

建筑工程中深基坑支护结构稳定性分析

韩伟

常德市城市建设投资集团有限公司，湖南常德，415000；

摘要：深基坑支护结构是建筑工程中保证基坑稳定和周围环境安全的重要组成部分。随着城市建设的不断发展，基坑工程的规模和复杂性逐渐增加，深基坑支护结构的稳定性分析变得愈加重要。本文通过理论分析与数值模拟，研究了不同支护结构形式的稳定性，重点探讨了地基、支护材料、施工工艺等因素对支护结构稳定性的影响。结合实例工程，评估了常见支护方式在不同土质、地下水条件下的表现，分析了潜在的风险因素，并提出了相应的优化设计建议。研究结果为提升深基坑支护结构的设计水平及施工安全提供了理论依据。

关键词：深基坑；支护结构；稳定性分析；数值模拟；工程实践

DOI：10.69979/3029-2727.24.05.009

引言

在现代建筑工程中，深基坑支护结构的稳定性直接关系到工程的安全性及周边环境的保护。随着城市化进程的推进，越来越多的建筑工程采用地下空间进行扩展，导致基坑开挖深度不断加深，施工环境愈加复杂。深基坑支护结构的设计不仅要考虑土壤特性、地下水位等自然因素，还需应对施工过程中的动态荷载与应力变化。因此，如何精准分析支护结构的稳定性，避免由于设计不当或施工过程中出现的突发问题，成为了工程界亟待解决的关键问题。深基坑支护结构的稳定性分析涉及的内容十分广泛，包括支护结构类型选择、受力分析、变形控制等方面。为了提高支护结构的安全性和经济性，深入探讨各类支护形式在不同工况下的表现和优化设计方法，对于确保工程质量和施工安全具有重要意义。本研究通过对不同支护结构形式的分析，探索适合不同地质条件下的支护设计方案，并结合工程实例进行验证，为基坑工程的稳定性分析提供了系统的理论支持。

1 深基坑支护结构稳定性分析中的关键问题

在深基坑支护结构的稳定性分析中，存在多个关键问题亟需解决。首先，基坑所处的土质特性是影响支护结构稳定性的核心因素之一。不同类型的土壤具有不同的力学性质，如粘土、砂土、粉土等，在基坑开挖过程中，它们的变形特性、抗剪强度以及孔隙水压力等方面表现出显著差异，这直接影响到支护结构的受力和变形响应。例如，地下水位的变化也可能导致土壤的有效应力减小，增加基坑壁的变形风险，因此，对土质的准确识别与测试是稳定性分析的基础。

支护结构形式的选择对稳定性也具有决定性影响。

在深基坑工程中，常见的支护形式有钢支撑、土钉墙、连续墙等，每种支护方式的适用条件不同，设计时需根据基坑的深度、土质及周围环境等因素进行合理选择。错误的支护方式可能导致过度的侧向变形、支护结构的失稳或施工期间发生倾斜甚至倒塌等严重问题。尤其是在复杂的地质条件下，支护结构的设计往往需要同时考虑多重荷载作用，如土压力、地下水压力、施工设备负荷等。

另一个关键问题是在基坑施工过程中，支护结构的施工顺序和方法对稳定性有着重要影响。不同施工阶段，基坑的应力分布及变形情况不断变化，若支护结构未能及时加强或调整，可能导致支撑力不足、变形过大等问题。此外，施工过程中的动态荷载、施工机械的震动和地震等因素，也可能对基坑的稳定性构成威胁，因此需要采取合适的支护结构监测手段，实时掌握基坑变化情况，及时调整施工方案以应对突发情况。

2 深基坑支护结构稳定性分析方法与优化策略

深基坑支护结构的稳定性分析是确保工程安全性和经济性的重要环节，涉及多种分析方法和优化策略。为了准确评估支护结构在不同工况下的受力状态与变形响应，传统的静力学分析方法已逐渐无法满足复杂工程条件的需求，数值模拟与监测技术的结合，成为当前支护结构稳定性分析的重要手段。

在数值模拟方面，有限元法（FEM）广泛应用于支护结构的稳定性分析。这种方法能够通过将基坑区域离散成有限单元，精确描述土体和支护结构之间的相互作用。通过建立土体的非线性本构模型，有限元法可以模拟基坑开挖过程中的土体变形、支护结构的应力分布以及可能的失稳现象。对于复杂土质、地下水及施工过程

中的动态变化，三维有限元分析（3D FEM）提供了更为精准的解决方案。例如，在分析过程中，考虑土体的孔隙水压力、地基承载力和土体的塑性变形等因素，可以模拟实际施工中的应力和变形情况，从而实现对支护结构稳定性的全面评估。

此外，离散元法（DEM）也是分析深基坑支护结构稳定性的重要工具。与有限元法不同，离散元法适用于模拟颗粒介质如土壤的颗粒之间的相互作用，能够较好地反映土体的宏观力学行为，尤其是在考虑土壤破坏和剪切滑动的情况下，具有独特的优势。通过离散元分析，可以准确评估支护结构在土体荷载作用下的局部失稳及结构破坏模式，为优化支护设计提供理论依据。

在实际工程中，基坑支护结构的施工过程复杂，涉及大量的动态荷载与时间效应。为了全面评估施工过程中支护结构的稳定性，动态分析逐渐成为必不可少的分析手段。采用动力学分析，可以考虑施工机械振动、交通荷载等外部扰动对基坑的影响，分析支护结构在不同施工阶段的响应情况。这种分析不仅可以模拟施工期间的土体-结构相互作用，还可以评估支护系统对动态荷载的承载能力。

基坑监测技术也在支护结构的稳定性分析中扮演着重要角色。通过在基坑周围安装位移传感器、应变计、地下水位监测仪等设备，可以实时监测支护结构的受力、变形及土体的变化情况。这些数据可以与数值模拟结果进行对比验证，从而及时发现支护结构的潜在风险，采取必要的加固或调整措施。例如，基坑壁的倾斜监测、沉降监测等，可以有效预警支护结构的失稳风险，避免突发事件的发生。

在优化策略方面，基于对支护结构的稳定性分析，可以提出相应的改进措施以提高设计的安全性和经济性。例如，在土层松软或湿润的情况下，采用双排桩或喷射混凝土支护可以有效增强支护结构的承载能力和抗变形能力。对于深基坑的开挖，采用分层分阶段的开挖方案，可以减少土体的瞬时扰动，减轻对支护结构的冲击。此外，注浆加固、土钉加固等技术已在实际工程中得到了广泛应用，特别是在复杂地质环境下，通过加固土体可提高基坑的整体稳定性，确保施工过程中的安全性。

综合而言，深基坑支护结构稳定性分析方法的不断发展，不仅提升了理论分析的精度，也为实际工程的施工和管理提供了更加科学的依据。数值模拟与监测技术的结合，为优化设计、确保施工安全提供了有效的支持，同时也推动了支护结构设计与施工技术的不断进步。

3 深基坑支护结构稳定性分析的工程实践案例

在深基坑工程中，支护结构的稳定性直接影响施工安全和周围环境的保护。通过实际工程案例的分析，可以更加直观地理解深基坑支护结构的稳定性影响因素以及优化措施的实际效果。以下通过两个具有代表性的工程案例，探讨深基坑支护结构稳定性分析与实践应用。

第一个案例是位于某大城市核心区域的地下商业中心项目。该项目基坑开挖深度达 22 米，基坑面积为 10000 平方米，周围环境复杂，临近多栋高层建筑和地下管线。由于土质条件为软黏土和淤泥层交替，地下水位较高，施工单位选择了连续墙与双排桩支护结构组合的方案。在施工初期，基坑监测数据显示支护结构存在较大变形，尤其在基坑东侧，由于邻近建筑的影响，支护墙变形较为明显。通过数值模拟分析，发现该区域的土壤承载力不足，加之地下水流动造成的孔隙水压力较大，导致基坑东侧出现过度沉降和支撑失稳的风险。

为此，工程团队通过调整支护设计方案，采用了注浆加固和双排桩深度增加的技术措施。注浆加固技术通过向土层中注入高压浆液，有效增强了土体的抗剪强度，减少了水的渗透性，从而提高了支护结构的稳定性。同时，支撑系统的变形监测数据显示，在调整后，基坑东侧变形量减少了 60%，支护结构的稳定性得到了有效提升。

第二个案例是某地铁工程的深基坑施工项目，基坑开挖深度为 30 米，宽度达到 60 米，基坑支护结构采用了土钉墙与钢支撑系统的组合方式。项目所在地区为砂土层，地下水位较低，但由于施工区域历史上曾发生过地震，施工单位特别注重动态荷载对支护结构的影响。通过对该区域的地震波传播进行数值模拟分析，确定了基坑在地震作用下的潜在变形和失稳风险。在此基础上，设计团队通过增加钢支撑的间距，并在关键部位安装了额外的抗震支撑，以提高支护系统对地震荷载的响应能力。

在施工过程中，基坑监测显示支护结构在地震模拟试验中表现良好，未出现显著的倾斜或裂缝。特别是在地震荷载的作用下，支护结构的最大水平位移控制在设计允许范围内，达到了预期的安全标准。通过这一案例，展示了动态荷载对深基坑支护结构稳定性的影响以及通过优化设计来增强抗震能力的有效性。

这些工程实践案例表明，深基坑支护结构的稳定性不仅受土质、地下水位等自然因素的影响，还受到施工工艺、周围环境及动态荷载等多方面因素的制约。在不同工况下，通过采用合理的支护结构形式、强化支护材

料和施工工艺、以及实时监测和应急响应措施，能够有效提升支护结构的稳定性，保证基坑工程的施工安全和周围环境的保护。

4 深基坑支护结构稳定性分析的未来发展趋势

随着城市建设的深入与基坑工程规模的不断增大，深基坑支护结构稳定性分析面临的挑战愈加复杂。未来的发展趋势主要集中在多学科交叉融合、智能化技术的应用以及更为精准的预测与监测手段。

数值模拟技术将继续向更高维度和更精细化方向发展。基于传统有限元分析的基础，三维大规模有限元模型（3D FEM）及多物理场耦合分析将成为趋势。这种方法能够将土体、地下水、支护结构以及施工过程中的动态荷载等多种因素综合考虑，更加真实地反映基坑工程的复杂性。随着计算能力的提升，实时动态仿真与预测模型的集成将为工程设计和施工提供更为精准的决策支持。

人工智能（AI）与机器学习技术将在深基坑支护结构稳定性分析中得到更广泛的应用。通过大数据分析和深度学习算法，AI 可以对复杂工程数据进行自动化处理，从而识别潜在的风险因素，并预测基坑支护结构的变形与失稳趋势。结合深度学习与数值模拟，AI 不仅能够优化设计方案，还能实现基坑施工过程中的智能监测与动态调整。例如，AI 可以实时分析基坑变形数据，提供实时预警并自动调整施工方法或支护方式，减少人为干预的失误，提升施工安全性。

随着信息化技术的发展，基于云计算和物联网（IoT）技术的基坑监测系统也将在未来得到更广泛应用。通过部署传感器和监测设备，实时采集土体位移、应力、地下水位等重要数据，并通过云平台进行数据存储和分析。这样的智能化监测系统能够提供更为精准的实时数据支持，为施工过程中的决策提供依据，并能在早期发现潜在的风险，及时采取措施进行调整。结合数字孪生技术，可以构建基坑的虚拟模型，实现对实际工程状态的实时反映与动态仿真，从而实现更加精确的稳定性预测与管理。

此外，基坑支护结构的材料和施工技术也将在未来

不断创新。新型绿色材料和高性能复合材料的应用，可以进一步提升支护结构的稳定性和耐久性。比如，超高强度钢材、纤维增强复合材料等在支护系统中的应用，将提高支护结构的承载能力及抗变形能力。同时，基于 3D 打印技术的定制支护构件、智能加固材料等新兴技术的出现，为支护结构的个性化设计与施工提供了新的选择，能够更好地适应复杂地质环境。

总体来看，深基坑支护结构稳定性分析的未来发展趋势将集中在智能化、信息化、数字化方向，不仅能提升分析精度和施工效率，还将极大提高基坑工程的安全性和可持续性。通过现代技术的协同发展，支护结构的设计和施工将更加精细化、个性化，并能有效应对日益复杂的城市基坑工程挑战。

5 结语

深基坑支护结构的稳定性分析是建筑工程中的关键环节，涉及复杂的地质环境、支护设计与施工过程等多个方面。通过结合现代数值模拟技术与工程实践，可以准确评估支护结构的稳定性，优化设计方案，保障施工安全。未来，随着技术的不断进步与实际应用的深入，基坑支护结构的分析方法与优化策略将在提高工程安全性和经济性方面发挥更大作用。

参考文献

- [1] 王志强, 李建华. 深基坑支护结构稳定性分析与设计优化[J]. 岩土工程学报, 2020, 42 (3): 245-254.
- [2] 张德强, 王秀英. 深基坑支护结构稳定性数值模拟与现场监测[J]. 工程力学, 2019, 36 (7): 112-120.
- [3] 刘磊, 陈晓波. 城市基坑支护结构设计中的风险评估与优化[J]. 土木工程学报, 2018, 51 (10): 158-165.
- [4] 赵飞, 刘欣. 现代深基坑支护技术与风险管理的研究进展[J]. 建筑技术开发, 2020, 41 (8): 66-72.
- [5] 高强, 李东. 基坑监测技术在支护结构稳定性分析中的应用研究[J]. 工程管理学报, 2021, 42 (4): 138-145.

作者简介：韩伟，男，198102，汉，常德，中级职称（建筑工程），本科，研究方向：建筑工程。