

岩土工程中深基坑支护设计与施工要点探析

陆东

(合肥旭辉企业管理有限公司, 安徽 合肥 230000)

【摘要】本文对岩土工程中深基坑支护合理设计的必要性进行分析, 并从设计与施工两方面阐述深基坑支护技术在岩土工程中的运用要点, 以保证深基坑支护设计合理性、科学性, 满足工程建设要求, 切实发挥深基坑支护技术优势, 强化岩土工程安全建设保障。

【关键词】岩土工程; 深基坑支护设计; 施工要点

引言: 在岩土工程建设过程中, 需要结合实地勘察报告以及周边环境等方面信息, 在此基础上合理设计深基坑支护结构形式, 并按照具体施工要求, 优化与完善深基坑支护施工方案, 明确施工流程与技术要点, 以满足岩土工程建设需要同时, 又能将深基坑支护技术优势有效发挥, 进一步提高工程整体建设水平。

一、岩土工程中深基坑支护合理设计的必要性

深基坑支护是岩土工程建设中的关键环节, 在深基坑开挖施工中发挥着防止坍塌、塌方等安全问题发生以及增强土体稳定性等重要作用。通常情况下, 需要结合工程实际情况, 并考虑施工区域的地质条件、基坑环境等因素, 设计与选择深基坑支护形式, 达到有效加固基坑周围土体的效果。

因此, 基于岩土工程建设阶段, 要注重深基坑支护设计把控, 由于基坑深度、土层性质不同, 再加上地下水位、承载能力等因素影响, 不同深基坑支护施工技术对应的结构形式、施工工艺以及适用范围也存在较大差异; 需要在设计阶段, 根据施工要求, 设计与选择深基坑支护形式, 有效抵抗土体的水平推力以及垂直荷载, 提高支护效果^[1]。

二、深基坑支护在岩土工程中的设计与施工要点

(一) 设计方面

1. 做好前期设计计算

深基坑支护设计是岩土工程建设过程中的关键环节, 科学合理设计深基坑支护体系, 有利于保障岩土工程安全顺利建设, 其中做好前期设计计算工作非常必要, 以保证深基坑支护设计与岩土工程建设要求相符合。

(1) 基于岩土工程中深基坑支护设计, 为更好地发挥支护效果, 并增强支护结构稳定性和可靠性, 应在设计计算中对深基坑周围土体的支撑力以及土层受力情况进行综合考虑, 掌握支撑体系与土层之间的紧密联系, 为深基坑支护设计提供参考依据。例如,

作用在支护结构外侧、内侧的主动土压、被动土压力强度标准值, 可以通过下述公式进行计算:

$$P_{ak} = \sigma_{ak} K_{a \cdot i} - 2c_i \sqrt{K_{a \cdot i}}$$

$$K_{a \cdot i} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right)$$

$$P_{pk} = \sigma_{pk} K_{p \cdot i} + 2c_i \sqrt{K_{p \cdot i}}$$

$$K_{p \cdot i} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_i}{2} \right)$$

式中 P_{ak} 为支护结构外侧, 第 i 层土中计算点的主动土压力强度标准值, kPa; 当 $P_{ak} < 0$ 时, 应取 $P_{ak} = 0$; σ_{ak} 、 σ_{pk} 为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值, kPa; $K_{a \cdot i}$ 、 $K_{p \cdot i}$ 为第 i 层土的主动土压力系数、被动土压力系数; 为第 i 层土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ($^\circ$); P_{pk} 为支护结构内侧, 第 i 层土中计算点的被动土压力强度标准值, kPa^[1]。该公式适用于地下水位以上或水土合算的土层压力计算。(2) 由于深基坑支护施工结束后, 可能会因使用时间延长以及受到后期施工作业等方面影响, 促使深基坑周围土体的力学性质出现变化, 且间接作用于深基坑支护体系, 在前期设计阶段, 需要对该情况给予重视, 以保证深基坑支护设计水平, 且符合岩土工程建设要求。

2. 土体取样以及支护设计参数确定

基于岩土工程深基坑支护设计前期阶段, 需要按照相关规定要求, 开展实地勘察工作, 在工程项目所在区域, 对具有代表性的土体进行取样, 用于分析土体力学特征, 为深基坑支护设计提供科学依据, 保证支护体系设计合理性。由于深基坑土体结构相对复杂, 进行土体取样时, 应采取多点取样方式, 确保所选取的土体样品能够如实反映土体力学特征。

同时结合土样检测报告, 确定力学参数, 尤其是

要掌握深基坑支护结构的极限承载能力，可以根据该项参数选择合适的支护结构形式以及支护材料等，避免因结构变形而无法继续承受荷载，有效增强深基坑支护体系稳定性。通过下述公式计算承载能力极限状态：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d$$

式中 γ_0 为支护结构重要性系数； S_d 作用基本组合的效应（轴力、弯矩等）设计值； R_d 支护结构构件的抗力设计值。此外，若依据承载能力极限状态设计深基坑支护结构构件，其作用基本组合的综合分项系数不得小于 1.25，安全等级为一级、二级、三级的深基坑支护结构，其支护结构重要性系数不得小于 1.1、1.0、0.9，并按照现行规范标准确定各类稳定性安全系数。

（二）施工方面

1. 深层搅拌桩支护施工

深层搅拌桩技术是现阶段岩土工程中较为常用的深基坑支护形式，将水泥作为固化剂，通过搅拌机械设备将水泥浆液与基坑土体进行拌和，利用热固化效应，在深基坑底层形成桩，达到提升原有地基结构稳固性的效果，有利于为岩土工程安全建设提供保障。若工程项目所在区域，存在淤泥、砂土地质，不建议选用深层搅拌桩技术，应在前期设计环节，确认施工区域地质条件是否满足深层搅拌桩技术运用要求。基于深层搅拌桩技术运用的岩土工程深基坑支护施工要点如下：

（1）正式开展施工作业前，根据深基坑支护施工要求，组装与调试进场的各种机具设备；同时将现场存在的障碍物清除干净，明确各机械设备放置位置，以便后续施工作业顺利开展。

（2）参照设计图纸进行放线，将各搅拌桩对应位置加以确定，在土层中插入竹签并将石灰均匀撒在桩位四周，用于标记，各搅拌桩的桩位误差最大不超过 5cm。并在施工前再次进行桩位复核，确认所标记的桩位是否准确，根据测得场地标高，确定钻孔深度。待钻进安装调试结束后，对转速、钻杆长度、钻头直径等进行检查，同时牢固连接输浆管，再将钻进转移至指定位置，与桩位对准。

（3）针对水泥浆液配比，则是按照设计要求进行现场配制，水灰比控制在 1: 0.45-0.50。浆液要

具有较好的流动性，避免后续施工中出现离析现象，以便泵送与喷搅。搅拌好的水泥浆液停置时间不得超过 2h，泵送前应不停搅拌水泥浆液。

（4）钻进速度不得低于 1.0m/min，钻进深度达到设计要求深度时，即可暂停钻进作业；按照既定流程进行注浆、搅拌、提升，达到设计桩顶标高以上 50cm 时，即可关闭送浆泵，提升速度 $\leq 0.8\text{m/min}$ 。注浆泵口压力不得超过 0.4-0.6MPa，以保证浆液与土体能被充分拌和。

（5）待上各项工序均结束后，应及时开展现场桩体搭接与质量检验工作，桩体搭接时间不少于 24h，若在检验过程中存在喷浆量不足问题，需要整桩复打，复打时的喷浆量不得低于设计用量。深层搅拌桩施工结束 28d 后，以钻芯取样方式进行质量检测，确认是否存在搅拌不均匀、桩体断浆以及桩长与设计要求不一致等问题。深层搅拌桩施工质量检验标准参考表 1。

2. 土层锚杆支护施工

土层锚杆支护技术在岩土工程深基坑支护施工中运用，有利于提升基坑结构稳定性，保证施工安全。实际运用过程中，主要是将锚杆一侧与支护结构衔接，再选择稳定性较好的岩土结构，将锚杆另一侧插入，在此基础上形成一个完整且稳固的支撑体系，不仅可以强化深基坑支护效果，又能提升岩土工程建设安全性。土层锚杆支护施工要点如下：

（1）正式开展施工作业前，考虑深基坑环境复杂性，再结合实地勘察报告、地质及水文条件，进一步优化现有土层锚杆支护设计，根据所获取的各项参数，重新进行设计计算，以提升土层锚杆支护施工方案合理性与可行性。如计算锚杆承载力，通过下述公式计算普通灌浆锚杆的承载能力：

$$N_t = L_m \pi D \tau$$

式中为 N_t 锚杆承载力（轴力）， L_m 为锚固段长度， D 为锚杆孔径； τ 为土的抗剪强度^[3]。

（2）施工过程中，挖土置锚头下 50cm，通常情况下，需要待锚杆预应力张拉后，再挖下一层土，多一层锚杆，重复一次上述供需。在保证深基坑支护体系稳定性前提下，尽可能减少锚杆布置层数，若基坑深度超过 12m，布置一层锚杆即可。同时在钻孔前将施工区域存在的障碍物清理干净，平整场地后，

表 1 深层搅拌桩施工质量检验标准

项目	规定值或允许偏差	检验方法及频率
桩距	$\pm 100\text{mm}$	抽检 3%
桩径	不小于设计值	抽检 3%
桩长	不小于设计值	喷浆前测钻杆长度，成桩 28 天后钻取芯总桩数 3%，并不得少于 3 根
垂直度	1.5%	抽检 3%
单桩每米水泥量	不小于设计值	查看施工记录

表 2 土层锚杆支护施工技术规范标准

成孔水压 /MPa	注浆管距孔底	开始张拉强度	张拉设备	锚杆高度差	钻孔宽度
0.15-0.30	50-100mm	砂浆设计强度 70%-80%	液压千斤顶	60.5cm	> 6.5cm

即可开展钻孔作业。

(3) 以湿作业方式进行成孔时, 施工人员需要按照设计图纸及施工方案, 校正孔位, 待锚杆成孔钻机转移至指定位置后, 则是根据设计要求, 检查孔位的垂直、水平及角度偏差。垂直允许偏差 $\geq 2\text{cm}$; 水平允许偏差 $\geq 5\text{cm}$; 角度允许偏差 $\geq 0.5\text{cm}$ 。启动水泵后, 进行注水钻进, 结合施工区域地质条件, 对钻进速度加以控制, 每节钻杆完全钻进后, 方可与后一段钻杆搭接。钻进时, 施工人员要注重钻进速度、钻进压力以及钻杆平直度控制, 钻进深度距设计要求深度 20cm 时, 即可暂停钻进, 用清水冲洗管内泥沙, 直至管内有清水溢出, 再退出内钻杆。将内钻杆拔出后, 使用专用工具测量钻孔深度, 并详细记录。

(4) 注浆时, 必须将注浆管在外套管底完全插入, 遵循一边灌浆一边活动注浆管的操作原则, 待浆液灌至孔口后, 再将注浆管拔出。基于锚固环节, 普遍采用压力灌浆方式, 将灌浆帽嵌入外套管口, 再进行压力灌浆, 第一节灌浆压力控制在 0.3-0.5MPa 以内, 再结合现场施工情况, 逐渐增加压力, 压力范围不超过 1.5-2MPa, 当孔口出现漏浆情况时, 即可暂停灌浆^[4]。土层锚杆支护施工技术规范标准参考表 2。

3. 钢板桩支护施工

钢板桩支护技术具有施工速度快、支护效果好以及满足重复使用需求等优点, 且适用于多种土质条件。在岩土工程深基坑支护施工中运用, 主要是在土体中嵌入钢板桩, 在此基础上形成具有较强稳固性的支护结构, 不仅能够有效预防基坑土体坍塌, 又能避免后期施工中出现基坑变形问题, 以提升基坑安全性与稳定性。通常情况下, 需要根据工程所在区域的地质条件, 施工要求以及安全系数等因素设计与选择钢板桩支护形式。钢板桩支护施工要点如下:

(1) 因钢板桩具有较强的稳定性和刚性, 运用该项技术, 能够对土体的水平推力与垂直荷载有效抵抗, 其中 U 型、H 型、Z 型等均是目前深基坑支护施工中较为常见的钢板桩类型, 依据工程要求对钢板桩的材质以及规格加以确定, 并考虑其承载力、稳定性以及耐久性等因素, 选择合适类型的钢板桩。带有防腐层、强度高的新型钢板桩使用, 有利于提升承载能力和稳定性, 确保岩土工程深基坑施工安全。

(2) 以工程设计要求为依据, 确定现场土方开挖顺序与深度, 防止发生塌方等安全问题。施工人员必须在开挖过程中实时关注基坑周围地质情况变化, 尤其是不均匀沉降情况, 以便及时调整现有钢板桩支

护施工方案。待土方开挖工序结束后, 严格按照规范要求。在土体中打入钢板桩, 以及安装内支撑, 即可形成具有较强稳定性的支护结构^[5]。打入钢板桩时, 必须控制钢板桩的垂直度, 防止钢板桩出现较大偏移或倾斜, 同时该工序结束后, 应及时进行质量检测, 确认所形成的支护结构是否与设计要求相符合。

(3) 使用吊车将钢板桩运输至插桩点, 插桩时必须与锁口对准, 每插入一节钢板桩, 套上一个桩帽, 并轻轻锤击桩帽, 利用经纬仪控制打桩时的钢板桩垂直度, 随时校正钢板桩位置。根据钢板桩设计长度, 分次打桩, 直至打至设计标高位置, 为保证每次钢板桩打入位置及方向的精确度, 应每打入 1m 测量一次。结合现场施工情况, 选择合适的拔桩方法, 如静力拔桩法、振动拔桩法。以振动拔桩法为例, 则是使用振动锤对钢板桩施加振动力, 使土体受到振动作用时, 能够与板桩间的摩阻力、吸附力加以破坏, 再借助吊车将桩轻轻拔出。拔桩顺序与打桩顺序相反, 遵循边振边拔的操作原则, 避免对基坑周围土体造成过度扰动而引起塌方等安全问题。若出现拔桩困难情况, 可以使用振动锤多次、交替振打与振拔, 拔桩至距离基础底板 500mm 时, 即可暂停引拔, 并及时回填拔桩后的土孔。土孔回填材料可以选用水泥砂浆, 以提升支护结构稳固程度。

结束语: 综上所述, 结合岩土工程实际情况, 并根据施工要求, 合理制定深基坑支护设计方案, 确保所设计的深基坑支护体系符合岩土工程建设要求, 同时明确深基坑支护施工流程以及技术要点, 加强各环节施工规范控制, 以提升深基坑支护施工效率与质量, 将深基坑支护的功能作用有效发挥, 为岩土工程顺利安全施工提供基础保障。

参考文献:

- [1] 陆晓磊. 岩土工程中深基坑支护设计与施工探究[J]. 石材, 2023, (12): 60-62.
- [2] 舒宗妹. 岩土工程深基坑支护工程设计理论与实践相结合[J]. 西部探矿工程, 2022, 34 (06): 23-26+29.
- [3] 关鹏. 岩土工程中深基坑支护的设计与施工方法探究[J]. 建筑工人, 2022, 43 (03): 14-17.
- [4] 王永红. 岩土工程中复杂场地深基坑支护工程设计与施工研究[J]. 世界有色金属, 2021, (15): 225-226.
- [5] 张恩重. 岩土工程深基坑支护设计与施工中存在的问题及对策[J]. 工程技术研究, 2020, 5 (12): 207-208.