

SOLO 分类理论在中学化学学科能力模型中的应用

曹琦明 李 佳 刘金燕

【摘 要】中学化学学科能力模型包括内容维度、过程维度、情境维度三方面,应用SOLO分类理论可以重新对中学化学学科能力模型结构的各维度进行层次划分,为能力考查模型的构建寻求更为科学的理论依据,从而优化三个维度间的内部一致性。依据优化后的能力结构模型,教师可以更好地分析学生的能力结构水平,编制测试学生能力的试题。

【关键词】SOLO分类理论;能力模型;化学;学科能力;三维模型

【中图分类号】G424.74 【文献标识码】A 【DOI编码】10.16518/j.cnki.emae.2015.10.012

中学化学学科能力模型包括内容、过程、情境三维能力,中学化学学科能力测评可依据此三维模型进行考查和评价,每一个维度包含若干层级水平,综合各个维度我们可以对学生整体的能力水平进行评价。^[1]在该模型中,内容维度基本是按照SOLO分类理论来划分的,而过程维度主要依据认知心理操作过程外显的表现来划分,情境维度则是依据情境的复杂、新颖程度以及呈现方式来进行划分的,各维度在各标准下的层级划分能够较好地体现各层次内之间的关系,但是各维度之间的内部一致性却有缺失的成分。应用SOLO分类理论可以优化三个维度间的内部一致性,为能力考查模型的构建寻求更为科学的理论

依据。

一、SOLO 分类理论概述

SOLO分类理论可以基于学生对某一具体问题反应的分析,对学生解决问题时所达到的思维层次进行了由低到高的五个基本结构层级的划分。SOLO五个水平层级分别为:前结构水平、单点结构水平、多点结构水平、关联结构水平、拓展抽象水平,分别用P、U、M、R、E五个字母表示。^[2]比格斯对五个层次从能力、思维操作以及一致性与收敛性三个方面进行了剖析,可以较好地把握每个层次水平的本质特征。5个水平层次在能力、思维操作以及一致性与收敛性三个维度的基本

表1 认知发展阶段和解答层次

SOLO 层次	能力	思维操作	一致性与收敛
拓展抽象 (Extended Abstract, E)	最高:问题线索+相关材料+相互关系+假设	演绎与归纳;能对未经历的情景进行概括	解决了不一致性的问题,认为不必使结论收敛,即结论开放,容许逻辑上兼容的几个不同解答
关联结构 (Relational, R)	高:问题线索+相关材料+相互关系	归纳;能在设定的情景或已经历的经验范围内利用相关知识进行概括	在设定的系统中没有不一致的问题,但因只在一个路径上收敛,在系统之外可能会出现不一致
多点结构 (Multistructural, M)	中:问题线索+多个孤立的相关素材	只能联系几个有限的、孤立的事件	虽然想做到一致性,但由于基本上只注意孤立的素材而使回答收敛太快,从而导致用同样的素材得出不同结论
单点结构 (Unistructural, U)	低:问题线索+单个相关素材	只能联系单一事件	没有一致性的感觉,迅速收敛,只接触到某一点就立刻跳到结论上去,因此结论非常不一致
前结构 (Prestructural, P)	最低:问题线索+混乱的解答	拒绝,同义反复,转移,跳跃到个别细节上	没有一致性的感觉,甚至连问题是什么都没弄清就收敛了

本文获得广东省教育科研“十二五”规划研究项目(项目编号:2011TJK12)的资助。

曹琦明/广东省珠海市第八中学一级教师,硕士,研究方向为化学教学与评价。(珠海 519001)

李 佳/供职于广东省教育考试院,副教授,博士,研究方向为化学教育与评价。

刘金燕/华南师范大学硕士生。

SOLO分类理论在中学化学学科能力模型中的应用

特征如表 1 所示。^[3]

SOLO 分类理论可以评价学生的思维层次, 同样地, 比格斯也认同利用 SOLO 分类理论编制试题, 他认为从学生做题的表现中可以确定他们的思维水平。已有不少研究者利用 SOLO 分类理论编制试题, 并在实践中证实其可行性。^[4]

二、SOLO 分类理论在化学学科能力模型中的应用

(一) SOLO 分类理论对内容维度层级的划分

为突显化学学科的特点, 将化学学科知识系统化 and 逻辑化, 依据 SOLO 分类结构理论, 中学化学学科内容可划分为以下四类。(1) 化学基本概念主要包括基础知识概念和基本技能概念, 其中, 基础知识概念包括: 组成、结构、性质、变化、化学量、化学语言等; 基本技能方面主要包括: 实验技术和化学计算。(2) 化学基本理论和原理主要包括: 物质结构和元素周期律、化学反应与能量、化学反应速率与化学平衡、溶液理论、电化学基础理论。(3) 元素及其化合物知识。(4) 化学实验, 基于学科视角对实验内容的分类, 化学实验主要有以下四大类别: 物质的制备或合成实验、物质的分离与提纯、物质的表征(检验、鉴别与鉴定)实验、物质的性质及其变化规律的实验。

化学基本概念作为中学化学学科知识的支撑, 所有化学内容都是以此为基础的, 其构成金字塔的第一层。元素及其化合物包括各物质的组成、性质和用途, 而化学实验内容包括制备、合成、分离、提纯、表征等, 这些内容与元素及其化合物的性质对应, 两者构成了金字塔的二级结

构。金字塔的第三层结构包含物质的能量变化, 它是伴随物质变化过程产生的, 物质变化过程还体现了化学性质的规律化, 对应的便是元素周期表和周期律。金字塔的第四层已经进入到宏观化学与微观微粒之间的深度结合过程, 属于化学反应原理部分, 也是化学知识内容的最高级别。

根据 SOLO 分类理论, 位于金字塔下面三级的内容维度均可以采用单点结构或多点结构水平 M 来进行分析。第二、三、四层是在第一层级的基础上出现的, 因而一与二、三、四出现的关联将不被认为是关联结构水平 R。而二、三层次涉及不同角度的化学问题, 其涉及关联的内容将被认为是关联结构水平 R。到了第四级水平, 化学反应原理部分很容易与宏观现象和物质的性质关联, 所以大多数的第四级各自单独内容的解决将会被认为是关联结构水平 R。而原理中的基本概念如化学反应速率的直接计算、平衡标志的直接判断等会被归为基本概念和理论范畴。

(二) SOLO 分类理论对过程维度层级的划分

中学化学学科能力考查模型中的过程维度包括: 获取、吸收、整合化学信息的能力; 分析、综合解决化学问题的能力; 化学实验和探究能力。

1. 获取、吸收、整合化学信息的能力

第一, 获取化学信息的能力指的是能够对中学化学基础知识融会贯通, 有正确复述、再现、辨认的能力。学生依据问题的信息, 在长时记忆中搜索与问题信息相匹配的信息, 若匹配, 解答完成, 否则, 继续搜索自认为正确的匹配答案。依据 SOLO 分类理论, 学生在作答过程中仅需提取个别信息匹配即可, 为单点结构水平 U 或多个信息匹配的多点结构水平 M。

第二, 吸取化学信息的能力指的是能够通过观察, 获取有关的感性知识和印象, 并进行初步加工、吸收、有序存储的能力。学生需要对不同来源、不同形式的信息进行处理加工, 对信息初步加以分析, 从中提取事物的特征; 或者在大量事物观察中, 能归纳同类事物共有的特性; 对所获信息进行分类, 归纳出表象的简单规律。该过程中, 学生对多个信息点的分析仅是各自的分析,

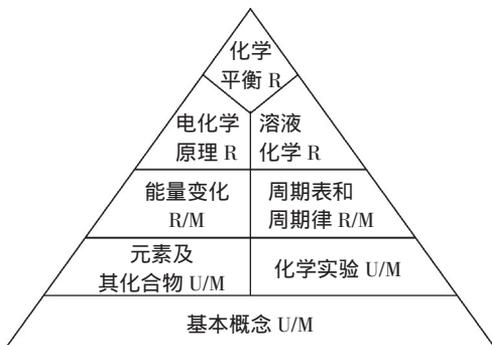


图 1 中学化学内容金字塔

在系统内虽然有很好的—致收敛性,但在系统外,我们不必要考虑其是否具有一致的收敛性,所以体现为多点结构水平 M。

第三,整合化学信息的能力指的是能够从已知提供的新信息中,准确地提取实质性内容,并经与已有知识块整合,重组为新知识块的能力。这部分能力需要学生注意有效信息,并对这些信息进行筛选、分类、归纳、总结等,最终提取实质性的本质内容。整合化学信息的能力与 SOLO 分类理论中的关联结构水平的能力一致,说明学生已经达到关联结构水平 R。

提取信息中的本质后,学生需要将新提取出来的实质性内容与从长时记忆中提取出来的知识块重新编码、整合,形成新的知识内容。若学生可以将提取出来的知识信息重组后解决已有的问题便达到关联结构的较高水平,用 R2 表示;若学生能从化学知识和已知提供的新信息中(既包括实际事物、实验现象、题目指定的有关图表数据,还包括由题目中自己可能得到的各种信息),准确地提取实质性内容,按内在联系,逻辑地统摄成规律,能与已有知识块整合进行推理和想象,重组为新知识块的创造能力,并在重构新知后,拓展解决类似的、迁移至相关问题的解决,则说明学生已体现拓展抽象水平 E。

2. 分析、综合解决化学问题的能力

第一,发现问题与表征问题的能力。纸笔测验中,问题往往是既定的,只讨论问题的表征,问其实质是问题的理解。学生在此阶段仅需对单一问题进行认识,表现出来的是单点结构水平 U。

第二,分析问题的能力。分析是在头脑中把事物的个别属性或部分从中分解出来的过程。分析与分解有着很大的关联,将问题逐步分解成—个子问题,其最终目标应该是已知的概念、原理,即分解到不能称其为问题的子项。很明显,分析问题更多地倾向于将问题解析为多个点的过程,体现的是多点结构水平 M。

第三,综合解决问题的能力。解决问题的结果不只是一系列的片段,我们需要运用综合的手段,将这些片段按照需要逐步组合起来,为问题

的解决提供—个整体的策略。中学生在化学问题解决策略通常会经历这样一个过程:回忆与问题解决相关的化学知识;在头脑中搜索类似化学问题的经历;与有关化学问题解决的策略之知识建立联系(这些策略包括:模式识别策略、分析递归策略、试探搜寻策略、直觉思维策略)。[5]综合过程要构建事物之间的关联,体现的是关联结构水平 R。

3. 实验和科学探究的能力

第一,发现科学问题、提出假设的能力。作为科学探究过程前提和重要步骤,只有做出合理假设,才能有后续步骤。中学化学阶段的学习任务主要是体验科学探究过程,掌握—般方法与步骤,假设往往给出其一或二,学生只需要补充假设的情况,体现出来的只是单点结构水平 U。

第二,收集相关素材,设计实验方案,进行实验的能力。收集素材指的是依据合理的假设设计实验,在实验设计之前,师生需要收集足够且合适的仪器、试剂等,他们需要依据物质性质选择对应试剂,依据操作选择对应仪器和装置,这些都是素材的一部分,其体现的是多点结构水平 M。进入实验方案的设计阶段,学生则必须考虑试剂加入的顺序以及量,而这些思考过程必须经过相关联的分析才可以完成。实验方案和预期实验现象的描述既是学生科学探究能力的重要组成部分,也是他们能够进行完整描述和表达的重要能力。因此,实验方案设计和预期现象的描述体现了学生的关联结构水平 R。

第三,数据处理和提出合理的解释的能力。它具体包括:能对事实与证据进行简单的加工与整理,初步判断事实证据与假设之间的关系;能依据—定的标准对物质及其变化进行简单的分类;对所获得的事实与证据进行归纳,得出正确的结论。该能力上,学生表现的关联结构水平处于较高水平 R2,同样地,学生若能据此拓展解决相关类别的问题,则可能达到拓展抽象水平 E。

过程维度三种能力在 SOLO 分类理论中存在—致性,如出现信息能力的关联结构水平 R 和问题解决能力的多点结构水平 M 时,我们很自然

SOLO分类理论在中学化学学科能力模型中的应用

地可确定其为较高水平的关联结构水平 R。借助三角金字塔的模型,过程维度三个方面的能力表示为图 2。

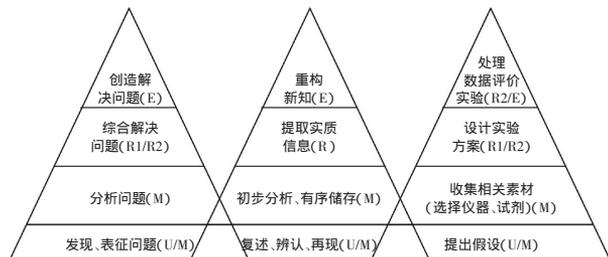


图 2 过程维度上的 SOLO 层次

(三)SOLO 分类理论对情境维度层级的划分

用 SOLO 分类理论对情境维度进行划分,主要考查情境所涉及的素材,素材包含的量以及素材之间的关系。单个素材的处理可以认为是单点结构水平 U,多个素材单独的处理是多点结构水平 M,而素材之间存在相互之间的关系,处理这样的素材体现出来的是关联结构水平 R,学生层次的体现必须通过另外两个维度共同作用。情境维度包括三个层级,具体描述如表 2。

表 2 情境维度层级

	情境维度
SU	表示所涉及的情境简单、熟悉的单个素材
SM	表示涉及的情境较新颖或较复杂,同是出现多个素材
SR	表示情境复杂或者新颖且较复杂,多个素材之间存在关联

(四)试题能力考查层级的 SOLO 层次

通过分析我们发现,内容维度若达到高关联结构水平 R,情境维度也可达到最高的关联结构水平 R,只有过程维度,学生通过思维过程所外显的表达可以得到拓展结构水平 E。试题所体现的能力水平是由学生表现的最高层次水平决定的。

因此,我们按照由各个维度的最高层次确定最终试题层次,将综合得到的能力结构水平对表 3 进行一一展开。括号内代表决定能力水平的三个维度,不区分具体是哪一维度。

为了检验化学学科能力模型的 SOLO 层次,笔者选择了一道科学性良好的化学试题,试题设计依据的就是 SOLO 分类模型理论。由试题分析,我们可以清晰地看到各个试题分属于什么结构水平,体现了哪些内容维度。

表 3 能力考查模型的 SOLO 层次

	在各维度上的表现
单点结构水平 U	(U, U, U)
多点结构水平 M	(M, M, M) (M, M, U) (M, U, U)
低关联结构水平 R1	(R1, R1, R1)(R1, R1, M)(R1, R1, U)(R1, M, M)(R1, M, U)(R1, U, U)
高关联结构水平 R2	(R2, R2, R1)(R2, R2, M)(R2, R2, U)(R2, R1, R1) (R2, R1, M) (R2, R1, U) (R2, M, M)(R2, M, U)(R2, U, U)
拓展结构水平 E	(E, R2, R1)(E, R2, M) (E, R2, U) (E, R1, R1)(E, R1, M)(E, R1, U)(E, M, M)(E, M, U)(E, U, U)

大气中的部分碘源于 O₃ 对海水中 I⁻ 的氧化。将 O₃ 持续通入 NaI 溶液中进行模拟研究。

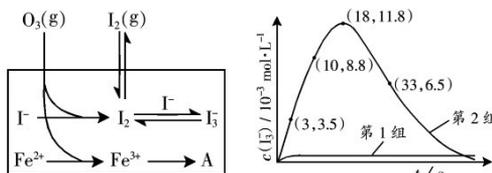
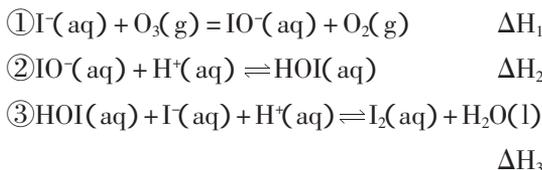


图 3

图 4

(1)O₃ 将 I⁻ 氧化成 I₂ 的过程由 3 步反应组成:



总反应的热化学方程式为 _____ (总反应热 ΔH 用 ΔH₁、ΔH₂、ΔH₃ 表示)。

(2)为探究 Fe²⁺对 O₃ 氧化 I⁻ 反应的影响(反应体系如图 4)某研究小组测定两组。

编号	反应物	反应前 pH	反应后 pH
第 1 组	O ₃ +I ⁻	5.2	11
第 2 组	O ₃ +I ⁻ +Fe ²⁺	5.2	4.1

(3)实验中 I₃⁻ 浓度和体系 pH,结果见图 3 和上表。

①第 1 组实验中,导致反应后 pH 升高的原因是 _____。

②图 3 中的 A 为 _____。由 Fe³⁺生成 A 的过程能显著提高 I⁻ 的转化率,原因是 _____。

③第 2 组实验 18s 后, I₃⁻ 浓度下降。导致下降的直接原因有(双选) _____。

- A. $c(\text{H}^+)$ 减小 B. $c(\text{I}^-)$ 减小
C. $\text{I}_2(\text{g})$ 不断生成 D. $c(\text{Fe}^{3+})$ 增加

试题从内容角度来看,旨在考查热化学方程式和化学平衡的移动相关知识,但从能力角度上,题目旨在通过给出多样化的呈现方式(数据表格信息和图象信息),考查学生的信息处理和综合解决问题的能力。下文从能力考查模型的角度对试题进行具体分析。

第(1)小题考查的内容为热化学方程式的书写和盖斯定律,其内容维度属于多点结构层次CM。本题涉及 O_3 将 I^- 氧化成 I_2 的过程及所经历的3个热力学方程式,其情境维度同样属于多点结构水平SM。学生要解决本题,需要应用盖斯定律将3个过程进行简单综合(本题直接相加即可),故过程维度属于PR低关联结构水平R。总括本题属于能力层次的低关联结构水平R。

第(2)小题中,pH与 H^+ 浓度的对应关系,其内容维度属于单点结构层次CU。仅有题干所对应的pH的改变值,其情境维度属于单点结构SU。作答中,学生除了要知道pH与 H^+ 浓度的关系,还需要关注另一点,即题中反应式说明 O_3 氧化 I^- 的反应消耗 H^+ (使 H^+ 浓度减小,pH升高),这属于过程维度的多点层次PM。总括本题属于能力层次的多点结构水平M。

第(3)小题涉及转化率即化学平衡的问题,其内容维度属于关联结构水平CR。题目包含存在关联的图象以及表格中第2组加入 Fe^{2+} ,溶液中pH的变化,其情境维度属于关联结构水平SR。学生要作答本题,首先需要分析表格中第2组pH降低是由 Fe^{3+} 发生水解导致的,从而可以得出该产物是 $\text{Fe}(\text{OH})_3$,这一系列思维过程最终可综合从化学平衡的角度来描述,其过程维度属于关联层次的高级水平R2。总括本题属于能力层次的关联水平较高层次R2。

由上可知,将SOLO分类理论应用于中学化学学科能力考查模型,能够更好地将各个维度的

分层标准细致化,操作的可行性也将增强。首先,在确定试题类型、能力立意水平后,在选择的内容基础上,我们可以确定细致的考查内容。以第(2)小题为例,若立意在于单点或多层次上,我们需要将内容维度包含的两个点,运用一定的情境贯穿起来即可。若立意为关联结构水平,我们首先得将内容涉及的点确定下来,以第(3)小题为例,其涉及了化学平衡的移动和转化率(但并非直接的概念考查),这些内容都是相互关联的,也就是说,学生如果选择了该内容就意味着他们达到了相应的关联水平。之后,教师可以再创设问题的情境,选择合适的信息呈现方式。为了考查学生能力水平的关联水平,试题应该创设具体情境,便于学生在解答信息时进行分析和综合,从而达到能力层次的提高。

应用SOLO分类层次理论既可以对学生的能力结构进行优化,也能对具体的能力考查模型进行分层,其依据更确切,操作更为简便。教师依据优化后的能力结构模型,可以更好地分析学生的能力结构水平,编制测试学生能力的试题。试题的设计应该涵盖知识内容的基础,我们需要创设情境,选择呈现方式,综合涵盖内容、过程、情境三个维度,选择适切的试题材料。

参考文献:

- [1]曹琦明,李佳,陈华.中学化学学科能力考查模型的构建与应用[J].教育测量与评价,2013(6):50~55.
[2]Biggs J.B.&Collis K. F.Evaluating the Quality of Learning SOLO Taxonomy [M].New York:Academic Press,1982.
[3]李佳,高凌飏,曹琦明.SOLO水平层次与PISA的评估等级水平比较研究[J].课程.教材.教法,2011(4):91~96.
[4]吴维宁,李佳,孔惠斯.SOLO试题的编制与质量检测[J].教育测量与评价,2009(3):45~48.
[5]曾兵芳,周兰根,聂小燕.2009年新课程高考化学卷学探究能力考查的分析与思考[J].教育理论与实践,2009(12):15~17.

责任编辑/雷 熙