

基于 STEM 的研究性计算思维课程教学改革*

张瑾 张戈 梁文娟

河南大学计算机与信息工程学院, 开封 475004

摘要 数字经济时代的全面开启以及大数据和人工智能的快速发展使得计算思维成为新时代复合型和创新型人才必备的基本技能, 针对当前高校计算思维教育存在的问题, 结合 STEM 理念和研究性教学模式, 从课程教学内容、教学方法及课程考核与评价几方面出发对课程教学改革进行了探讨。

关键字 计算思维, STEM, 研究性教学

Teaching Reform of Research-based Computational Thinking Course Based on STEM

Zhang Jin Zhang Ge Liang WenJuan

School of Computer and Information Engineering

Henan University,

Kaifeng 475004, China;

zhangjin@henu.edu.cn zhangge@henu.edu.cn liangwenjuan@139.com

Abstract—With the comprehensive opening of the era of digital economy and the rapid development of big data and artificial intelligence, computational thinking has become a necessary basic skill for compound and innovative talents in the new era. Aiming at the problem existing in computational thinking education in colleges and universities, based on the STEM concept and research-based teaching mode, the reform of curriculum teaching is discussed in this paper from the aspects of teaching content, teaching method and assessment evaluation.

Keywords—computational thinking, STEM, research teaching

1 引言

伴随数字经济时代的全面开启, 以计算机科技为支撑的信息技术成为推动经济发展的基石。自 2006 年提出以来, 计算思维已成为人们认识和解决问题的重要思维方式, 关注计算思维的培养也是世界各国教育发展的趋势之一。大数据和人工智能赋能的新时代发展催生出许多新的计算模型、算法和计算技术, 计算思维进入了新的发展时期, 对其教学模式提出了更高要求^[1-2]。具备计算思维和多学科交叉融合能力, 有创新精神和协作能力, 能够从信息变换角度有效定义、分析和解决问题是新时代人才的必备素养。

STEM (Science、Technology、Engineering、Mathematics) 作为近年来流行的新型教育模式, 强调科学、技术、工程、数学的跨学科融合, 旨在突破学科间壁垒, 以提升学生的问题解决能力和创新创造能力^[3-4]。研究性教学作为一种将科学研究引入整个教学过程, 采取任务驱动来开展探索性学习与团队合作研究的教学方法, 能够有效引导学生主动探究、培养其创新能力^[5-7]。为此, 结合 STEM 理念和研究性教学方法, 开展新时代背景下的计算思维课程教学改革, 对于培养适应新时代需求的创新、复合型人才具有重要意义。

2 课程主要存在问题及现状分析

计算思维最早由美国卡内基梅隆大学的计算机科学家周以真教授进行了系统定义, 即计算思维是运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计以及人类行为理解等一系列思维活动的统称^[8]。计算思维涉及这样的问题, 即什么是可计算的? 计算思维代表着一种普遍的认知和普适的技能, 是创新型人才必备的一种基本思维能力。近年来, 计算思维已经开始影响除科学和工程学以外的多个学科专业领域, 衍生出如算法医学、计算考古学、计算经济学、计算金融、

* **基金资助:** 本文得到河南省高等教育教学改革研究与实践重点项目“线上线下混合教学模式数据金课建设研究”(编号: 2021SJGLX080)、河南大学本科教学改革研究与实践项目“基于 STEM 的高校计算思维课程体系及教学模式研究与实践”(编号: HDXJJG2021-121)、河南大学本科教学改革研究与实践项目“基于 BLOOM+OBE 的计算机类创新性研究型人才课程群建设”(编号: HDXJJG2022-040)、河南大学本科教学改革研究与实践项目“工程教育认证背景下数据库课程实践教学改革研究”(编号: HDXJJG2022-039)支持

计算与新闻学、计算社会科学等多个交叉学科。在应用计算机进行问题分析和解决的过程当中,最需要的不是解题技巧,而是如何将问题抽象为计算机能求解的形式,这也是计算思维培养所强调的核心。

当前已有众多学者对大学生计算思维培养问题进行了探讨,国内高校基于 STEM 的教学研究则相对较少。部分教师将计算思维纳入了计算机导论、数据结构及程序设计类课程教学,南京大学、华中科技大学和电子科技大学等高校计算机相关专业近几年开设了“计算思维”课程。以上工作总体处于初级阶段,课程体系及教学内容仍存在诸多不足:

(1) 教学内容及关注点差别较大,不同学生对计算本质和计算机求解问题核心思想的理解不足;

(2) 知识点选择系统性不足且缺乏标准,难以令学生系统理解课程;

(3) 考核手段不能有效评价计算思维培养效果;

(4) 课程教学不能充分反应时代性和前沿性。

培养计算思维并非仅让学生掌握几项具体技能,而是让学生对计算以及计算机科学的思维方式有较为深刻的理解,从而运用计算思维来解决本领域问题。

3 课程教学改革方案

计算思维的培养以计算能力的培养为基础,着眼于一种思维模式的养成和训练,因而具有与以往教学不同的目标和要求。为激发学生主动探索、积极思考如何利用机器智能以更好地提升人类智慧、培养与时俱进的问题解决能力,实现由对学生计算能力培养到计算思维模式的循序渐进转换,课程教学在对原有教学内容进行重新审视和定位的基础上,针对当前时代背景下高等教育的特点,依据 STEM 教育模式,以培养学生计算思维能力为目标,从教学内容、教学手段及课程考核与评价三方面出发,展开课程教学改革。

3.1 教学目标及内容

计算思维共用了算法思维、编程思维、数学思维和工程思维,其本质是抽象和自动化。在操作层面就是确定适宜抽象,选择恰当计算方法和工具以解释并执行抽象^[8-11]。研究性教学强调学生的问题意识、科学探索精神以及创造精神的培养,注重学生对知识的积极建构过程。STEM 强调学生根据知识的背景信息联系上下文,辨识问题本质并灵活解决问题。因此,本课程基于研究性教学模式和 STEM 理念,以问题为中心来组织教学活动。

首先提取计算思维特征点,明确其本质、表现及与传统教学中“知识点”的区别,围绕科技、经济、社会、艺术、生物等多学科情境及生产生活中的实际

问题,从计算的概念出发,确定课程培养目标及教学内容,从而引导学生积极探索并发现问题,培养其在计算过程的能力限制下抽象问题并建立模型,以便揭示问题核心,进而用算法描述且转化为计算机可处理的问题、并形成可量化及评测的解决方案的能力。

培养目标分为知识能力、抽象能力、思维能力、方法能力及实践能力五个方面。知识能力培养目标主要关注于学生基础知识和领域知识的培养;抽象能力培养目标主要关注于学生抽象思维培养,针对具体问题,能够通过符号定义和模型构建进行抽象;思维能力培养目标主要关注计算过程正确性及有效性评价;方法能力培养目标主要关注算法设计及评价;实践能力培养目标主要关注于运用所学知识、技术和思维解决实际工程问题。

课程教学内容分为基础知识、结构、算法、系统和应用五个模块,具体包含以下几方面:

(1) 计算机与计算的概念、内涵及发展;

(2) 将现实世界用户需求转换为计算机可识别并处理问题所需的基础知识;

(3) 计算模型及计算所需的硬件、软件和网络平台;

(4) 问题求解的思想、方法、常用算法及其评价;

(5) 计算机实现数据管理所涉及的学科知识及其计算思维体现;

(6) 程序设计语言的基本要素、发展、分类及简单程序设计;

(7) IT 领域若干新科技的基本概念、发展前景、应用及面临挑战;

(8) 学科前沿动态和跨学科知识,以拓展学生视野,培养创新思维。

在确定教学内容基础之上,设计定性和定量研究相辅相成的跨学科递进式习题,以对应不同培养目标。习题分为基础知识题、讨论题、拔高题、创意题几种类型。基础知识题是每人必做的部分,主要关注学生对基础知识的理解及掌握;拔高题包含个人完成和小组或团队完成两种类型,需要学生对各类基础知识消化吸收的基础之上,经过进一步分析、整理及总结以便融会贯通,明确其本质及内在联系;其余二种类型的题目以小组合作形式完成。学生学习小组或团队由学生自发组织,为确保个人工作量的均衡,将每个小组人员总数限制为 3-5 人。合作类型的题目主要以问题为中心展开,由学生深入思考,协商探讨后完成,旨在促进学生对知识的深层理解和运用,提高团队合作能力。基础知识题、讨论题及拔高题为指定题目,

创意题则在前期学习的基础之上, 由学生小组通过广泛查阅文献及资料, 经讨论和协商后自主选择题目, 以项目申请的形式完成。创意型题目旨在使学生经历问题发现、梳理及提炼等科研场景, 并在该过程中体验知识的整体构建, 以促进高阶思维能力和创新力的提高。除基础知识题以标准答案题型为主以外, 其余题型均为无标准答案的开放式题目, 各类型习题特征见表 1。

表 1 习题特征表

题目类型	指定题型	个人完成	小组完成	开放答案
基础题	√	√		
拔高题	√	√	√	√
讨论题	√		√	√
创意题			√	√

通过上述内容的学习, 可以使学生在了解计算机科技发展脉络的基础上, 分析并明确计算机处理现实问题所需解决的数据处理问题、计算平台问题、求解思想及方法问题, 数据管理及程序实现问题, 以层层递进、逐步掌握计算机解决现实问题的思路、过程及方法, 领悟计算机新科技及其本质和发展动向。

3.2 教学方法

课程秉持“以学生为中心、以成果为导向”的教学理念, 结合翻转课堂和项目式教学方式展开教学。在教学活动中强调学生的参与性、互动性, 以培养学生的问题意识、科学探索精神和创造精神, 注重鼓励并引导学生自主提出问题, 并在老师的指导下深入分析、合作探究, 实现从计算的角度出发, 按照科学研究的模式来分析并解决问题, 最终获取知识, 切实提高计算思维能力。

考虑本课程主要面向本校不具备先修知识的大一上学期新生开设, 因而将课程教学过程分为能力培养和素质提升两个阶段, 借助头歌、雨课堂、智慧树等多种平台, 以线上线下相结合的方式展开。

能力培养阶段主要关注课程相关能力的训练及养成, 由教师根据不同培养目标和教学内容, 提出问题场景, 引导学生发现核心问题, 明确所需知识, 在理解相关知识内涵的基础之上实现融会贯通。要求学生及时总结前次课程学习内容并进行课堂阐述, 鼓励学生就相关问题展开课堂讨论, 理解不同解决方案的产生背景及其优势和不足。例如, 对于网络平台部分的教学, 由现实生活中的快递收发案例出发, 引导学生思考并探讨整个过程所需解决的网络分层问题、协议制定、数据传输及标准规范问题等。对于问题求解及算法部分的百钱买百鸡问题, 有些学生提出数学求解方案, 另有学生提出了计算机求解方案。教师则引导学生思考数学求解与计算机求解在计算方面的本质不

同, 经学生阐述各自求解方案、现场讨论及评价后, 确定不同求解方案的优缺点及可行性, 以深入理解为实现问题的计算机求解所需解决的抽象描述问题、算法设计问题、算法分析及评价问题。教学过程还适时聘请校内外各领域教育、科研及企业和行业专家就相关技术及应用做专题报告, 以进一步开拓学生思维, 实现课程教学与实际应用场景的紧密结合, 激发学生的想象力和创新能力。报告题目根据专家情况灵活选择, 如最近一学期的报告题目为计算思维与艺术、软件智能化开发运维、支持多场景应用的智慧操作系统等。报告会环节注重引导学生带着问题去聆听、去思考, 并鼓励学生现场与专家交流、积极开展课后讨论, 探讨未来可能的应用及相关工作。

素质提升阶段旨在相关能力初步养成的基础之上, 进行各类习题及项目训练, 引导学生线上线下自主学习、讨论协商, 实现整体素质的提升。本阶段也是研究性教学成果的收获阶段, 以研讨会形式为主展开课堂教学。实施过程由课下自学、学习成果课堂汇报及展示、学生及教师质询、现场答辩及总结评论等环节构成, 注重引导其他同学提问题、挑毛病、答疑问、找不足。该过程在鼓励学生分享成果、强化自信的同时, 还能通过倾听、审核及评判他人作品来帮助学生博采众长, 从多方面了解不同解题思想及方法, 促使其进一步思考自身缺陷及不足, 规避问题求解过程中存在的共性问题, 进而寻求更好的解题方案。此外, 现场讨论过程还有助于碰撞出新的思想及火花, 以进一步激发学生的学习自主性、能动性和求知欲, 加深对课程知识体系完整性及连贯性的理解和把握, 促进能力的提升。例如, 某指定题型为与学生关系最为密切的宿舍分配及管理的应用场景, 要求学生分析并阐述可能要解决的问题及产生原因, 考虑问题所面临的各种资源限制、约束条件以及要达成的目标, 经讨论协商后给出较好的解决思路或方案。对于该问题, 除了常规的按专业或年级划分的方案之外, 经现场展示讨论后, 有学生提出了考虑不同生活习惯差异所带来的影响, 按照作息方式分配的思想, 并对后续需要解决的问题及所需知识和技术进行了探讨。对于项目申请形式的创意题, 学生提出了“AI 技术在生物学蛋白质结构领域的应用”、“情感人工智能”、“创新型早教机器人”、“AI 绘画的创作与应用”、“智能搭配衣柜”、“云养老平台”、“智能针灸”等多种有意义的题目, 并阐述了题目提出的背景、意义以及待解决的问题, 给出了可能的解决方案或思路, 现场讨论环节则使其明确了自身不足及后续努力方向。

3.3 课程考核及评价

区别于传统知识考试, 课程评价关注思维测试、问题解决方案及作品创作等方面, 从学习态度、能力、效果等方面进行综合评估, 兼顾学生学习成果和学习

过程,注重评价主体、评价手段和评价方法的多样性。评价指标涉及算法思维、批判性思维、问题解决及合作五个因素。评价内容涉及课堂表现、个人及团队习题成果、团队分工与协作等多个维度,将组内自评、学生及团队互评与教师评价相结合,引导学生不断改进学习过程,提升团队合作效果。

课堂表现部分包括团队及个人两个方面,主要用来衡量二者参与课堂研讨、总结发言、质询及答问的情况。其中,团队表现指不同学习小组在团队合作任务方面的整体表现,兼顾不同团队能力的差异及公平性,还考虑了各团队在整体上相对于其他团队所处的优、良、中、差等级。个人表现方面,一是考虑学生对于非团队合作任务课堂讨论的参与情况及课堂教学互动度,二是考虑学生个人在其团队中的表现,以鼓

励学生积极思考、勤于交流,避免部分学生放松学习、依赖其他团队成员混分数现象的产生。

在核定课程总评成绩时,将均衡考虑个人水平、素质及团队能力的考核,注重对创新性成果的褒奖。例如,课程总评成绩中,指定题型团队合作题目占比18%、创意型团队合作题目占比20%、团队表现部分占比12%、个人完成基础题目占比40%、个人表现部分占比10%。对于分工协作类成果,由于仅学生团队掌握其自身成员的实际任务参与度及完成情况,因此,在课堂研讨会现场评测得分的基础之上,由各学生团队根据组内协商标准,依据成员贡献程度的大小实现再分配,以减少部分学生在团队协作任务中敷衍划水现象的发生。

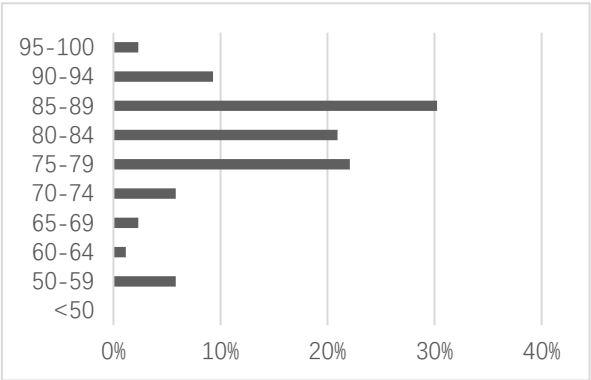


图 1 基础知识题平均得分情况

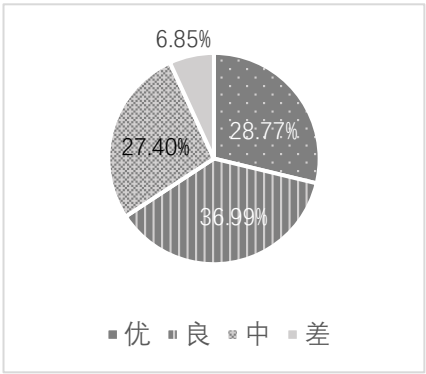
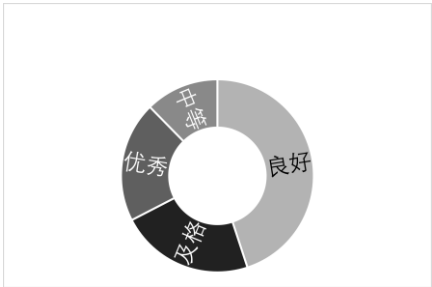
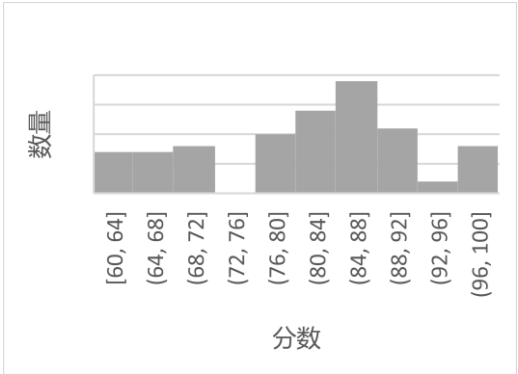


图 2 团队得分情况



(a) 分数段占比



(b) 课程成绩

图 3 课程综合成绩及分布

图 1 为学生各部分基础知识题平均得分情况,其中平均分值在 70 以下的同学均属于平时个人要求不严,有 1 或 2 次线上题目未在规定时间内完成,使得该项得分为 0 而导致平均分较差的情况。因此,学生基础知识掌握情况较好。图 2 为涵盖学生小组作业完成质量及团队表现两方面的团队整体得分情况。其中

得分较高的团队普遍在课堂讨论环节表现积极,能够体现出较好的发现及解决问题的能力。得分较低的小组在此方面则表现不够理想。课程综合成绩及分布情况见图 3,其中 (a) 图为及格、中等、良好及优秀等各阶段占比情况, (b) 图为学生得分情况,优秀率在 20% 以上,无不及格学生。

4 结束语

在课程教学改革实践过程中,很多同学都对课程投入了极大的热情,各团队都想要在时间有限的课堂上展示其成果。通过交流和互动,发现了许多优秀的学生,其解题思想、表达能力和创新能力让人感到惊喜。在期末回收的有关课程学习情况的调查问卷中,关于自学和创新能力提高情况的反馈结果中,有82.4%的同学表示自身能力有一定提高,12.8%的同学表示有很大提高。在谈到小组合作过程中的收获或体会以及课程结束后个人感受时,普遍反应收获很大,能力得到了提升,对课程和相关专业有了更为深入的了解。例如,同学们在留言中提到:“团队的力量大于个体之和”、“学会了更好地分工合作,让我更加有信心了”、“思想碰撞,找到了自己思维的漏洞,让我获益良多,增加了对计算机的认识,使得基础更加扎实”、“小组合作太快乐了,学习到很多,另外从其他角度更好的了解了计算机”、“提高了自我的创新意识,了解并掌握了相关专业”、“认清了计算机历史的重要性,而且对计算机有了更深入的了解,比如,组成(软硬件)、构造(电子器件)、操作系统管理等等;我最喜欢的是二进制思维,是以二进制(0和1)形成的一种可以简化问题的思维方式,还有很多问题求解的算法,都挺好的,有些算法比较有启发性,可以应用到生活中去”、“我最大的收获是我发现我非常仰慕那些设计出各种算法的人,在接触算法之前我都没想过某个问题可以用某种方法来解决,第一次接触的时候深感计算机的奇妙,还有那些设计出硬件设备的人,他们真的是天才”、“优秀的人比比皆是,要敢于发言”、“计算机发展至今历史不长,但却蕴含了很多的学问”、“课程拓宽了我的眼界,让我对这个专业有了更广泛的理解和感悟,对未来的学习和工作都起到一个很好的作用”、“收获了朋友,能力也提高了,了解了计算机的美丽,同时也在完成小组作业的过程中,体会到了朋友间的友好关系与互帮互助的感情”。

在课堂讨论及展示环节,很多团队都表现出极大的热忱,能够积极主动报名,以争取在有限的时间内进行团队成果的汇报,在展示能力的同时,也可便得到教师及同学的现场评价,从而有助于团队成果的进一步改进和完善。由于课堂时间有限,有些小组因未

能在课堂讨论会上展示成果而表示遗憾。此外,不同班级的学生表现存在一定差异,优秀的团队和个人会对班级产生积极的示范作用,能够引导其他个人和团队的主动性和参与性;反之,有些班级的同学则较为腼腆,主动性稍显不足。比如,有的教学班学生平均发言次数为2.6次,其中最多发言次数为13次,发言次数在3-6次之间的占比为43%、在7-9次的占比为2.5%,在12-13次的占比为3.8%。另一个教学班的学生平均发言次数仅为1.7次,其中最多发言次数为8次,发言次数在3-6次之间的占比为20.5%、发言7或8次的占比为6.8%,9次及以上的为0。显然,两个班同学在表达思想及看法方面的积极性和主动性存在较为明显的差距。若能在课程教学过程中适当选取一定的时间,将不同班级表现差异较为明显的部分学生团队进行混编不失为一个好的尝试。

参考文献

- [1] 李廉. 计算思维—概念与挑战[J]. 中国大学教学, 2012, (1):7-12
- [2] 陈国良, 李廉, 董荣胜. 走向计算思维2.0 [J]. 中国大学教学, 2020, (4):24-30
- [3] 易志刚. 我国STEM教育现状及本土化发展对策[J]. 科教文汇, 2020, 8(B):5-6
- [4] 李刚, 何茄语, 沈美琼. 我国高校本科STEM课程建设现状调查及对策建议—以吉林省为例[J]. 教师教育论坛, 2020, 33(11):37-40
- [5] 张伟刚. 大学研究性教学与科研方法[J]. 高等理科教育, 2009(2):65-68+103
- [6] 王伟, 何永忠. 以完整解决一个具体问题为中心的研究型教学[J]. 计算机教育, 2014(13):7-9+14.
- [7] 范俊, 张增磊, 鲁卫东. 新工科背景下国内高校研究性教学模式的构建研究[J]. 教育教学论坛, 2020.3:233-234
- [8] J. M. Wing. Computational Thinking [J]. Communications of ACM, 2007, 49(3):33-35
- [9] 王荣良. 计算思维:一种新的学科思维方式[J]. 中国信息技术教育, 2012, 6:9-13
- [10] 陈国良, 张龙, 董荣胜, 王志强. 大学计算机素质教育:计算文化、计算科学和计算思维[J]. 中国大学教学, 2015, (6):9-12
- [11] 刘唤唤, 葛斌, 陈辉. 非计算机专业《计算思维导论》教学方法的探讨与实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 9(1):46-48