

# 市政道路深基坑支护结构与变形控制研究

袁知鹏

中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430000

**[摘要]**市政道路深基坑工程存在周边条件复杂, 地下管线众多, 交通疏导困难等特点, 对支护结构的设计及变形控制是保证工程顺利进行的重点, 在此介绍了深基坑工程的特点并对其主要支护结构如钢支撑、桩板墙、土钉墙、连续墙、地基处理、排水系统、BIM 信息化等关键技术进行了详细的解析, 在此基础上对其施工过程中的变形控制与管理措施进行了论述, 即通过精细化设计、动态监测及信息化技术等方式共同构建全寿命周期的变形控制系统以达到保证市政道路深基坑工程的安全可靠及经济划算的目的。

**[关键词]**市政道路; 深基坑; 支护结构; 变形控制; 监测预警

DOI: 10.33142/ect.v4i3.19406

中图分类号: TU463

文献标识码: A

## Research on the Design and Deformation Control of Deep Excavation Support Structure for Municipal Roads

YUAN Zhipeng

China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

**Abstract:** The deep foundation pit engineering of municipal roads has the characteristics of complex surrounding conditions, numerous underground pipelines, and difficult traffic diversion. The design and deformation control of supporting structures are the key to ensuring the smooth progress of the project. This article introduces the characteristics of deep foundation pit engineering and provides a detailed analysis of its main supporting structures such as steel supports, pile sheet walls, soil nail walls, continuous walls, foundation treatment, drainage systems, BIM informationization, and other key technologies. Based on this, the deformation control and management measures during its construction process are discussed, that is, a deformation control system throughout the entire life cycle is jointly constructed through refined design, dynamic monitoring, and information technology to achieve the goal of ensuring the safety, reliability, and cost-effectiveness of municipal road deep foundation pit engineering.

**Keywords:** municipal roads; deep foundation pit; supporting structure; deformation control; monitoring and early warning

### 引言

伴随城市地下空间开发利用日益广泛, 市政道路深基坑项目数目增多, 基坑开挖深度一般均超过 10m, 也有部分工程基坑深度大于 20m。深基坑工程项目涉及到土力学、结构力学、施工技术等多个领域, 因此, 对于深基坑支护结构的设计以及变形控制是直接影响到周围建筑、地下管线、地面道路等是否安全的问题所在, 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012) 要求: 所有深基坑工程项目都应进行专门设计, 采用可靠的支护方式以及变形控制方法, 保障工程质量。市政道路深基坑一般处于城市中心地带, 周围环境复杂、地下管线交错纵横、交通疏散难度大, 变形控制标准严格, 如出现支护失效或者变形过大等情况就容易产生较大的社会影响以及经济损失。据统计, 在城市基坑工程事故当中由于变形控制不到位引起的周边建筑物沉降、管线破损、地面下沉等现象的发生概率占到了 60% 以上, 每一起事件造成的直接经济损失都在百万元以上, 造成的间接损失更大。因此对市政道路深基坑支护结构的设计和变形控制的研究有着非常重要的意义。

### 1 深基坑工程的特点

市政道路深基坑工程项目有其自身特点对于支护设计及变形控制的要求更高: 一是周围环境复杂, 基坑一般处于既有建筑、道路以及地下管线附近, 在狭小的空间内施工对变形很在意; 二是地下管线密集, 市政道路下常有给排水、煤气、电力、通讯等多种管线, 各种管线材料、变形性能相差甚大, 煤气管容许变形远远小于建筑物变形需求, 因此, 对基坑变形的控制也要求很高。第三点就是交通疏导问题, 由于深基坑开挖经常会占道施工造成交通组织困难, 工期紧促, 对支护工程的速度及质量要求也较高。第四点就是地下水问题, 市政道路基坑常常会出现有地下水丰富的、含承压水层的复杂地质情况。地下水的流动可能会引发基底出现涌水、流砂等问题使土体产生过大变形以致于会造成基坑失稳的情况。第五点就是变形控制标准苛刻, 依据相关规范的规定, 周围建筑物位移差、管线位移以及地面沉降都有明确的要求。

### 2 市政道路深基坑支护结构设计关键技术

#### 2.1 钢支撑、拉杆及桩板墙设计技术

钢支撑、拉杆、桩板墙都是深基坑支护结构中常用的

方案。钢支撑体系包括围檩、支撑构件、立柱等部分，适用于基坑开挖较深而形状规则的情况，钢支撑的优点是自重大、易安拆、可周转利用，钢支撑的轴力可以通过千斤顶施加预压应力，减少围护结构位移，常用的材质为 Q235 或者 Q345，支撑间距一般在 3~5m 左右，预加轴力通常为设计轴力的 50%~80%，拉杆式支护是借助锚杆或锚索把支护结构固定在地上稳固土层上，适用于土层状况较好，要求基坑周边位移很小的时候。锚杆的锚固力要经过拉拔试验来确定，在设计的时候也要考虑到群锚效应以及蠕变的问题，锚固长度不少于 4m，自由长度不少于 5m，锚杆距离 1.5~2.5m，预应力值选择设计应力的 50%~70%，桩板墙是排桩加挡土板组成的一道土体防护结构，适合对于一些开挖深度不大，周围环境复杂有较多重要构筑物的情形。排桩可以选用钻孔灌注桩或者预制桩，桩径一般在 0.8~1.2m 之间，桩距 1.0~1.5m，桩间土采用挂网喷护或者设置挡土板，形成连续挡土结构，桩身混凝土强度等级不能低于 C30。

### 2.2 土钉墙与连续墙支护设计方法

土钉墙及连续墙为两种典型支护类型。土钉墙由土钉、喷层以及现场土体组成复合体系，适合用于地下水位之上或者已经经过降排水的土质边坡，土钉墙施工时间短、成本低、适用范围广等特点使其广泛应用在市政工程道路浅基坑建设中，土钉的长度通常取基坑开挖深度的 0.5~1.0 倍左右，间隔距离 1.0~1.5m 左右，喷层喷射混凝土厚度为 80~100mm，强度等级不小于 C20<sup>[1]</sup>。地下连续墙是一种广泛应用于深基坑支护的挡土建筑物，在开挖过程中采用成槽机开挖槽孔，然后安放钢筋笼，最后进行混凝土浇筑，形成连续钢筋混凝土墙体，地下连续墙的优点在于刚度大、止水效果佳、对外界影响小等特点，适用于较深基坑（大于 15m）以及环境条件苛刻场合下的基坑支护工程，其厚度一般在 0.8~1.2m 之间，混凝土标号不低于 C30，抗渗等级不低于 P8。地下连续墙的设计要特别注意的是墙厚、嵌固长度、配筋比等因素，底部一般埋设于微风化岩层或者深入稳定土层某一段距离内，嵌固深度一般取基坑深度的 0.5~0.8 倍左右，以保证其抗隆起、抗倾覆的作用；同时顶部设冠梁加强整体稳定性。

### 2.3 支护结构与地基改良协同设计

支护结构与地基加固综合设计有利于增强基坑的整体稳定性。地基加固措施主要有深层水泥搅拌桩，高压旋喷桩，灌浆等方法，可以改善坑底土层性质，增强被动区抗力，减小围护墙变形量，在软土地质条件下，坑底使用深层水泥搅拌桩加固能显著提升被动区土阻力，降低围护结构水平位移 30%~50%，加固范围通常是开挖深度的 0.5~1.0 倍之间，加固深度一般是在开挖面下 3~5m 处；桩身强度应不低于 1.0MPa。针对高地下水位地区深基坑工程，常用的支护形式为“支护结构+止水帷幕+坑底加固”的组合结构，其中止水帷幕和支护结构共同构建了封闭式的防水系统，坑底加固可以增强对抗基坑隆起的能力以及降低渗流破坏的风险，三轴搅拌桩止水帷幕桩径 650~850mm，搭接长

度不宜小于 200mm，水泥掺量 20%~25%。

### 2.4 排水系统设计及变形控制技术

排水系统的设置与防变形相关联。基坑排水系统由地面上的截流排水设施和坑内的降水工程两部分组成。地面上的截流设施主要是为了防止坡顶流水进入基坑，地面上的截流排水设施可以拦截流水，使流水不能流入基坑中去；坑内的降水就是指对水位进行降低，通过井点降水或者管井降水使得地下水位下降，给土方开挖提供一个良好的基础。降水方案应当依据水文地质状况制定出降水井的数量、深度以及直径大小等，而降水实施时要控制好水下降速度，防止因为过快抽水而导致周边地区出现下沉情况发生，水位下降速度通常保持在每天 0.5~1.0m 之间，降水井的距离为 10~15m 左右，井底要低于坑底 3~5m。防变形措施主要有：合理地选择支撑道数、科学地选定支撑间距、施加预应力和设置抗隆起平台。以时空效应理论来指导开挖施工，在开挖的同时按照“分层、分段、对称、均衡”的原则限制每一阶段开挖的空间大小及暴露时间，每层开挖厚度不得超过 2m，分段长度不得超过 20m，支撑安设必须在开挖后的 24h 内完成，可以降低基坑变形量 30% 左右。

### 2.5 BIM 与信息化技术在支护设计中的应用

BIM 以及信息化的技术对传统的支护设计方案进行变革。BIM 可以做到对支护结构的三维可视化的设计，把围护桩、支撑系统、降水设施等作为整体来创建一个模型，来进行碰撞检验和建造过程模拟。基于 BIM 模型可以直接对支护结构工程量进行统计，出具材料表及施工图，提升设计速度与准确性，节省设计变更大约 20% 左右的时间，还可以做到不同专业的配合设计，防止管线和支撑产生矛盾。信息化技术有地质信息系统、施工监控信息系统、数值分析软件等，做到勘察、设计、施工全流程信息化管理。基于 GIS 地质信息系统可以清晰显示地层分布以及岩土参数情况，作为支护设计的选择参考，配合有限元数值分析能够准确预报出基坑变形的发展趋势，助力设计参数的改善修正<sup>[2]</sup>。表 1 对信息化技术和 BIM 应用于支护设计方案进行了比较。

表 1 BIM 与信息化技术在支护设计中的应用对比

| 技术类型   | 主要应用       | 技术优势      | 适用阶段       |
|--------|------------|-----------|------------|
| BIM 建模 | 三维可视化、碰撞检查 | 信息集成、协同设计 | 方案设计、施工图设计 |
| 数值模拟   | 变形分析、稳定性验算 | 精准计算、参数优化 | 方案比选、设计验证  |
| 地质信息系统 | 地层管理、参数查询  | 数据集成、直观展示 | 勘察设计       |
| 监测信息平台 | 数据采集、实时预警  | 动态反馈、辅助决策 | 施工运营       |

## 3 深基坑施工阶段变形控制与管理

### 3.1 施工工艺对基坑变形的影响

施工方法也是造成基坑位移的因素之一。开挖顺序，分层厚度，支撑支设时间等都会影响到围护结构的位移及周边地层的沉降量，施工时要本着先撑后挖的原则进行施

工,每一层开挖深度不大于 2~3m,分块长度不大于 20~30m,在挖完之后 24h 内要进行支撑施工并施加预应力,这是防止基坑位移变形的有效手段,针对支撑体系,预加压力的作用时间和大小都对它的变形控制产生重要影响,钢支撑预加压力最好分级进行,每一级保持稳定时间为 5~10min,直到达到预期的压力值为止并锁紧,预加压力不宜过大或过小,一般控制在不超过 10%,并且施工中还要注意补足预加压力。土方开挖时应注意控制机械设备荷载,防止大型机械集中堆载使坑壁产生较大的位移;而对软土地基来说,如果基坑开挖后长时间暴露会导致土体蠕变,增大变形程度,所以应加快进度,缩短基坑暴露的时间,一层暴露时间不超过 7d,合理组织流水作业,遵循开挖一层、支撑一层、封闭一层的原则。

### 3.2 施工监测与变形预警机制

施工监控是把握基坑状态、引导智能化建造的重要方式,监测项目主要有围护墙水平位移,垂直位移,支撑内力,地下水位,周围建筑物下沉以及管线变形等,布置监测点要构成严密的监测网络,重点区域要加强布置监测点,例如支撑结点,基坑角点附近,靠近重大管线的地方,布置间隔通常在 10~20m 之间,重点区域的布置间隔可以缩短到 5~10m,保证监测数据的代表性与完整性,监测频率依据施工时期及变形速度而变化,开挖时期需要加强监测,一天至少一次甚至两次,在基坑变形趋于稳定的时段就可以减少频次了。设立分等级预警制度,按沉降量分为黄警、橙警及红警三个级别,采取相应的应对方案,报警阈值一般为控制值的 60%、80%、100%,当观测值达到黄色预警标准进行加密观测,当达到橙色等级要分析原因,当到达红色预警等级则马上停工处理。

### 3.3 临时支护结构设计与施工管理

临时加固是深基坑开挖中的重要安全保障。临时加固有钢支撑、混凝土支撑、斜撑等多种形式,临时加固设计要根据工程施工阶段受力状况来进行。在进行钢支撑设计时要计算整个支撑体系的稳定性以及单根杆件承载能力;钢支撑端头与围檩的连接要保证可靠的传递轴力;节点强度应不低于支撑杆件强度的 1.2 倍;支撑体系要做好防止掉落的安全措施。对于混凝土支撑而言,要考虑温度应力、收缩徐变的因素、支撑与围护结构的连接节点应予以专门设计,满足节点刚度的要求,支撑拆除时混凝土强度不应低于设计强度的 80%,拆除顺序要和主体工程匹配<sup>[3]</sup>。施工管理上,临时支撑的安拆必须按照设计规定进行,在拆除临时支撑之前要校核换撑结构的刚度,在拆除时要进行临时补强,保证结构的安全性,换撑板带宽度不宜小于 1.5m,混凝土强度满足设计后再拆除下部支承。

### 3.4 安全管理与风险控制措施

安全管理和风险管理为深基坑工程的核心。风险辨识应该包含地质风险、施工风险、周边环境风险等,根据不同的风险采取相应措施的应急预案。在基坑施工之前要对风险做出评价,定出风险级别的大小,对于高危的风险等

级需要由专家组来论证施工计划,专家组成员人数应达到五人以上,在经过论证后才能开始施工作业。施工现场管理要明确安全生产责任制度,加强对于施工人员的安全教育培训,严格做好每个阶段如基坑开挖、支护架设、排水工作等的班前安全交代工作,特种工种人员需持证上岗,定期进行应急预案的演习<sup>[4]</sup>。应急装备有备用电源、抽排水设备、支撑材料、注浆设备等,在施工前要配备好并做好维护保养工作,若出现险情第一时间启动应急方案,实施坑内回填、增加支撑、地面注浆等应急措施,避免事态扩大,并向有关单位报告,在第一时间对周围居民作出解释。表 2 是主要风险防范措施对比。

表 2 深基坑工程风险控制措施对比

| 风险类型   | 主要风险因素     | 控制措施          | 应急准备      |
|--------|------------|---------------|-----------|
| 围护结构失稳 | 支撑不及时、轴力不足 | 优化开挖顺序、加强支撑监测 | 备用支撑、回填土方 |
| 基坑突涌   | 承压水、止水帷幕缺陷 | 降水井监测、坑底加固    | 应急降水、注浆封堵 |
| 周边沉降超限 | 降水不当、开挖卸载  | 控制降水速率、及时支撑   | 跟踪注浆、顶升纠偏 |
| 管线破坏   | 管线老化、变形超限  | 管线调查、设置保护结构   | 管线抢修、临时支护 |

## 4 结语

市政道路深基坑支护结构的设计与变形控制是一项复杂的系统工程,包括地质条件、支护形式、施工技术、监控报警等诸多方面的内容。本文介绍了深基坑工程的基本特征并针对钢支撑、桩板墙、土钉墙、地下连续墙、地基处理、集水井排水以及 BIM 信息化等支护结构设计的关键技术进行了系统的介绍,在此基础上对其施工阶段变形控制与管理措施进行了研究,得出深基坑工程应坚持“以设计为主导、实时监测、严格管控”的思路,把精细化设计、实时监测、信息化管理有机地结合起来,形成一个完整的变形控制系统的研究结论。今后还要加强 BIM、物联网以及大数据等一系列新技术的研发与使用,做到对基坑变形提前进行预测并提前做好防护措施,以达到给城镇道路建设施工带来更高层次的安全防护。

### 【参考文献】

- [1]王衍庆.市政道路排水工程建设中的安全管理[J].运输经理世界,2024(33):28-30.
- [2]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.
- [3]吴建华.市政道路工程深基坑支护施工管理探究[J].四川水泥,2023(3):197-199.
- [4]陈贺.深基坑支护施工技术的应用研究[J].低温建筑技术,2022,44(5):119-122.

作者简介:袁知鹏(1994.2—)男,汉族,湖北省黄石市阳新县人(籍贯),现职称:道路工程师,2017年06月毕业于武汉科技大学城市学院土木工程,最高学历:大学本科,现主要从事道路工程设计。