DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.04.011
文献引用：胡新怡，何静，荣振山，等．基于新课程标准的初中物理建模能力测评工具的开发与应用[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2025，46（4）：76-84. HU X Y，HE J，RONG Z S，et al. Development and application of a physics modeling competence assessment tool for junior middle school students based on the new curriculum standard [J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)，2025，46(4)：76-84.

基于新课程标准的初中物理建模能力测评工具的开发与应用*

胡新怡[1]，何　静[2]，荣振山[1]，王晨睿[1]，杨　洋[3]，王晶莹[1**]

（1. 北京师范大学教育学部，北京　100875；2. 北京大学附属中学，北京　100190；
3. 北京师范大学珠海校区人文和社会科学高等研究院，广东 珠海　519087）

摘要：模型建构作为一种重要的科学思维方式，是《义务教育物理课程标准（2022）版》所提出的关键素养之一。基于科学建模能力结构及相关测评理论建构了测评框架，将模型建构与使用，模型比较、修正与校验，建模元认知与元建模知识确定为物理建模能力的构成要素。本文依据测评框架开发测评工具，对373名九年级学生进行实证检验，结合Rasch模型对测评工具进行质量检验与数据分析。研究显示测评工具具有较好的信度、效度。测评结果表明，九年级学生的物理建模能力总体处于中等偏下水平，男生和女生在物理建模能力上不存在显著差异，不同学业水平学生物理建模能力存在显著差异。

关键词：物理建模能力；课程标准；测评工具
中图分类号：G633.7　　**文献标志码**：A

Development and application of a physics modeling competence assessment tool for junior middle school students based on the new curriculum standard*

HU Xinyi[1]，HE Jing[2]，RONG Zhenshan[1]，WANG Chenrui[1]，YANG Yang[3]，WANG Jingying[1**]

（1. Faculty of Education，Beijing Normal University，Beijing　100875；2. The Affiliated High School of Peking University，Beijing　100190；3. Institute of Advanced Studies in Humanities and Social Sciences，Beijing Normal University at Zhuhai，Zhuhai Guangdong　519087）

Abstract：Modeling as an important way of scientific thinking is one of the key literacies of the Compulsory Physics Curriculum Standards（2022）Edition. An assessment framework was constructed based on the structure of scientific modeling competence and related assessment theories，and model construction and use，model comparison，revision and calibration，metacognitive knowledge of the modeling process and Meta-modeling knowledge were identified as the components of physics modeling competence. Based on the framework，an assessment tool was developed，empirically tested on 373 junior high school students，and the quality of the tool was examined and data analyzed using

收稿日期：2024-01-16
*北京市教育科学“十四五”规划2022年度优先关注课题（CDEA22008）
**通信作者：wangjingying8018@126.com

the Rasch model. The study shows that the assessment tool has good reliability and validity. The assessment results show that the physics modeling ability of junior high school students is generally in the lower middle level, there is no significant difference between boys and girls in physics modeling ability, and there is a significant difference between the physics modeling ability of students at different academic levels.

Keywords: physical modeling competence; curriculum standards; assessment tool

CLC: G633.7 **DC**: A

0 引 言

当代科学教育注重从传授知识概念等低阶认知技能到培养科学探究、推理论证和科学建模等高阶思维能力的转变[1]。模型建构作为高阶思维能力的重要组成部分,其培养与发展能有效促进学生对科学概念的理解、对科学方法的学习和对科学本质的认识[2]。许多国家均在科学课程标准中强调了模型与建模的重要性,将建模能力作为培养目标,如美国《K-12科学教育框架》将科学建模归为科学教育领域8个重点推动的实践项目之一,明确指出科学建模是最重要的科学实践,是贯穿其他实践活动的核心部分[3];英国《国家科学课程大纲》指出"通过科学建模的过程,可以评估学生对科学的理解,培养学生的批判性思维与创造性思维",肯定了建模对学生科学思维发展的促进作用[4];我国《义务教育物理课程标准(2022版)》(以下简称《课程标准》)将"模型建构"作为物理学科核心素养的重要内容,列为科学思维的组成要素,并对学生的建模能力提出了明确具体的要求:"会使用所学模型分析常见的物理问题"[5],强调了模型在解决实际问题中的关键作用和建模能力的重要性。

自20世纪80年代科学建模教学理论产生以来,建模能力的内涵、结构和测评一直受到科学教育界的广泛关注[6]。国外对科学建模能力的研究日趋成熟,我国仍处于探索阶段。国内已有研究建构问题表征取向的科学建模理论[7],测评中学生物理建模能力发展现状[8],探究学生建模能力发展的影响因素[9],探讨高中生物理建模能力的培养路径[10],开展基于科学建模的物理概念教学设计与实践[11],基于模型建构分析某一主题内容的学习进阶[12],为学生物理建模能力的测评和培养路径提供了理论基础和实证支持。但在物理建模能力的测评研究方面仍存在一些问题,例如:以经典测量理论为依据进行测量建构,存在传统经典测量理论的样本依赖性、信度测量不准确性、忽视试题反应组型等缺点[13];已有研究选择的测评对象多是高中生,对初中生建模能力的关注较少,而初中阶段正是个体建模能力发展的黄金期。基于此,本研究聚焦于物理学科领域,通过理论研究构建物理建模能力测评框架,依据测评框架开发并实施适用于本土学生的评价工具,探究初中生在解决电学问题时物理建模能力的表现特征和群体差异,以期通过评价促进学生物理建模能力的培养与发展,并为物理建模教学提供科学的反馈和参考。

1 初中物理建模能力测评的理论基础

1.1 基于Rasch模型的测评框架

基于Rasch模型的测量具有客观、等距的特点,有效克服了经典测试理论参数估计依赖样本、信度测量不准确和忽视试题反应组型等不足[14]。当使用Rasch模型作为测量模型时,国内外学者一般按照威尔森提出的"四基石"理论设计测评工具,四基石理论的框架由4个部分组成,包括结构图、项目设计、结果框架和测量模型[15]。本研究选取Rasch模型作为初中物理建模能力的测量模型,基于威尔森四基石测量框架,结合物理建模能力结构模型,根据4个基本要素设计初中物理建模能力测评工具的开发程序。

1.2 物理建模能力的内涵与结构

国际上早期围绕建模能力开展的实证研究侧重于测评元建模知识,随着研究者的推进,建模能力的内涵被进一步强调为元建模知识和建模实践要素交互作用的科学实践能力[16]。Nicolaou和Constantinou[17]通过对已有文献的梳理确定了基于建模的学习框架(modeling-based learning framework, MLF),如表1所示。该框架将建模能力分为建模实践和元知识2类。其中,模型构建、模型使用、模型之间的比较、模型修正和模型校验是学生在建模过程中参与

的主要实践。元知识分为有关建模过程的元认知知识和元建模知识。元认知知识指学生明确地描述和反思建模实际过程的能力,元建模知识是关于模型的本质和模型目的的认识论意识[18]。本研究以此作为理论基础,设计了整合建模实践要素和建模元知识的测评框架,并结合初中物理的背景和实际测评的可行性进行调整,最终确定了考查被试物理建模能力的3个指标,即模型建构与使用,模型比较、修正与校验,建模元认知与元建模知识。

表1 基于建模的学习框架[17]

建模能力	建模能力的子维度
建模实践	模型建构
	模型使用
	模型比较
	模型修正
	模型效验
建模的元知识	建模过程的元认知知识
	元建模知识

2 初中物理建模能力发展现状调查

2.1 测评工具设计

测评工具的内容和类型会影响调查结果的有效性与准确性,物理建模能力测评工具应区别于传统物理测试的内容与形式,考查学生的高阶思维。本研究开发初中物理建模能力测评工具遵循如下流程:首先,从英国4大考试中心官网和美国50个州的教育官网收集2019—2022年大型中学物理测试卷并从中筛选考察建模能力的题目;其次,将题目按照知识点分类整理,将高频考点与初中物理课程标准的学业要求进行比对,选出知识点重合试题,经物理教育专家组和一线教师的4轮研讨后,选定考察主题为“电学”,在“电学”知识点下选取3道情境化的测试题目进行改编,每一道测评试题设计了2个小问题,共计6个问题;最后,依据物理建模能力结构制定了评价标准。情境问题1~3均从“模型建构与使用”“模型比较、修正与校验”“建模元认知与元建模知识”3个维度进行评价,每个维度均划分了3个水平等级,学生物理建模能力逐级递增,每一维度的每一级水平上均给出了具体的、可操作性的定义,具体描述依据《课程标准》确定。此外,为了便于对学生的作答进行评定与统计分析,水平1~3分别赋分为0~2分,每一道情境化试题的满分为6分,测试卷满分为18分。最终通过物理教育专家组和一线教师的4轮讨论来保证测评试题和评价标准的科学性和规范性。

2.2 研究对象组成

为了检验测评工具的有效性,本研究以北京市某示范性中学的九年级学生作为样本来源,采用随机抽样的形式从该校九年级的14个班级中抽取了373名学生作为测试对象,回收测试卷共计373份,剔除无效测试卷(未作答或大面积空白)31份,有效问卷共342份,有效率达91.7%。该中学生源丰富,教学质量优良,学生群体之间存在着一定差异。测评研究进行的时间为2023年2月上旬,被试学生已完成测试题中所涉及的全部物理知识的学习,满足本次物理建模能力测试的知识基础,可以作为本次测试的研究对象。

2.3 数据处理与测评工具质量检验

运用Winsteps3.92.1软件检验测评工具是否符合Rasch理论模型,将项目难度与学生能力转换成具有等距意义的Rasch分数,运用SPSS26.0软件进行统计分析。

2.3.1 工具整体质量分析

将342个样本数据导入Winsteps3.92.1软件进行运算。Rasch模型主要从平均难度估计值、标准误差、数据与模型拟合指数(加权拟合和未加权拟合的均方残差(mean squared residual,MNSQ)与标准均方残差(standard mean square residual,ZSTD)、分离度和信度等几个方面对工具的总体质量进行分析,具体结果如表2所示。

本测试被试能力的平均得分为−0.64 logits,低于测评项目的平均分,表明被试样本的物理建模能力平均水平偏低或测评工具偏难。测评工具整体的难度估计误差仅为0.11,被试的估计误差较大,为0.76,但在可接受的范围内,这说明该样本数据与测

表2 初中物理建模能力测评工具整体质量分析

参数	难度估计	标准误差	加权拟合		未加权拟合		分离度	信度
			均方残差	标准均方残差	均方残差	标准均方残差		
被试	−0.64	0.76	0.99	−0.10	1.01	0	2.03	0.80
项目	0	0.11	0.99	−0.20	1.01	−0.10	5.81	0.97

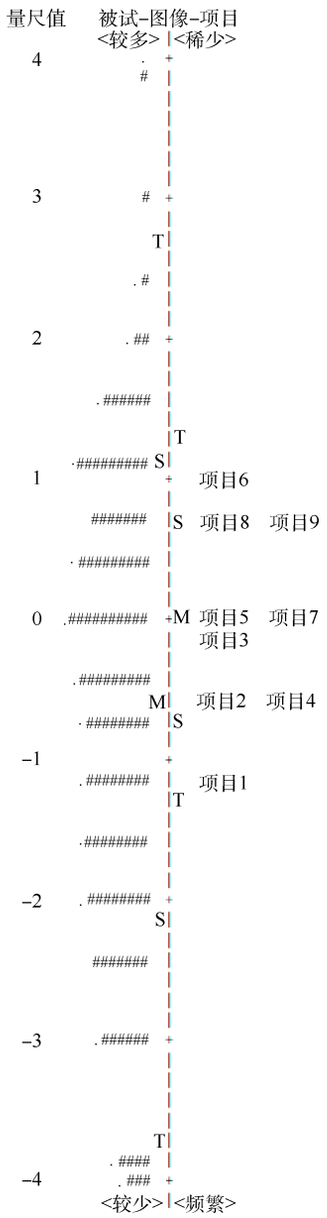
量模型相匹配,测评结果能较为真实地反映被试的物理建模能力。项目拟合指数均接近理想值(MNSQ值接近1,ZSTD接近0),表示实测数据值和Rasch理论模型的拟合度较高。项目的分离度为5.81,被试的分离度为2.03,均达到>2.00的要求;项目和被试的信度值分别为0.97和0.80,处在可接受的范围内(0.50~1.00),说明测评工具的信度较好且能够区分被试的物理建模能力水平。以上参数结果说明本研究所开发的物理建模能力测评工具的质量较高,总体上能够较好地反映学生的物理建模能力情况。

2.3.2 单维性检验

Rasch模型运用残差的主成分分析结果(principal component analysis of the residuals,PCAR)来检验评价工具的单维性,相关参数包括被测试解释的原始方差和未被解释的原始方差。对单维性的检验采用以下标准:(1)被测试解释的原始方差的百分比>40.0%[19];(2)在未被解释的原始方差中,第一个特征值<3.00,百分比<15.0%[20];(3)被测量解释的原始方差的百分比与未被解释的原始方差第一特征值的比值>3.00[21]。单维性检验结果显示,观察值的总原始方差为16.60,被测试解释的原始方差百分比为45.9%,>40.0%的推荐值。未被解释的原始方差的第一特征值为2.60(<3.00),该特征值的百分比为15.5%,>15.0%的推荐值,未被解释的方差的百分比较大的原因是本研究所使用的测试题项数较少(共9项)。被测试解释的方差与未解释的第一特征值方差的比值约为2.96,接近Embretson和Reise(2000年)推荐的比值3:1[22]。总体上该测试满足单维性假设,基本可以认为该测试工具只测量了被试的一种潜在特质,即物理建模能力。

2.3.3 项目-被试对应

Rasch模型通过将原始得分转换为logit分数,使被试的能力值和项目难度值可以在同一标尺上进行比较。如图1所示,项目-被试对应图直观地显示出了被试与项目(item1~item9)的对应关系。结果表明:项目6最难,项目1最简单,符合预设。左侧*M*表示被试物理建模能力的平均值,右侧*M*表示测评工具项目难度的平均值,二者差值<1.00 logits,表明测评工具有良好的针对性[23],能够准确地估计被试的物理建模能力。9个项目难度基本均匀分散,学生能力分布也较为理想,能力分布较广,说明所选择的样本具有一定代表性,包含了不同的能力水平层次。从整体上看,被试分布较为偏下,说明大多数被试的物理建模能力低于项目平均难度的估计值,符合整体质量分析的结果。



注:#表示一定数量的被试;M指平均水平;S代表距离均值的1个标准差;T代表距离标准的2个标准差。

图1　项目-被试对应

2.3.4 项目拟合程度

Rasch项目拟合统计展示了实测数据与理论模型的拟合程度,可进一步检验每一个项目的拟合情况,用于识别与筛选拟合不佳的项目。Rasch模型主要从项目难度估计值、模型标准误差、拟合指数和点-测量相关系数来反映每一个评价项目的质量。本次测评项目的拟合数据如表3所示,按照难度估计值将测评项目由高到低为序进行排列,9个项目

表3 项目拟合数据

项目号	难度估计	标准误差	加权拟合		未加权拟合		点-测量相关系数
			均方残差	标准均方残差	均方残差	标准均方残差	
6	0.94	0.11	1.00	0.10	1.03	0.40	0.62
9	0.77	0.12	1.24	3.00	1.34	3.60	0.53
8	0.65	0.11	1.11	1.50	1.06	0.70	0.60
7	0.04	0.11	1.07	1.00	1.07	0.90	0.63
5	0.01	0.10	0.97	−0.40	0.95	−0.60	0.68
3	−0.12	0.10	0.80	−3.00	0.78	−3.00	0.74
2	−0.55	0.10	0.82	−2.70	0.88	−1.50	0.74
4	−0.57	0.12	1.06	0.80	1.06	0.80	0.62
1	−1.16	0.11	0.88	−1.80	0.87	−1.80	0.72

的难度值在−1.16~+0.94内,项目6难度最大,项目1的难度最小,符合预期;所有项目难度估计的标准误差在0.10~0.12,属于可接受的范围,说明所开发的测试工具的可靠性较高;拟合指数中的均方值均处于理想值0.50~1.50,表明9个项目的拟合情况良好;点-测量相关系数均为0.40~0.80,表明评价工具有较好的区分度。

2.3.5 评分等级结构

评分等级结构图可以反映每个项目评分的结构特征,检查预先制定的赋分标准是否合理。本研究所采用的测评工具中所有项目均采用0、1和2的等级计分,以项目1的0、1、2,共3级计分评分等级结构图为例进行分析。如图2所示,各评分等级曲线用对应分数表示出来,2条曲线的交叉点是2个分数之间的“门槛”,即在该点上的被试获得2种分数的概率均为50%。理想情况下,随着被试能力与项目难度差异的增大,被试获得更高分数的概率也逐渐上升;每个评分等级应该有明显的“峰”,表示在一定能力范围上的被试最有可能获得某评分;曲线形状应该呈现为“扁平”,表明该分数能横跨一定能力范围[24]。由项目1的等级结构图可知,0分曲线随被试物理建模能力的提高,得分概率越来越低,在被试能力与项目难度差值>1.50时得分概率为0;2分曲线与之情况相反,随被试物理建模能力的提高,得分概率也逐渐增加,在差值<−1.50时得分率为0;1分曲线随被试物理建模能力的提高,得分概率先上升后下降,在被试能力与项目难度差值为−0.50~+0.50内出现一个“峰”,且峰值高于0、2曲线,且图示3条曲线覆盖了较广的能力范围。由上述分析可知0、1和2这3个分值能很好地代表某个类别,说明预先制定的赋分标准较为合理。本研究依据上述思路,逐一分析剩余8个项目的评分等级结构图,显示所设定的评分标准与实际情况较为接近,评分标准的制定科学、合理。

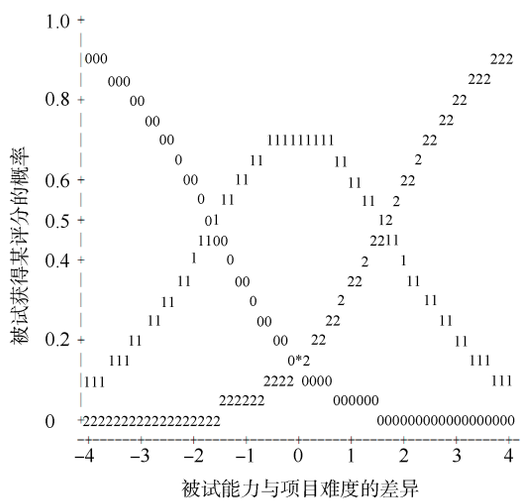


图2 项目1评分等级结构

综上所述,评价工具的各个指标均体现良好特征,符合Rasch模型的要求,表明本研究开发的物理建模能力测评工具可以用来测量与评价被试的物理建模能力。

3 研究结果

3.1 物理建模能力的整体表现分析

利用Winsteps3.92.1软件将342个被试的原始分数转换为单位为logit的Rasch分数,随后将原始分与Rasch分导入SPSS软件进行描述性统计,数据结果见表4。正式测试被试样本的平均分为7.59分,试卷满分18.00分,平均得分率为42.2%。被试最高原始得分为18.00分,对应的物理建模能力Rasch值为5.21 logits;被试最低分原始得分为0分,对应的物理建模能力Rasch值为−5.22 logits。Rasch模型

中项目难度的估计值为0,而物理建模能力的平均值为-0.64 logits,说明全体学生的物理建模能力表现为中等偏下水平,测试对于被试偏难。

为了解被试在物理建模能力不同维度上的表现,统计其在物理建模能力的3个维度的平均分、得分率、不同水平的百分比分布情况,结果如表5和图3所示。被试在"模型建构与使用"维度平均得分最高(0.98分),得分率为0.49,在这一维度中达到水平3的人最多(占总人数的21.9%);其次是"建模元认知与元建模知识"维度(0.83分),得分率为0.41;在"模型比较、修正与校验"维度平均得分最低(0.72分),得分率仅有0.36,且处于水平1的人数在3个维度中最多(占总人数的40.3%)。该结果表明,大部分被试在本次测试中能够分析问题的具体情境,结合已有知识建构物理模型并使用模型解释一定现象,但在灵活应用模型解决实际问题上还存在困难,遇到新情境时,往往不能很好地将原有模型与实际情况进行对比,对模型做出修正,且描述和反思建模实际过程的能力较为薄弱,对模型本质和模型目的缺乏深刻的理解认识。

表4　物理建模能力测试得分描述性统计结果

分值类别	样本量	平均值	众数	标准差	最大值	最小值	全距
原始分	342	7.59	9.00	4.04	18.00	0	18.00
Rasch分	342	-0.64	-0.01	1.80	5.21	-5.22	10.43

表5　物理建模能力测验得分描述性统计

物理建模能力维度	最小值	最大值	平均值	标准偏差	得分率
模型建构与使用	0	2.00	0.98	0.50	0.49
模型比较、修正与校验	0	2.00	0.72	0.48	0.36
建模元认知与元建模知识	0	2.00	0.83	0.53	0.41

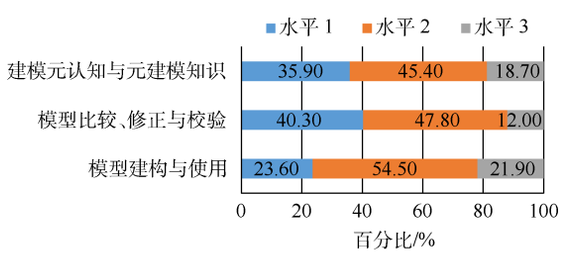


图3　物理建模能力测验各维度水平的百分比分布

3.2　不同性别学生物理建模能力的差异性分析

为了探讨不同性别被试物理建模能力的差异,对不同性别被试在物理建模能力测试中各维度及总体得分率进行描述性统计和独立样本t检验,如表6所示。男生被试在物理建模总体上的表现比女生更好,其中"模型比较、修正与校验""建模元认知与元建模知识"2个维度的得分率平均值高于女生,在"模型建构与使用"维度的得分率平均值略低于女生。女生在"模型建构与使用"维度表现更好,可能是由于"模型建构与使用"维度的项目需要仔细阅读情境内容,联系所学的知识选择、构建正确的物理模型,女生在认真程度上较男生更优,且阅读题目和作答更加仔细,故在这一维度上具有一定优势;而"模型比较、修正与校验"和"建模元认知和元建模知识"维度所涉及的项目需要一定的逻辑思维和推理能力,在这2个维度上男生表现更佳。独立样本t检验结果表明,男生组和女生组在物理建模能力测评的总得分率及各维度的得分率上均无统计学上的显著差异(P>0.050),物理建模能力是否与性别有关还有待进一步研究。

3.3　不同学业水平学生物理建模能力的差异性分析

为考察不同学业水平初中物理建模能力的差异性,研究选取被试九年级上学期期末考试物理成

表6　物理建模能力总分及各维度得分率的性别差异

项目	男		女		t	显著性
	平均值	标准差	平均值	标准差		
模型建构与使用	0.48	0.25	0.50	0.24	-0.834	0.405
模型比较、修正与校验	0.36	0.25	0.35	0.23	0.284	0.776
建模元认知与元建模	0.42	0.27	0.41	0.26	0.601	0.548
物理建模总体	0.42	0.23	0.42	0.22	0.029	0.977

注:t表示2个独立样本的平均值差异(以合并标准误差为单位)的标准化测量。

绩作为被试学业水平的分类依据,将学生分为学优生、学中生和学困生3类,学优生为考试分数排名前27%的学生,学困生为考试分数排名后27%的学生,剩余的学生划分为学中生。不同学业水平学生物理建模能力的得分率如表7所示。3组被试物理建模得分率的均值依次为0.60、0.43和0.23,得分率呈现逐步下降的趋势,且组与组之间得分率的差值逐渐增大。最高得分率出现在学优生一组,最低得分率出现在学困生一组。据此,可以初步推测初中物理建模能力与学业水平具有一定的相关性,且二者之间呈现正相关,学业水平越高,物理建模能力也越强。但需要用SPSS软件进一步检验以确定其统计学意义。

本研究运用SPSS软件,选择单因素方差分析比较不同学业水平的被试在物理建模测试得分率上的差异。如表7所示,不同学业水平的3组被试在物理建模能力上存在显著性差异(F=100.419,P<0.001),说明学业水平会对物理建模能力产生显著影响。为了进一步确定不同学业水平对物理建模能力的影响程度,采用塔姆黑尼检验进行事后多重比较分析,以检验3组不同学业水平被试的具体差异。检验结果表明,3类学业水平被试在物理建模能力测试中的得分率存在统计学意义上的显著差异,学优生在物理建模测试中的得分率显著高于学中生和学困生,学中生的得分率显著高于学困生,学困生的得分率最低。从学业水平的角度考虑,物理考试成绩在一定程度上反映了学生现阶段对物理知识的整体掌握水平,学优生能够正确地理解和运用物理概念、物理规律。而物理建模能力的测试需要学生熟练运用所学的物理学知识,因此物理成绩越好,其对物理模型的理解和应用能力可能越好,物理建模能力水平就越高。

表7 不同学业水平学生物理建模能力得分率的差异分析

项目	平均值	标准差	F	事后比较
学优生(A)	0.60	0.17	—	—
学中生(B)	0.43	0.19	100.419[a]	$A>B$,$A>C$,$B>C$
学困生(C)	0.23	0.16	—	—

注:F值表示组间方差与组内方差的比率;[a]P<0.001,—表示无数据。

4 结论与启示

研究结果表明,被试整体的物理建模能力处于中等偏下的水平。具体而言,被试在“模型建构与使用”维度表现较好,得分均值高于整体水平;在“模型比较、修正与校验”和“建模元认知和元建模知识”2个维度表现较差,得分均值低于整体水平。上述结果表明,本次测试中大部分学生能够依据情境从自己的模型库中选择与建构正确的物理模型,但应用所建构的模型解释现象和解决问题时,语言表述不够准确、完整,遇到新情境时不能正确地反思和评价原有模型,对其做出修正并推广至新的情境中去,描述和反思建模实际过程的能力较为薄弱,对模型本质和模型目的缺乏深刻的理解认识。被试群体中男生和女生在物理建模能力上存在一定差异,但不显著。不同物理学业水平的被试群体在物理建模能力上存在显著差异,学优生、学中生和学困生3组被试能力的均值呈现逐步下降的趋势。基于此本文对物理建模能力的培养提出如下几点启示。

(1)利用真实情境驱动初中物理建模教学,注重学生建构物理模型解决实际问题。本研究的测评结果显示,初中生应用物理模型解决实际问题的能力较为薄弱。其原因可能在于初中阶段大量物理过程都默认在理想化的情况下发生,物理模型在教学过程中往往一带而过,学生未经历自主构建模型、应用与拓展模型的过程,物理建模能力得不到有效发展。传统的物理教学偏重于学生应试能力的培养,重解题技巧、推演与计算,轻原始问题的抽象与建模,不利于学生对物理知识的深入理解和迁移运用。真实的问题情境是学生物理观念和科学思维形成和发展的重要载体,为培养学生的高阶思维提供了实践路径。物理建模教学应借助多样化的现代信息技术手段,以学生的生活经验、日常现象为背景,注重“物理知识问题化、物理问题情境化、问题情境生活化”,将对学生建模能力的培养嵌入到丰富的情境任务中[25]。可利用如增强现实等技术开发教学材料,在贴近实际的原始物理问题与场景下,引导学生主动经历模型建构、模型使用、模型评价和模型修正等完整的建模过程,切实体会物理建模的具体方法,锻炼模型思维,实现建模意识深度内化。其次,还要注重利用直观化的教学手段,如制作和演示具象化的实物模型,用图像、文本、公式等多种表征方式展示抽象的物理过程等,发展学生的抽象思维。此外,还可以引导学生对比同一

原始物理模型应用于不同情境时的异同,驱动学生灵活地迁移和运用知识,从而更加深入地理解物理建模,增强解决实际问题的能力。

(2)结合脑科学技术探查初中生建模认知过程,促进元认知能力的有效提升。元认知的本质是个体对自身认知活动的调节,这种调节活动通过监测和控制2种基本过程得以实现[26]。在建模领域,元认知能力具体体现在学生能否明确地描述和反思建模过程上,在实践中发挥了引导、监测和调节的作用,是教师进行有效建模教学时不可忽视的一个方面。然而本研究的结果表明,初中生的元建模能力较弱,这在一定程度上反映出传统物理教学重视知识方法传授,轻视自主反思等元认知层面的现实。如何在动态的建模实践中探查学生内在的认知与元认知过程,从而进一步揭示其特征与发展规律,是促进学生建模元认知能力有效提升的关键。基于此,可以在后续的测评中引入无创脑功能成像技术,如脑电图、脑磁图、功能性核磁共振成像和功能性近红外光谱(functional near infrared spectrum,fNIRS)等。其中,作为新兴技术的fNIRS具有较高的时间、空间分辨率和高生态效度,并且适应性强、测量误差小,适用于教育情境下认知活动的脑机制研究[27]。利用上述脑影像技术探查学生在建模过程中即时的大脑活动,有助于揭示建模实践背后的认知神经机制,为教师改进课堂教学提供来自神经层面的科学证据与客观性指导,从而有效促进学生建模实践能力与元认知能力的共融发展。

(3)针对不同群组学生采取多样化的教学策略,推动学生物理建模能力全面发展。因材施教包括“识材”与“施教”2步,即先识别学生的差异性特征与需求,再据此施加差别化的教育教学[28]。本研究在对初中物理建模能力现状的研究过程中所发现的具体特征可以为教师教学提供一定参考。从性别差异上看,男生在应用模型解决实际问题和评价与修正模型方面的能力要强于女生,因此教师要注重培养女生对物理模型的运用能力、知识的迁移能力以及逻辑推理能力,而针对男生则要培养其对情境信息的阅读能力和认真、仔细的学习品质;从学业水平上看,学优生总体物理建模能力较强,学中生次之,学困生表现最弱。教师在进行物理建模教学时要注重根据学生的个体差异,设定不同的教学目标,设计多元化、层次性的任务,促进全体学生的发展。例如,针对学优生,教师需要关注其应用模型解释复杂现象和迁移变式能力的发展,可以适当设计一些综合的、情境陌生的开放性任务,促进学优生有意识地主动建构并使用模型来探究实际问题,并从多个视角审视检验结论,实现知识的创造性使用与有效迁移,达到物理建模能力的高水平;对于学中生而言,教师需要注重其物理建模能力各维度的均衡发展,可以从理解与难度适中的问题开始,循序渐进地增加任务的难度与深度,引导其对综合性问题进行分析,逐步提升思维能力,实现向学优生等级的转化;面对基础比较薄弱的学困生时,教师则需要以夯实基础知识、强化基本技能为主,可以设置一些情境简单、考察单一技能的任务,带领学生理解与应用常见的物理模型,注意适当降低其学习难度,让学生在完成学习任务的同时获得更多的成功体验,积累学习信心,激发物理学习的兴趣,为进一步培养其物理建模能力打好基础。此外,对于学生个体,教师还可以尝试结合个体诊断报告,全面地进行物理建模能力的训练和培养。

参 考 文 献

[1] 王晶莹,周丹华,杨洋等.科学高阶思维:内涵价值、结构功能与实践进路[J].现代远距离教育,2023(2):11-18.

[2] HODSON D. Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science[J]. Studies in Science Education,1993,22(1):85-142.

[3] National Research Council. A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas[M]. Washington DC: the National Academy Press,2012.

[4] Department for Education. The national curriculum in England: framework document[EB/OL].(2014-12-02)[2023-05-06].https://www.gov.uk/national-curriculum.

[5] 教育部.义务教育物理课程标准(2022版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022.

[6] 翟小铭,郭玉英.科学建模能力评述:内涵、模型及测评[J].教育学报,2015,11(6):75-82+106.

[7] 邢红军,王玉婷,李杰.论科学建模的问题表征理论及其启示[J].课程·教材·教法,2023,43(2):116-122.

[8] 袁媛.高中生物理建模能力及其培养对策研究[D].大连:辽宁师范大学,2017.

[9] 逄艳玲.高三学生物理模型建构能力的现状研究[D].

北京:中央民族大学,2020.
[10] 周洋平,陆建隆.例谈IYPT赛题研究中高中生物理建模能力培养[J].物理教师,2022,43(5):94-97.
[11] 裴姗姗,袁勇,李小锋.基于科学建模的物理概念教学设计与实践:以“电容器的电容”一节为例[J].物理教师,2021,42(8):31-37.
[12] 周雪娟.基于模型进阶的物理概念教学实践研究[D].贵阳:贵州师范大学,2022.
[13] 沈甸,徐佳敏.基于Rasch模型分析测评工具质量的研究述评[J].中国考试,2020,334(2):65-71.
[14] 罗照盛.项目反应理论基础[M].北京:北京师范大学出版社,2012:1-3.
[15] WILSON M. Constructing measures: an item response modeling approach[M]. New York:Routledge,2004.
[16] 林静,王若冰,韦文婷,等.科学建模测评的进展:从个体模型认识到建模学习进阶[J].中国考试,2021,352(8):51-60.
[17] NICOLAOU C T, CONSTANTINOU C P. Assessment of the modeling competence: a systematic review and synthesis of empirical research [J]. Educational Research Review,2014,13(13):52-73.
[18] SCHWARZ C V, REISER B J, DAVIS E A, et al. Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners [J]. Journal of Research in Science Teaching,2009,46(6):632-654.
[19] SMITH J E V. Detecting and evaluating the impact of multidimensionality using item fit statistics and principal component analysis of residuals[J]. Journal of Applied Measurement,2002,3(2):205-231.
[20] LINACRE J M. Data variance explained by Rasch measures[J]. Rasch Measurement Transactions,2006,20(1):1045.
[21] LINACRE J M, WRIGHT B D. A user's guide to BIGSTEPS: rasch-model computer program [M]. Chicago:MESA Press,1993.
[22] EMBRETSON S E,REISE S P. Item response theory for psychologists[M]. New York:Psychology Press,2000.
[23] BOND T, YAN Z, HEENE M. Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences [M]. New York:Routledge,2020.
[24] 韦斯林.应用Rasch模型构建基于计算机建模的中学生物质结构认知测量的研究[D].上海:华东师范大学,2011.
[25] 林军.“双减”政策背景下物理教学更应凸显原始问题的模型建构能力:以安徽省近几年初中学业水平考试物理学科压轴题为例[J].物理教师,2022,43(5):35-38+42.
[26] 汪玲,郭德俊.元认知的本质与要素[J].心理学报,2000(4):458-463.
[27] 乔新虹,杨文伟,李先春,等.超扫描技术在社会性学习中的应用[J].现代教育技术,2018,28(9):12-18.
[28] 褚宏启.把因材施教进行到底:教育高质量发展的必由之路[J].中小学管理,2023,389(4):39-42.

(责任编辑:兰丽丽)