

数字孪生技术赋能黄河水利工程建设管理路径

黄保强¹ 高建强² 赵晓林²

1. 黄河水土保持工程建设局 陕西西安 710000

2. 西安黄河规划设计有限公司 陕西西安 710000

摘要:黄河是我国第二大河流,被誉为中华民族的母亲河。黄河水利工程的建设和管理对保障沿河地区的生态环境、社会经济发展及人民生活水平的提升具有重要意义。随着科技的迅猛发展,数字孪生技术在水利工程领域的应用日益广泛。数字孪生技术通过构建物理系统的数字化映射,实现了虚拟与现实的互动和数据的实时共享,为水利工程建设、管理和维护提供了全新的方法和手段。本文旨在探讨数字孪生技术在黄河水利工程建设管理中的应用路径,分析其对提升工程效率、优化资源配置和保障工程安全的重要作用。

关键词:数字孪生技术;黄河水利工程;建设管理

引言

随着科技的不断进步和创新,数字孪生技术被广泛应用于各个领域,为传统产业赋能,提升效率和可持续发展。作为我国的母亲河之一,黄河的水利工程建设管理具有重要的战略地位。如何利用数字孪生技术为黄河水利工程建设管理提供创新的解决方案,成为当下亟需解决的问题。通过本文的探讨,希望能够为黄河水利工程建设管理提供一种全新的思路和方法,以数字孪生技术为引领,提升管理水平、优化资源配置、确保工程安全,为黄河流域的可持续发展贡献力量。

一、数字孪生技术在黄河水利工程中的应用价值

1. 提升工程建设质量

数字孪生技术通过构建虚拟模型,使工程建设过程更加精细化和科学化。工程师可以在虚拟环境中进行多次模拟和验证,优化设计方案,提前发现并解决潜在问题,从而减少施工中的返工和浪费。此外,数字孪生技术可以实现对施工过程的实时监控和数据采集,确保每一个施工环节都严格按照设计要求执行,从而大幅提升工程的整体质量和耐久性。

2. 优化资源配置

黄河水利工程涉及大量的人力、物力和财力资源。数字孪生技术通过精确的模拟和预测分析,能够提供最佳的资源配置方案。通过对各种资源的动态调度和优化配置,可以显著提高资源的利用效率,减少浪费。例如,利用数字孪生技术可以精确计算出需要的建筑材料数量和最佳的运输路径,避免过多的资源积压和浪费,从而

实现资源的最优配置。

3. 提高工程运行效率

数字孪生技术能够实时监测工程的运行状态,并通过大数据分析和人工智能算法,提供智能化的决策支持。这种技术可以实时获取和处理大量的运行数据,及时发现运行中的异常情况,并自动生成优化调整方案。通过这种方式,水利工程的运行效率可以大幅提高,运行成本也可以得到有效控制,从而实现更高效的水资源管理和调度。

4. 增强工程安全性

黄河水利工程面对自然灾害和人为因素的威胁较大。数字孪生技术通过构建与真实工程一致的数字模型,可以进行各种极端情况的模拟和演练,提前识别潜在的安全隐患。通过实时监控和数据分析,数字孪生技术能够快速响应突发事件,提供精准的应急预案和措施,从而大大提高工程的安全性和可靠性,保障人民群众的生命财产安全。

5. 实现实时监测和预警

数字孪生技术能够实现对黄河水利工程的实时监测,通过传感器和物联网技术,实时采集工程的运行数据和环境数据。这些数据经过处理和分析,可以生成直观的可视化报表和预警信息。工程管理者可以通过这些信息及时了解工程的运行状态,预测未来可能发生的问题,并提前采取预防措施,从而有效避免事故的发生,保障工程的正常运行。

二、数字孪生技术概述

1. 数字孪生技术的定义及特点

数字孪生技术是一种通过构建物理实体的数字化虚

拟模型，实现物理世界与数字世界互动和融合的技术。这项技术不仅包括对物理实体的静态描述，还包含其动态行为和运行状态。数字孪生技术的核心在于通过传感器、物联网等技术实时采集物理实体的数据，并将这些数据传输到虚拟模型中进行实时更新和分析。其特点主要体现在以下几个方面。首先是实时性，数字孪生技术可以通过实时数据传输和更新，确保虚拟模型与物理实体同步，这对于监测和预测物理系统的状态变化具有重要意义。其次是交互性，虚拟模型不仅能够展示物理实体的状态，还可以通过仿真和模拟进行预测和优化，为决策提供支持。通过与物理实体的双向互动，数字孪生技术能够实现对物理实体的远程监控和操作。再者是精确性，数字孪生技术利用高精度的传感器和数据处理技术，确保虚拟模型能够准确反映物理实体的状态和行为，从而提高系统的可靠性和安全性。最后是智能化，通过结合人工智能和机器学习算法，数字孪生技术能够对大量的实时数据进行分析，发现潜在的问题和优化机会，实现智能决策和自适应控制。这些特点使得数字孪生技术在现代工业、智能制造、城市管理等领域得到了广泛应用，展现出巨大的发展潜力和前景。

2. 数字孪生技术的组成部分

数字孪生技术的组成部分包括物理实体、虚拟模型和数据传输。物理实体是现实世界中的具体对象，如设备、系统或整个工程，它是数字孪生技术的基础和数据来源。虚拟模型是物理实体的数字化呈现，通过精确的数学模型和仿真技术，将物理实体的结构、功能和行为在虚拟环境中再现。虚拟模型不仅能够静态地反映物理实体的外观和结构，还能够动态地模拟其运行状态和行为特征，提供与现实世界一致的虚拟体验。数据传输则是连接物理实体与虚拟模型的桥梁，通过传感器、物联网和数据通信技术，实时采集物理实体的数据，并将这些数据传输到虚拟模型中进行处理和分析。这一过程需要高效、可靠的数据传输和处理技术，以确保虚拟模型能够实时更新和反映物理实体的最新状态。数据传输不仅包括从物理实体到虚拟模型的数据采集和传输，还包括从虚拟模型到物理实体的反馈和控制，通过双向的数据传输，实现物理实体与虚拟模型的互动和协调。物理实体、虚拟模型和数据传输共同构成了数字孪生技术的完整体系，使得这一技术能够在各种复杂系统中实现精确监测、模拟仿真和智能决策，广泛应用于工业制造、城市管理、医疗健康等领域，为实现智能化和数字化转型提供了坚实的技术支撑。

三、数字孪生技术在黄河水利工程中的应用

1. 数字孪生技术在黄河水利工程设计阶段的应用

在黄河水利工程设计阶段，数字孪生技术的应用展现了显著的优势和潜力，通过构建虚拟模型和仿真系统，优化设计方案并提升设计精度。该技术利用高精度的地理信息系统（GIS）数据和三维建模技术，生成黄河流域的详细数字化地图，准确反映地形地貌、水文特征和生态环境等关键要素。在设计过程中，工程师们可以通过虚拟模型进行多次迭代试验和仿真分析，评估不同设计方案的可行性和优越性，进而优化工程布局和结构设计。这种虚拟环境下的试验不仅降低了实际试验的成本和风险，还能够提前发现潜在的问题和挑战，为设计提供科学依据。

此外，数字孪生技术在模拟黄河流域的水文动态方面具有独特优势。通过对历史数据和实时数据的分析，虚拟模型能够准确模拟水流变化、洪水蔓延和泥沙沉积等动态过程，为水利工程的设计提供精确的数据支持。这些模拟结果能够帮助设计团队预判工程的长期影响和运行效果，从而在设计阶段就充分考虑到防洪减灾、生态保护和可持续发展等多重目标。

数字孪生技术还促进了多专业、多部门之间的协同设计。设计团队可以在虚拟环境中实时共享模型和数据，进行跨学科的协同工作。建筑工程师、水文专家、生态学家等可以在同一平台上进行互动和讨论，确保设计方案的全面性和科学性。这种协同工作模式不仅提高了设计效率，还增强了方案的综合性和适用性。

通过引入先进的可视化技术，数字孪生技术还能够将复杂的设计方案直观地展示给利益相关者，包括政府部门、社区居民和投资者等。通过三维动画和虚拟现实（VR）技术，利益相关者能够直观理解工程的设计理念和预期效果，增强对工程的信任和支持。

总体来看，数字孪生技术在黄河水利工程设计阶段的应用，通过优化设计流程、提升设计精度、促进协同工作和增强可视化展示，为实现科学、高效和可持续的水利工程设计提供了强有力的技术支撑。

2. 数字孪生技术在黄河水利工程建设阶段的应用

在黄河水利工程建设阶段，数字孪生技术通过全方位的实时监控和数据分析，显著提升了施工管理的效率和质量。数字孪生技术构建的虚拟模型与物理施工现场同步，通过物联网传感器和无人机等设备，实时收集施工现场的数据，包括设备运行状态、材料使用情况和环境条件等。这些数据被实时传输到数字孪生平台，进行

分析和处理,为施工管理提供精准的决策支持。工程师们可以通过虚拟模型实时监控施工进度,发现并解决施工中的潜在问题,避免由于信息滞后导致的工期延误和成本超支。

数字孪生技术还为施工质量控制提供了先进手段。通过对比虚拟模型与实际施工情况,可以精确检测施工偏差,确保施工按设计标准进行。比如,在大坝建设中,数字孪生技术可以实时监测混凝土浇筑过程中的温度、湿度和应力分布,确保施工质量达标。同时,通过三维激光扫描和摄影测量技术,生成施工现场的高精度三维模型,便于进行详细的质量检查和验收。

在施工安全管理方面,数字孪生技术同样发挥着重要作用。通过实时监控施工现场的环境和设备状态,可以及时预警潜在的安全隐患,采取预防措施,确保施工人员的安全。比如,监测施工机械的运行状态和周边环境,防止机械故障和施工事故的发生。同时,通过虚拟现实技术,施工人员可以在虚拟环境中进行安全培训和模拟演练,提升安全意识和应急处理能力。

数字孪生技术还促进了施工管理的协同和信息共享。施工各方可以在统一的平台上实时共享数据和模型,进行高效的沟通和协作。项目管理者、设计团队、施工单位和监理部门可以通过数字孪生平台实时了解施工进展,及时调整施工计划和资源配置,提高施工管理的整体效率。

此外,数字孪生技术为工程的环保监测提供了有力支持。通过实时监测施工对周边环境的影响,如水质、空气质量和噪声水平,可以及时采取环保措施,减少施工对生态环境的负面影响,确保工程建设的可持续性。

总体而言,数字孪生技术在黄河水利工程建设阶段的应用,通过实时监控、质量控制、安全管理、协同工作和环保监测等多方面的提升,显著提高了施工管理的效率、质量和安全性,为黄河水利工程的成功建设提供了坚实的技术保障。

3. 数字孪生技术在黄河水利工程运营管理阶段的应用

在黄河水利工程的运营管理阶段,数字孪生技术通过全面实时的监测、精准的预测分析和智能化的控制手段,极大地提升了运营管理的效率和安全性。数字孪生技术利用传感器网络和物联网技术,实时采集大坝、渠道、水库等工程的运行数据,包括水位、流量、压力、温度和设备状态等。这些数据通过高速通信网络传输至数字孪生平台,进行实时分析和处理,生成与实际物理

系统同步的虚拟模型,确保运营管理者可以全面掌握工程的运行状况。

通过数字孪生技术,运营管理者能够进行精准的预测分析,提前预判潜在风险。例如,通过对水流和气象数据的综合分析,预测洪水和干旱等自然灾害的发生时间和影响范围,为提前采取应对措施提供数据支持。此外,数字孪生技术能够模拟不同的运营策略,优化水资源调度和分配,提高水资源利用效率。

数字孪生技术还为设备维护和管理提供了智能化手段。通过对设备运行状态的实时监控和数据分析,可以提前发现设备的故障和老化情况,进行预防性维护,避免突发故障影响工程的正常运行。同时,数字孪生技术支持远程监控和操作,运营管理者可以通过虚拟模型进行远程控制和调整,提升管理效率。

通过引入人工智能和机器学习算法,数字孪生技术能够对大量历史数据和实时数据进行深度分析,发现潜在的规律和趋势,为运营管理提供智能决策支持。这种智能化的管理模式不仅提高了运营效率和安全性,还为黄河水利工程的可持续发展提供了坚实的技术保障。

结束语

数字孪生技术在黄河水利工程建设和管理中的应用,显著提升了各个阶段的效率和精确度,为工程的成功实施和长期运行提供了强有力的技术支持。通过构建全面实时的虚拟模型,实现了设计、施工和运营管理的高度智能化和协同化。数字孪生技术不仅优化了设计方案,降低了施工风险和成本,还通过实时监控和预测分析,提高了运营管理的效率和安全性。

参考文献

- [1] 水利部办公厅. “十四五”智慧水利建设规划[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2021.
- [2] 蒋亚东, 石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报, 2019(11)
- [3] 张冰, 李欣, 万欣欣. 从数字孪生到数字工程建模仿真迈入新时代[J]. 系统仿真学报, 2019(3)
- [4] 卞晓燕, 嵩文正. 水利工程智慧化运行管理方式分析[J]. 工程建设与设计, 2021(8)
- [5] 高兴, 张莹, 周旭东. 水利工程智慧化运行管理方式分析[J]. 中国设备工程, 2022(3)