

# 遵循工程逻辑构建一体化的课程体系

杨毅刚 唐浩 宋庆

**【摘要】**回归工程,服务社会,对接工程实际,满足工程需求,是工程教育改革的出发点和落脚点。工程教育要做到适应、支撑和引领新经济、新技术、新产业、新业态和新模式发展,应按照工程逻辑组织教学活动,培养学生遵循工程逻辑解决复杂工程问题的能力。本文从企业的视角出发,深入剖析了企业设计/开发解决方案的内在规律和逻辑,明确了全周期、全流程工程逻辑的内涵和要求,分析了《华盛顿协议》与工程逻辑的关系,提出通过一体化的课程体系来体现工程逻辑,并给出了构建一体化课程体系的一整套课程设计理念、设计方法论和实施措施的建议。

**【关键词】**工程逻辑 工程教育改革 新工科 复杂工程问题 课程体系 IPD

## 一、引言

当前,新一轮科技和产业革命蓄势待发,新经济、新技术、新产业、新业态和新模式层出不穷,不仅需要大量的新型工程科技人才,而且要求工程科技人才能够对新经济、新技术、新产业、新业态和新模式的发展起到适应、支撑和引领的作用。做到适应、支撑和引领新经济、新技术、新产业、新业态和新模式的发展,要求工程科技人才直接为国民经济服务,能够懂得工程逻辑,适应工程逻辑,具有工程师思维、知识及能力,能够遵循工程逻辑从事工程创新实践活动。作为产业发展的人力资源保障者和产业变革的支撑引领者,工程教育在迎来巨大的人才培养需求的同时,也面临着巨大的满足人才培养要求的压力,这要求工程教育主动对接工程实际,围绕工程需求,以培养能够起到适应、支撑和引领的作用的工程科技人才为目标,按照工程逻辑来培养和构建学生的思维、知识及能力。

### 1. 工程实际与工程教育存在壁垒。

工程教育回归工程,服务社会,要求工程实际应有效地映射为工程教育的具体方案,工程教育的内容则应最大化体现工程实际。现实中,工程实际与工程教育作为两个不同的体系,之间存在着较深的壁垒,一些工科院校对工程实际不甚了解,缺乏对工程逻辑的认知,认为工程实际中只关注技术问题,在教学中只强调专业知识和专业知

识的培养,试图用培养解决复杂技术问题的能力来替代培养解决复杂工程问题的能力。然而,工程实际是有一整套的运作流程、方法、规律和逻辑;工程实际中要考虑工程的全周期、全流程,要按照工程思维、工程规律、工程逻辑来进行工程的运行;工程实际中工程科技人员的思维模式、工作流程、工作方法都要遵循工程逻辑和规律。工程教育如果只培养专业技术与专业知识难以满足工程实际的要求。两者存在壁垒,导致工程教育培养理念、培养模式与工程实际产生偏离。

2. 现有课题体系重视能力培养与遵循工程逻辑不够。

任何教育的最终实施都离不开课程,课程是教育目标的主要载体,工程教育也不例外<sup>[1]</sup>,解决工程实际与工程教育的壁垒问题必须从课题体系入手。工程教育通过一系列的课程来培养学生的知识、素质和能力,其中,能力培养是工程教育的最终目标,知识和素质培养是为了能力的提升;而培养的能力是否就是工程实际所需要的能力,最终的检验方法是学生是否具有遵循全周期、全流程工程逻辑来进行思维、设计、开发、运营的能力,支撑能力培养的课程体系是否满足工程实际要求也要用能力来检验。目前,一些工科院校的课题体系对能力培养重视不够,过于强调基础课、专业基础课、技术课知识灌输的培养,另外,课程体系与工程逻辑相脱离,或不能很好地体现工程逻辑。

收稿日期:2018-12-03

作者简介:杨毅刚,北京邮电大学兼职教授、教授级高级工程师;唐浩、宋庆,北京邮电大学经济管理学院博士研究生。

课程体系脱离工程逻辑,会造成最后培养出来的能力就不是工程实际所需要的能力。因此,工程教育改革中要遵循工程逻辑重塑课程体系,把工程逻辑的理念、方法和能力要求贯彻到课程体系设计中去。

### 3. 课程体系设计面临的挑战和难点。

目前,大多数工科院校的课程体系都是知识培养的逻辑体系,而非能力培养的逻辑体系,遵循工程逻辑重塑课程体系,需要对现有的课程体系进行改造,建立起以工程逻辑为主线的新型课程体系,这对工程教育来说是一个挑战。由于历史沿革、师资力量等方面的原因,过去工程教育对于学科性、专业性要求较高,但对课程体系与工程相结合要求不够,课程体系化不足,课程之间缺乏有机的联系和相互支持,各课程的目标缺乏协同;课程设计的科学化不足,缺乏设计的依据和设计方法论的支撑。如何将工程逻辑转换为课程体系,并通过各课程的有机协同,培养学生遵循全周期、全流程工程逻辑进行思维和解决复杂工程问题的能力,这是本文要解决的问题。本文希望针对这个问题,从企业的视角提出一体化的课程体系设计和实施举措建议,以供学界借鉴。

## 二、企业视角下的工程逻辑

遵循工程逻辑重塑课程体系,首先需要了解企业工程活动的实际过程,掌握企业的全周期、全流程工程逻辑,明确遵循工程逻辑的工程科技人员应具备哪些知识、素质和能力。

### 1. 工程的实质就是解决复杂工程问题。

“工程”是指数学、自然科学和工程知识、技术和技能整体的有目的性的应用,使自然界的物质和能源的特性能够通过各种结构、机器、产品、系统和过程,以最短的时间和精而少的人力做出高效、可靠且对人类有用的东西。从工程的定义可以看出,工程活动从本质来说就是以应用为目的,来解决现实中的各种工程问题。实际工程中所遇到的问题往往是比较复杂的,除了技术开发和技术实现本身外还要考虑内外部需求的满足,当更多更纷杂的因素和利益方掺杂在问题中来,就会不可避免地存在冲突,工程所要解决的就是这样的复杂工程问题。<sup>[2]</sup>

因此,工程活动就是针对复杂工程问题,在纷繁复杂的冲突中找出平衡的解决方案,或者有效满足内外部制约因素和内外部需求开发出合适的产品,这是工程活动的主要内容。企业作为从事

工程活动的主体,企业解决复杂工程问题一般就是指进行产品开发。

### 2. 不遵循全周期、全流程工程逻辑的案例。

复杂工程问题不只是复杂技术问题,企业如果把复杂工程问题当作复杂技术问题来解决,就会在产品开发中只考虑技术方案,而不尊重工程逻辑,最终结果就会出现“技术创新陷阱”。上世纪90年代前,全世界工业界在进行新产品开发时,普遍存在只追求技术的先进性,严重忽视新产品在实际开发中各种社会、环境因素的制约,严重忽视实际工程中形成一个解决方案或开发一个实用产品是有一整套内部的周期和流程(在研发技术方案之后还有中试、生产、销售、安装、服务等环节,以及研发环节与后端各环节的冲突因素),技术方案如果不强调工程的全周期、全流程,就只是一个技术方案而已。解决复杂工程问题,研发技术方案只是工程的全周期、全流程的第一个环节,如果研发环节不考虑后序的中试、生产、销售、安装、服务等后端环节,结果必然会出现大面积的返工(见图1),导致研发效率低下、研发成本居高不下、研发成果难以满足社会需求。

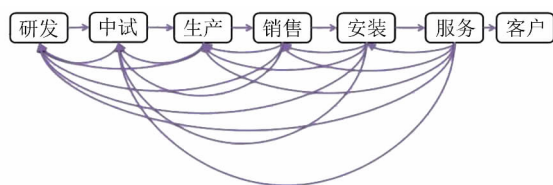


图1 不遵循工程逻辑的产品开发案例

### 3. 企业解决复杂工程问题的内在规律和逻辑。

企业界吸取了不注重工程逻辑的惨痛教训,为避免研发成果被无数次“返工”,开始遵循全周期、全流程的工程逻辑来设计/开发解决方案(见图2)。图2涵盖了图1的全周期过程,把新产品开发的六个阶段全部纳入全周期、全流程设计/开发解决方案中,这是一个包含了技术与非技术约束、经济决策、项目管理等知识在内的产品开发全过程逻辑。

#### (1) 企业视角下工程逻辑的内涵和要求。

现在企业是按照图2的全周期、全流程工程逻辑来设计/开发解决方案,那什么是工程逻辑呢,工程逻辑要考虑什么?什么又是全周期、全流程工程逻辑?

企业解决复杂工程问题除了要考虑内部的流程,还要考虑外部的约束和需求,两者综合起来形

概念阶段	计划阶段	开发阶段	验证阶段	发布阶段	生命周期管理(运营)
进行产品策划、产品定义,考虑各种冲突因素,考虑产品与市场相容性	在技术总体方案设计时,进行产品全流程的经济决策,判断是否具有开发价值	在产品设计与实现时,达到可生产性、可安装性、可维护性、可靠性要求	进行系统性测试确认产品满足预期要求,并进行极端环境验证,判断风险危害	确认内外部需求已满足,冲突已解决,产品小概率极端风险可控,产品可投放市场	产品开始大规模生产,进行运行、维护,根据经济回报性决定是否终止

图 2 遵循工程逻辑设计/开发解决方案

成图 2 所示的设计/开发解决方案。图 2 的设计/开发解决方案包括了从概念(创意)到计划、开发、验证、发布、生命周期管理(运营)的全流程,这个全流程称为设计/开发解决方案。因此,设计/开发解决方案不是一个纯技术问题,设计/开发解决方案不仅需要技术能力,还需要非技术能力,只有通过技术与非技术相综合、全流程全阶段相结合,才能高效的设计/开发出合格的解决方案,这就是工程的逻辑。

全周期、全流程工程逻辑,一方面是指在解决复杂工程问题的方案设计阶段要把工程的全流程环节和全周期过程纳入考虑范围;另一方面是指在解决复杂工程问题的全周期、全流程中不仅要考虑技术问题,还要考虑大量的非技术问题,确保满足社会需求、服从社会约束,这两方面共同构成了全周期、全流程的工程逻辑。尊重全周期、全流程工程逻辑,就是要把新产品开发的六个阶段全部纳入全周期、全流程开发解决方案中,进行一体化设计、集成设计,在设计阶段不仅要考虑后端环节,考虑产品定义、计划、经济决策等,还要考虑很多非技术问题,系统性地处理全周期、全流程中各个阶段的逻辑和流程关系,并妥善处理和协调各环节、各流程的冲突。

(2) 企业遵循工程逻辑设计/开发解决方案的六个阶段。

IPD 模式(Integrated Product Development 集成产品开发模式)是目前大多数创新型企业遵循全周期、全流程工程逻辑设计/开发解决方案时所采用的产品开发方法。IPD 模式包括六个阶段<sup>[3]</sup>:

概念阶段,主要工作是进行产品策划、产品定义,将宏观及抽象的需求转换为新产品的特征、功能、性能。概念阶段不仅要研究技术上是否可行,还要考虑诸多的非技术因素和社会约束;不仅要考虑满足外部客户的需求、市场的需求,还要考虑

企业内部中试、生产、销售、服务、成本及盈利的需求,并在满足内外部需求、相容内外部约束和冲突的基础上,把非技术性要求、社会需求转变为产品模型,形成产品的总体方案,得到产品商业模式。概念阶段如果不能满足非技术要求或不具有可回报的商业模式,就要中止该新产品的后续工作,这就是图 2 左宽右窄的原因。概念阶段工程科技人员制定新产品总体方案,应具有问题分析的能力,能够把需求和约束分析成产品模型;除了掌握数学、自然科学、工程基础和专业外知识外,还要考虑社会、健康、安全、法律、文化、环境等非技术因素,以及工程伦理、知识产权、道德等社会约束,具有平衡内外部需求解决冲突的能力,能够对新定义的新产品进行市场竞争、市场回报的全面分析。

计划阶段,主要工作是根据新产品的定义进行产品的总体设计、经济分析,把客户需求、外部约束,全周期、全流程的需求和约束变成技术性要求,研究制定总体设计方案,并进行非技术评价,核算全周期、全流程各阶段的成本,进行产品模拟定价,测算经济回报,进行经济决策。经济决策的目的是分析拟开发的产品在全周期、全流程下能否产生经济回报,如果不能产生经济回报,就要中止该产品的开发。IPD 模式将计划阶段放到产品开发立项之前,在计划阶段就将新产品的实现方案、技术平台、产品特征、总体技术方案、共享技术方案、定价方案、项目全过程管理方案进行了确认,有效地控制住产品开发的全过程。计划阶段工程科技人员对新产品进行总体设计,要考虑非技术因素的影响,掌握及应用工程基础知识、专业技术知识、非技术工程基础知识、工程管理原理与经济决策方法,具备问题分析、问题研究、项目管理、经济决策、技术重用,以及使用工具进行预测和模拟等能力。

开发阶段,即新产品设计、实现,将产品的总体设计转化为产品的详细设计。按照产品模块

化、平台化设计理念,将拟开发的完整产品分解成系统级、产品级、子系统级、板级、单元模块等平台组件,再进行新产品各部分、各模块的详细设计,并对详细设计进行设计实现;当各单元都分别实现后,再进行集成,以形成最终的新产品,新产品的集成过程是产品设计分解的逆向过程。开发阶段除满足外部需求外,还要满足内部可生产性、可安装性、可维护性及低成本等需求,需要在开发阶段就加以考虑。开发阶段工程科技人员设计满足特定需求的系统、模块、平台或工艺流程,要在设计环节体现创新意识,能够考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等非技术因素,考虑全周期、全流程各环节的要求,会进行经济分析决策,会使用工具、仪器等资源。

验证阶段,即验证新产品对客户需求的符合度。开发阶段的样品达到设计要求后,进入产品验证阶段,主要目的是发现新产品中的技术性故障、缺陷并加以排除。包括:系统集成测试,验证新产品是否达到了客户的需求,是否达到了技术、功能、性能要求;例行测试,测试新产品对使用环境的承受能力;中试验证,对新产品进行试生产,发现和解决新产品中存在的隐形问题,确保新产品的可生产性、可安装性、可维护性和可靠性。验证阶段要求工程科技人员遵循全周期、全流程各环节要求,以及工程与社会、环境和可持续发展相关要求,采用测试、验证工具发现排除故障和缺陷。

发布阶段,主要是做好新产品大规模生产、销售前的准备工作,覆盖从研发到中试、生产、采购、销售、安装及服务所有业务职能。包括新产品的市场策划、销售策略的制定、新产品的定价、广告宣传方案的制定、样板客户的培育及突破策划、售前技术服务安排布局、生产环节的布局、研发与中试人员的技术支持和突发问题处理、工程安装售后服务等内容。产品发布阶段涉及各个业务环节,要求工程科技人员具有很强的职业规范,善于沟通协作和项目管理,能正确处理好工程与社会、环境和可持续发展的关系。

生命周期管理(运营)阶段,产品开始大规模生产,核心工作是产品管理,包括:产品发布后盈利能力的监督管理;产品的改进管理;产品平台变更开发的管理,用新的性能更高、价格更便宜的平台来取代原有的;根据产品经济回报对生产产品的中止、退出管理。生命周期管理阶段要求工程

科技人员掌握项目管理知识和方法,具有经济决策能力。

### (3) 工程逻辑对工程科技人员的要求。

全周期、全流程工程逻辑要求工程科技人员不仅掌握专业技术知识,还要掌握非技术知识,不仅会研发一个独立环节还要会研发全流程环节,不仅会设计和实现技术方案,还要会经济决策,能统筹考虑全周期、全流程各环节要求,具有全周期、全流程项目管理能力。具体要求如下:

具有专业技术知识。需要用到专业技术知识的场合几乎覆盖了产品设计/开发全周期、全流程的各个阶段。

具有非技术工程基础知识。在概念、计划、开发等阶段要考虑非技术因素和社会约束,解决产品与市场、与社会的相容性,以实现对产品定义、建模、设计及实现。

具有知识跨界和融合能力。新产品开发往往无法仅用单一及多门技术课、专业课的知识来解决,甚至无从得知这些难题具体与哪门课程、哪个专业直接相关,工程科技人员要掌握跨专业、跨界的综合知识,并能够将专业技术知识与非技术工程基础知识相融合,运用到产品开发中去。

具有设计/开发解决问题的能力。能够分析问题,研究问题,使用现代工具,综合运用各种知识,平衡各种冲突,设计/开发出满足社会需求、符合内外部约束、面向实际应用的解决方案。

具备经济决策能力。产品开发属于投资行为,追求商业价值和经济回报。<sup>[4]</sup>计划阶段要能对开发全过程及生产、安装、维护、运行的成本进行分析、决策,以判断该产品是否具有开发价值,能在生命周期管理(运营)阶段进行经济决策,以判断是否应终止该产品的生产。

具有项目管理能力。产品开发是一项系统工程,涉及全周期、全流程的各职能、各环节,能够在各个阶段进行过程的协调管理,具体包括对多任务协调、时间进度控制、资源管控、人力资源配备等。

具有工程师素养。在全周期、全流程的产品开发过程中,工程科技人员要具有广阔的视野和格局,要有强烈的社会责任感,要有职业规范、职业道德、团队意识等素养。

### 三、《华盛顿协议》高度契合工程逻辑

针对工科毕业生应掌握哪些知识、具备哪些素质、具有哪些能力,工程教育专业认证提出了具

体要求。现在我们讲专业认证,一般即指国际工程教育本科专业认证——《华盛顿协议》。《华盛顿协议》给出了可供工程教育持续改进的“底线”标准。2016 年我国加入《华盛顿协议》,目前已初步建立了与《华盛顿协议》要求实质等效的工程教育专业认证体系。

### 1. 《华盛顿协议》毕业要求的具体内容。

按照我国 2015 版《工程教育认证标准》<sup>[5]</sup>,毕业要求是对学生毕业时应该掌握的知识和能力的具体描述,包括学生通过本专业学习所掌握的知识、技能和素养。该标准从 12 个方面对毕业生提出了非常具体的要求,具体内容见表 1。

表 1 《华盛顿协议》12 个毕业要求

毕业要求
1. 工程知识:能够将数学、自然科学、工程基础和专业知识用于解决“复杂工程问题”。
2. 问题分析:能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理,识别、表达、并通过文献研究分析“复杂工程问题”,以获得有效结论。
3. 设计/开发解决方案:能够设计针对复杂工程问题的解决方案,设计满足特定需求的系统、单元(部件)或工艺流程,并能够在设计环节中体现创新意识,考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素。
4. 研究:能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究,包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论。
5. 使用现代工具:能够针对复杂工程问题,开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具,包括对复杂工程问题的预测与模拟,并能够理解其局限性。
6. 工程与社会:能够基于工程相关背景知识进行合理分析,评价专业工程实践和复杂工程问题解决方案对社会、健康、安全、法律以及文化的影响,并理解应承担的责任。
7. 环境和可持续发展:能够理解和评价针对复杂工程问题的工程实践对环境、社会可持续发展的影响。
8. 职业规范:具有人文社会科学素养、社会责任感,能够在工程实践中理解并遵守工程职业道德和规范,履行责任。
9. 个人和团队:能够在多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色。
10. 沟通:能够就复杂工程问题与业界同行及社会公众进行有效沟通和交流,包括撰写报告和设计文稿、陈述发言、清晰表达或回应指令。并具备一定的国际视野,能够在跨文化背景下进行沟通和交流。
11. 项目管理:理解并掌握工程管理原理与经济决策方法,并能在多学科环境中应用。
12. 终身学习:具有自主学习和终身学习的意识,有不断学习和适应发展的能力。

### 2. 《华盛顿协议》毕业要求的分类、分层。

#### (1) 毕业要求的分类。

12 条毕业要求可以分为三类,分别是知识类

要求、素质类要求及能力类要求(见图 3)。

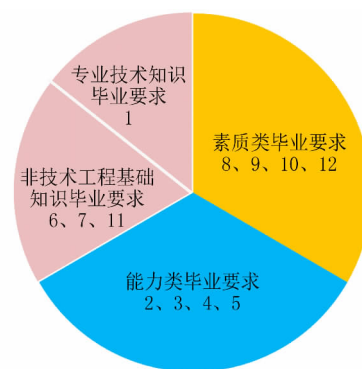


图 3 《华盛顿协议》毕业要求分类图

知识类要求:毕业要求 1 要求学生能够掌握并应用数学、自然科学、工程基础和专业知识等专业技术类知识;毕业要求 6、7、11 要求能够掌握并应用社会、健康、安全、法律、文化、环境、可持续发展、项目管理、经济决策等方面的非技术工程基础知识。

素质类要求:毕业要求 8、9、10、12 是对学生素质、素养的要求,内容包括职业规范、科学素养、社会责任感、职业道德、团队意识,表达与沟通,终身学习意识等。

能力类要求:毕业要求 2、3、4、5 是对学生能力的要求,分别是问题分析、设计/开发解决方案、研究、使用现代工具,其中,毕业要求 3 是综合能力的集中体现,即解决复杂工程问题的能力要求。

#### (2) 毕业要求的分层。

12 条毕业要求并不是相互独立的,而是有联系的系统性要求。12 条毕业要求的最终目的是要求学生毕业时能够具有解决复杂工程问题的能力,12 条毕业要求最终都要以解决复杂工程问题的能力作为检验标准。解决复杂工程问题由能力类要求直接支撑,而知识、素质的培养最终是为了形成能力。由此可见,这三类毕业要求存在明显的层级关系,能力类要求比知识类、素质类要求高一层级,知识类要求与素质类要求支撑能力类要求,能力类毕业要求协同支撑复杂工程问题的解决(见图 4)。

毕业要求 3 设计/开发解决方案,作为最高层级的能力要求,既需要得到毕业要求 2、4、5 能力类要求的协同,也要得到知识及素质类要求的直接支撑。

#### 3. 《华盛顿协议》是工程逻辑的高度整合。

通过 12 条毕业要求分类分层分析,并与全周



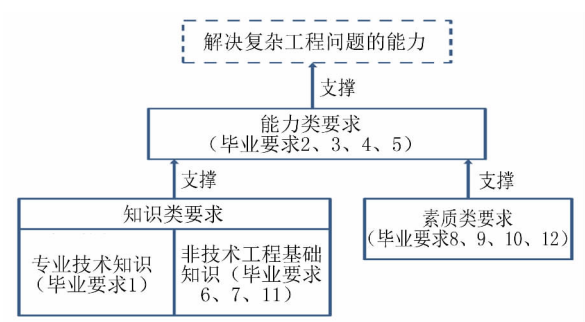


图 4 《华盛顿协议》毕业要求分层图

期、全流程工程逻辑相对比,我们发现毕业要求涉及的知识、素质和能力要求与全周期、全流程工程逻辑对工程科技人员的要求高度契合,毕业要求的分类、分层,以及协同、支撑等逻辑关系与全周期、全流程工程逻辑高度吻合,两者都是以解决复杂工程问题为最终目的,两者在设计/开发解决方案时都要求把工程的全流程环节和全周期过程纳入考虑范围,都要考虑大量的技术与非技术因素。因此,《华盛顿协议》体现了全周期、全流程工程逻辑的要求,是工程逻辑的高度整合。《华盛顿协议》成为联系工程教育与工程实际的纽带,按照《华盛顿协议》毕业要求开展工程教育就体现了遵循工程逻辑的要求。

4. 毕业要求的培养要遵循全周期、全流程工程逻辑。

毕业要求 1 关于专业技术知识的要求覆盖了全周期、全流程产品开发的各个阶段,除要求掌握知识外,还要能够将知识应用到设计/开发解决方案中去。因此,培养掌握及应用专业技术知识要遵循全周期、全流程工程逻辑。

毕业要求 6、7 对非技术工程基础知识的要求,不仅要求掌握知识,而且要求能将知识应用到产品开发中去。因此,培养掌握及应用非技术工程基础知识要遵循全周期、全流程工程逻辑。

毕业要求 11 对经济决策的要求,不仅要求掌握成本分析、核算知识,而且要求能将其应用到产品开发的过程中去。经济决策能力的培养要遵循全周期、全流程工程逻辑。

毕业要求 11 对项目管理的要求,不仅要求掌握项目管理的基本理论和方法,而且能够在全周期、全流程的产品开发整个过程进行协调管理。因此,项目管理能力的培养,要结合全周期、全流程的实际过程、或结合案例进行培养。

毕业要求 3 对设计/开发解决方案要求,基本

覆盖了全周期、全流程产品开发整个过程,毕业要求 2 对问题分析的要求位于概念及计划阶段,毕业要求 4 对研究的要求位于计划阶段,毕业要求 8 对使用现代工具的要求位于计划及开发阶段。因此能力的培养也要遵循全周期、全流程工程逻辑。

毕业要求 8、9、10、12 是对学生素质、素养的要求,也体现在产品开发的全周期、全流程。素质的养成也要结合全周期、全流程工程逻辑。

因此,无论是知识,还是素质、能力的培养,都不能脱离全周期、全流程工程逻辑,知识只有在全周期、全流程的工程应用中才能形成能力,素质也要通过全周期、全流程的工程锻炼才能成为能力的组成部分,解决复杂工程问题的能力只能在全周期、全流程的工程综合应用中才能逐渐形成。

四、通过一体化的课程体系来体现工程逻辑

全周期、全流程工程逻辑对解决复杂工程问题的能力,以及支撑能力的知识和素质提出了一体化的要求,遵循工程逻辑培养学生解决复杂工程问题的能力,就是要根据工程逻辑的要求,按照毕业要求的分类、分层关系进行一体化的课程体系设计。

1. 一体化课程体系建设理念。

以毕业要求的达成为抓手,按照毕业要求的层级关系,从底层到中层、再到高层的顺序来设计课程体系。每一层级的毕业要求不仅要达到自身层级的要求,而且要能够有效支撑上一层的要求,所有毕业要求共同支撑培养解决复杂工程问题的能力这一最终目的。

将方法论作为培养路径,培养学生遵循工程逻辑解决复杂工程问题的能力。毕业要求的分层客观上需要通过方法论来实现层次间的支撑和层次内的协同;知识和素质转换为能力、解决技术与非技术的冲突、全周期全流程的综合、12 条毕业要求的综合、设计/开发能力与经济决策能力培养等都需要通过方法论。需要在培养专业技术知识、非技术工程基础知识的基础上,引入方法论课程来实现能力的融合培养。

2. 一体化课程体系实施的举措。

(1) 更新专业技术知识课程。

针对部分专业技术课程较为陈旧的问题,更新专业技术课程内容,体现出时代特色和要求;针对部分专业技术课程面临多学科交叉融合的挑战,开设信息技术和人工智能方面的通识教育课

程和专业选修课程,促进信息技术和人工智能与传统工科专业的融合,以建成新型交叉融合类工科专业课程体系。

#### (2) 增加非技术工程基础知识课程。

遵循工程逻辑进行产品开发,工程伦理、知识产权、法律法规,职业道德以及项目管理、经济决策等知识,是开发一个合格产品所必备的知识。当前,许多工科专业课程体系中非技术工程基础知识存在结构性缺失,这不仅会造成学生非技术工程基础知识的薄弱或缺失,而且由于毕业要求具有层级关系,还将影响能力要求,最终会影响到解决复杂工程问题能力。因此,应增强非技术工程基础知识的培养,考虑到学分学时的限制,每类知识单独成课不太现实,建议增加“工程概论”课程,将工程伦理、职业道德、知识产权、法律及法规、环境保护、项目管理、成本分析等非技术工程基础知识进行综合,作为“工程概论”课程的第一部分内容,学生可通过自学或传授的方式学习。

#### (3) 开设产品设计/开发方法论课程。

遵循工程逻辑设计/开发解决方案要考虑技术与非技术问题,要考虑研发、中试、销售、服务、运营的全周期、全流程等众多范畴和内容,这需要通过设计/开发方法论来综合解决。许多学校、专业不开设全周期、全流程产品开发的方法论课程,或仅用专业技术课程或纯技术课程来代替,学生难以掌握跨课程的知识应用、难以了解全周期、全流程产品开发的方法。建议工科专业开设设计/开发方法论课程,将其作为“工程概论”课程的第二部分内容。

#### (4) 开设项目管理方法论课程。

全周期、全流程的产品开发涉及组织协调、资源管理、过程管控等项目管理的要求,除了要有项目管理知识外,还要掌握项目管理的方法论,并结合设计/开发方法论综合应用。许多学校、专业不开设项目管理课程,或开设了但只是讲授项目的知识、原理,并没有结合本专业的产品开发,也没有有效支撑上一层级的能力要求。建议工科专业开设项目管理方法论课程,将其作为“工程概论”课程的第三部分内容。

#### (5) 开设经济决策方法论课程。

经济分析与决策贯穿产品开发始终,这不仅需要掌握成本分析、控制的管理会计知识,进行全周期、全流程成本核算,还要能够结合技术方案、工艺过程和流程环节来做经济决策,而将管理会

计知识转变为经济决策应用能力,则要通过全周期、全流程的经济决策方法论。<sup>[6]</sup>许多学校、专业不开设成本分析、控制知识的课程,或仅用宏观经济课程来代替,这样不仅难以达到掌握相关知识的要求,而且也难以达成经济决策能力的要求。建议工科专业开设经济决策方法论课程,并作为“工程概论”课程的第四部分内容。

#### (6) 重塑课程设计、创新实践、毕业设计课程。

按一体化要求重塑课程设计。增加一些跨课程、跨学年,考虑非技术因素冲突,能够结合全周期、全流程产品设计/开发方法论及经济决策方法论的课程设计内容,以培养学生的工程师思维能力,训练学生应用方法论的能力。

按一体化要求重塑创新实践。创新实践课程应引导学生根据市场需求,来进行产品策划、产品定义、产品创意、产品商业模式创新。

按一体化要求重塑毕业设计。毕业设计应起到检验学生是否具有按照工程逻辑应用设计/开发方法论、经济决策方法论,将专业技术知识、非技术工程基础知识及方法论相融通,以构成解决复杂工程问题能力的知识结构。建议根据一体化要求,重新设计毕业设计的大纲、要求,使毕业设计成为一体化课程体系最终的综合成果。

#### (7) 改进认知实习、生产实习教学环节。

知识转换为能力,除方法论课程支撑外,还需要教学实践环节的支撑。为避免学生在实习中“盲人摸象”,学生实习前应先进行方法论的培养,再进行有针对性的认知、生产实习,通过实习使得所学的方法论能在企业能得到验证,所学的知识能得到实践体验。

根据一体化要求设计生产实习内容。按照工程逻辑设计统一的认知实习、生产实习大纲,将实习的内容、要求与毕业要求中的能力要求相匹配、与工程概论内容相匹配。

积极探索生产实习新模式。工科院校可在更大范围内优化配置教学资源,挖掘行业、企业优势资源,探索与企业共建校内生产实习基地或工程创新训练中心的方式,把企业的全周期、全流程产品设计/开发的流程及实施方法引入高校,在学校内建立起校企共建、学校管理、企业专家教学的生产实习模式,彻底解决生产实习难、实习内容发散的问题。<sup>[7]</sup>

### 3. 提高教师的工程实践能力。

工程教育要求学生做到的,教师应该先做到。许多高校工科专业教师的工程背景较弱,要提高学生解决复杂工程问题的能力,首先要提高教师对解决复杂工程问题的认知深度和工程实践能力。要针对专业基础课、专业课、实验课的教师进行工程知识、产品设计/开发方法论及经济决策方法论的培训。只有教师真正理解了解决复杂工程问题的全周期、全流程的方法论,才可能通过教师在教学中实现专业技术知识、非技术工程知识与方法论的融通,才能使学生真正学到将工程知识、方法论相融合的专业技术知识,才能使学生真正具有解决复杂工程问题的能力。

### 五、结束语

新工科建设要求加快工程教育改革,培养出大量的能够适应、支撑和引领新经济、新技术、新产业、新业态和新模式发展的工程科技人才。工程科技人才要想到适应、支撑和引领的作用,首先要了解工程逻辑,在此基础上,能够遵循工程逻辑进行思维、提出解决方案,能够遵循工程逻辑进行实操。这样的工程科技人才需要在工科培养阶段,就应按照工程逻辑来进行相应的知识、素质、能力的培养,培养学生掌握全周期、全流程设计/开发解决方案的方法和经济决策的方法,培养学生系统考虑、系统解决问题的能力,最终达到培养学生遵循工程逻辑解决复杂工程问题的能力。《华盛顿协议》基于工程的视角,整合了工程逻辑

的要求,与工程逻辑高度契合。工程教育应以培养学生遵循全周期、全流程工程逻辑解决复杂工程问题的能力为最终目标,以毕业要求的达成为抓手,重塑课程体系,进行一体化设计,将工程逻辑转换为一体化的课程体系,并通过各课程的有机协同和相互支撑,构建学生的系统性思维、系统性解决问题的能力。

### 参 考 文 献

- [1] 周玲,孙艳丽,康小燕.回归工程 服务社会——美国大学工程教育的案例分析与思考[J]. 清华大学教育研究,2011(6): 117-124.
- [2] 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[J]. 高等工程教育研究,2017(2):72-79.
- [3] 杨毅刚. 企业技术创新的系统方略:集成产品开发模式(IPD)应用实施[M]. 北京:人民邮电出版社,2015.
- [4] 杨毅刚. 持续降低产品成本的系统方略:管理会计在电子信息产品成本竞争中的经典应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.
- [5] 中国工程教育认证协会:工程教育认证通用标准[EB/OL]. <http://www.ceeaa.org.cn/main!newsList4Top.w?menuID=01010702>.
- [6] 杨毅刚,等. 新工科培养的工程科技人才应具有经济决策能力[J]. 高等工程教育研究,2017(5):32-36.
- [7] 杨毅刚,等. 企业视角下新工科建设与工程教育改革[J]. 高等工程教育研究,2018(3):18-23+28.

## The Construction of Discipline Integration Based on the Engineering Logic

Yang Yigang, Tang Hao, Song Qing

**Abstract:** The purpose of engineering education reform is to serve the society and meet the demands of engineering industries. Engineering education should lead the development of new economy, new technology, new industries and new modes, and organize the teaching activities based on the engineering logic to train students' complex engineering problem-solving capability. From the perspective of enterprises, this paper analyzes the internal rule and logic of designing/developing solutions in enterprises, and explores the connotation and requirements of the whole process of engineering logic. Moreover, After analyzing the relationship between Washington Accord and engineering logic, this paper not only raises the idea of integrating the disciplines to reflect the engineering logic, but also puts forward the corresponding design ideas, methods and suggestions for the implementation of discipline integration.

**Key words:** engineering logic; reform of engineering education; emerging engineering education; complex engineering problems; curriculum; IPD

(责任编辑 黄小青)