

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.04.016

排水泵站巡检安全教育培训中VR技术的应用

余凯华

(上海市城市排水有限公司, 上海 200233)

摘要: 在排水智能化背景下泵站无人值守推进过程中,对排水泵站巡检人员的技术要求和安全操作技能要求更为严格。排水泵站巡检过程可能涉及有限空间作业、高空坠落、触电、接触有毒有害气体等场景。传统排水泵站安全教育培训多通过宣读规章制度、观看事故视频等说教和灌输的模式来进行。采用虚拟现实(VR)技术,集成配套原型设备,开发了一套可交互式体验的泵站巡检安全教育培训系统,利用VR的沉浸感和交互性优势,通过视觉、听觉以及触觉等全方位体验,让参训人员清晰记住操作要点和安全隐患点。将VR技术引入安全培训不仅增添了教学的趣味性和实战性,还极大地提高了安全培训效果。该培训系统已正式上线,在公司教培中心用于一线泵站员工的安全教育培训,对国内排水行业的安全教育培训具有示范作用。

关键词: 排水泵站; 无人值守泵站; 安全教育; 虚拟现实技术; 培训系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)04-0093-06

Application of VR Technology in Safety Education and Training of Drainage Pumping Station Inspection

YU Kai-hua

(Shanghai Urban Drainage Co. Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: Under the background of intelligent drainage, the technical requirements and safety operation skills for the inspectors of drainage pumping stations are more stringent in the promotion process of unattended pumping station. The inspection process of the drainage pumping station may involve dangers such as limited space operation, falling from a height, electric shock, and exposure to toxic and harmful gases. Traditional safety education and training of drainage pumping stations are to improve employees' awareness of prevention by reading rules and regulations, watching accident videos and other preaching and instilling publicity modes. By using virtual reality (VR) technology and integrating supporting prototype equipment, a set of interactive experience safety education and training system is developed. By taking advantage of VR's immersion and interactivity, the trainees can clearly remember the operation points and safety risks through visual, auditory and tactile experience. The introduction of VR technology into safety training not only adds fun and practical teaching, but also greatly improves the effect of safety training. The training system has been officially launched and applied in the company's education and training center for the safety education and training of the company's first-line pumping station employees, which can play a demonstration role in the safety education and training of the domestic drainage industry.

Key words: drainage pumping station; unattended pumping station; safety education; VR technology; training system

排水泵站巡检涉及高空坠落、触电、有限空间作业、接触有毒有害气体等危险因素,操作过程伴随着巨大安全风险,因此,排水行业对职工进行泵站巡检安全教育培训必不可少。传统的安全培训方式是宣读规章制度、观看事故视频,以此来提高职工的安全风险防范意识,例如,高空作业必须佩戴安全带、电气设备检修要有操作票、有限空间作业需要先通风再检测后作业等条文,要求相关工作人员背熟记牢等,这种传统的说教、灌输模式,教育效果欠佳,员工并无切身体验,仅靠听词句、看视频,印象不够深刻,在后续操作中仍然容易出错,造成安全事故。

虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术利用计算机软件模拟现实环境,联合感知系统、三维技术、传感设备与计算机自动化技术促进多源信息的有机融合,建立交互式三维实景与仿真式实体系统,使用户能够体验环境,进行人机交互。目前国内VR技术初步用于消防给排水系统、建筑施工、油田、煤矿等安全培训^[1-6],在排水行业中仅限较少的理论综述和展望^[7-8],而用于排水工程专业的教学尚处于空白。针对传统安全培训互动性差、实战性不足、效果有限的弊病,可充分发挥VR的沉浸感和交互性优势,将VR技术应用于安全培训。尤其对于排水泵站巡检涉及高空坠落、触电伤害、有毒有害气体中毒等场景,说教和灌输式安全培训的效果并不好,但贸然带领新员工进行现场实战培训,稍有不慎则可能造成生命和财产的重大损失。此时,利用VR技术,可让参训人员通过视觉、听觉以及触觉等全方位体验,清晰记住操作要点和安全隐患点,从而极大地提高安全培训效果。

将VR技术用于排水泵站巡检安全教育培训,不仅会增添教学的趣味性和实战性,同时还能提高培训效果,使员工尽快掌握安全技能。选取上海市某泵站为教培点,采用VR技术模拟触电伤害、高空坠落、有限空间作业等危险场景,集成配套原型设备,开发了一套具有交互式体验功能的安全教育培训系统,除了对培训人员进行场景的深度体验培训之外,还可对培训者在操作过程中的错误行为进行统计分析,探寻参训人员安全意识亟待提高的关键所在,有利于克服偷懒、侥幸等其他不良心态并纠正错误操作,对后续安全培训和管理具有指导作用。目前,该培训系统已正式上线,在公司教培中

心用于一线泵站员工的培训,可为国内排水行业的相关安全教育培训起到示范性作用。

1 安全教育培训系统架构

采用Unreal Engine 4设计开发完成安全培训VR软件系统。Unreal Engine 4为Epic Games公司开发的开源游戏开发引擎,相比于Unity3D、CryEngine等开发平台,具有更强大的场景渲染能力,是目前所有VR开发引擎中展示效果最好的平台。本系统开发流程包括场景建模、场景渲染设计、事故特效制作、交互界面UI设计以及VIVE手柄交互功能开发等。采用的VR设备是HTC VIVE,原生支持VR开发,是目前大空间交互式体验最好的VR设备。

建立模型素材库,模型素材使用3DMAX软件制作,贴图使用Photoshop处理。

系统场景设计,根据排水泵站巡检日常生产运行管理所涉及的安全防护需求,梳理需掌握的法律法规、安全理论知识、实际操作方法和安全防护事项,构建新手引导、触电安全、高空坠落、有限空间作业等四大模块的整体方案流程。

数据分析功能,基于实训人员操作错误步骤,统计分析实训人员的安全薄弱点,包括认知、技能、思想等方面的安全隐患点,为后续安全教学奠定基础。

2 系统VR场景

系统选取上海市某泵站作为教培点,采用VR技术为实训人员展现日常工作环境场景,包括可能涉及的构筑物及其内部情形(见图1),保证实训环境与培训人员日常工作环境接轨,最大限度地提升实训效果。

打开系统应用进入项目大厅,有4个模块可供选择:新手引导、触电安全、高空坠落和有限空间,使用手柄选中其中一个模块即可进入相应的场景(见图2)。



a. 泵站实景展示



b. 构筑物内部场景展示

图1 泵站实景及构筑物内部场景展示

Fig.1 Display of real scene of pumping station and internal scene of structures



图2 VR虚拟体验界面

Fig.2 Experience interface of VR virtual system

2.1 新手引导功能

新手引导场景展示手柄各按键功能,按照语音提示依次完成包括移动、开门、物体互动等教学步骤,全部完成后按菜单键可返回大厅。

2.2 触电安全场景

该场景涉及场所主要为变电间清扫和电气柜检修两种具有触电安全风险的虚拟场景及工作过程可能接触的装置。

进入触电安全场景后,体验者首先出现在泵站门口,可走动观察周围环境,使用手柄在场景内实现瞬移,选择即将考核项目。以变电间清扫项目为例,选择该项目5s后,体验者听到提示:“工作人员即将到达泵站展开变电间清扫工作,请前往控制室检查证件,开始任务”。随后,体验者根据地面上出现的路径指示箭头,前往控制室,在桌面上有一个指示箭头,对准作业审批表,引导体验者点击;证件及单据提交验证完成后,拨打调度室电话,通知倒

闸工作开始;体验者出现在低压配电间门口,听到提示:“请按照变配电所电气倒闸操作票的要求完成变电间清扫进入前的准备工作”。体验者需要点击按钮,逐一关闭电容补充辅柜、分闸,最后打开进线柜进行分闸,并挂上警示牌。低压配电间操作完成后,体验者按照指引前往高压配电间;体验者先使用高压验电器验电,随后逐一按步骤关闭高压配电间设备,并挂上警示牌;高低压配电间设备均完成操作后,进入变电间进行验电放电等操作,连上接地线;清扫工作前停电倒闸操作后,拿取清扫设备,对变电间进行清扫;清扫工作完毕后,回收接地线以及所有清扫工作带入的用具,与设备单进行核对;变电间清扫操作完成后,体验者前往高压配电间继续进行送电工作;体验者拆除警示牌,并逐一按步骤合上高压配电间设备;高压配电间操作完成后,前往低压配电间进行送电;体验者点击按钮,拆除警示牌,并逐一打开设备;作业人员完成作业后退出配电间,并跳出作业单,对整个操作流程进行评估。

这一场景主要工作内容包括:在清扫前关闭低压配电间、高压配电间相关电气柜,并在完成清扫工作后复原。

具体操作内容及流程见图3。

参训人员进控制室操作台验证各种表单及配电间虚拟场景见图4。

电气柜检修场景主要工作内容为定期电气柜清扫检修,需在清扫前关闭低压配电间相关电气柜,并在完成电气柜清扫检修工作后复原,该场景操作内容见图5。

以上触电安全两个场景,设置参训者配备头戴显示设备,系统将培训虚拟场景传输至头戴显示设备,通过动作追踪设备采集初始信息,并根据初始信息得到参训者的动作信息;最后判断动作信息是否满足预设触电触发条件。若动作信息满足预设触电触发条件,参训者如同身临真实的触电事故现场,感受手柄处传来的微麻刺痛感觉,且头皮发紧,提高参训者的安全意识。该系统既有触电安全作业基础知识动画介绍,又配有虚拟作业场景沉浸式体验。通过以上培训,参训者可较为快速地熟悉并掌握操作流程,同时将相关规定和注意事项也牢记于心。

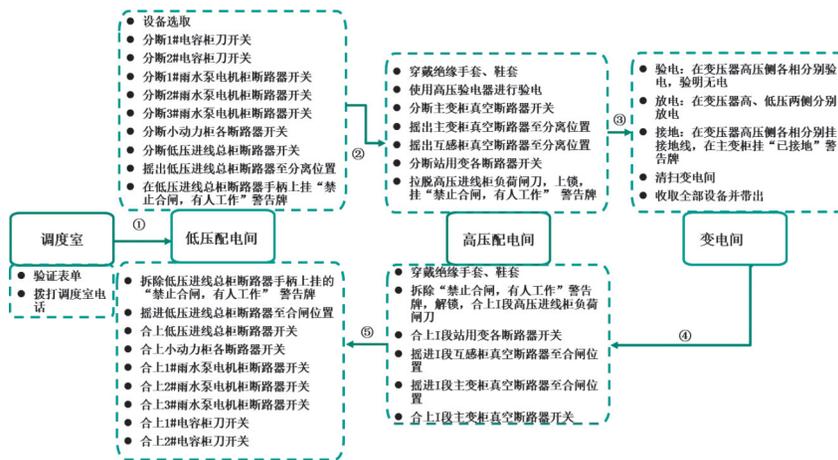


图3 变电间清扫工作内容

Fig.3 Work contents of substation cleaning



a. 控制室操作台验证表单



b. 配电间虚拟场景

图4 控制室操作台验证表单和配电间虚拟场景

Fig.4 Control room console validation form and virtual scene of power distribution room



图5 电气柜检修内容

Fig.5 Work contents of electrical cabinet maintenance

2.3 高空坠落场景

该场景主要进行泵站高处巡检工作的培训,使受训者在自身高空安全前提下,完成整个泵站的巡检工作。巡检场景设计操作流程见图6。

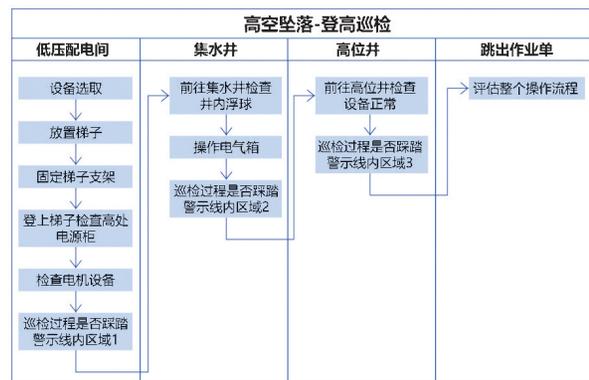


图6 巡检场景设计操作流程

Fig.6 Process for designing inspection scenario

在高空坠落模块,通过将高空作业中安全带的使用流程划分为系安全带和不系安全带两种场景,受训者可通过VR技术在虚拟环境中体验到高空作业中发生高空坠落的震动、摇晃和坠落感受;培训系统既有高空作业安全基础知识动画介绍,又让受训者体验操作流程,使受训者意识到正常佩戴安全带的重要性,加强受训者熟悉操作流程,提高对安全意识和规章制度的认识。

2.4 有限空间场景

有限空间是指封闭或部分封闭,进出口较为狭窄有限,未被设计为固定工作场所,自然通风不良,易造成有毒有害、易燃易爆物质积聚或氧含量不足的空间。

有限空间模块含下井下池作业和泵站地下空间巡检两种场景。进入有限空间场景,以选择下井下池作业为例,体验者听到提示:“你持有有限空间作业证,本次任务是潜水清污”。随后,体验者根据路面上指示箭头,前往控制室验证证件和表单后,前往车辆领取设备;证件及单据提交验证完成后,拨打调度室电话,通知清污工作开始;体验者出现在污水井旁,地面上放置着合在一起的防护栏,体验者需在语音提示下点击安全围栏撑开并放置好,关闭截污泵、关闭进水阀门;截污泵、进水阀关闭后,体验者选择潜水员后,相应的另一位工作人员以及所选设备出现,触发语音提示:“请按照有限空间作业审批表的要求完成有限空间进入前的准备工作”。体验者要用手柄点击抓取三脚架,并移动至电缆井上方架设,点击绞车,抓取放置在三脚架上,点击急停锁,抓取放置在三脚架上,连接鼓风机对井下进行送风通风,并放置气体检测仪,检测井下气体浓度,此处出现问答选择题(在关闭进水阀后,需通风多长时间可进行下井作业),当选择正确后,触发语音提示:“请观看安全员操作”。潜水员流程结束后,回到井上并跳出作业单,对整个操作流程进行评估。

这一场景主要工作内容为检查潜水清淤人员相关安全操作资格证明,以及协助陪同操作人员进行相关下井下池作业内容,具体见图7。

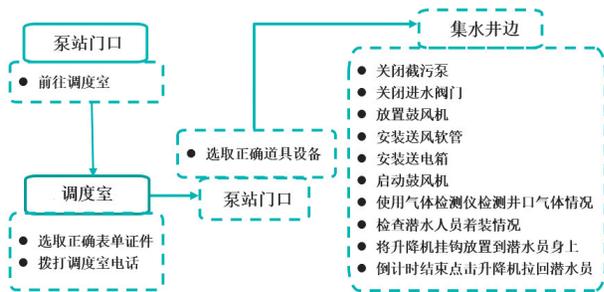


图7 下井下池作业内容

Fig.7 Work contents of inspection well of drainage system

控制室操作台验证表单见图8。



a. 控制室操作台验证表单

b. 安装送风软管



c. 检查潜水人员着装

d. 错误操作提示

图8 控制室操作台验证表单、安装送风软管、检查潜水人员着装和错误操作提示

Fig.8 Control room console validating form, installing the supply air hose, checking the diver's dress and incorrect operation tips

地下空间巡检主要工作内容为泵站地下空间日常巡检工作,检查地下有限空间的各设备是否正常运行。

操作内容见图9。



图9 泵站地下空间巡检工作内容

Fig.9 Work content of underground space inspection of pumping station

以上有限空间可产生或存在甲烷、硫化氢、一氧化碳和其他有毒有害、易燃易爆气体,有缺氧窒息危险。针对有限空间作业危险大、事故多发、后果严重等特点,培训系统既可以让受训者沉浸虚拟空间,体验真实作业环境,当错误操作发生引发冲击性后果后,还可以观看有限空间作业安全基础知识动画介绍。

3 系统实际应用效果

本系统已真正落实到排水安全教育培训应用:公司泵站班组长安全知识培训,每年大概160人次;泵站班组长的班组长管理类培训,每年大概300人次;新人入职、岗前以及赛前培训,每年大概120人次。该系统基于情景模拟的沉浸式培训,将施工作业当中的不同情景活灵活现地展示在受训者面前,让受训者快速地经历多种不同情景,从多角度感受不同情景下可能发生的危险,提高自我保护意识;同时,提高受训者学习的积极性和主动性,加深对培训知识的理解,并且引导受训者及时发现问题,使安全教育培训达到事半功倍的效果。

4 结论

针对传统排水安全教育培训方式以宣读规章

制度、观看事故视频等说教和灌输模式为主的弊端,采用VR技术,利用其沉浸感和交互性优势,集成配套原型设备,自主研发一套具备交互式体验的安全教育培训系统,实现触电伤害、高空坠落、有限空间等危险场景模拟,通过视觉、听觉以及触觉等全方面体验,使排水参训人员清晰记住操作要点和安全隐患点,不仅增添了教学趣味性和实战性,同时极大地提高了安全培训效果。

参考文献:

- [1] 宋立杰. 消防给排水系统中虚拟现实技术的应用讨论[J]. 时代农机, 2018, 45(5): 229.
SONG Lijie. Discussion on the application of virtual reality technology in fire water supply and drainage system [J]. Times Agricultural Machinery, 2018, 45(5): 229(in Chinese).
- [2] 杨鸽. VR技术在消防给排水工程中的应用探索[J]. 江西建材, 2019(10): 239-240.
YANG Ge. Application exploration of virtual reality technology in fire water supply and drainage engineering [J]. Jiangxi Building Materials, 2019(10): 239-240(in Chinese).
- [3] 赵辉. VR技术在消防给排水工程中的应用探索[J]. 智能城市, 2021(4): 38-39.
ZHAO Hui. Application exploration of virtual reality technology in fire water supply and drainage engineering [J]. Intelligent City, 2021(4): 38-39(in Chinese).
- [4] 朱云峰, 张峰, 韩树河. 基于VR的交通运输行业安全培训系统研究[J]. 无线互联科技, 2020, 17(16): 58-60.
ZHU Yunfeng, ZHANG Feng, HAN Shuhe. Study on VR safety training system in transport industry [J]. Wireless Internet Technology, 2020, 17(16): 58-60(in Chinese).
- [5] 彭玲茜, 潘瑜, 范自盛. 基于VR技术的建筑施工安全教育系统构建及应用[J]. 福建建筑, 2020(5): 140-144.
PENG Lingqian, PAN Yu, FAN Zisheng. Build and application of construction industry of safety education based on virtual reality technology [J]. Fujian Architecture Construction, 2020(5): 140-144 (in Chinese).
- [6] 张鹭. 虚拟现实技术在油田安全教育培训中的应用[J]. 科技创新与生产力, 2018(1): 115-117.
ZHANG Lu. Application of virtual reality technology in oilfield safety education training [J]. Sci-tech Innovation and Productivity, 2018(1): 115-117 (in Chinese).
- [7] 薛彩龙. 基于VR技术的井下排水可视化监测系统研究[J]. 机械管理开发, 2018(10): 106-107.
XUE Cailong. Research on visualization monitoring system of underground drainage based on VR technology [J]. Mechanical Management and Development, 2018(10): 106-107(in Chinese).
- [8] 张倩, 李孟. 基于“5G+无人机”的VR/AR技术在给排水科学与工程专业教学中的应用[J]. 科教导刊, 2021(11): 38-40, 43.
ZHANG Qian, LI Meng. Application of VR/AR technology based on “5G+UAV” in teaching of water supply and drainage [J]. The Guide of Science & Education, 2021(11): 38-40, 43(in Chinese).

作者简介:余凯华(1968-),男,浙江绍兴人,大学本科,高级工程师,从事排水生产运行、信息化和工程建设等管理工作。

E-mail: yukh@smc.sh.cn

收稿日期: 2022-06-28

修回日期: 2023-06-30

(编辑:衣春敏)