

深厚软土地区某厂房基础沉降原因分析和对策

丁国雄¹, 谯伟²

(1. 宁波市江北城市工业投资开发有限公司, 浙江 宁波 315000; 2. 浙江省岩土基础公司, 浙江 宁波 315040)

摘要:某厂房由于软土排水固结和地面回填堆载产生地面沉降过大, 针对各部位荷载与地质条件的不同情况, 分别采用了袖阀管静压注浆和锚杆静压桩托换技术对软土地基进行加固处理, 取得了良好效果。介绍了袖阀管静压注浆法和锚杆静压桩托换法的技术特点、加固机理及施工工艺。

关键词:软土地基; 地基沉降; 袖阀管注浆; 锚杆静压桩; 基础托换

中图分类号: TU478 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)05-0008-04

Analysis on Cause of Workshop Foundation Subsidence in Deep Thick Soft Ground Area and the Countermeasure/
DING Guo-xiong¹, QIAO Wei² (1. Ningbo Jiangbei City Industrial Investment Develops Co., Ltd, Ningbo Zhejiang 315000, China; 2. Zhejiang Geo-foundation Company, Ningbo Zhejiang 315040, China)

Abstract: Excessive land subsidence occurred because of drainage consolidation and backfill loading for soft clay foundation of a workshop, static pressure grouting with sleeve valve pipe and anchor static pressure pile underpinning technique were adopted to consolidate the soft ground foundation, and the technical features, consolidation mechanism and construction technology were introduced in this paper.

Key words: soft clay foundation; foundation subsidence; grouting with sleeve valve pipe; anchor static pressure pile; foundation underpinning

1 工程基础沉降情况及原因分析

1.1 基本情况

该厂房为一层轻钢结构, 长 145 m, 宽 51 m, 两跨, 跨度分别为 34 m 和 17 m。采用深基础。桩长为 42 m 的桩采用 $\varnothing 500$ mm 预应力混凝土薄壁管桩, 壁厚 65 mm; 桩长为 22.5 m 的桩采用 $\varnothing 400$ mm 预应力混凝土薄壁管桩, 壁厚 60 mm。由于施工现场上方局部架设高压线, 由于高度的问题高压线下方无法施工预应力管桩, 故将此处预应力管桩改为钻孔灌注桩。

厂区室内地坪为配筋现浇混凝土地板, 按主轴线设置缩缝; 沿纵轴线设置的纵向缩缝采用平头缝, 沿横轴线设置的横向缩缝采用假缝, 缝宽 10 mm, 缝深 80 mm 内填水泥砂浆。位于厂房西南角一跨为干燥房, 已投产使用。地坪上铺设花岗石面砖, 花岗石面砖铺设约 2 个月时间, 现面砖差异沉降 3~5 cm, 沉降较大位置基本位于每跨中间。

1.2 场地工程地质条件

厂址区原为农田, 厂房西侧有一条河流穿过。原地面标高介于 1.80~2.45 m 之间。区内地形平坦, 属滨海相冲积平原型地貌。地层主要由第四系

海陆相交替沉积的湖沼相、海相、湖相地层组成。地层主要以软土为主, 自上而下的软土主要有:

①₂层粘土, 灰黄色, 含铁锰质结核, 可塑, 向下渐变软塑, 厚度 0.9~1.7 m, 天然含水量 $W = 25.7\% \sim 28.8\%$, 天然孔隙比 $e = 0.769 \sim 0.826$, 压缩系数 $a = 0.30 \text{ MPa}^{-1}$;

②₁层淤泥质粘土, 灰色, 含贝壳及腐植物, 流塑, 层厚 0.7~2.30 m, 天然含水量 $W = 43.7\% \sim 45.9\%$, 天然孔隙比 $e = 1.228 \sim 1.271$, 压缩系数 $a = 0.77 \sim 1.13 \text{ MPa}^{-1}$;

②₂层淤泥质粉质粘土, 灰色, 含少量腐植物, 流塑状态, 层厚 0.5~1.5 m, 天然含水量 $W = 49.3\%$, 天然孔隙比 $e = 1.392$, 压缩系数 $a = 0.98 \text{ MPa}^{-1}$;

②₃层淤泥, 灰色, 土质均匀, 具鳞片状构造, 流塑, 层厚 13.0~14.2 m, 天然含水量 $W = 50.9\% \sim 61.6\%$, 天然孔隙比 $e = 1.409 \sim 1.703$, 压缩系数 $a = 1.18 \sim 2.14 \text{ MPa}^{-1}$ 。

从以上地层分析厂区地基软土问题较为突出, 其地表广泛地覆盖有第四系全新统(Q_4)滨海相软土层, 表层为 0.9~1.7 mm 粘性土硬壳层, 下层为淤泥质粘土和淤泥质, 土厚 15.0~18.0 m, 淤泥层

收稿日期: 2006-08-25; 改回日期: 2006-12-26

作者简介: 丁国雄(1972-), 男(汉族), 湖北应城人, 宁波市江北城市工业投资开发有限公司工程师, 工民建专业, 从事工程建设管理工作, 浙江省宁波市江北区草马二村九幢 13 号 201(315020), (0574)87561995, dq1008@126.com; 谯伟(1978-), 男(仡佬族), 贵州思南人, 浙江省岩土基础公司, 工民建专业, 从事施工管理工作, 浙江省宁波市宁穿路 448 弄 16 号, (0574)87800919。

的天然含水量最大达 61.6%,天然孔隙比最大达 1.703,,压缩系数最大达 2.14 MPa⁻¹。

其工程特性很差,具有高压缩性、高灵敏度、低透水性和低强度等特点。

1.3 地坪沉降原因分析

厂区塘渣回填为 2004 年 4 月,厂房竣工时间为 2005 年 7 月,花岗石面砖铺设约 2 个月时间。

现有生产线荷重很轻,由于场地平整时普遍回填有 1.5 m 厚塘渣,局部河流所在位置塘渣厚达 4~5 m,对于欠固结的填土、淤泥等软土地基,具有天然含水量高、孔隙比大、压缩性强和抗剪强度低等特点,地面大量回填堆载,极易产生很大的沉降(包括瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降)。特别是现有厂房的干燥房正好位于河流位置,其下缺失相对较稳定的①₂层粘土(俗称硬壳层),更易引起地基沉降。

鉴于现有生产线荷重很轻,因而可排除地坪堆载等加荷引起的沉降。沉降的原因是因为塘渣等地面回填堆载导致软土产生固结而产生的附加沉降。由于塘渣回填时间尚不长,软土排水固结将会在相当一段时间里产生沉降。

2 地坪地基的沉降估算

地基的沉降估算包括两部分:总沉降量计算和固结沉降计算。按照沉降发生的原因和次序,沉降可分为瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降 3 部分。

即总沉降量:

$$S = S_d + S_o + S_s$$

式中: S_d ——瞬时沉降量; S_o ——固结沉降量; S_s ——次固结沉降量。

由于瞬时沉降是加荷后即发生的沉降,此时软土中的水来不及排出,地基土的孔隙率没有发生变化,该沉降在塘渣回填后即完成。厂区软土以淤泥质粘土(亚粘土)为主,由于荷载不大,固结沉降速度缓慢,次固结沉降可忽略不计,因此固结沉降是地基沉降的主要部分。鉴于沉降计算很复杂,涉及的因素很多,实践中常用分层总和法推算固结沉降,然后再采用综合性的修正系数求出总沉降量,即:

$$S = M_s S_o$$

式中: M_s ——修正系数,一般取 1.1~1.2。

关于固结沉降计算的方法很多,归纳起来有取实际压力变化范围的 $e-p'$ 曲线法、采用 100~200 kPa 压力范围的压缩系数法、 $e-\lg p'$ 曲线法和有限元法。鉴于地质勘探资料中 $e-\lg p'$ 曲线不足,故采用 $e-p'$ 曲线法或压缩系数法计算固结沉降量。

软土层承受荷载作用后,随着时间的推移逐渐固结,而固结计算的目的,是为确定任一时刻土体的固结度和该时刻的沉降量。对不做处理的地基,其固结度的计算根据太沙基的单向固结理论,假定土为均质的。实践证明计算值与实测值误差较大,需依靠现场观测来修正预压时间,根据太沙基单向固结理论,线性加载条件的固结度:

$$U = \begin{cases} \frac{t}{T} - \frac{H^2}{C_v T^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^4} [1 - \exp(-\frac{M^2 C_v t}{H^2})] & (t \leq T) \\ 1 - \frac{H^2}{C_v T^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^4} [1 - \exp(-\frac{M^2 C_v T}{H^2})] \exp[-\frac{M^2 C_v}{H^2} (t - T)] & (t > T) \end{cases}$$

式中: T ——加载历时; t ——加载过程中某一时刻; $M=0.5(2m-1)\pi$; H ——最大渗径长度。

若荷载是分级施加的,对第 i 级荷载可用上式计算,整个加载过程可由上式叠加而得。塘渣回填后沉降量是总沉降量减去施工期及预压期沉降量,而施工期及预压期沉降量可根据预压期末软土地基的固结度乘上总沉降量得到。参考一般施工情况,

塘渣施工期为 1 个月,预压期为 1 个月,则可计算出非处理条件下施工期及预压期预估沉降量、预估塘渣回填后沉降量,计算结果与总沉降量一起列于表 1。

表 1 厂区非处理条件下沉降预估计算结果

序号	计算工况	塘渣高度	预估总沉降量	施工期及预压期瞬时沉降预估沉降量	预估工后固结沉降沉降量预估
		/m	/mm	/mm	/mm
1	1.5 m 缺失较稳定的① ₂ 层粘土	1.5	313	125	188
2	4.5 m 缺失较稳定的① ₂ 层粘土	4.5	579	149	430
3	1.5 m 有较稳定的① ₂ 层粘土	1.5	181	59	122
4	4.5 m 有较稳定的① ₂ 层粘土	4.5	312	88	224

从表 1 可知,固结沉降是地基沉降的主要部分,鉴于沉降计算很复杂,涉及的因素很多,以及地坪因混凝土浇灌其沉降和地基沉降不会一致,实际情况可能会比理论计算值偏小,仅为参考。

3 采用的技术措施

3.1 对现有干燥房处理

考虑到不影响干燥房现有生产线生产以及尽量不破坏地坪,采用袖阀管法在车间外侧向地基土中压力注浆,以改善土的物性,减小沉降。

3.1.1 袖阀管式静压注浆方案工艺及加固机理

袖阀管式注浆是在地基中施设一定深度的钻孔,预灌套壳料,设置注浆外管,注浆外管将永久留在土体中,注浆外管每隔一定间距预留出浆口,在出浆口处加设截止阀,注浆时,将带封堵装置的注浆内管置入注浆外管内,对需要注浆部分进行注浆。这样在土体中产生以钻孔为核心的结石体,且在桩体外围土体裂隙中形成抗剪能力强的树根网状浆脉复合体。

由于淤泥质土的孔隙小,且不连通,在淤泥质土地层中进行静压灌浆实为劈裂灌浆,即浆液在压力作用下进入土层后,浆液周围土体的孔隙水压力急剧增高,当其大于地层的初始应力时,引起局部土体的剪切破坏,浆液沿着地层的结构面及小主应力作用面产生劈裂,使土体的可灌性增大。浆液沿结构面及小主应力面向外向上形成劈裂、延伸和扩散。在平面上,浆脉是树根状及网络状分布。在纵向由于分段灌注,形成上下连续的不规则的板状凝结体。在软粘性土中,浆液是靠劈裂效应将浆脉结构固结在土体中的,因此,土体的加固效果取决于浆脉的密度和凝结体的强度。随着复灌次数、灌浆量及压力的增加,主浆脉和分支浆脉的厚度将会增加,凝结体在土体中形成密度较大,并有一定刚度的骨架结构,与被注浆脉分割、互相围封、相互约束的土体形成复合地基。浆液在劈裂、延伸及扩散过程中对周围土体产生挤密及充填作用,从而改善和根本改变地基的物理力学性质及承受荷载的作用机制,提高土体的强度和减少变形,达到加固土体的目的。

另外,由于浆液的水化凝固与地基土排水固结变形不协调,致使水泥凝结体与地基土之间界面的透水性远大于土体本身的透水性,形成纵横交错的排水通道,有利于由灌浆引起的超孔隙水压力消散及浆脉与土体的固结,进一步提高复合地基的强度,降低土的压缩变形。

3.1.2 袖阀管式静压注浆工艺特点

因拟处理的地基土是原河道,局部含水量较高、土体软弱,因此采用袖阀管式静压灌浆,使土体强度在多次注浆中得到提高,使土体与凝结体结合在一起,具有“加筋土”及“树根桩”的双重优点,增强整体抗滑能力。另外,因袖阀管注浆中截止阀的单向性,可以多次的人为控制注浆量,减少注浆对土体的扰动破坏程度,使路面抬升控制在合理的范围。

袖阀管式静压注浆的主要优点是:可根据需要灌注任何一个灌浆段,还可重复灌浆;可使用较高灌浆压力,灌浆时冒浆串浆可能性小;钻孔和注浆作业可分开,使钻孔设备的利用率高。

3.1.3 施工工艺

(1) 采用气动潜孔锤干钻在塘渣和土层中引孔,引孔后用膨润土浆固壁。

(2) 插入袖阀管。

(3) 浇注套壳料,用套壳料置换孔中泥浆。

(4) 注浆,待套壳料有一定强度后在袖阀管内放入带双塞的灌浆管进行压浆。

3.1.4 加固效果评价

3.1.4.1 复合地基承载力和压缩模量的评价

在淤泥和淤泥质粘土注浆可以降低土中的含水量,改善土的物理性质,其原理是水泥浆液将原来松散的土粒胶结成一个整体,形成一个结构新、强度大、防水性能高和化学稳定性良好的“结石体”,从而达到加固软弱下卧层,提高地基土承载力,减少地基的沉降和不均匀沉降的作用。根据宁波地区的经验,野外取心及室内试验取得的无侧限抗压强度,当水泥掺入量为 50 kg/m 时,地基土承载力约为 80 ~ 100 kPa,压缩模量约为 3.5 ~ 4 MPa。

3.1.4.2 加固后地基的沉降估算及评价

根据上述方法,我们分别计算比较了非处理条件下(加固前)和处理条件下(加固后)的计算结果与总沉降量(见表 2)。

从表 2 可以看出加固效果是非常明显,施工期后沉降量为 79 cm,可基本满足生产工艺需要。

3.2 对干燥房北侧二跨地坪处理

对干燥房北侧二跨地坪,采用锚杆静压桩托换加固地坪。

3.2.1 锚杆静压桩的特点及加固原理

锚杆静压桩施工设备简单,适合狭小空间作业,其压桩力反映直观,托换值易控制而且准确可靠,施工速度快,工期短,且成本不高,施工中无噪声和环境污染问题。

表 2 加固前和加固后沉降预估计算结果

序号	计算工况	塘渣高度 /m	预估总沉降量 /mm	施工期及预压期瞬时 沉降预估沉降量/mm	预估工后固结沉降 沉降量预估/mm	备注
1	1.5 m 有较稳定的① ₂ 层粘土	1.5	181	59	122	加固前
2	4.5 m 缺失较稳定的① ₂ 层粘土	4.5	579	149	430	加固前
3	1.5 m 有较稳定的① ₂ 层粘土	1.5	88	26	62	加固后
4	4.5 m 缺失较稳定的① ₂ 层粘土	4.5	125	46	79	加固后

锚杆静压桩加固机理是利用锚杆桩将上部结构部分荷载通过桩传给地基较深较好的持力层,减轻其负载,从而达到控制建筑物过大沉降及不均匀沉降的目的。

3.2.2 锚杆静压桩托换基础加固施工工艺

锚杆静压桩托换基础加固施工工艺为:利用原有建筑物(地坪)的自重,先在基础相应位置上埋设锚杆,借锚杆反力通过反力架,用千斤顶将预制好的桩逐节压入基础上开凿出来的桩孔内,每节桩桩长 2.0~3.0 m(单节桩长根据底层空间高度确定),接桩采用焊接的方法,压桩至设计深度或达到设计压桩力后,立即将桩与基础连接锚固,当施工完成后该桩便能承受上部荷载同时阻止建筑物继续沉降,迅速起到基础托换加固作用。

场地有塘渣回填,需加固处均为原河塘位置(回填厚约 4 m),在锚杆桩施工前应先用钻机进行引孔,然后再进行锚杆桩施工。

采用气动潜孔锤干钻施工引孔,引孔孔径 250 mm。锚杆桩采用预制 200 mm×200 mm 混凝土方桩。

(上接第 7 页)

设计的。所以在实际工程中,必须要切实解决永久性预应力抗拔桩的预应力的耐久性,确保在使用年限前能保证预应力的有效性。

3 结语

综上所述,预应力抗拔桩是抗拔桩发展的必然趋势,在将来的工程中应用会越来越普遍。但对于预应力在抗拔桩中应用,特别是对于部分粘结预应力抗拔桩这种利用桩体本身来作为预应力体系的抗拔桩还需进一步更深入的实践、研究,以满足工程实际的需要。

参考文献:

[1] 刘祖德. 抗拔桩基础[A]. 刘金励. 桩基工程技术[C]. 北京:中国建材工业出版社,1996. 642-674.

4 经济技术指标

本工程治理费用见表 3,采用本文所述方案,比常规的桩基-筏板托换体系节省投资 30%,有针对性地解决了工程难题。

表 3 工程造价估算表

工作内容	单价	工程量	小计/元
袖阀管法施工	10246 元/10 m ³	163 m ³	167100
锚杆静压桩施工	3931 元/100 m	5800 m	227998
合 计		395098 元	

5 结语

此方案实施后,通过一年时间的跟踪观察,加固达到了预期效果,满足使用要求。

参考文献:

[1] 张民庆,等. 袖阀管注浆工法在国内工程施工中的应用[J]. 探矿工程,1999,(5).

[2] 熊厚金,等. 袖阀管灌浆法工程实录[C]. 中国锚固与注浆工程实录选[M]. 北京:科学出版社,1995.

[2] 王维雅. 钻孔灌注桩抗拔荷载的传递机理研究[J]. 合肥工业大学学报,1998,21(4):71-77.

[3] 郭增强,赵玉成,胡朝阳. 岩层中抗拔桩的有限元分析[J]. 铁道标准设计,2004,(1):35-40.

[4] 王志明,冯健. 预应力挖孔灌注抗拔桩的工程应用[J]. 建筑技术,2002,33(12):920-921.

[5] 丁仕辉,陆岸典. 深基坑预应力桩墙支护新技术[J]. 地基基础工程,2003,7(2):76-78.

[6] 王耀,赖金耀,周铭灯,等. 预应力抗拔灌注桩施工技术[J]. 建筑技术,2005,(3):212-213.

[7] 冯君,谢涛. 数值仿真在抗拔桩承载性能分析中的应用[J]. 建筑技术开发,2003,30(3):30-50.

[8] 范建洲. 浅谈混凝土裂缝缺陷[J]. 山西建筑,2001,27(4):20-21.

[9] 杜广印,黄锋,李广信. 抗压桩与抗拔桩侧阻的研究[J]. 工程地质学报,2000,8(1):91-93.

[10] 何思明. 抗拔桩破坏特性及承载力研究[J]. 岩土力学,2001,22(3):308-310.

[11] 王之军,毛志新,刘建平. 等截面抗拔桩极限承载力的灰色预测[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(增刊):63-64.