

基于 BIM 技术的某电视中心项目深基坑施工方案优化的应用研究

陈燕安^{1,2} 王 荣^{1,2} 廖 羚^{1,2} 钟超瑜³ 赖溯欣³ 赵婕^{1,2}

(1. 广西科技大学土木建筑工程学院, 柳州 545006; 2. 广西科技大学 BIM 研究中心, 柳州 54500
3. 广西建工集团第三建筑工程有限责任公司, 柳州 545002)

【摘 要】基坑工程施工条件复杂、施工质量要求高,是工程项目施工全过程的核心环节。为了有效地解决某电视中心项目深基坑的全过程施工难题,确保现场施工高效有序进行,本文通过对该深基坑建立 BIM 参数化三维模型,进行三维场地布置和工程量计算,最后把模型导入 Navisworks 中进行施工可视化模拟以论证基坑施工方案的可行性。结果表明,引用 BIM 技术能有效地辅助解决该基坑工程的施工难题,辅助优化施工方案,保证了深基坑现场施工高效有序进行。

【关键词】建筑信息模型(BIM); 深基坑施工; Revit; Navisworks

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木工程建筑信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

引言

随着我国经济与技术水平的不断提升,高层建筑、地铁工程以及地下空间的开发发展迅猛,基坑工程的深度、规模及数量日益增加,并向着更大更深的方向发展^[1-2]。当前我国深基坑工程呈现出与周边建筑距离近、对施工工艺要求高、形状复杂、施工场地紧张等特点,这些特点决定了施工过程必然潜在各种不确定性风险^[3],这样的不确定性可能存在重大的成本超支和延迟风险以及环境风险^[4]。而传统的二维设计及施工模式已经难以满足基坑工程的有效管理。

近年来,BIM (building information modeling) 技术在工程项目中的应用日趋广泛。BIM 是“以三维

数字技术为基础,集成建筑项目各种相关信息的产品信息模型,是对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达”^[5-6]。它的提出是为了解决建筑全生命期各阶段信息传递与应用提供方法。基于 BIM 的三维可视化、模拟性等优势,突破了许多以往无法攻克的施工难题,尤其在当下建筑产品设计愈见多样化、个性化,地质条件较为复杂多变的情况下,BIM 的价值将更能体现出来^[7-11]。目前 BIM 技术在基坑工程中的应用涌现出诸多优秀的工程案例,如刘一鸣^[12]等采用 BIM 可视化技术对基坑周边环境及支护方案进行设计;吴迈^[13]等基于 BIM 的可视化及可模拟性对大面积深基坑的土方开挖方案进行了优化;宫培松^[14]等基于 BIM 模型对深基坑工程施工方案自动图审进行了研究,较传统的人工图

【基金项目】 2018 ~ 2020 年度广西本科高校特色专业及实验实训教学基地(中心)建设项目(项目编号: 63, 特色专业名称: 广西科技大学工程管理专业); 国家自然科学基金项目(项目编号: 51568008); 广西高校科学技术研究项目(项目编号: KY2015YB164); 教育部高等教育司 2018 年第二批产学研合作协同育人项目(项目编号: 201802102016; 201802142013; 201802276027; 201802276028; 201802331028); 2015 年广西高等教育本科教学改革工程项目(项目编号: 2015JGB277)

【作者简介】 陈燕安(1996 -),男,在读本科生,主要从事建设项目管理及其信息化的研究;廖羚(1979 -),男,讲师,广西科技大学工程管理专业教研室主任、BIM 研究中心副主任,主要从事土木工程结构健康监测、建设项目管理及其信息化等方面的研究。

审方式节约了时间和人力资源。本文基于当前 BIM 与基坑工程相结合的研究理论及方法,在某电视中心项目深基坑的施工全过程中引入 BIM 技术,致力于提高项目的施工效率和建造效益。

1 工程概况

拟开工建设的某电视中心项目位于城市中心,四周均为城市道路,路边均有已建成的高层商住大楼。项目总投资约 3.07 亿元,计划于 2019 年 5 月竣工。项目建成后,将面向东盟,集电视传播、译制、制作、演播、影视文化交流、电视影像展示、电视节目交换于一身。工程总用地面积约为 5 183.63m²,总建筑面积 31 915.26m²,设地下室 3 层,地上 21 层,基坑开挖深度约为 14.8 ~ 18.0m。基坑周长约 257m,面积约 4 068m²,地下室范围线距红线距离仅 5m。西北侧红线外为 34 层某商业大厦;东北侧红线外为商业购物中心;东南侧红线外为 20 层的某技术业务综合楼;西南侧红线外为 22F 商住大厦。基坑周边无放坡空间,基坑开挖深度较大,且受锚杆支护结构不能超出红线范围的限制,支护只能采用内支撑支护形式(详见图 1)。由于现场条件较为苛刻,为保证深基坑施工的顺利进行,广西科技大学 BIM 研究中心与广西建工三建联合以“校企合作,产教融合”的模式开展 BIM 技术在项目深基坑施工方案优化中的研究与应用。

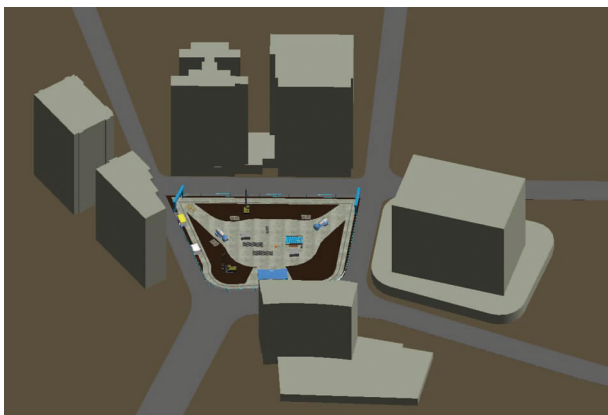


图 1 项目鸟瞰图

2 参数化 BIM 模型创建

参数化建模是一种快速构建、快速修改的方法。通过对结构构件设置相应的参数,然后根据结构模型的实际需要,在原来的基础上通过调节构建

参数驱动构建发生改变。由于 BIM 模型中保存所有需要的信息,参数包含了构建的所有真实属性,因此可以在此基础上实现模拟计算等功能,而且参数之间能够相互关联,达到一处修改,处处修改的效果^[15]。参数化技能在实际 BIM 工程中随处可见,根据对已经完成的 BIM 模型的经验总结,实际工作中搭建 BIM 模型的时间仅占总时间的 20%,80% 的时间是在不断地修改、变更、维护、完善 BIM 模型,参数化技术可以提高 BIM 模型修改维护效率和方便性,节省工作时间意义重大^[16]。本项目应用参数化建模有效地减少了重复搭建模型的工作,提高了基于 BIM 的土方开挖方案论证,进度控制方案优化等应用的工作效率。

在项目开始初期,团队就依据国家标准和项目需求编制建模标准,统一标高轴网,为项目 BIM 应用实施奠定良好的基础。同时为便于实施过程中信息的修改和维护,先根据项目的需求把要建立相关参数整理出来,再把相关族设计成参数可控制族文件,让各参数相互关联,降低了因设计图纸变更等原因导致的 BIM 模型修改工作量,缩短信息传递的时间,提高工作效率和工作质量。具体参数化族创建思路如图 2 所示。

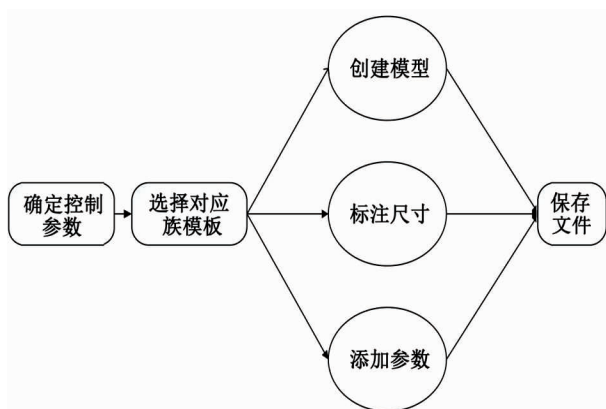


图 2 参数化族库创建路线

在本基坑项目中,利用参数化快速建模,提高建模效率。如施工塔吊的模型构建时,常规施工塔吊族(图 3 所示)无法根据施工的实际要求对模型进行快速参数修改,以至于增加建模时间;而本文通过建立施工塔吊可参数化族(图 4 所示),根据施工实际要求,可对其高度、臂长等一系列参数进行快速修改。在内支撑建模时,对支撑构建采用参数化建族,节省了大量的建模时间,提高了工作效率。

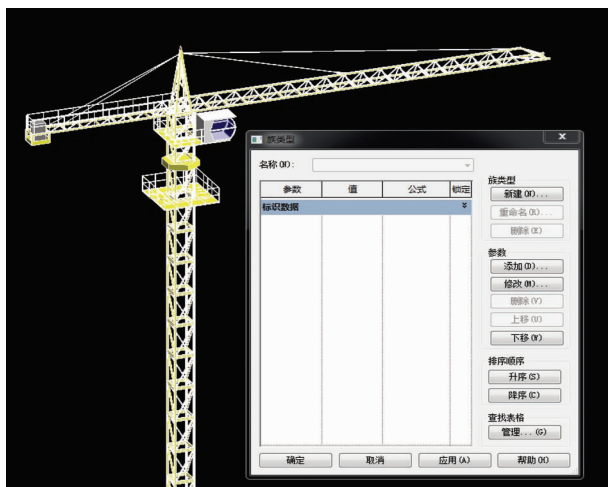


图 3 常规塔吊族

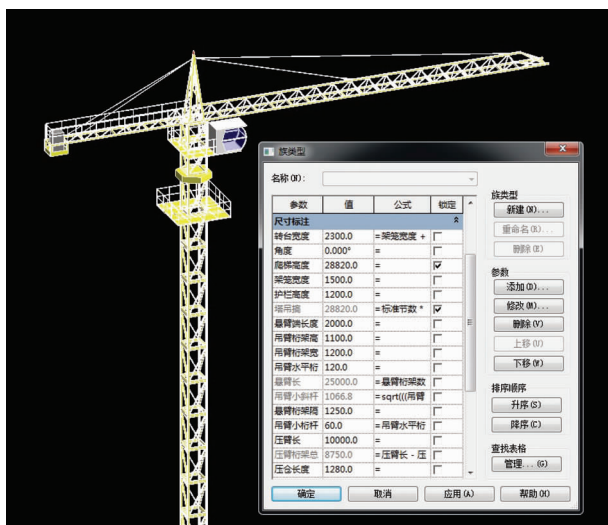


图 4 参数化塔吊族

3 BIM 应用

3.1 三维场地布置

传统施工场地布置往往都是现场技术负责人根据现场 CAD 平面图并结合施工经验,进行的大致布置。因为 CAD 图纸是平面二维图,没有具体的模型信息,项目技术负责人往往是凭经验和感觉进行的场地布置,因此很难及时发现场地布置中存在的问题,更没有能对场地布置方案进行合理优化的可靠依据^[17-18]。借助 BIM 技术对施工场地布置进行预演,通过三维可视化模型,可以规避施工过程中可能出现的设备工作范围碰撞、临时设施布置遗漏、材料二次搬运距离过长等问题,促进安全文明施工,保障施工计划实施,控制现场成本支出。

本项目地处市中心,周围居住区密集,基坑周边无放坡空间,基坑开挖深度较大,且受锚杆支护结构不能超出红线范围的限制,支护只能采用内支撑支护形式,对项目部材料堆场、施工机械放置等提出了严格的要求。通过初步的场地布置方案,建立施工设施构件库,对现场施工设施进行一比一的建模,并录入相应的材料、型号等相关信息,为场地模型的建立提供精确的族文件,在进行施工现场三维模型建模时,可以将相关族文件成批导入到三维模型中,有效提高了三维场布模型搭建速度和精度。根据三维模型来设置施工机械的进场和施工过程的行走路径,找出并优化其行进过程中的碰撞点。同时对办公室、生活宿舍、材料堆放、材料加工、塔吊、电梯等施工设施进行合理的布置。本项目基坑为分阶段开挖,各阶段现场场布变化较大,利用 BIM 可视化的功能,建立各开挖阶段的场布模型(场布模型见图 5 - 图 6),论证其合理性,如原开挖第一道支撑的方案把钢筋加工棚设计在场地西北侧,经三维场布模拟后发现其位置在后期阻碍支撑浇筑施工,需进行位置移动,方案经重新讨论后,把钢筋棚位置改在塔吊东部一侧,减少了后期搬运费用。提前发现存在的问题并进行修改。

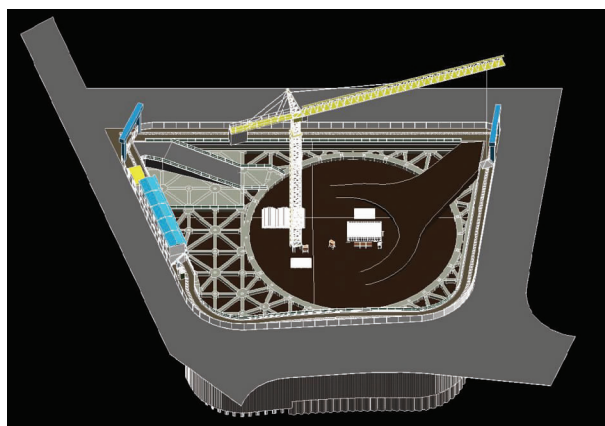


图 5 开挖阶段第一道支撑场布模型

3.3 基于 Revit 的工程量计算

长期以来,由于施工过程的高度动态变化,施工资源及成本管理主要依靠人为控制,现有资源及成本管理软件只能辅助管理者进行必要的计算和统计,无法对施工资源和成本进行实时监控和精细化管理^[19]。BIM 作为新一代计算机辅助建造技术可以在 3D 模型的基础上添加时间、成本信息,实现 4D、5D 虚拟建造,更有利于在工程设计阶段去发

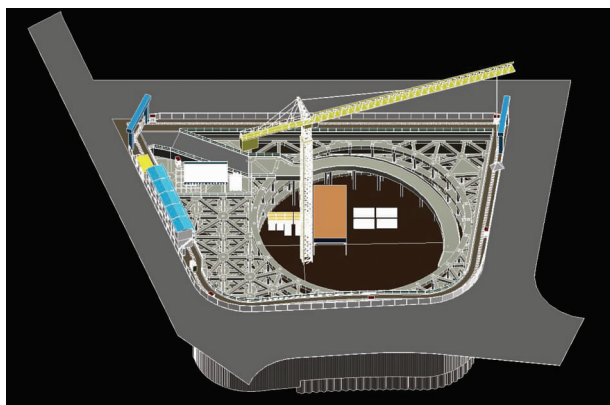


图6 开挖阶段第三道支撑场布模型

现、分析、解决建造阶段将会出现的问题。本项目通过工程造价管理的信息化,开展 BIM 土建算量对比工作,可更准确地确认工程的材料消耗量、材料入场时间,减少仓储费用,降低资金占用率,提高建设资金的使用效益。

由于施工过程中图纸变更频繁,对现场预算工作
要求高,提前计算工程量有利于现场物资管理和
人力资源分配,本文利用 BIM 技术进行了工程量
计算的探索。本文工程量计算基于 Revit 来进行并
只涉及本项目基坑工程部分,共布置立柱桩 74 根,
主楼区域桩底至柱顶长度约为 32m,其余为 27m,其
中立柱桩 1 共 45 根,支撑下方的灌注桩为 $\varphi 1500\text{mm}$
长 9m,其中钢管桩伸入钢筋笼内 3m。立柱桩 2 共
29 根,支撑下方的灌注桩为 $\varphi 1500\text{mm}$ 长 13m,其中
钢管桩伸入钢筋笼内 5m。钢立柱规格为 $\varphi 609$ 钢管
立柱,壁厚 16mm,钢立柱钢材采用 Q345 钢。高压
旋喷桩共计 768 根,最大深度约为 27m,最小深度约
为 24m。直径 800mm,间距 450mm,搭接 350mm。
此外还包括了三层支撑及其他构件工程量计算。
Revit 是三维设计软件,它传统的二维设计软件的
不同之处在于,Revit 是在虚拟的三维空间里搭建工
程实体,在搭建的过程中会自动统计实体的几何尺
寸与体积等各项参数,且软件本身自带明细表功
能,可对模型工程量进行统计汇总。例如,根据设
计资料和前期建立的参数化桩基族来建立精确的
三维模型,再通过体积汇总获得桩基混凝土用量
(部分工程量统计见图 7、图 8),可细化到每一根桩
在实际的浇筑过程中混凝土的实际用量与 Revit 统
计量进行对比,通过分析差量及时找出原因,改进
施工方案,降低施工材料的不必要浪费。同时根据

拟施工要求对材料供应进行科学合理的安排,使得既满足工程实际需要也符合施工场地的应许条件,保证深基坑现场施工高效有序进行。

[illegible]

图7 高压旋喷桩明细表

＜第一道钢筋混凝土支撑梁明细表＞			
A	B	C	D
分部工程	结构物名称	体积	合计
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.60 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.60 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	8.39 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	9.05 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.79 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.54 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	6.70 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.79 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.79 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.45 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	6.96 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	8.25 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	8.88 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	8.88 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	8.09 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	4.80 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	4.51 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	4.39 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	2.11 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	4.13 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	2.79 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.01 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	12.22 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	9.80 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	5.15 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	5.25 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.55 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.61 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.66 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	6.42 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	7.82 m ³	1
73200	混凝土, 现场浇筑-C30	9.54 m ³	1

图 8 第一道钢筋混凝土支撑梁明细表

3.4 基于 BIM 的土方开挖方案论证

基坑工程区别于其他建筑工程的最大之处在于土方施工,由于受周边环境、场地或竖向支撑体系的限制,土方开挖方案也是基坑设计时需要重视的问题,比如出土口的布置、土方开挖的先后顺序、车道的设计等。使用 BIM 技术进行 4D 施工过程模拟,能够将方案充分展现,从而达到增强沟通,提高工作效率的目的^[20]。

由于工期短,场地条件限制大(地处闹市,无放

坡空间),涉及多方协调施工,所以土方开挖方案必须进行深度优化。通过项目技术会议确定采用分段分层开挖,有五层四区法、四层四区法两个方案。为达到节约工期、降低成本和提高方案科学性与合理性的目的,采用 Revit 对各方案进行三维模型搭建,再把模型导入 Navisworks 软件中,通过 Timeliner 功能,对土方开挖进行过程模拟,可直观地把握每个时间点的施工进度,发现开挖面布置不合理处并及时调整。基于 BIM 的开挖方案模拟技术核心是必须保证图元与施工任务相互对应——即选择集的定义。本文从以下三方面入手。

1)初步确定需要模拟的开挖方案与进度要求,明确施工任务安排;

2)在 Revit 上建模时,把土方开挖模型按照施工要求和进度进行分解后再导入 Navisworks,确保分解后的模型能够被定义成合理的选择集;

3)创建任务,建立选择集,设置任务类型,明确其在施工模拟中的表现。

在得到模拟数据结合现场各方意见最终决定采用五层四区法进行土方开挖(开挖方案模拟见图 9-10)。

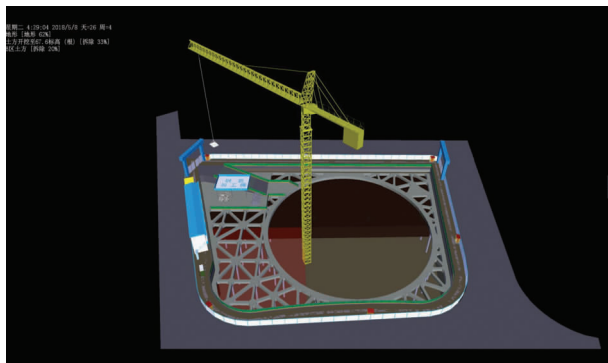


图 9 五层四区法

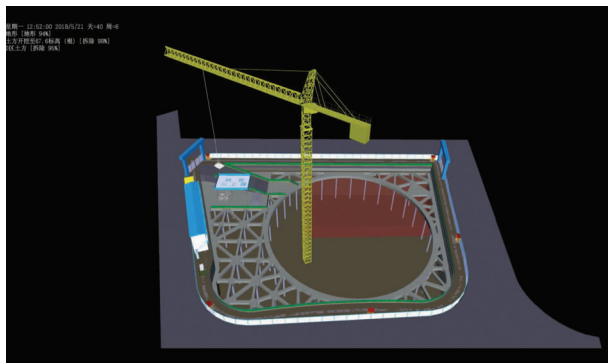


图 10 四层四区法

3.5 进度控制方案优化

建设项目进度控制是一个动态控制过程,是用工作计划把一个工程项目实施全过程的各阶段、各承包单位按照建设规律依次组织起来,将各生产要素按照需要布置在各阶段和各参与单位的物理空间内,然后启动整个体系,让体系按照设定好的程序运行起来。同时用一个动态的工程项目进度管理系统来控制 and 调整,使整个项目均衡协调有序地达到预先设定的目标^[21]。

传统进度控制虽然可对进度计划进行优化,但是其可视性弱、协同各专业较为困难,无法使进度充分优化。当进度计划中没有被发现的问题在施工阶段表现出来时,会对工程项目产生非常严重的影响。基于 BIM 技术的施工进度控制,利用其可视化、数据化、动态化的特点来进行科学的进度控制,把现场的人、材、机信息同时录入,使信息得到整合,及时修正施工组织计划中可能出现的缺陷,协助管理者制定更为合理的计划,降低成本和风险,增强管理者对施工过程的控制力。

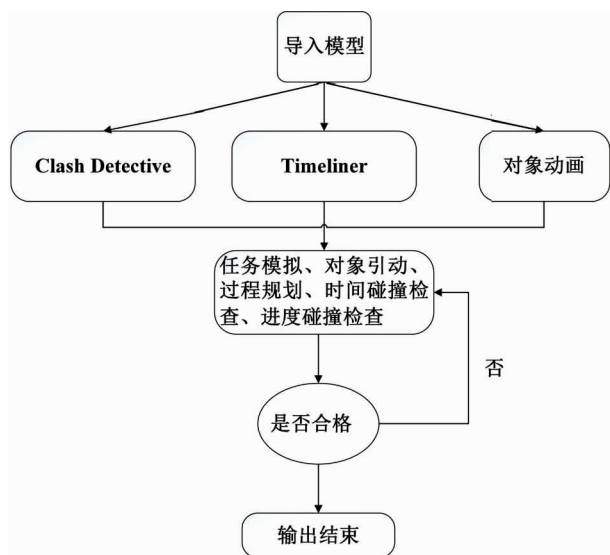


图 11 进度控制方案优化技术路线

本项目采用 Navisworks 软件进行进度控制方案优化,在 Microsoft Project 上编制好进度计划后将其导入到 Navisworks 中,通过 Timeliner、对象动画、Clash Detective 三个功能的相互链接,根据项目任务的开始时间和持续时间触发各相应对象移动并安排其进度,进行工作空间和过程规划,进行基于时间碰撞检查和进度碰撞检测。将提前完成、按时完成和推迟完成的施工进度进行模拟,可直观检查实

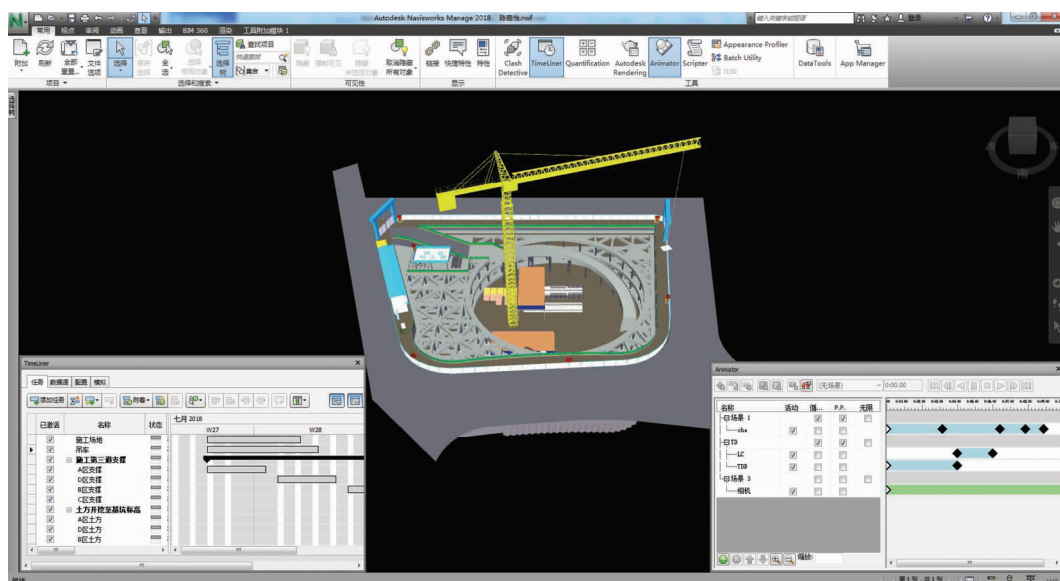


图 12 进度控制方案优化模型

际进度是否按进度表的要求进行,直观地把握每个时间点的施工进度,在出现不可抗力的情况下可以及时对问题进行分析并采取补救方案,发现不合理处及时调整(技术路线见图 11,进度控制方案优化模型见图 12)。

4 结语

目前 BIM 技术在建筑工程各领域应用广泛,是项目实行有效施工管理的主要辅助手段之一。基于某电视中心深基坑工程地处城市中心,施工作业空间狭小,工序复杂等一系列施工难点,本文应用 BIM 技术对该深基坑工程进行三维参数化建模,然后对其进行三维场地布置和工程量计算,最后把模型导入 Navisworks 中进行施工可视化模拟以论证基坑施工方案的可行性。结果表明,通过参数化建模可以节约大量的建模时间;利用 Revit 平台对施工现场进行三维模拟布置,提前发现场地布置不合理之处,有利于各功能区在施工全过程发挥更大的作用;通过 Revit 工程量明细表,有利于项目工程量计算与核对工作;结合 Navisworks 软件对施工方案进行模拟,对施工方案进行优化,确保深基坑现场施工高效有序进行。

参考文献

- [1] 杨继波,于德湖,张同波,等.基于BIM技术的深基坑工程施工模拟研究[J].青岛理工大学学报,2017,38

(03) : 114-118.

- [2] 何首文. 超深大基坑支护设计原理及三维有限元数值分析[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(1): 75-79.
- [3] 申建红, 盖立庭, 万索妮, 等. 基于模糊集与改进证据理论的深基坑施工风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(02): 28-34+41.
- [4] 朱健, 李静, 邬科, 等. 深基坑工程 BIM 信息化施工技术研究[J]. 施工技术, 2016, 45(S2): 592-595.
- [5] 张洋. 基于 BIM 的建筑工程信息集成与管理研究[D]. 清华大学, 2009.
- [6] National Institute of Building Sciences. United states national building information modeling standard version 1-Part 1: overview, principles, and methodologies [M]. 2013.
- [7] 张明亮, 黄宗贵, 周瑾, 等. BIM 技术在隆平水稻博物馆项目施工中的应用[J]. 建筑技术, 2017, 48(05): 504-507.
- [8] 黄宗贵, 张明亮, 周瑾, 等. BIM 技术在双曲薄壳混凝土屋面施工中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(01): 15-21.
- [9] 杨骥麟. 基于 BIM 的可视化协同设计应用研究[D]. 西南交通大学, 2016.
- [10] 李欣宇, 何宇航, 霍旭薪. BIM 技术在运河宿迁港项目中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(4): 41-47.
- [11] 任远谋. BIM 在我国建筑行业应用影响因素研究[D]. 重庆大学, 2016.
- [12] 刘一鸣, 刘国楠, 顾问天. BIM 可视化技术在基坑设计

- 中的应用[J]. 铁道建筑, 2016(06): 125-128.
- [13] 吴迈, 于丽娜, 邓彦聪. 基于 BIM 的大面积深基坑顺逆结合施工土方开挖研究[J]. 建筑技术, 2017, 48(09): 954-956.
- [14] 宫培松, 骆汉宾, 郭圣煜. 基于 BIM 模型的深基坑工程施工方案自动图审[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(04): 94-101.
- [15] 张伟胜. 集成 BIM 与安全规则的不安全设计因素自动识别机制研究[D]. 清华大学, 2015.
- [16] 董耀文, 王显臣, 张胜超. 乐清湾大桥基于 Revit 软件的桥梁 BIM 模型参数化设计初探[J]. 公路, 2016(09): 161-164.
- [17] 张志. 基于 BIM 信息化技术的施工场地布置与优化[J]. 天津建设科技, 2017(01): 44-46.
- [18] 李飞, 刘宇恒, 杨成, 等. 基于 BIM 技术的施工场地布置研究与应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(1): 60-64.
- [19] 张建平, 范喆, 王阳利. 基于 4D-BIM 的施工资源动态管理与成本实时监控[J]. 施工技术, 2011(04): 44-47.
- [20] 慕冬冬, 付晶晶, 胡正欢. BIM 技术在深基坑工程设计中的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(S1): 787-790.
- [21] 方简. 基于 PERT 技术的建设项目进度控制研究——以上海国际金融中心项目为例[J]. 建筑经济, 2019, 40(01): 73-76.

Research on Application of BIM Technology on Construction Scheme Optimization of Deep Foundation Pit of a TV Center Project

Chen Yan'an^{1,2}, Wang Rong^{1,2}, Liao Ling^{1,2},
Zhong Chaoyu³, Lai Suxin², Zhao Jie^{1,2}

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University of Science and Technology,
Liuzhou 545006, China;

2. Building Information Modeling Research Center, Guangxi University of Science and Technology,
Liuzhou 545006, China;

3. Guangxi Construction Engineering Group No. 3 Construction Engineering Co., Ltd., Liuzhou 545002, China)

Abstract: With complex construction condition and high construction quality request, the foundation pit engineering is the core of the entire process of project construction. In order to effectively solve construction problems during the whole process of deep foundation pit construction of a certain TV center project, and to ensure efficient and orderly construction on site, this paper establishes a 3D parametric BIM model of the deep foundation pit for the 3D site layout arrangement and engineering quantity statistics. The model is finally inserted into Navisworks for visualized simulation of construction progress to demonstrating the feasibility of foundation pit construction scheme. The results show that the application of BIM technology will effectively solve the construction problems of the foundation pit project, and assists in optimizing the construction scheme, which ensures the efficient and orderly construction of the deep foundation pit site.

Key Words: BIM; Deep Foundation Pit Construction; Revit; Navisworks