

# 基于学习分析技术的问题解决能力测评研究

胡艺龄 顾小清

(华东师范大学 上海数字化教育装备工程技术研究中心/教育学部教育信息技术学系, 上海 200062)

**[摘要]** 随着数字革命向数据革命的迈进,信息技术的优越性被发挥到极致。除了富媒体结合物联网带来的“智能化”特征外,技术支持的过程观察有助于进一步观测那些会随机变化的细微行为,并产生以时间为标记的行为足迹。结合新的计算方法和挖掘技术分析那些海量且相互关联的数据,研究者能获得更具洞察力和决策力的信息。在此背景下,本文在融合内隐认知、信息加工及思维特征的基础上,构建了反映问题解决心理过程的能力评价模型,并根据问题解决心理与行为的映射原理设计了测量工具,依托技术支持的过程观察实现了对问题解决能力的多维评价。本文以实证研究验证了模型的有效性并发现:上海小学生问题解决能力大多处于元认知增强期与认知结构整合期,部分学生达到了认知结构淬炼期,少部分学生仍停留在概念发展期。本文期望这种创新的问题解决能力评价方法在评价学习者能力的基础上,能对其他高阶思维能力的测评提供借鉴。

**[关键词]** 问题解决能力评价;学习分析技术;测评建模

**[中图分类号]** G434 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1007-2179(2019)02-0105-09

## 一、问题提出

随着全球化竞争的来临,适应复杂环境的高阶思维技能成为未来学习者最需要的技能(Keen, 2011)。为此,澳大利亚教育改革委员会提出了基础教育七项关键能力(Mayer & Mayer, 1992),欧盟委员会提出了公民终身学习八大关键能力(EUROPEA, 2006),美国提出了21世纪技能框架(Trilling & Fadel, 2009),联合国教科文组织提出了终身学习五大支柱(Venkataraman, 2009)等。这些技能需求虽略有差异,但存在一个共性,即强调人的问题解决能力。

过去几十年,研究者对问题解决能力的研究主

要涉及问题和问题解决的界定(D'Zurilla et al., 1971; Heppner & Petersen, 1982; Luger, 2005)、影响问题解决的因素(Schmidt & Housen, 1995; Peng & Reggia, 2012)、问题解决的过程分析(Chandrasekaran, 1990)、专家和新手差异(Sternberg & Frensch, 2014; Jacobson, 2013)、问题解决技能的培养(Leshner et al., 2013)和教学(Silver, 2013)及问题解决能力测评(Greiff et al., 2013; Greiff & Scherer, 2018)等。近年来,测评引起了人们的广泛关注。经济合作与发展组织国际学生评价计划(Program for International Student Assessment, 简称PI-SA)除了评测科学、阅读与数学外,2003年将问题解决能力纳入测评范围(Ray & Margaret, 2003),并不

[收稿日期]2018-08-12 [修回日期]2018-10-21 [DOI编码]10.13966/j.cnki.kfjyyj.2019.01.011

[基金项目]中央高校基本科研业务费项目华东师范大学青年预研究项目(2018ECNU-YYJ020);教育部人文社会科学青年基金“协作问题解决能力在线测评研究”(16YJC880085)。

[作者简介]胡艺龄,博士,讲师,上海数字化教育装备工程技术研究中心,华东师范大学教育信息技术学系,研究方向:学习分析技术、计算机测评、教育数据挖掘(yihu@deit.ecnu.edu.cn);顾小清,教授,华东师范大学教育信息技术学系系主任,研究方向:学习科学与技术设计、CSCL、学习分析技术。

断改进测评方式以获得更科学的测评结果 (Faradilla & Johar, 2017)。有的国家还颁布相关政策促进对青少年问题解决能力的评价与培养,以期在未来全球化竞争中掌握优势。由于问题解决过程更多的是内隐加工的形式,传统的“黑盒”测试仅能获得对问题解决能力的总结性评价,对其背后的潜在原理与运作机制大多无从知晓。因此,如何探究问题解决的思维加工过程及其内部操作规则,成为横亘在研究者面前的难题。

## 二、文献综述

### (一) 问题解决能力测评方法的瓶颈

研究者从格式塔理论、行为理论、信息加工理论等视角阐述了不同类型的理论模型,这些模型大多不具备可操作性,又受限于早期纸笔测试及多项选择题形式(无法从测试中获得过程信息),因此基于结果的指标(即正确回答问题的数量)依旧被用来衡量个体的问题解决能力,忽略了其中复杂的心智活动 (Jonassen, 2011)。此后,人们对问题解决能力的评价经历了问卷测量 (Heppner & Petersen, 1982)、纸笔测试 (Preckel & Thiemann, 2003)、在线测试 (Greiff et al., 2013) 的螺旋上升过程,其中缺乏客观有效的过程观察一直受人诟病。比如,早期的问卷测量易受个人主观影响,会因正面的自我呈现 (Self-presentation) 而使答题结果不真实;纸笔测试虽然使用客观题对能力进行评估,但只记录被试的答案,无法确定解题过程或所用工具,特别是被试的认知或心理过程。鉴于此,认知心理学开始尝试利用出声思维法 (Think-aloud protocols) 使思维过程外显化,希冀借助外部语言还原思维过程以获得真实评价 (Newell & Simon, 1972)。许多学者尝试采用该方法进行实验 (Sinnott, 1989; Montague & Applegate, 1993),但随着评价效果的显现,效度受到了质疑。有学者 (Hertzum et al., 2009) 认为该方法只表达了短时记忆中已存在的信息(即意识层面的信息),没有展现深层思维策略;如果要求学生在出声思维过程中说出“做每项决定的原因”,则会在原有问题解决信息加工的基础上出现新的加工成分,形成认知负荷进而影响问题解决效果 (Hertzum et al., 2009)。此外,出声思维法需要提前对被试进行训

练,测试过程需要 1:1 配套工作人员进行提问与咨询,后期还需要大量的转录、话语提炼与质性分析工作,因此在大规模测评中没有优势。事实上,问题解决是个动态过程,学习者在其间不断展现多元思维与能力 (Artz & Thomas, 1992),采用问题解决结果这一单一指标无法全面真实地体现问题解决者的水平,如问题解决的速度、认知效率、认知表征模式、信息加工层次与思维品质等。因此,如何对问题解决能力进行便捷的大规模过程数据采集和客观的认知归因分析一直悬而未决。

### (二) 学习分析技术助力

由于无法全面追踪学习过程,很多学者对传统的学习者评价的有效性存有疑虑 (Ali et al., 2013)。随着学习管理系统等工具的广泛使用,人们已经能有效地记录学生的学习轨迹 (MacNeill, 2012),从而改变了以往数字化学习研究者依赖学生自我感知的问卷调查、小规模的对照试验及个案质性分析所带来的推论限制,为研究者提供了还原学生真实学习场景的契机 (Phillips et al., 2011)。伴随数据挖掘技术引入教育,信息追踪技术 (data tracking) 已应用于教育的各个层面,运用数据提升学校效能与学生学习成效的时代已然来临 (Mandinach & Gummer, 2013)。面对海量的大数据,如何将信息转化为可执行的见解,是个难题。学习分析技术的诞生很好地解决了这一问题。根据美国高等教育信息协会的定义 (Siemens & Baker, 2012),学习分析是一种使用资料和模型预测学生的进步和表现,并能对信息采取行动的技术。不同于其他教育学理论注重考虑人的身心发展,学习分析着重于观察学习者与学习环境的互动,是一种注重过程分析的技术。它将数字化学习的研究由应用层提升到功能层 (Smith et al., 2012)。由于学习分析领域发展体系不一,各种分析技术与模型在整体概括性和解释程度上缺乏通用性 (Slade & Prinsloo, 2013),因此鲜有学者将其应用于学业表现以外的能力分析 & 评价上,但其复合化的数据采集方式、多重角度的分析技术及微观化的服务层次特征 (顾小清等, 2012),正是问题解决测评所需的。采用学习分析技术对问题解决能力进行分析,有利于对问题解决过程进行实时记录,实现对信息加工层面的认知模式和知识建构过程的重现。

### (三) 问题解决在认知心理上的界定

问题解决作为过程, 源起于人与环境的互动。因此, 心理学家试图从认知心理的视角对其进行解读。波利亚 (Polya, 1981) 认为问题解决是一种外显或认知的行为历程, 这种历程对问题情境提出各种可能的有效反应, 且从中选出最有效的反应加以执行。心理学家迈耶 (Mayer, 1992) 认为问题解决是从已知叙述到目标叙述的移动过程, 思考是朝向某种目标的系列运作。张春与 (1997) 认为, 问题解决指个体面对问题时, 综合运用知识技能实现某一目标的过程。梳理问题解决的发展脉络可以发现, 研究者多把问题解决当成“心理活动的过程”, 涉及对问题的认知、情境的需求、先前知识的储备、目标的期待、策略的形成等。本文将问题解决定义为: 个体针对问题, 运用认知经验、知识、技能和所获得的相关信息, 提出有效可行的解决方法, 减少所处情境与目标状态之间差异的过程。

## 三、模型设计

### (一) 理论设计

在问题解决时, 个体的心智模式是基于人与问题环境互动形成的一种内在模式。因此, 要了解问题解决的心智模式需要先定义其在认知层面的模式, 这就需要将信息加工等内隐思维过程外显化。“表征”作为认知心理学领域的重要概念, 为内隐学习的外显提供了渠道。具体而言, 表征指用某种形式 (物理或心理) 将事、物或想法重新表现出来, 达成沟通目的的过程。传统心理学认为个体的思维过程不仅调用了心理表征, 还需要融合大量的外在表征, 才能形成事物的完整定义。由此可知, 问题解决的思维活动一定存在内在表征和外在表征。其中, 内在表征反映人如何想象这个主题以及在心中如何勾画事物间的关系, 较多地被定义为在脑中编码、修正和储存信息; 外在表征是人利用绘图、标记、符号或方程式解决问题。另外, 问题解决是在互动中产生信息与知识的传递, 因此还存在动态表征, 用以链接个体在认知活动中的心理活动与外显行为。内在表征、外在表征与动态表征三种模式共同构成了问题解决过程中个体的心智模型。

对应于这三种问题解决中可能的心理活动映射, 本文尝试从构建问题解决过程的“认知结构”实

现问题解决过程的表征, 该结构由三部分组成: 一是存在于概念结构中的知识内容, 即问题解决的内在表征; 二是这些知识是如何组织的, 即问题解决的外在表征; 三是动态的信息加工模式, 即问题解决的动态表征。评价模型的设计应遵循问题解决表征策略, 从认知结构的知识内容、知识组织方式、信息加工模式三个维度展开。

### (二) 评价框架的心理效度

从认知视角评价问题解决能力的核心在于评价技能的掌握程度, 这就需要遵循心理测量领域最重要的认知诊断评价。著名认知心理学家尼科尔斯 (Nichols, 1994) 提出整合认知科学与心理计量学的认知诊断理论 (Cognitive Diagnose Theory), 弥补了传统评价中无法洞察被试者测验心理的缺陷。依据该理论, 心理测量模型所观察到的信息除学习者的成就分数外, 还能推论表现过程与知识结构的质量, 这正符合本文的知识组织方式。此外, 信息加工模式由问题解决过程中的序列行动组成, 表现为行为与行为之间的关系, 以线性或层级顺序的方式表现认知加工的关系, 在实践操作时, 我们关注解决问题的每个行动。知识内容体现为个体解决问题时的信息存储与掌握程度, 具体表现为问题解决的表现水平 (Performance), 在实践中可用问题解决的表现结果衡量。这三个可观测的行为共同构成对问题解决认知结构的测量, 彼此间的逻辑关系为: 个体解决问题时, 每个行动串联起问题解决过程, 其间行动的片段组成个体技能, 最终这一连串的技能实现了问题解决, 展现为问题解决的表现结果。从理论维度到评价框架的层级映射关系如图 1 所示。

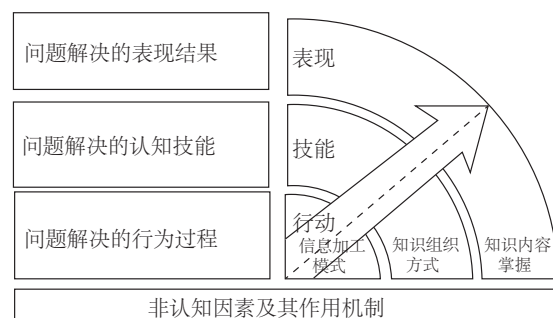


图 1 问题解决能力的评价框架

依照上述评价框架, 本文的评价指标采用五个维度: 1) 概念广度: 指认知结构中掌握概念的数量,

如果认知结构中概念越多,代表学习者能获取的概念越多;2) 正确性:代表学习者认知结构中的概念是否与科学的概念相符;3) 整合性:指学习者认知结构中概念与概念间的连结情况,概念若能有组织地呈现在认知结构中,学习者就可以系统地提取所需概念,如同一个组织良好的数据库,可以让使用者有效地找到所需信息;4) 可得性:代表认知结构中的信息提取率,以单位时间内认知结构活化或提取的概念数量表示;5) 信息加工策略:学习者认知结构中的信息加工是动态而非静止的,对信息加工策略的分析,可以得到学习者信息加工的过程。

(三) 评价实践与计算方法

在评价实践中,问题解决的结果以三元智能理论为分析依据,并结合时间管理,从时间的角度判定其认知与元认知水平,因此本文定义问题解决的合成分数为: $Z_{\text{问题解决}} = Z_{\text{认知}} + Z_{\text{元认知}} + Z_{\text{认知效率}}$ 。总的问题解决表现结果为三个指标之和。这三个指标的内涵分别为:1) 认知水平:整套测试中正确完成的题目数量,主要衡量学生的工作记忆与推理能力(Bozoki et al., 2013; Heeter et al., 2013);2) 元认知能力:每个任务的计划时间与完成测试总时间的比值(陈雪枫等, 1998)。计划时间和时间比都与元认知计划相关,但考虑到不同个体的加工速度差异较大,因此本文选择时间比作为元认知计划的指标,以排除加工速度的干扰;3) 认知效率:完成测试的控件操作次数之倒数(Culbertson & Zillmer, 1998)。

对于认知技能的评价,最便捷有效的方法是认知诊断测试。本文在任务设计时就将在 PISA 定义的问题解决四项技能属性(探究与理解、表述与构思、计划与执行、监控与反思)融入任务中,并选用认知诊断模型中最经典的 DINA 模型(Deterministic inputs, Noisy and Gate model, 简称 DINA)进行建模分析,采用 DINA 模型中的 din 函数在 R 程序中实现被试的参数估计及属性掌握程度表示。

分析软件采用佛罗里达州立大学郑教授(Jeong, 2005)设计的基于“事件序列(Event sequence)”的序列状态转移分析工具。

四、建模与实验设计

(一) 测评模型建构

依照评价框架本文设计了实验系统。该系统采

用计算机模拟微观世界的实验环境进行问题解决测试。评价模型从问题解决认知机理出发,借助认知加工与计算机加工的双重信息加工处理通路,获得对问题解决表征与系统设计的映射,并利用学习分析技术探究问题解决过程的认知表征逻辑及行为符号,建构数据驱动的问题解决能力评价规则,实现问题解决能力的建模分析(见图2)。

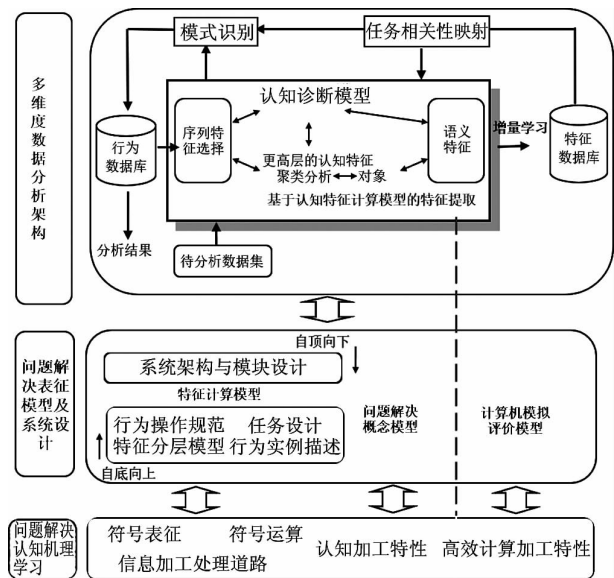


图2 问题解决能力评价模型

(二) 实验设计

本文立足于“计算机测试”的呈现模式,采用基于设计的研究范式并结合系统开发法,实现对测评环境的开发及过程和结果的记录。实验情境涵盖社会问题与科技问题、静态问题与动态问题。测评系统包含三个问题解决任务,共8道题,每道题答对记1分,答错为0分,满分8分。被试在点击“下一题”按钮前,可修改每个任务的答案,一旦进入下一个任务则不可返回。除了记录被试的答题情况外,系统还自动统计每个被试从进入题目到答题的等待时间、测试时长及每次点击鼠标的操作。

(三) 实验对象及过程

实验在上海市浦东新区某小学机房展开,随机选取了三至五年级十八个班共554人参与,其中男生283名(占总体的51.1%),女生271名(占总体的48.9%),每位被试配置一台实验设备,实验时长大约40分钟,每个任务由学生自行控制完成时间,允许提前或延迟提交。实验过程无任何技术故障,

因此测评数据回收率为 100%。

## 五、实验分析

为更好地展现研究结论,本文从集体表现和个体表现两方面进行分析展开,个体表现以被试 20120301 号为例。

### (一) 问题解决结果表现

在问题解决表现方面,被试 20120301 号认知水平、元认知水平、认知效率及总的问题解决表现的标准分数分别为 0.26、0.80、-0.89 及 0.17,其概率分布图可视化呈现如图 3 所示,图中阴影面积描绘了该生四个指标的表现。由图可见,从总体来说(右下角图)该生总体表现处于被试群体的中游,但实际能力表现上,其元认知水平 > 认知水平 > 认知效率,且每项技能的表现水平都偏离中游,后期需要进一步提高认知效率。

本文还引入机器学习中的聚类算法,将问题解决表现的三个指标(认知水平、元认知水平、认知效率)有相似特征的被试归入一组。研究者在 Matlab 中借助聚类分析 K-means 算法,实现了对所有被试的分析,算法最终自动聚类为四类,各类的簇心位

置、问题解决表现结果均值及表现的标准差见表一。

聚类一群体特征:问题解决水平高,元认知能力强,属于计划再行动型。这类学生在问题解决时将较多时间用于理解问题、计划,因此解决问题时思路清晰,认知效率较高。

聚类二群体特征:问题解决水平较高,但忽略了元认知能力的调节,理解问题显得冲动,没有深思熟虑就快速进入问题解决,结果在解决问题时花费更多时间和步骤摸索规则,降低了问题解决的效率。

聚类三群体特征:问题解决认知水平中等,潜力较好。他们花费较多时间在元认知培养上,在认真理解和计划后开始解决问题。其水平偏低的原因,可能是不熟悉问题情境或认知水平有待提高。交叉分析得知,这一群体年龄较小,心理和认识水平发展缓于高年级学生,未能很好地解决问题,但具备了元认知思维的意识。

聚类四群体特征:问题解决水平较低,认知加工水平也较低,且元认知能力不高,即没有养成思考与计划的习惯,在问题解决过程中没有理解问题与规则就贸然操作,在遇到困境时也没有反思与反复尝试,而是以较短的时间结束测试。

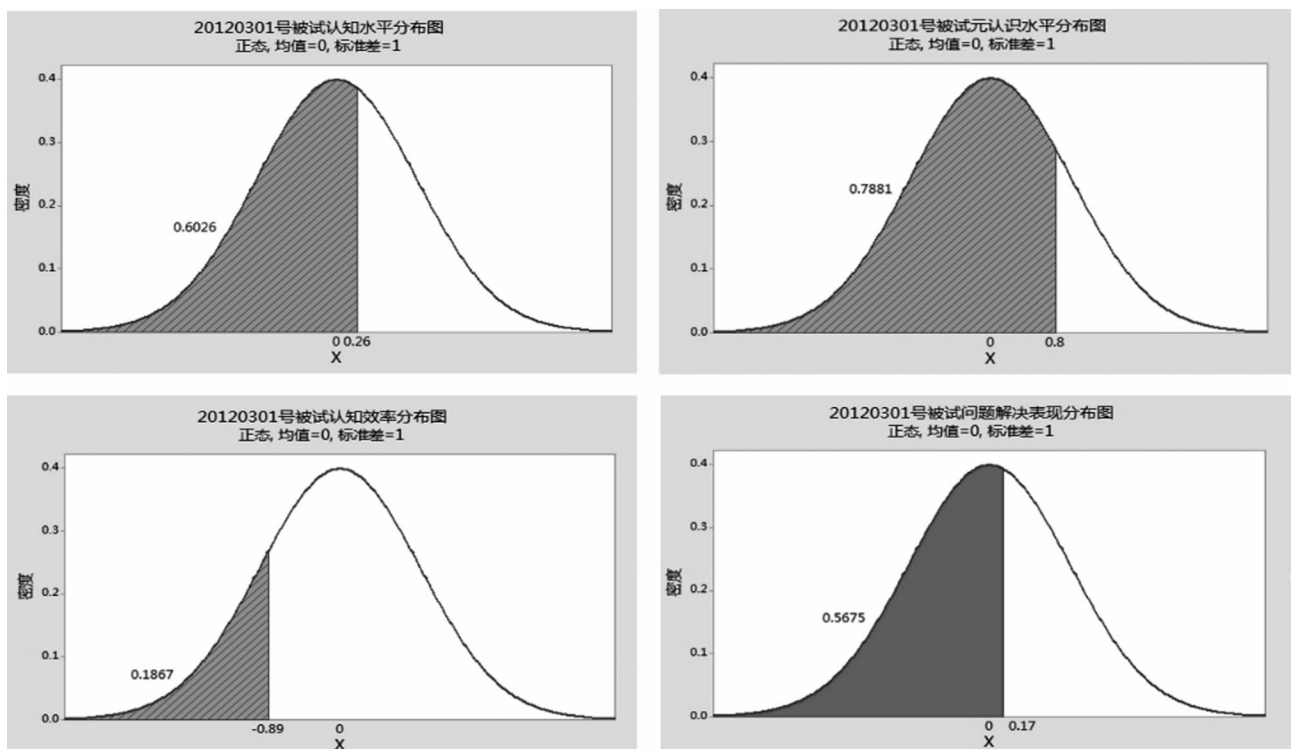


图3 被试 20120301 号问题解决表现结果

## (二) 问题解决认知技能

本研究通过 DINA 模型获得学生的问题解决技能掌握向量,“0”表示未掌握,“1”表示完全掌握。基于聚类结果对每个类别的四项认知技能进行分析,得到如表二所示的结果。

由表二可以看出,从问题解决认知技能视角展开的分析结论与前述从问题解决结果表现展开的分析结果基本一致,进一步验证了评价模型的有效性。具体来看,第一类群体,即问题解决能力较高的群体普遍具备四个属性技能;第二类群体需要在“表述与构思”上加强训练;第三类群体的“表述与构思”“计划与执行”较薄弱,这与第一层评价模型结论相呼应,学生注重思维加工训练,但具体执行时缺乏相应的认知加工能力,即第三类群体的元认知能力较弱,执行效率较低;最后一类群体的问题解决能力仅在“计划与执行”技能上掌握较好,后期访谈结果也显示,当水平较弱的学生进行问题解决时,由于对概

念与规则加工的失败,他们中的大多数采用反复尝试的方法进行问题解决,并在测试中尽力将那些仅需要简单执行的任务完成,而在“探索与理解”“表述与构思”“监控与反思”三个技能上,都因认知与元认知能力的薄弱使问题解决受阻。

## (三) 问题解决行为模式

为了与评价模型前两层的分析相映射,我们依旧按照四个类别对被试的日志数据进行分析:

第一个类别,“高水平—高效型”群体展现了“置身具有冲突的情境中→建构新的想法→新增信息→应用信息→自我监察”,一种可以称之为专家模式的信息加工过程。

第二个类别,“冲动—高效型”群体通过自我调节进行信息加工达到知识建构的目标,是一种通过反复重构实现问题解决的模式,其典型特征是不断自我调节。

第三个类别,“潜力—积极型”群体元认知能力

表一 认知、元认知、认知效率组类中心点位置、平均数以及标准差

变量	聚类 1 (n=97) 高水平—高效型			聚类 2 (n=277) 冲动—高效型		
	簇心	均值	标准差	簇心	均值	标准差
认知	0.99	1.46	0.23	0.35	0.25	0.41
元认知	1.34	0.76	0.98	-0.53	-0.25	0.78
认知效率	0.69	0.54	1.50	0.36	0.18	1.35
问题解决表现结果		2.76	0.58		0.18	0.45
变量	聚类 3 (n=148) 潜力—积极型			聚类 4 (n=32) 低水平—消极型		
	簇心	均值	标准差	簇心	均值	标准差
认知	-0.81	-1.02	0.26	-1.14	-1.90	0.09
元认知	0.12	0.02	1.04	-0.11	-0.16	1.36
认知效率	-0.88	-0.56	1.02	-0.96	-0.62	1.02
问题解决表现结果		-1.56	0.37		-2.68	0.69

表二 各组属性、性别及学业成就的描述性统计

技能	聚类 1 高水平—高效型 (n=97)		聚类 2 冲动—高效型 (n=277)		聚类 3 潜力—积极型 (n=148)		聚类 4 低水平—消极型 (n=32)	
	掌握程度	已掌握 (%)	掌握程度	已掌握 (%)	掌握程度	已掌握 (%)	掌握程度	已掌握 (%)
探索与理解	97	100	250	90.3	101	68.2	8	25
表述与构思	97	100	234	84.5	45	30.4	4	12.5
计划与执行	97	100	254	91.7	46	31.1	20	62.5
监控与反思	97	100	252	91.0	96	64.9	8	25

注:掌握程度越趋于 100% 表示掌握程度越好,趋于 0 表示完全未能掌握。

的缺乏,跳过了计划与调适阶段,依赖经验进行问题解决而忽略了新信息的加工,导致错误的解决过程,是需要后续加强元认知能力培养的对象。

第四个类别,“低水平—消极型”群体的问题解决过程大多呈现无序的片段状,总体来看存在无法找到问题的“差距”、缺乏元认知能力、缺乏不断自我调节等问题,后续可以采取针对性的训练强化其问题解决能力。

## 六、结论与讨论

### (一) 问题解决能力与认知能力紧密相关

所有的认知活动在本质上可以说都是以问题解决为导向的,因为人类的认知是有目的的,往往有其欲达成的目标,并且会消除达到目标之间的障碍。对问题解决内涵解构及信息加工过程分析发现,好的问题解决者在建构知识图式时,多以抽象概念存储信息,其长时记忆中拥有较多规则性概念知识。水平差的被试由于其建构的知识图式缺乏系统性,抽象表征较少且零散,难以搜寻及提取到相关表征解题,这其中也可能受年龄或经验不足的限制。因此,问题解决能力的优劣,与认知学习能力有一定关系。这也符合维果斯基的最近发展区理论,学生独立解决问题的能力代表认知发展的实力,而最近发展区代表学生认知发展的潜力,学生实际的认知发展水平可由其操作问题解决时所表现的成就决定,依托环境或教师等提供的支架,学生的认知发展能力呈现动态变化,同时伴随着思维的发展和知识的增加,问题解决能够促进学生的认知发展。

### (二) 问题解决与知识建构互相促进

一方面,问题解决过程中的知识建构促进了问题的解决。在问题解决中,个人以自身认知结构为起点,在与实验情境的互动中促进认知发展,完成个人任务所需的主题知识建构。这类似皮亚杰在认知发展理论提到的平衡过程,问题解决过程的平衡就是个人对于自己与任务环境进行的自我调节。被试在初识问题情境时,从外部输入的信息会破坏其自身认知图式的平衡,此时个体会依据已有认知图式解释外部输入信息,试图将其与原有图式整合,并形成新的认知结构。这一系列认知加工属于知识建构的同化过程,经常发生在具有先前知识的问题解决者身上。对于无先前知识的问题解决者,外部输入

的信息与其原有的图示及认知结构是相冲突的,简单的协调无法获得平衡,此时个体需要自我调节与修正,获得对外部信息的重新诠释与整合,这也是问题解决的重要环节。

另一方面,问题解决有助于知识建构。解决问题的过程可以看作是建构个体认知模型的良机,相应的学习过程不仅是为找到问题的答案。实践经验有助于学习者修正对概念的错误理解,促进关键性的概念转变(conceptual change)。问题解决过程需要经历重构先前知识、在重构的先前知识基础上建构新知识,再到形成解决问题的思路三个阶段。

(三) 以认知结构为视角的评价模型设计是有效的问题解决能力评价方式

上述三个模块的认知结构,是一个从概念广度、正确性、可得性、整合性、信息加工五个维度对问题解决能力进行分析的综合模型。在此模型下,被试问题解决认知结构呈现四个发展阶段:1) 概念发展期,即被试认知结构中概念的量与概念间的连结开始产生显著效果,也就是问题解决活动促进被试在概念储存与连结方面的显著发展;2) 元认知增强期,即被试运用元认知能力监控问题解决结果开始产生显著效果,即被试在不断地吸收、转化所接触到的概念与规则后,会大量使用元认知能力提取更多储存在认知结构中的概念,但元认知能力的大量使用不一定会一直持续,当被试可以建构较完整的认知结构且使用大量的高阶信息加工策略时,元认知能力的使用就不再明显;3) 认知结构整合期,即被试有更完整的认知结构,即解决问题对被试认知结构的整合出现显著效果;4) 认知结构淬炼期,即被试开始较多使用高阶信息加工策略,用以储存在问题解决过程中所接收到的概念,特别是修正和重构新信息。

### [参考文献]

- [1] Ali, L., Asadi, M., Gasevic, D., Jovanovic, J., & Hatala, M. (2013). Factors influencing beliefs for adoption of a learning analytics tool: An empirical study[J]. *Computers & Education*, 62:130-148.
- [2] Artz, A. F., & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups[J]. *Cognition and instruction*, 9(2): 137-175.
- [3] Bozoki, A., Radovanovic, M., Winn, B., Heeter, C., &

- Anthony, J. C. (2013). Effects of a computer-based cognitive exercise program on age-related cognitive decline[J]. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 57(1): 1-7.
- [4] Chandrasekaran, B. (1990). Design problem solving: A task analysis[J]. *AI magazine*, 11(4): 59.
- [5] 陈雪枫, 张厚粲(1998). 认知速度在智力结构中重要性的发展研究[J]. *心理科学*, 21(6): 485-574.
- [6] Culbertson, W. C., & Zillmer, E. A. (1998). The construct validity of the Tower of London DX as a measure of the executive functioning of ADHD children[J]. *Assessment*, 5(3): 215-226.
- [7] D'Zurilla, T. J., & Goldfried, M. R. (1971). Problem solving and behavior modification[J]. *Journal of abnormal psychology*, 78(1): 107.
- [8] EUROPEA(2006). Key Competences for Lifelong Learning-A European Reference [EB/OL]. [2006-12-30]. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiimJr7-LTLAhWBsIMKHRutBBIQFggrMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.erasmusplus.org.uk%2Ffile%2F272%2Fdownload&usq=AFQjCNF6PUyCeOrCNbcoBZ-ZVQl0mzZ\\_mw](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiimJr7-LTLAhWBsIMKHRutBBIQFggrMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.erasmusplus.org.uk%2Ffile%2F272%2Fdownload&usq=AFQjCNF6PUyCeOrCNbcoBZ-ZVQl0mzZ_mw).
- [9] Faradilla, D., & Johar, R. J. (2017). Analysis of students' ability in solving graph problems[M]. *Proceedings of AICS-Social Sciences, Sumatera, Zndonesia*, 7-15.
- [10] 顾小清, 张进良, 蔡慧英.(2012). 学习分析:正在浮现中的数据技术[J]. *远程教育杂志*, (1):18-25.
- [11] Greiff, S., Wüstenberg, S., Holt, D. V., Goldhammer, F., & Funke, J. (2013). Computer-based assessment of complex problem solving: Concept, implementation, and application[J]. *Educational Technology Research and Development*, 61(3): 407-421.
- [12] Greiff, S., & Scherer, R. (2018) Complex problem solving and its position in the wider realm of the human intellect[J]. *Journal of Intelligence*, (6):1-5.
- [13] Heppner, P. P., & Petersen, C. H. (1982). The development and implications of a personal problem-solving inventory[J]. *Journal of Counseling Psychology*, 29(1): 66.
- [14] Hertzum, M., Hansen, K. D., & Andersen, H. H. (2009). Scrutinising usability evaluation: Does thinking aloud affect behaviour and mental workload? [J]. *Behaviour & Information Technology*, 28(2): 165-181.
- [15] Hertzum, M., Hansen, K. D., & Sønderstrup-Andersen, H. H. (2009). Which is the better prompt in thinking-aloud studies [A]. Aarhus Universitet. Institut for Matematiske Fag[C]. PB: Datalogisk Afdeling, 30-33.
- [16] Heeter, C., Lee, Y. -H., Medler, B., & Magerko, B. (2013). Conceptually meaningful metrics: Inferring optimal challenge and mindset from gameplay game analytics[A]. In M. S. El-Nasr, A. Drachen, & A. Canossa (Eds.), *Game analytics: Maximizing the value of player data*[C]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 731-762.
- [17] Jeong, A. (2005). A guide to analyzing message-response sequences and group interaction patterns in computer-mediated communication[J]. *Distance education*, 26(3): 367-383.
- [18] Jacobson, M. J. (2013). Problem solving about complex systems: Differences between experts and novices[A]. In *Proceedings of the 4th International Conference of the Learning Sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 14-21.
- [19] Jonassen, D. H. (2011). Design problems for secondary students[R]. Utah: National Center for Engineering and Technology Education.
- [20] Keen, R. (2011). The development of problem solving in young children; A critical cognitive skill[J]. *Annual review of psychology*, (62): 1-21.
- [21] Leshner, A. F., Tom, S. R., & Kern, R. S. (2013). Errorless learning and social problem solving ability in schizophrenia: An examination of the compensatory effects of training[J]. *Psychiatry research*, 206(1): 1-7.
- [22] Luger, G. F. (2005). *Artificial intelligence: Structures and strategies for complex problem solving*[M]. Pearson education.
- [23] MacNeill, S. (2012). Analytics: What is changing and why does it matter[J/OL]. *CETIS Analytics Series*, 1(1). <http://publications.cetis.org.uk/wp-content/uploads/2012/11/Analytics-Vol1-No1-Briefing-Paper-online.pdf>.
- [24] Mandinach, E. B., & Gummer, E. S. (2013). A systemic view of implementing data literacy in educator preparation[J]. *Educational Researcher*, 42(1): 30-37.
- [25] Mayer C., & Mayer, E. (1992). Putting general education to work: The key competencies report[R]. Australia: Australian Education Council and Ministers for Vocational Education, Employment and Training.
- [26] Montague, M., & Applegate, B. (1993). Middle school students' mathematical problem solving: An analysis of think-aloud protocols[J]. *Learning Disability Quarterly*, 16(1): 19-32.
- [27] Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [28] Nichols, P. D. (1994). A framework for developing cognitively diagnostic assessments [J]. *Review of Educational Research*, 64(4): 575-603.
- [29] Peng, Y., & Reggia, J. A. (2012). Abductive inference models for diagnostic problem-solving[M]. *Springer Science & Business Media*.
- [30] Phillips, R., Maor, D., Cumming-Potvin, W., Roberts, P., Herrington, J., Preston, G., Moore, E. & Perry, L. (2011). Learning analytics and study behaviour: A pilot study[A]. In Williams, P. Statham, N. Brown & B. Cleland (Eds.), *Changing Demands, Changing Directions*[C]. *Proceedings ascilite Hobart*, 997-1007.
- [31] Polya, G. (1981). *Mathematical discovery: On understanding, learning, and teaching problem solving*[M]. New York: Wiley.
- [32] Preckel, F., & Thiemann, H. (2003). Online-versus paper-pencil version of a high potential intelligence test[J]. *Swiss Journal of*



Psychology/Schweizerische Zeitschrift für Psychologie/Revue Suisse de Psychologie, 62(2): 131.

[33] Ray, A. , & Margaret, W. (2003). Programme for international student assessment (PISA): PISA 2000 Technical Report [ R ]. OECD Publishing.

[34] Schmidt, R. , & Housen, K. (1995). Problem solving with dimensional analysis [ J ]. Physics Today, 48(7) : 21-25.

[35] Siemens, G. , & Baker, R. S. (2012). Learning analytics and educational data mining: Towards communication and collaboration [ A ]. In Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge. 252-254.

[36] Sinnott, J. D. (1989). A model for solution of ill-structured problems: Implications for everyday and abstract problem solving [ M ]. Praeger Publishers.

[37] Slade, S. , & Prinsloo, P. (2013). Learning analytics ethical issues and dilemmas [ J ]. American Behavioral Scientist, 57(10) : 1510-1529.

[38] Silver, E. A. (2013). Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives [ M ]. Routledge.

[39] Smith, V. C. , Lange, A. , & Huston, D. R. (2012). Predictive modeling to forecast student outcomes and drive effective interventions in online community college courses [ J ]. Journal of Asynchronous Learning Networks, 16(3) : 51-61.

[40] Sternberg, R. J. , & Frensch, P. A. (2014). Complex problem solving: Principles and mechanisms [ M ]. Psychology Press.

[41] Trilling, B. , & Fadel, C. (2009). 21st century skills: Learning for life in our times [ M ]. John Wiley & Sons.

[42] Venkataraman, B. (2009). Education for sustainable development [ J ]. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 51(2) : 8-10.

[43] 张春与 (1997). 现代心理学 [ M ]. 台北: 华东书局.

(编辑:李学书)

## Assessment Modeling and Empirical Research of Problem-Solving Ability Based on Learning Analytics

HU Yiling<sup>1,2</sup> & GU Xiaoqing<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Engineering Research Center of Digital Education Equipment, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Department of Education Information Technology, Faculty of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** As the digital revolution advanced to the data revolution, the superiority of information technology was also brought into full play. Besides the intelligence brought by the Internet of things and rich media, technically supported process observation means that we can observe subtle behaviors. Combined with the new calculating methods and techniques to mine and interpret these vast and inter-connected data, the researchers can gain more insight and decision-making analysis. In this context, on the basis of integrating implicit cognition, information processing and thinking features, this paper constructed the ability evaluation model to reflect the psychological image of problem-solving process, and developed a measuring tool to have the multidimensional evaluation of problem-solving ability. The validity of the model was verified by empirical study, and some effective conclusions was discussed.

**Key words:** the assessment of problem-solving ability; learning analytics; the measurement model