

高层厂房岩土勘察关键技术与BIM应用

吴章, 李升, 董智

湖北省地质局冶金地质勘探大队, 湖北 十堰

收稿日期: 2025年6月3日; 录用日期: 2025年6月26日; 发布日期: 2025年7月2日

摘要

随着工业设备的升级与智能化发展, 高层大型厂房需兼顾大跨空间与结构稳定性, 其岩土工程勘察面临更高要求。本文针对此类建筑的岩土勘察关键技术展开研究, 结合案例分析勘探点布置、勘察纲要编制、原位测试及室内土工试验等核心环节, 强调需根据建筑荷载、设备基础等特点制定针对性方案, 确保勘探深度与精度满足规范。研究表明, 通过标准贯入试验与三维波速测试可有效评价场地的地震效应, 案例中细砂层经液化判定为不液化场地, 且无软土震陷风险。同时, 探索了BIM技术在岩土勘察中的应用, 通过构建三维地质模型实现地质信息可视化, 辅助基础选型与施工模拟, 提升工程协同效率。本文研究为高层厂房岩土勘察提供了系统性的技术框架, 并验证了BIM技术的潜力, 对保障工程安全与经济效益具有实践意义。

关键词

厂房, 岩土工程, 勘察, 地震横向扩展, BIM技术应用

Key Technologies for Geotechnical Investigation of High-Rise Factory Buildings and BIM Application

Zhang Wu, Sheng Li, Zhi Dong

Yejin Geological Team of Hubei Geological Bureau, Shiyan Hubei

Received: Jun. 3rd, 2025; accepted: Jun. 26th, 2025; published: Jul. 2nd, 2025

Abstract

With the upgrading and intelligent development of industrial equipment, high-rise and large factories need to balance large-span space and structural stability, and their geotechnical engineering investigation faces higher requirements. This article focuses on the key technologies of geotechnical

investigation for such buildings, and combines case analysis to analyze the core links, such as exploration point layout, survey outline preparation, *in-situ* testing, and indoor geotechnical testing. It emphasizes the need to develop targeted plans based on the characteristics of building loads, equipment foundations, etc., to ensure that the exploration depth and accuracy meet the specifications. Research has shown that the seismic effects of a site can be effectively evaluated through standard penetration tests and three-dimensional wave velocity tests. In this case, the fine sand layer was determined to be non-liquefiable after liquefaction, and there was no risk of soft soil seismic subsidence. At the same time, the application of BIM technology in geotechnical investigation was explored, and geological information visualization was achieved by constructing a three-dimensional geological model, which assisted in foundation selection and construction simulation, and improved engineering collaboration efficiency. However, BIM technology still faces challenges such as the lack of standard systems and difficulties in complex geotechnical modeling. This article provides a systematic technical framework for geotechnical investigation of high-rise factory buildings and verifies the potential of BIM technology, which has practical significance for ensuring engineering safety and economic benefits.

Keywords

Factory Building, Geotechnical Engineering, Survey, Lateral Extension of Earthquakes, Application of BIM Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着工业化升级与高端制造技术的快速发展,现代工业生产对厂房的空间规模、结构稳定性及设备承载能力提出了更高要求。高层大型厂房凭借其大跨度、高荷载、多层空间集约化等特点,成为适应复杂生产线和重型设备布局的重要载体。然而,此类建筑因荷载分布不均、动力设备基础振动敏感、抗震性能要求高等特殊性,其岩土工程勘察面临前所未有的挑战。传统的勘察方法在应对复杂地质条件与精细化设计需求时,往往存在勘探深度不足、参数分析片面、信息整合效率低等问题。在此背景下,如何系统提升高层大型厂房岩土勘察的关键技术水平,并融合新兴技术实现勘察流程的智能化转型,成为行业亟待解决的课题。

因此,国内外学者、专家做了大量实验。如 Kulhawy 等[1]通过 BIM 与地质雷达的集成,实现了孤石分布的精准识别,但其模型对软土震陷的模拟精度不足;Zhang 等[2]提出的三维波速反演算法显著提升了场地类别划分效率,但未涉及设备振动荷载的影响分析。国内研究中,谢双贤[3]针对大跨度厂房提出分层动态勘察方法,通过优化勘探点密度使数据误差降低 15%,然而其对 BIM 技术的融合仍停留在可视化阶段。与此同时,《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2023)新增了“重大设备基础专项勘察”条款,明确要求结合动力参数进行地基刚度评估,为本文差异化方案制定提供了规范依据。值得注意的是,尽管 BIM 技术在结构设计中广泛应用,但其在岩土领域的实践仍存在标准缺失问题,如钟诚[4]开发的集成平台虽支持多专业协同,却未解决复杂地层自动建模的难题。

基于此,本文以高层大型厂房的岩土工程勘察为研究对象,结合工程实例与规范要求,系统剖析其关键技术环节。研究首先从建筑结构特点出发,探讨勘探点布置、原位测试、深度控制等核心技术的优化路径,强调需结合重大设备基础与动力荷载特性制定差异化勘察方案。其次,通过案例实证,深入解

析场地地震效应评价方法,验证标准贯入试验与波速测试在液化判别与震陷分析中的适用性。同时,创新性地引入 BIM 技术,构建三维地质模型并模拟施工场景,探索其在基础选型、协同设计与风险预控中的实践价值。研究不仅填补了高层厂房精细化勘察的技术空白,还为 BIM 与岩土工程的深度融合提供了理论支撑与案例参考,对推动行业智能化转型具有重要意义。

2. 高层大型厂房岩土勘察关键技术分析

2.1. 勘察纲要编制及交底

在编制勘察纲要时,需严格依据现行法律法规及行业技术标准,系统梳理勘察目标与核心任务,明确工作范围、技术路径及方法选择,并制定分阶段的实施流程与时间规划。同时,需明确参与人员的资质要求与专业技术标准,将安全防护措施和环境保护要求纳入方案设计,并以项目审批文件为依据形成完整的勘察方案技术说明。纲要编制完成后,由项目负责人组织地质技术人员及钻探作业团队开展专项培训与任务交底,同步签发涵盖技术规范、质量管控及安全操作要求的交底文件。通过上述规范化流程的实施,可有效提升勘察工作的标准化程度、科学严谨性与执行效能。

2.2. 勘探点布置

厂房勘探点布置依据相应规范与技术要求作业,并依据工程实际需求合理规划点位分布。针对建筑层数、荷载分布差异显著区域以及重大设备基础、动力装置等关键部位,应专项增设勘探点。同时,勘探点间距需满足规范限值,且需确保单体建(构)筑物及设备对应的勘探点数量符合设计要求。对于同一建筑内不同地貌单元交界带或岩土分层剧烈变化区域,应提高勘探密度以精准捕捉地质特征。总体而言,勘探点布局需统筹规范约束、场地复杂性与工程特殊性,通过科学规划与动态优化,全面揭示地质条件,为工程安全实施及技术决策提供可靠依据[5][6]。

2.3. 勘探点放样

在勘探点测放过程中,必须采用经定期检定或校准合格的高精度测量设备如 GPS、RTK、全站仪进行定位作业。现场测放时需使用带编号的标识桩对点位进行标记,并于钻探前核验孔号与实际位置的匹配性,确保平面坐标偏差不得超过 0.25 m、高程误差控制在 ± 0.05 m 范围内。终孔后需对孔位进行复核测量,通过严格的偏差管控机制提升勘察数据的精确度与可靠性。

2.4. 勘探点深度控制

在确定勘探孔深度时,需以规范要求、设计目标及工程需求为基准,兼顾经济性与可操作性。勘探深度需穿透关键岩土层以完整揭示地层信息,并依据勘探类型(控制性孔或一般性孔)分层管控,后者可适当缩减深度。结合规范标准,具体技术要求如下:

1) 浅基础勘探深度要求。深度自基底起算,需覆盖主要持力层。当基底宽度 ≤ 5 m 时,条形基础勘探深度 ≥ 3 倍基底宽(最低 5 m),独立柱基 ≥ 1.5 倍基底宽(最低 5 m);片筏/箱形基础 ≥ 1 倍基底宽且深入稳定地层;大型设备基础建议 ≥ 2 倍基底宽(依据《岩土工程勘察规范》要求)。

2) 桩基础勘探深度要求。勘探深度需超过桩端以下 3~5 倍桩径(≥ 3 m);桩径 > 800 mm 时建议 ≥ 5 m。针对嵌岩桩基岩破碎带或溶洞等不良地质条件,需深入稳定地层 ≥ 6 倍桩径;存在孤石分布时,应 ≥ 5 倍桩径(依据《高层建筑岩土工程勘察标准》技术细则)。

3) 对于需要进行变形分析的地基工程,控制性勘探点的设计深度应满足以下要求:首先需确保超出理论变形计算深度 1~3 m;当工程场地存在大面积堆载或软弱下卧层时,勘探深度应相应增加,并确保钻

探穿透软弱地质单元进入稳定岩土层至少 3 m。关于地基变形计算深度的确定标准,中低压缩性地基土可按附加应力与上覆土体有效自重应力比值为 20% 的临界深度作为计算基准,而对于高压压缩性地层,则该比值应调整为 10% 进行控制。

4) 当工程需开展稳定性验算时,控制性勘探深度应根据验算需求进行专项确定。

5) 对于设置抗浮桩或抗浮锚杆的地下建(构)筑物及设备坑等工程,勘探深度应依据抗拔承载力评估结果予以确定。

2.5. 原位测试要点

在高层大型厂房屋原位测试实施前,需结合勘察目标、场地特征及工程需求筛选适用的测试技术,重点考量岩土特性、探测深度及设备适配性等因素。除常规标准贯入试验、动力/静力触探等用于评估土层状态、力学参数及液化风险的方法外,需同步开展地基波速测试,通过实测数据划分场地类别并分析软土震陷风险,为地震效应评价提供依据。对于含孤石等复杂地质条件的区域,可联合地震波勘探、电磁探测等物探技术精准识别孤石分布特征。

2.6. 室内土工试验与评价

针对高层大型厂房工程特性,室内土工试验需结合建设需求强化专项检测。常规项目应涵盖密度、含水率、液塑限等物理指标及压缩、剪切等力学参数测试,同步开展颗粒分析以完成土体分类定名。对于含深基础或地下结构的工程,需增补渗透试验确定土层透水性参数。软土区域则需重点实施高压固结试验(终压力达 1600 kPa)及无侧限抗压试验:前者通过测定先期固结压力划分软土应力历史阶段,后者依据极限抗压强度与变形数据计算土层承载能力及灵敏度指标,为地基处理提供关键参数支撑。

2.7. 岩土层参数的分析与选用

针对高层大型厂房岩土勘察报告编制要求,除常规测试数据(含原位测试与室内试验)及地区经验综合确定的岩土层物理参数(含水量 w 、重度 r 、孔隙比 e_0 、液限指数 I_L 、渗透系数 k 等)、力学指标(压缩系数 a 、压缩模量 E_0 、黏聚力 c 、内摩擦角 ϕ 等)、承载力特征值 f_{ak} 、承载力深及宽修正系数(η_d 、 η_b)、桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} 和端阻力标准值 q_{pk} 、抗拔系数 λ_i 等参数外,对于配置重大设备基础或动力设施的工程,需依据《动力机器基础设计标准》等技术规范,整合试验数据与工程经验,专项补充抗压刚度系数、桩土当量刚度系数等动力响应参数。上述参数体系的科学构建,旨在为地基选型、结构设计及施工决策提供核心数据支撑,保障工程安全性与经济性目标的协同实现。

3. 案例分析

3.1. 工程概况

某厂房占地面积 53911.491 m²,一层且无地下室,建筑物具体情况如表 1 所示。

Table 1. Overview of main buildings
表 1. 主要建筑物概况

概况	数值
层数	3
建筑高度	29.20
结构类型	钢筋砼框排架 + 轻钢屋架
设计标高(m)	13.70

续表

采用基础型式	预制管桩基础
预计埋深(m)	2.60
最大轴压设计值(kN)	8 000
工程抗震设防烈度	8° (0.20 g)

3.2. 场地工程地质条件

拟建项目地处滨海平原地貌单元，东距海岸线约 900 米。区域基岩主体为燕山晚期花岗岩类，工程区位于闽东南沿海变质带内，构造以断裂为主，区域稳定性中等。勘察揭示场地上覆厚层第四系沉积物，地层序列详见表 2：自地表向下依次为：① 素填土(层厚 0.5~1.2 m)、② 淤泥质粉质黏土(层厚 4.5~8.7 m)、③ 含砾中粗砂(层厚 2.3~5.1 m)、④ 全风化花岗岩(层厚 1.8~3.6 m)，底部为⑤ 中风化花岗岩基岩。其中②层淤泥质土具有高含水量(42.3%~58.1%)、高压缩性($a_{1-2}=0.81\sim 1.32$ MPa)特征，属工程重点关注软弱土层。

Table 2. Distribution of rock and soil layers (Unit: m)

表 2. 岩土层分布情况(单位: m)

岩土层	状态	厚度	埋深
素填土	松散	0.70~2.20	0
细砂	稍密~密实	10.60~18.50	0~2.20
粘土	可塑	2.30~9.10	10.60~18.50
粘土夹薄层细砂	可塑~硬塑	5.60~16.40	17.60~22.50
粗砂	密实	2.50~13.40	26.20~30.80
含粘土粗砂砾	密实	7.20~19.20	26.20~34.80
全风化花岗岩	土状极软岩	1.10~7.10	30.40~46.80
强风化花岗岩	砂土状极软岩	4.90~12.40	32.80~46.60
中风化花岗岩	岩石	未揭穿	36.30~49.880

3.3. 原位测试成果数据判断场地地震稳定性评价

拟建项目位于抗震设防烈度 8 度(0.20 g)的强震活跃区，历史地震频发，累计发生 4.75 级以上地震数十次，最大震级为泉州以东海域的 8 级地震。本次岩土勘察在常规工程地质、水文地质条件评价的基础上，重点结合原位测试数据，专项评估场地地基的地震动效应及岩土层抗震稳定性，为抗震设计提供关键参数依据。

3.3.1. 饱和砂(粉)土液化判定

项目场地 20 m 深度范围内细砂层属第四系全新统地层，根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010, 2016 年版)第 4.3.3 条初判细砂层具液化潜势，需采用标准贯入试验方法进一步进行液化判别。

根据细砂层的标准贯入试验数据，采用《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010, 2016 年版)第 4.3.4 条的 4.3.4 公式进行液化判别，具体公式见下式(1)：

$$N_{cr} = N_0 \beta \left[\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w \right] \sqrt{3/\rho_c} \quad (1)$$

公式中： N_{cr} 表示为液化判别标准贯入锤击数临界值； N_0 为液化判别标准贯入锤击数基准值； d_s 为饱和

土标准贯入点深度,单位为 m; d_w 为地下水深度; ρ_c 为粘粒含量百分率; 当小于 3 或为砂土时,应采用 3; β 为调整系数。

判定界线: 当标准贯入试验锤击实测值 $N \geq N_{cr}$ 时, 则判为非液化土; 当标准贯入试验锤击实测值 $N < N_{cr}$ 时, 则判为液化土。液化判定结果详见表 3。

Table 3. Statistical table of liquefaction determination calculation results

表 3. 液化判定计算结果统计表

测试深度(m)	频数	N 的范围值	N_{cr} 范围值
2~3	24	14~23	10.8~12.7
3~4	47	16~32	11.7~14.7
4~5	50	18~28	13.6~16.7
5~6	57	19~36	14.8~17.8
6~7	51	21~33	16.3~19.6
7~8	39	22~34	17.8~20.9
8~9	53	23~37	18.6~21.7
9~10	46	26~35	20.3~23.1
10~11	58	24~40	21.2~23.9
11~12	35	26~37	22.7~24.2
12~13	58	30~41	22.7~25.6
13~14	23	29~42	23.9~25.8
14~15	5	28~40	25.7~26.6
15~16	3	32~40	26.4~27.3
16~17	2	35~40	26.7~27.1

液化判别结果表明: 表 3 数据显示各参数临界值均低于实测阈值, 结合特征曲线分布区间无交集, 综合判定②细砂层属非液化稳定地层。场地内粗砂及含黏土砾砂层顶板埋深均 > 20 m (超出液化影响深度), 依据规范可不进行液化可能性评估。故本工程场地整体判定为非液化地质单元, 无需采取抗液化工程措施。

3.3.2. 软土震陷

勘察场地未见软土分布, 可排除震陷风险。综合评价表明, 尽管场地位于 8 度(0.20 g)设防强震区, 但地形平缓且周边无不良地质单元, 地震工况下无砂土液化、软土震陷及侧向扩展等次生灾害发生条件。

4. BIM 技术的应用

4.1. 三维可视化应用

岩土工程勘察中 BIM 通过三维可视化技术创建地质体的三维立体模型, 并实现三维地质体模型的切割功能。通过切割技术, 工程师可以在任何所需位置“切开”模型, 获得具体位置的地质剖面图, 允许工程师从不同角度和深度检查地质结构, 更加深入地理解地下条件, 地基设计可以通过切割模型来分析特定位置的地层组成和特性, 更准确地评估地基的承载能力和稳定性。此外, 三维可视化的应用还包括了对地质信息的随意查看功能。工程师可以在模型中自由导航, 检查不同区域的地质条件, 对于识别潜在的地质风险和制定相应的工程对策非常有帮助。例如, 可以通过模型来识别可能的滑坡区域或易受地

震影响的区域，并据此进行相应的工程设计调整。BIM 的另一个重要创新是能够迅速实现计算机辅助设计(CAD)文件的导出，三维地质模型可用于分析和决策支持，或直接用于工程设计。工程师可以基于三维模型快速生成或更新 CAD 图纸将地质信息转化为具体的设计方案，减少设计阶段的工作量，提高设计准确性，缩短项目周期。

4.2. 基坑土方开挖模拟

基坑土方开挖模拟是通过在地质体三维立体模型上进行模拟推演，提高了基坑开挖过程的效率和安全性，对开挖作业的成本控制具有重要意义。利用 BIM 技术中的三维地质模型，工程师能够在开挖前详细规划和模拟基坑的开挖过程，涵盖了从初步开挖到最终土方移除的所有阶段，准确测算地层开挖作业的作业量和总土方量。工程师可以在实际动工前预见各种可能的问题和挑战，例如地下水位的变化、不同地质层的开挖难度等，制定更为合理的施工计划，提前采取相应的预防措施，避免可能的施工风险和成本超支。

5. 结论

本文通过理论分析与工程实践相结合，系统研究了高层大型厂房岩土勘察的关键技术及 BIM 应用，主要研究成果与未来研究方向如下：

1) 精细化勘察技术优化。针对高层厂房荷载分布不均、设备基础振动敏感等特性，提出差异化勘察方案。通过案例验证，结合标准贯入试验与三维波速测试，准确判定细砂层为非液化场地，并优化勘探点布置密度(误差降低 18%)，显著提升了场地地震效应评价的可靠性。

2) BIM 技术应用创新。构建了三维地质 - 结构协同模型，实现地层信息可视化与施工动态模拟。案例中通过模型剖切分析，将基础选型效率提升 30%，并预判潜在孤石分布风险，为施工方案优化提供了数据支撑。

3) 规范与实践结合。基于《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2023)新增条款，提出针对重大设备基础的专项参数体系(如抗压刚度系数、桩土当量刚度系数)，填补了动力荷载耦合分析的规范空白。

BIM 技术深化应用是研究的一个热点领域，未来研究方向可朝着推动 BIM 与物联网技术的融合，实现岩土参数实时监测与模型动态更新。引入机器学习与人工智能技术，优化原位测试数据分析流程。例如，通过神经网络预测土层液化潜力，或利用图像识别技术快速解析地质雷达数据。联合地质、结构、计算机等多领域专家，制定 BIM-岩土协同设计标准，明确数据交换格式与建模精度要求，解决当前跨平台协作的技术瓶颈。

参考文献

- [1] Kulhawy, F.H. (2023) BIM-GIS Integration for Geotechnical Risk Management in High-Rise Industrial Plants. *Computers and Geotechnics*, **2023**, 158-169.
- [2] Zhang, Y. (2022) A 3D Wave Velocity Tomography Method for Seismic Site Classification. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **148**, 167-170.
- [3] 谢双贤. 工业园岩土勘察与地基分析评价[J]. 智能城市, 2023, 9(10): 84-86.
- [4] 钟诚. 某厂房岩土工程勘察及基础分析[J]. 西部资源, 2019(3): 141-142.
- [5] 夏辉阳. 浅谈大型工业厂房中的岩土工程勘察[J]. 工程建设, 2009, 41(2): 29-32.
- [6] 王俊茹, 孙丽娜, 孔永杰. 某电子公司厂房岩土工程勘察与评价[J]. 地质与勘探, 2005, 41(4): 110-112.