

基于VR技术的非煤矿山火灾应急培训系统的开发

洪洋^{1,2},周科平^{1,2*},梁志鹏^{1,2},胡业民³

- 1.中南大学资源与安全工程学院,湖南 长沙 410083;
- 2.中南大学高海拔寒区采矿工程技术研究中心,湖南 长沙 410083;
- 3.湖南中矿智园信息科技有限责任公司,湖南 长沙 410083

摘要:为了克服非煤矿山矿井火灾传统应急培训方式效果不佳和部分培训内容难以实现的问题,设计了包含项目基本介绍、事故场景体验、人员角色体验和综合考核评价4个子系统的矿井火灾应急培训系统功能框架。利用3Ds Max三维建模软件和Unity3D游戏引擎建立了矿井火灾虚拟场景,通过C#语言脚本编程和HTC VIVE头显设备实现学员与矿井火灾虚拟场景的交互,从而完成了系统的开发,并对系统进行了评估。评估结果表明,VR培训系统的用户体验指标一般是PPT培训的2~4倍,其中沉浸性是PPT培训的22.5倍,培训效果指标一般是PPT培训的1~2倍,说明基于VR技术的矿井火灾应急培训系统的用户体验和培训效果更好。

关键词:虚拟现实;矿井火灾;应急培训;VR培训系统;系统评估;非煤矿山

中图分类号:TD77+1 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2019)04-0629-08 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2019.04.629
引用格式:HONG Yang,ZHOU Keping,LIANG Zhipeng,et al.Development of Non-coal Mine Fire Contingency Training System Based on VR Technology[J].Gold Science and Technology,2019,27(4):629-636.洪洋,周科平,梁志鹏,等.基于VR技术的非煤矿山火灾应急培训系统的开发[J].黄金科学技术,2019,27(4):629-636.

由于矿山系统的脆弱性,以及井下高温、复杂电网等原因,非煤矿山极易发生火灾事故,进而造成巨大的人员伤亡和经济损失。矿山作业人员的专业技能和应急能力对矿井火灾事故的防控具有重要影响,因此如何有效地提高矿山作业人员的火灾应急专业技能显得极为重要。传统上经常采用课堂培训、在职培训、安全会议和安全演习等方式对矿山作业人员进行矿井火灾应急培训,例如:杨黔平^[1]提出矿山多元安全培训体系;张启文^[2]对矿山安全培训与考核内容进行了分析。然而,传统的安全应急培训存在形式单一抽象、培训过程交互性差、学员难以理解、培训效果不理想,以及演习培训费用昂贵且可行性差等缺点^[3]。

虚拟现实技术(VR)具有交互性、沉浸性和想象

性等特点,因而在矿山教育培训、消防安全等领域获得了广泛应用,如:用于虚拟矿山的漫游仿真设计^[4-5],矿山救援培训系统的实现^[6],火灾条件下人的行为方式研究^[7-9]。在矿井火灾应急培训领域,已有学者开展了VR技术应用的相关研究,如武炜^[10]利用vg DIGuy模块模拟矿工火灾期间的逃生;朱红青等^[11]基于Virtools开发矿井火灾救援虚拟现实培训系统;任大伟等^[12]基于Unity3D开发煤矿灾害应急疏散虚拟现实平台,但这些研究只针对疏散和救援中的某一方面,缺少对火灾发生后应急处理工作的系统研究,并且存在构建的虚拟现实系统交互性不足及虚拟现实实验设备繁重复杂等问题。国内外学者相继利用BIM技术^[13]、Unity3D游戏引擎^[14]、环绕6屏^[15]和虚拟体验舱^[16]等软硬件设施来开发火

收稿日期:2019-06-29;修订日期:2019-07-19

基金项目:国家自然科学基金项目“高寒冻融区露天矿岩质边坡裂隙网络扩展行为多尺度时变演化机制”(编号:51774323)资助

作者简介:洪洋(1995-),男,湖北宣恩人,硕士研究生,从事安全管理和矿山VR等方面的研究工作。hongyang@csu.edu.cn

*通信作者:周科平(1964-),男,湖南衡阳人,教授,博士生导师,从事矿业工程方面的研究工作。kpzhou@vip.163.com

灾应急虚拟现实系统,但这些设施偏重于消防安全领域,对于矿井火灾场景的培训应用效果不佳。

基于此,本文设计了一种集非煤矿山火灾应急救援培训与培训效果综合考核功能于一体的火灾培训系统架构,并利用 3Ds Max 三维建模软件、Unity3D 游戏引擎和 HTC VIVE 头显设备设计开发出交互性和体验性更佳的非煤矿山火灾应急培训系统,以期提高非煤矿山火灾事故应急处置能力。

1 系统功能设计

1.1 系统功能模块划分

为了提高非煤矿山矿井火灾应急培训效果,使学员全面学习掌握火灾发生前后的事故演变过程和应急处理措施。利用 VR 技术构造了一个从火灾发生前的虚拟漫游到火灾发生时的场景体验,再到火灾发生后的人员疏散、应急救援、灾后处理,以及学习培训后进行考核评价的非煤矿井火灾应急培训系统。该系统主要包括 4 个子系统:项目基本介绍子系统、事故场景体验子系统、人员角色体验子系统和综合考核评价子系统。培训时,学员以第一视角进入培训系统,进行系列学习和体验,各子系统及其功能如表 1 所示。

1.2 事故场景体验子系统

学员佩戴虚拟现实设备进入事故场景体验子系统,成为场景中的一个虚拟人员,并以第一视角经历了不同场景的火灾事故,了解事故发生的原因和过程。该子系统充分利用虚拟现实技术强沉浸性和强真实性的特点,使学员身临其境地体验火灾事故的惨烈后果,特别是虚拟人员死亡带来的强烈感觉(视觉、听觉)冲击,给学员留下了深刻印象和直观感受,从而达到了培训体验效果。

根据统计资料,非煤矿山矿井火灾事故主要由电气引燃、明火或焊接火花、人的不安全行为等因素引起,其中电气引燃造成的火灾事故约占 60%^[17]。针对以上因素设计 3 种事故场景:(1)电缆乱搭、乱接导致电缆短路,引燃变电所地面的油渍,继而引燃巷道易燃物质,导致井下发生重大火灾事故,虚拟人员来不及撤离,吸入火灾产生的大量有毒气体缺氧窒息死亡;(2)变配电室存放设备过多,管理不善,电器使用功率过大导致导线过载而燃

烧,使硐室内易燃材料着火,引起变压器爆炸,虚拟人员遭受爆炸产生的气浪冲击而昏厥;(3)人为使用明火抽烟,随意丢弃的烟头引起矿井内易燃物质燃烧,瞬间产生高温大火,虚拟人员忍受不了高温而倒地。

表 1 系统功能模块
Table 1 System function module

子系统名称	模块	功能
项目基本介绍子系统	系统简介	了解系统的基本功能、培训目的
	操作培训	熟悉交互界面并学会手柄的使用
事故场景体验子系统	电缆起火事故	体验事故发生的不同场景,了解矿井火灾的起火原因,对于矿井火灾产生直观的感受
	变压器爆炸事故	
	人为火灾事故	
人员角色体验子系统	疏散逃离	熟悉避灾流程和路线
	灭火处理	熟悉灭火措施和灾后处理工作
	救援急救	熟悉救援流程和学习应急处理措施
综合考核评价子系统	事故处理	考核基本事故处理方式
	消防知识	考核常用消防知识
	医疗自救	考核一般医疗急救知识

1.3 人员角色体验子系统

人员角色体验子系统的主要功能是帮助学员学习体验矿井火灾发生后不同的应变处理方法。在该子系统中,学员根据不同的火灾事故应急处理方法模块,以不同角色的虚拟人员身份进入矿井,通过观察系统动画特征,进行观察、选择和应对等一系列操作。为了加深学员的学习理解,该系统专门在重要内容部分设置了“选择”操作选项,并提示学员进行选择。当学员做出错误选择时,子系统画面会显示选择错误而产生的后果,然后重新返回上一步内容,直到学员选择正确时才会进入下一步,并依次循环,直到完成角色体验。该子系统功能不仅体现了游戏互动性能,以良好的交互性帮助学员加深印象,而且当学员做出错误判断时,会对其产生强烈的应急后果冲击,提高其记忆效果。

本研究开发的应急培训系统中,人员角色体验子系统包括三类模块:疏散逃离模块、灭火处理模

块和救援急救模块。其中,在疏散逃离模块中,学员体验井下矿工的身份,以保证矿井发生火灾时作业人员能够按正确的撤离路线逃离;灭火处理模块则以进入井下救火和事后处理为目标,使学员体验

灭火消防队队员的身份;救援急救模块以救护井下伤员和帮助被困人员撤离为目标,使学员体验应急救援队队员的身份。人员角色体验子系统三类模块的具体流程如图1所示。

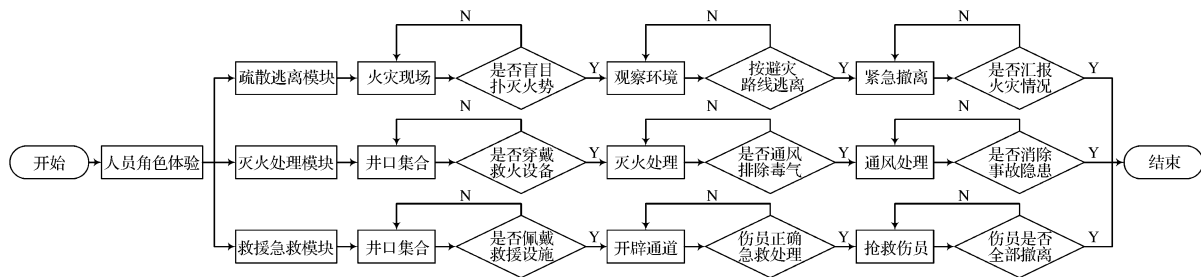


图1 人员角色体验流程

Fig.1 Personnel role experience process

1.4 综合考核评价子系统

为了评估学员对火灾事故的应变能力并考核学习培训效果,该培训系统设计了综合考核评价子系统,如图2所示。该子系统中预先建立了事故处理、消防知识和医疗自救3个考核内容数据库,在对学员进行考核时,从3个数据库中依次随机抽取考试试题,以保证考核内容的深度和广度,学员通过操作手柄回答问题的形式来加深矿井火灾应急培训的效果。只有学员各个方面取得的分数都大于或等于60分,系统才会显示分数,并进行错题回放,否则输出结果为不及格。

2 系统结构的开发流程

2.1 系统开发技术路线

VR系统开发工具和方法较多,本次培训系统结合矿山的实际需求,利用3Ds Max 三维建模软件和Unity3D游戏引擎构建虚拟现实系统,并通过HTC VIVE头显设备实现交互功能,其开发技术路线如图3所示。具体开发步骤如下:

(1)收集非煤矿山火灾事故的相关资料和数据,具体包括火灾发生的原因,矿井及电器设备参数,火灾疏散、火灾救援和火灾灭火处理等相关资料。

(2)根据收集的设备参数,使用3Ds Max 三维建模软件对矿井、人物和火灾场景进行几何建模,利用材质编辑功能,将材质赋给模型,从而实现纹理贴图。

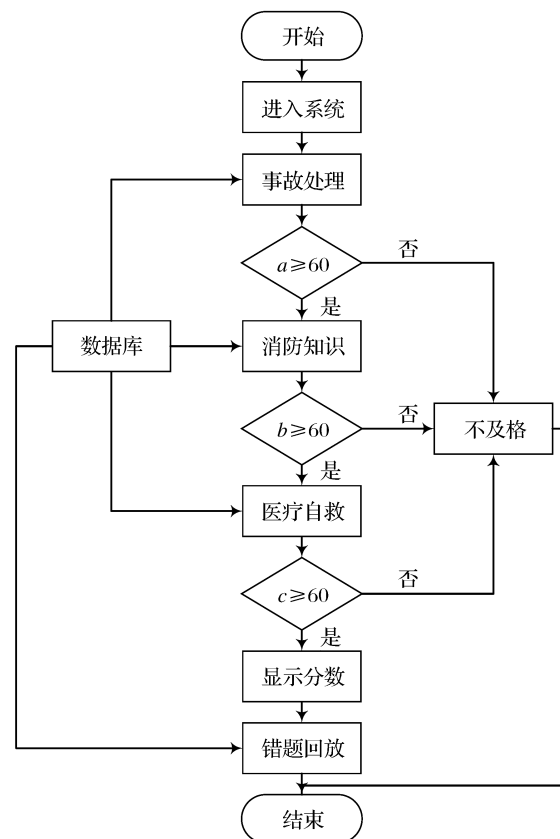


图2 综合考核评价流程

Fig.2 Comprehensive assessment and evaluation process

(3)将三维建模文件保存为“.FBX”格式,然后将嵌入了媒体信息的场景精细模型导入到Unity3D游戏引擎中进行耦合。

(4)在Unity3D游戏引擎中实现场景烘焙,创建

贴图 and 材质, 利用 shader 编程实现几何纹理映射, 使模型表面产生凹凸特性, 并对模型进行渲染, 使模型效果具有真实性; 设置灯光并调节光照效果, 使渲染的场景接近矿山实景。

(5) 在 Unity3D 游戏引擎中加入声效控制和物理引擎控制等效果加成, 使场景更加贴近实际效果, 其中声效控制包括系统的操作提示声音和交互时的动作声音, 在物理引擎中最重要的是加入碰撞检测。

(6) 基于 Unity3D 游戏引擎的 API 函数, 利用 C# 编程语言完成脚本开发, 实现交互动能和系统控制。

(7) 加入 Steam VR 插件, 调用 HTC VIVE SDK, 设置寻路导航并确定地面可走范围, 加入 [CameraRia] 预制件, 实现头盔式显示器和交互手柄的定位与显示功能。

(8) 系统完成, 进行系统测试和处理系统反馈问题。

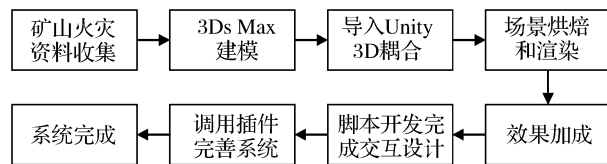


图3 系统开发技术路线

Fig.3 Technology route of system development

2.2 三维模型的建立

建立非煤矿山矿井火灾应急培训系统的首要步骤是建立与矿井、火灾和人物相似的三维数字模型。

矿井模型主要利用 3Ds Max 中的多边形进行建模, 建模时要充分参照矿山矿井实际情况、矿山数字模型、矿山设备参数和巷道采场结构参数等信息, 设计矿井交叉巷道、井内电器设施及电缆等。

火灾模型包括火焰、烟雾和爆炸等效果, 主要通过 3Ds Max 软件里的 Super Spray 超级喷射粒子系统进行建模。建模时, 通过调整粒子发射器的参数, 将粒子的渲染方式改成 FACING (面片方式), 调节材质和颜色, 添加 SMOKE 材质并进行渲染, 完成火焰和爆炸的效果。另外, 通过改变主体颜色, 火焰可以更改为烟雾效果。

人物建模包括人物的前进、后退、跳、跑、用湿

毛巾捂住口鼻、穿戴设备、拿出灭火器等动作建模, 以及人物的工作服、口罩、气体检测仪、头灯 (电筒)、自救器等静态的佩戴设施建模。人物建模以 3Ds Max 中的多边形建模为核心, 首先创建一个标准的三维物体, 然后将其转成可编辑的多边形物体, 利用多边形强大的可编辑性质, 按照人体肌肉走向对模型进行切割、连接、合并、焊接、挤压和倒角等操作, 逐步细化模型, 最终达到制作要求。

2.3 基于 Unity3D 的系统构建

三维模型构建完成后, 为了增加系统的真实感和交互性, 还需将模型导入到 Unity3D 游戏引擎中构建培训系统, 这也是构建虚拟现实系统最重要的步骤。

系统构建时, 首先将几何模型导入到 Unity3D 游戏引擎中进行纹理贴图和烘焙, 然后利用 shader 编程实现场景渲染。为了在场景中还原井下暗淡的光照效果, 在现场关闭所有的自然光和环境光, 并在场景中设置点光源来烘焙场景。VR 培训系统中的深度感知问题通过使用丰富的纹理背景、阴影、多感官环境和生动高质量的颜色解决^[18], 渲染后的火焰、烟雾和矿井场景分布如图 4 所示。

为了实现更真实的体验效果, 需要对场景视觉、听觉及物理效果进行加成。在物理效果的加成中最重要的是在物理引擎控制中加入碰撞检测: 可以给物体加碰撞检测的脚本, 在脚本中添加 On Collision Enter (Collision collision)、On Collision Exit (Collision collision)、On Collision Stay (Collision collision) 这 3 个函数, 当有碰撞体进入、离开和停留在另一个碰撞体时, 将会依次调用这些函数。在这些函数中添加响应碰撞检测的代码, 就可以实现物体抓取、碰撞应力反馈等物理效果。

2.4 用户交互功能的实现

为了在培训过程中充分发挥培训人员与虚拟环境的互动性, 增加参训人员的现实感观, 采用 HTC VIVE 头显设备实现用户与系统的交互。头显设备包括头戴式数字头盔 (HMD)、VIVE 操控手柄和定位器 3 个部分, 如图 5 所示。头戴式显示系统通常与头部运动跟踪或眼球跟踪并行工作, 以增强真实感^[19]。通过操控 VIVE 操控手柄可以实现虚拟人员的移动和系统功能的选择等控制功能。定位器具有身体追踪功能, 可以实现对学员移动动作的捕捉, 完成与系统中虚拟人员动作的同步化。系统

交互功能的实现有2种方式:一种是利用传统的激光指针式交互方式,生成Laser Pointer激光束,通过操控圆形的触控板控制激光束射线,当射线照射到虚拟系统的装置时,如果射线变色,则可以进行传送,否则继续进行漫游;另一种是通过触碰或抓取

某特定物体的方式进行交互,以抓取物体的物理碰撞引擎来实现。本文通过C#语言编写Unity脚本对培训系统中的各种模型进行控制并实现交互功能,同时调用Steam VR等插件以增加交互功能,使系统功能更加完善。

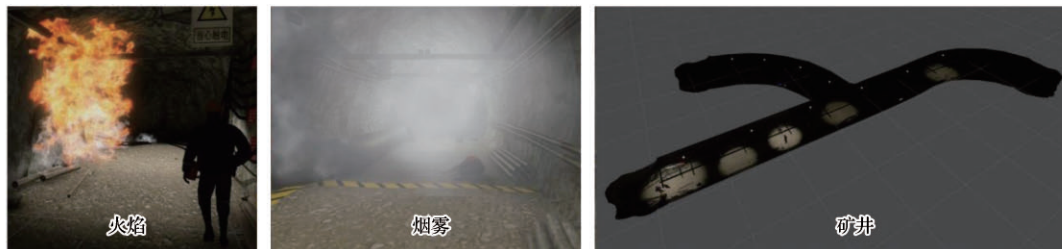


图4 渲染后的场景

Fig.4 Rendered scene



图5 用户交互的设备

Fig.5 User interaction device

3 系统效果评估

3.1 室内评估试验流程

为了评估基于VR技术的矿井火灾应急培训系统的培训效果,本研究共邀请了60名年龄相近、学科专业背景相同且未参加类似试验的在校大学生参加传统培训方式(PPT)和VR培训系统的培训测试,2种测试方式的知识系统相同。测试时,60名同学同时参加PPT培训和VR系统培训,其中30名同学先参加PPT培训再参加VR系统培训,另外30名同学先参加VR系统培训再参加PPT培训,以避免试验顺序对试验结果的影响。为了防止其他干扰,测试人员不能向未测试人员透露信息,评估试验现场如图6所示。待完成测试后,每位同学填写包含注意力、真实感等12项指标的测试效果评分表,表中的评估指标参考相关研究成果^[12,20]和非煤矿山矿

井火灾实际情况设计,各指标评分范围为0~5,分数越高代表指标效果越好,打分完成后回答对两类培训方式的喜爱程度,从而对测试效果进行评估。

3.2 室内评估试验结果

根据60名同学测试评估反馈的结果,共收集了120份有效打分表,统计指标均值得到PPT培训与VR系统培训效果评估对比结果(图7)。由图7可以看出,在注意力、真实感、想象性和满意度4个方面,VR系统指标均值是PPT培训的2~4倍,特别是在沉浸性方面二者形成了明显对比,说明VR系统具有很好的用户体验。但在舒适感和便捷性方面,VR系统明显低于PPT培训,很多用户指出使用VR系统培训时,偶尔会出现眩晕、身体不适的情况,并且VR系统相比PPT培训不够便捷,这也是未来VR系统需要不断改善的地方。总体来说,VR系统具有很好的用户体验。在促进学习、利于操作和

认知、记忆等方面,VR系统培训效果指标一般是PPT培训的1~2倍,说明在矿井火灾应急培训方面,利用VR技术构建的培训系统具有更好的培训效果。另外,90%的受测试同学更偏爱基于VR技术的矿井火灾应急培训系统。由此可知,基于VR技术的培训系统能够有效地提高矿井火灾应急培训效率,达到很好的培训效果。

3.3 现场测试评估

为了验证基于VR技术的非煤矿山火灾应急培训系统在矿山实际应用的可行性,在广西高峰矿对锡矿作业人员进行测试。测试的硬件设施有电脑、显示屏和HTC VIVE头显设备系统。在整个测试期间,设备运行稳定,能实现所有的系统功能。在测试过程中,被测试人员对新开发的培训系统兴趣浓厚,主动学习的意愿更强;除个别人员反映穿戴HTC VIVE头显设备会出现身体不舒适之外,大部分人员反映能熟练地操作系统并学习理解系统的

培训内容。另外,该系统只需要软硬件设备即可完成培训,并且可以多次重复使用,不需要另外聘请安全专家授课,可有效降低培训成本。



图6 评估试验

Fig.6 Evaluation test

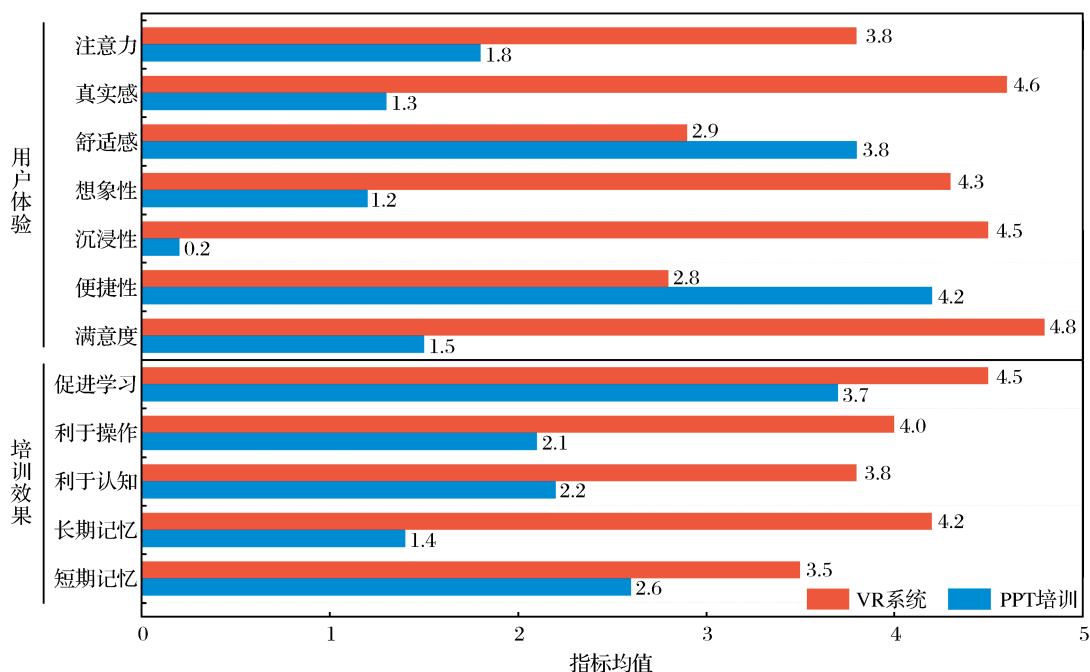


图7 评估结果

Fig.7 Evaluation results

4 结论

(1)设计了基于VR技术的非煤矿山火灾应急培训系统的系统框架和开发流程,根据系统功能划分出4个子系统和模块,基于Unity3D引擎和HTC

VIVE终端开发了一种系统性和交互性更强的矿井火灾应急培训系统。

(2)相比传统的矿井应急培训,基于VR技术构建的培训系统成本低、易于接受且培训方式灵活,具有更好的培训效果和用户体验,能有效提高矿井

火灾应急培训效率,加强矿山作业人员的火灾应急专业技能。

(3)使用VR系统培训时用户偶尔会出现眩晕、身体不舒适的情况,未来可通过提升VR硬件设备、优化视觉移动以适应用户正常的视觉生理机能。另外,综合考核评价子系统的设定尚不完善,下一步研究将致力于开发更丰富的考核评价场景,用户在考核时可实现更全面的交互,从而实现非煤矿山火灾应急培训系统的多元化。

参考文献(References):

- [1] 杨黔平. 矿山安全培训体系的构建及培训效果评估研究[J]. 科技风, 2015(7): 108.
Yang Qianping. Research on construction of mine safety training system and evaluation of training effect[J]. Technology Wind, 2015(7): 108.
- [2] 张启文. 矿山安全培训与考核系统开发分析[J]. 现代物业, 2013, 12(12): 58-59.
Zhang Qiwen. Development and analysis of mine safety training and assessment system[J]. Modern Property Management, 2013, 12(12): 58-59.
- [3] Shiva P, Pascal P, Stephen P, et al. A qualitative evaluation of the role of virtual reality as a safety training tool for the mining industry[J]. Intersections in Simulation and Gaming, 2018, 10711: 188-200.
- [4] 修春华, 孙秀娟, 苗坡, 等. 基于Unity3D的虚拟矿山漫游仿真系统设计与实现[J]. 金属矿山, 2015, 44(4): 262-266.
Xiu Chunhua, Sun Xiujian, Miao Po, et al. Design and implementation of virtual mine roaming simulation system based on Unity3D[J]. Metal Mine, 2015, 44(4): 262-266.
- [5] 张二洋, 陈建宏. 基于Surpac 矿山设计软件及虚幻引擎实现的矿山虚拟现实漫游系统[J]. 黄金科学技术, 2017, 25(4): 93-98.
Zhang Eryang, Chen Jianhong. Design and implementation of virtual mine roaming system based on surpac and unreal engine[J]. Gold Science and Technology, 2017, 25(4): 93-98.
- [6] 胡东涛, 黄浪, 周焕明, 等. 基于虚拟现实技术的非煤矿山救护队培训系统设计与实现[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(2): 171-175.
Hu Dongtao, Huang Lang, Zhou Huanming, et al. Design and implementation of training system for non-coal mine rescue team based on virtual reality technology[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(2): 171-175.
- [7] Cao L, Lin J, Li N. A virtual reality based study of indoor fire evacuation after active or passive spatial exploration[J]. Computers in Human Behavior, 2019, 90: 37-45.
- [8] Kinatader M, Ronchi E, Gromer D, et al. Social influence on route choice in a virtual reality tunnel fire[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, 26: 116-125.
- [9] 何高奇, 郁明强, 蒋正清, 等. 基于VR火灾逃生游戏的应急行为评估系统[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(11): 2796-2803.
He Gaoqi, Yu Mingqiang, Jiang Zhengqing, et al. Emergency behavior assessment system based on VR fire escape game[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2796-2803.
- [10] 武炜. 煤矿井下火灾事故人员逃生可视化技术研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2010.
Wu Wei. Visualizing Technology and Its Research on Mine Fire Accident and Rescue[D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2010.
- [11] 朱红青, 秦晓峰, 杨成轶, 等. 基于Virttools的矿井火灾救援VR培训系统开发[J]. 矿业研究与开发, 2014, 34(4): 95-98.
Zhu Hongqing, Qin Xiaofeng, Yang Chengyi, et al. Development of mine fire rescue VR training system based on virttools[J]. Mining Research and Development, 2014, 34(4): 95-98.
- [12] 任大伟, 刘阳. 煤矿井下逃生训练平台的开发与评估[J]. 煤矿安全, 2016, 47(5): 122-125.
Ren Dawei, Liu Yang. Development and evaluation of virtual reality training platform for emergency escape in underground coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(5): 122-125.
- [13] Ruppel U, Schatz K. Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations[J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, 25(4): 600-611.
- [14] 刘敦文, 贾昊燃, 翦英骅, 等. 基于虚拟现实技术的隧道火灾应急培训系统构建和研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(2): 131-137.
Liu Dunwen, Jia Haoran, Jian Yinghua, et al. Construction and research of emergency training system for tunnel fire based on virtual reality technology[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019, 15(2): 131-137.
- [15] 孟凡兴, 张伟. 火灾下紧急逃生的虚拟现实系统开发与评估[J]. 人类工效学, 2013, 19(2): 23-26.
Meng Fanxing, Zhang Wei. Development and evaluation of a virtual reality system of fire emergency escape[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2013, 19(2): 23-26.
- [16] 杜宝江, 查亮, 林灵. 消防安全教育虚拟火灾逃生体验舱系统的设计[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(2): 453-461.
Du Baojiang, Zha Liang, Lin Ling. Key technology of full-

- ly immersive virtual experience cabin[J].Journal of System Simulation, 2017, 29(2):453-461.
- [17] 刘正宇, 李爱兵, 邹平, 等. 非煤矿山火灾事故应急救援适用性技术分析[J]. 采矿技术, 2010, 10(5):43-45.
- Liu Zhengyu, Li Aibing, Zhou Ping, et al. Technical analysis on applicability of emergency rescue for non-coal mine fire accidents[J]. Mining Technology, 2010, 10(5):43-45.
- [18] Lawson G, Salanitri D, Waterfield B. Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer[J]. Applied Ergonomics, 2016, 53:323-330.
- [19] Vaughan N, Gabrys B, Dubey V N. An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training[J]. Computer Science Review, 2016, 22:65-87.
- [20] Aebbersold M, Voepel-Lewis T, Cherara L, et al. Interactive anatomy-augmented virtual simulation training[J]. Clinical Simulation in Nursing, 2018, 15:34-41.

Development of Non-coal Mine Fire Contingency Training System Based on VR Technology

HONG Yang^{1,2}, ZHOU Keping^{1,2}, LIANG Zhipeng^{1,2}, HU Yemin³

1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China;

2. Research Center for Mining Engineering and Technology in Cold Regions, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China;

3. Sino Mining Science Park (Hunan) Information Technology Co., Ltd., Changsha 410083, Hunan, China

Abstract: Non-coal mines are prone to fire accidents due to the fragility of the mine system and the high temperature of the mine. It is important to improve the fire contingency professional skills of mine operators through contingency training, which plays an important role in the prevention and control of mine fire accidents. However, the traditional contingency training has the disadvantages of single form, poor training effect and difficulty in realizing some training contents, so this paper developed a non-coal mine fire contingency training system with comprehensive functions and strong interaction using virtual reality technology. A mine fire contingency training system functional framework consisted of four basic subsystems, namely project introduction subsystems, accident scene experience subsystems, personnel role experience subsystems and comprehensive assessment subsystems is designed. And a mine fire training system is constructed whose functions include the virtual roaming before the fire, the scene experience when the fire occurred, the evacuation, contingency rescue, post-disaster treatment after the fire, and comprehensive assessment and evaluation after learning and training. 3Ds Max 3D modeling software and Unity3D game engine are utilized to establish a virtual scene of mine fire, and the C# language script programming and HTC VIVE head-mounted display device are applied to realize the interaction between trainee and the mine fire virtual scene thus the system is developed, and conducting indoor test and field test for evaluation on the system effect. The results of the indoor test evaluation show that the user experience indicators of the VR training system are generally 2 to 4 times of the PPT training, and its immersion indicator is 22.5 times of the PPT training. The training effect indicators are generally 1 to 2 times of the PPT training, and 90% of the tested students prefer the mine fire emergency training system based on VR technology. While the field test process equipment is stable, mine operators have a strong interest in the VR training system and stronger willingness to learn actively, and most of them mentioned that they can be proficient in operation system and understand the training content of the system easily. It shows that the mine fire contingency training system based on VR technology can bring better user experience and training effect, improve the efficiency of mine fire contingency training effectively, and is more popular than traditional training. The VR training system has the characteristics of low cost, easy acceptance and flexible training methods, which can achieve good training results and strengthen the fire emergency professional skills of mine operators.

Key words: virtual reality; mine fire; contingency training; VR training system; system evaluation; non-coal mines