

数学对工程科学人才职业素养培养的价值及教学路径

原创：张 然，高彦伟 《现代教育科学》编辑部摘编

[摘要] 培养工程科学人才是一流综合性大学与工科院校人才培养的重要任务。以核心素养为本，从更高层级认识和发挥数学教育多维度育人作用、增强工程科学人才职业素养是新工科建设背景下工科数学教学的必然要求。从数学本质特点、企业岗位需求和工程教育认证3个角度可以看出对工程科学人才数学素养的共性要求是数据分析、数学建模、数学表达、科学计算等能力和提高创新意识，强调学生能够运用数学工具处理专业问题。数学的科学性、技术性与人文性对工程科学人才职业素养的培养具有重要价值，基于此提出面向工程科学人才职业素养培养的数学教学实施路径，为新工科数学教学改革提供参考。

[关键词] 新工科；工程科学人才；工程教育认证；职业素养；数学教学改革；

[基金项目] 吉林省高等教育教学改革研究课题“数学人才培养模式的教学改革与实践”（项目编号：JLJY202181448668）；吉林大学本科创新示范课程“概率论与数理统计”建设项目（项目编号：419021421B17）。

[作者简介] 张然（1977—），女，吉林吉林人，博士，吉林大学数学学院院长、公共数学教学与研究中心主任、教授；主要研究方向：科学与工程计算。

[通讯作者] 高彦伟（1973—），男，吉林九台人，博士，吉林大学数学学院教授；主要研究方向：统计理论与应用。

2018年10月，教育部颁布了《加快建设高水平本科教育，全面提高人才培养能力的意见》，开始实施“六卓越一拔尖”计划2.0，全面推进新工科、新医科、新农科、新文科四新建设。在百年未有之大变局和新技术革命的背景下，新工科建设主要针对的是人工智能、云计算、智能制造等新兴产业。作为新工科建设主阵地的综合性大学或高等工科大学，要把新工科建设国家战略聚焦到科学研究和人才培养这两个学校本质功能上，加速高等工程教育的转型与升级，将目前以工程技术教育为主的教育模式尽快向工程科学与工程引领模式转化，提高工程科学人才的培养质量。

工程科学人才是指从事工程科技活动，有品德、有科技才能，在工程科学领域有科技特长的人，是掌握知识或生产工艺技能并有或可能有较大社会贡献的人。培养工程科学人才是一流综合性大学与工科院校人才培养的重要任务，因为工程科学人才将主要从事科学研究、技术研发、科技创新和成果转化的复杂的、非常规性的工作，其职业素养也被赋予了更高的评价标准。美国、英国等国家认为工程科学人才职业素养主要包括分析能力、实践创新能力、交流能力、商业管理能力、职业道德、专业精神与终身学习能力；法国工程师委员会认为工程师未来发展的趋势是以数学、物理、化学等为基本知识，强调交流能力、外语能力和数学建模能力。总而言之，工程科学人才的职业素养包括了从知识基础、思维水平、专业技术能力到职业意识、职业行为习惯、职业价值观等多维度和综合性的要求。而数学作为一种定量考虑问题并获得规律性认识的主要方法在工程科学活动中被广泛应用。数学除了具有作为量化研究问题的工具属性，更是一种文化形态，将长期有力地影响与促进工程科学人员的终身发展。对于人才培养部门，把握数学作为基本知识的重要性、科学研究的工具承载性以及服务社会的文化传播性，从更高层级认识数学文化与素养的重要性，揭示数学教育多维度育人的效应与规律，对于推动新工科建设背景下工科数学教学改革和工程科学人才职业素养培养具有重要意义。

一、工程科学人才应具有的数字素养

坚持以数学素养为本的教学理念，从职业素养塑造和职业发展潜力科学评估视角深入研究和开展数学教学研究，首先要厘清工程科学人才所应具有的数字素养，这里从数学自身的

元认知、企业岗位要求、工程教育认证角度 3 个方面予以审视。

（一）从数学本质特点的角度审视数学素养

随着数学学科的发展，近 40 年来对数学科学形成了更为深刻的认识，数学是一种语言、一个工具、一个基础、一门技术、更是一种先进的文化。所以，对数学核心素养成分的认识也发生了的变化，比较有代表性的观点有二。其一，蔡金法教授认为“从数学学科角度看，数学交流、数学建模、数学智能计算思维、数学情感能刻画出满足培养目标的人才所拥有的素养”。其二，孙宏安教授在剖析学科素养的建构过程时，把数学素养表述为“学生应具备的适应终身发展和社会发展需要的数学领域的必备品格和关键能力。其中，必备品格包括数学知识、数学应用意识、数据意识、计算意识、科学态度和数学价值观；关键能力包括空间想象能力、逻辑推理能力、计算能力、数据能力、数学抽象、表达、交流和建模能力”。综合来看，数学素养是对数学文化、数学思想、数学方法和数学技术能力的内化认知水平，是高层次文化素养的表现。

（二）从企业岗位要求角度审视数学素养

随着科技的发展，智能技术引入到生产系统之中，生产系统将完成大部分的简单劳动，大型科技企业对人才的要求发生了实质性的变化，要求员工向产品的设计者和智能生产的管理者转变，需要他们具有极高的理解问题、分析问题、解决问题的能力，需要掌握丰富的产品安全知识、具有跨学科的综合能力，具有创新意识、创新能力和团队意识。能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理识别、表达、分析与研究复杂工程问题。许多高科技企业，诸如谷歌、微软、华为、百度等企业在招聘笔试或面试时，都通过数学问题来考查面试者的知识结构和思维能力。测试题目虽然对较为复杂艰深的大学数学内容较少涉及，但反映出的数学思想、数学思维和方法都是数学的核心素养。例如数量与形式的关系、图表所表示的具体问题的特点、图形的特征与规律性、数字排列与组合的规律性、数据分析、利用概率分析问题等，从中可以看出数学素养是高科技企业普遍重视的职业素养成分。

（三）从工程教育认证角度审视数学素养

工程教育认证是工程师注册制度的基础和重要组成部分，是实现国际互认、实质等效的基础，本质上不要求毕业生个体获得相同的能力，但要求毕业生进入职业实践所需的教育储备应该具有相同的整体效果，对签订各个培养组织的教育质量具有等效性，即体现在经过签约成员认证的工程专业培养出来的毕业生获得能力是等效的。专业教育培养方案的专门认证是由专门职业协会同该专业领域的教育工作者一起进行的，均体现了数学和数学应用能力的培养内容。根据收集的 20 所大学参加工程专业教育认证的自评报告，选取部分对数学要求较高的专业，归纳其数学课程设置及其对数学能力的要求（表 1），以此审视工程科学人才的数学素养。

表 1 部分工程专业数学课程设置及要求

专业	通识课程	专业基础课程	总学分	基本能力要求	应用能力要求
车辆工程	微积分、几何与代数、概率论与数理统计	数值方法、优化理论与方法、复变函数与积分变换	16—20	1. 抽象思维和逻辑推理的理性思维能力；2. 运用所学的知识分析问题和解决问题的能力以及较强的自主学习能力，逐步培养学生的创新精神和创新能力；3. 满足专业基础课程和后续课程学习需要	1. 能够将数学知识运用到实际工程中进行分析、建模；2. 能够将数学、自然科学基本原理应用于专业复杂工程问题的识别、表达；3. 能够正确采集整理实验数据，对实验结果进行分析与解释
机械制造及自动化	微积分、几何与代数、概率论与数理统计	复变函数与积分变换、计算方法、计算思维	16—20		
交通运输	微积分、几何与代数、概率论与数理统计	科学计算与数学建模	16—20		

数据分析、数学建模、数学表达、科学计算和提高创新意识是工程教育认证专业对数学应用能力的共性要求。其强调学生运用数学工具处理专业问题的能力，并在其人才培养方案中，突出强调了“大工程观”为基础的学生“综合素养模型”，将数学素养纳入其中，设置“知识+思维+能力”的贯通式的课程，将知识源的整合、学生能力的跃迁、学生“算力”的培养作为培养重点。

二、数学对培养工程科学人才职业素养的意义

数学对物质的具体形态和属性进行忽略，主要考虑对象的结构和关系，只是纯粹从数量关系和空间形式的角度来研究现实世界，这也使抽象性成为数学的本质特点，所以学习数学能够很好地训练思维能力。数学通过建立和形成空间观念、数量观念并认识其变化规律，抓住共性，经过严格的逻辑推理和证明、简洁准确地表达，在此过程养成抽象思维能力、逻辑推理能力、空间想象能力等高阶思维，并领会数学的思想及其精神实质，提高创新性思维。钱学森指出，数学既是一门科学，更是一门技术。现代经典物理学中随处可见抓住问题的本质而抽象出的数学模型。在数智化程度较高的工程科学领域，数学与计算机技术、信息技术融为一体，形成了以数据分析科学为核心的数字化分析技术体系，随着问题复杂程度的提升，越是关键节点，数学能力越成为解决问题的关键能力。例如5G技术、人工智能、边缘计算、物联网等。数学模型不仅高效而且低成本地解决了大量科学与工程问题。反之，工程专业不断向数学贡献新的数学方法，例如克里金方法、小样本检验的t分布等均由工程科技人才在实践中发现或提出的新理论。工程实践还不断向数学提出新的问题，例如海堤安全高度的计算、连续铸造的控制、发动机中汽轮机构件的排列等。数学的技术性还体现在数据分析、优化管理和科学智能计算上，特别是大数据时代，需要数据管理、思维与方法技术三足鼎立，包括工学在内的许多学科门类都将发生巨大的变化，很多问题的解决需要数学理论和方法上的突破，数学为解决问题提供了科学高效甚至是关键的技术方法。数学本身还具有人文性。数学的人文价值主要体现在认知价值、伦理价值、艺术价值、智识价值等4个方面。从数学的文化视角看待问题对于认识数学的本质精神、社会价值与全面素质教育功能不仅具有指导意义，而且从精神层面、知识能力培养到人格形成都对受教育者具有塑造作用。数学问题的提出与解决本身是一种创造性劳动，其过程蕴含着科学的人文精神和理性精神，体现着有关人的世界观、价值观和科学观，而理性精神、实证精神、批判精神、创新精神、民主精神和奉献精神则是不断超越自我、形成高层次文化素养的必要条件。这些方面都足以表明数学素养是成为工程科学人才职业素养的重要构成要素，而数学素养的培养与数学文化的育人功能需要通过数学教学的显隐结合去实现。

三、面向工程人才职业素养培养的数学教学路径

职业素养是反映人才培养质量的一个根本性的标准，面向职业素养的数学教学，不仅要传授数学知识，更要促进学生能力的发展，从数学知识水平、数学思维能力、数据分析能力、模型建立、科学计算能力、数学情感与价值观等方面达到数学教学的理想和目标。

（一）挖掘数学多重价值，调整丰富教学内容

教学内容是整个教学的基础，教学内容的构成决定了教学的层次与水平，教学过程是对教学理念、教学目标与内容的诠释与落实。但是数学教学不能仅限于传授数学的知识与原理，要从教学理念上深刻理解科学的科学价值和人文价值，要对教学内容进行思想发掘和科学设计，把数学蕴含的科学性与人文性有机地统一起来。第一，目前形成的工科数学基本教学内容是经过多年的积累、调整和考验所形成的，不宜做颠覆性的改变，而应本着继承与发展的态度做适度调整，继承原体系重视基础、严谨的特点，传授给学生必备的数学知识；第二，针对具体工程专业单独设置的专业数学基础课程，例如多元统计分析、数值计算、复变函数与积分变换等，丰富与专业问题结合的具体实例，体现问题解决的数学思想与思维，增加知识的拓展性与延伸性，强化智能计算能力，加深学生对数学的理解与认知；第三，强化数学

技术的实践能力,如在现有教学体系基础之上将数学实验作为培养学生实践能力的主干内容之一,纳入到实践教学;第四,重视引入数学哲学、数学文化史,在数学文化的视域下构建教学的课堂生态,发挥科学主义与人文主义对教学的引领作用,从整体性、融合性上克服传统教学内容过于封闭的问题,扭转数学学习的功利化倾向,摒弃被应试教育所异化的教学形式,发挥数学对个人品格的塑造作用。

(二) 适应新兴技术发展,革新课程教学模式

人工智能、大数据、“互联网+”等技术的发展,智慧教室、智慧校园和云平台等教学环境的改变,这些给课堂教学带来了创新的机遇和变革。课堂教学出现了新的模式和途径,其运行原则、规律都将发生根本性的改变。2021年12月2日,在第十二届新华网教育论坛上时任教育部高等教育司司长吴岩表示混合式教学要成为今后高等教育教育教学新常态。在线混合式教学是传统教学 and 信息技术集成的一种高级形态,这种教学模式的一个突出特点就是突出学生主体地位并能够有效释放教学空间,可以从时间上、空间上、容量上、方式上满足数学课程并增强研究性、实践性的要求,为实现素养培养的数学教学改革创造了条件。相比传统课堂教学,混合式教学更加自由灵活,能够实现教学的高效运转。利用线上自学、课堂翻转等形式强化数学思想与思维训练,将讨论式、案例式等教学方法融合进来,强调引导性和自主性原则,对基本教学内容的知识背景、主要问题、解决思路、描述方法与知识拓展依序递进,采用课前引导+学生主动学习、课中分析+讲解+讨论+检验、课后巩固+拓展的教学路径,增强沉浸式教学设计,教给学生如何思考和学习。混合式教学还可以利用在线教学平台快速生成的数据发现学习中的共性问题,对学习效果进行总结和分析,进而驱动教学反思并优化教学路径。混合式教学要注意避免陷入教学空间剧场化、同质化和技术化的伦理困境,不能仅是视频辅助式的教学,要遵循优势互补的原则,将线上教学智能化与线下教学人文化的优势有机地结合起来。除此之外,还要积极关注和研究元宇宙对教育形式、学习时空和教学模式等方面带来的突破与变化,考查其利弊。

(三) 重视问题导向教学,提升学生素养水平

通过“问题”开展教学是数学教学的一个新想法,普遍认可的是问题解决可以综合性地促进学生数学素养的构建。问题的教学可以分为问题的提出、问题的表达、问题的解决、基于问题的知识构建、针对专业问题的建模等。问题的提出既可以来自数学科研本身,也可以来自工程实践。从教学方法来看以问题为导向的教学根据问题的难度与限度不仅适用于概念性教学,也适用于知识体系的建构,益于学生感知数学思想,培养抽象思维能力。问题的表达是问题解决的前提基础,问题的解决则益于培养逻辑演绎推理能力,体验数学的严谨性、简洁性、灵活性和美感。除了继续研究并综合发挥各种教学方法的优势外,针对工程学科的特点与人才培养目标,值得借鉴的是PBL(译为“基于问题的学习”)教学方法。PBL教学方法是在把培养创新人才确立为本科生教育培养目标的形势下兴起的一种教学理念,主要方式是由问题驱动带动知识的构建和实践能力的提高,并因为在实践中产生了积极的效果而受到大学的普遍重视,丹麦奥尔堡大学成为较为成功的例子,其培养的学生备受企业的肯定和欢迎。PBL教学模式具有其独特的优势,例如多目标性、能引发深度思考等。PBL课程改革目标重点关注课程开发的过程模型,在单门课程、多门跨学科课程和学校体系不同层面进行架构,通过理论知识和工程事件的交融,通过项目所蕴含的具体问题,使学生在真实、复杂、有意义的情境中来加深对知识的理解,学会应用知识解决问题,发展批判性思维和创新能力。PBL教学中可以融入课程思政,注意价值引领,发展学生全球性思维、跨界性思维以及批判性思维,锻炼从多个角度批判分析社会议题以及跨文化议题的能力。PBL的问题是开放的,但是过程应该具有可控性,教师是控制整个过程的组织者,综合把控任务的限度以及与教学目标的符合度。PBL任务可来源于网络、文献或提炼于科研任务,但在教学环节要加以必要的改造。PBL教学要通过问题探讨、小组讨论、总结报告来保证其有效性,使学生具有更

多的机会阐述想法，并对评价自己的解答状况有清晰的认识。同时为保证能力目标的实现，教师在必要时要为学生提供适当的指导，构造学习支架和进行教学干预。PBL 教学需要教师具备综合性的人文素养、学科素养和跨学科研究的能力。

（四）结合数学建模活动，双模进行考核评价

数学建模是现代应用数学的重要突破口和核心内容，是数学与工业间最重要的界面，通过数学建模将一个看来与数学无关的问题归结为一个合理的数学问题并成功地予以解决，是一个重要的能力和素质，必将有力地促进创新型优秀人才的培养。在教学体系中引入数学建模并使之作为数学教学的常态化组成部分可以起到以下几个方面的作用。

1. 在数学建模过程中养成系统的思考能力，领会数学精神实质。例如，锻炼抽象思维能力、逻辑演绎推理能力、空间想象能力；锻炼数学技术思维与综合性的实践能力；增强应用数学解决工程问题的意识和工程科学人才的职业胜任力；锻炼从工程角度提出问题的能力，为与数学跨学科研究创造条件；体会创造性过程，培养探究精神与创新精神。

2. 有利于对学生素养和综合能力进行科学的考查与评价，特别是作为评价数学素养的一种路径应该引起足够重视。目前数学课程仍以标准化考试这种常规模式作为评价的方式和手段，主要考查的是基本素养，但是对更具广度与深度的问题的研究能力难以进行准确评价。将数学建模引入教学体系，就可以多维度、多层次地考查学生的数学素养水平，使评价结论更具科学性。

3. 数学建模是工程科学人才从业过程中必将遇到的问题，是应用数学能力的高度集成。数学建模能力是职业素养的一种较高水平的能力表现，引入数学建模可以为深度培养工程科学人才职业素养奠定坚实的数学基础。

随着高科技竞争的日趋激烈，在继续发展和改革工程技术教育的同时要积极关注工程科学人才与工程引领人才的培养，造就一批具有高尚的道德与职业精神、团队意识强、专业精湛、学术素养深厚、具有开拓创新精神的工程科学人才。充分发挥数学教育的价值，从职业素养的视角研究面向工程科学人才职业素养培养的工科数学教学，可以为新工科建设背景下深化数学教学改革提供重要参考。

（本文原载于《现代教育科学》2023年第3期。为方便线上阅读，摘编者做了删减处理）