

深基坑施工中的工程测量

当前，基坑支护设计尚无成熟的方法用以计算基坑周围的土体变形，施工中通过准确及时的监测，可以指导基坑开挖和支护，有利于及时采取应急措施，避免或减轻破坏性的后果。

基坑支护监测一般需要进行下列项目的测量：(1) 监控点高程和平面位移的测量；(2) 支护结构和被支护土体的侧向位移测量；(3) 基坑坑底隆起测量；(4) 支护结构内外土压力测量；(5) 支护结构内外孔隙水压力测量；(6) 支护结构的内力测量；(7) 地下水位变化的测量；(8) 邻近基坑的建筑物和管线变形测量等。

1 深基坑施工监测的特点

1.1 时效性

普通工程测量一般没有明显的时间效应。基坑监测通常是配合降水和开挖过程，有鲜明的时间性。测量结果是动态变化的，一天以前（甚至几小时以前）的测量结果都会失去直接的意义，因此深基坑施工中监测需随时进行，通常是 1 次/d，在测量对象变化快的关键时期，可能每天需进行数次。

基坑监测的时效性要求对应的方法和设备具有采集数据快、全天候工作的能力，甚至适应夜晚或大雾天气等严酷的环境条件。

1.2 高精度

普通工程测量中误差限值通常在数毫米，例如 60m 以下建筑物在测站上测定的高差中误差限值为 2.5mm，而正常情况下基坑施工中的环境变形速率可能在 0.1mm/d 以下，要测到这样的变形精度，普通测量方法和仪器都不能胜任，因此基坑施工中的测量通常采用一些特殊的高精度仪器。

1.3 等精度

基坑施工中的监测通常只要求测得相对变化值，而不要求测量绝对值。例如，普通测量要求将建筑物在地面定位，这是一个绝对量坐标及高程的测量，而在基坑边壁变形测量中，只要求测定边壁相对于原来基准位置的位移即可，而边壁原来的位置（坐标及高程）可能完全不需要知道。

由于这个鲜明的特点，使得深基坑施工监测有其自身规律。例如，普通水准测量要求前后视距相等，以清除地球曲率、大气折光、水准仪视准轴与水准管轴不平行等项误差，但在基坑监测中，受环境条件的限制，前后视距可能根本无法相等。这样的测量结果在普通测量中是不允许的，而在基坑监测中，只要每次测量位置保持一致，即使前后视距相差悬殊，结果仍然是完全可用的。

因此，基坑监测要求尽可能做到等精度。使用相同的仪器，在相同的位置上，由同一观测者按同一方案施测。

2 基坑测量中的仪器

适应基坑监测的上述内容和特点，具体测量中采用了很多新型的测量仪器，本文结合作者在河南参与的工程实例，介绍磁性深层沉降仪和测斜仪等设备。这些新的设备及其技术特点是传统的工程测量不能涵盖的。

2.1 深层沉降仪

深层沉降仪是用来精确测量基坑范围内不同深度处各土层在施工过程中沉降或隆起数据的仪器。它由对磁性材料敏感的探头和带刻度标尺的导线组成。当探头遇到预埋在预定深度钻孔中的磁性材料圆环时，沉降仪上的蜂鸣器就会发出叫声。此时测量导线上标尺在孔口的刻度以及孔口的标高，即可获得磁性环所在位置的标高。通过对不同时期测量结果的对比与分析，可以确定各土层的沉降（或隆起）结果。

深层沉降观测过程分为井口标高观测和场地土深层沉降观测两大部分。井口标高观测按常规光学水准观测方法进行。以下介绍作者在工程实际中使用的加拿大 RockTest 公司产 R-4 型磁性沉降仪，其刻度划分为 1mm，读数分辨精度为 0.5mm。

2.1.1 磁性沉降标的安装

（1）用钻机在场地中预定位置钻孔（实际布设孔位时要注意避开墙柱轴线）。根据各个测点的不同观测目的，考虑到上部结构的重量分布及结构形式以及实际土压力影响深度，综合取定各孔深尺寸及沉降标在孔中的埋设位置。

（2）用 PVC 塑料管作为磁性探头的通道（称为导管），导管两端设有底盖和顶封。将第一个磁性圆环安装在塑料管的端部，放入钻孔中。待端部抵达孔底时，将磁性圆环上的卡爪弹开；由于卡爪打开后无法收回，故这种磁性环是一次性的，不能重复使用，安装时必须格外小心。

（3）将需安装的磁性圆环套在塑料管上，依次放大孔中预定深度。确认磁性环位置正确后，弹开卡爪。测量点位要综合考虑基底压力影响深度曲线和地质勘探报告中有关土层的分布情况。

（4）固定探头导管，将导管与钻孔之间的空隙用砂填实。

（5）固定孔口，制作钢筋混凝土孔口保护圈。

（6）测量孔口标高 3 次，以平均值作为孔口稳定标高。测量各磁性圆环的初始位置（标高）3 次，以平均值作为各环所在位置的稳定标高。

2.1.2 磁性沉降标的测量

（1）在深层沉降标孔口做出醒目标志，严密保护孔口。将孔位统一编号，以与测量结果对应。

（2）根据基坑施工进度，随时调整孔口标高。每次调整孔口标高前后，均须分别测量孔口标高和各磁性环的位置。

（3）每次基坑有较大的荷载变化前后，亦须测量磁性环位置。

2.2 测斜仪

测斜仪是一种可以精确地测量沿铅垂方向土层或围护结构内部水平位移的工程测量仪器，可以用来测量单向位移，也可以测量双向位移，再由两个方向的位移求出其矢量和，得到位移的最大值和方向。本文介绍加拿大 RockTest 公司产 RT-20MU 型测斜仪，其仪器标称精度为 $\pm 6\text{mm}/25\text{m}$ ，探头精度为 $\pm 0.1\text{mm}/0.5\text{m}$ 。

2.2.1 测斜管的埋设

(1) 在预定的测斜管埋设位置钻孔。根据基坑的开挖总深度，确定测斜管孔深，即假定基底标高以下某一位置处支护结构后的土体侧向位移为零，并以此作为侧向位移的基准。

(2) 将测斜管底部装上底盖，逐节组装，并放大钻孔内。安装测斜管时，随时检查其内部的一对导槽，使其始终分别与坑壁走向垂直或平行。管内注入清水，沉管到孔底时，即向测斜管与孔壁之间的空隙内由下而上逐段用砂填实，固定测斜管。

(3) 测斜管固定完毕后，用清水将测斜管内冲洗干净，将探头模型放入测斜管内，沿导槽上下滑行一遍，以检查导槽是否畅通无阻，滚轮是否有滑出导槽的现象。由于测斜仪的探头十分昂贵，在未确认测斜管导槽畅通时，不允许放入探头。

(4) 测量测斜管管口坐标及高程，做出醒目标志，以利保护管口。现场测量前务必按孔位布置图编制完整的钻孔列表，以与测量结果对应。

2.2.2 土体水平位移测量

(1) 连接探头和测读仪。当连接测读仪的电缆和探头时，要使用原装扳手将螺母接上。检查密封装置、电池充电情况（电压）及仪器是否能正常读数。当测斜仪电压不足时必须立即充电，以免损伤仪器。

(2) 将探头插入测斜管，使滚轮卡在导槽上，缓慢下至孔底以上 0.5m 处。注意不要把探头降到套管的底部，以免损伤探头。测量自下而上地沿导槽全长每隔 0.5m 测读一次。为提高测量结果的可靠度，每一测量步骤中均需一定的时间延迟，以确保读数系统与环境温度及其他条件平稳（稳定的特征是读数不再变化）。若对测量结果有怀疑可重测，重测的结果将覆盖相应的数据。

(3) 测量完毕后，将探头旋转 180° ，插入同一对导槽，按以上方法重复测量，前后两次测量时的各测点应在同一位置上；在这种情况下，两次测量同一测点的读数绝对值之差应小于 10%，且符号相反，否则应重测本组数据。

(4) 用同样的方法和程序，可以测量另一对导槽的水平位移。

(5) 侧向位移的初始值应取基坑降水之前，连续 3 次测量无明显差异之读数的平均值。

(6) 观测间隔时间通常取定为 3d。当侧向位移的绝对值或水平位移速率有明显加大时，必须加密观测次数。

(7) RT-20MU 型测斜仪配有 RS-232 接口，可以与微机相连，将系统设置与测量数据在微机与测斜仪之间传输。RockTest 公司还开发有 Acculog-X2000 软件系统，可以自动解释测量数据，完成分析与绘图输出等内业工作。

3 讨论

深基坑施工中测量的目的和特点与普通工程测量迥然不同，其测量的方法和设备与传统的测量也完全不同。其中重要的测量设备除深层沉降仪与测斜仪外，还有振弦式钢筋应力计、土压力盒、孔隙水压力计等，分别适用于不同的专门需求。