

## 沉井的规范算法与有限元算法的对比分析

李彬双 刘佳

北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082

[摘要] 文章以慈溪市市域污水治理一期污水支干管泵站中采用的矩形沉井作为计算案例, 对矩形沉井采用规范中的常规平面计算方法和 Midas 有限元软件整体建模模拟分析分别进行计算, 对计算结果进行对比分析, 给出了两种计算方法在沉井结构设计中的合理建议。

[关键词] 沉井; 有限元; Midas

DOI: 10.33142/ec.v2i9.711

中图分类号: U445.55

文献标识码: A

### Comparative Analysis of Standard Algorithm and Finite Element Algorithm for Caissons

LI Binshuang, Liu Jia

Beijing Municipal Engineering Design Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100082 China

**Abstract:** Taking the rectangular causeway used in the pumping station of the first stage sewage branch pipe of sewage treatment in Cixi City as a calculation case, this paper calculates the rectangular caisson by using the conventional plane calculation method in the code and the overall modeling and simulation analysis of Midas finite element software, compares and analyzes the calculation results, and gives the reasonable suggestions of the two calculation methods in the structural design of the causeway.

**Keywords:** Caissons; Finite element method; Midas

#### 1 工程实例

本文的实例为慈溪市市域污水治理一期污水支干管泵站工程观海卫 8# 泵站, 设计规模为  $5 \text{万 m}^3/\text{d}$ , 世纪大道与高速连接线交汇处的西北侧, 泵站服务范围为观海卫镇东部工业区及生活区的污水。泵房平面为“凸”字形, 大头部分为泵房, 深 13.8m, 格栅间深 10.8m, 平面尺寸为  $17.2\text{m} \times 9.5\text{m}$ 。做一能包含格栅间及泵房的矩形沉井, 在矩形沉井施工完毕后, 二次浇注凸字形隔墙, 并从同一标高的封底上回填材料, 达到工艺要求设计标高。泵房的平面及剖面如图 1-1、图 1-2 所示。

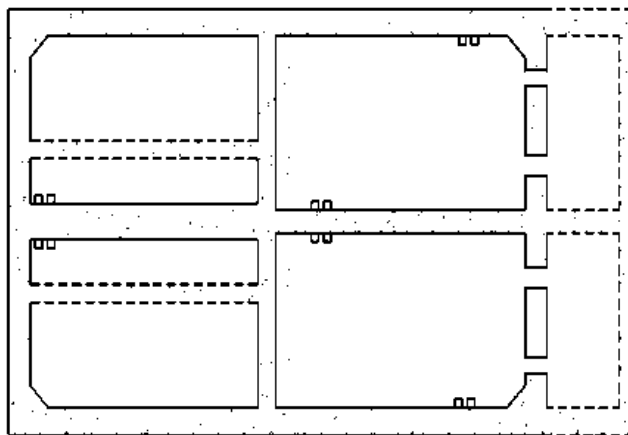


图 1-1 泵房平面图

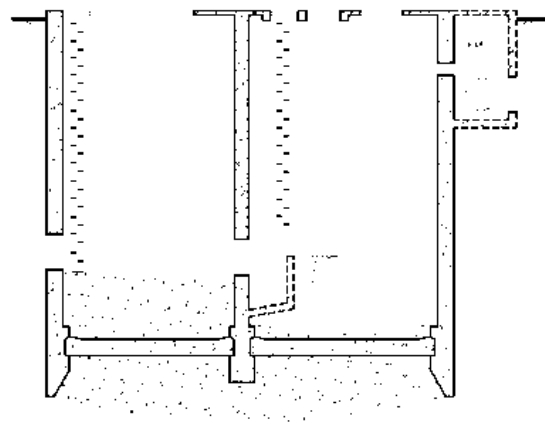


图 1-2 泵房剖面图

该泵房结构安全等级为 II 级; 设计使用年限为 50 年; 抗震烈度为 6 度, 设计基本地震加速度为  $0.05g$ 。采用天然地基, 场地土为类别为 IV 类。抗浮设防水位标高与地面齐平。

根据地勘报告, 典型地质剖面图如图 1-3 所示, 泵房地基基础情况为:

- 2 层: 粉质粘土层, 厚度约 3.10m;
- 3 层: 淤泥质粉质粘土层, 厚度 1.0m;
- 4 层: 粉土层, 最厚处 6.2m;
- 4-1 层: 粉土层, 均匀分布, 厚度约 4.3m;
- 5 层: 粉土、淤泥质粉质粘土夹粉土层, 均匀分布, 厚度约 7.5m;

钻孔最深为 22.10m，未揭露基岩。

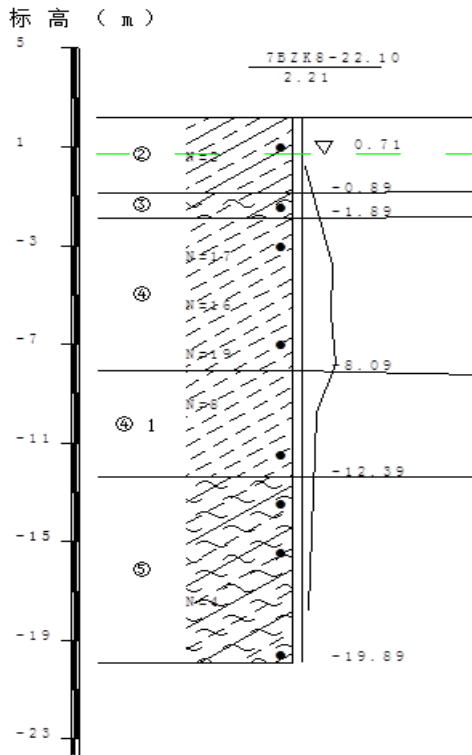


图 1-3 典型地质剖面图

## 2 沉井的规范算法

沉井在下沉阶段其设计主要进行以下方面：一是沉井的下沉和抗浮验算，包括下沉系数计算、下沉稳定验算；沉井封底和使用两个阶段的抗浮验算；抗滑移验算和抗倾覆验算；二是沉井的结构计算，包括井壁计算、底板计算，封底混凝土计算等，计算分施工阶段和使用阶段。

### 2.1 下沉和抗浮验算

规程中下沉系数、下沉稳定验算和抗浮验算按下式计算：

$$K_0 = (G-B) / R_f \quad (2-1)$$

$$K_{0.s} = (G-B) / (R_f + R_b) \quad (2-2)$$

$$K_{0.w} = G / R_f \quad (2-3)$$

$K_0 \geq 1.05$ —下沉系数， $K_{0.s} = 0.8 \sim 0.9$ —下沉稳定系数， $K_{0.w} \geq 1.0$ —抗浮系数

$G$ —井体自重，kN； $B$ —下沉过程中地下水浮力； $R_f$ —井壁总摩阻力，kN； $R_b$ —沉井刃脚下地基土的极限承载力之和。

抗滑移验算和抗倾覆验算详见相关规范。

### 2.2 沉井的结构计算

井壁计算：规范[1]中假设全部荷载均由水平方向的闭合框架（见图 2-1）承受，外部荷载是井壁在该深度的水平土压力  $E_i$  与水压力  $W_i$  之和（见图 2-2）。

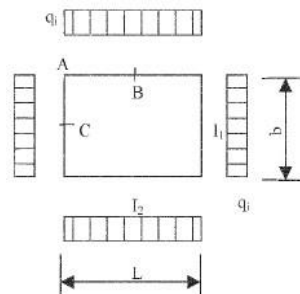


图 2-1 井壁侧压力分布图

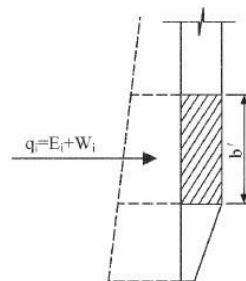


图 2-2 井壁侧压力分布图

井壁水平内力计算公式如下：

$$MA_i = (-q_i L^2 / 12) \times [(1 + \alpha 2\beta) / (1 + \beta)] \quad (2-4)$$

$$MB_i = 0.125 q_i L^2 + MA_i \quad (2-5)$$

$$MC_i = 0.125 q_i b^2 + MA_i \quad (2-6)$$

式中：MA<sub>i</sub>、MB<sub>i</sub>、MC<sub>i</sub>—i 深度处，A、B、C 截面的弯矩设计值，kN·m；q<sub>i</sub>—深度处井壁所受水平荷载，kN/m；井壁竖向拉力计算公式如下： $S_{max} = 0.25G$  (2-7)

式中：S<sub>max</sub>—井壁的最大拉力，在沉井入土的一半处；G—沉井的自重。

沉井底板和封底混凝土计算可参阅有关设计手册<sup>[2]</sup>。

### 3 沉井的规范算法与有限元算法对比分析

以慈溪观海卫 8# 泵站为例，设计成矩形双格沉井，材料为 C25，壁厚 700mm，底板厚 700mm。

沉井施工阶段分析是设计沉井很重要的部份，Midas 软件可有效模拟钢筋混凝土结构施工阶段分析，文中将用规范公式和 Midas 软件整体建模进行对比核算，寻求较优的设计结果。

#### 3.1 根据规范公式计算

下沉系数：K<sub>0</sub> = 1.11 > 1.05；下沉稳定系数：K<sub>0</sub>，s = 0.81；抗浮系数 K<sub>0</sub>，s = 0.94 < 1.0，考虑内部填充，抗浮系数 K<sub>0</sub>，s = 1.09 > 1.0；均满足要求。

计算所得最大主拉应力为：0.373Mpa。

沉井使用阶段的结构安全于施工阶段的结构，不深入核算使用阶段的强度。

沉井施工阶段的受力工况是控制性工况，此阶段时井壁应分三段核算，计算结果如（表 3-1）所示（最大值出现每段最低点）：

表 3-1 沉井规范公式计算结果

高程 (m)	0—5.93	5.93—12.8	12.8—13.85
弯矩 (kN·m)			
M <sub>支 max</sub>	542	997	1936
M <sub>中 max</sub>	271	499	968.2

#### 3.2 Midas 软件整体建模计算

在沉井施工的过程中，分两个关键步骤：第一个是沉井初始下沉阶段，在沉井现场预制完成后，抽取底部的垫木，开始取土下沉；第二个是沉井下沉到设计高程后，在沉井封底之前，将沉井井底部完全掏空。在第一个施工阶段，沉井受力出现体系的转换，由于沉井隔墙底部土体掏空，沉井受力为均匀作用于井壁和隔墙底部的支撑垫木上转换为由仅井壁底部进行竖向支撑；这时沉井侧壁还没有出现土体摩阻力，自重完全由隔墙和刃脚底部承受。在第二个施工阶段，在井外土压力作用下，沉井底部刃脚及刃脚以上井壁受最大的水平土压力。下面就将第二个关键的施工步骤进行分析对比规范公式计算结果。结构计算采用空间有限元实体模型（见图 3-1）。沉井结构材料为 C25 混凝土，容重为 25 kN / m<sup>3</sup>，弹性模量为 2.8x 10<sup>7</sup> kPa。对结构进行空间分析<sup>[3]</sup>。

考虑沉井下沉到位后，沉井在周边土体摩阻力的作用下不再继续下沉，因此在沉井井壁外周边施加竖向弹性约束，约束的刚度取一个较大值以更好的模拟沉井受力。沉井荷载考虑沉井自重和外壁水平水土压力，其中水土压力采用水土分算，土体取浮重 10 kN / m<sup>3</sup>，内摩擦角取 γ = 30°，水平侧土压系数 = tan<sup>2</sup> ( 45° - γ / 2 )；水压力按井顶齐平计算，计算水土压力标准值按线性分布（见图 3-2）。

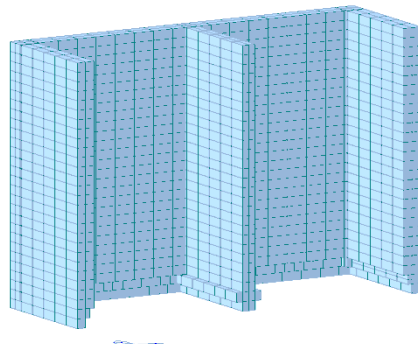


图 3-1

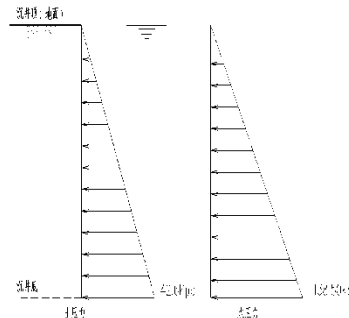


图 3-2

计算结果分析:

实体单元计算结果 (见图 3-3、3-4 和表 3-2)

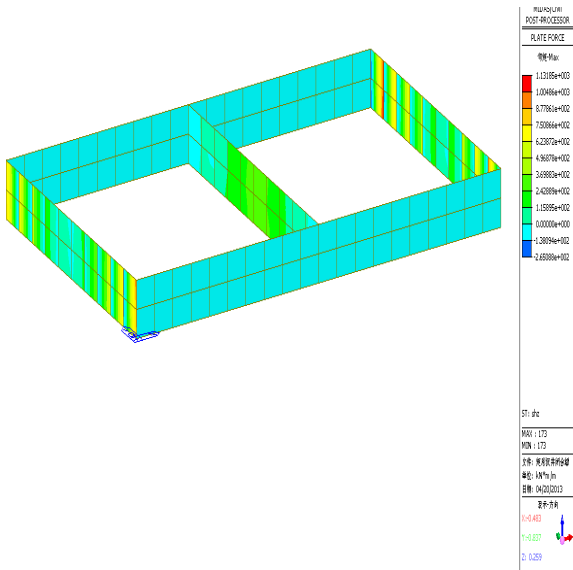


图 3-3 最大弯矩图

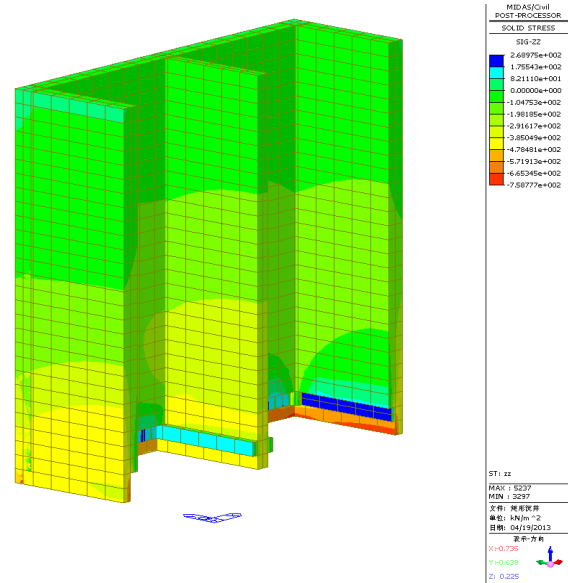


图 3-4 大主拉应力图

表 3-2 沉井程序计算结果

高程 (m)	0—5.93	5.93—12.8	12.8—13.85
弯矩 (kN.m)			
M <sub>支 max</sub>	/	/	1131
M <sub>中 max</sub>	/	/	265

计算在土压力作用下井壁的竖向拉应力, 可得到井壁最大拉应力 0.267MPa, 比简化计算的 0.373MPa 减少 28.5%; 且实际最大的井壁竖向拉应力出现在刃脚根部以上 1.5 m 处, 与相关研究的结论是一致的。分析其原因, 是刃脚厚度与井壁厚度有一定差异, 两者刚度比值发生变化, 相应的应力发生突变。

程序计算的最大支座弯矩和最大跨中弯矩仅为简化计算的 58%和 27%, 因此采用简化计算的结果是相对保守的, 其相应配筋也偏于保守。

#### 4 结论

通过对沉井平面计算和有限元实体空间计算比较: 平面计算假定较多, 与实体分析有一定差别, 计算偏于保守, 特别采用刃脚根部以上的井壁平面计算结果作为井壁配筋的控制, 浪费较大。因此, 设计若采用平面简化计算, 计算荷载仅需考虑该段井壁高度范围内相应的水土压力而不需要施加刃脚的水平力。通过有限元实体分析, 隔墙的刚度对井壁的受力有较大影响。在沉井下沉到位后, 在水平土压力作用下, 井壁最大的拉应力均出现在刃脚的刚度变化位置。在结构设计时需引起重视, 加强对局部的验算。

#### 【参考文献】

[1] 中国工程建设标准化协会标准. 给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程(CECS137) [Z]. 2002.  
[2] 刘雨生. 给排水工程结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.  
[3] 苏静波, 楼淑君, 霍瑞丽. 锚碇沉井基础稳定性的规范算法与有限元方法的对比[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2008, 21(4): 4-7.

作者简介: 李彬双(1978-), 男, 高级工程师, 研究方向: 市政、结构设计。