

# 基于ANSYS水池与地基基础共同作用的探讨

王宪<sup>1</sup> 李继文<sup>2</sup> 李仕羽<sup>1</sup>

1. 中国城市建设研究院有限公司; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司

**摘要:** 本文采用有限元方法, 以某工程中的给排水构筑物为背景, 采用弹塑性地基模型, 运用大型有限元程序ANSYS建立了水池池体与地基基础共同作用的有限元模型。在静力作用下, 通过水池刚度、地基刚度和筏板基础刚度的变化, 分析刚度对水池结构的地基反力和地基变形的影响。

**关键词:** 有限元分析; 给排水构筑物; 地基基础; 数值模拟

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.01.114

## 一、概述

随着我国城市化进程的加快, 城市污染问题也越来越严重, 其中水污染日益成为困扰环境治理的一大难题, 科学地开发和循环利用水资源、合理地处理污水已经成为世界各国政府解决环境污染问题的重要内容。因此, 合理进行水池结构设计, 把握好水池结构设计的关键要素, 让其更好更高效的发挥作用是市政水池结构设计的重要内容。

以某工程水池为例, 整个池体结构都采用C30混凝土浇筑而成。池壁厚850mm, 锥体1和锥体2的壁厚分别是800mm和400mm, 柱子的截面尺寸是500mm×500mm, 共设8根柱子。其剖面图如图1所示。

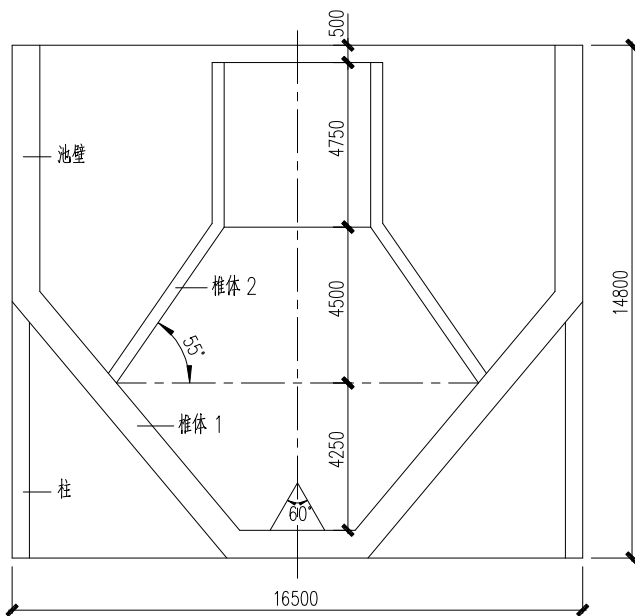


图1 水池结构示意图

水池主要由上部结构、基础和地基三个部分组成。目前常用的设计方法是对水池、基础和地基分别进行计算设计。但现实中的水池、基础和地基是一个整体, 它们三者之间存在着明显的共同作用的问题。它们各自的刚度对共同作用体系中的三者的变形和受力有着不可忽

视的作用, 然而由于问题的复杂性, 目前相关的研究资料很少<sup>[1]</sup>。本文以某工程中的水池为背景, 选择弹塑性地基模型, 运用大型有限元程序ANSYS建立水池与地基基础共同作用的有限元模型。通过水池上部结构刚度、筏板基础刚度和地基刚度的变化, 探讨地基的内力和变形规律。

## 二、计算模型的建立

### (一) 模型的建立

本文采用大型结构有限元分析软件ANSYS10建立水池上部结构与地基基础共同作用的三维模型。采用实体单元SOLID45来模拟水池上部结构、筏板和地基的力学特性, 在基础和地基之间设置接触单元TARGE170和CONTAL173来满足二者之间的变形协调<sup>[2]</sup>。并且参考相关资料<sup>[3]</sup>将筏板与土体的摩擦系数取为0.2。通过试算表明, 水池的基础与土体是黏合的, 且它们之间的边界面处的应力均大于零, 表明建立的接触单元是成功的, 即实现了筏板和地基的共同作用。

表1 地基土层的基本参数

土层	厚度 (m)	泊松比	弹性模量 (MPa)	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )
黏土 (第一层)	2.1	0.40	35	16.2	22	1980
淤泥质黏土 (第二层)	4.4	0.35	21	11.6	12	1750
淤泥质粉土 (第三层)	7.6	0.36	34	16.7	16.8	1770
粉质黏土 (第四层)	8.5	0.38	41	22	27	1820

地基土的力学性能和其受力水平有着密切的关系<sup>[4]</sup>, 当地基的应力水平较低时, 可采用线性的地基模型; 当地基的应力水平较高时, 地基土会处于流动或者是破坏的状态; 当地基的应力水平介于二者之间时, 可采用非线性地基模型或者是弹塑性地基模型。在现实工程中, 由于基础不同位置处土体的受力是不同的, 总体上可以认为地基土的应力水平是中等的。再参考水池的场地条件, 这里采用弹塑性地基模型来模拟地基。

选取适当尺寸的有限体积域来代表土体空间, 体域的长、宽的大小按照荷载作用范围来选取, 以保证边界上的变形和内力对计算结果的影响可以忽略。地基土的长和宽从筏板边缘向外延伸一倍的筏板宽度, 建立的模型如图2所示, 对模型进行试算, 以确认尺寸选择的合理性, 试算结果显示, 在地基的约束边界处, 其应力较小, 说明该处的地基土受到共同作用的影响很小, 地基土的尺寸选择是正确的。

### (二) 荷载和边界条件

本文主要对水池和地基基础在静力作用下的变形和

内力进行分析，静力荷载主要是考虑结构以及水的自重。所施加的边界条件是：设置地基土的周围水平位移为零，地基土底面的垂直向位移为零。

建立的水池上部结构和地基基础共同作用的有限元模型如图2所示。

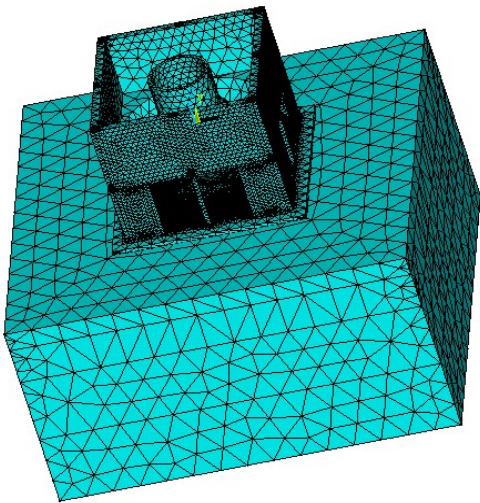


图2 水池与地基基础共同作用的整体模型

### 三、计算结果及分析

#### (一) 水池上部结构刚度对地基反力和地基变形的影响

为了体现水池上部结构刚度的变化对考虑水池池体—基础—地基三者共同作用情况下的体系各部分结构的影响，计算中只将水池椎体1的壁厚由原来的800mm减

小至500mm，而地基模量和筏基厚度不变，且筏基的厚度为1.0m。计算结果如下表2、表3所示。

表2 上部结构刚度变化对地基的影响

名称	椎体1壁厚为800	椎体1壁厚为500
地基土的最大竖向变形差 (mm)	-0.162	-0.167
地基土的最大竖向压应力差 (kPa)	-46.88	-61.93

由表2和表3可知，当水池的椎体1的壁厚由500mm增加到800mm时，地基和基础的变形差都减小了，表明增加水池池体的刚度，会在一定程度上减小地基的不均匀沉降。

#### (二) 筏基刚度对地基反力和地基变形的影响

在不改变水池上部结构和地基土的各项条件的前提下，只改变筏板的厚度，筏板的厚度分别取0.5m，1.0m，1.5 m。地基的变形和内力如表3~表5所示。

由表3的数据可以看出，逐渐加大筏基的刚度，地基的最大竖向变形和最小竖向变形的变化规律稍有不同，前者会逐渐加大，后者的改变却不怎么明显，这是因为地基土的最小竖向变形一般发生在筏基的范围外，而最大竖向变形一般发生在水池池体与筏基接触的部位。从表4可以看出，随着筏板厚度，即刚度的增加，各层地基土的竖向拉应力和压应力都在逐渐增加。由表5可以看出，随着筏板刚度的增加，地基反力的差值从84.7 KPa减小至60.03 KPa，降低了29.1%，而地基的差异沉降量则从0.185mm减小至0.164mm，降低了11.4%，表明增大筏基的刚度不仅可以调整地基反力的应力集中，还可以调整地基的不均匀沉降。

表3 筏基厚度变化对地基土竖向变形的影响

单位: mm

筏基厚度 (m)	第一层土		第二层土		第三层土		第四层土	
	最大竖向变形	最小竖向变形	最大竖向变形	最小竖向变形	最大竖向变形	最小竖向变形	最大竖向变形	最小竖向变形
0.5	0.299	0.028	0.273	0.020	0.178	0.013	0.066	0.007
1	0.314	0.028	0.294	0.021	0.198	0.020	0.071	0.007
1.5	0.344	0.035	0.324	0.028	0.217	0.021	0.081	0.007

表4 筏基厚度变化对地基土竖向应力的影响

单位: KPa

筏基厚度 (m)	第一层土		第二层土		第三层土		第四层土	
	最大压应力	最大拉应力	最大压应力	最大拉应力	最大压应力	最大拉应力	最大压应力	最大拉应力
0.5	-120.05	9.74	-80.97	1.04	-75.79	1.61	-64.77	1.61
1	-128.25	11.23	-85.19	1.33	-83.23	1.99	-71.52	1.96
1.5	-135.96	14.29	-85.80	1.60	-84.60	2.15	-72.62	2.14

表5 筏基厚度变化对地基的影响

	筏基厚度 (0.5m)	筏基厚度 (1.0m)	筏基厚度 (1.5m)
地基反力最大差值 (KPa)	84.7	68.61	60.03
地基沉降量最大差值 (mm)	0.185	0.176	0.164

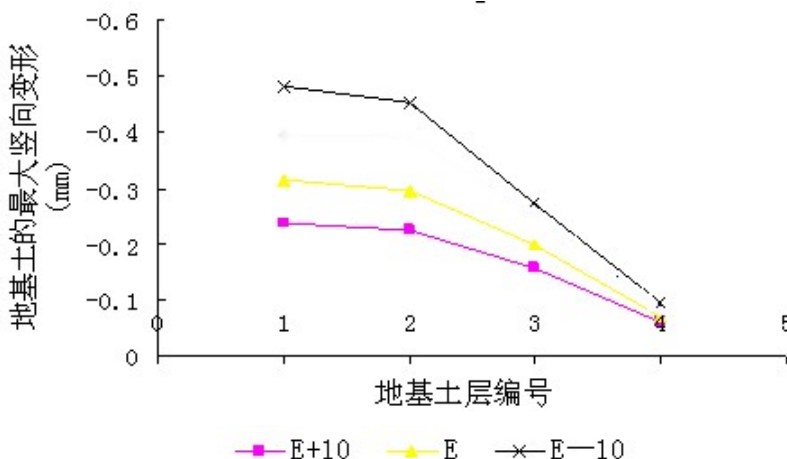


图3 地基的最大竖向变形对比

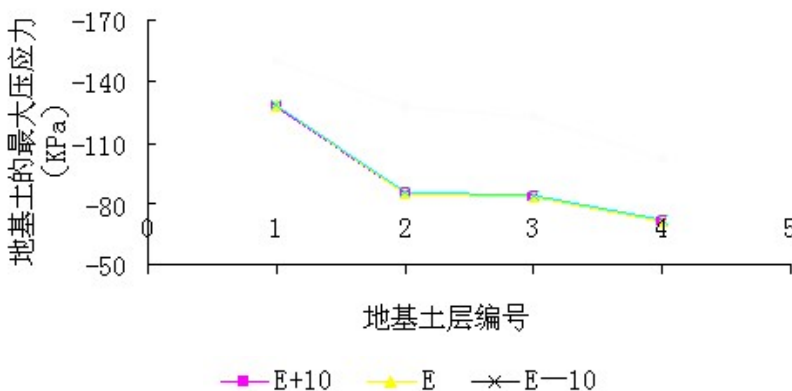


图4 地基土的最大竖向应力对比

### (三) 地基刚度对地基反力和地基变形的影响

地基刚度的变化即为地基的弹性模量的变化。当筏基的厚度为1.0m时，只改变地基土的弹性模量而其他条件保持不变，地基的弹性模量分为三种，第一种是每层土的弹性模量增加10MPa，即E+ 10MPa，第二种为各层土的弹性模量保持不变，仍为E，第三种为各层土的弹性模量减少10 MPa，即E- 10MPa。地基的变形和内力如图3、图4所示。

由图3和图4可知，地基土的最大竖向变形随着地基模量的增加而减小，当地基模量由E-10MPa增加至E+10MPa时，地基的最大竖向变形降低了50.1%，而地基土的最大压应力变化不明显，变化量低于1%，表明地基刚度的改变对地基土的内力影响不大。

### 四、结论

本文采用有限元方法，以某工程中的水池为背景，运用大型有限元程序ANSYS建立了水池与地基基础共同作用的有限元模型。在静力作用下，通过水池池体、基础和地基刚度的变化，分析了刚度对处于共同作用体系中的地基反力和地基变形的影响，得到的主要结论为：

(1) 在对水池和地基基础共同作用的影响因素中，筏基的厚度对地基和基础的内力和变形的影响是比较显著的。当筏基厚度由0.5m增加到1.5m时，地基反力和变形的差值分别降低了29.1%、11.4%。表明筏板刚度

的增加可以有效地调节地基不均匀沉降，并可在一定程度上减小地基应力集中。

(2) 随着地基模量的增加，地基的内力变化很小，低于1%；而在变形方面，地基竖向变形降低了50.1%。因此地基刚度的变化对地基的变形影响较大，而对它的受力几乎没有影响。

(3) 水池刚度的大小也会影响地基的内力和变形，当水池的椎体1的壁厚由500mm增加到800mm时，地基和基础的变形差都减小了，表明增加水池池体的刚度，会在一定程度上减小地基的不均匀沉降。

### 参考文献

- [1] 张蜀沪, 薛伟辰, 王恒栋. 水池结构与地基基础共同作用的研究进展[J]. 特种结构. 2006, 23(2): 15-18.
- [2] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社. 2007.
- [3] 郭远方. 框架结构-筏板基础-地基共同作用分析[D]. 重庆大学. 2011.
- [4] 张继承, 刘飞. 上部结构与土体共同作用的影响因素[J]. 武汉工程大学学报. 2010, 32(3): 62-68.
- [5] 张军齐, 周钦, 谭胜初等. 矩形混凝土水池-地基共同作用探讨[J]. 四川建筑. 2008, 28(5): 86-87.