

既有建筑地基注浆加固实践

杨立斌, 王国瑞

(核工业汉中工程勘察院有限责任公司, 陕西 城固 723200)

摘要:汉中佳苑小区新建住宅楼位于河流高漫滩地带, 所选择地基持力层地层沉积年代较新, 固结不充分。住宅楼建成后, 由于地基不均匀沉降致使建筑出现裂缝, 通过对现场工程地质条件的研究, 对多种方案进行了经济技术可行性的比选, 决定采用压力注浆方法, 达到控制沉降、保护建筑的目的。根据施工场地主要位于建筑内部的特点, 合理选用气锤击入花管注浆施工工艺, 解决了狭窄场地条件下的施工难题, 同时避免了采用静压桩和旋喷桩施工对建筑周边环境以及对基础本身的破坏。

关键词:既有建筑; 软弱地基; 注浆加固; 气锤

中图分类号: TU472 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2012)08-0065-04

Practice of Grouting Reinforcement for the Foundation of Existing Building/YANG Li-bin, WANG Guo-rui (Nuclear Engineering Hanzhong Investigation Institute Co., Ltd., Chenggu Shaanxi 723200, China)

Abstract: There are cracks in new built residential buildings due to the uneven settlement of the foundation. Based on the geological conditions and construction site investigation, pressure grouting was selected to protect the buildings. To solve the construction difficulties in narrow site, the technology of grouting through a perforated tube shot into ground by an air hammer was selected, which also avoided the destruction to environment around existing buildings and the foundation by static pressure pile and jet grouting pile construction.

Key words: existing building; soft foundation; grouting reinforcement; air hammer

目前, 全国各地迎来新世纪的建设高潮, 大小城市“有水则灵”, 争相对滨河地带进行地产开发。滨河地带地层以漫滩相砂土为主, 相比于阶地地层沉积较新, 地下水位浅, 地层孔隙大, 强度低, 同时由于防洪需要进行大规模回填土, 由此形成了诸多的工程地质问题和以不均匀沉降变形为特点的建筑事故。一般采用注浆充填孔隙和胶结地层达到加固地基、抑制沉降的作用。对于既有建筑而言, 不具备大型机具施工的空间条件。在汉中佳苑住宅小区7、8号楼地基加固中采用气锤击入花管注浆工艺, 成功实现室内小空间条件下作业, 取得了良好的效果。

由上而下分别为(参见图1):

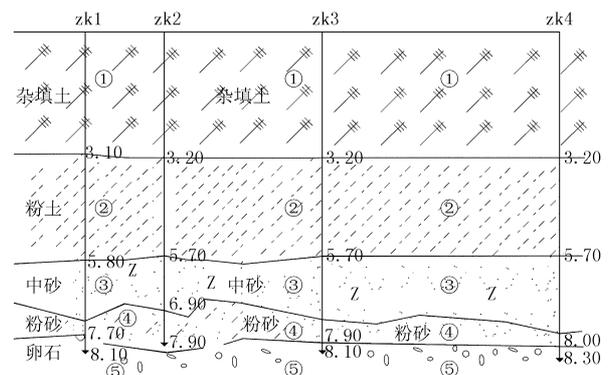


图1 试验孔地质剖面示意图

1 工程概况

汉中佳苑住宅小区, 南距汉江约400 m。该小区7、8号楼为7层住宅楼(含地上一层地下室), 砖混结构, 条形基础, 基础埋深现地面以下约3 m。基础宽度2.4 m。该住宅楼建成后因不均匀沉降局部墙体和地面出现裂缝。

为了查明沉降地段地质条件, 在注浆前, 对其沉降地段重新进行了钻探及动力触探测试, 并进行了土心编录。根据动力触探以及土心编录情况, 地层

①杂填土(Q_4^{ml}): 土质不均, 结构松散, 稍湿, 动力触探试验击数平均值为4.2击, 厚度2.80~4.40 m;

②粉土(Q_4^{al+pl}): 可塑, 稍湿, 动力触探试验击数平均值5.1击, 厚度2.50~2.70 m;

③中细砂(Q_4^{al+pl}): 松散, 湿, 动力触探试验击数平均值为5.7击, 厚度1.0~1.5 m;

④粉砂(Q_4^{al+pl}): 湿, 松散, 局部饱和, 偶见砾石和少量的粉土, 动力触探试验击数平均值为3.1击,

收稿日期: 2012-02-21; 修回日期: 2012-06-05

作者简介: 杨立斌(1972-), 男(汉族), 河北人, 核工业汉中工程勘察院有限责任公司院长、高级工程师、注册岩土工程师, 水文地质与工程地质专业, 从事岩土工程勘察、地基加固、地质灾害治理设计等方面的工作, 陕西省城固县40号信箱, ylb214@163.com。

厚度 1.0 ~ 1.5 m, 顶面埋深 6.90 ~ 7.60 m, 位于基础底面以下 2.3 ~ 3.0 m;

⑤卵石 (Q_4^{al+pl}): 顶面埋深 7.20 ~ 7.90 m, 厚度大于 1.0 m。

该楼地基持力层为②层粉土和③层中细砂, 强度较低, 尤其是在③层中细砂层中夹有松散的④粉砂夹层, 松散, 孔隙率高, 厚度不均, 在附加应力作用下产生不均匀沉降。

2 加固方案的选择

为了缓解建筑地基的不均匀沉降, 防止裂缝的进一步发展, 保障建筑安全, 建设方提出进行地基加固处理。可供选择的加固方案有静压桩、旋喷桩、压力注浆 3 种。

2.1 静压托换桩方案

将建筑荷载通过托换桩直接传递到深部较好的持力层——卵石层, 减轻不均匀沉降, 初步设计在主要纵横墙节点布设桩孔, 每节点布设 4 桩, 规格 200 mm × 200 mm, 长度预计 4 m, 每楼需布置桩位计 270 孔, 两楼共布孔 540 孔, 总计 2160 m, 投资估算为 180 万元。

施工方法: 通过开挖导洞至基础底面下, 通过千斤顶将桩压入地下。

优点: 人工方法施工, 场地适应性强; 通过桩结构来承担上部荷载, 可靠性高。

缺点: 基础埋深 4.6 m 范围基本为杂填土, 直立性差, 导洞需要有支护开挖, 施工有安全隐患, 而且要顾及已铺设的水、煤、电等各种管线, 人工开挖成本很高, 工程总费用高。

2.2 旋喷桩方案

主要是通过旋喷形成的水泥土桩体置换土体, 与原有地基土层共同构成复合地基, 增强其承载能力, 设计采用沿纵横墙基础均匀布孔的方案, 间距约为 3 m, 孔深 8 m, 每楼需要布孔 150 个, 两楼共布孔 300 个, 累计工作量 2400 m, 投资估算需要 70 万元。

施工方法: 钻孔从基础翼部钻至基础底面以下, 喷射水泥浆, 置换土层, 形成水泥土桩, 达到加固地基持力层的作用。

优点: 机械化施工效率高, 成本较低。

缺点: 会截断部分基础配筋, 导致基础刚度降低, 整体性遭到破坏; 置换出的浆液会污染新建筑, 不易清理; 旋喷桩布设在基础翼部, 形成的复合地基具有不均匀性, 易形成荷载偏心致墙体产生新的不均匀变形。

2.3 压力注浆方案

水泥浆液在压力作用下, 顺地层中的软弱松散部位渗透扩散, 压密地层, 使地基强度均匀提高, 压缩性降低。根据注浆试验结合施工现场情况, 沿建筑外围轮廓线布孔一排, 采用孔距 2.5 m, 在建筑内部, 主要沿内纵墙基础两侧、外纵墙基础内侧各布置注浆孔一排。注浆孔共设计 318 个 (7 号楼 160 个, 8 号楼 158 个)。东部注浆孔深 7.5 m, 注浆孔段为 5.5 ~ 7.5 m; 西部注浆孔深 7.0 m, 注浆孔段为 5.5 ~ 7.0 m。总计工作量为 2305 m, 投资估算为 70 万元。

施工方法: 采用击入式花管注浆法, 采用重锤或气锤击入花管, 用注浆泵将水泥浆压入地层中, 达到加固地层的目的。

优点: 注浆孔可布置在基础轮廓线外, 且可以适当倾斜使注入浆液更多进入基础下方软弱松散层中, 在不破坏基础结构的前提下将水泥浆注入加固目的层, 对地层有挤密效应, 同时形成水泥土结石体, 达到加固目的; 能形成较为均一的人工改良地基; 施工机具可采用重锤或气锤击入花管, 机具体积较小, 不需破坏门窗和墙体, 不增加修缮工作量; 加固成本相对低廉。

综上分析, 压力注浆加固方案成为首选方案。

3 注浆试验

注浆试验主要解决的是注浆量、加固半径以及注浆机具选择 3 个问题, 共进行了 3 次试验。注浆机具选择是试验的主要内容。

施工现场位于一楼储物间中, 其可利用空间高度为 2.2 m, 房间宽度为 3.0 ~ 3.6 m, 通道中间为木门, 门宽 90 cm, 施工场地狭小, 因此不适宜动大型机械施工。根据现场条件, 借鉴基坑支护中气锤击入花管法的工艺, 改进设计了气锤击入花管法施工工艺。3 次注浆试验成果见表 1。

表 1 注浆试验成果统计表

试验序号	成孔方式	成孔效率	环境适应性	劳动强度	注浆量 /kg	检验距离/m	加固半径/m
1	钻孔	3 孔/日	差	大	400	0.5	0
2	重锤击入	8 孔/日	差	较轻	1100	1.0	0.5
3	气锤击入	20 孔/日	强	轻	3000	1.5	1.2

第三次试验, 经检验, 其半径 1.2 m 范围均可见到总厚度达 1 m 的水泥结石体, 整个软弱粉砂层得到加固, 水泥充填比例达 20% 以上, 其重型 (2) 击数由 3 提高到 8, 承载力明显提高, 效果良好。从表 1

可以看出,气动锤击入法明显优于其他成孔方式。

4 压力注浆工艺设计

4.1 注浆管

花管采用 $\text{Ø}48\text{ mm}$ 焊管,注浆段钻 $\text{Ø}8\text{ mm}$ 圆孔,间隔 10 cm ,梅花状排列,底端加工成密闭锥形,以减少击入阻力。将花管和实管均切割成 100 cm 短管,方便在较矮的空间内施工。

4.2 砣地面钻孔

在室内由于已浇注砣地面,厚度达 15 cm 以上,采用 $\text{Ø}100\text{ mm}$ 金刚石钻头开孔,可避免破坏面积太大,成孔规则,而且效率高,噪声低。注浆孔如图 2 所示。

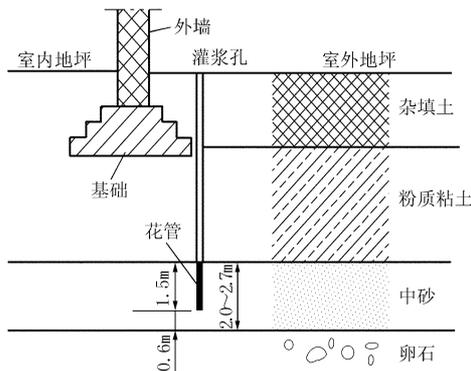


图 2 注浆孔剖面示意图

4.3 击入注浆管

采用 LG9-7 型空压机一台,CHJ110 型气动潜孔锤 2 套,潜孔锤长度为 90 cm ,按设计采用潜孔锤将注浆花管和实管逐段击入,并焊接牢固。

4.4 搅拌浆液

主材为 325R 硅酸盐水泥,辅助采用水玻璃,以增强其稳定性和可灌性。水灰比保持在 $1:1$,实际操作中可根据情况调整主、辅浆材配比,辅助浆材配比为 1% ;采用自制灰浆搅拌机,搅成浆液放入 2 m^3 储浆箱,备用,储浆箱内同样设置了搅拌器,防止凝结或沉淀。

4.5 注浆

待管道与注浆管连接完成,启动 BW250-50 型往复式泥浆泵,将储浆箱中的灰浆压入地层中。注浆设备系统如图 3 所示。

控制注浆压力在 $0.3\sim 0.8\text{ MPa}$ 之间,最大不得超过 1.2 MPa 。

灌浆标准按每孔每分钟钻孔吃浆量小于 $(1\sim 3)L$ 或者注浆压力显著超出控制压力为准。

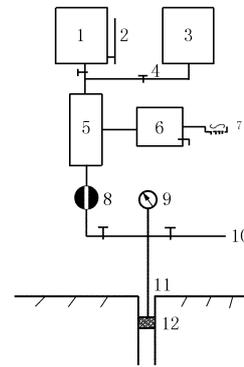


图 3 灌浆设备系统

1—浆槽;2—液面管;3—水槽;4—阀门;5—注浆泵;6—电机;7—电源;8—流量控制阀;9—压力表;10—排气回浆管;11—灌浆管;12—胶塞

5 实施流程

设计施工流程:定孔→加工注浆花管→击入注浆花管→配制水泥浆→注浆→封孔。

5.1 定孔

施放注浆孔位,请业主方及建筑公司现场确认没有地下管线、埋藏物时,用皮尺放点定位,打孔机械就位。

5.2 注浆管加工

注浆管为 $\text{Ø}48\text{ mm}$ 焊管,标称厚度 4 mm ,花管段每隔 10 cm 相对部位钻孔 2 个,孔径 6 mm ,花眼呈梅花状布置,花管段长度设计 2.0 m ,花管底端距注浆管底端 0.5 m 。

5.3 预埋注浆管

根据设计,注浆孔均布在基础的外缘。

室内砣地面部分采用开孔钻具进行,成孔直径 120 mm ,砣以下部分采用空气锤击入注浆管。击入深度东部为 7.5 m ,西部为 7.0 m ,准确记录击入深度和花管位置。

5.4 配制化学浆液

严格按化学浆液的配合比进行现场配制,浆液搅拌时间不小于 30 s ,同时确保原材料质量。在专用灰浆搅拌机内加入定量的水,再按比例添加水泥,采用灰浆搅拌机搅拌,搅拌好后注入灰浆箱,最后在注浆前加入水玻璃。

5.5 注浆

按照设计施工方案,分批对已施工到预定深度的注浆管内进行注浆。注浆时压力由小到大逐级加压,控制范围 $0.3\sim 0.8\text{ MPa}$,浆液的水灰比为 $1:1$,水玻璃配比为 1% 。

应保持注浆过程连续,开始注浆第一罐浆液相

对调稀,最后一罐相对较浓。严禁注浆前向孔内注清水。

出现反浆应及时停止注浆进行封堵处理。然后根据反浆情况对注浆孔适当调整。

实际操作中注浆标准为原则上“定性不定量”,按每孔总体注浆量 2500 kg 计,或每分钟钻孔吃浆量小于(1~3)L 或者注浆压力显著超出控制压力为准;个别注浆孔因注浆过程中发生冒浆、串浆而暂停注浆,部分注浆量少的注浆孔,浆液初凝后,又进行了二次注浆,二次注浆压力最大控制在 1.2 MPa 左右。

6 施工机具

根据场地具体情况,对于室内、室外施工主要采用气动潜孔锤成孔,BW250-50 型高压注浆泵注浆,所用设备见表 2。

表 2 施工设备一览表

设备名称	型号	单位	数量
空压机	LG9-7	台	1
气动潜孔锤	CHJ110	套	2
高压注浆泵	BW250-50	台	1
泥浆搅拌机	JJS-2	台	1
注浆封闭管及注浆管		套	2
2 m ³ 储浆罐		个	2

7 施工过程沉降监测

为保证施工安全,施工期间安排专人监测住宅楼,主要是沉降、倾斜、裂缝等关键点。同时根据业主委托专门公司对注浆施工期间住宅楼的沉降倾斜变形状况进行了观测,分别安排在注浆前、三分之一工作量、三分之二工作量、全部工作完成,共进行了 5 次观测(见表 3),结果表明,各沉降观测点沉降量均在允许范围内。

8 质量检验

根据加固设计方案,本工程注浆加固质量、效果检验采用钻孔取心和动力触探方法进行检验。即注浆前和注浆初凝后对拟加固区地层进行钻探取心和动力触探试验,比较注浆前后土质变化、触探击数变化,判断加固效果。计划抽取 2%,共 6 孔进行检验。注浆检验时间在注浆结束 28 天后进行。

因建筑基础等地下设施与竣工图有出入,致使部分注浆孔无法到达预定位置完成注浆,因此注浆孔数仅完成设计工作量的 90%,由于该楼地基的软硬不均性质突显,实际注浆量与试验注浆量有较大

表 3 沉降观测数据统计表 /mm

点号	第一次 (注浆前)	第二次 (2010年5 月17日)	第三次 (2010年6 月12日)	第四次 (2010年6 月23日)	第五次 (2010年 7月6日)
1	0.02	0.04	-0.01	-0.51	1.45
2	0.04	0.06	-0.06	-0.68	1.92
3	0.04	0.02	-0.30	0.33	1.93
4	0.02	0.10	-0.10	-1.24	1.50
5	0.07	0.01	0.34	-0.74	0.57
6	0.03	0.02	0.54	-1.34	-0.06
7	0.05	0.02	0.04	-1.39	-0.02
8	0.04	0.03	0.37	-1.25	1.63
9	0.00	0.05	0.67	-0.19	1.21
10	0.04	0.02	0.15	-1.03	0.50
11	0.04	0.01	0.00	-1.28	0.54
12	0.04	0.04	-0.23	-1.38	0.11
13	0.03	0.04	1.08	-1.09	1.64
14	0.04	0.06	0.83	-1.30	2.32
15	0.06	0.02	0.72	-1.50	0.94
16	0.01	0.03	0.82	-1.07	1.35
17	0.08	-0.01	0.06	-0.14	1.16

的差距,仅完成设计量的 64%。由于业主急于交付使用,将检验工作提前至注浆结束后 3 天进行,部分注浆孔未达 28 天龄期,因此,将抽样检验孔的数量增加至 20 个,以 2010 年 1 月 13 日至 2010 年 3 月 16 日注浆试验设计阶段对土层进行的动力触探试验(共进行了 6 个孔)数据作为基础,注浆后检验孔共进行 20 个孔,位置距注浆孔 0.5 m。试验统计数据见表 4。

表 4 加固前后 $N_{63.5}$ 试验击数对比表 /击

岩性	注浆前		注浆后	
	范围	平均值	范围	平均值
粉砂	1~4	3.1	5~12	8.2

从检验孔岩心可以看出,注浆后水泥浆液充填土层孔隙,使土层孔隙率降低,形成水泥土结石体,减少了土层可压缩性,达到了有效减轻沉降、降低沉降对住宅楼的威胁的目的。

首先,从表 4 中的试验统计数据可以看出,软弱粉砂层经过注浆加固后重型动力触探击数由试验前的 3.1 击提高到注浆后的 8.2 击,提高达 2.6 倍,承载力特征值显著提高,说明注浆后加固目的层的强度明显提高,软弱层已改性为非软弱层,注浆加固效果十分显著。

9 结语

注浆加固既有建筑软弱地基,通过钻孔取心证实加固目的层孔隙已大部分充填水泥结石,且动力
(下转第 81 页)

首先采用钠基膨润土循环液或有机循环液钻进,还要密切关注操作台扭矩压力表,当压力达到极限值80%或骤然上升时应立即停止进尺,待反复回拖至安全状态后方可持续进尺;如涌水量很大或有较小的水压时应先进行孔口注浆或前进式注浆至1.5 m后再进行钻孔(此时应注化学浆或水泥-水玻璃双液浆)。

5.2 打钻过程中涌砂量较大

打钻时通过增大循环液密度,快速进尺控制出砂量;当涌砂量较大且无法控制时应立即停钻,改换喷头体后立即进行高压喷射注浆,此时根据情况可采取间歇性或反复性低压渗透注浆;注浆完成后可重新进行钻孔接续进尺。

5.3 喷射注浆时压力骤然升高

喷浆前搅浆桶、储浆桶的清洁及浆液过滤是关键,喷浆后高压泵清洗及钻具冲洗彻底是预防压力骤然升高的前提。另外泵工应密切关注高压泵流量及压力数值,当压力骤然升高时立即关闭流量、打开泄压阀。

5.4 喷射注浆过程中孔内憋压

对整体出现的情况可通过调整浆液配比、改变喷嘴大小及控制流量等措施处理;当单孔出现孔内憋压时应立即停喷并打水后退,待孔口溢浆后再接续喷出,另外在高压喷射注浆前分段进行一次低浓度循环液洗孔也是防止憋压的有效措施。

6 注浆效果检验

6.1 三维效果图模拟

根据打设过程中提供的打设参数进行三维效果模拟,效果图显示,30 m前除起拱线处没有完全咬

合外,其余位置咬合较为理想,30 m后咬合不够完全(但没有影响开挖),后在起拱线处各补打1个孔进行高压喷射注浆。

6.2 探测孔检测

高压喷射注浆完成后,在左右导洞各打设探测孔1个,打钻过程中未出现明显的抱钻,未出现涌水、涌砂现象,后安装泄水孔进行泄水,水流量 $< 15 \text{ L/min}$,达到预期效果。

7 结语

该项目高压喷射注浆加固段已全部挖通,整体未出现较大的涌水、涌砂现象,周围环境未受到较大影响,仅在30 m后的不完全咬合段部分配合超前小导管补注浆进行加固,整体加固效果较为理想。饱和粉细砂通过高压喷射注浆进行超前加固取得了较好的效果,并对出现的问题进行了总结,为今后的类似项目处理提供了参考。

参考文献:

- [1] 王梦恕,等.中国隧道及地下工程修建技术[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [2] 张民庆,彭峰.地下工程注浆技术[M].北京:地质出版社,2008.
- [3] 孔恒.城市地下工程浅埋暗挖地层预加固理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [4] 龚晓南.地基处理技术发展展望[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [5] 叶观宝.地基加固新技术[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [6] 祝龙根,刘利民,耿乃兴.地基基础测试新技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [7] 崔双利.高压旋喷注浆技术在基坑挡土墙工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2).

(上接第68页)

触探击数由3.1提高到8.2,钻探和试验数据均表明,地基土力学性质得到显著改善,已达到加固的目的。目前该工程交付住户已有2年,未见有新的裂缝发展或沉降变形产生,加固是成功的。

击入花管注浆法加固地基相比其它地基加固方法,一是无需开挖,避免了大量的土方工作对同时在院区施工的地源热泵工程交叉影响;二是环境更加卫生、整洁,地表不会大量冒浆,保持了新建筑的环境整洁;三是不破坏基础结构,防止出现次生事故;四是施工机具灵活方便,在已建建筑中穿行方便,不破坏门窗、不增加新的修缮工作量。

本工程的实践证明,击入花管注浆法加固地基

特别适用于已建建筑物的地基处理加固,有较高的应用价值。

参考文献:

- [1] 王赫.建筑工程事故处理手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [2] 龚晓南.地基处理手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 刘立军,宋仕兵,管延斌,等.采用综合灌浆技术加固既有建筑不良地基的实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9).
- [4] 葛文昌,赵辉.石家庄市沥青厂房屋地基注浆加固实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11).
- [5] 林青.软土地基注浆加固实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(8).