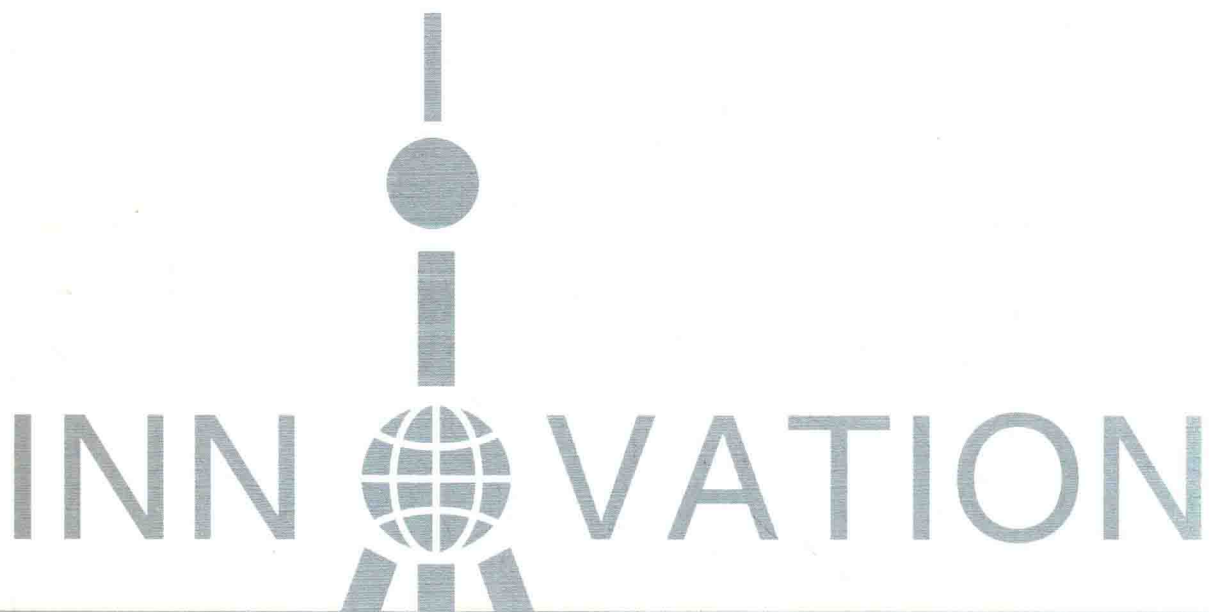


INN VATION

全球科创中心
出版工程

总主编 姜斯宪



面向21世纪的 工程教育

翁史烈 黄震 刘少雪 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

INNOVATION

全球科创中心
出版工程

总主编 姜斯宪

教育部人文社科研究重大项目：
“研究型大学工程科技人才培养体系研究”

INNOVATION

翁史烈 黄震 刘少雪 著

面向21世纪的 工程教育



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书回顾了美国与欧洲主要发达国家的工程教育改革,总结了百年交大工程教育的改革与实践,从工程教育理念、工程人才培养体系、工程科技能力培养的教學方法、工程实践环境、学习效果评价和基于慕课及混合式教学的工程教育改革等方面入手,对 21 世纪我国工程教育发展面临的问题与机遇进行了分析与讨论,为发展适应时代要求的工程教育新模式进行了探索。

图书在版编目(CIP)数据

面向 21 世纪的工程教育/翁史烈,黄震,刘少雪著.

—上海:上海交通大学出版社,2016

ISBN 978-7-313-14182-8

I. ①面… II. ①翁… ②黄… ③刘… III. ①高等教育—工科(教育)—研究—中国 IV. ①G649.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 289956 号

面向 21 世纪的工程教育

著 者:翁史烈 黄 震 刘少雪

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海景条印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

字 数:154 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-14182-8/G

定 价:58.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:13

印 次:2016 年 3 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-59815625×8028

序 一

21 世纪是个充满挑战和机遇的时代,以信息技术为核心的新一轮科技革命正在孕育兴起,“互联网+”日益成为创新驱动发展的先导力量,有力地推动着社会发展。

当今的工程已经成为科学、技术、市场、管理等各方面的高度结合体,现代社会对工程师的要求已远远超越了传统意义上的工程师,社会对工程师的需求呈现立体化趋向。面对日新月异的科技发展与对工程教育越来越高的要求,欧美发达国家政府、大学及有识之士,对未来的工程教育改革倾注了很大精力,不断探索面向未来的工程教育新理念与更加有效的教育、教学方法,并不断将新技术、新进展融入工程人才培养过程中,使现代工程教育比以往任何时候都更加有活力。

新中国成立以来,工程教育一直是我国高等教育体系中最重要的重要组成部分,为国家的经济发展和综合实力提升做出了巨大贡献。面对新的时代形势,我国工程教育的发展面临

新的机遇与挑战。

本书是在上海交通大学前校长翁史烈院士和上海交通大学副校长黄震教授带领下完成的。翁校长是上海交通大学第 37 任校长,对工程教育实践及研究有着深刻的理解和丰富的经验,一直以来,他对国内外工程教育改革和发展趋势也保持了高度关注。黄震副校长曾经分管学校的教育教学工作,是我校工程教育发展和改革的亲历者。在他们的带领下,本书各章节作者通过对美国与欧洲主要发达国家的工程教育改革的回顾,分析总结了百年交大工程教育的特点,深入开展了工程科技人才培养理念研究、面向工程科技人才培养的课程体系和教学方法研究、工程科技人才培养实践教学环境建设研究、工程科技人才学习效果的实证研究和基于慕课(MOOC)的工程科技人才培养研究。

本书立足交大,面向全国,对近年来我国工程教育发展改革成果进行了梳理,同时把握当前工程教育面向未来所面临的困难与挑战,提出切中时弊的政策建议,显示出他们对我国工程教育未来发展的理解和关切,为探索适应时代要求的工程教育发展新模式作出了重要贡献。

21 世纪是个变革时代,中国正处于这个伟大时代的中心。工程教育能够适应并引领这个伟大的时代,是我们作为高等教育人的荣耀和责任,让我们共同期待我国工程教育更辉煌的未来!

是为序。



上海交通大学校长、中国科学院院士

2015 年 8 月

序 二

人类进入了 21 世纪。

新世纪展示了新的时代特征。有人说我们已进入了知识经济时代；有人说时代正在从数字化转变为智能化；有人说基于五大支柱的第三次工业革命正在兴起；有人说社会正处在一个巨大浪潮的尖峰，这个浪潮就是大数据驱动的创新、生产率提高、经济增长、新的竞争形态和新的价值的产生。对时代特征的描述可以说是众说纷纭，但无论视角或语境有何不同，对于人类正在迎来一场划时代的技术和经济大变革这一判断已成为内外共识。

变革的必然性是很显然的，它是由于大自然对人类生产和生活方式提出的警示，也是由于实体经济与虚拟经济失衡而引发的席卷全球的经济和金融危机，更重要的是当今的科学技术及其进一步发展使人类有基础、有条件去迎接甚至推动大变革！

这一场技术和经济大变革对我国而言具有其特殊意义，在变革中我国不仅要解决人口持续增加、能源资源供需矛盾

日益突出、全球气候变化和生态环境恶化、科技竞争和市场竞争加剧等一系列问题,而且要后来居上,实现新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化、市场化同步发展!在大变革中我们将乘风破浪,建成有中国特色的社会主义强国!

划时代的大变革无疑会带来划时代的大进步,问题在于我们是否有所准备,如何才能占领先机?习近平总书记最近指出:“当今世界科技创新已成为社会生产方式和生活方式的强大引领,谁牵住了科技创新这个牛鼻子,谁就占领先机、赢得优势。”在浩瀚无际的科技大海中,工程科技是与经济社会联系最紧密、对其作用最直接、效果最明显的重要分支,是形成现实生产力的关键,而掌握工程科技的人才更应该是“问题的解决者、思想和概念的创造者、设备结构和系统的建造者”。这就是为什么在经济技术大变革来临之际,世界各国对工程科技人才的素质及其培养给予了前所未有的重视,大家清晰地意识到:工程教育在 21 世纪面临着巨大的挑战,只有深化改革才能回应时代的需求!

中国工程院委托上海交通大学进行工程教育深化改革的研究。我们从时代背景和国家需求上认识本课题的重要意义,组织全校有关力量认真探索,而且特别要求全流程地展开研究,也就是:在上游要创新理念;在中游要改革课程体系、教学内容、教学环境;在下游要监测评估教育实践的效果,特别是受教育者的反应——从而有可能做到实践与理论相结合,从教育实践的结果来检验理念的正确性!

翁史烈

上海交通大学前校长、中国工程院院士

2015 年 8 月

前 言

2010年6月,为了完成“建设创新型国家、建设人力资源强国”等战略部署,教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”,提出的卓越工程师人才培养目标是要面向工业界、面向世界、面向未来,培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势,增强我国的核心竞争力和综合国力。2011年受中国工程院委托、教育部人文社会科学研究项目资助,上海交通大学组织全校有关力量承担了“研究型大学工程科技人才培养体系研究”项目。历时三年多,项目组回顾了美国与欧洲主要发达国家的工程教育改革,分析总结了百年交大工程教育的特点,深入开展了工程科技人才培养理念研究、面向工程科技人才培养的课程体系和教学方法研究、工程科技人才培养实践教学环境建设研究、工程科技人才学习效果的实证研究和基于慕课(MOOC)的工程科技人才培养研究。项目组由翁史烈院

士、黄震教授负责,主要研究成员由刘少雪教授、高捷教授、杨颀研究员、付宇卓教授、蒋建伟副研究员、郑益慧教授、丛峰助研、李红梅讲师等组成。吴凡、吴益锋、王竹筠、丁洁、邢磊、邱意弘、喻丹等也参加了本书的编写工作。

本书即为项目组取得的相关研究成果。

编者

目 录

第一章 工程科技人才培养理念的研究 / 001

第一节 世界发达国家工程科技人才培养理念的变化趋势 / 001

第二节 我国工程科技人才培养理念的特点 / 019

第三节 上海交通大学工程科技人才的培养理念的变化与实践 / 023

附件 1-1 工程教学理念调查 / 036

第二章 面向工程科技人才培养的课程体系研究 / 039

第一节 国外工程科技人才培养课程体系的特点 / 039

第二节 我国工程科技人才培养课程体系的变化趋势 / 045

第三节 上海交通大学工程科技人才培养课程体系的实践改革 / 049

第三章 面向工程科技能力培养的教学方法研究 / 065

第一节 国际工程科技人才培养教学方法的趋势 / 065

第二节 我国工程科技人才培养教学方法的现状 / 069

第三节 上海交通大学工程教育教学方法的案例研究 / 072

附件 3-1 “生物学导论实验”的实验内容(32 学时) / 090

附件 3-2 生物学导论实验要求及评分细则 / 091

附件 3-3 课程教学效果调查(学生问卷) / 092

第四章 工程科技人才培养实践教学环境建设研究 / 095

第一节 世界一流工程学院的实践教学的特色 / 095

第二节 我国工程教育实践教学存在的问题 / 100

第三节 我国工程教育实践教学环境建设的基本思路 / 102

第五章 工程科技人才学习效果的实证研究 / 116

第一节 国际教育质量评估的逻辑起点和发展趋势 / 117

第二节 我国高等教育质量评价的现状与反思 / 119

第三节 上海交通大学学习效果评估的实证研究 / 121

附件 5-1 大学学习效果调查的设计与问卷发放情况 / 135

附件 5-2 大学学习效果自我报告 / 143

第六章 基于慕课的工程教育探索与实践 / 151

第一节 “互联网+”引发教育变革的挑战与机遇 / 151

第二节 上海交通大学在慕课领域的探索与实践 / 160

第三节 将慕课作为工程教育变革的动力 / 169

第四节 慕课助推学生综合能力培养 / 184

第五节 慕课带来的挑战与机遇 / 186

第七章 结论与建议 / 190

索引 / 194

◀ 第一章 ▶

工程科技人才培养理念的研究

伴随着巨大经济发展与变革的 21 世纪,科学技术是人类社会进步的基础。在世界范围内,欧美等发达国家都将工程科技人才的培养提升到国家发展战略的高度,美国提出面向 21 世纪的工程科技人才培养理念,包括知识基础、创造能力、实践能力、沟通能力、团队合作能力、商业意识、管理能力等方面的能力与要求。美国、法国的工程师培养倡导“精英教育”,注重创造真实的工程环境;德国工程师培养则注重从理论和应用两个层面来培养,倡导与企业开展广泛合作。中国高等工程教育界已深刻意识到,工程科技人才的培养质量直接关系到中国科技创新水平与社会可持续发展的程度,并提出培养兼具工程技术与创新意识、具有兼具时代使命感与责任感的工程科技人才培养理念。

第一节 世界发达国家工程科技人才培养理念的变化趋势^[1]

物联网、云计算等一系列新兴技术的迅猛发展,将人类社会带入了一个新的时代,开启了基于信息和网络之上的生产和创新科技发展

阶段。2011 年著名咨询公司麦肯锡在《大数据：下一个创新、竞争和生产率的前沿》提出，“我们正处在一个巨大浪潮的尖峰。这个浪潮，就是大数据驱动的创新、生产率提高、经济增长以及新的竞争形态和新的价值的产业”^[2]。2014 年，中共中央总书记习近平在上海考察调研时，要求上海始终立足国内、放眼全球，着力实施创新驱动发展战略。他指出：“当今世界，科技创新已经成为提高综合国力的关键支撑，成为社会生产方式和生活方式变革进步的强大引领，谁牵住了科技创新这个牛鼻子，谁走好了科技创新这步先手棋，谁就能占领先机、赢得优势。”^[3]创新驱动的根本是人才驱动，我国是否能在信息化高度发展的时代具备国际竞争力，根本是高素质创新科技人才的竞争。目前，我国人才发展总体水平与世界先进水平相比还有很大差距。在此背景下，承载创新人才培养使命的工程教育亟须加快转变工程科技人才的培养理念，以培养创新型人才为前提。

在创新驱动为根本的大数据时代，世界各国的工程教育在 21 世纪到来之际也同样遇到了很大挑战，人们意识到工程和工程师在新的时代背景下被赋予了更多的含义，正如麻省理工大学 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 的 Rosalind Williams 教授所说：“工程已经成了极度开放的、‘包含一切东西的专业’，科学、管理、艺术领域都有它的投影，没有权威的机构为它限定一个总体上的任务范围”，为此，“科学、市场、设计、系统、社会……都在往已经拥挤不堪的课程表上塞课”^[4]，工程教育承受着海量知识和技能的不挤压，人们对工程教育和工程师的期望不断提升。20 世纪 90 年代以来，美国工程教育掀起了“回归工程”的浪潮，提出“大工程观”。这一理念主要针对传统工程教育过分强调专业化、科学化，从而割裂了工程本身提出来的。因此所谓“回归工程”，实际上就是回归工程的本来含义，是建立在科学与技术之上，包括社会经济、文化、道德、环境等多因素的大工程含

义。在此理念下的美国工程教育,不仅要求学生学习工程科学的知识和理论,还让“学生接触到大规模的复杂系统的分析和管理”,这不仅是指对有关技术和学科知识的整合,还包括了对更大范围内经济、社会政治和技术系统日益增进的了解。在这样的时代形势下,美国及欧盟等在近年来连续对本国或地区的工程教育改革提出改革思路,有以下几点值得关注:

一、欧美发达国家对现代工程教育发展背景的认识

这里所说的背景包括两方面的内容:一是从纵向背景看,人类社会已经进入知识经济时代,其中与工程教育的相关点在于工程师从大学中所获得的知识,越来越不足以支撑其职业成长历程的需要,甚至在其踏入职场之后的3~5年时间内,其所运用的知识就需要被全部更新。二是从横向背景来看,经济全球化和人才竞争国际化的趋势对世界高等教育的影响越来越明显,任何国家和地区都不能忽视经济全球化对高等教育国际化的影响。针对这一趋势,美国前总统顾问 John Marburger 曾经做出这样的判断:“美国科学和工程人员未来的力量,会受到两个长期趋势的不利影响:一是科学和工程人才的全球竞争更为加剧,这样,美国尚未得到满足的对于工程技能需求,可能无法再依靠国际科学与工程劳动力市场得到解决。其次,进入劳动力市场的美国本土理科及工科毕业生很可能会下降,除非国家对所有的人口群体进行干预,以提高理科及本土的理科及工科学生教育的成功率,特别是那些在科学和工程职业中参与不足的人口群体。”^[5]人才竞争国际化程度的加剧,不仅对美国的工程教育有影响,其他国家和地区亦不能幸免。

1. 现代社会对工程师的素质要求

与工业革命乃至21世纪之前的工程师不同的是,由于工程已经

成为科学、技术、市场、管理等各方面的高度结合体,现代社会对工程师的素质要求也相应地超过了传统意义上的工程师,社会对工程师的需求呈现立体化趋向:一方面,社会需要一部分高度专业化或职业化的工程师,他们能够一如既往地顺利解决已经比先前复杂若干倍的专门领域的工程问题;另一方面,社会还需要一批能够应对和处理新出现的各种复杂问题的新型综合性工程师,相比于前一类工程师来说,这后一种工程师需要具有更强的系统性和创新性素质。即便是对同一位工程师来说,社会对他不仅有专业深度上的要求,同样还有知识广度方面的要求。针对这样的形势,美英两国的国家工程机构都做出了具体响应。美国工程院在 2004 年发布的《2020 工程师》报告中提出,2020 工程师的关键特征有 7 个方面:分析能力、实践经验、创造力、沟通能力、商务与管理能力、伦理道德、终身学习能力等,具体来说,就是要具备“较好的科学与数学基础,能够通过人文学科、社会科学与经济学来拓展设计的视野,在创造过程中强调有效的领导力来发展与应用下一代技术,以解决未来的问题”^[6]。并且该报告还提出了对 2020 年工程师的期望是:充分认识工程专业的实践特性及社会背景,具有跨学科边界的工程实践,为社会和世界的可持续发展开展工程实践,为培养未来工程师而开展教育^[7]。英国皇家工程院在 2007 年发布的《培养 21 世纪的工程师》报告中提出,“目前工程事务要求在两大领域具备能力和特性的工程师:技术理解和技能应用”,具体来说,即“第一是有完整的学科基础知识、强烈的数学理解能力、创造与创新能力,以及在实践中应用理论的能力;第二是能使工程师在商业环境中高效工作的一套能力,包括沟通能力、团队合作能力,以及对工程决策和投资的商业嗅觉。”^[8]由此可以看出,美英两国对 21 世纪工程师的素质要求具有很大的 consistency,即工程师需要在知识基础、创造能力、实践能力、沟通能力、团队合作能力、商业意识、管理能力等方面

都有良好的基础和表现。

美国研究者对企业雇主与工科毕业生的调查结果也基本反映了上述观点,即在企业雇主看来,工程师最重要的前五项能力是:有效交流能力;解决工程问题的能力;应用数学、科学及工程知识的能力;使用现代工程工具的能力;团队合作能力^[9]。另一项对工科毕业生的调查也认为,工程师最重要的前五项能力分别为:团队合作能力、数据分析能力、解决工程问题的能力、有效交流能力、终身学习的能力^[10]。

2. 工程教育需要对现代社会的要求做出反应

工程教育通过毕业生直接面对企业的需求。当美英及其他部分发达国家感到国内的工程教育规模不足以支撑其未来需要之时,扩大工程教育规模、吸引更多的国内外优秀青年加入工程教育便成为这些国家和地区要求工程教育做出的第一个反应。同时,针对未来工程师将要面对的职业发展环境,对未来工程教育的发展目标与定位也提出了要求。如密西根大学名誉校长 Duderstadt 博士认为,从更广泛的意义上说,“工程师是问题的解决者,思想和概念的创造者,设备、结构和系统的建造者”^[11],但直到目前,“工程是为数不多的只需要一个本科学位就能获得专业地位的学科”,“这自然导致了工程师地位低于那些接受了更高层次教育的专业人员”。因此,为了培养真正能够适应社会需要的工程师,应当像医学、法律等其他“知识密集专业”一样,发展出一套需要很多专业基础的工程教育体系,即拥有本科阶段的专业前课程,然后是以实践为主的‘工程硕士’,或许最后还有‘工程博士’作为能证明专业实践能力的学位。随之而来的还有一套精心组织的、贯穿整个职业生涯的继续工程教育方式^[12]。实际上,Duderstadt 博士的想法虽然超前但并不孤立,美国《2020 工程师》报告中也曾提出应将学士学位“视为工科的预备

学位或‘训练中的工程师’学位”，通过一定的保障手段后，将硕士学位发展成为工程专业学位(the engineering professional degree)^[13]；欧盟在“博洛尼亚进程”中也倡导在工程教育领域实施“3+2 计划”，即三年本科只提供工程预科学位，第一专业学位是需要在本科学位基础上另加 2 年的“科学硕士”^[14]。

除此之外，针对 21 世纪工程师应当具备良好实践能力的要求，以及当前在英国企业中已经将“能够把理论知识应用到实际产业问题的能力作为新人招聘中最可贵的特质”的做法，培养工科毕业生具备“真实工业环境的实践经验”，以使“毕业生能够懂得他人怎么做以及自己如何适应”，便成为工程教育应对社会挑战的一个重要举措。基于这样的认识，美英两国的国家报告中都极力倡导应进一步加强产学合作，举措包括在大学内部建立供教学和学生实践的实验场所、吸收企业参与学生创新实践活动的指导、建立制度化的校企合作沟通渠道等。

美国及欧盟部分国家对工程教育发展环境的认识及对本国工程教育发展趋势的建议，反映出各国对 21 世纪工程及工程教育战略重要性的认识，这也从另一个侧面反映出，未来综合国力的竞争终究要落实到产业上去；而产业的竞争靠工程师，工程师的竞争需要落实到工程教育上。基于以上认识，21 世纪的工程教育改革就不仅仅是教育模式或教育内容的改革，而具有更加重要的战略性意义。

二、欧美发达国家工程科技人才培养理念的特点

工程教育正处在变革和适应社会环境需求的过程之中，世界工程师劳动力市场及其教育也面临着同样的变革。欧美国家都在符合本国国情的基础上实施着满足社会发展需要的高等工程教育，并各具