自动化测斜仪在基坑监测中的应用

肖海刚

[摘要]随着城市化进程的加快，基坑工程在城市建设中变得越来越普遍。基坑的稳定性直接关系到工程的安全和质量，因此，基坑监测显得尤为重要。自动化测斜仪作为一种先进的监测设备，能够实时、连续地监测基坑的位移变化，为基坑的安全评估提供了可靠的数据支持。本文将详细介绍自动化测斜仪在基坑监测中的应用，包括其工作原理、安装过程、数据采集与分析方法，以及在实际工程中的应用案例。通过阐述这些内容，旨在为基坑工程监测提供一种高效、精确的解决方案。

[关键词]基坑监测；自动化监测；应用

自动化测斜仪的工作原理

自动化测斜仪主要通过全自动无人监测系统，实现对基坑测斜的自动化监测。利用智能物联网传感器，结合低功耗技术和电池供电，以及无线短距离传输方案，减少了现场大量的安装和维护工作。

采用一根由多段 500mm 长直线形成的连续折线来拟合中心轴线。测斜传感器工作长度是 500mm，在测斜管中被上下拖动，每当传感器与折线中某一短直线重合时，则会测读短直线的空间方向角。将这些短直线按其上下相对位置头尾相接，即复原了测斜管轴线的空间形状。由此可见，测斜仪测读数据的第一基本要求就是各次测读数据的位置必须严格地头尾相接。若不能头尾相接，这一串折线就将中断，产生不可估量的误差。

需先消除传感器感知元器件的固有安装误差：任何传感器都不能保证测量元器件的轴线和传感器轴线完全重合，每次测读的角度值中，除实际值外，还包含固定的微小误差。由于计算公式为：，微小误差将在计算中自动累加。传统测斜仪的操作中规定需要通过一个测回的操作来消除每次角度读数中的误差△a。全自动测斜仪确保了每次测读位置的头尾相接，其误差小于 0.1mm，提高了量测精度。由于在基坑的整个检测期间内使用的都是同一传感器，传感器在地下不用取出，每次都是带有完全相同的。因此我们不用进行测回的操作，只采用改变算法的方法，便可消除 95% 以上产生的误差。如图 1 所示。

自动化测斜仪在基坑监测中的优势

（一）提高监测数据的准确性

在基坑监测领域，自动化测斜仪的应用显著提升了数据收集的精确度和可靠性。通过采用高精度的倾斜传感器和先进的数据采集系统，自动化测斜仪能够实时监测基坑的微小变化，从而为工程安全提供更为准确的预警。例如，在某深基坑工程中，通过部署自动化测斜仪，监测数据显示了基坑边坡在降雨后的微小位移，及时地预警从而避免了潜在的滑坡风险。这不仅体现了自动化测斜仪在提高监测数据准确性方面的优势，也验证了其在实际工程中的应用价值。

$$s_{nx} = s_{0x} \pm \sum_{i=1}^{n} 500 \sin \alpha_{ix}$$

$$s_{ny} = s_{0y} \pm \sum_{i=1}^{n} 500 \sin \alpha_{iy}$$

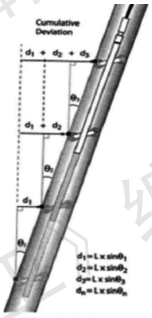


图 1　自动化测斜原理

此外，自动化测斜仪的数据处理软件通常配备有先进的分析模型，如时间序列分析、回归分析等，这些模型能够对收集到的数据进行深入分析，从而揭示基坑变形的规律和趋势。在一项针对基坑监测的研究中，研究者利用自动化测斜仪收集的数据，建立预测模型，成功预测了基坑在不同施工阶段的变形行为，准确率高达 95% 以上。这表明，通过科学的数据分析方法，可以进一步提高监测数据的准确性，为基坑工程的安全管理提供有力支持。

（二）实时监测与数据分析

在基坑监测领域，实时监测与数据分析是确保工程安全

的关键。自动化测斜仪通过其内置传感器，能够连续不断地收集基坑的倾斜数据，并通过无线传输技术将数据实时发送至监控中心。例如，在某大型基坑工程中，通过部署多台自动化测斜仪，监测人员能够每小时接收一次数据更新，及时发现基坑的微小变化。这种实时数据流对于早期预警系统至关重要，它允许工程师使用先进的分析模型，如时间序列分析或机器学习算法，来预测潜在的危险趋势。

Q 自动化测斜仪在基坑监测中的应用

（一）基坑监测实例

本工程项目为某地铁基坑，地下二层结构，长约 482.70m，深度为 17.200m～22.029m。支护结构采用地下连续墙＋内支撑体系，主要采用厚度为 800mm 及 1000mm 的连续墙，坑内竖向加 5～7 道内支撑。第一道采用钢筋混凝土支撑，其余均采用钢管支撑。西端头处采用三道钢筋混凝土支撑和三道钢管支撑。桩长 42.5m，插入比约 1.53。坑底主要位于②2b 淤泥质粘土，局部位于④1b 淤泥质粉质粘土层，墙趾位于⑥4b 层粉质黏土层。基坑安全等级为一级。本站点分为二期三个基坑施工，编号分别为Ⅰ号、Ⅱ号、Ⅲ号基坑，一期施工Ⅰ号、Ⅲ号基坑，待Ⅰ号、Ⅲ号封顶后进行Ⅱ号坑施工。为确保基坑安全及确保基坑稳定性，共设置了 51 个测斜孔，点号依次编号为 CX01 至 CX51，具体布局如图 2 所示。

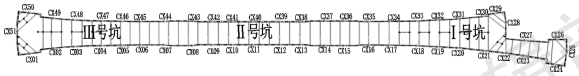


图 2　基坑测斜孔布置

（二）自动化测斜仪的安装与校准

1.安装过程中的关键步骤

在基坑监测领域，自动化测斜仪的安装是确保数据准确性和监测效率的关键步骤。安装过程中，首先需要对基坑的地质条件进行详细分析，选择合适的测斜仪型号和数量，以确保监测点的布置能够全面覆盖基坑的潜在变形区域。例如，在针对深基坑的监测项目中，通过精确计算，我们确定了每隔 20 米设置一个监测点，以捕捉基坑壁的微小位移变化。安装时，测斜管的垂直度必须控制在 0.1％以内，以避免数据偏差。此外，自动化测斜仪的安装还应考虑环境因素，如温度、湿度对设备性能的影响，以确保设备在最佳状态下运行。

2.校准方法与注意事项

在基坑监测中，自动化测斜仪的校准是确保数据准确性的关键步骤。校准过程需要遵循严格的程序和标准，以消除仪器误差和环境因素对测量结果的影响。例如，根据国际标准 ISO 17123—3，测斜仪的校准应包括零点校准和灵敏度校准。零点校准是在无倾斜状态下进行，以确保仪器的初始读数为零；而灵敏度校准则需要在已知倾斜角度的校准架上进行，以确定仪器的响应特性。在实际操作中，校准应定期进行，特别是在环境条件发生变化时，如温度、湿度的波动，以及在仪器移动或运输后。案例分析显示，通过定期校准，可以将测斜仪的测量误差控制在 ±0.1mm/m 以内，这对于确保基坑安全至关重要。此外，数据分析模型的运用，如最小二乘法，可以进一步提高校准的精确度，通过分析多个测量点的数据，优化校准参数，从而提高整体监测系统的可靠性。

（三）数据处理与分析

1.自动化测斜仪数据的收集

在基坑监测领域，自动化测斜仪的引入显著提升了数据收集的效率和准确性。通过实时监测基坑的倾斜变化，这些设备能够连续不断地提供精确的倾斜数据，为工程师提供了宝贵的第一手资料。例如，在案例基坑工程中，通过部署多台自动化测斜仪，监测团队能够每小时收集一次数据，及时发现基坑边缘的微小位移，从而采取预防措施避免潜在的结构风险。数据收集的自动化不仅减少了人为错误，还通过高频率的数据采集，使得分析模型能够更准确地预测基坑的稳定状态。

2.数据处理软件与分析方法

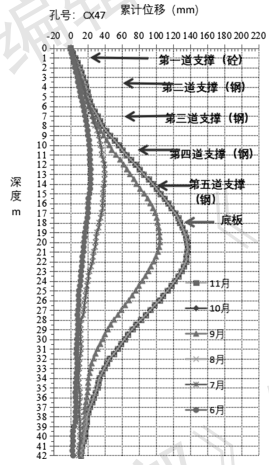
在基坑监测领域，自动化测斜仪的引入显著提升了数据收集的效率和准确性。数据处理软件与分析方法是将这些海量数据转化为有价值信息的关键。例如，通过应用先进的统计分析模型，可以对基坑的位移趋势进行预测，从而为工程决策提供科学依据。在实践中，数据处理软件通常集成了多种分析工具，如时间序列分析、回归分析和机器学习算法，这些工具能够帮助工程师识别数据中的模式和异常，进而优化监测策略。

（四）监测结果分析

针对 CX47 监测点开展的数据分析工作已经完成。本项目自 2023 年 5 月 1 日启动开挖作业，至 2023 年 11 月 28 日完成回填，期间共进行了 163 次监测数据的采集。相关监测结果已详细记录并整理，其中深层水平位移曲线图分别展示于图 3 和图 4。

在基坑开挖阶段，我们注意到随着开挖深度的累计，位移量逐渐变大，尤其在最后两层土方开挖的过程中位移变化最为明显。在最后两层土方开挖的过程中由于采用自动化测斜仪器监测，电脑与仪器远程连接，通过自动化测斜监测的软件平台我们可以以 2 小时/次的频率进行数据反馈，及时提供基坑变形数据。经过深入分析，这一现象的主要成因是基坑开挖过程中开挖深度的增大，中大型土方车辆的碾压及抓斗吊车占位影响。垫层浇筑后变形速率明显收敛，说明基坑收底对围护结构变形影响较大。可以看出 CX47

号测孔累计变形控制超过设计报警值，但基坑整体处于可控状态。随着底板的浇筑完成，基坑的安全与稳定性得到了保障。



注：工况1～7（为第一道支撑～第五道支撑、垫层、底板）

图3　CX47深层水平位移曲线

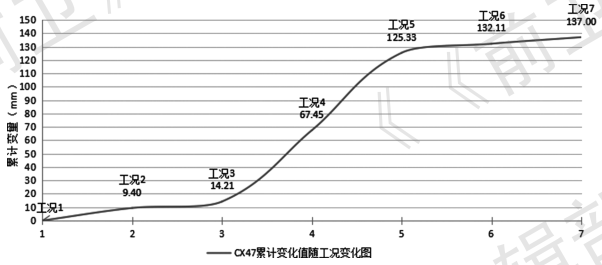


图4　CX47位移变化值随工况变化图

该基坑开挖过程中，地表沉降最大值出现在大致0.75倍的基坑深度位置，累计沉降值为－79.22mm，已超过监测控制值。其余监测断面沉降均值范围为：－25.4mm～－79.22mm，差异性较大，其因地质条件不同，施工方法不同，导致的地表变形控制效果也相差较大。

各监测断面钢支撑轴力设计值均大于实测值，第一道砼支撑轴力有部分超过设计轴力值，说明此基坑开挖过程中砼支撑发挥作用较为理想，轴力数据基本处于较为正常的范畴，整体基坑支撑受力较充分，处于安全稳定的状态。

围护结构顶部最终垂直位移值大部分为下沉，说明该围护结构在基坑开挖过程中主要为沉降（负值）。其分布范围为：－6.24mm～－0.21mm，均值－3.72mm。说明围护结构向下沉降的因素可能是地表沉降和围护结构变形或围护桩未进入稳定土层。

随着基坑结构施工支撑的拆除，围护桩顶水平位移及深层水平位移虽有变化，但整体变化较小，围护墙顶部水平位移累计位移量为1.2mm～2.3mm。深层水平位移同样有变化，但整体变化较小，相对底板浇筑完成后，其变化范围在1.4mm～3.4mm。分析认为，主要是结构强度满足换撑要求，使基坑变形得到控制。

本基坑工程采用了钢筋混凝土及钢管支撑的支护方案，基坑开挖施工期间，围护结构变形累计值普遍超过报警值3倍，变形控制不太理想，但总体上基坑施工过程中基本落实相

关控制措施，基坑整体安全可控。

结束语

总之，自动化测斜仪在基坑监测中提高了数据收集的效率和准确性。数据处理软件和分析方法将大量数据转化为有用信息。本项目中，监测显示，基坑开挖导致地表最大沉降位于基坑深度的0.75倍处，累计沉降－79.22mm，超出控制标准。不同监测断面的沉降值因地质和施工方法不同而有显著差异。钢支撑和第一道砼支撑的轴力设计值均高于实测值，说明基坑支撑系统受力充分，安全可靠。围护结构顶部主要表现为下沉，垂直位移范围在－6.24mm至－0.21mm之间，平均值为－3.72mm，可能由地表沉降和结构变形引起。围护桩顶的水平位移和深层水平位移变化不大，表明结构强度足够，基坑变形控制良好。此外，该设备的使用减少了人力需求，降低了监测成本，同时提高了监测工作的安全性。未来，随着技术的不断进步，自动化测斜仪将更加智能化，能够提供更加精确和全面的监测数据，为基坑工程的安全管理提供强有力的技术支持。

参考文献

[1]诸颖，郭彦，潘伟强，张鹏.自动化测斜技术在深基坑工程风险管控中的应用[J].上海建设科技，2020(05)：55-58.

[2]刘全海，谢友鹏，赵尘衍.三维激光扫描技术在地铁隧道断面测量中的应用[J].北京测绘，2017(s1)：139-142.

[3]董振.基坑支撑内力与深层水平位移监测自动化研究[J].山西建筑，2016(17)：64-65.

[4]李聪，吴立成.基坑围护结构深层水平位移监测方案设计研究[J].建筑结构，2018(S1)：800-803.

[5]李鹏飞，吴立成，陈小华.基坑围护结构深层水平位移量曲线分析研究[J].建筑结构，2018，48(S1)：795-799.

作者简介：

肖海刚（1989－），男，汉族，江西新余人，本科，工程师，杭州市勘测设计研究院有限公司，研究方向：基坑监测。