

设置抗浮锚杆的“独基加抗浮板基础”实例设计分析

高新伟

海南京创国际建筑设计研究有限公司四川分公司 四川 成都 610000

【摘要】：目前的建筑工程多设置有地下室，抗浮设计是地下室结构设计中的关键环节之一。当以抗浮锚杆作为抵抗水浮力的主要措施时，抗浮板和独立基础的合理设计尤为重要。文章结合某工程实例，以《建筑工程抗浮技术标准》为主要依据，分别对目前流行的三种“独基加抗浮板基础”设计方法进行分析计算，从经济性、适用性以及设计过程中的要点和注意事项等方面进行了论述。

【关键词】：抗浮锚杆；抗浮板；独立基础；变厚度筏板

前言

近年来，带有地下室的建筑工程常因对抗浮稳定性重视不足而出现各种问题或者安全隐患，如基础底板隆起变形、底板开裂渗水，甚至地下结构整体上浮、框架柱因地下水产生的巨大应力变形破坏等。导致这些问题的原因多种多样，每一个环节都不应忽视。如地勘报告确定的抗浮设防水位过低、设计时计算或构造措施有误、施工过程中地下水控制不当或基坑肥槽回填不密实引起地表水下渗等^[1]。以上这些原因都可能导致工程抗浮失效，造成财产损失的同时，也危及建筑结构安全。2019年《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019（以下简称《浮标》）正式实施，该标准对勘察、设计、施工各个环节都提出了更具体的要求，对以前不是很清晰的方法或措施也进行了明确。《浮标》的发布，对以后的建筑工程抗浮安全有很大的实际指导意义。为解决设计过程中对抗浮板和独立基础计算方法选取不当的问题，将结合实例，以《浮标》中的“抗浮板法”“锚杆法”为基础，对目前实际工程中常用的几种独立基础加抗浮板设计方法进行应用对比。

1 实例概况

四川某地某二层地下室，地基持力层为稍密卵石层，修正后的地基承载力特征值为 $f_{ak}=350\text{KPa}$ ，拟采用独基加抗浮板基础，建筑抗浮工程设计等级丙级（使用期抗浮稳定安全系数取 $K_w=1.05$ ，重要性系数 $\gamma_0=1.00$ ）。抗浮板初定厚度 $h=400\text{mm}$ ，则水头高度为4.9米。地下室一般柱网跨度为 $8\text{m}\times 8\text{m}$ ，典型柱轴力标准值约 2800KN 。基础混凝土强度等级C30，抗渗等级P6，钢筋采用HRB400级热轧带肋钢筋。基本概况剖面见图1。

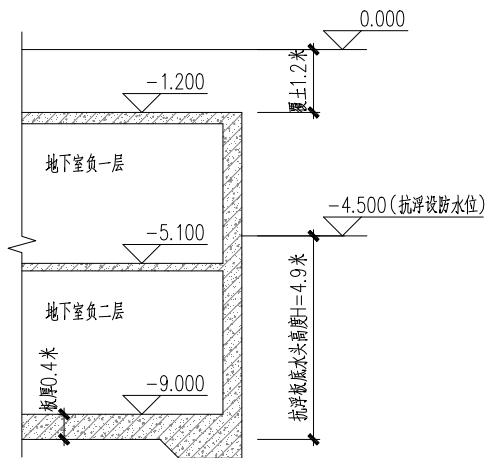


图1 实例概况剖面示意图

2 地下室整体抗浮稳定性验算及抗浮锚杆布置

2.1 地下室整体抗浮稳定性验算

本工程地下室顶板有1.2米厚覆土，为了验算整体抗浮稳定性，须将覆土以及结构本身基础、梁板柱自重折算为单位面积荷载，则有：本工程用于抵抗水浮力的单位面积折算自重标准值（同时也是设计值）

$G \approx 40\text{KN/m}^2$ 。

而浮力设计值 $N_w, k=4.9 \times 10$ （水容重） $\times 1.5$ （水浮力活荷载分项系数） $=73.5\text{KN/m}^2$ 。

G, N_w, k 在《建筑地基基础设计规范》中分别表述为“建筑物自重及压重之和”“浮力作用值”^[2]，而在《浮标》中则明确 G, N_w, k 均为“设计值”。本工程计算时，活荷载分项系数取为1.5，对抗浮稳定有利的恒荷载分项系数根据《浮标》6.3.7取为1.0，因此自重的标准值与设计值相等。

根据《浮标》第3.0.3条公式： $G/N_w, k \geq K_w$ （ $K_w=1.05$ ）可知，本工程仅靠结构自重及压重无法满足整体抗浮稳定性的要求，需要采取额外的抗浮措施。

2.2 抗浮锚杆布置

抗浮锚杆具有施工操作方便、受力明确、造价相对低廉等优点，在四川地区有广泛的应用，也有成熟可靠的施工经验。综合考虑，本工程采用抗浮锚杆作为附加抗浮措施。

根据《浮标》6.4.1平衡方程：

$K_w = (G + G_g) / F$ （式中， G 为单位面积结构折算自重与压重标准值； G_g 为抗浮锚杆承担的单位面积浮力标准值； F 为单位面积总水浮力标准值； K_w 为抗浮稳定安全系数，取1.05）。

则抗浮锚杆在单位面积承担的水浮力标准值： $G_g = 1.05 \times 4.9 \times 10 - 40 = 11.45\text{KN/m}^2$ 。

最终确定的抗浮锚杆布置方案为：网状均匀布置，抗浮锚杆间距 $3.0\text{m} \times 3.0\text{m}$ ，平均每个标准柱网内7.1根锚杆；单根锚杆承担的荷载标准值 $N_t = 11.45 \times 8 \times 8 / 7.1 \approx 104\text{KN}$ 。有了抗浮锚杆的布置方案之后，即可对“独立基础”和“抗浮板”进行设计计算。

3 独立基础与抗浮板分离设计法

独基与抗浮板分离设计是传统的计算方法，即认为抗浮板只用于抵抗水浮力，不考虑其地基承载能力分担上部荷载的作用，由独立基础承担全部结构荷载并考虑水浮力的影响。采用此方法，应先求出抗浮板底处单位面积的浮力标准值 q ，即水浮力减去抗浮板自重和抗浮锚杆承担的浮力。

根据《浮标》第6章的规定，有 $q = 1.05 \times 4.9 \times 10$ （水浮力标准值） $- 0.4 \times 25$ （抗浮板自重） $- 11.45$ （抗浮锚杆承担的水浮力标准值） $\approx 30\text{KN/m}^2$ 。

之后，就可按照倒置无梁楼盖双向板的设计方法，以 q 作为均布活荷载，对抗浮板进行计算。计算可用手算查“经验系数”的方法，也可以采用软件程序辅助计算。需要注意的是，抗浮板的配筋也应遵循无梁楼盖双向板的配筋方式，划分“柱下板带”和“跨中板带”分别配筋。由于是分离设计，抗浮板会对独立基础施加影响，因此，独立基础按照无梁楼盖的柱帽设计，计算配筋时，根据矢量叠加原理，同时计入上部结构和抗浮板对独立基础产生的弯矩。为实现结构的设计假定构想，抗浮板在与独立基础交界的一定范围内应设置软垫层，以确保抗浮板不承担或者承担最少量的地基反力。软垫层材料可采用焦渣或者聚苯板等可承担抗浮板自重及施工荷载的材料^[3]，布置宽度

可按基础边线中点计算沉降量的 20 倍取用,且不小于 500mm。

4 变厚度筏板设计法—不模拟抗浮锚杆

变厚度筏板设计法认为抗浮板和独立基础共同受力。在抗浮板和独立基础厚度相差不大时,线刚度较接近,两者共同受力计算更符合实际情况。在电算模型中以筏板模拟抗浮板,筏板设置柱墩或者局部加厚模拟独立基础。抗浮板承受的水浮力扣除抗浮板自重以及抗浮锚杆承担的水浮力,即与方法一采用相同的荷载标准值 $q=30\text{KN/m}^2$ 。然后用软件进行有限元分析计算。需要注意的是,单纯计算抗浮水位工况的话,在独立基础范围内,会造成独立基础配筋偏小的问题。因此,应该分别计算“无水工况”以及“抗浮水位工况”,进行包络设计。并且在抗浮水位工况计算时,抗浮板的基床系数应设置为 0,来保障土层不会对抗浮板施加反力。

5 变厚度筏板设计法—模拟抗浮锚杆

目前的建筑设计行业现状,一些主体结构单位的设计内容不包含抗浮锚杆,仅对抗浮锚杆承担的水浮力取值提出要求,锚杆设计由建设单位另外分包。这种情况下,设计单位一般采用上边两种方法对抗浮板和独立基础进行设计。

当主体结构设计内容包含抗浮锚杆设计时,在电算模型中同时模拟抗浮锚杆无疑是一种更好的选择。即将布置好的抗浮锚杆导入电算模型,与变厚度筏板同时进行有限元分析。

这种方法的优点是:既可以使抗浮板和独立基础的计算结果更加精确,又可以验证抗浮锚杆需要承担的抗拔承载力是否在合理区间内。

软件用抗压刚度和抗拔刚度不同的“弹簧”模拟抗浮锚杆,即抗压刚度为 0,初始抗拔刚度可为抗拔承载力与允许位移的比值。即抗浮锚杆可作为抗浮板的弹簧支座。

其计算与第二种方法基本一致,唯一区别就是抗浮板水浮力作用值应按照设防抗浮水位水头高度确定,让电算程序自动去扣减抗浮锚杆抵抗的部分。

6 三种方法的经济性对比

以上三种均为目前常用的设计方法,但计算结果却存在一定差异。

以本工程为例,三种方法在抗浮锚杆布置一致、独立基础和抗浮板厚度均一致的情况下,一个标准柱网内的实配钢筋用量见表 1。

表 1 三种计算方法基础实配用钢量对比

	抗浮板钢筋用量(kg)	独立基础钢筋用量(kg)
方法一:独立基础与抗浮板分离设计法	2089.3	847.6
方法二:变厚度筏板设计法(不模拟抗浮锚杆)	1991.5	683.7
方法三:变厚度筏板设计法(模拟抗浮锚杆)	1906.2	683.7

表中数值为一个 8m*8m 柱网内基础实配钢筋用量,没有计入钢筋锚固长度和搭接长度。通过对比可以发现,方法二、方法三钢筋用量相差不大,而方法一较方法三抗浮板钢筋用量增加 9.6%,独立基础钢筋用量增加 24%,经济性稍差。当抗浮板水浮力进一步增大时,采用第一种方法很可能出现抗浮板配筋或裂缝超限的问题,要解决这个问题,则需要人为加密抗浮锚杆的布置,以提高抗浮锚杆总的承载力,

减小单位面积抗浮板承受的直接水浮力。这样的做法虽然可以减小抗浮板的配筋,但却相应增加抗浮锚杆造价。再者,由于方法一为手算算法,如果每一个不同的柱网跨度都进行计算,势必造成设计工作量过大;但如果小跨度柱网也采用标准柱网配筋,也易造成不必要的浪费。

7 一些细节的理解与思考

(1)《浮标》引入了“建筑抗浮工程设计等级”的概念,依据其“工程地质和水文条件简单场地的工程”,本工程的抗浮设计等级定为丙级。实际工程中甲级、乙级的工程,在抗浮板和基础设计时应乘以相应的重要性系数。由于抗浮措施属于基础设计的范围之内,虽然规范没有明确,但“建筑抗浮工程设计等级”也不应低于“基础设计等级”。

(2)《浮标》规定水浮力由三部分组成,分别为:稳定水龙头(设防抗浮水位)产生的“静水压力”、扣减不透水层土体重力后的“承压水压力”、地下水坡降产生的“渗流压力”。本工程只有抗浮水位产生的静水压力,当实际工程中存在不透水土层或者渗流时,应特别注意。三类水压力应按各自最大值同时出现的组合工况考虑,并忽略其方向性和分布性差异。

(3)文章在第 2 节“整体抗浮稳定性验算”和“抗浮锚杆承载力验算”分别用了水浮力的设计值和标准值,这是由于《浮标》第 3 章给出的地下结构整体抗浮稳定公式明确要求水浮力取为设计值,条文说明给出的解释是为了提高结构抗浮的安全度水准。但在《浮标》第 6 章给出的“区域地下结构整体抗浮稳定”等公式中,水浮力却取为标准值。以本工程为例,如果水头高度为 3 米,按标准值计算整体抗浮稳定性能够满足规范要求,不需要设置锚杆等额外的抗浮措施。但按设计值计算的话,结构整体抗浮稳定性就无法满足规范要求了。个人认为这种不统一的规定容易对设计过程造成困扰。

(4)抗浮板的板厚和配筋应满足变形、裂缝、最小配筋率和防渗等要求。当部分柱网跨度内抗浮板变形较大时,应对抗浮锚杆进行加密处理或加大锚固长度。抗浮板为水浮力控制时,其最小配筋率应按板类受弯构件控制,而不可采用 0.15% (卧置于地基上的板最小配筋率)。

8 结语

抗浮设计在地下室基础工程中至关重要,应该根据实际工程情况选择不同的设计方法。当独立基础的截面高度不小于抗浮板高度 2 倍时,其计算模型更符合“独立基础与抗浮板分离设计法”的假定;而当截面高度相差不大或者抗浮板较厚时,受力机制更符合“变厚度筏板设计法”的假定。由于国家或很多地方标准都规定了抗浮板最小厚度,如《浮标》规定“抗浮板厚不应小于 350mm”,成都市地方规定“设置抗浮锚杆的抗浮板厚度不应小于 400mm”。这些规定都决定了普通工程中抗浮板和独立基础截面不会相差太大,“变厚度筏板设计法”将成为大部分工程的优选设计方案。“变厚度筏板设计法”概念明确,在当前有更广泛的适用性。电算程序中模拟锚杆与否对结果影响不大,可根据实际情况选用。软件以有限元分析也使得结果更加精确。但我们在追求高精度的同时,也不能忽略实际工程的不确定性。比如考虑某一根锚杆的偶然失效,因此,设计时留有适当的余量也是确保建筑结构安全的必要做法。

参考文献:

- [1] 朱炳寅, 姜宇, 杨琦. 建筑地基基础设计方法及实例分析(第二版)[M]. 中国建筑工业出版社, 2013.
- [2] 陈岱林. 结构软件难点热点问题应对和设计优化[M]. 中国建筑工业出版社, 2014.
- [3] 中国建筑西南设计研究院有限公司. 结构设计统一技术措施[M]. 中国建筑工业出版社, 2020.