

基坑内支撑拆除施工实时监测技术及工程应用研究 —长沙某城市商业中心深基坑应用实践

刘广庆 刘和鑫

湖南省核地质调查所, 湖南 长沙 410000

[摘要] 基坑内支撑拆除是深基坑施工周期内风险最高、受力体系转换最剧烈的关键工序, 支撑分步卸荷会引发围护结构、坑内土体、主体换撑结构应力重分布, 极易诱发围护墙体侧移、地面不均匀沉降、周边建构筑物及市政管线破损, 甚至引发基坑整体失稳坍塌事故。传统人工定时监测存在数据滞后、频次不足、应急响应慢等短板, 无法适配拆撑动态卸荷施工工况。本文结合基坑监测技术标准要求, 剖析拆撑阶段受力变形机理, 阐述自动化实时监测系统布设要点、监测指标与预警机制, 结合长沙某城市商业中心深基坑工程论证实时监测应用价值, 分析监测数据变化规律与施工联动管控策略。研究表明: 拆撑全过程实时监测可实现变形、内力数据及时采集、超标自动预警, 动态优化拆撑施工工序, 有效规避基坑施工安全风险, 保障主体结构、周边道路及建筑物和施工人员安全, 可为同类深基坑拆撑施工监测与安全管控提供工程参考。

[关键词] 深基坑; 内支撑拆除; 实时监测; 应力转换; 变形预警; 施工安全

DOI: 10.64635/ja.2026.1407

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Research on Real-Time Monitoring Technology and Engineering Application for Internal Support Demolition Construction in Foundation Pits: Application Practice in a Deep Foundation Pit of an Urban Commercial Center in Changsha

Liu Guangqing, Liu Hexin

Hunan Institute of Nuclear Geological Survey, Changsha, Hunan 410000, China

Abstract: Internal support demolition in foundation pits is a key procedure with the highest risk and the most drastic transformation of the stress system during the construction cycle of deep foundation pits. Step-by-step unloading of supports can lead to stress redistribution in retaining structures, soil inside the pit, and main structural support-replacement systems, which may easily induce lateral displacement of retaining walls, uneven ground settlement, damage to surrounding buildings, structures, and municipal pipelines, and even overall instability and collapse of the foundation pit. Traditional manual periodic monitoring has shortcomings such as delayed data acquisition, insufficient monitoring frequency, and slow emergency response, making it unable to meet the requirements of dynamic unloading conditions during support demolition. Based on the requirements of foundation pit monitoring technical standards, this paper analyzes the stress and deformation mechanism during the support demolition stage, expounds the layout points, monitoring indicators, and early-warning mechanism of an automated real-time monitoring system, and demonstrates the application value of real-time monitoring through a deep foundation pit project of an urban commercial center in Changsha. It also analyzes the variation patterns of monitoring data and construction-linked control strategies. The study shows that real-time monitoring throughout the support demolition process can realize timely acquisition of deformation and internal force data, automatic warning of threshold exceedance, and dynamic optimization of support demolition procedures. It can effectively avoid safety risks in foundation pit construction and ensure the safety of the main structure, surrounding roads, buildings, and construction personnel, providing engineering reference for monitoring and safety control in similar deep foundation pit support demolition projects.

Keywords: deep foundation pit; internal support demolition; real-time monitoring; stress transformation; deformation early warning; construction safety

前言

现阶段城市建设用地日趋紧张,房建、市政地下车库、综合管廊工程深基坑开挖深度持续加大,钢筋混凝土内支撑、钢支撑成为主流基坑支护形式。基坑施工遵循“开挖支护、底板成型、换撑加固、支撑拆除”工艺流程,内支撑拆除工序打破原有水土压力平衡体系,原有支护支撑轴力逐步释放,水土侧向荷载转移至基坑围护结构、底板及换撑构件,瞬时应力突变、不平衡卸荷均会导致基坑变形失控。

常规人工监测每日1~2次采集数据,数据时效性差,无法捕捉拆撑瞬间轴力突变、墙体瞬时位移等关键数据,存在安全监管盲区;同时城市基坑周边密布居民楼、城市主干道道路、给排水燃气电力管线,对沉降、倾斜变形阈值要求严苛。基于自动化传感、无线传输技术的拆撑实时监测体系,能够实现24h不间断数据采集、云端传输、多级预警,构建“监测-分析-反馈-整改”闭环管控体系。本文立足于施工实际,系统探究拆撑实时监测核心意义、技术体系、管控要点与工程应用效果。

1 基坑拆撑阶段工程风险与传统监测缺陷

1.1 拆撑施工核心风险机理

一是支护结构变形风险:分层分段拆除内支撑后,围护桩、支护体系侧向约束大幅削弱,土体侧向土压力、水压力直接作用于围护结构,诱发基坑侧壁墙体深层水平位移、基坑顶水平和竖向位移超标,基坑支护体系突变产生裂缝;二是支撑内力突变风险:非对称、超量拆除支撑会造成相邻未拆除支撑轴力陡增,引发支撑开裂、爆裂、倾覆;三是周边环境破坏风险:地层应力传递至基坑外部,引发地表沉降、道路开裂、既有房屋倾斜、地下管线拉伸破损;四是换撑失效风险:主体楼板、后浇带、换撑梁未达到设计强度提前拆撑,换撑体系无法承接荷载,直接诱发基坑失稳。

1.2 传统人工监测固有缺陷

第一,数据滞后性强,人工监测间隔时间长,无法捕捉切割、破碎支撑瞬间瞬时变形与轴力峰值;第二,应急联动滞后,变形超标后无法第一时间预警,极易错失最佳加固、停工处置时机;第三,人力作业受限,夜间、暴雨天气高危工况下人工监测作业难度大、安全隐患高;第四,数据碎片化,无法形成连续变化曲线,难以预判变形发展趋势;第五,无法适配均衡拆撑、分区卸荷的动态施工调控需求。

2 拆撑施工实时监测核心内容与布设原则

2.1 核心监测指标

依据一、二级深基坑相关设计标准及行业规范,基坑

拆撑施工的实时监测内容,可划分为结构内力、基坑变形及周边环境三大监测类别。具体监测项目涵盖:一是支撑内力监测,实时跟踪待拆除支撑及保留支撑的轴力变化情况;二是围护结构监测,重点监测地下连续墙、排桩的深层水平位移,以及墙顶竖向、水平位移数据;三是坑内体系监测,包含立柱竖向不均匀沉降与换撑梁应力状态监测;四是周边环境监测,全面采集基坑周边地表沉降、临近道路沉降、建构筑物倾斜裂缝及地下管线位移等关键数据。

2.2 测点布设基本原则

本次监测测点布设严格遵循重点区域加密、风险点位优先、全域覆盖无死角的施工监测原则。在基坑内支撑主梁、次梁的跨中及支座位置布设轴力传感器,在基坑长边、阳角及紧邻建构筑物的关键断面布置测斜设备,同时在基坑外侧道路、建筑基础位置配套布设沉降、倾角自动化监测传感器。所有监测设备统一接入无线物联网采集终端,实现监测数据全自动采集与云端实时上传。其中拆撑核心作业区域监测频次加密至30秒每次,常规施工工况下保持30分钟每次的采集频率。

2.3 三级预警管控阈值

结合项目设计参数及国家现行规范要求,本次基坑拆撑施工设置黄、橙、红三级预警管控机制,对应不同处置标准。当变形、支撑轴力达到设计限值的70%时触发黄色预警,需放缓拆撑施工进度,加强现场巡查;数据达到设计限值80%时触发橙色预警,立即暂停该区域拆撑作业,排查施工卸荷状态及隐患;数值达到设计限值100%或监测变形速率突发激增时,启动红色停工预警,全面停止现场施工,第一时间开启应急加固处置方案。

3 拆撑工序实施实时监测的核心工程意义

3.1 筑牢安全底线,遏制重大坍塌事故

实时监测实现拆撑受力转换全过程动态监控,精准捕捉支撑卸荷瞬间内力波动、围护结构瞬时变形速率,区别于肉眼巡查、人工复测的被动管控模式。针对不对称拆撑、超范围拆撑、提前拆撑违规施工行为,依托实时数据快速识别失稳前兆,提前预判基坑滑移、支撑坠落、围护垮塌风险,从源头规避深基坑一级安全事故,同时保障现场切割、破碎施工人员及大型机械设备作业安全。

3.2 保护周边构筑物与市政道路管线

城市主干道基坑周边多配套主干道、市政雨污管线、民居建筑,地层微小沉降位移即可引发道路开裂、房屋墙体裂缝、管线渗漏破损。实时监测全天候监控外部环境变

形数据,提前缓释地层应力,优化拆撑分区、分段、对称施工方案,严控土体不均匀沉降,保护既有建筑、城市主干道通行道路及地下管线完好,降低周边民生设施修复成本。

3.3 动态指导施工,优化拆撑施工工艺

拆撑施工严禁野蛮卸荷、一次性整体拆除,实时监测数据为施工方案调整提供量化依据:通过两侧围护变形、支撑轴力数据比对,落实“先换撑、后拆撑、分层对称、均衡卸荷”施工要求;若监测数据波动平稳,可有序推进施工;若变形速率持续上涨,即刻缩小单次拆除体量、延长卸荷静置时间;同时核验底板、换撑结构受力承载性能,验证受力体系转换合理性,优化整体施工工期。

3.4 满足规范验收要求,厘清工程责任

依据基坑监测标准 GB 50497 要求,深基坑支撑拆除危大工程配置自动化实时监测系统,实时监测曲线、预警台账、处置记录为基坑分部分项验收、主体结构竣工验收提供连续和实时数据。同时全过程连续监测数据可实现风险溯源,区分地质条件、施工工序、方案设计诱发的工程问题,界定施工单位、监测单位、监理单位安全质量责任,规避后期纠纷。

3.5 节约工程造价,管控工期成本

依托实时监测前置风险预警,避免基坑加固、道路抢修、房屋纠偏、管线更换等高额返工费用;减少突发安全事故导致的全面停工、工期延误问题,实现拆撑工序连续标准化施工,兼顾施工安全与经济效益,优化项目整体造价与施工总进度。

4 工程实例应用分析

4.1 项目概况

长沙某城市商业中心深基坑支护工程项目,基坑支护侧壁安全等级为一级,设计三层地下室,深基坑开挖深度 16.1m,采用桩+锚索支护+二道钢筋混凝土内支撑支护,周边临近城市主干道和周边复杂环境(邻近基坑分布高层建筑和居民小区)见图 1:基坑支护全貌图。



图 1 基坑支护全貌图

基坑北侧紧邻 3.5m 宽城市交通主干道,道路两侧为

民居住宅,基坑规划拆除上部第一道、下部第二道内支撑,施工风险等级二级,见图 2:基坑内支撑拆除现场。



图 2 基坑内支撑拆除现场

内支撑拆除施工期间,监测单位采用传统人工监测加自动化监测手段,全域布设自动化轴力、测斜、沉降实时监测设备,对接云端监测平台。见图 3:内支撑拆除期间的实时监测现场照片。



图 3 内支撑拆除期间的实时监测现场照片

4.2 监测应用效果

项目拆撑施工期间,实时监测系统累计未触发黄色预警及橙色预警,局部拆撑引发北侧基坑位移有所增大、邻近支撑轴力上浮;现场依据监测反馈立即调整施工顺序,改为两端对称同步拆除、缩小单次拆除跨度,变形数据快速回落。全过程基坑围护结构、北侧城市交通道路、周边民居变形均控制在设计阈值内,无开裂、沉降超标问题,拆撑施工按期完工。对比同区域传统监测项目,本项目安全隐患整改效率提升 80%,周边环境维修费用降低 95%。

4.3 数据规律总结

监测数据显示:单跨支撑切割拆除后 0~2h 为应力、变形波动高峰期,2~6h 地层应力逐步趋于稳定;对称分段拆撑工况下,围护水平位移、道路沉降变形量较单向一次性拆撑降低 47%,验证了实时监测联动对称施工方案可行性。

5 施工管控优化建议

- (1) 暴雨、地下水富集工况下,加密实时监测采集频次,同步叠加坑外水位监测,规避水压力加剧变形风险;
- (2) 建立施工、监理、监测三方联动预警机制,预警信息一键推送管理人员,落实闭环整改;
- (3) 老旧基坑、临

近道路民居基坑,优先选用无线自动化实时监测设备,减少现场监测布设工作量;(4)严禁未达换撑设计强度提前拆除支撑,依托监测数据核验结构承载能力后方可开工。

6 结论

(1) 基坑内支撑拆除属于受力体系重构高危工序,传统人工监测存在数据滞后、管控盲区等短板,无法满足现代深基坑安全管控要求,自动化实时监测是拆撑施工安全管控核心技术手段;

(2) 拆撑实时监测可实现支撑内力、围护变形、周边道路及建筑物变形全天候动态感知、分级预警,既能够防控基坑坍塌结构性风险,又可以保护临近城市道路、民居、地下管线周边环境;

(3) 实时监测数据可动态优化对称、分层、均衡拆撑施工工序,完成受力转换核验,同时满足危大工程规范验收、责任溯源管理要求,兼具安全、技术、管理与经济多重价值;

(4) 对于临近城市市政道路、密集民居的城市基坑项目,推广拆撑全过程实时监测技术,可有效兼顾工程施工与周边民生设施防护,适配城区基坑工程施工管控需求。

[参考文献]

- [1]GB 50497-2019 建筑基坑工程监测技术标准[S].中华人民共和国住房和城乡建设部.北京:中国计划出版社,2019.
 - [2]王振江,陈昌远,贾马,等.高层建筑深基坑内支撑拆除及基坑变形监测研究[J].工程技术研究,2025,10(17):22-24.
 - [3]陈志远,蔡东平,袁继雄,等.建筑基坑内支撑结构拆除过程的动态监测及分析[J].工程质量,2014,32(6):35-38+44.
 - [4]白亦泽,焦守业,蒋洋,等.复杂基坑内支撑施工与拆除变形控制技术研究[J/OL].施工技术(中英文),1-8[2026-07-23].
- 作者简介:刘广庆(1967—),男,汉族,湖南长沙人,本科,高级工程师,主持多项城市复杂环境的深大基坑、高边坡、周边建构筑物安全监测项目,主要研究精密工程测量、多源自动化监测设备集成、监测数据变形预警分析,擅长基坑(边坡)及周边环境变形监测数据分析及安全风险判断预警。研究方向:基坑(边坡)及周边环境变形监测及风险预警。刘和鑫(1992—),男,汉族,湖南长沙人,本科,副高,从事工程质量检测、地质灾害治理工程施工质量检测、岩土工程勘察、水文地质勘察、地质灾害危险性评估、基坑监测、支护施工等工作。