

# 复杂环境下浅沟槽施工联合支护优化技术研究

普彦聪 鲍宗成 李晋明 洪兴武 缪逸  
云南建投中航建设有限公司 云南昆明 654000

**摘要：**本文基于微型钢管桩的联合支护技术，通过将微型钢管桩、冠梁、腰梁及横向支撑或锚杆等构件有机结合，形成一个空间协同受力的整体支护体系，该技术体系具有施工灵活、支护强度高、变形控制精准、环境影响小、适应性强等显著优势。本文旨在系统研究该技术在空间受限环境下浅沟槽施工中的应用，深入剖析其技术原理、工艺流程、关键施工参数、质量控制标准及实施效果，并结合具体设计数据与施工记录，全面论证其技术可行性与工程应用价值，以期为类似复杂工况下的工程施工提供可靠的理论依据与实践参考。

**关键词：**空间受限；浅沟槽；联合支护；微型钢管桩

在城市更新、地下管网改造、道路扩建以及各类市政基础设施建设工程中，浅沟槽开挖是一项基础且频繁的作业内容<sup>[1]</sup>。然而，当工程地处历史街区、交通干道旁、密集建筑群之间或地下管线错综复杂的区域时，施工空间往往受到严格限制。传统的浅沟槽开挖与支护方式，如大放坡开挖、简易木板支护、槽钢支护乃至常规的钢板桩支护，在此类环境中常显得力不从心<sup>[2]</sup>。大放坡开挖需要宽阔的作业空间，在城区往往无法实现；简易支护结构强度和刚度不足，难以保证沟槽稳定与周边环境安全<sup>[3]</sup>；而常规钢板桩施工则可能因设备尺寸大、施工振动剧烈、挤土效应明显而对邻近敏感建筑物、地下管线及市政道路造成不可接受的影响，甚至可能因空间狭小而无法展开作业。因此，探索一种能够在极其有限的空间内安全、高效、经济地完成浅沟槽开挖与支护的施工技术，成为当前市政工程领域亟待解决的关键技术难题之一。

## 一、技术特点与适用范围

### （一）主要技术特点

微型钢管桩联合支护技术是针对空间受限环境量身定制的一种高效支护解决方案，其综合技术特点鲜明，能够有效克服传统方法的局限。该技术体系首先展现出极强的空间适应性，其核心构件微型钢管桩直径通常在100mm至300mm之间，施工所需的主要设备如小型钻机、高频振动锤等均为尺寸紧凑的型号，使得整套施工活动能够在宽度仅约2m的狭窄场地内灵活进行，对作业面的要求极低。其次是施工速度快、效率高<sup>[4]</sup>。微型钢管桩可采用工厂化预制，质量稳定可控，现场施工以沉入或钻孔植入为主，工序相对简化，成桩速度快，能显

著缩短支护结构形成的周期，为后续主体工程争取宝贵时间。第三，其支护结构具有高强度和刚度。钢管材料本身具备优异的抗弯和抗剪性能，使得钢管桩的桩身强度远高于同直径的混凝土桩或木桩。当通过冠梁连接并与横向支撑协同作用后，形成的支护体系整体性好，能够有效且可靠地抵抗土压力，对沟槽侧向变形的控制能力突出。

### （二）适用范围

该联合支护技术主要适用于各类市政管线沟槽开挖工程、建筑基坑周边的管线沟槽施工、小型管廊工程以及其他需要开挖的浅埋地下线性工程。其应用前提是施工场地狭窄，作业面宽度有限，大型机械设备无法进场或作业严重受限，最小适应宽度可至2m左右<sup>[5]</sup>。地质条件方面，适用于填土、粘性土、粉土、砂土、碎石土等常见土层，在硬塑粘土、密实砂土及含有少量砾石的地层中应用效果良好；若遇坚硬岩层或大块孤石，则需采取预引孔或预钻等辅助措施。关于开挖深度，该技术一般适用于深度在3m至8m之间的沟槽或基坑，具体深度需根据详细的地质勘察报告和支护设计计算确定，在采取专项设计和严格论证的情况下，其应用深度可达10m以上。

## 二、工艺原理与支护体系构成

### （一）技术工艺原理

微型钢管桩联合支护技术的工艺原理，其核心在于利用微型钢管桩作为主要的竖向挡土构件和关键传力构件，通过水平向的连接构件（冠梁、腰梁）将其整合为一个连续的受力整体，并在此基础上设置横向支撑系统或锚固系统，从而共同构成一个空间性质稳定、受力合理的支护结构体系。该体系协同工作，以平衡因沟槽开挖而释放的主动土压力以及地下水压力，从根本上保证

沟槽侧壁土体的稳定性，并将周边土体的变形控制在设计允许的范围之内。

## （二）支护体系构成与协同机制

微型钢管桩首先承担直接的竖向抗弯和抗剪功能，承受由侧向土压力和水压力所产生的弯矩和剪力。其次，作为可靠的竖向支撑点，为上部冠梁、中部腰梁以及横向支撑提供坚实的竖向承托基础。当钢管桩采用密排方式布置时，其桩身本身还能起到一定的挡土和阻水效果；对于桩间土体，则可配合挂设钢筋网并喷射混凝土面层或插入挡土板等方式，进一步封闭作业面，增强止水与挡土效能。冠梁和腰梁的作用至关重要，如同“腰带”一般将所有独立设置的微型钢管桩在顶部或中部连接成一个整体，协调各桩的受力状态，使支护体系从单桩的离散状态转变为整体墙式的连续受力状态，极大地增强整个支护结构的整体刚度和稳定性。同时，冠梁和腰梁也是传递水平荷载的关键构件，能够将横向支撑或锚杆施加的水平作用力均匀地传递给每一根钢管桩。横向支撑或锚固系统被安装在沟槽两侧的支护桩体之间或一端锚固在桩体、另一端锚固在后方稳定土体中，直接平衡作用于支护结构上的大部分水平土压力。微型钢管桩、冠梁（腰梁）、支撑（锚杆）三者之间形成紧密的“桩—梁—撑（锚）”空间框架式协同工作机制。

## 三、施工工艺流程与关键操作要点

### （一）施工准备与测量放样

在施工准备阶段，首要任务是彻底清理施工现场，排除障碍物，并设置有效的场地排水系统。必须采用物探与坑探相结合的方法，全面探明并准确标识施工区域及周边影响范围内的所有地下管线与构筑物的位置、埋深及走向，随后进行精密的测量放线工作，使用全站仪等高精度仪器，测设出沟槽的开挖边线、每一根微型钢管桩的精确轴线位置（桩间距通常按设计要求控制在0.8m至1.5m之间）、以及冠梁和腰梁的位置线，并做好牢固的标记与保护。

### （二）微型钢管桩施工

工程中采用的钢管桩规格为直径108mm、壁厚4mm的焊接钢管，其材质为Q235B或Q355B。桩长根据沟槽深度确定，深度在3m至5m时使用9m长桩，深度在1.8m至3m时使用6m至7.5m长桩，深度小于1.8m的区段则采用自然放坡处理。桩身连接可采用4根直径16mm的钢筋进行帮条焊接或采用专用套筒进行机械连接。施工时，首先复核桩位中心，偏差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内。桩机就位后，调整至底盘水平，并使桩管中心对准桩位标记。钻孔采用潜孔钻机或螺旋钻机进行，按照“跳孔施工”

的原则（即隔一孔打一孔）组织钻孔作业，以防止相邻孔位之间发生串孔现象。成孔直径设计为不小于168mm。若遇地层松散、塌孔严重的情况，需采用套管跟进的措施，且套管可重复利用。沉桩过程中，必须使用两台经纬仪或专用测斜仪对桩身垂直度进行全程实时监控，垂直度偏差应控制在1%以内。桩顶标高需严格控制，沉桩至设计桩顶标高（即冠梁底面标高）为止，高出部分需切割平整。若桩长需接长，则采用坡口焊接，焊缝需饱满、连续，质量等级不低于二级，并按规定比例进行外观检查与超声波探伤检验。

### （三）钢管桩注浆

钢管桩安装就位后，需及时进行桩内注浆，以填充桩孔与钢管之间的空隙，形成复合桩体，提高其承载力与抗侧移刚度。注浆采用强度等级为42.5的普通硅酸盐水泥配制浆液，水灰比严格控制在0.4至0.5之间。注浆时，先将注浆管下放至孔底，首先进行不加压灌注，直至孔口返出水泥浆液。然后密封孔口，进行加压注浆，压力保持在0.5兆帕至1.0兆帕之间，具体数值根据地层渗透性调整。加压注浆持续至浆液再次从管外（桩周）流出并开始计时，稳压时间约为1.5小时。注浆过程中需留置水泥浆试块，以备强度检验。

### （四）冠梁施工

沿支护桩顶设计标高开挖出梁槽，冠梁设计截面尺寸为400mm×600mm，混凝土强度等级为C30。首先绑扎冠梁钢筋骨架，主筋采用HRB400级钢筋，确保钢筋的规格、数量、间距、锚固长度符合设计要求，并将冠梁主筋与钢管桩顶进行可靠焊接或机械连接，以保证荷载的有效传递。随后安装侧模板，要求模板安装牢固、尺寸准确、接缝严密。混凝土采用商品混凝土，浇筑时分层进行，使用插入式振捣棒充分振捣密实。浇筑完成后及时覆盖并洒水养护，养护时间不少于7天。

### （五）土方开挖与支护协同

土方开挖必须与支护结构安装紧密结合，遵循“分层、分段、对称、平衡、限时”的原则。严禁一次性开挖到底或超挖。每层开挖深度与支撑（或腰梁）的设计标高相匹配，一般不超过1.5m。当开挖至支撑或腰梁中心标高以下约0.5m时，应立即暂停该段土方开挖，转而进行该道水平支撑或腰梁的安装与预应力施加作业。对于较长沟槽，应分段开挖，每段长度宜为15m至30m，段与段之间可采取放坡或设置临时支撑进行过渡。开挖过程中要小心操作，避免机械碰撞已施工完成的钢管桩、冠梁及支撑预埋件。沟槽底部应预留200mm至300mm厚的土层，由人工清底，以防止对基底原状土造成过度扰动。

### （六）横向支撑安装与预应力施加

本工程采用HW300×300×10×15型钢作为水平横支撑材料。开挖至支撑设计标高后，必须在规定时间内完成支撑安装并施加预应力至设计值。安装时，先在冠梁或腰梁上安装支撑牛腿或托架，然后吊装型钢支撑就位、调整。通过千斤顶等设备对支撑施加设计预加力，使其预先顶紧受力，然后迅速用钢楔或高强螺栓锁定。支撑端头与冠梁、腰梁的接触面必须垫实，确保力流传递顺畅。支撑轴线应尽量与支护墙面垂直，减小偏心影响。

### （七）支撑拆除与钢管桩回收

在支护体系保护下完成沟槽底部管道安装等作业后，需按序拆除支撑体系。支撑拆除必须在沟槽回填至该道支撑底面以下不小于0.5m的高度，且回填土达到一定密实度后方可进行。拆除顺序应自上而下，与安装顺序相反。拆除时需先安全释放支撑内的预应力，然后解除连接件。对于设计中考虑可回收的微型钢管桩，需在评估拔桩对已完工程及周边环境无不利影响后，采用振动锤或专用拔桩机将其缓慢拔出。拔桩后留下的桩孔应及时用中粗砂或水泥砂浆回填密实，防止地面沉降或形成渗水通道。

## 四、工程计算与设计参数

### （一）稳定性验算

为确保支护结构的安全可靠，施工前进行系统的稳定性验算。以本项目中最深4.8m的沟槽断面为例，采用瑞典条分法进行整体稳定性分析，计算得到整体稳定安全系数 $K_s$ 为1.522，大于规范要求的1.3，满足要求。进行抗倾覆验算时，选取最不利工况，其抗倾覆安全系数 $K_{ov}$ 为2.43，大于规范要求的1.2。抗隆起验算的安全系数 $K_s$ 为3.771，大于规范要求的1.6。对微型钢管桩的嵌固深度进行构造验算，设计采用的嵌固深度为4.460m，大于计算所需的最小嵌固深度2.432m。此外，对嵌固段基坑内侧的土反力进行验算，计算土反力 $P_s$ 为231.149千帕，小于被动土压力 $E_p$ （1079.509千帕），满足要求。

### （二）关键技术参数

基于以上计算，确定5m深、2.7m宽沟槽的支护参数。微型钢管桩采用 $\phi 108 \times 4$ mm焊管，内填M30水泥砂浆，成桩直径为 $\phi 168$ mm。沟槽深度3至5m区段采用9m长桩，深度1.8至3m区段采用6至7.5m长桩，深度小于1.8m区段自然放坡。喷射混凝土面层为C20素混凝土，厚度50mm。冠梁采用C30混凝土，截面尺寸为400mm×600mm，保护层厚度35mm。横向支撑采用HW300×300×10×15型钢。经验算，对于深度小于3m的沟槽，在满足变形控制要求的前提下，可取消横向支撑。

### （三）质量控制体系

施工全过程严格遵守《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120-2012）、《给水排水管道工程施工及验收规范》（GB 50268-2008）、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》（GB 50202-2018）等相关国家及行业规范标准。质量控制涵盖多个方面。在材料控制上，严格把关原材料质量。在施工过程控制中，重点监控测量定位的准确性、微型钢管桩的垂直度（ $\leq 1\%$ ）、桩顶标高（ $\pm 30$ mm）、焊缝质量（外观及无损检测）、冠梁钢筋绑扎与混凝土浇筑质量、土方开挖的分层分段执行情况以及横向支撑的安装位置与预应力施加值。针对微型钢管桩，制定详细的验收标准，包括桩体质量、直径误差（ $\pm 2$ mm）、长度误差（ $\pm 5$ mm）、垂直度（ $\leq 1\%$ ）、定位精度、固定牢靠度、桩内混凝土强度（不低于C30）与充盈度、焊接质量以及桩身标识等，并规定规范的验收程序。

### 结论

空间受限环境下浅沟槽施工微型钢管桩联合支护技术，通过集成微型钢管桩施工灵活、强度高的核心优势，结合冠梁、横向支撑等构件形成科学合理的空间协同支护体系，成功解决在狭窄场地、高环境保护要求、复杂地质条件下进行浅沟槽安全高效开挖与支护的长期难题。通过严格遵循本研究所总结的工艺流程、精细执行各项关键操作要点、并实施全面动态的质量与安全监测控制，能够有效保障工程的安全、质量和进度。未来的研究可进一步聚焦于该支护体系的精细化设计理论、不同地质条件下的参数优化、更加智能化的施工监测技术以及其与装配式施工技术的结合等方面，以持续推动该技术的进步与完善。

### 参考文献

- [1] 张军, 温国惠, 胡平, 等. 浅埋大断面半煤岩巷道锚网索梁联合支护技术[J]. 煤炭技术, 2023, 42(5): 75-79.
- [2] 吕源. 立体联合注浆加固技术在动压巷道支护中的研究与应用[J]. 煤炭与化工, 2023, 46(3): 11-13.
- [3] 卢国栋. 复杂地质条件下深基坑联合支护体系关键技术研究——以广东省佛山市德高信易联金融广场二期项目为例[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [4] 朱豪, 江科, 龚永超, 等. 基于塑性区范围的深部破碎围岩巷道支护技术研究[J]. 矿业研究与开发, 2025(6).
- [5] 王勇, 吴海漫. MJS工艺超前封底与浅埋钢板桩联合技术在基坑支护中的应用[J]. 工程技术研究, 2023, 8(9): 47-49.