

指向计算思维培养： 美国纽约州K-12计算机科学教育体系建设

□王正青 李灵通 田霄

摘要：计算思维是智能时代人才必备的素养，以培养计算思维为目标旨向的计算机科学教育愈加受到国内外基础教育领域的重视。美国纽约州作为开展K-12计算机科学教育的典范，其在目标旨向方面，确立了提供高品质计算机科学教育机会以促进个体成长、培养STEM从业人员与维护弱势群体教育公平以适应社会需求、完善素养导向的育人体系以推动教育革新等目标。在行动主体上，纽约州形成了决策层规划教育战略、管理层统筹教育资源、执行层组织教育实践活动的“三级互联”机制，确保行动主体间分工、权责明晰。并且通过开设优质计算机科学教育课程、开发配套软件并提供教学设备，在实践落地上实现软硬件双重保障。此外，纽约州注重建立法规、资金、培训、技术和协同等方面的运行支持，来打造优质K-12计算机科学教育体系。纽约州发展K-12计算机科学教育的经验对我国优化中小学信息科技教育体系与强化中小学生计算思维的培养提供了借鉴。

关键词：计算思维；纽约州中小学；计算机科学教育；信息科技教育

中图分类号：G434 **文献标识码：**A **文章编号：**1009-5195(2022)06-0043-11 **doi10.3969/j.issn.1009-5195.2022.06.005**

基金项目：2021年度国家社科基金教育学重点项目“以新基建支撑高质量教育体系建设研究”（ACA210010）。

作者简介：王正青，博士，教授，博士生导师，西南大学西南民族教育与心理研究中心（重庆 400715）；李灵通，讲师，重庆幼儿师范高等专科学校初等教育学院（重庆 404047）；田霄，硕士研究生，西南大学教育学部（重庆 400715）。

一、问题提出

2006年，卡内基·梅隆大学周以真教授（Jeannette M. Wing）首次定义了计算思维（Computational Thinking）的概念，即利用计算机科学的基本概念实现问题解决、系统设计和理解人类行为的思维活动，并提出其与传统的读、写、算技能同属于分析技能（Wing, 2006）。随着大数据、机器学习、云计算等信息技术在教育领域的深入运用，世界各国都在加强人工智能人才培养。计算思维是数字技能的重要构成要素，是人工智能人才必备的素养与能力（姜强等，2020）。计算机科学教育因其注重对学生计算思维的培养，自然也成为当前教育理论研究和实践领域的热议话题。

国内外学者围绕计算思维与计算机科学教育的内在关联，以及计算机科学教育的目标旨向、模块构成、实践路径、考核评价等方面开展了系列研

究。基于计算思维与计算机科学教育间关联（Swanson et al., 2017）的实证研究发现，培养计算思维是落实科学素养的有效路径（Park et al., 2019），其与计算机科学教育中的编程问题解决活动形成承载关系（多召军等，2022）。在计算机科学教育的目标旨向方面，有学者从社会结构功能理论出发，提出计算机科学教育旨在培养学习者的数字素养，利用信息技术赋能高品质学习（Webb et al., 2017），并强调为少数族裔和有特殊需要的学生群体提供多元、个性化的教育方式，助力学习者掌握计算思维、抽象思维、创造力和系统化设计能力等思维与能力（卢蓓蓉等，2017）。在计算机科学教育的模块构成及实践层面，有学者研究了计算机科学教育的培养目标与课程设置规范、提升教育工作者专业能力间的关系（邱美玲等，2018），认为落实包容性计算机文化的培养、围绕计算机展开合作、创造计算产品并重视学生针对计算机相关话题进行深入交流

互动的能力是计算机科学教育的核心实践(赵中建等,2017)。在计算机科学教育的考核评价方面,研究者基于马扎诺教育目标新分类学构建了计算思维评价框架(孙立会等,2021),并依据不同的测量工具将计算机科学教育评估分为技能评估、透视评估和心理测量特性评估(Cutumisu et al., 2019)。整体来看,已有研究成果大多聚焦计算机科学教育的内涵架构与具体实践路径,而对计算机科学教育体系系统规划的研究相对匮乏。

2021年12月,美国非营利组织“数字承诺”发布《广阔世界中的计算思维:写给教育工作者的学习与指导资源》。该报告分析了美国计算机科学教育的现状,充分肯定了纽约州在K-12阶段实施计算机科学教育的经验,认为纽约州较早注重培养中小学生的计算思维,目前已形成较系统的计算机科学教育规划,建设了配套的教育资源,构建了多方参与的支持体系(Digital Promise, 2021)。鉴于此,本研究基于纽约州教育厅、州内学区和学校发布的进展报告,以及“城市未来研究中心”(Center for an Urban Future, CUF)等研究机构和学者的相关成果,从目标旨向、行动主体、实践措施和运行支持等方面全面梳理并分析了纽约州K-12计算机科学教育体系,以期对国内中小学信息科技教育的优化与对中小学生计算思维培养质量的提升提供借鉴。

二、纽约州K-12计算机科学教育的目标旨向

纽约州K-12计算机科学教育以促进个体成长、适应社会需求和推动教育革新为目标。其在个体成长层面致力于丰富计算机科学教育活动,为所有中小學生提供高品质计算机科学教育机会;在社会需求层面强调顺应智能时代人才市场需求,培养STEM行业工作者以及维护弱势群体教育公平;在教育革新层面注重响应开展中小学计算机科学教育的倡议,构建完善的K-12计算机科学教育体系。

1. 促进个体成长:提供高品质计算机科学教育机会

计算机科学教育致力于培养中小学生的计算思维、创造力、批判性思维和信息技术责任感等人工智能时代人才所需具备的素养,其教育实践活动也呈现多元化特点。基于公平性与包容性原则,纽约州面向州内所有中小學生开展形式多样的计算机科学教育实践活动,致力于为学习者提供高品质计算

机科学教育机会。

一是建设优质的计算机科学教育课程,培养学生的计算机科学技能与计算思维。各中小学基于纽约州颁布的《计算机科学和数字流畅学习标准》(Computer Science and Digital Fluency Learning Standards),因材施教开设符合各年龄段学生特点的计算机科学课程。同时纽约州教育厅与纽约州计算机和技术教育协会(New York State Association for Computers and Technologies in Education, NYSCATE)合作,为任课教师提供3门计算机科学教育在线课程,为其详细解读标准中的培养目标,助力高品质计算机科学课程的开展(Hofstra University, 2018)。

二是开展课外计算机科学教育活动,打造沉浸式计算机科学教育体验场域。如纽约州教育厅联合亚马逊公司针对2~12年级开展“亚马逊:未来工程师”(Amazon: Future Engineer)计划,学生可通过参与STEM职业模拟对谈、云游览算法、机器学习等亚马逊工厂中的人工智能技术赋能项目并与工程师交流讨论,了解计算机科学在日常工作、生活中的应用(Amazon, 2022)。为保证多类型优质计算机科学教育的开展,纽约州教育厅还推出“学习技术补助金计划”,在2018—2021年间每年向全州教育技术专业发展项目提供320万美元的资金支持,以促进公立学区、合作教育服务委员会以及私立学校间合作,推动资源共享,促进学习机会平等视角下优质教学的实现(New York State Education Department, 2021)。

2. 适应社会需求:培养STEM从业人员与维护弱势群体教育公平

纽约州开展K-12计算机科学教育不仅为STEM领域提供了充足的后备人才供给,而且也满足了后疫情背景下人工智能行业急需的人才需求。同时,计算机科学教育观照了弱势群体,为女性、少数族裔人员提供了更多就业机会。

一是为行业企业培养高素质STEM人才。纽约市城市未来研究中心(CUF)2021年发布的《经济复苏背景下纽约市民要为技术职业做准备》调查报告显示,新冠肺炎疫情暴发以来,技术领域的招聘需求远大于其他职业。其中2020年4月至11月,纽约市技术职位的需求量占招聘总量的18%,是营销行业职位需求的3倍,是酒店管理与教育领域职位需求的5倍(Center for an Urban Future, 2021)。依托计算机科学教

育,可以强化学习者从事STEM行业的工作意愿,掌握计算机科学在内的STEM专业知识与技能,并在各类实践活动中不断积累日后职业生涯所需的经验。

二是为州内所有学习者提供计算机科学教育机会,观照少数族裔及女童等群体,兜底教育公平。随着纽约州计算机科学教育计划的实施,州内接受计算机科学教育的中小學生数量呈增长态势。据美国教育部数据显示,纽约市参加大学计算机科学先修课程考试的女生人数由2016年的379人增加至2018年的2155人,占2018年该市考生总数的42%(Knudson, 2019)。2018年至少参加一次计算机科学先修课程考试的西班牙裔学生和非裔学生比2017年分别增加19.4%和7.1%(City of New York, 2019)。教育公平是社会公平的基石。少数族裔等弱势群体平等接受计算机科学教育,是以教育增进社会公平的有效方式。

3. 推动教育革新:完善素养导向的育人体系

20世纪80年代起,美国教育部门开始进行计算机科学教育的相关尝试。1983年美国教育卓越委员会发布《国家在危险中:教育改革势在必行》报告,指出计算机与机器人会对社会生产生活产生重要影响,提出要加强高中阶段计算机科学教育(The National Commission on Excellence in Education, 1983)。美国国家科学委员会于2007年发布《国家行动计划:应对美国STEM教育体系的重大需求》,强调在学前教育阶段和基础教育阶段开展STEM教育活动,计算机科学教育在中小学教育中的地位愈加凸显(National Science Foundation, 2007)。

人工智能的发展带动粗放型STEM教育活动向为发展学生计算机科学的学科素养转向。2011年美国计算机科学教师协会颁布《K-12计算机科学标准(2011)》,提出了“计算思维”的操作性定义,并将其作为中小学人工智能教育的核心目标之一(Computer Science Teachers Association, 2011)。2016年时任总统奥巴马发出“全民计算科学”倡议,从该年起美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)和国家与社区服务公司(Corporation for National and Community Service, CNCS)提供1.35亿美元的计算机科学活动资金,来培养数字经济时代公民应具备的计算思维技能与创造力(Megan, 2016)。2017年修订后的《K-12计算机科学标准》强调计算思维在所有学科中的应用,以及对于解决问题、建立知识体系和创造新知

识的重要作用(Computer Science Teachers Association, 2017)。由此可见,培养计算思维已成为美国中小学的教育使命,加强计算机科学教育也已成为完善素养导向的育人体系的重要任务。

三、纽约州K-12计算机科学教育的行动主体

计算机科学教育体系的行动主体承担发起并执行计算机科学教育实践活动的任务,是计算机科学教育体系的重要组成部分。纽约州K-12计算机科学教育体系的行动主体由决策层、管理层和执行层组成,“三级互联”的计算机科学教育体系行动主体分工明确,共同推进教育活动开展。

1. 决策层:纽约州教育厅规划计算机科学教育战略

决策层统领计算机科学教育体系全局,保证计算机科学教育活动有序开展。纽约州教育厅作为K-12计算机科学教育的决策者与领导者,主要职责为规划州内K-12计算机科学教育的建设战略与宏观目标,具体体现在以下三方面:

一是明确K-12计算机科学教育的宗旨与目标,制定计算机科学学习标准。纽约州计算机科学教育侧重于5个关键领域的培养,包括“计算认知”“计算思维”“网络与系统设计”“网络安全”“数字素养”。根据不同学段学生的认知特点与知识基础,对上述关键领域应达到的目标进行具体规划。

二是从公平性和多样性两个维度出发,确保所有学习者平等接受计算机科学教育。其中,针对多语言学习者开设英语语言技能课程,帮助其更好地接受计算机科学教育。截至2020年底,学龄人口中英语学习者达到20%以上,为开展优质计算机科学教育奠定了基础(New York State Education Department, 2020a)。同时,针对残障学生群体开展“个性化教育计划”(Individualized Education Program, IEP),促使其从高质量教学中受益。

三是针对计算机科学教育从业群体制定培养方案,提高从业者素质。纽约州教育厅将计算机科学教育教师培养目标划分为“提高意识”“能力建设”“试测实验”“全面实施”四个阶段,并详细说明各阶段应达到的标准(见表1)。在计算机科学教育从业者准入规则方面,纽约州教育厅基于“持证上岗”原则,规定从业者必须在2023年9月前获得计算机科学资格认证,才能从事计算机科学

教学活动 (Office of Teaching Initiatives, 2021)。

表1 纽约州计算机科学教师培养计划表
(Office of Teaching Initiatives, 2021)

阶段	阶段名称	执行时间	具体标准
1	提高意识	2020.12—2021.08	一线教师及相关教育行政人员需学习并理解纽约州《计算机科学和数字流畅学习标准》及相应的计划进度表
2	能力建设	2021.09—2023.08	一线教师需专注于计算机科学教育课程开发,获取相关教育资源以实现专业成长
3	试测实验	2023.09—2024.08	一线教师基于纽约州《计算机科学和数字流畅学习标准》的教育目标在部分年级开展计算机科学课程
4	全面实施	2024.09—	一线教师基于纽约州《计算机科学和数字流畅学习标准》的教育目标在K-12阶段全面开展计算机科学课程

2.管理层:地方教育部门统筹计算机科学教育资源

管理层作为计算机科学教育系统的重要枢纽,是统筹计算机科学教育资源,推动州计算机科学教育目标实现的中坚力量。州内各地方教育局作为K-12计算机科学教育的管理者与监督者,在落实州计算机科学教育目标、根据区域特征统筹教育资源等方面发挥着重要作用,具体职责包括以下三方面:

一是基于纽约州K-12计算机科学教育的顶层设计制定符合各自区域教育发展的计算机科学教育计划。纽约市作为较早关注计算机科学教育的地区,该市教育局于2015年启动为期10年的“全民计算机科学计划”(CS4All),启动资金为8100万美元,旨在为纽约市公立学校的所有学生提供计算机科学教育,培养其计算素养(Digital Promise, 2021)。扬克斯市公立学校学区作为纽约州第四大学区于2021—2025年开展“智能启动计划”(Smart Start Program),纽约州教育厅每年向其拨款35万美元,以资助500余名计算机科学专业教师的培养与发展(Yonkers Public Schools, 2022a)。

二是为一线计算机科学教师提供教育教学资源,促进教师专业成长。地方教育部门在整合当地信息资源方面具有便捷性与权威性,能够高效汇集多方力量开展教育教学与科研工作,为一线教师提供教学参考(王正青等, 2019)。如纽约市教育局组建了计算机科学教育团队,基于现状调研整合了课堂管理、设备管理、教学策略、教学评估等在内的

计算机科学教育资源包,所有一线教师均可登录纽约市教育局官网免费查阅学习,以此来带动优质计算机科学教学实践的推进(NYC Department of Education, 2022)。

三是联络社会机构,以举办专题研讨会的形式,汇集多方专家学者建议,推动计算机科学教育向综合化、专业化方向发展。如扬克斯市依托“智能启动计划”举办信息网络研讨会,邀请高校、科研机构、非营利组织参与,为计算机科学教师提供专业技术支持,以期不断提升其专业能力与信息素养(Yonkers Public Schools, 2022a)。

3.执行层:一线教育工作者落实教育实践活动

执行层作为计算机科学教育体系的运行基层,是落实计算机科学教育实践活动,提供优质课程教学的主要承接者。一线计算机科学教育工作者作为计算机科学教育活动的执行者,需保障计算机科学教学活动的高质量开展,具体工作包括以下两方面:

一是职前计算机科学教师完成从业资格微认证,在获得从业资格的同时提升专业素养。美国非营利组织“数字承诺”以教育工作者需求为导向,向职前计算机科学教师提供超过120种微认证项目,以个性化方式助力其专业技能习得(New York State Education Department, 2016)。此外国际教育技术协会(International Society for Technology in Education, ISTE)也开展了计算思维相关微认证,通过培养一线教师对计算思维及其作为跨学科技能的应用理解,改进其教育实践工作,赋能职前计算机科学教师专业发展(Carolyn, 2021)。

二是邀请在职教师加入纽约州计算机科学教师社区(CSTeachersNY),共同建立全州范围内计算机科学教师信息网络。例如,以举办圆桌会议等方式邀请来自不同区域的教师及专家学者共同就计算机科学教育教学活动的相关问题进行协商讨论、分享教学经验。在建立计算机科学教育共同体的基础上,帮助教育工作者掌握将计算思维融入教学活动的方法,以促进学生对计算机科学和计算思维概念的理解;掌握包括分解、收集和分析数据等在内的建模与算法设计,支持学生围绕计算机科学进行协作和问题解决。此外纽约州内一些区域也为在职教师建立学习社区,如纽约市一线教师可加入计算机科学教学社区,与计算机技术工程人员、研发人员等一起就计算机科学教学问题进行交流讨论;同时一线教师也能从社区官网上获取教学资源,参加该

社区定期举办的教学沙龙,以及共享计算机科学教育教学资源。

四、纽约州K-12计算机科学教育的实践落地

纽约州通过开设计算机科学教育相关课程、开发教育教学配套软件和提供配套教学设备等方式,建成了兼具个性化与共享化的计算机科学教育平台,有效满足了K-12阶段学生需求,实现了师生教育信息互联共享,赋能计算机科学教育活动的有效开展。

1. 开设计算机科学教育相关课程,满足各年级学生需求

纽约州教育厅注重计算机科学相关课程的开展,旨在促使学生在课堂上习得计算机科学知识与技能,培养其计算思维。在课程开设方面,从计算机科学核心课程与跨学科融合课程两个维度出发,助力中小學生全方位掌握计算机科学相关知识并实现融会贯通。

一是开设中小学计算机科学课程。2016年美国计算机协会(Association of Computing Machinery, ACM)联合计算机科学教师协会(Computer Science Teachers Association, CSTA)与网络创新中心(Cyber Innovation Center, CIC)等机构组建了“K-12计算机科学框架编制委员会”,研制并发布了《K-12计算机科学框架》,推动计算机科学教育在基础教育阶段普及,培养学生计算素养,并在此基础上发展问题解决能力(K-12 Computer Science Framework Steering Committee, 2016)。一些学校根据《K-12计算机科学框架》,针对不同学段学生特点以及区域实际情况开设相应的计算机科学课程。如2019年萨拉曼卡高级中学开设“Woz K-12 Pathway”课程并将无人机、编程和3D打印套件融入其中,打破了传统计算机科学教育与实践应用分离的局限,能有效助力学生在掌握学科原理的基础上进行发明创造。该校因此于2021年获得国际STEM卓越奖(New York State Association for Computers and Technologies in Education, 2021)。

二是开设跨学科融合课程。美国国家科学院全国研究理事会发布的《计算思维教学研讨会报告》指出,计算思维可有效融入核心学科领域,帮助学生从不同学科维度出发,全方位深度理解计算思维的内涵及应用(National Research Council of the National Academies, 2011)。基于此,纽约市按照学段为中小

学生开设包含“1~5年级初级课程”“6~8年级进阶课程”“9~14年级高级课程”三个部分在内的19门计算思维融合课程,实现了物理、艺术、计算机科学等学科的有机融合(NYC Department of Education, 2021)。

2. 开发计算机科学教育软件,打造师生教育共享平台

计算机科学教育软件兼具丰富课堂教学内容和促进师生课内外良性互动的双重功能。纽约州致力于开发计算机科学教育软件,为全州所有中小學生提供了计算机科学学习的课外平台,助力计算思维、批判性思维和问题解决能力的提升,并为计算机科学教育工作者提供了教育培训与交流平台,促进了各区域计算机科学教育互联互通。

一是基于计算机科学教育平台,将校内课程与儿童游戏有机结合,开展校外计算机科学课程的实践活动。如扬克斯市为该市中小學生建立专门的“编码社”(code.org),学生在家长的帮助下注册学习账号,开展相关的编程游戏活动。家长也可通过该平台了解学生在学校的计算机科学课程学习进度和正在开展的相关活动,实时跟进其学习动态。纽约市科学馆还为学生开发了在线计算机科学活动社区,通过整合6~8年级计算机科学课程,以及设计在线游戏及编程项目,实现了对学生计算思维的培养(New York Hall of Science, 2022)。

二是为计算机科学教育工作者打造资源平台,助力其在后疫情时代开展计算机科学教学工作。纽约州教育厅在其官网上为计算机科学教师提供了由全美计算机科学教师协会运营的资源平台,教师可利用该平台进行在线技能培训,并获得教学工具包。该平台还能为教师提供优秀的课程教学视频案例,为教师提供教学参考。

3. 提供计算机科学教育设备,保障教育活动开展

计算机科学教育的开展需要软件与硬件设备的双重辅助,其中配套硬件设备是计算机科学教育实践活动开展的基础。在课堂教学中教师以电脑、VR/AR设备以及投影仪等为载体,将抽象的专业知识具象化呈现,以帮助学生更好地理解教学内容。在课外学习中,平板电脑等作为重要学习工具,有助于学生自主探索计算机科学世界。新冠肺炎疫情期间,线上虚拟教学成为计算机科学教育的主要方式,缩小不同收入群体学生在硬件配备方面的数字鸿沟也成为线上教育活动得以开展的重要保

障。为此,纽约州各市教育部门为中小學生提供了在线教学设备,保障居家学习正常开展。如布法罗市在“1:1技术计划”(1:1 Technolog Program)基础上为所有3~12年级学生提供了电子设备,在2020年发放3.1万台笔记本电脑和8000台平板电脑。此外,该市使用900万美元的联邦补助资金购入1.4万台笔记本电脑和5000台平板电脑,助力计算机科学教育活动的居家开展。截至2021年12月,纽约市共提供30余万台电子设备并改善了WiFi连接装置,保障了110万学生顺利进行在线学习(Robin, 2021)。

五、纽约州K-12计算机科学教育的运行支持

纽约州以打造优质K-12计算机科学教育体系为愿景,形成了包括法规保障、资金支持、培训支持、技术支持和分工协同在内的计算机科学教育运行支持。

1. 法规保障:引领计算机科学教育实践

完善的政策法规为计算机科学教育的开展提供了法律依据。纽约州K-12计算机科学教育的法规保障主要体现在联邦政府和纽约州两个层面:

美国联邦政府重视计算机科学在智能信息时代的作用,美国国家科学技术委员会于2013年5月发布《联邦STEM教育五年战略规划》,明确了STEM的发展重点及实施规划(赵中建, 2017)。之后,美国国会在2015年颁布《STEM教育法案》,将计算机科学教育纳入STEM教育框架下,正式确立了计算机科学教育在STEM教育中的重要地位与价值(Government Printing Office, 2015)。同年12月,《让每个学生都成功法案》将计算机科学确定为21世纪“全面教育”的基础学科,要求州政府及地方政府给予资金和设备支持,为中小學生提供高质量计算机科学课程及项目,以及提高弱势学生群体的参与度等(U.S. Department of Education, 2015)。

纽约州教育厅基于针对学校教育的《指导原则》(Guiding Principles),在尊重文化多样性与学生个性化发展的前提下制定了计算机科学教育相关政策规划,并于2020年12月通过了纽约州《计算机科学和数字流畅学习标准》。该标准详细阐述了计算机科学教育目标及具体实施方法,有助于指导计算机科学教育实践活动的开展(New York State Education Department, 2020b)。此外《纽约州教育法》(New York State Education Law) 2-D款规范了师生教育数据的使用权限,并规定每年发布数据隐私和安全活

动年度报告,有效保障了计算机科学教育实践活动中师生数据被安全使用(New York State Education Department, 2022)。2020年1月纽约州教育厅开始实行修订后的《教育专员条例》(Regulations of the Commissioner of Education),就进一步加强州内教育机构的数据安全和保护学生数据隐私等提供了指导(New York State Education Department, 2020c)。

2. 资金支持:落实教育活动所需经费

充足的经费投入是开展计算机科学教育活动和优化其教育体系的基础保障。纽约州内各地的计算机科学教育经费来源方式多样,具体包括联邦及州政府拨款、相关教育机构资助和地方校际联盟支持等。

一是政府专项拨款。纽约市作为开展计算机科学教育的典型城市,获得了较充足的预算经费。2021—2022年的市预算就获得了超过10亿美元的额外教育资金,以确保该市每个学生都能体验到有效的、符合学龄特点的计算机科学教育(Eli et al., 2021)。

二是相关教育机构资助。例如,纽约州立大学奥尔巴尼分校教育学院2019年申请了NSF主导的“全民计算机科学”项目,获得了150万美元计算机科学教育活动资金,这让K-12阶段学生有机会在学校获得高质量的计算机科学教育(University at Albany, 2019)。

三是地方校际联盟为贫困区域提供资金补助。例如,由德莱顿中央学区、格罗顿中央学区和圣约埃社区学校组成的地方学校联盟,为经济弱势学生占比较大的纽约州汤普金斯县的2170名学生与320名教师及行政人员提供了学习技术补助金,并通过与地方企业建立合作伙伴关系,帮助学生习得计算机科学教育相关技能,并为计算机科学领域的就业和科研做好准备(Dryden Central School District, 2020)。

3. 培训支持:多方实施素养提升项目

纽约州各中小学校根据自身情况与相关教育研究机构合作开展多种类型的计算机科学教育项目,有助于提高计算机科学任课教师的专业素养和促进学生的深度学习。

在教师培训方面,主要针对计算机科学教师及跨学科课程教师开展培训,助力教师将包括计算思维在内的计算机科学素养有机融入课堂教学中。如纽约市学校研究联盟与创客中心以及纽约市布朗特斯社区特许学校等联合开展了“创客合作计划”(The Maker Partnership Program, MPP),探索将计算思维融入科学类课程的方式,并研发创客教学法

以实现将计算思维有机整合到常规科学教学活动中(Digital Promise, 2021)。又如,伊萨卡市少年活动中心、康奈尔大学社区中心与该市中小学校合作开展了计算科学系统项目,该项目以计算机科学素养、计算思维和数字素养为基础,着重培养教师的学科胜任力。自2019年1月起,生物学、科学、几何、艺术以及西班牙语等不同学科的25名教师逐渐将计算机科学原理有机融入课堂教学中(CSforAll, 2019)。

在学生培训方面,计算机科学教育机构、高校与中小学校通过开设先修课程和假期拓展活动等,以期培养中小学生对计算机科学的兴趣并为其大学专业选择做好准备。如亚马逊公司开展的“未来工程师计划”(Amazon Future Engineer Program)向纽约市5个行政区的130多所高中提供了初级和大学计算机科学先修课程(Amazon, 2019)。又如,布法罗大学计算机科学研究中心每年暑期面向高中二年级学生开展为期两周的“埃里克·皮特曼计算科学年度夏季研讨会”,在此期间学生可学习计算机编程及其在化学、可视分析学以及生物信息学中的应用(University at Buffalo, 2022)。

4.技术支持:提供团队与平台双重技术保障

纽约州在计算机科学教育中重视技术的支持作用。教育科研单位、高校等第三方机构主要从组织专业技术团队和搭建教育辅助平台入手,来实现对中小学校计算机科学教育的技术支持。

一是组织技术团队优化中小学计算机科学教学。自2020年1月,美国全国性非营利教育组织“明日项目”组织计算机科学专家团队,为纽约市计算机科学教师提供一对一计算思维教学,评估每位任课教师的专业水平,制定个人专项学习计划。专家每月与教师进行两次深度沟通以全面了解其学习进度并提供个性化建议,以帮助任课教师掌握将计算思维等学科素养有机融入课堂教学的方法并能够熟练使用相关教具(Project Tomorrow, 2020)。

二是搭建教育辅助平台。为应对新冠肺炎疫情给计算机科学教育带来的挑战,哥伦比亚大学教育学院通过搭建数字图书馆为扬克斯市公立学校教师提供教学指导。该平台为教师提供针对性和差异化的教学工具包,提高其在“线上+线下”混合式教学环境中的技术应用能力,如利用沉浸式阅读器、翻译组件以增强师生间沟通,提升中小学生的课堂参与度和计算机科学的学习动机等。数字图书馆除了服务教育工作者的计算机科学专

业学习目标外,也为其提供包含课内专业技术学习平台和融合计算机科学的社会科学课程技术学习平台,有助于打通学科间壁垒,以及促进师生完整知识体系的构建(Yonkers Public Schools, 2022b)。

5.分工协同:明晰分工保证合作开展

纽约州以建设高质量K-12计算机科学教育体系为目标,注重多方协同和高效分工合作来共同推进计算机科学教育体系建设。

一是鼓励地方针对实际情况,有的放矢完成区域计算机科学教育计划。纽约市教育局在遵循联邦与州教育法规的前提下,鼓励校企合作共同促进优质计算机科学教育发展;各地区可根据当地中小学现状及发展目标采取个性化分工模式,以促进计算机科学合作活动的运行。如罗切斯特市学区致力于实现“教育数字化转型”,通过向学生提供高质量、个性化的计算机科学教育,以提高其参与度和学习成果产出。为此罗切斯特市教学技术首席教师团队为3300名计算机科学教师提供技术指导,罗切斯特大学为134名教育技术管理人员举办个性化技术峰会,共同探讨教育领导管理方式变革等议题(New York State Education Department, 2017)。

二是邀请地方高校及业内专家对中小学计算机科学课程进行专业指导。在纽约市教育部门提出的“建设数字领导力,满足学生的学术需求,开展优质STREAM课程”的倡导下,地区领导层、学校管理人员、一线教师及技术专家团队分工协作开展“学科共进”创新项目(Full Stream Ahead, FSA),“数字时代学习”(Digital Age Learning, DAL)技术团队负责为一线教师提供教学与技术支持,全国性咨询公司梅蒂斯协会(Metis Associates)通过对该项目进行全面评估,向技术团队反馈教学与技术支持的有效性,保障“谷歌教室”(Google Classroom)等交互式课程平台的稳定运行(Digital Age Learning, 2020)。

六、结论与反思

美国纽约州为应对人工智能时代教育新诉求,由州及地方教育部门和一线教育工作者共同主导、规划计算机科学教育战略、统筹教育资源并积极开展教育实践活动,产生了积极的社会效应。据美国计算技术行业协会2022年发布的报告显示,纽约州科技行业从业人员达50余万人,技术行业就业人数排名位居全美第三(CompTIA, 2022)。与此同

时,一些挑战也随之浮现。一是计算机科学课程的师资欠缺。计算机科学教育非营利组织“编码社”主席兼首席运营官卡梅隆·威尔逊(Cameron Wilson)指出,全美中小学校中计算机科学教师与学生间的比例严重失调,纽约市需从外部引进计算机科学教师才能保证高质量计算机科学教育的开展。二是缺乏评估学生计算机科学能力的一致方式。虽然OECD等国际组织开发了能够评估学生计算思维等核心能力的标准化测试,但仍欠缺针对课程与教学方法的有效的具有可比性的评估方式(Emilian, 2020)。

近年来,我国愈加重视义务教育阶段的计算机科学教育。2022年出台的《义务教育信息科技课程标准》明确将培养计算思维在内的核心素养作为信息科技课程的总目标(中华人民共和国教育部, 2022a)。同期出台的《新时代基础教育强师计划》也把提升中小学教师的信息技术应用能力和科学素养列为重要目标(中华人民共和国教育部, 2022b)。在义务教育阶段开展计算机科学教育已成为共识(赵健等, 2019)。但总体上,我国中小学生学习计算思维培养仍存在相关研究相对薄弱,计算思维课程与教学体系有待完善,计算思维教育理论与实践脱节等问题(张进宝, 2019)。

借鉴美国纽约州K-12计算机科学教育体系建设相关经验,可从以下四个方面优化我国中小学信息科技教育体系:一是明确信息科技教育的目标及宗旨,注重培养中小学生的信息意识、计算思维、数字化学习与创新和信息社会责任等,以顺应智能时代社会发展需要。二是落实信息科技教育体系各层级行动主体的权责与分工,面向各层级教育工作者开展信息科技教育培训,构建决策层、管理层和执行层间互联互通的协同机制。三是通过开设优质课程、开发相关教育软件和完善硬件设施建设等方式,满足各学段学生的需求,保障信息科技教育实践落地。四是构建完善的中小学信息科技教育保障体系,从政策、资金、培训、技术等维度统筹信息科技教育资源,推动信息科技学科教研共同体建设,促进校际、区域间信息科技教育协同发展。

参考文献:

[1]多召军,刘岩松,任永功(2022).编程教育促进儿童计算思维发展的内在机理与教学实践研究[J].电化教育研究,43(8):101-108.

[2]姜强,王利思,赵蔚等(2020).认知水平与计算思维间的隐含关系挖掘——基于编程行为表征视角[J].现代远程教育研究,32(2):94-103.

[3]卢蓓蓉,尹佳,高守林等(2017).计算机科学教育:人人享有的机会——美国《K-12计算机科学框架》的特点与启示[J].电化教育研究,38(3):12-17.

[4]邱美玲,李海霞,罗丹等(2018).美国《K-12计算机科学框架》对我国信息技术教学的启示[J].现代教育技术,28(4):41-47.

[5]孙立会,王晓倩(2021).基于马扎诺教育目标新分类学的计算思维评价框架构建[J].电化教育研究,42(6):20-26,33.

[6]王正青,但金凤(2019).大数据时代美国教育数据质量管理流程与保障[J].现代远程教育研究,31(5):96-103,112.

[7]张进宝(2019).计算思维教育:概念演变与面临的挑战[J].现代远程教育研究,31(6):89-101.

[8]赵健,吴旻瑜,万昆(2019).我国当前义务教育阶段信息技术课程实施状况的调研结果及其启示[J].课程.教材.教法,39(12):115-120.

[9]赵中建(2017).美国中小学STEM教育研究[M].上海:上海科技教育出版社:14.

[10]赵中建,周蕾(2017).作为一门学科的计算机科学——美国《K-12年级计算机科学框架》评述[J].全球教育展望,46(4):52-66.

[11]中华人民共和国教育部(2022a).义务教育信息科技课程标准[EB/OL].[2022-06-01].<http://www.moe.gov.cn/srcsite/A26/s8001/202204/W020220420582361024968.pdf>.

[12]中华人民共和国教育部(2022b).教育部等八部门关于印发《新时代基础教育强师计划》的通知[EB/OL].[2022-06-01].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A10/s7034/202204/t20220413_616644.html.

[13]Amazon (2019). Amazon to Fund Computer Science Classes in More than 130 NYC High Schools[EB/OL]. [2022-06-15]. <https://www.aboutamazon.com/news/community/puter-science-classes-in-more-than-130-nyc-high-schools>.

[14]Amazon (2022). Inspire Your Students to Explore Careers of the Future[EB/OL]. [2022-06-07]. <https://www.amazonfutureengineer.com/>.

[15]Carolyn, S. (2021). Computational Thinking for All[EB/OL]. [2022-06-02]. <https://www.iste.org/explore/computational-thinking/computational-thinking-all>.

[16]Center for an Urban Future (2021). Preparing New Yorkers for the Tech Jobs Driving NYC's Pandemic Economy[EB/OL]. [2022-05-27]. <https://nycfuture.org/research/preparing-nyers-for-tech-pandemic>.

[17]City of New York (2019). Mayor de Blasio and Chancellor Carranza Announce Record-High 55,011 Students Taking Advanced Placement Exams[EB/OL]. [2022-05-31]. <https://www1.nyc.gov/office-of-the-mayor/news/113-19/mayor->

de-blasio-chancellor-carranza-record-high-55-011-students-taking-advanced#/0.

[18]CompTIA (2022). State of the Tech Workforce[EB/OL]. [2022-06-01]. https://www.cyberstates.org/pdf/CompTIA_Cyberstates_2022.pdf.

[19]Computer Science Teachers Association (2011). CS Standards[EB/OL]. [2022-06-02]. <https://csteachers.org/page/standards>.

[20]Computer Science Teachers Association (2017). K-12 Computer Science Standards, Revised 2017[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.doe.k12.de.us/cms/lib/DE01922744/Centricity/Domain/176/CSTA%20Computer%20Science%20Standards%20Revised%202017.pdf>.

[21]CSforAll (2019). Building an Inclusive and Equitable CS System in Ithaca NY, Lessons Learned on the Way to CSforALL [EB/OL]. [2022-06-15]. <https://medium.com/csforall-storiesbuilding-an-inclusive-and-equitable-cs-system-in-ithaca-ny-lessons-learned-on-the-way-to-csforall-ab52a2ce92ed>.

[22]Cutumisu, M., Adams, C., & Lu, C. (2019). A Scoping Review of Empirical Research on Recent Computational Thinking Assessments[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 28(6):651-676.

[23]Digital Age Learning (2020). Metis Report[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.digitalagelearning.com/>.

[24]Digital Promise (2021). Computational Thinking for an Inclusive World: A Resource for Educators to Learn and Lead [EB/OL]. [2022-06-01]. https://digitalpromise.dspacedirect.org/bitstream/handle/20.500.12265/138/CTForAnInclusiveWorld_DEC2021.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

[25]Dryden Central School District (2020). NYS Learning Technology Grant 2021-2024 Building Digital Literacy for Student Empowerment[EB/OL]. [2022-06-11]. https://www.dryden.k12.ny.us/resources/n_y_s_learning_technology_grant.

[26]Eli, D., & Amber, O. (2021). Tech Jobs in the City Are Growing; Here's How to Make Sure New Yorkers Can Fill Them [EB/OL]. [2022-06-11]. <https://www.gothamgazette.com/opinion/10441-tech-jobs-growing-nyc-how-new-yorkers-fill-them>.

[27]Emilian, V. (2020). What Do We Know About the Expansion of K-12 Computer Science Education?[EB/OL]. [2022-06-26]. <https://www.brookings.edu/research/what-do-we-know-about-the-expansion-of-k-12-computer-science-education/>.

[28]Government Printing Office (2015). STEM Education Act of 2015[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.congress.gov/114/plaws/publ59/PLAW-114publ59.pdf>.

[29]Hofstra University (2018). NYSCATE Project Overview [EB/OL]. [2022-06-02]. <https://www.hofstra.edu/academics/colleges/seas/ctl/nyscate/>.

[30]K-12 Computer Science Framework Steering Committee

(2016). K-12 Computer Science Framework[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://k12cs.org/wp-content/uploads/2016/09/K-12-Computer-Science-Framework.pdf>.

[31]Knudson, A. (2019). DOE: More Girls Taking, Passing AP Computer Science Exams[EB/OL]. [2022-05-30]. <https://www.silive.com/news/2019/03/doe-more-girls-taking-passing-ap-computer-science-exams.html>.

[32]Megan, S. (2016). Computer Science For All[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/01/30/computer-science-all>.

[33]National Research Council of the National Academies (2011). Report of a Workshop on the Pedagogical Aspects of Computational Thinking[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://nap.nationalacademies.org/read/13170/chapter/1#ii>.

[34]National Science Foundation (2007). National Action Plan for Addressing the Critical Needs of the U.S. Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education System [EB/OL]. [2022-06-01]. https://www.nsf.gov/publications/pubsumm.jsp?ods_key=nsb07114.

[35]New York Hall of Science(2022). The Pack[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.nysci.org/the-pack>.

[36]New York State Association for Computers and Technologies in Education (2021). Salamanca High School Earns International Award in STEM Excellence[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.nyscate.org/article/412565>.

[37]New York State Education Department (2016). Micro-Credentials: Driving Teacher Learning & Leadership[EB/OL]. [2022-05-13]. <http://www.nysed.gov/common/nysed/files/principal-project-phase-2-microcredentials-driving-teacher-learning-leadership.pdf>.

[38]New York State Education Department (2017). Learning Technology Grant Program Overview: Rochester City School District[EB/OL]. [2022-06-12]. <http://www.nysed.gov/edtech/learning-technology-grant-program-overview-rochester-city-school-district>.

[39]New York State Education Department (2020a). Computer Science and Digital Fluency Learning Standards Grades K-12 [EB/OL]. [2022-05-02]. <http://www.nysed.gov/common/nysed/files/programs/curriculum-instruction/computer-science-digital-fluency-standards-k-12.pdf>.

[40]New York State Education Department (2020b). Computer Science and Digital Fluency Learning Standards[EB/OL]. [2022-05-02]. <http://www.nysed.gov/curriculum-instruction/computer-science-and-digital-fluency-learning-standards>.

[41]New York State Education Department (2020c). Laws and Regulations Related to Instructional Technology [EB/OL]. [2022-06-02]. <http://www.nysed.gov/edtech/laws-and-regulations-related-instructional-technology#Student%20Data%20Privacy>.

- [42]New York State Education Department (2021). Learning Technology Grants[EB/OL]. [2022-06-02]. <http://www.nysed.gov/edtech/learning-technology-grants-ltg>.
- [43]New York State Education Department (2022). Federal Laws that Protect Student Data[EB/OL]. [2022-06-01]. <http://www.nysed.gov/data-privacy-security/federal-laws-protect-student-data>.
- [44]NYC Department of Education (2021). K-12 Curriculum [EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.blueprint.cs4all.nyc/curriculum>.
- [45]NYC Department of Education (2022). Educator Resources[EB/OL]. [2022-06-01]. <https://blueprint.cs4all.nyc/resources/>.
- [46]Office of Teaching Initiatives (2021). Computer Science Statement of Continued Eligibility[EB/OL]. [2022-05-05]. <http://www.highered.nysed.gov/tcert/certificate/computer-sci-soce.html>.
- [47]Park, Y. S., & Green, J. (2019). Bringing Computational Thinking into Science Education[J]. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 40(4):340-352.
- [48]Project Tomorrow (2020). BETR-CT Project[EB/OL]. [2022-06-02]. <https://tomorrow.org/programs/computational-thinking.html>.
- [49]Robin, H. (2021). How Computational Thinking Can Change Education in NYC[EB/OL]. [2022-06-05]. <https://robinhoodnyc.medium.com/how-computational-thinking-can-change-education-in-nyc-aca30e1b29aa>.
- [50]Swanson, H., Anton, G., & Bain, C. et al. (2017). Computational Thinking in the Science Classroom[EB/OL]. [2022-06-08]. http://ccl.northwestern.edu/2017/CTE2017_Paper_Final_2.0.pdf.
- [51]The National Commission on Excellence in Education (1983). *A Nation at Risk: The Imperative for Educational Reform* [EB/OL]. [2022-06-01]. https://edreform.com/wp-content/uploads/2013/02/A_Nation_At_Risk_1983.pdf.
- [52]U.S. Department of Education (2015). Every Student Succeeds Act (ESSA) [EB/OL]. [2022-06-07]. <https://www.ed.gov/essa?src=rn>.
- [53]University at Albany (2019). Ni Receives \$1.5 Million to Build Computer Science Capacity in K-12 Schools[EB/OL]. [2022-06-11]. <https://www.albany.edu/education/news/ni-receives-15-million-build-computer-science-capacity-k-12-schools>.
- [54]University at Buffalo (2022). The Eric Pitman Annual Summer Workshop in Computational Science[EB/OL]. [2022-06-02]. <https://www.buffalo.edu/ccr/outreach/k-12-outreach/summer-workshop.html>.
- [55]Webb, M., Davis, N., & Bell, T. et al. (2017). Computer Science in K-12 School Curricula of the 21st Century: Why, What and When?[J]. *Education and Information Technologies*, 22(2):445-468.
- [56]Wing, J. M. (2006). Computational Thinking[J]. *Communications of the ACM*, (3):33-35.
- [57]Yonkers Public Schools (2022a). The New York State Education Department Smart Start Grant[EB/OL]. [2022-05-13]. <https://www.yonkerspublicschools.org/Page/56259>.
- [58]Yonkers Public Schools (2022b). Professional Learning [EB/OL]. [2022-06-01]. <https://www.yonkerspublicschools.org/domain/9084>.

收稿日期 2022-07-21 责任编辑 李鑫 谭明杰

Computational Thinking-Oriented Cultivation: Construction of the K-12 Computer Science Education System in New York State, USA

WANG Zhengqing, LI Lingtong, TIAN Xiao

Abstract: Computational thinking is an essential literacy in the intelligent era. Computer science education focusing on cultivating computational thinking has attracted more and more attention in the field of basic education at home and abroad. As a model for K-12 computer science education, New York State in the USA aims to provide high-quality computer science education opportunities to help individuals grow, cultivate STEM practitioners, and maintain educational equity for disadvantaged groups to cater to social needs and refine the literacy-oriented education system to promote educational innovation and so on. In terms of action subjects, a “three-level interconnection” mechanism has been formed in which the decision-making level plans educational strategies, the

management level plans educational resources, and the executive level organizes educational practice to ensure the division of labor and clear powers and responsibilities among action subjects. And by establishing high-quality computer science education courses, developing supporting software and providing teaching equipment, the dual guarantee of software and hardware is realized in practice. In addition, New York State focuses on operational support in terms of regulations, funding, training, technology and collaboration to create a high-quality K-12 computer science education system. New York State's experience in developing K-12 computer science education provides a reference for China to optimize the information technology education system and strengthen the cultivation of computational thinking in primary and secondary schools.

Keywords: Computational Thinking; Primary and Secondary Schools in New York State; Computer Science Education; Information Technology Education

(上接第42页)

Why Is the Application of Information Technology Education Inefficient?

——Analysis of Teachers' Teaching Action Based on the Perspective of "Structure-Process"

AN Tao, LIANG Zhiyuan

Abstract: At present, there is a dispute in the academic circles over whether information technology can really improve the educational effect. Most existing studies are based on empirical judgment and lack theoretical explanation and elaboration. In fact, education and information technology are two different kinds of existences with different practical logic. Based on Parsons' unit action model and Giddens' structuration theory, from the perspective of "structure-process" analysis, the analysis of teachers' teaching action finds out that there are five logical conflicts between educational practice and the application of information technology. Educational practice aims to promote the growth of students' life, while information technology application pursues the information processing of cognitive objects. The main means of educational practice is classroom teaching in which the body is present, and the application of information technology relies on hardware and software to play its role through virtual avatar. The educational practice embodies the idea of "teaching first" of industrial civilization with closed classroom as the operating condition, while the information technology is embedded with the idea of free, open and shared information civilization, and the open network environment is the operating condition. The process of educational practice is full of individuation due to the differences in teachers' actions, while the application of information technology reflects the formalization based on the established physical laws and mathematical logic. These logical conflicts lead to the low efficiency of the educational application of information technology. To adjust these logical conflicts, we need to grasp the logical fit point of students' development, focus on students' full life, change educational concepts, and enrich teaching organization forms to practice the value of "people-oriented" and promote the humanized development of technology.

Keywords: Educational Practice; Application of Information Technology; Unit Action Model; Structuration Theory; Logical Conflict