

# 地基下沉倾斜危楼双向顶升纠偏实践

陈国政, 陈守平, 陈守安

(中国有色金属工业西安勘察院基础托换工程公司, 陕西 西安 710054)

**摘要:**某3层砖混结构楼房,因地基下沉且不稳定导致向南东倾斜成为危房,经采用静压桩托换地基加固补强控制地基稳定后,进行双向顶升纠偏设计、施工与试验,通过成果分析治理是成功的。介绍了纠偏设计与施工技术。

**关键词:**危楼;静压桩托换;地基加固;顶升纠偏

中图分类号:TU753.8 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2007)02-0004-06

**Application of Two-direction Rectification of Deviation by Jack-up for Dangerous Inclining Building with Foundation Subsidence/CHEN Guo-zheng, CHEN Shou-ping, CHEN Shou-an** (Xi'an Institute of Investigation, The Engineering Company of the Basic Underpinning, China National Nonferrous Metals Industry, Xi'an Shanxi 710054, China)

**Abstract:** Because of the ground subsidence, a 3-storeyed masonry-concrete building became dangerous with southeast inclination. Static pressure pile underpinning was used to reinforce the foundation. After consolidation, the design, construction and test of two-direction rectification by jack-up were made, and it was proved successful. The design and construction of rectification of deviation were introduced.

**Key words:** dangerous building; static pressure pile underpinning; ground reinforcement; rectification of deviation by jack-up

西安市北郊范家南村村委会3层办公楼为砖混结构,建于2001年,高度11.0 m,设有地圈梁,基础埋深1.5 m,为砖砌放大脚条形基础和柱基独立基础,基础下持力层为软弱人工填土和湿陷性黄土,承载力低。

该建筑物建成后使用不到半年,发现地基下沉,地面散水断裂,裂缝由北向南增大,由于地基不稳定下沉发展逐渐恶化。根据现场踏勘观察,室内墙体出现裂缝,地面散水开裂严重,裂缝宽达10~60 mm,缝长达数米,沿建筑物东西侧墙体呈近似平行分布,原墙基标高下陷低于散水标高,楼南侧与东侧下沉最大达30 cm之多,造成建筑物砌体开裂倾斜。

根据观测,倾斜值向南为24 cm,向东为12.6 cm,倾斜方向东南,倾斜率为22.0‰~11.5‰,远远超出《危险房屋鉴定标准》(JGJ 125-99)中7‰的规定<sup>[1]</sup>,实属危房,面临倒塌,直接危及结构和生命财产安全。因此楼房所有人员及贵重物品被迫全部撤离。

为保证建筑物地基稳定,恢复继续安全使用,需采取有效措施和可靠的方法进行抢救治理。

## 1 场地工程地质条件简述

本场地位于西安市北郊朱宏路东侧,地形平地,

地貌单元属渭河左岸Ⅱ阶级地。属自重湿陷性黄土场地。

建前本场地未进行岩土工程勘察,根据附近地质资料和开挖操作坑井探揭露,场地地层自上而下依次为3大层:

(1)杂填土( $Q_4^{ml}$ ),主要为粘性土,含砖瓦碎块、建筑垃圾,结构松散,层厚2.00~4.00 m;

(2)黄土( $Q_3^{2eol}$ ),黄褐色,大孔结构,含有蜗牛壳碎片,土质均匀,硬~可塑状态, $a_{1-2}=0.68 \text{ MPa}^{-1}$ ,属于高压缩性, $\sigma=0.020\sim0.100$ ,具有湿陷性;

(3)黄土( $Q_3^{2eol}$ ),褐黄色,可见针孔状孔隙,含钙质结构,可塑状态, $a_{1-2}=0.15 \text{ MPa}^{-1}$ ,属中等压缩性,非湿陷性,勘察时未穿透此层,最大揭露厚度5.60 m。

地下稳定水位深度12.80 m,属潜水。

## 2 场地基础下持力层室内外试验

为了解基础下持力层既有承载力,土的物理力学性质变化,分析地基病害原因,提供可靠的地基加固设计依据,于地基下沉严重部位不同深度处选取了原状土试样在室内进行了土工试验分析和基础下平板静力载荷试验,其试验结果对比见表1、表2和图1所示。

收稿日期:2006-06-30

作者简介:陈国政(1932-),男(汉族),辽宁锦县人,中国有色金属工业西安勘察院基础托换工程公司高级工程师、高级研究员,岩土工程专业,从事地基加固预压桩基础托换、桩基顶升纠偏与复位实用性等研究工作,陕西省西安市西影路46号,13991819656,sw801@163.com。

表 1 建前与建后持力层地基土物理力学性质试验结果对比表

试验资料时间	统计数	w/%	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	$Y_a$	$S_t$	$e$	$W_L/\%$	$I_p$	$I_L$	$\sigma_s$	$a_{1-2}$	$E_s$	$f_k$
建前	23	14.0	15.54	13.62	39	1.033	29.2	11.3	0.05	0.071	0.19	12.62	160
建后	8	27.5	17.48	13.68	78.8	0.945	28.76	11.4	0.88	0.012	0.623	3.5	96.5

表 2 基础下平板载荷试验结果汇总表

试验数量	试验深度 H /mm	比例界限力 $P_0$ /kPa	$P_0$ 对应沉降 s /mm	变形模量 E /MPa	试验终止压力 P /kPa	总下沉 $\Sigma s$ /mm	总回弹量 $\Delta s$ /mm
4	灰土层下 0.18	150	3.185	12.96	350	17.185	4.03
13	灰土层下 0.50	145	6.834	7.93	250	24.915	2.66
15	灰土层下 1.00	109	5.140	7.78	200	16.625	2.38

注:承压板面积  $A = 2500 \text{ cm}^2$ 。

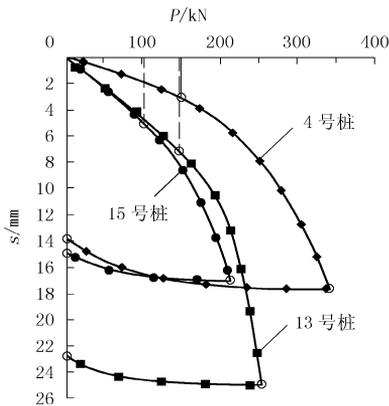


图 1 桩编号 4、13 及 15 基础下平板载荷试验 P-s 曲线图

### 3 地基病害根源

办公楼房地基严重下沉导致结构墙体开裂与倾斜,根据现场踏勘试验和所进行的工作,经分析其主要原因如下。

(1)建前未进行岩土工程勘察,设计依据不可靠、不规范。

(2)地基处理欠佳。开挖工作坑基础以上杂填土易挖掘,土质极为疏松,形成砟地面与下部土层悬空,发现灰土垫层仅为0.5m,与提供图纸资料0.60~0.80 m不符合,地基处理深度过小。

(3)管理不善。在开挖楼房南侧与东侧操作坑时,坑中有大量渗水,妨碍工作,只好抽水掏水,经检查地下管道破裂,大量跑水渗入地基中,使土质软化,呈饱和流塑状态。

(4)墙基标高低于散水标高,特别是楼房南侧与东侧,是小商贩摆摊集中的地方,经常向墙基泼污水,加之大气降雨,使集水倒灌,浸泡地基土。

(5)场地属于自重湿陷性黄土场地,设计时未按《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 50025-2004)进行排水、防水有关规定设防,使地面水沿散水流入地基中。

(6)据在基础下1.0 m深度内持力层选取土试样进行室内土工试验结果:天然含水量 w 平均 27.5%,比建前增高 1 倍,地基既有承载力  $f_k < 100 \text{ kPa}$ ,比建前降低 60% 多,而地基持力层湿陷性承载力标准值  $f_k$ ,室内土工和基础下静载荷试验结果两者相似,接近 100 kPa。

综合分析认为:地基土被水长期浸泡湿陷、软化,承载力大幅度降低,从而导致地面过量不均匀沉降。

## 4 地基加固方案、原理与功能

### 4.1 地基加固方案

鉴于建筑物出现地基病害造成结构墙体严重破坏和倾斜,已成为危房,用一般方法处理不可行。经多种方案对比论证综合分析,决定采用“静压桩托换地基加固顶升纠偏方案”抢救治理。

该方法突出特点是设备小巧、机理明确,直观可知,人为控制,技术可靠,施工速度快且安全<sup>[2]</sup>。

### 4.2 原理与功能

静压桩托换原理是借基础上部结构荷载做反力,于下沉最大的基础底面中心下保持垂直压桩支顶,压桩结束保持恒压稳定,再顶升上抬基础,当建筑物沿某一直线(点)作整体平面转动,即可使建筑物得到纠偏复位。经托换(同步进行)后,可有效阻止桩顶回弹,并形成桩顶向上反力,有效控制地基不再产生新的沉降和防止复倾作用。其目的是达到加强地基和提高承载力,最后将顶升空隙浇灌砟并用振动棒振捣密实连成整体,建筑物就可恢复正常使用功能。

多项工程实践证明上述方案是抢救危房的一种可靠的方法。

## 5 地基加固补强顶升纠偏设计

据实测地基下沉尚未稳定,顶升纠偏前必须先

进行加固补强,从而提高地基承载力,控制地基稳定后再顶升施工。

### 5.1 地基加固补强

(1) 桩身材料设计为钢筋砼预制桩,截面尺寸  $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ ,强度 C30,配  $\Phi 12$  螺纹钢筋及  $\Phi 6 @ 150$  箍筋。

(2) 桩分段每节长度为  $1.2\text{ m}$  及  $1.0\text{ m}$  方桩,尖桩长  $1.2\text{ m}$ ,锥角  $60^\circ$ ,桩尖端用电焊接桩。

(3) 压桩终止压力,满足达  $1.5$  倍单桩竖向承载力标准值  $R_k$  相应深度的土层内。

(4) 建筑物结构总荷载按下面经验公式计算:

$$\Sigma Q = L \times 33 \times N \times K = 12830.4\text{ kN}$$

式中: $\Sigma Q$ ——建筑物总荷载,kN; $L$ ——条形基础长度, $L = 108\text{ m}$ ; $N$ ——建筑物层数, $N = 3$ ; $K$ ——荷载系数, $K = 1.2$ 。

建筑物长宽比  $18/9 = 2$ ,根据经验计算顶升力取  $(3/4)\Sigma Q$ ,为  $9622.8\text{ kN}$ 。

(5) 单桩承载力标准值  $R_k$ ,设计为  $275\text{ kN}$ 。

(6) 压桩终止压力按  $P = 1.5R_k$  控制,  $\geq 400\text{ kN}$  压桩终止,要施加常数压力恒压,托换压力  $\geq$  压桩终止压力。

(7) 为可靠地对地基正确评价指导施工,要选择有代表性的 3 根工程桩做单桩静载荷试验(以下简称试桩)。确定持力层既有地基承载力,压桩施工前基础下做 3 处平板载荷试验。

(8) 为了解基础下持力层土的物理力学性质,要在灰土垫下不同深度选取原状土试样进行室内试验分析。

(9) 据倾斜值计算,最大顶升量达  $28\text{ cm}$ ,剩余倾斜值  $< 7.0\text{ cm}$ ,满足规范倾斜率  $< 7\%$  要求。

(10) 顶升纠偏结束托换后,导坑底面至桩顶  $0.20\text{ m}$  以下采用灰土回填夯实,以上用 C20 砼浇灌,并用振动棒振捣密实,使其与基础连成整体。

(11) 桩的布置:建筑物长宽比  $L/B = 2$ ,大于  $1.5$ ,经计算取总面积  $3/4$  范围内按倾斜方向布桩 35 根桩,对下沉较大部位,桩距密些,反之大些,其中 31 根桩为顶升桩,4 根桩为保护桩,桩的平面位置见图 2。北山墙正常未布桩,便于顶升力传递,借荷载自重压力迫降,减小顶升量,但需预估并控制其下沉,使之沿轴线(点)整体转动,即可使倾斜得以纠正。

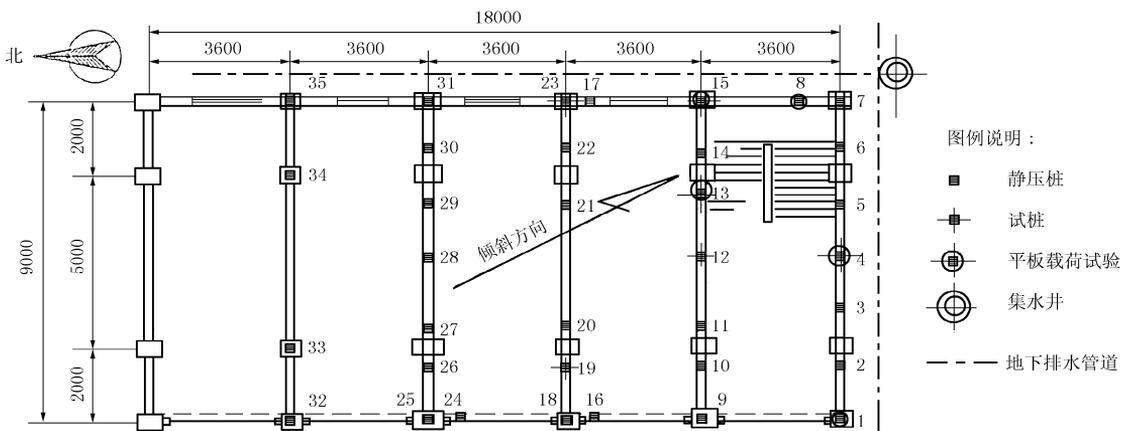


图 2 西安市北郊范家村办公楼地基加固补强竣工示意图

### 5.2 顶升纠偏

(1) 为了保证纠偏施工取得成功,施工前对楼房进行了访问及观察,发现有以下几点:

① 房屋即使出现较大下沉整体倾斜,但外形及结构除东侧中部底层门下出现裂缝和西侧散水断裂外,其余各部件均未出现变形裂缝、损坏及移位;体形完好,通过静压桩托换地基加固补强控制地基稳定,经顶升可恢复正常使用功能,有继续使用价值。

② 房屋各层平面及立面均大致呈矩形,无明显的凹凸或高低差异,这样的体形有利于房屋的整体受力。

③ 房屋的结构、受力状态等绝大部分符合砌体承重结构中的刚性房屋标准,如房屋的长、高比  $L/H = 18/11 = 1.64 < 2.5$ ,承重横墙较多、墙距也较小(最大墙距  $3.6\text{ m}$ ),各层设有圈梁,各受力纵横墙互连接较好等,有利于整体传力。

(2) 压桩结束,施加常数荷载(取  $R_k/2$ )恒压,控制地基沉降稳定后再进行顶升上抬基础。

(3) 建筑物倾斜方向采用双向顶升法,先在沉降较大倾斜部位由南向北顶升,控制基底顶升抬升高度整体一致,然后再由东向西顶升。

(4) 顶升纠偏后倾斜值控制不得大于  $50\text{ mm}$ 。

倾斜率满足设计要求。

(5) 根据下沉倾斜, 顶升高度 240 ~ 40 mm, 由大至小不等。

### 6 地基加固补强顶升纠偏施工

地基加固补强顶升纠偏施工技术要求, 严格遵照《既有建筑地基基础加固技术规范》(GJJ 123 - 2000) 规定<sup>[3]</sup>, 施工顺序简述如下。

(1) 根据建筑物下沉倾斜情况, 压桩先南部后北部再由东部向西部, 为避免产生附加沉降要跳跃式进行。

(2) 每根桩压桩力达到设计要求时, 立即拆除压桩装置, 桩顶上安置托换支架和顶升千斤顶(带有压力表), 选择统一常数施压保持恒压稳定。

(3) 顶升前准备。固定观测点, 分为地面百分表微测, 墙体上水准仪详测及垂线锤于墙角吊测, 以便实施监控。

(4) 按顶升方向分段同步施压。由南向北顶升分为 4 段: 1 段桩编号 1 ~ 8; 2 段桩编号 9 ~ 15; 3 段桩编号 16 ~ 23; 4 段桩编号 24 ~ 31。先由下沉量大部位南侧 1 段开始, 随后向北推进。循环进行。由东向西顶分 3 段, 1 段桩编号 7、8、15、17、23、31; 2 段桩编号 6、14、22、30、5、13、21、29; 3 段桩编号 4、12、28。先由下沉较大部东侧 1 段开始, 随后向西推

进循环进行。每段施加压力保持恒压, 待下一回次顶升增压。经多次反复达到满足设计要求止。

(5) 试顶。设专人统一指挥, 施工操作人员各就各位, 按统一指令施压顶升、观测, 以全面检查各项工作是否完备正常。

(6) 正式顶升纠偏。首先调整所有顶升点为统一常数压力, 按前述分段逐级同步施压, 随后观测顶升量。

(7) 根据施加顶升压力、观测的顶升量, 可及时调整各段顶升力, 控制顶升量, 最后达到设计要求值终止。开始每次顶升起动量为 1 ~ 3 mm, 而后待建筑物基础脱空全部离地后再逐步提高 3 ~ 5 mm 及 5 ~ 10 mm, 每次顶升达到给定的顶升量后统一停止作业, 根据观测资料经统一分析后确定下一次顶升及给定的顶升力。

(8) 设专人观测墙体、柱基结构情况, 如无异常方可进行下一回次顶升。为观察建筑物在纠偏过程中垂直度变化情况, 于四角设置 4 根垂线锤采用目测法测读实测。

(9) 经过反复多次顶升、施压、纠偏、实测建筑物由向东南倾斜 240 mm 变为 40 mm, 基本恢复垂直, 倾斜率减小为 3.6‰(见表 3), 满足规范要求, 顶升纠偏结束。

表 3 建筑物倾斜顶升纠偏结果对比表

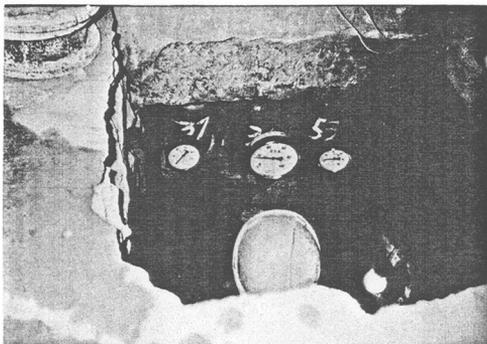
建筑物总荷载 P/kN		最大下沉量 s <sub>上</sub> /mm	最大顶升量 s <sub>上</sub> /mm	顶升后托换回弹 Δs <sub>下</sub> /mm	倾斜量/mm		倾斜率/‰	
顶升前估计	顶升后实测				顶升前	顶升后	顶升纠偏前	顶升纠偏后
12830.4	11200.0	360	318	276	240	40	22	3.6

(10) 基础下桩式托换。纠偏达到要求后, 立即进行托换: 桩顶千斤顶保持压力, 支架两侧并排托换千斤顶加压大于压桩终止压力或顶升压力, 取出顶升千斤顶, 将截好的 Ø159 mm 钢管塞入间隙对接上

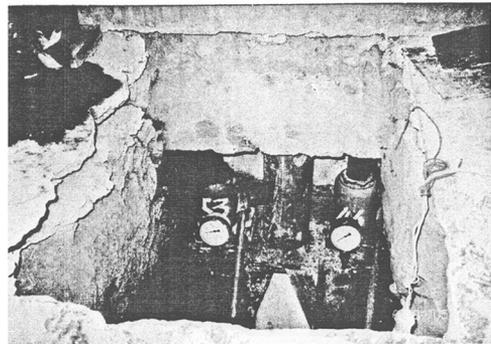
下进行电焊焊接(见图 3), 托换完毕。

(11) 回填导坑至桩顶 0.2 m 止, 以上浇灌 C 20 砼并用振动棒振捣密实, 使其与原基础连成整体。

(12) 对破坏地面恢复原貌。



(a) 顶升纠偏结束桩顶支架两侧并排千斤顶同步施压托换出顶升千斤顶



(b) 将钢板塞入桩顶与基底间用大锤将钢楔打紧后, 拆卸托换装置

图 3 基础下桩式托换

### 7 对地基加固补强顶升纠偏成果分析评价

#### 7.1 静压桩

据35根静压桩结果,典型的压桩力 $P$ 与桩尖入土深度 $H$ 关系代表性曲线如图4所示。

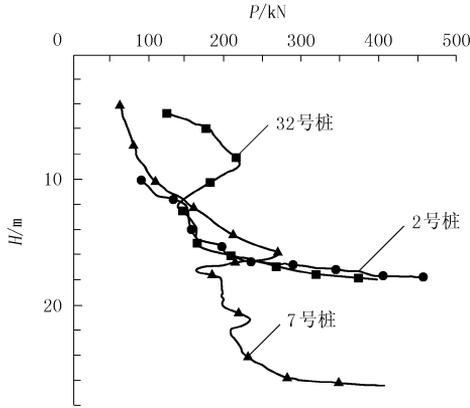


图4 桩编号2、7及32桩 $P-H$ 曲线

(1) 桩尖入土深度 $H$ ,除桩编号5、6、7三根桩最深为26.54~27.62 m外,其余为16.86~18.88 m,平均18.23 m。桩尖均进入力学性能较高的地层中,深度 $>1.0$  m。

(2) 压桩力 $P$ 随着桩尖入土深度增大而增加,但不成比例,当桩尖深入不同土层时,压桩力将发生明显变化,当桩尖穿过同一土层时,压桩力也不相等,而且随深度增大有时出现反常现象,如图4中7

号及32号分别在16.0 m和8.0 m以下曲线明显倒转,随深度增加而压力减小,当超过一定值后曲线一直随深度增加而增大。

分析原因,是土层软硬程度不均匀,地基土受水浸泡强度降低不同所致,上述3根桩位于楼房东南角处,桩入土深度达27.0 m之多,据访问此处原为垃圾场,因地层土质软弱,故地基因下沉最大。

(3) 压桩终止力 $P$ 达350.0~483.3 kN,平均416.4 kN,相比均大于设计值,表明满足设计规范要求。

#### 7.2 试桩

试桩压力 $P$ 与沉降 $s$ 关系曲线见图5,结果列入表4。

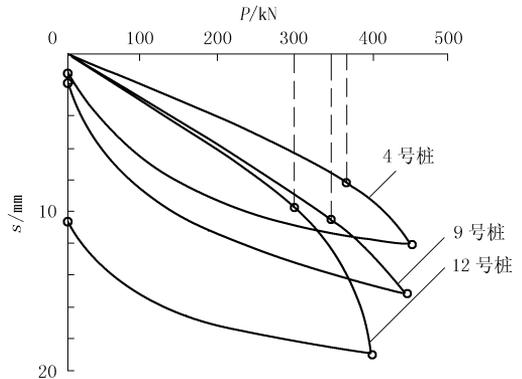


图5 桩编号4、9、12试桩 $P-s$ 曲线

表4 基础下试桩结果汇总表

桩编号	尖桩入土深度 $H/mm$	试验终止压力 $P/kN$	比例界限压力 $P_0/kN$	对应沉降 $s/mm$	总沉降量 $\Sigma s/mm$	总回弹量 $\Delta s/mm$	取 $s=5$ mm. 对 应压力 $P_s/kN$	单桩承载力标 准值 $R_k/kN$	恒压是 否稳定
4	16.31	450	375	3.36	5.10	5.92	425		稳定
9	18.88	450	350	5.34	7.54	7.50	325	350	稳定
12	17.24	400	300	9.68	18.87	8.80	160		未稳定

由上述成果资料得出:压桩结束经恒压稳定试验比例界点 $P_0$ 值为350~375 kN,相对应沉降大, $s$ 的平均值为4.35 mm,而压桩结束未经恒压稳定 $P_0$ 值仅为300 kN,对应沉降 $s$ 达9.68 mm,强度偏小。

单桩承载力标准值 $R_k$ 的确定,据顶升纠偏,采用从强度稳定条件和变形双控制方法,取桩顶允许沉降 $s=5$  mm( $P-s$ 曲线直线段内)对应荷载为适合。由 $P-s$ 曲线确定 $R_k=325\sim425$  kN,平均375.0 kN,考虑不利因素,为安全起见,取最小平均值 $R_k=350.0$  kN,作为本工程单桩承载力标准值。相比实测值大于设计值,是设计值的1.27倍。

综合上述 $R_k$ 值远满足设计要求,因此,建筑物经过静压桩托换地基加固补强后可保持地基稳定,结构安全。

#### 7.3 顶升纠偏

绘制顶升力 $P_{\uparrow}$ -顶升量 $s_{\uparrow}$ 曲线如图6(其结果列入表3)。

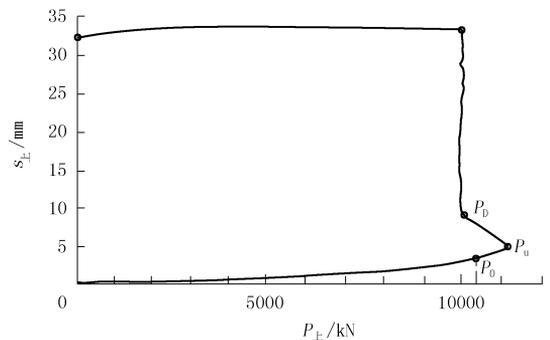


图6 整体顶升 $P_{\uparrow}-s_{\uparrow}$ 曲线

由图6及表3得出:

(1) 顶升 $P_{\uparrow}-s_{\uparrow}$ 曲线特征,明显出现 $P_0$ 、 $P_u$ 及

$P_0$  三点。在  $P_0$  点以内,随着顶升荷载逐级施加,基础底面与土结构单元逐渐起动,顶升量成正比上升,曲线近似直线段;过  $P_0$  点至  $P_u$  点随着顶升施加,顶升量剧增,曲线由斜向变陡降,属曲线段;过  $P_u$  点后随荷载施加减小,顶升量剧增曲线倒转,此时顶升荷载保持不变为常数,顶升量成直线上升趋于无限大,曲线成竖向直线阶段。

由此得出: $0 - P_0$  是基础自重与土的粘结力之和; $P_0 - P_u$  是基础周壁摩阻力、土的自重与约束力等; $P_u$  为顶起最大荷载; $P_D$  是顶起结构自重荷载。

上述荷载是顶升前设计考虑的主要参数。

(2) 顶升施压达 11200 kN, 实测东南角最大顶升量  $s_{上}$  为 318 mm, 墙体向西北方向回倾, 原来靠东北角邻楼墙体分离, 顶升后变成紧密接触, 肉眼可明显见到其立竿见影效果。

(3) 顶升前测得北山墙基向南离开 40 mm, 顶升后实测又由南向北水平位移 40 mm, 表明楼房体刚度好, 顶升纠偏复位。

(4) 顶升纠偏后, 剩余倾斜值仅为 40 mm, 倾斜率由原来 22‰ 减小至 3.6‰, 表明满足规范<sup>[5]</sup> 要求。

(5) 托换压力平均为 566 kN, 大于压桩终止压力, 为 1.36 倍, 从而有效阻止桩顶回弹, 测得桩顶回弹  $\Delta s_{下} = 2.48 \sim 3.04$  mm, 平均 2.76 mm (即顶升后附加沉降), 在弹性变形范围内, 它比试桩测定的回弹值小 50% 之多, 从而形成桩顶向上反力。据经验资料大于 100 kN, 可控制地基不再产生新的沉降, 它是控制复倾的一种最佳方法。

(6) 顶升纠偏结束, 发现在楼房中部 2 段至 3 段间为东西向平行于南山墙的砼地面隆起出现不规

则裂缝, 宽度为 10 ~ 20 mm, 高度达 120 mm, 但观察上部结构墙体均完好, 未发现有新的裂缝和破坏等现象, 表明顶升纠偏极为理想。

## 8 结语

(1) 本工程地基下沉倾斜实属危房, 经采用静压桩托换地基加固补强, 控制地基稳定后进行顶升纠偏是成功的。

(2) 顶升纠偏结束后倾斜率减小至 3.6‰, 满足规范要求, 竣工后至今 1 年多, 经回访、观测, 地基稳定, 使用正常, 未发现地基下沉和结构墙体开裂现象。实践证明纠偏技术效果可靠。

(3) 顶升施压, 根据压桩结束恒压稳定后试桩结果, 确定  $R_k$  是安全可靠的。

(4) 本工程楼房长宽比为 2, 顶升纠偏布桩施加荷载各取 3/4, 实践证明是可行的。

(5) 托换压力大于顶升压力, 并同步进行, 它是控制复倾的有效且唯一方法。

(6) 既有建筑物基础持力层承载力, 采用基础下平板静载荷实验, 结果真实可靠, 是地基加固补强设计的可靠依据, 宜采用。

## 参考文献:

- [1] JGJ 125 - 99, 危险房屋鉴定标准[S].
- [2] 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.
- [3] JGJ 123 - 2000, 既有建筑地基基础加固技术规范[S].
- [4] 陈国政, 桩式托换柱基纠偏与顶升工程实例[J]. 岩土工程学报, 1993, (2): 59 - 67.
- [5] GB 50007 - 2002, 建筑地基基础设计规范[S].