

复杂场地多塔同场施工碰撞预警及优化布置关键技术应用

孙泽基

上海建工四建集团有限公司 上海 200126

摘要：聚焦复杂场地多塔同场施工，分析其面临的场地挑战、碰撞风险及传统方法不足。阐述 BIM、传感器、智能算法等关键技术原理及应用，以深圳某大型综合体项目为例，介绍技术应用过程。结果显示，应用后碰撞事故归零，施工效率提升 20.8%，带来显著效益。展望未来，随着新兴技术发展，该技术将实现更深融合创新，为建筑施工安全管理和智慧城市建设提供有力支撑。

关键词：复杂场地；多塔同场施工；关键技术

引言：在建筑施工领域，复杂场地多塔同场施工情况愈发常见。此类施工面临诸多难题，复杂场地特性使塔吊布置困难，多塔作业碰撞风险高，传统布置与预警方法又存在明显局限。这些问题不仅威胁施工人员安全，还易造成设备损坏与工期延误。因此，探索有效的碰撞预警及优化布置关键技术迫在眉睫，对保障施工安全、提高施工效率意义重大。

1 复杂场地多塔同场施工现状与挑战

1.1 复杂场地特点分析

复杂场地的地形、地貌及周边环境给多塔施工带来挑战。如深圳某实验室塔吊防碰撞施工，场地狭窄且地形高低起伏，塔吊基础标高难统一规划，施工难度增大。装配式混凝土建筑施工现场，预制构件多，塔吊选型与站位要考虑场地和道路，限制了群塔布置空间。这些复杂条件影响塔吊安装位置选择，对施工动态调整要求更高。所以，合理评估复杂场地特征是多塔安全高效运行的前提。

1.2 多塔同场施工常见碰撞风险

多塔作业碰撞风险多样，有塔臂与塔臂、塔臂与建筑物、塔身与障碍物间的冲突。以深圳宝安区海峦坊项目为例，多楼栋同时施工，塔楼主体进度变动，塔式起重机大臂与相邻塔机冲突风险增加。多台塔吊交叉作业，位置和高度规划不好，易引发塔臂碰撞。塔臂旋转还可能触及周边建筑或障碍物，有安全隐患。碰撞风险威胁人员安全，还可能导致设备损坏和工期延误，需有效防控。

1.3 传统布置与预警方法的不足

传统方法应对复杂场地多塔施工局限明显，布置规划和碰撞预警方面问题突出。传统平面布置依赖经验，缺乏三维空间考量，难准确预测潜在碰撞点。常规预警靠人工监控，精度和及时性受人为因素影响，无法实时动态监测。面对复杂施工环境，传统方法难快速适应现场变化，防碰撞措施滞后或失效。如塔吊基数大、施工单体多时，人工规划无法满足安全管控需求，需借助先进技术提升管理水平^[1]。

2 关键技术原理与应用

2.1 BIM 技术

BIM 技术以三维参数化建模为核心，整合建筑全专业信息，搭建数字化建筑信息模型。依托信息协同与可视化仿真，贯穿设计、施工、运维全过程，实现碰撞检查、施工模拟与精细化管控，助力建筑工程数字化、高效化升级。

2.1.1 BIM 技术原理

建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）技术是一种基于数字化三维建模的技术手段，其核心在于通过集成建筑设计、施工和运维等全生命周期的信息数据，实现多维度的信息共享与协同工作。在复杂场地多塔同场施工中，BIM 技术通过构建精确的三维模型，将建筑物、施工设备和周边环境以数字化形式呈现，从而为施工规划提供直观的可视化支持。具体而言，BIM 技术通过参数化建模方式，能够快速生成包含几何信息、物理属性及时间维度的动态模型，并结合施工进度计划进行 4D 模拟分析，进一步优化资源配置与工序安排。

2.1.2 BIM 在多塔布置中的应用

在复杂场地的多塔同场施工中,塔机布置的合理性直接关系到施工安全与效率。利用 BIM 技术进行塔机位置模拟与优化,可以有效避免传统方法中因信息孤立导致的布置盲区问题。首先,通过导入施工图纸与现场测量数据,BIM 技术能够快速建立包含塔机、建筑物及障碍物的三维模型,并在此基础上对塔机的工作范围、高度及旋转半径进行精确模拟。其次,借助 BIM 的可视化碰撞检测功能,可提前识别塔臂与塔臂、塔臂与建筑物之间的潜在冲突点,并通过调整塔机位置或优化施工工序消除隐患。例如,在某实际工程项目中,通过 BIM 技术的应用,成功将初始方案中的 12 处潜在碰撞点减少至 3 处,显著降低了施工风险。此外,BIM 技术还能够结合施工进度计划,动态模拟塔机在不同阶段的运行状态,从而为顶升、附着及拆除等关键工序提供科学指导,进一步提升施工安全性与经济性。

2.2 传感器技术

2.2.1 传感器类型与原理

在多塔碰撞预警系统中,传感器技术是实现实时监测与数据采集的关键手段。常用的传感器类型包括距离传感器、角度传感器和加速度传感器等,这些传感器通过感知塔机的运行状态,将物理量转化为电信号或数字信号,从而为后续的数据分析提供基础支持。其中,距离传感器通常采用超声波、激光雷达或毫米波雷达技术,通过发射电磁波并接收反射信号,精确测量塔臂与其他物体之间的距离;角度传感器则通过检测塔机的旋转角度变化,判断其是否接近预设的安全阈值;加速度传感器主要用于监测塔机在运行过程中的振动情况,从而评估其结构稳定性。各类传感器的工作原理虽有所不同,但均具备高精度、高可靠性的特点,能够满足复杂施工环境下对实时监测的需求^[2]。

2.2.2 传感器布设与数据采集

传感器的合理布设是确保数据采集准确性与稳定性的前提条件。在多塔同场施工中,传感器通常安装在塔机的关键部位,如塔顶、塔臂末端及起重钩等位置,以全面覆盖塔机的运行状态。例如,距离传感器一般安装在塔臂末端,用于实时监测塔臂与周边障碍物之间的距离变化;角度传感器则固定在塔机回转机构上,用于记录塔臂的旋转角度;加速度传感器则安装在塔身主体结构处,用于监测塔机在运行过程中的振动幅度。数据采集过程中,传感器通过无线通信模块将实时数据传输至中央处理系统,该系统对数据进行预处理与存储,并通过算法分析生成预警信息。值得注意的是,为保证数据

采集的可靠性,传感器需定期进行校准与维护,同时采用冗余设计以提高系统的抗干扰能力,从而确保预警系统的稳定运行。

2.3 智能算法

2.3.1 智能算法种类与原理

智能算法是碰撞预警分析核心技术,涵盖神经网络、遗传算法、支持向量机等。神经网络构建多层感知器模型,优化网络权重,学习复杂非线性关系;遗传算法基于达尔文进化理论,经选择、交叉、变异等操作找最优解,适合多目标优化;支持向量机构建高维特征空间最优分类超平面,小样本下分类精度高。在多塔碰撞预警中,它们融合传感器实时与历史数据,提升预警响应速度和准确性,为安全管理提供技术支持^[3]。

2.3.2 在预警分析中的应用

智能算法在多塔碰撞预警中,数据处理上可降噪、提取特征、归一化,提高数据质量与效率,如神经网络能识别异常模式、调整预警阈值;决策支持上构建预测模型,提前发现隐患。某项目用遗传算法优化布置,缩短工期 15%,降低碰撞率超 20%,还能结合 BIM 实现预警可视化,提升安全管理水平。

3 关键技术应用案例分析

3.1 案例工程概况

以深圳市某大型综合体项目为例,探讨复杂场地多塔同场施工碰撞预警及优化布置关键技术的具体应用。该项目占地面积约 5 万平方米,总建筑面积达 20 万平方米,由 3 栋高层住宅楼、1 栋商业办公楼及地下停车场组成。施工现场地形复杂,存在多处高差较大的基坑和不规则边坡,周边环境狭窄,北侧紧邻城市主干道,东侧与既有建筑物距离仅为 8 米。为保证施工效率与安全性,现场共布置 6 台塔式起重机,型号分别为 QTZ80、QTZ125 和 QTZ160,最大起重量覆盖 6 吨至 12 吨不等。由于塔机数量众多且作业范围交叉频繁,加之场地空间有限,施工过程中的碰撞风险显著增加。因此,本项目成为研究复杂场地多塔同场施工碰撞预警及优化布置技术的典型应用场景。

3.2 关键技术应用过程

3.2.1 BIM 模型建立

依据工程图纸,用 BIM 技术建含建筑、结构及塔机的精细化三维模型。先用 Revit 软件导入相关图纸,生成高精度建筑与结构模型。再结合塔机厂家参数,建 6 台塔机详细模型,赋予部件材质、重量等信息。接着用

Navisworks 软件碰撞检测,模拟运行轨迹,找出 12 处潜在碰撞点,多在塔臂与建筑外墙、塔身与障碍物间。经多次优化,确定最优布置方案,保证塔机安全距离,减少施工干扰。

3.2.2 传感器安装与调试

为实时监测塔机状态,项目用多种传感器采集数据。在起重臂端部、塔身顶部装超声波距离和角度传感器,检测塔臂与障碍物距离及角度变化;在驾驶室装 IMU 获取姿态信息。安装后严格调试,先零点校准消除误差,再模拟工况验证响应速度与精度。结果显示,超声波距离传感器测量误差 ± 5 厘米内,角度传感器分辨率 0.1 度,满足需求。

3.2.3 智能算法部署

项目将神经网络算法部署于预警系统,结合实时数据分析。传感器数据经 5G 物联网传至云端服务器,由神经网络模型处理。该模型有输入、隐藏、输出层,输入多维时间序列数据,隐藏层用 ReLU 函数非线性变换,输出层输出碰撞概率值。用超 10,000 组历史数据训练,验证集准确率 92.3%。实际运行中,系统动态更新碰撞概率,超阈值触发预警,避免碰撞风险。

3.3 应用效果分析

3.3.1 数据展示

通过对比应用关键技术前后的塔机运行数据,可以直观地评估其实际效果。在技术应用前,由于缺乏高效的碰撞预警与优化布置手段,施工现场共发生 3 起轻微碰撞事故,导致塔机停机维修累计达 15 天,直接经济损失超过 30 万元。此外,因塔机作业范围重叠导致的施工效率低下问题也较为突出,平均每台塔机每天的有效工作时间仅为 12 小时。而在技术应用后,未再发生任何碰撞事故,塔机运行的安全性得到显著提升。同时,通过 BIM 模型的优化布置和智能算法的实时预警,塔机的有效工作时间延长至 14.5 小时/天,施工效率提高了约 20.8%。表 1 展示了关键技术应用前后的主要运行数据对比情况。

指标	应用前	应用后	提升比例
碰撞事故次数	3	0	-100%
停机维修天数	15	0	-100%
有效工作时间(小时/天)	12	14.5	+20.8%

3.3.2 效益分析

从安全、经济、进度等多个维度来看,该技术的应用带来了显著的综合效益。在安全方面,通过消除碰撞

隐患,避免了可能引发的人身伤亡和设备损坏事故,间接经济效益难以估量。在经济方面,减少碰撞事故和停机维修时间直接降低了经济损失,同时施工效率的提升也缩短了工期,节约了人力与机械成本。经核算,仅在本项目中,该技术的应用便带来了超过 50 万元的经济效益。在进度方面,塔机运行效率的提高使得关键节点工期提前完成,为后续施工创造了有利条件。总体而言,该技术不仅为复杂场地多塔同场施工提供了可靠的安全保障,还显著提升了施工管理的智能化水平,为类似工程提供了宝贵的实践经验^[4]。

4 未来展望

随着物联网、大数据等新兴技术的快速发展,复杂场地多塔同场施工碰撞预警及优化布置关键技术有望在未来实现更深层次的技术融合与创新应用。一方面,物联网技术的应用将进一步增强塔机设备的互联互通能力,实现设备状态、环境参数等多源数据的实时共享与协同分析,从而提升碰撞预警系统的智能化水平与响应速度。另一方面,大数据技术的引入将为碰撞预警系统提供更为丰富的历史数据支持,通过机器学习算法对海量数据的挖掘与分析,可以不断优化预警模型的准确性与可靠性。总之,复杂场地多塔同场施工碰撞预警及优化布置关键技术的未来发展,将在推进建筑施工安全管理智能化、精细化方面发挥重要作用,并为智慧城市建设提供有力支撑。

结束语

复杂场地多塔同场施工碰撞预警及优化布置关键技术的研究与应用成效显著。通过 BIM、传感器和智能算法等技术的协同作用,有效降低了碰撞风险,提升了施工效率与安全性,带来可观的综合效益。展望未来,随着新兴技术不断涌现,该技术将持续创新发展,在建筑施工安全管理智能化、精细化进程中发挥关键作用,有力推动智慧城市建设迈向新高度。

参考文献

[1] 庞宏斌. 郭军阳. 复杂地貌多基础标高群塔防碰撞施工技术 [J]. 安装,2024,(7):48-50.

[2] 牛永杰. 刘强; 张永正. BIM 技术在群塔布置与过程管控中的应用 [J]. 住宅与房地产,2023,(11):83-85.

[3] 曹应腾. 孟珊. 程晋龙. 郭奋杰. 辛宇. 多楼栋在施工况下的塔式起重机后期优化研究 [J]. 建筑技术开发,2022,49(17):116-118.

[4] 方铭海. 多台塔吊交叉作业安全措施研究 [J]. 价值工程,2023,42(32):48-50.