



参数化建筑能源装备仿真平台的 模块构建与实践

杜 聪, 杨 华*, 刘联胜, 田 亮
(河北工业大学 能源与环境工程学院, 天津 300401)

摘要: 基于 OBE 理念对建筑能源工程装备的设计、安装、运行、管理要求, 本课题建立了建筑内部参数化、模块化、可视化的能源设备仿真和实训平台, 在此基础上, 指导学生进行建筑冷热源、管道系统、末端设备、热计量设备 4 大任务模块的安装实操集训, 深入理解建筑能源设备的特点、建筑与能源的相互关系, 从而在实践认知、动手操作等方面对本科生综合素质的提高起到良好的补充作用。

关键词: 建筑能源设备; 参数化; 可视化; 仿真平台

中图分类号: TK3

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230381

Construction and Modularization of Parameterized Architectural Energy Equipment Simulation Platform

DU Cong, YANG Hua*, LIU Liansheng, TIAN Liang

(School of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: Based on the outcome based education (OBE) theory and demand of architecture energy equipment (AEE) of design, installation and operation, this program constructs a parameterized, modularized, and visualized energy equipment simulation and training platform, and instructs the students to conduct installation practices of 4 task modules, therefore enhancing the understanding of AEE equipment and promoting the comprehensive qualities of the students in the aspects of practice and cognition.

Key words: architectural energy equipment; parameterization; visualization; simulation platform

建筑参数化方法 (parameterized building method, PBM) 应用数字化技术高度集成了建筑各方面的物理信息, 是建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 的系统核心, 与建筑项目相关的专业化工作如结构分析、能耗分析、造价分析等均可基于 BIM 平台传递、反馈、整合建筑物理信息, 进而有效指导建筑施工, 设备安装、运行甚至拆除过程的方案优化^[1-3]。建筑项目中, 能源设备是不可或缺的基本组成, 由此所产生的建筑能耗通常占世界能源消费总量的 27% 以上, 而随着生活水平的提高我国建筑能耗近年来呈现快速上升趋势^[4-5], 典型建筑能源设备如集中

采暖、中央空调在改善建筑环境、节能减排等工作中的重要性不言而喻。2022 年 3 月, 住建部公布了《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》, 对“双碳”背景下住宅和公用建筑的节能水平以及绿色改造提出了更高要求, 进一步反映出当前“能源革命”的时代背景下, 我国建筑能源设备行业不断地蓬勃发展和取得的进步, 其中, 各种传统与现代建筑中出现的复杂环境与能耗问题, 对设备工程师的理论知识、动手能力和工程素养方面都提出了更高要求^[6-9]。因此, 结合“双碳”背景下建筑能源设备的发展特点以及 OBE 教学理念, 本课题建立了基于建筑参数化的

收稿日期: 2023-08-21; 修回日期: 2023-10-07

基金项目: 河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2018GJJG044); 天津市一流本科课程建设项目(津教高函[2020]1号); 河北工业大学成人高等教育在线开放课程建设项目(K2021-02, K2021-03, K2021-04)。

作者简介: 杜聪(1977-), 男, 博士, 讲师, 主要从事清洁能源应用相关研究。

*通信作者: 杨华(1971-), 女, 博士, 教授, 主要从事建筑能源与环境相关方面的研究。E-mail: y8h8@163.com

能源设备仿真和实训平台,开发末端设备、冷热源、热计量等多个任务模块,指导学生进行虚、实结合的建筑能源系统设计安装实训,深入理解建筑能源设备的特点、建筑与环境的相互关系,从而在实践认知、动手操作等方面对提高学生的综合素质起到促进作用。

1 建筑能源设备的参数化设计

相比于传统建筑,现代建筑的重要特点是结构新颖,设计严谨,其空间关系的复杂性甚至超出了专业建筑师、结构师的理解范围。而建筑能源设备应与建筑的内部结构充分协调、相互依存,才能打造出绿色、健康的人居环境。但与现代大型建筑配套的能源设备,其基本特点是体型庞大、系统复杂,因此对设备工程师的设备安装定位、综合布局与协调能力提出了相当高的要求。采用参数化方法并进行可视化设计,能帮助设备工程师准确把握设备定位,并与相关专业协调进度,提高方案质量^[10-13]。



图 1 建筑环境设备(空气处理和末端设备)

为了在实验中帮助学生更有效地了解建筑内部结构,本课题首先基于 JavaScript、Revit、unity3D 等软件,开发了具备建筑设备可视化功能的集成操作平台,以此平台为基础,进行虚实结合的能源设备安装和操作实习实训。其中,基于 Revit 软件,可实现建筑能源设备建模的参数化,而以 unity3D 作为虚拟现实技术(VR)的计算引擎。该平台基本工作流程如下。

1) 参数化建模

指导学生根据具体建筑项目,从图纸中获取建筑的空间结构参数,导入平台转化为建筑物理模型。

2) 建立能源设备模型库

对能源设备各部件进行参数化、模块化,构建设备模型库(Revit 中的构件“族”)。本项目中,

典型的建筑能源设备包括建筑冷热源系统、空气处理(新风)和分布系统、消防系统、综合能耗管理系统等,在这些建环设备系统的安装、运行等过程中,应充分考虑建筑本身的空间结构特性,从而实现相辅相成的使用效果,在降低能耗的同时,构建起安全健康的人居环境。特别是在公用建筑中,大型建环设备诸如冷热源机组、送回风管道、冷热媒管道、消防管道等不仅种类繁多,而且连接形式复杂;但在建筑现场,人们目所能及的建筑能源设备仅仅是暖气片、进回风口等末端设备,庞大的机组和复杂的管道连接系统则大多隐蔽安装在建筑装饰材料背后,如图 1 所示。因此,设备工程师在设计、布置建筑环境设备时,需充分考虑建筑结构的复杂性,甚至包括建筑空间的空气动力特性、建筑结构稳定性等与大型设备的相互关系,否则,造成的后果可能是灾难性的。特殊的案例是 1995 年韩国三丰商场事故,直接原因是制冷机组超重和安装位置调整不当,造成 5 层商场倒塌、逾千人伤亡。

主要包括建筑冷热源、管道系统、末端设备、热计量设备部件 4 大基础模块,覆盖了现代建筑中最主要的能源设备和系统。

3) 仿真实训

在建筑结构物理模型和能源设备模型库的基础上,进行参数的传递、模型连接和共享。实训过程中,使用者可对建筑内部进行自由导览,全方位了解建筑结构特性,进而利用标准化、参数化的设备模型库对部件进行选型、配套,并在建筑模型内完成设备连接、组装、布置,进而完成各模块的实物安装操作。

上述基本流程中,步骤 1、2 的模型参数化可借由 Revit 实现,并可通过 unity3D 软件结合 JavaScript、C#编程,链接建筑能源设备的安装规格参数,以及环境、运行参数等,进一步增强仿

真实训过程的交互性和沉浸感; 在完成建筑冷热源、管道和末端设备的选型、安装方案优化后, 参考文献 [14] 中提出的方法, 将各模块的系统流程进行汇总并动态链接入建筑的地理位置、气候模式等多方面信息^[15], 即可实现该建筑设备在各种运行方式下包括常规冷热源、太阳能光热耦合热源等复杂条件下的长周期、全天候的能耗仿真模拟。

2 建筑能源设备的模块化集训平台

2.1 末端设备和管道系统模块

2.1.1 模块简介

末端设备是将处理后的暖通工质送往建筑内部环境的设备, 包括风量调节阀、风口等, 通过送回风管道或冷热媒管道连接至建筑冷热源。以

某公用建筑的暖通项目为例, 说明该平台操作的基本方法和主要步骤。如图 2 所示, 首先将某公用建筑结构导入平台并生成物理模型: 平台内, 通过漫游导览方式, 操作者得以进入建筑内部, 多角度、全方位地快速了解建筑内部构造, 从而为集训过程中制定设备安装和连接方案奠定基础。在完成建筑物理模型后, 即可将各相关模块调入。本项目的末端设备和管道系统模块中, 可设置的参数化变量包括: 管道及附件的规格参数、安装位置参数、工质参数等, 在 Revit 及 unity3D 环境下可实现设备部件实体模型参数化集中控制, 省却了传统 CAD 建模过程对几何模型繁琐的底层操作。如图 3 所示为本模块经参数化以后导出的管道系统、末端设备标准模型资料库的一部分。

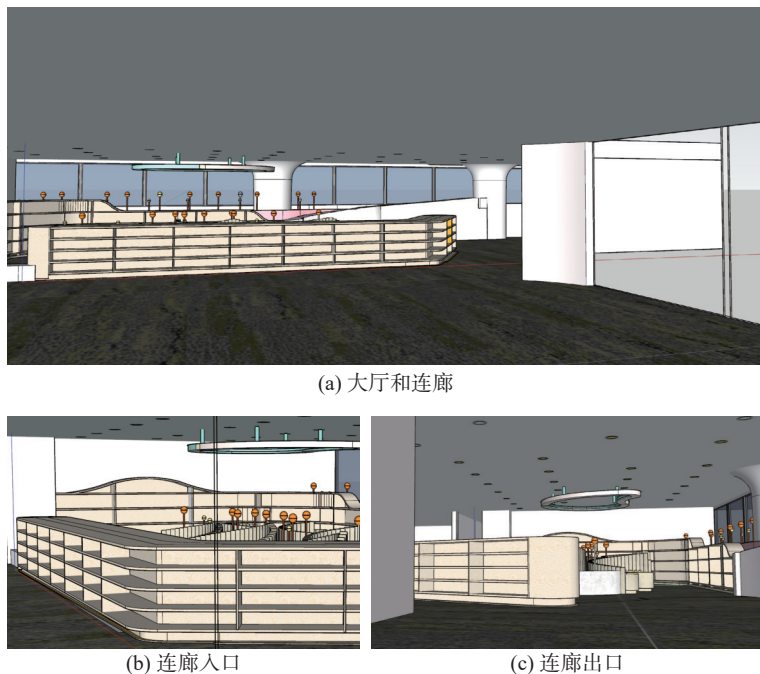


图 2 建筑内部导览案例

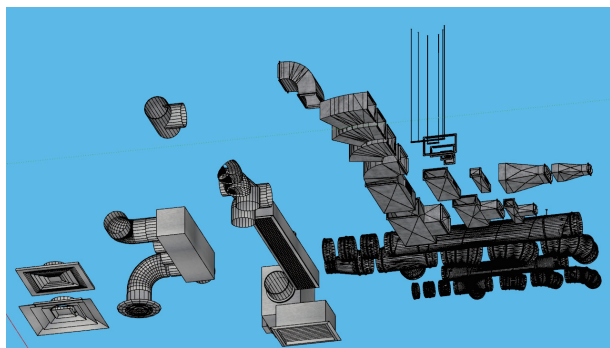


图 3 设备模型资料库(风管、末端等)

2.1.2 集训内容

本模块的集训内容主要包括可视化安装、连接与末端设备实物操作两部分。

1) 可视化安装

学生通过平台操作充分了解该建筑的空间结构特性后, 进一步在标准化的模型资料库中对相关设备进行选型, 通过参数化方法配套、组装, 得到适合于建筑内部结构的空气处理和送风局部系统, 如图 4 所示。将风管和末端设备布置在建筑内部的场景如图 5 所示。

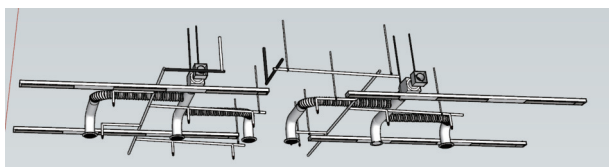


图 4 末端系统和管道的可视化连接布置案例

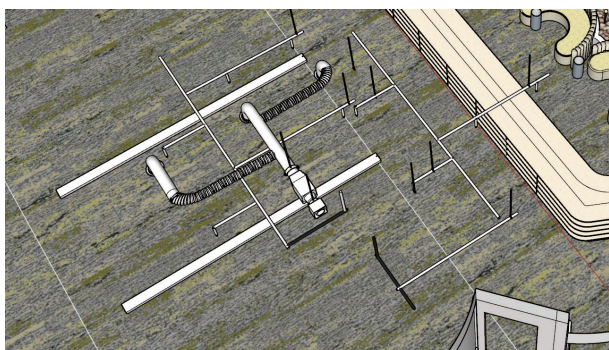


图 5 建筑内部的设备可视化操作案例

2) 实物操作在完成以上建筑内的可视化安装操作后,为强化实践教学效果,在条件允许的情况下应进一步指导学生进行风管和末端设备实物的拆装实训。选用以镀锌钢板为主的风管系统材料,包括送回风管道、风阀、风口和附件等,可依次进行拆卸、安装操作,并按工程标准进行顺序连接、组装;组装完毕后根据相关标准检查气密性,从而掌握风管气密性检测相关步骤和要求,最终呈现出完整的、达到施工标准的末端设备连接系统。

2.2 热计量单元和冷热源模块

2.2.1 模块简介

热计量设备是建筑集中供热系统的重要组成部分,该设备采用数字化远程技术对用户的采暖信息进行分布式采集和个性化控制,从而提高建筑能耗系统的供暖效率,特别是单元化布局的单户型热计量装置有利于激发用户的节能意识,在满足其个性化需求的同时促进其开展自主节能操作。在建筑能源设备系统中,热计量单元模块的结构组成较为简单,但随着智能化互联技术的发展,已成为供热系统中重要的基本组成。本项目的热计量单元模块主要包括热计量装置、阀门、管材和散热器等,采取前文所述的建筑设备可视化方法,构建的热计量装置模块如图 6 所示。冷热源设备则包括制冷机组、热泵、热水锅炉和太阳能集热器等,通常布置于建筑内部的设备间或楼顶、地下室内的专用区域,如图 7 所示。

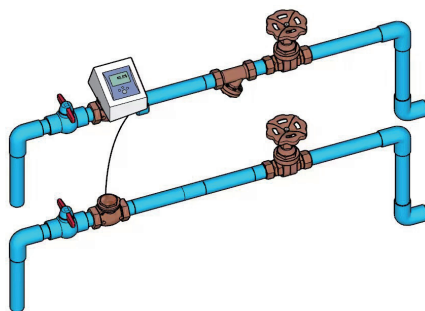


图 6 热计量单元基本模块

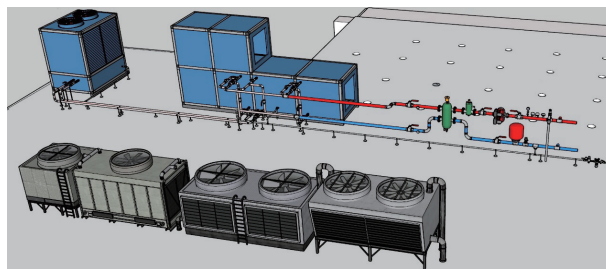


图 7 冷热源基本模块

2.2.2 集训内容

热计量供暖系统、冷热源设备集训内容同样包括参数化方案设计和实物操作两部分,具体步骤如下。

1) 参照建筑模型,对冷热源模块、热计量单元的布置方式、管道和连接系统进行设计,包括制冷机组、热水锅炉的选型和布置,锁闭阀、球阀、温控阀的配套、散热器与供暖管道的连接等,并在建筑内部进行可视化安装操作,布置于合理位置。

2) 完成热计量单元模拟集训后,为完善实训效果、增强感性认识和提高实践能力,可进一步开展实物操作教学环节,主要包括 PPR 热熔机等基本工具使用方法、阀门连接操作等。

3) 冷热源设备布置模拟集训完成后,可进一步指导学生进行制冷机组内部主要组件的实物连接教学实训,包括压缩机、冷凝器、蒸发器、压力控制器、节流阀和电控面板等组件的连接,其中制冷组件通过冷媒管进行连接,电气系统采用插销式接头电缆连接,如图 8 所示。连接完毕并经调试后,该系统即可上电运行,便于学生直观感受、深入理解空调制冷系统的运行原理及工作过程。

需要进一步指出,实践操作中的一些重要的技术细节是在虚拟集训时难以实现的,因此实物操作仍是模块化集训过程中不可替代的重要环

节, 若过于强调虚拟仿真平台在线上教学中的优势而完全忽略传统实物教学方式是欠妥当的。如在本项目的热计量模块中安装阀门前应按要求校对型号、外观检查、清理阀口、确定阀门手轮的合理位置、根据连接方式(螺纹或焊接)选取阀门的安装操作状态等操作; 在冷热源模块中包括电气接线方式, 系统打压、检漏、抽真空和充注制冷剂等基本步骤, 这些都属于培养、提高设备工程师基本职业素质和业务能力的重要指标点。

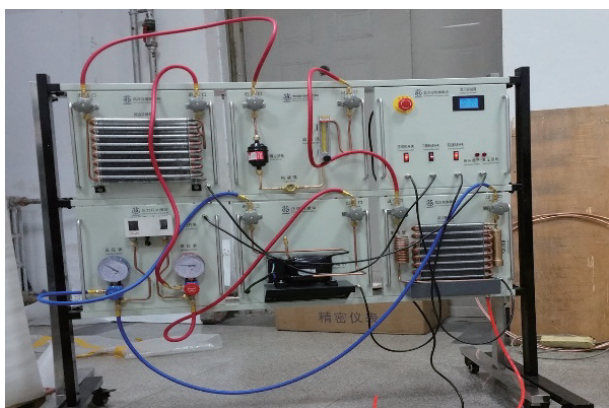


图8 制冷系统内部组件的实物连接

3 项目创新点与实践反馈

本项目基于建筑参数化平台实现了建筑能源设备的安装操作实训, 构建了建筑冷热源、管道系统、末端设备、热计量设备部件4大任务模块, 在现代能源设备和相关系统的可视化、模块化应用方面相对于传统实验教学方式有所创新; 基于建筑可视化的综合集训项目投入实施后, 对课程教学和学生能力的培养方面有积极成效, 体现在以下几点。

1) 提升学生学习的积极性与主动性

早期实训缺乏建筑可视化平台, 学生无从了解能源设备的安装及操作基本特性, 参与度不高、实操性不强、积极性下降; 而配套可视化平台的综合实验的出现, 需要学生动手操作仿真平台和模型库中的大量设备零部件, 从而提高学生参与积极性。在综合设备实验实施过程中, 明显感受到学生在进行实验时的关注度和思想集中程度高于传统实验。

2) 虚实互补, 强化实践教学效果

如前所述, 通过建筑可视化平台进行设备的虚拟安装操作, 可以充分揭示建筑内部结构, 深

入了解建环大型设备连接方式的基本特点, 从而帮助学生掌握机组、管道和末端设备在建筑内的安装和布置要领, 再结合空调风管拆装实验、制冷系统布置和运行调试实训等, 让学生更清晰地了解系统的组成和安装方式, 对专业知识与系统内容形成整体化和新的认识, 充实了在课堂教学过程中未做过说明的技术细节, 并从一定程度上弥补了如疫情隔离等特殊原因造成的实验教学不足; 学生通过建筑设备可视化实训操作内容可以将课堂抽象的理论知识与实物结合, 让各部分知识有迹可循, 减少学习的空洞化; 通过教学反馈得出未做过与已做过该实验的学生学习效果的对比总结显示, 已做过该实验的学生专业课程成绩和课程设计效率整体高于未做过该实验的学生。

3) 提高学生工程能力和素养

本项目中需要学生亲自动手操作的工程基础项目安装内容, 对提高学生的工程能力、工程素养有很好的促进作用; 配合可视化平台的设备安装实验是对传统实验方式的有效补充, 学生在前期经过传统实验的练习后, 已基本具备系统投入使用阶段的相关调节能力, 这些设备拆装、调试实验成为充实系统安装施工的前期内容, 对应用型人才实践能力的培养有一定帮助。动手操作类的实验活动更加考查学生的观察能力、动手能力和仔细程度, 因此此类设备实验可以在潜意识里培养学生仔细观察、一丝不苟的学习态度和工程素养。

4 结束语

实践活动是影响工程能力发展的重要因素之一, 尤其对于工科专业, 在实践性强、系统规模大、实践能力要求高的专业领域更需要加强实践能力及工程素养的培养。基于OBE教育理念, 通过建筑参数化能源设备平台的建设和配套, 进行虚实互补的可视化建筑能源设备安装操作集训, 在完善设备选型、安装方案的基础上, 进而实现建筑设备多种运行方式下的能耗仿真模拟, 对培养学生的工程实践技能、充实专业系统认识起到重要补充作用, 是改变教学方式、优化实验流程和改善实验内容的积极尝试。在本项目基础上, 教师应在教学过程中不断努力探索新型教学方式, 充分发挥学生的主体地位, 贯彻落实素质教育, 培养创新型人才, 以适应“新工科”背景下

国家对高素质工程专业人才的需求。

参考文献

[1] 张雷,董文祥,哈小平. BIM技术原理及应用[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2019.

[2] 马志良. 建筑参数化设计发展及应用的趋向性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

[3] 崔乃夫,桑映辉. 参数化在建筑方案和施工设计中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2022(6): 107-109.

[4] 严丽叶,王天一. 我国居住建筑能耗现状和节能降碳途径[J]. 建设科技, 2023(3): 26-28.

[5] 刘志凡. 我国建筑业碳排放节能措施研究[J]. 城市建筑, 2022, 19(12): 141-144.

[6] 马焯. 暖通空调系统空调制冷管道安装技术管理分析[J]. 中国设备工程, 2020(2): 53-54.

[7] 付超. 新时期供热通风与空调安装技术的相关探讨[J]. 居舍, 2020(2): 58.

[8] 高兴洋. 建筑暖通环节供热通风和空调安装要点研

究[J]. 住宅与房地产, 2020(6): 190.

[9] 凤权. OBE教育模式下应用型人才培养的研究[J]. 安徽工程大学学报, 2016, 31(3): 81-85.

[10] 沈建华,刘峰,张玲华. 适应工程教育专业认证的综合工程训练中心建设与实践[J]. 现代教育技术, 2012, 22(12): 122-126.

[11] 洪马超. 建筑暖通环节供热通风和空调安装要点探析[J]. 科技与创新, 2020(8): 98-99.

[12] 毛前军. 高校建环专业实验教学改革探讨[J]. 实验室科学, 2006, 9(3): 36-37.

[13] 魏莉莉,邵璟璟,王立娟,等. 虚拟仿真实验技术辅助建环实践体系构建[J]. 高教学刊, 2020(25): 74-76.

[14] 杜聪,杜洋洋,刘联胜,等. 生物质-太阳能双热源联用系统耦合供热方案研究[J]. 热能动力工程, 2018, 33(9): 114-119.

[15] 杜洋洋. 户用生物质能/太阳能联用供暖、供热水系统研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2020.

编辑 葛晋

(上接第 35 页)

4 结束语

通过多组数据的对比验证,可以看出本文对作图法的数值化改进是有效的。本文方法避开了高门槛的编程环境,完全依靠最寻常易上手的 Office 软件环境实现。通过表格循环引用实现迭代算法,减小初始化数据误差的影响,提高了计算精度和准确度。在继承作图法遵循实验循证规律的同时,实现了作图法的数值化和误差的量化。使用同期开设的 Office 课程相关知识,不但降低了学生上手难度,还能给予学生“学以致用”的满足感,激发学习兴趣。

参考文献

[1] 袁哲诚,王宽亮,陆李威,等. 密立根油滴实验的数据处理方法研究[J]. 物理实验, 2019, 39(5): 13-16.

[2] 陈森,刘晔,付硕,等. 一种密立根油滴实验数据处理的新方法[J]. 大学物理, 2014, 33(9): 32-34.

[3] 陈远容. 油滴实验中数据处理的一种新方法[J]. 物理实验, 1993(2): 55-56.

[4] 杨明,李香莲. 借助Origin软件完善密立根油滴实验数据处理[J]. 物理通报, 2014(2): 78-80.

[5] 张晓光,张风雷. 密立根油滴实验数据处理方法改进[J]. 辽东学院学报(自然科学版), 2017, 24(3): 221-223.

[6] 田杰华. 金山办公深度报告: 云&智能&国产化三浪叠加, 办公软件龙头再攀高峰[R/OL]. (2021-04-21). <https://www.djyanbao.com/preview/2506622>.

[7] 中国教育考试网. NCRE级别科目设置及证书体系(2021年版)[EB/OL]//中国教育考试网. (2020-12-11). <http://ncre.neea.edu.cn/html1/folder/1507/909-1.htm>.

[8] 刘喜莲,李蕾,吕爱君. 密立根油滴实验测量条件的优化[J]. 北京石油化工学院学报, 2016, 24(3): 61-64.

[9] 陈学文,张家伟,方旺,等. 密里根油滴实验的理论分析和测量结果讨论[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(7): 150-153.

[10] 董键. 密立根油滴实验再认识[J]. 大学物理, 2021, 40(2): 36-41.

[11] 朱鹤年,郭旭波,常纓,等. 油滴实验计算元电荷的简明方法[J]. 物理实验, 2018, 38(2): 22-26.

[12] 朱鹤年. 数据分析与不确定度评定基础[M]. 新概念基础物理实验讲义. 北京: 清华大学出版社, 2013.

编辑 张俊