

【工程应用】

# 某地下室上浮原因分析及加固处理

钱旭彤, 陈静

(杭州市钱江新城建设开发有限公司, 浙江 杭州 310016)

**摘要:** 近年来, 随着城市建设的不断发展, 地下空间建设项目也不断增加, 随之而来的地下室工程质量事故也频繁发生。在众多地下室工程事故中, 地下室上浮最为常见。对地下室上浮事故原因分析及加固成为研究的热点问题。本文针对一个项目案例, 通过对受损结构检测, 分析上浮原因, 研究了其结构破坏机理, 并在此基础上对地下室结构进行永久抗浮处理和结构加固设计。

**关键词:** 地下室; 上浮; 损伤检测; 加固

中图分类号: TU46

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)05-0415-05

## Analysis and reinforcement of upheaval of a basement

QIAN Xu-tong, CHEN Jing

(Hangzhou CBD Construction & Development Co., Ltd., Hangzhou 310016, Zhejiang, China)

**Abstract:** Nowadays, with the development of city construction, the constructions of underground space increase continuously and engineering accidents of basements happen frequently. One of the most common accidents is the float of the basement. Analyzing and dealing with the float of the basement is worthy of one of the research hot topics. In this paper, a specific case is discussed, the floating reason is analyzed and the structural failure mechanism is studied through the detection of the damaged structure. Then the completed permanent anti-buoyant treatment and the structure reinforcement of the basement are carried out.

**Key words:** basement; upheave; damage detection; reinforcement

## 0 引言

近年来, 随着社会经济的不断发展, 城镇化的不断推进, 带有地下室的高层建筑、地下商场和地下车库等地下建筑物大量涌现。地下室在施工过程中容易由于设计疏失或施工大意而出现上浮、倾斜等事故。地下室上浮会影响结构的正常使用及安全, 因此, 对于地下室上浮事故应仔细分析其原因, 并针对性采取相应的应急抢险与技术处理措施<sup>[1]</sup>。

本文针对一个工程案例, 通过对受损结构现场检测, 分析上浮原因及结构破坏机理, 然后对地下室结构进行分析和加固。

## 1 工程概况

本项目为安置房住宅小区, 总用地面积

18 503.6 m<sup>2</sup>, 总建筑面积 78 982.0 m<sup>2</sup> (地上 51 736.0 m<sup>2</sup>、地下 27 246.0 m<sup>2</sup>)。场地形状呈梯形, 长约 160 m, 宽约 70~150 m。项目由 2 幢 20 层 (东南部) 和 4 幢 18 层 (西北部) 的高层公寓组成, 结构形式为钢筋混凝土框架-剪力墙结构。地下室设 2 层, 覆土高度 1.5 m, 地下室顶板面标高为 -1.600 m, 板厚 250 mm, 地下 1 层底板面标高为 -5.400 m, 板厚 120 mm, 地下 2 层板面标高为 -9.150 m, 板厚 600 mm。基础平面布置如图 1 所示。

场地土层分布以黏质粉土和砂质粉土为主, 20 m 深度左右有淤泥质黏土层, 典型的地质剖面详见图 2。

工程桩采用增强型预应力混凝土离心桩, 抗压桩型号为 T-PHC-B600-560(130)-14、13, 有效桩长 27 m, 以砾砂层作为持力层, 单桩竖向承载力特征值 2 250 kN; 抗拔桩型号 T-PHC-B600-560(130)-11、10, 有效桩长 21 m, 以 6 号粉质黏土作为持力层,

单桩竖向承载力特征值为 1 100 kN, 单桩竖向 (抗拔) 承载力特征值为 700 kN。

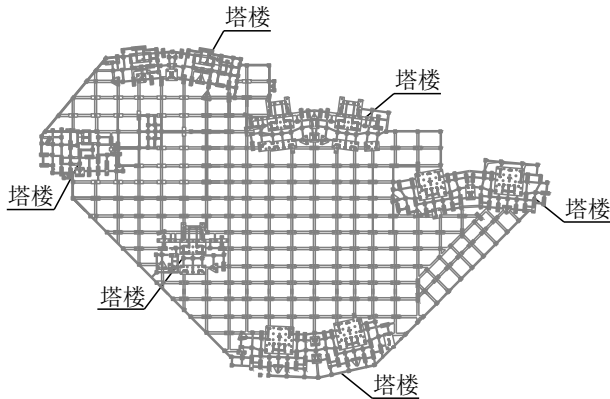


图 1 基础平面布置图

Fig. 1 Foundation layout plan

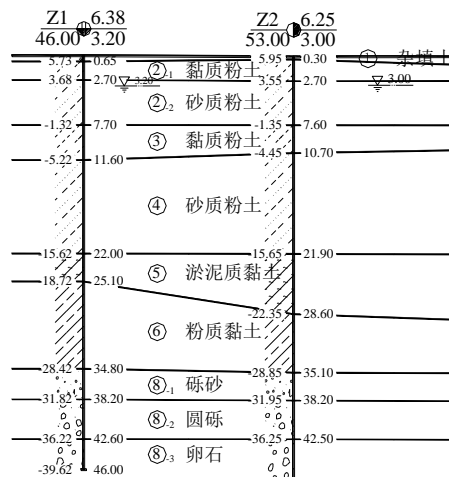


图 2 典型地质剖面图

Fig. 2 Typical geological profile

2017 年 3 月 14 日发现地下室上浮及结构裂缝; 3 月 17 日发现裂缝进一步扩大; 3 月 19 日测得最大上浮量 33.7 cm。后续受到地下水下降的影响, 3 月 26 日当坑外深井水位最高标高为 -4.27 m 时, 测得底板最大上浮量下降至 21.3 cm, 直到加固完成及顶板覆土完成, 最终底板仍有最大 13 cm 残余变形量。

## 2 抗浮设计复核

本工程抗拔桩设计桩长为 21 m, 分两节压入, 设计上节桩桩长为 11 m, 下节桩桩长为 10 m, 加固区域内实际施工时上节桩桩长为 6 m, 下节桩桩长为 15 m。设计单桩竖向抗拔承载力特征值为 700 kN。计算复核区域共有抗拔桩 84 根。

### 2.1 自重荷载分析

地下室顶板覆土厚度 1.5 m, 覆土面积约为

2 056.2 m<sup>2</sup>, 取回填土重度为 18 kN/m<sup>3</sup>, 覆土自重为:

$$G_t = 1.5 \times 2\,056.2 \times 18.0 = 55\,517.4 \text{ kN} \quad (1)$$

地下室板、梁、柱及承台结构并考虑粉刷层自重约为:

$$G = 2\,456 \times 25 + 555 \times 20 = 72\,500 \text{ kN} \quad (2)$$

不考虑粉刷层, 地下室板、梁、柱及承台结构自重约为:

$$G = 2\,456 \times 25 = 61\,400 \text{ kN} \quad (3)$$

### 2.2 地下水浮力

本工程勘察建议抗浮水位为 5.70 m, 设计采用抗浮水位为 6.60 m, 即设计抗浮水位标高为 -0.650 m。地下室底板面标高为 -9.150 m, 板厚 600 mm, 即地下室底板底标高为 -9.750 m。因此地下室抗浮设计水头为 9.10 m。

按抗浮水位计算浮力:

$$F_{\text{浮}} = \gamma_w g V = 1.0 \times 9.8 \times 44.7 \times 46 \times 9.10 = 183\,371 \text{ kN} \quad (4)$$

式中:  $\gamma_w$  为水容重;  $g$  为重力加速度;  $V$  为地下室排水体积;  $F_{\text{浮}}$  为浮力。

2017 年 3 月 19 日底板初次放水时水位冲高标高为 -5.550 m, 2017 年 3 月 26 日测得坑外水位标高 -4.270 m, 以上两者按较为不利的 -4.270 m 计算浮力:

$$F_{\text{浮}} = \gamma_w g V = 1.0 \times 9.8 \times 44.7 \times 46 \times 5.48 = 110\,426 \text{ kN} \quad (5)$$

### 2.3 单桩抗拔承载力分析

承台垫层底标高为 -10.350 m, 即桩顶标高位于黏质粉土层顶以下 2.05 m。按桩径 0.6 m、桩长 21 m 计算, 单桩抗拔承载力特征值  $U_k = 660 \text{ kN}$ 。考虑预制桩自重 97 kN, 单根桩提供的抗拔力特征值  $T_v = 757 \text{ kN}$ 。

按单节桩长 6 m 不考虑两节桩的接头咬合力, 计算单桩抗拔承载力特征值:

$$U_k = 0.7 \times 0.6 \pi \times (0.85 \times 20 + 5.15 \times 28) = 212 \text{ kN} \quad (6)$$

考虑预制桩自重 28 kN, 单根桩提供的抗拔力特征值  $T_v = 240 \text{ kN}$ 。

抗拔桩检测在地面进行, 采用的检测桩桩长为 30 m, 计算单桩抗拔承载力特征值  $U_k = 932 \text{ kN}$ 。考虑预制桩自重 138 kN, 单根桩提供的抗拔力特征值  $T_v = 1\,070 \text{ kN}$ 。

按检测桩单节桩长为 15 m, 不考虑两节桩接头咬合力, 计算单桩抗拔承载力特征值  $U_k = 481 \text{ kN}$ 。考虑预制桩自重 69 kN, 单根桩提供的抗拔力特征值  $T_v = 550 \text{ kN}$ 。

## 2.4 混凝土灌芯与桩内壁摩擦力分析

根据浙江省建筑标准设计结构标准图集《预应力离心混凝土空心方桩》(2013 浙 G35)<sup>[1]</sup> 混凝土与管桩内壁界面极限黏结力标准值<sup>[2]</sup> 为 300~400 kPa。

本工程设计混凝土灌芯高度为 3 m, 因此混凝土灌芯与桩内壁极限黏结力标准值为:

$$f_n \times U_{pn} = 847 \sim 1\,130 \text{ kN} \quad (7)$$

## 2.5 极限承载力分析

抗拔桩单桩各节点承载力特征值如表 1。

表 1 单桩各节点承载力特征值

Table 1 Characteristic value of bearing capacity of each node of single pile

节点	特征值/kN	极限值/kN
设计桩长 21 m	757	1 417
单节桩长 6 m	240	452
检测桩长 30 m	1 070	2 002
检测桩单节桩长 15 m	550	1 031
混凝土灌芯与桩内壁摩擦力	—	847~1 130
桩身抗拉强度(不出现裂缝)	1 050	—

《建筑地基基础设计规范》中抗拔桩设计公式为: 桩数=(最大水浮力 $\times$ 1.05-恒载)/抗拔桩承载力特征值<sup>[3]</sup>。按结构抗浮设计水位计算地下室最终状态并考虑 1.5 m 覆土下所需单桩抗拔承载力特征值为 768 kN。上述计算值与原设计确定的抗拔承载力特征值比较吻合。

如若按设计要求地下室及时覆土, 则按 3 月 14 日地下水水位计算所需单桩抗拔承载力特征值为  $[1.05 \times 110\,426 - (55\,517 + 61\,400)] / 84 = 11 \text{ kN}$ , 地下室尚未处于抗浮状态, 不会出现上浮。

按 3 月 14 日地下室出现上浮时未按设计要求覆土的实际施工工况计算所需单桩抗拔承载力特征值为:  $(1.05 \times 110\,426 - 61\,400) / 84 = 649 \text{ kN}$ 。

## 3 事故原因分析

根据上述复核结果及抗压桩检测结果, 纯地下室抗压桩极限承载力达到设计要求的 2 200 kN, 可以认为桩土界面摩阻力特征值达到勘察报告所提供的建议桩周土摩阻力特征值。

按 3 月 14 日地下室出现上浮时未按设计要求覆土的实际施工工况计算所需单桩抗拔承载力特征值超过单节 6 m 桩长极限承载力。因此, 若本工

程局部有管桩接头施工质量无法保证, 则可能破坏的方式是管桩接头破坏, 导致上部 6 m 长单节桩拔出, 该桩的抗拔承载力大部分被转移到边上的桩上, 导致边上桩超过其极限抗拔承载力, 产生连锁反应, 引起整个地下室上浮。

同时由于管桩内径仅为 30 cm, 灌芯长度较长时, 内壁清理难度大, 灌芯混凝土振捣难度大, 施工质量不宜保证, 灌芯与管桩内壁黏结力达不到浙江省建筑标准设计结构标准图集建议的混凝土与管桩内壁界面极限黏结力标准值, 并由此导致抗拔桩受力过程中混凝土灌芯拔出, 发生破坏, 是本工程发生地下室上浮另一个可能性的原因。

## 4 地下室抗浮加固方案

由于地下室底板最大竖向位移曾经达到 33.7 cm, 远远超出原有桩基的正常使用极限状态, 同时根据上述分析, 工程桩可能已发生单节 6 m 长桩拔出或混凝土灌芯拔出, 在这种情况下原有桩基无法继续提供抗拔力。因此, 在现状抗浮设计计算过程中不再考虑原抗拔工程桩的作用。

对于已建地下室的抗浮, 常规主要有 3 种做法。

(1) 采用抗浮锚杆, (2) 采用锚杆静压桩, (3) 采用树根桩<sup>[4]</sup>。

采用锚杆静压桩施工可能出现难以穿透 10 m 厚砂质粉土层的困难, 且工艺复杂, 成本也较高; 采用树根桩承载力较低, 需要桩数多; 抗浮锚杆具有单锚承载力高、杆体长度短、数量少、施工速度快等优点, 但由于本工程土质为粉砂土, 地下水水位较高, 可能存在成孔困难、塌孔等问题, 导致锚杆无法施工。

因此, 本工程拟采用深井降水控制地下水水位结合扩大头锚杆作为抗浮措施进行设计。地下水水位能否降到位是本加固工程成功的关键<sup>[5]</sup>。

### 4.1 深井降水

本项目采用降水井为潜水完整井, 降水井平面布置如图 3 所示。

现状地下水水位按 -0.600 m 考虑, 含水层厚度为 20 m, 地下水水位设计降深为 10 m, 即降水后水位标高为 -10.600 m。计算得降水井单井流量为 11.5 m<sup>3</sup>/d, 基坑降水总量为 462.7 m<sup>3</sup>/d, 所需降水井数量为 44.3。拟在地下室外围平均间距 15 m, 打设 20 m 深深井进行降水, 降水井总数量为 50 口, 满足上述要求。

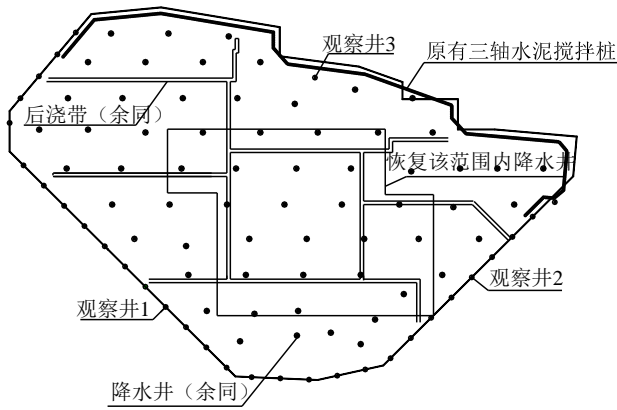


图3 降水井平面布置图

Fig. 3 Layout plan of dewatering well

#### 4.2 抗浮补强施工顺序及方案

(1) 首先进行地下室覆土, 打设试验锚杆, 打设坑外3口观察井。抽干地下2层内部的积水, 恢复坑内降水井, 检测其工作情况, 若工作正常, 则采用坑内降水井进行持续降水。若坑内降水井无法正常工作, 或降水无法达到施工要求, 则打设坑外降水井并进行持续降水。

(2) 待水位达到设计要求, 同时锚杆抗拔承载力试验达到设计要求后, 施工抗浮锚杆。

(3) 抗浮锚杆穿底板构造如图4所示, 锚杆施工完成30d后进行验收。验收完成后, 停止坑内、外深井降水井并进行封井。

(4) 对锚杆和降水井穿底板区域渗漏情况进行观测, 若发现渗漏, 则注水溶性聚氨酯堵漏剂进行堵漏。若无明显渗漏, 则施工聚氨酯内防水层。

(5) 待地下室位移稳定并经设计单位确认后, 对梁、柱裂缝进行修复。裂缝修复后, 对柱裂缝采用钢进行加固。

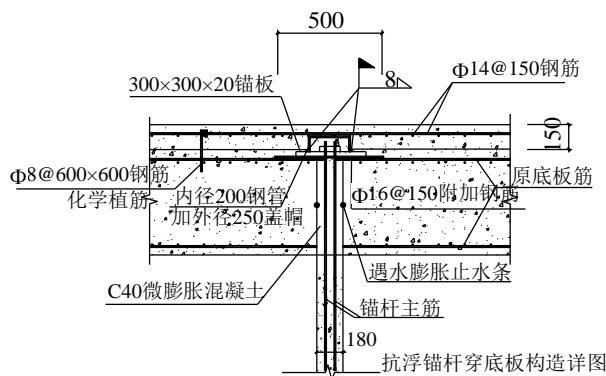


图4 抗浮锚杆穿底板构造详图

Fig. 4 Details of structure of anti-float anchor through base plate

#### 4.3 地下室裂缝修复方案

根据检测结果分析可知, 加腋部位产生裂缝的

主要原因是原设计中加腋主要作用为抗剪和作为支座负弯矩的受压区, 未考虑承受拉应力。由于地下室上浮导致加腋部位出现附加弯矩, 产生拉应力, 因此发生开裂。

该地下室采用抗浮锚杆进行加固后, 地下室不再发生上浮, 加腋部位不再进一步产生拉应力。原抗剪验算所采用的斜截面与现状裂缝开展方向垂直, 对斜截面削弱作用较小, 因此, 对加腋区域仅对裂缝进行注浆处理, 保证其耐久性。

对于柱裂缝, 分析认为产生的主要原因是柱两侧受到不平衡的拉力, 从而在柱顶产生附加弯矩, 导致柱横向开裂。虽然柱为受压构件, 经过抗浮加固并投入使用后, 不再进一步承受不平衡的拉力, 但由于裂缝开展后, 裂缝上下两侧的混凝土无法完全接触, 截面有一定的削弱。因此, 对开裂的柱采用粘钢方式进行加固。

对于梁、柱裂缝, 还应采用低压灌浆技术对裂缝进行修补, 以保证梁、柱的耐久性<sup>[6]</sup>。

## 5 结 论

从该建筑地下室上浮原因的分析中可以发现, 在地下室施工期间应确保地下水的有效降水深度, 同时及时进行上覆土方施工, 才能有效避免桩基的破坏及地下室上浮情况的发生。

在后期的地下室找坡处理时, 成功利用了中部高、周边低的残余变形量, 通过更改排水沟的位置, 形成自然排水坡度, 节省了找坡材料。

监测情况反映, 地下室上浮期间, 主楼区域仍产生少量沉降。主楼已结顶, 自重荷载较大, 同时主楼与上浮地下室区域间由后浇带连接, 主楼工程桩桩长27m, 基础较密, 竖向刚度较大, 同时内部有剪力墙等水平与竖向刚度较大的结构, 因此, 在进行及时处理后, 本次地下室上浮对主楼结构安全性和正常使用没有影响。

通过近3年使用期观察, 没有发现新的变形及裂缝, 无发现明显的渗漏, 该地下室上浮采用抗浮锚杆进行加固是成功的。

## 参考文献

- [1] 浙江省住房和城乡建设厅. 浙江省建筑标准设计图集: 预应力离心混凝土空心方桩. 2013浙G35[S]. 杭州: 浙江工商大学出版社, 2013.
- [2] 虞林军. 先张法预应力混凝土管桩作为抗拔桩的设计

- [J]. 建筑结构, 2006, 36(3): 60-61.
- YU Lin-jun. Design of pretensioned prestressed concrete pipe pile used as anti-floating pile[J]. Building Structure, 2006, 36(3): 60-61.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基基础设计规范: GB 50007—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 宗钟凌, 吕凤伟. 地下室上浮事故原因分析与加固处理方法[J]. 建筑技术, 2013, 44(11): 992-995.
- ZONG Zhong-ling, LV Feng-wei. Analysis and reinforcement of upheaval of a basement[J]. Architecture Technology, 2013, 44(11): 992-995.
- [5] 汪四新, 屈娜. 某坡地建筑地下室抗浮问题绿色技术处理方法[J]. 建筑技术, 2012, 43(10): 925-928.
- WANG Si-xin, QU Na. Dealing with the problem of sloping building basement's anti-uplift with green technological methods[J]. Architecture Technology, 2012, 43(10): 925-928.
- [6] 杨淑娟, 张同波, 吕天启, 等. 地下室抗浮问题分析及处理措施研究[J]. 建筑技术, 2012, 43(12): 1067-1070.
- YANG Shu-juan, ZHANG Tong-bo, LV Tian-qi, et al. Analysis and research on anti-floating problem for basement and treatment measures[J]. Architecture Technology, 2012, 43(12): 1067-1070.

## 【简 讯】

### 2021年土木智能建造与智能系统国际学术会议（CICIS 2021）

#### 会议介绍:

2021年土木智能建造与智能系统国际学术会议（CICIS 2021）由GSRA学术会议与北京交通大学联合主办，将于2021年11月26—28日在中国杭州召开。会议主要是为土木与水利水电工程的专家学者及企业发展人提供一个分享研究成果、讨论存在的问题与挑战、探索前沿科技的国际性合作交流平台，促进“土木智能建造”、“智能系统”等学术领域的研究和发展。欢迎海内外学者投稿和参会！

#### 联合主办单位:

北京交通大学  
GSRA 学术会议

#### 大会主席:

北京交通大学, 朱尔玉教授

#### 主讲嘉宾:

北京交通大学, 江辉教授  
北京交通大学, 朱尔玉教授

#### 论文出版及检索:

本会议所有投稿都需经过专家审稿后方可录用，最终所有录用且完成注册的论文将发表在会议

论文集并提交至EI和Scopus检索。

#### 参会方式:

(1) 投稿作者参会: 一篇录用文章至少有一位作者参会。

(2) 报告者(无投稿): 参会并在会议上进行口头报告或海报展示, 请报名参会时提交报告的题目和摘要进行审核。(注: 口头报告的摘要不提交出版)

(3) 听众身份参会: 出席并参加这次会议, 并可全程旁听会议所有展示报告。

#### 注册费用:

- (1) 第一篇稿件: 3000元/篇(4-6页)
  - (2) 超出6页(第7页起算): 300元/页
  - (3) 口头报告/无投稿: 1200元/人
  - (4) 听众参会: 1000元/人
- (团队投稿有优惠, 详细请咨询会务组)

#### 联系我们:

会议官网: <http://ic-cicis.org>  
会议邮箱: IC\_CICIS@163.com  
公众号: GSRA 学术会议