

高中理科学学生实验的实施现状与改进对策

李鼎^{1,2}, 艾伦³

(1. 西南大学 西南民族教育与心理研究中心, 重庆 400715;
2. 上海市中小学数字化实验系统研发中心, 上海 200072; 3. 首都师范大学, 北京 100048)

摘要:高中理科学学生实验是不可缺少且不可替代的学习方式。但多年以来, 学生实验不断被弱化, 实验课开设率低, 人均实验操作时间短, 以教师演示实验或观看实验录像替代学生实验已成为普遍现象。上述做法背离了《教育部关于加强和改进中小学实验教学的意见》的精神, 影响了学生科学核心素养的形成。本文在问卷调查、国际比较和课程标准研究的基础上, 从观念、行为和手段方面分析了学生实验困境的成因, 提出了着眼能力培养、加强督导检查、用好数字化实验、实施过程性评价四项加强和改进学生实验教学的对策。

关键词:高中理科; 学生实验; 课程标准; 数字化实验; 过程性评价

中图分类号:G633.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0186(2022)01-0104-06

一、学生实验的必要性和不可替代性

学生实验是以学生为主体的必要的学习过程。《教育部关于加强和改进中小学实验教学的意见》(以下简称《意见》)指出:“实验教学是国家课程方案和课程标准规定的重要教学内容, 是培养创新人才的重要途径。”^[1]根据认知心理学的最新成果——具身认知理论, 成功的认知需要学生手脑并用甚至全身心地参与学习, 并借助与环境的持续互动才能得以实现。^[2]显然, 学生要想掌握科学知识、学会科学方法、形成科学素养, 仅靠课堂教学和演示实验是远远不够的, 具身性的分组实验才是学生完成科学认知的最后一块拼图。^[3]

传统教育理论认为, 学生的学习必须依赖以教师为主体的知识传授和以教师为主导的课堂教

学, 实验教学只是一种辅助。^[4]当今, 国际教育领域在教育目标的设定方面普遍更加重视学生基于知识学习的实践探索和迁移应用, 以及在此基础上的核心素养和探究能力培育。中国学生发展核心素养的理论依据也在于此。由于实验教学特别是学生实验可以为学生提供从知识学习到实践探索再到迁移应用、从形成核心素养到培育综合能力的完整历程^{[5]24}, 教育领域对学生实验的重视程度不断提升。2017年版普通高中物理课程标准指出, 学生实验是无法替代的物理学习方式, 要最大限度地安排学生实验。

二、我国高中学生实验实施现状调查及结论

2019年10月, 笔者选择了我国东部地区四省市(北京、上海、福建、山东)、中部地区三省(湖北、河南、安徽)以及西部地区三省(青

作者简介:李鼎, 西南大学西南民族教育与心理研究中心科学教育专业博士研究生, 上海市中小学数字化实验系统研发中心副主任, 主要从事实验教学研究; 艾伦, 首都师范大学教授, 主要从事教育装备和实验教学研究。

海、陕西、贵州)共39所学校(城市校19所、农村校20所)开展了问卷调查。问卷内容涉及

高一学生参加学生实验的次数、学生实验分组人数、学生实验时长等方面。

表1 高一学生参加物理、化学、生物学生实验次数情况

次数	东部		中部		西部		合计	占比
	人数	占比	人数	占比	人数	占比		
8次及以上	273	34.34%	185	31.90%	117	23.93%	575	30.85%
6~7次	181	22.77%	100	17.24%	98	20.04%	379	20.33%
4~5次	185	23.27%	118	20.34%	234	47.85%	537	28.81%
1~3次	114	14.34%	106	18.28%	24	4.91%	244	13.09%
从未做过	42	5.28%	71	12.24%	16	3.27%	129	6.92%
合计	795	100.00%	580	100.00%	489	100.00%	1864	100.00%

由表1可见,在学业压力相对较轻的高一,被调查地区也仅有30.85%的学生参加了8次及以上的物理、数学、生物学生实验,科均实验次数仅在3次左右。13.09%的学生仅做过1~3次学生实验,科均实验次数在1次以下。值得特别注意的是,尚有6.92%的学生反映从未做过学生实验,这一比例在中部地区更是达到了12.24%。2017年版普通高中物理、化学、生物学课程标准规定的高一学生必做实验共计17个,可知被调查地区高一阶段学生实验的开设率远低于课程标准要求。

数据显示,在学生实验分组人数方面,被调查地区有65.03%的学校分组实验为4人及4人以下一组,东部地区有46.92%的学校可达到2人一组。仍有30.68%的学校采用4人以上分组,这种情况在中西部地区更为突出(另有4.29%的学校分组情况不明)。组内人数过多,无疑会显著减少人均操作时间,不利于学生的科学体验和有效学习。在学生实验时长方面,有79.08%的学生反映分组实验课上动手操作时间可以达到或超过课时的一半,有88.46%的学生反映分组实验中一半以上的人有动手操作的机会。这一结果乍看起来比较理想,但由于每次学生实验通常只有一节课的时间(40分钟),半节课仅为20分钟,按照每组4人计算,人均独立操作时间非常有限,很难保证学生科学体验的完整性。

总体来看,我国高中理科学生实验不仅开设率不高,而且总时长偏短,人均操作时间有限。上述调查结果也印证了林杰^[6]、李兰^[7]、于超^[8]等人的相关研究。

三、针对学生实验实施情况的国际比较

笔者近十年间多次赴美访学,发现美国高中实验教学至少在以下三个方面值得我国借鉴。

一是理科教室提供了随时做实验的教学环境,使学生实验开设率较高。美国高中教室一般分为普通教室和理科教室两种。理科教室配有实验台和基本的实验仪器,兼具课堂教学和实验教学双重功能,提供了边讲课边做实验的便利条件,减少了学生实验对专用实验室的依赖,客观上保障了学生实验的高开设率。笔者在芝加哥四所学校的调查显示,有66.42%的高中生表示教师经常在教室做实验,其中高中化学实验课在化学总课时中的占比为20%~40%。

二是针对学生实验步骤和时长提出了刚性要求,保证了学生实验的规范和完整。美国大学预修课程(Advanced Placement, AP)物理教师用书^[9]针对学生实验提出了“刚性”要求,不仅规定了学生实验的内容、形式、方法和步骤,还详细规定了实验总时长和各具体实验步骤的时长^[10]。所有实验都必须遵循教师准备—实验预习—实验(学生)操作—实验后讨论这四个基本步骤,并要求在一次实验课内连续完成。其中,实验预习是必要的导入环节,是实验有效性和安全性的重要保障;实验后的讨论环节不仅有助于学生及时总结操作经验和感受,还有助于学生将科学认知从现象深化为理论并加以扩展和迁移。严格的实验步骤,需要足够的时长为基础。AP物理教材中16个实验的总时长为41.5~46.5小时,平均每个实验的时长为2.6~2.9小时,其中最

的是旋转运动(3.5~4.5小时),最短的是波意耳定律(1小时)。用于操作的总时长为1385~1630分钟,平均每个实验的操作用时为87~102分钟,其中最长的是旋转运动(180~265分钟),最短的是流体力学(30~45分钟)。美国高中班额一般为16~24人,是我国高中的二分之一左右,因此每名学生获得的实验操作时间显著多于我国,保证了学生科学体验的完整和丰富。

三是实验技术手段先进,以传感器为基础的数字化实验已获得广泛应用。数字化实验即以传感器为测量工具,以计算机为数据处理平台的真实实验手段。^[11]数字化实验仪器能够填补传统实验手段的很多空白(如高中阶段磁感应强度、微小电流等物理量的测量),具有体积小、功能全、数据采集快、实验误差小等突出优势。数字化实验仪器采集的数据均带有时序信息,更有利于捕捉暂态现象和进行过程性分析,而计算机的辅助则优化了实验数据的显示效果,提升了计算效率,涉及的原理和方法还有助于培养学生的科技素养和工程思维,为学生应用类似的信息化工具解决现实问题奠定基础。数字化实验设备联网后能够实现数据的快速分享,为实验管理者提供必要的实验进程监控功能。AP高中理科教材均引入了数字化实验方案,实现了数字化实验与传统实验的有机融合。其中AP物理、化学^[12]和生物^[13]教材引入数字化实验方案的占比分别为62.5%、37.5%和30.8%。

四、学生实验困境之源

结合调查数据和针对美国高中理科学生实验的比较研究结果,笔者认为,我国高中理科学生实验的逐渐弱化主要有以下三个方面的原因。

(一)观念:没有实现教育目标的根本转变

尽管我国通过制定中国学生发展核心素养,颁行一系列政策文件,将新时期的教育目标转为“注重学生多元能力提高、消除高分低能现象、推进素质教育、实现学生核心素养发展,最终完成创新人才培养的任务”,但传统教学理念的巨大惯性导致教育系统仍在围绕升学和考试运转。教师讲授、学生听讲、课后练习和考试评价构成了学校教育的主旋律。所有不能直接促进中高考成绩提升的教学活动都会被轻视甚至无视,而首

当其冲的就是实验教学。^[14]

(二)行为:没有全面落实课程标准要求

我国2017年版普通高中物理、化学、生物学课程标准中学生必做实验和实验活动建议的数量远多于AP系列的相应教材。课程标准不仅鼓励学生的动手操作与科学体验,还给出了针对学生必做实验的“刚性要求”。但由于执行落实不力和监督层面缺位,课程标准的强制性和约束力没有发挥出来,最终形成强调实验教学的教育政策和漠视实验教学的教育实践之间的严重脱节。

笔者曾通过解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)分析方法得出了实验教学实施影响因素主通道。其中,基层学校和教育部门作为教育的实践者和监督者,其观念和倾向直接决定了课程标准中有关要求的执行情况。^[15]因此,忽略课程标准要求、弱化实验教学的问题,主要出在基层学校和教育部门身上。比如,普通高中化学课程标准指出:条件有限的学校,可采取教师演示实验或利用替代品进行实验。这本是一个因地制宜、实事求是的建议,却成了一些地区偷梁换柱的借口。笔者通过调查获知,有55.09%的学生反映高一阶段物理、化学、生物单科演示实验数量在4次或4次以下,这与人教版高中教材在高一年级设置的演示实验数量差异巨大。这说明基层学校不仅没有把不方便开展的学生实验转变为演示实验,甚至连本应开设的演示实验也一并省略,黑板上面画实验、教师口头讲实验的现象极为普遍。教育部门在这方面也没有进行有效的督导检查。

(三)手段:没有发挥数字化实验的效能

笔者通过研究获知,尽管被调查学校均已配备了数字化实验室,但仍有24.64%的学生表示从未做过数字化实验。以高中物理为例,上海自2002年起就在运动学分组实验中普及了数字信息系统(Digital Information System, DIS)位移传感器^[16]¹⁴,课堂效率大幅提高,学生完成基本实验后,还有时间尝试使用控制变量法进行深层次研究。与之形成鲜明对比的是,除上海外的大部分地区目前还坚持在运动学实验中使用打点计时器,学生为了学习其原理和使用方法,就要花费整整一个课时。拥有先进实验仪器却不使用,导致学生分组实验的效率只能长期在低水平

徘徊。由此可见,《意见》中对于创新实验教学方式的要求是很有针对性的。

五、加强和改进学生实验教学的对策

(一) 着眼能力培养,扭转落后的实验观

《意见》在“总体要求”部分明确提出,“夯实基础,开齐开足开好国家课程标准规定实验,切实扭转忽视实验教学的倾向”。对于立德树人根本任务和发展学生核心素养来说,课程标准的要求仅为最低要求。《意见》进一步将实验教学的主要目标聚焦提高学生能力水平,并将学生能力分解为观察能力、动手实践能力、创新思维能力、团队合作能力。根据具身认知理论,学生不亲自动手做实验,仅凭教师在黑板上面画实验或播放实验视频,是无助于发展上述能力的。即使开展正规实验,如不能保证学生的实验经历积累到一定程度,同样难以落实《意见》要求。

落后的实验观来自落后的教育观、评价观。一方面,应积极宣传贯彻《意见》要求,让教育部门领导、校长和教师认识到国家教育目标已转向能力培养这一现实,强调培养学生多元综合能力的重要性,大力宣传保障学生终身学习、终身发展的教育理念,转变他们的教育观念。另一方面,应结合“双减”政策的实施,调整教育部门针对学校和教师的评价指标,让他们从“唯分数”“唯考试”的桎梏中解脱出来,将观念的转变落实为教学行为的改变。

(二) 加强督导检查,落实课程标准要求

《意见》提出的八项举措中的第一项即“完善实验教学体系”,而课程标准和教材是实验教学体系的纲领。美国中学理科实验教学的务实和严谨固然源自 AP 教材针对实验的“刚性”要求,但更以基层学校的执行力为保障。如前所述,我国基层学校和教育部门对课程标准执行乏力甚至漠然视之,应为实验教学的困境负主要责任。因此,宜从三个方面入手,强化课程标准的落实与执行。

首先,要将实验教学实施状况的检查纳入各级教育督导部门的工作职责,进行量化考核;其次,要通过培训提升广大教师的实验教学技能,加强实验员队伍建设,为学生实验提供更多的指导和保障;最后,可通过课程标准和教材修订进一步加强针对实验教学的要求,将原来相对模糊的“要求”和“建议”转化为可供教育督导监测的明确“规定”,增加有关实验的内容和篇幅,规定学生实验的步骤和时长,明确实验报告的格式和内容,在适当时机可专门针对实验教学编制单独的课程标准。^{[5]5}

(三) 用好数字化实验,提高课堂效率、改进督导效果

我国在短时间内无法改变中学教室的传统布局,增加实验课的时长也相对困难。但研究证明,数字化实验可以大幅节省实验过程中数据记录和计算所用的时间,从而在实验课时不变的前提下,让学生拥有更多的实验操作和科学探究时间,通过更加多元化的实验结果呈现方式提升学生对科学知识的理解和认知。^{[16]21}基于此,2017年版普通高中物理、化学课程标准均倡导数字化实验的教学应用。顺应课程标准要求,将数字化实验的大规模应用作为改进实验教学方式的突破口,具有牵一发而动全身的战略意义,可在提高学生分组实验课堂效率的同时显著提升实验教学质量。

当前,上海市中小学数字化实验系统研发中心已在新一代实验教学管理系统中实现了以下功能:兼容数字化实验和非数字化实验,实时上传实验开设时间、实验内容、操作进程、实验结果和实验操作者等相关信息(见图1)。这就为学校、教研和教育督导部门提供了可有效应用于实验教学日常监督和持续评价的工具体系,能够避免传统督导检查中的人力耗费,并杜绝弄虚作假现象。上述做法是对《意见》中“不断将科技前沿知识和最新技术成果融入实验教学”“创新实验教学方式”的响应和落实。

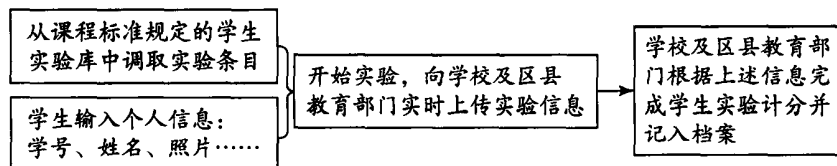


图1 实验教学数字化管理系统

（四）推行过程性评价，慎用操作考试

《意见》提出，要健全实验教学评价机制，“把学生实验操作情况和能力表现纳入综合素质评价；2023年前要将实验操作纳入初中学业水平考试，考试成绩纳入高中阶段学校招生录取依据；在普通高中学业水平考试中，有条件的地区可将理化生实验操作纳入省级统一考试”。笔者认为，此项举措尚需充分论证、慎重处理。

实践证明，上海等省市将实验操作纳入高中学业水平考试的经验是成功的，但将实验操作纳入初中毕业考试并作为高中阶段招生录取依据的合理性则有待商榷。李春密将物理实验操作能力的发展划分为三个时期，即快速发展期、稳步发展期和定型期。高中以前或更早的时期为快速发展期，其间可能发生突变；高中和大学阶段为稳步发展期；到30岁左右达到定型期。^[17]初中毕业生尚处于存在突变可能的快速发展期内，对其实验操作考试结果赋分并将这一分数用于高中升学的筛选，缺乏足够的置信度，从学生成长发展的角度来看也可能引发公平性争议。实验教学是知行合一的过程，学生经历实验后真正有价值的收获体现在隐性知识（包括综合能力）的获取和积累以及心理体验及关联记忆的形成上。^{[6][138]}针对隐性知识，需要综合学生自身的长期发展才能建立相关性评价。借助实验操作只能查其“行”，难以测其“知”。以“行”测“知”，极有可能犯以偏概全甚至本末倒置的错误。在教育实践层面，并非不能把实验操作纳入考试范畴。但如果将实验教学引导至只重操作而不重思考的技能培养层面，会和黑板上面做实验一样，再次背离实验教学的宗旨。比如，针对实验操作考试，教师完全能够发展出相应的备考策略，通过集中、反复的机械训练快速提升学生的操作熟练程度。但这种技能一旦离开了相关环境就会被学生快速遗忘，对他们的科学思维发展没有实际意义。

笔者认为，“以考促学”不是没有效果，但实验教学更需要春风化雨和滴水穿石。通过对美国《高中毕业要求》（*State High School Graduation Requirements*）和《高等教育入学要求》（*State Requirements for Higher Education Admissions*）的对比研究，笔者发现美国高中没有针对初中生的实验操作要求，但高中毕业生申请

大学时，通常需要提交参加科学课程（含实验课程）的相关证明。^[18]与之相仿，英国的普通中等教育证书（General Certificate of Secondary Education, GCSE）考试也采用了统考与课程作业相结合的方式。^[19]英美上述做法的背后是另一种评价逻辑：根据对学生正常学习过程的客观记录，可以判断其是否拥有入学资格。

因此，一方面可以适当运用操作考试促进实验教学的实施，另一方面则应该将考试严格限制在学业水平考试层面，不宜将相关分数纳入中高考总分，以避免实验教学应试化。同时，应采用类似图1的实验信息数字化收集手段，切实加强对学生日常实验的过程性记录和评价，对课程标准要求的每个学生实验都予以客观、准确的记录并形成积分。将实验积分与操作考试成绩相结合，可提供客观、全面的评价信息，这不仅能保障实验教学不偏离为学生提供具身认知经验、培养和造就其多元能力及终身学习能力的基本方向，还能切实监督实验教学的开展和实施。

调查显示，尽管目前分组实验开设率低、实验课时短、人均实验操作机会不多，但仍有76.23%的学生认为分组实验帮他们验证了课本知识，有61.91%的学生认为分组实验让他们学会了研究问题，绝大多数学生热切期盼有更多的分组实验机会。因此，结合《意见》要求，认识到学生实验的必要性和不可替代性，通过强化课程标准和教材构建有约束力的实验教学体系，借助数字化实验提升学生实验教学质量和实验课堂效率，凭借信息化手段实现学生实验的过程性评价和监督，对加强和改进中小学实验教学来说是必要且可行的。

参考文献：

- [1] 教育部关于加强和改进中小学实验教学的意见 [EB/OL]. (2019-11-22) [2021-10-07]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/s3321/201911/t20191128_409958.html.
- [2] 叶浩生. 具身认知的原理与应用 [M]. 北京：商务印书馆，2017：49.
- [3] 卢尚建. 具身认知观视域下高中物理实验教学的地位分析 [J]. 物理教学探讨，2016（11）：25-27.
- [4] 刘树郁，黎爱珍，吴小庆. 实验教学改革浅议 [J]. 中山大学学报论丛，1999（3）：153-155.

- [5] 艾伦. 实验教学论 [M]. 北京: 首都师范大学出版社, 2018.
- [6] 林杰. “初步实验→反馈交流→细致实验”分组实验策略研究 [J]. 教育评论, 2014 (8): 129-130.
- [7] 李兰. 荆门市中学生物实验教学现状分析以及对策研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2016: 9.
- [8] 于超. 初中物理实验中创新思维训练的研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2019: 3.
- [9] The College Board. AP physics 1 and 2 inquiry-based lab investigations: a teacher's manual [M]. New York: The College Board, 2015.
- [10] 李鼎, 冯容士. 数字化实验在 AP 物理教材中的呈现特点及其启示 [J]. 物理教学, 2020 (8): 16-19.
- [11] TINKER R. A history of probeware: the concord consortium [EB/OL]. (2006-05-12) [2021-10-07]. https://concord.org/wp-content/uploads/2016/12/pdf/probeware_history.pdf.
- [12] The College Board. AP chemistry guided-inquiry experiments; applying the science practices [M]. New York: The College Board, 2015.
- [13] The College Board. AP biology investigative labs: an inquiry-based approach [M]. New York: The College Board, 2015.
- [14] 王太军. 普通高中物理实验课程变革研究 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2021: 138.
- [15] 李鼎, 艾伦. 高中数字化实验实施影响因素研究 [J]. 课程·教材·教法, 2020 (11): 116-122.
- [16] 冯容士, 李鼎. DIS, 上海创造: 数字化实验系统研发纪实 [M]. 上海: 上海教育出版社, 2018.
- [17] 李春密. 高中生物实验操作能力及品质的发展研究 [J]. 物理实验, 2002 (10): 25-29.
- [18] National Research Council. American's lab report: investigation in high school science [R]. Washington D. C.: National Academies Press, 2005: 52.
- [19] 高益民, 叶赋桂. 终身学习与世界高考制度的变革 [J]. 比较教育研究, 2001 (12): 11-15.

(责任编辑: 郭晨跃)

The Current Situation of Implementing Experiments for High School Science Students and Improvement Measures

Li Ding^{1,2}, Ai Lun³

(1. Center for Studies of Education and Psychology of Ethnic Minorities in Southwest China,

Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Shanghai Digital Experiment System R&D Center for Primary and Secondary Schools, Shanghai 200072, China;

3. Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Science experiments are an indispensable and irreplaceable way of learning for high school students. However, over the years, student experiments have been continuously weakened, the rate of laboratory courses offered is low, the per capita operation time is short, and it has become common to replace student experiments with teacher demonstration or watching laboratory videos. The above practices deviate from the spirit of *Opinions of the Ministry of Education on Strengthening and Improving Experimental Teaching in Primary and Secondary Schools* and affect the cultivation of students' science core competency. Based on the questionnaire survey, international comparison and the study of curriculum standards, this paper analyzes the causes of dilemmas of student experiments in terms of concepts, behaviors and approaches, and proposes four improvement measures to strengthen and improve experiment teaching by focusing on competence development, strengthening supervision and inspection, making good use of digital experiments, and implementing process evaluation.

Key words: high school science; student experiments; curriculum standards; digital experiments; process evaluation