

实践教学

能源地质穿越式虚拟实验教学体系构建与实践

王宏语^{1, 2}, 张金川^{1, 2}

1. 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083;

2. 中国地质大学(北京) 地质资源勘查国家级实验教学示范中心, 北京 100083

摘要: 深藏于地下的能源矿产的不可触及性、漫长地质形成过程的时空穿梭性以及开发过程中的危险性, 决定了能源地质实验教学中进行虚拟现实体系建设的必要性与重要意义。本文在分析了能源地质实验教学特殊性的基础上, 提出了专业方向交融、时空域跨越、内容相互交融的穿越式虚拟实验教学理念, 构建了中国地质大学(北京) 能源地质领域多维一体化、穿越式虚拟仿真实验教学体系。实践表明, 虚拟仿真教学有效地缓解了实验教学中的部分难题, 并提高了学生的学习兴趣。

关键词: 能源地质; 实验教学; 多维一体化; 虚拟仿真

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 1006-9372(2019)02-0085-05

DOI: 10.16244/j.cnki.1006-9372.2019.02.042

Title: Construction and Practice of Virtual Experiment Teaching System in Energy Geology

Author(s): WANG Hong-yu, ZHANG Jin-chuan

Keywords: energy geology; experimental teaching; multi-dimensional integration; virtual simulation

能源地质以地下石油、天然气、煤炭等能源地质矿产的发现及开发评价为核心目标^[1-2]。实验教学的主要任务是向学生们形象表达深藏于地下的能源地质矿产分布、诠释其经历时空变换的复杂形成过程, 以及让学生掌握先进的开发技术。实验教学内容具有以下特点:

(1) 野外地质认知必需, 但难以获得。能源地质需要以实际观察和体感为基础的地质认知, 以逻辑和推理为基础的预测和评价。对野外不同特点地质体的现场认知实践是能源地质实验的基础, 也是能源地质由地表推地下、将近论古的基石。但通常情况下, 野外有典型地质特征和实习/实践价值地质剖面 and 露头点的分布都出现在遥远的山区地带, 它们的分布零星、分散, 路途遥远且交通不便; 大规模、系统性的野外实践的困难。

(2) 具有人类非“置身其中”的虚拟性。能源地质研究对象深埋地下, 人类无法“置身其中、亲身体会”。能源地质矿产的形成历史常以百万、千万、亿年为时间计量单位, 人类无法亲身经

历。能源地质矿产所在的盆地规模宏大, 其分布可延绵数百乃至数千公里, 覆盖面积数十万乃至数百万平方公里。我们无法身临其境、一目了然、一探究竟。

(3) 具有四维属性。实验教学要求将各学科知识在时间域、空间域中融会贯通, 并针对特殊地质问题进行推理和分析, 需要将这些要素融入地质实验过程中或通过针对性实验予以求证, 需要以时间演进为主线、以空间变化和组合为线索, 对地质过程和变化予以求证。

(4) 大型设备、危险场景多方面存在。对于能源矿产开发技术实习, 钻机、泵组、绞车、压裂车等现场大型一特大型设备无处不在。无论是地表钻井作业、水平井压裂施工现场, 还是地下煤矿巷道现场, 均属于危险作业场景。

(5) 具有以多学科知识背景为基础的综合特点。教学实验既属于地质学领域, 又涉及广泛的物理、化学、数学等基础知识, 更涉及包括地质、工程在内的许多专业基础内容; 分别需要相关的

收稿日期: 2019-02-25; 修回日期: 2019-04-22。

基金项目: 中国地质大学(北京) 2019年度本科教育质量提升计划项目与改善基本办学条件专项(609199111012) 联合资助。

作者简介: 王宏语, 男, 副教授, 主要从事油气地质领域科研与教学工作。

投稿邮箱: www.chinageoeducation.net.cn 联系邮箱: bjb3162@cugb.edu.cn

引用格式: 王宏语, 张金川. 能源地质穿越式虚拟实验教学体系构建与实践[J]. 中国地质教育, 2019, 28(2): 85-89.

实验进行综合地质分析。

能源地质实验教学的上述特点，彰显了虚拟现实的重要性与虚实结合的必要性，也要求整合各实验内容，规划虚实结合的实验体系，完成实验教学内容系统化、合理化，以达到最佳教学效果。

一、虚拟实验教学体系定位与构建思路

1. 体系建设定位

中国地质大学（北京）能源地质教学定位以本科教学为重心，构建本科教育与硕士、博士研究生培养的多层次立体教育体系^[3-4]。其中，本科生培养包括了资源勘查工程和石油工程两个专业。资源勘查工程主要解决石油、天然气、煤炭以及其他新型能源矿产的地质勘查理论与技术问题；石油工程主要涉及各类能源资源的开发理论、开采技术等。需要承担42门专业课的相关实验任务。研究生实验教学包括矿产普查与勘探、能源地质工程、油气田开发工程三个专业的十余个研究方向的内容。

2. 体系构建思路

(1) 依托原实体实验结构体系。

虚拟现实模拟实验体系是对原实体实验体系的有益补充与效果提高，而不是完全替代。能源地质实验教学体系是“地质资源勘查”国家级教学示范中心的重要组成部分，已建设有构造、沉积储层、有机地球化学、非常规油气、开发技术与采收率、能源信息等实体实验室，拥有系列的实验设备与仪器。虚拟实验体系的构建是对这些实验系统的延伸、实验内容的补充以及大型实验设备的教学功能便利化。

(2) 做到教学内容系统化。

能源地质教学内容复杂，涉及领域广、应用学科多。以不同方式构建实验教学体系，会形成较大的效果差异。传统的实验体系大多是以课程名称、仪器名称或以具体研究方向为基础进行构建的，例如构造地质实验室、沉积学实验室、显微镜实验室、储层物性测试实验室等等。但在能源地质虚拟现实教学体系中，除了大型仪器的虚拟模型化外，实验所涉及的内容都是长时间、跨空间、多学科内容的集合，需做到以某一轴线为中心，将内容系统化、条理化，有机结合在一起。

(3) 达到虚实结合、虚实互动。

无论是大型仪器设备的模型化、危险场景的虚拟化，还是地下地质过程的模拟，都必须基于形象的实体、明确无误的理论模型^[5-7]。每个虚拟实验系统都必须基于充分的实体解剖，做到虚实结合。同时，每个虚拟实验内容都需有实体实验系统的验证，让学生在虚拟实验中领会机理、掌握技术，回到现实中又能无误地开展操作实践与实例验证。总体按照“从现实存在到抽象模型、从虚拟仿真到虚实结合、最后回归现实实现系统认知”的思路展开。

二、虚拟实验教学体系构架

虚拟实验体系的主要内容以已有实体实验室为依托，以学科核心教学内容为体系组成（图1）；其中的地质过程再现、油气生成历史回溯、钻井与油气开采现场仿真是核心组成部分。具体的虚拟实验内容采用“穿越式”组织方式，包括地质过

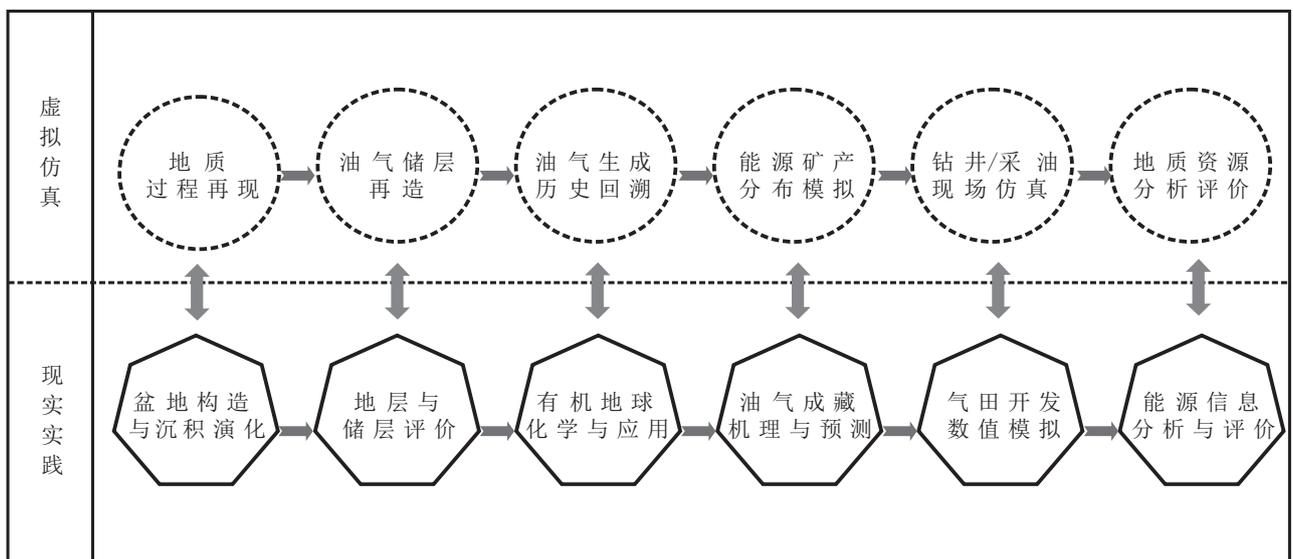


图1 能源地质实验室虚、实对应体系

程的时间穿越、地质体的空间穿越，也包括多实验内容、多学科方向的跨越；虚拟实验系统或者以时间穿梭为主线，或者以空间跨越为主线，或者以实现步骤为主线，或者兼而有之（表 1）。

1. 体系构架

(1) 野外地质遨游。

该系统主要针对无法搬进实验室内、需要在野外现场完成的各种观察、描述、鉴定、测量等实验，主要包括了野外认知实验、地质观察与观测实验、取样现场测试实验等。虚拟场景建立在中国地质大学（北京）已有的、较为成熟的野外研究基地之上，选取典型的场景构建野外地质漫游线路与内容（表 1）。仿真内容涵盖岩石、地层、构造现象认知，碳酸盐岩典型沉积现象认知以及碎屑岩沉积与湖盆沉积相认知等；涉及“沉积岩石学”“构造地质学”“层序地层学”与“沉积环境与相”等课程内容。

组织方式以地层年代与地质体三维空间穿梭变换、人机互动来实现漫游，每一环节又融合多课程内容知识，实现知识体系穿越。

(2) 地下空间漫步。

地下空间漫步是能源地质虚拟仿真技术中交互性和浸没性特征的重要体现。该系统通过高端

三维投影系统，对油气勘探开发所涉及的多种数据进行充分、实时的三维可视化展示，为科研和决策人员营造一种身临其境的环境，让使用者能对研究对象进行全方位、多层面、多维、多尺度的立体感知，并以交互的方式对其进行综合分析、协同工作，以达到对勘探开发目标进行综合、高效、科学地研究和认知的目的。

该系统设计了三方面内容。第一方面以三维地震资料为基础，通过地震地质综合解释，经过三维可视化软件系统，漫步于特定场景的地下地层、构造、沉积与油气显示等现象。第二方面是模拟钻井过程，将钻遇岩石地层、流体、温压等情况，以及钻井工程技术需求参数变换等实现人机互动。第三方面是虚拟典型油气藏类型，让学生可以随心所欲地选择不同的方向和路线进入到构造或圈闭内部做深入的“游览”，观察油气藏特征，调入各种属性参数，观看开发过程中压裂效果与油气运移特征。

该系统以地下三维空间方向以及漫步中遇到的知识点为组织主线；其建立在不同的数据库资源之上，“沉浸”在不同的数据中，通过人机交互，学生能够自由地观察虚拟环境，体验身临其境的浸没感。主要涵盖“石油地质学”“地震勘探原理

表 1 能源地质虚拟实验系统构架与内容组织方式

体系功能	体系构架	核心子系统	实施主线、组织方式
地质过程再现 油气生成史重塑 矿产分布模拟	野外地质遨游	场景1: 国内典型构造地层剖面 场景2: 西山碳酸盐岩剖面 场景3: 中生代山间湖盆碎屑岩沉积	地层时代穿越 表三维地质体飞跃
	地下空间漫步	系统1: 地下三维地震综合地质解释 系统2: 钻井过程及钻遇现象解释 系统3: 典型油气藏与煤矿空间模型	地下三维空间漫步
	地质过程穿越	系统1: 典型盆地构造演化过程模拟 系统2: 烃类生成过程模拟 系统3: 油气藏成藏过程模拟	时间-空间四维穿越 温压等地质条件随动变化循环
危险场景仿真 大型仪器仿真	油气田危险场景畅游	系统1: 钻井现场仿真 系统2: 压裂现场与地下随动仿真 系统3: 地下煤矿矿井工程仿真	空间与实现操作步骤
	大型仪器室内分析	课件1: 扫描电镜操作仿真 课件2: 气/液相色谱仪操作仿真 课件3: 核磁共振仪操作与解释仿真	实验条件与操作步骤

与地质解释”“测井地质学”“盆地分析”与“钻井工程”等课程的核心内容。

(3) 地质过程穿越。

该系统立足于现实中无法再现的构造-沉积-成藏等地质过程,通过虚拟仿真手段再现盆地构造演变、沉积充填、后期压实以及油气分布等再现。包括成盆、成烃、成藏等与煤油气能源地质相关的所有地质过程,如盆地构造沉降历史和过程恢复、沉积-充填-古地理历史再造、盆地热历史与油气生成史模拟、油气运聚历史-过程-特点再现等。

其中的盆地构造演化子系统以地质时间与空间变化为主线来组织内容,涵盖“构造地质学”“盆地分析”“沉积学”等课程内容。成烃模拟子系统与成藏模拟子系统则以温度、压力与时间为核心参数,以温压等地质条件的随动循环为组织主线,涵盖“石油地质学”“油层物理”“油藏地球化学”与“渗流力学”等课程内容。

(4) 油气田危险场景畅游。

该系统主要针对油气田开发过程中,学生不适合现场操作实践的危险作业,包括钻井井场、压裂现场以及采油联合站等。其中的钻井平台仿真系统按照国内油田钻井平台设计,其所有工艺流程和操作规范符合油田行业现行的操作要求,可给学生以真实的操作反馈和感官体验,保证模拟的操作培训演练更加的真实有效。压裂现场不仅突出地表设备操作流程、压裂参数调整,也同时联动到地下地层参数、地下压裂实施效果等。注采联合站系统则注重不同采油工艺以及地表油气储运过程的模拟与互动。危险场景的内容组织以操作实施步骤为主线,以三维空间为场景;主要涉及“油层物理”“钻井工程”“油藏工程”与“采油工程”等课程内容。

(5) 大型仪器室内分析。

大型科研仪器的教学化是科研促进教学的重要体现。在大型仪器虚拟模拟系统中,虚拟实验平台与真实设备实验台一样,能供学生自己动手配置、连接、调节并使用实验仪器设备进行实验。通过该平台,教师既可搭建典型实验或调取实验案例,方便地向学生布置实验任务,还可在实验结束后查看实验结果,给出实验成绩和评价。

该系统以单独设备的模拟操作形式作为实验形式,目前主要包括扫描电镜、核磁共振仪用于储层结构分析,气/液相色谱用于有机地球化学分析。

其内容主要以操作步骤为组织主线,每步实现多结果选择与人机互动;主要涉及“沉积岩石学”“储层地质学”与“有机地球化学”等课程内容。

2. 虚拟课程构建

主要以主干课实验课时与独立实验课程两种方式设置虚拟实验课程。

(1) 主干课程中的实验课时。

虚拟仿真内容以实验课时形式设置在主干课程的实验学时内,以2个课时为一单元。例如“构造地质学”的构造应力变形模拟、“油藏地球化学”的气相色谱的气态烃测定等。内容包括学生与虚拟系统的人机互动;教师可以通过虚拟系统内部的作业布置系统、操作痕迹检查系统等来评估学生的虚拟实践效果。

(2) 单独的虚拟仿真课程。

虚拟仿真内容包括多个学科及课程内容,实行跨越式内容设置,虚拟系统以8学时或16学时为单元。独立仿真课程适合于大学三年级及更高年级的大学生与研究生。高年级学生在学过多门专业基础课程的基础上,实现知识的融合贯通与实践操作、地质问题实际分析。例如地下空间漫步系统,既包含岩石、地层与沉积知识,也包括圈闭、油气藏等内容。

三、虚拟实验教学体系实践与成果

在软、硬件建设方面,中国地质大学(北京)能源地质与评价虚拟仿真实验教学中心经过近5年的建设,完成了虚拟仿真实验室的硬件配置,形成了“野外地质游”“地下空间漫步”“鸟瞰虚拟井”“翱翔油气田”等一系列原发构想、原创构架和虚拟仿真软件系统。在整个实验教学体系中,地质历史定量化、机理过程具体化、抽象形变现实化、地下流体可视化、工程技术现实化、课堂教学虚拟化、教学资源信息化等虚拟化实验教学随之成为实验室建设重要方向。

在虚拟实验教学课程建设方面,开设了覆盖盆地过程与构造解析、地层沉积与储层评价、有机地球化学与应用、油气成藏机理及预测、油气田开发与数值模拟、能源信息分析与评价等内容的虚拟仿真实验课时,其中设计型实验10项、综合型实验12项,内容涉及11门本科生主干课程,增加了专业教学实验室数量和教学实验容量,增大了实验课程数量和实验项目总数,同时也有效地解决了教学实验内容单调、实验室容纳空间不足、科研实验与教学实验冲突、危险场景难实现等系列矛盾,为能

源地质实验教学提供了必要的补充。

通过虚拟实验教学，学生们不仅对以三维空间的各种地质现象有了更明确的认识，对其地质形成过程有了更好理解与体会，也对能源矿产开发的核心技术与关键流程有了更好的掌握。学生的专业学习兴趣有了显著提高，申请大学生创新实验项目的数量明显增加，也在国内外石油地质及石油工程领域大学生专业竞赛中获得了越来越好的成绩。

四、结论

地下能源地质矿产的不可触及性、地质形成过程的时空穿越性以及开发过程中的危险性，要求加强虚拟实验教学体系的建设，也对构建思路

有着更高的要求。

多维一体化、穿越式虚拟实验体系将野外三维观测、地下三维可视化、地质过程四维变换与开发危险场景流程等内容组织起来，不仅实现地质过程的时间穿越、地质体的空间穿越，也实现多实验内容、多学科方向的跨越，符合能源地质教学的多学科方向、多实验内容、多实验方法、多层次适用等要求，形成了对教学体系的有效补充。经过几年的教学实践，较为有效解决了教学实验内容单调、实验室容纳空间不足、科研实验与教学实验冲突、危险场景难以实践等系列矛盾。不仅增强了学生对专业知识的学习兴趣，也提高了学生对专业知识的掌握程度。

参考文献：

- [1] 樊太亮, 李治平, 王红亮, 等. 勘探开发一体化的石油工程专业复合型人才培养模式研究与实践 [J]. 中国地质教育, 2009, 18(3): 40-42.
- [2] 肖晖, 时保宏, 李艳霞, 等. 石油地质实验教学改革与探索 [J]. 高校实验室工作研究, 2011(3): 18-19, 42.
- [3] 许浩, 唐书恒, 汤达祯, 等. 新能源勘探开发一体化创新人才培养模式探索与实践 [J]. 中国地质教育, 2010, 19(3): 18-20.
- [4] 陶树, 唐书恒, 许浩, 等. 新能源地质与工程专业方向课程体系改革 [J]. 中国地质教育, 2017, 26(3): 3-56.
- [5] 白娟. 虚拟实验教学及其设计研究 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2005.
- [6] 石中军. 虚拟实验教学应用研究 [D]. 大连: 辽宁师范大学, 2008.
- [7] 郭桂苹, 南岳松. 虚拟实验教学研究现状及问题分析 [J]. 实验室科学, 2010, 13(1): 175-178.