

# 化学学科能力及其表现研究

王磊<sup>1</sup> 支瑶<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学 化学学院/未来教育高精尖创新中心, 北京 100875; 2. 北京市海淀区教师进修学校, 北京 100097)

**摘要:**本研究构建了化学学科能力的内涵构成及其活动表现与的系统模型;确立了“学习理解、应用实践、迁移创新”导向的化学学科能力要素及其表现指标,基于 Rasch 模型开发学科能力表现测评工具,获得高中生化学学科能力表现的大样本数据,诊断学生“学习理解、应用实践、迁移创新”导向的化学学科能力表现水平现状,明确在当前课程教学条件下学生化学学科能力发展存在的突出问题,提出促进学生学科能力发展的化学教学改革建议。

**关键词:**化学学科能力;核心素养;能力表现;认识发展性教学

中图分类号:G633.8 文献标识码:A 文章编号:1673-1298(2016)04-0046-11

DOI:10.14082/j.cnki.1673-1298.2016.04.008

《教育部关于全面深化课程改革 落实立德树人根本任务的意见》中指出,“教育部将组织研究提出学生发展核心素养体系,明确学生应具备的必备品格和关键能力”,“根据核心素养体系,明确学生完成不同学段、不同年级、不同学科学习内容后应该达到的程度要求”。可见,建立学科内容与核心素养的关联,基于学科特定的认知或特定的活动将能力发展目标具体化,是深入推进基础教育课程改革必须面对和解决的问题。

为了明确化学学习对学生能力和素养发展的贡献,描述学生化学学科能力素养的发展路径,了解学生化学学科能力素养的发展现状,并在此基础上开展基于学科能力素养的评价和指向学科能力提升的教学改进研究与实践,课题组<sup>①</sup>开展了“中学生化学学科能力表现研究”。几年来,课题组围绕内涵实质、知识经验基础、活动表现等化学学科能力的基本问题进行理论研究,研制了化学学科能力表现指标体系,开发了测评工具,选取部分省市中学生样本进行了测试研究,并在实验学校开展了促进化学学科

能力发展的教学改进研究与实践。本文概要介绍其中的部分成果。

## 一、化学学科能力构成及其表现的理论研究

### (一)已有研究概述

国外有关科学领域学科能力及其表现的研究主要反映在科学教育研究期刊、科学教育课程文件和科学学业成就国际测试评价中,内容涉及科学思考、科学素养、科学学业成就的内涵、表现和进阶。科学教育研究期刊的代表性论文涉及以下科学能力:批判思维能力<sup>[1]</sup>、问题解决能力<sup>[2]</sup>、科学推理能力<sup>[3]</sup>、表征能力<sup>[4]</sup>、科学探究能力<sup>[5]</sup>、论证能力<sup>[6]</sup>、得出结论的能力<sup>[7]</sup>、控制变量的能力<sup>[8]</sup>等。

美国《国家科学教育标准》对学生在科学教育领域的的能力要求包括理解科学知识,用科学推理做出决策、进行解释,以科学合理方式行动,具备科学信息和基于科学信息推理以架构、计划和实施探究等。<sup>[9]</sup>NRC 提出科学能力主要包括知道、使用和解

收稿日期:2016-04-28

作者简介:王磊(1963—),女,北京人,北京师范大学化学学院/未来教育高精尖创新中心教授,主要从事科学教育和化学教育研究, E-mail: wangleibnu@126.com;支瑶(1970—),内蒙古人,北京市海淀区教师进修学校副校长、化学教研员,博士,主要从事化学教育研究。

基金项目:本文系由国家社会科学基金“十二五”规划 2011 年度教育学重点课题“中小学生学科能力表现研究”(课题批准号 AHA110005)资助。总课题由北京师范大学王磊教授主持,9 个学科组成的学科教育团队协同研究。

<sup>①</sup> 本课题为“中小学生学科能力表现研究”子课题之一,由北京师范大学化学教育研究所王磊教授主持,核心成员有支瑶、张荣慧、姜言霞、陈颖、胡久华、黄燕宁、赵河林、王澜、周冬冬、史凡等。

读对自然界的科学解释,产生和评价科学证据与解释,理解科学知识的本质和发展,高效地参与科学实践和科学论辩四个方面。<sup>[10]</sup>科学共同课程框架(草案)中指明了所有学生在高中毕业时应该学完的知识和实践。包括维度一,强调具体学科观念,将学科观念分成了物理科学、生命科学、地球和空间科学以及工程和技术科学四个领域。维度二,贯穿科学学科并带有应用性的交叉概念。维度三,描述科学和工程学实践。该标准将科学探究扩展到科学实践,科学实践用于发展科学理论,形成新的研究领域,以及问题解决和探究策略。既包括探究过程中的认知性的实践活动,也包括物理性的实践活动等。具体的科学实践能力包括:提出问题、构建模型、变换可检验的假设、收集、分析和处理数据、形成和评判争论、交流和理解科学和技术文本、应用科学知识等。<sup>[11]</sup>

国际重要学生学业成就测试对学科能力及表现的要求:(1)TIMSS(2015)的科学测试框架由认知水平和内容领域两个主要方面构成。内容领域包括:生命科学、化学、物理和地球科学。认知水平包括:知识知道、应用和推理。(2)PISA(2015)的科学测试强调在现实生活中创造性运用基本知识的能力,围绕科学素养的四个方面:科学知识、科学态度、科学能力和情境脉络。其中科学知识通常指用作理解主要事实、概念及解读理论的基本科学知识。包括自然界的知识及科技工艺的知识(即内容知识);所有科学探究形式里的程序和使用策略的陈述性知识(即程序性知识);以及如何在科学学科中进行辩证和确认的陈述性知识(即认识观知识)。其测评内容包含物理学系统(包含物理、化学两门学科)、生物学系统以及地球与太空科学系统。科学能力特指科学地解释现象、评价和设计科学探究、科学地阐述资料 and 证据。科学态度包括对科学的兴趣、对科学探究的评价以及对环境的觉知。(3)NAEP(2009)评价框架由4个部分组成:学科领域(地球、物质和生命科学),知与行能力(概念理解、科学研究、实际推理),科学本质(科学和技术发展史、体现科学和技术特征的思维习惯、探究方法和问题解决),统一的概念(模型、系统、变化方式)。NAEP(2009)评价框架中的物质科学领域含有“物质”“能量”和“运动”三大主题。科学能力维度包括“识别科学原理”“运用科学原理”“运用科学探究”“运用技术设计”,此框架描

绘了期待学生在这四类科学能力上的表现。还提出了4种认知(知识)类型:陈述性知识、程序性知识、图式知识和策略性知识。

国内学者关于化学学科能力及其表现的研究,主要是基于冯忠良先生的类化经验论的能力观<sup>[12]</sup>界定化学学科能力的内涵。例如,王磊认为化学科学能力是对化学科学活动起到直接的稳定的调节作用的个体心理特性。<sup>[13]</sup>王祖浩、杨玉琴认为化学学科能力是学生在学校化学学科的认知活动或化学问题解决活动中形成和发展起来的,并且在这类活动中所表现出来的比较稳固的心理特征,同时它本身就是成功地完成这类活动所必须的条件。<sup>[14]</sup>关于化学学科能力的构成主要包括接受、吸收、整合化学信息的能力,分析和解决化学问题的能力,化学实验与探究能力<sup>[15][16]</sup>;化学观察能力、化学实验能力、化学抽象思维能力、化学微观想象能力、化学自学能力、化学应用和创造能力<sup>[17]</sup>等。

综观已有的关于科学能力和化学学科能力的研究成果,国际上比较侧重对于一般科学能力的测评研究,缺少对化学学科能力构成和表现的研究;国内关于化学学科能力的研究比较多理论探讨,缺少实际测评研究;比较偏重某种能力的研究,缺少能力表现、内涵实质和知识经验的整合研究。

## (二)基于学习理解、应用实践、迁移创新的化学学科能力及其要素

学科能力是指学生顺利进行相应学科的认识活动和问题解决活动所必需的、稳定的心理调节机制。学科能力表现是学生完成相应学科认识活动和问题解决活动的表现,实质为核心学科知识和经验在各类能力活动中的表现。

化学学科的认识活动和问题解决活动可以概括为:(1)知识和经验的输入——学习理解活动,学习理解活动的关键心理操作要素有:观察、记忆、提取信息;概括、关联、整合;说明、论证、推导等。(2)知识和经验的输出——应用实践活动,其中的关键心理操作要素有:分析、解释;推论、预测;设计、证明等。(3)知识和经验的高级输出——创新迁移活动,包括复杂推理(综合问题解决);系统探究(问题假设、系统设计实施、建立模型);创造性思维(批判性思考、评价、反思;想象、创意、发现远联系等)。

由此,提出化学学科的学习理解能力、应用实践能力和迁移创新能力的概念及其要素,如下:

化学的学习理解能力是指学生顺利进行知识和经验的输入和加工活动的的能力。具体能力要素包括:辨识和记忆、概括和关联、说明和论证等学习理解活动。

化学的应用实践能力是指学生能够进行知识经验的简单输出活动,完成特定学科活动、以及应用学科核心知识经验分析和解决实际问题的能力。具体包括:分析和解释、预测与推论、选择并设计问题解决

决方案等应用实践活动等能力要素。

化学的迁移创新能力是指学生能否利用学科核心知识、活动经验等,解决陌生和高度不确定性问题以及发现新知识和新方法的能力。具体包括复杂推理、系统探究、创新思维(发散思维、想象、创意设计、批判思考、远联系发现)等能力要素。

由此,我们可以得到如表1所示的3×3化学学科能力要素内涵及表现指标。

表1 化学学科能力要素

能力要素		内涵及表现指标
A 学习 理解 能力	A1 辨识记忆	辨识:在已知信息中提取有关知识;从已知信息中选出适当的例子以对应相关的陈述;对观察到的现象进行描述和分类;从图表或其他途径中提取信息。 记忆:从长期记忆中提取具体知识或活动检验原型;识别或确认关于事实、关系、过程和概念的准确表述、原型和程序经验。
	A2 概括关联	概括:对物质、性质、现象、数据等进行正确分类,提炼、归纳类别中各成员的共同本质特征。 关联:展示相互关联的原理或概念之间的关系,展示出原理的不同表征形式和数据模式之间的关系(例如:语言、符号、图表等);展示出原型的目的和操作之间的关联。
	A3 说明论证	用已有知识经验推导、说明、阐释目标知识;基于信息(包括实验事实、数据)给出的证据来证明和说明目标知识;论证原型方案和方法的合理性,完整复述活动原型。
B 应用 实践 能力	B1 分析解释	用物质性质、概念、原理等分析解释具体的事实、现象和简单的实际问题;分析近变式活动程序的合理性及其原理;分析近变式的活动程序经验。
	B2 推论预测	使用物质性质、概念、原理预测现象或事件结果;基于证据,结合对核心知识的理解得出能满足问题或假设的合适的结论,体现出因果关系;对近变式实施局部任务(如:预测形式和变量关系,根据假设提出方案获取证据,等)。
	B3 简单设计	对活动经验原型进行近迁移,为回答科学问题或检验假设,设计适合的实验方案;描述或识别良好的方案设计;对实施探究时需要的使用的仪器、采取的操作程序等作出决策。对近变式完整执行任务(如,完整设计方案)。
C 迁移 创新 能力	C1 复杂推理	运用物质性质、概念、原理等核心知识,经过多角度分析、多步系统推理解决情景陌生、综合度高的复杂问题。分析复杂的远变式活动程序的合理性及其原理。
	C2 系统探究	对活动经验原型进行远迁移,为解决科学问题进行系统探究,包括提出假设、设计并实施方案、获取证据、得出结论、开展评价反思等。针对复杂的远变式,系统执行任务——完整设计方案、从提出假设到获取证据的完整执行。
	C3 创新思维	建立远联系:建立不同知识、相关表征之间的远联系,综合知识、概念、程序以建立结论、发现新的知识或规律。 进行想象创意:对物质微观状态(微观粒子)的想象(例如:碰撞、反应历程等);基于物质用途的宏观想象,提出新颖的物质性质应用的思路。 进行创意设计:基于核心知识或活动经验原型设计解决或解释新颖的科学问题或者联系较远的问题,突出设计的新颖性或发散性。 针对复杂的远变式,设计有新颖的方案或发现新的规律,结合不同类型的活动经验解决陌生问题。

(三) 基于类化经验和认识方式的化学学科能力内涵实质

依据能力类化经验说,化学学科能力是指个体能够顺利地、完成特定的化学学科认识活动和解决问题任务的稳定的心理调节机制,具体包括定向调节机制和执行调节机制,其中陈述性知识是定向调节机制的基础,程序性知识和策略性知识是执行调节机制的基础。所以,化学学科能力的内涵基础是结构化和类化的核心知识以及核心活动经验。

本研究认为,知识成为学科能力还依赖于知识能否转化为学生自觉主动的认识方式。认识方式是个体对客观事物能动反映的方式,是学生在思考和处理问题时,所表现出来的倾向于使用某种思维模式或是从一定角度来认识或解决问题的信息处理对策或模式。认识方式包含认识角度、认识路径和认识方式类别等基本构成要素。化学学科有其特定的认识和研究领域,有其特有的认识活动和解决问题任务,需要独特的认识事物以及分析和解决问题的

角度、思路和方法,即比较特定的认识方式和推理模式。具有不同认识方式的学生在分析和解决某一化学问题时,会具有不同的能力表现。化学学科认识方式是化学学科能力的内涵实质,是知识转化为或表现为化学学科能力的核心机制。

特定领域的认识角度和认识思路与学科知识密切相关并相互匹配,学科的核心知识具有重要的认识方式功能,提供核心的认识角度,形成重要的认识思路和推理路径。此乃学科能力类化经验论的要义之所在。

(四) 化学学科能力内涵构成及其活动表现的系统模型

本研究从学习理解、应用实践和迁移创新三个层面建立化学学科能力活动表现框架,从核心学科知识、核心学科活动经验和化学认识方式三个维度揭示化学学科能力的内涵构成,从而构建起化学学科能力内涵构成及其活动表现的系统模型。(见图 1)

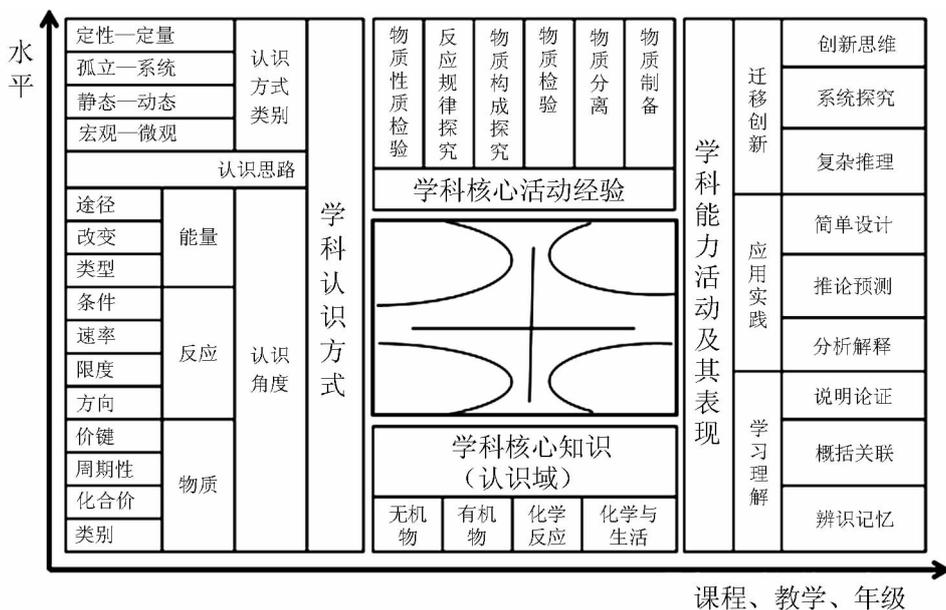


图 1 化学学科能力内涵构成及其活动表现模型

在上述模型中,学科核心知识和活动经验是学科能力发展的基础,学科认识方式是学科能力发展的内涵实质,学科能力活动类型是学科能力发展水平的外在表现。

其中,化学核心学科知识主题包括化学无机物、有机化合物、化学反应、化学与生活等。化学核心活动经验包括物质性质探究、反应规律探究、组成和结构探究、物质及能量的转化设计、物质分离、物质检

验等。

化学学科认识方式包括认识角度、认识方式类别三个基本要素。每个认识域或认识对象都有其独特的认识角度,如,物质、反应和能量是化学学科的核心认识角度,而类别、化合价、周期表中的位置和价键结构等又是中学阶段有关物质的核心认识角度,方向、限度、速率和条件是有关化学反应的核心认识角度。能量类型、体系能量改变和能量转化途

径是关于能量的核心认识角度。核心认识角度会有二级或三级具体认识角度,认识角度之间的关系形成认识思路,核心认识角度与认识思路稳定后会形成相应的认识方式类型。

化学学科能力活动表现包括学习理解(辨识记忆、概括关联、说明论证)、应用实践(分析解释、推论预测、简单设计)、迁移创新(复杂推理、系统探究、创新思维)<sup>3</sup> 3大类、9小类(3×3学科能力要素)。

随着年级的不同,化学核心知识和活动经验的丰富,学生的化学认识方式不断发展,其化学学科能力总体上应该呈现发展趋势,其中年级课程和教学是学生化学学科能力的重要发展变量。基于化学学科能力构成及其表现的系统模型,从学习理解能力、应用实践能力、迁移创新能力三个方面对中学生化学学科能力表现界定如下。

学习理解能力表现:通过无机物、有机化合物、化学反应、化学与生活等化学核心知识内容的学习,能记住典型物质的重要性质、核心反应规律、重要理论和典型原型,能辨识生活中的常见物质,能够辨识化学核心活动原型及程序经验;能基于数据、现象等实验事实概括物质性质和化学反应规律,能概括针对材料、健康和环境的认识框架;能建立物质变化与能量变化、物质性质、性质与转化、核心概念等的关联,能建立原型活动的目的和程序的关联;能运用相关理论模型和实验事实对物质性质、化学反应规律和理论及生活问题进行说明论证,能对化学核心活动原型程序的合理性进行说明论证,并且可以完整复述活动原型;形成并发展对物质、反应的核心认识角度,运用元素观、转化观、微粒观、平衡观、系统观等认识物质和化学反应的能力。

应用实践能力表现:在无机物、有机化合物、化学反应、化学与生活等特定领域的问题解决中,能运用核心知识,基于某一认识角度分析、解释实验室、生产、生活实际中的问题;能根据信息对未知物组成、结构和性质,反应中的物质变化和能量变化及相应的现象,反应规律等进行推论预测;能设计简单实验研究物质组成、结构、性质和转化,研究化学反应规律,实现化学反应中的能量变化,解决与生活相关的问题。在问题解决的过程中,内化认识角度、形成并完善认识思路,实现对无机物、有机物和化学反应的系统化认识。在化学核心活动的问题解决中,能

应用活动程序经验分析近变式活动程序的合理性及其原理,分析概括近变式的活动程序经验,对近变式实施预测性质、获取证据、基于证据得出结论等活动程序之一,进而对近变式完整地实施活动程序。完整性体现于从确认目标到设计方案,从性质预测到证据收集,从识别变量到变量关系的探究。近变式主要是指与原型较为近似但具体对象相对陌生的化学核心活动任务。

迁移创新能力表现:在无机物、有机化合物、化学反应、化学与生活等特定领域的问题解决中,能运用核心知识、基于多个认识角度分析、解释实验室、生产、生活实际中的问题;能够进行远迁移、发现新知识,能够进行创意设计解决实验室、生产、生活中问题。在化学核心活动的问题解决中,能用活动程序经验综合分析远变式活动(复杂和陌生)程序的合理性及其原理,系统执行化学核心活动,创造性地应用活动程序经验来设计新颖方案或分析得出结论。

根据此模型,我们还可以制订具体知识经验主题的学科能力表现指标。

## 二、化学学科能力表现测评工具的研发

本研究依据化学学科能力及其表现模型构建测评指标体系,采用“问题情境—知识经验—学科认识方式—心智(能力)活动任务”组合测评的方式研发测评工具,进行化学学科能力表现评价。

### (一)测评工具的研发过程

测评工具研发过程主要包括以下环节:综合核心知识、学科能力表现和认识方式规划命题双向细目表;依据双向细目表选择情景素材、命制试题;依据能力水平制订评分标准;从试题描述、知识、学科能力要素、认识方式、评分标准五个角度编码试题;依据6人测试口语报告评估修订测评工具;报送专家团队进行逐题项的匿名审议,依据外审反馈意见深入修订测评工具;进行300人预测试,利用单维 Rasch 模型和多维 Rasch 模型来检验测试工具的信度、试题与模型匹配度(MNSQ和怀特图),再次修订测评工具;经过多方审校,确定最终版本的测试工具。

### (二)测评工具的质量评估

分别用单维 Rasch 模型和多维 Rasch 模型来检验测试工具的信度。具体数据如表2所示。

表2 测试工具信度

单维模型	整体单维		
	学生信度		试题信度
	0.82		0.96
多维模型	学习理解	应用实践	迁移创新
	0.74	0.74	0.77

通过表2数据可见,用单维 Rasch 模型检验测试工具的学生信度为 0.82、试题信度为 0.96,测试工具信度良好。利用 ConQuest 软件进行多维 Rasch 模型运算,所得学习理解、应用实践、迁移创新三个学科能力要素维度的均信度大于 0.7,信度良好。

全部试题(内容和活动)的单维运行结果中,INFIT MNSQ 的最大值为 1.36,最小值为 0.8,除 1 个测试点外,其他测试点对应的试题 INFIT MNSQ 值在 0.7~1.3 之间,表明试题与模型的匹配度较好。

### 三、化学学科能力表现评价研究的主要结果

本研究分别针对不同省市、不同年级的学生样本,在 3 月、9 月两个不同的时间点进行了化学学科能力表现测评。限于篇幅,本文报告的评价研究结果是基于我国某市普通高中(9—12 年级)学生第一学期课程结束后的学科能力表现测评数据。本次测试的样本分布情况见表 3。

表3 样本分布情况<sup>①</sup>

年级	10	11	12
样本数	1 176	945	919
合计	3 040		

本研究采用 BookMark 法划定学科能力表现水平等级,基本程序如下:先综合考虑试题的学科能力要素指标、认识方式指标和用 Rasch 模型处理测试数据后得到的试题难度值三个因素,通过逻辑分析初步划定水平等级;再用 SPSS17.0 对各水平进行单因素方差分析,检验各水平间是否存在显著性差异;最后确定各水平所对应的试题难度值范围。

#### (一)高中生化学学科能力总体表现水平

运用单维 Rasch 模型对全部测试数据进行处理得到试题难度值,得到化学学科总体学科能力表

现的 Item-map,依据试题难度值及试题指标,以认识方式水平-问题情境陌生度和间接度-学科能力要素作为水平划分依据,将学生的学科能力表现划分为 5 个水平。全部样本在各水平的人次百分比分布如图 2 所示。

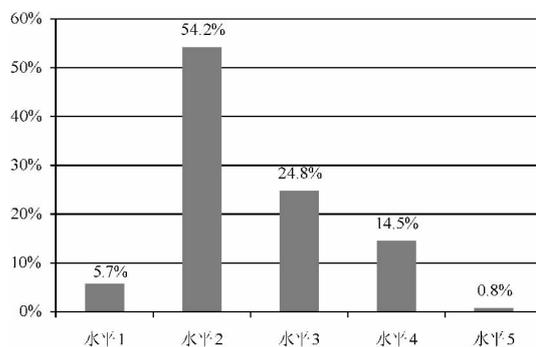


图2 全部样本的水平等级分布

少数学生(5.7%)处于水平 1,即仅能够对核心知识或核心活动进行辨识、记忆 54.2%的学生处于水平 2,即学生面对熟悉的问题情景,直接调用核心知识或核心活动原型对问题进行分析解释、推论预测,设计简单实验,或建立知识间的联系。

24.8%的学生处于水平 3,即面对熟悉的问题情景,能够基于给定的认识角度和对核心概念的理解,经过系统分析解决简单问题。

14.5%的学生处于水平 4,即在题目提示的情况下,能够将某一核心概念作为认识角度,并建立信息-知识-认识角度间的关联,分析、解决简单问题。

只有极个别的学生(0.8%)的学生处于水平 5,即能够自主调用认识角度解决陌生情景下的问题。

总体看来,大部分学生能够记住、理解所学的化学知识,并应用知识解决问题,或基于具体问题解决经验解决问题。部分学生能够将所学知识转化为分析认识对象的角度,基于相应的认识角度分析问题情景中的认识对象,解决问题。但是,大部分学生不能主动建立信息-知识-认识角度间的关联,只有极个别的学生能在建立关联的基础上,对认识对象进行系统分析。

#### (二)各内容主题的能力表现

学生在无机物、有机化合物、化学反应、化学与生活四个学科核心知识以及学科核心活动经验五个方面的化学学科能力表现平均水平如表 4 所示,各主题中各水平的人次百分比如图 3 所示。

<sup>①</sup> 说明:测试样本分别来自于该市市级示范学校、区级示范学校、普通学校三种不同类型学校。

表4 全部样本各主题学科能力表现平均水平

主题	无机物	有机物	化学反应	化学与生活	学科核心活动经验
平均水平	水平 2	水平 2	水平 1	水平 2	水平 3

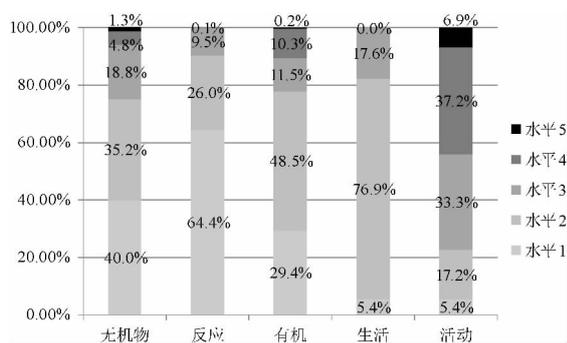


图3 全部样本各主题各水平人次百分比

由表4可见,学生在无机物、有机物、化学与生活主题的化学学科能力方面表现平均水平处于水平2,在化学反应主题的化学学科能力方面表现平均水平处于水平1。

在无机物主题中,大部分学生处于水平1和水平2,少量学生处于水平3,处于水平4、5的学生人数极少。说明大部分学生能够对知识进行简单记忆,或根据题目提示的角度进行直接迁移应用;能够在陌生情景下迁移的学生人数不高,具有自主角度、自主角度系统认识、多角度系统认识的学生则更少。在教学中,应让学生更多经历在陌生情景中,基于某一认识角度分析问题的活动,适当减少熟悉情景下分析物质性质、知识的简单识记这些学生已经能够掌握的教学活动。

在有机主题中,大部分学生处于水平1和水平2,少量学生处于水平3、4,处于水平5的学生人数极少。说明大部分学生能够基于结构或反应单角度,从宏观或亚微观认识有机物性质;利用结构和反应的多个二级角度系统分析问题,对学生有一定挑战;只有极少数学生能够在陌生情景中,基于结构和反应的多个二级角度进行系统动态分析。在教学中,应注意加强学生培养学生自主利用结构和反应的多个二级角度,从微观系统动态的水平解决各类问题。

在反应主题中,大部分学生处于水平1,少量学生处于水平2、3,处于水平4、5的学生人数极少。说明大部分学生只能在熟悉情景中进行简单分析,而基于题目给出的认识角度或主动基于某一认识角度分析问题,均有一定难度,只有极少学生能够在陌生情

景中进行多角度系统思考。在教学中,应让学生多经历需要基于某一认识角度,分析解决问题的教学活动,而避免只通过简单的知识关联,即可完成的任务。在生活主题中,大部分学生处于水平2,处于其他水平的人数均较少。说明大部分学生能够在暗示的角度下,以孤立—单一一对应的化学视角与生活视角,分析熟悉素材。仅能在明显提示下分析问题和能够多角度系统分析陌生问题的学生均较少。在教学中应注意不必给学生过多提示,应让学生面对陌生素材,自主基于化学视角(结构角度、转化角度、能量角度)和生活视角的多对应关系分析实际问题。

在活动主题中,学生主要分布于水平4和水平3,少部分学生处于水平2,少数学生处于水平1和水平5。说明大部分的学生能够在给出信息提示(例如反应)的情况下,经过简单推理完成变式实验的设计和分析,或者能自主基于熟悉角度完整实施单变量体系的研究和系统分析多成分体系的方案。但是很少有学生能自主基于陌生角度提取单变量并执行活动或系统分析和执行双变量的方案。在教学中,应注意外显活动经验,培养学生的变量意识,促进完整实施活动记忆自主提取陌生角度和识别变量的能力,注重基于变量的系统分析和执行,以及证据与结论、问题的匹配性。

(三)高中生在“学习理解—应用实践—迁移创新”各能力要素的表现水平

用多维 Rasch 模型对分别对测查数据进行学习理解、应用实践、迁移创新三维运算和辨识记忆(A1)、概括关联(A2)、说明论证(A3)、分析解释(B1)、推论预测(B2)、简单设计(B3)、复杂推理(C1)、系统探究(C2)、创新思维(C3)九维运算,分别得到三维、九维试题难度值和学生能力值。

分别依据全部样本在学习理解能力、应用实践能力、迁移创新能力表现的 Item-map,以认识方式水平—能力要素作为水平划分依据,将学习理解、应用实践和迁移创新能力表现划分为三个水平。全部样本在学习理解、应用实践、迁移创新能力表现平均水平如表5所示,各水平的人次百分比如图4所示。

表 5 全部样本在学习理解—应用实践—迁移创新各能力要素的平均水平

能力要素	学习理解	应用实践	迁移创新
平均水平	水平 2	水平 2	水平 1

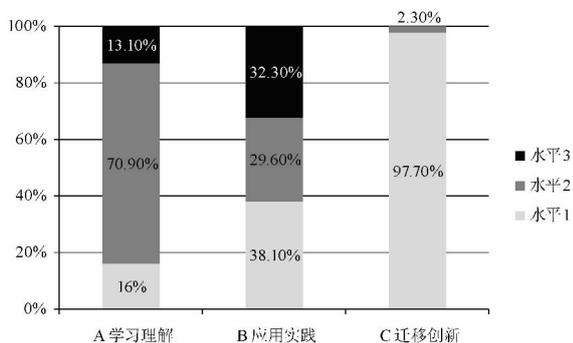


图 4 全部样本在 A. 学习理解、B. 应用实践、C. 迁移创新各能力要素的水平分布

在学习理解能力方面,学生的平均水平处于水平 2,且 70.9%的学生处于水平 2,即能够基于事实概括核心概念(知识);能经过分析建立实验事实与核心概念(知识)间的关联或建立概念(知识)间的关联。

在应用实践能力方面,学生的平均水平处于水平 2,但学生在水平 1、水平 2 和水平 3 的分布比较均衡。约 30%的学生能够基于对核心概念的记忆或问题解决经验解决情景熟悉的简单问题,约 30%的学生能够在题目给定认识角度的前提下,基于对核心概念的理解解决情景熟悉的简单问题,约 38%的学生能够在题目提示的前提下,将核心概念转化为认识角度,经过系统分析解决情景熟悉的问题;或者主动将核心概念转化为认识角度,分析解决问题。

在迁移创新能力方面,学生的平均水平处于水平 1,且 97.7%的学生达到水平 1,即能够主动将核心概念转化为认识角度,或基于问题解决经验,解决陌生情景下的综合复杂问题。进一步分析发现,水平 1 对应的题目均为日常教学中的常规训练题目,而有些非常规训练题目,虽然没有复杂的问题情景、不需要经过系统分析,学生表现依然不够理想。学生解决迁移创新类任务主要依赖于习题训练中形成的问题解决经验。

依据 9(3×3)维学生能力值,可以求得全部样本在各二级能力要素的平均能力值,如图 5 所示。

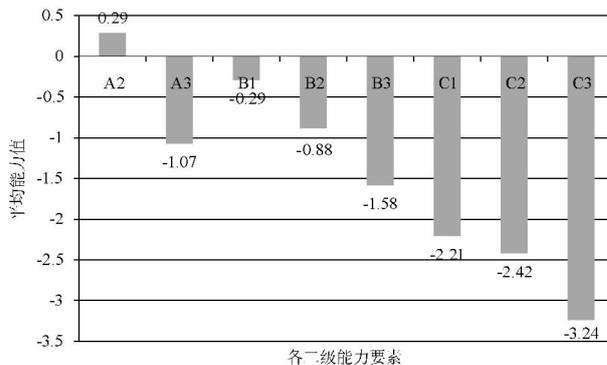


图 5 全部样本在各二级能力要素的表现

由图 5 可见,学生在 9 项二级能力要素上的发展水平呈现阶梯型递减。在学习理解能力中,说明论证能力表现特别不理想,表明学生经历相关内容的学习后,能做到“知其然”,做不到“知其所以然”。在应用实践能力维度,推论预测和简单设计能力表现比分析解释能力表现差。复杂推理、系统探究、创新思维没有得到必要的发展。此结果也表明,基于学习理解、应用实践和迁移创新的 3×3 学科能力要素既是化学学科能力活动的主要类型,又可以表征学生学科能力的表现水平,还能够反映教学对学生学科能力发展的作用和影响。

(四)各年级的化学学科能力表现水平

各年级样本的化学学科能力总体表现如图 6 所示,在各水平的人次百分比分布如图 7 所示。

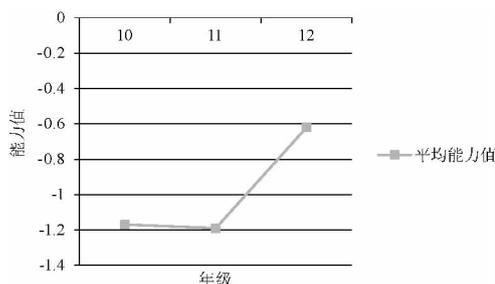


图 6 各年级样本化学学科能力总体表现

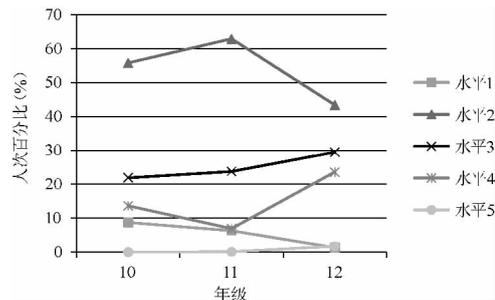


图 7 各年级样本各水平人次百分比分布

从学生化学学科能力总体表现看,10 年级和 11

年级样本的平均能力值基本相同,11 年级略有下降,12 年级样本的平均能力值明显提升。用 SPSS17.0 对各年级样本学科能力表现进行差异显著性检验,如表 6 所示。

表 6 各年级样本学科能力表现差异显著性检验

年级		均值差 (I-J)	显著性
高年级(I)	低年级(J)		
12	11	0.576	.000
11	10	-0.026	.538

结果表明 12 年级样本与 11 年级样本学科能力总体表现存在显著性差异,而 11 年级样本与 10 年级样本不存在显著性差异。说明高三复习教学对于提升学生化学学科能力具有积极的促进作用,而在新授课教学中如何提升学生的学科能力则值得关注,特别需要关注化学 2(必修)和有机化学基础模块的教学改进。

从学生在化学学科能力各水平分布情况看,在总体趋势上,随着年级的增长,样本在低水平(水平 1 和水平 2)的人次百分比分布呈下降趋势,而在中、高水平(水平 3—水平 5)的人次百分比分布呈增长趋势。说明随着年级的增长,学生的学科能力总体水平逐步提高。但是,在 11 年级,水平 2 和水平 4 的人次百分比分布呈现反常趋势,与 10 年级比较,水平 2 的人次百分比分布增加,而水平 4 的人次百分比分布减少,说明在 11 年级,更多的学生基于已有经验解决问题;而在题目提示情况下,将某一核心概念作为认识角度,建立信息—知识—认识角度间的关联,分析解决问题的学生较 10 年级有所减少。进一步对比分析 10 年级和 11 年级测试主题分布情况可知,与 10 年级相比,11 年级增加有机化合物和化学反应主题的测量量,由此可以初步推测,学生在有机化合物主题和化学反应主题的学习中,将核心知识转化为认识方式,进而用于解决问题的学科能力发展情况不如无机物主题。

## 四、结论和建议

### (一)高中生化学学科能力发展现状

从总体发展情况看,大部分学生能够记住、理解所学的化学知识,并应用知识解决问题,或基于问题解决经验解决问题。部分学生能够将所学知识转化为分析认识对象的角度,基于相应的认识角度分析问题情景中的认识对象,解决问题。但是,大部分学

生不能主动建立信息—知识—认识角度间的关联,只有极个别的学生能在建立关联的基础上,对认识对象进行系统分析。

从各能力要素发展情况看,学生在学习理解、应用实践、迁移创新三个能力维度上表现出不同的发展特点。在学习理解能力方面,大部分学生能够基于事实概括核心概念,能够建立实验事实与核心概念间的关联或建立概念间的关联,而基于认识角度对事实或具体知识进行概括关联的能力、利用已有知识经验对新概念进行说明论证的能力有待提升。在应用实践能力方面,学生表现出比较明显的层次性。约 30% 的学生能够基于对核心概念的记忆或问题解决经验解决情景熟悉的简单问题,约 30% 的学生能够在题目给定认识角度的前提下,基于对核心概念的理解解决情景熟悉的简单问题,约 38% 的学生能够在题目提示的前提下,将核心概念转化为认识角度,经过系统分析解决情景熟悉的问题;或者主动将核心概念转化为认识角度,分析解决问题;只有极少部分学生能够达到高水平,即能够主动调用认识角度、经过系统分析解决问题。在迁移创新能力方面,学生发展情况不理想,解决迁移创新类任务主要依赖于习题训练中形成的问题解决经验。

从各主题看,大部分学生处于较低水平,即大部分学生能够对知识进行简单记忆,在熟悉情景中基于问题解决经验分析解决简单问题,或在根据题目提示角度的情况,能够基于某一角度经过系统分析解决问题;但是,能够在陌生情景下进行知识迁移、解决问题的学生人数不多,具有自主角度、自主角度系统认识、多角度系统认识的学生则更少。

从年级看,学生的化学学科能力随年级的增长而提升,但是,增长程度不同。其中,12 年级较 11 年级的学生化学学科能力增长显著,而 11 年级较 10 年级学生的化学学科能力增长不存在显著性差异。

### (二)基于认识发展性教学促进学生学科能力素养发展

研究结果表明,学生的化学学科能力存在个体差异、群体差异和年级差异。本研究认为,外在差异反映在能力活动表现上,问题任务的综合度、间接度和情境素材的陌生度是重要的外在影响因素。学科能力的内在差异在于学生的认识角度、认识思路 and 认识方式类型上的差异,而导致其内在差异的主要因素是否具备知识经验基础,以及知识经验是否转化为自觉主动的认识方式,课程内容的选取和安排对于前者的影响很大,而教师的教学活动则对于后者影

响显著,学生年龄、智力发展水平、学生的学习动机和自我效能感等也是学科能力表现的个人影响因素。

本研究所建构的化学学科能力内涵构成与活动表现的系统模型有利于学科能力评价。一方面由于建构了学习理解、应用实践和迁移创新的 $3\times 3$ 能力活动框架,有利于实现学科能力的可测量。另一方面该模型基于认识方式建立起学科能力表现与学科知识之间的内在实质性关系,从而有利于实现学科能力测量结果的可解释和可评价。

此外,本研究所建构的化学学科能力内涵构成与活动表现的系统模型有利于学科能力培养。该模型为培养和发展学科能力提供了多维调控变量。抓住学习理解、应用实践和迁移创新的学科能力活动变量,以及学科认识方式这个知识转化为能力的关键机制,就可以促使学科核心知识转化为学科能力和素养。化学学科能力的形成和发展与核心知识的学习、理解和应用密切相关。学生在经历观察记忆、概括关联、说明论证等学习理解活动形成知识的同时,体会核心知识的认识发展功能和价值,形成学科思想方法,即丰富认识角度、转变认识方式类型,形成认识思路;在经历应用实践和迁移创新不同水平的问题解决活动过程中,深化对知识的理解,内化认识角度,建立认识角度间的关联,发展进行系统分析、复杂推理的能力,形成问题解决思路。由此可见,在学生化学学科能力发展过程中,知识经验、认识方式、各学科能力要素同时作用,相辅相成、相互制约。

据上,我们提出:促进学生学科能力和素养发展的教学改进,关键在于要转变教学理念,将“以具体知识落实”为本的教学转化为以“促进学生认识发展”为本的教学。所谓认识发展性教学,特指不仅要促进学生理解和获得知识,还要转变原有的偏差认识、建构学科观念,更要促进学生丰富认识角度、形成认识思路、提升认识方式类型,从而实现能力和素养的发展。

1. 彰显学科知识内容的认识发展功能和能力素养培养价值。基于认识发展论角度,知识其实可以看作是认识主体针对研究对象,在特定问题驱动下,选取了特定认识角度,经历了特定推理过程和认识路径,形成的特定认识结果。据此,我们认为知识在认识活动中发挥着认识角度、认识路径和推理判据等认识功能,正是因为知识具有这些认识功能,所以知识具有重要的能力与素养发展价值。这也是我们选取教学主题、知识内容和情境素材的依据。

2. 基于学生认识发展和能力进阶设计问题线索

和活动线索。一方面,转变问题和活动的设计与实施的关注点。从“如何获取知识?活动的形式是什么?”发展为“如何丰富学生的认识角度,如何转变学生的认识方式类别?”;从围绕“知识”设计问题和教学流程转变为围绕促进“认识转变”和突破“认识发展障碍点”设计问题和教学流程。另一方面,基于学科能力要素设计具有进阶性的学习活动。例如,在知识建构环节,设计概括关联、说明论证类学习活动;在知识巩固环节,要设计分析解释、推论预测、复杂推理、系统探究等不同类型、不同水平的学习活动。在复习课和习题课教学中,选择或设计问题时,从“巩固落实具体知识”转变为“实践、内化新认识”。在习题教学中,从“输入认识角度”转变为“输出认识角度”,即从提供问题分析角度到让学生主动发现、形成分析角度,并提升学生建立“信息—知识—认识”的关联的能力,提高系统分析和推理能力。在复习课教学中,基于本质进行概括,基于核心认识角度和认识路径建立知识间的关联,建立知识与问题解决的关联。

3. 追问、外显学生的思维和认识方式,建构科学认识模型,提高课堂教学实施过程对促进学生认识发展、提升学科能力素养的实效。我们对于大量“高端备课”课例教学改进前后的教师教学行为和学生认识发展效果所进行的对比研究表明,师生交流中追问和外显学生的思维和认识方式,以及师生共同构建认识模型是认识发展性教学的特征行为和有效策略。

致谢  
感谢“学生化学学科能力表现研究”子课题的各位核心成员:支瑶、张荣慧、姜言霞、王澜、陈颖、周冬冬、胡久华、黄燕宁、尹博远、史凡、张丽、赵河林、罗滨、支梅、兰俊耀,感谢北师大国家基础教育质量监测协同创新中心以及参加测试的相关实验区。

参考文献:

- [1] George, K. D. A comparison of the critical-thinking abilities of science and non-science majors. *Science and Education*, 1967, 51(1), 11-18.
- [2] Novak, J. D. An approach to the interpretation and measurement of problem solving ability. *Science and Education*, 1961, 45(2): 122-131.
- [3] Stuessy, C. L. Path analysis: A model for the development of scientific reasoning abilities in adolescents. *Journal of Research in Science Teaching*, 1989, 26(1): 41-53.
- [4] Stieff, M. Improving representational competence using

- molecular simulations embedded in inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 2011, 48(10): 1137-1158.
- [5] Pine, J., Aschbacher, P., Roth, E., Jones, M., et al. Fifth graders' science inquiry abilities: A comparative study of students in hands-on and textbook curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 2006, 43(5): 467-484.
- [6] Kuhn, D. Teaching and learning science as argument. *Science and Education*, 2010, 94(5): 810-824.
- [7] Teichman, L. The ability of science students to make conclusions. *Science and Education*, 1944, 28(5): 268-279.
- [8] Lawson, A. E., Blake, A. J. D. Training Effects and Generalization of the Ability to Control Variables in High School Biology Students. *Science and Education*, 1975, 59(3): 387-396.
- [9] National Research Council. National science education standards[ED/OL]. Available from: <http://www.nap.edu/catalog/4962.html>, 1996.
- [10] National Research Council. Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8. Washington, DC: National Research Council[ED/OL]. <http://www.nap.edu/catalog/11625.html>, 2007.
- [11] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas[ED/OL]. Available from The National Academies Press at [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=13165](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13165), 2012.
- [12] 冯忠良. 结构化与定向化教学心理学原理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1998.
- [13] 王磊. 化学学科能力结构构建教学理论及其实验研究[D]. 北京: 北京师范大学博士论文, 1998.
- [14] 杨玉琴. 化学学科能力及其测评研究[D]. 上海: 华东师范大学博士论文, 2012.
- [15] 教育部考试中心. 2010年高考考试大纲(课程标准实验版): 化学[ED/OL]. <http://www.neea.edu.cn>.
- [16] 北京市教育考试院. 2011年北京市高考考试说明: 理科综合[ED/OL]. <http://www.bjeea.cn>.
- [17] 吴俊明, 王祖浩. 化学学习论[M]. 南宁: 广西教育出版社, 1996.
- [18] 王磊. 学科能力构成及其表现研究——基于学习理解、应用实践和迁移创新导向[J]. *教育研究*, 2016(9).

## Exploring Performance and Intrinsic Composition of Chemistry Disciplinary Competence

WANG Lei<sup>1</sup>, ZHI Yao<sup>2</sup>

(1. College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Beijing Haidian Teachers Training College, Beijing 100097, China)

**Abstract:** Chemistry capabilities include learning comprehension, application practice, migratory innovation. Chemistry based on ability and performance evaluation index system model construction, model development using Rasch disciplinary capacity performance assessment tool for a city high school students chemistry performance evaluation capability, the ability to obtain a high school student chemistry performance of large sample data show between students there are individual differences, group differences and grades. Thus, the high school chemistry teaching should deepen the analysis of the subject ontology, concern cognitive development and application value, change the teaching philosophy of subject knowledge, will “to implement the specific knowledge” based teaching into to “promote student awareness of development” the teaching, in-depth understanding of the nature of discipline, highlighting the subject knowledge and understanding of the development of functional literacy capacity development value; students' cognitive development and academic abilities advanced optimization issues and activities designed to improve; and explicit questioning students' thinking, to build awareness of the model, the promotion of students understand the development, improve the ability to discipline.

**Key words:** chemistry disciplinary competence; core literacy; competence performance; teaching for cognition and competence development

(责任编辑 王本陆)