**ICS 91.060.50**

**Q 70**

**江苏省土木建筑学会标准 T**

**T/JSTJXH XXX-2021**

**桥梁水中沉井基础施工技术规程**

**Construction technical specification for open caisson foundation of bridge in water**

**2022-X-X** 发布 **2022-X-X** 实施

江苏省土木建筑学会 发布

前 言

本规程针对我国桥梁水中沉井基础施工技术的需求，编写单位充分总结了桥梁水中沉井基础施工相关的工程实践，结合近年来我国水中沉井基础研究成果，通过调研和分析论证，提出符合桥梁水中沉井基础施工技术的要求，并广泛征求国内专家的意见，完成本规程的制定工作。

本技术规程共分6章，主要包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.计算与验算；5.水中沉井基础施工；6.施工监测与控制。

本规程由江苏省土木建筑学会负责管理，中交第二航务工程局有限公司负责解释。各单位在执行过程中如有修改意见或建议，请反馈至中交第二航务工程局有限公司（地址: 湖北省武汉市东西湖区金银湖路11号；邮编:430000；联系电话：027-83920888）。

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位: | 江苏省交通工程建设局 |
|  | 中交第二航务工程局有限公司 |
| 参编单位: | 中交二航局第四工程有限公司 |
|  | 中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司 |
|  | 中铁桥隧技术有限公司 |

主要起草人：蒋振雄、张鸿、李镇、黄健、张永涛、罗承斌、吴启和、陈鸣、王强、夏鹏飞、赵东梁、郑海涛、陈建荣、尹东亚、朱浩、陆荣伟、张磊、孙发明、李德杰、韩鹏鹏、李嘉成、仇正中、刘修成、管政霖、唐震

主要审查人：

**目 次**

**[1](#_Toc112317313)** [总则 1](#_Toc112317313)

**[2](#_Toc112317314)** [术语和符号 2](#_Toc112317314)

[2.1 术语 2](#_Toc112317315)

[2.2 符号 3](#_Toc112317316)

**[3](#_Toc112317317)** [基本规定 5](#_Toc112317317)

**[4](#_Toc112317318)** [计算与验算 6](#_Toc112317318)

[4.1 一般规定 6](#_Toc112317319)

[4.2 浮运及定位计算 6](#_Toc112317320)

[4.3 沉井下沉计算 8](#_Toc112317321)

[4.4 沉井结构受力验算 10](#_Toc112317322)

[4.5 混凝土浇筑计算 11](#_Toc112317323)

[4.6 吸泥设备选型 13](#_Toc112317324)

**[5](#_Toc112317325)** [水中沉井基础施工 17](#_Toc112317325)

[5.1 一般规定 17](#_Toc112317326)

[5.2 钢沉井制造及组装 18](#_Toc112317327)

[5.3 钢沉井下水 20](#_Toc112317328)

[5.4 钢沉井运输 21](#_Toc112317329)

[5.5 钢沉井定位及着床 22](#_Toc112317330)

[5.6 钢沉井接高 24](#_Toc112317331)

[5.7 隔舱混凝土浇筑 25](#_Toc112317332)

[5.8 混凝土沉井接高 26](#_Toc112317333)

[5.9 沉井下沉施工 26](#_Toc112317334)

[5.10 终沉清基 28](#_Toc112317335)

[5.11 封底混凝土施工 30](#_Toc112317336)

**[6](#_Toc112317337)** [施工监测与控制 32](#_Toc112317337)

[6.1 一般规定 32](#_Toc112317338)

[6.2 监测与报警 33](#_Toc112317339)

[6.3 监测报告 34](#_Toc112317340)

[用词说明 36](#_Toc112317341)

[条文说明 37](#_Toc112317342)

**[1](#_Toc112317343)** [总则 38](#_Toc112317343)

**[3](#_Toc112317344)** [基本规定 39](#_Toc112317344)

[4 计算与验算 40](#_Toc112317345)

[4.2 浮运及定位计算 40](#_Toc112317346)

[4.3 沉井下沉计算 40](#_Toc112317347)

[4.5 混凝土浇筑计算 40](#_Toc112317348)

[5 水中沉井基础施工 41](#_Toc112317349)

[5.1 一般规定 41](#_Toc112317350)

[5.2 钢沉井制造及组装 41](#_Toc112317351)

[5.3 钢沉井下水 42](#_Toc112317352)

[5.4 钢沉井运输 42](#_Toc112317353)

[5.5 钢沉井定位及着床 42](#_Toc112317354)

[5.7 隔舱混凝土浇筑 44](#_Toc112317355)

[5.9 沉井下沉施工 44](#_Toc112317356)

**[6](#_Toc112317357)** [施工监测与控制 46](#_Toc112317357)

[6.1 一般规定 46](#_Toc112317358)

[6.2 监测与报警 46](#_Toc112317359)

# 总则

**1.0.1** 为了保证桥梁水中大型沉井基础施工安全与质量，促进项目施工规范化、标准化，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于水中大型沉井基础工程施工，其他沉井工程可参考借鉴本规程。

**1.0.3** 沉井基础施工应符合设计文件的规定，满足安全、耐久、节能的要求，并应文明施工。

**1.0.4** 沉井施工时的安全技术、环境保护必须符合有关法律法规和相关规程。

**1.0.5** 桥梁水中沉井基础施工应积极推广使用可靠的新技术、新工艺、新材料和新设备。

**1.0.6** 桥梁沉井基础的施工，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

# 术语和符号

## 术语

### 水中沉井 open caisson

位于江、河、湖、海中，上下敞口带刃脚的空心井筒状结构，依靠自重或配以助沉措施下沉至设计标高处，以井筒作为结构的基础。

### 井壁 wall

沉井最外侧用来挡土、挡水的板状结构物。是沉井的主要组成部分，同时要有足够的重量，保证沉井顺利下沉。

### 隔墙 partition

沉井内部用来支撑井壁及把沉井分隔成多个井孔的板状结构。是沉井的主要组成部分，同时要有足够的重量，保证沉井顺利下沉。

### 隔舱 compartment

钢沉井井壁、隔墙壁板之间的空间。

### 刃脚 cutting edge

设置在沉井井壁及隔墙下端，用来支承沉井重量及切土下沉减少阻力的带有斜面的构造。位于井壁底部的为外刃脚，常采用单斜面构造，位于隔墙底部的为内隔墙刃脚，常采用双斜面构造。

### 剪力键 shear key

设置在沉井井壁或隔墙上的外凸的构造，加强沉井封底与井壁连接的传力结构。

### 下沉系数 subsidence factor

沉井有效重量与侧壁阻力及端阻力之和的比值，用来评估沉井下沉的主要参数之一。

### 首节 first segment

采用分段制造和安装（浇筑）的沉井，浮运定位时具有一定高度、由一节或若干设计节段组成的沉井结构。

### 浮运稳性 floating stability

沉井浮运过程中，受到风、浪、流等外界扰动后其运动能保持在有限边界的区域内或回复到原平衡状态的性能。

### 空气幕减阻法 air curtain drag reduction

由预埋在井壁外侧的气孔喷射出高压气流，气流沿井壁外侧上升并形成含有气体与水的液化土层，从而降低井壁与周边土体的摩阻力的一种助沉措施。

### 沉井浮运 open caisson floating

借助水浮力把自浮状态的沉井拖运至墩位处的施工方法。

### 干舷高度 freeboard

水面距离水中沉井结构顶面的最小高度。

### 沉井着床 open caisson imbedding

向漂浮在水中的沉井隔舱内注水或压载，使沉井下沉，刃脚嵌入河床泥面的过程。

### 取土盲区digging blind area

井壁、隔墙及剪力键范围内垂直取土设备无法直接取土的区域。

## 符号

### 作用及作用效应

——摩阻力极限值；

——地基承载力极限值；

——新浇筑混凝土对沉井壁板的侧压力；

——下锚缆拉力水平分力；

——作用在沉井（露出水面部分）上的风荷载；

——作用在沉井上的波浪力；

——上锚缆拉力水平分力；

——下沉过程中沉井浮力标准值；

——井体自重标准值（包括外加助沉重量的标准值）；

——接高后的沉井重量；

——水射流流量;

——井壁总侧摩阻力；

### 几何系数

——刃脚底面地基反力的合力作用点至刃脚根部截面中心的距离；

——空气吸泥机在水中的埋深；

——沉井在水面处的断面对纵向（或横向）中心轴的惯性矩；

——定倾高度；

——混凝土初灌量；

——定倾半径；

——沉井的稳定倾斜角。

### 计算系数

——下沉系数；

——稳定系数；

——水平土压力系数；

——井壁和土之间的摩擦系数；

——沉井侧壁外围周长。

# 基本规定

**3.0.1** 沉井工程施工前应对墩位处进行详细的地质勘察。

**3.0.2** 沉井工程施工前，应具备下列资料：

**1** 设计施工图；

**2** 施工区域内建筑场地的工程地质勘察报告、气象和水文资料；

**3** 相邻建（构）筑物的图纸，原有地下管线和其他障碍物等相关资料；

**4** 测量基线和水准点资料；

**5** 防洪、防汛、防台和环境保护的有关规定；

**6** 河流规划宽度、通航情况以及断面尺寸等相关资料﹔

**7** 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、冬季冰凌情况以及上下游水利工程对本工程的影响情况。

**3.0.3** 应结合工程的规模、工期、地形特点、航道分布等情况合理布置施工场地，所设置的各种临时设施应满足工程施工的需要及防台防汛等安全施工的要求，开工前应完成现场的总平布置工作。

**3.0.4** 原材料进场时，应具有产品合格证、出厂试验报告；进场后，应按国家有关规定进行材料验收和抽检，其质量应合格方可使用。

**3.0.5** 水中沉井施工，应综合考虑河床冲刷稳定深度、干舷高度、水头差、沉井重心高度、设备安拆、取土设备效率等因素，结合沉井施工全过程下沉计算分析，合理制定总体工艺方案，一般水中沉井施工包括施工准备、首节钢沉井制造、沉井浮运定位与着床、隔舱混凝土浇筑、接高与下沉、清基封底等工序。

**3.0.6** 沉井施工应根据现场实际情况配备机具设备。沉井施工主要机具设备应包括混凝土生产、运输和浇筑设备、钢筋加工设备、供气供水设备、吸泥设备、起重设备等。

**3.0.7** 沉井施工期间，应根据施工方案，对沉井施工期间沉井结构、周边影响等因素进行计算分析，并制定合理的监控方案。

**3.0.8**  沉井施工宜采用机械化、信息化、智能化的施工工艺。

# 计算与验算

## 一般规定

### 水中沉井应对沉井浮运稳性、锚缆系统受力、下沉系数、接高稳定系数、结构受力、设备选型以及封底混凝土等内容进行计算与验算。

### 流速水域的沉井基础冲刷计算可按现行的《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30)进行；对于复杂水文条件的大型水中沉井基础，应进行河工模型试验对施工期河床冲刷情况进行研究论证。

### 计算和验算应综合考虑风、浪、流等作用，其计算参照现行《港口工程荷载规范》（JTS 144）、《建筑结构荷载规范》（GB5009）、《港口与航道水文规范》（JTS 145），作用均采用标准值。

## 浮运及定位计算

### 沉井在浮运前，应验算其浮运稳性，包含定倾高度和稳定倾斜角的验算；宜分别验算其纵向稳定倾斜角和横向稳定倾斜角。

#### 定倾高度应按下列公式进行计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.2.1-1） |
|  | （4.2.1-2） |

式中：

——定倾高度（m），表示沉井浮运稳定性的物理量，不应小于0.4m；

——定倾半径（m），为浮心与定倾中心的距离；

——沉井重心到浮心的距离（m）；

——沉井在水面处的断面对纵向（或横向）中心轴的惯性矩；

——排水体积（m3）。

#### 稳定倾斜角应按下列公式进行计算：

 （4.2.1-3）

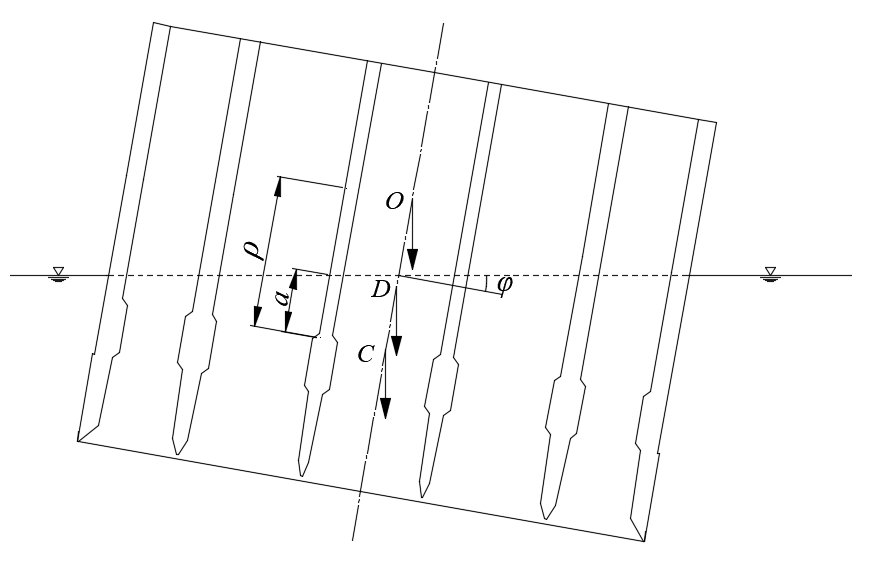
式中：

——沉井的稳定倾斜角，表示沉井在外力矩的作用下保持稳定的倾斜角度，不应大于6°；

——外力矩（kN·m）；

——水的重度（kN/m3）,取9.81kN/m3；

——排水体积（m3）。



D——重心；C——浮心；O——定倾中心，浮心运行轨迹的圆心；

图4.2.1 水中浮运沉井

### 沉井锚缆系统受力，应按下列公式计算：

#### 沉井锚缆受力应按下列公式计算：

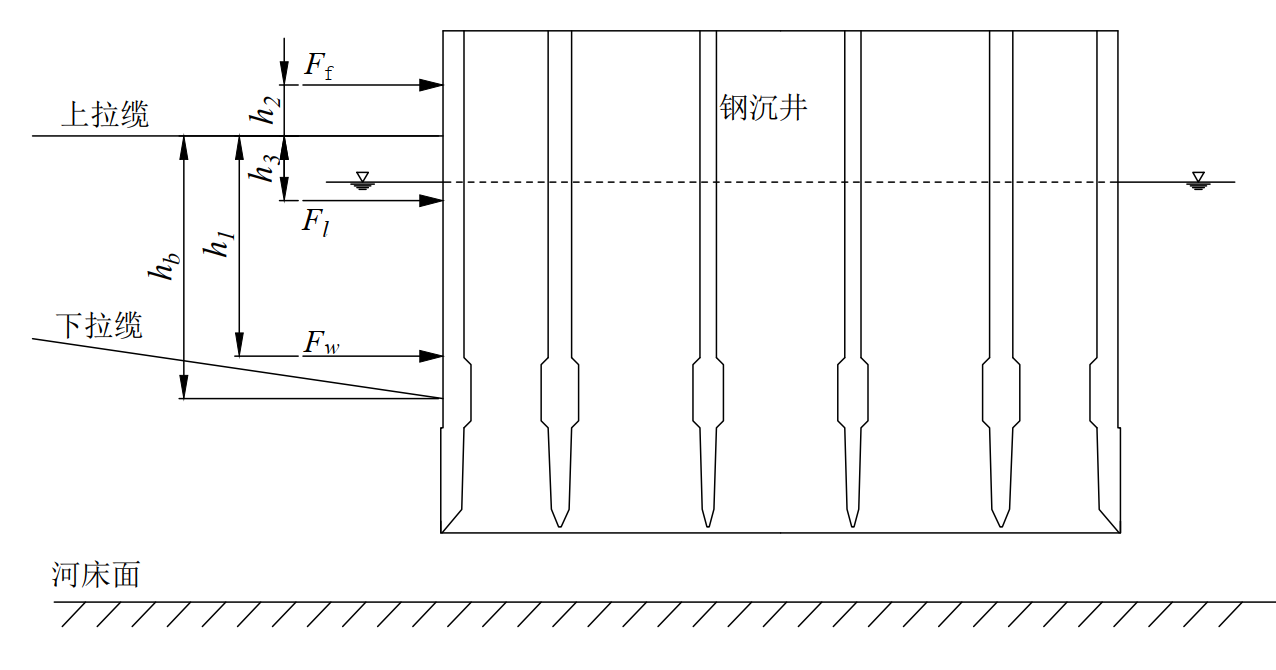


图4.2.2 沉井锚缆计算示意图

沉井锚缆受力计算公式如下：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.2.2-1） |
|  | （4.2.2-2） |

式中：

——下锚缆拉力水平分力（kN）；

——上锚缆拉力水平分力（kN）；

——作用在沉井（水中部分）上的水流阻力（kN）；

——水流阻力作用点至主缆距离（m）；

——作用在沉井（露出水面部分）上的风荷载（kN）；

——风荷载作用点至主缆距离（m）；

——作用在沉井上的波浪力（kN）；

——波浪力作用点至主缆距离（m）；

——下锚缆至主缆距离（m）。

#### 对于不受波浪影响的水中沉井基础，当采用柔性或半刚性定位系统时，可不考虑波浪力的影响。

## 沉井下沉计算

### 沉井取土下沉端阻力应采用地基极限承载力进行计算分析，地基极限承载力宜通过载荷板试验获得；当无极限地基承载力现场勘测值时，可基于地勘获取的地基土体物理力学指标，采用理论公式或数值计算分析确定，计算时应考虑支撑土体的开挖宽度和深度以及沉井结构尺寸等三维效应的影响。

### 沉井侧壁摩阻力，宜按下列公式计算：

#### 井壁、隔墙外侧与土层间的极限侧阻力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，可按下列公式进行计算：

##### 黏土中极限侧阻力值宜按下列计算公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.3.2-1） |
|  | （4.3.2-2） |
|  | （4.3.2-3） |

式中：

——极限侧摩阻力（kPa）；

*α*——附着因素；

——土体的不排水强度（kPa）；

——侧向土压力（kPa）；

——土体摩擦角（°）；

——土体粘聚力（kPa）。

##### 砂土中摩阻力极限值宜按下列计算公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.3.2-4） |

式中：

*u*——井壁、隔墙和土之间的摩擦系数；

——竖向有效应力（kPa）；

——水平土压力系数。

##### 当沉井入土深度较深，在评估沉井下沉稳定性或进行突沉风险分析时，应考虑井壁底部以上1/5高度范围内土体应力松弛对摩阻力的折减，折减系数可取0.6~0.7。

#### 土与沉井侧壁的总摩阻力应按如下公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.3.2-5） |

式中：

——侧壁与土的总摩阻力标准值（kN）；

——沉井侧壁外围周长（m）；

**——第*i*层土单位周长的摩阻力（kPa），距离地面5m范围内按照三角形分布等效计算；

——第*i*层土的厚度（m）。

### 沉井下沉系数按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.3.3-1） |
|  | （4.3.3-2） |
|  | （4.3.3-3） |
|  | （4.3.3-4） |

式中：

———井体自重标准值（包括外加助沉重量的标准值）（kN）；

——下沉过程中沉井浮力标准值（kN）；

——水的重度（kN/m3）,取9.81kN/m3；

——排水体积（m3）；

——刃脚端部极限承载力（kN）；

——地基承载力极限值（kPa）；

——隔墙端部极限承载力（kN）；

——刃脚支承水平投影面积（m2）；

——隔墙支承水平投影面积（m2）。

### 沉井接高稳定性系数可按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.3.4） |

式中：

——稳定系数，一般取值不宜小于1.2；

——接高后的沉井重量（kN）。

### 沉井接高期间下沉量应结合实际支撑状态进行计算，复核沉井干舷高度满足相关要求。

## 沉井结构受力验算

### 沉井在下沉过程中，应对以下工况下的沉井结构进行验算：

#### 初次下沉；

#### 沉井重量发生突变，如接高；

#### 地质突变或支持状态不均匀；

#### 终沉；

#### 沉井出现突沉、大幅倾斜等异常情况且需要采取特殊措施的情形。

### 参考现行《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）的简化公式或采用三维有限元对沉井井壁、隔墙、刃脚进行结构验算。

### 沉井井壁、隔墙验算包括竖直方向和水平方向两部分，竖直方向，沉井被四周土体摩阻力嵌固而刃脚下土体被挖空时，应验算井壁、隔墙的竖向抗拉强度；水平方向，考虑刃脚悬臂传来的水平剪力，应验算井壁、隔墙的水平向抗拉抗压强度。

### 沉井刃脚可分别作为悬臂梁和水平框架验算水平向的弯曲强度。

#### 刃脚作为悬臂梁计算，竖向向外弯曲，验算刃脚因受井孔内土体的侧向压力而向外弯曲的强度；竖向向内弯曲，验算刃脚因受井壁外侧全部水压力和侧土压力而向内弯曲时的强度。

#### 刃脚作为水平框架计算，此时沉井下沉到设计标高，刃脚下的土体已被挖空，将刃脚作为闭合的水平框架，计算其水平方向的抗弯强度。

## 混凝土浇筑计算

### 沉井隔舱混凝土浇筑过程中，应计算作用于沉井壁板的最大侧压力标准值，按下列两个公式计算，并取最小值。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.5.1-1） |
|  | （4.5.1-2） |

式中：

*F*——新浇筑混凝土对沉井壁板的侧压力（kN/m2）；

——混凝土的重力密度（kN/m3）；

*v*——混凝土浇筑速度（m/h）；

*t*0——新浇混凝土初凝时间（h）；

——外加剂影响修正系数，掺具有缓凝作用的外加剂时取1.2，不掺时取1.0；

——混凝土塌落度影响修正系数，当塌落度小于30mm时，取0.85；50mm~90mm时取1.0；110mm~150mm时取1.15；

*H*——混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高度（m）。

### 沉井封底混凝土浇筑，采用导管法进行水下混凝土封底时，首批混凝土数量应按下列公式进行计算:

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.5.2-1） |
|  | （4.5.2-2） |

式中：

——混凝土初灌量(m3)；

*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)；

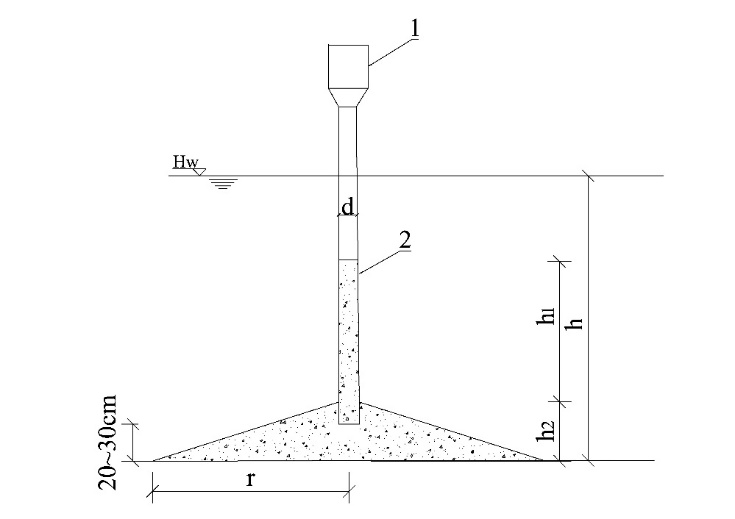
*d*——导管内径(m)；

*r*——扩散半径(m)；

*k*——充盈系数，宜取1.3；

——水的重度，取9.81kN/m3；

——混凝土重度，取23kN/m3。



1——算料斗；2——斗导管；*H*w——水位

图4.5.2 混凝土初灌量计算示意

## 吸泥设备选型

### 采用空气吸泥机吸泥时，空气吸泥机在水中的埋深*H*应符合下列公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.6.1） |

式中：

——排浆管出口高于井内水面的高度（m）；

——水的重度（kN/m3）；

——泥浆的重度（kN/m3）；

——泥浆与空气混合物的重度（kN/m3）；

——吸泥器距离吸泥管底的高度（m）。

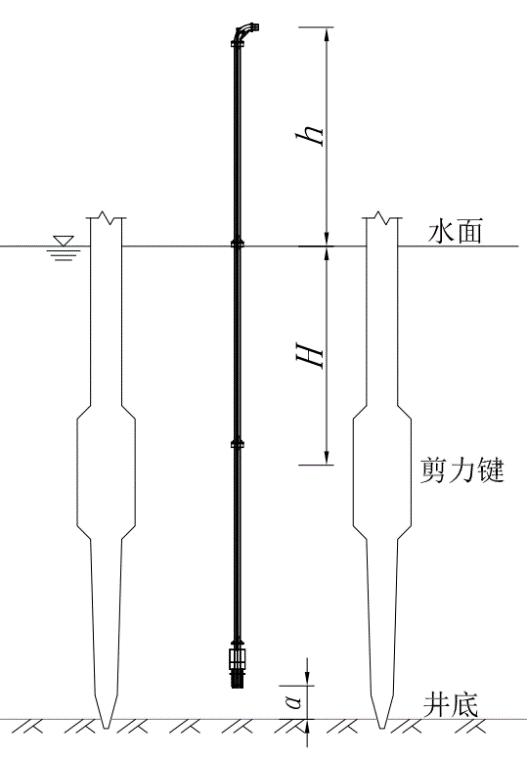


图4.6.1 空气吸泥机在水中的埋深

### 采用空气吸泥机时，可按下列公式进行计算，确定吸泥管截面积、空气吸泥装置所需压缩空气压力、排泥管道截面积、供气管路截面积以及空压机数量等参数。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.6.2-1） |
|  | （4.6.2-2） |
|  | （4.6.2-3） |
|  | （4.6.2-4） |
|  | （4.6.2-5） |
|  | （4.6.2-6） |
|  | （4.6.2-7） |
|  | （4.6.2-8） |
|  | （4.6.2-9） |

式中：

——按天然状态土体积每1h的净出土量（m3/h）；

——土在天然状态下的相对密度；

——土颗粒相对密度，取=2.6；

*w*——每立方米天然状态的土成为泥浆所需的水量（m3/m3）；

——泥浆相对密度；

——水的相对密度；

——吸泥管截面面积（m2）；

——每秒泥浆流量（m3/s），；

——每分钟泥浆流量（m3/min），；

——吸入泥浆的速度，视土颗粒大小而定，一般为1~2m/s；

——吸泥机排除水量（m3/h）；

——吸泥机压缩空气消耗量（m3/min）；

——空气混合气在水面以下的深度(m)；

*h*——排泥管出口处高于井内水面的高度(m)；

*c*1——校正系数，应在施工中测验求得，没有测验值时，取*c*1.5~2.0；

*c*2——系数，视空气混合气的相对高度；

*m*——吸扬泥浆的增大系数，；

*P*——压缩空气压力（MPa）；

——在混合室处的混合浆流速（m/s）；

——在排泥口处的混合浆流速（m/s）；

——每秒进入混合室的压缩空气量（m3/s），；

——空气在管内的流速，一般取10m/s~20m/s；

*n*——吸泥机台数；

*K*——吸泥机同时工作时的系数，*n*值与*K*值的关系表。

表4.6.2-1 *c*2查询表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0.75 | 0.7 | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.35 |
| c2 | 14.3 | 13.9 | 13.6 | 13.1 | 12.4 | 11.5 | 10.6 | 9.6 | 8.4 |

表4.6.2-2 *n*值与*K*值的关系表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n | 1 | 2~3 | 4~6 | 7~10 | 11~20 | 25以上 |
| K | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |

### 采用空气吸泥加高压射水破土时，单台气举取土设备所供应的流量*Q*应按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4.6.3） |

式中：

*Q*——水射流流量（L/min）；

*n*——喷嘴数量（个）；

*μ*——流量系数，一般取0.95；

*d*——喷嘴直径（mm）；

*P*——射流水压（MPa）。

# 水中沉井基础施工

## 一般规定

### 水中沉井施工前，应对施工区域水文、航道、地质条件进行详细调查，调查内容应包含施工区域水位、流量、流速、涨落潮、波浪、冲刷情况、航道等级、航道边界线、水下地形、水下管线及障碍物、地质分层等；需要在施工中度汛、度台、度凌的沉井应制订安全措施，确保安全。

### 地质勘察和钻探应符合下列规定：

**1** 地质勘探钻孔数量、孔位及深度应满足能够全面掌握地层情况的要求；大跨径和重要的桥梁基础，每个基础的钻孔数不得少于4个，应能覆盖沉井设计区域，如沉井下沉至岩层，至少应在沉井四角及中间各钻一孔；钻孔深度一般应达到沉井预定下沉深度以下15m~25m；

**2** 软土地层还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** 墩位处水下地形起伏较大时，宜进行水下地形扫测，绘制详细的地形图。

### 水文条件复杂的沉井施工前，应评估沉井施工全过程河床冲刷情况，宜采用物理模型试验方法进行研究，必要时应采取防护措施。

### 当原始河床泥面高差过大、沉井前期取土下沉困难时，宜在沉井定位着床前进行整平、开挖等河床预处理工作，预处理深度及范围应避免加剧施工期及运营期的基础局部冲刷。

### 首节钢壳沉井高度应根据着床施工期对应水文条件下最大冲刷水深、首次下沉入土稳定深度、接高安全干舷高度、安全储备高度综合确定，确保钢沉井着床后的稳定。

### 钢沉井制作场地和下水方案应根据河岸地形、运输条件、航道条件及设备状况制定，并进行技术经济比较；钢沉井首节可在干坞内拼装，也可在岸上拼装后下水；选择在岸上组拼首节钢沉井的，需制定详细的下水方案。

### 沉井着床施工应考虑着床时机及着床施工方式。

### 沉井水上接高、隔舱混凝土浇筑、取土下沉应综合考虑干舷高度、水头差、沉井重心高度、设备安拆、取土设备效率等因素，分多个循环进行，不宜一次性全部接高后再取土下沉。

## 钢沉井制造及组装

### 钢沉井单元件制造应符合下列规定：

#### 钢壳沉井宜选择具有大型钢结构制造能力的厂家在厂内加工制作；

#### 施工前应编制制造、焊接工艺方案，焊接工艺应进行试验验证；除主体结构外，方案中应包含沉井附属结构和施工所需临时设施；

#### 根据钢沉井平面结构特点、设计要求、起重能力、运输条件及组装方法，可把每个节段划分为若干个块段分别制作；钢沉井下料前应先完成原材料检验、焊接材料检验、钢材预处理等前期准备工作；

#### 零部件放样宜采用计算机三维放样技术进行，零件下料宜采用数控技术进行；

#### 单元件宜在胎架上制作，胎架应具有足够的强度和刚度，满足单元件拼装的精度要求和自身结构强度要求；单元件几何外形尺寸、对角线差、平整度等均需满足设计及相关规范要求；单元件吊装及存放时应满足结构刚度要求，可增加临时连接杆件以提高刚度；

#### 块段应在胎架上进行拼装，遵循由下向上，先控制后自由的原则进行拼装；

#### 块段出厂前应根据现行《钢结构工程施工质量验收规范》（GB50205）进行验收，并进行焊缝质量和密闭性检验。

### 首节钢沉井的组装应符合下列规定：

#### 组装可根据下水方案选择在岸上、驳船上或墩位处平台上进行；

#### 组装场地应具有足够的强度和刚度，满足结构安全和钢沉井组拼精度要求；

#### 最底部节段组装前应先放出刃脚底面纵横向中心线，刃脚外缘轮廓线及检查线，并根据刃脚结构特点及块段形式设置合理的拼装托架作支承。组拼顺序应结合分块方式、结构形状确定，原则上为先中间后四周，先隔墙块段后井壁块段；

#### 井壁、隔墙焊接宜以沉井几何中心线对称进行，焊缝焊接的顺序应遵循先箱内后外壁，由下端向上端施焊的原则；

#### 最底部节段钢沉井施焊成整体后应进行整体测量并记录，作为上层钢沉井调整的依据；

#### 焊接完毕后，应按照设计要求进行焊缝无损检测及水密性试验，无损检测、水密性试验等不合格的地方应报监理工程师并进行补焊，并应进行复检直至合格。

### 钢结构焊接应注意下列事项：

#### 施焊前必须彻底清理待焊区的铁锈、氧化铁皮、油污等杂质，焊后必须清理溶渣及飞溅物，并根据设计要求对焊缝打磨平顺；

#### 使用的电焊条应有出厂合格证明；

#### 使用的焊条应保持干燥，现场宜设置烘箱，烘箱中的温度保持在300℃~430℃范围内，焊条烘烤1h~2h，严禁焊条重复烘干超过一次；

#### 为减少焊接变形、焊接应力集中及施工干扰，应按工艺图顺序进行焊接。

### 渗透性、水密性检测应符合下列规定：

#### 钢沉井块段组拼焊接完成后，应开展渗透性检测，检测方式可采用无损检测、煤油渗漏等方式；

#### 首节钢沉井除进行渗透性检测外，尚应进行水密性试验检测，宜采用注水的方式进行水密性检验，隔舱内注水高度应满足设计要求，设计无明确要求时不应小于沉井浮运吃水深度1m以上；如有漏水先作记号，放水后补焊并经再次检测合格方可下水浮运。

### 刃脚混凝土浇筑应符合下列规定：

#### 沉井着床前应完成刃脚混凝土浇筑，可选择在钢沉井总拼场内、墩位或附近码头进行；

#### 刃脚混凝土施工前，应按要求埋设相关预埋件，并对沉井内焊渣、杂物等进行清理；

#### 混凝土浇筑应分隔舱进行，单个隔舱刃脚混凝土应连续不间断浇筑；

#### 浇筑顺序由中间向四周对称进行，分层浇筑，严格控制每一层浇注厚度；

#### 应严格控制刃脚混凝土的浇筑高差，避免因沉井重量不均衡造成的浮运、着床时沉井倾斜；

#### 混凝土初凝后按照相关规定进行养护和凿毛。

## 钢沉井下水

### 钢沉井下水可采用船坞下水、滑道牵引下水、起吊下水等方式。

### 沉井下水前，应作好下列准备工作：

#### 沉井下水前，应计算其吃水深度；当水深不能满足沉井吃水深度要求时，应采取助浮措施，可采取封底或封顶的方式。

#### 沉井下水前，应对沉井出坞及浮运全过程进行详细的浮运稳性验算；

#### 沉井下水前，应对沉井后续施工临时设施进行全面的复查工作；

#### 沉井下水前，应掌握河床、水文、气象及航运情况，并检查定位系统及相关施工设备设施。

### 船坞下水，应按下列步骤进行：

#### 船坞注水前，应在船坞内设置系缆等措施将沉井临时固定；

#### 开启坞门的注水系统，进行坞内注水，同时注意检查沉井的水密性；应注意坞内水位变化，当坞内水位接近沉井起浮水位时，应减缓坞内注水速度，使沉井缓慢平稳起浮；

#### 沉井起浮过程中，应注意收紧缆绳，防止沉井漂移；

#### 待船坞内外水位平齐时，打开船坞闸门，采用拖轮或牵引系统将沉井牵引出坞。

### 滑道牵引下水，应符合下列规定：

#### 水下滑道、斜船架应满足沉井牵引下水的结构尺寸、强度和刚度以及施工要求；

#### 下水作业前应进行滑道前方水下检查，考虑水位和流速变化的影响，下水作业宜在低流速低水位时进行；

#### 采用斜船架滑道下水，应先布置好地锚、卷扬机等，将斜船架锚固牢靠，钢沉井搁置在斜船架上时不得向前滑动，搁置在斜船架上的钢沉井应平衡稳定，固定牢靠；

#### 入水后，水中拖轮应及时靠近栓绑，使其稳定不至于随意漂浮或搁浅。

### 利用吊装设备整体起吊下水，应符合下列规定：

#### 在河岸有利地形条件或墩位附近平板驳上拼装的钢沉井，可采用浮吊起吊下水；

#### 浮吊的起重能力应根据钢沉井重量和安全系数计算确定；

#### 在有潮汐影响的水域，起吊应选择在流速较小的平潮期进行。

## 钢沉井运输

### 钢沉井的运输方式应根据沉井下水方式、运输重量、运输距离等进行确定；首节钢沉井宜采用拖轮拖带或半潜驳浮运方式进行运输；后续节段宜采用驳船整节或分块进行运输。

### 沉井浮运前，应作好下列准备工作：

#### 钢沉井浮运应提前拟好浮运线路，制定钢沉井浮运专项施工方案和通航安全保障方案，经评审和批准后方可实施；

#### 浮运前，应对所经水域和墩位处河床进行探查，所经水域应无妨碍浮运的水下障碍物，沉井墩位处河床应基本平整；

#### 应对钢沉井浮运全过程进行受力和稳定性验算；拖轮配置应有足够的富裕，宜配置备用拖轮、拖缆、临时锚缆及安全锚等；

#### 沉井浮运时的干舷高度不应小于1.0m，当浮运水域受海浪影响或有通航船舶时，干舷高度尚应考虑波浪的影响；

#### 沉井浮运前，应分析潮汐对沉井浮运作业的影响，提前观测潮位变化、关注气象预报，选择合适的窗口期进行沉井出坞及浮运作业；要求浮运当天江面能见度好，浮运期间无五级以上大风，无中雨以上降水；

#### 经海事航运部门批准后方可进行浮运，在有船只通航水域浮运，必要时可在浮运施工过程中进行航道管制和警戒维护。

### 沉井浮运过程中，应注意下列事项：

#### 应根据拖带方案布置拖轮，主拖、辅拖依次就位，备用拖轮同时就位；

#### 应和水上公安及海事等部门积极配合，确保过往船只不进入浮运水域；

#### 应对沉井浮运过程中的航速、吃水深度和姿态进行监测。

### 采用驳船运输时，应符合下列规定：

#### 应根据待运输块段长宽尺寸、单件重量、运输距离等确定运输船舶，船舶吃水应满足运输船舶进港要求，宜选用自航式甲板驳船进行运输；

#### 装船应采用多支点支撑，支撑点宜采用枕木，单根枕木对运输驳船甲板压力不超过允许值；

#### 装船后，宜对块段进行刚性固定和柔性捆绑，确保运输过程不会移动或倾覆。

## 钢沉井定位及着床

### 沉井定位系统的方案设计应综合考虑定位阻力、定位精度、施工风险、施工难度、占用施工水域及对通航的影响等，经技术经济比选后确定。

### 沉井定位系统一般分为锚墩（桩）半刚性定位系统和锚碇柔性定位系统，定位系统设计时，应符合下列规定：

#### 定位系统的选择应根据水文条件、地质条件、河床冲淤情况、沉井下沉施工以及定位精度要求综合分析确定，可采用上下游锚墩定位系统、四角锚墩定位系统、多锚桩定位系统、拉靠墩定位系统、锚碇定位系统等形式；

#### 沉井定位阻力应考虑水流力、风荷载、波浪力、冰荷载等作用；

#### 应对定位锚缆、定位锚、锚墩（桩）进行受力验算，各种锚缆的安全系数不小于2.0，定位锚锚抓力的安全系数不小于1.3；

#### 锚墩、锚桩应设置在沉井冲刷和下沉取土影响范围之外一定距离；

#### 锚缆张拉和收放设备根据施工条件可设置在锚墩平台或沉井顶面。

### 定位系统施工应满足下列规定：

#### 根据定位系统布置图，确定锚、定位船以及钢沉井的理论位置，复测控制网并建立控制点；

#### 锚、锚链及锚缆使用前必须对其进行检查，抛锚作业应选择六级以下风力、无雨雾的白天进行，抛锚位置偏差应控制在5m以内。

### 钢沉井定位着床前，应进行下列准备工作：

#### 着床前应详细探明墩位处河床面情况；

#### 应设置锚缆索力监测设备，在沉井定位及着床过程进行锚缆动态监测，保证沉井定位系统的可靠性、安全性；

#### 定位着床前应完成定位系统施工，并对锚碇设备进行全面检查和调试，对已抛锚进行试拉试验，确保锚碇系统受力满足要求。

### 钢沉井初步定位时，宜按以下步骤进行：

#### 沉井浮运至墩位后，立即进行转缆施工，在沉井未与定位系统或临时定位系统牢靠连接前，严禁拖轮与沉井解绑驶离；

#### 沉井与定位系统连接完成后进行初定位，沉井初定位的平面偏位宜控制在1.0m以内。

### 钢沉井注水时，应符合下列规定：

#### 注水宜分次分阶段进行，注水的次数应根据水深、注水量、注水效率、潮位变化等综合确定；

#### 可采用水泵向沉井隔舱内注水，也可在钢沉井壁板上设置注水阀自流注水，水泵或注水阀自流的注水能力应能满足沉井平潮期快速注水着床的要求；

#### 注水应快速、均匀，同时注意测量调整沉井平面位置和垂直度；

#### 注水时，应随时监测隔舱内水面高程，严格控制隔舱内外及各隔舱水面高差，保持各隔舱水面高程基本一致。

### 钢沉井精确定位与着床，应符合下列规定：

#### 着床宜安排在枯水时期、流速较小时进行；

#### 沉井精定位宜采用动态控制法，与沉井注水着床同步进行；

#### 可通过调整锚缆和注水进行沉井姿态调整，宜先调整平面位置，再调整扭转角，最后调整垂直度；

#### 着床时，应实时监测沉井底高程、底口平面位置、扭转角、倾斜度；

#### 沉井着床后应及时对沉井平面位置、倾斜度和扭转角进行复核；若偏位、倾斜或扭转大于精定位控制标准，依靠纠偏措施难以保证其准确回复到设计位置时，应进行隔舱抽水，使沉井重新上浮，再次进行精定位与着床；

#### 沉井着床精度满足要求后，应继续注水使沉井刃脚嵌入河床面以下一定稳定深度。

### 钢沉井着床后，宜根据冲刷形态及时进行刃脚周边河床防护，可采取抛石、抛沙袋等措施进行防护。

## 钢沉井接高

### 应根据施工条件、设备能力、工期要求、精度控制，经过技术经济比较，可选择整节或分块接高方案。

### 钢沉井接高前，应做好下列准备工作：

#### 根据钢沉井块段尺寸、重量、接高高度等进行吊装用起重船选型；水上接高吊装前，按起重船参数复核现场吊装工况，保证吊距、吊高满足施工要求；

#### 接高前应安装钢沉井接高用临时构件，包括上下临时爬梯及走道、栏杆、焊接操作平台、导向限位、临时支撑、吊装用吊耳及吊具等；临时支撑设置在已安装钢沉井节段上，应能有效支撑沉井接高块段，且结构强度满足要求；吊耳及吊具设置应进行详细计算；

#### 沉井接高前应调平，倾斜度不宜超过1/300，干舷高度不应小于2m；

#### 接高前，应对已安装钢沉井顶面平面度进行复测，确保沉井接高的顺直度。

### 钢沉井接高施工时，应符合下列规定：

#### 钢沉井吊装定位结束后，宜先进行定位焊，再对节点处的间隙、错边量以及节段拼装精度进行测量和调整，待接高段整体精确测量完成且符合设计要求后，再遵循对称的原则施工接高焊缝；

#### 每一节段拼装焊接完成24h后应进行焊缝及密封性检测，合格后方可进行下一节段的拼装；

#### 焊缝焊接验收合格后，应拆除钢沉井壁体上的导向限位、临时支撑、吊装用吊耳及吊具等；

### 钢沉井分块接高时，除满足5.6.3相关规定外，还应符合下列规定：

#### 接高应按拟定顺序进行，不得随意更改；

#### 接高首个块段作为基准节段，其精度应严格控制，保证沉井安装的几何形状；

#### 接高焊缝宜对称焊接，先焊分块间的竖向焊缝，后焊节与节间的水平焊缝。

### 钢沉井接高施工过程对沉井涂层造成破坏的，在每节钢沉井接高完成后，应及时修补。

## 隔舱混凝土浇筑

### 隔舱混凝土应分次浇筑，首次一般为水下混凝土，其余为干浇混凝土；混凝土分次浇筑高度应根据混凝土供应能力、混凝土对沉井壁板压力、浇筑过程下沉量、施工工艺等确定。

### 隔舱混凝土浇筑应在沉井下沉至稳定深度、处于稳定支撑状态后进行，避免在软弱或不均匀地层进行隔舱混凝土浇筑，防止沉井在浇筑混凝土过程中产生不均匀沉降；严禁在取土下沉过程中进行混凝土浇筑作业。

### 混凝土应分舱对称浇筑，在浇筑过程中关注沉井的姿态、应力和挠度等监测数据，并根据实际监测数据对浇筑顺序进行调整。

### 应根据结构设计强度考虑浇筑速度和单次浇筑高度，浇筑过程中，可调节隔舱内注水高度或采取临时注水措施，确保隔舱混凝土浇筑过程中壁板承受的压力在允许范围内。

### 水下混凝土浇筑时，应符合下列规定：

#### 水下混凝土应采取特殊性能混凝土，具有良好的不离析、自流平、长时间可工作性及自密实性，且硬化后体积稳定性良好；

#### 提前安装隔舱混凝土浇筑所需的拖泵平台、集料斗平台等；拖泵支腿在拖泵平台上应焊接牢固；

#### 水下混凝土浇筑应采用能有效避免水下混凝土被水洗而产生离析的工艺措施；

#### 水下混凝土应按拟定的浇筑顺序分舱浇筑，单个隔舱应连续浇筑，不得中断，单个隔舱浇筑时间不得大于水下混凝土初凝时间；

#### 导管布置应能覆盖整个隔舱，每个转角宜设置一套导管，导管之间应布置测点。

### 干浇混凝土，其材料、拌制、运输、浇筑和养护应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的规定。

## 混凝土沉井接高

### 避免在沉井刃脚处于软硬地层交界附近时接高，以防止沉井在浇筑混凝土过程中产生不均匀沉降。

### 当沉井偏斜超过容许值时，为保证施工质量和避免下沉困难，严禁竖直向上接高，应将沉井纠偏且垂直度不大于1/200，再行接高。

### 接高时，沉井干舷高度不应小于2m，并考虑沉井接高引起的下沉量。

### 为防止沉井在接髙时突然下沉或倾斜，接高时应均匀对称浇筑混凝土。

### 混凝土沉井接高过程中的钢筋工程、模板工程、混凝土工程应符合现行标准《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的规定。

## 沉井下沉施工

### 水中沉井取土下沉应根据建设条件、工艺方案等情况，合理布置施工船舶、取土平台、取土设备、供水/气管、电缆、排泥管等；泥水宜经沉淀分离等无害化处理后再行排放。

### 沉井取土下沉施工前，应完成以下准备工作：

#### 应根据沉井下沉计算结果，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；

#### 应配备足够的用于取土下沉施工的起重设备，起重设备的布置应考虑方便移位，宜尽量覆盖所有取土断面，减少因起重设备无法到达造成的取土盲区；

#### 起重设备的选择应考虑沉井下沉过程中姿态偏斜造成的不利影响，应满足起重设备对倾斜度等方面的安全要求。

### 水中沉井下沉应采用不排水下沉法，沉井下沉过程中应采取井内补水措施，严禁井内水位低于井外水位。

### 取土方式可采取机械取土或气举吸泥取土的方式，取土设备的选择应符合下列规定：

#### 应根据地质条件、土体性状、取土方法配备足够的取土设备；宜采用能实现取土深度精确控制、可自动作业的智能化取土设备；

#### 针对粉土、砂类土，可主选气举吸泥取土设备；针对黏性土，可采取机械破土设备与气举取土设备相配合；针对软岩、砾石等硬质土，可采取机械破土设备配合抓斗取土。

#### 应配备一定数量的盲区取土设备，可实现刃脚和隔墙下盲区土体的破除或定点挖取。

### 水中大型沉井取土下沉应兼顾下沉效率和结构受力安全，宜采取分区分层取土的方法，且应符合下列规定：

#### 分区应根据沉井平面几何形状、起重及取土设备的配置来划分，应便于取土施工及沉井姿态调整；

#### 分区取土的顺序宜先中间、后四周对称、均匀进行，当因结构受力安全无法满足要求时，可采用预留核心土的开挖方法；

#### 应谨慎采用“大锅底开挖”下沉方式，当采用该下沉方式，应进行结构受力验算，并经设计单位确认；

#### 分层的厚度应根据土体类别而定，砂类土不宜超过2m，黏性土不宜超过1.5m，防止突沉或倾斜。

### 沉井取土下沉过程中应保证外圈刃脚具有一定的埋深，砂类土不宜小于2.0m，黏性土不宜小于1.0m，防止沉井周边土体涌入井内，造成涌砂或突沉。

### 中间隔舱取土应分层分区对称进行，应严格控制沉井中间隔舱超取土深度，砂类土不宜大于2.0m，黏性土不宜大于3.0m。

### 采用空气吸泥下沉施工应符合下列规定：

#### 应配备足够的供气、供电、供水设备，其供给能力（容量）参照4.6条相关理论计算；

#### 应配备专用的供水、供气管道系统，供气压力结合水深、吸泥管管径、吸泥扬程而定，吸泥管吸泥口处的有效气压不宜小于0.4MPa；

#### 在黏土层下沉时，应与高压水冲射破土相结合，边破土边吸泥；

#### 吸泥施工时应及时掌握排出泥水的浓度和沉井内各点泥面标高；

#### 单个隔舱内吸泥点应均匀布置，不宜采用单隔舱单点大锅底吸泥的方式。

### 在下沉过程中，应定期对四周河床冲刷进行监测；下沉全过程中，外刃脚底距离河床面或防护体顶的距离不应小于2.0m；当河床冲刷深度过深时，应及时进行沉井周边河床防护，可采取抛石、抛沙袋等措施进行防护。

### 沉井下沉过程中应实时监测沉井姿态，当沉井姿态发生倾斜或平面位置发生偏离时，可采用下列一种或几种方法纠偏：

#### 不均匀取土纠偏；

#### 空气幕等减阻纠偏；

#### 压重纠偏。

### 当沉井出现除外圈刃脚支撑而其它部位端阻力全部解除仍难以下沉的情况时，不宜采取掏取外刃脚下土体的方式进行下沉，可采取空气幕、触变泥浆、压重等助沉方法配合沉井下沉，根据实际情况可选取一种或多种助沉措施。

### 采用空气幕助沉时，应符合下列规定：

#### 施工前应根据计算确定空气压缩机和储气包的数量；

#### 气龛和供气管路应提前设计与制作，应采取防堵塞措施，确保空气幕能重复开启使用；钢沉井应在出坞前安装完毕，混凝土沉井在现场现浇接高时一并安装完毕，沉井施工过程中，应采取措施确保供气管路的完好性及密闭性；

#### 空气幕送气压力宜大于气龛入土深度理论水压力的1.4倍～2.0倍；

#### 空气幕开启应自上而下进行，关闭应自下而上进行，空气幕的开启宜采用分区集中控制；

#### 空气幕助沉时间应根据实际情况确定，不宜超过2h。

### 采用压重助沉时，应对堆载压重作用下的沉井结构安全进行验算，应对称均匀压重，不应采取降低井内水位的方法进行压重。

## 终沉清基

### 沉井下沉到距离设计标高2m时，应放慢下沉速度，下沉速度不宜超过30cm/d；清基前沉井的下沉深度应有一定的预留量，具体预留量可根据实际情况进行确定；在软土地层中可预留100mm~200mm，在砂土等硬土层中可预留50mm~100mm。

### 基底浮泥或岩面残存物（风化岩碎块、卵石、砂等）均应清除，使封底混凝土与基底间不致产生有害夹层；清理后的有效面积不得小于设计要求。

### 岩石类基底清基应符合下列规定：

#### 清基时，应将风化岩层全部清除，沉井封底进入新鲜岩层的深度应满足设计要求；

#### 新鲜岩面不平时，应根据新鲜岩面实地标高变化情况，将基底凿成凹凸不平或台阶形状，以保证封底质量；

#### 基底检验合格后，应及时封底。

### 非岩类基底清基应符合下列规定：

#### 井孔内、刃脚及隔墙下的土层均应进行清理，以形成锅底状；锅底尺寸（井孔下泥面高度、隔墙下泥面高度、刃脚斜面露出长度）应满足设计要求；

#### 清基方式应根据终沉下沉计算确定，可采用大锅底（全断面）或小锅底（分区）施工工艺，需经设计单位确认。

#### 清基宜在可视化检测手段的配合下，反复清理，直至达到设计要求为止；

#### 清基时可采用射水、吸泥或抓泥工艺交替进行；

#### 隔墙较厚，隔墙下土层难于取土时，可采用弯头吸泥机清除，隔墙及井孔下面不应有深坑、陡坡、陡坎；

#### 清基时，应控制泥面高度，不得过分扰动外刃脚下土层、以免引起翻砂或超沉；

#### 基底范围内的浮泥松土厚度应满足设计要求，设计无要求时以厚度不超过10cm为宜，封底混凝土高度范围内的井壁、隔墙表面的泥污应清洗干净；

#### 清理后宜采取可视化检测手段检查基坑尺寸及各孔基底标高，并采用测锤进行复核。

### 基底检验应包括下列内容：

#### 基底平整度、基底高程；

#### 基底的地质情况、承载力是否与设计要求相符；

#### 基底处理情况是否符合规范要求。

### 沉井终沉后的允许偏差应符合表5.10.6的规定。

表5.10.6 沉井终沉后允许偏差

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | | 允许误差 | 检查方法 | 备注 |
| 1 | 平面偏位 | 沉井顶面 | 50cm | 水准仪 | — |
| 沉井底面 | — |
| 2 | 倾斜度 | 横向倾斜度 | 1/150 | 全站仪 | — |
| 纵向倾斜度 | — |
| 整体倾斜度 | — |
| 3 | 扭转角 | | 1º | 全站仪 | 圆形沉井除外 |
| 4 | 终沉标高 | | 满足设计要求 | 水准仪、测绳 |  |

## 封底混凝土施工

### 基底检验合格后，沉井下沉速度小于10mm/24h时，方可进行封底。

### 大型沉井应根据封底混凝土方量、混凝土拌制和浇筑能力，采取分区封底的方案，分区方式可采用碎石封堵或找平混凝土封堵。

### 封底混凝土应遵循对称的原则分区浇筑。

### 当采用垂直导管法进行水下混凝土封底时，应符合下列规定：

#### 浇筑封底水下混凝土时，导管的间隔及数量，应根椐导管作用半径及封底面积确定；

#### 用多根导管浇筑时，首封应从低点向高点、一端向另一端顺序进行，使混凝土标高保持大致相同，再均匀进行浇筑，确保该区域混凝土面均匀上升；

#### 每根导管开始浇筑时所用的混凝土坍落度宜采用下限，首批混凝土需要数量应通过计算确定；

#### 在浇筑过程中，导管应随混凝土面升高而提升，导管埋深应与导管内混凝土下落深度相适应，一般不宜小于表5.11.4-1的规定。用多根导管浇筑时，导管埋深不宜小于表5.11.4-2的规定；

#### 在浇筑过程中，应注意混凝土的堆高和扩展情况，准确调整坍落度和导管埋深，使每盘混凝土浇筑后形成适宜的堆高和不陡于1:5的流动坡度，抽拔导管应确保导管不进水；混凝土面的最终浇筑高度，应比设计值高出不小于15cm；

#### 在封底混凝土施工的过程中，要保证封底过程中沉井内外水位平衡，施工过程中混凝土始终处于静水压力状态。

表5.11.4-1 不同浇筑深度导管的最小埋深

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 浇筑深度(m) | ≤10 | 10〜15 | 15〜20 | >20 |
| 导管最小埋深（m) | 0.6〜0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.5 |
| 表5.11.4-2 导管不同间距的最小埋深 | | | | |
| 导管间距(m) | ≤5 | 6 | 7 | 8 |
| 导管最小埋深（m） | 0.6〜0.9 | 0.9〜1.2 | 1.2〜1.4 | 1.3〜1.6 |

# 施工监测与控制

## 一般规定

### 沉井施工前应结合工程特性和周围环境条件实施工程监测，包括主体结构监测、周边环境监测，且应编写监测方案。监测方案应包括以下内容：

#### 工程概况；

#### 监测依据及监测目的；

#### 监测项目、测点布置、监测方法及精度；

#### 监测元件和仪器的标定资料、型号、规格；

#### 监测频率、监测数据的记录制度及处理方法；

#### 各监测项目的报警值及异常情况下的监测措施。

### 沉井监测项目重要性等级划分宜根据施工阶段、结构特点﹑环境保护等确定，可按表6.1.2的规定进行选择，其中无填充星号为该阶段非关键监测项目，填充的黑色星号为所需监测项目，共分为三级，填充一颗星为一般重要，填充二颗星为重要，填充三颗星为非常重要。

表6.1.2 沉井监测项目

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测内容 | 各工况重要等级 | | | |
| 定位着床  （水上沉井） | 接高 | 隔舱混凝土 | 取土下沉 |
| 端部土压力 | ☆ | ★ | ★★ | ★★ |
| 侧壁土压力 | ☆ | ☆ | ★ | ★★ |
| 钢结构应力 | ☆ | ★ | ★ | ★ |
| 沉井倾斜 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| 沉井扭转 | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★★ |
| 沉井偏位 | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★★ |
| 沉井挠度 | ☆ | ★ | ★★★ | ★★★ |
| 刃脚埋深 | ★★ | ☆ | ★ | ★★ |
| 河床冲刷 | ★★ | ☆ | ☆ | ★★ |
| 水流流速 | ★★ | ☆ | ☆ | ★★ |
| 锚缆拉力 | ★★★ | — | — | — |
| 隔舱水位 | ★★★ | — | — | — |

### 当沉井邻近重要建(构)筑物、地铁、隧道、城市生命线工程或附近存在有特殊要求的仪器设备时，应按相关管路部门的特殊要求增加监测项目。

### 沉井下沉前三天应完成监测项目初始值测定，取2次~3次观测平均值作为该监测项目初始值。工程监测的现场记录内容应真实规范，并妥善保管。

### 监测单位应严格实施监测方案，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。

### 当监测数据达到警戒值时，必须立即通报各相关单位并增加监测频率。监测警戒值建议值应由建设设计及相关单位等。

### 监测仪器应在效验的有效期内，并应定期检查和保养，仪器性能应完好。

### 监测(点)孔的布置应由工程安全等级、环境保护等级、周边邻近建(构)筑物性质、地下管线现状、沉井的类型及形状、位置以及挖土方案，施工进度等因素综合确定。

### 监测点(孔)应严格按经审批的监测方案布置，埋设成活率应满足工程监测需要，重要监测点损坏后应及时修复或重布，施工过程中应做好监测点的保护工作，必要时设置监测点的保护装置或保护措施。

## 监测与报警

### 沉井监测时不应影响其结构安全、妨碍其正常使用。

### 在沉井结构墙体中部、阳角处、结构受力和变形较大处宜布置监测点，附近有重点监护对象时应加密监测点，有特殊要求的沉井可对侧壁变形进行监测。不同监测项目的监测点宜布置在同一断面上。

### 所有传感器导线从井壁、隔墙内引至地面采集点，穿越混凝土时应采用套管保护。

### 监测频率与报警建议值宜根据工程性质、施工工况按表6.2.4-1、表6.2.4-2执行，若监测项目的日变化量较大时，应适当加密。

表6.2.4-1 主体结构监测频率

|  |  |
| --- | --- |
| 下沉工况 | 监测频率 |
| 下沉前 | 至少测3次初值 |
| 下沉过程中 | 1次/d，如监测数据超过警戒值，应2次/d |
| 结构接高过程 | 2次/7d |
| 封底过程中 | 1次/d，如监测数据超过警戒值，应2次/d |
| 封底结束后7d~30d | 1次/3d |
| 后期30d~60d | 1次/15d |

表6.2.4-2 主体结构监测报警值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 每次下沉到位时  （除终沉外） | 每次下沉过程中 |
| 位移情况（平行线路方向） | 1%H | 200 |
| 位移情况（垂直线路方向） | 100 | 200 |
| 沉井四角高差 | 300 | 300 |

### 当有危险事故征兆时，应及时跟踪监测。

### 沉井工程周边环境监测包括周边邻近建(构)筑物、地下管线及地表的监测。

### 周边环境监测点应根据沉井监测等级、周边临近建(构)筑物性质、地下管线现状等确定。

### 周边环境监测项目的报警值应根据监测对象的主管部门的要求确定，当无明确要求时，可参考表6.2.8采用。

表6.2.8 周边环境监控报警值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目  监测对象 | 变化速率（mm/d） | 累计值（mm） | 备注 |
| 煤气、供水管线位移 | 2 | 10 | 刚性管道 |
| 电缆、通讯管线位移 | 5 | 10 | 柔性管道 |
| 地下水水位变化 | 300 | 1000 | — |
| 邻近建（构）筑物位移 | 1~3 | 20~60 | 根据建构筑物对变形的适应能力确定 |

## 监测报告

### 监测资料包括监测过程中提供的监测日报表、监测中间报告和最终监测报告。

### 监测的初始记录和监测数据应详细完整，数据处理应认真计算整理、仔细校核，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。

### 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。

### 当监测值达到报警指标或出现危险事故征兆时，应及时通报各方及有关部门，协商处理。

### 监测结束后应编写完整监测报告，其内容包括：

#### 工程概况；

#### 监测依据；

#### 监测项目；

#### 测点布置；

#### 检查的设备和监测方法；

#### 监测频率；

#### 监测报警值；

#### 监测项目全过程的发展变化分析及整体评述；

#### 监测工作结论与建议。

### 沉井下沉测量与记录

#### 测量内容：沉井倾斜、位移、下沉量，刃脚标高及沉井外河床标高，导向船与墩旁吊机所在处的河床变化；

#### 记录内容：沉井入水深度，沉井刃脚标高，施工水位、射水或吸泥时间、井孔内泥面标高、潜水检查结果、沉井下沉曲线和倾斜曲线；

#### 沉井测量工作每天最少一次，当沉井下沉发生困难时，井孔内泥面标高的测量次数应增加，以指导取土施工。

# 用词说明

标准规程，执行严格程度的用词，采用下列写法：

#### **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：

##### 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

##### 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

##### 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

#### **2** 引用标准的用语采用下列写法：

##### 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合×××××的有关规定”。

##### 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本规程第×章的有关规定”“应符合本规程第×.×节的有关规定”“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。

水中大型沉井基础施工技术规程

T/CHTS 10001-2021

条文说明

# **1** 总则

**1.0.1** 大型沉井为截面面积大于2000㎡且隔舱数量不少于2个的沉井基础。

**1.0.2** 本规程主要适用于公路、铁路桥梁水中沉井基础工程。

**1.0.3** 本规范根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068）、《工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50153）规定的原则制定。符号和基本术语按照现行国家标准《工程结构设计通用符号标准》（GB/T 50132）和《工程结构设计基本术语标准》（GB/T 50083）的规定采用。

# **3** 基本规定

**3.0.2** 本条规定了在沉井施工前应准备的资料，需要进行现场调查研究，掌握施工区域内气象和岩土工程勘察情况，调查临近建(构)筑物、地下管线和其他地下障碍物等相关资料，同时要完成施工组织设计和现场的准备工作。施工现场准备工作的主要内容是：施工场地的障碍物处理及“三通一平”。即：水通、电通、道路通及场地平整。

**3.0.4** 原材料进厂时虽然有合格证书，进场后应根据国家标准的有关规定按照一定数量进行抽检，试件的报告达到要求后方可在工程上使用。

# 4 计算与验算

## 4.2 浮运及定位计算

### **4.2.1** 在水中浮运的沉井，由于风浪的影响，往往会影响到浮运沉井的浮运安全，因而水中沉井在浮运过程中（沉入河床前），必须验算横向稳定性，以避免水中倾覆事故的发生；在进行浮运稳定验算时，一般是验算浮运沉井的稳定倾斜角。

## 4.3 沉井下沉计算

### **4.3.2** 侧摩阻力取值受沉井施工状态影响，当沉井停止下沉的时间越长，摩阻力值就越大；当沉井开始起步下沉时，摩阻力值又下降到较小的数值。

### **4.3.3** 在选择下沉系数时，一方面要尽可能保证依靠自重下沉，同时又要防止结构自重过大导致超沉、突沉，如：由于淤泥质土的承载力很低，这时，沉井就会突然下沉，数十秒的沉降量可达数米。

### **4.3.4** 沉井在接高时，增加了沉井重量，如果土体侧摩阻力及地基承载力不足以承担这部分荷载，在浇筑过程中会造成大的沉降，甚至发生突沉，给浇筑混凝土的质量带来一定的危害。因此，进行接高施工前需进行接高稳定性验算。

## 4.5 混凝土浇筑计算

### **4.5.2** 当浇筑面积较大时，可采用2根或2根以上的导管同时浇筑，但各根导管的有效扩散半径应互相搭接并能盖满井底全部范围；为防止导管外的水进入导管，并获得比较平缓的混凝土表面坡度，导管下端应插入混凝土内一定的深度。

# 5 水中沉井基础施工

## 5.1 一般规定

### **5.1.2** 为保证沉井顺利下沉，对钻孔应有特殊的要求，本条根据面积大小以及工程的特殊性给出了一些钻孔要求，如下沉区域遇有软弱下卧层，应对其深度和范围进行探明。

### **5.1.6** 沉井第一节制作对沉井的下沉非常重要，涉及到刃脚、隔墙等的制作，为了保证制作的质量，第一节的制作荷载不应大于地基的承载力设计值，以后各节只制作井壁、隔墙，承载力要求较第一节低，达到地基的极限承载力标准值即可，如设计由上、下限值时，采用上限值。

### **5.1.7** 着床时机的选择应遵循以下原则：①应尽量选择流速较小的时段内着床施工。对于长江流域，其丰水期和枯水期内长江水深及流速有很大的差别，一般宜选择在流速较小的枯水期进行着床施工；对于其他水域，若无明显的流速变化时段，则可根据施工工期而定。②对于涨落潮河段或海域，应选择在平潮时着床施工。通常情况下，江（海）水涨落潮期间，水流流速增大，对沉井的施工产生较大的影响。在高平潮或低平潮时，流速较小且较为稳定，此期间为沉井着床的最佳时期。③为使沉井达到快速着床的目的，向隔舱内注水是有效着床施工方式之一。对于河床在沉井施工期受水流冲刷较大的情况，应根据计算结果，对不同部位隔舱注入不同体积的水，避免沉井在下沉初期产生较大的倾斜。

### **5.1.8** 沉井接高施工时，必须保证其接高稳定性，以防止接高发生突沉；接高稳定性不符合要求时，应根据计算结果采取井内留土、灌水等措施，确保接高制作稳定。

## 5.2 钢沉井制造及组装

### **5.2.1** 首节钢壳沉井选择在造船厂或钢结构厂内制作，可有效保证结构的焊接质量和制作精度；钢沉井的拼装位置可选择在拼装码头，有条件的也可现在在干坞内进行拼装；钢沉井的制造和拼装精度可参考下表。

表1 钢壳沉井制造和拼装精度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 描述 | 允许误差值（mm） |
| 沉井平面尺寸 | 长度与宽度 | ±0.5%边长，大于24m时±120 |
| 曲线部分的半径 | ±0.5%半径，大于12m时±60 |
| 两对角线的差异 | 对角线长度的1%，且不大于180 |
| 沉井井壁厚度 | 钢壳和混凝土 | ±15 |

### **5.2.2** 水中沉井的首节通常指用于沉井浮运、首次定位着床，沉井加工制造的最下部节段；用于大型深水基础的沉井的首节通常为全钢结构，一般采用陆上加工制造完成；首节的最小高度通常为沉井第一次下沉至稳定深度、满足接高要求的高度。

### **5.2.4** 钢沉井接焊缝的水密性试验，最底部节段宜采用灌水方法做水压水密性试验，其余各节段接焊缝宜采用煤油渗透试验。

## 5.3 钢沉井下水

### **5.3.3** 一般适用于钢沉井在船坞内进行焊接拼装工艺，钢沉井在坞内拼装完成后，高潮位时打开船坞进水阀门，沉井受到浮力作用起浮，打开坞门，拖轮拖带至指定位置。

### **5.3.5** 整体起吊下水对水深要求较高，在有大型起重船的条件下，操作简捷、筹备与清场简单、施工风险小。

## 5.4 钢沉井运输

### **5.4.3** 浮运过程，应根据自身结构特征（圆形或方形等），设置沉井浮运合理的吃水深度，保证沉井浮运过程中的稳定性。

## 5.5 钢沉井定位及着床

### **5.5.2** 锚墩（桩）定位系统主要由锚固体和张拉定位系统两部分组成，锚固体主要由基础和承台两部分组成，张拉定位系统包括承台预埋件、张拉设备、牵引杆、万向节及连接锚墩和钢沉井的钢绞线等；锚碇系统主要由主锚、边锚、尾锚、定位船、上锚缆和下锚缆六部分组成，应经设计计算确定定位船的位置、锚的种类、重量、位置、方向，以及锚绳和锚链的规格等；导向墩系统定位以四角导向墩定位系统为例，在沉井四个角位置各布设桩基作为主要支撑结构的墩台，在沉井的上下游分别布置数根锚缆与墩台连接，并设置橡胶护舷等，为减少河床冲刷带来的安全风险，桩基的底标高应超过沉井最终底标高10m以上。

上下游锚墩定位系统指沉井上下游的适当距离各设置一个用钢管桩为主要支撑结构的墩台，锚墩位置尽量避开沉井冲刷范围，利用锚缆将沉井与锚墩连接，钢管桩连接为整体形成平台，平台上布置滑车组、卷扬机等设备以调整缆绳；抛设一定数量的边锚，边锚直接作用于沉井上，以抵抗沉井定位的侧面阻力。沉井的四个对角处设置四个以钢管桩为主要承力结构的临时墩台，墩台布置距离沉井的距离在100m以上，尽量避开沉井的冲刷范围，墩台用缆绳分别与钢沉井的上下游面连接，上下游的两个墩台锚缆形成交叉缆；墩台上面通过浇筑混凝土或用型钢等把钢管桩连接成整体并形成操作平台，在平台上分别布置相应的滑车组，卷扬机等设施以方便调节锚缆拉力。拉靠墩定位系统一般由上游拉墩和下游靠墩组成，上游拉墩在钢吊箱围堰定位时承受钢丝绳锚缆传递来的顺流向荷载，下游靠墩在钢吊箱围堰定位时承受位置调整过程中由钢吊箱围堰传递来的挤靠力。定位船锚碇系统是由导向船和定位船组成的定位系统，导向船与定位船均自成体系；根据工程实际情况和船只数量，可分为一个导向船和一个定位船定位方案、两个导向船和一个定位船定位方案及两个导向船和两个定位船定位方案；一般通过定位船来抵抗沉井所承受的水流力，通过导向船来稳定和调整沉井位置，并在导向船另侧围堰上设锚缆以平衡稳定沉井。多锚块锚碇系统一般在沉井周边布置一定数量的重力式锚碇装置（如混凝土锚块），通过设置在沉井外侧边的导向装置，利用钢缆绳将锚碇装置和布置在沉井顶面的驱动装置（如卷扬机、千斤顶等）连接，通过改变缆绳的受力调整沉井的平面位置、倾斜度等。常见定位系统的优缺点见下表：

表2 各类定位系统的优缺点

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 定位系统 | 优点 | 缺点 |
| 上下游锚墩定位系统 | ①沉井定位精度较高；  ②上下游锚墩结构能降低过往船舶对沉井的撞击风险；  ③锚墩距沉井较远，锚墩受沉井取土下沉影响小，结构安全性高。 | ①施工水域占用面积较大；  ②锚墩距沉井较远，锚墩平台利用效率低。 |
| 四角锚墩定位系统 | ①沉井定位精度较高；  ②锚墩距沉井较远，对沉井区域河床冲刷影响小；  ③锚墩距沉井较远，锚墩受沉井取土下沉影响小，结构安全性高。 | ①施工水域占用面积大；  ②受交叉锚缆影响，施工船舶靠泊难；  ③锚墩距沉井较远，锚墩平台利用效率低。 |
| 拉靠墩定位系统 | ①沉井定位精度较高；  ②上下游墩结构能降低过往船舶对沉井的撞击风险；  ③下游靠墩距沉井较近，可兼作施工平台，靠墩平台利用效率高。 | ①施工水域占用面积较大；  ②下游靠墩距沉井较近，靠墩受沉井取土下沉影响大，结构安全风险高。 |
| 定位船定位系统 | ①自身稳定性及调节能力较强；  ②能抵抗水流力、风浪力及船舶的撞击能力强 | ①施工水域占用面积大；  ②受交叉锚缆影响，施工船舶靠泊难。 |
| 锚桩定位系统 | ①施工快捷，成本低；  ②卷扬系统布置在沉井或船舶上，锚桩位置无需大面积操作平台。 | ①单桩抵抗水平荷载能力较弱，需增大桩径、入土深度。 |

### **5.5.6** 一般采取向隔舱内注水的方法使沉井快速着床，河床在沉井施工期受水流冲刷较大时，应根据冲刷计算结果，对不同部位隔舱注入不同体积的水，避免沉井在下沉初期产生较大的倾斜。

## 5.7 隔舱混凝土浇筑

### **5.7.4** 为防止侧压力超过结构承受压力允许值，需要控制隔舱混凝土的浇筑速度和单次浇筑高度以减小侧压力；水下浇筑某一隔舱内的隔舱混凝土时，隔舱内水面会升高，侧压力计算要考虑水面升高的影响；当混凝土侧压力大于隔舱板承受压力允许值时，可以在向相邻的隔舱内注水，以平衡混凝土对隔舱板的侧压力。

### **5.7.5** 水下特殊性能混凝土及灌注工艺必须进行专题试验研究并检测合格，该专题经评审通过后方可实施。

## 5.9 沉井下沉施工

### **5.9.4** 中密粉砂、中密细砂，宜采用气举取土工艺进行取土；密实细砂、密实中粗砂，宜采用水力破土结合气举取土工艺，首先采用高压射水进行破土，再由气举取土设备完成取土；胶结砂层，宜采用机械破土结合气举取土工艺，首先采用绞刀设备进行胶结砂层破土，再由气举取土设备完成取土；软塑粉质黏土，宜采用机械破土结合水力取土和气举取土工艺，首先采用绞刀设备进行黏土破土，再由气举取土设备完成取土，同时辅助采用水力破土取土；沉井的局部取土盲区或下沉困难时，宜采用定点破土结合气举取土工艺，首先采用定点破土设备进行定点精准破土，再由气举取土设备完成取土。

# **6** 施工监测与控制

## 6.1 一般规定

### **6.1.1** 周边环境监测：

**1** 坑外地层变形：基坑工程对周围环境的影响范围大约有1倍~2倍的基坑开挖深度，监测点考虑在这个范围内进行布置；

**2** 临近建(构)筑物变形：建筑物变形监测的主要内容有建筑物的沉降监测、建筑物的倾斜监测和建筑物的裂缝监测；

**3** 临近地下管线沉降与位移监测：地下管道根据其材料性能和接头构造可分为刚性管道和柔性管道。其中煤气管和自来水管是刚性压力管道，是监测的重点。测点的布置优先考虑煤气管和自来水管，它们是刚性压力管，对差异沉降较敏感,接头处是薄弱环节；测点的埋设方式采用间接测点是将测点埋设在管线轴线相对应的地表。

### **6.1.9** 传感器不宜采用电阻式传感器，传感器使用前应进行标定。

## 6.2 监测与报警

### **6.2.2** 根据固定间隔时差的下沉深度差计算得到下沉速率，应保证其在容许的控制范围之内。在接高前后和下沉到位前需要对下沉深度和下沉速率进行测量控制。

### **6.2.6** 建（构）筑物监测内容为垂直位移、水平位移、倾斜、裂缝等，地下管线监测内容为垂直位移、水平位移，地表监测内容为垂直位移、裂缝。