

土钉墙 - 桩锚支护技术在深基坑工程中的应用

任 磊

北京科技大学基建管理处 北京 100083

摘 要: 深基坑的稳定性和安全性直接影响到施工的顺利进行和周边建筑物的稳定性。本文以北京市某高校教学实验楼工程为背景,介绍了土钉墙桩锚支护技术在深基坑工程中的应用。主要对基坑支护方案和地下水控制方案做了简要介绍,同时根据设计方案对护坡桩施工工艺、预应力锚杆施工工艺、土钉墙施工工艺以及止水帷幕施工工艺中的重点和难点进行了总结与介绍。本项目采用的设计方案和技术措施有效的保证了基坑自身和周边环境的安全。

关键词: 深基坑; 土钉墙 - 桩锚支护; 基坑支护;

引言

随着城市发展越来越快,城市建筑越来越密集,城市用地的日趋紧张,基坑周边多数存在既有建构筑物、市政道路等。这就对深基坑支护提出了较高的要求。如何选择一种经济合理、安全可靠的支护形式显得尤为重要,甚至可能成为整个项目成败的关键^[1]。本文以北京市某高校教学实验楼工程为背景,详细介绍了土钉墙桩锚支护技术在深基坑工程中的应用。

1. 工程概况

本工程位于北京市海淀区学院路地区,拟建工程为某高校教学实验楼二期工程,地上6层,地下2层,框架剪力墙结构,筏板基础。拟建基坑坑底埋深为-10.86m(局部-11.36m、-12.26m)。拟建场地地面平均标高约为49.50m,则本基坑工程基坑开挖深度为10.36m(局部10.86m、11.76m)。

2. 工程地质及周边环境

2.1 工程地质与水文条件

本工程拟建场区的地貌单元属于永定河洪冲积扇中下部,根据地勘报告,表层为人工堆积土层,其下为一般第四纪沉积土层。从地层空间分布规律看,垂直向变化显著。现从上至下分别描述如下:①杂填土层;①1粘质粉土填土层;②粘质粉土层;②1粉砂层;③粉质粘土~粘质粉土层;③1粉砂层;③2砂质粉土层;④粉质粘土~重粉质粘土层;④1细砂层;④2粘土~重粉质粘土层;④3粘质粉土层。地基土物理性质见表1。

经现场地勘,在勘察深度(35.00m)范围内测到3层地下水。第1层地下水为上层滞水。水位埋深4.70~6.00m,稳定水位标高-6.34~-4.71m;第2层地下水为潜水。水位埋深11.50~14.50m,稳定水位标高-14.84~-11.81m;第3层地下水为潜水。水位埋深20.80m,稳定水位标高-21.14m。

表1 地基土主要物理性质

| 序号 | 名称 | 性质 |
|----|--------------|--------------------------------------|
| 1 | 杂填土①层 | 杂色,稍湿,稍密,含砖块、灰渣、建筑垃圾等,厚度1.0~2.50m。 |
| 2 | 粘质粉土填土①1层 | 褐黄色,稍湿,中密,含砖块、灰渣、少量建筑垃圾。 |
| 3 | 粘质粉土②层 | 褐黄色,稍湿,密实,含云母、氧化铁;顶标高-1.06~-2.89m。 |
| 4 | 粉砂②1层 | 褐黄色,湿,中密,主要成分云母、石英、长石,含氧化铁。 |
| 5 | 粉质粘土~粘质粉土③层 | 褐黄色,很湿,可塑,含云母、氧化铁。顶标高-4.31~-8.44m。 |
| 6 | 粉砂③1层 | 褐黄色,湿,中密,主要成分云母、石英、长石,含氧化铁。 |
| 7 | 砂质粉土③2层 | 褐黄色,稍湿,密实,含云母、氧化铁; |
| 8 | 粉质粘土~重粉质粘土④层 | 褐黄色,很湿,可塑,含云母、氧化铁;顶标高-17.99~-22.00m; |
| 9 | 细砂④1层 | 褐黄色,湿,密实,主要成分云母、石英、长石,含氧化铁; |
| 10 | 粘土~重粉质粘土④2层 | 褐黄色,很湿,可塑,含云母、氧化铁; |
| 11 | 粘质粉土④3层 | 褐黄色,稍湿,密实,含云母、氧化铁; |

2.2 周边环境

本工程北侧紧邻此次在施项目的一期工程且已投入使用；东侧为金工实习基地，距离拟建楼地下室外墙约 6.70m；西侧为机电信息楼，距离拟建楼地下室外墙约 15.50m；南侧为逸夫楼及 1 栋教学楼，其中逸夫楼距离拟建地库外墙最近为 5.60~9.00m；教学楼距离拟建地库外墙为 10.70m。

3. 基坑支护方案

3.1 工程重点与难点

(1) 本工程工期紧、各工序穿插作业多，如何按期保质完成工程施工是本项目的重点和难点。(2) 本工程基坑开挖深度 10.36m，土方量 3.8 万方，土方挖运与护坡桩、锚杆及土钉、疏干井施工交叉配合，如何确保土方开挖的连续性是本工程的管理难点。(3) 旋喷桩止水帷幕的质量控制是本工程的重点。

3.2 设计方案

该项目基坑东西长约 100m，南北宽约 43m。地面标高按场地整平标高 49.50m 考虑，基坑深度为 10.36m。根据场地周边条件及工程地质条件，采用土钉墙 - 桩锚支护形式^[2-3]。本工程地下水控制措施为桩间止水与槽内疏干井相结合的措施。

(1) 基坑支护方案

根据槽深及基坑周边环境，本工程支护设计分为 3 个支护剖面，分别述如下：1-1 支护剖面：支护高度 10.36m，基坑等级为二级，采用桩锚支护，护坡桩直径 800mm，桩间距 1.60m，设置 1 层锚索；2-2 支护剖面：支护高度 10.36m，基坑等级为二级，采用桩锚支护，护坡桩直径 800mm，桩间距 1.60m，设置 2 层锚索；3-3 支护剖面：支护高度 10.36m，基坑等级为二级，采用桩锚支护。护坡桩直径 800mm，桩间距 1.60m，设置 3 层锚索。剖面图详见图 1。

(2) 地下水控制措施

本工程地下水控制措施为桩间止水与槽内疏干井相结合的措施。

① 止水帷幕方案：在每个桩间布设 2 根 $\phi 800\text{mm}$ 三重管高压旋喷桩帷幕止水，旋喷桩之间咬合厚度不小于 250mm，旋喷桩间距为 550mm，注浆材料为水泥浆，桩体强度不低于 0.90MPa，喷射注浆压力 20 ~ 40MPa。旋喷桩长有效长度为 9 米，顶标高为 -4.50m，底标高为 -13.50m。桩端进入隔水层③粉质黏土、粘质粉土层不小于 2 米。

② 疏干井方案：疏干井成孔直径 600mm，井管直径（外径）400mm，井管材质为无砂混凝土管，井深 10.0m。

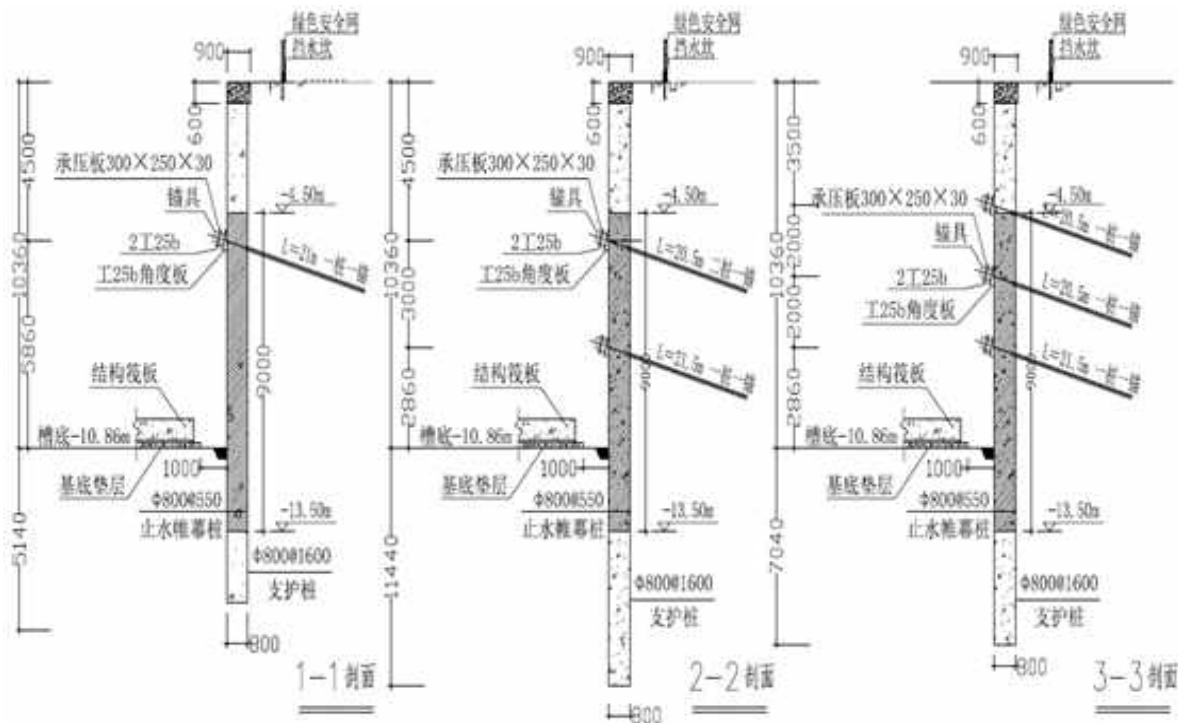


图 1 基坑支护剖面图

疏干井位于坡顶外 1.0~1.50m 处。由于基坑跨度大，为更快降低地下水位，在基槽内布置 16 眼疏干井，井间距为 20.0 ~ 25.0m。

4. 施工工艺技术

4.1 护坡桩施工工艺

护坡桩施工采用长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼的施工工艺，护坡桩 $\Phi 1000$ 数量为 13 根， $\Phi 800$ 数量为 95 根，护坡桩混凝土强度等级为 C25，垂直度允许偏差 0.5%，混凝土浇筑高度高于设计高度 0.5m。

(1) 钻孔：控制钻头缓慢下放，正常钻进速度可控制在 1 ~ 1.50m/min，钻进过程中，如遇到卡钻、钻机摇晃、偏移，应停钻查明原因，采取纠正措施才能继续钻进。在下钻过程中应经常注意土层变化，在土层变化处均应捞取土样，判明后记入记录表中并与地质剖面图核对。

(2) 混凝土浇筑：钻杆提升速度应与泵送速度相匹配，灌注提升速度控制在 2.5m/min。各支护段护坡桩钢筋保护层厚度均为 50mm，允许误差不超过 20mm；混凝土的充盈系数为 1.05 ~ 1.2，不宜大于 1.3。

(3) 钢筋笼安装：下笼过程中必须先使用钢筋笼自重压入，压至无法压入时再启动振动锤，插入速度宜控制在 1.2 ~ 1.5m/min。钢筋笼全部入孔后检查安装位置，钢筋笼用吊筋固定定位。用水平仪测量护筒顶高程，确保钢筋笼顶端到达设计标高，随后立即固定。

4.2 预应力锚杆施工工艺

本次锚杆用 7 Φ s5/ Φ s15.2，抗拉强度为 1860N/mm²的预应力钢绞线加工而成，设计杆体长度为锚杆长度 +1.20m。基坑南侧 2-2 剖面，因锚杆端部以进入逸夫楼基础底部，此剖面锚杆施工采用“跳打”法进行锚杆成孔，成孔后及时注浆。

所有锚杆均采用二次压力注浆，注浆管的出浆口设逆止构造；二次注浆压力不低于 1.5 ~ 2.0MPa，采用二次压力注浆时，注浆管应在锚杆末端 $L_a/4$ ~ $L_a/3$ 范围内设置注浆孔，孔内距宜取 500mm ~ 800mm，每个注浆截面的注浆孔取 2 个。

锚杆张拉锁定：锚杆张拉前，首先检查试块抗压强度，达到设计强度的 70%，方可张拉，锚杆正式张拉前，应取 0.1 ~ 0.2 设计荷载值进行预张拉 1 ~ 2 次，使锚杆个部位接触紧密，再按规范要求用拉拔机分级张拉^[4]，其逐级加载

次序如下：

表 2 锚杆张拉加载表

| 项目 | 占设计载荷的百分数 | | | | |
|-----------|--------------|------|------|-------|------|
| 加载次序 | 10% | 50% | 75% | 110% | 100% |
| 加载时间 | 3 分钟 | 5 分钟 | 5 分钟 | 10 分钟 | |
| 锁定载荷 100% | 根据每段设计的锁定值锁定 | | | | |

张拉时，升荷速率每分钟不宜超过设计预应力值的 0.1；卸荷速率每分钟不宜超过设计预应力值的 0.2。

4.3 土钉墙施工工艺

(1) 边坡开挖：按照土方开挖的分层顺序放坡开挖，分层开挖深度在每道土钉孔口标高下 0.5m 处。基坑边坡应分段分层开挖，采用反铲挖土机，预留 20cm ~ 30cm 人工修坡，边开挖边人工修整边坡。

(2) 土钉成孔：土钉成孔机具采用锚索机，成孔直径 100mm，倾角为 10°，孔深允许偏差 ± 50 mm。

(3) 土钉制作与安放：钻孔完毕后，应立即将钢筋体和灌浆管同时插入孔底，灌浆管距孔底约 150mm。为保证钢筋杆体位于成孔的中心，在钢筋杆体上焊接 3 根对称的“U”型 $\phi 6.5$ 的钢筋作为支架，沿钢筋方向均匀布置，间距 2m。

(4) 土钉墙钢筋网施工：钢筋网与坡面间隙宜为 20mm，保证喷射砼时钢筋不晃动。钢筋网为 $\phi 6.5@250 \times 250$ ，网片之间采用焊接搭接，搭接长度不小于 300mm。

(5) 为防止土钉墙内有局部渗水，在坡顶四周砌筑挡水台，在坡底设置临时集水坑。对于局部可能存在的滞水或渗漏，可在坡面设置泄水孔（ $\Phi 40$ PVC 管）进行疏排，便于土钉墙有积水顺利排出。

4.4 止水帷幕施工工艺

止水帷幕桩采用三重管高压旋喷桩工艺，护坡桩桩间设 2 根帷幕桩，帷幕桩直径 800mm。桩体强度不低于 0.90MPa，喷射注浆压力 20 ~ 40MPa。旋喷桩长有效长度为 9 米，顶标高为 -4.50m，底标高为 -13.50m。

旋喷桩采用三重管法施工，高压水射流的压力宜大于 25MPa，气流压力宜取 0.7MPa，气体流量 0.8 ~ 1.2L/min，注浆压力宜为 0.2 ~ 1.0MPa，水泥浆流量 60L/min，提升速度为 5 ~ 20cm/min，旋转速度为 15r/min。

在不同地层中,其注浆量、提升速度、旋转速度应通过现场旋喷桩试验确定,并根据施工时的实际情况,在施工过程中不断优化。高压水射流的压力宜大于 25MPa,气流压力宜取 0.7MPa,气体流量 0.8 ~ 1.2L/min,注浆压力宜为 0.2 ~ 1.0MPa,水泥浆流量 60L/min,提升速度为 5 ~ 20cm/min,旋转速度为 15r/min。

5. 结语

本文以北京市某高校教学实验楼工程为背景,介绍了土钉墙桩锚支护技术在深基坑工程中的应用。主要对基坑支护方案和地下水控制方案做了简要介绍,同时根据设计方案对护坡桩施工工艺、预应力锚杆施工工艺、土钉墙施工工艺以及止水帷幕施工工艺中的重点和难点进行了总结与介绍。本

项目采用的设计方案和技术措施有效的保证了基坑自身和周边环境的安全。

参考文献

[1] 王永玮,郑建国,曹雷.深基坑支护方案技术经济评价模型[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2018,48(12):99-104.

[2] 陈师演,何锦华.双排桩支护结构在深基坑工程中的应用[J].建筑结构,2019,S1:783-785.

[3] 肖淑君,彭卫平.某深大基坑支护设计方案选型分析[J].湖南大学学报(自然科学版),2018,45(S1):190-196.

[4] 岩土锚杆(索)技术规程:CECS 22:2005[S].北京:中国计划出版社,2005.