

浅谈建筑结构抗浮设计方法

Discussion on the Design Method of Building Structure

李贞祥

Zhenxiang Li

中国建筑科学研究院有限公司深圳分公司 中国·广东 深圳 518000

Shenzhen Branch of China Building Research Institute Limited, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

摘要: 论文结合某工程案例,阐述了抗浮设计的基本方案,重点比较了有抗浮锚杆和无抗浮锚杆的方案对底板影响,可结合实际情况,选择较优的方法,供类似工程参考。

Abstract: This paper combined with an engineering case, elaborated the basic scheme of anti-floating design, focus on the comparison of anti-floating anchor rod and no anti-floating anchor rod scheme on the bottom plate, can be combined with the actual situation, choose a better method, for similar engineering reference.

关键词: 抗浮设计; 抗拔锚杆; 底板验算; 整体抗浮

Keywords: anti-float design; anti-pull bolt; bottom plate check; overall anti-float

DOI: 10.12346/etr.v4i9.7072

1 引言

随着城市建设的飞速发展,地下室需求也越来越得到青睐。在地下室结构设计过程中,不可避免地会涉及抗浮设计的问题,尤其是埋深较大的地下室结构。南方地区,抗浮水位一般为室外地坪标高,高水浮力会对地下结构和上部结构产生破坏,近些年也发生不少,由于抗浮设计不到位,导致底板开裂,梁柱节点处开裂等现象。因此,地下室结构的抗浮设计是不容忽视的。

地下室抗浮设计分为三种情况:

①地下室施工完毕后便停止,这时即地上结构层数较多,但因上部结构还没施工,地下室的自重无法抵抗地下水的浮力。这种情况应对地下室进行施工阶段的抗浮验算,并采取相关的抗浮措施。

②地下水位较高,且地下室埋深较大、地上结构层数较少。这种情况下,结构的自重无法抵抗地下水的浮力,需对整体结构进行抗浮验算。

③本身的自重可以抵抗地下水的浮力,但是地下室底板也需进行抗浮设计。

我们在实际工程应用中常用抗浮措施有:增加结构配重,基础板底下释放水浮力,设置抗拔桩、抗浮锚杆等,下述重点介绍通过有无抗浮锚杆设置情况对比分析底板验算情况。

2 抗浮项目案例分析

工程概况:本工程位于广东省地区,地上为五层厂房,地下一层停车库,结构体系为框架结构,地下一层层高为5 m,地上一到四层层高均为5 m,五层层高为4 m,总高度为24 m。

荷载条件:二层至屋面板厚为110 mm,附加恒载为2.0 kN/m²(屋面附加恒载为3.5 kN/m²),主要活载为5.0(活荷载为2.0 kN/m²),地下室顶板板厚为180 mm,塔楼以外覆土1 m厚,主要活载为5.0 kN/m²。

结构布置:采用井字梁板布置,塔楼主梁截面为300×800,次梁截面为250×500,地下室区域主梁截面为400×900,次梁截面为300×700。

水位情况:底板标高-5.0 m,抗浮水位标高为室外地坪标高(-0.4 m);

基础布置:根据地质条件,初步采用以下两种方案进行比较:

①方案一:采用桩承台+防水板方案。

②方案二:采用桩承台+抗拔锚杆+防水板方案。

2.1 基础布置方案一: 采用桩承台+防水板方案

中柱下采用两桩和三桩承台,边跨柱采用单桩承台,地下室底板厚度400 mm厚,重点针对整体抗浮、局部抗浮及

【作者简介】李贞祥(1987-),男,中国福建人,本科,工程师,从事建筑结构研究。

底板承载力配筋进行验算：

方案一基础布置结构整体抗浮验算情况：

$$G=452324 \text{ kN}, N_w=334046 \text{ kN}$$

经验算整体抗浮系数：

$$K = (G + \sum R_t) / N_w = 1.46 > 1.05$$

满足整体抗浮要求。

方案一基础布置局部抗浮验算情况：

经验算结果可知，外侧两排柱下，局部抗浮系数 K 均小于 1.05，最不利抗浮系数值为 0.8，不满足局部抗浮设计要求。

方案一基础布置底板计算配筋情况如图 1、图 2 所示。

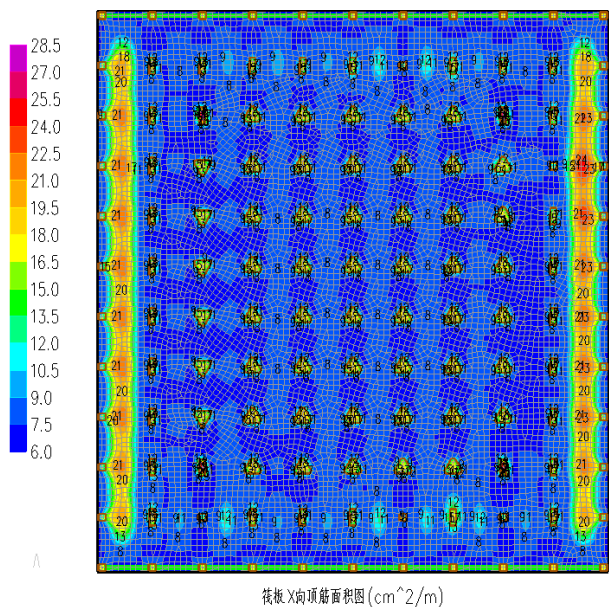


图 1 底板 X 向顶部钢筋验算结果

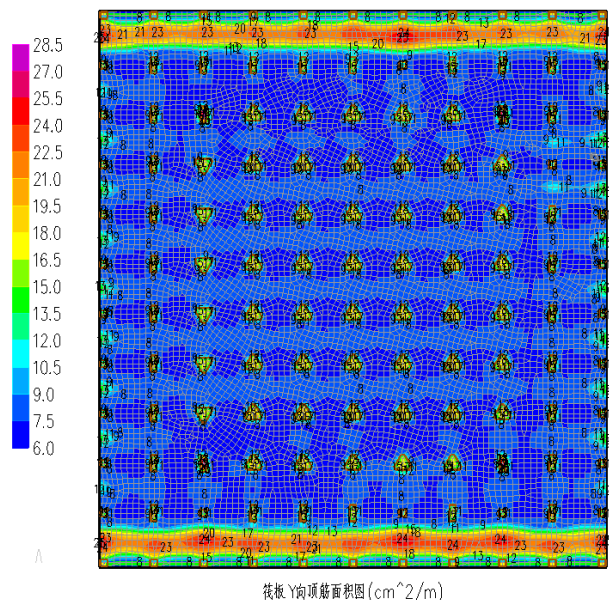


图 2 底板 Y 向顶部钢筋验算结果

根据验算结果知，考虑抗浮水位工况组合，不考虑抗浮锚杆情况下，结构整体抗浮验算满足要求，抗浮系数大于 1.05，但最外侧两排柱出现局部抗浮验算不满足要求。

承载力验算方面，底板顶部计算配筋，X 向边跨最大配筋为 2400 mm²/m，中跨配筋为 600 mm²/m；Y 向左边跨最大配筋为 2100 mm²/m，右边跨最大配筋为 2400 mm²/m，中跨配筋为 600 mm²/m。底板底部计算配筋均为 600 mm²/m。

2.2 方案二：采用桩承台 + 抗拔锚杆 + 防水板方案

中柱下采用两桩和三桩承台，边跨柱采用单桩承台，地下室底板厚度 400 mm 厚，另针对方案一致，主要外跨局部抗浮不满足要求及板底顶部配筋较大，可在外跨区域加设抗浮锚杆，仍重点针对整体抗浮、局部抗浮及底板承载力配筋进行验算。锚杆估算如下：

2.2.1 基本信息

地下室抗浮底板厚度均为 400 mm，板面标高 -5.0 m，地下室抗浮水位高程为 -0.4 m，水头高度 6.1 m。

2.2.2 荷载计算

400 厚防水底板自重： $0.4 \times 25 = 10 \text{ kN/m}^2$ 。

180 厚梁板楼盖自重(顶板)： $0.18 \times 25 + 25 \times (0.4 \times 0.72 \times 8.5 \times 2 + 0.3 \times 0.52 \times 8.5 \times 4) / 8.5 / 8.5 = 8.0 \text{ kN/m}^2$ 。

1.0 m 覆土自重： $1.0 \times 18 = 18 \text{ kN/m}^2$ 。

合计 $G_k = 10 + 8.0 + 18 = 36 \text{ kN/m}^2$ 。

水浮力 $N_{w,k} = 5 \times 9.8 = 49 \text{ kN/m}^2$ 。

设抗浮力 F_f ，则 $(G_k + F_f) / N_{w,k} = 1.05$ 。

$F_f = 15.45 \text{ kN/m}^2$ 。

2.2.3 锚杆设计

拟采用抗浮锚杆直径为 150 mm，每根锚杆采用 3 根 18 (HRB400 级钢筋)， $A_s = 762 \text{ mm}^2$ 。

第一，确定单根锚杆承载力特征值。

根据 CECS22: 2005 7.4.1 条：

$$N \leq f_{yk} \times A_s / K_t = 400 \times 762 / 2 = 285 \times 10^3 \text{ N} = 152.4 \text{ kN}。$$

取单根锚杆承载力特征值 $R_t = 152.4 / 1.35 = 112.8 \text{ kN}$ ，取 110 kN。

第二，计算锚固长度。

根据 CECS22: 2005 7.5.1 条：

$$\textcircled{1} L_a > K \times N_t / (\pi \times D \times f_{ms} \times \psi) = 2.2 \times 152.4 \times 1000 / (3.14 \times 150 \times 1.5 \times 1.3) = 0.37 \text{ m}。$$

$$L_a > K \times N_t / (n \times \pi \times d \times \xi \times f_{ms} \times \psi) = 2.2 \times 152.4 \times 1000 / (3 \times 3.14 \times 18 \times 0.6 \times 2 \times 1.0 \times 1.3) = 1.27 \text{ m}。$$

根据 GB5007—2011 8.6.3 条：

$$L_a \geq R_t / (0.8 \times \pi \times d \times f) = 110 \times 1000 / (0.8 \times 3.14 \times 150 \times 0.4) = 0.73 \text{ m}。$$

根据技术措施 7.3.1 条第 6 款，取 $L_a = 3.0 \text{ m}$ 来设计。

第三，锚杆间距计算。

单根锚杆承载力特征值 $N_R = 210 \text{ kN}$ ， $a \leq (110 / 15.45)^{0.5} = 2.67 \text{ m}$ ，取 $a = 2.6 \text{ m}$ 。

第四, 抗冲切验算。

根据 GB50010—2010 6.5.1 条:

$F_t \leq 0.7 \beta_{ht} \eta \mu mh_0$, 按外接圆考虑, 取直径 $D=65 \text{ mm}$,

C30 混凝土, $f_t=1.43 \text{ N/mm}^2$ 。

$\mu_m=3.14 \times (65+h_0)=3.14 \times (65+350)=1303 \text{ mm}$ 。

$\beta_{ht}=1.0$, $\beta_s=2.0$, $\alpha_s=40$ 。

$\eta_1=0.4+1.2/\beta_s=1.0$ 。

$\eta_2=0.5+\alpha_s \times h_0/(4 \times \mu_m)=3.18$ 。

$\eta=(\eta_1, \eta_2) \min=1.0$ 。

$0.7 \beta_{ht} \eta \mu mh_0=0.7 \times 1.0 \times 1.43 \times 1.0 \times 1303 \times 350=456 \text{ kN}$ 。

此值大于 $F_t=110 \text{ kN}$, 抗冲切验算满足。

经上述计算分析, 在外跨区域, 锚杆布置间距采用 $2.6 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$ 间距考虑。

方案二结构整体抗浮验算结果:

$G=452324 \text{ kN}$, $N_w=334046 \text{ kN}$, $\sum R_i=348800 \text{ kN}$

经验算整体抗浮系数: $K=(G+\sum R_i)/N_w=2.28 > 1.0$, 满足整体抗浮要求。

方案二结构局部抗浮验算结果: 边跨区域增设抗浮锚杆之后, 基础布置局部抗浮系数 K 均大于 1.05, 满足局部抗浮设计要求。

方案二基础布置底板计算配筋情况如图 3、图 4 所示。

根据验算结果知, 考虑抗浮水位工况组合, 考虑抗拔锚杆作用情况下, 结构整体抗浮验算和构件的局部抗浮均满足要求。

承载力验算方面, 底板顶部计算配筋, X 向边跨最大配筋为 $1700 \text{ mm}^2/\text{m}$, 中跨配筋为 $600 \text{ mm}^2/\text{m}$; Y 向边跨最大配筋为 $1200 \text{ mm}^2/\text{m}$, 中跨配筋为 $600 \text{ mm}^2/\text{m}$ 。底板底部计算配筋均为 $600 \text{ mm}^2/\text{m}$ 。

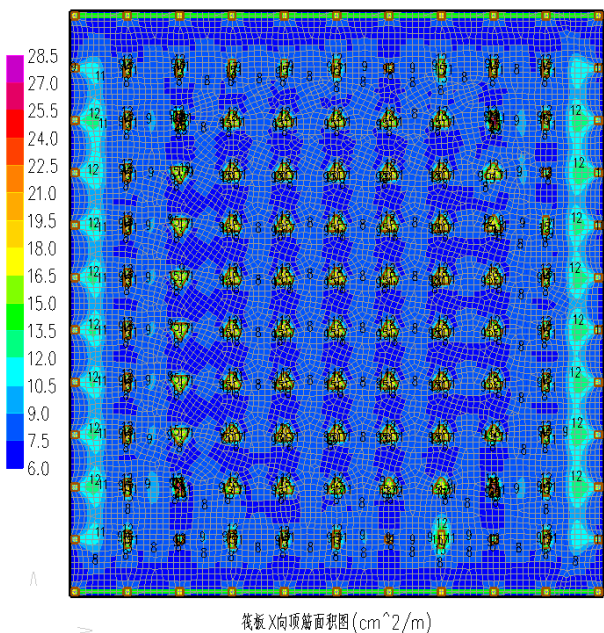


图 3 底板 X 向顶部钢筋验算结果

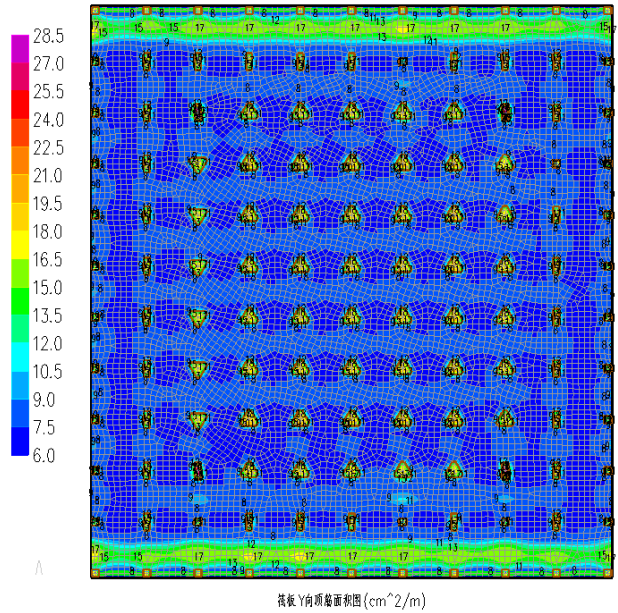


图 4 底板 Y 向顶部钢筋验算结果

方案二增设抗浮锚杆, 在采用岩石抗浮锚杆施工工艺要求如下:

① 锚杆宜在地下室结构底板混凝土垫层完成后进行施工。

② 在裂隙发育及富含地下水的岩层中进行锚杆施工时, 应对钻孔周边孔壁进行渗水试验。锚固段钻孔周边渗水率大于 $0.01 \text{ m}^3/\text{min}$ 时, 应采用固结注浆法等进行填充处理。

③ 抗浮锚杆的钻孔与清孔应符合下列规定:

A. 钻机就位前应对锚杆位置进行复核, 钻机定位应准确、水平、垂直、稳固。

B. 钻孔垂直度允许偏差宜小于 1%, 孔位允许偏差应为 $\pm 50 \text{ mm}$ 。

C. 不稳定地层中施工宜采用套管护壁钻进。

D. 筋体入孔后、注浆前应清除孔内碎屑, 对塌孔、孔壁变形应进行处理。

④ 抗浮锚杆筋体的制作、存储及安放应符合下列规定:

A. 应按设计要求制备筋体、托板、螺母等部件, 筋体上应附有居中构造。

B. 筋体组装、存储、搬运过程中应防止锈蚀、损伤、泥土或油渍附着和过大变形。

C. 注浆管随筋体一同放入钻孔, 筋体伸出基坑底面不应少于设计锚杆长度的 1.2 倍。

D. 筋体在孔口处应固定, 在注浆体达到设计强度的 70% 前不得晃动、牵拉或碰撞。

⑤ 锚杆浆液制备和注浆应符合下列规定:

A. 岩浆用砂径不应大于 2 mm , 搅拌时间不得低于 1 min , 并应随搅随用。

B. 注浆泵使用前应进行试运转, 管道接头应连接牢固和密封。

C. 注浆管应插入孔底再上拔 50~100 mm 后开始注浆, 注浆应连续进行。

D. 一次注浆应孔口溢出浆液, 二次注浆应在一次注浆后 4~8 h 后进行, 且注浆压力达 1.5 MPa 以上时应稳压 5 min, 有降水措施时应采取措施避免抽水影响注浆质量。

⑥ 防水与防腐施工应符合下列规定:

A. 选用的材料应符合 GB50108《地下工程防水技术规范》的有关规定和设计要求, 宜采用改性沥青油膏、改性沥青防水材及热熔连接。

B. 清槽后当发现地下水渗漏时, 应先采取措施止水, 确保锚杆周围无明水。

C. 应将锚固端头部位锚固体剔凿至密实部位, 清除筋体上浮灰或泥浆后, 用聚合物水泥防水砂浆找平至设计要求顶标高。

D. 应按设计要求施作防水, 改性沥青等材料热熔后浇入凹槽内应整平并及时对防水卷材进行热熔粘贴。

E. 锚筋涂料长度不应少于 60 mm, 并用改性沥青热熔封口。

⑦ 向钻孔内注浆应符合下列规定:

A. 注浆管的出浆口应插入距孔底 300~500 mm 处, 浆液自下而上连续灌注, 且确保从孔内顺利排水、排气。

B. 注浆设备应有足够的浆液生产能力和所需的额定压力, 采用的注浆管应能在 1 h 内完成单根锚杆的连续注浆。

C. 注浆后不得随意敲击杆体, 也不得在杆体上悬挂重物。

D. 注浆浆液应搅拌均匀, 随搅随用, 并在初凝前用完。严防石块、杂物混入浆液。

E. 当孔口溢出浆液或排气管停止排气时, 可停止注浆。

F. 本工程采取二次高压注浆, 尚应符合下列规定:

a. 二次注浆材料为水灰比 0.60 的纯水泥浆。

b. 止浆密封装置的注浆应待孔口溢出浆液后进行, 注浆压力不低于 2.0 MPa。

c. 一次常压注浆结束后, 应将注浆管、注浆枪和注浆套管清洗干净。

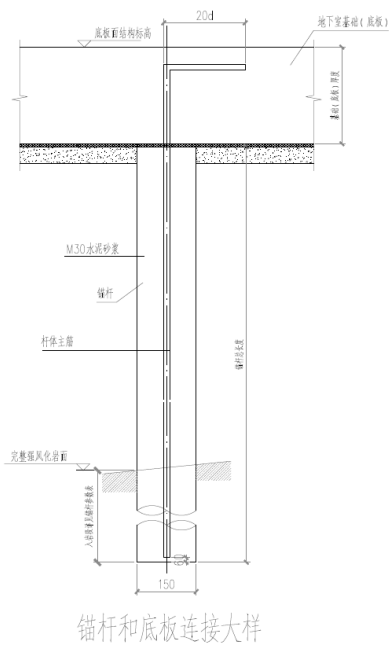
d. 对锚固体的二次高压注浆, 应在一次注浆形成的水泥结石体强度到达 5.0 MPa 后进行。注浆压力和注浆时间可根据锚固段的体积确定, 并分段依次由下至上进行。

⑧ 抗浮锚杆成品保护应采取以下措施:

A. 对伸出工作面的筋体用素水泥浆进行涂抹, 避免筋体锈蚀。

B. 地下结构底板施工严禁扰动锚固体及筋体。

C. 混凝土浇筑前应对筋体进行检查, 并进行二次防腐。图 5 为抗浮锚杆大样做法。



锚杆和底板连接大样

图 5 抗浮锚杆大样做法

3 小结

对比两个基础布置方案分析结果, 整体抗浮满足要求前提下, 方案一局部抗浮验算不满足要求, 可通过增加底板配筋来抵抗水浮力对抗弯承载力影响。方案二通过增设抗拔锚杆来抵抗水浮力对底板抗弯承载力影响, 减小底板的配筋, 但应注意锚杆施工工艺, 在满足锚杆抗拔承载力满足设计值要求前提下, 做好锚杆防腐和防水措施。两个方案布置对比时, 可综合考虑施工周期, 难度, 经济性等因素, 选择一个合适方案进行抗浮设计。

4 结语

地下室抗浮在建筑工程中越来越常见, 在设计中应充分认识到抗浮设计重要性。抗浮设计应结合建筑项目自身条件, 因地制宜, 结合整体抗浮验算, 局部抗浮验算及底板承载力验算结果, 采用合理经济的抗浮措施。同时, 在施工过程中应强调沉降观测及降水控制。

参考文献

- [1] CECS22:2005 岩石锚杆(索)技术规程[S].北京:中国工程建设协会地基基础专业委员会,2005.
- [2] GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [3] 全国民用建筑工程设计技术措施(地基与基础)[M].北京:中国计划出版社,2009.
- [4] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范(2015)[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.