

多交互式非开挖水平定向钻进虚拟仿真实验教学应用

赵权, 文国军, 贺鑫, 罗丹

(中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 武汉 430074)

摘要: 利用虚拟仿真技术可以解决岩土工程教学实训中存在成本高、地难找、安全风险大等问题。以非开挖水平定向钻进过程为对象, 分析虚拟仿真实验教学特点, 开发了地表设备操作模拟、钻机运动仿真和施工工艺仿真实验教学项目。结合 zSpace 和 Unity3D 软硬件平台, 开发了水平定向钻机虚拟拆装实训系统, 全方位、增强式地展示钻机组成。建立了桌面式、头盔式、大屏式以及半实物的钻进工艺仿真系统, 从而满足多种实验教学场景。这些多交互式的虚拟仿真实验, 增强了现场体验感, 提升了实验教学效果。

关键词: 非开挖; 水平定向钻; 虚拟仿真; 交互性; 实验教学

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Application of Multi-Interactive Virtual Simulation Experimental Teaching for Trenchless Horizontal Directional Drilling

Zhao Quan, Wen Guojun, He Xin, Luo Dan

(School of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The use of virtual simulation technology can solve the problems of high cost, difficulty in finding locations, and high safety risks in geotechnical engineering teaching and. Focusing on the trenchless horizontal directional drilling, the characteristics of virtual simulation experimental teaching were analyzed, and surface equipment operation simulation, drilling rig motion simulation, and construction process simulation experimental teaching projects were developed. By combining zSpace and Unity3D software and hardware platforms, a virtual disassembly and assembly system for horizontal directional drilling machines was developed, providing a comprehensive and immersive display of the components of the drilling machine. Desktop, head-mounted, large-screen, and semi-physical drilling process simulation systems were established to meet various experimental teaching scenarios. These interactive virtual simulation

experiments enhance the sense of on-site experience and improve the effectiveness of experimental teaching.

Keywords : Trenchless, Horizontal directional drilling, Virtual simulation , Interactivity, Experimental teaching

1 引言

岩土工程是一项多专业、多工种利用多种设备、工具、材料进行的联合作业，施工过程中往往受到现场环境和安全条件的制约^[1-2]。《岩土工程机械》作为一门地质类高校极具特色的专业主干课程，在地质工程、机械工程等相关专业人才培养中具有重要作用。虚拟仿真等新一代信息技术的快速发展，为有效解决实验经费与场地不足、拓展实验内容等提供了有效手段^[3]。开发多种交互形式的虚拟仿真资源，不仅可以低成本、低风险的方式高效完成教学实验，更可以提高学生实验操作能力，增强工艺理解与认知。

2 非开挖水平定向钻进虚拟仿真教学分析

《岩土工程机械》课程主要使学生较系统地熟悉常用的岩土工程机械的类型、功能、结构和原理，初步了解相关的施工工艺，掌握岩土工程机械设备的基本操作技能。非开挖水平定向钻机作为一种典型的岩土工程机械设备，也是目前实施非开挖地下管线建设工程的关键机械设备，本文以此为对象来进行分析。

在实验教学环节，因设备场地和地下管网空间安全的限制，水平定向钻机的实验一般安排在特定施工区域的工地现场进行，但效果欠佳，主要原因包括以下几点^[4-5]。

(1) 时间与空间难以满足要求。到现场观察完全取决于有实际水平定向钻进施工的时间和地点，其施工周期可能不在教学时段内，地点也可能距离学校太远，更无法保证学生短期内看到施工周期的全过程。

(2) 学生并无实际动手操作机会。由于现场条件比较恶劣，同时受生产安全管理和工期进度计划的限制，难于在工地现场长时间、近距离地实验教学，现场实习只能是走马观花式地看看，更谈不上有动手操作的机会。

(3) 无法了解水平定向钻进全过程。由于水平定向钻进地下管线是在地面下蜿蜒曲折地进行，仅可在入口和出口处进行参观，即便在现场也无法了解其导向钻进与铺管的实际过程。

(4) 钻探实训现场条件复杂。由于城市内非开挖工地空间大多比较狭窄，学生人数较多且在不熟悉情况下存在危及现场设备、人员及学生自身安全的隐患。

虚拟仿真平台是一种基于虚拟现实、多媒体、人机交互等技术构建的实验教学手段。利用虚拟现实技术具有沉浸感、交互性和构想性的特征，建立真实感的作业环境，可以对水平定向钻进工艺地上和地下过程进行动态模拟，通过交互地查看钻机、动力头等重要组成部分，使学生熟悉钻机的机械结构、工作原理。

非开挖水平定向钻进虚拟仿真实验，采用可视化的人机交互界面，将复杂的机械设备操作和非开挖施工过程有机结合，形象直观地表现出来。沉浸式的人机互动系统，增加了操作人员的真实感，使操作者沉浸于虚拟操作环境中，有助于学生全面地理解钻机操作和钻进过程的关联性。通过虚拟仿真实验，可以有效地解决水平定向钻机设备昂贵、使用维护复杂和安全生产限制等诸多问题，成功地达到实验教学目的。

3 基于 zSpace 的水平定向钻机虚拟拆装

对水平定向钻机的拆装实训，能够增强感性认识，有利于掌握钻机的结构原理、装配工艺等知识，从而提高实际操作和维修保养能力。目前，虚拟拆装系统主要是桌面式的，依靠鼠标键盘进行交互，无法全方位了解结构。zSpace 作为近年来新兴的虚拟现实教学设备，以其高度的交互性、增强现实观察模式等特点，迅速在医学手术、机床仿真上得到了应用。zSpace 采用 3D 追踪眼镜和触控笔交互，并能使虚拟画面“挣脱”屏幕，融入现实环境之中，增强交互效果^[6-7]。

以 zSpace330 型一体机为硬件平台，结合 Unity 3D 虚拟引擎，基于 zSpace 的水平定向钻机虚拟拆装系统开发流程如图 1 所示。首先利用 SolidWorks 进行三维几何建模，将建好的模型导入到 3DMax 中进行渲染，并进行格式转换，最终导入到 Unity3D 中进行系统开发。在系统开发的过程中，将 zSpace 提供的 zCore 和 zView 两个插件包导入到 Unity3D 中，最后进行测试发布。处于增强现实模式下，模型可以“挣脱”显示屏的束缚，在屏幕之外和现实世界融为一体，便于 360°观察虚拟部件，系统如图 2 所示。

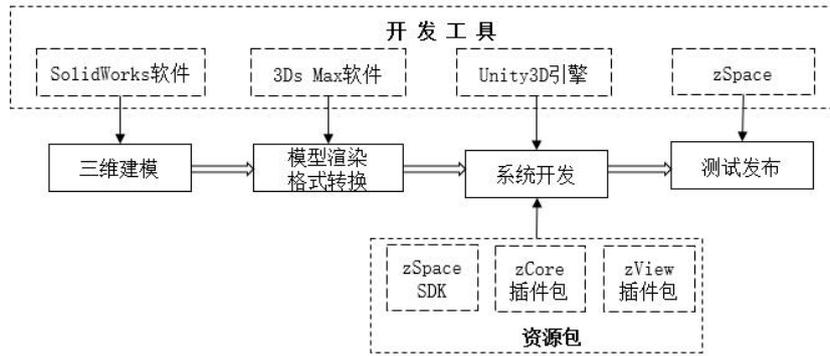


图1 虚拟拆装开发流程



图2 基于 zSpace 的水平定向钻机虚拟拆装系统

4 多交互式水平定向钻进工艺仿真

非开挖水平定向钻进施工过程可分为导向钻孔、回拖扩孔、管道铺设三个阶段。将水平定向钻机固定在钻口位置，选择合适的钻头，按照预定的位置和角度，让发动机为钻机提供动力，并驱动旋转的钻杆带动钻头前进，最终穿出地面形成导向孔。随后在先导孔出口端的钻杆头部安装扩孔器回拉扩孔，当扩孔至尺寸要求后，回拉铺设地下管线。

水平定向钻进工艺仿真不仅要满足地表设备的操作模拟、钻机运动仿真，还要模拟地下导向孔、扩孔、铺管等工艺过程。同时，设备的操作与工艺状况需相互配合、逻辑一致，实现地上与地下的同步钻进工艺模拟。

仿真系统开发包括虚拟环境搭建、交互系统设计钻进工艺设计以及脚本逻辑编写。以水平定向钻机实物为依据，完成钻机、钻杆、导向钻头、扩孔器等复杂模型建模与渲染。采用 Unity3D 引擎，将钻机模型导入，定义模型各零部件之间父子节点关系以及钻机所需碰撞体，搭建虚拟场景，进行施工工艺模拟和人机交互设计。

虚拟现实系统根据用户参与的交互方式以及沉浸程度，可分为多种不同形式。本系统主要提供 4 种交互形式，以适用于不同场景的实验教学。

1) 桌面式虚拟仿真系统

使用个人计算机产生三维视景仿真，用户通过鼠标、键盘与虚拟模型进行交互。这种形式结构简单，成本地，使用方便，适合多人同时操作学习。但参与者容易受到周围现实环境的干扰，不能实现完全的临场感。

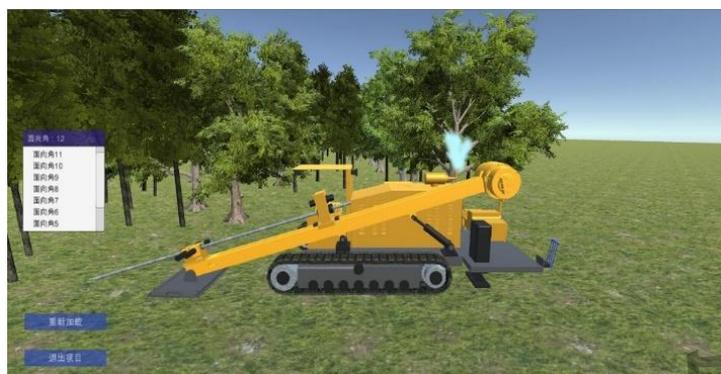


图3 桌面式虚拟仿真系统

2) 头盔式虚拟仿真系统

采用 HTC VIVE 头盔将使用者的视觉、听觉和其它感觉与外界隔离，避免了外界干扰，让用户全身心地投入到虚拟环境中去，产生一种身临其境的感觉。此方式使学生仿佛置身于水平定向钻机真实施工现场，增强学生实验兴趣，提升实验效果。头盔式仿真系统具有沉浸感强的特点，适于学生人数较少情况下进行深度体验。



图4 头盔式虚拟仿真系统

3) 大屏式虚拟仿真系统

利用大型 Led 显示系统，结合 3D 眼镜，可以同时为多位学生提供沉浸式的教学环境。这些 Led 墙用于创建沉浸式虚拟现实环境，用户利用 ART Flystick 交互系统与 3D 内容实时交互。此方式沉浸感强于桌面式，但弱于头盔式，适用于教师进行操作演示，多名用户以观察者身份参与。



图5 大屏式虚拟仿真系统

4) 半实物仿真系统

为更加真实地模拟钻机操作，提高操作水平，还提供了半实物增强的水平定向钻机仿真系统。该系统在视景仿真基础上，定制加工一套各类面板布局、操作方法、参数显示方式等与实际水平定向钻机保持一致的控制台。用户通过与各种操控器的互动发送操作信号，数据采集卡采集各种输入信号，并上传至计算机虚拟实训系统，钻进过程参数也实时地传送到Lcd屏进行显示。



图6 半实物仿真系统

5 结论

随着信息技术的不断更新与发展，工程机械的设计、培训以及施工作业管理等的形式也不断创新。本文介绍了一种多交互式的非开挖水平定向钻进虚拟仿真实验教学，用户可以在虚拟环境中进行水平定向钻进操作的实践，从而提高其实际操作能力和技能水平。该应用采用虚拟现实技术，可以模拟真实的钻进场景，钻进设备操作流程等。同时，该应用还具有多种交互方式，包括手柄、头盔、半实物操作台等，可以满足不同教学场景下的学习需求。实验结果表明，该应用能够有效提高学生的水平定向钻进操作能力和技能水平，具有较高的教学价值和应用前景。

参考文献:

- [1]陈晨,孙友宏,赵富章等.基于虚拟仿真技术的钻探工艺实验平台研究[J].实验室研究与探索,2017,36(09):132-135+148.
- [2]黄宇琪,张鹏,杨军伟等.工程钻探虚拟仿真实训平台建设初探[J].科技与创新,2021,173(05):100-104.
- [3]马登成,张新荣,胡永彪,等.工程机械虚拟仿真实验教学中心体系建设[J].实验室研究与探索,2019,38(04):143-146.
- [4]文国军,夏雨,王玉丹,等.基于Unity3D的水平定向钻机虚拟实训系统设计[J].系统仿真学报,2020,32(05):801-807.
- [5]文国军,陈昊,赵权等.基于Unity3D的水平定向钻进工艺仿真系统研究[J].煤矿机械,2023,44(06):101-104.DOI:10.13436/j.mkjx.202306030.
- [6]朱文华,蔡宝,石坤举等.虚实结合的减速器拆装的研究[J].实验室研究与探索,2017,36(11):98-102.
- [7]刘庆涛,赵权,文国军,等.基于zSpace的岩心钻机虚拟拆装系统[J].计算机系统应用,2020,29(11):266-270.
- [8]韦猛,霍宇翔,李谦.虚实结合的地质工程实践教学方法改革探索——钻探虚拟仿真实验教学平台研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,(01):87-92.