

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.04.009

欢迎按以下格式引用:易贝贝. 回应到引领——美国工程教育与产业结构关系研究[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(4): 57-64.

回应到引领

——美国工程教育与产业结构关系研究

易贝贝

(华南理工大学 高等教育研究所, 广东 广州 510642)

摘要:工程教育与产业发展相互支撑、紧密联系,培养经济社会发展需要的工程人才是工程教育的使命,也是产业发展需要。以美国工程教育发展历程和产业结构发展视角,融入美国工程教育范式的演变,概括出从1783年到1990年,即美国工程教育技术范式初级阶段到科学范式的过程中,美国从农业大国转变成以第三产业为主的信息化大国,工程教育与产业结构的关系经历了回应、适应、带动三个阶段,并推导出1990年至今,即第四次产业革命下,回归范式的工程教育理应引领产业结构发展。

关键词:工程教育;产业结构;关系

中图分类号:G649.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2020)04-0057-08

工程是人类生产生活的伟大创造,为人类的生存与发展奠定了坚实的基础,工程的历史是人类文明进化史,工程推动社会进步,工程教育增进人类福祉^[1]。工程教育与产业发展紧密联系、相互支撑,工程教育给产业发展提供人才支撑,带来产业升级,产业发展也将影响工程教育方向^[2]。Crawley等人根据美国工程教育重心从实践到科学,再到实践与科学融合的转变,总结了美国工程教育经历了技术范式、科学范式和工程范式^①。技术范式形成于19世纪50年代后的工业发展初期,主要特点是重视工程实践,强调技术应用;科学范式主导20世纪50年代到90年代,主要特点是高度重视科学,强调工程科学和理论;工程范式出现在20世纪90年代以后,主要特点是工程教育理念的系统性和整体性,强调理论和实践两个维度间的平衡。文章基于美国工程教育发展历程和产业结构发展视野,融入美国工程教育范式的演变,概括出在技术范式初级阶段到技术范式的发展中,工程教育和产业结构之间的关系,而在科学范式阶段,工程教育带动产业结构,并拟探讨第四次产业革命下的回归范式阶段工程教育与产业结构之间的关系。

修回日期:2019-08-16

基金项目:2019年度华南理工大学高等教育研究基金项目“区域产业集群与学科集群融合之路径研究”(gj2019008)

作者简介:易贝贝(1996—),女,华南理工大学高等教育研究所读硕士研究生,主要从事高等工程教育研究,(E-mail)18673438998@163.com。

① 资料来源 Edward F. Crawley, Johan Malmqvist, Soren Ostlund, Doris R. Brodeur: Rethinking Engineering Education—the CDIO Approach. 2007.

一、工程教育回应产业结构(1783—1861年)

1783年美国与英国签订《巴黎和约》,标志着美国独立战争的结束,此后美国处在战后恢复的过程。以瓦特蒸汽机发明为标志的第一次产业革命在英国爆发,美国在这一技术的扩散和转移中获利,通过对蒸汽机新技术的学习与改良,纺织制造业成为美国产业的领头羊。根据1860年十个制造产业的增值贡献,棉花制品的生产增值最高达到55百万美元,机械制造业达到33百万美元^②。在工业化之初纺织业发展迅速,因为纺织机器的使用相对简易,不需要劳动者掌握较多技巧,而机械制造业对劳动者的工程能力要求较高,需要劳动者接受系统训练。

1800年到1860年,总劳动力、农业劳动力和制造业劳动力人数持续增加,如下表1所示,农业劳动力占总劳动力的比例一直下降,而制造业劳动力占总劳动力的比例则一直上升。由产业劳动力人数比例可看出,技术的开发与使用使美国从传统农业大国转变成以农业和制造业为支柱性产业的国家。

表1 1800—1860年劳动力分布(%)

年份	总数	农业	非农业	制造业	服务业	其他
1800	100	74.4	25.6			
1810	100	72.3	27.7			
1820	100	71.4	28.6			
1830	100	69.8	30.2			
1840	100	67.2	32.8	8.9	17.9	6.0
1850	100	59.7	40.3	14.0	19.7	6.6
1860	100	55.8	44.2	14.5	23.3	6.4

注:表中数据引自 Stanley Lebergott, Manpower in Economic Growth :The American Record since 1800. p510

制造业的突起改变美国的产业结构,制造业的发展有赖于美国对劳动力进行的工程教育,美国工程教育处在技术范式阶段,技术范式的形成是为了适应农业经济时代和工业经济时代初期的简单生产需要^[3]。初期发展依赖于“师徒制”,随着西点军校的出现,工程教育正式进入规范化的学校舞台。此类军工学校招聘物理学、工程学和数学领域的教师编写学科教材,培养工程人才。19世纪美国建造的铁路、运河等大型工程中有30%以上的工程师来自这些军工学校^[4]。西点军校是美国工程教育的开端,而伦塞勒理工学院是美国第一所工程学校。伦塞勒理工学院创办的使命是让教师指导农民或机械师,将工程学、哲学和自然科学应用到农业、制造业等领域以促进经济的发展^[5]。在伦塞勒理工学院学校历史(1824—1934)中谈到:土木工程师是工程的首要指导力量,应用于运河、铁路、蒸汽轮船、水力涡轮机、蒸汽动力、隧道、桥梁等领域,1825年设立土木工程系并授予土木工程学士学位,并给出学校课程大纲,包括土地测量、流体力学、铁路桥梁指导等课程。1824年到1933年,学校有5054名毕业生,2892名是工程类毕业生,其中包括23名采矿工程师,5名绘图工程师,569名机械工程师,909名电气工程师和401名化学工程师^[6]。西点军校与伦塞勒理工学院为

②数据来源 Manufactures English Census of United States, 1860, vol. 3

美国的经济的发展培养了一大批工程技术人才,并成为美国其他高校工科教育发展的榜样。

美国在 1783 年到 1861 年,即独立战争结束至南北战争开始之前,从农业大国转变成以农业和制造业为支柱性产业的国家,初期工业化的萌发实质是技术的进步,蒸汽机的发明给予工业化的生产以推动力,运河、铁路、桥梁的出现加快了工业化的实现。技术上的超越是产业结构转变的坚实基础,然而只有人才的开发才有技术上的超越。美国工程教育处在技术范式初级阶段,技术范式的形成是为了适应农业经济时代和工业经济时代初期的简单生产需要,第一次产业革命下农业和工业都面临着扩张、技术人才匮乏的困境,而工程教育刚刚步入规范化的学校舞台,在应对这一困境中处于被动地位,由师徒制实现技术培训带来蒸汽机的广泛传播,伦塞勒理工学院等第一批工程学校的出现,土木工程系及相应课程、师资和学士学位的设立有助于工程技术人才的培养,促成了铁路、桥梁等工程的广泛建造,加快了工业化进程。综上技术范式初级阶段下的工程教育回应产业结构突变带来人才需求的变化,萌发技术人才培养路径,或技术培训或系统工程教育,为当时美国的产业发展提供了人才补充。

二、工程教育适应产业结构(1861—1945 年)

1861—1945 年,即南北战争开始到二战结束,战争推动了美国的工业化进程。其一,南北战争废除奴隶制,将奴隶从强制性劳动中解放出来,其二,战争大幅度增加对军械、军服、军鞋、货车等产品的需求。1870 年后,以电力使用为显著标志的第二次产业革命在德国、美国、英国等国爆发。电力代替蒸汽,机械需要重塑,带来重工业的兴起,美国汽车产业巨头——福特汽车公司于 1903 年成立,在 1913—1914 年间,福特公司共生产 248 307 辆完整汽车,平均每个工作日生产近 800 辆汽车,每 36 秒生产一辆^[7],到 1923 年达到每 15 秒生产一辆 T 型车,生产率翻番。

表 2 1860—1914 年重点制造行业价值增长

制造行业	1860 年	1914 年	1914/1860	人均
	价值增加 (百万美元)	价值增加 (百万美元)		1914/1860
印刷业	22.6	668	29.6	10.1
机械	50.4	949.2	18.8	6.4
交通设备	27.7	498.6	18.0	6.1
石油	15.5	270.8	17.5	6.0
食物	104.5	1619.6	15.4	5.3
纺织品	108.2	748.2	6.9	2.4
皮革	75.6	353.4	4.7	1.6
其他	25.8	411.4	15.9	5.4
所有制造业	767.2	9607.8	12.5	4.3

注:表 2 中数据引自乔纳森·休斯,路易斯·P.凯恩. 美国经济史第七版 P537

由表 2 可知,在制造行业中,除日需食物外,占价值增加比例最大的是机械,约占所有制造业的 10%。1860 年美国总人口约 3 150 万,1914 年总人口约 9 240 万,人口增长 2.93 倍,最后一列可理

解为行业增长相较于人口增长速度的比例,每个制造行业价值增长比人口增长快,印刷业快10倍,皮革行业快1.6倍,说明涌入制造业市场的劳动力少部分是人口增长所致,将近40%来源于非制造业劳动力的加入。在这一过程中,以农业和制造业为支柱性产业的美国成长为以制造业为主的工业大国。

第二次产业革命对技术人才的质量和数量提出更高需求,美国联邦政府在1862年颁布《赠地法案》,通过土地赠予资助兴办大学,大学主要教授机械工艺、农学和军事战术,提供日常生活直接相关的实践教学^[8]。美国工程教育的另一重大举措是建立一批机械工程学院,培养满足社会需求的技术人才,伍斯特理工学院是美国最早的技术大学之一,也是最出名的一所^[9]。随着电灯、电动机、电站不断涌现,伍斯特理工学院成立电气工程系,以电力课程教学为重点,并辅以电气化铁路和高压工程等新兴技术课程。从高压变压器到无线电和声学的突破性发展,再到机器视觉、无线数据通信、超声波、全球定位系统等多领域前沿研究,无不渗透电气工程系的贡献。除此之外,随行业萌生而初创的大学也崭露头角,汽车制造业的蓬勃发展催生了汽车行业学院(现如今的凯特林大学)^[10],专门负责培训汽车行业的工程师和管理人员。这些学院的兴起,为美国的经济增长培养了大批技术人才和工程师。

1861年到1945年,美国在电力时代背景下不断学习、发明,迎来了工业的蓬勃发展,收割机、钢犁推动传统农业向现代农业转变,汽车工业、石油工业、化学工业等新兴产业的兴起,标志着以农业和制造业为支柱性产业的美国蜕变成工业大国,产业结构的突变随之也带来工程人才需求的变化。在这一时期美国工程教育处在技术范式阶段,1862年美国联邦政府颁布《赠地法案》,带来了工程教育规模的迅猛发展。法案实施前美国仅有不到10所工程院校,1885年快速发展到85所,除了大力开办工科院校和行业大学之外,曾经被传统大学一致摒弃的工程技术课程开始走上大学课堂,耶鲁大学、哈佛大学、密歇根大学等先后增设了土木、机械、运输等课程。工程教育的扩张,也表现在工科院系在读生的急剧增加,《赠地法案》实施后的30年内增加了近3万名工程类毕业生,这些工程类人才投身于各类工厂、工业实验室以及教育部门,参与并承担了各项工程项目的建造实践。综上所述,技术范式下的工程教育为适应第二次产业结构突变带来的工程人才需求变化,出现了一批赠地大学、机械工程学院和行业大学,培养了大规模工程人才,为美国经济发展提供人才支撑。

三、工程教育带动产业结构(1945—1990年)

20世纪50年代,以原子能和电子计算机为标志的第三次产业革命在美国爆发,带来行业颠覆性变革。1940年,第一产业劳动力占总劳动力的比值为17.4%,第二产业占39.0%,第三产业占43.6%。而在总劳动力翻三番的1990年,第一产业占总劳动力的比值为1.6%,第二产业为26.4%,第三产业为72.0%^③。第一产业就业率显著下降,第二产业中精密制造工人数量增加,第三产业管理者、专业人员、服务人员大幅度增加。1947年到1987年国内生产总值和各个行业的平均变化率显示^④,包括信息服务业、金融商业服务、教育服务业在内的第三产业一直保持稳定增长,所占份额较

③ 数据来源于 Historical Statistics, series Ba 1159—1359; Statistics Abstract, 2001, table 593; 2006, table 604

④ 数据来源于 U. S. Bureau of Economic Analysis

大。制造业 GDP 呈现逐年递减趋势,但平均仍达到 3.5%,在制造业的耐用品工业生产指数中,电子机械的增值最大达到 2 100 百万美元。电子机械的制造依赖于信息业的发展,信息业的蓬勃发展辐射制造业,并随着半导体工业、计算机和软件工业的出现,信息技术发展迅速,在这三个电子领域,美国最早扮演国际领导者角色。

第一产业到第三产业的不间断过渡是发达国家产业发展的典型模式,生产率提高,第一产业就业比例减少,第二产业的一些工作岗位也可由第三产业的巨大扩张来替代。当一个国家聚焦于经济稳步增长,伴随而来的是基础设施的优化,如学校、医院、公共服务、通信系统、政府机构等都将会增加第三产业劳动力需求。这也正式宣告美国从一个以制造业为主的工业大国发展成为以第三产业为主的信息化大国。

电子计算机的发明带来第三次产业革命,第一台电子计算机——电子数字集成计算机(ENIAC Electronic Numerical And Calculator)于 1946 年在宾夕法尼亚大学问世。在战争期间,迫切需要能够准确计算出炸弹和导弹速度和运行轨迹的工具。当时国防部资助宾夕法尼亚大学成立“工程、科学、管理、战争培训(ESMWT)”课程实验室,也帮助其与军方弹道研究实验室(BRL)达成合作,促成第一台计算机 ENIAC 的问世^[11]。ENIAC 问世不久,IBM 公司开始研制计算机,晶体管代替真空管,更轻便、更实惠、性能更高的计算机开始出现。计算机的出现与使用有跨时代的意义,为原子弹、航空航天提供强有力的技术支撑。麻省理工学院(MIT)创办于 1861 年,是一所在《赠地法案》扶持下的实践型工科大学,它的首要目标是培养实用职业工程师。麻省理工学院工程教育经历了具有代表性的变革,变革的背后反映了美国工程教育的变化趋势。技术范式主导下的工程教育较为忽视科学知识的学习,然而随着科学技术进步,工业界迫切需要能为以科学为基础的技术和产业做出创造性贡献的工程师,所以这一时期主张工程教育向强调科学知识的科学范式转变。于是康普顿校长将麻省理工学院从一所为产业培养即用型工程师的理工科学院改革成完全的研究型大学^[12]。

1945 年—1990 年期间,不同于技术范式阶段的工业技术革新与发明,此时的发明事业已经日益复杂,发明者必须接受过高质量的科学教育和科学方法训练才能获得更大的成就,为此,工程教育开始注重科学研究,强调工程教育质量的提升。高校培养高质量科学人才和工程师从事科学研究,也相应诞生了具有科研实力的实验室和研究中心,如:宾夕法尼亚大学的工程、科学、管理、战争培训(ESMWT)中心,发明了第一台计算机,间接带来第三次产业革命。在这一过程中,工程教育的主体地位从被动转向主动,它不仅仅是经济和产业发展的产物,更大程度上已经成为产业结构转变的重要前提。产业结构的突变带来工程教育规模的蓬勃发展和质量的快速提升,而工程教育反过来影响产业结构,一个良性“产业结构—工程教育—产业结构”循环系统的形成标志着美国经济的腾飞。综上科学范式下的工程教育带动产业结构变化,使美国从一个以制造业为主的工业大国发展成为以第三产业为主的信息化大国。

四、工程教育引领产业结构(1990 年至今)

1783—1990 年,美国工程教育经历了回应产业结构、适应产业结构与带动产业结构三个阶段,在第四次产业革命的背景下,工程教育的趋势指向引领产业结构。1990 年美国为改革“过度工程化”的

工程教育体系,开始“回归工程运动”,工程教育经历从工程教育科学范式到工程模式的回归,建立融科学、技术、非技术知识、工程实践为一体的“大工程”教育模式^[13]。21世纪“大工程”模式进一步演变为 CDIO(Conceive—Design—Implement—Operate;构思—设计—实践—运行)工程教育模式。美国工程教育在引领产业化的道路上付诸实践。硅谷之父——特曼,在任职斯坦福大学工程学院院长期间提出“优先合作项目”,允许企业员工到斯坦福大学攻读在职硕士学位,吸引其参与大学科研活动。斯坦福大学与硅谷建立了紧密的校企合作模式,斯坦福大学为硅谷创造世界领先高科技公司提供重要技术与理论支撑,而公司的建设促进大学发展,它为学生提供发展道路,为技术提供市场,为新研究合作提供伙伴。同时,美国是世界上最早将创业教育纳入工程学院课程的国家,斯坦福大学是创业型大学代表。斯坦福大学通过创新创业活动推动经济增长,目前在运作的企业中与斯坦福大学有关的约有 39 900 家,若这些企业组成独立的国家,其经济总量可以占到全球第十^[14]。随着第四次产业革命的到来,大数据、新能源、新材料、人工智能等新一代技术层出不穷,麻省理工学院在此背景下实施新一轮工程教育改革计划,经过长时间的调研,最终于 2017 年 8 月启动新工科改革第一轮计划(2017—2020 年),即“NEET(New Engineering Education Transformation)计划”,旨在重构麻省理工学院的工程教育教学,从根本上对工程教育进行一次系统性的反思和变革,变革的重点集中在学生的学习方式和学习内容上,指出工程教育应以育人为本,从关注当前产业界发展转向关注未来产业界发展,面向未来的新机器与新工程体系。工程教育回归范式实现从工程教育实践的回归到工程教育育人本质的回归^[15]。

近年来,美国经济呈现低速增长态势,在各行业中第三产业对经济的贡献最为突出。近五年金融业、专业服务和商业服务业、教育医疗服务业贡献值高达 41.3%,而制造业的贡献率为 11.58%^⑤。但在第四次产业革命的背景下,技术变革对特定行业产生严重影响,如新能源供应和技术对能源、基础设施和流动工业产生影响;大数据处理能力对信息和通信技术、金融服务和专业服务产生影响,表 3 为各大变革驱动力对行业的影响。

表 3 行业驱动因素及影响率

变革驱动力	影响率/%
移动互联网与云技术	34
大数据和计算能力	26
新能源供应和技术	22
物联网	14
共享经济和共享平台	12
智能机器人与自主运输	9
人工智能与机器学习	7
先进制造和 3D 打印	6
先进材料与生物技术	6

注:表中资料来源于 2016 世界经济论坛报告 The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution

⑤ 数据来源于 U. S. Bureau of Economic Analysis

但关于变革对行业的影响往往是一分为二的,既有新工作机会的出现,也有大规模工作被替代的可能。按照目前趋势,2020年劳动力市场预计总共损失710余万个工作岗位,总增加200余万个工作岗位。办公室白领面临被大量削减的风险,计算机、数学和工程相关领域将强劲增长,就业增长将来自小规模的高技能工作集群,然而也无法承受来自其他劳动力市场的就业损失,国际劳工组织估计至2020年全球有可能增加1100多万失业人数^[16]。第四次产业革命带来的变化如飓风,而工程教育犹如一道屏障,目前这道屏障还没有足够的力量抵挡飓风,工程教育要达到完全引领产业结构的目标,在工程教育变革上仍需付诸努力。

五、结语

从美国工程教育发展历程和产业结构发展视野,融入美国工程教育范式的演变,概括出美国1783年到1861年,从农业大国转变成以农业和制造业为支柱性产业的国家,技术范式初级阶段下的工程教育回应产业结构突变带来人才需求的变化,萌发技术人才培养路径,为当时美国的经济提供人才补充。回应阶段,工程教育处在初生期主要培养技术人才,产业结构以农业为主,制造业为辅;1861年到1945年,在电力时代的背景下,以农业和制造业为支柱性产业的美国蜕变成工业大国。技术范式下的工程教育为适应第二次产业结构突变带来的工程人才需求变化,萌发一批赠地大学、工程学校和行业大学,大规模培养工程人才,为美国经济发展提供人才支撑。适应阶段,工程教育处在规模扩张发展期,产业结构以制造业为主;1945年到1990年,科学范式下的工程教育注重科学研究,强调人才质量,研究型大学培养高质量科学人才和工程师从事科学研究,间接带来第三次产业结构突变。工程教育带动产业结构发展,使美国从一个以制造业为主的工业大国发展成为以第三产业为主的信息化大国。带动阶段,工程教育处在提升质量的发展期,产业结构以第三产业为主。由前三次产业革命与工程教育的关系推导出第四次产业革命下的今天,育人本质回归范式下的工程教育理应引领产业结构发展。该阶段工程教育应处在成熟期,保障规模与质量的双重提升,引领产业结构呼应新产业革命。

参考文献:

- [1] 邱勇. 工程教育论坛上的讲话“工程教育:为了人类更美好的家园” [EB/OL]. (2018-09-25) [2019-06-08] https://www.sohu.com/a/255902671_372409.html.
- [2] 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.
- [3] 叶民,叶伟巍. 美国工程教育演进史初探[J]. 高等工程教育研究,2013(2):109-114.
- [5] Blatchford Lansingburgh. Van Rensselaer to Blatchford [EB/OL]. (2017-06-19) [2019-03-08]. <https://archives.rpi.edu/van-rensselaer-to-blatchford-nov-5-1824-transcript/.html>.
- [6] PALMER C. RICKETTS. HISTORY of Rensselaer Polytechnic Institute (1824—1934) [M]. Pittsburgh: American Academic Press, 1934.
- [7] 张小兰. 美国汽车产业的创新发展经验和启示[J]. 中外企业家,2011(5):91-94.
- [8] Washington State University. What Is A Land-Grant College? [R]. Washington: Washington State University, 2011.
- [9] 孔寒冰,叶民,王沛民. 多元化的工程教育历史传统[J]. 高等工程教育研究,2013(5):1-12.
- [10] Kettering University. About Kettering [EB/OL]. (2017-12-09) [2019-06-08] <https://www.kettering.edu/.html>.

- [11] Penn Engineering. ENIAC at Penn Engineering [EB/OL]. (2018-08-23) [2019-06-08] <https://www.seas.upenn.edu/about/history-heritage/eniac/>.html.
- [12] [美] 戴维·凯泽. 决策时刻 麻省理工学院的成长历程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [13] 谢笑珍. “大工程观”的涵义、本质特征探析[J]. 高等工程教育研究, 2008(3): 35-38.
- [14] 丽贝卡·S. 洛温. 创建冷战大学 斯坦福大学的转型[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [15] 肖凤翔, 覃丽君. 麻省理工学院新工程教育改革的形成、内容及内在逻辑[J]. 高等工程教育研究, 2018(2): 45-51.
- [16] The Future of Jobs Employment. Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution[R] 2016.

Responding to leading: Research on the relationship between American engineering education and industrial structure

YI Beibei

(*Institute of Higher Education, South China University of Technology, Guangzhou 510642, P. R. China*)

Abstract: Engineering education and industrial development are mutually supportive and closely linked. The cultivation of engineering talents needed for economic and social development is the mission of engineering education and industrial development. Based on the development history of American engineering education and the history of industrial structure development, integrating into the evolution of American engineering education paradigm, the paper summarizes the process from the first stage of the American engineering education technology paradigm to the scientific paradigm from 1783 to 1990, the United States has transformed from a big agricultural country to an information country. And the relationship between engineering education and industrial structure has undergone three stages of response adaptation and leading. And derived from 1990 to the present that is under the fourth industrial revolution the engineering education of the return paradigm should lead the development of industrial structure.

Key words: engineering education; industrial structure; relationship

(责任编辑 梁远华)