

【工程应用】

微扰动改性聚酯注浆技术在既有建筑地基加固的应用

苏志鹏¹, 刘龙¹, 杨玺¹, 梁永辉^{1,2}

(1. 上海申元岩土工程有限公司 上海 200011; 2. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要:如何在既有建筑室内进行微扰动地基加固是基坑环境影响控制的首要问题之一。常见的锚杆静压桩、高压旋喷桩、花管注浆等地基加固工艺由于施工面大、施工扰动较大等原因不适用于既有建筑微扰动地基加固。近年来,改性聚酯注浆技术凭借其施工快速、作业面小、扰动小等优势,在堤坝防渗、公路路基加固、高速铁路病害整治等领域得到广泛应用。本文介绍了一个采用了微扰动注浆加固技术对由于邻近基坑开挖导致沉降的房屋进行处理的案例,案例中采用改性聚酯注浆新技术对沉降后的采用天然地基的房屋基础进行加固,提高地基承载力和抵抗变形的能力,减小房屋在基坑拆撑期间的持续沉降。主要说明了微扰动注浆技术施工影响小、速度快和效果显著等施工特点。第三方监测数据显示,该工艺对提高地基抵抗周围施工扰动影响效果较好,在基坑施工拆撑过程中基础沉降得到了有效控制,保障了工程顺利进行。

关键词:微扰动注浆; 基础加固; 改性聚酯注浆; 沉降控制; 既有建筑; 基坑工程

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)S-0152-07

Application of micro-disturbance polyurethane grouting technology in reinforcement of an existing building

SU Zhi-peng¹, LIU Long¹, YANG Xi¹, LIANG Yong-hui^{1,2}

(1. Shanghai Shen Yuan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shanghai 200011, China;

2. Department of Geotechnical Engineering College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A way of reinforcing existing building is primary concern during the control of environmental impacts on foundation excavation. Common foundation reinforcement technologies such as anchor-jacked piles, high-pressure rotary jet grouting and pipe grouting are not suitable for the micro disturbance foundation reinforcement of existing buildings due to the large construction surface and large construction disturbance. Recently, modified polyurethane grouting technology has been widely used in the fields of dam anti-seepage, highway subgrade reinforcement, and the treatment of high-speed railway challenges. This is because of its advantages of fast construction, small working surface and small construction disturbance. A case of using the micro-disturbance grouting reinforcement technology to deal with the settlement of the house caused by the excavation of the adjacent foundation is introduced in this paper. The method reinforces and improves the bearing capacity of the foundation and the ability to resist deformation, and reduces the continuous settlement of the building during the de-supporting of the excavation. This paper mainly demonstrates the construction characteristics of micro-disturbance grouting technology, such as low impact, fast speed and remarkable effect. The third-party monitoring data showed that this technology has a good effect on improving the resistance of the foundation to the surrounding construction disturbance. The foundation settlement was effectively controlled in the process of excavation and supporting system removal, eventually, ensured the smooth progress of the project.

Key words: micro-disturbance grouting; foundation reinforcement; modified polyurethane grouting; settlement control; existing buildings; excavation

收稿日期: 2022-02-21

基金项目: 华东建筑设计研究院有限公司科研基金项目(19-1类-0216地); 上海市青年科技英才扬帆计划(19YF1436000)。

作者简介: 苏志鹏(1987—), 男, 福建南安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩土工程设计、咨询和专项施工。E-mail: Zhipeng_Su@foxmail.com。

0 引言

随着城市建设改造的推进, 尤其在各个大中型城市, 城市建设用地面积逐渐减小, 特别是大中型紧密城区内的新建筑物涌现, 地基加固技术在越来越多的项目中得以应用。锚杆静压桩、高压旋喷桩、花管注浆等传统的加固技术在既有建筑软弱地基加固、沉降控制项目的研究和应用越来越多^[1-3]。这些常规施工工艺由于受到施工空间局限性影响, 在室内情况下难以满足施工条件, 或者由于扰动较大, 在已经使用的房屋内进行加固往往需要进行屋内设备、设施搬离, 对房屋使用者影响较大。此外, 传统工艺在加固施工过程中, 因施工面大和土体扰动, 导致建筑偏移、倾斜等情况发生, 与建筑地基加固的初衷背道而驰。

软土地区深基坑开挖普遍存在支撑架设时间过长问题, 且拆装、温度和刚度变化产生的围护结构的附加变形和支撑的次应力都可能导致支撑失稳。基坑开挖后, 地基卸载, 土体中的压力减少, 土的弹性效应将使基坑底面产生一定的回弹变形, 加之基坑面积大, 如果浸水或暴露时间太长极易发生基底隆起。年代较久的既有建筑房屋室内, 因装修完成、结构简易、整体强度及抵抗变形能力较差, 对周边环境变化较为敏感。故在基坑施工期间, 对影响范围内的既有房屋进行加固和沉降控制施工时, 选择对原有建筑室内外环境扰动最小的工艺成为重中之重。

改性聚酯注浆技术是一种新型的化学注浆加固技术, 通过精确控比的注浆设备将 A、B 两种组分的改性聚酯流体材料在进入土体的瞬间混合, 沿着土体的空隙扩散, 并在 5~50 s 内发生固化反应, 膨胀形成蜂窝状发泡体, 达到填充空隙、挤密土体的效果。该技术具有扰动小、施工便捷、耐久性好等特点, 在公路、铁路、水利、建筑等领域均取得成功应用^[4-8]。基坑外既有保护建筑下主动区土体采用微扰动注浆加固的作用效果已被相关研究及工程实践证明^[8-10]。本文介绍一个采用微扰动改性聚酯注浆技术对由于邻近基坑开挖导致沉降的房屋进行处理的案例。

1 工程概况

该项目位于上海市嘉定区, 总建筑面积约 83 749.5 m²。本工程新建地下室-1/-2 层, 采用抗拔桩。基坑开挖深度约为 6 m、11 m, 属二~三级

基坑, 基坑环境保护等级为二~三级。

在基坑工程施工过程中, 邻近基坑西侧房屋及周边围墙、地坪出现不同程度的开裂情况, 因基坑尚有一道支撑未拆除, 房屋目前变形较大, 为防止后期继续开裂变形, 需对房屋地基进行加固和沉降控制。拟加固房屋与基坑平面位置、剖面位置关系见图 1~2。

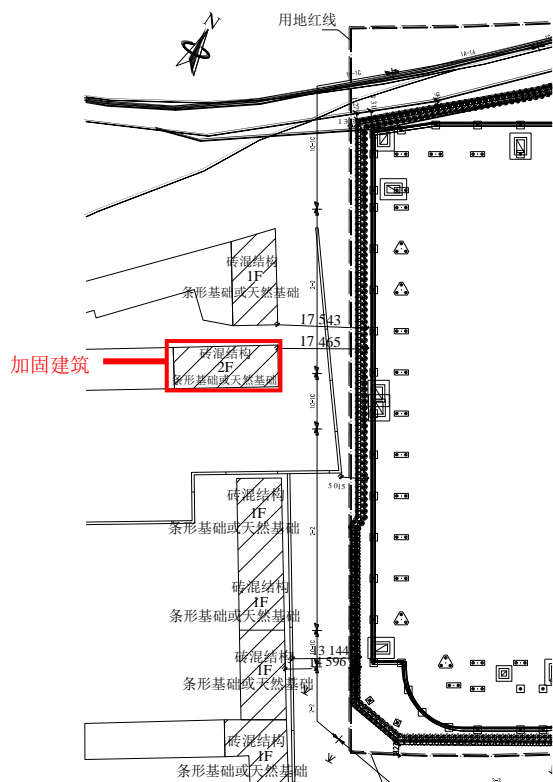


图 1 加固房屋与基坑关系平面图

Fig. 1 Plan of excavation and existing building

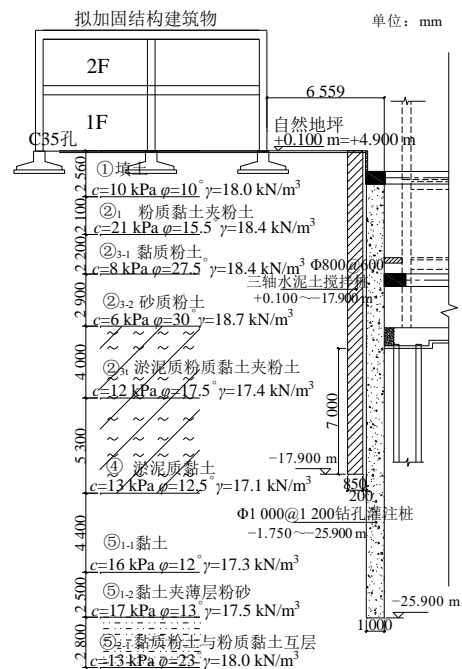


图 2 加固房屋与基坑剖面关系图

Fig. 2 Cross-section of excavation and existing building

根据监测要求,报警值为连续2d日变量 $>3\text{ mm}$ 或累计量 $>20\text{ mm}$ 。监测报告显示, J7、J8、J9、J10在2020年7月29日地基加固施工前沉降值已达 38.60 mm 、 53.82 mm 、 55.68 mm 、 31.36 mm ,房屋监测点平面布置见图3,监测点竖向沉降值见表1。

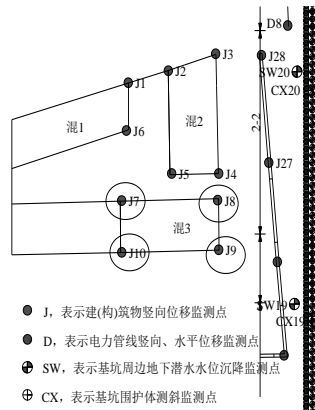


图3 加固房屋监测点

Fig. 3 Monitoring points of existing building

表1 加固房屋监测点竖向沉降量

Table 1 Settlement of monitoring points

日期	点号	竖向位移/mm		备注
		本次变化	累计变化	
2022年 7月29日	J7	-0.10	-38.60	报警
	J8	-0.45	-53.82	报警
	J9	-0.50	-55.68	报警
	J10	0.34	-31.36	报警

2 地基加固方案

2.1 加固方案比选

根据勘察资料及基坑围护设计方案,本次地基加固目标为:保障加固房屋基础稳定,不因基坑围护施工(最后一道支撑拆除)而发生过大沉降。且本房屋装修较好,目前作为招待会所仍在使用,房屋天然地基,目前已发生最大 5.5 cm 沉降,对外界影响较为敏感。

因采用传统水泥注浆、高压旋喷桩等技术对场地要求较高且扰动大,故采用具有高效和微扰动等众多优势的地基微扰动改性聚酯注浆方案。该方案不仅能有效提高地基承载能力,还能减小和消除基坑施工对房屋的影响,同时能最大限度地减小施工和后期过程对房屋基础造成扰动。该工艺技术特点如下:

(1)改性聚酯注浆对环境无污染,且不受霉菌和真菌的侵蚀。加固场地为运营会所,绿化茂密,景观优美,施工不会对场地造成影响和污染。

(2)注浆过程快捷,极大缩短了施工时间。注

浆后迅速形成强度,不会对基坑施工造成工期影响。

(3)注浆孔最大约 16 mm ,对既有结构基本无损坏。施工采用 12 mm 注浆管插入地下,对地下扰动较小,无需对基础进行大面积开挖,与传统工艺相比,具有较大优势,施工期间对会所运营影响较小。

(4)施工设备占地面积小,不需要现场拌合泥浆,无需堆筑材料。设备较小,灵活机动,仅需要将注浆管道拉至注浆孔,不需要封闭会所,对运营不造成影响。

综上分析,微扰动改性聚酯注浆技术非常适用于该项目地基加固工程。

2.2 地基加固处理原则

为达到加固效果,采用微扰动改性聚酯注浆技术对地基进行加固。该方案采取地面微型钻孔方式,对地基土进行加固,提高抵抗变形能力。该施工方案能最大限度地保障房屋稳定,避免发生过大大沉降,有效减小和消除基坑施工对房屋的影响,且能最大限度地减小施工过程对房屋基础造成的扰动。考虑到房屋内部装修完成,布孔尽可能从外墙进行。

(1)施工过程中加强监测工作,在基坑开挖阶段和地下结构施工期间,结合房屋及基坑监测情况,当该建筑连续 3 d 沉降速率 $>0.5\text{ mm/d}$,进行地基微扰动改性聚酯跟踪注浆。

(2)临时支撑拆除阶段,关注房屋沉降情况,加强监测并及时启动地基微扰动改性聚酯跟踪注浆。

2.3 基础加固施工方案设计

根据《既有建筑地基基础加固技术规范》(JGJ 123—2012)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)等国家行业标准以及工程项目相关资料^[11-13],结合2.2节的处理原则,加固设计方案如下:

采用地基微扰动改性聚酯注浆法进行地基加固。远离基坑一侧注浆加固深度为基础下 $0\sim 1.5\text{ m}$,靠近基坑一侧为基础下 $0\sim 3.0\text{ m}$,注浆孔大部分布置于房屋外侧(6个孔位于房屋内部),单侧布孔,孔间距 1.5 m 。加固区域约 331 m^2 ,加固土方量约 767 m^3 ,共布置51个注浆孔,平面布置及剖面图如图4~5所示。

本次注浆加固分两次进行,先进行主动加固注浆,基坑拆除期间,当保护建筑及基坑监测数据到达设计规定值,启动跟踪注浆加固。

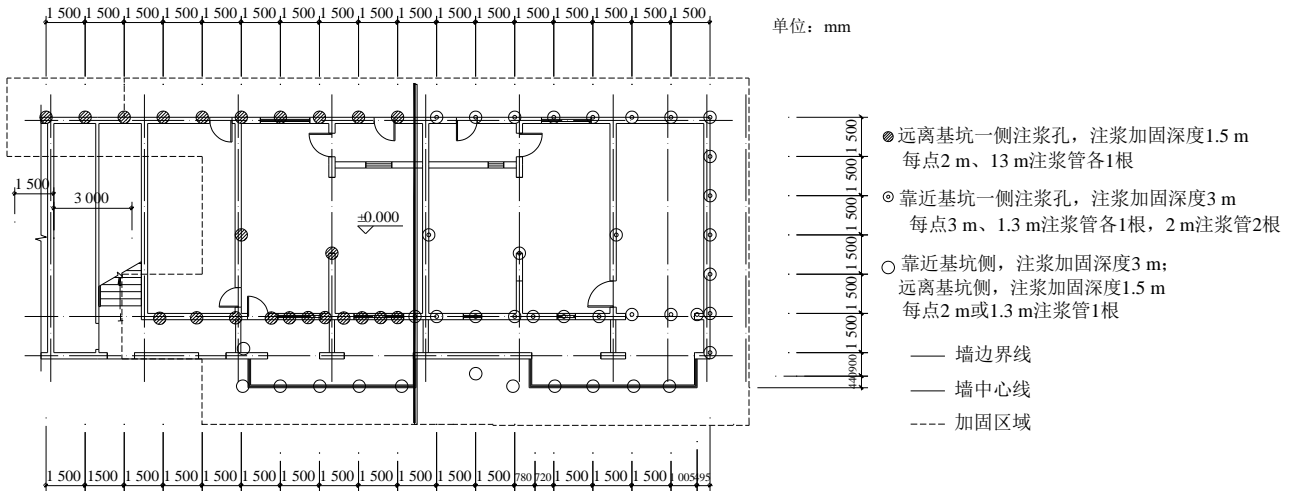


图 4 微扰动注浆平面布置图

Fig. 4 Plan of grouting points

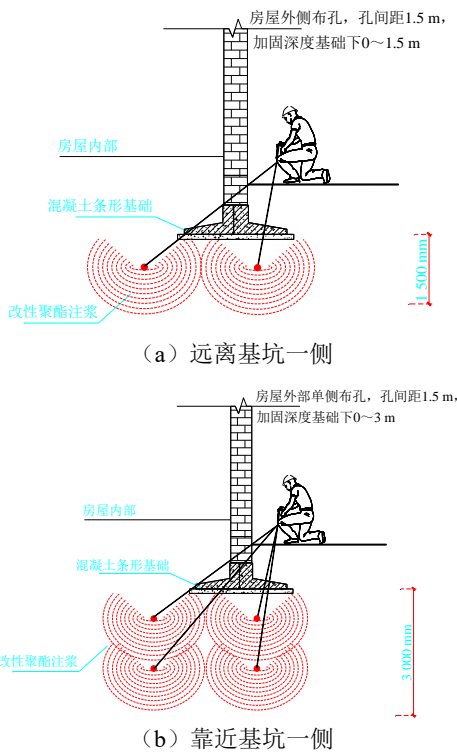


图 5 微扰动注浆加固剖面图

Fig. 5 Grouting reinforcement profile

酸酯预聚体 B 料两大组分。使用时将两种组分的原料按照一定的比例混合, 材料便可发生反应生成弹性泡沫体。其技术要求如表 2。

表 2 注浆材料参数表

Table 2 Requirement of grouting material

项目	技术要求	
自由膨胀强度 (包括压缩和拉伸, 1 d)	≥0.30 MPa	
闭孔率	≥85%	
抗压强度 (密度 200 kg/m ³)	≥1 MPa	
残余变形 (200 kPa 荷载)	≤1%	
断裂伸长率 (1 d)	≥2%	
初始反应时间 (起发时间)	4~20 s	
表面干燥时间	15~50 s	
挥发性有机物 (VOC) 含量	≤35 g/m ²	
耐酸性 (23 °C 硫酸溶液浸泡 30 d, pH=2)	≥70%	
抗压强度保持率	≥70%	
耐碱性 (23 °C NaOH 溶液浸泡 30 d, pH=14)	≥70%	
抗压强度保持率	≥70%	
冻融性能 (300 次) 外观	无剥落	
抗压强度保持率	≥70%	
重金属含量	可溶性铅	≤20 mg/m ²
	可溶性镉	≤20 mg/m ²

3 施工工艺关键技术

3.1 改性聚酯材料技术要求

改性聚酯注浆采用专用的地基加固双组分改性聚酯注浆材料, 属于改性聚酯泡沫材料的一种, 按照在配方中原材料用量的多少可以分为主剂和助剂两大类。根据各种主剂和助剂的化学特性和相互不反应原则, 将原料分为多元醇体系 A 料, 包括聚醚多元醇、扩链剂、催化剂与发泡剂, 以及异氰

3.2 施工工艺总体流程

根据分阶段施工的原则, 实施了预加固深层/浅层主动加固注浆, 后续跟踪注浆根据现场基坑及建筑的监测情况反馈及时实施。施工工艺的总体流程见图 6, 室内微扰动注浆孔布置图、施工图见图 7~8。

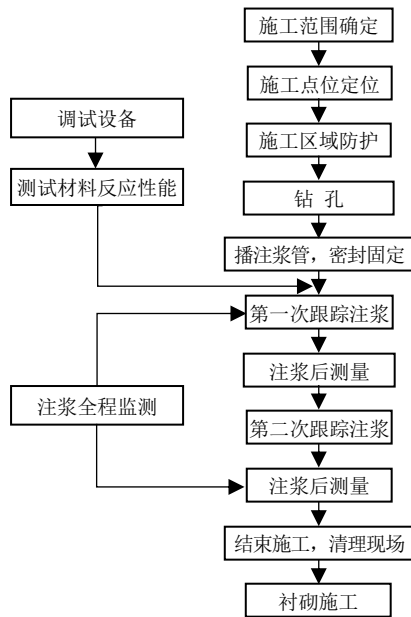


图6 微扰动注浆施工流程图

Fig. 6 Flow chart of grouting procedure



图7 室内注浆孔布置图

Fig. 7 Indoor grouting holes



图8 室内注浆施工图

Fig. 8 Indoor grouting construction

3.3 施工技术控制要点

为减少注浆施工对保护建筑基础的扰动, 防止

基础抬升过大, 保证施工高效高质量的完成, 对施工参数、施工监测的关键技术要点进行了严格把控:

(1) 施工准备: 施工前核查监测数据, 确定施工范围, 地基沉降变形严重部位先进行施工。

(2) 钻孔控制: 钻孔直径为 $\Phi 12 \sim 16$ mm, 采用手持钻机成孔, 钻孔深度为自然地面下 $0 \sim 4.5$ m, 注浆孔顺房屋外墙单侧布置, 孔间距 3 m, 孔中心距墙边线 0.5 m。

(3) 注浆设备: 采用进口 GracoE-8p 便携式双组分注浆机, 该设备是为耐久性、高性能和高精度而设计, 可用于喷涂 1:1 双组份比例混合的聚氨酯涂料、聚脲涂料、高性能涂料和环氧树脂膨胀料等。

(4) 注浆顺序: 注浆孔分第一遍跟踪注浆孔和第二遍跟踪注浆孔, 第二遍跟踪注浆孔兼做观察孔; 施工从累计沉降最大的基坑西侧开始, 施工顺序为保护建筑西侧-南侧-北侧。

(5) 注浆压力: 注浆过程中压力需保持恒定连续, 注浆采用 $1 \sim 3$ MPa 的注浆压力, 注浆流量为 $1.0 \sim 5.0$ L/min。

(6) 施工过程监测: 对注浆区域施工全过程采用旋转激光水平仪进行监测, 配置 3 个以上接收器, 实时反映房屋基础的高度数据。

(7) 停浆控制: 应对注浆影响范围内保护建筑进行连续实时监测, 注浆施工过程中, 当出现下列情况之一: a) 累计变化量超过 2 mm 时; b) 需增大设备的注浆压力才能保持恒定出浆速率; c) 注浆量达到设计值, 预估注浆量为每方土 5 kg, 即可停止当前孔注浆, 换孔注浆。

4 实施效果

本次改性聚酯注浆加固施工前后及过程中进行不间断沉降监测, 评价基础加固的效果, 累计沉降监测曲线见图 9。

施工前: 根据监测资料显示, 2019 年 12 月 8 日—2020 年 8 月 12 日, 房屋最大累计沉降点监测点 J8、J9 (距离基坑最近) 的累计竖向沉降分别达到 -55.41 mm、 -57.54 mm, 达到竖向沉降报警值。其中 2020 年 7 月 10 日—2020 年 8 月 12 日期间, 沉降监测点 J8、J9 平均沉降速率分别达 0.54 mm/d、 0.55 mm/d, 较前期有加速沉降趋势。

施工中: 改性聚酯注浆加固施工于 2020 年 8 月

26日实施, 2020年8月30日结束, 历时5d。现场注浆过程中发现房屋外墙周边裂隙中有水被挤出, 水排出后注浆材料从周边裂隙中流出, 表明注浆材料对地基空洞和裂隙有很好的填充及密封作用, 实际注浆量4.5t, 平均每方土注浆量约5.6kg, 与设计注浆量基本吻合(设计为每方土注浆量5kg)。施工期间沉降监测点J8、J9累计沉降量分别为0.6mm、-0.2mm, 对沉降房屋有明显微抬升。

施工后: 加固完成后, 现场进行基坑拆撑及土方回填。由图9沉降曲线可知, 2020年8月30日-2020年11月22日, 最大累计沉降点J8、J9在近3个月内的变形量趋于稳定(累计竖向沉降变化量分别为-3.47mm、-4.95mm; 平均沉降速率分别为0.04mm/d、0.06mm/d), 即使受到拆撑等不利影响, 建筑物沉降速率较施工前明显下降, 沉降趋势得到有效控制。

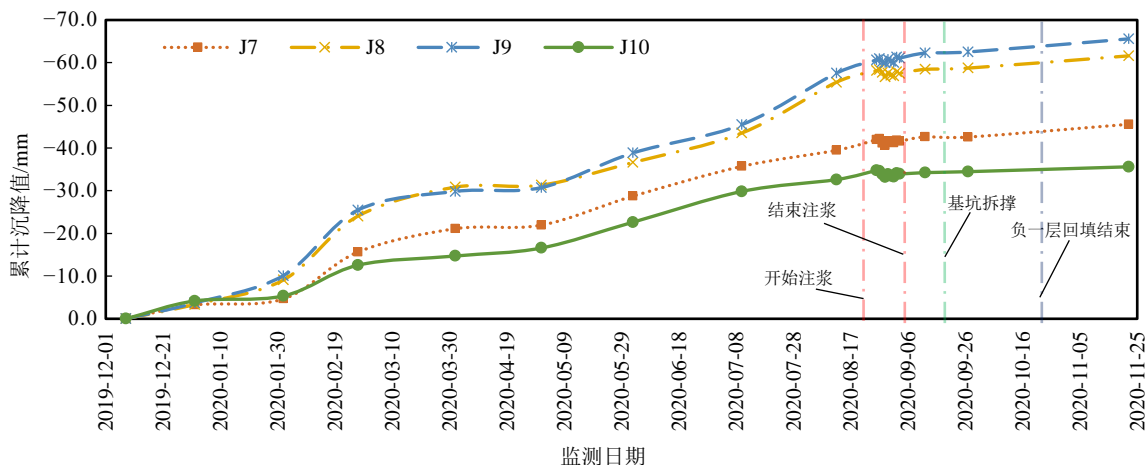


图9 沉降观测点变形监测数据

Fig. 9 Deformation of monitoring points

5 结论

本文介绍了改性聚酯注浆技术在对基坑扰动下邻近既有运营建筑微扰动加固的应用, 结论及建议如下:

(1) 既有沉降建筑采用微扰动聚酯注浆技术, 能有效减少对原建筑室内外环境的破坏, 且对天然地基基础加固效果明显, 有效抵抗周边基坑施工对建筑造成的沉降影响, 做到了真正的微扰动无干扰施工; 微扰动注浆技术施工工期短、施工快捷简便、对基础及周边环境扰动小。

(2) 在前期的主动加固阶段, 注浆对基础下空隙进行了填充, 加固了地基土, 增强地基土强度并控制了沉降, 在基坑拆撑及回填施工过程中有效减少了对房屋造成的的扰动, 实施效果较好。

参考文献

- [1] 吴江斌, 王向军, 宋青君. 锚杆静压桩在低净空条件下既有建筑地基加固中的应用[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(增刊2): 162-165.
WU Jiang-bin, WANG Xiang-jun, SONG Qing-jun.

- Application of foundation reinforcement by anchor-jacked piles under low clearance[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(S2): 162-165.
- [2] 李宝玉. 既有建筑地基高压旋喷桩法加固工程应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(17): 157-158.
LI Bao-yu. Application of high-pressure rotary jet grouting method in strengthening foundation of existing building[J]. Foundation and Basement, 2020, 47(17): 157-158.
- [3] 刘会岩. 花管注浆加固既有建筑地基技术[J]. 施工技术, 2017, 46(增刊1): 1057-1059.
LIU Hui-yan. Soil and foundation improvement of existing buildings based on technique of grouting pipe[J]. Construction Technology, 2017, 46(S1): 1057-1059.
- [4] 官琦. 改性聚酯注浆技术工程特性探讨[J]. 河北企业, 2019(5): 165-166.
GUAN Qi. Discussion on engineering characteristics of modified polyurethane grouting technology[J]. Construction Technology, 2019(5): 165-166.
- [5] 苏志鹏, 梁永辉. 改性聚酯注浆新技术在松散回填土地基加固中的运用[C]//第二届全国岩土工程施工技术与装备创新论坛. 郑州, 2018.

- SU Zhi-peng, LIANG Yong-hui. Application of modified polyurethane grouting new technology in loose backfill foundation reinforcement[C]//The Second National Geotechnical Engineering Construction Technology and Equipment Innovation Forum. Zhengzhou, 2018.
- [6] 苏志鹏, 梁永辉. 改性聚酯注浆新技术在高铁路基翻浆病害整治中的运用[C]//第十三届全国土力学及岩土工程学术大会. 天津, 2019.
- SU Zhi-peng, LIANG Yong-hui. Application of modified polyurethane grouting new technology in remediation of high-speed railway Subgrade mud pumping disease[C]//The 13th National Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Tianjin, 2019.
- [7] 杨玺, 苏志鹏. 高速铁路无砟轨道结构注浆抬升技术的应用[J]. 铁道建筑, 2021, 61(11): 105-108.
- YANG Xi, SU Zhi-peng. Application of grouting uplift technology for ballastless track structure of high speed railway[J]. Railway Engineering, 2021, 61(11): 105-108.
- [8] 苏志鹏, 梁永辉. 改性聚酯注浆新技术在控制基坑周边房屋沉降的运用[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(增刊2): 109-112.
- SU Zhi-peng, LIANG Yong-hui. Application of PU grouting in settlements of structures induced by excavation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(S2): 109-112.
- [9] 徐全庆, 李亚, 徐昀. 跟踪注浆对基坑周围土体变形的控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(2): 262-266.
- XU Quan-qing, LI Ya, XU Yun. Tracing compensation grouting to control ground movement due to excavation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(2): 262-266.
- [10] 刘征. 邻近历史保护建筑的深基坑设计与施工[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(增刊2): 233-239.
- LIU Zheng. Design and construction of deep excavation adjacent to conserved historical building[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(S2): 233-239.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 既有建筑地基基础加固技术规范: JGJ 123—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Technical Code for Improvement of Soil and Foundation of Existing Buildings: JGJ 123—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基基础设计规范: GB 50007—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Code for Design of Building Foundation: GB 50007—2011[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基处理技术规范: JGJ 79—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Technical Code for Ground Treatment of Buildings: JGJ 79—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.