

# 以复杂工程问题为牵引的校企协同育人机制研究

## ——以沈阳航空航天大学计算机学院为例

夏秀峰,张翼飞,范纯龙

(沈阳航空航天大学计算机学院,辽宁 沈阳 110136)

**摘要:**工程教育专业认证的一个重要内容是评价学生是否具有解决复杂工程问题的能力,而绝大多数高校受办学条件限制,在学校单一培养环境下很难达成该项指标。在深刻剖析现有办学模式存在的各类弊端的基础上,提出一种以复杂工程问题为牵引的校企协同育人机制,从校企协同育人机制的理论、校企合作模式探索、协同育人基地建设策略、双师型师资队伍培养、企业导师的遴选与管理、复杂工程问题的甄选与确认办法、学生赴企业实训课程置换规定等方面,详细论述了校企协同育人机制的诸多关键问题,提出了相应的解决方案。通过沈阳航空航天大学计算机学院两年多的实践验证,学生解决复杂工程问题的能力得到了较大幅度提高,就业率和就业质量同步得到了明显提升。

**关键词:**工程教育专业认证;复杂工程问题;校企协同育人;目标达成

**中图分类号:**G642      **文献标志码:**A

工程教育专业认证是目前工科专业办学国际化的重要标志<sup>[1]</sup>,是国际通行的工程教育质量保障制度,也是实现工程教育国际互认和工程师资格国际互认的重要基础。工程教育专业认证的核心就是要确认工科专业毕业生达到行业认可的既定质量标准要求,是一种以培养目标和毕业出口要求为导向的合格性评价。工程教育专业认证要求专业课程体系设置、师资队伍配备、办学条件配置等都围绕学生毕业能力达成这一核心任务展开,并强调加强专业持续改进机制和文化建设,以保证专业教育质量和专业教育活力。

在工程教育专业认证视角下,工科专业学生毕业要求中的核心内容之一就是培养学生综合运用所学,解决复杂工程问题的能力<sup>[2]</sup>。而众所周知,复杂工程问题往往具有时效性、对标性和实用性等特点,高校单一培养主体、单一培养环境与该项毕业要求的目标之间存在不可逾越的障碍。笔者在分析当前高校单一培养环境下存在的诸多问题基础上,提出一种以复杂工程问题为牵引的校企协同育人机制<sup>[3]</sup>,力求在理论研究和实践环节上给出相应的建议。

### 一、高校单一培养环境存在的问题

目前,对复杂工程问题的认知从“仁者见仁智者见智”逐步走向统一。《工程教育认证标准》(以下简称《标准》)中提到的“复

杂工程问题”<sup>[4]</sup>,英文为 Complex Engineering Problems,字面上指的是复杂的工程问题,而不是复杂工程中的问题。《标准》中明确规定,“复杂工程问题”必须具备7个特征中的第一条,以及第二至第七条中的部分或全部。

开设工科专业的高等学校都特别重视培养学生的工程实践能力,往往投入大量资金建设工程类实验室(实验中心、工程训练中心),并在培养计划和培养方案的制定过程中,大幅度增加了实践教学环节。同时,在“应用型转型”驱动下,绝大多数高校都多措并举着力加强实用型人才的培养<sup>[5]</sup>,但复杂工程问题的“工程性”本质特征使各高校对学生该能力的提升还存在以下掣肘。

### 1. 师资队伍建设问题

很多教师(尤其是青年教师)缺乏工程实践的基本素质,自身对复杂工程问题的认识、解决问题的能力不强,因而在培养学生过程中,难免存在指导力度不够、指导方法不当、与真实问题脱节等问题。

### 2. 复杂工程问题缺失及对标性不强问题

高校在实践教学过程中,虽有部分实践教学环节,但涉及的真正复杂工程问题却不多,即使问题本身看起来是(像)一个复杂工程问题,但也存在对标性不强、缺乏工程应用背景支撑等问题<sup>[6-7]</sup>。

### 3. 校企合作模式单一问题

目前,虽有部分学校或院系与相关企业签署了各类合作协议(如战略合作框架协议、产学研合作协议、校企联合实验室、本科生实训基地等),但往往聚焦于产学研合作为目标的科研项目开发,通常忽视了人才培养的内容。

### 4. 协同育人内涵缺失问题

虽有部分高年级学生到合作企业实习、实训,但没有上升到协同育人的高度。一是存在实习实训计划和内容往往由企业单独制定,缺乏学校导师指导与监管的问题;二是存在实习实训内容与系统性、复杂工程问题的对标性不强的问题;三是由企业导师配备与

管理的随意性引起的职责不清、指导力度不够、考核混乱等问题。

### 5. 课程置换的科学性、合理性不强问题

部分学生赴合作企业实习实训,不能参加部分选修课程的学修,在进行相应课程置换时,往往存在决策过程单一、决策程序随意、置换课程与实习实训内容脱钩等问题。

### 6. 协同考核机制缺失问题

缺乏学校与企业协同对学生进行综合考核、成绩评定等相关规章制度的保障与实施,企业考核流于形式,最终学校的考核只能采取“形式上的形式”。

综上,在工程教育专业认证的大环境下,学生对复杂工程问题的认知及解决复杂工程问题的能力没有得到应有的培养和训练,需针对校企协同育人机制的理论和实践开展研究。

## 二、校企协同育人机制的理论与实施方略

校企协同育人机制的关键问题包括但不限于从工程教育专业认证视角出发,以复杂工程问题为牵引的校企协同育人机制的理论研究、校企合作模式探索、协同育人基地建设策略、双师型师资队伍培养、企业导师的遴选与管理、复杂工程问题的甄选与确认办法、学生赴企业实训课程置换规定等内容。

### 1. 校企协同育人机制的理论研究

国内外很多专家对校企协同育人机制的理论进行了长期不懈的研究<sup>[8]</sup>,也相继推出了一大批相关研究成果,但这些成果通常都泛泛研究学生工程实践能力的培养和提升方面,并没有提出普适性很好、效果特别突出的具体措施。另外,学校的办学定位、办学特色、行业背景不同,甚至专业不同,校企协同育人的差异性都很大。对校企协同育人机制的理论研究应聚焦于探索科学合理、对标性强、实操性好,且符合学校的办学定位和办学特色,适合不同专业学生的校企协同育人新模式,全面提升工科专业学生对复杂工程问题的认知和解决能力。

校企协同育人机制的理论研究应从工程教育专业认证角度出发,进行校企协同育人契合度研究、复杂工程问题认定模型研究,专注于符合本专业特点的复杂工程问题定义、解决复杂工程问题能力对学生毕业要求的达成程度(达成度)研究。

(1) 校企协同育人的契合度计算

到底选择哪种类型的企业、哪些企业作为协同育人的合作单位是一个十分棘手的问题——学校青睐的企业,企业不一定同意合作,即使同意其积极性也不一定高;企业主动请求合作的,学校从办学特色、办学定位以及各专业的培养目标、毕业要求出发来考量,也不一定恰当。还有很多企业即使愿意与学校合作,但大多数可能局限在产学研合作上,不太愿意承担协同育人的任务。因而,企业的遴选与协同育人合作协议的签订并不是想象中的那么容易,需要双方共同努力才能完成。

合作企业的甄选是建立协同育人机制的首要问题。合作企业甄选不是简单的“你情我愿”,通常而言,是两个集合的契合度问题。

将人才培养需求集合(Personnel Training Requirement Set, PTRS) 定义为一个五元组(学校办学定位、学校办学特色、专业类别、培养目标、毕业要求),其中,专业类别指工科的 4 个类别——机、电、土、化。前 3 个元素是高等学校对工科专业人才培养需求的粗粒度描述,更细粒度的知识、能力、素质(情感)在培养目标和毕业要求中会有具体描述。其中,培养目标是本专业学生毕业 5 年时应达到的目标描述,往往会用 5~7 条具体指标来体现;毕业要求是本专业学生在毕业时应达到的要求,通常为 12 条通用指标,根据专业不同,每个指标一般又会分解为 2~4 条可衡量、可评价的二级指标。

将人才培养能力集合(Personnel Training Ability Set, PTAS) 定义为一个五元组(企业类别、行业归属、企业包含的主流专业、实习学生从事的任务、实习学生的考核要求)。企业类别还可能包括单位类别、企业性质等

内容;企业包含的主流专业是指在产品研制、生产过程中所包含的主要专业领域;实习学生从事的任务描述是指企业计划让实习学生承担的专业任务表述,通常不包括常规意义上的下厂实习,而是基于企业实际需求的、符合专业培养目标的、基于复杂工程问题的任务;实习学生的考核要求通常对应学生的毕业要求指标制定,如前所述,学生进入企业实习后,在复杂工程问题牵引下,所学知识能得到综合运用,解决实际工程问题的能力能得到大幅提升,综合素质能得到全面锻炼。

契合度计算就是要将 PTRS 和 PTAS 两个集合中的 5 个元素进行对应比较,由校企双方的专家对二者契合度进行打分,最终确定校企双方作为协同育人的合作者是否合适。

具体实施时,可将每对元素的契合度最高值定义为 0.2,5 对元素的契合度之和的最高值为 1.0 (即 100%)。专家按照优(0.18~0.20)、良(0.16~0.17)、中(0.14~0.15)、可(0.12~0.13)、差(0~0.11)进行打分,将多位专家的打分取平均值,5 项求和,即可得到最终得分。根据得分高低,确定校企双方是否可以达成协同育人的共同目标。

(2) 复杂工程问题判定模型

复杂工程问题有 7 个特征,即:①必须运用深入的工程原理,经过分析才可能得到解决;②涉及多方面技术、工程和其他因素,并可能相互有一定冲突;③需要建立合适的抽象模型才能解决,在建模过程中需要体现出创造性;④不是仅靠常用方法就可以完全解决的;⑤问题中涉及的因素可能没有完全包含在专业工程实践的标准和规范中;⑥问题相关各方的利益不完全一致;⑦具有较高的综合性,包含多个相互关联的子问题。为便于使用,用  $Cept_1, Cept_2, \dots, Cept_7$  表示 7 个特征,用  $C_1, C_2, \dots, C_7$  表示各特征量化得分。

为便于计算一个问题与复杂工程问题的相似度,且考虑归一化处理,可将  $C_1$  赋值为 55 分(按照工程教育专业认证标准的要求,

$Cept_1$  是一个强行指标),  $Cept_2 \sim Cept_7$  的得分  $C_2 \sim C_7$  分别赋值为 7.5 分, 满分为 100 分。根据得分情况, 可将复杂工程问题划分为 3 个档次: 得 60 ~ 70 分者为一般问题; 71 ~ 84 分者为良好问题; 85 ~ 100 分者为优秀问题。60 分以下者则不认定为复杂工程问题。

由校企双方联合专家组对其进行打分, 一个问题的最终得分为判定其是否为复杂工程问题的唯一标准。由于机、电、土、化 4 个工科大类中有形形色色的众多专业, 这些专业本身具有较大差异性, 在实际操作时, 除  $C_1$  外,  $C_2 \sim C_7$  的最高得分可作动态调整, 只要保证 6 项的分值和为 45 分即可。

## 2. 校企协同育人机制的实施方略

在理论研究的基础上, 从企业遴选、校企合作模式、双师型师资队伍建设、企业导师配备、复杂工程问题相互确认、学生选拔、课程置换等诸多方面, 制定相关管理规定, 促进理论研究成果落地生根, 从根本上解决人才培养供给侧和产业需求侧在结构、质量、水平上还不能完全适应、“两张皮”问题仍然存在的矛盾。

### (1) 协同育人合作协议的签订

无论采取什么方式的校企合作, 都必须把双方协同育人作为重点核心内容。要制定相应规章制度, 保证协同育人工作的贯彻落实; 要成立相应机构, 专门负责校企双方的沟通联络和日常工作的开展; 要成立有双方专家参加的教学指导委员会, 负责培养计划修订、导师遴选、复杂工程问题确认、课程置换、考核结果评定等诸多事宜。

### (2) 课程置换方案的制定

高校和企业应针对学校工程类专业本科生的培养目标, 根据不同专业以及相关企业的的需求, 共同商讨课程体系建设方案, 建立健全课程学习、实习实践要求以及毕业要求和评价标准, 适度增加与合作企业技术或产品相关的选修课程。参与企业实际复杂工程问题项目到底可以置换那些课程, 在培养计划中应予以说明, 使学生、教师能够提早知悉。

### (3) 导师队伍建设与培养

高校应建立并完善理论与实践相结合的“双师型”专业师资队伍建设制度, 鼓励年轻教师与企业进行交流与合作。努力培养年轻教师, 让具有博士学位的教师参与到企业生产实践一线, 努力造就“双师型”人才梯队。定期组织导师参加相应企业的内部培训, 使导师对工程专业硕士的培养目标有更直观的了解。

发挥企业的积极性和能动性, 是深化校企合作、校企协同育人机制探索的必然要求<sup>[9]</sup>。企业也要建立并完善企业导师遴选、培养和奖励淘汰机制, 把担任企业导师作为企业员工年终绩效考核的一项指标, 提高企业导师培养学生的能力。

### (4) 校企双方介入学生管理制度的建立

建立校企双方管理机构和健全的管理制度<sup>[10]</sup>, 即把对派往企业的学生的指导和管理纳入高校与企业的日常运行与管理体系, 从制度上抑制消极因素, 形成合力。在决策层面, 学校与企业的决策者可定期进行沟通与磋商; 在运行层面, 建立专门管理机构或指派专门管理人员, 将学生管理的运行管理纳入其职责范围。

另外, 还可探讨多校企联合协同培养的创新模式, 以协同创新为中心, 整合各单位的人才优势, 将教学、科研紧密联系, 企业、高校、科研院所有机结合, 多方人员采取相互兼职方式进行相互渗透, 使人才队伍结构得以优化, 使学生、高校、企业三方共赢, 进而达到长期、稳固的可持续合作目的。

### (5) 复杂工程问题的确认

关于“什么是复杂工程问题”, 虽有明确的标准, 但在具体条款的理解上, 并不存在一目了然的判定依据。况且不同专业具有不同特点, 决定了不同类别的复杂工程问题存在较大差异。校企双方导师要根据企业当前实际需求或未来应用需求, 在团队协作的基础上, 逐一对每个题目进行充分论证, 对标工程教育专业认证标准, 修改完善题目, 最终经学术委员会审核、教学院长批准后, 方可实施。



### 三、沈阳航空航天大学计算机科学与技术专业的实施效果

沈阳航空航天大学计算机科学与技术专业是辽宁省较早建立的计算机本科专业之一,2010年被评为“辽宁省特色专业”,2019年通过工程教育专业认证,同年,先后被评为“辽宁省一流专业”和“国家一流专业”。

从2018年开始,沈阳航空航天大学计算机学院就与中国航发哈尔滨东安发动机有限公司开展合作,在工程教育专业认证的理念指导下,以复杂工程问题为牵引,开展校企协同育人的工作,先后有3届大四学生赴企业参与科研、生产、管理软件系统的设计与开发工作,取得了以下应用效果。

(1)所遴选的企业及学生承担的软件开发任务,完全符合学校及专业的办学定位和办学特色。

(2)企业先后遴选了6位导师对学生进行对口指导,校企双方导师就学生承担的任务逐一进行论证、确认,确保学生所承担的任务属于复杂工程问题,其中的7个标准中至少具备4条及以上。

(3)经过1个月左右的时间,学生都能熟悉开发环境,在渐次明确用户需求的基础上,承担核心软件系统的设计与开发工作。经过半年到10个月左右的锻炼,学生都能综合运用所学对复杂工程问题进行建模,并能从系统工程、软件工程出发,很好地掌握复杂软件系统的需求分析、设计开发、系统测试等关键环节。同时,由于所从事的都是实际应用系统的设计开发,需要从多角度考虑多方面的综合因素,学生的非专业素质和能力也得到了极大提升。

(4)从企业角度出发,学生在双方导师指导下,承担核心业务系统(软件)的设计与开发,也大大缩短了系统研制周期,节省了研制成本。

(5)凡参与这些工程的全部学生或如愿找到了自己十分满意的工作,或考取了研究生继续深造,学生的就业率和就业质量得到

了快速提升。

深化产教融合,促进教育链、人才链与产业链、创新链有机衔接,是当前推进人力资源供给侧结构性改革的迫切要求,对新形势下全面提高教育质量、扩大就业创业、推进经济转型升级、培育经济发展新动能具有重要意义。按照工程教育专业认证的要求,在充分体现“以学生为中心、以产出为导向、持续改进”的核心理念基础上,沈阳航空航天大学计算机学院经过3年的实践,先后与中国航发哈尔滨东安发动机有限公司、航空工业沈阳飞机设计研究所等单位进行了协同育人的尝试,学生的就业率和就业质量得到了大幅提升。

### 四、结 论

(1)校企协同育人可全面提升工程类专业的建设水平,在符合工程教育专业认证标准的前提下,能够深入贯彻产教融合的新办学理念,从根本上解决人才培养供给侧和产业需求侧在结构、质量、水平上还不能完全适应的矛盾。

(2)良好的校企协同育人可从根本上提高工程类专业学生对复杂工程问题的认知水平和解决能力,从而充分体现基于学习产出教育模式(Outcomes - Based Education, OBE)的理念,实现本科办学质量的全面提升。

(3)校企协同育人以解决复杂工程问题为抓手,以产学研合作为手段,能够着力推进双师型师资队伍建设,为向应用型转型奠定深厚的基础。

(4)校企协同育人机制在全面提高学生解决复杂工程问题能力的基础上,使毕业生就业率和就业质量得到了明显的提升。

### 参考文献:

- [1] 安勇. 工程教育专业认证改进工作质量提升的深度思考[J]. 中国高等教育, 2018(23): 40-42.
- [2] 张迎春, 杜明, 李伟成. 基于BIM技术的校企协同育人机制研究[J]. 教育现代化, 2017, 4

- (52):21-23.
- [3] 戴壮红. 面向复杂工程问题的系统设计类课程体系[J]. 计算机教育, 2018(8):78-81.
- [4] 杨毅刚, 孟斌, 王伟楠. 如何破解工程教育中有关“复杂工程问题”的难点: 基于企业技术创新视角[J]. 高等工程教育研究, 2017(2):77-83.
- [5] 席景科, 王志晓, 卞建玲, 等. 面向解决复杂工程问题能力培养的实践教学案例设计与实施[J]. 大学教育, 2020(4):56-58.
- [6] 李波, 贝绍轶, 周亭, 等. “新工科”背景下地方高校应用型本科人才培养模式探究[J]. 高教学刊, 2020(1):149-151.
- [7] 王宁, 于佳鑫, 隋国荣, 等. 青年教师工程实践教学能力培养[J]. 教育教学论坛, 2020(35):30-31.
- [8] 张勇. 打造校企协同育人新模式[J]. 中国高等教育, 2016(23):39-40.
- [9] 胡继荣. 应用型高校“三·三”制校企协同育人模式研究与实践[J]. 高教学刊, 2020(16):43-46.
- [10] 吴岩. 合作教育视角下应用型院校校企合作机制探析[J]. 教育与职业, 2018(24):30-33.

## Research on School – Enterprise Collaborative Education Mechanism Driven by Complex Engineering Problems: Taking College of Computer Science in Shenyang Aerospace University as an Example

XIA Xiufeng, ZHANG Yifei, FAN Chunlong

(School of Computer Science, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

**Abstract:** An important content of engineering education professional certification is to evaluate whether students have the ability to solve complex engineering problems. However, most universities are limited by the schooling conditions, and it is difficult to achieve this target in the single – cultivation environment of schools. On the basis of analyzing all kinds of drawbacks of the existing school – running mode, a school – enterprise collaborative education mechanism is proposed, which is guided by complex engineering problems. Many key issues are discussed in detail in the implementation of school – enterprise collaborative education mechanism and the corresponding solutions are presented, including the theory of school – enterprise collaborative education mechanism, the exploration of school – enterprise cooperation mode, the construction strategy of collaborative education base, the cultivation of double qualified teachers, the selection and management of enterprise tutors, the selection and confirmation methods of complex engineering problems, and the replacement regulations of students' practical training courses in enterprises. Through more than two years of practice in school of computer science, the students' ability to solve complex engineering problems has been greatly improved, and the employment rate and employment quality have been simultaneously and significantly improved.

**Key words:** engineering education professional certification; complex engineering problem; school – enterprise collaborative education; target achievement

(责任编辑:郝雪 英文审校:林昊)