

基于变构学习模型的大学物理深度学习研究

——以大一学生解决某一力学问题为例

陈玉洁 黄致新 詹璇 张玲

(华中师范大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430079)

摘要 变构学习模型提倡在原有心智结构解构的基础上进行新知识的有效建构,与深度学习理论相适切。本研究基于变构学习模型理论和深度学习理论,以大学物理力学部分的教学为例,采用质性和量化相结合的研究方法对大一学生在解决一道力学问题时的心智处理和思维结构展开分析,进而对学生力学知识的变构和学习深度进行研究。结果表明:大一学生强大的中学力学心智结构对大学物理的学习具有阻碍作用,而采用“师生对质”的教学模式有利于变构学习的产生,变构学习的产生也更有利于深度学习的达成。

关键词 变构学习模型;深度学习;大学物理

RESEARCH ON DEEPER LEARNING OF COLLEGE PHYSICS BASED ON ALLOSTERIC LEARNING MODEL—TAKING FRESHMEN TO SOLVE A MECHANICAL PROBLEM AS AN EXAMPLE

CHEN Yujie HUANG Zhixin ZHAN Xuan ZHANG Ling

(College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079)

Abstract The allosteric learning model advocates the effective construction of new knowledge based on the deconstruction of the original mental structure, which is compatible with deeper learning theory. Based on the theory of allosteric learning model and deeper learning theory, taking the teaching of college physical mechanics as an example, this paper uses a combination of qualitative and quantitative research methods to analyze the mental processing and thinking structure of freshmen in solving a mechanical problem, and then studies the transformation and learning depth of students' mechanics knowledge. The results show that the strong mental structure of primary mechanics in freshman students hinders the study of college physics while the teaching mode of “teacher-student confrontation” can promote the student's deconstruction of the original mental structure and the construction of new mental structure. The generation of allosteric learning is also more conducive to the realization of deeper learning.

Key words allosteric learning model; deeper learning; college physics

深度学习是近年来教育领域关注的热点之一^[1],最早由瑞典学者马顿(F. Marton)和赛尔乔(R. Saljo)提出。深度学习理论将学习分为浅层和深层学习两个水平^[2],浅层学习指采用重复信息的

加工方式,不能有效地将新知识纳入已有认知结构的学习^[3];深度学习则指在理解基础上,将新思想和新知识与原有知识结构相结合,将已有的知识结构迁移到新情境中解决问题的学习^[4]。而变构学

收稿日期: 2020-11-19; 修回日期: 2020-12-17

作者简介: 黄致新,男,教授,主要从事物理教育研究,huangzx@mail.ccnu.edu.cn。

引文格式: 陈玉洁,黄致新,詹璇,等. 基于变构学习模型的大学物理深度学习研究——以大一学生解决某一力学问题为例[J]. 物理与工程, 2022, 32(3): 41-45, 49.

Cite this article: CHEN Y J, HUANG Z X, ZHAN X, et al. Research on deeper learning of college physics based on allosteric learning model—Taking freshmen to solve a mechanical problem as an example[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(3): 41-45, 49. (in Chinese)

习模型(allosteric learning model)理论是由瑞士日内瓦大学的焦尔当·安德烈(A. Giordan)提出的一种学习理论^[5]。变构学习模型理论认为,学习者知识的获得,不是对新知识简单记录,而是将新知识和原有心智结构建立联系;当然,学习也不是一个简单的建构过程,而是一个“解构-建构”交错进行的过程^[6]。在某些情况下,原有知识结构会阻碍新知识的建构,需要采用“对质”^[7]的方法使学生在课堂上充分暴露原有知识结构,通过交流讨论甚至互相质问等过程来对原有知识结构产生干扰并促使其解构,再进行新概念的有效建构,进而促进变构学习的产生。深度学习与变构学习模型都强调了原有知识的作用,但深度学习理论更注重新知识与原有知识的联系,而变构学习理论则更强调建立在与原有知识断裂基础上的建构,注重“解构-建构”的过程。

力学是高中物理的重要组成部分之一,也是高考的高频考点,因而大部分学生在学习大学物理的力学部分之前,都具有中学力学概念的心智结构。而大学物理和中学物理虽相互联系,但却各有区别。高中阶段要求学生利用基本的力学规律解决特殊问题,而大学阶段则要求解决一般性问题。那么在大学物理力学部分的教学中,中学力学心智结构是否阻碍了大学物理力学的学习?解构中学力学心智结构的难易程度如何?解构过程中的哪种对质形式更能促进学生概念的转化和变构?变构学习是否有利于深度学习的达成?这些都是本研究所关注的问题。

1 基于变构模型的大学物理深度学习的研究设计

本研究以华中师范大学2019级选修大学物理的96名学生作为研究对象。研究对象被分为A、B两个班级,均由资历相当的教师采用基于变构学习的深度学习理念进行教学。A班的教师采用基于同伴教学的研讨课的教学模式,通过设计“生生对质”的环节,引导学生与学生进行对立地讨论来促进学生的心智结构“解构-建构”过程的产生。B班的老师采用讲座式讲授的教学模式,通过设计“师生对质”的环节,引导学生与教师进行对立地讨论来促进的学生心智结构的“解构-建构”过程的产生。

研究学生在大学物理期末考试中的一道力学

题目的回答情况并展开分析。测试题目为:质量为 M 的车上有一质量 m 的木箱,车子以速度 v_0 沿水平方向行驶。 M 与 m 间的动摩擦系数为 μ_1 ,车子与地面的动摩擦系数为 μ_2 。车子因故突然紧急刹车,滑行一段距离 L 后停止,木箱在车上相对于车也滑行了 l 距离,若最后车与木箱同时静止,求车滑行的距离 L 。此题重点考查学生对大学物理规律质点系动能定理的理解和运用。但在实际作答时,较多学生运用质点动能定理或牛顿运动定律与匀变速直线运动规律相结合等中学学到的物理规律进行解答。研究采用质性和量化相结合的方法分别对两个班学生的解题过程展开分析,进而对学生的变构学习和大学物理学习深度进行研究。

2 促进变构学习产生的教学实践及教学效果分析

以大学物理质点动力学复习课中的“动能与动能定理”知识点为例,A、B两个班采用了不同对质形式的教学实践来促进学生变构学习的产生。

2.1 基于“生生对质”的教学实践

A班的教师采用基于同伴教学研讨课的教学模式。课前,由助教根据力学前测结果将学生按照组间同质,组内异质的原则进行分组。课中,教师以习题的形式构建物理情境,如图1所示,学生独立思考后根据当前的理解在课堂响应系统中进行第一次投票。投票完成之后,教师组织学生进行组内研讨,学生通过举例子、思路讲解、过程演算等方式来向组内同伴陈述自己的观点,暴露当前的心智结构;接着通过分析不同观点的不同适用范围来与同伴互相对质,进而说服对方转变原有观点并赞同和支持自己的观点,促使同伴在原有心智结构进行解构的基础上进行新心智结构的建构。

关于质点系的动能定理,有观点认为:在质点系内,由于各质点间相互作用的力(内力)总是成对出现的,它们的大小相等方向相反,因为所有内力做功相互抵消,这样质点系的总动能增量等于外力对质点系做的功。你认为这种说法正确吗?

图1 “动能与动能定理”研讨题目

A班某小组的研讨过程如下:

生1:题目表述正确,高中学过动能定理,合力做的功等于物体动能的变化量。

生2:不对,高中的合外力做的功等于动能的变化量是对一个物体而言,题目指的是质点系,是

多个物体。

生 1: 如果两个物体一起减速或加速, $W_{\text{外}} = \Delta E_k$, 它们也是构成质点系, 题目表述正确。

生 3: 是的, 两个物体一起减速, 物体间的摩擦力大小相等、方向相反, 运动的位移相同, 内力做的功代数和为零, 外力做功等于总动能增量。

生 4: 那如果一个物体减速慢、另一个减速快, 发生了相对滑动, 内力 F_1, F_2 大小相同, 位移 L_1, L_2 不同, 内力做功为 $W_{\text{内}} = F_1 L_1 - F_2 L_2$, 不为零, 两个物体的总动能增量是外力和内力做的功的代数和, 题目陈述错误!

生 5: 是的! 质点系内力虽然成对出现, 但各个力的位移不一定相同, 内力的总功不等于内力矢量和的功, 内力总功不一定相互抵消。

限定时间内完成研讨之后, 教师组织学生进行第二次投票, 若第二次投票的正确率超过 70%, 则进入到下一个知识点的研讨; 若第二次投票的正确率低于 70%, 则由教师进行点拨和引导后, 再进入到下一个知识点的研讨。

2.2 基于“师生对质”的教学实践

B 班的教师采用讲座式讲授教学模式。教师同样以习题的形式构建图 1 的物理情境, 通过设计问题串与学生互问互答, 进而引导学生经历暴露原有心智结构、解构原有心智结构再到建构新心智结构的过程。B 班的师生对质过程如下:

师: 同学们认同上述说法吗? 说明理由。

生: 同意, 物体受到几个力的共同作用, 合力做的功等于物体在这个过程中的动能变化量, 内力抵消, 外力做的功等于物体总动能的增量。

师: 合力做的功, 是先求合力, 再求合力做功, 还是先算各个力做的功, 再算其代数和?

生: 这两种方法是一样的。例如, 两个物体在拉力 F 作用下沿粗糙地面运动位移 L , 地面摩擦力为 f , 物体间的摩擦力相互抵消, 先求合力再求合力做功为 $W_1 = (F - f)L$; 先算各个力做功, 再求代数和为 $W_2 = FL - fL$, 做功一样。

师: 那如果上面的物体相对下面的物体滑动了 l 呢? 是否还一样?

生: 合力为 $F - f$, 对应的位移是 L 吗? 还是 $L + l$? 不太确定。至于各个力做功, 内力做功应该是不同的, 不能抵消。

师: 动能定理中的 W 应该是各个力做功的代数和, 对于质点系, 外力和内力做功的代数和为质点系总动能的变化, 内力虽然成对出现大小相等

方向相反, 但是内力作用点的位移不一定相同, 内力做功不一定为零。

2.3 教学效果分析

分别对 A、B 两班学生在解题中运用的物理规律进行记录、分类和统计。首先对学生在解题过程中运用的物理规律进行记录(见表 1)。解题中运用的物理规律展现学生在遇到问题时进行的心智处理。从表 1 可以看出, 两个班相比, B 班学生的心智处理较为一致和集中, 而 A 班学生的心智处理较为杂乱和零散。B 班学生的解题时主要运用了质点系动能定理和质点动能定理, 包含少部分的牛顿运动定律与匀变速直线运动相结合以及牛顿第二定律与速度时间图像相结合的心智处理, 整个班级的心智处理趋于一致。而 A 班, 除了质点系动能定理、质点动能定理、牛顿运动定律与匀变速直线运动相结合以及牛顿第二定律与速度时间图像相结合的心智处理之外, 还有相当于一部分学生运用了牛顿第二定律与质点动能定理相结合、质点动能定理与动量定理相结合、牛顿第二定律与动量定理和质点动能定理相结合、动量定理等知识, 尝试运用与题目考查知识点无关或关联不大的物理规律的解决问题, 心智处理较为杂乱, 整个班级的心智处理较为零散。

表 1 A、B 两班解决问题中运用的物理规律

A 班	B 班
质点系动能定理	质点系动能定理
质点动能定理	质点动能定理
牛顿第二定律与匀变速直线运动相结合	牛顿第二定律与匀变速直线运动相结合
牛顿第二定律与速度时间图像相结合	牛顿第二定律与速度时间图像相结合
牛顿第二定律与质点动能定理相结合	—
牛顿第二定律、动量定理和质点动能定理相结合	—
质点动能定理与动量定理相结合	—
动量定理	—

其次, 将学生所运用的物理规律按学段分为大学物理规律和中学物理规律两大类。其中, 大学物理规律包含质点系动能定理, 而中学物理规律包含质点动能定理、牛顿第二定律与匀变速直

线运动规律相结合、牛顿第二定律与速度时间图像相结合、动量定理与匀变速直线运动规律相结合等。对 A、B 两班运用的物理规律进行统计,并计算其所占比例(见表 2),以分析学生当前的心智结构在中学物理和大学物理的分布情况。分析表 2 的数据可以发现,两个班大部分的同学都倾向于运用中学物理规律解决问题。A 班只有 21.43% 的学生, B 班只有 34.50% 的学生用大学物理的知识来解决问题的意识,这说明即使经过大学物理力学的学习,大部分学生依旧保持中学力学心智结构,分别对两个物体运用质点动能定理,或者分别对两个物体进行受力分析再结合匀变速直线运动规律进行解题,甚至受到题目中“同时静止”的影响运用动量定理进行解题。只有少部分的学生的中学力学心智结构发生了解构并建构了大学物理心智结构,意识到该力学问题中一对内力做功不一定等值反号,可以运用质点系动能定理。

表 2 A、B 两班运用物理规律解决问题的情况

	大学物理规律占比/%	中学物理规律占比/%
A 班	21.43	78.57
B 班	34.50	65.50

最后,分别对 A、B 两班中运用大学物理规律和运用中学物理规律正确解答问题的人数进行统计,并计算其所占比例(见表 3),纵向分析具有大学物理心智结构和中学物理心智结构的学生达到深度学习的情况;横向分析注重“生生对质”的 A 班与注重“师生对质”的 B 班的变构学习和深度学习情况。

表 3 A、B 两班正确解答问题的情况

	正确解决问题的比例		
	大学物理规律/%	中学物理规律/%	总计/%
A 班	4.76	2.38	7.14
B 班	30.91	10.91	41.82
总计	20.83	7.29	

对表 3 的数据进行纵向对比分析可知,这 96 名学生中运用大学物理规律正确解题的比例为 20.83%,而运用中学物理规律正确解题的比例只有 7.29%,运用大学物理规律正确解决问题的比例比运用中学物理规律多出 185.73%,可见运用大学物理规律解决问题的正确率更高。运用大学物理规律的学生采用质点系的动能定理的心智处理,是在中学力学心智结构解构基础上,对大学物

理的力学概念的建构,具有变构学习的产生和力学概念的转变,更易达到大学物理力学的深度学习水平。对表 3 的数据进行横向对比, A 班有 4.76% 的学生, B 班有 30.91% 的学生运用大学物理规律—质点系动能定理正确解决该题,这表明,这部分学生的中学力学概念心智结构被解构,新的大学物理的力学概念心智也被建构,并且迁移到新情境中正确运用,既产生了变构学习,也达到大学物理力学部分的深度学习水平。另外, A 班有 2.38% 的学生和 B 班有 10.91% 的学生都运用了中学物理规律如质点动能定理、牛顿第二定律与匀变速直线运动相结合等心智处理来正确解答问题,说明这部分学生即使处于新的物理情景中,仍能用中学物理规律解决问题,处于中学力学的深度学习水平。总体来看, A 班学生正确解题的占比为 7.14%, B 班学生正确解题的占比为 41.82%。B 班学生解题的正确率较高,无论是处于大学物理力学的深度学习水平的学生还是处于中学力学的深度学习水平的学生都比 A 班的学生多。

3 基于变构模型在大学物理深度学习的分析与讨论

3.1 强大的中学物理心智结构阻碍大学物理的学习

从学生对问题的心智处理可以看出,在遇到问题时,中学物理规律仍是大部分大一学生解决问题的第一选择。这说明中学力学心智结构在学生当前的心智结构中占据首要而又重要的地位。而当发现当前进行的心智处理不足以正确解决问题时,学生会倾向于选择中学物理中与题目相关性不大或无关的知识,而不是大学物理中与题目相关的知识来解决问题,这说明这些学生的中学力学心智结构是强大且刚性的,并在一定程度上抑制了大学物理力学心智结构的构建。教师若没采取措施对学生的心智处理进行干预,促使学生对中学物理心智结构进行充分解构,学生会长期并且高频地选择中学物理规律来进行心智处理,不会联系和拓展大学物理知识,导致中学物理心智结构更加强大和牢固,而原本就没被有效建构的大学物理心智结构也更加严重地被抑制。学生的大学物理的学习受到阻碍,大学物理心智结构不能有效建构,将难以实现大学物理的深度学习。

3.2 “师生对质”更能促进变构学习的产生

从 A、B 班的数据对比分析可知, B 班的学生

具有较为统一的心智处理和答题正确率,特别是运用大学物理规律正确解决问题的比例均大于 A 班。究其原因,是 A、B 班进行的对质方式不同。“对质”得以产生的前提是对质双方具有“异质”的基础。对于 A 班,以往研究发现,同伴间的研讨能促进学生对物理概念的理解,同伴课堂的教学质量要优于教师讲座式讲授的教学质量^[8]。然而,对于物理规律特别是力学规律的运用,高考前的多轮复习,使得大部分学生都具有非常强大且刚性的中学力学心智结构,所以学生之间趋于“同质”,不具备每一研讨组的学生具有“异质”的基础。在同伴课堂中,经过一次研讨,大部分研讨组的学生的心智结构没有被解构,组内学生的心智结构依旧“同质”,即使进行二次研讨甚至多次研讨,学生与学生之间进行的是“同质”与“同质”的对质,暴露不了原有心智结构的局限,因而大部分学生依旧处于原有的心智结构。原有心智结构没有被解构,新心智结构也没有被有效建构,变构学习没有产生,学生仍处于大学物理力学的浅层学习水平。只有少部分研讨组经过研讨之后,组内学生有变构学习的产生,具有了“异质”的基础,二次研讨时就能通过学生与学生之间的对质来促进组内其他学生的力学概念发生变构,达到深度学习的水平。而对于 B 班,采用的是传统的讲座式讲授,教师通过讲授对学生心智处理进行引导和干预,有针对性地对学生的原有认知基础进行扰乱和激烈的对质。学生原有的心智结构因此开始动摇,学生怀疑和反思原有的心智结构,产生学习的渴望,进而主动对原有心智结构进行解构。教师再及时对学生进行引导和补充新信息以促进学生新概念的有效建构,教师与学生激烈的对质逐渐转化为共识,变构学习更易产生。

3.3 变构学习有利于深度学习的达成

虽然大部分学生倾向于用中学物理规律解决问题,但运用大学物理规律正确解答的占比却远大于运用中学物理规律正确解答的占比,可见变构学习的产生更有利于深度学习的达成。学生的原有心智结构没有解构或解构得不充分不彻底,就开始建构新的心智结构,表面上将新的知识与原有知识联系,似乎达到深度学习的水平;但本质上,这种联系只是将新的概念简单地、机械地叠加在原有的知识基础之上,变构学习没有产生。所以大部分学生在新情境中解决大学物理的力学问题时,仍倾向于运用中学物理规律甚至是与题目

无关的知识点进行解答,心智处理较为零散和混乱,思维属于前结构^[9],处于大学物理力学的浅层学习水平。而采用大学物理规律进行解题的学生,分析原有概念和新概念各自适用的范围和条件,先对二者进行对质,分析存在的不同,对原有心智结构进行解构;再分析两者的联系,进行有效的联结和拓展,构建新的心智结构,产生变构学习。学生能根据不同的物理情境的特点联系适用于不同条件的物理规律进行解答,思维处于抽象拓展结构^[9],达到深度学习水平。综上所述,对于强大而又刚性的心智结构,若没有变构学习的产生,学生容易停滞在浅层学习水平不能进步。而通过变构学习,学生的新知识建构建立在原有知识结构的解构上,认知结构得到有效的重构,更能达到深度学习的学习水平。

4 结语

通过研究发现,即使教师设计并进行了基于变构学习的大学物理深度学习教学,但是大部分学生仍处于大学物理力学的浅层学习水平。一方面是学生的中学力学系统过于刚性和强大,难以解构,严重阻碍大学物理力学的学习。另一方面是教师基于变构学习的深度学习教学模式还有待完善。教师可以结合学生的学情,结合变构学习模型理论和深度学习理论,重点关注学生原有知识的解构和新知识的建构,兼顾问题设计、知识参照、心智处理等因素对“解构-建构”的交互作用,优化基于变构学习的深度学习教学设计。而对于在解构过程中采用的对质,无论是“师生对质”“生生对质”亦或是其他对质都有其优势和局限,教师要根据教学内容和学生学情,有针对性地选择对质的类型。像大学物理力学这种原有知识结构过于强大和刚性的知识,需要教师对学生进行强有力的对质,更有利于学生心智结构的解构以产生变构学习,达到深度学习水平。而像某些原有知识结构比较弹性的,学生间具有“异质”基础的,采用生生对质的研讨则更有利于变构学习的产生和深度学习的达成。

参 考 文 献

- [1] 张浩,吴秀娟,王静. 深度学习的目标与评价体系构建[J]. 中国电化教育,2014(7):51-55.

(下转第 49 页)

了很多。每年都有一些学生积极参与教师的项目和实验仪器的研发,甚至还发表了论文、申请了专利。

参 考 文 献

- [1] 吴思诚,王祖桢. 近代物理实验[M]. 北京:北京大学出版社,1986.
- [2] 刘竹琴. 基于“分组同伴互助”教学法的近代物理实验教学研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(4): 25-26.
LIU Z Q. Research on modern physics experimental teaching based on teaching method of “Group peer mutual assistance” [J]. Experimental Technology and Management, 2019, 36(4): 25-26. (in Chinese)
- [3] 李景奎,王若颖,戚大伟. 基于慕课模式的近代物理实验教学[J]. 物理实验, 2019, 39(2): 45-48.
LI J K, WANG R Y, QI D W. Modern physical experiment teaching based on MOOC [J]. Physics Experimentation, 2019, 39(2): 45-48. (in Chinese)
- [4] 陈星辉,周昕,李雪勇. 研究型近代物理实验教学模式探索与实践——磁控溅射法氧化锌薄膜的制备及其特性研究[J]. 大学物理实验, 2020, 33(4): 90-94.
CHEN X H, ZHOU X, LI X Y. The exploration and practice of research-based modern physics experiment teaching model—Preparation and characteristics of ZnO thin films by magnetron sputtering[J]. Physical Experiment of College, 2020, 33(4): 90-94. (in Chinese)
- [5] 王合英,孙文博,陈宜保,等. 自由实验、乐学创新的近代物理实验教学[J]. 物理实验, 2017, 37(2): 33-37.
WANG H Y, SUN W B, CHEN Y B, et al. Modern physics experiment teaching with free alternative, pleasure learning and inspired innovation[J]. Physics Experimentation, 2017, 37(2): 33-37. (in Chinese)
- [6] 周甫方,刘文广,徐云冰,等. X射线衍射实验在近代物理实验中的教学案例[J]. 物理与工程, 2019, 29(Z1): 79-83.
ZHOU F F, LIU W G, XU Y B, et al. X-ray diffraction experiments in modern physics teaching case [J]. Physics and Engineering, 2019, 29(Z1): 79-83. (in Chinese)
- [7] 王春亮,严端廷,刘春光,等. 近代物理实验课程的 SCOP 教学方法探讨——以光谱系列实验为例[J]. 物理实验, 2021, 41(4): 32-38.
WANG C L, YAN D T, LIU C G, et al. SCOP method in modern physics experiment courses—Taking spectral experiments as an example [J]. Physics Experimentation, 2021, 41(4): 32-38. (in Chinese)
- [8] 庄娟,李雪春,杨华,等. 重视实验物理思想 提高学生科学素质[J]. 物理与工程, 2016, 26 (Z1): 218-220.
ZHANG J, LI X C, YANG H, et al. Experimental physics attention to improving students scientific thinking [J]. Physics and Engineering, 2016, 26 (Z1): 218-220. (in Chinese)
- [9] 廖红波. 塞曼效应实验[J]. 物理实验, 2017, 37(7): 25-31.
LIAO H B. Zeeman effect experiment [J]. Physics Experimentation, 2017, 37(7): 25-31. (in Chinese)
- [10] 柳叶,李荫. 问题引导式探究教学在大学物理实验教学中的应用[J]. 中国现代教育装备, 2016, (19): 59-60.
LIU Y, LI Y. Application of problem guided inquiry teaching in college physics experiment teaching [J]. China Modern Educational Equipment, 2016, (19): 59-60. (in Chinese)

(上接第 45 页)

- ZHANG H, WU X J, WANG J. Study on the evaluation theoretical structure building of deep learning [J]. China Educational Technology, 2014(7): 51-55. (in Chinese)
- [2] MARTON F, SALJO R. On qualitative differences in learning: l-Outcome and process [J]. British Journal of Educational Psychology, 1976, (46): 4-11.
- [3] BIGGS J B. Individual differences in the study process and the quality of learning outcomes [J]. Higher Education, 1979(8): 381-394.
- [4] 何玲,黎加厚. 促进学生深度学习 [J]. 现代教学, 2005(5): 29-30.
HE L, LI J H. Promoting students' deep learning [J]. Modern Teaching, 2005(5): 29-30. (in Chinese)
- [5] 焦尔当 A,裴新宁. 变构模型:学习研究的新路径[M]. 杭零,译. 北京:教育科学出版社,2010.
- [6] 俞丽萍. 基于变构模型的深度学习研究 [J]. 中国教育学刊, 2015(11): 38-41.
YU L P. Research on deep learning based on allosteric model [J]. Journal of the Chinese Society of Education, 2015(11): 38-41. (in Chinese)
- [7] 裴新宁. 变构学习模型与教学设计 [J]. 全球教育展望, 2006, 35(12): 38-42.
PEI X N. Allosteric learning model and teaching design [J]. Global Education, 2006, 35(12): 38-42. (in Chinese)
- [8] 李成丰,黄致新,赵晓鱼,等. 基于 Clicker 大学物理研讨课的师生教学行为研究 [J]. 物理与工程, 2018(4): 57-64.
LI C F, HUANG Z X, ZHAO X Y, et al. A study on teachers and students' behavior in introductory physics deliberative teaching based on clicker [J]. Physics and Engineering, 2018(4): 57-64. (in Chinese)
- [9] 陈玉洁,黄致新,王琴. 面向深度学习的大学物理学习评价——以大一学生解决某一力学问题为例 [J]. 大学物理, 2020, 39(3): 63-68.
CHEN Y J, HUANG Z X, WANG Q. The learning evaluation of introductory physics for deeper learning—Taking freshmen to solve a mechanical problem as an example [J]. College Physics, 2020, 39(3): 63-68. (in Chinese)