

BIM 技术在工程测量变形监测中的应用

秦昌威

湖北省国土测绘院 湖北 武汉 430010

摘要：随着工程建设对结构安全管控与变形监测精度要求的不断提升，BIM 技术在工程变形监测中的深度应用至关重要。首先阐述其空间信息建模、数据适配集成的核心应用基础，接着拆解监测布设、数据同步、趋势模拟、成果呈现的核心应用环节，最后明确全流程精度、一致性与协同性的核心管控要点，为变形监测智能化升级提供完整的技术路径与管控方案。

关键词：BIM技术；工程变形监测；数据集成；安全预警

引言：工程变形监测是保障基础设施全生命周期安全运营的核心技术环节，传统监测模式受技术手段限制，普遍存在数据离散化、可视化不足、多源信息割裂、风险预警滞后等问题，难以满足现代复杂工程的高精度安全管控需求。BIM技术凭借三维数字孪生、多源数据融合、动态模拟分析的核心能力，为变形监测的数字化、智能化转型提供了全新的技术载体，也为行业技术升级开辟了新的方向。

1 工程变形监测中BIM技术应用概述

工程变形监测中BIM技术应用以三维数字孪生为核心，构建高精度几何模型与属性信息融合的虚拟结构体。通过空间定位技术实现监测点与模型构件的精准映射，集成位移、沉降、倾斜等多维度变形数据，形成动态数据驱动的数字孪生系统，该技术支持多源异构数据融合处理，如传感器实时数据、历史监测记录、影像对比信息等，通过参数化模型实现变形过程的可视化表达与趋势分析。平台采用模块化架构设计，支持跨专业数据共享与多用户协同操作，提升监测数据的综合分析效率，为工程安全状态评估提供直观、可靠的技术支撑，保障结构安全管控的精准性与时效性^[1]。

2 BIM技术在变形监测中的核心应用基础

2.1 BIM技术空间信息建模核心逻辑

BIM技术空间信息建模核心逻辑以三维几何模型为载体，融合参数化设计理念实现结构形态的数字化表达。其建模过程强调几何信息与非几何信息的协同构建，通过精确捕捉构件尺寸、空间位置及拓扑关系，形成量化的数字孪生体；模型构建采用分层架构，基础层整合点云扫描、激光测距等实测数据生成初始几何模型；中间层嵌入材料属性、力学参数等物理信息，构建具备工程语义的智能模型；顶层则通过动态参数绑定实现模型与实际工程的实时关联。该逻辑突破传统二维图纸的静

态表达局限，支持模型在变形监测中的动态迭代——当工程结构发生位移或形变时，模型可自动更新几何参数并同步关联的物理属性，形成“监测-反馈-修正”的闭环机制，为变形趋势分析提供高精度、可追溯的数字基底，提升监测数据的可信度与决策支持能力。

2.2 变形监测工程测量核心技术要求

变形监测工程测量核心技术要求聚焦高精度数据采集与动态解析能力，需满足几何量测精度达毫米级、时间分辨率达分钟级的实时监测需求。技术实施强调多源数据融合，通过全站仪、激光扫描仪、倾斜仪等设备获取空间位移、角度变化、应力分布等多维度参数，确保数据同步性与一致性。数据处理环节要求构建误差补偿模型，对仪器系统误差、环境干扰误差进行动态修正，提升数据可靠性；核心逻辑在于建立“采集-处理-分析”的闭环流程，通过参数化模型实现变形特征的量化表征，支持位移矢量场、应变分布场的可视化表达。该技术体系突破传统测量手段的离散性局限，以连续、动态的数据流支撑变形趋势的精准研判，为工程安全评估提供可量化的技术依据，推动监测工作向高精度、智能化方向演进^[2]。

2.3 BIM与变形监测数据适配性特征

BIM与变形监测数据适配性特征体现在多维数据协同与动态映射能力上，需满足几何精度、时间同步及语义匹配的统一性要求。BIM模型通过参数化属性定义，可兼容位移、应变、温度等多类型监测数据格式，实现异构数据的标准化整合；其核心适配逻辑在于建立“数据-模型”双向绑定机制：监测数据实时驱动模型参数更新，模型变化反哺监测指标验证，形成动态反馈闭环。适配过程强调数据精度匹配，如毫米级位移数据需与模型网格精度对齐；在时间维度上要求分钟级同步，确保变形趋势分析的时效性。该特征突破传统数据孤岛限制，通过模型

语义关联实现变形特征的跨尺度解析,支撑从局部构件到整体结构的变形模式识别,为精准评估工程安全状态提供可复现的数字基底。

2.4 工程测量数据BIM集成核心逻辑

工程测量数据BIM集成核心逻辑以数据标准化与模型动态绑定为基石,实现测量参数与数字模型的精准关联。集成过程强调数据格式统一,通过坐标转换、单位归一化等预处理,确保位移、沉降、倾斜等多源测量数据无缝对接BIM模型参数。核心逻辑在于构建“数据驱动模型、模型验证数据”的双向反馈机制:测量数据实时更新模型几何属性,如构件位移量直接映射至模型节点坐标;模型变化则反哺测量指标校验,如通过模型应变分布验证实测应力数据合理性。该逻辑突破传统数据与模型分离的局限,支持从局部测量到整体结构的变形模式连贯解析,为工程安全状态评估提供动态、可追溯的数字孪生支撑,推动监测数据向结构健康诊断的智能化演进。

3 BIM技术在变形监测中的核心应用环节

3.1 监测点位BIM可视化布设规划

BIM技术在变形监测中,监测点位可视化布设规划通过三维模型实现精准定位与空间优化。利用BIM模型的可视化特性,可直观呈现监测区域地形、结构特征及潜在变形风险点,辅助规划人员科学确定监测点数量、位置及布设路径,通过参数化调整模型,可动态模拟不同布设方案对监测覆盖范围、数据采集效率的影响,实现点位布设与监测目标的精准匹配。该环节强调三维空间分析与数据驱动决策,避免传统二维图纸的局限性,提升布设方案的合理性与可操作性。同时,BIM模型可集成多源异构数据,如地质信息、结构荷载等,为点位布设提供多维数据支撑,确保监测网络在复杂环境中的适应性与可靠性,最终形成高效、精准的监测点位布设方案^[3]。

3.2 监测数据BIM模型实时同步

监测数据与BIM模型实时同步需构建数据流与模型更新的双向通道,通过物联网传感器、移动测量终端等设备持续采集位移、应变、振动等动态参数,经无线传输网络实时汇入BIM平台。同步过程采用增量更新算法,仅对变化量进行模型几何与属性修正,避免全量重建的资源消耗;数据校验模块通过阈值判断、趋势预测等算法过滤异常值,确保同步数据的可靠性。模型版本管理机制记录每次同步的时间戳与变更内容,形成可追溯的数字档案;实时同步还支持多用户协同操作,通过权限控制确保不同角色仅能访问或修改指定构件数据。该环节通过动态数据驱动模型状态更新,使BIM模型始终反映结构当前真实形态,为变形趋势预测、安全预警提供实时

数字孪生支撑,形成“数据采集-传输-校验-更新-反馈”的闭环控制链条。

3.3 变形趋势BIM模型动态模拟

变形趋势BIM模型动态模拟依托时间维度数据驱动,实现结构变形过程的连续可视化表达。模型整合位移、应力、温度等多源监测参数,构建参数化动态模型,实时映射变形状态的时间演化规律,通过时间序列分析算法,模拟不同时间节点的变形轨迹,精准识别变形速率突变点、异常波动区域及潜在风险分布。模型支持多物理场耦合分析,如温度-变形关联效应、荷载-位移响应机制,提升模拟结果的物理真实性;动态更新机制采用迭代算法,自动校准模型参数,确保模拟轨迹与实际监测数据高度吻合。可视化界面采用动态图表与三维模型联动技术,直观呈现变形速率变化曲线、空间变形云图及关键节点位移矢量,为工程安全状态评估提供动态、直观的数据支撑,增强监测预警的时效性与分析深度,保障结构安全管控的精准性^[4]。

3.4 监测成果BIM模型集成呈现

BIM技术在变形监测成果集成呈现环节,通过构建三维数字模型实现多维度数据动态融合与可视化表达。模型以高精度坐标系为基准,将监测点位移、沉降、倾斜等变形数据实时映射至对应空间位置,生成彩色变形云图与矢量动态轨迹,直观反映结构变形趋势及异常区域分布。集成平台支持多源数据协同处理,如传感器实时数据、历史监测记录、影像对比信息等,通过参数化驱动机制实现模型自动更新与迭代优化,确保监测成果的时效性与准确性。平台采用模块化架构设计,可灵活配置数据接口与可视化模板,适配不同工程场景的个性化需求,同时支持多用户协同操作与跨专业数据共享,提升监测成果的综合分析效率与应用价值,为工程安全评估提供直观、可靠的数据支撑,保障监测成果的实用性与可持续性。

4 BIM技术在变形监测应用的管控要点

4.1 监测数据BIM模型精度管控

监测数据BIM模型精度管控聚焦于数据采集、模型构建与动态更新全流程的精度控制。通过高精度测量设备获取监测点空间坐标与变形参数,确保原始数据误差控制在毫米级以内;模型构建采用参数化驱动技术,实现几何形态与属性信息的精准映射,避免因模型简化导致的精度损失。数据融合阶段运用多源异构数据校准算法,如传感器数据与影像数据的时空对齐,消除数据间的系统性偏差;动态更新机制采用迭代算法自动修正模型参数,确保模型变形趋势与实际监测数据高度一致。精度评估

体系结合定量指标与可视化校验，如位移误差云图、变形速率曲线等，实现模型精度的量化评价与持续优化，保障监测成果的可靠性与工程安全评估的准确性。

4.2 模型与监测数据一致性管控

模型与监测数据一致性管控需构建动态校验与同步机制，确保BIM模型几何属性、空间位置及拓扑关系与实测数据高度匹配。通过参数化驱动技术实现模型元素与监测指标的精准绑定，采用唯一标识符关联位移、应变等动态参数，避免数据错位；数据校验模块运用阈值判断、趋势分析算法过滤异常值，结合有限元模型修正技术调整参数偏差。同步更新机制采用增量修改策略，仅对变化构件进行几何与属性修正，减少全量重建资源消耗，版本管理系统记录每次同步的时间戳、变更内容及精度指标，形成可追溯的数字档案。该环节通过“数据-模型-规则”三元绑定实现双向校验，既确保模型反映真实变形状态，又通过模型反馈验证数据可靠性，形成从数据采集到模型更新的闭环一致性控制链条，为结构安全评估提供高置信度数字支撑^[5]。

4.3 变形监测信息传递效率管控

变形监测信息传递效率管控聚焦数据传输链路优化与实时性保障，通过低延迟通信协议与数据压缩算法减少传输耗时，确保位移、应变等动态参数快速汇入BIM平台。采用分布式计算架构实现多源数据并行处理，结合缓存机制与预加载技术提升数据访问速度，信息校验模块通过循环冗余校验、哈希算法确保传输完整性，避免数据丢失或篡改。协同操作机制支持多用户实时同步访问与修改模型数据，通过权限分级与冲突检测避免操作冲突；网络拓扑优化结合5G、Wi-Fi6等高速网络技术，降低传输延迟，提升数据流稳定性。该环节通过“采集-传输-处理-反馈”全链路效率优化，确保监测信息实时可达、可验、可用，为变形趋势分析、安全预警提供高效数据支撑，形成从数据源头到应用终端的闭环效率管控体系。

4.4 监测应用全流程协同性管控

监测应用全流程协同性管控聚焦多环节数据与模型

的动态衔接，通过标准化接口实现数据采集、处理、模型更新及反馈的无缝对接。采用工作流引擎驱动各环节自动触发与协同作业，确保位移、应变等监测数据实时流入模型修正模块，同时模型更新结果反向校验数据可靠性。协同机制支持跨平台数据共享与权限分级，通过唯一标识符绑定实现不同系统间数据精准传递，版本控制系统记录各环节操作日志与变更轨迹，形成可追溯的协同档案。该环节通过“数据-模型-规则”的闭环协同，既保障各环节独立运行的高效性，又确保全流程数据一致性与逻辑连贯性，为变形监测提供从数据采集到决策支持的全链路协同保障，形成自驱动、可验证的协同管控体系，提升监测应用的整体效能与可靠性。

结束语：BIM技术与工程变形监测的深度融合，彻底重构了传统监测的工作逻辑与实施体系，通过数字孪生体系实现了监测数据与结构模型的双向闭环联动，推动监测工作从被动应急响应向主动风险预警的根本性转变。其全流程的技术应用体系与管控机制，有效破解了传统监测的精度短板、数据孤岛、协同低效等行业痛点。随着技术持续迭代，BIM技术将进一步与智能算法深度结合，为工程结构全生命周期安全管控提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]孙昊阳,舒强.三维激光扫描与BIM的集成技术在水利工程变形监测中的应用[J].治淮,2025(3):28-30.
- [2]罗舜.BIM视角下建筑基坑监测工程应用位移测量技术探究[J].建设科技,2025(5):78-80.
- [3]孟杰,娄利娇.无人机摄影测量快速建模技术在水利工程大坝变形监测中的应用[J].科技创新与应用,2025,15(31):166-169.
- [4]李双平,刘祖强,张斌,等.测量机器人智能变形监测关键技术及应用研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S1):980-987.
- [5]陈师.测绘技术在水泥混凝土建筑工程变形监测中的应用研究[J].中国水泥,2025(6):126-128.