

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.07.041

上海市中心城区复杂环境下泵房沉井施工案例

顾李明

(上海市城市排水有限公司, 上海市 200233)

摘 要: 沉井是泵房工程常用的一种结构型式,具有投资省、工期短等优点,但因其在下沉过程中对周边环境影响较大,近年来在上海市中心城区的应用逐渐减少。以位于上海市虹口区的初雨提升泵房沉井工程为例,介绍在软土地区复杂环境下对周边建(构)筑物采取保护措施,科学合理组织施工,顺利下沉的成功案例,可为类似条件下沉井工程施工提供参考。

关键词: 软土地质;沉井;泵房;隔离桩

中图分类号: TU992 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2022)07-0150-04

0 引 言

随着城市化进程的发展,在上海市中心城区进行工程建设的周边环境日益复杂,受制于复杂环境的限制,曾经作为泵房主要施工方式的沉井在中心城区的应用逐渐减少。沉井具有投资省、工期短、作业占地小、土方开挖量少等优点^[1],与基坑支护施工相比具有一定的优势,在保护好周边环境时,沉井仍然是泵房施工可采用的较好方式之一。

1 工程概况

1.1 工程简介

本工程位于上海市虹口区曲阳污水处理厂内,为解决曲阳、东体育排水系统初期雨水放江造成污染问题,在曲阳污水处理厂内新建初雨提升泵房一座,泵房下部采用沉井施工,沉井平面尺寸 20.7 m×27.3 m,刃脚深度 16.6 m。

1.2 周边环境条件

沉井北侧为现状鼓风机房,由两部分组成,其中南侧部分为两层砖混结构,天然地基,筏板基础,基础埋深 3 m,与沉井最小距离为 15.3 m;沉井东侧为厂区内两栋生产用房,与沉井最小距离为 16.9 m;沉井南侧 12 m 处为污水厂与上海外国语大学的共用围墙,18.2 m 处为学校的教学楼;沉井西侧紧邻本工程拟建汇水井基坑。沉井周边环境见表 1 和图 1。

1.3 地质条件

沉井深度范围内的地基土主要为①₁层填土、②₃

表 1 沉井周边环境一览表				
方位	与沉井边线最小净距/m	构筑物	结构类型	基础形式
沉井北侧	15.3	鼓风机房(北)	单层排架结构	独立基础
		鼓风机房(南)	地上砖混结构,地下钢筋混凝土结构	筏板基础
沉井东侧	22.5	生产用房	框架结构	浅基础
	16.9	回灌井房	地上 1 层	浅基础
	18.9	φ300 回灌管	—	—
沉井南侧	18.2	上外教学楼	地上 17 层框架剪力墙结构	桩基础
沉井西侧	紧邻	拟建汇水井基坑	灌注桩支护	基坑深度 13 m

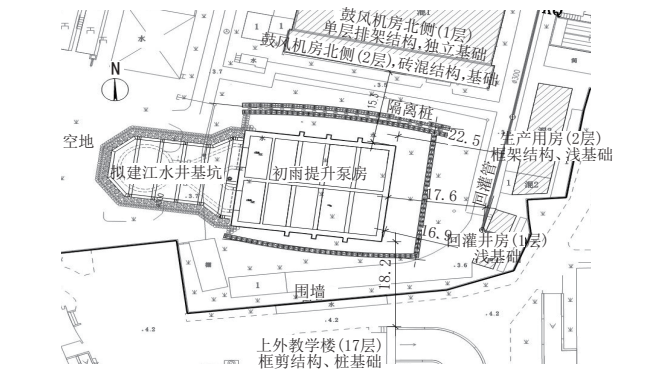


图 1 沉井周边环境示意图(单位:m)

层灰色砂质粉土、④层灰色淤泥质黏土。①₁层填土组成较为复杂,均匀性较差,工程性质差,对沉井稳定极为不利。②₃层灰色砂质粉土,局部为黏质粉土,拟建场地普遍分布,松散~稍密,中压缩性,工程性质较好,但为可液化土层,在地下水的渗流作用下易发生流砂现象,造成沉井位移、倾斜、超沉、井外地面坍塌。④层灰色淤泥质黏土,强度低,灵敏度高,流塑,高压

收稿日期: 2022-04-22
作者简介: 顾李明(1972—),男,本科,工程师,从事排水工程管理工作。

缩性,工程性质较差,是本场地主要软弱层之一,容易造成沉井突沉、超沉、偏斜。

地下水主要为浅层潜水及赋存于⑦层砂质粉土中的承压水,地下水补给来源主要为大气降水与地表径流。在⑦层承压水水头埋深 3.0 m 的最不利条件下,可能发生突涌。

各土层物理力学性质参数见表 2。

表 2 土层力学参数

层序	土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^3)$	C/kPa	$\phi/(\circ)$	渗透系数 $k/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
② ₃	灰色砂质粉土	18.3	3.0	30.2	4.0E-04
④	灰色淤泥质黏土	16.8	10.7	11.0	4.0E-07
⑤ ₁	灰色粉质黏土	17.8	14.2	16.3	5.0E-06
⑥	粉质黏土	17.8	45.1	16.6	2.0E-06
⑦	砂质粉土	19.5	3.0	30.2	6.0E-04

1.4 工程方案

提升泵房沉井结构平面尺寸 20.7 m×27.3 m,底板埋深 15.0 m,刃脚埋深 16.6 m。沉井外壁厚度 1.1 m,内部由纵横两道统高内隔墙和三榀竖向框架分隔为十个仓室,仓室净宽 3.5~5.65 m,沉井结构平面和竖向布置见图 2、图 3。沉井起沉标高 1.80 m,自上而下穿过②₃层灰色砂质粉土、④层灰色淤泥质黏土。第④层灰色淤泥质黏土为流塑状态,为防止发生突沉、超沉事故,设计图纸对沉井井壁及内分隔墙位置的刃脚下土体采用水泥土搅拌桩进行加固,桩长 20 m,桩顶位于起沉标高,桩端进入⑤₁层灰色粉质粘土层。

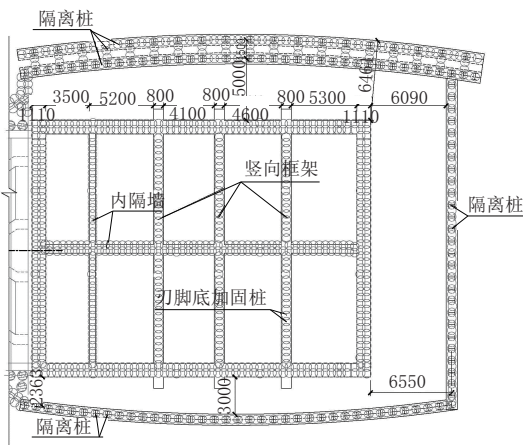


图 2 沉井结构平面布置图(单位:mm)

2 施工方案

2.1 施工难点及应对措施

(1)难点一:周边环境复杂,保护要求高。

本工程沉井周边环境复杂,东、南、北三个方向 2

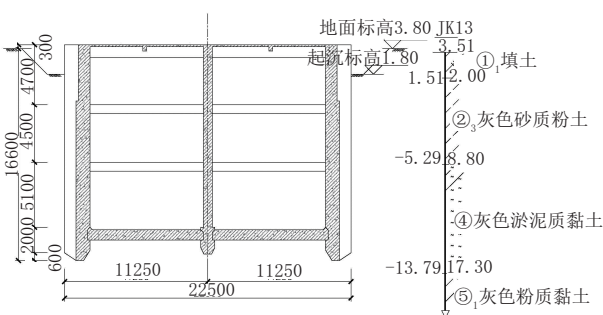


图 3 沉井竖向框架布置图(单位:mm)

倍下沉深度范围内存在现状房屋,其中北侧鼓风机房为浅基础,土体扰动容易影响其结构安全。且沉井在②₃层灰色砂质粉土中下沉过程中,在井内外存在水头压力差的情况下,极易发生井内涌土、井外塌方的不利现象,对沉井周边环境带来风险。

难点一应对措施:

根据设计图纸,为保护周边环境,在沉井北侧设置双排隔离桩,东侧和南侧设置单排隔离桩,与西侧拟建基坑的止水帷幕桩相接,为沉井下沉提供相对封闭的环境,可有效减小下沉施工对周边建(构)筑物的影响。隔离桩为 $\phi 700$ 双轴水泥土搅拌桩,搭接 250 mm,内插型钢 HM500×300,隔一插一,桩长 18 m,桩端进入刃脚以下 3.4 m,隔离桩与沉井间距 3~6 m,桩顶设钢筋混凝土冠梁,双排桩冠梁之间以钢筋混凝土连板连接,以增加双排桩整体性和抗侧移刚度。

(2)难点二:土层软硬不均,下沉控制难度高。

沉井下沉过程是动态不平衡的,下沉至既定位置时又必须是平衡的,施工过程中对这种不平衡到平衡的动态控制是沉井施工的难点,尤其是本工程沉井尺寸大、自重,需穿越较密实的②₃层灰色砂质粉土、终沉在灵敏度高流塑状的④层灰色淤泥质黏土,易产生倾斜、突沉或超沉现象。

难点二应对措施:

a. 在沉井刃脚下方采用双轴搅拌桩对地基土进行加固。

b. 按分层、均匀、对称取土的原则,根据沉井姿态动态调整各仓取土速度,做到勤测量勤纠偏,确保井体倾斜值在规范允许范围以内,避免倾斜挤压外部土体。同时,对于井体与隔离桩之间塌陷的土体应及时回填,减小横向土体挤压。

2.2 施工技术要点

(1)制作、下沉方式

沉井主体结构总高度 16.9 m,地面吴淞高程 3.80 m,刃脚底标高 -12.8 m,起沉标高 1.80 m,沉井

结构制作总高度 15m。沉井下沉施工通常为分段浇筑多次下沉或分段浇筑一次下沉两种方式。考虑一次下沉方便施工,需验算刃脚砂垫层厚度以满足抗压要求。

经过计算下沉结构的总混凝土方量为 1 787.7 m³,总重量为 44 692.4 kN。

砂垫层上铺设 250 mm 厚宽 1.6 m 的 C20 素混凝土垫层。

根据《沉井与气压沉箱施工规范》(DG/T J08-2084—2011)第 4.2.1 条,砂垫层厚度可按以下公式计算:

$$p \geq \frac{G_0}{2h_s \tan \alpha + L} + \gamma_s h_s \quad (1)$$

式中: P 为砂垫层底部地基土的承载力设计值, kPa; h_s 为砂垫层厚度, m; G_0 为沉井沿井壁单位长度重量, kN; γ_s 为砂的天然容重, kN/m³; L 为素混凝土垫层宽度, m, $L=2b_1+b+n$; 其中 b 为刃脚踏面宽度, m; n 为刃脚斜面的水平投影宽度, m; α 为砂垫层的压力扩散角, 取 30°。

根据沉井施工情况可知:

$G_0=44\,692.4/144=310.4$ kN/m(沉井重量 44 692.4 kN, 计算延米长度 144 m)

$L=2b_1+b+n=2\,h+b+n=2 \times 0.25+0.6+0.5=1.6$ m

$\tan \alpha=0.58$ (取 $\alpha=30^\circ$);

$\gamma_s=18$ kN/m³

根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)5.2.4 条,砂垫层底部地基土承载力设计值可按以下公式计算:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5)$$

根据地勘报告及规范可知:

$$f_{ak}=90 \text{ kPa}, \eta_b=0, \eta_d=1.0$$

故: $p=90+1.0 \times 18 \times (h_s-0.5) \geq 310.36/(2 h_s \times 0.58 + 1.6) + 18 h_s$

求得砂垫层厚度: $h_s \geq 1.9$ m

最终现场砂垫层厚度 h_s 取 2.0 m。

起沉标高处换填 2 m 砂垫层后,地基承载力满足 15 m 高度井体抗压要求,同时考虑商品混凝土的单车供应量,本工程采用三次浇筑一次下沉的方式。

(2)排水、不排水下沉相结合

沉井四周布置有隔离桩和止水桩,桩底插入④层灰色淤泥质黏土,基本实现了止水效果,考虑到工期和现场排泥等因素,上段沉井采用排水法进行下

沉。根据地勘报告,承压水最高水头埋深为地面以下 3.0 m,⑦层承压水含水层顶面埋深 29.4 m,按照上海市《基坑工程技术标准》DG/TJ 08-61—2018 第 6.7.1 条进行抗承压水稳定验算:

$$\gamma_s p_{wk} \leq \frac{1}{\gamma_{RY}} \sum \gamma_i h_i \quad (2)$$

式中: γ_s 为承压水作用分项系数, 取 1.0; p_{wk} 为承压含水层顶部的水压力标准值, Pa; γ_i 为承压含水层顶面至坑底间各土层的重度, kN/m³; h_i 为承压含水层顶面至坑底间各土层的厚度, m; γ_{RY} 为抗承压水分项系数, 取 1.05。

根据地勘报告及施工条件,刃角底设计标高位于④层土(厚 8.5 m, 重度 16.8 kN/m³), 向下依次为⑤₁ 灰色粉质黏土(厚 7.5 m, 重度 17.8 kN/m³)、⑥粉质黏土(厚 4.6 m, 重度 17.8 kN/m³)以及⑦层砂质粉土。

$$p_{wk}=(29.4-3) \times 10=264 \text{ kPa}$$

则 $h_1 \times 16.8+7.5 \times 17.8+4.6 \times 17.8 \geq 264 \times 1.05$

由上式求得 $h_1 \geq 3.7$ m, 即满足抗突涌稳定的④层土最小覆盖厚度为 3.7 m, 挖土至标高 -10.0 m 以下时,坑底抗突涌安全系数不再满足规范要求。排水下沉施工速度快、成本低,但对周边环境的影响相对较大,经综合考虑,本工程下沉至标高 -7.0 m 时对井内灌水,改为不排水下沉的方式继续施工。

3 施工过程

3.1 施工过程控制要点^[2-4]

(1)在周边地面及建(构)筑物布置沉降、位移监测点,对重要管线开挖样沟确定位置并布置监测点,下沉施工过程中加密监测频率。

(2)在沉井北、东、南侧实施双轴搅拌桩并插型钢,西侧实施止水桩,平面上闭合,起到隔离和止水的作用。

(3)初沉阶段沉井下沉系数较大,取土时先挖中间部分,保留刃脚周围土体,使刃脚切土下沉,减缓下沉速度,便于纠偏。初沉阶段形成的顺直下沉通道有利于后续平稳下沉。

(4)取土过程中实时监测土层变化情况,监测分析土体摩阻力与沉井重量的关系,严格控制取土位置和取土量,及时跟进测量底梁两侧土塞高度,结合倾斜测量数据及土层特性针对性出土,确保沉井均匀、平稳下沉。

(5)井内取土及时清运,避免在沉井周边堆土造

成沉井四周的土压力不平衡导致沉井偏斜。

(6)沉井下沉至标高 -7.0 m 时,改用不排水下沉方式,维持井内水位标高 1.0 m,用两台冲吸设备进行水下取土清泥。距离设计标高 30 cm 时停止全方位取土,依靠下沉惯性并根据监测结果对下沉滞后的仓室小范围取土,按勤测勤纠的原则直至达到设计标高并趋于稳定。

(7)沉井基本稳定以后 8 h 内沉降量不大于 10 mm 时进行封底;清理封底混凝土与井壁结合处,清除井底浮泥,修整锅底,采用导管浇筑水下混凝土封底。

3.2 施工监测^[5]

本工程对沉井的几何姿态和周边环境进行了全过程监测,其中沉井的几何姿态监测包括沉井下沉速度、倾斜和水平位移,周边环境监测包括对周边地面沉降、地下水位、主要建(构)筑物和管线的监测。

沉井施工过程中,周边建(构)筑物和管线监测数据均在可控范围内,未出现较大的沉降或倾斜。以距离沉井最近的鼓风机房为例进行分析,鼓风机房为浅基础,对沉降变形最为敏感,其竖向位移历时过程曲线见图 4,结果显示,场地平整至起沉标高阶段监测点开始产生较小的沉降;沉井制作阶段因施加了较大的井体超载沉降量增大;初沉时产生了一定的回弹量,随着下沉的继续,沉降量持续增大,终沉时东南角监测点达到最大值 19.9 mm;封底后沉降量趋于稳定。整个过程中鼓风机房最大沉降量未超过 20 mm,差异沉降未超过 3/1 000,鼓风机房结构安全,未产生结构裂缝。监测结果表明本工程周边环境保护措施可靠、施工控制得当,隔离桩的使用隔断了

滑裂面、增大了土体抗侧移刚度,是减小对周边环境影响的有效措施。

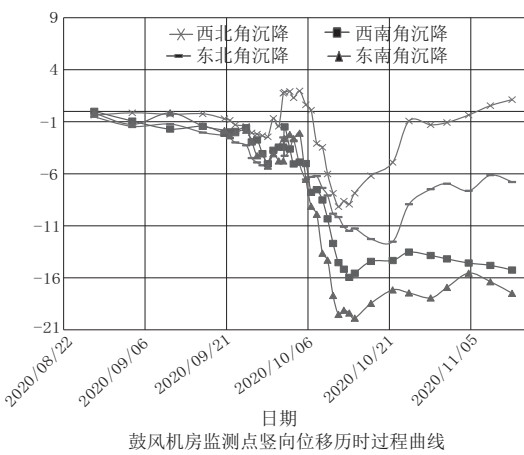


图 4 鼓风机房监测点竖向位移历时过程曲线(单位:mm)

4 结 论

本次泵房沉井工程的顺利实施表明,当保护措施合理、施工控制得当时,沉井这种投资省、工期短的施工方法仍可作为周边环境相对复杂时的泵房工程实施方式之一。本工程的成功实施可为类似条件下沉井工程施工提供参考。

参考文献:

[1] 孙建海.沉井在上海某综合管廊中的应用实例与分析[J].城市道桥与防洪,2019(10):207-211.

[2] 翟忠保.应用于软土地区的沉井下沉施工技术[J].水利水电施工,2020(5):39-43.

[3] CECS137:2015,给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程[S].

[4] GB/T 51130—2016,沉井与气压沉箱施工规范[S].

[5] 《给水排水工程结构设计手册》编委会.给水排水工程结构设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.

《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

投稿邮箱:cdq@smedi.com