

复杂地质条件下深基坑支护施工技术与风险防控研究

吴世伟

中船海鑫建设工程（北京）有限公司，北京 100121

DOI:10.61369/ADA.2026010005

摘 要： 随着城市地下空间开发不断深入，复杂地质条件下的深基坑工程日益增多，其支护施工技术与风险防控成为工程建设的关键环节。本文围绕复杂地质条件下深基坑支护施工技术与风险防控展开研究，首先从针对性支护结构选型、精细化施工过程控制以及动态监测与防护协同三个方面分析了深基坑支护施工的核心技术路径，以提升支护体系的适应性与稳定性。其次，从前期勘察与风险预判、施工过程精细化管理以及动态监测与实时预警三个维度探讨了风险防控策略，以降低复杂地质环境对施工安全的影响。研究结果可为类似工程提供技术参考与实践借鉴，推动深基坑工程在复杂条件下的安全、高效建设。

关 键 词： 复杂地质；深基坑支护施工技术；风险防控

Research on Construction Technology and Risk Prevention of Deep Foundation Pit Support under Complex Geological Conditions

Wu Shiwei

CSIC Haixin Construction Engineering (Beijing) Co., LTD. Beijing 100121

Abstract： With the continuous development of urban underground space, deep foundation pit projects under complex geological conditions are becoming increasingly common, making support construction technology and risk prevention critical components of engineering projects. This paper focuses on the research of deep foundation pit support construction technology and risk prevention under complex geological conditions. It first analyzes the core technical approaches of deep foundation pit support construction from three aspects: targeted support structure selection, refined construction process control, and coordinated dynamic monitoring and protection, aiming to enhance the adaptability and stability of the support system. Secondly, the study explores risk prevention strategies from three dimensions: preliminary investigation and risk assessment, refined construction process control, and dynamic monitoring with real-time alerts, aiming to mitigate the impact of complex geological conditions on construction safety. The findings provide technical references and practical insights for similar projects, facilitating safe and efficient deep foundation pit construction under challenging conditions.

Keywords： complex geology; deep foundation pit support construction technology; risk prevention and control

随着城市化进程不断加快，深基坑工程在复杂地质条件下日益增多，施工难度与风险显著提升。软弱土层、地下水富集、周边建（构）筑物密集等因素，对支护体系的安全性和稳定性提出了更高要求。因此，系统研究深基坑支护施工技术与风险防控措施，对于保障工程安全、减少环境影响、提高施工效率具有重要意义。本文围绕复杂地质条件下的支护结构选型、施工工艺优化及风险识别与控制展开探讨，以为类似工程提供参考。

一、复杂地质条件下深基坑支护施工技术

（一）针对性支护结构选型技术

支护结构的合理性是应对复杂地质的基础，需摒弃单一方案，采用“主支护+辅助加固”的复合模式，适配不同地质特性。对于软土地层，因其承载力低、沉降量大，优先选用排桩+

锚索组合支护，排桩选用钻孔灌注桩或沉管灌注桩，形成连续抗侧力屏障，锚索深入稳定地层提供拉力，同时配合水泥搅拌桩帷幕阻断地下水渗透；针对岩溶、破碎带地层，采用地下连续墙+注浆加固方案，地下连续墙兼具挡土、截水双重功能，能适应岩层裂隙发育特点，注浆则采用水泥-水玻璃双液浆，填充岩溶孔洞及破碎岩体间隙，提升地层整体性。对于富水砂层，选用钢板

作者简介：吴世伟（1984.08-），男，满族，辽宁省葫芦岛市人，学历：本科，土木工程，职称：中级，工作领域：建筑施工管理。邮箱：812181621@qq.com。

桩支护配合井点降水，钢板桩锁口紧密可有效挡砂截水，井点降水需控制降水速率，避免因水位骤降引发地层沉降。此外，在地质条件极不均匀区域，可采用混合支护形式，如局部岩层区域用锚杆支护，软土区域用搅拌桩复合地基+排桩支护，实现差异化适配。

（二）精细化施工过程控制技术

复杂地质下，施工操作的精细化直接影响支护结构质量和地层稳定性，需重点把控关键工序的施工参数与流程。钻孔施工阶段，针对软土、砂层易塌孔问题，采用泥浆护壁技术，严格控制泥浆比重（1.1–1.3）、黏度（18–22s），钻进速率根据地质情况动态调整，避免过快钻进导致孔壁失稳；在岩层区域钻进时，选用金刚石钻头，采用分级钻进工艺，减少对围岩的扰动。支护结构浇筑阶段，排桩、地下连续墙混凝土浇筑需保证导管埋深（2–6m），防止断桩、夹渣，浇筑完成后及时养护，确保结构强度达标；锚索、锚杆施工时，孔位偏差控制在±50mm内，注浆需饱满，待浆液强度达到设计值的75%后再进行张拉锁定，张拉应力严格按设计要求控制，避免超张拉导致结构变形。同时，施工过程中需做好工序衔接，严禁交叉作业干扰，对每道工序进行质量验收，不合格工序严禁进入下一道流程。

（三）动态监测与防护协同技术

复杂地质条件下深基坑施工风险高，需建立“实时监测+动态调整”的管控体系，及时预警风险并采取防护措施。监测内容涵盖支护结构变形（桩顶位移、墙体沉降）、地层位移（周边土体沉降、水平位移）、地下水水位、锚索拉力、基坑周边建（构）筑物变形等，选用自动化监测设备（如全站仪、测斜仪、水位计），监测频率根据施工阶段调整，基坑开挖阶段每12小时监测一次，变形稳定后可延长至24小时一次，监测数据实时传输至控制中心，若出现数据超预警值情况，立即停止施工。防护措施需与监测结果联动，针对周边土体沉降过大问题，可采用补注浆加固地层；若支护结构位移超标，及时增设临时支撑（如钢支撑），调整开挖顺序，采用分层、分段开挖方式，缩短基坑暴露时间；对于地下水水位异常变化区域，加密降水井点或增设回灌井，防止地下水位失衡引发地质灾害。此外，需划定基坑安全保护区，严禁在保护区内堆载、重型机械碾压，避免加剧地层扰动。

二、复杂地质条件下深基坑支护施工风险防控

（一）前期勘察与风险预防控

风险防控的前提是全面、精准摸清地质工况，复杂地质条件下的勘察工作需突破常规标准，以精细化勘察为核心，避免因勘察疏漏、数据偏差埋下安全隐患，为后续施工方案制定和风险防控提供可靠依据。施工前需委托具备相应资质的勘察单位，开展系统性、全方位的地质勘察工作，摒弃“平均化”勘察模式，针对软土、岩溶、富水砂层、断层破碎带等典型复杂区域，科学加密勘察点位，点位间距相较于常规区域缩短30%–50%，同时根据地层复杂程度适度加深勘察深度，确保穿透不稳定地层，直达下部稳定岩层。勘察过程中需综合运用钻探、物探、原位测试等多种技术手段，精准查明地层纵向与横向分布规律、岩土体物理力

学性质（如黏聚力、内摩擦角、承载力等关键指标）、地下水赋存状态（包括水位标高、补给与排泄路径、水体腐蚀性）及隐蔽地质隐患点位，重点标注岩溶孔洞、断层破碎带、软弱夹层等风险源的具体位置、范围及发育程度。

基于详细勘察数据，组织地质、结构、施工等多专业技术人员开展联合风险评估，采用定性与定量相结合的方法，结合行业规范及类似工程案例，科学划分高、中、低三个风险等级区域。其中高风险区重点聚焦涌水、涌砂、塌孔等突发风险，中风险区关注支护结构变形、地层不均匀沉降，低风险区则侧重施工扰动引发的轻微沉降问题，针对不同风险区域明确核心防控重点及管控阈值。

（二）施工过程精细化管控防控

施工过程是风险防控的核心环节，复杂地质条件下需以工序精细化管控为抓手，将规范操作贯穿施工全流程，通过严控关键工序参数、优化施工组织、强化质量验收，从源头减少风险触发概率，保障支护结构稳定性及地层安全。钻孔施工作为支护结构施工的基础工序，需针对不同地质特性制定差异化操作标准：在软土、砂层等易塌孔区域，严格采用泥浆护壁技术，精准控制泥浆比重在1.1–1.3、黏度18–22s，同时根据钻进速度动态调整泥浆补给量，避免因泥浆性能不达标导致孔壁失稳塌孔；在岩层区域，选用金刚石钻头配合分级钻进工艺，每级钻进深度控制在0.5–1m，钻进过程中匀速推进，减少对围岩的扰动，避免岩层裂隙扩大引发坍塌风险，钻进完成后及时清孔，确保孔底沉渣厚度符合设计要求（不超过50mm）。

支护结构施工质量直接决定基坑稳定性，需强化各环节管控。排桩、地下连续墙混凝土浇筑时，严格控制混凝土坍落度在180–220mm，采用导管法浇筑，确保导管埋深始终维持在2–6m，防止出现断桩、夹渣、露筋等质量问题，浇筑完成后及时覆盖养护，待混凝土强度达到设计值的75%以上方可开展后续工序。锚索、锚杆施工时，孔位偏差控制在±50mm内，钻孔角度误差不超过1°，注浆采用压力注浆工艺，确保浆液饱满填充孔壁间隙，待浆液强度达标后再进行张拉锁定，张拉应力严格按设计要求控制，避免超张拉导致结构变形或锚索、锚杆失效。同时优化施工组织方案，采用分层、分段开挖模式，每层开挖深度不超过2m，分段长度控制在8–10m，开挖完成后及时施工支护结构，缩短基坑暴露时间，严禁交叉作业干扰关键工序，避免因施工衔接不当引发地层位移。

表1 施工过程精细化管控关键数据

项目	控制指标	控制范围/要求
钻孔施工（软土、砂层）	泥浆比重、黏度	比重1.1–1.3，黏度18–22s
钻孔施工（岩层）	分级钻进深度、孔底沉渣厚度	每级0.5–1m，沉渣≤50mm
支护结构施工	混凝土坍落度、导管埋深、开挖参数	坍落度180–220mm；导管埋深2–6m；每层开挖≤2m，分段8–10m

（三）动态监测与实时预防控

复杂地质条件下，深基坑支护施工风险兼具隐蔽性与突发

性，仅靠静态管控难以应对动态变化，需建立“监测－分析－预警－处置”全链条闭环联动机制，以实时精准数据为支撑，实现风险动态管控与提前干预，从源头遏制隐患扩大。监测范围需全面覆盖支护体系、地层环境、周边设施三大核心板块，确保无风险盲区：支护结构层面，重点监测桩顶水平及垂直位移、地下连续墙沉降与墙体应力，精准捕捉结构受力变形趋势；地层面，聚焦周边土体分层沉降、水平位移及深层土体变形，防范地层失稳引发连锁反应；地下水层面，实时监测水位标高、变化速率及水质，规避水位骤变导致的砂层流失、管涌风险，同时同步监测锚索拉力、周边建（构）筑物沉降与裂缝发展、地下管线变形等关键指标，兼顾支护本体与周边环境安全。

设备选型优先采用自动化、高精度设备，提升监测效率与数据可靠性：全站仪用于桩顶位移及周边建筑物变形的毫米级测量，测斜仪植入预设孔位实时捕捉深层土体及墙体倾斜数据，自动水位计全天候采集地下水动态并同步上传，锚索测力计实时反馈拉力变化，所有设备数据通过无线传输模块直达控制中心，实现数据无延迟、无偏差传输。监测频率实行差异化管控，基坑开挖、支护施工等高危阶段每12小时监测一次，数据波动异常时加密至每6小时一次；待变形趋于稳定后，可逐步延长至24小

时一次。控制中心专人值守分析数据，结合地质特性与施工进度预判风险趋势，建立三级预警机制，明确预警值、报警值及应急阈值。若数据达预警值，立即发出警示并加密监测；突破报警值则即刻停工，启动应急流程，技术团队快速排查原因并针对性处置：土体沉降过大时实施补注浆加固，结构位移超标时增设钢支撑临时支护，水位异常时加密降水井点或增设回灌井平衡水位，直至监测数据回归安全范围，经复核验收合格后方可复工，形成全流程管控闭环。

三、结语

复杂地质条件下的深基坑支护施工是一项集技术、管理与风险控制于一体的系统工程。支护结构选型、施工过程控制以及动态监测协同技术的综合应用，是保障基坑稳定的关键。同时，通过前期勘察、施工过程精细化管理和实时预警体系的构建，能够有效降低各类潜在风险。未来，随着城市地下空间开发不断深入，深基坑工程将面临更多挑战，需要进一步加强技术创新与风险防控研究，为工程安全与城市可持续发展提供更可靠的支撑。

参考文献

- [1] 卢海军. 深基坑支护旋挖成孔灌注桩施工技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2024, (20): 74-77.
- [2] 周亚平. 深基坑支护施工中可回收预应力锚索施工技术应用 [J]. 低碳世界, 2024, 14(10): 76-78.
- [3] 段万青. 桩锚式深基坑支护技术在房屋建筑施工中的应用 [J]. 居业, 2024, (10): 4-6.
- [4] 杨伟. 深基坑支护施工技术在建筑工程中的实践探究 [J]. 居业, 2024, (10): 40-42.