

# 结合某项目实例论深基坑支护施工

侯振峰

核工业华东建设工程集团有限公司

**摘要：**南昌市某大型建筑工程开挖深度9米，采用护坡桩、冠梁、三轴搅拌桩、护坡、预应力锚索相结合的复合支护体系，有效保证施工作业安全，缩短施工周期，特别使用到可回收锚索技术，降低成本、适用面广、安全性高等特点。

**关键词：**护坡桩；三轴搅拌桩；护坡；预应力锚索

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.23.079

南昌市某大型建筑工程地下两层，基坑安全等级为一级，基坑深度为9.00m，基坑支护周长为1766.3米，支护面积为98497.4平方米。

## 一、设计方案

1. 场地内地层结构自上而下分别为：由素填土、杂填土、湖积物淤泥，及粉质黏土、中砂、砾砂、泥质粉砂岩。

2. 根据场地地形地质情况、开挖深度、周边环境等情况，基坑采用双排钻孔灌注桩1000@1300，两排桩间距2.4米，桩顶施工预应力锚索，坡顶三米放坡。

3. 场地范围内见二层地下水：上层滞水和孔隙潜水。上层滞水见于填土下部、粉质黏土表层中，初见水位0.40~6.30m，稳定水位0.30~6.10m；孔隙潜水主要赋存于中砂及砾砂中初见水位9.40~12.60m，稳定水位9.20~12.40m。受赣江水侧向渗透补给，水位变化幅度随季节及赣江水位变化；考虑基坑施工周期较长，采用三轴搅拌桩止水帷幕结合降水井排水沟截排水。

## 二、工程施工

### （一）地下水处理施工

采用截水法对地下水进行控制，采用在相邻两根钢筋砼护坡桩之间设置三轴搅拌桩并且基坑内外设降水井的方案，通过护坡桩与三轴搅拌桩的相互咬合，形成连续的截水帷幕墙。

基坑降水周期：集水坑及降水井施工完成，直到基坑回填前，集水坑、集水井内放置抽水水泵及架设排水管道，安排人员不间断值班抽水，保证施工期间基坑内无水。

#### 1. 降水井施工

基坑帷幕内地下水需在基坑内外布设降水井，降水井呈网格状布置。土方每步开挖前首先在降水井间开挖集水深坑，进行槽内地下水的疏排施工。基坑内部降水井间距约60m，成孔直径600mm，井深14.8m。降水井在土方开挖施工之前即开始抽排水施工，以保证土方开挖施工时的干槽作业。

基槽土方开挖至基底时，于沿基坑肥槽范围内的降水井两侧开始排水沟施工，排水沟200mm（宽）

×200 mm（深）布置在拟建建筑物基础边线净距0.4m以上，排水沟边缘离开边坡坡脚不应小于0.3m，沟底坡度（0.1%~0.2%），保证水流通畅。

基底范围内的降水井随着土方的开挖给予挖除，基底下的降水井部分在结构底板施工之前，采用砂石回填，离底板1m以下范围浇筑C20干拌混凝土，上部采用C25混凝土浇筑至井口，然后封闭井口，满焊封闭钢板，灌注微膨胀混凝土处理。

基坑外部降水井距离坡顶5m，井间距离30m，成孔直径600mm，井深13.9m，由于基坑靠近赣江，地下水位随赣江水位影响较大，基坑外设降水井检测水位的同时也能够降低基坑边的水位，降低止水帷幕的地下水压力。

#### 2. 三轴搅拌桩

止水帷幕采用三轴搅拌桩，桩径850mm，桩中心距600mm，三轴搅拌桩搭接150mm。桩顶位于地面下1.2~4m，桩长越30m，桩端进入强风化岩层不小于0.5m。水泥掺量不少于450kg/m<sup>3</sup>。

开挖导向沟槽：先场地清理整平、施工放样，根据三轴搅拌桩桩位中心线用挖机开挖宽1.2m、深1~1.2m槽沟，并清除地下障碍物。

制备水泥浆液及浆液注入：在施工现场配备电脑计量的自动搅拌系统和散装水泥罐，水泥浆液的水灰比为1.5~2.0，水泥掺量不小于20%，水泥浆配制好后，停滞时间不得超过2小时，因故搁置超过2小时以上的拌制浆液，应作废浆处理，严禁再用。搭接施工的相邻搅拌桩施工间隔不得超过12小时。注浆时通过2台注浆泵2条管路同Y型接头在H口进行混合，注浆压力为1.5Mpa~2.5Mpa。

钻进搅拌提升：三轴水泥搅拌桩止水帷幕采用两喷两搅的施工工艺，水泥和原状土须均匀搅拌，下沉和提升过程中均为注浆搅拌，同时严格控制下沉和提升速度：下沉速度为0.5~1.0m/min，提升速度为1.0~1.5m/min，在桩底部分宜重复搅拌注浆。

特殊情况处理措施：如遇到停电或特殊情况造成停机导致成桩工艺中断时，均应将搅拌机下降至停浆点以下0.5m处，待恢复供浆时再喷浆钻搅，以防止出现不连续桩体。如因故停机时间较长，宜先拆卸输浆管路，妥为清洗，以防止浆液硬结堵管。发现管道堵塞，应立即停泵处理。待处理结束后立即把搅拌钻具上提和下沉1.0m后方可继续注浆，等10~20秒恢复向上提升搅拌，以防断桩发生。施工过程中因超时无法搭接或搭接不良，应作为冷缝记录在案，采取在搭接处补做搅拌桩或旋喷桩等措施，确保搅拌桩的施工质量。

### (二) 护坡桩施工

本工程护坡桩采用反循环成孔灌注桩，在正式施工前，应先进行试桩试验，以检验地层情况及施工工艺是否符合设计要求。

#### 1. 桩位放样

根据坐标控制点引出桩位控制点，进行桩位放样，桩位的放样偏差不得大于20mm。

#### 2. 埋设护筒

护筒埋设采用挖孔埋设的方法，挖孔至一定深度后埋设护筒，护筒中心的桩位不要挖掉，留有40~50cm的圆柱体，开挖深度为1.5~2.0m。护筒的埋设是以桩基中心为圆心，开挖直径大于桩基直径300mm。放入护筒时，用白线十字交叉对护筒中心进行校正，护筒中心与桩位中心的偏差应小于5cm，垂直度不大于1%，高度宜高出地面0.3m。护筒底部和四周所填粘质土必须分层对称夯实，以防止浆水渗漏垮孔、下窜。护筒埋设好后，测量其顶部标高，同时在护筒外侧50~100cm的范围分别打埋四个骑马保护桩，用以随时检查护筒和钻机的偏位情况，并用于控制钢筋笼的定位。

#### 3. 钻孔

首先将钻机调平，再将钻杆调垂直，钻头中心对准桩位，使钻杆、钻头、桩中心三点成一线，垂直度由钻机仪表指示确定。

开始钻孔作业，钻进时应先慢后快，开始每次进尺为40~50cm，确认地下是否不利地层，进尺5米后如钻进正常，可适当加大进尺，每次控制在70~90cm。

钻进时，前几个回次一定要轻压慢转、慢放慢提，钻进过程中随时注意地层变化、仪表显示，严格控制回次进尺，操作人员必须慢提慢放，尽量减轻钻具对孔壁的扰动，防止塌孔。在接近终孔时，采用少进尺、边捞渣边进尺的办法，以利于孔底沉渣的清除。

钻到预定的深度后，必须在孔底处进行空转清土，孔底的虚土厚度超过质量标准时，要分析原因，采取措施进行处理。当达到设计桩长而不满足持力层要求时，应继续钻进，直到持力层满足设计要求后方可停止钻进。成孔达到设计标高后，对孔深、孔径、孔壁垂直度、沉淀厚度等进行检查。

#### 4. 清孔

清孔一般进行两次，以达到孔底沉淀物厚度不超过规范规定。在终孔和清孔后，对孔位、孔深、孔径和倾斜度等采用专用的检孔器测定，清孔结束后，应在30分钟内灌注混凝土。若超过30分钟，灌注混凝土钱应重新测定孔底沉渣厚度，若沉渣厚度超过要求，应重新清孔至符合设计要求。

#### 5. 制安钢筋笼

钢筋加工在钢筋加工场集中制作，钢筋进场必须有出厂合格证书和质量保证书，经取样送检测合格后加工。制作钢筋笼的主筋、箍筋，直径、数量、间距应符合设计图纸和技术规范的要求。超灌部分桩身钢筋采用

PVC管包裹隔离措施。钢筋笼在地面加工厂制作完成后吊入桩孔，加劲箍制作时确保桩主筋的保护层不得小于50cm，且主筋连接采用直螺纹套筒连接，螺旋盘分段长度满足可绑3~5圈所需的钢筋长度；桩端水平箍筋不得少于3道。钢筋笼分段制作吊装，钢筋笼吊运时，使钢筋笼起吊后处于自然垂直状态。

清孔完毕，孔深、孔径和垂直度等各项指标经检验符合要求后，即进行钢筋笼安装施工。钢筋笼入孔时应对准孔位，吊直扶稳，缓慢下沉，避免碰坏孔壁。下节钢筋笼入孔后，用钢管或方木挑在护筒周围，然后起吊上节，进行上下笼的错位直螺纹套筒对号连接，用力矩扳手检测是否满足规范要求，钢筋笼下到设计标高后，用悬挂器将其与护筒或平台连接牢固，防止钢筋笼发生掉笼或浮笼现象。

在安放钢筋笼后，浇筑砼前，应再次检查孔底沉淀厚度，是否符合设计要求，若不符合须进行第二次清孔。

#### 6. 导管安装

导管在使用前先在地面试拼，导管下放前进行水密性试验承压试验及接头抗拉试验，试验后要对导管编号，下导管时按编号拼接。导管底部至孔底标高控制在0.25~0.4m之间。

#### 7. 灌注水下混凝土

混凝土灌注前要首先准确计算出首批灌注混凝土的数量应能满足导管首次埋置深度（≥1.0m）要求，首批砼灌注后及时测量砼面的高度，以确定埋管深度，并检查导管内是否进水。首批混凝土灌注后，混凝土应连续灌注，在灌注过程中，导管的埋置深度宜控制在2~6米，防止埋管过深提不起来或埋管过浅脱空产生的断桩事件发生。

在灌注过程中，应经常保持孔内水头，防止塌孔。灌注过程中应将井孔内溢出的泥浆引流至适当地点处理，防止污染环境。

灌注完的桩顶标高应比设计标高高出1.0米，高出部分在混凝土强度达到80%以上后凿除，凿除时必须防止损毁桩身。拔护筒时，应注意勿使桩头混凝土离析。

### (三) 冠梁施工

冠梁沟槽→清凿桩头→测量放线→垫层浇筑→模板制安→钢筋绑扎→混凝土浇筑→拆模→养护。

### (四) 护坡施工

边坡开挖：采用反铲挖土机，预留30cm土层人工修坡，开挖深度在约1m，预留宽度20m，以确保边坡施工工作面 and 护坡桩施工作业面。土方开挖严格按设计规定的分层分段开挖，按作业顺序施工，在完成上层作业面的喷射混凝土强度未达到设计强度以前，不得进行下一层土方的开挖。

挂网及焊接拉结筋：钢筋网片用插入土中的钢筋固定，搭接时上下左右一根对一根搭绑扎，搭接长度应大于300mm。钢筋网片借助于横拉筋与固定钢筋外端的

弯钩焊接成一个整体。

喷射砼：喷射砼顺序可根据地层情况“先锚后喷”或“先喷后锚”（土质松散时），喷射作业时，空压机风量不宜小于 $9\text{m}^3/\text{min}$ ，气压 $0.2\sim 0.5\text{Mpa}$ ，喷头水压不应小于 $0.15\text{Mpa}$ ，喷射距离控制在 $0.6\sim 1.0\text{m}$ ，通过外加速凝剂控制砼初凝和终凝时间在 $5\sim 10\text{min}$ ，喷射厚度大于等于 $100\text{mm}$ 。

#### （五）锚杆施工

根据本项目地层及水位情况，锚杆均采用螺旋钻进锚杆机成孔，施工流程为：定孔位→成孔→制锚→下锚杆→压力注浆→补浆→养护（安装腰梁）→预应力张拉→预应力锁定。

锚杆采用高强度低松弛的钢绞线作锚杆材料，单根钢绞线公称直径 $15.24\text{mm}$ ，由7股 $\phi 5\text{mm}$ 钢绞丝构成。

测量、定孔位：先将锚杆施工标高轴线测放出来，再根据锚杆间距施放锚杆位置，并做好标记和编号，孔位允许偏差 $\pm 15\text{mm}$ ，锚索孔距误差不超过 $150\text{mm}$ 。

成孔：锚索采用机械打眼，锚索轴线与岩体肢面或滑移面成大角度相交，钻孔要符合以下要求：钻孔圆而直，钻孔方向尽量与岩层主要结构面垂直；钻孔深度允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ ；钻孔质量和锚索材料质量是锚索施工质量的基础，确保每一根锚索都能发挥支护作用。

锚杆杆体安置：完成造孔工序后，应立即用JCE可回收式锚索从孔口下入孔底。土层预应力锚杆成孔直径设计为 $\phi 200$ ，锚体采用 $7\phi 5$ 预应力高强钢绞线（强度等级为： $1860\text{MPa}$ ）制作而成。钢绞线下料长度应比设计孔深长 $1.0\text{m}$ 左右，以满足张拉锁定需要。在绑扎前，钢绞线应先进行除锈处理，为保证钢绞线在孔中的保护层，钢绞线需内置托架和铁丝紧箍，间距 $1.0\text{m}$ ，固定于定位骨架中心，端部设导向帽，导向帽为长 $15\text{cm}\phi 48$ 钢管，其中平直段 $10\text{cm}$ ，尖嘴长 $5\text{cm}$ ，平直段 $5\text{cm}$ 处设对开 $5\text{mm}$ 孔。锚固段钢绞线必须避免接触油脂、泥土等杂物，锚杆自由段，钢绞线上满涂黄油，自由端由 $\phi 100\text{PVC}$ 套管包裹，两端用铅丝绑扎，并用胶带缠绕密封，套管前端口应切实做好隔离措施，防止灌浆材料侵入自由段，必须保证自由端钢绞线与水泥浆体无粘结。

注浆：钻孔完毕后，应立即将钢绞线和注浆管插入孔内，注浆管距孔底约 $50\sim 100\text{mm}$ ，注浆管采用1根1寸塑料管作导管，常压灌注压力注浆，注浆材料为 $0.5$ 水灰比的P.0 42.5纯水泥浆，注浆压力 $0.4\sim 0.6\text{MPa}$ ，锚杆全长注浆。注浆应慢速连续，直至钻孔内的水及杂质被完全置换出孔口，孔口流出水泥浓浆为止，随即将一次注浆管拔出。二次注浆在一次注浆完成后 $1.0$ 小时内进行，二次注浆必须待浆液溢出孔口稳定 $1\sim 2$ 分钟，方可停止注浆。

钢腰梁的安装：每二三道锚杆均张拉在钢腰梁上，护坡桩钢腰梁采用Q235双拼工字钢25b型钢，单根工字钢 $12\text{m}$ 长，工字钢按施工设计要求一次性投入在工厂加工完成，拉至现场直接安装；在钢腰梁上设置防坠钢

钢丝绳，每2根桩设置一根钢丝绳，钢丝绳与桩为锚栓连接，将钢腰梁固定，防止其因为锚杆应力损失而出现坠落现象。

预应力张拉：锚固段浆体强度达到设计强度等级的75%时（约7天后）方可进行张拉；锚索锁定前，应按轴向拉力标准值的1.3倍进行锚杆预张拉；

根据在该地区同类地层的施工经验，锚杆锁定过程中预应力损失较大，锁定时的锚杆拉力取设计锁定值的1.3倍；

一级基坑锚杆抗拔承载力检测值分别为轴向拉力标准值的1.3倍，正式张拉前先用20%锚杆抗拔承载力检测值预张拉二次，再以50%、75%的锚杆抗拔承载力检测值分级张拉，对黏性土层保持15分钟，观测锚头无位移现象后再按锁定荷载锁定。

JCE回收式锚索回收：为保证锚索的制固质量，可回收锚索在工厂制作，避免因制作问题引起的锚索失败。为了避免水泥浆包裹钢绞线，起到钢绞线与水泥浆阻隔的作用，在一次注浆前先注入防漏填补剂，并漫灌，待其凝固后再进行水泥浆的灌注。同时施工过程中注意对套管的保护。施工中和施工后都要注意对可回收锚索的保护。为了确保锚索的防腐蚀性能，影响锚索的回收及锚索的重复利用，在套管内注入特定的防护液，对外露部分锚索刷油漆加油保护。根据锚索设计的束数，采用配套的JEC专用千斤顶及相应锚头。锚索锚固时采用回收使用的锁件。为了避免在施工中锁锚中间非张拉锚索，导致回收失败，中间锚索用电工胶布缠包标示以示区别。地下结构完成后进行肥槽回填，每步回填高度至每道锚索时，逐一回收，回收从钢腰梁两头从中间进行，塔吊配合。锚索回收从下往上进行。

#### （六）监控量测

本工程基坑侧壁安全等级为一级，侧壁重要性系数为1.1，按照《建筑基坑工程监测技术规范》（GB50497-2009）的规定变形观测的内容为深层水平位移观测，支护结构竖向位移，临建建筑道路沉降、位移，地下水监测，锚杆应力检测，在基坑开挖及运行过程中，还应进行安全巡视。

#### 结束语

本工程按护坡桩、冠梁、三轴搅拌桩、桩间支护、护坡、预应力锚索相结合的构成复合支护体系，施工过程中安全顺利，但对于深基坑支护体系还有更加完善的组合方案理论与实践需要深入研究，以提高基坑设计、施工的科学性、安全性、经济性，为深基坑施工保驾护航。

#### 参考文献

- [1] JGJ120-2012建筑基坑支护技术规程
- [2] GB50086-2015岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- [3] GB51004-2015建筑地基基础工程施工规范
- [4] JGJ311-2013建筑深基坑工程施工安全技术规范