

高压旋喷注浆法在建筑物桩基托换加固中的应用

魏余广，张爱新

(甘肃有色工程勘察设计研究院, 甘肃 兰州 730000)

[摘要] 针对兰州某小区商住楼已形成不均匀沉降的地基, 根据场地施工条件、地基条件和建筑物的结构特征, 对该工程地基选择了高压旋喷注浆法进行加固, 加固结果表明: 加固前及加固初期地基沉降速率较大, 加固施工完成后沉降速率变小, 加固完成两个月后沉降稳定, 加固效果良好。通过该工程实践表明: 高压旋喷注浆法在复杂地基中对既有建筑物的加固处理虽然是可行的, 但同时必须根据地基土的特点采取相应的切实可行的技术措施, 才能使地基加固处理达到预期的效果。其加固原理既有旋喷桩的托换加固之功效, 又有静压注浆加固之作用。

[关键词] 高压旋喷注浆法; 复杂地基; 托换加固

[中图分类号] TU473.1; TU755.65 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)03-0066-04

Application of High Pressure Jet Grouting Method in  
Pile based Underpinning Reinforcement of Build up Buildings

WEI Yu guang, ZHANG Ai xin

(Gansu Non ferrous Engineering Exploration and Design Research Institute, Lanzhou 730000, Gansu China)

**Abstract** The community buildings have sub grades that sinks asymmetrically because it consists of much break ing sandstones. Considering the given situation of the engineering condition, sub grade and structure characteris tic of the buildings, the sub grade is reinforced with the high pressure jet grouting method, and some special measurements are carried out to ensure the technology of making holes, infusing mud and construction procedure. Before and during the reinforcement, the sub grade sinks quickly. However, after the reinforcement, the velocity of settlement becomes slower. And two months later, the sub grade becomes steady. The reinforcement engi neering confirms that the high pressure jet grouting method can be used effectively to reinforce complex founda tions of the existing buildings, but to achieve the anticipant result, practicable technique should also be taken ac cording to the characteristics of the foundation soil at the same time. The principle of the reinforcement has the function of the replaced reinforcement of the revolving and spurting column as well as the function of the static pressure afflux, it can be taken as the lesson for other engineering.

**Key words:** high pressure jet pouring method; complicated sub grade; underpinning reinforcement

0 引言

高压旋喷注浆法,就是将可凝固的高压水泥浆通过钻杆由水平方向的喷嘴以 20 MPa 的压力高压

喷出,形成高压喷射流,以此切割土体并与土体拌和形成水泥土加固体的地基处理方法。依据喷嘴运动方式的不同分为旋喷、摆喷和定喷等几种。旋喷法在既有建筑物加固中最为常见<sup>[1-3]</sup>。根据规范要求,高压旋喷法主要适用于处理淤

[收稿日期] 2005-12-30

[作者简介] 魏余广(1955-),男,甘肃民勤人,高级工程师,从事水文地质工程地质勘察研究。

泥、淤泥质土、流塑、软塑及可塑的粘性土、粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基。对含有较多大粒径块石的地层应慎重<sup>[4-5]</sup>。而该工程所涉及的地基正是由大量碎砂岩块等组成的素填土复杂地基, 因此, 加固是否有效是本工程的重点和难点。

## 1 工况条件

兰州某小区 1<sup>#</sup> 商住楼建于 2003 年, 为 8 层全现浇框架结构, 基础形式为人工挖孔灌注桩, 桩身混凝土强度等级为 C20。由两条变形缝将结构分为 A、B、C 3 个单元区。2005 年初, 在 B、C 区③~⑥轴线上的部分桩基发生不均匀下沉, 导致上部结构局部产生裂缝, 影响建筑物的正常使用。

据场地岩土工程勘察报告及剖桩检测结果, 此地处于黄河次级冲沟发育的残垣高阶地上, 原始地貌地形高差较大。地基土主要由人工填土及第三系砂岩组成。人工填土厚 18.0~19.0 m, 其中 10.0~13.0 m 以上主要由粉土组成, 其下为以碎砂岩块为主的素填土, 该段填土空隙大、松散, 且有遇水压密沉降的性质, 工程性质差。下伏的第三系砂岩层强度高, 压缩性低, 工程性质良好。

2005 年初剖桩检验时, 加固区场地地基中有地下水存在, 地下水位埋深 18.0 m 左右, 地下水主要赋存在回填土的空隙中。

## 2 建筑物产生不均匀沉降的原因

据查阅施工报告和剖桩检验等地基下沉原因调查结果, 已施工的人工挖孔灌注桩的桩长只有 9.90~10.50 m, 桩端只座落在工程性质差、且具压密沉降性的以碎砂岩块为主的回填层上, 而未能座落在工程性质良好的稳定持力层——第三系砂岩上。由于桩端持力层的性质为松散、大空隙的回填层, 在荷载和渗入水的作用下会产生地基土的压密变形, 导致地基变形沉降; 同时桩周土体沉降变形对桩体产生负摩擦力, 对基桩形成下拉荷载, 是引起桩基不均匀沉降的主要原因<sup>[6]</sup>。

## 3 加固方案

### 3.1 加固方案比选

建筑物的基本特点是框架结构, 单桩单柱, 而

地基发生不均匀沉降的主要原因是桩端未座落在持力层上。

根据建筑物的结构、桩基特点和场地的施工条件, 将人工挖孔灌注桩加固托换和旋喷桩加固托换两种方案为推荐备选方案。方案选择的基本原则是加固技术和现场施工必须可行。

(1) 选择人工挖孔灌注桩其优点是成桩质量有保证。主要缺点一是由于水位位于回填土层中, 挖孔深度达不到要求, 降水难度大, 桩端难以座落在下伏稳定的第三系砂岩持力层上; 二是由于水平方向的施工断面大对原地基扰动大, 不利于加固期间的地基稳定, 容易引起施工期间的附加沉降。

(2) 选择旋喷法加固托换, 虽然基桩的质量保证程度没有人工挖孔桩高, 但旋喷法钻孔施工口径小, 对地基土扰动小, 不容易引起施工期间的地基附加沉降<sup>[7-8]</sup>, 同时旋喷桩容易进入第三系持力层。

通过专家论证和方案选择, 最后确定以高压旋喷灌注法进行处理。

### 3.2 加固方案设计

加固区的地基人工成孔灌注桩桩形为圆形和椭圆形。考虑其荷载及人工成孔灌注桩的单桩竖向承载力(椭圆形桩为 1 300~1 400 kN, 圆形桩为 1 000~1 100 kN), 初步确定对椭圆形灌注桩用 4 根旋喷桩托换加固, 对圆形桩用 3 根旋喷桩托换加固(图 1), 以此方案采用摩擦端承桩进行桩基承载力验算(取较小值)即

$$R_n = \eta f_{cu} A_p$$

$$R_n = \mu_p \sum q_i l_i + q_p A_p$$

式中:  $R_n$  为单桩竖向承载力设计值(kPa);  $\eta$  为桩身强度折减系数, 取 0.35;  $\mu_p$  为桩身周长, 1.88 m;  $f_{cu}$  为旋喷桩体试块无侧限抗压强度, 据本地经验取 4 000 kPa;  $n$  为桩身长度范围内的土层数, 取 2;  $l_i$  为桩周第  $i$  层土的厚度,  $l_1 = 10$  m,  $l_2 = 1.0$  m;  $q_{si}$  为桩周第  $i$  层土的侧向摩阻力标准值,  $q_{s1} = 40$  kPa,  $q_{s2} = 60$  kPa;  $q_p$  为桩端地基土承载力标准值, 取 1 300 kPa;  $A_p$  为旋喷桩截面积, 0.28 m<sup>2</sup>。

计算结果, 按桩身强度  $R_n = 392$  kPa, 按地基承载力  $R_n = 1 229$  kPa, 取较小值  $R_n = 392$  kPa。

按复合桩基验算, 桩基承载力远大于上部荷载。按桩身强度(3 根桩)验算复合桩基承载力为:  $R = 392 \times 3 = 1 176$  kPa, 大于 1 000 kPa 的荷载;  $R = 392 \times 4 = 1 568$  kPa, 大于 1 400 kPa 的最大荷

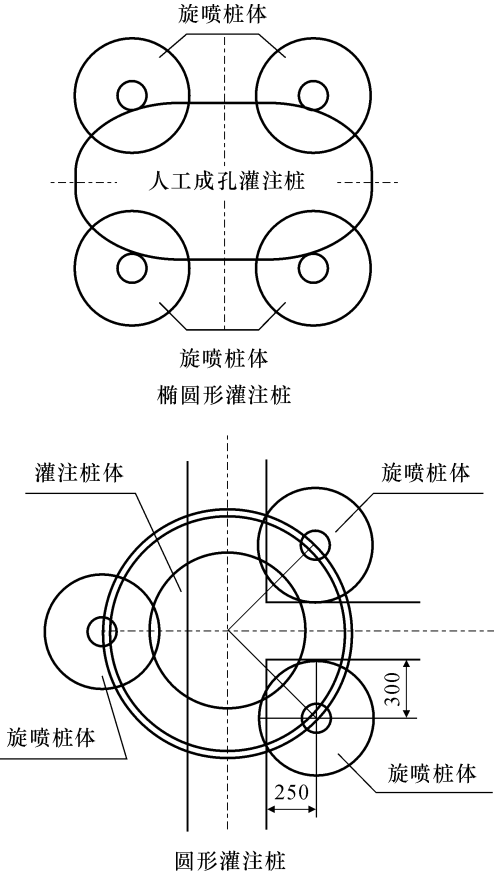


图 1 桩位布置

Fig.1 Sketch Map of Position of Piles

载。因此，单桩竖向承载力和复合地基承载力设计值可满足上部荷载的要求。

根据施工设备和地质特点，施工采用单管旋喷法，为了使托换旋喷桩与原挖孔灌注桩之间衔接良好，并使整个桩基置于下伏第三系稳定持力层之上，设计要求旋喷桩端部进入稳定的第三系砂岩中 2~3 m，旋喷桩顶要高出人工挖孔灌注桩桩底 1.5~2.0 m。

4 加固施工工艺与技术

4.1 施工参数选择

加固采用单管旋喷法，依据地基土的工程性质及设计方案的要求，采用的施工参数为：

- (1) 泵压：20~21 MPa。
- (2) 喷嘴直径及个数：Φ 2.0 mm 双喷嘴或 Φ 2.5 mm 的单喷嘴。
- (3) 提升速度：200 mm/min。
- (4) 转速：18~20 r/min。
- (5) 浆液配比：1 : 1 的纯水泥浆，添加 0.5×

10<sup>-3</sup> 的三乙醇胺及 5×10<sup>-3</sup> 的氯化钠作为早强剂，以提高旋喷桩体的早期强度。

4.2 加固施工工艺

单管旋喷法的施工工艺见图 2。

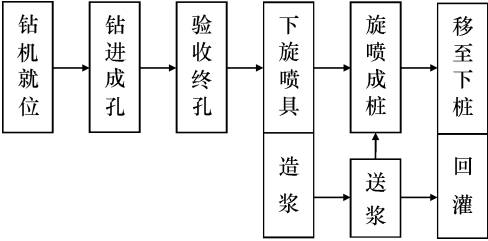


图 2 单管旋喷法施工工艺

Fig.2 Sketch Map of Working Technology

在钻机移至下一孔位后应及时向孔内回灌，避免因凝固收缩而与所托换的桩体分离，同时也有利于浆液向地基土中渗透。

4.3 完成的工作量

加固施工自 2005 年 6 月初开始进现场，于同年 8 月底完成野外工作，历时近 3 月。完成旋喷桩 48 根，完成钻进 976.50 m，旋喷桩体总长 507.56 延米，消耗水泥 168.90 t。每延米耗水泥 332.79 kg。

施工中，有近 3/4 的桩未返浆，说明浆液对原地基土的孔隙进行了充填。这一现象说明，对该场地大约 10 m 以下为碎块状砂岩为主的存有大孔隙回填土的判断是正确的，所采用的高压旋喷注浆加固工艺所喷射的水泥浆液对填土中的孔隙起到了填充作用。

4.4 主要技术措施

本次加固属于对既有建筑物进行的托换加固，如何减少加固施工中的附加沉降是这次加固施工过程中的技术重点。施工中主要从成孔、回灌及施工顺序对附加沉降进行控制。

4.4.1 成孔

该场地加固成孔深度大，加固段地层为大孔隙，并且遇到水压密沉降的人工填土，循环液控制不好会产生很大的附加沉降。因此，成孔工艺采用无泵不循环的钻进方法，使用优质泥浆进行护壁，以减少地基土因吸收大量水分而使其工程性质恶化，从而避免产生过大的附加沉降。另外，为确保旋喷桩桩端座落在稳定的砂岩层上，每孔均采取岩心并经勘查、建设等有关专家鉴定后再终孔。

4.4.2 回灌

在旋喷成桩后及时向孔内回灌水泥浆液，避免

旋喷桩体与人工成孔灌注桩间出现脱离现象。

4.4.3 施工顺序

为了避免施工过程中产生过大的附加沉降, 在安排施工时, 同一灌注桩下的相邻旋喷桩的施工采用不连续施工, 先施工的完成 3 d 后再施工下一根旋喷桩。

其他各工序也严格按照有关规范、规程进行操作。

5 加固效果评估

加固效果的评估从旋喷桩和建筑物的沉降等方面进行。

5.1 旋喷桩的桩形及桩身强度

由旋喷桩加固段地基土的构成及返浆情况判断, 旋喷桩的桩身直径是时大时小, 呈串珠状。由近 3/4 的旋喷桩在施工过程中没有返浆这一现象判断, 桩周附近地基土中的原有裂隙、岩块之间的空隙等已被水泥浆液充填, 起到了对地基土加固之功效。为确定旋喷桩体的桩身强度, 随机采取返浆试块 19 组进行了单轴抗压试验, 其结果如表 1。

表 1 返浆试块单轴抗压试验统计结果

Tab.1 Result of Statistics of Testing Resisting Pressure of Blocks from Return Liquids

| 样<br>数 | $p_{max} /$<br>MPa | $p_{min} /$<br>MPa | $p_{av} /$<br>MPa | 标准<br>差 | 变异<br>系数 | 修正<br>系数 | $p_s /$<br>MPa |
|--------|--------------------|--------------------|-------------------|---------|----------|----------|----------------|
| 19     | 7.84               | 2.28               | 5.81              | 1.744 3 | 0.300 2  | 0.878 8  | 5.11           |

表 1 结果显示, 桩身抗压强度的标准值为 5.11 MPa, 桩身强度高于设计的 4.0 MPa, 满足设计要求。

5.2 沉降观测

为了监控施工中的附加下沉, 施工中对 16 根柱子做了沉降观测<sup>[9-10]</sup>, 主要观测点沉降过程如图 3。

沉降结果显示, 除 9<sup>#</sup> 沉降观测点因中途被破坏外, 其余各点均表现出加固初期沉降速率较大, 施工完成后沉降速率变小, 变形逐渐趋于稳定。建设方在施工中及施工完成后两个月内也做了观测, 结果表明, 施工完成后两个月内沉降基本停止。

综上所述, 对兰州某小区 1<sup>#</sup> 楼 B、C 商住楼的加固达到了预期效果。

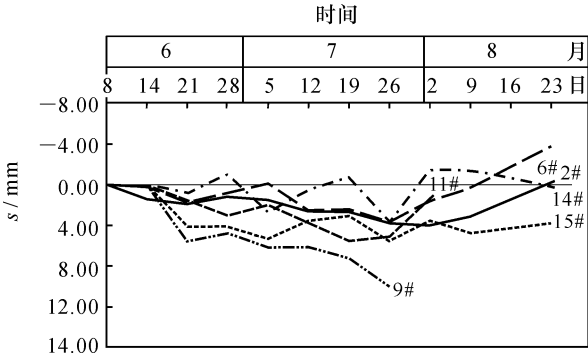


图 3 沉降观测曲线  
Fig.3 Curves of Subside Observed

6 结语

高压旋喷注浆法在复杂地基中对既有建筑物的加固处理虽然是可行的, 但同时必须根据地基土的特点采取相应的切实可行的技术措施, 才能使地基加固处理达到预期效果, 其加固原理既有旋喷桩的托换加固之功效, 又有静压注浆加固之作用, 对类似工程加固有借鉴作用。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 张爱新, 梁 永, 魏余广, 等. 兰州九州开发区 1 号商住楼旋喷桩注浆加固处理报告[ R ]. 兰州: 甘肃有色工程勘察设计院, 2005.

[ 2 ] 王 珊, 刘宝兴, 王晓东, 等. 岩土工程新技术实用全书[ M ]. 北京: 银声音像出版社, 2004.

[ 3 ] 龚立华, 卢学文, 邓裕荣, 等. 岩土工程施工方法[ M ]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.

[ 4 ] 程良奎, 张作樞, 杨志银, 等. 岩土加固实用技术[ M ]. 北京: 地震出版社, 1994.

[ 5 ] 顾晓鲁, 钱鸿缙, 刘惠珊, 等. 地基与基础[ M ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.

[ 6 ] 高德彬, 倪万魁, 郭社锋. 延安市凤凰山东北麓滑坡危险斜坡的变形特征及稳定性分析[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26( 4 ): 25 - 29.

[ 7 ] 李寻昌, 门玉明, 刘妮娜, 等. 注浆法在黄土地区公路路基处理中的应用[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26( 1 ): 15 - 18.

[ 8 ] 李 萍, 薛振年, 王治军, 等. 陇东地区黄土工程地质特征[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26( 2 ): 35 - 38.

[ 9 ] 毛新虎. 大同—运城高速公路某软基复合地基检测结果分析[ J ]. 地球科学与环境学报, 2004, 26( 1 ): 33 - 37.

[ 10 ] 张发明, 陈祖煜, 弥宏亮. 深开挖岩石边坡三维随机楔体的稳定性分析[ J ]. 地球科学与环境学报, 2002, 24( 2 ): 13 - 16.