

2018 年度国家虚拟仿真实验教学项目申报表

学 校 名 称	中国石油大学(华东)
实 验 教 学 项 目 名 称	钻井与压裂虚拟仿真综合实训
所 属 课 程 名 称	专业实习、钻井工程、采油工程
所 属 专 业 代 码	080501
实 验 教 学 项 目 负 责 人 姓 名	冯其红
实 验 教 学 项 目 负 责 人 电 话	0532-86981229/15192055586
有 效 链 接 网 址	http://peetc.upc.edu.cn/zjylfz/

教育部高等教育司 制

二〇一八年七月

填写说明和要求

1. 以 Word 文档格式，如实填写各项。
2. 表格文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。
3. 所属专业代码，依据《普通高等学校本科专业目录（2012年）》填写 6 位代码。
4. 涉密内容不填写，有可能涉密和不宜大范围公开的内容，请特别说明。
5. 表格各栏目可根据内容进行调整。

1. 实验教学项目教学服务团队情况

1-1 实验教学项目负责人情况					
姓名	冯其红	性别	男	出生年月	1969.06
学历	研究生	学位	博士	电话	0532-86981229
专业技术职务	教授	行政职务	教务处处长/国家级实验教学中心、虚拟仿真实验教学中心主任	手机	15192055586
院系	石油工程学院		电子邮箱	fengqihong@126.com	
地址	山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号		邮编	266580	
<p>教学研究情况：主持的教学研究课题（含课题名称、来源、年限，不超过 5 项）；作为第一署名人在国内外公开发行的刊物上发表的教学研究论文（含题目、刊物名称、时间，不超过 10 项）；获得的教学表彰/奖励（不超过 5 项）。</p> <p>长期从事教学研究、改革，主讲本科、研究生课程 7 门，主持国家级虚拟仿真中心和示范中心建设，利用信息技术开发虚拟仿真实验教学资源，创建“前展后拓”实验教学模式，有效促进学生自主实验。主持省部级教改项目 16 项，发表项目相关教学论文 13 篇，获国家教学成果二等奖 1 项、山东省教学成果特等奖、一等奖 3 项。</p> <p>1) 主持的教学研究课题</p> <p>(1) 石油勘探开发工业国家级虚拟仿真实验教学中心建设，国家级质量工程建设项目，2013-2020；</p> <p>(2) 石油工程国家级实验教学示范中心建设，国家级质量工程建设项目，2009-2013；</p> <p>(3) 石油类工科专业改造升级路径研究与实践，教育部“新工科”研究与实践项目，2018-2020；</p> <p>(4) 以学生为中心视阈下，石油主干专业人才实践创新能力培养路径的研究与实践，中国高等教育学会高等教育科学研究“十三五”教育科学规划课题，2016-2018；</p> <p>(5) 打造优质教学资源平台，提升石油主干专业学生创新实践能力，山东省重点教改项目，2012-2015。</p> <p>2) 发表的教学研究论文</p> <p>(1) 石油勘探开发工业虚拟仿真实验教学中心建设，实验技术与管理，2014(9)；</p> <p>(2) 改革实验教学模式 培养大学生的工程实践能力，实验室研究与探索，2013(2)；</p> <p>(3) 石油工程专业大学生工程实践与创新能力培养途径改革，实验技术与管理，2012(12)；</p>					

- (4) 石油工程实验教学信息化平台建设, 实验室研究与探索, 2011(3);
- (5) 基于“以学生为中心”理念的课程改革与实践, 中国大学教学, 2017(10);
- (6) 大学生学业引导与支持体系的构建与初步实践, 中国大学教学, 2015(1);
- (7) 加强示范中心内涵建设 全面提高实验教学质量, 实验室研究与探索, 2010(10);
- (8) 科学修订本科培养方案 扎实推进教育教学改革, 石油教育, 2015(1);
- (9) 油藏工程精品课建设与实践, 石油教育, 2009(4);
- (10) 渗流力学叠加原理探究教学模式与案例, 教育教学论坛, 2017(7)。

3) 获得的教學表彰/獎勵

- (1) 信息技术与教学深度融合, 促进学生深度学习, 中国高等教育学会“信息技术与教学深度融合”优秀案例奖, 2016, 排名第 1;
- (2) 基于“求真”育人理念的实践教学综合改革与实践, 国家级教学成果二等奖, 2014, 排名第 2;
- (3) 构建“生本教育生态”改革体系, 提升石油类专业学生三种核心能力, 山东省高等教育教学成果奖特等奖, 2018, 排名第 1;
- (4) 提升石油类专业学生三种核心能力的路径探索与实践, 中国石油教育学会高等教育教学成果特等奖, 2017, 排名第 1;
- (5) 面向国家能源战略需求的石油类专业人才培养体系的研究与实践, 山东省教学成果一等奖, 2014, 排名第 1。

学术研究情况: 近五年来承担的学术研究课题 (含课题名称、来源、年限、本人所起作用, 不超过 5 项); 在国内外公开发行人物上发表的学术论文 (含题目、刊物名称、署名次序与时间, 不超过 5 项); 获得的学术研究表彰/奖励 (含奖项名称、授予单位、署名次序、时间, 不超过 5 项)

长期从事油气田开发研究工作, 先后承担国家 863 项目 2 项、国家 973 课题 2 项、国家重大专项子课题 7 项, 国家自然科学基金重点基金和面上项目 3 项以及 60 余项省部级及油田企业委托项目, 在非常规油气开发和老油田改善水驱开发方面形成了稳定的研究方向和优势。研究成果获校 (厅) 级以上奖励 45 项次, 其中“高含水油田优势通道定量描述与调控技术及工业化应用”获 2010 年度国家科技进步二等奖(排名第二), 另有 11 项成果获得省部级奖 (4 项排名第一), 山东省教育厅等厅局级一等奖 10 项次。授权发明专利 11 项, 获得软件著作权 9 项, 发表论文 130 余篇, SCI、EI 收录 56 篇。担任 SCI 期刊 Petroleum Science 和 EI 期刊 Journal of Unconventional Oil and Gas Resources (英国)

编委，在行业和学术界具有较强的学术影响力。曾获国务院政府特殊津贴专家、山东省有突出贡献的中青年专家、山东省十大优秀青年知识分子标兵等荣誉称号，获孙越崎青年科技奖和青岛市青年科技奖等奖励。

1) 承担的学术研究课题

(1) 页岩油流动机理与开发优化的基础理论研究，国家自然科学基金石油化工联合基金(A类)重点支持项目，2018.01-2021.12，负责人；

(2) 基于颗粒物质力学的储层参数变化流固耦合模拟方法，国家自然科学基金面上项目，2015.01-2018.12，负责人；

(3) 致密油开发井网系统与压力系统优化方式，国家973项目专题，2015.01-2019.12，负责人；

(4) 致密油水平井体积压裂裂缝参数优化与经济技术评价，国家科技重大专项子课题，2017.01-2020.12，负责人；

(5) 海上高含水期油藏大井距井网加密矢量优化与注采结构调整技术，国家科技重大专项子课题，2016.01-2020.12，负责人。

2) 发表的学术论文

(1) Unified relative permeability model and waterflooding type curves under different levels of water cut, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1/8, 2017;

(2) Well control optimization considering formation damage caused by suspended particles in injected water, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 1/7, 2016;

(3) Network simulation for formation impairment due to suspended particles in injected water, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1/4, 2015;

(4) Proximate analysis based prediction of gross calorific value of coals: a comparison of support vector machine, alternating conditional expectation and artificial neural network, *Fuel Processing Technology*, 1/4, 2015;

(5) The use of alternating conditional expectation to predict methane sorption capacity on coal, *International Journal of Coal Geology*, 1/7, 2014.

3) 获得的学术研究表彰/奖励

(1) 多元热流体吞吐增产关键技术及矿场应用，科技进步奖，一等奖，中国石油和化学工业联

合会, 1/15, 2017;

(2) 复杂条件下水平井化学控水增油技术及应用, 科技进步奖, 二等奖, 山东省人民政府, 3/12, 2013;

(3) 复杂条件下水平井化学控水提高采收率技术研究与应用, 科技进步奖, 一等奖, 中国石油和化学工业联合会, 4/15, 2013;

(4) 国务院政府特殊津贴专家, 中华人民共和国国务院, 独立, 2015;

(5) 页岩油微尺度流动机理研究, 山东省优秀博士学位论文指导老师, 山东省教育厅, 独立, 2017。

1-2 实验教学项目教学服务团队情况

1-2-1 团队主要成员 (5 人以内)

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	冯其红	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	教授	教务处处长/国家级实验教学中心、虚拟仿真实验教学中心主任	项目总负责	在线教学
2	管志川	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	教授	无	项目规划教学	在线教学
3	陈德春	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	教授	副院长	流程设计教学及管理	在线教学
4	王增林	中石化胜利油田分公司	教授级高工	中石化高级专家	内容设计及指导教学	在线教学
5	郭辛阳	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	高级实验师	实验教学中心主任	钻井与压裂实训教学	在线教学

1-2-1 团队其他成员

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	黄维安	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	教授	副院长	钻井仿真实训教学	在线教学
2	战永平	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	实验师	无	压裂仿真实训教学	在线教学
3	董长银	中国石油大学 (华东) 石油工程学院	教授	研究所所长	压裂设备及工具教学	在线教学

4	刘瑞文	中国石油大学(华东)石油工程学院	副教授	无	井控及压井实训教学	在线教学
5	王卫阳	中国石油大学(华东)石油工程学院	副教授	研究所支部书记	压裂设计及施工教学	在线教学
6	张锐	中国石油大学(华东)石油工程学院	副教授	无	钻井复杂情况处理教学	在线教学
7	齐宁	中国石油大学(华东)石油工程学院	副教授	系副主任	滑套喷砂器压裂教学	在线教学
8	鲍丙生	中国石油大学(华东)石油工程学院	讲师	实验中心书记	限流法分段压裂教学	在线教学
9	王增宝	中国石油大学(华东)石油工程学院	实验师	实验中心副主任	压裂复杂情况处置教学	在线教学
10	付帅师	中国石油大学(华东)石油工程学院	实验师	无	钻进过程仿真教学	在线教学
11	耿杰	中国石油大学(华东)石油工程学院	实验师	无	钻井基础知识教学	在线教学
12	赵小明	中国石油大学(华东)石油工程学院	实验师	无	虚拟建模及网页设计	技术支持
13	曹成章	中石化胜利钻井院	高级工程师	无	钻井设备安装及调试	技术支持
14	耿迎春	中石化胜利钻井院	高级工程师	无	钻井设备维护及升级	技术支持
15	姜东	中石化胜利油田石油工程技术研究院	高级工程师	无	压裂设备的安装及调试	技术支持
16	姜亦栋	中石化胜利油田东辛采油厂	高级工程师	无	压裂设备维护及升级	技术支持
项目团队总人数： <u>21</u> （人）高校人员数量： <u>16</u> （人）企业人员数量： <u>5</u> （人）						

注：1.教学服务团队成员所在单位需如实填写，可与负责人不在同一单位。

2.教学服务团队须有在线教学服务人员和技术支持人员，请在备注中说明。

2. 实验教学项目描述

2-1 名称

钻井与压裂虚拟仿真综合实训

2-2 实验目的

能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。页岩气的开发对于改善我国能源供需结构和提高能源自给水平具有重要的意义。钻井和后续的压裂是页岩气开发不可或缺的两个工程环节，直接影响着开发的效果和决定着开发的成败。但因安全生产责任重大，学生难以到现场开展专业实习，所做的方案设计不能在现场实施，也不能训练施工操作和复杂情况的诊断及处理，更无法掌握钻井和压裂过程中的地下进展和动态。

为此，依托石油工程国家级实验教学示范中心和石油勘探开发工业国家级虚拟仿真实验教学中心，紧密结合现场实际，借助虚拟现实、仿真装备、人机交互技术，研发出国内首套虚拟仿真实训平台，开发了优质教学资源——钻井与压裂虚拟仿真综合实训，为学生提供系统化、高水平的虚拟仿真综合实训系统，培养与企业和社会需求相一致的高素质专门人才。具体实验目的如下：

- (1) 掌握钻井和压裂的设备与工具及其功能；
- (2) 全面了解钻井和后续压裂的施工方案设计；
- (3) 掌握钻井和压裂的工艺流程；
- (4) 掌握钻井和压裂的施工操作；
- (5) 掌握钻井和压裂施工过程中复杂情况的诊断及处理。

2-3 实验原理（或对应的知识点）

知识点数量：12（个）

钻井与压裂虚拟仿真综合实训的实验原理及对应知识点紧密结合现场工程实践，与国际上钻井与压裂相关权威认证机构的认证体系接轨，并根据国际钻井和压裂技术的进步而不断更新，始终处在工程实践、国际认证和技术革新的最前沿。

通过对钻井与压裂技术的高度凝练，构建了独具特色的“4231”虚拟仿真综合实训知识体系，4：是指工程基础知识、工程设计、正常工艺流程、复杂工艺流程四个层次；2：是指钻井、压裂两个模块；3：是指沉浸式、桌面虚拟式、亲历式三种实训模式；1：是指以提升学生实践能力和创新能力为目标，如图 2-3-1 所示。

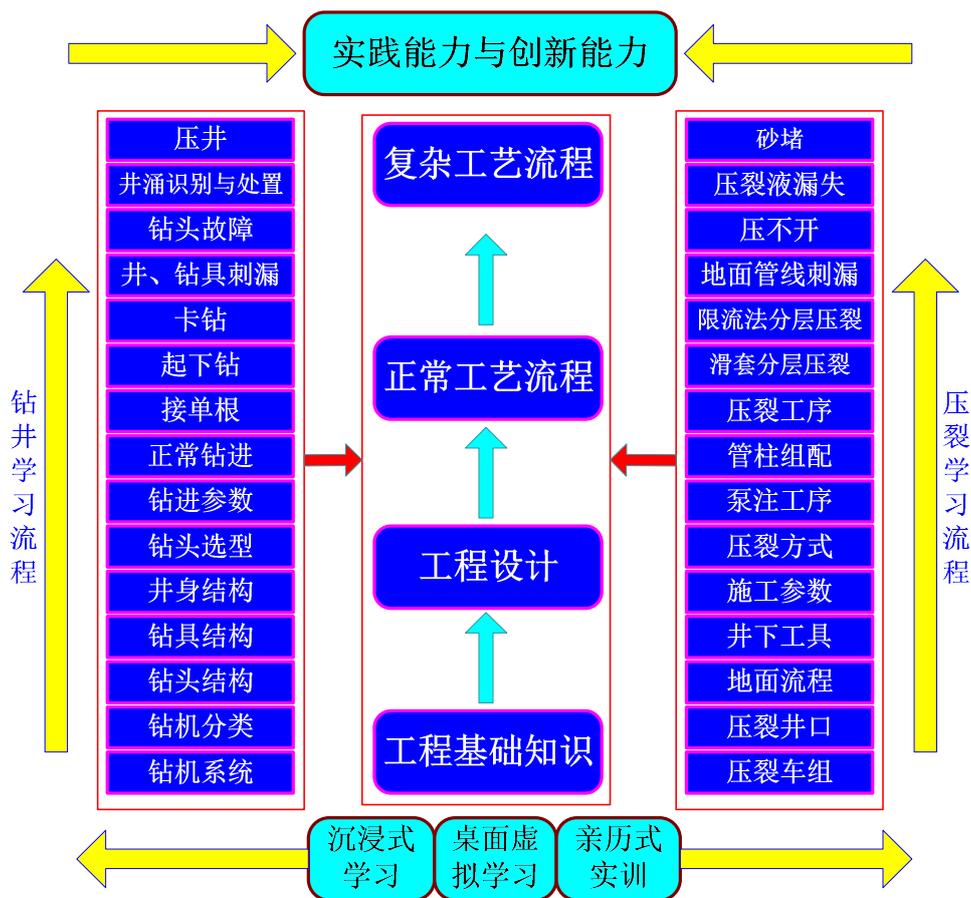


图 2-3-1 “4231”知识体系

第一层次：工程基础知识

1) 钻井模块：全面了解和掌握钻井设备与工具的组成(或结构)与功能（2学时）

了解钻井设备与工具是进行虚拟仿真训练的基础。了解和掌握石油钻机的主要工作系统、钻机分类及特点、钻机系列；了解和掌握钻头的类型、结构、破岩原理和适用情况；了解和掌握钻杆、钻铤和其它钻井工具的类型、结构和工作原理。

2) 压裂模块：全面了解和掌握地面施工设备与工具组成(或结构)与功能(2学时)

地面施工设备是压裂作业的基本要素之一，主要包括压裂机组、压裂井口两部分。压裂机组包括：压裂车、混砂车、仪表车、水泥车、管汇车、液罐车、运砂车。压裂井口包括：250、350、600、700、1050型井口。了解和掌握压裂车、混砂车、仪表车、水泥车的组成、参数与功能，了解和掌握压裂井口的型号，结构与作用，进而掌握压裂施工的地面流程。了解封隔器、喷砂器、滑套、防顶卡瓦、水力锚等工具(见图 2-3-2)的内部构造、工作过程及功能。

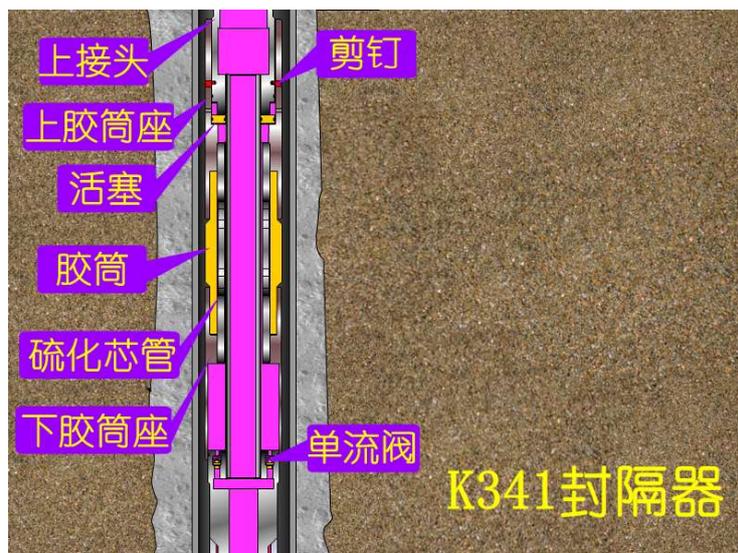


图 2-3-2 K341 封隔器虚拟工具

第二层次：工程设计

1) 钻井模块：全面了解钻井的施工方案设计（2学时）

了解钻井施工方案设计是进行钻井仿真训练的基础。了解钻井所需的地质资料和基本数据；了解井身结构设计方法及设计流程、钻头选型及钻进参数设计方法及流程、钻具及水力参数的设计方法及流程、套管和固井设计方法及流程。

2) 压裂模块：全面了解压裂的施工方案设计(2学时)

了解压裂施工方案设计是进行压裂仿真训练的基础。了解压裂施工井所需的基本数据和生产动态资料；了解施工泵压、压裂所需功率、压裂车台套数、施工排量、压裂液用量、加砂量等施工参数、压裂方式、泵注工序的设计方法及过程。

第三层次：正常工艺流程

1) 钻井模块

(1) 钻井正常钻进与起下钻工艺流程及施工操作训练（4学时）



图 2-3-3 钻进过程虚拟仿真

钻进与起下钻工艺流程训练包括钻井泵、转盘和绞车的控制、钻具的上提与下放、钻井过程中钻压的控制、接单根及起下钻等方面的训练，如图 2-3-3 和 2-3-4 所示。学生需要掌握钻井过程的主要操作方法和工艺流程，熟悉目前现场给钻头加压的方法。通过模拟操作画面上的仪表和参数显示，了解井下钻进动态及钻进过程。



图 2-3-4 起下钻过程虚拟仿真

2) 压裂模块

(1) 施工管柱的组配训练(2 学时)



图 2-3-5 施工管柱

施工管柱是由压裂油管 and 井下工具串组成，为压裂液提供流动通道，如图 2-3-5 所示；了解和掌握不同工艺施工管柱的结构、组配顺序、以及工作流程。

(2) 正常压裂施工作业的施工工序训练(6 学时)

了解和掌握试循环、试压、试挤、压裂、加砂、替挤、关井、返排等正常施工工序，如图 2-3-6 所示；了解和掌握各工序的执行过程、目的、以及注意事项；掌握压裂车、混砂车启动、调参、停车等执行工序。



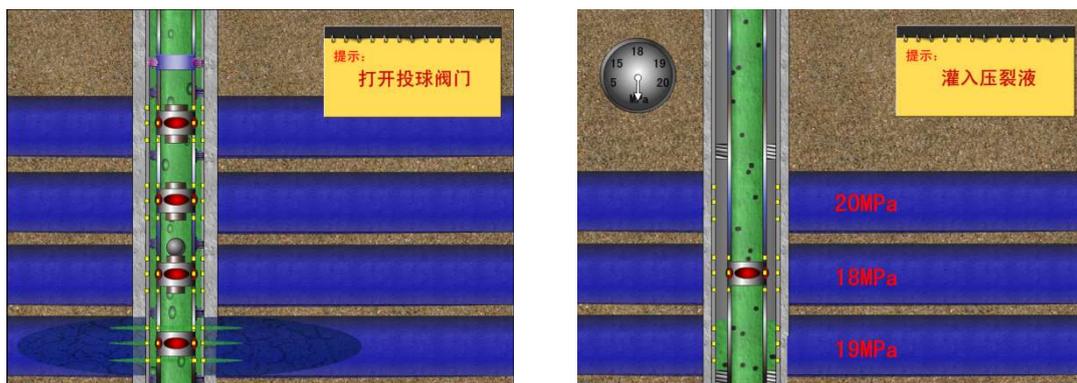
图 2-3-6 学生工序训练

(3) 滑套喷砂器、限流法分段压裂工艺训练(6 学时)

分层压裂有助于提升压裂施工效率。了解和掌握滑套喷砂器分层压裂工艺的工作原理、实现过程、适用储层、投球工序；了解和掌握限流法分层压裂工艺的工作原理、实现过程、适用储层、射孔程序，如图 2-3-7 所示。

第四层次：复杂工艺流程

1) 钻井模块



滑套分层压裂

限流分层压裂

图 2-3-7 分层压裂井下工作过程

(1) 钻进过程中复杂情况的诊断及处理训练 (4 学时)

利用虚拟仿真设备来模拟钻进过程中常见的复杂情况，包括井漏、井壁坍塌、钻具刺漏、水眼堵、水眼掉、缩颈卡钻、钻头故障、粘附卡钻和键槽卡钻等 9 种井下复杂情况。学生需要根据钻进参数的变化来及时识别井下出现的复杂情况，然后提出相应的处理方法和措施。如图 2-3-8 所示。



图 2-3-8 复杂情况的诊断及处理虚拟仿真

(2) 井涌信号的识别及不同工况下的关井程序训练 (4 学时)



图 2-3-9 起下钻发生井涌时的关井程序虚拟仿真

利用虚拟仿真设备来模拟不同工况下的井涌情况。学生需要根据不同工况下钻进或其它参数的变化来识别井涌信号，判断是否发生井涌。如果经分析和判断确实发生井涌，马上启动关井程序，完成关井作业，如图 2-3-9 所示。涉及的工况及关井程序主要包括：钻进时发生井涌关井、起下钻杆时发生井涌关井、起下钻铤时发生井涌关井、空井时发生井涌抢下钻关井、空井时发生井涌直接关井等。

(3) 压井计算及采用不同压井方法时的压井训练 (4 学时)

关井完成后，通过套压表和立压表分别读出套管压力和立管压力，然后计算压井数据，填写压井施工单。根据压井施工单，分别采用常规压井方法(工程师法和司钻法压井)和非常规压井方法(直推法和置换法)完成压井过程，如图 2-3-10 所示。

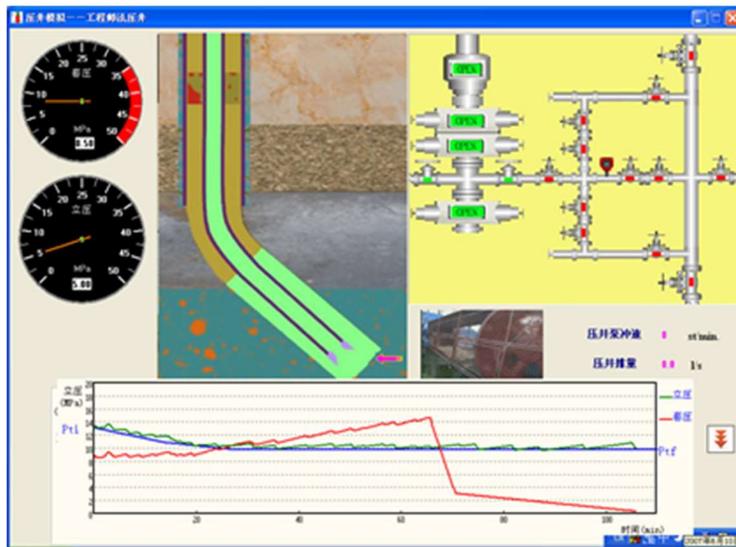


图 2-3-10 斜井工程师法压井虚拟仿真

2) 压裂模块

(1) 压裂过程中常见问题识别与处置训练(4 学时)

利用虚拟软件模拟压裂过程中常见的问题，包括地面管线刺漏、压不开、压裂液漏失、砂堵等 4 种。通过在仿真压裂作业场景采取相应的处置措施和程序解决问题，熟知压裂常见问题的处置程序。

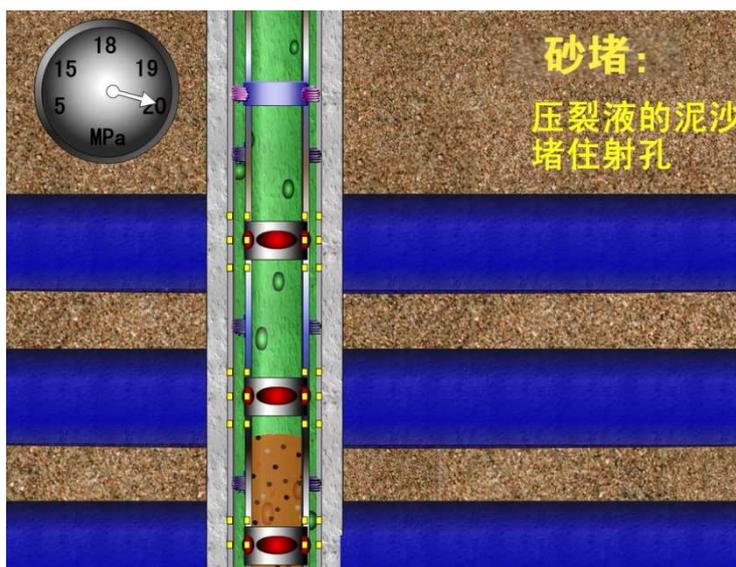


图 2-3-11 砂堵工艺识别与处置训练

2-4 实验仪器设备（装置或软件等）

钻井与压裂作业分为地面流程和井下工作流程，地面流程具有高风险的特点，井下工作流程具有不可视的特点。钻井与压裂虚拟仿真综合实训平台通过实物仿真装备将高风险的地面流程安全再现化，通过虚拟软件将不可视的井下作业场景可视化，通过仿真装备和虚拟软件混合架构体系的控制，达到身临其境的效果，如图 2-4-1 所示。

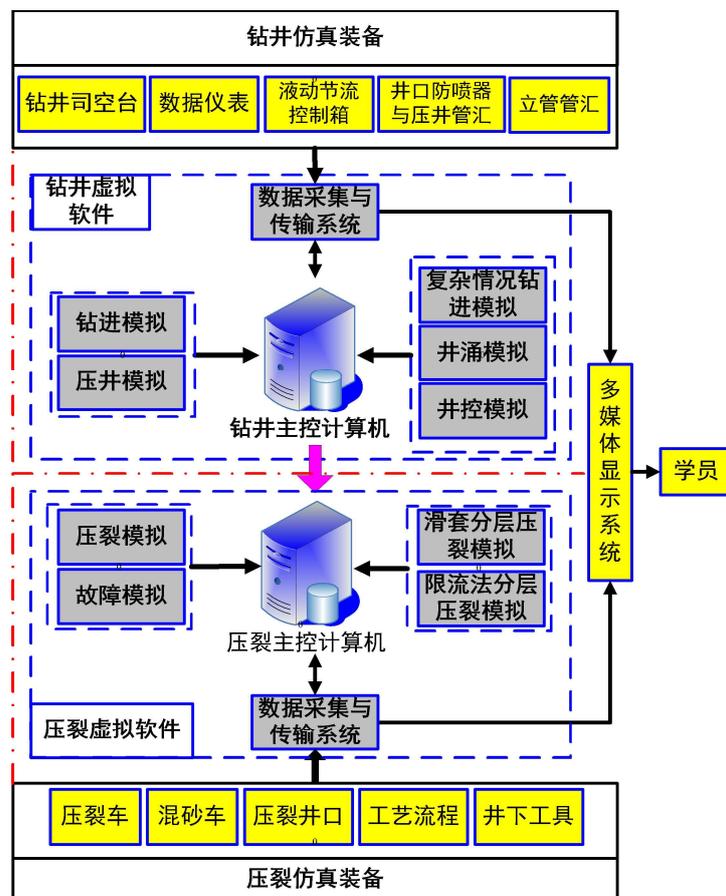


图 2-4-1 实训平台硬件软件相互融合体系

1) 硬件

(1) 钻井模块

① 盘刹司钻控制台，自行研制，配有操作手柄，操作方便，如图 2-4-2 所示；



图 2-4-2 盘刹司钻控制台

② 防喷器司钻控制台、防喷器远程控制台、液动节流控制箱、井口防喷器与节流压井管汇、立管管汇等钻井仿真设备，如图 2-4-3 所示。



图 2-4-3 钻井仿真设备

(2) 压裂模块

① K341 封隔器、喷砂器、滑套、防顶卡瓦、水力锚等井下工具的仿真实物模型，

如图 2-4-4 所示；



图 2-4-4 仿真工具模型

② 压裂车、混砂车、液罐车、液氮车、以及高低压管汇、压裂井口等压裂仿真设备；如图 2-4-5 所示。



图 2-4-5 压裂仿真设备

2) 软件

(1) 钻井模块

中国石油大学自主开发的钻井仿真实训系统，如图 2-4-6 所示。系统提供了钻进模拟、钻进复杂情况模拟、井控模拟、压井模拟等训练项目，还提供井喷案例，让学

生深刻理解 HSE 理念。



图 2-4-6 钻井仿真实训软件主界面

② 利用计算机控制下的分布式智能网络控制器，把所有设备通过组态软件下的网络通信连为一体。应用 OPC(OLE for Process Control)技术，设计组态软件和井控模拟软件数据的共享和交换，实现人机互动。

(2) 压裂模块



图 2-4-7 酸化压裂实训系统

中国石油大学自主开发的压裂仿真实训系统，如图 2-4-7 所示。系统提供了压裂

基础知识、压裂设备模拟、压裂地面工艺流程模拟、压裂工艺模拟、井下工具模拟、常见故障模拟等项目，还设有实训系统、考核系统等模块，便于学生学习。

② 基于 SCADA(supervisory control and data acquisition)和 RTU(Remote Terminal Unit)以太网系统(见图 2-4-8)，进行数据采集、处理、传输，实现人机交互。

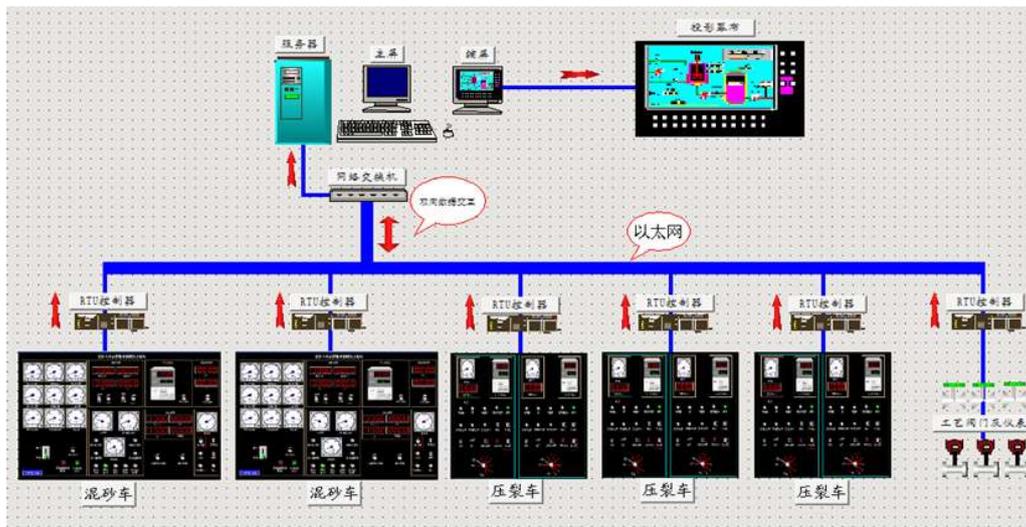


图 2-4-8 以太网系统

2-5 实验材料（或预设参数等）

1) 实验场地

- (1) 面积约 229m²;
- (2) 环境温度：室温;
- (3) 环境湿度：20—80%RH;

2) 以太网 IP

- (1) 教师机作为服务器使用，设定 IP：192.168.1.1，子网掩码：255.255.255.0;
- (2) 混砂车 1(RTU)IP：192.168.1.2，混砂车 2(RTU)IP：192.168.1.3;
- (3) 压裂车 1、2、3(RTU)IP：192.168.1.4；192.168.1.5；192.168.1.6;

(4) 工艺流程(RTU)IP: 192.168.1.7;

(5) 实验介质: 电信号, 220V/50HZ;

3) 操作人员装备

(1) 长袖工作服装;

(2) 工作手套;

(3) 防护眼镜;

4) 预设参数根据工况的不同而不同, 各工况下的预设参数分别如下所示:



图 2-5-1 钻进模拟参数的设置



图 2-5-2 钻进复杂情况参数设置



图 2-5-3 井控模拟参数设置



图 2-5-4 压井参数设置界面

2-6 实验教学方法（举例说明采用的教学方法的使用目的、实施过程与实施效果）

1) 教学方法的使用目的

项目秉承以学生为中心的教学理念，将“创新思维”融入教学，学生亲自动手操控实验装置，教师负责实验方法的讲解和实验过程监控，并对学生操控过程中出现的问题以引导、启发的形式使学生认识问题出现的关键所在，增强学生对知识的获取兴趣和获取能力，培养学生的工程实践能力、分析问题和解决问题的能力、创新能力。以熟悉钻井与压裂相关设备及工具和工艺流程为目的，强调钻井与压裂设备的结构组成与工作原理、钻井与压裂的现场施工工艺和施工过程中复杂问题的诊断与处理，将抽象的专业知识形象化，使学生能够较为真实的体会钻井与压裂过程，并将知识点融会贯通，切实掌握石油与天然气钻采的理论知识。

2) 实施过程

(1) 教师以学生行政班为单位（每个班 30 人左右）进行授课，如图 2-6-1 所示。



图 2-6-1 教师授课教学

授课内容主要包括钻井与压裂理论、设备、工具、设计和工艺流程方面的基础知识，一方面可以使学生对实训的内容有初步了解，另一方面也为下一步的虚拟仿真和动手操作训练打下基础。

(2) 观看钻井与压裂方面标准化操作视频，直观了解钻井与压裂所涉及的设备、工具、工艺流程和场景，为下一步的操作训练提供参考。如图 2-6-2 所示。



图 2-6-2 标准化视频学习

(3) 模拟组建简化版的“钻井与压裂工艺作业团队”学习小组，一般 5-6 个学生形成一个小组，下面所有的训练都以小组为单位完成，锻炼学生的团队协作能力。如图 2-6-3 所示。



图 2-6-3 分组讨论学习活动

(4) 学生先从教师处获取基本的工程数据，然后按照所学专业基础知识进行基本的钻井和压裂施工参数设计，依据设计的作业参数进行钻井和压裂作业虚拟仿真训练，将“工程设计”融入课堂教学之中，充分发挥学生的主观能动性，在全面掌握核心知识点的基础上锻炼学生的工程实践能力。如图 2-6-4 所示。



图 2-6-4 小组虚拟仿真训练

(5) 教师在学生训练过程中会秘密设置一些钻井和压裂作业过程中可能发生的复

杂情况，学生需要在训练的过程中实时关注作业参数的变化，根据参数的异常变化来发现复杂情况、判断复杂情况、提出解决方案并实践，培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

(6) 将“创新思维”融入到钻井与压裂虚拟仿真训练中，鼓励学生独立思考，促进学生自主性学习、推进学生的创新性学习和个性发展。具体方式为：一方面教师引入钻井与压裂方面的最前沿技术，鼓励学生对技术原理进行调研和展开讨论，就技术的优点和缺点发表自己的见解；另一方面，从发散思维的角度，鼓励学生对现有钻井与压裂装备及工艺方案提出改进思想和方案，开展讨论。

(7) 从学生个人和学习小组两个角度，对学生的知识掌握程度、实训效果和参与度等方面进行较为全面的评价，给出最终的成绩。

(8) 进行反思性评价，即对学习的目标、过程、结果、互动与支持性情况等反思与评价。

3) 实施效果

通过钻井与压裂虚拟仿真综合实训，实施虚拟实验教学内容，扩展了实验教学范围，能够有效调动学生的积极性，既让学生较为真实的感受到了钻井与压裂场景，生动真实的展现了钻井与压裂装备的工作过程，又帮助学生掌握了钻井与压裂理论知识、装备知识和工艺流程，锻炼了学生发现、分析和解决问题的能力，而且具有浸润感的虚拟环境，可满足学生身临其境的体验、真实全面的操作等多重需求，达到实际生产与理论实践的融合。

钻井与压裂虚拟仿真综合实训应用到石油工程及相关专业大三和大四年级约 800

名学生的仿真实验，同时也为大一、大二约 1200 名学生提供现场观摩，每年节省了实习经费约 12 万元，降低了学生实际实习安全事故的风险。此外，该实训项目还对石油公司人员开展专业培训、对中小學生和社会人员开展科普教育，目前已完成各类不同级别的培训约 120 人次，接纳科普教育参观人员约 600 人次。

钻井与压裂虚拟仿真综合实训项目的推广使用，能够加深学生对钻井与压裂装备及工艺的了解，提高学生的专业兴趣和创新能力。目前虚拟仿真实训项目实现了共享，在提高教学水平和人才培养质量发挥了重要作用，受到了师生的好评。

2-7 实验方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

1) 实验方法描述

学生通过网站教学资源，课前了解钻井与压裂作业过程，而后进入实验室，通过桌面虚拟教学+仿真作业场景体验掌握钻井与压裂设计，地面装备及地面流程等基础知识，通过亲历式训练掌握钻井、压裂作业工序以及复杂条件下处置程序，最后进行现场考核，如图 2-7-1 所示。

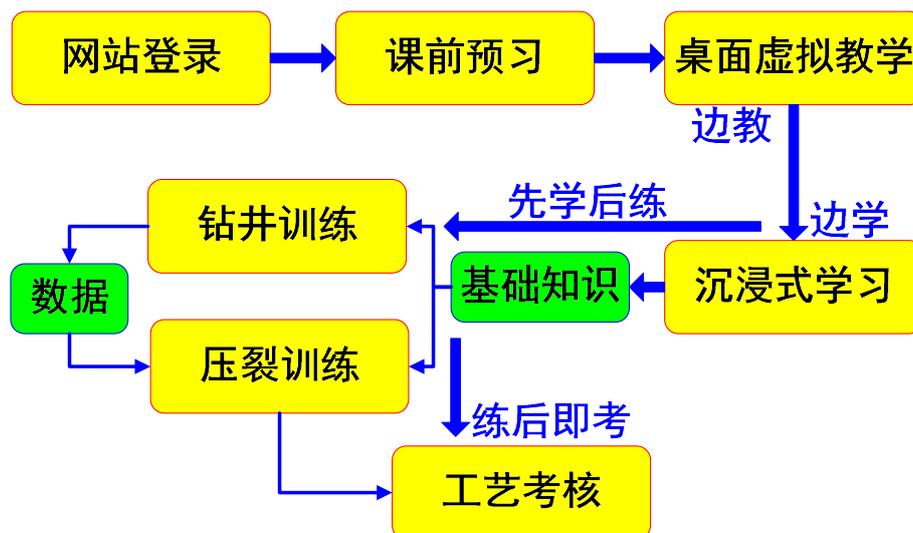


图 2-7-1 钻井与压裂虚拟仿真综合实训步骤流程图

该实验教学方法顺应现代信息技术的发展，构建了网络化、数字化、个性化、终身化的教育体系，建设了“人人皆学，处处能学，时时可学”的泛在学习环境和条件，助力培养与企业和社会需求相一致的高素质石油工程专门人才。

2) 学生交互性操作步骤说明

(1) 登录《钻井与压裂虚拟仿真综合训练》网站，观看钻井与压裂教学资源，使学生提前了解钻井与压裂作业过程；

(2) 进入钻井实训室，打开虚拟软件教学系统，通过鼠标、键盘等计算机外设进行交互操作，了解钻井地面流程，然后进入仿真作业场景，通过观察、分析学习地面设备名称、结构、功能与布局等基础知识；

(3) 打开虚拟软件实训系统，打开钻进训练模块，根据操作过程进行钻井泵、转盘和绞车的控制、钻具的上提与下放、钻井过程中钻压的控制、接单根及起下钻等交互操作，熟识并掌握井下钻进动态及钻进过程；

(4) 返回主界面，打开钻进复杂情况处置模块，根据操作过程进行井漏、井壁坍塌、钻具刺漏、水眼堵、水眼掉、缩颈卡钻、钻头故障、粘附卡钻和键槽卡钻等9种井下复杂情况处置操作，掌握复杂工况下应急处理方法和措施；

(5) 返回主界面，打开井涌处置模块，根据操作过程进行钻进时、起下钻杆、钻铤时、空井时等工况下井涌关井交互操作，掌握井涌信号识别及不同工况下关井程序；

(6) 返回主界面，打开压井模块，根据操作过程进行常规压井方法(工程师法和司钻法压井)和非常规压井方法(直推法和置换法)等交互操作，掌握压井计算及不同压井方法时的压井流程；

(7) 进入压裂实训室，打开虚拟软件教学系统，通过鼠标、键盘等计算机外设进行交互操作，了解压裂地面流程，然后进入仿真作业场景，通过观察、分析学习地面设备名称、结构、功能与布局等基础知识；

(8) 返回主界面，打开虚拟工具系统，通过观看的方式学习压裂井下工具的内部结构和工作过程，了解其功能，然后进入组配平台，利用工具模型进行工具串组配交互操作，掌握井下工具结构、功能及工具串组配；

(9) 返回主界面，打开设备操作系统，根据操作过程进行压裂车、混砂车启动、参数调整、停车等交互操作，熟识并掌握压裂车、混砂车结构及性能；

(10) 返回主界面，打开压裂工序系统，根据操作过程进行试循环、试压、试挤、压裂、加砂、替挤、返排等交互操作，掌握压裂工艺流程；

(11) 返回主界面，打开工艺训练系统，根据操作过程进行限流法分层压裂工艺、滑套喷砂器分层压裂工艺等交互操作，掌握不同压裂工艺执行程序；

(12) 返回主界面，打开复杂工况处置系统，根据操作过程进行地面管线刺漏、压不开、压裂液漏失、砂堵等 4 种常见问题的处置交互操作，掌握复杂工况下应急处理方法和措施。

2-8 实验结果与结论要求

(1) 是否记录每步实验结果：是 否

(2) 实验结果与结论要求：实验报告 心得体会 其他 实操考核结果

(3) 其他描述：

实验结果和结论具体包括：

(1) 正常钻进与压裂过程中各参数联动变化；

- (2) 钻井作业过程中复杂情况的诊断依据，解决方案的提出依据及处理过程；
- (3) 井涌信号的识别依据、关井程序及关井后的各参数变化；
- (4) 压井计算及采用不同压井方法时的压井流程；
- (5) 压裂施工工艺流程及施工参数变化；
- (6) 滑套喷砂器分段压裂和限流法分段压裂工艺流程；
- (7) 压裂作业过程中复杂情况的诊断依据，解决方案的提出依据及处理过程；
- (8) 学生对新技术的调研和讨论结果；（可选）
- (9) 对现有钻井与压裂装备及工艺方案提出改进思想和方案。（可选）

2-9 考核要求

本项目着重强调对学生综合实践能力和创新能力的培养，施行讲-训-考结合的实训模式，利用考评系统记录学生钻井与压裂考核过程操作，按照国际钻井承包商协会(IADC)和国际井控论坛(IWCF)两个权威机构的认证体系，以及压裂施工安全操作规定，制定考核要求，如表 2-9-1。

表 2-9-1 具体考核要求

考核内容		考核要求/能力培养	评分细则
钻井流程	地面流程	了解并掌握地面设备名称、功能、地面流程； 能够根据施工要求，给出井场的地面流程；具备作业前地面设施摆放所需的职业素养。	5%
	正常钻进	了解并掌握钻井泵、转盘和绞车的控制、钻具的上提与下放、钻井过程中钻压的控制、接单	15%

		根及起下钻等工序操作，给出正确钻进程序； 具备钻进时所需的职业素养。	
	复杂工况 处置	了解并掌握井漏、井壁坍塌、钻具刺漏、水眼堵、水眼掉、缩颈卡钻、钻头故障、粘附卡钻和键槽卡钻等9种井下复杂情况应急措施和处置程序，能及时给判断出问题所在，给出正确的处置措施；具备复杂工况处置所需的职业素养。	10%
	井涌关井	了解并掌握钻进时、起下钻杆、钻铤时、空井时等工况下井涌信号识别及关井程序，能准确识别井涌，给出正确的关井程序；具备井涌识别与处置所需的职业素养。	10%
	压井程序	了解并掌握常规压井方法(工程师法和司钻法压井)和非常规压井方法(直推法和置换法)等压井计算及不同压井方法时的压井流程，给出不同压井方法的计算报告和压井程序；具备压井计算与执行所需的职业素养。	10%
压裂流程	地面流程	了解并掌握地面设备名称、功能、地面流程； 能够根据施工要求，给出井场的地面流程；具备作业前备地面设施摆放所需的职业素养。	5%

	井下工具	了解并掌握井下工具内部结构、工作过程、功能；能够根据施工要求，选出合适的井下工具，并能按工艺要求，给出合适的工具串；具备作业前施工管柱下入所需的职业素养。	10%
	工序执行	了解并掌握压裂车、混砂车的启停、参数调整、以及试循环、试压、试挤、压裂、加砂、替挤、返排等工序操作，能够按照施工要求，给出合理施工工序表；具备作业时工序执行所需的职业素养。	15%
	分层压裂	了解并掌握滑套喷砂器分层压裂、限流法分层压裂工艺的井下管柱组配，施工工序，适用特点，能够按照施工要求，给出正确的施工工序表；具备作业时分层压裂工艺所需的职业素养。	10%
	问题处置	了解并掌握地面管线刺漏、压不开、压裂液漏失、砂堵等问题的处置措施和程序，能及时判断出问题原因，给出处理措施；具备作业时问题分析与处理所需的职业素养。	10%
<p>本实验的考核采用实验考核成绩与实训报告相结合的方式，具体考核标准为：实验成绩 = 报告成绩（20%）+ 实验考核成绩（80%）。</p>			

2-10 面向学生要求

本项目在实现了全校范围内实验开放基础上，通过校校合作、校企联合，将虚拟仿真综合实训面向全国石油高校、石油企业开放，为相关专业领域的学生、工程技术人员提供教学资源与技术指导。

1) 在校学生要求

(1) 专业要求

能源与动力工程、石油工程、海洋油气、海洋工程、机械、地质等相关专业领域。

(2) 基本知识和能力要求

掌握流体力学、工程力学、岩石力学、石油工程概论、石油工业概论、钻井工程、采油工程、机械工程等相关专业课知识与技能。

2) 企业工程技术人员要求

(1) 专业要求

从事能源动力、钻井、固井、修井、压裂、井下作业、采油、油气增产增注等相关技术领域研究。

(2) 基本知识和能力要求

掌握流体力学、工程力学、岩石力学、石油工程概论、石油工业概论、钻井工程、采油工程、机械工程等相关专业课知识与技能。

2-11 实验项目应用情况

- (1) 上线时间：2014.3
- (2) 开放时间：2014.8
- (3) 已服务过的学生人数：924（实训）+1232（观摩）+607（科普教育）
- (4) 是否面向社会提供服务：是 否

钻井与压裂虚拟仿真综合实训是国内首套用以培养石油工程专门人才的实训平台，引起国内外相关领域研究学者、工程技术人员的极大关注，近三年来，承接国内外专家学者参观交流 64 次。部分参观交流如图 2-11-1 所示。

鉴于虚拟平台在人才培养方面的优势，该平台目前已成功被天津石油职业技术学院、天津工程职业技术学院、克拉玛依职业技术学院、重庆科技学院以及四川石油管理局培训中心等 5 家单位引入使用。



图 2-11-1 专家参观交流

3. 实验教学项目相关网络要求描述

3-1 有效链接网址

<http://peetc.upc.edu.cn/zjylfz/>

3-2 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

项目本着“能实不虚，虚实结合”的原则，采用了虚实结合的形式，即仿真模拟软件和电气化模型硬件（包括全尺寸和缩小尺寸模型）相结合的形式，以便最大限度的还原现场场景。由于将软、硬件结合使用才能进行虚拟仿真综合实训，因此仅将软件安装到客户端无法完成本实验项目，且考虑到软件版权的要求，本项目的软件暂不授权到客户端安装。所以，暂时没有对客户端到服务器的带宽做出要求。

但是，本虚拟仿真实验项目是对外共享和开放的，需要本项目的客户可通过两种途径使用该项目：①直接共享，通过上述项目网址登陆项目网页，进行申请和预约，经审核同意之后就可以直接共享使用相关硬件、软件和实验教学体系进行该实验项目；②引进共享，引进该项目的软硬件和教学体系，独立开展本项目的教学。

(2) 说明能够提供的并发响应数量（需提供在线排队提示服务）

暂不授权到客户端安装，无并发响应数量。

3-3 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

(1) 计算机操作系统和版本要求

本项目的软件对操作系统具有较好的兼容性，包括：

Microsoft Windows XP 32/64 位(部分兼容，能实现大部分功能)

Microsoft Windows 7 32/64 位

Microsoft Windows 10 32/64 位

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

暂不授权到客户端安装，无对其他计算终端操作系统和版本的要求。

(3) 支持移动端：是 否

3-4 用户非操作系统软件配置要求（如浏览器、特定软件等）

(1) 需要特定插件 是 否

（勾选是请填写）插件名称_____插件容量_____

下载链接_____

(2) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）
无。

3-5 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

处理器：6 核心以上；

主频：2.5GHz 以上；

内存：8GB 以上；

显存：2GB 以上；

显卡：GTX950 以上；

存储容量：128GB 以上硬盘空间。

(2) 其他计算终端硬件配置要求

暂不授权到客户端安装，无对其他计算终端操作系统和版本的要求。

3-6 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

T16000 系列及以上规格的飞行摇杆；推荐 20 寸以上触屏显示器。

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求

无。

4. 实验教学项目技术架构及主要研发技术

指标		内容
系统架构图及简要说明		
实验教学项目	开发技术（如：3D 仿真、VR 技术、AR 技术、动画技术、WebGL 技术、OpenGL 技术等）	3D 仿真；动画技术。
	开发工具（如：VIVE WAVE、Daydream、Unity3d、Virtools、Cult3D、Visual Studio、Adobe Flash、百度 VR 内容展示 SDK 等）	使用 3d max 进行模型搭建和贴图烘焙； 使用 substance painter 及 photoshop 进行贴图绘制。
	项目品质（如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等）	贴图分辨率：1024*768； 显示帧率：高于每秒 30 帧； 刷新率：高于 30Hz； 正常分辨率：1024*768。
管理平台	开发语言（如：JAVA、.Net、PHP 等）	Delphi；JAVA；.Net；C++。
	开发工具（如：Eclipse、Visual Studio、NetBeans、百度 VR 课堂 SDK 等）	Visual Studio；Eclipse。
	采用的数据库（如：HBASE、Mysql、SQL Server、Oracle 等）	SQL Server。

5. 实验教学项目特色

(体现虚拟仿真实验项目建设的必要性及先进性、教学方式方法、评价体系及对传统教学的延伸与拓展等方面的特色情况介绍。)

项目以国家能源安全战略为牵引，以提高人才培养质量为导向，注重培养学生的工程实践能力、发现问题和解决工程问题的能力、创新能力，使学生有机会体会钻井和压裂场景，调动学生的实训积极性和主动性。

(1) 采用“虚实结合”的理念，利用现代仿真技术和电气技术将宏大的钻井和压裂场景在室内呈现并应用于教学

采用“虚实结合”的理念，利用动画技术（虚）和电气设备（实）在室内呈现钻井和压裂设备与场景。项目强大的动画技术、3D 技术和电气设备为钻井与压裂教与学带来了新的变化，使不可逆的操作重复再现化，使不可视的井下作业过程可视化，使高压、高风险、高污染的过程安全环保化。学生在室内可以体会到高风险、环境极端恶劣的钻井和压裂作业场景。

(2) 项目内容与国际接轨处于技术前沿，教学软硬件处于国际先进水平

项目内容与国际上权威的国际钻井承包商协会(IADC)和国际井控论坛(IWCF)两个机构的认证体系接轨，并引入了国际上最前沿的技术，使得项目内容始终处于国际技术的前沿。教学软硬件根据国际权威认证体系和前沿技术自主设计和更新，始终处于国际先进水平。目前，项目已经申请获批了 IADC 机构的认证资格，提交了 IWCF 机构的认证申请并已进入资料审查和现场考察阶段。

(3) 以教师为主导，以学生自主学习为主的教学模式，激发学生的能动性和创新

能力

钻井与压裂虚拟仿真综合实训项目以学生为中心，学生主导实验过程，操作实训装置，增强了学生对知识的获取兴趣和能力。指导教师讲解实验方法和步骤，并对整个实验过程加以指导和引导，启发学生创新意识，培养学生发现问题、解决问题的能力，调动学生的学习积极性。实验中，教师通过提问、质疑等方式激发学生充分发挥想象，发掘学生的创造潜能，引导学生提高解决问题的综合能力。

(4) 不断优化的评价体系提高了评价的公正性，为教学评价和反思提供重要参考

钻井与压裂虚拟仿真综合实训平台能够对学生的实训过程进行记录，并在重要环节提供提示和指导，对学生预习、实验步骤及操作训练结果都有较完善的评价标准，提高了评价的公正性。平台建立完善的反馈机制，能够对教师及学生的反馈进行统计和分析，为改进和完善实验提供参考。

6. 实验教学项目持续建设服务计划

(本实验教学项目今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划, 包括面向高校的教学推广应用计划、持续建设与更新、持续提供教学服务计划等, 不超过 600 字。)

(1) 持续建设与更新

本项目将继续加强产学研之间的结合, 使虚拟实训紧跟技术潮流, 计划用 1 年时间建成数字化网络实训平台, 计划用 2 年时间实现由常规油气资源到非常规油气资源钻井与压裂虚拟实训的转变, 计划用 5 年时间建立内嵌数值模拟软件的非常规油气资源钻井与压裂虚拟实训平台, 实现方案设计、方案执行、方案优选一体化实训, 为相关专业领域的学生、工程技术人员提供教学科研相结合的优质资源与技术指导。

(2) 面向高校的推广应用计划

本项目将继续加强资源共享和教育国际化建设, 在国内高校合作基础上, 依托石油工程学院与美国怀俄明大学、澳大利亚新南威尔士大学等国外 10 所高校签订的联合培养协议, 将钻井与压裂虚拟仿真综合实训走向国门, 跨向世界, 使其成为中国一道亮丽的名片, 更好地服务和融入国家“一带一路”建设。

(3) 面向社会的推广与持续服务计划

本项目将继续加强从业资格认证体系的建设, 在加入国际钻井承包商协会(IADC)和国际井控论坛(IWCF)两个权威机构的认证体系的基础上, 计划 2 年内培养出具备 IADC 和 IWCF 培训资格的教师, 并依托学校与中国石油天然气集团有限公司签署的战略合作协议, 积极做好校企融合育人, 以中国石油为第一服务对象, 计划 5 年内初步成为一个服务于中国石油工业的从业资格培训中心, 充分发挥其资格认证功能, 培

养出技术过硬的石油工程专门人才。此外，计划面向社会公众开放，发挥实验室的科普作用，提高公众对石油行业的认知度，吸引更多的人员了解石油、从事石油行业。

7. 诚信承诺

本人已认真填写并检查以上材料，保证内容真实有效。

实验教学项目负责人（签字）：

年 月 日

8. 申报学校承诺意见

本学校已按照申报要求对申报的虚拟仿真实验教学项目在校内进行公示，并审核实验教学项目的内容符合申报要求和注意事项、符合相关法律法规和教学纪律要求等。经评审评价，现择优申报。

本虚拟仿真实验教学项目如果被认定为“国家虚拟仿真实验教学项目”，学校承诺将监督和保障该实验教学项目面向高校和社会开放并提供教学服务不少于5年，支持和监督教学服务团队对实验教学项目进行持续改进完善和服务。

主管校领导（签字）：

（学校公章）

年 月 日