

水泥—水玻璃在房屋增层地基加固工程中的应用

程鉴基 (中国科学院广州化学研究所 510650)

程鉴添 (中南工业大学广州郁南实验厂 527100)

程文汉 (广东省地质工程公司 广州 510450)

摘要 当前加层房屋日益增多,其地基加固处理的方法很多。在确定加固方法之前,需对旧楼地基基础及结构进行验算,包括桩端持力层的强度,桩的容许承载力,桩基础沉降等。水泥—水玻璃双液化学灌浆法首次用于房屋增层地基加固,该方法具有可灌性高($K=10^{-6}$ cm/s)、凝胶时间快(15~120 s)、强度较高(5~20 MPa)等诸多材料特性,可满足新增的上部结构荷载对地基的新要求。文章还介绍了一个工程实例

关键词 水泥—水玻璃 地基处理 灌浆加固 化学加固

中国图书资料分类法分类号 TU 472.5

作者简介 程鉴基 男 37岁 高级工程师 水文地质工程地质

1 引言

目前,既有房屋加层工程正在我国一些地区内进行,但是对这种新旧建筑合二为一的加层房屋的地基增强加固,至今尚无专门规范和标准可依。其影响因素复杂,且某些因素具有不确定性,如旧房屋地基及承载结构的现有承载力等。为此有必要对其进行进一步探索。

2 旧楼地基及基础参数验算

房屋加固结构的安全性不仅取决于加层结构设计及施工质量,而且受其旧房地基现状的影响。一般有两种情况造成房屋加高增层困难:一是旧房原设计时未考虑预留加层问题;二是虽考虑了预留加层

问题,但设计时采取措施不力。如属地基问题最好采用补强加固处理措施。

地基处理方法的种类很多,各种方法都有其适用范围和局限性,没有一种方法是万能的。由于各个工程的地基条件差别很大,具体工程对地基的要求也不同,对每一具体工程都应从地基条件、处理要求(包括经处理后地基应达到的各项指标、处理的范围、工程进度等)、工程费用以及材料、机具来源等各方面进行综合考虑,以便科学地确定最佳的地基处理方法。(包括综合法)

在确定地基处理方法之后,必须对旧楼地基及基础进行验算:

2.1 桩端持力层的强度

$$P_{\lambda} = A_{\lambda} \gamma + B_{\lambda} \gamma + D_{\lambda} C,$$

3 李白英,沈光寒,荆自刚等. 预防采掘工作面底板突水的理论与实践. 第二十二届国际采矿安全会议论文集,北京:煤炭工业出

版社,1987

(收稿日期 1998-11-16)

A ANALYSES ABOUT THE CONDITIONS AND THE SITE OF WATER INRUSH FROM MINING FLOOR

Shi Longqing Song Zhenqi (Shandong Institute of Mining & Technology)

Abstract A analysis about the conditions of water inrush form mining floor and its site are based of forecasting water inrush. Based on the developing law of supporting pressure and the distributive characteristics of floor stress, this paper analyses the conditions of water inrush from mining floor and its site. The conditions of water inrush are as follows, the floor is broke by mining pressure, with the result that valid thickness of aquifuge is reduced to zero, and water pressure is not less than side pressure in unload area. Before inside and outside stress is formed, the site of water inrush is situated on the waste. After inside and outside stress is formed, that is situated closed to the wall.

Keywords water inrush; floor; stress analysis; condition; site

式中 d, h ——基础宽度(或桩底直径)和埋深;
 γ, γ' ——持力层和埋深土层的密度;
 $A, B, \lambda, D, \lambda'$ ——地基的强度计算参数,与岩石的内摩擦角 ϕ 和危险度 λ 有关,可查表求得。

2.2 桩的容许承载力计算,采用规范的摩擦端承桩公式

$$[P] = \pi \sum_{L=1}^m (q_{si} h_{si}) + \frac{\pi d^2}{4} [q_p],$$

式中 q_{si}, h_{si} ——第 i 层岩、土的平均摩擦阻力系数及厚度;
 q_p ——桩端持力层容许承载力;
 d, D ——桩径和桩底扩大头直径。

2.3 桩基础的沉降计算

a. 桩的沉降计算公式为 $S = S_e + S_0 + \Delta$, 即:
$$S = \frac{PL}{AE_c} \left(1 + \frac{1}{2}n \right) + \frac{Ph_s(1+n)}{A_b E_s} + \frac{0.79P(1-n)d_b(1-\frac{q_0}{q_p})}{A_b E_0},$$

式中 A, L ——桩身截面积和桩长;
 E_c ——桩身混凝土弹性模量;
 n ——桩侧摩擦阻力 N_1 占桩顶荷载 P 的比例,即 $n = (N_f \alpha) / P$;
 α ——摩擦阻力发挥系数, $\alpha = 1 \sim 2$;
 E_0, V_b ——桩底岩石的变形模量和泊松比,岩石的 $V_0 = 0.2 \sim 0.25$, 土的 $V_0 = 0.3 \sim 0.35$;

d_b, A_b ——桩底直径和面积;
 h_s, E_s ——桩底沉渣厚度和变形模量。

b. 基础的沉降计算公式为:

$$S = \frac{Ph \alpha}{E_a},$$

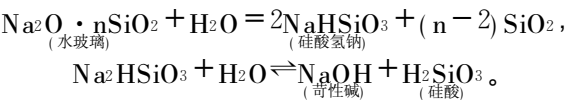
式中 h, E_a ——压缩层的厚度和变形模量;
 α ——压缩层中平均应力分布系数;
 P ——荷载。

3 水泥-水玻璃化学浆液特性

化学注浆法是将化学浆液注入地层中,使其固结以减少地基土的透水性或改善(良)基础强度的一种方法。由于水泥属于颗粒状材料,对张开度大于 1.0 mm 的裂隙,灌浆效果较好;对于张开度为 0.5 ~ 1.0 mm 的裂隙,则要用特制细水泥粉配制的浆液灌浆;而对于张开度 < 0.5 mm 的裂隙,水泥浆液不易灌入,就要采用化学灌浆材料。化学浆液比水泥

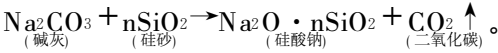
浆液具有更好的可灌性,如有的化学浆液能灌入建筑物内张开度 0.15 mm 以下的细裂隙或地基内粒径 0.1 mm 以下的粉砂,而且胶凝时间又能在数秒至数小时内任意调节。这种浆液胶凝后,可起到防渗堵漏和补强加固的双重作用。

水玻璃(硅酸钠)是最早使用的一种化学灌浆材料。它是氧化钠(Na_2O)与无水二氧化硅(SiO_2)以各种比率结合而成的化合物,其分子式可用 $Na_2O \cdot nSiO_3$ (n 为摩尔比),或以 Na_2SiO_3 表示。水玻璃是一种水溶液,水解后呈现碱性:

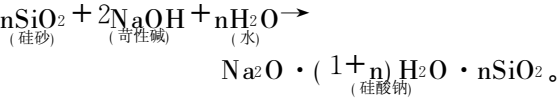


当水玻璃的摩尔比越低,或者浓度越稀,其反应越向上式的右边进行,所以对单位 Na_2O 量来讲碱性变强。一般情况下,模数愈高,波美度愈大;温度愈低,其粘度愈大。

水玻璃的制造方法有干法和湿法之分。目前水玻璃几乎全部采用熔融、溶解等工艺的干法制造。其反应式为:



湿法制造的反应式为:



水泥水玻璃液是一种优化组合浆材,它既有水泥的全部优点,又有化学浆液的一些特性。这种浆液的结石率高,可灌性强,且胶凝时间易于控制。可根据工程需要在几秒到几十分钟内任意调节。但是胶凝时间太短,则不容易达到预计扩散半径;胶凝时间太长,又不容易控制灌浆范围,造成浆液材料浪费。

当水泥品种、浆液温度一定时,水泥水玻璃浆液的胶凝时间受水泥浆浓度、水玻璃溶液浓度、水泥浆与水玻璃溶液体积比等因素的直接影响。添加不同的外加剂也会改变胶凝时间。一般采用磷酸氢二钠作缓凝剂,其作用是抑制水泥与水玻璃反应,按水泥重量的 2.5% ~ 3% 配制浆液,可取得好的缓凝效果,又不会显著降低结石体强度。一般水泥和水玻璃的比例和养护时间都对结石体抗压强度有影响。

注浆量可根据土壤孔隙率和有效灌浆系数及吸水量(表 1)等参数计算:

$$Q = 1\,000 K V n,$$

式中 Q ——浆液总用量(L)；
 V ——处理土方的体积(m^3)；
 n ——土的孔隙率；
 K ——有效灌注系数经验值：软土、粘土、细砂 $K=0.3\sim 0.5$ ，中砂、粗砂 $K=0.5\sim 0.7$ ，砾砂 $K=0.7\sim 1.0$ ，湿陷性黄土 $K=0.5\sim 0.8$ 。

表 1 浆液注入量

| 每米钻孔单位时间的吸水量/ $\text{L}/(\text{m}\cdot\text{min})^{-1}$ | 注浆量/ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}$ |
|---|-------------------------------------|
| 2~4 | 1.0 |
| 4~7 | 1.5 |
| 7~10 | 2.0 |
| 10~13 | 3.0 |
| 13~16 | 4.0 |
| <18 | 5.0 |

4 增层地基补强加固工程

4.1 工程概况

宇鹤织造厂要求将 3 层框架结构、群桩基础的涤纶车间增高至 4 层。受业主委托，采用水泥—水玻璃灌浆技术进行地基补强加固处理。

4.2 工程地质条件

根据工程地质勘察资料，场地岩土层自上而下为：

- 1-1 素填土 松散，稍湿，层厚 3.20~4.00 m
- 1-2 老填土 稍密，湿，层厚 3.2~4.00 m
- 2-1 淤泥及淤泥质粘土 呈流塑性，饱和，层厚 7.20~17.80 m，含水量 $W=46\%\sim 90\%$ ，垂直渗透系数 $K=3.088\times 10^{-7}\sim 9.77\times 10^{-8}\text{ cm/s}$
- 2-2 粉细砂岩混合层 稍密—软塑，饱和，厚 0.2~11.3 m
- 3 粉质粘土 可塑，湿—饱和，层厚 0.15~6.7 m
- 4-1 强风化泥质粉砂岩 半岩半土状，层厚 0.9~9.2 m
- 4-2 构造岩 由构造角砾岩、硅化砂岩及粉砂岩组成，局部夹断层泥。构造角砾岩中，角砾的成分为泥质粉砂岩、石英和硅化砂岩，其中泥质粉砂岩区多已风化成土状。石英及硅化砂岩砾的磨圆度一般较好，且多数被硅质胶结，砾质坚硬。在构造角砾岩的钻进过程中普遍有漏水现象。该段工程地质条件较差，粉砂岩呈强风化状态，半岩半土样；硅化砂岩较难风化，呈中等风化强度，小晶洞发育。

由上看出该场地填土层以下存在着 3~5 m 的淤泥质粘土，以及 8~11.0 m 厚的淤泥。这两层软土都属高压缩性土，且触变性大，是软弱地基。一般强风化泥质粉砂岩顶板埋深 20.3~22.5 m。根据这

表 2 各土层力学数据建议值 kPa

| 层序 | f_K | 沉管灌注桩 | | 预制桩 | | 钻孔桩 | |
|-----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | q_s | q_p | q_s | q_p | q_s | q_p |
| 1-1 | 60 | -5 | | -5 | | -5 | |
| 1-2 | 80 | 6 | | 10 | | 6 | |
| 2-1 | 30 | 4 | | 5 | | 4 | |
| 2-2 | 130~200 | 13~20 | | 18~25 | | 13~20 | |
| 3 | 300 | 32 | 1800 | 45 | 2400 | 32 | |
| 4-1 | 500 | 40 | 2000 | 60 | 3600 | 40 | 1500 |
| 4-2 | 500 | | | | | 40 | 1500 |

注：由于(2-2)土层很不稳定，其土力学数据只能给出范围值；粉砂、软塑土采用下限值；中砂、可塑土采用上限值

些岩土层特性，再参照各土层承载力标准值 f_K 、桩周土摩擦力标准值 q_s 、桩端土承载力标准值 q_p (表 2)而综合考虑确定设计方案。

4.3 施工方案及效果

鉴于该楼的群桩基础为 $d=480\text{ mm}$ 的锤击灌注桩，一般桩长 19.00 m 左右，属摩擦—端承桩，又以粉质粘土为持力层，当加层至 4 层楼时，静荷载和活荷载总量将超过持力层地基土的容许承载力，会造成桩尖相对吊脚。因此必须以强风化泥质粉砂岩为新的持力层，并对原有桩下的粉质粘土层进行有效加固，使桩基础到达强风化泥质粉砂岩标准的土层，以满足上部结构和基础荷载对地基的要求。

该工程选择灰蓝色粘稠状碱性水玻璃液体与 425 号普通硅酸盐水泥优化组合配制浆液。每桩(桩台)布置 2~4 个孔，孔深 23.0 m。从孔深 18.0 m 至 23.0 m 段施灌，重点灌浆段高 5.0 m。采用中低压($<80\text{ kPa}$)上行式慢速(包括拔管提升速度和灌浆速度)、连续一次性足量灌浆。先灌相对建筑场地的外围孔，形成地下隐伏帷幕墙；后灌圈内孔，这有利于充填挤密和补强加固土层，同时用水准仪同步监测，严格控制基础抬升幅度($<8\text{ mm/d}$)，以防地应力滞后现象对上部结构的影响，或启动注浆扰动产生的附加下沉。一般用较大的升幅来补偿因地应力释放弹(塑)性变形还原回落所造成的负影响。

在施工过程中，当灌浆压力小于临界灌浆压力时，土体结构未发生破坏，浆液的灌入主要是依靠渗透作用。只有当灌浆压力大于临界灌浆压力时，浆液才通过劈裂作用灌入并挤密压实附近土体。可见劈裂灌浆过程也包含渗入灌浆和压密灌浆形式，其灌浆综合质量效果良好。经重型动力触探系列检测，桩尖下的粉砂粘土承载力 f_K 由原来的 300 kPa 提高

到 500 kPa,即提高 67%,这完全满足加层对地基土强度的要求。

5 结论

水泥-水玻璃灌浆材料具有来源广、价格较低、没有污染、凝胶时间可调控、操作简便、快速有效等优点,值得进一步在房屋增层地基加固工程中推广使用。

笔者经过多年来的探索和实践,总结出以下几点经验和体会,可供同行参考选用。

a. 水泥-水玻璃灌浆适用于松散土层和致密岩层,其中土层除冲积、洪积、坡积、残积成因的第四纪堆积层外,还包括由粘土、泥岩、砂岩、凝灰岩以及其它的火山喷发物等组成、年代又较新的第三纪疏松地层。年代古老的第三纪极坚硬的基岩地层中,常夹有断层破碎带等泥化的成分和裂隙,亦可以进行化学灌浆。

b. 根据工程要求和实际情况,选择充填、渗透、割裂(脉状或劈裂)、挤密、界面等注浆形式,尤以优化组合的综(复)合灌浆效果最好。

c. 一般地基基础灌浆工程,宜采用具下述参

数的水玻璃:模数 2.4~2.8(市售 1.5~3.5)、浓度 30~45 B^é 出厂 50~60 B^é、粘度 10~100 cp、相对密度 1.35~1.44(模数 2.5~3.0、浓度 38~45 B^é 时)、凝固点-2~11℃。

d. 一般房屋增层为 1~2 层,宜采用先外后内、先重后轻、先低后高、先多后少、先快后慢的化学灌浆工艺。

然而,灌浆是一项极其复杂的系统工程,灌浆效果的优劣与灌浆设计参数,如灌浆压力、灌浆量、灌浆方式、灌浆有效半径、灌浆孔布置、浆液配比以及灌浆工艺、工程技术人员和施工队伍素质等密切相关。其中,灌浆压力、灌浆量是两个关键参数,必须进行有效控制,才能达到预期的灌浆目的,满足工程客观实际需要。

参考文献

1 程鉴基·双液化学硅化法在埋藏型地下溶洞加固工程中的应用·岩石力学与工程学报·1997;16(1):78~84
2 程鉴基,邝健政·软弱地基水泥类化学灌浆机理初探·岩土工程学报·1993;15(2):81~87

(收稿日期 1998-11-05)

THE APPLICATION OF CEMENT-WATER GLASS
IN GROUND CONSOLIDATION FOR ADDING STORES

Cheng Jianji (Guangzhou Chemistry Research Institute, The Chinese Academy of Sciences)
Cheng jiantian (Guangzhou Yunan Experiment Plant, Central South University of Technology)
Cheng Wenhan (Guangdong Company of Geology and Engineering)

Abstract At present the situation of adding stores on old buildings is increasing day by day. There are many methods of ground consolidation. Before consolidation method is determined, the foundation and structure of old buildings need checking, such as strength of supporting-layer where the pile end is, allowable bearing capacity of the pile, subsidence of pile foundation and so on. Cement-water glass grouting method is used to ground consolidation of adding stores buildings, this method has a lot of specific material properties, such as, grouting property is high ($K = 10^{-6}$ cm/sec), coagulate time is quick (15~20 sec), strength is higher (5~20 MPa), and it can satisfy the new requirements of the ground for adding upper structure load. This paper also introduces an engineering example.

Keywords cement-water glass; ground treatments; consolidation by grouting; chemical consolidation