

深基坑支护技术在城市地铁车站工程中的应用

陈亮

内蒙古地质工程有限责任公司 内蒙古包头 014000

摘要: 随着城市的快速发展,城市规模不断扩大,在有限地域空间环境里的轨道交通建设成网过程中,地铁车站设置受到各类因素的影响,如线位调整、周边环境条件等导致车站站位调整。深基坑支护技术在城市地铁车站工程中,桩基支护体系主要采用钻孔灌注桩、地下连续墙、SMW工法桩等结构形式,结合内支撑或外拉锚体系,确保基坑稳定性和施工安全。

关键词: 地铁车站;深基坑;开挖;支护;监测

深基坑支护技术在城市地铁车站工程中主要采用内支撑系统,其结构体系包括钢支撑、钢筋混凝土支撑及混合支撑等形式,具体应用需结合工程地质条件和施工需求。

一、地铁车站深基坑施工特点

1. 技术复杂性

地质与水文挑战: 需应对砂质黏土层与富水砂层交替分布等复杂地质,地下水位控制是施工关键。**支护结构要求高:** 需同时承受土压力、水压力,并具备良好防水性能,常采用钢支撑或混凝土支撑体系。

2. 环境敏感性

周边设施保护: 施工需协调地下管线、邻近建筑,通过实时监测控制变形(如沉降速率超过5mm需调整施工)。时空效应控制:采用分层分块开挖,遵循“先撑后挖”原则,减少土体应力释放对周边的影响。

3. 施工风险性

动态风险: 开挖深度每增加1米,风险等级显著提升,需配置应急机制(如管涌封堵设备)。工序时效性:钢支撑安装延误8小时可能导致裂缝扩展,需严格把控施工节奏。

4. 工艺创新性

分段施工: 如嘉兴科技城站将基坑分为两期,减少交通影响。**逆作法应用:** 适用于城市核心区,通过先建顶板再向下开挖,降低环境干扰。

二、支护结构体系

1. 桩基支护

钻孔灌注桩,通过机械钻孔后浇筑混凝土形成连续墙体,常与止水帷幕(如水泥搅拌桩)联合使用。适用于软土、砂土等复杂地质条件,基坑深度通常5-15m。

其特点是强度高、变形小,但施工周期较长。地下连续墙,采用机械成槽浇筑混凝土形成连续墙体,适用于深度超过15m、周边环境敏感(如邻近建筑、地铁隧道)的工程。具有整体性好、止水效果佳的优势,但成本较高。咬合桩,通过素混凝土桩与钢筋混凝土桩交错搭接形成连续止水结构,适用于对变形控制要求严格的区域(如邻近地铁结构)。技术要点与创新,联合支护体系:桩基常与内支撑(钢支撑/混凝土支撑)、锚杆等组合使用,形成“围护桩+支撑”体系,有效控制变形。止水技术:在富水砂层中,采用插入比 ≥ 2 的止水帷幕,并优化地下连续墙接头形式,渗透系数可降至 10^{-5} cm/s级别。智能监测:通过实时监测支护结构位移、沉降等数据,动态调整施工方案。

2. 内支撑系统

内支撑系统在地铁深基坑工程中的应用,内支撑系统是地铁深基坑支护的核心结构,通过平衡围护结构侧向土压力,控制基坑变形,保障施工安全。结构组成与功能,围檩(冠梁):连接围护桩,传递水平力至支撑体系,增强整体性。水平支撑:包括钢支撑(如直径609mm钢管)或混凝土支撑,直接承受侧压力。竖向支撑:钢立柱与立柱桩组合,确保支撑体系空间稳定性。技术优势,钢支撑:可施加预应力(设计轴力增加10%),随挖随撑,经济环保。混凝土支撑:刚度大,适用于复杂平面,但工期较长。组合体系:如“钢管斜抛撑+双排桩”兼具刚性与柔性,变形控制效果显著。施工要点,分层分段开挖:遵循“先撑后挖”原则,减少无支撑暴露时间。监测与补偿:采用智能监测系统实时调整轴力,避免预应力损失。

3. 复合支护

复合支护结构体系通过组合多种支护形式(如排桩

+内支撑、土钉墙+锚索等),有效应对城市地铁车站深基坑施工中的复杂地质条件和周边环境限制。其核心优势在于:协同受力:刚性支护(如钢管斜抛撑)与柔性支护(如双排桩)结合,平衡变形与稳定性。适应性强:针对软土、高水位等地质问题,可灵活调整支护方案(如型钢水泥土复合搅拌桩止水)。施工高效:逆作法施工(如先施作支护桩再分层开挖)减少对地铁运营的干扰。典型技术方案,排桩+内支撑:护坡桩与钢支撑组合,通过冠梁传递荷载,控制围护墙变形。复合土钉墙:土钉与预应力锚索协同,适用于建筑密集区域,施工便捷。地下连续墙+内支撑:用于深大基坑,结合逆作法提升整体稳定性。安全监测与变形控制,智能化监测技术(如GIS三维建模)实时分析支护桩弯矩、地表沉降等数据,预警异常变形。例如,某地铁站通过监测发现桩身最大弯矩位于中下部,优化了支撑布置。

三、影响地铁深基坑支护的因素

1.设计缺陷

围护结构失稳的主要设计缺陷包括:荷载计算错误:未准确考虑风荷载、地震作用或施工超载,导致结构承载力不足。结构布置不合理:构件轴线未对齐或节点连接薄弱,形成薄弱层或扭转效应。支撑系统不足:未设置足够侧向支撑或支撑间距过大,降低抗侧刚度。节点连接失效:焊缝质量差或螺栓预紧力不足,影响整体协同工作性能。长细比过大:构件几何尺寸不符合规范,导致欧拉临界力降低。

2.施工问题

围护结构失稳的施工问题主要包括以下方面:开挖顺序违规:未遵循“开槽支撑、先撑后挖、分层开挖、严禁超挖”原则,或围护桩强度未达设计值即开挖,导致结构受力失衡。施工荷载超限:堆放弃土、料具或设置塔吊等临时荷载超出设计值,增加围护结构变形风险。地下水处理不当:未有效控制地表水、地下水渗漏或回灌,尤其需警惕管道渗漏和上层滞水对稳定性的影响。坡面防护不足:放坡开挖时未进行“硬面化”处理,雨水冲刷易引发局部失稳。

3.土体与水文条件

围护结构失稳的主要影响因素中,土体与水文条件起关键作用,具体表现如下;土体条件,力学性质:土体抗剪强度(黏聚力、内摩擦角)直接影响稳定性。例如,砂土地层中盾构偏移引起的附加土压力变化幅度显著高于黏土地层。填土特性:填土高度、压缩模量、内摩擦角等对拱涵垂直土压力影响显著,其中填土高度和

压缩模量敏感性最高。土体结构:软弱结构面(如断层、节理)易形成滑动面,降低整体稳定性。水文条件,地下水作用:渗透力会降低土体有效应力,当渗透方向与滑动面平行时,显著减小抗滑力。毛细水增加含水量,削弱土体抗剪强度,可能引发冻胀等次生灾害。降水与湿化:降雨或管道渗漏导致土体饱和,强度降低,易引发滑坡。承压水压力:未有效控制时可能引发管涌、坑底隆起等渗透破坏。其他关联因素,土体与支护结构相互作用:如软土地区不对称土压力需通过围护结构变形协调平衡,否则易导致受力不均。施工管理:超挖、降水不当或支护不及时会加剧土体失稳风险。土体强度、地下水动态及施工工艺是围护结构失稳的核心控制因素,需结合地质勘察与实时监测进行综合防控。

4.管理疏漏

围护结构失稳的主要影响因素包括:管理疏漏,施工管理不当:未按设计要求施工,如未分层开挖、超挖或暴露时间过长,监测预警失效:变形超限未及时报警,如某基坑累计变形达80mm未采取补强措施,应急响应不足:对台风等极端天气未提前准备,导致雨水灌入基坑加剧变形,设计缺陷:对地质条件分析不足,如隔水帷幕选型错误导致严重流砂。其他关键因素,地质条件:松散填土、砂性土等易引发渗透破坏,荷载变化:超标降雨或堆载增加侧压力,材料性能:混凝土碳化、钢筋锈蚀等自然老化。

四、地铁车站深基坑支护相关技术措施

1.地下连续墙支护方案,技术概述

地下连续墙作为地铁车站深基坑支护的核心结构,兼具挡土、止水、承重及抗浮功能,适用于软土、砂层等复杂地质条件。其通过成槽机械开挖沟槽,浇筑钢筋混凝土形成连续墙体,整体刚度大,可有效控制基坑变形,保障周边建筑物安全。关键施工技术措施,施工前准备,地质勘察与设计优化,详细勘察地层分布、地下水位及障碍物,优化墙体厚度、深度及配筋设计。例如,在软土层中需增加墙深至基底以下3-5米,采用梅花形布置的止水接头。结合BIM技术模拟施工过程,预判风险点并调整支护参数。场地平整与导墙施工,清除地表杂物,夯实回填土,确保机械作业面稳定。浇筑钢筋混凝土导墙,其顶面需高于地面10-15厘米,防止地表水流入槽段,同时作为成槽导向基准。成槽与泥浆护壁,成槽工艺选择,采用液压抓斗或冲击钻成槽,硬岩层优先使用冲击钻,软土层选用抓斗以提高效率。严格控制垂直度偏差($\leq 0.5\%$),通过超声波检测仪实时监测槽

段质量。泥浆护壁管理，配置优质膨润土泥浆，保持液面高出地下水位1米以上，防止槽壁坍塌。定期检测泥浆比重、黏度及含砂率，及时补充或更换，确保护壁效果。钢筋笼制作与吊装，钢筋笼加工，在专用平台上按设计尺寸焊接，主筋采用套筒连接，确保接头强度。加设“耳朵”钢筋和垫块，控制保护层厚度，防止吊装变形。吊装与定位，使用大型履带吊车多点吊装，避免笼体扭曲。通过导墙定位钢筋精确就位，与预埋件焊接固定，确保垂直度与设计一致。混凝土浇筑，导管法浇筑工艺，采用Φ250mm钢导管，间距≤3米，导管埋深2-4米，确保混凝土连续灌注。控制浇筑速度，避免导管拔空或埋管过深，导致断桩或夹泥。混凝土质量控制，选用缓凝早强型混凝土，初凝时间≥6小时，坍落度180-220mm。浇筑后及时清理导墙顶部泥浆，为后续槽段施工创造条件。施工注意事项，安全风险防控，成槽过程中监测周边建筑物沉降，设置预警值（如累计沉降≥10mm时启动应急预案）。加强槽边防护，防止人员或机械坠入。环保与文明施工，泥浆循环利用，废弃泥浆经固化处理后外运，减少环境污染。控制施工噪音，避免夜间作业扰民。技术优势与适用场景，优势：止水效果好，墙体刚度大，可承受较大侧向压力，适用于深度超过15米的深基坑。适用场景：城市中心区地铁站、邻近重要建筑物的基坑工程，尤其适合高地下水位区域。

2. 立柱桩支护技术措施

施工准备阶段，地质条件精细化勘察，采用地质雷达结合钻探取样，查明30m深度内土层分布，重点识别软弱夹层、承压水层等不良地质条件，建立三维地质模型指导桩长设计，支护结构协同设计，与围护桩形成“桩-撑”受力体系，验算整体稳定性，考虑降水工况下的孔隙水压力变化影响，设置桩顶冠梁增强整体刚度，材料性能控制，采用C40及以上强度等级混凝土，添加高效减水剂，钢筋笼主筋直径≥25mm，间距≤150mm，声测管预埋满足超声波检测要求。施工过程控制，精准定位技术，全站仪三维坐标放样，误差控制在±5mm内，采用导向架保证垂直度偏差≤1/200，桩位复测采用“三检制”流程，成孔工艺优化，黏性土层采用螺旋钻干作业成孔，砂层使用套管跟进工艺防止塌孔，遇孤石时采用液压劈裂法处理，混凝土灌注控制，导管埋深保持2-6m，初灌量满足埋管要求，采用缓凝型混凝土，初凝时间≥8小时，超灌高度≥0.5m确保桩顶质量。特殊工况处理，地下障碍物处理：预先探明并制定专项方案，邻近既有有线施工：采用MJS工法加固隔离，雨季施工：

配备抽排水设备及防雨棚。质量检测体系，完整性检测，低应变法检测桩身完整性，超声波透射法检测混凝土均匀性，钻孔取芯法验证实体质量。

五、关键技术措施

1. 变形控制

围护结构优化，采用地下连续墙或钻孔灌注桩+预应力锚索体系，增强刚度并减少水平位移。软土地区需增加围护结构入土深度，控制坑底隆起。土体加固与降水，对被动土压区进行搅拌桩或注浆加固，提升土体稳定性。结合坑内井点降水，降低承压水对坑底的影响。支撑体系与开挖管理，采用钢支撑或混凝土支撑，随挖随撑，减少暴露时间。分层分步开挖，临近河堤时优先拉槽开挖，控制空间效应。监测与应急，实时监测围护结构位移、坑底隆起及周边建筑沉降。制定应急预案，如反压堆土、临时加固等。

2. 防渗漏技术

源头治理：预埋注浆管于围护结构与防水层之间，压注水泥浆填充裂缝，形成防水壳体。通过可调支撑杆增强挡板稳定性，防止渗漏通道形成。材料与工艺：刚性自防水需确保混凝土振捣密实，柔性防水层需避免破损；施工缝、预埋件等细部需严格密封。导排结合：坑外降水与坑内排水结合，降低水压；地下连续墙接缝处采用注浆封堵。

3. 特殊环境应对

特殊环境应对措施，邻近地铁保护：采用“大分仓开挖”和对称支撑设计，控制变形（如竖向≤12mm、水平≤6mm）。软土与承压水处理：结合注浆加固（如水泥-水玻璃双液浆）和实时监测，动态调整降水方案。狭小场地施工：优化设备布局，采用分阶段开挖，并加强周边建筑物沉降监测。

总之，地铁站深基坑工程施工难度较大，支护技术必须满足各方面要求方可进行施工。深基坑工程受多种因素影响，要做好各方面的协调工作，以安全为第一要素，保证基坑稳定是最重要的条件。

参考文献

- [1] 于楠. 建筑施工中深基坑支护技术的实践应用 [C]//2025年智慧城市建设论坛郑州分论坛论文集. 2025: 63-64.
- [2] 刘艳蕾. 深基坑支护技术在地铁施工中的应用 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(1): 50-52. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2025.01.017.