

数字化时代教师纠错素养研究现状与未来发展

吴剑南 徐晓东

(华南师范大学教育信息技术学院, 广州 510000)

[摘要] 20 世纪 70 年代以来,学习错误研究进展巨大。错误类型在不同学科获得了共识。随着错误识别模式的技术和场景的丰富,学习错误研究的广泛应用彰显了其育人价值,成为教师纠错教学的基础。作为一种专业能力,近年教师纠错素养得到了广泛重视。为探索数字时代提升纠错素养的路径,本研究以学习错误为研究起点,结合国内外相关研究,梳理了学习错误研究的发展脉络、主要类型和错误识别技术的应用场景,提炼了教师纠错素养的概念和内容,提出了如何发展纠错素养和创新纠错教学实践的建议。

[关键词] 错误研究;纠正错误;教师纠错素养

[中图分类号] G633

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2023)02-0061-13

一、引言

学习错误研究始于 20 世纪 70 年代,经历了早期行为主义学者强调避免学习错误,到学习错误被视为“探究的跳板”(Borasi, 1994)、“学习的关键时刻”(约翰·哈蒂等, 2021),再到“从有效失败中学习”(Kapur, 2015)、“从错误中学习”(Tulis et al., 2016)等观念的转变,不断发展出新的观点。然而,这些研究大多集中在认知、情感和行为等方面,较少关注教师面对错误的专业素养。学习实践中,学生往往难以自行纠正学习错误,常需要他人提供帮助(Wong & Lim, 2019),特别是教师发现学习中的迷思或疑点时,面向全班学生开展纠错教学至关重要(徐晓东, 2022)。

成功的纠错,意味着教师能够根据微弱证据对学生错误进行建模,并调整教学策略(解书等,

2018)。这就要求教师纠错教学借用适当的评价手段,基于专业知识准确识别和解释学生的错误,并以此改变教学行为,帮助学生改正错误。有研究者将其称为教师错误分析能力(彭爱辉, 2007)、教师专业错误素养(Seifried & Wuttke, 2017)、教师错误诊断素养(Heinrichs & Kaiser, 2018),具备该能力的教师被称为“学习医生”(Taber, 2005)。这些研究角度不同,但都指向教师面对学习错误时表现出的专业素养。

新一代信息技术的应用和普及,使得教学环境逐渐数字化和智能化,基于教学过程数据的采集和分析,使得快速识别学习错误并进行建模成为可能,为教师有效纠错带来契机。然而,数字化课堂环境的纠错教学依然存在问题。首先,系统或平台在纠错活动中没有起到关键作用。例如,技术支持的学生练习形式较为单一(贾积有, 2019; 李美凤等,

[收稿日期] 2022-12-05

[修回日期] 2023-03-01

[DOI 编码] 10.13966/j.cnki.kfjy.2023.02.008

[基金项目] 2017 年全国教育科学规划课题国家一般项目“信息技术支持的个性化和持续性教师专业发展模式研究”(BCA170082)。

[作者简介] 吴剑南,博士研究生,华南师范大学教育信息技术学院,研究方向:教育技术、技术支持的教与学(wujiannan0512@163.com);徐晓东,博士,教授,博士生导师,华南师范大学教育信息技术学院,研究方向:教育技术和学习科学(xuxd@scnu.edu.cn)。

[引用信息] 吴剑南,徐晓东(2023). 数字化时代教师纠错素养研究现状与未来发展[J]. 开放教育研究,29(2): 61-73.

2019), 教师可查看的数据主要依靠答题情况与进度(刘喆等, 2020); 其次, 教师缺乏对学习错误的敏感性。无论学生答题情况如何, 教师都会按照既有路径展开教学(李利等, 2018)。

由此可见, 数字化课堂环境的教师纠错素养在教育研究或教学实践中并未得到重视。纠错素养是教师专业素养的一部分, 是有效实施课堂纠错活动的前提, 决定了教师能否发现和解释学习错误、如何对待学习错误、采取何种纠错策略, 以及如何应用信息技术支持纠错活动。基于此, 本研究以学习错误研究为基础, 探讨教师纠错素养的概念和构成, 以期为学习错误研究和纠错教学提供理论与方法支持。

二、内涵与认识

教育领域对错误的定义主要从两方面展开: 一是从认知角度, 将错误定义为学生缺乏心智能力或执行、实施行动的能力; 二是从迷思概念(misconception)角度, 将错误定义为学生对概念性或程序性知识的理解不足。其中, 数学教育是错误研究最常涉及的领域之一(Simpson et al., 2020)。早期行为主义研究认为, 学习旨在逐渐减少无关的错误反应, 而不关心观念或概念是如何产生的, 研究重点在于学习者如何习得新的“行为”。受行为主义理论影响, 美国学者考克斯(Cox, 1975)将数

学计算错误分为系统性错误、随机性错误和粗心错误。系统性错误主要由学生对概念误解或者对算法过程的理解不足, 从而“掌握”了错误规则。拉达茨(Radatz, 1979)根据信息加工理论, 从语言理解、空间感知、先前知识或经验等方面, 分析了数学错误的来源。纽曼(Newman)指出, 学生的错误来源于阅读、理解、转化、加工、编码等五个层次, 并且集中在转化和加工两个层次(Clements, 1980)。

除此之外, 科学教育领域学者对概念转变的研究, 丰富了错误研究视角。尤其是皮亚杰的建构主义观点, 对概念转变研究产生了极大影响。研究者认识到学生进入课堂时, 常带着对现实世界如何运转的不成熟观点和迷思概念(安德烈·A.迪赛萨, 2021), 这些迷思概念成为学生发展概念理解的障碍(Chi, 2005)。研究者还指出, 迷思概念不会完全消除, 而是与科学观念共存(Potvin, 2023), 潜在的迷思概念影响新知识的同化(陈坤等, 2019)。

20世纪90年代以来, 有学者从多方面考察了错误成因及类型(见表1)。奥苏伯尔(1994)认为儿童出现错误概念源于认知结构不完善、缺乏经验和信息错误; 帕金斯与西蒙斯(Perkins & Simmons, 1988)提出了整体性错误解释框架, 将知识分为四个框架: 内容、问题解决、认识论和探究等, 并描述了三类错误模式: 朴素概念、仪式性概念和戈尔迪式概念, 以此解释陈述性知识和程序性知识错误。

表1 不同研究视角对学习错误的认识

研究视角	对学习错误的认识与划分
错误概念	认知结构不完善、缺乏经验以及信息错误
学生概念	1) 皮亚杰式的学生概念研究认为, 学生对特定学科概念的理解随着时间推移而不断发展; 知识是一个过程, 而非一种状态, 对知识的考察需要联系知识的发展过程; 2) 科学哲学的替代(alternative)概念研究重点关注学生的信念系统, 指出这些信念与文化、语言使用、历史先例等存在复杂关系; 学习过程不是简单的累加, 而是对替代观点循序渐进的考虑和对反例的解决; 3) 信息加工研究的系统性错误主要关注程序性知识错误, 认为学科知识结构独立于研究者而存在, 错误的产生依赖学科知识的程序性、规则性等特点; 认为错误在认识论上是不合理的, 在发展上处于原始(primitive)状态。
知识层次	1) 朴素概念(naive concepts): 学习者的四个知识框架都有缺陷, 主要由内容框架的误解所造成, 这些误解由于缺乏“科学文化”的认识论和受到探究框架的“保护”而不被修正; 2) 仪式性概念(ritual concepts): 学习者具备一定的言语知识基础, 可以完成教材上的学习任务, 但出现在新的问题情境时, 学习者的朴素概念会影响其对问题的定性分析, 并且过于泛化的技术知识主导了问题解决过程; 3) 戈尔迪式概念(Gordian concepts): 四个知识框架发展相对完善, 然而在探究框架中, 学习者可能因为确认性偏差(confirmation bias)从数据中得出错误结论, 产生错误的理论解释。
无力知识	1) 迷思概念包括不正确或不完整的认知概念、主次不分(malprioritized)的概念(属性)、问题解决的错误信念; 2) 知识分隔化(compartmentalization)包括错误和正确概念的分隔、正确概念间的分隔、符号系统和现实世界实体的分隔。
惰性知识	1) 元加工(metaprocess): 与学习者元认知、动机等变量有关; 2) 结构性缺失: 与学习者缺少知识的编译、知识分隔化有关; 3) 境脉性: 强调学习者认知与境脉之间的关系。
学习障碍	1) 空洞的学习障碍包括先前知识不足、碎片学习; 2) 实质性学习障碍包括本体论障碍、教学法障碍。

康弗里(Confrey, 1990)依据学生概念研究的不同取向,区分和讨论了皮亚杰式研究中的学生概念、科学哲学研究中的学生替代概念,以及信息加工研究中的系统性错误,为学习错误研究提供了补充视角。此外,曼德尔等(Mandl et al., 1993)将“无力知识(powerless knowledge)”归因于迷思概念与知识的分隔化,伦克尔等(Renkl et al., 1996)从元加工、结构性缺失与境脉性三个方面解释了“惰性知识(insert knowledge)”,泰伯(Taber, 2005)将学习障碍分为空洞的学习障碍和实质性学习障碍。

学习错误的类型,经由单一学科或领域的划分与解释,形成了丰富的分类体系。在解释错误时,常见的系统性错误与迷思概念互为补充渐成趋势(Li & Li, 2008; Kshetree et al., 2021)。同时,学生的元认知能力、学生认知与境脉间的关系也逐渐受到关注。由此可见,错误并非仅仅是不正确,学习错误的产生具有规律性、持续性和复杂性等特点。教育工作者必须了解造成错误的本质与原因,及时探测和识别这些错误,从而为教学服务。

三、探测错误的技术与方法

随着大数据、人工智能等新一代信息技术的发展,通过全过程实时采集学生学习数据,能够大规模、精准识别学生学习错误的思维和行为特征,并向学生自动提供个性化学习路径和补救方案。同时,智慧教室的应用,使得师生间的互动更频繁,智能感知、计算和可视化学生学习数据和学习状态,能帮助教师及时发现学生学习错误,总结错误规律,提供适当干预。

(一)在学生情境中探测错误

第一,基于概念的错误分析探测学习错误。常见的方法是在智能导学系统或自适应学习系统使用概念图诊断技术(Hwang, 2003)。研究者可以根据概念间的知识结构,自动挖掘学生概念掌握情况,并由系统生成个性化补救学习路径。有研究者结合关联规则、聚类分析、决策树等算法(Srisawasdi et al., 2014),分析概念准确性、测试难度、自信水平和回答时长等特征变量(Kao et al., 2012),关注概念之间及其和学生间的复杂关系(Lin et al., 2016)。基于概念图的诊断方法,多采用选择题形式,以便系统自动评分和生成可视化结果,但在揭

示学生正确或错误的思维过程方面存在局限。

第二,基于问题解决过程探测学习错误。具有开创意义的是布朗与伯顿(Brown & Burton, 1978)开发的程序性技能错误诊断模型。该模型通过大量系统性错误构建了硬编码错误(bug)库,可以准确识别和描述学生运算错误。奥尔松(Ohlsson, 2016)提出一种基于约束的建模方法,它将约束的陈述性知识和约束规则构建为有序的模式对,在给定约束规则下,将学生错误知识的检测和识别简化为模式间的匹配。费尔德曼等(Feldman et al., 2018)分析了学生如何将数学基本运算组合到复杂运算中,并将小的概念单元合成为程序,以此模拟和自动识别学生系统性错误的思维过程。萨维等(Savi et al., 2021)开发了系统性错误追踪模型,根据偶图(bigraph)匹配的错误原因和错误间的已知关系,分析某个特定错误回答的可能原因。这些方法通常依赖于完备的学科或主题错误数据库,需要学科专家与开发人员广泛调研学习错误,并对学习错误进行建模。

第三,基于学生解题行为数据探测学习错误。不同于过去纸笔测试,现有在线测试平台或系统通过挖掘和分析外显数据,支持和记录学生的作答行为,从而刻画学生或群体的认知过程和非认知过程。陆璟(2017)通过PISA测试的logo日志,分析学生问题解决的动机、态度和元认知等内隐信息,并基于错误率较高的题目,诊断学生出错的原因。德穆伊等(de-Mooij et al., 2021)通过学生答题时鼠标轨迹数据,分析替代选项对不同类型学生回答错误频率的影响。姜等(Jiang et al., 2021)通过学生拖放题目的击键行为,了解不同类型学生答题的认知过程,提取相应的错误答题行为序列。

科学教育领域用于探测学习错误的方法主要是访谈、开放式测试、多项选择测试和多阶测试,多阶测试多以二阶测试为主(Gurel et al., 2015)。二阶测试可用于探测学生概念发展的脉络,要求学生从正确和替代选项中做出选择并给出判断理由,以此区分学生的科学概念和迷思概念。目前,二阶测试已应用于学校的数字化测试场景(Bhagat et al., 2017; Lin, 2016),帮助教师及时获取测试结果。研究者在此基础上分别加入“自信程度”(Lin, 2016)、“绘图任务”(Anam et al., 2019),构造多阶

段测试,更细致地划分学生的概念理解水平和错误类型。还有研究者(Bao & Redish, 2001)提出集中度分析(concentration analysis)统计方法,通过每题得分和每个选项的回答数量,统计全班学生作答模式和水平,了解学生掌握科学概念的程度。

(二)在课堂教学情境中探测错误

上述方法和技术多集中于在线或非正式教学情境。在具体教学过程中,面向教师或学生提供帮助的技术应用相对较少(Shin & Shim, 2021),大部分工具仅提供学生答案的正确率或错误率(Mandinach & Schildkamp, 2021),即粗颗粒度的评价信息(张立山等, 2021)。这些信息无法向教师提供具体错误知识,也不能表征学生的思维过程。依据这些浅层次信息,教师难以获取有效的教学线索。以下三类技术应用案例可以辅助教师课堂纠错,一定程度上可以克服上述局限。

第一类是通过课堂教学管理系统,帮助教师组织和创建课程,实施过程性评价,监控学生学习进展。其中,识别错误并可视化是重要模块。以美国亚利桑那州立大学开发的 FACT 平台(VanLehn, 2021)为例(见图 1),教师端可以显示每位学生是否出错、出现错误的具体位置和对应的迷思概念,并生成纠正错误的提示信息。教师还可以编辑提示消息,或者将该错误答案投屏。此外,教师利用 FACT 平台可以查看学生群体的学习动态,了解学

生协作学习进展,将检测到的错误或不理想的动态反馈给学生。

第二类是基于认知任务分析的评价系统,提前定义完成任务所需的知识点和回答类型,自动生成错误的模式特征。穆尔昌与奥尔德姆(Murchan & Oldham, 2016)利用纽曼错误分析方法开发了开放题答案系统识别(见表 2)。该功能预先将开放题的所有答案与对应错误类型导入系统。学生输入答案后,系统自动匹配对应的错误类型,生成全体学生的错误模式。匹兹堡学习科学中心开发的数据资源库 DataShop 存储了大量细颗粒度学习数据,包括具体问题、问题解决步骤、对应的知识组件(components)和人机交互行为等,通过分析和可视化工具,显示学生解题步骤的错误率、出错行为次数等信息(Koedinger et al., 2010)。

第三类是研究者利用外接设备采集学习者行为的多模态数据。金等(Kim et al., 2016)利用点阵笔技术开发了一款书面解题过程可视化工具,分析学生解题错误行为。这类工具可以采集学生的书写笔迹(张晓梅等, 2020),包括答题顺序、解题时间和解题记录等。教师通过这些信息可以了解学生的答题情况。此外,也有研究者(Chiu et al., 2014)结合面部表情识别技术预测学生概念转变的可能性,发现那些先前知识水平高且在课堂上表露消极表情的学生,其概念转变的可能性更大(Liaw et al.,



图 1 FACT 平台教师端主界面

表2 错误答案分类编码(Murchan & Oldham, 2017)

题目:小明有5.25元钱,买杂志花1.45元,还剩____钱?			
答案编码	错误类型描述	学生输入答案示例	分数
1	正确	3.80元	1
2	小错误	*.80元, 3.*0元, 3.8*元	0.5
3	遗漏小数点	380元	0.5
4	无法转化问题	6.70元, 6.60元	0
5	无法重命名	4.60元, 4.20元, 420元, 460元	0
6	方法执行错误	范围: 300-500元或3.00-5.00元	0
7	对任务不了解	其他答案	0

注:*指任意数字。

2020)。

四、作为教师专业能力的纠错素养

有关错误模式和类型的研究揭示了学习错误本身具有的规律性和多样性,也为学习过程带来积极影响。信息技术介入纠错教学为学习错误研究开辟了新的领域和视野。上述从学生角度展开的学习错误研究,实际上回答了两个问题:“学习错误是什么”“如何借助技术发现学习错误”。与通常从学生视角关注学习错误不同的是,教师纠正错误似乎是课堂教学无需考究的常识,并未引起研究者和实践者的关注。

(一)教师纠错素养

以学习错误为主题的教师研究,主要有三种代表性的结构模型。赛弗里德与伍德克(Seifried & Wuttke, 2017)提出的教师专业错误素养模型(professional error competence, PEC),包括教师对潜在错误类型的了解、可用的行动策略或教师的回应、教师针对错误及其在课堂互动中使用的建构性视角。克鲁格等(Klug et al., 2016)认为教师诊断应贯穿学生学习的各个阶段,并提出了教师诊断过程的周期性模型,包括教师对学生学习与学习困难的理解,系统性收集信息、解释数据与总结的过程,以及适时开展整班教学和个别化教学活动。海因里希与凯撒(Heinrichs & Kaiser, 2018)提出教师诊断错误过程模型,包括感知和识别错误、推测错误原因、找到解决错误和克服迷思概念的方法。彭爱辉(2007)提出数学教师错误分析能力结构模型,主要由错误分析的过程、视角和品质三个维度构成。

其中,错误分析过程被分为识别、解释、评估和纠正四个层次。此外,也有研究者从其他视角提及教师纠错素养概念,主要包括:

1.教师学科教学法知识(pedagogical content knowledge, PCK)的视角。舒尔曼(Shulman, 1986)指出,教师学科教学知识一部分是学科表征知识,另一部分是学科概念与迷思概念知识。鲍尔等(Ball et al., 2008)将其拓展为学科、学生、课程和教学法等知识,教师对错误的认识、对学生错误思维的诊断顺序都属这些知识范畴。

2.教师回应错误的视角。受“引发—回应—评价(initiation-reply-evaluation, IRE)”课堂对话结构研究的启发,一些研究者重点关注教师对错误的回应类型,突出了教师课堂纠错方式的转变。桑塔加塔(Santagata, 2005)将课堂错误序列分为教师启发、产生错误和教师回应三个单元,并梳理了教师回应错误的十种类型。施莱彭巴赫等(Schleppenbach et al., 2007)将回应错误分为陈述型回应和质疑型回应。图利斯(Tulis, 2013)将其分为适应性(adaptive)和非适应性(maladaptive)回应策略。适应性回应策略指教师提供学生讨论错误的机会,鼓励学生通过纠错从错误中学习。

3.教师诊断素养(diagnostic competence)的视角。教师诊断素养指教师在诊断活动中具备的知识、技能、动机和信念,包括教师能否预见学生由于存在迷思概念可能犯的错误(Ostermann et al., 2018),以及通过评价解释学生为何遇见困难(Urhahne & Wijnia, 2021)。普雷迪格尔(Prediger, 2010)认为,学生错误的诊断素养应包括四个关键因素:对学习

错误感兴趣并保持警惕、以学生视角解释错误的态度、有关学习的一般知识和学科知识。王祖浩(1992)认为,完备的教学系统,必须包含诊断子系统,尤其是教师的诊断要关注共性和个性、知识的反例和特例以及学习的错例。

4.教师数据使用的视角。近年来,基于数据的决策(data-based decision making, DBDM)研究为考察教师纠错素养带来了新的角度。曼迪纳契与古默(Mandinach & Gummer, 2016)认为教师应当具备数据素养,包括教师有效使用数据的过程,具备解释信息与数据的知识、能力和素质。其中,教师使用数据过程从识别教学问题或难题开始,并且将教学问题与学生表现的变化贯穿于整个数据探究周期。根据基于数据的决策理念,这些涵盖学习错误的的数据可能比教师的直觉或经验更有效,尤其对指导教师纠错教学和支持教师专业判断起着关键作用(Ho, 2022)。

上述概念虽然不同,但都提到教师面对错误的素养构成和主要维度。整体来看,教师具备纠错素养离不开相应的知识、意识、思维,以及在数字化教学环境付诸实践的数据应用能力。其中,教师的知识起关键作用,关乎教师对错误的预设、识别、解释等一系列认知加工活动。同时,教师对错误的理解决定着其纠错活动的组织形式,而技术环境下教师的数据使用为其纠错提供了理性依据和便捷条件。布勒梅克等(Blömcke et al., 2015)认为,素养是知识和表现之间的连续体。在教师的纠错素养结构中,教师关于错误的知识与意识处于结构的核心层,利用技术手段和数据信息干预纠错体现在实践层,教师纠错思维则是连接纠错知识、意识和实践的中介。

基于此,笔者认为教师纠错素养指教师为达成纠错目的所具备的综合性品质,包括教师在数字化教学环境开展纠错教学所需要的知识、思维、意识和数据应用能力等,具体表现为教师在纠错教学中能够结合专业知识、技术知识与数据信息,及时发现、识别和解释学习错误及其原因,进而做出适应性纠错决策并付诸实践,引导学生在积极的课堂容错氛围中改正错误。

(二)纠错素养构成

基于对已有研究的梳理,本研究认为教师纠错

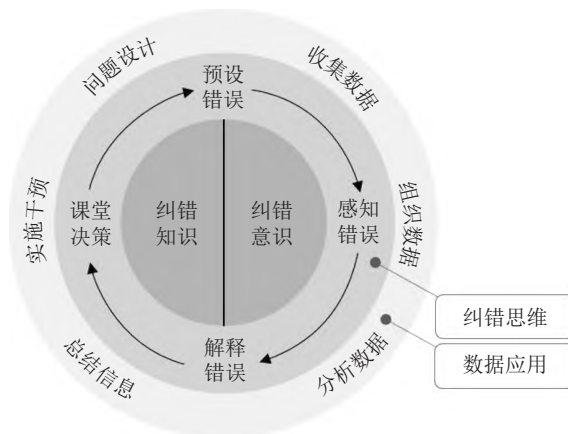


图2 教师纠错素养结构

素养结构包括三个关键层次和四个核心维度(见图2)。

1. 教师纠错知识

教师纠错知识指教师为达成纠错目的所需的学科知识和学科教学法知识。这种知识对教师预设、识别、分析、解释和纠正错误起到关键作用(张岳等, 2022),并且积极影响教师课堂教学和学生学习(Hill et al., 2008)。希尔等(Hill et al., 2008)在学科教学法知识的基础上提出学科和学生知识(knowledge of content and students, KCS),强调教师对学生如何学习特定学科知识的理解。鲍尔等(Ball et al., 2008)认为,学科和学生知识涉及教师是否熟悉常见的错误,并判定学生有可能在哪些方面出现错误(见图3)。识别简单的错误只需要一般的学科知识(common content knowledge, CCK),而评估错误的本质,特别是不常见的错误,则需要

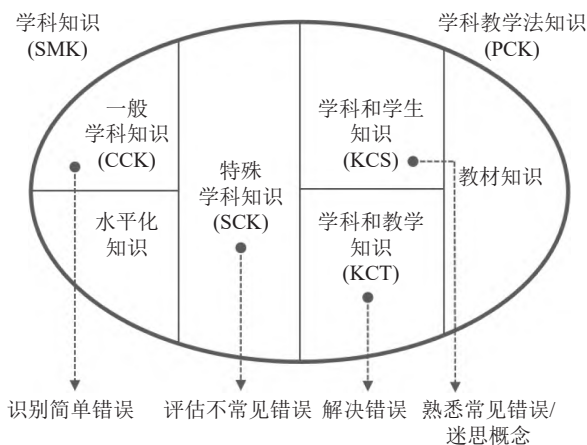


图3 数学教学知识与错误知识
范畴(Ball et al., 2008)

专业学科知识(specialized content knowledge, SCK)。研究发现,职前教师在接受学科教学法培训后,诊断错误能力显著提高(Osterman et al., 2018),在职教师的学科和学生知识、学科和教学的知识对发展学生高层次认知能力存在显著的积极影响(郭衍等, 2017)。根据尼科尔森(Nickerson, 1999)的观点,人们总是倾向于使用自己的知识作为默认模型,并以此为锚点估计他人的知识。因此,储备丰富的纠错知识,有助于教师弥补所谓的“专家盲点”,从而准确评估学生的课堂表现。

2. 教师纠错意识

纠错意识反映了教师对学习错误的态度、信念和价值观等,表现为课堂教学中积极看待错误的教学倾向,以及能否营造积极的课堂纠错氛围(error climate)。研究者从心理学范式、学习错误的内涵、纠错倾向和方法等方面,提出了三种面对学习错误的教育意义(见表3)。例如,马图奇等(Matteucci et al., 2015)将教师的错误信念分为:1)持智力后天论观点的教师倾向引导学生反思错误;2)持行为主义学习观的教师倾向在教学中避免错误,因为要学习的行为应按照逐次逼近(successive approximations)的法则形成,而错误会强化不正确的答案。建构主义学习观则认为错误是不可避免的,教师应将错误视为学生重构知识的信号;3)积极的错误文化观鼓励学生识别、讨论和反思错误,消极的错误文化观视错误为威胁。学生通常认为错误会带来更低的分数。伍绍杨等(2021)从学习反馈的视角认为,行为主义强调学习结果,尤其是当反应错误时,应提供验证、纠正或改变反应的信息,而认知主义强调缩小差距,建构主义强调学生的能动作用和学习情境的作用。王与林(Wong &

Lim, 2019)从预防错误、允许(permission)错误和促进(promotion)错误三种视角,比较了不同错误解决方法的教育意义,指出这些错误策略具有边界效应,避免错误的教学并非一无是处,允许错误也不意味着不需要教师和同伴的帮助。

根据这些理论,有研究者将教师对错误的意识概念化为具体的教学回应策略。图利斯(2013)把教师对错误的回应分为适应性策略和非适应性策略。适应性策略指教师采取全班讨论、等候回答、学生纠错等策略,强调阻止课堂上消极回应,认为在课堂上积极地看待和纠正错误,不仅体现出教师具有较高的掌握型成就目标和自我效能感(Matteucci et al., 2015),还能对学生学业成绩(潘昆峰等, 2018; von-Kotzebue et al., 2022)、学生感知错误氛围与错误信念产生积极影响(Soncini et al., 2021)。

3. 教师纠错思维

教师纠正错误时,会经历不同的认知与思维过程,包括预设错误、感知错误、解释错误和做出教学决策等。这种思维一方面受教师个人特质影响,另一方面又直接影响课堂教学的教师诊断行为(Blömeke et al., 2015)。教师预设错误主要与教师的诊断思维有关,也有研究者将这种思维称为判断准确性(judgment accuracy),体现出教师根据学生特征估计学习和任务的适切程度(Urhahne & Wijnia, 2021)。洛伊布尔等(Loibl et al., 2020)从认知角度提出了诊断性判断模型。该模型主要包括情境特征、教师特征、诊断思维和教师行为四个部分,可以解释教师根据信息对学生或材料进行推断的过程(见图4的箭头):来自情境的框架和线索,比如课堂教学的时间压力或学生回答会影响教师状态

表3 三种面对学习错误的教育意义(Wong & Lim, 2019; 伍绍杨等, 2021)

纠错倾向	心理学范式	学习错误的内涵	纠错方法	举例
避免错误	行为主义	学生不正确的行为反应会增加错误再次发生的概率,从而对未来学习产生影响	当反应错误时,教师应提供验证、纠正或改变反应的信息	斯金纳的教学机器和程序教学,主张学生努力追求没有错误的表现,并通过尽可能少的错误塑造目的行为
允许错误	认知主义	学生认知结构与外部材料不一致,难以正常加工信息	修改有问题的认知结构,提供应对失衡状态和优化认知结构的信息	布鲁纳提出发现学习认为,探究过程对于学生发展探究技能、主动建构知识至关重要,允许学生独立理解目标概念
促进错误	建构主义	学生存在错误的先前经验	故意引出错误,利用师生的帮助与互动转化认知冲突	苏格拉底产婆术、辩论

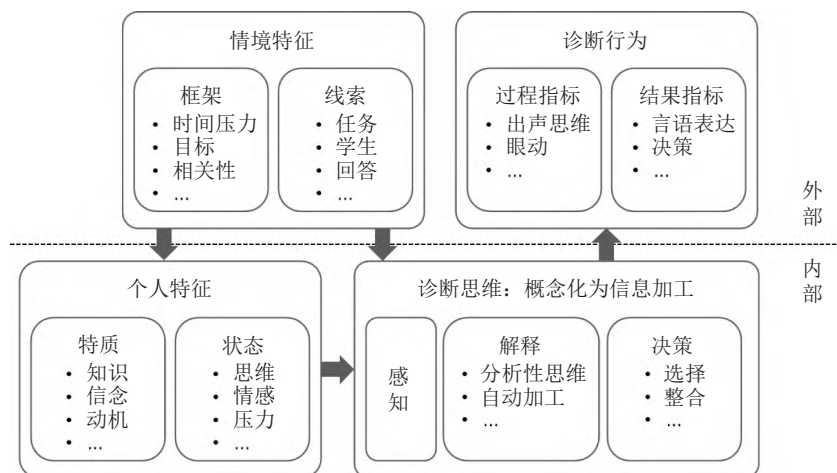


图4 教师诊断性判断认知模型(Loibl et al., 2020)

和教师的诊断思维;教师诊断思维包括感知、解释和决策三部分。其中,解释思维具有分析性思维和自动加工的特点,决策包括选择和整合,通常表现为启发性决策思维,主要依靠教师的直觉与经验;教师的诊断思维直接影响教师的诊断过程和行为结果。

海因里希等(Heinrichs et al., 2018)描述了教师面对错误情境的诊断过程,包括教师探测错误、推测错误原因和解决错误。相对于洛伊布尔提出的模型,这种诊断过程更符合实际课堂教学情境。首先,教师推测错误原因,意味着教师能够发现和指出学生出错原因的不同假设,而不是泛泛而谈。其次,教师通过加工这些信息后,将决策转化为解决错误和克服迷思概念的具体方法。彭爱辉(2007)的错误分析过程包括识别、解释、评估和纠正四个阶段。麦克奎尔(McGuire, 2013)指出,教师识别和解释错误有赖于教师扎实的学科内容知识和观察学生理解水平的能力。可以看出,教师纠错思维是参与和支配课堂纠错活动的重要部分。正如泰伯(Taber, 2005)所言,教师发展对学习错误的敏感性,有助于依据错误类型采取最佳行动。

4. 教师数据应用

数字化课堂教学环境的教学活动,产生了大量的学生认知与行为数据。教师如何利用和加工这些数据,为纠错教学提供依据,依赖于教师数字化应用和数据使用实践能力。本研究结合基于数据的决策(Mandinach & Gummer, 2016)理念,从数据应用过程的角度,描述教师如何使用数据纠错:

1)教学问题的设计与结构化,即教师结合自身学科知识与教学经验,提前预设学生的典型错误和潜在错误,并通过解压(decompression)的方式拆解复杂任务或问题解决步骤(Morris et al., 2009)。2)收集与组织数据,即教师利用智慧课堂系统或平台和第三方调查工具,获取学生学习数据。需注意的是,教师应思考这些数据是否能够刻画学生的认知过程、探测学生的迷思概念,否则还应当再次优化原有的练习题或题型。3)分析数据与总结信息,即教师将前一阶段收集的数据转化为表征学习错误的信息,利用系统或平台生成的数据报告,结合数据统计与分析知识总结学生答题与出错情况。4)教师依据这些信息,选择适当的教学策略实施纠错:针对全班学生迷思概念的答题情况,选择全班讲解或同伴指导(Westbroek et al., 2020);针对小组对某一知识或任务的理解水平,向小组提供学科内容或学习过程等方面的帮助(Calor et al., 2022)。

五、教师纠错素养的生成路径与发展

随着相关研究的发展,学习错误对教育教学的积极意义得到体现,从错误的角度考察教师纠错素养正成为重要的研究领域。而教师纠错素养的发展既需要关注教师相关知识、意识和思维,还要积极探索如何将纠错教学融入数字化课堂教学实践。同时,智能技术的发展和智慧教室的推广,为发展教师纠错素养和创新纠错教学带来了新机遇。

(一)转变认识

毫无疑问,错误总是伴随着学习过程而发生。

如果学习被认为是积极的,课堂上教师就应鼓励学生积极探讨概念和迷思概念(Tulis, 2013)。我国小学特级教师华应龙(2015)提出的化错教育,致力于彰显课堂差错中的“正确”,并将差错视为关键的教学资源。由此可以看出,学校和教师应避免过度预防错误,重视学习错误的育人价值,将其视为必不可少的教学资源 and 调整教学的关键线索。这要求:一是提高教师对错误的敏感性。教师应将学习错误视为日常教学的重要内容之一,结合课程标准提出的课程理念、学业质量标准要求和班级学情,定期对标学业测评考试、日常测试与作业完成情况,探索错误机制,发现数据规律,总结潜在的错误模式;加强与学生间的沟通,尤其关注学困生群体,了解他们对某个主题、概念以及知识产生错误的思维过程。二是营造积极的容错氛围。教师应“少讲精讲”,避免一味追求数字技术应用的形式而忽视学生思维发展,引导学生围绕原理性知识展开深度探讨(徐晓东, 2022),更好地挖掘和解决以往易被忽视的错误。教师应渗透“错中学”的理念,鼓励学生与家长正确看待学习错误,针对学生理解水平设计学习任务,激发学生探究和转化学习错误的意愿。

(二)教学研究引领纠错教学实践

在充分借鉴国外错误研究的基础上,学校和教师应以教研为抓手,充分结合我国文化传统和教育国情,积极探索纠错教学的本土化和校本化。我国历史上关于错误的认识有不少典故。“金无赤足”“失败是成功之母”等俗语,指出了学习错误难以避免,且具有积极意义。“两小儿辩日”体现了儿童关于生活现象的朴素概念与认知冲突。“授业解惑”表明教师不仅要传授学业,还要解决疑惑。“不愤不启、不悱不发”强调教师启发和帮助学生的时机。这些教育思想一定程度上与国外错误研究不谋而合,同时也体现出我国开展纠错教育的独特优势:教师的影响力与人们对“错中学”的积极认识(Schleppenbach et al., 2007)。此外,我国教育教学与国外的不同还在于班额和分班原则。教师应照顾绩优生、中等生和薄弱生三类学生的学习(徐晓东, 2022),在不影响教学进度的前提下,立足学校实际和学科学习特点,突出学生在纠错过程中的主体性,合理设计融入纠错活动的教学模式,

适当分配课堂纠错时间,开发学习错误样例(erroneous examples)与资源(王蒙, 2015)。另外,学校要为教师纠错教学实践提供研究的土壤,组建聚焦纠错实践的教研共同体,探索不同回应倾向、不同纠错形式,以及技术支持的纠错策略是否存在边界效应,总结基于不同学生群体、不同学科以及不同课型的教学效果和经验,最终使得每位学生都能从错误中学习和受益。

(三)聚焦学习错误设计研修模式

课堂纠错活动的有效开展依赖于教师纠错素养。构成教师纠错素养的各个要素发挥着不同作用:缺乏学科知识,将难以推断学生形成错误的潜在原因(Seifried & Wuttke, 2017);缺乏学科教学法知识,可能无法根据错误提供高质量的反馈,影响学生思维发展(Stovner & Klette, 2022);过于强调避免错误,使得技术只能充当控制课堂(李利等, 2018)和确认原有信念(Barnes et al., 2022)的工具,无法发挥其纠错潜力。因此,学校可以设计与开发面向一线教师的、以学习错误为核心的研修项目,包括:1)综合调查教师纠错素养的发展水平,为教师制定符合学生发展需求的个性化培养方案。2)基于教师教学实际教学,围绕学科错误、迷思概念以及纠错思维,开发相应的教学课例和学习资源(McGuire, 2013; Ostermann et al., 2018)。3)组建提供教育理论与教学实践指导的专家团队(徐晓东等, 2016)。教育理论专家可从理论层面引导教师从学理层面分析学习错误,并提供与学习错误有关的知识;实践经验丰富的专家可结合教材、课标和学业测试表现,帮助教师提炼典型的错误及其模式,探究相应的纠错教学策略。4)开展围绕纠错实践的教学研讨活动(Santagata & Bray, 2016),通过引入激发认知冲突的问题,组织教师深度识别与分析错误、设计数据收集方式、分析数据与总结信息,以及开展适应性的纠错干预。5)向教师提供与纠错有关的结构化反思日志(Klug et al., 2016),鼓励教师定期记录与反思学习错误的转化经验,并与同学科组、同年级或同一工作室的教师分享。

(四)校企联合开发纠错智能助手

在教学过程中,教师可获得的信息会影响教师的感知和决策,并将注意力集中在具体线索上。这将提高教师对错误判断的准确性,从而作出有效决

策(Loibl et al., 2020)。校企联合开发的支持纠错的课堂教师智能助手可以实现上述目的,主要工作包括:首先,建立校班两级错误数据库,即通过查阅相关研究文献,梳理不同学科、不同主题的常见错误,访谈本校本班学生、一线教师和教研员,补充和完善校本化的学习错误类型、错误原因和对应思维过程。其次,构建错误行为评估模型(张立山等,2021),尤其是梳理常见错误与错误原因的关联关系,设计表征错误和触发错误的算法和评价任务,以便与学校网络学习空间或其他智慧学习平台对接。例如,对于填空题的评价,系统或平台在识别学生端输入的答案后,与错误库的错误答案进行匹配,自动评判答案对错,并对错误类别进行编码;对于选择题的评价,系统可以向学生推送二阶或多阶测试,统计正确与替代选项的选择分布,对学生概念理解水平进行分类;对于书面作业的评价,结合点阵笔技术,系统可以利用关键书写特征识别答对或答错学生的解题策略和解题流畅度等特点。再次,基于面部表情、体态特征、脑电等多模态数据,多角度判别学生是否遇到困难或出现错误,并结合课堂话语自动识别技术表征学生错误思维。最后,通过系统学习错误数据库与错误模型、诊断学习错误的算法,以及实时的数据可视化工具,教师可以获取细颗粒度的纠错信息,如不同学生的答题状态和进度、具体的错误类型与出错比例、全班出错的模式,以及相应教学建议等。

总之,随着人工智能与认知心理学领域交叉、融合,研究者根据学习错误的类型与模式,开发了一系列算法、程序和系统,为实现大规模与个别化诊断和纠错提供了技术支持。然而,这些与学习错误有关的教学活动和教育技术之间的关系并不密切。一方面,技术的课堂应用水平有限,课堂纠错仍依赖教师的经验和直觉。另一方面,从学习错误视角关注教师专业素养的研究相对较少,与纠错活动相对应的教师知识、思维、意识与数字化手段,未引起研究者和教育工作者的关注。教师只有将技术、学生、教师等要素紧密结合,才能达到课堂纠错的理想效果。面对数字化转型对教育带来的机遇,发展教师纠错素养对课堂教学具有重要意义,不仅可以丰富学习错误的研究范畴,突出教师的主导作用和育人使命,提升数字化时代教师教学水平,

而且有助于促进智能技术的开发和应用,更符合教与学规律,为提高教学效率、提升教育质量贡献教育技术的价值和智慧。

[参考文献]

- [1] Anam, R.A.S., Widodo, A., Sopandi, W., & Wu, H.K.(2019). Developing a Five-Tier Diagnostic test to identify students' misconceptions in science: An example of the heat transfer concepts[J]. *Ilkō ğretim Online*, 18(3): 1014-1029.
- [2] [美]安德烈·A. 迪塞萨(2021). 概念转变研究的历史: 线索和断层[C]. [美]R. 基思·索耶. 剑桥学习科学手册(第2版)[M]. 徐晓东等译. 北京: 教育科学出版社: 92-93.
- [3] [美]奥苏伯尔(1994). 教育心理学[M]. 余星男, 宋钧译. 北京: 人民教育出版社: 121-122.
- [4] Ball, D.L., Thames, M.H., & Phelps, G.(2008). Content knowledge for teaching: What makes it special?[J]. *Journal of Teacher Education*, 59(5): 389-407.
- [5] Bao, L., & Redish, E.(2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states[J]. *American Journal of Physics*, 69(S1): S45-S53.
- [6] Barnes, N., Brighton, C.M., Fives, H, Meyers, C., & Moon, T.R.(2022). Where's the data to support educators' data use for instructional practice?[J]. *Theory Into Practice*, 61(3): 277-287.
- [7] Bhagat, K.K., Subheesh, N., Bhattacharya, B., & Chang, C. (2017). The Design and development of identification of students' misconceptions in individualized learning environment (iSMILE) system[J]. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(1): 19-34.
- [8] Blömeke, S., Gustafsson, J., & Shavelson, R.J.(2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum[J]. *Journal of Psychology*, 223(1): 3-13.
- [9] Borasi, R.(1994). Capitalizing on errors as "Springboards for Inquiry": A teaching experiment[J]. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25(2): 166-208.
- [10] Brown, J.S., & Burton, R.R.(1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills[J]. *Cognitive Science*, 2(2): 155-192.
- [11] Calor, S.M., Dekker, R., van Drie, J.P., & Volman, M.L.L.(2022). Scaffolding small groups at the group level: Improving the scaffolding behavior of mathematics teachers during mathematical discussions[J]. *Journal of the Learning Sciences*, 31(3): 369-407.
- [12] 陈坤, 唐小为(2019). 国外迷思概念研究进展的探析及启示[J]. *教育学术月刊*, 323(6): 17-24.
- [13] Chi, M.T.H.(2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust[J]. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2): 161-199.
- [14] Chiu, M.H., Chou, C.C., Wu, W.L., & Liaw, H.(2014). The role of facial microexpression state (FMES) change in the process of conceptual conflict[J]. *British Journal of Educational Technology*, 45(3): 471-486.

- [15] Clements, M.A.(1980). Analyzing children's errors on written mathematical tasks[J]. *Educational Studies in Mathematics*, 11(1): 1-21.
- [16] Confrey, J.(1990). Chapter 1: A review of the research on student conceptions in mathematics, science, and programming[J]. *Review of Research in Education*, 16(1): 3-56.
- [17] Cox, L.S.(1975). Diagnosing and remediating systematic errors in addition and subtraction computations[J]. *The Arithmetic Teacher*, 22(2): 151-157.
- [18] de-Mooij, S.M.M., Raijmakers, M.E.J., Dumontheil, I., Kirkham, N.Z., & van-der Maas, H.L.J.(2021). Error detection through mouse movement in an online adaptive learning environment[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1): 242-252.
- [19] Feldman, M.Q., Cho, J.Y., Ong, M., Gulwani, S., Popović, Z., & Andersen, E. (2018). Automatic diagnosis of students' misconceptions in K-8 mathematics[A]. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems[C]*. New York: ACM: 264-275.
- [20] 郭衍,曹一鸣(2017).教师数学教学知识对初中生数学学业成就的影响[J].*教育研究与实验*, (6): 36-40.
- [21] Gurel, D.K., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science[J]. *Eurasia journal of mathematics, science and technology education*, 11(5): 989-1008.
- [22] Heinrichs, H., & Kaiser, G. (2018). Diagnostic competence for dealing with students' errors: Fostering diagnostic competence in error situations[A]. In Leuders, T., Philipp, K., & Leuders, J. (ed.), *Diagnostic Competence of Mathematics Teachers[C]*. Cham: Springer: 79-94.
- [23] Hill, H.C., Ball, D.L., & Schilling, S.G.(2008). Unpacking pedagogical content knowledge: Conceptualizing and measuring teachers' topic-specific knowledge of students[J]. *Journal for Research in Mathematics Education*, 39(4): 372-400.
- [24] Ho, J.E.(2022). What counts? The critical role of qualitative data in teachers' decision making[J]. *Evaluation and program planning*, 91: 102046.
- [25] 华应龙(2015). 华应龙与化错教学[M]. 北京: 北京师范大学出版社: 91.
- [26] Hwang, G.J.(2003). A conceptual map model for developing intelligent tutoring systems[J]. *Computers & Education*, 40(3): 217-235.
- [27] 贾积有(2019). 平板电脑在中小学英语课堂教学中的应用探究——基于6个省市9节中小学英语课程视频的分析[J]. *现代教育技术*, (11): 74-79.
- [28] Jiang, Y., Gong, T., Saldivia, L.E., Cayton-Hodges, G., & Agard, C.(2021). Using process data to understand problem-solving strategies and processes for drag-and-drop items in a large-scale mathematics assessment[J]. *Large-scale Assessments in Education*, 9(2): 1-31.
- [29] Kao, Y.T., Lin, Y.S., & Chu, C.P.(2012). A multi-factor fuzzy inference and concept map approach for developing diagnostic and adaptive remedial learning systems[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 64(1): 65-74.
- [30] Kapur, M.(2015). Learning from productive failure[J]. *Learning: Research and Practice*, 1(1): 51-65.
- [31] Kim, Y., Lim, C., Choi, H., & Hahn, M.(2016). Reducing mistakes in mathematics problem solving through behavioral training with a tablet computer[J]. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(1): 81-93.
- [32] Klug, J., Gerich, M., & Schmitz, B.(2016). Can teachers' diagnostic competence be fostered by training and the use of a diary?[J]. *Journal for Educational Research Online*, 8(3): 184-206.
- [33] Koedinger, K.R., Baker, R.S., Cunningham, K., Skogsholm, A., Leber, B., & Stamper, J. (2010). A data repository for the EDM community: The PSLC DataShop[A]. In: Romero, C., Ventura, S., Pechenizkiy, M., & Baker, R. S. (ed.), *Handbook of Educational Data Mining[C]*. Boca Raton: CRC Press: 43-56.
- [34] Kshetree, M.P., Acharya, B.R., Khanal, B., Panthi, R.K., & Belbase, S.(2021). Eighth grade students' misconceptions and errors in mathematics learning in Nepal[J]. *European Journal of Educational Research*, 10(3): 1101-1121.
- [35] Li, X., & Li, Y.(2008). Research on students' misconceptions to improve teaching and learning in school mathematics and science[J]. *School Science and Mathematics*, 108(1): 4-7.
- [36] 李利, 梁文洁, 薛锋(2018). 智慧教室环境中的课堂互动教学现状分析——基于小学数学课堂教学个案的研究[J]. *电化教育研究*, (3): 115-121.
- [37] 李美凤, 何飞(2019). 智慧课堂中的“练习—反馈”环节教学行为分析——基于19节省级一等奖数学课例的视频分析[J]. *现代教育技术*, (6): 62-68.
- [38] Liaw, H., Yu, Y.R., Chou, C.C., & Chiu, M.H.(2020). Relationships between facial expressions, prior knowledge, and multiple representations: A case of conceptual change for kinematics instruction[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 30(2): 227-238.
- [39] Lin, J.W.(2016). Development and evaluation of the diagnostic power for a computer-based Two-Tier assessment[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3): 497-511.
- [40] Lin, Y., Chang, Y., Liew, K., & Chu, C.(2016). Effects of concept map extraction and a test-based diagnostic environment on learning achievement and learners' perceptions[J]. *British Journal of Educational Technology*, 47(4): 649-664.
- [41] 刘喆, 苏新冰, 杜炫杰(2020). 智慧教室环境下的数学课堂教学行为研究[J]. *数学教育学报*, 29(4): 44-51.
- [42] Loibl, K., Leuders, T., & Dörfler, T.(2020). A framework for explaining teachers' diagnostic judgements by cognitive modeling (DiaCoM)[J]. *Teaching and Teacher Education*, 91: 103059.
- [43] 陆璟(2017). 基于log数据的国际学生评估项目(PISA)问题解决能力研究[D]. 上海: 华东师范大学学位论文:110-120.
- [44] Mandinach, E.B., & Gummer, E.S.(2016). What does it mean for teachers to be data literate: Laying out the skills, knowledges and dispositions[J]. *Teaching and Teacher Education*, 60: 366-376.
- [45] Mandinach, E.B., & Schildkamp, K.(2021). Misconceptions about data-based decision making in education: An exploration of the literature[J]. *Studies in Educational Evaluation*, 69: 100842.

- [46] Mandl, H., Gruber, H., & Renkl, A. (1993). Misconceptions and knowledge compartmentalization[A]. In: Strube, G. & Wender, K. F. (ed.), *The Cognitive Psychology of Knowledge*[C]. Amsterdam: North-Holland: 161-176.
- [47] Matteucci, M.C., Corazza, M., & Santagata, R.(2015). Learning from errors, or not: An analysis of teachers beliefs about errors and error-handling strategies through questionnaire and video[J]. *Progress in Education*, 37: 33-54.
- [48] McGuire, P.(2013). Using online error analysis items to support preservice teachers' pedagogical content knowledge in mathematics[J]. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 13(3): 207-218.
- [49] Morris, A.K., Hiebert, J., & Spitzer, S.M.(2009). Mathematical knowledge for teaching in planning and evaluating instruction: What can preservice teachers learn?[J]. *Journal for Research in Mathematics Education*, 40(5): 491-529.
- [50] Murchan, D., & Oldham, E.(2017). Exploring the role of computer-based assessment in diagnosing children's mathematical errors in primary education in Ireland[J]. *Irish Educational Studies*, 36(4): 489-510.
- [51] Nickerson, R.S.(1999). How we know—and sometimes misjudge—what others know: Imputing one's own knowledge to others[J]. *Psychological Bulletin*, 125(6): 737-795.
- [52] Ohlsson, S.(2016). Constraint-based modeling: From cognitive theory to computer tutoring—and back again[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1): 457-473.
- [53] Ostermann, A., Leuders, T., & Nückles, M.(2018). Improving the judgment of task difficulties: prospective teachers' diagnostic competence in the area of functions and graphs[J]. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21(6): 579-605.
- [54] 潘昆峰, 丁慧, 李宛豫(2018). “错误管理”与中学生STEM学科的学业表现——来自物理课堂随机试验的证据[J]. *教育学术月刊*, (5): 104-111.
- [55] 彭爱辉(2007). 初中数学教师错误分析能力研究[D]. 重庆: 西南大学学位论文: 31-34.
- [56] Perkins, D.N., & Simmons, R.(1988). Patterns of misunderstanding: An integrative model for science, math, and programming[J]. *Review of Educational Research*, 58(3): 303-326.
- [57] Potvin, P.(2023). Response of science learners to contradicting information: A review of research[J]. *Studies in Science Education*, 59(1): 67-108.
- [58] Prediger, S.(2010). How to develop mathematics-for-teaching and for understanding: the case of meanings of the equal sign[J]. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 13(1): 73-93.
- [59] Radatz, H.(1979). Error analysis in mathematics education[J]. *Journal for Research in Mathematics Education*, 10(3): 163-172.
- [60] Renkl, A., Mandl, H., & Gruber, H.(1996). Inert knowledge: Analyses and remedies[J]. *Educational Psychologist*, 31(2): 115-121.
- [61] Santagata, R.(2005). Practices and beliefs in mistake-handling activities: A video study of Italian and US mathematics lessons[J]. *Teaching and Teacher Education*, 21(5): 491-508.
- [62] Santagata, R., & Bray, W.S.(2016). Professional development processes that promote teacher change: the case of a video-based program focused on leveraging students' mathematical errors[J]. *Professional Development in Education*, 42(4): 547-568.
- [63] Savi, A.O., Deonovic, B. E, Bolsinova, M., van der Maas, H.L.J., & Maris, G.K.J.(2021). Tracing systematic errors to personalize recommendations in single digit multiplication and beyond[J]. *Journal of Educational Data Mining*, 13(4): 1-30.
- [64] Schleppebach, M., Flevares, L.M., Sims, L.M., & Perry, M.(2007). Teachers' responses to student mistakes in Chinese and U.S. mathematics classrooms[J]. *The Elementary School Journal*, 108(2): 131-147.
- [65] Seifried, J., & Wuttke, E. (2017). The necessity to train professional error competence: Empirical findings[A]. In: Wuttke, E., & Seifried, J. (ed.), *Professional Error Competence of Preservice Teachers*. Springer Briefs in Education[C]. Cham: Springer: 15-27.
- [66] Shin, D., & Shim, J.(2021). A systematic review on data mining for mathematics and science education[J]. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19(4): 639-659.
- [67] Shulman, L.(1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching[J]. *Educational Researcher*, 15(2): 4-14.
- [68] Simpson, A., Maltese, A.V., Anderson, A., & Sung, E. (2020). Failures, errors, and mistakes: A systematic review of the literature[A]. In: Vanderheiden, E., & Mayer, C. H. (ed.), *Mistakes, Errors and Failures across Cultures*[C]. Cham: Springer: 353.
- [69] Soncini, A., Matteucci, M. C. & Butera, F.(2021). Error handling in the classroom: an experimental study of teachers' strategies to foster positive error climate[J]. *European Journal of Psychology of Education*, 36(3): 719-738.
- [70] Srisawasdi, N., & Panjaburee, P.(2014). Technology-enhanced learning in science, technology, and mathematics education: Results on supporting student learning[J]. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116: 946-950.
- [71] Stovner, R.B., & Klette, K.(2022). Teacher feedback on procedural skills, conceptual understanding, and mathematical practices: A video study in lower secondary mathematics classrooms[J]. *Teaching and Teacher Education*, 110: 103593.
- [72] Taber, K.(2005). Developing teachers as learning doctors[J]. *Teacher Development*, 9(2): 219-235.
- [73] Tulis, M.(2013). Error management behavior in classrooms: Teachers' responses to student mistakes[J]. *Teaching and Teacher Education*, 33: 56-68.
- [74] Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M.(2016). Learning from errors: A model of individual processes[J]. *Frontline Learning Research*, 4(4): 12-26.
- [75] Urhahne, D., & Wijnia, L.(2021). A review on the accuracy of teacher judgments[J]. *Educational Research Review*, 32: 100374.

- [76] VanLehn, H. (2021). FACT-ABOUT[EB/OL]. [2022-10-12]. <http://fact.engineering.asu.edu/about/>.
- [77] von-Kotzebue, L., Förtsch, C., Förtsch, S. & Neuhaus, B.J.(2022). Dealing with student errors in whole-class discussions of biology lessons at German secondary schools[J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 20(3): 459-480.
- [78] 王蒙(2015). 解释错误样例学习模式的研究 [D]. 武汉: 华中师范大学学位论文: 33-37.
- [79] 王祖浩(1992). 化学教学诊断的理论与方法 [J]. 化学教育, (3): 19-24.
- [80] Westbroek, H.B., van Rens, L., van den Berg, E., & Janssen, F.(2020). A practical approach to assessment for learning and differentiated instruction[J]. International Journal of Science Education, 42(6): 955-976.
- [81] Wong, S.S.H., & Lim, S.W.H.(2019). Prevention-permission-promotion: A review of approaches to errors in learning[J]. Educational Psychologist, 54(1): 1-19.
- [82] 伍绍杨,彭正梅(2021). 迈向更有效的反馈: 哈蒂“可见的学习”的模式 [J]. 开放教育研究, 27 (4): 27-40.
- [83] 解书, 马云鹏, Douglas McDougall(2018). “三位数乘法”中学生系统错误及其教学策略分析——基于中国—加拿大互惠学习项目姊妹学校案例研究 [J]. 中小学教师培训, (2): 73-78.
- [84] 徐晓东(2022). “双减”政策下全班教学法的改革 [J]. 中国电化教育, (4): 26-33.
- [85] 徐晓东, 何小亚, 周小蓬, 张军朋, 钱扬义, 徐曼菲, 吕世虎, 任英杰(2016). 专家进课堂项目促进教师专业发展的研究 [J]. 中国电化教育, (1): 95-102.
- [86] [新西兰] 约翰·哈蒂, [英] 雪莉·克拉克(2021). 可见的学习: 反馈的力量 [M]. 伍绍杨, 彭正梅译. 北京: 教育科学出版社: 3-5.
- [87] 张立山, 冯硕, 李亭亭(2021). 面向课堂教学评价的形式化建模与智能计算 [J]. 现代远程教育研究, 33 (1): 13-25.
- [88] 张晓梅, 胡钦太, 田雪松, 刘思琪(2020). 智慧课堂教学新形态: 纸笔数字书写技术教学应用 [J]. 现代远程教育研究, (1): 77-83.
- [89] 张岳, 刘晓玫, Max Stephens, 郑超超(2022). 小学数学教师有关学生错误的知识的评价模型构建与应用 [J]. 数学教育学报, 31 (6): 30-37.

(编辑: 李学书)

The Current Situation and the Future Development of Teachers' Error Correction Competence Research in the Digital Era

WU Jiannan & XU Xiaodong

(School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Since the 1970s, learning error research has made a tremendous progress. Error types gained consensus in different disciplines, and with the enrichment of techniques and scenarios for identifying error patterns, the widespread use of learning error research has further highlighted their educational value, which has formed the basis of error correction for teachers. As a professional competence, teachers' error correction competence has been widely valued in recent years. To explore the path to improve error correction competence in the digital era, this study takes learning errors as the starting point of research, combines relevant research at home and abroad, and describes the development of learning error research, the main types, and the application scenarios of technology to identify errors. Finally, the study refines the concept and content of teachers' error correction competence and makes suggestions on how to develop error correction competence and innovative error correction teaching practices.

Key words: error research; error correction; teachers' error correction competence