

CBA 情境中的问题解决能力测评及启示

首 新 胡卫平 陈明艳

【摘要】基于计算机的问题解决能力测评(CBA-PS)已成为PISA、NAEP等大规模测评项目评价问题解决能力的重要途径。基于问题解决的概念、CBA情境中的问题解决的特点,PISA、NAEP构建了各自的问题解决测评矩阵,二者表现出信息探索、过程监控、信息解释、分工协作等共通的要素。目前,CBA情境中的问题解决测评正从个体转向团体,这为我国基础教育质量监测建设、更新本土化的问题解决测评框架提供了重要启示。

【关键词】问题解决;计算机交互;测评;合作

【中图分类号】G40-058.1

【文献标识码】A

【DOI编码】10.16518/j.cnki.emae.2017.09.004

基于计算机的问题解决能力测评(computer based assessment of problem solving,CBA-PS)已经成为评价问题解决能力的必然趋势。CBA情境中的问题解决能力测评不仅仅展示了计算机技术的突飞猛进,更重要的是体现了社会各界对学习者的信息技术的基本要求。进入21世纪,信息技术技能已成为学习者必须掌握的一项基本技能,如美国制订的“21世纪技能”框架将“信息技术”看成其必备的一部分,其新颁布的《学生教育技术标准》更是将“问题解决与技术操作”列入6个能力素质之中;另外,欧盟也认为信息素养是核心素养不可或缺的一部分。因此,当信息技术技能与识字、读写能力一样成为基本要求时,CBA情境下的问题解决测评将得到大面积的推广。我国加入了PISA 2012和PISA 2015计算机问题解决测评,但相关研究尚待完善,本文以PISA和NAEP测评项目中的计算机问题解决测评为例,挖掘其背后的内涵和逻辑,以期为我国研究者设计本土化的、大规模的计算机问题解决能力测评框架提供实践指导和理论支持。

一、从“问题解决”到“基于计算机的问题解决”

“问题解决”就是一系列有目的的指向性的认知操作活动过程,这是认知心理学家普遍认同的观点。随着计算机的引入,问题解决过程需要考虑学习者信息技术技能,以及信息呈现的影响。一方面,学习者是在虚拟环境下识别、捕获信息,如果不适应这种学习方式,就有可能造成虚拟环境与自我二者关系矛盾的激化和失调,形成不适应感。有研究表明,学习方式是影响学生学业成就的重要因素^[1],因此,这种学习方式的不适应最终可能会导致测量不出学习者本该具有的问题解决能力。另一方面,在虚拟情境下,信息显得尤为重要,学习者必须获取完整的信息以供自己选择,当然,这时的信息有些是显性的,有些则需要学习者自己在虚拟情境中寻找。

对信息的重视已基本达成共识,而PISA和NAEP对学习者的信息技术技能却有不同的处理方式。

(一)融合信息技术技能的观点

戈德哈默(Goldhammer)认为^[2],CBA情境下的问题解决是指在富集信息技术的环境下(technology-rich environments,TRE),个体通过呈现、存储、交流符号信息等过程,同时基于技术工具和信息资源来解决一个给定信息问题。PISA 2015

本文为北京师范大学中国基础教育质量监测协同创新中心研究生自主课题(SXSP-2016A2-15001)阶段性成果。

首 新/陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室博士生,主要研究方向为科学教学心理。(西安 710062)

胡卫平/陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室教授,博士生导师,主要研究方向为科学教育、心理发展与教育。

陈明艳/重庆市渝北区天一新城小学科学教师。

在设计测试题时尽量弱化信息技术技能对测试结果的影响,认为CBA情境下的协作问题解决是指学生在与两个或多个虚拟人物沟通、分享对信息的理解,最终形成融合每个人知识、技能和成就的解决方案的过程。

由于融合了信息技术,因此在操作方面要求个体尽可能把信息技术技能对问题解决过程的干扰降到最低。但是问题解决过程需要与虚拟情境互动,而且互动过程还涉及到一些较为复杂的操作,这对部分学习者来说是一种挑战,学习者的互动操作水平将影响问题解决的过程与结果。

(二)分离信息技术技能的观点

既然信息技术技能对问题解决能力有影响,那么,分离二者就可以凸显真正的测试结果。班尼特(Bennett)专门为NAEP测评中CBA情境下的问题解决进行了定义^[3],将问题解决划分为两个维度——技术环境和内容领域。其中,技术环境包括:数据库、文本编辑程序、虚拟环境、信息的动态可视化、交互反馈、电子数据表、呈现和交流工具;内容领域包括:生物、生态、物理、热力科学、经济和历史。二者可以形成一个矩阵,形成3种问题解决能力:第一,信息与通讯技术(information and communications technology, ICT)素养,即熟练的计算机操作;第二,单一技术环境下的解决问题,如利用虚拟数据库或搜索引擎让学生收集某一问题的信息,问题可以是一个也可以是多个内容领域;第三,内容领域的问题解决,如让学生进行虚拟实验解决一个物理问题,让学生使用电子数据表解决一个经济问题等。这样,问题解决就是内容领域和ICT的融合。

(三)“基于计算机的问题解决”之核心要素

综上所述,基于计算机的问题解决可认为是:在计算机提供的人机交互的模拟问题情境中,具备基本信息技术技能的学习者根据计算机的反馈解决虚拟现实问题的过程。这一过程有4个核心要素:

(1)模拟问题情境,即创设一种有问题的情境激发问题解决过程。问题情境应该是简单的、真实的、与日常生活联系的,且基于情境的问题

解决过程应该是逐步螺旋进阶的,能够甄别被试的问题解决能力。

(2)ICT素养。一方面应尽量简化计算机操作,使具备基本ICT素养的学习者都能运用计算机完成问题解决任务,另一方面也可分离ICT素养对问题解决的影响,抽离出信息技术技能和问题解决能力,分别进行评价。

(3)评价问题解决的认知过程,即评价解决问题过程中的心智结构、过程、路径变化,程序上讲就是获取和评价信息、制订计划、监控过程、自我组织、呈现结果、表达交流等。

(4)自适应反馈。计算机能够记录并反馈被试的问题解决过程,如果被试做错试题,计算机逐步帮助被试回归到正确的问题解决路径上,但相对应阶段的得分会降低。

二、CBA情境中问题解决的特点

(一)问题信息化

CBA情境中问题解决的一个主要特征就是,学习者必须通过与计算机所提供的虚拟的、陌生的环境互动来了解、寻求、发掘相关信息,也就是说问题解决过程是寻找、获取和分析信息的过程。在这种情境下,获取和分析信息显然已经超越了传统的推理过程,与解决逻辑问题、数学问题的推理过程有了本质区别,传统的基于推理的技能显然不够用,学习者必须支配更高级别的认知过程来解决信息问题。

(二)环境交互化

CBA情境中问题解决的另一个重要特征是,学习者与虚拟环境的动态交互。一般而言,常规问题依靠符号的形式便可以解决,但虚拟环境下的问题多是非常规的,学习者必须与计算机互动,从动态情境中解决问题。计算机提供的交互式、动态式情境是传统纸笔测试所不能比拟的,这种交互性测评更看重学习者从外界获得信息,加工信息,从而形成新信息的途径和方法。这一过程是概念、判断、推理等思维形式整合而成的综合认知过程,是类比问题解决或创造性问题解决过程。

(三)思维高阶化

在前两个特征中笔者零散地提到了问题解决的高级认知过程,其实这就是思维的高阶化。在谈论高阶化之前,我们需要先厘清问题解决能力与一般认知能力的关系。一般认知能力起源于斯皮尔曼二因素理论中的 g 因素,其本身的操作定义是处理信息的能力,包括感觉能力、知觉能力、记忆力、注意力、想象力等等。早期的研究者认为问题解决能力就是一般认知能力,因为它们有着共同的认知过程,但是后来,研究者发现问题解决与一般认知能力的不同在于,仅仅依据一般认知过程进行信息处理是不能解决问题的,特别是对非常规问题而言。CBA情境下的问题解决研究也显示,问题解决已超越推理过程^[4],如格雷夫(Greiff)通过实验研究显示^[5],一般认知过程与问题解决只有边缘性相关,在控制了ICT素养对问题解决的影响之后,问题解决相比一般认知过程能更好地预测外部教育标准。

因此,问题解决与一般认知过程有着本质区别,它依赖高级认知过程,本质上是批判性、创造性的思维过程。一般认为,问题解决有自己独特的过程,它是一系列不同的认知过程交叉融合形成的高阶思维过程,如进行计划、实施分析、组织策略、自我管理、表达交流等。

三、CBA情境中问题解决能力测评的过程

(一)NAEP与PISA 2015的差异

NAEP构建的问题解决包括科学探究、ICT技能两个要素,分别对应内容领域和技术领域,这与前述的定义一致。富集信息技术环境(technology-rich environments, TRE)中的科学探究并不是对计算机程序的探究,从而分离出ICT技能而着重评价问题解决的能力,但ICT技能贯穿于整个问题解决过程之中。NAEP把内容领域的科学探究看成问题解决过程,把科学探究狭义化,称之为“科学探究的问题解决过程”,主要包括发现给定主题的信息、判断相关信息、计划并实施实验、自我监控、组织和解释结果、形成前后连贯一致的解释等6个过程。可以看出,这一过程比一

般的科学探究过程更为细化,它侧重信息、监控、解释的重要性,这也是计算机环境下问题解决所强调的。

NAEP还设计了两种形式的问题解决“脚本”——探索和模拟(search & simulation)。相比而言,探索比模拟更为主动。在探索程序中,学习者需要在虚拟搜索引擎中发掘信息,辨别真伪信息,寻求证据支持或反驳某一观点,而这本身就是一个探索过程,没有支架式的帮助;而在模拟程序中,学习者或多或少会得到计算机提供的支架式帮助,如果答题路径错误,计算机帮助学习者改正,或者呈现正确的答案,以便学习者进行后续的模拟实验。

与NAEP相比,PISA 2015中的问题解决测评已经超越了科学探究,更为一般化。PISA 2015的问题解决过程与PISA 2012大致相同,二者的不同之处在于PISA 2015在问题解决过程中新加入了“协作”,形成了3种协作问题解决能力:相互理解以建立并维护共享性、采取适当的措施解决问题、建立并维护团队组织。3种协作问题解决能力与4个问题解决过程结合在一起,构建成了一个二维矩阵,形成了协作问题解决能力。在这一二维矩阵中,每个问题解决过程都会考查学习者与虚拟人物合作过程中的协作问题解决能力。

首先,在探索和理解阶段,学习者要善于发现小组成员对当前问题的看法,并集合各种观点建立小组共识。达成共识的过程是小组互动、畅所欲言并最终建立问题解决目标的过程。通过讨论,小组已计划好了初步的措施和分工,对问题解决中的自我行为和功能有清楚的认识。

其次,在表征和阐述阶段,小组成员应对每一阶段的任务和行为有一致的认识,理解问题的约束条件,并根据已有的条件详细地描述问题解决过程。同时,根据小组成员的特质,学习小组要树立好分工规则,让每位成员都能根据自我的特质完成任务,以实现最优表现。

再次,在计划和实施阶段,每位成员采取行动的过程中可能会有突发情况,因此,小组成员间要时刻保持交流,并适时地修改计划,或者是

为突发任务重新制订计划。交流也是对突发事件解释、商讨、审辩的过程,以便创生出最优的解决方案。此外,突发情况下,学习者还要执行新的分工规则,以考察其团队组织能力。

最后,监控和反思阶段,包括学习者对自身行为的监控、对小组其他人员的监控、对整个问题解决过程的监控。监控过程其实也是反思过程,学习者要根据任务的完成情况组织小组成员分工协作,反思自身行为是否有助于事件发展、小组分工是否合理、问题解决目标是否达成等等。

(二)NAEP 与 PISA 2015 CBA 情境中的问题解决过程

NAEP 和 PISA 2015 设定的问题解决过程如表 1 所示。我们可以发现,二者都遵循从激发信息到解释信息的过程,并且都会考察问题解决过程中的认知策略和监控策略。结合 NAEP 和 PISA 的观点,CBA 情境中的问题解决过程通常遵循以下步骤:

首先是进行信息探索。即基于信息来探索一个给定的问题,无信息便无测试过程,信息充当的是问题解决的催化剂,合理的收集和处理信息可以促进问题解决,而错误的估算和分析信息会阻碍问题解决。挖掘信息及信息之间的关系就是问题解决过程,这一过程包括从信息中提出问题、寻找信息、评估信息、分析信息等。

其次是过程监控。这里的监控不同于纸笔测试中的视频监控和教师监控,也不同于学习者在笔试时的时间监控和策略监控,它是指在与计算机的交互过程中,程序会自动记录被试的操作路径,间接监控其思考过程,为后续的样本分析提供数据支持。进一步讲,监控过程也是协助过程,若发现被试对信息估算错误,程序还会提示潜在的正确路径。也就是说,计算机一方面可以监控学生的问题解决认知过程,另一方面还可以利用技术提供支架(如呈现帮助菜单、历史菜单)让学生自我监控整个问题解决过程。

最后是信息解释。它是上述“信息探索”的归属和问题解决的关键过程。通过探索信息得到一

些数据、现象后,学习者需要基于问题对这些数据、现象进行合理的解释,并进一步推论结果。

而分工协作贯穿于整个过程之中。虽然 NAEP 还没有探讨如何模拟问题解决过程中的分工协作,但 PISA 2015 在 PISA 2012 问题解决的基础上提出了协作式问题解决,这是对 21st 技能“学会合作”的积极回应。合作意识不仅衍射出一种对他人的积极态度,体现出与集体、与同行相处的能力,更呈现出一种博大的胸怀。不会分工协作、不会与他人合作的人往往心中只有自我,能处理一般事务,但面对需要分工协作的复杂问题时,便展现出缺乏集体归属感和社会责任感的状态。当今社会不管是生活问题还是科研问题都变得越来越复杂,学会合作是解决复杂问题的必然趋势,我们应该重视这种交叉融合的能力。

表 1 NAEP 和 PISA 2015 的问题解决过程及差异

NAEP	PISA 2015	过程要素	
发现给定主题的信息	探索和理解	信息探索	分工协作
判断相关信息			
计划并实施实验	表征和阐述	过程监控	
	计划和实施		
自我监控	监控和反思	信息解释	
组织和解释结果			
形成前后连贯一致的解释			

四、团队协作问题解决测评

(一)测评的可行性

在计算机协作问题解决测评出现之前,团队协作表现性测试主要以“有声思维”为主,被试自我报告结果。但是,由于有声思维报告具有主观性,团队协作表现性测试不能客观反映成员之间的协作与互动以及活动共同体。后来,人们开发了一些图表工具进行协作问题解决测试,如 KU-Mapper^[6], knowledge mapping tools^[7]等,这些工具可以捕捉协作问题解决过程中团队成员的协作路线以及个体真实的合作水平。

那么,CBA 情境下学习者是否愿意协作呢?比尔(Beer)等人研究发现^[8],计算机虚拟情境本

CBA情境中的问题解决能力测评及启示

身具有探索性,能够吸引学习者相互协作,潜移默化之中鼓励协作。戴瓦拉吉(Devaraj)的研究也发现^[9],学生倾向于使用技术来提高相互之间的协同合作,但是,由于任务过于简单或团队协作并非强制性的,有些学生不用协作也可以完成某些计算机测试任务。米勒(Miller)发现^[10],在某些简单任务中,学生的协作很少,有些协作仅仅是为了统一小组答案。另一些实证研究发现^[11],通过资源共享和互动,协作性问题解决能够达到很好的效果,也就是说,团队成员间的资源共享与互动能促进协作性问题解决。因此,只要在CBA情境中设计结构良好的资源共享和互动机制,便可达到测试目的。

(二)测评模型

上述资源共享和互动机制可以用共享心智模型(shared mental models, SMM)来解释,树立共享心智模型是团体表现良好的重要指标^[12]。共享心智模型能反映成员的心智建构过程,个体为了构建自我的主观合理观点,同时也会构建一个自我的内部模型(individual mental model, IMM),这一模型整合了个体与其他成员相关的语义性知识,并且能适应环境的需求做出调整。SMM和IMM共同作用于协作问题解决过程(如图1所示),IMM主要整合了个体的陈述性知识、程序性知识、因果性知识、元认知知识,四种知识重叠组合形成基于任务共享的SMM和基于团队成员共享的SMM,这两种SMM是成员间交流与互动的结果(如协商、合作、讨论、争辩、共同抉择),最终会形成团队行为。团队的各种行为最终反映团队协作式问题解决的水平。

(三)测评案例

下面以PISA 2015的一道计算机协作问题解决试题为例对上述模型加以说明。依据交互对象,我们可以把计算机情境中的团队协作分为与同伴协作、与虚拟人物协作两类,由于团队协作计算机测试尚处于发展阶段,PISA 2015设计了较为简单的学习者与虚拟人物协作程序。图2是一个协作问题解决的例子——访问。界面主要分为左右两部分,左边是与虚拟同伴的对话框,学生可以根据对话内容选择合适的回答(从几个给定的回答选择)进行问题探讨或实施调查,每个回答都会形成不同路线完成整个任务;右边是任务框,学生依据对话内容可以监控任务的进程。“访问”任务提供的情境是:一名国际学生代表团

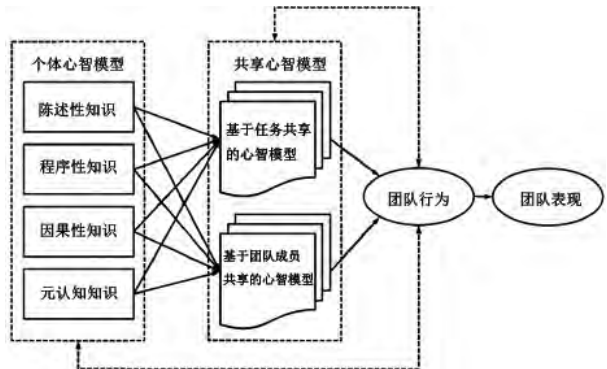


图1 协作式问题解决中的SMM和IMM模型及其关系^[12]



图2 PISA 2015中的协作式问题解决界面(部分)——访问

将要访问我们学校,你需要和3名学生代表、1名教师协商访问计划,安排访问流程,并对突发情况进行有效处理。

上述案例中,学习者的个体心智模型的形成主要受3名虚拟人物提前设定的影响,当学习者选择赞同某一人物的观点时,便会形成一种特定的问题解决路径,其间会受到另一些人物观点的误导,最终在交流之中形成基于团队成员共享的心智模型,这一模型是问题解决的基础,决定着问题解决的走向和水平。由于任务驱动,基于任务共享的心智模型和基于团队成员共享的心智模型共同作用于团队行为,表现为解决突发问题时所陈述的观点。最终,上述访问流程的制定、对突发情况的处理形成了团队表现。但是,由于PISA 2015有设定虚拟人物,还没有达到测评团队表现的高度,这种协作测评主要还是考查个体在团队协作中的表现。

五、思考与启示

(一)基于问题解决认知过程建立适用于CBA情境的评价指标

NAEP和PISA测评项目在其测试框架中对问题解决概念、认知过程都有详细的阐述,它们也据此建立了完整的评价指标。我国在制定类似的测试框架时同样需要梳理其概念和认知过程,并基于国内学者的相关研究提出本土化的概念。不仅如此,我们在继承国际测评项目所述的问题解决认知过程时,不应仅限于了解学习者的问题解决能力,更重要的是利用计算机技术洞察问题解决的过程,从中发现问题解决与其他思维的关系。

另外,计算机所提供的日志数据和详细记录的操作路径展示了问题解决的具体过程,我们应充分挖掘这些数据分析学习者的问题解决策略、问题解决路径的选择过程、选择问题解决方法的差异等等。但是,评价指标一般来源于认知心理学界对问题解决的划分,与计算机所提供的详实数据相比,这些问题解决过程和阶段的划分未免过于简单。因此,我们还要兼顾测评的和认知心

理学的研究结果,建立更深刻的问题解决认知模型,使测评指标能够真正反映问题解决的认知过程。

(二)深刻理解CBA情境中问题解决测评的特点

前述问题信息化、环境交互化、思维高阶化是CBA情境中问题解决最基本的特征。不过,在实际操作中,我们需要考虑更多。回归问题解决本身,首要关注的便是学习者作为个体所表现出的关于思维和方法的习惯,如一个热爱数学课程的学习者可能更信任逻辑方法而缺乏寻找信息的方法,一个实验课程爱好者对证据的偏好可能促使他更倾向于寻找问题信息,这种习惯是长期积累而来的,它富有对学科信任、归属及忠诚的底蕴。因此,在设计试题时,我们不要固着于微观的、细节的、具体的、技巧的学科方法和思维,如物理学公式的推导技巧,因为这些偏重学科记忆性的技巧学习者可能会忘记,但是组块式的、形成模式的、迁移性强的方法则会跨越学科界限沉淀于学习者思维之中,这才是我们要测评的问题解决能力。

另外,我们还应该避免披着问题解决的外衣去测评基础知识和基本技能,虽然知识和技能的完备是形成更高级原理、规则的基础,但是问题解决本身就已然超越了一般认知过程,我们更不应止步于基础的知识 and 技能。

(三)寻求CBA情境中问题解决测评的范式

上述测评项目对问题解决的概念化界定和测评促进了其研究,但是其发展还需要更多地依靠技术创新并融入大规模计算机测评之中。目前来看,CBA情境中的问题解决测评还没有形成清晰的、发展性的研究基础,其内涵和定义不能统一,也没有广为接受的内容框架指导其发展,如从PISA 2003到PISA 2015,问题解决测评经历了纸笔测试到计算机测试的发展,其内涵也由个体转向个体间的协作,评测环境和指标都在不断发展。进一步而言,虽然计算机情境下我们可以测量到纸笔测验和多重选择测验所不能捕捉的技能,但计算机测试想超越纸笔测验还有待时日。

另外,从大环境来看,计算机评价是一个相对较新的互动领域,学生在计算机测试过程中会产生许多额外信息,而研究者仅仅才开始探索如何从成千上万的琐碎信息中寻找所需求的。

因此,在没有形成研究范式之前,我们应抓住机遇,融入国际研究趋势,提出易于迁移的、更具有通用性的观点,开展丰富的、系统的、进阶的研究,追赶上基于计算机的问题解决测评这一研究领域。

参考文献:

- [1] Kolb D. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development* [M]. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1984.
- [2] Goldhammer F. et al. The Time on Task Effect in Reading and Problem Solving is Moderated by Item Difficulty and Ability: Insights from Computer-Based Large-Scale Assessment [J]. *Journal of Educational Psychology*, 2014, 106(3).
- [3] Bennett R.E., Persky H., Weiss A. & Jenkins F. Measuring Problem Solving with Technology: A Demonstration Study for NAEP [J]. *Journal of Technology, Learning, and Assessment*, 2010, 8(8).
- [4] Sonnleitner P., Keller U., Martin R. & Brunner M. Students' Complex Problem-Solving Abilities: Their Structure and Relations to Reasoning Ability and Educational Success [J]. *Intelligence*, 2013(41): 289-305.
- [5] Greiff S. et al. The Computer-Based Assessment of Complex Problem Solving and How It Is Influenced by Students' Information and Communication Technology Literacy [J]. *Journal of Educational Psychology*, 2014(2): 364-379.
- [6] Taricani E. M. & Clariana R. B. A Technique for Automatically Scoring Open-Ended Concept Maps [J]. *Educational Technology Research and Development*, 2006(54): 65-82.
- [7] O'Neil H. F., Chuang S.-H. & Baker E. L. Computer-Based Feedback for Computer-Based Collaborative Problem Solving [M]. New York: Springer, 2010: 261-280.
- [8] Beer M., Slack F. & Armit G. Collaboration and Teamwork: Immersion and Presence in an Online Learning Environment [J]. *Information Systems Frontiers*, 2005(7): 27-37.
- [9] Devaraj S., Easley R. & Crant J. How Does Personality Matter? Relating the Five-Factor Model to Technology Acceptance and Use [J]. *Information Systems Research*, 2008(1): 93-105.
- [10] Miller T. *Formative Computer-Based Assessments: The Potentials and Pitfalls of Two Formative Computer-Based Assessments Used in Professional Learning Programs* [D]. Dissertation Abstracts International, 2009.
- [11] Salas E., Cooke N. J. & Rosen M. A. On Teams, Teamwork, and Team Performance: Discoveries and Developments [J]. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2008(50): 540-547.
- [12] Ifenthaler D. et al. Toward Automated Computer-Based Visualization and Assessment of Team-Based Performance [J]. *Journal of Educational Psychology*, 2014(3): 651-665.

Assessment and Enlightenment of Problem-Solving Abilities in Computer Based Large-Scale Assessment Programs

Shou Xin, Hu Weiping, Chen Mingyan

Abstract: Computer based assessment of problem solving (CBA-PS) becomes a major method of measuring and evaluating problem solving in large-scale assessment programs such as PISA and NAEP. Based on the concept of problem solving and its features in CBA, CBA-PS matrix constructed by PISA and NAEP respectively, some common elements such as information exploration, process supervision, information interpretation and collaboration are showed. Nowadays, the assessment of CBA-PS is moving from individual to group, which provides us with important enlightenments in constructing and updating local evaluation framework of problem solving.

Keywords: problem solving, computer interactive, assessment, cooperation

责任编辑/王彩霞