

# 城市地下空间土木工程开挖技术及支护结构研究

王 睿

宁夏第一建筑有限公司 宁夏 银川 750000

**摘 要:** 本文针对城市地下空间土木工程施工难点, 结合复杂地质与周边严苛环境, 系统研究明挖法、暗挖法、盖挖法等主流开挖技术, 剖析各类支护结构的适用场景、受力特性与施工要点。探究开挖与支护的协同作业方案, 分析施工常见风险及防控手段, 提出适配城市施工的优化策略, 既能保障工程施工安全, 减少土体沉降与周边扰动, 又能提升施工效率, 为城市地下空间开发利用提供坚实的技术支撑与实践参考。

**关键词:** 城市地下空间; 土木工程; 开挖技术; 支护结构

引言: 城市化高速推进, 地面土地资源愈发紧缺, 开发地下空间成为拓展城市容量、完善基建配套的关键举措。地下工程施工地质条件复杂, 临近建筑、管线密集, 对施工安全和环境管控要求极高, 开挖方式选型与支护结构设计直接决定工程成败。基于此, 本文深入研究开挖技术与支护体系, 结合工程实践破解施工难题, 规范施工流程, 保障施工质量, 推动城市地下空间开发朝着安全化、精细化、科学化方向稳步发展。

## 1 城市地下空间工程地质与环境条件分析

### 1.1 地下工程常见地质条件特征

(1) 软土、砂土、岩层等典型土层工程特性。软土含水量高、压缩性大、承载力低, 开挖后易出现沉降、蠕变和坍塌; 砂土透水性强、颗粒松散, 动载作用下易液化, 支护不及时会发生流砂、管涌; 岩层质地坚硬、稳定性好, 完整基岩施工难度低, 风化岩层强度下降, 易出现掉块、剥落。(2) 地下水分布、渗流对开挖工程的影响。地下水水位过高会增大基坑侧压力, 加剧土体软化; 地下水渗流会带走土体细颗粒, 引发管涌、流沙, 破坏土体结构, 还会腐蚀支护结构, 降低工程稳定性。(3) 地质缺陷对施工的危害。断层位置岩体破碎、稳定性极差, 易发生塌方、冒顶; 溶洞存在空腔, 施工中易突发塌陷, 还会引发突水、突泥事故, 打乱施工节奏, 威胁施工安全。

### 1.2 城市地下工程周边环境约束

(1) 临近建筑物、道路管线对施工的限制。周边老旧建筑承载力弱, 施工扰动易引发墙体开裂、倾斜; 地下管线密布, 一旦破损会影响城市供水、供电、通信, 施工需严格控制开挖范围和震动。(2) 地面沉降、土体变形控制要求。过量沉降会损坏地面建筑、道路和管线, 需严控沉降数值, 保证周边设施正常使用, 杜绝地面塌陷、开裂等事故。(3) 城市施工噪音、污染等环保管控要点。城区施工需遵守噪音排放标准, 避开居民休息时段; 严控扬

尘、渣土污染, 妥善处理施工废水, 减少对周边居民生活和城市环境的干扰<sup>[1]</sup>。

### 1.3 地质勘察与环境监测要点

(1) 前期地质勘察核心内容与技术手段。重点勘察土层分布、地下水埋深、地质缺陷位置, 常用钻探、物探、原位测试等技术, 摸清地质全貌, 为设计施工提供依据。(2) 施工全过程环境监测指标与方案。监测地面沉降、土体位移、支护结构受力、地下水位变化等指标, 布设全天候监测点, 实时采集数据, 及时反馈异常情况。(3) 地质风险预判与防控措施。提前识别塌方、突水、沉降等风险, 制定专项预案, 采取加固土体、降水止水、加强支护等措施, 防范安全事故发生。

## 2 城市地下空间土木工程常用开挖技术

### 2.1 明挖法施工技术

(1) 明挖法适用范围与施工流程。明挖法是城市地下工程最基础的开挖方式, 适用于场地开阔、地质条件稳定、周边建筑及管线稀少的浅层地下工程, 比如地下车库、浅埋管沟、地铁车站站厅区段等。施工流程遵循先围护、后开挖、再支护、最后回填的步骤, 先施工基坑围护结构和降水设施, 逐层开挖土体, 同步架设支撑, 完成主体结构施工后, 分层回填压实, 恢复地面原貌, 工序直观, 便于机械化作业。(2) 分层分段开挖、放坡开挖工艺要点。开挖作业严禁超深度、超范围开挖, 必须遵循分层分段、由上至下的原则, 控制每层开挖厚度和分段长度, 避免土体长时间暴露引发失稳。放坡开挖适用于土质较好、场地充足的工况, 需按规范设计边坡坡度, 做好坡面防护, 及时铺设防水卷材、喷射混凝土, 防止雨水冲刷导致边坡坍塌。软土场地需增设土钉、锚杆加固, 提升边坡整体稳定性<sup>[2]</sup>。(3) 明挖法优缺点及工程适用场景。该工艺优点突出, 施工速度快、成本较低、作业空间大、质量易把控, 便于大型机械进场施工, 能缩

短工期。缺点也较为明显,施工占用地面空间大,对城市交通和周边环境干扰大,深基坑施工风险偏高,受天气影响较大。适用于城郊区域、浅层地下工程、临时敞口施工项目,以及地质条件简单、沉降控制要求宽松的工程。

## 2.2 暗挖法施工技术

(1) 浅埋暗挖法、矿山法核心工艺。浅埋暗挖法适用于城市浅埋、土质松软的地下工程,遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的十八字方针,采用小导管超前加固,分步开挖,及时喷射混凝土支护,严控地面沉降。矿山法多用于岩层地质,依靠爆破或机械破碎岩体,分步开挖,配合锚杆、钢拱架支护,适合埋深较大、岩体完整的地下隧道、洞室工程。(2) 盾构法施工原理与技术优势。盾构法是一种机械化暗挖工艺,依靠盾构机壳体支撑围岩,刀盘切削土体,同步完成出土、衬砌拼装作业,全程密闭施工。该技术自动化程度高,施工速度快,对地面扰动极小,能有效控制沉降,安全性高,适用于软土、砂土地层的长距离隧道工程,比如城市地铁区间隧道、地下管廊,不受地面交通和天气影响,环保效益好。(3) TBM法及其他暗挖技术应用特点。TBM全断面硬岩掘进机,适用于硬岩地层的长距离地下工程,掘进效率高、成型质量好,施工噪音小,但设备成本高、转场难度大,适合山岭隧道、城市深层地下岩质工程。此外,顶管法适用于小口径地下管线施工,非开挖穿越道路、建筑,对地面破坏极小;水平定向钻多用于管线铺设,施工灵活,工期短,适合城市密集区小型地下工程<sup>[3]</sup>。

## 2.3 盖挖法施工技术

(1) 盖挖顺作法、逆作法施工原理。盖挖法适用于城市核心区、交通繁忙地段,能快速恢复地面交通。盖挖顺作法先施工围护结构和临时路面盖板,在盖板保护下分层开挖土体,自下而上施工主体结构,最后拆除盖板。逆作法以地面为起点,自上而下施工主体结构,利用结构梁板作为支撑,边开挖边浇筑,无需额外架设大量支撑,节省空间和工期。(2) 盖挖法施工关键工序与控制要点。施工前需精准定位围护结构,严控垂直度,做好止水防渗处理。开挖过程严格遵循“先撑后挖、限时开挖”原则,控制开挖节奏,实时监测结构受力和地面沉降。逆作法需精准把控梁板浇筑质量,保证节点连接牢固,做好防水施工,防止渗漏。同时合理规划出土通道,保证出土顺畅,避免土体堆积挤压结构。(3) 盖挖法在城市核心区工程中的应用。城市核心区建筑密集、交通流量大、管线复杂,对地面扰动和交通管控要求极

高,盖挖法能完美适配这类场景。常用于市中心地铁站、地下商业综合体、地下立交工程,既能保证地下施工安全,又能快速恢复地面交通,减少对市民出行、商业运营的干扰,兼顾施工效率与城市运行秩序。

## 2.4 开挖施工质量与安全控制

(1) 开挖顺序、速度、深度管控措施。开挖施工必须遵循设计方案,严格按既定顺序作业,严禁随意更改开挖流程。根据地质条件调整开挖速度,软土、破碎岩层放慢速度,减少土体暴露时间,杜绝抢工期、超进度施工。开挖深度严格遵照设计值,严禁超深开挖,每层开挖厚度控制在安全范围内,配合支护结构施工,保证土体稳定。(2) 超挖、欠挖防治与土体扰动控制。施工前做好测量放线,精准标记开挖轮廓线,安排专人复核尺寸。机械开挖预留保护层,改用人工清理,避免机械过度切削造成超挖;欠挖部位及时修整,保证结构尺寸达标。严控土体扰动,减少机械震动、爆破震动对周边土体和建筑的影响,软土地基禁止重型机械长时间碾压,保护原状土结构<sup>[4]</sup>。(3) 开挖施工应急处置方案。开工前全面排查风险,针对塌方、突水、沉降超标、管线破损等突发情况,制定专项应急方案。配备充足的应急物资,比如沙袋、注浆设备、支护材料、抽水机具,组建应急小组。施工期间全程监测,一旦发现异常,立即停止作业,疏散人员,采取加固、止水、回填等应急措施,排查隐患后再恢复施工,严防安全事故扩大。

## 3 城市地下空间土木工程支护结构设计与应用

### 3.1 支护结构类型与适用条件

(1) 支挡型支护结构。支挡型支护以抵挡侧向水土压力为核心,属于刚性支护体系。排桩支护常用钻孔灌注桩、钢板桩,施工灵活、造价适中,适用于浅层至中等深度基坑,地质条件较好的城区工程,通常配合止水帷幕解决渗水问题。地下连续墙整体性强、刚度大、隔水效果优异,适用于深基坑、高水位软土地区,以及周边建筑管线密集、沉降控制严格的工程,还可兼作永久地下结构,安全性更高。(2) 加固型支护结构。这类支护依靠加固土体、提升边坡自稳能力发挥作用。土钉墙施工简便、成本低廉,通过土钉、钢筋网与喷射混凝土面层形成整体,适用于土质密实、开挖较浅、周边环境宽松的基坑工程。锚杆支护能将受力传递至深层稳定土层,配合支护桩使用,可大幅提升支护刚度,控制结构变形,适用于深基坑、陡坡支护,适用范围更广。(3) 组合式支护结构及柔性支护体系。组合式支护结合多种支护形式优势,适配复杂工况,常见桩锚支护、土钉排桩复合支护,兼顾安全性与经济性。柔性支护以预应力锚索、

钢支撑为主,能适应土体微量变形,释放部分土压力,减少结构受力,适合软土、松散砂层等易变形地层,以及城市核心区高精度控形工程。

### 3.2 支护结构设计计算要点

(1)土压力、水压力等荷载计算。设计前需结合勘察数据,准确计算主动、被动、静止土压力,叠加地下静水压力、渗流压力。同时计入地面堆载、交通荷载、施工机械等附加荷载,全面覆盖所有受力因素,保证荷载取值贴合实际工况,避免漏算、错算。(2)支护结构强度、稳定性验算方法。对支护构件开展抗弯、抗剪、抗压强度验算,确保承载力达标。重点验算基坑抗倾覆、抗滑移、整体稳定性,软土地层额外验算坑底隆起、管涌风险。常用极限平衡法、弹性地基梁法进行计算,结合现场地质微调参数,保障结构安全。(3)变形控制与耐久性设计要求。根据周边设施保护等级,设定沉降、位移限值,严控土体变形。耐久性设计需考虑地下水腐蚀、土体侵蚀等影响,选用耐腐蚀材料,合理设置保护层厚度,区分临时支护与永久支护,设定对应的使用年限,延长结构寿命<sup>[5]</sup>。

### 3.3 支护结构施工工艺

(1)支护结构现场施工流程与工序衔接。遵循先支护、后开挖的原则,施工流程为放线定位→围护结构施工→止水作业→锚杆/土钉施工→分层开挖同步支护。严禁超前开挖,待支护结构达到设计强度后,再进行下一道工序,保证工序衔接紧凑合理。(2)支护构件安装、锚固质量控制。严控桩体垂直度、钢筋笼绑扎质量,锚杆、土钉钻孔深度、角度符合设计标准,注浆密实饱满,保证锚固力达标。钢支撑顺直安装,预应力张拉精准,节点连接牢固,杜绝松动、偏移,施工全程做好质量抽检。(3)支护结构与开挖工序协同施工要点。开挖严格遵循分层分段、限时作业的原则,控制每层开挖厚度,严禁超挖。软土地层缩短土体暴露时间,及时架设支护。施工机械避开支护构件,防止碰撞损伤,同时做好基坑排水,防止积水软化土体。

### 3.4 支护结构常见病害与防治

(1)支护变形、开裂、失稳原因分析。病害诱因主要有地质勘察偏差、荷载计算失误、施工质量不达标、超挖扰动、地下水侵蚀、监测滞后等。变形超标多因支护刚度不足、水土压力过大;开裂多源于应力集中;失稳多为整体稳定性不足、基坑泡水导致。(2)病害加固修复技术措施。轻微变形可增设支撑、补打锚杆控制;构件裂缝采用注浆修补、加固补强;局部失稳立即停工,采取回填压脚、注浆加固土体,先止水再修复。针对病害根源,同步整改施工工艺,杜绝隐患复发。(3)支护结构长期运维与监测管控。施工及运维期,持续监测结构位移、沉降、受力数据,建立常态化监测机制。定期排查渗漏、锈蚀、破损问题,及时保养维护。永久支护定期检测,动态管控风险,保障地下工程长期稳定运行。

### 结束语

城市地下空间工程施工,开挖技术与支护结构相辅相成,是防控安全隐患、保障工程质量的核心。本文研究的各类技术与结构,能适配多样地质与施工场景,有效抵御坍塌、渗漏等施工风险。未来需结合新材料、智能化技术,持续优化施工工艺,强化动态监测与实时管控,进一步提升施工安全性与经济性,实现地下空间开发与城市建设的协调共进,助力城市可持续发展。

### 参考文献

- [1]万增熠.城市地下空间开发利用的结构设计与安全分析[J].中国质量监管,2024,(4):122-123.
- [2]陈兴.地下空间开发与城市地上空间规划的协同优化策略研究[J].城市建设理论研究,2024,(23):22-24.
- [3]王建永.城市地下空间开发中特殊托换体系研究与应用[J].施工技术,2024,53(15):6-11.
- [4]张研.城市地上地下空间一体化综合开发利用规划研究[J].智能建筑与智慧城市,2023,(9):41-44.
- [5]郭东军,谢金容.城市地下深层空间研究动态及利用规划思考[J].地下空间与工程学报,2022,18(6):175-177.