

深基坑支护设计关键技术分析

石娜 黄彦刚*

河北建研建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]伴随着城市地下空间利用的逐步加深,深基坑工程数量及规模不断扩大,基坑支护的设计难度和风险也越来越大,支护体系的安全可靠及其变形的有效治理成为了工程建设成败的关键。本文基于工程背景和设计理念,围绕支护选型、基坑稳定及变形单元、地下水与环境效应控制等主线,对深基坑支护设计的一些关键技术问题进行探讨,建立较为系统和完善的设计体系,具有较强的实用性和指导作用。

[关键词]深基坑; 支护设计; 结构选型; 稳定性分析

DOI: 10.33142/aem.v8i2.19049

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Analysis of Key Technologies for Deep Excavation Support Design

SHI Na, HUANG Yangang*

Hebei Jianyan Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the gradual deepening of urban underground space utilization, the number and scale of deep foundation pit projects continue to expand, and the design difficulty and risk of foundation pit support are also increasing. The safety and reliability of the support system and the effective treatment of deformation have become the key to the success or failure of engineering construction. This article is based on engineering background and design concepts, focusing on the selection of support, stability and deformation units of foundation pits, and control of groundwater and environmental effects. It explores some key technical issues in the design of deep foundation pit support, establishes a relatively systematic and complete design system, and has strong practicality and guidance.

Keywords: deep foundation pit; support design; structural selection; stability analysis

城市的集中式建设促进了大规模的高层建筑、大型地下轨道交通系统的建设,使得深基坑工程成为了现代岩土工程中的一项常规的艰巨任务。对于城市地下空间的利用趋向于更深部、更高浓度的开发,深基坑工程面临着支护结构稳定性恶化及环境影响控制指标提高的两大难题,地下空间开发越来越大,深基坑工程的安全性和经济效益问题也是当前岩土工程的重要课题,淤泥质粉质黏土有较低的强度、较大的压缩性以及蠕变性能等特点,传统的支护形式容易在软土地基中产生过大的位移,甚至发生失稳破坏等。

1 深基坑工程特点与设计原则

1.1 深基坑工程的主要特点

深基坑工程相对普通基坑工程而言其本身的特殊性和复杂性更加明显。一是开挖很深,使得基坑侧壁暴露面及临空高度急剧加大,严重扰乱了土体原来的应力状态,可能导致较大的土体变形、位移;二是施工环境十分恶劣,基坑四周往往毗邻较多的建筑物、城市道路、重要的市政管线等各种设施,它们对于位移的容忍度比较低,因而对支护体系的变形有近乎严苛的要求;三是深基坑所处地层情况相对比较

复杂,可能要穿越几种不同的土层甚至是承压水层,隔水、降水成为必不可少的一种工艺步骤;四是深基坑工期较长,支护系统需在长达几个月的时间里承受各种工况下的荷载组合,时间空间效应显著^[1]。这些特征都使得深基坑支护设计一定要运用系统、动态以及谨慎适中的设计理念。

1.2 支护设计的基本原则与流程

深基坑支护设计有一系列的基本原则来指导贯穿于整个设计过程中。首先要做到的就是安全可靠的原则,支护结构必须保证自身在施工到整个使用寿命内有足够的强度、刚度和稳定性,能够保证抵抗土压力、水压力以及其他附加荷载等作用力^[2]。其次要遵循经济合理的原则,在保证安全的同时尽可能地降低造价、便于施工、缩短工期等,要经过多种方案对比得出最佳的设计^[3]。再次要遵循技术先进原则,在安全经济基础上,大胆尝试新技术、新工艺、新材料的应用,使工程质量和技术达到新的高度。最后就是环境保护原则越来越被重视起来,设计时要充分考虑对周围土体、地下水资源以及相邻建筑物的影响,尽可能减轻对周边环境造成的干扰。规范的设计流程一般由

详细的岩土勘察和环境调查开始,然后进行初步的选择和概念性设计;接着进行详细的受力计算分析并且进行稳定校核,之后再行施工图的设计,以及工况条件描述,同时还需要编制合理的监测方案和应急处置方案;最后形成的设计流程是不断地反馈调整,循环往复的过程。

2 支护结构选型与适用性分析

2.1 常见支护结构类型及其特点

深基坑工程施工中的支护结构类型繁多,各种类型的支护结构其受力状态各不相同,适用不同的场地环境。排桩支护有钻孔灌注桩、旋挖桩等,在单排或多排桩的基础上加上桩顶部的冠梁形成挡土系统,特点是刚度大、变形小,适用于开挖的基坑比较深,周围环境保护要求比较严格的情况下的基坑。地下连续墙整体性和防水效果都比较好,既可以作为挡土结构,也可以作为永久结构的一部分来应用,主要应用于超深基坑、软弱地层或者对地下水控制非常严格的情况下的工程。型钢水泥土搅拌墙 SMW 工法桩结合了型钢强度高、搅拌桩止水性能好,型钢可以重复使用,经济、环保的特点比较好。土钉墙支护设置钢筋网片并在表面喷射混凝土面层配合土钉共同发挥作用,施工工期短,价格便宜的优势明显但是对土质和地下水条件有一定要求。其他的比如有内支撑结构、拉锚支护体系和其他多种组合形式的支护结构等。

2.2 地质条件与支护选型的关系

工程地质及水文地质条件是确定支护类型最基础的因素,不同的土层其物理力学性质的不同直接关系着土压力的大小以及形式,从而关系着支护所要承担的荷载大小,在软黏土地区,土体弱,流变性强,基坑开挖容易引起较大的位移及坑底抬升,一般需要选择刚性大、入土深的支护方式,在砂土或粉土地层中透水性强,地下水作用明显,支护类型首先要考虑可靠地防水幕墙,有承压含水层位于基坑底部时还要做抗突涌稳定计算,而岩石基坑支护主要考虑的是岩体结构面和强度,所以一个全面而又精确的勘察报告是合理选型必不可少的前提。

2.3 周边环境对支护选型的约束

基坑开挖会影响到周围地区岩土体,所以周边环境对于支护选择形成了强有力的外部制约。基坑侧壁很贴近珍贵的历史建筑物、精密仪器车间或运行中的地铁隧道时,其容许变形量常常很小,这就强制性地要求支护结构必须具有非常大的刚度以及精确的变形控制能力;而若基坑周围比较充裕,变形控制标准很低,则可以选择较为柔性的、节约的支护方式。地下管线的位置、埋深也是一个重要因素,支护结构的施工方法不能对地下管线的安全产生危害。除此之外,场地大小、交通状况等因素会影响到大型设备的选择问题。在具

体的设计当中,往往需要在地质情况、环境限制、造价高低、技术可行性等几个方面反反复复进行考虑取舍。

3 支护结构稳定性与变形控制关键技术

3.1 土压力计算与荷载取值

土压力计算是支护结构设计的开端,土压力取值是否合理关系着之后的内力计算与安全系数是否可靠准确。传统的土压力理论依然是工程计算中使用的基本理论,但是它建立在很多的理想化的假定之上,在实际的深基坑支护结构中,土压力分布会受到支护结构刚度、施工工况、空间效应等诸多因素的影响,表现出复杂的非线性特征。而土压力的种类划分也是依据支护结构变形的不同分为:主动土压力、静止土压力以及被动土压力。荷载取值方面除了土水压力之外还要计入地面超载及施工机械荷载等。在现有的大量设计当中,一般会选择考虑土与支护结构相互作用的方法——弹性地基梁法或者有限单元法来计算土压力。但是不论是哪种方法的运用,作为设计人员对于其中各个参数的选择都要有严谨负责的态度。

3.2 支护结构内力与变形分析

在明确荷载条件的基础上,应对支护结构进行内力及变形验算。对于排桩、地下连续墙等竖向挡土构件而言,在计算时一般可简化为竖直布置的弹性地基梁来考虑。计算模型中把基坑底以下的土层看做是一系列弹簧,通过建立平衡状态下的方程组,从而可以得出整个弹性地基梁在垂直深度上的弯矩图、剪力图和水平位移的变化规律。而针对支撑或者锚杆体系来说,应将其作为弹性支座考虑进计算中去。对支护结构进行变形计算非常有必要,较大的水平位移不仅会威胁到自身的安全,更是造成周边地面沉降的主要因素。所得出的变形结果须与事先制定好的限值指标对照比较。需要指出的是,理论的变形计算很难做到百分百精确地预测实际发生的变形。

3.3 整体稳定性与抗隆起验算

支护结构构件强度满足设计要求,并不代表基坑系统安全,还需要做整体稳定性计算。整体稳定性计算主要是采用圆弧滑移法搜寻出最不利滑移面,求取相应抗滑稳定安全系数。该验算针对于土钉墙等支护类型而言更是十分必要。而抗隆起稳定性验算是为了保证基坑底部的安全,特别是对于软弱地层。当开挖卸载后,在内外水压力作用下的坑底土会向上隆起^[2]。另外,对于存在承压水的基坑,则需对它做抗渗流稳定验算。以上几种就是整体性的验算,在大范围上保证了基坑系统的整体安全性。

3.4 变形控制标准与措施

确定合适的变形控制指标,并提出有效的控制策略,

是深基坑工程成败的保证。变形控制指标一般包含支护结构顶部水平位移,坑外地表沉降以及周边建筑物的倾斜及沉降等。为实现这些控制指标可综合采取多种手段,主要从四个方面入手:一方面,在支护结构体系自身上加强,增大支护桩尺寸和配筋量,加深桩嵌固深度等;另一方面,在支撑体系方面强化,使用钢筋混凝土支撑体系,合理设置支撑道数以及对支撑施作预应力;除此之外,还可以采取坑内加固措施,比如对坑底被动区土体实施压密注浆;以及采取分区、分层、分块、均衡对称的开挖方式,并实行“先撑后挖”准则,从而降低变形的发展程度。

4 地下水控制与环境影响控制技术

4.1 降水与截水方案设计

地下水管理失当是最为常见的导致深基坑工程项目发生安全问题的原因之一,所以地下水控制策略的设计要十分重视。主要包括排和止两大类措施:排水是借助于井点的形式,如管井、轻型井点、喷射井点等将整个基坑围合范围内甚至外部的地下水位降至基坑底部开挖面标高之下,达到干作业施工的目的,同时也可起到固结地层、稳定边坡的作用^[3]。排水策略制定需要明确排水井的形式、数量、深度、平面上布置方式及排水时间,还需要对单井出水量及群井干扰问题进行计算。不过排水会造成较大区域内的地面沉降现象,不利于周围环境。止水即是在基坑周围设置隔水幕墙,如水泥土搅拌桩幕、高压旋喷桩幕、地下连续墙等,将基坑内外的地下水水力联系断开,形成隔断式的封闭防水结构。对于环境要求较高的地方,“隔水帷幕为主、疏排水为辅”或者是采取全封闭式止水措施的方法比较常见。

4.2 渗流稳定性分析

在地下水条件下,基坑开挖打破了原有地下水的自然状态下的渗流场,这些渗流将会引起两方面的稳定问题:一是流土或者管涌,二是承压水突涌,所以必须进行严格的渗流稳定验算,即计算出基坑内部不同位置点处的渗流力或水力梯度并判断是否小于其允许值,以及计算坑底的抗承压水突涌安全系数,为确保安全,一旦不符合条件,则需通过加深止水帷幕,坑底加固或设减压井等方式来满足。

4.3 基坑开挖对周边环境的影响机制

基坑开挖本质上是卸载的过程,这种卸载会使坑侧壁附近的土体应力场发生改变,引起土体移动,这种移动通过不同的方式作用给周围环境,主要的影响机理包括:支护结构墙身侧向位移挤推和扰动支护结构墙后的土体,使坑外土体发生下沉,从而形成以基坑为中心的下陷漏斗;降水引起土体有效应力增大,产生固结下沉,影响区域可能会更加广泛;坑底土体拱胀也会使周围的土体产生一定的位移,位移传递

至相邻建筑物的基础或者地下管线上,会造成建筑物裂缝倾斜或管道接头拉开,破损^[4]。影响程度由基坑与环境之间的距离大小、土层情况、支护体系刚度及变形程度、地下水处理状况以及施工方法等因素决定。了解这些影响机理有利于设计中预估环境影响区域并采取相应的防范措施,在重要的结构物之间设置隔断桩加固,对管线进行悬吊或迁移等。

4.4 监测与动态反馈控制

鉴于岩土工程本身的复杂性,信息化施工及动态反馈控制就成为了现代深基坑工程施工管理的关键方法。一个完整有效的监测方案是动态控制的根本基础。监测内容应当包含围护结构自身、地下水位以及周围环境。监测数据要及时收集、归纳并处理并且要同预警阈值加以对比,若发现监测值有反常情况,就要立刻开展动态反馈机制,对开挖方案进行适当调整或者是补强加固等。其本质是一个将设计、施工监测集为一体的封闭回路控制系统。

5 结束语

深基坑支护设计是一个涉及理论、经验以及判断的复杂的技术问题。文章通过对深基坑工程项目特征及设计理念的归纳总结,对支护形式的选择以及适用分析进行充分论述,尤其结合稳定性以及变形控制、地下水控制及环境保护两项难点,对相关内容的关键技术做了进一步的研究讨论。可以看出,一个好的深基坑支护设计方案一定要建立在充分的地质资料和环境基础上,以安全性、经济性、技术进步性和环境保护作为基础准则。在进行设计时应合理选择参数,注重整体和渗流稳定性的验算并将控制变形放在首位,一定要把地下水处理措施和周围环境的影响考虑入整个设计过程中,最后通过完整的信息化监控来达到及时反馈预警的目的。

[参考文献]

- [1]何红忠,张震.路堑边坡预应力桩锚组合支护结构的变形特性分析[J].公路工程,2024,49(4):57-63.
- [2]张梦洋,陈帅光,郭敏贤.深厚软土区基坑桩锚式长短桩组合支护结构施工技术[J].建筑科技,2025,9(1):108-111.
- [3]裴开杰.富水软土地层城市地铁明挖深基坑开挖施工技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(3):83-85.
- [4]李自福,苏峰.建筑软土深基坑放坡桩锚联合支护施工技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(6):49-51.

作者简介:石娜(1988.10—),毕业院校:长安大学,所学专业:岩土工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:岩土设计,职称级别:高级工程师;*通讯作者:黄彦刚(1987.12—),毕业院校:河北工业大学,所学专业:岩土工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:职员,职称级别:高级工程师。