

复杂地质条件下深基坑支护结构设计与施工风险管控

张友成

湖北众赢建筑科技有限公司 湖北 武汉 430040

摘要：本文聚焦复杂地质条件下深基坑支护结构设计与施工风险管控问题。通过分析复杂地质条件特征，结合工程实例探讨支护结构选型、设计方法及施工风险管控策略。研究表明，科学合理的支护结构设计与有效的风险管控措施对保障深基坑工程安全、经济、顺利进行至关重要。

关键词：复杂地质条件；深基坑；支护结构设计；施工风险管控

引言

随着城市化进程的加速，高层建筑、大型地下空间开发等工程项目大量涌现，深基坑工程作为城市建设中不可或缺的基础设施建设环节，其应用范围日益广泛，工程规模也逐渐增大。然而，复杂地质条件下的深基坑工程面临着诸多挑战。不同地质条件下的岩土工程需要采用不同的支护结构和形式，地质条件的复杂性是深基坑施工中最主要的风险之一，不同的土壤类型、地下水位变化以及地质构造的差异，都会对基坑的稳定性产生影响。因此，深入研究复杂地质条件下深基坑支护结构设计与施工风险管控具有重要的现实意义。

1 复杂地质条件特征及其对深基坑工程的影响

1.1 复杂地质条件的分类

复杂地质条件是指基坑区域土体的结构、性质及地下水等因素具有高度不确定性或极端特征，导致常规支护结构和施工方案不能有效适应。常见的复杂地质条件包括软弱土层、高地下水位、深厚或不均匀土层等。软弱土层如淤泥、湿陷性黄土、松散砂层等，承载力低、抗剪强度不足，压缩性强、稳定性差；高地下水位指地下水位接近地表或在施工过程中容易上升到施工深度；深厚或不均匀土层则表现为地层厚度大，或不同土层之间性质差异较大，如软土层、硬土层、粘土层交替存在。

1.2 对深基坑工程的影响

不同类型复杂地质条件对深基坑工程的影响各不相同。在软弱土层上进行基坑开挖时，支护结构容易出现不稳定，导致基坑坍塌或土体失稳。由于软弱土层承载力较低，容易发生沉降、滑移等问题，无法有效支撑上覆土层的重力。高地下水位的基坑支护施工面临着水压的挑战，地下水渗透会导致基坑周边土体不稳定，使支护结构受到水的浮力作用影响，甚至引发基坑变形、沉降等问题^[1]。深厚或不均匀土层容易导致基坑支护结构发生不均匀沉降或偏移，不同土层之间的压力不均匀，进

而影响支护结构的稳定性与施工的安全性。

2 复杂地质条件下深基坑支护结构选型与设计方法

2.1 支护结构选型原则

复杂地质下深基坑支护选型需兼顾安全、经济与施工便利性。安全需确保支护系统自身稳定，保障基坑开挖及地下结构施工安全，同时维护周边建（构）筑物与市政设施的正常使用；经济性需综合考量工程成本、工期效益、挖土操作便捷度及安全冗余度，通过多维度分析确定最优方案；施工便利性直接影响挖土成本、工期控制及支护可靠性。优秀设计需因地制宜，依据基坑周边建（构）筑物对支护变形的耐受能力，科学选择支护形式。

2.2 常见支护结构型式及适用性

常深基坑工程中常见的支护结构类型包括水泥土重力式支护、土钉墙支护、桩锚支护、桩撑支护及地下连续墙等。

水泥土重力式支护：通过机械钻进、喷浆或喷粉并强制与土体搅拌，使软弱土体硬化形成具有整体性、抗水性及一定强度的复合土体。通常采用格构形式，可降低工程成本，利用原位土体，造价优势明显，兼具挡土与阻水双重功能，且施工过程中无侧向挤压、无振动噪声污染，操作简便，对周边环境影响小，适合密集建筑区施工，工期相对较短。但该结构在坚硬土层中成槽困难，需妥善处置施工产生的泥浆，避免污染地基及地下水。

土钉墙支护：适用于土质条件优良、地下水位较低的基坑工程。以昆明老城区某深基坑为例，因开挖深度大，结合工程结构特性、土质条件及周边环境，采用土钉墙作为主要支护形式。现场监测显示，基坑边坡最大侧向位移仅26mm，普遍在5—15mm范围内，其他监测指标均满足设计控制要求，实现了良好的支护效果与经济效益。

桩锚支护：由支护桩与锚杆组成，适用于深度较大

的基坑工程。支护桩承担主要侧向荷载，锚杆通过土体锚固提供拉力，提升结构整体稳定性。

桩撑支护：结合支护桩与内支撑体系，适用于基坑深度大、周边环境复杂的场景。内支撑可根据基坑形状采用混凝土支撑、钢支撑或混合支撑等形式。

地下连续墙：在基坑开挖前沿周边导墙开挖基槽，内置钢筋笼浇筑混凝土，形成连续地下墙体。该结构整体刚度大，止水防渗性能优异，适用于软黏土、砂土等多层地质及复杂环境条件，能有效控制软土地层变形，尤其适合深基坑支护。但在坚硬土层中成槽难度大，需规避岩层障碍，同时需妥善处理施工泥浆。

2.3 设计方法

深基坑支护结构方案设计需全面评估多维度要素，如基坑开挖尺度、作业环境特性、地质构造参数、地下水动态等。设计阶段通常运用分项系数法构建极限状态设计公式，核心涵盖正常使用极限状态与承载能力极限状态两类情形。正常使用极限状态指支护结构变形已影响地下结构正常施工的工况，承载能力极限状态则对应支护结构达到极限承载力或土体失稳引发结构失效的场景。

针对支护结构强度及变形指标的校核，主要涉及土压力、水压力、地表附加荷载、周边建筑侧向作用力、施工动态荷载等要素。以北京星火站交通枢纽项目为例，该工程基坑开挖区域地质层由填土、粉土、黏性土及粉细砂构成，地下水影响层面存在潜水、承压水、承压水三重含水层。一级基坑深度范围内主要受第一层潜水及第二层承压水作用，地铁M3、R4号线二级、三级基坑还受第三层承压水影响。基于地质水文特征，一级基坑支护采用地下连续墙+锚索组合体系，配置800mm厚地下连续墙，墙高24—38m，嵌固段深度5—10m；二级基坑采用地下连续墙+内支撑组合体系，800mm厚地下连续墙深度19m，嵌固段深度6.62—8.13m；三级基坑采用地下连续墙+内支撑组合体系，1200mm厚地下连续墙高度46m，嵌固段深度26.75m。在地下水防控方面，基坑外侧通过地下连续墙形成封闭止水帷幕，并在各接缝处增设3根高压旋喷桩强化防渗；基坑内侧设置疏干井系统，按24m间距布设无砂滤水管疏干井，同时在基坑顶部外沿1.2m处按10m间距环向布置桥式滤水管水位监测井及应急备用水井^[2]。

3 复杂地质条件下深基坑施工风险分析

3.1 地质风险

地质风险通常由土体性质、地下水位等因素引起，是基坑支护施工中最重要的风险类别之一。软土层的承载力较低，容易发生沉降、滑移等问题，在软土层上进

行基坑开挖时，支护结构容易出现不稳定，导致基坑坍塌或土体失稳。当基坑所处区域的土层分布不均，或存在不同强度的土层交替时，会导致支护结构所承受的压力不均匀，引发沉降或支护结构的变形^[3]。在基坑开挖过程中，地下水位的突升或地下水渗透会导致基坑周边土体的流动性增加，严重时会造成支护结构的失稳，甚至坍塌。尤其是在高地下水位地区，地下水的控制是施工过程中的重要任务。

3.2 施工风险

施工风险是指施工过程中，由于人为或技术因素造成各种潜在危险。在支护结构的设计、施工或使用过程中，会出现支护系统不稳定或失效的情况，造成基坑土体崩塌、沉降等现象。失效的原因可能是设计不合理、施工工艺不规范、材料质量不达标等。不合适的施工方案或施工方法，如开挖顺序、支护材料选择等，会导致支护结构承载能力不足，无法有效应对施工中的土体应力变化或环境变化，进而引发风险。施工过程中设备故障也是常见的风险之一，设备的操作失误或故障会导致施工进度延误，甚至产生安全事故。

3.3 环境风险

深基坑施工可能对周边环境造成影响，包括噪音、振动和水土流失等问题。在城市密集区域，基坑施工常常伴随振动和扰动，尤其是在临近已有建筑物、地下设施或交通路线时，施工过程中的振动和扰动会对基坑支护的稳定性产生不利影响。施工过程中产生的噪音会影响周边居民的生活，水土流失会破坏周边生态环境。

3.4 设备和材料风险

施工设备的故障和材料的质量问题也是深基坑施工中不可忽视的风险。设备的停工会导致工期延误，而不合格的材料则可能影响基坑的结构安全。例如，支护结构使用的材料如果强度不足，无法承受土体的压力和外力作用，容易发生破裂、变形甚至断裂。

3.5 管理风险

项目管理不善可能导致资源的浪费和施工进度的延误。缺乏有效的沟通和协调机制，容易造成信息不对称，影响决策的及时性和有效性。

4 复杂地质条件下深基坑施工风险管控措施

4.1 地质勘察与分析

在施工前，必须进行详尽的地质勘察，获取准确的地质资料。通过钻探、取样和实验等手段，分析土壤的物理力学性质，评估地下水位及其变化趋势。根据勘察结果，制定相应的基坑支护方案，确保基坑的稳定性。例如，在某复杂地质条件下的深基坑工程中，通过详细

的地质勘察，发现了地下存在软弱土层和高地下水位的情况，据此采用了地下连续墙+内支撑体系的支护结构，并制定了相应的地下水控制措施，有效保障了基坑施工的安全。

4.2 完善的施工安全管理体系

建立健全施工安全管理体系，明确各级管理人员的职责。施工现场应设置安全警示标志，定期开展安全培训，提高施工人员的安全意识。制定应急预案，确保在发生意外时能够迅速有效地应对，减少人员伤亡和财产损失^[4]。例如，在基坑施工过程中，设置专人负责安全检查，定期对支护结构、施工设备等进行检查和维护，及时发现和排除安全隐患。

4.3 环境保护措施

施工阶段实施系统性环保方案，最大限度降低对周边生态影响。配置噪声与振动监控装置，保障施工噪音处于规范限值内。科学规划作业时段，规避夜间开展高噪音工序。同步采取水土防护措施，预防施工期水土流失。例如在基坑周边构筑挡水围墙及排水沟渠，阻隔雨水冲刷引发水土流失；对施工场地实施硬化覆盖，抑制扬尘扩散污染。

4.4 加强设备和材料管理

构建材料采购验收双控体系，严控进场材料符合设计参数与质量规范。对核心材料实施抽检机制，验证其性能指标满足施工需求，杜绝材料缺陷引发安全隐患。执行设备周期性保养制度，保障设备运行可靠性。例如采购支护结构材料时，要求供应商出具合格证明并开展抽样检测，验证合格后投入使用；建立设备运维档案，记录设备运行状态及保养详情。

4.5 加强项目管理与沟通

构建高效项目管理体系，明晰各部门职能及操作流程。定期组织项目进度例会，及时协调施工中的问题，保障信息传递畅通。运用现代管理手段，如项目管理软件，动态监控施工进度及资源消耗，提升管理效能。例如通过项目管理软件实时追踪施工进度，快速识别偏差并启动纠偏措施；搭建项目沟通平台，实现部门间信息即时共享与协同作业。

4.6 基坑支护与监测

根基于地质勘测数据，需科学选定基坑支护体系，例如采用锚杆支护、钢支撑结构或地下连续墙等围护形

式，以维持基坑结构的稳定状态。施工期间应布设动态监测网络，通过位移监测点、沉降观测点等实时追踪基坑本体形变及周边土体沉降数据，建立数据采集-分析-预警的闭环机制。当监测指标突破预设安全阈值时，需立即启动应急处理程序，如增设临时支撑、调整开挖节奏或实施注浆加固等措施，确保施工全周期的安全可控。例如在深基坑项目中，通过每日对比监测数据与三维模型预测值，可提前发现局部沉降异常，及时采取补强措施后，成功避免基坑失稳风险。

4.7 施工方案的动态调整

于工程建设阶段中，应结合现场实际状况对施工方案实施灵活优化调整。定期评估施工进度和风险状况，及时修订施工计划，确保施工的灵活性和适应性。通过总结经验教训，优化施工方案，提高施工效率。例如，当施工推进中遭遇地质状况变动情形时，需立即对支护体系配置及施工工艺进行适应性优化，从而保障工程作业的有序开展。

5 结语

复杂地质条件下的深基坑支护结构设计与施工风险管理是一个系统工程，需要综合考虑地质条件、施工环境、支护结构选型等多种因素。通过科学合理的支护结构设计和有效的风险管控措施，可以保障深基坑工程的安全、经济、顺利进行。在实际工程中，应加强地质勘察与分析，完善施工安全管理体系，采取环境保护措施，加强设备和材料管理，加强项目管理与沟通，做好基坑支护与监测，并根据实际情况对施工方案进行动态调整。展望今后发展，在科技持续革新与工程经验不断沉淀的双重驱动下，深基坑支护结构设计与施工风险管理技术将不断完善和发展，为城市建设提供更加安全可靠的保障。

参考文献

- [1]祁正平.复杂地质条件下深基坑支护技术及安全管理措施研究[J].交通科技与管理,2025,6(17):127-129.
- [2]梁叙,秦磊.复杂地质条件下深基坑支护设计及稳定性评价[J].粘接,2025,52(09):173-176.
- [3]梁焱华,李位伟,梁焱飞.复杂地质条件下的深基坑支护技术应用研究[J].工程技术研究,2025,10(13):65-67.
- [4]潘长治.复杂地质深基坑支护施工关键技术研究[J].建筑机械化,2025,46(05):177-180.