

前言

3月10日,《中国科学报》在头版头条位置刊登了徐卫林等25位科学家和企业家联合署名的文章《屈从论文,难下工厂》,“工科理科化”亟待扭转”(以下简称联署文章),呼吁让更多工科教师、学生到一线工程现场,及时、有效地解决产业领域的关键技术难题,让企业不再对要害环节的“卡脖子”问题无计可施,推动制造业健康发展。这一呼吁引起了社会的广泛反响。

从卓越工程师能力培养的角度看,联署文章提到的解决方案都是合理建议。不过,如果考虑工科课程体系结构的制约,学生可用于专业实践的时间非常短,这些

建议即便高校用心落实,能落实到何种程度、产生何种效果还需做更多讨论。

联署文章还谈到教师职称评定机制等深层次问题。20年前,老一辈高校教师并没有“屈从论文,难下工厂”的问题,但如今该问题却日益突出。在此过程中,“指挥棒”的微妙变化扮演了重要角色。而讨论这一变化就不能仅看高校,还要考虑校际竞争以及高校与社会的互动。工科大学为谋发展,通常要将外部对大学的评定方式与大学对教师的职称评定方法相关联,久而久之,便形成了现有局面。

想解决问题却发现处处掣肘。这很可能意味着“工科理科化”困境已是盘根错节的结构性问题。工科高校近些年做了很多推动产学研合作协同育人的改革,也做了很多“破五唯”工作,虽然颇有成效,但“屈从论文,难下工厂”的社会质疑却仍在激化。这是令人深思的。

美国科学哲学家库恩曾提出著名的范式理论。该理论通过一组概念(如范式、共同体、反常和范式转换)解释科学革命的结构特征。工程教育范式应被视作工程教育共同体和社会普遍接受的一系列关于工程教育如何实施的理论体系或基本信念。而“反常”则表示一个旧范式在运行过程中陷入僵局,无法用以解决共同体所面临的问题。

工业发展是工科大学的存在基础,如果后者的运行机制已经使师生普遍难下工厂,那么库恩范式理论所揭示的“反常”就可能已出现且非常严重。这说明现有的高等工程教育可能面临质变一样的结构性调整,直至新工科范式出现并将工程教育带到下一个发展阶段。

从这个意义上看,当前出现的“工科理科化”困境或许意味着工程教育新旧范式之间的“范式转换”即将到来,至少是一个契机。



管理,但学院的大部分专业教师却少有机会和时间接触大一、大二的本科生,这是非常荒谬的真实现象,但已习惯成自然。

大一和二是学生建立专业志向的宝贵时间段。此阶段的学生是非常迷茫的。此时,生态、立志教育能体现“一个灵魂唤醒另一个灵魂”的教育内涵。多接触专业课教师便多一些实践机会,有利于学生的志业萌发。否则,学业可能因缺乏自驱力而荒废。如果专业课教师接触学生少,也不利于其积累育人经验。

联署文章中的建议如“学习与实践交替进行”“跨学科合作培养”“模块化教学”等都非常好,但在落地环节可能遇到如何与课程体系和具体课程衔接的问题。现有工科课程体系的问题是结构性的,会从很多方面对上述建议的实施形成制约。如果工科课程体系不改革,留给“下工厂”一线,解决实际难题”的可腾挪时间将是非常有限的。

现并提出工程问题,能否构思突破性解决方案,能否通过跨学科团队的合作解决工程问题等,表征了工程教育的成效。新工程本体论强调工程具有独立的本根属性,这并不代表基础科学不重要,知识学习不重要,而是强调工程活动、工程思维是工程教育的本根,应处于主导地位。

根据新工程本体论,“先理论后实践”的传统工科课程衔接逻辑便不再有铁律般的正确性。缩短工程实践训练和专业选修时间的做法反而令人无法接受。同时,引导学生根据工程实践的创新需求进行跨学科的自主学习应成为教育者最关注的内容,而“真刀真枪,做点东西”的工程实践创新则应成为工科“基础课”。

基于新工程本体论的课程体系设计并不会否定数学、物理等理论课程的必要性,而是主张课程设计应以工程实践创新能力为导向,将产学协作、工程实践、数学物理、人文社科和专业技能的学习统合衔接起来,即从“先理论后实践”转变为“边实践边理论”,实施一种工程主导型的工程教育。

范围共识的基础上,加速推动新工科范式的探索与变革,这应是走向“范式转换”阶段的关键一步。

从新工程本体论角度看,对工程的认知、工程能力训练、工程思维养成乃至大工程观的塑造都应从工程实践活动中来。中国工程院院士朱高峰曾在其著作《工程学与工程教育》中指出,“工程教育‘回归工程’的实质在于其主导地位由实践取代理论的变化……虽然理论与实践必须结合,但只能是工程实践主导的结合。”而实现实践主导甚至是工程实践创新主导,需要对工科课程体系和工科大学运行机制进行一系列有针对性的调整。

这样的改革必然会遇到内外部各种阻力。但如果教学共同体能接受新工程本体论,从“工科理科化”困境中进行反思,理解工程实践创新主导的理论与实践相结合的工程教育理念,对新课程体系的内容和方法进行扎实、有效的持续建设,避免一阵风式的朝令夕改,那么反对的阻力将会越来越小。

新、面向适变等。如果这些特征是未来工程教育的关注方向,就应让学生在入大一时体验到这些方向。一年之计在于春,春天侧重于萌发而非成熟。类似的,大学一年级教育也应是一种萌发。学生需要“生态”,才谈得上“立志”。

在此过程中,要有更多工科教师带领学生实际接触工程世界,探索其奥秘,学生从事工程事业的志向才能萌发,并更容易形成自驱力。该年龄段的学生自控力尚未完全形成,如果4年的学习缺少自驱力,将很可能耽于娱乐而陷入比较糟糕的学习生活状态。

推动实践创新型新生工程教育固然比较困难,但相较于整个工程教育体系的大改革却是相对容易的一步——既能引发系统性变化,又不至于出现过于剧烈的突变,有利于形成一种新旧工科并存过渡的迁移,适合作为“范式转换”的突破口。在过去几年的新工科教改探索过程中,这样的教学改革探索经历了一定规模的教学检验,其意义已经显现出来。

受旧工程本体论和旧工科课程体系长久影响,目前工科大学乃至整个社会对新生工程教育还缺乏足够的了解和关注,有些学校舍不得加大投入力度。但如果我们希望向新工科方向迈进,就应从新生工程教育的角度进行切入和破冰,建立新工程本体论的认识体系,彰显工程的本根内涵,逐步开启新工科范式的工程教育。

孤立的问题,而是指导理念、价值目标、课程体系、运行机制、人员构成和实际效果等综合因素乃至社会观念和社会环境都出了问题。如果希望从根本上解决上述问题,需要从“范式危机”的高度认识当前的“工科理科化”困境。

只有对工程本根的理解发生变化,才有可能引发系统性的工程教育变革,并使产业界、工程教育界乃至社会形成合力;然后因势利导,对工科课程体系、工科大学运行机制和教学方法如何变革的诸多问题进行探讨与实验,如此进行“范式转换”,遇到的现实阻力就会小很多。在这一方向进行教改迭代,新工科范式就能逐步建立起来。

(纪阳系北京邮电大学信息与通信工程学院教授,张平系北京邮电大学信息与通信工程学院教授、中国工程院士)

## 1 现有工科课程体系面临结构性问题

为深入理解当前工科大学范式存在的问题,有必要对目前工科课程体系结构的设计弊端作深入剖析。作为工科大学教学运行的“操作系统”,目前的工科大学课程体系设计思路基本是大一公共基础课、大二专业基础课、大三专业课、大四毕业设计。该思路已延续70多年,深刻影响着一代代工科师生。它无论从现代工程教育理论角度还是从实际教学效果来看,该体系都存在很多问题。

这一体系中,专业课程和专业实践从学生大三时开始,如此短的时间,学生不可能获得很好的专业视野和实践能力。如今,新概念、新技术层出不穷的同时,“旧工科”时代的技术概念并未完全过时,新老课程内容竞争有限的教学时间,使学生很难在一年或一年半时间内对所学专业形成全面、深入的认识。

## 2 工程本体观尚待调整认知

追本溯源,无论是“工科理科化”揭示的运行机制不合理问题,还是上文探讨的工科课程体系设计不合理问题,都与工程教育界对工程本体观的认识出现偏差有关。

作为工程哲学概念,工程本体论(或工程本根论)是关于何为工程以及如何认识工程的根本认识。在设计课程体系或运行机制时,人们或多或少都会受到某种工程本体论的潜在影响。如果工程本体论存在错误或偏差,建立其上的教育体系便会失去稳定的根基。此时,如果不能对原有体系进行重新设计,只进行局部修补是不可能使工程教育走出困境的。

从这个意义上讲,建立工程本体观的新共识,形成工科课程体系设计的新思路是新工科“范式转换”的核心问题之一。

实践能力训练方面的问题更为突出——通过动手实践解决复杂工程问题的能力是多元化和复合化的,要靠大量实践项目熏陶形成。但根据现有课程体系,学生进行动手实践的时间并不多,且位置偏后。动手实践能力不强的学生即便在大三、大四认识到实践的重要性,希望补救和调整,也只能等到研究生阶段或工作阶段了。

现实中,许多大三学生将大量精力投入研究生或公务员考试的备考中,有些甚至从大二就已开始,导致其投入实践能力训练和专业知识涉猎的时间与精力大打折扣。可见,仅从学习时间规划的角度看,现有课程体系无法保证大部分学生获得足够的工程实践训练。由此,师生即便进入一线工程现场,理解消化所见、所闻尚不见得能做到,更遑论解决企业的工程技术难题。

目前存在新旧两种工程本体论——旧理论认为工程是科学的应用,是科学或技术的派生物。但在新工程本体论看来,工程即造物,具有独立的本根属性,并非某种科学知识的派生物。两者的核心差异在于是否认可工程具有独立于科学的本根属性。

不同的工程本体论会导致不同的工程教育体系设计思路,更会影响工程教育的运行机制设计,工程教育界必须在新旧两者之间作出选择。

根据旧工程本体论,由于工程是科学的应用,学生的工程认知方式自然是先学科学,再做工程。将课程体系按照“数学、物理基础课—专业基础课—专业课—工程应用”的顺序进行设计也就顺理成章。

在这种教学安排下,学生在大一、大二阶段课程中的理论知识量比较大,学习过程非常紧张。依赖短期记

## 3 新工科不能建立在错误本体论之上

工程科学史中有大量事例并不支持旧工程本体论。

众所周知,人类的现代科学只有几百年历史,但如果将使用石器工具视作一种工程造物活动,那么人类已经有百万年以上的工程史。先秦《考工记》揭示出当时已经出现了鲜明的手工业分工和标准化,以工匠群体为主的墨家学派除了有大量发明外,还记载了与现代几何光学非常接近的实验记录。这说明工程有着独立于科学的发展进化轨迹,并非科学的派生物。

事实上,即便随着现代科学出现,工程和科学的互动增多,工程也往往在许多领域先行于科学并引导新科学发现。例如,美国工程史学家文森蒂和比林顿分别在《工程师知道什么以及他们是如何知道的》

和《思维决定创新》等书中,通过航空技术、晶体管技术等多个领域的历史事例分析指出,即便是现代工业实践,也存在着大量工程探索先于理论的现象。

尽管如此,半个多世纪以来,世界范围内还是形成了“科学优先”的社会价值和思维习惯,并将其贯彻到理工科教育体系运行的每个细节中,深刻影响了工程教育和整个社会。相比之下,新工程本体论虽然在1990年左右就已在工程史研究中被提出,但至今并未引起充分重视。“工程是科学应用”的观点不仅根深蒂固,甚至还“毫发无损”。

这一观念导致“重视科学家、轻视工程师”的现象广泛存在。我国幅员辽阔,即便是同一所大学的学生,在高中阶段形成的思维模式和学习习惯也有很大差异,大学阶段的学习状态更是各不相同。实践创新型工程教育更多强调项目式学习、生成探究式学习、自主学习、群体学习、线上和线下相结合的学习。学生在这种多元化学习环境中的表现各不相同,其规律需要把握。

## 4 实践创新型新生工程教育可进行规模化实验

生面对挑战、适应变化的能力,是一种能产生新知识、新概念和新发现的“生成式教育”,与传统教育有着截然不同的教育内涵与教育规律。

新生工程教育是一种汇聚引导型的前置教育,学生遇到的主干知识会在更高年级有更详细的后续展开。这使得教师能将更多精力投入到对学生工程思维的塑造上。我国幅员辽阔,即便是同一所大学的学生,在高中阶段形成的思维模式和学习习惯也有很大差异,大学阶段的学习状态更是各不相同。实践创新型工程教育更多强调项目式学习、生成探究式学习、自主学习、群体学习、线上和线下相结合的学习。学生在这种多元化学习环境中的表现各不相同,其规律需要把握。

从笔者目前所做的一些新工科教育探索来看,新工科范式的某些重要特征,如产学合作、多学科交叉、线上线下学习、项目式学习、无边界学习、群组学习等,都能在新生阶段有不同程度的体现。工程思维、系统思维、设计思维、创意思维、人文思维等多种类型的思维方式也可以在其中得到培养。新生工程教育允许师生在学习方法调整和自我建构方面进行充分、自由的尝试,因此适合作为面向工程认知的“新工科教改实验室”。

## 5 “工程实践创新四年不断线”应作为阶段目标

教育体系层面的改革之所以困难,就在于盘根错节、牵连甚广。人们既希望变化,又希望求稳,这就要求我们必须找到适合的突破口。

让大一新生能接受实践创新方面的工程训练是工科教育改革的必然趋势,更是“工程实践创新四年不断线”得以成立的基础。有了这个基础,才谈得上“将工程实践创新主导的理论与实践相结合”。此后,各种类型的新工科教育创新就可以顺理成章地展开。

大学应从新工程本体论角度出发,围绕“工程实践创新四年不断线”进行增强,针对课程体系和教师资源分配等核心问题进行教学设计和运行机制设计,展开规模化的改革实验。这既有利于新工科已有

教改成果的有序应用,也能为破解现实中的“工科理科化”困境提供一些体系化的解决方案。

在过去“先理论后实践”的课程模式中,实践的作用仅在于验证理论。这类实践更像是一组“规定动作”,每届学生完成的实验报告大同小异。但在工程实践和科学研究中,实践还有很大一部分作用是为了发现和发展,这样才能创新。

当前,许多高才生提出问题的能力堪忧——不仅在课堂上提不出问题,在工作岗位甚至研究型工作岗位中也提不出问题。我们近来发现,先秦墨家已经有了在生活与生产活动中产生疑问并进行探究的教学方法。对此,我们需要在工科教学中进行合理的

忆、通过考试拿到学分的学生,3个月左右就会将前一学期的大部分课程知识忘掉。当他们在大三、大四寻找这些知识的用途时,却已将其忘得干干净净。对此,大部分工科师生都能在实际教学中有所感受。

然而,尽管实际执行效果不好,但由于“工程是科学的应用”在人们的思想中已是铁律般的存在,所以很少有师生会质疑课程体系结构设计的正确性。

根据新工程本体论,由于工程即造物,而造物必然会涉及多种学科知识的交叉与综合,不可能等学生将全部知识学完后再开始创新,所以必须培养学生“边学边做,边做边学,知行合一”的能力——先知道要解决什么工程问题,在工程实践中打破专业壁垒,需要做什么就学什么,并在这一过程中思考知识应用。

在新工程本体论视野中,学生能否从多视角发

许多人认为,现行工程教育体系已经运行多年,约定俗成、盘根错节,只能做局部的修补与改进。这种考虑虽然有其道理,但如果始终不彻底调整认识、不迈出某些关键步伐,便很难脱离旧工科的桎梏,通达“新工科”的彼岸。

当“工程即造物,工程具有独立于科学的本根”的观念尚未普遍建立,工业界和工程教育界反而会会对“工程主导”的工程教育如何设计缺乏足够的想象力和突破的勇气。目前,新工科范式的教改探索仍在进行,但无论新工科范式最终为何物,有一点是明确的——我们不能让其继续建立在一个已被证明为错误的工程本体论之上。

从这个意义上讲,“工程具有独立本根”应作为新工科范式的工程本体论尽快确立下来,并在获得更大

联署文章提到“广大教师普遍将精力投入在科学研究与撰写论文上,而轻视了教学,认为从事本科教学只是为了完成任务”。如果这种现象属实,并且工科大学暂时还难以让教学成为所有教师普遍关心的事业,那么至少应尽力创造条件,以此发挥部分教师的创造力以及学生的能动性、想象力,探索属于未来的新工科教育。

实践创新型新生工程教育的实施意味着可以实现工科教育实践创新四年不断线,并可能在大工程观的指导下反复在实践中学习,将基础、专业、社会的相关知识充分融合在实践中,形成大工程体验,在工程创新过程中完成真正意义的学科交叉创新。

近期,学科交叉已成为教育风向,但也有教师仅将多个学科的课程放在同一课程体系框架中,然后便宣称实现了“学科交叉”,这只是“静时亦觉意思好,才遇事便不同”。如果学生只上课而不进行相关实践,遇到需要解决的实际问题时,他们很难立刻将多学科知识交叉综合。新工科教育要创造“事上磨”的机会,让学生在实践训练中把所学知识自然而然地融会贯通。

工程教育有许多区别于传统学科式教育的重要特征,如产学合作、多学科交叉、动手实践、面向创

继承。这样培养出的学生才能把发现和探究企业中的真问题作为其应有的认识。

从长远角度看,我国作为工程大国,需要普遍形成尊重工程师的文化。这种社会文化的营造也应从工科教育做起。新工程本体观有着充分的事实依据,对它的坚持能体现出工业界和工程教育界的文化自信。

从现实角度看,面对后疫情时代国内外经济社会发展的新形势,社会对高水平工程人才的渴望也变得更加强烈。在这一局面下,工科大学“屈从论文,难下工厂”的长期积弊也凸显出来,而反思“工科理科化”困境的成因和过程,会发现这不是一个简单的



图片来源:视觉中国