

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2013 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》(建标〔2013〕6 号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规范。

本规范共分 7 章,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、计算与验算、制作与下沉、质量控制与验收、监测。

本规范由住房和城乡建设部负责管理,由上海市基础工程集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送上海市基础工程集团有限公司(地址:上海市江西中路 406 号,邮政编码:200002)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

**主 编 单 位:**上海市基础工程集团有限公司

舜杰建设(集团)有限公司

**参 编 单 位:**中国建筑科学研究院

华东建筑设计研究院有限公司

广东省基础工程集团有限公司

上海市城市排水有限公司

上海交通大学

上海建科工程咨询有限公司

上海建工五建集团有限公司

上海广联环境岩土工程股份有限公司

浙江中屹建设集团有限公司

中天建设集团有限公司

**主要起草人:**李耀良 陈浙军 朱建明 钟显奇 高文生

|        |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王卫东    | 顾 杨 | 周红波 | 王建华 | 袁 芬 |     |
| 王 涛    | 李 琰 | 张思群 | 王理想 | 余振栋 |     |
| 沈华琳    | 衡朝阳 | 许建得 | 娄荣祥 | 曾朝杰 |     |
| 蔡来炳    | 蒋金生 | 潘克明 | 崔永高 | 陈松来 |     |
| 卢建华    | 陈锦剑 | 翁其平 | 卢秀丽 |     |     |
| 主要审查人: | 张 雁 | 杨 斌 | 张建民 | 杨 敏 | 钱力航 |
|        | 顾国荣 | 周同和 | 施祖元 | 桂业琨 | 石 坚 |
|        | 金 睿 | 蒋立红 | 葛兆源 | 吴德龙 |     |

# 目 次

|     |                  |        |
|-----|------------------|--------|
| 1   | 总 则 .....        | ( 1 )  |
| 2   | 术语和符号 .....      | ( 2 )  |
| 2.1 | 术语 .....         | ( 2 )  |
| 2.2 | 符号 .....         | ( 4 )  |
| 3   | 基本规定 .....       | ( 7 )  |
| 4   | 计算与验算 .....      | ( 9 )  |
| 4.1 | 一般规定 .....       | ( 9 )  |
| 4.2 | 混凝土垫层及砂垫层 .....  | ( 9 )  |
| 4.3 | 侧阻力 .....        | ( 11 ) |
| 4.4 | 下沉系数及接高稳定性 ..... | ( 13 ) |
| 4.5 | 封底混凝土 .....      | ( 14 ) |
| 4.6 | 水域沉井与沉箱 .....    | ( 16 ) |
| 5   | 制作与下沉 .....      | ( 20 ) |
| 5.1 | 一般规定 .....       | ( 20 ) |
| 5.2 | 垫层施工 .....       | ( 21 ) |
| 5.3 | 沉井与气压沉箱制作 .....  | ( 22 ) |
| 5.4 | 沉井下沉 .....       | ( 23 ) |
| 5.5 | 气压沉箱下沉 .....     | ( 25 ) |
| 5.6 | 沉井封底 .....       | ( 26 ) |
| 5.7 | 气压沉箱封底 .....     | ( 27 ) |
| 5.8 | 水域沉井与沉箱施工 .....  | ( 28 ) |
| 6   | 质量控制与验收 .....    | ( 30 ) |
| 6.1 | 砂垫层 .....        | ( 30 ) |
| 6.2 | 制作 .....         | ( 30 ) |

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 6.3 下沉及封底 ..... | ( 32 ) |
| 7 监 测 .....     | ( 35 ) |
| 7.1 一般规定 .....  | ( 35 ) |
| 7.2 监测与报警 ..... | ( 36 ) |
| 7.3 监测报告 .....  | ( 37 ) |
| 本规范用词说明 .....   | ( 39 ) |
| 引用标准名录 .....    | ( 40 ) |



## Contents

|     |                                                             |        |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------|
| 1   | General provisions .....                                    | ( 1 )  |
| 2   | Terms and symbols .....                                     | ( 2 )  |
| 2.1 | Terms .....                                                 | ( 2 )  |
| 2.2 | Symbols .....                                               | ( 4 )  |
| 3   | Basic requirements .....                                    | ( 7 )  |
| 4   | Calculation and checking .....                              | ( 9 )  |
| 4.1 | General requirements .....                                  | ( 9 )  |
| 4.2 | Concrete cushion and sand cushion .....                     | ( 9 )  |
| 4.3 | Skin friction .....                                         | ( 11 ) |
| 4.4 | Sinking factor and stability .....                          | ( 13 ) |
| 4.5 | Undersealing concrete .....                                 | ( 14 ) |
| 4.6 | Water open caisson .....                                    | ( 16 ) |
| 5   | Construction and sinking .....                              | ( 20 ) |
| 5.1 | General requirements .....                                  | ( 20 ) |
| 5.2 | Cushion construction .....                                  | ( 21 ) |
| 5.3 | Cast production of open caisson and pneumatic caisson ..... | ( 22 ) |
| 5.4 | Sinking of open caisson .....                               | ( 23 ) |
| 5.5 | Sinking of pneumatic caisson .....                          | ( 25 ) |
| 5.6 | Undersealing of open caisson .....                          | ( 26 ) |
| 5.7 | Undersealing of pneumatic caisson .....                     | ( 27 ) |
| 5.8 | Water open caisson construction .....                       | ( 28 ) |
| 6   | Quality control and acceptance .....                        | ( 30 ) |
| 6.1 | Sand cushion .....                                          | ( 30 ) |
| 6.2 | Cast production .....                                       | ( 30 ) |

|     |                                           |        |
|-----|-------------------------------------------|--------|
| 6.3 | Sinking and undersealing .....            | ( 32 ) |
| 7   | Monitoring .....                          | ( 35 ) |
| 7.1 | General requirements .....                | ( 35 ) |
| 7.2 | Monitoring and alarm .....                | ( 36 ) |
| 7.3 | Monitoring report .....                   | ( 37 ) |
|     | Explanation of wording in this code ..... | ( 39 ) |
|     | List of quoted standards .....            | ( 40 ) |

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在沉井与气压沉箱施工中贯彻执行国家技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量、保护环境,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于沉井与气压沉箱的施工。

**1.0.3** 沉井与气压沉箱的施工除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 沉井 open caisson

地面上制作井筒,通过井内取土使之下沉至地下预定深度的地下结构。

#### 2.1.2 气压沉箱 pneumatic caisson

地面上制作具有水平封板的井筒,在封板下形成气压工作室,向工作室加气压平衡水土压力进行挖土作业,下沉至地下预定深度的地下结构。

#### 2.1.3 浮运沉井 floating open caisson

把沉井部分或全部的井壁做成箱型结构,或使其漂浮在水中,并将其拖运到指定位置的沉井。

#### 2.1.4 浮运沉箱 floating pneumatic caisson

把制作好的箱体浮运到指定位置的沉箱。

#### 2.1.5 工作坑 working pit

沉井与气压沉箱在首节制作前施工垫层时开挖的基坑。

#### 2.1.6 井(箱)壁 wall

沉井或沉箱与土体接触的结构外壁。

#### 2.1.7 刃脚 cutting edge

井(箱)壁最下端支承沉井与沉箱的重量、切土下沉和挡土的刃状结构。

#### 2.1.8 下沉系数 subsidence factor

沉井与气压沉箱下沉时向下作用力与阻力的比值。

#### 2.1.9 工作室 working chamber

气压沉箱下部加气压平衡水土压力和取土作业的工作空间。

**2.1.10 气压沉箱工作室顶板** ceiling of working chamber

在气压沉箱内用于封堵气体的水平封板。

**2.1.11 遥控挖掘机** remote control excavator

由地面操作室控制气压沉箱工作室内的机械挖掘系统。

**2.1.12 多次制作一次下沉法** segmentally precast and sinking wholly

井(箱)体沿高度分节,将所有节段制作完成后一次性下沉的施工方法。

**2.1.13 多次制作多次下沉法** segmentally precast and sinking

将井(箱)体沿高度分节,制作与下沉循环进行的施工方法。

**2.1.14 压沉法** sinking by additional force

用压重或地锚反力装置将井(箱)体压至地下预定深度的施工方法。

**2.1.15 排水下沉法** sinking by drainage

沉井下沉过程中,使井内保持无水状态进行取土的下沉方法。

**2.1.16 不排水下沉法** sinking under water

沉井下沉过程中,控制井内水位保持井内水土稳定,进行水下取土的下沉方法。

**2.1.17 空气幕减阻法** friction reducing by air curtain

通过井壁管路向外壁注入空气,在井壁与土体之间形成空气帷幕,降低井壁摩阻力的方法。

**2.1.18 气压浮托力** compressed-air uplift pressure

气压沉箱所受工作室气压作用的均布向上的气体压力。

**2.1.19 泥浆套减阻法** thixotropic slurry drag reduction

通过井壁管路向外壁注入泥浆,在井壁四周形成泥浆套,降低井壁摩阻力的方法。

**2.1.20 筑岛施工法** drilling using artificial island method

在位于浅水区域或邻近水域的岸滩上施工沉井或沉箱时,预先堆积出高于水面的人工岛进行作业的施工方法。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 作用及作用效应:

$E_{ep,k}$ ——沉井后侧主动土压力标准值之和;

$E_{pk}$ ——沉井前侧被动土压力标准值之和;

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值;

$f_{kx}$ ——侧壁与土的极限摩阻力标准值;

$f_t$ ——混凝土轴心抗拉强度设计值;

$f_k$ ——单位极限摩阻力标准值;

$f_{ki}$ ——第  $i$  层土的单位摩阻力标准值;

$F_g$ ——下沉过程中气压的浮托力;

$F_{bf,k}$ ——沉井底面有效摩阻力标准值之和;

$F'_k$ ——基底的水浮托力标准值;

$F_u$ ——下沉过程中气压或地下水的浮托力;

$F_w$ ——下沉过程中地下水的浮托力;

$G_k$ ——沉井、气压沉箱自重,包括外加助沉重量的标准值;

$G_{kc}$ ——接高后的井(箱)体重量;

$G_0$ ——沉井与气压沉箱第一节沿井壁单位长度重量;

$G_{1k}$ ——下沉到设计标高后井(箱)体的重量标准值;

$M$ ——每米宽度最大弯矩的设计值;

$M_{外}$ ——外力矩;

$\Sigma M_{aov,k}$ ——沉井抗倾覆弯矩标准值之和;

$\Sigma M_{ov,k}$ ——沉井倾覆弯矩标准值之和;

$p$ ——基底压力标准值;

$p_g$ ——气压沉箱工作室室内气压值;

$R_1$ ——刃脚下地基极限承载力;

$R_2$ ——隔墙和底梁下地基极限承载力;

$R_k$ ——地基极限承载力;

$T_f$ ——侧壁与土的总摩阻力标准值;

$\gamma_c$ ——混凝土重度;

$\gamma_w$ ——水的重度;

$\gamma_s$ ——砂的天然重度。

## 2.2.2 几何参数:

$A_1$ ——隔墙支承面积;

$A_2$ ——底梁支撑面积;

$b$ ——刃脚踏面宽度;

$b_0$ ——计算宽度;

$b_1$ ——素混凝土外挑宽度;

$b_w$ ——护道宽度;

$B$ ——刃脚宽度;

$B_L$ ——素混凝土垫层的宽度;

$B_s$ ——砂垫层的底面宽度;

$d$ ——导管内径;

$h$ ——水位面至基底的深度;

$h_1$ ——导管内混凝土柱与管外泥浆柱平衡所需高度;

$h_2$ ——初灌混凝土下灌后导管外混凝土扩散高度;

$h_v$ ——刃脚到井(箱)壁变截面高度;

$h_s$ ——砂垫层厚度;

$h_c$ ——素混凝土垫层厚度;

$h_x$ ——计算点距离地面的深度;

$h_t$ ——水下封底混凝土厚度;

$h_u$ ——附加厚度;

$H$ ——筑岛高度;

$H_i$ ——第  $i$  层土的厚度;

$I$ ——浮运沉井或浮运沉箱浸水截面面积对斜轴线的惯性矩;

$l$ ——浮运沉井或浮运沉箱重心至浮心的距离;

$n$ ——刃脚斜面与土壤接触面的水平投影宽度;

$r$ ——扩散半径;

$S$ ——气压沉箱工作室顶板与气压接触的面积;

$U$ ——侧壁外围周长;

$U_i$ ——第  $i$  层土中侧壁外围周长;

$V$ ——沉井在地下水位以下的体积;

$V_c$ ——混凝土初灌量;

$V_{\text{排}}$ ——排水体积;

$\rho$ ——定倾半径;

$\alpha$ ——砂垫层的压力扩散角;

$\varphi$ ——筑岛土饱和状态内摩擦角;

$\phi$ ——浮运沉井或浮运沉箱在浮运阶段的倾斜角。

### 2.2.3 计算系数:

$k$ ——充盈系数;

$k_s$ ——沉井抗滑移系数;

$k_{st}$ ——下沉系数;

$k_c$ ——接高稳定性系数;

$k_f$ ——抗浮系数;

$k_{ov}$ ——沉井抗倾覆系数;

$\eta$ ——被动土压力利用系数。



### 3 基本规定

**3.0.1** 沉井适用于在其影响范围内无重要建(构)筑物及地下管线等的环境,气压沉箱适用于对周边环境要求较高或对地下水控制有要求的环境。

**3.0.2** 沉井与气压沉箱施工计算必须具备岩土工程的勘察资料,勘察和钻孔应符合下列规定:

1 面积不大于  $200\text{m}^2$  的沉井与气压沉箱,不应少于 2 个钻孔;

2 面积大于  $200\text{m}^2$  的沉井与气压沉箱,形状为矩形时,在四个角点应各布置一个钻孔;形状为圆形时,在两个相互垂直的直径端点应各布置一个钻孔;

3 特大沉井与气压沉箱可根据设计要求增加钻孔数量;

4 钻孔底标高应低于沉井与气压沉箱的终沉标高不少于  $5.0\text{m}$ ;

5 软土地层应采用静力触探的方式进行钻孔,勘探孔应穿透软弱土层或达到预计控制深度。

**3.0.3** 沉井与气压沉箱工程施工前,应具备下列资料:

1 设计施工图;

2 施工区域内的气象和水文资料;

3 岩土工程勘察报告;

4 拟建工程施工影响范围内的建(构)筑物、地下管线和障碍物等环境保护的相关资料;

5 测量基线和水准点资料;

6 施工组织设计及施工方案;

7 防洪、防汛、防台风的有关规定。

**3.0.4** 水域沉井与沉箱施工前除应符合本规范第 3.0.3 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 应查明河流规划宽度、通航情况以及断面尺寸等条件;

2 应搜集工程河段水文资料、洪水特性、各频率流量及洪量、水位流量关系、冬季冰凌情况、泥石流以及上下游水利水电工程对本工程的影响情况。

**3.0.5** 原材料进场时,应具有产品合格证、出厂试验报告。进场后应进行材料验收和抽检,质量检验合格后方可使用。

**3.0.6** 沉井与气压沉箱施工前应熟悉施工图,掌握设计意图与要求,实行自审、会审(交底)和签证制度;发现施工图有疑问、差错时,应及时提出意见和建议。

**3.0.7** 气压沉箱施工宜采用机械化、信息化、智能化作业的施工工艺。

**3.0.8** 沉井与气压沉箱在施工期间及使用过程中,应对其自身以及邻近的周边建(构)筑物、地下管线等进行监测。

## 4 计算与验算

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 沉井施工前应对垫层厚度、下沉系数、接高稳定性、封底混凝土等内容进行计算与验算,计算和验算时所取的作用力均采用标准值。

**4.1.2** 气压沉箱施工计算除应符合本规范第 4.1.1 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 在下沉阻力计算中,除箱壁侧摩阻力、刃脚反力外,尚应包括气压浮托力;

2 工作室顶板的计算荷载应根据不同工况确定,应取配重、自重、地基反力、水浮力和气压浮托力的最不利工况,且不应计入封底混凝土的作用。

**4.1.3** 水域沉井与沉箱在溜放、拖运以及沉放施工时,应对沉井与沉箱的倾斜稳定性进行验算;水域沉井与沉箱的前后两面水平作用不平衡时,尚应验算抗滑移及抗倾覆稳定性。

**4.1.4** 钢筋混凝土沉井与气压沉箱在分节制作时,每节井(箱)壁上端水平钢筋应加强。

**4.1.5** 沉井与气压沉箱首节制作时的基底压力不应大于下卧层地基承载力特征值,以后各节接高制作时应符合地基极限承载力的要求。

**4.1.6** 沉井与气压沉箱地基承载力及软弱下卧层验算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

### 4.2 混凝土垫层及砂垫层

**4.2.1** 开挖工作坑遇有暗塘、暗沟、旧河道等不良地质时应进行

加固处理,工作坑的开挖应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

**4.2.2 砂垫层的厚度应根据沉井与气压沉箱的重量和地基土的承载力按下列公式计算确定(砂垫层计算简图见图 4.2.2),且不宜小于 600mm。**

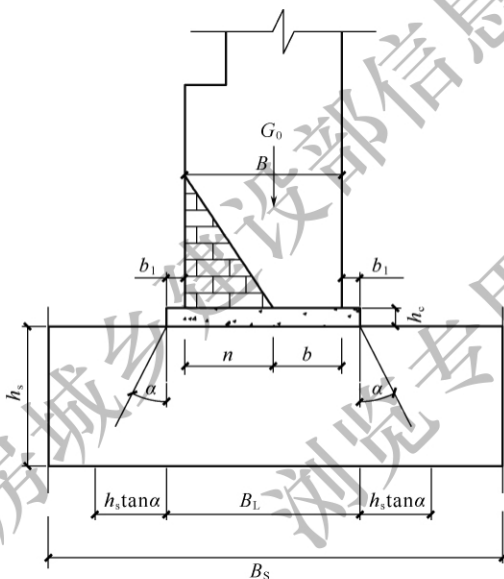


图 4.2.2 砂垫层计算简图

$$p = \frac{G_0}{2h_s \tan \alpha + B_L} + \gamma_s h_s \quad (4.2.2-1)$$

$$p \leq f_a \quad (4.2.2-2)$$

式中:  $p$  ——基底压力标准值( $\text{kN/m}^2$ );

$h_s$  ——砂垫层厚度(m);

$G_0$  ——沉井与气压沉箱第一节沿井壁单位长度重量( $\text{kN/m}$ );

$\gamma_s$  ——砂的天然重度( $\text{kN/m}^3$ ),可取  $15 \text{ kN/m}^3$ ;

$B_L$ ——素混凝土垫层的宽度(m),  $B_L = B + 2b_1$ , 计算时取

$$b_1 = h_c;$$

$b_1$ ——素混凝土外挑宽度(m), 可取  $b_1 \geq h_c$  ( $h_c$  为素混凝土垫层厚度);

$\alpha$ ——砂垫层的压力扩散角( $^\circ$ ), 可取  $30^\circ$ ;

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值(kPa);

$b$ ——刃脚踏面宽度(m);

$B$ ——刃脚宽度(m)。

**4.2.3** 砂垫层的宽度宜根据素混凝土垫层边缘向下按砂垫层的压力扩散角  $\alpha$  扩散确定, 即按下式计算确定:

$$B_s \geq 2h_s \tan \alpha + B_L \quad (4.2.3)$$

式中:  $B_s$ ——砂垫层的底面宽度(m)。

**4.2.4** 素混凝土垫层的厚度  $h_c$  不应小于 150mm, 且不宜大于 250mm, 混凝土的强度等级不应低于 C20。

### 4.3 侧阻力

**4.3.1** 沉井与气压沉箱壁阻力沿井(箱)壁深度方向的分布, 侧阻力计算应符合下列规定(图 4.3.1):

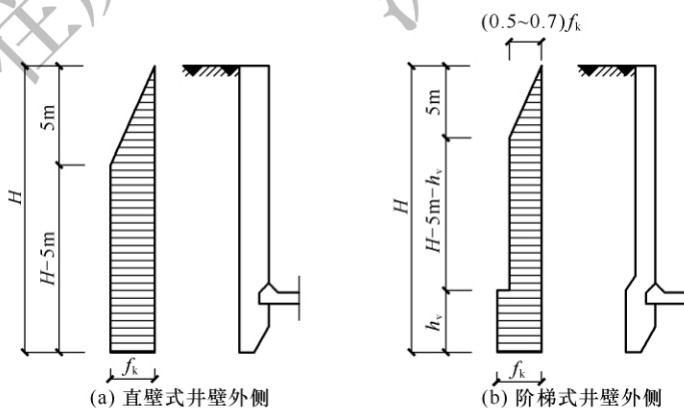


图 4.3.1 摩阻力沿井(箱)壁外侧分布图

1 井(箱)壁外侧为直壁式井壁时,应按下列公式进行计算:

$$f_{kx} = \frac{h_x}{5} f_k \quad 0 < h_x \leq 5 \quad (4.3.1-1)$$

$$f_{kx} = f_k \quad h_x > 5 \quad (4.3.1-2)$$

式中:  $f_{kx}$  ——侧壁与土的极限摩阻力标准值( kPa);

$h_x$  ——计算点距离地面的深度( m);

$f_k$  ——单位极限摩阻力标准值( kPa), 多层土按照深度取加权平均值。

2 井(箱)壁外侧为阶梯式井壁时,应按下列公式进行计算:

$$f_{kx} = \frac{h_x}{5} (0.5 \sim 0.7) f_k \quad 0 < h_x \leq 5 \quad (4.3.1-3)$$

$$f_{kx} = (0.5 \sim 0.7) f_k \quad 5 < h_x \leq H - h_v \quad (4.3.1-4)$$

$$f_{kx} = f_k \quad H - h_v < h_x \leq H \quad (4.3.1-5)$$

式中:  $h_v$  ——刃脚到井(箱)壁变截面高度( m)。

**4.3.2** 井(箱)壁外侧与土层间的极限侧阻力标准值应根据工程地质条件,通过试验或对比工程的经验资料确定。当无试验或无可靠资料时,可按表 4.3.2 选用。

**表 4.3.2 极限侧阻力标准值**

| 土层类别       | 极限侧阻力<br>标准值<br>( kPa) | 土层<br>类别 | 极限侧阻力<br>标准值<br>( kPa) | 助沉方法<br>分类 | 极限侧阻力<br>标准值<br>( kPa) |
|------------|------------------------|----------|------------------------|------------|------------------------|
| 流塑状态黏性土    | 10 ~ 15                | 砂性土      | 25 ~ 45                | 灌砂         | 7 ~ 10                 |
| 可塑、软塑状态黏性土 | 10 ~ 25                | 砂砾石      | 30 ~ 50                | 泥浆套        | 3 ~ 5                  |
| 硬塑状态黏性土    | 25 ~ 50                | 卵石       | 40 ~ 60                | 空气幕        | 2 ~ 5                  |

注: 灌砂助沉适用于阶梯形井壁外侧。

**4.3.3** 侧壁与土的总摩阻力  $T_f$  值应按下式计算:

$$T_f = \sum U_i f_{ki} H_i \quad (4.3.3)$$

式中:  $T_f$  ——侧壁与土的总摩阻力标准值( kN);

$U_i$  ——第  $i$  层土中侧壁外围周长( m);

$f_{ki}$  ——第  $i$  层土的单位摩阻力标准值( kPa) ;

$H_i$  ——第  $i$  层土的厚度( m) 。

#### 4.4 下沉系数及接高稳定性

##### 4.4.1 沉井与气压沉箱下沉系数计算应符合下列规定:

1 采取刃脚留土下沉时,沉井下沉系数应按下列公式计算:

$$k_{st} = \frac{G_k - F_w}{T_f + R_1 + R_2} \quad (4.4.1-1)$$

$$F_w = \gamma_w V \quad (4.4.1-2)$$

$$R_1 = U \left( b + \frac{n}{2} \right) R_k \quad (4.4.1-3)$$

$$R_2 = A_1 R_k + A_2 R_k \quad (4.4.1-4)$$

式中:  $k_{st}$  ——下沉系数;

$G_k$  ——沉井、气压沉箱自重,包括外加助沉重量的标准值( kN) ;

$F_w$  ——下沉过程中地下水的浮托力( kN) ,采取排水下沉时取 0;

$\gamma_w$  ——水的重度( kN/m<sup>3</sup>) ,取 9.8kN/m<sup>3</sup>;

$V$  ——沉井在地下水位以下的体积( m<sup>3</sup>) ;

$R_1$  ——刃脚下地基极限承载力( kN) ,当采取掏刃脚下沉时取 0;

$U$  ——侧壁外围周长( m) ;

$n$  ——刃脚斜面与土壤接触面的水平投影宽度( m) ;

$R_k$  ——地基极限承载力( kPa) ;

$R_2$  ——隔墙和底梁下地基极限承载力( kN) ,当采取掏刃脚下沉时取 0;

$A_1$  ——隔墙支承面积( m<sup>2</sup>) ;

$A_2$  ——底梁支撑面积( m<sup>2</sup>) 。

2 当井(箱)内填砂处理时,式(4.4.1-1)中的  $R_1$ 、 $R_2$  应按现

行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行深度修正,且应增加刃脚处砂对刃脚的摩阻力值。

3 采取刃脚留土下沉时,气压沉箱下沉系数应按下列公式计算:

$$k_{st} = \frac{G_k - F_g}{T_f + R_1 + R_2} \quad (4.4.1-5)$$

$$F_g = p_g S \quad (4.4.1-6)$$

式中:  $F_g$  ——下沉过程中气压的浮托力(kN),气压沉箱接高时取气压浮托力标准值;

$p_g$  ——气压沉箱工作室内气压值(kPa);

$S$  ——气压沉箱工作室顶板与气压接触的面积( $m^2$ )。

4 下沉系数宜为 1.05 ~ 1.25,在下沉过程中遇有软弱土层时宜为 0.8 ~ 0.9。

4.4.2 当沉井与气压沉箱多次制作下沉时,应按下列公式进行接高稳定性验算:

$$k_c < 1.0 \quad (4.4.2-1)$$

$$k_c = \frac{G_{kc} - F_u}{T_f + R_1 + R_2} \quad (4.4.2-2)$$

式中:  $k_c$  ——接高稳定性系数;

$G_{kc}$  ——接高后的井(箱)体重量(kN);

$F_u$  ——下沉过程中气压或地下水的浮托力(kN),当沉井下  
沉时,取  $F_u = F_w$ ,当气压沉箱下沉时,取  $F_u = F_g$ 。

## 4.5 封底混凝土

4.5.1 干封底混凝土厚度应符合设计要求,且不宜小于 0.4m,并应保证钢筋混凝土底板能够顺利施工。

4.5.2 水下封底混凝土的厚度除应符合井(箱)体的强度和抗浮要求,尚应按下式计算:

$$h_t = \sqrt{\frac{5.72M}{b_0 f_t}} + h_u \quad (4.5.2)$$



式中:  $h_t$  ——水下封底混凝土厚度( mm) ;

$M$  ——每米宽度最大弯矩的设计值(  $N \cdot mm$ ) ;

$b_0$  ——计算宽度( mm) ,取 1000mm;

$f_t$  ——混凝土轴心抗拉强度设计值(  $N/mm^2$ ) ;

$h_u$  ——附加厚度( mm) ,可取 300mm。

**4.5.3** 沉井与气压沉箱封底前,应进行抗浮验算。沉井与气压沉箱抗浮应按封底时可能出现的最高水位进行验算。抗浮系数应按下式计算,但不应小于 1.0:

$$k_f = \frac{G_{1k}}{F_k} \quad (4.5.3)$$

式中:  $k_f$  ——抗浮系数;

$F_k$  ——基底的水浮托力标准值( kN) ;

$G_{1k}$  ——下沉到设计标高后井(箱)体的重量标准值( kN) 。

**4.5.4** 当封底混凝土与底板间有拉结钢筋等可靠连接时,封底混凝土的自重宜计入抗浮重量的一部分,且  $k_f$  应大于 1.05。

**4.5.5** 沉井采用导管法进行水下混凝土封底时,导管的平面布置应符合下列规定(图 4.5.5):

- 1 导管扩散半径不宜大于 4.0m;
- 2 导管插入深度不宜小于 1.0m;
- 3 导管浇筑时距离基底面高度宜为 0.3m ~0.4m;
- 4 水下封底混凝土初灌量应按下列公式计算:

$$V_c \geq \frac{\pi d^2 h_1}{4} + \frac{k \pi r^2 h_2}{3} \quad (4.5.5-1)$$

$$h_1 = \frac{(h - h_2) \gamma_w}{r_c} \quad (4.5.5-2)$$

式中:  $V_c$  ——混凝土初灌量(  $m^3$ ) ;

$h$  ——水位面至基底的深度( m) ;

$h_1$  ——导管内混凝土柱与管外泥浆柱平衡所需高度( m) ;

$h_2$  ——初灌混凝土下灌后导管外混凝土扩散高度( m) ,取

1.3m ~ 1.4m;

$d$  ——导管内径( m ) ;

$r$  ——扩散半径( m ) ;

$k$  ——充盈系数,宜取 1.3;

$\gamma_c$  ——混凝土重度,取  $23\text{kN/m}^3$ 。

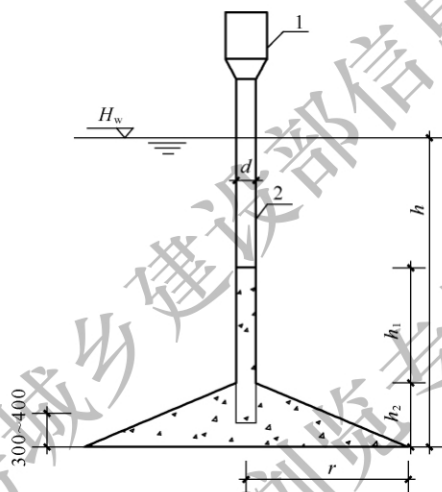


图 4.5.5 混凝土初灌量计算示意

1—料斗; 2—导管;  $H_w$ —水位

## 4.6 水域沉井与沉箱

**4.6.1** 浮运沉井或浮运沉箱沉入河床前,应验算稳定倾斜角。浮运阶段的稳定倾斜角  $\phi$  不得大于  $6^\circ$ 。稳定倾斜角  $\phi$  角应按下列公式计算:

$$\phi = \arctan \frac{M_{\text{外}}}{\gamma_w V_{\text{排}} (\rho - l)} \quad (4.6.1-1)$$

$$\rho = \frac{I}{V_{\text{排}}} \quad (4.6.1-2)$$

$$\rho - l > 0 \quad (4.6.1-3)$$

式中:  $\phi$  ——浮运沉井或浮运沉箱浮运阶段的倾斜角(°);

$M_{\text{外}}$  ——外力矩(kN·m);

$V_{\text{排}}$  ——排水体积(m<sup>3</sup>);

$l$  ——浮运沉井或浮运沉箱重心至浮心的距离(m),重心在浮心之上为正,反之则为负;

$\rho$  ——定倾半径(图4.6.1),即定倾中心至浮心的距离(m);

$I$  ——浮运沉井或浮运沉箱浸水截面面积对斜轴线的惯性矩(m<sup>4</sup>)。

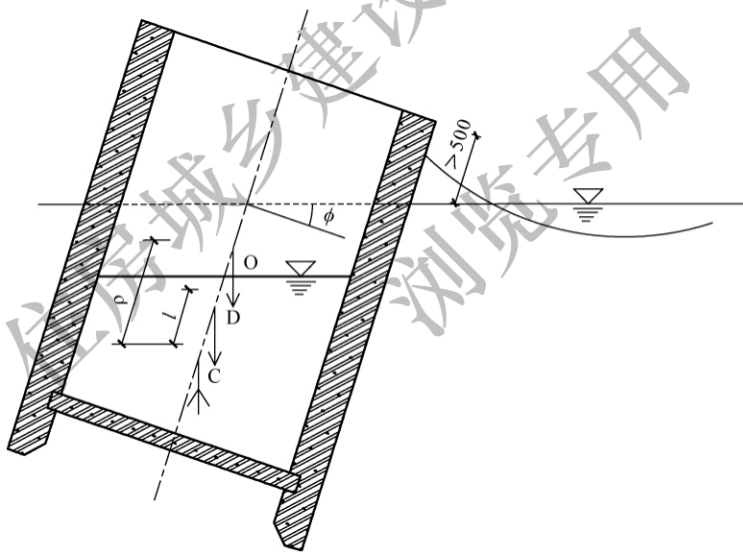


图4.6.1 水中浮运沉井与浮运沉箱

D—重心; C—浮心; O—定倾中心

**4.6.2** 浮运沉箱下水前混凝土强度应符合设计要求。根据施工情况复核沉箱的浮运稳定性,不符合要求时,应采取适当措施。

**4.6.3** 位于水域岸边的沉井与沉箱,前后两面水平作用不平衡时应按下列公式验算沉井的滑移和倾覆稳定性。

**1 抗滑移验算:**

$$k_s \geq 1.3 \quad (4.6.3-1)$$

$$k_s = \frac{\eta E_{pk} + F_{bf,k}}{E_{ep,k}} \quad (4.6.3-2)$$

式中:  $k_s$  ——沉井抗滑移系数;

$\eta$  ——被动土压力利用系数,施工阶段取 0.80,使用阶段取 0.65;

$E_{ep,k}$  ——沉井后侧主动土压力标准值之和(kN);

$E_{pk}$  ——沉井前侧被动土压力标准值之和(kN);

$F_{bf,k}$  ——沉井底面有效摩阻力标准值之和(kN)。

**2 抗倾覆验算:**

$$k_{ov} \geq 1.5 \quad (4.6.3-3)$$

$$k_{ov} = \frac{\sum M_{aov,k}}{\sum M_{ov,k}} \quad (4.6.3-4)$$

式中:  $k_{ov}$  ——沉井抗倾覆系数;

$\sum M_{aov,k}$  ——沉井抗倾覆弯矩标准值之和(kN·m);

$\sum M_{ov,k}$  ——沉井倾覆弯矩标准值之和(kN·m)。

**4.6.4** 浮运沉箱水上运输可用浮运拖带法、半潜驳或浮船坞干运法。无运输经验时,应对下潜装载、船运和下潜卸载的作业阶段进行下列验算:

**1** 半潜驳或浮船坞的吃水、稳性、总体强度、甲板强度和局部承载力;

**2** 在风、浪、流作用下的船舶运动响应和浮运沉箱自身的强度、稳性等。

**4.6.5** 浮运沉箱采用浮运拖带法水上运输时,拖带前应对浮运沉箱进行吃水、压载和浮游等稳定验算。验算应符合下列规定:

**1** 验算浮运沉箱吃水时,应准确计入浮运沉箱内实际的残余

水和混凝土残屑的重量、施工操作平台和封舱盖的重量;

2 验算吃水、干舷高度和稳定性时,应分别对空载和不同拖带工艺下不同稳定要求等情况进行计算;

3 浮运沉箱压载宜用砂、石、混凝土块等固体物;用水压载时,应精确计算自由水面对稳定性的影响。

**4.6.6** 水深小于 5.0m 的浅水地段,宜采取现场人工筑岛进行沉井与沉箱制作与施工。岛面标高应高出施工期最高水位 0.5m 以上,下沉结构边线外侧应留设护道;无围堰时四周护道宽度不应小于 2.0m,有围堰时应按下式确定且不应小于 1.5m,设置其他施工设施时应另行加宽或按设计要求。

$$b_w \geq H \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (4.6.6)$$

式中:  $b_w$  ——护道宽度(m);

$H$  ——筑岛高度(m);

$\varphi$  ——筑岛土饱和状态内摩擦角(°)。

## 5 制作与下沉

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 施工前应对施工现场进行踏勘,了解邻近建(构)筑物、堤防、地下管线和地下障碍物等状况,按要求做好沉降位移的定期监测及监护工作。水域环境沉井与沉箱施工前尚应对洪汛、凌汛、河床冲刷、通航及漂流物等做好调查研究,并应采取相应防护措施。

**5.1.2** 施工前应设置测量控制网,进行定位放线、布置水准基点等工作。

**5.1.3** 气压沉箱工作室内外应配备通信联络设备,定期检查线路确保畅通。

**5.1.4** 邻近水域的沉井与沉箱施工初沉阶段宜避开汛期。

**5.1.5** 分节制作的钢筋混凝土沉井与气压沉箱,下沉前首节的混凝土强度必须达到设计强度,其余各节不得低于设计强度的70%。

**5.1.6** 沉井与气压沉箱制作时应符合下列规定:

1 地基承载力不能符合沉井与气压沉箱制作和接高稳定要求时,在施工前应进行地基处理;

2 首节制作高度不宜大于6m,其余节制作高度宜控制在6m~8m;

3 分节制作高度不宜大于沉井与气压沉箱的短边或者直径。

**5.1.7** 沉井与气压沉箱为多次制作多次下沉时,每次接高均应符合稳定性要求。

**5.1.8** 沉井与气压沉箱施工时落地外脚手架必须与模板系统脱开,且落地外脚手架应具有防倾覆的安全措施。

**5.1.9** 沉井与气压沉箱下沉前,应完成井壁防水层施工,并应做好下沉高差、平面偏差的观测。

**5.1.10** 沉井与气压沉箱下沉前及下沉时,应做好地下水位的观测。

**5.1.11** 软土地层中的沉井与气压沉箱下沉,应严格控制井(箱)内取土深度。

**5.1.12** 沉井与气压沉箱的下沉应实时测量与纠偏,下沉至设计标高,且 8h 累计下沉量不大于 10mm 时可封底施工。

**5.1.13** 大型沉井封底应分仓、均匀对称进行,且任一区域的混凝土封底工作均应一次连续浇筑完成。

## **5.2 垫层施工**

**5.2.1** 工作坑底部的平面尺寸应根据支模、搭设脚手架及排水等因素确定,开挖的深度应根据土质情况、地下水位、现场施工条件等综合确定。

**5.2.2** 工作坑基底宜选择在低压缩性、高承载力的土层中,基底位于地下水位以下时,应做好降水、排水工作。

**5.2.3** 砂垫层的铺设厚度不宜小于 600mm,每层铺设厚度不应超过 300mm,应逐层浇水控制最佳含水量。砂垫层宜采用颗粒级配良好的中砂、粗砂或砾砂。

**5.2.4** 铺筑砂垫层前,场地应预先清理、平整和夯实。工作坑底部应设置盲沟和集水井,集水井的深度宜低于基底 500mm。在清除浮土后,方可进行砂垫层的铺填工作。施工期间应做好排水工作,严禁砂垫层浸泡在水中。

**5.2.5** 砂垫层的压实系数可采用环刀法或贯入仪等方法测定,压实系数不应小于 0.93。

**5.2.6** 沉井砂垫层布置宜采用满堂铺筑形式,平面尺寸较大时,可采用环井壁铺筑形式;气压沉箱砂垫层应采用满堂铺筑形式。

**5.2.7** 素混凝土垫层施工前,应检查砂垫层的压实系数和平整度,符合要求后可沿墙浇筑混凝土垫层。

### 5.3 沉井与气压沉箱制作

**5.3.1** 沉井与气压沉箱刃脚施工应符合下列规定:

- 1 沉井刃脚内侧与底板连接的凹槽在浇筑前应进行凿毛处理;
- 2 气压沉箱刃脚应与顶板、箱壁整浇;
- 3 沉井与气压沉箱刃脚内侧与底板连接的凹槽深度宜为150mm~200mm,连接点处不应漏水。

**5.3.2** 沉井与气压沉箱模板施工应符合下列规定:

- 1 模板表面应平整光滑且具有足够的强度、刚度、整体稳定性,缝隙不应漏浆;
- 2 模板的设计、安装及预埋件和预留孔洞设置偏差应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

**5.3.3** 沉井与气压沉箱接高制作时模板下端应高出地面1000mm以上。

**5.3.4** 沉井与气压沉箱接高施工应符合下列规定:

- 1 沉井与气压沉箱首节制作高度应符合地基土下卧层的承载力要求;接高时,应进行接高稳定性验算,气压沉箱接高时应维持工作室内的气压稳定;
- 2 井壁与后浇隔墙的连接处应在井壁上加设腋脚,并预留凹槽和连接钢筋;预留连接凹槽的深度不宜少于100mm,连接钢筋的直径和间距应与隔墙内的水平钢筋的布置一致;
- 3 沉井与气压沉箱接高前应进行纠偏,符合终沉时的偏差允许值,接高水平施工缝宜做成凸型,应将接缝处的混凝土凿毛,清洗干净,充分润湿,并在浇筑上层混凝土前用水泥砂浆接浆。气压沉箱接缝和施工缝应用止水钢板。

**5.3.5** 沉井与气压沉箱制作和接高时,脚手架和模板支撑的设计与施工应按国家现行有关标准及通过计算确定。



**5.3.6** 混凝土浇筑应分层平铺,均匀对称,每层混凝土的浇筑厚度宜为 300mm~500mm。

**5.3.7** 水平施工缝应留置在底板凹槽、凸榫或沟、洞底面以下 200mm~300mm。沉井井壁及框架不宜设置竖向施工缝。

**5.3.8** 气压沉箱工作室顶板浇筑时应预留人孔、物料孔及供气、照明、封底混凝土浇筑等管路。

**5.3.9** 沉井与气压沉箱浇筑完成后应及时养护,侧模板待混凝土强度达到能保证表面和棱角不受损伤时方可拆除,底模版拆除时混凝土的强度应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

## **5.4 沉井下沉**

**5.4.1** 沉井下沉前应检查结构外观,并复核混凝土强度及抗渗等级。根据施工计算结果判断各阶段是否会出现突沉或下沉困难,确定下沉方法和相应技术措施。

**5.4.2** 沉井采用排水法下沉前,应分析工程地质和水文地质资料,采取排水措施,确保顺利下沉。

**5.4.3** 凿除混凝土垫层时,应先内后外,分区域对称凿除,凿断线应与刃脚底边平齐。凿除的混凝土垫层应立即清除,并立即用砂或砂夹碎石回填空穴。混凝土的定位支点处应最后凿除,不得漏凿。

**5.4.4** 沉井下沉挖土时应符合下列规定:

1 挖土下沉时,应分层、均匀、对称;

2 下沉系数较大时应先挖中间部分,保留刃脚周围土体,使其切土下沉;

3 下沉应按勤测勤纠的原则进行。

**5.4.5** 下沉前应在沉井外壁四周沿竖向标出刻度尺,下沉中应对井体倾斜度和下沉量进行测量,每 8h 应至少测量 2 次。每下沉 3m 应测量 1 次,经清土校正后方可继续挖土下沉。

**5.4.6** 排水法下沉时可选用机械挖土或高压水冲泥等下沉方法。不排水下沉时可选择空气吸泥或机械挖土等下沉方法,施工时井内水位不宜低于井外水位。

**5.4.7** 采用空气吸泥下沉施工应符合下列规定:

- 1 在黏性土层下沉时,应在高压水冲碎土层后方可吸泥;
- 2 吸泥装置在水下的深度应大于 5m,在初期下沉时可采用机械挖土等方式;
- 3 吸泥施工时应保持井内外的水位平衡;
- 4 吸泥施工时应及时掌握排出泥水的浓度和锅底各部位的标高。

**5.4.8** 沉井在下沉到距离设计标高 2m 时,应控制四角高差及下沉速度,下沉深度距设计标高应有一定的预留量,预留量宜为 50mm ~ 200mm。

**5.4.9** 遇风化或软质岩层时,可用风镐或风铲进行开挖;在开挖砂砾层时,对大块孤石宜进行钻孔爆破;遇岩层开挖时,宜采用爆破法开挖,并制订爆破方案。爆破作业应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的规定。

**5.4.10** 当沉井下沉系数小于 1 时,宜采用触变泥浆、空气幕、桩基反压法、压重法等助沉法配合沉井下沉,根据实际情况可选用一种或多种助沉措施。

**5.4.11** 采用触变泥浆助沉时,应符合下列规定:

- 1 井壁的外台阶宽度宜为 100mm ~ 200mm;
- 2 触变泥浆物理力学指标可根据沉井下沉时所通过的不同土层按表 5.4.11 选用;

**表 5.4.11 触变泥浆的物理力学性能指标**

| 指 标                          | 砂及卵石层       | 粉质黏土        | 黏 土         |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 1.20 ~ 1.25 | 1.10 ~ 1.20 | 1.10 ~ 1.15 |
| 黏度( s )                      | 30 ~ 40     | 22 ~ 30     | 20 ~ 25     |
| pH 值                         | $\geq 8$    | $\geq 8$    | $\geq 8$    |

|        |    |    |    |
|--------|----|----|----|
| 含砂率(%) | <4 | ≤3 | ≤4 |
|--------|----|----|----|

3 在沉井下沉到设计标高后,泥浆套应按设计要求处理,宜采用水泥浆或水泥砂浆置换触变泥浆。

#### 5.4.12 采用空气幕助沉时,应符合下列规定:

1 施工前应根据计算确定空压机和储气包的数量,在刃脚外踏面处应设置密封装置;

2 空气幕压力值应小于水压力的 1.5 倍;

3 压气顺序应自上而下进行,关气顺序应自下而上;

4 气龛的形状宜为倒梯形,在 1.5m ~ 3.0m 内宜设置 2 个喷气孔,刃脚顶以上 3.0m 内不宜设置喷气孔,喷气孔的直径宜为 1mm ~ 3mm;

5 空气幕助沉时间应根据实际情况确定,不宜超过 2h。

#### 5.4.13 采用桩基反压法助沉时,应符合下列规定:

1 开始下沉前,助沉系统应安装到位,检查连接的可靠性;

2 反压桩的抗拔承载力应符合助沉反压力的要求。

#### 5.4.14 采用压重法助沉时,应均匀对称加重。堆载应确保下沉施工的空间及作业人员的安全。

#### 5.4.15 沉井纠偏可选用下列一种或几种方法:

1 挖土纠偏;

2 触变泥浆减阻纠偏;

3 空气幕减阻纠偏;

4 桩基反压装置协助纠偏;

5 压重纠偏。

### 5.5 气压沉箱下沉

#### 5.5.1 气压沉箱下沉施工前应符合下列规定:

1 所有设备已经安装完成,并确保在下沉过程中架设牢固;

2 气压沉箱施工前应对遥控挖土机械、高压舱、出土设备、测量及监控设备仪器等进行调试;

- 3 所有穿过底板管路均已连接或密封;
- 4 箱壁混凝土已达到设计强度要求。
- 5.5.2 气压沉箱工作室高度应按机械操作要求确定,一般为 2.5m。气压沉箱在初期下沉时,可设置素混凝土支座承托上部荷载。
- 5.5.3 气压沉箱宜在下沉至地下水位以下 0.5m ~ 1.0m 时加气。气压沉箱施工时应保证工作室内气压稳定,工作室内气压应与箱外地下水压力保持平衡。
- 5.5.4 施工现场必须配备备用供气设备及备用电源。
- 5.5.5 气压沉箱施工作业人员从常压进入高压或从高压回到常压环境必须符合健康操作程序。
- 5.5.6 气压沉箱挖运土可根据实际情况选用吊桶法或螺旋出土法。
- 5.5.7 液压挖机的型号和数量可根据施工地区的土质情况以及挖机的挖掘范围等综合确定。
- 5.5.8 挖机取土下沉时应先在箱体中央形成锅底,逐步均匀向周围扩大,不宜掏挖刃脚踏面处土体。
- 5.5.9 气压沉箱下沉纠偏可选用下列一种或几种方法:
  - 1 挖土纠偏;
  - 2 桩基反压装置协助纠偏;
  - 3 压重纠偏;
  - 4 触变泥浆减阻纠偏。
- 5.5.10 当气压沉箱下沉系数小于 1.0 时,宜采用触变泥浆护壁下沉法、压重下沉法及桩基反压法等一种或多种助沉措施配合气压沉箱下沉。
- 5.5.11 气压沉箱施工时可采用下列防漏气措施:
  - 1 气压沉箱外围设置泥浆套;
  - 2 调节工作室的气压低于地下水压 5kPa ~ 10kPa;
  - 3 刃脚处留土,隔绝气体渗漏通道。

## 5.6 沉井封底

**5.6.1** 沉井采用排水法下沉至设计标高,井内土体稳定时可采用干封底,井内土体不稳定及采用不排水下沉时应采用水下封底。

**5.6.2** 沉井干封底施工应符合下列规定:

1 沉井基底土面、分仓封底可分仓挖至设计标高,混凝土凿毛处应清理干净;

2 在井内应设置集水井,并不间断抽除积水与排气,保持井内无积水,集水井封闭应在底板混凝土达到设计强度及符合抗浮要求后进行;

3 沉井封底应先铺设 400mm ~ 500mm 的碎石或砂砾石反滤层并夯实;

4 面积不大于 100m<sup>2</sup> 的沉井应一次连续浇筑;

5 大于 100m<sup>2</sup> 的沉井宜分仓对称浇筑,每个分仓应连续浇筑。

**5.6.3** 沉井水下封底时应符合下列规定:

1 封底混凝土与井壁结合处应清理干净;

2 基底为软土层时应清除井底浮泥,修整锅底,铺碎石垫层;

3 水下混凝土骨料最大粒径不应大于导管内径的 1/6,水胶比不应大于 0.6,坍落度宜为 180mm ~ 220mm,并应具有一定的流动性;

4 导管的平面布置及初灌量的要求应符合本规范第 4.5.5 条的规定,且每根导管的停歇时间不宜超过 30min;

5 封底混凝土达到设计强度后方可抽除沉井内的水。

## 5.7 气压沉箱封底

**5.7.1** 气压沉箱封底混凝土宜采用自密实混凝土。

**5.7.2** 气压沉箱封底混凝土浇筑应符合下列规定:

1 混凝土导管的管段接头应密封;

2 封底浇筑顺序应从刃脚处向中间对称、连续浇筑;

3 拆除工作室内的设备及封底施工过程中,应维持工作室内的气压稳定。

**5.7.3** 封底混凝土达到设计强度 50% 后可停止向工作室内供气,并应进行预留孔的封堵。

**5.7.4** 封底结束后应注入水泥浆,填实工作室顶板与封底混凝土之间的空隙。

## **5.8 水域沉井与沉箱施工**

**5.8.1** 水域沉井与沉箱施工可结合水域环境、施工条件等因素选用筑岛法或浮运法。

**5.8.2** 筑岛法的地基承载力不应小于 100kPa 及设计要求,岛体应符合沉降稳定和防冲刷稳定的要求。

**5.8.3** 水域沉井与沉箱采用筑岛法施工时,制作与下沉可按本规范第 5.3 节~第 5.7 节的规定执行。

**5.8.4** 浮运沉井与浮运沉箱的首节制作场地应符合下列规定:

1 在陆地制作与拼装时,宜在坞室内或靠近码头的区域;

2 在浮船上或支架平台上制作与拼装时,应对船舶或支架平台的承载力与稳定性进行验算。

**5.8.5** 浮运沉井与浮运沉箱浮运前的施工准备应符合下列规定:

1 对所经水域和就位河床应进行探查及清理,应无妨碍浮运的水下障碍物,就位处河床应清除浮泥并整平;

2 场地平整后应在水中铺设砂垫层,铺设范围应超出浮运沉井与浮运沉箱四周 3.0m;

3 应检查拖运、定位、导向、锚锭、潜水、起吊及排、灌水等相关设备设施的可靠安全性;

4 浮运时应掌握水文、气象和航运情况,施工前应 与港监部门联系,办理有关水上施工的手续;

5 施工区域附近应设置导航标志,并应有导航船。

**5.8.6** 浮运沉井与浮运沉箱的浮运应符合下列规定:

1 施工前应对首节进行水密性检查及水压试验;

2 首节浮运应根据现场情况选用滑道、起吊、涨水自浮、浮船等下水方法;

3 浮运定位应采用钢锚碇结合锚系导向定位系统;

4 浮运、下沉、着床宜选在枯水期,且在水流速度小于  $2\text{m/s}$  时进行作业;

5 浮运防水围壁高度应高出施工期最高水位不小于  $1.0\text{m}$ 。

**5.8.7** 浮运沉井与浮运沉箱的就位与下沉应符合下列规定:

1 浮运沉井与浮运沉箱的就位可采用定位锚船法、缆绳定位法;

2 浮运沉井与浮运沉箱周边应设置防撞措施,严防船舶及漂流物等的撞击;

3 浮运沉井与浮运沉箱准确定位着床后,应采取及时、对称均匀地向井(箱)壁、井(箱)格内灌水、灌筑混凝土和压重等措施下沉;

4 就位与下沉过程中应测量浮运沉井与浮运沉箱的高程、平面位置、垂直度、扭转等几何姿态;

5 浮运沉井与浮运沉箱接高制作与下沉可按本规范第 5.3 节~第 5.7 节的规定执行;

6 浮运沉井与浮运沉箱下沉过程中应加强对附近河床冲刷情况的观察,发现问题应及时对井(箱)壁四周抛压砂袋或块石。

## 6 质量控制与验收

### 6.1 砂 垫 层

6.1.1 砂垫层的施工质量检验必须分层进行,并应在每层的压实系数达到 0.93 后铺填上层。

6.1.2 砂垫层施工质量检查点布设,按环边铺设时每 10m 不应少于 1 个点,满堂铺设时每  $50\text{m}^2$  不应少于 1 个点,且每个单体工程不应少于 3 个点。

6.1.3 环刀法检验垫层的施工质量时,取样点应位于每层厚度的  $2/3$  处。

### 6.2 制 作

6.2.1 混凝土浇筑前应对模板的位置、尺寸和密封性以及钢筋、预埋件、预留洞口的位置进行检查及验收,拆模后应对浇筑质量进行外观检查和强度检测。

6.2.2 沉井与气压沉箱结构制作允许偏差应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 沉井与气压沉箱结构制作允许偏差

| 序号 | 检查项目               | 允许偏差<br>或允许值                      | 检查数量       |    | 检验方法          |
|----|--------------------|-----------------------------------|------------|----|---------------|
|    |                    |                                   | 范围         | 点数 |               |
| 1  | 长度( mm)            | $\pm 0.5\% L_1$ ,<br>且 $\leq 100$ | 每边         | 1  | 尺量            |
| 2  | 宽度( mm)            | $\pm 0.5\% B$ ,<br>且 $\leq 50$    | 每边         | 1  | 尺量            |
| 3  | 高度( mm)            | $\pm 30$                          | 每边         | 1  | 尺量            |
|    |                    |                                   | 圆形气压沉箱 4 点 |    |               |
| 4  | 直径<br>( 圆形气压沉箱,mm) | $\pm 0.5\% D_1$ ,<br>且 $\leq 100$ | 2          |    | 尺量<br>( 互相垂直) |



续表 6.2.2

| 序号 | 检查项目                | 允许偏差<br>或允许值        | 检查数量       |    | 检验方法                 |
|----|---------------------|---------------------|------------|----|----------------------|
|    |                     |                     | 范围         | 点数 |                      |
| 5  | 对角线( mm)            | ±0.5% 线长,<br>且 ≤100 | 2          |    | 尺寸<br>( 两端、中间各取 1 点) |
| 6  | 箱壁厚度( mm)           | ± 15                | 每边         | 3  | 尺寸                   |
|    |                     |                     | 圆形气压沉箱 4 点 |    |                      |
| 7  | 箱壁隔墙垂直度<br>( mm)    | ≤1‰H <sub>1</sub>   | 每边         | 3  | 经纬仪或线垂               |
|    |                     |                     | 圆形气压沉箱 4 点 |    |                      |
| 8  | 预埋件中心线位置<br>( mm)   | ± 20                | 每件         | 1  | 尺寸                   |
| 9  | 预留孔( 洞) 位移<br>( mm) | ± 20                | 每件         | 1  | 尺寸                   |
|    |                     |                     | 每孔( 洞)     | 1  |                      |

注: 1  $L_1$  为设计沉井( 箱) 长度( mm),  $B$  为设计沉井( 箱) 宽度( mm),  $H_1$  为设计沉井( 箱) 高度( mm),  $D_1$  为设计沉井( 箱) 直径( mm);

2 检查中心线位置时, 应沿纵、横两个方向测量, 并取其中较大值。

### 6.2.3 水域沉井与沉箱结构制作允许偏差应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 水域沉井与沉箱结构制作允许偏差

| 序号 | 检 查 项 目       |          | 允许偏差<br>或允许值                       | 检查数量     |    | 检验方法                 |
|----|---------------|----------|------------------------------------|----------|----|----------------------|
|    |               |          |                                    | 范围       | 点数 |                      |
| 1  | 长度( mm)       |          | $\pm 0.5 \% L_1$ ,<br>且 $\leq 120$ | 每边       | 1  | 尺量                   |
| 2  | 宽度( mm)       |          | $\pm 0.5 \% B$ ,<br>且 $\leq 120$   | 每边       | 1  | 尺量                   |
| 3  | 半径( 圆形沉箱, mm) |          | $\pm 0.5 \% D_1$ ,<br>且 $\leq 60$  | 2        |    | 尺量<br>( 互相垂直)        |
| 4  | 对角线( mm)      |          | $\pm 1 \%$ 线长,<br>且 $\leq 180$     | 2        |    | 尺量( 两端、<br>中间各取 1 点) |
| 5  | 井壁厚度<br>( mm) | 混凝土      | +40<br>-30                         | 每边       | 3  | 尺量                   |
|    |               | 钢壳和钢筋混凝土 | $\pm 15$                           | 圆形沉井 4 点 |    |                      |
| 6  | 沉井刃脚高程( mm)   |          | 符合设计<br>要求                         | 每个       | 4  | 尺量                   |

续表 6.2.3

| 序号 | 检查项目               | 允许偏差<br>或允许值 | 检查数量 |    | 检验方法   |
|----|--------------------|--------------|------|----|--------|
|    |                    |              | 范围   | 点数 |        |
| 7  | 最大倾斜度(纵、横向)(mm)    | $1‰H_1$      | 每边   | 1  | 经纬仪或线垂 |
| 8  | 中心偏位(纵、<br>横向)(mm) | 就地制作下沉       | 每边   | 1  | 尺量     |
|    |                    | 水中下沉         | 每边   | 1  |        |
| 9  | 平面扭转角<br>(°)       | 就地制作下沉       | 每角   | 1  | 经纬仪或线垂 |
|    |                    | 水中下沉         | 每角   | 1  |        |

注:1  $L_1$ 为设计水域沉井(箱)长度(mm), $B$ 为设计水域沉井(箱)宽度(mm), $H_1$ 为设计水域沉井(箱)高度(mm), $D_1$ 为设计水域沉井(箱)直径(mm);

2 对于钢沉井及结构构造、拼装等方面有特殊要求的沉井,其平面尺寸允许偏差值应按照设计要求确定;

3 井壁的表面应平滑、不外凸,且不得倾斜。

## 6.3 下沉及封底

6.3.1 沉井与气压沉箱下沉过程中的允许偏差应符合表 6.3.1-1 和表 6.3.1-2 的规定。

表 6.3.1-1 沉井下沉阶段允许偏差

| 项 目    | 允许偏差及允许值                                                   | 检查数量 |               | 检验方法 |
|--------|------------------------------------------------------------|------|---------------|------|
| 沉井四角高差 | $\leq 1.5\% L_1 \sim 2.0\% L_1$ ,<br>且 $\leq 500\text{mm}$ | 下沉阶段 | $\geq 2$ 次/8h | 全站仪  |
|        |                                                            | 终沉阶段 | 1 次/h         |      |
| 中心位移   | $\leq 1.5\% H_2$ ,<br>且 $\leq 300\text{mm}$                | 下沉阶段 | $\geq 1$ 次/8h | 全站仪  |
|        |                                                            | 终沉阶段 | $\geq 2$ 次/8h |      |

注:1  $L_1$ 为设计沉井长度(mm), $H_2$ 为下沉深度(mm);

2 下沉速度较快时适当增加测量频率。

表 6.3.1-2 气压沉箱下沉阶段允许偏差

| 项 目          | 允许偏差及允许值                                                   | 检查数量 |               | 检验方法 |
|--------------|------------------------------------------------------------|------|---------------|------|
| 气压沉箱<br>四角高差 | $\leq 1.0\% L_1 \sim 1.5\% L_1$ ,<br>且 $\leq 450\text{mm}$ | 下沉阶段 | $\geq 2$ 次/8h | 全站仪  |
|              |                                                            | 终沉阶段 | 1 次/h         |      |
| 中心位移         | $\leq 1\% H_2$ ,<br>且 $\leq 150\text{mm}$                  | 下沉阶段 | $\geq 1$ 次/8h | 全站仪  |
|              |                                                            | 终沉阶段 | $\geq 2$ 次/8h |      |

注: $L_1$ 为气压沉箱设计长度(mm); $H_2$ 为下沉深度(mm);下沉速度较快时适当增加测量频率。

6.3.2 下沉后进行接高时,应对地基强度、沉井和气压沉箱的稳定性以及下沉偏差进行复核。

6.3.3 沉井终沉后的允许偏差应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 沉井终沉后允许偏差

| 序号 | 检 查 项 目            |                | 允许偏差<br>或允许值               | 检查数量 |    | 检验<br>方法 |
|----|--------------------|----------------|----------------------------|------|----|----------|
|    |                    |                |                            | 范围   | 点数 |          |
| 1  | 刃脚平均标高( mm)        |                | $\pm 100$                  | 每个   | 4  | 全站仪      |
| 2  | 刃脚中心线位移<br>( mm)   | $H_3 \geq 10m$ | $< 1\% H_3$                | 每边   | 1  | 全站仪      |
|    |                    | $H_3 < 10m$    | 100                        | 每边   | 1  | 全站仪      |
| 3  | 四角中任何两角高差<br>( mm) | $L_2 \geq 10m$ | $< 1\% L_2$ , 且 $\leq 300$ | 每角   | 2  | 全站仪      |
|    |                    | $L_2 < 10m$    | 100                        | 每角   | 2  | 全站仪      |

注:  $L_2$  为矩形沉井两角的距离, 圆形沉井为互相垂直的两条直径( mm);  $H_3$  为下沉总深度( mm)。

6.3.4 气压沉箱终沉后的允许偏差应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 气压沉箱终沉后允许偏差

| 序号 | 检 查 项 目            |                | 允许偏差<br>或允许值                 | 检查数量 |    | 检验<br>方法 |
|----|--------------------|----------------|------------------------------|------|----|----------|
|    |                    |                |                              | 范围   | 点数 |          |
| 1  | 刃脚平均标高( mm)        |                | $\pm 50$                     | 每个   | 4  | 全站仪      |
| 2  | 刃脚中心线位移<br>( mm)   | $H_3 \geq 10m$ | $< 0.5\% H_3$                | 每边   | 1  | 全站仪      |
|    |                    | $H_3 < 10m$    | 50                           | 每边   | 1  | 全站仪      |
| 3  | 四角中任何两角高差<br>( mm) | $L_2 \geq 10m$ | $< 0.5\% L_2$ , 且 $\leq 150$ | 每角   | 2  | 全站仪      |
|    |                    | $L_2 < 10m$    | 50                           | 每角   | 2  | 全站仪      |

注:  $L_2$  为矩形气压沉箱两角的距离, 圆形气压沉箱为互相垂直的两条直径( mm);  $H_3$  为下沉总深度, 系指下沉前后刃脚之高差。

6.3.5 水域沉井与沉箱终沉后允许偏差应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 水域沉井与沉箱终沉后允许偏差

| 序号 | 检 查 项 目              |        | 允许偏差或允许值                   | 检查数量 |    | 检验<br>方法 |
|----|----------------------|--------|----------------------------|------|----|----------|
|    |                      |        |                            | 范围   | 点数 |          |
| 1  | 刃脚平均标高( mm)          |        | 符合设计要求                     | 每个   | 4  | 全站仪      |
| 2  | 中心偏位( 纵、<br>横向)( mm) | 就地制作下沉 | $< 1\% H_1$                | 每边   | 1  | 全站仪      |
|    |                      | 水中下沉   | $< 1\% H_1$ , 且 $\leq 250$ | 每边   | 1  | 全站仪      |

续表 6.3.5

| 序号 | 检 查 项 目         |        | 允许偏差或允许值 | 检查数量 |    | 检验方法 |
|----|-----------------|--------|----------|------|----|------|
|    |                 |        |          | 范围   | 点数 |      |
| 3  | 最大倾斜度(纵、横向)(mm) |        | 符合设计要求   | 每边   | 1  | 全站仪  |
| 4  | 平面扭转角(°)        | 就地制作下沉 | 1        | 每角   | 1  | 全站仪  |
|    |                 | 水中下沉   | 2        | 每角   | 1  | 全站仪  |

注:  $H_1$  为设计水域沉井(箱)高度(mm)。

### 6.3.6 沉井封底施工检验应符合下列规定:

1 封底前应对混凝土的工作性能进行检验,符合要求后方可进行封底;

2 沉井干封底时,井内地下水位应控制在坑底以下 0.5m,沉井封底结束后应检查混凝土的强度和厚度。

### 6.3.7 气压沉箱封底施工检验应符合下列规定:

1 气压沉箱封底前应对封底混凝土的工作性能进行检验;

2 气压沉箱封底时应检验物料塔及人员塔内的气压;

3 气压沉箱的封底混凝土应进行强度检验。

## 7 监 测

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 沉井与气压沉箱工程应结合工程特性和周边环境条件实施工程监测,包括主体结构监测和周边环境监测,且应编制监测方案。

**7.1.2** 沉井与气压沉箱工程监测项目应根据沉井与气压沉箱工程特点、施工工艺、环境保护等级等确定,应按表 7.1.2 的规定执行。

表 7.1.2 沉井与气压沉箱监测项目

| 监测项目 | 地下管线位移 | 建(构)筑物沉降 | 地表土体沉降 | 地下水位 | 结构高差 | 建筑物、地表裂缝 | 建筑物倾斜 | 土体水平位移(测斜) | 土体分层沉降 |
|------|--------|----------|--------|------|------|----------|-------|------------|--------|
| 项目选择 | √      | √        | √      | √    | √    | √        | ◇     | ◇          | ◇      |

注:√为应测项目;◇为选测项目,可按设计要求选择。

**7.1.3** 重要监测点损坏后应及时修复或重设。施工过程中应做好监测点的保护工作,应设置监测点的保护装置或采取保护措施。

**7.1.4** 沉井与气压沉箱施工前三天应完成监测项目初始值测定,取 2 次~3 次观测平均值作为监测初始值。监测记录应真实、规范,并应妥善保管。

**7.1.5** 监测单位应及时分析、处理监测数据,并应将监测结果和评价及时通知各相关单位。

**7.1.6** 监测仪器应在校验的有效期内,并应定期检查和保养,仪器性能应完好。

**7.1.7** 当出现下列情况之一时,应立即通报各相关单位,并同时提高监测频率:

- 1 监测数据达到报警值;
- 2 存在勘察未发现不良工程地质现象;
- 3 沉井与气压沉箱附近地面荷载突然增大或超过设计限值;
- 4 周边地面突发较大沉降或出现严重开裂;
- 5 邻近建筑突发较大沉降、不均匀沉降或出现严重开裂。

7.1.8 沉井与气压沉箱监测时不应影响其结构安全,妨碍其正常使用。

7.1.9 传感器导线从井壁内引至地面采集点,穿越混凝土时应采用套管保护。

## 7.2 监测与报警

7.2.1 主体结构监测报警值应根据设计要求确定;设计无要求时,可按表 7.2.1 采用。

表 7.2.1 主体结构监测报警值

| 项 目               | 每次下沉到位时<br>(除终沉外) | 每次下沉<br>过程中 |
|-------------------|-------------------|-------------|
| 刃脚平均标高            | 120mm             | 150mm       |
| 刃脚平面的中心线位移        | 1% $H$            | 1.5% $H$    |
| 沉井与气压沉箱四角中任意两角的高差 | 1% $L$            | 1.5% $L$    |

注:1  $H$  为下沉深度( mm );

2  $L$  为矩形沉井两角间的距离,圆形沉井为直径长度( mm );

3 终沉按验收标准控制。

7.2.2 沉井与气压沉箱工程周边环境监测应符合下列规定:

1 监测频率应综合考虑沉井与气压沉箱工程施工、周边环境条件、自然条件的变化和当地经验等,按表 7.2.2 确定;

表 7.2.2 沉井与气压沉箱工程监测频率

| 施 工 进 展 | 监 测 频 率                 |
|---------|-------------------------|
| 下沉前     | 至少测 3 次初值               |
| 下沉过程    | 1 次/d,监测数据超过报警值时应 2 次/d |
| 结构接高过程  | 1 次/2d                  |

续表 7.2.2

| 施 工 进 展        | 监 测 频 率                 |
|----------------|-------------------------|
| 封底过程           | 1 次/d,监测数据超过报警值时应 2 次/d |
| 封底结束后 7d ~ 30d | 1 次/3d                  |
| 后期 30d ~ 60d   | 1 次/15d                 |

2 沉井与气压沉箱位置距河流水系的距离较近时,应对防汛墙和堤坝进行沉降监测;防汛墙和堤坝的沉降和位移监测点设置应得到相关部门的确认;

3 周边环境监测点布置可按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定执行。

7.2.3 周边环境监测项目的报警值应根据设计文件的要求确定;当无明确要求时,可按表 7.2.3 采用。

表 7.2.3 周边环境监控报警值

| 监测对象 |                | 报警项目     | 变化速率<br>(mm/d) | 累计值<br>(mm) | 备注          |
|------|----------------|----------|----------------|-------------|-------------|
| 1    | 地下水水位变化        |          | 500            | 1000        |             |
| 2    | 地下<br>管线<br>位移 | 刚性<br>压力 | 1 ~ 3          | 10 ~ 30     | 直接观察<br>点数据 |
|      |                | 非压力      | 3 ~ 5          | 10 ~ 40     |             |
|      | 柔性管线           |          | 3 ~ 5          | 10 ~ 40     |             |
| 3    | 邻近建(构)筑物       |          | 1 ~ 3          | 10 ~ 60     |             |
| 4    | 裂缝             | 建(构)筑物   | 持续发展           | 1.5 ~ 3.0   |             |
|      | 宽度             | 地表       | 持续发展           | 10 ~ 15     |             |

注:建筑整体倾斜度累计值达到 2/1000 或倾斜速度连续 3d 大于 0.0001H/d( $H$  为建筑承重结构高度)时应报警。

## 7.3 监测报告

7.3.1 监测资料应包括监测过程中提供的监测日报表(速报)、监测中间报告(阶段性报告)和最终监测报告。

7.3.2 监测的初始记录和监测数据应详细完整,并应及时提交当日报表,施工周期较长时尚应提供阶段性报告。在报表和报告中

应反映施工工况和报警值,并进行综合分析判断,及时提出工程建议。

**7.3.3** 成果文件中提供的数据、图表应客观、真实、准确。成果文件应标识工程名称、工程编号、编写单位、提交报告日期等。

**7.3.4** 监测结束后应编写完整监测报告,并应包括下列内容:

- 1 工程概况;
- 2 监测依据;
- 3 监测项目、测点布置;
- 4 监测设备和监测方法;
- 5 监测频率、监测报警值;
- 6 监测项目变化分析及评价;
- 7 监测结论与建议。



## 本规范用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497

《爆破安全规程》GB 6722

《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120