

深基坑支护施工技术与安全控制研究

张乾涛

潜江市高新投建设有限公司, 湖北 潜江 433100

[摘要]深基坑支护是地下建筑施工的核心难题之一, 对整个工程结构的安全以及周边环境影响至关重要, 文章详细介绍了地下连续墙支护、排桩支护、土钉墙支护、锚杆(索)支护、钢支撑与混凝土内支撑、基坑井点降水与止水处理六个方面的关键技术, 指出了目前深基坑支护施工存在的常见问题, 针对加强基坑勘探设计管理、严格基坑开挖工序把控、加强支护体系施工质量管理、健全基坑监控及警报制度、完善地下水控制及排水措施五个方面提出了施工安全保障措施。目的是给今后类似深基坑工程项目的施工提供借鉴。

[关键词]深基坑; 支护施工; 安全控制; 地下水控制; 基坑监测

DOI: 10.33142/sca.v9i6.19815

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Safety Control of Deep Excavation Support

ZHANG Qiantao

Qianjiang High-tech Investment Construction Co., Ltd., Qianjiang, Hubei, 433100, China

Abstract: Deep foundation pit support is one of the core challenges in underground construction, which is crucial for the safety of the entire engineering structure and its impact on the surrounding environment. This article provides a detailed introduction to six key technologies: underground continuous wall support, pile support, soil nail wall support, anchor rod (cable) support, steel support and concrete internal support, and foundation pit well point dewatering and water stop treatment. It points out the common problems in the current construction of deep foundation pit support and proposes construction safety measures in five aspects: strengthening foundation pit exploration and design management, strictly controlling the excavation process of the foundation pit, strengthening the construction quality management of the support system, improving the monitoring and alarm system of the foundation pit, and improving groundwater control and drainage measures, so as to provide reference for the construction of similar deep foundation pit projects in the future.

Keywords: deep foundation pit; support construction; security control; groundwater control; foundation pit monitoring

引言

城市化进程不断深入到地下, 基坑工程的开挖深度也越来越大, 地质条件越来越复杂, 周围环境也越来越复杂, 对于深基坑支护施工技术和安全保障的要求越来越高。在深基坑支护的过程中除了涉及较为复杂的岩土力学问题以外, 在很大程度上还影响着周围的环境和施工条件等, 合理的支护方式有利于施工安全、环境保护以及工程进展的顺利。但是支护方案选择不合理、施工过程中的质量把关不到位、安全管理缺位等问题依旧普遍存在。一个完善系统的深基坑支护工程安全控制体系应该包括支护结构的设计选择、支护工程的过程管理、对水的处理、开挖与支护相结合、监测预警等一系列内容, 缺少任何一个环节都会导致严重的后果。全面总结整理深基坑支护主要关键

技术以及目前存在的问题并制定相应的安全控制策略有着重要意义。

1 深基坑支护施工关键技术

1.1 地下连续墙施工技术

地下连续墙作为深基坑边坡支护体系中最可靠的一种类型, 在基坑深、周围环境要求严的场合下使用。它是借助于专门的造孔机械以及泥浆保护进行土体挖掘而成的窄而长的深坑, 通过清底以后在槽内下放钢筋笼, 然后浇筑水下混凝土而成的一个钢筋混凝土的隔断墙。地下连续墙的优点是整体性强、坚固、防水效果好、不影响周围环境等, 施工难点主要有导墙修建、泥浆配制及管理、开挖过程中的定位精度保证、钢筋笼加工及吊装、水下混凝土灌注等几个方面。目前市面上的深基坑工程施工设计手

册对整个基坑工程中各种类型支护方案的设计计算方式以及施工技术都做了详尽的汇总归纳。地下连续墙施工过程中,槽壁稳定性是最主要的影响成槽质量及基坑安全的因素之一,而泥浆比重、泥浆黏度和失水量等都需要根据地质情况进行正确设定,槽段接缝处是渗漏防范的重点地方。

1.2 排桩支护施工技术

排桩支护是利用钻孔灌注桩、人工挖孔桩或者预应力混凝土预制桩按规定距离间隔排布而成的一种挡墙结构,多用于各种深基坑工程中。它是靠桩体承受侧压力和水压力,把作用力传给深部稳定岩层,有时配合冠梁、腰梁及锚杆(锚索)、内支撑构成整体性支护系统。排桩支护的优点是:布置方便、工期短、适用性强等,在狭小区域和平面形状复杂的基坑中使用较多;排桩支护方式有灌注桩支护、挖孔桩支护以及预制桩支护等形式;排桩支护、地下连续墙支护、土钉墙支护等方式都属于目前常见的深基坑支护方法之一;排桩支护质量控制的重点是桩的位置准确定位准确性、桩孔垂直度要求严格程度、桩孔底部残留沉积物高度以及灌注混凝土是否饱满等几个方面。对于复杂的地层条件,采用的人字形排桩新式支护体系是由正立桩、斜桩、冠梁、腰梁以及止水帷幕构成,该种形式的优点就是构造轻巧,受力科学,稳定可靠。

1.3 土钉墙支护施工技术

土钉墙支护就是在土层中布置钢筋或者钢管土钉并结合喷射砼面板联合形成的依靠土体天然自稳能力为主体的组合型支护体系,适用于基坑较浅、场地条件空旷、地层较好的项目。它主要是由于土钉与四周土发生接触而产生摩擦力,从而使周遭土体自身的强度发挥出类似于“重力挡土”效果。土钉墙支护施工流程一般包含开挖作业面、喷射底层混凝土、钻孔布置土钉、灌浆、架设钢筋网片、喷射覆层面混凝土等环节。土钉墙支护、桩锚支护、钢筋混凝土支撑、地下连续墙等为主的支护方式各有各的优势与局限性。土钉墙施工中土钉的锚固长度及注浆饱满度以及面层厚度都是其质量的关键点。土钉墙的优点是施工速度快、用料少、成本较低,缺点是对软弱地基及

地下水位过高地区不适用。

1.4 锚杆(索)支护施工技术

锚杆(索)支护方式是通过在稳固地层上安装预应力锚固体系,把支护结构所承担的荷载转移到下部稳定的岩土层上,是一种有效的实现深基坑“无内撑”的支护方式。它是基于锚固段与围岩之间的粘结摩阻力产生出一个上拔力,在自由段施加预应力进行主动调节支护体的变形,施工顺序为:钻孔、制锚钢筋(索)、注浆、张拉锁紧及防腐等步骤,预应力锚索张拉工艺是深基坑支护的关键性施工工艺之一^[1]。锚杆(索)施工中钻孔的质量、锚固段的长度、注浆饱满程度以及预应力张拉力大小是保证锚固质量的主要因素,其中预紧力能否达到要求就是评判支护强度的重要标准。

1.5 钢支撑与混凝土内支撑施工技术

内支撑是深基坑工程的主要水平受力系统,依靠着钢支撑或者钢筋混凝土支撑将挡土墙所受到的土压力以及水压力转移到基坑对面去,保持挡土墙的空间稳定。钢支撑的优点有安拆便捷,可以进行预应力处理,可以重复利用,适合对支撑体系要求较高的工程项目;而混凝土支撑的优点则是强度较高,刚性十足,在大空间基坑开挖中使用频繁。基坑开挖采取三层钢筋混凝土内支撑,分四次进行土方开挖,按“分层分块、对称平衡、限时、先撑后挖、杜绝超挖”的总体原则,运用时间效应与空间效应相结合的方式尽量减少其变形量。内支撑施工的核心点为支撑高度、节点固定程度以及预应力的施加准确性。支撑拆除须做到先换撑再拆撑,避免在拆除的过程中引起围护结构受力状态突变。

1.6 基坑降水与止水施工技术

地下防水是深基坑成功的重要因素,主要包括排水法以及堵水法两种方式。排水法有:井点抽水法以及管井法,其作用就是把基坑内的地下水位降低到低于挖掘面以下位置,从而有利于干槽施工;堵水法:采用水泥土搅拌桩止水帷幕、高压旋喷桩、TRD工法墙等方式将坑外与坑内切断水路。基坑周围设置三轴搅拌桩止水帷幕之后再

表 1 深基坑支护主要施工技术对比

支护技术类型	适用条件	关键技术要点	主要风险
地下连续墙	深度大、周边环境要求高	成槽精度控制、泥浆管理、接缝防水	槽壁坍塌、接缝渗漏
排桩支护	场地狭窄、不规则基坑	桩位定位、垂直度控制、混凝土灌注	桩身缺陷、桩间渗漏
土钉墙支护	土质良好、深度较小的基坑	土钉锚固长度、注浆饱满度	面层开裂、整体失稳
锚杆(索)	有外锚空间、需控制变形	成孔质量、预应力张拉锁定	锚固失效、预应力损失
内支撑	大跨度基坑、无外锚空间	标高控制、节点连接、换撑拆除	支撑失稳、节点破坏
降水止水	地下水位高、富水地层	井点布置、止水帷幕质量	管涌流砂、周边沉降

管井及轻型井点排降水,在排降水五天之后地下水位就可以稳定在一个数值上,这样就可以保障基坑内部无水,基坑周围稳定。排水施工时井点分布距离大小以及入土深度都要依据渗透系数以及涌水量来计算得出,排水过程要时刻观察地下水位及周围下沉情况。以光纤温度传感为基础的地连墙接缝漏水检测监测仪器可以实现对地墙接缝漏水快速精确判断。

2 深基坑支护施工中存在的问题

目前深基坑支护工程施工存在的主要问题是技术管理和安全管理方面存在着较大的问题。一是勘察设计方面,一些工程项目地质勘查不够深入,勘探结果与实际情况相差甚远,致使支护结构选用错误。二是对于深基坑支护工程来说,一些支护结构选择不合理、质量控制不到位、安全监护缺位等原因都会影响到工程进度,给周围环境带来安全隐患。三是施工阶段,施工单位未能针对调整后的开挖和支撑方式进行修订专项方案,也没有经过专家评审以及审核等一系列程序。四是基坑边缘堆存着废土废石,缺少挡水防排措施,暴露出现场排水设施布置不合理的问题。更危险的是,深基坑、高边坡(一、二级)施工无第三方监测,基坑、边坡土方超挖且无防护措施,现场安全监管形同虚设^[2]。深基坑监测体系形同虚设。个别工程存在基坑边坡顶部为施工运输道路,车辆行驶导致边坡承载应力增大易发生滑坡的情况,而施工单位却没有任何补强措施的做法等严重隐患。另外,施工材料质量管控不到位,支护结构与土方开挖不配套等问题亦屡现。

3 深基坑支护施工安全控制措施

3.1 加强基坑勘察与设计管理

工程勘察对于深基坑的安全管理来说是最基础的,在进行工程勘察的时候要合理地布设勘探点,了解地层结构、土体特性以及地下水分布情况,进行工程勘察时合理布置勘探点可以得到重要的地层资料,进而提升对基坑稳定性的分析精度。在进行工程设计的动态思路,根据施工过程中的检测结果及时作出调整,更新支护参数。支护设计方案也要经过专家论证并执行,做到专项方案经专家论证并通过审批后实施。对于不同的地质环境深基坑支护技术也应符合不同地质状况的要求,保证建筑工程施工的质量和速度。同时要完善施工现场审核以及现场复核制度,保证设计参数选取科学、支护措施具有针对性,在设计之初尽量避免系统性安全隐患。

3.2 严格控制基坑开挖顺序

基坑开挖程序是否合理,对支护结构受力及整个基坑的安全状况有着直接的关系。开挖必须严格遵守“先撑后

挖,分层开挖,严禁超挖”的要求,保证支撑施工与土方开挖平行作业,减少基坑无支撑暴露时间。每一层开挖都要严格按照设计施工参数及时空效应的要求、开挖顺序来进行施工作业,每挖完一层1~2天之内就要插入支撑,在做完一道支撑之后整体养护五天之后开始挖下一层土方,每一层开挖不能超过两米深,基坑里面没有施工人员上下用的梯子或其他的安全防护设施必须同时配备齐全。杜绝掏脚开挖以及一次开挖完后再统一支护,对于超挖现象要实施严格的全过程监管、问责机制;充分运用土体自身的时间差、空间差异性,做到边开挖边支护,在时间和空间上紧密联系起来才是减少基坑变形的有效方法。

3.3 强化支护结构施工质量控制

支护体系施工质量是保证基坑安全的前提条件,在进行排桩施工的时候必须注重桩位准确性、成孔倾斜度以及灌注混凝土的密实状况,避免出现桩孔移位、坍塌以及断桩的情况。桩孔移位、坍塌情况、混凝土灌注不均、钢筋笼扭曲、现场存在的各类隐患等都是钻孔灌注桩比较常见的质量问题。在进行地下连续墙施工时,一定要注意槽壁稳定性以及接缝部位防水的质量,在注浆时要达到密实状态。锚杆(索)施工时,对于钻孔直径大小、锚固范围长度还有注浆密度必须满足设计需求,预应力的张拉要在分级加载之后保持一定时间^[3]。复合型围护注重各个环节之间的配合及质量把控,一般是以主体挡土墙先行完成为主,在一层层向下开挖的过程中同时施加支撑或者锚固措施。每个环节都必须经过质量检验合格后才能进入下一个环节,重要的施工过程需要进行现场监理。同时应该建立原材料进场验货制度以及施工记录追溯制度,保证每一环节的质量都可以追踪到。

3.4 建立基坑监测与预警机制

基坑监控则是预防危险、制定施工方案的重要途径。要构建完整的基坑支护结构位移、周边建筑物沉降以及地下水位、坑底隆起、支撑轴力等重要参数的监控系统。而深基坑智能化自动远程监控系统的投入使用可以缓解传统深基坑监控方式滞后、工作负荷大的难题,做到可视化共用并且可随时通过不同终端获取查看信息。融合物联网、大数据以及人工智能技术为一体的智慧型监控平台能够对基坑变形量、应力等重要参数实时报警并在一定程度上做到标准化处理。并且设立三级报警规则,将变形状况进行概率分析及打分的方式,极大地提高了预警的速度及准确性。监控数据需做到跨终端同步更新,在危险指标达到预设警戒线之后应及时发出警报并采取紧急预案,借助数字孪生的方式建立基坑仿真模型使监控的数据反映到虚

拟世界中去,起到及时反应、提前预警的作用,从而克服“监控机制有名无实”的尴尬局面。

3.5 加强地下水控制与排水管理

地下水引起基坑失稳,需要综合治理地下水问题。降水措施需考虑渗透系数、涌水量大小来制定,一般可以采取井点降水、管井降水的方法。井管降水配合双排搅拌桩止水帷幕能够有效的治理地下水,提高基坑支护的安全性,避免施工时对周围环境造成影响。止水帷幕的质量直接影响到止水的效果,使用 TRD 落底式止水帷幕进入花岗岩层形成封闭止水层可以大幅度减少渗水量。排水系统需要配备坑顶截水沟、坑底排水沟以及集水井,以防止地表水渗入及坑内积水^[4]。基坑边坡顶部无排水处理为常见的安全隐患,在施工之前必须全部做好。降水过程要随时观察地下水流变情况及四周下沉情况,一旦察觉有反常现象就要马上进行注水或者支撑处理。在含水量大的区域要准备临时抽排设施以及发电机组,避免电力中断或者机器损坏造成基坑溺水事件的发生。

4 结语

深基坑支护工程施工及安全管理是保障地下工程建设顺利进行的重要因素,文章介绍了地下连续墙、排桩支

护、土钉墙支护、锚杆(索)支护、钢支撑和混凝土内支撑、基坑降水和止水施工等六大关键技术及其相关问题,同时针对勘察设计管理、开挖顺序控制、支护结构质量控制、监测预警、地下水控制五大方面提出了相应的安全防护措施。伴随着智能化建造技术的进步以及绿色环保岩石思想的普及,深基坑支护工程施工必将会朝着更加快速便捷、节能环保、智能联动的趋势不断发展,从而给城市地下空间资源的安全有效使用带来更多可靠的技术保障。

[参考文献]

- [1]张尚伟.深基坑支护在建筑工程中的技术探讨[J].全面腐蚀控制,2026,40(4):434-436.
- [2]滕孝基.深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用探讨[J].全面腐蚀控制,2026,40(3):400-402.
- [3]罗文.深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,11(20):89-91.
- [4]岳文强.建筑工程深基坑支护施工技术应用分析[J].科技资讯,2026,24(6):130-132.

作者简介:张乾涛,毕业于武汉理工大学土木工程专业,现就职于潜江市高新投建设有限公司,工程师。