

建筑工程基坑稳定性分析与监测技术研究

黄玉明

广州市稳建工程检测有限公司 广东 广州 510145

摘要：本文探讨了建筑工程基坑稳定性分析与监测技术的相关内容，深基坑工程在现代城市建筑中至关重要，其稳定性受到地质条件、工程设计及施工环境等多重因素影响。文章分析了这些影响因素，并介绍了位移监测、应力监测、地下水位监测等常用监测技术，以及现代监测技术在基坑监测中的应用。另外，还提出了基坑工程风险控制与优化策略，包括风险识别与评估方法、动态设计优化及施工过程控制措施，旨在为建筑工程基坑的稳定性分析和监测提供理论支持和实践指导。

关键词：建筑工程；基坑稳定性分析；监测技术

1 深基坑工程在现代城市建筑中的重要性

深基坑工程在现代城市建筑中具有举足轻重的重要性。随着城市化进程的加速，高层建筑、地下交通设施以及大型商业综合体等建设项目如雨后春笋般涌现，这些项目往往需要对地下空间进行大规模开挖，以满足结构设计和功能需求。深基坑工程作为这些项目的基础性环节，直接关系到整个建筑结构的稳定性和安全性。第一，深基坑工程是确保高层建筑稳定的基础。在高层建筑的设计中，地下室和地下车库等地下空间不仅提供了额外的使用面积，还通过增加建筑的整体重量和埋深，提高了建筑的抗倾覆和抗滑移能力。深基坑工程的精确实施，能够确保地下空间的稳定开挖和支护结构的可靠设置，为高层建筑的稳固奠定坚实基础。第二，深基坑工程对于地下交通设施的建设至关重要。地铁、地下通道等交通设施是现代城市交通网络的重要组成部分，它们的建设往往需要开挖大规模的深基坑。深基坑工程的成功实施，不仅保障了交通设施的结构安全，还确保了施工期间对周边环境和交通的影响最小化^[1]。第三，深基坑工程还关系到周边建筑和地下管线的安全。在城市密集区域，深基坑开挖往往会对周边建筑和地下管线产生一定的影响。通过精确的工程设计和施工监测，可以及时发现并控制潜在的变形和沉降风险，确保周边建筑和地下管线的安全稳定。

2 建筑工程基坑稳定性影响因素分析

2.1 地质条件因素

在基坑开挖过程中，地质条件是影响基坑稳定性的关键因素之一。不同类型的土层具有独特的物理力学性质，这些性质对基坑支护结构的受力和变形情况产生直接影响。软弱土层，如淤泥质土、粘土等，由于其承载力低、易压缩变形，给基坑支护结构带来了极大的挑战。这类土层在开挖过程中易发生侧壁坍塌，导致支护

结构失稳，进而引发周围地面的沉降。此外，地下水位的高低也是地质条件中一个不可忽视的要素。高水位环境下，基坑侧壁面临的水土压力显著增加，对支护结构的稳定性构成严峻威胁。若处理不当，可能导致基坑涌水、流沙等灾害性事故的发生，对周边环境及施工安全造成严重危害。

2.2 工程设计因素

支护结构的设计参数是影响基坑稳定性的另一重要因素，支护桩的截面尺寸、间距、嵌入深度等设计细节，直接决定了支护结构的承载能力和变形控制能力。合理的支护结构设计应能够有效地传递和分散基坑侧壁的压力，从而减小支护结构的变形，提高基坑的稳定性。同时，工程设计还需充分考虑基坑开挖的深度、形状以及施工顺序等因素。开挖深度越大，基坑侧壁所受的土压力也越大，对支护结构的稳定性要求也越高。基坑形状的复杂性会增加支护结构设计的难度，而施工顺序的合理性则直接影响支护结构的受力状态和变形情况。

2.3 环境与施工因素

基坑周边的环境因素对基坑稳定性同样具有显著影响，建筑、道路、地下管线等设施的分布和状态，对基坑开挖过程中的变形和沉降产生约束和影响。这些设施的存在使得基坑开挖过程中需要考虑更多的因素，如保护周边建筑的安全、减少对道路交通的影响、确保地下管线的正常运行等。同时，施工过程中的开挖方式、支护时机等施工操作也会对基坑的稳定性产生影响。不合理的开挖顺序可能导致支护结构受力不均匀，增加失稳风险。而支护时机的选择则直接关系到支护结构能否及时发挥作用，以控制基坑的变形和沉降^[2]。

3 建筑工程基坑监测常用的监测技术

3.1 位移监测

位移监测是建筑工程基坑监测中的重要内容,通过监测基坑周边土体、围护结构等的位移变化,能够及时掌握基坑的稳定性状况。视准线法是一种常用的位移监测方法,其原理是在基坑周边设置一条固定的视准线,在监测点上安装标尺,通过水准仪或经纬仪测量标尺在视准线上的偏移量,从而计算出监测点的位移量。该方法操作简单、成本较低,适用于监测范围较小、精度要求不高的基坑工程,但受地形和视线遮挡的影响较大,在复杂环境下的应用受到一定限制。投点法是将仪器安置在固定点上,通过望远镜将基准点的位置投射到监测点的靶标上,定期测量靶标上投射点的偏移量,以确定监测点的位移。该方法适用于监测垂直位移和水平位移,精度较高,但需要在监测点上设置专门的靶标,且对仪器的安置精度要求较高。GPS测量法是利用全球定位系统进行位移监测的方法,通过在监测点上安装GPS接收机,接收卫星信号,计算出监测点的三维坐标,通过对比不同时期的坐标值,得到监测点的位移量。该方法具有全天候、自动化、精度高、监测范围广等优点,适用于大型、复杂的基坑工程,能够实时监测基坑的位移变化,但设备成本较高,且受卫星信号遮挡的影响较大,在建筑物密集区域的应用效果可能受到一定影响。

3.2 应力监测

应力监测是了解基坑围护结构和周边土体受力状态的重要手段,通过监测应力和应变的变化,能够评估基坑结构的安全性和稳定性。应力计是用于测量结构或土体内部应力的仪器,常用的应力计有钢弦式应力计、电阻式应力计等。钢弦式应力计是利用钢弦的振动频率与所受拉力成正比的原理工作的,当应力计受到外力作用时,钢弦的振动频率发生变化,通过测量频率的变化可以计算出所受应力的大小。该类型应力计具有精度高、稳定性好、抗干扰能力强等优点,广泛应用于基坑围护结构的钢筋应力、土压力等的监测。电阻式应力计则是利用金属电阻丝的电阻随应变变化的特性制成的,当应力计受到应力作用时,电阻丝发生变形,电阻值随之变化,通过测量电阻值的变化可以得到应力的大小,其响应速度快,但受温度影响较大,需要进行温度补偿。应变计是用于测量结构或土体应变的仪器,分为粘贴式应变计和埋入式应变计。粘贴式应变计通常粘贴在结构表面,用于测量结构表面的应变,进而通过材料的弹性模量计算出应力;埋入式应变计则埋入土体或结构内部,用于测量内部的应变。应变计具有体积小、灵敏度高、测量范围广等优点,能够精确测量微小的应变变化,为基坑稳定性分析提供重要的应力应变数据^[3]。

3.3 地下水位监测

地下水位的变化对建筑工程基坑的稳定性有着显著影响,因此地下水位监测是基坑监测的重要组成部分。水位计是用于测量地下水位的仪器,常用的水位计有浮子式水位计、压力式水位计、超声波水位计等。浮子式水位计是通过浮子随水位变化而上下浮动,带动机械传动机构,将水位变化转换为机械位移,再通过传感器将机械位移转换为电信号进行测量。该方法结构简单、成本低、测量精度较高,但需要安装测井,且浮子容易受到水中杂质的影响,维护工作量较大。压力式水位计是利用水的压力与水位高度成正比的原理工作的,将压力传感器安装在地下水位以下,通过测量水的压力来计算水位高度。压力式水位计具有安装方便、不受水质影响、可实现自动化测量等优点,适用于各种复杂的地质环境,但受温度和气压的影响较大,需要进行相应的补偿。超声波水位计是通过发射超声波到水面,测量超声波反射回来的时间,根据声波在水中的传播速度计算出水位高度。该方法是非接触式测量,不受水质和水中杂质的影响,测量范围广,但受环境温度、湿度、风速等因素的影响较大,在精度要求较高的场合应用受到一定限制。通过地下水位监测,能够及时掌握地下水位的变化情况,为基坑降水方案的调整和基坑稳定性分析提供依据。

3.4 现代监测技术

随着科技的不断发展,现代监测技术在建筑工程基坑监测中的应用越来越广泛,为基坑监测提供了更加高效、精确、实时的监测手段。光纤传感技术是一种基于光的传输特性实现监测的技术,其原理是将光纤作为传感元件和传输介质,当光纤受到外界应力、应变、温度等因素影响时,光在光纤中的传输特性如强度、相位、频率等会发生变化,通过测量这些变化可以得到被监测对象的相关信息。光纤传感技术具有灵敏度高、测量范围广、抗电磁干扰、耐腐蚀、可实现分布式监测等优点,能够对基坑围护结构、周边土体的应变、温度等进行实时、连续的监测,为基坑稳定性分析提供详细的空间分布信息。无线传感技术是由大量的无线传感器节点组成的监测网络,每个传感器节点能够对周围环境的物理或化学参数进行采集、处理和传输。无线传感技术具有部署灵活、成本低、无需布线、可实现大规模监测等优点,适用于复杂地形和大型基坑工程的监测。通过无线传感网络,能够将各个监测点的数据实时传输到数据中心,实现对基坑状态的远程实时监控和预警。此外,现代监测技术还包括三维激光扫描技术、无人机遥感技术等,三维激光扫描技术能够快速获取基坑周边建筑

物、地形地貌的三维点云数据，通过对比不同时期的点云数据，能够精确计算出建筑物的沉降和位移；无人机遥感技术则可以从空中对基坑工程进行大范围、快速的监测，获取基坑的整体形态和周边环境的变化信息，为基坑工程的管理和决策提供支持。

4 基坑工程风险控制与优化策略

4.1 风险识别与评估方法

基坑工程风险识别需结合地质勘察、设计参数及施工环境，采用定性定量相结合的方法。首先，通过专家调查法（如德尔菲法）梳理潜在风险源，包括地质突变、支护失效、周边荷载超限等；其次，利用故障树分析（FTA）建立风险事件逻辑关系模型，明确关键风险路径。例如，某地铁基坑工程通过FTA发现，支护桩嵌固深度不足与降水失效的组合是导致侧壁坍塌的主要诱因。风险评估需量化风险概率与后果，可采用蒙特卡洛模拟计算支护结构变形超过阈值的概率，并结合层次分析法（AHP）确定各风险因素权重。例如，某软土地区基坑工程评估显示，地下水位上升导致流砂的风险概率达35%，后果严重性等级为4级（最高5级），需优先采取防控措施^[4]。另外，引入BIM技术构建三维风险模型，动态模拟开挖过程中土体应力变化，可提前识别高风险区域，为设计优化提供依据。

4.2 动态设计优化

动态设计是应对基坑工程不确定性的核心策略，需基于实时监测数据调整支护参数与施工方案。首先，建立“监测-反馈-修正”闭环机制，例如，当位移监测显示支护桩侧移速率超过0.5mm/d时，立即启动有限元反分析，重新校核土体参数并优化支撑刚度。其次，采用自适应支护技术，如可伸缩钢支撑系统，根据土压力监测数据动态调整支撑力，某深基坑工程应用后，支护结构最大变形由42mm降至28mm。结合机器学习算法预测风险趋势，例如，利用LSTM神经网络对位移监测数据进行训练，可提前48小时预警潜在失稳事件，为设计调整争取时间。动态设计还需考虑施工顺序优化，如采用“分层分段开挖+时空效应控制”技术，通过合理安排开挖步骤减少土体暴露时间，某超深基坑工程应用后，周边建

筑物沉降量降低60%。

4.3 施工过程控制措施

施工过程控制需从开挖、支护、降水三方面协同发力。开挖阶段应严格遵循“对称平衡、限时开挖”原则，例如，采用跳槽开挖法，每层开挖深度不超过3m，且相邻段开挖时间间隔不少于48小时，以控制土体应力释放速率。支护施工需强化质量管控，如对排桩施工进行超声波透射法检测，确保桩身完整性；对土钉墙施工，通过拉拔试验验证土钉抗拔力，合格率需达95%以上。降水控制需实施“按需降水”策略，结合地下水位监测数据动态调整水泵启停，避免过度降水引发地面沉降。例如，某基坑工程采用智能降水系统后，周边道路沉降量由15mm降至5mm。建立应急响应机制，储备应急物资（如双液注浆设备、钢支撑），并定期组织坍塌、涌水等事故演练，确保突发情况下30分钟内启动处置程序。施工全过程需推行信息化管理，通过物联网平台集成监测数据、施工日志与视频监控，实现风险动态可视化管控。

结束语

综上所述，建筑工程基坑的稳定性分析与监测技术对于确保基坑工程的安全至关重要。通过深入研究基坑稳定性的影响因素，采用科学合理的监测技术和风险控制策略，可以有效预防和控制基坑失稳风险。未来，随着监测技术的不断进步和施工管理的日益完善，建筑工程基坑的稳定性将得到更有效的保障，为城市建设的持续发展提供坚实基础。

参考文献

- [1]丁海玲.土压盾构近接超深基坑风险监管与实测分析[J].山西建筑,2025,51(15):80-83.
- [2]叶玉洁,马政武.高层建筑基坑的支护设计及变形特性分析[J].中国新技术新产品,2025,(13):107-109.
- [3]高钟丽.试论房屋建筑工程的结构加固改造技术[J].绿色环保建材,2021,(09):145-146.
- [4]陈晟.建筑结构稳定性分析与评估方法[J].居业,2024,(07):166-168.