

# 微型桩在某储煤仓基础加固中的应用

魏焕卫<sup>1</sup>, 李岩<sup>2</sup>, 孙剑平<sup>1</sup>, 邵广彪<sup>1</sup>

(1. 山东建筑大学土木工程学院, 山东 济南 250014; 2. 济南市工程质量与安全生产监督站, 山东 济南 250013)

**摘要:** 针对某储煤仓沉降较大的现象, 通过分析产品仓在结构施工、初步储煤、局部空仓 3 个不同阶段的基础沉降变化规律, 给出了造成该构筑物基础沉降和整体倾斜的原因, 即桩端持力层较差、结构加载不当、水泥土搅拌桩施工质量不明 3 个方面的原因。基于变形控制考虑, 提出了利用微型桩的单桩竖向极限承载力和适当折减原复合地基承载力的减沉桩基设计理念, 减少加固用桩数量 50% 以上。采用二次压浆微型桩满足了储煤仓地基基础对强度和变形的双重要求, 同时微型桩桩顶与原承台通过新增承台和插筋的连接保证了上部荷载传递至微型桩上。该工程加固前后的沉降观测对比表明, 考虑单桩极限承载力的变形控制设计方法是安全合理可行的。

**关键词:** 微型桩; 储煤仓; 变形控制; 复合地基; 地基加固

中图分类号: TU443

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2011)S2-0384-04

**作者简介:** 魏焕卫(1974-), 男, 山东莘县人, 副教授, 博士, 主要从事岩土工程共同作用和变形控制方面的研究与教学工作。E-mail: 13181718169@163.com。

## Application of micro-piles in foundation reinforcement of a coal storage

WEI Huan-wei<sup>1</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, SUN Jian-ping<sup>1</sup>, SHAO Guang-biao<sup>1</sup>

(School of Civil Engineering of Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

**Abstract:** With regard to the phenomenon of large settlement of a coal storage warehouse, by analyzing its foundation settlement variation rules at three different stages of the structural construction, initial coal storage and local empty warehouse, the causes leading to structural foundation settlement and the overall tilt are given, namely three causes of bad bearing stratum at end of micro-piles, improper service load and poor quality of cement deep mixing piles. Considering settlement control, a design concept of using the ultimate vertical bearing capacity of micro-piles and appropriately reducing the bearing capacity of the original composite foundation, reducing the number of reinforced piles by 50%, is proposed. By using the secondary grouting micro-piles, the dual requirements of coal storage warehouse foundation on strength and deformation are met, while the top micro-piles and the original caps, by adding cap and dowel-bar reinforcement, ensures the load on the upper part being transferred to the micro-piles. The comparison of settlement observation data before and after reinforcement shows that the proposed design method for the settlement control using the ultimate vertical bearing capacity of micro piles is safe, reasonable and practicable.

**Key words:** micro-pile; coal storage warehouse; settlement control; composite foundation; foundation reinforcement

## 0 引言

既有建筑物在建设或使用过程中发生的地基不均匀沉降主要有两种原因, 其一为原来的地基承载力设计不足或没有考虑沉降, 其二为后期基底压力的增加或地基承载力的降低。对于既有建筑物地基和基础的加固往往受到空间和场地条件限制, 规范<sup>[1-3]</sup>给出了多种地基基础加固的方法, 其中微型桩在减小既有建筑物基础沉降方面显示出很大的优势, 因其具有承载力高、沉降量小、所需施工场地较小、桩孔孔径小、能

穿透各种障碍物、适合于各种不同土质等优点而得到广泛的应用。对于微型桩的变形控制机理及受力特点, 目前仍然按照传统桩基进行研究, 如《既有建筑物地基基础加固设计规范》给出的单桩承载力计算公式、孙剑平等<sup>[4]</sup>根据实际工程测试结果提出的微型桩承载力估算公式等。本文通过对某储煤仓沉降原因分析和加固设计讨论微型桩的变形控制机理。

## 1 工程概况

山东赵官煤矿产品仓为高 33.5 m 的筒仓结构, 内径 15 m, 底部仓壁厚 350 mm, 采用钢筋混凝土筏式基础, 基础埋深 3.5 m, 地基为水泥土搅拌桩复合地基。水泥土搅拌桩有效桩长 9.5 m, 桩径 500 mm, 桩间距 1000 mm, 处理后的地基承载力特征值要求达到 160 kPa。产品仓 2007 年 12 月份建成, 于 2008 年 2 月投入使用开始储煤, 根据该产品仓的沉降观测资料, 截至 2008 年 4 月 23 日, 产品仓 7 个沉降观测点中, 最大沉降(1 号产品仓#4 观测点)达到 203 mm, 1 号产品仓#3 观测点(图 1)沉降 128 mm, 由此引起的 1 号产品仓的向北倾斜率已经达到 6.18%, 向西倾斜率达到 3.38%, 两个方向叠加后 1 号产品仓向西北方向倾斜率达到 7.04%, 超过《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)关于“高耸结构基础的倾斜允许值 6%”的安全要求。

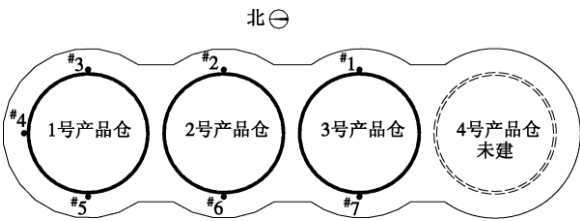


图 1 产品仓观测点平面布置图

Fig. 1 Layout of settlement observation points

根据场地的岩土工程勘察报告, 场地内的土层主要由杂填土、可塑的粉质黏土、稍密~中密的粉土: 软塑的淤泥质黏土、可塑的粉质黏土、松散~稍密的粉细砂、可~硬塑的粉质黏土、稍密~中密的中粗砂、硬塑的粉质黏土、硬塑的黏土等组成, 其各项物理力学指标如表 1 所示。

表 1 土的物理力学性质指标表

Table 1 Physical and mechanical properties of soils

层号	土名	厚度/m	$\gamma$ /( $\text{kN m}^{-3}$ )	$c_k$ /kPa	$\varphi$ /( $^\circ$ )	$E_s$ /MPa
2	粉质黏土	1.28	18.7	27	12.7	6.46
3	粉土	2.6	19.1	32	28.6	9.4
4	淤泥质黏土	4.9	17.1	13	4.8	2.8
5	粉质黏土	6.7	19.4	28	6.9	4.6
6	粉细砂	2	—	—	—	7.2
7	粉质黏土	4.7	20	29	15.2	5.2
8	中粗砂	3.9	—	—	—	9.2
9	含砂黏土	2	19.1	—	—	4.7
10	粉质黏土	2.2	—	—	—	9.2
11	粉质黏土	5	19.3	53	11	5.7

2 加固前不同时期储煤仓的沉降分析

2.1 施工期间的沉降分析

2007 年 8 月 25 日产品仓完成滑模施工, 2007 年 12 月 27 日设备安装完成, 对此施工期间的沉降观测资料(图 2)分析可以看出, 在产品仓施工期间的沉降是逐渐增加的, 施工完成后的最大沉降为 10 mm( #3 和#4 观测点), 整体倾斜率为 0.22%, 满足规范关于“高耸结构基础的倾斜允许值 6%”的安全要求。

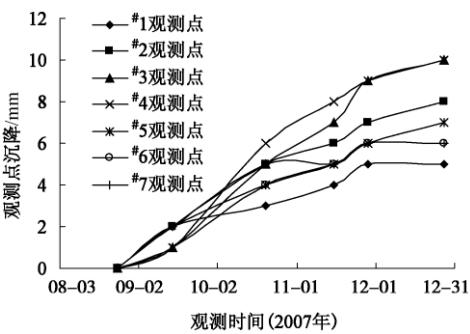


图 2 施工期间沉降观测曲线

Fig. 2 Settlement curves during construction

2.2 仓内储煤期间的沉降分析

2008 年 2 月 21 日对首批建设完成的产品仓进行储煤, 由于在储煤期间产品仓沉降增加较大, 2008 年 4 月 23 日开始减小仓内储煤。由图 3 可以看出, 在产品仓储煤期间的沉降是逐渐增加的, 当仓内储煤减少时, 沉降有轻微反弹趋势, 产品仓储煤期间的最大沉降为 203 mm( #4 观测点, 2008-04-23)。截止到 2008-05-21, 1 号产品仓的整体倾斜率为 7.04%, 超出规范的安全要求。同时根据观测结果 1 号仓和 2 号仓、2 号仓和 3 号仓之间的连接处未见明显结构性裂缝出现, 主要是因为 3 个仓体采用同一筏板基础, 上部仓体结构较大而使 3 个仓体出现整体倾斜, 因此根据沉降观测结果可以推断 2 号仓和 3 号仓也发生较大的向北倾斜。

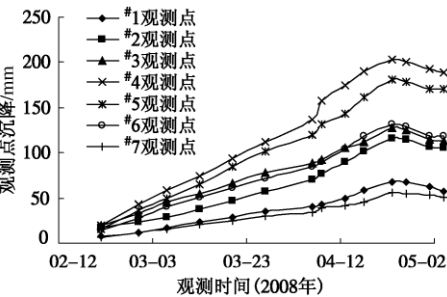


图 3 仓内储煤期间沉降观测曲线

Fig. 3 Settlement curves during operation

2.3 1 号空仓、2 号和 3 号卸煤期间的沉降分析

由于 1 号产品仓刚开始使用期间基础沉降较大,

为了保证产品仓的安全,清空 1 号产品仓的储煤,减小 2 号和 3 号产品仓的储煤量。由图 4 可以看出,在 1 号空仓 2 号 3 号卸煤期间的沉降趋于平稳,中间由于 2 号和 3 号产品仓的装卸载出现轻微反复。通过对 1 号产品仓空仓的保护性处理,截止到 2008 年 6 月 12 日,产品仓相对 2008 年 4 月 23 日的最大沉降量的回倾沉降量为 11 mm,但 1 号产品仓的整体倾斜率为 6.39%,仍不满足规范的安全要求。

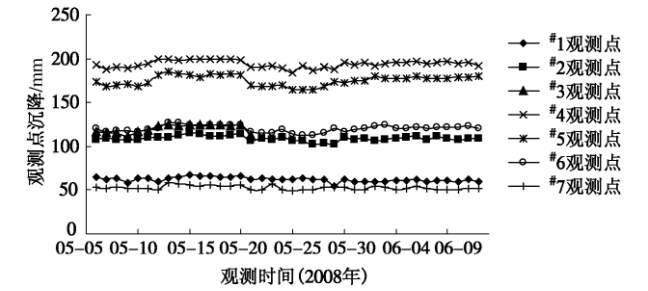


图 4 1 号空仓 2 号 3 号卸煤期间沉降观测曲线

Fig. 4 Settlement curves during part operation

经过局部空仓和减小储煤量的临时处理后,3 个产品仓的整体倾斜率都超出规范关于“高耸结构基础的倾斜允许值 6‰”的安全要求。同时对产品仓的沉降观测表明,造成储煤产品仓倾斜的荷载主要为使用荷载不当。

3 储煤仓沉降原因分析

3.1 水泥土搅拌桩原因

根据该产品仓水泥土搅拌桩设计参数,按照《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2002)计算得到的该复合地基的地基承载力特征值是满足承载力要求,但该水泥土搅拌桩的桩端持力层为第 5 层粉质黏土,该层土的各项物理力学指标与第 6 层粉细砂的对比(表 2)可以看出,第 5 层土强度相对第 6 层强度要低很多,因此桩端持力层的相对软弱是造成地基沉降过大的原因之一。

表 2 第 5 层和第 6 层力学指标对比

Table 2 Comparison of mechanical indices between 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> strata

土层	$f_{ak}$ /kPa	$E_s$ /MPa	$N$ /击	$q_c$ /MPa	$f_s$ /kPa
第 5 层粉质黏土	120	4.6	5.8	1.302	46
第 6 层粉细砂	200	—	9.1	3.735	78
二者比值	1.67	—	1.57	2.87	1.70

3.2 使用荷载原因

储煤产品仓的使用采用北侧满仓方式进行,而南侧未建的 4 号产品仓基础已经完成,导致满仓后北侧产品仓基底压力较南侧仓体基底压力大,进而引起产

品仓发生不均匀沉降,因此使用荷载的不当也是造成产品仓倾斜的又一原因。

3.3 水泥土搅拌桩桩身施工质量

该储煤产品仓的水泥土搅拌桩施工完毕后没有进行单桩竖向承载力载荷试验,只是进行了复合地基承载力试验,因此无法判断桩身施工质量。

4 储煤仓地基基础加固

综合考虑场地因素和地层因素,该产品仓地基承载力是满足上部荷载要求的,但由于桩端持力层选择不当、使用加载不当等原因造成该产品仓的沉降和整体倾斜过大,因此该构筑物地基基础加固的目标在于控制沉降。基于安全经济合理可行的原则,这里采用基于变形控制原理的微型桩托换加固技术对于该产品仓的地基基础进行加固。

4.1 基于变形控制的加固设计

采用微型桩进行基础加固的重点在于合理确定加固荷载的大小,进而确定微型桩的数量,笔者曾提出过既有变形控制的既有建筑物加固荷载的计算方法[5]。

对于该构筑物的加固荷载仍然按照上部结构荷载、使用荷载和基础荷载计算,假定原复合地基的荷载分担比为 0.5,相对传统计算中按照单桩承载力的特征值确定基桩数量,这里考虑微型桩单桩竖向承载力可以发挥至其极限承载力,从而按照如下公式确定微型桩的数量:

$$F_k + G_k \leq nQ_u + \eta_c f_{spk} A_{sp} \quad , \quad (1)$$

其中  $F_k$  为上部结构和使用荷载的标准组合值 (kN);  $G_k$  为基础重量 (kN);  $n$  为桩数;  $Q_u$  为单桩竖向承载力的极限值 (kN);  $f_{spk}$  为复合地基承载力特征值, kPa, 这里取 180 kPa;  $A_{sp}$  为桩间复合地基的面积 (m<sup>2</sup>);  $\eta_c$  为桩基承台效应系数, 这里取 0.5。

4.2 加固微型桩设计参数

微型桩直径为 220 mm, 进入第 8 层中粗砂土层不少于 1.0 m。根据上述参数计算单桩承载力极限值, 结合公式 (1) 得到需要的桩的数量, 由于产品仓底部结构为框架剪力墙, 微型桩主要布置在框架柱周围和剪力墙外侧基础位置 (图 5)。

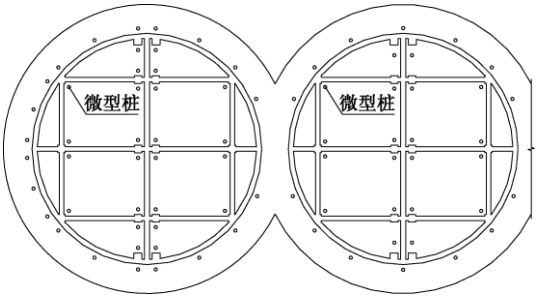


图 5 微型桩平面布置图

Fig. 5 Layout of micro-piles

为了使微型桩与原有基础有效连接, 需要在桩顶原基础顶面新增混凝土承台, 新旧基础通过插筋连接 (图 6)。微型桩顶部伸入新增混凝土承台 50 mm, 主筋伸入新增混凝土筏板基础 450 mm, 保护层厚度为 25 mm。

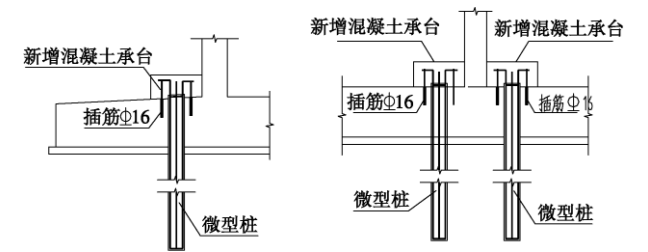


图 6 微型桩加固基础立面图

Fig. 6 Section of reinforcement foundation by micro-piles

4.3 加固效果监测分析

该加固工程于 2009 年 2 月 7 日完成, 截止 2009 年 3 月 25 日, #1~#7 观测点的沉降如表 3 所示。由表 3 可以看出, #1 和#7 观测点在加固完成后的沉降相对较大, 其他相对较小, 这主要是因为加固完成后同时进行了 4 号产品仓的施工, 新增荷载导致靠近 4 号产品仓的#1 和#7 观测点沉降偏大, 其他观测点的沉降速率在加固后都急剧降低, 说明该加固方案是合理的。

表 3 加固前后沉降观测数据对比

Table 3 Comparison of settlement observation data before and after reinforcement							
观测点	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
加固前新增沉降及变化速率 (2008-05-06—11-03, 180 d)							
新增沉降/mm	87.5	80.5	41.0	41.5	46	80.5	81
沉降速率/(mm d <sup>-1</sup> )	0.49	0.45	0.22	0.23	0.26	0.45	0.45
加固后新增沉降及变化速率 (2009-02-07—03-25, 46 d)							
新增沉降/mm	6	2	3	0	5	3	11
沉降速率/(mm d <sup>-1</sup> )	0.13	0.04	0.07	0.00	0.11	0.07	0.24

5 结 语

通过对该构筑物不同时期的沉降规律的分析, 得出造成该构筑物基础沉降和整体倾斜的原因有桩端持力层较差、结构加载不当、水泥土搅拌桩施工质量不明等 3 个方面的原因。基于变形控制考虑, 提出的利用微型桩的单桩竖向极限承载力和适当折减原复合地基承载力的减沉桩基的设计理念, 可以减少加固用桩数量 50% 以上。同时采用二次压浆微型桩可以满足产品仓地基基础对强度和变形的双重要求。该工程加固前后的沉降观测对比, 表明本文提出的考虑单桩极限承载力的变形控制设计方法是安全合理可行的。

参考文献:

[1] JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (JGJ79—2002 Technical code for foundation treatment of buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese))

[2] JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (JGJ94—2008 Technical code for building pile foundation[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.(in Chinese))

[3] JGJ123—2000 既有建筑地基基础加固技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. (JGJ123—2000 Technical code for improvement of soil and foundation of existing buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000. (in Chinese))

[4] 孙剑平, 徐向东, 张 鑫. 微型桩竖向承载力的估算[J]. 施工技术, 1999, 28(9): 20 - 21. (SUN Jian-ping, XU Xiang-dong, ZHANG Xin. Estimation of vertical bearing capacity of micro-piles[J]. Construction Technology, 1999, 28(9): 20 - 21. (in Chinese))

[5] 魏焕卫, 贾 强, 孙剑平, 等. 既有建筑物基础加固荷载计算方法[J]. 四川建筑科学研究, 2007, 33(1): 83 - 86. (WEI Huan-wei, JIA Qiang, SUN Jian-ping, et al. Load calculation method of foundation reinforcement of the existing building[J]. Sichuan Building Science, 2007, 33(1): 83 - 86. (in Chinese))

(本文责编 李运辉)