

利用结构加型钢斜撑组合在市政道路深基坑支护中的应用

王 斌

无锡惠山开发建设有限公司 江苏 无锡 214000

摘要: 本文以无锡惠山经济开发区吴韵路改建工程下穿锡太高速U型槽基坑为研究对象, 针对该工程开挖深度大、邻近敏感交通设施、支护形式需灵活转换的特点, 系统研究了“主体结构加型钢斜撑”组合支护技术的设计思路、工艺原理、施工流程及控制要点。通过构建永久结构与临时斜撑协同工作的空间受力体系, 实现基坑变形精准控制, 保障邻近高速路安全。工程实践表明, 该技术兼具安全可靠、经济高效性与环境友好性, 为复杂工况下的深基坑支护提供了成熟方案, 具有重要推广价值。

关键词: 深基坑支护; 结构加型钢斜撑; U型槽; 市政道路; 施工工艺

引言: 随着我国城市化进程加快, 市政道路建设常面临下穿高速公路、铁路等敏感设施的复杂工况。深基坑支护作为工程核心, 其安全性与经济性直接关乎项目成败。传统支护技术或因刚度不足难以控制变形, 或因临时结构用量大导致成本增加、工期延长, 难以满足线性长基坑、深度变化大等复杂需求。“永临结合”理念下的结构加型钢斜撑组合技术, 通过整合永久主体结构

与临时支撑功能, 为破解上述难题提供了新路径。方案; 四是施工空间受限, 线性基坑作业面长, 需协调支护施工与主体结构浇筑的工序衔接, 保障施工效率。地质勘察显示, 基坑区域土层以粘性土与粉细砂为主, 土体承载力中等, 抗剪强度一般, 在开挖过程中易发生侧向位移。结合水文条件与周边环境, 支护设计需同时满足抗侧移、防渗、环保等多重要求, 传统单一支护形式难以兼顾各项需求^[1]。

1 项目背景与工程概况

1.1 项目背景

吴韵路(金惠路-中惠大道)改建工程位于无锡惠山经济开发区长安街道, 是完善区域交通微循环的关键项目。工程起点为金惠路(桩号K0+000.000), 向南延伸下穿锡太高速后, 止于中惠大道(桩号K0+496.956), 全长约497m, 道路红线宽34m, 设计速度40km/h, 道路等级为城市次干路。该项目的实施可有效分流区域交通流量, 缓解主干道通行压力, 对提升区域交通运行效率具有重要意义。其中, K0+146~K0+386段需新建8-30m U型槽下穿既有锡太高速, 此区段基坑支护为整个工程的核心难点与重点。

1.2 工程难点与基坑概况

下穿锡太高速U型槽基坑全长240m, 标准宽度约35m, 属于典型线性长基坑工程, 其核心特征与难点主要体现在四方面: 一是深度变化显著, 开挖深度2.55m~6.67m, 纵断面呈“V”形, 两端浅、中间深, 对支护体系刚度与变形控制提出差异化要求; 二是环境极度敏感, 基坑紧邻锡太高速及城市通行道路, 施工需严格控制土体位移与沉降, 避免影响高速公路路基稳定及行车安全; 三是支护需求多样, 因开挖深度差异大, 采用统一支护形式既不经济也不合理, 需分段设计差异化

2 基坑支护设计方案

2.1 支护设计总体原则与分区策略

基于“分段组合、刚柔并济、永临结合”的设计原则, 结合基坑深度、地质条件及周边环境, 将整个U型槽基坑划分为三个支护区段: K0+206~K0+256段为深基坑段(最大开挖深度6.67m), 采用“SMW工法桩+水平钢管对撑+坑内双轴搅拌桩裙边加固”的强支护形式, SMW工法桩兼具受力与防渗功能, 配合水平对撑保障深坑区整体稳定; K0+146~K0+206及K0+256~K0+386段为浅坑段(开挖深度2.55m~4.2m), 采用“放坡喷锚+IV型拉森钢板桩+钢围檩及HW400×400×13×21型钢斜抛撑”组合支护, 此为本文核心研究的“结构加型钢斜撑”技术应用区段; 道路两端浅埋段采用自然放坡结合喷锚支护, 实现经济合理的支护目标。

2.2 浅坑段核心支护设计细节

浅坑段支护设计的核心在于实现永久结构与临时斜撑的协同受力。横断面设计采用“放坡+钢板桩+型钢斜撑+主体结构”的复合体系: 首先按1:1.5放坡开挖, 坡面采用C20喷射混凝土+钢筋网($\phi 6@200 \times 200$)+锚杆($\phi 22$, 长4-6m, 间距1.5m)进行喷锚防护, 增强边坡表层稳定性; 坡脚处施打IV型拉森钢板桩, 桩长8-10m, 入土深度不小于开挖深度的1.2倍, 形成垂直围护屏障; 基坑中部先开挖至主体结构施工标高, 浇筑U型槽主体结

构,待混凝土强度达到设计强度的80%后,以其侧墙作为支撑后座,在钢板桩与主体结构之间安装HW400型钢斜抛撑,斜撑与水平方向夹角控制在 45° - 60° ,通过钢围檩与钢板桩连接,形成稳定三角形支撑体系;斜撑端部设置临时反力墩(牛腿),采用C30混凝土浇筑,内置预埋钢板与主体结构钢筋锚固,确保力的有效传递^[2]。

3 结构加型钢斜撑组合支护的工艺原理

3.1 核心力学传递路径

该组合支护技术的核心在于构建清晰、稳定的力学传递体系:坑外土压力与水压力首先作用于拉森钢板桩,钢板桩通过自身抗弯刚度初步抵御侧向荷载,并将水平力传递至钢围檩;钢围檩作为力的中转构件,将分散荷载集中传递至型钢斜撑;型钢斜撑将水平推力分解为两个分力,垂直向下的分力通过基坑底板传递至地基,水平指向主体结构的分力由U型槽侧墙与底板共同承担,最终形成“荷载-围护-支撑-主体结构-地基”的完整传力链,确保力的有序传递与平衡。

3.2 主体结构的反力支撑作用

已施工完成的U型槽主体结构采用C35混凝土浇筑,内置双层钢筋网,具有较高的刚度与强度,在支护体系中承担“临时反力墩”功能。与传统支护设置独立混凝土反力墩相比,该设计实现“以永代临”,大幅减少临时结构的工程量与材料消耗。设计计算表明,主体结构侧墙在承受斜撑水平推力时,最大拉应力为1.2MPa,远低于混凝土设计抗拉强度,结构安全性满足要求。同时,通过在主体结构侧墙设置预埋牛腿,确保斜撑端部与主体结构紧密接触,避免应力集中导致局部结构破坏。

3.3 协同工作与空间稳定效应

拉森钢板桩、型钢斜撑与U型槽主体结构三者形成几何不变的空间稳定体系,发挥协同工作效应:钢板桩提供第一道侧向防护,限制表层土体位移;型钢斜撑通过预顶力主动约束钢板桩变形,提升围护结构刚度;主体结构为斜撑提供可靠后座,三者相互支撑、相互约束,有效控制基坑整体变形。数值模拟分析显示,该体系的整体刚度较传统放坡喷锚支护提升60%以上,对线性长基坑的不均匀变形控制效果尤为显著^[3]。

3.4 永临结合的工程价值

该技术深度践行“永临结合”的绿色施工理念,其工程价值体现在三方面:一是经济价值,减少临时反力墩、对撑钢管等临时结构用量,降低材料消耗与施工成本;二是效率价值,型钢斜撑安装与拆除便捷,为主体结构施工提供开阔作业面,避免传统对撑对施工空间的占用;三是环保价值,减少临时结构加工、运输及拆除产生的建筑垃

圾与能耗,符合现代基坑工程绿色发展方向。这一理念与观音寺长江大桥基坑支护“临时变永久”的设计思路一致,成为复杂基坑支护的重要发展趋势。

4 关键施工工艺流程及控制要点

4.1 施工工艺流程

结合工程实际,结构加型钢斜撑组合支护的施工流程严格遵循“先支护、后开挖、分阶段、强监测”原则,具体流程为:施工准备→围护桩(拉森钢板桩)施工→基坑中部土方开挖→基坑边坡喷锚防护→中部主体结构施工→主体结构临时反力墩(牛腿)施工→型钢斜撑安装与预顶紧→型钢斜撑下土方开挖→型钢斜撑下主体结构施工→型钢斜撑拆除→结构临时反力墩(牛腿)破除→基坑回填。各工序衔接需满足“随挖随撑、限时完成”要求,避免基坑长时间无支撑暴露。

4.2 关键工序控制要点

4.2.1 中部主体结构施工质量控制

主体结构作为支护体系的核心反力构件,其施工质量直接决定支护安全性。施工中严格控制混凝土配合比与浇筑质量,采用插入式振捣器分层振捣,确保混凝土密实度;设置施工缝时,采用界面凿毛、铺设水泥浆结合层处理,增强新旧混凝土粘结力;混凝土浇筑完成后,采用土工布覆盖洒水养护,养护时间不少于14天,确保混凝土强度达标。同时,严格控制主体结构几何尺寸,侧墙垂直度偏差控制在5mm/m以内,表面平整度偏差不超过8mm。

4.2.2 临时反力墩(牛腿)施工控制

牛腿采用定型钢模板施工,模板安装前进行精准测量定位,确保预埋钢板位置偏差不超过2mm;牛腿钢筋与主体结构钢筋采用焊接连接,焊接长度不小于 $10d$ (d 为钢筋直径),确保锚固可靠;混凝土浇筑采用小粒径石子混凝土,便于振捣密实,浇筑完成后及时养护。施工完成后,对牛腿表面进行打磨处理,确保与斜撑端板密贴接触,接触面间隙不大于2mm,必要时采用钢板垫片调整。

4.2.3 型钢斜撑安装与预顶紧控制

斜撑采用工厂预制、现场拼装方式施工,拼装焊缝采用坡口焊,焊缝高度不小于10mm,焊接完成后进行超声波探伤检测,确保焊接质量。安装前进行测量放线,确定斜撑安装位置与角度,采用汽车起重机吊装就位,吊装过程中设置溜尾绳,避免碰撞钢板桩与主体结构。斜撑就位后,采用液压千斤顶施加预顶力,预顶力值为设计轴力的70%-80%,预顶完成后立即采用钢楔楔紧,防止顶力损失。同时,按GB 50497-2019《建筑基坑工程

监测技术规范》要求，在斜撑端部安装轴力传感器，实现轴力实时监测^[4]。

4.2.4 土方开挖与监测控制

斜撑下土方开挖遵循“分段、分层、对称、平衡”原则，分段长度控制在10m以内，分层厚度不超过1.5m，严禁超挖。开挖过程中，挖掘机与钢板桩保持不小于1.5m距离，避免碰撞围护结构。同时，建立自动化监测体系，在钢板桩顶、高速路基及邻近道路设置水平位移与沉降监测点，监测点间距不超过20m；在斜撑设置轴力监测点，地下水设置水位监测点。监测频率为施工期间每天1-2次，监测数据实时上传至后台系统，计算日变量与累积量，当位移速率超过3mm/d或累积位移接近预警值时，立即停止施工并采取加固措施。

4.2.5 斜撑拆除与牛腿破除控制

待斜撑下方主体结构施工完成并达到设计强度后，方可拆除型钢斜撑。拆除遵循“先装后拆、分级卸载”原则，采用液压千斤顶缓慢释放预顶力，分级卸载速率控制在50kN/h以内，避免结构受力突变。斜撑拆除后，采用小型风镐破除临时牛腿，破除过程中避免对主体结构造成冲击损伤，破除完成后对结构表面进行修补处理，确保主体结构外观与强度不受影响。

5 应用效果与优势分析

5.1 安全可靠验证

全过程监测数据显示，浅坑段施工期间，钢板桩顶最大水平位移为18.6mm，最大沉降量为9.2mm，均控制在设计允许值（水平位移 $\leq 30\text{mm}$ 、沉降 $\leq 20\text{mm}$ ）以内；锡太高速公路最大沉降量为3.5mm，远低于规范限值，未对高速公路行车安全造成任何影响。整个施工过程中，支护体系未出现裂缝、变形突变等异常情况，斜撑轴力稳定在设计值的85%-110%之间，验证了该技术的安全可靠性。同时，通过对主体结构应力监测，侧墙最大应力为1.1MPa，满足设计要求，表明主体结构承担反力的安全性。

5.2 经济高效性分析

与全线采用“SMW工法桩+水平钢管对撑”方案相比，浅坑段采用结构加型钢斜撑组合技术取得显著经济效益：材料方面，节省钢管支撑约40t，钢材消耗量减少

40%；费用方面，减少临时反力墩浇筑、拆除及水平对撑安装费用，累计降低支撑系统费用30%，单公里造价降低约120万元；工期方面，型钢斜撑安装与拆除耗时较水平对撑缩短60%，为主体结构施工提供充足作业空间，整体工期缩短15天，实现“提质增效”目标。成本分析表明，该技术的投资回收期仅为1.2个施工阶段，经济效益显著。

5.3 技术适应性与灵活性

该技术完美适配本工程基坑深度变化大、需分区支护的特点，实现不同支护形式的平滑过渡：浅坑段采用结构加型钢斜撑，深坑段采用强支护形式，道路两端采用放坡喷锚，各方案优势互补，兼顾安全性与经济性。该技术对地质条件适应性强，在本工程粘性土与粉细砂地层中应用效果良好，且可通过调整型钢规格、斜撑角度等参数，适配不同开挖深度与荷载条件^[5]。在类似市政道路线性长基坑工程中，该技术可根据基坑断面变化灵活调整支护参数，展现出极强的灵活性。

结束语

本文以无锡吴韵路改建工程为依托，系统研究了结构加型钢斜撑组合支护技术在市政道路深基坑工程中的应用。实践表明，该技术通过构建“荷载-围护-支撑-主体结构-地基”的完整力学传递体系，实现基坑变形精准控制与邻近高速路安全保障，兼具安全性、经济高效性与环境友好性。其“永临结合”理念与灵活适配性，为复杂工况下的深基坑支护提供了成熟技术方案。

参考文献

- [1] 祖超.拉森钢板桩在市政道路深基坑支护中的应用实践[J].价值工程, 2023, 42(4):68-70.
- [2] 郭楚楠.市政道路工程深基坑支护施工管理[J].建筑·建材·装饰, 2025(17): 31-33.
- [3] 元妮娜.市政道路工程深基坑支护施工管理探究[J].建筑·建材·装饰, 2024(6):67-69.
- [4] 林晓清.市政道路工程深基坑支护施工管理分析[J].散装水泥, 2023(6): 13-15.
- [5] 柯晓军, 罗达, 莫自庆, 等. 预应力组合斜撑型钢混凝土短肢剪力墙抗震性能数值模拟[J].应用基础与工程科学学报, 2021, 29(3):680-690.