

我国工程师制度改革中工程教育的创新发展： 经验借鉴与制度因应

黄 梅

(中国人事科学研究院, 北京 100101)

摘 要: 注册工程师制度作为当前国际上对工程技术人员进行管理的专业职业资格管理制度, 对推进工程技术人员管理走上规范化、市场化、法制化、国际化发挥了重要作用。从工程教育在工程师培养中的目标定位以及工程师制度对工程教育的作用机制出发, 在借鉴发达国家注册工程师制度成熟经验的基础上, 为推进我国工程教育创新发展提供新的路径。

关键词: 工程师制度; 改革; 工程教育; 经验借鉴; 制度因应

中图分类号: G642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4038 (2017) 08-0070-07

注册工程师制度是西方发达国家通行的一种对工程技术人员进行管理的制度。英、美、德等发达国家的高等工程教育之所以得到快速发展, 主要得益于其率先建立了国际上认可的工程教育质量保证金体系及相应的工程师注册体系。^[1] 由于目前我国尚未建立与国际接轨的全性注册工程师制度, 这在一定程度上制约了我国高等工程教育的发展。本文在充分借鉴英、美、德等欧美国家注册工程师制度经验的基础上, 重点论述与我国工程师制度改革相适应的工程教育创新发展。

一、我国工程师制度改革对工程教育提出新要求

近现代历史表明, 工程师的工程实践是推动人类创新发展的重要力量, 直接影响着国家和民族的强盛。中国经济创新的基因来自于中国的工程师, 以及技术创新。^[2] 工程师制度作为我国人事管理制度的重要组成部分, 总体上与

我国工业发展和社会需求相适应, 在推进技术创新和提升综合国力等方面发挥了重要作用。但随着我国经济社会的快速发展, 工程师成长发展的环境发生了重大转变, 现行工程师制度便产生了诸多与经济社会发展不相适应的地方。据统计数据显示, 2015年, 我国科技人力资源总量达到7915万人(较2014年增长5.4%), 其中大学本科及以上学历的科技人力资源总量为3421万人(较2014年增长7.6%), 相当于美国的科学家工程师数量;^[3] 我国工程师数量占全世界的四分之一, 每年培养的工程师相当于美国、欧洲、日本和印度的总和,^[4] 工程师队伍规模在不断扩大。但从工程师质量看, 我国能适应全球化要求的合格工程师数量仍不足工程师总量的10%, 与印度相比有很大差距(合格工程师占70%);^[5] 我国工程师的产值仅为美国工程师的1/16、德国工程师的1/13、日本工程师的1/10。^[6] 这也从深层次揭示出我国工程师队伍在创新能力、成果转化能力和全球化能力等方面仍存在一定滞后。

收稿日期: 2017-07-09

作者简介: 黄梅, 女, 中国人事科学研究院副研究员, 主要从事人力资源开发与配置研究。

工程教育作为我国高等教育重要组成部分,其终极目标是培养合格的工程师。改革开放以来,我国高等工程教育取得了长足发展,为我国工程科技人才的培养奠定了坚实基础。但是,我国高等工程教育的质量与水平同建设“制造强国”的要求还相距甚远,主要体现在高等工程教育过程中实践性、工程性与创新性培养薄弱。2016年6月,我国正式加入《华盛顿协议》,使我国高等工程教育迈上了国际舞台,为促进我国工程师职业化、国际化和跨国流动奠定了良好基础。在现代工业全球化发展趋势下,如何推动工程教育面向产业、面向世界、面向未来培养一大批合格工程师,教育界和工程界都非常关注。中国人事科学院的调查表明,82.9%的工程科技人才认为“应学习借鉴国外经验深化改革我国工程师制度”,同时,面对改革路径和政策的重要性的满意度调查显示,其重要性和满意度评价差值最大的是“改进现有大学工程教育制度(49%)”。^[7]由此可见,工程教育的创新发展已迫在眉睫。

二、欧美典型国家工程师制度的成功经验

国际工程师制度是在一定的经济社会发展背景下形成和发展的,具有一定的理论基础,^[8]并遵循特定的内在机理,形成了自由、单元适度规制、单元(或多元)严格规制、多元适度规制等四种模式。^[9]一般来说,注册工程师制度包括高等教育评估、职业实践、资格考试和注册登记管理四个环节。^[10]纵观国际上各种注册工程师制度,以德国、英国和美国等国家较为典型。从欧美工程教育对工程师培养的类型看,主要有文凭工程师培养和认证工程师培养两种模式。德国、英国工程教育注重文凭工程师的培养,而美国则更注重认证工程师的培养。^[11]这些国家在工程师培养,以及工程师制度对工程教育质量保障方面的宝贵经验,可为我国工程教育的创新发展提供参考和借鉴。

(一) 德国经验

德国工程师制度作为自由模式的典型代表,

工程师培养是高校直接培养,国家只规制工程师的学术形成。德国工程、信息科学、自然科学和数学专业鉴定机构(ASIIN),作为德国唯一的工程教育认证机构,其宗旨是确保高等工程教育水平与质量不断提升。经ASIIN认证的工程本科学历教育,再通过欧洲工程师协会联盟(FEANI)资格认证,即可获得欧盟认可的欧洲工程师(Eur. Ing.)资格。德国工程师成长路径如图1所示。

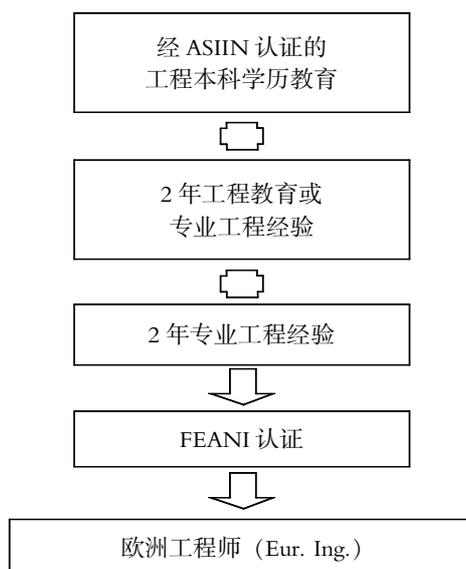


图1 德国专业工程师职业发展路径

1. 工程教育在工程师培养中的目标定位

德国具有独特的、较为完善的高等工程教育与工程师培养体系。德国工程教育的目标是培养成品工程师,即当学生毕业拿到文凭时同时也完全具备一名合格工程师的资格,可以独立从事相关行业的职业。德国强大的工业体系构建与工程技术人才的培养密不可分,其工程师培养特点主要表现在:一是重视学生的实践环节。德国工程教育要求学生在校期间必须参与实际的工程项目的实习,并基于参与的工程实习项目完成实习毕业论文,学生必须独立完成,并提出相关工程建议。二是强调教师工程实践水平。德国工程教育要求授课教师必须具备5年以上的工程经验,参与过实际的工程项目,能独立地、很好地完成其项目并能不断提升个人能力水平。三是强调教学内容要与实际

工程项目结合。德国工程教育要让学生熟练掌握所学行业具体的工程项目各个环节内容,使得学生能从中获取实际工程中所必须掌握的相关知识,并采用案例教学的方法,重视理论与实际的结合。

2. 工程师制度对工程教育的质量保障

为确保工程教育学位与课程质量,德国《高等教育总法》规定依据其设立的工程教育学位和专业必须进行评估和认证,这为德国工程教育认证工作提供了法律根据。从总体上看,德国工程师制度(主要是工程教育认证)对工程教育的质量保障主要体现在以下方面:一是引导课程体系设计。德国 ASIIN 认证标准主要涉及开设课程的动机、课程和内容的教学组织和要求、师资和物质保障、质量保障措施以及与教学相关的合作项目等。二是反映各利益相关者对工程教育的诉求。ASIIN 认证标准制定的基础是工程教育各利益相关者对于工程教育的期望与要求,以及国际工程教育发展趋势。德国正处于工程教育与专业工程师制度的转型期,ASIIN 的首要任务并不仅仅是国内认证标准体系的规范化,而在于积极引进国际质量控制体系。ASIIN 为会员制机构,会员包括各大学、应用科学大学、权威科技工业协会、专业教育和进修联合会等,在一定程度上反映了高等院校以外各利益相关方对工程教育的诉求。FEANI 作为欧洲认证工程教育项目(EUR-ACE)体系的重要参与机构,获得 EUR-ACE 标签的教育认证

课程即视为符合 FEANI 教育标准。

(二) 英国经验

从工程师培养模式看,英国与德国一样,对工程师培养也是以高校直接培养为主。在英国工程师认证过程中,没有笔试环节,只需要通过资历审查和专业面试。根据英国工程理事会(ECUK)的划分,英国专业工程师发展有工程技师、主任工程师和特许工程师三个台阶(如图2所示)。一般来说,取得专业工程师资格必须通过高等学位教育认证、在职的专业发展训练以及专业学会组织的评审认证,其中高等学位教育认证是工程师资格认证的第一步。

1. 工程教育在工程师培养中的目标定位

英国非常重视工程教育在工程师培养中的基础性作用。多年来,英国培养了许多优秀工程技术人才,这与其强大的工程教育体系有很大的关系,其工程师培养呈现以下特点:一是强调课程设置的全面性和合理性。英国工程教育课程体系设置融合了能力本位思想,并强调综合化、个性化、多元化。高等院校鼓励学生跨学科选修课程,扩大学生学习范围和知识面。二是重视创新教育与创业训练。英国工程教育对工程技术人才的培养层次要求较高,特许工程师是其培养的最高目标。因此,除了要求学生具备专业基础知识、工程专业能力外,还必须具备知识迁移和使用能力,以及工程创新能力和沟通合作能力等。三是重视产业界的参与和企业引导。英国高等工程教育非常注重校企

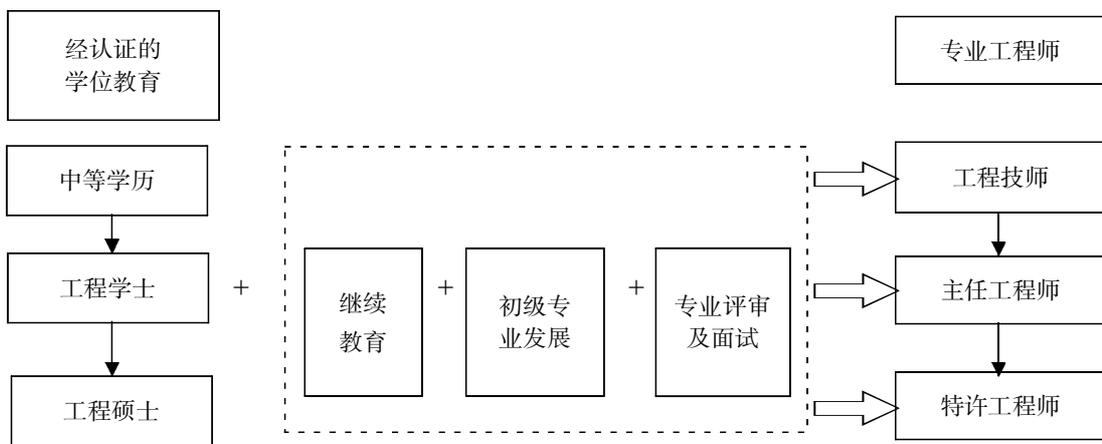


图2 英国专业工程师发展路径

合作，这对于加强教师的工程实践经历以及学生工程实践能力都发挥了重要作用。

2. 工程师制度对工程教育的质量保障

英国工程学位教育认证是全英国高等教育质量保障体系的一个组成部分。它对工程教育发展和质量提升产生了非常重要的影响，主要体现在以下方面：一是提升工程教育质量。英国高等学位教育认证和专业工程师资格认证从根本上都是以“素质能力”为标准和基础的认证制度，二者是一脉相承的。英国工程学位教育认证的目的是评价某一学科与既定标准比照下的达标程度，旨在分享优秀经验，提升教学质量。二是引导课程体系设计。“学习效果”作为高等学位教育的认证标准，包括通用型学习效果与专业型学习效果两种，主要通过毕业生的能力展现。通用型学习效果的标准由 ECUK 制定，是指工程学位毕业生作为一个工程从业人员应该具备的基本社会性通用能力。^[12] 专业型学习效果的标准由专业学会在对本行业理解的基础上进行具体化，具体标准细化到教学课程的课时数量、工程核心课程数量、工程设计的标准、卫生安全知识的普及效果等一系列指标。三是提高工程教育的社会参与度。ECUK 的最高管理机构是理事会，根据职能其下设 5 个常务委员会，各委员会成员由理事会其他成员，专业学会、附属学会代表以及其他工程界代表共同组成。ECUK 的使命和定位在于服务产业与经济部门的发展，其历届理事会主席和首席执行官都出自产业界，这在一定程度上保证了高

等工程教育的有效性和适应性。

(三) 美国经验

美国工程师制度作为多元适度规制模式的典型代表，其更加注重认证工程师的培养。在美国，要获得专业工程师执照，必须需要三个条件：经工程和技术鉴定委员会（ABET）认证的工程教育学历、通过美国工程与测量考试理事会（NCEES）的基础考试（FE）、实践考试（PE）、指定范围内 4 年以上工作经验，美国专业工程师的成长路径如图 3 所示。

1. 工程教育在工程师培养中的目标定位

在美国，高等工程教育是塑造工程师“毛坯”的主要途径。^[13] 多年来，美国一些高校（如麻省理工学院）培养的工程师得到全世界的广泛认可，这与其完善的工程教育体系密切相关，其工程师培养呈现以下特点：一是强调个性化教学模式。美国工程教育充分发挥学生的创造力和自主性，让学生直接参与到实际工程中，并聘请来自产业界的导师指导学生完成实践活动。二是注重多学科融合的课程设置。美国工程教育强调让学生掌握多学科的综合知识，重视领导力以及协调解决实际问题能力的培养。三是重视导师队伍建设。美国工程教育对师资水平的要求很高，一些知名高校不但要求有本校的导师参与工程师培养，也聘请企业导师指导学生的工程实践，这种双导师制度保证了工程师理论和实践能力的培养质量。

2. 工程师制度对工程教育的质量保障

在美国，工程教育专业认证是保障工程教

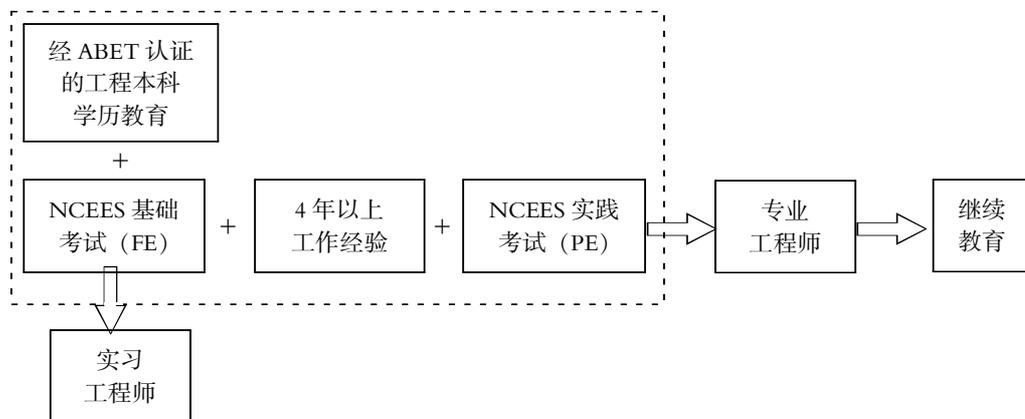


图 3 美国专业工程师发展路径

育质量的重要手段,工程师注册制度是工程师“毛坯”在具体的工程实践锻炼“成型”过程中保证工程技术人员专业水平的重要机制。^[14]美国工程师制度对工程教育的质量保障主要体现在以下方面:

一是监控工程教育质量。ABET于1995年公布了《工程标准2000》(EC2000),其核心内容有8项:学生、培养目标、学生学习成果、持续改进、课程体系、教师、设施和学校支持,从而实现了美国工程教育评估由注重“教育投入”向注重“教育产出”的转变。^[15]“教育产出”评估更加注重学生进入工程技术职业的知识储备与专业技能是否适应工程实践的需要,其中“学生产出”为EC2000的核心内容。EC2000提出了本科毕业生应达到的11项知识、技能和素质要求,具体包括知识和思维能力、实践技能和一般通用技能。^[16]

二是引导工程教育专业建设。^[17]在EC2000中,准则3为学生应具备的能力,准则5为课程规定,二者均明确学生应涉及大学数学和基础科学、工程科目、通识教育和人际交流能力与职业伦理等学习内容。在FE考试内容中,以工程本科学位教育为主要考核内容(包括经ABET认证的工程本科教育一至四年级的全部课程内容),重点考查学生是否达到实习工程师的合格水平。ABET认证与专业工程师注册要求的对应,为高等工程教育的教学内容和课程设置明确了方向。

三是推动工程教育与工程实践同步发展。ABET的认证标准由4个委员会、33个学会和技术团体共同制定和实施,包括来自高等院校、工业界、政府的代表以及学生代表,其中60%的成员与工业界有关。通过工程教育认证,高校之外的其他群体可以表达对工程教育的诉求,更保证了工程教育的针对性。

三、对我国工程教育创新发展的启示借鉴

综观发达国家(地区)工程师制度的成功经验,可为我国工程教育创新发展提供路径借

鉴,主要表现在以下四个方面:

(一) 形成政府、企业和社会团体共同参与并影响工程教育的多元机制

与欧美发达国家相比,我国高等工程教育与产业界尚未建立起长效的合作机制,这在一定程度上造成了工程人才培养与产业需求脱节。注册工程师制度作为国际上对工程技术人员进行职业资格认证的一种形式,它也是确定高等工程教育的培养目标、工科专业的基本规范,以及高等院校工程技术人员培养质量标准的出发点。^[18]从欧美典型国家的经验看,无论是高等工程教育认证制度,还是工程师资格认证制度,政府、企业以及工程学会代表都积极参与,从而实现了高等院校之外的其他利益群体对工程教育的需求,这在一定程度上促进了政府、高等院校和企业之间的良性互动,从而构建了一个面向工程师培养和使用的多元参与平台,形成了一种全社会积极参与工程师培养和管理的局面。因此,在未来工程师制度改革中,我国必须努力推进政府职能转变,建立政府、企业、工程学会和高等院校等共同参与工程师培养的多元机制,推进政府由直接管理、微观管理向间接管理和法制管理转变,从而有效提升高等工程教育的质量。

(二) 改变工程教育专业认证与工程师资格认证“双轨”并行的局面

综观欧美国家的工程师制度,顶层机构在专业工程师职业化进程中至关重要。在以“认证”为资格规制形式的国家(如英国),专业工程师制度都有唯一的顶层机构进行行业自我规制,该顶层机构是工程师资格认证中最重要管理监督机构。在以“执照”为资格规制形式的国家(如美国),由于联邦制政治体系以及工程相关机构历史发展等原因,美国NCEES不能像英国ECUK一样承担统一国家工程师资格标准的任务,无法成为美国专业工程师制度的唯一顶层机构。与美国相比,英国工程师制度将学历教育认证、资格认证、继续教育等关键节点纳入到统一的标准框架内,保证了工程学位教育毕业生质量与市场准入要求一致。因此,在未来工程师制度改革中,我国必须积极培育

工程界唯一的权威机构（全国性科技团体，如中国科协等），改变工学教育学位评价与职业资格认证“双轨”并行的局面，并授权其代表政府将高等教育认证、工程师资格认证、继续教育等关键节点纳入到统一的标准框架内，保证工程学位教育毕业生质量与市场准入要求以及国际工程师互认体系相一致。

（三）推进工程师职业标准与工程教育的有效衔接

从欧美国家的经验看，各国专业工程师的职业标准与工程教育标准都是有效衔接、紧密联系的。一是职业标准与教学标准相衔接。由英国工程学会（ECUK）制定的 UK-SPEC，既适用于工程师认证，也同样适用于工程学历教育认证，被称为英国工程界的一个纲领性文件。二是工程师资格认证制度与工程教育专业认证制度相衔接。比如英国，获得经工程教育专业认证的学历学位是申请工程师资格的前提。因此，在未来工程师制度改革中，我国应分专业领域建立工程师认证标准体系，实现其与工程教育标准和工程教育专业认证制度的有效对接，并与科研机构和企业对工程师的岗位要求紧密结合，突出对不同专业领域工程师的能力要求差异以及对不同级别工程师的专业深度要求差异，将工程发展对工程师素质的要求快速反应到工程教育当中，以确保高等工程教育与工程技术人才职业发展以及产业需求的一致性。

（四）重视工程性和创新性能力的培养

从欧美发达国家的经验看，其工程师的培养采取教学、科研、实践相结合的方式，通过高校和企业共同制定培养方案，增强学生的工程实践能力。伴随着工程教育的全球化，雇主对毕业生能力要求的不断提高，在一定程度上推动了各国（地区）工程教育改革。如美国实行了从“技术范式”到“科学范式”再到“回归工程”的工程教育改革。我国的工程教育从“仿苏”到“仿美”，并于2010年启动“卓越工程师教育培养计划”和“全日制专业硕士”培养计划，也呈现出转型发展的态势。因此，在未来工程教育改革中，我国应面向未来工程的需求和未来工程技术人才的素质要求，推进工

程教育从“技术范式”、“科学范式”向“工程范式”的转型发展，突出其“综合性、工程性、跨学科、创新性”，聚焦工程实践能力、设计动手能力和创新创业能力的培养，尤其是增加创新意识、创新能力和创业方法的培养环节。也就是说，我国工程教育改革以培养工程毕业生工程性和创新性能力为目标，以“回归工程”为途径，以“成果导向教育”为抓手，确保我国工程教育的“国际实质等效”，提高工程技术人才培养质量。^[9]

参考文献：

- [1] 袁礼，张志辉. 中国工程教育国际化问题刍议. 北京航空航天大学学报 [J]. 2003, (2): 69.
- [2] 李稻葵. 中国经济的创新基因来源于工程师和制度创新 [N]. 央广网, 2015-09-11.
- [3] 科技部网站. 2015年我国科技人力资源发展状况分析 [DB/OL]. <http://www.most.gov.cn/kjgj/201706/P020170628506396562537.pdf>, 2017-06-28.
- [4] 刘延东. 实施创新驱动发展战略 为建设世界科技强国而努力奋斗 [J]. 求是, 2017, (2): 4-9.
- [5] 新浪网. 大学工科教育不改革不行 [EB/OL]. <http://news.sina.com.cn/o/2009-11-21/091516645005s.shtml>, 2009-11-21.
- [6] 吴江. 人才强国的标志是人才国际竞争力 [N]. 中国组织人事报, 2012-12-10.
- [7] 孙锐. 我国工程科技人才开发关键问题研究——基于工程科技人才职业化和国际化的视角 [R]. 中国人事科学研究院, 2013. 12.
- [8] 王昕红. 专业主义视野下的美国工程教育认证研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [9] 蒋石梅. 工程师形成的质量规制研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [10] [11] 周丽. 发达国家基于注册工程师制度的工程教育研究与借鉴 [J]. 科教导刊, 2015, (11): 7-8.

[12] The Accreditation of Higher Education Programmes, UK Standard for Professional Engineering Competence [EB/OL]. [http://www.engc.org.uk/engcdocuments/internet/Website/Accreditation%20of%20Higher%20Education%20Programmes%20third%20edition%20\(1\).pdf](http://www.engc.org.uk/engcdocuments/internet/Website/Accreditation%20of%20Higher%20Education%20Programmes%20third%20edition%20(1).pdf).

[13] [14] 辛忠, 吴艳阳, 徐心茹. 美国 ABET 认证与工程师注册制度对其工程教育的作用机制 [J]. 学位与研究生教育, 2016, (4): 74-77.

[15] Accreditation criteria and supporting docs [EB/OL]. <http://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria>.

[16] Criteria for Accrediting Engineering Programmes: Effective for Reviews During the

2013-2014 Accreditation Cycle. ABET [EB/OL]. <http://www.abet.org/wp-content/uploads/2015/04/eac-criteria-2013-2014.pdf>

[17] 王瑞朋, 王孙禹, 李锋亮. 论美国工程教育专业认证制度与工程师注册制度的衔接 [J]. 清华大学教育研究, 2015, (2): 34-40.

[18] 中国工程院“创新人才”项目组. 走向创新——创新型工程科技人才培养研究 [J]. 高等工程教育研究, 2010, (1): 3.

[19] 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——2016年工程教育认证国际研讨会综述 [J]. 中国大学教学, 2017, (1): 88-95.

(责任编辑 吴潇剑)

On the Innovation and Development of Engineering Education in Chinese Engineer System Reform: Foreign Experience and System Response

Huang Mei

Abstract: As the current international professional occupation qualification management system of engineering and technical personnel, registered engineer system has played an important role in promoting the standardization, marketization, legalization and internationalization development of engineering and technical personnel management. Based on the analysis of registered engineer system experience in some developed countries, this paper promotes some new paths to promote innovation and development of engineering education from the perspective of the target orientation of engineering education and the influence mechanism of registered engineer system on engineering education.

Key words: Engineer system; Reform; Engineering education; Experience reference; System response