

# 软土深基坑支护设计及变形控制研究

谢东

中国中铁长沙市规划设计院有限责任公司

**摘要：**我国城市现代化建设进程随着社会经济水平提高而加快，人们对建筑工程的需求量呈持续增加的状态。与此同时，对于建筑工程安全性和质量等方面的要求越来越高，为保证建筑工程施工品质，延长建筑工程使用寿命，践行科学的建筑施工技术至关重要。本文从软土深基坑支护设计的角度出发，研究其设计方案和变形控制措施，并展开实例分析，旨在为相关技术人员提供借鉴，促进软土深基坑支护设计作业高质量完成。

**关键词：**软土深基坑支护；支护设计；变形控制

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.22.028

软土主要是指大压缩性、低抗剪强度的软弱土层，为饱和软黏土，在天然地层剖面上，软土多与泥炭或粉砂交错沉积。由于软土具有弱透水性、高压缩性和低强度，若将其作为地基进行使用，必然会存在较多棘手的施工问题和安全隐患<sup>[1]</sup>。深基坑作为临时性防护工程，但是其具有比较复杂的施工工艺，探究软土地基环境下的深基坑支护施工，对解决且内问题，优化施工方案，提高施工质量具有积极意义。

## 一、软土深基坑支护设计中的问题

### （一）设计依据不够恰当

软土深基坑设计人员在方案设计前所参照的设计标准比较陈旧，甚至部分设计依据已经处于废止状态，降低设计成果的时效性和针对性。当地方标准和地方法规之间存在设计矛盾点的时候，设计人员按照地方设计标准执行，但是方案设计完成后，现场监理人员会根据设计依据上提到的不同规范从严要求设计方案，导致方案在设计的时候，需要权衡对比地方标准和地方法规<sup>[2]</sup>。

### （二）深基坑安全等级认识不足

基坑安全等级作为一种危害程度的衡量结果，主要是从两个方面落实，第一是基坑工程对周围环境造成的影响，第二是周边环境和支护结构对地质变形的适应能

力。在部分深基坑方案设计环节中，设计人员没有实地考察和计算分析周边环境对深基坑结构的适应能力，不注重划分工程分区，导致深基坑安全等级不高。

### （三）基坑设计中技术与经济问题

软土深基坑设计方案总体上没有对错之分，设计建设的深基坑越接近极限平衡状态，其所取得的效果也将越好。设计人员在设计中缺少实践经验，对监测单位的监测数据应用不恰当，影响设计方案的社会效益和经济效益。受专业知识的限制，深基坑支护方案设计人员设计期间做不到兼顾经济和技术，若是施工单位、业主等高度重视资金投入力度，那么设计人员在设计的方案的时候会削减技术支撑以满足资金需求，最终设计的成果表现出“摇而不倒”的现象。

## 二、软土深基坑支护变形控制设计的具体要求

### （一）技术要求

软土地基深基坑支护变形控制设计成果要表现出良好的抗滑稳定性和抗倾覆稳定性，并且在投入使用中要彰显出良好的抗隆起和抗管涌能力。合理设计软土地基深基坑支护结构强度，要求严格契合深基坑支护变形控制设计的要求<sup>[3]</sup>。

### （二）投资要求

软土深基坑支护变形控制设计工作在开始前，要求相关人员综合分析工程的实际情况，并以分析结果作为依据制定科学合理的深软土深基坑支护变形控制设计方案。最大化的降低每个环节的成本支出。设计人员要定期学习软土深基坑支护变形控制设计的相关知识，积累工作经验，保证设计方案既符合工程施工标准，又提高工程经济效益。

### （三）工期要求

设计软土深基坑支护变形控制时，设计人员要始终结合项目实际情况，明确的标记施工环节的施工时间节点、施工标准和施工程序，灵活性的采取多种方法优化

设计方案，并帮助施工人员节省时间，在不延误工期的前提下保障施工质量<sup>[4]</sup>。

### 三、软土深基坑支护设计和变形控制措施

#### (一) 科学建立深基坑支护变形控制设计模型

软土深基坑支护设计和变形控制全过程可划分为六部分，分别为构建优数学模型、选择合适方法、收集数据并设计初始点、编写计算机程序、求解计算结果、分析结果数据。在设计模型优化中要选取合适的设计变量、列出目标函数，并给定约束条件。换言之，在满足决定n维空间  $E^n$  可行域U的前提下，选取合适的设计变量X，保证目标函数  $f(x)$  取得最优值。关系表达式如下：

$$\left. \begin{aligned} \min f(X), X \in U \in E^n \\ \text{s.t. } h_v(x) = 0, v = 1, 2, \dots, p \\ g_n(X) \leq 0, u = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

在公式1中，X表示由  $x_1, x_2, \dots, x_n$  组合而成的向量，min表示数值极小化。s.t.表示满足约束条件限制， $h_v(x)$ 表示为等式约束条件，p表示等式约束条件的数量。 $g_n(X)$ 表示不等式约束条件，m表示不等式约束条件的数量。

当约束函数和目标函数全部为设计变量的线性函数时，那么此时遇到的问题便是线性规划问题，当约束函数或者目标函数其中有一个或者多个非线性函数的时候，那么此时遇到的问题便是非线性规划问题。在深基坑支护变形控制设计模型构建中，要求以模型中的极小化目标函数数量作为依据，合理划分优化问题为多目标优化问题和单目标优化问题。在深基坑支护变形控制设计模型设计中，可表述为满足变形要求、施工工艺约束的前提下，寻找间距、支护桩桩长等一组变量值，保证成本支出最低<sup>[5]</sup>。

#### (二) 基于岩土体物理力学参数的设计

软土深基坑支护设计及变形控制，选取锚杆或者支撑点位置、桩长、截面钢筋面积、桩径作为物理力学参数，即设计变量。优化的目标为在保证变形控制合理的前提下，成本支出最小。对桩锚结构的目标函数关系表达式如下：

$$F = (A_s C_s + \frac{1}{4} \pi d C_h) L_1 \frac{L_1}{S_c} + (A_s C_s + \frac{1}{4} \pi D^2 C_{h1}) L_2 \frac{L_2}{S_c} = \min \quad (2)$$

在公式中， $A_s$ 表示深基坑支护桩配筋的面积， $C_s$ 表示支护桩配筋单价，d表示深基坑支护桩的直径长度， $C_h$ 表示混凝土的单价， $L_1$ 表示支护桩的总长度值， $L_2$ 表示深基坑的周长长度值， $S_c$ 表示支护桩之间的间隔距离和锚杆之间的间隔距离， $A_B$ 表示锚杆的预应力筋截面积，D表示锚杆钻孔的直径长度值， $C_{h1}$ 表示为锚杆钻孔水泥浆的单价， $L_2$ 表示锚杆的长度值。

以支护桩强度为约束条件，对深基坑周围位置均匀配置纵向钢筋的矩形截面、圆形截面地下连续墙和排桩，可根据我国推行的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)相关要求计算正截面受弯承载力，同时要与相关构造的要求保持同步。

$$\left. \begin{aligned} N \leq \alpha f_{cm} A (1 - \frac{\sin 2\pi\alpha}{2\pi\alpha}) + (\alpha - \alpha_t) f_y A_s \\ KSM \leq \frac{2}{3} f_{cm} A_r \frac{\sin^3 \pi\alpha}{\pi} + f_y A_s r_s \frac{\sin\alpha + \sin\alpha_t}{\pi} \\ \alpha_t = 1.25 - 2\alpha \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

在公式3中，N表示深基坑桩的纵向应力值，A表示桩截面面积， $\alpha$ 表示混凝土截面位置的受压区圆心角弧度值， $f_{cm}$ 表示混凝土弯曲抗压强度设计值， $f_y$ 表示钢筋抗拉强度设计值， $A_s$ 表示钢筋的总截面面积，r表示圆形截面的半径长度值， $r_s$ 表示纵向钢筋所在的圆周半径长度。

一般情况下，深基坑桩的纵向应力值为0，进而得到以下关系式：

$$\left. \begin{aligned} \alpha = \frac{1.25 f_y A_s + \frac{1}{8} f_{cm} d^2 \sin 2\pi\alpha}{\frac{1}{4} \pi d^2 f_{cm} + 3 f_y A_s} \\ A_s = \frac{KSM - \frac{1}{12} f_{cm} d^3 \sin^3 \pi\alpha}{\frac{f_y A_s}{\pi} (\sin\alpha + \sin\alpha_t)} \\ \alpha_t = 1.25 - \alpha \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

## 四、工程实际应用案例分析

### (一) 项目概述

某建筑工程组成结构分为5层裙楼和33层塔楼，且裙楼和塔楼均设计两层地下室，占地面积大约74m\*66m。深基坑设计的深度从地面算起，主楼为12.5m，裙楼为12.0m。施工场地的地层二元结构特征显著，上部地层自上而下为松散杂填土、软塑淤泥黏土、粉质黏土、软塑状态粉质黏土夹杂着粉土、中细砂、沙

砾石层。

(二) 工程实施与效果

考虑到项目工程施工期间中会受到周围环境影响，在设计深基坑支护方案和控制变形的时候，拟使用钻孔

灌注桩排加三排预应力支护体系。在深基坑施工周围位置局部受建筑物桩基础限制，为保证施工质量，设计方案选择四排较短锚杆。其中，锚杆通过施加预应力对支护桩的移动情况做出控制。深基坑支护设计参数如下：

表1 深基坑支护设计相关参数表

名称	厚度				重度	粘聚力	内摩擦角	M
	西南侧	西北侧	东南侧	东北侧				
杂填土	1.5m	1.5m	1.6m	2.2m	17.9	8Kpa	17°	2.3Mpa/m <sup>2</sup>
淤泥质黏土	-	0.7m	-	5.2m	17.1	11Kpa	8°	2.1Mpa/m <sup>2</sup>
粉质黏土	2.9m	2.6m	3.4m	-	18.3	21Kpa	6°	4.3Mpa/m <sup>2</sup>
粉质黏土	1.2m	1.6m	1.3m	-	18.2	23Kpa	11°	5.1Mpa/m <sup>2</sup>
粉质黏土夹杂粉土	1.1m	1.4m	0.8m	1.3m	17.5	15Kpa	6°	4.2Mpa/m <sup>2</sup>
粉砂、粉土	4.2m	2.1m	3.4m	2.4m	18.6	11Kpa	21°	6.8Mpa/m <sup>2</sup>
粉砂夹粉土	18m	22m	20m	20m	21	3Kpa	22°	7.8Mpa/m <sup>2</sup>

按朗肯土压力理论应用土压力分布模式，将水压力和土压力合算，取被动土折减系数为1.1。按照等值梁法确定排桩的内力、根据极限土压力平衡理论计算排桩的入土深度，综合应用杆件有限元法和弹性抗力法计算确定位移。使用约束尺度法优化算法，假设锚杆直径为

130mm，钢筋为II级，混凝土为C30。锚杆总造价和支护桩为约束函数，约束条件为桩径  $0.8m \leq d \leq 1.2m$ ，锚杆距离桩顶部位置的距离为  $1.5m \leq S \leq 11m$ ，桩顶位移的距离为  $U_{max} \leq 30mm$ ，强度约束如公式4。

从表的优化结果得知，相同桩径的支护结构，当锚

表2 优化计算结果

目标函数	设计变量					设计结果
	深基坑支护桩的直径长度	S <sub>1</sub> 、S <sub>2</sub> 、S <sub>3</sub>	钢筋的总截面面积	支护桩的总长度	深基坑的周长长度	
521.53万元	0.9	3m、6m、9m	8612mm <sup>2</sup>	20.3m	43.5m	31.4mm
557.12万元	0.9	1.5m、4.5m、8.0m	11738mm <sup>2</sup>	21.5m	48.2m	26.7mm
531.64万元		2. m、5m、8.5m	103743mm <sup>2</sup>	20.6m	46.5m	26.9mm
513.19万元		2.5m、5.5m、9m	9853mm <sup>2</sup>	20.5m	44.8m	27.1mm
506.73万元		3m、6m、9.5m	8818mm <sup>2</sup>	20.4m	43.1m	28.1mm
479.94万元		3.5m、8.5m、10m	8818mm <sup>2</sup>	20.3m	40.7m	31.9mm
508.18万元	1.0	3m、6m、9.5m	9823mm <sup>2</sup>	20.4m	43.1m	27.8mm

杆整体距离桩顶位置越来越远，支护桩的长度值也会随之变短，且配筋率也会下降，锚杆总长度降低，但是支护桩水平变形强度会逐渐增加。

结语

综上所述，软土深基坑支护设计及变形控制是一项复杂而重要的研究任务。通过本研究的工作，对软土深基坑的支护设计和变形控制有了更深入的认识，并提出了一套有效的方法和策略。希望这些研究成果能够为相关领域的工程实践提供参考，进一步提升基坑施工的安全性和效率。

参考文献

[1] 吴敏, 张峰. 软土深基坑支护设计及变形控制效

果分析[J]. 中国新技术新产品, 2023, (08): 121-123.

[2] 吴继峰. 软土地区复杂环境下某深基坑支护设计选型分析[J]. 山西建筑, 2022, 48(03): 92-94+159.

[3] 李煜峰, 傅怡, 徐中华. 软土地区紧邻地铁隧道深基坑支护设计与实践[J]. 建筑科学与工程学报, 2021, 38(06): 128-137.

[4] 魏国灵, 梁永国, 张细才, 林本海. 粤港澳大湾区深厚软土条件下深基坑支护设计与实践[J]. 化工矿产地质, 2019, 41(04): 291-298.

[5] 杨昌亚. 城市中心区软土深基坑支护结构设计与施工——以佛山南堤湾国瑞城二期项目为例[J]. 西部资源, 2023(03): 30-33.