

全站仪与测斜仪联合监测基坑变形的实践分析

何安才

四川省自然资源勘察设计集团有限公司 四川 成都 610000

摘要：基坑变形监测是保障施工安全与支护体系稳定的核心技术环节，单一设备普遍存在监测维度局限，难以完整覆盖基坑全域形变特征。本文梳理二者协同监测的互补逻辑，构建覆盖表层与深层的一体化监测模式，结合成都城区某一级深基坑工程开展实测验证，明确现场实施全流程技术要点，提出针对性体系优化路径，可为同类工程精细化变形管控提供实用参考。

关键词：全站仪协同监测；测斜仪深层感知；深浅层数据耦合；基坑安全防控

引言：基坑开挖卸荷会打破场地原有应力平衡，同步引发表层位移、深层侧向形变等多类变形问题，直接影响支护结构与周边岩土体的稳定性。基坑变形具备分层性、渐进性的发展特征，对监测工作的全面性与精准度提出更高要求。传统单一监测手段仅能捕捉局部形变数据，存在明显监测盲区，依托两类设备的技术互补优势开展联合监测，可实现深浅层形变数据同步采集，完善现有监测体系，适配复杂基坑工程的作业需求。

1 监测设备工作原理及互补适配机制

1.1 全站仪监测原理与作业特性

全站仪基于光电测距与高精度测角技术，采集监测点斜距、水平角、竖直角参数，经内置微处理器解算三维坐标，通过多周期观测差值精准获取基坑表层位移变化量，量化外露结构形变指标。设备采用非接触式监测模式，布设灵活、监测范围广、点位定位精度高，不受浅层土体扰动与现场施工干扰，可适配基坑复杂作业工况，完成多点位动态形变监测。仪器可稳定捕捉坡顶、支护桩顶等结构的毫米级细微位移，主要覆盖基坑表层、坡面及周边建构筑物三维位移监测，全面表征基坑表层宏观形变特征，为外部变形分析提供连续、可靠的实测数据支撑^[1]。

1.2 测斜仪监测原理与作业特性

测斜仪依托重力加速度感应元件工作，精准识别预埋测斜管与标准铅垂线的倾角偏差，将倾角信号转化为电信号，通过分层换算公式逐深度解算土体、支护墙体侧向位移数据，实现地下隐蔽形变量化采集。设备结构坚固、抗干扰能力强，可长期预埋地下持续作业，深层形变分辨率高，可识别土层微小分层变形，弥补表层监测无法覆盖的地下监测盲区。测斜仪可沿

竖向剖面分层监测，精准区分各土层形变差异，完整刻画深部土体形变演化规律，为基坑内部稳定性研判提供核心数据支撑。

1.3 设备监测维度与协同适配逻辑

全站仪监测维度聚焦基坑表层空间，可同步采集水平位移与竖向沉降数据，反映表层结构宏观空间形变特征，适配基坑开放式、大范围表层监测场景。测斜仪监测维度聚焦地下竖向剖面，仅开展分层侧向形变监测，侧重深部土体微观形变规律研判，适配地下隐蔽工程监测场景。可同步覆盖基坑表层全域与深层剖面形变区域，精准适配基坑变形分层性、非同步性特征，彻底解决单一设备监测维度受限、存在盲区的问题，满足基坑全域形变监测的工程技术需求。

2 基坑变形特征及监测技术标准

2.1 基坑核心变形特征

基坑开挖卸荷引发应力重分布，主要产生表层三维位移与深层土体侧向变形两类核心形变，二者演化独立又相互关联，共同决定基坑整体稳定性。表层三维位移包含水平偏移与竖向沉降、抬升，主要分布于支护顶部、坡顶及周边地表，受开挖进度、施工荷载、锚索张拉直接影响，形变直观、可控性强，是基坑最直观的安全观测指标。深层侧向变形为地下隐蔽形变，土体向临空面侧向偏移，形变量随深度递增递减，深部原状土层可有效约束形变发展。该类变形隐蔽滞后，是诱发支护开裂、局部滑移的主要诱因，基坑安全研判必须结合深浅层数据综合判定，单一维度数据无法反映真实稳定状态。两类形变存在时序差异，表层形变响应快、波动明显，深层形变发展缓慢、持续周期更长，极易出现监测研判偏差，这也是单一监测手段难以精准预判基坑整体

风险的核心原因^[2]。

2.2 监测分级精度量化指标

依据《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497-2019），结合一级基坑工程建设标准、周边构筑物环境敏感的通用工程特点，明确量化监测精度标准。一级基坑监测作业全程执行高标准精度管控要求，全站仪针对表层水平、竖向位移开展监测，单次观测误差限值为±0.5mm，适配开挖关键阶段与周边敏感构筑物区域的高精度监测需求。测斜仪针对深层分层侧向位移开展监测，单次误差限值为±0.2mm/m，适用于支护结构深部与高风险土体区域的形变采集工作。为后续误差分析、数据耦合运算与安全风险预警提供合规、精准的基础数据，保障监测成果具备充足的工程参考价值与技术严谨性。具体参数如下表所示。

表 1 基坑监测设备精度量化指标表

监测设备	监测项目	单次观测误差限值	精度等级	适用工况
全站仪	表层水平/竖向位移	±0.5mm	一级	开挖关键阶段、周边敏感构筑物区域
测斜仪	深层分层侧向位移	±0.2mm/m	一级	支护结构深部、高风险土体区域

3 工程实践与实测数据分析

3.1 工程概况

以成都城区某一级市政深基坑工程为例，场地属冲积平原地貌，地层以素填土、粉质黏土、砂卵石为主，砂卵石层透水性高、形变敏感度高。基坑最大开挖深度 12.6m，采用钻孔灌注桩+预应力锚索组合支护体系，整体支护刚度良好。工程紧邻市政道路与居民楼，车流、人流荷载频繁，周边构筑物对地基形变极为敏感，基坑安全等级为一级，施工扰动可控性低、形变监测容错率极小，具备典型的深浅层联合监测应用与研究价值^[3]。

3.2 监测点位布设方案

该案例工程监测点位遵循“全域覆盖、重点加密、点位稳定”原则布设，全站仪表层监测点布置于坡顶边线、支护桩顶及周边建筑基础，共布设 28 个点位，全面覆盖基坑表层结构，精准捕捉三维位移变化。测斜孔重点布设於基坑长边中部、转角应力集中区及临近建筑高风险区域，普通区段均匀布设，共计 12 个监测孔。测斜管埋设严格遵循超深布设原则，规避基底扰动层干扰，保障监测基准长期稳定。测斜管埋设深度 15m，超出最大开挖深度 2.4m，孔底嵌入稳定原状土层，规避开挖层扰动影响，保障深部形变数据真实可靠，符合一级基坑

联合监测布设规范。

3.3 实测数据结果分析

为精准揭示基坑形变演化规律，本文选取中层开挖 7m、开挖见底 12.6m 两个典型工况开展时序监测，对比分析基坑深浅层形变响应特征。

工况一：开挖深度 7m（中层开挖阶段）

该阶段土体应力重分布范围持续扩大，基坑表层形变平稳增长。全站仪监测数据显示，桩顶最大水平位移 5.7mm、竖向沉降 2.6mm，形变速率稳定在 0.15mm/d，无异常波动。深层形变区间下移至 2~6m 砂卵石层，测斜仪测得土体最大侧向位移 4.5mm。整体支护结构受力均衡，土体变形可控，基坑整体处于稳定状态。

工况二：开挖深度 12.6m（开挖见底阶段）

基坑开挖至设计标高后，土体卸荷完成，应力逐步趋于稳定，形变进入收敛阶段。桩顶最大水平位移 9.1mm、竖向沉降 3.8mm，形变速率回落至 0.1mm/d 以内，表层变形基本趋于停滞。深层形变集中于 4~9m 核心卸荷区间，最大侧向位移 7.2mm 且无持续增长趋势，8m 以下原状土层有效约束土体变形，支护结构管控效果良好。

工况对比表明，基坑形变呈“随开挖推进稳步增长、开挖完成后逐步收敛”的时序特征。表层形变响应更快，深层形变滞后性明显，深浅层形变趋势高度协同。施工产生的小幅变形均为土体正常应力调整，无结构性隐患，联合监测可精准捕捉全域形变特征，有效识别隐蔽风险。

3.4 联合监测应用效果

单一全站仪仅能监测表层外露形变，无法探测深部土体隐蔽变形；单一测斜仪仅可采集深层侧向数据，缺失表层三维位移信息，均存在监测短板。该案例工程采用联合监测模式，实现深浅层形变全覆盖，彻底消除监测盲区，两类数据可相互印证、纠错互补。该体系可精准区分施工扰动形变与结构失稳形变，清晰刻画分层形变演化规律，为支护验算、工序优化、开挖管控提供量化依据，显著提升基坑安全管控精细化水平，适配城区一级基坑复杂监测需求。

4 联合监测实施要点与体系优化

4.1 现场实操核心要点

现场监测严格执行标准化作业流程，全站仪安装于现浇硬化基座，作业前完成对中、调平与参数校准，保障通视条件良好。测斜管埋设严控垂直度，管体与孔壁

间隙采用原状土分层回填夯实，杜绝扭转偏移，埋设静置稳定后采集初始基准数据。监测频次动态适配施工工况，依据开挖进度、支护成型状态动态调参，适配不同施工阶段的监测精度需求，开挖阶段 1 次/d，支护成型后 1 次/3d，形变波动时段加密至 2 次/d。数据采集严格遵循三固定原则，及时筛查剔除异常数据，建立标准化监测台账，保障监测数据连续、精准、可追溯^[4]。

4.2 自动化联合监测方案

为解决传统人工监测时效性差、误差较大、数据滞后等缺陷，本文搭建深浅层一体化自动化监测体系，适配一级深基坑高精度、全天候的监测管控需求。系统集成全自动全站仪机器人与自动化测斜设备，可 24h 不间断开展表层三维位移与地下深层分层形变同步采集、实时更新，弥补了传统人工监测的短板。

(1) 构建深浅层数据耦合算法。系统采用时序归一化耦合算法，先对两类监测数据进行时间轴同步校准，消除设备采集时差，再通过极值归一化统一数据量纲，建立“表层位移-深层侧向位移”双维度耦合模型。通过计算形变相关性系数，精准判别深浅层形变协同状态，当数据趋势背离、偏差超限时自动标记异常，实现基坑隐蔽风险的智能识别与精准研判。

(2) 完善云端联动运行机制。依托 4G/5G 物联网模块实现现场数据实时上云，云端平台集成数据存储、智能分析、分级预警等功能，形成“现场采集-云端运算-终端推送”的闭环管控模式。平台自动完成数据清洗、耦合运算与阈值比对，快速生成监测成果，触发预警时可瞬时推送风险信息，精准锁定隐患点位与区间。该自动化体系有效规避人工误差，可实时捕捉微小形变波动，显著提升基坑监测的时效性与可靠性。

4.3 变形分级预警标准

结合案例工程一级基坑等级、地层条件及周边环境敏感度，建立量化三级形变预警标准，明确各等级表层、深层形变速率与累计阈值，配套标准化现场处置流程。可精准区分正常形变、风险形变与失稳形变区间，实现基坑风险量化研判。分级阈值严格贴合规范上限，预留安全冗余，适配城区敏感环境风险防控要求。该体系构建了“数据采集-耦合分析-分级预警-现场处置”的闭环管控模式，为基坑动态施工、风险防控与应急处置提供标准化量化依据，具体参数如表 1 所示。

表 2 基坑变形三级预警阈值及处置标准表

预警等级	表层位移速率/累计值	深层侧向位移速率/累计值	处置措施
一级（蓝色）	0.3 ~ 0.5mm/d, 累计 ≤ 10mm	0.2 ~ 0.4mm/d, 累计 ≤ 8mm	加密监测，持续跟踪形变发展
二级（黄色）	0.5 ~ 1.0mm/d, 累计 10 ~ 15mm	0.4 ~ 0.8mm/d, 累计 8 ~ 12mm	暂停开挖，排查支护及土体隐患
三级（红色）	> 1.0mm/d, 累计 > 15mm	> 0.8mm/d, 累计 > 12mm	立即停工，启动基坑应急预案

4.4 监测体系优化路径

基于基坑形变风险分布规律优化监测体系，精简普通区段冗余测点，重点补强高风险区域监测密度，实现点位布设精准高效。统一深浅层数据处理规范，建立标准化耦合分析流程，规范数据筛选、比对、研判全流程，提升数据利用率与研判精度。完善设备运维机制，严格落实月度设备校准、定期点位巡检制度，及时修复受损点位、校正设备参数，规避设备老化、点位偏移引发的数据偏差，保障监测系统长期稳定运行，持续提升基坑监测标准化、精细化水平^[5]。

结束语

成都砂卵石地层一级深基坑监测实践，验证了全站仪与测斜仪协同监测模式的工程适配性。深基坑深浅层形变存在显著时序差异，表层变形响应迅速，深部变形滞后性突出，单一监测方式难以精准判定基坑稳定状态。深浅层联合监测可补齐监测短板，通过多源数据耦合甄别土体正常形变与结构隐患。配套自动化监测体系可实现智能分析与实时预警，可为川内同类地层深基坑精细化监测及安全防控提供技术支撑。

参考文献

[1] 李德根. 基于全站仪自动监测和神经网络校正的深基坑变形监测研究 [J]. 资源导刊, 2026(11):44-46,50.

[2] 刘显骐. 全站仪与水准仪联合监测在深基坑变形分析中的应用 [J]. 模型世界, 2025(24):43-45.

[3] 潘斌. 全站仪自由设站法在基坑三维形变监测中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(7):154-156, 164.

[4] 李湧. 深基坑全站仪自动化监测系统设计研究 [J]. 地矿测绘, 2024, 40(3):41-46.

[5] 郇亮, 谢长岭, 冯立力, 等. 自动化测斜仪在地铁基坑水平位移监测中的应用研究 [J]. 能源与环保, 2022, 44(1):33-39.