

福州市某污水处理厂进水泵房沉井施工案例

张 奇

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 福州市某污水处理厂建设工程进水泵房沉井施工工程采用分次制作、二次下沉、水下封底的方法,并且为控制沉井在淤泥层接高时的稳定性,提前在刃脚和中隔墙底施工 8% 水泥含量的搅拌桩。以该工程为例,介绍了沉井分次制作、分次下沉的施工程序和技术要点,包括分节制作高度、刃脚垫层设置、取土下沉方法、淤泥层沉井接高止沉方法、脚手架搭设方法、沉井封底方法、纠偏方法等。经验证,该工程沉井施工质量达到了控制标准要求,可为类似工程沉井下沉施工提供借鉴。

关键词: 污水处理厂;沉井;下沉方法;接高止沉;施工技术

中图分类号: X52;TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0215-05

Construction of Open Caisson in Inlet Pump House of a Wastewater Treatment Plant in Fuzhou City

ZHANG Qi

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The open caisson in inlet pump house of a wastewater treatment plant (WWTP) construction project in Fuzhou is constructed with the methods of staged fabrication, secondary sinking and underwater bottom sealing. To control the stability of the open caisson during the elevated in the mud layer, the 8% cement content mixing piles are constructed at the edge of the blade and the bottom of the middle partition wall in advance. Taking this project as an example, the construction procedures and technical essentials of staged fabrication and staged sinking of the open caisson are introduced, including segmental fabrication elevation, setting up edge foot pad layer, soil removal sinking method, open caisson elevated and anti-sinking method in the mud layer, scaffold erection method, open caisson bottom sealing method, and correction method. It has been verified that the construction quality of the open caisson in this project meets the control standard requirements and can provide reference for the construction of similar open caisson sinking projects.

Keywords: wastewater treatment plant (WWTP); open caisson; sinking method; elevating and anti-sinking; construction technology

0 引 言

在各城镇污水处理厂的建设中,特别是沿海城市,沉井施工法多用于进水泵房的施工,原因主要是进水泵房一般埋深较大,而沿海城市地下土层土质相对较差,多存在淤泥层,若采用常规的深基坑支护结构^[1]方案,一方面沉井方案造价相对较高,另一方面施工工期也相对较长。此外污水处理厂多为民生项目,对于人口日益增加的城市来说,项目的早日完成可以减轻或解决污水出路,提升城市形象,带来社会效益。因此,污水处理厂进水泵房多采用沉井

方案。

沉井施工方案主要分为排水下沉和不排水下沉 2 种^[2-4],或者结合土层特征综合这 2 种方法施工^[5]。但根据国内众多学者研究成果和具体的工程建设实践经验,沉井下沉施工对周围环境的影响较大^[6],主要表现为周边地面下沉、塌陷、道路房屋结构损坏等危害^[7]。赵敏杰^[8]以超深沉井为研究对象,得出沉井下沉影响范围约为距沉井侧壁 0.5 倍下沉深度。沉井施工取土下沉的施工方法选择也关系着沉井能否安全顺利的完成,特别对于分次制作、分次下沉的沉井,在淤泥层接高制作时更对施工技术有着更高的要求。总而言之,沉井施工需要充分论证技术方案可行性,从多方面进行控制,才能保证下沉安全可靠。本文以福州市某污水处理厂建设工程为例,对

收稿日期: 2025-03-31

作者简介: 张奇(1992—),男,学士,工程师,从事市政排水工程施工与建设管理工作。

沉井设计和施工技术进行介绍和总结。

1 进水泵房设计方案概况

1.1 结构设计简介

进水泵房结构平面尺寸 22.4 m×12.2 m,高 18.4 m (顶板至刃脚底),刃脚高 3.55 m;底板厚 0.6 m,下设厚 1 450~1 600 mm 的 C30 素混凝土封底;四周井壁厚 0.8 m,顶板厚 0.2 m。沉井内设有底梁、隔墙和框架梁,框架梁共 3 层 9 道,最顶层截面尺寸为 600 mm×800 mm、下面2层截面尺寸为600 mm×1 000 mm。

进水泵房平面图及 1-1 剖面图见图 1、图 2。

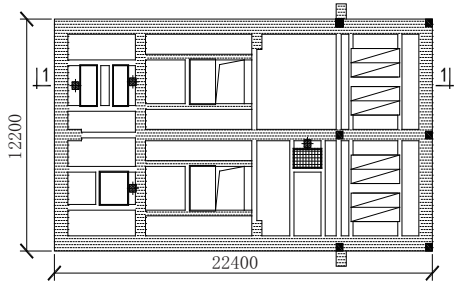


图 1 进水泵房平面图(单位:mm)

1.2 围护结构设计

距离沉井结构四周外边 1.5 m,施工水泥土搅拌桩+内插钢桩围护。水泥土搅拌桩采用单轴单排 $\phi 600@400$ mm,桩顶标高 5.50 m,长度 21.0 m,进入⑤

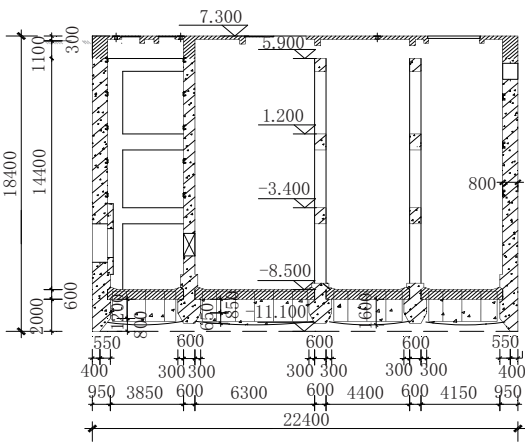


图 2 进水泵房 1-1 剖面图(单位:mm)

淤泥质土不小于 1.5 m;内插钢桩插一跳一布置,规格 H488 mm×300 mm×11 mm×18 mm,桩顶标高 6.00 m,桩长 18 m。围护桩顶设置 C35 混凝土冠梁,截面尺寸 800 mm×800 mm。搅拌桩水泥采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥,水泥掺入比为 20%,水灰比取 0.5~0.6,28 d 无侧限抗压强度不小于 1.0 MPa。

2 工程简介

2.1 工程地质概况

根据地勘报告,进水泵房拟建区域地层结构主要为 3 层:①杂填土、③淤泥、④粉砂。

岩土层设计计算参数表见表 1。

表 1 岩土层设计计算参数表

地层	层厚/m	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	单位摩阻力/kPa	地基土承载力特征值/kPa	地基土极限承载力/kPa
①杂填土	2.50	17.0	8*	12*	20.0	70.0	120
③淤泥	12.30	15.8	11.6	5.9	10.0	50.0	100
④粉砂	5.50	18.0	6*	20*	13.0	140.0	300

注: *为经验值。

2.2 水文地质条件

(1)潜水。根据地勘报告,①杂填土属中等透土层,赋存于①杂填土孔隙中的潜水主要受大气降水补给,以地面蒸发及渗漏方式排泄,其动态受季节影响变化较大,水量变化较大。稳定水位埋深为 0.43~3.47 m。

(2)承压水。④粉砂为中等透土层,赋存于④粉砂孔隙中的承压水主要受地下水的侧向补给,水量较大。该层水动态随季节变化较大,实测稳定水位埋藏深度约 14.10 m,水头高度为 0.70 m,渗透系数值为 3 m/d (3.5×10^{-3} cm/s)。

2.3 周边环境概况

进水泵房区域原地面标高约 6.22 m,与 AAO 生化池的最近距离为 8.5 m;距曝气沉砂池 8.7 m、鼓风机房 17.5 m、现状构筑物 22.3 m、居民房 46.3 m。

进水泵房周围环境平面示意图见图 3。

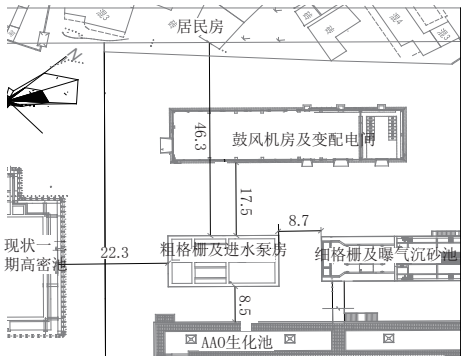


图 3 进水泵房周围环境平面示意图(单位:m)

3 沉井施工方案

3.1 方案概述

沉井采用分次制作、二次下沉方案。沉井结构

共分 5 次制作方式,在第 1(刃角段)、第 2 节制作完成后进行第 1 次下沉,采用排水下沉方法;第 3、第 4 节接高制作完成后,进行第 2 次下沉,采用不排水下沉方法。沉井下沉至设计标高后进行水下封底和底板施工,完成后进行第 5 节制作。

3.2 沉井施工工艺流程

该工程沉井分次制作、二次下沉的施工工艺流程如下:

准备工作→测量放线→起沉线土方开挖→砂垫层填筑→浇筑素混凝土垫层→搭设内外脚手架、钢筋模板分段安装→第 1、第 2 节结构分段浇筑施工→脚手架及模板拆除、沉井下沉至控制标高→搭设内外脚手架、第 3、第 4 节钢筋模板分段安装→第 3、第 4 节结构分段浇筑施工→沉井下沉至底标高→沉井素混凝土封底→底板结构施工→内墙板施工→第 5 节侧墙及顶板支架、模板钢筋安装→结构浇筑→下道工序。

3.3 沉井制作

3.3.1 沉井分节制作情况

沉井结构按照刃脚位置、框架梁位置和后浇线位置将沉井结构共分为 5 节,其制作表见表 2。

表 2 沉井分节制作表

节数	分节高度/m	分节情况
第 1 节	3.85	刃脚+0.30 m 井壁
第 2 节	4.15	1 层框架梁顶+0.30 m 井壁
第 3 节	4.60	2 层框架梁顶+0.30 m 井壁
第 4 节	4.50	3 层框架梁顶+0.10 m
第 5 节	1.30	剩余井壁至顶板

3.3.2 垫层设计及理论验算

该工程砂垫层和素混凝土垫层在沉井第 1 次下沉前结构制作时设置,砂采用中粗砂,混凝土强度等级设计值采用 C20。刃脚下砂垫层设计厚度 1.2 m、宽度 3.2 m,底梁和隔墙处砂垫层厚度 0.8 m,宽度 3.0 m;砂垫层上设置素混凝土垫层,刃脚和内隔墙处混凝土垫层厚度 20 cm,宽度 2.0 m,底梁处混凝土垫层厚度 10 cm。

砂垫层计算简图见图 4。

在《沉井与气压沉箱施工规范》(GB/T 51130—2016)中,砂垫层的相关理论验算公式为:

$$p = \frac{G_0}{2h_s \tan \varphi + B_L} + \gamma_s h_s \tag{1}$$

$$p \leq f_a \tag{2}$$

$$B_s \geq 2h_s \tan \varphi + B_L \tag{3}$$

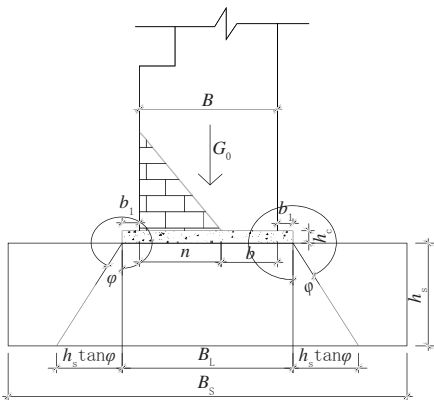


图 4 砂垫层计算简图

$$h_c = \left(\frac{G_0}{R} - (b + n) \right) / 2 \tag{4}$$

上述式中: $B_L=B+2b_1$,且 $b_1=h_c$; b_1 计算时可取 $b_1 \geq h_c$ 。

图 4 及式(1)至式(4)中各符号含义及取值情况见表 3。

表 3 符号代表及取值情况表

符号	符号解释	取值情况
p	砂垫层下地基土的承载力标准值/kPa	
h_s	砂垫层厚/m	详见垫层设计
G_0	沉井第 1 节沿井壁单位长度重量/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	162.5
γ_s	砂的天然重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	17
B_L	素混凝土垫层宽度/m	详见垫层设计
b_1	素混凝土外挑宽度/m	
φ	压力扩散角/($^\circ$)	35
h_c	素混凝土垫层厚度/m	详见垫层设计
b	刃脚踏面宽度/m	井壁 0.4, 隔墙 0.6
B	刃脚宽度/m	井壁 0.95, 隔墙 1.20
f_a	修正后的地基承载力特征值/kPa	取 70
B_s	砂垫层的底面宽度/m	详见垫层设计
R	砂垫层承载力设计值/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)	取 130
n	刃脚斜面的水平投影宽度/m	井壁 0.55, 隔墙 0.3

将设计数值代入式(1)至式(4)验算公式,得出的混凝土垫层厚度、承载力,砂垫层厚度、宽度等均满足要求。

3.3.3 沉井制作施工技术要点

(1)混凝土浇捣技术要点。为确保施工安全和质量,沉井每节制作高度均控制在 5 m 内。沉井井壁浇筑时,沿四周逐层均匀对称浇筑,厚度控制在 50 cm 内;每层振捣应到位,振捣棒宜快插慢拔,并应插入到下层混凝土,深度控制在 5~10 cm,以保证上下层混凝土浇筑整体质量,不产生施工分层。

(2)施工缝处施工技术要点。沉井每节制作时,应在施工缝处井壁中线位置设置止水钢板,并安装牢固。在上节沉井结构浇筑前,应将施工缝处的下

节混凝土表面凿毛,清除浮浆和松动的石子,然后浇筑1层厚度为30 mm的同标号水泥砂浆,再浇筑上部混凝土。

3.3.4 脚手架搭设方案及施工技术要点

(1)该工程脚手架分3次搭拆。第1次为第1、第2节沉井制作时的搭拆,采用落地式钢管扣件脚手架。第2次为沉井第1次下沉到位,第3、第4节接高时的搭拆;内脚手架搭设方法为:在结构顶部设置型钢作为钢管脚手架搭设支点,然后在型钢顶部满铺模板并固定,外脚手架采用落地式钢管脚手架。第3次为底板施工完成后顶板施工时的搭拆。

(2)脚手架采用双排钢管扣件脚手架,外脚手架与沉井结构不设置连墙件,外脚手架设置抛撑以增强架体的稳定性。在沉井接高时,内脚手架与沉井结构设置连墙件,使脚手架与沉井结构形成整体,增强其稳定性。

3.4 沉井理论验算及下沉施工

3.4.1 沉井下沉系数、下沉稳定性或接高稳定性系数验算

根据《沉井与气压沉箱施工规范》,土与沉井结构井壁外侧接触面的总摩阻力 T_f 、沉井下沉系数 k_{st} 、接高稳定性系数 k_c 的计算公式为:

$$T_f = \sum U_i f_{ki} H_i \tag{5}$$

$$k_{st} = \frac{G_k - F_w}{T_f + R_1 + R_2} \tag{6}$$

$$k_c = \frac{G_{kc} - F_u}{T_f + R_1 + R_2} \tag{7}$$

式(5)至式(7)中各符号含义及取值情况见表4。

表4 符号代表及取值情况表

符号	符号解释	取值情况
U_i	第 <i>i</i> 层土中沉井外围周长/m	72.4
f_{ki}	第 <i>i</i> 层土的单位摩阻力标准值/kPa	详见表1
H_i	第 <i>i</i> 层土的厚度/m	详见表1
G_k	沉井自重/kN	
R_1	刃脚下地基极限承载力/kN	当掏刃脚下沉时取0
U	井壁外围周长/m	72.4
R_2	隔墙和底梁下地基极限承载力/kN	当掏刃脚下沉时取0
G_{kc}	接高后沉井重量/kN	32 576.65
F_u	沉井下沉水浮托力/kN	取 $F_u = F_w$

水的重度 γ_w 取9.8 kN/m³,隔墙支承面积 A_1 为32.16 m²,底梁支撑面积 A_2 为28.80 m²,将设计数值及表4内取值代入到式(5)至式(7)中,计算得出:

(1)第1次下沉采用排水下沉,不挖刃脚、隔墙及底梁,取沉井接近控制标高处的状态,第1次下沉

沉井自重16 149.25 kN,地下水的浮托力 F_w 取0,总摩阻力 T_f 为6 805.6 kN,得出下沉系数 $k_{st}=1.75>1.25$,满足要求,沉井可以下沉。

(2)沉井接高时,井内不排水,井内水位标高取5.0 m,底部锅底填平至底梁顶平,取第1次下沉控制标高处核算接高稳定性,沉井接高后自重 G_{kc} 为32 576.65 kN,水浮托力 F_w 为4 704.3 kN,总摩阻力 T_f 为6 805.6 kN,得出接高稳定系数 $k_c=1.57>1.0$,不满足要求。因此该工程在沉井实施前,在第1次下沉时控制标高位置,刃脚、隔墙和底梁下施工直径 $\phi 600@600$ mm的水泥搅拌桩,水泥掺量8%,桩长3.5 m,单根搅拌桩面积0.283 m²,地基土置换率约0.59,单桩承载力经计算约38.63 kPa,用于沉井接高止沉。处理后的地基土极限承载力 R_k 计算值为210.63 kPa。地基土处理后得出的接高稳定性系数 $k_c=0.93<1.0$,满足要求。

(3)第2次下沉采用不排水下沉,采取挖除井壁刃脚、底梁和隔墙刃脚的土进行下沉,井内水位标高取5.0 m。取沉井刃脚接近设计控制标高状态,第2次下沉沉井接高后自重 G_{kc} 为32 576.65 kN,总摩阻力 T_f 为14 897.02 kN,地下水的浮托力 F_w 为11 982.13 kN,计算得出下沉系数 $k_{st}=1.38>1.25$,满足要求,沉井可以下沉。

(4)沉井刃脚下沉到位至设计控制标高时,计算得出第2次下沉稳定系数 $k_c=0.68<1.0$,满足要求。

3.4.2 沉井下沉方法及施工技术要点

3.4.2.1 沉井下沉方法

沉井第1次下沉时,结构强度达到设计强度100%^[9-11]后方可进行下沉,采用排水下沉方法,沉井内采用小挖机取土,井外道路上停放汽车吊,将井内土吊出。沉井第1次下沉位置位于淤泥质层,下沉至控制标高-0.9 m。沉井第2次下沉需在结构强度达到设计强度70%^[12]以上时方可进行下沉,采取不排水下沉方法,采用伸缩臂挖掘机进行取土下沉。沉井第2次下沉位于粉砂层,设计控制标高-11.1 m。采用伸缩臂挖掘机进行取土前,因伸缩臂挖掘机高度和伸缩臂伸展角度原因,需要在沉井结构外侧周围先进行培土垫高,以满足伸缩臂挖掘机井内取土要求。

3.4.2.2 沉井施工技术要点

在沉井始沉阶段,当素混凝土垫层敲拆后,沉井重心偏高,沉井井壁四周无摩擦力,此时的下沉系数较大^[13-14]。为避免沉井始沉阶段发生很大的倾斜,刃脚下的混凝土垫层凿除按照“先内后外、分区域对

称”^[14]原则,采用电镐对称破除然后均匀掏挖。井内挖土从井底中央开始向两侧分层掏挖,使井底中央形成高度比刃脚低 1~1.2 m 的锅底,沉井因刃脚承载力的下降而下沉。

取土应对称进行,每次开挖厚度不宜大于 40 cm,每仓间土层高差不大于 50 cm,严禁超挖。在淤泥层沉井取土下沉时,不宜掏刃脚,而应通过刃脚切土使其均匀逐步下沉,以达到平稳缓慢下沉控制要求。

当沉井刃脚踏面下沉至距设计标高约 1 m 时,进入终沉阶段,井内应缓慢均匀取土,防止因“深锅底”而导致刃脚下土体大量向井内涌入,发生突然下沉或超沉。下沉到比设计标高高 10 cm 时,立刻停止下沉。

第 1 次沉井排水下沉时,在淤泥层中下沉系数较大,现场施工时应根据实际情况,采取只挖除沉井中心附近土体,保留刃脚内侧、隔墙和底梁的土体,使刃脚部分及底梁埋入土中以增加摩阻力,保证沉井稳定下沉。

沉井下沉系数宜为 1.05~1.25,下沉过程中遇到软弱土层宜为 0.8~0.9。根据理论验算,现场施工时,沉井下沉系数较大时,可采取只挖除沉井中心附近土体,保留刃脚内侧及底梁的土体,使刃脚部分及底梁埋入土中以增加摩阻力,保证沉井稳定下沉。在粉砂层下沉时,若出现沉井下沉系数过小,可采取下沉时挖除刃脚内侧及底梁的土体,减小摩阻力,或辅助抽除部分井内水,减小浮力,使沉井稳定下沉。

3.5 沉井封底及底板施工

3.5.1 沉井封底

沉井封底应在监测数据满足验收标准和设计控制要求且沉井下沉稳定时进行。沉井下沉至临近设计标高 0.1m 时,由沉井通过自重自沉至设计标高,在连续观测 8 h 的自沉累计不大于 10 mm 时,可进行沉井封底。沉井封底前,还应进行抗浮验算。沉井抗浮应按封底时可能出现的最高水位进行验算。该工程沉井结构总重加上素混凝土垫层的重量总计为 35 790.73 kN,地下水向上的浮力为 12 116.05 kN,根据《沉井与气压沉箱施工规范》中抗浮验算公式,计算得出抗浮系数 $k_f=2.95>1.0$,符合要求。

沉井封底采用水下封底,该工程采用的做法是:先在井内抛碎石填充一部分锅底,然后再浇筑封底混凝土。

3.5.2 底板施工

底板钢筋绑扎前需对封底混凝土表面浮泥进行

清理,刃脚处、隔墙处和底梁处预留的钢筋应调整到位,对新老混凝土接触面应凿毛清洗,钢筋绑扎验收合格后进行底板混凝土的浇筑,确保底板结构施工质量。

3.6 施工监测及纠偏

3.6.1 施工监测

该工程对沉井的下沉姿态和周边环境进行了施工全过程的监测。沉井下沉全过程高程、轴线位移和倾斜度监测频次情况及要求见表 5。

表 5 沉井下沉监测频次表

下沉阶段	监测项目		
	高程	轴线位移	倾斜度
初沉前	测 3 次初值	测 3 次初值	
初沉阶段	1 次/2 h	1 次/2 h	
下沉过程中	1 次/1 d	1 次/1 d	
接高阶段	1 次/2 d	1 次/2 d	每次下沉前后各观测 1 次
终沉阶段	1 次/1 h	1 次/1 h	
封底阶段	1 次/1 d	1 次/1 d	
封底完成后	1 次/3 d	1 次/3 d	

终沉阶段,当沉井下沉临近设计标高时,宜增加观测频次;封底结束后,宜连续观测 30 d。该工程沉井施工最终轴线位移最大偏差 3.9 cm、井体倾斜约 0.12°、标高最大偏差 5.4 cm,均控制在设计和施工质量验收标准的要求范围内。此外,沉井在 2 次下沉前的结构接高,沉井最大沉降量为 4.6 cm,表明用于沉井在淤泥层接高止沉用的水泥土搅拌桩经过现场实际施工验证,起到了止沉作用。

沉井施工过程中,对周边主要邻近建(构)筑进行了沉降和倾斜监测。根据每周 1 次的观测结果,周边建(构)筑物并未发生沉降和倾斜。对围护结构深层位移的监测表明,搅拌桩位移最大值发生在搅拌桩底部,最大位移为 14 cm,表明沉井在取土下沉中引起了局部土体的塌陷,其围护结构对周边环境也起到了保护作用,降低了对周边环境的影响。

3.6.2 沉井纠偏

该工程沉井在第 2 次下沉阶段,发生了结构倾斜、不满足施工控制要求情况。采取的措施为:在结构顶部设置千斤顶,千斤顶撑在围护结构顶部冠梁侧面,井内在刃脚较高处一侧偏挖,将刃脚较高一侧逐渐降下来,从而将倾斜度纠偏过来。

4 结 语

该工程进水泵房沉井施工安全顺利完成,表明沉井施工方案合理、安全可靠、施工控制措施得当。

(下转第 234 页)