基于复杂地质条件的高层建筑地质勘察技术

吴瀚
云南开放大学，云南 昆明 650000
DOI: 10.61369/TACS.2026080018

摘　　要： 在我国，不同地域的地质条件相差极大，甚至很多城市内的不同区域也是如此。当然多数地质情况复杂，存在软土夹层、岩溶孔洞、断层破碎带、地下水富集等问题，明显制约着高层建筑工程质量与施工安全。地质勘察作为衔接场地条件与工程设计施工的关键纽带，在复杂地质环境中，精准、全面的勘察工作能够有效规避地质风险，为基础方案优化、施工工艺调整提供数据支撑。基于此，本文结合复杂地质环境特征，系统化探究适配高层建筑的地质勘察核心技术，并结合后注浆施工工艺优化勘察体系，为提升高层建筑地质勘察的科学性与实用性提供参考。

关 键 词： 复杂地质条件；高层建筑；地质勘察；动态监测

Geological Survey Technology for High-Rise Buildings Based on Complex Geological Conditions

Wu Han
Yunnan Open University, Kunming, Yunnan 650000

Abstract: In China, geological conditions vary greatly across different regions, and even among different areas within many cities. Most geological conditions are complex, with problems such as soft soil interlayers, karst caves, fault fracture zones, and groundwater enrichment, which significantly restrict the engineering quality and construction safety of high-rise buildings. As a key link connecting site conditions with engineering design and construction, accurate and comprehensive geological surveys in complex geological environments can effectively avoid geological risks and provide data support for the optimization of foundation schemes and the adjustment of construction technologies. Based on this, combined with the characteristics of complex geological environments, this paper systematically explores the core geological survey technologies suitable for high-rise buildings, and optimizes the survey system by integrating post-grouting construction technology. It aims to provide reference for improving the scientificity and practicality of geological surveys for high-rise buildings.

Keywords: complex geological conditions; high-rise buildings; geological survey; dynamic monitoring

一、复杂地质环境特征与高层建筑勘察工作必要性

复杂地质条件主要是指软土、岩溶、坡积残积土、断层破碎带、砂土液化等特殊场地，具有地层分布不均、岩土性质差别大、地质构造复杂、水文条件多变等特点。地层多有夹层、空洞、软硬相间等现象，土层承载力离散性大，地下水多呈多层分布、动态变化，且常伴滑坡、塌陷、渗透变形等地质灾害隐患，地质条件的不确定性比常规场地高出很多。高层建筑自重荷载、竖向应力和倾覆力矩大，对地基整体稳定性和沉降变形均匀性要求很高，如果地基有隐蔽的地质缺陷，很容易造成整体倾斜、沉降超标等重大工程安全事故。传统的地质勘察方式大多适合于地层均匀的常规场地，而在复杂的地质环境中存在着勘察范围小、参数采集片面、隐患识别不到位等问题[1]。因此开展有针对性、精细化的专项地质勘察工作，可以全面掌握场地的地质结构、岩土参数和水文情况，准确识别不良地质隐患，为高层建筑基础选型、桩基设计、施工方案编制等提供可靠的依据，是防范地质风险、保证工程长期安全的基础性工作。

二、复杂地质条件下高层建筑地质勘察工作内容

复杂地质条件下的高层建筑地质勘察要打破常规勘察的单一探测方式，从地层结构、水文环境、地质隐患三个方面入手，对工程建设所需的全部地质参数进行全方位、精细化的勘察。地层条件专项勘察为核心的基础工作，主要探明场地土层分布、岩土物理力学性质、岩层埋深和风化程度，准确确定软土、软弱夹层、破碎带的分布范围和厚度，测定土层承载力、压缩模量等重要参数，给地基基础设计提供主要的数据支持。地下水环境勘察主要针对地下水类型、埋藏深度、水位季节变化规律、渗透系数、水质腐蚀性展开，剖析地下水对桩基施工、基坑开挖、地基耐久性产生的不良影响，预估涌水、渗透破坏等施工风险[2-3]。不

基金项目：云南省教育厅科学研究基金项目“复杂地质条件下桩端后注浆技术的实践应用研究”（2025J2044）。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

良地质隐患勘察排查针对岩溶孔洞、地下暗河、断层、滑坡体、砂土液化等隐蔽病害，采用定点探测和全域排查相结合的方式，确定隐患的位置、规模、发育情况，评价隐患对高层建筑地基稳定性的危害程度，为后续隐患治理、工艺改进提供准确的依据，从各方面保证勘察成果的完整性和准确性。

三、适配复杂地质的高层建筑勘察关键技术

针对复杂地质条件不确定性强、隐蔽缺陷多的特点，高层建筑地质勘察需构建多元化、高精度的技术体系，核心包含三类关键勘察技术，适配复杂场地勘察需求。一是原位测试勘察技术，在不破坏原始地层结构的情况下进行现场测试，主要包括静力触探、标准贯入、重型动力触探等常用方法，可以准确得到原位土层的承载力、密实度、变形特性等真实的参数，避免取样扰动造成的数据偏差，适用于软土、砂土、破碎地层等复杂的场地，保证原始地质数据的真实性[4]。二是室内土工试验技术，从现场原状岩土中采集样品，在实验室做含水率、孔隙比、压缩性、抗剪强度等指标检测，细化岩土物理力学参数，弥补原位测试参数维度单一的不足，给地基沉降计算、基础承载力精确验算提供精细化的数据支持。三是动态监测配套勘察技术，该技术包含勘察和施工全过程，对场地水位波动、地层移动、岩土应力起伏等实施实时监测，获取繁杂地质实时变化规律，尽早发现隐藏地质问题，把静态勘察数据同动态地质反应结合起来，从而优化复杂场地勘察的全面程度和准确性。

技术类别	细分技术 / 手段	适用场地	核心作用
原位测试勘察技术	静力触探、标准贯入、重型动力触探	软土、砂土、破碎地层等复杂场地	不扰动原始地层，获取土层承载力、密实度、变形特性等原位真实参数
室内土工试验技术	含水率、孔隙比、压缩性、抗剪强度检测	各类岩土取样样本	细化岩土物理力学指标，补充原位测试数据，支撑地基计算与承载力验算
动态监测配套勘察技术	水位、地层位移、岩土应力实时监测	全施工周期复杂场地	掌握地质动态变化，结合静态数据提升勘察完整性与准确性

四、结合后注浆工艺的勘察技术优化路径

（一）基于浆液扩散规律细化勘察指标

桩基后注浆工艺是提高复杂地质场地高层建筑桩基承载力、减小地基沉降的关键施工技术，浆液扩散范围、固结效果直接受场地地质条件影响，传统常规勘察指标精度不高、维度单一，不能满足后注浆工艺精细化设计要求，所以需要根据浆液扩散规律对勘察指标进行全方位细化优化。复杂岩溶、软土、破碎地层中浆液扩散受土层孔隙率、渗透性、地层密实度、地下水流速等影响，常规勘察只测基础岩土参数，不能预知浆液扩散路径及固结质量[5]。以昆明某岩溶地貌高层建筑项目为例，场地地层交错分布软土夹层与溶洞，前期常规勘察仅获取基础承载力数据，后补充专项精细化勘察：测得浅层软土孔隙率均值 42.6%、渗透系数2.1×10^{-4}cm/s，岩溶裂隙地层孔隙率达 28.3%，场地地下水平均流速 0.32m/h、水位日波动幅度 0.8~1.2m；同时对 12 处大中型溶洞开展加密探测，明确溶洞最大高度 3.6m、水平延伸长度 5.2m。依托这组细化参数，技术人员精准预判了不同区域浆液渗透速率、填充范围，有效规避了地下水冲刷导致的浆液流失问题，注浆后地层固结完整性较传统勘察方案提升 27%。因此勘察工作要冲破传统的指标体系，有针对性地增添专项勘察检测内容，着重细化地层孔隙结构参数，准确测定不同土层、岩层的孔隙率、孔径分布、裂隙发育情况，明晰松散土层、破碎岩层的空隙特点，给预估浆液渗透、填充范围赋予支撑。经过指标细化，创建出适合后注浆施工的精细化勘察指标体系，彻底解决传统勘察参数笼统、不能适应注浆工艺的问题，为之后注浆参数精准设计提供坚实的资料基础。

（二）以勘察成果指导注浆参数设计

传统的注浆参数设计大多依靠施工经验，没有考虑到场地地质的不同而进行有针对性的调整，容易造成注浆压力不够导致浆液填充不密实、注浆压力过大导致地层劈裂变形、注浆量不够导致空洞填充不全、浆液浪费等种种问题，严重影响到桩基加固的效果。滇中地区某超高层项目场地分布多层软土与断层破碎带，结合精细化勘察结果分区设定注浆参数：软土区域采用 0.6~0.8MPa 低压慢速注浆，破碎岩层与岩溶裂隙区域选用 2.2~2.5MPa 高压注浆；依据探测得出的空洞与裂隙总体积，结合地下水损耗系数 1.15 核算单孔理论注浆量为 8.2m³，同时针对腐蚀性地下水将浆液水灰比调整为 0.55，最终桩基检测合格率达到 100%，单桩承载力较经验式配参方案提升 18%。依靠精细化勘察成果，可以对注浆参数进行科学化、定制化的设计，大大提高工艺的适应性。根据勘察探明的地层密实度、岩土强度、裂隙发育情况来准确确定注浆压力参数，对软土、松散土层等低强度地层采用低压慢速注浆方式，防止高压扰动地层造成地基变形，对破碎岩层、岩溶裂隙等坚硬空隙地层采用高压注浆方式，保证浆液充分渗透填充空隙[6]。其次，根据勘察探明的空洞体积、裂隙大小、土层孔隙总量来准确计算理论注浆量，结合地下水发育情况预留损耗系数，杜绝注浆量不足或者过度注浆的问题。根据岩土腐蚀性、地下水水质勘察数据，改善浆液水灰比及浆液材质，对腐蚀性较强的地下水环境，改变浆液配比，提高固结体的抗腐蚀性能。另外根据不良地质隐患分布的位置，准确布置注浆点位和注浆深度，对岩溶空洞、软弱夹层等薄弱部位进行定点强化注浆，达到精准加固的目的，完全克服了经验式施工的缺点，充分发挥后注浆工艺地基加固的作用。

（三）全周期动态勘察迭代优化

复杂地质场地存在地质条件动态变化、隐蔽隐患多发等特性，静态前期勘察成果不能完全涵盖施工全过程的地质变化，而后注浆施工会扰动原地质条件，进而影响场地地质条件，所以要创建全周期动态勘察迭代优化体系，使勘察同施工深度融合、同

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

步更新。全周期动态勘察冲破了传统前期一次性勘察、后期无更新的模式，把勘察工作拓展到施工准备、桩基施工、后注浆施工、工程验收全过程，达成地质数据的动态收集、剖析并不断改良。施工准备阶段以初始勘察成果为基础，进行基础方案、注浆方案的设计，对场地进行复勘，核实前期地层、水文数据，修正勘察误差，找到前期遗漏的隐蔽地质隐患。在桩基成孔施工期间，同步实施动态勘察，即时记载成孔进程中土层变动，裂隙显现，涌水塌孔等状况，更新地层分布参数，迅速改变注浆施工方案[7-9]。在后注浆施工时，通过浆液压力、浆液流量、浆液扩散状况等参数的实时监测，并联系场地的动态水文及地层变形监测数据，从而对地层对于注浆施工的响应特点实施动态剖析，进而即时改善注浆参数。施工结束后进行后期勘察检测，采用钻芯检测、承载力检测等手段对注浆固结效果进行验证，将勘察预判数据和实际施工效果进行对比，不断改进勘察指标和参数预判模型。采用全周期动态勘察迭代的方式，可以较好地解决在复杂的地质条件下前期勘察和施工实际相脱离的问题，不断修正勘察成果，保证后注浆施工全过程的科学性和准确性，并且可以为类似复杂地质工程的勘察和施工提供数据积累和技术参考[10]。

五、结论

总而言之，城市化加速了高层建筑建设规模扩大，大量建筑工程选址逐步向山地、软土、岩溶等复杂地质区域延伸，此类场地地层结构杂乱、地下水活跃、不良地质隐患多发，对高层建筑基础稳定性、沉降控制及施工安全造成极大威胁。地质勘察作为高层建筑工程建设的前置核心工序，勘察成果的精准度直接决定基础设计、施工工艺选型及工程安全管控效果。为解决复杂地质条件下传统勘察技术精度不足、数据片面、适配性差等问题，有必要适配复杂地质的精细化勘察技术，精准探明场地地质条件，科学指导后注浆工艺优化，大幅提升桩基加固效果与地基整体稳定性。

参考文献

[1] 李兴龙 . 复杂地质条件下建筑软土地基勘察技术研究 [J]. 中国建筑金属结构 ,2025,24(16):91-93.

[2] 王莹 . 遥感技术在高层建筑工程地质勘察中的应用研究 [J]. 绿色建造与智能建筑 ,2025,(2):78-81.

[3] 柯东节 . 岩土工程勘察在复杂地质条件下的技术应用分析 [J]. 中国住宅设施 ,2024,(11):96-98.

[4] 王培星 . 探究复杂地质条件下岩土工程勘察技术的运用 [J]. 中国住宅设施 ,2023,(11):49-51.

[5] 丁以青 . 高层建筑中的岩土工程勘察分析 [J]. 四川建材 ,2023,49(8):42-44.

[6] 许齐心 . 高层建筑岩土勘察及地基处理技术的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版),2022,(25):121-123.

[7] 熊磊 . 高层建筑岩土工程勘察的难点及质量提升对策 [J]. 房地产世界 ,2022,(8):152-154.

[8] 王娟 , 吴业聃 , 谭希鹏 . 复杂地质条件下岩土工程勘察设计方案 [J]. 科技创新导报 ,2021,18(30):98-100.

[9] 木盼盼 . 复杂地质条件下岩土工程勘察中的水文地质问题研究 [J]. 世界有色金属 ,2021,(6):196-197.

[10] 李森 . 高层建筑岩土工程勘察工作的影响因素及要点 [J]. 工程技术研究 ,2020,5(7):158-159.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.