

# 基于 BIM 的深基坑支护结构施工过程协同管理模型构建

王非凡

江西远富建筑有限公司 江西 抚州 331800

**摘要：**深基坑工程作为城市地下空间开发的核心环节，其施工过程具有高风险、高复杂性和多专业交叉的特点，传统的项目管理模式在信息传递、协同作业和风险控制方面面临严峻挑战。建筑信息模型（BIM）技术凭借其强大的信息集成与可视化能力，为解决上述难题提供了全新的技术路径。本文旨在构建一个系统化的、基于BIM的深基坑支护结构施工过程协同管理模型。首先，深入剖析了深基坑施工协同管理的痛点与BIM技术的核心赋能机制；其次，从组织、流程、数据三个维度出发，详细阐述了该协同管理模型的总体架构与核心功能模块，包括统一信息平台、多专业协同设计、4D/5D施工模拟、安全风险动态管控以及物联网（IoT）集成等；最后，探讨了模型实施的关键保障措施与未来发展趋势。本研究为提升深基坑工程的精细化、智能化管理水平提供了理论框架与实践指导。

**关键词：**BIM；深基坑；支护结构；施工过程；协同管理；信息集成

## 引言

我国城市化加速，土地资源紧张，向地下拓展空间成必然，催生众多深基坑工程。此类工程作为建设项目基础，施工周期长、地质条件不确定、支护体系复杂且与周边环境交互密切，是土木工程领域风险最高、管理难度最大的工程之一。传统“碎片化”管理模式下，深基坑施工各参与方使用独立信息系统，信息孤岛严重，设计意图难传达、施工进度难反馈、监测数据与施工脱节，沟通成本高、效率低，易引发设计变更、施工返工、工期延误及安全事故等问题。在此情形下，BIM技术应运而生，它既是全生命周期信息的三维数字模型，也是协同工作平台，能整合深基坑工程全过程信息。构建以BIM为核心的协同管理模型，对保障工程安全、提升管理效能、实现项目价值最大化意义重大。

## 1 深基坑施工协同管理痛点与BIM赋能机制

### 1.1 深基坑施工协同管理的核心痛点

深基坑支护结构施工的协同管理主要面临以下几方面的挑战：①信息割裂与失真：岩土勘察报告、支护结构设计图纸、施工组织方案、监测数据等关键信息分散于不同参与方，格式各异，缺乏统一的数据标准和共享机制，导致信息在传递过程中易失真、滞后甚至丢失。②专业协同困难：深基坑工程涉及岩土、结构、水文、机械、测量等多个专业。传统二维图纸难以直观表达复杂的三维空间关系，各专业在设计阶段容易出现碰撞冲突，在施工阶段则因理解偏差导致配合失误。③过程可视化程度低：施工管理人员难以对复杂的开挖、支护、降水等工序的时空逻辑关系形成清晰的认知，对施工进度、资源投入和潜在风险的预判能力不足<sup>[1]</sup>。④安全风险响应滞后：安

全监测数据（如位移、应力、水位）通常独立于施工管理系统，无法与具体的施工活动（如某区域的土方开挖）进行实时关联分析，导致风险预警不及时，应急响应被动。

### 1.2 BIM技术的核心赋能机制

BIM技术通过以下几个核心机制，为解决上述痛点提供了有效途径：①单一数据源（Single Source of Truth）：BIM模型作为项目的中央数据库，承载了所有相关几何与非几何信息。各方基于同一模型开展工作，从根本上保证了信息的一致性和权威性，消除了信息孤岛。②三维可视化与空间协调：BIM的三维可视化特性使复杂的深基坑空间结构一目了然。通过碰撞检测（Clash Detection）功能，可以在设计阶段就发现并解决不同专业（如支护桩与地下管线、内支撑与主体结构）之间的空间冲突，避免施工阶段的返工。③过程模拟与虚拟建造：将施工进度计划（4D）和成本信息（5D）与BIM模型关联，可以进行施工过程的动态模拟。管理者可以在虚拟环境中预演整个施工流程，优化施工方案，合理配置资源，并提前识别潜在的施工难点和风险点。④信息关联与智能分析：BIM模型中的构件可以与外部数据（如监测传感器数据、设备状态信息）进行绑定。当监测数据出现异常时，系统可以自动在模型上高亮显示风险位置，并关联到相关的施工日志、责任人等信息，实现风险的快速定位与智能预警。

## 2 基于BIM的协同管理模型总体架构

为系统化地应用BIM技术解决深基坑施工协同管理问题，本文提出一个“三层三域”的协同管理模型架构。

### 2.1 “三层”技术架构

#### 2.1.1 数据层

这是模型的基础，负责汇集、存储和管理所有与深基坑工程相关的数据。包括BIM核心模型数据、地理信息系统（GIS）数据、岩土工程勘察数据、施工进度计划、工程量清单、监测实时数据、文档资料等。该层需建立统一的数据标准（如IFC、COBie）和编码体系，确保数据的互操作性。

### 2.1.2 平台层

作为模型的核心引擎，提供BIM模型的创建、管理、可视化、协同和分析功能。该平台应具备强大的模型轻量化、版本管理、权限控制、任务分配、在线批注、碰撞检测、4D/5D模拟等能力，并支持与物联网（IoT）、移动终端等外部系统的API接口<sup>[2]</sup>。

### 2.1.3 应用层

面向不同参与方的具体业务需求，提供一系列功能模块。例如，为设计方提供协同设计与校审工具，为施工方提供进度-模型联动的现场管理看板，为监理方提供基于模型的质量安全巡检应用，为业主方提供项目全景驾驶舱等。

## 2.2 “三域”管理维度

### 2.2.1 组织域

明确各参与方在BIM协同环境中的角色、职责和 workflows。建立BIM执行计划（BEP），规定模型拆分规则（如按专业、按区域）、LOD（Level of Detail）交付标准、协同频率（如每周模型协调会）和沟通机制（如问题升级路径）。推动建立以BIM为中心的集成化项目团队（IPT），打破组织壁垒。

### 2.2.2 流程域

将BIM技术深度嵌入到深基坑施工的关键管理流程中，实现流程再造。例如：①设计交底流程：从传统的“看图讲解”转变为基于BIM模型的沉浸式、交互式交底。②施工方案评审流程：通过4D模拟直观展示方案可行性，提高评审效率和质量。③质量安全检查流程：检查人员通过移动终端在模型对应位置直接记录问题，自动生成整改通知单并跟踪闭环。④进度款支付流程：基于5D模型自动核算已完成工程量，作为支付依据，减少争议。

### 2.2.3 数据域

贯穿于组织和流程之中，强调数据的流动、共享与价值挖掘。从数据采集、清洗、处理、分析到决策支持，形成完整的数据价值链。利用数据湖（Data Lake）技术存储原始数据，并通过数据仓库（Data Warehouse）和BI工具进行多维分析，让数据真正成为驱动项目精益管理的核心资产。

## 3 协同管理模型的核心功能模块

基于上述总体架构，该模型包含以下关键功能模块：

### 3.1 统一BIM协同信息平台

该平台是所有参与方进行信息交互的唯一入口。它支持多用户并发在线协同，允许各方在模型上直接进行标记、评论和问题跟踪（Issue Tracking）。所有的沟通记录、设计变更（RFI）、会议纪要都与模型特定位置或构件ID进行强关联，确保信息的上下文完整性和全生命周期可追溯性。平台还应支持移动端访问，方便现场人员随时查阅模型和更新状态。

### 3.2 多专业协同设计与深化

在设计阶段，岩土工程师、结构工程师、机电工程师、管线综合工程师等利用BIM平台进行并行设计。平台内置的碰撞检测规则库可以自动检查支护桩、锚索、内支撑、格构柱、降水井、地下管线（给水、排水、电力、通信）、主体结构预留洞口等模型元素之间是否存在硬碰撞（实体相交）或软碰撞（间距不足）。发现冲突后，系统自动生成详细的冲突报告（含截图、构件ID、责任人），并通过工作流引擎推送给相关责任人，直至问题在模型中得到解决并关闭<sup>[3]</sup>。此外，施工方可以提前介入，利用其丰富的现场经验，对设计方案进行可施工性（Constructability）审查，重点评估大型机械的操作空间、材料运输路径、施工顺序的合理性等，并提出优化建议。

### 3.3 4D/5D施工过程模拟与优化

将详细的施工进度计划（如Primavera P6或Microsoft Project文件）与BIM模型进行关联，构建4D模型。通过动画模拟，可以直观地展示每一时间段的开挖范围、支护安装顺序、大型机械站位等。这有助于：①优化施工方案：比较不同施工顺序的优劣，选择最优方案。②精细化进度管理：将实际进度照片或无人机航拍影像与4D模型对比，快速识别进度偏差。③动态成本控制（5D）：将工程量清单与模型构件挂接，随着4D模拟的推进，系统可自动计算出对应时间点的预算成本，并与实际成本进行对比分析。

### 3.4 安全风险动态管控

这是深基坑管理的重中之重。该模块通过以下方式实现风险的主动防控：①模型与监测数据集成：在BIM模型中精确定位每一个监测点（测斜孔、水位计、轴力计等），并将其实时数据流接入平台。当监测值超过预警阈值时，模型上对应的监测点会自动变色告警。②风险源可视化：在模型中标注出已知的风险源，如邻近的既有建筑、重要管线、不良地质体等，并设置电子围栏。当施工活动接近这些区域时，系统可自动推送安全提示<sup>[4]</sup>。③应急预案演练：利用BIM模型进行安全事故（如管涌、支护

结构失稳)的应急疏散和救援路线模拟,检验并优化应急预案的有效性。

### 3.5 物联网(IoT)与现场感知集成

将BIM模型与部署在现场的各类物联网设备相结合,打通虚拟与现实的壁垒。例如:①人员定位:通过UWB或蓝牙信标对进入基坑的施工人员进行实时定位,确保其处于安全区域内。②设备监控:监控塔吊、挖掘机等大型设备的运行状态和工作轨迹,防止与支护结构发生碰撞。③环境感知:集成噪声、粉尘、有害气体传感器数据,在模型中实时反映现场环境状况,保障工人健康。

### 4 模型实施的关键保障措施

要成功构建并应用该协同管理模型,需要以下关键保障:①顶层规划与标准先行:项目启动初期即应制定详尽的BIM实施战略和执行计划(BEP),明确目标、范围、标准、流程和各方责任。②组织变革与人才培养:推动项目组织模式从传统的线性模式向集成化团队(Integrated Project Delivery, IPD)模式转变。同时,加强BIM复合型人才的培养,使其既懂专业技术又掌握BIM工具。③软硬件基础设施投入:配备满足BIM应用需求的服务器、网络、工作站及移动终端,并选择成熟、开放、可扩展的BIM软件平台。④数据安全与知识产权保护:建立完善的数据访问权限管理和备份机制,保护各方的知识产权和商业机密。

### 5 未来发展趋势

随着技术的不断演进,基于BIM的深基坑协同管理模型将朝着更加智能化的方向发展:①与数字孪生(Digital Twin)深度融合: BIM模型将作为物理基坑的数字孪生体,通过持续接收来自IoT传感器、无人机、机器人等的实时数据,实现对物理世界的全要素、全状态、全过程的精确映射和动态仿真,为预测性维护和自主决策提供支持。②人工智能(AI)驱动的智能决策:利用机器学习

算法对历史项目数据和实时监测数据进行深度挖掘,可以自动识别风险模式、预测变形趋势、优化施工参数,甚至生成最优的施工方案,实现从“人控”到“智控”的跨越。

③云原生与移动化普及:基于云的BIM平台将使得协同工作不再受地域限制,结合AR/VR技术,现场人员可以通过移动设备或头戴式显示器,直观地看到叠加在真实场景上的BIM模型信息,极大提升工作效率和准确性。

### 6 结语

深基坑支护结构施工过程的复杂性与高风险性,对项目协同管理水平提出了前所未有的要求。本文构建的基于BIM的协同管理模型,通过建立“三层三域”的总体架构,并围绕统一信息平台、多专业协同、4D/5D模拟、安全风险管控及IoT集成等核心功能模块,系统性地解决了传统管理模式下的信息割裂、协同困难、可视化不足和风险响应滞后等痛点。该模型不仅是一个技术工具集,更是一种全新的项目管理理念和方法论。它的成功实施依赖于顶层设计、组织变革、人才培养和基础设施的协同推进。展望未来,随着数字孪生、人工智能等前沿技术的融入,该模型将进化为一个能够自我感知、自我分析、自我优化的智能生命体,为深基坑工程乃至整个建筑业的数字化转型与高质量发展注入强劲动力。

### 参考文献

- [1]钟泳.基于BIM技术的深基坑支护施工技术应用探讨[J].新城建科技,2025,34(11):22-24.
- [2]何东峰,吴文民.基于BIM技术的复杂环境下深基坑支护应用探究[J].建材发展导向,2025,23(17):49-51.
- [3]卫蒋.BIM技术在深基坑支护施工模拟中的应用研究[J].砖瓦,2025,(07):159-161.
- [4]张峰.BIM技术在复杂岩土基坑支护施工中的精准控制研究[J].绿色建筑与智能建筑,2025,(07):64-66.