

不良地质（明暗浜、浅层沼气）区深基坑工程测量关键技术及应用

李 凯

上海山南勘测设计有限公司 上海 202162

摘要：以上海市轨道交通市域线崇明线东滩站深基坑工程为研究对象，针对场地工程地质、水文地质及不良地质特征，系统阐述深基坑工程监测体系构建、关键技术实施及数据成果分析。详细介绍监测范围与依据确定、监测点布设与保护、监测方法与设备选型等核心内容，结合监测数据深入分析基坑及周边环境变形规律。实践表明，构建的监测体系可精准捕捉基坑变形动态，各项监测技术应用满足规范要求，为工程施工提供科学指导。

关键词：不良地质区；深基坑；工程测量；关键技术；应用

引言：上海市轨道交通市域线崇明线东滩站为地下二层岛式车站，最大开挖深度18.68m，场地分布有淤泥质粘土、砂质粉土等复杂土层，存在浅层沼气、明暗浜等不良地质，水文地质条件复杂。此类地质条件下，基坑开挖易引发围护结构变形、周边地表沉降等问题，对监测技术的科学性与可靠性提出严格要求。本文全面探讨复杂地质条件下深基坑工程监测技术要点，分析监测数据反映的工程实际状态，为类似工程监测方案制定与实施提供技术支撑。

1 深基坑工程监测体系构建

1.1 监测项目与监测频率设定

监测项目围绕基坑本体及周边环境安全展开，主要包括7项核心内容：围护顶部水平及竖向位移监测、围护深层水平位移监测、支撑轴力监测、基坑外地下水水位监测、立柱竖向位移监测、坑周地表竖向位移监测及地表裂缝监测^[1]。各监测项目针对基坑施工不同阶段的受力变形特征，精准捕捉关键部位的状态变化，为工程安全评估提供全面数据支撑。

监测频率根据施工进度及规范要求动态调整，施工前需完成至少3次初值测量；围护结构施工期间监测频率为1次/天，地基加固和降水期间为1次/3天；开挖0~10m期间1次/天，开挖10~15m及开挖 > 15m~浇垫层期间2次/天；浇好垫层至浇好底板后7天内1次/天，浇好底板后7~30天内1次/2天，浇好底板后30~180天内1次/7天；各道支撑拆除至拆除后3天内1次/天。当监测数据变化速率达到报警值、现场发现异常现象等7种情况时，及时提高监测频率，确保风险隐患及时发现。

1.2 监测报警值合理划定

监测报警值依据设计要求及上海市标准《城市轨道

交通工程施工监测技术规范》（DG/TJ08-2224-2017）确定，结合基坑结构特性与地质条件细化各项指标。围护结构顶部竖向及水平位移变化速率报警值为3mm/d（连续2天），小里程端头井预警值29mm、报警值36.2mm，大里程端头井预警值29.9mm、报警值37.4mm，标准段预警值27.2mm、报警值33.9mm。

围护墙深层水平位移变化速率报警值3mm/d（连续2天），分步报警值根据支撑底埋深不同有所差异，如小里程端头井第五道 $\phi 609$ 钢支撑对应分步测斜报警值46.24mm。坑外地下水水位变化速率报警值300mm/d，预警值1000mm；立柱竖向位移变化速率报警值3mm/d（连续2天），预警值20mm；地表竖向位移变化速率报警值3mm/d（连续2天），标准段预警值27.2mm、报警值34mm，工作井预警值28.8mm、报警值36mm；支撑轴力报警值按支撑类型分别设定，第一道混凝土支撑5000kN，609(t=16)钢支撑2500kN，800(t=20)钢支撑3500kN。

2 深基坑工程监测关键技术实施

2.1 监测点布设与保护技术

监测点布设遵循针对性、系统性、安全性及可操作性原则，结合基坑结构、地质条件及监测项目要求科学布置。高程控制网按二等精度执行，布设3个基准点（CMG13-1、CMG13-S、BM1）及3个工作基点（BM2~BM4），工作基点与基准点每月联测1次；平面控制网采用独立坐标系统，以业主交桩平面坐标点为基准点，布设间距 ≥ 100 m的临时观测墩作为工作基点，每30天联测检核1次。

不同监测项目监测点布设各有侧重，围护顶部水平及竖向位移监测点沿长边对称布设，局部重要位置加密，采用冲击钻打孔将水准测钉埋入围护顶圈梁并

固定；围护深层水平位移监测孔每3幅地下连续墙布设1个，采用ABS材质测斜管与地下连续墙钢筋笼绑扎固定，管深与围护深度一致；支撑轴力监测点选择受力较大杆件，沿基坑纵向每2个开挖段（<50m）布1组，混凝土支撑布设4个钢筋应力计，钢支撑采用表面应变计；坑外潜水水位监测点沿基坑纵向间距30m布设，水位管埋置深度8m，滤管段以上用膨润土球封至孔口；坑周地表竖向位移监测点沿平行基坑周边边线布设，地表沉降剖面垂直于基坑边布设；立柱竖向位移监测点布置在基坑中部、多根支撑交汇处等关键位置；地表裂缝监测点针对代表性裂缝在首末端和最宽处布设^[2]。

监测点保护采取多重措施，基准点周边设置砖砌保护墙与警示标志，禁止堆放材料及施工活动，定期复核；测斜管、水位管等易损测点采用优质材质，安装后设置防护盖，向施工单位交底并邀请协助保护；沉降点采用塑料保护盖防护，周边用红色油漆做醒目标志；水位观测孔管口高出地面10~15cm，车辆碾压区域切割至地面同高并加铁井盖；支撑轴力监测点导线避开易破坏区域，防止电焊烫伤或凿锚破坏。对破坏的监测点及时按原要求补设并测定初值，确保监测数据连续性。如下图1所示，为地下连续墙围护测斜管安装实景图

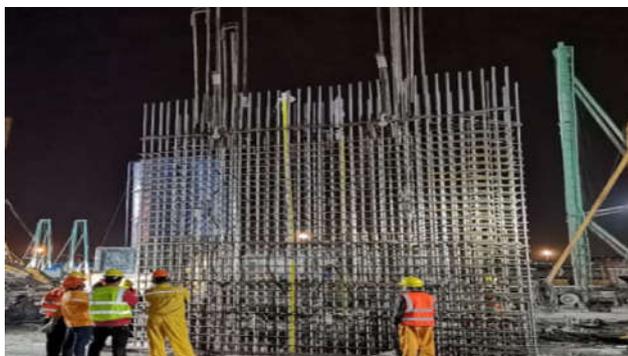


图1 地下连续墙围护测斜管安装实景图

2.2 监测方法与设备选型应用

竖向位移监测采用天宝DINI03数字水准仪配合条码尺，标称精度 $\pm 0.3\text{mm}/\text{km}$ ，按二等变形测量要求观测，作业遵循“三固定”原则，初值测量不少于3次，各点两次高差不得相差0.5mm，数据处理计算本次变化量与累计变化量，符号规定下沉为负、上升为正。水平位移监测采用徕卡TS02全站仪，测角精度 $1''$ ，测距精度 $\pm 1.5\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D$ ，采用极坐标或视准线法监测，观测数据经严密平差后计算位移量。

深层水平位移监测采用北京航天测斜仪，分辨率 $0.02\text{mm}/500\text{mm}$ ，精度 $0.12\text{mm}/500\text{mm}$ ，测斜管稳定后取不少于三次测试平均值作为初始值，每次监测按500mm

间隔读数，旋转 180° 复测消除仪器误差，通过公式计算不同深度水平位移值^[3]。水位监测采用SWJ-80型钢尺水位计，降水前测得孔口高程及水位面到孔口距离，初始水位取连续3次均值，每次监测计算水位累计变化量，定期校正孔口标高。

支撑轴力监测采用振弦式频率接收仪，混凝土支撑通过钢筋应力计监测，钢支撑采用表面应变计，传感器在基坑开挖前一周内连续测读，取连续三天稳定数值的平均值作为初始频率，数据处理按相应公式计算支撑轴力，混凝土支撑需进行温度修正。裂缝监测使用千分尺或游标卡尺，对裂缝宽度与长度进行量测，精度分别为0.1mm和1mm，清晰裂缝通过基准线与比照尺配合摄像计算。

2.3 现场巡视与数据处理流程

现场巡视作为仪器监测的重要补充，涵盖支护结构、施工工况、周边环境及监测设施四个方面。支护结构巡视重点检查冠梁、围檩、支撑裂缝及开展情况，围护墙变形、渗漏情况，墙后土体裂缝、沉陷及滑移情况等；施工工况巡视包括土质条件与勘察报告一致性、基坑开挖分段长度及支撑架设情况、地下水排放状况等；周边环境巡视关注周边管道破损渗漏、建筑倾斜开裂、道路沉陷等；监测设施巡视检查基准点、监测点及监测元件完好情况。巡视以目视为主，辅以量尺、放大镜等工具，做好记录并对主要裂缝编号重点观测，发现异常及时与仪器监测数据综合分析并通知相关单位。

数据处理遵循规范流程，竖向位移监测成果采用闭合水准路线或附合水准路线平差，水平位移监测数据通过控制网平差软件严密平差，深层水平位移、水位、支撑轴力等监测数据按相应公式计算处理。建立数据异常分析机制，结合施工工况与地质条件，对异常数据进行复核与修正，确保数据可靠性^[4]。监测数据按要求形成日报表，截止2024年10月25日，东滩站项目共提交监测日报表316份，为工程施工提供及时数据支持。

3 监测数据成果分析与工程应用

3.1 监测数据总体情况

东滩站深基坑工程监测涵盖多项指标，累计最大变化量各有差异。地表剖面竖向位移最大累计值为B01测点的-83.37mm，17个测点报警；周边道路竖向位移最大累计值为DL03-2测点的-121.84mm，28个测点报警；墙顶竖向位移最大累计值为Q39测点的16.40mm，未超报警值；墙顶水平位移最大累计值为Q33测点的4.0mm，符合要求；立柱竖向位移最大累计值为L04测点的47.10mm，11个测点报警；坑外潜水水位监测最大累计变化量为SW19

测点的206mm,未超预警值;支撑轴力方面,第一道砼支撑最大累计值3140.9kN,第二道钢支撑1958.1kN,第三道钢支撑3195.4kN(3个测点报警),第四道钢支撑3362.6kN(10个测点报警),第五道钢支撑2440.0kN(1个测点报警);围护墙体深层水平位移最大累计值为P07测点的56.46mm,20个测点报警。

3.2 重点监测项目成果分析

地表剖面及周边道路竖向位移监测显示,未开挖前施工便道受大型工程机械碾压已导致部分测点累计量超报警值,土层开挖完成后,坑外地表变化集中在断面点-1/-2/-3区域(1倍开挖范围),呈现“沉降波”效应。近基坑端沉降响应迅速,远基坑端变化平缓,沉降值与基坑开挖过程密切相关,开挖深度越深沉降越大,影响范围垂直于基坑边线向外2~20米。该区域作为施工道路与机械作业区,静动荷载导致周边地表持续下沉,底板浇筑完成后变化速率趋于稳定,沉降速率最大值出现在基坑开挖完成后底板未浇筑之际,与围护墙测斜值变化规律一致,反映基坑开挖引发围护墙体变形及坑外侧土体移动,底板浇筑后地表沉降逐渐收敛。

支撑轴力监测表明,土方开挖后坑内外水土压力差增大,临近支撑轴力明显上升,围护结构变形稳定后轴力变化趋于平稳。垫层浇筑后,上道支撑受力得到平衡,部分轴力有所损失,对轴力损失区域及时复加轴力取得良好效果。整体来看,支撑轴力变化符合基坑开挖变形规律,钢支撑轴力报警主要集中在第三、四道,与该部位受力较大及地质条件复杂相关,通过调整施工节奏、优化支撑布置等措施,确保支撑体系安全稳定。

3.3 监测成果工程应用价值

监测成果为工程施工提供全程技术指导,每次预警后,监测单位复核数据并第一时间通知各参建方,召开分析碰头会形成会议纪要,确定后续措施及注意事项。针对监测数据反映的基坑变形趋势,及时调整施工方案,加大资源投入,跟进支撑架设进度,最大限度减缓基坑变形不利影响。通过加密监测,变形速率逐渐收敛,未出现明显异常,有效控制变形发展,减小施工对周边环境的影响,实现信息化施工目标。

监测数据为工程安全评估提供科学依据,通过分析地表沉降、围护结构位移、支撑轴力等数据,判断基坑及周边环境安全状态,及时发现潜在风险并采取防范措施。例如,针对立柱竖向位移超报警问题,结合坑底土体回弹特性,优化底板浇筑流程,加快垫层与底板施工进度,有效控制立柱位移发展;针对围护结构深层水平位移较大区域,加强支撑轴力复加与巡视频率,确保围护体系稳定^[5]。相关监测技术与数据处理方法,为同类复杂地质深基坑工程提供宝贵实践经验,对推动深基坑监测技术发展具有重要意义。

结语

复杂地质条件下深基坑工程监测是保障工程安全的关键环节,需结合工程实际构建科学完善的监测体系。以上海市轨道交通市域线东滩站工程为例,通过合理规划监测范围、明确监测依据,科学设定监测项目、频率及报警值,实施监测点布设与保护、精准选用监测方法与设备,规范现场巡视与数据处理流程,实现对基坑及周边环境的全面精准监测。监测数据成果准确反映基坑变形规律与安全状态,为施工决策提供及时可靠的技术支持,有效应对复杂地质带来的施工挑战。本次实践积累的监测技术经验与数据处理方法,可为后续同类工程监测方案制定与实施提供参考,助力深基坑工程监测技术在复杂地质场景下的持续优化与创新发展。

参考文献

- [1]蒙长坤,李伟亮,彭洪秋,等.快速处理岩溶区深基坑特殊地质的施工技术[J].四川建材,2024,50(11):130-131,137.
- [2]李四红.复杂地质条件下高层住宅地下室深基坑支护施工技术[J].建材技术与应用,2025(2):101-104.
- [3]谢列平,赵琳,高锐斌.滨海回填区深基坑支护技术分析[J].工程建设,2024,56(8):66-71.
- [4]冯照.老城区复杂环境下综合管廊深基坑支护施工技术[J].黑龙江交通科技,2022,45(2):122-125.
- [5]姜捷.上海临港地区环绕地铁站大型深基坑的施工[J].建筑施工,2022,44(1):26-29.