

固井工艺仿真实训系统构建与应用

李 猛, 徐建根, 万立夫

重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2023年11月16日; 录用日期: 2024年1月2日; 发布日期: 2024年1月10日

摘 要

为了培养理论联系实际的应用型人才, 我校构建了室内固井工艺仿真实训平台。该系统集学生实训、教师教学和操作考核于一体。教学系统分为基础知识教学、固井设备操作讲解和固井工艺演示三部分。实训系统可以对在教学系统中演示讲解的5种固井方式的每一种固井工艺进行分工艺步骤的操作实训。考核系统进行实训结果记录和分项目考核、评判。固井工艺仿真实训系统满足了应用型本科教学需要, 提高了学生实践能力和创新能力, 有助于开展钻井教学改革, 利于提高教师教学水平和创新能力。同时, 该系统进行实现固井工艺仿真资源共享, 开展石油高校及固井培训服务。

关键词

固井, 仿真, 实训, 技能操作

Construction and Application of Cementing Process Simulation Training System

Meng Li, Jiangen Xu, Lifu Wan

School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Nov. 16th, 2023; accepted: Jan. 2nd, 2024; published: Jan. 10th, 2024

Abstract

In order to cultivate applied talents who integrate theory with practice, an indoor cementing process simulation training platform has been constructed. This system integrates student training, teacher teaching, and operational assessment. The teaching system is divided into three parts: Basic knowledge teaching, cementing equipment operation explanation, and cementing process demonstration. The practical training system can provide step-by-step operation training for each of the five cementing methods demonstrated and explained in the teaching system. The assessment system records the training results and assesses and evaluates each project. The cementing

process simulation training system meets the needs of applied undergraduate teaching and improves students' practical and innovative abilities. It helps to carry out drilling teaching reform, improve teachers' teaching level and innovation ability. At the same time, it can achieve the sharing of cementing process simulation resources, and carry out petroleum universities and cementing training services.

Keywords

Cementing, Simulation, Practical Training, Skill Operation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

实训是职业技能实际训练的简称,是指在学校组织下,按照应用型人才培养规律与目标,对学生进行职业技术应用能力训练的教学过程[1] [2]。作为重庆市重点学科——重庆科技学院石油与天然气工程学科特点是课堂教学与现场实践密切联系。近几年,石油企业对人才素质和质量的要求标准不断提高,要求毕业生在具有扎实理论基础的同时,又必须具备过硬的操作本领,但随着招生规模的扩大,尤其在具有高危危险性的固井行业,现场实习过程中多数学生只能观摩,不可操作,导致学生对固井工艺流程理解不够透彻,难以保证实习质量[3]。因此,为了培养理论联系实际的应用型人才,构建了室内固井工艺仿真实训平台。该平台可利用模拟设备和计算机仿真技术进行固井工艺流程操作模拟训练,可让学生亲身经历固井全过程,整个操作流程与现场工艺流程一致,可提高学生的工程实践能力,利于培养应用型人才[4]。

2. 固井工艺仿真实训系统组成与功能

固井工艺仿真模拟教学系统由固井现场模拟教学平台、固井车仪表控制台和教师操作台三部分组成。教师操作台中的 SCADA 主控计算机通过以太网与固井车仪表控制台中的固井混浆计算机和数据采集系统进行数据交换。固井仿真软件系统是结合固井仿真模拟教学平台所开发的仿真教学实训软件。仿真软件系统主要有教学系统、实训系统和考核系统,其功能主要有:(1) 固井现场工艺流程知识教学,包括对固井的目的要求、固井工作原理、固井工具、五种常见的固井工艺技术流程、固井过程中出现的故障及处理等的演示讲解。(2) 五种固井工艺技术流程的离线模拟仿真,包括常规井固井、特殊井管外封隔固井、尾管井固井、热采井预应力固井、特殊井分级固井共五种常见固井技术的仿真。(3) 对现场固井车和仪表车的操作仪表显示等的演示。(4) 固井过程中固井车工作中的试循环和供灰混浆注水泥浆的仪表显示和数据交互等的演示。(5) 五种固井工艺技术流程的实训操作,模拟现场施工中的诸如下套管作业、灌钻井液、循环洗井、供水车补水、固井车加水、水泥车供灰、固井车注水泥浆、注前置液、注隔离液、压胶塞、顶替碰压、放压候凝、套管试压检查等。

3. 固井工艺仿真实训系统设计

3.1. 教学系统

教学系统分为基础知识教学、固井设备操作讲解和固井工艺演示三部分。基础知识教学下包含固井原理教学、固井工具教学、固井故障演示及处理的教学内容。固井设备是指本系统中所使用的固井车仪

表控制台, 包括仪表控制台的上面板和下面板。进固井设备操作讲解时, 变速器应置于空挡, 同时按下车台发动机启动、车台发动机启动辅助按钮, 启动固井车(左右车台可单独启动), 待左右转速表有动作后放开两个按钮然后开始加油门, 将油门保持在稳定的位置并观察转速表指针稳定(模拟显示处于怠速位置), 观察所有工作正常后, 进行下一步操作。固井工艺演示包含常见的五种固井工艺, 分别是: 常规井固井、特殊井管外封隔固井、尾管井固井、热采井预应力固井、特殊井分级固井。以表层套管为例, 在仿真软件中设定的工艺步骤, 具体见表 1。

Table 1. Cementing process steps for surface casing (inner casing method)

表 1. 表层套管(内管法)固井工艺步骤

一、 套管 作业	1. 作业准备 (点击时将出现 视频演示)	套管准备 附件、工具准备 固井管柱准备	途径、丈量、编号、登记、组合设计 丈量、外观检查、登记、组合设计 丈量、编号、外观检查、登记、组合设计
	2. 开启控制台		同时按下车台发动机启动、车台发动机启动辅助按钮, 启动固井车(左右车台可单独启动), 待转速表有动作后放开两个按钮加油门, 将油门保持在稳定的位置并观察转速表指针稳定。
	3. 下套管作业	下套管 灌钻井液	操作顺序为: 吊卡放(安装)→绞车上提→液气大钳上扣→吊卡移(移除)→绞车下放→吊环摘; 其中下第一根套管的时候无需“液气大钳上扣”一步。 操作顺序为: 钻井泵 E1→水泥头阀门 E2 关闭顺序为: 水泥头阀门 E2→钻井泵 E1
	4. 下固井管柱		操作顺序为: 吊卡放(安装)→绞车上提→液气大钳上扣→吊卡移(移除)→绞车下放→吊环摘; 其中下第一根套管的时候无需“液气大钳上扣”一步。
	5. 循环洗井		操作顺序为: 钻井泵 E1→水泥头阀门 E2 关闭顺序为: 水泥头阀门 E2→钻井泵 E1
二、 固井 作业	1. 注前置液		操作顺序: 水泥头阀门 H1→供水车 C1 关闭顺序: 供水车 C1→水泥头阀门 H1
	2. 注水泥施工	(1) 固井车加水	操作顺序: 补水阀 C2 (或 C3)→供水车 C1 关闭顺序: 供水车 C1→补水阀 C2 (或 C3)
		(2) 供灰混浆	操作顺序: 供灰阀 A3 (或 A4B3B4)→水泥车 A1 (或 A2B1B2) 关闭顺序: 水泥车 A1 (或 A2B1B2)→供灰阀 A3 (或 A4B3B4)
		(3) 注水泥浆 注: 注水泥浆时 必须选中此步	操作顺序: 水泥头阀门 H1→阀门 D3 (D4)→固井车 D1 (D2)→(仪表控制台上)备用 1 (左侧)→调水阀 500 LPM~700 LPM→调灰阀 25%~30% 关闭顺序: 调灰阀关→调水阀关→备用 1 关→固井车 D1(D2)关→阀门 D3 (D4)→水泥头阀门 H1
	3. 替钻井液		操作顺序: 钻井泵 E1→水泥头阀门 E2 关闭顺序: 水泥头阀门 E2→钻井泵 E1
4. 起固井管柱		操作: 绞车上提 注: 请按住按钮等待三维演示动作完成后再放开	
5. 候凝		点击三级菜单中此步骤即可 注: 表层套管无放压操作	
			表层套管固井结束
注意事项:	1. 每进行一项操作时请先选中三级菜单中对应的操作项目。 2. 下套管作业时, 操作界面的按钮都是仿真了现场模拟操作板上的点触开关, 请操作者按下后等待一两秒钟的时间再放开, 建议按住等待声音播放完毕三维演示文件出现动作后再释放按钮。 3. 在演示管线井场的场景时, 请遵循阀门顺序: 先开阀门再开泵车, 先关泵车再关阀门。每次操作请等待三维场景中的动作结束后再做其他操作。 4. 打通工艺流程后如果动作未结束即操作会弹出提示框提示, 教学系统中点击关闭即可, 实训系统中会自动关闭。		

3.2. 实训系统

实训系统是为了在教学系统之后锻炼学生动手能力而设的软件仿真部分，可以在教学系统中演示讲解的 5 种固井方式的每一种固井工艺进行分工艺步骤的操作实训。在开启固井车仪表控制台和固井现场模拟平台操作面板的前提下，可以进行实训操作。基本操作方法为由教师在教师操作台选择实训项目，学生根据教师要求进行操作训练。学生操作对象主要为固井现场模拟平台上的操作板和固井车仪表控制台上的操作按钮。具体工艺操作如下。

3.2.1. 管柱井场场景中

(1) 下套管

固井现场中套管作业工时长、难度大，根据钻井深度往往动辄要下几千根套管，操作过程为：吊卡放(安装)→绞车上提→液气大钳上扣→绞车下放→吊卡移(移除)。

(2) 灌钻井液

灌钻井液的过程是配合下套管过程进行的，每下一定数目的套管需要灌钻井液来辅助，操作顺序：钻井泵 E1→水泥头阀门 E2；关闭顺序：水泥头阀门 E2→钻井泵 E1。

(3) 下固井管柱

在表层套管(或称内管法固井)过程中需要下放固井管柱。具体操作过程与下套管作业相同。操作过程为：按住绞车上提不放，待演示动作结束后放开，起固井管柱演示结束。

(4) 循环洗井

循环洗井也是套管作业中的辅助流程。在固井现场中都是结合下套管等配合使用。操作过程为：钻井泵 E1→水泥头阀门 E2；关闭过程为：水泥头阀门 E2→钻井泵 E1。

3.2.2. 管线井场场景中

(1) 注前置液

注前置液由阀门 H1 和供水车 C1 控制，但在其运行时请必须保证水泥头阀门 C6、C4、E2 关闭，否则流程将被打断。操作顺序：水泥头阀门 H1→供水车 C1；关闭顺序：供水车 C1→水泥头阀门 H1。操作时请等待动作结束后进行下一步操作。

(2) 固井车加水

混浆加水流程由阀门 C1、C2、C3 来控制，分为 C2-C1、C3-C1 两个，其由供水车 C1 为分别为两台固井车 D1、D2 加水。在打开 C2-C1 为固井车 D1 加水时只要再打开 C3 即可为固井车 D2 加水。

(3) 供灰、混浆

供灰混浆分为四部分，分别为 A3-A1，A4-A2，B3-B1，B4-B2。分别为两台固井车 D1、D2 加灰。四个流程可以单独打开也可以依次全部打开。

(4) 注水泥浆

注水泥浆由 H1、D3、D1 或 H1、D4、D2 控制。两台固井车将分别注水泥。操作时请关闭 C4、C6、E2，否则流程将被打断。此操作需要联系固井车仪表控制台，调节水泥浆符合设计要求时才能注入。

(5) 顶替碰压

单级固井：由 E1、E2 控制，钻井泵向水泥头下部注水泥浆，碰压，顶替完毕，固井结束。请确保关闭 C1、C6，否则流程将被打断。双级固井：由 E1、E2 控制，钻井泵向水泥头下部注水泥浆，碰压，上胶塞带下胶塞一起下行至底部分级箍，碰压，顶替完毕，固井结束。请确保关闭 C1、C4，否则流程将被打断。

(6) 套管试压检查

某个阶段的固井结束后需要进行井下承受压力检测。由阀门 H1 和供水车 C1 控制,但在其运行时请必须保证水泥头阀门 C6、C4、E2 关闭,否则流程将被打断。操作顺序:水泥头阀门 H1→供水车 C1;关闭顺序:供水车 C1→水泥头阀门 H1。

3.3. 考核系统

考核系统是仿真软件中进行实训结果记录和分项目考核的仿真部分。使用考核系统时,需要教师在教师操作台进行人员管理和记录、评判。

4. 固井仿真实训系统应用

(1) 满足教学需要,提高学生实践能力和创新能力

固井工艺仿真实训系统作为学生进行石油工程操作技能训练的重要场所,对提高学生的钻井、采油实践技能起到了至关重要的作用。固井工艺仿真实训系统具有情境化、沉浸式的交互式实习操作环境。固井工艺仿真教学资源可以更好地提高应用型本科教学质量,使井下较为抽象起下套管、灌钻井液、注水泥等内容变得生动形象,可以更加直观的展现整个固井工艺过程,益于提高学生对整个固井工艺过程的理解,利于高质量人才培养的实现。此外,固井工艺仿真实训系统也可作为大学生创新创业的实践基地,助推大学生创新创业训练计划项目的顺利实施。

(2) 开展教学改革,提高教师教学水平和创新能力

固井工艺仿真实训系统将改掉教师“照本宣科”的缺点,有助于提高教师对钻井新技术、固井新方法的应用能力,适应现代钻井技术更新迭代。教师以固井工艺仿真实训系统为载体,重构石油工程、海洋油气工程、油气储运工程等石油类各专业人才培养方案,优化钻井工程、海洋油气钻井工程、定向钻井课程体系,依托石油与天然气工程专业教师开发各专业的固井工艺仿真实训教材,同时,也可组建固井工艺科研团队,开展固井相关教学科研课题研究,进行固井工艺相关课程教学改革,提升教师的固井工艺实践教学能力,推动固井工艺实训教学的推发展。此外,专任教师参与到固井工艺仿真学习系统的研发中,可提高教师的创新能力。

(3) 实现资源共享,开展培训服务的功能

固井工艺仿真实训系统实行长效的资源共享机制,具体表现为:① 固井技能培训共享。学校与中国石油大学、西南石油大学等石油院校以及中石油、中石化、中海油等合作企业的固井工艺培训均建立了良好的合作关系,各单位均可共享本校的固井工艺仿真实训平台。学校作为 IADC 井控培训中心(固井工艺仿真实训系统属于此中心),积极开展井控操作、固井操作、HSE 管理等职业技能证书的培训及考核工作。积极发挥固井工艺技能培训鉴定站的作用,为石油高校教职人员、石油企业员工提供一个获得石油工程专业技能操作的培训场所和考证基地。② 教学资源共享。固井工艺仿真实训系统中拥有大量的固井教学资源,均可以在互联网和校园局域网实现相关资源共享。高校教职人员、学生及石油企业员工通过账号注册登陆,可以随时进行线上虚拟仿真实训课的预习,为熟悉线下固井工艺实际操作奠定理论基础。③ 固井技能大赛平台共享。依托固井工艺仿真实训系统可举办固井工艺操作技能大赛,为石油高校师生和石油企业青年员工开展固井工艺仿真实训提供一个学习交流的平台。

5. 结语

(1) 固井工艺仿真实训系统是石油类高校学生实施钻井技能操作训练和培养石油工程素质教育的重要场所,该系统集学生实训、教师教学和考核于一体。教学系统分为基础知识教学、固井设备操作讲解和固井工艺演示三部分。实训系统可以对在教学系统中演示讲解的 5 种固井方式的每一种固井工艺进行分工艺步骤的操作实训。考核系统进行实训结果记录和分项目考核、评判。

(2) 固井工艺仿真实训系统满足了应用型本科教学需要,提高了学生实践能力和创新能力,有助于开展钻井教学改革,利于提高教师教学水平和创新能力。同时,可以进行固井工艺仿真资源共享,开展石油高校及固井培训服务。

基金项目

重庆市教育科学规划课题(2021-GX-031)“基于课程思政的《钻井工程》专业课研究与实践”,重庆科技学院本科教育改革项目“《钻井工程》课程思政教学改革研究与实践”。重庆市高等职业教育教学改革研究项目“基于课程思政的《BIM 技术与应用》专业课研究与实践”(Z213007);重庆市教育科学规划课题“基于 BIM 技术的职业本科院校工程造价专业课程体系优化研究”(2021-GX-481)。

参考文献

- [1] 陈月, 彭金, 龚国梅. 共享型医学虚拟仿真实训中心的构建与应用[J]. 泉州师范学院学报, 2023, 41(2): 104-108. <https://doi.org/10.16125/j.cnki.1009-8224.2023.02.009>
- [2] 孙帅, 马雁, 皮薇薇, 等. 高职院校虚拟仿真实训基地建设探索与实践——以绿色智慧电力虚拟仿真实训基地为例[J]. 现代职业教育, 2022(14): 135-137.
- [3] 陶燎亮, 叶振. 虚拟仿真实验教学资源建设与开放共享研究[J]. 丽水学院学报, 2019, 41(5): 123-128.
- [4] 王宇, 雷进生, 邓华锋. 土木工程施工课程与仿真实训融合教学研究[J]. 教育教学论坛, 2018(48): 152-153.