

教学论坛

# 基于标准的高中物理学科 学业质量评价研究

周晓东 (上海市杨浦区教育学院 上海 200092)

**摘要** 依据《普通高中课程方案》和《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》，从理论依据、评价框架、探索实践三个方面对基于标准的高中物理课程学业质量水平评价开展探索研究。

**关键词** 学业质量 物理学科核心素养 评价

文章编号 1002-0748(2024)3-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

## 1 理论依据

### 1.1 课程标准要求

2018年中华人民共和国教育部颁布了《普通高中课程方案》和《普通高中物理课程标准》。关于学科课程标准研制了学业质量标准，明确了学生完成物理学科的学习任务后，学科核心素养应该达到的水平，各水平的关键表现构成评价学业质量的标准。引导教学更加关注育人目的，更加注重培养学生核心素养，更加强调提高学生综合运用知识解决实际问题的能力，帮助教师和学生把握教与学的深度和广度，为阶段性评价、学业水平考试和升学考试命题提供重要依据，促进教、学、考有机衔接，形成育人合力。

《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》中提出学业质量水平的要求，对考试评价提出了新的命题依据。具体阐述如下：

#### 1.1.1 学业质量内涵

学业质量是学生在完成本学科课程学习后的学业成就表现。学业质量标准是以本学科核心素养及其表现水平为主要维度，结合课程内容，对学生学业成就表现的总体刻画。依据不同水平学业成就表现的关键特征，学业质量标准明确将学业质量划分为不同水平，并描述了不同水平学业质量的具体表现。高中物理学业质量是依据物理学科核心素养中的“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”四个方面及其水平，结合课程内容的要求，依据不同水平学业成就表现的关键特征而制定的。

高中物理学业质量根据问题情境的复杂程度、知识和技能的结构化程度、思维方式或价值观念的

综合程度等划分为不同水平。每一级水平皆包含物理学科核心素养的四个方面，主要表现为学生在不同复杂程度情境中运用重要概念、思维、方法和观念等解决问题的关键特征。不同水平学业质量之间具有由低到高逐渐递进的关系。

#### 1.1.2 学业质量水平与考试评价的关系

高中物理学业质量分五级水平，既是指导学生自主学习和评价、教师开展日常教学设计、命题和评价的重要依据，也是高中学业水平考试命题的重要依据。其中，学业质量水平2是高中毕业生应达到的合格要求，是学业水平合格性考试的命题依据；学业质量水平4是用于高等院校招生录取的学业水平等级性考试的命题依据。

#### 1.2 高考评价体系

教育部考试中心研制的《中国高考评价体系》指出，高考评价体系由“一核四层四翼”组成，其中，“一核”是高考的核心功能，即“立德树人、服务选才、引导教学”，回答“为什么考”的问题；“四层”为高考的考查内容，即“核心价值、学科素养、关键能力、必备知识”，回答“考什么”的问题；“四翼”为高考的考查要求，即“基础性、综合性、应用性、创新性”，回答“怎么考”的问题。其结构如图1所示。

学业质量水平考试是保障教育教学质量的一项重要制度，是根据课程标准和教育考试规定，以学业质量水平为依据的标准参照考试，主要测量学生是否达到课程标准规定的学业质量水平的要求。按照《国务院关于深化考试招生制度改革的实施意见》的要求，学业水平考试的考试成绩是学生高中毕业和升学的重要依据。实施学业水平考试，有利于落实

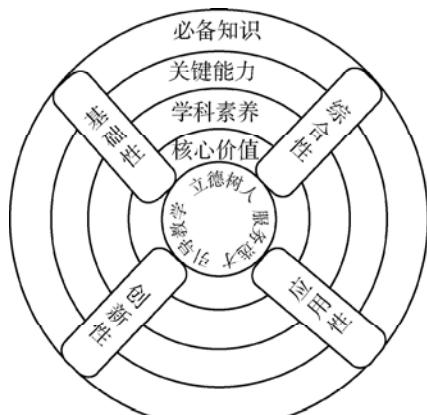


图1 高考评价体系

发展学生核心素养的课程目标,有利于学校准确把握学生的学习情况,改进教学管理。

## 2 评价框架

用于高校招生录取的学业水平考试是面向今后进入高校学习理工科的部分学生的考试,其考查内容为高中物理课程标准规定的必修和选择性必修两部分内容。该学业水平考试主要是体现综合性和应用性,注重考查学生对重要物理概念与规律的深入理解及灵活应用情况;试题的任务情境要与生产生活、科技事件等紧密联系,关注物理学前沿与成果应用;注重探索设计与现实相关的问题情境,加强对学生应用物理学知识综合解决实际问题能力的考查;强调对创新精神和实践能力的考查,能较好地区分学生在核心素养上的不同水平。用于高校录取的学业水平考试同时要有一定的选拔功能,应该具有较好的区分度,有利于区分学生不同层次的学业水平,有利于不同层次高校选拔人才。

经过几年区域高中物理科学业质量评价探索实践研究,我们提炼出了基于素养导向的高中物理科学业质量评价框架,如图2所示。

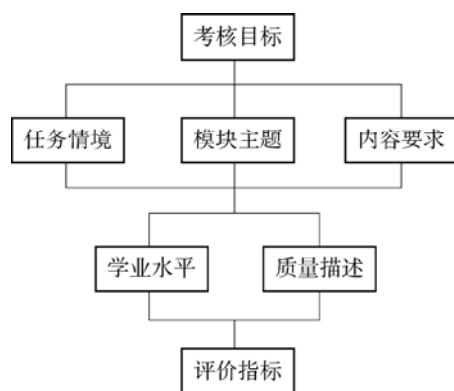


图2 学业质量评价框架

试题的考核目标应根据课程标准关于物理学科核心素养和学业质量水平要求制定,明确试题的命题依据。

试题的任务情境应符合所考查的学生学段和知识背景,围绕学生常见的生活情境、科技热点等。试题情境的复杂性、新颖性是试题难度的影响因子之一。试题的考查内容在课程标准中对应的模块主题和内容要求能将学生完成试题时所涉及的学科知识覆盖程度显性体现,使这一试题难度影响因子评估具备量化科学依据。

试题的任务情境、模块主题和内容要求指向试题所考查的学业水平及对应的质量描述。能体现试题所考查的物理学科核心素养的某一个或几个方面,提供判断的依据。依据学业水平和质量描述,撰写试题的评价指标。评价指标应设置梯度,对学生不同的解答情况分层细化评价标准,其目的是能较为准确地析出学生所具备的核心素养水平。

评价指标和考核目标要进行比对,二者应相互匹配,即依据评价指标能清晰、准确地表达试题的考核目标,能科学、有效地析出考生的核心素养。

根据评价框架制定了试题评价量表如表1所示。

表1 试题评价量表

| 考核目标 | 任务情境 | 模块主题 | 内容要求 | 学业水平 | 质量描述 | 评价指标 |
|------|------|------|------|------|------|------|
|      |      |      |      |      |      |      |

## 3 探索实践

基于学业质量评价的理论依据和评价框架,杨浦区高中物理学科初步实践了物理学科学业质量评价的探索研究,进行命题革新和尝试。为建立正确的学业质量观,要从“以知识为核心”转变为“以素养为核心”,测量方法主要以学生的学科能力表现为判断依据,侧重对问题解决能力的评价。

经过几年的实践提炼总结出具体实施的路径如图3所示。

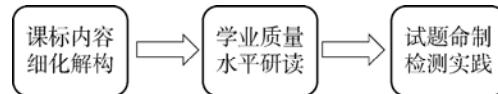


图3 物理学科学业质量评价实施路径

### 3.1 课标内容细化解构

通过对课标具体的学习内容的解构,将内容要求细化为小条目,并进行编码,同时特别注重析出每

一内容要求的条目中的行为动词,能有效地对命制的试题进行内容要求的分类,制定对应的素养评价量表,以表2为例,说明如何对必修课程中必修1的内容进行细化解构。

表2 必修1课程内容的细化解构

| 课程             | 模块主题                   | 内容要求   |
|----------------|------------------------|--|
| 必修课程<br>1 必修 1 | 1. 1 机<br>械运动与<br>物理模型 | 1. 1. 1① 了解近代实验科学产生的背景。<br>② 认识实验对物理学发展的推动作用   |
|                |                        | 1. 1. 2① 经历质点模型的建构过程,了解质点的含义。<br>② 知道将物体抽象为质点的条件,能将特定实际情境中的物体抽象成质点。<br>③ 体会建构物理模型的思维方式,认识物理模型在探索自然规律中的作用                             |
|                |                        | 1. 1. 3① 理解位移、速度和加速度。<br>② 通过实验,探究匀变速直线运动的特点。<br>③ 能用公式、图象等方法描述匀变速直线运动。<br>④ 理解匀变速直线运动的规律,能运用其解决实际问题。<br>⑤ 体会科学思维中的抽象方法和物理问题研究中的极限方法 |
|                |                        | 1. 1. 4① 通过实验,认识自由落体运动规律。<br>② 结合物理学史的相关内容,认识物理实验与科学推理在物理学研究中的作用   |
|                | 1. 2 相<br>互作用与<br>运动定律 | 1. 2. 1① 认识重力、弹力与摩擦力。<br>② 通过实验,了解胡克定律。<br>③ 知道滑动摩擦和静摩擦现象。<br>④ 能用动摩擦因数计算滑动摩擦力的大小  |
|                |                        | 1. 2. 2① 通过实验,了解力的合成与分解。<br>② 知道矢量和标量。<br>③ 能用共点力的平衡条件分析生产生活中的问题   |
|                |                        | 1. 2. 3① 通过实验,探究物体运动的加速度与物体受力、物体质量的关系。<br>② 理解牛顿运动定律。<br>③ 能用牛顿运动定律解释生产生活中的有关现象、解决有关问题。<br>④ 通过实验,认识超重和失重现象                          |
|                |                        | 1. 2. 4① 知道国际单位制中的力学单位。<br>② 了解单位制在物理学中的重要意义   |

### 3.2 学业质量水平研读

#### 3.2.1 核心素养要素提炼

学科核心素养是学科育人价值的集中体现,是学生通过学科学习而逐步形成的正确价值观、必备品格和关键能力。物理学科核心素养主要包括“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”

四个方面,每个方面包括几个要素如表3所示。

表3 核心素养构成要素

| 物理观念    | 物质观念      |
|---------|-----------|
|         | 运动与相互作用观念 |
|         | 能量观念      |
| 科学思维    | 模型建构      |
|         | 科学推理      |
|         | 科学论证      |
|         | 质疑创新      |
| 科学探究    | 问题        |
|         | 证据        |
|         | 解释        |
|         | 交流        |
| 科学态度与责任 | 科学本质      |
|         | 科学态度      |
|         | 社会责任      |

#### 3.2.2 学业质量水平对比

学业质量水平是学生学科核心素养的表现性评价依据,主要评价学生经过一段时间学习后应该或者必须达到的基本能力与品格。通过对比不同学业质量水平所对应的质量描述,能较为清晰地呈现各级水平间素养要求的高低差异,能科学有效地帮助命题教师更好地掌握学生核心素养的各级水平。

质量描述中的四条分别指向核心素养的四个方面,如核心素养中的“科学探究”,其要素有四个:问题、证据、解释和交流。下面结合核心素养要素并通过将学业质量水平2与水平4的质量描述进行对比,来举例说明(如表4所示)。

表4 “科学探究”中水平2和水平4的对比

| 水平<br>质量描述<br>要素 | 水平2                        | 水平4                                 |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 问题               | 能观察物理现象,提出物理问题             | 能分析相关事实或结论,提出并准确表述可探究的物理问题,作出有依据的假设 |
| 证据               | 能根据已有的科学探究方案,使用所学的基本器材获得数据 | 能制定科学探究方案,选用合适的器材获得数据               |
| 解释               | 能对数据进行整理,得到初步的结论           | 能分析数据,发现其中规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行解释   |
| 交流               | 能撰写简单的报告,陈述科学探究过程和结果       | 能撰写完整的实验报告,对科学探究过程与结果进行交流和反思        |

通过表4对比分析可知：水平2中对“问题”的质量描述是“能观察物理现象，提出物理问题”，而到水平4中明确要求“能分析相关事实或结论，提出并准确表述可探究的物理问题，作出有依据的假设”，这就要求学生不仅想提问，还得能提出有质量、可开展研究、自己能做出假设的问题。这就是素养水平提升的明确阐述。以学科核心素养为基准，厘清学业质量水平的具体描述，正确区分学业质量水平及划分依据，为测试提供监测标准。

### 3.3 试题命制检测实践

案例一：答案的设置从唯一走向多解。

**例1** 如图4所示，一个有质量的小球用一细线悬于箱子顶上的O点，箱子沿某一方向做匀加速直线运动。

表5 试题的评价量表

| 考核目标                | 任务情境                           | 模块主题              | 内容要求                              | 学业水平 | 质量描述  | 评价指标  |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------|------|---|---|
| 科学思维中的“模型建构”和“科学推理” | 一小球用细线悬于箱子顶上O点，箱子沿某一方向做匀加速直线运动 | 必修1中的1.2相互作用与运动定律 | 1.2.3③能用牛顿运动定律解释生产生活中的有关现象、解决有关问题 | 水平4  | 能将实际问题中的对象和过程转换成所学的物理模型；能对综合性物理问题进行分析和推理，获得结论并出解释 | 写出①说明学生能在熟悉的问题情境中解答，介于水平2~3之间；写出②说明学生思维程度较高，能在各类熟悉的问题情境中进行关联分析，达到水平4；写出③、④说明学生能熟练运用数学知识解决物理问题，介于水平4~5之间 |

设置答案的多解性能使学生内隐的思维程度外显，给予学生更多的思考和解答空间，引导学生更深入地思考各种可能情况，呈现思维的深度，便于对学生的素养水平进行评价。此题阅卷时统计，答出①的学生较多，约占80%；在答对①的基础上答出②的学生不到50%，答出③或④的学生不到10%。

案例二：试题的求解过程从算出答案到严密论证。

**例2** 我国500 m口径球面射电望远镜(FAST)被誉为“中国天眼”，如图5所示。其主动反射面系统是一个球冠反射面，球冠直径为500 m，由4450块三角形的反射面单元拼接而成。它能探测到频率在70 MHz~3 GHz之间的电磁脉冲信号( $1 \text{ MHz} = 1 \times 10^6 \text{ Hz}$ ,  $1 \text{ GHz} = 1 \times 10^9 \text{ Hz}$ )。

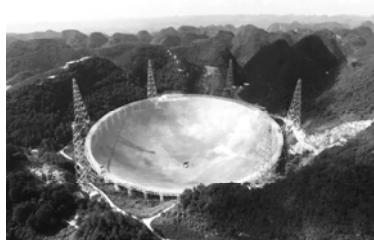


图5

直线运动，细线与竖直方向的夹角 $\theta$ 始终不变，重力加速度为 $g$ 。小球受到的空气阻力不计。写出箱子可能的二种加速度情况：①\_\_\_\_\_；  
②\_\_\_\_\_。

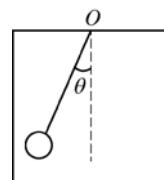


图4

参考答案：①加速度方向水平向右，大小为 $gtan\theta$ ；②自由落体运动，加速度为 $g$ ；③加速度方向斜向右上，与水平方向夹角为 $\alpha$ ，加速度大小 $a = \frac{gsin\theta}{cos(\theta+\alpha)}$ ；④加速度方向斜向右下，与水平方向夹角为 $\alpha$ ，加速度大小 $a = \frac{gsin\theta}{cos(\theta-\alpha)}$ 。

为了不损伤望远镜球面，对“中国天眼”进行维护时，工作人员背上系着一个悬在空中的氦气球，氦气球对其有大小为人自身重力的 $\frac{5}{6}$ 、方向竖直向上的拉力作用，如图6所示。若他在某处检查时不慎从距底部直线距离20 m处的望远镜球面上滑倒(球面半径 $R = 300 \text{ m}$ )。



图6

若不计人和氦气球受到的空气阻力，氦气球对人的竖直拉力保持不变，估算此人滑到底部所用的时间并写出估算依据。

参考答案：将此工作人员简化为质点，多个单元拼接而成的反射面等效为一个光滑且平滑的球冠内

部,把他沿球面下滑的过程类比为单摆的摆动过程。

摆角  $\theta = \frac{s}{R} = \frac{20\text{ m}}{300\text{ m}} = \frac{1}{15}\text{ rad} = 3.82^\circ$ , 摆角小于  $5^\circ$ , 沿球面下滑的过程可视为简谐振动, 摆长  $l$  为球面半径,  $l = R = 300\text{ m}$ 。

等效重力加速度  $g' = \frac{mg - \frac{5}{6}mg}{m} = \frac{1}{6}g$ ,  $g$  取  $9.8\text{ m/s}^2$ 。

$$t = \frac{1}{4}T = \frac{1}{4} \times 2\pi \times \sqrt{\frac{l}{g'}} = \frac{1}{4} \times 2\pi \times \sqrt{\frac{300}{\frac{1}{6} \times 9.8}} \text{ s} = 21.28 \text{ s}.$$

说明:若学生用沿倾角  $\frac{\theta}{2}$  的光滑斜面静止下滑这一模型计算,  $t = \sqrt{\frac{2s}{g' \sin 1.91^\circ}} = 27.1\text{ s}$ 。

表 6 试题的评价量表

| 考核目标                | 任务情境                   | 模块主题                    | 内容要求                       | 学业水平 | 质量描述                                  | 评价指标   |
|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|------|---------------------------------------|--|
| 科学思维中的“模型建构”和“科学论证” | 在 500 m 口径球面射电望远镜上进行维修 | 选择性必修 1 中的 1.2 机械振动与机械波 | 1.2.2 ② 知道单摆周期与摆长、重力加速度的关系 | 水平 4 | 能将实际问题中的对象和过程转换成所学的物理模型;能恰当使用证据证明物理结论 | 用沿光滑斜面下滑这一模型求解,达到水平 2;能采用单摆模型求解,达到水平 3;能根据所给条件论证沿球面的下滑过程可视作简谐振动,达到水平 4 |

试题的解答从以往要求学生能正确求出答案提升到要求学生能运用所学知识进行严密的思考论证、做出解答。通过阅卷,教师能较准确地判断学生运用知识解决问题的素养水平,从而能依据学生呈现的解答过程给予相对应的分数。

### 案例三:探索真实情境的综合题的命制。

2023 年上海市高中物理学业水平合格性考试试卷面向新课程新教材实施的第一届高二学生,由若干源自真实情境的综合题组成。杨浦区也进行了综合题的评价实践。以其中一道火星探测综合题为例。

**例 3** 如图 7 所示,我国发射的“天问一号”火星探测器实现了中国在深空探测领域的技术跨越而进入世界先进行列。“天问一号”的名称源于屈原长诗《天问》,寓意探求科学真理征途漫漫,追求科技创新永无止境。已知火星质量约为地球质量的 10%,半径约为地球半径的 50%。



图 7

- (1) 火星探测器的发射速度需大于地球的 ( )  
 (A) 第一宇宙速度 (B) 第二宇宙速度  
 (C) 第三宇宙速度

(2) “祝融”号火星车在地球表面与在火星表面受到的引力的比值约为 ( )

- (A) 0.2 (B) 0.4 (C) 2.0 (D) 2.5

(3) 仅考虑狭义相对论效应,在高速飞行的火箭里的时钟走过 10 s,理论上在地面的观测者测得的时间 ( )

- (A) 大于 10 s (B) 小于 10 s (C) 等于 10 s

(4) ① 选取\_\_\_\_\_, 可求出火星表面的重力加速度;

② 选取\_\_\_\_\_, 可求出火星同步卫星的轨道半径。

以上两填空题均选涂:(A) 火星半径  $R$  (B) 探测器环绕火星表面飞行的速率  $v$  (C) 引力常量  $G$  (D) 火星自转周期  $T$

(5) 长征五号遥四运载火箭搭载“天问一号”探测器以速率  $v_0$  进入太空预定轨道,由控制系统使箭体与探测器分离,分离时前面部分的探测器质量为  $m_1$ , 后面部分的箭体质量为  $m_2$ , 分离后箭体以速率  $v_2$  沿火箭原方向飞行,若忽略分离前后系统总质量的变化,则分离前后系统的动量\_\_\_\_\_(选填“守恒”或“不守恒”)。分离后探测器的速率  $v_1$  为\_\_\_\_\_, 系统的动能\_\_\_\_\_(选填“增大”“减小”或“不变”)。

此题源自我国最新航空航天科技热点新闻,属于真实情境下问题解决型的综合题,几个小题与情境题干关系紧密,且覆盖了万有引力定律、狭义相对论、动量等知识内容,考察了物理观念、科学思维等核心素养。源自真实情境的题目除应符合物理学科

(下转第 10 页)

**表2 学生图象表征转换常见认知困难及其出现比例汇总**

| 学生图象表征转换常见认知困难   | 平均比例  |
|------------------|-------|
| (1) 直接保留源表征的表面形状 | 7.1%  |
| (2) 将高度变化与斜率变化混淆 | 10.3% |
| (3) 机械映射不同物理量的符号 | 14.9% |
| (4) 物理量间关系线性化的倾向 | 18.3% |
| (5) 混淆运动的状态量与过程量 | 7.5%  |

总体而言,有相当一部分学生难以基于运动学图象表征构建物理意义,在联系、统一不同的运动学图象表征,构建清晰的物体运动图景的过程上存在障碍。

#### 4 教学建议

教材中概念与规律常以多元表征形式呈现,高考试题中也出现了越来越多的图象表征题<sup>[8]</sup>,学生已不可避免地需要进行表征的转换。为此,笔者为一线教师提供以下针对性教学建议。

##### 4.1 明示关键特征,从意义建构走向表征转换

对源表征的意义建构是成功表征转换的前提。对源表征关键特征的提取错误会直接导致表征转换的障碍。例如,当学生不知道“ $x-t$ 图”图象的斜率大小代表瞬时速度大小时,容易出现如直接保留源表征的表面形状等错误。

因此,教师首先应该明示学生各种表征的关键特征,如清晰地阐明图象的斜率、面积、截距的物理含义。在此基础之上,逐步认识不同表征间的桥梁、抓住转换的关键,如进行“ $x-t$ 图→ $v-t$ 图”转换时“斜率”的概念是关键、进行“ $v-t$ 图→ $x-t$ 图”转换时“面积”的概念是关键。

##### 4.2 引入信息技术,建立运动过程的清晰图景

构建明晰、一致的运动图景,联系不同表征是成功表征转换的关键。本研究揭示的认知困难均可以归结为学生表征转换时清晰运动图景的缺乏。例如,“物理量间关系线性化的倾向”反映了学生对匀变速直线运动中位移的变化图景感知不足;“混淆运动的状态量与过程量”反映了学生难以根据离散的状态建立起物体连续运动的图景等。

(上接第6页)

概念、规律外,特别要考虑试题表述、数据应符合真实情况,不能随意编造。

#### 参考文献

[1] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版

为了帮助学生对运动过程建立清晰的物理图景,教师可以引入现代化的教育技术等多媒体手段<sup>[9]</sup>。通过平板电脑实时观看物体的运动视频、频闪照片、 $x-t$ 图、 $v-t$ 图,能有效促进学生对运动学多元表征的整合,加深学生对运动规律的理解。类似的做法很容易在 Tracker 等软件中实现。

##### 4.3 引导元认知反思,选取问题解决的恰当表征

在引导学生流畅地进行表征转换之余,教师还应该进一步将表征转换显化为解决问题的工具。教师可以引导学生从元认知反思的角度去思考解决问题最恰当的表征是什么,从而通过表征转换巧妙地进行问题的解决。

例如,当题目给出了物体加速度周期变化的 $a-t$ 图并要求学生求出在一段时间内的位移时,将 $a-t$ 图转换为 $v-t$ 图就可以规避公式表征可能带来的复杂计算,直接从图象面积推出物体的位移。由此可见,元认知反思可以让学生“居高临下”地思考恰当的表征形式,以表征转换为有效工具巧妙地解决问题。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018.
- [2] E. McLoughlin, O. E. Finlayson, S. Erduran, et al. Bridging Research and Practice in Science Education [M]. Cham: Springer International Publishing, 2019. 6:35–50.
- [3] Van den Eynde S, van Kampen P, Van Dooren W, et al. Translating between graphs and equations: The influence of context, direction of translation, and function type [J]. Physical Review Physics Education Research, 2019, 15(2):020113.
- [4] 张萍, Ding Lin, 贾泽皓, 宋娇.物理例题教学创新策略及其价值[J].课程·教材·教法, 2018, 38(11):122—127.
- [5] 李刚.推理—表征—解释:构建教师大概念教学的逻辑框架[J].比较教育研究, 2022, 44(04):72—77, 87.
- [6] S. Trausan-Matu, K. E. Boyer, M. Crosby, et al. Intelligent Tutoring Systems [M]. Cham: Springer International Publishing, 2014, 8474:426–435.
- [7] Leinhardt G, Zaslavsky O, Stein M K. Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching [J]. Review of Educational Research, 1990, 60(1):1–64.
- [8] 陈芝莹.高中生物理图象表征能力的研究[D].上海:华东师范大学, 2022.

2020年修订)[S].北京:人民教育出版社,2018.

[2] (美)拉尔夫·泰勒.课程与教学的基本原理[M].罗康,张阅,译.北京:中国轻工业出版社,2014.

[3] 上海市教育委员会教学研究室.中学物理单元教学设计指南[M].北京:人民教育出版社,2018.