

# 复杂环境条件下市政工程深基坑支护设计

刘卿 孙厚振\* 赵延鹏

济南能源工程集团有限公司

**摘要:**随着我国城市化进程的加快,充分开发和利用城市地下空间,建设各类地下工程已成为城市经济高速发展的客观需要。深基坑工程技术的不断发展,为城市地下空间向更大更深规模的开发利用提供了可能,但同时基坑周边环境日趋复杂,建设场地愈发狭小的问题也日显突出。在复杂环境条件下的工程实践中,由于支护体系设计存在缺陷,或施工环节质量控制措施不到位,基坑质量安全事故屡有发生。这就需要结合项目地质条件、开挖深度、周边环境等因素综合考虑,采取更加科学合理、经济有效的技术手段,确保基坑工程安全顺利地实施。

**关键词:** 基坑工程; 软土地区; 渗流破坏; 复杂环境

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.097

## 一、复杂环境条件下市政工程深基坑支护设计重要性

在复杂环境条件下进行市政工程深基坑支护设计具有重要的意义,主复杂环境条件下的深基坑支护设计是为了确保工程施工过程中的安全。这些复杂环境可能包括高地下水位、软弱土层、旁边建筑物或地下管线的影响等,如果不进行有效的支护设计,可能导致地下水涌入、土体失稳、地面沉陷等安全问题,甚至造成人员伤亡和财产损失。合理的深基坑支护设计可以有效地保护周边环境,防止工程施工对周边建筑物、地下管线、道路交通等造成影响和损害。通过选择合适的支护结构和施工工艺,减少振动、噪音、地表沉降等对周边环境的干扰,确保施工过程对周边环境的最小影响。深基坑支护设计直接影响着工程的质量和稳定性。在复杂环境条件下,如果不进行科学合理的支护设计,可能导致基坑变形、土体塌方、结构物倾斜等问题,从而影响工程的整体质量和使用寿命。

## 二、复杂环境条件下市政工程深基坑支护设计注意事项分析

### (一) 技术可行性

为了保证深基坑支护在市政项目中的优越性和功能得到最大限度地展现,还必须重视以下几个方面的问题,这样才能良好地发挥出工艺支持下的市政建设完善效果。首先,工艺可实施的标准,主要是根据对该技术的使用前后以及对市政项目深基坑作业的外部防护能否达到规定的要求来实施判断。若是确认采用此项技术之后,深基坑的保护状况更佳,就说明此技术的可实施性更高;其次,研究了该方法在实际运用中的抗干扰能力。在应用这项工艺的时候,要考虑有没有受到天气的状况、自然灾害和地质条件等因素的影响,使其不能正常工作,以保证这项技术符合深基坑支护工程的施工规范。

### (二) 环境保护性

在城市建设中,要正确地运用深基坑支护技术,以保证该技术的实施不会对周边环境造成重大的危害。不管是低基础开挖还是墙壁浇筑,均要注重环保成效,既要保证土壤原有的稳定性不被破坏,又要保证周围树木和果园等生态环境不受影响,最关键的是,要在使用支护工艺的时候,要对周围的社会环境进行相应的保护。在一些市政项目当中,周边可能有住宅建筑、民生设施和城市建筑等,所以不管深基坑支护工艺在什么情况下使用,均要将环境保护工作落到实处,确保社会生活的常规秩序稳定,坚决不能破坏城市的交通,更不能造成严重的生态污染。

### (三) 主体架构

其一,围护墙。在地下项目当中,为了避免由于深基坑土体太疏松而引起土体滑动状况,采用模块隔板或砼浇筑挡板作为围护墙,可以达到很好的保护作用;其二是支撑系统。由于开挖施工会引起墙体与基础土间的不均匀应力,并且会造成墙体承受过大的源于深基坑外层土带来的荷载,因此,需要构建完善的支撑系统以保证墙体具备良好的防护成效。

### (四) 主要要求

在城市建设中运用深基坑支护工艺,要根据具体的地质情况,选用合适的支护技术、对策和设施。为了保证后面的支护工艺可以良好实施,在施工之前,工作人员需要将地下土层的特征以及地下水的状况都摸清楚,并且根据设计图纸,再一次确定施工的环境,以此来估算和预测深基坑支护的环境状况,给实际的支护工艺的选取提供有益的参考。在支护工艺的选用上。先是要让工作人员对每种支护工艺所适用的环境都有一个全面的认识,并将其与目前的现实状况相比较,提前对实施过程当中可能存在的隐患和问题进行评价,以保障项目实施的稳定性。

## 三、工程概况

某深基坑工程位于武汉市江汉区唐家墩路,包括1栋8层医技楼和1栋22层住院楼,设置满铺三层地下室,建筑物基础采用钻孔灌注桩。基坑开口面积约9500m<sup>2</sup>,周长480m,地下室结构正负零标高21.70m,基坑周边地面标高21.00m,基坑开挖深度17.10m,基坑重要性等级为一级。

### (一) 工程地质条件

本工程地貌单元属长江一级阶地,岩土工程勘察报告显示,基坑工程深度影响范围内土层分布自上而下依次为:(1)层杂填土;(1a)层淤泥质黏土;(2-1)层粉质黏土夹粉土;(2-2)层粉质黏土夹粉土;(3)层粉质黏土与粉土、粉砂互层;(4-1)层粉细砂;(4-2)层粉细砂;(4-2a)层粉质黏土夹粉土;(5)层中粗砂夹砾石;(6)层粉质黏土夹卵砾石;(7-1)层强风化粉砂质泥岩;(7-2)层中风化粉砂质泥岩;

(7a-1)层强风化砂砾岩；(7a-2)层中风化砂砾岩。场地岩土种类较多，上部土质一般~较差，下部土层强度较高。填土及上部软土，易造成基坑侧壁失稳，引起基坑侧壁垮塌；(3)层中的粉土、粉砂及(4-1)层、(4-2)层粉细砂易产生流失引起基坑侧壁失稳。

**(二) 水文地质条件**

项目地处长江中游江汉平原，场地地下水按埋藏条件分为上层滞水和承压水，其中上层滞水主要赋存于(1)层杂填土中，水位标高为18.04~19.85m，埋深为1.30~3.20m；承压水主要赋存于(3)层所夹薄层粉土、粉砂和(4-1)、(4-2)、(5)层中，与长江水力联系紧密，水位年变化幅度约为3~5m，水量较为丰富，对基坑支护工程会产生不利影响。

**四、基坑支护设计分析**

**(一) 设计重点**

(1) 该工程地处主城区，基坑各方位距离用地红线最小为2m左右，西侧红线外为唐家墩路，紧邻地铁6号线及唐家墩路高架桥，基坑边线在轨道交通保护线内。其余三侧红线外为现有小区和其他建筑物，且周边道路下有需要保护的管线，对变形比较敏感，应严格控制基坑支护体系的变形，避免对周边环境产生不利影响。(2) 根据现场抽水试验，承压水水头位在地面下5.8m左右，相当于绝对标高15.73m，承压水主要赋存于互层以及砂层中，基坑开挖深度约为17.0m，基坑开挖已经揭露承压水含水层，应通过安全有效的竖向止水帷幕设计和承压水降水措施，防止基坑发生渗流破坏，并严格控制管井降水的含砂量。(3) 本场地(1)层杂填土最大厚度4.6m，其下(2-1)层粉质黏土夹粉土 $f_{ak} < 70kPa$ ，二者相加最大厚度大于8m，同时该区域为武汉市深厚软土地面沉降重点防控区，设计时基坑上部应采取可靠的竖向隔渗措施，避免基坑侧壁水土流失引起基坑周边地面沉降。

**(二) 难点分析**

(1) 拟建地下室基坑大致呈倒“刀把”型，东西长约155m，南北最宽约88m，最窄约为28m，施工场地紧张。在方案设计阶段应考虑基坑施工组织需求，如何对材料堆放和加工场地、施工场地、施工道路进行科学合理的规划，将对基坑工程施工能否顺利进行产生很大影响。(2) 基坑设计采用落底式止水帷幕，如帷幕出现漏点，在内外水头差作用下侧壁会漏水冒砂，发生管涌；若承压水位降深未达到坑底以下目标水位时进行土方开挖，坑底可能发生突涌，基坑底土体发生渗流破坏，其后果将非常严重。因此帷幕施工中技术保证措施要严格到位，确保帷幕严实不漏，同时要严格控制降水目标水位，分区降水，按需降水，控制抽水强度，减少降水总抽排量。

**五、基坑支护设计方案**

**(一) 支护体系概述**

根据该工程项目的地质条件、开挖深度和周边环境，基坑支护方式采用排桩加三层钢筋混凝土内支撑，支护桩间设高压旋喷桩、支护桩后设落底式止水帷幕，承压水采用管井疏干降水，基坑支护平面见图1。

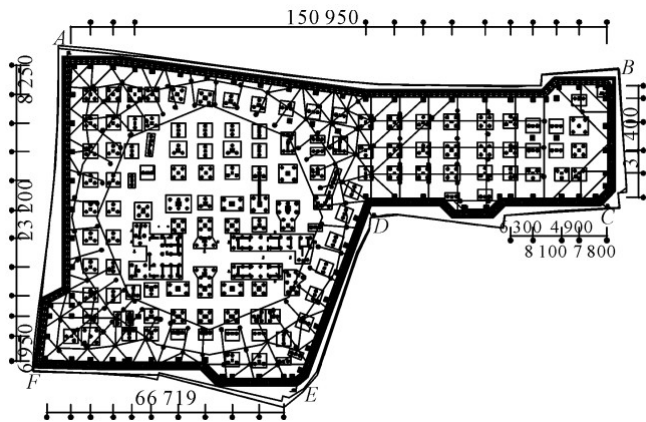


图1 基坑支护平面图(单位: mm)

**(二) 支护方案**

(1) 支护桩：基坑不同区段分别采用 $\Phi 1300@1600$ 、 $\Phi 1400@1700$ 钻孔灌注桩，有效桩长28.1m，嵌入坑底深度11.9m，混凝土等级为C30。(2) 高压旋喷桩：在支护桩间设置高压旋喷桩，采用双重管工艺，加强基坑侧壁止水效果。水泥采用P.0.425水泥，水泥掺入量不小于25%，高压旋喷桩待临近区域的围护体施工完成并达到80%设计强度后方可施工。(3) 落底式止水帷幕：采用CSM工法等厚水泥土搅拌墙，厚度700mm，长度约50m，穿过赋含承压水的深厚砂层，帷幕底进入(7a-1)、(7-1)或(7-2)层隔水底板中不少于1m。水泥采用P.0.425水泥，水泥掺入量不小于25%，优先施工水泥土搅拌墙，待墙体达到初凝强度后再施工支护桩，宜采用跳槽法施工。(4) 内支撑：采用三道水平钢筋混凝土支撑，支撑点分别设于-0.50m、-6.50m、-12.00m标高处，混凝土等级为C35-C40。在基坑的建筑主体区域，采用受力性能更加合理的圆环形桁架式内支撑，在基坑内形成约3000m<sup>2</sup>的敞开式空间，为土方开挖和地下室结构施工创造更多的便利条件。同时第一道圆环形支撑桁架作为施工栈桥，既可作为材料堆放和加工场地，又可作为各类施工机械设备的操作平台和运输通道，解决了场地空间狭小的问题，极大地提高了施工效率，缩短了土方开挖工期和基坑暴露时间。(5) 立柱桩：支撑系统竖向支撑采用型钢格构柱加钻孔灌注桩，格构柱采用L200×200×20角钢，上部嵌入第一层支撑内0.5m，下部插入灌注桩 $\geq 3m$ ，格构柱净高超过10m部位应采用28#槽钢设置剪刀撑加强。(6) 土方开挖：土方开挖应分层分段、均衡对称、先撑后挖。开挖前必须编制严格的施工组织设计，开挖过程中应防止形成过陡的临时边坡，确保工程桩、立柱、降水井的安全，挖出土方应及时外运，不得堆置于边坡顶部。(7) 基坑支护施工顺序：场地整平—止水体系、支护桩、高喷桩、降水井及立柱桩施工—土方开挖至冠梁底标高一施工冠梁、第一道内支撑—土方分层开挖至第二、三层内支撑标高以下0.5m—施工第二、三道内支撑—土方开挖至基底标高一施工地下室结构—逆工况及换撑体系施工—拆除内支撑，施工现场见图2。



图2 施工现场

### （三）基坑监测数据分析

本工程自2021年10月开始支护施工，至2023年7月基坑回填完成，目前正在进行上部主体结构施工，支护体系在土方开挖及地下结构施工过程中运行平稳。在基坑和地下工程施工过程中，对桩顶位移、土体深层位移、周边道路、周边建筑物、地下水、内支撑轴力、立柱桩等项目进行了全过程监测。通过支护桩深层水平位移的监测数据统计分析，桩撑部位最大水平位移约16.5mm，位于支护桩中间部位（拆除第一层内支撑时位移突变），比计算最大变形值23.5mm减少约30%，定性判断是由于第一层内支撑大面积设置栈桥板，增大了支撑体系的平面刚度。基坑周边地面最大沉降约15.3mm，基坑周边建筑物最大沉降约5.5mm，最大倾斜度约0.1%，基坑周边地下水最大降深约5.2m。监测变形量均控制在限值以内，实现了对基坑开挖安全性和稳定性的控制，典型断面变形设计值与监测值见。

## 六、深基坑支护技术在市政中应用的综合策略分析

### （一）选用科学支护技术

目前，城市建设中的深基坑支护工艺有很多种类型，然而因为城市的复杂程度比较高，所以施工单位在对支护技术的选用上要非常谨慎，才能保证之后的施工可以正常进行，要根据施工环境和工作条件等因素来选取合适的支护工艺。举个例子，对于一些超过10厘米深的基坑结构来说，在选取支护工艺的过程中若是使用土钉墙支护，不仅不能取得很好的成效，还会带来一系列的隐患危险。在选取支护技术时，要综合考虑工作环境和条件，同时也要把整个市政项目的施工环境都考虑进去，在这些因素的指导下，才能最大限度地发挥支护工艺所具有的支护作用。

### （二）严格把控施工材料

在进行市政工程的深基坑施工的时候，首先要选取适宜的支护方式，其次要对施工材料品质进行严格控制。建筑材料是保证深基坑项目品质达到规范的一个关键条件，它的作用将对深基坑的支护成效产生很大的影响。当建材有问题的时候，就会在施工期间造成深基坑失稳的现象出现。例如，在采用排桩支护技术的时候，如果选择的桩体自身的品质不符合规范要求，同时其承载力也很低，整个桩身都是不稳定的，这样不仅会影响到深基坑的支护成效，还会因为基坑的变形进而引起一系列隐患，从而造成整个市政项目的施工不能进行。

### （三）定期排查形态异常

为了保证市政项目的深基坑构造具备较好的支护成效，就必须在实施的过程对其构造是否有不正常状况进行定期的监测。若是在工程建设当中，发现有异常的现象，相关工作人员就应该立即排查，并采用科学的对策加以处置，保证深基坑项目可以正常进行。对于定期检测深基坑的形状，要求工作人员将其与深基坑作业场地周边的建筑以及深基坑的构造相联系，来明确实际的监测点位，以便让工作人员能够对深基坑构造的具体状况进行实时的了解，一旦发现某个监测点的数值超过了正常值的区间，就必须尽快找出其产生的原因，并实施相应的对策进行处理，保证市政项目能够顺利完成，防止造成重大的损失。

### （四）加强排水措施

在城市建设中采用深基坑支护技术的时候，一定要注意地下水的渗漏。在工程建设中，很可能会存在着显著的地下水危险，这会对整个项目的施工效率产生不利的影响，还会发生塌方的现象，严重时还会造成基坑被浸泡，从而导致市政项目的实施品质达不到规范要求。因此，在市政工程建设当中，必须要有合理的排水方法，才能有效地避免发生大范围的坍塌和泡水状况。但在施工中，必须遵循实事求是的基本原理，同时也要保证基坑的稳定程度。

### 结语

综上所述，在对基坑稳定性产生影响的各种因素中，地下水控制占据主导地位，应结合基坑地质条件、开挖深度、周边环境，在设计和施工中予以重点关注，采取有效的防渗降水措施，预防基坑渗流破坏以及地层不均匀固结沉降的发生。对于周边环境复杂、施工场地空间严重受限的城市深基坑工程，结合项目特点采用受力性能合理的圆环形桁架式内支撑，将释放更大场地空间，提高施工效率、经济效益明显。对临近的地铁、高架桥等在设计阶段应开展影响性评估工作，以利采取针对性的保护措施，最大限度减少对其影响。土方开挖是基坑工程中的重要环节之一，应遵循分层分段、均衡对称、先撑后挖原则，将开挖后引起的沉降变形控制在允许范围内。通过全过程基坑监测，掌握支护体系和周边环境的动态变化，对变形发展趋势进行分析预测，对安全性及时进行评估，为基坑支护体系的安全运行提供信息化支撑。

### 参考文献

- [1] 范士凯, 陶宏亮. 土体工程地质宏观控制论的理论与实践[A] // 深基坑工程地下水控制综述[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2017.
  - [2] 苏昭剑, 陈泽萍. 环形内支撑在软土深基坑支护中的应用[J]. 福建建筑, 2013(5): 116-117.
- 作者简介:  
 第一作者: 刘卿, 1981年, 男, 汉, 山东济南, 本科, 济南能源工程集团有限公司, 中级评副高, 城镇道路与交通工程。  
 通讯作者: 孙厚振, 1991年, 男, 汉, 山东枣庄, 本科, 济南能源工程集团有限公司, 中级评副高, 城镇道路与交通工程。