

教师如何有效设计图示化支架 支持 STEM 课程教学

——基于 30 项实验和准实验研究的元分析

蔡慧英¹, 董海霞¹, 王琦²

(1. 江南大学 教育信息化研究中心, 江苏 无锡 214122;

2. 同济大学 物理科学与工程学院, 上海 200092)

[摘要] 在 STEM 课程教学中, 教师一般无法有效设计学习技术且存在“不教或少教”的现象。针对这些问题, 学习科学领域的研究者提倡教师设计图示化支架以有效干预 STEM 课程教学。但目前对图示化支架在 STEM 课程教学中的作用并未进行系统研究。研究采用元分析方法, 对近五年关注 STEM 课程教学中图示化支架效用的 30 项实验和准实验研究进行了深度分析。研究发现: 在 STEM 课程中图示化支架对学习者的学习效果具有中等偏上的积极影响。不仅能提升学习者的认知理解和学习动机, 还能降低认知负荷、提升学习者的空间表征能力与问题解决能力。可视化信息、知识结构、动态知识、思维和学习过程的图示化支架在提升 STEM 课程学习效果上有不同的积极影响。另外, 学段、学科、教学方式等因素会影响图示化支架在 STEM 课程中的效用。因此, 为了充分发挥图示化支架在 STEM 课程中的育人价值, 教师可以有意识地、个性化地、针对性地设计图示化支架, 从而达到提升 STEM 课程教育教学质量的目的。

[关键词] STEM 教育; 教师; 图示化支架; 可视化; 元分析

[中图分类号] G434 **[文献标志码]** A

[作者简介] 蔡慧英(1988—), 女, 湖北武汉人。副教授, 博士, 主要从事计算机支持的协作学习、学习科学与技术设计、STEM 教育研究。E-mail: caihy@jiangnan.edu.cn。

一、引言

《普通高中通用技术课程标准(2017 年版)》中提出, 要综合运用科学、技术、工程、艺术、数学、社会等学科知识、方法和技能, 以专题学习或项目学习的方式进行问题解决与科技创新^[1]。为了响应新课标的要求, 我国 STEM 课程教师进行了大量教学实践探索和创新, 但也暴露出很多问题。从技术整合角度看, 学习者在 STEM 课程中只体验了 Arduino、Scratch、3D 打印机、机器人套件等技术的新奇感, 并未很好地借用学习技术理解学习背后的科学原理, 造成了过分关注技

术本身而不关注技术支持学习的宗旨^[2]。从教学角度看, STEM 课程教师一般只给学习者提供特定学习主题和教学步骤指导, 对学习者的自主探究过程缺乏针对性的支架设计^[3]。这种让学习者在复杂学习项目中自行摸索的“不教或少教”的教学方式会增加学习者的认知负荷, 不利于学习者综合能力的提升^[4]。

在学习科学领域, 研究者倡导在复杂学习中设计并整合“支架”用以提升学习效果^[5-6]。维果茨基的“最近发展区”理论指出, 学习者独自解决问题的实际发展水平与学习者在外界帮助下解决问题的潜能发展水平之间存在差距^[7]。因此, 为学习者提供支架能帮

基金项目: 全国教育科学“十三五”规划 2020 年度教育部青年专项课题“以‘教师—研究者’协同设计提升教师在线教学能力的策略研究”(课题编号: ECA200396)

助他们在没有外界帮助的情况下完成无法解决的学习任务。已有研究证明,在众多支架类型中,图示化支架是复杂学习活动中一种有效的学习干预手段^[8]。它不仅可以在复杂问题解决中促进学习者的深度理解,还可以降低交流成本,促进学习者进行有效的社会性交互^[9]。在科学、技术、工程和数学领域,研究者倡导运用多元可视化表征方式支持教学实践^[10]。因此,图示化支架具备支持 STEM 课程教学的潜质。但目前对图示化支架在 STEM 课程教学中的作用并未进行系统研究^[11]。因此,本研究将采用元分析方法^[12],探究图示化支架在 STEM 课程教学中的效用以及如何有效设计图示化支架等问题,试图为 STEM 课程教师有效组织教学提供指导,为提升 STEM 课程教学质量贡献力量。

二、文献综述

学习科学领域的大量研究表明,在复杂学习中设计图示化支架能表征学习者认知及社会性交互过程。它不仅能促进学习者认知,还对学习者的情感与技能具有积极影响^[13]。常见的图示化支架大致可分为五类^[14]:(1)可视化信息的支架。运用图片、表格等方式表征知识或信息,帮助学习者理解。(2)可视化知识结构的支架。运用概念图形式表征知识间的结构关系,帮助学习者全局性地理解知识,引发学习者的创造性思维。(3)可视化动态知识的支架。侧重于建立模型以模拟问题解决中的动态过程性知识,引发学习者的概念转变。(4)可视化思维的支架。运用图形组织器等方式帮助学习者有序思考,促进学习者解决复杂问题。(5)可视化学习过程支架。应用可视化技术表征学习者在问题解决中生成的学习制品,并可视化协作交流时产生的想法、观点等,典型代表是 WISE 平台、语义图示工具等。

通过文献分析发现,在 STEM 课程中整合图示化支架能提升学习效果。例如:Marshall 等人探究了交互式建模工具对本科生和研究生物理建模学习效果的影响,结果表明,该工具不仅可以帮助学习者掌握知识,还能优化学习体验^[15];Suthers 与 Hundhausen 探究了可视化论证思维工具对大学生科学学习效果的影响,研究发现,整合该工具不仅可以提升学习者的论证思维,还可以提高其问题解决能力^[16];陈文莉等人探究了 Group Scribbles 学习平台对四年级学生科学课中协作学习的影响,研究表明,该平台可以促进学习者的协作探究过程,提高学习者的参与度,并改善学生对科学学习的认知与态度^[17]。

但也有研究发现,在 STEM 课程中整合图示化支架并不能提升学习效果。例如:Lin 等人对比分析了九年级学生阅读科学漫画与科学文本对学习效果的影 响,结果表明,两组学生在知识理解上无显著差异^[18];Wagaba 等人发现,在科学课中整合概念图对九年级学习者元认知能力的发展没有显著影响^[19];Cindy 等人探究了科学图表和样例对初中生科学内容理解的影响,结果表明,这两种支架都对学生科学内容的获取和保留没有积极影响^[20]。

综上所述,图示化支架对 STEM 课程学习效果的影响还没有定论。另外,基于相关元分析研究发现,学段、学科、教学方式等因素会影响支架在 STEM 课程中的学习效果^[11]。所以,本研究采用元分析方法,试图回答的研究问题包括:(1)不同类型的图示化支架对 STEM 课程学习结果产生了何种影响?(2)不同调节因素(如学段、学科、教学方式)对图示化支架在 STEM 课程中发挥作用会产生何种影响?

三、研究方法与过程

(一)文献数据收集与整理

为了找到符合本研究要求的元分析论文,本研究运用 PRISMA 流程^[21]开展了文献数据收集与整理工作,具体过程如图 1 所示。

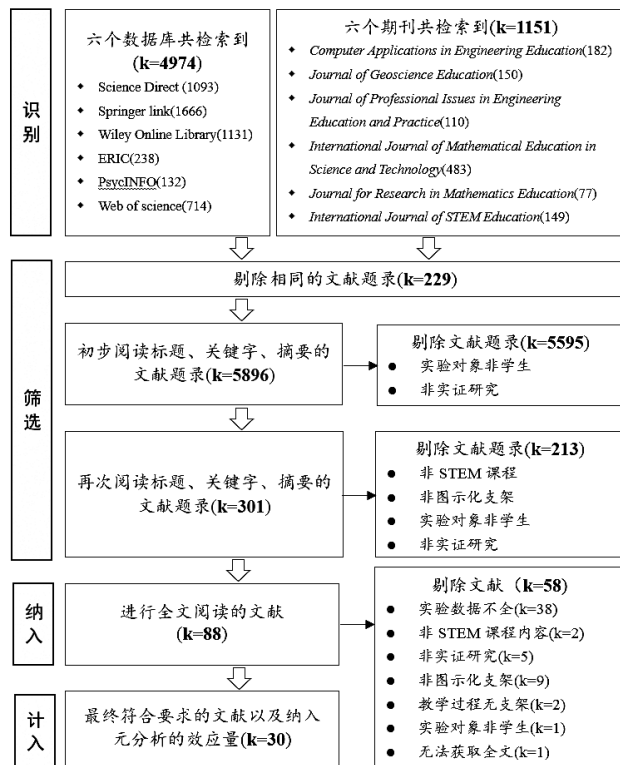


图 1 文献筛选流程

在识别阶段,本研究对 Science Direct、Springer

link 等 6 个数据库的标题、关键词、摘要进行了文献检索。为了全面获取工程、数学和 STEM 综合课程相关的文献数据,本研究手动检索了 *Computer Applications in Engineering Education* 等 6 个学术期刊。文献检索字段是:(Map OR Diagram OR Graphics OR Visual) AND (STEM OR Science OR Technology OR Engineering OR Math*) AND (Scaffold OR Script OR Support OR Aid) AND (Learning OR Teaching OR Education)。检索的文献发表时间是 2015 年 1 月至 2019 年 12 月。为了获取到高质量的文献数据,在检索过程中设置了相应的限制条件,包括:同行评审、期刊论文、英语书写、涉及教育技术领域。最终检索出 6125 篇论文。

在筛选阶段,剔除了重复文献题录后,两名研究人员阅读了剩余题录对应的摘要,选出 301 篇可能符合要求的论文。接着,由第三名研究人员加入,共同对 301 篇论文进行了再次筛选,最终确定 88 篇论文有待后续筛选。

在纳入阶段,两名研究人员共同阅读了 88 篇论文的全文并进行了筛选。筛选标准为:关注 STEM 课程教学;有图示化支架干预;研究对象是学生;开展了随机实验或准实验研究,其中,单组实验有前后测数据,双组实验有对比实验组;清晰呈现完整的数据,如样本量、平均值、标准差等。两名研究者筛选结果重合比例达 85% 以上,对筛选结果不一致的论文进行了讨论,最终决定将 30 篇论文计入数据编码阶段。

(二)数据编码

表 1 编码体系

编号	编码字段	字段具体内容
自变量	支架类型	可视化信息、可视化知识结构、可视化动态知识、可视化思维、可视化学习过程
因变量	学习结果	认知层面:浅层理解、深层理解
		技能层面:问题解决能力、元认知能力、空间表征能力
		情感层面:学习动机、自我效能感
		认知负荷
调节变量	年级	小学、初中、高中、大学
	教学领域	科学(化学、生物、物理)、技术、工程、数学、STEM 课程
	教学方式	协作学习、基于探究的学习、基于项目的学习、问题解决学习

通过改编相关文献的编码框架^[1],研究者确定了适合本研究的编码体系,见表 1。根据表 1 的编码体系,对计入的 30 篇文献中的字段内容进行编码,最终得到了 79 条元分析数据。

(三)元分析过程

本研究运用 Comprehensive Meta Analysis Version 2.0(CMA-v2.0)工具对编码数据进行了发表偏倚、异质性检验、效应量计算。发表偏倚检验主要衡量当有多少未达到显著水平的研究时,才能使得研究结论逆转^[2]。通过定性漏斗图分析发现,大部分效应值相对均匀地分布在漏斗图的平均效应值的两侧(如图 2 所示)。这说明存在偏差的可能性较小。Begg 检验结果显示, $Z=0.867 < 1.96$, $p=0.192 > 0.05$,表明发表偏倚不明显。

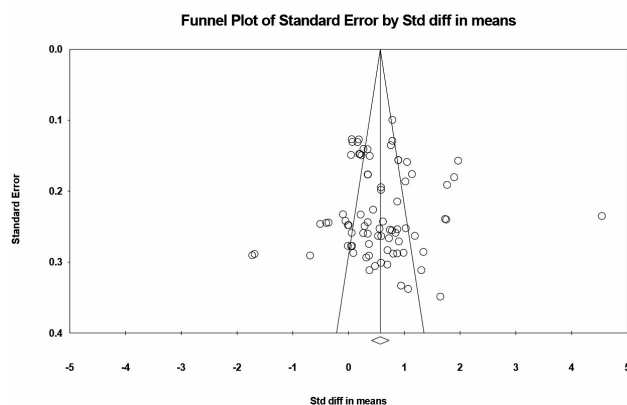


图 2 效应值分布漏斗图

异质性检验是为了评价独立样本的效应值是否具有可合并性。通常采用 I^2 检验和 Q 检验两种方法进行判断。当 $I^2 > 50\%$,或当 Q 值越大,且 $p < 0.05$ 时,说明存在异质性。若研究样本出现异质性时,可以采用考虑研究内与研究间变异的随机模型开展元分析效应值检验^[23]。经分析,研究发现,本研究存在异质性, $Q=931.095$ ($p < 0.05$), $I^2=92.623$ 。故将采用随机模型进行元分析。

四、研究结果

(一)图示化支架对 STEM 课程学习效果的影响

表 2 图示化支架对 STEM 课程学习效果的总体效应检验

模型	N	效应值及 95% 的置信区间			双尾检验	
		d(效应值)	下限	上限	Z 值	p 值
固定效应模型	79	0.569*	0.524	0.613	24.982	<0.05
随机效应模型	79	0.568*	0.411	0.725	7.094	<0.05

注:*表示 $p < 0.05$,下同。

为了探究 STEM 课程中图示化支架对学习效果的影响,本研究进行了效应值检验,结果见表 2。根据效应值统计理论,当 $d < 0.2$ 时,认为干预影响较小;当 $d > 0.5$ 时,认为干预影响中等;当 $d > 0.8$ 时,认为干预影响较大^[24]。从表 2 可以发现,STEM 课程中图示

化支架对学习效果总体效应量 $d=0.568, p<0.05$ 。由此可以推断,图示化支架对 STEM 课程学习效果具有中等偏上的积极影响。说明图示化支架在 STEM 课程中能较好地提升学习者的学习效果。

为了探究 STEM 课程中图示化支架对学习者的认知、情感、技能、认知负荷的影响,本研究进行了效应值检验,结果见表 3。由表 3 可知,STEM 课程中图示化支架对学习者的认知发展影响的效应值 $d=0.805, p<0.05$ 。其中,对深层理解影响的效应值 ($d=0.860, p<0.05$) 大于对浅层理解的效应值 ($d=0.719, p<0.05$)。这说明在 STEM 课程中图示化支架能较好地促进学习者的认知发展,尤其有利于促进学习者的深层理解。同理分析可知,将图示化支架整合到 STEM 课程中,在情感层面能有效提升学习者的学习动机,但不能提升自我效能感;在技能层面能有效提升学习者的空间表征能力和问题解决能力,但不能提升元认知能力;另外,能降低学习者的认知负荷。

(二)不同类型的图示化支架对 STEM 课程学习效果的影响

为了探究不同类型的图示化支架对 STEM 课程学习效果的影响,本研究进行了效应值分析,结果见表 4。由表 4 可知,在 STEM 课程中,可视化学习过程支架对学习效果影响最大($d=0.807, p<0.05$)。在认知层面,可视化学习过程支架对 STEM 课程中学习者浅层理解的影响 ($d=1.041, p<0.05$) 优于对深层理解的影响 ($d=0.711, p<0.05$);在技能层面,可视化学习过程支架对 STEM 课程的元认知能力发展 ($d=0.786, p<0.05$) 影响较大,其次是问题解决能力 ($d=0.416, p<0.05$);可视化学习过程支架对空间表征能力没有显著影响 ($d=0.366, p>0.05$)。

同理分析可知,在 STEM 课程中,可视化信息支架对学习效果影响中等偏上。在认知层面,可视化信息支架对学习者的深层理解的影响优于对浅层理解的影响;在技能层面,该支架对空间表征能力具有中等

表 3 图示化支架对 STEM 课程不同学习效果的效应检验

测量维度	分类		N	效应值及 95%的置信区间			双尾检验	
				d(效应值)	下限	上限	Z 值	p 值
学习结果	认知	浅层理解	15	0.719*	0.482	0.957	5.933	<0.05
		深层理解	23	0.860*	0.590	1.130	6.241	<0.05
		合并效应值	38	0.805*	0.614	0.996	8.265	<0.05
	情感	学习动机	8	0.603*	0.318	0.888	4.142	<0.05
		自我效能感	2	0.026	-0.358	0.411	0.135	0.893
		合并效应值	10	0.507*	0.243	0.772	3.759	<0.05
	技能	问题解决能力	17	0.258*	0.168	0.349	5.586	<0.05
		空间表征能力	5	0.621*	0.468	0.775	7.946	<0.05
		元认知能力	5	0.047	-0.515	0.610	0.165	0.869
		合并效应值	27	0.313*	0.239	0.386	8.309	<0.05
	其他	认知负荷	4	0.600*	0.332	0.867	4.396	<0.05

表 4 不同类型图示化支架对 STEM 课程学习效果的效应检验

图示化支架的类别		可视化信息	可视化知识结构	可视化动态知识	可视化思维过程	可视化学习过程
合并效应值		0.680*(n=14)	0.433*(n=19)	0.471*(n=8)	0.552*(n=17)	0.807*(n=21)
认知	浅层理解	0.762*(n=2)	0.788*(n=4)	0.590*(n=3)	0.595*(n=3)	1.041*(n=3)
	深层理解	1.016*(n=6)	0.873*(n=5)	1.343*(n=1)	0.675*(n=2)	0.711*(n=9)
情感	学习动机	-	1.027*(n=1)	0.345*(n=1)	0.580*(n=6)	-
	自我效能感	-	-	-	0.026(n=2)	-
技能	问题解决能力	-0.079(n=2)	-0.372(n=6)	0.057(n=1)	0.654*(n=2)	0.416*(n=6)
	空间表征能力	0.497*(n=3)	-	0.531*(n=1)	-	0.366(n=1)
	元认知能力	-	-0.420(n=3)	-	-	0.786*(n=2)
认知负荷		0.697*(n=1)	-	0.587*(n=1)	0.569*(n=2)	-

注:n 表示效应量个数。

影响,虽然对问题解决能力不产生显著影响,但能较好地降低认知负荷。

在STEM课程中,可视化思维支架对学习影响中等。在认知层面,可视化思维支架对学习浅层和深层理解影响中等偏上;在情感层面,该支架对学习动机影响中等,对自我效能感影响不显著;在技能层面,该支架对问题解决能力影响中等偏上,且能较好地降低认知负荷。

在STEM课程中,可视化知识结构支架对学习影响一般。虽然可视化知识结构支架对学习深层理解、浅层理解、学习动机影响较大,但对问题解决能力和元认知能力没有显著影响。

在STEM课程中,可视化动态知识支架对学习影响一般。在认知层面,可视化动态知识支架对学习深层理解的影响优于对浅层理解的影响。在情感层面,该支架对学习动机影响中等偏下;在技能层面,该支架对学习空间表征能力具有中等偏上影响,对问题解决能力影响不显著,但能降低认知负荷。

(三)不同调节因素对图示化支架在STEM课程中发挥效果的影响

为了探究不同调节变量对图示化支架在STEM课程中发挥效果的影响,本研究进行了相应的效应值分析,结果见表5。由表5可知,对学段调节变量而言,图示化支架对高中和小学STEM课程学习会产生较大影响($d=1.129, p<0.05$; $d=0.818, p<0.05$),图示化支架对初中STEM课程学习具有中等影响($d=0.500, p<0.05$),对大学STEM课程学习的影响偏低($d=0.328, p<0.05$)。

同理分析可知,对学科而言,对STEM综合课程学习影响较大,对工程和数学的学习影响中等偏上,对技术和科学的学习影响中等。

对教学方式而言,以探究学习和协作学习方式开展STEM课程教学时,图示化支架对学习影响中等偏上;以问题解决学习方式、基于项目的学习方式开展STEM课程教学时,图示化支架对学习影响偏低。

五、研究讨论与总结

(一)在STEM课程中教师可以有意识地设计图示化支架

通过元分析发现,STEM课程中图示化支架对学习学习效果具有中等偏上的积极影响。不仅能提升学习者的认知理解和学习动机,还能降低认知负荷,提升学习者的空间表征能力与问题解决能力。这一研究发现具有合理性。首先,由多媒体学习理论可知,在STEM课程中图示化支架能辅助呈现抽象概念,为学习者的学习提供补充性信息。这能让学习者更好地将新知识整合到已有认知图式中,达到促进认知发展的目的^[25]。其次,在STEM课程中图示化支架会刺激和调动学习者的认知活动。不仅能促使学习者在头脑中从不同空间角度对所学知识进行省思^[26],还能刺激学习者在头脑中动态演示或模拟知识的动态变化过程^[27],从而提升学习者的空间表征能力。最后,依据认知负荷理论可知,人的工作记忆容量是有限的,任何学习信息或活动都会消耗学习者的认知资源^[28]。由于图示化支架可以外化学习过程中的信息和活动,这样能够

表5 不同调节变量对图示化支架在STEM课程中发挥效果影响的效应检验

测量维度	分类	N	效应值及95%的置信区间			双尾检验	
			d(效应值)	下限	上限	Z值	p值
学段	小学	22	0.818*	0.488	1.149	4.850	<0.05
	初中	21	0.500*	0.252	0.747	3.959	<0.05
	高中	9	1.129*	0.680	1.579	4.922	<0.05
	大学	27	0.328*	0.238	0.419	7.097	<0.05
学科	科学	55	0.509*	0.324	0.695	5.383	<0.05
	技术	2	0.584*	0.311	0.856	4.200	<0.05
	工程	5	0.696*	0.401	0.992	4.621	<0.05
	数学	9	0.647*	0.462	0.832	6.852	<0.05
	STEM课程	8	0.806*	0.123	1.490	2.313	<0.05
教学方式	协作学习	13	0.678*	0.183	1.173	2.684	<0.05
	探究学习	28	0.856*	0.533	1.180	5.187	<0.05
	问题解决学习	30	0.333*	0.125	0.541	3.143	<0.05
	基于项目的学习	8	0.256*	0.154	0.359	4.920	<0.05

较少地消耗学习者的认知资源,达到降低学习者认知负荷的目的^[31]。另外,被释放的认知资源可用于解决问题,因此,有助于提升问题解决能力和学习动机^[29]。

本研究还发现,在 STEM 课程中图示化支架对学习者元认知能力和自我效能感没有显著积极影响。对其可能的解释是:第一,图示化支架在 STEM 课程中可以激发学习者的认知活动,但不能较好地刺激学习者对自己认知过程的再认知。对此,学习科学研究者提倡在复杂学习活动中整合支架的基础上,需要辅助问题提示、反馈、专家模型引导等支架策略,从而提升学习者的学习效果^[30]。第二,自我效能感是个体对其行动控制的知觉或信念,一般会在直接经验、观察同伴行为的替代经验或他人说服等方式的长期干预下发生改变^[31]。因此,大约八、九周学习周期的 STEM 课程学习难以改变学习者的自我效能感。

从以上研究发现可以得到启示:在 STEM 课程教学中,教师可以有意识地设计图示化支架,用以从认知、技能和情感等三个方面提升 STEM 课程教学质量。为了充分发挥图示化支架在 STEM 课程中的作用,教师可以辅助添加提示、问题引导、反馈等支架策略。例如:在设计和整合图示化支架的基础上,教师可以采用提示支架策略,为学习者提供推进学习活动的线索或建议^[32];采用问题引导支架策略,为学习者提供具有引导性的问题,使其注意力转移到重要的问题元素上,从而促进学习者的深度思考与推理^[33];采用反馈支架策略,对学生的行为表现给予及时的总结和提示^[30]。另外,STEM 课程教师可以将图示化支架当作长期使用的教学干预手段,有意识地在不同教学项目或环节中设计图示化支架,提升学习者自我效能感,并促进学习者深度理解和综合能力的培养。

(二)在 STEM 课程中教师可以个性化地设计图示化支架

通过元分析发现,可视化信息、可视化知识结构、可视化动态知识、可视化思维过程、可视化学习过程等五种图示化支架均对 STEM 课程学习效果具有中等偏上的积极影响。其中,对学习者浅层和深层理解均产生中等偏上的积极影响,并能降低学习者的认知负荷。不同的是,不同类型图示化支架对 STEM 课程中学习者的情感和技能发展具有不同程度的影响。

在 STEM 课程中,可视化信息与可视化动态知识支架具有提升学习者空间表征能力的特质。通过梳理文献可以发现,这两类支架在 STEM 课程中的应用体现在三个方面:第一,运用二维视觉表征手段(如图形、图像)或三维模型(如 3D 技术、增强现实的虚拟模

型)等静态方式可视化呈现抽象概念或复杂现象;第二,运用基于计算机的模拟动画、虚拟现实等动态方式可视化呈现学习内容或学习场景;第三,运用基于增强现实的平台、交互式建模软件等交互方式可视化设计学习资源,支持学习者以交互的方式理解知识动态发展的过程。

在 STEM 课程中,可视化知识结构支架可以提升学习者的学习动机。目前,可视化知识结构支架主要有两种应用方式:一种是借助概念图工具帮助学习者对 STEM 课程中所学知识进行结构性梳理;另一种是在概念图工具的基础上整合其他技术支架用于 STEM 课程学习。例如:Chen 等人设计了整合增强现实的概念图 CMAR 工具,这一工具能以增强现实技术为学习者可视化学习内容,还能使学习者运用概念图工具梳理所学知识,研究发现,CMAR 工具可以帮助学生理解学习内容和知识框架,还可以增加学习者的信心与学习动机^[34]。Farrokhnia 等人为学习者设计了基于计算机的协作概念图支架工具,运用这一支架工具,学习者不仅可以访问同伴的概念图,还可以与同伴协同创建概念图,研究表明,这一方式能消除孤独感,提升学习者学习动机^[35]。

在 STEM 课程中,可视化思维过程和可视化学习过程支架对学习者的问题解决能力均有较大的影响。通过文献分析可知,思维地图是研究者常用的可视化思维支架的工具。这一工具可以帮助学习者外化思维过程,引导学习者进行有序思考,从而提升学习者解决问题的能力。与可视化思维支架类似,用于可视化学习者复杂学习过程的支架,也有助于提升学习者解决问题的能力。Dasgupta 等人运用 Energy 3D 软件为初中生提供可视化设计步骤与过程的支架,并动态地使用模拟手段显示各种设计决策的效果,研究发现,这一可视化学习过程的支架有助于提高学习者的问题解决能力^[36]。除了运用单一工具发挥可视化学习过程支架的功能外,有研究者设计与开发了整合可视化工具的平台,用以提升学习效果。例如:Feyziolu 等人为七年级学习者设计了包含计算机动画、科学实验、电子日记和元认知提示的 TeMLP 学习平台,学习者基于计算机动画等可视化材料进行学习,并基于可视化的学习制品为学习者提供元认知提示,研究发现,TeMLP 平台支架能激活学习者的先验知识,让学习者认识到自己的长处与不足,有助于提升学习者的元认知能力^[37]。

从以上研究发现可以得到启示:在 STEM 课程教学中,教师可以个性化地设计图示化支架用以提升 STEM 课程教学质量。一方面,STEM 课程教师可

以根据教学项目中学习目标的不同侧重点,个性化地设计与整合图示化支架。例如:如果STEM教学项目侧重培养学习者的空间表征能力,那么,教师可以设计可视化信息或可视化动态知识支架。如果STEM教学项目侧重培养学习者的问题解决能力,那么,教师可以设计可视化思维或可视化学习过程支架。另一方面,STEM课程教师可以个性化地设计不同的学习技术、工具和软件,用以充分发挥不同图示化支架在STEM课程中的育人功能。除了运用现成的图片、概念图、思维导图等图示化支架工具外,教师还可以在这些工具的基础上整合增强现实、虚拟现实等新兴学习技术,为STEM课程的学习提供丰富的、真实的、个性化的学习体验。

(三)在STEM课程中教师可以针对性地设计图示化支架

通过基于调节变量的元分析发现,从学段来看,在STEM课程中整合图示化支架对小学和高中生的学习影响较大,对初中生的学习影响中等,对大学生的学习影响偏低。这启示我们,图示化支架在STEM课程学习中的效果会因学习者的特点而发生变化。相比于初中生,小学生的认知水平和思维水平偏低。因此,图示化支架干预能更好地辅助他们理解所学内容,从而提升STEM课程学习效果。相比初中生,高中生认知和思维水平达到一定水平,但课程学习知识点偏多,学习内容难度加大,对学习者的学习提出了更高的要求。因此,图示化支架的干预对STEM课程学习会有较大影响。对大学生而言,他们已具备较成熟的思维方式和理解能力,能较好地自主学习。因此,图示化支架干预对其在STEM课程中的学习效果不会产生较大影响。所以,根据不同学段学习者的认知和学习特点,教师可以在STEM课程中有针对性地设计与整合图示化支架。

从学科来看,在STEM课程中整合图示化支架对学习者的学习影响较大,对数学和工程课程的学习影响中等偏上,对技术和科学课程的学习产生中等影响。这启示我们,对具有跨学科、综合性、情境性、协作性

等特点的STEM课程而言,在教学中整合图示化支架是一种必要的教学干预手段。对于培养推理思维和设计思维的课程教学,整合图示化支架可以辅助学习者的认知、技能和情感的发展,增强学习者的学习效果。对于偏操作、需要开展实验的课程教学,教师可以在综合分析教学内容特点和教学活动设计安排的基础上,选择性地整合图示化支架,用以增强学习者的学习效果。

从教学方式来看,虽然基于探究的学习、协作学习、基于项目的学习、问题解决学习均属于基于建构主义学习理念而产生的教学方式。但研究发现,相比于基于项目的学习、问题解决学习这两种方式,以基于探究的学习、协作学习的方式开展STEM课程教学对学习者的学习效果会产生积极影响。这说明,为了更好地开展STEM课程教学,教师可以以协作探究的方式组织STEM教学活动。

以上研究发现可以得到启示:在STEM课程教学中,教师可以针对性地设计图示化支架,以最大化地发挥图示化支架支持教学的作用。从学科知识特点角度来看,教师可以在涉及跨学科、工程和数学等知识的学习活动中整合图示化支架。另外,教师也要依据不同学段学习者的认知发展和学习特点,在STEM课程中开展协作探究的教学方式,才能充分有效地发挥图示化支架支持教育教学的作用,从而达到最大程度上优化学习效果的目的。

总的来说,本研究通过元分析,对国际上近五年图示化支架在STEM课程中的效用进行了系统且客观的分析,揭示了在STEM课程中有效设计与整合图示化支架的一般规律。本研究能为STEM课程教师有效教学提供策略指导,能为提升教育教学质量助力。但研究仍存在一定局限,如文献数据样本量一般,没有从我国STEM教育国情视角关注图示化支架的本土化应用问题。因此,后续将以本研究发现为基础,关注我国STEM课程教师对图示化支架的接纳与适应性问题,进一步推进和发挥图示化支架在我国STEM课程中的本土化育人价值。

[参考文献]

- [1] 教育部. 教育部关于印发《普通高中课程方案和语文等学科课程标准(2017年版)》的通知[EB/OL]. (2018-01-05) [2020-04-20]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A26/s8001/201801/t20180115_324647.html.
- [2] 余胜泉,吴澜. 证据导向的STEM教学模式研究[J]. 现代远程教育研究,2019,31(5):20-31,84.
- [3] 杨开城,窦玲玉,李波,公平. STEM教育的困境及出路[J]. 现代远程教育研究,2020,32(2):20-28.
- [4] 盛群力,钟丽佳,张玉梅. 大学教师教学设计能力知多少?——高校教师教学设计能力调查[J]. 开放教育研究,2015,21(4):44-51.
- [5] HMELO-SILVER C E, DUNCAN R G, CHINN C A. Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a

- response to Kirschner, Sweller, and Clark[J]. *Educational psychologist*, 2007, 42(2):99-107.
- [6] 郭炯,郭雨涵. 学习支架支持的批判性思维培养模型应用研究[J]. *电化教育研究*, 2015, 36(10):98-105.
- [7] VYGOTSKY L S. *Mind in society: the development of higher psychological processes* [M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- [8] SUTHERS D D, HUNDHAUSEN C D, GIRARDEAU L E. Comparing the roles of representations in face-to-face and online computer supported collaborative learning[J]. *Computers & education*, 2003, 41(4):335-351.
- [9] GU X, CAI H. How a semantic diagram tool influences transaction costs during collaborative problem solving [J]. *Journal of computer assisted learning*, 2019, 35(1):23-33.
- [10] National Research Council, Geographical Sciences Committee. *Learning to think spatially* [M]. Washington, DC: National Academies Press, 2006.
- [11] BELLAND B R, WALKER A E, KIM N J, et al. Synthesizing results from empirical research on computer-based scaffolding in STEM education: a meta-analysis[J]. *Review of educational research*, 2017, 87(2):309-344.
- [12] 顾小清,胡梦华. 电子书包的学习作用发生了吗?——基于国内外 39 篇论文的元分析[J]. *电化教育研究*, 2018, 39(5):19-25.
- [13] 蔡慧英. 语义图示工具支持的协作问题解决学习的研究[D]. 上海:华东师范大学, 2016.
- [14] 蔡慧英,陈婧雅,顾小清. 支持可视化学习过程的学习技术研究[J]. *中国电化教育*, 2013(12):27-33.
- [15] MARSHALL J A, CASTILLO A J, CARDENAS M B. The effect of modeling and visualization resources on student understanding of physical hydrology[J]. *Journal of geoscience education*, 2015, 63(2):127-139.
- [16] SUTHERS D D, HUNDHAUSEN C D. An experimental study of the effects of representational guidance on collaborative learning processes[J]. *The journal of the learning sciences*, 2003, 12(2):183-218.
- [17] 陈文莉,吕赐杰,谢雯婷. Group Scribbles 软件支持的课堂协作学习的设计研究[J]. *中国电化教育*, 2011(11):1-9.
- [18] LIN S F, LIN H. Learning nanotechnology with texts and comics: the impacts on students of different achievement levels[J]. *International journal of science education*, 2016, 38(8):1373-1391.
- [19] WAGABA F, TREAGUST D F, CHANDRASEGARAN A L, et al. Using metacognitive strategies in teaching to facilitate understanding of light concepts among year 9 students[J]. *Research in science & technological education*, 2016, 34(3):253-272.
- [20] KERN C L, CRIPPEN K J. The effect of scaffolding strategies for inscriptions and argumentation in a science cyberlearning environment[J]. *Journal of science education and technology*, 2017, 26(1):33-43.
- [21] MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement[J]. *Annals of internal medicine*, 2009, 151(4):264-269.
- [22] 夏凌翔. 元分析及其在社会科学中的应用[J]. *西北师大学报(社会科学版)*, 2005(5):61-64.
- [23] LIPSEY M W, WILSON D B. *Practical meta-analysis* [M]/BICKMAN L, ROG D J. *Applied social research methods series*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, 2001.
- [24] COHEN J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* [M]. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [25] SCHNOTZ W, LUDEWIG U, ULLRICH M, et al. Strategy shifts during learning from texts and pictures [J]. *Journal of educational psychology*, 2014, 106(4): 974-989.
- [26] BARNEA N, DORI Y J. High-school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment[J]. *Journal of science education and technology*, 1999, 8(4):257-271.
- [27] WU H K, SHAH P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning[J]. *Science education*, 2004, 88(3):465-492.
- [28] SWELLER J, CHANDLER P. Why some material is difficult to learn[J]. *Cognition and instruction*, 1994, 12(3):185-233.
- [29] WU B, WANG M, JOHNSON J M, et al. Improving the learning of clinical reasoning through computer-based cognitive representation[J]. *Medical education online*, 2014, 19(1): 1-8.
- [30] BELLAND B R. Scaffolding: definition, current debates, and future directions [M]/SPECTOR J M, MERRILL M D, ELEN J, BISHOP M J. *Handbook of research on educational communications and technology*. New York: Springer, 2014: 505-518.
- [31] BANDURA A. Personal and collective efficacy in human adaptation and change[J]. *Advances in psychological science*, 1998, 1:51-71.
- [32] MELERO J, HERNÁNDEZ-LEO D, BLAT J. A review of scaffolding approaches in game-based learning environments[C]//

Proceedings of the 5th European Conference on Games Based Learning. Athens: Greece, 2011.

- [33] GE X, LAND S M. Scaffolding students' problem-solving processes in an ill-structured task using question prompts and peer interactions[J]. Educational technology research and development, 2003, 51(1): 21-38.
- [34] CHEN C H, CHOU Y Y, HUANG C Y. An augmented-reality-based concept map to support mobile learning for science [J]. Asia pacific education researcher, 2016, 25(4):567-578.
- [35] FARROKHNIYA M, PIJEIRA-DÍAZ H J, NOROOZI O, et al. Computer-supported collaborative concept mapping: the effects of different instructional designs on conceptual understanding and knowledge co-construction [J]. Computers & education, 2019, 142: 103640.
- [36] DASGUPTA C, MAGANA A J, VIEIRA C. Investigating the affordances of a CAD enabled learning environment for promoting integrated STEM learning[J]. Computers & education, 2019, 129: 122-142.
- [37] FEYZIOLU E Y, AKPINAR E, NILGÜN TATAR. Effects of technology-enhanced metacognitive learning platform on students' monitoring accuracy and understanding of electricity[J]. Journal of baltic education, 2018, 17(1): 43-64.

How Teachers Design Graphical Scaffolds to Support STEM Teaching Effectively: A Meta-analysis Based on 30 Experiments and Quasi-experimental Studies

CAI Huiying¹, DONG Haixia¹, WANG Qi²

(1. Research Center of Educational Informatization, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122;

2. School of Physical Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

[Abstract] In the teaching of STEM courses, teachers generally cannot effectively design learning techniques and there is a phenomenon of "no teaching or less teaching". To address these problems, researchers in the field of learning science advocate teachers to design graphical scaffolds to effectively intervene in the teaching of STEM courses. However, there has been no systematic research on the role of graphical scaffolds in the teaching of STEM courses. This study uses the meta-analysis method to conduct an in-depth analysis of 30 experimental and quasi-experimental studies focusing on the effectiveness of the graphical scaffolds in the teaching of STEM courses in the past five years. The results indicate that the graphical scaffolds in STEM teaching has a moderately positive effect on learners' learning. It can not only improve learners' cognitive understanding and learning motivation, but also reduce cognitive load and improve their spatial representation ability and problem-solving ability. The visualized information, knowledge structure, dynamic knowledge, thinking and the graphical scaffold of learning process have different positive effects on improving the learning effects of STEM courses. In addition, learning stages, subjects, teaching methods and other factors will affect the effectiveness of graphical scaffolds in STEM courses. Therefore, in order to give full play to the educational value of graphical scaffolds in STEM courses, teachers can design graphical scaffolds consciously, individually and pertinently, so as to achieve the goal of improving the education and teaching quality of STEM courses.

[Keywords] STEM Education; Teacher; Graphical Scaffolds; Visualization; Meta-analysis