

建筑工程中深基坑支护施工技术的应用与优化研究

迟起鹏¹ 姜 磊²

1. 中启胶建集团有限公司 山东 青岛 266000

2. 青岛筑圆建设有限公司 山东 青岛 266000

摘 要：深基坑支护是高层建筑地下施工的核心关键技术，直接关乎工程安全与周边环境稳定。本文梳理土钉墙、排桩、地下连续墙等主流支护技术原理与适用工况，剖析当前设计、施工、监测管控中的突出问题及技术、管理、人员层面核心成因。从精细化设计、标准化施工、智能化监测等维度提出优化策略，并结合软土深基坑工程实例验证方案成效，可为同类深基坑支护施工提质增效提供参考。

关键词：建筑工程；深基坑支护；施工技术；应用；优化

引言：随着城市建筑高层化、地下空间开发深度提升，深基坑工程施工场景愈发复杂，面临软土地质、高地下水位、毗邻建构筑物密集等多重难题。深基坑支护施工风险高、工艺要求严，传统施工模式易出现变形超标、渗漏坍塌等隐患。为解决工程实操痛点，规范支护施工流程、提升施工精细化水平，本文系统研究深基坑支护施工技术应用要点，挖掘现存问题并制定针对性优化方案，助力基坑工程安全高效开展。

1 建筑工程深基坑支护施工核心技术概述

1.1 深基坑工程基本界定与施工特点

（1）深基坑工程界定：依据《建筑基坑支护技术规程》，通常将开挖深度超过5m（含5m）或深度未超5m但地质、环境复杂的基坑定义为深基坑。其等级按基坑深度、开挖面积及周边环境敏感度划分为一级、二级和三级，作为设计与施工的依据。（2）深基坑施工特点：本类工程呈现显著的高风险性，施工安全受地质条件制约强烈，且工序繁多、工艺衔接紧密。同时，基坑开挖与支护对邻近建筑及管线影响显著，要求施工过程具备极高的时效性与精准的变形控制能力。

1.2 常用深基坑支护施工技术类型及原理

（1）土钉墙支护技术：通过置入土中的密集土钉（钢筋或钢管）与喷射混凝土面层结合，形成复合土体结构，依靠土钉与土体的摩擦力增强边坡稳定性。设备简单、造价较低。（2）排桩支护技术：采用钻孔灌注桩或钢板桩沿基坑边排列布，利用桩体入土深度形成的被动土压力与自身刚度抵抗主动土压力，实现挡土与止水，适用于中等深度基坑^[1]。（3）地下连续墙支护技术：用专用成槽设备沿基坑周边开挖深槽，以泥浆护壁，浇筑钢筋混凝土形成连续墙体。整体刚度大、防水性能卓越，适用于超深、周边环境极度敏感的高风险基

坑。（4）复合支护技术：针对复杂工况，组合多种技术优势，如“预应力锚索+排桩”通过锚固深层稳定地层控制桩体变形，“止水帷幕+土钉”则用高压旋喷桩截断地下水流，解决土钉墙遇水失效问题。

1.3 各类支护技术适用工况与施工要点

（1）地质工况适配：土钉墙适用于自稳能力较好的硬塑黏土及密实砂土；排桩与地下连续墙对软土、砂土等软弱地层适应性广，且地下连续墙更适宜高水位软土层；复合支护常用于软土、高水位等复杂地质补强。（2）环境工况适配：周边建筑密集、地下管线繁杂时，优先采用变形控制严格的地下连续墙或排桩加内支撑体系；空旷场地则可选用放坡或土钉墙等经济型方案。（3）核心施工管控要点：钻进成孔需控制垂直度及深度偏差，严防塌孔；钢筋笼吊装要确保定位准确；混凝土浇筑应连续，避免断桩；锚索张拉需达到设计锁定值；止水帷幕必须保证搭接长度与注浆压力，确保帷幕连续。

2 建筑工程中深基坑支护施工技术应用现存问题及成因分析

2.1 支护设计环节存在的问题

（1）地质勘察精度不足：部分项目勘察点位布设密度不够、深度不足，对场地内暗浜、孤石、透镜体等不良地质体的空间分布难以精准控制，土体物理力学参数获取存在偏差，直接导致土压力计算、嵌固深度设计等基础数据失真。（2）设计方案固化老旧：设计环节习惯于套用地区通用图集或既往工程案例，对基坑空间效应、施工顺序等个性化工况考量不足，支护桩径、桩间距、锚索道数等核心参数缺乏针对性地优化验算，结构实际受力状态与计算模型偏差较大。（3）复合支护设计不合理：锚索+排桩、止水帷幕+土钉等组合体系中，各构件之间的荷载分担比例、变形协调条件及止水搭接构

造设计粗放,过渡带与接口节点存在受力空白或止水薄弱面,易出现局部变形突增或渗漏通道形成。

2.2 现场施工环节存在的问题

(1) 施工工艺落实不规范:钻孔深度不足、垂直度超限,钢筋笼焊接质量不合格或保护层厚度不足,注浆配比随意调整、注浆压力未达标,预应力锚杆张拉锁定值偏离设计,多项工序偏差叠加致使支护结构实际承载力显著下降。(2) 土方开挖与支护协同性差:施工中片面追求出土进度,未严格遵循分层、分段、对称、限时开挖原则,超挖、盆式开挖深度过大现象突出,且支护施工面提供不及时,导致边坡长时间暴露、应力释放充分,极易诱发基坑坍塌^[2]。(3) 地下水控制不到位:降水运行未按设计井数、泵量持续运转,止水帷幕搭接冷缝处理不当,回灌系统未同步启用或回灌量不足,引发基坑侧壁渗水、基底管涌以及周边建筑不均匀沉降等连锁问题。

2.3 施工监测与管控环节存在的问题

(1) 监测体系不完善:监测点布设间距过大、深层水平位移测斜管埋设深度不足,水位观测孔设置数量不够,重要部位和危险断面缺乏针对性加密,监测数据难以真实全面反映支护结构与周边环境的实际变形响应。(2) 数据处理与反馈滞后:现场多采用人工读数、纸质记录的作业方式,数据整理周期长,且停留于简单罗列层面,缺乏趋势分析与速率预警,异常信息传递渠道不畅,往往在变形累积超限后方启动应急,贻误最佳处置窗口。(3) 现场管理机制缺失:技术交底流于签字形式,一线工人对关键工序标准不甚明晰;专职安全质量管理人员配备不足,工序验收与隐蔽工程检查走过场,过程监管严重虚化弱化。

2.4 问题核心成因综合分析

(1) 技术层面:现行支护施工标准化程度偏低,成孔精度控制、注浆饱满度检测等环节缺乏量化刚性约束,数字化建模、自动化监测等智能化手段推广应用不足,传统经验型工艺难以适应复杂工况精细化施工要求。(2) 管理层面:设计、施工、监测三方协同工作机制不健全,信息传递存在壁垒,项目全过程动态反馈调控机制尚未有效建立;参建各方权责界面模糊,质量安全责任未能逐级刚性落实,考核奖惩机制形同虚设。(3) 人员层面:一线作业人员流动性大、岗前实操培训不到位,技术人员对新型支护工艺、自动化监测设备及数据分析软件的掌握深度不够,专业人才梯队培养滞后于行业发展需求。

3 深基坑支护施工技术优化策略与工程应用

3.1 支护设计方案优化

(1) 精细化地质勘察:建立分级加密机制,一级基坑加密布点,暗浜、断裂带等增设补勘孔;采用静力触探与标准贯入试验结合,精准获取抗剪强度、压缩模量及渗透系数;开展水文专项勘察,通过抽水试验测定渗透系数与影响半径,为止水降水设计提供依据。(2) 动态化设计:摒弃静态模式,建立设计施工一体化调控机制。以围护结构测斜、支撑轴力等实测数据为输入,运用反分析修正岩土参数,对锚索道数、支撑截面进行阶段化调整;设置分级预警响应预案,监测达预警值或报警值时,分别启动不同层级复核与补强,确保设计随工况演变^[3]。(3) 差异化选型:构建“地质-环境-深度”三维决策矩阵。软土区深度 $\leq 10\text{m}$ 优先采用水泥土重力式挡墙或型钢水泥土搅拌墙;10~18m且周边有重要管线时选排桩加内支撑; $> 18\text{m}$ 或近地铁隧道时首选地下连续墙加逆作法。同一基坑不同区段地质差异显著时,分段差异化设计,阳角部位加强角撑,实现安全与经济精准匹配。

3.2 现场施工工艺优化

(1) 关键工序工艺升级:钻孔灌注桩采用GPS定位与全站仪复测双重控制桩位偏差,成孔后运用超声波孔壁检测仪测定孔径、垂直度及沉渣厚度,沉渣超标时采用气举反循环二次清孔。注浆工艺引入自动计量与压力传感系统,实时记录注浆量、注浆压力及水灰比。预应力锚索采用多次分级循环张拉工艺,锁定力偏差控制在设计值 $\pm 3\%$ 以内。(2) 开挖与支护协同优化:将基坑开挖划分为若干施工段,每段长度不超过20m,分层厚度严格控制在锚索位置以下0.3~0.5m。建立开挖面与支护作业面的空间衔接制度,每层开挖完成后4小时内启动锚杆钻孔或支撑安装,24小时内完成该层全部支护施工。支护结构养护期间设置位移观测点跟踪监测,待混凝土强度达到设计等级75%、锚索锁定力达到设计值后方可进行下层开挖^[4]。(3) 地下水管控工艺优化:降水井按群井抽水试验结果优化井数、井深及平面布置,滤管长度与含水层厚度匹配设置。止水帷幕采用三轴搅拌桩套接一孔法施工,相邻桩体搭接长度不小于250mm,垂直度偏差控制在0.3%以内,帷幕转角处增设高压旋喷补强桩封堵冷缝。回灌系统采用压力回灌与重力回灌相结合,回灌量根据坑内外水头差动态调节,确保周边沉降量控制在允许范围内。

3.3 动态监测与管控体系优化

(1) 完善全方位监测体系:沿基坑每20m布设一组监测断面,阳角及深度突变区加密至10m。测点布设涵

盖支护桩顶水平位移、桩身深层测斜、支撑轴力、坑外地下水位、周边建筑物沉降倾斜及地下管线位移七大类目。基坑深度1倍范围内每栋既有建筑四角及中部均设沉降观测点，管线正上方每15m布置直接观测点。（2）构建数据智能管控模式：部署物联网监测平台，实现全站仪、测斜仪、轴力计等设备自动采集与无线传输。平台内嵌多级预警算法，综合评估单点累积值、变化速率及多点关联变形趋势，当测斜速率连续两日超过2mm/d或累积位移接近预警阈值时，系统自动推送预警信息。利用BIM+GIS三维可视化技术将监测数据与基坑模型融合展示，辅助管理人员直观研判风险态势^[5]。（3）健全全过程施工管理制度：实行"项目部-工区-班组"三级技术交底，交底内容包括工序参数标准、质量控制要点及应急处置流程。严格执行工序交接验收制度，上一工序验收不合格严禁转入下一工序。推行网格化安全巡检制度，施工现场划分为若干责任网格，每个网格指定专职安全员，每日巡检不少于两次，发现问题即时下达整改通知并跟踪复查直至闭合。

3.4 工程案例应用与优化效果验证

（1）工程概况：某沿海城市地铁枢纽站周边商业开发项目，基坑深度18.6m，开挖面积6200m²。场地地质为海相沉积软土，自上而下为杂填土（2.5m）、淤泥质粉质黏土（14.5m）、粉细砂层（6.0m），地下水位埋深仅1.2m。基坑东侧距运营地铁隧道结构边线仅6.8m，隧道水平位移控制标准 ≤ 10mm。原设计采用1.0m厚地下连续墙加三道钢筋混凝土内支撑方案，试成槽阶段槽壁坍塌严重，成槽效率极低，且地墙施工震动对隧道产生不利影响，被迫停工优化。（2）优化方案落地应用：设计方面将地墙厚度调整为1.2m并增设墙底注浆加固，三道内支撑调整为"两道钢筋混凝土支撑+一道预应力鱼腹梁钢支撑"组合方案，减少换撑工序。工艺方面引入铣槽机配合旋挖钻机硬铣成槽，采用钠基膨润土泥浆配比（黏度 ≥ 45s）增强护壁，槽段接头采用铣接头工艺确保接缝止水可靠。监测方面在隧道内布置自动化监测系统，实现隧道位移实时监控并与基坑施工联动预警。降水运行采用坑内疏干与坑外回灌协同，回灌井沿隧道侧加密布置，回灌量维持在降水量的85%。（3）优化效果对比分

析：优化前后关键指标对比如表1所示。实践表明，优化策略显著改善了施工安全性与效率，各项变形指标均满足严苛控制要求，同时缩短工期并降低了造价，充分验证了"精细勘察-动态设计-协同施工-智能监测"四位一体优化策略在软土深基坑工程中的有效性与推广价值。

表1 优化前后关键指标对比

对比指标	原方案（预估/初期）	优化后（实测）	改善幅度
槽壁坍塌率	32%	≤ 4%	降低28个百分点
成槽工效	基准值	提升40%	工效显著提高
围护结构最大侧向位移	52mm	35mm	降低32.7%
地铁隧道水平位移	接近或超限风险	7.2mm	满足 ≤ 10mm控制值
地铁隧道竖向位移	—	5.8mm	满足沉降要求
施工周期	原计划工期	缩短42天	工期压缩
工程造价	概算值	节省8.5%	成本降低

结束语

本文系统探究了建筑工程深基坑支护核心施工技术，全面梳理工程全流程现存问题及深层成因，构建了勘察、设计、施工、监测一体化的优化体系。通过实际工程案例证实，优化策略可有效控制基坑变形、降低施工风险、缩减工期与造价。未来需持续融合数字化、智能化技术，完善动态施工管控机制，适配复杂地质与严苛施工环境，推动深基坑支护施工技术标准化、精细化发展。

参考文献

[1]冯阵图,李达.砂卵石地层深基坑支护嵌入比安全优化研究[J].岩土工程技术,2024,38(01):45-50.

[2]张旭.富水砂性地层近地铁深基坑支护施工关键技术[J].建筑施工,2023,45(05):845-848.

[3]王莹,夏才初,陈孝湘,等.软黏土地区窄型深基坑支护稳定性优化分析[J].地下空间与工程学报,2022,18(06):183-186.

[4]袁静.复杂地质条件下建筑深基坑支护设计与施工技术优化[J].浙江建筑,2025,16(10):142-150.

[5]叶森.建筑工程深基坑支护与土方开挖协同施工技术优化[J].散装水泥,2025,24(05):55-57.