

# 地铁工程基坑支护技术优化探讨

文 龙

中铁四局集团有限公司城市轨道交通工程分公司 安徽 合肥 230000

**摘 要：**本文围绕地铁工程基坑支护技术优化展开研究，针对复杂地质条件下基坑施工的安全隐患与变形控制难题，梳理排桩、地下连续墙等主流支护技术的应用现状及现存痛点。结合现场实测与数值模拟，提出支护参数优化、施工工艺改进及智能监测联动的综合方案，验证其在提升基坑稳定性、降低施工风险、控制周边沉降中的有效性，为同类地铁基坑工程支护设计与施工提供理论参考和实践借鉴。

**关键词：**地铁工程；基坑支护；技术优化

引言：城市化进程加快推动地铁工程快速发展，地铁基坑多位于城市核心区域，具有深度大、周边构筑物密集、地质条件复杂等特点，对支护技术的安全性、经济性和适应性提出更高要求。传统支护技术存在设计与现场工况脱节、变形控制不足等问题，易引发安全事故。深入探讨其优化路径，完善支护体系设计与施工工艺，对保障地铁工程安全高效建设意义重大。

## 1 地铁工程基坑支护相关理论与技术基础

### 1.1 地铁基坑工程核心特征

(1) 基坑开挖深度与规模特点：地铁基坑多位于城市核心区域，开挖深度普遍在10-20米，部分深埋车站可达30米以上，且基坑长度通常与车站主体一致，规模庞大，开挖作业难度大、周期长，对施工组织要求极高。

(2) 周边环境复杂性特征：基坑周边多分布既有建筑物、地下管线、城市道路等，部分管线年代久远、承载力弱，既有建筑基础与基坑距离较近，施工过程中易引发周边设施沉降、变形，风险隐患突出。(3) 变形控制严苛性要求：地铁基坑变形直接影响周边环境安全和后续结构施工质量，需严格控制基坑围护结构位移、周边地面沉降及管线变形，通常要求沉降量控制在毫米级，远超普通基坑标准<sup>[1]</sup>。

### 1.2 基坑支护核心理论

(1) 土体力学基本理论：以土的抗剪强度、压缩性、渗透性为核心，明确土体在开挖过程中的应力应变规律，为支护结构设计和施工方案制定提供理论依据，是基坑支护设计的基础。(2) 基坑稳定性分析理论：主要包括整体稳定性、坑底抗隆起、抗渗流、抗倾覆等分析，通过计算土体受力平衡，判断基坑在开挖和支护过程中是否存在失稳风险，保障施工安全。(3) 支护结构受力机理：明确排桩、地下连续墙等支护结构在土体压力作用下的受力特点，分析结构内力分布规律，为支护

结构的截面设计、材料选型提供支撑。

### 1.3 地铁基坑常用支护技术类型及应用条件

(1) 排桩支护技术及适用场景：由钢筋混凝土灌注桩或预制桩组成，施工便捷、成本适中，适用于土质较好、开挖深度适中(10-15米)、周边环境相对简单的地铁基坑。(2) 地下连续墙支护技术及适用场景：墙体整体性强、抗渗性好，承载力高，适用于开挖深度大、周边环境复杂、对变形控制要求高的核心区域地铁基坑。

(3) 土钉墙与锚杆支护技术及适用场景：通过土钉或锚杆与土体结合，增强土体稳定性，施工速度快、成本低，适用于土质较好、开挖深度较浅的基坑，常作为辅助支护手段。(4) 组合式支护技术及适用场景：结合两种及以上支护类型，如排桩+锚杆、地下连续墙+内支撑等，适配复杂地质和周边环境，是当前地铁基坑支护的主流形式。

### 1.4 地铁基坑支护技术应用现状及存在的共性问题

(1) 当前应用现状：目前地铁基坑支护已形成多种技术体系，数字化、智能化施工逐步推广，可根据地质、环境条件灵活选用支护类型，但不同地区技术应用水平不均衡，部分项目仍依赖传统施工模式。(2) 共性问题：一是复杂地质条件下支护效果不佳，易出现渗流、沉降超标等问题；二是支护结构与周边环境协同控制难度大，易引发周边设施损坏；三是施工过程中监测精度不足，难以实时把控变形风险。

## 2 地铁工程基坑支护技术优化分析

### 2.1 支护技术优化的核心原则与目标

(1) 优化核心原则：以安全可靠为首要前提，确保支护结构满足基坑整体稳定性、抗渗性及变形控制要求，杜绝坍塌、渗漏等安全隐患；坚持因地制宜，结合工程地质条件、周边环境特征及施工条件，避免方案套用、盲目优化；兼顾经济性与实用性，在保障安全的基

基础上,优化结构设计与施工工艺,降低工程成本、缩短施工周期;注重环保性,减少施工对周边土体、地下水及生态环境的扰动,实现绿色施工。(2)优化目标设定:首要目标是严控基坑变形,将围护结构水平位移、周边地面沉降及地下管线变形控制在规范允许范围内,保障周边建(构)筑物、运营设施及管线安全;其次是提升支护体系的承载能力与抗渗性能,有效应对复杂地质下的流砂、管涌、坑底隆起等风险;同时提升施工效率,简化作业工序、优化施工流程,确保工期节点顺利达成;最终实现安全、经济、高效、环保的综合优化,全面提升地铁基坑支护工程质量与可靠性。

## 2.2 不同地质条件下的支护技术优化

(1)软土地层地铁基坑支护优化:软土地层含水量高、承载力低、压缩性大,易产生不均匀沉降,优化重点为增强支护整体性和抗沉降能力。采用地下连续墙+分级预应力钢支撑的组合形式,增大连续墙厚度、提高混凝土强度,减少墙体变形;内支撑采用钢支撑与混凝土支撑结合,合理加密支撑间距,控制开挖过程中土体沉降;配合轻型井点降水,缓慢降低地下水位,增强土体强度,避免流砂、管涌现象发生<sup>[2]</sup>。(2)砂卵石地层地铁基坑支护优化:砂卵石地层渗透性强、颗粒级配不均,坍塌风险高,优化核心是抗渗与抗坍塌。采用排桩+预应力锚杆+高压旋喷止水帷幕组合支护,排桩选用高强度灌注桩,合理加密桩间距,提升抗侧移能力;止水帷幕采用高压旋喷桩,确保墙体连续无缝,阻断地下水渗透;锚杆深入稳定砂卵石层,优化注浆参数,提升抗拔力,同时加强降水监测,动态调整降水方案。(3)复杂岩土混合地层支护优化:此类地层力学性质差异大、地质条件多变,优化重点为分区适配、精准支护。采用“分区设计、按需优化”思路,软土区域采用地下连续墙支护,砂卵石区域采用排桩+止水帷幕支护,岩层区域简化支护,采用土钉墙辅助加固;优化支护结构衔接部位设计,避免受力不均,加强地层动态监测,根据地层变化及时调整支护参数,保障支护效果。

## 2.3 基于周边环境的支护技术优化

(1)紧邻运营地铁的支护优化:运营地铁对沉降、振动敏感,优化核心是严控变形、减少扰动。采用刚度大、变形小的地下连续墙作为围护结构,加密内支撑布置,采用预应力钢支撑并实时调整轴力,控制基坑位移;采用微扰动开挖工艺,避免爆破、重型机械碾压,减少对地铁轨道的影响;设置高精度自动化监测系统,实时监测地铁轨道沉降与基坑变形,超标立即采取加固措施。(2)周边建筑物密集区域支护优化:建筑物密集

区域荷载复杂,易引发不均匀沉降,优化重点为均衡控变、保护建筑。采用组合式支护增强体系整体刚度,减少基坑侧移对建筑基础的影响;对既有建筑基础进行注浆加固,提升承载力;优化开挖顺序,采用分层分段、对称开挖,及时施加支护,缩短基坑暴露时间,降低变形风险。(3)地下管线复杂区域支护优化:地下管线种类多、脆弱易损,优化重点为管线保护、严控沉降。施工前精准探测管线位置、走向及埋深,绘制详细分布图;采用跳槽开挖、人工开挖,避开管线密集区,避免机械碰撞;在管线周边设置防护桩和注浆加固区,减少土体沉降对管线的牵拉挤压,加强管线沉降监测,及时纠偏<sup>[3]</sup>。

## 2.4 支护结构参数与施工工艺优化

(1)支护结构参数优化:结合基坑开挖深度、地质及周边环境,优化截面尺寸、间距、入土深度等参数。排桩优化桩径、桩长及间距,确保承载力达标;地下连续墙优化厚度、混凝土强度及接头形式,提升整体性与抗渗性;内支撑优化间距、截面尺寸,实现受力均衡;锚杆优化长度、直径及注浆参数,保障抗拔力。(2)施工工艺精细化优化:推行精细化施工,优化各工序流程。开挖采用分层分段、对称开挖,控制速度与坡度,减少土体扰动;支护工序优化桩体浇筑、连续墙成槽、锚杆注浆质量,减少施工缺陷;降水优化降水井布置与速率,避免地下水位骤降引发沉降,做好降水回收利用<sup>[4]</sup>。(3)新型支护材料应用优化:推广高性能、环保型新材料,替代传统材料。采用高强度韧性混凝土,提升支护结构承载力与抗裂性;应用新型止水材料,增强止水帷幕抗渗性;采用复合材料锚杆和钢支撑,减轻自重、提升耐久性,同时降低成本,实现支护技术绿色高效升级。

## 3 工程案例分

### 3.1 工程概况

(1)工程基本信息:本案例为某城市地铁3号线某车站基坑工程,车站全长186m,标准段宽度22.3m,基坑开挖深度16.8m,属于深基坑工程。工程总工期18个月,基坑支护施工为核心关键工序,直接影响后续主体结构施工及周边环境安全,工程质量等级要求合格。(2)地质与周边环境条件:场地土层主要为软塑状粉质黏土、粉土,下部为中密砂卵石层,地下水位埋深3.2m,土层含水量高、承载力低,易发生沉降和流砂现象。基坑周边5m处有3栋6层砖混结构居民楼,10m处有地下综合管线(供水、燃气、通信管线),周边道路为城市主干道,交通流量大,环境管控要求严苛。(3)原支护方案及存

在的问题：原支护方案采用排桩+普通锚杆支护，排桩选用 $\Phi 1200\text{mm}$ 灌注桩，间距 $1.8\text{m}$ ，锚杆长度 $12\text{m}$ 。施工过程中发现存在三大问题：一是软土地层中排桩变形过大，超出规范允许值；二是普通锚杆抗拔力不足，且注浆不密实，存在渗漏隐患；三是支护结构与周边居民楼距离近，沉降影响超出预期，需进行方案优化。

### 3.2 基坑支护优化方案设计

(1) 优化思路与方案选型：优化思路以“严控变形、强化抗渗、保障周边安全”为核心，结合场地地质和周边环境，摒弃原单一支护形式，选用“地下连续墙+预应力钢支撑+高压旋喷止水帷幕”的组合支护方案，兼顾安全性和经济性。(2) 优化方案具体内容：地下连续墙厚度 $800\text{mm}$ ，混凝土强度等级C30，深度 $28\text{m}$ ，嵌入砂卵石层不少于 $5\text{m}$ ；设置3道预应力钢支撑，间距 $6\text{m}$ ，预加轴力控制在 $1200\text{kN}$ ；高压旋喷止水帷幕与连续墙搭接 $1.2\text{m}$ ，形成封闭抗渗体系；对周边居民楼基础采用注浆加固，对地下管线采用悬吊保护措施。(3) 优化方案可行性论证：组织专家对优化方案进行论证，结合地质勘察报告和周边环境监测数据，验证方案满足基坑整体稳定性、抗渗性及变形控制要求；通过数值模拟计算，确认支护结构受力合理，变形可控制在 $3\text{mm/d}$ 以内，符合规范标准；施工工艺成熟、设备易得，可保障施工顺利推进，方案具备可行性<sup>[5]</sup>。

### 3.3 优化方案实施与监测

(1) 施工实施流程：遵循“先支护、后开挖”原则，施工流程为：地下连续墙成槽→混凝土浇筑→止水帷幕施工→分层分段开挖→预应力钢支撑安装及预加轴力→基坑清理，每道工序验收合格后进入下一道，严控施工质量。(2) 现场监测方案与数据采集：设置12个围护结构位移监测点、8个地面沉降监测点、6个管线沉降监测点及4个钢支撑轴力监测点，采用自动化监测设备，每2小时采集一次数据，特殊工序加密至每30分钟一次，确保数据实时、准确。(3) 监测结果分析：监测数据显示，基坑围护结构最大位移 $2.1\text{mm/d}$ ，累计位移 $18.3\text{mm}$ ；周边地面最

大沉降 $1.5\text{mm/d}$ ，居民楼沉降未超过 $3\text{mm}$ ，地下管线沉降控制在 $2\text{mm}$ 以内，钢支撑轴力稳定在设计值范围内，无渗漏、坍塌等隐患，各项指标均符合规范要求。

### 3.4 优化效果评价

(1) 安全性评价：优化后支护体系整体性强、抗渗性好，有效控制了基坑变形和周边环境沉降，杜绝了流砂、渗漏等安全隐患，保障了基坑施工、周边居民楼及地下管线的安全，满足安全管控要求。(2) 经济性评价：虽优化方案初期投入略有增加，但减少了后期沉降治理、渗漏修复等额外费用，且缩短了施工工期2个月，降低了人工、设备租赁成本，整体工程成本降低 $8.6\%$ ，实现了经济性目标。(3) 施工效率评价：优化方案施工工序衔接流畅，自动化监测减少了人工投入，预应力钢支撑安装便捷，相比原方案施工效率提升 $30\%$ ，顺利完成节点工期目标，为后续主体结构施工奠定了良好基础。

### 结束语

地铁基坑支护技术优化是保障工程安全、提升施工效率的关键，需结合地质条件、周边环境与工程需求，实现设计、施工与监测的协同发力。本文提出的优化策略有效弥补传统技术不足，提升了支护体系的稳定性与经济性。未来需融合新型建材与智能技术，推动支护技术向标准化、绿色化、智能化发展，为我国地铁工程高质量建设提供坚实技术支撑。

### 参考文献

- [1]刘芳.新形势下地铁深基坑工程施工技术及其安全管理方法研究[J].工程建设与设计,2020,6(22):42-43.
- [2]邢光明.新形势下地铁深基坑工程施工技术及其安全管理方法研究[J].居舍,2020,12(1):40-41.
- [3]王宏.新形势下地铁深基坑工程施工技术及其安全管理方法研究[J].建材与装饰,2023,10(22):222-223.
- [4]梁吉成.新形势下地铁深基坑工程施工技术与安全管理方法研究[J].住宅与房地产,2022,31(16):170-176.
- [5]王焱,冯超.地铁车站深基坑围护桩优化及数值分析[J].中国安全生产科学技术,2023,9(2):54-58.