

某深大地下室上浮分析及低净空微型桩 抗浮处理措施*

沈仁菊¹, 武超¹, 刘建汉², 贾磊柱¹, 张作才³, 代先国³, 万刚¹,
程浩¹, 王康生¹

(1. 中建三局集团有限公司工程总承包公司, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉市市政工程质量
安全中心, 湖北 武汉 430070; 3. 湖北大学, 湖北 武汉 430070)

[摘要] 分析了微型桩施工技术的主要特点及其在既有建筑物中的适用性。针对武汉市某在建工程深大地下室底板的上浮问题, 结合该建筑的抗浮措施和地下室上浮原因, 采用微型桩作为建筑物抗浮的补救措施。对既有建筑进行抗浮加固改造, 由于设计或施工条件的限制, 一般要求机械设备在建筑内施工。综合考虑在建建筑物地下室上浮及加固处理措施, 提出了微型抗浮桩。实际工程应用表明, 微型桩技术适用于既有建筑物的抗浮加固, 具有成桩效率高、桩身质量易于保证的特点。

[关键词] 地下室; 抗浮; 加固; 微型桩

[中图分类号] TU470

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)22-0051-04

Analysis of Uplift of a Deep and Large Basement and Anti-floating Treatment Measures for Low Headroom Micropiles

SHEN Renju¹, WU Chao¹, LIU Jianhan², JIA Leizhu¹, ZHANG Zuocai³, DAI Xianguo³,
WAN Gang¹, CHENG Hao¹, WANG Kangsheng¹

(1. General Construction Co. of CCTEB Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430070, China;

2. Wuhan Municipal Engineering Quality and Safety Center, Wuhan, Hubei 430070, China;

3. Hubei University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: This paper mainly analyzes the main characteristics of micropile construction technology and its applicability in existing building. Aiming at the floor floating problem of a building under construction in Wuhan, combined with the anti-floating measures of the building and the floating reason of the basement, micropile is used as a remedial measure for building floating. However, carry out anti-floating reinforcement transformation for the bottom plate of existing building, due to the limit of design requirements or construction conditions, the mechanical equipment is generally required can be constructed inside the building. Combined with the basement floating treatment and reinforcement measures of the building under construction, the technology of micropile is used. Practical engineering application shows that, the micropile technology has good applicability for anti-floating repair for existing buildings, another characteristic is high efficiency of accomplishing pile, and the quality is easy to guarantee.

Keywords: basement; anti-floating; reinforcement; micropiles

1 工程概况

某产业大楼工程位于武汉市中心城区, 建筑高

度 31.95m, 建筑面积为 68 545.55m², 场地设满铺地下室 1 层, 局部西北侧为 2 层地下室。结构类型为钢筋混凝土框架结构(悬挑部分为钢桁架), 主楼为桩承台+筏板基础, 纯地下室为抗浮锚杆+筏板+柱墩基础。地下 2 层存在 4 处底板上浮点、2 处墙根

* 中建三局科技研发课题(CSCEC3B-2021-10)

[作者简介] 沈仁菊, 工程师, E-mail: 1778941087@qq.com

[收稿日期] 2025-05-30

上浮点、5 处柱根上浮点。地下 1 层存在 4 处墙根上浮点、5 处柱根上浮点,如图 1 所示(黄色标注部分)。



图 1 地下 2 层上浮点布置
Fig. 1 Layout of uplift points on B2 floor

2021 年 5 月底,产业大楼结构施工到第 3 层,外墙施工至第 1 层。2021 年 6 月底至 7 月因特大暴雨使得西北侧地下 2 层地下室结构整体上浮,最大上浮量达 50mm,平均上浮量 30mm,如图 2 所示。



图 2 地下 2 层墙根上浮破坏
Fig. 2 Uplift damage at the wall base of B2 floor

1.1 工程地质条件

场区地貌单元属长江 III 级阶地,该场地在钻探深度范围内由上至下揭露的地层为人工填土,第四系冲洪积、冲坡积成因的黏性土及残积黏性土,下伏基岩为二叠系栖霞组石灰岩。该场地地层可划分为①层杂填土,层厚 0~6.50m;②层淤泥质粉质黏土,层厚 0~4.10m,土质均匀;③层粉质黏土,层厚 0~6.30m,该层拟建场地局部地段分布,土质均匀;④层粉质黏土,层厚 0~4.10m,土质均匀;⑤层含碎石粉质黏土,层厚 0~16.00m,土质不均匀;⑥层红黏土,碎石粒径 5~10cm,层厚 0~4.80m,土质不均匀;⑦层石灰岩,岩体基本质量等级为Ⅲ级,层顶埋深 12.30~24.00m,最大揭露厚度 17.30m,该层为场区下伏基岩。

1.2 水文地质条件

拟建场地地下水类型为上层滞水和岩溶裂隙水。上层滞水主要赋存于场地地表填土层中,无统一水位,地下水补给来源为大气降水,勘察期间测得地下水稳定水位为地面下 0.10~4.20m,上层滞

水会对拟建物地基产生软化作用。

2 上浮原因分析

根据前期上浮监测记录、地质勘查报告及现场勘察结果,并组织行业专家进行专场讨论,将地下室底板上浮归结于地下水位暴涨,而地下水位及抗浮水头的暴涨受特大暴雨极端天气和基岩裂隙水渗漏至基础底板层与土层交界处所致。具体上浮原因如下。

1)产业大楼西北角基坑在回填时未分层夯实,密实度不足,导致肥槽未回填密实。在特大暴雨天气时,排水不及时,肥槽土孔隙度大,地面水进入基坑肥槽,造成地下室底板起拱上浮。

2)除了地表水,基础以下的基岩水也是重要的不利因素,如图 3 所示,地质勘查报告剖面中,JC15 和 JC10 点位(地下 2 层渗漏严重处)、地下室底板恰好位于强风化泥岩与残积粉质黏土交界处,地下室承台施工过程中,泥岩区与粉质黏土交界处泥岩内部裂隙的基岩裂隙水顺着岩层渗水上涌。施工过程中,由于基坑四周尚未回填,承台处水压不大,渗水达到一定高度后便不再渗漏。至地下室施工完成,基坑四周回填,在经历一段时间周边环境和岩土补充地下水后,水压力增大,导致地下室底板上浮。



图 3 地下 2 层渗漏严重处剖面
Fig. 3 Section of severe water leakage areas on B2 floor

3)抗拔桩设计抗浮力取值小于工程场地实际,对实际地下水位高度估计不足,对基础局部未考虑也未提出施工控制要求,也是本工程在施工阶段地下室上浮的主要原因。根据地质勘查报告,原设计的抗浮水位为 4.200m,实际核算上浮时的地下水头为 7.200m;抗拔桩为直径 800mm,长 32m 的钻孔灌注桩,布桩间距为 9 000mm×9 000mm,不足以承受抗拔力。针对此处设计产生的误差,可能是未考虑雨季、汛期等极端天气产生的影响。

针对以上上浮问题,施工单位紧急采取 2 项措施:恢复降水井降水,同时在地下室以外区域设置降水井降低水头,并对底板采取开孔排水的方法。至 2021 年 10 月,地下室底板结构逐渐下沉趋于原位。上述降水井及开孔泄压仅为解决上浮的临时

措施,不能根本解决因地下水猛涨引起的上浮问题,因此提出增加微型抗浮桩对地下室底板进行加固。

3 上浮处理措施

3.1 地下室微型抗浮桩设计

结合项目原抗浮方案,微型抗浮桩在原地下室区域进行施工,需减少对结构的占用,主要是控制与承台柱的间距。据此在原抗浮桩基础上增加微型抗浮桩,微型抗浮桩桩径 400mm,桩长 32m,与地下室柱的间距为 1 400mm,桩位布置如图 4 所示。

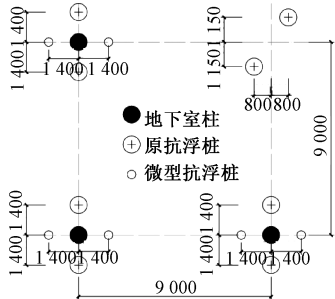


图 4 微型抗浮桩布桩平面

Fig. 4 Plan of micro anti-floating piles

3.2 微型抗浮桩抗拔承载力验算

本项目原抗浮设计为在柱下设置 2 根抗浮桩,桩径 800mm,桩长 32m,单桩抗拔承载力特征值 $R_{a1}=1\,200\text{kN}$ 。新增微型抗浮桩,桩径 400mm,桩长 32m,依据 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》,单桩抗拔承载力特征值 $R_{a2}=600\text{kN}$ 。

对抗浮加固方案进行抗拔承载力验算,本项目主体结构施工至地上 2 层,计算恒荷载标准值时可近似考虑为纯地下室。对于纯地下室,恒荷载标准值主要包括结构底板、顶板、底板覆土、柱自重等部分,以柱网尺寸为 9 000mm×9 000mm 进行计算,恒荷载计算如表 1 所示。

表 1 地下室抗浮恒荷载标准值

Table 1 Standard value of constant basement loads against levitation

项目	厚度/mm	材料重度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	自重/ kN
底板	500	25	1 012.5
底板敷设层	200	20	324.0
顶板	280	25	567.0
顶板覆土	1 200	20	1 944.0
结构柱	—	—	36.0
顶板梁	—	—	130.2

根据以上计算,地下室恒荷载标准值为 4 013.7kN。对于水浮力,依据 JGJ 476—2019《建筑工程抗拔技术标准》,计算复核的地下室底板水压为 $86.4\text{kN}/\text{m}^2$,地下水浮力为 6 998.4kN。抗浮桩

需提供的抗拔承载力 R_a 为 2 984.7kN。而根据原抗浮设计和新增微型抗浮桩,可提供的抗浮力为 $3\,600\text{kN}>R_a$,满足抗浮要求,且有一定的设计富余。

4 微型抗浮桩施工

4.1 施工设备

本项目地下室已施工完成,在地下室进行微型抗浮桩施工主要受空间条件制约。进入地下室坡道净高 2.2m,其他通道为电梯以及宽 1.2m 的人行楼梯,梁下施工净高 2.2m。为使施工设备顺利进出地下室,同时也要满足施工空间限制及微型抗浮桩相关的施工设计要求,本项目对传统钻机进行改造,主要针对地下室区域进行施工,改进后的微型钻机尺寸为 $3\,000\text{mm}\times800\text{mm}\times2\,200\text{mm}$,功率为 55kW,提升力为 100kN,成孔深度为 30m,成孔直径为 100~400mm。

4.2 施工工艺

微型桩施工主要有螺旋钻杆成孔和套管跟进成孔工艺。螺旋钻杆成孔主要应用于地层良好、不易塌孔的情况,对于地层较差的项目需采用泥浆护壁成孔。但地下室施工净空较低,同时根据地质勘察报告,②层为深厚淤泥质粉质黏土,为保证成孔质量,不可采用螺旋钻杆成孔,应采用套管跟进成孔工艺,外套管兼具护壁功能,成孔完成后,拔出套管并下放钢筋笼,灌注混凝土并进行后注浆即可成桩。

微型桩工艺流程:钻机就位→开孔钻机至设计深度→下放钢筋笼、注浆管→二次清孔→灌注混凝土→拔出套管、混凝土导管→进行后注浆→成桩。

项目使用改进型微型钻机,工作平台搭建完成后,移动钻机使钻头中心对准桩位,现场根据既有建筑物轴线施测桩位,桩位偏差控制在 2mm 内,垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。微型钻机要保证三脚架顶、钻杆、桩位中线在同一垂线上。一般采用地质钻成孔,也可采用洛阳铲冲击成孔。微型桩加筋材料一般采用钢筋、钢管或其他型钢,本项目加筋材料选用钢筋,并采用碎石粒($\leq 1/10$ 桩径)作为回填石料。地下室净空较低,钢筋笼采取分段加工,下放过程中逐段拼接。

为提高单桩抗拔承载力,桩体施工完成后进行桩侧复式注浆。在钢筋笼四周设置 2 根桩侧后注浆导管,桩端单向截流注浆阀低于桩端 400mm。浆液水灰比宜控制在 0.45~0.6,注浆终止压力 $\geq 2.5\text{MPa}$ 。按每次的注浆量通过注浆管依次循环压注,进浆口压入混合水泥浆时,完成一次压浆后,应均匀减压,防止压力浆倒流堵塞注浆孔。当满足下

列条件之一时可终止注浆:①注浆总量和注浆压力均达到设计要求;②注浆总量达到设计值的 75%,且注浆压力超过设计要求。

微型抗浮桩施工会对底板结构面层有一定破坏,需采取一定措施保证底板结构层完整性。微型桩施工后利用结构底板 50cm 厚的渣层,施作 1 层叠合板,使之与原底板结构共同受力。

5 结语

对武汉某高层在建建筑地下室上浮处理表明,通过增加微型抗浮桩作为永久抗浮措施,可使建筑物有效均匀回落。抗浮计算结果表明,微型抗浮桩在地下水位暴涨等极端情况下可提供有效抗浮力,使结构不再上浮,是值得借鉴的抗浮加固处理措施。

参考文献:

[1] 张新,邵伟汉,王俊增. 超深基岩基坑分段支护及底板抗浮控制技术[J]. 施工技术(中英文),2024,53(12):154-161.
ZHANG X,SHAO W H,WANG J Z. Segmented support of the ultra-deep bedrock foundation excavation and anti-floating control technology of bottom plate[J]. Construction technology,2024,53(12):154-161.

[2] 孟帅,李翠翠,李天衍. 地下空间建造过程中抗浮智能控制技术研究与应[J]. 施工技术(中英文),2024,53(11):31-34,102.
MENG S,LI C C,LI T K. Research and application of anti-floating intelligent control technology in the underground space construction process[J]. Construction technology,2024,53(11):31-34,102.

[3] 朱旭新. 抗浮锚杆在地下室工程中的应用[J]. 江西建材,2022(1):205-206.
ZHU X X. Application analysis of anti-floating anchor road in basement engineering[J]. Jiangxi building materials,2022(1):205-206.

[4] 申诗文,孟珊,徐国艳,等. 抗浮锚杆在地下室抗浮中的应用与优化[J]. 建筑技术开发,2021,48(21):125-126.
SHEN S W, MENG S, XU G Y, et al. Application and optimization of anti-floating anchor in basement anti-floating[J]. Building technology development,2021,48(21):125-126.

[5] 干泉,杨博进,刘伟,等. 地下室泄水减压抗浮技术的探讨与应用[J]. 建筑结构,2016,46(2):86-90.
GAN Q,YANG B J,LIU W, et al. Discussion and application of

the water-discharging pressure relief technology in the anti-floating design of basement[J]. Building structure,2016,46(2):86-90.

[6] 陈凝旒,成建梅. 地下结构抗浮设计水位概念与设计相关问题探讨[J]. 勘察科学技术,2021(1):16-22.
CHEN N Y, CHENG J M. Discussion on related problems of concept and design of anti-floating design water level of underground structure [J]. Site investigation science and technology,2021(1):16-22.

[7] 史时喜,程中国. 泄水减压技术在地铁车辆地下停车场结构抗浮设计中的应用[J]. 铁道建筑,2019,59(2):106-109.
SHI S X, CHENG Z G. Application of water-discharging and pressure-relieving technique in anti-floating design of metro underground parking structure[J]. Railway engineering,2019,59(2):106-109.

[8] 郑艺城,罗佳俊. 泄水减压抗浮技术在某地下室抗浮设计中的应用[J]. 低碳世界,2019,9(7):189-191.
ZHENG Y C,LUO J J. Application of anti-floating technology of drainage and decompression in anti-floating design of a lower chamber[J]. Low carbon world,2019,9(7):189-191.

[9] 雷晓丹,赵剑剑. 某地下室抗浮失稳原因分析与加固[J]. 施工技术(中英文),2023,52(9):68-72,125.
LEI X D,ZHAO J J. Cause analysis and reinforcement treatment of a basement anti-floating instability [J]. Construction technology,2023,52(9):68-72,125.

[10] 杨晓楠. 扩底微型钢管桩的受力分析及应用研究[J]. 低温建筑技术,2017,39(6):91-94.
YANG X N. Mechanic analysis and application research of micro steel pipe pile with expanding bottom [J]. Low temperature architecture technology,2017,39(6):91-94.

[11] 韩映忠,黄志军,张占峰,等. 广州某高层住宅楼地基基础稳定性分析及加固处理[J]. 广州建筑,2015,43(5):40-44.
HAN Y Z,HUANG Z J,ZHANG Z F,et al. Stability analysis and strengthening handle of a high-rise residential building in Guangzhou City [J]. Guangzhou architecture,2015,43(5):40-44.

[12] 李湛,滕延京,李钦锐,等. 既有建筑加固工程的微型桩技术[J]. 土木工程学报,2015,48(S2):197-201.
LI Z, TENG Y J, LI Q R, et al. Micro-pile techniques for improvement project of existing buildings [J]. China civil engineering journal,2015,48(S2):197-201.