



中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

建筑工程抗浮设计问题探讨

朱春明编著

13801050513

中国建筑科学研究院地基基础研究所

2020.8



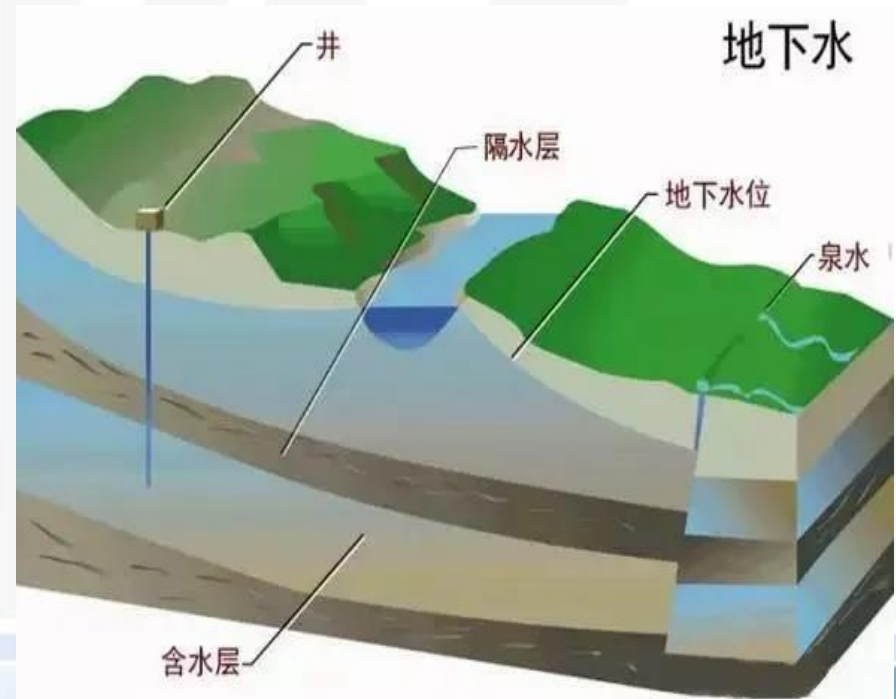
目录

- 一、地下水及浮力
- 二、地下室抗浮存在的问题
- 三、抗浮设计规范及标准
- 四、抗浮设计计算
- 五、结构抗浮措施与构造建议

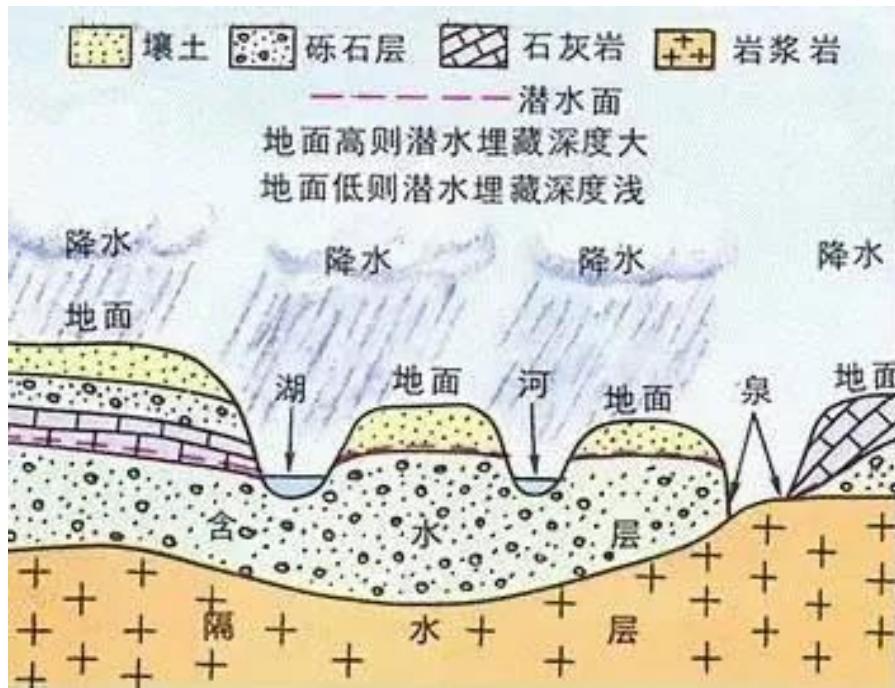
一、地下水及浮力

定义：地下水(ground water)，是指赋存于地面以下岩石空隙中的水，狭义上是指地下水面以下饱和含水层中的水。在国家标准《水文地质术语》(GB/T 14157-93)中，地下水是指埋藏在地表以下各种形式的重力水。

- 1、地下水的来源
- 2、地下水及其分类
- 3、水浮力与水压力



地下水的来源

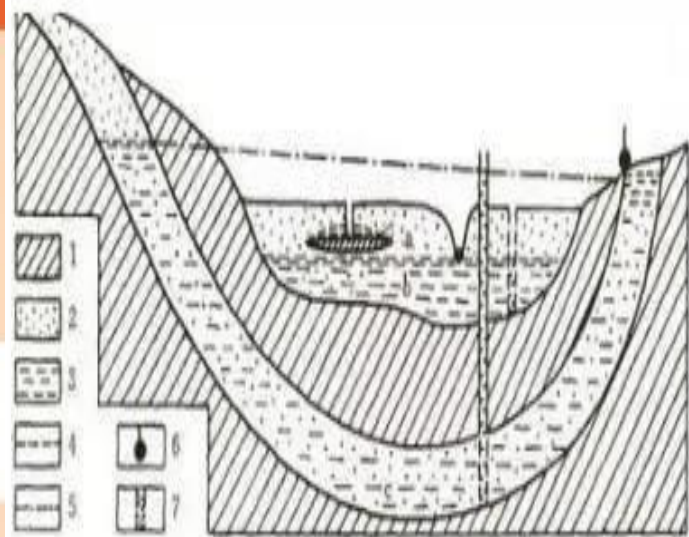


1. 渗入水
2. 沉积水
3. 再生水
4. 初生水
5. 有机成因水



地下水及其分类

类型	孔隙水	裂隙水	岩溶水
上层滞水	土壤水局部粘性土隔水层上季节性存在的重力水(上层滞水) 过路及滞留毛细水及重力水	裂隙浅部岩层季节性存在的毛细水及重力水	裸露岩溶化岩层上部岩溶通道中季节性存在的重力水
潜水	各类松散沉积物浅部的水	裸露于地表的各类裂隙岩层中的水	裸露于地表的岩溶化层中的水
承压水(层间水)	山间盆地及平原松散沉积物深部的水	向斜构造或单斜断块的被掩盖覆的各类裂隙岩层中的水	向斜构造或单斜断块被掩盖覆的各类岩溶化岩层中的水



上层滞水、潜水和层间层
 1.隔水层；2.透水层；3.饱水部分；
 4.潜水面；5.层间水测试面；6.泉
 (上升泉)；7.井水.实线表示井壁
 不进水；
 a.上层潜水；b.潜水；c.层间水

水浮力与水压力

(顾宝和大师提供)

浮力是水压力的一种表现。

争议较多的是多层地下水的水压力如何计算？

除了岩石，第四纪土都有一定的渗透性，含水层和隔水层是相对的，完全不透水的隔水层基本不存在，上下含水层之间可以越流渗透，虽然速度非常慢。

勘察报告提供的潜水的水位、承压水的水头，都是水力学的总水头，亦即测压水头。总水头包括压力水头、位置水头和速度水头三部分，但地下水稳定渗流时流速非常小，速度水头可以忽略不计。

(1) 总水头上下相同

上下含水层虽然可以越流渗透，但如果补给和排泄条件都很稳定，最终会达到平衡状态，这时勘察报告提供的上下各含水层的水位（水头）相同，沿深度方向上下各点的总水头（测压水头）相同，压力水头呈正三角形分布，位置水头呈倒三角形分布，总水头呈矩形分布，见图1。

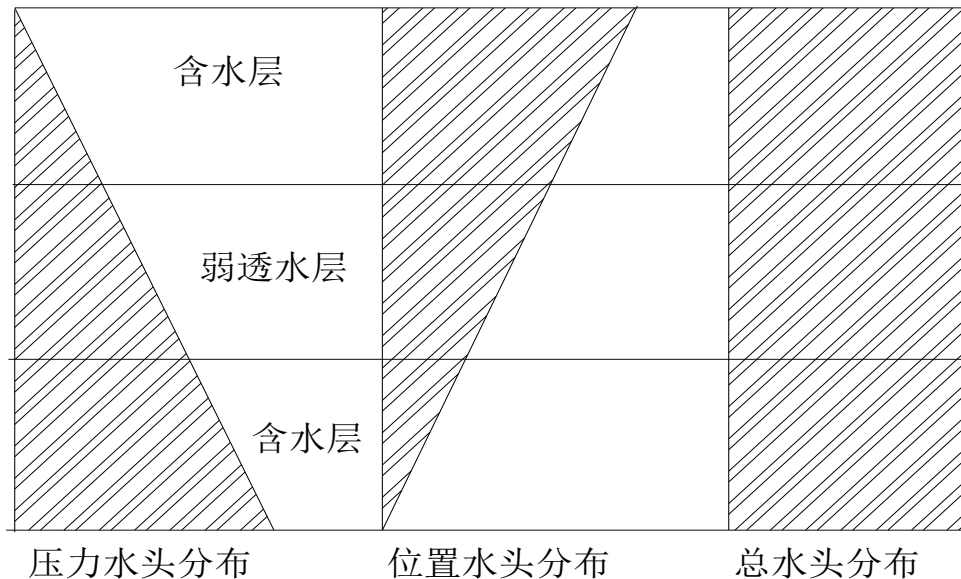


图1 无越流渗透条件下的水头分布示意图

(2) 总水头上下不同

如果上下含水层的总水头存在差异，就会产生越流渗透。渗流产生水头损失，含水层渗透性强，可忽略不计，隔水层渗透性弱，水头损失明显。可能有两种情况：一种是上层水头高于下层，上层水向下渗透，地下水受大气降水补给的平原地区一般如此(图2)。

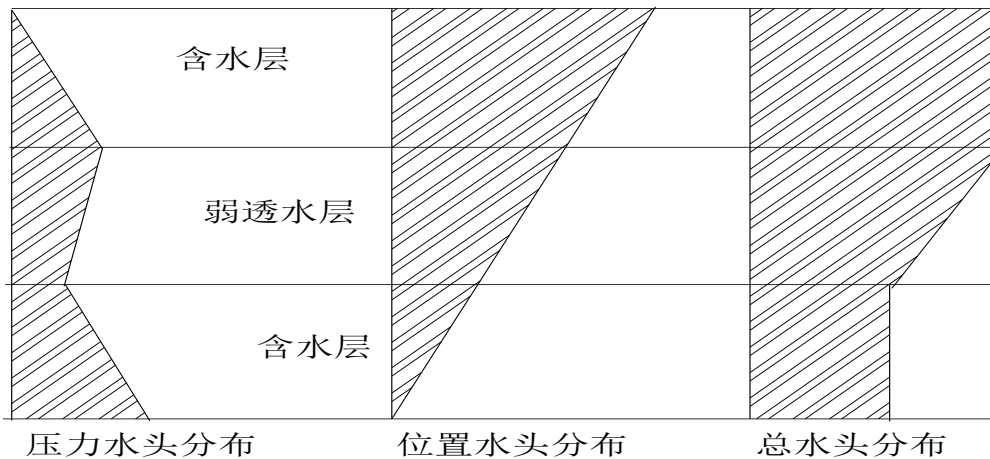


图2 有越流渗透条件下的水头分布示意图

(2) 总水头上下不同

另一种是下层水头高于上层，向上越流渗透，这种情况在自流盆地中常见，水头分布见图5。

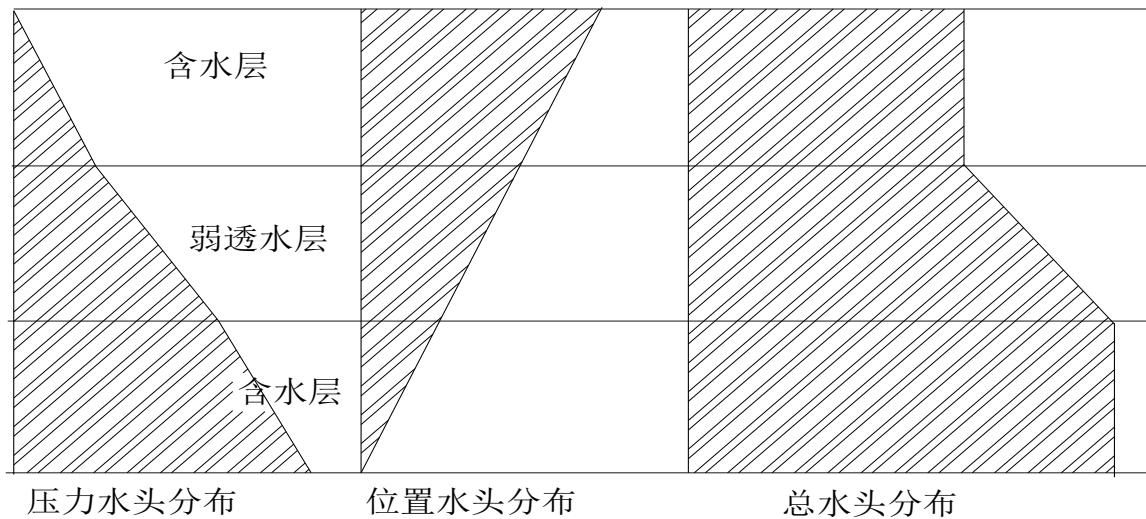


图5 下层水头高于上层水头条件下的水头分布示意图

(2) 总水头上下不同

层间水一般是承压水，如果长期超采地下水，使被采含水层的水头不断降低，原来的承压水可能变成了层间潜水。当下层水为层间潜水时，相对隔水层底至层间潜水位之间为非饱和带，其水头分布见图3。

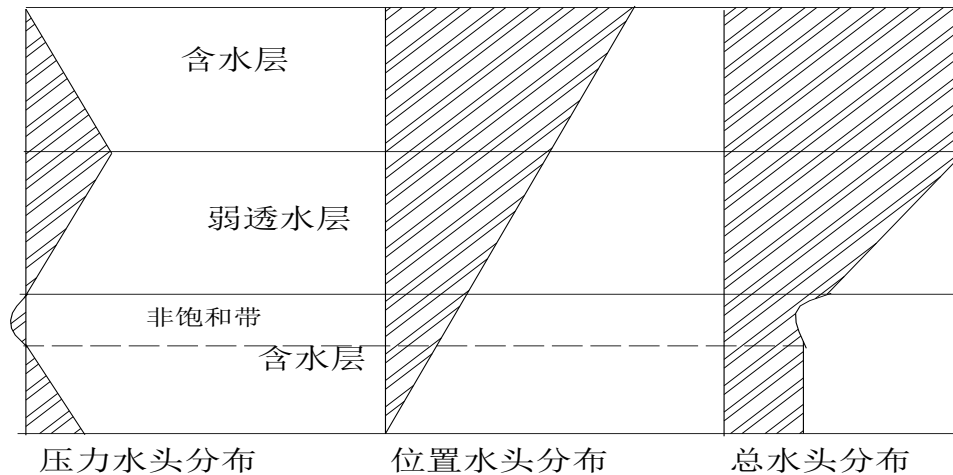


图3 下层为层间潜水条件下的水头分布示意图

(2) 总水头上下不同

当下层水位刚好位于相对隔水层底与下部含水层顶时，其水头分布见图4。

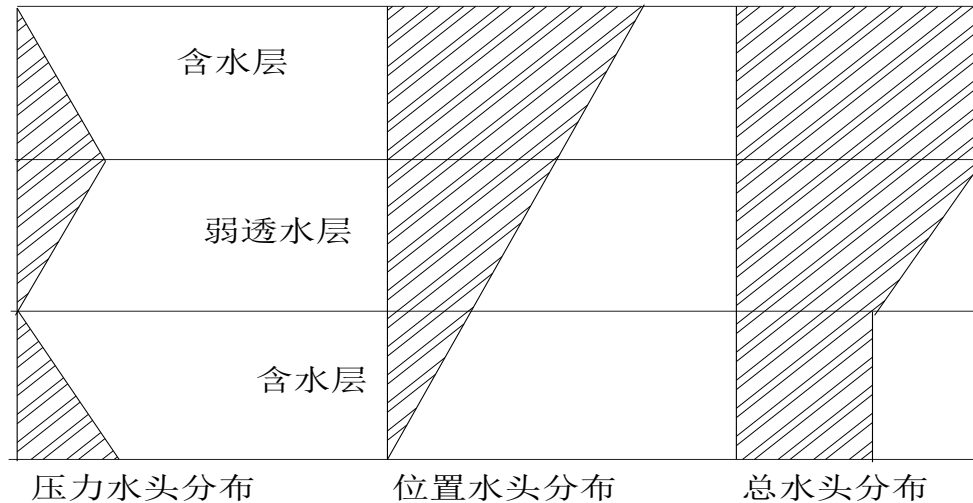


图4 有越流渗透条件下的水头分布示意图

(2) 总水头上下不同

如果两含水层之间的确有个完全不透水的隔水层，那就不存在越流渗透，隔水层中也不存在水压力，上下含水层完全独立，其水头分布见图6，自然界罕见。

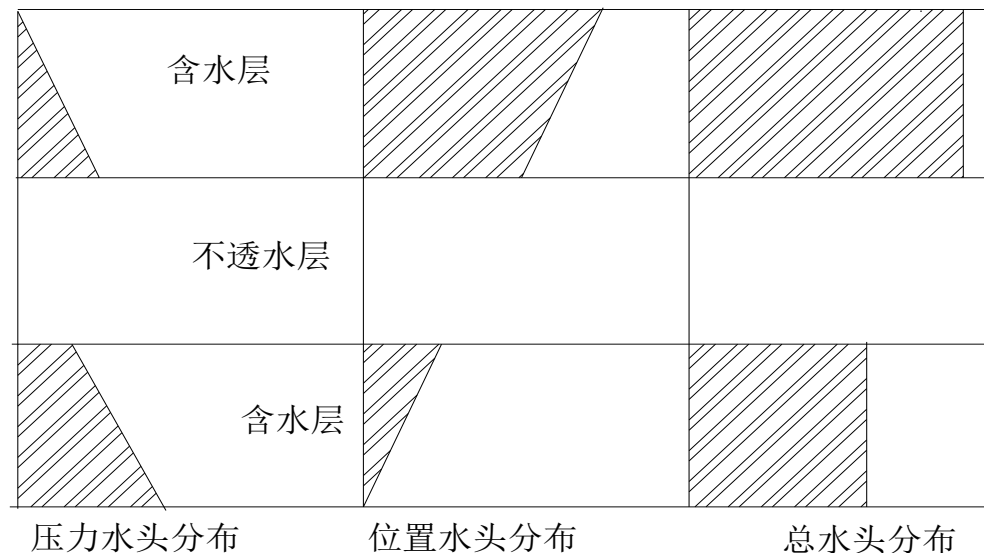


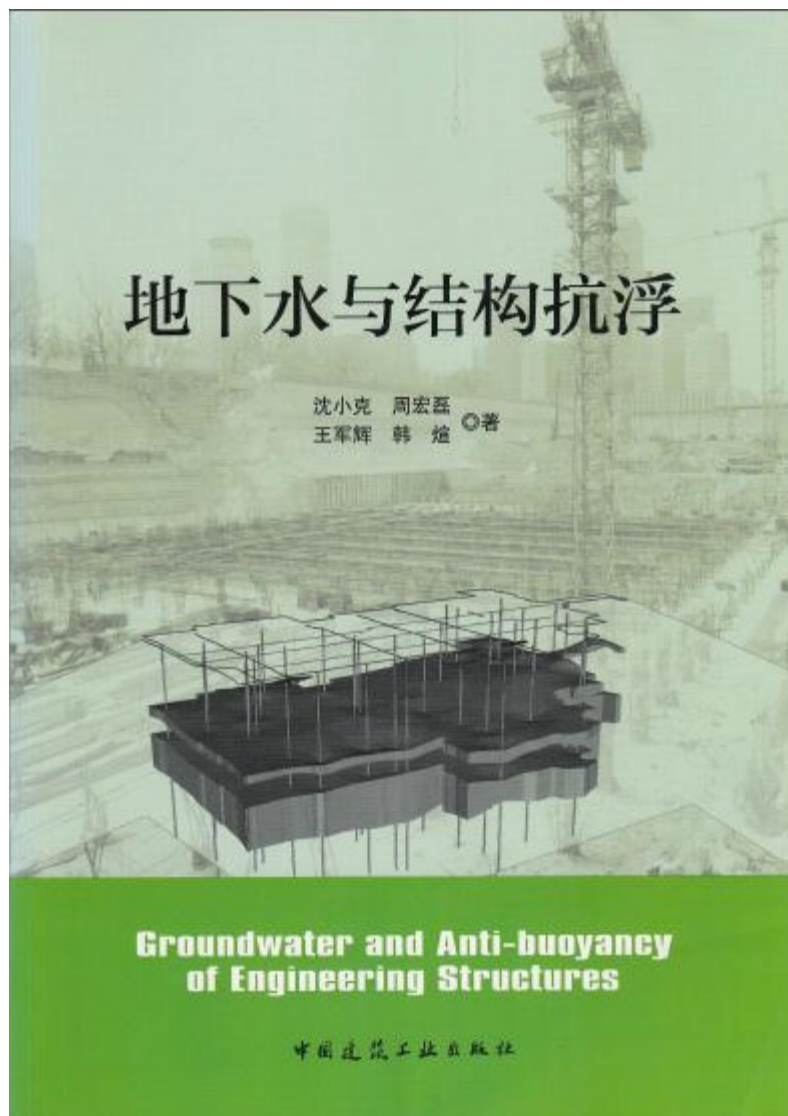
图6 两含水层之间为不透水层条件下的水头分布示意图

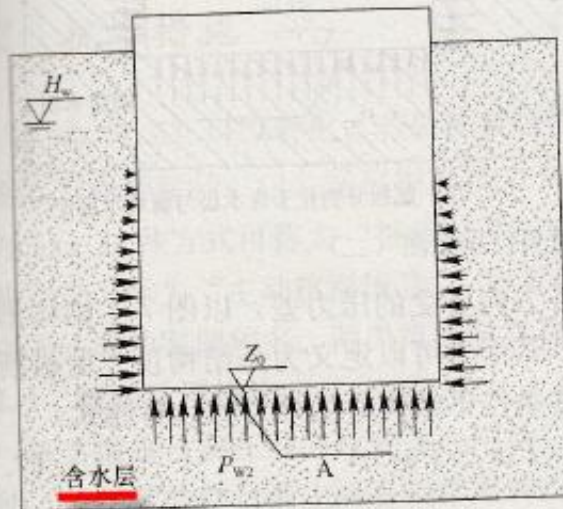
潜水和承压水的差别

潜水有一个自由的水面，没有顶板约束；
承压水有顶板约束，测压水头高于含水层顶面。

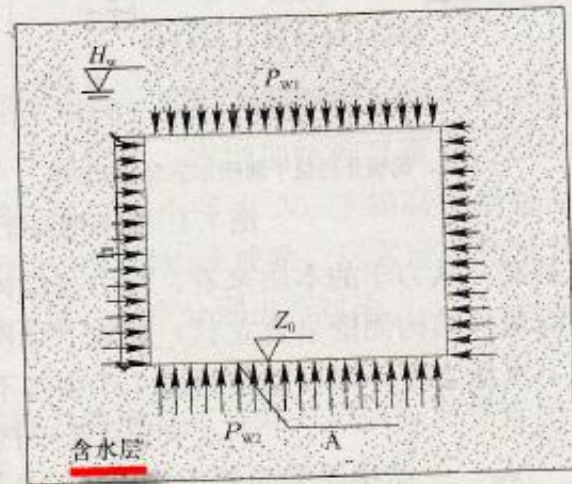
抽水时潜水的流线和等势线比承压水复杂。但两者的水头和水压力是相通的，必须统一考虑，不存在独立的承压水压力。

顺便提一句，钻孔中上下含水层串通后的混合水位，没有明确的物理意义，不能用于任何科学计算。应分别测定各层地下水的稳定水位，再根据地下结构底板底面位置计算浮力。

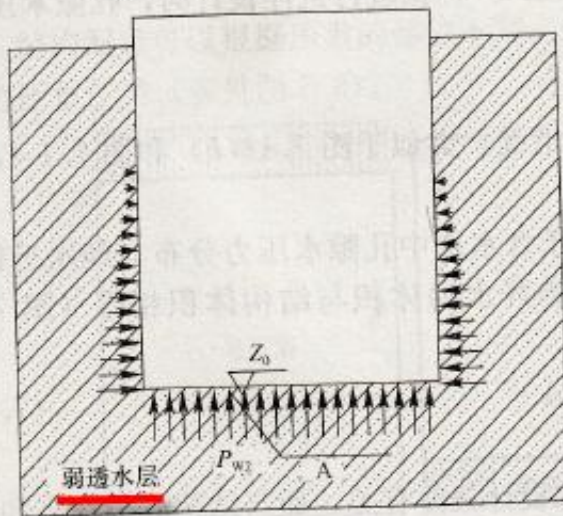




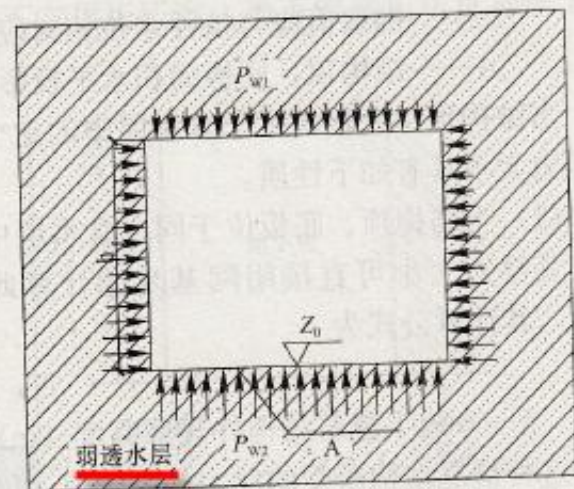
(a) 底板在含水层中，顶板在地表以上



(b) 结构完全在同一含水层中



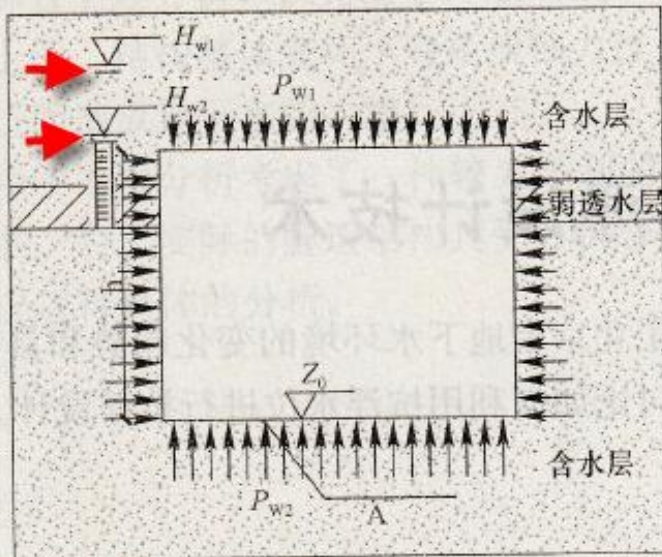
(c) 底板在弱透水层中，顶板在地表以上



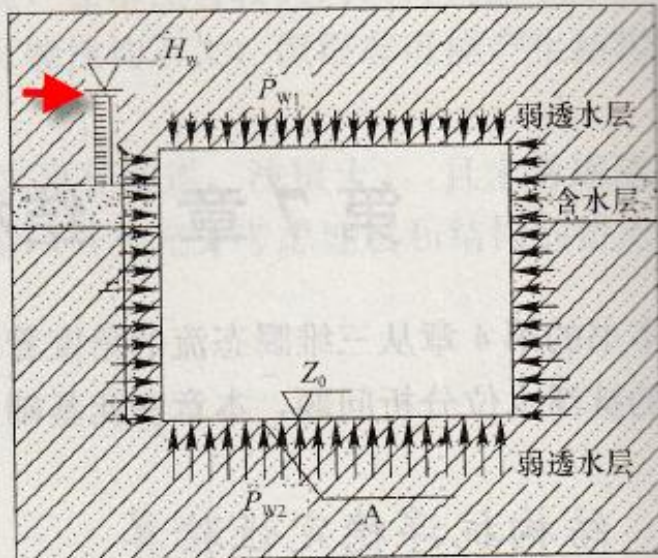
(d) 结构完全在同一弱透水层中

7.1.1 结构浮力的计算

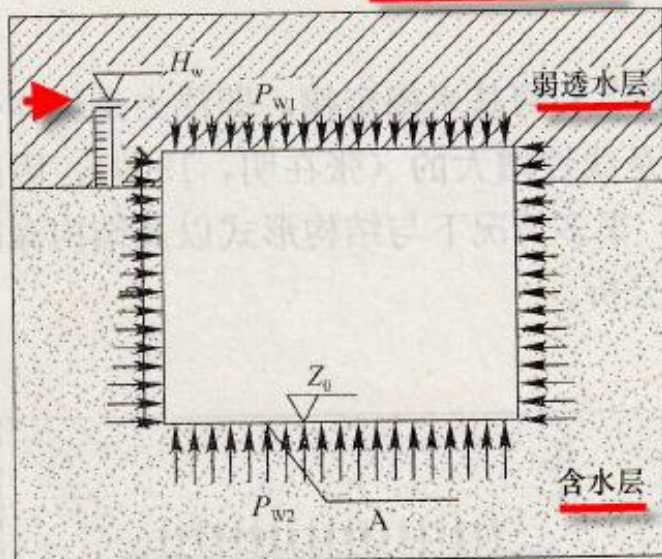
关于结构所受浮力的计算，人们很容易想到著名的阿基米德定律，即浮力是物体排开流体的重力。由于地下水压力沿竖向分布不完全是线性增大的（张在明，1999），因此由地下水压力形成的浮力要比纯水条件下复杂得多，很多情况下与结构形式以及结构深度范围内地层分布关系密切（图 7.1），需要做进一步分析。



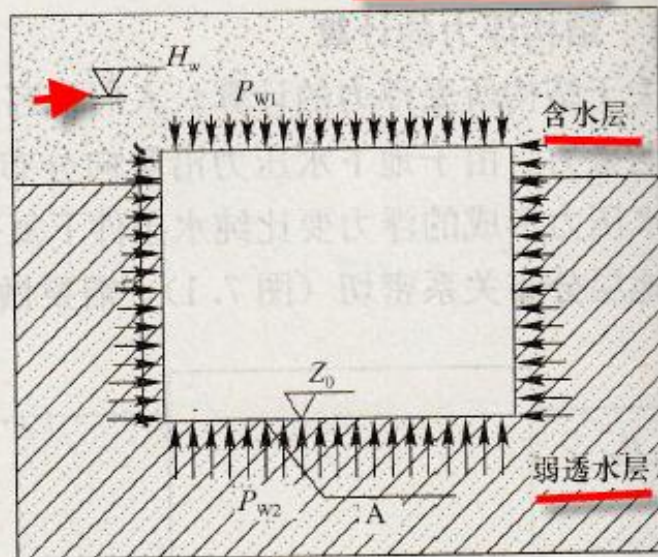
(e) 頂、底板分別位於不同層位的含水層中



(f) 頂、底板分別位於不同層位的弱透水層中



(g) 頂、底板分別位於弱透水層與含水層中



(h) 頂、底板分別位於含水層與弱透水層中



其实，从力学的本质来看，浮力是结构外壁各方向所受的压力差，以图 7.1 结构形式较为简单（结构侧壁呈直立状）的地下结构为例，其浮力可以定义为是结构顶、底板所受的地下水压力差，即可以获得图 7.1 中各不同埋置条件下结构所受浮力的计算通式：

$$N_w = P_{w2}A - P_{w1}A = (P_{w2} - P_{w1})A \quad (7.1)$$

式中 N_w ——结构受到的浮力作用 (kN)；

P_{w1} 、 P_{w2} ——结构顶、底板所受的孔隙水压力 (kPa)，在进行抗浮设计时，孔隙水压力的取值应与抗浮水位相对应；

A ——结构顶、底板面积水平投影 (m^2)。

当结构顶、底板均位于含水层中的这个特殊情况，类似于图 7.1 (b) 和图 7.1 (e)，其浮力大小具有如下性质。

(1) 当结构顶、底板位于同一含水层中，由于含水层中孔隙水压力分布与纯水近似，此时其浮力大小可直接用阿基米德计算此时其排开水的体积与结构体积相等 (图 7.1 (b))，其计算公式为

$$N_w = \gamma_w h A \quad (7.2)$$

式中 h ——地下建筑结构外轮廓高度 (m)。

这种情况结构所受的浮力是一定值，仅与结构设计条件有关，而与结构底板标高和地下水位无关。

(2) 对于结构顶、底板分别位于不同含水层时 (图 7.1e)，可以对式 (7.1) 作进一步改写，获得其浮力计算公式为

$$N_w = \gamma_w (H_{w2} - Z_0)A - \gamma_w (H_{w1} - Z_0 - h)A = \gamma_w A (H_{w2} - H_{w1} + h) \quad (7.3)$$

该情况下浮力大小与结构底板埋深无关，只与两个含水层的水位标高差和结构外轮廓高度有关。

二、地下室抗浮存在的问题

现象：

- 1、地下车库隆起变形、构件开裂
- 2、地下水位上升导致混凝土蓄水池上浮
- 3、地下室局部上浮导致上部偏置结构倾斜
- 4、结构局部上浮导致柱端压溃破坏

地下车库隆起变形、构件开裂



地下水水位上升導致混凝土蓄水池上浮



地下室局部上浮導致上部偏置結構傾斜

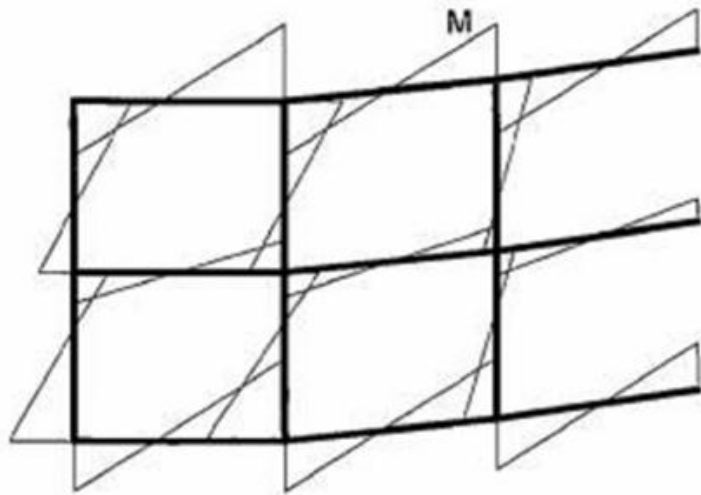
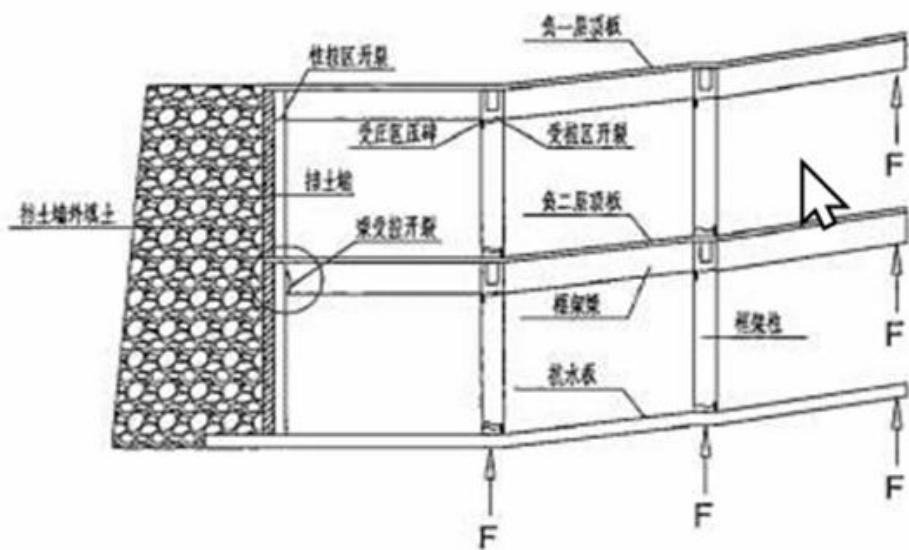


结构局部上浮导致柱端压溃破坏





地下车库隆起变形、构件开裂示意图



地下车库结构上浮反拱变形的荷载效应

二、地下室抗浮存在的问题

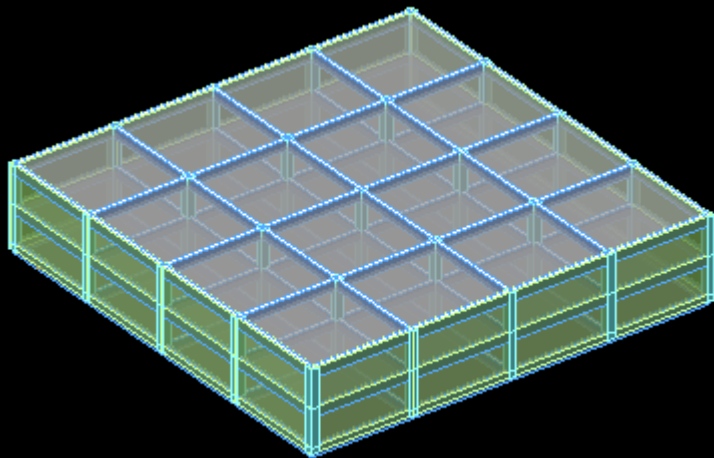
原因：

- 1、结构抗浮安全度不足；
- 2、没有及时回填覆土；
- 3、施工期间不适当停止降水作业；
- 4、暴雨积水下渗后明显增高地下水位；
- 5、抗浮设防水位未考虑场地相邻水体的不利影响；
- 6、防水底板的抗弯，抗裂或反拱不满足要求。（过去关注度不够）

建模計算

用PKPM建了一个二层地下车库简单模型：
柱网8.1m*8.1m，柱子600mm*600mm，
梁300mm*800mm，墙200mm厚，
底板500mm，顶板400mm，中板200mm。
左右固定（模拟高层压住），地下水压力-60kPa。

软件实际是一个求解工具，如果知道力学模型，建立一个符合实际情况的力学模型，**PKPM**软件就可以得到你想要的解。目前设计人员只能回车键输入模型，出现问题是正常的。最不利工况是锚杆拉脱，抗浮失效，但主体不动。由于地下车库墙很少，一旦发生不均匀上浮，最底层的柱子就会发生剪压破坏。



PKPM 结构设计软件(10版V3.1.6-2016年9月30日) E:\10

基本 轴线网点 构件布置 楼板楼梯 荷载布置 荷载补充 楼层组装 常用工具 鉴定加固 装配式

荷载布置: 板, 梁, 墙, 柱, 节点, 次梁, 洞口, 恒载删除, 恒载修改
 荷载补充: 板, 梁, 墙, 柱, 节点, 次梁, 洞口, 活载删除, 活载修改
 楼层组装: 板, 梁, 墙, 柱, 节点, 次梁, 洞口, 活载删除, 活载修改
 常用工具: 荷载编辑, 人防设置, 用车辆

修改恒载

输入恒载值 (kN/m²) 5.00

同时输入活载值 (kN/m²) 2.00
 仅显示修改过的恒载值
 按恒载值分颜色显示
 按本层默认值设置

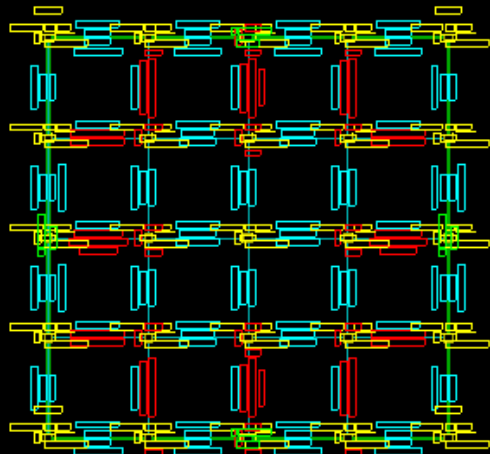
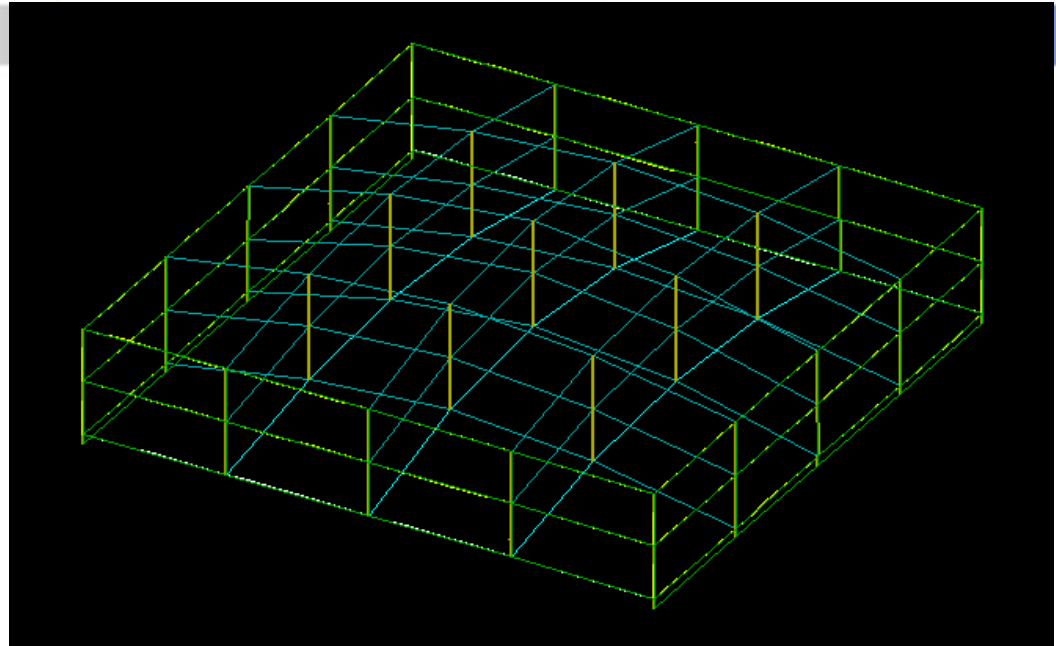
本标准层恒载列表:

编号	板数里	恒载(kN/m ²)
1	16	-60

提示:
 1. 双击修改列表中的恒载值可同时修改本层布置该恒载楼板的恒载(非全楼)
 2. 单击列表恒载值可进行布置

光标选择
 窗口选择
 围区选择

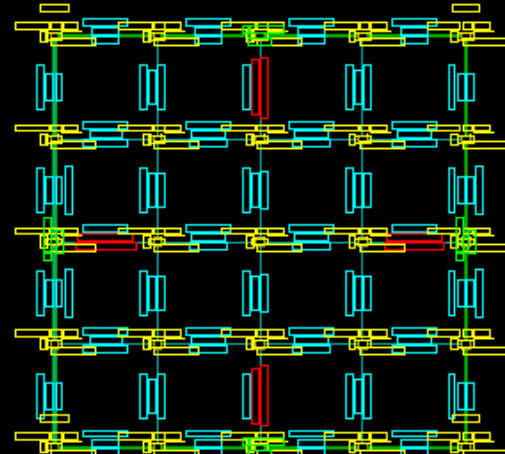
结果表明最底层的柱子出现剪压超限。这种抗浮工况在设计中是不会考虑的，因为底层柱自动假设为固定端。



第 2 层混凝土构件配筋及钢构件应力比简图(单位:cm*cm)

本层: 层高 = 3000 (mm) 梁总数 = 40 柱总数 = 25 支撑总数 = 0
 墙总数 = 16 墙柱总数 = 4 墙梁总数 = 0
 混凝土强度等级: 梁 C25 柱(含支撑) C25 墙 C25
 主筋强度: 梁 360 柱(含支撑) 360 墙 360
 (白色墙体为短肢剪力墙; PL表示构件进行偏拉设计)

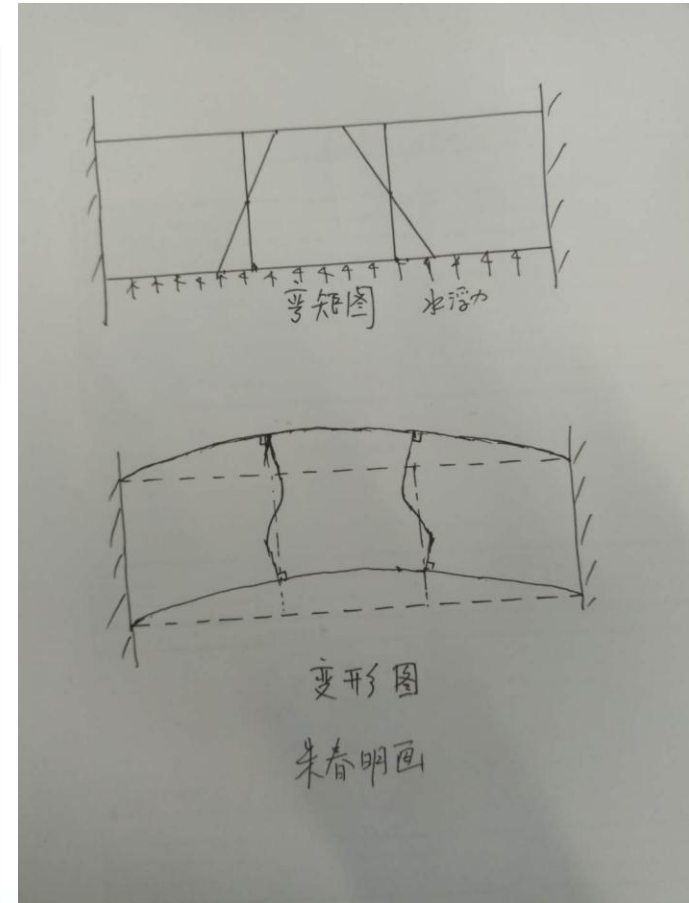
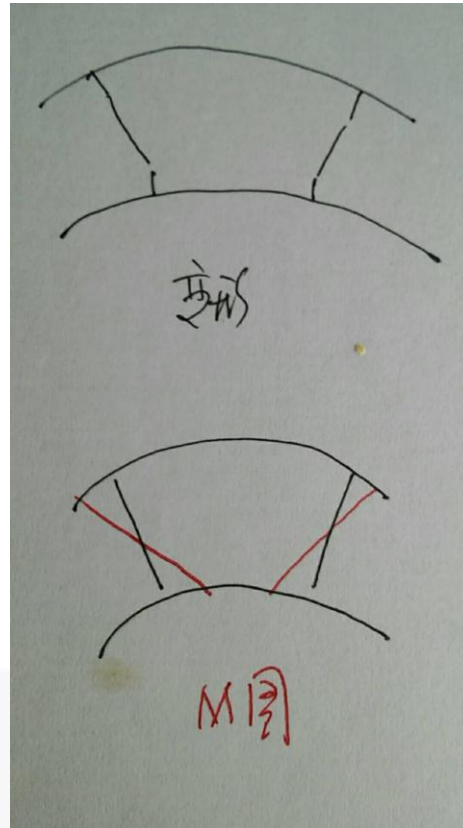
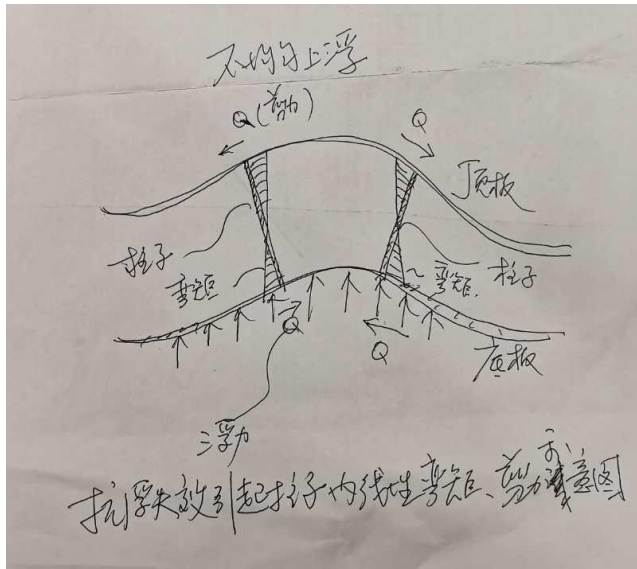
超限类别: JYB --- 剪压比 JNT --- 剪扭验算




第 3 层混凝土构件配筋及钢构件应力比简图(单位:cm*cm)

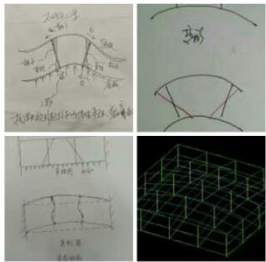
本层: 层高 = 3000 (mm) 梁总数 = 40 柱总数 = 25 支撑总数 = 0
 墙总数 = 16 墙柱总数 = 4 墙梁总数 = 0
 混凝土强度等级: 梁 C25 柱(含支撑) C25 墙 C25
 主筋强度: 梁 360 柱(含支撑) 360 墙 360
 (白色墙体为短肢剪力墙; PL表示构件进行偏拉设计)

三张弯矩图

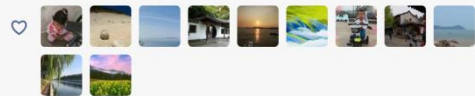


20:10 < 详情 ...



朱春明
 网上三张弯矩图，哪个靠谱？




2020年7月17日 16:30 删除





邬惠娟 2020年7月17日 16:43
 第三个靠谱 🤔



朱春明 2020年7月17日 16:44
 一张是大师画的，一张是博士画的，一张是我画的 🤔



万福磊ONE 2020年7月17日 16:51

评论 发送


20:10 < 详情 ...


万福磊ONE 2020年7月17日 10:51
 我判断朱工画的对，虽然结力我忘得差不多了


yym338 2020年7月17日 17:06
 回复朱春明: 博士和朱总的对


石彪住宅院 2020年7月17日 17:19
 我画的靠谱!!! 🤔



赵志安 2020年7月17日 17:20
 你画的靠谱 🤔


付强 (时代设计&勘察设计...) 2020年7月17日 17:30
 回复朱春明: 都对


肖川 2020年7月17日 17:32
 回复万福磊ONE: 前两个都没有边界条件，第二个连荷载都没有。所以必须朱总的对 👍



钱力航 2020年7月17日 17:51
 我认为朱总的比较正确。



朱春明 2020年7月17日 17:55
 回复钱力航: 谢谢!


朱春明 2020年7月17日 17:55
 刚才有一钢结构专家给我讲了一个公理，在空腹构架计算时，腹杆起的作用就是削弱上下面的竖向位移及弯曲，只要独立的上下面变形及弯矩图一确定，腹杆的弯矩图剪力图就确定了。腹杆就是地下室柱子。


评论 发送


20:10 < 详情 ...



yym338 2020年7月17日 17:59
 回复朱春明: 下端的转角变形，该往哪个方向转就往哪个方向转啊



磊子 2020年7月17日 18:06
 我觉得红色斜线的弯矩图是对的 🤔



朱春明 2020年7月17日 18:10
 回复yym338: 反向扳就可减少



邱道怀 2020年7月17日 18:11
 1, 3都对，朱总基本达到达到大师水平 🤔。顶端达不到固端要求。2不符合结构力学原理。


yym338 2020年7月17日 19:05
 回复朱春明: 朱总，我是同意你的看法的，也许表达的有点误解 🤔。筏板该向哪边转就向哪边转，与事先的转角无关。


黄琨理正 2020年7月17日 19:09
 没区别吧?



李国胜(安徽) 2020年7月17日 19:13
 1、3对。



方长建 2020年7月17日 19:51
 你的图底板的变形没画出来，第一张的剪力方向不对


卢院长菏泽院 2020年7月17日 21:36

评论 发送


20:10 < 详情 ...


黄琨理正 2020年7月17日 19:09
 没区别吧?



李国胜(安徽) 2020年7月17日 19:13
 1、3对。



方长建 2020年7月17日 19:51
 你的图底板的变形没画出来，第一张的剪力方向不对



卢院长菏泽院 2020年7月17日 21:36
 回复朱春明: 红色弯矩图为什么画成这个方向?


朱春明 2020年7月17日 21:40
 回复卢院长菏泽院: 错了

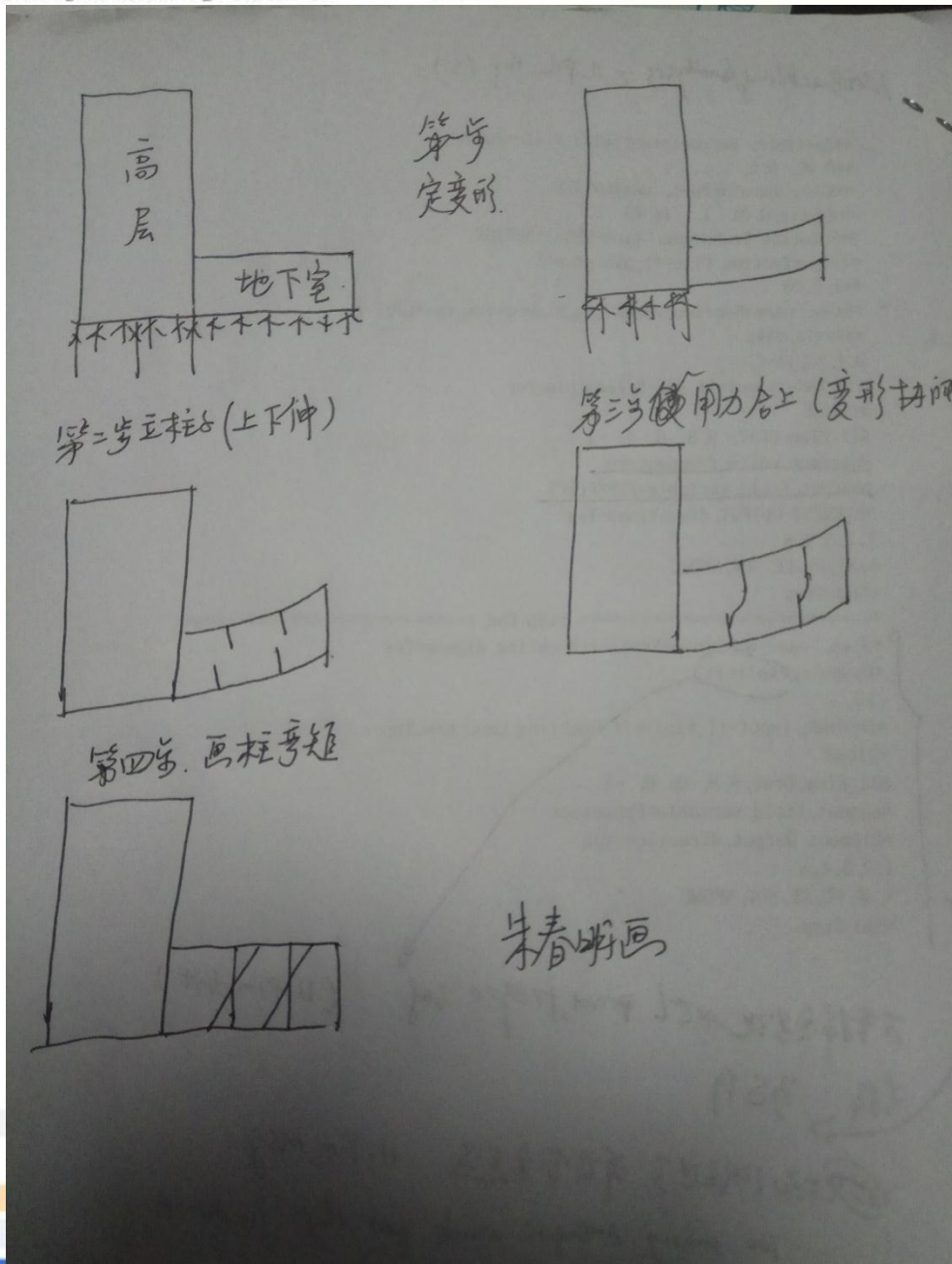

浙江宏正-老金 2020年7月17日 22:44
 第二张弯矩位置是否有误啊


朱春明 2020年7月17日 22:45
 回复浙江宏正-老金: 是的


王林 2020年7月18日 08:56
 前面两个变形图，柱子斜成那样，感觉不靠谱。

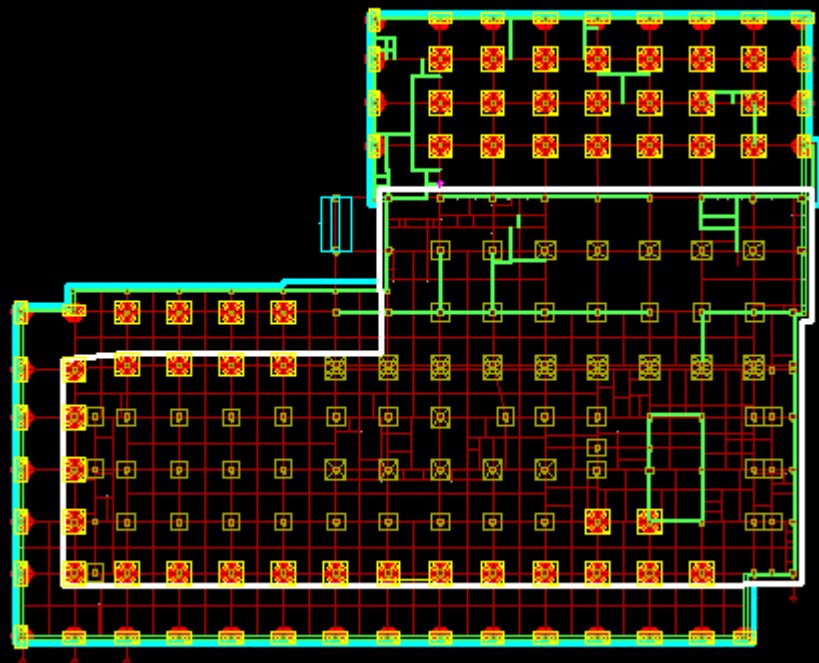
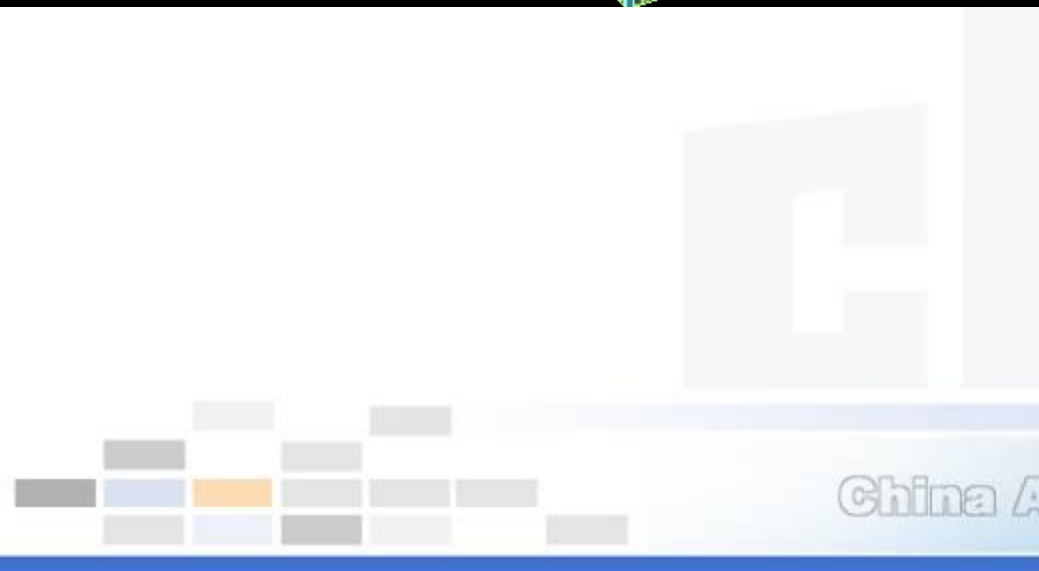
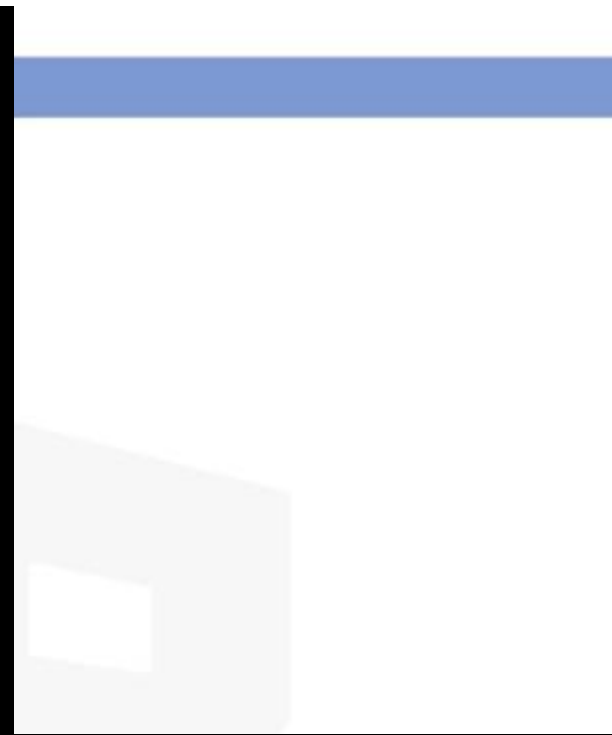
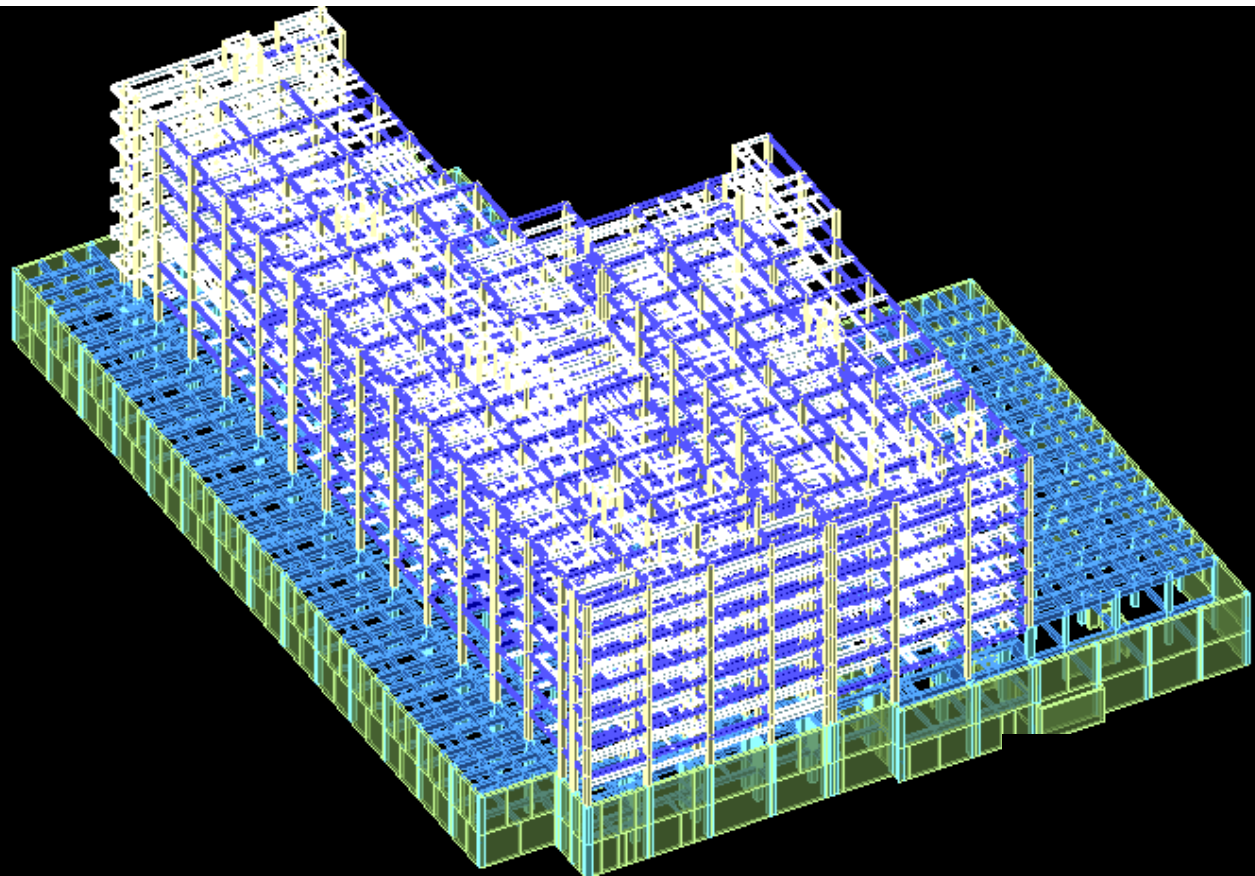

王林 2020年7月18日 09:19
 楼板的轴向变形画得太夸张，已经不真实。

评论 发送



画弯矩图：

- 1、定变形
- 2、立柱子（上下伸）
- 3、用力合上（变形协调）
- 4、画柱弯矩





原设计	使用阶段						
规范校核 OLD	恒载	活载					
PMCAD SATWE PMSAP	727834.69 726026.12 722918.62	192114.95 191711.25 190952.48	桩抗拔 915	全楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积) = (716717+370680+241040)/(10 × (-1.4+11.6) × 9547.87) =1.4 ≥ 1.1 主楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积) = (587343+192250+84640)/(10 × (-1.4+11.6) × 5808.34) =1.5 ≥ 1.1			



模型 1	加固前	1、去年上浮时工况 荷载要求：无混凝土配重、无楼板面层做法、无梁上线荷载				
	恒载	活载				
PMCAD	397120.50		桩抗拔 915	全楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积 = (393337+289213+239730)/(10 × (-1.4+11.6) × 9547.87) = 0.95 < 1.05		
SATWE	396395.72			主楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积 = (287152+141097+84180)/(10 × (-1.4+11.6) × 5808.34) = 0.86 < 1.05		



模型 2	加固后	1、去年上浮时工况 荷载要求：有混凝土配重、无楼板面层做法、无梁上线荷载 水位应低于-4.7					
	恒载	活载					
PMCAD SATWE	397120.50 396395.72		桩抗拔 915	全楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积 $= (393337+402361+239730) / (10 \times (-1.4+11.6) \times 9547.87)$ $= 1.1 \geq 1.05$ 主楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积 (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ × 水深度 × 围区面积 $= (287152+212143+84180) / (10 \times (-1.4+11.6) \times 5808.34)$ $= 0.98 < 1.05$			
	无荷载 z	负面荷载： $-1.0 \times 102 + 0.5 \times 25 = -89.5$		上浮	101.25	下沉	0
	无荷载 z 临界	负面荷载： $-1.05 \times (11.6 - 4.7) \times 10 + 0.5 \times 25 = -60$		上浮	0	下沉	-23.37





加固后	使用阶段	3、竣工后正常使用工况 1 荷载要求：有混凝土配重、有楼板面层做法（考虑吊挂荷载中恒载）、无梁上线荷载					
模型 3	恒载	活载					
PMCAD SATWE	535670.12 534086.50	192114.89 191703.67	桩抗拔 915	<p>全楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/γ×水深度×围区面积) $= (529393+402361+239730)/(10 \times (-1.4+11.6) \times 9547.87)$ $= 1.2 \geq 1.1$</p> <p>主楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/γ×水深度×围区面积) $= (402360+212143+84180)/(10 \times (-1.4+11.6) \times 5808.34)$ $= 1.2 \geq 1.1$</p>			
整体计算	(无梁荷载 z)	负面荷载： $-1.0 \times 102 + 0.5 \times 25 = -89.5$		上浮	14	下沉	-2

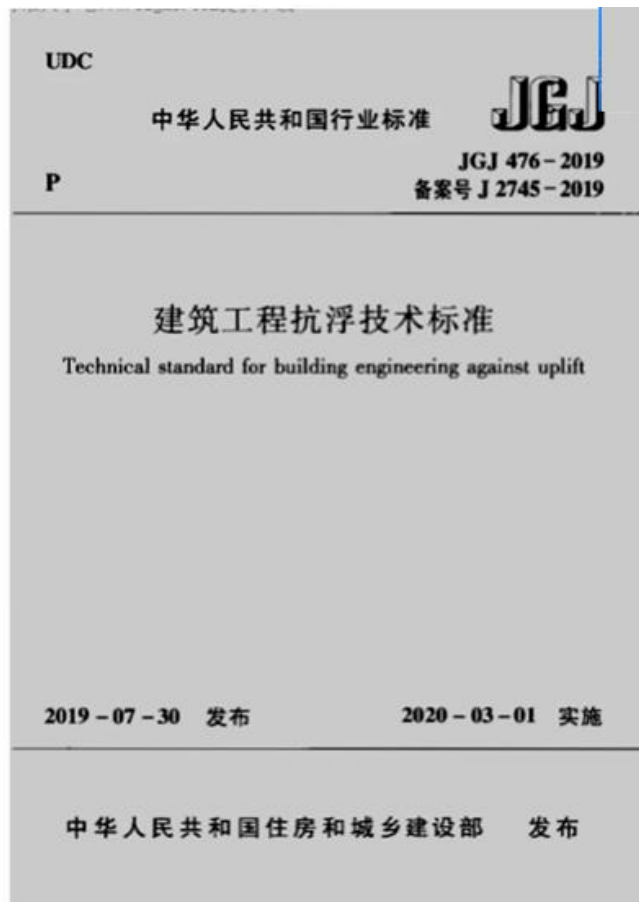
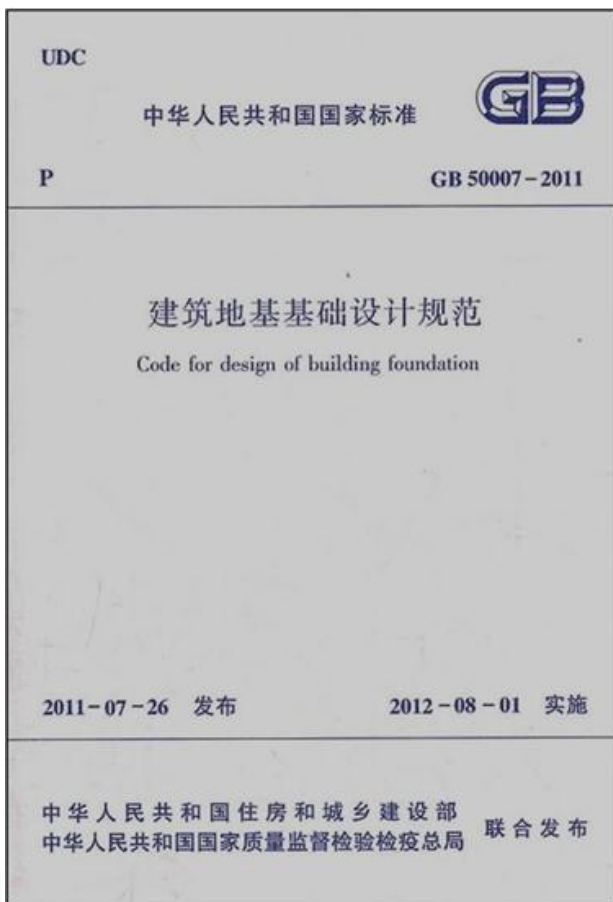


加固后	使用阶段	4、竣工后正常使用工况 2 荷载要求：有混凝土配重、有楼板面层做法（考虑吊挂荷载中恒载）、有梁上线荷载（不可移动隔墙）					
模型 4	恒载	活载					
PMCAD SATWE	606363.19 604611.94	192114.89 191703.67	桩抗拔 915	全楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ ×水深度×围区面积 =(598825+402361+239730)/(10×(-1.4+11.6)×9547.87) =1.3 \geq 1.1 主楼水浮力计算结果： (上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值)/ γ ×水深度×围区面积 =(469655+212143+84180)/(10×(-1.4+11.6)×5808.34) =1.3 \geq 1.1			
整体计算	(无梁荷载 z)	负面荷载： -1.0*102+0.5*25=-89.5		上浮	10	下沉	-42



加固后	使用阶段	5、竣工后正常使用工况 3 荷载要求：有混凝土配重、有楼板面层做法（考虑吊挂荷载中恒载）、有梁上线荷载（所有隔墙）				
模型 5	恒载	活载				
PMCAD	677068.19	192114.89	桩抗拔 915	全楼水浮力计算结果： （上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值）/ γ × 水深度 × 围区面积 = (669234+402361+239730) / (10 × (-1.4+11.6) × 9547.87) = 1.3 ≥ 1.1 主楼水浮力计算结果： （上部传来恒载+筏板恒载+桩抗拔特征值）/ γ × 水深度 × 围区面积 = (539331+212143+84180) / (10 × (-1.4+11.6) × 5808.34) = 1.4 ≥ 1.1		
SATWE	675247.56	191703.67				

三、抗浮設計規範及標準



《建筑地基基础设计规范》

5.4.3 建筑物基础存在浮力作用时应进行抗浮稳定性验算，并应符合下列规定：

1 对于简单的浮力作用情况，基础抗浮稳定性应符合下式要求：

$$\frac{G_k}{N_{w,k}} \geq K_w \quad (5.4.3)$$

式中： G_k ——建筑物自重及压重之和（kN）；

$N_{w,k}$ ——浮力作用值（kN）；

K_w ——抗浮稳定安全系数，一般情况下可取1.05。

《建筑工程抗浮技术标准》

1 总 则

- 1.0.1 为在建筑工程抗浮设防中贯彻执行国家防灾减灾的法律、法规和预防为主的方针，做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于新建、扩建与改建建筑和既有建筑抗浮工程的勘察、设计、施工、检验与验收、监测及维护。
- 1.0.3 抗浮工程应综合考虑建筑荷载特征与功能要求、场地工程地质与水文地质及环境条件等因素，结合地方经验，因地制宜地确定抗浮治理方案。
- 1.0.4 抗浮工程除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

术语

2.1.8 静水压力 static water pressure

静水位状态下，作用在地下结构底板底面上的地下水竖向压力。

2.1.9 渗流水压力 seepage flow pressure

地下水在土体内稳定渗流过程中作用在地下结构底板底面上的静态竖向压力。

2.1.10 承压水压力 confined water pressure

赋存在隔水层之间含水层中的地下水作用在地下结构底板底面上的静态竖向压力。

2.1.11 浮力 buoyancy

静水压力、渗流水压力及承压水压力等对地下结构底板产生抬升作用的竖向压力。

2.1.12 抗浮设防水位 fortification water table against uplift

建筑工程在施工期和使用期内满足抗浮设防标准时可能遭遇的地下水最高水位，或建筑工程在施工期和使用期内满足抗浮设防标准最不利工况组合时地下结构底板底面上可能受到的最大浮力按静态折算的地下水水位。

符号

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

- C ——设计对变形规定的相应限值；
- E_{k0} ——土体静止土压力标准值；
- F_w ——静水位差产生的浮力标准值；
- F_{fc} ——承压水水头产生的浮力标准值；
- F_{fs} ——渗透压力产生的浮力标准值；
- ΣF_f ——浮力标准值总和；
- ΣF_{f1} 、 ΣF_{f2} ——计算区域地下结构底板所承受的浮力标准值总和；
- Δh_w ——抗浮设防水位与地下结构底板底面地下水位差值；
- Δh_s ——地下结构对应外墙水位差；
- K_w ——抗浮稳定安全系数；
- K_s ——抗浮稳定性安全系数；
- N_{wk} ——浮力标准值总和；
- N_t ——作用基本组合条件下锚杆承担的荷载标

准值；

- p_w ——承压水的水头压力值；
- Q_i ——桩身第 i 断面处轴力；
- S ——抗浮板面积上的浮力标准值总和；
- S_{ki} ——验算单元面积上的浮力标准值总和；
- S_k ——验算单元面积上排水限压、隔水控压和泄水降压后的浮力标准值总和；
- τ_{wmax} ——计算最大裂缝宽度；
- τ_{wlim} ——最大裂缝宽度限值定；
- γ_w ——水的重度；
- σ_{ck} ——荷载效应标准组合下正截面法向应力；
- ϵ_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应变；
- $\bar{\epsilon}_i$ ——第 i 断面处应变平均值；

标准值只是一个值（统计），与标准组合无直接相关

3.0.1 抗浮工程应根据工程地质和水文地质条件的复杂程度、地基基础设计等级、使用功能要求及抗浮失效可能造成的对正常使用影响程度或危害程度等划分为三个设计等级，并按表 3.0.1 确定。

表 3.0.1 建筑抗浮工程设计等级

抗浮工程设计等级	建筑工程特征
甲 级	<p>工程地质和水文地质条件复杂场地的工程； 设计地坪低于防洪设防水位或处于经常被淹没场地的工程； 埋深较大和结构荷载分布变化较大的工程； 对上浮、隆起及其裂缝等有特殊要求的工程； 抗浮失效危害严重的工程； 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定设计等级为甲级的工程； 进行抗浮治理的既有工程</p>
乙 级	除甲级、丙级以外的工程
丙 级	<p>工程地质和水文地质条件简单场地的工程； 抗浮失效对工程安全危害不严重的工程； 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定设计等级为丙级的工程； 临时性工程</p>

3.0.2 建築工程施工期和使用期的穩定狀態應根據地下結構形式及埋置深度、結構荷載分布、抗浮設計等級、抗浮設防水位等條件，按最不利組合工況確定。抗浮不穩定時，應根據影響穩定狀態的因素採取相應的抗浮措施。

3.0.3 建築工程抗浮穩定性應符合下式規定：

$$G/N_{w,k} \geq K_w \quad (3.0.3)$$

式中： G ——建築結構自重、附加物自重、抗浮結構及構件抗力設計值總和（kN）；

$N_{w,k}$ ——浮力設計值（kN）；

K_w ——抗浮穩定安全係數，按表 3.0.3 確定。

表 3.0.3 建築工程抗浮穩定安全係數

抗浮工程設計等級	<u>施工期</u> 抗浮穩定安全係數 K_w	<u>使用期</u> 抗浮穩定安全係數 K_w
甲 級	<u>1.05</u>	1.10
乙 級	1.00	<u>1.05</u>
丙 級	0.95	1.00

基本规定

3.0.4 建筑工程应满足抗浮稳定标准要求。抗浮结构和构件的承载力、变形及抗浮设施有效性应符合抗浮性能及结构设计要求，抗浮构件及设施的耐久性年限不应少于建筑工程结构设计使用年限。

3.0.5 建筑场地岩土工程勘察应满足抗浮工程设计与施工需要。抗浮设计等级为甲级、水文地质条件比较复杂的乙级及场地岩土工程勘察文件不满足抗浮设计和施工要求时，应进行专项勘察。

3.0.6 抗浮设防水位应根据建筑使用功能、抗浮设计等级、场地历史最高水位和长期水位观测资料、勘察报告建议、水位预测咨询成果和工程经验综合分析后，按施工期和使用期分别确定。

3.0.7 抗浮工程设计内容应包括抗浮稳定性验算、抗浮措施选择、抗浮构件计算或验算、耐久性设计和构造设计，以及抗浮构件性能试验、施工及质量验收标准和监测与维护等要求。

3.0.8 抗浮結構及構件應按下列兩類極限狀態進行設計：

- 1 達到最大承載能力、錨固系統失效、整體及局部失穩破壞、發生不適於繼續承載變形的承載能力極限狀態；
- 2 達到正常使用所規定的變形限值，或達到耐久性要求某項限值的正常使用極限狀態。

3.0.9 抗浮结构及构件设计采用的作用效应组合与抗力限值应符合下列规定：

1 抗浮稳定性验算作用效应应按承载能力极限状态下作用的基本组合，其分项系数为 1.0。

2 计算抗浮结构及构件内力，确定构件长度和直径、地下结构底板厚度和配筋及验算材料强度时，作用效应应按承载能力极限状态下作用的基本组合，相应的分项系数为 1.35。

3 按单个抗浮构件承载力确定构件数量时，传至地下结构底板底面上的作用效应应按正常使用极限状态下作用的标准组合，相应的抗力应采用单个抗浮构件承载力特征值。

4 计算地下结构底板和抗浮结构及构件变形时，作用效应应按正常使用极限状态下作用的标准组合，并应符合下式规定：

$$S_d \leq C \quad (3.0.9)$$

式中： S_d ——作用组合的效应（变形）设计值；

C ——设计对变形规定的相应限值，可按相关结构设计标准和本标准的有关规定采用。

5 当需要验算抗浮构件、地下结构底板的裂缝宽度时，作用效应应按正常使用极限状态作用的标准组合，相应的分项系数为 1.0。

3.1.10 抗浮結構及構件設計應進行下列計算和驗算：

- 1 抗浮構件的受拉承载力、抗拔承载力及筋材受拉承载力計算；
- 2 抗浮結構及構件的整体稳定性驗算；
- 3 有變形、裂縫控制要求的地下結構底板和抗浮構件的變形、裂縫驗算；
- 4 地下結構底板的受沖切、受彎、受剪及局部受壓承载力驗算；
- 5 抗浮構件受壓工況的受壓承载力驗算。

3.0.16 既有工程遇有下列情況之一時應進行抗浮安全性鑑定。
不滿足抗浮穩定要求時應進行抗浮治理。

- 1 工程整体或局部出現上浮位移、隆起變形；
- 2 地下結構底板發生隆起變形和開裂；
- 3 因使用條件或功能變化削減抗浮力；
- 4 遭遇災害或發生影響抗浮結構、構件及抗浮設施性能

事故。

7.5.4 锚杆锚固体长度应由性能试验确定。初步设计时可按下式估算：

1 岩层锚杆锚固体长度应按下式计算：

$$l_a \geq \frac{KN_t}{\xi \pi d f_{rbk}} \quad (7.5.4-1)$$

式中： l_a ——锚固体长度（m）；

N_t ——作用基本组合条件下锚杆承担的荷载标准值（kN）；

K ——锚固体抗拔安全系数，宜取 2.0；

f_{rbk} ——锚固体与岩层间粘结强度标准值（kPa），应由基本试验确定，无试验资料时可按表 7.5.4-1 选用；

d ——锚固体直径（mm）；

ξ ——经验系数，取 0.8。

表 7.5.4-1 锚固体与岩石间粘结强度标准值

岩石类别	岩石天然单轴抗压强度标准值 f_r (MPa)	锚固体与岩石间粘结强度标准值 f_{rbk} (kPa)
软岩石	$f_r < 5$	270~360

2 土层锚杆锚固体长度应按下式计算：

$$l_a \geq \frac{KN_t}{\pi d q_{sia}} \quad (7.5.4-2)$$

式中： N_t ——作用基本组合条件下锚杆承担的荷载标准值 (kN)；

K ——锚固体抗拔安全系数，宜取 2.0；

q_{sia} ——锚固体与土层间粘结强度标准值 (kPa)，由基本试验确定；无试验资料时按表 7.5.4-2 选用，当须考虑循环荷载作用效应时，应取表中低值。

表 7.5.4-2 注浆锚固体与土层间粘结强度标准值

土的名称	土的状态		锚固体与土层间粘结强度标准值 q_{sia} (kPa)
压实填土	—		22~30
淤泥	—		14~20
淤泥质土	—		22~30
黏性土	流塑	$I_L > 1$	24~40
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	40~55
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	55~70
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	70~86

7.5.5 抗浮设计等级为甲级的工程锚杆抗拔承载力和设计参数应通过现场荷载试验确定。初步设计时可按下列公式估算，并取其中最小值。

1 群锚呈非整体破坏时岩石锚杆极限抗拔承载力标准值按下式计算：

$$R_t = \xi \pi d l_m f_{rbk} \quad (7.5.5-1)$$

式中： R_t ——锚杆极限抗拔承载力标准值（kN）；

d ——锚杆锚固体直径（m）；

l_m ——锚固体长度（m），按本标准第7.5.4条确定；

f_{rbk} ——锚固体与岩层的极限粘结强度标准值（kPa），应由试验确定，无试验资料时可按表7.5.4-1选用；

ξ ——经验系数，可取0.8。

2 群锚呈非整体破坏时土层锚杆极限抗拔承载力标准值应按下列式计算：

$$R_t = \pi d \sum \lambda_i q_{sia} l_i \quad (7.5.5-2)$$

式中： λ_i ——第 i 土层的抗拔系数，宜取 0.8~1.0，土层含水率较高时取低值；

q_{sia} ——第 i 土层中锚固段粘结强度标准值 (kPa)，应由试验确定，无试验资料时可按表 7.5.4-2 选用；

d ——锚杆锚固体直径 (m)；

l_i ——第 i 土层中锚固体有效锚固长度 (m)， $\sum l_i \geq l_m$ ， l_m 按本标准第 7.5.4 条确定。

7.5.7 抗浮锚杆抗拔承载力特征值应按下式确定：

$$N_{ka} \leq R_t / 2 \quad (7.5.7)$$

式中： N_{ka} ——抗浮锚杆抗拔承载力特征值 (kN)；

R_t ——锚杆抗拔极限承载力标准值 (kN)，按本标准第 7.5.5 条确定。

个人疑问:

7.5.4与7.5.5谈的都是锚固体的长度与承载力的关系，但相互矛盾。

7.5.4对于土层锚杆，如果存在多层不同土层，摩擦力如何取没有说。

7.5.5有详细的公式解决多层土的承载力的计算。

同样是尺寸与锚杆承载力的关系，7.5.4对应的是基本组合，而7.5.5对应的是标准组合。

其实，7.5.4公式应该计算钢绞线与水泥浆之间的摩擦力，得到锚固体的长度，再与7.5.6公式联合计算。

9:16

你说的太对了，这样就完全通了。



地基基础规范里同时存在基于概率的可靠度设计法、安全系数设计法两种。前者是用于结构本身（混凝土、钢筋、钢索及它们之间的接触咬合）的强度、配筋等计算，后者是用于与土相关的承载力校核，如土的承载力、桩或锚的摩擦力、端阻力等。

6 稳定与治理

6.1 一般规定

6.1.1 地下结构底板底面上的浮力应取下列地下水状态计算水压力的组合值：

1 抗浮设防水位高程与地下结构底板底面高程水位差产生的静水压力（图 6.1.1a）；

2 承压水压力扣减承压水层顶面与地下结构底板间隔水层浮重度自重差压力（图 6.1.1b）；

3 稳态渗流在渗流反方向上地下结构对应外墙之间水位差形成的静压力（图 6.1.1c）。

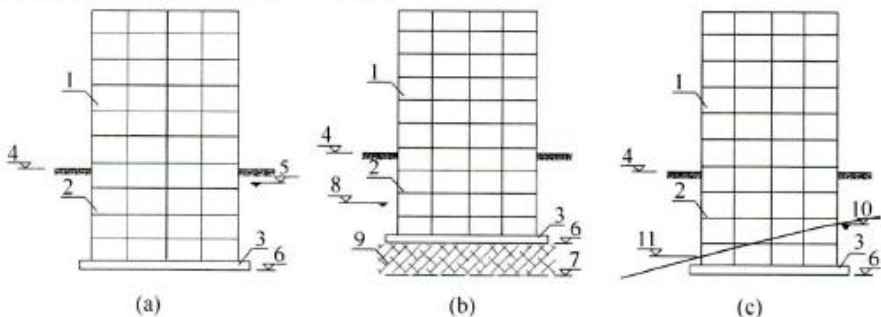


图 6.1.1 浮力组成计算示意

1—建筑结构；2—地下结构；3—地下结构底板；4—室外地坪；
 5—抗浮设防水位；6—地下结构板底标高；7—地下结构底板下
 隔水层顶板标高；8—承压水水头标高；9—隔水层；10—渗流
 低水位；11—渗流高水位

6.2 浮力

6.2.1 抗浮设防水位高程与地下结构底板底面高程水位差产生的浮力标准值应按下列公式计算：

$$F_w = \gamma_w \Delta h_w \quad (6.2.1)$$

式中： F_w ——静水位差产生的浮力标准值（kN）；

γ_w ——水的重度（kN/m³）；

Δh_w ——抗浮设防水位与地下结构底板底面地下水位差值（m）。

6.2.2 地下结构底板下承压水水头产生的浮力标准值应按下列公式计算：

$$F_{fc} = p_w - \gamma_m h_c \quad (6.2.2-1)$$

$$F_{fc} = 0 \quad (p_w \leq \gamma_m h_c) \quad (6.2.2-2)$$

式中： F_{fc} ——承压水水头产生的浮力标准值（kN/m²）

p_w ——承压水的水头压力值（kPa）；

γ_m ——承压水层顶面与地下结构底板底面之间土层的平均浮重度（kN/m³）；

h_c ——承压水层顶面与地下结构底板底面之间土层厚度（m）。

6.2.3 稳定渗流产生的浮力标准值应按下列公式计算：

$$F_{fs} = \gamma_w \Delta h_s \quad (6.2.3)$$

式中： F_{fs} ——渗透压力产生的浮力标准值（kN/m²）；

γ_w ——水的重度（kN/m³）；

Δh_s ——地下结构对应外墙水位差（m）。

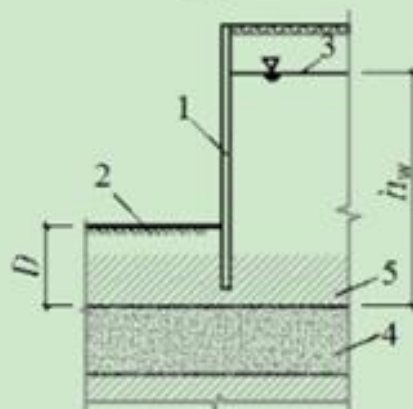
突涌计算时上部土重可以采用天然重度，为什么新的抗浮规程里 6.1.1 和 6.2.2 条款里，计算承压水对地下室底板产生的抗浮计算时承压水上部土要求采用浮容重？ ↓

↑
突涌计算时上部土重可以采用天然重度，可以理解。 ↓

13.5.2 当坑底以下存在承压含水层时，应按下列要求进行坑底土体抗承压水稳定性验算：

1、按下式验算（图 13.5.2-1）， K_s 取 1.1；

$$\frac{D\gamma}{h_s\gamma_s} \geq K_s \quad (13.5.2-1)$$



1- 取水帷幕；2- 坑底；3- 承压水测管水位；4- 承压水含水层；5- 隔水层。

图 13.5.2-1 坑底土体抗承压水稳定性验算简图

但是为什么新的抗浮规程里，计算承压水对地下室底板产生的浮力时承压水上部土重要采用浮容重，为啥不能采用天然重度？ ↓

下图是李广信老师的论文里采用的也是天然重度。↓

图2 几层水情况下的孔压与浮力

图2为黄文举例,本文作者认为:a 地下结构在①层(砂土)中时浮力按静水计;b 当它处于②层(粘土)中时,浮力在 $\gamma_w h_1$ 和 0 之间线性变化;c 当它在③层(砂土)中时,浮力与潜水1无关,按潜水2层中静水压力分布;d 当它处于④层(粘土)中时,浮力既与潜水2有关,也与承压水1有关;e 当它处于⑤层(砂土)中时,浮力只与承压水1有关,按静水压力 $\Delta p_w = \Delta Z \cdot \gamma_w$ 变化。

值得重视的是在 d 情况下尽管基底未达到砂土层⑤,浮力不考虑承压水1显然是不对的(见图3),

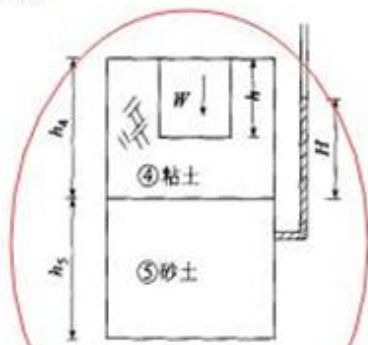


图3 突然发生的承压水情况下浮力的验算

在图3中如果砂土层中承压水是由于某

种原因突然升高,而粘土层透水性极差,这时地下室周围可能还没有水(非饱和状态),甚至粘土是干燥状态,但仍应考虑地下室浮力;但这浮力是作用在④层土下部,忽略四周摩阻力,整体稳定验算应满足:

$$W + A \cdot (h_4 - h) \gamma_{\pm} \geq \gamma_w H \quad (1)$$

式中: W 为地下室自重; A 为地下室面积; γ_{\pm} 为土的天然重度。

2 粘土中的有效应力原理问题

在黄文中有两个误区,一是随着地下室位置下降,浮力变化不连续,会发生突变;另一个问题就是水压力计算中乘以“贯通孔隙率” k 或孔隙率 n 。

2.1 一个例子

有一个作者在讨论水土压力分算与合算时,主张水压力应考虑孔隙率:

$$p_w = \gamma \cdot h \cdot n \quad (2)$$

他举了如下的例子:在一个断面积为 A , 高度为 h 的圆桶中装满饱和土,计算作用在桶底上的总压力有两种计算方法。

$$\text{水土合算: } P = \gamma_{sat} Ah \quad (3)$$

这是容易理解的,只要用秤一量即可。

水土分算:作用在桶底上的有效应力

四、抗浮設計計算

技術目標

- 1、組合作用驗算→確定最大上浮外力與最大止浮抗力
- 2、整體穩定驗算→避免結構上浮或傾斜位移
- 3、底板抗彎驗算→控制部位受彎承载力滿足规范要求
- 4、底板抗裂、反拱驗算→控制部位最大裂寬 $\leq 0.2\text{mm}$ ，反拱滿足使用要求

【專家點評】：缺少浮力作用引起的地下結構整體倒塌或結構破壞內容

1、组合作用验算

上浮外力：设防水浮力

止浮抗力：重力恒载组合+抗浮措施作用

2、结构整体稳定

复核确认：止浮抗力 $>$ 上浮外力

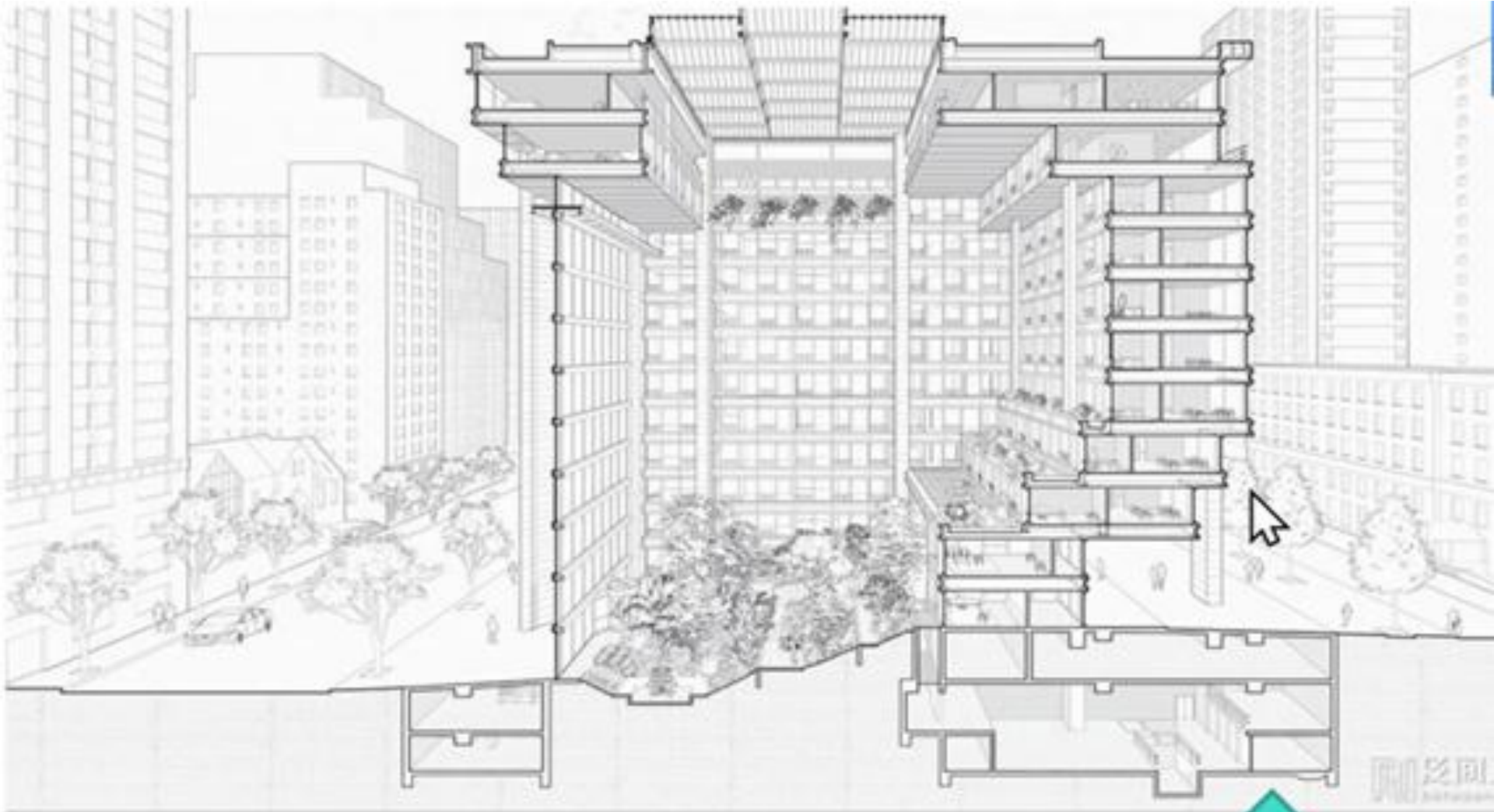
3、底板抗弯

控制部位受弯承载力 \geq 上浮作用弯矩

4、底板抗裂与反拱

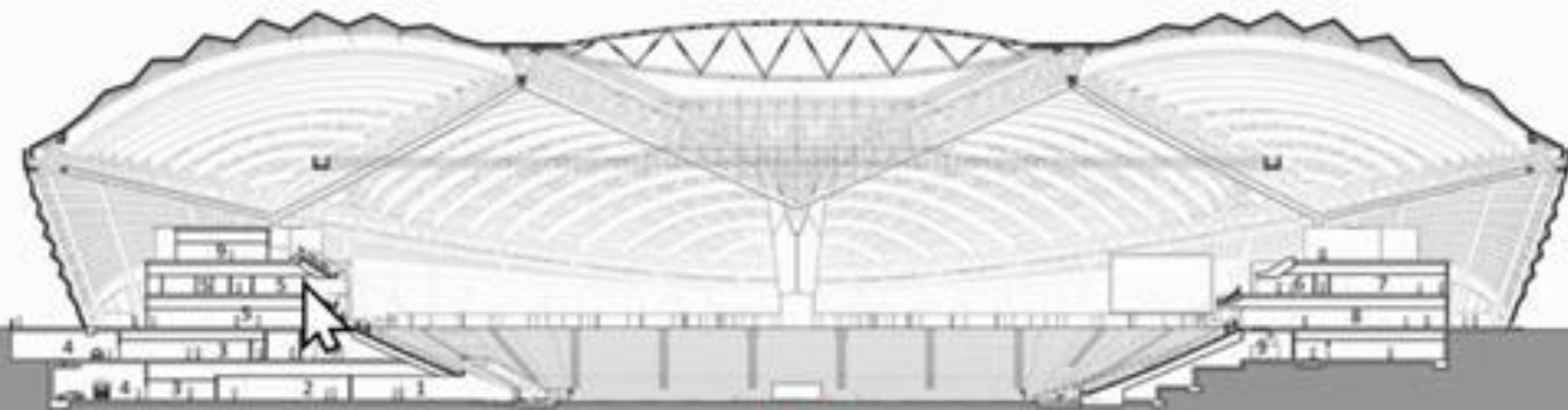
控制部位最大裂宽 $\leq 0.2\text{mm}$ ，反拱满足使用要求

抗浮設防驗算控制部位



偏置地下结构的抗浮设防验算控制部位

抗浮設防驗算控制部位



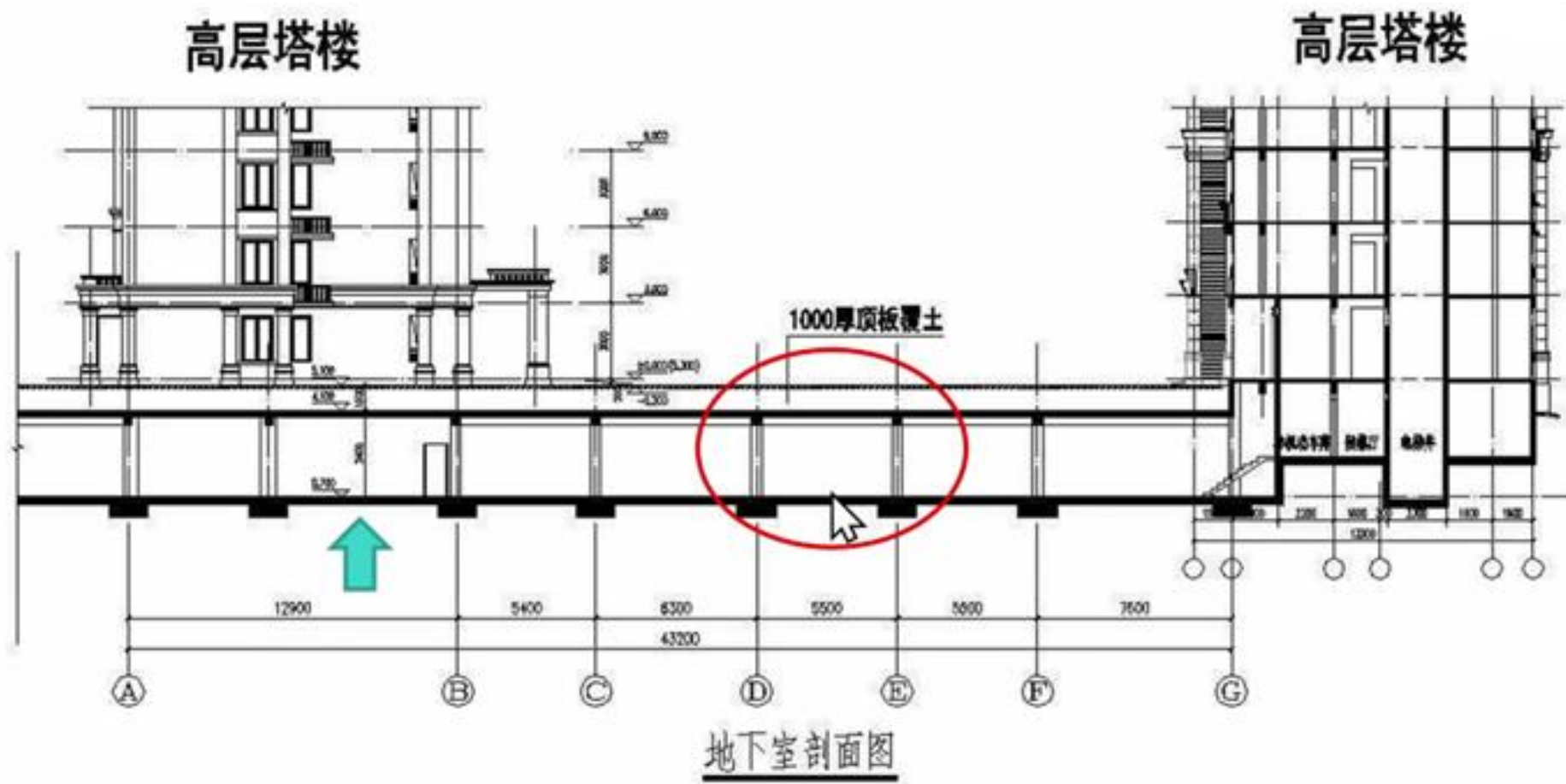
East-West Section - Legacy Mode
Capacity: 20,000

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1. Player Tunnel | 6. Hospitality Box |
| 2. Media Mix Zone | 7. Hospitality |
| 3. VIP Lobby | 8. Hospitality Lounge |
| 4. VIP Drop Off | 9. Media Concourse |
| 5. VIP Lounge | |

体育馆建筑的结构抗浮设防验算控制部位

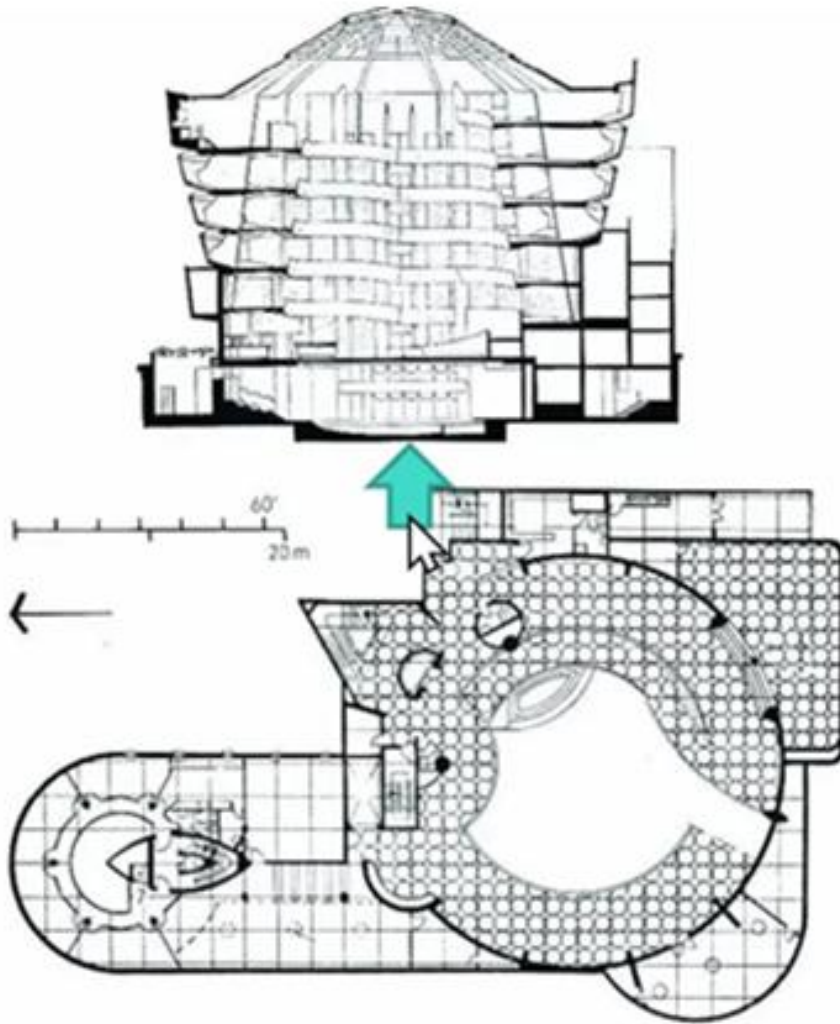


抗浮設防驗算控制部位



结构抗浮驗算重点关注部位示意图

抗浮設防驗算控制部位



多层通高中庭建筑的结构抗浮设防验算控制部位

抗浮設防驗算控制部位



底板分布反力不均勻結構的抗浮設防驗算控制部位

五、结构抗浮措施与构造建议

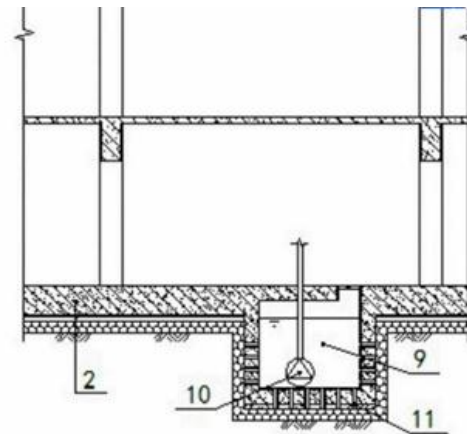
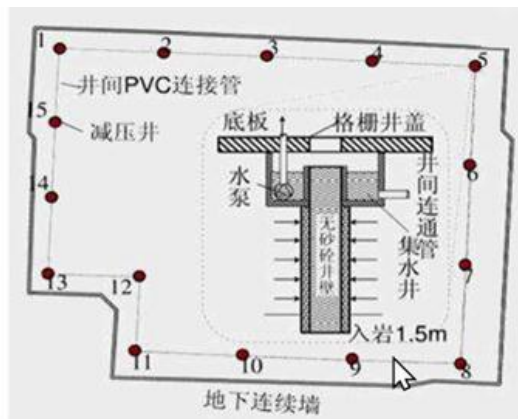
1、增加策略恒载

- 1) 增加地下室顶板覆土重量
- 2) 增加结构（含底板）恒载
- 3) 底板设重混凝土叠合层
- 4) 底板设消防水池、混凝土隔墙等
(重晶石, 钢渣混凝土**24/25—>38**)

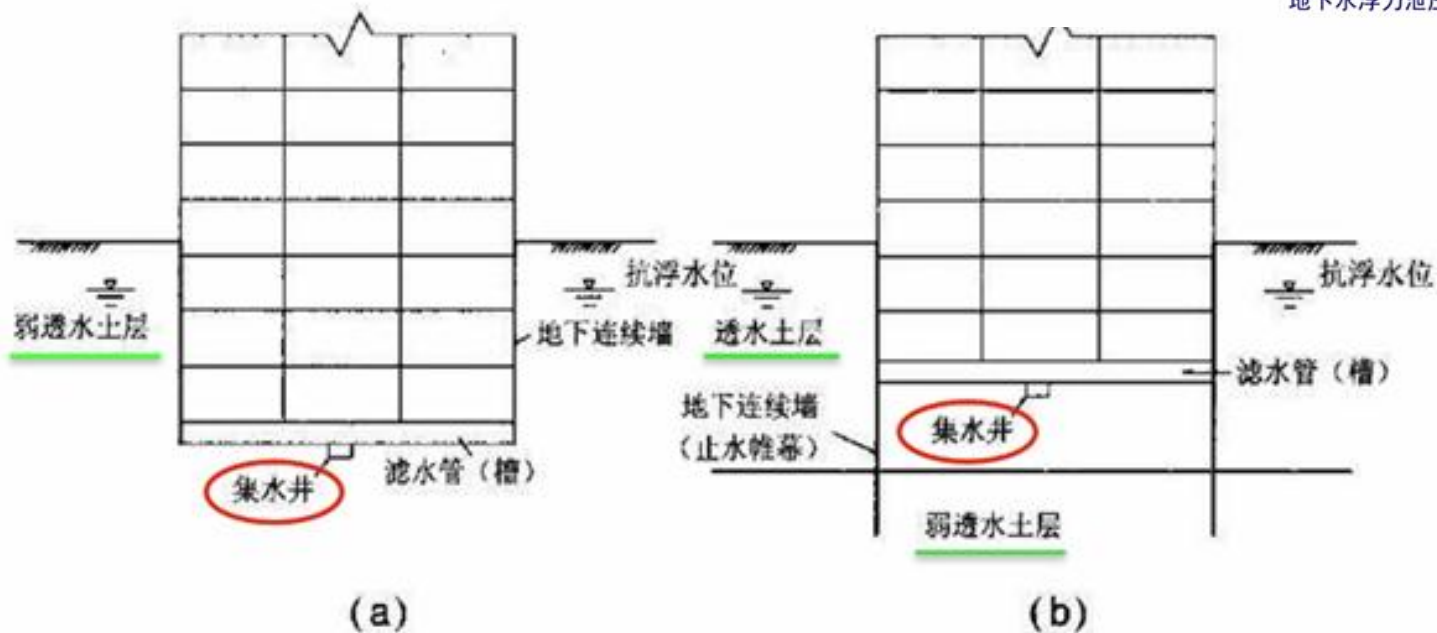
2、减少底板埋深

- 1) 减少地下结构层数或层高
- 2) 负一层改为半地下结构
- 3) 适当增加±**0.000**标高

3、疏水泄压抗浮

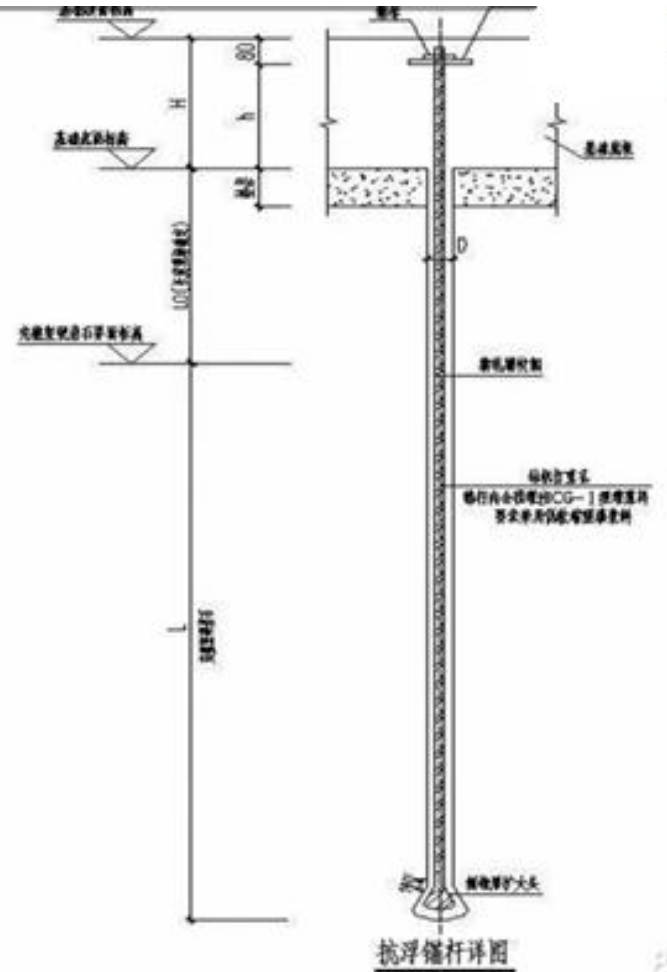


地下水浮力泄压装置构造简图

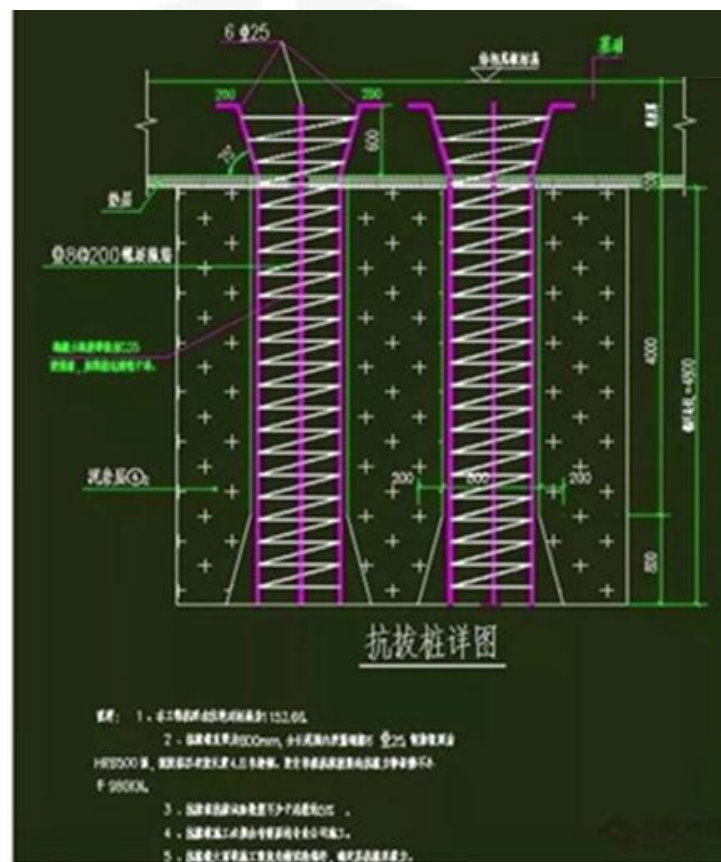
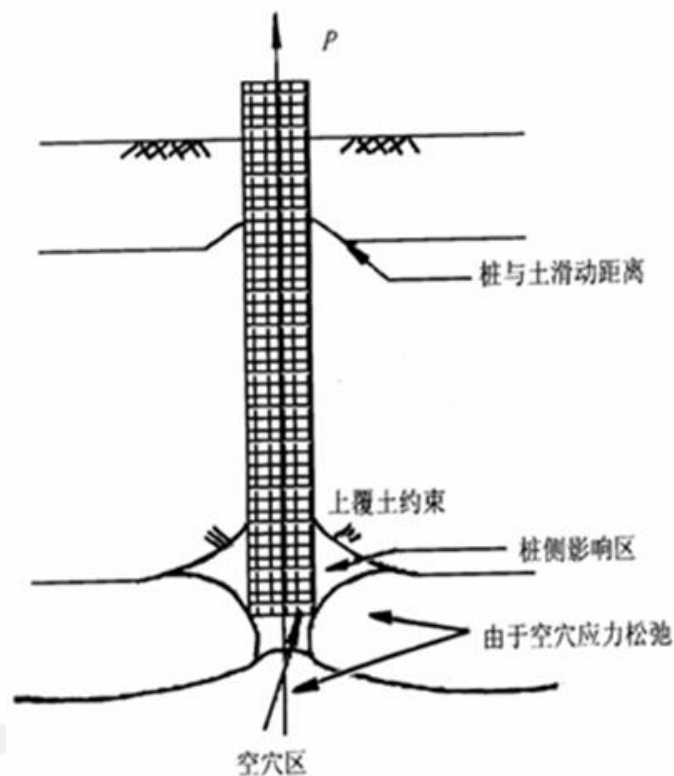


适合采用疏水泄压的地层构造

4、抗浮锚杆（分布式，软土层厚锚不住）



5、抗拔桩（一般放在柱子下面，对整体抗浮起重要作用，一般建议设分布式锚杆）



6、承压桩兼做抗拔桩

提示一

根据《混凝土结构设计规范》**GB50010-2010**第8.4.2条要求，抗浮锚杆、抗拔桩及兼做抗拔桩的承压桩，其纵筋须焊接或机械连接，不得搭接连接。

提示二

柱下承压桩兼做抗拔桩且未设分布锚杆时，底板控制部位的受弯与抗冲切承载力、最大裂宽、反拱均需经验算复核满足相关规范要求。

提示三

柱下混凝土承压桩兼做抗拔桩时，设防水浮力组合作用下，桩顶纵筋锚入承台的数量与长度，及底板控制部位冲切承载力均须经验算满足相关规范要求。

抗浮措施限用条件

- 1、增加重力恒载：增加结构层数、自重及覆土荷载受限
 - 2、减少底板埋深：无法减少地下室层数、层高及设置半地下室负一层
 - 3、基底疏水泄压：疏水构造效能的长期可靠性存疑
 - 4、锚杆、抗拔桩：底板下部软弱土厚度过大
-

补充说明

设防水浮力组合作用下，底板控制部位的抗弯、抗冲切，抗裂或抗反拱不满足要求时，新增策略恒载须置于底板顶面。

结构进行不均匀沉降计算分析时，应考虑所设抗拔锚杆或抗拔桩的承压作用。

地下室内消防水池与集水抽排构造宜尽量合并设计。



谢谢大家

THANKS

