

面向复杂系统的高等工程教育再设计

——南方科技大学 SDIM“深度整合”新工科教育实践

汤瑞丽 梁丙卓 周利民

摘 要】工程是面向设计、建造、运行的复杂系统,工程的复杂性决定了工程教育的复杂性。以深度整合建构工程教育整体发展框架,实现复杂教育系统再设计,是破除学科壁垒、提升学生综合竞争力的一项有益探索。南方科技大学系统设计与智能制造学院秉持“在多学科融合中同步传授知识与培养能力”的教育理念,从塑造卓越工程人才所需要的通用知识与能力出发,通过宽专交融的课程建设、全学程项目引领式的教学实践,以及蕴含多元价值的过程性评价,引导学生在难度递增的串编项目中实现知识、能力、情感等要素的全面集成与综合发展。

关键词】深度整合 多学科融合 项目教学 过程性评价 新工科教育

一、引言

工程是面向人工世界的创造活动,形成于政治、经济、文化、社会相互关联的动态环境之中,蕴含丰富的技术要素与非技术要素,拥有构思、设计、实现、运行等完整的生命周期,是一个具有“集成性、实践性与创造性”^[1]的复杂系统。在我国,自科学、工程、技术三元论提出^[2]以来,工程开始摆脱“应用科学”“纯技术活动”的地位,在哲学与教育研究中自成体系。Figueiredo A D 超越了工程、科学、技术的单纯联系与比较,以更具整体性与跨学科的视角提出“基础科学、人文科学、设计、工艺”的工程四维认识论。^[3]基础科学为工程提供严谨的逻辑与理论、方法指导;人文科学揭示人工世界的社会性质,在工程系统中发挥价值引导作用;设计贯穿工程始终,是关联理论与实践的核心机制;工艺是指实践所需的技术技能,即利用灵活性和耐性攻克工程复杂性的细节探究能力。工程活动不是四类知识的静态拼接,而是在特定的应用环境中,对临时聚集在一起的多维知识,按照特定目的进行的持续连接和重新组合,并且在工程知识的集成过程中,纯粹的基础科学、人文社会科学和工艺技能,必须在完成贴合工程情境需求的创新转化之后,才能成为工程的有机组成部分,承担相应功能。

由此可见,工程的复杂性并不主要体现为要素的数量,更体现在多要素之间的互动关系。当

前工程教育注重前者,忽视后者,仍未从科学范式中走出来。培养理念上,理科与工科混淆,重分析而轻综合;课程建设上,通识课程、专业课程、实践课程线性推进,造成不同类型知识与技能的相互隔离;教学方式上,聚焦知识传递与局部工程问题的解决,学生难以在系统背景中思考、研究与实践。传统工程教育已难以满足工程多学科融合的本质诉求,以及工业 4.0 背景下集成创新、快速迭代的产业变化对复合型人才的需求。

工程的复杂性应当在工程教育中得到体现。但教育系统不等于工程系统,我们既无法在教育组织内完全复刻工程的形成过程,也不可能在四年本科阶段容纳智能时代持续膨胀的知识体系。工程教育是对工程系统分阶段的选择性表达,是为学生在快速变化的时代获得成功而做的准备。本研究的主要目的就是克服上述弊端,面向复杂工程系统,把握工程的集成性,进行工程教育的再设计。

二、以“深度整合”实现工程教育再设计

(一) 理论基础

深度整合建立在整体工程观与结构主义教学理论的基础之上。整体工程观最先由 Joseph Bordogna 提出,认为“工程就是出于某种目的而整合所有知识”,工程师在社会建制中的根本作用就是“建构整体”。^[4]然而,还原论哲学下的教育模式形塑了“分析”的文化传统,导致基础科学、工程

收稿日期: 2023-06-03

基金项目: 南方科技大学研究系列重点项目“探索创新型工科生的培养之路:南科大 SDIM 方案”(SUSTECH2021C004)

作者简介: 汤瑞丽,华中科技大学教育科学研究院博士研究生;梁丙卓,南方科技大学系统设计与智能制造学院教学主管;周利民,南方科技大学系统设计与智能制造学院副院长、讲席教授、博士生导师。通讯作者:周利民。

科学、专业课程、工程实践分立而行的层级课程结构,学生被局限在不断细化的专业领域之中,缺乏从全局视角思考各门课程、各类知识如何以工程为对象构成有机体系。因而,将联系与整合确立为工程教育的核心,培养能够在看似不同的现象、结论和趋势之间建立深刻联系的工程人才是大学迎接未来的重要任务。^[5]整体工程观认为,工程教育需要系统性变革,但不能通过简单增加课程内容或重新安排独立课程来实现,而应从教育文化与课程结构的全面转变切入,通过学习环境与弹性制度的创建,开发学生潜能,促进积极学习。但是,整体工程观对于如何深度整合、如何囊括复杂工程系统所涉及的所有要素,没有给出清晰的建议。布鲁纳的结构主义教学理论认为,结构应成为教学的中心,它是能够保存在长期记忆中的可再生工具,以及实现原理性迁移的基础。学习结构就是学习事物是怎样相互关联的^[6],它是关于模式的学习,涉及事物的形成背景与底层原理,是比“技能学习”更为高阶的学习;要使用“发现学习法”、关注原理的不同表现形式,要开发直觉思维、激发内部动机,帮助学生以结构塑造整体、以整体产生意义、以意义驱动创新。

(二) 基本内涵

以深度整合实现工程教育的再设计,是以知识观、学习观、教学观的深刻转变为前提的。

工程知识是深度整合的核心材料,是集成、配置各类要素进而转化为现实生产力的知识群,包括显性与隐性两部分,显性知识只有在实践中转化为可操作的方案、工艺、程序、规范、指南才能发挥其作用。^[7]可见,工程知识的建构需要在理论与实践两个领域来回穿梭,并随着工程行动的展开而将更大范围内的社会、文化、经济、技术囊括其中。

工程学习是深度整合的落脚点,是学习者主动建构知识、发展能力的过程。整合学习必须在实践中进行。人工物的制造涉及多学科的交叉融合,需要在实践中打破专业壁垒,边学边做、边做边学。但即学即用,可能产生正确答案,也可能导致浅层学习与纯粹训练,即问题所涉及的知识点没有整合至学习者的概念模型中,阻断了迁移的可能性,以至于学生无法在下次任务中恰当回忆或重新使用先前经验。^[8]因此,整合学习必须是触及学习者概念模型的深度学习。概念模型是对信息群的心理表征,每种类型的问题都需要一个概念模型来描述要素含义及其因果关系。当学生以一种没有调用概念模型的方式理解一个问题时,就难以理解他们工作的底层逻辑。

工程教学是深度整合的重要手段。新的模式下,教师的角色与功能需要转变。首先,作为学生学习辅助者,有关概念模型的原始积累以及全局视野的学科地图需要教师重点教授,它蕴含大量的方法论知识与系统思考过程,能够为学生后期的增量扩展提供索引。其次,作为学生学习促进者,应将激发学生内部动机作为核心要义。工程系统所关涉的知识体量无法在课堂内全部讲授,需要大量自主学习来填充。教育的重点是“创造条件让学生自己激励自己”^[9],真正的“激励”不是外在奖励,而是活动本身。教师应合理安排教学活动、及时反馈,满足学生“自主、胜任、联结”^[10]的心理需求。

(三) 实现机制

深度整合包含横向整合与纵向整合两个方向。纵向整合如同深挖一个“洞”,是针对深度推理问题的知识集成;而横向整合则是挖掘多个关联的“洞”,是针对多阶段串联的功能集成,涉及更多不断变化的生成性问题。对于复杂性工程任务,两者都是必需的。深度整合并不反对学科知识的系统逻辑,但强调理论与实践的统一^[11],不仅在内容层面整合学科内的知识,或者通过主题来整合不同学科的知识;更要跳出学科领域,在工程目标的统领下整合知识、经验、技能、情感、价值等所有要素。

深度整合能够在工程活动中依托设计来实现。设计是一个需要多元智能参与的复杂认识过程,是在特定条件下,为满足造物需求,所进行的构思、评价、决策行动^[12];设计贯穿工程形成的全过程,但在不同层面有不同的表现形式。前期通过用户调研、划定问题的语境框架,在工程伦理、经济效益、技术条件等约束下构想出对人“有用”的“目标物”的设计方案。^[13]中期表现为复杂问题的解决,问题一方面来源于最小化分解产生的子问题,另一方面来源于解决问题本身所引发的后续问题;需要反复调用理论工具与技术工具,在行动中关联多学科知识与技能;需要不同设计语言的合作、交流,以处理在发散—收敛循环迭代中出现的模糊性、不确定性。^[14]后期主要站在系统结构视角,将各种零部件有机组装为“有用物”系统。整个设计活动在团体内进行,通过多次分工与合作完成。

(四) 设计思路

以设计为核心的深度整合将贯穿工程人才培养的全部环节,包含培养目标、培养过程、支持条件三个维度,目标维度揭示“培养什么样的人”,过程维度解决“怎么整体性地培养人”,支持维度呈

现“整体性培养的条件”。^[15]

Kazem Chaharbaghi 和 Victor Newman 按照工程活动中不同层次的个体所运用的知识类型与贡献差异,将工程人才分为创造者(Creator)、实现者(Implementor)与稳定者(Stabilizer)三种类型。^[16]创造者掌握基础科学与工程科学等原理性知识,以抽象思维的运用为主,在原型创建中发挥引领作用;实现者作为沟通创造者与稳定者的桥梁,以设计思维的运用为主,在具体场景中,通过前瞻性思考开发最佳流程和实现结构;稳定者操控技术知识与实践经验,以具象思维为主,对模糊性的容忍度较低。一个完整的工程周期需要三者同时发挥作用,通过从情境到问题的转化、从问题到模型的发展、从模型到原型的实践、从原型到产品的扩展四个阶段完成从 0 到 1 的构思,以及从 1 到 100 的量产。深度整合模式重在培养前两种类型的工程人才,以满足迅猛变化时代的高端人才需求。

围绕高端人才所需要的知识与能力,从课程、教学、评价三个方面重塑工程教育过程。深度整合反映了工程知识的选择、压缩与传递技术,即“挑选重要特征打包设计,并关联不同课程模块”^[17];教学与评价应围绕不同主题、不同项目展开,教会学生运用分析、综合、创新等高阶思维加工不同学科的高级知识,以一种突出跨学科、全系统的路径体验工程形成的整体过程。

支持系统包括环境支持与资源支持,目的是形成教育合力,建构深度整合所需要的生态系统。正如泰纳所言,观念只有在自然而正常的环境中才能形成,深度整合应为学生营造拥有大量感官印象的工程环境,能够试验反馈的协作环境,提供设备、材料等物质资源,以及产教融合的教师资源等,让每个人都能在实践中激发潜能,达到其智力水平的上限。

三、南方科技大学 SDIM“深度整合”新工科教育实践

南方科技大学把握现代工程教育深度整合的发展趋势,于 2018 年底跨越学科制度障碍,成立系统设计与智能制造学院(System Design and Intelligent Manufacturing,简称 SDIM)作为新工科教育改革的试验田。结合区域经济特色以及大湾区对高水平、复合型人才类型的需求,聚焦智能制造、人工智能、机器人、创新设计等国家发展战略领域,立足工程本质与工程认知规律,构建了全学程“在多学科融合中同步传授知识与培养能力”的人才培养模式。

(一) 目标维度:培养兼具跨学科知识与综合

能力的卓越工程师

很多人已经认识到,“工程师独自在一亩三分地,就整体的某一专门部分进行工作,然后再将他的工作扔到相互隔离的下一个流程,这样的日子已经一去不复返了”。^[18]为了克服窄化、松散、浅层的专业学习问题,培养能够快速涉足新领域,并能够在“无人区”寻找生机、开拓创新的卓越工程人才,SDIM 将工程教育的重点从“提供越来越多的专业知识”转向“提供整套的通用知识和通用能力”,以便学生能够在扎实、宽厚的跨学科基础上,超越狭隘的专业认知;并依托原理性迁移,在未来的工程职业生涯中,依然保持旺盛的生命力和学习力。

SDIM 提供的跨学科知识囊括设计、材料、机械、电子、计算机、人文等诸多学科内容,并以各学科的“核心概念”在实践中的应用与关联实现深度整合。核心概念是反映学科本质、具有解释力和统摄性的知识,处于学科知识结构的“上位”,是学习者分析问题的参考框架与意义模式。^[19]提供以概念整合为核心的跨学科知识,培养关联性求知模型,是研究型大学实现高水平人才培养的典型特征。正因为概念本身对工程现象原理、机制的揭示,使它能够“轻装上阵”,在跨度更大的区间游走,也更容易诞生创造性与开拓性的解决方案。

但是,向原理层面不断下沉的跨学科知识体系,如果不能转化为实践应用,就难以发挥其价值。这一转化过程需要综合能力的参与,包括系统思维与创新能力、表达与达成共识的能力、动手与团队合作的能力、终身学习的能力与热情、良好的人文素养、正确的伦理道德观等。它们统一构成工程师面向未来可持续发展的通用能力。

(二) 过程维度:聚焦深度整合的人才培养路径

1. 宽专交融的课程模块建设

工程是一个综合过程,因此课程设计应该朝着这个方向发展。如果课程继续限定为单一科目,则需要 6~7 年才能完成学业,如果学生只要学习定义明确的趋同问题,他们将永远无法获得解决复杂难题所需的批判性思维和创造能力。^[20]

SDIM 以“宽专交融”的模块课程实现多学科知识在基础层面的横向融合,以及专门知识在职业与兴趣层面的精专发展。在完成设计驱动的宽基础学习之后,学生可根据自身兴趣或职业规划,在四个出口中选择一个作为主修方向(图 1)。SDIM 注重课程之间的关联与结构化,以此去掉冗余内容,避免学生陷入顾此失彼的多线程任务

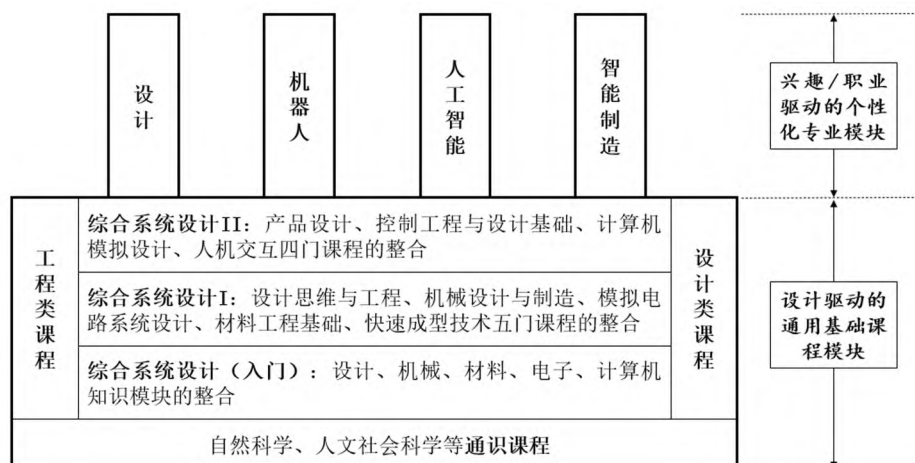


图1 SDIM 工业设计专业课程结构

和身体可感的时间压迫,使学习成为丰富智识与满足好奇的探索过程。^[21]

(1) 设计驱动的通用基础课程模块

设计驱动的通用课程模块建立在第一学年“自然科学与人文社会科学”通识课程基础上之上,包括三个难度与复杂程度递增的整合课程模块,以及其他设计类、工程类的独立课程,它们共同构成多个相近领域通用的知识与能力基座。SDIM 课程以开阔的学科视野为基础,以从 0 到 1 方法论与工作流程的掌握为核心,在解决问题的过程融合工程科学、人文科学、自然科学与专业技能,从而整体塑造工科生的知识体系与能力体系,以应对未来高密度、跨领域交叉创新的工程需求。

综合系统设计入门课程模块依托大一暑假“达·芬奇训练营”,以工程竞赛的方式,要求学生以小组为单位,在六周的时间里,围绕给定主题进行产品设计、构思与原型制作;教师提供所有相关的知识模块,并全程跟随辅导。这一课程模块以感受工程本质、体验工程认知规律为主,帮助学生完成从理科学习到工科学习的切换。工程的最终目的是制造产品,而非生产知识,大量集成封装的知识是可直接使用的工具,不必在当下深究细节原理;在有限时间、约束条件下“需要什么学什么”是工程学习的常态,它由大量决策行为串联,不必在完美计划的指引下开启实践,复杂问题的解决更依赖行动中的反思与连续的评价反馈。工科学子最重要的是学习如何定义问题,考虑替代解决方案,同时体验创造性设计,以及在有限条件下创建新产品所带来的兴奋和沮丧。学生越早意识到工程学习与理科学习的差异,就越容易打破传统藩篱,体验工程的乐趣。

综合系统设计 I 课程模块以“双钻模型”(Double Diamond)关联五门课程,于大二上学期

开展。“双钻模型”,也叫做“双钻设计流程”,是以“共情、定义、构思、原型、测试”为核心的思维模型。不直接给定工程问题,而是围绕某一主题,通过实地调研、沟通商讨,确认用户痛点与需求,并严格按照工作流程、时间要求,设计产品原型。在此过程中,SDIM 将人类行为的不确定性引入工科学生的知识体系,在去情景化的自然科学、工程学科与高度情景化的人文社会之间建立原本缺失的连接与平衡,弥补了传统工程教育对前端工程的缺失。

综合系统设计 II 课程模块以“基于解决方案的设计过程”(Solution-Based Design Process, 简称 SBDP) 关联四门课程,旨在解决企业真实问题,于大三上学期进行。SBDP 从剖析企业成型产品的第一性原理出发,结合用户需求,匹配新的应用场景,开发新的产品。它是从底层出发的推演过程,携带已有的理论指引,寻找在实践中的应用,与悬置偏见、完全以用户需求为导向的“双钻模型”构成两种截然相反的工业设计思路。

(2) 兴趣驱动的个性化专业课程模块

立足中国制造业发展趋势,以及未来科技产业的总体研判,SDIM 确立了以“创新设计、智能制造、人工智能、机器人”四大方向为基本架构的工业设计专业课程模块。学生在完成通用知识与能力的积累之后,依据兴趣或职业规划任选其一,自由搭配至少 5 门选修课程。课程聚焦专业的升维整合,以学科发展脉络、核心概念、前沿走向的学习为主,目的是形成这一学科方向的基础与核心知识体系,并完成专业学分认证。虽然本科生没有理由成为被提前职业化的研究生,但他们完全有理由学习驱动所有伟大研究的批判性创造力,以及用前所未有的方式想象和理解一件事物的能力。^[22]SDIM 在专业课程模块中,也提供了部

分科研导向的课程,为今后愿意从事工程研究的学生提供一次体验科研范式的机会。

这一套尊重学生自由意志、给予其充分选择权的宽专交融的课程矩阵,能够极大压缩非核心教学比重,缩短学生专业训练与职业成长的时间,使学生成为“既掌握横向拓展所赋予的知能基础,又拥有纵向深化所赋予的逻辑思维与分析判断”的T型人才;在百年未有之大变局时代极具推广价值。

2. 全学程项目引领式的工程教学

工程需要在实践中将关涉的所有元素综合起来,最终创造出新的人工物。从这个角度来看,工程教育的任务就是教会学生如何获取这些要素,如何将其组装成一个整体,并在顺利完成工程项目的同时,将知识、技术、经验、直觉等等进行整合,从而内化为自己的心智模型,提升在下一任务中的成功率。整合程度的深浅,既影响学生知识处理的关联性、思维层次的丰富性,也决定了工程教育质量的高低。不同于传授广泛学科知识,但让其始终处于孤岛位置,只在毕业设计的时候将部分知识拧合的工程教育模式,SDIM进行的是全学程项目引导式教学。

SDIM项目类型包括课程项目与综合项目两种。课程项目是在学生最近发展区内,围绕某一学科的重难点或知识模块设计的学习活动。目的是让学生在动手实践中整合资源、锻炼不同的能力。综合项目聚焦跨学科能力培养,是围绕某一主题,利用多学科知识与工程技能,在团队协作中进行的集调研、观察、设计、制作、调试、表达为一体的学习活动。前半学程,以学科内容为主线,课程项目贯穿始终,以加深知识点的理解为重;后半学程,以综合项目为主线统领多门课程整合,学科内容穿插其中。整个过程,理论学习与实践学习交替进行,分析能力与综合能力同步培养(图2)。

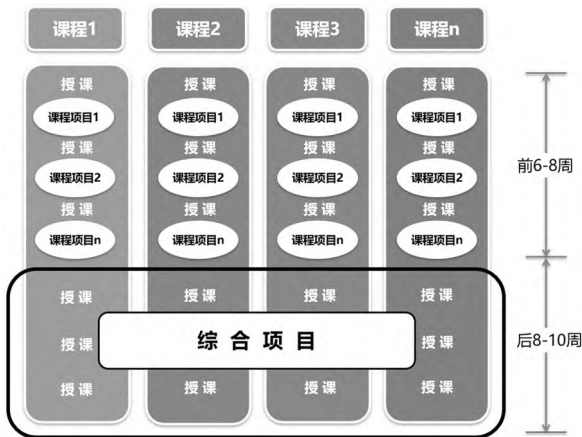


图2 SDIM课程项目与综合项目设计

项目教学对教师提出了更高要求。理论层面,教师按照“框架+逻辑+重难点”的方式对各学科的整体布局进行讲授,聚焦学科逻辑、学术品味、方法论,以结构代替细节,目的是教给学生宽广的视野(知道解决一个问题有哪些不同的视角与方式)与思维的过程(知道解决一个问题的关键机制)。实践层面,学生在项目学习中所需要的知识密度与整合强度远超课堂所学,需要专任教师、项目工程师与学生助教提供方向指引。

学生在毕业前,能够完成难度递增的大小项目约40个。项目难度遵循从简单到复杂、从单一学科到多学科融合、从人为设置的结构化项目到企业真实的非结构化项目的渐进规律。通过不同项目覆盖不同的知识点,通过项目与项目之间的连接完成学生认知地图的构建。这一做法削弱了工程课程之间的线性、层级关系,而从网状结构出发,教给学生横向关联的方法,使其能够在多领域观念的冲突过程中达成和谐、宽广的认知基础,并获得灵活迁移的能力。

3. 关注多元价值的过程性评价

项目引导式教学已经成为行之有效的工程人才培养方式,但由于其高度个性化的特质,以及工程过程层次性、多向性、周期性等特征^[23],工程教学评价需关涉的要素与细节日益增多,对过程的揭示变得尤其重要。传统总结性评价仅在每阶段学习结束后进行,以统一标准测量学生学习结果,利用个体分数差异刺激竞争、提高学习效率。它弱化了教师的育人职能,只告知学生在统一参照系中的静态位置,难以阐明学生处于劣势地位的原因,以及为改变现状应采取的行动^[24],尤其不利于自我诊断、自主学习能力较弱的中间层次学生的成长。

工程学习是一个动态发展的过程。SDIM采用过程性评价方式,利用控制论思想,将评价视为一个控制系统,通过采集系统状态信息,揭示现状与目标之间的差距,及时采取措施,确保系统维持在预定目标状态。^[25]具体而言,以高密度、高频次的连续评价,将项目学习切割成以周为单位的串联环节,通过对每一个环节成效与目标的差异性比较,调整教学,从而帮助每位学生以最合理的速度实现恰当的目标。

为保证评价的客观性、全面性,对个体学习活动的不同方面作多角度的解释和说明,SDIM利用不同评价主体的优势,以尽可能多元的方式收集证据。每一门专业课每隔两周都会对学生进行一次考核。①评价主体由专任教师、项目工程师、研究生助教、学生本人及小组成员组成,从各

自职能出发分配不同的关注点。② 评估内容包括知识获取、动手能力、思维技巧、项目执行、学习动机、沟通能力、态度责任七个部分,涉及从工程知识的吸收、转化到应用各个环节所需要的“硬技术”与“软实力”。③ 评估工具包括学习笔记、课堂测试、课堂表现、项目汇报、项目视频、口试、作业等等,试图在多样的学习情境中寻找学生知识建构与转知成智的证据。④ 由于工程有层级之分,层级越高学习难度越大,对综合能力要求也越高^[26],因而,不同时间的评价权重也不一样,越靠近学期末,学生单次成绩占总成绩的比重就越高。每一次考核教师都会给每个学生反馈成绩雷达图与详细评语,并以横向全班课程得分、纵向学生个体成长变化监测学习效果。

SDIM 过程性评价使学生成为最大的受益者。通过自定义项目学习的密集监控维持学生探索欲望与内生动力;通过详细敏捷的多维评价,使学生始终在最近发展区内获得问题解决的“脚手架”,从而避免习得性无助所带来的焦虑、自卑情绪。实践证明,SDIM 过程性评价通过回归教育内在性、自足性、生成性的程序设计,在潜移默化中给予了学生向前的推力与向上的拉力。它改变了“评价失真、竞争失格和个体失独”的内卷环境而导致的“假性学习”现象^[27],使学生开始关注学习风格和自适应学习系统的整合,以及自我认知与自我诊断能力的发展,大幅提高了中间层次学生的学习质量,减弱了过度选拔带来的教育不公平问题。

(三) 支持维度:工程教育改革的条件保障

SDIM 为教学活动提供了充分的保障,以满足新工科教育改革需求。首先,物理空间是教育空间最本质的构成范畴,其面积、格局反映的不仅是物理关系,更是人与人之间的关系。学创大教室的建立是 SDIM 新工科教育改革最直观、最具奠基性的一步,它改变了传统“马蹄形”教室布局,为项目引导式教学提供了集授课、实践、研讨、展示为一体的开放空间与充足的资源保障,营造了主动学习、合作学习、探究学习的集体心理氛围。其次,制度作为行动者注意力、意义构建与身份认同的潜在参考框架,能够在无形中发挥作用。^[28] SDIM 跨学科教师聘任制度、定期课程研讨制度、师生恳谈会制度、工程师全程辅助制度等,既保障了人才培养的灵活性、敏捷度,又能将改革聚焦于学生中心、学习本位。

四、结语

工程教育改革是一项复杂的系统工程,涉及人才培养的各个环节、各种要素。自 2017 年教育

部推进新工科建设以来,已取得重要进展和显著成效,目前已由理念倡导和顶层设计阶段,走向落实推进和质量提升阶段,迫切需要实实在在的做法,来解答改革中的难题。南方科技大学 SDIM 以深度整合建构工程教育整体框架,实现复杂系统的再设计,是破除学科壁垒,提升学生综合竞争力的一项有益探索。与浅层拼接相比,深度整合具有以下特征:第一,深度整合触及不同学科底层原理的关联,能够直接匹配复杂问题的结构特征,它构成在不同情境迁移、创新、灵活调取的基础;第二,深度整合的实现需要理论与实践交替承担主导作用,前期提供基本的知识与技能储备,后期通过做中学、反思实践,实现科学、技术、人文的功能集成;第三,深度整合是一个社会建构过程,工程形成所需要的知识与技术分散于不同个体,他们在群体层面分享着共同目标,在个体层面又存在冲突看法,需要大量软性能力的加持,以实现通力合作。

参 考 文 献

- [1] 王沛民. 中国工程教育研究(EER):式微与复兴[J]. 高等工程教育研究, 2013(6):13-21.
- [2] 李伯聪. 略谈科学技术工程三元论[J]. 工程研究, 2004(1): 42-53.
- [3] FIGUEIREDO A D. Toward an epistemology of engineering. Proceedings of the Workshop on Philosophy & Engineering [C]. London: Royal Engineering Academy, 2008:94-95.
- [4] JOSEPH BORDOGNA, ELI FROMM, EDWARD W ERNST. An integrative and holistic engineering education [J]. Journal of science education and technology, 1995(3): 191-198.
- [5][15] 张炜,翁默斯,李拓宇. 整体工程教育[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2020:29,56.
- [6] 布鲁纳. 教育过程[M]. 邵瑞珍,王承绪,译. 北京:文化教育出版社, 1982:28.
- [7] 邓波,贺凯. 试论科学知识、技术知识与工程知识[J]. 自然辩证法研究, 2007(10):41-46.
- [8] ADITYA JOHRI, BARBARA M OLDS. Cambridge handbook of engineering education research[M]. London: Cambridge University Press, 2005: 103-118.
- [9][10] 爱德华·L·德西,理查德·弗拉斯特. 内在动机[M]. 王正林,译. 北京:机械工业出版社, 2020:11,100.
- [11] 崔允漷. 深度教学的逻辑:超越二元之争,走向整合取径[J]. 中小学管理, 2021(5):22-26.
- [12][14] CLIVE L DYM, ALICE M AGOGINO, OZGUR ERIS, et al. Engineering design thinking, teaching, and learning[J]. Journal of engineering education, 2005(1): 103-120.
- [13] 王义遒. 从应用理科到“新工科”[J]. 高等工程教育研究,

- 2018(2):5-14.
- [16] KAZEM CHAHARBAGHI, VICTOR NEWMAN. Innovating; towards an integrated learning model[J]. Management decision, 1996(4): 5-13.
- [17] VAN TASSEL BASKA J, WOOD S. The integrated curriculum model (ICM)[J]. Learning and individual differences, 2010(4): 345-357.
- [18] 路易斯·L·布西亚瑞利. 工程哲学[M]. 安维复, 译. 沈阳: 辽宁人民出版社, 2012:2.
- [19] 李松林. 以大概念为核心的整合性教学[J]. 课程·教材·教法, 2020(10):56-61.
- [20] RICHARD M FELDER, DONALD R WOODS, JAMES E STICE, et al. The future of engineering education-part 2. Teaching methods that work[J]. Chemical engineering education, 2000(1): 26-39.
- [21] 林小英, 杨芊芊. 过度的自我监控: 评价制度对拔尖创新人才培养的影响[J]. 全球教育展望, 2023(4):14-32.
- [22] 安德鲁·阿伯特. 大学教育与知识的未来[M]. 王桐, 陈嘉涛, 译. 北京: 三联书店, 2023:83.
- [23] 孔寒冰. 工程链: 工程教育的新挑战[J]. 高等工程教育研究, 2009(2):23-26+70.
- [24] 马立平. 我国目前的教育评估观质疑[J]. 上海高教研究, 1987(3):57-60.
- [25] 赵炬明. 关注学习效果: 美国大学课程教学评价方法述评[J]. 高等工程教育研究, 2019(6):9-23.
- [26] 华中科技大学高等工程教育研究中心课题组. 项目学习的评价[J]. 高等工程教育研究, 2010(6):82-87.
- [27] 苑津山, 幸泰杞. “入局与破局”: 高校学生内卷参与者的行动逻辑[J]. 高教探索, 2021(10):123-128.
- [28] 帕特里夏·奥卡西奥·龙恩博. 制度逻辑[M]. 汪少卿, 译. 杭州: 浙江大学出版社, 2020:1.
- [21] 林小英, 杨芊芊. 过度的自我监控: 评价制度对拔尖创新人

Redesign of Higher Engineering Education for Complex Systems

—“Deep Integration” Engineering Education Practice in Southern University
of Science and Technology of SDIM

Tang Ruili, Liang Bingzhuo, Zhou Limin

Abstract: Engineering is a complex system oriented to design, construction and operation. The complexity of engineering determines the complexity of engineering education. To construct the framework of engineering education with deep integration and realize the redesign of complex education system is a beneficial exploration to break the discipline barriers and enhance the competitiveness of students. School of System Design and Intelligent Manufacturing in Southern University of Science and Technology, adheres to the educational concept of “synchronized cultivation of knowledge and ability in multidisciplinary integration”, starts from the general knowledge and ability needed to shape outstanding engineering talents, and takes the advantage of the wide integration of curriculum construction, the whole course of PBL, the process evaluation containing multiple values, in order to guide students to achieve comprehensive integration and development of knowledge, ability, emotion and other elements through the increasingly difficult string projects.

Key words: deep integration; multidisciplinary integration; PBL; process evaluation; new engineering education
(责任编辑 任令涛)