

基于数字孪生的工程测量与施工协同研究

张法宾 46000719960107041X

摘要

工程测量与施工环节的信息不对称、数据更新滞后是制约现代工程建设效率与质量提升的核心痛点，传统协同模式依赖人工线下传递数据，易出现偏差与响应延迟，难以满足大型复杂工程的精细化管理需求。数字孪生技术通过构建物理实体的数字化镜像，可实现工程全生命周期数据的实时交互与动态同步，为测量与施工环节的深度协同提供了技术支撑。本文从数字孪生的技术特征出发，分析当前工程测量与施工协同存在的痛点问题，构建基于数字孪生的协同框架，探讨核心实现路径，最后结合应用场景分析该模式的应用价值，为工程建设领域的数字化协同管理提供参考。

关键词：数字孪生；工程测量；施工协同；数字化管理

一、引言

随着我国基础设施建设规模不断扩大，工程结构形式日趋复杂，对工程建设的精度、效率与安全管控提出了更高要求。工程测量作为施工实施的前置基础与过程管控核心，承担着获取工程空间地理数据、校验施工偏差的关键职能，而施工环节则是将设计方案转化为实体工程的核心过程，两者的协同效率直接决定了工程建设的整体质量与进度。传统模式下，工程测量多采用阶段性作业方式，测量数据生成后通过纸质文件或离线电子文档传递给施工方，施工方根据测量数据调整施工方案，若出现测量偏差或设计变更，往往需要重新开展测量作业。

二、相关概念与研究现状

2.1 数字孪生的核心特征

数字孪生最早由美国密歇根大学教授 Grieves 提出，其核心定义是通过数字化方式构建物理实体的虚拟镜像，集成物理实体全生命周期的多源数据，模拟物理实体在真实环境中的运行状态，实现虚拟空间与物理空间的实时映射与交互反馈。具体到工程建设领域，数字孪生具备三个核心特征：第一是虚实映射，通过感知设备采集物理工程的空间、状态数据，在虚拟空间构建与物理实体完全一致的数字化模型，保证虚拟模型与物理实体在几何、物理、行为层面的一致性；第二是实时交互，依托物联网与数据传输网络，实现物理端数据向虚拟端的实时同

步，虚拟端的分析结果可反向指导物理端的施工调整，打破不同环节之间的信息壁垒；第三是闭环优化，通过持续集成测量数据、施工数据，不断迭代优化孪生模型，为工程建设的全流程协同提供决策支撑。

2.2 工程测量与施工协同的研究现状

国内现有研究围绕工程测量与施工协同开展了多方面探索：部分学者聚焦 BIM 技术在协同中的应用，提出基于 BIM 的测量数据集成方法，通过将测量数据导入 BIM 模型实现施工偏差的可视化校验，但该模式仅实现了数据的静态集成，无法满足施工过程中动态协同的需求；还有部分研究探讨了 GNSS、三维激光扫描等自动化测量技术在施工过程中的应用，实现了测量数据的自动化采集，但并未解决测量数据与施工调度之间的联动问题，测量作业仍然滞后于施工进度。整体来看，现有研究多关注单一环节的数字化升级，尚未从体系层面构建测量与施工的动态协同框架，数字孪生技术的虚实交互特征恰好可以填补这一研究空白。

三、传统工程测量与施工协同的痛点分析

第一，数据传递存在滞后性。传统工程测量分为开工前控制测量、施工过程中分段测量、竣工测量三个阶段，测量作业与施工作业存在时间差，测量成果输出后才能传递给施工管理方，若施工过程中出现地质条件变化或设计变更，测量数据无法及时更新，容易导致施工偏差无法及时校正，严重时甚至引发工程质量事故。例如在大型桥梁桩基础施工过程中，若桩位测量数据未及时更新，很容易出现桩位偏差超出规范要求的问题，后续整改需要花费大量的时间与成本。

第二，信息不对称引发协同偏差。传统模式下测量方与施工方分属不同参与主体，数据存储于不同部门，测量数据仅包含空间位置信息，未集成施工进度、资源配置等相关信息，施工方无法全面掌握测量精度要求，测量方也无法及时了解施工实际需求，容易出现测量作业范围与施工进度不匹配的问题，要么测量作业过早开展导致数据失效，要么测量作业滞后拖慢施工进度。

四、基于数字孪生的工程测量与施工协同框架构建

4.1 数据感知层：多源测量数据的实时采集与传输

数据感知层是整个协同框架的基础，负责采集工程测量与施工过程的多源数据，主要包括三类数据：第一类是工程空间地理数据，通过 GNSS 接收机、三维激光扫描仪、测量机器人等自动化测量设备，实时获取控制点坐标、施工点位偏差、工程实体几何尺寸等测量数据；第二类是施工过程数据，通过施工现场的物

联网传感器、监控设备采集施工进度、资源投入、机械位置、环境参数等数据；第三类是设计与标准数据，包括工程设计 BIM 模型、设计变更文件、施工规范精度要求等基础数据。感知层依托 5G 或工业互联网实现数据的实时传输，保证所有数据能够同步更新到孪生模型中，解决传统模式数据更新滞后的问题。

4.2 孪生建模层：虚实一体化协同孪生模型构建

孪生建模层是协同框架的核心，基于采集的多源数据构建包含工程测量与施工信息的虚实一体化孪生模型。模型分为三个层级：首先是几何孪生层，基于初始设计 BIM 模型，集成实时测量数据，构建与物理工程几何特征完全一致的虚拟几何模型，实现物理工程空间形态的虚拟映射；其次是信息孪生层，在几何模型的基础上，集成测量精度、施工进度、偏差记录等属性信息，将测量数据与施工单元一一绑定，实现每个施工单元全周期信息的可追溯；最后是行为孪生层，基于历史数据构建施工偏差预测模型，根据实时测量数据预测后续施工可能出现的偏差，为协同调整提供预判支撑。

4.3 协同应用层：面向测量与施工的闭环协同应用

协同应用层面面向测量方与施工方提供协同功能，核心实现三个方面的应用：第一是动态测量任务调度，施工方可通过孪生模型实时发布测量需求，测量方根据施工进度动态安排测量作业，测量完成后数据自动更新到孪生模型中，施工方可以第一时间获取最新测量成果，实现测量任务与施工进度的动态匹配；第二是施工偏差实时校验与校正，通过孪生模型自动比对设计值、测量值与实际施工状态，自动识别超出允许范围的施工偏差，并生成偏差校正方案推送至施工端，指导施工方及时调整施工参数；第三是协同决策支撑，孪生模型集成了测量与施工全量数据，参建各方可以通过统一的平台查看工程状态，避免因信息不对称引发的协同冲突，提升协同决策效率。

五、结论

工程测量与施工的协同质量直接影响工程建设的效率与质量，传统协同模式存在的数据滞后、信息不对称、偏差校正效率低等问题，已经无法满足现代工程建设的精细化管理需求。数字孪生技术凭借虚实映射、实时交互、闭环优化的特征，为实现测量与施工的深度协同提供了技术支撑。本文构建的“数据感知层-孪生建模层-协同应用层”三层框架，可有效打通测量与施工之间的数据壁垒，实现两者的动态联动协同，对推动工程建设领域数字化转型具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1-18.
- [2] 刘钊, 朱庆, 张叶庭, 等. 数字孪生工程研究进展与挑战[J]. 测绘学报, 2022, 51(6): 1129-1142.
- [3] 王挺, 王百发, 王清泉. 基于 BIM 的工程测量与施工进度协同管理研究[J]. 施工技术, 2020, 49(12): 101-103.