

【中考解析】

从中考物理试题看 对科学探究能力测试的探索

廖伯琴 董源莉 廖文婧

【摘要】科学探究能力是物理课程应培养的核心素养之一,中考物理试题对初中物理教与学具有重要导向作用。依据义务教育物理课程标准,统计分析我国2020年至2022年90份省会城市中考物理试卷2136个中考试题中的413个科学探究试题。统计结果显示,这几年的科学探究试题侧重考查了“分析与论证”“进行实验与收集证据”和“设计实验与制订计划”等科学探究要素,与课标内容要求和必做实验的关联度显著,试题素材主要源于教材等。最后提出中考物理探究试题的命制应坚持素养立意、严格依标命题、用活教材和挖掘本土资源等建议。

【关键词】中考物理;科学探究;能力测试

当今世界科技进步日新月异,各国在教育中非常注重培养学生的科学探究能力。联合国教科文组织指出学校课程应强调科学探究^[1]。美、英、德、日、芬兰、俄罗斯等国家的物理(科学)课程标准大多含有培养学生科学探究能力的课程目标^[2]。21世纪以来,我国先后实施的三版义务教育物理课程标准均注重科学探究^[3]:《全日制义务教育物理课程标准(实验稿)》(简称《2001版课标》)强调课程实施应注重科学探究和教学方式多样化^[4];《义务教育物理课程标准(2011年版)》(简称《2011版课标》)将科学探究列入“课程内容”,旨在让学生经历科学探究过程,领悟科学探究方法,发展科学探究能力^[5];《义务教育物理课程标准(2022年版)》(简称《2022版课标》)进一步提出科学探究是物理课程应培养的核心素养之一^[6]。物理课程标准凝练了物理课程独特的育人功能^[2],而科学探究能力的培养则是物理课程育人价值的重要体现。

对科学探究能力的测评一直是国内外科学教育工作者关注的焦点。《国家义务教育质量监测方案(2021年修订版)》要求“紧扣课程标准,监测学生各学科领域的发展水平及核心素养,科学主要监测学生掌握科学基础知识和思维方法情况、科学探究能力等”^[7]。目前国内外对科学探究能力的测评方式主要有现场观察、纸笔测验、工作单和虚拟实验测评等^[8-9]。纸笔测验因其方便、成本低、信度高等特点

而在国内外被大规模采用。国际上比较有影响力的TIMSS、PISA和NAEP等测评方法均采用了纸笔测验方式。我国也主要以纸笔测验的方式考查学生的科学探究能力。2019年,教育部提出严格依标科学命题^[10]。2022年,教育部提出进一步深化考试评价改革,加快推进中考省级统一命题^[11]。在这样一个大背景下,探析我国中考物理试题对科学探究能力的测试特点,以期能为我国的纸笔测试更有效地考查科学探究能力提供参考。

本研究从中考物理试题的视角,探索对学生科学探究能力测试的特点。为提高试卷样本的代表性,我们收集了2020—2022年间全国各省会城市中考物理试卷共90套。因这90套中考物理试卷的命题依据是《2011版课标》,故对物理试卷中科学探究试题的划分依据是《2011版课标》及其对科学探究能力的内涵界定,即只要中考物理试题关涉其中任一科学探究要素或其能力的基本要求,便将其划归于科学探究类试题。据此标准,最终从2136个中考物理试题中选取科学探究试题413个,依次编号为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ... Q_{413} 。

那么,这些中考物理探究试题对不同科学探究要素及其基本要求的考查有何差异?与课标内容要求和必做实验的关联度怎样?试题素材的主要来源又是什么?这些统计结果与2009年相关研究结果^[12]相比,有何变化?下面将侧重探讨这些问题。

一、对科学探究能力的测试

三版课标关于科学探究能力的内涵界定是一以贯之的。《2001 版课标》指出“科学探究既是学生的学习目标,又是重要的教学方式之一”,并将科学探究能力细化为 7 个科学探究要素^[4];《2011 版课标》整体继承了对科学探究能力 7 要素构成之内涵界定,仅在文字上做了微调,即提出问题、猜想与假设、设计实验与制订计划、进行实验与收集证据、分析与论证、评估、交流与合作^[5];《2022 版课标》将科学探究的要素进一步凝练为 4 个,即问题、证据、解释和交流^[6]。正如前所述,对 2020—2022 年中考物理科学探究试题的剖析依据是《2011 版课标》明确的 7 个科学探究要素及其基本能力要求。

(一)关于不同科学探究要素的考查

对科学探究要素的考查比例总体比较稳定。如图 1 所示,“分析与论证”探究要素的考查比例最大,占比 70.2%;其次是“进行实验与收集证据”,占比 55.3%;第三是“设计实验与制订计划”,占比 43.3%。这与考查比例偏小的“提出问题”“猜想与假设”“评估”“交流与合作”4 个要素形成了明显差异,特别是没有考查到“交流与合作”这一要素,这显然受制于纸笔测验的局限性。该统计分析结果与 2009 年的统计结果一致。

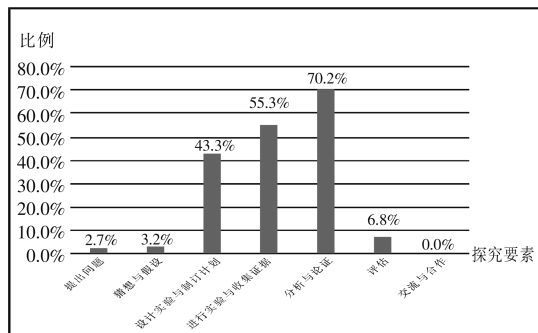


图 1 不同科学探究要素考查情况

科学探究的形式是多种多样的,在科学探究过程中,学生的探究过程可涉及所有要素,也可只涉及部分要素^[5]。这些科学探究试题有的是单要素评价,而有的是多要素评价。如图 2 所示,考查单个科学探究要素的试题占比 41.3%,考查两个科学探究要素的试题占比 37.9%。该结果与 2009 年的结果相比,有一定差异,2009 年 70.3% 的科学探究试题涉及 1 个探究要素^[12],而今多数试题检测多个要素,这说明探究性试题有检测多个要素的发展趋势。

(二)例析与科学探究能力要求的对应

由以上研究可知,中考试题针对“设计实验与制

订计划”“进行实验与收集证据”“分析与论证”三个维度的科学探究能力检测比例较大,下面我们对此进行更深入地分析。

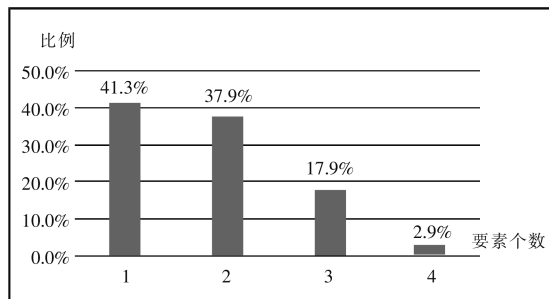


图 2 考查科学探究要素个数情况

根据《2011 版课标》,7 个“科学探究要素”共对应 31 个“科学探究能力的基本要求”,我们对其逐一编码。以第 3 个科学探究要素“设计实验与制订计划”为例,对其所含的 5 个“科学探究能力的基本要求”依次编码,分别为“3-1 经历设计实验与制订计划的过程”“3-2 明确探究目的和已有条件”等,详见表 1。

表 1 对“设计实验与制订计划”的“科学探究能力的基本要求”编码^[5]

科学探究	要素科学探究能力的基本要求
3 设计实验与制订计划	3-1 经历设计实验与制订计划的过程
	3-2 明确探究目的和已有条件
	3-3 尝试考虑影响问题的主要因素,有控制变量的意识
	3-4 尝试选择科学探究方法及所需要的器材
	3-5 了解设计实验与制订计划在科学探究中的意义

在考查了第 3 个科学探究要素“设计实验与制订计划”的试题中,如下页图 3 所示,考查“3-2 明确探究目的和已有条件”能力的最多,占比 41.2%;其次为“3-4 尝试选择科学探究方法及所需要的器材”能力,占比 21.5%;考查“3-3 尝试考虑影响问题的主要因素,有控制变量的意识”能力,占比 20.1%;而“3-5 了解设计实验与制订计划在科学探究中的意义”没有涉及。统计结果与 2009 年研究结论基本一致,即考查“设计实验与制订计划”要素的试题主要考查探究目的确定、实验仪器的选用、科学探究方法的选择以及控制变量的意识等。

据此分析框架分别对其他科学探究要素的各基本能力要求进行分析。科学探究试题中考查第 5 个

探究要素即“分析与论证”的试题最多,对相应基本能力要求的考查如图4所示。其中,考查“5-3 能进行简单的因果推理”能力的试题最多,占比38.6%;其次为“5-2 能对收集的信息进行简单归类及比较”和“5-1 经历从物理现象和实验中归纳科学规律的过程”的能力考查,分别占比28.8%和27.9%。这些结果与2009年的结果一致,即考查“分析与论证”能力的试题,重点考查简单的因果推理、对收集的信息进行简单比较并归纳得到科学规律等。

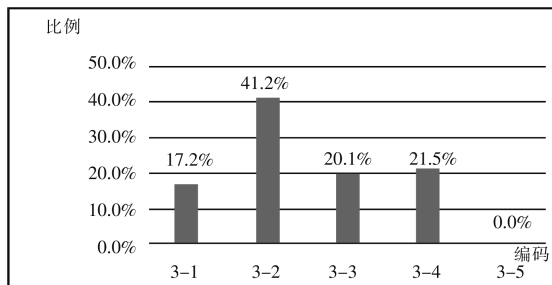


图3 关于“设计实验与制订计划”的考查情况

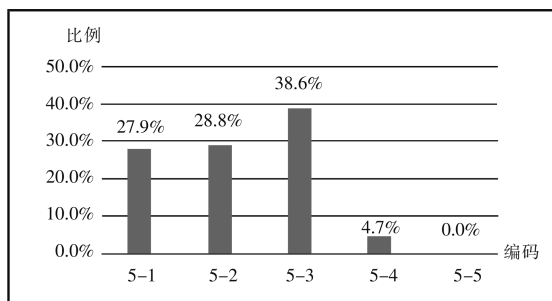


图4 关于“分析与论证”的考查情况

此外,关于“进行实验与收集证据”的能力考查,主要考查了实验仪器的正确使用、仪器仪表的正确读数及记录等;关于“猜想与假设”的能力考查,主要考查了对问题的可能答案提出猜想;关于“评估”的能力考查,主要考查了对探究方案的改进、探究结果的评估等。

二、考查内容与课标内容要求的关联

《2011 版课标》的“科学内容”包含“物质”“运动和相互作用”和“能量”三个一级主题,14 个二级主题和 63 个三级主题^[5]。对科学探究试题涉及的一级主题科学内容进行统计分析,如图5所示。其中,考查“能量”主题的探究试题最多,占比41.6%;考查“运动和相互作用”主题的试题占比32.9%;考查“物质”主题的试题占比25.5%。可见,科学探究试题与课标一级内容主题及要求具有相当的关联度。

对《2011 版课标》中科学内容的 63 个“三级主

题”依次编码为 1—63,编码 64 指“没有考查到课标中任何三级主题”,统计分析如图6所示。其中,考查比例位于前7位的三级主题如下页表2所示。通过图表比对可得,考查比例较大的内容主要与电学有关,如连接电路图,探究电流、电压和电阻的关系,会使用电流表和电压表,会测量灯泡的电功率等;其次是物质相关内容,如物态变化、物体的质量和密度测量等。可见,科学探究试题对课标三级内容主题的考查占比存在显著性差异。

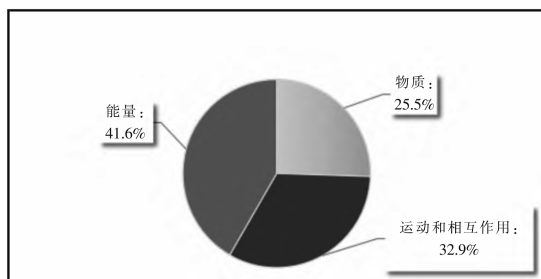


图5 考查内容与一级主题的关联

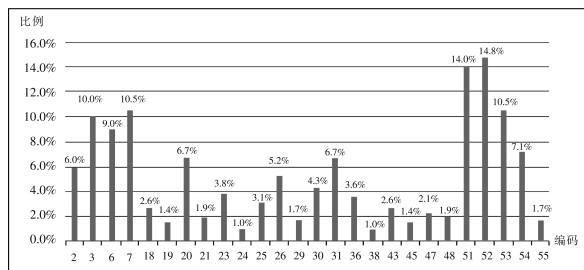


图6 考查内容与三级主题的关联

注:本图只显示了占比大于1%的三级主题。

进一步深入分析科学探究试题在各课标三级内容主题内部的考查分布情况可知,在考查编码为52的三级内容主题试题中,其中考查“会连接简单的串联电路和并联电路”知识点的试题最多,占比达69.4%,通常要求学生将实物图连接完整,或是找出错误的连接方式并予以改正;在考查编码51的试题中,考查重点是“通过实验,探究电流与电压、电阻的关系”,占比达55.9%。可见,科学探究试题无论在课标三级内容主题整体上,还是在三级内容主题内部,考查占比也是有所侧重的。

三、考查的实验与学生必做实验的关联

《2001 版课标》注重科学探究,注重实验要求,但未列出学生必做实验^[4];《2011 版课标》列出了20个学生必做实验,但放在附录中^[5];《2022 版课标》列出21个学生必做实验,即9个测量类实验和12个探究类实验,且放进课程内容的一级主题“实验探究”中,并增设样例、活动建议、学业要求和教学提示

等^[6],进一步凸显了物理实验的育人功能。我们依据《2011 版课标》,对学生必做的 20 个实验逐一编码,编码“b21”为试题考查到这 20 个必做实验之外的情况。统计分析科学探究试题对各实验的考查频次,从多到少排列前十的必做实验如表 3 所示,考查最多的是“b16 连接简单的串联电路和并联电路”,要求学生根据探究目的连接电路图,或找出连接错误的导线并改正;其次是测量物体的质量或密度、探究凸透镜成像规律、测量小灯泡的电功率以及探究电流与电压、电阻的关系等。

表 2 考查占比居前 7 位的三级主题^[5]

编码	对应课标中的三级主题	占比
52	会看、会画简单的电路图。会连接简单的串联电路和并联电路。说出生产、生活中采用简单串联或并联电路的实例。了解串、并联电路电流和电压的特点。	14.8%
51	知道电压、电流和电阻。通过实验,探究电流与电压、电阻的关系。理解欧姆定律。	14.0%
53	会使用电流表和电压表。	10.5%
7	通过实验,理解密度,会测量固体和液体的密度。解释生活中一些与密度有关的物理现象。	10.5%
3	经历物态变化的实验探究过程,知道物质的熔点、凝固点和沸点,了解物态变化过程中的吸热和放热现象。用物态变化的知识说明自然界和生活中的有关现象。	10.0%
6	知道质量的含义。会测量固体和液体的质量。	9.0%
54	结合实例理解电功和电功率。知道用电器的额定功率和实际功率。	7.1%

在科学探究试题中,有考查课标中要求的学生必做实验,也有考查学生必做实验要求以外的其他实验。整体占比情况如图 7 所示,考查“必做实验”的试题占比为 62.3%,而考查其他实验的试题占比为 37.7%。可见,科学探究试题中涉及的实验更多来自课标中的学生必做实验,这说明科学探究试题与课标中学生必做实验有比较明显的关联。

继续分析涉及非学生必做实验的试题可知,有些探究试题涉及的实验虽不是《2011 版课标》中的学生必做实验,但所涉及的内容要求几乎都属于《2011 版课标》中有实验要求的三级内容主题范畴,且出现在教材的“实验”“演示”等栏目。其中,考查

频次位列前三的主题为“用电流表和电压表测量电阻”“探究固体熔化时温度的变化规律”“探究不同物质的吸热能力”等,这些实验皆在《2022 版课标》的“实验探究”主题中有所体现。

表 3 考查频次排列前十的学生必做实验^[5]

编码	《2011 版课标》中学生必做实验
b16	连接简单的串联电路和并联电路
b3	用天平测量物体的质量
b9	测量固体和液体的密度
b17	探究电流与电压、电阻的关系
b15	探究凸透镜成像的规律
b20	测量小灯泡的电功率
b12	探究水沸腾时温度变化的特点
b14	探究平面镜成像时像与物的关系
b4	用常见温度计测量温度
b11	探究杠杆的平衡条件

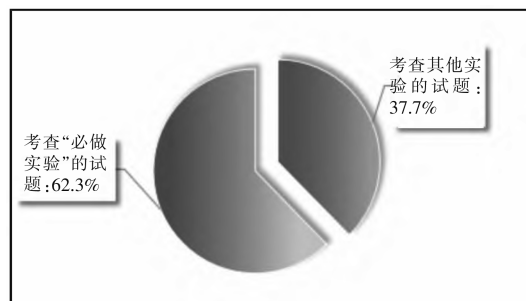


图 7 考查的学生必做实验的比例

四、科学探究试题的素材来源

本研究将中考物理科学探究试题的素材来源分为五类,即:教科书、生活现象、课外实验和小制作、科技前沿和科普、其他,并依次编码。统计结果如下页图 8 所示,考查科学探究能力的试题素材大部分来源于教材“实验”“演示”等栏目,占比达 73.6%;其次来源于“课外实验和小制作”,占比 16.8%。该结果与 2009 年的相关结论基本一致,即大部分中考物理探究试题的素材来源于课内教材教学和课外小制作等考生熟悉的情境。

进一步从科学探究试题素材关涉的情境类型分析可知,试题情境整体呈现多样化样态,以生产生活情境为主,多源自学生校内外现实生活,重视对科技类情境的挖掘,注重中国本土情境资源,同时存在少数试题的情境与问题分离等问题。

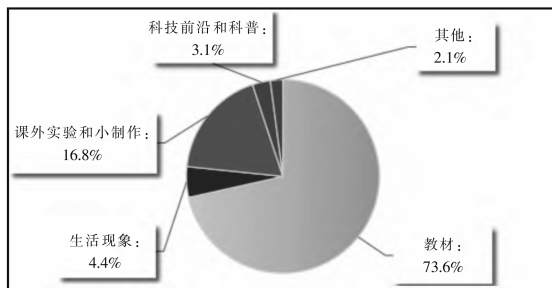


图8 试题素材来源统计

五、建议

总体看,2020年至2022年中考物理探究试题有以下主要特点:与课标内容要求和必做实验之间均呈明显关联、试题素材主要来源于教科书等。为进一步提高中考物理试题对科学探究能力测试的信度与效度,特提出以下建议。

一是要把握科学探究的本质,坚持以物理核心素养立意。立足国际视野和未来人才需求,以学生核心素养尤其是科学精神的培育为导向,围绕科学探究的关键要素,重点考查学生经历问题、论证、解释和交流等科学探究过程的情况,全面考查学生学习领悟科学探究方法以及具备的科学探究能力等,考查学生的物理观念、科学思维以及科学态度与责任等物理课程核心素养^[6],以评价来促进物理课程独特育人价值的实现。

二是要严格依标命题,用活教材。科学探究试题的内容模块整体分布需均衡,与课标内容主题及其要求之间具有明显关联。科学探究试题的命制应严格依标命题,紧扣物理课程标准,重视对学生必做实验的检测。同时义务教育物理教材作为重要的教学资源,要进一步用活、用好。

三是要深入挖掘本土资源,编制原创性试题。践行“从生活走向物理,从物理走向社会”的课程理念^[4],以学生熟悉的生产生活情境为主,紧密联系国内、外现代科技,深入挖掘我国传统文化和科学技术等资源,创编更新颖的试题,从物理视角讲好中国故事。

参考文献:

- [1] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. REIMAGINING OUR FUTURE TOGETHER: A new social contract for education[EB/OL]. (2021-11-11). <https://en.unesco.org/futuresofeducation/>

[2] 廖伯琴. 核心素养与课程目标——基于核心素养内涵的义务教育物理课程目标解读[J]. 教师教育学报, 2023, 10(2): 50-58.

[3] 廖伯琴. 继承与发展: 物理课程标准修订的主旋律——以义务教育物理课程标准(从2001版到2022版)为例[J]. 物理教学探讨, 2022, 40(11): 1-5.

[4] 中华人民共和国教育部. 全日制义务教育物理课程标准(实验稿)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.

[5] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2011年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2012.

[6] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.

[7] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《国家义务教育质量监测方案(2021年修订版)》的通知[EB/OL]. (2021-09-24). http://www.moe.gov.cn/srcsite/A11/moe_1789/202109/t20210926_567095.html.

[8] 罗国忠. 科学探究能力的多元化评价——以美国康涅狄格州的科学探究能力评价为例[J]. 外国中小学教育, 2013(3): 18-21.

[9] Anderson J L, Barnett M. Learning Physics with Digital Game Simulations in Middle School Science[J]. Journal of Science Education and Technology, 2013, 22(6): 914-926.

[10] 中华人民共和国教育部. 教育部关于加强初中学业水平考试命题工作的意见[EB/OL]. (2019-11-22). http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/s3321/201911/t20191128_409951.html

[11] 中华人民共和国教育部. 教育部: 今年将召开中考命题工作会议, 推进中考省级统一命题[EB/OL]. (2022-02-15). http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2022/53959/mtbd/202202/t20220215_599539.html.

[12] 廖伯琴, 袁令民. 2009年中考物理试题对探究能力考查的特点探析[J]. 基础教育课程, 2010(3): 71-74.

【作者简介】廖伯琴, 西南大学科学教育研究中心主任, 西南大学教师教育学院教授, 博导(重庆400715), 国家中学物理课程标准研制组及修订组负责人, 中国青少年科技教育工作者协会物理教育与普及专委会主任; 董源莉, 西南大学科学教育研究中心(重庆400715), 西南大学西南民族教育与心理研究中心(重庆400715); 廖文婧, 西南大学科学教育研究中心(重庆400715), 西南大学教师教育学院(重庆400715)。

【原文出处】《物理教学探讨》(重庆), 2023. 7. 1~5. 8.