

# 基于 SOLO 分类理论的科学推理能力层次框架的构建<sup>\*</sup>

吴春晓 (华中师范大学人工智能教育学部 湖北 430079; 四川省成都市第七中学 四川 610041)

黄致新 (华中师范大学物理科学与技术学院 湖北 430079)

**摘 要** 为了更好地培养学生的科学推理能力,在教学过程中能合理地对其进行评价就尤为关键。目前,很多研究对科学推理能力的层次界定还停留在笼统描述的阶段。所以,研究科学推理能力层次划分,兼具理论价值和实践意义。本文基于 SOLO 分类评价理论,选取知识、方法和科学推理三个维度构建了科学推理能力层次框架,并分别从“知识-推理”层面、“方法-推理”层面和“知识-方法”层面三个具体的层面对所构建的“科学推理”能力层次框架进行了举例说明。基于所建立的层次框架,教师能够更好地评估学生科学推理能力的现状,能够更系统地对教学目标进行梳理,还能够更有针对性地设计相关的例题、练习题和考试题。

**关键词** SOLO 分类理论 科学推理 能力层次划分

**文章编号** 1002-0748(2023)2-0002

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

高中物理学科教学不仅承担着提升我国国民综合素养的任务,还担负着为祖国发展培养高素质人才的任务。在进一步深化教育改革的道路上,构建合理且可行的中学学科教学理论基础势在必行。2013 年,教育部在《中小学教育质量综合评价指标框架(试行)》中提及了“学科思想方法”。《普通高中物理课程标准(2017 年版)》(以下简称《课程标准》)将“科学推理”作为高中物理学科核心素养中科学思维的要素之一。“科学推理”不仅是学生需要习得的关键能力,同时也是教师特别关注的培养内容。科学推理能力的培养遵循螺旋式上升的发展规律,无论是教学目标的设置,还是教学评价的设计都离不开“科学推理”能力的层次划分。于是,构建一个简单、可靠且可操作性强的科学推理能力层次框架就显得尤为必要。只有构建了这样的框架,才能对学生学情进行恰当地评估,才能设计出遵循学生认知发展规律的教学目标,才能更有的放矢地对学生的科学推理能力进行评价。

## 1 研究背景

“思维”一直都是教学研究的热点问题,科学推

理能力作为“思维”的一部分,它跟“思维”中其他的部分在多数情况下都是一同被研究的。教育心理学家布卢姆提出的教育目标分类理论认为,人的认知思维过程从低到高分为识记、理解、应用、分析、综合和评价,其中后面三个思维层次被认为是高阶的思维层次(higher order thinking)。但是思维的发展并非台阶式,而是螺旋式地上升的。所以,之后 R·J·斯腾伯格在其三元智能理论中,在经验亚理论部分将能力分为流体能力和晶体能力,其中流体能力包含推理和演绎两个推理能力<sup>[1]</sup>。万婷婷从“归纳”这个推理能力出发,将归纳能力细分成相似性抽取能力、模式识别能力、信息关联能力、一般性推广能力和假设修正能力,相关的归纳推理的流程则为信息抽取、归纳加工与识别、假设生成和调整修正<sup>[2]</sup>。当然,对于能力的分类研究还有很多,比如 Robert J. Marzano 就另外提出了教育目标分类学理论。不同研究者对于思维层次的界定都有自己的理论框架,都没有在广泛的意义上形成统一的标准,而在高中物理教学中对学生物理学科的科学思维层次的判别也处于悬而未决的状态。

对于科学推理能力层次的研究,除了上述理论

<sup>\*</sup> 基金项目:本文系华中师范大学社科项目“中学生物理学习能力提升机制及相关教学资源开发研究”(课题批准编号:20202198092)的研究成果。

方面的定性研究,还有很多基于量表的定量研究。以 PISA 测试、TIMSS 测试、MRI 测试、LCTSR 测试、iSTAR 测试<sup>[3]</sup>为代表的测试都能从不同的角度、以不同的方式(比如访谈、问卷、测试题和实践测量等)进行测评。这些测试都构建在一定的理论框架上,他们将推理能力分为几个不同的维度,采用经过信度和效度论证的量表来进行测试。

《课程标准》中将“科学推理”能力划分为水平 1 到水平 5 五个不同层次<sup>[4]</sup>:从能够对物理现象进行分析,到能获得结论,到能做出解释,到能分析综合性的问题,最后到能够在新的情景中进行分析,表征科学推理能力的步步提升。但是在实际应用场景中,教师很难直接基于上述描述对学生的科学推理能力进行评价。比如:其中提到的“分析”和“解释”两个关键词分属于水平 1 和水平 3,按照《课程标准》的划分似乎“解释”比“分析”更困难,但实际上在有的时候解释比分析更简单,而在有的情况下解释是作为分析的一个阶段而存在的。所以,单论学生是否能解释或者是否能分析,很难对其科学推理能力进行评价。

所以,为了对科学推理能力层次进行研究,考虑到识记、理解、应用、分析、质疑、综合、评价、创新等概念之间的内涵交叉和界定困难,本文选用了 SOLO 分类理论以期构建“科学推理”层次框架。

## 2 框架构建

### 2.1 SOLO 分类理论概述

教育心理学家约翰·B·彼格斯(John B. Biggs)提出的学习质量评价理论——SOLO 分类理论<sup>[5]</sup>对学生的思维层次进行了分类,如图 1 所示,从低到高分别为:①前结构水平:无法解决单一的问题;②单点结构水平:能够利用单一的知识或方法解决简单的问题;③多点结构:学生具备了多个知识或

多个方法,但不需要整合这些知识和方法就能够得到结论;④关联结构:学生具备了多个知识或多个方法,必须整合这些知识和方法才能够得到结论;⑤拓展结构:学生不仅需要能够将所学所用整合起来,还能将特定的方法拓展到其他表面上看起来没有关联的情景中去。

表 1 基于 SOLO 分类理论的高中物理科学推理层次划分

层次	划分依据
前结构	学生在习得物理概念和掌握物理方法之前,仅凭直觉进行判断的状态
单点结构	学生掌握了单一的知识或者方法,并能进行简单且直接的应用
多点结构	学生掌握了多种的知识或者方法,从中选择其一进行应用
关联结构	学生掌握了多种的知识或者方法,能够先后运用不同的知识或方法
拓展结构	学生能从不同的知识或方法中抽象出更上位的概念,并能进行拓展

基于 SOLO 分类理论对科学推理能力进行层次划分是一个很好的尝试方向,表 1 中将高中物理“科学推理”能力层次划分和 SOLO 分类理论中的层次划分的对应关系进行了梳理。

如表 1 所示,从单点结构出发到拓展结构层次的进阶过程是科学思维发展的一个非常重要的过程,这一点在高中物理的学习中也有体现。在进行学习之前,面对陌生的物理情景,学生都处于最低层次的前结构水平,他们无法解决单一的问题,即使可能得出结论,但是其猜测过程或者直觉过程不能被称为推理。当学生掌握了单一的知识或者方法之后,能够利用其解决比较简单的物理问题,比如在简单的公式应用问题中,学生只需要将数值代入特定的公式中就能得到相关的结果(单点结构层次)。随着学生学习的知识和方法逐渐增加,学生需要在运用特定的方法之前,根据所处的情景进行抉择,选用适用且恰当的方式或研究对象进行分析(多点结构层次)。随着学生知识结构的建立,他们能够找到不同方法之间的相关之处,并协同使用多个方法进行推理,比如高中物理中对学生综合能力要求很高的能量、动量结合的物理情景分析(关联结构层次)。最后,当学生对于不同的物理情景比较熟悉之后,他们能够从更抽象的视角认识到不同物理问题之间的联系,比如高中物理中的整体法、隔离法、图象法、等效替代法、微元法等方法在不同的章节和情景中都有所体现(拓展结构层次)。

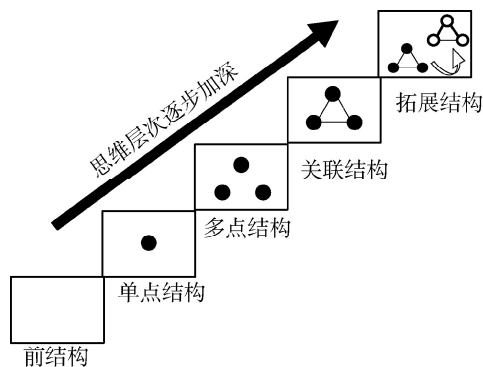


图 1 SOLO 分类理论示意图

## 2.2 立体科学推理层次模型的构建

利用 SOLO 分类理论的清晰逻辑,考虑到“科学推理”能力不仅涉及具体的知识,还涉及具体的方法,于是构建了如图 2 所示的“科学推理”能力层次框架,其包含了“知识”“方法”和“推理层次”三个维度。之所以在层次划分模型中涉及知识和方法,是因为推理的过程就是使用知识和运用方法的过程,想要撇开知识和方法谈推理能力的划分就犹如空中楼阁。同样地,要谈科学推理能力的培养也需要将其构建在具体的知识和方法之上。下面将从知识、方法、推理层次三个不同的维度对科学推理层次立体框架进行阐述。

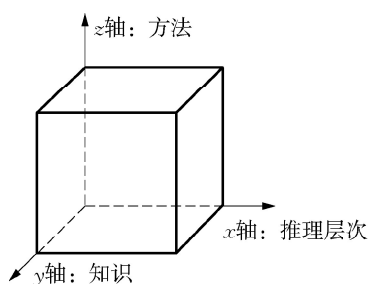


图 2 推理层次立体分层图(简要版)

### 2.2.1 立体科学推理层次划分的知识-推理层面

从图 2 所示的  $z$  轴竖直向下看就能看到  $x-y$  平面,即知识-推理层面。高中物理中涉及很多的方法,我们取其中一个切面(比如  $z=$  整体法)来分析,相当于取垂直于  $z$  轴的众多水平面中的一个来分析。

如图 3 所示,在“整体法”的知识-推理层面切面中,不同的知识内容(比如天体运动和圆周运动)都有不同的推理层次。对圆周运动的临界问题分析而言,如果学生还不知道如何进行圆周运动的相对滑动临界问题分析,则处于前结构层次(图 3 中①位置);如果学生能够对单一物体在粗糙圆盘上随圆盘一起做圆周运动的临界状态进行分析,能求出其恰好相对于圆盘滑动的临界条件,则为单点结构层次(图 3 中②位置);如果圆盘上有距离转轴远近不同、质量也不同的三个物体时,学生能够分别对其进行分析,则达到多点结构层次(图 3 中③位置);如果学生对于图 3 中④位置中,在两个物体运动和相互作用相关联情况下都能正确地进行分析,则说明其科学推理能力达到了关联结构层次。类似地,在天体运动问题中,从无法正确运用万有引力定律,到能够分析单个环绕天体绕中心天体运动的线速度等物理量,再到能够比较不同的环绕天体之间的物理量的

大小关系,再到能对双星问题、三星问题、多星问题恰当地进行分析,科学推理能力层次逐步提升。

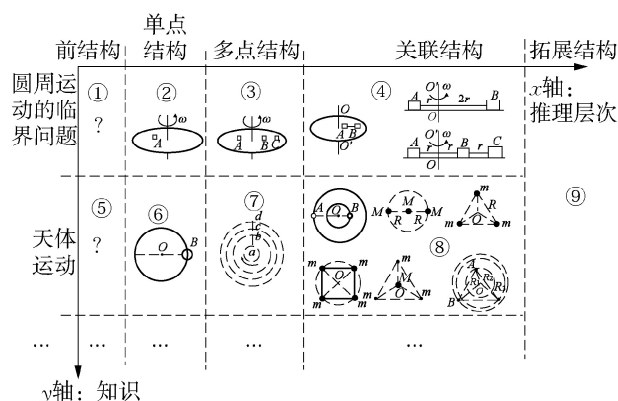
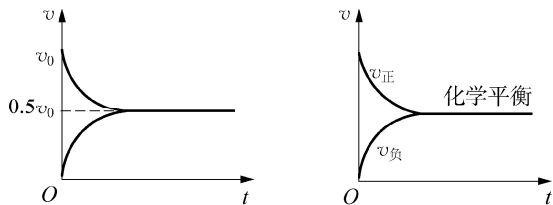


图 3 知识-推理层面切面

上述分析似乎都是仅仅从知识和模型建构的角度来阐述图示情景,而这两条科学推理能力进阶路径(以下简称“两条路径”)被放在了同一个水平面的原因是在众多解决这些问题的方法中,如果我们聚焦于整体法这个方法,其实我们可以用整体法这一方法来完成这两条看似属于不同章节的平行的科学推理进阶路径,所以这个  $x-y$  平面所对应的方法为整体法,也就是说这个面的  $z$  坐标值为“ $z=$  整体法”。当选定了“整体法”这一方法的时候,即使是在图 3④位置和⑧位置这样的多个物体运动的分析中,分析策略也是先找到这几个物体的质心所在位置,再对质心进行向心力或者万有引力的分析。因此,从方法层面而言,虽然“两条路径”在知识上分属于不同的章节,但是在方法上同属于“整体法”。如果学生能够从更上位的角度来审视这个问题,这意味着学生的科学推理能力进入了拓展结构层次(图 3 中⑨位置)。在拓展结构层次中,学生能够从看似不相关的“两条路径”提炼出相同的方法:整体法。

不仅如此,处于拓展结构层次的学生能够更好地进行方法的迁移。如图 4(a)所示的是在高中《物理·必修 2》“功率”一节中,机车以恒定功率启动时的速度-时间图象和以  $v_0$  速度匀速运动的汽车突然将功率降为原来的一半之后保持减半后的功率不变运动的速度-时间图象。图 4(b)为在高中《化学·选修 4》“化学平衡的移动”一节中,对于已经建立平衡状态的体系,增大反应物浓度或者减小生成物浓度时,其正反应和逆反应的反应速率-时间图象。所以,拓展结构层次所指的不仅仅是在物理学科中跨章节内容的方法整合,也可以是跨学科的方法整合,都属于拓展结构层次的科学推理能力的体现。随着

学生科学推理层次的提升,其科学推理能力不仅能够物理这一门学科中有所体现,还能够其他学科,甚至是人文学科中有所体现。



(a) 汽车以恒定功率启动和运行过程中突然以减半的恒定功率运动的速度-时间图象 (b) 从正反应开始建立反应的化学反应速率图象

图 4 汽车启动和化学平衡移动的相似性

### 2.2.2 立体科学推理层次划分的方法-推理层面

类似地,如果沿着图 2 中的  $y$  轴水平向里就能看到  $z-x$  平面,即方法-推理层面。高中物理涵盖了很多的知识,我们取其中一个切面(比如圆周运动)来分析,相当于取了垂直于  $y$  轴的众多竖直平面中的一个来分析。

高中物理中研究方法众多,包括但不限于:理想模型法、等效替代法、图象法、控制变量法、类比法、假设法、转换对象法、逆向思维法、小量放大法、微元法等等。如图 5 所示,在同属于“ $y=$ 圆周运动”的知识层面中,可以采用的方法也很多,这里只选取了“整体法”和“隔离法”两种方法来举例讨论。需要强调的是,对于图 5 中①~④的情景如果使用隔离法进行分析,则需要将其绘制在“ $z=$ 隔离法”的区域中,如果用整体法进行分析,则绘制在“ $z=$ 整体法”的区域中。

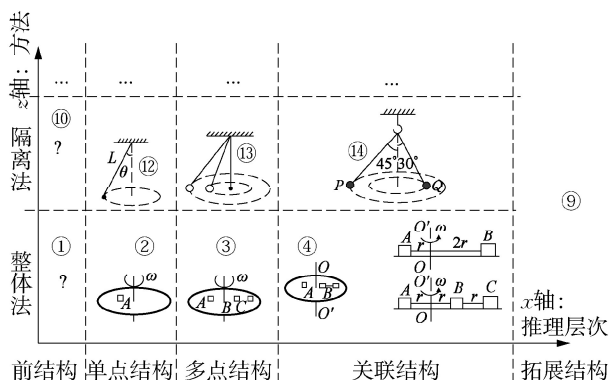


图 5 方法-推理层面切面

如图 5 所示,对于②~④这样的圆盘模型和⑩~⑭这样的圆锥摆模型而言,随着推理层次的提高,其复杂程度也在上升。需要说明的是,在图 5 中

⑭所示的情景中, $P$  和  $Q$  两个小球通过同一根绳,跨过光滑的挂钩相连,所以两者所受绳子的弹力大小相等。从科学推理层次的提升来看,学生从无法正确分析,到能分析单个物体,到能对比不同物体,到能分析相互关联的物体。这两条路径看似方法不同,模型也不尽相同,但是同一推理层次的难度是相同的。学生在初学时,需要熟练掌握图 5 中②和⑭这样的简单模型,随后才能分析③和⑬这样的多物体情景,这是所有层次的初学者都能够掌握的。但是,对于不同层次的学生,分析图 5 中④和⑭的情景则可能会面临一些困难,所以教师需要根据学生的实际科学推理进阶情况,结合具体的课时安排进行一定的取舍甚至是拓展。圆周运动目前是高一下学期学习的内容,对于高一的学生是否需要一步到位学习到图 5 中④中三个物体连接的难度则有待商榷。

所以,方法-推理层面的视角能够帮助教师厘清这个单元中究竟有哪些知识和方法,需要将学生的科学推理能力培养到何种层次,如何对其进行检验等问题。

### 2.2.3 立体科学推理层次划分的知识-方法层面

有了前面两个视角,很自然地我们沿着图 2 中的  $x$  轴水平向左看就能看到  $z-x$  平面,即知识-方法层面。

如图 6 所示,在知识-方法层面切面中可以看到,⑭的背后是图 5 中⑭~⑭推理层次的逐步提升,②的背后则是图 5 中②~④的逐步提升。在图 3 中⑥~⑧所涉及的万有引力的内容则排布在了⑥的后方。在图 6 中有两个⑥的原因是我们可以分别使用“整体法”和“隔离法”来解决图 3 中⑥~⑧情景中的问题。这样的视角很好地契合了最近的“大单元教

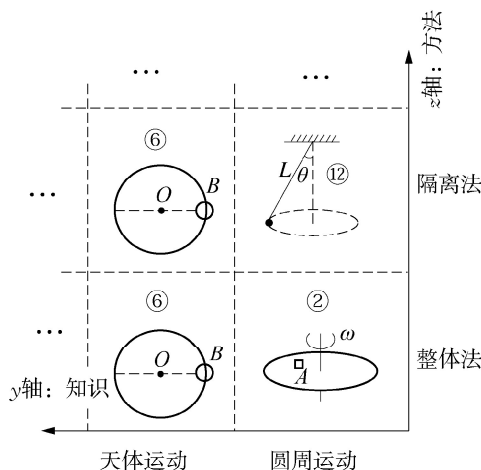


图 6 知识-方法层面切面



练习题和考试题。例题、练习题和考试题由于功能不同,所以具备不同的特点。例题的功能是帮助学生逐步深入地应用方法,练习题的功能是在学生已经习得方法的基础上进行适当的训练,考试题则是在学生学习和训练之后希望从统计学的角度高效地对一定样本的学生进行测评。所以,例题要求以问题为主导,最好能够激发认知冲突而诱发思考;练习题则是在特定主题下,通过转换特定知识、方法的应用情景,训练学生使用特定的方法;考试题则需要避免歧义,具备检测特定内容的信度和效度,同时具有一定程度的区分度。如果直接用考试题来作为例题,则只能形成一个结论型的印象,无法为学生的学科推理能力发展搭建“脚手架”;如果直接使用例题作为训练题或考试题,则可能不利于后期的数据分析。

#### 4 结 论

为了对学生的科学推理能力水平进行划分,本文以 SOLO 分类理论作为理论基础,改进了以往对科学推理能力层次利用笼统描述划分的方式,将所建立的科学推理能力层次框架分为三个维度:知识、方法和推理层次。并结合具体的教学案例,从知识-推理层面、方法-推理层面和知识-方法层面三个具

(上接第 41 页)

设计意图:通过“做中学”“问中学”“用中学”让学生对怎样学习物理具有初步的了解,再次体会“观察和实验”“勤于思考”“联系实际”在学习物理时的重要性。让学生自主阅读“伽利略对摆动的研究”,初步了解科学探究的几个要素,为以后的学习做好准备。

#### 2.6 板书设计

板书如图 11 所示。



图 11

体的层面对所构建的科学推理能力层次框架进行了具体的说明。最后,论证了该框架的建立对教学设计具有三方面促进作用:①帮助教师更好地评估学生科学推理能力的现状;②帮助教师更系统地对教学目标进行梳理;③帮助教师设计出更有针对性的例题、练习题和考试题。对于诸如大单元教学中关于科学推理能力的教育目标拆解原则、教学过程设计研究和教学评价等问题还需要做进一步的研究。

#### 参考文献

- [1] (美)R·J·斯腾伯格. 超越 IQ——人类智力的三元理论[M]. 俞晓琳, 吴国宏, 译. 上海: 华东师范大学出版社, 2000: 313.
- [2] 万婷婷, 于海波. 初中生物归纳推理能力的现状与分析[J]. 物理教师, 2021(11): 37—42.
- [3] BAO L, KOENIG K, XIAO Y, et al. Theoretical model and quantitative assessment of scientific thinking and reasoning [J]. Physical Review Physics Education Research, 2022, 18(1).
- [4] 蒋炜波. 物理教学中科学思维发展层级模型的构建初探[J]. 物理教学, 2021(10): 5—9.
- [5] 约翰·B·彼格斯. 学习质量评价: SOLO 分类理论[M]. 高凌飏, 张洪岩, 译. 北京: 人民教育出版社, 2018.
- [6] 沈文肆. 高中物理发展学生高阶思维的思考与实践初探[D]. 南京: 南京师范大学, 2020.

设计意图:师生一起扬起“科学之旅”的风帆, 乘上“物理”这艘小船, 开始探索物理学的海洋!

#### 3 反 思

“双减”政策的落地、“课标(2022 年版)”的发布,对教育教学提出了新的、更高的要求。围绕“人”的全面发展,基于核心素养视域下的教学设计是课堂深度学习的基础。良好的开端是成功的一半,“第一课”对于学生的后续学习意义重大,教师一定要精心准备,回归教育、回归课堂、回归学生,让学生爱学、会学、乐学,走得好并走得远。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022 年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.
- [2] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 义务教育教科书·物理(八年级上册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2012.
- [3] 张玲. “构建模型”在中考物理习题复习课中的应用[J]. 物理教学, 2021(12): 40—43.
- [4] 张玲. 关于“电压”的教学设计[J]. 中学物理, 2015(16): 22—24.