

基于二维及三维单元有限元模型的污泥调理池力学性能分析

陈 栋¹, 杨鑫欣¹, 林 宽¹, 周志宇²

(1. 山东省环科院环境工程有限公司, 山东 济南 250000; 2. 山东轨道交通勘察设计院有限公司, 山东 济南 250014)

摘 要: 对某工程中污泥调理池采用有限元软件中的壳单元及实体单元分别进行建模分析, 在实体模型计算过程中考虑地基对整体结构内力分布的影响, 将分析结果的弯矩计算值与设计手册的计算值进行对比分析, 结果表明: (1) 在不考虑地基作用的条件下, 水池的壳单元模型计算结果与设计手册的计算结果相差不大, 实体单元模型中水池角隅及池壁根部的计算弯矩均小于壳单元及计算手册的计算结果, 但跨中的计算弯矩大于壳单元及设计手册的计算结果; (2) 在水池顶板洞口较小且设置了洞口边梁的情况下, 设计池壁内力的计算时可忽略洞口的影响; (3) 地基参数的不同及壁板端部约束墙体的数量都会影响实体模型中池壁的计算弯矩。

关键词: 钢筋混凝土水池; 实体单元; 壳单元; 有限元分析

中图分类号: TU991.343

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)03-0252-05

Analysis on Mechanical Properties of Sludge Conditioning Tank Based on 2D and 3D-element Finite Element Models

CHEN Dong¹, YANG Xinxin¹, LIN Kuan¹, ZHOU Zhiyu²

(1. Shandong Institute of Environmental Science and Technology Environmental Engineering Co., Ltd., Jinan 250000, China;

2. Shandong Rail Transit Survey and Design Institute Co., Ltd., Jinan 250014, China)

Abstract: The shell element and solid element in finite element software are used to model and analyze the sludge conditioning tank in a project. The influence of foundation on the internal force distribution of the whole structure is considered in the calculation process of solid model. The bending moment calculating value of the result is analyzed and compared with the calculating value of the design manual. The result shows that without considering the conditions of foundation action, there is small difference between the calculating results of shell element model and the design manual for the tank. The calculated bending moments in the corner of the tank and the root of the tank wall in the solid element model are smaller than those in the shell element and the calculation manual. But the bending moment calculated in mid-span is larger than that calculated by shell element model and design manual. Under the condition of small manhole at the top of tank and setting the side beam of manhole, the influence of manhole can be ignored in the design of internal force of tank wall. And the difference of foundation parameters and the number of restrained walls at the end of the wall panel will affect the calculated bending moment of tank wall in the solid model.

Keywords: reinforced concrete water tank; solid element; shell element; finite element analysis

0 引 言

现阶段所用设计手册^[1]中常用的水池设计计算方法常采用不考虑厚度的薄壳理论, 水池设计软件也较多采用二维壳单元对水池结构进行计算分析。针对以上两者的对比分析及采用三维实体单元建立具有实体厚度的水池模型分析研究则相对不足。本文以某一实际工程中的污泥调理池作为案例, 采用

二维壳单元及三维实体单元建模, 在考虑地基对水池结构的影响的基础上对其内力及应力分布进行分析, 并将软件对其关键截面的计算结果与按照设计手册得到的计算值进行对照。

利用有限元程序对水池等构筑物进行建模分析已成为水池结构研究中重要的方法, 郭素娟^[2]等采用商业软件“世纪旗云”对水池进行计算, 分析水池结构内力并自动完成配筋和裂缝计算, 其计算结果与水池结构手册查表计算结果一致; 王萱^[3]等采用ANSYS软件对水池等结构进行了温度与水压力作用下的结构分析; 邵景华^[4]利用通用有限元软件

收稿日期: 2024-05-08

作者简介: 陈栋(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事结构设计工作。

MIDAS Gen 对某复杂 BAF 池进行了有限元分析,论证了水池底板的内力分布与弹簧支座的刚度、底板的厚度之间存在明显规律性,证明了桩基采用弹簧支座进行模拟的必要性。总结以往的成果可见,在水池的有限元分析计算中,在组成水池的壁板等构件尺度较多的情况下通常选择采用二维壳单元进行模拟。考虑到壳单元的单元特性,其优点是与设计手册等标准规程中的静力计算结果具有较高的吻合度,建模时可在几何层面及结构参数方面实现一定的简化,能够较大程度地节约建模以及计算成本。然而,鉴于水池结构整体受力的复杂性,其受力结果受结构构件间的相互影响,同时也受结构构件尺寸效应以及结构与地基的相互作用的影响,故对二维单元进行结构分析时会存在一定的局限性,即不易获得结构中钢筋的应力分布及沿水池池壁厚度方向的应力分布,在三维空间尺度下考虑水池结构构件

之间的相互影响较为困难,不易考虑实际存在厚度的水池壁板对结构受力的影响等。

1 工程概况

1.1 工程简介

案例工程选自某污水处理厂中的污泥调理池,水池为矩形带盖的钢筋混凝土结构,该水池为地上水池,分为两个水池单元,单元之间由水池壁板分隔且不连通。该水池带有钢筋混凝土顶板且顶板上带有人孔,建模过程中忽略顶板上较小的孔洞(如加药管、电缆管、设备转轴的孔洞等)。水池内底的标高与厂区地坪标的设计标高一致。

1.2 水池构件参数

水池构件参数如表 1 所列,构建的水池模型的配筋布置如表 2 所列,水池的尺寸示意图如图 1 所示。

表 1 水池构件参数

单位:mm

部位	池壁(厚度)	底板(厚度)	顶板(厚度)	顶板梁			洞口(人孔)
				主梁	次梁	洞口边梁	
尺寸	350	500	150	250×700	250×400	200×300	1 200×2 000

表 2 模型配筋参数

单位:mm

部位	水池池壁		水池底板		水池顶板	
钢筋种类	竖向钢筋	水平钢筋	受力钢筋	分布钢筋	受力钢筋	分布钢筋
钢筋布置	C18@120	C16@120	C18@150	C18@150	C10@150	C10@150

2 有限元模型建立及分析

2.1 模型材料本构及单元选择

建立的有限元模型中混凝土强度等级为 C30,钢筋牌号为 HRB400,混凝土本构曲线、损伤曲线及钢筋本构参数选自《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010—2010)^[5]。模型中不考虑钢材的屈服后强化段。鉴于 ABAQUS 软件中塑性损伤模型的收敛效果较好,且当混凝土破坏较为严重时,后处理中的塑性损伤云图可表征混凝土部分的开裂,因此本文选用混凝土塑性损伤模型来模拟混凝土的力学性能,钢筋采用理想弹塑性模型。

在模型建立的前处理部分,将实体单元模拟混凝土部分中的实体单元定义为应力单元 C3D8R,将钢筋定义为 truss 单元,钢筋截面及材性定义同前文所列;壳单元水池模型则采用 S4R 单元进行模拟。最终建立的有限元模型如图 2 所示。

2.2 接触关系、荷载布置及划分网格

对于钢筋混凝土水处理构筑物,当混凝土开裂

达到限度即判定结构失效,因此对此种构筑物进行静力分析时不考虑钢筋混凝土之间的滑移,将钢筋笼部分采用 embedded 形式嵌入混凝土池体^[6]。模型组装采用 X-Y 平面作为水池池底平面,Z 轴负方向为重力场施加方向。水压力荷载均按照满池情况考虑,即液面标高同顶板下表面,水压力通过程序荷载模块施加,水重度按照 10 kN/m³取值^[7]。本模型分析中仅考虑结构构件自重加上水压力的综合工况,不考虑走道板顶分布活荷载的情况。网格划分时,划分池壁单元大小约为 200 mm×200 mm,为方便提取钢筋内力,钢筋网格大小定义为 100 mm。在不考虑地基作用的模型中,对水池底板底部采用嵌固方式施加边界条件;对考虑地基作用的实体模型则采用有限元程序中的接触模块来模拟地基土与筏板底面接触面的切向与法向力学特征。

2.3 计算结果及结论

本模型中除两个单元格之间有隔墙之外,池壁 A、B、C 仅为顶部边界条件不同,其余条件(尺寸、静水荷载)均相同,其边界条件如表 3 所列。对于不同

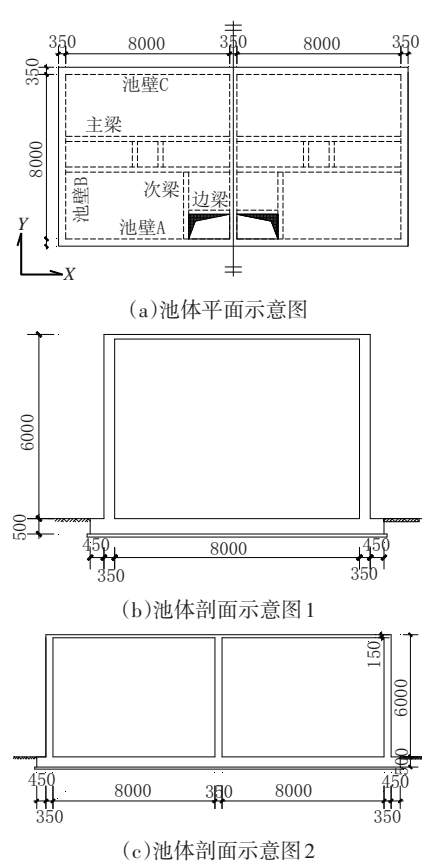


图 1 水池尺寸示意图(单位:mm)

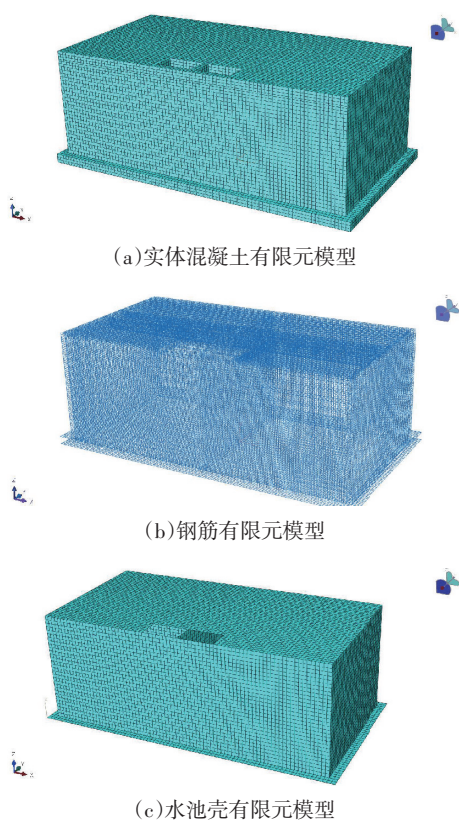


图2 有限元模型

的分析模型,通过软件后处理提取水池单元弯矩,并根据设计手册选取弯矩控制点如图3所示,分别位

于池壁角隅、池壁中心底部及水池壁板中心。

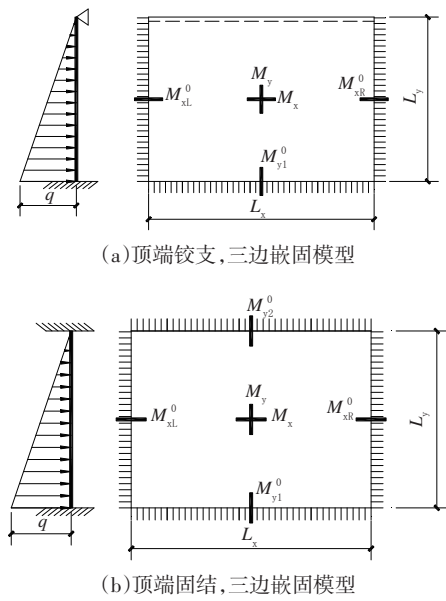


图3 设计手册计算简图^[3]

表 3 池壁变边界条件

池壁编号	顶部	底部	左边	右边
池壁A	顶板不连续 (局部开有人孔,人孔边缘设有边梁)	与底板固定连接	垂直板面方向一道墙体固定约束	沿墙体轴线及垂直板面方向各有一道墙体固定约束
池壁B	与顶板铰接	与底板固定连接	垂直板面方向一道墙体固定约束	垂直板面方向一道墙体固定约束
池壁C	与顶板铰接	与底板固定连接	沿墙体轴线及垂直板面方向各有一道墙体固定约束	垂直板面方向一道墙体固定约束

实体模型的截面内力包括混凝土单元内力以及钢筋单元内力,并进行叠加,壳单元模型可直接提取单元内力,将后处理中的提取计算结果与设计手册的计算值进行对比,如表4所列。

模型的应力计算结果云图如图4所示,结果表明钢筋与混凝土的应力发展程度较低,混凝土应力未达到开裂应力,后处理中损伤云图也并未出现损伤单元。钢筋最大应力出现在顶板部位,主要集中于顶板每块板单元的支座部位,钢筋最大Mises应力为36.1 MPa,仅为屈服强度的9.03%,混凝土墙体的钢筋应力发展更低,约为钢筋屈服强度的5%左右。

由计算结果可以得出结论如下所列。

(1)壳单元模型的计算结果与设计手册的结果基本一致,其中壳单元模型在板跨中央的计算弯矩 M_x 结果略大。

表 4 设计截面计算结果对比

单位: kN·m

计算分类	计算构件	M_{xL}^0	M_{xR}^0	M_{y1}^0	M_x	M_y	M_{y2}^0
设计手册	顶端铰支	-71.76	-71.76	-104.12	18.15	35.82	—
	顶端固结	-58.28	-58.28	-91.88	12.04	32.53	-57.83
实体模型, 不考虑地基作用	池壁 A	56.23	55.65	61.77	24.05	42.58	—
	池壁 B	56.08	52.21	56.08	19.49	36.25	—
	池壁 C	58.14	56.28	62.53	24.46	43.38	—
实体模型, 考虑地基作用	池壁 A	58.14	46.62	67.74	25.37	44.26	—
	池壁 B	57.84	57.90	57.03	20.54	36.55	—
	池壁 C	44.59	58.09	67.04	24.91	43.48	—
壳单元模型	池壁 A	68.90	68.25	102.75	25.29	33.82	—
	池壁 B	68.90	68.90	104.50	25.45	34.58	—
	池壁 C	67.70	68.85	102.60	25.27	33.74	—

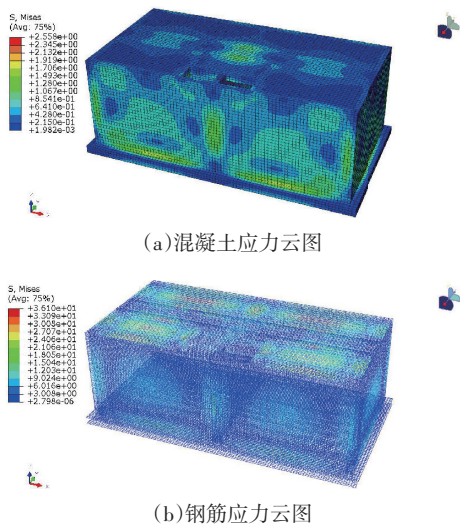


图 4 应力云图结果

在池壁角隅及底部弯矩较大的位置,实体模型的有限元分析弯矩小于设计手册的计算值,且相差幅度较大,在池壁跨中位置计算得到的弯矩 M_x 、 M_y 相较于设计手册的结果偏大,但超出幅度不多,建议在实际设计时适当予以考虑。

(2)实体单元模型的计算结果中,考虑地基作用的计算结果表明,当池壁边界同时受到垂直于池壁方向以及平行于池壁方向的其他壁板约束时,相较于仅受到垂直于池壁的相邻壁板约束的情况,角隅的计算弯矩偏小,这可能是由于不同池壁相交位置形成了刚度较大的刚域;不考虑地基作用的实体单元模型在壁板左右角隅处的弯矩计算值差距不大。

(3)顶板开洞口并且洞口边缘设置边梁的情况下,顶板洞口对水池壁板的计算弯矩影响不大。

2.4 结果分析

实体模型计算结果显示水池在壁板边缘的截面弯矩及应力出现最大值,此规律与壳单元模型及设

计手册的结果一致。可能是由于实体单元水池壁板存在厚度,在构件相连接的位置,由于应力扩散导致实体模型的有限元分析结果计算值小于设计手册的计算值,而池壁跨中弯矩的有限元计算值则略大于设计手册给出的计算值。

设计中,对于水池池壁的边配筋现阶段仍可采用内力计算表中给出的数据进行计算设计,考虑模型计算结果的角隅弯矩不对称性,其角隅设计弯矩仍然低于设计手册或壳单元模型的计算结果。当水池壁板较小时,配筋设计通常采用相同截面配筋,其控制弯矩由板边缘决定,可直接采用壳单元或设计手册计算值进行截面配筋;当水池壁板尺寸较大、考虑经济性而采用不同控制截面内力进行配筋设计时,建议建立有限元模型进行分析或采用其他手段对水池跨中的内力进行合理计算,避免由于对弯矩计算值估计不足而导致水池开裂。

对于考虑地基影响的三维水池模型,与壳单元模型及设计手册的计算值不同的是,水池壁板角隅处弯矩分布在池壁左右分布存在差异,建议设计时取不利值进行配筋设计;对于不考虑地基影响的模型,池壁两端角隅弯矩差异较小。考虑“基础-地基”的相互作用,并且当水池壁板的角隅边缘所连接的其他壁板数目增加时,计算得到的壁板角隅弯矩有降低趋势。

3 结 语

本文针对某污水处理厂中的污泥调理池采用有限元软件中的壳单元及实体单元分别进行了建模分析,得到结论如下。

(1)对水池采用壳单元建模且不考虑地基作用时的计算结果与按照设计手册得到的计算结果差距

不大,采用实体单元建模则无论是否考虑地基作用,水池角隅及池壁根部的计算弯矩均小于壳单元及设计手册的计算结果,但跨中的计算弯矩大于壳单元及设计手册的计算结果。尤其是在对较大尺寸水池池壁采用不同截面差异配筋的工程设计中,此种不利因素在实际设计时应当予以考虑。

(2)水池顶板洞口较小且设置洞口边梁的情况下,对池壁的内力设计可忽略洞口的影响。

(3)对采用整体三维模型建模的水池结构,是否考虑地基与结构的相互作用对水池池壁角隅的内力分布具有显著影响,在设计中宜予以考虑。

参考文献:

- [1] 沈世杰,王大龄,王长祥,等.给水排水工程结构设计手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,1984.
- [2] 郭素娟,郭艳军.水池设计软件计算结果与手册查表计算结果比较[J].特种结构,2014,31(2):142-143.
- [3] 王莹,赵星明,刘玉海.壁面温差对钢筋混凝土圆形水池池壁结构的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2015,46(5):740-743.
- [4] 邵景华.基于Midas/Gen的复杂BAF池有限元分析[J].特种结构,2023,40(2):73-77.
- [5] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范(2015年版)[S].
- [6] 王玉镯,傅传国.ABAQUS结构工程分析及实例详解[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [7] GB 50069—2002,给水排水工程构筑物结构设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

