

文章编号:1005-4642(2022)11-0050-10



## 高中物理探究型实验设计能力 测评框架的构建与应用

张军朋<sup>1</sup>, 范亚辉<sup>2</sup>, 吕辰祎<sup>1</sup>, 邓浩仪<sup>1</sup>

(1. 华南师范大学 物理与电信工程学院, 广东 广州 510006;

2. 深圳高级中学, 广东 深圳 518040)

**摘 要:**实验是科学探究的重要方式,实验设计能力是实验探究中必备的关键能力. 基于国际实验能力评价标准,确定了高中物理探究型实验设计能力的 3 个测评要素与 7 个具体指标. 以 SOLO 分类理论为指导划分实验设计能力的水平层次,构建了高中物理探究型实验设计能力的测评框架,应用测评框架开发了情境化纸笔测试工具,这对于高中物理探究型实验的教学与评价具有启示作用.

**关键词:**实验设计能力;探究型实验;测评框架;测评工具

**中图分类号:**G633.7

**文献标识码:**B

**DOI:**10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.11.009

在物理课程中,科学探究是物理学科核心素养的重要内容,实验探究是科学探究的主要形式,实验设计是实验探究的重要环节. 已有研究发现,学生在经历自己设计、调查来解决问题的过程后,对科学本质和探究的认识有很大改变<sup>[1]</sup>. 而在我国中学物理实验教学中,教师往往把实验目的、原理、具体操作步骤等讲解清楚,学生根据具体步骤进行操作,做实验对于学生来说仅仅是动手重复固定的操作. 对中学生的科学探究能力现状的调查表明,学生的物理实验设计能力是中学生探究能力中较为薄弱的环节<sup>[2]</sup>. 科学探究不仅仅要动手做实验,更要积极主动地动脑设计实验. 现代社会对人才的需求已不局限于对知识的记忆和技术活动的重复,更看重的是能够应对多变世界中可能出现的新问题的能力.

物理实验设计能力属于高阶思维能力的范畴,但我国现行物理教学和评价没有对学生的高阶思维能力给予足够重视<sup>[3]</sup>. 长期以来,基于课程标准的学业成就评价研究相对滞后,且在高考指挥棒下,课程标准和学业评价标准无法较好地衔接. 课程标准没有给出具体实验设计能力的评价标准和样例,这给评价学生达到什么程度带来了困难. 因此,物理实验评价改革应促进学生实

验设计能力的发展,应为促进学生对实验的深度学习而评,应为促进学生对实验的深度学习而教.

目前,国内大多数研究集中在科学探究能力的测评上,关于实验设计能力的测评研究较少,且有关实验能力的测评形式主要关注容易评价和确定性的实验知识、方法和技能,多以甄别与选拔功能为主,没有发挥实验评价的激励与导向作用. 本研究在明晰物理探究型实验设计能力内涵及测评要素的基础上,基于国际实验或科学能力评价标准,确定高中物理探究型实验设计能力的测评要素与具体指标,构建高中物理探究型实验设计能力测评框架,应用测评框架尝试开发情境化纸笔测试工具,旨在为物理探究型实验设计能力测评实践提供标准,指明评价的路径和方向,同时为正确引导物理探究型实验教学与测评提供参考.

### 1 物理探究型实验设计能力的内涵

#### 1.1 探究型实验

目前的学生实验,除了技能训练型实验和知识应用型实验外,主要有 2 类:a. 验证型实验,即在学习相应的知识之后通过实验进行验证;b. 探究型实验,与验证型实验的区别在于,探究型实验是在学生不知道实验结果和结论的前提下进行,

**收稿日期:**2022-08-26

**作者简介:**张军朋(1963—),男,山东成武人,华南师范大学物理与电信工程学院教授,研究方向为中学物理与教学论.  
E-mail:zhangjp@scnu.edu.cn

其主要目的是让学生动脑动手探究和解决科学性问题,体验类似研究人员进行科学实验研究的过程,以增强学生对科学本质的认识和理解。在验证型实验和探究型实验中,实验内容可能相似,但是设计思路不同,学生的心理活动不同,得到的训练也不同。

### 1.2 实验设计能力

在物理教学中,实验能力是综合能力,从实验前的设计、实验中的操作和观测、实验后的数据分析处理和实验报告的撰写,都是物理实验能力的表现<sup>[4]</sup>。在实验能力的诸多因素中,主要体现为实验设计能力、实验操作能力、实验观测能力和实验数据处理能力。其中,物理实验设计能力是指在理解与掌握实验目的、实验原理、实验方法等内容的基础上,具体设计实验方案的能力;实验操作能力是指对实验仪器、工具的使用以及实验过程中的动手操作能力。

实验设计过程是指学生根据实验目的和要求,运用相关的知识和技能,在头脑中对实验仪器、装置、步骤和方法进行规划并拟定好实验方案的过程<sup>[5]</sup>。拟定实验方案是对实验活动的超前认识,是对实验应该做什么、用什么做、怎样做等问题的思考。

以上对实验设计能力进行了界定,并对实验设计能力与实验操作能力进行了区分。从定义来看,实验设计能力是根据实验目的和要求,选择恰当的实验器材和实验方法,灵活运用学科知识和技能,设计实验方案的能力。

### 1.3 探究型实验设计能力

如前所述,实验设计是在用实验的方法解决具体问题时,形成的对实验应该做什么、用什么做、怎样做等问题的解决思路或实验方案。实验设计需要学生综合运用所学知识和已有经验,创造性地构思、设计解决问题的途径和方法。探究型实验具有很强的灵活性与开放性,对于要解决的同一问题,根据相同的实验条件,学生可以进行不同的设计。好的实验设计,必须遵循科学性、简便可行性、控制变量、可重复性及设立对照等原则。

实验探究过程是让学生在真实情境中发现问

题,并尝试解决问题的过程。在解决问题的过程中,学生针对问题尝试提出实验方案。结合 1.2 中对实验设计能力的概念界定,可认为:物理探究型实验设计能力是明确实验目的和要求,根据探究问题的需要,学生自主选择合适的实验方法和恰当的实验器材,灵活运用物理知识和技能,设计探究型实验去探索未知问题的能力。

常规的考查物理实验设计能力的试题大多是基于学生做过的实验,针对物理实验设计能力的个别方面创设新的情境(条件变化或者试题形式变化),严格来说不具有探究性。而物理探究型实验设计能力是高阶思维能力,不同于常规的实验设计。

## 2 探究型实验设计能力的测评要素

学生能力的形成和发展与其参与的活动密切相关,学生能力的高低能够在活动中表现出来,但并非所有活动都能同等程度地提高学生的能力,不同的活动在培养能力方面的差异主要体现在活动的自主程度上。

根据学生在探究型实验设计活动中的自主程度,可将实验探究按自主程度由低到高分分为结构型探究、指导型探究与开放型探究<sup>[6]</sup>。基于上文界定的实验设计能力内涵:评价学生实验设计能力需要根据学生按照实验目的与要求,自主选择实验方法和仪器的程度。因此,本文用于评价学生探究型实验设计能力的探究型实验是指指导型探究。

就探究型实验过程而言,学生要经历基于观察和实验提出物理问题,形成猜想和假设,设计实验与制订方案,获取和处理信息,基于证据得出结论并作出解释以及交流、评估和反思等环节<sup>[7]</sup>。其中,基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计实验与制订方案 3 个环节是探究型实验设计必须经历的过程。

就探究型实验教学而言,教学过程一般分为 5 个阶段,如图 1 所示,而本文研究的探究型实验设计能力主要体现在实验准备阶段。学生探究型实验设计能力决定了其后续的实验实施和实验处理的质量与效率。



图 1 探究型实验活动的基本流程

物理探究型实验设计能力是复杂的心理结构,由许多要素组成.在物理实验探究问题解决过程中往往需要多个要素的协同作用.同时,在研究测评问题时,为了说明整体结构,需要将其分解为一些有联系的基本要素.

从国际高校和研究机构对实验能力或科学能力的测评来看,测评中都包含对科学探究能力的测评,例如英国的 GCE-A 级实验考试、美国的 NAEP 科学能力测评、国际 PISA 科学能力测评以及国际 TIMSS 科学成就测评.在科学探究能力测评要素中都包含实验设计的测评(纸笔考试)要求,这些要求中均涵盖学生就特定问题情境制订实验计划,包括实验步骤、测量变量和控制无关变量的方法、分析数据的方法以及应该注意的安全措施等<sup>[6]</sup>.

结合上述国际对科学探究型实验设计测评要求,本文研究的探究型实验设计能力测评的基本要素包含:变量识别(变量包括自变量、因变量及控制变量),实验装置、材料及方法的选择,实验探究步骤的设计(测量变量和控制变量的方法).

### 2.1 变量识别

在探究型实验设计之初,学生要明确实验目的,即弄清楚“做什么”的问题,并通过推理对探究的问题进行分析,识别出探究问题涉及的自变量、因变量及控制变量(指实验中除自变量以外,影响实验结果的因素或条件,也称无关变量).教师根据学生能否识别自变量与因变量来判断其是否明确实验目的,只有明确了实验目的,才能保证学生在后续实验材料、装置及方法的选择上和实验探究过程设计的方向的正确性.

### 2.2 实验装置、材料及方法的选择

在探究型实验设计中,选择合适的实验材料、装置及方法对于有效测量或控制变量至关重要.根据变量的操作性定义,学生思考实验中物理量需要的测定仪器或制作材料,从而准确地判断出需要选择的实验器材或材料,才能在实验中有效

地控制变量,保证实验结论正确、可靠.

### 2.3 实验探究步骤的设计

探究型实验是开放性活动,可能存在多种实验方案和实验操作程序,因此学生要根据实验设计的基本原则,设计合理的实验探究步骤,并对变量进行操作性定义(根据合适的实验原理及方法,对变量如何测量进行说明或描述)以及确定合理的获取实验数据次数.此外,获取实验数据的时间点也是影响实验结果的关键因素.因此,本文将获取实验数据的时间点确定为实验探究步骤设计中应该包含的基本内容.

## 3 物理探究型实验设计能力的测评框架

### 3.1 测评性质

从评价标准性质的角度,教学评价可分为绝对评价和相对评价<sup>[8]</sup>.绝对评价又称目标参照评价,是以评价对象以外的某一客观目标为参照标准的评价,考查评价对象达到目标的程度和水平,用于衡量评价对象的实际水平.相对评价又称常模参照评价,是以评价对象团体的平均水平为参照标准的评价,主要考查评价对象在评价团体中的相对位置,用于衡量评价对象的相对水平.

高中物理探究型实验设计能力测评目的在于对学生在探究型实验设计能力水平进行评定,了解学生在实验探究过程中实验设计能力的状况,为改进探究型实验设计的教学提供反馈.因此,本文的测评性质为目标参照评价.

### 3.2 测评内容

物理探究型实验设计能力是复杂的综合能力,可将其分解为 3 个要素:变量识别,实验材料、装置及方法的选择,实验探究步骤的设计.

表 1 给出了本测评的基本要素、分解的具体指标及具体指标的内涵,即测评指标的外显行为,由此可确定物理探究型实验设计能力的测评要素、测评内容,即具体指标与外显行为之间的对应关系.



表 1 物理探究型实验设计能力的基本要素、具体指标及外显行为

基本要素	具体指标	(内涵)外显行为
变量的识别	识别自变量和因变量	能识别自变量和因变量,并能清晰、准确地表述.
	识别控制变量	能识别全部控制变量.
装置、材料及方法的选择	测量装置或制作材料的选取	知道测量自变量和因变量所需的实验器材,并且能进行正确选择.
	装置、材料或方法,有效控制变量	合理选择材料、器材或方法,有效地控制变量.
实验探究步骤的设计	操作性定义变量	能清楚说明自变量和因变量该如何进行测量.
	数据获取的时间点与次数	具有尽量减小实验误差的意识,能提出减小误差的方法,知道记录数据的时间点.
	操作思路的顺序及注意事项	能设计出完整且顺序合理的实验步骤,并有对具体注意事项的描述.

### 3.3 实验设计能力水平的划分

SOLO (Structure of the observed learning outcome) 分类理论是由澳大利亚教育心理学专家比格斯(J. B. Biggs)教授首次提出的学生学业评价方法,他认为:学生在学习具体知识的过程中,都要经历从量变到质变的过程,每一次跃变的发生,都说明学生进入了更高一级知识的认知阶段. SOLO 分类理论与皮亚杰的认知发展阶段理论的观点类似,不同的是 SOLO 分类理论更加关注学生在特定试题或某个学习领域内表现出来的认知结构,而非整体认知结构.

SOLO 分类理论本质上是认知发展的理论. 后来比格斯等人通过大量研究发现,SOLO 分类理论可以对学生的学习结果进行分类,首先将学生在回答某个问题或完成某项任务表现出来的思维结构称作可观察的学生学习成果结构,然后将

可观察的学生学习成果结构由低到高分 5 个层次,即前结构、单点结构、多点结构、关联结构和抽象扩展结构<sup>[9]</sup>.

如果将上述 5 个层次赋予不同的等级分数,那么学生回答问题的质量就可以被量化,量化的分数可以作为评价的依据<sup>[9]</sup>. 在评价过程中,SOLO 分层评价与传统的“采点给分”有本质的不同. SOLO 分层评价不仅重视“采点”即量的多少,还重视学业结果中文字表述的逻辑关系,以此界定学生思维能力所达到的水平与层次.

本文参照 SOLO 分类理论,将高中物理探究型实验设计能力的水平进行划分. 由于 SOLO 中的“抽象扩展水平”要求较高,因此本文依据 SOLO 分类理论的其余 4 个水平来划分高中物理探究型实验设计能力的水平层次,水平层次与其具体的行为表现如表 2 所示.

表 2 探究型实验设计能力的水平层次及行为表现

水平层次	行为表现
前结构	无法设计探究型实验.
单点结构	能初步识别 1 个(类)变量,选择 1 个(类)实验器材或材料,设计 1 个(类)关键步骤,但无控制变量的意识.
多点结构	能初步识别多个(类)变量,选择多个(类)实验器材或材料,设计多个(类)关键步骤,具有控制变量的意识,但是内容不完整或有缺漏.
关联结构	能结合具体情境识别全部变量,选择全部需要的实验器材或材料,设计完整且顺序合理的探究步骤,可以有效地控制变量.

根据 SOLO 分类理论将物理探究型实验设计能力的每个具体指标划分为 4 个水平. 为了方便对学生的反应进行处理,在设计测评工具时,根

据 SOLO 分类理论设计试题并对其赋分值,并以此确定测评框架中 7 个具体指标对应的水平,如表 3 所示.

表 3 高中物理探究型实验设计能力的具体水平层次的划分和评分说明

基本要素	具体指标	水平层次	行为范围	分数	
变量的识别	识别自变量和因变量	水平 0	不能识别自变量和因变量.	0	
		水平 1	能识别自变量或因变量,但语言描述不具体、不精确.	1	
		水平 2	能识别自变量或因变量,且语言描述具体、精确.	2	
	识别控制变量	水平 3	能识别自变量和因变量,且语言描述具体、精确.	3	
		水平 0	不能识别控制变量或只识别无关变量.	0	
		水平 1	能识别 1 类控制变量.	1	
装置、材料及方法的选择	测量装置或制作材料的选取	水平 2	能识别多类的控制变量,但有所缺漏.	2	
		水平 3	能识别全部的控制变量.	3	
		水平 0	没有选择任何材料或装置.	0	
	合理选择材料、器材或方法有效地控制变量	水平 1	选择用于 1 类变量的测量(制作)的材料或装置.	1	
		水平 2	选择用于 2 类的测量或制作的材料或装置,但有缺漏.	2	
		水平 3	能完整、正确地选择 2 类的测量或制作的材料或装置.	3	
		水平 0	没有选择材料、器材或方法来控制变量.	0	
		水平 1	能选择控制 1 个(类)变量的 1 个(种)材料、装置或方法.	1	
	操作性定义变量		水平 2	能选择控制多个(类)变量的 1 个(种)材料或装置,或选择 1 个变量的多个(种)材料或装置,但有所缺漏.	2
			水平 3	能选择控制多个变量的多个(种)材料或装置,且无缺漏.	3
			水平 0	不能对变量下操作性定义.	0
			水平 1	能对 1 个变量下操作性定义,但语言不准确.	1
水平 2			能对多个变量下操作性定义或对 1 个变量下多个操作性定义,但部分语言不准确.	2	
水平 3			能对多个变量下操作性定义或对 1 个变量下多个操作性定义,且语言准确.	3	
实验探究步骤的设计	数据获取的时间点与次数	水平 0	没有作答或无相关内容.	0	
		水平 1	知道对 1 个(类)物理量进行重复测量(方法)或知道何时记录数据.	1	
		水平 2	知道对 1 个(类)物理量进行重复测量(方法)和记录数据的时间,但有所缺漏,或者知道对多个(类)物理量进行重复测量(方法)和记录数据的时间,但有所缺漏.	2	
		水平 3	知道对 1 个(类)或多个(类)物理量进行重复测量(方法)和记录数据的时间,且无缺漏.	3	
		水平 0	没有任何信息或只有无效的操作步骤.	0	
		水平 1	答出部分顺序合理的实验步骤.	1	
操作思路的顺序及注意事项		水平 2	能够答出完整且顺序合理的实验步骤,但缺少对具体注意事项的描述.	2	
		水平 3	答出完整且顺序合理的实验步骤,且有对具体注意事项的描述.	3	

### 3.4 测评的方法及结果的解释与利用

从信息论的观点看,教育测评是依据测评目的的对测评信息的搜集、处理和分析,并做出解释的过程<sup>[8]</sup>. 因此,在高中物理探究型实验设计能力测评过程中,需要对搜集测评信息的方法进行选择,再设计并检验其测量工具,才能对学生的物理探究型实验设计能力做出量或质的记述,从而形成价值判断. 搜集教育测评信息的方法主要有观

察法、问卷法、访谈法和测验法.

1) 观察法. 观察法是对教育评价对象的活动进行有目的、有计划、系统、深入地观察,以搜集评价资料的方法. 观察法虽然具有自然、客观、真实的特点,但不容易获得较为精密的结果,并且高中学生的探究型实验设计能力具有内隐性,个别方面较难通过课堂行为直接进行测量和判断.

2) 问卷法. 问卷法是以书面形式向被调查者

提出严格设计的问题,从而获得评价信息的方法.如果在没有严格监督的条件下进行,学生容易对问卷不做回答或随意选填,因此用于测量学生的探究型实验设计能力水平时,较难得到客观的数据.

3)访谈法.访谈法是以直接的接触和口头问答方式获得评价信息的调查方法.该方法可以在一定程度上了解学生对探究型实验设计的认识,但难以判断学生的探究型实验设计能力水平,而且调查样本的数量会受到限制.

4)测验法.测验法是指对被试者的行为样本(由对仪器操作和问题的回答引起)进行测量的系统程序.探究型实验设计能力是学生在对相关实验方法、实验装置或仪器、相关物理知识理解的基础上,应用其解决实际问题的能力.通过测验能引起学生做出一系列的行为反应,进而得到客观真实的测量数据.

综上所述,探究型实验设计能力通过纸笔测试方式来进行测量是合理、有效的,因此本文采用测验法中的纸笔测验对高中物理探究型实验设计能力进行测评.

在结果分析方面,通过编制的测评工具对学生的物理探究型实验设计能力进行测评.根据 SOLO 分类理论对每个项目进行赋分,得到的分数转换成等距意义的 Logit 分,再通过 Rasch 模型将 Logit 分与探究型实验设计能力的水平划分相对应,从而确定每个学生的物理探究型实验设计能力的水平层次,再对照高中生物物理探究型实验设计能力水平框架中的行为范围,对学生的探究型实验设计能力做出解释.

### 3.5 测评工具的试题设计

#### 3.5.1 测评工具的内容选取

考虑到测评对象为高中学生,因此在确定高中探究型实验设计能力的测评内容时“装置的选择”不应超过课程标准中“所用仪器”的范围.

测评工具即测试卷将以物理知识为主要内容,围绕高中物理探究型实验设计能力测评的 7 个具体指标来设问.

由于探究型实验设计能力属于综合能力,所涉及的知识较多,因此主要以中学物理基础知识为主,涉及的实验器材主要是《高中物理课程标准》中较为简单的器材.为了提高测评的内容效度,本研究在设计测评工具时,会降低试题所涉及

知识的难度,这样可以给学生充分展示其探究型实验设计能力的机会,使学生根据自己已掌握的知识和方法灵活地、创造性地解决问题.

#### 3.5.2 测评工具的试题设计

要想确定被测试者的探究型实验设计能力的水平层次,就得尽可能准确地获得被测试者在作答测试卷时的行为表现,即测试卷要尽可能地让被试者展示其思维过程.这就与测试卷中试题类型的选取、试题的命制原则等息息相关.

试题类型按照回答方式一般可分为开放式、封闭式和半封闭式.其中,开放式试题是由被测试者根据自身的实际情况或主观感受自由回答,不受限制,因此被测试者的观点、思路和看法可以得到充分发挥,能够更真实地体现被测试者的实际情况.因此,开放式试题可以获取更多被测试者的答题信息,从反映被测试者的实际水平来看,开放式试题是最有效的测试方式.但由于被测试者不受限制地自由回答,可能会导致被测试者的回答与测试目的背道而驰,一定程度上会增加研究者处理数据的难度.尽管如此,根据本研究的要求和测评的性质,测试卷的题型仍选择开放式试题.

为了提高试题效度,避免因试题命制不当而产生不良问题,在命制试题时,应遵循以下原则:

1)情境性.试题的素材选择要以学生日常生活中熟悉的情境为基准,使学生在解答试题时有身临其境的感受,从而能真正沉浸其中回答好实验探究中的问题<sup>[10]</sup>.

2)设问清晰.为了准确获取被测试者在测试中的反应,试题中题干的表述一定要清晰明确,没有模糊性或歧义性.

3)控制性.试题设问的难度处于学生的最近发展区,使学生“跳一跳,能达到”,这样才能使学生在试题上的作答反映学生的真实水平.

4)新颖性.试题中的情境尽量新颖,应避免与学生平时做过的题目相近或类似.

5)探究性.试题应尽可能以学生现有的知识或技能来探究生活中的问题.

基于以上试题命制原则,结合测评工具内容选取的要求,考虑到实际情况,测试卷的试题数量不应太多.因此,本测评工具将选取 2 个不同的探究情境,通过在不同探究情境中相同结构的设问,研究者可根据被测试者的作答情况,获取其各

个具体指标的水平层次,进而得到被测试者物理探究型实验设计能力的水平层次.

#### 4 物理探究型实验设计能力测评实践:情境化纸笔测试工具

##### 4.1 问题设计

测评工具中的试题素材取自文献[6]中的探究性问题:探究不同类型导线与其辐射热能力的关系,探究包裹不同材料的纸杯对杯里液体的隔热能力.这2个题目所设置的情境不同,但都与生活实际情况密切相关.题目涉及的知识不同,内容较易,且都是学生已具有的必备知识.

为了考查学生探究型实验设计能力的稳定性和迁移性,2个题目的设问结构和方式相同,均涉及对物理探究型实验设计能力的7个具体指标的考查.情境化纸笔测试题如下:

试题1:研究不同类型导线的辐射热能力

在导线两端加上电压,过一段时间,导线会发热,这种热效应是烤箱、电暖器和电吹风等电器设备的工作原理.利用该原理研究不同类型导线(32规格铜、36规格铜、32规格铁、32规格镍铬合金,型号32和36分别表示直径为0.24mm和0.15mm的导线)的辐射热能力.

实验器材:工作电压为6V的加热器、6V电池、电池座、闸刀开关、鳄鱼夹导线、32规格铜、36规格铜、32规格铁、32规格镍铬合金、蜡笔、100g的砝码、细线、剪刀、米尺、秒表等.

根据提供的实验器材或其他器材,回答以下问题:

1)陈述要探究的问题,标明探究问题中涉及的自变量和因变量.

2)请写出自变量和因变量的测量(制作)原理或描述性定义,并分别写出所需具体器材.

示例与说明:如果要研究“不同小车运动的快

慢”,就要对不同的小车和快慢进行说明.不同小车:质量不同,其他方面都相同的小车;具体器材需要:砝码、小车、轨道;快慢:物体在给定距离中运动的时间,时间越短,物体运动越快.

3)请写出实验步骤,或用流程图进行说明,以便其他人可以重复实验.

4)设计相关数据表格,或者用于记录数据和结果的其他方法.

试题2:研究不同材料对液体的隔热能力

你是否曾买了1个饮热水的纸杯,并发现在你喝完之前,水已经凉了.请做1个能使杯中热水保持较长时间的纸杯(可通过包装该纸杯使之绝缘).

实验器材:6只带盖子的纸杯、布、4张黑纸、4张白纸、铝箔、直尺、秒表、6只带盖子的塑料杯、2支温度计、量筒、剪刀、2支体温计、热水、护目镜、围裙、铜导线[导线电阻会随温度变化而变化,若不考虑变化的非线性,则满足 $R=R_0(1+\alpha T)$ ,其中 $T$ 为温度]

根据提供的实验器材或其他器材,回答以下问题:

1)陈述要探究的问题,标明探究问题中涉及的自变量和因变量.

2)请写出自变量和因变量的测量(制作)原理或描述性定义,并分别写出所需具体器材.

3)请写出实验步骤,或用流程图进行说明,以便其他人可以重复实验.

4)设计相关数据表格,或者用于记录数据和结果的其他方法.

为了更好地呈现测评工具的试题与物理探究型实验设计能力的基本要素(具体指标)之间的对应关系,本研究给出了设计的试卷命题双向细目表,如表4所示,表4中括号外数字表示大题号,括号内数字表示小题号.

表4 高中生物理探究型实验设计能力和实测试卷命题双向细目表

取样内容	具体指标						
	识别自变量和因变量	识别控制变量	测量装置或制作材料的选取	选择装置、材料或方法控制变量	操作性定义变量	数据获取的时间与次数	操作思路的顺序及注意事项
试题1	1(1)	1(3)	1(2)	1(3)	1(2)	1(3),1(4)	1(3)
试题2	2(1)	2(3)	2(2)	2(3)	2(2)	2(3),2(4)	2(3)



为了让学生更清楚地理解题目的含义,需要对一些较难理解的地方给出提示或说明.在测试卷中,对以下几个方面给出了提示或说明:

1)在被测试者可能不懂的名词旁给出解释性说明.例如,在对“操作性定义变量”这个具体指标设问时,考虑大部分被测试者可能没有接触过此类问题,因此在题目下方列举了“示例与说明”,以期被测试者能更好地理解问题.

2)对被测试者较难想到的实验仪器或材料,可借助图片等形式辅助被测试者理解该仪器或材料.

3)题目可能涉及常见实验器材的不常见用途,因此在具体器材后面可给出提示,以降低题目的难度,但可能会干扰被测试者对具体器材的选择.例如,试题 2 中的铜导线(提示表明此器材可以测量温度)和温度计,这 2 种器材都可以测定温度,但可能会导致被测试者为了避免引入无关变量,而只选用温度计.

#### 4.2 试题的水平层次划分及评分原则

为了从试题的测试结果中确定学生的探究型实验设计能力的水平,在命制测试卷时,对试题水平进行划分的方式主要有 2 种:a.1 个问题对应 1 个水平;b.1 个问题对应多个水平,各个水平与学生在各个具体指标下的回答程度相对应.根据本文构建的测评框架,考虑到题目过多会影响学生回答问题的认真度,因此,采取第 2 种划分方式.

每个具体指标的水平层次划分依据是物理探究型实验设计能力的水平层次(见表 2),以此来分析学生回答问题的结果,量化学生回答问题的质量.

下面以试题 2 中选择装置、材料或方法有效控制变量指标的水平层次划分为例,来说明如何对某个指标进行水平层次的划分及评分.

试题 2 中第 3 问的设置目的是获取学生在 4 个具体指标下的思维过程,这 4 个具体指标分别为:识别控制变量,选择装置、材料或方法有效控制变量,数据获取的时间与次数,操作思路的顺序及注意事项.在选择装置、材料或方法有效控制变量指标下,根据实验器材、材料或方法的作用不同,将其分为 4 类:

1)控制纸杯中液体的体积,需要用到量筒.

2)控制包裹纸杯的材料面积和大小,需要用到剪刀,选择尺子更好,不选也行,因为如果学生先剪出一种包裹材料并以它为参照,剪出相同面积和大小其他包裹材料,则不需要用到尺子.

3)控制包裹纸杯的方式,此处不需要说出包裹纸杯方式的具体操作,只需要答出“以相同方式包裹纸杯”等字眼即可.

4)控制外界环境中温度等因素的影响,考虑设置对照组等方式.

该题指标的水平层次划分将主要依据 SOLO 分类理论,具体参考表 2 的内容,得出该指标的评分标准,如表 5 所示.

表 5 试题 2 在 SOLO 分类与选择装置、材料或方法有效控制变量指标评分标准的对应关系

分数	评分标准	SOLO 水平
0	无作答或回答无关信息.	前结构
1	能选择量取液体的量筒或剪裁包裹纸杯材料的剪刀(尺子)或以相同的方式包裹纸杯或设置对照组.	单点结构
2	在量取液体的量筒、剪裁包裹纸杯材料的剪刀(尺子)、以相同的方式包裹纸杯、设置对照组这 4 类中,可以呈现出其中 2 类或 3 类.	多点结构
3	选择了量取液体的量筒,剪裁包裹纸杯材料的剪刀(尺子),以相同的方式包裹纸杯,并设置对照组.	关联结构

学生在回答试题前,首先要结合试题提出自己所要探究的问题,根据所要探究的问题构思实验步骤.构思的过程中可能会涉及物理探究型实验设计能力的 7 个具体指标,如果在 1 个问题中考查全部指标,评分人很容易弄混不同指标的评分标准,因此学生在其他 3 个指标下的行为表现,

将从学生对其他问题的反应中获取.

由于本测试卷的 2 道试题能获取学生在每个具体指标下的具体反应,因此每个指标会对应 2 个分数.为了尽量减少被测试者的知识水平对作答情况的影响,考虑到这 2 道试题所涉及知识的难度及深度相当,故采取 2 个分数取平均值后四



舍五入的方式,得到被测试者在每个指标下的分数(对应 SOLO 分类理论的具体水平层次)。例如,某被测试者在试题 1 和试题 2 中的识别控制变量指标下分别得到 2 和 3 的分数,那么被测试者在该指标中的分数为 3。

## 5 结果与启示

### 5.1 创设真实情境,促进学生对控制变量的深层理解

测试结果表明:超过一半学生的“识别控制变量”水平层次处于单点结构水平。这与学生在物理学习中缺乏用实验探究的方法解决真实问题的训练相关。在当前物理实验教学中,学生遇到的实验问题,大多是直接给出变量,学生会很快识别出实验中的自变量、因变量及控制变量。而本测评工具的试题是给出具体的问题情境,让学生通过分析问题情境,找出实验所涉及的自变量、因变量及控制变量。因此,在探究型实验教学和评价中,应该创设真实的问题情境,使学生经历和体验分析情境及实验变量的过程。

### 5.2 使用合理策略,加强对学生思维的引导

测试结果表明:绝大部分学生的“选择装置、材料或方法有效控制变量”的水平层次处于前结构水平,这说明学生在进行实验设计时,没有采用科学有效的方式来控制变量。这可能是基于真实情境的探究型实验涉及的变量较多且复杂,导致学生在对实验设计时,思维较为混乱,常常忽略选择装置、材料或方法来控制变量。Kuhn 和 Phelps 发现,在涉及控制变量的任务上成功的策略之一是记笔记(note-taking)<sup>[11]</sup>。因此,在基于真实情境的探究型实验中,要提高学生在“选择装置、材料或方法有效控制变量”的水平,可通过培养学生记录思路笔记(思维导图)的习惯来实现。

### 5.3 开放式探究环境下,多问学生“为什么”

测试结果表明:大部分学生的“实验探究步骤的设计”水平处于较低的水平层次。在常规的物理实验教学中,很多探究实验在教材或实验册中都有简单操作步骤的说明和建议,这可能会导致学生对实验为何要进行这样的操作、每步操作的注意事项等内容不甚了解,对整个实验设计的理解不够深刻。因此,为培养并发展学生对整个探究活动的理解,教师需多向学生提问“为什么”,以此推动学生思考,加深学生对实验设计的理解。

### 5.4 拓展学生实验探究的视野,提升学生的探究型实验设计能力

测试发现:大部分(约 93%)高一学生的“探究型实验设计能力”水平处于单点结构水平和多点结构水平,仅有 5% 的学生处于关联结构水平。物理探究型实验教学可以有效提高学生的实验探究能力。目前,由于课堂教学具有时间和空间的局限性,因此应引导学生把视野拓宽到生活的方方面面,使其在日常生活中发现可以探究的问题。在具体的探究型实验教学中,教师可引导学生针对问题先尝试提出初步的实验设计;在小组学习、相互讨论、相互帮助下,进行修改和完善;最终形成较为完善的实验设计,以此来促进对学生探究型实验设计能力的培养。

### 参考文献:

- [1] Shapiro B L. A case study of change in elementary student teacher thinking during an independent investigation in science: Learning about the “face of science that does not yet know” [J]. *Science Education*, 1996,80(5):535-560.
- [2] 张军朋. 理科学生科学探究能力现状的调查与思考 [J]. *课程·教材·教法*, 2003(11):43-46.
- [3] 张景璐,于海波,徐海阳. ATC21S 项目中“合作问题解决”能力评价指标体系及启示 [J]. *教育理论与实践*, 2017,37(14):13-16.
- [4] 乔际平,刘甲珉,万勇. *物理学科教育学* [M]. 北京:首都师范大学出版社,2000:55.
- [5] 赵建华,柯德森. 对大学生实验设计过程的观察与思考 [J]. *实验技术与管理*, 2015,32(8):27-30.
- [6] 张军朋,许桂清. *中学物理科学探究学习评价与案例* [M]. 北京:北京大学出版社,2010:199-220.
- [7] 中华人民共和国教育部. *普通高中物理课程标准(2017年版,2020修订)* [S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [8] 张军朋,许桂清. *中学物理课程与教学论* [M]. 北京:北京大学出版社,2021:178.
- [9] Biggs J B, Collis K F. *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,2011:27-28.
- [10] 岳宗慧,张军朋. TIMSS 2011 科学测评框架概况、变化及启示 [J]. *教育测量与评价(理论版)*, 2012(12):49-54,64.
- [11] Kuhn D, Phelps E. The development of problem-solving strategies [J]. *Advances in Child Development & Behavior*, 1982,17(2):1-44.

## Construction and application of evaluation framework of physics inquiry experiment design ability in high school

ZHANG Jun-peng<sup>1</sup>, FAN Ya-hui<sup>2</sup>, LYU Chen-yi<sup>1</sup>, DENG Hao-yi<sup>1</sup>

- (1. School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China;
2. Shenzhen Senior High School, Shenzhen 518040, China)

**Abstract:** Experiment is an important way of scientific inquiry, and the ability of experiment design is the necessary key ability in experiment inquiry. In this paper, based on the international experiment ability evaluation standard, three evaluation elements and seven specific indicators of physics inquiry experiment design ability in high school were determined. Under the guidance of SOLO classification theory, the experiment design ability level was divided, the evaluation framework of inquiry experiment design ability in high school was constructed, and the situational paper and pen test tool was developed by using the evaluation framework, which had important enlightenment for the teaching and evaluation of physics inquiry experiment in high school.

**Key words:** experiment design ability; inquiry experiment; evaluation framework; evaluation tools

[责任编辑:郭 伟]

## 欢迎订阅 欢迎投稿

《物理实验》是由教育部主管、东北师范大学主办的学术期刊,是教育部高等学校物理学类专业教学指导委员会会刊,是中国高等学校实验物理教学研究会副秘书长单位,是高等学校物理演示实验教学研究会常务理事单位。本刊宗旨主要是交流物理实验研究成果,介绍国内外物理实验教学经验,培养读者的科学精神与创新能力,引领我国物理实验教学的改革与发展。杂志着重刊载对物理实验教学改革与发展具有前瞻性,对实验教学的具体问题具有指导性,对新科技成果应用于实验教学具有深度融合性,对传统实验内容具有拓展性和创新性的论文。目前开设的主要栏目有:前沿导读、近代与综合实验、扩展与应用、普通物理实验、教学论坛、专题、互联网+物理、学生园地、基础教育等。《物理实验》适合于物理实验工作者、理工科学生以及教学仪器研制技术人员阅读。

《物理实验》为月刊,全国各地邮局均可订阅,邮发代号为 12-44。若错过邮局订阅时间,可直接与编辑部联系。