

基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统开发与应用效果评估

于光佐*, 李 勇, 白惠文

国网能源哈密煤电有限公司, 新疆 哈密

收稿日期: 2025年5月26日; 录用日期: 2025年6月19日; 发布日期: 2025年6月30日

摘 要

随着发电企业对安全生产要求的不断提升, 传统应急安全培训方式面临诸多挑战。本研究聚焦于基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统的开发与应用效果评估。首先深入剖析发电企业应急安全培训现状及传统方式的局限, 阐述虚拟现实技术的原理与特性, 凸显其在模拟真实场景、提供交互体验、保障培训安全等方面的显著优势。详细介绍开发的应急安全培训系统架构, 涵盖风险认知模块、应急流程演练模块、技能强化训练模块等核心功能组件, 以及三维建模、交互设计、场景渲染等关键技术运用。通过多维度评估方法, 对实际应用案例进行深入分析, 从员工的安全知识掌握、应急操作技能提升, 到企业安全事故发生率降低、应急响应效率提高等方面全面量化评估系统应用效果。研究表明, 该系统能有效弥补传统培训不足, 显著增强员工安全意识与应对能力, 为发电企业应急安全培训提供创新且高效的解决方案, 同时也为其他行业应急培训体系建设提供了极具价值的参考范例与实践经验借鉴。

关键词

虚拟现实技术, 发电企业, 应急安全培训, 系统开发, 应用效果评估

Development and Evaluation of the Application Effect of the Emergency Safety Training System for Power Generation Enterprises Based on Virtual Reality Technology

Guangzuo Yu*, Yong Li, Huiwen Bai

State Grid Energy Hami Coal and Electricity Co., Ltd., Hami Xinjiang

*通讯作者。

文章引用: 于光佐, 李勇, 白惠文. 基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统开发与应用效果评估[J]. 智能电网, 2025, 15(3): 64-72. DOI: 10.12677/sg.2025.153007

Abstract

With the continuous increase in the requirements for safe production in power generation enterprises, traditional emergency safety training methods are faced with numerous challenges. This study focuses on the development and evaluation of the application effect of an emergency safety training system for power generation enterprises based on virtual reality technology. Firstly, it deeply analyzes the current situation of emergency safety training in power generation enterprises and the limitations of traditional methods, expounds the principles and characteristics of virtual reality technology, and highlights its remarkable advantages in simulating real scenarios, providing interactive experiences, and ensuring training safety. The architecture of the developed emergency safety training system is introduced in detail, covering core functional components such as the risk awareness module, emergency procedure drill module, and skill enhancement training module, as well as the application of key technologies such as 3D modeling, interactive design, and scene rendering. Through a multi-dimensional evaluation method, in-depth analysis is carried out on practical application cases, and the application effect of the system is comprehensively and quantitatively evaluated from aspects such as employees' mastery of safety knowledge, improvement of emergency operation skills, reduction of the incidence of enterprise safety accidents, and enhancement of emergency response efficiency. The research results show that this system can effectively make up for the deficiencies of traditional training, significantly enhance employees' safety awareness and response capabilities, provide an innovative and efficient solution for emergency safety training in power generation enterprises, and also offer valuable reference examples and practical experience for the construction of emergency training systems in other industries.

Keywords

Virtual Reality Technology, Power Generation Enterprises, Emergency Safety Training, System Development, Evaluation of Application Effect

Copyright © 2025 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. 绪论

1.1. 研究背景

随着科技的不断进步,虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术正逐渐在各个领域展现出巨大的应用潜力。在发电企业中,应急安全培训至关重要,它直接关系到员工的生命安全和企业的稳定运行。传统的应急安全培训方式往往存在一些局限性,如培训场景不够真实、学员参与度不高、难以模拟复杂危险情况等,而虚拟现实技术的出现,为发电企业应急安全培训带来了新的机遇。虚拟现实技术通过创建逼真的虚拟环境,能够让学员身临其境地感受各种应急场景,如火灾、爆炸、泄漏等。学员可以在虚拟环境中进行实际操作和演练,提高应对突发事件的能力[1]。此外,虚拟现实技术还可以实现多人协同培训,增强团队协作能力。目前虚拟现实技术在工业、医疗、教育等领域得到广泛应用,但在安全工程领域的应用尚处于起步阶段,面临跨学科融合不足、标准规范缺失、关键技术瓶颈等问题[2]。

1.2. 研究意义

安全生产是保障企业可持续发展的基础[3]。虚拟现实技术能显著提升员工应急安全素质。通过模拟各种应急场景,员工可反复练习操作,如火灾扑救、电气故障处理等,直至熟练掌握,增强实践能力。同时,虚拟现实技术将抽象知识直观化,帮助员工更深入地理解应急知识,构建系统的应急知识体系。虚拟现实技术还优化了发电企业的应急管理,企业可以借助系统全面检验和优化应急预案,发现流程不合理等问题并进行针对性修改,管理人员通过参与虚拟演练,提高应急决策水平,筛选出最优决策路径,降低事故扩大风险。虚拟现实技术凭借强交互与沉浸特性,激发员工应急培训热情,推动发电行业安全文化建设,构建全员安全责任体系;其应用形成的示范案例,带动行业应急安全培训模式革新,提升整体安全水平;同时,发电企业的实践经验为技术向其他工业领域拓展指明方向,而行业特殊需求又促使虚拟现实技术持续升级,实现技术与工业应用双向赋能、协同发展。

1.3. 研究现状

当前虚拟现实技术在应急安全培训中的研究进展迅速,其应用也日益广泛。电力行业是国民经济发展的支柱型行业,其安全发展直接关系到人们的生命财产安全和社会的安全稳定[4]。电力是我国重要的资源及知识密集型产业,作业环境复杂恶劣,涉及高温高压设备及有毒化学药品,特种作业多且风险大。因其特殊安全管理要求,普通管理培训难以适应现代科技。因此,VR技术成为当前培训和应急管理的新趋势,能有效应对电力行业的高风险作业环境,减少经济损失和人员伤亡[5]。结合VR技术,通过体感设备模拟电力安全生产事故及应急处理,让一线人员了解生产技能,提升生产安全意识,识别风险作业后果。传统电力行业培训中引入VR,将成为历史性变革[6]。虚拟现实技术在安全生产中的应用研究对于提高发电企业安全生产水平具有重要意义[7]。丰碧泓等人使用VR技术使体验者能够身临其境且可重复地学习如何对突发事件进行处理,增强学习趣味性又通过实践强化记忆[8]。赵利民等人明确指出企业开展应急安全培训有利于保护人员生命安全、构建和谐安稳企业环境、强化企业应急安全能力、维护企业资源及秩序等[9]。有效的应急安全措施的实施是降低安全事件风险的关键[10]。当前,电力系统虚拟仿真环境的概念得到了广泛研究,基于虚拟现实技术的培训系统也在电力培训领域中得到了普及[11]。郑鹏等人基于虚拟现实技术的系统运用,电厂安全生产培训系统模拟的各种作业场景,使员工能够身临其境与培训系统进行互动[12]。王胜军以造船过程中船舶主机安装作业的安全管理为例,设计了基于虚拟现实技术的安全管理培训模式。利用虚拟现实技术的体感式和交互性优势,通过身临其境的全方位体验,使参训人员快速理解操作要点和安全隐患点,增添安全培训的趣味性和实战性[13]。张向阳提出基于虚拟现实技术的企业安全培训系统能够为员工提供沉浸式学习体验,并基于虚拟现实技术设计了企业安全培训系统,为企业安全管理提供了创新解决方案[14]。

2. 基于虚拟现实技术的培训系统开发关键要素

2.1. 关键技术应用

(1) 三维建模技术

三维建模技术在虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统中至关重要。它能精准建模复杂的生产场景和设备,高度还原真实情况。以发电机组建模为例,收集详细设计图纸、尺寸数据及部件特点,利用3DS MAX、Maya等软件构建外壳、转子、定子、冷却系统等部件,精确设置材质属性,模拟动态效果。基于实际测绘数据,采用高精度建模技术,完整还原配电室配电柜、开关柜、变压器等核心设备及空间环境,构建具备真实物理尺度与细节的三维虚拟场景。通过沉浸式交互设计,参训人员可多角度观

察设备结构、线路连接及运行原理，系统支持设备拆解与动态演示，直观呈现电力传输路径及关键操作机制。该高度仿真的虚拟环境，有效解决传统培训中设备接触受限、风险高的问题，为应急安全培训提供可靠模拟平台，显著提升人员在真实工况下的应急处置能力。

(2) 人机交互技术

该培训系统依托人机交互技术，借助手柄、体感设备等交互终端，实现学员与虚拟场景的沉浸式互动。学员可操控行走路径，细致观察发电设备细节；通过手柄模拟设备操作，系统即时反馈内部结构与运行状态变化；在故障处理模拟中，体感设备精准捕捉灭火动作，系统依据操作规范性实时评估并反馈，助力学员掌握故障处理流程，提升实操与应急能力。

(3) 虚拟场景搭建技术

搭建虚拟培训场景需依据发电企业实际布局和工艺流程，全面反映其运行状态。以火力发电企业为例，需了解整体布局，按工艺流程搭建虚拟场景，包括燃料输送、锅炉车间、汽轮机车间、发电机房等。各环节需模拟正常运行和常见故障，如输送带跑偏、燃料堵塞、炉膛灭火、四管泄漏、振动异常等，并设置报警提示。各区域通过逻辑关联，如燃料输送影响锅炉燃烧，进而影响汽轮机做功和发电。不同工况按实际概率和特点设置，让参训人员体验多种状态下的操作和应对，提升综合能力，为安全生产筑牢基础。

2.2. 系统功能模块设计

(1) 应急场景模拟模块

该模块利用虚拟现实技术，模拟发电企业可能遇到的火灾、触电、设备故障等应急场景，增强学员应对能力。火灾模拟中，系统根据厂房布局构建虚拟火灾场景，呈现火焰、浓烟、高温和警报声等效果，动态模拟火势发展。设备故障模拟时，如发电机组突发故障，系统会展示震动、异常声响、仪表数据紊乱等现象，并提示故障点，引导学员排查和判断故障原因

(2) 操作技能培训模块

此模块通过虚拟系统培训员工在应急状况下的正确操作技能。消防器材使用培训中，系统模拟不同类型的消防器材，学员通过交互设备模拟操作步骤，系统实时提示操作规范程度。紧急停机操作培训时，系统根据设备类型和运行状态设置紧急停机流程模拟，学员需按照操作规范执行一系列操作，系统监测并提示错误，帮助学员牢记正确流程和关键要点。

(3) 考核评估模块

系统通过问答和实操考核评估学员应急能力。问答考核覆盖应急安全理论，系统自动批改记录成绩；实操考核包含模拟火灾灭火、人员疏散、设备故障处理等，从多维度打分。考核结果存入培训档案，系统生成分析报告指出不足，为强化训练提供参考，也便于管理人员优化培训计划。该机制助学员针对性提升应急能力，确保实际应急中操作迅速准确，避免事故扩大。

3. 基于虚拟现实技术的培训系统应用实践案例

3.1. 案例企业概况

本案例选择的发电企业为华能靖远热电有限公司，以下是该企业的概况介绍：

(1) 企业规模

华能靖远热电有限公司位于甘肃白银市平川区，是陕甘宁青四省区电网的重要电源点。公司注册资本 16.26 亿元，现有 2 台 220 MW 供热机组运行，供热面积 620 万平方米。经营范围涵盖电力、热力生产销售，粉煤灰销售，设备运行维护等，还涉及电力专用设备生产维修、批发零售，计算机技术开发等

业务。

(2) 发电类型

公司属于火力发电企业，通过燃烧煤炭转化热能带动发电机发电，同时利用余热供热，实现热电联产。

(3) 员工数量与结构

公司员工包括高层管理人员、中层管理人员和基层一线员工。高层负责战略规划、决策和对外协调；中层细化高层决策，组织协调部门工作；一线员工分布在生产运行、设备检修等关键岗位，保障发电和供热。

(4) 应急安全培训基础

公司开展了安全知识讲座和实地演练等多种培训。讲座提升员工理论认知，演练锻炼操作技能和协同能力。公司制定了安全管理制度和应急预案，为培训提供制度保障。

(5) 面临的突出问题

现有应急安全培训面临成本高昂、场地时间受限、传统演练风险、培训效果不佳、覆盖面不足和培训评估体系不完善等问题。实地演练投入大，场地时间难安排，传统演练有风险，讲座枯燥，演练场景单一，缺乏复盘机制，合同工、临时工等群体易被忽视，评估体系侧重知识考核，缺乏对应急实操和决策能力的全面评估。

3.2. 系统实施过程

具体的基于虚拟现实技术的培训系统应用实施过程见图 1。

(1) 前期准备工作

① 硬件设备配置：依据员工数量及培训需求，配备高性能 VR 头显，具备高分辨率、低延迟、精准追踪功能，提升沉浸感与渲染效率。配套手柄、体感设备等交互装置，搭建专用服务器与电脑终端，保障系统稳定运行与数据处理能力。

② 员工基础调研：通过问卷、访谈、技能分析等方式，全面了解员工应急安全知识、操作技能及培训情况。针对不同岗位，调研重点各异，为后续培训计划提供依据。

③ 培训计划制定：结合企业实际、应急场景与员工基础，制定详细培训计划。每季度开展一次集中式培训，时长 2~4 小时，根据岗位风险等级区分频次。培训内容定制，覆盖全体员工，明确培训目标、教学方法与考核评估方式，确保培训工作有序高效，提升员工应急能力。

(2) 培训开展情况

在华能靖远热电有限公司中，基于虚拟现实技术的应急安全培训系统实际开展培训工作已有一段时间，取得了阶段性成效。

① 培训周期与频次：每季度全面应急安全培训，分批次进行，保证全员参与。一线岗位员工每月专项技能强化训练，其他岗位每两个月巩固提升训练。

② 参与人员范围：涵盖企业高层至基层员工，包括合同工、临时工等，全员参与。例如，火灾应急处理培训中，近 300 名员工分批次参与。

③ 培训课程与实施流程：以发电设备故障应急处理为例，培训前推送相关资料预习。培训时，佩戴 VR 头显进入虚拟场景，模拟发电机组故障，参训人员依据知识及操作要求检查故障点，判断原因，按应急流程操作。系统实时提示操作规范，操作完成后展示评估结果。最后，集中讨论分享心得，讲师解答疑问，总结强调重点，巩固学习效果。通过沉浸式虚拟环境，参训人员切实掌握应急操作技能，提升应对能力。

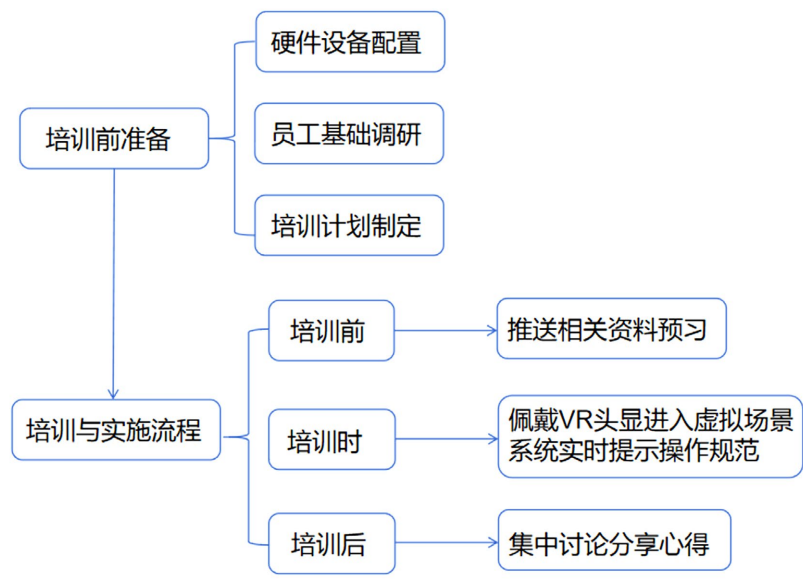


Figure 1. System implementation process
图 1. 系统实施过程

3.3. 应用效果

(1) 员工技能提升效果

华能靖远热电有限公司采用虚拟现实技术培训后，员工技能显著提升。一线操作人员应急操作准确率提升至 85%，响应时间缩短至 3 分钟，防护用具佩戴率提高至 90%。维修岗位员工故障诊断准确率提升至 92%，特殊环境下安全防护操作规范执行率提升至 88%。管理层应急指挥与协调能力增强，耗时缩短至 5 分钟，预案制定更合理实用。整体而言，虚拟现实技术显著提高了员工应急安全能力和企业应急响应效率。

(2) 员工反馈情况

华能靖远热电员工对虚拟现实培训系统反馈积极。一线员工称，系统模拟火灾、设备故障等应急场景逼真，提升了应急技能。运行操作人员认可虚拟设备操作流程训练，增强了判断力和熟练度。维修岗位员工赞赏故障模拟多样化。部分员工建议增加场景复杂度与多样性，优化交互设备操作与反馈，定期更新应急知识与案例，以锻炼综合应急处理能力，确保学习内容最新、贴合实际。

4. 培训系统应用效果评估方法与结果分析

4.1. 评估指标评定

为全面、客观地评估基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统的应用效果，需设定多维度的评估指标，各指标及其合理性依据与衡量方式如下：

- (1) 培训参与度是衡量培训系统吸引力以及员工积极性的重要指标。
- (2) 知识掌握程度是考察培训效果的关键维度之一。
- (3) 操作技能准确率，对于发电企业员工而言，在应急状况下具备准确的操作技能至关重要，如运行操作人员要能正确进行紧急停机操作、维修检修人员需熟练掌握设备故障诊断与修复技能等。
- (4) 应急反应速度提升，在面对突发应急情况时，快速的应急反应能够有效降低事故危害程度、减少损失。

(5) 员工满意度，员工对培训系统的主观感受和评价也是衡量应用效果的重要方面。

综上所述，这些多维度的评估指标从不同角度、全面地对基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统的应用效果进行衡量，为准确判断该系统是否有效提升发电企业应急安全培训质量提供了科学合理的依据。

4.2. 评估方法实施

在收集完相关数据后，需运用科学合理的评估方法对数据进行处理和分析，以全面、客观地评估基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统的应用效果，以下是具体的实施过程，见图 2。

(1) 统计分析

首先，统计培训参与度，包括参与人数占比及频次，观察不同岗位、时间段的参与度变化，并分析不同层级员工的培训规律性。在华能靖远热电案例中，通过对比实际参与人数与总员工数，得出参与度数值。其次，设置培训前后相同内容的测试，计算成绩提升比例，衡量知识掌握程度，如应急预案、安全规章等知晓率变化。在操作技能准确率方面，通过模拟应急场景实操考核，记录员工正确操作比例，评估培训系统对实际操作能力的提升作用。最后，对比培训前后员工面对相同应急场景的反应时间，记录缩短时间数据，通过多轮模拟测试，体现培训系统对应急反应速度的提升效果。

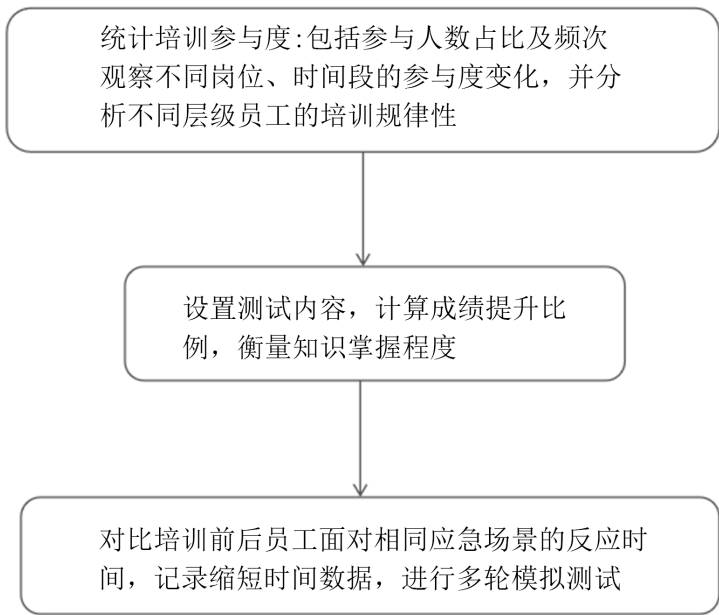


Figure 2. Statistical analysis process

图 2. 统计分析过程

(2) 对比分析

运用对比分析法，对比虚拟现实技术培训的实验组与传统培训方式的对照组。在知识掌握、操作技能、应急反应速度上，实验组员工在沉浸式学习环境中表现更佳，理解和记忆电力安全生产知识、应急处理流程更深刻，实操规范、准确、迅速，应急反应更快。同时，通过问卷调查、访谈收集员工对培训方式的满意度、兴趣度及应急能力提升程度，评估虚拟现实培训效果。综合统计分析、对比分析，准确判断虚拟现实技术在发电企业应急安全培训中的有效性，为系统优化完善及行业推广提供数据支撑和决策依据。

4.3. 结果综合分析

通过对华能靖远热电有限公司应用基于虚拟现实技术的应急安全培训系统的多维度评估,得出以下综合分析结果:

(1) 显著提升员工应急能力,各岗位员工在应急知识掌握、实际操作能力等方面均有显著进步,应急响应时间缩短,安全防护操作更规范,管理层应急指挥与协调能力增强。

(2) 有效提高员工参与积极性,虚拟现实培训系统的新颖性和沉浸感受到员工好评,提高了培训参与度。

(3) 多维度全面提升培训质量,虚拟现实技术打破场地、时间限制,方便员工灵活参与;模拟真实应急场景提升知识掌握程度;丰富虚拟场景提供反复练习机会,提高操作技能准确率;沉浸式场景加快应急响应速度;员工对系统易用性、沉浸感、内容兴趣度及能力提升等维度反馈良好。

5. 结论

本研究围绕基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统展开了深入探索,从开发到应用效果评估,取得了多方面有价值的研究成果。

(1) 在系统开发方面,深入研究并应用了如三维建模技术、人机交互技术以及虚拟场景搭建技术等关键技术,构建了逼真的生产场景与设备模型,实现了与虚拟环境的互动操作,搭建了多环节、多工况的虚拟培训场景。

(2) 设计了应急场景模拟、操作技能培训、考核评估等功能模块。

(3) 在应用效果评估上,选取华能靖远热电有限公司为案例进行实践应用与分析,系统显著提升了员工应急能力、参与积极性和培训质量。

基于虚拟现实技术的发电企业应急安全培训系统的开发与应用,为发电企业应急安全培训提供了创新且有效的解决方案,对提升发电企业应急安全培训水平具有重要价值与意义,也为该系统在整个能源行业的进一步推广应用奠定了坚实基础,未来有望通过持续改进不断完善,更好地服务于发电企业安全生产工作。

参考文献

- [1] 郭庆照,于俊峰,王强. 基于VR仿真技术的海上平台应急演练系统构建与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(7): 169-171.
- [2] 马飞,贾明,王娜娜. 虚拟现实技术在安全工程中的实施对策[J]. 产业创新研究, 2024(20): 90-92.
- [3] 王昕彤. 构建企业安全生产标准化管理模式[J]. 上海企业, 2023(12): 61-63.
- [4] 杨传勇. 发电企业安全管理存在的问题及对策研究[J]. 中国新技术新产品, 2020(13): 144-146.
- [5] 李志坚,喜静波. 基于VR技术的发电厂危险化学品安全管理模式研究——评《发电企业危险化学品安全管理基础与实务》[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(2): 115.
- [6] 李怡然. 虚拟现实技术在发电企业安全生产中的应用研究[J]. 信息系统工程, 2018(6): 89-90.
- [7] 胡晓明. 虚拟现实技术在发电企业安全生产中的应用[J]. 科技视界, 2024, 14(7): 40-43.
- [8] 丰碧泓,胡丽华,潘瑾. 基于虚拟现实技术的电网应急救护安全培训系统[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(12): 167-168.
- [9] 赵利民,张春兰. 应急安全培训的重要性及开展对策研究[J]. 科技资讯, 2021, 19(31): 117-120.
- [10] 钱婷,王志荣,曹旻,等. 元宇宙赋能煤矿应急安全培训路径研究[J]. 煤矿现代化, 2024, 33(6): 1-5.
- [11] 郭贤敏,杜启文. 基于虚拟现实技术的培训系统的设计[J]. 信息记录材料, 2022, 23(12): 104-107.
- [12] 郑鹏,朱玉辉,廖开友,等. 虚拟现实技术在电厂安全生产培训管理中的实践[J]. 重庆电力高等专科学校学报,

2024, 29(3): 23-26.

- [13] 王胜军. 基于虚拟现实技术的安全管理培训模式研究[J]. 青岛远洋船员职业学院学报, 2024, 45(4): 35-37, 53.
- [14] 张向阳. 以虚拟现实技术为核心的企业安全培训系统设计[J]. 中国战略新兴产业, 2025(9): 26-28.