

# 深基坑支护施工技术在复杂地质条件下的应用研究

朱甲乐, 胡志强

(中国机械工业第四建设工程有限公司, 河南 郑州 450000)

**摘要** 深基坑支护施工在复杂地质条件下对技术要求高,其施工质量直接影响工程安全和建设质量。针对软土、砂土及岩石地质,本文指出需采取深层搅拌桩、地下连续墙、锚杆支护等措施确保基坑稳定。实例结果表明,地下连续墙结合内支撑体系能有效控制基坑侧向位移、地表沉降及地下水位,均符合规范要求,结合合理的支护方案与实时监测,可优化施工技术,提高深基坑工程的安全性及经济性。

**关键词** 深基坑支护; 复杂地质; 变形控制; 地下连续墙; 监测数据

中图分类号: TU473

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.005

## 0 引言

深基坑施工广泛应用于高层建筑、轨道交通、地下综合体等工程,其安全性直接影响周边环境和结构稳定性。在复杂地质条件下,基坑施工面临软土沉降过大、砂土流砂及渗透破坏、岩石开挖困难等挑战。需针对不同地质条件选择适宜的支护方式,并结合科学的变形控制措施,确保基坑稳定与施工安全。合理的支护方案可减少基坑变形,降低施工风险,提高工程质量和经济效益。

## 1 深基坑支护施工技术类型

在排桩支护的受力计算中,通常采用弹性地基梁理论进行分析,考虑排桩在侧压力作用下的弯矩和变形<sup>[1]</sup>。对于自由支撑排桩,在均布侧压力 $q$ 作用下,最大弯矩 $M_{\max}$ 发生在桩顶以下某一深度,计算公式如下:

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8}$$

其中, $M_{\max}$ 为排桩最大弯矩( $\text{kN}\cdot\text{m}$ ); $q$ 为作用在排桩上的等效侧压力( $\text{kN}/\text{m}^2$ ); $L$ 为桩的嵌固深度( $\text{m}$ )。在实际工程中,还需综合考虑土体主动土压力 $P_a$ 、被动土压力 $P_p$ 和地下水压力的影响,并结合内支撑或锚杆支护进行精确分析。地下连续墙支护主要由钢筋混凝土墙体构成,广泛应用于高层建筑、地铁车站及深基坑工程。墙体厚度一般为 $600\sim 1\,500\text{ mm}$ ,深度可达 $30\sim 80\text{ m}$ 。施工工艺包括导墙施工、成槽、泥浆护壁、钢筋笼吊装、混凝土浇筑等步骤。由于地下连续墙具有较高的抗弯刚度,适用于地下水位较高、

软土或砂土地区,通常采用C30~C50混凝土,以确保支护体系的承载能力。

土钉墙支护适用于中等深度基坑,常见土钉长度为 $3\sim 6\text{ m}$ ,水平间距 $1.2\sim 1.5\text{ m}$ ,竖向间距 $1.0\sim 1.5\text{ m}$ 。土钉墙的稳定性和土钉与土体的共同作用,其内部稳定性分析需考虑土钉的拉拔力、摩擦力及剪切力。土钉材料通常选用 $\Phi 16\text{ mm}\sim \Phi 32\text{ mm}$ 的螺纹钢筋或高强度钢绞线,外部包裹水泥砂浆增强锚固效果。锚杆支护是一种主动支护方式,广泛应用于深基坑工程。锚杆拉力一般为 $200\sim 1\,000\text{ kN}$ ,依据基坑深度和土层条件确定。常见的锚杆布置方式包括单层、双层或多层布置,间距一般控制在 $1.5\sim 3.0\text{ m}$ 。预应力锚杆的标准值通常为 $150\sim 500\text{ kN}$ ,采用 $\Phi 15.2\text{ mm}$ 或 $\Phi 17.8\text{ mm}$ 的高强度钢绞线,并结合砂浆封闭注浆,确保长期稳定性,提高支护系统的安全性。

## 2 复杂地质条件分析

### 2.1 复杂地质条件类型

软土地质具有高含水量、大孔隙比、低强度和高压缩性的特点,常见于冲积平原、滨海地带及湖泊沉积区,含水量 $35\%\sim 80\%$ ,孔隙比 $0.8\sim 2.5$ ,抗剪强度低( $10\sim 30\text{ kPa}$ ),渗透系数小于 $1\times 10^{-6}\text{ cm/s}$ ,在高应力作用下易产生超孔隙水压力积聚,影响基坑稳定性。砂土地质颗粒级配范围 $0.075\sim 2\text{ mm}$ ,分为细砂、中砂和粗砂,渗透性较高,渗透系数 $10^{-3}\sim 10^{-5}\text{ cm/s}$ ,可通过恒水头试验或变水头试验测定,砂土松散易发生流砂、管涌等渗流变形,影响基坑稳定性。岩石地质按强度分为软岩( $5\sim 25\text{ MPa}$ )、中等坚硬

岩 (25 ~ 100 MPa) 和硬岩 (> 100 MPa), 抗剪强度 0.5 ~ 2.0 MPa, 岩层节理裂隙发育时易滑塌、崩落, 需采取加固措施以确保施工安全。

### 2.2 复杂地质条件对深基坑支护的影响

复杂地质条件对基坑支护结构的稳定性影响显著。在软土地区, 由于土体强度低, 主动土压力增大, 支护结构易发生过大的侧向位移和沉降, 通常采用地下连续墙加固<sup>[2]</sup>。在砂土地质中, 地下水渗透性强, 可能引发流砂或管涌 (发生概率 20% ~ 40%), 需采取降水处理和渗流控制措施。在岩石地质中, 若节理裂隙发育, 支护结构需承受额外的不规则侧向压力, 需锚杆加固以提高稳定性。此外, 在施工过程中, 软土区塌孔概率高 (30% ~ 50%), 可采用泥浆护壁、套管施工或加固注浆等措施, 而岩石区则需加强锚固支护和开挖面的加固处理, 以确保施工安全。

## 3 复杂地质条件下深基坑支护施工技术要点

### 3.1 软土地质施工技术

在软土地质条件下, 基坑开挖前通常采用深层搅拌桩 (DSM) 技术进行地基加固, 以提高土体强度和抗剪能力。深层搅拌桩通过水泥或其他固化剂与软土混合形成高强度固结体, 施工流程包括定位、钻进、搅拌注浆、提升、二次搅拌及固化养护 (见图 1)。常见的深层搅拌桩直径范围为 600 mm, 1.5 倍桩径, 加固深度可达 10 ~ 30 m, 可有效减少基坑侧向变形, 提高整体稳定性。

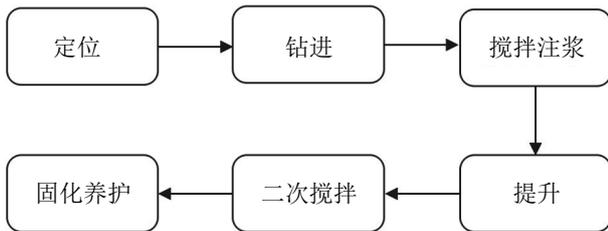


图 1 深层搅拌桩施工工艺流程图

软土基坑变形控制的关键在于限制侧向位移和沉降, 通常采用内支撑、钢筋混凝土围护墙、桩锚结构等方法, 并结合监测系统实时检测位移变化, 以确保施工安全。根据《建筑基坑支护技术规范》(JGJ 120-2012), 软土基坑变形控制指标如下: 侧向位移控制值应在  $H/200 \sim H/300$  范围内 ( $H$  为基坑深度), 一般不超过 50 mm; 沉降控制值通常控制在 20 ~ 40 mm; 基坑周边建筑的变形控制值应小于基坑深度的  $1/500$ <sup>[3]</sup>。

### 3.2 砂土地质施工技术

砂土具有较高的渗透性, 为防止地下水渗透, 通

常采用高压旋喷桩止水帷幕技术<sup>[4]</sup>。该技术通过高压水泥浆在砂土中形成低渗透性连续墙, 从而减少渗水量, 提高基坑安全性。高压旋喷桩施工时, 需合理控制施工参数, 以确保止水效果。常见的旋喷桩参数如下: 桩径范围 600 ~ 1 000 mm, 桩距为 0.8 ~ 1.2 倍桩径, 水泥掺量 150 ~ 300 kg/m<sup>3</sup>, 旋喷压力 20 ~ 35 MPa。在实际工程中, 旋喷桩可与地下连续墙或钢板桩配合使用, 进一步提高止水性能, 减少基坑侧壁渗透风险。

砂土流失容易导致管涌、流砂及基坑塌陷, 其抗渗稳定性主要取决于土层渗透系数和粒径组成。防止砂土流失的关键措施包括降低地下水位、加强基坑围护结构及控制渗流梯度。通过深井降水或轻型井点降水, 可将地下水位降低至基坑底部以下 1.0 ~ 2.0 m, 减少浮力影响, 降低流砂风险。同时, 采用地下连续墙、钢板桩或高压旋喷桩构建封闭围护系统, 提高基坑抗渗性能。通过计算渗流梯度, 确保基坑内部水压力不会超过临界值 (一般为 0.3 ~ 0.5), 有效控制渗透破坏, 提高施工安全性。

### 3.3 岩石地质施工技术

在岩石地质条件下, 基坑开挖通常采用控制爆破技术, 以减少对周围环境的影响。爆破孔的布置与参数计算需综合岩石强度、节理裂隙及振动影响, 一般采用松动爆破或预裂爆破, 降低爆破对周边结构的破坏风险<sup>[5]</sup>。常见爆破施工参数包括钻孔直径 40 ~ 100 mm, 孔间距 0.8 ~ 1.5 m (依据岩层硬度调整), 炸药单耗 0.2 ~ 0.8 kg/m<sup>3</sup>。为降低震动影响, 通常采用逐孔或逐排延时起爆, 使爆破能量逐步释放, 减少地震波传播对周围建筑及基坑边坡的影响。

为确保岩石边坡和基坑支护的稳定性, 通常采用锚杆支护, 通过加固基坑侧壁岩层防止滑塌。锚杆一般采用高强度钢绞线或钢筋, 并配合砂浆灌注提高锚固力, 增强岩体整体稳定性。岩石锚固技术的关键参数包括锚固力 200 ~ 1 000 kN (依据岩层条件确定), 锚杆直径  $\Phi 16 \text{ mm} \sim \Phi 32 \text{ mm}$ , 锚杆长度为基坑深度的 1.5 ~ 2.5 倍, 确保足够的锚固深度和受力性能。此外, 锚杆采用 C30 及以上强度等级的水泥砂浆进行灌注, 提高耐久性, 锚杆布置间距一般控制在 1.5 ~ 3.0 m。合理的岩石锚固技术可有效提升基坑整体安全性, 减少岩层剥落与滑移风险, 保障施工的稳定。

## 4 工程应用实例分析

### 4.1 项目背景介绍

本工程位于某沿海城市核心区, 为超深基坑施工项目, 基坑深度 16 m, 总开挖面积约 8 500 m<sup>2</sup>, 周边

建筑密集,地下管线复杂,地下水位较高,对支护结构稳定性和施工安全要求严格。场地地层由上部填土层(0~2.5 m)、中部粉质黏土(2.5~7 m)、下部砂土层(7~16 m)组成,基底局部存在强风化泥质砂岩,地下水埋深3.2 m,水位波动范围±0.5 m。基坑开挖深度较大,地下水渗透性强,存在流砂及渗透破坏风险,需采用合理的支护方案确保施工安全。

#### 4.2 支护方案设计与实施

根据工程地质条件和施工环境,本项目采用地下连续墙+内支撑体系作为主要支护方式,以确保基坑稳定性和施工安全。具体方案包括:地下连续墙厚度800 mm,嵌入强风化泥质砂岩2.5 m,提供止水与抗侧移能力;内支撑体系采用两道钢筋混凝土支撑,支撑间距4.5 m,有效控制基坑侧向变形;基坑降水措施采用深井降水系统,将地下水位稳定在基坑底部以下1.5 m。该方案主要基于地下水位较高,需采用止水性能良好的地下连续墙,周边建筑密集,需通过内支撑体系减少变形,以及地下连续墙施工可同步进行,缩短工期。

施工按照精确的进度计划进行。1~2个月内完成

地下连续墙施工,采用抓斗成槽工艺确保墙体垂直度,墙体混凝土强度C40,满足刚度要求。随后,进行土方开挖及第一道支撑施工(2~3个月),采用分层开挖方式,每层不超过3.5 m,并在完成第一道支撑后继续开挖。第二道支撑施工(4~5个月)后,确保基坑底部稳定,再进行降水及基坑监测,施工全周期实时监测地下水位,防止涌水或渗透破坏。6~7个月完成基坑结构施工,并进行基坑回填及支护结构拆除,确保施工安全和进度可控。

#### 4.3 监测数据分析

在基坑施工过程中,设置了多个监测点,以确保支护结构的稳定性和周边环境的安全(见表1)。基坑侧向位移监测采用测斜仪,间距20 m,布置在基坑周边,观测墙体变形趋势。地表沉降监测点间距15 m,覆盖基坑周围建筑,以控制施工对环境的影响。地下水位监测通过布设降水井,实时监测水位变化,防止基坑渗透破坏。支护结构内力监测采用应变计测量支撑轴力,间隔10 m布设,确保支撑体系受力合理,防止结构失稳。

表1 基坑施工监测数据统计表

监测项目	初始值	施工1个月	施工2个月	施工3个月	施工4个月	施工5个月	施工6个月
基坑侧向位移(mm)	0	6.2	12.5	18.3	22.7	25.6	27.3
地表沉降(mm)	0	2.8	6.3	9.7	12.4	14.2	15.8
地下水位下降(m)	0	1.2	2.1	2.9	3.4	3.7	3.9

数据分析表明,基坑侧向位移最终达到27.3 mm,小于规范要求( $H/300 \approx 32$  mm),变形控制在合理范围内。地表沉降趋势平稳,最终沉降量15.8 mm,未超过可接受值25 mm,未对周边建筑造成不利影响。同时,地下水位成功降低3.9 m,有效避免了管涌和渗透破坏风险。整体来看,采用的支护方案和施工技术有效控制了基坑变形,确保了施工安全,监测数据符合设计预期。

#### 5 结束语

复杂地质条件下的深基坑支护施工需结合地层特点,采取针对性技术措施确保结构安全。软土地区采用深层搅拌桩和内支撑控制变形,砂土地区利用高压旋喷桩和降水措施降低渗透风险,岩石地层依赖锚杆支护和控制爆破。

工程实例表明,合理的支护设计与精准监测可有效控制基坑变形,确保施工稳定。未来应加强智能监

测技术与新型支护材料应用,以优化施工方案,提高工程安全性与可持续性。

#### 参考文献:

- [1] 徐浩,倪志胜.复杂地质条件下深基坑支护施工技术研究[J].新城建科技,2025,34(01):153-155.
- [2] 朱婷婷.复杂地质条件下深基坑支护结构稳定性施工技术研究[J].安徽建筑,2025,32(01):135-137.
- [3] 曹红卫.复杂环境及地质条件下深基坑支护施工技术[J].城市建设理论研究:电子版,2023(21):143-145.
- [4] 宁冠翔.复杂地质条件下深基坑支护设计及施工技术应用要点:以山西省某市中医院门诊楼项目为例[J].房地产世界,2023(10):145-147.
- [5] 张道通.复杂环境及地质条件下深基坑支护施工技术[J].城市住宅,2021,28(08):225-227.