

# Discussion on Anti-Floating Design of Basement in the Area with High Water Level and Soft Soil

Yongguo Li, Xingjia Li

Zhejiang Gaozhuan Architectural Design Institute Co. Ltd., Ningbo Zhejiang  
Email: lyg111965@163.com

Received: Aug. 25<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 11<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 14<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

According to characteristics of the coastal area with high water level and soft soil, the principle of reasonable determining anti-floating fortification ground water level was put forward. A variety of anti-floating measures were summarized, and its applicable conditions were advanced. The formula that is used for calculating quantity of tension pile was given, and some personal views about reinforcement calculation and crack control were presented. In this paper, some detailed design suggestions on pile foundation enveloping design in the area of anti-floating were raised as well.

## Keywords

High Water Level, Anti-Floating Design, Anti-Floating Fortification Ground Water Level, Tension Pile, Pile Foundation Enveloping Design

---

# 高水位软土地区地下室抗浮设计的探讨

李永国, 李兴甲

浙江高专建筑设计研究院有限公司, 浙江 宁波  
Email: lyg111965@163.com

收稿日期: 2016年8月25日; 录用日期: 2016年9月11日; 发布日期: 2016年9月14日

## 摘要

根据沿海高水位软土地区特点, 提出了合理确定抗浮设防水位的原则。对各种抗浮措施进行归纳, 并提出其适用条件。给出了抗拔桩数量的计算公式, 并针对钻孔灌注桩抗拔桩的配筋计算和裂缝控制提出了自己的观点。本文还对抗浮区桩基础包络设计提出具体设计建议。

## 关键词

高水位, 抗浮设计, 抗浮设防水位, 抗拔桩, 桩基础包络设计

## 1. 前言

随着人们物质生活水平的不断提高, 汽车的数量越来越多, 停车问题日益突出, 对停车位的需求越来越大; 而土地资源的稀少, 且价格日益昂贵, 使得人们不得不向地下要空间, 大量的地下汽车库也就应运而生, 而且有向更深、更大发展的趋势。在沿海地区, 由于地下水位较高, 地下水对地下室的托浮作用不容小视, 近年来地下室上浮事故也时有发生, 因此地下室的抗浮设计就显得尤为重要了。本文从抗浮水位的确定、抗浮措施的选择、抗浮设计和抗浮区桩基础包络设计等几方面对地下室的抗浮设计进行探讨, 希望能供工程师们参考。

## 2. 地下室抗浮水位的选择

确定合理的抗浮水位, 保证抗浮设防安全和经济合理, 是地下室结构抗浮设计关键。抗浮设防水位必须以观测系统的长期地下水动态为基础, 根据区域和整个场地的水文地质条件或地下水埋藏条件, 即地下水的类型和分布及埋藏深度、含水层数目、岩性结构、含水层构造特点、地下水的补给、排泄条件等来决定<sup>[1]</sup>。虽然《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)和《高层建筑岩土工程勘察规范》(JGJ 72-2004)对抗浮设计水位确定有条文规定, 但基本上是指导性的, 岩土工程勘察报告中提供的抗浮设防水位的合理性就取决于岩土工程师自身的理论和经验的素养上。因此, 无论岩土工程勘察报告中是否有抗浮设防水位, 结构工程师都应该根据岩土工程勘察报告揭示的地下水的情况和国家、地方有关规范规定, 并结合场地情况和实际工程经验来确定或验证岩土工程勘察报告提供的抗浮设防水位的合理性。对于沿海高水位软土地区(如上海、宁波等地区), 抗浮设防水位可按如下原则确定: 1) 对排水不畅, 可能出现海(河)水倒灌现象的场地, 当有历史最高洪水位数据时, 取历史最高洪水位作为抗浮设防水位; 当无历史最高洪水位数据时, 取室外地面标高作为抗浮设防水位。2) 当场地排水较好, 可取室外地面以下 0.5 米处作为抗浮设防水位。3) 当场地有承压水与潜水发生水力联系时, 应实测承压水水位, 并考虑其对抗浮设防水位的影响。

需要注意的是, 虽然沿海地区软土一般由粘土、淤泥质粘土或淤泥组成, 含水率较高甚至饱和, 渗透性低; 但由于地下室四周回填土质量往往较差, 导致地表水直接渗到地下室底, 使得地表水与地下水发生水力联系, 很多地下室上浮事故都是地表水引起的。因此, 在计算浮力时, 不对地下水的水头进行折减。

另外, 为了使抗浮设计做到更经济、合理, 建议确定场地最低水位, 用于考虑浮力有利作用; 确定场地常年平均水位, 用于地下室构件的抗裂计算。

### 3. 地下室抗浮措施的选择

#### 3.1. 配重抗浮

配重抗浮[2]就是通过增加建筑的重量(即恒载)来平衡地下水的浮力,达到地下室抗浮的目的。增加建筑的重量可通过增加建筑的结构自重(如加大地下室顶板和底板的厚度等)、增加各层楼面面层厚度、增加地下室顶板覆土厚度和在地下室底板上增加一定厚度低标号素混凝土或铁屑混凝土。增加各层楼面和地下室顶板恒载会增加梁、板和柱的配筋,宜优先采用增加地下室底板上恒载直接抵消地下水的浮力。此抗浮措施一般只适用于建筑物自重与压重之和(即所有恒载之和)与浮力相差不大时采用,相差较大时会使工程造价增加。在沿海高水位地区,当地下室为一层时,可考虑采用此抗浮措施。

#### 3.2. 排水降水抗浮

排水降水抗浮就是通过设置排水盲沟、降水井、止水帷幕、检查井等来控制地下室的地下水位不超过某一标高,以达到控制地下水浮力小于抗浮荷载,满足抗浮要求。文献[3]在处理某地下室上浮事故中,成功地采用了此方法抗浮,取得了较好的经济效益。不过采用此措施抗浮,除了经济技术可行外,还要顾及业主的物业管理能力,另外还要适当考虑日后物业产权变动、管理能力变化的风险。在大多数北方及内陆地区,在结构设计使用年限内,多数时间地下水位处于低位,只在较短的时段内才会出现危及抗浮稳定的极端高水位,可能适合采用此抗浮措施。在沿海高水位地区,则可能不太适宜采用此抗浮措施。

#### 3.3. 下拉抗浮

下拉抗浮就是通过采用抗拔桩、锚杆和锚索提供向下的拉力,与建筑的重量一起来平衡地下水的浮力,达到地下室抗浮的目的。锚杆一般在基岩较浅时采用,当地下水对钢筋有腐蚀时,锚杆的耐久性问题较难解决,应用有局限性。锚索一般采用预应力,耐久性和抗浮性能较好,但造价较高、工序相对多、防水处理较复杂;一般在地下室发生上浮事故后,而又不能增加足够配重时,采用锚索进行处理。抗拔桩兼有抗压和抗浮的作用,是一种被广泛采用的抗浮措施,尤其适用于沿海高水位软土地区。

### 4. 地下室抗浮设计

在沿海高水位软土地区,采用抗拔桩来抗浮,是一种最常见的抗浮措施。下面就针对此抗浮措施,对地下室的抗浮设计进行分析。

#### 4.1. 抗拔桩数量的确定

设置了抗拔桩后,建筑物的自重(含压重)和抗拔桩提供的抗拔力共同来平衡地下水的浮力,具体表达式如下:

$$G_k/K_w + nT_a \geq N_{w,k} \quad (1)$$

式中:  $G_k$  为建筑物自重标准值及其上作用的永久荷载标准值之和,不包括可变荷载;  $K_w$  为自重抗浮稳定安全系数,按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011)取值,取为 1.05;  $n$  为需布置的抗拔桩的根数;  $T_a$  为单桩抗拔承载力特征值;  $N_{w,k}$  为相应于作用的标准组合时,抗浮水位产生的浮力作用值。

由(1)式可得需布置的抗拔桩的根数:

$$n \geq (N_{w,k} - G_k/K_w)/T_a \quad (2)$$

#### 4.2. 抗拔桩的配筋

抗拔桩的配筋应满足正截面受拉承载力要求和裂缝控制要求。预制桩(如预应力混凝土管桩和预应力

混凝土空心方桩等)的配筋在相关图集中均有较详细的计算,在此不再做分析;下面只对抗拔桩中使用较多的钻孔灌注桩的配筋进行分析。钻孔灌注桩的正截面受拉承载力应满足下式。

$$N \leq f_y A_s \text{ 即 } A_s \geq N/f_y \quad (3)$$

式中:  $N$  为抗拔桩桩顶轴向拉力设计值;  $f_y$  为桩身纵筋抗拉强度设计值;  $A_s$  为桩身纵筋截面面积。当抗拔桩抗拔承载力充分利用时,取  $N = 1.35T_a$ 。

钻孔灌注桩的裂缝控制应按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)第 5.8.8 条第 3 款进行验算。在沿海高水位软土地区,由于水位较高,在正常使用过程中带地下室的桩基一直处在地下水中,因此在判断地下水和土的腐蚀性等级时,应按长期浸水的条件进行判断;且当地下水和土的腐蚀性等级未达到弱腐蚀等级时,桩基的环境类别可按二 a 类考虑,此时桩身裂缝允许宽度可取 0.3。抗拔桩中钢筋的拉应力是由地下水浮力产生的,裂缝计算时钻孔灌注桩抗拔桩中钢筋的拉应力可按荷载准永久组合;为了使抗拔桩的裂缝计算更经济合理,可以将常年平均水位产生的浮力定义为恒荷载,将抗浮设防水位与常年平均水位产生的浮力差定义为活荷载,在以上假定的基础上采用准永久组合(准永久值系数可取 0.5)计算出抗拔桩中钢筋的拉应力,用于裂缝计算。

抗拔桩应通长配筋,但可分段逐步减少纵筋配筋,一般可分三段(桩较短时可分二段);从上至下第一段配筋由桩顶轴向拉力计算确定,第二段配筋由第一段与第二段分界点桩身所受轴向拉力计算确定,分界点桩身所受轴向拉力等于桩顶轴向拉力减去第一段桩所提供的抗拔极限承载力的一半,以下依次类推。

## 5. 抗浮区桩基础的包络设计

在沿海高水位地区,由于地下水在各阶段变化较大,抗浮区的桩应考虑各种工况采用包络设计[4],包括桩数的确定和桩身配筋的确定。

在施工阶段,由于采用降水和止水帷幕等施工措施,所以不存在水浮力,桩基础承受施工阶段的恒载 + 活载,即  $D_s + L_s$ ,  $D_s$  为施工阶段上部结构传至桩顶的恒载标准值,  $L_s$  为施工荷载,根据该工况可求出所需桩数,桩的受力为压力。

在正常使用阶段,地下水位处于变化状态,桩基础的受力也处于变化状态,需要计算最低地下水位时和抗浮设防水位时桩基础的受力。

最低地下水位时,桩基础承受使用阶段的恒载 + 活载 - 最小浮力,即  $D + L - F_{w1}$ ,  $D$  为使用阶段上部结构传至桩顶的恒载标准值,  $L$  为使用阶段上部结构传至桩顶的活载标准值,  $F_{w1}$  为最低水位产生的浮力标准值,根据该工况可求出所需桩数,桩的受力可能为压力,也可能为拉力。

抗浮设防水位时,桩基础承受使用阶段的恒载 + 活载 - 最大浮力,即  $D + L - F_{w2}$ ,  $D$  为使用阶段上部结构传至桩顶的恒载标准值,  $L$  为使用阶段上部结构传至桩顶的活载标准值,  $F_{w2}$  为抗浮设防水位产生的浮力标准值,根据该工况可求出所需桩数,桩的受力为拉力。

根据以上三种工况求出的桩数和桩身配筋,取最大值设计桩基础。

## 6. 结论

1) 确定合理的抗浮水位,保证抗浮设防安全和经济合理,是地下室结构抗浮设计关键。当场地排水不畅,取历史最高洪水位或室外地面标高作为抗浮设防水位;当场地排水较好,可取室外地面以下 0.5 米处作为抗浮设防水位。

2) 在沿海高水位软土地区,采用抗拔桩抗浮是最适宜的抗浮措施;当为一层地下室且需要平衡的浮力不大时,也可采用配重抗浮。

3) 抗拔桩的数量应根据抗浮水位产生的浮力扣除建筑物的自重(含压重)平衡的浮力后计算确定;抗

拔桩的配筋应满足承载力和抗裂要求, 钻孔灌注桩抗拔桩应通长配筋, 但可分段逐步减少纵筋配筋面积。

4) 抗浮区的桩基础应考虑施工阶段、正常使用阶段最低地下水位和抗浮水位三种工况进行包络设计。

### 参考文献 (References)

- [1] 古今强, 侯家健. 关于基础设计中地下水浮力问题的思考[J]. 建筑结构, 2014, 44(24): 133-138.
- [2] 郑伟国. 地下结构抗浮设计的思路和建议[J]. 建筑结构, 2013, 43(5): 88-91.
- [3] 刘军, 李廖兵, 杨凡. 某地下室上浮开裂的处理与研究[J]. 建筑结构, 2015, 45(21): 89-93.
- [4] 李培, 周笋, 王洋, 等. 高水位软土地区桩基础设计思路和方法[J]. 建筑结构, 2015, 45(18): 94-100.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>