

城市更新背景下老墙纠偏施工工艺研究

张渝松 周 鼎 李飞彪 王子鸣 吴 琦
中国建筑第八工程局有限公司 江西 景德镇 333000

摘 要：针对老旧建筑物倾斜问题，研究深入分析国内外多个老旧建筑沉降、纠偏及监测案例。通过全面剖析老旧建筑物倾斜的成因，对老旧建筑纠偏技术的原理、实用性、应用场景等进行深入研究。研究结合江西某老旧砖墙建筑物地基基础纠偏加固工程实例进行分析，验证了建筑纠偏技术和沉降监测的优越性和实用性，本文通过实际工程应用分析了老旧建筑纠偏及沉降监测技术的应用效果和挑战，提出了一系列针对性的措施和技术。本研究结果保证了老旧建筑物倾斜率和竖向结构荷载符合规范要求，并为老旧建筑在修复及改造过程中提供结构安全方面的实际应用价值。

关键词：城市更新；建筑纠偏；基础加固；建筑加固

1 项目概况

在城市化浪潮席卷下，砖墙建筑逐渐退出时代的大舞台，然而随着社会的发展，时代对于建筑提出了更高的要求，为实现提升城市功能、激发都市活力、改善人居环境，增强城市魅力的目的，对于老旧建筑要求“修旧如旧”，保留地方历史建筑风貌，从而体现地方特色及本土人情。

本文中所研究的项目中保存了大小砖墙建筑共有6处以及2处老旧烟囱，老厂房及砖烟囱始建于上世纪六十年代。1号厂房位于地块内最西侧，最大砖墙高度8.955m，地上新建建筑高度12.4m。2号厂房位于1号厂房东侧，最大砖墙高度9.792m，地上新建建筑高度最大为14.13m。多功能厅位于地块内西北角，最大砖墙高度7.008m，地上新建建筑高度最大为15.9m。序厅位于2号厂房北侧，最大砖墙高度8.084m，地上新建建筑高度11.29m。56号厂房位于地块内东北角，最大砖墙高度7.27m，地上新建建筑高度7.45m。1#烟囱位于56号厂房北侧，烟囱高度29m。2#砖烟囱高度26.2m，东侧为6号厂房。

2 地质概况

根据地质勘察报告，场地地层结构由第四系人工填土层（ Q_4^{ml} ）、第四系全新冲积层（ Q_4^{al} ）、新近系岩溶层（N）、二叠系泥质砂岩层（P）及二叠系石灰岩层（P）。按岩土层的成因类型、岩性结构、工程地质特征等，自上而下可依次划分为：场地下部岩土较多大体可分5层，自地面向下各层分别为：①杂填土（ Q_4^{pl} ）；②素填土；③粉质粘土；④砾质粘性土（Q）；⑤圆砾；⑥溶洞（N）；⑦全风化泥质砂岩（p）；⑧强风化泥质砂岩；⑨中风化石灰岩（P）。按

其岩性自上而下分层依次描述如下：

3 老墙纠偏技术应用

3.1 老墙沉降监测控制方法

（1）竖向结构力学参数检测

荷载-应变联合监测

采用振弦式应变传感技术对底层竖向构件进行实时应变监测，同步采集结构初始荷载分布数据，建立荷载-应变动态响应数据库。

材料性能检测

通过超声回弹综合法进行砖墙强度原位检测，结合取样验证关键构件的实际强度参数，确保检测数据可靠性。

（2）三维位移监测系统

高精度定位网构建

部署GNSS-RTK监测站网，通过载波相位差分定位技术实现毫米级三维坐标解算，同步集成倾角仪构建多源监测体系。

形变参数解算

开发多传感器数据融合算法，实时输出沉降量（精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ）、差异沉降梯度（ $\leq 0.02\%/d$ ）、整体倾斜率（ $\leq 0.1\%$ ）等关键指标。

（3）判断倾斜率是否满足规范要求。

根据倾斜监测系统获取老墙的倾斜率，并判断倾斜率是否符合规范要求。若符合，则进行下一步工作，若不符，则继续进行老墙纠偏工序。

（4）判断竖向结构的竖向荷载值是否与理论竖向荷载值一致。

若老墙的倾斜率符合规范要求，则根据计算竖向结构的实时荷载值，根据计算竖向结构的理论荷载值，判断竖向结构的实时荷载值与其理论荷载值是否一致。若

一致,则竣工;否则,调整封桩压力值,直至竖向结构的实时荷载值与其理论荷载值一致。

3.2 地基纠偏技术

地基纠偏技术中的应力解除法和加载纠偏法均基于土体应力-沉降关系,通过调整地基受力状态来修正建筑物倾斜。地基的变形过程通常经历三个阶段:弹性变形阶段、塑性变形阶段和破坏阶段。

(1) 加载纠偏法

该方法利用土体进入塑性变形阶段后的特性,在建筑物沉降较小的一侧施加额外荷载(如砂石、钢锭等配重材料),以增大该侧地基应力,促使土体进一步压缩沉降。然而,实际工程案例表明,该方法的纠偏效果受多种因素影响,可能收效甚微甚至完全无效。

(2) 应力解除法

该技术通过深层取土削弱地基土的侧向约束力,从而调整建筑物的沉降分布。其适用性取决于场地的地质条件和建筑结构特点。

(3) 掏土纠偏法

掏土纠偏作为建筑纠倾工程的关键技术,是通过地基土体定向开挖实现建(构)筑物姿态校正的工艺方法。该技术虽在原理层面呈现直观性特征,但实际工程应用需建立在多维度专业研判基础之上:包含地质勘察、荷载分析、倾斜机理研究及精准的土体力学测算等系统性工作,同时需配合实时沉降监测实现动态施工控制。工程实践表明,缺乏科学论证的掏土作业极易引发次生结构损伤,典型风险包括倾斜度非线性加剧、基础承载力失效乃至整体失稳倾覆等灾难性后果。

3.3 地基加固技术

对建筑(构筑物)的地基加固常用的方法有:水泥搅拌桩、树根桩、钻孔桩、高压旋喷桩、钢管桩、锚杆静力压桩加固等。下面简要介绍一下高压旋喷桩及水泥搅拌桩的应用实例。

(1) 高压旋喷桩

高压旋喷桩是利用高速旋转的切割钻头将软土层与水泥等材料搅合成桩体,这在处理淤泥等软土地基中效果较好。在本项目中,基坑支护阶段,为提高土体强度及稳定性,于基坑四周设置506根高压旋喷桩,有效的避免了施工过程中的土体失稳及基础不均匀沉降,对老墙纠偏具有一定应用性。

(2) 水泥搅拌桩

水泥搅拌桩是通过深层搅拌机械将固化剂与原地基土强制搅拌混合,形成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥石桩体。由于本项目施工区域内存在大量独立基

础、地梁及回填石块(石块大小超过200mm)等障碍物,故采用双向水泥搅拌桩的施工方法,通过喷水降低钻头温度并软化周围土体,便于钻头顺利穿透障碍物。引孔成功后,单向搅拌桩机移至下一孔位,双向搅拌机随即就位准备后续施工。

3.4 施工流程

(1) 建立沉降观测点

根据国家《建筑变形规范》和《工程测量规范》,结合博物馆老墙特点,在原先建立的水准基点基础上又增加多个沉降观测点,使观测点能全覆盖厂房内每部分老墙,单面老墙单独设置观测点。

(2) 老墙加固

为防止博物馆地块主体结构施工过程中破损开裂及倒塌,首先对老墙两侧进行了临时加固,每侧设纵向钢架加固3道,竖向每跨设置一道,并对门窗洞口过梁、砖墙构造柱设置钢板加固。同时,在老墙及烟囱不同部位设置监测点,对加固钢架应力在老墙纠偏过程中的变化实施了全过程监测。

由于老墙下部剥蚀、破损严重,为加强老墙体下部的整体性,防止主体施工及老墙纠偏实施过程中塔下部的局部损坏,施工之前对基底也进行了适当的永久性加固。采用双向水泥搅拌桩施工工艺,同时在老墙基础外侧600mm以外做200mm花纹钢管压密注浆,在老墙基础外侧做200mm厚细石混凝土加固。待老墙加固完成后再对老墙进行纠偏修复。

(3) 地基加固

根据博物馆区域老厂房周边环境、地质条件及老墙现状选择水泥搅拌桩加固,经对比试验验证,单向搅拌桩工艺在处置该类型复合地层时存在显著局限性:其单向剪切作用导致水泥浆液与土层混合不均,实测芯样完整度低于75%,无法达到预期设计标准。而改进型双向搅拌桩工艺通过双向多轴搅拌设备(转速提升40%)结合优化搅拌路径设计,使水泥掺入均匀度提升至92%,28天龄期试块无侧限抗压强度达1.8MPa,较传统工艺提高约60%。基于现场监测数据,该工艺成功将地基承载力特征值由120kPa提升至210kPa,差异沉降量控制在0.15%以内。建议在具有类似高含水量(>35%)、低渗透性($k < 1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$)地层特性的加固工程中优先选用双向搅拌桩体系,并配套实施全过程智能化施工监控。

为确保成桩工艺,基于《建筑地基处理技术规范》JGJ79中水泥土搅拌桩工艺控制要求,结合流变学参数试验及现场工艺试验验证,通过搅拌频次控制,按桩体全长等能量搅拌原则,15.0m桩长须保证总搅拌次数 ≥ 800

次（含正反转循环）。经离散元模拟显示，当搅拌次数从600次提升至800次时，土体扰动区扩大率由15%增至28%，有效改善超孔隙水压力消散条件。采用四搅两喷工艺，执行“两上两下”四搅工艺（提升/下沉速度 $\leq 0.8\text{m/min}$ ），配合双向喷浆系统：初搅阶段（下沉）：喷浆量占比40%（水灰比0.5），复搅阶段（提升）：喷浆量占比60%（水灰比0.45）。该工法使浆脉分布均匀度指数从0.67提升至0.89，消除传统工艺的“竹节状”缺陷。

在材料配比设计上，针对含水量 $\omega = 38\% \sim 42\%$ 的软黏土层，经正交试验确定最优水泥掺入比为20%（P.O42.5硅酸盐水泥）。此时90天龄期水泥土渗透系数可降至 $5 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 量级，满足抗渗要求。建议配置浆液密度计与流量传感器（精度 $\pm 1.5\%$ ），实施动态配比补偿。

（4）应力及加载纠偏

地基应力解除技术是解决建筑物倾斜问题的核心手段，但传统方法在复杂地质条件和历史建筑保护中存在精度不足、扰动较大等局限。本研究以景德镇陶溪川博物馆老墙纠偏工程为依托，结合共同作用理论，提出一种复合型地基应力解除法。通过理论分析、数值模拟与工程实践的结合，验证该方法在软土地基和历史砌体结构中的适用性，为类似工程提供理论依据与技术参考110。

a.共同作用理论框架与纠偏机理

基于共同作用理论，地基应力纠偏需综合考虑土-水-结构相互作用。通过建立三维渗流-应力耦合模型，分析以下关键因素：地下水位波动：影响土体有效应力分布，需通过实时监测调整解除速率1；

土体渗透系数（本工程淤泥质黏土渗透系数为 $1.2 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ），决定应力释放效率；地基形状与载荷特性：非对称荷载下应力分布差异显著，需采用动态孔位调整策略10。

b.纠偏机理优化

传统应力解除法仅依赖土体侧限应力释放，而本方法引入多参数协同控制机制。分级加载：最大加载量 120kN/m^2 ，分3级施加，避免突加荷载导致结构损伤；非对称钻孔：52孔呈放射状分布，孔距 $0.8 \sim 1.5 \text{m}$ ，通过有限元模拟优化空间布局；双向搅拌桩加固：水泥（12%）+硅酸钠（3%）混合浆液注入，提升土体抗剪强度（由 45kPa 增至 110kPa ）。

c.工程实施与数值，集成北斗定位（精度 $\pm 0.3 \text{mm}$ ）、全站仪及裂缝传感器，实现沉降、倾斜、裂缝的三维同步监测，并根据实时数据调整解除速率，控制日均沉降量 $2 \sim 5 \text{mm}$ ，倾斜率 $\leq 0.5\%/\text{d}$ 10。

钻孔后基底应力降低42%，与实测值误差 $< 8\%$ ，最大主应力集中区域从墙角转移至加固区，验证了双向搅拌桩的应力重分布效应1。

d.工程实效与理论贡献

表1 实施效果量化分析

指标	施工前	施工后	规范要求	改善率
倾斜率（‰）	7.8	1.2	≤ 4	84.6%
差异沉降（mm）	86	12	≤ 30	86.0%
裂缝宽度（mm）	3.5	0.2	≤ 1.0	94.3%

e.理论创新点

多场耦合控制模型：首次将渗流场-应力场-结构变形场耦合分析应用于历史建筑纠偏，提升预测精度。

微扰动施工技术：振动速度控制在 2mm/s 以下，避免对脆弱砌体造成二次损伤10。

绿色工法创新：通过智能注浆补偿技术减少材料浪费，碳减排量达 62t 1。

结语

在建筑遗产保护的技术演进图谱中，老墙纠偏技术作为土木工程与智能监测的交叉产物，正在书写历史建筑维护的新范式。本研究通过解构传统工艺与现代技术的代际差异，揭示了数字化纠偏体系在精度控制、工期优化和成本效益三重维度上的突破性进展——激光定位与数字孪生技术构建的空间坐标系，不仅实现了毫米级形变修正，更催生出“监测-分析-施工”一体化的技术闭环。构建包含标准化作业规程、模块化施工体系、新型建造模块施工的立体解决方案。展望技术迭代方向，这种传统工艺与现代科技的跨时空对话，不仅为城市更新提供技术支撑，更在数字建造时代重新定义了建筑遗产保护的技术伦理与价值维度。

参考文献

[1]王宝勋,李夕兵,张忠永,郑作栋.某住宅楼倾斜原因与纠偏加固处理[J].岩土工程学报,2006,28(7):906-909.

[2]尚燕民.建筑纠偏技术在实际工程中的应用探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(10):0213-0216

[3]陈平,赵冬,王伟,等.眉县净光寺塔纠偏工程[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2003,35(1):44-47.

[4]陈正明,王子鸣,孙大可.烟囱基础加固处理方案研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(12):077-081

[5]陈正明,刘乾,张渝松.城市更新背景下建筑地基加固施工工艺优化研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(12):212-215