

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2021.03.023

欢迎按以下格式引用:李俊梅,孙育英,乔雅心.建筑环境与能源应用工程专业虚拟仿真实验教学的实践探索[J].高等建筑教育,2021,30(3):165-170.

# 建筑环境与能源应用工程专业虚拟仿真实验教学的实践探索

李俊梅,孙育英,乔雅心

(北京工业大学 建筑工程学院 建筑环境与能源应用工程系,北京 100124)

**摘要:**以风系统平衡调试虚拟仿真实验为例,对虚拟仿真实验在建筑环境与能源应用工程专业本科实验教学中的应用进行了探索。结果表明,尽管虚拟仿真实验可以弥补常规实验在设备、场地、教学经费等方面的不足,具有实验资源丰富,成本低、效率高、可扩展性强等特点,但虚拟仿真实验在实施过程中也存在一些问题。在实验平台开发、实验内容设定、过程实施以及成绩评定等方面,应考虑与专业本科教学实际以及传统实验相关内容相结合,使虚拟实验和常规实验优势互补,从而达到提高实验教学水平和教学效果的目的。

**关键词:**虚拟仿真;建环专业;实验教学;本科教学

**中图分类号:**G642.0;TU **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2021)03-0165-06

2012年,教育部颁布了《普通高等学校本科专业目录》和《普通高等学校本科专业设置管理规定》,将建筑节能技术与工程、建筑设施智能技术和建筑环境与设备工程三个专业合并为建筑环境与能源应用工程专业(以下简称建环专业)。建环专业主要培养从事建筑环境控制、建筑节能和建筑设施智能技术领域工作,具有空调、供热、通风、建筑给排水、燃气供应等公共设施系统、建筑热能供应系统和建筑节能的设计、施工、调试、运行管理能力和建筑自动化系统方案制定能力的高级工程技术人员和管理人才<sup>[1]</sup>。从建环专业人才培养目标可以看出,工程实践能力对建环专业学生至关重要。学生的专业理论知识需要通过实验、实习、设计、课外活动等实践教学环节来巩固,工程实践与应用能力、独立工作能力、创新能力则需要通过实践教学环节来培养<sup>[2-3]</sup>。通过搭建科研与实验平台来辅助教学与实践,一直是建环专业培养学生工程意识、知识应用能力、创新能力和实践能力的重要手段<sup>[4]</sup>。然而,当前的专业实验教学存在一些问题,在一定程度上影响了实验教学的开展和实验教学效果的提升。

修回日期:2020-04-09

基金项目:北京工业大学教育教学研究项目(ER2018C020602)

作者简介:李俊梅(1970—),女,北京工业大学建筑工程学院建筑环境与能源应用工程系副教授,博士,主要从事建筑热环境研究,  
(E-mail)lijunmei@bjut.edu.cn。

## 一、当前专业实验存在的问题

以北京工业大学为例,当前建环专业实验教学存在的突出问题有以下几个方面。

(1)实验场地及实验装置数量不足。建环专业的大部分专业实验,如空调系统及空气处理过程实验、锅炉房工艺与设备综合实验、制冷装置调控特性及压缩机性能实验等,所用的实验装置体型庞大且价格较为昂贵,要配置多台相同型号的实验设备有难度。这就造成在实验过程中,可能只有少部分学生能够亲自参与实验项目的操作,而其他大多数学生只能充当围观者,学生的实际动手能力得不到锻炼。此外,由于场地和经费的限制,部分实验装置被设计成模型实验设备,如风系统、水系统的水力平衡实验、热网水力工程实验的管路多为简化版的小比例模型装置,这与实际工程中的系统和设备相差甚远,多数情况下实验变成了演示实验,很难达到促进理论教学的目的。

(2)实验经费缺乏导致实验设备更新换代慢,且有时候因实验设备维护不及时不得不减少部分实验内容。

(3)在实验实施方面,实验内容、方法、形式并没有随着专业领域的拓宽和社会对人才新的需求而及时更新。由于暖通空调系统构成复杂,冷热源和末端之间需通过复杂的管路及输运设备相连,现有单一配合理论课程的实验内容设置尽管可强化学生对各学科知识的理解,但忽视了各学科内容之间的联系,学生对暖通空调系统的整体运行缺乏认识,这显然不利于学生综合能力的提升和工程素养的培育。

搭建综合性的专业实验平台,将各学科内容进行有机结合,使系统尽可能地接近工程实际,有助于加深学生对专业知识的理解,使学生的工程实践能力得到进一步锻炼。但专业综合实验平台的搭建耗费巨大,对于多数学校来说并不现实。

随着信息技术的发展,依托虚拟现实、多媒体、人机交互以及网络通讯等技术搭建建筑环境控制系统虚拟仿真综合实验平台,使建环专业实验与实际工程相结合成为可能。虚拟仿真可以将建环专业涉及的分散在建筑物内的系统设备集中呈现,给学生以接近实际的整体的系统概念,而非单个的设备及管路,使学生对设备及系统的运行有更深入全面的了解,从而实现专业实验与实际工程的完美结合。

虚拟仿真实验具有成本低、效率高、可扩展性强、操作安全、高度开放、资源共享、随技术发展更新换代快等特点<sup>[5-7]</sup>。搭建虚拟仿真实验平台不仅可以弥补实验教学在实验设备、实验场地、教学经费等方面的不足,丰富实验资源,而且对于一些难以完成的真实实验,虚拟仿真系统具有无可替代的优势。基于此,各高校纷纷搭建自己的虚拟仿真实验平台以辅助理论教学和实践教学。然而,虚拟仿真实验作为专业实验教学的一种新型的方式和手段,在实施过程中也存在各种各样的问题,如实验内容的设置、实验教学能否达到预期的教学目标等仍需通过相关的实践来进行检验。本文以北京工业大学建环专业为例,对虚拟仿真实验在建环专业实验教学中的应用进行初步的探索,对实施过程中存在的问题进行分析,并提出相应的解决方法,以进一步完善虚拟仿真实验教学,提升其教学效果。

## 二、虚拟仿真实验教学实践

### (一)虚拟仿真实验平台的搭建

针对现有传统实验教学中存在的问题,结合北京工业大学建环专业理论教学和实验教学的实

际,学校先期开发了“空调风系统管网性能及风系统平衡调试虚拟仿真实验平台”“室内环境气流组织仿真模拟平台”“建筑能耗分析仿真实验平台”等虚拟仿真实验平台,并设计了相应的教学内容,用于现有专业实验的补充与拓展。利用上述虚拟仿真平台,在2013级、2014级、2015级、2016级本科实验教学中进行了虚拟仿真实验的教学实践,取得了较好的教学效果。

## (二) 虚拟仿真实验教学的实施

选取北京工业大学“空调风系统平衡调试虚拟仿真实验”为例,对虚拟仿真实验的实施情况进行介绍。

该实验在“空调风系统管网性能及风系统平衡调试虚拟仿真实训平台”上完成。该实验平台开发的主要目的是克服实地测量真实风管系统的不便,通过虚拟仿真实验,学生能够更直观、系统地学习并应用管网压力分布图、风机性能曲线、管网特性曲线以及风机与管网匹配等理论知识,初步掌握风系统平衡调试的原理和方法<sup>[8]</sup>。

空调风系统的平衡调试是空调系统安装完成、系统正式运行前的重要环节,是通风与空调系统工程质量施工验收的重要内容。调节各送风口的送风量与总风量,使之符合设计要求是风量调试的首要任务,也是保证空调系统正常运行,实现其系统设计目标的基础。

### 1. 实验目的

该实验的目的:一是了解风系统平衡调试的目的和相关规范要求;二是掌握风系统平衡调试的基本方法和步骤。

### 2. 实验对象

该虚拟实验的对象是一栋建筑的空调风路系统。该建筑长46 m、宽17 m、高5 m(如图1)。空调系统采用一次回风定风量系统,室内要求保持5 Pa微正压。系统设计的总风量为33 600 m<sup>3</sup>/h,新/回风量分别为4 000 m<sup>3</sup>/h和29 600 m<sup>3</sup>/h。新风干管尺寸为500 mm×500 mm,回风风干管尺寸为100 mm×100 mm;管路上共有28个送风口,其中靠近左、右侧墙的8个风口(1#、2#支管上的风口1、3,和6、7#支管上的风口2、4)送风量为1 700 m<sup>3</sup>/h,送风口尺寸为425 mm×425 mm,其余20个风口的风量为1 000 m<sup>3</sup>/h,送风口尺寸为350 mm×350 mm。为进行风系统的平衡调试,在主管道和分支管道上均设置有风阀,共37个。通过调节风阀,改变管道局部阻力,从而调整系统的风量分配。

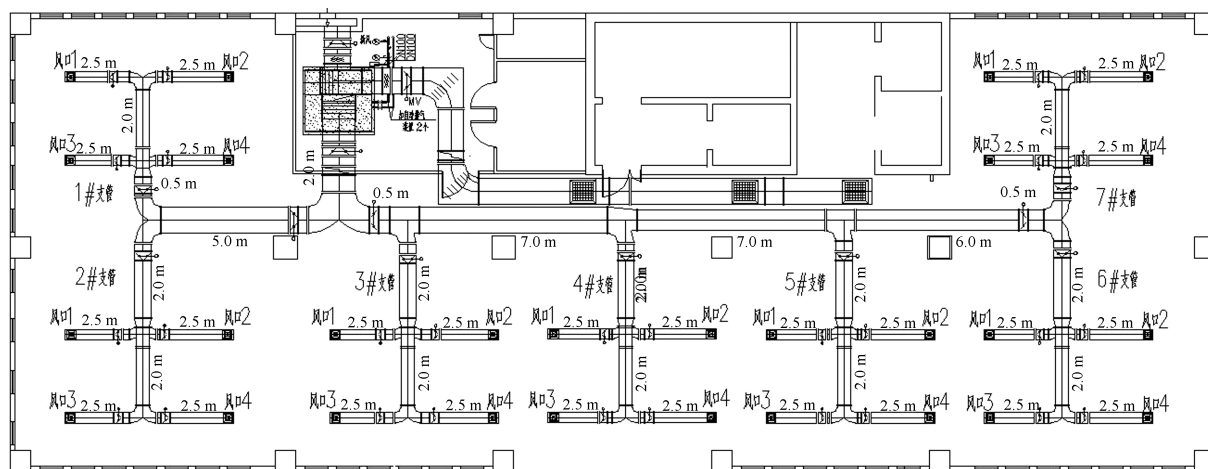


图1 虚拟实验中的风路系统

### 3. 调试目标

调试后系统总风量、新/回风量与设计风量的偏差不大于10%,风口风量与设计风量的偏差不大于15%,符合《通风与空调工程施工质量验收规范》(GB50243-2016)<sup>[9]</sup>的要求。

### 4. 调试前准备工作

学生在系统进行调试前,需进行如下的准备工作:1)查阅《空调系统调试与运行》《通风与空调工程施工质量验收规范》等相关资料,了解实际工程中系统调试的一般规定和主要内容;2)了解调试系统的相关设计数据及资料,准备好要测量的风管系统图及平面风管、风口编号图;3)确定相关的设备是否可以开启;4)检查风管及阀门安装的实际情况,如与设计图不符应作记录;5)备齐及整理所需的仪器及工具,保证所用仪器在使用前均经过校检,相关操作人员熟悉检测仪表的操作方法和技巧;6)熟悉和掌握风管系统风管和风口处风量测量的主要方法及测点布置原则;7)理解和掌握风量调试的原理和主要方法:流量等比分配法和基准风口调整法。尽管是虚拟仿真调试,但准备工作仍然按实际工程中系统调试的要求进行。

### 5. 调试方案的编制

完成上述准备工作后,编制相应的调试方案。内容包括调试依据、系统概况、进度计划、调试准备、采用的调试方法、调试施工安排、安全操作等内容。

### 6. 调试工作的进行

根据所采用的调试方法,编写调试步骤。在确定调试步骤可行后,依据调试步骤开展相应的调试工作,具体过程这里不作详细赘述。

由于调试试验是在仿真模拟平台上进行的,风管上风量及风口处风量的测量等在此次实验中并不涉及。模拟实验中只涉及及改变不同路上风阀的大小以调节流量来完成系统的调试。

### 7. 数据记录与处理

依据调试步骤完成风系统平衡调试。当达到调试指标要求后,在《管网风量平衡调试记录表》中记录调试数据,评价调试结果;在系统单线透视图上标出调节阀门的开度。

调试过程结束后,在系统单线透视图上标出调节阀门的开度,填写管网风量平衡调试记录。以调试后风量与设计风量偏差,以及调试完成时间为实验考核成绩评定依据。

### (三) 虚拟仿真实验教学的评价

通过该仿真模拟实验的实施,学生完整地走完了实际工程中空调风系统调试的所有流程,该流程与实际工程调试并无差别。学生通过该实验训练,了解了风系统平衡调试的目标和要求,掌握了系统调试的原理和方法,熟悉了风系统平衡调试的步骤和过程,具备了独立制定空调风系统调试方案的能力,这对其工程能力及意识的提升将有极大的帮助。同时,参与实验全过程,也加深了学生对所学管网知识的理解。

尽管仿真实验对学生实践能力的提升有较大的帮助,但在此次实验的调试过程中,较为重要的风口及风管内风速、风量测量过程在模拟实验中却无法有效完成,这显然不利于学生实际动手能力的锻炼。好在先修课程建筑环境测试技术的课程实验中设置了风管及风口风量测量的实验,学生在该实验中已经掌握了风管内风速、风量测量的方法,以及相关测量仪器的选择和操作,这可作为此次调试实验的补充。可见,对于虚拟仿真实验中由于软、硬件条件的限制,无法实施模拟的实验过程,可采用传统实验来实现,以充分发挥两者各自的优势,又相互弥补不足,最终到达提升学生

实践能力的目的。

在虚拟仿真实验成绩的评定方面,单一依靠虚拟仿真调试的数据记录并不能反映学生的综合能力和水平,考核内容应该涵盖实际调试过程中所涉及的各个方面,如系统的单线图是否符合技术标准,能否正确表达原系统设计,标注的数据是否正确;是否掌握风量的测试方法以及测量仪器的选择原则;是否掌握风量的平衡调试原理和方法,能否正确地编制调试方案和步骤;调试结果是否达标等,这样才能使分数评定更接近于完成实际工程的情况。

为了更好地了解学生对虚拟仿真实验的认识,以及实践过程中存在的问题,对参加实验的74名本科生进行了问卷调查。调查的主要内容包括有无必要开设虚拟仿真实验、开设虚拟仿真实验的好处、虚拟仿真实验和传统实验的关系、虚拟仿真实验的不足等方面,调查结果如下。

(1) 您认为建环学科有必要开设虚拟仿真实验吗? [单选题]

选项	小计	比例
没有必要	10	13.51%
有必要,模拟仿真是趋势	64	86.49%
有效填写人次	74	

(2) 您觉得虚拟仿真实验教学最有用的方面是什么? [多选题]

选项	小计	比例
专业课程成绩的提升	26	35.14%
对专业课程理论知识的掌握	58	78.38%
可以给课程增加一些乐趣	44	59.46%
对于将来就业有帮助	22	29.73%
可以提高自己分析和解决问题的能力	50	67.57%
有效填写人次	74	

(3) 传统实验和虚拟仿真实验您认为哪个对您的学习能力有帮助? [多选题]

选项	小计	比例
传统实验(传统实验可以提高动手能力和操作技能)	14	18.92%
虚拟仿真实验(虚拟仿真实验是未来发展的趋势)	22	29.73%
虚拟仿真实验(虚拟仿真实验技术含量高)	8	10.81%
两个都有帮助	48	64.86%
有效填写人次	74	

(4) 您认为虚拟仿真实验的不足主要体现在哪些地方? [多选题]

选项	小计	比例
对自己的动手能力没有提升	22	29.73%
没有机会熟悉测量仪器的使用	28	37.84%
不了解仿真软件编制的背景,感觉像在玩游戏,不像做实验	36	48.65%
对实验原理不能进行深入了解	36	48.65%
实验结果千篇一律,不能体现出差异	12	16.22%
实验中体现不出团队意识和合作精神	14	18.92%
和真实实验的感觉有差距,实验过程过于理想化	36	48.65%
实验过程中不会出现实际实验中可能出现的各种问题,无助于解决问题能力的提升	24	32.43%
有效填写人次	74	

通过上述调查,可以看出虚拟仿真实验的开设得到了绝大多数学生的认可,虚拟仿真实验的实施效果也得到了多数学生的肯定。但同时学生也认识到虚拟仿真实验存在的不足,如虚拟仿真实验和真实实验差距大、过程过于理想化、没有出现真实实验中可能出现的突发性问题、不能熟悉测量仪器的使用等。另外,不了解仿真软件编制背景,也在一定程度上影响了学生对实验结果的深入

分析和判断,需要在将来的虚拟仿真实验教学中进一步改进。

### 三、结语

建环专业是一个实践性很强的专业。针对建环专业实验教学当前存在的突出问题,开设虚拟仿真实验是提升实验效果的有效途径。但虚拟仿真实验的开设应结合学校和专业的教学实际和学科特点,在实验内容设定、实验过程实施等方面密切联系理论课程及传统实验教学,才能全面提升学生的实践能力和综合素质。针对虚拟实验中存在的问题,应坚持能“实”不“虚”的原则,虚实结合才是解决问题的根本途径。

#### 参考文献:

- [1] 建筑环境与能源应用工程专业[EB/OL]. <https://baike.so.com/doc/24791567-25715409.html>
- [2] 潘云钢,付祥钊,陈敏. 对建筑环境与能源应用工程专业本科教育培养工程思维的思考[J]. 暖通空调, 2018, 48(4): 1-6.
- [3] 吴庭枫. 建筑环境与能源应用工程专业人才培养路径创新[J]. 中国冶金教育, 2018(2): 72-74.
- [4] 何叶从. 建筑环境与能源应用工程专业实验教学体系改革分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2017, 48(4): 633-635.
- [5] 陈萍,周会超,周虚. 构建虚拟仿真实验平台,探索创新人才培养模式[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(3): 277-280.
- [6] 李磊. 虚拟仿真实验教学的必要性、存在问题及其可持续发展机制[J]. 湖北开放职业学院学报, 2019, 32(7): 151-153.
- [7] 王淑婧,贺行洋,邹贻权,等. 土建类虚拟仿真实验教学资源持续建设与实践[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(5): 159-165.
- [8] 孙育英,盖轶静,王伟,等. 空调风系统管网性能虚拟仿真教学实训平台的开发[J]. 图学学报, 2016, 37(4): 550-555.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 通风与空调工程施工质量验收规范(GB 50243—2016)[S]. 北京:中国计划出版社, 2017.

## Practical exploration of virtual simulation experiment teaching in building environment and energy application engineering

LI Junmei, SUN Yuying, QIAO Yaxin

(College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, P. R. China)

**Abstract:** Taking the virtual simulation experiment of ventilation system balance adjusting as an example, the application of virtual simulation experiment to undergraduate experimental teaching in building environment and energy application engineering is explored. The implementation results show that although virtual simulation experiment can make up for the deficiencies in conventional experimental equipment, such as insufficient experiment instruments, experiment venues, teaching expenses, etc., and can enrich the experimental resources, it is low-cost, high efficiency, and strong scalability. There are still certain problems of this kind of experiment. Practical teaching and traditional experiment for undergraduates should be considered for virtual simulation experimental platform developing, experiment content setting, process implementation and grade evaluation. Virtual experiments and conventional experiments should complement each other, so as to achieve the purpose of improving the experimental teaching level and teaching effect.

**Key words:** virtual simulation; building environment and energy application engineering; experimental teaching; teaching for undergraduates

(责任编辑 王 宣)