

沉井与气压沉箱施工技术规范
Specification for open caisson and pneumatic caisson

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

上海市住房和城乡建设管理委员会发布

上海市工程建设规范

沉井与气压沉箱施工技术规程

Specification for open caisson and pneumatic caisson

主编单位：上海市基础工程集团有限公司

上海市隧道工程轨道交通设计研究院

批准部门：

实施日期：

20xx 上海

前言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2020年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划〉的通知》（沪建标定[2019]752号文）的要求，由上海市基础工程集团有限公司和上海市隧道工程轨道交通设计研究院会同有关单位开展编制工作。标准编制组经广泛调查研究，结合近年来软土地层中沉井、沉箱工程施工所积累的大量施工经验，在反复征求意见的基础上完成了本标准的制订。

本标准给出了沉井与沉箱技术方面的主要内容，标准的制定有利于促进沉井与沉箱技术进步、提高工程质量、确保工程安全。

本标准的主要内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 计算与验算；5 沉井与沉箱制作；6 沉井与沉箱的下沉与封底；7 质量控制与验收；8 工程监测；9 施工安全与环境保护。

本次标准修订的内容有：

一、增加部分

本次修订主要目的是更新现有工艺，加入压入式沉井与沉箱和水域沉井与沉箱的相关内容，主要增加：压入式沉井与沉箱和水域沉井与沉箱的下沉计算、封底混凝土验算、抗浮计算、井（箱）体的制作、压入系统的组成、压沉法下沉、水域沉井与沉箱浮运及下沉、纠偏、质量控制与验收要求等。

二、修改部分

本标准自2011版发布以来，沉井与沉箱的工艺和设备不断更新换代，原有的计算与质量要求已无法满足现有的施工要求，对术语和符号、计算与验算、沉井与沉箱的制作、沉井与沉箱的施工、沉井与沉箱质量控制和验收、工程监测等章节均进行修订；并与国家、行业及上海现行相关标准协调，以确保能满足目前沉井与沉箱的施工要求。

各单位及相关人员在执行本标准过程中，如有意见和建议，请反馈至上海市住房和城乡建设管理委员会（地址：上海市大沽路100号；邮编：200003；E-mail: bzgl@zjw.sh.gov.cn），上海市基础工程集团有限公司（地址：上海市民星路231号；邮编：200433；E-mail: digua1984@126.com），上海市建筑建材业市场管理

总站（地址：上海市小木桥路 683 号；邮编：200032；E-mail: bzglk@zjw.sh.cn），
以供今后修订时参考。

主编单位：上海市基础工程集团有限公司
上海市隧道工程轨道交通设计研究院

参编单位：上海交通大学
上海城建市政工程（集团）有限公司
上海建工四建集团有限公司
上海市城市排水有限公司
上海城投兴港投资建设有限公司
上海公路投资建设发展有限公司
上海市水务建设工程安全质量监督中心站
上海市机械施工集团有限公司
上海智平基础工程有限公司
上海市工程建设咨询监理有限公司
上海外高桥集团股份有限公司
上海公路桥梁（集团）有限公司

主要起草人：

参加起草人：

主要审查人：

上海市建筑建材业市场管理总站

20XX 年 XX 月

目 次

1	总则.....	5
2	术语和符号.....	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定.....	7
4	计算与验算.....	10
4.1	一般规定	10
4.2	混凝土垫层及砂垫层	10
4.3	摩阻力	12
4.4	下沉计算	13
4.5	压入式沉井与沉箱	15
4.6	水域沉井与沉箱	18
4.7	封底混凝土	20
4.8	抗浮计算	22
5	沉井与沉箱制作.....	23
5.1	一般规定	23
5.2	垫层施工	24
5.3	沉井制作	25
5.4	沉箱制作	26
5.5	压入式沉井与沉箱压入系统	27
5.6	水域沉井与沉箱制作	28
6	沉井与沉箱的下沉与封底.....	31
6.1	一般规定	31
6.2	沉井排水下沉	32
6.3	沉井不排水下沉	34
6.4	沉箱下沉	35
6.5	压沉法下沉	40
6.6	水域沉井与沉箱浮运及下沉	41

6.7 助沉与纠偏	43
6.8 封底	46
7 质量控制与验收	48
7.1 一般规定	48
7.2 沉井、沉箱制作	49
7.3 沉井、沉箱终沉与封底	51
8 工程监测	54
8.1 一般规定	54
8.2 监测与报警	56
8.3 监测资料	57
9 施工安全与环境保护	59
9.1 一般规定	59
9.2 施工安全	59
9.3 环境保护	60
本规程用词说明	62
引用标准名录	63

Contents

1	General provisions	5
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic requirements.....	7
4	Calculation and checking	10
4.1	General requirements	10
4.2	Concrete cushion and sand cushion.....	10
4.3	Friction resistance.....	12
4.4	Sinking calculation	13
4.5	Press-in open caisson and pneumatic caisson	15
4.6	Water open caisson	18
4.7	Undersealing concrete	20
4.8	Anti floating calculation.....	22
5	Cast production of open caisson and pneumatic caisson	23
5.1	General requirements	23
5.2	Cushion construction.....	24
5.3	Cast production of open caisson.....	25
5.4	Cast production of pneumatic caisson.....	26
5.5	Press in caisson and caisson press in system.....	27
5.6	Cast production of water open caisson.....	28
6	Sinking and undersealing of open caisson and pneumatic caisson.....	31
6.1	General requirements	31
6.2	Sinking of open caisson.....	32
6.3	Open caisson sinking without drainage.....	34
6.4	Sinking of pneumatic caisson.....	35
6.5	Sinking by press in caisson	40
6.6	Floating and sinking of water open caisson	41

6.7	Helping sinking and rectifying deviation	43
6.8	Undersealing.....	46
7	Quality control and acceptance	48
7.1	General requirements	48
7.2	Cast production of open caisson and pneumatic caisson	49
7.3	Final sinking and bottom sealing of open caisson and pneumatic caisson	51
8	Engineering monitoring	54
8.1	General requirements	54
8.2	Monitoring and alarm.....	56
8.3	Monitoring data	57
9	Construction safety and environmental protection	59
9.1	General requirements	59
9.2	Construction safety.....	59
9.3	Environmental protection	60
	Explanation of wording in this code	62
	List of quoted standards	63

1 总则

1.0.1 为在本市沉井与沉箱施工中做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量和保护环境，制订本标准。

【条文说明】1.0.1 沉井与沉箱工程在上海地区使用已相当广泛，施工技术不断更新，但目前对沉井与沉箱的压沉工艺尚无统一的指导和明确的质量目标，因此对本标准的更新是非常迫切及需要的。

1.0.2 本标准适用于本市的建筑、市政、公路、铁路、港口和水利行业中的沉井、沉箱工程，其他行业在施工沉井与沉箱时可参照执行。

1.0.3 沉井与沉箱的施工、质量控制与验收应综合考虑周边环境条件、工程地质和水文地质条件、工程特性、施工条件和工程造价等因素。

1.0.4 沉井与沉箱的施工、质量控制与验收除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、行业 and 上海市现行有关标准的规定。

【条文说明】1.0.4 本标准根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068、《工程结构可靠度设计统一标准》GB50153 规定的原则制定。术语和符号按照现行国家标准《工程结构设计通用符号标准》GB/T50132 和《工程结构设计基本术语标准》GB/T50083 的规定采用。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 沉井 open caisson

在地面上制作井体，通过井内取土使之下沉到地下预定深度的地下结构。

2.1.2 沉箱 pneumatic caisson

沉井的底板作为工作室的顶板，并在工作室内加气平衡水土压力进行挖土作业，下沉到地下预定深度的地下结构。

2.1.3 井（箱）壁 wall

沉井或沉箱与土体接触的结构外壁。

2.1.4 刃脚 cutting edge

井（箱）壁最下端的刃状结构称为刃脚，其功能是支承沉井与沉箱的重量，切土下沉同时起到挡土作用。

2.1.5 压入式沉井（箱） Press-in open (pneumatic) caisson

用压重或地锚反力装置将井（箱）体压至地下预定深度的地下结构。

2.1.6 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。

2.1.7 浮运沉箱 floating pneumatic caisson

把制作好的箱体浮运到指定位置的沉箱。

2.1.8 工作坑 working pit

沉井与沉箱在首节制作前施工垫层时开挖的基坑。

2.1.9 工作室 working chamber

沉箱下部加气平衡水土压力和取土作业的工作空间。

2.1.10 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。

2.1.11 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。

2.1.12 气压浮托力 compressed-air uplift pressure

沉箱所受工作室气压作用的均布向上的气体压力。

2.1.13 摩阻力 friction resistance

沉井与沉箱在下沉过程中侧壁受土体压力产生的阻止沉井与沉箱下沉的阻力。

2.1.14 下沉系数 subsidence factor

沉井与沉箱下沉时向下作用力与阻力的比值。

2.1.15 接高稳定性 high stability

井（箱）体一次下沉多次接高，或者多次下沉多次接高时需进行验算的稳定性。

2.2 符号

2.2.1 作用及作用效应

α ——经过面积 F 每平方米逃逸的空气量 (m^3)。此值视混凝土的密实程度而定，对表面未喷防水砂浆的可取 $\alpha = 0.5m^3/h \sim 0.6m^3/h$ ，对内表面喷防水砂浆的取 $\alpha = 0.3m^3/h \sim 0.35m^3/h$ ；

β ——经过刃脚底部四周每延米每小时逃逸的空气量 (m^3)。视土质的透气程度而定，对粘土取 $\beta = 1m^3/(h \times m)$ ，对砂土取 $\beta = 2m^3/(h \times m) \sim 3m^3/(h \times m)$ ；

f_k ——天然地基极限承载力标准值 (kPa)。

f_{ski} ——第 i 层土的单位摩阻力标准值 (kN/m)；

f_{si} ——桩周第 i 层土的极限摩阻力标准值 (kPa)，可按岩土工程勘察报告提供的数值或现行上海市工程建设规范《地基基础设计标准》DGJ08-11 表 7.2.4-1 取值；

F_p ——外部施加的压沉力

F_{max} ——外部能提供的最大压沉力

$F_{fw,k}$ ——下沉过程中地下水的浮力标准值 (kN)，采取排水下沉时取 0；

F_{ak} ——沉箱内气压对顶板的上托力标准值 (kN)；

f_{bk} ——沉井刃脚、隔墙和底梁下地基土的极限承载力标准值 (kPa)，当无极限承载力试验资料时，可按表 4.4.1-1 选用；

$F'_{fw,k}$ ——基底地下水的浮力标准值 (kN)。

f_t ——混凝土抗拉强度设计值(N/mm²)。

G_0 ——沉井与沉箱第一节沿井壁单位长度自重设计值 (kN)，自重作用的分项系数取 1.0；

G_{kc} ——接高后的井（箱）体自重标准值 (kN)；

G_{1k} ——沉井（箱）自重标准值（包括外加助沉重量的标准值）(kN)；

H ——沉箱下沉至终沉标高时原静水头高度再加上 2m (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 (m⁴)。

$M_{外}$ ——外力矩 (kN·m)；

p ——基础底面处平均压力设计值 (kPa)；

p_k ——井底土体承载力，

q_d ——地面荷载。

R_b ——沉井（箱）刃脚、隔墙和底梁下地基土的极限承载力之和 (kN)；

r_s ——砂的天然容重 (kN/m³)；

r_c ——混凝土容重，取 23kN/m³。

r_w ——水容重，取 10kN/m³。

T_f ——侧壁与土的总摩阻力标准值 (kN)；

V ——混凝土初灌量 (m³)；

γ_{m1} ——沉井外土体重度；

2.2.2 几何参数

α_s —— 砂垫层的压力扩散角 (°)，可取 30°~40°；

A_{b1} ——沉井（箱）刃脚的横截面面积 (m²)；

A_{b2} ——沉井（箱）隔墙的横截面面积 (m²)；

A_{b3} ——沉井（箱）底梁的横截面面积 (m²)。

b —— 计算宽度(mm)，取 1000mm。

b_w —— 护道宽度(m)；

B —— 砂垫层的底面宽度 (m)。

c —— 沉井壁底端土体粘聚力；

d —— 导管内径(m)；

$E_{ep,k}$ ——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 ——工作室顶板及四周刃脚内表面积之和 (m²);
- $F_{bf,k}$ ——沉井底面有效摩阻力标准值之和 (kN)。
- H ——沉井深度;
- H_z ——筑岛高度(m);
- H_i ——第 i 层土的厚度 (m)。
- h_p ——土塞高度;
- 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;
- h_s ——砂垫层的厚度 (m);
- h_u ——附加厚度(mm), 可取 300mm~500mm。
- h_t ——沉井水下封底混凝土厚度(mm)。
- ϕ ——浮运沉井与浮运沉箱浮运阶段的倾斜角 (°);
- ϕ ——筑岛土饱和状态内摩擦角(°)。
- M ——每米宽度最大弯矩的设计值(N·mm)。
- l ——沉井与沉箱重心至浮心的距离 (m), 重心在浮心之上为正, 反之为负;
- l_i ——桩周第 i 层土的厚度(m);
- L ——混凝土垫层的宽度 (m), $L=b+2 b_1$, $b_1 \geq h$ (h 为混凝土垫层厚度);
- $\sum M_{aov,k}$ ——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)。
- r ——扩散半径(m);
- U_i ——第 i 层土中侧壁外围周长 (m);
- U_p ——桩身截面周长(m);
- U ——沉箱刃脚中心周长 (m);
- V_w ——排水体积(m³);
- V_1 ——沉箱用气消耗量 (m³);
- ρ ——定倾半径 (图 4.6.1-1), 即定倾中心至浮心的距离 (m)。

φ —— 沉井壁底端土体内摩擦角；

2.2.3 计算系数

α —— 沉井内土体承载力修正系数，取 2.0~3.0。

k_a —— 施工消耗空气量系数，一般取 $k=1.2\sim 1.3$ ；

k —— 充盈系数，宜取 1.3；

k_c —— 接高稳定性系数；

k_{fw} —— 沉井（箱）抗浮系数；

k_{ov} —— 沉井抗倾覆系数；

k_s —— 沉井抗滑移系数；

k_{st} —— 下沉系数；

K_b —— 抗隆起稳定系数，取 1.0~1.2；

η —— 被动土压力利用系数，施工阶段取 0.80，使用阶段取 0.65；

λ_i —— 桩周第 i 层土的抗拔承载力系数，按现行上海市工程技术规范《地基基础设计标准》DGJ08-11 表 7.2.9 取值；

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条件。压入式沉井(箱)、沉箱适用于保护要求高的环境条件。

【条文说明】3.0.1 随着城市地下空间的不断开发,需要在密集的建筑群中施工的情况越来越多,对在施工中如何确保邻近地下管线和建(构)筑物的安全提出了越来越高的要求。沉井与沉箱下沉施工工艺的不断开发和创新,即使在复杂环境下进行施工作业,周围地表变形也仅趋于微量。沉井施工一般来说对环境的影响较大,而沉箱的施工相对来说较沉井施工给周边环境带来的影响小,压入式沉井(箱)、沉箱适用于周边环境要求较高或者对承压水控制又要求的环境。可以根据周边环境条件确定采用沉井或者沉箱。

沉井与沉箱施工可根据工程地质、水文地质和周边环境等条件,因地制宜,合理选择施工工艺。根据工程地质、水文地质、周边环境等条件沉井下沉可选用排水下沉法、不排水下沉法施工。

排水法下沉适用于以下条件:①渗透系数不小于 $1\times 10^{-4}\text{cm/s}$;②稳定的黏性土;③砂砾层中渗水量大但是排水便捷。

不排水法下沉适用于以下条件:①流砂严重的地层;②含水量大于60%淤泥层中;③排水不便捷渗水量大的砂砾层;④地下水无法排除或大量排水会影响附近建(构)筑物的安全。

3.0.2 沉井与沉箱施工前应进行勘察,勘探孔的布置和深度应符合下列规定:

- 1 面积不大于 200m^2 的沉井与沉箱,不应少于2个勘探孔;
- 2 面积为 $200\text{m}^2\sim 900\text{m}^2$ 的沉井与沉箱,平面形状为矩形时,在四个角点应各布置一个勘探孔;平面形状为圆形时,在两条相互垂直的直径线端点应各布置一个勘探孔;
- 3 面积大于 900m^2 的沉井与沉箱需根据设计要求增加勘探孔数量;
- 4 勘探孔深度应为沉井或沉箱的深度加0.5~1.0倍边长或直径,且不应小于刃脚以下5.0m;
- 5 勘探孔宜以取土孔、静力触探孔为主,静力触探孔宜占勘探孔总数的1/2。

【条文说明】3.0.2 为保证沉井与沉箱顺利下沉，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，压入式沉井（箱）采用钻孔灌注桩作为抗拔系统时，勘探孔深度应满足钻孔灌注桩的设计要求。

3.0.3 沉井与沉箱施工前应对垫层厚度、下沉系数、接高稳定性、封底混凝土和抗浮等内容进行计算与验算，计算与验算时抵抗力应只计永久作用，参与组合的作用力均应采用标准值。

【条文说明】3.0.3 本条规定了施工组织设计时需要计算和验算的内容，目的是保证沉井与沉箱安全、顺利地下沉，合理地选择下沉工艺和助沉措施。

3.0.4 沉井与沉箱工程施工前，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调查资料；
- 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、防台的有关规定。

【条文说明】3.0.4 本条规定了在沉井与沉箱施工前应完成的工作，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”。“三通一平”即是指：水通、电通、道路通及场地平整。

施工组织设计，是拟建工程项目进行施工准备和正常施工的全面性技术经济文件，是编制施工预算、实行项目管理的依据。

施工组织设计主要内容包括：①工程概况；②主要工序施工工艺；③施工总进度计划；④劳动力与主要物资资源的需要量计划；⑤施工总平面图；⑥施工计量；⑦质量安全技术措施；⑧文明标化管理。

3.0.5 沉井与沉箱施工前应熟悉和阅读施工图，掌握设计意图与要求，实行自审、会审和交底制度。

3.0.6 水域沉井与沉箱施工前除应符合第 3.0.4 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 查明河流规划宽度、通航情况以及断面尺寸等条件；

2 搜集工程河段水文资料、洪水特性、各频率流量及洪量、水位流量关系以及上下游水利工程对本工程的影响情况。

【条文说明】3.0.6 在水域环境施工沉井与沉箱时，应根据工程特点进行水文资料的搜集工作，相关的资料应能满足工程的需要。

3.0.7 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，质量检验合格后方可使用。

【条文说明】3.0.7 原材料进场时虽然有合格证书，进场后应根据国家的有关规定按照一定数量抽检，试件的报告达到要求后方可在工程上使用。

3.0.8 沉井和沉箱工程应由具有专业施工经验的单位承担，宜采用机械化、信息化、智能化作业的施工工艺。

【条文说明】3.0.8 由于以前的气压沉箱施工案例中，气压沉箱作业人员需要在一定的气压下作业，容易产生沉箱病等情况。随着技术的革新，采用机械化、信息化、智能化的施工技术后，已经不需要气压沉箱作业人员频繁进入高压工作室内，避免了对作业人员身体造成不利的影晌，很好地解决对人造成的危害的问题。

3.0.9 沉井和沉箱的制作场地应预先清理、平整和夯实，遇有暗浜、暗沟、旧河道等不良地质应进行地基加固处理。

3.0.10 沉井与沉箱制作时落地脚手架应与模板体系分离。

【条文说明】3.0.10 外排脚手架制作时不应使用沉井与沉箱的井壁制作时的模板，应与模板脱开，避免由于沉井与沉箱下沉而引起脚手架倾斜，造成不必要的事故。

3.0.11 沉井与沉箱的下沉应按勤测勤纠的原则进行，接近设计标高时应控制下沉速度，稳定后方可进行封底。

3.0.12 沉井与沉箱在施工期间，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。

3.0.13 沉井与沉箱质量验收，应分阶段按标准进行验收，上一工序验收合格后，方可进行下一工序施工。

4 计算与验算

4.1 一般规定

4.1.1 沉井与沉箱应进行多种“锅底”工况条件的下沉系数以及接高稳定性计算，以确定接高制作节数、制作高度、下沉次数以及封底方式等。

4.1.2 沉箱计算除应满足本规程第 3.0.3 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，还应考虑气压浮托力。

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组合，且不应计入封底混凝土的作用。

【条文说明】4.1.2 根据沉箱的施工工艺，需在计算、验算时额外考虑气压浮托力作用。

4.1.3 现浇钢筋混凝土沉井与沉箱在分节制作时，每节井壁或箱壁上端水平钢筋均应加强。第一节段沉井（箱）下沉时其混凝土强度应达到设计强度的 100%。

【条文说明】4.1.3 沉井与沉箱分节制作时，上下节井（箱）壁混凝土的收缩不一致，常采用一倍井（箱）壁厚范围内增加水平钢筋的构造措施。

4.1.4 水域沉井与沉箱在浮运过程中（沉入河床前），必须验算横向稳定性；位于江（河、湖、水库、海）岸的沉井与沉箱，若前后两面水平作用不均衡时，尚应验算其抗滑移及抗倾覆稳定性。

4.1.5 沉井与沉箱第一节制作时的基底压力标准值应小于下卧层地基承载力设计值，以后各节的基底压力标准值应满足地基极限承载力标准值的要求。验算沉井与沉箱下卧层及地基承载力时，应按现行上海市工程建设规范《地基基础设计标准》DGJ08-11 的规定执行。

【条文说明】4.1.5 沉井与沉箱的第一节制作对沉井与沉箱的下沉非常重要，包含刃脚、隔墙等的制作，为了保证制作的质量，所以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，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。如设计值有上、下限值时，采用上限值。

4.2 混凝土垫层及砂垫层

4.2.1 砂垫层的厚度，应根据沉井与沉箱的重量和地基土的承载力按式 4.2.1 计

算确定，且不宜小于 600mm。

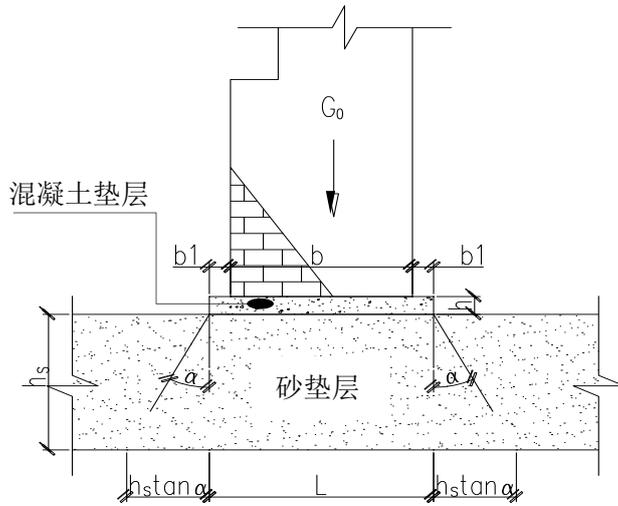


图 4.2.1 砂垫层计算简图

$$p = \frac{G_0}{2h_s \tan \alpha_s + L} + r_s h_s \quad (4.2.1-1)$$

$$p \leq \frac{1}{2} f_k \quad (4.2.1-2)$$

式中 p ——基础底面处平均压力设计值 (kPa)；

h_s ——砂垫层的厚度 (m)；

G_0 ——沉井与沉箱第一节沿井壁单位长度自重设计值 (kN)，自重作用的分项系数取 1.0；

r_s ——砂的天然容重 (kN/m^3)；

L ——混凝土垫层的宽度 (m)， $L=b+2b_1$ ， $b_1 \geq h$ (h 为混凝土垫层厚度)；

α_s ——砂垫层的压力扩散角 ($^\circ$)，可取 $30^\circ \sim 40^\circ$ ；

f_k ——天然地基极限承载力标准值 (kPa)。

【条文说明】4.2.1 本条给出了砂垫层的计算公式，若计算结果小于 600mm 时，取 600mm。沉井与沉箱首节荷载主要为井（箱）体的自重，为确保首节稳定性，应控制首节制作高度。同时，在刃脚下设置混凝土垫层可以加大支承面积，并通过砂垫层进一步将压力扩散至地基土，使应力小于地基土的承载力设计值，确保首节的稳定性。

4.2.2 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 α 扩散确定，即按式 4.2.2 计算确定：

$$B \geq 2h_s \tan \alpha + L \quad (4.2.2)$$

式中 B ——砂垫层的底面宽度 (m)。

【条文说明】4.2.2 压力扩散角为基底压力扩散线与垂直线的夹角，这个扩散角度大小与基础材料的弹性模量、持力层的压缩模量有关、持力层土的内摩擦角有关。砂垫层宜采用中粗砂，分层铺设，厚度为 250mm~300 mm，洒水并振捣密实。砂垫层密实度的质量标准用砂的干密度来控制，中砂取 $\geq 15.6kN/m^3 \sim 16kN/m^3$ ，粗砂可适当提高。

4.2.3 为了确保沉井下素混凝土的质量,尽量减少混凝土在浇灌过程中所产生的沉降量，混凝土垫层厚度可按下式计算：

$$h = (\frac{G_0}{R} - b)/2 \quad (4.2.3)$$

式中 h——素混凝土垫层的厚度 (m)；

R——砂垫层的承载力设计值 (kPa)，宜取 100kPa；

b——刃脚宽度 (m)。

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

【条文说明】4.2.3 本条给出了素混凝土垫层厚度的取值范围，应根据现场土层及沉井（箱）大小综合确定。一般来说素混凝土垫层的厚度不宜太薄或过厚，太薄可能会因为刃脚的压力较大而压碎，太厚会造成沉井与沉箱下沉时凿除混凝土的困难。

4.3 摩阻力

4.3.1 沉井与沉箱井壁外侧与土层间的摩阻力及其沿井(箱)壁高度的分布图形，应根据工程地质条件、井壁外形和施工方法等，通过试验或工程类比的经验资料确定。当无试验条件或可靠资料时，可按下列规定确定：

1 井壁外侧与土层间的单位摩阻力标准值 f_{sk} ，可根据土层类别按表 4.3.1 的规定选用。

表 4.3.1 单位摩阻力标准值 f_{sk} (kPa)

土层类别	f_{sk} (kPa)	土层类别	f_{sk} (kPa)
流塑状态黏性土	10~15	砂性土	12~25
可塑、软塑状态黏性土	12~25	砂砾土	15~20
硬塑状态黏性土	25~50	卵石	18~30

泥浆套	3~5	空气幕	2~5
-----	-----	-----	-----

注：当井壁外侧为阶梯型并采用灌砂助沉时，灌砂段的单位摩阻力标准可取 7~10kpa；

2 摩阻力沿沉井井壁外侧的分布图形，当沉井井壁外侧为直壁时，可按图 4.3.1 (a) 采用；当井壁外侧为阶梯形时，可按图 4.3.1 (b) 采用。

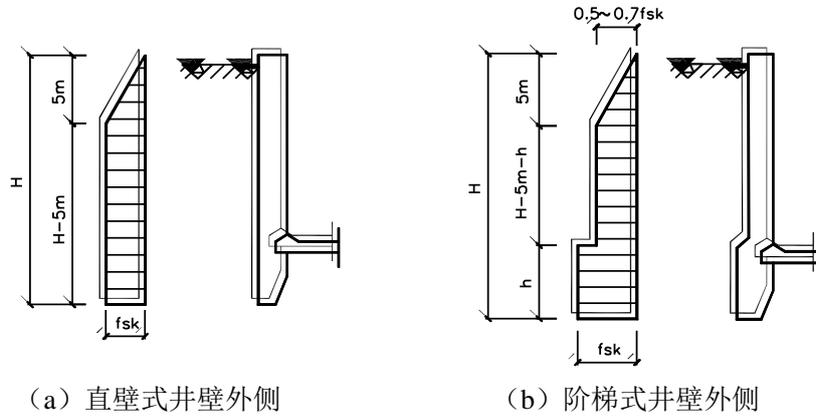


图 4.3.1 摩阻力沿井（箱）壁外侧分布图

【条文说明】4.3.1 本规程所列摩阻力分布图形是经典传统的，可以根据同一区域内的成功经验进行调整。图 a 主要用于井（箱）壁外侧无台阶的沉井与沉箱。图 b 井（箱）壁外侧台阶以上的土体与井（箱）壁接触不紧密，摩阻力有所减少。

4.3.2 侧壁与土的总摩阻力 T_f 值按式 4.3.2 计算：

$$T_f = \sum U_i f_{ski} H_i \quad (4.3.2)$$

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_{ski} ——第 i 层土的单位摩阻力标准值 (kN/m)；

H_i ——第 i 层土的厚度 (m)。

4.4 下沉计算

4.4.1 沉井与沉箱下沉系数应符合下列公式要求：

$$1.05 \leq K_{st} \leq 1.5 \quad (4.4.1-1)$$

$$K_{st} = \frac{G_{1k} - F_{fw,k} - F_{ak}}{T_f + R_b} \quad (4.4.1-2)$$

$$R_b = (A_{b1} + A_{b2} + A_{b3}) f_{bk} \quad (4.4.1-3)$$

式中 k_{st} ——下沉系数；

G_{1k} ——沉井（箱）自重标准值（包括外加助沉重量的标准值）（kN）；
 $F_{fw,k}$ ——下沉过程中地下水的浮力标准值（kN），采取排水下沉时取 0；
 F_{ak} ——沉箱内气压对顶板的上托力标准值（kN）；
 R_b ——沉井（箱）刃脚、隔墙和底梁下地基土的极限承载力之和（kN）；
 A_{b1} ——沉井（箱）刃脚的横截面面积（m²）；
 A_{b2} ——沉井（箱）隔墙的横截面面积（m²）；
 A_{b3} ——沉井（箱）底梁的横截面面积（m²）。
 f_{bk} ——沉井刃脚、隔墙和底梁下地基土的极限承载力标准值（kPa），当无
 极限承载力试验资料时，可按表 4.4.1 选用；

【条文说明】4.4.1 根据工程实践经验，一般沉井与沉箱主要依靠结构自重克服
 摩擦力下沉。在确定下沉系数时，既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。当下沉系数偏小时，可依次考虑挖除底梁、隔墙
 或刃角下土体，满足下沉要求。如计算有可能突沉时，可按接高稳定时采取的措
 施使用。

表 4.4.1 地基土极限承载力标准值

土的种类	极限承载力标准值 (kPa)	土的种类	极限承载力标准值 (kPa)
淤泥	100~200	软塑、可塑状态粉质黏土	200~300
淤泥质黏性土	200~300	坚硬、硬塑状态粉质黏土	300~400
细砂	200~400	软塑、可塑状态黏性土	200~400
中砂	300~500	坚硬、硬塑状态黏性土	300~500
粗砂	400~600		

注：或可取土层承载力设计值的 2 倍。

4.4.2 当沉井与沉箱下沉时，应按下式进行接高稳定性验算：

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

$$k_c = \frac{G_{kc} - F_{fw,k} - F_{ak}}{T_f + R_b} \quad (4.4.2-2)$$

式中 k_c ——接高稳定性系数；

G_{kc} ——接高后的井（箱）体自重标准值（kN）；

【条文说明】4.4.2 沉井与沉箱在接高时，井（箱）体混凝土自重增大，导致刃脚踏面的应力加大。如果踏面下土体承载力小于踏面应力，将会发生突沉。因此，接高施工前应进行接高稳定性验算，如接高稳定性不满足要求时，应根据计算结果采取井内留土、灌砂等增加侧壁摩阻力的措施，或井内灌水增大结构浮力的措施，以确保接高制作时的稳定性。

4.5 压入式沉井与沉箱

4.5.1 对压入式沉井与沉箱的压入系统应进行专项设计和计算。压入系统包含抗拔系统、反力系统和顶进系统。

4.5.2 压入式沉井与沉箱的侧摩阻力按公式 4.3.2 计算。

4.5.3 压入式沉井与沉箱下沉系数计算，应符合下列规定：

$$K_{st} \geq 1.05 \quad (4.5.3-1)$$

$$K_{st} = \frac{F_p + G_{1k} - F_{fw,k} - F_{ak}}{T_f + R_b} \quad (4.5.3-2)$$

$$F_p \leq F_{max} \quad (4.5.3-3)$$

式中 K_{st} ——下沉系数；

F_p ——外部施加的压沉力；

F_{max} ——外部能提供的最大压沉力。

【条文说明】4.5.3 当压入式沉井的压沉深度较小，隔墙和底梁未被压入土中时，应扣除隔墙和底梁下地基土提供的承载力。压入式沉井与沉箱下沉系数不小于 1.05，且压入式沉井与沉箱可通过动态调整压沉力 F_p 来控制沉井下沉的状态。

4.5.4 压入式沉井抗拔系统应符合下列规定：

1 压入式沉井抗拔系统应对称、均匀布置。

2 采用钻孔灌注桩作为抗拔系统时，单桩极限抗拔承载力标准值 R_k 可按式 4.5.4 估算：

$$R_k = U_p \sum \lambda_i f_{si} l_i \quad (4.5.4)$$

式中： U_p ——桩身截面周长(m)；

f_{si} ——桩周第 i 层土的极限摩阻力标准值(kPa)，可按岩土工程勘察报告提供的数值或现行上海市工程建设规范《地基基础设计标准》DGJ08-11 表 7.2.4-1

$$\frac{p_k}{\gamma_{m1}H+q_d} \geq K_b \quad (4.5.7-1)$$

式中, K_b —抗隆起稳定系数, 取 1.0~1.2;

γ_{m1} —沉井外土体重度;

H —沉井深度;

q_d —地面荷载。

p_k —井底土体承载力, 由公式 (4.5.6-2) 确定

$$p_k = a \times \frac{h_p \gamma_{m2} (1 + \sin \varphi) + 2c (\pi/2 - \varphi + \cos \varphi)}{1 - \sin \varphi} \quad (4.5.7-2)$$

式中, h_p —土塞高度;

c —沉井壁底端土体粘聚力;

φ —沉井壁底端土体内摩擦角;

a —沉井内土体承载力修正系数, 取 2.0~3.0。

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 ϕ 不得大于 6° 。稳定倾斜角 ϕ 角应按下列公式计算：

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

$$\rho = \frac{I}{V} \quad (4.6.1-2)$$

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

式中： ϕ ——浮运沉井与浮运沉箱浮运阶段的倾斜角（°）；

$M_{\text{外}}$ ——外力矩（kN·m）；

V_w ——排水体积(m³)；

l ——沉井与沉箱重心至浮心的距离（m），重心在浮心之上为正，反之为负；

ρ ——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（m⁴）。

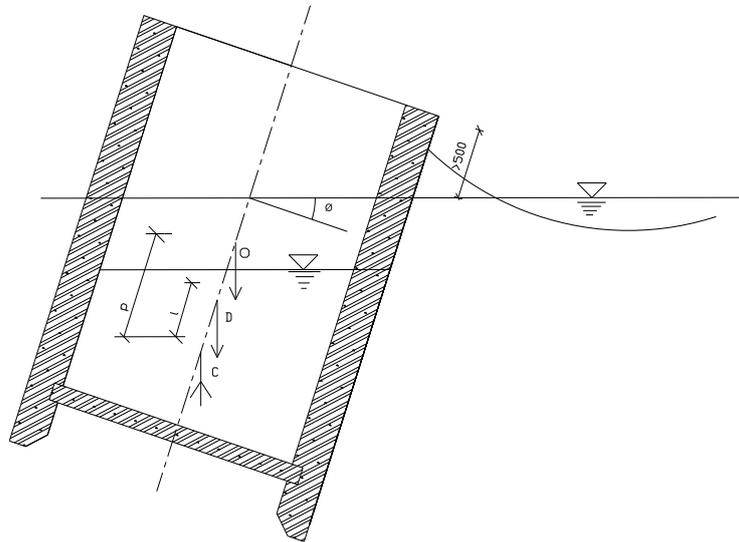


图 4.6.1 水中浮运沉井与沉箱

D——重心；C——浮心；O——定倾中心

【条文说明】4.6.1 在水中浮运的沉井与沉箱，由于风浪的影响，往往会影响到浮运沉井与浮运沉箱的浮运安全，因而水中浮运的沉井与沉箱在浮运过程中（沉入河床前），必须验算横向稳定性，以避免在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与浮运沉箱的稳定倾斜角。

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

4.6.3 位于江（河、湖、水库、海）岸的沉井与沉箱，前后两面水平作用不均衡时，应按下列要求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；

η ——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（ $kN \cdot m$ ）；

$\sum M_{ov,k}$ ——沉井倾覆弯矩标准值之和（ $kN \cdot m$ ）。

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 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，且验算过程应符合下列规定：

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不小于 0.5m，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；需设置其他施工设施时应另行加宽或按设计要求。

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

式中： b_w —护道宽度(m)；

H_z —筑岛高度(m)；

ϕ —筑岛土饱和状态内摩擦角(°)。

【条文说明】4.6.6 无围堰筑岛是指带边坡的土岛；有围堰筑岛，是指在设有钢板桩、钢筋混凝土板桩等防护围堰内的筑岛。由于有围堰边缘比无围堰边缘坚固，所以有围堰护道宽度比无围堰护道宽度规定要小。

4.7 封底混凝土

4.7.1 沉井与沉箱的干封底应符合设计要求，宜采用块石和素混凝土进行封底。

【条文说明】4.7.1 干封底是在降水状态下进行的，封底后满足设计要求及底板浇筑施工条件即可。

4.7.2 水下封底混凝土的厚度应根据基底的向上净反力计算确定。水下封底混凝土的厚度应按式 4.7.2 计算：

$$h_t = \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} + h_u \quad (4.7.2)$$

式中 h_t —沉井水下封底混凝土厚度(mm)。

M —每米宽度最大弯矩的设计值(N·mm)。

b —计算宽度(mm)，取 1000mm。

f_t —混凝土抗拉强度设计值(N/mm²)。

h_u —附加厚度(mm)，可取 300mm~500mm。

【条文说明】4.7.2 封底素混凝土厚度计算公式，系按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中有关矩形截面素混凝土受弯构件承载力公式推导，再考虑实际施工时混凝土与泥土互相掺杂，综合而得。

4.7.3 沉井采用导管法进行水下混凝土封底时，导管的布置应符合下列规定：

- 1 导管扩散半径不宜大于 4.0m；
- 2 导管的有效扩散半径应互相搭接并能覆盖井底全部范围；
- 3 导管的插入深度不宜小于 1.0m；
- 4 导管浇筑时距离基底面高度宜为 300mm~400mm；
- 5 水下封底混凝土初灌量应按下式计算：

$$V \geq \frac{\pi d^2 h_1}{4} + \frac{k\pi r^2 h_2}{3} \quad (4.7.3-1)$$

$$h_1 = \frac{(h-h_2)r_w}{r_c} \quad (4.7.3-2)$$

式中：V——混凝土初灌量（m³）；

h ——水位面至基底的深度(m)；

h₁——导管内混凝土柱与管外泥浆柱平衡所需高度(m)；

h₂——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；

r_c——混凝土容重，取 23kN/m³。

r_w——水容重，取 10kN/m³。

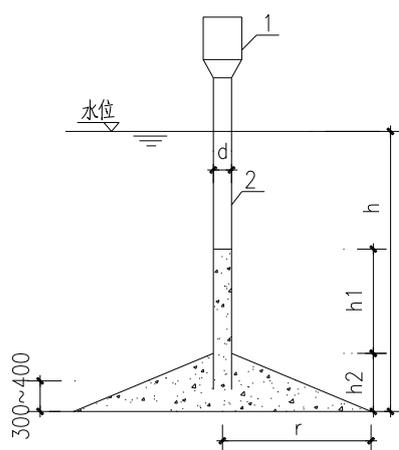


图 4.7.3 混凝土初灌量计算示意

1-料斗；2-导管

【条文说明】4.7.3 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覆盖井底范围。

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，故导管下端应插入混凝土内一定的深度。

4.8 抗浮计算

4.8.1 沉井与沉箱封底后，应按其可能出现的最高水位进行抗浮验算，并应满足下列公式的要求：

$$k_{fw} \geq 1.00 \quad (\text{不计侧壁摩阻力}) \quad (4.8.1-1)$$

$$k_{fw} = \frac{G_{1k}}{F'_{fw,k}} \quad (4.8.1-2)$$

式中 k_{fw} ——沉井（箱）抗浮系数；

$F'_{fw,k}$ ——基底地下水的浮力标准值（kN）。

【条文说明】4.8.1 抗浮稳定验算时不计井（箱）壁外侧土体摩阻力的作用。考虑到摩阻力实际是存在的，故抗浮稳定系数下限取 1.00 是能够保证沉井抗浮稳定要求的。如果沉井较深，尚宜考虑摩阻力。考虑摩阻力的抗浮系数，一般宜取 1.15。当井外壁与土之间采用注浆措施时，则可取 1.05。

4.8.2 当封底混凝土与底板间有拉结钢筋等可靠连接时，封底混凝土的自重可作为沉井抗浮重量的一部分，且沉井（箱）抗浮系数 k_{fw} 应大于 1.05。

5 沉井与沉箱制作

5.1 一般规定

5.1.1 沉井与沉箱制作前，应编制制作方案。方案中应包括工作坑施工、模板支架、钢筋绑扎、混凝土浇筑等工艺及要求。

5.1.2 沉井与沉箱施工前，应设置测量控制网，并进行定位放线、布置水准基点等工作。

5.1.3 场地四周宜设置排水沟，沟深 300mm~500mm，宽 400mm~600mm，每间隔 20m~30m 或转角处宜设集水井。

【条文说明】5.1.3 特殊施工环境下，如整个施工场地地势较低时，可在场地四周设排水沟、集水井，一般情况下可不设。

5.1.4 沉井与沉箱制作时应符合下列规定：

1 对现浇沉井与沉箱首节高度应不大于 6m，其余节制作宜 6m~8m，高度应与立模一致，确保浇捣密实。

2 分节制作时，分节高度不宜大于沉井直径或者沉箱短边长度。

【条文说明】5.1.4 从首节制作的技术性和经济性来说，一般要求制作高度不宜超过 6m；如果超过 6m，需要采用较厚的砂垫层，素混凝土垫层，同时尚需要对下卧层进行验算，不能符合要求时要对下卧层进行地基加固。

5.1.5 分节制作的钢筋混凝土沉井与沉箱，下沉前应确保首节的混凝土达到设计强度的 100%，其余各节的混凝土不得低于设计强度的 70%。采用预制的沉井和沉箱，下沉前应确保混凝土强度达到设计强度 100%。

5.1.6 采用内脚手架时，支撑架应焊接牢固。

【条文说明】5.1.6 脚手架的搭设，应符合国家现行脚手架安全技术规程的要求，如：《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ-130，《碗扣式钢管脚手架构件》GB24911 等，并经验收后方可使用。

5.1.7 预制拼装的沉井与沉箱制作时应符合下列规定：

1 采用预制的沉井和沉箱，预制件的连接与受力应满足要求；

2 考虑预制的构件的分块、吊装、运输条件；

3 采用预制的沉井和沉箱，接缝和连接处宜采用一道或多道防水结构和措施。

【条文说明】5.1.7 预制拼装的沉井与沉箱制作时应符合下列规定：

3 防水措施主要有：现浇湿接、橡胶止水、涂刷涂料防水等。

5.1.8 井（箱）体混凝土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。

5.1.9 井（箱）体制作完成后，应对沉井、沉箱的施工质量进行检查。

5.2 垫层施工

5.2.1 工作坑施工应符合下列规定：

1 工作坑应验算边坡稳定性，可依据上海市《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61的规定计算；

2 工作坑底部的平面尺寸，应根据开挖形式、放坡坡度、支模、搭设脚手架及排水等因素确定；

3 工作坑开挖的深度，应根据工程地质、水文地质、现场施工条件等因素确定；

4 工作坑应设置盲沟和集水井，集水井的深度宜低于基底 500mm，严禁垫层浸泡在水中。

5.2.2 砂垫层和素混凝土垫层应符合本规程第 5.3 节的相关规定。

5.2.3 砂垫层施工应符合以下要求：

1 砂垫层宜采用颗粒级配良好的中砂、粗砂或最大粒径不超 40mm 的砂砾石；

2 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；沉箱砂垫层应采用满堂铺筑形式；

3 砂垫层的铺设厚度不宜小于 600mm，分层铺设、碾压，每层铺设厚度不应超过 300mm，压实度应符合首节沉井制作允许承载力要求。

4 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。

【条文说明】5.2.3 砂垫层施工应符合以下要求：

1 为保证压实度与承载力，砂垫层级配可根据设计要求，无要求时可采用天然级配中粗砂或者人工级配的颗粒尺寸在 5--40mm 之间，其中 25--40mm 含量不少于 50%的中、粗砂。

5.2.4 沉井首节隔墙、横梁宜设砂垫层，不宜设素混凝土垫层。

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

5.2.6 素混凝土垫层施工应符合以下要求：

1 素混凝土浇筑时，应按其厚度一次铺到位，自一端向另一端推进，若工作量大时可分段同时施工。

2 素混凝土垫层宜采用环井壁铺筑形式；平面尺寸较小时，可采用满堂铺筑形式。

5.3 沉井制作

5.3.1 沉井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，缝隙应不漏浆。

2 接高施工时模板应高出地面一定高度，该高度可取接高时引起的下沉量加上 500mm。

3 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《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204。

【条文说明】5.3.1 沉井模板施工应符合下列规定：

1 目前在沉井工程中，井壁模板常采用钢组合式定型模板或木定型模板组装而成，采用木模时，外模朝混凝土的一面应刨光。

2 接高制作时，会引起自沉，自沉量根据经验预估，一般为 300mm~500mm。

5.3.2 沉井刃脚施工时应符合下列规定：

1 刃脚内侧和为浇钢筋混凝土底板而设置的凹槽在下沉之前应进行打毛处理。

2 刃脚井壁与底板连接的凹槽深度宜为 150mm~200mm，连接点处不漏水。

3 应在刃脚施工结束且达到设计强度 100%后，方可进行后续施工。

5.3.3 沉井接高施工时，应符合下列要求：

1 井壁与后浇隔墙的连接处宜在井壁上加设腋脚，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。

2 接高前应进行纠偏，偏差量应满足下沉过程中的偏差允许值，接高水平施

工缝宜作成凸型；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。

5.3.4 沉井钢筋加工制作过程中，钢筋连接宜采用焊接或机械连接；水平钢筋的搭接长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定选取。

5.3.5 混凝土浇筑采用分层平铺时，每层混凝土的浇筑厚度宜为 300mm~500mm。

【条文说明】5.3.5 分层浇筑时，应在混凝土初凝时间内浇筑完一层，避免出现冷缝。

5.3.6 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。

5.4 沉箱制作

5.4.1 沉箱的制作应符合本标准第 5.3 节的相关规定。

【条文说明】5.4.1 沉箱的常规制作规定与沉井相同，具体模板、钢筋以及混凝土相关技术内容可以参照沉井制作执行。

5.4.2 沉箱刃脚应与工作室顶板、箱壁整体浇筑，保证工作室内的气密性。

【条文说明】5.4.2 由于工作室在施工过程中均处于气压作用下，故工作室的气密性要求非常高，故沉箱的顶板宜与箱壁、刃脚整浇，保证沉箱工作室的气密性。

沉箱不能整浇时也应采取措施满足气密性要求。

5.4.3 沉箱工作室顶板制作时应符合下列规定：

- 1 预埋件应预先放置到位，定位准确；
- 2 浇筑时应预留人孔、物料孔及供气、照明、封底混凝土浇筑、注浆等管路；
- 3 预留孔洞的大小应考虑挖土设备、水平运输设备及出土设备进入工作室内安装的要求；
- 4 顶板的底模下不得留有空隙，当有空隙存在时应采取措施处理。

5.4.4 工作室顶板以上箱壁制作时，内脚手可在底板上搭设。

【条文说明】5.4.4 沉箱的构造与沉井不同，存在底板先浇筑形成，井壁在制作时，内脚手架可以在地板上搭设。

5.4.5 沉箱接高时应维持工作室内气压的稳定，且不应设置竖向施工缝。

5.4.6 沉箱穿管和开洞处应有可靠的防止漏水和漏气的措施，并应进行结构加固。

【条文说明】5.4.6 沉箱需要防止漏气，对混凝土的浇筑质量要求更加严格。沉

箱气压工作室内结构存在开洞或者留管的部位需要进行结构加固,并需要采取措施防止漏气。

5.5 压入式沉井与沉箱压入系统

5.5.1 压入系统由抗拔系统、反力系统以及顶进系统组成(如图 5.5.1 所示)。

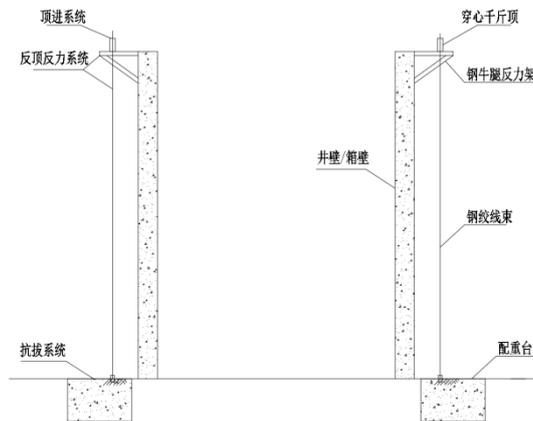


图 5.5.1 压入系统组成

5.5.2 抗拔系统可采用抗拔钻孔灌注桩、抗拔锚杆及混凝土墩台单一或组合方式。

5.5.3 抗拔钻孔灌注桩按相关规范要求制作,并应符合下列要求:

- 1 抗拔钻孔灌注桩与沉井或沉箱外壁应保持足够的间距,一般不小于 1.2m;
- 2 单独设置抗拔钻孔灌注桩作为抗拔系统,其钢筋笼主筋应通长延伸到桩底;
- 3 钻孔灌注桩桩顶宜设置专用锚具与反力系统相连。

5.5.4 抗拔锚杆的使用应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的要求。

5.5.5 当抗拔系统设置配重台的,其制作应符合下列要求:

- 1 配重台为钢筋混凝土结构,应整圈布置;
- 2 搭设外脚手架之前完成制作;
- 3 配重台内侧应与沉井或沉箱结构预留足够的距离,一般不小于 0.3m。

5.5.6 反力系统一般由反力架以及连接体系组成,连接体系下端与抗拔系统可靠连接,上部与顶进系统相连接。

5.5.7 反力系统一般由正顶反力系统和反顶反力系统组成,其制作应符合下列规定:

- 1 应仅设置刚性反力架组成反力系统,顶进油缸应直接作用力在井体或箱体上,向下顶进形成正顶反力系统(如图 5.5.7 a 所示);

2 反力架可采用钢筋砼牛腿形式、钢结构牛腿形式或钢梁形式，连接体系采用钢杆件或钢绞线形式，组合形成反顶反力系统（如图 5.5.7 b 所示）。

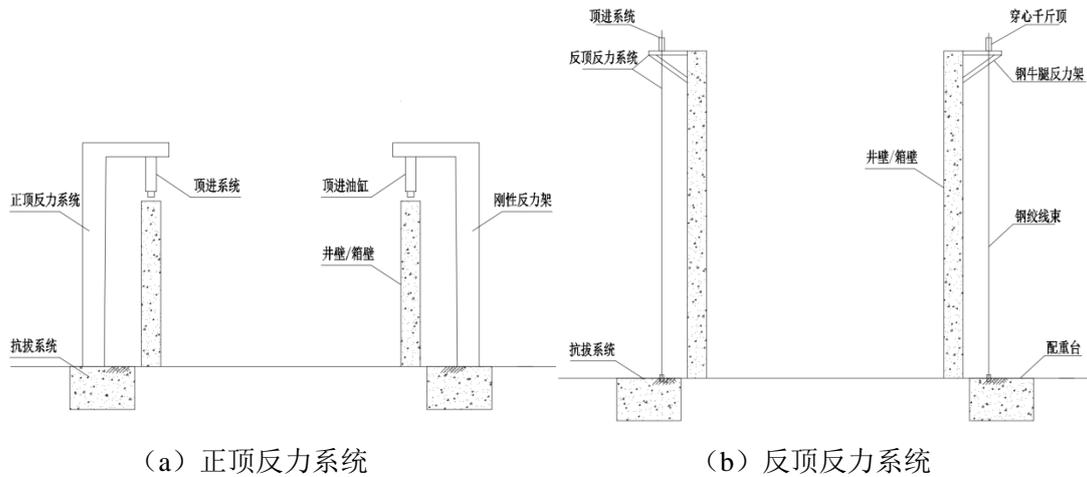


图 5.5.7 反力系统

5.5.8 正顶反力系统反力架与连接体系应合二为一，可采用型钢或钢箱加工组合而成。

5.5.9 采用正顶反力系统的压入方式，其沉井或沉箱每节制作高度宜在 1m 至 3m 之间。

5.5.10 当反顶反力系统反力架采用牛腿形式时，应验算并满足沉井或沉箱的强度及稳定性要求。

5.5.11 反顶反力系统反力架可采用钢梁形式需成对布置，钢梁下设置垫块，不宜直接压在井体或箱体上。

5.5.12 反力系统应满足顶进系统加载计算以及沉井或沉箱结构强度和稳定性要求。

5.5.13 顶进系统应由千斤顶油缸、动力站以及液压控制系统组成。反顶反力系统宜使用穿心千斤顶油缸。

5.5.14 当采用正顶反力系统的压入方式时，沉井或沉箱每节现浇制作或预制拼接构件高度宜在 1m 至 3m 之间。

5.5.15 压入系统应均匀布置在沉井或沉箱的一周。

5.5.16 沉井与沉箱宜在井外壁设置外台阶。

5.5.17 沉井与沉箱应在外井壁间隔设置注浆孔、气幕孔。

5.5.18 圆形沉井或沉箱可采用预制拼装结构。

5.6 水域沉井与沉箱制作

5.6.1 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。

5.6.2 筑岛法应根据所在水域的水位、潮位、波浪情况合理设定人工岛顶面高程和防浪墙高度；筑岛区域水深不宜过深，且人工岛自身应满足沉降和防波浪冲刷侵蚀的稳定要求。

5.6.3 筑岛法的人工岛地基承载力应满足设计要求，同时承载力标准值不应小于100kPa；筑岛回填的材料应适宜沉井下沉取土工艺，不应选用块石、卵石等松散回填料。

5.6.4 水域沉井与沉箱的制作采用筑岛法施工时，制作可按本标准4.6.6条的规定执行。

5.6.5 浮运沉井与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、拼装船平台及造船船台等合适区域；
- 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。

5.6.6 钢壳沉井首节可分节分块在工厂分节制造，每块井箱箱体应编号，以便拼装时对号入座；对焊接的要求应满足设计及相关焊接质量规范标准要求，并须作水密试验，合格后方可使用。

5.6.7 钢壳沉井的首节拼装工作，应在船坞或拼装船等其他适宜场地平台上进行，将各基本单元井箱拼装焊接成薄壁钢结构浮体。拼接好的钢沉井，必须在井箱内对称灌水作水密试验，发现漏水，作好记号，放水后铲除漏水处焊缝，重新施焊，直至合格。

5.6.8 拼装完毕的首节钢壳沉井外形尺寸应与设计相符，拼装后外形误差不超过相关规范中同尺寸钢筋砼沉井制作外形偏差。

5.6.9 浮运沉井与浮运沉箱的接高制作与下沉可根据本标准第4章相关规定执行。

5.6.10 为加强沉井钢壳强度、增加沉井自重，沉井井箱内可按设计和施工需求填充一定数量的混凝土，混凝土灌注应按预先编制的程序和时间进行。

5.6.11 采用筑岛法施工的沉井及沉箱，其下部设置垫层应参照陆域沉井相关规

定执行。

5.6.12 关于水域内浮运沉井和沉箱着床处下部垫层的相关规定要求：

- 1 施工前应测量水域沉井着床位置处标高发现有冲刷，及时抛填碎石防护，及找平河床。
- 2 地质条件不理想的浮运沉井着床处，宜在开挖海床或河床后铺设碎石垫层基础并及时整平。
- 3 碎石垫层铺设整平可采用专业抛填整平船只设备及潜水员水下辅助整平。

6 沉井与沉箱的下沉与封底

6.1 一般规定

6.1.1 沉井下沉根据工程地质、水文地质、周边环境条件等，可选用排水下沉、不排水下沉及压入式下沉等方式。

【条文说明】6.1.2 定位放线工作即为在地面上定出沉井与沉箱纵横两个方向的中心轴线、基坑的轮廓线以及水准点等，作为沉井与沉箱下沉的依据。

6.1.2 沉井与沉箱下沉前应根据设计图纸进行定位放线，并布置水准点等定位工作，作为下沉测量工作的依据。

6.1.3 沉井与沉箱第一节的混凝土应达到设计强度 100%后，其余各节应达到设计强度 70%后方可下沉。

6.1.4 凿除混凝土垫层时，应先内后外，分区域对称按顺序凿除；凿断线应与刃脚底边平齐；凿除的混凝土垫层应立即清除，空穴用砂或砂夹碎石回填。混凝土的定位支点处，应最后凿除，不得漏凿。

【条文说明】6.1.4 定位支点应根据计算时候的不利受力情况布置，应符合下列规定：

1 长宽比不小于 1.5 的小型矩形沉井，按四点支承计算，定位支点距端部的距离可取 $0.15L$ ，参见图 1。

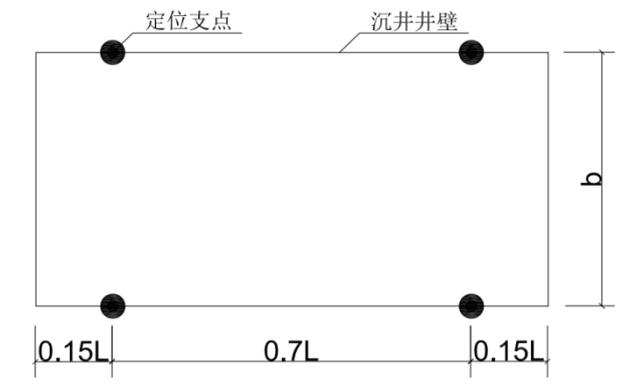


图 1 矩形沉井定位支点布置

2 长宽比小于 1.5 的小型矩形沉井，定位支点宜在两个方向均按上述原则设置。

3 对于大型矩形沉井，支点的位置可沿周边均匀布置，支点数量可根据沉井尺寸，砂垫层厚度和持力层的极限承载力确定。

4 对于圆形沉井，支点的布置可以采用沿直径的对称布置形式，可参见图 2。

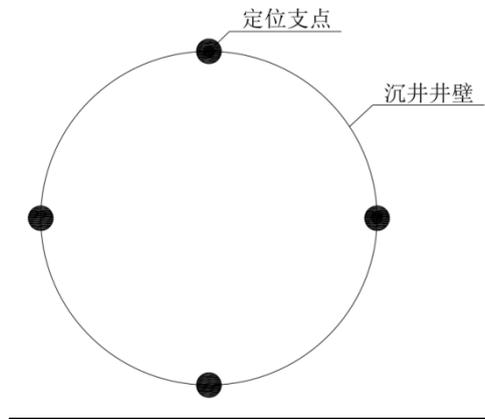


图 2 圆形沉井定位支点布置

6.1.5 沉井与沉箱的下沉作业可根据不同的下沉方式，选择合适的机械设备取土，土方弃放点应得到当地主管部门的同意。

6.1.6 沉井与沉箱下沉过程中，对于高压缩性的软土层，应严格控制锅底深度、取土深度，并应做好地下水位监测工作。

【条文说明】6.1.6 沉井与沉箱的助沉措施可采用泥浆套、空气幕、压沉、压重系统或其他助沉措施，在下沉前应检查设备、预埋管道的完好程度。具体可参见 6.7 节。

6.1.7 沉箱下沉前，应配备工地内部各环节的通讯联络设备，确保通讯畅通。

6.2 沉井排水下沉

6.2.1 沉井下沉采用排水法下沉时，应认真分析水文地质资料，宜采用深井降水措施，进行现场抽水试验，并制定降水方案。

6.2.2 排水法下沉时可以根据现场情况选用机械挖土或高压泵冲泥等下沉方法，当下沉至距设计标高 2m 时，应加强观测下沉与挖土情况。

6.2.3 沉井下沉挖土时应符合下列规定：

- 1 下沉时，应分层、均匀、对称进行挖土作业。
- 2 下沉系数较大时应先挖中间部分，保留刃脚周围土体，使其挤土下沉。
- 3 下沉系数较小时应采取助沉措施。

4 下沉应按勤测勤纠的原则进行。

【条文说明】6.2.3 沉井在软土中下沉时，分层挖去井内泥土，并在沉井四周的刃脚处留有土堤，逐步削平刃脚四周土堤，边挖边沉；沉井在较坚实的土层中下沉时，挖锅底，刃脚四周留土堤，再向四周均匀扩挖，最后削去土堤，使其下沉；沉井在坚硬的土层中下沉时，先开挖锅底，后分层掏挖刃脚，使其下沉。如采用干挖，条件许可时，在沉井刃脚设计标高处，提前放置一定数量的混凝土块，使沉井最后坐落在混凝土块上。

6.2.4 在沉井外壁应沿竖向标出刻度尺，测量人员应连续测得沉井下沉深度和倾斜状态，以指导下沉施工。

6.2.5 沉井在下沉到临近设计标高时，应控制高差及下沉速度，下沉深度距设计标高应预留 50mm~200mm 的余量。

【条文说明】6.2.5 通常沉井下沉到距离设计标高 2m 时，就应放慢下沉速度。为使得沉井结构满足使用时候的要求，沉井的下沉深度应有一定的预留量，这样方可达到使用时候的要求，具体预留量还可根据实际情况进行确定。在接近下沉标高 500mm 时，在软土地层中可以预留 50mm~100mm，在砂土等硬土层中可以预留 30mm~50mm。

6.2.6 沉井下沉困难时可采用触变泥浆、空气幕或其他助沉措施。

【条文说明】6.2.6 对于下沉深度较深或侧摩阻力较大的沉井，为了沉井能在土中顺利下沉，可采用触变泥浆套、空气幕、高压射水、压重下沉、抽水下沉、井壁外侧挖土下沉等措施配合施工，使沉井顺利下沉到设计标高。具体可参见 6.7 节。

6.2.7 沉井下沉应及时测量、及时纠偏，每 8h 至少测量 2 次。

6.2.8 沉井下沉过程中的允许偏差宜符合表 6.2.8 的规定。

表 6.2.8 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	$\leq 1.5\sim 2.0\%L$ ， 且 $\leq 500\text{mm}$	下沉阶段	≥ 2 次 / 8h	全站仪
		终沉阶段	1 次 / h	
中心位移	$\leq 1.5\%H$ ， 且 $\leq 300\text{mm}$	下沉阶段	≥ 1 次 / 8h	全站仪
		终沉阶段	≥ 2 次 / 8h	

注：L为矩形沉井两角的距离（单位：mm）；圆形沉井为互相垂直的两条直径；H为下沉深度（单位：mm）；下沉速度较快时适当增加测量频率。

6.3 沉井不排水下沉

6.3.1 沉井不排水下沉适用于流砂严重的地层和渗水量大的砂层、地下水无法排除或大量排水会影响邻近建（构）筑物、地下管线等的情况以及环境保护等级要求高的区域。

6.3.2 不排水下沉时根据现场条件可选择空气吸泥与潜水员配合或机械抓土与潜水员配合等下沉方法，施工时井内水位不宜低于井外水位。

【条文说明】6.3.2 不排水下沉中，应监测和控制水位、井底开挖尺寸、下沉量和速度以稳定井底，防止突沉，控制终沉。挖流动性土时，应保持井内水位高出井外水位不少于1m。当井内水深超过5m~10m时，可采用空气吸泥法和钻吸法出土下沉沉井。

6.3.3 采用空气吸泥下沉施工应符合下列规定：

- 1 在粘性土下沉时，应在高压射水冲碎土层后方可进行吸泥。
- 2 吸泥装置在水下的深度宜大于5m，在初期下沉时可采用机械抓土等方式。
- 3 吸泥施工时应保持井内外的水位平衡。
- 4 吸泥施工时应随时了解排出泥水的浓度和开挖面各部位的深度，及时移动吸泥机。

【条文说明】6.3.3 空气吸泥法是比较常用的不排水下沉法之一，需配备一定数量的潜水作业人员。当空气吸泥装置工作时，压缩空气沿进气管进入空气箱以后，通过内壁上的一排排小孔眼进入混合管，在混合管内与水混合，形成密度小于1的气水混合物，与泥土混合通过混合管置换出去。

6.3.4 不排水下沉产生的泥浆应就地干化，干化产生的污水应尽量循环使用，污水排放应达到相应环保要求；干化产生的渣土，按照主管部门的要求弃放。

【条文说明】6.3.4 由于环境要求越来越高，沉井不排水下沉过程排出的泥浆应经过干化处理，产生的渣土和废水均应满足主管部门关于工程泥浆处理的最新文件要求。

6.3.5 沉井不排水下沉的除满足以上要求外，还应符合本标准第6.2.3条~6.2.8条的规定。

6.4 沉箱下沉

6.4.1 沉箱下沉施工前应符合下列规定：

- 1 设备已经安装完成，且应架设牢固。
- 2 沉箱施工前应对遥控挖土机械、高压舱、出土设备及测量、监控设备仪器等进行调试。
- 3 通过底板管路均已连接且密封。
- 4 箱壁混凝土已达到设计强度。

【条文说明】6.4.1 沉箱下沉不同于沉井下沉，除了常规的出土设备安装完成以外，还需要配备相关的供气设备以及遥控作业等相关设备。

6.4.2 沉箱工作室高度应能满足机械操作要求，且工作室高度不宜低于 2.5m。

【条文说明】6.4.2 沉箱工作室的高度主要是为了保证工作室内的出土设备能够正常工作。出土设备主要包括遥控挖机、土方水平运输设备、垂直出土设备等，一般高度不宜低于 2.5m。

6.4.3 沉箱工作室内的气压应符合下列规定：

- 1 沉箱宜在下沉至地下水位以下 0.5m~1.0m 时开始加气。
- 2 沉箱在初期下沉时，可根据箱体受力及气压大小设置一定数量的混凝土支座承托上部荷载。
- 3 施工时应维持工作室内气压的稳定，并应根据沉箱外地下水位实时调整气压大小，保持平衡。
- 4 沉箱在穿越砂性土等渗透性较高土层时，应维持气压略低于地下水位的水压。

【条文说明】6.4.3 根据地下潜水水位、承压水头大小、沉箱入土深度、穿越土质情况等因素综合决定工作室气压的大小。实际沉箱下沉过程中，气压的调节还可根据开挖面土层干燥度等因素来调节，以利于遥控液压挖机挖土施工。气压应与地下水位压力值相差 100mm~150mm 的水柱高度，小于 1kPa 左右。

沉箱用气消耗公式按式 1 计算：

$$V_1 = k \cdot (\alpha F + \beta U) \cdot \left(1 + \frac{H}{10.33}\right) \quad (1)$$

式中：V₁——沉箱用气消耗量 (m³)；

F——工作室顶板及四周刃脚内表面积之和 (m²)；

U ——沉箱刀脚中心周长 (m);

α ——经过面积 F 每平方米逃逸的空气量 (m^3)。此值视混凝土的密实程度而定, 对表面未喷防水砂浆的可取 $\alpha = 0.5m^3/h \sim 0.6m^3/h$, 对内表面喷防水砂浆的取 $\alpha = 0.3m^3/h \sim 0.35m^3/h$;

β ——经过刀脚底部四周每延米每小时逃逸的空气量 (m^3)。视土质的透气程度而定, 对粘土取 $\beta = 1m^3/(h \times m)$, 对砂土取 $\beta = 2m^3/(h \times m) \sim 3m^3/(h \times m)$;

k_a ——施工消耗空气量系数, 一般取 $k = 1.2 \sim 1.3$;

H ——沉箱下沉至终沉标高时原静水头高度再加上 2m (m)。

6.4.4 施工现场必须配备备用供气设备及备用电源。

【条文说明】6.4.4 沉箱施工的原理是依靠沉箱内的气压平衡水土压力, 在沉箱施工过程中必须有稳定的气压, 若停电或者供气设备出现故障, 可能会造成沉箱突沉、土体失稳、设备损坏等严重的工程事故, 所以现场必须配备备用供气设备和备用电源, 保证沉箱施工过程的安全。

6.4.5 沉箱施工作业人员从常压进入高压或从高压回到常压必须符合有关规定。

【条文说明】6.4.5 在沉箱施工过程中, 作业人员进出气压工作室若不按照健康操作程序进行, 将会引起职业病, 严重时危及生命, 施工作业人员从常压进入高压和高压回到常压必须符合有关的规定。本条涉及人身安全。

作业人员从常压环境进入高压环境的健康操作程序为:

1 人员塔过渡舱内的主舱有压力时:

- 1) 作业人员进入进口闸, 关闭进口闸外门。
- 2) 舱内人员检查通讯及应急呼叫状态是否良好, 舱外操舱通过电视监控观察舱内人员的工作状态。
- 3) 开始加压, 加至与主舱平衡, 打开舱外平衡阀, 至压力完全平衡。
- 4) 舱内人员打开进口闸内门, 即可进入主舱的工作压力环境。
- 5) 此状态一次进入 2 人。

2 过渡舱内的主舱没有压力时:

第一种方法是:

- 1) 作业人员通过进口闸进入主舱, 并关闭进口闸内门。
- 2) 舱内人员检查通讯及应急呼叫状态是否良好, 舱外通过电视监控观察

舱内人员的工作状态。

3) 开始加压，加至与下部人舱段平衡，舱外工作人员开启主舱与人舱标准段之间的平衡阀。

4) 同时舱内作业人员开启主舱底部舱门上的平衡阀，待完全平衡后开启底部舱门。

5) 人员即可进入人舱段的压力环境中。

6) 此状态下一次进入 2 人。

第二种方法是：

1) 作业人员通过进口闸进入主舱，并关闭进口闸内门。

2) 舱内人员检查通讯及应急呼叫状态是否良好，舱外操舱通过电视监控观察舱内人员的标准段之间的平衡阀。

3) 同时舱内作业人员开启主舱底部舱门上的平衡阀，待完全平衡后开启底部舱门。

4) 人员即可进入人舱段的压力环境中。

5) 该状态一次可进入 6 人~8 人。

6) 人员进入前应先行检测作业环境内的危险有毒气体的情况。

从高压环境回到常压环境的健康操作程序为：

1 作业人员准备回到过渡舱前，舱外工作人员应关闭进口闸内门，并对过渡舱主舱进行加压。

2 将压力加至与下部人舱段平衡后，通知作业人员打开底部舱门上的平衡阀，待舱压完全平衡后，打开舱门。

3 作业人员进入过渡舱主舱内，关闭底部舱门，并通知舱外工作人员开始吸氧，舱外人员应密切注意舱内氧浓度值的变化(氧浓度应严格控制在 25% 以下)，随时保持通风状态。

4 待压力降至 0.12MPa 时，或继续吸氧减压，按程序逐步减至常压状态，作业人员出舱；或在减压至 0.12MPa 时，不停留直接减压出舱，在 5min 之内必须进入移动舱内，再加压至 0.12MPa，继续按程序吸氧减压；后者可大大缩短在过渡舱内停留时间。

6.4.6 沉箱挖土和出土应符合下列规定：

1 液压挖机的型号和数量可根据施工区域的土质情况及挖机的挖掘范围等综

合确定。

2 沉箱出土可根据实际情况选用吊桶法或螺旋出土法进行挖土施工。

3 挖机取土下沉时应先在井格中央形成锅底，逐步均匀向周围扩大，不宜掏挖刃脚踏面处土体，刃脚处应留有一定高度的土塞。

【条文说明】6.4.6 液压挖机的数量和型号需要满足沉箱内的挖掘作业，挖掘机应可挖至刃脚边，具体的数量可以根据沉箱的面积确定。

由于刃脚处为气体最容易逸出的通道，因此遥控液压挖机取土时一般应避免掏挖刃脚处土体，随着沉箱的下沉，刃脚处土体会逐渐被挤压至中间方向，再依靠遥控液压挖机取土即可。但沉箱下沉一定深度后，由于气压反力的影响使沉箱下沉缓慢，这时可适当分层掏挖刃脚土体，但应始终保留刃脚处部分土塞，防止气体外泄。同时此时沉箱的下沉可依靠助沉措施，如液压油缸压沉等来进行。

6.4.7 当沉箱偏斜达到允许值的 1/4 时应采用以下一种或者几种方法进行纠偏：

- 1 利用沉箱内挖土纠偏。
- 2 利用支承及压沉系统进行纠偏
- 3 利用增加堆载或偏心压重纠偏。
- 4 利用触变泥浆减阻纠偏。

【条文说明】6.4.7 沉箱下沉过程中不可避免会出现倾斜，在施工过程中需要及时纠偏，一般达到允许值的 1/4 时，就需及时纠偏，可以采取一种或者多种纠偏方式进行纠偏。

6.4.8 沉箱下沉困难时，根据实际情况可选用触变泥浆护壁下沉、压重下沉及压沉系统等助沉。

【条文说明】6.4.8 沉箱下沉困难时，可根据实际情况采取一种助沉方法或者几种助沉方法组合使用。助沉方法及原理见表 6.4.8 所示。

表 1 助沉方法及原理

工法名称		原理	适用性能
加 载 方 法	加 载 荷 重	在沉箱顶端堆放重物（各种型钢、预制混凝土块等），从而增加下沉力的方法	1.在下沉抵抗很大的情况下，仅靠增加上方堆载可能仍然不能满足要求，因此需要同时采用其他辅助工法。 2.由于上方堆载妨碍挖土作业，需要反复进行加载与卸载作业导致施工繁琐。

	压入	从埋地锚杆获得反力，借助于设置在沉箱顶端的加压桁架通过液压千斤顶将沉箱压入地基的方法。	由于采用强制性的垂直输入方式，因此倾斜少而且纠正容易。但是，刃脚以下地基是黏性土的情况下，如果压入下沉采用过多导致黏性土地基固结，会导致刃脚反力增大。
减小摩擦方法	涂抹特殊表面活性剂	在沉箱外表面涂抹表面活性剂，极力降低摩擦系数从而降低摩擦抵抗的方法。	1.对于黏性土地基有良好效果，但是对于砂质土/硬质地基通常不能期待其效果。 2.需要同时采用其他辅助施工方法。
	高压空气	事前在沉箱侧壁上分段设置空气喷射孔，通过该喷射孔喷射压缩空气从而降低摩擦抵抗的方法。	1.对于黏性土地基，由于消除了粘着力而有良好效果，但是对于砂质土地基由于空气消散效果较小。 2.对于鹅卵石/漂石地基几乎没有任何效果。
	高压水	用高压水取代压缩空气，通过喷射高压水从而降低摩擦抵抗的方法。	1.对于黏性土/粉土的细颗粒土地基效果明显，但是喷射方法的不同对地基有不同程度的扰动。 2.对于鹅卵石/漂石地基几乎没有任何效果。 3.一般同时还采用其他辅助施工方法。
	泥水注入	通过设置在沉箱侧壁上的孔向沉箱与侧壁间注入比重重的膨润土等泥水从而降低摩擦抵抗的方法。	对砂质土地基效果明显而且对地基的扰动也小。但是在地下水流动的情况下泥水也有可能流出。
	振动爆破	通过炸药爆破振动作用施加在沉箱上从而降低摩擦抵抗的方法。	1.如果火药量过多可能会损伤刃脚。 2.需要注意对周围建（构）筑物的影响。
	夹入薄膜	在沉箱外周面和地基之间布置薄钢板或是与地基紧密结合的高分子强化薄膜从而降低摩擦抵抗的方法。	在施工过程中切断夹入薄膜的情况下破坏周围摩擦力的平衡从而容易导致沉箱下沉倾斜。

6.4.9 沉箱施工时防漏气措施可采用以下方法：

- 1 沉箱外围设置泥浆套，填充沉箱外壁与周边土体空隙。
- 2 调整工作室的气压，使其略低于地下水位。
- 3 刃脚处设置土塞，使其隔绝气体渗漏通道。

【条文说明】6.4.9 沉箱施工中主要是靠气压维持坑外的水土压力，需要防止气体外漏。通过设置泥浆套、刃脚留土塞都可以有效减少气体泄漏。在进入砂层或者杂填土等孔隙率较大的土层时，其气体损失率较高，可以通过减小气压压力来降低漏气量，使得沉箱内的气压压力略低于地下水位即可，防止气体大量泄漏。

6.4.10 沉箱的下沉过程中的允许偏差宜符合表 6.4.10 的规定。

表 6.4.10 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
沉箱四角高差	≤1.0~1.5%L, 且≤450mm	下沉阶段	≥2次 / 8h	全站仪
		终沉阶段	1次 / h	
中心位移	≤1%H, 且≤150mm	下沉阶段	≥1次 / 8h	全站仪
		终沉阶段	≥2次 / 8h	
注：L 为矩形沉箱两角的距离（单位：mm）；圆形沉箱为互相垂直的两条直径；H 为下沉深度（单位：mm）；下沉速度较快时适当增加测量频率。				

6.5 压沉法下沉

6.5.1 压入式沉井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 压入式沉井下沉施工前应对顶进系统、传感器及测量仪器等进行调试；
- 3 井壁混凝土应达到强度要求。

【条文说明】6.5.1 压沉法是借助反力装置对沉井施加足够的下压力，并在井底适当取土的同时，将沉井压入土体，以消除土层差异的不利影响，实现沉井下沉全过程的有效控制。

6.5.2 当连接体系采用钢绞线时，应在下沉前对每根钢绞线实施预张拉，张拉强度应统一且不小于 20kN。

6.5.3 压入式沉井下沉宜采用不排水下沉工艺，应分析工程地质和水文地质资料，确保顺利下沉。

6.5.4 压入式沉井下沉应符合下列规定：

- 1 挖土应围绕结构实体由中心向周边，分层、均匀、对称进行；
- 2 顶力系统应在取土过程中按照需要反复启动，确保连接体系一直处于受拉状态。

【条文说明】6.5.4 压入式沉井下沉时，先压后取土的原则是指先实施压入动作，达到设定顶进系统顶力上限后方可实施挖土；纠偏为主原则是指压入过程中应对各个下压点顶进油缸进行行程监测，并对结构压入进尺进行测量，及时调整各个下压点的下压力。

6.5.5 采用反顶反力系统，当下沉初始阶段暂无法形成土塞且下沉系数大于 1.5 时，可视情况暂不启用压沉系统。

- 6.5.6** 采用钢绞线连接体系的压沉系统，发生钢绞线松弛现象应重新张拉。
- 6.5.7** 下沉纠偏宜采取局部加大顶进压力措施，并以挖土纠偏以及减阻纠偏作为辅助。
- 6.5.8** 采用空气幕减阻措施时，应控制开启频率及时间，若井内漏气应暂时停止使用。
- 6.5.9** 沉井接高或终沉前应采用最大设定顶力将沉井压入，随后拆除相关设备并进行维护。
- 6.5.10** 若抗浮需求较高，宜在完成封底及侧壁注入水泥浆后再拆除相关压入设备。

6.6 水域沉井与沉箱浮运及下沉

6.6.1 水域作业时，沉井与沉箱必须对浮运、就位和灌水着床时的稳定性进行验算。

【条文说明】6.6.1 浮运沉井与沉箱可采用钢筋混凝土薄壁沉井与沉箱、单壁或双壁钢壳沉井与沉箱及带临时井底和带气筒的沉井与沉箱等。

6.6.2 沉井与沉箱浮运前的施工准备应符合下列要求：

- 1 对所经水域和就位河床进行探查及清理，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 河床场地整平后应在水中铺设垫层，满足沉井着床及接高的地基承载力要求。
- 3 应检查拖运、定位、导向、锚碇、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，施工前应与海事和航道部门联系，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，并应备有导航船。

6.6.3 浮运沉井与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可选用滑道、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 江河中浮运、下沉、着床宜选在枯水期，且在水流速度小于 2m/s 时进行

作业；海中实施浮运、下沉及就位应结合所在海域的潮位、水流、波浪、风向等因素，综合选择适宜施工时间。

5 浮运壅水围壁高度应高出施工期最高水位不小于 1.0m。

【条文说明】6.6.3 浮运沉井与沉箱的浮运

1 水域沉井与沉箱浮运施工前，应对浮运的首节井（箱）体进行水密性检查及水压试验，符合要求后方可进行浮运。

2 采用起吊下水时，应对起重设备进行检查；在河岸有适合坡度，采用滑道、牵引等方法下水时，应严防倾覆。

6.6.4 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 布置锚碇体系时，应使锚绳受力均匀，锚绳规格和长度宜基本相同，边锚预拉力要适当；同时就位着床时需注意水位涨落时对锚碇体系的影响。

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、扭转等姿态。

5 在沉井、沉箱浮运、下沉的任何时间内，露出水面的高度均不应小于 1m，并应考虑预留防浪高度或设置防浪措施。

6 浮运沉井与浮运沉箱的接高制作与下沉可根据本规范相关章节规定执行。

【条文说明】6.6.4 浮运沉井（箱）下沉施工相关说明

1 浮运沉井与浮运沉箱的初步溜放定位宜设在井（箱）位上游 1 倍水深距离处，精确就位落河床前，应对缆绳、锚链、锚碇设备等进行检查和调整，调紧及松放定位锚绳应缓慢、均匀、有序。

6 浮运沉井（箱）的首节与陆域沉井（箱）区别较大，其余各节的接高均与陆地上的接高并无较大区别；下沉的方式也可根据陆域施工工艺和出土方式确定，排出的弃土不得随意丢弃或排放至水域内。

6.6.5 浮运沉井与浮运沉箱的防冲刷应符合以下规定：

1 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，发现问题应及时向井（箱）壁四周抛压砂袋或块石。

2 沉井着床后，应采取措使其尽快下沉，并加强对沉井上游侧冲刷情况的

观测和沉井平面位置及偏斜的检查，发现问题时立即采取措施并予调整。

3 水中特大沉井的施工，必要时应在沉井施工前进行河床防冲刷数学模型或水工模型模拟分析计算，以确保沉井顺利着床及下沉。

6.6.6 浮运沉井与浮运沉箱周边应设置防撞措施，必要时安排巡逻艇巡视，严防船舶及漂流物等的撞击。

6.6.7 浮运沉井与浮运沉箱在浮运与就位及下沉过程中，沉井和沉箱上应设置防撞警示灯，并满足海事和航标管理部门的要求，防止夜间船舶碰撞沉井(箱)事故发生。

6.7 助沉与纠偏

6.7.1 在下沉困难时，应采取合理助沉措施。助沉措施可选择以下一种或者多种方法：

- 1 触变泥浆套助沉。
- 2 空气幕助沉。
- 3 射水助沉。
- 4 井壁挖侧挖土助沉。
- 5 压重助沉。

6.7.2 触变泥浆隔离层的厚度宜为 150mm~200mm。根据沉井下沉时所通过的不同土层，其物理力学指标要求可按表 6.7.2 选用。

表 6.7.2 触变泥浆的物理力学性能指标

指标		砂	粉质粘土	粘土
密度 (g/cm ³)		1.20~1.25	1.10~1.20	1.10~1.15
失水量 (mL/30min)		12~15	15~20	12~15
泥皮厚 (mm)		2~4	2~3	2~5
静切力 (mg/cm ²)	1min	30~60	30~50	20~40
	10min	60~80	50~80	40~80
粘度 (s)		25~35	22~30	20~25
胶体率 (%)		99~97	100~98	98~97
稳定性 (g/cm ³)		0.01~0.02	0.00~0.03	0.02~0.03
pH 值		≥8	≥8	≥8
含砂率 (%)		<4	≤3	≤4

6.7.3 采用触变泥浆助沉及纠偏施工时，应符合下列规定：

- 1 沉井刃脚踏面宽度不宜大于 100mm。
- 2 井外壁应做成台阶形，台阶宽度宜为 50mm~100mm。

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、水泥砂浆或其他材料来置换触变泥浆。

6.7.4 采用空气幕助沉及纠偏施工时，应符合下列规定：

1 空气幕压力值宜取最深喷气孔处理论水压力的 1.6 倍，每个气龛的供气量宜为 $0.023\text{m}^3/\text{min}$ ，施工前应设置必要数量的空压机和储气包，在刃脚外踏面处应设置密封装置。

2 压气顺序应自上而下进行，关气时则应自下而上进行。

3 气龛的形状宜为倒梯形，喷气孔的直径宜为 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ ，且 $1.5\text{m}\sim 3\text{m}$ 范围内宜设置 2 个喷气孔，刃脚以上 3m 内不宜设置喷气孔。

4 空气幕助沉时间应根据实际情况确定，不宜超过 2h 。

5 采用空气幕减阻措施时，应控制开启时间。若井内漏气，应暂时停止使用。

6.7.5 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 反压桩的抗拔力应满足助沉反压力的要求。

6.7.6 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。

6.7.7 下沉过程易发生倾斜、水平位移及旋转等偏差，纠偏前应认真分析产生偏转倾斜的原因。

6.7.8 下沉过程中应进行井体及箱体位置、倾斜及受力状况等的监测工作，特殊工况时，应增加监测密度。

6.7.9 沉井下沉过程中的允许偏差宜符合表 6.2.8 的规定；沉箱下沉过程中的允许偏差宜符合表 6.4.10 的规定。

6.7.10 当沉井与沉箱偏斜达到表 6.2.8 和表 6.4.10 中任意一项允许值的 $1/4$ 时，应立即纠偏。

6.7.11 沉井与沉箱纠偏应作到勤测勤纠，小角度纠偏，避免因纠偏幅度过大而对周边土体产生较大扰动。

6.7.12 沉井与沉箱在下沉过程中发生倾斜偏转时，可选用以下一种或几种方法进行纠偏：

1 井内挖土纠偏。

2 采用降低局部侧壁摩阻力纠偏。

- 3 利用增加堆载或偏心压重纠偏。
- 4 利用触变泥浆减阻纠偏。
- 5 利用空气幕减阻纠偏。
- 6 井外单侧挖土纠偏。
- 7 对角线两脚除、填土纠偏。
- 8 先倾后直法纠偏。

【条文说明】6.7.12 沉井在下沉过程中发生倾斜偏转时，可选用以下一种或几种方法来进行纠偏：

1 井内挖土纠偏

沉井在入土较浅时，容易产生倾斜，但也比较容易纠正。纠正倾斜时，如系排水下沉，可在沉井刃脚高的一侧进行人工或机械出土。在刃脚低的一侧应保留较宽的土堤，或适当回填砂石。如系不排水下沉的沉井，一般可在靠近刃脚高的一侧吸泥或抓土，必要时潜水员可配合在刃脚下出土。

2 采用降低局部侧壁摩阻力纠偏

在井外高的一侧使用触变泥浆、注水、填砂等措施，以减少下沉摩阻力，实现高的一侧沉井加快下沉，起到纠偏的作用。

3 利用增加堆载或偏心压重纠偏

由于弃土堆在沉井一侧，或由于其他原因造成的沉井两侧有土压力差，使沉井产生偏斜。在沉井倾斜低的一侧回填砂或土，并进行夯实，使低的一侧产生的土压力大于沉井高的土压力，亦可起到纠偏的作用。如在沉井高的一侧压重，最好使用钢锭或生铁块，这时沉井高的一侧刃脚下土的应力大于低的一侧刃脚下土的应力，使沉井高的一侧下沉量大些，亦可起到纠正沉井倾斜的作用。

6 井外单侧挖土纠偏

在沉井刃角高的一侧外部地面单侧取土，减少土压力，使其下沉。

7 对角线两脚除、填土纠偏

在沉井的两对角偏除土，在另外两对角偏填土，借助刃脚下土压力不相等所形成的扭矩，使沉井在下沉过程中逐步纠正其位置。

8 先倾后直法纠偏

当沉井中心线与设计中心线不重合发生位移时，可先在一侧挖土，使沉井倾斜，然后均匀挖土，使沉井沿着倾斜方向下沉到沉井底面中心线接近设计中心线

的位置时，再在对侧除土，使沉井恢复竖直，如此反复进行，使得沉井逐步接近设计中心线。

6.8 封底

6.8.1 封底可分为沉井封底与沉箱封底。

6.8.2 沉井下沉至设计标高，应待 8h 沉降量不大于 10mm 后，方可进行封底。沉井可采用干封底或水下封底。

【条文说明】6.8.2 当沉井下沉至设计标高，基本稳定以后，经测量，8 小时内沉降量不大于 10mm，即可进行沉井的封底工作。

6.8.3 沉井采用干封底施工时应符合下列规定：

- 1 沉井基底土面应全部挖至设计标高，混凝土凿毛处应洗刷干净。
- 2 在井内应设置集水井，并不间断抽除积水与排气，井内积水应排干，集水井封闭应在底板混凝土达到设计强度及满足抗浮要求后进行。
- 3 封底宜分格对称进行。

6.8.4 沉井采用水下封底时应符合下列规定：

- 1 基底为软土层时应清除井底浮泥，修整锅底，铺填碎石垫层。
- 2 封底混凝土与井壁结合处应洗刷干净。
- 3 水下封底混凝土应在沉井全部底面积上连续浇筑。宽度不大于 10m 的沉井宜一次浇筑，大于 10m 的沉井宜分仓浇筑。
- 4 水下封底混凝土在使用多根导管浇筑时，每根导管的停歇时间不宜超过 15min~20min。
- 5 封底水下混凝土达到设计强度 70% 并满足设计要求后，方可抽除沉井内的水。

6.8.5 沉箱封底混凝土浇筑施工过程中应符合下列要求：

- 1 混凝土导管应密封，并进行气密性试验，在导管上应设置闸门。
- 2 封底浇筑顺序应从刃脚处向中间对称浇筑。
- 3 在封底混凝土浇筑的过程中，应维持工作室气压的稳定。

【条文说明】6.8.5 本条给出沉箱封底混凝土浇筑施工过程中的规定：

沉箱封底在浇筑混凝土的过程中，应加强工作室气压的测量工作，使其保

持稳定。混凝土的浇筑使得工作室的空间减少，加上可能产生的漏气，若气压测量有变化，应进行加气或者排气，保证工作室气压的稳定，不至于产生沉箱上浮或者下沉的问题。混凝土浇筑的速度应与气压值的增减相匹配，浇筑时可根据现场情况，根据浇筑速度进行设定，以保证工作室气压的稳定。

6.8.6 封底混凝土到设计强度后可停止供气，在封底后再进行底板预留孔的封堵。

6.8.7 沉箱封底混凝土应采用自密实混凝土，且应保持混凝土浇筑的连续性，封底结束后应通过底板处预埋注浆管按要求注入水泥浆，用以充填工作室顶板底与封底混凝土之间的空隙。

【条文说明】6.8.7 沉箱封底混凝土第一次浇筑应封堵锅底部分及刃脚面以上1m左右部位，在封底混凝土达到强度要求后，适当降低工作室气压后，工作人员进入工作室拆除设备，再进行第二次封底混凝土的浇筑。施工中应利用多辆泵车连续浇筑，并保证能够充填整个工作室，浇筑混凝土应具有较大的流动性。

7 质量控制与验收

7.1 一般规定

7.1.1 沉井、沉箱质量验收时，应检查主控项目和一般项目，主控项目应包含以下内容：

- 1 混凝土强度；
- 2 井（箱）壁厚度；
- 3 封底前下沉速率；
- 4 终沉后刃脚平均标高；
- 5 终沉后刃脚中心线位移；
- 6 终沉后四角中任何两角高差。

【条文说明】7.1.1 按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202 的规定，对沉井、沉箱质量验收的主控项目作了规定。

7.1.2 沉井、沉箱制作使用的钢筋、电焊条、钢筋机械连接接头、混凝土的质量保证资料应齐全，并应符合国家有关标准的规定和设计要求。

【条文说明】7.1.2 沉井、沉箱作为地下永久结构时，其原材料还应满足耐久性要求。

7.1.3 沉井、沉箱混凝土浇筑前，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。

【条文说明】7.1.3 沉井、沉箱制作的模板、钢筋施工需按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定进行质量验收。

7.1.4 沉井、沉箱拆模后应进行混凝土的外观质量检查和强度、抗渗等级检测，符合要求后方可下沉。浮运沉井或沉箱尚应做起浮可能性检查。

7.1.5 沉井、沉箱下沉过程中应对下沉偏差进行检验。

【条文说明】7.1.5 下沉过程中的偏差情况，虽然不作为验收依据，但是偏差太大会影响终沉标高，尤其刚开始下沉时，应严格控制偏差不要过大，否则终沉标高不易控制在要求范围内。下沉过程中的控制，一般可控制四个角，当发生过大的纠偏动作后，要注意检查中心线的偏移。

7.1.6 沉井、沉箱工程的质量验收除应符合本标准规定外，尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 及《地下防水工程施工质量验收规范》GB50208 的规定。

7.2 沉井、沉箱制作

7.2.1 砂垫层的施工质量应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202 的规定，并应符合下列规定：

- 1 砂垫层宜采用中粗砂，其颗粒级配试验每个单体工程不应少于 1 组；
- 2 砂垫层每层的压实系数应达到设计要求后铺填上层；设计无要求时，压实系数应达到 0.93；
- 3 压实系数的检验点应按照铺筑的层数进行分层布设，按环边铺设时每 10m 不应少于 1 个点，满堂铺设时每 50m² 不应少于 1 个点，且每个单体工程不应少于 3 个点；
- 4 压实系数可采用环刀法或钢钎贯入度法检验，环刀法检验砂垫层的施工质量时，取样点应位于每层厚度的 2/3 处；
- 5 砂垫层厚度不应小于设计厚度，每 50m² 应布设检验点不少于 1 个，且每个单体工程不应少于 4 个点。

【条文说明】7.2.1 对砂垫层的施工质量验收作了规定。

2 提高砂垫层的密实度，可采取边洒水边用平板振捣器振实的方法。

4 钢钎贯入度法是现场测定砂基础密实度的常用方法，试验原理是将一定规格尺寸的钢筋在规定的高度自由垂直下落，测量其插入砂面的深度，根据其贯入深度确定填砂的密实度，从而对施工质量进行验收。符合质量控制要求的贯入度值应根据砂样品种通过试验确定。

5 砂垫层厚度可按照本规程第 4.2 节相关公式进行验算。

7.2.2 混凝土垫层的施工质量检验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定，并应符合下列规定：

- 1 用于检验混凝土强度等级的试件取样不得少于 1 组；
- 2 混凝土表面不得有严重缺陷，表面平整度不应大于 5mm；
- 3 位置和尺寸偏差的检查数量，每边不应少于 1 处，且每个单体工程不应少于 3 处。

【条文说明】7.2.2 对混凝土垫层的施工质量验收作了规定。混凝土垫层的厚度可按照本规程第 4.2 节相关公式进行验算。

7.2.3 沉井、沉箱结构制作的主控项目偏差应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 沉井、沉箱结构制作主控项目允许偏差

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	
1	混凝土强度	不小于设计值	执行现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定		28d 试块强度或钻芯法
2	井壁、箱壁厚度(mm)	±15	每边	3 (两端、中间各取 1 点)	丈量
			圆形沉井或沉箱不少于 4 点		

7.2.4 沉井、沉箱结构制作的一般项目偏差应符合表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 沉井、沉箱结构制作一般项目允许偏差

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	
1	长度	±0.5%L ₁ 且≤100	每边	2	丈量
2	宽度	±0.5%B 且≤50	每边	2	丈量
3	高度	±30	每边	3	丈量
			圆形沉井或沉箱不少于 4 点		
4	直径(圆形沉井或沉箱)	±0.5%D ₁ 且≤100	每节	2(互相垂直)	丈量
5	对角线	±0.5%线长 且≤100	2		丈量
6	井壁或箱壁隔墙垂直度(mm)	≤1‰H ₁	每边	2	经纬仪或线垂测量
			圆形沉井或沉箱不少于 4 点		
7	预埋件中心线位置(mm)	±20	每件	1	丈量
8	预留孔(洞)位移(mm)	±20	每件	1	丈量
			每孔(洞)	1	

注：1 L₁ 为设计沉井(箱)长度，(单位：mm)；B 为设计沉井(箱)宽度，(单位：mm)；H₁ 为设计沉井(箱)高度，(单位：mm)；D₁ 为设计沉井(箱)直径(单位：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。

7.2.5 水域沉井、沉箱结构制作的一般项目偏差应符合表 7.2.5 的规定。

表 7.2.5 水域沉井、沉箱结构制作一般项目允许偏差

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	

1	长度		$\pm 0.5\%L_1$ 且 ≤ 120	每边	2	尺量
2	宽度		$\pm 0.5\%B$ 且 ≤ 120	每边	2	尺量
3	半径(圆形沉井或沉箱)		$\pm 0.5\%D_1$ 且 ≤ 60	每节	2 (互相垂直)	尺量
4	对角线		$\pm 1\%$ 线长 且 ≤ 180	2		尺量
5	沉井或沉箱刃脚高程(mm)		符合设计要求	每个	4	尺量
6	最大倾斜度(纵、横向)(mm)		$1\%H_1$	每边	1	经纬仪或线垂测量
7	中心偏位(纵、横向)(mm)	就地制作下沉	$1\% H_1$	每边	1	尺量
		水中下沉	$1\% H_1$	每边	1	
8	平面扭转角($^\circ$)	就地制作下沉	1	每角	1	经纬仪或线垂测量
		水中下沉	2	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), D_1 为设计水域沉井(箱)直径(mm), H_1 为设计水域沉井(箱)高度(m);

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

3 井(箱)壁的表面应平滑、不外凸,且不得倾斜。

7.3 沉井、沉箱终沉与封底

7.3.1 沉井与沉箱开始下沉时,第一节混凝土强度应达到设计值,其余各节混凝土强度应达到设计值的70%及以上;分节下沉的沉井与沉箱,续沉时接高部分的混凝土强度应达到设计值的70%及以上。

7.3.2 沉井终沉后的允许偏差应符合表7.3.2的规定。

表 7.3.2 沉井终沉后允许偏差

序号	检查项目		允许偏差或允许值	检查数量		检验方法
				范围	点数	
1	刃脚平均标高(mm)		± 100	每座	4	水准仪测量
2	刃脚中心线位移(mm)	$H_3 \geq 10m$	$< 1\%H_3$	每边	1	经纬仪测量
		$H_3 < 10m$	≤ 100	每边	1	经纬仪测量
3	四角中任何两角高差(mm)	$L_2 \geq 10m$	$< 1\%L_2$ 且 ≤ 300	每角	2	水准仪测量

		$L_2 < 10$ m	≤ 100	每角	2	水准仪测量
--	--	-----------------	------------	----	---	-------

注： H_3 为下沉总深度，系指下沉前后刃脚之高差； L_2 为矩形沉井两角的距离，或圆形沉井互相垂直的两条直径。

7.3.3 沉箱终沉后的允许偏差应符合表 7.3.3 的规定。

表 7.3.3 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		检验方法
				范围	点数	
1	刃脚平均标高(mm)		± 50	每座	4	水准仪测量
2	刃脚中心线位移(mm)	$H_3 \geq 10$ m	$< 0.5\% H_3$	每边	1	经纬仪测量
		$H_3 < 10$ m	50	每边	1	经纬仪测量
3	四角中任何两角高差 (mm)	$L_2 \geq 10$ m	$< 0.5\% L_2$ 且 ≤ 150	每角	2	水准仪测量
		$L_2 < 10$ m	50	每角	2	水准仪测量

注： H_3 为下沉总深度，系指下沉前后刃脚之高差； L_2 为矩形沉箱两角的距离，或圆形沉箱互相垂直的两条直径。

7.3.4 压入式沉井（箱）终沉后的允许偏差应符合表 7.3.4 的规定。

表 7.3.4 压入式沉井（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		检验方法
				范围	点数	
1	刃脚平均标高(mm)		± 70	每座	4	水准仪测量
2	刃脚中心线位移(mm)	$H_3 \geq 10$ m	$< 0.7\% H_3$	每边	1	经纬仪测量
		$H_3 < 10$ m	≤ 70	每边	1	经纬仪测量
3	四角中任何两角高差 (mm)	$L_2 \geq 10$ m	$< 0.7\% L_2$ 且 ≤ 200	每角	2	水准仪测量
		$L_2 < 10$ m	≤ 70	每角	2	水准仪测量

注： H_3 为下沉总深度，系指下沉前后刃脚之高差； L_2 为矩形沉箱两角的距离，或圆形沉箱互相垂直的两条直径。

7.3.5 水域沉井、沉箱终沉后的允许偏差应符合表 7.3.5 的规定。

表 7.3.5 水域沉井、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		检验方法
				范围	点数	

1	刃脚平均标高(mm)		符合设计要求	每座	4	水准仪测量
2	中心偏位(纵、横向)(mm)	就地制作下沉	$1\%H_1$	每边	1	经纬仪测量
		水中下沉	$1\%H_1, +250$	每边	1	经纬仪测量
3	最大倾斜度(纵、横向)(mm)		符合设计要求	每边	1	经纬仪或线垂测量
4	平面扭转角($^{\circ}$)	就地制作下沉	1	每角	1	经纬仪或线垂测量
		水中下沉	2	每角	1	经纬仪或线垂测量

注： H_1 为设计水域沉井(箱)高度。

7.3.6 沉井、沉箱下沉至设计标高后,应在封底前8小时内每小时测1次沉降量,8小时的累计自沉量不应大于10mm。

7.3.7 沉井、沉箱封底前应检查坑底标高,标高应符合设计文件规定。

7.3.8 封底混凝土强度和厚度应满足设计要求,其施工质量检验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的规定。

7.3.9 封底结束后,应对底板与井壁接缝处的防水处理进行检验,防水标准应符合现行国家标准《地下防水工程施工质量验收规范》GB50208的规定。

【条文说明】7.3.9 封底结束后,常发生底板与井墙交接处的渗水,上海地区地下水丰富,混凝土底板未达到一定强度时,还可能发生地下水穿孔,造成渗水,渗漏验收要求可参照现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB50208。

8 工程监测

8.1 一般规定

8.1.1 在沉井与沉箱施工的全过程中，应对周边环境安全进行有效的监测，并为信息化施工提供参数，且应编制监测方案。

8.1.2 沉井与沉箱监测可按现行上海市工程建设规范《基坑工程施工监测规程》DG/TJ08-2001 执行。监测范围不应少于基坑边线外 2 倍的沉井、沉箱下沉深度，并应符合工程保护范围的规定，或按工程设计要求确定。

8.1.3 沉井与沉箱监测项目应根据结构特点、施工工艺、地质条件、环境保护等级等确定，可根据表 8.1.3 进行选择。

表 8.1.3 沉井与沉箱监测项目选择

工程监测等级	地下管线位移	地表土体沉降	建（构）筑物沉降	地下水水位	刃脚土压力	井壁外侧土压力	土体水平位移	土体分层沉降	钢筋应力
一级	√	√	√	√	◇	◇	√	◇	◇
二级	√	√	√	√	◇	◇	◇	◇	◇
三级	√	√	√	◇	◇	◇	◇	◇	◇

注：√为必选项目，◇为可选项目，可按设计要求选择

【条文说明】8.1.3 监控等级可根据环境保护等级确定，可分为下面三级：

一级监控：沉井与沉箱规模较大，所处位置地质条件复杂，而且沉井环境控制要求严格，如在建筑群中或邻近重要建（构）筑物时，采用一级监控。

二级监控：沉井与沉箱规模虽然不大，但所处位置的地质条件复杂，而且位于密集的建筑群中或邻近重要建（构）筑物时，采用二级监控。

三级监控：沉井与沉箱规模不大，又不在建筑群中施工，但地质条件较复杂时，采用三级监控。

8.1.4 监测单位编写监测方案前，应了解委托方和相关单位对监测工作的要求，并进行现场踏勘，搜集、分析和利用已有资料。沉井与沉箱施工前应根据沉井与沉箱工程的安全等级、环境保护等级和监测技术要求，编制监测方案。监测方案应包括以下内容：

- 1 沉井与沉箱工程概况。
- 2 场地工程地质条件、水文地质条件及基坑周边环境状况。
- 3 监测目的及监测依据。

- 4 工程监测等级。
- 5 工程潜在风险与对应监测措施。
- 6 监测项目、测点布置、监测方法及精度。
- 7 监测人员组成和主要仪器设备。
- 8 监测频率、监测数据的记录、处理与反馈制度。
- 9 各监测项目的报警值及异常情况下的监测措施。

8.1.5 当沉井与沉箱邻近重要建（构）筑物和管线、历史文物、近代优秀建筑、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，应编制专项监测方案并按相关管理部门的特殊要求增加监测项目。

【条文说明】8.1.5 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。

8.1.6 沉井与沉箱位置距河流水系的距离较近时，应增加地下水位监测，并应对防汛墙和大堤进行沉降监测。防汛墙和大堤的沉降监测点设置应得到相关部门的确认。

8.1.7 沉井与沉箱工作坑开挖前 3 天应完成监测项目初始值测定，并应取 2~3 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。

8.1.8 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委托方及相关单位。

8.1.9 当出现下列情况之一时，应立即通报各相关单位，同时应提高监测频率：

- 1 监测数据达到报警值；
- 2 监测数据变化较大或者速率加快；
- 3 存在勘察未发现的不良工程地质现象；
- 4 沉井与沉箱附近地面荷载突然增大或超过设计限值；
- 5 周边地面突发较大沉降或出现严重开裂；
- 6 邻近建（构）筑物突发较大沉降、不均匀沉降或出现严重开裂。

8.1.10 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。

8.1.11 监测（点）孔的布置应由基坑工程安全等级、环境保护等级、周边邻近建（构）筑物性质、地下管线现状、沉井与沉箱的类型及形状、位置以及挖土方

案、施工进度等因素综合确定。

8.1.12 监测数据应能反映沉井与沉箱和周边被监测对象的受力、变形的变化趋势，同时为设计和施工提供正确的数据和分析意见。

8.1.13 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。

8.2 监测与报警

8.2.1 沉井与沉箱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。

8.2.2 周边环境监测点布置应根据沉井与沉箱工程监测等级、周边邻近建（构）筑物性质、地下管线现状等确定，并应符合现行上海市工程建设规范《基坑工程施工监测规程》DG/TJ08-2001 的要求。重要地下公共设施安全保护区范围内的监测点应满足相关管理部门技术要求。

【条文说明】8.2.2 目前主要有以下相关管理部门的规定：

《上海市城市道路管理条例》2006年10月26日上海市第十二届人民代表大会常务委员会第三十一次会议修订通过。

《上海市轨道交通管理条例》2013年11月21日上海市第十四届人民代表大会常务委员会第九次会议修订通过。

《上海市合流污水治理设施管理办法》2001年1月9日上海市人民政府令第97号。

《上海市原水引水管渠保护方法》1995年1月6日上海市人民政府发布。

8.2.3 监测频率宜根据工程性质、施工工况按表 8.2.3 规定执行，若监测项目的日变化量较大时，应适当加密。

表 8.2.3 周边环境监测频率

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, 如监测数据超过报警值, 应 2 次/d
结构接高过程	1 次/1d
封底过程中	1 次/d, 如监测数据超过报警值, 应 2 次/d

封底结束后 7d~30d	1次/3d
后期 30d~60d	1次/15d

8.2.4 周边环境监测项目的报警值应根据监测对象的主管部门要求进行确定，当无明确要求时，可参考表 8.2.4 采用。

表 8.2.4 周边环境监控报警值

监测对象		报警项目		变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	备注
1	地下水水位变化			500	1000	
2	地下管线位移	刚性管线	压力	1~3	10~30	直接观察点数据
			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	裂缝宽度	建（构）筑物		持续发展	1.5~3.0	
		地表		持续发展	10~15	

注：建（构）筑物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 为承重结构高度）时应报警。

【条文说明】8.2.4 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（如电缆管和通讯管线）。其中刚性压力管道（如燃气管和自来水管线）对差异沉降较敏感，接头处是薄弱环节，是监测的重点，在测点布置时应优先考虑；无明确要求时，地下综合管廊的监测可参考邻近建（构）筑物的要求执行。

8.2.5 当监测值达到报警指标或出现风险征兆时，应及时通报各方及有关部门，协商处理。

8.3 监测资料

8.3.1 监测资料包括现场监测记录和技术成果文件，其中现场监测记录包括外业观测记录、现场巡检记录、视频及仪器电子数据资料等，监测技术成果文件包括监测方案、监测日报表（速报）、监测中间报告（阶段报告）和最终监测报告（总结报告）。

8.3.2 监测技术成果文件的内容应符合现行上海市工程建设规范《基坑工程施工监测规程》DG/TJ08-2001 的要求。

8.3.3 监测数据的处理与信息反馈宜采用专门的数据处理与管理软件,实现监测数据采集、处理、分析、查询和管理的一体化和监测成果的可视化。

8.3.4 监测结束后应编写完整监测报告,其内容包括:

- 1 工程概况。
- 2 监测依据。
- 3 监测项目。
- 4 测点布置。
- 5 监测设备和监测方法。
- 6 监测频率与监测报警值。
- 7 监测项目全过程的发展变化分析及整体评述。
- 8 监测工作结论与建议。

8.3.5 中间报告和最终报告应标识主要工程负责人、审核人、审定人、企业负责人以及企业名称等,并应加盖企业公章。

9 施工安全与环境保护

9.1 一般规定

9.1.1 施工过程中的安全和环境保护应符合现行行业标准《建筑施工安全检查标准》JGJ59、《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ146 及现行上海市工程建设规范《文明施工规范》DGJ08-2102 的有关规定。

9.1.2 施工机械的使用应符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33 的规定。

9.1.3 施工临时用电应符合现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规定》JGJ46 的规定，对沉箱工程应配备备用电源。

9.1.4 对危险性较大的分部分项工程，应按规定单独编制专项施工方案，针对其重大危险源制定专项安全技术措施，并经论证通过后实施。

9.1.5 为预防和应对突发事件的发生，施工单位应在施工组织设计中编制应急预案，对可能出现的险情拟定对策和预案，并在现场备好应急抢险材料。

9.1.6 施工单位应在施工组织设计中编制关于控制噪声、扬尘、强眩光、污水及其他污染物排放的专项措施，将对周边居民和环境的影响降到最低限度。

9.2 施工安全

9.2.1 沉井内宜安装智能视频监控系统，避免人员的频繁进出。对有突沉风险的沉井工程宜采用智能机械化施工，避免人工冲水。

9.2.2 沉箱施工作业人员从常压进入高压或从高压回到常压均应符合相关操作程序与规定。

9.2.3 排水施工作业人员应在有防护措施的施工平台上作业，严禁在底梁下作业或直接进入土体内进行作业。

9.2.4 采用不排水方式下沉及水下封底作业时，潜水员应是具备相应资质的专业人员，并配备完好的救生设备，其工作程序应严格按照作业方案规定。

9.2.5 沉井与沉箱施工中应加强对地下不明气体的检查，避免有害气体对操作人员造成伤害。在施工过程中执行换气时应先测试其是否含有害气体，如果含有有害气体，按缺氧换气的方法排出有害气体，有害气体的排放应符合国家规定的允许排放值。

9.2.6 井内供作业人员上下的爬梯应设置护栏以及护圈。外侧爬梯与地面之间应留有一定的距离，以防止沉井或沉箱突沉之后爬梯的上拱。

9.2.7 各类垂直运输机械的安装及拆卸，应由具备相应资质的专业人员进行，其工作程序应严格按照作业方案规定。

9.2.8 大型设备在井壁周边作业时，应有专人监护，并与井壁保持一定的安全距离，防止井壁周边土地下沉带来的危险情况。

9.2.9 沉井与沉箱施工时各种脚手架应根据施工的要求选择合理的构架形式，并制定搭设、拆除作业的程序和安全措施。

9.2.10 模板及支架应具有足够的强度、刚度和稳定性，能可靠地承受新浇混凝土自重、侧压力和施工中产生的荷载及风荷载。

9.2.11 沉井与沉箱施工时外排脚手架应与模板脱开。

9.2.12 模板拆除顺序应按设计方案进行。

9.3 环境保护

9.3.1 开工前应了解施工场地周边可能受影响的建筑物，构筑物，地下管线，地下设施等情况，并制定相应的保护措施。

9.3.2 为保护周边环境采取加固隔离措施时，应分析隔离措施可能对沉井或沉箱施工的影响，避免增加的隔离措施成为后续施工的障碍。

9.3.3 工程实施阶段，应对需保护的對象定期进行监测，出现异常变形或者变形超过设计限制时应暂停施工，查明原因，采取相应措施或调整施工方案。

9.3.4 施工现场应采用封闭围挡，当施工作业点距离居民住宅、医院、学校等敏感建筑物较近时，宜增高围挡或在围挡上设置隔声屏障等，围挡及隔声屏障设置应符合相关规范标准和规定。

9.3.5 施工现场出入口处应设置冲洗设施、污水池和排水沟，由专人对进出车辆进行清洗保洁。

9.3.6 施工现场应设置排水系统。产生的施工废水应经过沉淀过滤达到国家标准后，方可排入公用市政排水管网。排水系统严禁与泥浆系统串联，严禁向排水系统排放泥浆。

9.3.7 施工过程中产生的废土、渣土应集中堆放，及时清理。堆放处应选择在不影响施工安全和操作条件的场地，底面应硬化处理，周边应有矮墙围挡，上有遮

挡。废土外运车辆应密封，车辆及车胎应保持干净，防止污染道路。

9.3.8 施工现场强光照明灯应配有防眩光罩，照明光束应俯射施工作业面。进行电焊作业时，应采取有效的弧光遮蔽措施。

9.3.9 采用排水下沉法作业时，排出的泥水宜采用泥水分离器进行处理，产生的废水达到国家排放标准后方可排入市政排水管网，渣土应按政府要求进行外运处置。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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，在条件允许时首先应这样做的用词：

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用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的，写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。

引用标准名录

- 1 《碗扣式钢管脚手架构件》 GB24911
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 3 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202
- 4 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33
- 5 《建筑施工安全检查标准》 JGJ 59
- 6 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》 JGJ 130
- 7 《建筑施工现场环境与卫生标准》 JGJ 146
- 8 《基坑工程技术标准》 DG/TJ 08-61
- 9 《文明施工规范》 DGJ 08/2102