

基于纸笔与实验操作双维度测试的科学探究能力评价探讨^{*}

吴思远 胡振欢 (中山市桂山中学 广东 528463)

余耿华^{**} (广东省教育研究院 广东 510035)

摘 要 文章探讨了纸笔测试与实验操作双维度测试评价核心素养中科学探究能力的可行性,给出评价方案,设计考试流程并实施,最终分析双维度测试结果。

关键词 双维度测试 科学探究 能力要素 评价

文章编号 1002-0748(2024)5-0020

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 问题的提出

2020 年新修订的《普通高中物理课程标准》明确了培养学生核心素养是重要的目的^[1],同时也衍生出了一个重要问题,即如何检验学生素养是否达到一定的水平。目前研究发现,纸笔测试和实验操作两种评价方式是核心素养评价的主流方式,两种方式在研究上都各自反映出能够很好地评价学生的核心素养水平^[3,4],但是却少见将两种方式结合的双维度评价方式,因此纸笔测试与实验操作的有机结合是否能够有效评价学生的物理科学探究素养值得探讨。本文研究的是将实施纸笔测试与实验操作双维度测试对学生的科学探究能力水平进行评价。依据核心素养及已有研究划分科学探究能力要素,结合评价要素编制双维度测试题和给出评分细则,开发合理的测试流程和实施方案,最终对数据分析得出结论。为核心素养的评价方式提供另一种途径和参考,能较为全面、综合、系统地了解学生的科学探究能力,进一步地帮助学生培养物理学科核心素养。

2 双维度测试试题编制及评分细则制定

2.1 双维度测试试题编制

依据《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》,结合学者们对科学探究评价要素整理出

的研究成果^[2],将高中物理科学探究整合为原理与方案、器材与操作、现象与数据和结论与分析四项能力要素,结合四要素编制电学实验测试试题,编制的试题如下。

例 1 实验:“测量未知电阻阻值”。

(1) 提供实验器材

①待测电阻 R_x ; ②多用电表; ③电流表(量程 0.6 A,内阻约为 0.1 Ω 和量程 3 A,内阻约为 0.025 Ω); ④电压表(量程 3 V,内阻约为 3 k Ω 和量程 15 V,内阻约为 12 k Ω); ⑤滑动变阻器 R (0~5 Ω ,额定电流 1 A); ⑥学生恒压电源(3 V); ⑦两节干电池; ⑧开关,导线若干。

(2) 实验内容

①用多用电表粗测待测电阻阻值;
②根据已有器材设计精确测量待测电阻阻值的实验方案;
③依据实验电路用导线连好实验仪器;
④记录实验数据;
⑤实验完成后,整理器材,将器材整齐归位,在备考室完成数据处理。

(3) 实验记录

①用多用电表粗测未知电阻阻值。
选择_____挡测量待测电阻阻值,记录所测电阻阻值为:_____。

^{*} **基金项目:**本文系广东省中山市 2022 年教育科研立项课题重点项目“基于学业质量标准的高中物理纸笔与实验操作双维度测试实践研究”(编号:A2022030);广东省百千万人才培养工程专项科研项目课题“基于纸笔和实验操作双维度测试的高中物理核心素养评价研究”(编号:BQW2021JGL029);和广东省中山市市级课题“核心素养背景下的高考物理试题分析与试题编制的实践研究”(编号:C2018133)的研究成果。

^{**} **通讯作者:**余耿华。

② 精确测量未知电阻的阻值。

(A) 设计电路时电流表挡位选择: _____
(0.6 A 或 3 A); 电压表挡位选择: _____ (3 V 或 15 V)。

伏安法测量电阻的连接方式选择: _____ (内接法或外接法), 请简述选择原因:

_____。

滑动变阻器接法选择: _____ (限流法或分压法), 请简述选择原因:

_____。

(B) 画出实验电路。

(C) 根据电路图完成实物连接, 进行适当的操作并记录实验数据。

表 1

测量次数	1	2	3	4	5	6
电压 U/V						
电流 I/A						

(D) 利用测量的数据, 选择合适的方法处理数据并得出待测电阻阻值。

(E) 实验误差分析, 请写出两个以上的实验误差原因。

差原因。

(4) 实验设计

若有一节旧干电池, 请你根据本实验的器材, 设计一个实验方案, 要求能够同时测量未知电阻的阻值以及干电池的电动势和内阻。请画出电路图以及简述实验原理, 不要求描述具体的操作步骤(可再添加合适的器材)。

2.2 双维度测试试题的组成及编制思路

试题由纸笔测试和实验操作试题组成, 纸笔测试项目用于评价原理与方案和结论与分析, 即侧重对“实验原理”“方案规划”“数据处理”“获得结果”, 以及“结果讨论”等能力的考察。而实验操作项目用于评价器材与操作和现象与数据, 即侧重考察学生具体操作技能为主。

试题的编制思路是依据不同能力要素的要求, 选择考查方式并编制试题, 一套试题囊括多种能力要素, 做到以合适的方式考查科学探究中的各能力要素。试题对应两个测试方式的分布情况如表 2 所示。

2.3 双维度测试试题评分框架及水平分布

依据物理学科核心素养水平划分及笔者的四要素水平划分框架^[2]对试题进行水平划分和赋分, 给出可操作的科学探究评价评分细则, 如表 3 所示。

表 2 双维度测试试题组成

试题	考查方式	考查作用	考查要素
(1) 用多用电表粗测未知电阻阻值 选择 _____ 挡测量待测电阻阻值	纸笔测试	粗测待测电阻阻值的方法	原理与方案
记录所测电阻阻值为	实验操作	万用表的欧姆挡使用方法	器材与操作
(2) 精确测量未知电阻的阻值 ① 设计电路时电流表挡位选择: _____ (0.6 A 或 3 A); 电压表挡位选择: _____ (3 V 或 15 V)	纸笔测试	电表量程的选择	原理与方案
伏安法测量电阻的连接方式选择: _____ (内接法或外接法), 请简述选择原因; 滑动变阻器接法选择: (限流法或分压法), 请简述选择原因	纸笔测试	电流表内外接法的选择以及滑动变阻器的连接方式的选择	原理与方案
② 在下面框中画出实验电路	纸笔测试	电路图的设计	原理与方案
③ 根据电路图完成实物连接, 进行适当的操作并记录实验数据	实验操作	器材实物操作技能, 以及数据记录	器材与操作和现象与数据
④ 利用测量的数据, 选择合适的方法处理数据并得出待测电阻阻值; ⑤ 实验误差分析, 请写出两个以上的实验误差原因	纸笔测试	数据处理能力以及误差分析	结论与分析
若有一节旧干电池, 请你根据本实验的器材, 设计一个实验方案, 要求能够同时测量未知电阻的阻值以及干电池的电动势和内阻。请画出电路图以及简述实验原理, 不要求描述具体的操作步骤(可再添加合适的器材)	纸笔测试	实验创新能力, 是否具备制定新的实验方案能力	原理与方案

表 3 双维度测试评价评分细则

能力要素	对应题目	对应水平	得分标准
实验方案 与原理 9 分	选择_____档测量待测电阻	水平 2	知道使用万用表估测电阻给 1 分
	伏安法测量电阻的连接方式选择: _____(内接法或外接法), 请简述选择原因	水平 3	选择正确接法给 1 分, 对所选的电流表的连接方式能给出合理的理由给 1 分
	滑动变阻器接法选择: _____(限流法或分压法), 请简述选择原因	水平 3	对所选的滑动变阻器的连接方式能给出合理的理由给 2 分
	若有一节旧干电池, 请你根据本实验的器材, 设计一个实验方案, 要求能够同时测量未知电阻的阻值以及干电池的电动势和内阻。请画出电路图以及简述实验原理, 不要求描述具体的操作步骤。(可再添加合适的器材)	水平 5	画出实验电路图给 2 分, 简要说出测量原理给 2 分; 只能测量电动势和内阻, 不能测量待测电阻给一半分; 只能测电阻不能测电源电动势内阻不给分
器材与 操作 13 分	记录所测电阻阻值为	水平 3	测量前先选档后进行欧姆调零操作给 1 分, 测量电阻阻值在 5 Ω 左右给 1 分, 知道万用表使用完毕后关机给 1 分
	设计电路时电流表挡位选择: _____(0. 6 A 或 3 A); 电压表挡位选择: _____(3 V 或 15 V)	水平 2	选对电流表、电压表的量程各给 1 分
	画出实验电路图	水平 3	电流表和电压表正负极都连接正确 1 分; 滑动变阻器接线正确得 1 分; 内外接法正确 1 分; 接通电路时滑动变阻器滑片位置正确 1 分; 开关处于打开状态 1 分
	根据电路图完成实物连接, 进行适当的操作并记录实验数据	水平 4	每次测量完断开开关给 1 分, 测量 6 组数据给 1 分
	实验完成后, 整理器材, 将器材整齐归位	水平 1	实验完毕整理器材给 1 分
现象与数据 6 分		水平 3	无错误数据而且读数正确给 1 分, 各组数据有明显变化给 1 分
	利用测量的数据, 选择合适的方法处理数据并得出待测电阻阻值	水平 4	用图象法处理数据给 2 分, 用平均值计算给 1 分
	利用测量的数据, 选择合适的方法处理数据并得出待测电阻阻值	水平 3	误差小于 5%(含)给 2 分, 误差在 5%和 10%(含)之间给 1 分, 误差超过 10%不给分
结论与分析 2 分	实验误差分析, 请写出两个以上的实验误差原因	水平 4	写出一个误差来源给 1 分, 写出两个及两个以上误差来源 2 分

3 双维度测试实操流程

针对以上的双维度测试试题, 以及研究者实际情况, 试题选择的被试为 39 位高三物理班的学生, 被试学生已初步完成高考一轮复习, 但是没有经过系统的实验操作训练, 根据教材教学进度进行了部分分组实验。

双维度测试不同于单纯的纸笔测试或者实验操作测试, 为了提高效率、测试的可操作性、公平性及可信度, 我们设计了考试流程, 双维度测试满分 30 分, 考试时间 35 分钟, 其中前 20 分钟在实验操作考场进行, 学生完成试题中的“(3)实验记录”除了④⑤部分, 每一位考生由专门的考官进行操作录像并进行打分, 录像用于测试后评分的补充, 后 15 分钟到纸笔测试考场继续完成数据分析, 即试题④⑤和“(4)实验设计”, 在考场操作时不能提前离开考场, 考生须独

立完成实验操作考试, 考试流程图如图 1 所示。

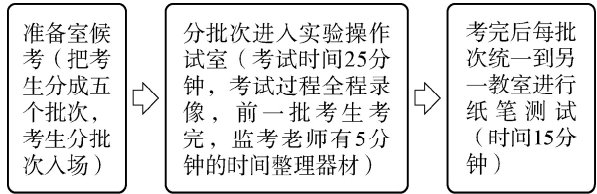


图 1 考试流程图

4 测试情况分析

4.1 双维度测试的信度分析

试卷的信度分析 Cronbach's, α 信度系数是估计考试结果可靠性的一个工具, 其基本原理是将考试中所有试题间相关系数的平均值(又称内部一致性)作为 α 信度系数。试卷总体 Cronbach's α 系数为 0. 709, 信度较好, 说明试卷内部一致性比较好, 测

试结果具有说服力。

4.2 双维度测试情况分析

4.2.1 四项科学探究能力要素得分及水平

表 4 四项科学探究能力要素得分情况

能力要素	总分	平均得分	得分率	最高分	最低分
实验方案与原理	9	5.87	65.2%	9	1
器材与操作	13	8.93	69.0%	13	1
现象与数据	6	3.54	59.0%	6	0
结论与分析	2	1.62	81.0%	2	0

4.2.2 科学探究能力等级分布

将物理科学探究能力的得分对应考试评价标准,分数从及格线至满分等分成 5 个等级,其中高中毕业生应达到的合格水平对应等级二,进入高等院校相关专业学习应达到要求对应等级四。双维度测试等级分布见表 5。

表 5 双维度测试等级分布

分数	<18	[18, 21)	[21, 24)	[24, 27)	≥27
等级	等级一	等级二	等级三	等级四	等级五
人数	5	7	13	11	3
占比	12.8%	18.0%	33.3%	28.2%	8.0%

从等级分布表可以发现,双维度测试反映被试的科学探究能力主要处于等级三和等级四。

4.2.3 四项科学探究能力要素直方图

为了能够直观体现双维度测试能否有效地反映被试的科学探究能力水平,笔者利用 SPSS 数据分析软件分析科学探究中各要素的能力分布,实验方案与原理、器材与操作、现象与数据、纸笔测试、实验测试及总分直方图如图 2 所示,其中横轴表示要素能力估计值,纵轴表示频数,图中曲线表示正态密度曲线。

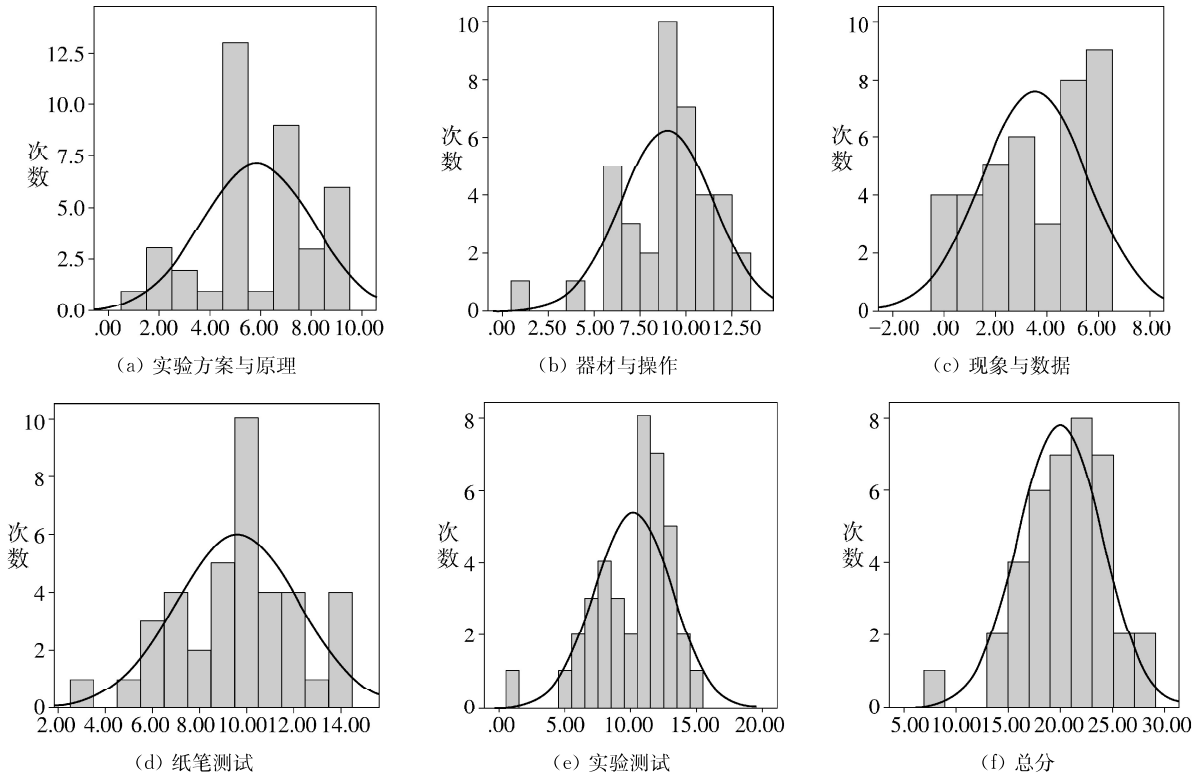


图 2 直方图分布

图 2 中,原理与方案要素其直方图结果右偏,器材与操作其直方图结果也是右偏,现象与数据要素其直方图显示与正态曲线拟合最差,整体表现较为分散,由于结论与分析题目设置得少,直方图分析不合适。总分、纸笔测试部分与实验操作部分的直方图都体现出右偏情况,都与正态分布曲线比较吻合,说明双维度测试能真实反映学生的真实学情,较好

地评价了学生的科学探究能力。

5 启示及展望

从本次纸笔测试与实验操作双维度测试的实践得到以下启示和展望。

关于双维度测试流程,整个双维度测试流程虽

(下转第 19 页)

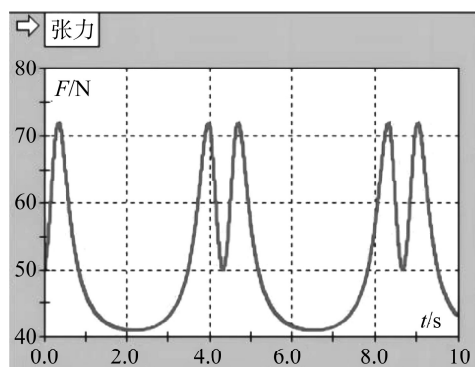


图 10

进行比较发现,动力学仿真结果与理论分析结果完全一致。

4 结束语

绳连接体模型是高中物理力学部分的经典模型。本文以此模型为载体,从理论上推导出体系满足的拉格朗日方程,并利用 MATLAB 软件绘制出角度、角速度、绳两端物体的速度、加速度以及绳中拉力等物理量随时间变化的图象,最后采用 Working

(上接第 23 页)

然可行,但是耗费的人力过大,需要教师一对一录像评分,耗费的时间过长,受限于此,导致测试样本量较少,不能进行大规模测试,影响考试分析的准确度。因此,测试流程需要优化,减少人力耗费,提升测试规模和效率。今后可以设计一个小隔间,隔间内有摄像头能识别学生身份进行自动录像,不需要教师一对一录像,整个测试室由 3 位老师控场即可,事后通过录像进行打分。

关于试题的开发,从结果来看,题目的信度较好,直方图符合正态分布,说明开发的试题能够很好地反映学生科学探究能力的水平。本次试题是将纸笔测试题和实验操作题穿插进行的,以纸笔测试引导实验操作,能够指引学生按照脉络进行探究,这种测试是半开放的,未来可以进一步探讨全开放性双维度测试,让真正具有探究能力的学生能够展现创意,脱颖而出。除了开发关于电学实验的双维度测试题,还要探讨关于力学实验的双维度测试题的开发。

关于评价过程,本次评价是教师对学生一对一现场对实验操作评分,最后再对纸笔测试内容进行评分。这样的方式容易存在主观性强、耗时长、细则

Model 软件对此模型进行了动力学仿真模拟。通过理论计算、数值模拟以及物理仿真,将绳牵连物体的运动规律可视化,化抽象为具体,从而帮助师生更直观、深入地理解此模型。此外,教师要有可视化教学意识,在平常教学过程中多借助计算机软件或实验等手段,让学生直观感受到抽象问题背后的物理图像、动态影像,以加深对物理过程规律的深度理解,提高他们学习的兴趣和效果。

参考文献

- [1] 杨泽斌,洪玲儿,郑建银,等. 利用 MATLAB 模拟带电粒子在电磁场中的复杂运动轨迹[J]. 物理通报, 2023(06): 126—128, 132.
- [2] 王程,邓王红,孙飞. 基于 Mathematica 的杨氏双缝干涉的仿真实验研究[J]. 物理与工程, 2023, 33(03): 64—69.
- [3] 王刚,范若萌,潘咪,等. 基于 NOBOOK 的电学实验优化设计与误差分析——以“测量电源电动势和内阻”为例[J]. 中国教育技术装备, 2023(11): 128—130.
- [4] 陆天明. 对一道沿绳加速度问题的深入研究[J]. 物理教师, 2014, 35(07): 95—96.
- [5] 罗绪凯. 一道轻绳连接体典型例题的深入剖析[J]. 物理教学, 2022, 44(02): 56—59, 62.

难以确定等困难,因此需要前期建立完善的分级赋分体系,明确素养水平、提供评分参考等要素,进而改善评分效果。

关于测试结果,可以发现学生科学探究能力中的四个要素主要处于水平 3,这对于经历了一轮复习的高三学生来说是不达标的,说明在课堂上对学生科学探究能力的培养有所欠缺,课堂还是以传授知识为主,在探究活动中总是以教师演示和讲解为主,没有以学生为主体,学生少有自主探究的机会,难以培养学生的科学探究能力。在今后要重视实验探究,以学生为主体展开教学活动,帮助学生学以致用,鼓励学生动手探究。

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 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社, 2020.
- [2] 胡振欢,许桂清. 基于科学探究评价框架的高中物理实验操作试题开发探讨[J]. 物理教师, 2022, 43(10): 49—53.
- [3] 徐瑞璟,李春密. 基于核心素养的高中学生物理科学探究能力调查研究[J]. 物理教师, 2021, 42(10): 20—24.
- [4] 蒋炜波,赵坚. 物理核心素养的试题命题与评价策略研究——以科学探究评价为例[J]. 物理教学, 2020, 42(04): 2—6.