

煤岩冲击动力灾害监测预警虚拟仿真实验设计

曹安业, 李小林, 刘耀琪, 窦林名

(中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116)

[摘要] 煤矿煤岩冲击动力灾害的监测预警与防治是高校专业教学与煤矿工程实践的重要内容。为实现高危复杂场景下对学生实践能力的培养,采用虚拟仿真技术对煤矿煤岩冲击动力灾害教学实验进行设计与实现。首先对实验课程现状进行了分析,其次结合课程教学质量标准对知识体系与操作流程进行了设计,最后采用虚拟仿真技术对理论知识与实践操作的交互实验系统进行实现,形成了具有学习场景沉浸式融入、监测预警与防治全过程覆盖、煤矿工程数据多场景接入等特点的煤矿煤岩冲击动力灾害虚拟仿真实验系统。该实验系统的构建可服务于课程教学以及矿业一流人才理论与实践综合创新能力培养。

[关键词] 冲击动力灾害;监测预警;虚拟仿真实验;一流本科课程

[基金项目] 2021年度中国矿业大学研究生教育教学改革与研究实践项目“基于多源融合的‘矿山灾害防治理论与技术’课程教学改革与实践”(2021Y02);2024年度中国矿业大学教学研究项目“数智赋能驱动下矿业工程学科双创教育改革与实践”(2024SJ01)

[作者简介] 曹安业(1982—),男,江苏盐城人,博士,中国矿业大学矿业工程学院教授,博士生导师,主要从事矿山动力灾害与防控研究;刘耀琪(1995—),男,陕西神木人,中国矿业大学矿业工程学院2020级采矿工程专业博士研究生(通信作者),研究方向为煤岩冲击动力灾害监测预警及防控。

[中图分类号] G642.0

[文献标识码] A

[文章编号] 1674-9324(2024)52-0024-05

[收稿日期] 2024-04-26

引言

煤矿煤岩冲击动力灾害(又称冲击地压)是煤炭开采过程中严重的动力灾害之一,其监测与防治是世界性难题^[1]。冲击地压会摧毁井巷及设备,造成人员伤亡,还会诱发煤和瓦斯突出、瓦斯煤尘爆炸等次生灾害,甚至造成地面建筑物破坏,严重影响煤矿企业安全生产管理^[2]。我国煤矿冲击地压灾害现状严重,随着开采深度的不断增加和开采条件的复杂化,冲击地压矿井数量逐年上升,冲击危险态势不容乐观^[3]。党中央、国务院领导同志高度重视煤矿冲击地压防治工作,多次做出重要批示,要求切实落实安全生产责任制,深入研究冲击地压灾害源头治理措施,加快灾害隐患突出矿井淘汰关闭^[4]。

理论研究和工程实践是加强煤矿煤岩冲击动力灾害监测防治的基础,因此,学生在学习煤矿煤岩冲击动力灾害的同时,需要关注对灾害机理的研究以及对工程实践技术的掌握。然而,煤矿井下环境复杂,危险性大,很难在真实的生产场景中展开教学,并且冲击动力灾害演化地质尺度大,发

生不可逆,难以在实验室环境下展示。为了培养学生的实践操作能力,加强学生对理论知识的应用能力,亟须研发新的教学实验方法和技术手段。虚拟仿真技术结合虚拟现实、人机交互、数据库、网络通信等技术,可构建高仿真虚拟实验场景和实验对象^[5],可打破实验过程中时空、地域、环境的限制,极大降低实验成本,为满足这一需求提供了有效且可行的途径^[6]。本文从情景融合、理论准备、实验操作等方面将虚拟仿真技术与煤矿煤岩冲击动力灾害防治实验教学深入结合,并结合建构主义学习理论,采用沉浸式理解、交互式操作激发学生学习兴趣,目的是在安全环境实施煤矿煤岩动力灾害理论及实践教学,并深度培养学生的操作实践及理论应用能力。

一、矿业类虚拟仿真课程建设的必要性

采矿工程专业的教学通常具有基础理论与工程实践的双重侧重性,因此实验教学在本科人才培养过程中具有重要作用。在专业实验教学中,根据毕业导向进行实验教学课程设计及教学目标设置,可以有效提高学生解决复杂环境下困难工

程问题的创新能力^[7]。同时,针对学生不能很好地理解专业知识的情况,通过构建物理模型实验和虚拟仿真实验相结合的教学方式可以有效提升学生的知识理解水平^[8]。按照新工科和工程教育认证的要求,不断创新实验教学体系,可以有效提升学生理论联系实际的能力和创新能力,提高采矿工程专业人才适应行业企业发展的能力^[9]。

传统的采矿工程实验教学存在高危、安全保障能力差、难以激发学生科研兴趣等现象^[10],为了充分激发学生对实验、科研的兴趣,在高校积极推进实验教学改革背景下,实验类虚拟仿真技术的开发应用成为重要的发展方向。大量研究结合课程内容构建虚拟实验,采用虚拟仿真实验弥补了传统实验教学的不足,提高了理论学习、知识探索的趣味性^[11]。针对煤矿环境下各类高危^[12-13]、高复杂度^[14]场景,采用信息化手段构建虚拟仿真实验以及虚拟仿真理论与实践教学平台,可以有效解决传统实验中存在的安全隐患和成本高昂等问题。

相比于传统教学,虚拟仿真技术的优势在于沉浸式、交互式场景的构建,这也是建构主义情景教学理论实施的核心^[15]。建构主义认为,知识是通过意义建构的方式而获得的,具有“情境、协作、会话、意义建构”四大要素^[16]。基于虚拟仿真技术的实验教学为学生提供了沉浸式的情景,能够使使学生深入理解问题背景,对所解决问题的意义产生共情。引导式的实验设计以及逐步递进的知识体系呈现则为学生提供了有效的学习帮助与知识基础。在此基础上,学生通过全流程实验探索理论知识应用于实践的过程,最终实现知识目标、能力目标与情感目标的建构。

二、虚拟仿真实验系统设计

煤矿煤岩冲击动力灾害防治是采矿工程类专业重点教学内容之一,其知识点涉及多门课程。包括“矿山压力与岩层控制”专业主干课程中地下煤层开采引起的岩层破断运动相关的采场矿压显现及其控制等理论、“采矿地球物理学基础”课程中煤岩冲击动力灾害的地球物理场响应及灾害的监测预警技术与方法等。根据课程教学质量标准对知识点的教学要求,煤矿煤岩冲击动力灾害虚拟仿真实验对模型机理、台网定位、危险判识、卸压防治等内容以微震监测预警技术体系为实验主体进行设计。

实验课程共设计为两个学时,根据理论课程进度在线上开展,学生可以通过个人电脑以及移动终端灵活开展实验。线上实验会与“岩层变形及岩体受力测试实验”“综采支架受力监测实验”等线下实验协同开展,理论与实践教学相互交融,共同推进。

实验课程在形式上采用在线虚拟仿真技术进行实现,充分体现虚拟仿真技术的沉浸性、交互性,以及在线学习的灵活性。在内容设计上,实验针对煤矿冲击动力灾害监测预警防治技术体系,从地面到井下、从设备部署施工到数据采集分析、从监测预警理论到灾害防范治理,对该复杂系统进行了详细的分解与再设计,实现了对学生从理论知识到工程应用再到理论分析的综合能力培养与思维构建。

实验课程涉及的分析数据均来源于煤矿企业的真实监测数据,将煤岩冲击动力灾害监测预警及防治前沿理论融入实验过程,提高了学生在学习过程中的科研探索能力。同时,从理论到应用全过程一体化的实验设计也对学生应用所学理论解决复杂问题的综合能力提出更高的要求,学生需要在深入理解实验原理的基础上与具体应用场景融会贯通才能高质量完成实验。

(一) 知识体系

实验通过场景仿真,实现学生对知识应用场景的理解和思考;对核心知识点设计虚拟仿真场景与知识讲解学习资源,基于微震监测技术设计灾害监测预警与防治全过程实验,实现学生的知识交互;实验系统对学生理论知识和实验应用进行过程考核,促进学生知识体系的建构。

实验在知识体系设计上,详细分析了“矿山压力与岩层控制”“采矿地球物理学基础”等课程教学质量标准,对理论教学中矿压显现及其控制、煤岩体冲击破坏机理、矿山开采诱发震动及特征、矿震监测煤岩动力灾害原理与技术等课程重难点内容进行分析。结合虚拟仿真技术对知识点进行形象化表达,分析考核点,设计交互实验进行知识应用。

(二) 实验内容设计

总体设计思路有场景基础、理论基础、知识点与内容的构成对应关系。通过知识体系的分析,系统基于真实煤矿灾害治理结构、采掘布局、监测

数据,以及实际的冲击动力灾害监测、预警、防治流程进行实验系统设计。总体的实验系统分为实

验简介、场景仿真、理论知识、监测预警、考核测试五个部分。实验系统功能结构如图1所示。

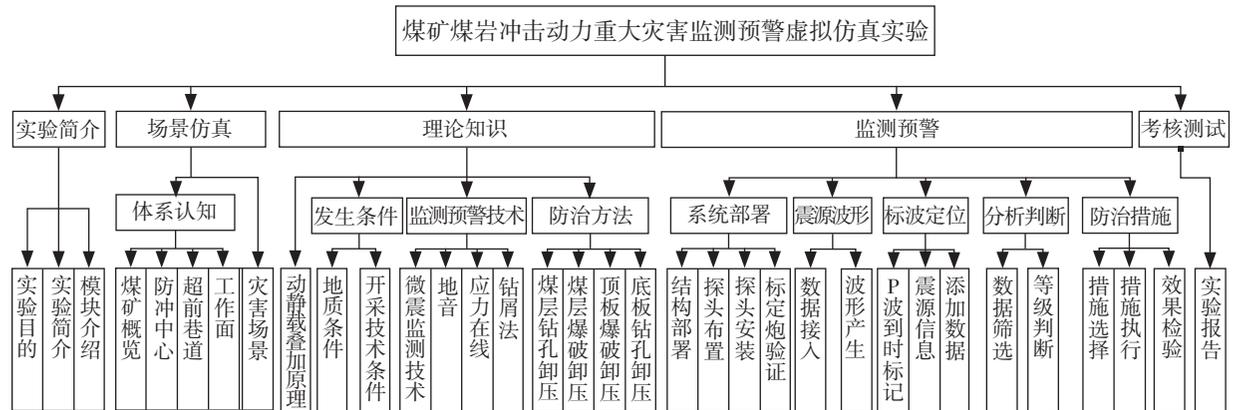


图1 实验系统功能结构

场景仿真部分,主要是让学生结合地球物理基础知识,通过典型煤矿总体结构了解冲击动力灾害孕育、发生、致灾概况,结合巷道布置理解冲击地压发生高危区域,认识煤矿冲击动力灾害防治体系。在实验方法上,本部分以观察法为主,通过仿真环境漫游观察让学生理解冲击动力灾害发生的真实背景及现象特征。

理论知识部分,包括动静载叠加原理、冲击动力灾害发生的条件、典型监测预警技术以及防治方法。其中,冲击动力灾害发生条件从冲击倾向性、采深条件、断层构造、褶曲构造、煤层分岔及煤层厚度地质条件,以及开采速度、煤柱宽度、底煤留设等开采技术条件结合三维场景进行了直观讲解。在监测预警技术中,对微震监测、地音、应力在线与钻屑法等技术进行讲解考核。在灾害防治方面,以三维场景仿真的方式,对煤层及顶底板的钻孔、爆破卸压实施流程进行了详细讲解与考核设计。实验过程结合语音讲解、三维场景仿真、知识点考核,实现学生对理论知识全面生动的理解,并以此为基础展开后面的监测预警及防治实验。在实验方法上,本部分以观察法、分类法为主,学生通过观察仿真模型,理解各个因素对冲击动力灾害产生的影响,并对不同发生条件、不同预警及防治技术手段进行分类比较,思考各因素或技术手段的差异性、相关性以及优劣性。

监测预警部分,基于煤矿微震监测预警的实际过程,建立了冲击动力灾害监测预警全流程的虚拟仿真实验。总体实验分步骤、按流程实施,交

互操作与理论学习相结合,依据典型场景构建数据集实现实验过程的推演性。首先,通过系统部署让学生认知微震监测系统总体功能结构,进一步采用探头布置、探头安装、标定炮设置,让学生结合系统部署与功能实现,深入理解冲击动力灾害监测预警技术原理。其次,根据煤矿特定生产地质场景接入监测数据进行实验分析。实验系统模拟仿真了煤矿实际生产中震动的发生过程、数据记录形式,结合标波定位原理,实现震源数据的分析及区域危险性的评价。最后,根据评价结果,学生结合理论知识确定灾害防治措施,并对措施执行结果进行分析评价。在实验方法上,本部分以观察法、比较法、系统思维法为主。本部分在整体流程以及子流程上均具有结构及顺序关系,因此需要学生形成系统性的思维模式,对系统部署、数据采集分析、分析判断、措施选择与实施进行综合考虑,并结合理论知识进行参数选择比较分析,根据输出结果进行反馈总结,理解冲击动力灾害防治中“监防互馈”的理念,并贯穿于总体实验中。

考核测试部分,对理论知识以及实验设计的全过程进行跟踪评价,考查学生对理论知识的理解和应用水平。

三、虚拟仿真实验系统实现

煤矿煤岩冲击动力灾害监测预警虚拟仿真实验系统的设计以场景融入为前提,以理论知识为基础,以交互式实验操作为核心,通过全过程跟踪评价,实现对学生理论结合实践能力的培养。对应实验系统模块结构分为场景仿真、理论知识、监

测预警、考核测试四个主体部分。

(一) 场景仿真

场景仿真为学生实验提供学习情境,通过构建煤矿生产管理场景、煤矿回采超前巷道、工作面、典型灾害场景,让学生对煤矿煤岩冲击动力灾害的产生环境、过程与结果形成直观认识,进而对该类灾害的监测预警、防治、灾后治理与公共安全管理产生思考。

(二) 理论知识

理论知识部分从动静载叠加原理、冲击动力灾害发生的地质条件与开采技术条件、典型监测预警技术以及防治方法等方面对实验进行了系统讲解与考核。该部分一方面承接课堂理论讲解内容,对重要知识点进行了可视化论述,另一方面为接下来的监测预警提供理论基础,使学生对理论知识理解得更为深刻且提高了实践应用能力。

(三) 监测预警

监测预警模块是冲击动力灾害虚拟仿真实验的主体部分,基于微震监测技术,实验从系统部署到数据采集、数据处理、分析判断,以及确定防治措施并进行效果检验的工程实际总体流程进行了内容设计,通过监测预警与防治全流程的实验仿真,对理论知识进行了综合设计与应用。

该部分实验在设计上将流程性与多分支相结合,在流程性上,实验涵盖从系统部署、震源及波形产生、标波定位、分析判断、防治措施到最终的效果检验的全过程,让学生结合煤矿冲击动力灾害治理全过程进行理论学习与知识应用。在多分支方面,实验模拟了四类典型冲击动力灾害产生场景,所有场景数据均来自科研团队所服务煤矿企业的实际工程数据,包括:工作面初次来压、工作面一次见方、工作面临近断层以及工作面临近褶曲,学生可随机选择一类场景接入后续实验数据进行分析,提高实验流程及结果的多样性。

(四) 考核测试

在前面各部分完成整体实验过程后,系统会根据实验流程中用户各步骤操作情况进行判断评价,根据过程考核的结果,自动形成实验评价。

四、实验课程建设成效

实验课程当前已经上线国家虚拟仿真实验教学课程共享平台,与校内课程协同面向学校矿业类专业本科及研究生开放。实验课程同步在各矿业类高校以及矿山企业推广应用,在理论研究以及工程应用方面对于煤矿企业具有重要安全生产培训、技术应用价值,课程共享应用实验统计数据如图 2 所示。



图 2 课程共享应用数据

结语

煤矿煤岩冲击动力灾害监测预警与防治具有重要的理论研究意义与工程实践应用需求,由于教学的实际需求以及现场实验的不可行性,本文提出采用虚拟仿真技术进行实验操作教学。在对课程知识分析的基础上,对实验进行设计,结合建构主义理念,将实验从情景引入到理论学习,再到交互仿真,实现煤矿煤岩冲击动力灾害监测、预警与防治全过程设计。实验的理论基础涵盖“矿山压力与岩层控制”“采矿地球物理学基础”等课程的相关核心知识点;实验内容覆盖井下数据采集、数据分析存储、预警判识、防治措施制定与实施,以及效果评价等整体工作流程,流程内容贴近现

场实际;实验以煤矿实际灾害防治数据为基础,构建冲击动力灾害监测预警与防治多实验场景,提升学生分析设计能力;系统跟踪学生实验过程,从理论知识点考查、交互操作正确性、决策设计合理性等方面进行全过程自动评价,准确反馈实验学习效果,最终保障煤矿煤岩冲击动力灾害监测预警与防治理论教学与实践教学的深度融合。

参考文献

- [1] 刘耀琪,曹安业,王崧玮,等.基于微震群震动波能量衰减特性的冲击地压危险预测方法[J].煤炭学报,2022,47(4):1523-1533.
- [2] 窦林名,何学秋.采矿地球物理学[M].北京:中国科学技术出版社,2002:5-11.

- [3] 齐庆新,李一哲,赵善坤,等.我国煤矿冲击地压发展70年:理论与技术体系的建立与思考[J].煤炭科学技术,2019,47(9):1-40.
- [4] 关于加强煤矿冲击地压源头治理的通知:发改能源〔2019〕764号[A/OL].(2019-04-29)[2024-03-15].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-09/29/content_5434893.htm.
- [5] 高志强,王晓敏,闫晋文,等.我国虚拟仿真实验教学项目建设的现状与挑战[J].实验技术与管理,2020,37(7):5-9+14.
- [6] 何秋会,陈安东,王牧天,等.系外行星大气光谱探测虚拟仿真实验系统[J].南京大学学报(自然科学),2023,59(6):1085-1096.
- [7] 张源,万志军,严红,等.基于OBE理念的采矿工程专业实验教学体系构建[J].高教学刊,2020(10):82-87.
- [8] 陈见行,刘鹏,张村.采矿概论B实验教学方式探索[J].高教学刊,2022,8(26):76-79+83.
- [9] 李新旺,凌向阳,孙利辉,等.“实验—实训—实战”渐进式全过程实践和创新教学体系的构建:以采矿工程专业为例[J].河北工程大学学报(社会科学版),2022,39(2):110-115.
- [10] 薛黎明,刘威,侯运炳,等.构建“采矿工程”虚拟仿真实验室实验教学体系研究[J].教育教学论坛,2020(23):389-390.
- [11] 姚旭龙,孙光华,张亚宾.虚拟仿真实验教学资源建设与探索:以采矿工程岩石力学实验室为例[J].教育教学论坛,2020(52):385-386.
- [12] 何书建,李晓伟.基于虚拟仿真的煤巷掘进工作面综合防突实验系统的构建[J].实验技术与管理,2021,38(3):136-140.
- [13] 王恩元,王亮,徐剑坤,等.高瓦斯突出煤层石门安全揭煤虚拟仿真实验建设[J].实验室研究与探索,2022,41(2):176-180.
- [14] 裴晓东,王亮,孙勇,等.基于虚拟现实的通风参数测定实训系统设计与开发[J].金属矿山,2022(8):190-195.
- [15] 赖宇.跨媒体教学:虚拟仿真技术在影视传媒实践教学中的应用研究[J].实验科学与技术,2021,19(2):106-110.
- [16] 蔡寅亮.建构主义教学理论的中国化研究[D].天津:天津师范大学,2013.

Design of Virtual Simulation Experiment for Monitoring and Early Warning of Impact Dynamic Disasters in Coal Mines

CAO An-ye, LI Xiao-lin, LIU Yao-qi, DOU Lin-ming

(School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: The monitoring, warning, and prevention of major impact dynamic disasters in coal mines is an important content of professional teaching and mining engineering practice in colleges and universities. To enhance students' practical skills in high-risk and complex scenarios, this paper employs virtual simulation technology to design and execute a teaching experiment on the major impact dynamic disasters in coal mines. Firstly, the current state of the experiment was analyzed. Then, in accordance with the quality standards of the course, the knowledge system and the operation process were designed. Finally, a virtual simulation experimental system for both theoretical knowledge and practical operation was created using virtual simulation technology. The virtual simulation experimental system features immersive learning scenarios, full-process monitoring, warning and prevention coverage, and multi-scene access to coal mine engineering data. The construction of this experimental system can serve the teaching of the course as well as the cultivation of the comprehensive innovation ability in theory and practice of the first-class talents in the mining engineering.

Key words: impact dynamic disaster; monitoring and early warning; virtual simulation experiment; first-class undergraduate program