

引江济淮工程大型枢纽基坑安全监测工程实践

杨兵¹ 沈贤定²

(1. 安徽省引江济淮集团有限公司, 安徽 合肥 230000;
2. 安徽省城建设计研究总院股份有限公司, 安徽 合肥 230000)

【摘要】蜀山泵站枢纽是引江济淮工程最大的节点工程, 其基坑设计开挖深度为 32m。根据勘探孔揭露, 勘探范围地层分别为人工填土 (Qal4), 中、重粉质壤土, 中细砂, 中、重粉质壤土含 (夹) 细砂, 中等风化~新鲜粉、细砂岩等。蜀山泵站进水管通过派河联通巢湖, 北侧出口联通瓦埠湖。施工期制定合理的监测方案, 确定监测项目, 通过将基坑累积变形值和变形速率, 与预警值对比分析, 确定基坑安全状况, 及时采取措施, 对工程安全施工很重要。

【关键词】引江济淮; 枢纽深基坑; 监测方案; 分析评价

一、工程概况

引江济淮工程是跨流域调水工程^[1], 其中蜀山泵站枢纽是规模最大的节点工程。蜀山泵包括泵房、进水闸、泄水闸等建筑物。工程原地面高程为 23~26.5m 左右, 基坑设计底高程 -5.8m, 最大开挖深度 32m, 底宽约 164m, 顶口宽约 300m。基坑设计 6 级边坡, 当开挖至 8.59m 时, 岩石边坡坡比 1: 1.5, 其余坡比 1: 3。基坑坡面及 3m 范围内坡顶采用喷射 50mm 厚细石砼进行防护。

二、监测方案

(一) 监测项目

按照基坑工程监测的相关技术标准规定^[2], 蜀山泵站枢纽基坑安全等级为一级。按照规范、图纸等技术文件要求, 确定基坑监测的范围为基坑各级边坡, 主要内容是对施工期 (特别是汛期、基坑开挖期) 基坑边坡变形情况、稳定性进行监测。

监测项目主要有坡顶竖向位移^[3]、坡顶水平位移^[4]、深层水平位移以及地下水位。

(二) 监测点布置

1. 基准点布置。为了确保工程质量, 基准点选择在不受外界影响的稳定位置, 并能够满足长期保存的要求。此外, 为了方便人员操作, 工作基点选择在易操作的地方^[5]。

为了确保数据的准确性和可靠性, 选择已经存在的稳定施工控制点作为基准点。同时考虑建造标石或观测墩, 以及是否便于人员到达进行观测。

2. 坡顶水平 (竖向) 位移监测点布置。坡顶水平、竖向位移监测点设置为同一点。监测点埋设时先在硬化面用电锤钻出深约 50cm 的孔, 再把长度不小于 70cm 钢筋打入地面, 硬化面以上用混凝土做成强制归心监测墩, 墩顶部埋设强制对中杆件, 待稳固后即

可进行观测, 布点间距约 10m。

3. 深层水平位移监测点布设。安装测斜管时, 钻孔孔径选择 110mm 钻孔。钻孔时做好清孔和密封工作。

4. 地下水位监测点布设。监测地下水位^{[6][7]}, 使用小型钻机钻孔, 钻孔的直径为 100mm。在清理完钻孔后, 安装一根专用的 PVC 塑料管来测量水位。接头处使用套管, 并用自攻螺丝进行了加固。按照设计要求用绿豆砂和微膨胀黏土来填补孔与管之间的空隙。管口外露部位做防护墩台, 并加强防护, 防止异物进入管内。

5. 监测点统计。现场点位统计如下表所示:

表 1 蜀山枢纽基坑监测点数量统计表

序号	点位类别	单位	数量
1	坡顶水平位移监测点	个	60
2	坡顶竖向位移监测点	个	60
3	深层水平位移监测 ^[8]	个	3
4	地下水位监测点	个	4

三、监测仪器及检定

监测项目所有仪器设备均经检定合格。

表 2 现场投入主要监测仪器列表

序号	仪器设备名称	型号规格	数量	编号	用途
1	高精度全站仪	Leica TS60 0.5" (0.6mm+1ppm)	1 台	883922	水平位移监测
2	电子水准仪	Trimble DiNi (0.3±mm/km)	1 台	734001	竖向位移监测
3	测斜仪	武汉基深 CX-3C (±0.01mm/50cm)	1 台	5124	深层水平位移监测
4	水位计	SWJ-90 (±1.0mm)	1 台	#6	地下水位监测

四、监测方法及精度指标

(一) 竖向位移监测基准网

1. 观测方法及要求。竖向位移监测采用独立高程系统，控制网采用水准测量方法，按二等竖向位移监测控制网的技术要求进行观测。附和水准路线从一个已知高程点出发，经过一系列的观测点，最终连接到另一个已知高程点的路线，确保整个监测网络的连续性和一致性，从而提高测量的精度和准确性。

在布设和观测竖向位移监测控制网时，根据现场情况，对基准点定期复测。通过复测，确认监测基准点的稳定性，及时发现问题或变化，确保监测结果的可靠性。

2. 精度要求。竖向位移监测基准网观测各项精度按表 3 的要求。

表 3 竖向位移监测基准网精度要求

等级	测站高差中误差 (mm)	往返较差，附和或环线闭合差 (mm)	检测已测高差之较差 (mm)
二等	± 0.5	$\pm 1.0 \sqrt{n}$	$\pm 1.5 \sqrt{n}$

注：n 为测站数。

(二) 水平位移监测基准网

1. 监测方法。水平位移监测采用假设平面坐标系。基准网采用二等边角测量法进行观测。对水平位移监测基准点与工作基点进行联测，并根据现场情况定期进行复测。

(三) 竖向位移监测

1. 监测方法及要求。竖向位移监测采用二等水准测量方法施测（局部不具备水准测量条件的采用光电测距高程测量方法），形成附和或闭合水准路线，为确保观测精度，观测按照以下要求：（1）按二等水准测量方法施测：奇数站观测顺序为“后-前-前-后”，即首先瞄准后视标尺，然后瞄准前视标尺，接着再次瞄准前视标尺，最后瞄准后视标尺。而偶数站的观测顺序为“前-后-后-前”。

（2）每期观测使用固定的仪器和固定的人员，消除仪器和人员差异对观测结果的影响，确保观测条件的一致性，从而提高观测的准确性和可靠性。（3）观测前对水准仪及配套钢瓦尺进行检验，检查 i 角是否超限，尺面是否磨损。（4）在完成外业观测后，应仔细检查外业记录，确保数据的准确性和完整性^[9]。对于水准环闭合差等参数，应进行严格控制，确保其符合规定的限差要求。

2. 精度要求。竖向位移监测按二等变形测量级别执行，各项精度指标参照竖向位移监测基准点精度要求。

(四) 水平位移监测

1. 监测方法及要求。在水平位移观测中，选择小角度观测法。具体操作步骤如下：首先，在选定的水平位移监测控制点上放上全站仪，并进行整平和对中。然后，将全站仪对准另一端的水平位移监测控制点作为开始方向。接着，按照方向观测法依次测定两监测控制点间的水平位移监测点与测站连线偏离开始方向的角度。

通过全站仪测量，获得所测的角度值和测站点到后视监测控制点的水平距离值。这两个值作为计算变量，用于计算监测点沿垂直于开始方向的位移。

为了确保观测精度，需要确保监测点偏离视线的角度不超过 30'，以减小观测误差并提高观测结果的可靠性。每期观测时，利用全站仪观测各监测点的小角值，观测不应少于 1 测回。

在基坑开挖前，待监测点稳定后，再进行初始值采集以减小误差。每个监测点进行 3 次独立观测，取平均值作为初始值。同时要缩短观测时间间隔，并确保 3 次观测值满足限差值要求。

(五) 深层水平位移监测

1. 监测方法及要求。（1）将测头导轮卡置在预埋测斜导管的滑槽内，轻轻放入测斜导管中，确保测头与测斜导管紧密配合，以减少误差。同时，应避免过度冲击，以防损坏测头或导管。当测头触碰孔底时，确保其平稳接触，防止因碰撞产生误差。为使测斜仪与管内温度基本一致，需在孔底放置测头约 5 分钟。

（2）从最近的深度标志处将测头拉起作为测读起点，每 0.5m 测读一个数据，准确记录每个深度位置的读数。利用电缆标志准确地确定测头在测斜管中的位置，从而减少误差。每次测读时，应使电缆对准标志并拉紧，以确保测量的稳定性，防止因电缆松动产生误差。（3）将测头调转 180° 后重新放入测斜导管，并在相同的深度标志处进行测量。通过将测头调转 180° 进行测量，抵消或减小传感器的零偏和轴对称造成的误差，提高测量精度。进行正反测量，通过比较正反两个方向的测量结果，判断数据的稳定性和准确性。

2. 资料整理。（1）初始值标定：在开始监测之前，必须进行初始值的测定，为后续的监测提供一个基准，使得数据有一个明确的参照。初始值需要进行多次重复观测，以降低各种可能因素的影响（比如环境变化、仪器误差等）。在这些观测数据中，选择收敛最小的一次作为该孔的初始值，确保初始值代表的是一个相对稳定和可靠的位置。（2）符号规定：在水平位移监测中，要明确表示测斜管是向基坑方向偏移还是反方向偏移，设定一个统一的符号标准。测斜管向基坑方向偏移，规定为正值；反之，将其规

定为负值。

(六) 地下水位监测

1. 观测方法。对于水位动态变化的测量^[10]，每次采用几何水准方法测量出水位孔口高程，然后采用 SWJ90 钢尺水位仪量测出孔内水面到孔口的高度，计算求得孔内水面高程。比较历次水面高程的变化得到地下水位的变化量。

2. 资料整理。通过各期水位计读数计算各期阶段水位升降量、阶段变形速率、累计变幅等数据，绘制相应的图表，进行分析。

本期水位变幅 $\Delta H_i = \text{本期高程 } H_i - \text{上期高程 } H_{i-1}$

累计水位变幅 $\Delta H = \text{本期高程 } H_i - \text{初始高程 } H_0$

(七) 巡视要求

定期现场巡视^[11]，及时现场了解施工方案的执行情况，并获取基坑施工的相关信息。

五、监测频率及预警值

监测工作从基坑工程施工前开始，直至地下工程完成。根据《建筑基坑工程监测技术标准》要求，结合现场情况，蜀山枢纽基坑监测频率为：1 次 /3d。

基坑监测临界状态报警值按照《建筑基坑工程监测技术标准》执行。

六、监测工作难点及解决

(一) 本项目监测难点是

1. 蜀山枢纽基坑属特大基坑，具有跨度长、开挖深特点，且临近派河水系，基坑安全风险大，如何及时准确地反映基坑变形趋势是本项目的监测难点。

2. 基坑现场施工条件复杂、重型机械较多，监测点易扰动。如何合理布设监测点是本项目一大难点。

3. 基坑跨度长、开挖深，且两侧通视条件差，如何合理布设基准点是本项目一大难点。

(二) 难点解决办法

1. 实施观测时坚持四固定原则，制定科学观测技术方案，按期巡视检查，及时做好外业监测工作和数据处理、分析工作。

2. 建立监测信息沟通机制，建设、设计、监理、施工等相关单位信息及时共享。

3. 监测点布设选在远离机械设备运行的道路边，用混凝土石墩深埋在基坑边坡斜面上，在监测点附近做好标识。

4. 在基坑两侧二级放坡平台上各设置一个强制对中观测墩，在基坑两侧各选用 2 ~ 3 个点后视基准点，定期对基准点的稳定性进行检核。

七、监测过程及监测成果

(一) 监测过程

监测工作自 2020 年 5 月 30 日开始，至 2022 年 2 月 15 日结束，共历时 654 天。共监测 215 次，出

具监测日报表 215 期，提交监测月报 21 期。

(二) 监测成果

监测期间对基坑边坡及周边构筑物进行巡查，巡查结果显示基坑未出现大范围的坍塌，边坡未出现明显裂缝。2020 年 7 月进入汛期，急速上升的洪水导致基坑充水，边坡局部出现裂缝、沉降现象。

八、结论

变形速率和累计变形值都在控制值范围内：这表明基坑在开挖过程中，其支护结构能够有效地抵抗土压力和其他外部载荷，保持结构的稳定。同时，监测数据也反映出支护满足设计要求。

基坑从开挖到回填过程中，整体处于安全可控状态：表明在整个施工周期内，基坑的状态是受控的，没有出现重大安全隐患或事故。

参考文献：

- [1] 王飞，朱长先，崔朋，等. 引江济淮工程建设期"一张图"管理平台设计与实现[J]. 水利技术监督，2023(8):24-27，63
- [2] 张明军. 克孜尔水库右坝肩倾倒体边坡稳定分析[J]. 水利规划与设计，2017(12):143-145.
- [3] 伍天赐. 软土地基深基坑地表竖向位移监测与分析[J]. 水利技术监督，2022(5):24-28，36.
- [4] 陈亮. 沿江深基坑度汛风险分析与应对措施研究[J]. 水利技术监督，2022(11):247-249.
- [5] 李晓宏. 监测技术在水利工程基坑施工中的应用[J]. 水利规划与设计，2016(3):57-59.
- [6] 豆换换，张彦洪，田泽润，等. 降雨对黄土边坡稳定性的影响研究[J]. 水利规划与设计，2023(4):95-98.
- [7] 林福地，后钱峰，欧明喜. 降雨对路堤边坡影响的数值模拟研究[J]. 水利规划与设计，2023(7):126-132.
- [8] 林太清，章李乐，戴国强. 水利工程基坑安全监测与工程实践[J]. 水利规划与设计，2022(5):118-121.
- [9] 王涛，崔莹莹. 某进水闸粉砂地基碎石桩加固前后沉降模拟分析[J]. 水利规划与设计，2017(10):165-167.
- [10] 王云峰，冯瑾. 甘肃舟曲滑坡易发性分析与治理效果研究[J]. 水利规划与设计，2022(2):68-71.
- [11] 白向华. 基于数值分析法的岩质边坡开挖应力状态分析[J]. 水利规划与设计，2020(1):137-139.

作者简介：杨兵（1986.8—），男，汉族，安徽砀山工程师建筑安全。