# 上浮桩的形成与处理

王宝勋[1]，俞忠孝[2]，徐新学[1]，李淼清[1]
（1. 天津华北地质勘查局，天津 300181；2. 青海地质勘查局，西宁 810007）

摘　要：通过一个工程实例，初步分析了部分沉管灌注桩上浮的原因，并用小孔扩张理论解释了该场地的挤土机理，指出在淤泥质粘土分布地区沉管灌注桩的桩间距要大于 7 ～ 11 倍桩半径，否则必须采取跳打法或大循环作业法，避开塑性变形区。同时，提出了应用静压法处理上浮桩的思路。实践证明此方法是有效的。

关键词：上浮桩；沉管灌注桩；挤土；静压法
中图分类号：P634　　文献标识码：A　　文章编号：1007－6956(2004)增刊－0016－05

## 1　引言

作为一种深基础形式，沉管灌注桩在沿海软土地基的处理中发挥了非常重要的作用。然而，沉管灌注桩施工所产生的巨大侧向挤压力，常常造成地面隆起，有时甚至会使部分桩上浮，形成所谓的上浮桩[1、2]。上浮桩的存在，对建筑物的安全构成了严重威胁。积极探索处理上浮桩的方法，无疑具有十分重要的经济效益和社会效益。由于条件所限，前人只在讨论挤土桩的挤土效应时对上浮桩做了简要介绍[1～3]，并将研究重点放在已发生断裂和水平位移较大的桩或挤土效应对周围环境的影响上，而对桩身完整、水平位移不大的上浮桩尚未进行深入研究，也未见有关上浮桩处理的报道。本文中通过一个工程实例，初步分析了上浮桩的成因及应用静压法处理上浮桩的效果，试图为这一问题的较好解决提供一些帮助。

## 2　工程概况及地质条件

拟建工程由 12 层住宅（框轻结构）和附属商场组成，基础全部采用振动沉管灌注桩，设计桩径为 ϕ450 mm，有效桩长为 23.5 m，设计单桩极限承载力为 1 050 kN。住宅区桩间距为 1.6 m；附属商场区桩基由两桩或三桩承台构成，桩间距为 1.60 m，轴线间距为 4.50 ～ 7.75 m。

拟建场地地质情况如下：

（1）人工填土层（Qml）

主要由素填土组成，厚约 1.20 ～ 1.90 m，呈褐—褐灰色，软可塑状态，粉质粘土，粘土质，属高压缩性土，本层土质结构性差，欠均匀。

（2）全新统上组陆相冲积层（$Q_4^3$al）

主要由粘土组成，厚约 0.80 ～ 1.30 m，呈黄褐色，软可塑状态，无层理，属高压缩性土。沉管灌注桩的极限侧摩阻力 $q_{sik}$ 为 28 kPa（以下简称为 $q_{sik}$）。

（3）全新统中组海相沉积层（$Q_4^2$m）

厚度 15.40 ～ 15.70 m。该层从上而下可分为 4 个亚层：1）第一亚层：淤泥质粘土，厚度一般为 4.40 ～ 4.70 m，呈褐灰色，软塑～流塑状态，无层理，属高压缩性土，$q_{sik}$ 为 16 kPa；2）第二亚层：淤泥，厚度一般为 4.30 ～ 4.60 m，呈灰色，流塑状态，无层理，属高压缩性土，$q_{sik}$ 为 10 kPa；3）第三亚层：淤泥质粘土，厚度一般为 4.90 ～ 5.20 m，呈灰色，软塑状态，无层理，属高压缩性土，$q_{sik}$ 为 15 kPa；4）第四亚层：粉质粘土，厚度一般为 1.40 ～ 1.70 m，呈灰色，软塑状态，有层理，属中压缩性土，顶部厚约 0.50 m，砂性较大，局部夹粉土薄层透镜体，$q_{sik}$ 为 36 kPa。该层土各亚层水平方向上土质较均匀，分布较

收稿日期：2004－08－11
作者简介：王宝勋（1961－），男，硕士研究生毕业，博士研究生在读，教授级高级工程师，天津有色监督检测站站长兼总工，主要从事工程质量检测和岩土动力学与静力学方面的研究，发表论文十余篇，获省部级优秀工程勘察一、二等奖三次，技术创新成果奖和技术创新成果优秀奖各一次。84236630，84236634.
万方数据

稳定。

(4)全新统下组沼泽相沉积层($Q_4^1h$)

主要由粘土组成，厚度 1.80 ～ 2.30 m，呈黑灰—浅灰色，可塑状态，无层理，属中压缩性土，$q_{sik}$为 35 kPa。该层土水平方向上土质较均匀，分布较稳定。

(5)全新统下组陆相冲积层($Q_4^1al$)

主要由粉质粘土组成，厚度 3.30 ～ 3.80 m，呈灰黄色，可塑状态，无层理，属中压缩性土，$q_{sik}$为 40 kPa。该层土水平方向上土质较均匀，分布较稳定。

(6)上更新统第五陆相冲积层($Q_3al$)

该层土为该工程的桩端持力层，主要由粉土组成，厚度 1.30 ～ 3.30 m 不等，呈褐黄色，密实状态，无层理，属中(偏低)压缩性土，qsik 为 50 kPa，端阻力 qpk 为 1 900 kPa。该土层在水平方向上土质较均匀，分布较稳定。砂粘性略有变化，局部夹粉质粘土薄层。

## 3　沉管灌注桩的施工情况

按设计要求，采用振动沉管桩机进行灌注桩施工。刚开始按流水顺序进行，沿建筑物长轴方向由西向东向后退打，发现地面隆起严重(大约高出原地面 1 米多)、桩位稍有偏移后改为跳打。打桩的工序为[1]：放线→预埋桩靴→桩机就位→沉管至设计要求的贯入度(双控)→测量孔深并检查桩靴→边灌注混凝土边拔管至钢筋笼底标高处→安放钢筋笼→继续灌注混凝土并拔管至地面→移机施打下根桩。打桩采用反插法，拔管时，桩管每拔出 0.5 ～ 1.0 m，便向下反插约 0.3 ～ 0.5 m，如此反复进行，并始终保持振动，直至桩管全部拔出地面。在拔管过程中分段添加混凝土，保持管内混凝土始终不低于地表面。

## 4　基桩检测结果与上浮原因浅析

试桩龄期达到 28 天后，进行了低应变反射波法检测和堆载法静载荷试验。检测结果表明，各试桩桩身质量完好无损。堆载法静载荷试验堆载重量为 1 300 kN，试验荷载分为 10 级，每级加载 105 kN，首级加两倍，当满足终止加载条件时终止。堆载法静载荷试验结果(表 1、图 1)

表 1　静压前静载荷试验结果表

Table 1：Result in static loading test before dead load

| 桩号 | 桩径(mm) | 桩长(m) | 最终荷载(kN) | 最终变形(mm) | 极限承载力(kN) | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 450 | 23.5 | 1 050 | 11.67 | ≥1 050 | 附属商场 |
| 15 | 450 | 23.5 | 1 050 | 5.53 | ≥1 050 | 附属商场 |
| 51 | 450 | 23.5 | 840 | 75.95 | 735 | 住宅楼 |
| 156 | 450 | 23.5 | 840 | 61.36 | 735 | 住宅楼 |
| 222 | 450 | 23.5 | 735 | 58.61 | 630 | 住宅楼 |

注：试验数据来源于天津有色监督检测站

表明：桩间距较大的 10#、15#桩沉降较小，极限承载力满足设计要求；桩间距较小的 51#、156#、222#这三根桩的极限承载力在 630 ～ 735 kN 之间，未能达到设计要求。

虽然 51#、156#、222#三根桩与 10#、15#二根桩所处地质条件、施工方法和桩身质量情况相同，但是 10#、15#二根桩施工较晚，间距较大，所在附属商场基桩较少、较疏，所在部位几乎未见隆起，而 51#、156#、222#三根桩施工较早，桩间距较小，所在住宅基桩数量较多、较密，所在部位均隆起较高且与打桩先后顺序呈正相关，加之这三根桩极限承载力恰好与桩侧摩阻力十分接近，桩的端阻尚未发挥作用，估计这些桩上浮的可能性较大。这一方面是因为在动荷载作用下，饱和软土中的超孔隙水压力骤增，使土体向上隆起，形成上浮力；另一方面是因为较密实的砂性土受到振动和侧向挤压，在向上释放应力过程中易将邻桩托起所致。

单桩的挤土机理可用小孔扩张理论进行分析[2]。在一定假设条件下，无限土体中扩张出一个半径为 r 的小孔时，在小孔四周形成一个应力影响区，如图 2 所示。

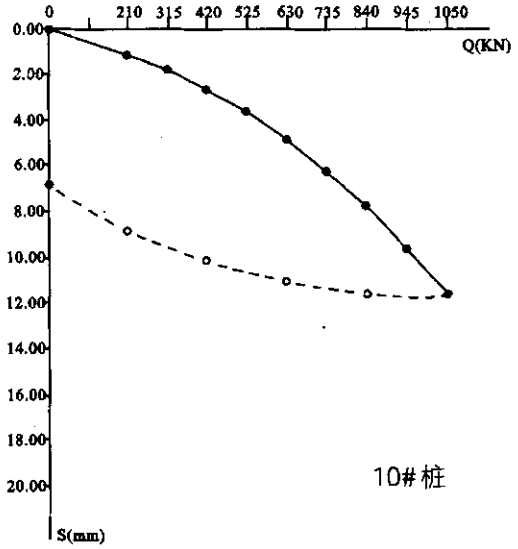
经过计算，不难得到塑性区半径 R 的计算公式

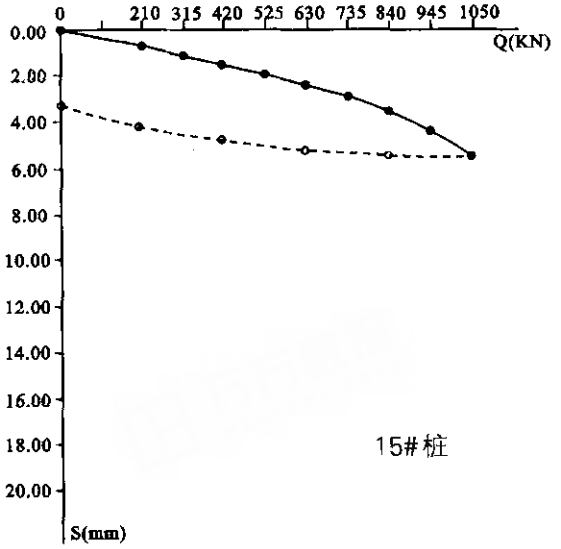
$$R/r=\sqrt{E/(2(1+\mu)c_u)}$$

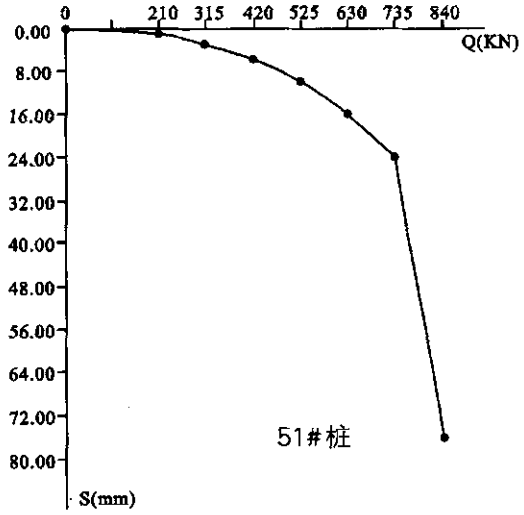
式中：R、r－分别为塑性区和桩的半径；E－土的模量；$\mu$－土的泊松比；$c_u$－土的不排水强度。并由上式推出桩土界面上的压力—小孔扩张压力 $p_u$ 的公式

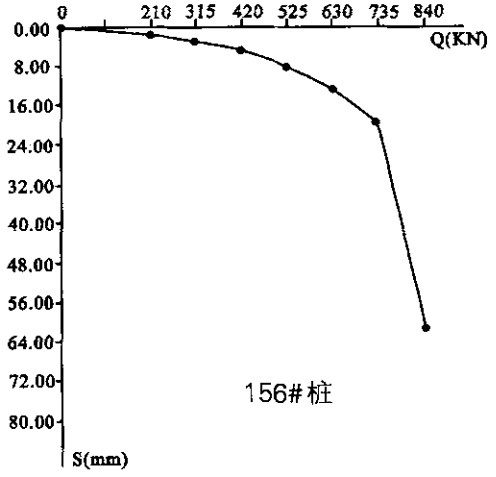
$$p_u/c_u=\ln(E/(2(1+\mu)c_u))+1$$

万方数据



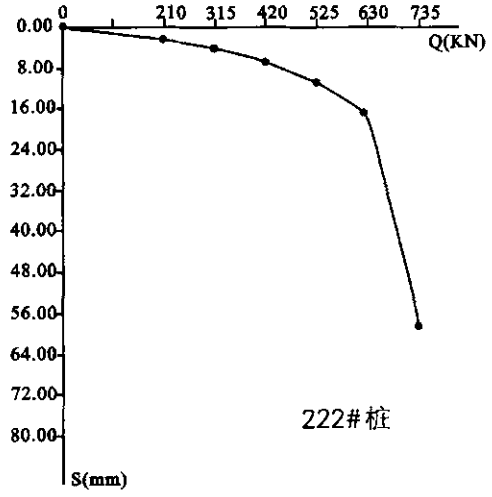




**图1 静压前单桩静载荷Q-S曲线**

Fig. 1 Static loaking test Q-S curve before dead load

万方数据

根据土工试验资料，淤泥质粘土的刚度比 $E/c_u \approx 160 \sim 350$，因此塑性区半径 $R \approx (7 \sim 11)r$，即为桩半径的7～11倍。也就是说在淤泥质粘土场地打桩桩间距应大于桩半径7～11倍。为了减小在打桩对邻桩的影响，施工时宜采用跳打法或大循环作业法，避开塑性变形区。

## 5 静压法跑桩过程与效果

经与设计、甲方、施工方共同商讨，除在结构设计上采取必要措施外，还决定用静压法跑桩，目的是让上浮桩归位，使各桩的单桩极限承载力和沉降均能达到设计要求。

跑桩时，用5 000 kN静压机对每根桩逐一静压，单桩所受最大静压力为1 300 kN，每根桩持续时间为5～10分钟。同步进行的测量结果表明：

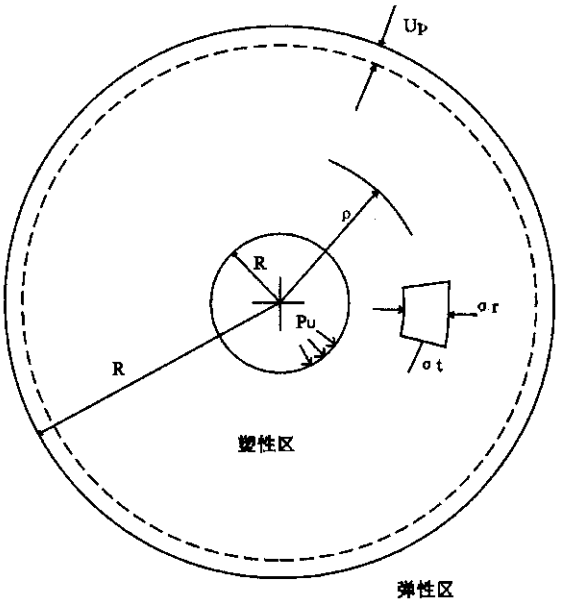



图 2　圆柱小孔扩张

Fig. 2　Principal of a small hole expansion

静压后,各桩下沉量在 3 ～ 100 mm 之间变化,且后施工的桩的下沉量较小,先施工的桩的下沉量较大。这一现象表明,后施工的桩的确对先施工的桩造成了影响,且静压跑桩法对减少这种影响有效果。为了进一步验证这一认识,在桩土休止期满后,又随机选取了 3 根桩进行了堆载法静载荷试验。试验曲线表明 Q－S 曲线均呈缓变形(图 3),且无明显的第二拐点出现,表明桩土体系尚未达到破坏状态,单桩极限静载力大于或等于 1 050 kN(表 2),满足设计要求。

表 2　静压后静载荷试验结果表

Table 2　Result in static loading test after dead load

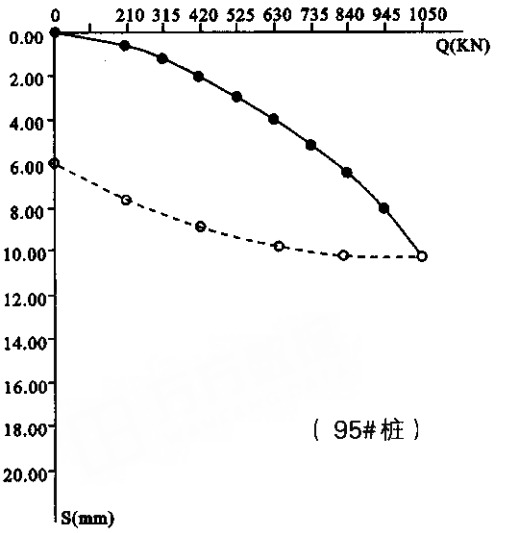
| 桩号 | 桩径 (mm) | 桩长 (m) | 最终荷载 (kN) | 最终变形 (mm) | 极限承载力 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| 95 | 450 | 23.5 | 1 050 | 10.31 | ≥1 050 |
| 145 | 450 | 23.5 | 1 050 | 12.56 | ≥1 050 |
| 149 | 450 | 23.5 | 1 050 | 12.92 | ≥1 050 |

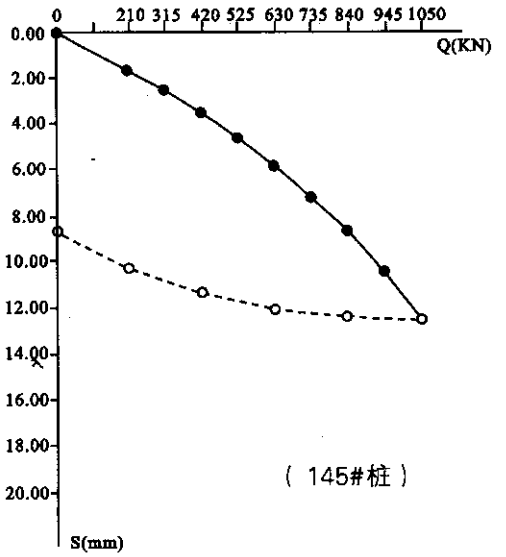
注:试验数据来源于天津有色监督检测站

开槽后对 98 根桩进行了低应变反射波检测,所测各桩桩身质量全部合格。该住宅建成后,经半年多的沉降观测,总沉降量小于 20 mm。

## 6　结论

(1)在沉管灌注桩的施工过程中,一定要遵循少桩疏排原则,采用跳打法或大循环路线施工,



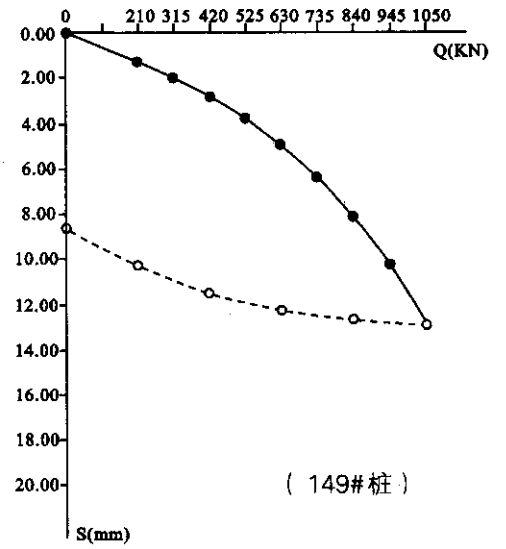




图 3　静压后单桩静载荷 Q－S 曲线(149＃桩)

Fig. 3　Static loading test Q－S curve after dead load

万方数据

以减轻沉管振动对邻桩的影响。在饱和软土地区更应如此。

(2)在出现部分桩上浮后,可采用静压法跑桩,将上浮桩归位,如果方法得当,效果还是比较好的。

参考文献:

[1]段新胜,顾湘.桩基工程[M].北京:中国地质大学出版社,1994,142-149.

[2]胡中雄.土力学与环境土工学[M].上海:同济大学出版社,1997,427-438.

[3]周东,王业田.沉管灌注桩施工对邻近建筑物的影响预测[J].桂林冶金地质学院学报,1993,13(30):250-257.

# Formation and Treatment of the Risen Piles

WANG Bao-xun[1], YU Zhong-xiao[2], XU Xin-xue[1], LI Miao-qing[1]

(1. *Tianjin North China Geological Exploration Bureau*, *Tianjin* 300181; 2. *Qinghai Geological Exploration Bureau*, *Xining* 810007)

**Abstract**: The risen pile cause of some immersed pipes are analyzed in this paper through an engineering example. And the principal of squeezing the soil is explained by the theory of the small hole expansion in this case. In order to avoid plastic deformed area in silted clay, it points out that the distant among the piles must be farther than 7 to 11 times the diameter of the pile. Furthermore, it is suggested to treat risen pile by statics method, which is proved to be very effective.

**Key words**: risen pile; immersed pipe; the squeezing soil; statics method

万方数据