

深基坑工程施工技术及风险防控措施分析

王 森¹, 徐宗峰^{2*}

(1. 西安铁一院工程咨询管理有限公司, 陕西 西安 710000;

2. 青岛震泓建设开发有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要 随着地下空间进一步开发, 深基坑工程项目规模日益增大、环境愈加复杂, 其施工技术和风险管理是当前岩土工程亟待解决的问题。本文基于围护结构施工、地下水控制以及土方开挖与支撑体系三个方面对关键技术进行阐述, 在此基础上从地质条件、支护结构、周围环境三个方面总结常见问题并给出相应对策建议。结果表明, 深基坑工程施工必须实现技术选择与风险防范相结合, 在充分开展详细勘查工作基础上实施全程跟踪检测并严格把控工程质量, 能够有效减少事故的发生, 提高工程的安全性。

关键词 深基坑工程; 围护结构; 地下水控制; 土方开挖; 风险识别

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.031

0 引言

深基坑工程广泛应用于高层建筑、城市轨道交通等城市建设项目中。而随着地下空间开挖深度的进一步提高, 基坑出现“深、大、紧、近”, 即深度更深、规模更大、环境约束更紧、临近现有建筑物更近的情况, 这对施工提出了更高的要求, 不确定因素也相应增多。近年来, 基坑围护结构失稳、基坑底部隆起、周围地面沉降严重甚至坍塌等问题屡见不鲜。因此, 总结归纳深基坑施工技术, 辨识施工过程中的各种隐患并采取合理预防措施非常有必要。

1 深基坑工程施工关键技术分析

1.1 围护结构施工技术

围护结构是深基坑第一道防线, 在挡土的同时起到防水作用并承受周边水土压力。常用的围护结构有地下连续墙、钻孔灌注桩排桩、SMW 工法桩和钢板桩等。地下连续墙适用范围广, 尤其适合深度较大、周边环境要求较高的大型基坑, 开挖成槽后下放钢筋笼并灌注混凝土而成, 墙体整体性强、刚度大、防渗效果佳^[1]。钻孔灌注桩排桩施工方便, 适应性强, 但由于桩间存在渗漏问题需要结合高压旋喷桩或者搅拌桩形成一道防水屏障。SMW 工法桩是在三轴搅拌桩内插入型钢起到挡土和防渗作用, 施工速度较快而且型钢可以循环使用, 经济效益较高。围护结构施工主要针对槽段垂直度控制、泥浆护壁质量和接头防水问题, 任何一个方面出现问题都会造成围护结构漏水或者位移过大。

1.2 地下水控制技术

地下水是影响深基坑施工安全的重要因素。地下水控制的主要目的是使基坑内地下水位低于开挖面, 而不至于使坑外地下水位降低太多造成周围地面沉降。降水方法有管井降水、轻型井点降水和喷射井点等, 其中管井降水用于渗透性较好的砂土地层, 而井点降水用于粉土、粉砂地层。当要求限制外部水位降落时, 可采用落底式止水帷幕结合坑内降水的方法, 即用地下连续墙或者深层搅拌桩将基坑与外界隔离开来, 在基坑内部进行降水。另外, 对于承压含水层还需要设置减压井降低承压水位, 以免发生基坑底部突涌现象。地下水控制主要是合理确定降水井位置、适当控制排水量以及对周围水位变化情况进行有效监控。

1.3 土方开挖与支撑体系施工技术

土方开挖以及支撑施工是深基坑工程施工的重要内容, 应以“分层、分区、对称、平衡”的方式进行土方开挖。在分层方面, 一层高度不超过 2 m ~ 3 m, 防止一次挖穿造成围护结构荷载突变; 在分区方面, 较大范围内采用分块开挖方式, 利用分隔墙或者中岛式土体控制围护结构位移发展^[2]。支撑主要有两种类型: 一种是钢筋混凝土内支撑, 其特点是刚度大, 整体性强, 适用于形状不规则或有严格沉降要求的基坑工程; 另一种是钢管支撑, 便于安装和拆卸, 可以利用轴力预紧装置进行预紧, 适用于狭长形基坑, 如地铁车站等。支撑施工应与土方开挖紧密结合, 遵循“先

作者简介: 王森(1998-), 男, 本科, 研究方向: 建筑工程。

*通信作者: 徐宗峰(1977-), 男, 专科, 研究方向: 建筑工程。E-mail: 3525099600@qq.com

撑后挖”的原则,即在开挖至支撑设计标高后立即进行支撑并施加预应力,然后才能继续往下开挖。支撑节点连接强度、预应力施加准确性和支撑拆除时换撑方法是控制基坑变形关键技术问题。

2 深基坑工程施工典型风险分析

2.1 地质条件引发的施工风险

地质条件复杂性和不确定性也是造成深基坑施工风险的因素之一。软土地区由于其含水量大、压缩性高、强度低以及触变性,在开挖卸载的情况下容易出现较大的围护结构侧向位移以及坑底隆起,极端情况下甚至会出现围护结构失稳倾倒的情况。砂土地层中如果地下水流动速度较快就会出现管涌或者流砂的现象,也就是坑底土体在动水压力的作用下失去有效应力从而形成一个通向地面的涌水涌砂通道,使得基坑内外部相通,进而引起围护结构外侧的大量失土。承压水对坑底土的压力不能忽视,一旦开挖深度较大以至于上面覆盖层自身的重量不能抵消承压水水头的压力,则有可能造成坑底突发性的涌出现象,也就是坑底隆起裂缝并有大量的水溢出。而填土层、暗浜、古河道等地质缺陷的位置具有随机性,如果勘察不能够准确地查明它们的位置及属性,在施工过程中就有可能发生局部坍塌或者漏水等事故。

2.2 支护结构施工与受力风险

支护结构自身施工质量和受力情况对基坑工程至关重要。在围护结构施工过程中,地下连续墙成槽时,若槽壁稳定控制不好,就容易出现局部塌孔现象,造成墙体夹泥,钢筋笼不能顺利放入,从而形成墙体薄弱位置;钻孔灌注桩存在沉渣厚、桩身缩径或者断桩问题,都会影响桩基承载能力和止水效果^[3]。在支撑体系中,钢支撑预应力不足或者损失过多,不能起到限制围护结构变形作用;钢筋混凝土支撑如果未达到一定龄期就进行下面土方开挖,支撑强度不够,在受力初期就会产生裂缝甚至压溃。而在基坑开挖过程中,随着开挖深度加大,围护结构所受力也在不断发生变化。若土方开挖顺序不合理、分层厚度过大或者支撑设置滞后,都会使围护结构发生较大变形,严重时会造成材料强度而损坏。

2.3 周边环境变形与破坏风险

深基坑施工会不可避免地会对周边环境造成一定影响,主要包括由于地层移动引起地面沉降、建筑物倾斜开裂以及地下管道变形破坏等。基坑开挖相当于给土体提供一个卸荷的空间,在围护结构侧向位移以及坑底隆起作用,周围土体会向基坑内部方向移动而形成沉降槽。如果毗邻现有建筑基础处于该沉降槽的

影响区,则会产生不同的沉降而导致建筑物倾斜、墙体裂缝或结构受损。地下管道对于地层变化非常敏感,特别是年代久远的铸铁管、混凝土管或者陶瓷管,由于其自身的韧性较差,很小程度的不同沉降都会造成接口处漏水或者管体破裂。地铁隧道、地下通道等现有的地下构筑物对于附加变形有着较高的标准限制,而深基坑施工引起的侧向土体位移可能会使其产生收敛变形或者纵向的不均匀沉降。另外,降水造成的地下水面降低会使土体的有效应力增加,从而发生固结压缩进而产生较大面积地面沉降,而且这种沉降是延后并且长期进行的过程,在施工后还会继续发展。

3 深基坑工程施工风险防控措施

3.1 施工前地质勘察与风险评估体系构建

准确的地质勘探是风险防范的基础,其程度以及范围大小对后续的设计参数有重要影响。勘探应根据基坑影响深度范围内不同土层分别进行详细描述,利用静力触探、标准贯入试验以及室内土工试验取得软土地层灵敏度、无侧限抗剪强度、砂土地层相对密度、水平和垂直渗透系数、承压水层厚度及其年内变化情况等信息;对于暗浜、古河道或者障碍物等不良地质体,可采取钻探加地球物理探测手段,如地质雷达或者跨孔地震波CT,来确定它们的平面位置以及纵向延伸长度,防止支护结构穿过软弱地带;而对于周围条件比较复杂的深基坑,则须做抽水或者微渗试验等专门性水文地质测试,以了解土层中的储水能力、透水性和越流量等信息,从而确定合理的降水井深度及排水量。

根据上述勘察结果,需要制定系统的风险评价方法来实现分类管理。采用故障树的方法,以基坑失稳为顶事件,依次拆分出勘察失误、设计错误、施工不当、监测失效等基本事件,计算各个基本事件对顶事件的影响程度;或者采用层次分析法建立目标层、准则层、指标层的关系,由专家给出各个指标的重要性,据此得到各种风险因素的重要程度^[4]。按风险发生的可能性与损失的大小相乘的结果进行分级,高风险事件发生的可能性大于10%,并且有可能造成人员伤亡或巨大的经济损失。对于承压水突涌、围护结构失稳、支撑破坏等高风险事件,应编制专项应急预案,详细规定注浆堵漏、坑内反压、回灌保压等应急处置措施的启动条件及操作步骤,明确应急物资(如快硬水泥、聚氨酯堵漏剂、备用泵)的存放位置和数量,人员疏散路线及集中地点等。勘察资料的完整性和风险评价的准确性影响后续控制措施的效果和成本。

3.2 支护体系全过程质量控制措施

支护体系质量控制须从设计、施工到使用,每一个环节都不能放松,否则就会造成整个支护体系失效,

在设计时要根据地质勘察所提供的土层条件以及基坑开挖深度、邻近建筑物沉降控制目标等,经过多种方案比较选择最合适的围护结构形式(地下连续墙、钻孔灌注桩排桩加止水帷幕、SMW 工法桩等)、支护方式(钢支撑、钢筋混凝土支撑或者两者结合)。同时,在设计过程中应对开挖、降水、支撑拆除等各种情况下的受力和变形进行验算,宜采用弹性地基梁法或者有限单元法进行计算分析,还要考虑到施工中超载、土压力变化、温度作用等因素最不利的情况并加以适当的安全余量,一般不应小于 1.2 倍。

施工期间对各种围护结构有不同要求,在地下连续墙施工中,要严格控制成槽垂直度(不超过 1/300)、泥浆比重(新浆为 1.03~1.05,循环浆不应大于 1.15)黏度(在 30 s~40 s 之间)、混凝土灌注速度(不得低于 2 m/h)、导管埋置深度(一般为 1.5 m~3 m),并进行成槽后槽壁稳定性检查,防止出现坍塌现象。在钻孔灌注桩施工中,要控制好桩底沉渣厚度不大于 50 mm,用超声波检测法或者低应变动测法检测桩基质量,Ⅰ类桩率不小于 90%。支撑施工时,钢支撑要分段张拉至设计值的 80%~100%并固定,安装轴力监测装置监控其轴力变化情况。钢筋混凝土支撑要在达到规定的强度后才能拆模,拆模前先对同条件养护试件强度进行检测。在开挖期间,要依据监测结果及时调整开挖速度及支撑预应力大小。当围护结构位移以两天为一个周期连续两天大于 3 mm/d 或总位移接近报警值时,应停止开挖并采取坑底加固或增加支撑等加固措施。

3.3 周边环境动态监测与保护技术

动态监控是了解基坑及其周围情况最有效的途径,而其监控结果的准确性和及时性又直接影响到可能出现问题的处理效果,因此必须做好这项工作。监测内容包括围护结构顶部水平位移及沉降、围护结构深层侧向位移(测斜)、支撑轴力、坑内外地下水位、周边地面沉降、邻近建筑物沉降与倾斜、地下管线位移等^[5]。监测点布置要保证能反映变形的空间分布特点,在基坑纵向方向上,监测点之间距离不应大于 20 m;在需要重点防护的地方(文物古迹、地铁隧道、高压电线杆等)以及地质条件发生改变的位置(暗浜边缘、不同土层接触面等),应更密集,不超过 10 m。同时,还要根据工程进展进行调整。在土方开挖与降水过程中,由于坑内土壤卸载速度快,水位下降幅度大,应增加频率至每天一次甚至两次;而在主体结构回填时,由于底部和楼层刚度越来越大,变形越来越小,可以降低频率至每隔三天一次。

自动化监测技术大大提高了数据获取及时性和准

确性。使用静力水准仪对各个监测点之间相对沉降进行不间断精确监测(精度为 0.1 mm),固定式测斜仪沿着竖直方向分段量测水平位移,振弦式轴力计测量支撑受力情况。所有的传感器数据由数据采集装置通过 4G 或者无线局域网上传到云上监测平台。在该平台上设置不同级别警报:黄色警报(累计变形达到设计控制值的 70%,超过三天);橙色警报(达到 85%);红色警报(达到 95%)。一旦出现警报,平台就会自动给项目经理、工程师、安全员发送短信以及 APP 消息提醒。对于靠近重要的建筑物或地铁隧道等需要重点防护的目标物,可以采用隔离桩阻止变形传播、跟踪注浆补充土体流失、增加地下连续墙深度进入相对较隔水层的方法来进行防护。在地下水治理过程中采取回灌方式,在坑外布置回灌井,并且保持回灌水的压力和抽取量一致,来防止周围地表下沉。回灌水的质量要符合不能造成含水层堵塞的浑浊程度以及细菌数量的要求。

4 结束语

深基坑施工是一项技术含量高、危险性大的工程。从技术角度来说,围护结构、地下水控制以及土方开挖与支撑体系这三者之间互相影响,“先撑后挖、分层分区”并配合进行是防止变形的有效手段。从风险角度来看,复杂的地层条件、支护质量不稳定性和周围环境的脆弱性构成了最主要的风险来源,并且还有叠加放大的作用。在预防方面,做好施工前详细的勘探分析与评价工作、全过程的质量把控以及实时监控预报形成了全方位防范机制。大多数问题都是由于采取的技术措施与面临的风险特点不相适合所导致,在施工中必须做到“因情施策、适时调整、信息化施工”,根据监测结果不断优化方法。

参考文献:

- [1] 王正帅,许涛涛,陈帅.深厚软土深基坑开挖支护技术在岩土工程施工中的应用探究[J].石材,2026(04):120-122.
- [2] 王鹏飞.深基坑支护施工技术在高层建筑工程中的应用[J].散装水泥,2026(03):41-43.
- [3] 刘琳.深浅交互超大深基坑开挖与支撑协同施工关键技术[J].建筑科技,2026,10(03):147-152.
- [4] 杨林,郭小伟,廖尧凝,等.尼苏尔隧道泵房深基坑止水帷幕施工技术研究[J].建筑机械化,2026,47(03):110-113.
- [5] 伊新妍.深基坑支护施工技术在建筑工程施工中的应用[J].中华建设,2026(03):126-128.