



问题解决：

工作记忆中心 心理模型的建构

张裕鼎 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

湖北省普通高校人文社会科学重点研究基地
“湖北中小学素质教育研究中心”(项目编号:090-044035)研究成果

问题解决： 工作记忆中心心理模型的建构

张裕鼎 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

问题解决:工作记忆中心心理模型的建构/张裕鼎著. —武汉:武汉大学出版社,2018.5

ISBN 978-7-307-20238-2

I. 问… II. 张… III. 工作—记忆—研究 IV. B842.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 106570 号

责任编辑:李 晶 责任校对:邓 瑶 装帧设计:吴 极

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷:北京虎彩文化传播有限公司

开本:720×1000 1/16 印张:12 字数:235千字

版次:2018年5月第1版 2018年5月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20238-2 定价:72.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

序

教育心理学家奥苏伯尔有言，“如果要我把全部的教育心理学仅仅归结为一条原理，那么，我将一言以蔽之：影响学习的唯一最重要的因素就是学习者已经知道了什么。应探明这一点，并据此进行教学。”如果说这段话中的“学习者已经知道了什么”指的是学习者头脑中先备的领域知识和技能，那么，张裕鼎博士的这本专著《问题解决：工作记忆中心理模型的建构》的出版，将使奥苏伯尔的论断增加新的内涵，即影响学生学习的重要因素还应包括他们面对问题时构建的心理模型。忽略这一点，将使指导学生的学和教师的教的教育心理学呈现出明显的短缺和不足。本书作者已经用实验证实，工作记忆中的心理模型不仅影响学生在学习和问题解决过程中对问题的表征、推理，还影响学生对学习和问题解决策略的选择与迁移。

我知道，作者为探讨工作记忆中的心理模型及其对问题解决与学习的作用，先后耗时不下十年，真可谓十年磨一剑。问题解决是心理学研究中一个异常重要的老问题，之所以老，是因为早期的行为主义和格式塔心理学家都曾对问题解决提出过自己的观点；之所以异常重要，则是因为问题解决的最高形式是创造。可以说，提出新观点、构建新模型、发明新技术、设计新产品等都属于创造性活动，是广义的问题解决。创造力研究是当前心理学研究的热点之一，而创造型人才的培养亦是当今世界各国的头等大事。在竞争中发展的世界各国都十分清醒地意识到，国家和民族在高端科技上的领先和经济上的优胜，无不得力于创造型人才在核心技术上的创造和发明。激发创造型人才的创造力，加速创造型人才的培养，均已被列为世界各国科技竞争和发展计划的重中之重。本书作者深谙问题解决和创造力的同一性，审时度势，顺应世界科技和创造型人才培养的大趋势，瞄准问题解决这一古老而又常新的课题，坚持不懈地进行探索，提出“问题解决即工作记忆中心理模型的建构”这一全新的命题，并最终用实验证实了问题解决策略的选择和迁移都是以心理模型为中介和载体的。学习者或问题解决者基于自身不同水平的领域知识，建构不同水平的心理模型，并在不同水平心理模型的引导下选择不同的策略来解决问题，进而显

示出不同的迁移效应，最终在很大程度上揭示了长期未能知晓的问题解决中策略选择与迁移的内在机制。鉴于此，这本著作理所当然地会成为问题解决和创造力研究者的必读之书和不可或缺的参考资料。

这部著作在问题解决研究上兼具“渊”和“博”的特点。它的“渊”体现在对问题解决这一认知过程探索和发掘的深度大：作者不仅从工作记忆领域着手探讨问题解决，而且对工作记忆中央执行抑制能力对具体问题解决的影响作了实验研究；作者不仅将问题解决视为工作记忆中心心理模型的建构，而且用实验证实了心理模型是怎样影响问题解决策略的选择和迁移的，这使得问题解决的研究在教育心理学领域达到了全新的高度。它的“博”体现在不是孤立地和截取式地研究问题解决，而是系统地和历史性地研究问题解决。作者引用大量的国内外资料系统地论述了问题解决的特征、策略、研究历程、路径与方法，让读者对问题解决有了一个“全豹”印象。即使是关于心理模型建构影响问题解决策略选择与迁移这一较为深奥的议题，作者也没有让它突兀地呈现在读者面前，而是事先对问题解决中的认知策略和元认知策略作了铺垫性的论述。作者不仅对问题解决的研究历程作了专段式的阐述，即便是在心理模型这样的专题研究中，也对心理模型的渊源作了介绍。这种“渊”和“博”的有机结合，让读者对教育心理学领域问题解决这一重要论题不仅知其然，而且知其所以然；不仅能了解其最新研究成果，也能把握其研究发展脉络。

本书对教育心理学特别是问题解决和创造力的研究者或学习者而言，是值得一读的佳作，若能细读和领略其创新观念的合理性，定会有获益匪浅之感。

湖北大学教授



2018年3月

前 言

人是如何解决问题的？这着实是一个迷人的问题。不论是在学业情境中，还是在工作或日常生活情境中，人们都面临着大量亟待解决的问题。可以说，生活就是每时每刻的大量的问题解决。虽然在描述、解释人类问题解决的机制方面，研究者业已做了大量卓有成效的工作，但如果我们对现实状况稍加考察，便不难发现人类对自身认知能力的了解和开发还远远不够。比如，人工智能的发展日新月异。2016年3月，谷歌旗下DeepMind公司开发的围棋人工智能程序AlphaGo与人类围棋世界冠军、职业九段棋手李世石的人机大战，吸引了全世界的目光。最终，AlphaGo以4:1的总比分获胜。其后，AlphaGo在围棋网站上与中日韩数十位顶尖高手进行快棋对决，更是取得了60连胜的佳绩。围棋界公认，AlphaGo的棋力已经超越了人类职业围棋的顶尖水平。AlphaGo的棋力为何如此之强？原因主要在于它的工作原理，即基于多层人工神经网络的“深度学习(deep learning)”。如果说AlphaGo的第一个版本尚需要借助数百万人类围棋专家的棋谱进行训练，那么AlphaGo 2.0(代号AlphaGo Zero)则从一开始就不必接触人类棋谱，只需在棋盘上自由下棋，不断进行自我博弈(自己和自己对战)，就可以快速“成长”起来。可以说，深度学习技术已经点燃了人工智能的熊熊烈火。人工智能的这种进化速度会给人类带来压力和危机感吗？人类的深度学习应当是怎样一幅图景？“人工”神经网络真的超越“人的”神经网络了吗？人工智能和人的界限在哪里？以往，研究者认为人工智能主要采用算法式解决问题，而人可以采用启发式解决问题，但现在看来，人工智能也可以通过启发式，不必经由完全搜索这样的算法来解决问题。以往人们还认为带有情绪的热认知是人类所独有的，但未来人工智能是否也会由冷认知跨越到热认知，尚不得而知。可以说，人工智能的革命性进展带来的冲击，使研究人类问题解决这一复杂、高级的认知过程变得尤为迫切，研究人类问题解决不仅具有重要的科学价值，还充盈着丰富的伦理学意义。

本书从工作记忆、心理模型和专长三个方面对问题解决的影响因素及认知机制进行了理论探索和实证检验。之所以从这三个方面探讨问题解决，源于三

者之间的紧密关联及其对问题解决研究的启示。工作记忆这一构念在心理学中的孕育和成长已经超过半个世纪,但目前对工作记忆认知和生理机制的探索仍在继续。不难发现,当前关于工作记忆广度(容量)有限性和工作记忆子成分功能特异性的探索,已经为问题解决研究提供了许多有价值的帮助。三十年来,与工作记忆广度有关的认知负荷理论,更是对问题解决、多媒体学习和教学设计等领域产生了深远影响,并且极富解释力。根据信息加工的观点,信息的加工至少经过选择(selecting)、组织(organizing)和整合(integrating)三个阶段。信息经由选择从感觉记忆进入工作记忆,而这些信息碎片在工作记忆中得以组织成一个连贯一致的整体。同时,信息加工还需要来自长时记忆中先备知识(背景知识)的支持,从长时记忆中提取的先备知识和工作记忆中的新信息整合在一起,个体因此而学会新知识或解决新问题。所以,工作记忆是信息加工的枢纽,而长时记忆中储存的经过组织的特定领域的知识和技能,我们称之为专长。心理模型作为一种动态综合的陈述性知识和程序性知识的结合体,既可以在工作记忆中存在,又可以在长时记忆中存在。可见,工作记忆、心理模型和专长三者具有天然的联系。正是基于此种联系,本书提出了“问题解决即工作记忆中心理模型的建构”这一核心命题。

本书除了对工作记忆、心理模型、专长与问题解决的关系进行较深入的理论探索,还通过四项实证研究检验了相关的理论假设。实证研究Ⅰ以多位数减法估算任务为例,探讨了工作记忆中央执行抑制能力、问题情境与难度对问题解决表现的影响,结果发现问题情境与问题难度影响问题解决的不同方面,且二者在减法估算准确性上的交互作用显著,即简单和复杂纯数字题的估算准确性差异不显著,简单和复杂应用题的估算准确性差异显著。实证研究Ⅱ和实证研究Ⅲ以电学领域的问题解决为例,揭示了心理模型这一构念作为领域知识(专长)与问题解决中介与载体的有效性,证明了建构正确的心理模型是问题解决的关键。这一发现对于STEM(科学、技术、工程、数学)领域的问题解决具有一定的参考价值。实证研究Ⅳ探索了小学生不同简算策略习得方式对其问题解决迁移的影响。结果发现,就近迁移而言,相比学优生,普通生从自我发现策略学习方式中获益更多;两类学生自我发现策略均比他人教授策略更能促进问题解决策略的远迁移。这提示教育工作者,嵌入在具体学科中的策略教学是必要的,但是它主要有助于近迁移。如果要追求问题解决策略向更广泛领域、向更新颖任务的远迁移,还需要借助发现学习方式(包含有指导的发现)让学生自我发现策略,让学生在大量的问题解决实践中抽象出更具适应性的问题解决策略。

著者

2018年2月

目 录

第一章 导论	(1)
一、研究缘起	(1)
二、国内外研究现状及趋势	(3)
三、本书的价值与创新	(9)
四、本书的架构	(10)
第二章 问题与问题解决	(12)
一、问题解决及其策略	(12)
二、问题解决的研究历程与路径	(24)
三、问题解决的研究方法	(41)
第三章 工作记忆与问题解决	(51)
一、工作记忆及其多成分模型	(51)
二、工作记忆对问题解决的影响	(56)
三、实证研究 I：中央执行抑制能力、问题情境与难度对多位数减法 估算的影响	(69)
第四章 心理模型与问题解决	(78)
一、心理模型及其探查技术	(78)
二、心理模型对问题解决的影响	(85)
三、实证研究 II：心理模型影响问题解决策略选择的研究	(95)
四、实证研究 III：心理模型影响问题解决策略迁移的研究	(111)
第五章 专长与问题解决	(127)
一、专长及其获得	(127)
二、专家和新手的问题解决比较	(131)
三、培养专家型问题解决者	(135)
四、实证研究 IV：策略习得方式对小学生算术简算策略迁移的影响	(137)

结语	(145)
附录	(149)
附录 1 减法估算测试题及指导语	(149)
附录 2 电路基础知识测试题	(152)
附录 3 基本电路原理应用测试题	(158)
附录 4 电工学实验室与实验器材	(159)
附录 5 出声思维训练材料	(163)
附录 6 相反数简算测试题及指导语	(163)
参考文献	(166)
后记	(183)

第一章 导 论

一、研究缘起

科学心理学对问题的研究,已经超过了—个世纪。以 20 世纪 50 年代中期的认知革命为分水岭,认知革命之前,问题解决历经了试误说、顿悟说等发展阶段,认知革命之后,又历经了信息加工理论、专长心理学等发展阶段,积累了很多有益的研究成果。然而,问题解决作为一种高级的思维过程,一种高水平的学习类型,人们对其奥秘的探寻和揭示还远远不够。由于不同研究取向或路径的侧重点不同,每种取向只能揭示问题解决的某个侧面。比如,格式塔取向重视问题表征,而信息加工取向则重视问题解决方案的生成(找到初始状态通往目标状态的路径)。然而,历史的演进却惊人地相似,20 世纪 70 年代末 80 年代初,专长心理学的兴起将人们的目光引至领域特殊知识(domain-specific knowledge),问题解决研究者开始重新重视问题表征,格式塔传统在当代得以复兴。可喜的是,当前认知心理学的进展为问题解决研究提供了新的背景和契机,使其对问题表征的重视处于一个更高的水平,重视问题表征和重视问题解决方案的生成可以在信息加工的框架中得以重整和融合。这也成为本书的出发点和立足点。

选择问题解决作为本书的论题,还缘于笔者长期以来对迁移研究的兴趣,以及对问题解决与迁移内在关联的思考。迁移是人类认知与学习的一个普遍特征,又是学校教育的重要目标,因此对迁移的研究既有理论需要,也有实践诉求。早在教育心理学创立之初,Thorndike 及其同事就在教育背景中对迁移进行了实证研究和理论概括。—个世纪以来,尽管不断有研究者对迁移的存在提出质疑,但迁移研究几乎从未中断。并且随着教育心理学研究范式的更迭,从

行为主义到认知主义,再到情境主义^①,人们对于迁移现象的理解更加深入和全面。截至目前,业已形成了一些颇具影响力的迁移理论,这些理论有力地揭示了迁移的内在机制,并力图寻求促进迁移发生的教学条件。从20世纪80年代起,问题解决迁移(problem-solving transfer)在迁移研究中受到了高度重视,迁移和问题解决出现了整合研究的取向。

应当说,迁移和问题解决的融通与整合有其必然性。首先,从学习结果测量的角度看,问题解决和迁移有着紧密联系。保持和迁移可被视为学习结果的两种经典测量手段。保持是指记住所呈现的学习内容的能力,可以用回忆(recall)和再认(recognition)项目来评估。而迁移是指在新情境中运用所学知识、技能和策略的能力,最好用问题解决项目来评估。因为问题解决是人类思维灵活性和创造力的集中体现,问题解决迁移就是指在新情境中解决以前没有遇到过且无现成可利用答案的问题的能力。因此,在测量学的意义上,问题解决和迁移具有内在同一性。其次,迁移和问题解决的融合还受到20世纪70年代中期以来的专长研究的影响。专长的知识观提醒人们注意,专家有效解决问题的能力可能是丰富的领域知识造就的,有必要从领域知识与一般能力互动的角度考虑人的胜任力。这种提醒促使特殊迁移(近迁移)重新引发了人们的关注,而问题解决研究者也不再满足于研究情境无涉、知识贫乏的实验室简化任务,开始把更多精力投向知识丰富的特定领域的问题解决。于是,特殊知识领域的问题解决迁移研究应运而生。

基于对问题解决研究趋势的总体把握和审慎思考,本书拟从工作记忆、心理模型和专长三个方面探讨问题解决的影响因素与认知机制。工作记忆可被视作问题解决者的一般能力,是问题解决的枢纽和工作站。工作记忆的容量(广度)制约着问题的表征、存储和加工,工作记忆的子成分对问题解决过程有着不同性质、不同程度的影响。专长可被视为问题解决者长时记忆中贮存的精深的知识和专门的技能,提供问题解决所需的先备知识(prior knowledge),是问题解决的前提和保证。而心理模型是问题解决者在工作记忆中建构的问题表征,是领域知识和问题解决策略互动的中介和载体,建构正确的心理模型是问题最终得以解决的关键。

^① 不妨通过一个例子来理解情境主义:在巴西贫民区的街头,一些孩子在那儿贩卖水果。这些孩子并没有在学校里学过数学,但却能够和顾客讨价还价,把账算得清清楚楚。研究者把这些孩子带到实验室,把他们在路边和顾客交易水果的场景编成应用题让他们做,结果这些孩子的表现急剧下降,似乎不会算账了。这个例子说明了情境对于学习和迁移的影响。问题解决能力的迁移并非自动发生的,问题解决能力似乎和学习者所处的情境“绑定”了,学习的情境限制了问题解决技能的迁移。

二、国内外研究现状及趋势

本书的研究建立在长期关注、学习国内外问题解决研究成果的基础上,在此对国内外问题解决研究现状作简要概述,并对其发展趋势作出预见与展望。

(一)国外问题解决研究现状述评

问题解决是心理学和人工智能等学科共同关注的重要研究领域。国外迄今已积累了大量的研究资料,出版了一些相关的专著和论文集(如 Sternberg, Frensch, 1991; Kahney, 1993; Robertson, 2001; Wagman, 2002; Davidson, Sternberg, 2003)。

综观国外认知与教育心理学界,发现有一些研究者长期在问题解决研究领域深耕细作,贡献了具有持久影响力的研究成果。兹举例如下:

佛罗里达大西洋大学的 Stephen K Reed(后转入圣迭戈州立大学)从 20 世纪 70 年代就开始研究数学应用题问题解决,研究历程逾 40 年,在问题解决领域作出了重大贡献。他对图表、类比在代数应用题解决中的作用进行了深入研究,提出了应用题的结构映射模型;90 年代开始研究应用题的样例学习,2000 年以后又研究了方程问题解决。

加州大学洛杉矶分校的 Keith J Holyoak 对问题解决中的类比推理和类比迁移做了充分研究,探讨了如文本一致性对类比映射的影响等问题,从发展、教学等多重视角分别探究了类比推理问题。

爱荷华州立大学的 Gary D Phye 长期从事问题解决迁移和问题解决教学研究,对图式归纳和问题解决的关系、策略性迁移作为问题解决的工具进行了深入探讨,致力于在课堂中整合技术、教学与学习。

比利时鲁汶大学的 Erik De Corte 对数学应用题解决做了深入研究,并对迁移作出了有影响的界定,认为迁移是已获得的知识、技能和动机的创造性、支持性的使用;他还对数学课堂文化与实践的关系进行了深入解析。

此外,著名教育心理学家、美国心理学会教育心理学分会前主席 Richard E Mayer 长期以来也致力于问题解决和多媒体学习的研究。他带领的研究团队,结合多媒体学习的理论、原则和技术,在数学、物理学、电子学等知识丰富的学科领域开展了深入、富有成效的问题解决研究。

(二)国内问题解决研究现状述评

国内的问题解决研究成果也颇为丰富,尤其是表现在以下领域中。

1. 问题解决的研究范式与方法研究

研究问题解决需要借助一定的研究范式与方法,国内研究者对此进行了探索和总结。辛自强(2002)将 Siegler 极力倡导的“微观发生法(the microgenetic method)”引入国内,认为该方法通过在变化发生的整个过程中对行为进行高密度观察,可以提供关于认知变化的路线、速率、广度、来源,以及变化模式多样性等方面的精细信息,对于理解心理变化的机制具有重要意义。^①辛自强(2004)在梳理了问题解决研究的历史脉络之后,认为问题解决研究应该建立在信息加工与建构主义思想整合的基础上,坚持主客体相互作用观,把问题解决既看作信息加工过程,又视为知识建构过程,继续深入开展研究。^②

周玉霞、李芳乐(2011)总结了问题解决的研究范式,并建立了问题解决的影响因素模型。^③他们指出问题解决有两种水平(层面)的研究范式:表征水平的范式和社会文化水平的范式。其中,前者又包括实验法、口语报告分析、人工智能模型等研究方法;后者主要采用临床访谈法^④研究问题解决的思维过程。邢强(2011)评述了顿悟问题解决的认知神经科学研究范式,包括内隐学习范式、远距离联想范式^⑤和谜语范式^⑥。^⑦

2. 问题表征与问题解决策略研究

刘电芝较早开展了学习策略(含问题解决策略)相关的系统研究(刘电芝,

① 辛自强,林崇德.微观发生法:聚焦认知变化.心理科学进展,2002,10(2):206-212.

② 辛自强.问题解决研究的一个世纪:回顾与前瞻.首都师范大学学报:社会科学版,2004(6):101-107.

③ 周玉霞,李芳乐.问题解决的研究范式及影响因素模型.电化教育研究,2011(5):18-25.

④ 由著名儿童心理学家皮亚杰所倡导。临床访谈法实际上是自然观察、测验和精神病学的临床诊断的整合运用,包括对儿童的观察、谈话与儿童的实物操作三个部分,据此了解儿童的思维过程。临床访谈需要研究者根据儿童对前一个问题的回答灵活调整第二个问题的内容和提问方式,对研究者提出了较高的要求。

⑤ 远距离联想范式常用来测量个体的创造力,即将那些表面看似没有联系、意义相距甚远的事物建立新联系的能力。比如,看到几个由近及远、由大到小排列的圆圈,能够想到“离愁渐远渐无穷”这句古诗就是一种远距离联想能力。

⑥ 在谜语范式中,计算机屏幕呈现谜面,如典型的字谜问题“镜中人”,如果被试顿悟了谜底,则直接按键反应,如果没有猜出谜底,则计算机屏幕上会跳出谜底(“入”),这时被试可能会产生“啊哈”的顿悟体验,此时伴随的脑部活动会被记录下来,以备分析。

⑦ 邢强,车敬上,唐志文.顿悟问题解决研究的认知神经范式评述.宁波大学学报:教育科学版,2011,33(1):50-54.

1997, 2000; 刘电芝, 黄希庭, 2002; 刘电芝, 张荣华, 2004)。具体内容涵盖: 解题思维策略训练对小学生解题能力的影响(刘电芝, 1989; 张庆林等, 1997), 数学问题解决中的问题表征(刘电芝, 2002, 2004, 2005a, 2005b), 小学生数学学习策略的运用与发展特点(刘电芝, 黄希庭, 2005), 简算策略提高小学生计算水平及延迟效应(刘电芝, 黄希庭, 2008), 初中生物理学习策略的掌握现状与特征分析(刘电芝, 戴惠, 惠晓红, 2013), 初中化学学习策略评估问卷的编制(刘电芝等, 2013), 小学英语学习策略掌握现状与发展特点(刘电芝等, 2013), 策略意识和策略情感对初中生数学学习策略的影响(刘电芝等, 2015), 初中生数学学习策略的个体差异(莫秀锋, 刘电芝, 2007), 儿童的策略选择(吴灵丹, 刘电芝, 2006; 刘电芝, 杨会会, 2008)、策略转换(褚勇杰, 刘电芝, 2009; 余姣姣等, 2016), 等等。

周新林等利用行为学实验及脑电、核磁等神经生理学研究技术, 对数学的认知与脑机制进行了深入研究。比如, 加法和乘法算式的表征方式(周新林, 董奇, 2003), 加减法文字题问题解决的影响因素(周新林, 张梅玲, 2003a, 2003b, 2003c), 一位数加法、减法和乘法的事件相关电位(Zhou et al, 2006), 一位数加法和乘法运算在脑组织层面的分离(Zhou et al, 2007a), 一位数乘法的运算数顺序效应(Zhou et al, 2007b), 两位数的整体与局部加工(Zhou et al, 2008; 陈兰, 翟细春, 2009), 儿童语言能力性别差异对算术成绩性别差异的解释(Wei et al, 2012), 视知觉对数量加工和计算流畅性关系的解释(Zhou et al, 2015), 大脑中的语义系统参与数学问题解决(Zhou et al, 2018), 等等。

司继伟对数学问题解决中的估算进行了大量深入的研究。其中涉及: 小学儿童算术估算能力的发展(司继伟, 2002; 司继伟, 张庆林, 2003; 司继伟, 张庆林, 胡冬梅, 2008), 估算的教学对策(司继伟, 徐继红, 罗西, 2007; 司继伟, 2002), 数学焦虑对估算策略和估算表现的影响(司继伟, 徐艳丽, 刘效贞, 2011; 孙燕, 司继伟, 徐艳丽, 2012), 工作记忆中央执行成分和中央执行负荷对估算策略和表现的影响(杨佳等, 2011; 司继伟等, 2012; 黄碧娟等, 2016; 艾继如等, 2016; 杨伟星等, 2018), 等等。

辛自强开展了数学问题表征和问题解决策略方面的研究, 并提出“关系-表征复杂性模型”对数学问题解决过程中表征和策略的变化及其关系进行解释(辛自强, 2003, 2004a, 2004b, 2007; 辛自强, 俞国良, 2003; 辛自强, 张莉, 2009)。此外, 他还在国内较早开展了分数认知方面的研究(刘春晖, 辛自强, 2010; 辛自强, 刘国芳, 2011; 韩玉蕾, 辛自强, 胡清芬, 2012; 辛自强, 张皖, 2012; 辛自强, 李丹, 2013; 辛自强, 韩玉蕾, 2014)。近期, 辛自强及其合作者又探讨了两人或三人合作问题解决中惯例的发生和测量问题(张梅, 辛自强, 林崇德, 2013, 2015)。

除上述几位研究者之外,国内如陈英和、刘昌、邓铸、刘儒德等学者也开展了大量的问题表征和问题解决策略方面的研究。

3. 顿悟问题解决与创造力研究

顿悟问题解决与创造力研究已经成为国内一大研究热点,并出现了几支颇具影响力的研究团队。主要包括西南大学的张庆林和邱江团队,中国科学院心理研究所的罗劲团队,南京师范大学的刘昌、沈汪兵团队,华中师范大学的周冶金、赵庆柏团队,以及华东师范大学的郝宁团队等。

张庆林、邱江等利用行为学实验、口语报告分析,以及神经生理学技术,进行了大量深入的顿悟问题解决研究(张庆林,1989,1996;张庆林,邱江,曹贵康,2004;张庆林,邱江,2005;曹贵康,杨东,张庆林,2006;任国防等,2007;邱江,2007;吴真真,邱江,张庆林,2008;吴真真,2010;邱江,张庆林,2011;罗俊龙等,2012),提出了顿悟的原型启发(激活)效应,并揭示了原型启发效应的认知与脑机制。在顿悟问题解决中长期存在进展监控说和表征转换说的争议,而原型启发理论得到了许多实验证据的支持,在一定程度上消解了顿悟研究的理论困境。

罗劲及其合作者创新研究范式,利用传统谜语、顿悟式谜语和“脑筋急转弯”作为刺激材料,以ERP和事件相关fMRI技术,在国际上首次报告了海马体在顿悟问题解决中的功能,在顿悟大脑机制方面取得了一系列原创性成果(Luo,Niki,2003;罗劲,2004)。综合各方证据,罗劲认为,顿悟过程中,新异而有效的联系的形成依赖于海马体,问题表征方式的有效转换依赖于一个“非语言的”视觉空间信息加工网络,而思维定势的打破与转移则依赖于扣带回与左腹侧额叶。这些发现被誉为“揭开顿悟奥秘的一道曙光”(罗跃嘉,2003)。之后,唐晓晨、庞娇艳和罗劲(2009)又发现了顿悟中的蔡格尼克效应^①,即问题求解失败会引起右半球对相关问题的保持增强,并最终导致右半球对相关提示信息更加敏感。

刘昌、沈汪兵等(2012)对人类顿悟脑机制近10年的研究进展进行了综述,汇聚了有关“顿悟脑”的主要研究发现。^②顿悟脑主要由外侧前额叶、扣带回、海马体、颞上回、梭状回、楔前叶、楔叶、脑岛和小脑组成。就各脑区的功能而言,外侧前额叶主要负责顿悟难题思维定势的转移和打破,扣带回则参与新旧思路

^① 源于格式塔心理学家的发现,即人们对于那些尚未完成的任务的记忆常常比已经完成的任务的记忆更好。

^② 沈汪兵,罗劲,刘昌,等.顿悟脑的10年:人类顿悟脑机制研究进展.科学通报,2012,57(21):1948-1963.

的认知冲突及解题进程的监管,海马体、颞上回和梭状回组成了“三维一体”的、专门负责新异而有效联系形成的神经网络,问题表征的有效转换则依赖于楔叶和楔前叶组成的“非言语的”视觉空间信息加工网络,脑岛负责认知灵活性和顿悟相关情绪体验,而与反应相关的手指运动的皮下控制则依赖于小脑。沈汪兵等(2013)还对顿悟类问题解决中思维僵局的动态时间特性进行了研究。^①

周冶金、赵庆柏研究团队近年来在顿悟问题解决及语言创造力方面,做了一些卓有成效的工作。比如,他们利用眼动技术研究了汉语成语谜语问题解决中的简单联想和新异联想这两种思路竞争的过程(黄福荣,周冶金,赵庆柏,2013)。结果发现,选择“新颖且合适答案”的任务要求,提高了成功形成新颖语义联结的概率,但是并没有加快新异联想发生、发展的进程,也没有改变两种思路相互竞争的局面;有效的规则线索可以抑制简单联想,阻止其发生,同时可以加快新异联想发生、发展的进程。此外,他们还探讨了创造性问题解决的动态神经加工模式(赵庆柏等,2015),新颖语义联结形成的右半球优势效应(赵庆柏等,2017),以及网络语言的创造性加工过程(赵庆柏等,2017)。

郝宁团队在群体创造活动的脑间互动机制、发散性思维的脑机制、工作记忆执行功能在创造性思维中的作用、具身创造力等方面做了系列研究工作。他们受到“三个臭皮匠,顶个诸葛亮”这则谚语的启发而进行的一项群体创造力研究工作颇具创意。^② 研究者首先通过预实验选择出高、低创造力者各30人,然后组成三种类型的两人小组(高-高组、低-低组和高-低组)。这三种类型的两人小组均要在正式实验中完成一个创造力任务。在任务期间,主试使用功能性近红外光谱技术(fNIRS)同时观测记录两个个体在前额叶脑区和右侧颞顶脑区的脑活动变化,然后根据这些脑活动变化计算团队内部个体的脑间活动同步性。被试的行为结果和fNIRS结果一致表明,当两个低创造力个体一起进行创造活动时,他们更倾向于彼此合作,他们之间较高水平的合作能够弥补其个人创造力水平较低的不足,促进其团队的整体创造表现。

(三)国内外问题解决研究的新趋势:具身问题解决

现有问题解决的相关理论主要是在传统“离身认知”框架中提出的,主张问题解决是在大脑“硬件”中运行规则或原理等“软件(算法)”的过程,认知虽然表现在包括大脑在内的身体上,但其功能却独立于身体而存在。其后的“热”认知

^① 沈汪兵,刘昌,袁媛,等.顿悟类问题解决中思维僵局的动态时间特性.中国科学:生命科学,2013,43(3):254-262.

^② Xue H, Hao N, Lu K. Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. Neuroimage, 2018, 172:527-537.

研究虽然开始关注信念、情绪对问题解决的影响,但对“身体(body)”参与问题解决的考量还远远不够。事实上,无论是从发展还是从学习的角度而言,认知都与身体动作密切相关。皮亚杰指出,认知源于动作(act),动作引发的主客体相互作用(人-物互动)是心理发展的源泉。布鲁纳也提出,个体采用动作式表征、映像式表征和符号式表征三种系统来解决问题。

20世纪80年代兴起的“具身认知”主张认知过程由身体的物理属性所决定;认知的内容由身体提供;认知嵌入大脑,大脑嵌入身体,身体嵌入环境。具身学习强调学习是具体身体的学习,学习受身体的制约和促进,身体动作、知觉、体验和活动在学习中具有基础性作用,概念、规则的获得和问题解决与身体经验密切相关。在此背景下,“具身问题解决”研究开始兴起,研究者试图把问题解决中“遗失的身体”找回来。下面,以数学问题解决为例,大致勾勒一下具身问题解决的研究趋势。

数学是一门高度抽象的学科,一些知识可能难以通过感官直接感知。然而,具身认知理论的出现还是引发了数学认知研究者的思考与行动。一项三角函数的具身学习实验表明,数学学习需要想象力的参与,而身体行为在想象活动中扮演了重要角色,学习者对数学概念的理解是具身的(Nemirovsky, Ferrara, 2008)。Kim等(2011)探究了手势在几何学习中的作用,认为身体动作有助于学生形成关于几何的空间思维和抽象概念。Mavilidi等(2018)研究发现,学前儿童学习算术技能时,执行与任务相关的整合性身体活动,学习效果要好于执行非整合性身体活动、观察他人的整合性身体活动和静听式教学;儿童更喜欢伴随身体活动的教学方法。2012年, *Journal of the Learning Sciences* 辟专辑探讨了数学学习与教学中的具身性问题。其中, Alibali 和 Nathan (2012)考察了师生在学习数学概念时使用的指向性手势、表征性手势和隐喻性手势在认知过程中的不同作用,指出数学知识学习建立在身体感知和行动的基础之上。Nemirovsky等(2012)则以复杂数字加法和乘法的几何解释为例,指出数学顿悟由知觉-运动活动构成并由其表达,同时强调了学习环境和背景对数学观念的塑造作用。可见,国外具身学习研究已经从理论走向实证,开始以实验或干预研究探讨身体活动对学习的影响。既有高技术支持条件下的研究(如体感交互或虚拟现实学习环境),也有传统弱技术环境下的研究(如便携式学具)。可以预见,具身学习将会在实证研究方面继续深入推进。就国内而言,具身数学强调从学生已有的生活经验入手,促进对数学概念的理解。金小丹、徐稼红(2014)发现,日常生活的原型可以引导学生对二次函数图像形成直觉概念,以具身经验来类比二次函数,使学生明白二次函数是用来描述两个变量间的关系的。王翠(2017)提出了“图形与几何”的具身学习操作策略:融于环境中