

海口市结构上浮事故原因及其处理

王家道

(海南琼力地基基础工程有限公司)

[摘要] 本文报告海口市二个世所罕见的地下室上浮工程实例，并对地下室上浮的原因进行分析。还介绍了一起结构上浮个案事故处理的技术方法。

[关键词] 地下室上浮 事故原因分析 抗浮锚杆 地下室结构纠偏归位
基础底板灌浆

一、海口某商场地下室结构上浮事故分析及教训

(一)基本情况



经归位处理后西高东低，差 900mm



地下室结构上浮高出地面 4.5 米

建于海口市秀英某小区的某商场为地上四层，地下两层的框架结构，平面呈 $61.8\text{m} \times 48.6\text{m}$ 的缺角矩形。商场四周有四幢高层建筑，地上 21 层，地下 1 层，剪力墙结构，桩筏基础，已竣工 2 幢，商场则采用天然地基，筏板基础，地基为硬粘土，地基承载力为 200kPa ，基底面标高 -11.2m ，地下室顶板面 -0.5m ，地下室全高 10.7m 。于 1944 年春完成了地下室主体结构，因故延至 1996 年夏才做完外防水，当时正在回填。

1996 年 9 月 20 日，适逢当年第 18 号强热带风暴侵袭海口，潮位上涨，基坑全被淹没。21 日凌晨，在巨声呼啸之后，似觉地动楼

摇，但见深埋在地下，体积达 3 万 m^3 以上的巨型地下室，猝然窜出地面 5~6m。对此异常现象，居民一时不能理解；或误认地震来临；或散布迷信，搞得人心惶惶。

(二)事故原因分析

由于地下室尚未完成回填，为了防止地下室进水，将地下室所有出口和预留孔进行了严密封堵。使地下室在处于警戒水位时的紧急情况下，失去了自动注水压重抗浮的能力。只能完全依靠地下室自重和地下室底板与粘土地基之间有限的粘聚力来抗浮，显然无济于事，这就是事故的原因。

经验算，得到以下抗浮参数：

(1) 地下室（以下简称箱体）自重： $W=149280\text{kN}$ ，取 150000kN ，回填土重： $W_1=29150\text{kN}$ ，筏底面积： $F=3040\text{m}^2$ 。

(2) 不计回填土，不计基底粘聚力的抗浮强度（压重）

$$\frac{W}{F} = \frac{150000}{3040} = 49\text{kN} / \text{m}^2$$

即抗浮警戒水深度为 4.9m，警戒水位为 $-11.2+4.9=-6.3$ （m），上浮以后，则其吃水深度为 4.9m。

(3) 计回填土，不计基底粘聚力的抗浮强度

$$\frac{W+W_1}{F} = \frac{150000+2910}{3040} = 58.9(\text{kN} / \text{m}^2)，\text{取 } 59\text{kN} / \text{m}^2。$$

即回填以后的警戒抗浮水深为 5.9m，警戒水位为 $-11.2+5.9=-5.3$ （m）。

说明即使做完了回填土，只要地下水位高出 -5.3m 时，就存在上浮的危险。在暴雨情况下，坑内停止了降水，不仅地下水位上升，地表水涌进，水位超过 -5.3m 以后，只是依靠有限的粘聚力抗浮，一旦

粘聚力被克服，就像断了线的风筝，会出现所谓活塞效应。地下室底板在水压力的作用下，犹如活塞，连同粘附着的部分土体向上窜起，底板下腾出的空间则由四周的水体去填补，形成了涡流，对持力层进行扰动和破坏，这就是一声呼啸之后波浪翻腾的由来。

(三) 事故性质述评

为了探索可行的善后处理措施，必须对事故的性质有一个正确的认识。洪水消退以后，箱体基本上是以西端高出东端 1100mm 的倾斜姿态，整体漂浮在水面上，西端顶板面高出水面 5.85m，东端顶板面高出水面 4.75m，西端吃水深度为 4.85m，东端吃水深度为 5.95m，平均吃水深度为 5.4m，与不计回填土的理论计算吃水深度 4.9m 相差 0.5m。出现整体倾斜的原因主要是箱体东端有独立梁柱体系与之相连接，在上浮过程中受到梁柱体系牵制造成，与箱体本身的形心和重心偏离有关。

以下几方面的情况，表明事故性质是严重的，增加了事故处理的难度：

(1) 最高洪水位（约相当于±0.00 标高）时，上浮结构已经漂离持力层平均高达 5.8m，在正常水位状态下仍保持 4.3m。基坑周边堆存的零星材料和建筑垃圾，已被洪水冲进坑内，尤其是西北角局部护坡桩失稳，边坡坍塌，及大部分砖护墙剥离掉入基坑的堆积物，是箱体归位的最大障碍，必须予以清除，难度极大。

(2) 由于箱体在上浮过程中受到东端独立梁柱体系的牵制导致整体倾斜，并向东、向北两侧护坡桩挤压，使护坡桩及其后的止水桩

遭到破坏。止水功能丧失，在事故处理过程中持续降水，将对东、北两幢已建高层的桩基水平稳定构成威胁。

(3) 结构底下持力层受到扰动，如利用必须对持力层进行加固处理。

(4) 根据设计，地上结构只是局部四层，体量小、荷载轻，因而箱体构件单薄，整体刚度差，结构抗变形力低，归位过程中仍容易受损。

该工程经有关单位对其结构损伤检验，从结构（箱体）变形及顶板、梁、柱、外墙裂缝情况判断，结构损伤严重，专家认为再进行并对结构进行加固利用的可能性不大。然而报废后还必须恢复环境和土地的使用功能，估计还支出拆运费 100 多万，损失实在惨重，殊为可惜。

二、海韵裕都地下室上浮事故处理

(一) 工程概况



海韵裕都大厦
经抗浮处理后已竣工交付使用

海韵裕都位于海口滨海大道南侧（秀英村），地上 28 层、地下三层，地下室底板地面埋深约-13.9m。场地位于滨海滩涂地上，浅部位第四系海相松软沉积层，地下室底板位置主要为微风化玄武质凝灰岩。场地地下水位相对标高 1.5~3.1m，预估水位变幅约 1m，地板承受水头高约 12~13m，对独立地下室部位净浮力影响较大，原设计未进行专门抗浮锚固措施。

该楼于 93 年建至地上四层后停工，至今近 10 年。地下室底板在水的浮力作用下，发生变形，地下室倾斜高差最大达 90cm。后进行室内注水及基坑降水减少了倾斜，使变形稳定下来，但独立地下室边跨与主楼之间仍存在 20cm 高差，且底板下填充有泥沙及大量建筑垃圾，已经无法恢复到原有状况。同时基础、垫层与持力层基岩三者脱开，形成两层空隙，在独立地下室底板下现存 20cm 左右的空隙，最大处达到 90cm。地下室部分柱、梁、墙体出现裂缝。为保证续建工程的安全，除对结构破坏部位进行补强修复之外，还必须对基础（底板及柱基）进行锚固处理。

（二）处理施工程序（略）

（三）底板抗浮锚杆设计

底板承受的净浮力由海南中电工程设计有限公司计算，并提供锚杆总平面布置图及设计锚固力。我公司在此基础上进行锚杆施工参数设计及注浆设计。该工程布置锚杆 108 根，单根抗拔力设计值为 600KN，底板总锚固力为 64800KN。为了减少钻孔对底板钢筋的破坏，孔径不宜过大。锚杆成孔直径为 110mm，采用二次注浆工艺。注浆

材料采用 P.042.5R 普硅水泥，水灰比 0.45~0.5，掺入水泥用量 10% 的膨胀剂。锚固体强度等级为 M30。

1、锚杆设计：

a、锚筋计算：

$$A_s \geq (\gamma_o N_o) / (\xi_2 f_{py})$$

其中：

设计抗拔力 $N_a = 600\text{KN}$

重要性系数 $\gamma_o = 1.0$ ，

设计强度利用系数 $\xi_2 = 0.69$ （参考《建筑边坡工程技术规范》，三峡工程取 0.55~0.6），设计强度 $f_{py} = 1260\text{MPa}$ ；

根数为 $n = A_s / A$ ，取 1860Mpa 级 7Φ5 钢绞线 5 根。

b、锚杆锚固体长度计算：

锚筋与锚固体之间的粘结强度较大（2~3Mpa），锚杆锚固段长度主要取决于锚固体与岩层的粘结强度。

$$l_a \geq N_{ak} / (\pi D f_{rb})$$

其中取 $\xi_1 = 1.0$ ， $D = 0.11\text{m}$ ，基本实验确定 $f_{rb} = 0.19\text{Mpa}$ （软岩），通过实验最终确定的锚固段定为 7m。

c、锚杆自由段为 4m，锚杆总长为 11m。

d、钢垫板规格为 400 x 400 x 300。

2、锚杆防腐处理：

锚杆自由段长度 4m（从底板顶面起算），自由段钢绞线先用黄油涂一篇，然后外套波纹管，管两头扎严封紧，锚杆孔口部位清除浮浆，

采用防水砂浆封口并孔口找平。钢垫板下必须用防水水泥砂浆找平，钢板材料不得锈蚀，待所有锚杆张拉锁定后，底板凿毛现浇 30-40cm 厚度的自防混凝土，封闭整个锚头。

3、锚杆施工工艺（略）

（四）锚杆质量检验

1、试块抗压试验：试块的强度等级必须大于 30Mpa.

2、锚杆拉拔检验：抗浮锚杆施工完成 3 周后应进行抗拔力检验，试验位置由设计院、监理公司、检测单位共同协商确定。试验最大荷载为锚杆抗拔力设计值的 1.5 倍，数量 5 根，由业主委托具有检测资质的单位进行检测。

（五）基础底板变形监测

基础底板变形长期监测由业主委托具有监测资质的单位进行，上浮量长期监测是一项重要的内容，是检验设计和施工质量的重要手段。该项监测可与建筑物沉降监测同时进行。

监测应从停止抽水开始，第一月内每 3 天观测一次，其后 3 个月内每周测一次，3 个月后每月监测一次，雨季适当加密。观测时间至少一个水文年。

（六）注浆效果检验

①钻孔检验：对底板下空隙充填情况通过钻孔取芯检验。

②注水试验：对柱基下注浆效果，采用钻孔注水试验检验，根据注水量评判注浆效果。对注浆效果达不到设计要求的部位，应增加注浆孔进行压力灌注纯水泥浆。

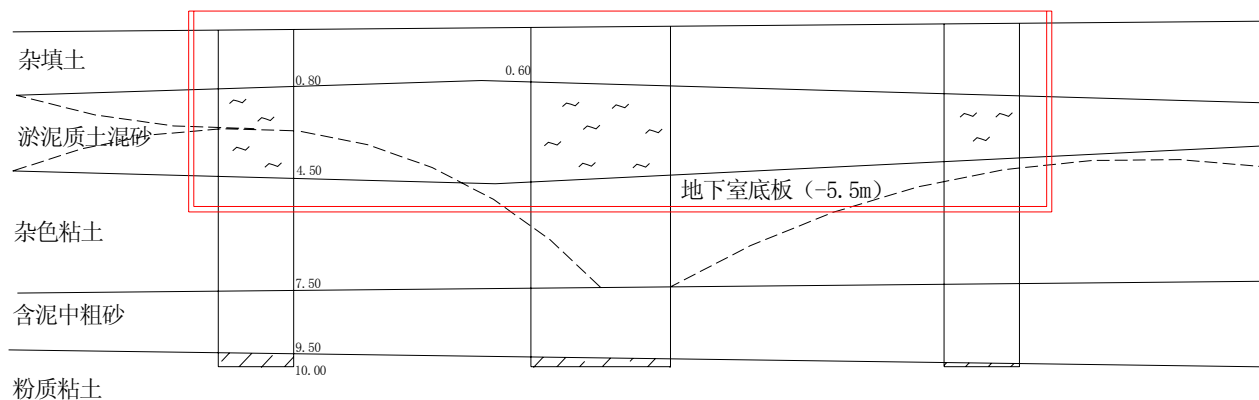
三、海口市某下沉式超市结构上浮事故

(一) 概况：海口市某广场下沉式超市 A 区地下室位于大同路，地下室结构建成后因多年一直没有利用，于 2007 年 7 月开始发现地下室底板及上部结构变形受损，地下室不均匀上浮量 250mm~300mm，后进行室内打井降水减压，减少了上浮，后因停止降、排水，地下室又继续上浮，原受损的变形裂缝加剧，并由南向北上浮面积扩大。



超市 A 区前半段长 30 米，宽 66 米地下室结构在浮力作用下不均匀上浮 200~300mm

（二）上浮原因



水文地质剖面图

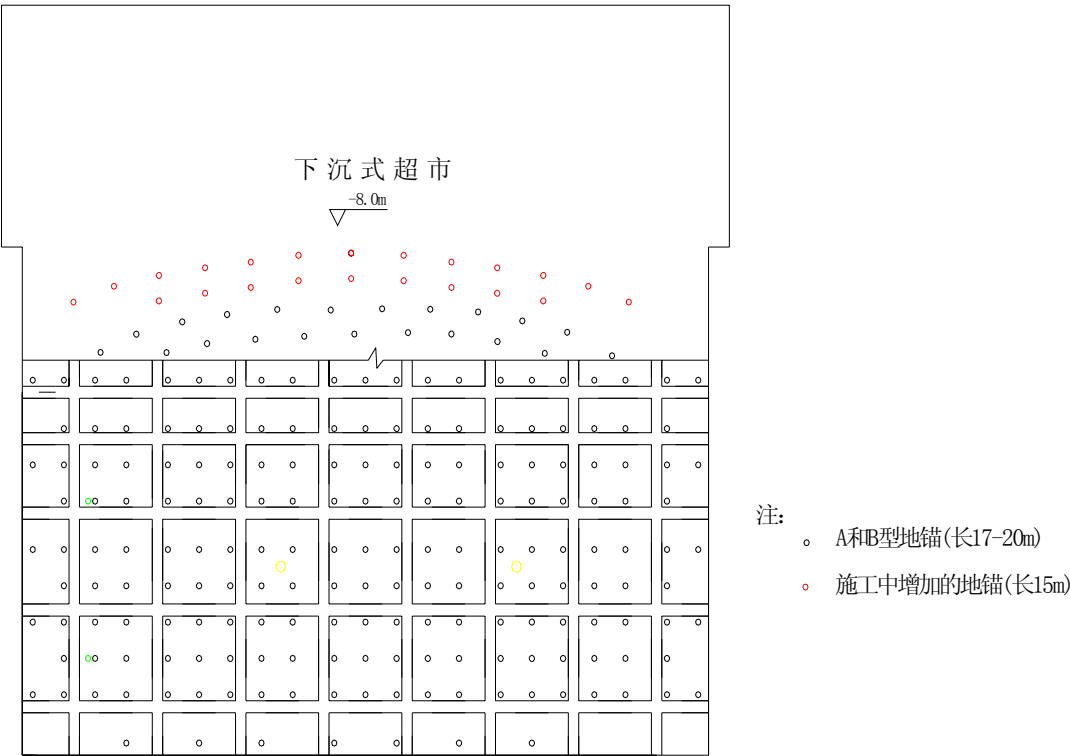
1、该工程为“半拉子”工程，原设计单位未采取抗浮措施。据计算，地下室分担的浮力 $F_{\text{浮}}$ 为 115000kN;结构自重 75000kN，可见结构自重远小于地下室底板受到的浮力；结构底板坐落在杂色粘土层上。

2、原设计单位错误地认为地下室底板受到地下水的浮力作用不大，没有做抗浮设计的必要。但是该地下室周边普遍分布有 1~3 米厚度不等的人工杂填土层，其下为淤泥质混砂层及杂色粘土层。因海南暴雨期的降水强度大，往往连续时间常达 10 多天之久，该场地地势低洼，排水条件差，降水入渗进入杂填土层及其以下的淤泥质混砂层的上层滞水及孔隙水水位埋深仅 0.20~0.80 米，浅层地下水位对结构

底板起到顶托作用。

3、如果当初对地下室基础采用桩基础，即使地下室结构不进行抗浮设计，也不会发生结构上浮受损事故。

（三）事故处理方案



抗浮底锚平面布置图

1、为减少结构倾斜，保证建筑物的正常使用，须对结构物进行纠偏、锚固、防水和结构加固。据此，采取以下处理措施：

（1）在地下室外缘适当位置先施工 3 口降水井，井径 $\phi 600$ ，井深 10 米。地下室外正常降水，保持地下水位在-6~-8m 以下，水位降深不宜过大，以免影响周边环境的安全。

（2）先在地下室内设置利用锚杆孔泄水降压，抽取地下水，减少地下水对底板的扬压力，并保证锚固和注浆的顺利施工。

（3）抗浮锚杆（索）设计施工

本工程按永久性锚杆设计，共设计 240 条锚杆（索），分 A 型、B 型两种，A 型单根抗拔力为 250kN；B 型 200kN，A 型锚杆长 20 米，B 型长 17 米，孔径 130mm，采取二次注浆工艺。详见抗浮地锚平面布置图。

（4）施工工艺流程

施工准备→锚杆制作→锚孔定位→成孔→清孔→下杆体→一次注浆→浆体初凝后进行二次注浆→凿除孔口素混凝土（厚 200）到露出底板为止→场地清理→安放钢垫板→三周后进行一次锚索张拉锁定→孔口浇筑 C20 混凝土后做防水层处理。



下沉式超市地下室底板埋深-5.5 米，上图为经抗浮处理后商城正在外部装修情景

结束语

（1）据调查了解，近几年来，由于天灾和人为原因，造成地下室结构上浮的工程事故已有 6 起之多，直接经济损失达 1000 多万以上。有的“半拉子”工程，由于地下室建成后长期不利用，基坑停止降水导致地下室整体上浮，如今无法恢复利用者尚有 3 例之多。梦幻园商住区的这起典型事故，由于基础归位处理遇到了很多困难，上浮

达十年时间，箱体漂浮在水面上，归位处理后仍处于倾斜状态，西高东低达 0.90m。如要进行第二次纠偏归位，并对其受损后的结构进行加固利用，对此应做全盘考虑。然而报废后还必须付出 100 多万元的拆除处理费用，才能恢复环境和土地的使用功能。

（2）关于结构抗浮问题，理论上很简单，但处理起来并不容易，因浮力反应极其敏感。对这起重大的结构上浮事故，最后被逼作报废处理。中央电视台、海南电视台、《海南日报》、《海口晚报》等各家新闻媒体都纷纷做了报导和点评。希望引起社会各界、特别是关注这一事故的岩土工程专家学者高度重视，吸取教训，以此为戒。在设计和施工过程中绝不可掉以轻心，草率从事。天灾出于不可抗拒的自然力破坏，因此，必须广泛深入的开展减灾抗灾的宣传研究工作，至于人为过失则应尽量避免。