

“数字化实验系统”的中美命名探讨*

李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

牟晓海 (山东省教育发展服务中心 山东 250013)

摘 要 数字化实验,特指以传感器采集实验数据,以数字信号方式传递实验数据并以计算机处理实验数据的真实实验形式,上世纪 70 年代起源于美国,被美国物理教师协会(AAPT)首先认可,并在物理教学中获得广泛应用。探讨其命名问题,不仅有助于提升教师和教研部门对实验教学本身的认识,还能够从概念和理论高度促进实验教学的发展和改革。

关键词 数字化实验 数字化实验系统 命名 中美比较

文章编号 1002-0748(2025)5-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 A

1 数字化实验小史

1.1 源自美国,始自物理

1962 年,麻省理工学院物理系教授、实验专家 John King(1925~2014)萌生了一个设想:搞一个鞋盒大小的装置,把传感器和控制器塞进去,就可以让学生们用它来做他们能想到的实验。King 教授关于“万能实验盒”的设想,深深影响了他的博士同学 Robert Tinker(1941~2017)。Tinker 在 1970 年代开始投身于这个“万能实验盒”的研发,并设计了首个数字化实验教学案例:使用以热电偶为基础的温度传感系统绘制冷却曲线。该数字化实验赢得了美国物理教师协会 AAPT 的肯定,数字化实验专属工具的基本架构也随之确定,即以传感器采集实验数据,以计算机处理实验数据,辅之以多种创新型配套实验器材。

Tinker 在 1984 年发表了首篇有关数字化实验的论文^[1],并在 1980 年代末首创了数字化实验教师培训和国际论坛,同时期通过长期教学实践证明:“物理量-时间曲线”对于学生的科学认知具有极大的促进作用,尤其可借助动觉(Kinesthetic)效应^[2],让学生在被测量物和实验数据/曲线的交替变化中加深对科学规律的理解——这是迄今为止针对数字化实验的教学效能所给出的下沉度最高的认知心理学解释。《人是如何学习的》一书中甚至收录了使用数字化实验的六年级学生在学习“加速度”的时候取得了优于使用

传统实验方法的十二年级学生成绩的案例^[3]。Tinker 的工作启发和带动了包括 David Vernier、Marcia Linn、Ronald Thornton 和 Tön Ellermeijer 等一大批致力于数字化实验的有识之士,奠定了全球数字化实验的应用、研究和生产推广基础,改变了包括中国在内的全球基础教育理科实验教学的样貌。

1.2 引入中国,促进课改

1990 年代初,数字化实验进入中国。使用传感器和计算机完成的“实时显示条形磁铁进出闭合螺线管时电流、电压的变化曲线”“测量篮球落地反弹后的动能衰减”等实验给了中国实验教学界强烈的震撼^[4]。1992 年起,教育部教学仪器研究所房德惠研究员、上海南洋中学奚天敬老师等人参照美国产品,自主研发了类似产品并开展了推广应用。上海市教委教研室因此对物理实验教学改革做出了明确规划:“积极探索多媒体计算机与物理实验的结合,实现对物理实验的实时控制及对实验数据的自动化采集和处理,以更好地发挥实验教学的功能。”^[5]

2002 年 6 月,上海市教委教研室组建了国内唯一的、由教育专家主导的专业研发机构——上海市中小学数字化实验系统研发中心(以下简称“上海研发中心”),开始了以中学物理教学需求为主导的“定制式研发”。当年,《上海市中学物理课程标准(试行稿)》提出:“在物理实验教学中要积极引进现代技术,配置 DIS 实验室及计算机辅助物理实验软件,改革实

* 基金项目:本文系山东省教育科学“十四五”规划 2023 年重点课题“中学实验教学数字化场景构建与应用研究”(课题编号:2023ZD028)的研究成果。

验教学模式。”^[6]借鉴上海市教委的尝试,2003 年版《普通高中物理课程标准(实验)》中引入了“以传感器做实验”的一系列内容^[7]。《普通高中物理课程标准(2017 年版)》对数字实验(即数字化实验,下同)的教学价值给予了肯定和强化,并强调了建设数字实验室的必要性^[8]。2017 年版普通高中化学课程标准^[9]、2020 年版中职物理课程标准,以及 2022 年版义务教育物理、化学、生物和科学课程标准也引入了数字化实验。课标的修订带动了教材的变革。2002 年之后,上海高中物理教材中引入了 20 个数字化实验,在实验总量中占比达到 42%,且实现了对力、热、声、电、光、原内容的全覆盖^[10]。2004 年之后,以物理学科为主的多版国家级中小学新课标教材均参照上海教材引入了数字化实验。课标和教材的改革进一步影响了高考、高中学业水平考试以及实验室装备标准对数字化实验及相关实验手段的接纳^[11]。2006 年起,国家和多个省市开始正式将数字化实验系统视为一个装备门类,出台了系列高中及义务教育阶段实验仪器设备的配备标准^[12]。与此同时,师范类高校针对数字化实验的研究、应用和教师培训也持续升温,这意味着实验教学已率先开始了数字化转型。

2 命名的滞后与混乱

一个具有浓厚信息技术背景的产品命名常常滞后于产品的研发与应用,而且在其命名最后确定之前往往经历过反复的修改和调整。涉及外来词的翻译时,其过程会加倍复杂。而数字化实验作为物理乃至多学科实验教学界的一个新生事物,其实验工具也必然经历实践先于理论所造成的命名混乱。

2.1 美国的命名状况

时至今日,美国官方和教师共同体(AAPT、NSTA、ACS 等)针对数字化实验,一直采用以关键器件指代实验工具的方法,将其称为传感器(Sensor)实验或探头(Probe 或 Probeware)实验,尚未针对此类产品给出统一命名。这说明数字化实验在美国被认为是一种新的实验方式,并没有被视作一个相对独立的实验门类。Tinker 教授在 1984 年曾将数字化实验专属工具命名为 MBL(Microcomputer Based Laboratory,基于微型计算机的实验室)。但到本世纪初,他接受了 Marcia Linn 的意见,开始将其统称为 Probe/Probeware(探头)。当前美国已有部分教材中增加了与 Sensor(传感器)、Probe/Probeware,以及 CBL(Calculator Based Laboratory,基于计算器的实验室)相关的使用建议^[13]。其中

Sensor 可以作为所有传感器和数字化实验系统的统称,在物理学科中使用较多;而 Probe/Probeware 更多地被用来指称那些具有探针/探头形态的传感器及其配套设备,主要流行于化学和生物学科。

2.2 中国的命名状况

跟美国相同,中国的物理教学界最先接受了数字化实验理念,并为数字化实验提供了最广泛的应用场景。第一个针对数字化实验工具的命名是“微机辅助物理实验接口箱”(1992 年),后由其研发和命名者房德惠研究员改为“物理实验微机辅助系统”(1997 年)^[14]。随后,一批类似的名称涌现出来,比如“微机辅助高中物理实验系统”(远大教科,2000 年)、“多媒体综合理科实验室”(广州好雨,2002 年)、“数据提存器”(某种进口产品的译名,2002 年)、“计算机数据采集处理系统”(教育部教仪所,2006 年)等。到目前为止,接受度最高的三个名称分别是:数字化实验系统(数字实验系统)、DIS 和手持技术。其中,“数字化实验系统”和“DIS”由上海市中小学数字化实验系统研发中心于 2002 年 6 月份同时提出;“手持技术”^[15]最初被称为“掌上实验室”^[16],主要流行于化学教学界。

上述称谓各有特色,但除了数字化实验系统这一命名,其他名称普遍存在逻辑上不周延、概念上不清晰等问题。比如“手持技术”,该表述应该来源于对 Handheld 或 Held Technology 的直译。Held Technology 本不是一个规范的英文表述方式,在权威辞典和维基百科中都找不到相关解释。Tinker 曾在一篇论文标题中使用了 Handhelds^[17],但指代的是掌上电脑或手持式电脑,而他对数字化实验工具的称谓则是 Probeware。再者,“手持技术”在汉语中的释义是“以手持方式为主要特征的技术”。使用“技术”一词指称应用这种技术的有形工具抑或使用这些工具的实验教学显然是不恰当的。由于诸多小型化测量设备也能够手持,故无法将手持视为传感器乃至数字化实验设备所独有的使用特征。

2.3 命名不统一带来的问题

对美国而言,由于没有与中国课标、配标对等的联邦层面的标准,所以其教育界使用 Sensor 或 Probe/Probeware 均不存在问题。而我国的情况则截然不同,由于新课标、新教材和新配标中都涉及数字化实验,这使得针对数字化实验的专属仪器进行标准化命名非常必要,否则不同学科、不同教材甚至不同地区针对实验教学的实践、研究和评估都会遇到麻烦。根据《政府采购法》,中国学校和教育部门采购教育装备必须走招投标的流程。《招标投标法》第

十八条规定:招标人不得以不合理的条件限制或者排斥潜在投标人,不得对潜在投标人实行歧视待遇;第二十条规定:招标文件不得要求或者标明特定的生产供应者以及含有倾向或者排斥潜在投标人的其他内容。因此,如果采购部门不使用代表产品类别的标准名称,就会出现连招标文件都难以编制的局面。

3 为什么是“数字化实验系统”?

针对一个产品类别的命名,不仅要体现其基本的结构、功能及技术特征,还要符合语义和逻辑规则,以及严格的中立原则。

3.1 关于“数字化”

常见通信信号有两种:传统电子设备处理的模拟信号的特点是时间和幅值都是连续的(记作 A),而计算机通常处理的数字信号的时间和幅值都是离散的(记作 D)^[18, 19]。由于传感器采集到的实验数据一般为模拟信号,须经过 A/D 转换(即模数转换)方可以数字信号的形式交由计算机处理。所以上海研发中心自成立之初,即参照相关国家标准中对于数字化仪器、仪表的定义,将传感器、数据采集器和相关的计算机硬、软件技术统一称为“数字化技术”。省略掉“技术”二字,就得到了关键修饰词——“数字化”。鉴于“数字化”一词涵盖了传感器、数据采集器和计算机硬、软件的核心技术特征,构成了描述的统一性与逻辑的完整性,而且符合国家的标准规范和中文的表述习惯,使用该修饰词既能清晰地定义采用上述产品完成的实验——“数字化实验”,又能在此基础上扩展出针对这类实验所必须借助的具体技术手段的命名——“数字化实验系统”,故不仅被上海市教委接纳,而且先后被教育部教仪所及 2017 年版高中物理课程标准编制组等机构所认可,说明了其合理性和必要性。

3.2 关于“实验系统”

传统实验仪器的命名主要有三种方式:①称之为“仪”,如电导仪、电位测定仪、色谱仪等;②称之为“计”,如硝酸浓度计、盐量计;③则称之为“器”,如一氧化碳分析器等。但上述命名方式显然不适合由传感器、数据采集器和计算机构成的系列数字化实验仪器。原因在于:首先,传统仪器类产品的命名没有考虑“硬件+软件”的构成,而数字化实验仪器离了软件就无法使用;其次,传统仪器多为功能单一的设备,其单位普遍为“台”,而数字化实验设备中普遍包含多种传感器、多种专用配套器材,其单位普遍为“套”。以一套中学物理数字化实验设备为例,普遍包含力、热、声、光、电、磁等传感器,数据采集器、多种实验器材

以及配套软件。因此,无论以传统的“仪”还是“计”,抑或“器”来命名,都难以展现其复杂的结构和功能。

在众多的开发者和研究者中,房德惠研究员率先认识到传感器、数据采集器及计算机等设备的系统特征,遂开始使用“物理实验微机辅助系统”的命名。“系统”二字是中文表达对英文表达的重大超越,不仅高度概括了当下数字化实验产品的结构特征,还为其未来发展预留了充足的空间。远大教科则进一步将“辅助系统”改为“实验系统”,以“实验”修饰“系统”,强调了其功能,消除了学科和学段的限定,使其外延更为宽广。上海研发中心再将其进一步命名为“数字化实验系统”及其英文缩略——DIS,前者成为最终被教育部教仪所和物理课程标准编制组认可的命名方案,后者则凭借高辨识度促进了数字化实验概念的传播。对此,马宏佳等化学教学专家也予以了认同^[20]。

4 结 语

目前,美国物理学者上世纪 60 年代构想的简陋“鞋盒”已升级为拥有上百种传感器、数百种创新配套器材,与计算机及信息技术深度绑定的新型实验工具体系。仅在物理领域,数字化实验系统就凭借“从 $v-t$ 图求加速度”“法拉第电磁感应定律的定量验证”“向心力研究”等实验,补上了传统实验器材的短板,填补了实验教学的空白,为学生提供了广阔的探究空间,落实了课改关于学生自主学习、自主探究能力培养的要求。其独有的数据采集、计算、分析功能和数形转换、数理融通等深层属性,已成为学生构建物理模型、完成“假设-检验”的有力工具。2024 年,笔者曾两次赴美参加美国科学教师协会(NSSTA)年会,发现引入数字化实验系统后的中美实验教学已呈现出“从结构到功能”的转变:开放的数字化结构使得实验教学可以即时获得“增强现实”(AR)和“人工智能”(AI)等前沿创新成果的加持,从而能实现与时俱进的效能提升。

基于上述发展,笔者相信如果 King 教授和 Tinker 教授在世,他们都会赞同以“数字化实验系统”来命名当初构想的“鞋盒”,因为这一命名抓住了事物的本质。基于建构主义视角,实践先于理论、命名后于产品的现象,反映了人类认识的逐渐深化及扩展^[21]。同一事物命名的反复更改、修正不仅呼应了克里普克关于“先验偶然命题”和“后验必然命题”的观点,而且符合其关于“自然科学真理的后天性和必然性”的哲学结论^[22]。数字化实验系统最终的“名正言顺”标志着数字化实验已成为新的实验教学范式,这对于率先

(下转第 11 页)

- Brinke, Liesbeth Kester. Students' perceptions of assessment quality related to their learning approaches and learning outcomes [J]. *Studies in Educational Evaluation*, 2019(4):72-82.
- [4] Dylan Wiliam. What is assessment for learning [J]. *Studies in Educational Evaluation*, 2011(1):3-14.
- [5] Randy Elliot Bennett. Cognitively based assessment of, for, and as learning (CBAL): A preliminary theory of action for Summative and formative assessment [J]. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspectives*, 2010(2):70-91.
- [6] Kurt Vanlehn. Cognitive skill acquisition [J]. *Annual Review of Psychology*, 1996(1):513-539.
- [7] Angela L. Duckworth, David Scott Yeager. Measurement matters: Assessing Personal qualities other than cognitive ability for educational purposes [J]. *Educational Researcher*, 2015(4):237-251.
- [8] 高洁, 方征. 评价、评估、考核、监测: 教育评价若干同位概念辨析及启示[J]. *教育发展研究*, 2022(19):75-84.
- [9] 刘本固. 教育评价的理论与实践[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2000:50-52.
- [10] 陈玉琨, 李如海. 我国教育评价发展的世纪回顾与未来展望[J]. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2000(1):1-12.
- [11] 洛林·W·安德森, 等. 布卢姆教育目标分类学: 分类学视野下的学与教及其测评(完整版)[M]. 蒋小平, 等译. 北京: 外语教学与研究出版社, 2023:23-66.
- [12] John. B. Biggs, Kevin F. Collis. 学习质量评价: SOLO 分类理论[M]. 高凌飏, 张洪岩, 译. 北京: 人民教育出版社, 2023:25-35.
- [13] Robert. J. Marzano, John S. Kendall. 教育目标的新分类学(第二版)[M]. 高凌飏, 吴有昌, 苏峻, 译. 北京: 教育科学出版社, 2023:14-119.
- [14] 盛群力. 旨在培养解决问题的高层次能力——马扎诺认知目标分类学详解[J]. *开放教育研究*, 2008(2):10-21.
- [15] Katerine Bielaczyc, Manu Kapur. Playing epistemic games in science and mathematics classroom [J]. *Educational Technology*, 2010(5):19-25.
- [16] John Seely Brown, Allan Collins, Paul Duguid. Situated cognition and the culture of learning [J]. *Educational Researcher*, 1989(1):32-42.
- [17] Cindy E. Hmelo-Sliver, Howard S. Barrows. Facilitating collaborative knowledge building [J]. *Cognition and Instruction*, 2008(26):48-94.
- [18] 杨亚芳, 蔡铁权. 物理观念的教学思考[J]. *物理教学*, 2024(1):2-6.
- [19] 蔡铁权, 薛真. 广义语境中的物理观念[J]. *物理教学*, 2025(1):5-10.
- [20] 蔡铁权, 薛真. 物理观念的多维观照及其理论基础[J]. *物理教学*, 2024(8):2-7.
- [21] 杨亚芳, 蔡铁权. 知识·观念·素养: 物理教学新范式[J]. *物理教学*, 2025(4):2-7.
- [22] 蔡铁权, 薛真. 物理跨学科主题教学论辩[J]. *物理教学*, 2024(10):2-7.
- [23] 爱因斯坦. 我的思想与观念: 爱因斯坦自选集[M]. 张卜天, 译. 天津: 天津人民出版社, 2020:71-75.

(上接第 4 页)

引入数字化实验的物理学科来说, 意义尤其重大。

参考文献

- [1] Tinker R F. Microcomputer-based eab: educationat research and starcdavols [M]. Springer, 1996.
- [2] 杨清. 简明心理学辞典[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1985. 3:95.
- [3] 约翰·D·布兰思福特, 等. 人是如何学习的[M]. 程可拉, 等译. 上海: 华东师范大学出版社, 2018. 193-194.
- [4] 冯容土, 李鼎. 中国数字化实验十五年发展综述[J]. *物理教学探讨*, 2018(3):10-12.
- [5] 上海市中小学课程教材改革委员会办公室. 面向 21 世纪中小学新课程方案和各学科教育改革行动纲领[M]. 上海: 上海教育出版社, 1999:177.
- [6] 上海市教育委员会. 上海市中学物理课程标准(试行稿)[S]. 上海: 上海教育出版, 2004.
- [7] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2004:4.
- [8] 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, 2018:76-77.
- [9] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017 年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018:67.
- [10] 李鼎. 数字化实验在上海二期课改物理教材中的应用研究[J]. *物理教学*, 2010(1):28-32.
- [11] 李鼎, 艾伦. 高中数字化实验影响因素研究[J]. *课程·教材·教法*, 2020(11):116-122.
- [12] 中华人民共和国教育部. 高中理科教学仪器配备标准(JY/T 0406-2010)[S]. 北京: 全国教育装备标准化技术委员会, 2010.
- [13] P. W. Zitzewitz, 等. 物理, 原理与问题[M]. 钱振华, 等译. 杭州: 浙江教育出版社, 2008:3.
- [14] 房德惠, 李耀. 物理实验微机辅助系统介绍之一[J]. *物理通报*, 1997(1):14-16.
- [15] 钱扬义. 手持技术在理科实验中的应用研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [16] 钱扬义, 陈健斌, 吴宗志, 等. 在掌上实验室探究酒精灯火焰的温度[J]. *化学教育*, 2003(1):39-41, 21.
- [17] Shari J. Metcalf, Robert F. Tinker. Probeware and Handhelds in Elementary and Middle School Science [J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2004.
- [18] 艾伦·V·奥本海姆, 等. 信号与系统(第二版)[M]. 刘树棠译. 北京: 电子工业出版社, 2013:4.
- [19] 杨毅明. 数字信号处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013:1-30.
- [20] 马宏佳. 化学数字化实验的理论与实践[M]. 北京: 人民教育出版社, 2016:5.
- [21] 皮亚杰. 发生认识论原理[M]. 王宪钿, 等译. 北京: 商务印书馆, 1981:66.
- [22] 索尔·克里普克. 命名与必然性[M]. 梅文, 译. 上海: 上海译文出版社, 1988:159.