

Study on the application of ultra-deep foundation pit support technology in airport construction

Yanping Yin

Shanghai Jianke Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai, 202150, China

Abstract

This study focuses on the stability and control challenges of ultra-deep foundation pit support construction in airport projects, establishing a construction management system centered on ground layer parameter verification, stiffness control, process optimization, and dynamic monitoring. The project uses an underground continuous wall and multiple steel supports as its basic structure, with full-process control centered on slot formation accuracy, support point layout, water stop quality, and deformation monitoring. The results show that this system possesses excellent stability and adaptability to site conditions, providing practical guidance and management basis for deep foundation pit support construction in complex environments. The research enhances overall construction safety and durability, while improving environmental adaptability, offering valuable references and promotion potential for similar large-scale infrastructure projects.

Keywords

ultra-deep foundation pit; airport engineering; support structure; deformation control

超深基坑支护技术在机场建设中的应用研究

尹艳平

上海建科工程咨询有限公司, 中国 · 上海 202150

摘要

本研究聚焦机场工程中超深基坑支护施工的稳定性与控制难点, 构建了以地层参数复核、刚度控制、工艺优化与动态监测为核心的施工管理体系。工程以地下连续墙和多道钢支撑为基础结构, 围绕成槽精度、支点布置、止水质量和变形监测展开全过程管控。结果表明该体系具备良好的稳定性和现场适应性, 为复杂环境下深基坑支护施工提供了实践路径和管理依据。研究提高整体施工安全性和耐久性水平, 并增强环境适应能力, 对同类大型基础设施项目具有参考价值 and 推广意义。

关键词

超深基坑; 机场工程; 支护结构; 变形控制

1 引言

机场基础设施扩建对地基承载性能和场地空间利用提出更高要求, 在航站楼、轨道枢纽和地下管廊集成区域, 超深基坑成为常见结构形式。复杂地层条件与大面积开挖需求使支护设计面临高应力扰动、多向变形耦合及水力渗透风险等多重挑战。针对基坑稳定性、支护强度及施工可控性等关键技术问题, 需在结构设计与工艺路径上形成系统应对方案, 以实现安全、高效的基坑支护体系构建目标。

2 支护施工准备与执行要点

2.1 地层信息与前期准备

基坑支护工程的施工过程高度依赖地层信息的准确性与作业前期工作的系统性管理。在进入施工作业前, 施工单

位应以勘察资料为依据, 组织项目技术负责人、测量工程师与地质顾问开展交底复核, 明确不同作业段的层位划分、地下水赋存条件与软弱夹层分布范围。原始地质报告中所呈现的数据需进行现场复查, 特别是静力触探与孔压试验成果, 应与钻探剖面比对, 判断扰动区与原状区的承载力差异, 防止参数误差引发支护结构失稳风险^[1]。各作业面需制定独立的地质参数表作为支护体系施工中输入依据, 并将土体渗透性、水位波动幅度等指标纳入动态更新台账。在地层突变段或软弱夹层聚集区域, 应提前完成专项处置工艺审批, 并划分施工缓冲段以预防作业异常中断。现场技术人员必须对导墙设置区段、槽段划分与设备施工参数做系统规划, 形成以地质响应为基础的前期操作模型。

2.2 刚度控制与节点管理

技术部门在钢筋笼制作与吊装过程中需依据图纸与钢筋加工复核保护层厚度、纵横筋间距及锚固长度、钢筋笼吊装点位置。钢筋连接段应实现定位钢筋与主钢筋的力学连续

【作者简介】尹艳平(1990-), 男, 中国安徽人, 本科, 工程师, 从事工程管理、建筑工程研究。

性,钢筋加工前完成钢筋原材料检测及施工工艺检测,在下放前完成节点焊缝的检测与编号标记,便于后续质量抽查^[2]。墙体刚度与变形协调性受钢筋骨架整体性与接缝垂直度影响较大,成槽作业后应调度超声波检测设备获取垂直偏差数据,并与导墙控制点测量结果进行闭环比对。钢支撑布设过程中,现场管理人员需依据张拉顺序控制施工节奏,避免因过早拆除临时支护而引发墙体局部失稳。节点区域应完成轴线复测,确保支撑就位无偏心、无预压泄荷风险,连接部位设应力缓冲板件,降低张拉过程中节点裂变可能性。

2.3 变形监测与控制

在施工期内,支护体系的动态安全评估依赖变形监测体系的有效运行和预应力执行过程的精准可控。基坑监测方案应覆盖侧墙水平位移、支撑轴力与基底沉降三类指标,监测点分布需围绕变形极值预测区段进行密集布设。在开挖启动前测量组应完成所有监测点的标定与试测,记录基线数据。每次支撑安装完成后,应在 24 小时内采集完整的形变量数据,与预警值设定表对比变化速率和峰值区段位置,判断是否存在超量变形趋势或非线性响应区。若在过程中监测数据出现显著扰动,须暂停作业,组织技术组开展参数调整与支点力重分布评估,明确下一阶段结构应力校核依据。支撑系统预应力控制不应追求极限加载,而应关注结构协同释放能力,特别是在多道支撑联动区域,应通过调整施工作业顺序策略平衡各支点之间的位移梯度,提升结构稳定性。

3 施工工艺控制技术

3.1 成槽与泥浆控制

施工过程中需依赖稳定的泥浆循环系统调控成槽环境,通过调节比重、粘度与失水量参数以匹配不同地层渗透性特征,成槽前可以采用具有代表性非原位成槽试验为后续施工工作参考依据,泥浆比重控制在 1.05 至 1.15 之间用于维持孔壁支撑力,失水量低于 30 mL 可在槽壁形成连续滤饼结构抑制坍塌风险,泥浆粘度需结合渗透参数在现场实时修正以避免负压吸泥现象发生^[3]。导墙设置前应依据地质剖面划分导向区段并根据设备参数调整导墙宽深比例以匹配成槽机械运动空间,成槽过程中由超声波检测仪实时获取槽深与垂直度变化趋势并将其与泥浆液位及排浆流速数据联动分析判断孔壁稳定性,当检测值偏离警戒阈值时应迅速调整抓斗进尺或泥浆浓度防止接缝处产生结构偏移,墙体垂直度需控制在 1/200 以内以防止结构偏差传导至止水系统接缝区域并造成潜在渗漏通道。

成槽过程由专人专岗组织施工与监督,泥浆性能检测结果每日汇总一次,填入《泥浆参数台账》,由技术员、质检员、班组长及监理签字确认。超声波探头每日进行标定,并手动测深交叉验证误差,形成泥浆系统与机械系统联控机制。遇到比重失衡或孔壁坍塌迹象,立即启动“槽段施工暂停+泥浆更换+监测复测”三步响应流程,防止槽段连接

处形成薄弱接口。泥浆回收系统采用三级沉淀与物理筛分方式循环净化,将沉淀物控制在 30% 以下以维持泥浆性能稳定。在黏性土层或含砂层中成槽,建议在槽底设置吸泥导管或调节成槽速度,降低因局部挖掘扰动导致的墙体渗透性提升风险。

3.2 冠梁与支撑施工方法

冠梁作为支护体系中承担初始荷载的重要构件,需在结构设计阶段确保具备足够抗弯刚度与节点稳定性,其施工时机应控制在地下连续墙混凝土强度达到设计要求的 80% 以上,保证结构整体承载力。现场施工中应在基坑未开挖前完成钢筋骨架封闭式绑扎与模板支设工序,模板封闭后统一安排高强混凝土一次性浇筑作业,振捣环节配置插入式振捣器并持续跟踪密实度变化以消除蜂窝麻面等缺陷风险,混凝土配比参数应压缩水灰比区间,以实现早期强度快速增长与结构致密双重目标。

支撑体系施工阶段结合土方分层节奏嵌套推进,依据结构受力路径布置支撑节段,支撑安装高度需结合开挖深度与支护墙体监测数据动态匹配调整,局部支撑结构设置伺服系统进行协同控制,在节点区域预设千斤顶并施加初始预应力荷载以限制墙体变形传导效应,预应力加载幅度依据结构轴向承载极限进行分级控制,荷载上限控制在设计值八成以内,防止过度约束诱发内力反分布问题^[4]。

3.3 止水作业全过程控制

止水作业施工管理需实现全过程闭环控制,从工序组织、人员分工到质量监督和应急处理均有明确流程。施工前,管理人员应根据导墙区段和进度编制详细作业计划,组织班组技术交底,明确导管安装、混凝土灌注及止水钢板布设要求,确保关键节点可追溯。导管安装后需复核接口密封性及相关参数匹配。作业期间,监理和质检同步巡视,现场实时记录各项关键数据,并汇总上报。遇到导管返浆或灌注异常,须暂停作业并启动应急流程。止水钢板由钢筋班组每日编号和复测,经质检复核拍照存档。混凝土浇筑后,导管须在初凝前拔除并做好记录,确认未出现偏移和空腔。结构初凝 24 小时内完成声波检测布点,为后续质量复检提供依据。全过程实行多岗位联动管理,将参数、行为和风险统一纳入台账,有效提升止水施工的可控性和质量追溯能力,保障了支护体系的水密性和现场施工的稳定性的。

4 工程应用分析

4.1 工程参数设定

项目位于某新建国际机场 T3 航站楼区域,基坑支护区域为地下轨道交通联络段与行李系统交汇区,基坑深度达 21.8 米,临近结构包括运营航站楼与滑行道桥梁。场地地质剖面呈第四系层状沉积,主要由粉质黏土、淤泥质土及粉砂组成,地下水位距地表约 3.2 米,具有较高渗透性与软弱分层。支护结构形式采用 800mm 厚地下连续墙+四道钢支撑

体系,墙深34米,支撑结构间距6.5米,围护周长共计412米。支护设计基于Rankine理论土压力模型和弹性地基梁变形计算结果,墙体弯曲刚度设定为 $7800\text{ kN}\cdot\text{m}^2$,地基反力系数按地层类型设定为 $18\sim 26\text{ MN/m}^3$ 。支撑系统预应力加载值设置在设计轴力的75%,并在每道支撑布设初始张拉控制段及变形缓冲段。基坑开挖阶段按照分层控制法组织施工,每层平均开挖厚度控制在3.5米,支撑同步分道施工以削减水平位移集中发展。施工期间布设12个侧墙水平位移监测点、8个支撑轴力传感器以及16个基底沉降观测点,实施全周期响应监测。

4.2 监测数据分析

基坑监测显示第一道支撑施工前,墙体顶端外倾,上部5米区域最大位移8.6mm(可控);第二道支撑完成后,最大位移转至中部10~14米区段,达17.2mm,变形向深部发展。初始张拉后6~48小时应力稳定,偏差控制在设计值 $\pm 5\%$ 内,整体应力分布均匀,仅个别边角区域因加工误差出现局部轴力略低,无结构异常。开挖至底板封闭期间,累计沉降 $3.1\sim 12.8\text{ mm}$,J5、J6测点(软弱夹层区)出现峰值,第三开挖层沉降速率最快,支撑闭合及底板浇筑后回落。

表1:各监测点位移与沉降数据汇总表

测点编号	水平位移 (mm)	累计沉降 (mm)	支撑轴力偏差 (%)	异常说明
W1	8.6	5.2	3.8	正常
W7	17.2	7.1	1.5	正常
J5	14.8	12.8	-1.3	局部沉降集中
J6	13.5	11.4	-2	局部沉降集中
A2	9.2	6	4.1	正常
A5	10.1	6.8	-0.5	正常

4.3 应用效果评价

支护体系在实际施工中表现出良好的稳定性与适应性,基坑变形发展整体可控,未出现结构失稳或应力集中扩展现象。墙体最大水平位移控制在17.2mm以内,未超出规范限值,整体位移趋势平稳,支撑张拉后变形曲线呈现明显收敛,侧墙与支点之间的力学协调关系保持稳定。沉降控制效果显著,最大沉降点位于软土夹层集中区域,但变化速率受

控,底板封闭后趋于稳定,未传导至周边运营结构。张拉力分布均匀,各道支撑未出现超压或卸荷现象,节点连接部位无异常变形,结构连续性良好。支护系统对场地扰动反应较弱,航站楼区域未监测到应变异常,说明围护与主结构间未发生负面耦合影响。图1展示了关键监测点在不同阶段的变形发展曲线,进一步印证了结构控制效果与力学响应的一致性。

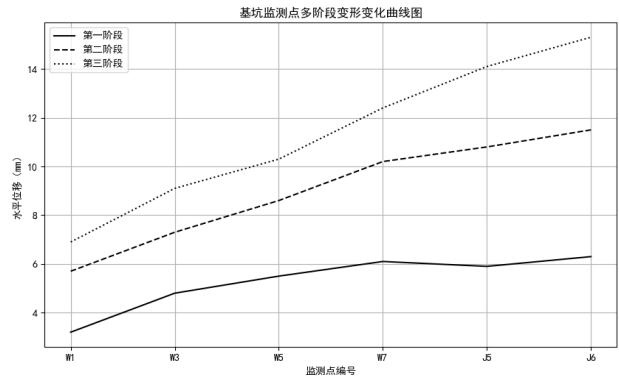


图1: 基坑监测点多阶段变形变化曲线图

5 结论

本研究围绕机场场地复杂地层条件下的超深基坑支护施工全过程,从地层参数准备、刚度控制到工艺执行与监测反馈构建了完整的管理体系。施工中各环节实现动态联动,支护结构变形受控,止水帷幕连续密实,现场数据与结构响应保持一致,验证了支护体系在施工管理路径下的可行性与稳定性。结果表明所构建的支护体系在位移控制、沉降协调及环境适应方面具备稳定性能,形成了适应机场工程需求的可控型深基坑支护技术模型。

参考文献

- [1] 徐超,侯哲皓,赵园园,等.复杂地质条件超深基坑支护设计与实践分析[J].建筑技术开发,2025,52(01):145-147.
- [2] 杜伟.地下互通区超宽超深基坑施工技术工程研究[J].工程质量,2024,42(S2):6-11.
- [3] 周慧,金雪莲,竺启泽.邻近轨道交通的狭长超深基坑共建设计与实践[J].工程建设,2024,56(12):82-89.
- [4] 杜策,周振,张力,等.软土地区超深基坑多层承压水控制技术研究[J].施工技术(中英文),2024,53(23):29-35.