

BIM 在工程施工中的应用

张建平¹, 李丁¹, 林佳瑞¹, 颜钢文²

(¹清华大学, 北京 100084; ²北京城建集团有限公司, 北京 100081)

摘要: 针对当前国内外 BIM (Building Information Model, 建筑信息模型) 技术在工程施工中的应用现状和问题, 对施工阶段 BIM 应用技术、方法、标准和软件进行深入研究。根据我国施工管理特点和实际需求, 提出了工程施工 BIM 应用的技术架构、系统流程和应对措施, 并将 BIM 与 4D 技术相结合, 自主研发建筑施工 BIM 建模系统和基于 BIM 的 4D 施工项目管理系列软件, 从而形成了一套工程施工 BIM 应用整体实施方案。研究成果成功应用于国家体育场等十几个大型工程项目, 验证了其可行性和适用性, 充分体现了 BIM 技术在工程施工中应用价值和广阔前景。

关键词: BIM 应用, 4D 管理, 工程项目, 建筑施工

Application of BIM in Engineering Construction

Zhang Jianping¹, Li Ding¹, Lin Jiarui¹, Yan Gangwei²

(¹Tsinghua University, Beijing 100084, China; ²Beijing Urban Construction Group Co.,Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: According to the current status and problems in applying BIM (Building Information Model) technology in the construction in China and other countries, the research on BIM application in the construction stage, including the technology, method, standard and software, are deeply deployed. Based on the characteristics and the actual demand of construction management in China, the technical framework, system flow and the counter measures of BIM application in construction are proposed, then by combining BIM and 4D technology, series softwares like BIM modeling system and 4D construction dynamic management system based on BIM are developed independently, thereby forming an integrated solution for BIM implementation in construction. The research results has been successfully applied to many large constrection projects such as the National Stadium, thus proving the feasibility and applicability of the integrated solution, and illustrating the application value and prospects of BIM technology in construction.

Key Words: BIM application; 4D management; Engineering project; Construction

1. 绪论

当前，国际上新兴的 BIM（Building Information Model，建筑信息模型）已成为建设领域信息技术的研究和应用热点，其发展将引发整个 A/E/C（Architecture/Engineering/Construction）领域，继 CAD 应用的第二次革命。BIM 是以三维数字技术为基础，集成了建筑工程项目各种相关信息的工程数据模型，是对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达^[1]。一个完善的信息模型能够连接建筑项目生命期不同阶段的数据、过程和资源，被建设项目各参与方共同使用^[2]。BIM 研究的目的是从根本上解决项目规划、设计、施工以及维护管理各阶段以及应用系统之间的信息断层，实现全过程的工程信息管理乃至建筑生命期管理（Building Lifecycle Management, BLM），对于支持传统建筑业的技术改造、升级和创新，具有巨大的应用潜质和经济效益。

随着 BIM 技术的不断发展，BIM 的应用价值已经得到政府的高度关注和行业的普遍认可。国家住房与城乡建设部颁发的《2011-2015 年建筑业信息化发展纲要》，将“加快 BIM 等新技术在工程中的应用”列入“十二五”建筑业信息化发展的总体目标和重要任务之一。《建筑工程信息模型应用统一标准》、《建筑工程信息模型存储标准》等 4 部 BIM 的相关标准已列入 2012 年国家工程标准制定计划。而 BIM 应用也已成为建筑企业技术创新的重要举措之一，越来越多的工程项目开始或正在不同程度的应用 BIM，其技术优势和应用效果已经凸显，BIM 已成为建设领域信息化发展趋势。

然而，由于建筑业所固有的产业结构分散、产品多样形式唯一、信息海量复杂等特点，使得 BIM 的建模、存储和传递都异常复杂和艰难，BIM 软件至今仍不配套，导致 BIM 的应用受到很大限制。目前，国内软件厂商尚未推出商品化的 BIM 软件，普遍应用的主要是国外的 BIM 设计软件，如美国 Autodesk Revit Architecture/ Structure/MEP、Bentley Architecture 以及匈牙利 Graphisoft 公司的 ArchiCAD 等。由于与之配套专业软件不齐全以及设计规范的限制，这些软件还不能完全用于专业设计，主要用于相关专业的 BIM 建模。也就是说，当前国内建筑工程主要仍采用 2D 设计方法，设计过程中无法直接创建 BIM 模型，而需要按照 2D 设计图纸利用 Revit 等软件另行建模。这种 BIM 建模方法不仅增加了项目的设计成本，所构建的 BIM 包含的设计信息量非常有限，而且该模型传递到施工阶段，由于没有合适的平台和工具添加和集成施工信息，无法形成支持施工及管理的信息模型，加上缺乏配套的 BIM 施工软件，致使 BIM 在施工阶段的应用存在建模困难、需额外增加成本、应用软件不配套等诸多问题，严重影响了 BIM 技术在施工阶段的实际应用和价值体现。

本文为国家“十五”、“十一五”科技支撑项目的研究内容，通过对施工阶段 BIM 应用的技术、方法、标准和软件进行深入研究，根据我国施工管理特点和实际需求，提出了工程施工 BIM 应用的技术架构、系统流程和应对措施，并将 BIM 与 4D 技术相结

合，自主研发了建筑施工 BIM 建模系统和基于 BIM 的 4D 施工项目管理系列软件。研究成果经过国家体育场等十几个大型工程项目成功应用，形成了一套工程施工 BIM 应用整体实施方案，为实现基于 BIM 的工程施工信息化奠定了基础。

2. 国内外 BIM 技术在工程施工中的应用现状

2.1 IPD 模式的推行和应用

目前，BIM 的应用在欧美发达国家正在迅速推进，并得到政府和行业的大力支持。如美国已制定国家 BIM 标准，要求在所有政府项目中推广使用 IFC (Industry Foundation Classes) 标准和 BIM 技术，并开始推行基于 BIM 的 IPD (Integrated Project Delivery, 集成项目交付) 模式。

IPD 的理念源自上世纪 80 年代提出的并行工程 (Concurrent Engineering)。其基本思想是集成地、并行地设计产品及其相关过程，将传统的序列化的、顺序进行的过程转化为交叉作用的并行过程，强调人的作用和人们之间的协同工作关系，强调产品开发的全过程。美国推行的 IPD 模式是在工程项目总承包的基础上，把工程项目的参与方在设计阶段就集合在一起，着眼于工程项目的全生命期，基于 BIM 协同工作，进行虚拟设计、建造、维护及管理。共同理解、检验和改进设计，并在设计阶段发现施工和运营维护存在的问题，预测建造成本和时间，并且共同探讨有效方法解决问题，以保证工程质量，加快施工进度，降低项目成本。IPD 模式在美国推广以来，已成功应用于一些工程项目，充分体现了 BIM 的应用价值。基于 BIM 的集成项目交付作为一种新型的工程项目管理模式，被看作是具有广阔前景的发展方向。

与欧美发达国家相比，我国 BIM 研究起步并不晚，但由于施工企业和项目管理模式及水平的限制，使 BIM 在施工阶段的推广应用比较缓慢，尤其是 IPD 模式更为困难。然而，国家政府的重视，行业发展的需求，促进了 BIM 更深层次的研究和推广，IPD 也被越来越多的企业所认识和接受。引入 IPD 理念和应用 BIM 技术，已成为当前施工企业打造核心竞争力的重要举措。

2.2 当前工程施工中的 BIM 应用现状

如前所述，IPD 作为理想的 BIM 应用模式尚在推行过程中，而 BIM 应用还存在诸多问题和困难。当前国内外施工阶段的 BIM 应用主要借助专业的 BIM 团队，完成 BIM 建模，通过中性的 IFC 文件或软件开发商提供的特定文件格式（如.rvt 格式），将 BIM 中的相关数据导入某些施工应用软件中，实现施工阶段的局部信息共享。当前施工阶段 BIM 应用主要涉及以下几方面内容。

(1) 基于 BIM 的设计可视化展示

按照 2D 设计图纸,利用 Revit 等系列软件创建项目的建筑、结构、机电 BIM 模型,可对设计结果进行动态的可视化展示,使业主和施工方能直观地理解设计方案,检验设计的可施工性,在施工之前能预先发现存在的问题,与设计方共同解决。

目前,普遍应用的 BIM 建模软件,有 Autodesk Revit Architecture/Structure/MEP、Bentley Architecture 以及 Graphisoft ArchiCAD 等。

(2) 基于 BIM 的碰撞检测与施工模拟

将所创建的建筑、结构、机电等 BIM 模型,通过 IFC 或.rvt 文件导入到专业的碰撞检测与施工模拟软件中,进行结构构件及管线综合的碰撞检测和分析,并对项目整个建造过程或重要环节及工艺进行模拟。以便提前发现设计中存在的问题,减少施工中的设计变更,优化施工方案和资源配置。

目前常用的碰撞检测与施工模拟软件主要是 Autodesk Naviswork、Bentley Navigator 以及清华大学本课题组研发的基于 BIM 的工程项目 4D 动态管理系统。

(3) 基于 BIM 的工程深化设计

利用结构、设备管线 BIM 模型进行工程深化设计,是当前施工阶段 BIM 应用的重要体现。其应用方法有两种:一种是将所创建的模型,通过 IFC 或.rvt 文件导入到专业设计软件中进行深化设计,如利用 Tekla 进行钢结构及其复杂节点的深化设计,利用 CATIA 进行复杂异型结构、幕墙的深化设计等;另一种是根据碰撞检测的分析结果,直接在 BIM 建模软件中对结构、水暖电管网及设备等专业设计进行调整、细化和完善。如利用 Revit Architecture/Structure/MEP 建模和深化设计,用 Naviswork 进行碰撞检测。

(4) 基于 BIM 的施工项目管理

目前,国内外软件厂商尚未推出商品化的 BIM 施工项目管理软件,而被业内认可并广为应用的是清华大学本课题组研发的基于 BIM 的 4D 施工管理的系列软件。该研究将 BIM 与 4D 技术结合起来,通过建立基于 IFC 的 4D 施工信息模型,将建筑物及其施工现场 3D 模型与施工进度相链接,与施工资源、安全质量以及场地布置等信息集成一体。实现了基于 BIM 和网络的施工进度、人力、材料、设备、成本、安全、质量和场地布置的 4D 动态集成管理以及施工过程的 4D 可视化模拟。系统已在国家体育场、青岛海湾大桥、广州西塔等大型工程项目成功应用,曾获 2009 年、2010 年华夏建设科学技术一等奖。目前,通过进一步扩展信息模型、管理功能和应用范围,系统不仅用于建筑工程,而且并已推广到桥梁、风电、地铁隧道、高速公路和设备安装等工程领域,正在上海国际金融中心、昆明新机场设备安装、邢汾高速公路等多个大型工程项目推广应用。

3. 工程施工 BIM 应用的整体实施方案

纵观当前工程施工中的 BIM 应用现状，清华大学研发的建筑施工 BIM 建模系统和基于 BIM 的 4D 管理系列软件，不仅填补了当前国内 BIM 施工软件的空白，经过多个大型工程项目的实际应用，已经形成了包括 BIM 应用技术架构、系统流程和应对措施的整体实施方案。

3.1 工程施工 BIM 应用的技术架构

本研究提出的工程施工 BIM 应用的技术架构如图 1 所示，是一个包括接口层、数据层、平台层、模型层和应用层的结构体系。

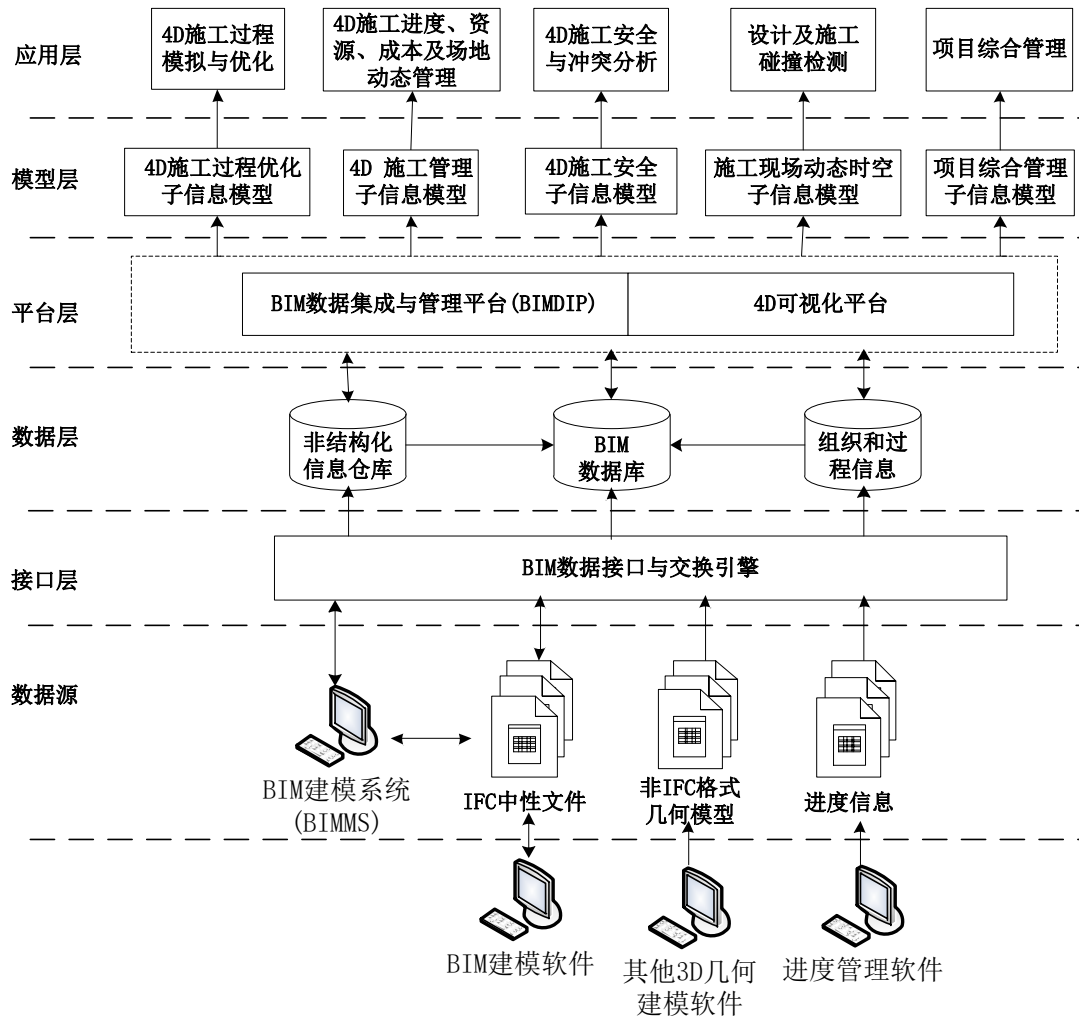


图 1 工程施工 BIM 应用的技术架构

(1) **接口层**：利用自主开发的 BIM 数据接口与交换引擎，提供了 IFC 文件导入导出、IFC 格式模型解析、非 IFC 格式建筑信息转化、BIM 数据库存储及访问、BIM 访问权限控制以及多用户并发访问管理等功能，可将来自不同数据源和不同格式的模型及信息传输到系统，实现了 IFC 格式模型和非 IFC 格式

信息的交换、集成和应用。其中，数据源包括自主开发的建筑施工 BIM 建模系统 BIMMS^[6]、Revit 等软件创建的 BIM 模型，AutoCAD、CATIA、3DSMax 等软件创建的 3D 模型，MS Project 等进度管理软件产生的进度信息等。

(2) 数据层：施工阶段的工程数据可以分为结构化的 BIM 数据，非结构化的文档数据以及用于表达工程数据创建的过程和组织信息。其中 BIM 数据采用基于 IFC 标准的数据库存储和管理；文档数据采用文档管理系统进行存储；过程和 Organization 信息存储于相应的数据库。通过建立 BIM 对象模型与关系型数据模式的映射关系和转换机制，BIM 数据库可利用 SQL Sever 等关系型数据库创建。

(3) 平台层：包括自主开发的 BIM 数据集成与管理平台（简称 BIMDISP）和基于网络的 4D 可视化平台。BIMDISP 用于实现 BIM 数据的读取、保存、提取、集成、验证，非结构化数据管理以及组织和过程信息控制，可构建面向专业应用的子信息模型，支持基于 BIM 的相关施工软件应用^[5]。基于网络的 4D 可视化平台提供了基于 OpenGL 的视图变换、图形控制、动态漫游等模型管理功能，实现了 4D 施工管理的网络化，可支持工程项目的各参与方的信息交换。

(4) 模型层：通过 BIM 数据集成平台，可针对不同应用需求生成相应的子信息模型，如施工进度子信息模型、施工资源子信息模型、施工安全子信息模型等，向应用层的各施工管理专业软件提供模型和数据支持。

(5) 应用层：由自主开发基于 BIM 的 4D 施工管理系列软件组成，包括基于 BIM 的工程项目 4D 动态管理系统、基于 BIM 的建筑工程 4D 施工安全与冲突分析系统、基于 BIM 的施工优化系统、基于 BIM 的项目综合管理系统等。提供了基于 BIM 和网络的 4D 施工进度、资源、质量、成本和场地管理，4D 安全与冲突分析，设计与施工碰撞检测以及施工过程优化和 4D 模拟等功能。

3.2 工程施工 BIM 应用系统整体结构及主要功能

工程施工 BIM 应用系统的整体结构及功能模块如图 2 所示。整个应用系统由基于 BIM 的 4D 施工管理系列软件系统和项目综合管理系统两大部分组成，分别设置为 C/S 架构和 B/S 架构。两者通过系统接口无缝集成，建立了管理数据与 BIM 模型双向链接，实现了基于 BIM 数据库的信息交换与共享。各应用系统具有如下主要功能和技术特点。

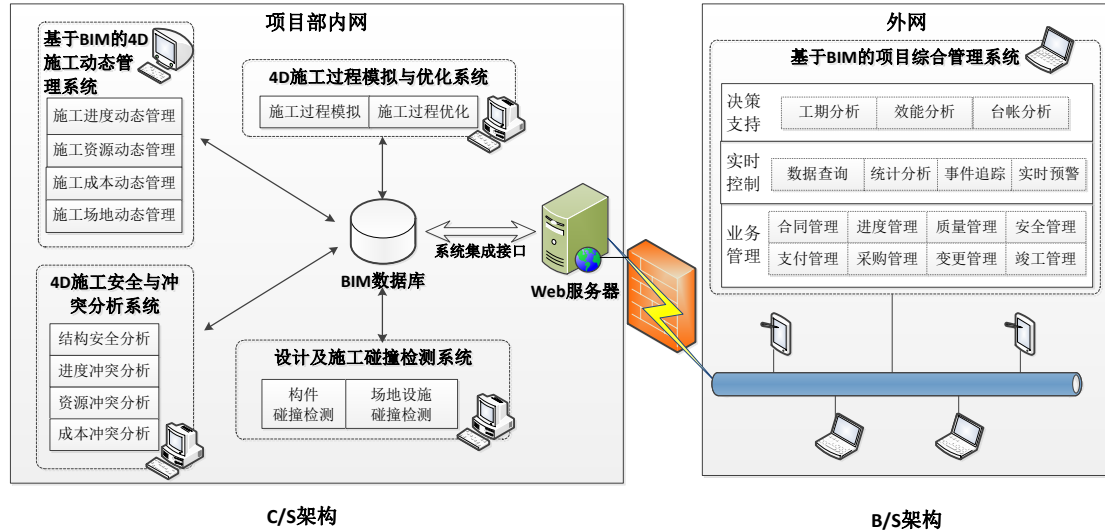


图 2 工程施工 BIM 应用系统整体结构及功能模块

3.2.1 建筑施工的 BIM 建模系统

按照基于 IFC 的 BIM 体系架构和数据结构，以 AutoCAD 为图形平台开发了建筑施工 BIM 建模系统（BIM Modeling System，BIMMS）^[6]。

（1）3D 几何建模与项目组织浏览：按照 IFC 进行建筑构件定义和空间结构的组织，提供各种规则和不规则的建筑构件以及模板支撑体系等施工设施的 3D 建模，并利用项目浏览器，实现对构件模型的组织、分类、关联和 3D 浏览。

（2）施工信息创建、编辑与扩展：实现包括材料、进度、成本、质量、安全等施工属性的创建、查询、编辑以及与模型相互关联，同时提供属性扩展功能。

（3）BIM 模型导入导出模块：通过导入其他 IFC 格式的 BIM 设计模型或 3D 几何模型，快速创建 BIM 施工模型。可将包含工程属性的施工 BIM 模型导出为 IFC 文件，提供基于 BIM 施工管理系统和运营维护系统使用。

3.2.2 基于 BIM 的工程项目 4D 动态管理系统

通过建立基于 BIM 的 4D 施工信息模型，将建筑物及其施工现场 3D 模型与施工进度计划相链接，并与人力、材料、机械、成本等施工资源以及场地布置信息集成一体，形成了多维信息管理。实现了基于 BIM 的施工进度、人力、材料、设备、成本、安全、质量和场地布置的 4D 动态集成管理和施工过程的 4D 可视化模拟^[7]。

（1）4D 施工进度管理：利用系统的 WBS 编辑器和工序模板，可快捷完成施工段划分、WBS 和进度计划创建，建立 WBS 与 Microsoft Project 的双向链接；通过 Project 或 4D 模型，对施工进度进行查询、调整和控制，使计划进度和实际进度既可以用甘特图或网络图表示，也可以动态的 3D 图形展现出来，实

现施工进度的 4D 动态管理；可提供任意 WBS 节点或 3D 施工段及构件工程信息的实时查询、多套施工方案的对比和分析、计划与实际进度的追踪和分析等功能，自动生成各类进度报表。

(2) 4D 资源动态管理：通过可设置工程计价清单或多套定额的资源模板，自动计算任意 WBS 节点或 3D 施工段及构件的工程量以及相对施工进度的人力、材料、机械消耗量和预算成本；进行工程量完成情况、资源及成本计划和实际消耗等多方面的统计分析和实时查询；自动生成工程量表以及资源用量表，实现施工资源的 4D 动态管理。

(3) 4D 施工质量安全：施工方、监理方可及时录入工程质检和安全数据，系统将质量、安全信息或检验报告与 4D 信息模型相关联，可以实时查询任意 WBS 节点或 3D 施工段及构件的施工安全质量情况，并可自动生成工程质量安全统计分析报表。

(4) 4D 施工场地管理：可进行 3D 施工场地布置，自动定义施工设施的 4D 属性。点取任意设施实体，可查询其名称、类型、型号以及计划设置时间等施工属性，并可进行场地设施的信息统计等，将场地布置与施工进度相对应，形成 4D 动态的现场管理。

(5) 4D 施工过程模拟：对整个工程或选定 WBS 节点进行 4D 施工过程模拟，可以天、周、月为时间间隔，按照时间的正序或逆序模拟，可以按计划进度或实际进度模拟实现工程项目整个施工过程的 4D 可视化模拟。并具有三维漫游、材质纹理、透明度、动画等真实感模型显示功能。

3.2.3 基于 BIM 的建筑工程 4D 施工安全与冲突分析系统

基于 4D 施工安全信息模型，实现了施工过程中时变结构和支撑体系的动态安全分析、进度/资源/成本费用的冲突分析以及场地设施碰撞检测^{[8][9]}。

(1) 时变结构和支撑体系的安全分析：通过模型数据转换机制，自动由 4D 施工信息模型生成结构分析模型，进行施工期时变结构与支撑体系任意时间点的力学分析计算和安全性能评估。

(2) 施工过程进度/资源/成本的冲突分析：通过动态展现各施工段的实际进度与计划的对比关系，实现进度偏差和冲突分析及预警；指定任意日期，自动计算所需人力、材料、机械、成本，进行资源对比分析和预警；根据清单计价和实际进度计算实际费用，动态分析任意时间点的成本及其影响关系。

(3) 场地碰撞检测：基于施工现场 4D 时空模型和碰撞检测算法，可对构件与管线、场地设施与设施、设施与结构进行动态的碰撞检测和分析。

3.2.4 基于 BIM 的建筑施工优化系统

建立进度管理软件 P3/P6 数据模型与离散事件优化模型的数据交换，基于施工优化信息模型，实现了基于 BIM 和离散事件模拟的施工进度、资源和场地优化和过程模拟^[10]。

(1) 基于 BIM 和离散事件模拟的施工优化：通过对各项工序的模拟计算，得出工序工期、人力、机械、场地等资源的占用情况，对施工工期、资源配置以及场地布置进行优化，实现多个施工方案的比选。

(2) 基于过程优化的 4D 施工过程模拟：将 4D 施工管理与施工优化进行数据集成，实现了基于过程优化的 4D 施工可视化模拟。

3.2.5 基于 BIM 的项目综合管理系统

通过系统与 4D 施工管理系统无缝集成，数据与 BIM 模型双向链接，建立清晰的业务逻辑和明确的数据交换关系，实现业务管理、实时控制和决策支持三方面的项目综合管理。为项目各参与方管理人员提供基于 Web 浏览器的远程业务管理和控制手段。系统主要功能如下：

(1) 业务管理：为各职能部门业务人员提供项目的合同管理、进度管理、质量管理、安全管理、采购管理、支付管理、变更管理以及竣工管理等功能，业务管理数据与 BIM 的相关对象进行关联，实现各项业务之间的联动和控制，并可在 4D 管理系统进行可视化查询。

(2) 实时控制：为项目管理人员提供实时数据查询、统计分析、事件追踪、实时预警等功能，可按照多种条件进行实时数据查询、统计分析并自动生成统计报表。通过设定事件流程，对施工过程中发生的安全、质量等事件进行跟踪，到达设定阈值将实时预警，并自动通过邮件和手机短信通知相关管理人员。

(3) 决策支持：提供工期分析、台账分析以及效能分析等功能，为决策人员的管理决策提供分析依据和支持。

3.3 工程施工 BIM 系统应用流程与应对措施

3.3.1 系统应用流程

根据工程施工 BIM 应用的技术架构、系统整体结构及功能，在工程施工 BIM 应用的实施过程中，其系统应用流程如图 3 所示。其中应用主体方可以是业主、工程总承包部或施工项目部及其各职能管理部门，应用参与方包括设计方、BIM 团队以及与应用主体相关的施工方、工程分包或施工分包方等。根据应用流程，各应用参与方的角色和任务是利用系统及相关功能，完成或辅助完成所承担施工及管理工作。

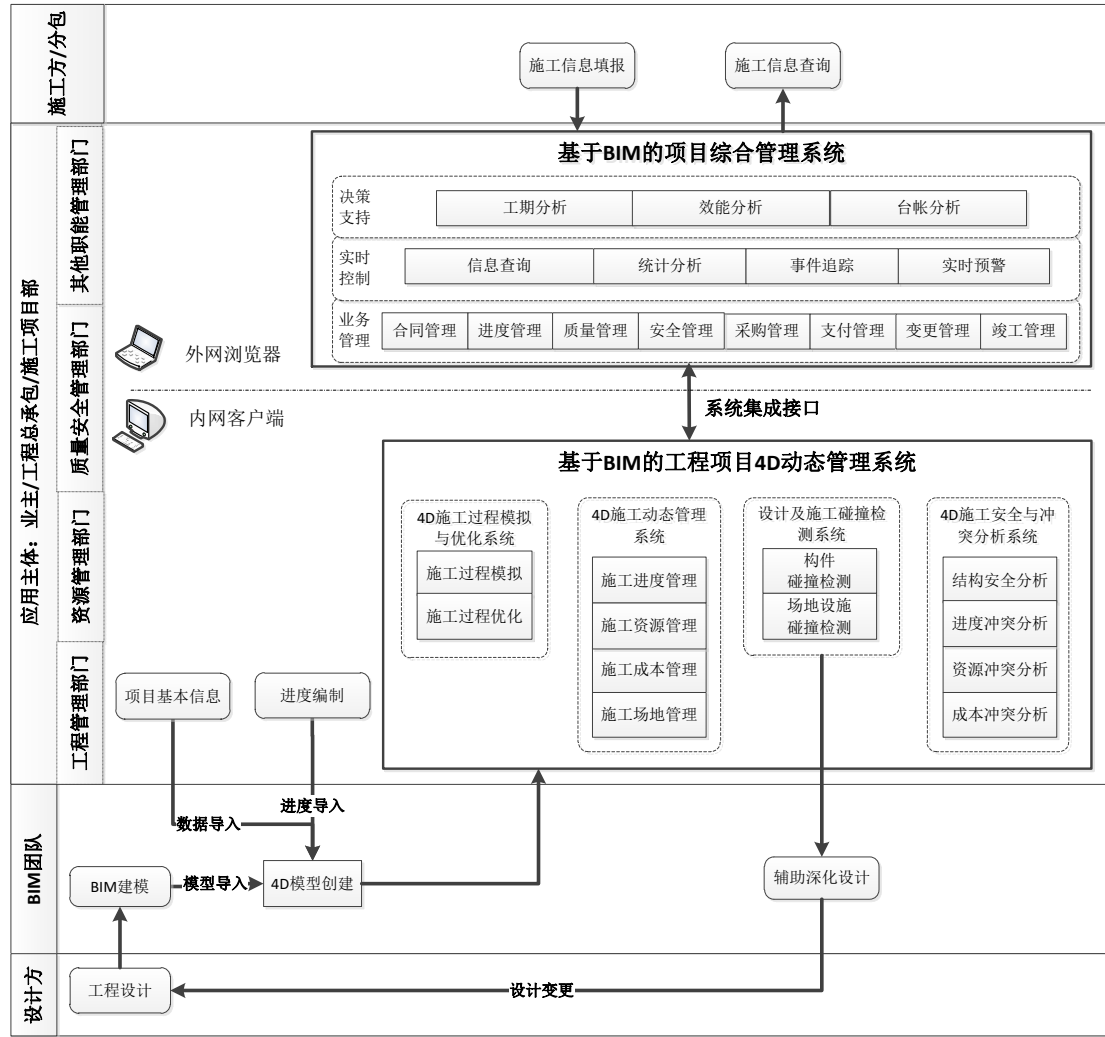


图3 工程施工 BIM 系统应用流程

(1) **应用主体方**：首先提供项目的技术资料、基本数据和系统运行所需要的软硬件及网络环境；协调各职能部门和相关参与方，根据工作需求安装软件系统、设置用户权限；各部门业务人员和管理、决策人员按照其工作任务、职责和权限，通过内网客户端或外网浏览器进入软件系统，完成日常管理和深化设计等工作。

(2) **应用参与方**：通过外网浏览器进入项目综合管理系统，按照应用主体方的要求，填报施工进度、资源、质量、安全等实际工程数据，也可进行施工信息查询，辅助施工管理。

(3) **BIM 团队**：目前 BIM 团队多由主体应用方外聘，主要承担 BIM 应用方案策划、系统配置、BIM 建模、数据导入、技术指导、应用培训等工作。在本应用实施中，清华大学 BIM 团队还辅助应用方利用 BIM 设计软件，进行项目的结构管线综合和深化设计。

(4) **设计方**：配合应用主体方实施 BIM 应用，提交设计图纸及相关技术资

料, 如果具有 BIM 设计或建模能力, 应提交项目的 BIM 或 3D 模型, 以避免重复建模, 降低 BIM 应用成本。

3.3.2 组织应对措施

BIM 是一种全新的理念, 它涉及到从规划、设计理论到施工、维护技术的一系列创新和变革, 工程施工 BIM 应用过程中, 应用方需要从理念知识、团队组织、流程优化、环境配置、成果交付等各个层面, 具有一定的应对措施, 以适用 BIM 应用引起的变革。

(1) 理念知识: 与以往建设领域信息技术的推广应用一样, BIM 应用单位的领导层、管理层和业务层, 必须对 BIM 技术及应用价值有足够的认识, 对应用 BIM 的管理理念、方法和手段应进行相应的转变。通过科研合作、技术培训、人才引进等多种方式, 使技术与管理人员尽快掌握 BIM 技术和相关软件的应用知识。

(2) 团队组织: BIM 引入和应用的初期, 可借助外聘 BIM 团队共同实施 BIM 应用。但着眼于企业自身发展, 还是应该根据企业具体情况, 采取设立专业部门或培训技术骨干等不同方式, 建立自己 BIM 团队。并通过技术培训和应用实践, 逐步达到 BIM 技术和软件的普及应用。

(3) 流程优化: 结合 BIM 应用重新梳理并优化现有工作流程, 改进传统项目管理方法, 建立适合 BIM 应用的施工管理模式, 制定相应的工作制度和职责规范, 使 BIM 应用能切实提高工作效率和管理水平。

(4) 应用环境: 根据实际需求制定 BIM 应用实施方案, 购置相应计算机硬件和网络平台。通过外购商品软件、合作开发等方式, 配置工程施工 BIM 应用软件系统, 构建 BIM 应用环境。

(5) 成果交付: 规范施工各阶段 BIM 应用成果的形式、内容和交付方式, 提供可供项目各参与方交流、共享的阶段性成果, 形成工程项目竣工验收时集中交付的最终 BIM 应用成果, 包括采用数据库或标准文件格式存储的全套 BIM 施工模型、工程数据及电子文档资料等, 可支持项目运营维护阶段的信息化管理, 实现基于 BIM 的信息共享。

4. 工程施工 BIM 应用情况

本工程施工 BIM 应用整体实施方案和基于 BIM 的 4D 管理系列软件系统已经或正在十几个大型工程项目实际应用, 表 1 表示了其中 7 个主要工程项目应用的基本情况。

表 1. 工程施工 BIM 应用项目一览表

项目名称	项目描述	应用范围	应用方	应用功能							
				4D 施工 过程 模拟	4D 施工 进度 管理	4D 施工 资源 管理	4D 施工 成本 管理	4D 施工 场地 管理	碰撞 检测	施工 安全 与冲 突分 析	项目 综合 管理
国家体育场项目	建筑面积 25.8 万平方米	结构工程	工程总承包部	√	√	√	√	√		√	
广州珠江新城西塔项目	建筑面积为 45 万平方米	结构及部分机电设备	施工项目部	√	√	√	√	√		√	
青岛海湾大桥项目	全长 28.05 公里	结构工程	业主	√	√	√	√			√	
昆明新机场设备安装工程项目	建筑面积 54.83 万平方米	设备安装工程与运维管理	业主及施工项目部	√	√	√	√	√	√		
邢汾高速公路项目	全长 84.3 公里	公路工程	业主	√	√	√	√		√	√	
上海国际金融中心项目	建筑面积 51.7 万平方米	建筑全生命周期	业主	√	√	√	√	√	√	√	√
成都大魔方演艺中心项目	建筑面积 13 万平方米	结构工程及设备管线	施工项目部	√	√	√	√	√	√	√	√

4.1 工程项目应用特点

(1) **应用项目具有代表性：**应用项目均为近几年国内的大型、复杂工程，应用方包括业主、工程总承包和施工项目部，表明本项目应用及成果具有代表性。

(2) **突破了 BIM 在施工管理方面应用：**随着工程实际应用的不断积累，系统功能的逐渐完善，不仅涵盖当前国外同类软件的施工过程模拟、碰撞检测功能，而且基于 BIM 技术提供了包括施工进度、人力、材料、设备、成本、安全和场地布置的 4D 集成化动态管理功能。并首次研发并应用了基于 BIM 和 Web 的项目综合管理系统，突破了当前 BIM 技术在施工项目管理方面应用。

(3) **扩展了 BIM 应用范围：**当前国内外 BIM 的施工应用主要为建筑工程，本应用项目不仅包括建筑工程，还推广应用到桥梁、高速公路和设备安装工程。

(4) 系统更具实用性：本系统的研发完全是基于我国国情，可满足我国施工管理的实际需求，与国外同类软件相比，其适用性和实用性具有明显优势。

例如，正在实施中的昆明新机场设备安装工程项目，首次将 BIM 和 4D 技术应用于大型机场航站楼的设备安装工程。不仅实现了基于 BIM 的设备安装 4D 动态管理和过程模拟，还成功将系统用于设备试运行过程的综合调试模拟，并自主开发了基于 BIM 的设备运营管理系统。实现了设备 BIM 模型在施工安装、调试和运营管理三个阶段的共享和利用。图 4 展示了值机岛设备安装 4D 模拟及进度变更分析，图 5 为热交换机房设备管线调试过程模拟，图 6 是设备运营管理系统的用户界面。

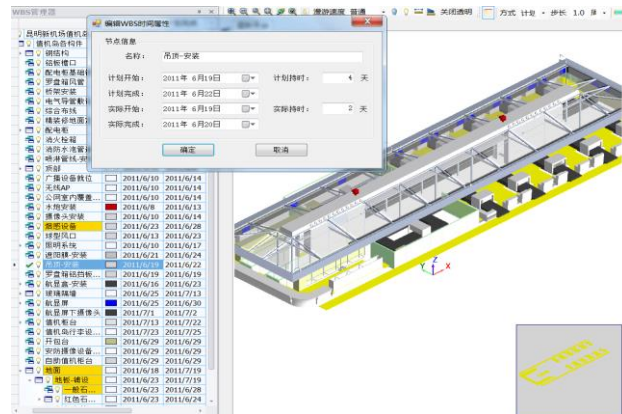


图 4 值机岛设备安装 4D 模拟及进度变更分析

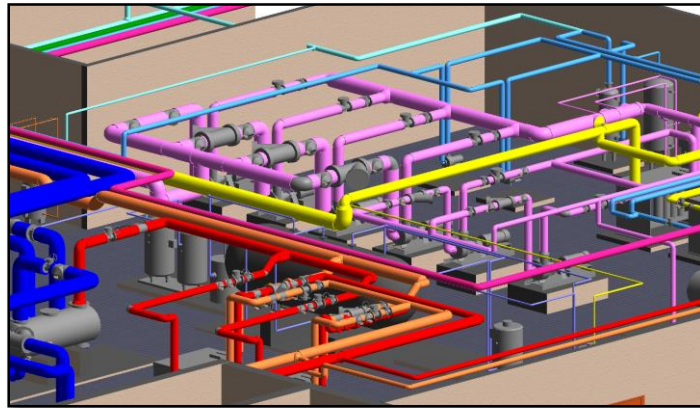


图 5 热交换机房设备管线调试过程模拟

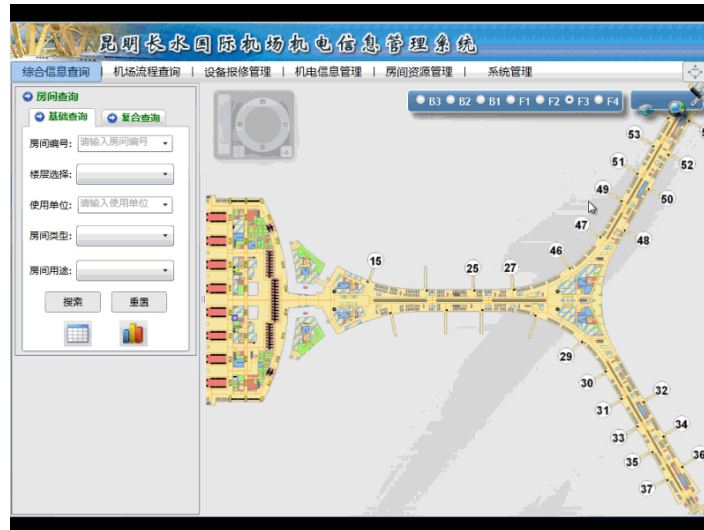


图 6 设备运营管理系统用户界面

4.2 应用效果及价值

工程项目的实际应用表明，本 BIM 应用实施方案和系统应用，对于提高施工管理水平和工作效率取得了显著效果，充分体现了 BIM 技术在施工中的应用价值。

(1) 基于 BIM 的集成化施工管理，有效提高了项目各参与方之间的交流和沟通；通过对 4D 施工信息模型的信息扩展、实时信息查询，提高了施工信息管理的效率。

(2) 利用建筑结构、设备管线 BIM 模型，进行构件及管线综合的碰撞检测和深化设计，可提前发现设计中存在的问题，减少“错缺漏碰”和设计变更，提高设计效率和质量。

(3) 通过直观、动态的施工过程模拟和重要环节的工艺模拟。可比较多种施工及工艺方案的可实施性，为方案优选提供决策支持。基于 BIM 施工安全与冲突分析有助于及时发现并解决施工过程和现场的安全隐患和矛盾冲突，提高工程的安全性。

(4) 精确计划和控制每月、每周、每天的施工进度，动态分配各种施工资源和场地，可减少或避免工期延误，保障资源供给。相对施工进度对工程量及资源、成本的动态查询和统计分析，有助于全面把握工程的实施进展以及成本的控制。

(5) 施工阶段建立的 BIM 模型及工程信息可用于项目运营维护阶段的信息化管理，为实现项目设计、施工和运营管理的数据交换和共享提供支持。

例如，上海国际金融中心项目就部署了面向项目全生命期的 BIM 应用实施方案。通过创建完整精细的建筑、结构、设备管线 BIM 模型，在设计阶段支持绿色

建筑性能分析、碰撞检测和深化设计；施工阶段实现基于 BIM 的 4D 施工动态管理和施工项目综合管理；运营阶段将基于 BIM 进行智能运营管理，包括物业资产可视化、楼宇设备集成及监控、运营能耗和节能监控以及建筑健康监测等。目前该项目正处于上部结构设计和地基施工阶段，施工管理系统正投入使用，智能运营管理系统在研制过程中。图 7 展示了该项目桩基施工 4D 工程模拟。

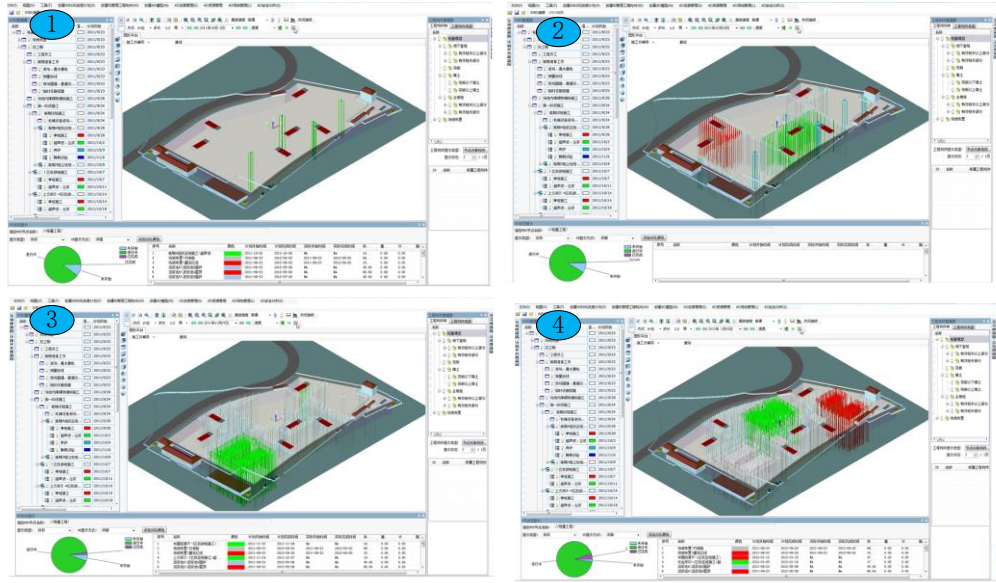


图 7 上海国际金融中心项目桩基施工 4D 动态模拟

5. 结论

当前国内外 BIM 技术在工程施工中的应用还存在建模困难、应用软件不配套等问题。本文根据我国施工管理特点和实际需求，对施工阶段 BIM 应用技术、方法、标准和软件进行了深入研究。将 BIM 与 4D 技术相结合，所提出的工程施工 BIM 应用整体实施方案和自主研发的 4D 施工项目管理系列软件，经多个大型工程项目成功应用表明，突破了 BIM 在施工管理方面应用，并将 BIM 应用范围扩展到桥梁、高速公路和设备安装工程。从而验证了研究成果的可行性和实用性，充分体现了 BIM 技术在工程施工中应用价值和广阔前景。

参考文献：

- [1] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, et al. BIM handbook 2th edition[M]. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [2] 张建平. BIM 技术的研究与应用[J]. 施工技术(资讯), 2011(02).
- [3] Yang D, Eastman C M. A rule-based subset generation method for product data models[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2007, 22(2): 133-148.
- [4] Singh V, Gu N, Wang X. A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration

platform[J].Automation in Construction, 2011, 20(2): 134-144.

[5] 张洋. 基于BIM的建筑工程信息集成与管理研究[D]. 北京: 清华大学, 2009.

[6] Qiang Liu, Jianping Zhang, Ding Li, Zhenzhong Hu ,Research of building information modeling and model transformation technology based on the IFC, Proceedings of 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2012,6, Moscow, Russia, pp124.

[7] 张建平、曹 铭, 基于IFC标准和工程信息模型的建筑施工4D管理系统, 工程力学, 2005年, 第22卷, pp220~227.

[8] Zhang Jianping, Hu Zhenzhong. BIM-and-4D-Based Integrated Solution of Analysis and Management for Conflicts and Structural Safety Problems during Construction: 1. Principles and Methodologies. Automation in Construction[J]. 2011, 20: 155-166

[9] Hu Zhenzhong, Zhang Jianping. BIM-and-4D-Based Integrated Solution of Analysis and Management for Conflicts and Structural Safety Problems during Construction: 2. Development and Site Trials. Automation in Construction[J]. 2011, 20: 167-180.

[10] Liang, Xiong, Lu Ming, and Zhang Jian-ping. "Integration of As-built and As-designed Models for positioning control during Construction" Automation in Construction, 2011, 20(3) :234-246

作者:

张建平(1953—), 女, 博士, 清华大学教授、博士生导师, 主要从事土木工程CAD/CAE、4D-CAD、BIM、建设领域信息化、数字减灾及智能决策技术等方面的研究
(E-mail: zhangjp@tsinghua.edu.cn)