

# 深基坑工程施工安全监测与风险预警研究

文 / 李建锋 海宁市交通运输局

**摘要：**深基坑工程施工过程中的安全监测与风险预警是确保工程质量和人员安全的关键环节，直接影响着城市地下空间开发的成败。本文以嘉兴至海宁射线紫薇快速通道工程为例，系统分析了深基坑施工安全监测的技术要点，包括监测点位优化布设、数据采集频率动态调整、三级预警阈值科学设定、现场可视化实时展示等关键技术；构建了涵盖人工巡查经验预判、传统仪器监测预警、风险分区动态管控、全员参与应急演练的综合预警策略体系。以期

为深基坑工程施工提供可操作性强的安全管理方案，推动基层施工单位安全管理水平提升。

**关键词：**深基坑工程；安全监测；风险预警；分级管理；应急响应

## 引言

深基坑施工具有开挖深度大、支护体系复杂、周边环境敏感等特点，其安全性直接关系到工程进度、质量和周边建筑物的稳定。特别是在软土地区和地下水位较高的冲海积平原地带，基坑开挖过程中的土体变形、地下水渗流、支护结构受力等因素相互影响，形成复杂的力学体系。建立科学完善的监测体系和风险预警机制，能够实时掌握基坑动态变化规律，及时发现潜在风险并采取针对性措施，已成为保障深基坑工程施工安全的必然要求。

### 一、工程概况

#### (一) 工程概况

嘉兴至海宁射线紫薇快速通道工程横跨嘉兴市袁花镇、硖石街道、马桥街道三个行政区域，东起常台高

速硖石互通收费站外广场，西至麻泾港西侧与紫薇快速路顺接，全线长 5.084 公里，见图 1-1。工程采用立体化交通布局，主线高架桥总长 4.25 公里，桥宽 27 米，按一级公路标准建设，双向六车道设计，时速 80 公里；地面辅路长 3.04 公里，路基宽 31.5 米，双向四车道，时速 60 公里。沿线需连续跨越洛塘河、都家桥港、麻泾港等 7 条河道，其中洛塘河为 VII 级航道，都家桥港为 V 级航道，涉水施工段落多。同时工程需上跨军湖路、G524 国道、规划联民路、碧云南路等交通要道，施工期间交通疏导压力大。全线设置菱形互通 1 处、定向匝道 1 对、主辅路出入口 1 对，桥梁基础施工涉及深基坑作业点位密集，加之周边分布有军用光缆、燃气管道、110 千伏高压铁塔等重要设施，施工安全风险点多面广。

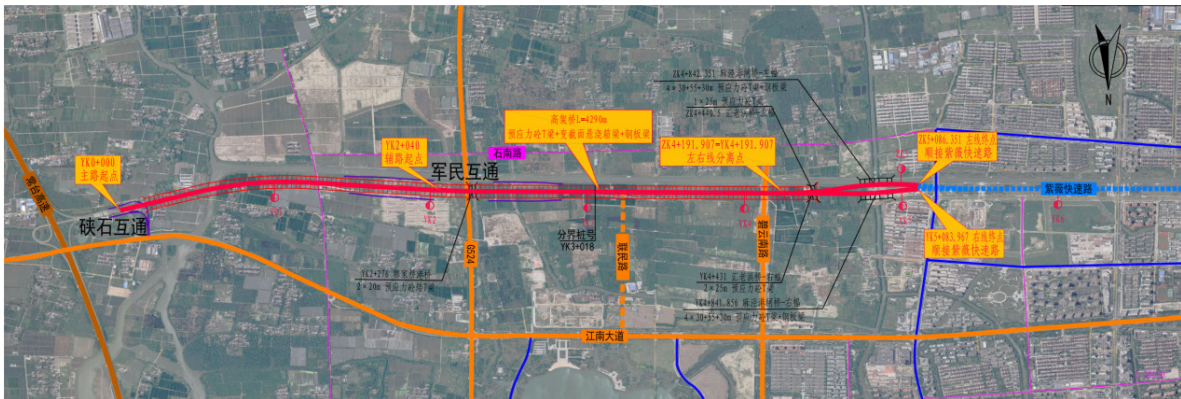


图 1-1 路线平纵缩图

### 二、深基坑工程施工安全监测要点分析

#### (一) 监测布点策略与精度控制

监测点布设采用网格化与重点强化相结合的布置方式，确保监测覆盖无死角。支护结构顶部监测点严格按 15 米间距布设，遇基坑转角处加密至 8 米，阳角部位设置双测点互为校核，每个测点采用不锈钢标志并浇筑混凝土墩保护（见表 2-1）。针对 G524 国道下方军用光缆，在其两侧各布设 3 个监测断面，每断面设地表沉降点和深层位移点各 2 个，形成立体监测网，深层位移监测孔深度达到基坑底以下 5 米。碧云南路侧 110 千伏高压铁

塔基础周围布设 8 个沉降观测点，呈环形分布，监测其不均匀沉降，观测点距铁塔基础边缘 2 米，采用强制对中装置提高观测精度<sup>[1]</sup>。水平位移监测采用徕卡 TM50 全站仪，每次观测前进行温度气压改正，采用正倒镜观测取均值，将测量误差控制在 ±1.5 毫米内。沉降观测使用天宝 DiNi03 电子水准仪，配合钢瓦标尺，往返测量闭合差不超过 0.3 毫米。每个监测点设置保护装置，防止施工破坏，并建立点位坐标台账，损坏后 24 小时内恢复。所有仪器每月送检校准一次，建立仪器使用档案，记录每次校准结果。

表 2-1 深基坑监测点布设技术参数表

监测项目	测点间距 (m)	监测精度 (mm)	埋设深度 (m)	保护措施
支护结构水平位移	15 (转角处 8)	±1.5	0.5	不锈钢标志 + 混凝土墩
地表沉降观测	20	±0.3	1.0	强制对中装置
深层土体位移	30	±2.0	基坑底 -5.0	PVC 管 + 保护盖

(二) 数据采集频率与异常识别

数据采集实行“分阶段差异化、分区域精细化”的动态管理模式。开挖深度 0 至 5 米阶段，每天早 7 点晚 5 点各测一次；5 至 10 米阶段，每 8 小时测一次，分别在早 6 点、下午 2 点、晚 10 点进行；超过 10 米或接近设计深度时，每 4 小时测一次，安排专人 24 小时值守。暴雨、连续降雨超过 30 毫米时，雨后连续 3 天加密监测，每 2 小时观测一次，重点关注支护结构变形和地下水位变化。针对洛塘河、都家桥港附近基坑段，考虑潮汐影响，在涨潮前后各增加一次监测，并记录潮位高度与监测数据的相关性。异常识别建立“三率两值”判定标准：日变化率超过 3 毫米、小时变化率超过 1 毫米、变化加速率出现突变、累计值达到控制值 70%、连续 3 次测值呈加速趋势，满足任一条件即判定异常<sup>[2]</sup>。每日监测数据录入专用软件，自动生成位移-时间曲线、速率变化图，系统自动标注异常点并发出预警提示，同时发送短信至项目管理人员手机。

(三) 预警阈值设定与分级管理

表 2-2 不同地质条件下支护结构位移预警阈值表

地质条件	黄色预警 (mm)	橙色预警 (mm)	红色预警 (mm)	日变化率限值 (mm/d)
软土地层	18	24	30	3
硬土地层	24	32	40	2
暗塘暗浜段	15	20	25	2

(四) 现场可视化与应急保障

现场入口设置的 55 英寸 LED 显示屏实时滚动显示基坑各测点最新数据，采用图表结合方式，位移用柱状图、沉降用曲线图、水位用液位图直观展示，配备 UPS 电源确保 24 小时不间断显示。屏幕分四个区域：左上角显示实时数据，右上角显示 24 小时变化趋势，左下角显示预警状态，右下角显示应急联系方式，界面设计简洁明了，工人一看就懂。数据每 30 分钟自动更新，异常数据用红色闪烁提醒，同时配备语音播报系统，用中文播报预警信息。在基坑四周设置 10 个监测公示牌，标明该区域风险等级、监测数据、注意事项、责任人姓名电话，每天更新数据。应急物资按“分类存放、定期检查、随用随补”原则管理，钢板桩 200 根、工字钢 100 根、沙袋 2000 个、水泵 10 台分区存放，建立物资进出库台账，每周检查一次设备完好率，确保应急时能立即投入使用。应急通道宽度不小于 4 米，转弯半径不小于 9 米，地面硬化处理并划设标线，确保应急车辆通行。

预警阈值设定充分考虑工程实际和地质特点，实行差异化标准。对于软土地层段基坑，支护结构水平位移控制值设为 30 毫米，黄色预警 18 毫米，橙色 24 毫米，红色 30 毫米；硬土地层段相应放宽至 40 毫米，但变形速率控制更严，日变化率超过 2 毫米即进入预警。地表沉降控制更严，邻近建筑物一侧控制值 15 毫米，管线一侧 20 毫米，道路一侧 25 毫米，分区制定不同标准（见表 2-2）。地下水位变化预警值根据季节调整，雨季下降超过 1 米即黄色预警，1.5 米橙色预警，2 米红色预警；旱季相应标准可放宽 0.5 米。支撑轴力监测预警值按设计值的百分比设定，达到设计值 80% 黄色预警，90% 橙色预警，100% 红色预警。预警响应实行“分级负责、逐级上报”机制：黄色预警由现场技术员处置，2 小时内加密监测并设置警戒带；橙色预警项目经理到场指挥，4 小时内制定加固方案，必要时局部回填；红色预警总工程师坐镇，立即停工，启用应急预案，1 小时内疏散人员，2 小时内完成临时支撑<sup>[3]</sup>。

三、深基坑工程施工风险预警策略构建

(一) 人工巡查机制与经验预判

专职巡查小组由 2 名高级技术员和 3 名安全员组成，要求技术员具备 8 年以上基坑工程经验，安全员持有安全员 C 证且从事基坑安全管理 3 年以上。巡查路线按“S”形设计，确保覆盖基坑所有边线，每条边线停留观察时间不少于 5 分钟，重点部位停留 10 分钟。巡查采用“望闻问切”四步法：望即观察支护桩身有无鼓包、裂缝宽度是否扩大；闻即听有无土体撕裂声、钢支撑异响；问即询问作业人员有无异常发现；切即用手触摸混凝土表面感知温度异常<sup>[4]</sup>。经验预判依据“三看三测”：看裂缝走向判断应力方向，看渗水颜色判断水源，看土体颜色变化判断含水状态；测裂缝宽度变化速率，测渗水流量，测地表高差。发现支护结构新增裂缝超过 0.5 毫米、渗水由清变浊、土体由于变湿等征兆，立即拉设警戒线，30 分钟内完成临时支撑架设。巡查日志采用专用表格，包含 15 个必填项，配图不少于 10 张，每周汇编成册存档，作业流程见图 3-1。

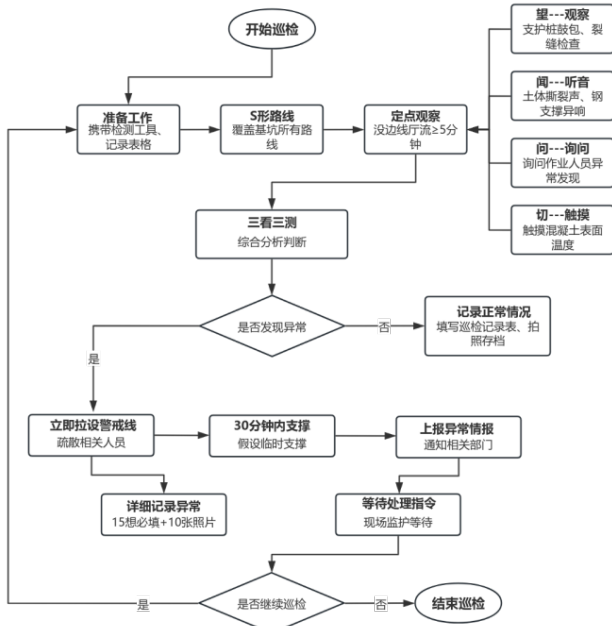


图 3-1 基坑巡查小组现场巡检作业流程图

(二) 传统监测手段与数据预警

测斜仪监测按 0.5 米间距逐段测量，每孔测量时间控制在 20 分钟内，避免温度变化影响精度。测斜管理设深度超过基坑底 5 米，确保捕捉滑动面位置。每个测斜孔配备专用保护盖，防止杂物掉入影响测量。水位观测井采用

直径 50 毫米 PVC 管，底部 2 米段开孔包滤网，每天早上 7 点、下午 3 点定时观测，用钢尺水位计测量，精确到厘米。钢筋应力计安装在支撑跨中和端部，每根支撑不少于 3 个测点，采用振弦式应力计，量程为设计轴力的 1.5 倍。土压力盒按深度每 3 米布设一个，紧贴支护结构安装，导线穿管保护引至地面接线盒。简易报警装置包括机械式裂缝报警器和浮球式水位报警器，裂缝报警器设定值为 2 毫米，触发后蜂鸣器响度达 85 分贝；水位报警器设两级报警，下降 1 米黄灯亮，1.5 米红灯亮并蜂鸣。

(三) 风险分区管控与动态调整

风险分区采用网格化管理，将基坑划分为 10 米 × 10 米的网格单元，每个单元设置标识牌，用红黄绿三色标示风险等级。高风险区包括基坑东北角阳角处、开挖深度超过 12 米区域、距 G524 国道军用光缆 8 米范围内、110 千伏铁塔 20 米范围内，这些区域挂红色标识牌，设置 1.2 米高防护栏杆，安排专人 24 小时值守。中风险区为位移速率 1-2 毫米/天、距建筑物 15-30 米的区域，挂黄色标识牌，每 2 小时巡查一次。低风险区为远离建筑物、监测数据稳定区域，挂绿色标识牌，正常巡查（见表 3-1）。动态调整每 3 天进行一次，根据最新监测数据重新评估风险等级<sup>[5]</sup>。高风险区施工采用“短进尺、强支撑、快封闭”原则，每次开挖不超过 2 米立即架设支撑；中风险区采用跳仓法施工，分段长度 6 米，间隔开挖；低风险区可连续开挖，但日进尺不超过 3 米。

表 3-1 风险分区施工控制技术参数表

风险等级	单次开挖进尺 (m)	支撑架设时间 (h)	巡查频次 (h/次)	防护栏杆高度 (m)	警戒范围 (m)	最大施工人数 (人)	应急物资配备
高风险区	≤ 2.0	4	连续值守	1.2	15	6	钢板桩 50 根 + 水泵 2 台
中风险区	≤ 3.0	8	2	1.0	10	10	钢板桩 30 根 + 水泵 1 台
低风险区	≤ 3.0	12	8	0.8	5	15	沙袋 200 个
特殊保护区	≤ 1.5	2	连续值守	1.5	20	4	钢板桩 80 根 + 水泵 3 台

(四) 全员参与体系与应急演练

入场教育培训分三级进行：管理人员接受 8 课时专业培训，涵盖基坑力学原理、监测数据分析、应急处置流程；技术工人接受 4 课时操作培训，重点讲解危险源识别、安全操作规程；普通工人接受 2 课时基础培训，强调安全纪律、疏散路线。风险告知卡采用防水材质制作，尺寸 10×7 厘米，正面印制 10 条核心安全要求，反面印制应急联系电话和疏散图，要求佩戴在安全帽上。班前会增设“基坑安全一分钟”环节，班组长带领复述当日风险点。应急演练采用“突击式”方式，不提前通知演练时间，由安全总监随机启动<sup>[6]</sup>。演练科目包括：5 分钟内完成人员疏散到位率达 95%，10 分钟内应急物资到位，15 分钟内临时支撑开始安装，30 分钟内恢复安全状态。演练评分表包含 20 个评分项，80 分以下需在一周内重新演练。建立“安全积分”制度，发现隐患奖励 10 分，违章扣 20 分，积分与月度绩效挂钩，充分调动全员参与积极性。

结语

深基坑工程施工安全监测与风险预警是一项系统工程，需要科学的技术手段和完善的管理体系共同支撑。

通过建立全方位的监测网络、制定分级预警机制、实施动态风险管控、强化全员参与意识，能够有效提升深基坑工程的安全管理水平。本研究提出的监测要点和预警策略，充分考虑了基层施工单位的实际条件，强调传统手段与经验判断的结合运用，具有较强的可操作性。未来应继续完善监测技术标准，加强人员培训，推动深基坑工程安全管理向标准化、规范化方向发展。

参考文献

[1] 许春明. 大型深基坑工程施工风险控制研究 [J]. 建筑施工, 2025, (06): 825-828.  
 [2] 杨琼英. 基坑施工风险分析及效果评价 [J]. 北方建筑, 2025, 10(03): 163-166.  
 [3] 邵祥顺. 高层房屋建筑深基坑工程施工安全管理研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(04): 152-154.  
 [4] 卢珊珊. BIM 技术在深基坑施工风险评估中的研究与应用 [D]. 南昌大学, 2019.  
 [5] 安康. 房建深基坑工程施工安全问题分析 [J]. 江西建材, 2018, (12): 36+38.  
 [6] 赖朝晖. 深基坑工程施工安全管理及控制措施 [J]. 中小企业管理与科技 (中旬刊), 2018, (05): 148-149.