

基于 OBE 理念的数字化实验教学改革

杜学领^{1,2}, 张开智¹

(1. 贵州理工学院 矿业工程学院, 贵州 贵阳 550003;
2. 山东科技大学 矿业工程国家级实验教学示范中心, 山东 青岛 266590)

摘要: 针对传统实验教学存在参与性和可重复性差、安全问题突出、成本高、周期长等问题, 文章认为, 通过精心设计的数字化实验可实现与 OBE 理念的高度契合, 具有较大的包容度, 能够支撑传统实验, 满足“新工科”建设对学生能力培养的要求。文章基于 OBE 理念, 提出了进行数字化实验教学设计的基本原理, 论述了相应的教学管理特色, 并给出了单节课的教学设计实例, 对国内基于 OBE 理念的教学改革和实验改革有借鉴意义。

关键词: OBE; 实验教学; 新工科; 数字化实验; 教学设计

中图分类号: G642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-4956(2020)01-0181-06

Reform of digital experimental teaching based on OBE concept

DU Xueling^{1,2}, ZHANG Kaizhi¹

(1. Institute of Mining Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China;
2. National Experimental Teaching Demonstration Center for Mining Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In view of the problems in traditional experimental teaching such as poor participation and repeatability, prominent safety problems, high cost and long cycle, this paper holds that the well-designed digital experiment can achieve a high degree of agreement with the OBE (out-come based) concept, reach a large degree of inclusiveness, support the traditional experiments and meet the requirements of the “New engineering” construction for students’ ability training. Based on the concept of OBE, this paper puts forward the basic principle of the digital experimental teaching design, discusses the corresponding characteristics of teaching management and presents an example of teaching design for a single class, which is of reference significance to the teaching reform and experimental reform based on the OBE concept in China.

Key words: OBE; experimental teaching; new engineering; digital experiment; teaching design

数字化实验教学是在传统课堂教学和传统实验教学基础上兴起的教学方式, 得益于技术的发展、政策的支持、资金的投入, 近年来我国虚拟仿真实验室建设取得长足发展^[1-2]。但在数字化实验教学研究方面, 欧美国家的研究质量要明显优于我国^[3]。与此同时, 数字化实验教学作为新兴的教学方式, 国内外在

其教学效果评价方面仍处于探索阶段。近年来, 以成果产出导向为主要特征的 OBE 理念被我国众多高等教育机构所重视^[4-5], 明确的成果产出导向对于破解数字化实验教学效果评价的模糊问题具有重要借鉴意义。在工程教育专业认证、本科教学国家标准(以下简称“国标”)、新工科建设等方面, 也体现了 OBE 理念中对学生应具备产出相应成果的能力的培养要求^[6-8]。在“国标”中, 对实验教学的数量和质量都提出了明确要求, 特别是强调了实验教学环节中设计性实验和综合性实验应得到充分重视^[9]。现有的数字化实验教学平台或虚拟仿真实验中, 多以成型的模型供学生演示、验证、虚拟体验为主^[10-11], 学生可以在此过程中加深对课本内容的理解, 却几乎不能把这种已经成

收稿日期: 2019-05-02

基金项目: 矿业工程国家级实验教学示范中心(山东科技大学)开放基金项目(KYSF20180205); 贵州省一流专业建设项目(YLDX201707); 采矿工程实践教学中心省级一流平台(YLDX201702); 贵州理工学院教学改革重点课题(2016ZDKT02)

作者简介: 杜学领(1986—), 男, 河北承德, 博士, 副教授, 主要研究方向为高等教育、工程教育、通识教育。

E-mail: xuelingsiqing@qq.com

型的模型转化为自己学业成果中可用的素材,不利于学生综合能力的培养。本文以采矿工程专业利用 FLAC 3D 开展数字化仿真建模实验为例,探讨基于 OBE 理念的数字化实验教学改革。

1 数字化实验教学可行性分析

1.1 传统实验教学存在的问题

(1) 实验的参与性差。传统实验为分组教学模式,小组共同完成实验任务,目的是培养学生的团队合作能力。但对于一些演示性实验和验证性实验,往往具有成熟、规范的操作流程,如煤岩体的力学测定类实验,一般只需要小组中有一个学生提出加载方案即可。实验开始后,学生要做的就是观察实验现象,实验数据全部由计算机存储。在这个过程中,并没有锻炼学生的团队合作能力,也没有做到个性化的人人参与,分组实验教学模式反而让一部分参与度不高的学生在学习过程中流于形式、无所收获。数字化实验以计算机为基本的硬件设备,可以实现一人一机,实现实验的全员参与,并鼓励个性探索。

(2) 实验的可重复性差。传统实验受场地、时间等因素限制,有限的教学时间内无法实现实验的多次重复。由于实验室以外缺少专业的设备,学生在课下也无法进行重复实验。加之受到实验样品的离散性影响,即便是重复实验,结论也会不完全相同,如岩石实验中,不同天然试样内部的孔隙发育是不同的。数字化实验可实现同一模型的不同视角研究,而且学生可在课下利用自己的电脑进行多次重复建模、多视角分析,时间、地点上更为自由。

(3) 安全问题突出。近年来,高校实验室安全事故不断见诸媒体,北大、清华、北交大等高校也未能幸免。引发实验室事故的原因,一方面是由人的不安全行为触发,如实验误操作、实验监管人员不足或存在监管漏洞等;另一方面与物的不安全状态密切相关,即实验设备、实验操作本身对操作者而言存在事故风险。由于本科生专业知识和经验有限,其安全风险相对更高。数字化实验的风险是极低的,通过数字化实验练习,可以培养学生的安全意识,为其今后动手实操奠定基础。但数字化实验并不是取代传统实验,而是传统实验的前期积累和重要补充。

(4) 成本和使用周期问题。成本主要涉及时间成本和经济成本,如采矿工程专业的相似模拟实验,从搭建二维模型到正式开始实验需要将近 1 周时间,搭建模型需要 1 天左右时间,实验的直接经济成本约为几千元,且可重复性较差,因而时间成本、经济成本太高。一些教师试图通过将科研课题与学生实验结合起来,但实际上,科研课题的研究方案是确定的,这

样的结合对教师而言是研究性实验,但对学生而言更像是演示性实验,达不到实验服务于培养学生能力的目的。近年来,国家级虚拟仿真实验教学中心建设如火如荼,其中存在的主要问题是,虚拟仿真实验室以较大的经济成本引进了大量基于增强现实技术的虚拟模拟场景类资源,但由于这些资源均基于当前技术研发,这些技术在学生毕业时很可能已经过时。而且这些资源的底部开发和维护一般也要依靠专业的建模公司,资源引进成本和学生的学业收获不匹配。值得注意的是,一些国家级虚拟仿真实验教学中心名曰资源开放和共享,但外校获取这些资源时往往存在一些困难。数字化建模实验成本低、时间灵活,教学内容以与本专业密切相关的软件基本建模功能为主,技术层面上具有基础性和未来可扩展性,从学业成果的达成而言要优于单纯 AR 资源体验教学。

1.2 数字化实验教学实施 OBE 模式的可行性分析

1.2.1 数字化实验与 OBE 理念的契合度

OBE 理念的主要特征包括成果产出导向、人人成才、持续改进与持续成功等。成果产出要求学业成果直接可见或可度量,并对学生的未来发展提供支撑。人人成才要求成果评价要在时间和内容方面具备一定包容度,允许学生根据自己的能力来达成学业成果,而不是实行完全统一的要求。持续改进与持续成功,一方面是要实现学生实实在在掌握产出相应成果的能力;另一方面这种能力应能促进学生未来的学习和发展,从而走向更大的成功。数字化实验可以实现全员参与、个性化设计方案、个性化成果产出包容、所学内容服务于学生的毕业论文(设计)和未来的工作等,可以锻炼学生在工程知识、问题分析、设计/开发解决方案、研究、使用现代工具、沟通、终身学习等方面的能力,从而推动学生未来的持续成功。可见,通过精心的数字化实验教学设计,可以实现与 OBE 理念的高度契合。

1.2.2 数字化仿真建模实验的包容度

可从以下 3 方面阐述:

(1) 打破了传统课堂固定时空的格局。数字化实验可以实现因人而异和课上与课下相结合的大课堂模式,教与学的时间和地点进一步扩大。

(2) 内容的包容度。与 AR 资源的虚拟体验相比,数字化仿真建模所讲授的底层建模技术具有普遍意义。学生在基础模块基础上,可以根据自己的兴趣和需要创建不同类型的模型,在内容上更加包容。数字化仿真建模强调的是学生依据基本模型所获得的建模能力,专业知识是引线而不是界限,能够对“新工科”背景下跨学科、跨平台能力的培养提供支撑。

(3) 能力的包容度。数字化建模实验由基础建模

开始, 确定一定的成果目标, 但并不限定具体的内容, 使学生在完成学业成果时可以充分发挥自己的创造性。基础的建模为所有学生完成毕业设计提供支撑, 是达到课程教学的基本要求, 而研究性的思路能够对一部分继续考研深造的学生提供帮助, 因而在能力培养方面兼顾毕业设计和未来科学研究需求, 具有较大的包容度。

1.2.3 数字化实验对传统实验的支撑作用

必须指出, 数字化实验是利用信息化技术而产生的新的实验类型, 但数字化实验绝不可能取代传统的实操实验。数字化实验是将成熟的验证性、演示性实验经过重新构思打造成设计性、综合性实验, 在内容和能力培养方面是传统实验适应信息化发展的重要补充, 是传统实验的预演和对传统实验结果更科学的预测。经过数字化实验之后, 学生进行传统实验的目的更明确。数字化实验还减少了学生动手操作的盲目性, 并赋予学生在数字化平台脑洞大开的可能性。就技术发展而言, 如果说传统实验是工业革命的产物, 那么数字化实验就是信息时代的产物。在信息化时代, 有必要在实验教学中拿出一定的学时, 对学生进行数字化实验能力的培养, 数字化实验也会逐渐演变为实验教学环节的必要组成部分。

2 基于 OBE 理念的数字化实验教学设计原理

2.1 基于 OBE 理念的数字化实验教学设计原理

OBE 理念被不少国内高校所重视, 并提出了诸多 OBE 模式和经验。但遗憾的是, 往往由于对当代学生的实际特点缺少了解, 其顶层设计与 OBE 模式的落地存在一定差距, 其中最突出的问题莫过于忽视了实际学情而空谈目标、架构, 以全民运动方式强推 OBE^[12-13]。一些公开报道的 OBE 模式也延续了这种风格, 假大空地谈架构、谈成果, 却连最基本的教学设计都没有。对众多基于 OBE 理念的教学大纲、教学设计的实地调研发现, 这些 OBE 模式往往只是形式上的 OBE。要实现 OBE 模式的成功, 必须对教学设计给予充分关注, 进行基于 OBE 模式的教学设计二次重构, 而不能直接照搬已有的教学设计。结合已有的教学设计经验, 并借鉴根本原因分析法^[14-16], 基于 OBE 理念进行数字化实验教学设计的基本原理如图 1 所示。

(1) 根据培养方案中毕业要求的内容, 设定相应的学业成果目标, 并进一步按照课程与成果的归属, 细分成果并构成课程成果体系。

(2) 将细分成果与专业课相耦合, 初步确定对成果达成起支撑作用的数字化实验内容。数字化实验之间的逻辑可分为递进式、组合式、并列式等形式。递进式实验为按照时间顺序确定的实验项目, 前一实

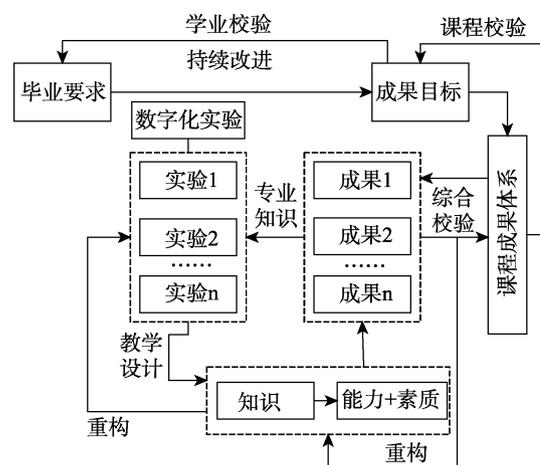


图 1 基于 OBE 理念的数字化实验教学设计原理

验是后一实验的基础; 组合式实验各实验内容间近乎独立, 但各个独立实验又可组合形成总的学业成果; 并列式实验将实验划分为几个独立的单元, 每个独立单元内又包含若干个对此单元起支撑作用的实验。在实验学时有限时, 可优先考虑设置递进式综合实验。

(3) 根据数字化实验之间的逻辑关系, 对每一实验进行详细的教学设计, 一般可分为知识讲解和能力与素质提升 2 个环节。知识讲解主要讲授数字化建模的基本知识, 如建模过程、模型参数含义等, 能力与素质提升是在知识讲解的基础上, 对学生提出课堂练习和学习任务的要求, 其中学习任务应产出与之相对应的成果。

(4) 在分项成果的基础上, 开展综合检验。综合检验主要分 2 方面, 一是设定特殊的综合性任务环节, 对学生完成学业成果的能力进行综合检验, 即检验其是否具备真才实学, 检验的过程包括随机建模、解释说明、回答关于其模型的有关问题等; 二是对教学设计进行综合检验, 即借鉴根本原因分析法, 教师对教学效果进行自我反思: 通过课程实践, 学生完成了什么样的成果? 成果反映了学生什么样的能力? 这些能力是否满足课程对学生的毕业要求? 毕业要求与本校学生的实际情况是否匹配?

(5) 当某一环节出现问题时, 应考虑向上一环节回溯重构, 以期更好地达到教学效果。课程成果要反向通过成果目标的校验, 成果目标要反向通过毕业要求的校验。通过不断的反向校验、回溯、重构, 实现整个实验教学的持续改进。

该设计原理对成果产出和持续改进给予了极大关注, 充分发挥了教师在教学设计环节的主导作用。OBE 模式中“以学生为中心”的理念, 将被贯彻到每一节课的教学过程和教学管理中, 最大限度地实现人人成才。

2.2 OBE 理念下数字化实验的教学管理特色

以递进式数字化实验教学为例 (包含 5 个实验的

递进式综合性实验,其中前4个为递进独立实验,第5个为综合检验实验),数字化实验教学在教学管理方面具备如下特色。

2.2.1 平行并列式实验单元划分

设立数字化实验月,实验月前2周为教学周,后2周为练习检验周。前2周按照每周5个工作日依次设定实验内容,开展2次重复的平行实验教学,学生可进行相关教学内容的练习和阶段性成果检验。后2周以成果检验为主,学生可根据实验室的开放时间自由选择时间前来练习和检验成果。在时间上,改变以往一次性实验课的不可重复和不允许改进的缺陷,为人人成才创造条件。在师资和硬件条件允许情况下,也可设置5个独立的机房,按照空间进行平行并列式实验单元划分。

2.2.2 讲解、练习、扩展相结合

数字化实验教学本质上属于交叉学科教学,内核是本学科的专业知识,外壳是信息技术或计算科学等。在教学时,一方面学生要补充学科外的知识,另一方面又要思考如何在数字化框架下应用本学科知识,一定程度上学生面临的课业难度因学科交叉而增加。为了解决这一问题,在教学实践中,利用1学时讲解基础知识,然后利用1学时供学生练习和扩展应用所学知识。练习的过程中,从基本模型的模仿开始,然后扩展到按照自己的设计独立完成模型。通过练习环节,大部分学生可具备相应的建模能力,并有助于培养独立思考能力。扩展环节针对的是学有余力的学生,一方面,可沿横向进行跨学科扩展;另一方面,也可沿纵向从表层的建模向深层次的学科问题研究扩展。练习环节设置共性任务,扩展环节仅供感兴趣和学有余力的学生学习,体现因材施教的理念。

2.2.3 开放式打卡通关教学管理模式

开放式教学是指自第一次课以后,学生可按照预期安排的平行并列式实验单元划分,自行选择时间完成每次实验任务,总的完成时间不超过截止日期即可。OBE模式强调学生本人完成相应成果的能力,因此教学成绩考核应注重对学生真才实学的考核。每次实验均设有独立的实验报告,在实验报告中设有任务成果说明栏、教师问询栏、评语栏、盖章栏、评分栏等。

学生如果能够完成每一节课设置的任务,并通过教师的问询、检验,即可获得签章和相应实验成绩,进入到下一实验的学习。在此过程中,教师对学生的评价是客观、透明的,学生可看到自己的不足,并可在后续环节中予以关注和改进。对于特别优秀的学生,可设立高阶任务,并可根据其完成情况,对其初始成绩予以适当加分奖励。因为整个综合实验是按照递进式设计的,学生必须按照先后顺序获得相应实验的签章才能进入下一环节,这就从源头上保证了每个学生能够掌握相应的能力。为了便于学生课下自学和讨论,所有教学过程中基础讲解环节的教学资料都面向学生开放,教师在课堂上主要讲重点、讲难点、答疑、检验成果和评定成绩等。打卡通关教学管理模式与递进式教学设计相匹配,能够最大限度地保障学生获得相应的能力。

2.2.4 任务库随机抽检模式

本组递进式实验中第5个实验是对前4个实验知识的综合应用,学生随机抽取题目并在指定时间完成相应任务。与前几个环节相比,此环节不允许学生讨论,考查的是学生对所学知识的综合运用能力和独立完成任务能力。因为此环节的任务是随机抽取的,允许学生在数字化实验月内多次完成该项任务。学生要么直接具备完成相应成果的能力,否则就需要在课下对任务库中的多个任务进行反复练习。无论为何种情况,关注的重点都是学生在本实验最终环节的能力输出,这与OBE理念是相契合的。任务库既包括对课堂内容的扩展,也包括来源于近年来工程实际的真实案例,从而培养学生解决复杂工程问题的能力。

2.2.5 奖惩并举式考核

传统的应试型考核考查的是学生对知识的掌握情况,有些学校出于管理需要,甚至要求卷面成绩符合正态分布。传统的考核重视考勤,但实施开放式教学后,传统的考勤模式不再适用。OBE理念强调持续改进、人人成才、不断成功,这就需要改革课程的考评方式。参照企业的管理模式,在课程考核环节设立奖惩单元,体现教育的导向作用,考虑奖惩后,学生总分超过100分时以100分计入总成绩,低于0分时以0分计入总成绩。数字化实验的主要考核环节如表1所示。

表1 数字化实验主要考核环节

考核环节	权重/%	考核重点	备注
实验1—4	15×4	工程知识、问题分析、使用现代工具、沟通	依托实验报告,体现过程性考核、个性化考核,注重考核的真实性、知识能力、素质三位一体的综合性
实验5	40	工程知识、问题分析、设计/开发解决方案、研究、使用现代工具、沟通	
奖励	≤40	研究、创新、跨学科、效率、终身学习等	鼓励特长生,进行总体奖励,需申请
扣分	≤140	纪律、效率、德行等	可实行一票否决制

2.2.6 注重过程性、随机性、个性化考核

实验考核依托实验报告展开。实验报告同样按照递进式设计, 学生首先完成任务成果, 然后对成果进行说明, 在此基础上接受关于此成果的问询, 单次实验报告的考核环节如表 2 所示。由于提问的内容是随机的, 学生必须对自己的模型有充分的了解, 必须注

重问询前的过程学习和能力获得, 否则学生即便完成成果及其说明也达不到合格水平, 无法进入下一环节的学习。针对每个学生的独创性成果, 开展个性化提问考核, 有利于学生学习过程的持续改进。对于有条件的高校, 还可开发专门的考核材料数字化收发系统, 实现无纸化绿色考核及数字化归档。

表 2 单次实验报告考核环节

考核环节	权重/%	考核重点	备注
任务成果	30	工程知识、问题分析、使用现代工具、沟通	完整度、准确度、完成效率等
成果说明	30	工程知识、问题分析、设计/开发解决方案、研究、使用现代工具、沟通	图文结合、命令详解者为佳
问询及回答	40	工程知识、问题分析、使用现代工具、沟通、研究、创新、跨学科、效率、终身学习等	综合面试: 根据其成果随机提问, 可能涉及建模过程、工程知识、结果分析、优缺点比较、方案改进、学习难点、学习反思等

3 单节课的教学设计实例

3.1 学情及教学策略分析

本校学生生源以西部地区为主, 学习基础整体薄弱。以往的教学经验表明, 学生英语、数学、力学等学科的能力比较弱, 教学过程中不适合长时间讲解理论和公式推导, 而应以直观的理解和应用为主。在学科知识方面, 学生已具备“采矿学”“矿山压力与岩层控制”等学科知识, 其所欠缺的是将已有知识进行立体重构, 并结合工程实际进行综合运用。数字化实验的重点是培养学生知识强化和知识应用能力。

教学策略方面, 因学生英语水平薄弱, 在讲解过程中将英文的参数命令给出详细的中文解释, 并要求学生在练习过程中也对自己的命令行进行中文解释; 因学生数学、力学等能力欠缺, 对于数字化建模深层次的计算原理、本构模型差异等不在课堂详解, 仅提供学习资料供学有余力的学生自学。与传统实验相类似, 数字化实验要实现的是学生“自己动手—得到结

果—分析结果”的训练, 巩固和提升已有知识。

3.2 教学设计

根据毕业要求, 确定数字化实验总的成果目标为“根据给定生产条件, 建立与之相匹配的数字化模型, 并经过模拟运算对实验结果进行分析”。要实现这一目标, 可进一步将成果细分为数字化基础建模、复杂及专业方向建模、模型参数及运算、后处理及结果分析、数字化建模综合应用等 5 个方面。考虑对专业知识的运用, 前 4 个实验中分别融入地层建模、巷道及锚杆支护、岩体力学参数、方案设计及优选等内容, 构建出递进式数字化综合实验体系。

本节教学设计为综合性实验的第一次实验——FLAC 3D 中数字化模型的建立。因数字化实验本身对使用现代工具有强支撑作用, 本次实验在设计时主要支撑毕业要求中的“工程知识、问题分析、设计/开发解决方案、沟通”等方面。根据以上分析, 具体的教学设计如表 3 所示^[14,17]。

表 3 “FLAC 3D 中数字化模型建立”实验的教学设计

事件	教师行为	学生行为	学习成果	成果目标
1. 引起学生注意	播放基于 3D 建模技术的矿井 3D 模型 提问: 该模型与专业课本中的模型相比, 有哪些优点	观看视频 回答: 立体、可重复、易于理解等		给出某一矿井的巷道生产系统布置情况, 学生能根据给定条件建立与之相匹配的简化的数字化模型
2. 告知学生目标	陈述: 学习基本模型, 完成本节成果目标	记笔记	笔记	
3. 激起回忆先决条件	提问: 矿井生产系统包括哪些? 有什么共同点	回答: 行人、运输、通风; 井上下连通, 形成回路	笔记	
4. 呈现刺激材料	从最初的矿井模型中抽取基本建模网格单元, 讲解基本网格的参数、空模型 (null) 等	同步练习 观察模型, 记笔记	笔记	
5. 提供学习指导	将基本网格进行不同方向、不同大小的扩展	同步练习 观察不同模型的变化, 建立模型变化与模型参数间的对应关系	笔记	

续表

事件	教师行为	学生行为	学习成果	成果目标
6. 引出行为表现	课堂练习：①建立长、宽、高分别为 300 m, 200 m, 3 m 的水平地层，网格基本单元划分最大不超过 1 m；②沿该地层垂直方向分别增加高度为 1 m, 5 m, 10 m, 50 m 的 4 层地层；③任选地点，建立主副井；④建立与主副井联通的井底大巷，并构成通风回路；⑤任选角度，建立首采工作面	建立相应模型，并对建模语句进行中文详细解释	模型 笔记	
7. 提供反馈	提醒：网格密度可以不同、案例中缺少井底车场、工作面模型小于实际尺寸等 讲解：模型的平剖方法 答疑。	记笔记，任选角度对模型进行平剖，就疑难问题提问	笔记	
8. 测量行为表现	任务练习：某矿煤厚 2 m，煤层埋深为学生学号的最后 3 位（小于 100 时乘以 10），该煤层中某边角煤工作面尺寸为 100 m × 200 m。据此完成此模型的建模布置基于本节内容的跨学科建模任务（选做，完成后可申请加分奖励） 成果检验：问询、评改实验报告	建立相应模型，填写并提交实验报告，回答并填写关于实验报告的有关问题	模型实 验报告	
9. 促进保持与迁移	发放下节课学习资料、课下练习任务 进行教学反思	课下自学，根据自身能力选择适宜的学习进度	自学能力 终身学习	

4 结语

实施基于 OBE 理念的数字化实验教学改革后，师生对教学目标更加明确，使教学活动围绕成果目标展开。开放式的教学模式，使学生对在课堂教学中未获得的能力能够在课下进行持续改进。考核方面，针对成果的问答式考核，既可考核学生的真才实学，还可锻炼学生语言组织、表达技巧、临场发挥等能力。但同时，开放式数字化实验教学对教学管理提出了更高要求，由传统的一组一套实验方案演变成每一名学生一个独立方案，教师投入到成果评改、答疑、学生持续改进等环节的时间大大增加。就人人成才的理念而言，这是有利的，但也需要同步改进对教师的激励措施。学生在获得数字化实验的建模、分析能力后，可以在毕业设计中将相应的开拓方案布置、采区和工作面布置、巷道支护方案、支护强度选择等内容通过数值模拟方式来呈现，从而使数字化实验服务于解决复杂工程问题的总目标得以达成。但由于毕业设计与数字化实验的开设时间存在一定间隔，还需要从整个专业的角度进行统一指导和要求。教学改革不可能一蹴而就，也不可能一劳永逸，当前教改中最大的问题是对教改的资助力度严重不足，雷声大雨点小，造成潜心教学的教师无法持续、有效地开展教改。要振兴本科教育、实现高等教育高水平发展，从教学管理和投入上都应建立长效机制，推动教学改革持续、有效地开展。

参考文献 (References)

- [1] 祖强, 魏永军. 国家级虚拟仿真实验教学中心建设现状探析[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(11): 156-158.
- [2] 季林丹, 朱剑琼, 徐进. 国家级实验教学示范中心十年建设工作总结[J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(12): 143-146.
- [3] 叶剑强, 毕华林. 国际数字化实验研究的热点、前沿与启示[J]. 现代教育技术, 2018, 28(2): 19-25.
- [4] 申天恩, 斯蒂文·洛克. 论成果导向的教育理念[J]. 高校教育管理, 2016, 10(5): 47-51.
- [5] 李志义. 对我国工程教育专业认证十年的回顾与反思之一: 我们应该坚持和强化什么[J]. 中国大学教学, 2016(11): 10-16.
- [6] 中国工程教育专业认证协会. 工程教育认证标准[EB/OL]. [2017-11]. <http://www.cceaa.org.cn/main/newsList4Top.w?menuID=01010702>.
- [7] 蒋宗礼, 姜守旭. 发挥本科教学质量国家标准对新工科建设的推动作用[J]. 中国大学教学, 2018(1): 41-45.
- [8] 张建军, 魏晓伟, 丁士华. 构建面向解决复杂工程问题的铸造卓越工程师培养体系探索[J]. 铸造, 2017, 66(12): 1340-1342.
- [9] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [10] 王德利, 汤海峰, 孟威, 等. 数字化实验教学平台的构建[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(12): 152-154.
- [11] 曹连民, 孙士娇, 李建楠, 等. 煤矿工作面采煤机虚拟仿真实验教学研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(2): 198-203.
- [12] 顾佩华, 胡文龙, 林鹏, 等. 基于“学习产出”(OBE)的工程教育模式: 汕头大学的实践与探索[J]. 高等工程教育研究, 2014(1): 27-37.
- [13] 龙奋杰, 王建平, 邵芳. 新建本科院校推行成果导向工程教育模式的探索与实践[J]. 高等工程教育研究, 2017(6): 76-80.
- [14] 加涅 RM, 韦杰 WW, 戈勒斯 KC, 等. 教学设计原理[M]. 5 版, 上海: 华东师范大学出版社, 2018: 233-256.
- [15] 韩同样, 刘志明, 胡燕士, 等. 开放式工程训练与 OBE 教学模式探索[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(5): 174-177.
- [16] BARSALOU, M. Root Cause Analysis[M]. New York: Productivity Press, 2015.
- [17] 杨开城. 以学习活动为中心的教学设计实训指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016: 149-169.