- ③ 教育部高等学校电气类专业教学指导委员会制定的《电气类专业教学质量国家标准》中,人才培养基本要求,业务方面的要求有10条,分别是:(1)具有良好的人文社会科学素养、有社会责任感和工程职业道德。(2)具有从事电气工程专业所需数学、自然科学以及经济和管理知识。(3)掌握电气工程基础理论和专业知识,具有较系统的工程实践学习经历;了解电气类

专业的前沿发展现状和趋势。(4)具备设计和实施工程实验的能力,并能够对实验结果进行分析处理。(5)具有追求创新的态度和创新意识;具有综合运用理论和技术手段设计系统和过程的能力,设计过程中能够综合考虑经济、环境、法律、安全、健康、伦理等制约因素。(6)掌握文献检索、资料查询和运用现代信息技术获取相关信息的基本方法。(7)了解与电气类专业相关行业的生产、设计、研究与开发、环境保护和可持续发展等方面的方针、政策和法律、法规,能正确认识工程对于客观世界和社会的影响。(8)具有一定的组织管理能力、表达能力和人际交往能力以及在团队中发挥作用的能力。(9)对终身学习有正确认识,具有不断学习和适应发展的能力。(10)基本掌握一门外语,具有国际视野和跨文化的交流、竞争与合作能力。

- ④ 重庆大学“电气工程及其自动化”专业课程对培养目标的贡献度:(1)知识贡献:K1:良好的人文社会科学和经营管理科学知识;K2:较为扎实的数学、物理等自然科学知识;K3:扎实的电气工程学科基础理论与基本知识;K4:电气工程领域内1~2个方向的专业知识。(2)能力贡献:A1:电气工程领域内所必需的专业技能;A2:分析并解决电气工程实际问题的基本能力;A3:较好的外语综合能力和计算机应用能力;A4:一定的组织管理能力、交流沟通能力和团队协作精神;A5:较好的口头与文字表达能力;A6:自主学习及获取知识的能力。(3)素质贡献:Q1:远大的理想、宽阔的视野、强烈的进取心;Q2:高尚的情操、健康的体魄、健全的人格;Q3:较强的社会责任感和良好的职业道德;Q4:善于思考,勤于钻研,富有探索和创新精神;Q5:良好的心理素质,面对挫折和困难乐观向上。

参 考 文 献

- [1] 郑继兵,王绍峰. 从人才培养方案透视高校专业建设的困境及出路[J]. 江苏高教, 2013(1): 45-47.
- [2] 中国教育科学研究院. 中国STEM教育白皮书[M]. 2017-6-20.
- [3][5] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [4] 吴爱华、侯永峰、杨秋波、郝杰. 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.
- [6] 陈飞. 应用型本科教育课程调整与改革研究[D]. 华东师范大学博士论文, 2014, 75.
- [7][8] 李璐丹. 高校课程设置优化研究[D]. 河南大学硕士论文, 2015, 17.
- [9] 张忠华. 关于大学课程设置的三个问题[J]. 大学教育科学, 2011(6): 30-34.
- [10] 刘献君. 高等学校个性化教育探索[J]. 高等教育研究, 2011(3): 1-9.

Challenges and Countermeasures of Traditional Engineering Majors under the Background of Engineering Education Reform

Bai Yixian, Liu Chang'an, Ai Xin, Liao Siling

Abstract: In the face of a new round of engineering education reform triggered by the scientific and technological revolution and industrial reforms, this study proposes new standards for the new round of engineering education reform combining the connotation of STEM education and the standards for the construction of “Emerging Engineering”. According to these standards, the “Electrical Engineering and Automation” professional talents training program is taken as the research object to discuss the transformation and upgrading of traditional engineering majors, focusing on the implementation of “practical ability, innovation and entrepreneurship and interdisciplinary integrating abilities” in personnel training objectives and course systems. It is found that engineering core qualities are lacked in the personnel training objectives, to which the support of the curriculum system is insufficient; the cultivation of practical ability is not systematic; the development of innovation and entrepreneurship ability is not guaranteed, and curriculum support for the interdisciplinary integrating ability training is lacked. Therefore it is recommended that the new requirements for the “New Engineering” should be formulated scientifically and the support for the training objectives should be intensified; the practical teaching system should be constructed in a comprehensive and systematic way to improve students’ comprehensive practical ability; an integrated education system of “creativity-innovation-start-up” shall be established to enhance students’ innovation and entrepreneurship abilities; different professional courses oriented at “solving complex engineering problems” should be integrated to cultivate students’ interdisciplinary integrating capabilities.

Key words: engineering education reform; traditional engineering; electrical engineering and automation; talent training program

(责任编辑 莫宇元)