

某超深沉井不排水开挖数值模拟分析

吕俊杰,付武荣

[上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433]

摘 要:南京某沉井项目采用了下沉式竖井掘进施工方法(VSM),拟该工艺为国内首次运用。基于 MIDAS GTS NX 有限元分析软件,对下沉式竖井掘进过程进行了数值模拟,并将模拟结果与实际监测数据进行对比,分析其施工影响。结果表明,模拟数据与监测数据吻合良好,为以后此工法的运用提供了参考。

关键词:不排水开挖;超深沉井;下沉式竖井掘进施工方法;VSM

中图分类号: TU753

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)12-0132-04

0 引 言

近年来,国家出台了一系列开发利用深层地下空间的战略规划,深层地下空间开发需求最为强烈的核心城区规划了各种应用场景,但实现这些应用场景需要可靠的结构和施工技术作为载体。现实的问题是中心城区建筑密度较大、可利用空间较小,在狭小空间内进行立体空间开发,存在空间受限、传统工艺难以开展、对周边环境扰动较大等局限^[1-3]。南京某沉井项目采用了下沉式竖井掘进施工方法(VSM)施工的预制拼装沉井形式,这是该工艺在国内的首次运用,可有效解决上述痛点问题。本文基于 MIDAS GTS NX 有限元分析软件,对其沉井的不排水开挖过程进行模拟,并将模拟结果与实际监测数据进行对比,分析其施工影响。

1 工程概况

南京某沉井项目首次采用国外设备,以垂直盾构的形式进行不排水开挖沉井施工。沉井内径 12 m,管片厚 400 mm,每环高 1.5 m,分六块,采用工厂预制形式。刃脚高 3 m,厚度与管片一致,为现浇混凝土结构,圈梁宽 3 m,高 2.5 m,也为现浇混凝土结构。掘进设备固定于刃脚处,管片在地面拼装,沉井整体下沉。工程主体结构建模见图 1。

本项目最大勘探深度为 72 m。根据本次勘探揭露的地层情况,按成因时代、岩性特征、埋藏条件及



图 1 主体结构模型

物理力学性质,场地勘探深度可划分为 4 个工程地质层,细划分为 11 个工程地质亚层。

本工程沉井开挖范围内土层主要为:1-1 杂填土层、1-2 素填土层、2-2 淤泥质粉质黏土层、2-3 粉细砂层、2-4 粉质黏土层、2-5 粉细砂层、2-6 粉土层、4-1 中粗砂混卵砾石层、4-2 卵砾石层、5-1 强风化砂质泥岩层、5-2 中等风化砂质泥岩层。

其中,2-2 层淤泥质粉质黏土具较高的流变、触变性,属灵敏性土,沉井施工时可能会突然下沉或失控下沉。2-3 层粉细砂、2-5 层粉细砂富含承压水,易产生涌砂、冒水、沉井倾斜等状况。4-1 层中粗砂混卵砾石和 4-2 层卵砾石为混合土。5-1 层强风化泥质砂岩在沉井时有一定的难度。

2 模型建立

沉井工程相较于常规的深基坑工程,有着开挖深度较深,但是对周边土体扰动较小的特性,参考其他

收稿日期:2023-03-23

基金项目:上海市科学技术委员会上海工程技术研究中心与专业技术服务平台项目(20DZ2251900)

作者简介:吕俊杰(1995—),男,本科,工程师,从事施工管理工作。

超深沉井不排水开挖模拟及实际施工经验^[4],为了使沉井的模型更加精细化,本模型缩小了土体边界,使沉井部分的网格可以划分得更多。

沉井主体结构为 3 m 高的现浇刃脚和 60 m 高的预制管片,厚度均为 400 mm。每环管片高 1.5 m,共 40 环,每环分为六块,每块的内壁展开图为梯形,沉井为整环拼装完后整体下沉的形式。本文不旨在分析块与块之间的结构受力分析,斜向的分割线会增加网格的复杂度,故在建模时,将管片按每环单独建模,不作分块考虑。圈梁与管片间有 10 cm 的间隙,在沉井掘进过程中持续灌注膨润土,减小井壁与地层之间的摩擦力,故在建模中可以不考虑沉井下沉与地层摩擦所导致的地面沉降^[5]。刃脚处有四组钢绞线,拉住井筒控制下沉行程,控制设备位于圈梁上,虽然可以用均布荷载替代,但一方面模拟较为困难,一方面软件中管片与圈梁默认固结,可视作有钢绞线拉住相对固定,故也不做专门模拟。

圈梁的外边线到沉井的距离为 3 m,高度为 2.5 m。由于考虑沉井抗浮和上部结构荷载传递,设计成异形截面,长 38 m,宽 20.6 m。考虑圈梁施工时需要开挖基坑,模型边界取长 70 m,宽 50 m。沉井深度为 65 m,模型高度取 80 m,模型总尺寸取 70 m×50 m×80 m。

按照地勘资料,地层中部分地层厚度很小,为简化计算,将厚度较小的地层忽略,并且根据管片的高度,将地层的厚度近似取管片高度的倍数,最后简化为九层地层。

模拟段模型剖面见图 2。

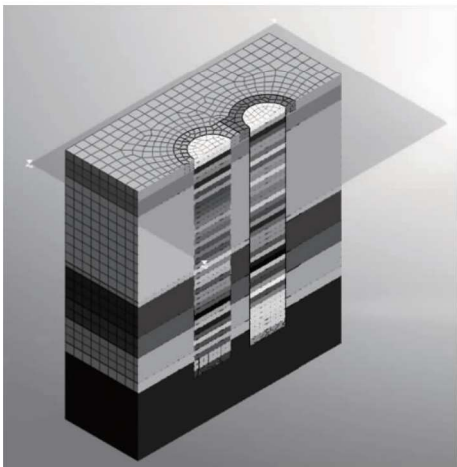


图 2 模拟段整体模型剖面图

在实际工程中,沉井的开挖和下沉进尺视地层情况在 10~40 cm 之间。出于建模运算方便的考虑,在施工模拟中,开挖下沉的进尺取管片高度。

由于该沉井工程采用了不排水开挖的施工工艺,在施工中保持井内水位基本与地下水位高度相同,故在模型中添加一个地下水位高度的整体地下水位,用以模拟整个施工过程中都不变的水位。

3 参数取值

本工程包含的地层有土层及岩层。采用修正摩尔库伦模型,主要参数取值参照该项目的地勘报告及其他研究中相似的地层参数^[6-8],选取了厚度大于管片高度的作为主要模拟对象,土层分别为 2-2 淤泥质粉质黏土、2-3 粉细砂、2-4 粉质黏土、2-5 粉细砂、2-6 粉土,主要参数见表 1。岩层分别为 4-2 卵砾石、5-1 强风化砂质泥岩、5-2 中等风化砂质泥岩,主要参数见表 2。

表 1 模型所采用的土体参数

编号	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
泊松比 ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
容重 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	17.9	19.1	18.2	19.3	18.9
$E_{30}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	4 360	10 800	5 300	10 100	6 610
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	4 360	12 960	5 300	12 120	7 932
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	17 440	75 600	21 200	70 700	46 270
参考压力 /kPa	100	100	100	100	100
应力相关 幂指数	0.8	0.5	0.8	0.5	0.5
K_0^{nc}	0.681 041	0.462 7	0.657 98	0.461 229	0.612 484
黏聚力 C/kPa	18.6	32.5	20	32.6	22.8
摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	0	2.5	0	2.6	0
膨胀角 $\psi/(^{\circ})$	17.7	4.5	19	4.1	16.6

表 2 模型所采用的岩层参数

名称	4-2	5-1	5-2
弹性模量 E/Pa	3.00E+06	4.00E+06	1.50E+07
泊松比 ν	0.2	0.3	0.3
容重 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	20	21.5	22.5
K_0	0.3	0.25	0.18
黏聚力 C/kPa	2	32	80
摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	35	24	30

圈梁、管片、刃脚均为钢筋混凝土结构,建模材料取混凝土,强度为设计强度。

4 模拟步骤

- (1)计算场地初始应力场(整体水位 -3.0 m)。
- (2)2# 井钝化两层土体(视为基坑开挖)。
- (3)2# 井激活混凝土圈梁(视为圈梁施工完成,刃脚、两层管片,VSM 及其配套设备安装完成),并进行位移清零。
- (4)2# 井钝化一层土体、激活一层管片为 1 个步骤,重复该操作,新建共计 38 个步骤(视为剩余 38 节管片逐节沉放到位)。
- (5)2# 井激活封底混凝土。
- (6)1# 井钝化两层土体。
- (7)1# 井激活混凝土圈梁,并进行位移清零。
- (8)1# 井钝化一层土体、激活一层管片为 1 个步骤,重复该操作,新建共计 38 个步骤。
- (9)1# 井激活封底混凝土。

一般来说,位移清零应该在施工前进行。由于本工程的施工沉降监测点布置在沉井圈梁上,采集圈梁在整个施工过程中的沉降数据,故模拟中,在圈梁激活后做位移清零,与实际对应。

5 模拟结果

对于本工程项目,施工中主要关注的监测项目是圈梁沉降及周边地表沉降。圈梁上沉降点布置见图 3。

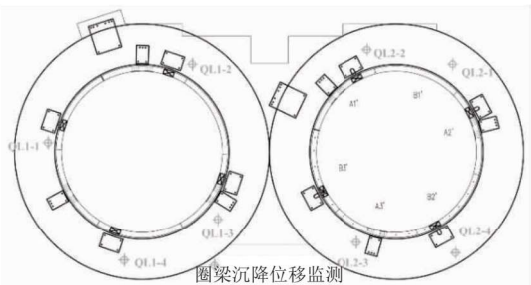


图 3 圈梁监测点布置图

每个沉井在掘进前,会在对应圈梁上布置 4 个监测点,用来分析整体沉降大小或者是否出现了不均匀沉降。2# 井施工完成后,对 2# 井圈梁沉降进行对比,数据见表 3。1# 井圈梁施工完成重新监测,对应软件中的位移清零。1# 井施工完成后对两个圈梁的沉降进行对比,数据见表 4。

根据两次掘进的沉降数据对比,模拟数据与实际监测数据较为接近,可见土层及岩层的参数取值基本合理。

对于施工周边环境影响的测量,由于施工场地四周紧邻中高层建筑,无法测量到中远距离的沉降

表 3 2# 井施工完成后的沉降数据 单位:mm

监测点	实测	模拟
QL2-1	42	61.4
QL2-2	53	56.5
QL2-3	47	56.5
QL2-4	38	59.9

表 4 1# 井施工完成后的沉降数据 单位:mm

监测点	实测	模拟
QL2-1	1	2.6
QL2-2	5	4.2
QL2-3	5	4.2
QL2-4	2	2.4
QL1-1	37	37.3
QL1-2	22	25.7
QL1-3	17	22.6
QL1-4	32	33.8

数据,所以项目设立的周边沉降监测点均在 20 m 范围以内。其中,在距离圈梁 15 m 处的高层建筑墙壁上布置了 2 个沉降监测点,全程最大沉降为 7 mm。在距离圈梁 10 ~ 20 m 的马路边布置了 3 个沉降监测点,全程最大沉降为 12 mm。由于监测数据过少且在距离上不具备分布性,本文的数值模拟不做沉井施工对周边环境影响距离的分析。这也是模型建立时缩小土体边界的原因之一。

在原有工程设计中,圈梁为一次浇筑成型,但在实际施工中,根据现场情况采用了分两次施工。根据实际工况建模,在原有模型基础上,对施工步骤进行修改,模拟圈梁一次浇筑成型的工况,两种工况下的模拟总沉降对比见表 5。

表 5 不同圈梁施工方法下总沉降数据对比 单位:mm

监测点	分次浇筑圈梁模拟	一次浇筑圈梁模拟
QL2-1	64.0	60.8
QL2-2	60.7	54.2
QL2-3	60.7	51.4
QL2-4	62.3	57.5
QL1-1	37.3	34.7
QL1-2	25.7	25.5
QL1-3	22.6	20.7
QL1-4	33.8	32.2

根据沉降数据对比可见,分次浇筑的圈梁形式,对先开挖的井的沉降影响较大,沉降约增加 10%~20%,对后开挖的井的沉降基本不影响。而一体式的

圈梁,整体的不均匀沉降较为明显。

6 结 语

(1)采用 VSM 施工的预制拼装沉井形式,在市区施工时,对紧邻周边建筑的影响较小。至于对周边环境的影响分析,还有待该工法被更多地应用于空旷环境下后,再进行分析。

(2)对于两口沉井乃至更多沉井距离较近工况的设计,圈梁的一体式浇筑,能减少前面施工沉井的整体沉降,但也增加了圈梁的不均匀沉降。以后的多沉井设计,需将其优缺点都考虑进去,选择合适的圈梁施工形式,或者在施工中采用适当的措施,弥补结构本身的不足,保证圈梁的施工质量。

(3)在实际工程中,沉井与圈梁由钢绞线连接。由于软件本身特性,管片与圈梁默认固结,保证了管片与圈梁的相对位移,反而能较为准确地模拟实际效果。

(4)在 MIDAS GTS NX 中,无法模拟出该沉井实

际下沉过程及与土层摩擦的效果,但实际工程中采用了膨润土护壁的工艺,可以不考虑沉井与地层摩擦所带来的对周边的沉降影响。

参考文献:

[1] 罗朝洋. 超深大沉井基础沉降监测及数值模拟分析[D].成都:西南交通大学,2019.

[2] 刘少雄. 沉井施工对邻近地铁区间隧道的变形影响分析[J].工程技术研究,2021,6(4):85-87.

[3] 陆浩,朱浩宇,贺洁星,等.沉井施工对周围环境影响规律及加固效果分析[J].中国市政工程,2020(6):67-71,114-115.

[4] 高昊. 连镇铁路五峰山长江大桥北锚碇沉井下沉对周边环境的影响[J].铁道建筑,2021,61(4):29-32.

[5] 赵敏杰. 超深沉井下沉周边环境效应与控制措施[J].建筑施工,2020,42(6):1079-1084.

[6] 杨雪. 深厚淤泥质土层中沉井施工及沉降研究[D].邯郸:河北工程大学,2019.

[7] 张计伟. 深厚软土地区超大型沉井下沉行为及稳定性分析研究[D].杭州:浙江大学,2020.

[8] 周亮,陈华雷,周谷城. 沉井施工与邻近岸坡相互影响数值模拟分析[J].水利规划与设计,2020(4):94-98.

《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

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com