

深基坑支护结构优化设计及其数值模拟研究

何 健

广州七方人才服务有限公司广西分公司 广西 南宁 530001

摘 要：本文聚焦于深基坑支护结构优化设计及其数值模拟研究。首先阐述了深基坑支护结构优化设计的重要性，分析了传统设计方法存在的不足。接着详细介绍了深基坑支护结构优化设计的原则、方法及影响因素，包括地质条件、周边环境、施工工艺等。然后深入探讨了数值模拟技术在深基坑支护结构研究中的应用，包括常用数值模拟软件、模型建立及参数选取等。通过实际工程案例，展示了优化设计在深基坑工程中的应用。旨在为深基坑工程的设计与施工提供理论支持和实践指导。

关键词：深基坑支护结构；优化设计；数值模拟；工程案例

1 引言

随着城市化进程的加速，地下空间开发利用日益广泛，深基坑工程数量不断增加。深基坑支护结构作为保障基坑施工安全和周边环境稳定的重要设施，其设计合理性直接关系到工程的成败。传统的深基坑支护结构设计方法往往基于经验公式和安全系数法，存在设计保守、造价高、施工难度大等问题。因此，开展深基坑支护结构优化设计研究，提高设计水平，降低工程成本，具有重要的现实意义。数值模拟技术作为一种先进的工程分析方法，能够模拟深基坑施工过程中的各种复杂工况，为支护结构优化设计提供科学依据。通过数值模拟，可以直观地观察基坑及支护结构的变形、应力分布等情况，预测可能出现的问题，并及时调整设计方案。因此，将优化设计与数值模拟相结合，已成为深基坑支护结构研究的发展趋势。

2 深基坑支护结构优化设计的重要性及传统设计方法的不足

2.1 深基坑支护结构优化设计的重要性

深基坑工程具有开挖深度大、地质条件复杂、周边环境敏感等特点，支护结构不仅要承受土压力、水压力等外力作用，还要保证基坑自身的稳定性和周边建筑物的安全。合理的支护结构优化设计可以在满足工程安全要求的前提下，降低工程造价、缩短施工工期、减少对周边环境的影响^[1]。例如，通过优化支护结构形式和参数，可以减少钢材、混凝土等材料的使用量，降低工程成本；同时，合理的施工顺序和工艺可以缩短施工时间，提高工程效率。

2.2 传统设计方法的不足

传统的深基坑支护结构设计方法主要基于经验公式和安全系数法。经验公式是在大量工程实践的基础上总结出来的，具有一定的局限性，对于复杂地质条件和周

边环境的深基坑工程，其适用性较差。安全系数法则是通过设定一个安全系数来保证支护结构的安全性，这种方法往往过于保守，导致支护结构设计强度过大，造成材料浪费和工程成本增加。此外，传统设计方法缺乏对施工过程的动态考虑，不能及时反映施工过程中支护结构的受力变化情况，难以满足现代深基坑工程的设计要求。

3 深基坑支护结构优化设计的原则、方法及影响因素

3.1 优化设计原则

3.1.1 安全性原则

安全性是深基坑支护结构优化设计的首要原则。在设计过程中，必须确保支护结构具有足够的强度和稳定性，能够承受各种外力作用，保证基坑及周边环境的安全。

3.1.2 经济性原则

在满足安全性要求的前提下，应尽量降低工程造价。通过优化支护结构形式、参数和施工工艺，合理选择材料，减少不必要的浪费，提高工程经济效益。

3.1.3 可行性原则

优化设计方案应考虑施工技术和设备的条件，确保施工方案具有可操作性。同时，要合理安排施工顺序和工期，减少对周边环境的影响。

3.1.4 环保性原则

深基坑工程施工过程中会产生噪音、粉尘、废水等污染物，对周边环境造成一定影响。因此，在优化设计时应充分考虑环保要求，采取有效的环保措施，减少施工对环境的污染。

3.2 优化设计方法

3.2.1 层次分析法

层次分析法是一种将复杂问题分解为多个层次，通过比较各层次因素的重要性来确定权重的方法。在深基坑支护结构优化设计中，可以将影响支护结构设计的因

素分为目标层、准则层和方案层，通过建立层次结构模型，计算各因素的权重，从而确定最优设计方案。

3.2.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学理论的评价方法，能够处理具有模糊性的问题。在深基坑支护结构优化设计中，由于影响设计方案的因素较多，且很多因素具有模糊性，如地质条件的复杂性、周边环境的影响程度等，因此可以采用模糊综合评价法对不同设计方案进行综合评价，选择最优方案。

3.2.3 遗传算法

遗传算法是一种模拟生物进化过程的优化算法，具有全局搜索能力强、适用于复杂问题求解等优点。在深基坑支护结构优化设计中，可以将支护结构的设计参数作为基因，通过遗传操作（选择、交叉、变异）不断优化基因组合，从而得到最优设计方案。

3.3 影响因素

3.3.1 地质条件

地质条件是影响深基坑支护结构设计的最重要因素之一。不同的地质条件（如土层的厚度、性质、地下水位等）对支护结构的受力情况和稳定性有很大影响。例如，在软土地区，土体的强度较低，变形较大，需要采用强度较高、变形较小的支护结构形式，如地下连续墙、钻孔灌注桩等；而在岩石地区，土体的强度较高，可以采用相对简单的支护结构形式，如锚杆支护、土钉墙等^[2]。同时，地下水位的高低也会影响支护结构的设计，高水位地区需要考虑降水措施，防止基坑涌水。

3.3.2 周边环境

周边环境包括周边建筑物的分布、地下管线的布置、交通状况等。周边环境对深基坑支护结构设计的要求较高，需要确保支护结构在施工过程中不会对周边环境造成破坏。例如，当基坑周边有重要建筑物时，需要严格控制基坑的变形，采用更加可靠的支护结构形式和施工工艺，如设置监测点、采用信息化施工等；当基坑周边有地下管线时，需要了解管线的位置和埋深，避免施工过程中对管线造成损坏。

3.3.3 施工工艺

施工工艺对深基坑支护结构的设计和施工有很大影响。不同的施工工艺（如开挖方式、支护结构施工顺序等）会导致支护结构的受力情况发生变化^[3]。例如，采用分层开挖方式可以减少土体的侧向压力，降低支护结构的受力；而采用逆作法施工可以提高基坑的稳定性，减少对周边环境的影响。因此，在设计过程中应充分考虑施工工艺的影响，合理选择施工方案，确保支护结构的安全性和稳定性。

3.3.4 工程造价

工程造价是深基坑支护结构优化设计的重要考虑因素之一。在设计过程中，应在满足安全性和使用功能要求的前提下，尽量降低工程造价。通过优化支护结构形式和参数，合理选择材料，可以有效地降低工程成本。

3.4 案例分析

3.4.1 项目背景

本项目为中山大学附属第一医院广西医院二期项目，位于南宁市青秀区佛子岭路3号，建设内容包括门诊大厅、门诊医技综合楼、住院综合楼、科研教学综合楼等。项目总用地面积27435.87平方米，设计床位1200张，总建筑面积为238245.38平方米，其中地下建筑面积77832.85平方米，地下室共4层，整体联通。基坑开挖深度达12.50~23.85米，属于典型的深基坑工程。鉴于基坑深度大、周边环境复杂，支护结构的优化设计及其数值模拟研究显得尤为重要。

3.4.2 支护结构优化设计

(1) 支护结构选型

根据地质勘察报告及周边环境条件，本项目共分为13个支护单元，采用了多种支护形式，包括土钉墙放坡、排桩支护、预应力锚索、钢管水平内撑、钢管斜撑等。这种多样化的支护形式组合，旨在根据不同地质条件和开挖深度，提供最优的支护解决方案。①土钉墙放坡：适用于地质条件较好、开挖深度较浅的区域，通过土钉加固土体，形成自稳结构。②排桩支护：采用钻孔灌注桩，桩径1500mm，间距2500mm，桩深根据地质条件调整，有效阻挡土体侧移。③预应力锚索：在关键部位设置预应力锚索，通过张拉锚索对土体施加预压应力，提高支护结构的稳定性。④钢管内撑与斜撑：在深基坑部分设置钢管水平内撑和斜撑，有效分散土压力，减少支护结构变形。

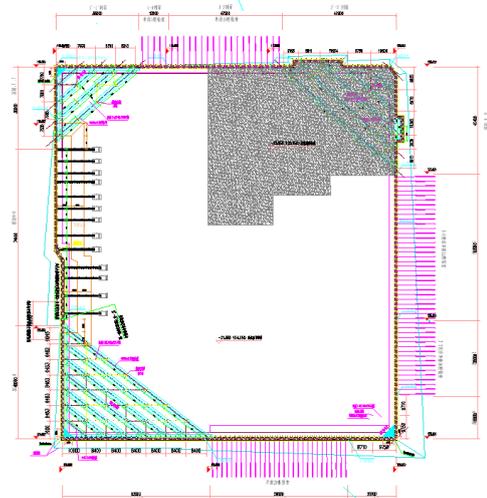


图1 基坑支护平面图

3.4.3 优化设计要点

(1) 分层分段开挖: 遵循“分层、分段、分块、对称、均衡、限时”的原则, 每层开挖深度不超过2.0米, 减少无支撑暴露时间, 控制基坑变形。(2) 支护结构协同工作: 通过数值模拟分析, 确保排桩、锚索、内撑等支护结构之间协同工作, 共同抵抗土压力。(3) 动态调整设计参数: 根据开挖过程中监测到的实际变形数据, 动态调整支护结构的设计参数, 如锚索预应力、内撑刚度等, 确保支护效果。

4 数值模拟技术在深基坑支护结构研究中的应用

4.1 常用数值模拟软件

4.1.1 FLAC3D

FLAC3D是一款基于快速拉格朗日差分法的三维数值模拟软件, 能够模拟土体、岩石等材料的非线性变形和破坏过程。该软件具有强大的前后处理功能, 可以直观地显示计算结果, 适用于深基坑支护结构的变形和稳定性分析。

4.1.2 ABAQUS

ABAQUS是一款功能强大的通用有限元分析软件, 具有丰富的材料模型和单元类型, 能够模拟各种复杂的工程问题。在深基坑支护结构研究中, ABAQUS可以用于分析支护结构的应力、应变分布情况, 以及土体与支护结构之间的相互作用。

4.1.3 PLAXIS

PLAXIS是一款专门用于岩土工程数值模拟的软件, 具有简单易用的界面和丰富的本构模型。该软件可以模拟土体的固结、蠕变等特性, 适用于深基坑开挖、支护结构施工等过程的模拟分析。

4.2 模型建立及参数选取

4.2.1 模型建立

在进行数值模拟时, 首先需要建立合理的计算模型。模型应包括基坑、支护结构、周边土体等部分, 模型的尺寸应根据实际情况合理确定。一般来说, 模型的边界应距离基坑边缘足够远, 以减少边界效应对计算结果的影响。通常, 模型的水平边界距离基坑边缘的距离应不小于3倍的基坑开挖深度, 垂直边界距离基坑底部的距离应不小于2倍的基坑开挖深度。同时, 模型的网格划分应合理, 在关键部位(如支护结构与土体的接触面、基坑角部等)应加密网格, 以提高计算精度^[4]。

4.2.2 参数选取

数值模拟结果的准确性很大程度上取决于参数的选取。在深基坑支护结构数值模拟中, 需要选取的参数主要包括土体的物理力学参数(如重度、弹性模量、泊松

比、内摩擦角、黏聚力等)、支护结构的材料参数(如混凝土强度等级、钢筋的弹性模量等)以及施工参数(如开挖深度、开挖顺序等)。施工参数应根据实际施工情况进行确定, 如开挖深度应按照施工方案中的设计深度进行模拟, 开挖顺序应与实际施工顺序一致。

4.3 数值模拟在深基坑支护结构研究中的应用

4.3.1 支护结构变形分析

通过数值模拟可以直观地观察深基坑支护结构在不同施工阶段的变形情况, 包括水平位移、竖向位移等。分析支护结构的变形规律, 可以及时发现潜在的安全隐患, 并采取相应的措施进行控制。例如, 当支护结构的水平位移过大时, 可以采取增加支撑刚度、加强锚杆拉力等措施来减小变形。

4.3.2 土体应力分布分析

数值模拟可以模拟深基坑开挖过程中土体的应力分布情况, 包括土体的垂直应力、水平应力等。分析土体的应力分布规律, 可以了解土体的受力状态, 为支护结构的设计提供依据。例如, 当土体的水平应力过大时, 需要采取相应的支护措施来抵抗土压力。

4.3.3 支护结构与土体相互作用分析

深基坑支护结构与土体之间存在着复杂的相互作用关系。数值模拟可以模拟支护结构与土体之间的接触行为, 分析两者之间的相互作用力(如摩擦力、法向力等)。了解支护结构与土体之间的相互作用规律, 有助于优化支护结构设计, 提高支护结构的稳定性。

结语

本文深入探讨了深基坑支护结构优化设计及数值模拟研究。指出优化设计可提升设计水平、降低成本、减少环境影响; 数值模拟能提供科学依据, 准确预测变形和应力分布。通过实际工程案例验证了二者结合的效果。强调实际工程中应将二者结合, 依情况选合理方法与软件, 保障工程安全、经济、环保。未来, 应加强多场耦合数值模拟、智能化优化设计及绿色环保支护结构研究, 推动深基坑支护技术发展。

参考文献

- [1]张石,陈富朋,董岳,等.深基坑支护结构优化设计研究[J].黑龙江交通科技,2023,46(10):121-124+182.
- [2]铁瑛,深基坑支护结构受力特性分析及优化设计.河南省,郑州大学,2023-06-09.
- [3]张耀强.深基坑支护结构设计优化及其工程应用[D].中国石油大学(华东),2022.
- [4]扈玥昕,冉晴.基于BIM技术的深基坑支护结构安全分析及优化设计[J].居舍,2022,(09):106-108.