

数字孪生技术在灌区建设与管理中的应用研究

赵泽锋

唐山市滦河下游灌溉事务中心 河北 唐山 063200

摘要: 随着科技的迅猛发展,数字孪生技术已逐渐成为各行业关注的焦点,尤其在灌区建设与管理中,其应用潜力日益凸显。数字孪生技术以其独特的优势,为灌区建设与管理提供了更为高效、智能的解决方案。通过构建灌区的虚拟模型能实时反映并预测灌区的实际运行状态,从而为工作人员提供精确的数据支持和科学的决策依据。应用数字孪生技术,可以实现对灌区水资源的精细化管理。通过实时监测和分析各个水源点、管道和灌溉设备的数据,可以更准确地评估灌区的用水需求和灌溉效果,进而优化水资源的配置和使用。随着技术的不断成熟,其在农业领域的潜力将进一步释放,为行业的可持续发展注入新的活力。

关键词: 数字孪生技术;灌区建设与管理;技术应用

引言

数字孪生技术借助先进的传感器、物联网技术和大数据分析实时捕捉物理实体的运行数据,并在数字世界中进行精确模拟和预测。这种技术的出现不仅为工作人员提供了全新的视角和工具,更极大地提高了决策的准确性和效率。在灌区建设与管理中数字孪生技术的应用具有非常积极的作用,通过实时数据监测和分析,对灌区的土壤、气候、作物生长等条件进行精准把控,从而制定出更加科学、合理的灌溉方案。随着技术的不断发展和完善,未来数字孪生技术将带来更加智能、高效的农业管理体验。

1 数字孪生技术概述

数字孪生技术基于大数据、云计算和物联网等前沿技术,其核心在于其可以创建物理系统的虚拟镜像,不仅是一个简单的数字模型,而是一个可以实时反映物理系统状态、行为及性能的数字孪生双胞胎。数字孪生技术通过收集物理系统的实时数据,利用大数据分析和云计算技术构建出一个与实体系统高度一致的虚拟模型。这个模型可以实时监控物理系统的运行状态,并通过算法对收集到的数据进行分析,为工作人员提供预测分析和优化建议。这种技术的应用可以更加准确地了解物理系统的运行状况,及时发现潜在问题,提高系统的运行效率和可靠性。在农业领域,尤其是灌区建设中,数字孪生技术的应用具有深远的意义。传统的农业灌溉方式依赖于人工经验和简单的传感器设备,无法实现对灌溉系统的精确控制和优化。而数字孪生技术则可以通过对灌区系统的实时监控和数据分析,为灌溉决策提供科学依据。例如通过收集土壤湿度、作物生长状态等关键数据,数字孪生技术可以预测出不同区域的灌溉需求,并

自动调整灌溉策略,实现精准灌溉。不仅可以节省水资源,提高灌溉效率,还可以促进作物生长,提高农产品产量和质量。此外,数字孪生技术还可以对灌区系统的故障进行预测和诊断。通过对系统数据的实时监控和分析,及时发现潜在的故障隐患,并预测故障发生的时间和位置,缩短维修、维护时间^[1]。

2 数字孪生技术应用挑战

2.1 技术整合与数据标准化

随着灌区建设的不断深入和技术的不断进步,来自不同供应商、不同品牌和型号的传感器设备被广泛用于监测土壤湿度、水位、气象条件等关键信息。然而这些设备在数据输出格式、通信协议等方面存在明显的异质性。这意味着在将这些传感器设备与数字孪生平台或其他中央控制系统进行集成时,需要解决大量的兼容性问题。不仅增加了技术集成的复杂性,还导致数据传输延迟、数据丢失或数据失真等问题。在灌区管理中,数据的多样性和复杂性是一个不可忽视的问题。由于数据来源广泛,包括传感器数据、人工观测数据、历史记录等,这些数据在格式、精度、单位等方面不可避免地会出现差异。此外,由于缺乏统一的数据标准和管理规范,数据的命名、分类、存储和访问方式也存在不一致性。这些问题导致了数据整合、处理和分析过程中的混乱和困难,影响数据的高效利用和决策的精确性^[2]。

2.2 实时性与准确性

在现代农业中,实时性与准确性已成为农田水资源管理面临的重大挑战。随着科技的发展,依赖于传感器网络来实时收集农田环境和水资源的相关数据,以便进行高效、精确的管理决策。然而这一过程并非无懈可击,反而在实际操作中面临着多重考验。在农田动态变

化的环境中，每一刻的温度、湿度、土壤含水量等信息都可能影响作物的生长和水资源的合理分配。传感器作为数据采集的关键，其工作状态直接影响数据的获取速度。然而传感器可能出现故障，或者在大规模部署下，网络传输出现拥堵，这些都可能导致数据更新的延迟。同时，传感器虽然能提供大量的农田数据，但其本身的精度限制不容忽视。传感器会受到温度变化、尘埃覆盖，甚至动物活动等外界因素的影响，导致收集到的数据存在误差。这些误差如果未经校正而直接用于决策，会误导工作人员。

2.3 系统安全性与可靠性

随着数字孪生技术在各个领域的广泛应用，系统的安全防护问题变得越来越复杂。这些系统通常包含大量的数据和复杂的网络结构，这为黑客提供了更多的攻击点。黑客利用未被及时发现的系统漏洞，进行诸如数据篡改、网络入侵等恶意行为，严重威胁到系统的稳定运行和用户的隐私安全。在灌区管理等关键领域，系统的可靠性直接影响到业务的正常运行和用户的利益。随着系统复杂性的增加，设备的自然老化、软件的兼容性问题、网络的不稳定以及人为操作错误都可能导致系统故障，从而影响服务的连续性和稳定性。

3 数字孪生技术应用要点

3.1 灌区水资源管理

在灌区水资源管理中，采用数字孪生技术需要结合实际情况，做好资源管理工作。第一，建立动态水量平衡系统。通过实时监测水源地、渠道、农田等关键节点的水量，结合气象、土壤等环境参数构建动态的水量平衡模型，精确计算出灌溉需求和可利用水量，避免过度灌溉或水资源的无谓损失；第二，优化灌溉技术。利用数字孪生技术可以实现精准灌溉，如滴灌、喷灌等，这些技术可以根据作物的需水特性和土壤条件精确控制灌溉量和灌溉时间，既满足作物生长需求，又最大限度地减少了水资源的浪费；第三，建立预警和决策支持系统。当预测模型显示出现水资源短缺或过度利用的情况时，系统会自动发出预警，为工作人员提供决策建议，如调整灌溉计划、启动节水措施等，从而及时应对可能出现的问题，确保水资源的可持续利用；第四，加强数据管理和安全。需要建立严格的数据保护机制，防止数据泄露或被恶意利用。同时通过数据共享和开放，促进科研机构和企业之间的合作，共同研发更先进的管理工具和技术^[3]。

3.2 灌溉过程智能控制

在农业科技创新的浪潮中，物联网技术和数字孪生

技术的深度融合，为灌溉过程的智能控制带来革命性的变革。智能控制措施包括精准灌溉、智能排灌和病虫害预警等多个方面。精准灌溉系统利用先进的算法，结合气象数据、土壤类型、作物生长阶段等多维度信息计算出最佳的灌溉时间和量。例如系统可以预测未来几天的降雨量，决定是否需要提前灌溉，避免了因过度灌溉导致的水资源浪费。智能排灌系统通过实时监测地下水位和农田排水情况，自动调整排水设施，防止农田积水和地下水过度抽取。这种精细化的管理方式，有助于保持土壤的适宜湿度，同时保护了地下水资源。此外，系统还集成了病虫害预警功能。通过分析作物生长状况和环境条件，可以预测可能出现的病虫害风险，提前进行预防性处理，减少农药的使用，保障农产品的质量。物联网技术和数字孪生技术在灌溉过程中的应用，不仅提高了农业生产的效率和可持续性，也为农民带来了实实在在的经济效益。

3.3 灌区设施维护与故障预测

在现代灌溉管理中，灌区设施的维护与故障预测是至关重要的环节，直接影响到农业生产的效率和稳定性。随着科技的飞速发展，数字孪生技术在这一领域的应用日益凸显，为灌区设施的高效管理带来了革命性的变革。在灌区设施中，每一台设备的运行数据都会被实时采集并上传到云端，通过算法模型的智能解析可以迅速识别出设备的异常行为，如流量异常、压力波动等。这种技术具备强大的故障预警能力，一旦设备出现潜在的故障迹象，系统会立即发出预警，为维修人员提供充足的时间来准备和执行维修工作，从而避免设备故障导致的生产中断，减少因设备维修而产生的经济损失。此外，数字孪生技术还能通过学习设备的历史运行数据，进行故障模式的分析和预测，为设备的预防性维护提供科学依据。例如通过对设备磨损规律的深入理解，可以预测出设备的更换或维修周期，避免因过度使用而导致的设备损坏，进一步保证灌区设施的长期稳定运行^[4]。

3.4 基于数字孪生的灌区决策支持系统

在灌区管理中，数字孪生技术产生的虚拟模型可以实时、全面地反映出灌区的实际情况。系统通过集成各种传感器数据、气象信息、土壤数据等多元信息源，构建出一个动态的、实时更新的灌区“数字镜像”。这些数据经过高级数据分析算法的处理，转化为易于理解的图表和报告，使复杂的农田环境和灌溉状况一目了然。这种决策支持系统极大地提升了灌区管理的效率和科学性。工作人员不再需要面对繁杂的数据大海，而是在简洁明了的可视化界面中，就能快速理解灌区的水文、土

壤、作物生长等关键指标。例如当系统检测到某区域土壤水分低于阈值时可以立即向工作人员发出预警,及时调整灌溉计划,避免水资源的浪费和作物的损失。此外,借助这个系统,工作人员还可以进行长期的规划和预测。通过历史数据的分析,系统可以模拟不同气候条件、灌溉策略对灌区未来状态的影响,帮助工作人员制定出更加科学、合理的灌溉策略和农田管理计划,从而实现水资源的高效利用和农业生产的可持续发展^[5]。

3.5 农田环境模拟与优化

在农田环境模拟与优化方面数字孪生技术展现出了巨大的潜力。通过收集农田内的各种环境数据,如温度、湿度、光照、土壤成分等,数字孪生技术可以构建出高精度的农田环境模型。这些模型不仅可以模拟农田内的微气候、土壤条件等环境因素,还可以模拟作物生长的全过程,为农业专家提供前所未有的管理视角。在农田环境模拟的过程中,数字孪生技术可以揭示出许多传统方法难以察觉的规律。例如通过对微气候的模拟,农业专家可以了解到不同天气条件下农田内温度、湿度的变化规律,进而预测出可能对作物生长产生影响的极端天气。同时土壤条件的模拟则可以帮助专家了解土壤中各种养分的分布情况,以及土壤湿度、酸碱度等因素对作物生长的影响。这些信息对于制定科学的农业管理措施至关重要。在获得了模拟结果后,农业专家可以根据这些数据制定更加合理的施肥、施药方案。例如通过模拟不同施肥量对作物生长的影响确定最佳的施肥量,既保证了作物的正常生长,又避免了化肥的浪费和环境的污染。模拟结果还可以帮助专家预测作物产量和品质,为农业生产提供更加可靠的保障。

3.6 灾害预警与应急响应

随着科技的迅猛发展,灾害预警与应急响应领域迎来了革命性的突破,数字孪生技术凭借其独特优势,成为该领域的耀眼新星。该技术以其高度整合气象数据、历史灾害信息等多维度的能力,不仅在预测农业灾害如洪水、干旱等方面展现了卓越的成效,还在灾情信息的实时监测与救援策略的制定中发挥了不可替代的作用。在灾害预警方面,数字孪生技术以其强大的数据处理能力,实现了对各类气象数据的深度分析和精准预测。通

通过对气象数据的实时监测与综合分析,结合历史灾害信息和地理环境特点,该技术可以精确预测可能出现的灾害类型、影响范围和时间节点,为农民提供了宝贵的预警信息。这种预警信息的准确性和时效性,使农民可以提前采取相应措施,有效减少灾害带来的损失。同时,数字孪生技术还具备强大的模拟仿真能力。通过构建虚拟的灾害场景,模拟灾害发生的过程和影响,该技术可以为农民提供更加直观、生动的灾害预警信息。这种模拟仿真不仅有助于农民更好地理解灾害的危害性和影响范围,还能帮助其更好地制定应对策略,提高防灾减灾的针对性和有效性。在灾害发生后,数字孪生技术同样发挥着至关重要的作用。通过实时收集和分析灾情信息,该技术可以迅速评估灾害的影响范围和严重程度,为应急管理部门提供及时、准确的灾情信息。这些信息不仅有助于应急管理部门制定科学合理的救援策略,还能指导救援力量的精准投送,提高救援效率和成功率。

4 结束语

综上所述,数字孪生技术已成为灌区建设与管理的一大亮点。这一前沿技术的应用,不仅有效提高水资源的利用效率,更在优化灌溉管理、促进农业现代化等方面展现了其无可替代的价值。随着技术的不断进步和应用的深入,数字孪生技术将在灌区建设与管理中发挥更大的潜力。未来数字孪生技术将在实现可持续的农业发展中发挥更加重要的作用,为农业生产的可持续发展提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1]高志远,谢宏基,晏芙蓉.数字孪生技术在农机耕作过程中的应用[J].南方农机,2024,55(13):13-16.
- [2]孙茜,贾颖颖,孙高祚,等.数字技术赋能黄河流域创新发展治理研究[J].中国科学院院刊,2024,39(06):1000-1011.
- [3]刘志勇,栗衍香,贺向光,等.数字孪生技术在现代农业中的应用探讨[J].农村科学实验,2024,(04):184-186.
- [4]王维,赵鹏飞,韩沫,等.数字孪生技术赋能农业智慧发展[J].蔬菜,2023,(12):1-9.
- [5]肖雪,胡露,宋胜红,等.数字孪生技术赋能乡村振兴[J].通信与信息技术,2023,(04):27-30.