

深基坑支护施工技术探讨

——以湘雅五医院深基坑支护为例

刘福云¹, 周启明¹, 陈 辉²

(1. 湖南省第五工程有限公司, 湖南 株洲 412011; 2. 湖南省建工置业投资有限公司, 湖南 长沙 410205)

摘要: 基坑工程对建筑产品生产全过程的安全性和经济性至关重要。文章以湘雅五医院深基坑支护为例, 针对不利的地理位置和复杂的施工环境条件, 采用不同的支护方式。对于开挖深度不大、施工场地较为宽广的基坑, 采用复合土钉墙支护结合两级放坡进行开挖; 基坑开挖深度较大、场地受限没有放坡位置的基坑, 采用旋挖灌注桩结合预应力锚索支护后再进行开挖。结果表明: 复合土钉墙、桩-锚结合支护方式在开挖深度为 20~25 m 的基坑施工中安全可靠、经济实用。本文结果可为同类工程提供参考。

关键词: 复合土钉墙; 桩-锚结合; 旋挖桩; 锚索; 变形观测

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)10-0056-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.10.133

Exploration of construction technology for deep
foundation pit support

——Taking deep foundation pit support as project in Xiangya fifth hospital an example

LIU Fuyun¹, ZHOU Qiming¹, CHEN Hui²

(1. Hunan Fifth Engineering Co., Ltd., Zhuzhou 412011, Hunan, China ;

2. Hunan Construction Real Estate Investment Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China)

Abstract: Foundation pit engineering is crucial to the safety and economic efficiency of production process of construction products. Taking deep foundation pit support in Xiangya fifth hospital as an example, aiming at unfavorable geographical location and complex construction environment conditions, different support methods are adopted. The foundation pit with small excavation depth and wide construction site is excavated by using composite soil nailing wall support combined with two-stage slope cutting. When the excavation depth of foundation pit is large, the site is limited and there is no slope position, the excavation is carried out after the rotary excavation pile combined with the prestressed anchor cable support. The construction process of this case shows that the composite soil nailing wall, pile-anchor combined support method is safe, reliable, economic and practical in the excavation depth of 20~25 m. This paper can provide reference for similar projects.

Key words: composite soil nail wall; pile anchor combination; spun-digging pile; anchor cable; deformation observation.

随着我国经济的发展, 经过 30 多年房屋建筑及基础设施大规模建设, 各大中城市地面建筑区域和体量达到了一个新的高度, 特别是各特大城市和沿海发达城市地面建筑趋向饱合, 下阶段城市地下管廊、地下停车场等建设越来越多, 深基

坑支护技术将得到大量应用。城市土地资源有限, 充分利用地下空间, 城市地下建(构)筑物建设规模和数量不断增加, 建(构)筑物之间地下空间的间距会越来越紧密, 地下结构施工环境更加复杂, 对基础工程地下空间基坑支护施工技术提出了更

收稿日期: 2024-03-26

作者简介: 刘福云(1976—), 男, 高级工程师, 从事建筑施工及项目管理方面的工作。

高的要求^[1]。倪波涛^[2]对钢筋混凝土冠梁结合钢管内支撑组合式竖向支护桩技术进行了研究,多种支撑方式组合应用能做到结构合理、经济实用;唐喜青^[3]在复杂环境条件下采用封堵处理、双排桩联合锚索和钢筋混凝土角撑并结合桩间网喷等支护措施,解决了防空洞和软弱粉土层不良地段的支护困难;董京京^[4]对注浆微型管桩直立复合土钉墙基坑支护技术进行了探讨,此方案可加快工程进度、节约材料,应用前景广泛;吴晶晶^[5]采用排桩与板墙式混凝土内支撑结合的基坑支护形式应用在南京某高校基建项目中,取得良好的经济效益和社会效益。

这些有益的研究和应用对深基坑支护积累了丰富的经验,在不同的地理位置和环境条件下,需选择一种安全可靠性好、造价相对较低的支护方式。本文就旋挖灌注桩结合预应力锚索支护、分级放坡结合复合土钉墙支护进行研究,以期可为相关工程提供参考与借鉴。

1 工程概况

湘雅五医院建设工程位于长沙市天心区果子园路与新谷路交汇处的东南角，南临环保大道，东侧为仙姑岭森林公园，场地西侧果子园路和北侧的新谷路有地下管线，工地围墙距基坑上口边缘较近，基坑东侧森林公园区域采用永久性支护，使用年限为 50 a。

场地原始地貌属湘江冲积阶地,呈东高西低,场地标高介于 57.60 ~ 74.10 m。项目主要包括:两栋住院楼(北住院楼及南住院楼)、两栋商业塔楼(塔楼 A 及塔楼 B)、1 栋动力中心楼、1 栋质子中心楼及与住院楼配套的底层多层裙房。建筑标高 ± 0.000 m 为 61.300 m,主楼地下二层,基坑开挖底标高为 49.30 m,开挖最大深度为 25.00 m,基坑面积约为 9 万 m^2 ,基坑开挖底边线周长约为 1 600 m,除东侧山体外,其他 3 个方向均为城市干道,施工期间车辆流量较大。

工程周边条件较为复杂,基坑开挖平面尺寸约为 $418\text{ m} \times 224.5\text{ m}$,如图 1 所示。基坑边坡 A-C-D、M-A 支护段采用复合土钉墙支护, D-H、IJK、KL 支护段采用桩-锚结合支护, 基坑边沿外

仙姑岭森林公园桩锚支护顶台阶后的山体边坡高度小于 7.5 m 处采用毛石挡土墙。桩锚结合区段, 采用旋挖灌注, 桩顶设置冠梁, IJK 桩间设置一排锚索, KL 支护段桩间设置二排锚索, EG 段支护高度为 25 m, 支护桩长为 30 m, 桩径为 1.2 m; DE 段分二级设有二排支护桩, 支护高度分别为 6.7 m 和 12 m, 中间设置有 3.5 ~ 7.5 m 的中间平台, 靠山体侧第一排支护桩长为 21.7 m, 桩径为 1.2 m, 靠基坑侧第二排支护桩桩长为 16 m, 桩径为 1.0 m; GH 段也分二级设有二排支护桩, 支护高度分别为 12.7 m 和 12 m, 中间设置有 7 ~ 15.5 m 的平台, 靠山体侧第一排支护桩长为 27.7 m, 桩径为 1.0 m, 靠基坑侧第二排支护桩桩长为 16 m, 桩径为 1.0 m。支护桩间土体防护采用挂网喷混凝土进行防护, 网筋为双层 $\varnothing 8 @ 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$, 喷射混凝土 C20, 厚度 80 mm, 基坑设计安全等级为二级。

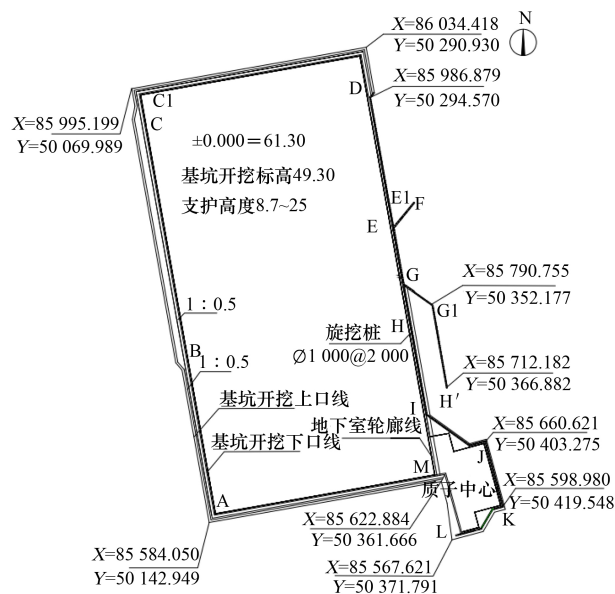


图 1 基坑平面布置 m

2 工程地质及水文条件

建筑物区域由上而下依次:

(1) 人工填土(Q4ml)，主要为素填土，褐黄、褐红色，主要由黏性土组成，局部含强风化岩块，呈稍湿，松散状态，密实度不均匀，未完成自重固结。

(2) 第四系冲积层(Qal)。粉质黏土③: 褐灰、褐黄色, 呈稍湿, 可塑状态, 中等干强度及中等韧性, 该层场地内普遍分布。

粉质黏土④：褐黄夹灰白色条纹，局部含少量卵石，中等干强度及中等韧性。该层场地内广泛分布层厚为0.60~12.00 m。

粉质黏土⑤：褐黄色，呈稍湿，硬塑状态，圆砾质量分数为20%~30%，局部卵石质量分数为10%~20%，中等干强度及中等韧性。该层场地内局部分布，层厚为0.50~2.50 m。

第四系残积(Qel)粉质黏土⑥：紫红、褐红色，局部含少量强风化岩块，呈硬塑状态。该层场地内大部分分布，层厚为0.40~4.90 m。

(3) 第三系(E)泥质粉砂岩。强风化(r3)泥质粉砂岩⑦：紫红色，泥质、钙质胶结，大部分矿物已风化，遇水易软化，属极软岩，岩体基本质量等级为V类。该层场地内广泛分布，层厚为0.50~10.00 m。

中风化(r2)泥质粉砂岩(r2)⑧：紫红色，泥质、钙质胶结，中厚层状构造，遇水易软化，RQD(岩石完整性参数)=80%~90%，属极软岩，岩体较完整，岩体基本质量等级为V类，厚度1.00~36.60 m。

强风化(r3)泥质粉砂岩⑧-1：紫红色，节理裂隙发育，岩芯呈土柱状，属极软岩，岩体基本质量等级为V类，该层呈透镜体状分布于中风化泥质粉砂岩⑧层中，厚度为0.70~6.00 m。

中风化(r3)泥质粉砂岩⑧-2：紫红色，泥质、钙质胶结，岩芯较完整，多呈柱状，RQD(岩石完整性参数)=75%~85%，属极软岩，岩体基本质量等级为V类。该层呈透镜体状分布于中风化泥质粉砂岩⑧层中，厚度为0.50~4.20 m。

场地西侧约6.5 km为湘江。部分勘探钻孔遇见地下水，水深约为0.5~1.0 m，主要为上层滞水，分布不均匀，水量、水位均随季节而变化，未形成连续稳定水面。

3 基坑及边坡支护设计与优化

综合考虑项目基坑需要开挖的深度、周边的交通运输状况、施工操作面等影响因素，本项目基坑及边坡支护重点和难点问题如下：1) 基坑周边现有地面标高不一致，东侧高，西侧低，操作面距离也不一致，采用单一的常规支护方式不能

满足实际需要；2) 施工期间，场地条件复杂，西侧和北侧距离城市主干道较近，车流量大，振动荷载对支护结构的影响较大；3) 地下室采用箱形结构并进行了抗浮设计，施工过程对防水和止水有较高的要求，雨季地表水丰富，必须防止地下水位升高；4) 东侧山体开挖深度达25 m，支护高度较高，土体侧压力大，且要考虑暴雨季节东侧山体汇集的水流对基坑支护体系的冲刷。

经多方论证，以确保施工安全，结合基坑施工的重点和难点问题，决定分区域采用不同的支护，具体表现：

(1) 基坑边坡A-C-D、M-A支护段采用复合土钉墙支护，分两级放坡，中间设1.5~2.5 m台阶，如图2所示。

(2) 对于基坑开挖深度较大的D-H、I-J-K、K-L支护段采用桩-锚结合支护，支护桩作为悬臂结构承担一部分土体侧压力，在支护桩的中上部通过设置多排锚索的方式抵抗一定的土压力，从而避免支护桩及基坑土体产生过大的变形^[6]。支护桩采用旋挖灌注桩，桩径为1 200、1 000 mm两种。最不利工况：E-G区段采用直径1 200 mm旋挖灌注桩，桩为29 200 mm，相邻桩中心间距2 400 mm，如图3所示；E1-F区段采用直径1 000 mm旋挖灌注桩，桩长为21 100 mm，相邻桩中心间距2 000 mm，支护桩间土防护采用挂网喷混凝土进行防护。

(3) 桩锚支护顶台阶后的山体边坡局部高度小于7.5 m处采用放坡砌筑毛石挡土墙。(此部位施工难度不大，本文略去)

4 深基坑开挖及降水方案

整个场地分层进行开挖，每层深度控制在2.0~3.0 m范围内^[7]，总体分3个土层标高进行开挖，分别为标高为58.00 m以上，标高为54.00~58.00 m，标高为49.30~54.00 m，靠近基坑边坡部位，严格控制挖土深度，在距边坡2 m范围停止开挖，由边坡专业施工队对其进行修整，边坡每2 m左右进行修整一次，在边坡支护完成并达到下挖的条件后，才进行下层土方开挖。

从现场出入口位置修筑临时便道至开挖工作面，便道局部软土区铺设路基箱。土方采用机械

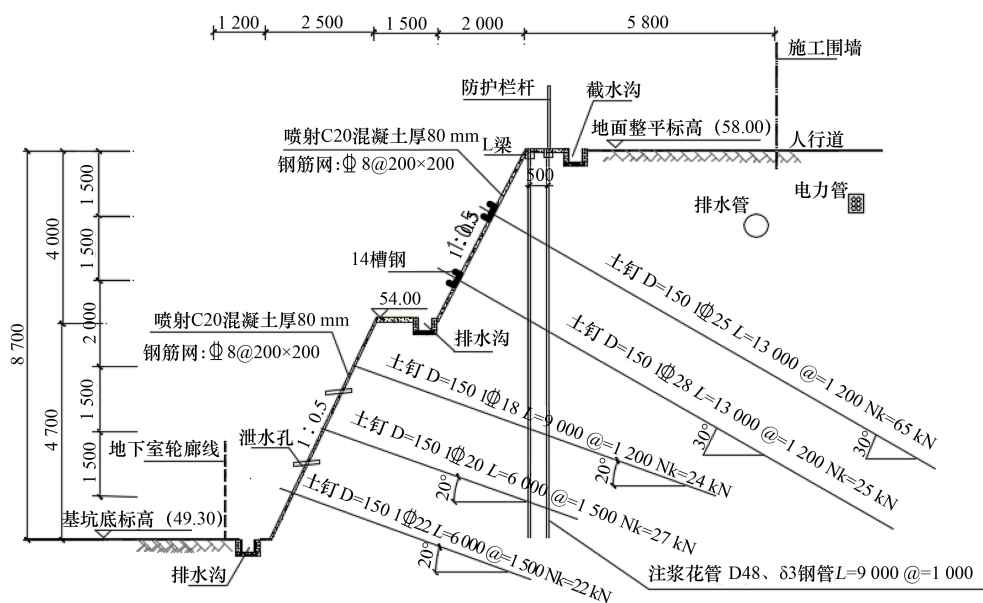


图2 复合土钉墙剖面

mm

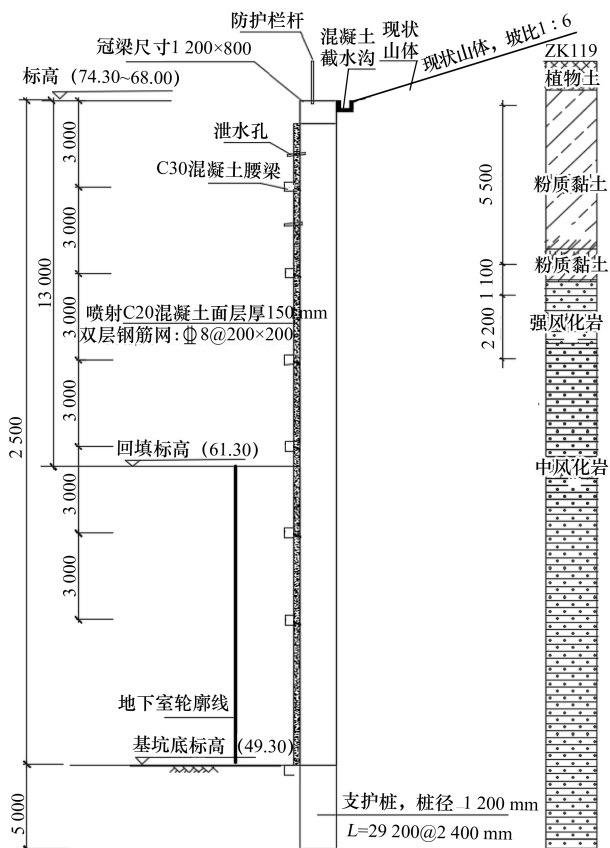


图3 桩-锚结合支护段剖面

mm

开挖,遵循分区分段分层开挖的基本方式,每段开挖的长度为10~30 m,每层开挖深度与基坑支护施工协调一致,同时,根据现场土质情况及变形情况做局部调整。

根据地勘报告,场地地下水类型主要为上层滞

水,未形成连续稳定的水位面,水量小且埋藏较深,项目没有采取特殊的降水措施。在基坑外侧边坡顶部环形路靠近基坑一侧对原有基坑边缘场地进行硬化,砌筑30 cm高的挡水墙,并设置连续排水沟和集水坑,收集的地表水,经沉淀池后接入市政排水管网^[8]。基坑内侧开挖完成后,在基坑底周边和内部受力较小的部位设置排水沟和集水坑,用潜水泵抽排基坑内的积水。坑底排水沟截面宽度为300 mm,深度为120~300 mm,坡度为0.3%,集水坑1 000 mm×1 000 mm×1 000 mm,集水井间距不大于50 m。基础底板施工过程中后浇带部位按照设计标高下降200 mm作为基坑结构施工阶段的集水槽。

5 基坑支护结构施工

5.1 土钉复合墙施工

5.1.1 施工程序

基坑测放开挖线→变形观测点设置→变形点初始观测→坡顶排水沟等→花管注浆→土钉墙施工→分层分段土方开挖→分层分段土钉墙施工→重复上述工作至设计基底标高。

5.1.2 施工工艺与操作要点

(1) 土钉成孔深度、孔径、倾角要求严格按基坑各向坑壁施工参数表,施工允许偏差:孔深>300 mm,孔径>5 mm,孔距±100 mm,成孔倾角±2°。当土钉(锚杆)成孔与相邻建筑物基础及地下管道相遇时,调整土钉(锚杆)水平间距,调整后土钉

水平间距小于设计间距。成孔过程中取出的土体与设计所认定的土层加以比较,未发现较大的偏差。

(2) 土钉(锚杆)置入孔中前,先装对中托架,保证土钉(锚杆)处于钻孔的中心部位,注浆管宜与土钉(锚杆)绑扎在一起,注浆管距孔底为 100~200 mm。

(3) 土钉(锚杆)采用二次注浆法,注浆前先清孔,第一次采用重力或低压(0.3~0.6 MPa)灌浆,导管底部插入孔底,在灌浆同时,将导管缓慢匀速撤出,导管的出浆口应始终处于孔中浆体的表面下。第二次采用高压注浆(2~3 MPa),孔口设止浆塞,在首次灌浆初凝后 2~4 h 内向孔中二次灌注水泥净浆,注满后保持压力 5~8 min。灌浆材料采用水灰比 0.45~0.50 的水泥净浆,浆体搅拌均匀,不得混入大颗粒杂物。

(4) 土钉复合墙喷射混凝土厚度为 80 mm,分两次喷射,里、外层均为 40 mm。在底层混凝土喷射完成后,铺设 $\varnothing 8$ mm 间距 200 mm $\times$ 200 mm 单层双向钢筋网,骨架筋 $\varnothing 14$ mm 间距 1 200 mm $\times$ 1 200 mm,在挂一层网后喷二次混凝土到 80 mm 厚。

5.2 桩-锚结合施工

5.2.1 施工程序

边坡开挖线及支护桩位放线 $\rightarrow$ 变形观测点设置 $\rightarrow$ 变形点初始观测 $\rightarrow$ 旋挖灌注桩施工 $\rightarrow$ 桩顶连梁施工 $\rightarrow$ 锚(杆)索、桩间土处理、腰梁施工 $\rightarrow$ 基坑施工 $\rightarrow$ 基坑土方回填 $\rightarrow$ 桩顶施工 $\rightarrow$ 土方回填至设计标高。

5.2.2 施工工艺与操作要点

(1) 修建通往桩位处的便道,对原地面进行初步平整,标定桩位中心,定出相互垂直的十字控制桩线,并作十字标志点。挖护筒孔位,吊放入钢护筒,用十字线校正护筒中心及桩位中心,钢护筒壁厚为 10 mm,护筒长度为 3 m,钢护筒顶部高出原地面 300 mm,其中心竖直线与桩中心线重合,桩位平面允许误差为 20 mm。

(2) 钻机就位处地面平整坚实,钻机钻杆和桩径中心在一条竖直线上,调整钻杆的角度,保证桩身垂直度在 1/200 以内,旋挖钻头平面偏位在 20 mm 以内。旋挖至施工图设计深度后,进行孔径、垂直度、沉渣深度等测试检查,符合要求后,

立即清理孔底,孔底沉渣厚度不超过 100 mm。

(3) 对于较深的桩位钢筋笼分节制作,钢筋龙骨架运至施工现场后,放置于平整、干燥的场地,上下垫方木与地面脱离,采用 25 t 吊车安装,两吊点起吊法,钢筋笼骨架进入孔口后,将其扶正徐徐下放,避免碰撞孔壁。在下放过程中,吊放钢筋笼入孔时对准孔位,保证垂直、轻放、慢放入孔。

(4) 浇灌混凝土之前,进行二次清孔,因土层中存在滞水,桩孔内积水较深时,混凝土采用导管水下灌注。混凝土面进入护筒后,护筒底部保持在混凝土面以下,随导管的提升,逐步上拔护筒,保证导管的埋置深度和护筒底面低于混凝土面,边灌注、边排水,保持护筒内水位稳定。混凝土灌注的桩顶标高比设计高出 0.5~1.0 m,采用间隔成桩的施工顺序,在混凝土终凝后,再进行相邻桩的成孔施工。

(5) 预应力锚索采用 YQ100 型电动潜孔钻机,钻机就位时,根据设计要求确定孔位并定出标志点,孔位垂直方向允许偏差为 ± 50 mm,水平方向允许偏差为 ± 50 mm,钻孔倾斜度允许偏差为 3%,钻孔直径为 150 mm。成孔时,将钻杆逐段接长至设计深度,钻进平直稳定,成孔深度应超过锚杆杆体长度 500 mm。

(6) 锚索采用 3~4 束 7 $\varnothing 5$ mm, 1 860 MPa 级钢绞线,二次注浆管管端与出浆孔应胶封,安装时杆体应到孔底,注浆管孔底距为 100 mm,推送锚索时用力要均匀一致。第一次注浆采用常压注浆,压力约为 0.8 MPa,加注至孔口溢浆。在一次注浆初凝后,进行二次注浆,其压力为 2.5~3.5 MPa,注浆过程,应做到封堵严密,确保形成高压浆体。在锚固体强度达到设计强度的 70% 或 20 MPa 后进行锚杆张拉,采用“跳张法”,锚杆正式张拉前,对锚杆预张拉 1~2 次,便于各部位接触紧密,再进行分级加载,观察其变位趋于稳定后然后卸荷至锚锁荷载进行锚锁。锚索锁定,做好记号,3 d 后没有异常情况,采用手提砂轮机切割余露锚索头,再支模采用 C25 混凝土封锚处理。

(7) 土方分层开挖方案,挖土超出每层锚索的深度不超过 500 mm,在腰梁及锚索张拉端处理完毕后,方可进行下一层土方的开挖。

6 基坑监测方案及结果

在基坑四周共布设 8 个基坑外水位监测孔(基坑北侧 2 个, 东侧和西侧各 3 个), 孔深 23 m, 水位孔采用 SH30 型钻机在孔位位置钻至设计深度, 钻孔清孔后放入镀锌滤管, 在其外侧用滤网扎牢, 用碎石回填孔。水位监测孔数值作为评估地表滞水量的参考依据。

在基坑开挖前在围护结构顶上布设水平、垂直观测点进行监测, 以详细掌握围护结构顶部的位移情况和基坑不同区段的水平、垂直方向上的位移差异。共布设水平位移观测点共 35 个(基坑南侧坡顶 3 个, 冠梁顶 11 个, 支撑每层 7 个)、沉降观测点共 38 个(27 个位于红线外, 5 个位于立柱顶部, 6 个在冠梁顶)。施工期间围护结构的位移和沉降没有达到报警值。

雨季时少量地表水渗透至基坑, 通过基坑内侧四周排水沟及集水井收集抽排至基坑外, 基坑施工期间基本保持干燥。东侧山体部位永久性支护区段最终变形均在规范许可的变形范围内, 满足设计要求, 没有启动应急措施。

7 结 语

本工程分区域采用不同的支护, 做到了经济合理, 南面、北面和西面采用花管注浆和复合土钉墙支护单价较低, 花管注浆改善了土体结构, 增加土钉与土体间摩擦力, 支护体系力学性能合理。东侧靠近山体区域, 基坑支护高度较高, 采用旋挖灌注桩和预应力锚杆相结合, 安全系数高, 保证施工期

间和运营期间的结构安全。整个支护体系相对常用的钢筋混凝土梁-钢结构组合内支撑施工法及钢板桩施工法可节约成本 200~220 万元。

基坑支护的设计和施工过程要综合考虑安全和造价等各种影响因素, 以保证满足项目建设经济效益, 降低对周边环境的影响。本文以湘雅五医院深基坑支护设计和施工为例, 论述了深基坑支护要因地制宜, 并概述了土钉复合墙和旋挖桩+预应力锚杆结合支护施工技术要点, 可为同类基坑支护工程设计和施工提供参考。

参考文献:

- [1] 史广喜. 试论建筑工程深基坑施工技术[J]. 工程建设, 2017, 49(8): 77-79.
- [2] 倪波涛. 深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用[J]. 建设科技, 2023(24): 90-93.
- [3] 唐喜青. 复杂环境条件下深基坑支护设计和施工[J]. 工程建设, 2019, 51(5): 53-56.
- [4] 董京京. 注浆微型管桩直立复合土钉墙基坑支护设计及施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2023, 30(3): 66-67; 79.
- [5] 吴晶晶. 狭小复杂环境下深基坑支护施工技术研究: 以南京某高校基建项目为例[J]. 城市建筑, 2023, 20(2): 153-156.
- [6] 白云哲, 韩国强, 师岩哲. 深基坑桩锚支护结构受力与稳定性研究[J]. 电力勘测设计, 2023(增刊2): 118-122.
- [7] 高雨濛. 富水深基坑桩锚支护开挖施工技术[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(9): 74-76.
- [8] 周启明. 软土层深基坑土钉墙支护施工技术[J]. 工程建设, 2021, 53(7): 65-69.