

# 基于 BIM+智慧工地平台的桩基施工进度管理方式\*

张志伟<sup>1,2</sup> 曹伍富<sup>1,2</sup> 苑露莎<sup>4,5</sup> 刘玉双<sup>3</sup> 张立<sup>3</sup> 周轶<sup>1,2</sup>

(1.北京市轨道交通建设管理有限公司,100068,北京;2.城市轨道交通全自动运行系统与安全监控北京重点实验室,100068,北京;

3.中铁电气化局集团有限公司,100036,北京;4.北京市轨道交通设计研究院有限公司,100068,北京;

5.北京市轨道交通工程技术研究中心,100068,北京//第一作者,建筑师)

**摘要** 以北京地铁 19 号线一期工程新宫车辆段桩基施工为例,介绍了基于 BIM(建筑信息模型)+智慧工地平台的桩基施工进度管理方式。重点分析了利用 BIM 软件和 Dynamo 软件创建桩基模型、进行桩基编码和生成桩基放样数据的方法,介绍了智慧工地平台的主要功能和应用场景。实践应用表明:对于桩基数量较多且工期比较紧的车辆段桩基施工项目,采用 BIM+智慧工地平台能够实时掌握现场实际施工进度信息,并可据此及时调整施工部署,既保障了工期,同时又提高了施工质量。以现代化的管理手段替代传统的管理方式,减少了人工手动操作,既提高了信息填报的准确率,同时又提高了工作效率。

**关键词** 地铁;车辆段;桩基施工;建筑信息模型;智慧工地

**中图分类号** U445.55<sup>+</sup>1

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.01.034

## Pile Foundation Construction Schedule Management Based on BIM+Smart Site Platform

ZHANG Zhiwei, CAO Wufu, YUAN Lusha, LIU Yushuang, ZHANG Li, ZHOU Yi

**Abstract** The pile foundation construction schedule management based on BIM (building information modeling) + smart site platform is introduced, taking the pile foundation construction of Xingong vehicle depot of Beijing Metro Line 19 first phase project as an example. The methods of creating pile foundation model, encoding pile foundation and generating pile foundation lofting data by using BIM software and Dynamo software are emphatically analyzed, as well as the main functions and application scenarios of smart site platform. The practical application shows that for the pile foundation construction project of vehicle depot with a large number of piles and a tight construction period, the BIM+smart site platform can take hold of real-time construction progress information, and can adjust construction deployment accordingly in time, which not

only ensures the deadline, but also improves the quality. The use of modern management tools instead of conventional management methods reduces manual operation, which allows improvement of information filling accuracy and work efficiency.

**Key words** metro; vehicle depot; pile foundation construction; BIM (building information modeling); smart site

**First-author's address** Beijing Metro Construction Administration Corporation Ltd., 100068, Beijing, China

施工进度管理是建设工程三大控制目标之一。每一项工程都有严格的工期要求。为了保障工程项目能根据施工进度按时完成,就必须分析该项工程的施工工艺,采取必要的施工进度控制措施,合理安排一切资源,在保证质量的前提下,保证施工进度,节约成本<sup>[1]</sup>。

采用基于 BIM(建筑信息模型)技术的桩基定位方法,测量人员只需在手机上查看数据并直接输入全站仪进行放样,通过模型查看数据并与现场数据进行比对,能够全面提高桩基放线定位及复核效率,效率提高至少 20%<sup>[2]</sup>。在《住房和城乡建设部工程质量安全监管司 2020 年工作要点》中也提到:“推动 BIM 技术在工程建设全过程的集成应用,开展建筑业信息化发展纲要和建筑机器人发展研究工作,提升建筑业信息化水平<sup>[3]</sup>。”

基于 Dynamo 软件进行桩基模型创建、桩基编号、桩基进度上报等成套技术的研究尚处于空白。本文以北京地铁 19 号线一期工程新宫车辆段桩基施工为例,以 BIM 参数化建模为基础,通过 Dynamo 软件可视化编程和智慧工地平台建立了一套桩基进度管理的 BIM 工作流程。该流程可在减少人员和时间投入的情况下大幅提升工作效率。

\*北京市轨道交通建设管理有限公司双创项目(SCJJ2020001)

## 1 新宫车辆段桩基施工进度管理难点

新宫车辆段为北京地铁 19 号线一期工程唯一的车辆停放、检修基地,占地面积  $30.05 \text{ hm}^2$ ,建筑面积  $246\,478 \text{ m}^2$ ,共有运用库、联检库和物资总库等 17 个单体。该车辆段桩基施工的合同工期为 2016 年 9 月 1 日—2020 年 12 月 20 日。该车辆段桩基施工进度管理的特点、难点如下:

- 1) 桩基数量多、工期短,无特殊原因需昼夜不间断连续施工。
- 2) 桩基施工时,现场实际进度与上报进度有一定的时间差,上报进度往往滞后于现场实际进度。
- 3) 形象进度只能反应整体进度数据,不能反应某个单体的某一区域进度情况,表达方式不够清晰。
- 4) 施工过程中的质量问题记录存在缺失现象,因此无法对问题部位进行快速精确定位,难以对施工质量进行溯源。
- 5) 资料整理和数据整理的工作量较大,占用时间较多,使相关人员不能专心于施工现场管理。

## 2 车辆段桩基施工进度管理现状问题分析

车辆段桩基施工进度表示主要以形象进度百分比法和图纸标记法为主,存在的问题主要表现在以下两个方面:

- 1) 形象进度百分比法能够展示整体完成率,但是却不能显示某个流水段已完成的数量,且需要手动统计已完成的总数,容易造成漏报、错报。如“联合检修库桩基 1 689 根,已完成 635 根,完成 37.60%”。
- 2) 图纸标记法能够形象展示施工区域内的进展情况,但是,手动涂画存在错涂、漏涂的可能;每根桩的施工日期需要手动填写一次,这增加了技术人员的工作量,也使进度数据查阅不方便,使进度信息无法高效协同。同时,手动修改若出现涂抹,则会影响查阅体验。

## 3 基于 BIM+智慧工地的车辆基地桩基施工进度管理方式

通过 BIM 信息平台,工程项目的各参与方能够及时更新和修改模型中的信息,实现各参与方的协同合作,实现工程项目的集成化管理<sup>[4]</sup>。在实际的车辆基地桩基施工过程中,BIM 工程师通过 BIM 软件进行桩基建模,通过 Dynamo 软件快速提取桩基

的几何数据、坐标信息和结构材质等信息,通过 Excel 表格或者 CAD(计算机辅助设计)图纸向项目测量工程师和土建工程师提资。土建工程师和测量工程师利用 BIM 软件输出的资料进行现场施工作业,使用智慧工地平台软件快速填报桩基的施工进度信息。

新宫车辆段桩基施工项目以 Autodesk Revit 为 BIM 基本建模软件,以 Dynamo for Revit 为快速建模和数据处理软件。通过 Dynamo 软件帮助用户实现具有互操作性的工作流程文档管理,以及自动的模型创建、协调、模拟和分析<sup>[5]</sup>。

### 3.1 BIM 模型创建

以新宫车辆段联合检修库为建模对象,该检修库有两种类型的桩,即 ZHA-1 桩和 ZHA-2 桩。ZHA-1 桩的桩长为 22 m,桩径为 1 000 mm;ZHA-2 桩的桩长为 32 m,桩径为 1 000 mm。基于 Autodesk Revit 2016 软件,通过 Dynamo 软件对桩基进行快速建模。

#### 3.1.1 桩基模型创建

采用 Dynamo for Revit 软件智能识别图纸中的圆形来创建桩基模型。具体操作如下:

- 1) 清理 CAD 图。仅保留桩基图形和桩顶高程说明,然后将 CAD 图导入 Dynamo for Revit 软件并将 CAD 图完全分解。在 Dynamo for Revit 软件中框选导入的 CAD 图形,以获取桩位信息。
- 2) 利用 Circle.Center Point 软件求出圆形的中心,即桩位点坐标。由于某些 CAD 图在完全分解后,会在相同位置上出现两个或者多个圆形,所以要对圆心进行一次公差范围内的清理。一般视觉上同一位置的多个圆的圆心坐标相同,少部分可能会有少于 1 mm 的偏差。在本工程中采用 1 mm 的公差范围,即将圆心坐标在 1 mm 内的偏差视为相同位置,清理后只保留一个坐标。处理方法如图 1 所示。

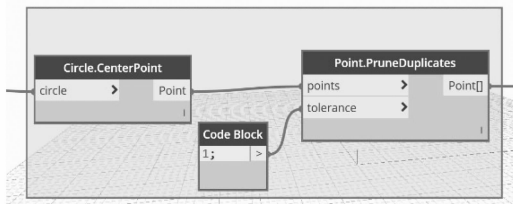


图 1 获取圆心并在公差范围内清理重合的点  
Fig. 1 To obtain center of the circle and clean up the coincident points within tolerance range

4) 获取半径值在半径唯一值中的索引,用来确定每根桩的构件类型。然后通过对应的坐标创建桩基模型。快速创建桩基流程图如图2所示。

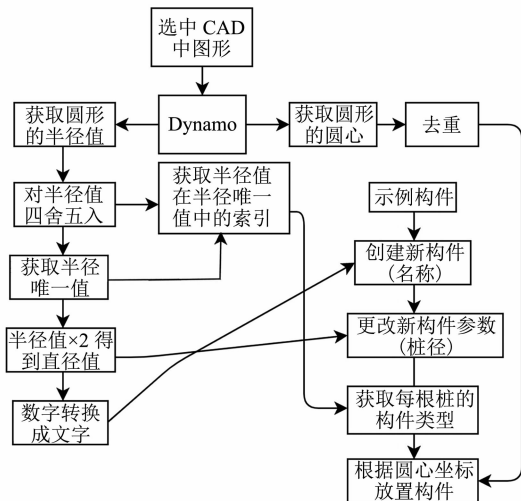


Fig. 2 Flow chart of rapid pile foundation model creation

完成桩基快速建模后,需对桩基按照一定规则编号。这部分桩基施工准备阶段工作对于工程人员来说是非常耗时和枯燥的。使用 Dynamo

新宫车辆段联合检修库桩基编号规则为:桩长 22 m 桩的编号前缀为 LD, 桩长 32 m 桩的编号前缀为 LC。前缀相同的桩的排列方式为“W”形排列, 如图 3 所示。

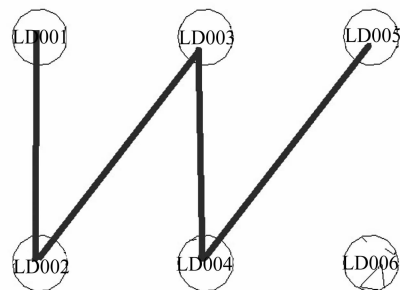


Fig. 3 'W' shape arrangement of piles with same prefix

2) 无论是奇数排还是偶数排桩, 桩基在 Revit 软件坐标系的  $y$  轴上的值 ( $E$ ) 总是左边的小于右边的, 因此需要对两排桩分别按  $y$  轴上的值进行排序, 并按照新的索引重新对桩基进行排序。

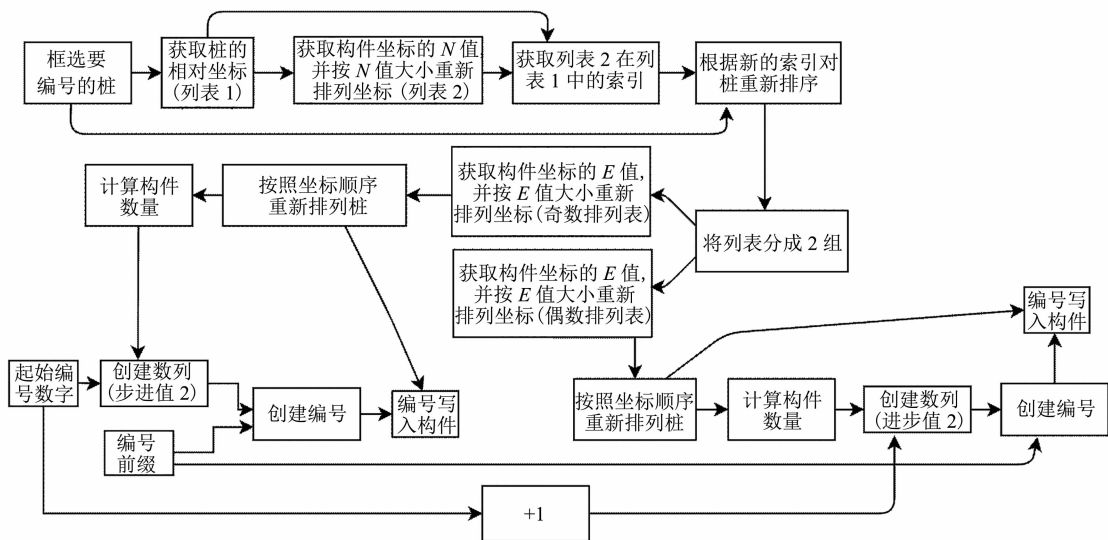


Fig. 4 Flow chart of rapid pile foundation numbering

3) 创建一个数字列表,奇数排桩编号起始值为桩基的第一个编号,偶数排桩编号起始值为奇数排桩编号起始值+1。数列中数值的数量可以通过 List.Count 软件获取的桩基数量确定, List.Count 软件的步进值为 2。将生成的数字序列转换为文字序列,并添加编号前缀后生成新的文字序列,并将文字写入到 Revit 软件桩基的“桩编号”参数中。

3.1.3 生成桩基放样数据

完成桩基编号后,需获取桩基坐标才能用于最后的施工放样。因 Revit 软件除了项目基点和测量点外还存在内部原点这一概念,所以在 Dynamo 软件中使用 Element.GetLocation 软件获取到的坐标为基于内部原点为坐标系的坐标(内部原点坐标永远为(0,0,0))。而一般情况下项目基点与内部原点是完全重合的,因此在 Dynamo 软件中直接使用 Coordinates.BasePoint 软件获取到的项目基点坐标为(0,0,0),这显然与想要的结果不一致。通过分析项目基点、测量点和内部原点,创建如下数学模型。

图 5 为项目北与真北重合的理想状态,项目  $O$  内部坐标为(0,0),点  $P$  内部坐标为( $x_1, y_1$ ),由此可以得出点  $P$  到  $y$  轴的距离为  $x_1$ 、到  $x$  轴的距离为  $y_1$ 。已知项目基点真实坐标为( $x, y$ ),由此可以求出点  $P$  的坐标为: $x_2 = x + x_1, y_2 = y + y_1$ ,即点  $P$  的真实坐标为  $P(x + x_1, y + y_1)$ 。

很显然,理想状态下的模型不常有。一般情况下,建筑物的项目北与真北有一个夹角  $\theta$ 。将图 5 中的模型以项目基点  $O$  为轴旋转一个角度,结果如图 6 所示。

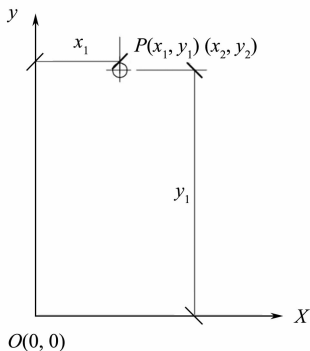


图 5 项目北与真北重合坐标模型

Fig. 5 Coincident coordinates model of project north and true North

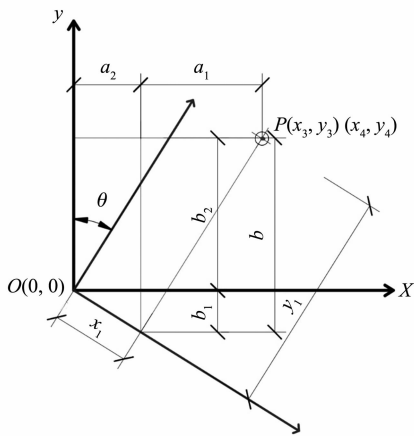


图 6 建筑物与真北旋转一定角度模型

Fig. 6 Model of building rotating certain angle from true North

由图 6 可见,点  $P$  的新内部坐标为( $x_3, y_3$ ),此点到项目基点坐标系(细线坐标轴)的  $x, y$  轴的垂线长度仍为  $x_1$  和  $y_1$ 。点  $P$  的真实坐标为: $x_4 = x + a_1 + a_2, y_4 = y + b_2 = y + b - b_1$ 。根据三角函数可得出: $a_1 = y_1 \sin \theta, a_2 = x_1 \cos \theta, b = y_1 \cos \theta, b_1 = x_1 \sin \theta$ ,由此可以得出点  $P$  的真实坐标为  $P(x + y_1 \sin \theta + x_1 \cos \theta, y + y_1 \cos \theta - x_1 \sin \theta)$ 。Dynamo 软件计算桩基真实坐标流程图如 7 所示。

获取 Revit 软件模型中所有桩基构件。然后获取 Revit 软件中项目基点的真实坐标和到正北的角度。根据图 6 原理,使用 Dynamo 软件中的 Python 软件编写计算桩基真实坐标的程序。将真实坐标分别写入到 Excel 和 Revit 软件桩基构件中,直接利用 Excel 表格或者将模型文件导出 Dwg 文件进行查看。

经实践检验,从模型输出的桩基坐标数据的精度达到  $\pm 1 \text{ mm}$ ,满足施工放样的要求。至此测量工程师可以使用该表格中的数据进行测量放样,BIM 端的工作完成。

3.2 智慧工地平台

通过建设“智慧工地”转变传统的施工现场管理工作方法,为项目的各参与方提供全新的信息交互方式,实现工地管理的信息化、智能化和可视化,从而彻底改变工地的管理模式<sup>[7]</sup>。最终实现下列目标:一是聚焦于施工现场一线的生产活动,实现信息化技术与生产过程的深度融合;二是保证数据实时获取和共享,提高现场基于数据的协同工作能力;三是强化数据分析与预测支持,辅助进行科学决策和智慧预测;四是充分应用并集成软硬件技术,满足施工现场变化多端的需求和环境,保证信



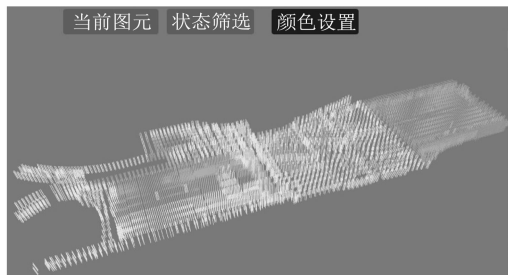


图 9 深色区域代表已经完成的桩基施工

Fig. 9 Dark area representing the completed pile foundation construction

桩基-桩基

运用库 4.1-6.9 总数:822 完成:822
联合检修库 0710-0815 总数:785 完成:680
联合检修库 08.16-1.10 总数:910 完成:136
咽喉区 BCD 区桩基 总数:2010 完成:271

图 10 施工流水中桩基的数量

Fig. 10 Number of pile foundations in construction flow

桩基编号	桩基名称	计划名称	桩基事项	工序明细
YD637	YD637	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	新建阶段-新建工序
YD655	YD655	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	2019-06-10
YD809	YD809	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	2019-06-10
YD1288	YD1288	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	2019-06-10
YD602	YD602	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	2019-06-10
YD1040	YD1040	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	2019-06-10
YD485	YD485	运用库 4.1-6.9	桩基-桩基	2019-06-10

图 11 桩基台账

Fig. 11 Standing book of pile foundation

## 4 结语

新宫车辆段联合检修库共有桩基 1 689 根,Dynamo 软件建模比手工建模的建模速度提升 5 倍、编号速度提升 9 倍、提取坐标速度提升 85 倍,极大地提升了工作效率和准确率。对于有经验的工程师而言,通过 Dynamo 软件进行程序编写和调试所需时间较短,能够根据项目的需求快速做出部署,在高周转的建筑施工背景下具有很大的意义。同时 Dynamo 程序在相同的工作范围内可以重复使用,做到一次编写重复利用。

在桩基施工阶段,使用 BIM+智慧工地平台可实时掌握桩基施工进度。通过查看统计报表中的详细数据,可了解桩基施工过程中出现的各种问

题,通过对问题进行分析总结并采取针对性解决方案,可有效提高桩基的施工质量。

## 参考文献

- [1] 郝魁魁. 谈建筑工程进度控制[J]. 山西建筑,2012(3):278. HAO Tukui. Discussion on schedule control of building engineering[J]. Shanxi Architecture,2012(3):278.
- [2] 陈小伟,刘龙龙,李业东. 浅谈 BIM 技术在桩基工程中的应用[J]. 施工技术,2019(增刊 1):320. CHEN Xiaowei,LIU Longlong,LI Yedong. Application of BIM technology in pile foundation engineering[J]. Construction Technology,2019(S1):320.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 关于印发《住房和城乡建设部工程质量安全监管司 2020 年工作要点》的通知:建司局函质[2020]10 号[S]. 北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2020. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Notice on the issue of 'Key working points of Quality and Safety Supervision Department of Ministry of Housing and Urban-Rural Development in 2020': Development Department Letter Quality[2020]No.10[S]. Beijing: Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China,2020.
- [4] 李玫. 基于 BIM 技术的施工可视化应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市,2020(6):53. LI Mei. Research on construction visualization application based on BIM technology[J]. Intelligent Building & Smart City,2020(6):53.
- [5] 罗嘉祥,宋姍,田宏钧. Autodesk Revit 炼金术——Dynamo 基础实战教程[M]. 上海:同济大学出版社,2017. LUO Jiaxiang,SONG Shan,TIAN Hongjun. Autodesk Revit alchemy——Dynamo basic practical course[M]. Shanghai: Tongji University Press,2017.
- [6] 吴生海,刘陕南,刘永晓,等. 基于 Dynamo 可视化编程建模的 BIM 技术应用与分析[J]. 工业建筑,2018(2):35. WU Shenghai,LIU Shannan,LIU Yongxiao,et al. Application and analysis of BIM technology based on Dynamo visual programming modeling[J]. Industrial Construction,2018(2):35.
- [7] 鹿焕然. 建筑工程智慧工地构建研究[D]. 北京:北京交通大学,2019. LU Huanran. Research on smart site establishment of construction engineering[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2019.
- [8] 孙璟璐. 智慧工地为产业升级保驾护航[J]. 中国建设信息化,2017(14):50. SUN Jinglu. Smart site escorts industrial upgrading[J]. Informatization of China Construction,2017(14):50.
- [9] 韩豫,孙昊,李宇宏,等. 智慧工地系统架构与实现[J]. 科技进步与对策,2018(24):107. HAN Yu,SUN Hao,LI Yuhong et al. Smart site system architecture and realization[J]. Science & Technology Progress and Policy,2018(24):107.

(收稿日期:2021-02-19)