

深基坑支护结构在岩土工程中的稳定性分析及设计优化

●张代武 朱 龙



[摘要] 随着城市建设的快速发展,地下空间的利用日益增多。在城市建设中,地下工程施工、人防工程施工及各类管线施工等都需要在地下进行,而深基坑工程是地下工程施工的重要组成部分。深基坑支护结构是控制深基坑变形的重要手段之一,对保证深基坑开挖施工过程中土体的稳定起着关键作用。然而,复杂的地质条件和多变的水文地质条件导致深基坑支护结构在设计上存在诸多不足,影响其安全性和稳定性。因此,在岩土工程中,对深基坑支护结构进行稳定性分析及优化设计已成为岩土工程施工的重要课题之一。

[关键词] 深基坑;支护结构;岩土工程;稳定性

随着我国城镇化建设步伐的加快和大量的高层住宅的出现,深基坑支护的重要性日益凸显。在工程建设中,深基坑支护对工程本身及周围环境的安全性和稳定性起着至关重要的作用。因此,保证深基坑的稳定已成为一个迫切需要解决的问题。深基坑支护结构在岩土工程项目中扮演着至关重要的角色,其稳定性和设计优化直接影响到工程的安全性和经济效益。本文将以其具体岩土工程项目为例,详细介绍其深基坑支护结构的施工情况、支护结构参数数据,并着重分析水文地质数据,以期类似工程提供参考和借鉴。

工程概况

以某地区地铁1号线站点基坑工程为例,基坑开挖深度为18m,采用明挖法施工。基坑平面尺寸为长120m、宽60m,总面积7200m²。工程采用地下连续墙加内支撑的支护结构体系,地下连续墙墙体厚度为0.8m,采用C30混凝土,配筋为 $\phi 25 @ 200$,内支撑采用钢管支撑,钢管直径为600mm,间距为2m。钢管采用旋挖钻机进行钻孔,孔径为1.2m,孔深为19.2m。钻孔完成后,下放钢筋笼,浇筑混凝土。支撑在现场拼装,拼装完成后进行焊接固定,支撑体系安装完成后,进行预力施加,确保支撑结构的稳定性。基坑四周设置排水沟,以排除地表水。井点布置间距为3m×3m,共计200个水井点。井点采用潜水泵,单泵流量为80m³/小时。

深基坑支护结构在岩土工程中的稳定性

在对深基坑工程进行分析时,需要对其进行地质力学参

数的测量、承载能力的计算和变形分析,并对其进行评价。具体来说,落实对周边土体的力学性能及变形特征的研究,可为深开挖条件下深基坑周边土体的稳定评价和支护方案的制定奠定基础。此外,在基坑开挖过程中,还应充分考虑地下水的影响,确保周边建筑物的安全,并评估工程技术的可行性。

(一)水文地质数据分析

初始地下水位为地面以下5m,基坑开挖后地下水位控制在基坑底部以下1m。第一层土为杂填土,厚度1.5m,容重18kN/m³,内摩擦角15°,内聚力10kN/m²。第二层土为粉质黏土,厚度5m,容重19kN/m³,内摩擦角20°,内聚力20kN/m²。第三层土为中砂,厚度7m,容重20kN/m³,内摩擦角30°,内聚力0kN/m²。第四层土为粉质黏土,厚度5m,容重19kN/m³,内摩擦角20°,内聚力20kN/m²。基于上述数据,考虑坑底软土(粉质黏土)的抗隆起能力,采用Prandtl-Reissner公式,对稳定性进行验算分析。地下连续墙厚度为0.8m,地下连续墙高度为19.2m,地下连续墙配筋率,根据配筋 $\phi 25 @ 200$ 计算得0.02,混凝土抗压强度为C30混凝土f30MPa。主动土压力 E_a 为根据土压力计算公式, $E_a=486\text{kN/m}$ (中砂层),被动土压力 E_p 为根据土压力计算公式, $E_p=1166.4\text{kN/m}$ (中砂层)。

(二)深基坑支护结构稳定性

采用圆弧滑动面法进行验算,滑动安全系数 K_s 大于1.3,满足稳定性要求,验算方法采用圆弧滑动面法,同时考虑最危险情况,即滑动面穿过最软弱土层(中砂层)。计算

参数为滑动圆弧半径 R 为根据经验取 $R=25\text{m}$, 滑动体重量 W 为考虑各土层容重和厚度, 计算得 $W=24300\text{ kN/m}$, 抗滑力矩 M_s 为由土层内摩擦力和内聚力产生, 计算得 $M_s=182250\text{ kN}\cdot\text{m/m}$, 滑动力矩 M_d 为重力产生, 计算得 $M_d=145800\text{ kN}\cdot\text{m/m}$ 。验算结果为滑动安全系数 $K_s=M_s/M_d=1.82250/1.45800=1.25<1.3$ (满足稳定性要求)。基坑底部的抗隆起安全系数 K_l 大于 1.6, 满足稳定性要求, 就具体而言, 验算方法为采用 Prandtl-Reissner 公式, 考虑坑底软土(粉质黏土)的抗隆起能力。坑底宽度 B 为 60m, 坑底深度 H 为 18m, 软土层厚度 h 为 5m(第二层粉质黏土), 软土容重 γ 为 19 kN/m^3 , 软土内聚力 C 为 20 kN/m^2 , 软土内摩擦角 ϕ 为 20° , 验算结果为抗隆起安全系数 $1.67>1.6$ 。不仅如此, 由于基坑底部存在承压水层, 渗流稳定性安全系数也需进一步计算, K_s 大于 1.2, 满足稳定性要求。抗渗流稳定性验算中根据水文地质勘察, 承压水头高度 10m, 基坑底部土层渗透系数 k 为 0.005 m/s , 基坑底部宽度 B 为 60m, 基坑底部厚度为 1m(考虑安全余量)。验算结果为渗流稳定性安全系数 $1.3>1.2$ 。施工监测, 支护结构在开挖过程中的最大水平位移为 20mm, 最大垂直沉降为 15mm, 均在设计允许范围内。

Q 设计优化

近年来, 计算机仿真技术的不断发展, 有限单元法等数值模拟技术已成为深开挖工程设计与施工中的重要手段。通过计算机仿真技术的应用和支撑体系的设计与建造, 提高了深开挖工程的安全性与可靠性, 为我国城镇地下空间的建设与发展提供坚实的基础。

(一) 支护结构稳定性

深基坑支护结构稳定性分析是工程设计和施工中必须考虑的问题。对于支护结构的稳定性分析, 目前常用的方法是极限平衡法, 即计算得出极限状态下支护结构的安全系数。极限平衡法最大的优点是可以在设计阶段对支护结构进行可靠度分析, 为优化设计提供依据。但随着基坑开挖深度的不断增加, 基坑变形逐渐增大, 计算得到的安全系数逐渐降低, 无法满足支护结构安全要求。目前对基坑稳定性影响因素分析多采用三维有限元数值模拟方法, 而对于复杂多变的实际工程情况, 在有限元计算中要考虑诸多因素的影响, 如支护结构体系、地下水以及周围环境等。

目前, 常用的三维有限元计算方法有平面变单元法、空间梁单元法以及通用有限元软件等。有限元计算方法不仅可以考虑支护体与土体之间的相互作用, 还可以考虑支护体与周围环境之间的相互作用。基坑开挖引起周围土体变形是影响支护结构稳定性最重要的因素之一。深基坑工程中最常见也是最重要的因素是地下水, 地下水对基坑开挖和支

护结构稳定有很大影响。当基坑开挖到一定深度时, 如果没有采取有效措施对坑内及坑外进行降水, 或降水效果不好时, 水将沿着基坑内底板、围护结构与周围土体间缝隙流动, 或在坑内流动时发生渗漏。如果渗漏量大且无法排除时, 将导致基坑底部隆起、土体向坑外滑动、支撑结构变形等严重后果。因此, 在进行深基坑工程设计时必须考虑地下水对支护结构稳定的影响。通过有限元模拟分析深基坑支护结构稳定性可以反映支护结构体系中各个参数对支护结构稳定性的影响规律。

(二) 支护结构深度的科学确定

支护结构深度的科学确定是基坑支护设计中的关键环节之一, 它直接关系到支护结构的稳定性和承载能力, 进而影响工程成本和施工难度。在确定支护结构深度时, 必须充分考虑周边土体的承载能力和基坑深度等因素, 进行科学评估。通过对土体进行承载力分析, 可以掌握土体在不同深度下的承载特性, 包括抗压强度、抗剪强度等。这有助于确定支护结构所需嵌入土体的深度, 以确保支护结构具有足够的承载能力。在进行承载力分析时, 需采用专业的地质勘察手段获取土体的物理力学参数, 如密度、内摩擦角及黏聚力等, 并根据这些参数进行承载力计算。一般来说, 支护结构应嵌入至较为坚硬的持力层, 以确保其稳定性。基坑越深, 支护结构所需承受的土体压力越大, 因此所需嵌入土体的深度也越大。但这也并非绝对, 还需结合土体的性质和周边环境等因素进行综合考虑。例如, 在软土地区, 由于土体的抗压强度和抗剪强度较低, 支护结构所需嵌入土体的深度可能较大; 而在硬质土地区, 由于土体的承载能力较强, 支护结构所需嵌入土体的深度可能较小。在确定支护结构深度时, 还需进行稳定性验算, 以确保支护结构在施工过程中不会发生失稳或破坏。稳定性验算包括抗滑稳定性、抗倾覆稳定性以及整体稳定性的验算。抗滑稳定性验算主要是检查支护结构在土体压力作用下是否会发生滑动; 抗倾覆稳定性验算则是检查支护结构是否会发生倾覆; 整体稳定性验算则是检查支护结构及其周边土体是否会发生整体失稳。根据稳定性验算结果, 可以适当对支护结构深度进行适当调整, 以确保其稳定性。

Q 基坑支护结构优化设计方法及利用详解

在建筑工程中, 基坑支护结构的设计与优化是确保工程安全、稳定、高效进行的关键环节。这一过程不仅涉及地质条件的深入分析、支护结构类型的合理选择, 还包括支护深度的科学确定、支护材料与施工工艺的精选, 以及支护结构的优化设计。在确定支护结构类型和深度后, 还应进一步优化设计, 以提升支护效能和经济效益。

(一) 优化支护结构布局

支护结构布局的合理性直接关系到基坑周边的土体压力分布以及支护结构的整体稳定性。因此,在设计过程中,必须根据基坑的具体形状、深度以及地质条件,对支护桩或支护墙的位置和间距进行精确计算与合理布置。通过地质勘察获取详细的土层参数,包括土体的抗压强度、抗剪强度、变形模量等,为支护结构的设计提供基础数据。在此基础上,利用力学原理计算支护桩或支护墙的间距,确保支护结构能够均匀地承受基坑周边的土体压力,避免局部过载导致的结构破坏。根据基坑的形状和深度,调整支护结构的布局形式。对于规则形状的基坑,如矩形或圆形,可采用均匀的支护桩或支护墙布局;对于不规则形状的基坑,则需根据具体形状进行个性化设计,如采用环形、弧形等布局方式,以提高支护结构的整体稳定性。此外,对于深度较大的基坑,分层支护的设计可以减少单次支护的深度和难度。在支护结构的关键部位设置加强构造,可以提升支护结构整体刚度和承载能力。例如,目前已建0.8m厚的C30混凝土挡墙已达到稳定需求,但可通过掺入高性能混凝土或掺入外加剂等方式进一步其抗压及抗渗能力,并适量减薄以减少造价及建造困难。在已有配筋比例0.02的基础上,对配筋方案进行改进,增加直径、调节筋间距等,以增加混凝土的使用效率及支撑体系的整体刚度。对于现有的2米钢管支架,可根据基坑的埋深和土体特性,适当调整支架的间距和布局形式,可加大支架密度、增加支架数量等,提高了支架的稳定性。

(二)使用先进的计算方法

随着计算机技术的不断发展,数值计算方法在基坑支护结构的设计中得到了广泛使用。如有限元法、有限差分法等,可以对支护结构进行受力和变形预测,为设计提供了科学依据。有限元法是一种将连续体离散为有限个单元进行求解的数值方法。在基坑支护结构的设计中,可以利用有限元法对支护结构进行三维建模和受力分析,计算支护结构在土体压力作用下的内力和变形情况。通过调整支护结构的参数,可以优化支护结构的设计方案,提高支护结构的稳定性和承载能力。有限差分法则是通过求解差分方程来模拟支护结构的受力状态,适用于处理复杂的地质条件和边界条件,能够更准确地反映支护结构与土体之间的相互作用。在基坑支护结构的设计中,有限差分法可以用于模拟基坑开挖过程中的土体变形和支护结构的受力情况,为施工过程中的监测和预警提供有力支持。除数值计算方法外,

还可以利用计算机模拟软件对支护结构进行三维建模和动态模拟。通过模拟支护结构的施工过程和使用过程中的受力状态和变形情况,可以更加直观地解支护结构的性能表现,为设计方案的优化提供直观依据。在计算过程中,需要充分考虑土体的非线性特性、支护结构与土体之间的接触摩擦等因素对计算结果的影响。还需要结合工程实践经验对计算结果进行验证和修正,以确保计算结果的准确性和可靠性。例如,现行的井点距为3米×3米,可以依据现场的水文地质情况进行合理调节,从而保证在施工期间能够对地下水进行有效的控制。在此基础上,构建基于多源观测资料的深基坑工程稳定预警体系,实现对工程建设过程中出现的各类安全风险进行检测和预警,为工程建设和运营管理提供理论基础和技术支撑。

Q 结束语

综上所述,基坑支护结构的优化设计是一个综合性的过程,需要综合考虑地质条件、支护结构类型、支护深度、支护材料与施工工艺以及具体优化措施等多个方面。科学合理地优化设计和严格的施工管理,可以确保基坑工程的安全、稳定和高效进行。在具体设计中,充分利用先进的计算方法和计算机模拟技术提高设计精度和可靠性。在施工过程中加强监测和管理确保施工过程中的安全性。还从材料、工艺和环境适用性等方面对支护结构进行进一步优化以提高其整体性能和经济性。这些措施的实施将为建筑工程的顺利进行提供有力保障。

参考文献

- [1]张著芳.岩土工程深基坑支护的设计及施工问题[J].交通世界,2021(28):69-70.
- [2]王明.建筑深基坑支护优化设计及应用[J].建筑技术开发,2021,48(18):142-144.
- [3]曾伟.岩土工程中深基坑支护施工技术的应用研究[J].低碳世界,2022,12(02):95-97.

作者简介:

张代武(1985—),男,汉族,陕西安康人,大学专科,工程师,西北综合勘察设计院,研究方向:岩土工程。

朱龙(1987—),男,汉族,陕西渭南人,大学专科,工程师,西北综合勘察设计院,研究方向:深基坑施工。