

深基坑工程支护结构施工变形监测与风险防控

闫 昊

甘肃鸿恒森建筑安装工程有限公司 甘肃 漳县 748300

摘 要：深基坑工程支护结构施工中的变形监测与风险防控至关重要。变形监测通过全站仪、水准仪等设备实时掌握支护结构的位移、沉降等变形情况，及时发现潜在隐患。风险防控则涵盖地质勘察、支护设计、施工管理、监测预警及应急预案等多方面，确保施工安全。综合运用变形监测技术和风险防控对策，能显著降低安全事故概率，保障工程顺利进行，为建筑工程的高质量发展提供坚实保障。

关键词：深基坑工程支护结构；施工变形监测；风险防控

引言：深基坑工程作为现代建筑施工中的重要环节，其支护结构的稳定性直接关系到工程的安全与质量。随着城市建设的加速，深基坑的深度和复杂性不断增加，对支护结构施工的要求也日益严格。变形监测作为评估支护结构稳定性的关键手段，能够及时发现变形异常，为施工调整提供数据支持。同时，风险防控机制的建立与完善，对于预防安全事故、保障周边环境安全具有重要意义。因此，深入研究深基坑工程支护结构的变形监测与风险防控技术，对于推动建筑行业的安全发展具有重要价值。

1 深基坑支护结构变形监测原理与方法

1.1 变形监测的基本原理

(1) 变形监测是通过对深基坑支护结构及周边环境的空间位置变化进行持续观测，分析其变形规律与发展趋势的技术手段。其核心目的是保障施工安全，预防因支护结构失稳引发的坍塌事故，同时为工程设计优化和后续施工调整提供数据支撑。(2) 主要监测参数包括：水平位移（结构在水平方向的偏移量）、垂直位移（沉降或隆起值）、倾斜角度（结构整体或局部的倾斜程度）、裂缝宽度及发展速度等，这些参数共同反映支护结构的稳定性状态。

1.2 常用监测方法与技术

(1) 手工观测法：水准仪用于测量垂直位移，通过水准线路往返观测获取沉降数据，但受人工操作效率限制，难以实现高频监测；经纬仪可测定水平角和竖角以计算水平位移，精度受天气和观测者技能影响较大；水位尺用于监测周边地下水位变化，操作简便但数据连续性不足。(2) 自动观测法：自动水准仪通过内置传感器自动采集高程数据，实现全天候连续监测，降低人工误差；自动倾角仪实时记录结构倾斜角度，数据可远程传输，适用于对变形敏感的关键部位，优势在于响应速

度快、数据密度高。(3) 数字图像法：利用高清相机拍摄结构表面标记点，通过图像处理算法计算标记点位移，具有非接触、大范围监测的特点，适用于支护结构表面变形的快速检测^[1]。

1.3 远程监测技术

(1) 远程监测技术基于传感器、数据传输网络和终端管理系统，实时采集基坑变形数据并传输至监控中心。其优势在于实现无人值守监测，减少人工成本，同时可对数据进行实时分析和预警，提高风险响应效率。

(2) 在某地铁深基坑工程中，通过布设振弦式位移传感器和无线传输模块，远程监测支护桩的水平位移和内力变化，系统可自动生成变形曲线并在超限时发送警报，有效保障了施工期间周边建筑物的安全。

2 深基坑支护结构变形监测方案

2.1 监测项目确定

(1) 需依据工程地质条件、支护结构类型及周边环境特征确定监测类型。对于土钉墙支护结构，重点监测墙面水平位移、坡顶沉降及土钉拉力；排桩支护体系需增加桩体倾斜、桩顶水平位移及基坑内外地下水位差监测；若基坑邻近既有建筑物，还应增设周边地表沉降、管线位移等附加项目，确保全面捕捉支护结构与环境的协同变形。(2) 监测点布置需遵循代表性与连续性原则：在支护结构转折处、受力集中区（如基坑阳角）及邻近重要设施段加密布点；水平位移监测点沿基坑周边每隔10-15米布设一个，且每边不少于3个；垂直位移监测点应与水平位移点共用，形成监测断面；周边环境监测点需延伸至基坑影响范围1.5-2倍深度处，对危房、古建等特殊目标单独增设监测点。

2.2 监测频率与周期

(1) 监测频率需随施工阶段动态调整：基坑开挖阶段，每1-2天监测1次，开挖至基底后加密至每天1次；支

护结构施工期间,每3天监测1次;当变形速率超过2mm/d或遇暴雨、地震等特殊情况,需24小时内连续监测2-3次,直至变形稳定。(2)监测周期应覆盖施工全流程:从基坑开挖前7天开始布设基准点并进行初始观测(不少于3次),施工期间持续监测,主体结构施工至±0.00后,若变形速率小于0.5mm/d且连续30天稳定,可逐步降低频率至每周1次,最终监测至基坑回填完成后1个月,确保完整记录支护结构从受力到卸荷的全过程变形。

2.3 数据采集与处理

(1)数据采集需遵循标准化流程:手工观测时,水准仪按二等水准测量规范作业,往返测较差不得超过 $\pm 0.5\sqrt{L}\text{mm}$ (L为路线长度);自动化监测系统每日自动生成原始数据报表,包含传感器编号、观测时间、实时值及累计值;采集完成后需现场核对数据完整性,对异常值进行二次复核。(2)数据处理采用分层校验法:首先通过Excel或专业监测软件进行数据录入与初步计算,剔除3倍中误差以外的粗差;其次运用回归分析拟合变形曲线,预测未来变形趋势;误差控制方面,水平位移采用全站仪边角交会法,确保点位中误差 $\leq \pm 3\text{mm}$;垂直位移通过闭合水准路线观测,限制往返较差;对自动化监测数据,定期进行人工校准(每月1次),降低传感器漂移误差,最终形成包含监测成果表、变形曲线图及综合分析报告的完整资料^[2]。

3 深基坑支护结构施工风险分析

3.1 主要风险类型

(1)基坑侧壁失稳引发的塌方或塌陷风险是最直接的施工威胁。此类风险多表现为支护结构突然断裂、土体滑动,可能导致基坑边坡整体垮塌,造成施工设备掩埋、人员伤亡等严重后果,尤其在软土地区或开挖深度超10米的基坑中更为突出。(2)地下水渗漏导致的土壤失稳风险不容忽视。当地下水通过支护结构缝隙、桩间空隙渗透时,会带走基坑周边土体中的细颗粒,引发管涌、流砂等现象,使土体强度急剧下降,进而导致支护结构受力失衡,加剧变形甚至失稳。(3)邻近结构物受施工扰动出现的破坏风险具有隐蔽性和滞后性。基坑开挖会改变周边土体应力场,导致既有建筑物、地下管线产生不均匀沉降或倾斜,可能引发墙体开裂、管道破裂等问题,对周边居民生活和交通通行造成长期影响。(4)施工机械操作不当造成的安全事故风险贯穿施工全过程。挖掘机超挖、起重机吊装支护构件时超载、电焊机违规操作等行为,可能直接撞击支护结构、引发触电或火灾,同时对监测设备造成损坏,影响数据采集的连续性。

3.2 风险成因分析

(1)各风险类型的成因与多重因素相关:基坑侧壁失稳主要源于支护设计承载力不足(如土钉长度不够、排桩配筋不足)、开挖顺序不合理(如一次开挖深度过大)及边坡堆载超限;地下水渗漏多因止水帷幕施工质量缺陷(如接缝不密实)、降水方案不完善导致水头差过大;邻近结构物破坏的核心因素是基坑开挖引起的土体位移超过结构物承受限值,与地质条件(如砂层分布)、开挖速度密切相关;机械操作风险则受人员技能水平、现场管理规范程度影响,违章作业是主要诱因。

(2)风险成因与支护结构变形监测存在显著关联:支护结构变形数据可直接反映风险前兆,例如侧壁水平位移突然加速可能预示失稳风险,沉降速率异常增大往往与地下水渗漏相关;通过监测数据反演土体应力变化,能提前识别邻近结构物的潜在破坏风险;同时,监测设备对机械操作区域的覆盖,可辅助监管违规作业行为,为风险预警提供数据支撑,形成“风险成因-变形特征-监测响应”的联动机制^[3]。

4 深基坑支护结构施工风险防控措施

4.1 支护结构设计优化

(1)需结合地质勘察数据与周边环境特征,针对性选择支护形式。在软土地层中,优先采用“排桩+内支撑”体系,通过钢支撑或混凝土支撑分散侧向土压力;若基坑深度超过15米且邻近既有建筑,可采用“地下连续墙+锚杆”组合形式,利用地下连续墙的防渗性与锚杆的抗拉能力控制变形;对于岩质基坑,可采用喷锚支护并增设锁脚锚杆,减少对岩体完整性的破坏。同时,设计时需模拟周边建筑物荷载、地下水渗流等附加作用,确保支护结构与环境的协同适应性。(2)强化承载力与稳定性设计需从多维度入手:通过有限元软件计算支护结构在开挖阶段的最大内力,确保构件截面配筋或材料强度满足1.2倍安全系数要求;对基坑抗倾覆稳定性进行验算,控制抗倾覆安全系数不小于1.25;对软土地层中的支护结构,需考虑基坑开挖引发的坑底隆起,通过设置减压井或加深嵌固深度(嵌固比不小于0.3)抑制隆起变形;对于地下水丰富区域,止水帷幕设计应保证渗透系数小于 $1 \times 10^{-6}\text{cm/s}$,且插入不透水层深度不小于2米,形成封闭止水体系。

4.2 施工过程控制

(1)施工顺序需遵循“分层开挖、先撑后挖”原则:基坑开挖应按分层高度(软土地区每层不超过1.5米,岩质地区不超过3米)依次进行,每开挖一层立即施工相应的支撑或锚杆,严禁超挖;对长条形基坑,采

用“分段开挖、跳仓施工”方式，每段长度控制在20-30米，减少基坑长边的累计变形；若采用内支撑体系，支撑安装需在开挖至设计标高后24小时内完成，混凝土支撑养护强度达到80%以上方可进行下一层开挖。开挖速度需与支护强度增长匹配，软土地层每日开挖面积不宜超过50m²，避免土体应力集中。（2）施工荷载控制需严格执行限值标准：基坑周边2倍开挖深度范围内，严禁堆放钢材、模板等重型材料，临时堆载不得超过20kPa；施工机械行驶路线需远离坑边，距基坑边缘的安全距离不小于3米，履带式挖掘机等重型设备需铺设钢板分散压力；若需在坑边设置塔吊基础，需单独进行地基加固（如采用高压旋喷桩），并通过计算确保附加荷载不影响支护结构稳定性；同时，定期检查基坑周边堆载变化，对违规堆载行为及时制止并整改^[4]。

4.3 监测与预警机制建立

（1）多点监测系统需实现“空间全覆盖、参数全采集”：在支护结构顶部每隔10米布设水平位移与沉降监测点，桩体内部沿深度方向每5米安装测斜管，实时监测深层水平位移；在基坑周边地表设置沉降观测剖面，剖面间距不超过50米，每个剖面布设5-7个监测点；对地下水位的监测，需在基坑内外分别设置观测井，监测频率与变形监测同步。采用自动化监测设备（如GNSS位移监测站、无线测斜仪）实现数据实时传输，系统采样间隔不大于30分钟，确保变形趋势的连续性捕捉。（2）预警模型需结合工程特性动态设定阈值：一级预警值设定为设计允许值的70%（如水平位移预警值取30mm），二级预警值为85%，三级预警值为100%；同时引入“变形速率双控”指标，当单日变形超过2mm或连续3天累计变形超过5mm时，自动触发预警。预警响应机制分为三级：一级预警时增加监测频率至每6小时1次，分析变形原因；二级预警需暂停施工，检查支护结构完整性并采取加固措施（如增加临时支撑）；三级预警立即启动应急预案，组织人员撤离并设置警戒区。预警信息需通过短信、声光报警等方式同步推送至项目管理人员、监理单位及住建部门。

4.4 应急预案制定与演练

（1）针对不同风险类型制定专项预案：基坑失稳应急预案需明确快速回填方案（准备200m³以上沙袋及土方储备）、临时支护措施（如钢管斜撑架设位置与安装流程）；地下水突涌预案需配备大功率排水泵（扬程不低于基坑深度1.5倍）、止水材料（如速凝水泥、棉絮），并预设应急降水井位置；邻近结构物开裂预案需包含注浆加固方案（如袖阀管注浆参数）、临时支护架设步骤。预案中需明确各岗位职责，如现场指挥、技术组、物资组的响应流程，确保30分钟内启动应急处置。

（2）应急演练需常态化开展：每月组织1次桌面推演，模拟不同风险场景下的决策流程；每季度进行1次实战演练，重点检验物资调运效率（如沙袋30分钟内送达指定区域）、设备启动速度（排水泵5分钟内正常运行）及各单位协同能力；演练后需形成评估报告，针对暴露的问题优化预案（如补充夜间照明设备、调整通讯联络方式）。同时，对施工人员开展应急技能培训，确保每人掌握基坑逃生路线、应急设备使用方法及预警信号识别，提升现场处置的第一响应能力。

结束语

深基坑工程支护结构的施工变形监测与风险防控是保障工程顺利进行不可或缺的一环。通过对支护结构的全面监测与科学分析，我们能够精准掌握其变形状况，及时预警潜在风险。同时，完善的风险防控机制为应对突发事件提供了有力保障。未来，随着技术的不断进步，我们将持续优化监测手段，强化风险防控措施，确保深基坑工程的安全与质量，为城市建设的稳步发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]赵文吉.深基坑支护施工技术在建筑工程施工中的运用[J].工程建设与设计,2023,(12):193-194.
- [2]杨元菁.深基坑工程施工中边坡支护效果监测分析[J].四川水泥,2023,(16):177-178.
- [3]包钊.建筑工程深基坑支护结构变形监测技术[J].四川水泥,2025,(15):150-152.
- [4]邹晓磊.深基坑支护结构变形监测的工程测量标准化关键技术[J].大众标准化,2024,(11):112-113.