

一流专业建设过程中实验教学改革研究

——以沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业为例

陈彦文¹,符 聃²,陈 苗³,张 强¹

(1. 沈阳建筑大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 沈阳建筑大学外国语学院, 辽宁 沈阳 110168;
3. 沈阳城市建设学院土木工程系, 辽宁 沈阳 110167)

摘 要:以沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业为例,通过讨论本专业实验课程设置和实验特点,分析了专业实验项目设置、大型仪器设备利用率、实验平台建设情况。并针对无机非金属材料工程专业国家一流本科专业建设的目标,构建了实验教学模式:基础实验教学采取高校之间共享实验平台的方式;专业实验教学采取线上线下相结合的方式,自主开发虚拟仿真实验项目;建设实验教学和实验管理平台,提升专业实验的开出率和大型仪器设备的利用率,提升专业实验教学效果并实现大型仪器设备共享。

关键词:无机非金属材料工程;一流本科专业;虚拟仿真;实验教学

中图分类号:G642.0 **文献标志码:**A

一、实验教学改革的必要性

实验课程教学是理论教学的深入和验证,是本科教学体系中关键的教学环节,是提升学生实践创新能力的有效手段。通过实验教学环节的训练,学生可以在短时间内,投入较少精力,获得最佳的教学效果^[1]。实验教学效果主要体现在学生对专业知识的运用上,而实验教学方法直接影响实验教学的效果,因此,实践教学方法改革是实验教学改革的关键。

近几年,计算机仿真技术在实验教学中得到广泛的应用,虚拟仿真实验教学是现代化电子信息技术与科学实验教学技术的深度融合^[2-3]。虚拟仿真实验可以拓展实验教学内容的广度和深度,延伸实验教学的时间和空

间,提升实验教学的质量和水平。虚拟仿真实验项目建设是国家一流本科专业建设的需求,建设智能化、科学化、现代化虚拟仿真实验项目和信息化实验教学的管理系统,提升实验教学的科学化管理水平,促使实验技术人员不断完善实验教学内容、研究实验教学方法、提高学生综合素质,是虚拟实验教学发展的目标。

一流本科课程“双万计划”指出,要推动教师全员参与课程理念创新、内容创新和模式创新^[4],实验教学也要加强一流课程建设与应用,提升本科实验课程的高阶性、创新性和挑战度。与传统的实践教学方式相比,虚拟仿真实验可通过虚拟的视景实现以学生为主体的“自主学习”和“自主设计”^[5-6],用虚拟现实技术创立虚拟实验环境,让实验参与

者像在真实的实验环境中一样,完成全部预定实验内容,所取得的学习效果可等同于甚至优于在真实环境中所取得的效果^[5]。

2019 年,沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业获批首批国家级一流本科建设点,建设内容包括内涵建设、内容建设和路径建设,实验课程建设是一流本科专业内容建设的重要组成部分,探索适应一流本科专业的实验教学模式势在必行。

一流本科专业建设点的获批,既给实验课程教学建设带来了机遇,也带来了挑战,在研究分析无机非金属材料工程专业实验教学资源和教学现状的基础上,结合本专业的培养目标,探索实验教学体系和实验教学方法改革,是一流本科专业建设的需要。

目前,无机非金属材料专业的实验教学由于量大面广、实验周期长,实验过程涉及大型贵重仪器设备较多、实验运行成本高,无法

保证学生全程参与实验环节。建立虚拟仿真实验项目,使用虚拟实验设备,可弥补实验教学的不足,但实验教学也不能完全依赖于虚拟仿真技术。

二、无机非金属材料专业实验的特点

1. 实验项目数量多

实验教学环节对培养学生的工程实践能力和创新能力至关重要。要培养满足社会需求的工程行业高级应用技术人员,就必须加强实验教学环节建设。《工程教育认证标准》与材料类补充标准要求无机非金属材料专业课程中工程实践与毕业设计类不少于 20%,专业课实验开出率达到 90% 以上,综合性、设计性和创新性实验课程占总实验课程比例大于 60%^[7]。无机非金属材料工程专业课程布局中,实验教学环节比例较大,综合性、设计性实验课程占比更高^[8](见表 1)。

表 1 无机非金属材料工程专业课程布局

专业认证标准课程类别	标准要求	无机非金属材料工程专业	
		学分	本专业实际比例/%
数学与自然科学类	至少 15%	33.0	18.9
工程基础类、专业基础类和专业类	至少 30%	61.5	35.1
工程实践与毕业设计类	至少 20%	44.0	25.1
人文社会科学类	至少 15%	32.5	18.6
体育类通识类	—	4.0	2.3

2. 实验项目完成时间较长

材料类专业实验项目普遍耗时较长,即使是验证和演示性实验也需要较长的时间才能完成。例如:水泥技术性质实验的凝结时间测定,一般需要 2~5 h,水泥的强度测试要等到水泥养护到 3 d 或者 28 d 龄期才能测试;而水泥熟料的烧结、自密实混凝土等综合性、设计性实验,要经过设计、制备、性能评价等过程,实验项目完成需要的时间更长,而且综合性、设计性及创新性实验项目数量已经达到 75% 以上。这类专业性较强的实验受时长的制约,学生在规定实验学时内也无法完成,因而难以保证教学质量。

三、实验教学现存的问题

为更直观地剖析实验教学中的问题,笔

者以沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业实验室为例进行阐述。

1. 教学与环境资源不足

(1) 教师资源

无机非金属材料工程专业实验全部由无机专业实验室承担,目前,专业实验室有专职实验教师及管理人员 6 人,除承担本专业的专业实验之外,还承担全校土木工程材料系列课程的实验教学任务,辅助指导研究生及教师科研实验,保障实验室正常运行及负责大型仪器设备使用与管理,实验工作量大,实验人员严重不足。

(2) 实验场地和仪器设备

随着高等教育事业的发展,办学规模逐步扩大,招生人数逐年增加,中央及省部共建项目采购的大型精密仪器设备占据大量实验

教学空间,实验教学有效使用面积逐年减小,人均实验教学使用面积严重不足。专业基础性实验教学仪器设备投入较少,设备更新率较低,维修经费较少,实验设备台(套)数不能满足正常教学需求。专业类实验课教学只能把自然班分成2~4个实验教学组,分批进行,一些常用测试分析仪器设备台(套)数更少,基本上是部分学生参与实际操作,大部分学生只能观摩,没有实际动手操作的机会。

2. 大型仪器设备利用率低

大型设备是材料类专业实验教学的重要组成部分,学生借助大型仪器设备获得材料的微观组成和结构,评价材料特性、构造和性质。近几年,该专业获得仪器设备专项经费近2 000万元,10万元以上的大型设备由不足5台(件)增加到现在的40余台(件),极大地改善了实验教学的硬件条件。省部共建项目为实验教学奠定了基础,为材料一流学科的建设和发展提供了保障,也为学生实验和科研创新创造了条件,但是大型仪器设备管理办法和制度不完善,大型仪器设备的维护成本高,运行和维修费用也较为昂贵。由于缺少合理的资金保障体系,专职实验技术人员岗位设置不合理,大型仪器设备无专人负责,设备损坏率较高、利用率低。而涉及大型仪器设备的实验项目,基本上由实验指导教师讲解、操作及演示实验过程,学生没有动手操作机会,效果欠佳,达不到实验教学的目的。

3. 信息化实验平台建设缓慢

无机非金属材料工程专业涉及基础实验、专业基础实验、专业实验,实验面广、量大,实验用原材料和化学试剂种类多、数量大,低值易耗品和小型实验设备较多,而且实验过程中涉及大型精密仪器设备的实验项目占比大,学生必须在专业教师的帮助和指导下,才能熟悉实验室环境及相关设备。当前,信息技术快速发展,专业实验教学继续维持线下实操教学,已经不符合一流专业建设的教学发展理念,信息化实验平台建设已经在必行。

4. 虚拟仿真实验项目建设滞后

虚拟仿真实验是指将实验教学原理、方

法、过程与信息技术进行深度融合,把虚拟仪器设备引入实验教学,通过虚拟仿真场景展现实验项目的全过程。学生通过虚拟实验熟悉实验原理,设备的基本功能、操作方法与注意事项,实验结果分析处理等过程。将虚拟仿真实验作为专业实验教学的一个组成部分,是实验教学建设的重要内容,为培养学生创新精神和实践能力、共享优质实验教学资源、完善教学体系、提升实验教学质量、提升学生专业素质奠定了坚实基础。虚拟仿真实验课程也是一流本科专业建设的一个标志性成果,但是无机非金属材料工程专业的虚拟仿真实验项目尚未开始建设。

四、实验教学模式的构建

实验教学管理与建设水平是实验教学质量的重要保障,为建设一流专业、实现人才培养目标,必须进一步探索实验教学改革新模式,加大实验室建设投入。沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业实验室借助国家一流专业建设等项目的大力支持,增加原有设备的台(套)数,优化实验课程设计,整合现有校内实验资源,调整实验室布局,使有限的实验资源得到充分利用;积极开展校外合作实验基地建设,共建校际、校企联合实验室,扩大实验场所,为无机非金属材料工程专业实验教学的顺利开展提供保障。

实验教学环节贯穿于本科阶段学习的全过程,实验课程是学生培养方案的组成部分,实验项目是构成实验课程的基本组成单元,实验教学方法改革是一流本科专业建设的关键。无机非金属材料工程专业应以国家一流专业建设为契机,以实验课程和实验项目为研究对象,多渠道调研收集实验教学信息,对实验教学模式进行分类建设和实施,本着“虚实结合、虚实相补、能实不虚,以虚促实”的原则,结合专业特点分析筛选的优势教学资源,整合虚实教学模块,搭建虚实结合的实验教学平台,提升实验教学管理水平和管理质量,激发学生学习的主动能动性。

针对不同课程的实验教学项目要采取不

同的实验教学方法。按照课程类型实验课可分为基础实验课、专业基础实验课和专业实验课；按照实验项目性质可分为演示实验、验证性实验、综合性实验和设计性实验，实验课程分类统计如表 2 所示。

表 2 无机非金属材料工程专业实验课程分类统计

类别	实验名称	学时
基础实验	大学物理实验	48
	有机化学实验	16
	无机化学实验	16
	分析化学实验	8
	物理化学实验	48
	电工技术实验	8
	材料力学实验	8
专业基础实验	材料科学与工程基础实验	32
	材料研究与测试方法实验	32
专业实验	无机材料制备与测试技术专业实验	48
	材料设计实验	32

1. 基础实验及专业基础实验项目建设

物理、化学类的基础实验课程实验项目用时较少，小型仪器设备和实验药瓶较多，原理简单，安全性高，这些实验可采取线下实验教学方式。线下教学可保证学生有机会亲自动手操作，有利于培养学生的实践能力和团队合作精神。在保证实际操作实验的同时，也可以利用现代化教学手段把基本原理、操作步骤制作成慕课，通过信息化手段公开发布实验项目信息，让学生通过自主学习掌握基本理论和实验方法后，再进入实验室，进行实验操作，这样可以提高实验效率，避免指导教师重复劳动，进而能缓解实验资源和教师不足的问题。因此，基础实验应坚持以线下实操为主，线上为辅的原则。

针对基础性实验，还可以联合其他院校共同开发实验虚拟项目，打破高校之间的壁垒，实现资源共享。2020 年，教育部开放 2 000 余门虚拟仿真实验课程资源^[9]，并提供在线实验教学支撑和教学过程考核管理。疫情期间，大连理工大学不但开发了理工类专业基础实验课，专业课，综合性、设计性的虚拟仿真实验项目，还开发了线上虚拟仿真与线下工程实验结合的实验项目。各高校材料类专业的的基础类实验，可以在调研考察的基

础上，借助同类高校的开放实验教学平台，优选适合本专业的虚拟仿真实验项目。基础实验应以实为主、以虚为辅，虚拟仿真实验教学项目建设应以共享资源或合作开发为主。

2. 专业实验项目建设

专业实验是培养学生专业素养、科学研究能力的关键，是提升学生专业技能的训练手段，专业实验中包含验证性实验、综合性实验和设计性实验。验证性实验只有 16 学时，综合性、设计性实验高达 96 学时，而很多实验结果的分析测试依赖于大型精密仪器设备，针对这一特点，对于专业实验应坚持优化资源、分类建设的原则。

(1) 验证性实验建设

对专业实验中的验证性实验，可根据实验项目所需时间、实验硬件条件，采取“线下实操 + MOOC 教学 + 虚拟仿真实验”的教学模式。实验仪器设备较小、可操作性强的验证性实验可参照基础实验的教学模式进行建设；而持续时间长、跨度大的实验要拆分成几个小的实验单元分别进行建设，并辅助以一定的 3D 虚拟仿真技术^[10]，最后组成一个完整的实验项目。例如：水泥技术性质包括几项实验，其中，水泥细度、标准稠度用水量需要进行线下实操实验；而体积安定性、水泥凝结时间、水泥强度实验前期可进行线下实操实验，后续实验则采用虚拟仿真和 MOOC 教学，学生在移动电子设备上实现可视化学习，参与实验项目的全过程。验证性实验可以采取线上线下结合的形式，并辅助以一定的 3D 虚拟仿真技术，做到虚实结合、能实不虚、以虚补实，保证实验教学的数量和质量。

(2) 综合性、设计性实验建设

综合性、设计性实验是提升学生综合素质，提高学生创新能力的手段。沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业结合《工程教育认证标准》要求，通过修改培养方案、调整教学体系，综合性、设计性实验项目比例已经超过 75%（见表 3）。综合性实验是打破课程间的限制，围绕多个知识点开展实验，是对理论知识的系统检验，可以训练和提升学生对

专业知识的综合应用能力^[11]。设计性实验项目采用任务驱动法教学,任务驱动教学是一种基于建构主义理论的新型教学法,是以解决问题、完成任务为目的的探究式学习^[12]。综合性、设计性实验涉及知识面广,跨度大,实验项目持续时间长、时间机动灵活。综合性、设计性实验应以实验平台教学

为主,以虚拟仿真实验为辅,以实操检验实验的效果。运用“建设实验平台+虚拟仿真+实操融合”教学法,通过实验平台发布实验任务,学生通过自主学习熟悉实验原理及工艺过程,设计实验路线和方案,运用虚拟仿真平台模拟实验过程,优化实验路线和方案,最后经过实际操作验证实验结果。

表3 综合性、设计性实验项目统计

实验课程名称	实验名称	实验性质
无机材料制备与测试技术专业实验	水泥熟料的烧制与性能分析	综合性
	陶瓷制品制备与性能分析	
	混凝土制备与性能评价	
	自密实混凝土设计与性能评价	
材料设计实验	活性粉末混凝土(RPC)设计与性能评价	设计性
	水泥基灌浆材料设计与性能评价	
	沥青混合料设计与性能评价	

在一流本科专业建设过程中,应结合专业特点和行业发展方向,开展综合性、设计性实验教学方法和教学内容改革,提升实验效果,应本着“虚实结合、虚实互补、以实验虚”的原则,优化虚实教学资源,构建实验教学平台,培养学生的创新能力和团队合作精神。

(3)借助于大型精密仪器设备开设的实验项目

随着高校实验室建设的进一步发展,大型精密仪器设备数量逐年增多,仪器设备价格昂贵,运行成本高,工作原理复杂,测试技术要求较高,参数设置直接影响测试结果,数据处理分析难度较大。不同的大型仪器设备工作原理差别较大,例如,X射线衍射分析仪通过对材料进行测试,分析其衍射图谱,获得材料的成分、内部原子或分子的结构和形态等信息。而低场核磁共振设备的实验原理是基于电磁学理论和量子理论,来表征材料内部的孔结构特征参数。对于本科生而言,理解掌握这些原理难度较大,虚拟仿真仪器设备因其直观性、安全性和开放性特点,在实验教学中具有显著优势。建设大型仪器设备3D虚拟仿真系统,可拓展本科实验教学项目,提升学生的实践能力。因此,基于大型仪器设备的虚拟仿真项目建设尤为迫切和必要。

开发建设大型仪器设备虚拟仿真实验项

目,将虚拟仪器引入现代测试技术实验教学,便于学生直观了解现代测试技术的方法及原理,激发学生对实验学习的学习兴趣,调动学生主动性,能提高实验教学质量。通过虚拟仿真技术构建的大型仪器设备3D仿真实验项目中,利用MOOC教学对实验任务、实验过程进行辅助讲解,指导学生进行实验数据处理和实验结果分析。在条件允许的情况下,面向学生开展大型仪器设备培训和考核,考核通过的学生可以获得大型仪器的操作资格。这样既能提高大型仪器设备的利用率和学生的参与度,也能为学生今后从事科学研究等活动提供帮助。

借助三维虚拟仿真技术不仅能够满足材料类专业实验大型仪器设备教学的操作训练要求,还能实现常规实验教学难以完成的教学功能。依托三维虚拟仿真技术可以根据材料专业实践教学的发展需求,实现“以虚为主、以虚促实”,用虚拟仿真实验补充理论知识体系,通过线下实验验证虚拟仿真实验,实现理论和实践教学的互补。

3. 虚实结合的实验教学平台建设

无机非金属材料工程专业实验教学平台建设分为基础实验平台、专业实验平台、大型仪器设备平台3个模块。基础实验平台包括所有基础实验课程的教学内容,面向全校开放,提前公布实验项目,学生可以在网上选

课,线上学习,线下实验,线上提交实验成绩。基础实验平台也可实现高校之间的实验平台资源共享。专业实验平台主要面向本专业开放,也可以开设开放性实验项目。实验项目包括专业基础实验,专业实验,综合性、设计性实验,应根据实验项目的特点采用线上课程教学、实验录像、线下实验、虚拟仿真实验等方式。建设专业实验教学平台可拓宽实验教学资源,是实验教学手段的拓展,也是一流本科专业建设过程中实验教学模式的发展方向。

沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业实验室为充分发挥现有大型仪器设备的资源条件,本着共享、共建、共赢的建设理念,确立服务教学、服务科研、服务社会的建设目标,构建虚实结合的大型仪器设备实验平台。虽然现有大型仪器设备平台在服务科研和地方建设方面起到了应有的作用,但在服务本科教学方面的作用还有待提升。在国家一流本科专业建设过程中,可依托辽宁省高校大型仪器设备平台,围绕现有大型设备搭建虚拟仿真3D可视化的共享实验项目,努力构建和优化共享平台系统。

要在现有大型仪器设备平台的基础上,开发大型虚拟仿真仪器设备实验项目,并结合专业特点,依托虚拟大型仪器设备,开发虚实结合的综合性和设计性、创新性实验项目,丰富实验平台的内容,优化实验平台结构,既解决当前实验教学资源不足的问题,又推进以学生为主体的直观性和启发性的可视化教学,调动学生参与实验教学环节的积极性和主动性,提高学生的自我探索能力、实践创新能力。同时,不断完善虚拟仿真实验项目的建设体系,挖掘虚拟仿真实验资源,创造良好的实践、科研氛围,提高大型仪器设备的利用率,为培养高水平的创新型人才奠定基础。

五、结 语

学生实践创新能力的培养是当前高等教育关注的重点,而实验教学是提升学生实践创新能力的有效途径。无机非金属材料工程

专业在国家一流本科专业建设过程中,应针对实验课程类型、实验项目性质及实验项目特点进行分类建设。基础实验和专业基础实验应坚持以实际操作为主,以适当的MOOC和共享实验平台资源为辅的建设原则。专业实验课程可以根据实验项目类型和实验特点,采用虚实结合、以虚补实的建设原则。专业实验中的验证性实验应坚持线下实际操作的原则;综合性、设计性实验应结合专业培养目标开发建设具有鲜明专业特点的虚拟仿真实验项目。同时,要加强大型仪器设备利用和管理,建设大型仪器设备操作平台,建设大型仪器设备的虚拟仿真模拟操作系统,建设虚实结合的实验教学管理平台,提高实验教学效率和管理水平。通过模拟实验完成大型仪器设备的学习和训练,用虚拟实验检验理论知识,再以实际操作验证学习成果,做到以虚促实、以实验虚、虚实互补,提高实验教学质量。但是,虚拟仿真实验技术不能完全替代实际操作实验,只有做到虚实结合、虚实互补、协调发展,才能更好地提升实验教学效果,实现国家一流专业建设目标。

参考文献:

- [1] 杨敏,郭宝龙,孔难难.我国高等教育发展现状研究:基于2014年国家教学成果奖分析[J].中国市场调查,2015(27):294-295.
- [2] 教育部关于一流本科课程建设的实施意见[EB/OL].(2019-10-30)[2020-07-18].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031_406269.html.
- [3] 教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见[EB/OL].(2012-03-16)[2020-07-18].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201203/t20120316_146673.html.
- [4] 教育部办公厅关于2017—2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知[EB/OL].(2017-07-13)[2020-07-18].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721_309819.html.
- [5] 胡未东,邹智星,张叶,等.基于LabVIEW的迈克尔逊干涉仪虚拟仿真实验系统设计[J].西南师范大学学报(自然科学版),2019,44

- (5):140-146.
- [6] 刘林. 半导体激光器的虚拟实验仿真系统[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, 44(2):111-116.
- [7] 工程教育认证标准及补充标准[EB/OL]. (2016-04-06)[2020-07-18]. <http://www.ceeaa.org.cn/gcyjzyrzh/598540/index.html>.
- [8] 凌玉, 李念兵, 罗红群. 慕课和虚拟仿真在物理化学实验教学中的作用[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(5):174-177.
- [9] 教育部应对新型冠状病毒感染肺炎疫情工作领导小组办公室关于在疫情防控期间做好普通高等学校在线教学组织与管理工作的指导意见[EB/OL]. (2020-02-04)[2020-07-18]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202002/t20200205_418138.html.
- [10] 代传金, 杨宾峰, 来磊. 基于“互联网+3C”的装备虚拟仿真实验教学模式改革与实践[J]. 教育教学论坛, 2020(21):388-390.
- [11] 徐伟杰, 徐明, 郭彤, 等. “金课”背景下土木类虚拟仿真实验教学发展趋势: 基于2018年国家虚拟仿真实验教学项目共享平台公示数据[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(1):74-85.
- [12] 王晴, 戴民, 高旭, 等. 新工科视阈下无机非金属材料工程专业课程体系重构: 以沈阳建筑大学无机非金属材料工程专业为例[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2021, 23(2):198-204.

Experimental Teaching Reform in the Construction of the First – Class Specialty: Taking the Inorganic Nonmetallic Materials Engineering Major of Shenyang Jianzhu University as an Example

CHEN Yanwen¹, FU Dan², CHEN Miao³, ZHANG Qiang¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. School of Foreign Languages, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 3. Department of Civil Engineering, Shenyang Urban Construction University, Shenyang 110167, China)

Abstract: Taking the major of inorganic nonmetallic materials engineering in Shenyang Jianzhu University as an example, the experimental courses setting and experimental characteristics of the major were discussed. This paper analyzed the setting of experimental projects, the utilization rate of large – scale instruments and equipment, and the construction of experimental platform. Aiming at the goal of first – class undergraduate major, the following experimental teaching modes were constructed: the basic experiment teaching adopted the way of sharing experiment platform among colleges and universities; experimental teaching of specialty adopted the way of combination between online and offline, the virtual simulation experiment project was developed independently; the platform of experiment teaching and management was constructed to improve the opening rate of specialty experiments and the utilization rate of large – scale instruments and equipment, the teaching effect of specialty experiment was improved, and the sharing of large – scale instruments and equipment was realized.

Key words: inorganic nonmetal material engineering; first – class undergraduate major; virtual simulation; experimental teaching

(责任编辑:郝雪 英文审校:林昊)