

三维数字化技术在输电线路工程机械化施工中的应用研究

汪威

国网四川省电力公司超高压分公司

摘要: 本文旨在研究三维数字化技术在输电线路工程中的应用, 特别关注其在机械化施工过程中的多方面利用。通过对施工前期、器械进场、机械作业、进度统筹、造价控制等阶段的具体应用进行深入分析, 揭示了三维数字化技术在提高施工效率、降低成本、增强工程可控性等方面的潜在优势。

关键词: 三维数字化技术; 输电线路工程; 应用

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.05.109

输电线路工程的机械化施工一直是工程领域关注的焦点之一, 而随着科技的不断进步, 三维数字化技术的崭新应用为机械化施工提供了全新的可能性。本文将深入探讨三维数字化技术在输电线路工程机械化施工中的应用, 全面剖析这一技术在提高工程质量和效率方面的作用。

一、三维数字化技术的概述

三维数字化技术是一项涵盖了多种先进技术和方法的综合领域, 它致力于将物理世界的实体对象和场景转化为数字形式, 实现高度准确、真实感强的数字表示。这项技术的发展得益于计算机科学、传感器技术、图像处理、激光扫描、虚拟现实和人工智能等多个领域的进步, 共同推动了三维数字化技术的不断演进和创新^[1]。

在三维数字化技术中, 三维建模是一个核心概念, 它涉及创建物体的三维数学模型, 以便在数字环境中进行可视化和分析。这包括了多种建模方法, 如曲面建模、体素建模、点云建模等, 每种方法都有其适用的场景和优势。点云技术是其中的一项关键技术, 通过使用激光雷达或摄影测量等手段获取大量离散点的坐标信息, 从而形成点云数据。这些点云数据可以被用于生成高精度的三维模型, 适用于诸如地理测绘、建筑设计、工程规划等多个领域。激光扫描是三维数字化技术中另一项重要的技术。通过激光束的快速扫描, 可以获取目标对象表面的大量点云数据, 实现对实体物体的高精度数字化。这项技术在制造业、建筑工程、考古学等领域得到了广泛应用, 为精确的测量和实体模型的创建提供了有效手段。地理信息系统(GIS)的融入是三维数字化技术在地理空间领域的拓展。通过将地理空间数据与其他信息整合, GIS可以提供全球、区域或局部范围内地理信息的综合视图。在三维数字化技术中, GIS的运用使得三维模型与地理位置相结合, 为城市规划、环境

监测、资源管理等方面的应用提供了更为精准的数据基础。数字孪生是三维数字化技术的新兴方向, 它通过实时或准实时地模拟物理实体的运行状态, 为实体对象的管理、优化和维护提供了智能化的手段^[2]。数字孪生技术被广泛应用于工业设备、建筑物、交通系统等领域, 为预测性维护、性能优化和风险评估等方面的应用提供了前所未有的可能性。

二、输电线路工程机械化施工的概述

输电线路工程机械化施工是一种借助于机械化设备和先进工程技术, 以减少人工劳动、提高施工效率、确保工程质量的现代化施工方法。相对于传统的人工施工方式, 机械化施工在输电线路建设中呈现出显著的优势, 涵盖了多个施工阶段和环节。

首先, 机械化施工在输电线路的勘测和规划阶段发挥着关键作用。现代机械设备, 如无人机、激光扫描仪以及全站仪等, 使得对工程现场进行高精度的地形勘测变得更加迅速、准确。这些设备能够获取大量地理信息和环境数据, 为输电线路的规划提供了可靠的基础。机械化勘测不仅缩短了施工前期的时间, 同时减少了对人力资源的依赖, 降低了勘测误差。其次, 机械化施工在输电线路的实际建设过程中带来了显著的效益。传统的线路架设、杆塔安装等工程活动通常依赖于大量的人力, 但机械设备如起重机、挖掘机、施工车辆等的引入, 能够显著提高施工效率, 同时降低了人力成本和风险。自动化的施工机械在各个环节中能够实现高精度的操作, 确保了输电线路的结构牢固, 符合设计要求。

三、三维数字化技术在输电线路工程机械化施工中的应用优势

(一) 高精度勘测与设计优化

三维数字化技术通过激光扫描和点云技术, 实现了对施工现场和周边环境的高精度勘测。这为输电线路的

规划提供了准确的地理信息，有助于优化线路设计，确保电力传输效率最大化，避免潜在的障碍物和地形复杂性带来的施工困难。

（二）实时监控与智能调整

三维数字化技术在施工过程中提供了实时监控和反馈机制。传感器、摄像头和其他设备联合使用，能够实时捕捉施工现场的数据，监测设备运行状态和工作效率。这使得工程团队能够迅速发现潜在问题并进行智能调整，确保施工过程的顺利进行。

（三）虚拟现实模拟

通过数字孪生技术，可以在虚拟环境中建立输电线路的实时模拟。这种虚拟现实模拟有助于工程师在施工前期进行全面的规划和风险评估，预测潜在问题并采取相应措施。这样的预先模拟能够大大减少施工中的意外情况，提高施工的可控性。

（四）自动化施工和机器人应用

三维数字化技术与自动化设备的结合，使得机器人在输电线路施工中能够更加智能和精准地执行任务。例如，机器人可以根据三维模型进行自主导航，实现杆塔安装、电缆敷设等工程任务。这提高了施工的精确性，减轻了工人的体力劳动负担。

四、三维数字化技术在输电线路工程机械化施工中的应用

（一）施工前期的应用

在输电线路工程的施工前期，三维数字化技术发挥着关键的作用，为科学而高效的工程设计提供了全面支持。首先，通过激光扫描和点云技术，工程团队能够实现对施工现场的高精度勘测^[3]。这一步骤不仅包括对地表地形的精确测量，还包括建筑物、植被和其他地物的三维数据获取。这些详尽的地理信息为规划输电线路提供了可靠的基础，确保工程从一开始就考虑到周边环境的复杂性。

通过三维数字化技术获取的地形数据不仅在规划线路路径时至关重要，还在避免潜在障碍物方面发挥了关键作用。利用这些数据，工程师能够准确识别施工现场的地形特征、水文状况以及任何可能影响施工的地貌因素。这种全面的地理信息分析有助于预测潜在的挑战，例如山脉、河流或建筑物，从而避免施工中的不必要延误和困难。

三维建模技术在设计阶段的应用使得工程师能够更好地理解线路的布局 and 结构。通过将地形数据与线路设计整合，可以在数字环境中创建高度准确的三维模型。

这使得工程师可以优化线路的布局，确保其在地理空间中的最佳位置，最大限度地适应环境特征。三维建模技术还允许工程师在设计中进行实时修改和优化，以适应不断变化的工程需求和环境条件。此外，三维数字化技术在施工前期的应用还涉及对潜在风险的模拟和评估。通过虚拟仿真，工程团队能够模拟不同的施工场景，考虑各种因素对线路设计的影响。这种模拟不仅帮助预测施工中可能遇到的问题，还允许在实际施工开始之前就制定出相应的风险应对计划，提高工程的整体可控性。

（二）器械进场的应用

在输电线路工程的器械进场阶段，三维数字化技术发挥了关键性的作用，为机械设备的合理进场和高效运输提供了科学依据。

首先，通过建立详细的数字模型，工程团队能够精确计算和规划机械设备的进场路径和摆放位置。三维模型不仅包括了工程现场的地形地貌数据，还考虑了各个设备的尺寸、形状等因素。这种综合性的模型为设备进场提供了可视化的指导，确保设备的安全进场，最小化与周围环境和其他设备的冲突。其次，数字模型在减少设备之间的冲突方面起到了关键作用。通过在三维空间中准确呈现每个设备的位置和轨迹，工程团队可以及时发现潜在的交叉点、碰撞点或者设备之间的干扰，从而规避可能的冲突。这有助于提高进场过程的安全性，防止设备损坏，同时保障施工的顺利进行。此外，数字模型还可用于模拟器械运输过程。在设备运输的过程中，道路状况、施工现场的特殊地形等因素可能会对运输产生影响。通过数字化的模拟，工程团队可以提前识别潜在的困难点和瓶颈，为运输过程提供实时的指导和优化建议。这有助于减少运输过程中的不确定性，确保器械的顺利运达目的地。

（三）机械作业中的应用

在输电线路工程的机械作业中，三维数字化技术在实际设备操作中发挥着关键的作用，为机械作业提供了实时导航和监控，从而提高了作业的精确性、安全性和效率。

首先，通过GPS和传感器等技术，三维数字化技术为机械设备提供了实时导航的能力。设备可以根据预先建立的三维模型，自主地进行导航，确保在施工现场的复杂地形中准确行驶。这种自主导航系统有助于避免设备偏离预定路径，提高了施工过程中的定位准确性。其次，三维数字化模型在具体作业中为工程师提供了准确的位置和状态信息。在挖掘、铺设电缆等作业中，工程

师可以通过三维数字化模型实时掌握机械设备的位置、姿态和运动状态。这为操作员提供了直观的工作环境，有助于避免碰撞、交叉和误操作，提高了施工作业的安全性。此外，三维数字化技术还能够提供作业过程的实时监控。通过传感器获取设备的运行数据，工程团队可以监测设备的工作状态、负载情况等关键信息。异常情况如设备故障或负载过大可以立即被检测到，从而及时采取措施，确保施工过程的平稳进行。最后，在电缆铺设等需要高度精度的作业中，三维数字化技术的应用显得尤为重要，工程师可以利用三维模型进行实时测量，确保电缆的准确铺设，避免过度拉伸或交叉。这有助于提高施工的效率，减少后期的维护工作。

（四）在进度统筹的应用

在输电线路工程的进度统筹中，三维数字化技术具体应用于以下几个方面，为工程管理提供了关键支持：

①实时进度监控：通过数字模型和实际施工数据的对比，工程管理团队可以实现实时进度监控。数字模型提供了预期的施工进度情况，而实际数据反映了工程的实际状态。实时监控使管理团队能够及时了解施工的进度是否符合计划，从而在早期发现潜在问题，采取必要的措施进行调整。②问题识别与解决：三维数字化技术允许工程团队在数字模型中识别可能影响进度的问题。这可以包括材料供应链的延误、设备故障、天气影响等因素。通过及时发现并解决这些问题，管理团队可以有效避免延误，确保工程进度的稳健推进。③虚拟仿真优化计划：数字孪生技术在进度统筹中可用于虚拟仿真，通过模拟不同的施工场景来评估工程效果。管理团队可以在虚拟环境中调整施工计划，模拟不同的资源分配和进度安排，以找到最优的方案。这种虚拟优化有助于提高工程效率，减少不必要的浪费。④资源调度与优化：三维数字化技术可以用于对施工现场的资源进行精确调度。通过数字模型，管理团队可以实现对机械设备、人力、材料等资源的实时监控和调配。这确保了每一项资源都能在最需要的地方得到最有效的利用，提高了整体施工效率。⑤进度预测与风险管理：数字孪生技术通过模拟不同的施工场景，帮助管理团队预测未来可能的进度情况。这有助于提前识别潜在的风险和延误因素，制定相应的风险管理策略。通过对可能的问题进行预测，团队可以更灵活地调整计划以应对变化。

（五）造价控制中的应用

在输电线路工程的造价控制中，三维数字化技术为

工程提供了精细和高效的成本管理手段。①精确计算材料用量：三维数字化技术通过数字模型可以准确计算所需材料的用量。这包括电缆、支架、绝缘子等各种材料的需求。通过实时更新的数字模型，管理团队能够随时了解不同阶段的材料用量，从而更准确地进行材料采购计划。这有助于避免材料的过量采购和减少浪费，有效降低了施工成本。②机械设备使用时长的优化：数字模型不仅可以用于计算材料用量，还能够精确计算机械设备的使用时长。通过传感器和监控系统，工程团队可以实时追踪机械设备的运行时间和效率。这种信息的准确获取使管理团队能够优化设备的使用计划，避免不必要的加班或设备过度运转，从而有效降低机械设备的运营成本。③资源配置的优化：三维数字化技术在数字模型中提供了全面的工程信息，包括设备、材料、人力等资源的分布和使用情况。管理团队可以基于这些信息进行资源配置的优化，确保每个资源在最需要的地方得到最有效的利用。这有助于降低不必要的资源浪费，提高整体资源利用效率。④实时成本监控：数字模型与造价软件的结合使得实时成本监控成为可能。通过数字模型中的实时数据，管理团队可以随时了解工程的实际成本情况。如果发现成本偏离预期，团队可以迅速做出反应，采取必要的措施，以保持预算范围内。这种实时监控有助于防范潜在的财务风险，确保工程的经济效益。

结语

三维数字化技术作为一项前沿技术，在输电线路工程机械化施工中展现了巨大的应用潜力。通过在施工前期的精确勘测、器械进场的路径规划、机械作业中的实时导航监控、进度统筹中的智能优化、造价控制中的精细化管理等方面的应用，工程管理团队能够更全面、精确地掌握工程的各个环节，从而提高了工程的整体效率，降低了成本，增强了工程的可控性。

参考文献

- [1] 吴敏彦, 冯明杰. 三维数字化技术与可行性研究在输电线路工程建设施工中的应用价值分析[J]. 新型工业化, 2022, 12(12): 36-39.
- [2] 李基隆, 胡道玖, 何春晖等. 三维数字化技术在输电线路工程机械化施工中的应用研究[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2022, 25(02): 8-10.
- [3] 董飞飞, 李永双, 俞登科等. 输电线路工程三维数字化应用研究与展望[J]. 智慧电力, 2019, 47(09): 86-90+119.