

桩基承台加防水板的应用

王少东

山西晋城煤业集团勘察设计院有限公司

摘要：随着独立基础加防水板、条形基础加防水板等在地下室基础中的广泛应用，桩基承台加防水板应运而生，被越来越多的项目采用，本文通过理论讲述不同的力学模型计算防水板，在工程中根据实际情况选取合理的模型，因地制宜进行安全可靠的设计，同时结合工程实例对桩基承台加防水板的设计进行实际设计，希望能利用相关技术在建筑工程中提供相应的帮助。

关键词：桩基承台；防水板；筏板；无梁楼盖

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.038

引言

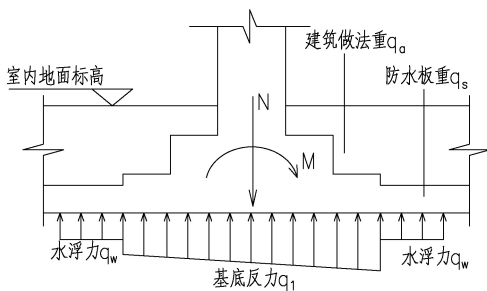
现阶段建筑工程项目基础设计中，防水板在地下室基础中的应用相当普遍。防水板搭配各种基础形式，如独立基础加防水板、条形基础加防水板和桩基承台加防水板，由于其传力简单、明确以及费用比较低，因此受到设计师和建设单位的青睐。但是各个项目均有不同，场地形式复杂多样，导致基础设计更为复杂。同时地下水位的高低对防水板影响较大，进而影响防水板对基础内力的影响，如果忽略了次不利因素，是不安全的。

一、受力分析

1. 防水板作用：一是将自重及其以上地面重量直接传给防水板下部的地基土，或通过其下部设置的软垫层传给防水板下部地基土；二是用来抵抗水浮力。

2. 防水板受力特征：以独立基础加防水板为例：

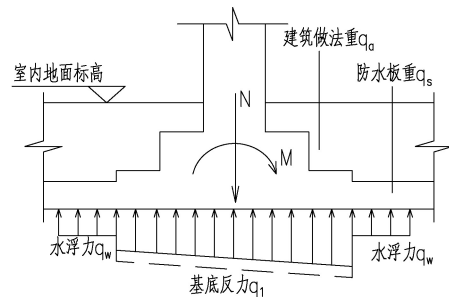
(1) 当 $q_w \leq q_s + q_a$ 时（此处均为设计值），建筑物重量全部由基础承担传给地基（图1）。同时当防水板设置软垫层时，可不考虑防水板下地基土对上部荷载的分担作用，基础承担全部上部荷载。(2) 当 $q_w > q_s + q_a$ 时，防水板对基础底面的地基反力起到一定的分担作用，使独立基础底面的部分地基反力转移到防水板上，并以水浮力的形式直接作用在防水板底面，这种地基反力的转移对独立基础底部弯矩和剪力油价大的作用，并随着水浮力的增大而增大。



当 $q_w \leq q_s + q_a$ 时 q_1 不变

(图1)

3. 独立基础加防水板中，防水板是一种随荷载情况变化而交换支承情况的复杂板类构件，当 $q_w \leq q_s + q_a$ （图1），防水板及其上重量直接传给地基土，独立基础对其不起支承作用；当 $q_w > q_s + q_a$ （图2），此时防水板在浮力作用下，将净水浮力 $[q_w - (q_s + q_a)]$ 传给基础，并加大基础的弯矩数值（图2）。



当 $q_w > q_s + q_a$ 时 q_2 随 q_w 增加而减小

(图2)

二、计算原则

1. 防水板支承条件和荷载取值

1.1 防水板四边支承条件

承台+防水板：防水板可以简化为四边支承在承台与承台之间拉梁上的双向板。

独立基础+防水板：防水板属于以独立基础为支承的复杂受力双向板。

条形基础+防水板：防水板简化为周边支承在条基上的双向板，防水板按周边固定在条基上的双向板计算，防水板计算跨度可以按照防水板净跨（条基翼缘之间的净距离）。

1.2 防水板设计荷载

1.2.1 重力荷载

防水板的重力荷载一般包括：防水板自重、防水板上回填土重量、建筑地面重量、地下室固定设备重量。

1.2.2 活荷载

防水板活荷载一般包括：地下室地面活荷载、地下室地面非设定设备重量。

1.2.3 水浮力

防水板水浮力可以根据地下水位确定。如果为独立基础加防水板，结构设计中不可忽略水浮力对独立基础的影响，如果只按照独立基础基底反力引起的弯矩计算，当地下水位较高时，其基底弯矩设计值偏小，不安全。

1.2.4 荷载分析系数的取值

(1) 当地下水位且变化频繁时，水浮力荷载分项系数按可变荷载分项系数确定，取值1.5。

(2) 当地下水位变化不大时，水浮力荷载分项系数按永久荷载分析系数确定，取值1.3。

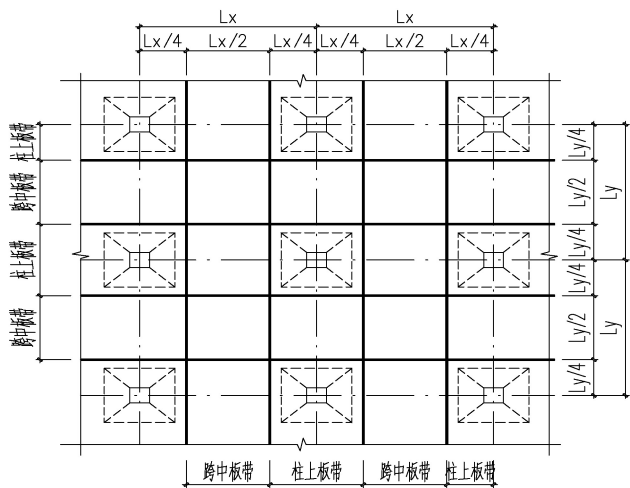
(3) 防水板计算时, 应按照重力荷载效应对防水板的有利或不利情况, 合理取用永久荷载的分项系数, 当防水板由水浮力效应控制时取值1.0。

2. 防水板计算

2.1 独立基础、承台之间设置拉梁, 防水板周边支承条件可以按照固结考虑, 固端与跨中弯矩设计值, 根据防水板的计算净跨, 按照《建筑结构静力计算实用手册》(第二版)表5.2-4计算。

2.2 按照无梁防水板计算, 取消独立基础、承台之间拉梁, 四角支承在独立基础或者承台的复杂双向受力板, 支承长度与独立基础、承台边长有关。

2.3 无梁楼盖弹性理论的计算方法, 有精确计算法、经验计算法和代框架法等, 常用的为经验系数法和代框架法。无梁防水板计算采用经验系数法, 将柱网划分为若干区格(图3), 将防水板视为支承在“柱上”的“柱上板带”和弹性支承于“柱上板带”的“跨中板带”组成的水平结构。柱轴线两侧各 $L_x/4$ (或 $L_y/4$)范围内为“柱上板带”。柱距中间 $L_x/2$ (或 $L_y/2$)范围内的板带称为“跨中板带”。“柱上板带”相当于以承台(或独立基础)为支承点的连续梁, “跨中板带”相当于弹性支承于另一方向板带上的连续梁。经验系数法直接给出两个方向的截面总弯矩, 再将弯矩分配给同一方向的柱上板带和跨中板带, 但是为了使各截面的弯矩设计值能适应于各种活荷载的不利布置, 在应用该法时, 要求无梁楼盖必须满足下列条件:



(图3)

- (1) 每个方向至少是三跨连续板;
- (2) 同一方向各跨的跨度相差不超20%; 边跨的跨度不大于其相邻的内跨;
- (3) 区格为矩形, 任一区格长短跨的比值不大于1.5;
- (4) 活载与恒载比值不大于3;
- (5) 为了保证无梁楼盖结构体系具有良好的抵抗水平荷载的能力, 应在该结构体系中设置侧力支撑或剪力墙。

使用经验系数法, 板面荷载取全部均布荷载, 而不必考虑活载的不利组合。

三、工程实例

1. 工程概况

本工程为智慧中央厨房工程, 地上两层, 局部三层, 地上两层每层均含有夹层。地下局部地下室, 地下部分主要功能有冷库、消防水池、消防水泵房、净水间等。根据地勘报告, 可以不考虑地下水, 场地东西两侧地基土差异大, 东侧填土最深达到15米, 西侧地下室开挖后为泥岩。主体基础为桩基础, 桩端持力层为泥岩层, 桩基采用泥浆护壁旋挖成孔灌注桩, 地下室为承台+防水板。消防水池部分采用筏板基础, 筏板基础、防水板四周支承于承台, 同时筏板下适当位置布置桩基础。

2. 防水板荷载取值

恒载:

(1) 580mm厚泡沫混凝土: $0.58 \times 6 = 3.480 \text{ kN/m}^2$

(2) 20厚1:2.5水泥砂浆: $20 \times 0.02 = 0.4 \text{ kN/m}^2$

活荷载: 冷库: 15 kN/m^2 其他房间: 4 kN/m^2

由于 $15/3.88 = 4.64 > 3.0$, 采用梁板结构, 不采用无梁防水板。

3. 配筋计算

本工程结构整体分析采用北京构力科技有限公司编制的《PKPM结构计算软件2021版》(V1.4.1.3)。

3.1 软件参数设置

(1) 基础模块参数设置中考虑防水板对于承台的剪力影响, 同时考虑防水板传给承台的荷载。在桩基承台计算书中可以读取防水板传递给承台荷载, 可以看出荷载是否传递给了桩基础。

(2) 分析计算中, 防水板与承台基床系数均为0, 荷载全部传给桩基础。

(3) 由于水池采用筏板、地下室采用防水板, 建模时可以采用两种方法进行对比; 方法一: 消防水池底板与地下室底板均按照防水板建模, 类型一致在结果中查看计算结果; 方法二: 消防水池采用筏板, 地下室底板采用防水板建模, 由于类型不一致, 在结果中查看计算结果。两种计算结果进行比较, 取包络值, 然后采用手算进行复核。

3.2 防水板配筋计算

由于不考虑水浮力, 此处防水板计算方法与楼板计算方法基本一致。

防水板、承台及拉梁布置见下图(图4), 防水板计算近似取 $6.6 \text{ m} \times 8.4 \text{ m}$, 防水板取值 $h = 300 \text{ mm}$ 。按照: $A_s = M / (r_s f_y h_0)$ 近似算法计算。

基本组合: $1.35 \times 3.88 + 1.5 \times 15 = 23.86 \text{ kN/m}^2$

$6.6/8.4 \approx 0.80$

$$M_x = 0.0271 \times 23.86 \times 6.6^2 = 28.17 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad A_s = \frac{28.17 \times 10^6}{0.9 \times 360 \times 250} = 347.8 \text{ mm}^2$$

$$M_y = 0.0144 \times 23.86 \times 6.6^2 = 14.97 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad A_s = \frac{14.97 \times 10^6}{0.9 \times 360 \times 250} = 184.82 \text{ mm}^2$$

$$M_x^0 = -0.0664 \times 23.86 \times 6.6^2 = -69.01 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad A_s = \frac{69.01 \times 10^6}{0.9 \times 360 \times 250} = 851.98 \text{ mm}^2$$

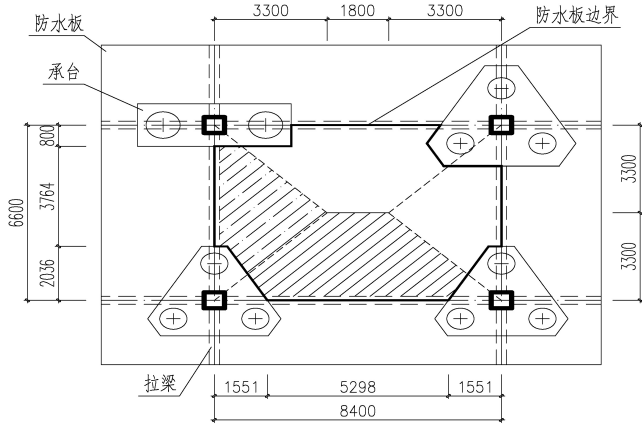
$$M_y^0 = -0.0559 \times 23.86 \times 6.6^2 = -62.26 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad A_s = \frac{62.26 \times 10^6}{0.9 \times 360 \times 250} = 768.64 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 0.2\% \times 300 \times 1000 = 600 \text{ mm}^2$$

取值按照C14@170, $A_s=906\text{mm}^2$, 满足要求。

3.2拉梁计算

3.2.1拉梁受力: (1) 拉梁承担的轴向拉(压)力; (2) 防水板自重及传递的荷载。(图4)



(图4)

3.2.2拉梁截面的确定

截面高度按照1/10~1/15, 6.6m跨度采用300×650, 8.4m跨度采用300×700

3.2.3配筋计算(以300×700为例)

拉梁承担的轴向拉力及配筋。

$$A_{s1} = \frac{0.1N}{f_y} = \frac{0.1 \times 5142 \times 10^3}{360} = 1428.3\text{mm}^2$$

防水板传递的力, 简便计算, 按照梯形荷载, 传递到拉梁上线荷载:

$$q = \frac{A \cdot Q}{L} = \frac{(1.8+8.4) \times 3.3 / 2 \times 23.86}{8.4} = 47.80\text{kN/m}$$

拉梁承担防水板传递的弯矩及配筋:

$$M = \frac{1}{12} \times 47.8 \times 5.298^2 = 111.8\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2} = \frac{111.8 \times 10^6}{0.9 \times 360 \times 650} = 563.15\text{mm}^2$$

根据上面可得: $A_s=A_{s1}+A_{s2}=1991.5\text{mm}^2$, 配筋取2C(Φ)20/4C(Φ)22 (2149mm²)。

6.6m跨拉梁计算同上, $A_s=1788.3\text{mm}^2$, 配筋取2C(Φ)18/4C(Φ)22 (2030mm²)。

4. 承台计算

根据PKPM基础计算模块, 在结果查看中可读取承台荷载: $M_x=0$, 按照构造配筋; $M_y=3652.7\text{kN} \cdot \text{m}$ 。在此计算个两桩承台, 承台尺寸2m(宽)×4.5m(长)×1m(高)。

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008) 5.9.1, 桩基承台应进行正截面受弯承载力计算, 受弯和配筋根据《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010, 2015年版) 附录G计算。

$$\alpha_d = 0.8 + 0.04 \times \frac{4.5}{1} = 0.98$$

$$z = \alpha_d(h_0 - 0.5x) = 0.98 \times (950 - 0.5 \times 0.2 \times 950) = 837.9\text{mm}$$

$$M \leq f_y A_s z \rightarrow A_s \geq \frac{M}{f_y z} = \frac{3652.7 \times 10^6}{360 \times 837.9} = 12109.3\text{mm}^2$$

上部钢筋, 不小于12109.3/4=3027.4mm²

$A_{s\text{sim}}=0.15\% \times 1000 \times 1000=1500\text{mm}^2$, 满足最小配筋率要求。同时承台应满足剪切、冲切及规范规定的其他要求。

四、构造要求

1. 理想模型中, 防水板不承担或承担较少的地基反力, 所以在防水板下应设置软垫层, 在独立基础与条形基础与防水板配合中, 可以设置软垫层, 本工程防水板传力路径更接近于楼板, 所以未设置软垫层。

2. 软垫层要求: (1) 具有一定的承载能力, 承担防水板混凝土浇筑时重量及其施工荷载, 确保防水板混凝土达到设计强度前不致产生过大的变形。

(2) 具有一定的变形能力, 避免防水板承担过大的地基反力, 保证防水板受力状况和理想设计模型相符。

(3) 程中常用的软垫层有焦渣与聚苯板。两者均能承担一定的荷载及具有一定的变形能力, 都能满足使用要求, 相比较, 聚苯板较焦渣造价相对低, 实际工程中可根据地基条件及现场实际情况进行选择, 已达到安全可靠的目的。

3. 最小配筋率: (1) 当防水板的配筋由水浮力控制时, 防水板的最小配筋率应按照《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010, 2015年版) 第8.5.1条确定, 当为其他情况时, 防水板的受力钢筋最小配筋率按照《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010, 2015年版) 第8.5.2条确定, 且不小于0.15%。

五、结束语

基础加防水板暂未列入相关结构设计规范中, 但是相关资料及时间经验表面, 基础加防水板可满足大部分工程的设计。防水板在工程中利用很广泛, 本文防水板采用双向板计算, 结合工程实例进行介绍, 无梁楼盖只是简单介绍了理论, 未展开叙述。每个工程可根据实际情况进行选取计算模型, 同时可采用PKPM软件中SLABCAD进行有限元分析, 根据电算结果进行设计。

参考文献

[1] 朱炳寅, 娄宇, 杨琦, 建筑地基基础设计方法及实例分析(第二版)[S], 中国建筑工业出版社, 2013, 180-185.
 [2] 彭少民. 混凝土结构(下册)[M], 武汉理工大学出版社, 2004, 40-46.
 [3] 马小波, 浅谈地下室无梁防水板的应用实践[J], 福建建材, 2015(06).
 [4] 中国建筑科学研究院, JGJ94-2008建筑桩基技术规范[S], 中国建筑工业出版社, 2008.
 [5] 中国建筑科学研究院, GB50010-2010混凝土结构设计规范[S], 中国建筑工业出版社, 2015.