

# 宁夏大学理工科学生科学推理能力调查实证分析\*

——以物理与电子电气工程学院大一学生为例

袁倩 李佳妮 杨晓梅

(宁夏大学物理与电子电气工程学院 宁夏 银川 750021)

(收稿日期:2021-05-12)

**摘要:**科学推理能力是新课程改革的重要内容,提升学生的科学推理能力,对落实物理核心素养有着重要意义.运用 LCTSR 2000 对宁夏大学物理与电子电气工程学院大一学生进行科学推理能力测试,从测试卷可行性和学生得分情况进行分析.研究结果启示我们,教师应重视物理教学方法的灵活性,扎实推进物理学科核心素养的落实,以此有效地提升学生科学推理能力,同时,大学生在后续学习中也应主动提升自己的科学推理能力.

**关键词:**科学推理能力 物理核心素养 LCTSR 2000

## 1 引言

《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》<sup>[1]</sup>指出,要充分体现物理学科对提高学生核心素养的独特作用,为学生终身发展、应对现代和未来社会发展的挑战打下基础,因此提出了包括“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”4个方面的物理核心素养.科学推理能力作为科学思维的二级指标,与科学探究紧密关联,是我国核心素养教育追求的重要内容.

科学推理能力最早是由儿童心理学家皮亚杰在其认知发展理论中提出的,他认为“科学推理”分为假设-演绎推理和若干子推理模式.文献[2]确立了中学生和大学学生的科学推理包括6个维度,分别是守恒推理、比例推理、控制变量推理、相关推理、概率推理、假设演绎推理.文献[3]认为科学推理一般包括系统地探索问题、提出和检验假设、操纵和分离变量以及观察和评估结果的能力.

本文旨在研究大一学生科学推理能力,分析学生高中阶段科学推理能力的培养结果,针对当前理工科学生科学推理能力培养现状中的问题与不足,给中学物理教师修正教学策略提供参考,帮助一线教师完善教学模式,同时勉励大一学生在大学学习中重视科学推理能力的提升.

## 2 测量分析

### 2.1 测量工具

美国学者 Lawson 在 CTFR-78 测量工具的基础上进行修订与完善,制定了 LCTSR 问卷,并于 2000 年正式推行科学推理课堂测试卷,简称 LCTSR 2000,该套试卷共计 24 道选择题,分别从质量与体积守恒推理、比例推理、控制变量推理、概率推理、相关推理和假设演绎推理 6 个方面测量学生的科学推理能力,测量的各个能力维度题目分布如表 1 所示.

表 1 LCTSR 2000 测试卷能力维度表

| 维度 | 质量与体积守恒推理 | 比例推理 | 控制变量推理 | 概率推理  | 相关推理  | 假设演绎推理 |
|----|-----------|------|--------|-------|-------|--------|
| 题号 | 1~4       | 5~8  | 9~14   | 15~18 | 19~20 | 21~24  |

LCTSR 2000 中文版的 24 道选择题分为 12 个科学情境,每组情境中的两个问题分别设置为推理

结果和推理结果的原因,因此本套试卷有两种评分方法:独立评分和成对评分.本研究采用独立评分法.

\* 2020 年宁夏哲学社会科学(教育学)规划项目,编号:20NXJB10

作者简介:袁倩(1998-),女,在读硕士研究生,研究方向为物理课程与教学论.

通讯作者:杨晓梅(1963-),女,教授,主要从事物理教育教学及科研工作.

对于每一个问题,当被试回答正确得分为1分,回答错误得分为0分.整张试卷的分数是该试卷中每个题目表现的总和,满分为24分.

## 2.2 研究样本

理工科大学一年级学生刚刚经历了高中思维训练,能运用假设和推理去解决脱离具体和当前事物的观察所提出的有关命题<sup>[4]</sup>.因此,对于理工科大一学生进行科学推理水平测试,能够很好地反映中学物理教学优势与不足.该测试为纸笔测试,选取宁夏大学物理与电子电气工程学院全体大一学生共300人为研究对象,回收有效数据263份,被试者信息如表2所示.收集数据并整理,运用SPSS23软件进行统计,对学生的科学推理能力水平展开分析.

表2 被试者有效信息分布

| 专业    |        | 物理学 | 新能源材料与器件 | 电子信息工程 | 电气工程及自动化 | 应用物理 |
|-------|--------|-----|----------|--------|----------|------|
| 性别    | 男/人    | 14  | 29       | 66     | 65       | 22   |
|       | 女/人    | 19  | 7        | 26     | 9        | 6    |
| 民族    | 汉族/人   | 17  | 13       | 45     | 39       | 21   |
|       | 少数民族/人 | 16  | 23       | 47     | 35       | 7    |
| 总人数/人 |        | 33  | 36       | 92     | 74       | 28   |

## 3 研究结果分析

### 3.1 测试卷可行性分析

#### 3.1.1 内在一致性信度分析

本测试卷每两题为一个科学语境,故采用奇偶分半的方法计算信度,将题目按照题号奇偶数分为

两组,利用SPSS 23分析得两者成正相关,相关系数为0.81,在0.01级别(双尾)相关性显著.经考察,该测试卷在本研究中的信度系数为 $r_{hh}=0.81$ .经斯皮尔曼-布朗公式 $r_{xx}=\frac{2r_{hh}}{1+r_{hh}}$ 修正后,得信度系数为 $r_{xx}=0.90$ .因此,本次测试的内在一致性良好,该测试卷在本研究中的使用具有可靠性.

#### 3.1.2 结构效度分析

运用SPSS做效度分析最理想的方法是进行因子模型适应性分析,测量整个问卷的结构效度,只有当KMO检验系数大于0.5,Bartlett球形度检验P值小于0.05时,问卷才有结构效度.本次科学推理测试结果的因子分析如表3所示,学生科学推理能力的KMO值为0.652,且显著性水平值为0.000,显著性水平通过了Bartlett球形度检验,说明本次科学推理能力测试具有良好的效度,适合进一步分析.

表3 学生科学推理能力KMO和Bartlett的检验

| KMO 取样适切性量数 |      | 0.652     |
|-------------|------|-----------|
| 巴特利特球形度检验   | 近似卡方 | 2 000.562 |
|             | 自由度  | 276       |
|             | 显著性  | 0.000     |

#### 3.1.3 测试卷的难度

以全体被试得分率为难度系数的方法来计算试题的难度,如果一个题目的难度越大,被试得分的可能性越小,难度系数就越小.计算所有试题难度系数并将难度系数表绘制成难度系数柱状图,如图1所示.

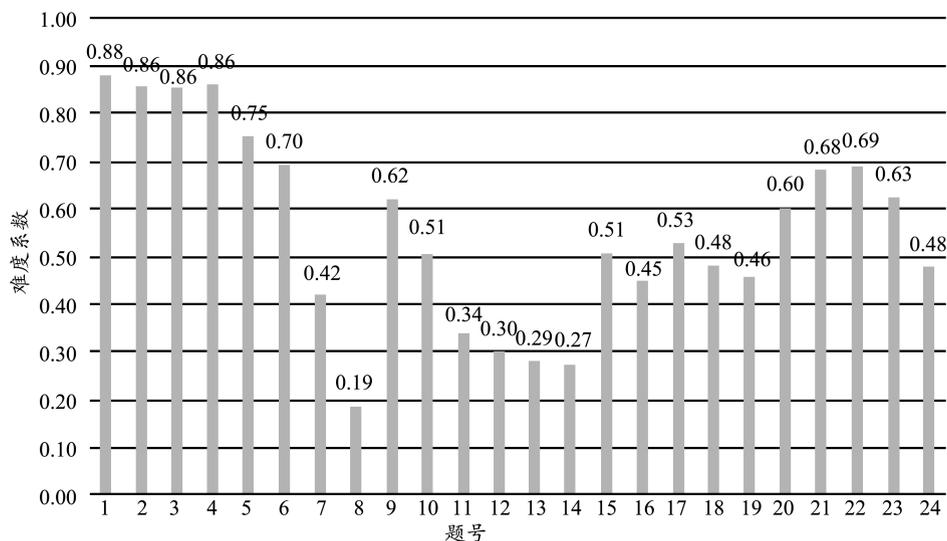


图1 科学推理试题难度系数图

测试题难度指数分布在 0.35 至 0.65 之间为宜,所有试题的难度系数的平均值最好在 0.5 左右,这样既可以保证测验对被试有较大的鉴别力,又可以使测试的难度适中<sup>[5]</sup>.由科学推理试题难度系数表和难度系数图,以 0.35 和 0.65 为界,简单、适中和较难试题的比例为 5 : 11 : 8,经计算,所有科学

推理测试题的难度系数平均值为 0.56,表明该试卷对于被试难度适中.

### 3.1.4 测试卷的区分度

采用“高低分组法”计算区分指数,计算结果如表 4 所示.

表 4 科学推理试题的区分度

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 题号  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 区分度 | 0.34 | 0.37 | 0.45 | 0.41 | 0.39 | 0.43 | 0.44 | 0.34 | 0.42 | 0.33 | 0.31 | 0.38 |
| 题号  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
| 区分度 | 0.27 | 0.27 | 0.46 | 0.45 | 0.45 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.54 | 0.52 | 0.49 | 0.40 |

根据题目区分度评价标准<sup>[6]</sup>,具体如表 5 所示,无必修淘汰或修改的题目,题目优良、合格和尚可的

比例为 15 : 7 : 2,表明本试题对选取样本团体区分度良好,适用于测量学生科学推理能力.

表 5 题目区分度评价标准

| 区分度值      | 对题目的评价与处理  |
|-----------|------------|
| 0.4 以上    | 优良         |
| 0.30~0.39 | 合格         |
| 0.20~0.29 | 尚可,稍作修改会更好 |
| 0.19 以下   | 必须修改或淘汰    |

## 3.2 科学推理能力得分情况分析

### 3.2.1 科学推理能力表现

对被试得分进行正态分布拟合,如图 2 所示.

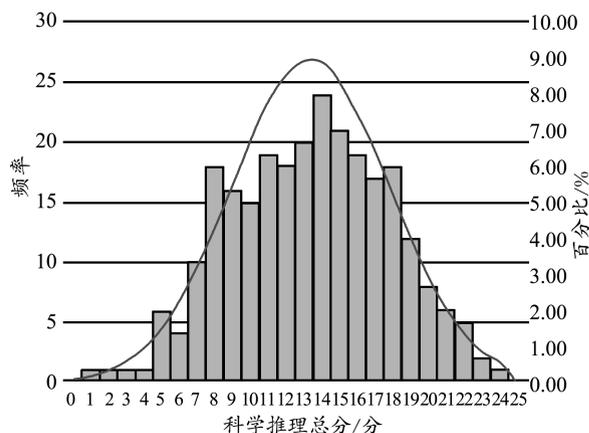


图 2 科学推理测试学生得分频数分布直方图

从图中可以读出,本次测试成绩分布符合正态分布,最高分与最低分之间相差 23 分,个体之间科学推理能力差距较大,个体发展不平衡.总体上看,学生得分呈现中间多两边少的趋势,得分集中分布在 8~18 分,测试成绩为 14 分的学生最多,大部分学生的科学推理能力还有待提升.

### 3.2.2 各维度得分情况

由于各维度的分值不同,各维度进行比较之前,需要进行归一化处理,即对每个维度的得分都取平均值,将每个维度能力得分的平均值除以该维度题目的总分.对各维度的均值和标准差进行计算以分析被试在科学推理能力各个维度上的表现情况,计算结果如表 6 所示.

表 6 学生科学推理能力各维度的均值和标准差

| 科学推理能力     | 质量与体积守恒推理 | 比例推理 | 控制变量推理 | 概率推理 | 相关推理 | 假设演绎推理 |
|------------|-----------|------|--------|------|------|--------|
| 均值         | 3.46      | 2.06 | 2.34   | 1.97 | 1.06 | 2.48   |
| 标准差        | 1.07      | 1.10 | 1.61   | 1.33 | 0.83 | 1.39   |
| 均值<br>维度总分 | 0.87      | 0.52 | 0.39   | 0.49 | 0.53 | 0.62   |

被试6个维度的标准差都较大,说明在各维度被试之间都存在较大差异.为了直观地展示学生各维度的发展,对归一化结果用雷达图表示,如图3所示.

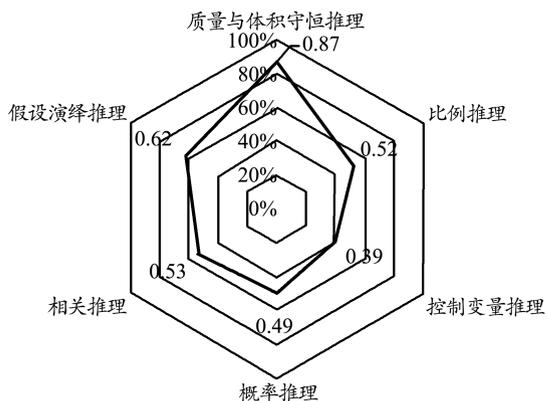


图3 被试各维度科学推理能力雷达图

被试的科学推理能力在各个维度上发展并不均衡,不同维度科学推理能力之间的跨度较大,质量和体积守恒答对的人数最多,控制变量推理答对得人数最少.对比文献[7]中美大学生科学推理能力的结论(图4)可以发现,理工科大学生更擅长守恒推理,控制变量推理较弱.

选取得分低于平均分的学生,进行归一化处理并绘制雷达图,和全体学生各维度归一化处理的结果进行比较,如图5所示.低分段学生在控制变量推理和概率推理能力上处于较低水平,和平均水平相比,概率推理和假设演绎推理水平还有较大的差距.

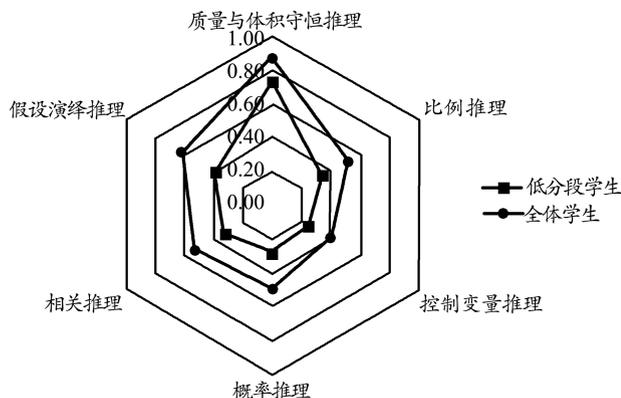


图5 低分段学生和全体学生各维度科学推理能力对比

### 3.2.3 科学推理能力与各因素之间的相关分析

(1)科学推理能力总分及各维度得分的性别差异

对男生和女生的科学推理成绩进行独立样本 T 检验,结果如表7所示.

从表7可以看出,男生、女生科学推理能力显著性(双尾)值为  $0.912 > 0.05$ ,可见科学推理能力和性别这一因素无关.

进一步对男女在科学推理能力各个子维度的表现作雷达图进行对比,如图6所示.

综上,虽然男女科学推理能力总体上没有太大的差异,但是通过雷达图可以直观地看出,在相关推理能力上,女生明显优于男生,在假设演绎推理能力上,男生更占优势.

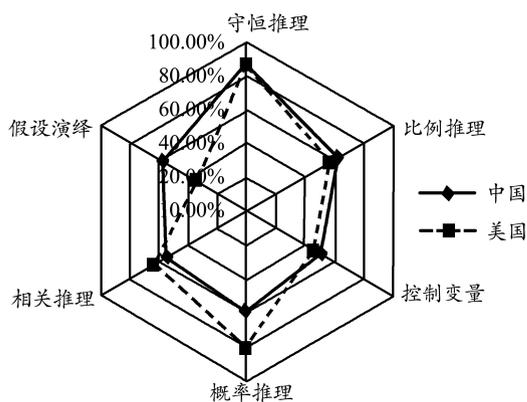


图4 中美大学生分维度科学推理能力对比

表7 独立样本 T 检验

|        |        | 莱文方差等同性检验 |       | 平均值等同性 t 检验 |         |         |       |        |             |       |
|--------|--------|-----------|-------|-------------|---------|---------|-------|--------|-------------|-------|
|        |        | F         | 显著性   | t           | 自由度     | 显著性(双尾) | 平均值差值 | 标准误差差值 | 差值 95% 置信区间 |       |
|        |        |           |       |             |         |         |       |        | 下限          | 上限    |
| 科学推理总分 | 假定等方差  | 1.235     | 0.267 | 0.110       | 261     | 0.912   | 0.070 | 0.633  | -1.176      | 1.316 |
|        | 不假定等方差 |           |       | 0.105       | 105.071 | 0.917   | 0.070 | 0.666  | -1.250      | 1.389 |

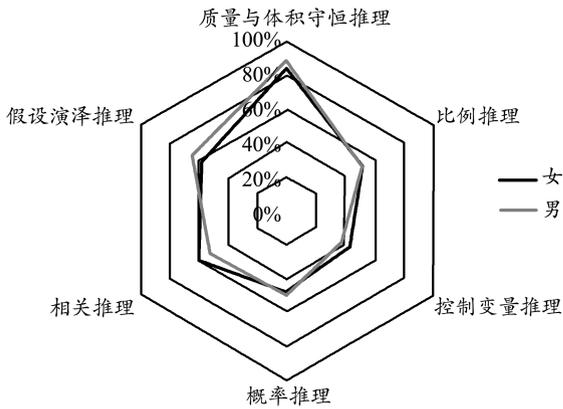


图6 男女科学推理各维度能力雷达图

文献[8]在探讨中美大学生科学推理能力的性别差异中发现,中美大学生的科学推理能力都存在

性别差异,并且男生的科学推理能力要高于女生.不同的是本研究未发现不同性别被试在科学推理能力上有显著性差异,对于科学推理能力的不同维度,相对而言女生更擅长相关推理,男生更擅长假设演绎推理.这种不同可能与样本的选取有关,具体还有待进一步研究.

(2)科学推理能力总分及各维度得分的民族差异

将来自不同民族的学生分为汉族和少数民族,对民族是否是影响科学探究能力的因素进行研究,结果如表8所示.

表8 不同民族独立样本T检验

|        |        | 莱文方差等同性检验 |       | 平均值等同性 t 检验 |         |          |        |         |             |       |
|--------|--------|-----------|-------|-------------|---------|----------|--------|---------|-------------|-------|
|        |        | F         | 显著性   | t           | 自由度     | 显著性 (双尾) | 平均值 差值 | 标准误差 差值 | 差值 95% 置信区间 |       |
|        |        |           |       |             |         |          |        |         | 下限          | 上限    |
| 科学推理总分 | 假定等方差  | 166       | 0.684 | 1.852       | 261     | 0.065    | 1.015  | 0.548   | -0.064      | 2.094 |
|        | 不假定等方差 |           |       | 1.853       | 260.716 | 0.065    | 1.015  | 0.548   | -0.064      | 2.093 |

根据表中的数据,莱文方差等同性检验显著性为0.684,大于0.05,接受等方差假设,平均值等同性t检验显著性(双尾)值为0.065>0.05,说明汉族和少数民族科学被试者推理能力总分的平均值不存在显著性差异.

作不同民族被试各能力维度雷达图,并对不同民族在各个维度的得分进行显著性检验,得到图7和表9.可知汉族和少数民族只在比例推理能力上存在较为显著性的差异,并且汉族被试的比例推理能力要高于少数民族的比例推理能力.

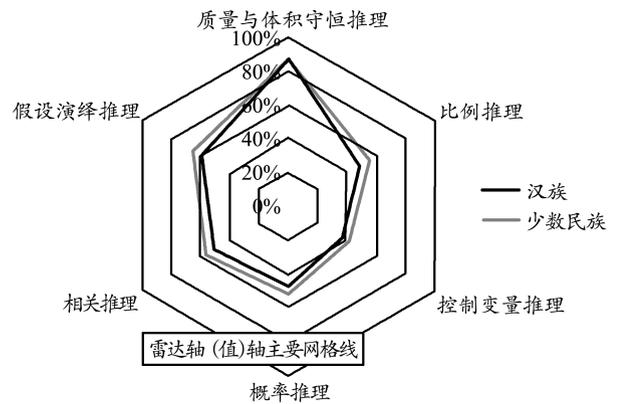


图7 不同民族被试各能力维度雷达图

表9 不同民族被试各维度的显著性

|         | 质量与体积守恒推理 | 比例推理  | 控制变量推理 | 概率推理  | 相关推理  | 假设演绎推理 |
|---------|-----------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 显著性(双尾) | 0.990     | 0.047 | 0.185  | 0.327 | 0.280 | 0.223  |

(3)科学推理测试总分与课程成绩之间的相关性  
选取高考学生总分、理综、数学、语文成绩对被

试的科学推理测试总分进行了相关性分析,结果如表10所示,表中\*表示在0.05级别(双尾)相关性显著,\*\*表示在0.01级别(双尾)相关性显著.

表 10 科学推理测试得分与课程成绩的相关性

|       | 相关性     | 显著性   |
|-------|---------|-------|
| 与高考总分 | 0.188** | 0.002 |
| 与理综成绩 | 0.157*  | 0.011 |
| 与数学成绩 | 0.130*  | 0.036 |
| 与语文成绩 | 0.169** | 0.006 |

通过表格可知, 被试课程成绩和科学推理测试总分存在着低程度的正相关, 说明科学推理成绩对学生课程学习有一定的影响, 同时课程成绩高的学生会具有相对成熟的科学推理能力。

#### 4 结论与建议

对 LCTSR 2000 中文版测试卷的测量学指标检查结果表明, 该测试卷具有良好的整体信度、效度、难度和区分度, 可用于测量学生的科学推理能力, 通过分析, 得到以下有益结论. 这几点结论对提升学生的科学推理能力大有帮助。

##### 4.1 理工科学生不同维度科学推理能力发展不均衡

就学生科学推理各维度的能力来看, 质量与体积守恒推理水平发展最高, 这与当前中学物理教学重视将结果性的知识(如概念、规律等)直接传授给学生的教学模式紧密关联<sup>[9]</sup>, 出乎意料的是, 在控制变量推理方面, 理工科学生表现得不尽人意, 学生从初中开始, 就已经开始接触控制变量法, 在高中物理学习中, 控制变量法更是渗透在大部分物理实验中, 但是有一些教师为了节省时间, 实验步骤、现象等直接通过课件展示, 让学生背实验步骤、现象等, 随后与理论知识一样通过相关习题反复练习得以巩固<sup>[10]</sup>, 非常不利于各维度科学推理能力的培养. 因此在物理实验教学中, 教师应引导学生关注实验方案和实验结论的形成过程。

尤其本次测试显示低分段学生的科学推理能力, 在概率推理和假设演绎推理能力上与各维度平均能力相比差距较大, 因此在高中物理教学中, 教师应带领学生关注物理原理或定律得出的过程与方法, 引导学生自主依靠理论推导出一些具体的结论, 打破思维定式, 最终让学生能够轻松自如地运用概率推理和假设演绎推理来解决遇到的常识性问题和复杂类问题。

##### 4.2 宁夏地区比例推理能力的教学有待提升

不同民族被试的科学推理能力不存在显著性差异, 但是在比例推理维度, 汉族的学生明显优于少数民族. 宁夏大学少数民族的学生大多来自宁夏地区, 因此对于宁夏地区的物理教学, 要重视验证性、探究性实验的教学, 帮助学生理解概念与概念、规律与规律之间的具体关联<sup>[11]</sup>. 教师应将教学中心转移到过程、方法和思维的训练上, 培养学生的科学推理能力, 提高学生的科学推理能力。

##### 4.3 在物理教学中落实核心素养 提升科学推理能力

能力与知识是相互促进、共同发展的, 知识的获得与记忆需要科学推理能力的支撑. 但是文献<sup>[12]</sup>在跨文化比较内容知识的学习与科学推理能力的培养中表明中学物理内容知识对我国学生的科学推理能力并没有产生显著的影响, 本研究也表明学生的科学推理能力与课程成绩存在低程度的相关性, 由此看出, 我国依然存在重视高分迎合高考的现象. 随着物理核心素养的推进, 怎样在物理教学中落实核心素养, 在解决问题中提高探究能力、增强实践意识成为教师应首先思考的问题。

科学推理能力是科学思维的重要组成部分, 在科学探究的每个步骤中都有体现, 利用探究式教学可以很好地培养学生的科学推理能力, 在物理课堂教学中坚持学生的主体地位, 以促进学生物理核心素养的发展为重心开展教学活动, 一步步引导学生养成透过现象看本质的意识, 达到提升学生科学推理能力的目标。

##### 4.4 大学学习主动提升科学推理能力

文献<sup>[13]</sup>表明, 在大学学习中, 科学推理能力弱的学生学习到的内容更少, 缺乏科学推理能力的学生对观察到现象的成因难以理解, 因此学生在进入大学之后也应重视科学推理能力的提升, 敢于尝试新事物, 积极主动思考, 更好地适应学习型社会。

## 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 Anton E. Lawson. The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching [J]. International Journal of Science Education,2003,25(11)
- 3 Bao Lei,Cai Tianfan,Koenig Kathy, et al. Learning and scientific reasoning [J]. Science (New York, N. Y.), 2009,323(5914)
- 4 刘成英,李太华,刘忠旭,等. 学生科学推理能力发展规律与阶段特征——基于1887名学生的测量分析[J]. 上海教育科研,2019(7):25~29
- 5 王孝玲. 教育测量(修订版)[M]. 上海:华东师范大学出版社,2005. 30~39,139
- 6 黄光扬,原霞. 教育统计与测量评价新编教程[M]. 上海:华东师范大学出版社,2013
- 7 张铁炳,黄昭,白明侠,等. 中美大学生科学推理能力差异的调查研究[J]. 咸阳师范学院学报,2011,26(2):112~115

- 8 冯秀梅,包雷,余子侠. 中美大学生科学推理能力的性别差异探讨[J]. 高等教育研究,2013,34(7):70~74
- 9 魏昕,郭玉英,徐燕. 中小学生学习科学推理能力发展现状研究——以北京市中小学生为样本[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2011,47(5):461~464
- 10 刘高福,王平瑞,丁曲. 物理实验教学中学生创新能力的培养[J]. 教学与管理,2020(6):101~103
- 11 王殿丞,仲扣庄. 实践活动中初中生比例推理能力的测试、教学及反思——以用天平测中国地图面积为例[J]. 物理教师,2018,39(11):36~40
- 12 Lei Bao. Learning of content knowledge and development of scientific reasoning ability: A cross culture comparison[J]. American Journal of Physics,2009,77(12)
- 13 Steven T. Kalinowski, Shannon Willoughby. Development and validation of a scientific (formal) reasoning test for college students [J]. Journal of Research in Science Teaching,2019,56(9)

(上接第17页)

## 5 结论

通过上面的一些应用可知,MathCAD是一款功能强大的数值计算软件,使繁琐的数学运算变得简单,并且有出色的绘图功能. 通过模拟物理现象,使其变得直观、形象,可以提高课堂教学的效率和质量,MathCAD在大学物理课程教学中是一个非常有效的辅助工具.

## 参考文献

- 1 沈守范. MathCAD使用详解[M]. 北京:电子工业出版社,2001. 1~2
- 2 康颖. 大学物理(第4版)[M]. 北京:科学出版社,2019. 16~19
- 3 程守洙. 普通物理学(第7版)[M]. 北京:高等教育出版社,2019. 184~187
- 4 李树芳,谭立云. MathCAD 5.0教程[M]. 北京:宇航出版社,1999. 151~152
- 5 林志萍. 把MATLAB数值计算和模拟引入大学物理教学中[J]. 广东工业大学学报,2008(8):122

## Brief Analysis on the Application of MathCAD Numerical Simulation in University Physics Teaching

Liu Yuli Wang Yuru Liu Xiequan

(Department of physics and chemistry, The Army Infantry Academy of PLA, Nanchang, Jiangxi 330103)

**Abstract:** In this paper, the characteristics and application of MathCAD are summarized at first. Then some typical examples, such as beat phenomenon, equipotential line, Maxwell velocity distribution law and grating diffraction, are cited to illustrate the wide application of MathCAD numerical simulation in university physics teaching. At last it is suggested that the use of MathCAD numerical imitation in university physics teaching can help students to understand the physical concept and improve the comprehensive ability.

**Key words:** MathCAD; numerical imitation; university physics