

核电厂数字化移交中的虚拟现实技术应用

赵翠玲

国核电力规划设计研究院有限公司 北京 100095

摘要：随着核电行业的快速发展，数字化移交已成为提高核电厂建设、运维效率的重要手段。虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术以其沉浸性、交互性和构想性三大特性，在核电厂数字化移交中展现出巨大的应用潜力。本文探讨了虚拟现实技术在核电厂数字化移交中的应用现状、技术特点、实施步骤及未来展望，旨在为推动核电厂数字化进程提供参考。

关键词：虚拟现实技术；核电厂；数字化移交；三维仿真；运维培训

引言

核电厂作为技术密集、资金密集且对安全要求极高的重资产行业，其建设和运维过程涉及大量复杂的数据和信息。传统的手工文档移交方式已难以满足现代核电厂高效、精准的管理需求。数字化移交通过计算机技术实现数据的电子化处理、存储和传输，极大提高了移交效率和质量。而虚拟现实技术的融入，进一步推动了核电厂数字化移交的发展，为核电行业带来了革命性的变革。

1 虚拟现实技术概述

虚拟现实技术是一种利用计算机生成模拟环境，并通过多种传感设备使用户沉浸于该环境中的技术。它具有沉浸性、交互性和构想性三大特点，能够让用户在虚拟环境中进行实时交互，获得身临其境的体验。在核电厂数字化移交中，虚拟现实技术可应用于三维仿真展示、运维培训、事故模拟等多个方面。

2 虚拟现实技术在核电厂数字化移交中的应用

2.1 三维仿真展示

在核电厂的数字化移交进程中，虚拟现实技术以其独特的三维仿真展示能力，为项目的高效、精准交接开辟了全新路径。该技术通过高度集成的计算机图形处理与交互技术，能够精确复刻核电厂的物理环境，生成包含厂房结构、机械设备、复杂管道系统在内的全方位、立体化模型。这一模型的精细度达到了前所未有的水平，不仅外部形态逼真，连内部构造、设备运行逻辑也得以精准模拟。通过VR，用户能够在虚拟空间中自由移动，实现360度无死角观察。无论是高耸的反应堆建筑，还是错综复杂的地下管线布局，都尽在眼底。更重要的是，用户还能“穿透”物理界限，进入设备内部，近距离观察反应堆核心、蒸汽发生器、冷却系统等关键部件的工作状态与内部结构，这种深度探索是传统二维图纸或现场考察难以比拟的。此三维仿真展示的应用，极大

地提升了移交过程的直观性和精确性^[1]。对于运营方面而言，它不仅是一个强大的学习工具，帮助团队快速熟悉核电厂的每一个角落和每台设备的运作原理，更是一个高效的决策辅助平台。运营人员可以在虚拟环境中模拟操作流程、预演应急响应方案，甚至在不影响实际生产的情况下进行故障排查训练，从而大幅提升核电站的安全运行水平和应急处理能力。此外，三维仿真模型还具备强大的数据集成与分析功能，能够实时关联核电站的运行数据，为运营方提供即时、准确的性能监测与诊断支持。这种深度融合物理世界与数字世界的创新方式，不仅加速了核电厂数字化移交的进程，更为核电站的长期安全、高效运营奠定了坚实的基础。

2.2 运维培训

在核电厂的运维管理中，虚拟现实技术以其独特的模拟能力，为运维人员的专业培训带来了革命性的改变。该技术能够精准复刻核电厂的各种运维场景，从日常的设备巡检、定期维护，到紧急事故的快速响应与处理，一应俱全。这些模拟场景不仅高度还原了实际操作环境的复杂性与挑战性，还融入了丰富的互动元素，使运维人员仿佛置身于真实的工作现场。在日常巡检的模拟中，运维人员可以沿着预设的巡检路线，在虚拟环境中逐一检查设备的运行状态，学习如何识别潜在的安全隐患。设备维护的模拟则更加深入，从简单的更换零部件，到复杂的系统调试，每一步操作都有详细的指导与反馈，帮助运维人员熟练掌握维护技能。而在事故处理的模拟中，虚拟现实技术更是发挥了其无可比拟的优势。无论是火灾、泄漏还是其他紧急状况，运维人员都可以在安全的虚拟环境中反复练习应急响应流程，熟悉各种应急设备的操作方法，从而在真正面对危机时能够迅速、准确地采取行动。这种基于虚拟现实技术的运维培训方式，不仅极大地降低了培训成本，避免了实际操

作中可能带来的安全风险,还显著提高了培训效果。运维人员可以在不受时间、地点限制的情况下,随时进行模拟练习,不断提升自己的专业技能与应急响应能力。同时,虚拟现实技术的可重复性也确保了每位运维人员都能获得相同质量、相同难度的培训,为核电厂的安全、稳定运行提供了有力的人才保障。

2.3 事故模拟

核电厂事故因其高度的危险性与复杂性,一直是行业安全管理的中中之重。传统的事故模拟方法,如理论计算、物理模型试验等,虽有其价值,但往往难以全面、直观地展现事故的全过程及其潜在后果。虚拟现实技术的引入,为核电厂事故模拟带来了前所未有的突破。利用虚拟现实技术,可以构建出核电厂事故的三维仿真模型。这一模型不仅精确复原了核电厂的物理环境,更重要的是,它能够模拟事故从触发、发展、蔓延到消退的每一个细微环节。无论是反应堆失控、冷却系统失效,还是放射性物质泄漏等极端情况,都能在虚拟环境中得到高度逼真的再现。在事故模拟过程中,研究人员可以自由地调整事故参数,如事故发生的时间、地点、规模等,以观察不同条件下事故的发展态势。同时,他们还可以模拟各种应急响应措施,如启动备用系统、疏散人员、实施救援等,以评估这些措施的有效性和可行性^[2]。这种基于虚拟现实技术的事故模拟,为研究人员提供了深入剖析事故原因和机理的强大工具。他们可以通过反复模拟和对比分析,找出事故发生的潜在风险点,评估事故对核电厂安全系统的冲击程度,从而为制定更加科学、有效的安全策略提供有力依据。此外,虚拟现实技术的事故模拟还具有极高的可视化效果。通过佩戴VR设备,研究人员可以“身临其境”地感受事故现场,这种直观、沉浸式的体验有助于他们更加深刻地理解事故的危害性和复杂性。

3 核电厂数字化移交中的虚拟现实技术应用的实施步骤

3.1 数据采集与处理

数据采集阶段,需系统性地收集核电厂的各类信息。设计图纸是首要资料,它们详细描绘了核电厂的布局、结构以及各设备间的关联。这包括但不限于反应堆区域、辅助系统、安全设施等的平面布置图、剖面图及细节设计图。同时,设备参数也是不可或缺的一部分,涵盖设备型号、规格、性能参数、安装位置及运行状态等详细信息。此外,运维记录作为核电厂实际运行的历史数据,记录了设备的维护历史、故障记录、性能监测数据等,对于模型的精确度和实用性至关重要。数据采

集完成后,接下来是数据的处理与分析。这一步骤需要借助先进的计算机技术,如三维建模软件、数据处理算法等。首先,将设计图纸转化为三维模型,通过精确的坐标定位、比例缩放和细节刻画,确保模型的几何形状与实际情况高度一致。接着,将设备参数与模型中的对应设备关联,使模型不仅具有外观形态,还具备内在属性和运行逻辑。最后,结合运维记录,对模型进行进一步的优化和调整,使其能够反映核电厂的实际运行状态和潜在风险。在整个数据处理过程中,质量控制和验证是不可或缺的环节。通过对比原始数据与模型数据,检查模型的准确性和完整性,确保模型能够真实、全面地反映核电厂的实际情况。同时,还需要考虑数据的更新和维护机制,以确保模型能够随着核电厂的运行状态变化而及时更新,保持其时效性和实用性。

3.2 虚拟现实环境构建

在完成数据采集与处理的基础上,虚拟现实技术的下一步应用是构建核电厂的虚拟环境。这一过程是将处理后的数据转化为直观、可交互的三维虚拟现实场景,为后续的运维培训、事故模拟等应用提供基础平台。虚拟场景的创建是核心任务之一。它涉及将核电厂的各个组成部分,如反应堆、冷却系统、辅助设施等,以三维模型的形式精确呈现在虚拟空间中。这要求不仅要在几何形态上与原物保持一致,还要在细节上做到尽可能的真实,如设备的纹理、颜色、材质等。通过先进的建模技术和工具,可以高效地创建出这些复杂而精细的模型,并将它们有机地组合在一起,形成一个完整的虚拟核电厂。除了基本的场景构建,添加交互元素也是至关重要的。这包括允许用户在虚拟环境中进行漫游、观察、操作等活动的功能^[3]。例如,用户可以自由地移动视角,观察核电厂的各个角落;可以通过点击或拖拽等操作,与设备模型进行互动;还可以设置特定的触发条件,模拟设备的启动、停止或故障等状态变化。这些交互元素的加入,极大地增强了虚拟环境的沉浸感和实用性。此外,设置合理的光照和阴影效果也是构建虚拟环境不可忽视的一环。通过模拟真实世界中的光源和光照规律,如太阳光、灯光等,可以为虚拟环境增添更加逼真的视觉效果。同时,阴影的添加也能增强场景的立体感和深度感,使用户在漫游时能够更加准确地感知空间关系和距离。

3.3 应用开发与测试

在完成虚拟现实环境的构建后,接下来的关键步骤是根据核电厂的实际需求,开发相应的虚拟现实应用。这些应用旨在将虚拟现实技术的潜力充分发挥出来,为

核电厂的数字化移交和运维管理提供有力支持。首先,根据前期的需求分析,确定要开发的具体应用类型。例如,三维仿真展示系统可以让用户以沉浸式的方式全面了解核电厂的布局、设备和工作流程;运维培训系统则能够模拟各种运维场景,帮助运维人员提升技能和应急响应能力。针对这些不同的应用需求,开发团队需要设计相应的用户界面、交互逻辑和功能模块。在开发过程中,团队需充分利用虚拟现实技术的优势,如三维可视化、实时交互等,以创造出直观、易用且富有吸引力的应用体验。同时,还要确保应用能够与核电厂的现有系统和数据无缝集成,以实现信息的共享和协同工作。开发完成后,应用测试成为不可或缺的一环。测试团队需要对应用进行反复、全面的测试,包括功能测试、性能测试、兼容性测试以及用户体验测试等。通过模拟实际使用场景,检查应用是否能够满足预期需求,是否存在漏洞或不稳定因素。在测试过程中,收集用户反馈和意见,对应用进行及时的调整和优化,以确保其稳定性和可靠性。

3.4 移交与运维

在虚拟现实环境构建完成并经过严格测试后,接下来的重要步骤是将其正式移交给运营方,并确保在后续的运维过程中得到持续更新和维护。移交过程中,需要详细记录虚拟现实环境的构建过程、技术细节、使用说明以及注意事项等,形成完整的移交文档。这些文档将作为运营方后续使用和维护虚拟现实环境的重要依据。同时,还应组织专业的培训活动,帮助运营方人员熟悉虚拟现实环境的各项功能和操作方法,确保他们能够顺利接手并高效利用这一技术。在运维阶段,虚拟现实环境需要得到持续的更新和维护。随着核电厂的运行和设备的更新,虚拟现实环境也应相应地进行调整和优化。例如,当核电厂新增设备或改造现有设备时,虚拟现实

环境中对应的模型也需要及时更新,以确保与实际情况保持一致^[4]。此外,还应定期检查和测试虚拟现实环境的各项功能,及时发现并修复潜在的问题,确保其稳定性和可靠性。运营方可以利用虚拟现实技术进行日常巡检、设备维护、事故模拟等多项工作。通过虚拟现实环境,他们可以直观地查看设备的运行状态,发现潜在的安全隐患,并及时采取维护措施。在事故模拟方面,虚拟现实技术能够提供逼真的模拟环境,帮助运营方人员熟悉应急响应流程,提高应对突发事件的能力。为了确保虚拟现实环境在核电厂的长期高效运行,运营方还需要建立完善的运维管理体系。这包括制定明确的运维计划、设立专门的运维团队、建立问题反馈机制等。

结语

虚拟现实技术在核电厂数字化移交中展现出巨大的应用潜力和价值。通过构建三维仿真模型、模拟运维场景和事故过程等手段,虚拟现实技术为核电厂提供了更加直观、准确、高效的移交和运维方式。未来,随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展,虚拟现实技术将在核电行业发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]杨伟伟.“华龙一号”核电厂工程数据数字化移交研究[J].科学技术与工程,2020,20(36):14935-14943.
- [2]陈松妹,黄敏.信息化管理在核电厂移交接产中应用[J].设备管理与维修,2018,(02):5-7.
- [3]郑通.山东海阳核电厂移交接产工作的管理与优化[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第三卷)——中国核学会2013年学术年会论文集第3册(核能动力分卷(下)).中电投集团山东核电有限公司,2013:5.
- [4]陈荣.浅谈数字化电厂设计与移交[J].电工技术,2018,(20):76-78.