

岩溶地区住宅楼基础灌浆加固复位施工实践

韦兴标¹, 何德顺², 李小芳²

(1. 广西水文地质工程地质勘察院, 广西 柳州 545006; 2. 广西贺州市平桂区自然资源局, 广西 贺州 542827)

摘要: 为修复地面沉降过大的问题, 采用灌浆加固法对某住宅楼的地基进行加固处理。本文详细介绍了该工程的地质条件, 分析了墙面开裂和地面塌陷的原因, 在此基础上提出了灌浆加固方案。该住宅楼周围均为同高度的住宅楼, 且前侧为城市道路, 同时地下有复杂的地下管网, 施工条件十分复杂。为避免因灌浆对周围建(构)筑物, 道路及地下管线的影响, 采用“间歇式灌浆法”进行加固处理, 成功解决了地面沉降过大的问题。

关键词: 灌浆加固; 软弱地基; 基础沉降复位

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)05-0443-05

Construction of restoring ground subsidence by grouting reinforcement for foundation of a residential building in karst area

WEI Xing-biao¹, HE De-shun², LI Xiao-fang²

(1. Guangxi Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Liuzhou 545006, China;

2. Guangxi Hezhou Pinggui District Natural Resources Bureau, Hezhou 542827, China)

Abstract: The grouting reinforcement method was adopted in this study in order to strengthen the foundation accompanied by large settlement of a residential building in karst area. This article introduced the detailed geological conditions of the project, analyzed the causes of wall cracking and ground collapsing, and also proposed the grouting reinforcement scheme for the project. The residential building is surrounded by similar height buildings, and the urban road is in front of the building, and also, there are complex underground pipelines nearby. Thus the construction condition is very complicated. In order to avoid the influence of grouting on surrounding buildings (structures), roads and underground pipelines, the “intermittent grouting method” was used to reinforce the foundation of the residential building, which successfully solved the problem of large ground settlement.

Key words: grouting reinforcement; soft foundation; restoration of ground subsidence

0 概 述

贺州市某私人住宅楼长 16 m×宽 12 m, 楼高 9 层, 基础采用墩基础, 基础埋深 1.5~6.0 m, 持力层大部分为可塑状黏土, 局部为基岩, 建筑结构为框架结构。2018 年城市道路及其电网改造施工过程中, 因未采取有效地保护措施, 加上施工正值雨季, 地面雨水汇集入电缆沟内且电缆沟内积水抽排不及时, 该私人住宅楼地基土和其门前的城市道路的水稳层在积水长期浸泡下, 造成城市混凝土路面开裂, 裂缝长约 7 m, 宽 2~5.5 cm 路面呈弧形塌陷,

塌陷范围: 长约 8.0 m, 宽约 3.0 m, 塌陷深度约 0.3~0.5 m; 同时造成该私人住宅楼基础出现不均匀沉降现象, 其中 2 号墩基础沉降量最大 (2.29 cm), 1~4 层楼的墙面出现裂缝, 缝宽 1~5 mm; 后经勘察单位勘察, 该私人住宅楼及其门前、城市道路岩溶较发育, 存在溶洞。为防止该住宅楼基础继续下沉和墙面裂缝加长、加宽, 对住宅楼软弱地基灌浆加固、沉降基础复位施工及其楼前、城市道路岩溶塌陷区灌浆, 经过近 3 个月钻孔、灌浆施工, 较为圆满地完成施工任务。

收稿日期: 2020-04-13

作者简介: 韦兴标 (1967—), 男, 广西荔浦人, 高级工程师, 注册一级建造师、注册安全工程师, 主要从事从事钻孔灌注桩、软土地基加固、深基坑支护等施工技术与管理工。E-mail: weixb878111@163.com。

1 工程概况

1.1 场地内工程地质条件与岩溶发育特征

(1) 场地内工程地质条件

依据业主提供的《岩土工程勘察报告》，场地内岩土层自上而下为：第四系人工堆积成因的①素填土（ Q_4^{ml} ）、②耕土（ Q_4^{pd} ）、残积形成的③黏土（ Q_4^{el} ），下伏基岩为④泥盆系灰岩（ D_{3r} ）等。场地内各岩土层特征描述如下：

a) 第四系（ Q_4 ）：

①素填土：位于场地表面。该层全场钻孔均有分布，层厚0.3~1.6 m，平均层厚约1.0 m。土层呈褐色，稍密状态，稍湿。主要由黏性土组成，局部含碎石。在该层做标准贯入试验3次，经杆长修正后锤击数为2~3击/30 cm，平均值为2.3击/30 cm，该层强度较低，属高压缩性土。

②耕土：灰褐色，结构松散，稍湿，以黏性土为主，不含植物根须，含少量腐殖质及有机化合物等。该层全场钻孔均有分布，层厚0.3~0.5 m；在该层做标准贯入试验3次，经杆长修正后锤击数为1.5~1.9击/30 cm，平均值为1.6击/30 cm，该层强度较低，属高压缩性土。

③黏土：褐黄色，稍湿，可塑状态，黏性较强，切面较光滑，无地震反应，韧性较高，干强度较强。该层全场钻孔均有分布，层面埋深为0.5~2.2 m，层厚0.9~4.5 m，平均层厚约2.1 m。

b) 上泥盆统融县组（ D_{3r} ）

④灰岩：根据区域地质资料，场地内基岩为泥盆系灰岩。主要矿物成分为方解石，细~隐晶质结构，中~厚层状构造。本次勘察钻进较完整岩石 ≥ 3.0 m，基岩顶面埋深1.9~6.7 m，起伏变化较大。岩层产状为 $350^\circ \angle 20^\circ$ 。根据钻探取样及现场鉴别，场地内灰岩按完整程度性状可分为④₁较破碎状灰岩和较完整④₂石灰岩2个亚层：

④₁较破碎状灰岩：灰白色，在场地内ZK1、ZK3、ZK6、ZK7、ZK6-1号等5钻孔基岩面以下浅层深度揭露该层，层面埋深1.9~5.6 m，层厚在0.1~2.4 m不等，呈不连续状分布。表层多以鹰嘴岩、石崖、石笋、半边岩的形式出现，中部常穿过一段准完整基岩以岩溶形式出现，遇岩石段岩芯总体较破碎，多呈颗粒状、半边岩状或块状；因该层多处于溶洞顶板位置，在钻探过程中，该层岩芯碎块极易掉入下面溶洞之中，故取芯率较低，约45%，岩石质脆，呈中~微风化状态，岩溶段多呈充填及半充填状态，充填物多为软塑及流塑状黏性土。按坚

硬程度分，该层属较软岩，岩体总体破碎，岩石基本质量等级V级。

④₂较完整石灰岩：灰白色。致密坚硬，微风化，层面埋深为2.2~15.5 m，岩石微细裂隙隙稍发育，节理内均被白色方解石充填，呈紧闭状，岩芯多为长柱状，少数为短柱状。岩芯采取率为82%~88%，RQD为71%~85%，岩体完整性好。

(2) 场地内水文地质条件

根据本场地本次钻探资料，结合场区水文地质环境及地形地貌特征综合分析，本场地内主要地下水类型为：

a) 上层滞水：赋存于局部隔水层以上的上覆填土层中，水量相对贫乏，补给方式主要是受大气降水补给，根据场地勘察测得初见水位在1.6~2.5 m。

b) 岩溶裂隙水：赋存于岩石层的岩溶裂隙、层理空隙及溶洞中，水量相对较大，略显承压性，补给方式主要是受大气降水及地下径流补给。据地区经验，在岩溶通道内及基岩面附近岩溶裂隙水水量较大。根据场地勘察测得岩溶裂隙水稳定水位埋深在2.6~3.2 m之间，标高在-2.6~-3.2 m，地下水位年变化幅度为1~2 m。

(3) 岩溶发育特征

根据钻探揭露，该场地内存在溶洞、溶沟或溶槽等不良地质条件。现场勘察的13个钻孔中有ZK4、ZK6、ZK6-1、ZK10等4个钻孔发现溶洞、溶沟或溶槽，见洞隙率高达30.8%，线岩溶率为32.7%。溶洞洞高最大为6.0 m，且在ZK4、ZK6等2个钻孔中揭露“串珠式溶洞”，溶洞顶板厚度0.1~1.2 m，溶洞顶板岩层为破碎灰岩。钻探穿过溶洞常有掉钻现象，掉钻长度为0.6~2.5 m；溶洞中充填软~流塑状黏性土，该场地溶洞极为不稳定。

1.2 墙面开裂及其门前混凝土路面塌陷的主要原因

(1) 据了解，私人建造住宅楼前，未进行岩土工程勘察，该住宅楼地基土存在溶洞、溶沟或溶槽等不良地质条件。

(2) 2018年城市道路及其电网改造施工过程中，因未采取有效地保护措施，施工正值雨季，地面雨水汇集入电缆沟内且电缆沟内积水抽排不及时，该私人住宅楼地基土和其门前的城市道路的水稳层在积水长期浸泡下变软、崩塌，同时道路上过往车辆的车载作用下，城市混凝土路面出现开裂；同时该私人住宅楼地基土在积水长期浸泡下变软，

造成基础下沉, 导致该住宅楼墙面拉裂。

1.3 现场施工环境条件

该私人房屋住宅建筑楼高9层, 基础采用墩基础, 框架结构; 该沉降住宅楼左右侧连接同高度的私人住宅楼, 前面为城市道路, 且该沉降住宅楼前面与城市道路之间有城市道路改造的电缆沟和城市污水管网, 而该沉降住宅楼屋后与联排、同高度私人住宅楼之间距离为8 m, 前后排房屋有居民出行的混凝土道路、生活用水管网、排水沟及化粪池, 施工条件十分复杂。



图1 施工前混凝土路面塌陷照片

Fig. 1 Concrete pavement collapsed before construction

2 住宅楼沉降基础灌浆加固复位施工

2.1 灌浆加固复位工作原理

为较完善地消除该住宅楼沉降基础继续下沉, 应先对对溶洞或软弱地基土进行灌浆加固处理, 后采用压密灌浆对沉降基础进行复位处理。即先对房屋前、城市道路上的塌陷区内溶洞、房屋内溶洞(钻灌浆孔中发现部分钻孔遭遇溶洞)和受水浸泡软化的房屋地基进行灌浆加固处理, 水泥浆经渗透、扩散、填充和挤密等作用充填到受灌地层的空隙或孔隙中去, 与洞内固体颗粒胶结、硬化, 同时排除水和空气, 形成结构稳定、承载力高的复合地基土。待完成溶洞或软弱地基土加固处理后, 再在沉降墩基础附近布置钻孔进行压密灌浆复位, 从而达到沉降基础复位的目的。

2.2 建立测量观测监控网

施工前, 在姑婆山大道的花圃里设置(BM0、BM1、BM2)和距离该沉降住宅楼较近且相对稳定的附近房屋房角上设置(BM4、BM5)共5个沉降观测观测基准点; 在该沉降住宅楼和相邻建筑物布设28个沉降观测点, 点号为J1-1~J9-1、J10~J28,

其中该住宅楼内原有的9个沉降观测点; 在塌陷混凝土道路路面上布设6个地面沉降观测点, 点号为D1~D3、D1-1~D3-1。灌浆过程中, 对该沉降住宅楼及相邻建筑物和城市道路路面进行跟踪测量观测与监控。当测量数据发生变化时, 及时调整灌浆技术参数或采取有效措施; 尤其是在沉降墩基础压密灌浆复位施工过程中, 避免“矫枉过正”。



图2 灌浆前地面沉降

Fig. 2 Ground settlement before grouting

2.3 灌浆孔的布设

城市道路混凝土道路塌陷区布设灌浆孔: 灌浆孔间距2.5 m, 灌浆孔排距2.5 m, 呈品字形布置, 布设14排灌浆孔, 共107个(含复位灌浆孔13个)。沉降住宅楼屋檐和房屋内布设灌浆孔与前者基本相同, 但因受空间限制, 灌浆孔间距稍小些; 而压密灌浆复位的灌浆孔则设置在两个相邻灌浆孔适当位置上, 并根据沉降住宅楼实际复位情况, 现场适当增加灌浆孔进行复位, 详见图3。

2.4 灌浆加固范围

依据设计要求, 本次灌浆加固处理范围: 横向加固范围: 城市混凝土路面塌陷区外扩2.5~3.0 m和整栋沉降住宅楼(包括屋檐和屋内)及其屋后存在溶洞的区域。纵向加固深度自溶洞底板至塌陷混凝土路面下的素填土和沉降住宅楼的素填土, 详见图4。

2.5 施工顺序

该沉降住宅楼灌浆加固复位处理包括: 屋前、城市混凝土路面塌陷区灌浆加固处理及整栋沉降住宅楼软弱地基土灌浆加固处理和沉降住宅楼灌浆复位施工两个工作内容, 总体施工顺序为先进进行屋前、城市混凝土路面塌陷区灌浆加固处理及整栋沉降住宅楼软弱地基土灌浆加固处理, 后进行沉降住宅楼灌浆复位。而就屋前混凝土路面塌陷区灌浆加固处理及整栋沉降住宅楼软弱地基土灌浆加固处理而言, 先施工单号灌浆孔, 后施工双号孔; 先施工单排钻孔, 后施工双排钻孔。

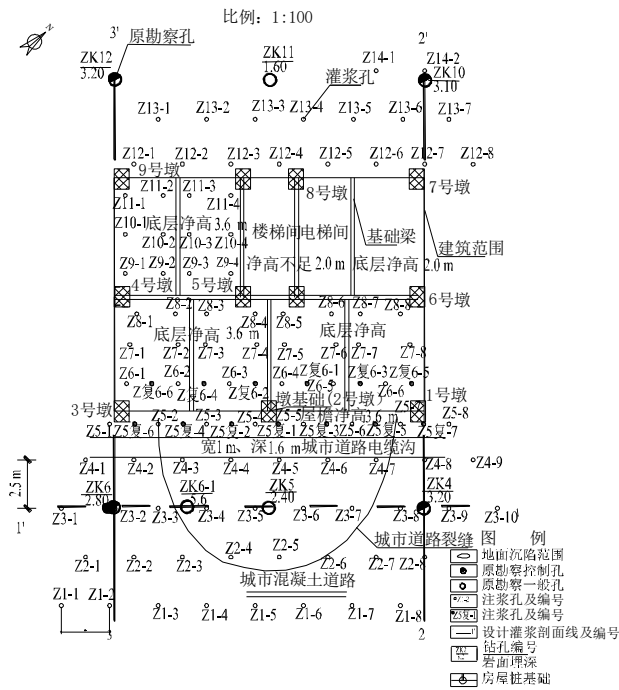


图3 沉降基础灌浆孔平面布置图

Fig. 3 Layout plan of grouting holes of foundation

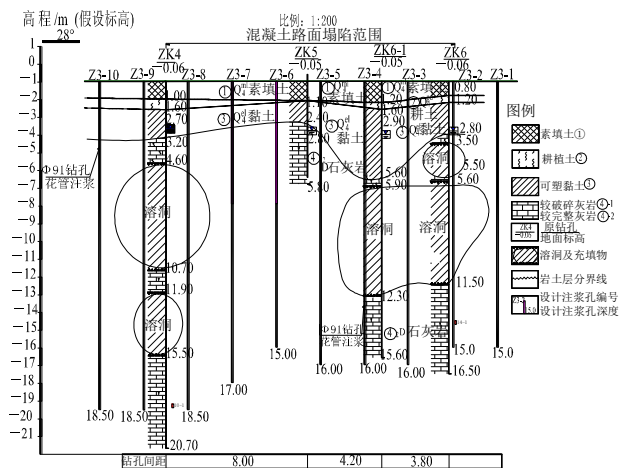


图4 灌浆加固处理剖面图

Fig. 4 Profile of grouting reinforcement

2.6 主要施工机械设备

因该沉降住宅楼基础灌浆加固复位施工主要在沉降房屋屋前与屋后和房屋内部，且房屋内部和屋檐净空高度 3.6 m，楼梯间和局部地带不足 2.0 m，钻孔设备仍采用 2 台 GY-100 型钻机，其中 1 台须配备高 3.0 m 钻机矮塔、短钻具和短钻杆等机具(用于房屋内部和屋檐下方机械成孔)；灌浆现场地处市区内，场地狭窄，选用注浆泵选用 GSZ-8 双缸制注浆一体机，较好地解决搅拌和存贮水泥浆问题。现场采取“隔离施工”将城市道路与现场隔离，避免道路车辆进出现场，同时现场采用喷淋装置和喷雾机除尘等措施保护现场施工环境。

2.7 灌浆加固处理

(1) 成孔：路面混凝土和基岩采用金刚石钻头清水钻进，土层采用冲击取土钻进成孔。开孔直径 130 mm，终孔直径 91 mm。

(2) 灌浆材料：强度等级 42.5 MPa 普通硅酸盐水泥， $Be=35\sim45^\circ$ 、模数 2.4~3.4 的水玻璃，搅拌用水为自来水，水泥浆的水灰比 0.8~1；水玻璃掺入量根据现场受灌地层吸浆量情况适当掺入，通常情况下，其掺入量为水泥质量的 5%，但当地层吸浆量超过预计灌浆量的 1.5 倍，其掺入量可达 20%。

(3) 灌浆方法及技术参数：本工程灌浆采用自下而上、分段灌浆方式进行，即将搅拌好的水泥浆经注浆泵抽送，经输浆管、注浆管进入孔底和受灌地层中，在注浆泵压力作用下，浆液经渗透、扩散、挤密、劈裂等作用，占据溶洞空间或孔隙，从而达到提高地基土承载力的目的。灌浆压力：初灌 0.2~0.4 MPa，终灌 0.8~1.0 MPa。

2.8 灌浆加固处理效果

灌浆加固处理完成后，采用钻孔取芯、动力触探、标准贯入试验等原位测试方法对灌浆加固处理效果进行检测，加固后地基土承载力特征值 $f_{spk} \geq 180$ kPa，满足工程质量要求。

2.9 沉降基础灌浆复位施工

(1) 沉降基础灌浆复位方法

采用压密法进行住宅楼沉降基础的灌浆复位，即在沉降墩基础附近钻灌浆孔，通过灌浆孔在受灌地层中灌入浓浆(水灰比 0.5~0.6 的水泥浆)，在灌浆点使受灌土体压密而形成浆泡。当浆泡的直径较小时，灌浆压力基本上沿钻孔的径向扩展；随着浆泡尺寸逐渐增大，向外扩张的浆泡将在土体中产生较大的上抬力。沉降基础获得的最大抬动力 F_{max} 与灌浆压力 P 、吸浆量 Q 和受灌土层内聚力 c 存在如下关系： $F_{max}=0.31P^{5/3}Q^{2/3}c^{3/2}$ 。

合理控制灌浆量、灌浆压力，可获得适当的上抬力，能够较准确地控制沉降墩基础抬升速度和抬升量，其恢复到较理想的位置。

(2) 灌浆复位施工要点

a) 为确保沉降基础正常复位，应从沉降量最大的 2 号墩基础开始，从中间往两端对称式灌浆复位施工，即先施工屋檐下方的 Z5 复-1→Z5 复-2→Z5 复-3→……→Z5 复-7，后施工屋内的 Z6 复-1→Z6 复-2→……→Z6 复-6。

b) 采用水灰比为 0.5~0.6 水泥浆进行压密法

灌浆复位, 灌浆压力控制在 0.8~1.0 MPa, 灌浆量视沉降基础抬升量而定。

c) 在灌浆复位过程中, 测量工程技术人员对沉降基础及附近房屋进行跟踪测量观测, 每次基础累计抬升量控制在 10 mm 内。

(3) 灌浆复位效果

经压密灌浆复位处理后, 各沉降墩基础基本上得到复位, 基本满足业主要求或达到预期效果, 各墩基础灌浆前后数据详见表 1。

表 1 沉降观测数据

Tab. 1 Observation data of settlement

墩基础 编号	复位前累计沉降量/ mm	复位后累计抬升量/ mm
1号	+17.80	-15.50
2号	+22.90	-20.20
3号	+16.60	-14.00
4号	+11.30	-9.00
5号	+19.30	-16.40

3 施工注意事项

(1) 在屋前、屋后的岩溶软弱层灌浆加固处理中, 溶洞灌浆压力可适当大些, 通常情况控制在 0.6~0.8 MPa; 而回填土灌浆压力要小些, 其灌浆压力控制在 0.2~0.4 MPa。压密法灌浆复位中, 灌浆压力多控制在 0.8~1.0 MPa。

(2) 在屋前、屋后的岩溶软弱层及回填土灌浆加固处理中, 当地面出现冒浆时, 可采取“增加水玻璃掺量, 缩短浆液凝结时间”, 也可采取“间歇式灌浆”进行施工, 减少浆液无效扩散, 提高其灌浆加固处理效果。

(3) 为避免因灌浆加固复位施工而造成沉降房屋基础抬动力量过大, 或地面局部隆起, 在房屋内、屋檐下采取“多钻孔、合理控制灌浆量”方法能较好预防房屋基础过大抬动或地面局部隆起。

(4) 在压密法灌浆复位过程中, 当某个灌浆孔灌浆使基础抬升量达到限值时, 因受钻孔位置限制, 可采取间歇式灌浆方法继续灌浆复位, 即当基础抬升量达到限值时, 暂时停止灌浆 30~60 min 后, 继续在原孔位灌浆, 但暂停施工时间不宜过长,

避免注浆管内水泥浆凝结。

(5) 因灌浆加固复位施工现场属于市区内, 除采取喷淋除尘外, 灌浆后废浆不得随地排放, 应掺入适量水玻璃, 提高废浆凝结、硬化效率, 减少环境污染, 更不得排入城市排水(污)沟内; 后用清水清洗搅拌机、注浆泵和灌浆机具, 其废浆、废水也不得随意排放, 应放置在沉淀池内, 待其沉淀后, 将水排出, 最后待工程结束后再将废浆块或废浆清除, 集中堆放。

4 结 语

(1) 在岩溶地区沉降住宅楼灌浆加固复位过程中, 属于既有建筑物的灌浆加固, 必须对该沉降住宅楼及其附近建筑物进行跟踪测量观测; 用跟踪测量观测数据指导现场灌浆加固复位施工, 否则现场灌浆加固复位施工处于盲目状态, 易出现“矫枉过正”现象。

(2) 在灌浆复位施工中, 因同排住宅楼紧靠在一起, 且与后排住宅楼也较近, 为避免因灌浆抬升而造成相邻住宅楼抬动, 甚至墙面开裂, 在该沉降住宅楼灌浆加固处理后不再继续沉降和灌浆复位基本满足设计和住户要求的基础上, 停止灌浆复位施工。

参考文献

- [1] 张永钧, 叶书麟. 既有建筑地基基础加固工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 叶书麟, 韩杰, 叶观宝. 地基处理与托换技术(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [3] 中华人民共和国建设部. 既有建筑地基基础加固技术规范: JGJ 123-2000[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [4] 中国有色金属工业总公司. 注浆技术规程: YSJ 211-92[S]. 西安: 西安交通出版社, 1993.
- [5] 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.