

大型泵站事故应急处理演练 仿真系统开发

胡鹏鑫¹, 林春祥², 牟大伟²

(1. 常州市城市防洪工程管理处, 江苏 常州 213022; 2. 常州凯悦科技有限公司, 江苏 常州 213022)

摘要: 事故应急处理演练是确保水利工程安全运行的重要环节, 传统方式有桌面推演和实战模拟演练2种应急演练模式。作为数字孪生泵站主要模块, 事故应急处理演练仿真系统采用Unity3D等虚拟交互仿真技术, 开发设计了针对典型事故的具体操作内容, 实现了虚拟现实人机交互, 从而为仿真演练提供更真实、更高效的事事故应急处理训练。模型轻量化是大场景事故应急处理仿真演练系统能否顺畅演示的关键, 通过减少模型复杂度和计算负荷, 提高系统的实时性和可操作性, 为泵站事故应急处理演练系统的开发和优化提供参考。

关键词: 水泵机组; 应急处理; 人机交互; 虚拟仿真

中图分类号: TV211 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2023)11-0046-0004

Development of emergency response drill simulation system for large pump station accident

HU Pengxin¹, LIN Chunxiang², MI Dawei²

(1. Changzhou Urban Flood Control Project Management Office, Changzhou 213022, China;
2. Changzhou Kaiyue Technology Co., Ltd., Changzhou 213022, China)

Abstract: Emergency response drills for accidents are an important part of ensuring the safe operation of water conservancy projects. There are two traditional emergency drill modes: desktop deduction and practical simulation drills. As the main module of the digital twin pump station, the accident emergency response drill simulation system adopts virtual interactive simulation technologies such as Unity3D to develop and design specific operation content for typical accidents, achieving virtual reality human-machine interaction, and providing more realistic and efficient accident emergency response training for simulation drills. The lightweight of the model is the key to the smooth demonstration of the large-scale accident emergency response simulation drill system. By reducing the complexity and computational load of the model, the real-time and operability of the system are improved, providing reference for the development and optimization of the emergency response drill system for pump station accidents.

Key words: water pump unit; emergency response; human-computer interaction; virtual simulation

收稿日期: 2023-08-13

基金项目: 数字孪生南水北调洪泽站建设先行先试(水利部推进数字孪生流域建设的94项先行先试之一, 2022年智慧江苏重点工程)

作者简介: 胡鹏鑫(1985—), 男, 工程师, 本科, 主要从事大型泵站事故应急处理工作。E-mail: hpx88888@qq.com

1 概述

数字孪生水利工程利用物联网、大数据、人工智能、虚拟仿真等技术,对实体水利工程全要素和建设运行全生命周期进行数字化映射、智慧化模拟,支撑工程调度应用精准化决策和持续迭代优化,实现数字孪生水利工程与实体水利工程同步仿真运行、虚实交互^[1-2]。

水利工程事故应急演练是针对可能发生的事事故情景,依据应急预案而开展的模拟演练。大型水利工程运行中可能会遇到主机突然停电、水淹厂房、防汛应急响应等事件,应用虚拟现实技术还原事故处理场景,研究多部门、多工种协同处置,将事故预警、接警、事故确认、启动事故应急处理机制、事故处理及智能评判等环节真实呈现,是数字孪生水利工程事故应急智能处理业务主要模块内容。利用数据库技术,构建具有理论培训与实训相结合的学习、训练、考试3种模式,分级权限管理、Web浏览的数字孪生水利工程事故处理与应急演练仿真数据库三维信息管理系统,提升运行人员的应急处置能力,实现防风险、除隐患、遏事故的目标。

2 工程概况

洪泽站位于江苏省淮安市洪泽区洪泽湖畔,是南水北调东线第三梯级泵站之一,工程的主要任务是与金湖站联合运行,通过金宝航道、入江水道向洪泽湖调水,为洪泽湖周边及以北地区供水,并结合宝应湖、白马湖地区排涝。洪泽站主体工程主要包括洪泽泵站和上下游引河以及挡洪闸、进水闸、洪金地涵等3座配套建筑物。其中,泵站调水规模 $150\text{ m}^3/\text{s}$,装机容量 $17\,500\text{ kW}$,排涝规模 $72\text{ m}^3/\text{s}$,配套建筑物中的挡洪闸和进水闸规模为 $150\text{ m}^3/\text{s}$,洪金地涵规模为 $72\text{ m}^3/\text{s}$ 。

作为数字孪生泵站建设先行先试项目,按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”的总要求,以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径,搭建洪泽站数字孪生平台,构建工程“四预”体系,实现数字工程与物理工程数据实时交互。在水利专业、智能和可视化等模型及知识库、引擎的支撑下,数字孪生体可同步仿真运行,实时反映物理工程运行情况,并具备超前感知、预报、预警、预测等功能,进一步提升洪泽站工程安全、高效、经济运行的水平。

3 应急演练现状及发展

泵站工程运行中在建筑物类、金属结构类、设备设施类、作业活动类、管理类和环境类6个类别均存在不同的危险源。水利工程依据危险源的等级制定了相应的应急处置预案。目前,作为常态化工作的预案演练,不仅能检验、评价其应急处置能力,而且对降低事故损失、避免人身伤害等具有重要的现实意义。

桌面推演和实战模拟演练是水利工程常见的2种应急预案演练模式。桌面演练是针对事故情景,利用图纸、沙盘、流程图、计算机模拟、视频会议等辅助手段,进行交互式讨论和推演的一种应急演练,一般在室内通过演练情景口述方式进行。桌面推演可追溯至古代的军事演习,也称为兵棋推演,可逼真地推演预测战场的实际作战活动^[3]。实战演练针对事故情景,选择(或模拟)生产经营活动中的设备、设施或场所,利用各类应急器材、装备、物资,通过决策行动实际操作,完成真实应急响应的演练。因缺失实际设备操作演练,难以体验事故的真实性,加之参演人员多、素质参差不齐、组织不易等因素制约,实际培训效果有限。安全生产法对编制事故应急救援预案即定期组织演练等作了明确规定,为事故应急处置、救援等工作走向正规化、系统化、常态化提供了依据。随着云技术、大数据、物联网、移动互联网、人工智能等先进技术的进步,未知风险的识别和评估,主动感知与预测预警智能联动、多元协同与系统化应急和全行业整合、高共享、深应用的智慧应急演练,也是水利工程智慧应急演练的重要发展方向^[4]。

4 应急演练仿真功能

数字孪生洪泽站事故应急仿真演练系统是基于虚拟引擎,面向多用户协同事故应急处理仿真培训而开发的,涵盖泵站水、机、电等各类事故应急处理,集教学、培训、技能鉴定于一体的多功能综合平台。数字孪生洪泽站事故应急仿真演练系统首期开发了主机电源突然停电演练、水淹厂房模拟演练、防汛应急响应及措施演练模拟仿真3个典型科目,事故科目为可扩展架构。数字孪生洪泽站事故应急处理仿真演练系统功能模块如图1所示。

4.1 用户管理

用户管理是针对事故应急处理科目而设定的人员及角色管理,演练角色包括值班员、值班长、分

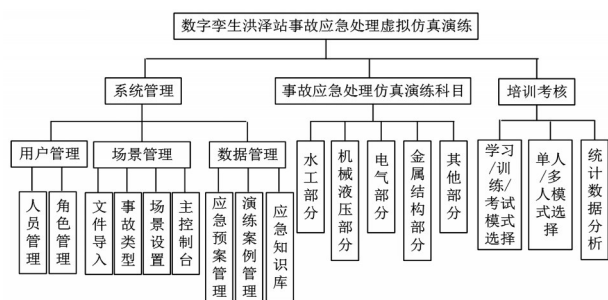


图1 系统功能模块

场主任、泵站副总及总经理等。

4.2 场景管理

不同事故类型所需工作场景不同,需根据事故类型、具体事故科目开发相应的事故处置场景,利用后台程序予以操控。操作控制台则用于事故场景的切换操作,根据事故处理步骤,快速切换到对应的工作场景。

4.3 数据管理

针对水利工程6个类别中不同等级危险源的众多预案,利用数据库技术对各类事故应急处置预案进行分类管理,实现预案修改、添加及删除等功能。

4.4 知识库

水利工程应急处置知识库涵盖各类事故应急处置所需的基础知识和专业知识,以选择题、问答题、简答题、计算题等多种题型,采用题库形式呈现,既可自动组卷进行智能评判,也可用于自测、技能鉴定和技术比武。

4.5 培训模式

事故应急处理仿真演练科目包括学习、训练及考试3种可选模式。通过大型泵站事故应急处理演练平台,用户可自行创建事故科目所需的角色,不同角色在复杂多变的环境中进行各类事故应急处置演练,既可单人演练,也能多人协同演练。针对已有演练案例的训练考试数据,系统自动统计同一事故应急处理案例的典型错误,利用大数据分析手段,对此进行专项强化训练,以期迅速提高事故应急处理的综合能力。

5 关键技术研究

洪泽站事故应急处理演练仿真系统以数据库为基础,采用虚拟引擎和C#语言进行开发,项目成果在普通计算机上能流畅运行。进入系统管理程序后,以科目管理页面作为演练入口,由数据层驱动演练操作界面的各子系统,实现任务信息的可视

流转及更新。学员可在不同场景中进行角色切换,追踪记录相应的任务操作,将练习或考试结果实时反馈给学员,实现事故应急处置演练的全程掌控。

5.1 虚拟场景构建

5.1.1 三维建模

洪泽站事故应急处理演练仿真场景是在全站三维模型数据基础上进行构建的,而全站模型建构采用倾斜摄影自动建模及人工建模2种方式。

倾斜摄影技术包括倾斜影像数据获取技术和倾斜影像数据处理技术。利用无人机拍摄地面影像,使用专业处理软件进行数据处理生成三维模型。对洪泽站工程水工建筑、主机组、油水风系统、辅助设备、金属结构、电气设备、室内外装饰物等多种需要精细化建模的设施,依据图纸或现场照片进行人工建模。此外,模型装配整合及轻量化处理均属于人工建模范畴。

5.1.2 仿真场景构建

根据应急预案,洪泽站3个不同事故应急处理演练场景有较大区别。其中,防汛应急响应及措施演练模拟仿真主要区域涉及调度闸、综合办公楼及泵站周围的河道、闸站等场景,主机组电源突然停电事故应急处理场景主要由0.4 kV开关室、35 kV厂用电变电站、主厂房(电机层、水泵层、叶轮室层)、中控室等多个场景组成,水淹厂房事故应急演练主要场景包括中控室、排水廊道及物资仓库等。

洪泽站3个事故应急处理仿真演练科目均涉及物资与工具的配给、发放、使用及回收,物资与器具的储备仓库也是主要场景之一。对与事故应急处理相关联的设备设施、人物角色、粒子特效等交互对象,需要设置动态效果,构建相应动作以角色背包的形式绑定到角色上,诸如测温计、对讲机、气体检测仪、正压呼吸器背负等演练动作,根据操作步骤激活相应的设备,通过有限状态机触发对应动作。

5.1.3 仿真场景优化

采用倾斜摄影自动建模技术生成的水利工程宏观流域场景三维模型,借助模型生成算法获取三角面,考虑现有运行平台的支撑能力以及后续二次开发利用,采用模型轻量化处理及其优化技术,这是集群渲染算力、事故应急处理科目能否顺畅演示的重要保证。倾斜摄影扫描无法覆盖镂空及暗角部位,会导致模型细节缺失。为此,需对重要建筑物或机电设施进行模型人工重构,以确保展示模型的完整性。

洪泽站办公区域不同建模方式比较如表1所示。

表1 不同建模方式比较

序号	建模方式	模型三角面 / 个	轻量化比例 / %	备注
1	倾斜摄影	1 641 234		无人机获取
2	人工建模	11 712	99.3	以倾斜摄影模型为基础
3	模型优化	6 415	99.6	对人工建模进行优化

5.2 交互程序开发

5.2.1 演练流程设计

水利工程应急预案因成本高、多部门协调组织不易、实战演练的安全要求等多因素影响,有时无法形成有效的协同操作,也难以评估预案措施的科学性、操作合理性。通过分析梳理事故应急预案,形成正确规范的处理流程,作为用户与开发人员沟通的工具,能有效保障交互仿真程序开发的顺利进行。每个演练科目需梳理出设计制作流程大纲,而依据应急预案编制的演练脚本则贯穿项目开发全过程。

5.2.2 架构设计

本系统基于 Unity 3d 开发,使用客户端、服务端架构,架构设计包含基础游戏框架设计、数据模型设计、网络协议设计。

(1)基础游戏框架设计

采用经典的 MVC 框架模式设计基础游戏框架,调用控制层的方法执行相应操作,实现数据驱动动态数据变化,监听数据管理层的数值变化。

(2)数据模型设计

数据模型设计包含用户、场景,需接收仿真系统登陆用户并存储于独立数据库,进而实现管理系统与客户端的数据同步。为用户表设计角色子表,每个用户可创建多个不同角色进行仿真演练。

(3)网络协议设计

采用 Socket 协议实现网络通信,依据架构设计实现基础支撑模块,包括日志系统、网络消息、场景管理、注册登录、角色创建与选择、角色控制、移动同步。在完成上述功能的前提下,开发仿真演练操作模块。仿真演练操作模块是将演练流程进行总结,将所有的演练动作抽象设计为对话、通话、广播、检查、操作票、工具操作、目标寻路等七大类操作行为,为演练对象提供相应的视图层操作入口,即交互界面,通过交互按钮及输入设备,实现仿真角色进行相应的交互行为仿真。

5.2.3 角色控制

漫游模式和宏观视角模式是常见的2种角色控制模式。主场景漫游通常以第三人称视角展示,视图旋转、缩放通过 Unity 相机系统中的物理相机予以实现。事故应急处理演练科目则采用宏观视角模式展示,相机控制器负责控制视角的目标点和旋转角度,通过鼠标点选择虚拟角色或使用角色选择界面选中需控制的角色,以选中角色为视图目标点进行相机跟随,并设置跟随缓动,获得舒适的视觉感受。

通过梳理洪泽站事故应急处理仿真演练系统功能需求,采用 Unity3D 自带模块,设计系统基本界面,涵盖用户登录、角色选择、各典型事故演练场景等主要界面。此外,在场景的顶部、左边和底部放置演练导航组件,既保证了界面的美观,又能实现较好的交互性。系统软件集成后嵌入南水北调东线一期工程数字孪生洪泽站先行先试项目中运行。

6 结 语

根据大型泵站事故应急处理仿真演练需求,通过对事故进行分类,按照应急机制、应急流程,利用虚拟现实技术,研发了事故应急处理仿真演练系统。未来需进一步加强泵站事故应急处理仿真系统开发研究。

参考文献:

- [1] 朱敏,施闻亮. 数字孪生技术在水利工程中的实践与应用[J]. 江苏水利,2022(12):81.
- [2] 陈晓楠,靳燕国,许新勇,等. 南水北调中线干线智慧输水调度的思考[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(5):46-55.
- [3] 周家铭,邢培育,汪丽莉,等. 安全生产应急预案桌面推演的设计与实施探讨[J]. 中国安全科学学报,2007(19):39.
- [4] 刘奕,张宇栋,张辉,等. 面向 2035 年的灾害事故智慧应急科技发展战略研究[J]. 中国工程科学,2021(4):117-120.