

# BIM 技术在复杂地质基坑工程的应用研究

——前海交易广场项目

郑炜明

(上海城建信息科技有限公司, 上海 200126)

**【摘要】**伴随着国内超高层建筑的迅猛发展,深基坑工程的规模和深度也在不断扩大,更多的深基坑出现在建筑和人口密集的地区,这对基坑工程的设计和施工提出更高的要求<sup>[1]</sup>。然而,现行二维勘察资料存在表达不完整、不准确等问题,制约了工程参建各方对岩土工程勘察数据的有效应用。BIM 技术具有三维可视化及参数化的特性<sup>[2]</sup>,可将抽象、复杂的勘察数据信息构建为赋予地质信息数据的数字化三维模型,基于数字化三维地质 BIM 模型进行沟通与决策可提升工程设计方案与施工方案的科学性。文章以前海交易广场基坑及地下室工程 BIM 应用为例,着重阐述 BIM 技术在复杂地质与桩基工程中的应用过程,并以项目真实数据进行对比分析,论证 BIM 应用可行性,以期为同类复杂地质基坑工程建设提供参考。

**【关键词】** BIM; 复杂地质; 桩基工程; 基坑工程

**【中图分类号】** TU17 **【文献标识码】** A

**【版权声明】** 本文被《土木工程信息技术》、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。

## 1 工程背景介绍

### 1.1 工程概况

前海交易广场项目位于前海自贸区桂湾片区,地处填海造地区,地质条件复杂<sup>[3]</sup>,东邻地铁 1 号线鲤鱼门车站,南侧与华润前海项目隔桂湾四路,西侧为在建的地铁 5 号线桂湾车站、听海共同沟,北侧为腾讯前海项目,深圳地铁 1 号线鲤鱼门站—前海湾站区间从项目地铁下方穿过<sup>[4]</sup>。

前海交易广场项目占地面积约为 7.9 万 m<sup>2</sup>,总建筑面积约 63.8 万 m<sup>2</sup>,其中地上建筑面积约 43.4 万 m<sup>2</sup>,地下空间建筑面积约 20 万 m<sup>2</sup>。项目基坑长度 297m,宽 245m,开挖深度 9~17m,地铁保护区长度为 401m。基坑分为地铁保护区与非地铁保护区,下设三层地下室,地铁保护区上方设一/二层地下室。

### 1.2 工程地质条件(表 1)

## 2 地质岩层 BIM 技术应用

### 2.1 地质岩层 BIM 模型创建

前海交易广场项目详细勘察报告中共 275 个,

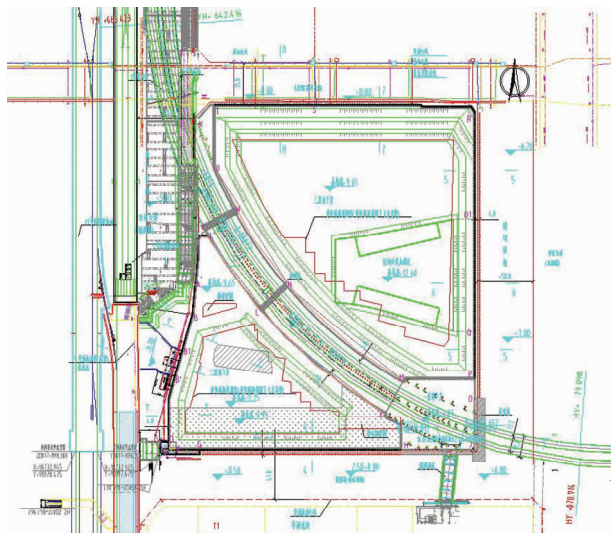


图 1 前海交易广场项目基坑平面图

岩层共计 8 层,依次为填土(石)层、淤泥质填土层、黏土层、砂质黏土层、全风化花岗岩层、强风化花岗岩层、中风化花岗岩层、微风化花岗岩层。对项目详勘报告数据进行分层、分类处理后,采用 BIM 参数化建模软件创建三维地质岩层模型。

**【作者简介】** 郑炜明(1994-),男,助理工程师,主要研究方向: BIM 工程项目咨询管理。

表 1 工程地质条件表

地层名称	特性
填土 (石)	由砂(砾)质黏性土混碎石、块石组成,硬杂质含量 >50%,块石块径在 0.1 ~ 0.8m 之间,揭露层厚 5.10 ~ 15.60m,平均层厚 11.89m。
②淤泥质黏土	很湿~饱和,流塑状态、局部软塑,经地基处理后已成淤泥质土,局部为淤泥。揭露层厚为 0.20 ~ 7.90m,平均层厚为 2.53m,层厚不均匀。
③1 黏土	可塑,黏性强,韧性中等,含约 10%~25% 不等的砂粒,局部呈砂混黏性土状。揭露层厚 0.90 ~ 7.90m,平均层厚 3.34m;
④砂质黏性土	可塑,由花岗岩风化残积而成,除石英矿物外,其它矿物已风化成粘黏土,石英砂含量 10%~20%。揭露层厚 1.00 ~ 16.00m,平均层厚 5.62m。
⑤1 全风化花岗岩	强度极弱,原岩结构基本破坏,岩体基本质量等级为 V 级。揭露层厚 1.00 ~ 16.00m,平均层厚 4.73m。
⑤2 强风化花岗岩	属软岩,岩体极破碎,岩体基本质量等级属 V 级,该层与上覆全风化带呈渐变接触。揭露层厚 0.60 ~ 16.80m,平均层厚 4.78m。
⑤3 中风化花岗岩	岩体基本质量等级以 IV 级为主,局部为 V 级,RQD 约 15%~35%。揭露厚度 0.30 ~ 14.80m,平均层厚 2.97m。
⑤4 微风化花岗岩	组织结构基本未变,岩体较破碎~较完整,岩体基本质量等级属 III 级,RQD 约 65%~90%。揭露厚度 1.80 ~ 9.40m。

前海交易广场地质岩层三维模型创建过程中采用多款三维模型创建软件比对分析,包括 Civil 3d、Infraworks、Revit + dynamo、Rhinio、3Ds max 等。最终选取 Rhino + Revit 软件组合创建了曲面平滑、拟合度高的三维地质岩层模型。

传统二维柱状图是在相邻钻孔点以直线连接的形式表达岩层分布情况,采用 BIM 技术创建的地质剖面图和柱状图则是根据钻孔点高度拟合的曲线,相比传统二维柱状图及地质剖面图更接近岩层分布状态。此外,地质岩层模型可以进行任意剖切,可对整体地质岩层状态进行更细微的观察与分析<sup>[5]</sup>。通过 BIM 参数化的技术手段可以批量导出

地质剖面图及柱状图纸,可提高图纸输出效率,降低人力成本。

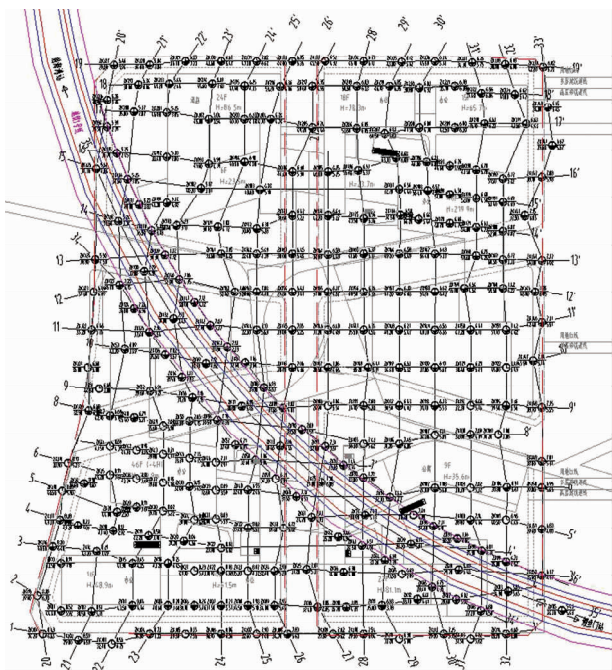


图 3 前海交易广场钻孔平面图

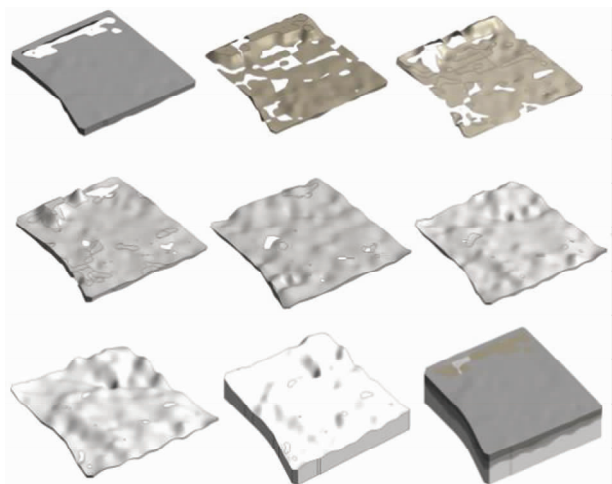


图 4 前海交易广场地质岩层 BIM 模型

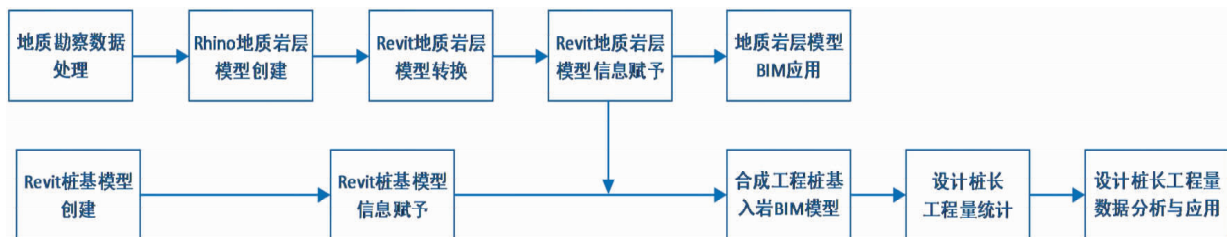


图 2 地质岩层 BIM 应用技术路线

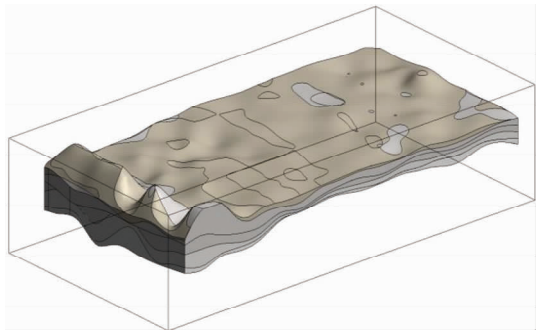


图5 地质岩层 BIM 模型剖切图

### 2.2 桩基工程 BIM 模型创建与信息赋予

前海交易广场项目桩基总数达 5 000 余根,其中工程桩 3 000 余根,围护桩近 2 000 根。桩基 BIM 模型采用 Revit + Dynamo 进行参数化创建完成。桩基工程施工前需进行相应编号工作,施工桩号用于桩基工程施工管理、桩基施工台账维护、施工检验批资料管理、桩基工程量申报等。

桩基编号工作通过 Revit + Dynamo 操作完成,在桩基 BIM 模型中利用 Dynamo 程序对桩基构件进行分类、批量赋予图元构件编码信息,进而导出桩基编号表,作为桩基施工原始表单使用。通过参数化创建桩基 BIM 模型及构件信息赋予,可高效快捷地完成桩基 BIM 模型创建及编码工作,并且保证 BIM 模型中桩基编号与各类桩基施工资料编码体系一致。后续 BIM 模型构件作为数据载体,通过唯一的桩基编号代码将施工过程各类电子数据实时导入 BIM 模型构件中,最终形成 BIM 竣工档案。

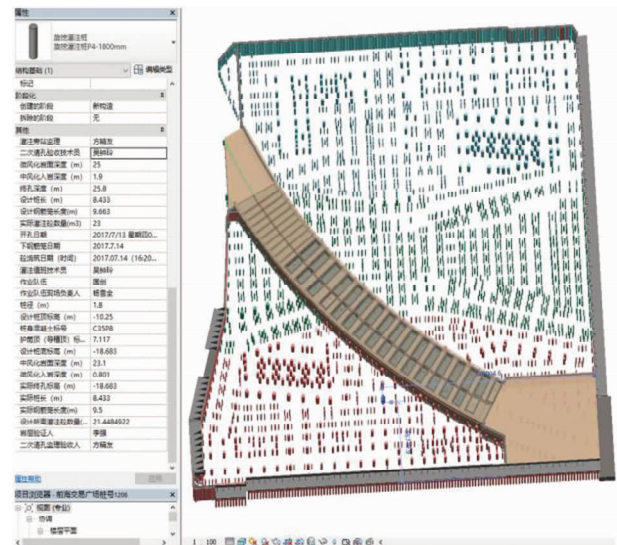


图6 前海交易广场桩基施工 BIM 模型

### 2.3 设计桩长工程量 BIM 应用

#### 2.3.1 设计桩长工程量 BIM 应用需求分析

由于前海交易广场项目地质复杂,土层、岩层分布不均,持力层埋深无法准确估算。勘察设计单位只提供具有一定范围的设计参考桩长,无法确定具体桩基设计桩长。设计桩长的数据取决于地质勘探报告,钻孔数量越多,分布越紧凑,提供的设计桩长越接近实际桩长<sup>[6]</sup>。若要提高桩长估算精度,则需加大钻孔数量或对具体桩位进行超前钻探。

然而,桩基工程施工前需要估算项目各区域的桩基工程量及具体桩号的桩基长度,为项目桩基工程成本、进度控制及专项施工作业管理提供决策依据。施工阶段传统设计桩长的估算往往是根据勘察单位提供的剖面图、数据表、报告进行综合分析<sup>[7]</sup>。使用传统的设计桩长估算方法,需结合多张二维平面图进行分析、重构三维场的分布特征,重构完全取决于技术人员经验的多寡<sup>[8]</sup>。传统的设计桩长估算工作量大而繁琐,容易出错,进而导致施工作业管理效率、质量降低,成本增加。例如:设计桩长估算误差过大,会导致工程桩钢筋笼加工长度误差过大,则需要对钢筋笼进行切割或焊接。然而,对钢筋笼的切割或焊接会导致钢筋笼质量下降,影响钢筋加工场及施工机械设备正常的作业秩序,进而导致桩基工程综合作业的进度滞后和成本增加。

通过对项目桩基 BIM 入岩模型的建立和对设计桩长的参数化统计,有助于项目管理人员对项目各区域桩基工程量分布情况进行宏观把控,有效降低人为因素造成的误差,提高设计桩长数据准确率,实现项目桩基工程高效、精细化管理。

#### 2.3.2 设计桩长工程量 BIM 应用

将桩基 BIM 模型与持力层岩层 BIM 模型结合,依据设计提供的工程桩入岩深度要求,参数化调整桩基长度,建立桩基入岩 BIM 模型,设置工程量计算规则,参数化统计设计桩基工程量。

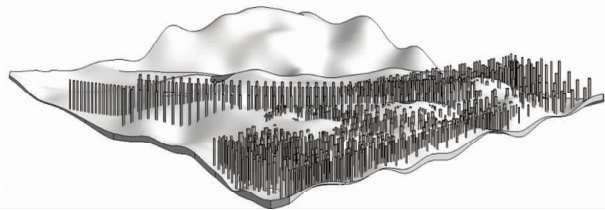


图7 前海交易广场桩基入岩 BIM 模型

### 2.3.3 基于 BIM 的设计桩长工程量对比分析实例

本次设计桩长工程量对比分析试验选取前海交易广场项目南区已完成施工的 J 类、P 类桩,共计 707 根工程桩进行研究分析(J 类桩为核心筒区域大桩径工程桩、P 类桩为非核心筒区域工程桩)。通过对比前海交易广场南区设计桩长与施工桩长工程量的数据差异,用于校核设计桩长,提供业主方成本部用于桩基施工成本经济效益分析,亦可验证基于 BIM 技术的设计桩长估算应用的可靠性。

桩基名称	桩号	设计桩长	施工桩长	差值	备注
灌注桩	PJ-01	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-02	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-03	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-04	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-05	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-06	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-07	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-08	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-09	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-10	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-11	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-12	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-13	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-14	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-15	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-16	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-17	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-18	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-19	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-20	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-21	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-22	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-23	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-24	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-25	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-26	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-27	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-28	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-29	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-30	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-31	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-32	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-33	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-34	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-35	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-36	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-37	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-38	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-39	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-40	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-41	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-42	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-43	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-44	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-45	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-46	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-47	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-48	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-49	9.50	9.50	0.00	
灌注桩	PJ-50	9.50	9.50	0.00	

图 8 前海交易广场桩基 BIM 工程量统计表

#### (1) J 类桩基工程量对比分析结果

选取前海交易广场 J 类桩基共 133 根,设计桩长总量为 1 610.18m,施工桩长总量为 1 527.67m。差值 82.51m,占设计桩长总量的 5.1%。其中,设计桩长与施工桩长差值 >3m 的共 45 根,占 J 类桩基总数的 34%。J 类桩中设计桩长与施工桩长最大差值为 -8.78m。



图 9 J 类桩工程量分析图表

#### (2) P 类桩基工程量对比分析结果

选取前海交易广场 P 类桩基共 574 根,设计桩长总量为 6 985.44m,施工桩长总量为 6 602.41m。差值 383.04m,占设计桩长总量的 5.5%。其中,设计桩长与施工桩长差值 >3m 的共 115 根,占 P 类桩基总数的 20%。P 类桩中设计桩长与施工桩长最大差值为 17.71m。

#### (3) 分析结果校核

针对设计桩长与施工桩长差值较大的桩位进行反查。发现前海交易广场 BIM 岩层模型与详勘报告中钻探点位标高基本一致,排除 BIM 模型创建时造成的误差可能。

#### (4) 应用结论

根据本次设计、施工桩基长度对比统计数据发现,设计桩长总量大于施工桩长总量。此外,无论入微风化或中风化岩层的 P 类、J 类桩基,设计桩长与施工桩长工程量总数误差均约为 5%。因此,基于 BIM 技术的设计桩长估算应用具有工程实际应用意义。

造成设计桩长与施工桩长误差原因可能为: 1. 因前海交易广场详勘钻孔点距离约 20m,钻孔点孔位间距较大,地下岩层起伏较大,未揭露岩层断层破碎带,从而造成的误差; 2. 因项目勘察原始钻孔数据录入错误或现场钻孔岩样统计错误而造成的误差; 3. 因施工打桩记录错误或现场桩基施工造成的误差。

建议: 1. 建议在设计桩长与施工桩长差异较大的桩位附近进行补勘; 2. 为保证项目质量安全,在

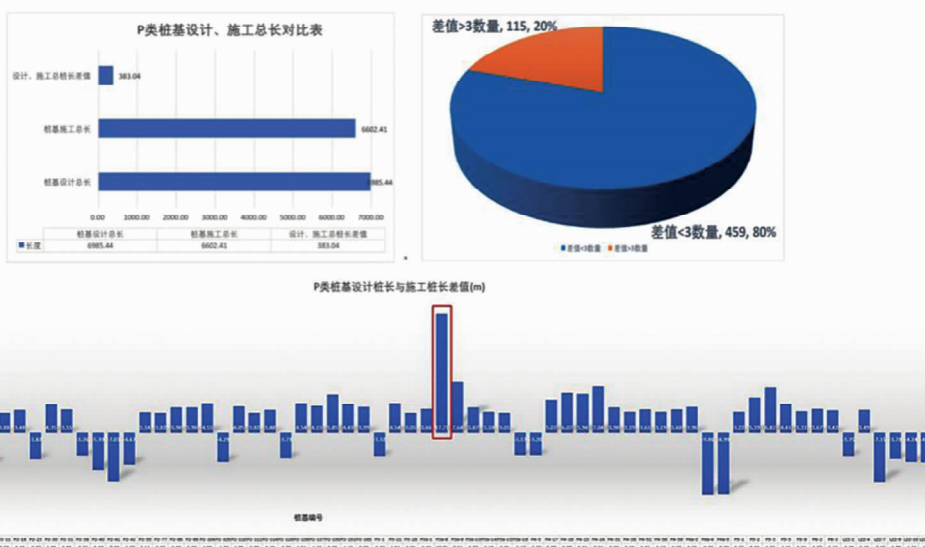


图 10 P 类桩工程量分析图表

桩基编号	桩顶标高	入岩深度	附近包头点坐标	桩头点坐标	桩底标高	设计桩长	施工桩长	差值	备注
Z1	-10.15	0.64	ZK34	(-24.99)(-30.71)	-28.20	17.81	27.61	9.80	桩底模型与检测数据差值-1m
Z2	-10.15	0.95	ZK35	(-25.79)(-31.71)	-29.20	15.98	20.97	4.99	桩底模型与检测数据差值-1m
Z3	-10.15	0.98	ZK36	(-30.71)(-36.76)	-27.40	17.88	23.25	5.37	桩底模型与检测数据差值-1m
Z4	-10.15	0.90	ZK37	(-30.71)(-36.76)	-27.20	17.40	22.58	5.18	桩底模型与检测数据差值-1m
Z5	-10.15	0.84	ZK11, ZK65	(-13.99)(-18.71)	-18.10	8.50	13.31	4.81	桩底模型与检测数据差值-1m
Z6	-10.15	1.00	ZK68	(-23.68)	-23.20	14.50	19.38	4.88	桩底模型与检测数据差值-1m
Z7	-11.65	0.80	ZK30, ZK24, ZK37	(-18.60)(-23.68)(-18.76)(-23.85)	-20.10	9.22	13.69	4.47	桩底模型与检测数据差值-1m

图 11 桩基数据校核表

桩基检测环节, 优先选取设计桩长与施工桩长差异较大的桩号进行检测。

### 3 结语

BIM 技术作为实现项目建设全生命周期精益化管理的核心技术<sup>[9]</sup>。本文将 BIM 技术深度应用于复杂地质基坑工程项目中, 利用勘察资料创建数字化三维地质模型, 还原项目土层、岩层分布情况, 充分展示出地质结构内部的多种数据及其变化规律<sup>[10]</sup>。基于桩基 BIM 模型生成可贯穿于建设全生命周期管理的桩基编码体系, 并且在施工建设期间不断累积工程建设信息数据, 最终形成 BIM 竣工档案, 作为项目数字化资产的一部分交付业主及运

营方。

充分发挥 BIM 技术三维可视化及参数化特性, 高效、精确统计设计桩基长度, 减少因人为因素造成的数据偏差, 为项目总体管理及专项作业施工管理提供决策依据。同时, 依据项目真实数据进行对比分析试验, 通过分析结果可对数据差异较大处进行原因反查, 进一步保证项目建设质量安全。

本文中三维地质 BIM 模型是在施工阶段所建立的, 以满足桩基工程施工管理所需。然而, 如若勘察单位能在工程勘察阶段便着手构建三维地质 BIM 模型, 则能够提升其勘察工作效率及勘察成果准确率, 更好地为业主、设计和施工单位提供科学的地基基础设计和岩土设计依据<sup>[8]</sup>, 最大程度提高项目参建各方对岩土工程勘察数据的有效应用, 从而使得地下工程设计、施工方案更加科学, 降低工程建设风险, 创造最佳的经济效益和社会效益。

### 参考文献

[1] 慕冬冬, 付晶晶, 胡正欢, 等. BIM 技术在深基坑工程设计中的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(S1): 773-776.

[2] 李建成. BIM 应用·导论[M]. 上海: 同济大学出版社, 2015.

[3] 刘胤华, 李荣生, 卢院, 等. 深圳前海交易广场地铁盾构隧道模型试验研究[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(24): 42-43.

[4] 李红, 闻家明, 刘劲, 等. 深圳前海交易广场深基坑支护工程设计实例[J]. 广东建材, 2017, 33(1): 63-65.

- [ 5 ] 林孝城. BIM 在岩土工程勘察成果三维可视化中的应用[J]. 福建建筑, 2014(6): 111-113.
- [ 6 ] 饶嘉谊, 杨远丰. 基于 BIM 的三维地质模型与桩长校核应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(3): 38-42.
- [ 7 ] 郑若飞. BIM 技术在地质勘察中的应用研究[J]. 企业技术开发, 2016, 35(12): 50-51.
- [ 8 ] 戴巧. BIM 技术在地质勘察中的应用研究[J]. 建材与装饰, 2017(31): 189-190.
- [ 9 ] 郑华海, 刘匀, 李元齐. BIM 技术研究与应用现状[J]. 结构工程师, 2015, 31(4): 233-241.
- [10] 王仕强, 何小辉. 简析 BIM 在岩土工程勘察成果三维可视化中的应用[J]. 建材与装饰, 2017(33): 232-233.

## Research on BIM Application in Complex Geological Foundation Pit Engineering ——Taking Qianhai Trading Plaza Project as an Example

Zheng Weiming

(Shanghai Urban Construction Information Technology Co., Ltd., Shanghai 200126, China)

**Abstract:** With the rapid development of domestic super high-rise buildings in China, both the scale and depth of deep foundation pit projects keep expanding, and more deep foundation pits appear in the areas with dense buildings and population, which puts forward higher requirements for the design and construction of foundation pit projects. However, the present 2D survey data are incomplete and inaccurate, which restricts the effective application of geotechnical survey data by all parties involved in the project. The BIM technology, with its own characteristics of 3D visualization and parameterization, is able to apply the information of abstract and complex survey data to construct a digital 3D model with given geological information data. Then, communication and decision-making according to the digital 3D geological BIM model will improve the scientificity of engineering design scheme and construction scheme. This paper takes the BIM application in the foundation pit and basement engineering of the Qianhai Trading Plaza Project an example, to elaborate the application process of BIM technology in complex geology and pile foundation engineering. The feasibility of BIM application is demonstrated by comparing and analyzing the real data of the project. The study is able to provide reference for the construction of similar complex geological foundation pit.

**Key Words:** BIM; Complex Geology; Pile Foundation Engineering; Foundation Pit Engineering