

# 国内中学生物理实验能力建模 及测试研究综述

黄朝阳 李德安

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2022-03-14)

**摘要:**对近 20 年的文献和书籍中有关中学生物理实验能力的研究进行了梳理和综述,包括物理实验能力的界定、物理实验能力的结构模型建构、物理实验能力的评价体系和中学生物理实验能力现状的测试.综述后发现物理实验能力是一种复合多维的能力,目前中学生物理实验能力存在部分不足之处.

**关键词:**物理实验能力;结构模型建构;评价体系;实验能力现状

中学理科课程应重点培养学生发展 13 项科学能力和价值观念,其中就包括实验探究能力<sup>[1]</sup>.物理学以实验为基础,实验是研究和学习物理学的最基本的方法<sup>[2]</sup>.在课程改革的背景下,《普通高中物理课程标准(2017 年版)》多次强调了实验教学和培养学生科学探究能力的重要性<sup>[3]</sup>,所以对中学物理实验能力进行建模,并在建模的基础上建立评价体系,对学生的物理实验能力进行测量就显得极为重要.为此,本文梳理了近 20 年关于物理实验能力建模和测试的比较有代表性的研究.

## 1 物理实验能力的界定及结构模型建构研究综述

文献[4]提出物理实验能力指顺利进行物理实验并完成实验目的个性心理特征,实验能力的结构应包括智慧技能和动作技能两种成分,智慧技能、动作技能交互作用构成实验能力的整体,物理实验能力是一种综合能力的表现.物理实验能力外在表现为一些基本的层次,如:按实验步骤完成操作,基本仪器和工具的使用,写出实验报告,分析物理实验现象,分析和处理实验数据,设计物理实验,排除实验故障和寻找实验仪器的代用品等.

文献[5]进一步提出物理实验过程包含着观察、操作和思维 3 种相互影响和相互交叉的心理活动.因此,物理实验能力应涉及物理实验观察能力、物理实验思维能力、物理实验操作能力,是 3 种能力

的综合.而实验操作能力则是物理实验能力的核心部分,物理实验操作能力定义为:在学习物理知识、解决物理问题和科学创造过程中,根据一定的目的和任务,借助物理实验装置,运用一切已知信息,通过实验手段,实现实验方案或制作计划的能力.

在分析实验操作能力特点后,文献[5]建立了如图 1 的物理实验操作能力的结构模型.考虑到这 13 个因子的不同组合,形成 80 种不同的元素,每一个元素代表一个基本的操作能力单元,例如在实验装置的选取与组装方面,学生也有定向、模仿、整合、熟练的不同阶段,即使在实验装置的选取与组装的定向阶段,也有不同的品质表现.因此,在物理教学中培养学生的实验操作能力,就是要在学生大脑中不断塑造和完善操作能力的元素集合,逐步形成完整而合理的结构.

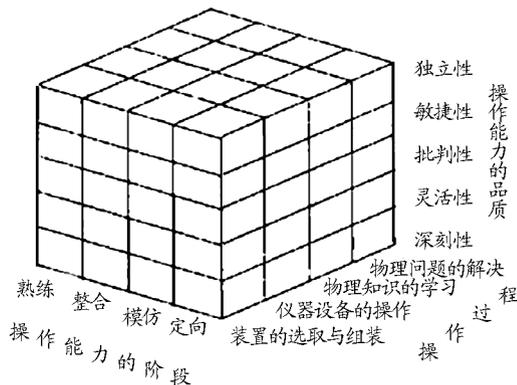


图 1 实验操作能力结构模型

基于此,文献[6]又进一步提出物理实验能力是指运用所有已知信息,借助于实验手段顺利完成物理实验并达成实验目标的个体心理特征,物理实验的完成是学生观察、思维和操作的协同结果.因此,物理实验能力由实验观察能力、思维能力和操作能力3种能力要素构成,是这三者相互交叉、渗透的综合体现,其中,实验观察能力是必要条件,思维能力是前提保证,实验操作能力则是实验能力的核心,是物理实验能力的外化显现,也应该是物理实验测评和考核的出发点和聚焦点.根据有关认知理论、科学思维理论、学习和能力发展等理论,考虑物理实验本身特质,文献[6]建立了如图2所示的物理实验能力结构模型.

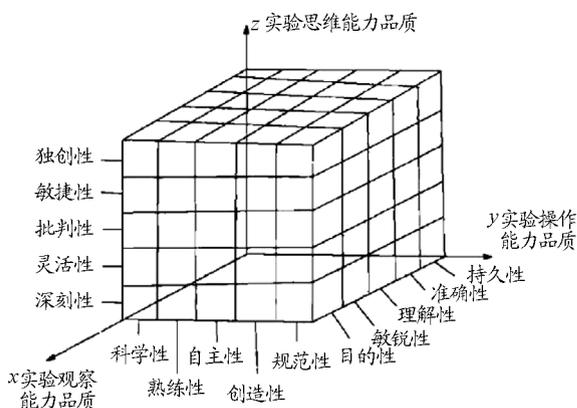


图2 物理实验能力结构模型

笔者认为,文献[6]的物理实验能力结构模型较实验操作能力模型又进一步深化.该模型综合考虑了物理实验能力的多方面因素,并且在维度上根据认知理论作了进一步的细致划分,具有系统性,且能够体现个体的差异,但是也因为如此该模型中考虑到不同因子的排列组合会形成125个实验能力单元品质,数量过多,难以同时进行观察和测量.

文献[7]参考了近十几年的认知心理学的最新发展成果和新课标对物理实验能力的要求后提出,从广义的角度来讲,物理实验能力是指运用物理实验理解、验证理论观点以及借助物理实验获得新认识的能力.狭义物理实验能力则仅指完成物理实验操作活动的的能力.

同时,文献[7]还提出了物理实验能力的三级构成模型,如图3所示.第一级能力是中学物理实验

教学中必须培养的能力,也是开展较为复杂实验活动的基础;第二级是实验迁移能力,即在掌握实验基本能力的基础上,能进一步灵活运用所学物理实验知识开展一些物理实验活动的的能力;三级是实验科研能力,即在科研活动过程中通过实验达到研究目的的能力.从能力的表现形式来看,物理实验能力又可分为外在表现和内在表现两种形式.

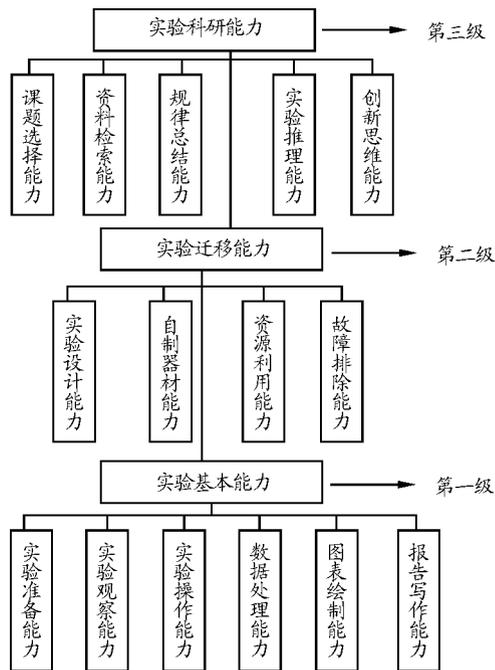


图3 陈芳桂物理实验能力的三级构成模型

文献[8]提出物理实验能力包括两种实验技能,一种是动作技能,另一种是智慧技能.物理实验的顺利进行便是动作技能和智慧技能相互制约、密切配合的结果,并且智慧技能的作用随着实验任务难度和复杂程度的增加而不断增大并居于实验能力的核心地位.

文献[2]指出:学生物理实验能力是根据实验目的和实验方案,设计记录表格,合理地选择仪器,正确地使用仪器和进行测量,分析整理实验结果等能力.培养学生的实验能力是培养学生科学探究能力的主要途径.

文献[9]参考《普通高中物理课程标准(实验)》,并基于认知心理学的研究成果,将物理实验能力归结为“五要素、多因子”能力模型:提出问题的能力、猜想与假设的能力、设计与操作的能力、分析

和论证的能力、评估和交流的能力,每一要素又有相应的能力表现因子.

文献[10]认为物理实验能力是指我们在完成物理实验操作活动的过程中所展现的能力,包括正确使用仪器能力、进行实验操作的能力、实验观察能力以及对数据进行处理的能力.

基于对物理实验能力的相关研究和新旧课标中科学探究的要素和要求,主要参考文献[10]和文献[11]对物理实验能力的界定,文献[12]提出了自己研究中界定的物理实验能力:从广义来说,物理实验能力就是我们通过运用实验理解来验证物理理论观点从而获得新认识的能力.从狭义概念来说,物理实验能力是指我们在完成物理实验操作活动的过程中所展现的能力.

文献[13]提出中学物理实验能力,指学生能够顺利完成物理实验同时能够达到实验目的的一种心理特征,把生物理实验能力分为实验理论能力、实验操作能力、实验分析能力和一定的实验素养.

《2019年全国新课标高考物理考试大纲》中对高考考查的实验能力的表述主要分为3方面:第一,能独立地完成“知识内容表”中所列的实验,能明确实验目的,能理解实验原理和方法,能控制实验条件,会使用仪器,会观察、分析实验现象,会记录、处理实验数据,并得出结论,能对结论进行分析和评价;第二,能发现问题、提出问题,并制订解决方案;第三,能运用已学过的物理理论、实验方法和实验仪器去处理问题,包括简单的设计性实验.

比较《2017年全国高考物理考试大纲》发现,对实验能力的表述由“六能三会”变成“七能三会”.2017年《考试大纲》中“对结论进行分析和评价”仅处于“会”的层次要求,而自2018年起便将其提升至“能”的层次要求.《考试大纲》对实验能力表述的修改,说明高考物理提升了对生物理实验能力的重视.

新课程标准给出的课程目标中,针对“科学探究”这一要素的目标表述如下,共分为3个层面.第一,具有科学探究意识,能在观察和实验中发现问

题、提出合理猜想和假设;第二,具有设计方案和获取证据的能力,能正确实施探究方案,使用不同方法和手段分析、处理信息,描述并解释探究结果和变化趋势;第三,具有交流的意愿与能力,能准确表达、评估和反思探究过程与结果.这三方面目标的表述,贯穿了科学探究的整个过程,不仅要培养学生科学探究的意识,也要培养其相关的科学探究能力.

综合分析以上文献对于物理实验能力的界定发现,物理实验能力并非单一的一种能力,而是多种能力的综合,涉及与实验理论有关的智慧技能以及与操作有关的动作技能,物理实验能力与科学探究的过程息息相关.

## 2 物理实验能力测试研究综述

### 2.1 物理实验能力评价体系建构综述

文献[14]设计了初中物理实验学生评价体系如表1所示,评价指标在内容设计上涵盖了课程目标所要求的物理学知识、实验操作技能、科学探究能力以及情感态度与价值观等方面.

文献[15]参考了文献[7]的关于中学生物理实验能力的测试后,建构了基于过程的动态评价法为主,口头评价与终结性评价为辅的实验技能评价体系,其中指标的权重是通过秩和计算法得到的,并指出了动态评价法及评价指标体系与传统评价法相比,具有一些优点.

文献[12]根据PTA的基本理论以及对于能力内涵的理解、物理实验能力的综述以及课标发展的解读,将物理实验能力划分为6个基本层次:物理实验准备能力、物理实验观察能力、物理实验操作能力、物理实验设计能力、物理实验数据处理与分析能力、物理实验表达能力.将这6个基本层次作为物理实验能力评价体系的一级指标,通过对一级指标基本要求的分析及总结,确定了二级指标,完成物理实验能力评价指标体系的建立,其中各指标的权重采取了秩和比法、专家调查法.

文献[16]通过秩和比法、专家调查法、AHP层次分析法确定了物理实验能力一级和二级指标的

权重.

通过分析观察以上学者对于物理实验能力评价体系的构建过程可知:一级指标的构建常参考考试大纲、新课标中对科学探究的要求以及实验教学实

际,二级指标则是进一步细化一级指标;各级指标的权重确定则常采用秩和比法和专家调查法,综合参考专家对于评价体系各指标的看法之后,利用统计方法进行确定.

表1 文献[14]所列初中物理实验学生评价体系

		指标	备注
实验准备	基础知识	掌握与实验相关的基础知识	
		熟练掌握实验所用基本仪器的构造和使用方法	
	检查实验材料	实验开始前,认真检查实验材料,理解该实验的目的和内容	
实验过程	提出问题	能在所给情景的提示下,积极提出科学的探究问题	
	猜想与假设	能独立地或在一定提示背景下,针对探究问题做出合理的猜想与假设	
	制定计划	能根据猜想,制定完整的计划.计划中充分考虑各种可能情况,合理、有效地利用了提供的实验材料	
		会利用常用的科学方法(如控制变量法)制定计划	
	得出结论	计划科学性鲜明,逻辑清楚,表述规范	
		能独立设计符合实验要求的数据记录表,完整清晰地记录实验现象和数据	
		能根据实验要求作出规范的图形(如温度-时间图、电路图等等)	
	交流与讨论	在认真总结实验数据的基础上,得出概括性较强的结论	
		积极参与讨论,能清楚地表述本小组实验结论,逻辑严密地论证结论的合理性	
		能虚心听取其他小组的结论和论证,积极总结各小组结论中的相同点和不同点,最终达成共识	
能认真、深刻地反思实验各环节,找出努力方向			
		养成实验结束后主动整理实验仪器的好习惯	

## 2.2 学生物理实验能力现状测试

不少学者对学生目前的物理实验能力现状进行过测量和研究,如文献[7,12,16,17].

文献[12]依据高中生物理实验能力评价体系,设计知识卷及实验操作单从纸笔测试与操作测试两个方面测量高中生物理实验能力水平.根据测量结果发现,高中生物理实验操作能力与物理实验准备能力得分最高,物理实验设计能力得分最低;高中生对于物理实验操作过程较为熟悉,但是在某些指标比如物理实验设计能力等方面仍然存在着不足,需要在教学中进一步加强物理实验设计能力的培养及实验操作的规范性.

文献[7]设计了一套实验能力调查测试卷,分为三部分:《物理实验习惯调查问卷》《物理实验知识测试卷》《物理实验技能操作题》.通过调查测试与对

比分析,发现被试学生的物理实验能力普遍较差,主要表现在:

- (1)掌握了基本实验知识和方法,但灵活运用能力差.
- (2)能操作器材,但设计实验能力差.
- (3)没有形成严谨的科学态度和良好的实验习惯.

同时,分别对物理课堂实验教学、课内外实验开展情况进行了调查,最后指出造成中学生物理实验能力偏差的原因除了实验教学模式僵化、教师责任心不强之外,主要原因是缺乏及时的动态性评价.

文献[17]采用工作单加纸笔测试的模式对学生进行测试,研究结果表明:

- (1)工作单加纸笔测试的评价模式可以较好地评价学生的物理实验探究能力,可以应用于我国的

实验探究能力评价。

(2) 目前高中生已经具备了基础的实验探究能力,在探究活动中表现良好,但是部分要素能力存在不足,说明现行的实验教学对实验探究能力的培养不够全面,需要进一步改进。

(3) 在测试实施过程中发现,学生对实验探究能力评价比较陌生,且科学素养不足,说明需要改进现行的教育评价制度。

通过分析以上学者对于学生物理实验能力现状进行测量的过程和结果,可知常见的测量手段包括纸笔测试、操作测试(工作单结合或没有工作单)、问卷调查;测试的结果显示学生具备一定程度的物理实验能力,但是还存在各方面的不足和缺陷,反映出了实验教学尚存在不足之处,需要进行改进。

### 3 研究的不足和展望

本篇综述的研究只局限于国内有关物理实验能力的研究,并没有研究和分析国外的有关研究;同时,关于物理实验能力的评价,PTA量表和表现性评价是常见的评价方式,但是本综述中对于这两种方式没有详细叙述。未来有望从以上两个方面进行深入研究。

### 4 总结

关于物理实验能力的界定和建模,众多学者曾做过研究,各自的侧重点有所不同,但多数都包括实验知识基础、实验操作能力和实验设计能力等,关于物理实验能力的评价体系建立,常见德尔菲法、专家调查法以确定指标权重,在测试方式方面,以工作单结合纸笔测试为主。

纵观近20年各学者对学生物理实验能力的测量发现,学生的物理实验能力始终在各方面存在不足,这与长期以来的物理实验教学现状和物理实验在师生心中的地位不无关系,想要提升学生的物理实验能力,需要建立科学有效的物理实验能力评价体系,以指导改善物理实验教学的现状和提升物理实验在师生心中的地位。

物理实验是物理课程的重要组成部分,而物理学又是其他理工科专业的重要基础课程,在培养学生的动手能力和应用技术能力方面具有不可替代的作用。因此,努力提高学生的物理实验能力是广大物理教师一项艰巨的任务。

### 参考文献

- [1] 毕华林,万延岚. 核心素养:基于理科课程的一个实证研究[J]. 课程·教材·教法, 2016, 36(9): 34-41, 47.
- [2] 李新乡,张军朋. 物理教学论[M]. 北京:科学出版社, 2009.
- [3] 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.
- [4] 侯丽梅,李春密. 高二学生物理实验能力研究[J]. 物理实验, 2001(6): 23-26.
- [5] 李春密. 物理实验操作能力的结构模型初探[J]. 学科教育, 2002(6): 39-42.
- [6] 张健,李春密. 中学生物理实验能力结构浅析[J]. 物理教师, 2013, 34(7): 8, 11.
- [7] 陈芳桂. 中学生物理实验能力的调查与研究[D]. 成都:四川师范大学, 2007.
- [8] 于海波,王双维,白建英,等. 物理实验能力的认知分析及相应教学策略的探讨[J]. 物理通报, 2000(5): 33-35.
- [9] 唐波. 基于认知过程的物理实验能力表现评价研究[J]. 实验教学与仪器, 2015, 32(5): 9-10.
- [10] 陈浩,吴秋瑛. 基于标准的初中物理实验操作能力表现性评价的构建[J]. 物理教师, 2015, 36(1): 4-8, 15.
- [11] 郑阳民. 如何在物理实验中发展学生的能力[J]. 新课程(中学), 2014(4): 23.
- [12] 张丁荣. 高中生物理实验能力测量与分析[D]. 武汉:华中师范大学, 2018.
- [13] 周丽. 高考物理实验题与培养学生实验能力的调查研究[D]. 昆明:云南师范大学, 2015.
- [14] 李春密. 初中物理实验评价体系的构建[J]. 教学仪器与实验, 2008(8): 5-8.
- [15] 周艳丽. 新课标下对中学物理实验评价体系的研究[D]. 南京:南京师范大学, 2011.
- [16] 王珏. 高一学生物理实验能力现状研究[D]. 苏州:苏州大学, 2020.
- [17] 曹永青. 高中生物理实验探究能力现状测试与分析[D]. 新乡:河南师范大学, 2014.