

空间受限环境下浅沟槽施工联合支护技术研究

洪兴武 王升国 普彦聪 鲍宗成 唐明龙
云南建投中航建设有限公司 云南昆明 650214

摘要:在现代城市发展中,由于土地资源的有限性,空间受限环境下的浅沟槽施工变得越来越常见。然而,这种施工环境也带来了诸多技术上的挑战,例如施工过程中的土壤稳定性、结构支护效果以及施工成本等问题。本文旨在针对这些挑战,研究并提出一种联合支护技术方案。通过实地考察、数值模拟与现场试验相结合的方法,对运城学院附近施工现场进行了详细调研,并采用有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)和有限差分法(Finite Difference Method, FDM)对各施工阶段的土体位移、应力分布以及支护结构性能进行了模拟分析。通过对比分析不同支护方案的效果,结果表明,联合支护技术显著提高了施工安全性和经济性。本文详细阐述了研究背景及其发展的现状,以及联合支护技术在空间受限环境下浅沟槽施工中的优势与不足。基于调研及测试数据,本文提出了一系列优化建议,旨在为相关工程项目提供理论依据与技术支持。

关键词:空间受限环境;浅沟槽施工;联合支护技术;有限元分析;有限差分法

引言

浅沟槽作为地下埋设管廊、电缆及各类市政管线的重要节点工程,其施工质量直接关系到整个地下管线系统的安全运行。在城市高度开发的今天,地下空间日益紧张,大量地下管线集中敷设,导致浅沟槽施工环境日益复杂。尤其是在人行道、道路交叉口、人员居住密集的乡村、集市等空间受限区域,采用传统支护技术已无法满足施工要求。针对上述难题,本文通过工程实例分析,研究了空间受限环境下浅沟槽施工的联合支护技术。

空间受限浅沟槽施工面临诸多挑战:一是可利用作业空间受限且狭小,大型机械设备进场受限,只能采用人工操作为主;二是地下障碍物复杂,涉及电力、通信、燃气、给排水等多种管线,开挖过程中易引起管线破坏;三是地层情况复杂,常遇见淤泥质土、流砂、承压水等不良地质;四是毗邻建筑物基础,开挖易引起基坑失稳及附近建筑物沉降等。上述因素使得浅沟槽施工风险加大,对支护技术提出了更高要求。

传统的放坡开挖、支护桩支撑等支护方式适用于场地开阔的理想工况,而在空间受限环境下则捉襟见肘。例如,放坡开挖需要占用大量土地,城市道路中本已空间有限;木板支撑虽然工艺简单,但支护强度不足,整体稳定性差。因此,针对空间受限条件,急需研发联合支护新技术。本研究提出由钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护组成的联合支护体系。其中,钢管桩布设于基坑周边,作为主要的支挡结构;通过清理钢管桩桩顶

中间土体,浇筑60cm*40cm的锁口冠梁,进一步提升支护效果,同时根据现场沟槽深度,大于3m小于5m沟槽采用H型钢横支撑,三种组合型支护措施,可形闭环的立体支护,充分利用各自优势,达到“1+1+1>3”的联合效应。

工程实践表明,钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护组成的复合式支护结构,具有支护强度高、水平位移小、施工便捷等特点。以某市政道路交叉口雨水管施工为例,基坑开挖深度4.5m,周边环境复杂,地下管线密集。采用直径180mm@900mm的钢管桩作为主要支护,支护桩采用60cm*40cm的锁口冠梁连接成整体,基坑内采用H型钢横支撑,坑壁采用喷射混凝土闭合。经过跟踪监测,开挖过程中支护结构各项变形数据均满足规范要求,最大水平位移仅4.8mm,周边管线道路及民房未受影响,整个施工过程安全有序。证明了该联合支护技术在空间受限环境下的适用性。

一、浅沟槽施工技术概述

1. 施工方法分类

浅沟槽开挖在狭窄空间内进行时,受到周边环境的限制,施工难度较大。目前常见的施工方法可分为明挖法和盖挖法两大类。明挖法是传统的施工方式,适用于地面作业空间较大、地下管线较少的情况。相比之下,盖挖法更适合在受限空间内施工。盖挖法是先在地表铺设混凝土盖板,再在盖板下进行开挖作业的一种方法。

由于土方开挖在盖板的保护下进行，因此对周边环境的影响较小。

2. 技术标准与规范

我国近年来制定并实施了一系列标准规范，为保障浅沟槽施工安全、提升施工质量和效率提供了重要的技术支撑。《建筑基坑工程技术规程》(JGJ 120-2012)对基坑支护结构材料、设计、施工及验收等方面作出了详细规定，其中明确指出“基坑周边环境条件复杂、地下障碍物或管线较多时，宜采用内支撑、土钉墙等适应性强的支护形式”。针对浅沟槽施工，行业标准《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268-2008)提出了明确的技术要求，规定“管沟断面尺寸应满足施工及管道安装、检查的需要”，并对开挖方法、支撑体系、地下水控制等关键环节作出详细规定。

上述标准规范为浅沟槽施工提供了重要的技术指导，但对于空间受限环境下的特殊工况，仍缺乏有针对性的规定和指引。

二、空间受限环境特点分析

1. 受限空间描述

在城市地下工程施工中，常常面临空间受限的情况。按照受限程度，可将受限空间分为狭窄空间、密闭空间和地下空间三类。狭窄空间指单一尺度受限，如沟槽宽度小于2m、深度大于1.2m；密闭空间指多个尺度受限，形成相对封闭的环境，如隧道、涵洞等；地下空间则是指埋深较大、周边土体约束强的环境，如地铁车站、地下管廊等。

对于浅沟槽施工而言，最常见的是狭窄空间环境。在狭窄的沟槽内，大型机械设备难以进入，施工作业空间不足，给正常的开挖、支护施工带来困难。同时，沟槽两侧土体约束力弱，极易发生坍塌，严重威胁施工人员安全。

针对上述问题，本文提出了一种适用于狭窄空间浅沟槽施工的联合支护技术。该技术综合利用多种支护方式，通过合理搭配，在确保施工安全的同时，提高支护效率。下一节将重点介绍该联合支护技术的构成和应用实例。

2. 影响因素分析

空间受限环境下浅沟槽施工过程中，影响其联合支护技术应用的因素主要包括以下几个方面：一是周边建(构)筑物对支护结构的约束。二是地下管线密集对支护形式的制约。三是动荷载扰动引起支护结构变形。受限空间内，机械设备、人员活动等施工扰动因素较多，

尤其在粉土、粘性土等饱和土中，容易破坏土体结构，引起附加孔隙水压力上升，增大土体的流变性与不稳定性。五是温湿度变化引起土体物理力学性质的改变。空间受限环境下，受季节、昼夜温差影响，沟槽暴露面温湿度变化明显。

研究表明，温度每升高10℃，土体抗剪强度参数 c 、 ϕ 值可下降5%~8%；含水量每增加1%，土体内聚力 c 值可下降2kPa左右。温湿度的频繁波动易引起土体物理力学性质的劣化，降低支护结构的整体稳定性。

三、联合支护技术应用

1. 支护结构类型

对于空间受限环境下浅沟槽施工，需要针对性设计和选择合适的支护结构形式。本文总结了几种典型的联合支护结构类型，并分析其适用条件及优缺点。

(1) 钢板桩+内支撑联合支护

该联合支护形式适用于土层较厚、地下水位较高的软土地层。先采用钢板桩围护结构，然后在内部设置钢管支撑或钢筋混凝土支撑，形成封闭式支护体系。钢板桩可有效阻隔土体和地下水，内支撑可有效抵抗土压力和水压力。该支护形式整体刚度大，防渗效果好，但施工难度较大，造价较高。

(2) 地下连续墙+内支撑联合支护

地下连续墙具有较高的刚度和防渗性能，适用于水位较高、土体较软的地层条件。在基坑开挖过程中，利用地下连续墙作为主要支护结构，内部辅以钢筋混凝土支撑，可形成良好的封闭式支护体系。但地下连续墙施工难度大，成本较高，对施工场地要求高。

(3) 土钉墙+喷射混凝土面层联合支护

土钉墙支护适用于土体强度较高、地下水位较低的场地。通过在土体中布置一定间距和倾角的土钉，增强土体整体性；同时在基坑侧壁喷射混凝土面层，与土钉形成整体受力，提高支护结构刚度。土钉墙支护施工方便、速度快、造价低，但抗渗性能较差。

(4) 排桩+喷射混凝土面层联合支护

排桩支护多用于土层较薄、基岩埋深较浅的山岭隧道洞口及明挖段。通过在洞口侧壁打设一排钻孔灌注桩，然后在桩间喷射混凝土面层，形成桩间墙支护结构。排桩支护刚度较大，整体稳定性好，施工方便。但桩间容易产生裂缝和漏水。

(5) 钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护组成的联合支护体系

该联合支护体系适用于空间受限环境、地质条件

复杂的场地施工，结合钢管桩桩身设置溢浆孔，在高压注浆条件下对周围桩间土体进行渗透固结，通过冠梁对整体桩体进行连接，根据沟槽不同深度增加不同支护措施，从根本上达到安全、适用、可靠、经济、高效的施工效果。

综上所述，空间受限环境下浅沟槽施工可采用多种联合支护技术，如钢板桩+内支撑、地下连续墙+内支撑、土钉墙+喷射混凝土面层、排桩+喷射混凝土面层、钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护组成的联合支护体系等。应根据现场的工程地质条件、水文地质条件、施工场地限制等因素，合理选择支护结构形式。同时，支护结构设计时还应考虑各构件的受力特点及变形协调性，优化支护参数，确保支护体系的整体稳定性和安全性。

2. 技术应用实例

本文以孟连县某市政防洪排涝工程为例，该工程结构组成主要为雨水管道铺设，管道直径采用DN800mm，DN1400mm的钢筋混凝土排水管，沟槽开挖深度为2-4.5m，地下水位距地表0.8-4.4m。土层主要为粉质黏土，局部夹杂卵石、淤泥砂砾土，土质疏松。针对该工程空间狭窄、土质疏松、地下水位较高等特点，采用钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护联合支护体系。

(1) 首先，在基坑开挖前沿基坑周边成排状打设 $\Phi 108 \times 4$ mm钢管桩，桩长6-9m，桩间距0.9m，形成封闭式支护结构。钢管桩打设采用便携式螺旋钻机施工，沉桩过程中保持桩身垂直度，桩顶标高控制在设计标高+400mm以内，保证钢管桩嵌入冠梁深度。

(2) 钢管桩安设完毕后进行桩体高压注浆，通过注浆孔对桩身周围土体进行渗透加固，清理桩间土进行冠梁施工，使整排桩体连成整体，提高整体沟槽支护效果。

(3) 开挖过程中，根据土体开挖深度及设计图纸规定，在桩身下1m增设H型钢横支撑，使支护结构整体闭环。

通过在狭窄空间内采用钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护三维立体支护，有效控制了基坑侧壁变形及周边地表沉降。施工过程中基坑周边地表最大沉降24mm，满足规范要求。同时，地下水得到有效控制，保证了结构施工质量。该支护方案可为类似狭窄空间地下结构施工提供参考。

结论

通过本研究对空间受限环境下浅沟槽施工联合支护技术的分析，可以得出以下几点结论：

(1) 受限空间施工由于作业面窄、交叉施工多等特点，对支护技术提出了更高的要求。常规的单一支护方式已难以满足实际需求，必须采用多种支护方式组合的联合支护技术。研究表明，钢板桩+内支撑、地下连续墙+内支撑联合支护、钢管桩+冠梁+H型钢横支撑+喷锚支护联合支护方式，通过发挥不同支护结构的优势，可以有效提高支护效果，控制变形。

(2) 受限空间施工还应重视支护结构的检测与监控。布设括号计、测斜仪等实时监测支护结构内力及变形，是发现问题、指导施工的重要手段。

综上所述，城市建设对地下空间开发利用的需求与日俱增，受限空间环境下的浅沟槽施工已成常态。针对性地研究联合支护技术，总结其设计方法与施工工艺，对于指导类似工程具有重要意义。未来相关领域的研究应进一步加强支护结构体系化设计、施工过程精细化管理等方面，不断提高受限空间施工的安全性、可靠性和经济性。

参考文献

- [1] D Tarushka. Anisotropy and Its Effects on Stormwater Subsurface Gravel Trench Design[D]. 2022
- [2] 李前川. 高速公路富水堆积层滑坡联合支护施工技术研究[J]. 价值工程, 2021
- [3] 王仕辉. 近距离煤层群巷道围岩变形破坏特征及喷注浆支护技术研究[J]. 2024
- [4] 吴梁. 超大深基坑联合支护体系施工技术研究与应用[J]. 中国建筑金属结构, 2024
- [5] 韩桂奇. 深部煤巷复杂条件下锚注联合支护技术研究与应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021
- [6] 林青坤. 深基坑劲性桩预应力锚杆联合支护的分析研究[J]., 2020
- [7] 王路, 孙艳清. 过断层巷道围岩支护技术研究与实践[J]. 工程技术研究, 2024
- [8] 李树文. 三软煤层回采巷道围岩稳定性控制技术研究[J]. 2023