

# 锚杆支护在复杂环境深基坑开挖中的应用研究

孙万政

云南建投第四建设有限公司 云南 昆明 650501

**摘要:** 城市深基坑工程普遍面临周边环境复杂、地层条件差、地下水丰富等施工难题,合理的支护方案是保障基坑安全与周边环境稳定的关键。本文以通海滇南购物中心深基坑项目为工程实例,针对场地紧邻老旧建筑与市政道路、强透水地层、高涌水量等特点,通过多方案比选,采用桩锚支护与钢花管-钢管锚杆复合支护组合体系,并优化成孔与防砂流工艺,配合全过程监测与信息化动态设计。工程实践表明,该支护方案可有效控制基坑变形与周边建(构)筑物沉降,结构安全可靠、经济合理,可为同类复杂条件深基坑工程提供参考。

**关键词:** 深基坑;锚杆支护;预应力锚索;桩锚支护;信息化施工;基坑监测

引言:随着城市地下空间开发与高层建筑建设快速推进,深基坑工程数量持续增加,周边环境约束日趋严格。锚杆支护作为一种受力明确、空间利用率高、经济性较好的支护技术,已广泛应用于深基坑工程。锚杆通过与地层之间的锚固作用,提高土体抗剪强度,改善地层应力状态,增强边坡与支护体系整体稳定性。对于建筑密集、地下水丰富、易发生流砂涌水的复杂基坑,常规支护方案往往难以兼顾安全与经济要求。本文结合通海滇南购物中心深基坑工程实践,系统介绍锚杆支护在复杂环境下的设计思路、施工工艺及监测控制要点,为同类工程提供技术参考。

## 1 工程概况

### 1.1 项目基本情况

通海滇南购物中心项目位于通海县城核心商业区域,规划为地下2层、地上5至11层综合性商业建筑,总建筑面积约5.6万m<sup>2</sup>。基坑平面呈不规则多边形,开挖面积约7800m<sup>2</sup>,基坑开挖深度10.2至11.2m,属深基坑工程范畴。项目地处县城核心区域,周边交通繁忙、人流密集,施工期间需保证周边道路正常通行及邻近建筑安全使用,对施工组织与工艺选择提出了较高要求。

### 1.2 周边环境条件

项目周边环境极为复杂,施工制约因素众多。东侧距离6层浅基础住宅楼仅3.45m,该建筑建于20世纪80年代,基础埋深仅约1.5m,采用砖混结构,整体性较差,对基坑变形极为敏感,允许沉降变形控制在15mm以内,差异沉降控制要求更高。该建筑外墙无任何加固措施,基坑施工期间必须采取有效措施控制其沉降与倾斜,确保结构安全及居民正常生活。北侧紧邻城市主干道,道路边缘距基坑开挖边线仅7.2m,道路下方埋设有给水、排水、燃气、电力等多条市政管线,其中供水管

为铸铁管、燃气管为钢管,均对变形敏感,管线变形控制要求严格,一旦破坏将引发严重后果。西侧与南侧为商业辅路及临时停车场,场地相对开阔,但地下管网同样密集,施工期间需保证正常通行,不得中断交通。场地内地下管线分布复杂,既有建筑基础埋深浅、对变形敏感,基坑施工需同时满足自身稳定与周边建(构)筑物、道路安全的双重控制要求<sup>[1]</sup>。综上所述,本工程周边环境条件极为苛刻,任何变形控制失误都可能导致严重的社会影响和经济损失。

## 2 地质与水文条件

### 2.1 地层岩性特征

根据岩土工程勘察报告,场地勘察深度范围内地层自上而下依次为四个主要工程地质层。第四系人工填土层以杂填土为主,厚度1.0至2.2m,主要由建筑垃圾、黏性土及少量碎石组成,结构松散,均匀性差,工程性质较差,不宜直接作为基础持力层。冲洪积粉质黏土层呈可塑至硬塑状态,厚度2.5至4.0m,中等压缩性,承载力特征值较高,具有一定的工程利用价值。湖积黏土层与粉砂层为场地关键地层,黏土层呈软塑至可塑状态,粉砂层呈稍密至中密状态,该层总厚度6.0至9.0m,为场地主要含水层,透水性强,对基坑工程影响最大。上更新统黏土层呈硬塑至坚硬状态,厚度大于10.0m,工程性质良好,压缩性低,承载力高,可作为预应力锚索的可靠锚固持力层。各土层物理力学性质差异较大,对支护结构设计提出了差异化要求。

### 2.2 水文地质条件

场地水文地质条件复杂,浅部赋存上层滞水及孔隙型潜水,受大气降水和地表水补给,深部分布基岩裂隙水,各含水层之间存在一定的水力联系。勘察期间实测稳定地下水位埋深2.5至4.8m,水位差2.39m,场地南侧水

位较高、北侧相对较低,地下水总体由南向北径流。粉砂层为主要含水层,渗透系数达 $8.5 \times 10^{-3}$ 至 $2.3 \times 10^{-2}$ cm/s,属强透水层,富水性好,给降水施工带来极大困难。经抽水试验计算,基坑涌水量达 $19875.57 \text{m}^3/\text{d}$ ,水量巨大,施工降水将引起较大范围地下水位下降,可能引发周边地层沉降及既有建筑变形。粉砂层在动水压力作用下易产生流砂、管涌等渗透破坏,止水与防止砂粒流失为本工程重点控制内容,需采取可靠的止水帷幕和防砂措施保障施工安全<sup>[2]</sup>。

### 3 支护方案设计与施工要点

#### 3.1 支护方案比选

针对本工程复杂的环境与地质条件,设计阶段对多种支护方案进行了系统的技术经济比选。地下连续墙加内支撑方案安全可靠、变形控制能力好,墙体整体性强,止水效果佳,但造价高、工期长、施工噪音大,对周边环境影响大,且需要大型设备进场。钻孔灌注桩加钢支撑方案施工工艺成熟,桩体刚度较大,但钢支撑占用坑内空间,影响地下室结构施工的连续性,经济性一般,且支撑拆除会产生建筑垃圾。桩锚支护加复合锚杆支护方案受力明确、空间利用率高,锚杆施工与土方开挖可交叉作业,可分区采用不同支护形式,适应性强,经济性较好。经综合比选,结合本工程场地紧邻老旧建筑、高地下水位、强透水地层等特点,桩锚支护方案在满足安全要求的前提下,具有更好的经济性和施工便捷性,最终采用分区桩锚支护与复合锚杆支护相结合的设计方案。

#### 3.2 分区支护设计

综合基坑规模、地层离散性、地下水条件及周边环境约束,本工程采用分区支护方案以适应不同区段的差异化条件。西、南、北侧场地相对开阔,具备大型机械作业条件,采用上部2.5m放坡加下部 $\Phi 600@1200$ 长螺旋钻孔灌注桩与2道拉力型预应力锚索的桩锚支护体系。支护桩桩长15.0至16.5m,桩身混凝土强度等级C30,嵌入稳定持力层深度不小于3.0m。预应力锚索采用3束 $\Phi 15.2$ 高强度低松弛钢绞线,设计抗拔承载力250至350kN,锁定荷载150至200kN,锚固段长度10至12m,位于上更新统黏土层中,自由段长度5至6m。东侧作业面宽度不足4m,紧邻浅基础老旧建筑,大型机械无法进入,采用 $\Phi 48$ 竖向注浆钢花管加4层钢管锚杆加喷射混凝土面层复合支护。竖向注浆钢花管长度12.0m,间距1.0m,梅花形布置,通过压力注浆形成竖向增强体。钢管锚杆设置4层,竖向间距1.5至2.0m,水平间距1.2m,设计抗拔力60至80kN。支护结构整体后退避让既有建筑1.5m,严格控

制变形与不均匀沉降。喷射混凝土面层厚度100mm,强度等级C20,内配 $\phi 6.5@200 \times 200$ 钢筋网,与锚杆连接形成整体。

#### 3.3 关键施工工艺

锚索成孔是本工程的关键工序,采用全套管跟管钻进工艺,成孔直径180mm。该工艺可有效防止孔壁坍塌,保证成孔质量。针对粉砂层钻孔过程中易携砂流失、影响注浆质量及周边地层稳定的突出问题,创新采用 $\Phi 48$ 钢管制作导向帽并留置孔内,配合导管外周草席封堵的综合防砂措施。导向帽可引导钻头准确进入设计位置,留置孔内后形成永久支护,草席封堵可有效阻止水流携带砂粒流失,在控制造价的前提下保证注浆质量与周边地层稳定<sup>[3]</sup>。施工采用全套管护壁无渣挤土冲击回旋成孔工艺,在现有工法与专利技术基础上优化,配套专用钻具,有效适配高地下水、易流砂地层的特殊条件。注浆采用P.O42.5普通硅酸盐水泥,水灰比0.45至0.50,注浆压力0.5至1.5MPa,采用二次注浆工艺,首次注浆初凝后进行二次高压注浆,可显著提高锚固段的密实度与抗拔力。每批次注浆需留置试块进行抗压强度检验,确保浆体质量满足设计要求。

#### 3.4 施工与监测控制

本工程建立了完善的施工与监测控制体系,确保施工过程安全可控。按设计布设监测点35个,对基坑位移、周边建筑与道路沉降、地下水位实施全过程监测,监测频率根据工况动态调整,达到预警值立即启动应急处置程序。编制安全应急预案,明确应急组织架构、响应流程和处置措施,配备应急物资与设备,定期组织应急演练。加强坑外水位监测,设置回灌井15口,根据水位监测数据及时补充地下水,维持坑内外水位平衡,有效减小降水引发的地层沉降。委托具备资质的第三方监测单位开展独立监测,施工前采集完整初始数据与影像资料,做好证据保全工作,为可能出现的争议提供依据。以监测数据指导动态设计,实现信息化施工,根据实测位移、水位等参数实时优化支护参数和施工节奏。预警值设定为:桩顶水平位移25mm,周边建筑沉降10mm,地下水位降深8m,达到预警值即加密监测频次,组织专家分析原因并采取加固措施。通过全过程精细化监测与动态反馈,本工程实现了基坑安全与周边环境稳定的双重目标。

### 4 工程实施效果

#### 4.1 施工过程控制

基坑支护工程于2014年3月正式开工,2014年9月全面完工,施工历时6个月。施工期间严格执行设计方案确

定的各项技术参数与施工工艺要求,全过程实行精细化管理,过程控制良好。在预应力锚索施工方面,共完成锚索186根,按照规范要求抽取28根进行抗拔承载力试验,检测结果全部满足设计要求,合格率达到100%。在钢管锚杆与钢花管施工方面,完成钢管锚杆320根、竖向注浆钢花管160根,施工过程中严格控制注浆参数,经检测注浆饱满度均大于90%,保证了锚固体的完整性与锚固力。在支护灌注桩施工方面,完成 $\Phi 600$ 钻孔灌注桩175根,采用低应变法检测桩身完整性,检测结果均为I类或II类桩,无III、IV类缺陷桩。各分项工程均一次性通过监理单位组织的验收,未出现返工或质量缺陷整改情况,为后续地下室主体结构施工奠定了良好基础。施工过程中未发生任何安全生产事故,文明施工达标<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 监测成果分析

工程完工后,委托具备资质的第三方监测机构对基坑及周边环境进行了持续跟踪监测。监测数据显示,基坑最大累计位移为164mm,位于东侧中部靠近老旧建筑区域,后期变形趋于稳定,单次变化量控制在0至5mm范围内,位移速率为0.5至1.2mm/d,远小于规范规定的预警速率,表明支护体系整体稳定。周边道路最大沉降约20mm,路面未出现明显开裂或差异沉降,满足市政道路正常使用要求。东侧6层住宅楼最大沉降为26mm,位于伸缩缝附近,楼体局部出现细微裂缝,但裂缝宽度均小于0.3mm,未超过建筑变形允许控制范围,建筑结构安全未受影响。坑内水位控制在开挖面以下0.8m,满足干作业施工要求;坑外水位降深约6至8m,回灌井运行良好,水位恢复效果显著,有效控制了降水对周边环境的影响。各监测锚索的轴力实测值均在设计值的70%至85%范围内,安全储备充足,未见锚索松弛或超载现象。

#### 4.3 综合效益评价

从安全性角度评价,本工程支护结构整体安全可靠,施工期间及完工后均未发生支护体系失稳、管涌、流砂等安全事故,周边建筑及道路未出现影响使用的损

伤,实现了基坑安全与周边环境稳定的双重控制目标。从经济性角度评价,采用分区桩锚支护方案较地下连续墙方案节约投资约280万元,工程造价降低约25%,在保证安全的前提下显著节约了建设成本。从工期效益角度评价,锚杆施工与土方开挖实现交叉平行作业,较传统内支撑方案缩短工期约40天,为主体结构施工争取了宝贵时间,间接降低了项目管理成本。从社会效益角度评价,有效控制了周边建筑沉降与道路变形,未引发居民投诉及道路中断事件,保障了核心商业区的正常社会秩序和商业运营。本工程的成功实践充分验证了分区桩锚支护体系在复杂环境下的安全性、可靠性与经济性,为城市核心区同类深基坑工程提供了可借鉴的技术经验。

#### 结束语

在环境复杂、地层透水性强、地下水丰富、易流砂的深基坑工程中,采用桩锚支护与复合锚杆支护相结合的分区方案,配套防砂流成孔工艺与全过程信息化监测,可有效控制基坑变形及周边建(构)筑物沉降。本工程实践验证了该方案的安全性、可靠性与经济性。分区支护理念根据各区段环境条件差异采用不同支护形式,既保证了安全又控制了造价。全过程信息化监测为动态设计提供了可靠数据支撑,实现了风险预警与主动控制。本工程经验可为城市核心区同类深基坑支护设计与施工提供技术参考。

#### 参考文献

- [1]吉晓朋,纪凡季.复杂环境下深基坑内支撑-锚杆支护设计及评价[J].岩土工程技术,2023,37(4):475-480.
- [2]杨子.喷浆锚杆支护施工技术在深基坑工程中的应用[J].石材,2026(2):101-103.
- [3]胡凌洲.高层建筑深基坑钢管桩-锚杆联合支护技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(18):70-72.
- [4]贾正栋,贾立坤,黄珊珊.深基坑锚杆支护技术的应用及施工管理[J].四川建材,2023,49(5):85-87.