

市政供热工程深基坑开挖支护关键技术探究

林天翔¹, 丁国尚²

(1. 青岛能源热电集团有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛迪蓝市政工程设计咨询有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 深基坑开挖支护是市政供热工程施工的核心环节, 受高敏感周边环境、线性长条状基坑形态及复杂水文地质条件等因素影响, 该环节施工难度大、安全风险高。本文结合市政供热工程的特殊性, 分析深基坑施工的三大核心特性, 从开挖与支护两个维度阐述分层分段开挖、边坡临时防护、特殊工况施工、基底处理等开挖关键技术, 以及土钉墙、地下连续墙、钢板桩三类支护技术的工艺要点与实操标准, 旨在为市政供热工程深基坑安全高效施工提供技术参考。

关键词 市政供热工程; 深基坑开挖支护; 分层分段开挖; 边坡临时防护; 特殊工况施工

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.035

0 引言

市政供热管网是保障城市居民生产生活的重要基础设施, 其施工区域多位于城市核心建成区, 深基坑工程作为管网敷设的前置工序, 施工条件远复杂于普通房建及市政工程。当前, 市政供热工程深基坑面临周边建构筑物密集、管线交错、基坑呈线性长条状延伸、水文地质条件多变等现实难题, 传统深基坑施工技术难以直接适配, 易引发基坑失稳、地面沉降、管线破损等安全事故。基于此, 需结合市政供热工程深基坑施工的具体需求, 明确其区别于常规工程的施工特性, 采取针对性的开挖与支护技术, 严格按照规范操作, 以提升市政供热工程深基坑施工的安全性与可靠性。

1 市政供热工程深基坑施工特性

1.1 高敏感周边环境

市政供热工程施工普遍位于城市核心区域, 沿市政道路连续敷设供热管网, 或是在城市地下管廊内集中敷设供热管线和其他类型的水电电缆, 周边环境密集分布市政管线、建筑物和构筑物, 一旦作业范围超出红线或施工扰动超标, 都可能出现周边地面沉降、临近建筑物/构筑物基础沉降失稳、市政管线破损位移等问题。从现场施工角度来看, 受限于高敏感周边环境, 在市政供热工程深基坑施工阶段, 提出场地布置微型化、管线保护精准化、民生干扰最小化的特殊要求, 大幅提高施工难度。其中, 场地布置微型化是部署小型施工机械, 合理规划材料堆放区域和机械作

业路线, 部署可移动围挡, 灵活调整围挡位置、变更场地空间格局。管线保护精准化是提前采取地质雷达等新型探测技术, 精准探测施工场地市政管线分布位置, 确认管线种类, 制定专项保护方案, 尽量避让管线位置, 或是对管线进行迁移保护处理^[1]。民生干扰最小化是现场作业时段避开周边居民日常作息时段, 在保证施工安全的前提下, 最大限度提高施工效率、缩短工期时间。

1.2 线性长条状基坑

房建工程深基坑形态为方形/矩形大跨度断面, 大体保持均衡受力状态, 基坑结构自身具备一定的稳定能力, 施工难度系数较低。相比之下, 市政供热工程保持“线性延伸、断面单一”的基坑形态, 受力状况较为复杂, 在侧向土压力和降水影响下, 较高概率会出现基坑整体失稳问题。深基坑施工阶段, 为保障现场作业安全, 必须采取“分段化、快节奏”施工方式, 分段开挖基坑土体, 交错搭设各层支护体系, 各段开挖完毕后 2 d 内必须完成支护作业, 并在长条状基坑内设置中间支撑, 用于增强整体抗滑移稳定性。

1.3 复杂水文地质条件

结合往期工程案例来看, 市政供热工程普遍面临复杂多变的水文地质条件, 城区范围内地下水埋深在 1~5 m 不等, 在降雨补给影响下, 水位变化频繁, 地基土层则以杂填土为主, 局部分布软土、粉质砂土等不良土层, 现场施工期间, 极易出现边坡坍塌、局部差异沉降、基坑涌水等工程事故, 严重威胁现场作业安全。

作者简介: 林天翔 (1994-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 市政工程。

2 市政供热工程深基坑开挖施工关键技术

2.1 分层分段开挖

市政供热工程需采取分层分段开挖方式,从上到下逐层开挖基坑,各层开挖完毕后,衔接搭设支护体系,稳定基坑侧壁结构。从实操角度来看,深基坑分层分段开挖环节,重点掌握以下技术要点。

第一,参数设定。主动贴合市政供热工程深基坑施工特性,合理设定各项开挖参数。在正常工况下,市政供热管网基坑形态为长条形,基坑宽度为3~5 m,按照地层类型选择分层厚度、分段长度和边坡坡度。对于粉质黏土、砂土等稳定地层,单层开挖厚度不得超过1.2 m,分段长度控制在10~15 m,边坡坡度控制在1:0.75~1:1.5。对于杂填土和软土等不良地层,则把单层开挖厚度限制在0.8 m以内,分段长度缩小为5~8 m,边坡坡度控制在1:1.2~1:1.5。第二,开挖顺序。以深基坑两端作为起始点,保持一致步调,持续向中间部位分层开挖基坑土体,以“先坡后底”作为施工准则^[2]。具体来讲,控制挖掘机沿基坑外侧行走,开挖首层土体,初步开挖边坡轮廓线,修整边坡坡度,继续开挖基坑中部土体。重复上述操作流程,并把上层边坡支护完毕作为下层开挖前置条件,不得出现交叉作业问题。第三,组合开挖。组合采取机械开挖和人工开挖方式,做到对施工效率、开挖精度的完美兼顾。现场配备小型机械设备,充分适配狭窄场地条件,具体选用履带式挖掘机或是反铲挖掘机,前期以机械开挖方式为主,基底设计标高上方预留20 cm土体,切换至人工开挖方式,基底平整度误差小于±10 mm,重点提升开挖精度,预防基坑超挖、欠挖问题出现。

2.2 边坡临时防护

深基坑开挖易出现边坡失稳滑坡问题,需交错开展基坑开挖和边坡防护作业,各层基坑开挖结束后,即刻搭设临时防护体系,确保边坡暴露时间不超过48 h,并根据边坡土体类型来选择防护技术。以软土边坡和杂填土边坡为例,采取“沙袋堆护+土钉加固”复合防护方案,沿边坡分层堆砌内部装满黏土的沙袋,单层堆砌厚度为0.3 m,各层保持错缝搭接状态,同步设置多根土钉,土钉长度为3~4 m,土钉间距控制在1.5 m,保持15°~20°倾角插入边坡结构,孔内注入水泥浆,浆液固化后大幅提高土钉抗拔强度^[3]。

2.3 特殊工况施工

第一,软基开挖。软土地基具备高压缩性、高含水量的工程特性,实际含水率超过30%,承载力特征值普遍低于80 kPa,在施工荷载作用下出现固结沉降现

象。分层分段开挖基坑,单层开挖厚度小于0.8 m,单段长度小于5 m,挖除软弱土体,原位换填级配碎石作为垫层,垫层经过夯实处理后,压实度超过0.95,实际承载力超过120 kPa,并在边坡轮廓线上连续插打多根钢板桩,同步安装内支撑,形成连续防护体系。第二,管线密集区域开挖。提前探测市政管线分布位置,沿线设置多组沉降观测点,管线外侧套设钢管套管,套管内部填充聚氨酯泡沫作为缓冲层,周边注入浆液来加固土体,解决沉降问题。基坑施工期间,跟踪监测地表沉降量,确认沉降速率超出2 mm/d,或是累计沉降量大于20 mm,暂停现场作业,避免因过度沉降而导致管线受损。第三,高地下水开挖。基坑开挖前1~3 d,组织开展降排水作业,基坑外围分散布置多座轻型降水井点,启动潜水泵持续抽采地下水,同步挖设环形明沟、基底横向支沟作为排水设施,拦截地表径流。确认地下水位回落安全区间,且基坑土体含水率达标后,即可着手开挖基坑,全程跟踪监测地下水位,要求实际水位低于基底下部1.5 m。

2.4 基底处理

基坑开挖完毕后,清理基底垃圾杂物,对平整度误差超标部位进行找平处理,操控平板振动夯反复压实松散部分,并在基底铺设碎石垫层,垫层厚度控制在12~15 cm。施工人员需重点查验基底是否存在软弱夹层、暗浜等不良地质情况,若发现局部承载力不足区域,应立即采用换填级配碎石或注浆加固的方式进行处理;铺设垫层时需分层摊铺、分层夯实,每层摊铺厚度不超过8 cm,确保垫层密实均匀。在正常工况下,以基底标高和垫层厚度误差小于±10 mm、基底坡度误差小于±0.1%、承载力特征值超过120 kPa、垫层平整度误差小于±8 mm作为合格标准。

3 市政供热工程深基坑支护施工关键技术

3.1 土钉墙支护

土钉墙支护是在基坑坡面上打入多根土钉,继续在坡面上刮设钢筋网与喷射混凝土面层,利用面层封闭松散边坡,保持协同受力状态,长效维持边坡稳定,解决落石问题和抑制滑坡过程。目前,土钉墙支护技术主要用于基坑开挖深度小于12m、地层具备良好稳定性、周边无敏感市政管线的市政供热工程,施工流程由坡面修整、土钉安装、挂网喷三道工序环节组成,技术要点如下:

第一,坡面修整。各层基坑开挖完毕后,迅速修整边坡坡面,粉质粘土坡面坡度控制在1:0.75~1:1.0,砂土

坡面坡度控制在 1:1.0 ~ 1:1.5, 坡度误差小于 $\pm 5^\circ$, 坡面平整度误差限制在 ± 10 mm 内, 清理坡面松散石块, 利用同类土回填补平坑洼部位。第二, 土钉安装。坡面上按照网格状等距标记多处孔位, 部署轻便式螺旋钻机, 采取机动成孔方式, 钻头对准孔位中心点, 一次性顺利成孔, 成孔倾角控制在 $15^\circ \sim 20^\circ$, 以孔深误差小于 ± 50 mm、孔位误差小于 100 mm、孔径误差小于 ± 10 mm 作为合格标准。清理孔内沉渣, 居中插入土钉并注入水泥浆液, 浆液完全填充钻孔, 静置 24 h 等待浆液固化成型^[4]。第三, 挂网喷射。土钉外露部位挂设双向钢筋网片, 钢筋网紧密贴合坡面, 焊接连接钢筋网和土钉。选用强度等级不低于 C20 的细石混凝土作为面层材料, 按照从上到下顺序, 在坡面上连续喷射面层, 喷射压力保持在 0.5 MPa, 喷射距离控制在 1.0 m, 单层喷射厚度为 40 ~ 50 mm, 喷射次数为 2 次, 面层总体厚度超过 80 mm, 反复抹压面层, 消除表面细微裂纹。

3.2 地下连续墙支护

地下连续墙是在基坑外围分段开挖槽段, 槽内放置钢筋笼和现浇混凝土, 形成若干墙段, 利用接头把全部墙段连接形成连续墙体, 长期抵抗外部土压力和阻拦地下水侵蚀, 具备挡土、止水和承重功效。目前, 地下连续墙支护技术主要用于基坑开挖深度大于 15 m、周边管线密集的市政供热工程, 重点掌握成槽、混凝土浇筑、接头处理三道环节的工艺要点。第一, 成槽。现场配备抓斗式成槽机作为机械设备, 深基坑沿线划分若干槽段, 单段长度为 4 ~ 6 m, 宽度为 0.6 ~ 1.0 m, 槽段避开市政管线位置, 弹放开挖边线。逐段开挖槽段, 槽段内部注入膨润土泥浆起到护壁作用, 泥浆液面高于地下水位, 并通过置换泥浆来清理槽底沉渣, 以沉渣厚度小于 100 mm、槽深误差小于 ± 50 mm、槽壁垂直度误差小于 0.5% 作为合格标准。衔接开展清槽作业和居中放入钢筋笼, 测量调整钢筋笼位置, 禁止槽壁长时间暴露^[5]。第二, 混凝土浇筑。采取导管法浇筑混凝土, 单个槽段内放入 2 ~ 3 根导管, 匀速浇筑混凝土, 混凝土液面速度超过 3 m/h, 分多次上提导管, 始终把导管埋入混凝土内部, 并在槽体顶端超高浇筑混凝土, 超灌高度控制在 0.5 ~ 1 m。第三, 接头处理。推荐采取具备良好止水效果的工字钢接头, 所有槽段端部埋设工字钢, 保持接头平整、垂直状态, 槽段成槽后, 焊接连接钢筋笼主筋和工字钢, 焊接长度必须超过 10 cm, 并在接头外侧插入注浆管, 注入双液浆, 彻底封堵接头缝隙。

3.3 钢板桩支护

钢板桩支护原理和地下连续墙较为相似, 基坑边缘连续插打多根钢板桩, 采取锁扣连接方式, 并对连接间隙进行封堵处理, 由大量桩身组成连续刚性挡墙结构, 承受外部土压力, 维持基坑侧壁稳定状态。目前, 钢板桩支护技术主要用于基坑开挖深度不足 8 m、地下水位较高的市政供热工程, 现场施工期间, 重点掌握钢板桩插打、支撑安装两道环节的技术要点。第一, 钢板桩插打。现场架设全站仪, 按照设计图纸, 标记各处桩位, 基坑一端作为起始点, 向另一端延伸打设各根钢板桩。钢板桩垂直起吊悬停在桩位上方, 桩尖对准桩位中心点, 采取振动沉桩方式, 缓慢把桩身压入土层, 打桩速度维持在 1 ~ 2 m/min, 利用撬棍调整锁扣位置, 保持相邻桩身锁扣紧密咬合状态, 最终以桩位偏差小于 10 mm、桩顶标高偏差小于 ± 100 mm、垂直度误差小于 0.5% 作为合格标准。第二, 支撑安装。以改善受力状态、抑制钢板桩变形作为功能定位, 钢板桩上横向安装多道支撑, 选用 H 型钢或是钢管作为支撑件, 支撑间距控制在 3 ~ 4 m。具体以围檩内侧作为安装位置, 支撑两端焊接连接围檩, 垂直度误差小于 1%, 水平度误差小于 0.5%。

4 结束语

市政供热工程深基坑施工体系过于复杂, 施工难度偏高, 粗放型施工模式未能满足现场施工需求。施工单位需结合工程水文地质条件、周边环境敏感程度及基坑形态特征, 科学匹配开挖与支护技术, 建立“勘察—设计—施工—监测”全流程动态管控机制, 通过实时监测数据优化施工参数。施工单位必须提高对深基坑开挖支护施工活动的关注程度, 主动了解现场施工情况, 明确施工需求, 合理选择工艺做法, 为深基坑施工安全与工程建设质量提供技术保障。

参考文献:

- [1] 毕延伟, 吕杰. 市政工程深基坑开挖与支护关键技术研究 [J]. 工程与建设, 2025, 39(03): 568-570, 579.
- [2] 瞿强. 市政工程施工深基坑开挖支护关键技术应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023(35): 214-216.
- [3] 郑轩. 市政工程中深基坑开挖支护技术的重要性及应用分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(05): 34-36.
- [4] 邵帅, 任雅辉. 市政工程中深基坑开挖支护技术的应用探析 [J]. 中国住宅设施, 2025(04): 60-62.
- [5] 胡文迪. 市政工程施工中深基坑开挖支护关键技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024(26): 103-105.