

GIS与AI协同驱动的输电线路数字孪生智能运维方法研究

周嘉华

北京煜邦电力技术股份有限公司 北京 100013

摘要: 随着智能电网技术的发展,输电线路的运维管理面临新的挑战 and 机遇。本研究提出了一种GIS与AI协同驱动的输电线路数字孪生智能运维方法。首先,利用地理信息系统(GIS)构建输电线路的数字地图和实时数据监控系统,为输电线路的数字孪生模型提供基础数据支持。其次,通过人工智能(AI)技术,如机器学习和深度学习,分析和处理GIS系统收集的大量数据,实现输电线路状态的智能预测和故障诊断。此外,研究还探讨了数字孪生技术在智能运维中的应用,通过创建输电线路的虚拟副本,实现对其运行状态的实时监控和优化管理。研究结果表明,该方法能有效提高输电线路的运维效率和可靠性,对推动电网智能化升级具有重要意义。此研究为输电线路的智能运维提供了新的思路和技术支持,对未来电网的发展具有积极的推动作用。

关键词: 数字孪生; 智能运维; GIS; 人工智能; 输电线路

引言

随着全球能源需求的增长,智能电网技术成为电力系统现代化的关键。输电线路在电力传输和分配中扮演核心角色,但面临环境和设备老化等挑战。传统监控方法已难以满足需求,故探索新型智能运维技术变得至关重要。本研究提出一种结合地理信息系统(GIS)和人工智能(AI)的输电线路数字孪生智能运维方法,通过GIS的数据支撑和AI的智能分析,以及数字孪生技术,实现输电线路的高效、准确、实时监控和优化。这一方法不仅推动智能电网的发展,还提高电网的可靠性和效率,具有重要的理论和实践价值。

一、背景与挑战

(一) 智能电网技术的发展趋势

智能电网技术的兴起标志着电力系统向更高效、更可靠和更智能化的方向发展^[1]。随着物联网、大数据、云计算等信息技术的成熟应用,智能电网在运行、监控和管理效率上得到显著提升。电力行业正经历从传统电网向智能电网的转型,主要体现在几个方面。是电力传输的智能化,通过先进传感器和通信技术实现输电线路的动态状态监测和实时数据分析。智能电网促进了分布

式能源和可再生能源的集成,这不仅提升了能源利用效率,也对输电线路的运维管理提出了更高要求。智能电网还强调用户互动与服务品质的提升,通过智能计量和互动系统增强电力用户的参与度和体验。

(二) 输电线路运维管理的新挑战

输电线路运维管理正面临着前所未有的新挑战。智能电网的不断发展,加之电力需求的增加,使得输电网络日益复杂化^[2]。这种复杂性要求更精确的状态监控和更快速的故障响应。输电线路通常分布在广泛且多样的地理区域,容易受到自然灾害、极端天气及外部破坏等因素的影响,进一步增加了运维的难度。在现有的运维管理中,人工巡检和定期维护的方式不仅效率低下,而且很难实现对潜在故障的提前预测和及时处理。

(三) 数字孪生技术的兴起及其意义

数字孪生技术的兴起对输电线路智能运维具有重要意义。数字孪生技术提供了一种创建物理对象虚拟副本的手段,使得对复杂系统的实时监控、模拟和优化成为可能。这项技术能够实时反映输电线路的物理状态和动态变化,通过与真实环境的同步,支持故障预测和决策制定。数字孪生不仅能够提升运维效率,还能显著提高输电线路的可靠性。通过将地理信息和人工智能技术相结合,数字孪生为输电线路的全生命周期管理提供了创新的解决方案,是推动智能电网发展的关键手段之一。

作者简介: 周嘉华(1997.08-),男,汉族,河北省秦皇岛市,硕士研究生,工程师/项目经理,主要从事地理信息技术结合电力行业的二三维系统建设工作。

二、数字孪生模型的构建

(一) 利用GIS构建输电线路的数字地图

利用地理信息系统 (GIS) 构建输电线路的数字地图是实现数字孪生模型的核心步骤之一。GIS 技术通过整合空间数据和属性数据, 为输电线路提供详尽的地理信息基础。这一过程涉及将线路的地理形状、位置以及相关基础设施信息数字化, 以形成精确的空间分布模型。通过 GIS, 可以精确定位输电线路的每一段, 详细描述线路周边的地形地貌、植被覆盖, 以及环境风险因素。高分辨率的卫星影像、空中激光雷达扫描、地理勘测数据等多种数据源被用于增强地形建模精度, 确保数字地图的准确性和可靠性^[3]。在此基础上, 建立的数字地图可供实时监测和分析使用, 为数字孪生模型的进一步构建和运行提供必要的地理数据支持, 从而增强对输电线路状态的评估和预测能力。

(二) 实时数据监控系统的集成

在输电线路数字孪生模型的构建中, 实时数据监控系统的集成至关重要。通过地理信息系统 (GIS) 与传感器技术的结合, 实现对输电线路各类数据的收集与管理。传感器可分布于线路的关键节点, 如塔架、导线及相关设备, 实时监测温度、湿度、震动等参数, 确保数据的准确性与时效性。收集到的数据通过物联网 (IoT) 技术进行传输和处理, 为数字孪生模型提供动态更新支持。数据的集成不仅提高了输电线路运行状态的感知能力, 还为后续故障预测与诊断提供了关键依据。该系统的有效集成, 为智能运维的优化实施奠定了坚实的基础。

(三) 数字孪生模型的框架与功能

数字孪生模型的框架与功能以精准模拟输电线路的物理状态和动态特性为核心, 实现全面、实时的线路状态监控与维护。通过综合利用GIS绘制的数字地图和实时数据监控系统, 模型能够提供详尽的地理空间信息和环境参数, 为后续的分析 and 运维提供基础条件。利用大量数据进行动态分析和预测, 模型可生成输电线路的虚拟副本, 具备故障诊断和预警功能, 有效支持决策制定与运维优化。

三、AI技术的应用

(一) 机器学习与深度学习在数据分析中的应用

机器学习和深度学习技术应用于输电线路运维, 显著增强了数据分析的深度与广度。借助这些技术, 能有效处理GIS系统收集的大量复杂数据。机器学习从历史数据中提取规律和模式, 让输电线路状态预测更精准。

深度学习凭借强大的数据处理能力, 分析图像、视频等非结构化数据, 助力识别潜在故障和异常行为。通过构建精确模型, 这些技术增强了对线路状态变化的应对能力, 提升了故障诊断的精度与速度。不断更新和训练AI模型, 可持续提高其预测性能和适应性, 为智能运维提供有力支撑, 最终实现输电线路全生命周期的高效管理。

(二) 输电线路状态的智能预测

为了实现输电线路状态的智能预测, 人工智能技术被广泛应用。机器学习算法能够从大量历史数据中识别出潜在模式, 有效提取与线路状态相关的特征, 进而建立预测模型。这些模型可用于分析输电线路的运行状态, 识别出可能的故障征兆并预测其发展趋势。深度学习技术凭借其强大的数据处理能力, 能够更精确地捕捉复杂的非线性关系, 提高预测的准确性。通过引入云计算和边缘计算技术, 可以实现数据的实时分析与处理, 提升预测的时效性与能力, 为及时调整和优化运维策略提供数据支撑。这种智能预测方法对输电线路的可靠运行和防患未然具有重要作用^[4]。

(三) 故障诊断与处理技术

在输电线路运维中, 故障诊断与处理是关键环节。AI技术通过机器学习和深度学习的应用, 能够有效地分析来自GIS系统的海量数据, 识别输电线路的潜在故障模式。利用历史故障数据和实时监测数据, AI模型可以及时预测故障发生的可能性, 从而提前执行预防性维护。AI算法能够从数据中提取特征, 生成详细的故障报告, 帮助技术人员迅速定位故障点, 并提供推荐解决方案。

四、智能运维的实施

(一) 虚拟副本的创建与运用

虚拟副本的创建是数字孪生技术在输电线路智能运维中的核心环节, 通过借助先进的仿真技术和高精度的数字建模, 实现输电线路的全生命周期数字化刻画。利用GIS系统提供的地理位置信息和环境数据, 结合AI算法对实时监控数据的分析处理, 能够构建出逼真的输电线路虚拟模型。此虚拟副本不仅是物理输电线路的数字映射, 更是其动态行为和环境交互的模拟平台。通过对虚拟副本的运用, 可以实现对输电线路状态的实时监测和故障预警, 优化运维策略。对虚拟副本进行不断更新和精细化处理, 使其始终与实际情况保持同步和准确。虚拟副本的使用大大降低了实体线路的检测和维护成本, 提高了运维效率, 是推进输电线路智能化管理的重要创新手段。

（二）实时监控系统的优化管理

实时监控系统的优化管理在智能运维的实施中具有关键作用。在输电线路运维中，系统的灵活性和响应速度直接影响到故障处理的效率和准确性。通过集成先进的传感技术和AI驱动的数据处理能力，实时监控系統能够提供精准的状态评估和实时警报。数据流动的优化和信息处理的加速，使得系统在故障发生的瞬间便可进行自动化响应，调整运维策略，以防止更大规模的电力中断^[5]。

（三）运维效率与可靠性的提升

智能运维的实施过程中，运维效率与可靠性的提升至关重要。通过引入数字孪生技术，能够精确模拟输电线路的真实状态，实现对运行情况的全面监控。基于AI的状态预测与故障诊断功能，可以提前识别潜在问题，从而降低故障发生率和维护成本。实时数据监控系统的优化管理，确保信息的高效传递与处理，提高了应变能力和决策准确性。多种技术协同，确保输电线路在复杂环境下的安全稳定运行，有效提升了运维效率与系统可靠性。

五、结论与展望

（一）本研究的主要贡献与成果

在输电线路智能运维中做出了重要贡献。通过引入GIS与AI技术，构建了创新的数字孪生智能运维方法，有效提升了输电线路的运维效率和可靠性。GIS技术的应用实现了输电线路数字地图的构建及实时监控数据的获取，为数字孪生模型的形成提供了坚实的数据基础。通过AI技术，特别是机器学习和深度学习，研究实现了对输电线路状态的智能预测和故障诊断，显著提高了状态评估的准确性和响应速度。运用数字孪生技术创建的虚拟副本，使对输电线路的实时监控和优化管理成为可能，进一步增强了运维管理的智能化和精准性。研究成果展示了电网运维管理的新思路 and 路径，为电网的智能化升级提供了强有力的技术支持，具有较高的应用价值和推广潜力。

（二）对电网智能化升级的影响

GIS与AI协同驱动的输电线路数字孪生智能运维方法，对电网智能化升级影响深远。该方法凭借实时监控和智能预测机制，让电网能精准评估输电线路健康状况，有效预防故障，提升供电稳定性。借助数字孪生技术，电网管理者可创建线路虚拟副本，实时监控和优化管理运行状态。这不仅提高了运维效率，还减少人工

干预，降低成本。智能化管理与运维实现电网资源最佳配置，增强电网系统韧性与适应性，推动电网从传统迈向智能化、自动化系统，为电网发展注入新动力，助力电网在智能化道路上稳步前行。

（三）未来研究方向与技术发展趋势

未来的研究方向在于进一步深化GIS与AI的协同效应，着重于实现更高精度的数据分析和实时响应能力。随着传感技术和物联网的发展，输电线路感知设备的智能化将进一步推动数字孪生模型的完善。未来技术应集中于增强AI算法的自学习能力，以适应更加复杂多变的电力系统环境。强化输电线路的全生命周期管理和维护，开发更具前瞻性的故障预测与诊断机制，将为电网的智能运维提供更广泛的应用前景，为构建更加安全、高效、智能的电力基础设施奠定基础。

结束语

本研究开发出基于GIS与AI的输电线路数字孪生智能运维方法，借助理信息系统构建数字地图与实时数据监控系统，利用人工智能技术分析处理大数据，实现输电线路状态智能预测与故障诊断，数字孪生技术为实时监控与优化管理提供有效手段。研究结果显示，该方法显著提升了运维效率与可靠性，推动电网智能化升级。但研究有局限性，复杂环境下数据处理和模型准确性需优化。未来研究可聚焦提高算法效率和准确性，探索更多机器学习和深度学习技术，适配多样化运维场景。本研究为智能电网技术发展提供新视角与路径，期待后续研究完善智能运维方法，助力电网可持续发展。

参考文献

- [1] 郑晓虎. 输电线路运维管理的研究[J]. 产城: 上半月, 2021, (03): 0286-0286.
- [2] 赵维东. 智能巡检管理系统在输电线路运维中应用[J]. 环球市场, 2020, (06): 138-138.
- [3] 刘华锋, 何朝阳, 金明明. 提升数据驱动输电线路运维水平[J]. 中国电力企业管理, 2020, 0(01): 73-74.
- [4] 高强, 张俊伟, 董文豪. 输电线路防雷设计与输电线路运维技术[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023, (02): 0023-0026.
- [5] 张瑶琳, 顾良翠. 输电线路智能运维服务设计与实现[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(32): 120-123.