



T/CECS XXX—2024

中国工程建设标准化协会标准

沉井工程技术规程

Technical specification for open caisson engineering

（征求意见稿）

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

沉井工程技术规程

Technical specification for open caisson engineering

T/CECS XXX-202X

主编单位：广州市市政集团有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月X日

中国XX出版社

202X 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2023〕10 号）的要求，编制组经过深入调查研究，认真总结近年来国内外沉井工程实践经验，参考有关国内、国际标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语与符号；3. 基本规定；4. 岩土工程勘察；5. 设计；6. 陆域沉井施工；7. 水域沉井施工；8. 监控；9. 安全与环境保护。

本规程由中国工程建设标准化协会贮藏构筑物专业委员会归口管理，由广州市市政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，请寄送广州市市政集团有限公司（地址：广州市越秀区环市东路 338 号银政大厦 7 楼，邮政编码：510060），以供今后修订时参考。

主编单位：广州市市政集团有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

参编单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

广州市市政工程设计研究总院有限公司

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

中国铁建港航局集团有限公司

同济大学

东南大学

中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

广州市净水有限公司

上海公路桥梁（集团）有限公司

中铁第六勘察设计院集团有限公司

广州电力设计院有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

广州市盾建建设有限公司

广州市市政工程协会

主要起草人：XXX X X X X

主要审查人：XXX X X X X

广州市市政集团有限公司

目 次

1	总则	11
2	术语与符号	12
2.1	术语	12
2.2	符号	13
3	基本规定	20
4	岩土工程勘察	21
4.1	一般规定	21
4.2	工程地质勘察	22
4.3	水文地质勘察	24
4.4	勘察成果	25
5	设计	27
5.1	一般规定	27
5.2	方案设计	30
5.3	设计计算内容	38
5.4	承载能力极限状态计算	41
5.5	正常使用极限状态计算	45
5.6	沉井稳定性计算	47
5.7	沉井结构计算	66
5.8	沉井构造设计	92
5.9	材料和耐久性设计	101
6	陆域沉井施工	106
6.1	一般规定	106
6.2	制作	108
6.3	取土	115
6.4	下沉	118
6.5	接高	124

6.6	封底、底板与填仓	125
6.7	顶板施工	127
6.8	质量检验	128
7	水域沉井施工	131
7.1	一般规定	131
7.2	制作	132
7.3	出运	134
7.4	浮运	139
7.5	定位与下沉	141
7.6	接高	143
7.7	质量检验	143
8	监控	146
8.1	一般规定	146
8.2	监测内容和方法	147
8.3	预警	148
8.4	监测资料编制	149
9	安全与环境保护	150
9.1	一般规定	150
9.2	机械设备使用	151
9.3	临时用电管理	151
9.4	临边防护	152
9.5	有限空间安全措施	153
9.6	水上作业安全措施	154
9.7	环境保护	155
9.8	智能监控设备	157
	附录 A 荷载与作用	158
	附录 B 分项系数取值及作用组合	176
	附录 C 裂缝宽度及变形限值	181

附录 D 沉井刃脚计算.....	184
附录 E 圆形沉井倾斜状态的内力计算.....	189
附录 F 带中隔墙圆形沉井的内力计算.....	193
附录 G 单、双孔圆端形、椭圆形沉井的内力计算.....	198
附录 H 顶管沉井主动、被动土压力合力计算公式.....	200
附录 J 多孔矩形沉井外壁水平弯矩计算.....	201
附录 K 刚性沉井基础的水平位移及作用效应计算.....	203
本规程用词说明.....	207
引用标准名录.....	208
条文说明.....	211

Contents

1	General provisions.....	11
2	Terms and symbols.....	12
2.1	Terms.....	12
2.2	Symbols.....	13
3	Basic requirements.....	20
4	Geotechnical investigation.....	21
4.1	General requirements.....	21
4.2	Engineering geological investigation.....	22
4.3	Hydrogeological Investigation.....	24
4.4	Investigation Results.....	25
5	Design.....	27
5.1	General requirements.....	27
5.2	Conceptual design.....	30
5.3	Calculation for design.....	38
5.4	Ultimate limit states.....	41
5.5	Serviceability limit states.....	45
5.6	Stability calculation.....	47
5.7	Structural calculation.....	66
5.8	Structural design.....	92
5.9	Materials and durability design.....	101
6	Land-based open caisson construction.....	106
6.1	General requirements.....	106
6.2	Fabrication.....	108
6.3	Excavation.....	115
6.4	Sinking.....	118
6.5	Steining raising.....	124
6.6	Bottom plug, slab and backfill.....	125
6.7	Topping.....	127
6.8	Quality inspection.....	128
7	Water-based open caisson construction.....	131

7.1	General requirements.....	131
7.2	Fabrication.....	132
7.3	Departure.....	134
7.4	Floating.....	139
7.5	Positioning and sinking.....	141
7.6	Steining raising.....	143
7.7	Quality inspection.....	143
8	Monitoring.....	146
8.1	General requirements.....	146
8.2	Content and methods.....	147
8.3	Monitoring and alarm.....	148
8.4	Documentation.....	149
9	Safety and environmental protection.....	150
9.1	General requirements.....	150
9.2	machinery and equipment.....	151
9.3	Temporary electrical management.....	151
9.4	Edge protection.....	152
9.5	Safety measures for confined spaces.....	153
9.6	Safety measures for water-based operations	154
9.7	Environmental protection.....	155
9.8	Intelligent monitoring equipment.....	157
Appendix A Loads and actions.....		158
Appendix B Partial coefficient values and load combinations.....		176
Appendix C Crack width and deformation limits.....		181
Appendix D Calculations for the cutting edge.....		184
Appendix E Internal-force calculation for the tilting circular open caisson.....		189
Appendix F Internal-force calculation for the circular open caisson with the partition wall.....		193
Appendix G Internal-force calculation in single-cell and double-cell circular-ended and elliptical open caissons.....		198
Appendix H Calculation for the resultant active and passive earth		

<u>pressure on a jacked caisson.....</u>	<u>200</u>
<u>Appendix J Calculation of horizontal bending moment on the steining</u>	
<u>of rectangular open caisson with multi-cells.....</u>	<u>201</u>
<u>Appendix K Calculation of horizontal displacement and action effects</u>	
<u>for rigid caisson foundations.....</u>	<u>203</u>
<u>Explanation of wording in this specification.....</u>	<u>207</u>
<u>List of quoted standards.....</u>	<u>208</u>
<u>Addition: Explanation of provisions.....</u>	<u>211</u>

广州市市政集团有限公司

1 总则

1.0.1 为在沉井建设工程中，贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理，控制质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本标准适用于市政工程、公路工程、铁路工程、水利水电工程、港口与航道工程、电力工程、房屋建筑工程、贮藏工程等领域中沉井工程的勘察、设计、施工、监测与检验、安全与环境保护。

条文说明：市政工程中的给水排水工程、地下停车场、泵站；公路/铁路工程中桥梁基础、隧道竖井等地下设施；水利水电工程中水闸和水电站基础；港口与航道工程中码头结构基础、防波堤、航道设施基础；电力工程中的电力设施基础、电缆隧道竖井；房屋建筑工程中地下室基础、人防工程；贮藏工程中贮粮、贮油和贮气等设施用沉井的设计和施工。

1.0.3 沉井工程除应符合本规程中的有关规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 沉井 open caisson

在地面上制作，通过内部挖土下沉至地下预定深度的井筒结构。

2.1.2 陆域沉井 land-based open caisson

在陆地或筑岛上建造的沉井。

2.1.3 水域沉井 water-based open caisson

在江河、湖泊、海洋等开阔水体中直接建造的沉井。

2.1.4 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。

2.1.5 泥浆套减阻法 friction reduction by slurry sleeve

通过井壁中预埋管路向壁外注入泥浆，在井壁四周形成泥浆套，降低井壁摩阻力的方法。

2.1.6 空气幕减阻法 air curtain

在沉井构造中增加一套压气系统，通过预埋的喷气管路，在下沉过程中向井壁外四周压入高压空气形成空气帷幕，降低井周摩阻力的方法。

2.1.7 砂套减阻法 friction reduction by sand sleeve

随着沉井下沉在井壁外侧回填松散砂，减少井壁与原状土层直接接触，从而降低井周摩阻力的方法。

2.1.8 刃脚 cutting edge

井壁最下端支承沉井的重量、切土下沉和挡土的刃状结构。

2.1.9 单孔沉井 single-cell open caisson

沉井的横向截面只有一个井孔。

2.1.10 多孔沉井 multi-cell open caisson

沉井的横向截面有两个或两个以上的井孔，各孔之间以内隔墙分开。

2.1.11 排水下沉 shaft sinking with dewatering

沉井下沉过程中，降低井内水位至开挖面以下进行取土下沉的方法。

2.1.12 不排水下沉 shaft sinking without dewatering

沉井下沉过程中，控制并保持井内水位，进行取土下沉的方法。

2.1.13 圈梁 collar foundation

建造在沉井外围用于承担机械荷载及施工过程中的各种作用力的钢筋混凝土结构或钢结构。

2.1.14 气龛 air niche

沉井外壁上凹槽及槽中的喷气孔。

2.1.15 下沉系数 subsidence factor sinking

沉井下沉时向下作用力与阻力的比值。

2.2 符号

2.2.1 作用、作用效应和抗力

A_d ——偶然作用的设计值；

A_{EK} ——水准地震作用标准值；

c_g ——水泥加固土的粘聚力；

E_a ——沉井外主动土压力合力标准值；

$E_{ep,k}$ ——沉井前方主动土压力合力标准值；

E_J ——沉井外静止土压力合力标准值；

E_p ——沉井外被动土压力合力标准值

E_{pk} ——沉井后背墙后被动土压力合力标准值；

f_a ——修正后的地基承载力特征值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{ki} ——第 i 层单位摩阻力标准值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

$F_{bf,k}$ ——沉井底面有效摩阻力标准值；
 F_{dk} ——设计总顶力标准值；
 $F_{ep,k}$ ——刃脚底部主动土压力标准值；
 F_f ——沉井风阻力；
 F_i ——沉井前后侧水平力标准值；
 F_j ——施工总顶力标准值；
 F_{pk} ——刃脚底部被动土压力标准值；
 F_q ——卷扬机总牵引力；
 F_t ——拖带力标准值；
 F_w ——下沉过程中地下水的浮托力；
 F_{wl} ——沉井受到的静水压力合力标准值；
 G ——沉井重力；
 G_1 ——沉井第一节沿井壁单位长度重量；
 G_{ik} ——第 i 个永久荷载标准值；
 G_k ——沉井自重标准值；
 G_{kc} ——每次接高后的井体总重量；
 G_{kcs} ——每次接高后的沉井施工荷载、外加助沉重量等标准值；
 G_s ——沉井施工荷载、外加助沉重量等标准值；
 G_{xk} —— x 高度范围的沉井自重；
 G_z ——沉井抽出垫木前的重量；
 G_z^1 ——沉井首节的重量；
 G_z^{S1} ——沉井首节施工荷载、外加助沉重量等；
 H_{ia} ——沉井前后滑动水平力标准值；
 M ——每米宽度最大弯矩的设计值；
 M_{0max} ——跨中最大弯矩；
 $M_{aov,k}$ ——沉井抗倾覆弯矩标准值；
 $M_{ov,k}$ ——沉井倾覆弯矩标准值；

N ——素混凝土垫层正截面承受轴向力设计值；

p_q ——单条气囊工作压强；

p_s ——基底压力标准值；

P ——预应力作用的有关代表值；

P_i ——沉井竖向力标准值；

P_q ——单条气囊承载力；

P_t ——顶管力设计值；

P_{tk} ——顶管顶力标准值；

P_{tb} ——反力墙后背土体允许最大顶力设计值；

P_{wk} ——承压水层顶部的水压力标准值；

P_x ——距刃脚底面 x 变阶处的井壁拉力；

q ——井壁每米重量；

q_{Amax} ——壁板后土抗力的最大值；

q_d ——沉井顶面摩阻力；

q_t ——作用在井壁高度等壁厚段上的平均荷载；

q_x ——距刃脚底面 x 变阶处的摩阻力；

Q ——由刃脚传来的水平力；

Q_{1k} ——第 1 个可变荷载的标准值；

Q_{jk} ——第 j 个可变荷载的标准值；

R ——砂垫层的承载力设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值；

S_d ——作用效应组合的设计值；

$S_{d,dst}$ ——不平衡作用效应的设计值；

$S_{d,stb}$ ——平衡作用效应的设计值；

T_f ——侧壁与土的总摩阻力的标准值；

W ——作用在井壁高度等壁厚段上的水压力；

W_0 ——基本风压；

W_k ——单位面积风阻力；
 W_t ——截面受拉边缘的弹性抵抗矩；
 γ_i ——承压水层顶面至沉井底间各土层的重度标准值；
 γ_w ——水的重度；
 $\sigma_{\text{压}}$ ——垫木挤压应力；
 τ ——垫木横截面剪应力。

2.2.2 几何参数

A_0 ——每根垫木与砂垫层的接触面积；
 A_1 ——刃脚踏面与垫木的接触面积。
 A_2 ——垫木横截面面积；
 A'_c ——混凝土受压区的截面面积；
 A_f ——沉井受水流阻力的面积；
 A_w ——沉井露出水面部分迎风面的面积；
 b ——计算宽度；
 b_1 ——刃脚两侧的安全宽度及施工需要的宽度；
 b_c ——刃脚踏面宽度；
 B ——矩形沉井的外轮廓宽度；
 B_g ——反力墙后背土体加固宽度；
 B_j ——反力墙宽度；
 B_L ——素混凝土垫层或垫木垫层的宽度；
 B_q ——单条气囊承载面宽度；
 B_s ——砂垫层的底面宽度；
 D_q ——气囊直径；
 F ——沉井干舷高度；
 h ——沉井入土深度；
 h_b ——波高；

h_f ——顶管力至刃脚底的距离；

h_i ——承压水层顶面至沉井底间各土层的厚度；

h_p ——主动土压力合力至刃脚底的距离；

h_s ——砂垫层的厚度；

h_t ——沉井水下封底混凝土厚度；

h_T ——沉井总高；

h_u ——附加厚度；

h_w ——沉井内外土体的渗流水头，取沉井内外水位差；

H ——下潜区水深；

H_i ——水平力对验算截面的力臂；

H_j ——反力墙高度；

H_q ——单条气囊工作高度；

l ——浮运沉井重心至浮心距离；

l_0 ——侧壁的中心距；

l_b ——沉井水平截面的外包尺寸；

L ——矩形沉井的外轮廓长度；

L_g ——反力墙后背土体加固厚度；

L_h ——渗流路径水平段长度；

L_q ——单条气囊承载面长度

L_s ——最短渗流路径流线总长度；

L_v ——渗流路径垂直段长度；

m ——定倾高度；

n ——刃脚斜面的水平投影宽度；

r ——沉井外壁半径；

r_c ——沉井井壁的中心半径；

R_k ——自重合力作用点到沉井倾覆脚趾距离；

R_w ——浮力合力重心到沉井倾覆脚趾距离；

S ——截面重心至验算倾覆轴的距离；
 S_f ——沉井干舷的富裕高度；
 t ——井壁厚度；
 T ——沉井吃水深度；
 U_i ——第 i 层土中侧壁外围周长；
 U_n ——井底侧壁外围周长；
 u ——井壁周长；
 x ——刃脚底面至变阶处（或验算截面）的高度；
 α ——砂垫层的压力扩散角；
 δ ——箱前涌水高度；
 ϕ ——浮运沉井浮运阶段的倾斜角；
 ρ ——定倾半径，即定倾中心至浮心的距离。

2.2.3 设计系数

k ——挡水形状系数；
 k_c ——接高稳定性系数；
 k_f ——抗流土、管涌稳定性安全系数；
 k_{fv} ——沉井抗浮稳定系数；
 k_h ——抗突涌稳定性安全系数；
 k_j ——反力墙后背土体允许顶力计算系数；
 k_{ov} ——沉井抗倾覆系数；
 k_s ——沉井抗滑移系数；
 k_{st} ——下沉系数；
 γ_d ——素混凝土垫层的结构系数；
 γ_m ——截面抵抗矩的塑性系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 γ_{Gi} ——第 i 个永久荷载的分项系数；

γ_{Qj} ——第 j 个可变荷载的分项系数；

γ_P ——预应力作用的分项系数；

γ_{Lj} ——第 j 个考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；

γ_I ——地震作用的重要性系数；

γ_p ——顶管顶力分项系数；

η ——被动土压力利用系数。

λ ——折减系数；

μ ——气囊滚动摩擦系数；

μ_s ——风荷载体型系数；

μ_z ——风压高度变化系数；

ξ ——顶管力与土压力合力作用点不一致时折减系数；

φ_{cj} ——可变荷载的组合值系数。

ϕ' ——素混凝土垫层的稳定系数；

ψ_{f1} ——第 1 个可变作用的频遇值系数；

ψ_{q1} ——第 1 个可变作用的准永久值系数；

ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久值系数。

3 基本规定

3.0.1 沉井工程应结合工程特点、周围环境进行勘察、设计。勘察、设计文件编制深度应满足国家规定的深度要求，在施工前应完成必要的补充勘察及相关资料的收集。

条文说明：在一些沉井工程项目中，勘察、设计工作不仅要执行相关的国家标准，还要依据涉及的行业类型和结构特点执行各行业勘察及设计规范，如《市政工程勘察规范》CJJ 56、《公路工程地质勘察规范》JTG C20、《公路工程水文勘测设计规范》JTG C30、《港口岩土工程勘察规范》JTS133、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093、《港口与航道水文规范》JTS-145等。同时要依据所属行业，勘察、设计文件的编制深度执行现行国家相关规定，如《房屋建筑和市政基础设施工程勘察文件编制深度规定（2020年版）》、《建筑工程设计文件编制深度规定（2016版）》、《公路工程基本建设项目设计文件编制办法（2007年版）》等。

3.0.2 沉井工程勘察宜结合主体工程布置及特点开展地质调绘、物探、钻探、测试、试验等勘察工作。

3.0.3 沉井结构的抗震设计应满足现行国家和行业相关标准中的规定。

3.0.4 施工前，应编制施工组织设计并按有关程序进行审批，施工组织设计及施工方案应经审批后方可进行施工。

3.0.5 材料和设备进场时，应具有产品合格证、出场试验报告及其他必要的证明文件，并核查材料和设备的外观、型号和标志标识。进场后应按国家有关规定对材料进行验收和抽检，质量检验合格后方可使用，不合格不得使用。

3.0.6 对工程所用的仪器、设备应在效验的有效期内，并定期进行校验定期检查和保养，仪器性能应完好。

3.0.7 沉井工程施工宜采用安全环保、机械化、信息化、智能化的施工工艺。

3.0.8 在沉井施工和使用过程中，应对沉井结构、周边建（构）筑物、地下管线和水域沉井水文情况等进行监控。

3.0.9 沉井施工和使用过程中应满足安全环保、文明施工及消防要求，并应定期进行安全检查。

4 岩土工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 沉井工程的岩土工程勘察应满足沉井设计要求。场地和岩土条件特别复杂的大型沉井，以及直径或边长大于 10m、下沉深度超过 30m 的特大型沉井，宜进行专门性沉井勘察。勘察成果应提供沉井设计和施工所需的工程地质和水文地质信息以及相关岩土参数和水文参数，并应在勘察报告中对沉井设计和施工给出评价和建议。

条文说明：沉井是某项主体工程的附属部分，不是独立的工程，一般可与主体工程合并勘察。对于一些场地和岩土条件特别复杂的大型沉井，如位于富水砂层及地下岩溶强发育场地的大型沉井，以及直径或边长大于 10m、下沉深度超过 30m 的特大型沉井，施工难度大、风险高，对工程建设的成败和成本具有决定性作用，则需要采用多种勘察手段，开展专门性沉井工程地质勘察，确保建设的顺利、安全、可靠。

4.1.2 沉井工程勘察前应取得下列图纸和资料：

- 1 附有坐标和地形的沉井平面布置图，沉井立面图；
- 2 沉井用途、沉井平面形状和尺寸、沉井立面形状和尺寸、沉井下沉深度、沉井底控制高程、沉井建筑材料、施工方法等；
- 3 场地及周边既有地下埋藏物分布情况；
- 4 沉井周围 3 倍沉井深度范围内的建（构）筑物及管线情况；
- 5 水域沉井所在水域的水文数据资料。

条文说明：沉井可作为桥梁墩台基础、大型设备基础、污水泵站基坑、顶管井、盾构井、水工围护结构等；沉井平面形状有多种，包括圆形、矩形、椭圆形、圆端形，且可能有单孔、双孔及多孔的差别；沉井立面形状分为竖直式、倾斜式和台阶式；沉井建筑材料一般为钢筋混凝土或钢材；沉井按施工环境和施工方法主要分为陆域沉井和水域沉井（浮运沉井），采取筑岛法修筑的沉井属于陆域沉井范畴。

4.1.3 沉井工程的岩土工程勘察应查明下列主要岩土条件：

- 1 查明场地的地貌单元、地质构造、地层时代和成因、地层岩性、地层结构及空间分布；水域沉井尚应查明河床表面平整度；

- 2 查明场地岩土层的物理力学性质指标；
- 3 查明场地地下水的类型、埋藏条件，地层的渗透性，地下水和场地土的腐蚀性；
- 4 查明场地土的地震动参数，判定场地类别，评价可液化土层的液化性及软土的震陷性；
- 5 查明场地的特殊性岩土类型、性质和分布，以及不良地质作用发育情况；
- 6 查明可能阻碍沉井下沉的地下障碍物类型、分布范围和埋置深度；
- 7 查明沉井范围内存在的有害气体和其他有害物质的类型、成因和分布。

4.1.4 钻探工作完成后，应及时进行钻孔封填；有水位观测或其他特殊要求的钻孔，当不再保留使用后应封填。

4.1.5 当施工过程中遇到地质异常情况时，为确认具体的施工工法、工程措施，应进行施工勘察。

条文说明：暗沟、暗塘、填石、花岗岩球状风化体（孤石）、斜岩、溶洞、土洞都存在分布规律性差的特点，前期勘察往往难以完全查明。当沉井施工过程中发现与前期勘察资料揭示的情况存在一定差异，并对沉井施工造成阻碍或存在施工风险时，需要结合具体情况开展施工勘察，进一步查明或核实细部地质条件，以针对性调整施工工法或采取相应的工程措施。

4.2 工程地质勘察

4.2.1 沉井的井位应布置勘探孔。井径或边长不小于 10m 的沉井，宜沿井的边缘均匀布置勘探孔，或在沉井中心布置勘探孔的同时沿井边缘布置勘探孔，勘探孔的数量不应少于 2 个；矩形工作井勘探孔宜优先布置在角部。井径或边长小于 10m 的沉井，可在井位中心布置 1 个勘探孔。

条文说明：沉井的外形有多种情况，勘探孔的布置宜根据其形状灵活布置，尽可能均匀布置，尽量以相对少的勘察工作量更有效地查明地质条件。勘探孔一般以钻孔为主，必要的，也可布置一定量的静力触探测试孔或动力触探测试孔。

4.2.2 沉井勘探孔的间距应根据场地和岩土条件的复杂程度布置，宜为 10m~20m。存在暗沟、暗塘、大漂石、岩溶、花岗岩球状风化体等地层结构突变的地层时，应适当加密勘探

孔。

条文说明：《建筑基坑工程技术规程》（DBJ/T 15-20-2016）第 4.2.2 条要求勘探点间距一般为 15m~25m。沉井是一种特殊的、施工过程更容易受地质条件影响的基坑，对勘察精度要求一般高于普通基坑，因而勘探孔要求布置更密。根据既有经验，间距在 10m~20m 是恰当的。

4.2.3 沉井的勘探孔深度应进入持力层不小于 5m，且应穿过透水层进入不透水层不少于 1m；遇下列情形之一时，应适当增加勘探孔深度：

- 1 当沉井位于河道时，勘探孔深度应不小于河床最大冲刷深度以下 4m~6m；
- 2 当持力层下存在软弱地层或岩溶分布时，勘探孔深度应适当增加；
- 3 当采取降低地下水位施工时，勘探孔深度应进入稳定不透水层不小于 5m 且不小于拟降水深度；

4 当已有资料证明或勘探过程中发现，黏性土层下存在承压水头较高的含水层，且需要降水施工时，勘探孔应进入承压水层一定深度。

条文说明：沉井设计和施工需要确定内外地下水的连通情况，因而勘探孔需要查明井底以下透水层厚度；而当采取降水施工时，不仅要确保沉井内外的透水层相互隔绝，而且要防止井底不透水层在渗透力作用下发生流土破坏，因此要找到厚度足够的稳定不透水层。

4.2.4 沉井持力层的土工试样组数不宜少于 6 组，原位测试组数不宜少于 3 组。当无充分资料认定沉井场地的土层对建筑材料不具腐蚀性时，应采取地下水位以上的土样进行腐蚀性试验；每座沉井应单独采取不少于 1 组腐蚀性土试样。

条文说明：持力层是沉井基础能否满足设计承载力要求的关键地层，沉井范围内的土工试验数据一般有 6 组、原位测试数据一般有 3 组；其他地层可以同主体工程数据合并统计分析，合计组数满足相关规范要求即可。

4.2.5 宜在沉井位置布置波速测试孔进行覆盖层剪切波速测试。

4.2.6 当场地可能存在有害气体或其他有害物质时，应进行相应的调查和试验。

条文说明：沉井是地下密闭孔间，有害气体较容易在作业面富集而产生危害，需要予以探明。

4.2.7 沉井工程地质勘察应重点分析评价下列内容：

- 1 分析评价填石、漂石、花岗岩球状风化体、岩笋、既有地下搅拌桩、旋喷桩、灌注

桩等地下障碍物对沉井施工的影响，并提出处理措施建议；

2 分析评价岩溶、采空区等不良地质作用对沉井基底稳定性的影响，并提出治理措施建议；

3 分析评价场地土的工程特性，提供地基承载力、基床系数、沉井外壁与土体间的单位摩阻力等指标，对软弱土、可液化土提出加固处理措施建议；

4 分析评价场地土对建筑材料的腐蚀性，提出沉井结构防腐措施建议；

5 存在有害气体或有害物质时，分析评价其对沉井施工的影响，提出防治措施建议；

6 对水域沉井，分析评价河床的稳定性及人工开挖岸坡的稳定性；

7 进行土、石工程分级。

4.3 水文地质勘察

4.3.1 沉井水文地质勘察应与工程地质勘察合并进行。

条文说明：水文地质勘察过程中的地下水水位观测、水温观测、抽水试验、注水试验等都可利用工程地质勘察的钻探孔实施，工程地质勘察过程开展的土工试验数据也可提供水文地质勘察需要的参数。因此，水文地质勘察和工程地质勘察都是合并进行的，而非两次不同的勘察过程。

4.3.2 陆域沉井应观测场地在勘察期间的地下水的水位和水温变化，查明地下水补给、径流、排泄条件以及与地表水的水力联系，并调查地下水的历史最高水位、最低水位及场地最高洪水位。

4.3.3 水域沉井应观测地表水体的水深、水位、水温、流速，收集最高洪水位数据，河床的冲刷、淤积和变迁情况；受潮汐影响的水域应收集相关水域的水文站常年观测数据，并观测勘察期内每日涨潮、落潮的规律；海域尚应收集波浪和风暴潮的相关数据；冬季结冰水体应收集水体冻融期、冻结深度、冰凌冲刷深度等数据。

4.3.4 当无充分资料认定沉井场地的水对建筑材料不具腐蚀性时，应采取水样进行腐蚀性试验。每个水文地质单元应采取不少于 1 组地下水样，且取样间距不超过 500m；水域沉井应采取水域水样，受潮汐影响水域应分别在涨潮和落潮的时候采取水样。

4.3.5 当沉井场地有地下水且有透水层分布时，应进行抽水试验，测定透水层的透水性；

当沉井场地无地下水且有透水层分布时，可进行注水试验，测定透水层的透水性。

4.3.6 当沉井场地有承压水分布时，应测定承压水的水头。

条文说明：沉井施工过程是井内上覆土层逐步剥离的过程，当场地有承压水分布时，可能导致井底地层在渗透力作用下发生流土破坏，因此需要获取承压水的承压水头，为设计渗流稳定计算提供依据。

4.3.7 沉井水文地质勘察应重点分析评价下列内容：

1 分析评价地表水和地下水的水位变化对沉井施工的影响，提供设计抗浮水位，提出地下水控制措施建议和结构抗浮措施建议；

2 分析评价各类水文现象对水域沉井施工的影响，提出施工期安排建议和灾害预防措施建议；

3 分析评价场地水对建筑材料的腐蚀性，提出沉井结构防腐措施建议；

4 分析评价承压水对沉井施工的影响，提出处理措施建议。

4.4 勘察成果

4.4.1 专门性沉井勘察应形成专门性岩土工程勘察报告，并应包括下列内容：

1 拟建工程概况；

2 勘察目的、任务要求和依据的技术标准；

3 勘察等级、勘察方法、勘察工作布置、勘察工作质量评述；

4 地形地貌、气候、水文、地下埋藏物、地下结构物与周边环境情况；

5 地质构造、地层岩性及花岗岩球状风化体、岩溶等不良地质体的分布特征；

6 地下水埋藏情况、类型、水位及其变化，地表水分布、水位、深度及其变化情况；

7 土和水对建筑材料的腐蚀性；

8 岩土体物理力学指标统计；

9 场地稳定性、适宜性、地震效应评价；

10 不良地质作用和特殊性岩土的类型、分布、特点及其对沉井工程的危害程度评价；

11 岩土性质及其均匀性评价；

12 地表水和地下水对沉井工程影响评价；

13 岩土参数建议；

14 地基基础方案建议，沉井施工方案建议，地下水控制措施建议，抗浮措施建议，监测检测方案建议等；

15 地质条件可能造成的工程风险及处理措施建议。

4.4.2 沉井勘察报告宜根据工程需要附下列图表：

1 勘探点平面布置图

2 综合工程地质平面图

3 工程地质剖面图

4 勘探孔地质柱状图

5 勘探点主要数据一览表

6 室内试验成果图表

7 原位测试成果图表

8 水文地质试验成果图表

9 工程物探成果图表

10 物理力学试验指标统计表

11 特殊地层的埋深、厚度的等值线图，岩溶发育等值线图

12 现场岩芯照片及原位测试影像资料

13 其它相关图表

4.4.3 沉井工程勘察宜结合工程需要，建立满足 BIM 数据格式要求的三维地质信息模型，并可视化展示场地的岩土层分布及地层构造等信息。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 沉井设计应包括方案设计、结构与计算。

5.1.2 沉井设计文件宜包括计算书、工程数量表、设计说明、总平面布置图、地质剖面图、沉井平面图、纵、横剖面图、构件大样图、构件钢筋图、监测点布置图、沉井安装施工流程图及相关配套施工图纸。

5.1.3 沉井应考虑土与结构的相互作用进行承载能力、沉降、稳定性和施工过程中的下沉验算，采用预制浮运工法时，应考虑水与结构的相互作用进行浮运稳定性验算，尚应根据其结构形式及材料类型，按相关行业规范规定进行整体计算和构件承载能力极限状态和正常使用极限状态的验算。

5.1.4 沉井结构应根据其施工和使用条件、环境腐蚀类型等因素进行耐久性设计。

条文说明：沉井结构的耐久性不仅受材料（如混凝土和钢筋混凝土）本身所含有害物质的影响，也受其所处位置的气、水、土等自然环境的影响。因此，沉井结构需按不同环境进行耐久性设计。同时，沉井结构的耐久性设计也要与其施工和使用条件相适应，贯彻适用、经济的原则。

5.1.5 桥梁工程水域沉井的埋置深度应符合表 5.1.5 的规定，计算因冲刷引起沉井边界条件改变前后的结构安全。

表 5.1.5 桥梁工程沉井结构的埋置深度要求

桥梁类别		总冲刷深度 (m)					
		0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	
埋置深度	公路工程	大桥、中桥、小桥（不铺砌）	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
		特大桥	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
	铁路工程	一般桥梁	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
		技术复杂、修复困难或重要的特大桥	设计流量	3.0	3.5	4.0	4.5
检算流量	1.5		1.8	2.0	2.3	2.5	

条文说明：表中总冲刷深度为自河床面算起的河床自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷之和；若对设计流量、水位和原始断面资料无把握或不能获得河床演变准确资料时，表中数值一般适当加大；若桥位上下游有已建桥梁，建议调查已建桥梁的特大洪水冲刷情况，新

建桥梁墩台基础埋置深度要不小于已建桥梁的冲刷深度且酌加必要的安全值；如河床上有铺砌层时，公路桥梁基础底面一般设置在铺砌层顶面以下不小于 1m，铁路桥梁基础底面不应小于地面以下 2.0m，特殊困难情况下不小于 1.0m。岩石河床墩台基底最小埋置深度要符合《公路工程水文勘测设计规范》（JTG C30）的规定。

5.1.6 陆域沉井的埋深应满足各行业规范要求。

5.1.7 沉井应根据结构形式、地质条件设计合适的助沉系统和相应的构造措施，确保其平稳下沉，避免下沉困难、突沉、严重倾斜等不利状况出现。

条文说明：常用的助沉措施包括：采用泥浆套、砂套、空气幕等措施降低井壁周面摩阻力法、压载法、地锚反力压沉法、炮震助沉法（孤石处置）等。采用不同助沉措施时，需进行相应的构造细节设计。

5.1.8 计算作用在沉井结构上的土压力时，应根据沉井结构与土体的位移情况和采取的施工措施等因素，确定土压力计算模式，并应分别按静止土压力、主动土压力、被动土压力及与沉井侧向变形条件相应的土压力计算；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力。

5.1.9 当采用地下水控制时，应根据场地工程地质和水文地质条件、沉井周边环境条件选用截水、降水、集水明排方法或其组合。地下水控制设计应满足沉井周边建(构)筑物、地下管线、道路、河堤等沉降控制值的要求。地下水控制设计和施工宜按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定执行。

条文说明：地下水控制方法包括：截水、降水、集水明排，地下水回灌不作为独立的地下水控制方法，但可作为一种补充措施与其他方法一同使用。仅从沉井结构安全性、经济性的角度，降水可消除水压力从而降低作用在沉井结构上的荷载，减少地下水渗透破坏的风险，降低沉井结构施工难度等。但降水后，随之带来对周边环境的影响问题。在有些地质条件下，降水会造成沉井周边建筑物、市政设施等的沉降而影响其正常使用甚至损坏。降水引起的沉井周边建筑物、市政设施等沉降、开裂、不能正常使用的工程事故时有发生。另外，有些城市地下水资源紧缺，降水造成地下水大量流失、浪费，从环境保护的角度，在这些地方采用降水不利于城市的综合发展。为此，有的城市的地方政府已实施限制降水的地方行政法规。

5.1.10 沉井结构的安全等级，应根据结构破坏可能产生后果的严重性按表 5.1.10 划分。对

于持久设计状况和短暂设计状况，结构重要性系数应不小于表 5.1.10 中的规定；对于偶然设计状况和地震设计状况，结构重要性系数应取 1.0。

表 5.1.10 沉井结构的安全等级及结构重要性系数

安全等级	破坏后果	结构重要性系数	适用对象
一级	很严重	1.1	1、各等级公路、城市道路上的特大桥、大桥、中桥； 2、高速公路，一级、二级公路，国防公路及城市附近交通繁忙公路上的小桥； 3、城市快速路、主干路及交通特别繁忙的城市次干路上的小桥； 4、甲类、乙类房屋建筑结构； 5、1 级水工建筑物； 6、城市排水深隧工程竖井； 7、地下停车场。
二级	严重	1.0	1、三级、四级公路上的小桥； 2、城市支路上的小桥； 3、用作永久构筑物使用的集水井、水泵房等基础； 4、丙类房屋建筑结构； 5、2~3 级水工建筑物； 6、顶管井。
三级	不严重	0.9	1、4~5 级水工建筑物； 2、丁类房屋建筑结构。

条文说明：破坏后果“很严重”指对人的生命、经济、社会或环境影响很大；破坏后果“严重”指对人的生命、经济、社会或环境影响较大；破坏后果“不严重”指对人的生命、经济、社会或环境影响较小。根据《城市深层排水隧道工程技术标准》T/CMEA 23-2021、湖北省地方标准《城市排水深隧工程技术规程》DB42/T 1922-2022，城市排水深隧工程竖井作为不可更换的结构构件，安全等级为一级。

5.1.11 沉井结构应根据工程的功能、建造和维护成本以及环境影响等因素确定其设计基准期及设计使用年限，并应符合表 5.1.11-1 和表 5.1.11-2 的规定。

表 5.1.11-1 沉井结构设计基准期（年）

设计基准期	适用对象
100	桥梁结构； 1 级~3 级水工建筑物结构。
50	用作永久构筑物使用的集水井、水泵房基础； 4 级~5 级水工建筑物结构；房屋建筑结构； 城市排水深隧工程竖井。

表 5.1.13-2 沉井结构设计使用年限（年）

设计使用年限	适用对象
100	特大桥、大桥；城市排水深隧工程竖井； 1 级~3 级水工建筑物结构； 标志性建筑和特别重要的建筑结构。
50	用作永久构筑物使用的集水井、水泵房基础； 4 级~5 级水工建筑物结构；普通房屋和构筑物。
5~15	用作临时性基坑支护用的顶管井、矿山竖井等，设计使用年限采用 5 年； 临时水工建筑物结构的设计使用年限应根据预定的使用年限和可能滞后的时间采用 5 年~15 年； 临时性建筑设计使用年限采用 5 年。

5.2 方案设计

5.2.1 方案设计前，应具备下列资料：

- 1 沉井使用功能要求材料；
- 2 井位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相关资料。

5.2.2 水域沉井设计除应符合本规范第 5.2.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 应查明水域现状和规划及通航等条件；
- 2 应搜集工程水域水文资料、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。

5.2.3 符合下列条件时可选用沉井型式：

- 1 基础埋置较深且地质、水文及施工等条件适宜桥梁墩台的深基础、型设备基础，可采用沉井基础；
- 2 地下仓库、人防掩蔽所、船坞坞首、江心及岸边的取水构筑物、城市雨污水泵站下部结构等可选用沉井永久结构；
- 3 竖井、盾构拼装井、顶管工作井可选用沉井临时结构；
- 4 水利电力边坡护坡及边坡滑坡处理可选用沉井群。

5.2.4 沉井选址应符合下列规定：

- 1 陆域沉井宜建造在其影响范围内无重要建(构)筑物及地下管线等的环境；水域沉井

宜建造在水流和水位变化小，附近无障碍物的水体环境中；

2 沉井采用浮运工艺时应选择水深较大、流速适宜的水域；

3 下沉可能遇到大漂石、流砂、倾斜较大的岩面、地基承载力较低等不利条件时，应慎重选用；

4 大型沉井适用于粉砂、砂层、砾砂、卵石、淤泥、淤泥质粉质黏土、粉质粘性土及黏土等土层；

5 地下水位较高，土的渗透性大，易产生涌流或塌陷的不稳定地层，宜采用不排水沉井及水下浇筑混凝土封底；

6 陆域沉井宜建造在其影响范围内无重要建(构)筑物及地下管线等的环境，周边若存在建构筑物或地下设施时，应采取相应的保护措施；

7 顶管工作井穿越填土、粘性土、淤泥、淤泥质土、粉土及砂土等地层，可选用沉井法施工。

条文说明：（1）本条说明沉井适用的一般条件，水域沉井一般采用浮运沉井；当沉井遇有流砂、孤石、树干或老桥基等难以清除的障碍物时，将大幅增加下沉难度；遇倾斜较大的岩面会使沉井下沉稳定性变差，增加沉井的施工难度，故上述情况下尽量避免采用沉井。沉井施工一般来说对环境的影响较大，当影响范围内存在重要建（构）筑物及地下管线时，要根据重要性采取相应的保护措施方可施工。

（2）超深大截面沉井下沉及钢壳沉井应力监测研究：沉井深度 115m 范围均为细沙、粉砂、中砂、粗砂、松散~密实；常泰长江大桥 6 号墩沉井下沉施工关键技术：沉井深 72.0m 地质：硬塑粉质黏土、粉砂、软塑粉质黏土、粉细砂、持力层中密-密实粗砂层；五峰山长江大桥北锚碇沉井基础首次下沉方法研究：沉井深 56.0m，地质：淤泥粉质黏土、粉砂夹粉土、粉砂、粉细砂；瓯江北口大桥南锚碇沉井深 59.5m，地质：淤泥、淤泥质粉质黏土、粉砂、黏土、卵石。

5.2.5 顶管工作井沉井选址除应符合本规程第 5.2.3 条规定外，尚应符合下列规定：

1 应利用管线上的工艺井；

2 应考虑排水、出土和运输方便；

3 应靠近施工用电源和水源；

4 应远离居民区 and 高压线；

5 在有曲线和直线组合顶管中，顶管沉井宜设置在直线段的一端；

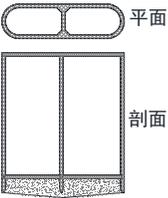
条文说明：沉井在顶管工程中应用较广，适用地层较丰富，即使在软土地层中也有较好的适用性。

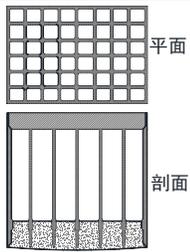
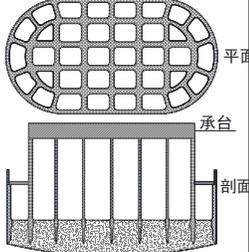
5.2.6 沉井设计方案选型应考虑下列因素：

- 1 使用功能、上部结构形式及施工方法；
- 2 工程地质及水文地质条件；
- 3 水域沉井的水文条件；
- 4 结构安全性及经济性；
- 5 施工方案的可行性、经济性；
- 6 通航、水利、环保要求。

条文说明：不同形式沉井的使用功能、建设条件、上部结构形式、施工方法及技术经济特点不同，各种形式沉井的特点及应用范围具体见表 1。

表 1 各种形式沉井的特点及应用范围

形式	简图	特点	应用范围
圆形沉井	 <p>平面 剖面</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 受力性能好； 2 平面利用率低。 	多用于雨、污水泵站下部构筑物以及大口井湿式泵房等构筑物。
单格矩形沉井	 <p>平面 剖面</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 单格矩形沉井制作方便，施工时，其模板可多次使用，节约成本； 2 平面构造布置灵活，因此利用率较高； 3 矩形沉井的结构受力性能不如圆形沉井好。 	多用于雨、污水泵站下部结构和岸边取水构筑物
双格矩形沉井	 <p>平面 剖面</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 双格矩形沉井的结构刚度比单格矩形沉井大； 2 其余特点与单格沉井相同。 	多用于岸边取水构筑物、吸水井和城市雨、污水泵房下部结构。
双孔圆端形沉井	 <p>平面 剖面</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 用于取水构筑物和桥梁墩台基础时，其水流条件较好； 2 但制作施工复杂，且下沉纠偏较难。 	一般用于取水头部和大中型江心或岸边泵房以及雨水泵站沉井或桥梁工程墩台的基础。

形式	简图	特点	应用范围
矩形多孔沉井		1 其结构受力明确，沉井下沉时，整体刚度好，比较安全； 2 其构造布置灵活，上部平面利用率较高； 3 但施工制作较复杂，对施工技术和施工组织要求较高。	多用于平面尺寸大，深度较深的桥梁大型沉井基础。
圆端多孔沉井		1 端圆形沉井具有平面布置合理、受力合理； 2 沉井整体刚度大； 3 受水流冲刷小等特点。	多用于平面尺寸大，深度较深的桥梁大型沉井基础。

注：1.本表引自段良策、殷奇编著的《沉井设计与施工》（同济大学出版社）。

2.工程地质及水文地质条件主要包括地层岩性、承载力、渗透性、土体摩阻力、覆盖层厚度、基床系数、地震参数、不良地质等。

3.水域沉井的水文条件主要包括水深、水位、流量、流速、冬季冻融、冰凌、河床冲刷深度，海域尚应计入潮汐、波浪的影响。

4.施工方案主要包括施工条件、施工工艺、施工设备、施工组织、施工风险、施工工期及进度安排。

5.2.7 沉井设计应根据功能要求、建设条件、受力特点、施工条件、周边环境等因素选择合理的平面形状。沉井平面宜对称布置，可采用圆形、矩形、圆（尖）端形、多孔沉井（图 5.2.7）。

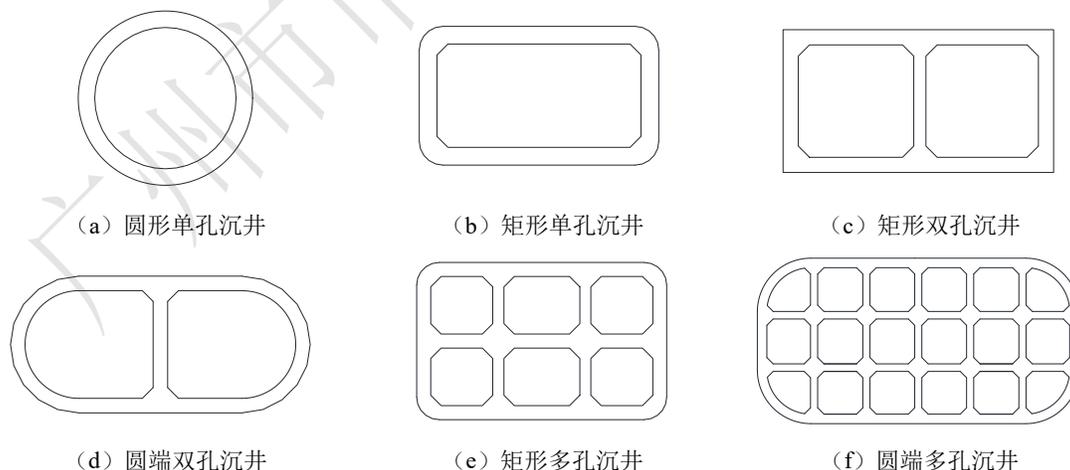


图 5.2.7 沉井平面示意图

条文说明：沉井平面形式很多，主要归纳为下列几类：

(1) 圆形沉井相比其他形式沉井受力较好，从理论上讲，圆形沉井的井壁只产生压应

力，虽然在实际沉井下沉时，不可能完全垂直地沉入土中，其在下沉过程中左、右倾斜而引起的不均匀土压力的作用下，井壁总体受力仍更有利。特别是在江河、海中，由于需要承受水流压力，采用圆形结构减少水流阻力。除此以外如果沉井在施工过程中偏差过大，井壁就可能产生裂缝，在面积相同时，圆形沉井周边长度小于矩形周边长度，因而井壁侧面与土壤的摩阻力也将小些。而且由于土拱的作用，圆形沉井对四周上体的扰动较矩形沉井要小。

(2) 从生产工艺和使用要求来看，矩形沉井的建筑面积较圆形沉井更能得到合理的利用，但井壁受力情况远较圆形沉井差。同时，由于沉井下沉时四周土方坍塌的情况不同，土压力与摩擦力也不均匀，当其长与宽的比值越大就越严重，易造成沉井倾斜，纠正起来也比圆形沉井困难。

(3) 圆端形沉井属于圆形和矩形沉井的复合体，由于两端外形采用圆形，对水流的阻力较小，中部采用矩形，空间较大，横向刚度大，因此，在桥梁工程中使用较多。

(4) 若沉井尺寸较大时，可以考虑设置隔墙或地梁形成多孔（格）沉井，增加沉井整体刚度增强。这样有利于调整井内挖土下沉，保证沉井能均匀下沉。同时也可以通过隔墙和地梁防止沉井下沉过快和突沉，特别是在沉井采用水下混凝土封底时，分格能保证水下封底混凝土的质量。

5.2.8 沉井设计宜考虑下沉效果、受力特点、防冲刷性等因素，选择适合工程特点的竖立面。沉井竖立面形式可采用柱形、阶梯形、锥形与台阶形，当对周边沉降有较高要求时宜采用柱形。

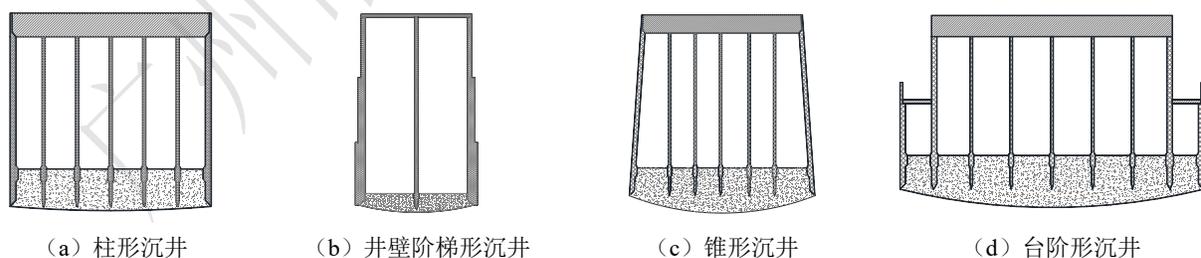


图 5.2.8 沉井竖直面图

条文说明：沉井竖直面形状，一般有柱形、井壁阶梯形沉井、锥形和台阶形等类型。

(1) 柱形沉井筒壁上下尺寸相同，在下沉过程中，其周围土体能够很好地约束沉井，使它只能沿垂直方向下沉，故其倾斜和偏移的可能性较小，沉井周边的土层不致因受到移

动而发生下沉。尤其当沉井周边对地表沉降有较高要求时，这点尤为重要。但其缺点在于作用在沉井外壁上土的摩擦力很大，大到可能超过沉井自重，尤其当沉井的平面尺寸过小而下沉深度很深时，沉井上部可能被土体夹住使其下部悬空，此时需要采用有效的助沉措施，以防止因悬空部分过长，导致混凝土井壁开裂。地基条件适应性较广；

(2) 井壁阶梯形沉井是介于柱形和锥形之间的一种形式，兼有柱形和锥形的所有优缺点。主要优点是可减少井壁与土体之间摩阻力，并可在台阶以上形成的空间内压送触变泥浆（亦可灌砂）。其缺点是，如不压送触变泥浆，则沉井下沉时对四周土体的扰动较柱形沉井要大；

(3) 锥形沉井则与柱形沉井相反，该沉井下沉时，作用在外壁上土的摩擦力不大，下沉容易，但产生偏移的可能性大。适用于入土深或土质密实等地基情况；

(4) 台阶形沉井底部受力面积大、上部受力面积小，防冲刷性好等特点。其缺点是施工复杂。台阶形沉井较适用于水流冲刷大的工程。常泰长江大桥6号墩沉井立面采用台阶型沉井，下沉效率较高，各项姿态指标均满足要求；

(5) 竖向混合结构结合部的位置应根据建设条件、结构受力、工程造价、施工工期、施工设备等因素综合确定。

5.2.9 混合结构沉井应考虑沉井材料类型、受力特点、耐久性及现场施工难易程度等因素合理确定沉井每节接头形式。

条文说明：钢壳混凝土+钢筋混凝土混合结构沉井中钢壳顶节与钢筋混凝土底节接头可将钢筋混凝土钢筋预埋至钢壳混凝土节。

5.2.10 沉井方案设计应与其功能、制造和制作、运输、施工等结合，明确制造和制作方案、运输方案、施工方案。

5.2.11 沉井设计可根据规模、地质条件、受力特点和施工工法，因地制宜采用钢筋混凝土、钢壳混凝土、钢或由它们组成的混合结构等类型。

条文说明：(1) 钢筋混凝土沉井，其抗拉及抗压能力较好，下沉深度可达数十米以上，在工程中得到较广泛的应用。沉井可分段（块）预制，工地拼接，做成装配式；

(2) 钢沉井。强度和刚度均较大，重量轻，易于拼装，一般用于浮运沉井，但用钢量大，造价高；

(3) 钢壳混凝土自浮能力强、自重小，工期和质量可以保证；

(4) 从国内外混合结构沉井统计结果显示(表2), 混合结构类型主要为底节沉井采用钢壳混凝土, 其他节沉井采用钢筋混凝土。

表2 部分大型桥梁混合结构沉井材质统计

工程名称	平面尺寸(m)	总高度(m)	每节高度	材质	来源	
五峰山大桥北锚碇	100.7×72.1	56.0	第一节高8m; 第二节高6m; 第三节~第八节高5m; 第九节高4m; 最后一节8m。	第一节 Q235B 钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。	《五峰山长江大桥北锚碇沉井基础首次下沉方法研究》	
南京四桥北锚碇	69×58	52.8	第一节高6m; 第二至十节高5m; 最后一节1.8m。	第一节 Q235B 钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。	《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 3363—2019)	
马鞍山大桥锚碇	60.2×55.4	48.0	第一节高8m; 第二至七节高5m; 第八节高5.5m; 第九节高4.5m。	第一节 Q235B 钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。		
泰州大桥中塔沉井	58×44	76.0	第一节高8m; 第二至十三节高6m; 第十四节高8m。	第一节到第七节为 Q235B 钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。		
泰州大桥北锚碇沉井	67.9×52	57.0	第一节高8m; 第十节高4m; 其余节高5m。	第一节 Q235B 钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。		
江阴大桥锚碇沉井	69.2×51.2	58.0	第一节高8m; 第二至十节高5m。	第一节 Q235B 钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。		
鸚鵡洲大桥锚碇沉井	外径 66.0 内径 41.4	43.0	第一节高6m; 第2~6节高5m; 第7~8节高6m。	第一节为钢壳混凝土, 其他节为钢筋混凝土。		
铜陵长江公铁两用桥3号主墩	62×38	68.0	第一节高9.5m; 第二到第五节高7.5m; 第六节高10.5m; 第七到第十节高4m; 第十一节高2m。	底部50m为钢壳混凝土, 顶部18m为钢筋混凝土。		
沪通大桥中塔29号沉井	86.9×58.7	115.0	标准节段高6m; 底节高8m。	底部50m为Q235B钢壳混凝土, 其余范围为钢筋混凝土。		
温州市瓯江电力隧道工程七都侧沉井	外径∅ 14.2 内径∅ 12.0	32.42	第一节、第二节、第三节制作共16.2m, 采用排水和不排水下沉相结合; 第四节、第五节、第六节制作共16.22m; 采用排水下沉。	沉井井壁、底板混凝土强度等级为C40/P12, 混凝土垫层强度等级为C30水下混凝土。		《大型沉井在软土地基中下沉现场监测》
武汉电网110kV电力通道项目	顶管工作井外径∅ 11.0 内径∅ 9.0	15.0	第一节高5.0m; 第二节高7.1m; 采用不排水下沉。	沉井井壁、底板混凝土强度等级为C40, 封底混凝土采用C30水下混凝土。		不排水沉井在城市电力通道中的设计应用

某市政工程污水处理厂主干管网过河顶管工程	15.8×9.6	16.3	第一节段高度为 5.50m, 第二节段高度为 6.20m, 第三节段高度为 4.60m; 采用不排水沉井下沉。	壁厚 700mm, 沉井刃脚宽 800mm, 刃脚高 1 800mm; 沉井井壁、底板均采用钢筋混凝土。	《不排水下沉施工技术在市政沉井工程中的应用》
苏州工业园区木沉港泵闸及水立交工程	17.2×15.0	19.0	采用 3 次浇筑 1 次下沉方案; 工作井 3 节分别为 8.2m、5.6m、5.2m; 采用排水下沉。	上部壁厚 1.3m, 下部壁厚 1.5m; 沉井井壁、底板混凝土强度等级为 C40; 封底混凝土采用 C30。	水利工程沉井地基处理案例分析
南京沉井式地下车库	外径Φ12.8 内径Φ12.0	68	VSM 设备世界上首次与地下停车库工程的结合。竖井结构采用预制管片拼装而成, 圆环分为形式完全相同的 6 块, 每块管片中心分块角度为 60°, 环宽 1.5 m。	竖井采用装配式管片结构施工, 管片混凝土设计强度等级为 C60/P12; 管片接缝采用弹性橡胶密封垫(三元乙丙橡胶)作为止水措施, 依靠密封垫之间的压密起到止水作用。	《装配式竖井设计与施工技术应用研究——以南京某沉井式地下车库项目为例》
东方路城建设计大厦前竖井式地下停车库	外径Φ12.3 内径Φ11.3	20.0	采用 VSM 工法, 竖井结构采用预制管片拼装而成, 圆环分为形式完全相同的 8 块, 每块管片中心分块角度为 45°, 环宽 1.61 m。	预制管片拼装而成, 每环管片通过外侧手孔斜螺栓连接 (M36 环向螺栓), 环间管片采用纵向预应力拉紧。	沉井式预制拼装结构壳一接头模型的三维数值模拟

5.2.12 浮运沉井可采用钢筋混凝土薄壁或钢壳混凝土薄壁结构。

条文说明: 浮运沉井适用于水深流缓、覆盖层深、地质适宜的水域上的大型桥梁墩柱基础。浮运时为确保沉井吃水深度满足要求, 采用助浮措施以减小沉井吃水深度。常用助浮措施分为底托板密封助浮和空气增压助浮。

底托板助浮结构可与气囊法下水底托板一体化设计, 其结构工程量相对较大, 密封性能受浮运外界因素影响较小, 因此底托板助浮适用于气囊法下水助浮及距离较长的沉井浮运。如武汉杨泗港长江大桥钢沉井采用底托板助浮措施。

空气增压助浮是在距离沉井底口一定高度上封闭井孔, 适用于船坞法下水助浮的沉井。因空气增压助浮只需封闭井孔, 其结构工程量相对较小, 适用于船坞法下水助浮的沉井。如沪苏通长江公铁大桥钢沉井采用空气增压助浮措施。

浮运沉井的底节采用钢材焊接时, 要保证其可焊性能。浮式沉井的气筒是沉井在悬浮状态下的主要设施, 因此对其可焊性能须严格要求, 一般采用镇静钢。

5.2.13 沉井下沉施工方案设计应考虑地层、水文地质、沉井规模及周边环境等因素，合理选择排水下沉法、不排水下沉法、排水与不排水相结合等下沉施工方案。

条文说明：沉井下沉的施工方案主要适用范围如下：

(1) 排水下沉:当沉井所穿过的土层透水性差，不会出现大量渗水现象，或者不会因为排水导致流砂及井底土体隆起失稳。必要时可结合止水措施进行排水下沉。

(2) 不排水下沉:当沉井所穿过的土层不稳定，地下涌水量大，可能产生流砂、井底土体隆起失稳如流砂严重的地层；排水不便且渗水量大的砂砾层；地下水无法排除或大量排水会影响附近建（构）筑物的安全等。

(3) 单一的排水下沉不适合大型沉井基础，更多的是初期排水下沉、部分降排水下沉和不排水下沉相结合的方法。如沪通铁路长江大桥、五峰山长江大桥的沉井基础下沉均采用排水与不排水相结合。

5.2.14 当采用排水下沉或排水与不排水相结合的下沉施工方案时，应结合沉井地质条件、周边环境选用降水、截水、集水明排或其组合，地下水控制可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定执行。

5.3 设计计算内容

5.3.1 沉井结构设计时应区分持久设计状况、短暂设计状况、偶然设计状况和地震设计状况，四种设计状况应按下列规定分别进行相应的极限状态设计：

- 1 规定的四种设计状况，应进行承载能力极限状态设计；
- 2 持久设计状况，应进行正常使用极限状态设计；
- 3 短暂设计状况，可根据需要进行正常使用极限状态设计；
- 4 偶然设计状况和地震设计状况，可不进行正常使用极限状态设计。

条文说明：承载能力极限状态是考验结构是否能完成其主要功能的能力，所有设计状况均需进行设计；至于正常使用极限状态设计是否需要进行，要视各类结构具体情况而定。根据工程经验，地震设计状况和偶然设计状况通常只按承载能力极限状态设计，不做正常使用极限状态设计。

5.3.2 承载能力极限状态设计时应按下列情况进行分析计算：

- 1 沉井结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承受荷

载，或出现压屈、局部失稳；

- 2 沉井结构发生整体倾覆或滑动；
- 3 沉井底土体持力层因丧失承载能力而破坏；
- 4 沉井抗浮或抗沉失效；
- 5 沉井浮运时失稳下沉；
- 6 沉井底因隆起而丧失稳定；
- 7 地下水渗流引起的土体渗透破坏。

条文说明：该条文给出了沉井底因隆起而丧失稳定、地下水渗流引起的土体渗透破坏两种破坏模式。由于在流塑淤泥地层中进行沉井施工时，容易发生突沉、涌水、涌泥等现象；沉井下沉过程中遇粉砂、细砂层时，容易产生流砂现象；均会导致沉井出现倾斜、周边土体坍塌等不利情况，严重时给施工人员安全及周边环境安全带来威胁。因此需要重视沉井基坑抗隆起及抗渗透破坏稳定性。

5.3.3 正常使用极限状态设计时应按下列情况进行分析计算：

- 1 沉井结构变形过大影响主体结构正常使用。
- 2 沉井结构裂缝宽度超过允许限值，出现影响正常使用或耐久性的局部破坏。
- 3 因地下水位下降、地下水渗流等因素而造成的土体变形引起周边建（构）筑物、地下管线、道路等不能正常使用。

条文说明：根据国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》（GB50153-2008）的规定并结合沉井结构自身的特殊性，本条对承载能力极限状态与正常使用极限状态在沉井结构中的具体表现形式进行了归类，目的是使工程技术人员能够对沉井结构的各种破坏形式有一个总体认识，设计时对各种破坏模式和影响正常使用的状态进行控制。

5.3.4 沉井结构设计采用的作用应分为永久作用、可变作用、偶然作用、地震作用四类，其分类应符合表 5.3.4 的规定。各种作用应按本标准附录 A 取值。

表 5.3.4 作用分类

作用分类	作用名称
永久作用	结构重力
	附属设备和附属结构重力
	土压力
	混凝土收缩、徐变作用

	水压力
	浮力
	预加力
	地基不均匀变形
可变作用	沉井顶板和平台活荷载
	地面活荷载
	顶管的顶力
	流水压力（包括井外静水压力和动水压力）
	冲击力
	风荷载
	温度作用
	冰压力
	波浪力
	靠船力
	冻胀力
	施工临时荷载
偶然作用	船舶或漂流物撞击力
地震作用	地震作用

5.3.5 沉井结构分析应符合下列规定：

1 应根据沉井的具体施工工艺和使用场景，进行制造、运输、施工、使用等各阶段的结构分析计算，确保结构安全；

2 结构分析中采用的基本假定、模型和边界条件、参数的选择，应能反映结构施工过程和使用中的实际受力状态，其精度应能满足结构设计要求。沉井可简化为平面体系进行结构分析，结构和边界条件复杂时应采用三维空间结构模型进行分析计算；

3 沉井结构受力分析可按线弹性理论进行，当几何非线性、材料非线性及边界非线性不能被忽略时，应计入各类非线性对结构受力的影响；

4 沉井结构设计时，应根据工程经验分析判断计算参数取值和计算分析结果的合理性。

条文说明：沉井是由岩土与沉井结构相互作用的复杂体系。结构分析时应根据周边条件，充分考虑地形地质（土质差异、岩面倾斜、水流冲刷）、荷载组合（不同荷载作用下，沉井结构产生的变形或位移不同，其约束情况也不一致，如顶管井在顶力作用下及其在竖向力作用下的约束条件不同）对沉井结构约束条件的影响，合理确定不同工况下结构模型与

边界约束条件。

传统的中小型沉井结构刚度大、局部及弯曲变形小，施工全过程中主要以受压为主。随着沉井平面尺寸增大（如五峰山长江大桥锚碇沉井平面尺寸达到 100.7m×72.1m），由于沉井通常沿高度分多次接高施工，在初始下沉阶段大型沉井表现为明显的受弯、受剪，与中小型沉井的的受力特性明显不同。对于大型沉井结构应采用三维空间结构模型进行分析计算。

沉井-岩土结构体系的受力分析可按线弹性理论进行，但当结构的变形不能被忽略或体系材料进入了明显非线性阶段时，则应计入各类非线性对结构受力的影响。沉井体系主要包括岩土材料非线性、边界约束方程非线性、上部大跨（桥梁）结构非线性三个方面。

5.3.6 沉井的计算内容包括施工阶段和使用阶段的稳定性计算、结构计算及地基计算，并应符合相关行业规范的规定。

- 1 稳定性计算包括：垫层厚度、下沉、接高稳定性、抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性、抗浮稳定性、抗渗流（抗隆起）稳定性、浮运稳定性等内容的计算；
- 2 结构计算包括：井壁及刃脚、封底混凝土厚度、隔梁、隔墙、顶板及底板等内容的计算；
- 3 地基计算包括：地基承载力、稳定与变形计算。

5.4 承载能力极限状态计算

5.4.1 进行承载能力极限状态设计时采用的作用组合，应符合下列规定：

- 1 持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合；
- 2 偶然设计状况应采用作用的偶然组合；
- 3 地震设计状况应采用作用的地震组合；
- 4 作用组合应为可能同时出现的作用的组合；
- 5 每个作用组合中应包括一个主导可变作用或一个偶然作用或一个地震作用；
- 6 当静力平衡等极限状态设计对永久作用的位置和大小很敏感时，该永久作用的有利部分不利部分应作为单独作用分别考虑；
- 7 当一种作用产生的几种效应非完全相关时，应降低有利效应的分项系数取值。

条文说明：本条规定了承载能力极限状态作用组合的具体操作要求。

5.4.2 沉井结构或构件按承载能力极限状态计算时，应符合下列规定：

1 结构或结构构件的破坏或过度变形的承载能力极限状态设计，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.4.2-1)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，可按表 5.1.10 取值；

S_d ——作用效应组合的设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值，按相关行业标准的规定确定。

2 整个结构作为刚体失去静力平衡的承载能力极限状态设计，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_{d,dst} \leq S_{d,stb} \quad (5.4.2-2)$$

式中： $S_{d,dst}$ ——不平衡作用效应的设计值；

$S_{d,stb}$ ——平衡作用效应的设计值，按相关行业标准的规定确定。

条文说明：作用组合的效应设计值 S_d ，包括如轴力、弯矩设计值或表示几个轴力、弯矩向量的设计值等；本标准式中， S_d 包括荷载系数， R_d 包括材料系数（或抗力系数），这两类系数在一定范围内是可以互换的。

5.4.3 按承载能力极限状态进行强度计算时，作用效应的基本组合设计值应按下列规定确定：

1 作用效应基本组合设计值应按下式计算：

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1}^m \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_P P + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} \psi_{cj} \gamma_{Lj} Q_{jk} \right) \quad (5.4.3-1)$$

式中： γ_{Gi} ——第 i 个永久荷载的分项系数；

γ_{Q1}, γ_{Qj} ——分别为第 1 个和第 j 个可变荷载的分项系数；

P ——预应力作用的有关代表值；

γ_P ——预应力作用的分项系数；

γ_{L1}, γ_{Lj} ——分别为第 1 个和第 j 个考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；

G_{ik} ——第 i 个永久荷载标准值；

Q_{1k} ——第 1 个可变荷载的标准值，取地表水或地下水作用作为第 1 个可变荷载；

Q_{jk} ——第 j 个可变荷载的标准值；

ψ_{cj} ——可变荷载的组合值系数。

2 作用效应地震组合设计值应按下列式计算：

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1}^m G_{ik} + P + \gamma_I A_{Ek} + \sum_{j=2}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (5.4.3-2)$$

式中： γ_I ——地震作用的重要性系数，按相关行业抗震设计规范的规定采用；

A_{Ek} ——按相关行业规范确定的各水准地震作用标准值；

ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久值系数。

3 作用效应偶然组合设计值按下式计算：

$$S_d = S \left(\sum_{i \geq 1}^m G_{ik} + P + A_d + (\varphi_{f1} \text{ 或 } \varphi_{q1}) Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \varphi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (5.4.3-3)$$

式中： A_d ——偶然作用的设计值；

ψ_{f1} ——第 1 个可变作用的频遇值系数；

ψ_{q1} ——第 1 个可变作用的准永久值系数。

条文说明：本条规定了承载能力极限状态的各种不同的作用组合的要求。不同设计方法采用的作用组合也有所不同，但究其实质，都是考虑结构在设计工作年限内可能出现的不同类型、不同量值的荷载同时作用的各种情况。因此本条将各种作用组合进行统一规定，再配合不同的设计表达式和相关系数取值进行结构设计。作用组合中的符号“ \sum ”和“+”均表示组合，即同时考虑、所有作用对结构的共同影响，不表示代数相加。

基本组合中起控制作用的可变作用一般需要轮次计算方能确定。基本组合与“极限状态的分项系数设计法”相对应，用于承载极限状态设计。

偶然组合是考虑偶然作用时的组合。

抗震设计的设计方法与作用组合较为特殊，需按照抗震设计要求执行。

5.4.4 分项系数的取值应根据各行业特点确定，可按附录 B 取值。

条文说明：由于建筑与市政、公路工程、铁路工程、水运工程等行业分项系数取值不同，

为采用 5.4.3 的通用表达式，需根据各行业采用各自的分项系数。

5.4.5 可变荷载考虑设计工作年限的调整系数应按下列规定采用：

1 对于荷载标准值随时间变化的的楼面和屋面活荷载，考虑设计工作年限的调整系数 γ_L 应按表 5.4.5 采用。当设计工作年限不为表中数值时，调整系数 γ_L 不应小于按线性内插确定的值；

表 5.4.5 楼面和屋面活荷载考虑设计工作年限的调整系数 γ_L

结构设计工作年限	5	50	100
γ_L	0.9	1.0	1.1

2 对雪荷载和风荷载，调整系数应按重现期与设计工作年限相同的原则确定；

3 公路桥涵结构的设计使用年限按现行行业标准《公路工程技术标准》JTG B01 取值时，可变作用的设计使用年限荷载调整系数 γ_L 取 1.0，否则，其取值应按专题研究确定。

条文说明：补充来源根据《工程结构通用规范》GB55001-2021 第 3.1.16 条规定了房屋建筑设计工作年限的调整系数。确定 γ_L 可采用两种方法：（1）使结构在设计工作年限 T_L 内的可靠指标与在设计基准期 T 的可靠指标相同；（2）使可变荷载按设计工作年限 T_L 定义的标准值 Q_{kL} 与按设计基准期 T （50 年）定义的标准值 Q_k 具有相同的概率分位值。按第二种方法进行分析比较简单，当可变荷载服从极值 I 型分布时，可以得到 γ_L 的表达式：

$$\gamma_L = 1 + 0.78k_Q\delta_Q \ln(T_L / T) \quad (1)$$

式中， k_Q 为可变荷载设计基准期内最大值的平均值与标准值之比； δ_Q 为可变荷载设计基准期最大值的变异系数。表 3 给出了部分可变荷载对应不同设计工作年限时的调整系数，比较可知规范的取值基本偏于保守。

表 3 考虑设计工作年限的可变荷载调整系数 γ_L 计算值

设计工作年限（年）	5	10	20	30	50	75	100
办公楼活荷载	0.839	0.858	0.919	0.955	1.000	1.036	1.061
住宅活荷载	0.798	0.859	0.920	0.955	1.000	1.036	1.061
风荷载	0.651	0.756	0.861	0.923	1.000	1.061	1.105
雪荷载	0.713	0.799	0.886	0.936	1.000	1.051	1.087

对于风、雪荷载，可通过选择不同重现期的值来考虑设计工作年限的变化。对温度作用，还没有太多设计经验，考虑设计工作年限的调整尚不成熟。因此，可变荷载调整系数的具体数据，仅限于楼面和屋面活荷载。

根据表 3 计算结果，对本规范表 5.4.5 中所列以外的其他设计工作年限对应的 γ_L 值，按线性内插计算是可行的。

对于荷载标准值不会随时间明显变化的荷载，如楼面均布活荷载中的书库、储藏室、机房、停车库，以及工业楼面均布活荷载等，不需要考虑设计工作年限调整系数。

5.4.6 沉井结构的偶然设计状况及地震设计状况承载能力计算应按相关行业标准的规定执行。

条文说明：沉井结构的偶然设计状况及地震设计状况承载能力计算时，不同行业计算方法存在差异，无法统一计算方法。

5.5 正常使用极限状态计算

5.5.1 进行正常使用极限状态设计时采用的作用组合，应符合下列规定：

- 1 标准组合，用于不可逆正常使用极限状态设计；
- 2 频遇组合，用于可逆正常使用极限状态设计；
- 3 准永久组合，用于长期效应是决定性因素的正常使用极限状态设计。

条文说明：所谓可逆的正常使用极限状态，是指在导致超出极限状态的因素移除之后，结构可以恢复正常的极限状态，比如超出极限状态要求的振动或临时性的位移等；而不可逆的正常使用极限状态，则是指一旦超出极限状态，结构不能再恢复正常的极限状态，比如永久性的局部损坏，或永久变形。不可逆的正常使用极限状态所采用的设计准则，与承载能力极限状态类似；而可逆的正常使用极限状态，其设计准则可根据实际情况确定。

5.5.2 持久状况的正常使用极限状态，根据不同设计要求，可分别采用作用的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计。其效应设计值可按式 5.5.2-1~5.5.2-3 计算。

标准组合的设计值

$$S_d = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik} + Q_{1k} + \sum_{j>1}^n \psi_{cj} Q_{jk} \right) \quad (5.5.2-1)$$

频遇组合的设计值

$$S_d = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik} + \varphi_{f1} Q_{1k} + \sum_{j>1}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (5.5.2-2)$$

准永久组合的设计值

$$S_d = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik} + \sum_{j=1}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (5.5.2-3)$$

条文说明：列出了3种组合，来源于《工程结构通用规范》GB 55001，标准组合与“极限状态的分项系数设计法”相对应时，用于正常使用极限状态设计。在采用容许应力法和安全系数法设计时，通常也采用标准组合，但组合系数的取值有所区别。此外，有的采用容许应力法的设计规范还对“主力”、“主力+附力”作用下的结构验算作出不同限值规定，也可视为标准组合的不同情况。频遇组合和准永久组合都是和“极限状态的分项系数设计法”相对应的，用于不同状态的设计验算。

5.5.3 沉井结构构件应按相关行业标准的有关规定进行正常使用极限状态的应力、抗裂、裂缝宽度及变形的验算。

5.5.4 公路、铁路工程沉井构件应按标准组合进行应力验算并符合相关规范规定，各作用应采用标准值，作用分项系数除特别注明外应取1.0。

5.5.5 沉井结构构件按正常使用极限状态设计时，构件的抗裂验算、裂缝宽度验算及挠度验算采用的作用组合应符合表5.5.5的规定。

表 5.5.5 各行业正常使用极限状态采用的荷载组合

类别	建筑与市政工程	水利工程	公路工程	铁路工程	水运工程
抗裂验算	标准组合	标准组合	频遇组合	频遇组合	标准组合（裂缝控制等级一级） 准永久组合（裂缝控制等级为二级）
裂缝宽度	准永久组合	标准组合	频遇组合并考虑长期作用效应的影响	频遇组合	准永久组合
挠度验算	准永久组合	标准组合	频遇组合并考虑荷载长期作用效应的影响	准永久组合	准永久组合并考虑荷载长期作用影响的刚度 B

注：市政道路桥梁同公路工程，市政轨道桥梁同铁路工程。

5.5.6 钢筋混凝土沉井结构构件处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉时，最大裂缝宽度 ω_{\max} 限值应按附录C.0.1确定。

5.5.7 沉井构件的挠度应不影响结构的使用功能和外观要求,其计算值不应超过附录 C.0.2 规定的限值。

条文说明: 条文 5.5.3-5.5.7 中, 对于正常使用极限状态, 沉井结构需要分别按效应的标准组合、或频遇组合或准永久组合进行验算, 以确保满足结构构件的运行功能要求, 外观及使用舒适性要求, 尤其是耐久性要求。

对于公路、铁路沉井的弹性阶段的构件应力计算实质上是构件的强度计算, 是对构件承载力计算的补充, 因此各作用采用标准值, 汽车荷载应计入冲击系数, 所有荷载分项系数均取 1.0。

构件截面最大裂缝宽度限值与变形限值均应符合相关行业标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《水工混凝土结构设计规范》SL 191、《铁路桥涵设计规范》Q/CR 9300、《公路钢筋混凝土及预应力桥涵设计规范》JTG 3362 等规范的要求, 条文附录给出了相关行业标准的要求。

5.5.8 铁路工程墩台沉井基础的沉降应按永久作用计算, 其工后沉降不应超过附录 C.0.3 的限值。墩台基础沉降计算值应不含区域沉降。

5.6 沉井稳定性计算

5.6.1 沉井垫层的计算应符合下列规定:

- 1 沉井垫层宜采用砂垫层、素混凝土垫层或垫木垫层的组合;
- 2 砂垫层计算应符合下列规定:

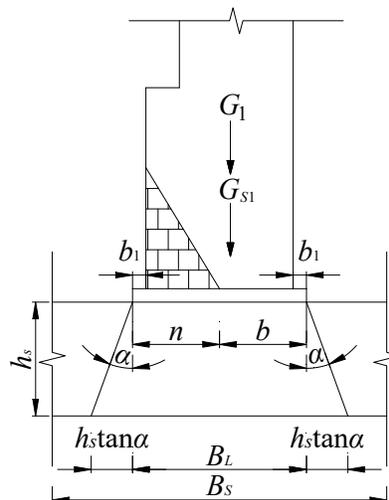


图 5.6.1 砂垫层计算示意图

(1) 砂垫层的厚度，应根据沉井的重量和地基土的承载力按下列公式计算确定，且不宜小于 600mm。

$$p = \frac{G_1 + G_{s1}}{2h_s \tan \alpha + B_L} + \gamma_s h_s \quad (5.6.1-1)$$

$$B_L = 2b_1 + b_c + n \quad (5.6.1-2)$$

$$p \leq f_a \quad (5.6.1-3)$$

式中： p_s ——基底压力标准值（kPa）；

h_s ——砂垫层的厚度（m）；

G_1 ——沉井第一节沿井壁单位长度重量（kN/m）；

G_{s1} ——沉井第一节施工荷载、外加助沉重量等（kN/m）；

γ_s ——砂的天然容重（kN/m³）；

B_L ——素混凝土垫层或垫木垫层的宽度（m）；

b_1 ——刃脚两侧的安全宽度及施工需要的宽度，一般取 0.6m~0.8m；当采用素混凝土垫层时，可取 h_c （ h_c 为素混凝土垫层厚度，m）；

b_c ——刃脚踏面宽度（m）；

n ——刃脚斜面的水平投影宽度（m）；

α ——砂垫层的压力扩散角（°），可取 30°；

f_a ——修正后的地基承载力特征值（kPa）。

(2) 当采用素混凝土垫层时，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，即按下式计算确定：

$$B_s \geq 2h_s \tan \alpha + B_L \quad (5.6.1-4)$$

式中： B_s ——砂垫层的底面宽度（m）。

当采用垫木垫层时，砂垫层的宽度宜按下式计算确定：

$$B_s \geq 2B_L + b_c \quad (5.6.1-5)$$

3 素混凝土垫层计算应符合下列规定：

(1) 素混凝土垫层的厚度可采用下式计算，其厚度不应小于 150mm，且不宜大

于 250mm。

$$h = \frac{\frac{G_1 + G_{s1}}{R}(b_c + n)}{2} \quad (5.6.1-6)$$

式中： R ——砂垫层的承载力设计值，一般取 100kN/m^2 。

(2) 素混凝土垫层应按下列公式计算受压承载力：

$$N \leq \frac{1}{\gamma_d} \phi' f_c A'_c \quad (5.6.1-7)$$

式中： N ——素混凝土垫层正截面承受轴向力设计值（kN）；

ϕ' ——素混凝土垫层的稳定系数，可取 0.5；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（ kN/m^2 ）；

A'_c ——混凝土受压区的截面面积（ m^2 ）；

γ_d ——素混凝土垫层的结构系数，受压破坏可取 1.3。

(3) 素混凝土垫层应按下列公式计算受弯承载力：

$$M \leq \frac{1}{\gamma_d} \gamma_m f_t W_t \quad (5.6.1-8)$$

式中： M ——弯矩设计值，由沉井单位长度自重、施工荷载等引起地基反力产生的最大弯矩（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

γ_m ——截面抵抗矩的塑性系数，矩形截面可取 1.55；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值（ kN/m^2 ）；

W_t ——截面受拉边缘的弹性抵抗矩（ m^3 ）；

γ_d ——素混凝土垫层的结构系数，受拉破坏可取 2.0。

4 垫木垫层计算应符合下列规定：

(1) 采用垫木垫层时，其根数应按下列公式计算确定：

$$m = \frac{G_Z^1 + G_Z^{s1}}{A_0 R} \quad (5.6.1-9)$$

式中： m ——每米内垫木根数；

G_Z^1 ——沉井首节的重量（kN）；

G_Z^{s1} ——沉井首节施工荷载、外加助沉重量等（kN）；

A_0 ——每根垫木与砂垫层的接触面积 (m^2) ;

(2) 垫木挤压应力应按式(5.6.1-10)计算, 其应力不应超过木材横纹局部挤压强度。

$$\sigma_{\text{压}} = \frac{G_z}{A_1} \quad (5.6.1-10)$$

式中: $\sigma_{\text{压}}$ ——垫木挤压应力 (kN/m^2) ;

G_z ——沉井抽出垫木前的重量 (kN) ;

A_1 ——刃脚踏面与垫木的接触面积 (m^2) 。

(3) 垫木剪应力应按式(5.6.1-11)计算, 其应力不应超过木材横截面抗剪强度。

$$\tau = \frac{G_z}{2A_2} \quad (5.6.1-11)$$

式中: τ ——垫木横截面剪应力 (kN/m^2) ;

A_2 ——垫木横截面面积 (m^2) ;

条文说明: 沉井首节荷载主要为井的自重, 为确保首节稳定性, 需要控制首节制作高度。在刃脚下设置素混凝土垫层可以加大支承面积, 减轻对砂垫层或地基土的压力, 以及省去刃脚下的底模板, 便于沉井制作, 并通过砂垫层进一步扩散至地基土, 使应力小于地基土的承载力特征值, 确保首节的稳定性。砂垫层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、持力层土的内摩擦角有关, 一般可取 $30^\circ \sim 40^\circ$, 本规程偏保守的取 30° 。本条款 1、2 给出了砂垫层厚度、宽度的验算公式, 根据《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 要求, 砂垫层最小厚度不宜小于 600mm 。素混凝土垫层厚度需根据现场土层及沉井大小综合确定, 条款 3 给出了素混凝土垫层厚度及强度的验算公式, 并给出了素混凝土垫层厚度的取值范围。一般来说素混凝土垫层的厚度不要过厚, 太厚会造成沉井下沉时凿除混凝土困难。条款 4 给出了垫木垫层根数、截面的验算公式。素混凝土垫层、垫木垫层计算公式引自《水电水利工程沉井施工技术规程》DL/T5702, 当缺乏资料时木材横纹局部挤压强度、木材横截面抗剪强度可参照该规范取 $3000\text{kN}/\text{m}^2$ 及 $2000\text{kN}/\text{m}^2$ 。

5.6.2 沉井下沉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:

$$k_{st} = \frac{G_k + G_s - F_w}{T_f + R_1 + R_2} \quad (5.6.2-1)$$

$$F_w = \gamma_w V \quad (5.6.2-2)$$

$$T_f = \sum U_i f_{ki} H_i \quad (5.6.2-3)$$

$$R_1 = U_n \left(b + \frac{n}{2} \right) R_k \quad (5.6.2-4)$$

$$R_2 = A_1 R_k + A_2 R_k \quad (5.6.2-5)$$

式中： k_{st} ——下沉系数；

T_f ——侧壁与土的总摩阻力的标准值（kN）；

G_k ——沉井自重标准值（kN）；

G_s ——沉井施工荷载、外加助沉重量等标准值（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；

γ_w ——水的重度（kN/m³），取 9.8kN/m³；

V ——沉井在地下水位以下的体积（m³）；

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

f_{ki} ——第 i 层单位摩阻力标准值（kPa），按附录 A 取值；

U_i ——第 i 层土中侧壁外围周长（m）

U_n ——井底侧壁外围周长（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 ——隔墙和底梁下地基反力，取地基极限承载力（kN），采取掏刃脚下沉时取 0；

A_1 ——隔墙支承面积（m²）；

A_2 ——底梁支撑面积（m²）。

2 当井内填砂处理时，上式中的 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 下沉系数按表 5.6.2 确定。

表 5.6.2 不同行业的下沉系数

行业	市政、房屋建筑工程	公路、铁路、水运工程	水电水利工程
----	-----------	------------	--------

行业	市政、房屋建筑工程	公路、铁路、水运工程	水电水利工程
下沉系数	1.05~1.25;	1.15~1.25;	1.0~1.25;
	遇软土时 0.8~0.9		

注：市政城市桥梁工程同公路工程取值，市政轨道桥梁同铁路工程。

条文说明：沉井下沉前，应进行分阶段下沉计算，下沉系数结果符合要求后方可下沉，如果下沉系数不能符合下沉需求，需要采用合适的下沉施工方法和相应的技术措施。根据工程实践经验，一般来说沉井依靠结构自重克服摩擦力下沉。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。下沉系数可采用掏刀脚、调节土塞高度等措施来控制。沉井的自重包括井壁、隔墙和框架等重量。如采用不排水下沉，则沉井的自重尚应考虑水的浮力对沉井自重的影响。此时沉井所受水的浮力的大小，等于地下水位以下的井壁、隔墙、框架等部分的同体积水重。在 5.6.2-4 式中由于刀脚斜面与土壤接触面的水平投影宽度范围竖向地基反力偏保守按三角形荷载考虑，刀脚斜面与土接触起点反力按 0 考虑，故 5.6.2-4 式中计算该部分地基反力时引入了系数 $\frac{1}{2}$ 。

当井内填砂时，由于在井内填砂，故刀脚和隔墙底部的承载力不仅仅是底部的承载力，需要对其进行修正，本规程对其只考虑深度修正，同时根据刀脚和隔墙的埋深，应考虑刀脚和隔墙处的摩阻力。

当基底为淤泥质土时，由于淤泥质土的承载力很低，此时沉井可能会突然发生下沉，数十秒的沉降量可达 3m~5m。在淤泥质土和黏性土中下沉时，土体宜进行加固处理，宜对刀脚下土体进行加固，具体范围可根据计算确定，否则会造成严重的工程事故。

关于下沉稳定系数的取值，不同规范、规程存在一定差别。一般来说当沉井选址及下沉方法确定后，井壁摩阻力基本就确定了，此时下沉稳定性系数的大小主要与沉井自重及厚度有关，下沉稳定性系数太小，沉井无法下沉；下沉稳定性系数越大，虽然下沉越容易，下沉速度越快，但通常也需要更大自重，更厚的井壁，因此下沉系数取值过大，通常是不经济的，况且当地层中存在软弱土层时还可能发生超沉、突沉等情况，因此下沉稳定性系数应控制在一定范围。目前国内各行业标准下沉系数具体如下表，具体工程案例的下沉系数取值见图 1。在综合参考国内相关规范及工程案例后，本条款 3 拟定了下沉系数。值得注意的是，由于土质、摩阻力的变化，沉井下沉过程中下沉系数实际上是一个变值，当沉井下沉至设计标高时，为了保证沉井稳定及后续接高施工的安全性，下沉系数宜小于 1.0。

表 1 不同规范确定的下沉系数

规范名称	《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016	上海市《沉井与气压沉箱施工技术规程》DG/TJ 08-2084-2011	《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019	《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093-2017	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137-2015	《水电水利工程沉井施工技术规程》DL/T 5702-2014
下沉系数	1.05~1.25, 遇软土时 0.8~0.9	1.0~1.25, 遇软土时 0.8~0.9	1.15~1.25, 遇软土时 0.8~0.9	1.15~1.25	≥1.05, 遇软土时 0.8~0.9	1.0~1.25, 遇软土时 0.8~0.9

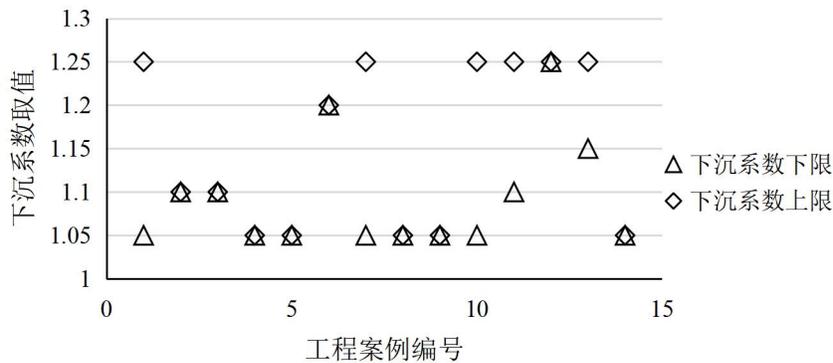


图 1 工程案例下沉系数取值范围

5.6.3 当沉井多次制作下沉时，应按下列公式进行接高稳定性验算，且接高下沉稳定性系数应小于 1.0:

$$k_c = \frac{G_{kc} + G_{kcs} - F_w}{T_f + R_1 + R_2} \quad (5.6.3-1)$$

式中： k_c ——接高稳定性系数；

G_{kc} ——每次接高后的井体总重量（kN）；

G_{kcs} ——每次接高后的沉井施工荷载、外加助沉重量等标准值（kN）；

条文说明：沉井在接高时，增加了混凝土重量，大大增加了刃脚踏面的荷载。如果踏面下土体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，荷载不均匀时还会产生大的倾斜，给浇筑混凝土的质量带来一定的危害。因此，进行接高施工前应进行接高稳定性验算。工程中往往在沉井接高之前，在井内回填部分黄砂，以增加接触面，减少沉井的沉降。关于接高稳定性系数取值，各规范基本一致，《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016、上海市《沉井与气压沉箱施工技术规程》DG/TJ 08-2084-2011、《水电水利工程沉井施工技术规程》DL/T 5702-2014，均要求小于 1.0；而从工程案例上看，

接高稳定性系数取值主要分布在 0.8~1.0 之间，因此本规程接高稳定性系数取值按小于 1.0 考虑。

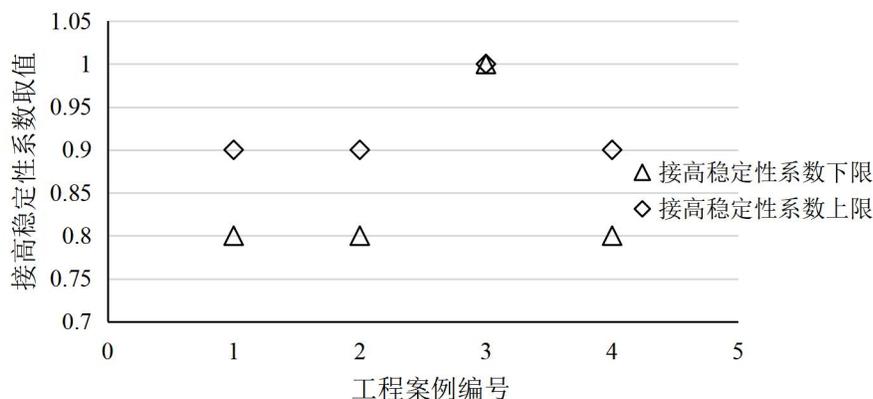


图 2 工程案例接高稳定系数取值范围

5.6.4 沉井抗浮应按施工封底和使用两个阶段，分别根据实际可能出现的最高水位及作用按下式进行验算：

$$k_{fw} = \frac{G_k + G_{sw} + \sum F_i}{F_{wk}} \quad (5.6.4-1)$$

式中： k_{fw} ——沉井抗浮稳定系数，按表 5.6.4 确定；

G_{sw} ——沉井外加助沉重量等标准值（kN）；

$\sum F_i$ ——沉井上部结构竖向恒载合力标准值（kN）；

F_{wk} ——地下水的浮托力（kN），应根据不同阶段按最不利工况计算。

表 5.6.4 不同行业的抗浮稳定系数（不考虑侧摩阻）

行业		市政、公路、铁路、水运、水利水电工程工程	房屋建筑工程工程
抗浮稳定系数	施工阶段	≥1.0	一级：≥1.05 二级：≥1.0 三级：≥0.95
	使用阶段	≥1.05	一级：≥1.1 二级：≥1.05 三级：≥1.0

注：1.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，但宜结合具体工程适当确定稳定系数；

2.市政城市桥梁工程同公路工程取值，市政轨道桥梁同铁路工程。

条文说明：关于抗浮稳定系数针对结构工程取值一般在 1.0~1.15，不同规范、规程存在一定差别，具体如下表。

表 2 不同规范确定的下沉系数

规范名称	《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016	上海市《沉井与气压沉箱施工技术规程》DG/TJ 08-2084-2011	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137-2015	《水电水利工程施工沉井施工技术规程》DL/T 5702-2014	《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019	《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011
稳定性系数	≥1.0; 考虑侧摩阻 ≥1.15	≥1.0; 考虑侧摩阻≥1.15	≥1.0; 考虑侧摩阻 ≥1.15	≥1.0; 不考虑侧摩阻	丙级、乙级、 甲级结构， 不考虑侧摩阻， 施工期： 0.95、1.0、 1.05； 使用期： 1.0、1.05、 1.1	施工期、使用期均≥1.05，不考虑侧摩阻

从上表可以看出，抗浮稳定系数在不考虑侧壁摩阻力的情况下，施工阶段系数取值范围为 0.9~1.05，其中又以 1.0 较为普遍，而考虑侧摩阻时则不宜小于 1.15。一般说来，针对沉井结构，侧壁摩阻力实际是存在的，但考虑到侧摩阻力大小较难确定，且在深度较浅的沉井内影响较小，因此本规程在计算抗浮稳定时未考虑侧摩阻的影响，将其作为安全储备，施工期抗浮稳定系数除房建工程外下限均取 1.0。除此以外应注意当井壁与土之间采用注浆措施时，亦应适当提高安全系数，此时可参照《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137: 2015 取 1.05。如果沉井较深，可考虑摩阻力，此时考虑摩阻力后的抗浮系数，一般应取 1.15。

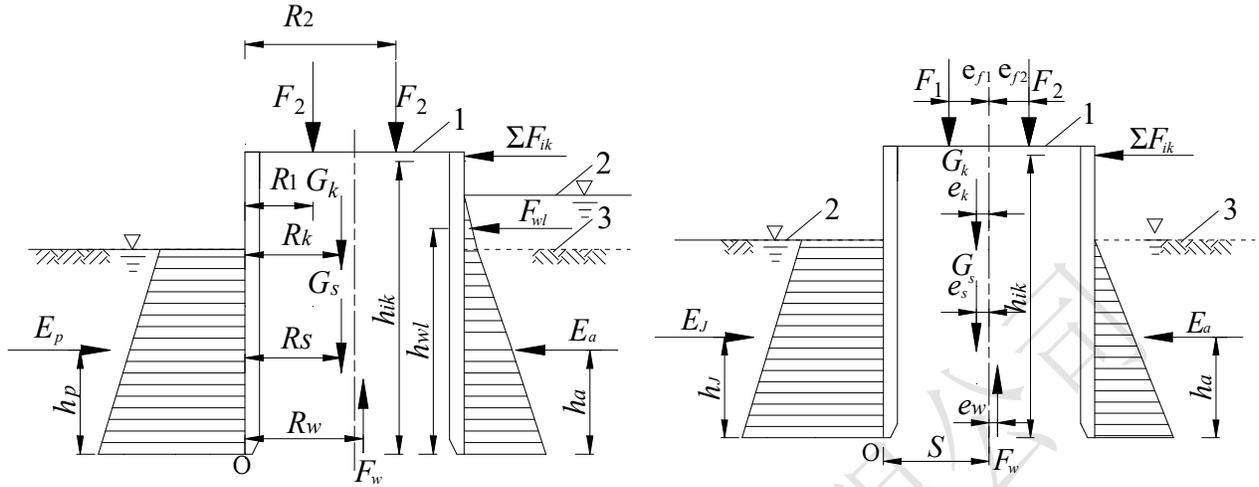
使用期抗浮稳定系数宜比施工期适当提高，因此对比了《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 要求后除房建工程外，其下限值取 1.05。

《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 要求针对甲、乙、丙级建筑分别按施工阶段和使用阶段，明确了具体抗浮安全系数要求，该标准 3.0.1 条抗浮工程设计等级是从工程地质及水文地质条件的复杂程度、地基基础设计等级、对正常使用的影响和危害程度三个方面确定的，对比本规程 5.1.11 条甲、乙、丙级可分别对应取一级、二级、三级。

另外若封底混凝土与结构有可靠连接，则可考虑封底混凝土对抗浮的有利作用，并把稳定系数适当提高，具体可参照《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 4.5.4 条规定。

5.6.5 当沉井前后两面水平作用不均衡时，应分别按施工阶段和使用阶段，按下列公式验

算沉井的倾覆稳定（图 5.6.5）。



(a) 市政及其他工程

(b) 公路、铁路工程

1—沉井；2—计算水位；3—河床或地面；O—倾覆旋转点

图 5.6.5 沉井抗倾覆稳定性验算示意图

1 市政、水电水利、房屋建筑工程倾覆稳定应按下式计算，抗倾覆系数应不小于 1.5：

$$k_{ov} = \frac{\sum M_{aov,k}}{\sum M_{ov,k}} \quad (5.6.5-1)$$

$$\sum M_{aov,k} = G_k R_k + G_s R_s + E_p h_p + \sum F_i R_i \quad (5.6.5-2)$$

$$\sum M_{ov,k} = E_a h_a + F_{wl} h_{wl} + F_w R_w + \sum F_{ik} h_{ik} \quad (5.6.5-3)$$

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）；

\$E_a\$、\$E_p\$——沉井外主动、被动土压力合力标准值（kN），水域沉井被动土压力不计地面以下冲刷部分的土压力；

\$F_{wl}\$——沉井受到的静水压力合力标准值（kN）；

\$F_{ik}\$——水平荷载标准值（kN）；

\$h_a\$——沉井结构底端与 \$E_a\$ 作用点的距离（m）；

\$h_p\$——沉井结构底端与 \$E_p\$ 作用点的距离（m）；

\$h_{wl}\$——沉井结构底端与 \$F_{wl}\$ 作用点的距离（m）；

h_{ik} ——沉井结构底端与 $\sum F_{ik}$ 作用点的距离 (m)；

R_k ——自重合力作用点到沉井倾覆脚趾距离 (m)；

R_s —— G_s 合力作用点到沉井倾覆脚趾距离 (m)；

R_i —— F_i 作用点到沉井倾覆脚趾距离 (m)；

R_w ——浮力合力重心到沉井倾覆脚趾距离 (m)。

2 公路、铁路工程倾覆稳定应按下列式计算，抗倾覆系数应满足表 5.6.5-1 及表 5.6.5-2：

$$k_{ov} = \frac{S \sum P_i}{\sum P_i e_i + \sum H_i h_i} \quad (5.6.5-4)$$

$$\sum P_i = G_k + \sum F_i - F_w \quad (5.6.5-5)$$

$$\sum P_i e_i = G_k e_k + \sum F_i e_{fi} - F_w e_w \quad (5.6.5-6)$$

$$\sum H_i h_i = E_a h_a + \sum F_{ik} h_{ik} - E_J h_J \quad (5.6.5-7)$$

式中： F_i ——沉井前后侧水平力标准值 (kN)；

E_J ——沉井外静止土压力合力标准值 (kN)，水域沉井被动土压力不计地面以下冲刷部分的土压力。悬索桥锚定基础 $E_J=0$ ；

$\sum P_i$ ——沉井竖向力标准值之和；

H_i ——水平力对验算截面的力臂 (m)。

S ——截面重心至合力作用点的延长线上，自截面重心至验算倾覆轴的距离 (m)；

e_i ——竖向力 P_i 对验算截面重心的力臂 (m)；

e_{fi} —— F_i 对验算截面重心的力臂 (m)；

e_k —— G_k 对验算截面重心的力臂 (m)；

e_s —— G_s 对验算截面重心的力臂 (m)；

e_w —— F_w 对验算截面重心的力臂 (m)；

h_J ——沉井结构底端与 E_J 作用点的距离 (m)；

表 5.6.5-1 公路工程抗倾覆系数表

公路工程抗倾覆系数	阶段	组合工况一	组合工况二
	使用阶段	≥ 2.0 (悬索桥锚碇永久作用、汽车、人群和温度的标准值效应组合)； ≥ 1.5 (桥墩永久作用 (不计混凝土收缩及徐变、浮力) 和汽车、人群作用的标	≥ 1.2 (悬索桥锚碇永久作用、地震作用的标准值效应组合)； ≥ 1.3 (桥墩各种作用的标准值组合)；

		准值组合)；	
	施工阶段	≥1.2 (除悬索桥外, 其他桥梁桥墩, 各种作用的标准值组合)	

注: 市政城市桥梁工程同公路工程取值。

表 5.6.5-2 铁路工程抗倾覆系数表

铁路工程 抗倾覆系 数	阶段	桥梁
	使用阶段	≥1.5 (各种作用的标准值组合) ≥1.3 (除拱桥外, 抗震验算组合)
	施工阶段	≥1.2 (各种作用的标准值组合)

注: 1.拱桥桥墩基础抗倾覆稳定应按施工过程中可能产生的单侧横推力进行计算;

2.市政轨道桥梁同铁路工程。

条文说明: 市政、水利水电、房屋工程抗滑移稳定系数取值参考了国内相关规范取值, 具体如下表所示。

表 3 不同规范确定的抗倾覆系数

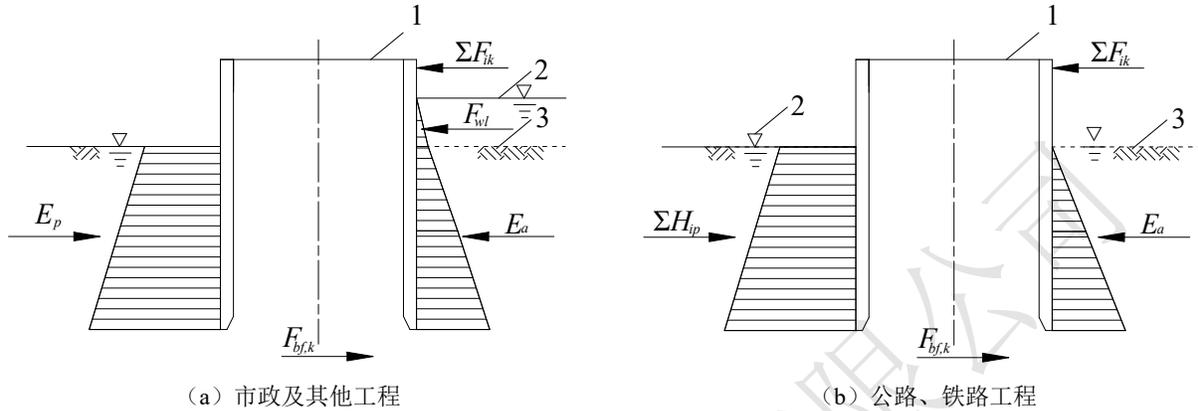
规范名称	《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137: 2015	《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013	《钢围堰工程技术标准》GBT 51295-2018
稳定性系数	≥1.5	≥1.5	重力式挡土墙, 1.6 (不计被动土抗力)	钢套筒, ≥1.5

从上表可以看出, 各规范抗倾覆系数取值为 1.2~1.6。虽然桥涵墩台施工阶段抗倾覆要求最低, 但在使用阶段仅考虑永久荷载+汽车作用+人群作用时, 其抗倾覆系数仍然要求达到 1.5, 且其它沉井规范抗倾覆系数均要求不小于 1.5, 因此综合各相关规范后, 本规程市政、水利水电、房屋工程抗倾覆系数下限值, 也采用 1.5。

公路、铁路沉井工程抗倾覆计算方法及倾覆系数, 参照了《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 5.4.1 条、《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05) 8.4.1 条、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10093) 3.1.1、3.1.3 条及《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111) 7.1.5 拟定, 值的注意的是公式 5.6.5-6 中竖向力对截面重心的力臂应包含符号, 计算时应按把基础向同一倾覆方向统一。根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015) 4.2.3 条第 1 款“桥梁墩、台、挡墙墙前侧地面一下不受冲刷部分的侧压力, 可按静止土压力计算”及《铁路桥涵设计规范》(TB 10002-2017) 4.2.2 条第 4 款“在计算滑动稳定时, 墩台前侧不受冲刷部分土的侧压力可按静止土压力计算”, 故本条第 2 款 5.6.5-4 式按静止土压力计

算沉井倾覆前侧土侧压力对倾覆稳定的有利作用。

5.6.6 当沉井前后两面水平作用不平衡时，应分别按施工阶段和使用阶段，按下列公式验算沉井的滑移稳定（图 5.6.6）。



1—沉井；2—计算水位；3—河床或地面

图 5.6.6 沉井抗滑移稳定性验算示意图

1 市政、水电水利、房屋建筑工程滑移稳定应按下式计算，抗滑移系数应不小于 1.3:

$$k_s = \frac{\eta E_p + F_{bf,k}}{E_a + \sum H_{ia}} \quad (5.6.6-1)$$

$$\sum H_{ia} = \sum F_{ik} + F_{wl} \quad (5.6.6-2)$$

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；

$F_{bf,k}$ ——沉井底面有效摩阻力标准值之和（kN）；

$\sum H_{ia}$ ——沉井前后滑动水平力标准值之和（kN）。

2 公路工程滑移稳定应按下式计算，抗滑移系数应满足表 5.6.6-1:

$$k_s = \frac{\sum H_{ip} + F_{bf,k}}{\sum H_{ia}} \quad (5.6.6-3)$$

式中： $\sum H_{ip}$ ——沉井前后侧抗滑水平力标准值之和（kN）；

表 5.6.6-1 公路工程抗滑移稳定系数

公路工程 抗滑移系 数	阶段	组合工况一	组合工况二
	使用阶段	≥ 2.0 (悬索桥锚碇永久作用、汽车、人群和温度的标准值效应组合)；	≥ 1.2 (除悬索桥外，其他桥梁桥墩各种作用的标准值组合)

		≥1.3（桥墩永久作用（不计混凝土收缩及徐变、浮力）和汽车、人群作用的标准值组合）；
	施工阶段	≥1.6（悬索桥锚碇，各种作用的标准组合）； ≥1.2（桥墩，各种作用的标准组合）

注：市政城市桥梁工程同公路工程取值。

3 铁路工程滑移稳定应按下列式计算，抗滑移系数应满足表 5.6.6-2：

$$k_s = \frac{F_{bf,k}}{\sum H_i} \quad (5.6.6-5)$$

$$\sum H_i = E_a + \sum F_{ik} - E_j \quad (5.6.6-6)$$

式中： $\sum H_i$ ——沉井前后侧水平力标准值之和（kN）；

表 5.6.6-2 铁路工程抗滑移稳定系数

铁路工程 抗滑移系 数	阶段	桥梁
	使用阶段	≥1.3（各种作用的标准值组合） ≥1.1（除拱桥外，抗震验算组合）
	施工阶段	≥1.2（各种作用的标准值组合）

注：1.拱桥桥墩基础抗滑移稳定应按施工过程中可能产生的单侧横推力进行计算；

2.市政轨道桥梁工程同铁路工程取值。

条文说明：计算抗滑移稳定性时主要把沉井结构当做整体结构进行计算，市政、水利水电、房屋工程抗滑移稳定系数参照《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137: 2015 6.1.6 条拟定，考虑到沉井结构在水平方向除受主被动土压力外、基底摩擦外还有其他水平作用力，故在该公式的基础上，增加考虑水平作用力合力的影响。建议一般情况下沉井结构整体抗滑移系数不应低于 1.3。公式中被动土压力利用系数，引自《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016。

表 4 不同规范确定的抗滑移系数

规范名称	《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137: 2015	《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013	《钢围堰工程技术标准》GBT 51295-2018
稳定性系数	≥1.3	≥1.3	重力式挡土墙， ≥1.3	钢套筒，≥1.3

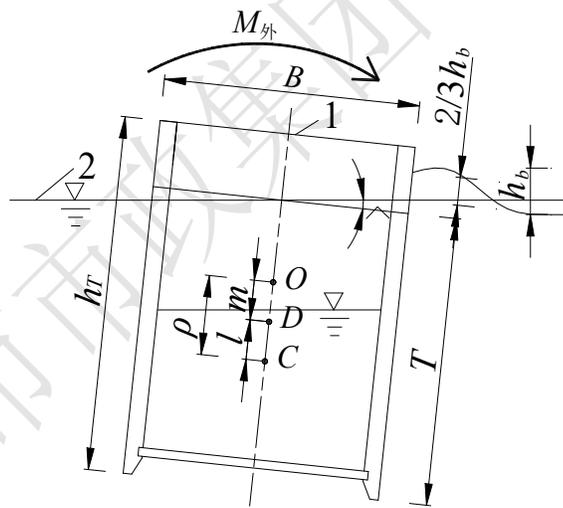
公路、铁路沉井工程的抗滑移稳定系数，参照了《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 5.4.2 条、《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05) 8.4.1 条、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10093) 3.1.2、3.1.3 条及《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111) 7.1.5

拟定。

5.6.7 水域沉井当采用干坞法下水时应按本规程第 5.6.8 条进行下水稳定性验算,当采用滑道法下水时应按船舶下水过程进行相关稳定性验算

条文说明: 水域沉井下水常用方案有干坞法、滑道法、直接起吊等方法。干坞法下水即沉井在工厂内分块加工后, 在干坞内拼装成整体, 然后对干坞注水使沉井缓慢浮起, 起浮后打开坞门, 利用拖轮将沉井拖出干坞。下水过程中沉井稳定性计算与浮运过程基本相同, 因此可以按照 5.6.8 条进行验算。滑道法下水即通过在既有滑道上布置滑板, 依靠沉井自重分力下滑入水。由于下水过程沉井受到的浮力在持续变化, 其浮态稳定性与船舶下水过程中的稳定性原理类同, 因此可以参照船舶下水过程进行相应的稳定性验算, 如温州瓯江北口大桥中塔沉井。

5.6.8 水中浮运的沉井在浮运过程中(沉入河床前), 应对干舷及浮运稳定性进行验算, 并符合下列规定(图 5.6.8):



1—沉井; 2—计算水位; D—重心; C—浮心; O—定倾中心

图 5.6.7 水中浮运沉井验算示意图

1 沉井干舷高度应满足式 5.6.8-1 的要求。不满足要求时, 可采用密封舱顶等措施。

$$F \geq \frac{B}{2} \tan \phi + \frac{2h_b}{3} + S_f \quad (5.6.8-1)$$

$$F = H - T \quad (5.6.8-2)$$

式中: F ——沉井干舷高度 (m);

h_T ——为沉井高度 (m);

T ——为沉井吃水（m）；

B ——沉井宽度（m）；

ϕ ——浮运沉井浮运阶段的倾斜角（°）；

h_b ——波高（m）；

S_f ——沉井干舷的富裕高度（m），取 0.5m~1m；

2 沉井浮运稳定性，应验算稳定倾斜角。浮运阶段的稳定倾斜角 ϕ 不得大于 6° 。稳定倾斜角应按下列公式计算：

$$\phi = \arctan \frac{M_{\text{外}}}{\gamma_w V_{\text{排}}(\rho - l)} \quad (5.6.7-3)$$

$$\rho = \frac{I - \sum i}{V_{\text{排}}} \quad (5.6.7-4)$$

$$m = \rho - l > 0 \quad (5.6.7-5)$$

式中： $M_{\text{外}}$ ——外力矩（kN·m）；

$V_{\text{排}}$ ——浮运沉井排水体积（m³）；

l ——浮运沉井重心至浮心距离（m），重心在浮心之上为正，反之为负；

ρ ——定倾半径，即定倾中心至浮心的距离（m）；

I ——浮运沉井在水面处的断面对纵向中心轴的惯性矩（m⁴）；

i ——第 i 个井格内压载水的水面对该水面纵向中心轴的惯性矩（m⁴）；

m ——定倾高度（m）。

3 沉井浮运稳定性，应验算沉井定倾高度。近程浮运时，沉井的定倾高度不应小于 0.2m；远程浮运时，以块石和砂等固体物压载的沉井定倾高度不应小于 0.3m，以液体压载的沉井定倾高度不应小于 0.4m。

条文说明：其中能查到的工程“泗洪县东南片区域供水取水工程”、“泰州长江公路大桥”、“常泰长江大桥钢沉井”、“芜湖长江三桥 3 号桥塔墩沉井基础”和“沪通长江大桥主塔沉井”，依托这些工程的学术论文显示，其定倾高度都是大于本条规范要求。

在水中浮运的沉井，由于风浪的作用，在浮运过程中往往会出现倾斜，影响浮运安全，因而水中浮运的沉井，必须验算干舷高度及浮运稳定性，避免沉井在水中倾覆事故的发生。目前国内沉井结构相关浮运稳定性主要通过验算浮运阶段倾斜角进行，如《沉井与气压沉

箱施工规范》GB/T 51130、《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137: 2015 等，因此一般沉井本规程也采用了相同的验算方法，沉井浮运阶段的倾斜角参照国内相关规范拟定（如表 5.6.8-1），建议取不大于 6°。

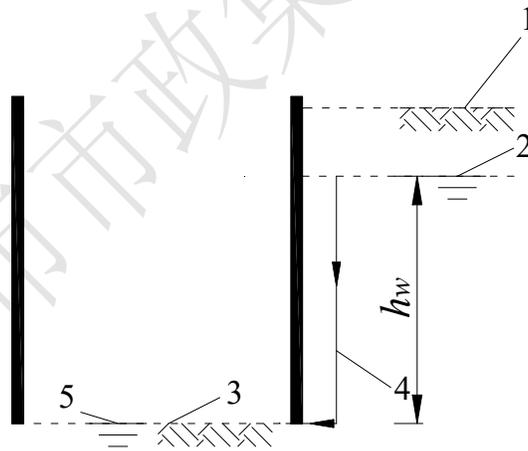
表 5 不同规范确定的浮运稳定倾斜角

规范名称	《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137: 2015	《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019	《铁路桥涵地基和基础设计规范》（TB 10093-2017）
稳定倾斜角	≤6°	≤6°	≤6°	≤6°

针对码头沉井，按《码头结构设计规范》JTS 167 要求，采用定倾半径验算浮运稳定性，本条第 3 款近程浮运是指沉井在同一港区内或运程在 30n mile 以内浮运，而浮运时间内有夜间航行或运程大于等于 30n mile 的浮运为远程浮运。

5.6.9 当沉井内外存在水头差时，应进行抗流土、抗管涌、抗突涌稳定性验算，并应符合下列规定：

1 沉井抗流土、抗管涌稳定性验算（图 5.6.9-1）应按下列公式计算：



1-河床或地面；2-计算水位；3-沉井底；4-渗流路径；5-井内水位

图 5.6.9-1 沉井抗流土、抗管涌稳定性验算示意图

$$\frac{i_{cr,f}}{i} \geq k_f \quad (5.6.9-1)$$

$$i = \frac{h_w}{L_s} \quad (5.6.9-2)$$

$$L_s = \sum L_h + \sum L_v \quad (5.6.9-3)$$

$$i_{crf} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (5.6.9-4)$$

式中： k_f ——抗流土、管涌稳定性安全系数，取 2.0；

i ——沉井底土的渗流水力坡度；

h_w ——沉井内外土体的渗流水头（m），取沉井内外水位差；

L_s ——最短渗流路径流线总长度（m）；

$\sum L_h$ ——渗流路径水平段总长度（m）；

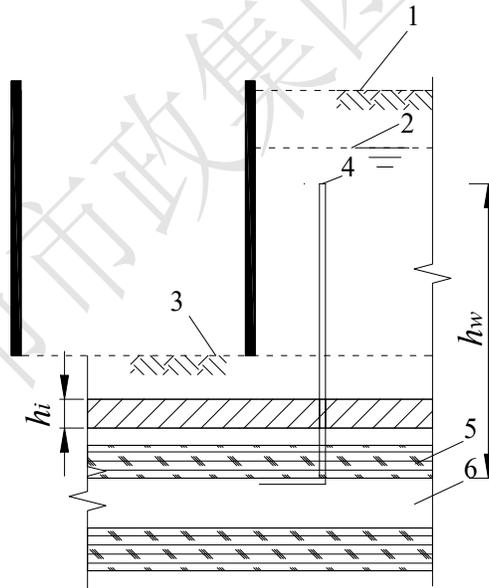
$\sum L_v$ ——渗流路径垂直段总长度（m）；

i_{crf} ——沉井底土体的流土临界坡度；

G_s ——沉井底土的颗粒比重；

e ——沉井底土体天然孔隙比。

2 当井底开挖面以下存在承压含水层且其上部存在不透水层时，沉井抗突涌稳定性验算（图 5.6.9-2）应按下列公式计算：



1—河床或地面；2—井外水位；3—沉井底；4—承压水测管水头；5—不透水层；6—承压水含水层

图 5.6.9-2 坑底土体的抗突涌稳定性验算示意图

$$\frac{\sum \gamma_i h_i}{P_{wk}} \geq k_h \quad (5.6.9-5)$$

$$P_{wk} = \gamma_w h_w \quad (5.6.9-6)$$

式中： k_h ——抗突涌稳定性安全系数，取 1.1；

γ_i ——承压水层顶面至沉井底间各土层的重度标准值（ kN/m^3 ）；

h_i ——承压水层顶面至沉井底间各土层的厚度（ m ）；

h_w ——承压水层顶面承压水水头高度（ m ）；

P_{wk} ——承压水层顶部的水压力标准值（ kPa ）。

条文说明：当沉井内外存在水头差时，井底土在可能发生渗流及突涌破坏，在国内既有沉井规范中均未明确相关验算方法，本条参照基坑、围堰等相似结构的补充了相关规定，对均质含水层，沉井抗流土、抗管涌、抗突涌稳定性可按本条规定计算，对渗透系数不同的非均质含水层，宜采用数值方法。

本条第 1 款：参照现行基坑或规范中对抗流土、抗管涌稳定性的分析均采用达西定律，但计算模型存在一定差异。上海市《基坑工程技术规范》DG/T J08-61-2010 在确定最短渗流路径时考虑了帷幕结构的尺寸影响；《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 在确定最短渗流路径时对基坑外侧土层的作用进行了折减。本规程考虑到沉井外可能设置止水帷幕等截水结构，考虑水平渗流路径的影响，更直观，因此在计算公式中引入水平渗流路径。在综合考虑抗流土稳定性原理，考虑沉井周边土层的颗粒、孔隙及分层复杂多变以及渗流路径的不确定性，结合沉井工程特性，参考国内相关规范(表 6)拟定抗流土、抗管涌稳定性安全系数取 2.0。

表 6 不同规范确定的抗流土、抗管涌稳定性安全系数

规范名称	上海市《基坑工程技术规范》DG/TJ08-61-2010	《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012	《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05-2020	《钢围堰工程技术标准》GBT 51295-2018
安全系数	1.5~2.0	1.6、1.5、1.4	流土 2.0、1.8、1.6 管涌 1.9、1.7、1.5	2.0

本条第 2 款：沉井突涌验算指沉井底上部为不透水层，下某深度处有承压水层，当水压大于上覆土层重力时发生突涌。抗突涌稳定性验算参照国内基坑规范(表 7)，拟定抗突涌安全系数为 1.1。

表 7 不同规范确定的抗突涌稳定性安全系数

规范名称	上海市《基坑工程技术规范》DG/TJ08-61-2010	浙江省《建筑基坑工程技术规程》DB33/T 1096-2014	《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012	《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05-2020	《钢围堰工程技术标准》GBT 51295-2018
安全系数	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

安全系数	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1
------	------	-----	-----	-----	-----

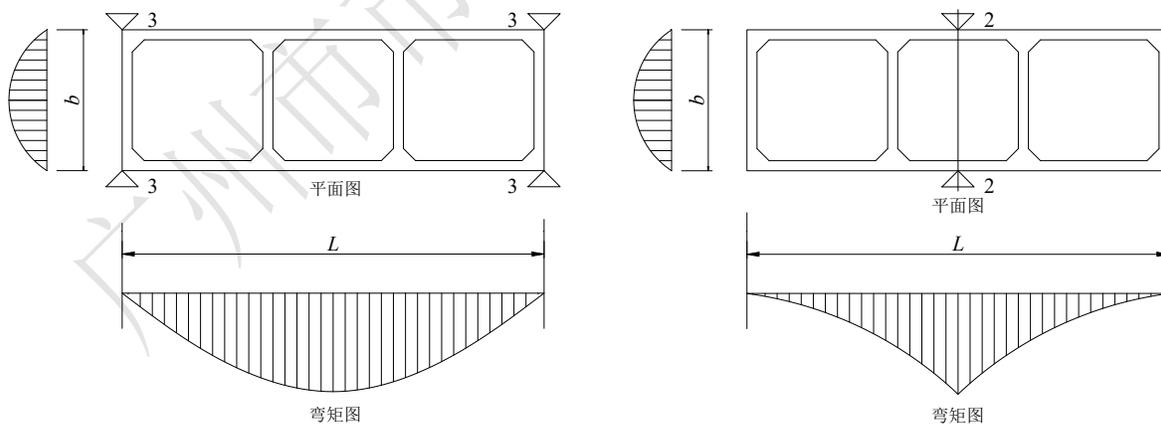
5.6.10 靠近边坡、江河海岸边施工及挡土结构的沉井，应分别按施工阶段和使用阶段的荷载作用，进行土体边坡的整体滑动稳定性的验算。

条文说明：靠近边坡及江河海岸边施工的沉井，由于沉井两侧土体可能存在较大差异，边坡可能发生整体滑动，因此需进行整体滑动稳定性验算，此时需把沉井结构与边坡作为一个整体进行验算，其整体稳定系数与边坡稳定系数相同，根据不同行业具体规范进行取值。除此以外随着沉井应用领域的发展，在某些水利工程如铜街子电站两岸滑坡治理工程，采用了沉井结构作为稳定滑坡支护的构件，此时亦需要对边坡整体稳定性进行验算。

5.7 沉井结构计算

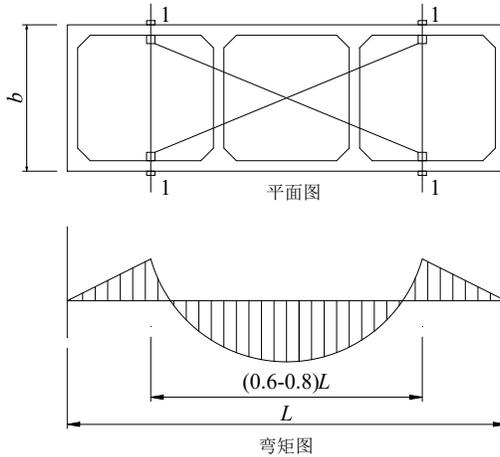
5.7.1 沉井底节的竖向抗弯强度应按下列情况进行验算：

1 对于矩形、圆端形沉井，不排水下沉时，可支承在矩形的4个角点（如图 5.7.1（a））、圆端的2个端点或长边的中点（如图 5.7.1（b））；排水下沉时，可按施工中可能的支承情况进行验算。支承点可设在长边上，当长短边比 L/B 大于 1.5 时，两支点间距可取 $(0.6\sim 0.8)L$ （如图 5.7.1（c））。



(a) 矩形沉井支承于四角

(b) 矩形沉井支承于中点



(c) 排水下沉时矩形沉井支承于长边

图 5.7.1-1 矩形沉井弯矩示意图

支承于四角时，最大弯矩按下式计算

$$M_{0\max} = 0.125qL^2 \quad (5.7.1-1)$$

支承于中点时的最大弯矩按下式计算

$$M_{0\max} = -0.125qL^2 \quad (5.7.1-2)$$

排水下沉，支撑于长边，两支点间距取 $0.7L$ 时的最大弯矩按下式计算

$$M_{0\max} = 0.05qL^2 \quad (5.7.1-3)$$

$$M_{0\max} = -0.0113qL^2 \quad (5.7.1-4)$$

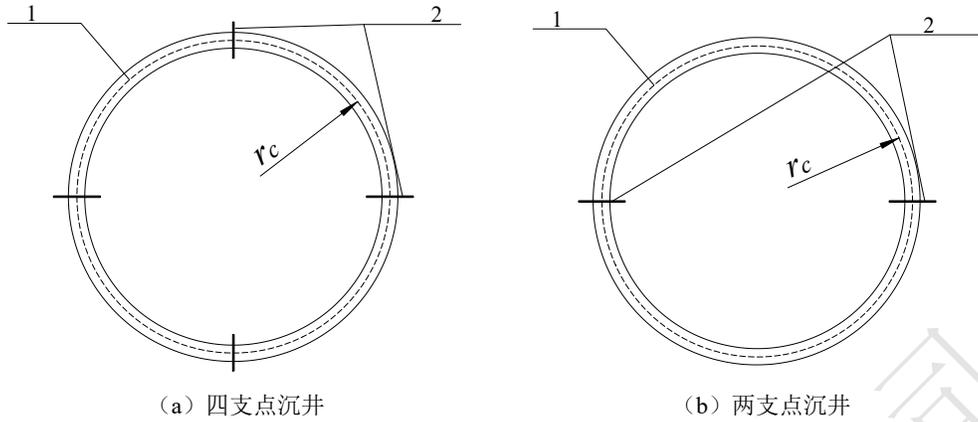
式中： q ——井壁每米重量 (kN/m)；

L ——沉井外轮廓较大边长 (m)；

$M_{0\max}$ ——跨中最大弯矩 (kN·m)；

M_1 ——支座弯矩 (kN·m)。

2 对于圆形沉井，可支承在圆形的 4 个等分点上。在有孤石漂石或其他障碍物的土层中，不排水下沉时，可支承在圆形的两个等分点上（如图 5.7.1-2）。四支点情况井壁所承受的最大内力，可按下列公式计算：



1—沉井；2—定位支承点

图 5.7.1-2 圆形沉井支承点布置

跨中最大弯矩：

$$M_0 = 0.035\pi q r_c^2 \quad (5.7.1-5)$$

支座弯矩：

$$M_s = -0.068\pi q r_c^2 \quad (5.7.1-6)$$

最大扭矩：

$$T_{\max} = 0.011\pi q r_c^2 \quad (5.7.1-7)$$

最大剪力：

$$V_{\max} = 0.25\pi q r_c^2 \quad (5.7.1-8)$$

两支点情况井壁所承受的最大内力，可按下列公式计算：

跨中最大弯矩：

$$M_0 = (0.5\pi - 1) q r_c^2 \quad (5.7.1-9)$$

支座弯矩：

$$M_s = -q r_c^2 \quad (5.7.1-10)$$

最大扭矩：

$$T_{\max} = 0.33 q r_c^2 \quad (5.7.1-11)$$

最大剪力：

$$V_{\max} = 0.5\pi q r_c^2 \quad (5.7.1-12)$$

式中： r_c ——圆形沉井井壁中心半径（m）。

3 沉井底节的平面尺寸较大时，应按灌注第二节沉井混凝土时的荷载，验算底节内隔墙及井壁的抗弯强度，并假定内隔墙下土已挖空，内隔墙支撑于井壁上。

条文说明：沉井底节垂直方向断面较小，应按抽垫或可能遇到的障碍物情况，验算纵向挠曲时混凝土的抗拉强度。

不排水下沉的沉井不能掌握其支撑情况，所以应按不利的情况验算：对于矩形沉井按支撑于短边的两 endpoint（也就是支撑于长边的两 endpoint）和支承于长边的中点两种情况来验算长边的正负弯矩，一般长短边沉井壁厚相同，短边本身无需验算；对于圆端形沉井按支撑于圆端的 endpoint 和支承于长边的中点两种情况进行验算。

排水下沉的沉井，可选择正负弯矩大致相等时的支点间距位置进行设计，并定出支点位置以便在施工时遵循。当 $L/B > 1.5$ 时，支点间距大致在 $(0.6 \sim 0.8)L$ 之间选定，短边可视为支承在长边的梁上，以此来验算长短边的正负弯矩。

圆端型沉井支承情况的平面位置如图 3 所示。



图 3 圆端型沉井支承点位置

底节平面尺寸较大的沉井，相应的内隔墙支承于井壁间距就大，一般可假定内隔墙是由井壁简支支承的情况进行计算。其荷载除混凝土自重外，尚需计入模板等施工荷载。

5.7.2 沉井应验算下沉过程中井壁垂直方向的抗拉强度，并应符合下列规定：

- 1 假定沉井被四周土体摩阻力嵌固且刃脚下的土已被挖空；
- 2 接缝处混凝土不承受拉力而全部由接缝钢筋承受；
- 3 等截面沉井井壁的摩阻力假定沿沉井总高按三角形分布，即在刃脚底面处为零，在地面处为最大；

最大拉断力设计值为：

$$N_{\max} = \frac{r_G G_k}{4} \quad (5.7.2-1)$$

式中， G_k ——沉井下沉时的总重量标准值（kN）；

r_G ——自重分项系数，按附录 B 取值。

4 井壁阶梯型沉井每段井壁变阶处均需要进行计算，变阶处的井壁拉力 P_x (图 5.7.2) 可按下式计算：

$$P_x = G_{xk} - \frac{1}{2} u q_x x \quad (5.7.2-2)$$

$$q_x = \frac{x}{h_T} q_d \quad (5.7.2-3)$$

式中： P_x ——距刃脚底面 x 变阶处的井壁拉力 (kN)；

G_{xk} —— x 高度范围的沉井自重 (kN)；

u ——井壁周长 (m)；

q_x ——距刃脚底面 x 变阶处的摩阻力 (kN)；

q_d ——沉井顶面摩阻力 (kPa)；

h_T ——沉井总高 (m)；

x ——刃脚底面至变阶处 (或验算截面) 的高度 (m)。

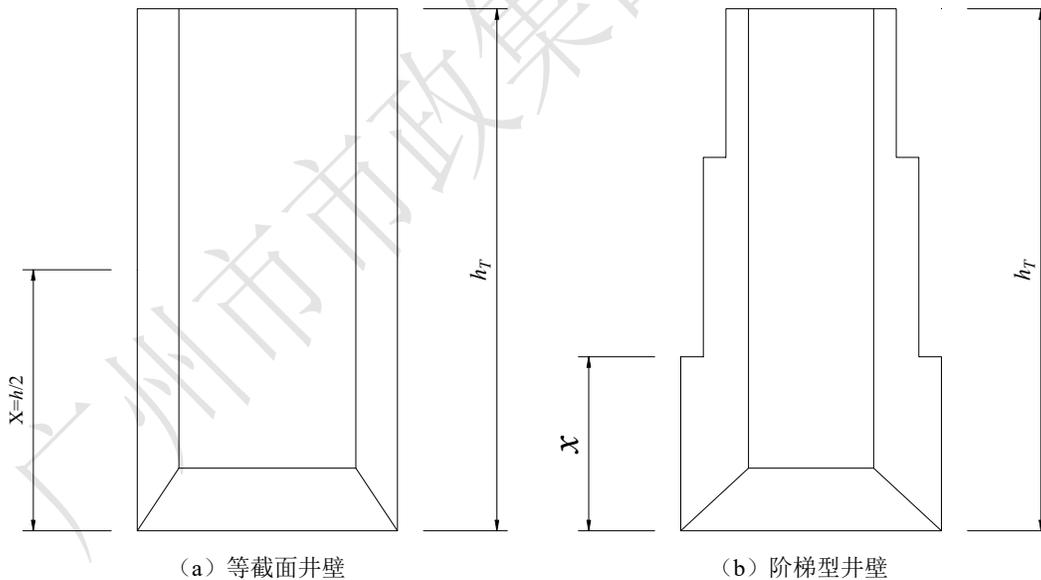


图 5.7.2 沉井井壁竖直受拉

5 台阶型沉井应考虑沉井质量分布和临时外接围堰自重及井壁摩阻力分布进行最大拉断力计算；

6 土质均匀的软土地基，沉井下沉系数较大 (≥ 1.5 时)，可不进行竖向拉断计算，但竖向配筋不应小于最小配筋率及使用阶段的设计要求；

7 当井壁上有预留洞时，应对孔洞削弱截面进行计算。

条文说明：沉井井壁垂直方向的验算是按当沉井沉到设计高程而刃脚下的土已被挖空，井壁上部可能被土层夹住，井壁下部处于悬臂状态，井壁中段就会产生最大的竖向拉力。本条只适用于沉井顶面与地面平齐的情况，考虑沉井露出地面以上时的情况时，最大拉力的作用位置下移，且最大值减小。计算方法推导如下：

等截面井壁：

从井壁受竖向受拉的最不利条件考虑，假设摩阻力的分布如图 4 所示：

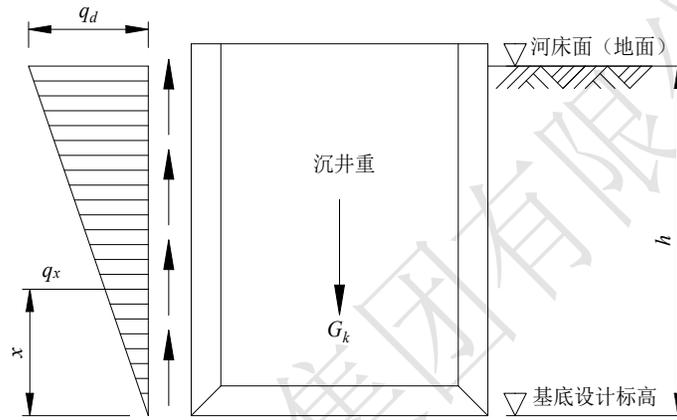


图 4 等截面沉井井壁竖向受拉计算图

$$\text{因 } G_k = \frac{1}{2} q_d \cdot h \cdot u$$

$$\text{所以 } q_d = \frac{2G_k}{h \cdot u}$$

$$\text{又因 } \frac{q_x}{x} = \frac{q_d}{h}$$

所以

$$q_x = \frac{q_d}{h} x = \frac{2G_k}{hu} \times \frac{x}{h} = \frac{2G_k x}{h^2 u} \quad (2)$$

式中： G_k ——沉井重力 (kN)；

u ——井壁周长 (m)；

h ——沉井入土深度 (m)；

x ——刃脚底面至变阶处 (或验算截面) 的高度 (m)；

q_d ——作用于河床表面处的井壁上的单位摩阻力 (kPa)；

q_x ——作用在距刃脚底面 x 高度处井壁上的单位摩阻力 (kPa)。

井壁 x 处的拉力 $P_x=(x$ 以下自重)-(x 高内摩阻力), 即:

$$P_x = \frac{G_k x}{h} - \frac{q_x x u}{2} = \frac{G_k x}{h} - \frac{G_k x}{h^2 u} \cdot \frac{x u}{2} = \frac{G_k x}{h} - \frac{G_k x^2}{h^2} \quad (3)$$

为了求得 P_{\max} , 令 $\frac{dP_x}{dx} = 0$

$$\text{即 } \frac{dP_x}{dx} = \frac{G_k}{h} - \frac{2G_k x}{h^2} = 0$$

所以 $x=h/2$, 将 x 代入公式 (3) 得:

$$P_{\max} = \frac{G_k}{h} \cdot \frac{h}{2} - \frac{G_k}{h^2} \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{G_k}{2} - \frac{G_k}{4} = \frac{G_k}{4} \quad (4)$$

台阶形井壁 (图 3) :

$$\text{因 } G_{1k} + G_{2k} + G_{3k} + G_{4k} = 0.5q_d hu$$

$$\text{所以 } q_d = \frac{2(G_{1k} + G_{2k} + G_{3k} + G_{4k})}{hu}$$

$$\text{又 } \frac{q_x}{x} = \frac{q_d}{h}, \quad q_x = \frac{q_d x}{h}$$

井壁 x 处拉力等于 x 范围内自重减去 x 范围内摩阻力, 即:

$$P_x = G_x - \frac{1}{2} u q_x x \quad (5)$$

对于台阶形井壁, 每段井壁都应进行拉应力计算, 然后取最大值。通过计算, 说明最大拉应力发生在各截面变化处。

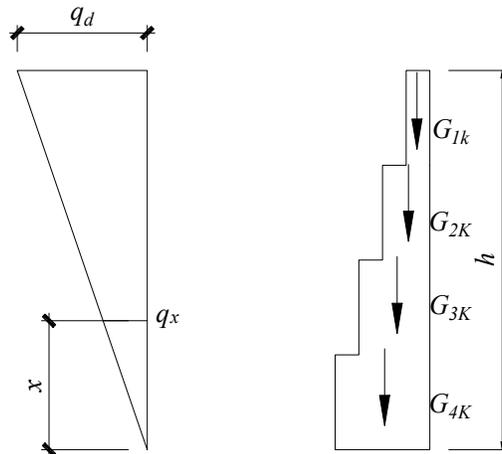


图 5 台阶形沉井井壁竖向受拉计算图

沉井接缝钢筋因允许应力提高，所以必须验算其锚固长度。

5.7.3 沉井应验算下沉过程中井壁水平方向的承载力，可在竖直方向截取单位高度的井段，按水平框架进行验算，计算应符合下列规定：

1 根据排水或不排水情况考虑井壁作用的水土压力，在同一深度处的侧压力可按均匀分布考虑；

2 刃脚根部以上高度等于该处 1 倍壁厚（井壁与刃脚连接处设置凹槽时，为刃脚根部以上至凹槽顶 1.5 倍壁厚）（图 5.7.3）的一段井壁，施工阶段计算时除考虑作用在该段上的水土压力外，尚应考虑由刃脚传来的水平剪力。外层水平配筋时可考虑计入刃脚的水平钢筋。作用在该段井壁上的平均荷载 q 按式 5.7.3-1~5.7.3-5 计算：

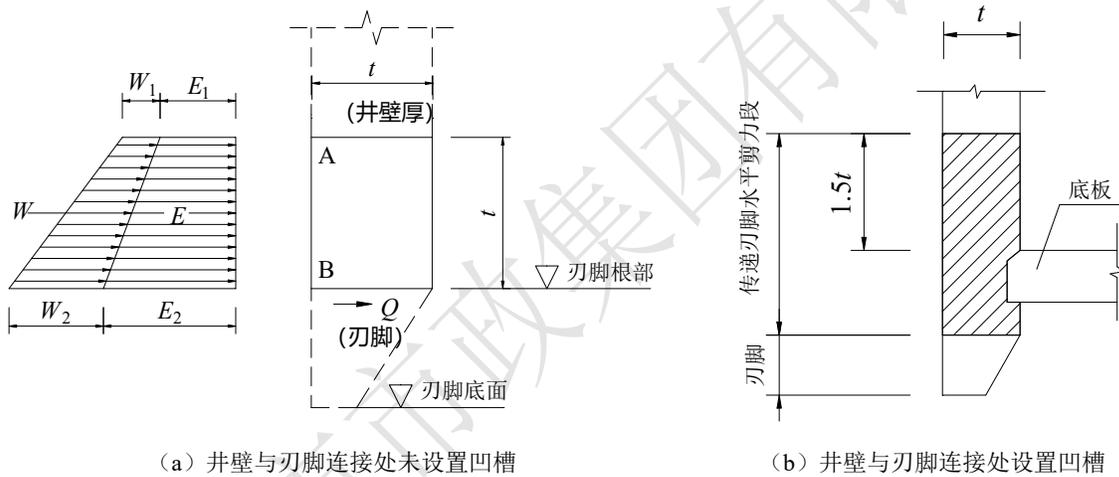


图 5.7.3 刃脚根部以上应考虑水平剪力的井壁段的荷载分布

$$q_t = W + E + Q \quad (5.7.3-1)$$

$$W = \frac{W_1 + W_2}{2} \cdot t \quad (5.7.3-2)$$

$$W_1 = \lambda h_1 \gamma_w \quad (5.7.3-3)$$

$$W_2 = \lambda h_2 \gamma_w \quad (5.7.3-4)$$

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} \cdot t \quad (5.7.3-5)$$

式中： q_t ——作用在井壁高度 t 段上的平均荷载（kN/m）；

W ——作用在井壁高度 t 段上的水压力(kN/m),其作用点距刃脚根部为 $\frac{2W_1+W_2}{W_1+W_2} \cdot \frac{t}{3}$;

W_1 ——作用在刃脚根部以上,高度 t 范围内截面 A 上的单位水压力 (kPa);

W_2 ——作用在刃脚根部截面 B 的水压力 (kPa);

t ——井壁厚度 (m);

h_1 、 h_2 ——验算截面 A 和 B 距水面的高度 (m);

γ_w ——水的重度 (10kN/m²);

λ ——折减系数,排水挖土时,井内无水压,井外水压视土质面而定,砂类土取 1.0;黏性土取 0.7;不排水挖土时,井外水压以 100%计,取 0;井内水压以 50%计,取 0.5;

E ——作用在 t 段井壁上的土侧压力(kN/m),其作用点距刃脚根部为 $\frac{2E_1+E_2}{E_1+E_2} \cdot \frac{t}{3}$;

E_1 ——作用在刃脚根部以上,高度 t 处 A 截面的单位土侧压力 (kPa),可按附录 A 有关土侧压力公式计算;

E_2 ——作用在刃脚根部处 B 截面的单位土侧压力 (kPa);

Q ——由刃脚传来的水平力 (kN/m),其值等于作用在刃脚悬臂梁上的水平力乘以分配系数,分配系数可按式 (D.0.5-1) 计算;

3 其余各段井壁,取井壁断面变化处以上单位高度一段井壁计算,作用在框架上的平均荷载按公式 5.7.3-1 计算,不考虑刃脚悬臂传来的水平剪力;

4 采用泥浆润滑套下沉的沉井,井壁外侧压力应按泥浆压力计算;采用空气幕、砂套助沉的沉井,井壁压力与普通沉井的计算方法相同;

5 井壁上设置竖向框架或水平框架时,当框架梁与板的刚度比不小于 4 时,框架梁视为井壁的不动铰支承。

条文说明:沉井下沉至设计高程,刃脚下的土已被挖空,沉井井壁在水压力和土压力作用下井壁受最大水平力,此时把井壁作为水平框架,对刃脚根部以上高度等于井壁厚度 t 的一段井壁以及其余段井壁分别进行验算。

对于用泥浆套下沉的沉井,应考虑沉井外侧泥浆压力 γH 的 100% 的计算,因为泥浆压力一定要大于水压力及土压力的总和,才能保证泥浆套不被破坏。

采用空气幕下沉的沉井,在下沉过程中所受到的侧压力,根据国内试验沉井量测结果,

压气时气压对井壁的作用不明显，可略去不计，仍按普通沉井的有关规定计算。

在计算空气幕沉井下沉中结构强度时，由于井壁之摩擦力在开气时减小，不开气时仍与普通沉井相同，因此，一般视其计算内容而按最不利情况采用。

5.7.4 沉井刃脚应按附录 D 对下列工况进行验算：

1 计算沉井刃脚时，应根据刃脚在竖向和水平两方向的作用力进行荷载的分配，分别按悬臂梁和闭合水平框架结构模型进行计算；

2 沉井下沉过程中，可根据沉井接高等具体情况取最不利位置，按刃脚切入土中 1m，验算刃脚向外弯曲强度。此时作用在井壁上的土压力和水压力应根据下沉时的具体情况确定，作用在井壁外侧的计算摩擦力不应大于 0.5 倍的井壁外侧所受的主动土压力；

3 沉井沉至设计标高时，刃脚下的土已掏空，应验算刃脚的向内弯曲强度。此时作用在井壁上的水压力应按设计和施工中的最不利情况考虑；

4 根据刃脚实际受力情况宜采用有限元数值模拟计算各工况。

条文说明：结合《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137 等规范，确定沉井刃脚的计算工况，并将其计算过程单列为一章附录，主要参考《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的计算方法。沉井在下沉过程中刃脚受力较大，需要进行承载能力计算。为方便，将刃脚按悬臂梁和水平框架分别进行计算。

5.7.5 单孔圆形沉井，在下沉过程中井壁的水平内力计算应符合下列规定：

1 当下沉区域土质均匀、不存在特别软弱的土质时，可按不同高度截取闭合圆环计算（如图 5.7.5），并假定在互成 90°的两点处土的内摩擦角差值为 4°~8°。内力可按下列公式计算：

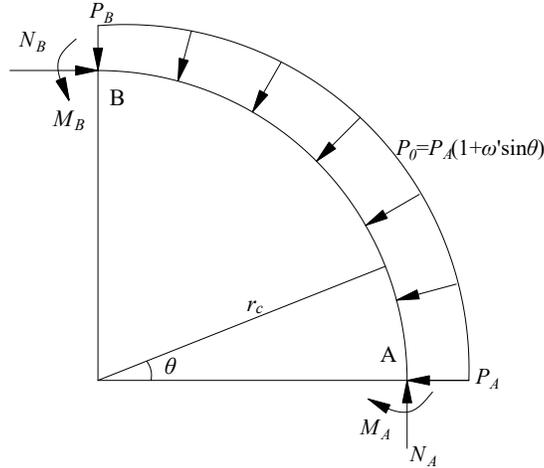


图 5.7.5 圆形沉井井壁计算

$$N_A = P_A r_c (1 + 0.7854 \omega') \quad (5.7.5-1)$$

$$N_B = P_B r_c (1 + 0.5 \omega') \quad (5.7.5-2)$$

$$M_A = -0.1488 p_A r_c^2 \omega' \quad (5.7.5-3)$$

$$M_B = -0.1366 p_B r_c^2 \omega' \quad (5.7.5-4)$$

$$\omega' = \frac{P_B}{P_A} - 1 \quad (5.7.5-5)$$

式中： N_A ——A 截面上的轴力（kN/m）；

r_c ——沉井井壁的中心半径（m）；

N_B ——B 截面上的轴力（kN/m）；

M_A ——A 截面上的弯矩（kN·m）/m，以井壁外侧受拉取负值；

M_B ——B 截面上的弯矩（kN·m）/m；

P_A 、 P_B ——井壁外侧 A、B 点的水平向土压力（kN/m²）。

2 当下沉区域存在有较厚的杂填土、土质变化复杂或沉井下沉深度内存在软弱土层可能发生突沉时，宜采用考虑沉井倾斜理论的分析方法计算内力。内力计算可按本规程附录 E 的规定执行。

条文说明：根据《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137，圆形沉井一般不带隔墙下沉，当承受井壁外侧径向均匀土压力时，井壁环向不产生拉应力。实际上，下沉过程中，不可能很平稳，井壁上的土压力也不会很均匀，必然导致井壁出现一定的弯曲

应力。假定在 90° 的方向土相差 $5^\circ\sim 10^\circ$ ，这是从古至今通用的简化计算方法。根据多次验算比较可改为 8° ，当在填土层施工及下卧层存在特软土层时，按照倾斜理论计算比较合理。对于大直径沉井更应按倾斜理论计算。

5.7.6 带隔墙下沉的圆形沉井，在下沉过程中和使用阶段的井壁内力，可沿不同高度截取闭合圆环按平面结构计算。计算时假定井壁在同一水平环上的水土压力均匀分布。各截面的内力可按本规程附录 F 计算确定。

条文说明：带隔墙下沉的圆形沉井，在下沉过程中和使用阶段的井壁内力，可沿不同高度截取闭合圆环按平面结构计算。计算时假定井壁在同一水平环上的水土压力均匀分布。各截面的内力可按本规程附录 F 计算确定。附录 F 引自《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137-2015 中的附录 C。

5.7.7 单孔、双孔圆端形沉井和单孔、双孔椭圆形沉井，在下沉过程中井壁的内力，可沿井壁不同高度截取闭合环形按平面结构计算。计算时假定井壁在同一水平环上水土压力 q 均匀分布，截面内力按附录 G 计算。

5.7.8 顶管工作井的沉井井壁在顶管推进时的内力，应由顶力、土抗力和井周土压力叠加作用求得。

1 圆形顶管工作井在顶管顶力作用下的土抗力假定沿垂直方向按三角形分布，沿水平方向按余弦函数分布（图 5.7.8-1）。壁板后土抗力最大值的各点内力按下列公式计算：

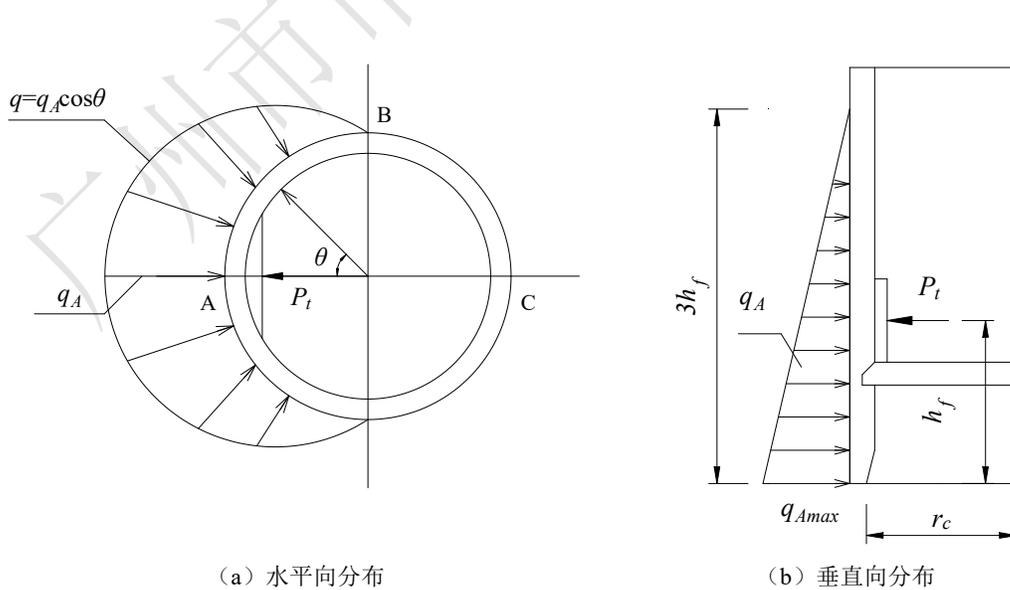


图 5.7.8-1 圆形顶管井土抗力分布

$$q_{A\max} = \frac{4P_t}{3\pi r_c h_f} \quad (5.7.8-1)$$

$$P_t = \gamma_p P_{tk} \quad (5.7.8-2)$$

$$M_A = -0.307 q_A r_c^2 \quad (5.7.8-3)$$

$$N_A = -0.375 q_A r_c \quad (5.7.8-4)$$

$$M_B = 0.068 q_A r_c^2 \quad (5.7.8-5)$$

$$N_B = 0 \quad (5.7.8-6)$$

$$M_C = -0.057 q_A r_c^2 \quad (5.7.8-7)$$

$$N_A = -0.125 q_A r_c \quad (5.7.8-8)$$

式中： $q_{A\max}$ ——壁板后土抗力的最大值（kN/m²）；

P_t ——顶管力设计值（kN）；

r_c ——沉井井壁的中心半径（m）；

h_f ——顶管力至刃脚底的距离（m）；

γ_p ——顶管顶力分项系数，取 1.4；

P_{tk} ——顶管顶力标准值（kN），按现行相关标准进行计算。

q_A ——任意高度上 A 点的土抗力（kN/m²）

2 单孔矩形沉井在顶管顶力作用下壁板可按下列规定计算：

(1) 顶管千斤顶后座墙尺寸宜为 3m×3m（图 5.7.8-2），其等效荷载在壁板上的分布高度可按下列公式计算：

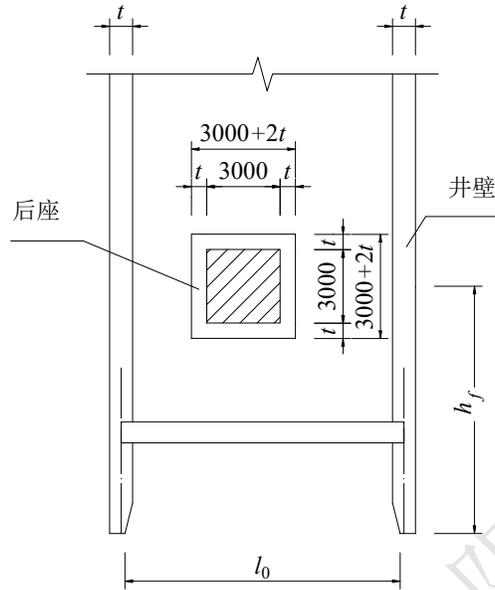


图 5.7.8-2 顶力后座墙尺寸

当 $3000 + 2t \leq 0.6l_0$ 时:

$$b = 3000 + 2t + 0.7l_0 \quad (5.7.8-9)$$

当 $0.6l_0 \leq 3000 + 2t \leq l_0$ 时:

$$b = 0.6 \times (3000 + 2t) + 0.94l_0 \quad (5.7.8-10)$$

式中: b —— 等效荷载分布高度 (mm);

t —— 壁板厚度 (mm);

l_0 —— 侧壁的中心距 (mm)。

(2) 当顶管顶力与刃脚底的距离 $h_f \geq b/2$ 时, 等效荷载分布范围可按图 5.7.8-3(a) 确定;

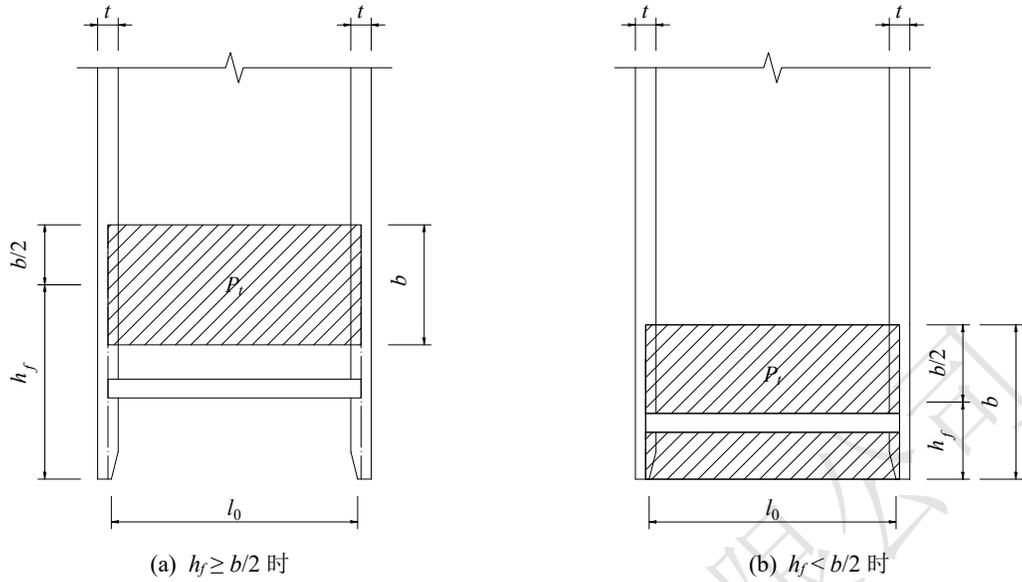


图 5.7.8-3 顶管力等效荷载分布范围

(3) 当顶管顶力与刃脚底的距离 $h_f < b/2$ 时，顶力的等效荷载分布范围高度

$b' = \frac{b}{2} + h_f$ ，可按图 5.7.8-3(b) 确定；

(4) 当顶管顶力作用在壁板中轴上时，壁板后的土抗力可按下式计算 (5.7.8-4)；

$$q_{\max} = \frac{2P_t}{3l_b h_f} \quad (5.7.8-11)$$

式中： q_{\max} ——壁板后土抗力分布的最大值 (kN/m^2)；

l_b ——沉井水平截面的外包尺寸 (m)

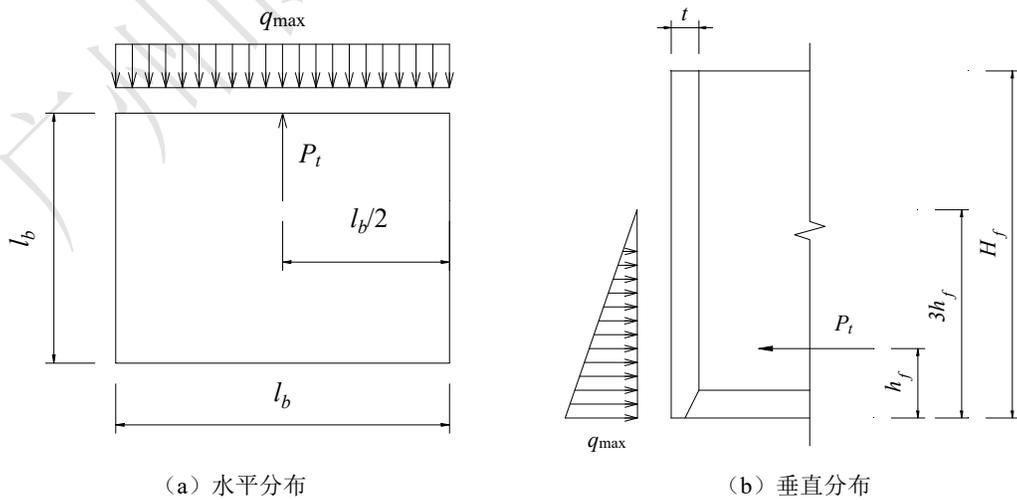


图 5.7.8-4 顶管力作用在壁板中轴上的土抗力分布

3 顶管工作井为双孔矩形沉井时，单孔顶进的土的最大抗力可按下式计算（图 5.7.8-5）：

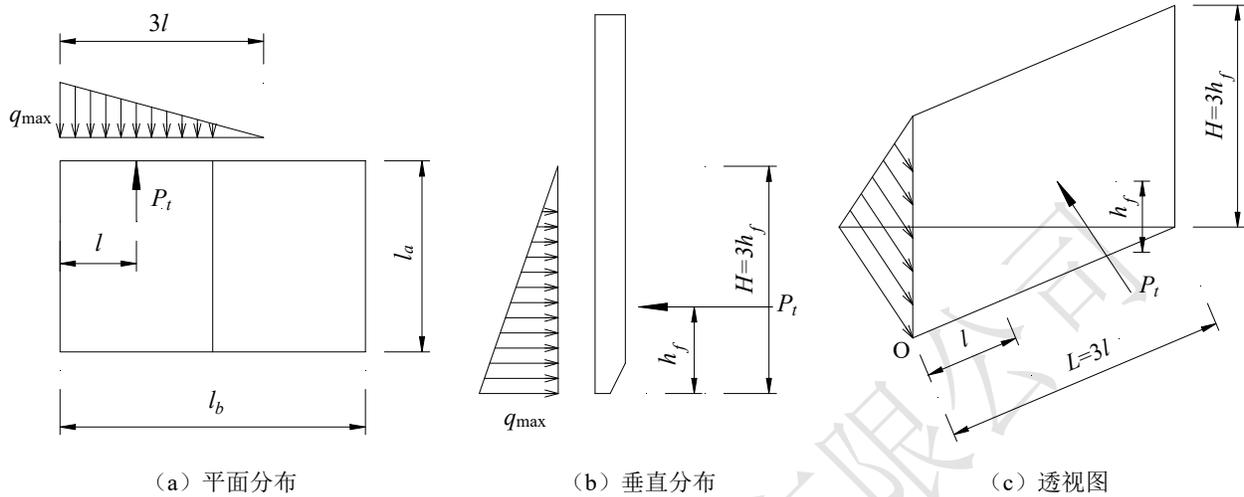


图 5.7.8-5 偏心顶管力作用时的土抗力分布

$$q_{\max} = \frac{4P_t}{9lh_f} \quad (5.7.8-9)$$

条文说明：圆形沉井作为顶管工作井时，条文给出了壁后土抗力的分布图。该抗力假定在平面上按余弦曲线分布，竖向呈三角形分布。

矩形沉井作为顶管工作井时，顶推力作用下的壁板计算应考虑壁板后土抗力的作用。设计人可根据条文中的荷载分布图进行土抗力的近似计算。

顶力作用下土抗力的公式推导如下：

单根顶管通常处于单格井结构平面中心的位置，土体抗力在水平方向均匀分布，沿高度方向为三角形分布（图 5.7.8-5）。

根据力的平衡原理，顶力应与土抗力平衡，两个合力作用点相同，土抗力作用高度 $H=3h_f$ 。

可整理得：

$$P_t = \frac{1}{2} q_{\max} H l_1 \quad (6)$$

$$q_{\max} = \frac{2P_t}{3l_1 h_f} \quad (7)$$

式中： q_{\max} ——土体对井壁的最大抗力（ kN/m^2 ）

P_t ——顶管对井壁总顶力设计值 (kN)

对于顶管位置不在结构平面中心的双格井，顶力作用引起的两个方向的土抗力土抗力的公式可推导如下：

根据图示压力分布，假定 $L=3l$ ，沿井高线性变化如下列公式：

$$q_y = q_{\max} \left(1 - \frac{y}{3h_f} \right) \quad (8)$$

$$P_t = \frac{L}{2} \int_0^{3h_f} q_y dy = \frac{9h_f l}{4} q_{\max} \quad (9)$$

$$q_{\max} = \frac{4P_t}{9h_f l} \quad (10)$$

5.7.9 陆域顶管沉井在顶力作用下，后背土体的稳定应按下列公式验算（图 5.7.9-1~5.7.9-2）：

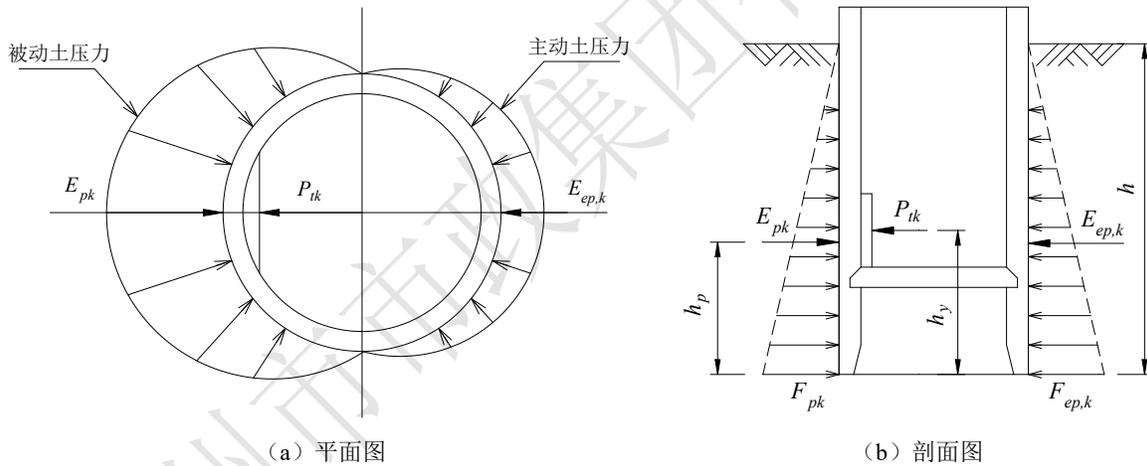
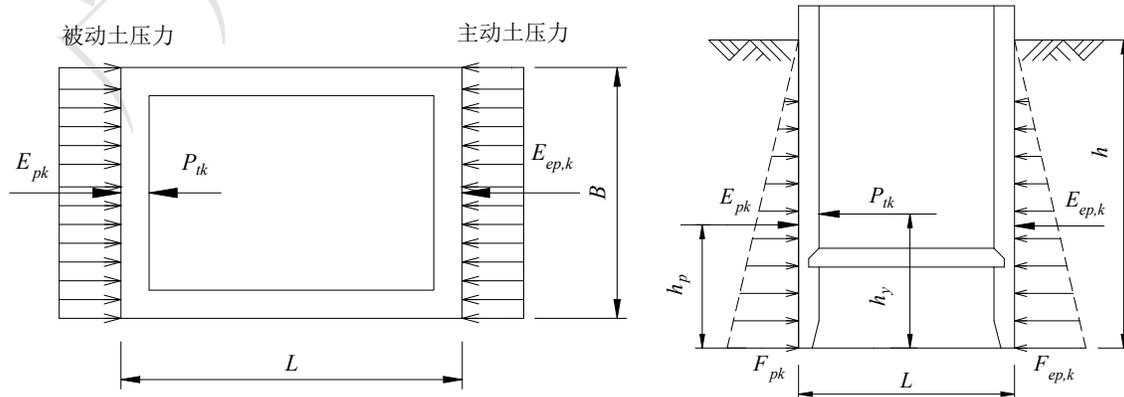


图 5.7.9-1 圆形沉井在顶管力作用下后背土体的稳定计算



(a) 平面图

(b) 剖面图

图 5.7.9-2 矩形沉井在顶管力作用下后背土体稳定计算

$$P_{tk} \leq \xi(0.8E_{pk} - E_{ep,k}) \quad (5.7.9-1)$$

$$E_{pk} = \begin{cases} \frac{1}{4}\pi r h F_{pk} & (\text{圆形}) \\ \frac{1}{2} B h F_{pk} & (\text{矩形}) \end{cases} \quad (5.7.9-2)$$

$$E_{ep,k} = \begin{cases} \frac{1}{4}\pi r h F_{ep,k} & (\text{圆形}) \\ \frac{1}{2} B h F_{ep,k} & (\text{矩形}) \end{cases} \quad (5.7.9-3)$$

$$\xi = (h_f - |h_f - h_p|) / h_f \quad (5.7.9-4)$$

$$h_p = h/3 \quad (5.7.9-5)$$

式中： ξ ——考虑顶管力与土压力合力作用点可能不一致的折减系数；

E_{pk} ——沉井后背墙后被动土压力合力标准值（kN），可按附录 H 计算；

$F_{ep,k}$ ——刃脚底部主动土压力标准值（kN/m²），可按附录 A 中第 A.0.4 条计算；

r ——沉井外壁半径（m）；

h ——沉井入土深度（m）；

B 、 L ——分别为矩形沉井的外轮廓宽度和长度（m）；

F_{pk} ——刃脚底部被动土压力标准值（kN/m²）；

$E_{ep,k}$ ——沉井前方主动土压力合力标准值（kN），可按附录 H 计算；

h_p ——主动土压力合力至刃脚底的距离（m）；

条文说明：圆形沉井作为顶管工作井时，在顶推力作用下的井壁计算要考虑壁板后土抗力的作用，条文提出了一种近似方法，参考《给水排水工程沉井结构设计规程》CECS 137 的公式。

5.7.10 当陆域顶管工作沉井后背墙土体强度不足时，可对反力墙后背土体进行加固处理，加固方法可采用水泥土搅拌桩、高压喷射注浆等。土体加固范围（图 5.7.10）应按下列公式计算：

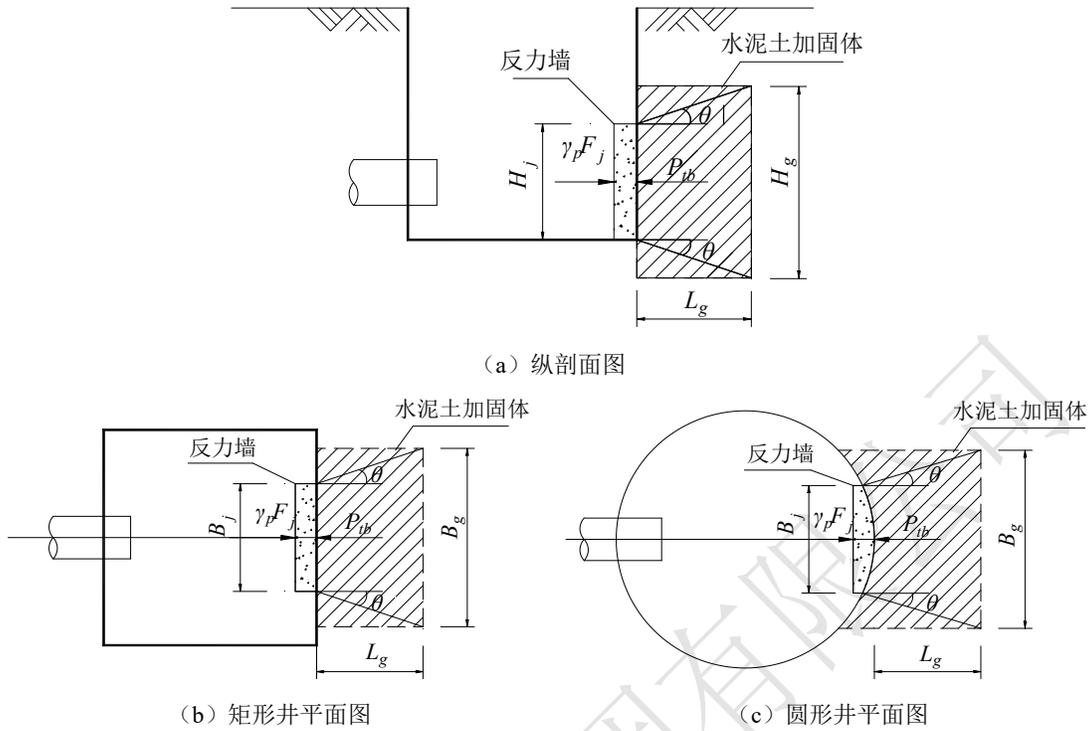


图 5.7.10 反力墙后背土体加固范围示意图

$$L_g \geq \frac{(\gamma_p F_{dk} - P_{tb}) \cos(45^\circ - \varphi' / 2)}{k_j B_j (c_g - c)} \quad (5.7.10-1)$$

$$L_g \geq \frac{(\gamma_p F_j - P_{tb}) \cos(45^\circ - \varphi' / 2)}{k_j B_j (c_g - c)} \quad (5.7.10-2)$$

$$c_g = 0.25 q_u I_r + c(1 - I_r) \quad (5.7.10-3)$$

$$B_g = B_j + 2L_g \tan \theta \quad (5.7.10-4)$$

$$H_g = H_j + 2L_g \tan \theta \quad (5.7.10-5)$$

式中： L_g ——反力墙后背土体加固厚度（m），取式 5.7.10-1、式 5.7.10-2 中的大值；

B_g ——反力墙后背土体加固宽度（m）；

F_{dk} ——设计总顶力标准值（kN）；

F_j ——施工总顶力标准值（kN）；

P_{tb} ——反力墙后背土体允许最大顶力设计值（kN）；

φ' ——土的有效内摩擦角（°）；

B_j ——反力墙宽度（m）；

- H_j ——反力墙高度 (m)；
- k_j ——反力墙后背土体允许顶力计算系数，取值范围 1.5~2.5，宜取 2.0；
- c 、 c_g ——分别为原状土和水泥加固土的粘聚力 (kPa)；
- I_r ——水泥土面积置换率；
- θ ——地基土压力扩散角 ($^\circ$)，可按表 5.7.10 取用。

表 5.7.10 地基土压力扩散角 θ

E_{s1}/E_{s2}	≤ 3	5	≥ 10
地基压力扩散角, θ	23°	25°	30°

注： E_{s1} 为水泥土加固体压缩模量， E_{s2} 为原状土压缩模量。

条文说明：本条参考《给水排水工程微型顶管技术规程》CECS 1113 中的公式。根据顶推力 γF_j 和反力墙背土体抗力 P_t 差值 $\gamma F_j - P_t$ ，通过加强被动土压力破裂面上的抗剪强度 c ，推导出需要加固的土体厚度。

水泥土与土复合加固体抗剪强度指标的确定，根据 Hsieh.H.S 的《Application of JG and DMP to reduce excavation induced diaphragm wall deflection》，可假定复合加固体的内摩擦角与土相同，复合加固体的粘聚力 c_g 按条文公式计算， c_g 约为 q_u 的 20%~30%， q_u 不宜小于 0.8Mpa。

水泥土如采用格栅形式，参考现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120，其面积置换率取值，对于淤泥质土不宜小于 0.7，淤泥不宜小于 0.8，一般黏性土、砂土不宜小于 0.6。

5.7.11 沉井封底混凝土厚度应根据基底水压力、地基土的向上反力，井孔内填料情况以及封底混凝土个受力阶段的要求计算确定，并按下列工况计算：

- 1 封底后需要抽水施工的，封底混凝土承受基底水和土的向上反力，并按抽水时封底混凝土的实际强度计算；
- 2 井孔内不填充混凝土的，封底混凝土承受沉井基础全部荷载所产生的基底反力，井孔内如填砂宜扣除其重力作用；
- 3 井孔内填充混凝土的，封底混凝土承受沉井基础全部荷载所产生的基底反力及填充混凝土前的沉井底部的静水压力，并宜扣除填充的重力作用；
- 4 封底后需抽水施工底板，封底混凝土只作为临时止水措施的，封底混凝土承受基底

水的向上反力，封底混凝土的厚度应根据基底的向上净反力计算确定：

$$h_t \geq \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} + h_u \quad (5.7.11-1)$$

式中， h_t ——沉井水下封底混凝土厚度（m）；

M ——每米宽度最大弯矩的设计值（kN·m）；

b ——计算宽度（m），取1m；

h_u ——附加厚度（m），可取0.3m~0.5m。

5 封底混凝土板的边缘应进行冲剪验算，冲剪处的封底厚度应在设计图中注明，计算厚度应扣除附加厚度。

6 封底混凝土板的抗剪应按下列公式验算（图 5.7.11-1）：

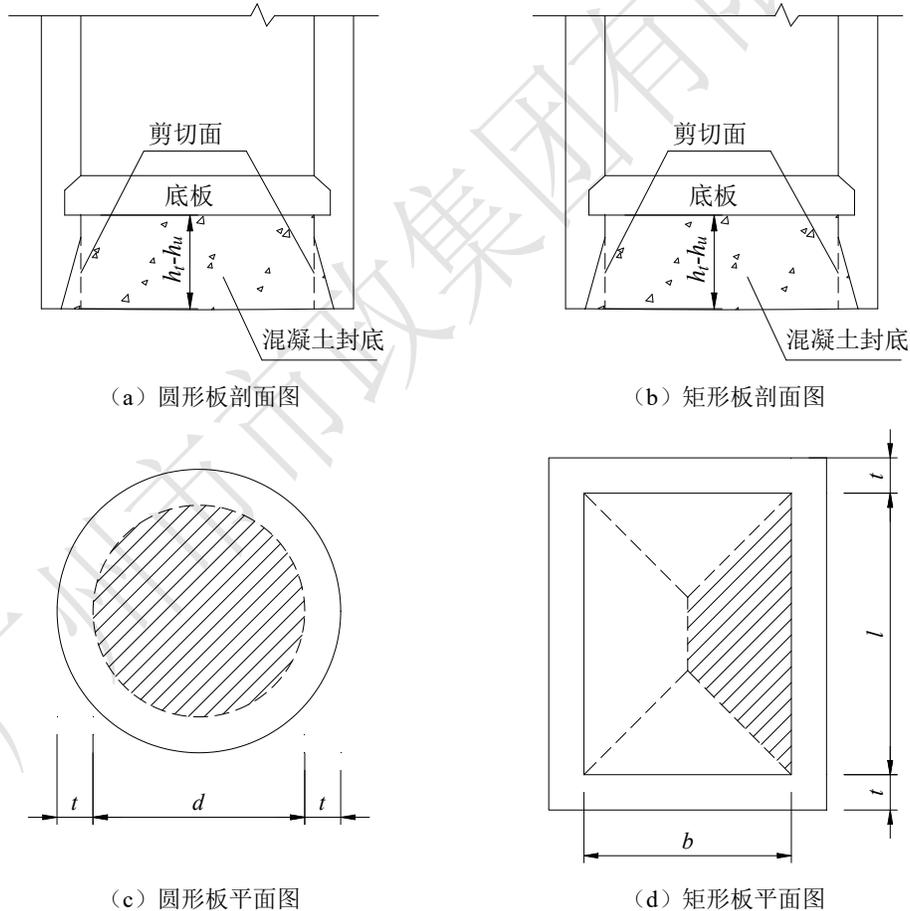


图 5.7.11-1 封底混凝土抗剪计算示意图

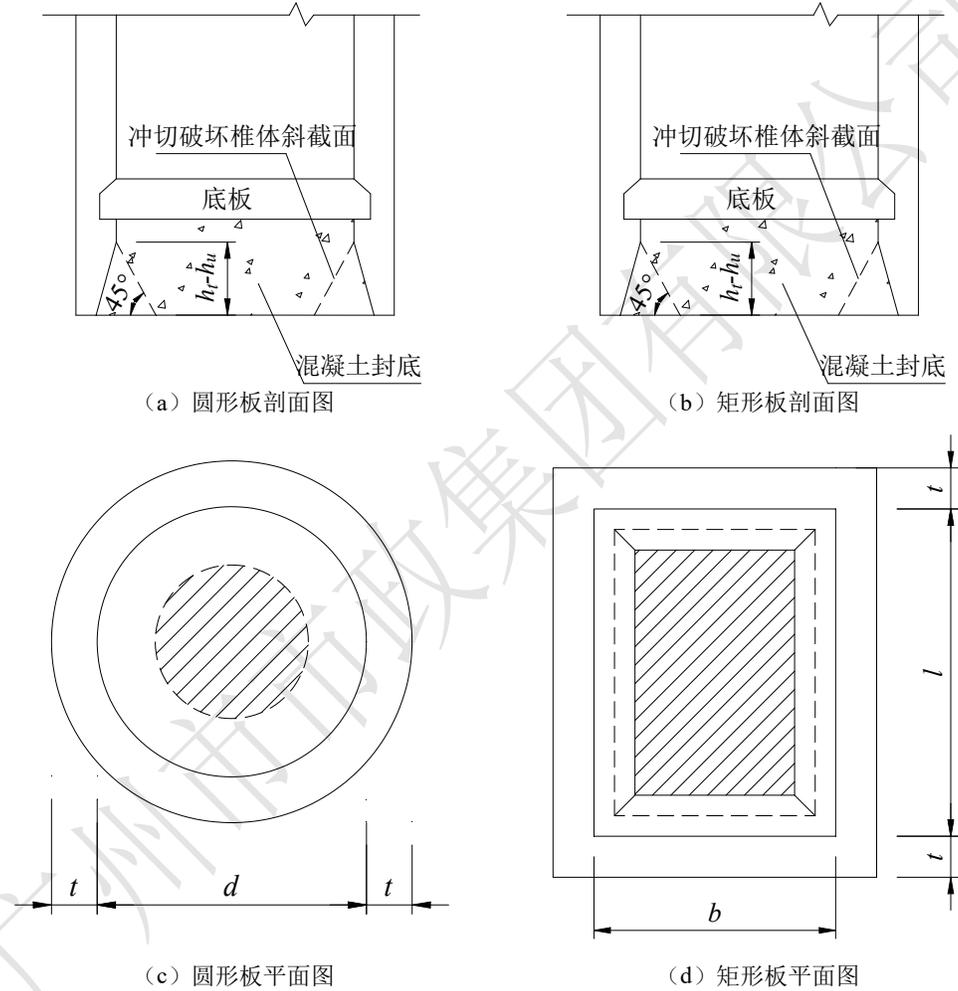
圆形沉井：

$$h_t - h_u - \frac{|Q|}{0.366 f_t \pi (D - 2t)} \geq 0 \quad (5.7.11-2)$$

矩形沉井：

$$h_t - h_u - \frac{|Q|}{0.366 f_t \times 2(B + L - 4t)} \geq 0 \quad (5.7.11-3)$$

7 封底混凝土板的抗冲切应按下列公式验算（图 5.7.11-2）：



5.7.11-2 封底混凝土抗冲切计算示意图

圆形沉井：

$$h_t - h_u - \frac{|V|}{0.6 f_t \pi (d - 2t - h_t)} \geq 0 \quad (5.7.11-4)$$

矩形沉井：

$$h_t - h_u - \frac{|V|}{0.6f_t \times 2(b+l-4t-2h_t)} \geq 0 \quad (5.7.11-5)$$

式中， Q ——封底板边缘最大剪力（kN）；

V ——封底板边缘最大冲切力（kN）；

t ——井壁厚度（m）；

d ——圆形沉井封底处直径（m）；

b ——矩形沉井封底处宽度（m）；

l ——矩形沉井封底处长度（m）；

条文说明：当沉井作为桥梁基础时，其封底混凝土底部除承受水压力外，还承受沉井基础全部荷载所产生的向上地基反力。封底后需要抽水施工时，如因混凝土的龄期不足，未达到设计强度，就需要考虑降低混凝土的强度等级，按抽水时封底混凝土的实际强度等级计算。封底后井孔内如填充砂、石等散粒体材料时，有利于改善使用阶段封底混凝土的受力，从经济性考虑，承受的基底反力扣除填充物的重力作用是可行的。

当沉井作为顶管井时，封底混凝土作为止水的临时措施，承受基底净反力。其厚度计算公式根据《混凝土结构设计规范》GB 50010 中有关的矩形截面素混凝土受弯构件承载力公式调整，推导如下：

$$M \leq \frac{\gamma f_{ct} b h^2}{6} \quad (11)$$

推导出

$$h \geq \sqrt{\frac{6M}{\gamma f_{ct} b}} \quad (12)$$

式中： M ——弯矩设计值

γ ——截面抵抗矩塑性系数，对于矩形截面， γ 取 1.2~1.55，沉井封底混凝土厚度较大，故取值 1.2；

f_{ct} ——素混凝土抗拉强度设计值，取 $f_{ct} = 0.55f_t$ ， f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值。

将各项取值代入，可得

$$h \geq \sqrt{\frac{9.09M}{f_t b}} \quad (13)$$

考虑混凝土与泥土互相掺杂的封底附加厚度后,实际封底素混凝土厚度可按下式计算:

$$h \geq \sqrt{\frac{9.09M}{f_t b}} + h_u \quad (14)$$

5.7.12 浮运沉井在悬浮状态下除应按本规程 5.6.7 条进行稳定性验算外,尚应按下列规定计算:

1 底节以上沉井应按静水压力、流水压力、内外水头差、风力、导向结构反力、锚缆拉力、填充时混凝土侧压力等,应分别进行井壁和内隔墙的结构计算;

2 对于底节钢结构,起吊时应按承受结构自重验算。当浮于水中时,应按承受竖向荷载和底节以上的水平力分别验算井壁和内隔墙的强度。验算井壁时还应考虑沉井因倾斜而加大的静水压力,可加大 7kPa~10kPa。

条文说明:根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017 第 7.2.6 条,对于跨越海湾或海峡的桥梁,台风、波浪、海流具有强烈的耦合性,最不利工况需要考虑风-浪-流耦合效应对沉井结构的影响,对沉井施工期和运营期进行验算。

5.7.13 沉井底板结构计算应按下列规定:

1 应根据钢筋混凝土底板与井壁几何尺寸、井壁所设凹槽和底板与井壁的钢筋连接构造情况,确定底板支承条件为简支、固定或弹性固定。底板与井壁间,当无预留钢筋连接时,应按铰接考虑;当用钢筋整体连接时,可按弹性固定考虑;

2 矩形板的长边与短边之比大于 2 时,应按单向板计算,其比值不大于 2 时应按双向板计算;

3 设有底梁时,底板应按连续板计算。

5.7.14 沉井隔墙、底梁的计算应按下列规定计算:

1 底梁及隔墙的荷载应考虑自重(包括上层横梁传来的荷载)、地基反力、井壁传来的水平反力及底板传来的浮力。地基反力按下式计算:

$$q = \begin{cases} \alpha_d q_1 & \text{正常下沉时} \\ R_j & \text{发生突沉时} \end{cases} \quad (5.7.14)$$

式中: α_d ——平均荷载的增大系数;

q_1 ——井体自重及施工荷载产生的地基平均反力 (kN/m^2);

R_j ——地基土的极限承载力, 可取 2 倍承载力特征值 (kN/m^2)。

2 应根据隔墙跨度及与井壁的相对刚度确定隔墙(底梁)的约束条件, 可按固定或弹性固定梁考虑。当高跨比大于 0.5 时, 按深梁计算;

3 沉井分节下沉时, 底节高度不大时, 底节框架柱顶部应作临时支撑, 井内隔墙刚度远大于底梁刚度时(刚度比值大于 8), 隔墙与底梁按主次梁进行计算; 隔墙与底梁刚度相差不大时, 按交叉梁进行计算。

条文说明: 由于地基土的分布不均匀性, 需要考虑平均荷载的增大系数, 参考《给排水结构设计手册》(1984 年第一版), 一般情况下可取 1.2~1.3。

5.7.15 沉井竖向框架的计算应符合下列规定:

1 框架计算应做下列假定:

(1) 框架轴线取通过矩形截面高度的中心线, 跨度相差不超过 10% 时, 按等跨计算;

(2) 中横梁刚度较小, 可不考虑承受弯矩, 两端为铰支承;

(3) 框架柱与底梁的刚度较大, 其相交点无相对竖向位移;

(4) 忽略柱及横梁的轴向变形。

2 框架内力计算可采用弯矩分配法或空间有限元法进行计算。

5.7.16 沉井顶板应按实际边界条件确定支承为固定、简支或弹性约束, 应根据顶板面荷载和壁板传来的水平荷载进行组合计算。

5.7.17 多孔矩形沉井在下沉工况下, 垂直方向单位高度上的水平向弯矩可按附录 J 计算。

5.7.18 组合型沉井下沉过程中, 垂直方向单位高度上的水平向弯矩可按附录 K 计算。

5.7.19 装配式机械法沉井周边环梁可按弹性地基上的水平圆梁计算, 当采用灌注桩等刚性桩作为地基处理时, 可按多跨连续水平圆弧梁计算。

5.7.20 沉井作为整体刚性基础, 水平位移及作用效应可按附录 K 进行计算。

条文说明: 附录 K 的有关计算引用现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的规定。

5.7.21 沉井结构宜按施工阶段和使用阶段的不同工况考虑实际边界条件采用空间有限元数值计算分析。

条文说明：由于数值分析技术的发展，建议按空间问题采用数值分析方法作为沉井结构的计算的推荐使用方法，以期推动设计技术进步。

5.7.22 沉井首节制作时的基底压力不应大于垫层下卧层地基承载力特征值 (f_a)，后续各节接高制作时应满足地基极限承载力的要求。

条文说明：沉井第一节为下沉阶段的主要受力结构，所以第一节制作对沉井的下沉非常重要。为了保证第一节的制作质量，要求第一节的制作荷载不应大于修正后的地基承载力特征值，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。

5.7.23 沉井结构地基承载力及软弱下卧层验算应按现行国家有关标准的规定执行。

5.7.24 当沉井结构作为建筑物基础时，应根据基础整体特性，并结合上部结构、基础与地基的相互作用进行变形计算，且应符合现行国家有关标准要求。

条文说明：当沉井作为结构基础时，应根据基础整体结构按《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 等现行国家有关标准进行。

5.7.25 沉井施工阶段、使用阶段地基承载力或变形不满足要求时，宜采用砂桩、搅拌桩、高压旋喷桩、注浆等方法进行地基处理，并按现行国家有关标准的规定执行。

条文说明：首节地基及沉井下沉、接高稳定性或沉井底部地基承载力，部分沉井地基处理案例如表 8。

表 8 部分大型桥梁沉井地基处理方案统计

工程名称	沉井方案	地基处理方案	类型	备注
五峰山长江特大桥北锚碇	钢壳沉井+钢筋混凝土 100.3×71.7m	桩径 0.5m、间距 1.2m、桩长 17m；砂桩加固法	沉井首节地基及沉井下沉、接高稳定性不满足要求。	锚碇区覆盖层上部软塑状、流塑状淤泥质粉质粘土层，若不进行处理，沉井下沉初期容易出现突沉现象。加固范围：沉井平面外扩 3.2m，加固平面尺寸为 106.7×78.1m。
马鞍山长江公路大桥南锚碇	钢壳沉井+钢筋混凝土 60.6×55.8m	桩径 0.5m、间距 1.2m、桩长 10m；砂桩加固法	沉井首节地基及沉井下沉、接高稳定性不满足要求。	通过对地基的处理，增加地基的承载力，减少钢壳拼装和前 4 节混凝土浇筑过程中的不均匀沉降及沉井变形。加固范围：沉井平面外扩 2.5m，加固平面尺寸为 65.6m×60.8m。
南京长江第四大桥北锚碇	钢壳沉井+钢筋混凝土 69.0m×58.0m	桩径 0.5m、间距 1.2m、桩长 14.3m；砂桩加固法	沉井首节地基及沉井下沉、接高稳定性不满足要求。	地基应有足够的均匀承载力，设计要求最小地基承载力为 350kPa，根据北锚碇所处地质资料及结合现场实际试验，原地面承载力 (90kPa) 远不

工程名称	沉井方案	地基处理方案	类型	备注
				能达到设计要求，需对沉井下的地基进行加固处理。 加固范围：沉井平面外扩 6.0m，加固平面尺寸为 81.0m×70.0m。
江阴长江公路大桥北锚碇	钢壳沉井+钢筋混凝土 69.2m×51.2m	桩径 0.3m、间距 1.0m、桩长 12.2m；砂桩加固法	沉井首节地基及沉井下沉、接高稳定性不满足要求。	第一节沉井范围内土层多为饱和松散，流塑一软塑状，允许承载力仅为 100kPa 左右，但在钢壳沉井拼装、第一节混凝土浇筑过程中不允许产生过大的压缩沉降。此外，沉井接高时对地基承载力也有较高的要求，其计算值约为 300kPa。因此，需进行地基加固。 加固范围：沉井平面外扩 2.0m，加固平面尺寸为 73.2m×55.2m。
珠海市供澳门引水工程输水管线 36# 沉井	圆形钢筋混凝土结构 外径Φ20.6m	井壁刃脚底采用 10m 旋喷桩加固；井位其他部位采用石灰搅拌桩。	沉井首节地基及沉井下沉、接高稳定性不满足要求。	处理后的复合地基承载力特征值为 240kPa。 加固范围：加固尺寸外径Φ20.6m，加固范围无外扩。
无锡市地铁四号线广石路站自来水三号沉井	圆形钢筋混凝土结构 外径Φ10.6m	桩径 0.6m、间距 1.5m、桩长 6.0m；搅拌桩加固法	沉井底部地基承载力及变形	沉井底部位于软弱土层，承载强度仅为 70kPa~80kPa，不能满足地基承载力要求，设计明确利用深层搅拌桩对沉井基底土予以加固处理。 加固范围：沉井平面外扩 1.2m，加固平面尺寸为Φ13.0m。
江苏省淮阴市杨庄循环水泵房沉井	多孔矩形钢筋混凝土结构； 22.4×18.7m	充水预压加固法	沉井底部地基承载力及变形	在沉井底面以下的软土层中设置塑料排水板或砂井等竖向排水体，增加排水途径，缩短排水距离，利用沉井自重与井内水重作为荷载，对下卧软土层进行预压加固 加固范围：加固尺寸 22.4m×18.7m，加固范围无外扩。
上海某水厂引水工程沉井顶管工作井	圆形钢筋混凝土结构； 外径Φ20.0m	压密注浆： 1000×850/1200×1000/1300×1000 m 梅花形布置，注浆深度为 5.5m~13.5m。	沉井底部地基承载力及变形	第一次注浆目的：在井外提高井壁外土体的单位摩擦力；第二次注浆目的防止涌砂。 第一次加固范围：沉井平面外扩 3.0m，加固平面尺寸为Φ26.0m。 第二次加固范围：沉井平面外扩 1.2m，加固平面尺寸为Φ22.4m。

5.8 沉井构造设计

5.8.1 沉井的平面形状及尺寸应根据功能需求、作业空间、地基承载力及施工要求等确定，

并应符合下列规定：

- 1 平面宜对称布置，矩形沉井的长宽比不宜大于 3；
- 2 圆形沉井的高径比不宜大于 1.5；矩形高宽比不宜大于 2.5；
- 3 沉井平面重心位置宜布置在对称轴上，平面重心的竖向连线宜为竖直线；
- 4 沉井井壁与隔墙的厚度应根据结构强度、施工下沉所需重力、便于取土和清基等因素确定，现浇钢筋混凝土沉井壁板厚度不宜小于 0.3m；钢筋混凝土及钢壳混凝土浮运沉井的壁厚尚应根据浮运要求通过计算综合确定；
- 5 当沉井顶面有构筑物时，沉井与构筑物外轮廓之间的襟边宽度应满足沉井施工容许偏差，浮运沉井襟边宽度不应小于 0.4m，其他沉井不应小于 0.2m，并不应小于沉井全高的 1/50；
- 6 浮运沉井顶部围水结构设置应满足浮运要求，沉井干舷宜为 0.5m~1.0m；
- 7 井孔的布置和大小应满足取土机具操作的需要，对顶部设置围堰的沉井，宜结合井顶围堰统一考虑；
- 8 矩形沉井棱角处宜做成圆角或钝角，构件内折角处宜设置腋角，腋角宽度宜为 150mm~200mm，并设置构造钢筋，宜按墙、顶或底板截面内受力钢筋的 50%采取；
- 9 环向分块的沉井宜少设接头，接头设置位置宜尽量避免受力不利及构造复杂区域，距离转折角隅或隔墙节点不应小于 2 倍墙身结构厚度；
- 10 沉井平面分格净尺寸不宜小于 3m，且不宜大于 15m；
- 11 沉井井壁设框架柱时，宜向沉井内凸出，并应增加框架平面外方向的配筋。

条文说明：条文第 1 款中关于矩形沉井的长宽比不宜大于 3 的限定，主要是考虑沉井空间刚度和满足沉井下陷稳定控制的需要，并结合目前的研究成果，适当的放大处理。段良策、殷奇编著的《沉井设计与施工》提出长宽比不宜大于 3，《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137 中条文 4.1.1 建议不宜大于 2，《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093 及《水电水利工程沉井施工技术规范》DLT 5702-2014 无明确要求；《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137 中的条文说明 7.1.1：“矩形沉井的长宽比不宜大于 2 的限定，主要是考虑沉井空间刚度和满足沉井下陷稳定控制的需要。综合考虑经济、一般做法及适当先进做法后，放宽至 3；

5.8.2 沉井竖向构造应符合下列规定：

1 沉井每节高度可根据沉井的平面尺寸、总高度、地基土情况和施工条件确定，应满足沉井下沉能力和下沉稳定性要求；沉井外壁可做成垂直面、台阶、斜面；外壁为台阶时，台阶的宽度可为 100mm 左右；外壁为斜面时，坡度的横竖比宜为 1/50~1/20；

2 沉井分节浇筑时，每节高度宜采用 5m~6m，底节沉井高度宜采用 4m~6m，且沉井在松软土中下沉时，沉井底节高度不应大于沉井短边宽度的 0.8 倍；

3 沉井井壁变截面台阶宽度可采用 150mm~200mm。沉井最下部台阶宜设在沉井底板以上，距底板面不应小于 1.0 倍凹槽处壁厚（图 5.8.2）。为减少下沉摩阻力而设置的台阶应设在外侧，因受力要求设置的台阶应设在内侧。

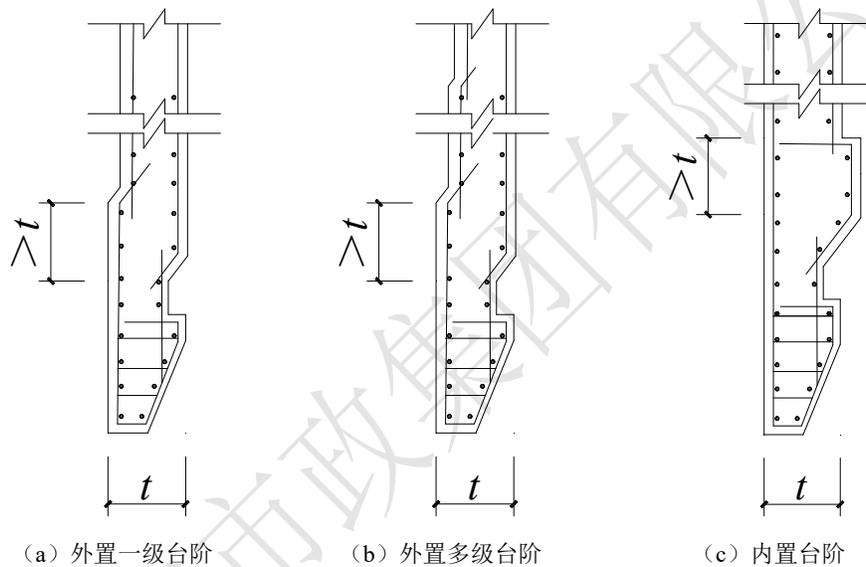


图 5.8.2 井壁变截面台阶

条文说明：条文第 1 款，沉井外壁做成垂直面的沉井又称柱形沉井，其平面尺寸不随深度变化，柱形沉井受周围土体的约束均衡，不易倾斜，对周围土体扰动小。其缺点是外壁侧摩阻力较大，当下沉深度较大而土体密实时，下沉较难且容易造成井壁拉裂，一般适用于入土不深或土质较松散的情况。

阶梯型沉井井壁平面尺寸随深度呈阶梯形加大，阶梯可设在井壁的内侧或外侧，前者有一定的扩孔作用，常用在密实土体中，以防下沉困难。另外，沉井下部受到的土压力及水压力较上部的大，故阶梯形结构可使沉井下部刚度相应提高，而又相对于柱形沉井经济。缺点是外台阶沉井对土体扰动较大，容易造成周围地表下沉。

斜面井壁的沉井外井壁坡度的横竖比宜为 1/50~1/20，其优点是减少沉井下沉时土体侧

摩阻力，缺点是下沉不稳定且制作难度较大，一般避免使用。

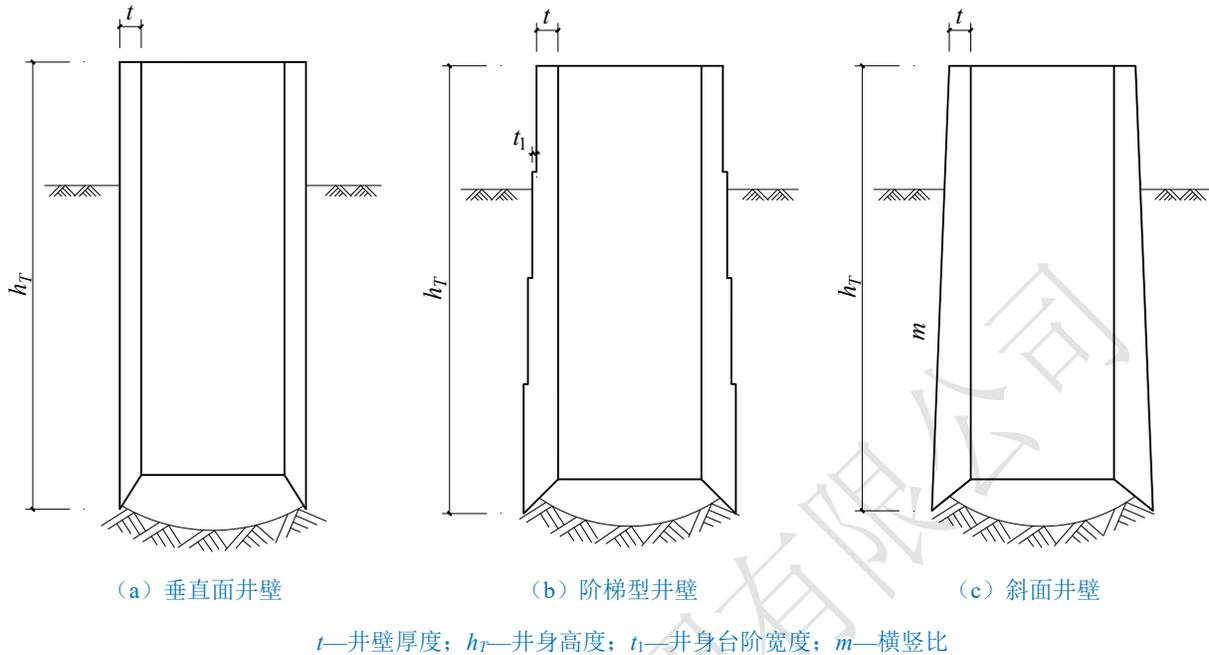


图 6 沉井井壁的竖向构造

条文第 2 款，沉井一般分节下沉，分节高度应根据结构下沉所需克服摩擦力的自重要求、结构稳定性及施工工效等因素考虑，当遇到大型沉井或特殊沉井，应根据计算所需的刚度、配重及稳定性等因素确定分节高度，其高度一般会超出本条规范宜采用的数值。

松软土中制造底节沉井，如高度过大容易发生倾斜而且难以纠偏，故一般认为不应大于沉井宽度的 0.8 倍。

5.8.3 沉井刃脚可分为钢刃脚和钢筋混凝土刃脚，当不宜采用混凝土结构，如土质坚硬，刃脚面应以型钢加强或底节外壳采用钢结构。

5.8.4 钢刃脚构造应符合下列规定：

- 1 钢刃脚的钢材牌号不应低于 Q235；
- 2 钢刃脚应具有足够的刚度和承载力，应设置连接钢筋或剪力键与混凝土结构紧密结合；
- 3 钢刃角外部应进行防腐处理并根据使用年限考虑钢结构的耐久性；
- 4 钢刃脚制作宜在加工厂分段加工成型，现场拼装、调整、焊接成整体；
- 5 钢刃脚安装应严格控制安装精度，焊接可靠，刃脚钢护板安装、拼焊应对称进行；
- 6 浮式焊接钢沉井所用钢材应保证其焊接性能。

条文说明：条文第3款，对于仅在施工过程中起辅助下沉作用的钢刃脚或刃脚外包钢结构构件，防腐等级不低于5年，对于在结构运营期共同受力作用的钢结构，需要根据设计考虑其耐久性；

5.8.5 钢筋混凝土刃脚构造应符合下列规定：

1 钢筋混凝土刃脚可按图 5.8.5 选型：

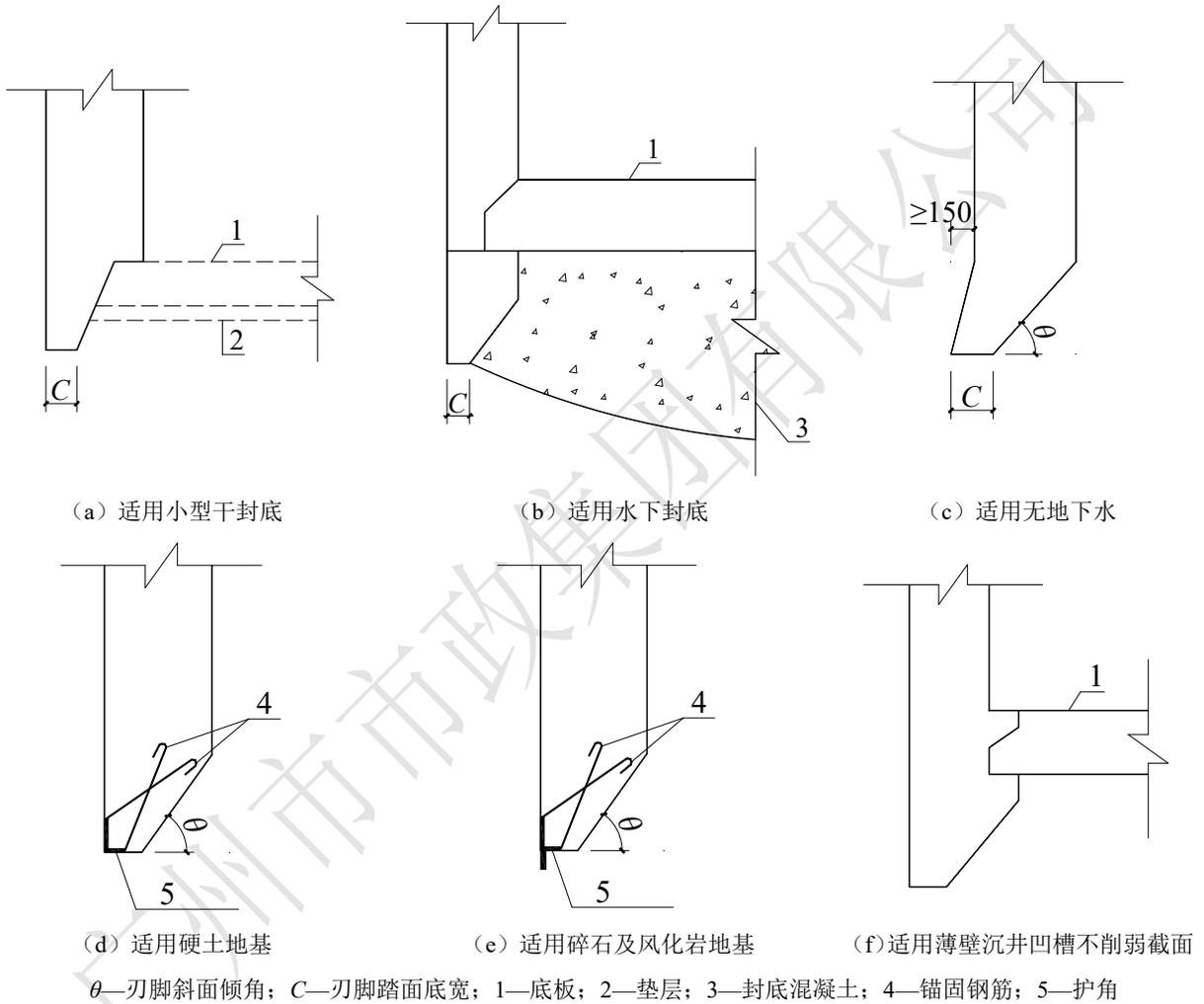


图 5.8.5 刃脚构造

- 2** 刃脚踏面底宽宜为 0.15m~0.4m；
- 3** 刃脚斜面与水平面交角宜为 50°~60°；
- 4** 沉井内隔墙底面比刃脚底面至少应高出 0.5m；
- 5** 沉井下沉倾斜岩面时，宜将刃脚做成与岩面倾斜度相适应的高低刃脚，或对岩面进行预处理；

6 沉井下沉前，刃脚内侧（包括凹槽）及底梁和隔墙两侧均应打毛。打毛范围不应小于封底混凝土和底板混凝土的接触面；

7 刃脚的长度应满足封底混凝土厚度的要求。当刃斜面倾角确定后，可调节刃脚直线段尺寸；

8 刃脚的配筋应符合下列规定：

(1) 刃脚的竖向主钢筋应设置在水平向钢筋的外侧，并应锚入刃脚根部以上并不小于沉井按水平框架计算的最大计算跨径的 0.5 倍高度；

(2) 刃脚总高范围按剪力或构造要求设置箍筋，刃脚的内、外层竖向钢筋间应设置 $\Phi 6 \sim \Phi 8$ 拉筋，拉筋间距可取 0.3m~0.5m。

条文说明：条文第 2 款，对于桥梁结构使用的沉井一般体量比较大，为了便于下沉，一般刃脚底面宽度宜采用 0.15~0.2m，而对于水工结构的沉井体量相对较小，对于刃脚地面宽度要求适当放宽，宜采用 0.15~0.4m，对软土地基可适当取大值或进一步放宽；当遇坚硬土层时，刃脚的踏面底宽可取小值；

条文第 3 款，《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 中条文 7.2.4，刃脚斜面与水平面交角不宜小于 45° ；《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137-2015 中条文 7.2.4，刃脚斜面与水平面夹角宜为 $50^\circ \sim 60^\circ$ ；当遇坚硬土层时，刃脚斜面与水平面夹角应取 60° ，并宜在刃脚的踏面外缘端部设置钢板护角（图 5.8.5）。

5.8.6 沉井隔仓的构造应符合下列规定：

1 在井壁与后浇隔墙的连接处，宜在井壁上加设腋角，并预留凹槽、连接钢筋和止水片。凹槽的深度不宜小于 25mm，连接钢筋的直径和间距应与隔墙边的水平向钢筋一致；

2 当沉井隔墙需设置施工过人洞口时，洞口尺寸可采用 1.0m×2.0m。洞口应设预埋插筋，待底板浇筑完成后封闭。新旧混凝土的接缝应根据施工规范采取防渗措施。

5.8.7 沉井壁板及底板构造应符合下列规定：

1 沉井壁板在底板厚度范围内设凹槽时，其深度不宜小于 150mm。在顶管工作井承受顶力壁板的凹槽内应预留插筋（或采用植筋）与沉井底板连接。沉井壁板在底板面上侧设凸缘时，凸缘宽度不应大于 150mm（图 5.8.7-1）；

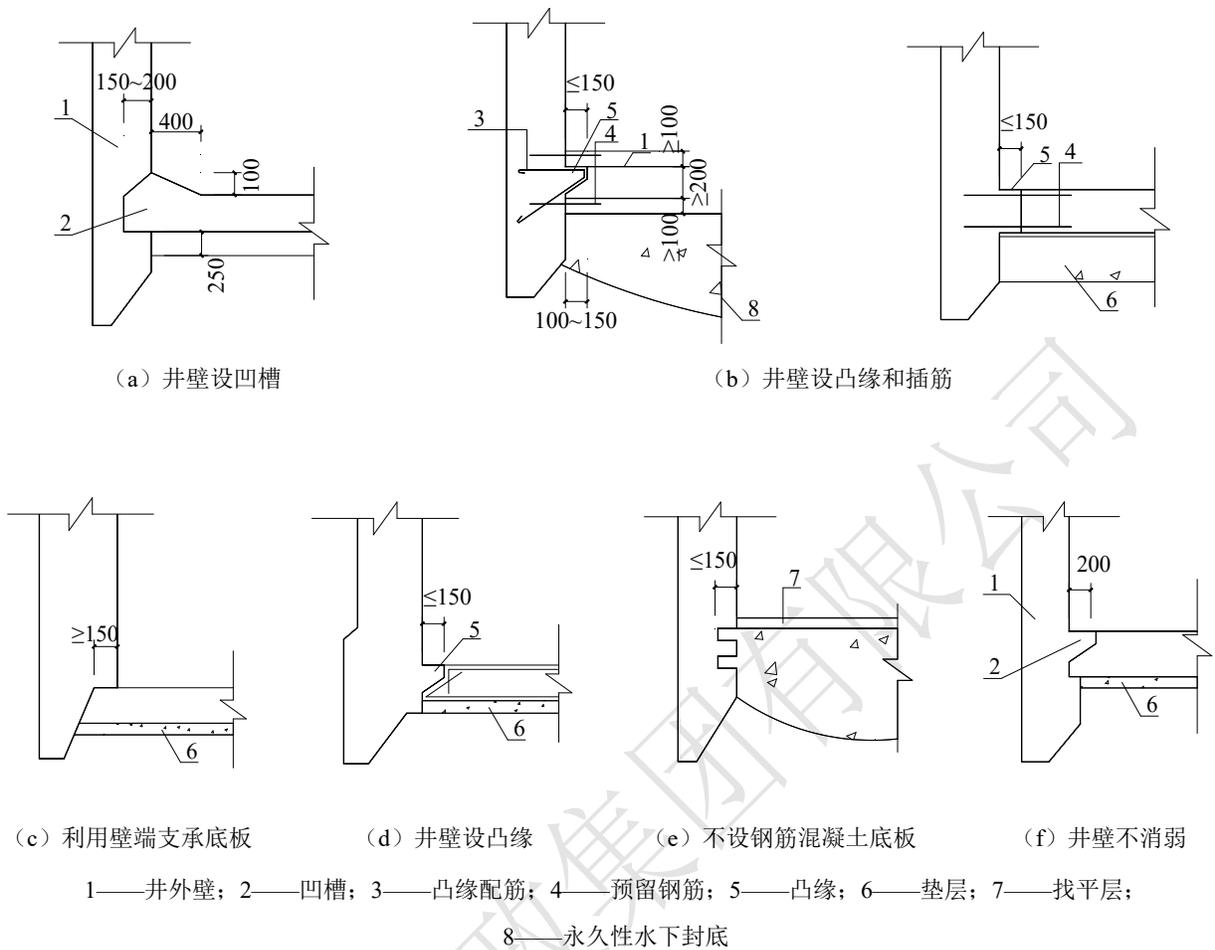
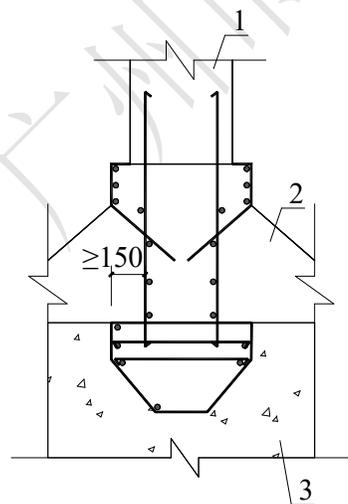
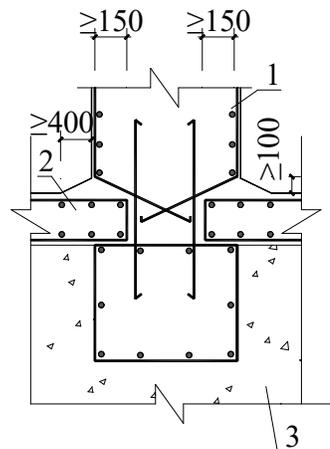


图 5.8.7-1 井壁及底板构造

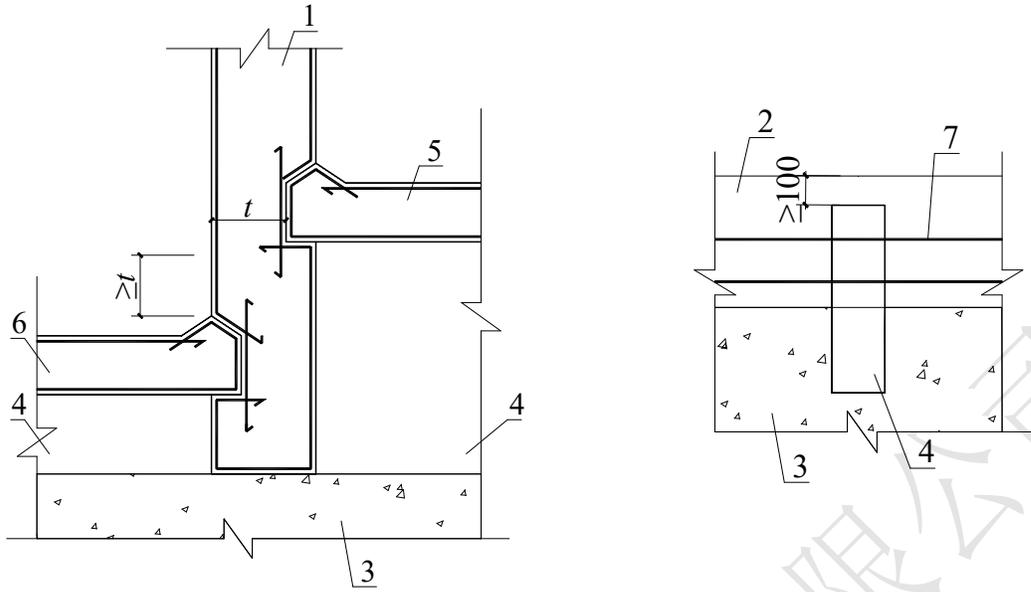
- 2 不设刃脚的底梁和隔墙的底面距沉井刃脚底的距离，不宜小于 500mm；
- 3 钢筋混凝土底板的构造应符合图 5.8.5-2 的规定。



(a) 带刃脚隔离墙与底板连接



(b) 无刃脚隔离墙与底板连接 (适用隔离墙厚度 $\le 400\text{mm}$)



(c) 错置底板与隔墙连接
 (d) 底梁与底板连接
 1—隔墙；2—底板；3—封底混凝土；4—底梁；5—上置底板；6—下置底板；7—插筋

图 5.8.7 沉井底板构造

5.8.8 沉井配筋应符合下列规定：

- 1 钢筋混凝土沉井的配筋应由计算确定，受力钢筋配筋率不应小于 0.1%，且应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定；
- 2 混凝土沉井井壁竖向接缝应设置接缝钢筋；
- 3 现浇钢筋混凝土大型沉井分节制作时，对上节沉井井壁应增加水平构造钢筋；
- 4 沉井受力钢筋的混凝土保护层最小厚度不应小于 35mm；
- 5 沉井井壁上端的环向或水平向钢筋应加强。沉井分节下沉时，每节井壁上端的环向或水平向钢筋均应加强。

条文说明：《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362-2019 第 7.2.5 条规定，钢筋混凝土沉井的配筋应由计算确定，配筋率不应小于 0.1%；《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069-2002 第 6.3.1 条、6.3.2 条及《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 第 8.5.1 条、第 8.5.2 条规定，配筋率不应小于 0.15%。《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017 第 7.1.3 沉井底节可采用素混凝土、钢筋混凝土、钢等材料，并应符合钢筋混凝土沉井底节截面最小配筋率不应小于 0.05%。考虑公路工程和铁路工程的结构尺寸一

般较大，配筋率较其他行业的要求较低，本次正文条款规定了最小的配筋率，各行业可根据本行业的规定确定配筋率。

5.8.9 钢筋的接头应符合下列规定：

- 1 对具有抗裂性要求的构件(处于轴心受拉或小偏心受拉状态)，其受力钢筋不应采用非焊接的搭接接头；
- 2 受力钢筋的接头应优先采用焊接接头，非焊接的塔接接头应设置在构件受力较小处；
- 3 受力钢筋的接头位置，应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定相互错开；如必要时，同一截面处的绑扎钢筋的搭接接头面积百分率可加大到 50%，相应的搭接长度应增加 30%；
- 4 因施工要求需弯折的预留插筋，其直径不宜大于 20mm 当直径大于 20mm 时，插筋接头应采用钢筋接驳器或采用电焊连接。

5.8.10 沉井封底混凝土构造应符合下列规定：

- 1 沉井封底混凝土厚度应由计算确定，封底顶面应高出刃脚根部（即刃脚斜面的顶点处）不小于 0.5m；
- 2 通过控制地下水位于封底时，封底混凝土强度等级达到设计要求后，方可进行下一步工作。

5.8.11 上部设置建构筑物的沉井、粗砂、砂砾填芯沉井和空心沉井的顶面均应设置钢筋混凝土盖板，盖板厚度应通过计算确定。

5.8.12 顶管井井壁预留洞口尺寸应符合下列规定：

- 1 沉井井壁预留顶出洞口的直径：对于钢管顶管和钢筋混凝土顶管不宜小于 $(0.2m + \text{顶管外径})$ ；
- 2 沉井井壁预留接收洞口的直径：对于钢管顶管不宜小于 $(0.40m + \text{顶管外径})$ ，对于钢筋混凝土顶管不宜小于 $(0.30m + \text{顶管外径})$ ；
- 3 预留洞口的底与沉井底板面的距离：对于钢管不宜小于 700mm，对于钢筋混凝土管不宜小于 600mm；
- 4 增加矩形顶管的预留洞口的设置。

5.9 材料和耐久性设计

5.9.1 沉井采用的混凝土强度等级应根据实际情况进行确定，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求。

5.9.2 沉井采用的钢材应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

5.9.3 砂、石子、水泥、石灰、粉煤灰、矿(钢)渣粉等掺合料、外加剂等原材料的质量、检验项目、批量和检验方法，应符合国家现行有关标准的规定。

5.9.4 沉井各构件混凝土强度等级应符合下列规定：

1 刃脚不应低于 C30；

2 井身不应低于 C25，装配式管片不应低于 C30；当为薄壁浮运沉井时，井壁和隔板不应低于 C30；

3 腹腔内填料不宜低于 C15；

4 封底混凝土强度等级，非岩石地基不宜低于 C25，岩石地基不宜低于 C20。

5.9.5 地基垫层宜选用砂垫层且宜为一级配，素混凝土垫层强度宜为 C20~C25。

5.9.6 凡有抗渗要求的永久沉井结构，壁板和底板混凝土的抗渗等级应通过试验确定，并应符合表 5.9.6 的规定。

表 5.9.6 防水混凝土的设计抗渗等级

工程埋置深度 H (m)	设计抗渗等级
$H < 10$	P6
$10 \leq H < 20$	P8
$20 \leq H < 30$	P10
$H \geq 30$	P12

条文说明：《地下工程防水技术规范》GB 50108 对于抗渗要求仅考虑工程结构埋深深度，未考虑结构壁厚及水头的影响。《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 第 3.0.3 条与《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137 第 3.0.3 条规定一致，所提供的混凝土抗渗等级表规定了最大作用水头与混凝土壁板厚度的比值。针对桥梁、铁路及

民用建筑地下结构的混凝土防水等级较多采用《地下工程防水技术规范》的有关规定，且此规范所规定的标准较为适中，因此本规范采用《地下工程防水技术规范》GB 50108 所规定的混凝土的设计抗渗等级。

5.9.7 沉井受力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 30mm，钢筋混凝土沉井保护层最小厚度宜按表 5.9.7 取用：

表 5.9.7 钢筋混凝土保护层最小厚度 (mm)

构件名称	工作条件	最小保护层
井壁、隔墙	与水、土接触	30
	与污水接触	35
梁、柱	与水、土接触	35
	与污水接触	40
底板	有垫层的下层筋	40
	无垫层的下层筋	70

注：1.当构件外表有水泥砂浆抹面或其他涂料等质量确有保证的保护措施时，表列保护层厚度可减小 10mm；

2.工厂预制的混凝土构件，其普通钢筋和预应力筋的混凝土保护层厚度可比现浇构件减少 5mm；

3.当受力钢筋的混凝土保护层大于 50mm 时，应在混凝土保护层中设置一层钢筋网片。

5.9.8 沉井井孔内应根据受力、稳定或使用要求确定是否填充及填充材料的类型。填料可采用混凝土、水、片石混凝土或片石注浆混凝土等；无冰冻地区可采用粗砂或砂砾填料。

条文说明：从统计结果可看出，我国近年来修建的大型桥梁沉井井孔内回填材料主要以 C20 混凝土、砂、水为主。

表 9 部分大型沉井井孔内回填材料统计

工程名称	平面尺寸	总高度 (m)	井孔内回填材料
马鞍山长江公路大桥北锚碇	60.2m×55.4m	41	15 格井孔内回填 C20 混凝土，10 格井孔注水填充
武汉鹦鹉洲长江大桥北锚碇	Φ60m	43	10 格井孔内回填 C20 混凝土，10 格井孔注水填充

泰州长江公路大桥北锚碇	67.9m×52m	57	12 格井孔回填 C20 混凝土，8 格井孔注水填充
温州瓯江北口大桥南锚碇	70m×63m	67.5	15 格井孔内回填 C20 混凝土，15 格井孔注水填充
五峰山长江大桥北锚碇	100.7m×72.1m	56	18 格井孔回填 C20 混凝土，18 格井孔回填砂，12 格井孔注水填充

5.9.9 混凝土沉井结构的耐久性应根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别和环境作用等级进行设计。

5.9.10 不同环境作用下钢筋主筋、箍筋和分布筋，其混凝土保护层厚度应满足钢筋防锈、耐火以及与混凝土之间粘结力传递的要求。

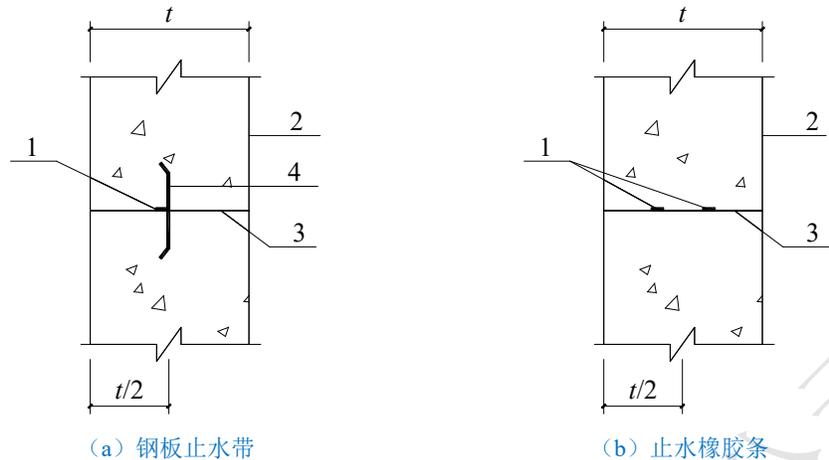
5.9.11 有自防水要求的混凝土构件，其横向弯曲的表面裂缝计算宽度不应超过 0.20mm。

5.9.12 混凝土结构构件的形状和构造不应在混凝土表面积聚水、汽和有害物质，并应采取下列构造措施：

- 1 受雨淋或可能积水的混凝土构件顶面应做成斜面，斜面应消除结构挠度对排水的影响；
- 2 在混凝土结构构件与上覆的露天面层之间，应设置防水层；
- 3 宜将构件的棱角做成圆角。

5.9.13 施工缝等连接缝不宜设置在局部环境作用不利的部位，必要时应采取防护措施。

条文说明：现浇混凝土施工缝宜设置止水带（如图 7），装配式沉井接缝宜设置高分子聚合物止水橡胶条（带）等防护措施，如遇特别重要的防护要求时，可考虑采用多重防护体系。



1—遇水膨胀止水胶；2—结构背水面；3—施工缝；4—镀锌钢板止水带

图 7 施工缝止水带

5.9.14 沉井顶板上覆盖土体或易遭受雨淋、海浪侵蚀时，应采取涂刷防水涂料、设置防水布、防水混凝土保护层等防水措施。

5.9.15 有防水要求的钢筋混凝土构件，其每侧暴露面上表层分布钢筋的最小配筋率不宜低于 0.4%，分布钢筋的间距不宜大于 300mm。

条文说明：最小配筋率的计算方法：单位长度内一侧分布钢筋面积与 0.5 倍的构件厚度之比，当构件厚度大于 500mm 时按 500mm 计算。

5.9.16 对于暴露在大气、海洋、土壤等环境中的外壁、吊环、紧固件、连接件等金属部件应按现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTJ 275 的规定采取防护措施。

条文说明：根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB T 50476 规定，当环境类别为 III、IV 时，金属构件伸入混凝土内 100mm 处起至露出混凝土外的所有表面均需进行防腐处理。环境类别详见《混凝土结构耐久性设计标准》GB T 50476-2019 第 3.2.1 条规定执行。

5.9.17 钢筋混凝土构筑物各部位构件上的预埋件，其锚筋面积及构造要求，除应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定确定外，尚应符合下列规定：

- 1 预埋件的锚板厚度应计入腐蚀裕度；
- 2 预埋件的外露部分，应作防腐保护。

5.9.18 沉井结构耐久性设计除应执行本标准的规定外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB T 50476 和行业标准的有关规定。

条文说明：沉井结构耐久性设计除需符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB

T 50476 和《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规范外，各行业工程尚需符合相应的行业规范规定，公路工程需满足《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG T 3310，铁路工程应满足《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 等。

广州市市政集团有限公司

6 陆域沉井施工

6.1 一般规定

6.1.1 陆域沉井施工前应详细了解施工现场的邻近建（构）筑物、地下管线和其他障碍物等情况，根据实际情况做好位移等数据的定期监测工作，并应对影响范围内的重要建（构）筑物和地下管线采取保护措施或方案。

6.1.2 施工前，应根据设计文件和勘察资料，选定下沉方式，计算沉井各阶段的下沉系数，编制制作、下沉等施工专项方案。

6.1.3 施工前，应进行施工图会审，并应进行技术与安全交底。

6.1.4 施工前，应根据沉井工程特点，安全和质量要求、工期要求、施工环境和施工条件，项目施工组织、施工进度计划、施工顺序、施工方法、资源配置和保证施工安全与工程质量的技术措施等编制施工组织设计，并应在施工组织设计的基础上，编制危险性较大工程等专项施工方案。

条文说明：危险性较大工程等专项施工方案应符合《住房和城乡建设部关于印发大型工程技术风险控制要点的通知》（建质函[2018]28号）、《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（住房和城乡建设部令第37号）等通知和相关规定。

6.1.5 施工组织设计编制应重点纳入下列事项：

- 1 施工现场出入的控制和管理；
- 2 道路和交通影响；
- 3 水上运输和航道影响；
- 4 设备安装与拆卸；
- 5 对附近环境和居民生活的影响。
- 6 风险和预案；
- 7 其他。

6.1.6 工程施工前，应具备下列资料：

- 1 施工许可和相关法规文件；
- 2 设计施工图；

- 3 施工组织设计及施工方案；
- 4 施工区域内的气象和水文资料；
- 6 工程地质勘察报告；
- 7 施工影响范围内的主要建（构）筑物，地下管线和设施等相关资料；
- 8 测量控制网、测量基线和水准点资料；
- 9 防洪、防汛、防台风和冬季施工的有关规定。

6.1.7 施工前，测量人员应根据设计图纸在地面上标定沉井的中心、轴线位置和坑的轮廓尺寸，以作为陆域沉井施工清理范围。

6.1.8 场地平整应符合工程设计图纸及相关技术文件的规定，选择合理的机械设备和运输路线，土方的处理和弃放地点应经当地行政管理部門的批准。

6.1.9 靠近水域的陆域沉井在初沉阶段宜避开汛期。

6.1.10 采用筑岛法施工时，筑岛法的地基承载力应满足设计要求，并不应小于 100kPa 并，岛体应满足沉降稳定和防冲刷稳定的要求。

6.1.11 对于影响沉井主体结构施工的不良地质，如树干、地下构筑物等障碍物及孤石、倾斜岩面等，应根据设计要求采取必要的预处理措施并加强监测。

6.1.12 陆域沉井在施工过程中应做好地下水位的观测，应避免水位变化对地层沉降和环境产生较大的不利影响。

6.1.13 陆域沉井口周边场地地面标高应高于邻近施工场地，并应按设计要求设置排水沟。

6.1.14 沉井工程位于道路上时，施工单位应按现行国家标准《道路交通标志和标线》GB 5768 的规定编制临时交通疏导专项方案，并应安排专人进行现场交通疏导。

6.1.15 设置临时道路时，应根据工作量大小、设备情况及现有的运输条件，选用合适的路面或就地挖填铺筑临时便道，应结合永久道路进行设计，并应减少对现有交通的影响；对于路面要求高的情况宜采用混凝土路面。

条文说明：引自《沉井与气压沉箱施工技术规程》J11875-2011 中条款 5.1.7 并适当修改。

6.1.16 应根据沉井的规模和施工环境，合理选择机械设备，以实现高效且经济的施工目标。

6.1.17 沉井使用的施工机械设备应处于良好的工作状态，并应经过必要的检查和维护，确保设备的各项功能正常。

6.1.18 机械设备应具备完整的设备档案，包括设备的购置、使用、维护、修理等记录。

6.1.19 机械设备操作人员应熟悉设备的性能、操作方法和安全规程，确保设备能够正确、安全地使用。

6.1.20 沉井内、外应具备有效的通信联络手段，井内人工作业时，应做好通风和排水工作，制定相应的应急预防措施和紧急撤离方案。

6.1.20 施工过程应严防物体坠落井内，避免坠落物造成人员伤害或机械损坏。

6.1.21 遇到大风、雷雨等极端天气不应进行施工作业。

条文说明：五级及以上风力应停止起吊作业和施工升降机的使用。因为在此风力条件下，机械设备存在较大的安全隐患，可能导致倾覆或其他安全事故。六级及以上大风应停止所有露天和高空等户外危险作业。这包括但不限于起重吊装作业、附着式升降脚手架的爬升和下降作业、塔吊安装、顶升加节、附墙安装和拆除等作业。同时，也要禁止高空作业吊篮的使用。

雷雨天气需停止一切高处作业和露天作业。因为雷雨天气可能导致电气设备的短路、漏电等安全隐患，同时也可能引发滑倒、坠落等事故。大雨（每小时降雨量 10mm~25mm）时要停止露天作业，尤其是涉及混凝土浇筑和地基处理的工作。暴雨（每小时降雨量超过 25mm）时要停止所有施工作业，特别是在低洼地区或排水不畅的工地，要特别注意防范内涝和积水，确保施工设备和人员的安全。

6.2 制作

6.2.1 基坑开挖深度应满足最大允许边坡坡度，并确保基坑底面高出施工期间可能出现的最高地下水位 0.5m 以上。必要时，可采用井点降水后，再加深基坑的开挖。

6.2.2 垫层的类型和制作应满足设计要求，中、小型沉井，可不用承垫木；当沉井井壁自重较大，且地基承载力很差，或覆盖范围内土质分布不均匀时，宜铺设承垫木或素混凝土垫层。

6.2.3 砂垫层制作可按现行国家标准《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 50205 的相关要求执行。

6.2.4 素混凝土垫层制作应符合下列规定：

- 1 地基垫层验收合格后，方可在刃脚处对称铺设混凝土垫层，其厚度宜为

100mm~250mm;

2 素混凝土垫层浇筑时宜一次从一端向另一端铺筑到位,工作量较大时,则可分段施工,分段长度宜为 10m~12m;

3 混凝土垫层铺设后应用水准仪测量水平。

6.2.5 木垫层制作应符合下列规定:

1 铺设垫木时,垫木顶面宜保持在同一水平面上,应采用水准仪找平,高差不得超过 10mm;

2 垫木中心应与刃脚中心线重合,垫木埋深宜为垫木厚度的 0.5 倍;

3 承垫木平面布置应对称均匀,可单根或几根编成一组铺设,每组之间至少要留出 200mm~300mm 的空隙,并应采用 5mm~20mm 的砂卵石填塞密实;

4 应在刃脚下设立定位垫木应符合下列规定:

(1) 对于圆形沉井,宜按圆周均匀布置在四个支点上,沉井直径较大时,宜对称设置八个支点;

(2) 对于矩形沉井,宜设置在两长边,每边两个支点,长边 L 与短边之比为 $1.5 \leq L/b < 2$ 时,两个同边定位支点距离为 $0.7L$,当 $L/b \geq 2$ 时,则为 $0.6L$ 。

5 条件允许和必要时,垫架内外还应设排水沟。

6.2.6 当陆域沉井周围布置重型机械时,宜在井口的外围制作混凝土圈梁或钢圈梁承担机械和施工荷载,圈梁制作应符合下列规定:

1 安装圈梁前,应对预挖基坑进行平整、夯实;

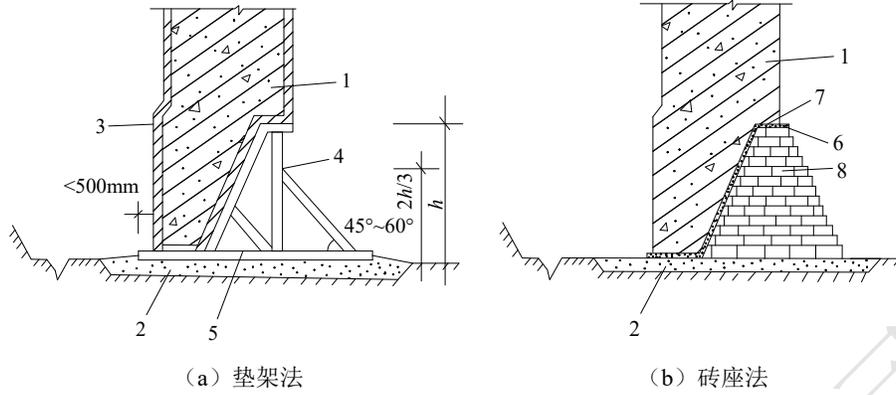
2 圈梁应具有足够的强度、刚度和稳定性,可采用现浇钢筋混凝土梁或装配式钢梁,当圈梁作为临时结构或沉井群施工时宜采用装配式钢圈梁;

3 当井筒提吊作业时,圈梁内侧宜预留滑槽,减小圈梁磨损;

4 圈梁内径与沉井井壁外径差值不宜小于 200mm。

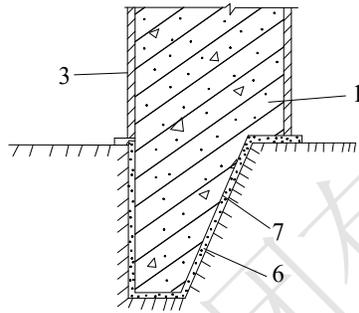
6.2.7 刃脚制作应符合下列规定:

1 现场制作刃脚的方式可根据地基承载能力、沉井重量和施工荷载选择,首节排架设计宜采用垫架法(图 6.2.7-1),地基承载能力好或沉井尺寸较小时可采用砖垫座法、土胎模法等;



(a) 垫架法

(b) 砖座法



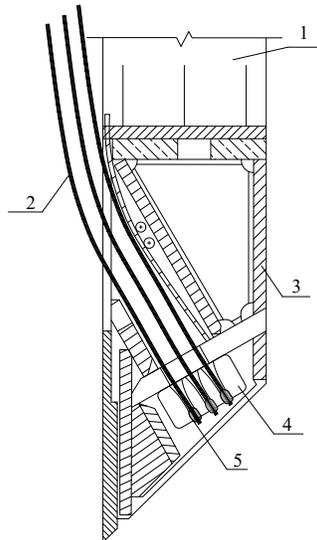
(c) 土胎模法

1—刀脚；2—砂垫层；3—模板；4—垫架；5—垫木；6—水泥砂浆；7—隔离剂；8—砌砖

图 6.2.7-1 刀脚制作方法

2 采用预制块拼装的刀脚，接头处连接应可靠；刀脚环应具有足够的强度、刚度、垂直度及块体稳定性，相邻层的竖向拼缝应避免在同一竖向线内；

3 对于需要提吊控制的井筒，可在刀脚环安装锚固盒，锚固盒应安装牢固（（图 6.2.7-2））。



1—钢刀脚；2—钢绞线；3—锚固盒；4—锚板；5—夹片

图 6.2.7-2 安装有锚固盒刀脚示意图

6.2.8 预留孔预埋件应满足下列要求：

- 1 预埋件应选用符合国家标准和工程要求的材料，确保其强度和耐久性要求；
- 2 预留孔的位置和尺寸应根据设计图纸和管道直径进行精确定位，预埋件与混凝土的固定应牢固可靠，不应在后续施工中发生移位或脱落；
- 3 预留孔的位置和尺寸应满足其他工程管道和设备的安装需求，预留孔内应清洁无杂物，避免影响后续管道的安装和使用；
- 4 在预留孔预埋件的设计和施工过程中，应充分考虑安全因素。

6.2.9 模板制作应符合下列规定：

- 1 模板的形式和材料的选择应根据计算确定，并应符合国家现行标准《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162 的有关规定；
- 2 沉井用模板表面应平整光滑，选用木模板时，外模（靠混凝土侧）应刨光并涂脱模剂；
- 3 当使用木模板制作圆形井壁时，内模必须支撑牢固防止较大变形，外模应采取必要措施避免浇筑混凝土的侧压力导致崩裂；
- 4 沉井井壁或隔墙中的预埋构件应另外专门搭设脚手架，不得支撑在井壁或隔墙的模板上，避免因振捣混凝土而造成预埋构件的位移，影响后续施工；
- 5 滑模施工应按现行国家标准《滑动模板工程技术标准》GB/T 50113 的规定执行；应减少上升与钢筋作业的交叉干扰，调整门架处局部竖向钢筋时，调整距离宜不超过 2m，并不应先安装门架顶部沉井的水平钢筋。

6.2.10 沉井结构钢筋的制作应该符合下列规定：

- 1 应按设计施工图对检验合格的钢筋进行下料加工制作；
- 2 直径 16mm 以上的钢筋宜采用电弧焊接头和对焊接头；
- 3 井壁的水平钢筋均应接受拉区的稳定预留钢筋锚固长度或焊接长度或搭接长度，井壁的竖直钢筋可按构造钢筋来配置。

条文说明：本条文内容主要参考段良策、殷奇编著的《沉井设计与施工》（同济大学出版社）。在沉井结构的施工过程中，钢筋的加工成型与绑扎质量要求与常规的钢筋混凝土结

构相似，本条文着重强调沉井钢筋施工中的一些特殊要求。由于沉井结构中使用的钢筋直径较大，接头、弯钩、绑扎和成形都较为困难，因此，对于直径 16mm 以上的钢筋，在加工制作时，通常采用电弧焊接头和对焊接头。这不仅节约了钢材，还使绑扎和混凝土浇筑更加方便，从而保证了工程质量。

井壁结构（隔墙）在两侧面根据井内是否有水通常会受到不同程度的压力和拉力，很难明确区分出受压区和受拉区的界限。因此，在进行井壁结构的施工时，为确保结构的稳定性和安全性，水平钢筋的布置需充分考虑其受拉特性。因此所有的水平钢筋都需接受拉区的稳定要求，预留足够的钢筋锚固长度或确保焊接长度满足要求。这样的施工方法能够确保井壁结构在承受各种压力和拉力时，都能保持足够的强度和稳定性。而沉井在软土地基中下沉时，通常不会使沉井上部被土壁挤住，使下部出现悬吊状态，所以井壁的竖直钢筋一般可按构造钢筋来配置。

6.2.11 沉井结构的混凝土制作与浇筑应该符合下列规定：

- 1 受潮、过期、散装及混有杂质的水泥不得使用；
- 2 无侵蚀和冰冻作用下，宜采用普通硅酸盐水泥或火山灰硅酸盐水泥；有冰冻作用则优先采用普通硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥；
- 3 细骨料宜为河砂，使用均匀、圆滑、质地坚固的中、粗砂，其含泥量不大于 3%；粗骨料宜选用组织细密、形状整齐的坚硬碎石或卵石。
- 4 按施工缝位置划分的不同区段宜一次浇筑完毕。
- 5 应采用与构筑物混凝土配合比相同的细石混凝土或高标号砂浆制作垫块。
- 6 施工缝应不留或少留，并按施工缝分段浇筑。每节应一次浇完，如确有困难，底板必须连续浇筑完毕，井壁和隔墙可留水平施工缝，但不得留垂直施工缝。水平缝的位置应避开剪力和弯矩最大的部位，或在底板表面 500mm 以上处，且距离孔洞边缘不少于 300mm。

条文说明：根据各种水泥的性能比较（表格引自段良策、殷奇编著的《沉井设计与施工》（同济大学出版社）并做适当修改），火山灰硅酸盐水泥的低温强度增长慢，抗冻耐磨性差，因此在冰冻作用下不宜选用。

表 10 水泥性能比较表

类型	优点	缺点	适用范围
----	----	----	------

普通硅酸盐水泥	早期及后期强度高，低温下强度发展快；抗冻性和耐磨性好，干缩率小。	水化热较高，易产生裂缝；耐腐蚀性能较差	适用于一般工业和民用建筑，不宜用于含硫酸盐地下水侵蚀的工程
火山灰硅酸盐水泥	耐久性好，抗化学侵蚀性强；水化热低	强度增长较慢；早期强度较低；不适合严寒环境	适用于水利工程、大坝、港口工程、海洋结构，不宜用于反复冻融及干湿循环作用的防水工程
低矿渣硅酸盐水泥	后期强度增长快，抗硫酸盐类侵蚀和抗渗性能好；水热低，耐热性好	早期强度较低；对配比和施工工艺要求较高，抗冻性较差，干缩性较大	适用于需要较高耐久性和抗渗性的工程，如地下工程、隧道、桥梁

沉井结构的混凝土细骨料平均粒径宜约为 0.4mm，颗粒级配应适宜。如在出产卵石地区建造，粗骨料则以采用卵石为宜。

6.2.12 沉井的平面位置和几何尺寸应符合设计要求，四周边缘应平整，接缝应严密，并应有足够的强度和稳定性。

6.2.13 沉井制作过程中，应采取措施防止作业污染环境和地下水。

6.2.14 沉井制作应符合下列规定：

1 高度不大于 8m 的沉井，地基承载力不小于 80kPa 时，井壁宜一次制作，一次下沉，否则宜分节制作；

2 高度大于 8m 的沉井，地基承载力不小于 80kPa 并具有大型起重设备时，宜采用分节制作、一次下沉的方式；

3 地基承载力小于 80kPa 时，宜采用分节制作，多次下沉的方式。

6.2.15 钢筋混凝土沉井首节混凝土高度（含刃脚）宜不大于 8m，当在松软的土层和人工岛上施工时，首节的高度不应大于 0.8 倍沉井直径或宽度。

6.2.16 沉井的制作高度不宜使重心离地太高，分节制作高度不宜超过沉井短边或直径的长度，特殊情况允许加高但应有可靠的计算数据，并应采取必要的技术措施。

条文说明：《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 中条款 5.1.6 并适当修改。

6.2.17 有防水要求时，支设模板穿墙螺栓中间应加焊止水环，井筒水平施工缝处宜设置凸

缝或设钢板止水带，突出井壁面部分应在拆模后铲平。

6.2.18 气幕管路或泥浆管路的安装或预埋应符合下列规定：

- 1 选择耐腐蚀、耐压、耐磨损的管路材料，能够承受预期的内外压力；
- 2 确保管道连接牢固可靠，并采取适当的密封措施；
- 3 气幕下部各层环形管的间距宜为 1.0m~1.5m，上部各层间距宜约 2m。
- 4 竖管顶端应高出井壁混凝土顶面 200mm~300mm，并应塞好管口，对竖管进行编号。

6.2.19 内隔墙制作应符合下列规定：

- 1 内隔墙应固定可靠，设置合理，底面应高出刃脚踏面 0.5m 以上，不得因内隔墙的设置和固定而影响沉井的沉入和使用；
- 2 制作时，内隔墙或框架梁应与井壁同时施工，共同下沉；
- 3 沉井的竖向框架在沉井下沉前应形成封闭体系。

条文说明：在不宜设置内隔墙的重型沉井中，如工业厂房所用沉井和大型泵站的下部结构沉井等，通常可用壁柱和上下横梁组成的竖向框架来代替内隔墙，其框架间距宜为 4m~10m，框架底梁底面应高出刃脚踏面 0.5m 以上。

6.2.20 沉井的预制构件应符合下列规定：

- 1 应根据设计图纸和生产要求制定模板，按相关生产工艺在预制厂进行生产预制；
- 2 管片在预制时提前预埋预留螺栓孔、手孔、端部卡槽和吊耳等构造，并应按设计位置固定，防止预制过程中错位和偏移；
- 3 密封材料应具有良好的密封性和耐久性，在安装过程中，应确保密封材料与构件之间连接紧密、无缝隙；
- 4 管片应在拼装前达到设计强度，在拼装前应进行质量检查，管片应无缺陷、无裂缝、无渗漏等情况；并进行抗拉拔、抗渗试验和检测；
- 5 预制构件完成后，在指定位置应做标志标识，内容包括构件编号、生产日期、生产人、审查人和预制生产厂名称等信息，或附上含有对应信息的二维码；
- 6 大型预制构件吊运采用的吊具应单独设计，并应满足强度、刚度和稳定性要求。吊具对薄壁构件不宜产生水平挤压力，整体吊运的合力应与其荷载的重心共线。

6.2.21 钢沉井及沉井钢构件应在工厂内制造，其加工制造应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

6.3 取土

6.3.1 陆域沉井应根据地质和施工条件，宜按表 6.3.1 选用取土工法。

表 6.3.1 不同地质/施工条件适用的取土工法

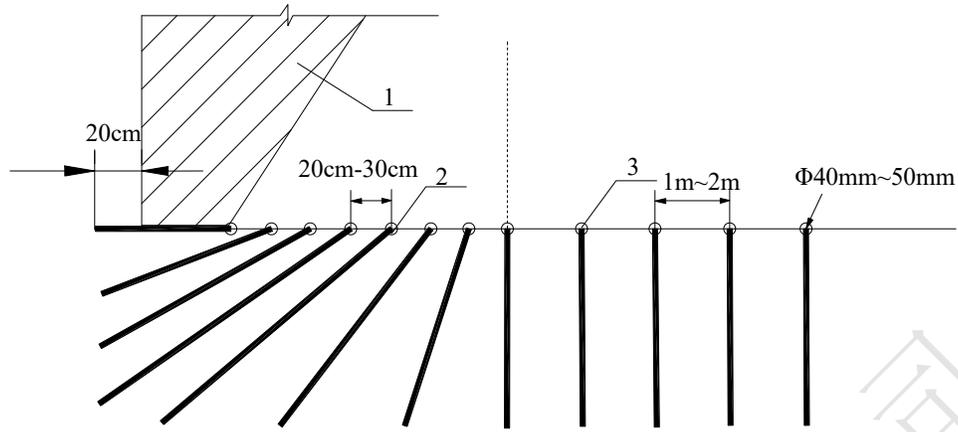
地质/施工条件	适用工法
土层透水性差，无大量渗水、流砂和井底土体隆起失稳风险，无需考虑危害周围建筑物、路面及地下管线	排水法取土
需排水作业但水源补给充分或降水设施能力不足，井外地下水位难以下降	半排水法取土
松散土层或渗透系数大的砂层或土层不稳定，可能引发流砂和井底土体隆起失稳，或对地层变形控制；大量抽地下水会影响附近建筑物，环境保护等级要求高	不排水法取土
对施工引起的地表沉降、周围建筑物和环境保护等级有更高要求	中心岛式取土

6.3.2 排水取土应符合下列规定：

1 采用排水法取土时，应根据实际情况采取合理的排水措施，地层中夹有较厚砂层，渗水量大于 $1\text{m}^3/\text{min}$ 时，宜采用井点降水，渗水量较小时可采用井内排水，井内应设集水坑，井底四周应设排水沟；

2 人工或小型挖机挖土时，应分层对称均匀掏挖，先中央后四周，严禁掏挖刃脚踏面处的土体。每层挖土厚宜为 $0.4\text{m}\sim 0.5\text{m}$ ，挖出的土集中堆放井底中央，再用机械运至弃土区，避免影响施工。

3 风化或软质岩层宜采用风镐、风铲破碎开挖；坚硬岩石层、大块孤石或砂砾层宜采用钻孔爆破法，并应合理制定方案（图 6.3.2）。应严控药量，宜采用浅孔、每层 $0.2\text{m}\sim 0.5\text{m}$ 厚分层爆破，必要时可用静压爆破。爆破作业应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 规定。



1—刃脚；2—刃脚区孔位；3—非刃脚区孔位

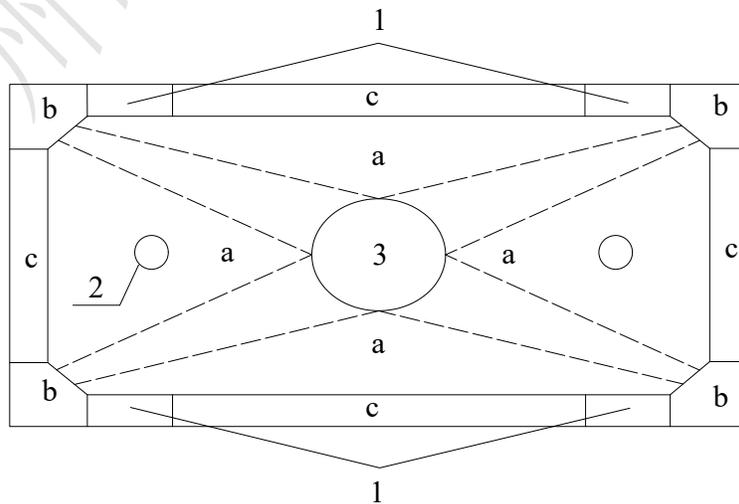
图 6.3.2 刃脚岩层爆破钻孔示意图

条文说明：为防沉井损伤，需要严控药量。图 6.3.2 引自张凤翔编著的《沉井沉箱设计、施工及实例》（中国建筑工业出版社）

6.3.3 不排水取土应符合下列规定：

1 采用不排水方式取土时，在初期下沉时可采用水下机械抓土等方式。当井内水深超过 5m~10m 时，宜采用空气吸泥或钻吸除土或与潜水员配合取土，可采用竖向沉井掘进机进行自动化取土；

2 采用水力吸泥或空气吸泥方式取土时，挖土顺序宜按图 6.3.3 中 a→b→c 的顺序进行，宜在井底中央挖 2m~2.5m 直径的集泥坑，再向集坑四周外冲出几条水沟，然后可向四周开挖锅底 a，刃脚四周应预留 0.8m~1.5m 土堤不被冲击。冲挖土堤时应先四角 b、次周边 c，最后冲挖定位点处的土体；



1—定位点；2—除泥机；3—锅底集泥坑；abc—挖土顺序号

图 6.3.3 井内机械挖土顺序示意图

3 吸泥装置在水下的深度宜大于 5m，施工时应保持井内外的水位平衡，并应关注排出泥浆浓度和各部位开挖面深度，移动吸泥机；

4 水力吸泥机喷嘴处的压力水头，不宜小于泥浆提升高度的 7.5 倍作为选择水泵压力时的参考，以便顺利将泥浆从井内排出井外；

5 井内水位不宜低于井外地下水位，挖流动性土时，井内水位应高出井外水位 1m 以上。

条文说明：引自穆保岗编著的《大型沉井设计、施工及监测》（中国建筑工业出版社）。选择水泵压力时，水力吸泥机喷嘴处的压力水头，不宜小于泥浆提升高度的 7.5 倍，以便顺利将泥浆从井内排出井外。

6.3.4 对于中、大型沉井取土，宜采用排水与不排水相结合的取土方式，宜采用机械施工，并控制井内取土深度。

6.3.5 多孔沉井中取土时，各井孔的土面高差不宜超过 0.5m；当沉井下部有底梁时，应先开挖底梁下方土体。

条文说明：挖土时应先将底梁下方土体开挖，以免沉井下沉时，下方土体损坏底梁并影响沉井下沉。

6.3.6 采用抓斗取土时，严禁井内站人；对于有底梁或支撑梁的沉井，严禁人员在底梁下穿越。

6.3.7 可根据现场情况选用机械挖土或高压泵冲泥等方式挖土，采用水力吸泥机或空气吸泥机等机械取土时，应设立相应的高压水泵站或压缩空气站及管路，并应配有必要的水源和排泥场所。

6.3.8 挖出的土方应随挖随运，不宜堆放在沉井井壁附近。

条文说明：如所剩土方不多，需要临时堆放在沉井的附近时，也应和沉井井壁有一定距离，不宜小于沉井深度的 1.5 倍。

6.3.9 当沉井下沉系数较大时，应先挖中间部分，形成锅底，保留刃脚和支点附近土体，保持挤土下沉。下沉初期，每个井孔内的锅底深度不宜超过 1.5m。

6.4 下沉

6.4.1 下沉前准备工作应符合下列规定：

- 1 抽除刃脚下方承垫木应分区、对称、同步进行；
- 2 抽除几组承垫木后，宜用砂或砂夹碎石回填刃脚内外，每层 20mm~30mm，洒水夯实；水力机械下沉的沉井刃脚内外不宜用碎（卵）石回填；
- 3 若抽除中沉井倾斜度大于 1%、下沉量加倍、回填土隆起或裂缝、承垫木断裂等，应立即报告施工负责人处理；
- 4 沉井下沉前，应检查井壁外观、混凝土强度及抗渗等级，计算承载力，判断下沉难度，确定下沉方法及措施；
- 5 沉井下沉前，应根据设计地质资料考虑增补施工勘探，为技术方案提供准确详细的地质依据；
- 6 沉井下沉前，应量测沉井平面位置及垂直度，沉井顶面的定位控制点及高程控制标尺应标示明确。
- 7 应测试控制系统和机械设备，确保功能符合设计和预期。

6.4.2 钢筋混凝土沉井首节混凝土下沉前强度应达到设计强度，其余各节下沉前不应低于设计强度的 70%。

6.4.3 当沉井下沉系数较小时应采取减阻助沉措施，包括采用降低井壁周面摩阻力、压载法、地锚反力压沉法、炮震助沉法等。

6.4.4 降低井壁周面摩阻力方法宜按表 6.4.4 选用。

表 6.4.4 降低沉井周面摩阻力的方法

方 法		施工要领、设备、材料
1	减摩环法	即在刃脚部位设置减摩环，降低周面摩阻力。根据刃脚环的尺寸和地层条件，为确保周面地层的强度恢复和井筒与周面地层的密实性，所以在地层和井壁间的空隙中，应注入水泥浆或水泥膨润土浆等填充材料。对普通沉井来说，该填充空隙宽度通常取 50mm。
2	特殊表面活性剂涂层法	在井筒外侧面上喷除表面活性剂形成减摩层。涂料多使用聚氨基甲酸乙酯树脂类涂料。

3	外侧空隙填充法	a	填充砂 (砂套)	该法是在井筒下沉的同时, 从地表向井筒侧壁与地层间的空隙中填充松散砂。配置在井筒外侧地表的砂伴随井筒下沉被吸入空隙, 地中砾被砂置换, 故摩阻力减小。
		b	填充圆砾 (SS 工法)	刃脚钢靴刃尖呈八字形, 离开井筒外壁面外撤约 200mm, 故井筒下沉时, 外壁与地层之间形成缝隙, 随后堆积在地表导槽中的圆砾($\Phi 25\text{mm} \sim \Phi 40\text{mm}$ 河砾)自动落入缝隙中, 故外壁与地层间的摩擦成为球体滚动摩擦, 即下沉摩阻力大幅下降。此外还应配以循环水设备, 确保砾石的顺畅流通。
		c	填充膨润土浆液 (触变泥浆套)	使井筒外侧的导槽中充满膨润土浆液, 随着井筒下沉流入侧壁与地层中间的缝隙中, 故摩阻力减小。使用设备及材料为膨润土拌浆罐、膨润土。
4	井筒外侧用减摩薄板包裹法		把井筒外壁用薄板包裹降低摩阻力的工法。下沉结束后, 薄板残留在地中	
5	喷射法	d	气幕法	从预先设置在井筒侧壁上几条硬质聚乙烯树脂管喷射高压空气。使用的设备有空压机、气槽、高压软管和分岔装置。
		e	喷射高压水法	从预先设置在井筒侧壁上的几条硬质聚乙烯树脂管喷射高压水。使用的设备有发电机、水中泵、送水聚乙烯树脂软管、水槽、叶轮泵、高压软管、分岔装置。
		f	注入滑材法	从预先设置在井筒侧壁上的几条硬质聚乙烯树脂管喷射膨润土浆液。使用的设备除高压水压送设备外, 还有拌浆桶、注浆泵、膨润土。
6	外侧转石、巨砾去除和破碎法		用全套管钻孔法或螺旋钻法使触及井筒外壁, 致使摩阻力大增的转石、巨砾松开或破碎。使用的设备是硬地层全套管钻孔机或螺旋钻机设备。	

条文说明: 表格引自张凤翔编著的《沉井沉箱设计、施工及实例》(中国建筑工业出版社), 并适当修改。

6.4.5 采用触变泥浆套减阻应符合下列规定:

- 1 触变泥浆的物理力学性能指标可根据表 6.4.5 选用;
- 2 易漏失泥浆或易翻砂涌泥地层不宜采用触变泥浆套助沉;
- 3 可采用自流渗入、管路强制压注等方法补给浆液;
- 4 刃脚下方土体不宜掏空, 刃脚踏面宽度不宜大于 100mm, 宜采用钢板无踏面尖脚, 减少刃脚的正面阻力或防止漏浆;
- 5 沉井外壁宜垂直, 并应做成单台阶形, 台阶宽度宜为 100mm~200mm。台阶或刃脚高度宜不小于 2.5m, 大型沉井的台阶位置可设在第一节、第二节接缝处;
- 6 沉井下沉到位后, 宜采用水泥浆、水泥砂浆等材料置换触变泥浆。

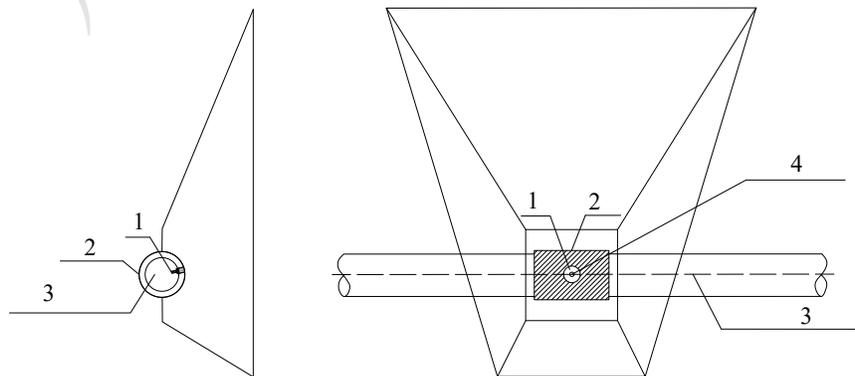
表 6.4.5 触变泥浆的物理力学性能指标

指 标	土 层			
	砂	砾石、卵石	亚粘土	粘土
密度(g/0mm ³)	1.20~1.25	1.10~1.15	1.10~1.20	1.10~1.15
失水量(mL/30min)	12~15	10~12	15~20	12~15
泥皮厚(mm)	2~4	1	2~3	2~5
静切力(mg/0mm ²)				
1min	30~60	75~150	30~50	20~40
10min	60~80	150~200	50~80	40~80
粘度(s)	25~35	40~50	22~30	20~25
胶体率(%)	99~97	100~98	100~98	98~97
稳定性(g/0mm ³)	0.01~0.02	0.01~0.02	0.00~0.03	0.02~0.03
pH 值	≥8	≥8	≥8	≥8
含砂率(%)	<4	≤1~2	≤3	≤4

条文说明：表格引自段良策、殷奇编著《沉井设计与施工》（同济大学出版社）。

6.4.6 采用空气幕减阻法应符合下列规定：

- 1 适用于砂类土、粉质土及黏性土地层，对于卵石土、砾类土及风化岩等土层不宜采用；
- 2 空气幕压力值宜不小于最深喷气孔处理论水压力的 1.5 倍，并应根据计算设置必要数量的空压机和储气包；
- 3 每次下沉施工前，应对空气幕进行压气试验，以检验空气幕管路是否顺畅；
- 4 压气应自上而下，关气时反之。停气应缓慢减压，压气与挖土应交替进行；
- 5 气龛宜为倒梯形（图 6.4.6），喷气孔直径宜为 1mm~3mm，大型沉井宜采用 3mm 的喷气孔以减少气龛数量；在 1.5m~3m 内宜设置 2 个喷气孔，刃脚以上 3m 内不宜设置喷气孔；



1—图钉；2—薄胶环；3—聚乙烯管；4—喷气孔

图 6.4.6 空气幕气龕示例图

6 使用空气幕助沉时间应根据实际情况确定，不宜超过 2h；接近终沉时，不得使用空气幕助沉；

7 若使用空气幕减阻效果不理想，可结合砂套减阻法，使压缩空气贴井壁向上扩散，提高空气幕助沉效果；

8 使用空气幕减阻时，井壁单位摩阻力可按附表 A.1.3 中数据乘系数 0.5~0.7 取值。

6.4.7 采用砂套减阻法应符合下列规定：

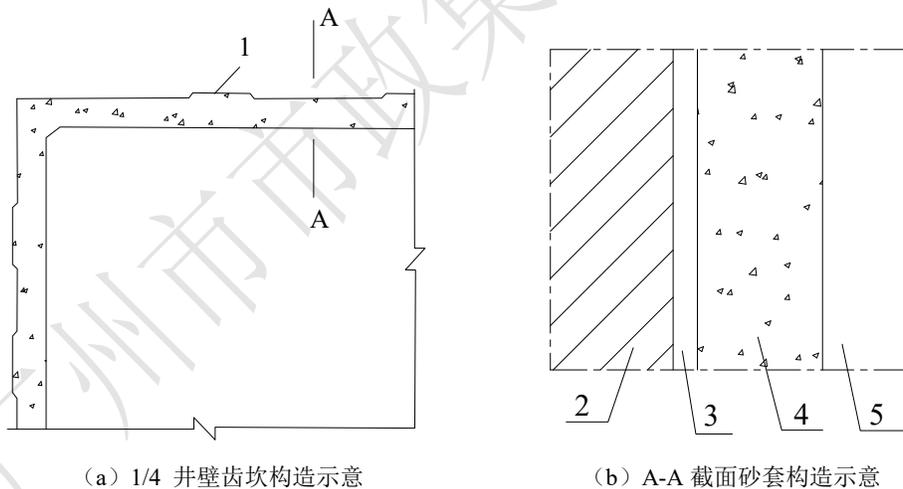
1 宜选择流动性和填充性能好的松散砂土，进行必要的筛分、去除杂质等处理以确保其质量满足施工要求；

2 应填充均匀、紧密，避免出现空洞或不均匀的情况；

3 沉井四周堆放的回填砂高度宜为 1m~2m；

4 控制好填充速度和下沉姿态，避免对井筒造成过大的压力或位移，宜在井壁外侧四周设置齿坎状构造增加导向作用和保证砂土有效回填(图 6.4.6)，齿坎厚度宜大于 400mm；

5 灌砂段的单位摩阻力标准值可取 7kPa~10kPa。



1—齿坎状构造；2—原状土；3—回填砂；4—井壁；5—水

图 6.4.7 沉井井壁砂套构造示意图

条文说明：引自穆保岗著《大型沉井的设计、施工及监测》（中国建筑工业出版社），并适当修改。

6.4.8 高压射水减阻应符合下列规定：

1 适用于在较坚硬的土层中下沉沉井，黏土中下沉不宜采用；

- 2 射水管在井壁四周要布置均匀，插入深度应高出沉井刃脚底面 1.5m 以上；
- 3 高压水水压宜不小于 0.6MPa，单个水管的排水量不宜小于 200L/min。

6.4.9 采用压载助沉应符合下列规定：

- 1 当沉井下沉系数小于 1.25 并下沉有困难时，可采用压载助沉，但在硬质土层中不宜采用；
- 2 压载助沉方案应考虑周围环境和地质条件，应明确压载的重量、分布位置以及加载方式，确保方案的安全性和有效性；
- 3 加载平台应符合重物堆放方便和结构安全的要求；
- 4 压载材料质量应满足施工和相关标准要求，下沉到设计标高后，应尽快分批卸载；
- 5 当采用压沉装置向下主动加压时，应力集中部位应采用加劲板加强；
- 6 压载助沉过程中应控制加载速度和加载量，按沉井截面形式对称加载，避免对沉井结构造成过大的压力或损伤。

条文说明：引自《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 中条款 5.4.14 并适当修改。

6.4.10 采用地锚反力助沉应符合下列规定：

- 1 在硬质土层、地下水丰富、周边沉降要求高的条件下，宜采用地锚反力助沉；
- 2 应确保装置部件安装位置准确，且与沉井的连接牢固可靠；应选择强度高、耐腐蚀、耐磨损的材料，能够承受预期拉力；
- 3 应根据计算确定千斤顶的额定顶力、行程与配置数量；
- 4 地锚桩应有足够的抗剪强度和埋设深度，地锚桩应避开顶管洞口；

6.4.11 采用炮震助沉法应符合下列规定：

- 1 除每炮眼用药量不超过相关规定外，同一沉井一次只能起爆一处，同一沉井在同一地层中炮震次数不宜多于 4 次；
- 2 爆破后，应派有经验的专职人员进行检查和消除瞎炮，确保施工人员安全。

6.4.12 采用助沉措施施工时应密切监测沉井下沉情况、周围土体变化以及系统稳定性，一旦发现异常情况，应及时调整施工方案。

6.4.13 沉井下沉时，每次下沉量宜控制在 500mm 以内，并应对下沉深度、位置、结构完整性等方面的检验和验收工作，清土矫正后再继续挖土下沉。

6.4.14 应根据沉井位置的地质条件合理选用工作用水的压力，并按工程规模的大小确定

机组数量；应对供气、供水和供电线路采取必要的保护措施，避免下沉施工过程中管线造成损坏或缠绕。

6.4.15 当沉井下沉系数超过 1.5 或在下沉过程中遇到软弱土层时，应提前地基预加固。

6.4.16 对于连续沉井，若相邻沉井下沉的深度相差很大时，应先下沉较深的沉井。当深度相近的连续沉井下沉时，为保持土压力的均衡对称，应采用间隔下沉的方法。

6.4.17 沉井在下沉过程中纠偏可采用下列措施：

- 1 井内局部除土或填土纠偏；
- 2 井顶施加水平力，刃脚一侧加设支垫或井内偏除土纠偏；
- 3 降低局部侧壁摩阻力纠偏；
- 4 增加堆载或偏心压载纠偏；
- 5 触变泥浆减阻纠偏；
- 6 井外射水或空气幕减阻纠偏；
- 7 调节提吊钢绞线长度纠偏。

6.4.18 采用现浇工艺制作沉井时，首节下沉前，外排脚手架应与模板脱开，第二节及后续各节的模板不应直接支撑于地面上。井筒前一节下沉完成时，应确保其高出基坑砂垫层面 1m~2m，以免外模埋入砂垫层受损。

6.4.19 对于提吊控制下沉的沉井，锅底底面距离刃脚标高不宜大于 1.5 m。

6.4.20 下沉过程中井顶标高宜高于岛面或地面 0.3m 以上，以防地面水流入井内。

6.4.21 市政与建筑用沉井，下沉深度宜预留 30mm~100mm 的预留量（抛高度）。

条文说明：沉井达设计标高后，因地质因素会有微量下沉。为确保使用时符合标高要求（桥梁沉井除外，其他需安装机电设备和管道的沉井），需根据井底土质预留一定下沉深度，即抛高度。

6.4.22 当沉井下沉至距离设计标高约 2m 时，下沉速度宜控制在 0.2m/d~0.5m/d，以纠偏为主。

6.4.23 挖平土后，若下沉不足，可在中部继续挖深锅底 0.4m~0.6m，露出底梁或隔墙底面。若仍不下沉，可四周均匀扩挖，应控制深度防止井体倾斜。

6.4.24 沉井下沉到倾斜岩层上时，沉井刃脚高度的 2/3 以上宜嵌置在岩层上，嵌入深度度最小处宜不小于 0.25m，其余未到岩层的刃脚部分，可采用袋装混凝土等堵塞缺口。对刃

脚以内井底岩层的倾斜面，应凿成台阶或榫槽后再清渣封底。

6.5 接高

6.5.1 接高前，应进行接高稳定性验算。并应根据部件情况和场地条件，选择机械设备并制定施工方案。

6.5.2 接高前应预先做好纠偏工作，使偏差量满足沉井终沉时的偏差允许值。倾斜状态时严禁接高。

6.5.3 接高时，首节混凝土强度应达到 100%，底节混凝土强度应达到设计强度的 70%，浇筑混凝土应预留 1m 高度与相邻节沉井混凝土共同浇筑。

6.5.4 接高施工时，模板下端应高出地面 1m 以上；已完成下沉的井壁，接高面高出地面距离应大于接高后引起的下沉量加上 0.5m。接高后引起的下沉量应根据经验预估，宜为 0.3m~0.5m。

6.5.5 接高时各节的竖向中轴线应与最底节中轴线保持重合。

6.5.6 隔墙与井壁接高完成后，应进行全面的验收和检查，包括垂直度、平整度、连接质量等，确保井壁无裂缝、无渗漏并应满足设计要求。

6.5.7 混凝土浇筑前，接缝处的混凝土应凿毛，去除浮浆和松动的混凝土，充分湿润，各节接缝之间的混凝土应紧密结合；浇筑时应先接浆，水泥砂浆厚度不宜小于 50mm，并应预留施工缝和止水带，以防发生渗漏；不宜设置竖向施工缝。

6.5.8 大型沉井接高宜采用分区施工，根据对称原则进行浇筑。

6.5.9 安装内模前应仔细检查并清理模板之间连接竖肋以防止漏浆；浇筑过程中如发现大面积漏浆，应停止浇筑，在漏浆位置采用软木条或海绵封堵，再进行浇筑。

6.5.10 节高应根据沉井总高度和施工条件确定，大型沉井节高宜控制在 5m~8m。

6.5.11 浇筑应分层进行，为防止振捣不密实，每层的厚度不宜过大，每层浇筑厚度宜为 300mm~500mm。

6.5.12 拆模应符合下列规定：

- 1 混凝土强度应能保证其表面及棱角不会因拆模而受损；
- 2 侧模板拆除时，混凝土的抗压强度不应低于 2.5MPa；

3 拆除模板时不得使用钢撬棍，宜用木楔振松脱模，拆卸部件严禁抛扔。

6.5.13 装配式沉井接高应符合下列规定：

1 接高前，接缝面的密封橡胶条应完整、无破损、粘贴牢固；应按质量验收要求控制管片成环后的环、纵向间隙；

2 管片接高应按拼装设计要求举行，管片不得有内外贯通裂缝、宽度大于 0.2mm 的裂缝及混凝土剥落现象；

3 接高完成时，螺栓应拧紧，环向及纵向螺栓应全部完成安装。

6.6 封底、底板与填仓

6.6.1 沉井下沉至设计标高后，应做好下列准备工作：

1 检验基底的地质情况是否与设计相符；

2 沉井基底面应整平，基底为岩层时，岩面残留物应清理干净，清理后的有效面积不得小于设计要求；

3 岩面倾斜时的处理应符合本规程第 6.4.24 条的规定；

4 井壁隔墙、刃脚与封底混凝土接触面处的泥污应清理干净；

5 对下沉至设计高程后的沉井尚应进行沉降观测，沉降稳定且满足设计要求后方可封底。

6.6.2 沉井沉至设计标高，经 2d~3d 下沉稳定，或经观测 8h 内累计下沉量不大于 10mm，即可封底。

6.6.3 地下水含量少或底部有足够厚的黏土层，或采取降水措施后可保证底部无可见水的小型沉井，宜采用排水封底或干封底；大型沉井或当水文地质条件不利时，宜采用水下封底。

6.6.4 封底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。

6.6.5 封底混凝土宜采用导管法浇筑，灌注导管应合理布置，确保不留盲区。浇筑顺序应从低处开始，逐渐向四周扩展。

6.6.6 采用排水封底应符合下列规定：

- 1 沉井沉至设计标高后，清理和修整锅形底面；凿毛并洗刷新老混凝土接触面；
- 2 底面如有积水应采取排水措施使地下水位低于底面 0.5m 左右，保持井内旱地施工；
- 3 宜在底面上铺一层 150mm~500mm 厚的卵石或者碎石垫层；
- 4 浇筑混凝土时宜沿井壁四周向中央对称、分层（300mm~500mm）不间断进行，浇筑时不可堵塞排水设施；当有内隔墙时，应前后左右对称、逐孔浇筑；
- 5 混凝土强度达到设计强度的 25%以上，方可在上面绑扎底板钢筋，验收合格后，方可浇筑钢筋混凝土底板。

6.6.7 采用水下封底应符合下列规定：

- 1 基底应平整，且无浮泥；
- 2 沉井封底时标高应略高于设计标高，并应保持井内外水位平衡；
- 3 浇筑的混凝土拌和物应具有和易性好、流动性大、不离析等特性；
- 4 封底混凝土应达到设计强度 70%以上方可抽水，如发现渗漏应封堵，检查合格后，方可浇筑钢筋混凝土底板。

6.6.8 封底混凝土施工时应控制顶面标高，待抽水后采用等强度混凝土找平。封底混凝土的有效厚度不得小于设计计算的最小封底厚度值。

6.6.9 刃脚内侧上方设置凹槽应符合下列规定：

- 1 凹槽面应事先进行凿毛，凿毛面积占比不应小于 85%；
- 2 采取水下封底时，凹槽下口与刃脚踏面的距离应由设计计算决定，不宜小于 2.5m；
- 3 桥梁墩台沉井凹槽宜设置在沉井下端近刃脚处。

6.6.10 封底混凝土与底板可使用插筋进行连接，使封底混凝土作为沉井抗浮重量的一部分；临时工作井可不另做钢筋混凝土底板。

6.6.11 浇筑底板混凝土前，应将底板与井壁（包括框架、隔墙）连接处的凹槽表面凿毛，以使新老混凝土结合牢固。

6.6.12 浇筑底板混凝土前，应将水下混凝土表面的松软层凿去（包括局部高出的混凝土），用细石混凝土或水泥砂浆找平，并在素混凝土表面绑扎钢筋。

6.6.13 封底混凝土的浇筑应符合下列规定：

- 1 不大于 100m² 的沉井宜一次浇筑；
- 2 大于 100m² 的沉井宜分仓；

3 应对称均匀浇筑封底，且任一仓的混凝土应一次性连续浇筑完成，不得留有施工缝或渗漏，如发现渗漏点，应采用压浆堵漏处理；

4 多根导管浇筑时，每根导管的间歇时间不宜超过 15min~20min。导管下端插入混凝土的深度不宜小于 1m，浇筑时距离基底面高度宜为 0.3m~0.4m；

5 混凝土浇筑过程中，应经常测量水下混凝土面上升情况，以及勘测扩散半径，控制好导管口在混凝土层中的埋入深度。

条文说明：每格（仓）底板混凝土要一次浇筑完成，不留施工缝；底板混凝土如采用商品混凝土时，水灰比不宜过大，以防浇筑后在接缝处产生收缩裂缝。施工时需要采取有效技术措施防止裂缝产生。

封底混凝土浇筑过程中，一般持续采用测绳测量水下混凝土面上升情况，以及潜水员勘测扩散半径，并通过导管上的刻度和测绳测得的水深，算出导管下口的标高，掌握导管下口埋入混凝土的深度。

6.6.13 封底混凝土在灌注过程中发生事故或对封底施工的质量有疑问时，应对其进行检查鉴定，必要时可钻孔取芯检验。

6.6.14 底板混凝土浇筑后，可立即在表面撒一层卵石以代替凿毛施工，养护 3d 后可进行混凝土填仓工作。

6.6.15 沉井填仓作业时，填仓材料可根据工程用途选取水、土、砂砾、块石、混凝土等；严禁使用对钢筋、混凝土具有腐蚀性的填仓材料。

6.6.16 填仓应均匀对称施工，采用分孔一次性浇筑完成。

6.6.17 填仓混凝土浇筑完毕后可按常态混凝土养护办法进行浇水养护。

6.7 顶板施工

6.7.1 沉井有防水要求时，顶板宜采用现浇法施工或采取有效防水结构。

6.7.2 井内未搭设脚手架，顶板宜采用装配式顶板或与顶板结构一体浇筑的全预制拼装式钢模板。

6.7.3 顶板混凝土为大体积混凝土，应满足抗裂性能、低热和高强方面的要求；宜选用低热的矿渣硅酸盐水泥、火山灰水泥；施工前后应加强混凝土内、外温度监测，根据情况及

时采取温控措施，防止出现温度应力裂缝。

6.7.4 对于大型沉井，顶板施工时应考虑施工机械和人员的通行要求，设置相应的通道和作业平台，并与其他施工工序相协调，确保整个工程的顺利进行。

6.7.5 顶板模板安装时，填仓材料为混凝土时，应将混凝土找平后方可安装顶板模板；填仓材料为水、块石和砂砾时，应按设计要求先进行底模梁施工，完成后再进行顶板底模施工。

6.8 质量检验

6.8.1 沉井施工中的验收应符合下列规定：

- 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；
- 2 拆模后应对浇筑质量进行外观检查和强度检测；
- 3 下沉过程中应对下沉偏差进行检验；
- 4 下沉后的接高应对地基强度、接高稳定性进行检验；
- 5 封底结束后，应对底板做防水和渗漏检查，验收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》GB 50208 的相关规定。

6.8.2 沉井(群)施工完毕后应组织相关方进行验收评估，对平面位置、终端标高、结构完整性、渗水等内容进行综合检查，验收标准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》GB 50202 的相关要求。

6.8.3 陆域沉井结构制作尺寸允许偏差应满足表 6.8.3 的要求：

表 6.8.3 陆域沉井结构制作尺寸允许偏差

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	平面尺寸	长度(mm)	$\pm 0.5\%L_1$ 且 ≤ 100	每边	1	足量
2		宽度(mm)	$\pm 0.5\%B$ 且 ≤ 50	每边	1	足量
3		高度(mm)	± 30	每边	1	尺量
				圆形沉箱 4 点		
4		直径(圆形沉箱)(mm)	$\pm 0.5\%D_1$ 且 ≤ 100	2		尺量(互相垂直)

5	对角线(mm)	$\pm 0.5\%$ 线长且 ≤ 100	2		足量(两端中间各取一点)
6	箱壁厚度(mm)	± 15	每边	3	丈量
			圆形沉箱 4 点		
7	箱壁隔墙垂直度(mm)	$< 1.0\% H_1$	每边	3	经纬仪或线垂
			圆形沉箱 4 点		
8	预埋件中心线位置(mm)	± 20	每件	1	丈量
9	预埋孔(洞)位移(mm)	± 20	每件	1	丈量
			每孔(洞)	1	

注： L_1 —设计沉井长度（单位：mm）；

B —设计沉井宽度（单位：mm）；

H_1 —设计沉井高度（单位：mm）；

D_1 —设计沉井直径（单位：mm）；

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。

6.8.4 施工过程中，允许偏差应满足表 6.8.4 的要求。

表 6.8.4 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	$\leq 1.5\sim 2.0\% L_1$ 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	$\leq 1.5\% H_1$ 且 $\leq 300\text{mm}$	下沉阶段	≥ 1 次/8h	全站仪
		终沉阶段	≥ 2 次/8h	

注：1. L_1 为矩形沉井任两角的距离，圆形沉井为互相垂直的两条直径；

2. H_1 为下沉总深度；

3.下沉速度较快时适当增加测量频率。

6.8.5 陆域沉井终沉后，允许偏差应满足表 6.8.5 要求：

表 6.8.5 陆域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	每个	4	全站仪
2	刃脚中心线位移(mm)	$H_2 \geq 10\text{m}$	$< 1.0\% H_2$	每边	1	全站仪
		$H_2 < 10\text{m}$	100	每边	1	全站仪
3	四角中任何两	$L_2 \geq 10\text{m}$	$< 1.0\% L_1$ 且 ≤ 300	每角	2	全站仪

	角高差 (mm)	$L_2 < 10m$	100	每角	2	全站仪
--	----------	-------------	-----	----	---	-----

注： H_2 为下沉总深度； L_2 为矩形沉井任两角间的距离，圆形沉井为直径长度（mm）。

6.8.6 封底混凝土最终质量检验标准应符合表 6.8.6 要求。

表 6.8.6 封底混凝土质量检验标准

编号	检查项目	允许偏差及允许值	检验方法
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按《公路工程质量检验定标准 土建工程》JTG F80/1-2017 附录 D 检查
2	基底高程 (mm)	0, -200	测绳和水准仪
3	顶面高程 (mm)	± 50	水准仪

6.8.7 模板的预埋件和预留孔洞设置偏差、钢筋施工、混凝土子分部工程验收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 的相关规定。

6.8.8 沉井工程中连接采用的焊接钢件及施工质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定。

6.8.9 装配式沉井预制构件的检查和验收应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的相关规定。

6.8.10 钢沉井及沉井钢构件质量及检验评定应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《组合钢模板技术规范》GB/T 50214 及《钢结构工程质量检验评定标准》GB 50221 的相关规定。

7 水域沉井施工

7.1 一般规定

7.1.1 施工前应对项目所在地及施工现场的情况和影响项目实施的因素进行现场调查，主要包括下列内容：

- 1 气象、水文、地质地形和地貌等自然条件；
- 2 邻近建（构）筑物、堤防、水下管线和水下障碍物、施工水域与避风地锚等周边施工环境；
- 3 施工场地道路供水供电、可利用的预制场船机设备、劳动功能、地材供应等周边施工配套资源；
- 4 调遣与构件运输条件；
- 5 工程高程平面控制网和控制基点等测量控制点情况。

条文说明：在水域环境施工沉井时，通常根据工程特点进行现场调查，相关的调查资料能符合工程的需要。水域沉井施工涉及沉井、结构、港工、疏浚、航道航运、机械、测量等多个专业领域，系统性强，需要全面掌握气象、水文地质、航道、通航等资料，深刻理解影响施工的各种制约因素，制定技术可靠、施工安全、经济合理、环境友好的施工方案。

7.1.2 施工平面控制网应符合下列规定：

- 1 施工平面控制网的坐标系统宜与工程设计采用的坐标系统相同；
- 2 施工前测量控制网、施工基线和水准点等应已通过验收和交接；
- 3 离岸 1km 以上时的施工水域定位宜采用 RTK-DGPS 或高精度北斗定位系统，水准网点等级应采用四等水准测量；
- 4 离岸 1.5km 以上的施工水域水准网点应采用三等水准测量。

条文说明：测量控制网及水准网的建立，应根据现场实际情况进行适当调整，并应满足《水运工程测量规范》JTS 131 相关要求。

7.1.3 施工前应对施工水域的洪汛、凌汛、河床冲淤变化、通航及漂流物等进行调查，制订专项施工方案。在施工中度汛、度凌的沉井，应制定防护措施。

7.1.4 对水域特大型沉井的施工，应在施工前进行河床冲淤变化的数学模型分析计算，必

要时应进行物理模型的模拟试验。

条文说明：施工前进行河床冲淤变化的数学模型分析计算是为了掌握河床演变的规律及其影响因素，从而推断本河段或相邻河段可能发生的冲淤变化。

7.1.5 施工前，应根据运输船舶性能和海上航行安全要求制定水上运输航线，向当地海事管理部门进行水上水下通航安全活动申请，办理相关安全许可证，并按程序办理航行通告及航行警告，按水域管理要求进行水上水下活动通航安全的监督。

7.1.6 施工前应对浮运航道及施工涉及的水深不明区域进行水深测量，水深测量可采用单波束或多波束方法测深，测图比例尺除施工合同另行约定外，应采用 1:1000-1:5000。

条文说明：水深测量方法及比例尺的选择要满足《水运工程测量规范》JTS 131 第 8 章的有关要求。

7.1.7 根据航道测量结果，对于需要清淤疏浚的航道可选择抓斗式挖泥船或耙吸式挖泥船疏浚。

7.1.8 当施工区域水流速度较大、航运条件复杂、易受船舶或漂浮物撞击时，应单独设置防撞设施、导航标志和警示装置，并应备有导航船。

7.1.9 水域沉井施工应减少对水域各类通行船舶、港口码头的影响，确保施工和船舶通行安全。

7.1.10 水域沉井下沉前和下沉后的量测、下沉时的减阻助沉措施和纠偏措施、取土、接高、封底与填仓、顶板施工和质量检验要求，除应满足本章规定外，尚应按本规程第 6 章的有关规定执行。

7.2 制作

7.2.1 水域沉井的首节制作场地应符合下列规定：

1 应根据沉井规模、河岸地形、设备条件等，进行技术经济比较，确定预制场及下水方案；

2 在浮船上或支架平台上制作沉井时，浮船、支架平台的承载力应满足沉井制作的要求。

条文说明：浮运沉井首节可采用空腔式钢丝网水泥、钢筋混凝土薄壁沉井、单壁或双壁钢

壳沉井及带临时井底和带气筒的沉井等。

7.2.2 预制场的选址应满足设计要求，并应符合下列规定：

- 1 应根据沉井尺寸、重量和数量，并考虑石料来源等因素合理选择预制场场址。
- 2 宜距沉井沉放位置较近，且具备沉井浮运至沉放位置的航道条件；
- 3 预制场附近宜具备寄放若干节预制沉井的水域；
- 4 应具备适合建造预制场的工程、水文地质条件；
- 5 应具有良好的外部施工条件，交通运输方便；
- 6 预制场规模应满足沉井施工总体流程和总工期要求；
- 7 应具有可重复利用或再使用的价值。

条文说明：满足设计要求的预制场址可能有多种选择，需要对场址、规模、浮运、沉放、技术与设备等进行充分比选，统筹择优确定。预制场选址距沉放位置较近及具备浮运条件，主要是为了方便沉井浮运和缩短运距。预制场地基承载力和沉降应满足设计要求，否则应采取加固措施。

7.2.3 预制场的规模应根据下列具体因素确定：

- 1 沉井尺寸、重量和数量；
- 2 制作场地内沉井预制设备（包括吊装设备、模板、模板支撑系统等）；
- 3 制作场地内外车辆运输路线；
- 4 沉井出运水位；
- 5 预制沉井的附属设施。

条文说明：预制场规模应根据沉井尺寸、沉井重量和沉井数量、预制场条件、沉井施工进度、施工工艺、施工工期等因素综合确定。预制沉井的附属设施包括预制场道路，材料堆放场地，码头、钢结构加工场，起吊设备，施工用电设备，系泊设备等。

7.2.4 除应根据本规程第 7.2.3 条的因素外，尚应根据下列具体因素确定浮船或支架平台规模：

- 1 浮船吨位、浮船或支架平台结构刚度；
- 2 浮船靠泊码头；
- 3 航道水深条件。

7.2.5 预制场内沉井的运输可采用起重设备、气囊、台车等工艺，运输场地应经验算有足

够的强度和稳定性。

7.2.6 混凝土地坪底模的允许高差不宜大于 10mm，底模表面应采取脱模措施，不应采用油毡或类似的能降低预制件底面摩擦系数的材料作脱模层。

条文说明：控制底模高差是为了确保沉井重心平稳，脱模剂要简易有效，在沉井顶升过程中不产生额外的顶推力。

7.2.7 钢壳混凝土沉井钢结构的制作应符合下列规定：

- 1 钢沉井宜在工厂内加工，并应根据设计文件编制制造工艺，绘制加工图和拼装图。
- 2 钢沉井的分段、分块吊装单元应在胎架上组装、施焊。
- 3 首节钢沉井应在坚固的台座上或支垫上进行整体拼装，台座表面的高度误差应小于 4mm，并应有足够的承载能力，在拼装过程中不得发生不均匀沉降。
- 4 钢刃脚安装应控制安装精度，焊接可靠，刃脚钢护板安装、拼焊应对称进行。

7.2.8 水域沉井混凝土质量、配合比设计、强度、拌制、运输、浇筑和养护等应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153、《水运工程混凝土施工规范》JTS 202、《水运工程混凝土质量控制标准》JTS 202-2、《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》JTS 202-1 和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTJ 275 的规定。

7.2.9 水域钢壳混凝土沉井钢结构应符合国家现行标准《钢结构设计规范》GB50017、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》JTS153-3、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《组合钢模板技术规范》GB/T 50214 的规定。

7.3 出运

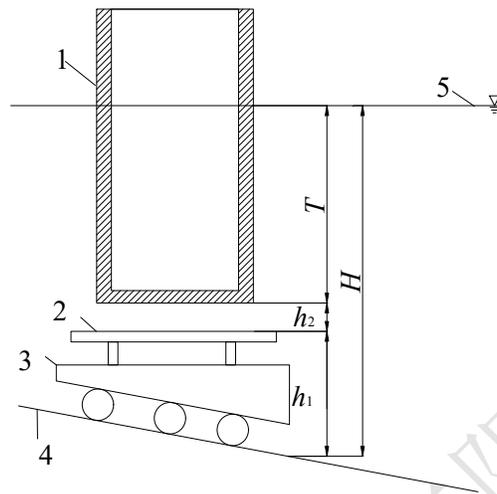
7.3.1 沉井溜放、漂浮时，沉井底部的富裕水深应根据自然条件和施工要求确定，并应满足设计和安全的要求。

7.3.2 浮运沉井的底节可采用滑道、气囊、干坞或直接起吊等方法下水。入水后，对其悬浮接高时的初步定位位置，应根据下水方法、沉井的结构形式、环境条件等情况综合分析确定。

条文说明：采用起吊下水时，需要对起重设备进行检查；场地有适合坡度，采用滑道、牵

引等方法下水时，要严防倾覆。

7.3.3 沉井采用滑道工艺下水（图 7.3.3）应符合下列规定：



1—沉井；2—平台；3—台车；4—滑道

图 7.3.3 沉井沿滑道下水示意图

1 滑道末端水深应满足下式要求：

$$H = T + h_1 + h_2 \quad (7.3.3-1)$$

式中： H ——滑道末端水深（m）；

T ——沉井吃水深度（m）；

h_1 ——平台和台车占用的水深（m）；

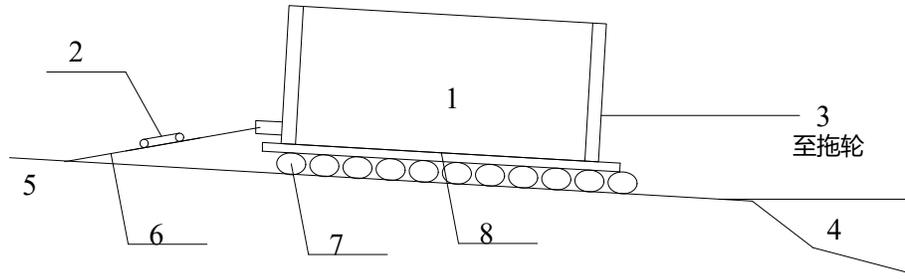
h_2 ——富裕水深，可取 0.50m~0.75m。

2 若滑道水深不满足沉井吃水深度要求，可采用起重船或浮筒助浮，当拖至深水处时，应再压载至满足沉井自身浮游稳定要求；

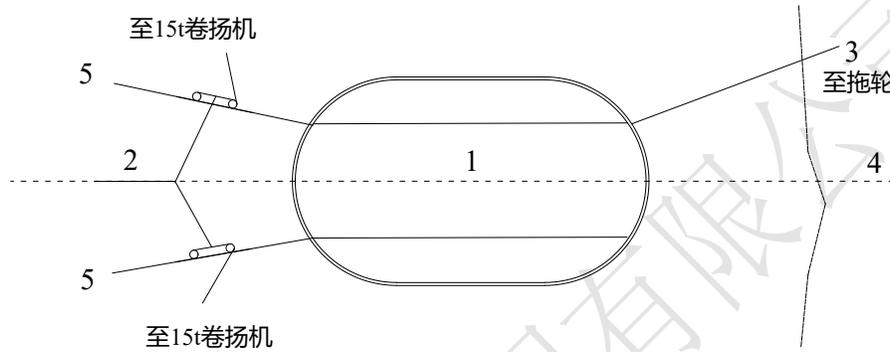
3 沉井采用台车下滑时速度应控制在 0.25m/s~0.35m/s，采用滑板下滑时的下滑速度应满足设计要求。

条文说明：下滑过程中，要时刻观测沉井状态，重点注意入水阶段、与台车脱离阶段实际吃水深度与计算吃水深度的差距，如偏差过大，则停止下滑进行检查处理。

7.3.4 沉井采用气囊工艺下水（图 7.3.4-1）应符合下列规定：



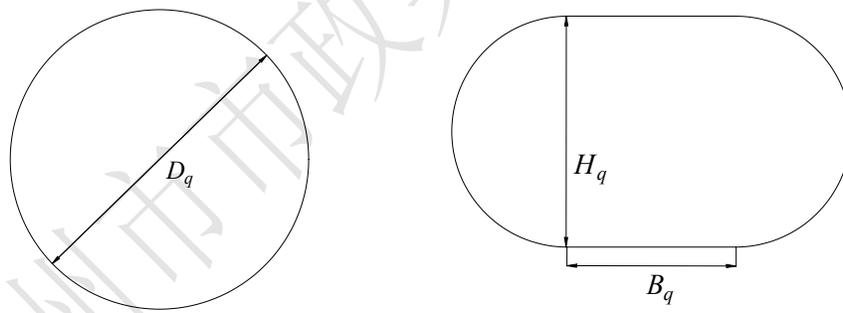
(a) 正视图



(b) 俯视图

1—沉井；2—100t 滑轮组；3—牵引揽；4—河流；5—地锚；6—钢丝绳；7—气囊；8—围堰拖板

图 7.3.4-1 沉井采用气囊工艺下水示意图



(a) 工作前

(b) 工作后

图 7.3.4-2 气囊工作前后变化示意图

1 卷扬机总牵引力应按下式计算：

$$F_q = \mu G \quad (7.3.4-1)$$

式中： F_q ——卷扬机总牵引力（kN）；

μ ——气囊滚动摩擦系数；

G ——沉井重力（kN）；

2 气囊条数应按下式计算：

$$n = G / P_q \quad (7.3.4-2)$$

$$P_q = B_q L_q \cdot p_q \quad (7.3.4-3)$$

$$B_q = \pi (D_q - H_q) / 2 \quad (7.3.4-4)$$

式中： n ——气囊条数；

P_q ——单条气囊承载力（kN）；

B_q ——单条气囊承载面宽度（m）；

L_q ——单条气囊承载面长度（m）；

p_q ——单条气囊工作压强（MPa），工作气压宜为 0.3MPa~0.4MPa；

D_q ——气囊直径（m）；

H_q ——单条气囊工作高度（m），即沉井的顶升高度，宜为 0.3m~0.4m。

3 沉井运移前应对气囊额定工作气压进行打压试验，打压试验应符合现行行业标准《船舶与海上技术 船舶下水用气囊》GB/T 33487 和《船舶用气囊上排、下水工艺要求》CB/T 3837 规定；

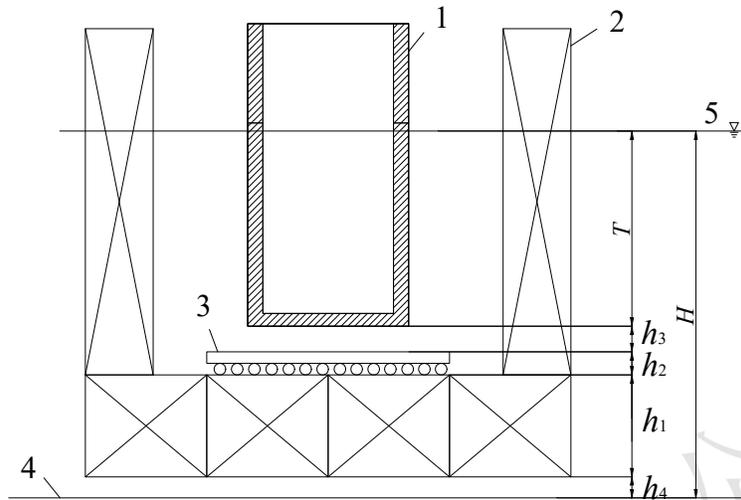
4 滚运气囊将沉井顶升后应对沉井平衡状态观察 10 分钟，确保气囊已全部稳定工作后再进行撤墩。整个起升过程应由充气操作人员对沉井平衡状态和气囊压力进行检查；

5 沉井运移过程中可通过调整卷扬机的牵引速度、调整卷扬机的先后启动顺序、调整气囊摆放角度等措施进行纠偏。

条文说明：气囊摆放的位置必须预先确定，沉井被顶升之后，放置临时支墩，在临时支墩之间布置气囊，气囊之间相互平行，每条气囊的轴线与沉井移动方向要垂直。

沉井运移时前方采用两部卷扬机牵引，后方采用两部卷扬机遛尾。通过调整气囊气压控制牵引力大小来达到沉井启动和制动的要求。前端气囊气压减小，沉井前倾产生下滑趋势，牵引力减小则易于启动；运移中减小气囊气压，增加了滚动阻力，即可实现减速。在沉井前方摆放好充气气囊，即可阻止沉井前行，以达到制动的目的。

7.3.5 沉井采用浮船坞或半潜驳工艺下水（图 7.3.5）应符合下列规定：



1—沉井；2—浮船坞；3—台车；4—下潜区底面

图 7.3.5 沉井采用浮船坞或半潜驳工艺下水示意图

1 下潜区的水深应满足下式要求：

$$H \geq T + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (7.3.5-1)$$

式中：H——下潜区水深（m）；

T——沉井的浮游稳定吃水深度（m）；

h_1 ——浮船坞或半潜驳型深（m）；

h_2 ——台车总高度与轨道高度之和或垫块高度（m）；

h_3 ——起浮时沉井底面与台车垫木顶面或垫块顶面的富裕水深（m），可取 0.3m~0.5m；

h_4 ——浮船坞或半潜驳与下潜区底面富裕水深（m），可取 0.5m~1.0m。

2 若浮船坞或半潜驳最大潜深不满足式(7.3.4)的要求，可采用起重船或浮筒助浮，当拖至深水处时，应再压载至满足沉井自身浮游稳定要求。

条文说明：多孔沉井在底面与支垫物脱离后，通常需暂停下潜，观察沉井平稳度，如有较大倾斜，则进行注水调平，平稳后继续下潜至具备出坞条件。

7.3.6 沉井采用浮船坞或半潜驳出运时应有配套出运码头，出运码头应符合下列规定：

- 1 适合浮船坞或半潜驳靠泊；
- 2 设计时考虑前沿水深，潮位等因素对出运条件的影响。

7.3.7 沉井上浮船坞或上半潜驳可采用有轨台车、无轨台车或气囊搬运等工艺。

7.3.8 沉井出坞或出半潜驳可使用起重船配合，待起重船与沉井结构连接稳固并具备一定吊重时，浮船坞或半潜驳才可下潜，下潜过程中应时刻调整起重船吊重，直至具备出运条件

7.3.9 浮船坞或半潜驳下潜时，下潜区波高不宜大于 1.0m，风速不宜大于 6 级，流速宜小于 1.0m/s，能见度宜大于 1000m。浮船坞或半潜驳宜顺流驻位下潜，沉井移离浮船坞或半潜驳的方向宜与水流方向一致。

7.3.10 沉井在干坞内预制并起浮时，应克服沉井与坞底间的黏结力，可单侧先起浮。

7.4 浮运

7.4.1 浮运前应进行下列准备工作：

- 1 应对所经水域和就位河床进行探查及清理，确保无妨碍浮运的水下障碍物；
- 2 应制订专项施工方案，并对沉井浮运时的浮心、重心、定倾中心进行验算，确保浮运时的稳定性。当沉井的实际重力与设计重力不符时，应对其重新进行验算；
- 3 沉井在下水、浮运前，应进行水密性检查，对底节尚应根据其工作压力进行水压试验，合格后方可下水；
- 4 应根据沉井的具体情况确定相应的浮运设备，浮运前应对拖运、定位、导向、锚碇、潜水、起吊及排、灌水等相关设备设施进行检查；
- 5 应掌握水文、气象和航运等情况，并与海事或航道管理部门取得联系、配合，必要时宜在浮运及定位施工过程中进行航道管制。

条文说明：由于沉井体积大、重量大、惯性大，浮运时其底部或侧面可能会遇到障碍物，造成事故。为杜绝事故发生，需要调查航道条件，清除浮运路线上的障碍物，这通常是必须执行的。水域沉井浮运施工前，需要对浮运的首节井体进行水密性检查及水压试验，符合要去后方可进行浮运。

7.4.2 浮运前应详细调查浮运航线的距离、宽度及深度，并应根据航线深度核算浮运时的吃水深度，必要时采取措施增加自浮力减小吃水深度。沉井底部的富裕水深应根据自然条件和施工要求确定，并应满足设计和安全的要求。

7.4.3 浮运应根据沉井尺寸及重量、浮运的方式及安装方法，选择适当的施工船机设备。

浮运防水围壁高度应高出施工期最高水位不小于 0.5m。沉井构件出运过程中，应对刃脚进行保护。

7.4.4 浮运宜在气象和水文条件有利于施工时，以拖轮拖运或绞车牵引进行。对水深和流速大的河流，可在沉井两侧设置导向船增加其稳定性。在浮运、定位的任何时间内，沉井露出水面的高度应不小于 0.5m。

7.4.5 内河浮运时宜选在枯水期，水流速度宜小于 2m/s。海上浮运时的气象、海况条件应符合下列规定：

- 1 近程浮运风速小于或等于 6 级，波高小于或等于 1.0m；
- 2 远程浮运风速小于或等于 6 级，波高小于或等于 1.5m。

条文说明：沉井浮运通常选择在风平浪静的气象条件下，以降低波浪对沉井浮运的影响。

7.4.6 内河浮运时的拖航速度不应大于 0.5m/s，拖轮的配置拖拉力应大于 1.5 倍的沉井拖航总阻力。海上浮运时的拖航速度及拖轮配置应满足相关海上拖航要求。浮运沉井周边应设置防撞措施，严防船舶及漂流物等的撞击。

7.4.7 拖航总阻力计算时应符合下列规定：

- 1 水流及波浪阻力应按下列公式计算：

$$F_t = A_f \gamma'_s \frac{v^2}{2g} k \quad (7.4.7-1)$$

$$A_f = B(T + \delta) \quad (7.4.7-2)$$

式中： F_t ——拖带力标准值（kN）；

A_f ——沉井受水流阻力的面积（m²）；

γ'_s ——海水的重度（kN/m³），取 10.25kN/m³；

v ——沉井对水流的相对速度（m/s）；

g ——重力加速度（m/s²）；

k ——挡水形状系数，矩形取 1.0；

B ——沉井宽度（m）；

T ——沉井吃水深度（m）；

δ ——箱前涌水高度（m），取 0.6 倍航程中可能出现的波高。

2 风阻力应按下列式计算：

$$F_f = W_k A_w \quad (7.4.7-3)$$

$$W_k = \mu_s \mu_k W_0 \quad (7.4.7-3)$$

$$W_0 = \frac{V^2}{1600} \quad (7.4.7-4)$$

式中： F_f ——沉井风阻力（kN）；

W_k ——单位面积风阻力（kN）；

A_w ——沉井露出水面部分迎风面的面积（m²）；

μ_s ——风荷载体型系数；

μ_k ——风压高度变化系数；

W_0 ——基本风压（kPa）；

V ——风速（m/s）。

7.4.8 采用船舶整体运输时，应对船舶甲板进行结构验收和加固。运输船舶应配置足够动力的拖轮进行拖航，或选择自带动力的船舶进行运输。

7.4.9 拖带航道航线选择应符合下列规定：

1 拖带航道水深应满足通航要求，进出航道的富裕水深应不小于 0.5m，港外拖航时的水深应考虑可能出现的波高对航道水深的影响；

2 港区内航道宽度应大于拖船长度的 2 倍；

3 拖带沿线无暗礁、浅点、渔网点和水产养殖区等航行障碍。

7.4.10 拖带船和辅助船应符合下列规定：

1 远程拖带宜选用功率足、船体长、吃水较深且具有拖缆机的拖船；

2 近程拖带宜选用功率足、船体短、回转自由度大的港作拖船。

3 应根据主拖船性能和海区情况配备不同类型的辅助船舶。

7.5 定位与下沉

7.5.1 浮运定位应符合下列规定：

1 定位应采用钢锚碇结合锚系导向定位系统，就位可采用定位锚船法、缆绳定位法；

2 定位前应对所有缆绳、锚链、锚碇和导向设备进行检查调整，制订专项施工方案，对沉井的定位系统、就位的稳定性进行验算，并考虑水位涨落时对锚碇的影响；

3 布置锚碇体系时，应使锚绳受力均匀，并采取适当措施避免导向船和沉井产生过大摆动或折断锚绳。

条文说明：浮运沉井的初步溜放定位一般设在井位上游1倍水深距离处，精确就位落河床前，要对缆绳、锚链、锚碇设备等进行检查和调整，调整及松放定位锚绳需缓慢、均匀、有序。

浮运沉井的制作除了首节不一样外，其余各节的接高均与陆地上的接高并无区别，包括下沉的方式可以根据陆地上的施工工艺和出土方式确定，排除的污泥不得随意排放至水域内。

7.5.2 浮运沉井水位应控制在沉井起沉标高以下不小于0.5m。

7.5.3 下沉前应探明河(海)床状况，必要时应对沉井范围内外一定距离内河(海)床底部进行清理，清理时应确保河(海)床平整度、标高等满足后续施工要求。场地平整后应在水中铺设砂垫层，铺设范围应超出沉井四周3.0m。

7.5.4 下沉前应检查起吊、下放系统是否安全可靠，并结合专项施工方案验算下沉过程中的安全性。

7.5.5 内河浮运沉井的下沉、着床宜选在枯水期，水流速度宜小于2m/s。下沉时应加强对附近河床冲刷情况的观察，发现问题应及时对井壁四周抛压砂袋或块石等进行有效防护。

条文说明：沉井就位后，在悬浮状态下，逐步用混凝土或水灌入沉井空体中，使其缓慢下沉，直达河底。当沉井就位后刃脚切入河底一定深度后，再用水下混凝土填充。

7.5.6 沉井着床前，应验算河(海)床基底承载力是否满足要求，必要时采取相应的加固措施。

7.5.7 浮运沉井着床应充分考虑风力、浮力、水流压力、波浪力、冰压力等作用的影响，并应符合下列规定：

1 沉井准确定位并接高后，应向井壁腔格内对称、均衡地灌水，使沉井迅速落至河(海)床着床。定位着床后，应及时采取有效措施使沉井下沉。

2 就位与下沉过程中应测量浮运沉井的高程、平面位置、垂直度、扭转等几何姿态。

3 应时刻监测沉井下沉时河(海)床局部冲刷及冲淤引起的河(海)床高差，必要时可在

沉井位置采用卵、碎石垫填整平，增加沉井着床后的稳定性，或在着床后利用沉井外弃土进行调整，但弃土应避免对沉井形成偏压。

条文说明：浮运沉井定位着床后，需采取及时、对称均匀地向井壁、井格内灌水、灌注混凝土和压重等措施下沉。沉井在水中下沉时，其下沉阻力和压缩流水断面后通常会引水流流速增大，造成河(海)床局部冲刷。

7.6 接高

7.6.1 沉井接高前应进行接高稳定性验算及底节纠偏、调平。

条文说明：沉井接高前需纠正底节沉井的偏斜，在上口的偏移满足要求的前提下，应将偏移的轴线扭转至正确位置。

7.6.2 沉井的接高面应高出井内水面不小于 1m。

7.6.3 沉井接高时的吊装设备数量应根据计算配置，接高各节沉井下沉应控制纵向倾斜度，挖土高差始终控制在 1m 以内。

7.6.4 水域沉井着床前的接高应均匀、对称地进行，并应采取措施防止沉井在悬浮状态接高过程中发生倾斜。

7.6.5 水域沉井着床后的接高，应结合沉井下沉所需要的重力确定接高的适宜高度，并不得提前将刃脚下部的土层掏空。

7.7 质量检验

7.7.1 钢壳混凝土沉井钢结构的质量检验评定应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构工程质量检验评定标准》GB 50221 的相关规定。

7.7.2 水域沉井施工中的验收应进行起浮可能性检验，其余验收尚应按本规程第 6 章的有关规定执行。

7.7.3 水域沉井结构制作允许偏差应符合表 7.7.3 的规定。

表 7.7.3 水域沉井结构制作允许偏差

编号	检查项目	允许偏差及允许值	检查数量		检验方法
			范围	点数	

1	长度 (mm)		$\pm 0.5\%L_1$, 且 ≤ 120	每边	1	尺量
2	宽度 (mm)		$\pm 0.5\%B$, 且 ≤ 120	每边	1	尺量
3	半径 (圆形沉井, mm)		$\pm 0.5\%D_1$, 且 ≤ 60	2		尺量 (互相垂直)
4	对角线 (mm)		$\pm 1\%$ 线长, 且 ≤ 180	2		尺量 (两端中间各取 1 点)
5	井壁厚度 (mm)	混凝土	+40 -30	每边	3	尺量
		钢壳和钢筋混凝土	± 15	圆形沉井 4 点		
6	沉井刃脚高程 (mm)		符合设计要求	每个	4	尺量
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、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	
9	平面扭转角 ($^\circ$)	就地制作下沉	1	每角	1	经纬仪或线垂
		水中下沉	2	每角	1	

注: 1. L_1 为设计水域沉井长度 (mm);

B 为设计水域沉井宽度 (mm);

H_1 为设计水域沉井高度 (mm);

D_1 为设计水域沉井直径 (mm);

2. 对于钢壳混凝土沉井及结构构造、拼装等方面有特殊要求的沉井, 其平面尺寸允许偏差应按设计要求确定;

3. 井壁的表面应平滑、不外凸, 且不得倾斜。

条文说明: 水域沉井结构制作允许偏差引自现行国家标准《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 条款 6.2.3。

7.7.4 沉井下沉过程中应随时纠偏, 防止偏差累计。下沉过程中的允许偏差应符合表 6.8.4 的规定。

7.7.5 水域沉井终沉后允许偏差应符合表 7.7.5 的规定。

表 7.7.5 水域沉井终沉后允许偏差

序号	检查项目	允许偏差及允许值	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	每个	4	全站仪	
2	中心偏位 (纵、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 ≤ 250	每边	1	

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	

注： H_1 为设计水域沉井高度（mm）。

条文说明：水域沉井终沉后允许偏差引自现行国家标准《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 条款 6.3.5。

广州市市政集团有限公司

8 监控

8.1 一般规定

8.1.1 沉井工程应结合工程特性和周边环境条件实施监测，包括主体结构检测和周边环境监测。

8.1.2 监测单位编写监测方案前，应掌握委托方和相关单位对监测工作的要求，并进行现场勘探，搜集、分析和利用现有资料，编写监测方案。监测方案应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 监测依据和监测目的；
- 3 监测项目、测点布置、监测方法及精度；
- 4 监测频率、监测数据的记录制度及处理方法；
- 5 各监测项目的报警值及异常情况下的建议处理措施。

8.1.3 沉井工程监测的应测、选测项目应按照 5.1.10 确定沉井结构的安全等级，并考虑工程特点、施工工艺、环境保护要求等因素确定，宜按表 8.1.3 的规定进行选择。

表 8.1.3 沉井工程监测项目

沉井结构的 安全等级	下沉深度	结构偏 移	高差	地下管线 位移	地表土 体沉降	建(构)筑物沉 降、裂缝
一级	√	√	√	√	√	√
二级	√	√	√	√	√	√
三级	√	√	√	√	√	√
沉井结构的 安全等级	土体水平位 移(测斜)	土体分 层沉降	沉井结构应力：钢筋、 钢板、混凝土应力	地下水位	刃脚 土压力	井壁土压力
一级	√	◇	√	√	◇	◇
二级	◇	◇	◇	√	◇	◇
三级	◇	◇	◇	√	◇	◇

注：√为应测项目；◇为选测项目，可按设计要求进行选择。

8.1.4 水域环境下的沉井项目，尚应进行浮运过程中的沉井结构姿态、气象条件、能见度、流速等参数监测。

8.1.5 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。

8.1.6 监测点（孔）应按审批的监测方案布置，埋设成活率不宜小于 80%并满足工程监测需要，重要监测点损坏后应及时修复或重布，施工过程中做好监测点的保护措施。

1 采用沉井工程距离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应部门的确认。

2 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。

8.1.7 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、设计及相关单位等确定。

8.1.8 当出现以下情况之一时，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 存在勘察未发现的不良工程地质现象；
- 3 沉井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。

8.2 监测内容和方法

8.2.1 应通过布设传感器和监控设备，实时采集，借助通信终端和物联网形成数字化监控平台。

8.2.2 数字化监控平台应符合网络、信息和系统等安全建设要求，参照《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》GB/T 22080、《信息安全技术—网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239、《工业控制系统信息安全》GB/T 30976 等标准信息安全要求执行。

8.2.3 沉井本体的应力应变监测点位应根据下沉方式不同，覆盖最不利工况下的控制位置，在下沉过程中可采用无损检测方式，对沉井结构的内部缺陷和影响，开展识别和评估。

8.2.4 监测频率宜根据工程性质、施工工况按表 8.2.6-1 执行，若监测项目的日变化量较大时，应及时加密，当采用实时监测时，则不受上述限制。

表 8.2.6-1 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

8.3 预警

8.3.1 智慧化监控平台应具备自动报警功能, 第一时间通知值班人和监测内容负责人, 及时采取措施。

8.3.2 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 8.3.2 采用。

1 沉井结构应力(应变)报警值按照沉井安全等级, 其报警值分别为为实测应力(应变)值达到设计值 60%-70% (一级), 70%-80% (二级), 70%-80% (三级);

2 主体结构变形监测报警值如表格 8.3.2 所示。

表 8.3.2 主体结构变形监测报警值

项目	每次下沉到位时 (除终沉外)	每次下沉过程中
刃脚平均标高	120mm	150mm
刃脚平面的中心线位移	1% H	1.5% H
沉井四角中任意两角高差	1% L	1.5% L

注: H 为下沉的深度, L 为两角间水平距离(矩形沉井)或直径(圆形沉井)。

条文说明: 引自《沉井与气压沉箱施工规范》GBT 51130-2016 中条文 7.2。

8.3.3 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, 可按表 8.3.3 采用。

表 8.3.3 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)
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
			非压力	3~5	10~40

		柔性管线	3~5	10~40
3		紧邻建（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	10~12

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。

条文说明：引自《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497-2019 中条文 8.0.7。

8.4 监测资料编制

8.4.1 监测资料包括监测过程中提供的监测日报表（速报）、警情快报、监测中间报告（阶段报告）和最终监测报告。

1 监测日报应反映天气情况、施工进度、现场巡视记录、日报表格（反映各监测点的本次测试值、单次变化值、变化速率、累计值及曲线图）、预警或异常情况的评估结论；

2 警情快报应反映警情发生的地点、时间、情况描述和严重程度、数据信息、警情原因及建议；

3 监测阶段报告应反映工程概况及进度、现场巡查信息、监测数据图表、监测及巡查信息分析、结论及建议；

4 最终监测报告内容包括：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。

8.4.2 监测的初始记录和监测数据应详细完整，成果文件中提供的数据、图表应客观、真实、准确。宜利用监测数据与信息管理系统专业软件或平台，实现采集、查询、管理一体化和可视化。

8.4.3 监测日报、警情快报、阶段报告和最终监测报告应按规定的格式和内容及时向相关部门报送。

条文说明：引自《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911-2013 中条文 11.0.7。

9 安全与环境保护

9.1 一般规定

9.1.1 沉井安全施工应贯彻“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，施工前对各种安全隐患进行辨识和评估，并应在施工过程中有针对性地采取各种有效措施；预防事故发生；对危险性较大的分部分项工程应制订专项方案；对存在重大安全事故危险源的工程应预先建立重大事故应急预案，并组织演练；当施工中发生事故时，应迅速反应，按照应急预案的规定进行救援和处理，最大限度地降低事故损失。

9.1.2 沉井环境保护施工应遵循“预防为主、防治结合、综合治理”的原则，结合工程特点，对在施工中可能对环境造成的不利影响，制订具体的预防方案并付诸实施，减少对原生态环境的改变，降低对环境的污染。施工过程中应实施文明施工。工程完成后，应及时清理各种施工垃圾，做到工完场清。

9.1.3 工程施工总承包单位应对施工现场的安全与环境负总责，分包单位应服从总承包单位的管理。参建单位及现场人员应有维护施工现场安全与环境的责任和义务。

9.1.4 工程的安全与环境管理应纳入施工组织设计或编制专项方案，应明确安全与环境管理的目标和措施。

9.1.5 施工现场应建立安全与环境管理制度，落实管理责任，应定期检查并记录。

9.1.6 建设工程的参建单位应根据法律法规的规定，针对可能发生的安全、环境等突发事件建立应急管理体系，制定相应的应急预案并组织演练。

9.1.7 当施工现场发生有关安全、环境等突发事件时，应按相关规定及时向施工现场所在地建设行政主管部门和相关部门报告，并应配合调查处置。

9.1.8 施工人员的教育培训、考核应包括安全与环境等有关内容。

9.1.9 施工现场临时设施、临时道路的设置应科学合理，并应符合安全、消防、节能、环保等有关规定。施工区、材料加工及存放区应与办公区、生活区划分清晰，并应采取相应的隔离措施。

9.1.10 施工现场应实行封闭管理，并应采用硬质围挡。市区主要路段的施工现场围挡高度不应低于 2.5m，一般路段围挡高度不应低于 1.8m。围挡应牢固、稳定、整洁。距离交通

路口 20m 范围内占据道路施工设置的围挡，其 0.8m 以上部分应采用通透性围挡，并应采取交通疏导和警示措施。

9.1.11 施工单位应采取有效的安全防护措施。参建单位应为施工人员提供必备的劳动防护用品，施工人员应正确使用劳动防护用品。劳动防护用品应符合现行行业标准《建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准》JGJ 184 的规定。

9.1.12 有毒有害作业场所应在醒目位置设置安全警示标识，并应符合现行国家标准《工作场所职业病危害警示标识》GBZ 158 的规定。施工单位应依据有关规定对从事有职业病危害作业的人员定期进行体检和培训。

9.1.13 施工单位应根据季节气候特点，做好施工人员的饮食卫生和防暑降温、防寒保暖、防中毒、卫生防疫等工作。

9.2 机械设备使用

9.2.1 车辆驾驶员和各类机械操作员，必须持证上岗，严禁无证操作，对驾驶员、机械操作员定期进行安全管理规定的教育。

9.2.2 严禁酒后驾驶车辆和操作机械，车辆严禁超载、超高、超速驾驶，禁止使用带病的车辆、机械和超负荷运转。

9.2.3 指挥机械作业时，指挥信号必须准确，操作人员必须听从指挥，严禁蛮干作业。

9.2.4 吊装作业人员在高空移动和作业时，应系牢安全带。独立悬空作业人员除应有安全网的防护外，尚应以安全带作为防护措施的补充。

9.2.5 起重吊装作业前，应划定危险作业区域，设置醒目的警示标志，防止无关人员进入。

9.2.6 吊装作业人员持证上岗。现场从事吊装作业的特种作业人员，应取得相应岗位资质，包括司机、司索、指挥等，否则不能进行相关作业。

9.3 临时用电管理

9.3.1 必须严格遵守《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 相关要求，施工现场临时用电要执行 TN-S 系统。严格执行三级配电两级保护、实行“一机一闸一漏一箱”制度。

9.3.2 电工必须经过按国家现行标准考核合格后，必须持有电工类特殊工种人员操作证，方可上岗作业。

9.3.3 所有闸箱应符合标准闸箱，生产许可证、合格证等证件应齐全有效。

9.3.4 安装、巡检、维修或拆除临时用电设备和线路，应由电工完成，并应有人监护，电工等级应同工程的难易程度和技术复杂性相适应。

9.3.5 停用的电器（含开关和设备）应及时拆除，严禁带电操作。

9.3.6 加强对电缆的保护，加强日巡查，如有夜间施工必须有电工跟班巡视，如发现问题及时解决。

9.3.7 使用电器设备前必须按照规定穿戴和配备好相应的劳动保护用品，并应检查电气装置和保护措施，严禁设备带“缺陷”运转。

9.3.8 夜间施工由电工跟班巡视，及时解决突发事件。

9.3.9 电工每天工作前检测漏保状况并做记录保存，每月用漏保检测。进行测试，对于性能达不到要求的漏电保护器，必须更换并作更换记录。

9.3.10 照明与动力设备分开敷设，应单独设置闸箱及漏电保护器。

9.4 临边防护

9.4.1 临边防护栏杆的搭设应满足下列要求：

1 防护栏杆应由上、下两道横杆及栏杆柱组成，上杆离地高度为 1.0m~1.2m，下杆离地高度为 0.5m~0.6m；

2 防护栏杆必须由上而下用安全立网封闭，或在栏杆下边设置严密固定的高度不低于 18cm 的挡脚板或 40cm 的挡脚笆，挡脚板或挡脚笆上孔眼不应大于 25mm，板与笆下边距离底面的空隙不应大于 10mm。

9.4.2 搭设人员应跟随施工进度及时进行安全网、四口及临边防护栏的搭设安装。

9.4.3 设置安全爬梯和保险带，人员上下利用安全爬梯。

9.4.4 安全网的搭设安装应满足下列要求：

1 安装时，在每个系结点上，边绳应与支撑物靠紧，并用一根独立的系绳连接，系结点沿网边均匀分面，其距离不得大于 75cm，系结应符合打结方便，连接牢固而又容易解开，

受力后不会散脱的原则。

2 多张网连接使用时相邻部分应重迭，连接绳与网相同。

9.4.5 临边防护拆卸应满足下列要求：

- 1 在被保护区域的作业停止后，方可拆除安全网或防护栏杆、盖板。
- 2 拆除前必须经质安员批准，并必须在质安员的严密监督下进行。
- 3 拆除时应自上而下，并应根据现场条件采取其他防坠落物击措施。

9.5 有限空间安全措施

9.5.1 应配备足够的救援设施，包括救援设备和呼吸装置等；完善作业条件和配备检测检测设备，包括氧气、有害气体检测设备。

9.5.2 应按规定为作业人员配备符合国家标准或行业标准的个人劳动防护用品。对作业的负责人和从业人员进行作业安全生产培训和教育、安全技术交底。

9.5.3 对于有限空间，应当在入口处附近设置醒目的警示标志标识，并告知存在的有毒有害因素，防止作业人员和其他人员误入。

9.5.4 实施有限空间作业的，应保证两名以上（含两名）作业人员同行和在场内工作。有限空间只能容一人进入作业的，并应强化监护措施。

9.5.5 有限空间作业应当严格遵守“先通风换气、再检测评估、后安排作业”的原则。在对专项施工方案确定的检测指标检测合格后，作业负责人应当组织有关人员对作业环境危险状况进行评估，就作业时间及预防、控制、消除危险的安全措施提出意见，确保整个作业期间安全处于受控状态。

9.5.6 未经通风换气和检测合格的，任何人员不得进入有限空间作业。检测的时间不得早于作业开始前 30min。

9.5.7 在有限空间作业过程中，施工单位应当对作业场所中的危害因素进行定时检测或者连续监测。必要时，应当在作业现场设置有毒有害气体及缺氧报警装置。

9.5.8 作业中断超过 30min，作业人员再次进入有限空间作业前，应当重新通风、检测评估合格后方可进入。

9.5.9 对随时可能产生有毒有害气体或进行内防腐处理的有限空间作业，必须在施工过程中

中进行连续监测，有任一项指标不合格或出现其它异常情况的，应当停止作业并撤离作业人员。经重新检测评估和审批的，方可恢复作业。

9.5.10 在有限空间作业过程中，应当采取强制性通风措施，保持空气流通，严禁用氧含量高于 23.5% 的空气或纯氧进行通风换气。发现通风设备停止运转、有限空间内氧含量浓度低于或者有毒有害气体浓度高于国家标准或者行业标准规定的限值时，必须立即停止有限空间作业，将人员全部撤离。

9.5.11 进行不少于 30min 的强制通风，经检测没有毒有害气体后，作业人员方可下井施工，作业过程应实施持续有效的强制通风。监护人员必须在孔口地面进行监护。

9.5.12 在有水、流沙、瓦斯等突出危险或地质条件不良的有限空间内进行作业的，必须为作业人员配备安全绳等应急撤离设备。

9.5.13 在可能存在可燃性气体或爆炸性粉尘的有限空间作业的，所用设备应当符合防爆要求，作业人员应当使用防爆工具；针对可能存在的可燃性气体，配置可燃气体报警仪器。

9.5.14 在有限作业空间内进行动火作业的，须履行动火审批手续，严禁在作业现场堆放易燃易爆材料。动火作业过程中须对作业环境进行持续检测，防止由于动火耗氧导致环境氧含量不足。

9.6 水上作业安全措施

9.6.1 在通航的江河上施工时，水上交通的安全应符合现行《内河交通安全管理条例》的规定。

9.6.2 水上施工的船舶应经船检部门检验合格后方可使用，不得带病作业。作业前应随时掌握当地的气象和水文情况，遇有大风时应检查并加固船舶的锚缆等设施；雨、雾天视线不清时，船舶应显示规定的信号，气候恶劣易发生事故时应停止作业或航行。交通船应按规定的载人数量渡运，严禁超员强渡。

9.6.3 施工船舶在作业前，应了解作业区域的水深、流速及河床地质等情况，抛锚、定位时应保持船体稳定；作业船锚链后，应设置警示标志。

9.6.4 各种用于水上施工作业的船舶均应配备救生和消防设施。水上作业的施工人员必须穿救生衣。

- 9.6.5 作业人员应经培训合格后方可上岗。
- 9.6.6 作业船只及设备应经检验验收合格后方可作业，作业人员按规定佩戴救生器材。
- 9.6.7 每次作业前，作业人员应对所有的救生设施进行检查，确认其安全有效。
- 9.6.8 在船与作业平台之间搬运物件时，应铺设设有护栏的安全通道。
- 9.6.9 水上所搭设的栈桥、操作平台应设防护栏杆。

9.7 环境保护

9.7.1 噪声的控制措施应满足下列要求：

- 1 对噪声超标造成环境污染的施工点位，将其作业时间限制在 8 点至 12 点和 14 点至 22 点的时间内，以尽量避免对周边群众造成太大的影响；
- 2 各项施工部位均选用低噪声的机械设备和施工工艺。施工场地布局要合理，尽量减少施工对居民生活的影响，减少噪声强度和敏感点受噪声干扰时间。

9.7.2 水污染的控制措施应满足下列要求：

- 1 废水排入城市下水道，悬浮物（SS）执行现行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978 的三级标准 400mg/L；废水排入自然水体，悬浮物（SS）执行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978 中的二级标准 150mg/L；
- 2 在开工之前完成工地排水和废水处理设施的建设，并保证工地排水和废水处理设施在整个过程的有效性，做到现场无积水、排水不外溢、不堵塞、水质达标；
- 3 泥浆水产生处设沉淀池，沉淀池的大小根据排水量和所需要的沉淀时间确定；
- 4 在施工期间，始终保持工地的良好排水状态，修建几条临时排水渠道，并与永久性排水设施连接，且不得引起淤积和冲刷。

9.7.3 大气污染的控制措施应满足下列要求：

- 1 对易产生粉尘的作业面或装卸、运输过程，制定操作规程和洒水防尘制度，在旱季和大风天气适当洒水，保持湿度。对易于引起粉尘的细料或松散料应予以遮盖或适当洒水湿润，运输时应用帆布、盖套及类似遮盖物遮盖；
- 2 严禁在施工现场焚烧任何废弃物和会产生有毒有害气体、烟尘的物质；
- 3 水泥等易飞扬细颗粒尽量安排库房存放；

- 4 车辆出场冲洗车轮，减少车轮携土；
- 5 拆除结构物时要防尘遮挡，在旱季适量洒水；
- 6 使用清洁能源，炉灶符合烟尘排放规定；
- 7 施工现场要在施工前做好施工道路的规划和设置，临时施工道路基层要夯实、路面要硬化。

9.7.4 固体废弃物的遗弃处理措施应满足下列要求：

- 1 施工中应减少回填土方的堆放时间和堆放量；
- 2 制定泥浆和废渣的处理、处置方案。选择有资质的运输单位，及时清运施工弃土和渣土，建立登记制度，防止中途倾倒事件发生并做到运输途中不洒落；
- 3 选择对外环境影响小的出土口、运输路线和运输时间；
- 4 材料库剩余料具、包装及时回收、清退。对可再利用的废弃物尽量回收利用。各类垃圾及时清扫、清运、不得随意倾倒，做到每班清扫、每日清运。

9.7.5 泥浆、污水处置措施应满足下列要求：

- 1 严格落实泥浆、污水的排放制度，设专人进行巡视，严禁泥浆、污水随意排放，并利用经济杠杆对违规施工队实行经济处罚；
- 2 对遗漏的泥浆和污水利用小型的人力罐车进行收集统一排到泥浆车内，同一排放。
- 3 施工现场污水排放应达到项目所在地《污水综合排放标准》的要求；
- 4 在施工现场针对不同的污水，设置相应的处理措施。未经处理的废水不得直接排入市政污水管网或河流；
- 5 施工现场道路和材料堆放场周边设置排水沟，并定期清理、保持畅通有效；现场厕所、洗漱间设置化粪池；工地厨房设置隔油池；
- 6 施工现场设置 3 级沉淀池，工程污水和试验室养护用水经处理后排入市政污水管道。

9.7.6 光污染处置措施应满足下列要求：

- 1 施工现场设置大型照明灯具时，对照射的方向、角度有严格的规定，以防止强光外泄。另外，施工现场对照明设备角度控制外，可在照明灯具外加上灯罩，设置固定式弧光防护罩。施工现场专业电工可根据施工实时情况适当调整灯光角度，避免直射到工人脸部，影响视线。

2 夜间进行钢筋施工现场所设置照明灯具，照明范围应集中在施工区域，大型照明灯具安装要有俯射角度，要设置挡光板控制照明光的照射范围，禁止灯具照射周围住宅，避免对居民造成光污染。

9.7.7 油污染处置措施应满足下列要求：

- 1 施工现场产生的残油、废油、含油垃圾、清罐油泥等应全部回收，不得排放或弃置；
- 2 机动车维修、现场机械维修作业现场应做防渗处理，并建设防晒、防淋措施；
- 3 机动车维修、机械维修行业作业现场应配备废油专用收集容器或设施，并应建有地面冲洗污水收集处理设施；
- 4 废油贮存设施应远离火源，避免高温和阳光直射；
- 5 废油贮存盛装废油时，应留有足够膨胀余量。

9.8 智能监控设备

9.8.1 智能监控设备应满足下列要求：

- 1 开工前，施工现场宜选择合适位置，安装扬尘与噪声监测仪，对现场扬尘及噪声进行实时监测；
- 2 施工现场污水及雨水排放应单独设置，在污水及雨水总排放口应安放污水监测设备；
- 3 扬尘与噪声检测仪与污水监测设备应同时接入在线监控系统。

9.8.2 在线监测分钟数据存储时间应不少于 1 年；现场端视频监控设备 24h 录像，录像文件存储时间应不少于 3 个月。

9.8.3 平台监测到预警时，将预警信息推送至施工单位、建设单位、监理单位以及监管部门。

附录 A 荷载与作用

A.0 永久作用

A.0.1 结构重力计算时，材料容重可按表 A.0.1 取用。永久设备的自重标准值可按设备样本提供的数据采用；构件上设备转动部分的自重和轴流泵的轴向力应乘以动力系数后作为标准值，动力系数可取 2.0。

表 A.0.1 常用材料的重力密度

材料种类	重度 (kN/m ³)
钢、铸钢	78.5
铸铁	72.5
锌	70.5
铅	114.0
黄铜	81.1
青铜	87.4
钢筋混凝土或预应力混凝土	25.0~26.0
混凝土或片石混凝土	24.0
浆砌块石或料石	24.0~25.0
浆砌片石	23.0
干砌块石或片石	21.0
沥青混凝土	23.0~24.0
沥青碎石	22.0
碎(砾)石	21.0
填土	17.0~18.0
填石	19.0~20.0
石灰三合土、石灰土	17.5

注：由于转动设备或轴流泵等为长期运行设备，其自重应考虑动力系数。

A.0.2 计算作用在沉井结构上的水平荷载时，应包括下列内容：

- 1 沉井内外土的自重（包括地下水或地表水）；
- 2 沉井周边既有和在建的建（构）筑物荷载；
- 3 沉井周边设备荷载。

A.0.3 土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土压力和水压力的分算、合算方法及相应的土的抗剪强度指标选取应符合下列规定：

- 1 对地下水位以上的黏性土、粘质粉土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} ，对地下水位

以上的砂质粉土、砂土、碎石土，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' ；

2 对地下水位以下的黏性土、粘质粉土，可采用土压力、水压力合算方法；此时，对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} ，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标 c_{uu} 、 φ_{uu} ；淤泥、淤泥质土等饱和软粘土宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标 c_{uu} 、 φ_{uu} ；

3 对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法；此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' ，对砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} 代替，对砂土和碎石土，有效应力强度指标 φ' 可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力；

4 当有可靠的地方经验时，土的抗剪强度指标可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

条文说明：本条对各章土压力、土的各种稳定性验算公式中涉及的土的抗剪强度指标的试验方法进行了归纳并作出统一规定。因为土的抗剪强度指标随排水、固结条件及试验方法的不同有多种类型的参数，不同试验方法作出的抗剪强度指标的结果差异很大，计算和验算时不能任意取用，应采用与沉井结构开挖过程土中孔隙水的排水和应力路径基本一致的试验方法去获得计算指标。由于各章有关公式很多，在各个公式中一一指明其试验方法和指标类型难免重复累赘，因此，在这里作出统一说明，应用具体章节的公式计算时，应与此对照，防止误用。

根据土的有效应力原理，理论上对各种土均采用水土分算方法计算土压力更合理，但实际工程应用时，黏性土的孔隙水压力计算问题难以解决，因此对黏性土采用总应力法更为实用，可以通过将土和水作为一体的总应力强度指标反映孔

隙水压力的作用。砂土采用水土分算计算土压力是可以做到的，因此本标准对砂土采用水土分算方法。

按有效应力原理，土的抗剪强度与有效应力存在相关关系，也就是说只有有效抗剪强度指标才能真实地反映土的抗剪强度。但在实际工程中，黏性土无法通过计算得到孔隙水压力随沉井结构开挖过程的变化情况，从而也就难以采用有效应力法计算沉井结构的土压力、水压力和进行沉井稳定性分析。从实际情况出发，本条规定在计算土压力与进行土的稳定分析时，黏性土应采用总应力法。采用总应力法时，土的强度指标按排水条件是采用不排水强度指标还是固结不排水强度指标应根据沉井结构开挖过程的应力路径和实际排水情况确定。由于沉井结构开挖过程是卸载过程，沉井结构外侧的土中总应力是小主应力减小，大主应力不增加；结构内侧土中竖向总应力减小，同时，黏性土在剪切过程可看作是不排水的。因此认为，土压力计算与稳定性分析时，均采用固结快剪较符合实际情况。

淤泥、淤泥质土等饱和软粘土采用三轴不固结不排水抗剪强度能较好的反映其总强度，且计算结果偏于安全，参考《建筑地基基础设计规范》GB 5007-2011、《深圳市基坑技术规范》SJG 05-2011 等规范基础上，考虑到沉井结构安全性要求较高，因此淤泥、淤泥质土等饱和软粘土宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标。

对地下水位以下的砂土，可认为剪切过程水能排出而不出现超静水压力。对静止地下水、孔隙水压力可按水头高度计算。所以，采用有效应力方法并取相应的有效强度指标较为符合实际情况，但砂土难以用三轴试验与直剪试验得到原状土的抗剪强度指标，要通过其他方法测得。

A.0.4 作用在沉井结构上的土压力应符合下列规定：

1 沉井结构外侧的主动土压力强度标准值、被动土压力强度标准值宜按下列公式计算（图 A.0.4）：

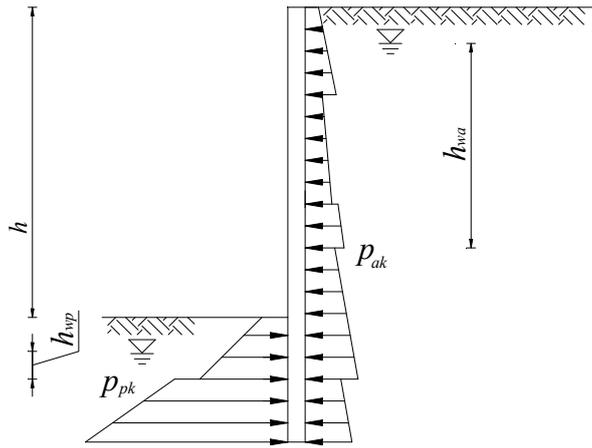


图 A.0.4 土压力计算

(1) 对地下水位以上或水土合算的土层：

$$P_{ak} = \sigma_{ak} K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$K_{a,i} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (\text{A.0.4-2})$$

$$P_{pk} = \sigma_{pk} K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} \quad (\text{A.0.4-3})$$

$$K_{p,i} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (\text{A.0.4-4})$$

式中： P_{zk} ——沉井结构外侧，第 i 层土中计算点的主动土压力（水土压力）强度标准值（kPa）；当 $P_{ak} < 0$ 时，取 $P_{ak} = 0$ ；

σ_{ak} ——沉井结构外侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa）；

σ_{pk} ——内侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa）；

$K_{a,i}$ ——第 i 层土的主动土压力系数；

$K_{p,i}$ ——第 i 层土的被动土压力系数；

c_i ——第 i 层土的黏聚力（kPa）；

φ_i ——第 i 层土的内摩擦角（°）；

P_{pk} ——沉井结构内侧，第 i 层土中计算点的被动土压力（水土压力）强度标准值（kPa）。

h_{wa} ——沉井外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离(m)；对于承压水，地下水位取测压管水位；当有多个含水层时，应取计算点所在含水层的地下水位；

h_{wp} ——沉井内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离(m)；对承

压水，地下水位取测压管水位；

h ——沉井内地面至沉井顶部的距离（m）。

(2) 对于水土分算的土层：

$$P_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a)K_{a,i} - 2c_i\sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (\text{A.0.4-5})$$

$$P_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p)K_{p,i} - 2c_i\sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (\text{A.0.4-6})$$

式中： u_a ——沉井结构外侧计算点的水压力（kPa）；

u_p ——沉井结构内侧计算点的水压力（kPa）。

2 在土压力影响范围内，当存在相邻建筑物地下墙体等稳定界面时，可采用库仑土压力理论计算界面内有限滑动楔体产生的主动土压力，此时，同一土层的土压力可采用沿深度线性分布形式，沉井结构与土之间的摩擦角宜取零；

3 当需限制沉井结构的水平位移时，沉井结构外侧的土压力宜取静止土压力；

4 当有可靠经验时，可采用沉井结构与土相互作用的方法计算土压力。

A.0.5 对成层土，土压力计算时的各土层计算厚度应符合下列规定：

1 当土层厚度较均匀、层面坡度较平缓时，宜取邻近勘察孔的各土层厚度，或同一计算剖面内各土层厚度的平均值；

2 当同一计算剖面内各勘察孔的土层厚度分布不均时，应取最不利勘察孔的各土层厚度；

3 对复杂地层且距勘察探孔较远时，应通过综合分析土层变化趋势后确定土层的计算厚度；

4 当相邻土层的土性接近，且对土压力的影响可忽略不计或有利时，可归并为同一计算土层。

A.0.6 土中竖向应力标准值应按下列公式计算：

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta\sigma_{ak,j} \quad (\text{A.0.6-1})$$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} + \sum \Delta\sigma_{pk,j} \quad (\text{A.0.6-2})$$

式中： σ_{ak} ——沉井结构外侧计算点，由土及土中水自重产生的竖向总应力(kPa)；

σ_{pk} ——沉井结构内侧计算点，由土及土中水自重产生的竖向总应力(kPa)；

$\Delta\sigma_{ak,j}$ ——沉井结构外侧第 j 个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值 (kPa) ;

$\Delta\sigma_{pk,j}$ ——沉井结构内侧第 j 个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值 (kPa) 。

A.0.7 沉井结构内外侧均布附加荷载作用下的土中附加竖向应力标准值应按下列式计算 (图 A.0.7) :

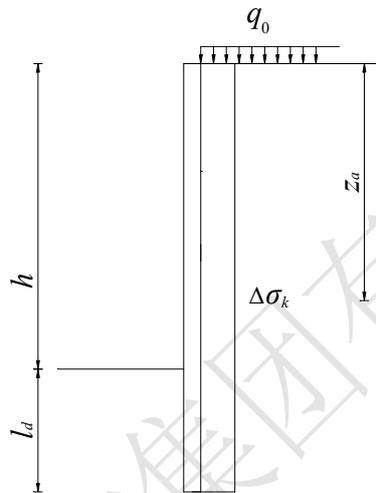


图 A.0.7 沉井外侧均布竖向附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算

$$\Delta\sigma_k = q_0 \quad (\text{A.0.7})$$

式中: p_0 ——沉井结构内、外侧均布附加荷载标准值 (kPa) , 当水位高于地表时应计入地表以上部分水压力。

l_a ——沉井内地面至沉井底部的距离 (m) 。

A.0.8 沉井结构内外侧局部附加荷载作用下的土中附加竖向应力标准值应符合下列规定:

1 对条形基础下的附加荷载 (图 A.0.8) 应按下列式计算:

当 $d + a / \tan \theta \leq Z_a \leq d + (3a + b) / \tan \theta$ 时:

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 b}{b + 2a} \quad (\text{A.0.8-1})$$

当 $Z_a < d + a / \tan \theta$ 或 $Z_a > d + (3a + b) / \tan \theta$ 时,

$$\Delta\sigma_k = 0 \quad (\text{A.0.8-2})$$

式中： p_0 ——基础底面附加压力标准值（kPa）；

d ——基础埋置深度（m）；

b ——基础宽度（m）；

a ——沉井结构外边缘至基础的水平距离（m）；

θ ——附加荷载的扩散角（°），宜取 $\theta=45^\circ$ ；

Z_a ——沉井结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离（m）。

2 对矩形基础下的附加荷载（图 A.0.8）应按下式计算：

当 $d + a / \tan \theta \leq Z_a \leq d + (3a + b) / \tan \theta$ 时，

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 b l}{(b + 2a)(l + 2a)} \quad (\text{A.0.8-3})$$

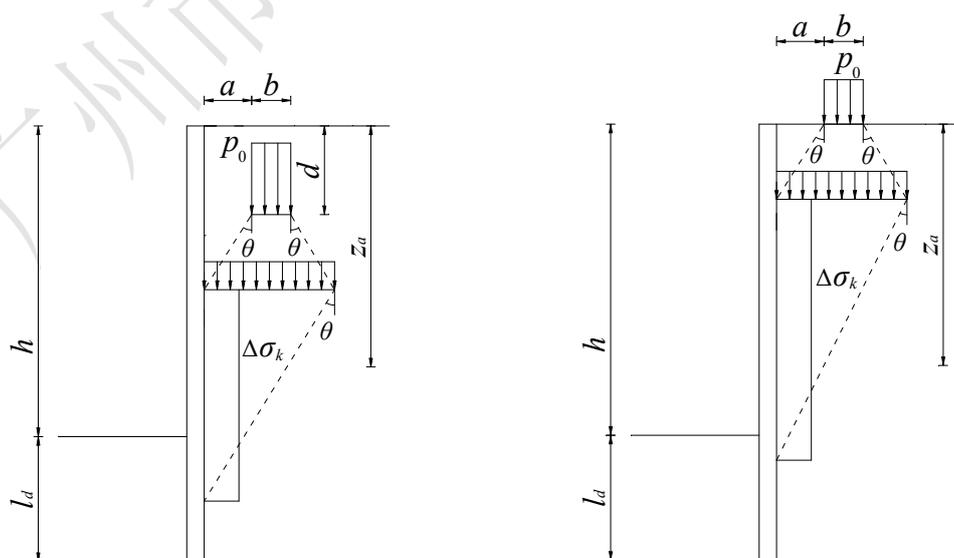
当 $Z_a < d + a / \tan \theta$ 或 $Z_a > d + (3a + b) / \tan \theta$ 时，

$$\Delta\sigma_k = 0 \quad (\text{A.0.8-4})$$

式中： b ——与沉井边垂直方向上的基础尺寸（m）；

l ——与沉井边平行方向上的基础尺寸（m）。

3 对作用在地面的条形、矩形附加荷载，按本条第 1~2 款计算土中附加竖向应力标准值 $\Delta\sigma_k$ 时，应取 $d=0$ （图 A.0.8）。



(a)条形或矩形基础

(b)作用在地面的条形或矩形附加荷载

图 A.0.8 沉井外侧局布附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算

A.0.9 当沉井结构顶部低于地面，其上方采用放坡或土钉墙时，沉井结构顶面以上土体对沉井结构的作用宜按库仑土压力理论计算，也可将其视作附加荷载，并按下列公式计算土中附加竖向应力标准值（图 A.0.9）：

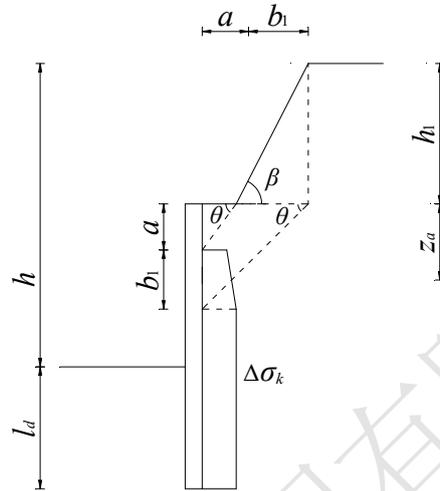


图 A.0.9 沉井顶部以上采用放坡或土钉墙时土中附加竖向应力计算示意

1 当 $a/\tan\theta \leq Z_a \leq (a+b_1)/\tan\theta$ 时：

$$\Delta\sigma_k = \frac{\gamma h_1}{b_1} (Z_a - a) + \frac{E_{ak1}(a+b_1-Z_a)}{K_a b_1^2} \quad (\text{A.0.9-1})$$

$$E_{ak1} = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_a - 2c h_1 \sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (\text{A.0.9-2})$$

2 当 $Z_a > (a+b_1)/\tan\theta$ 时：

$$\Delta\sigma_k = \gamma h_1 \quad (\text{A.0.9-3})$$

3 当 $Z_a < a \tan\theta$ 时：

$$\Delta\sigma_k = 0 \quad (\text{A.0.9-4})$$

式中： a ——沉井结构外边缘至放坡坡脚的水平距离（m）；

b_1 ——放坡坡面的水平尺寸（m）；

h_1 ——地面至围堰结构顶面的竖向距离（m）；

γ ——沉井结构顶面以上土的天然重度（ kN/m^3 ）；对多层土取各层土按

厚度加权的平均值；

c ——沉井结构顶面以上土的黏聚力（kPa）；

K_a ——沉井结构顶面以上土的主动土压力系数；对多层土取各层土按厚度加权的平均值；

E_{ak1} ——沉井结构顶面以上土的自重所产生的单位宽度主动土压力标准值（kN/m）。

A.0.10 沉井内的静水压力应按设计水位计算。清水的重度可取 10 kN/m^3 ，污水的重度根据水质可取 $10 \text{ kN/m}^3 \sim 10.8 \text{ kN/m}^3$ 。

A.0.11 水的浮力可按下列规定采用：

1 基础底面位于透水性地基上的沉井，当验算稳定性时，应考虑设计水位的浮力；当验算地基承载力时，可仅考虑低水位的浮力，或不考虑水的浮力。

2 基础嵌入不透水性地基的沉井可不考虑水的浮力。

3 当不能确定地基是否透水时，应以透水或不透水两种情况与其他作用组合，取其最不利者。

4 水的浮力标准值可按下列式计算：

$$F_w = \gamma_w V_w \quad (\text{A.0.11})$$

式中： F_w ——水浮力（kN）；

V_w ——结构排开水的体积（ m^3 ）。

条文说明：水浮力为作用于建筑物基底面的由下向上的水压力，等于建筑物排开同体积的水重力。地表水或地下水通过土体孔隙的自由水沟通并传递水压力。水是否能渗入基底是产生水浮力的前提条件，因此，水浮力与地基土的透水性、地基与基础的接触状态以及水压大小(水头高低)和漫水时间等因素有关。

对于透水性土，应计算水浮力；对于非透水性土，可不考虑水浮力。由于土的透水性质难以预测，故对于难以确定是否具有透水性质的土，计算基底应力时，不计浮力。计算稳定时，计入浮力。对于计算水浮力的水位，计算基底应力用低水位，计算稳定用设计水位。

完整岩石(包括节理发育的岩石)上的基础，当基础与基底岩石之间灌注混凝土且接触良好时，水浮力可以不计。但遇破碎的或裂隙严重的岩石，则应计入水

浮力。作用在桩基承台底面的水浮力要考虑，但如桩下沉嵌入岩层并灌注混凝土者，需扣除桩截面。

A.0.12 预加力应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010、《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092、《钢结构设计规范》GB 50017的有关规定计算确定。

A.0.13 地基不均匀沉降引起的永久作用标准值，其沉降量与沉降差应按现行《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093的有关规定计算确定。

A.0.14 混凝土收缩徐变作用应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的有关规定计算确定。

A.1 可变作用

A.1.1 沉井顶板应根据实际受力情况确定顶板活荷载标准值，当无特殊要求时，给排水工程沉井顶板或平台可取 4kN/m^2 。

A.1.2 地面活荷载标准值应按下列规定确定：

- 1 地面活荷载可分为地面堆积荷载和地面车辆荷载；
- 2 地面堆积荷载作用在沉井壁上的侧压力标准值，可折算为等效的土层厚度进行计算。当无明确要求时，地面堆积荷载标准值可取 10kN/m^2 ；
- 3 地面车辆荷载作用在沉井壁上的侧压力标准值，应为该荷载标准值传递到计算深度处的竖向压力标准值乘以计算深度处的土层主动土压力系数；
- 4 地面堆积荷载和地面车辆荷载作用在沉井壁上的侧压力标准值取二者中的较大值。

A.1.3 沉井井壁外侧与土层间的摩阻力及其沿井壁高度的分布图形，应根据工程地质条件、井壁外形和施工方法等，通过试验或对比积累的经验资料确定。当无试验条件或无可靠资料时，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_k ，可根据土层类别按表 A.1.3 的规定选用；

表 A.1.3 井壁与土体间的摩阻力标准值

土的名称	摩阻力标准值 (kPa)			
	公路、铁路规范	给排水沉井规范	水利水电沉井、沉井与气压沉箱规程	国标沉井与气压沉箱规范
流塑状态黏性土	-	10~15	10~15	10~15
可塑、软塑状态黏性土	-	12~25	10~25	10~25
硬塑状态黏性土	-	25~50	25~50	25~50
软土	10~12	-	-	-
黏性土	25~50	-	-	-
砂土	12~25	-	-	-
砂性土	-	12~25	12~25	12~45
砂砾土	-	15~20	15~20	-
砂砾石	-	-	-	30~50
卵石	15~30	18~30	18~30	40~60
砾石	15~20	-	-	-
泥浆套	3~5	3~5	3~5	3~5
空气幕	-	-	2~5	2~5
灌砂	-	7~10	-	7~10

注：1.必要时，摩阻力标准值可根据实测资料或实践经验确定；

2.泥浆套为灌注在堰壁外侧的触变泥浆，是一种助沉材料；

3.空气幕减阻时，可按表中摩阻力乘 0.5~0.7 系数。

2 当沿沉井下沉深度土层为多种类别时，单位摩阻力可取各层土单位摩阻力标准值的加权平均值。该值可按下式计算：

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ki} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (\text{A.1.3})$$

式中： f ——多层土单位摩阻力标准值的加权平均值 (kPa)；

f_{ki} ——第 i 层土的单位摩阻力标准值，按表 A.1.3 选用；

h_i ——第 i 层土的厚度 (m)；

n ——沿沉井下沉深度不同类别土层的层数。

3 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 A.1.3 (a) 采用；当井壁外侧为阶梯形时，可按图 A.1.3 (b) 采用。

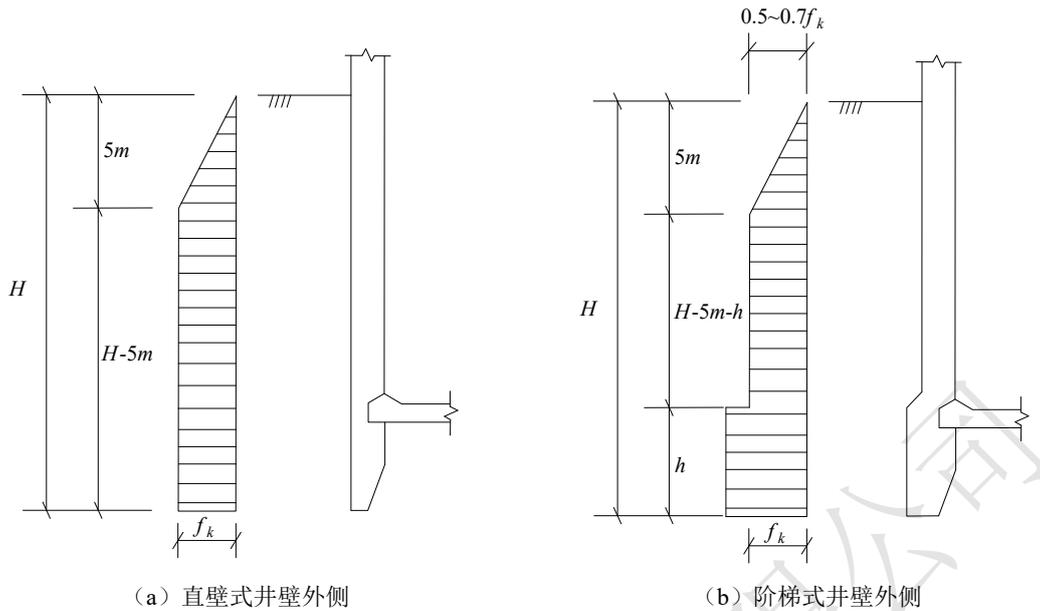


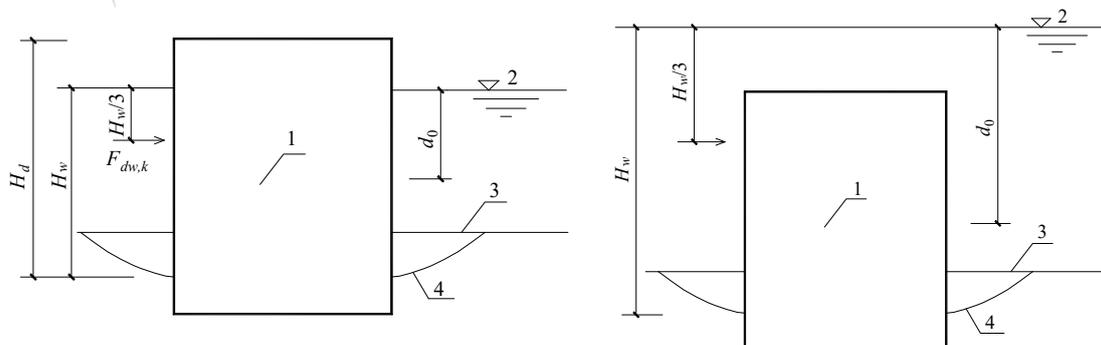
图 A.1.3 摩阻力沿井壁外侧分布

A.1.4 井外地下水对沉井作用的标准值应符合下列规定：

- 1 陆地沉井侧壁上的水压力标准值应按静水压力计算；
- 2 计算地下水压力标准值的设计水位，应按施工阶段和使用阶段当地可能出现的最高和最低水位采用；
- 3 水压力标准值的相应设计水位，应根据对结构的作用效应确定取最低水位或最高水位；
- 4 采用排水法施工，当井内水位降至刃脚以下时，井外的最大水压力作用可乘以 0.7 折减系数。

条文说明：本条第 4 款来源于《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》6.1.18 条。

A.1.5 当沉井位于水域时，作用在沉井上的流水压力标准值，应根据设计水位按下式计算确定(图 A.1.5)：



(a) 非淹没式

(b) 淹没式

1-沉井中心；2-设计水位；3-河床线；4-最低冲刷线

图 A.1.5 作用在沉井上的流水压力

$$F_{dw,k} = n_d k_f \frac{\gamma_w v_w^3}{2g} A \quad (\text{A.1.5})$$

式中： $F_{dw,k}$ ——流水压力标准值（kN）；

k_f ——作用在沉井上的水流力系数，可按表 A.1.5-1 采用；

n_d ——淹没深度影响系数，按表 A.1.5-2 采用，对于非淹没式为 1.0；

γ_w ——水的重度（kN/m³）

v_w ——水流最大设计流速沿井垂直面的平均流速（m/s）；

g ——重力加速度（m/s²）；

A ——沉井的阻水面积（m²），深度计算至最低冲刷线处。

表 A.1.5-1 水流力系数 k_f

沉井体型	方形	矩形	圆形	尖端形	长圆形
k_f	1.47	1.28	0.78	0.69	0.59

表 A.1.5-2 淹没深度影响系数 n_d

d_0/H_d	0.50	1.00	1.50	2.00	2.25	2.50	3.00	3.50	4.00	5.00	≥ 6.0
n_d	0.70	0.89	0.96	0.99	1.00	0.99	0.99	0.97	0.95	0.88	0.84

注： d_0 —沉井中心至水面距离；

H_d —沉井最低冲刷线至设计水位的距离；

H_w —沉井最低冲刷线至井顶的距离。

A.1.6 河道内融流冰块作用在沉井上的压力标准值，可按下列规定确定：

1 作用在沉井上的融流冰块压力标准值可按下列式计算：

$$F_i = m C_t b t R_{ik} \quad (\text{A.1.6-1})$$

式中： F_i ——冰压力标准值（kN）；

m ——沉井迎冰面形状系数，可按表 A.1.6-1 取用；

C_t ——冰温系数，可按表 A.1.6-2 取用；

b ——沉井迎冰面投影宽度（m）；

t ——计算冰厚（m），可取实际调查的最大冰厚或开河期堆积冰厚；

R_{ik} ——冰的抗压强度标准值 (kN/m²)，可取当地冰温 0°C 时的冰压强度；
当缺乏实测资料时，对海水可取 $R_{ik}=750\text{kN/m}^2$ ；对河冰，流水开始时 $R_{ik}=750\text{kN/m}^2$ ，最高流冰水位时可取 $R_{ik}=450\text{kN/m}^2$ 。

表 A.1.6-1 迎冰面形状系数 m

迎冰面形状	平面	圆弧形	尖角形的迎冰面角度				
			45°	60°	75°	90°	120°
m	1.00	0.90	0.54	0.59	0.64	0.69	0.77

表 A.1.6-2 冰温系数 C_t

冰温 (°C)	0	-10 及以下
C_t	1.0	2.0

注：1 表列冰温系数可直线内插；

2 对海冰，冰温取结冰期最低冰温；对河冰，取解冰期最低冰温。

2 当冰块流向桥轴线的角度 $\varphi \leq 80^\circ$ 时，桥墩竖向边缘的冰荷载应乘以 $\sin\varphi$ 予以折减；

3 冰压力合力应作用在计算结冰水位以下 0.3 倍冰厚处；

4 当流冰范围内桥墩有倾斜表面时，冰压力应分解为水平分力和竖向分力：

$$\text{水平分力： } F_{xi} = m_0 C_t R_{bk} t^2 \tan \beta \quad (\text{A.1.6-2})$$

$$\text{竖向分力： } F_{zi} = F_{xi} / \tan \beta \quad (\text{A.1.6-3})$$

式中： F_{xi} ——冰压力的水平分力 (kN)；

F_{zi} ——冰压力的垂直分力 (kN)；

β ——沉井倾斜的棱边与水平线的夹角 (°)；

R_{bk} ——冰的抗弯强度标准值 (kN/m²)，取 $R_{bk}=0.7R_{ik}$ ；

m_0 ——系数， $m_0=0.2b/t$ ，但不小于 1.0。

5 沉井受冰作用的部位宜采用实体结构。对于具有强烈流冰的河流中的沉井，其迎冰面宜做成圆弧形、多边形或尖角，并做成 3:1~10:1 (竖：横) 的斜度，在受冰作用的部位宜缩小其迎冰面的投影宽度；

6 对流冰期的设计高水位以上 0.5m 到设计底水位以下 1.0m 的部位宜采取抗冻性混凝土或花岗岩镶面或包钢板等防护措施。同时，对建筑物附近的冰体采取适宜的使冰体减小对结构作用力的措施；

7 铁路桥涵尚应符合现行《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002 有关规定要求。

A.1.7 当沉井为顶管井时，作用在沉井上的顶力标准值应符合下列规定：

1 按管材确定的最大允许顶力按下式计算：

$$N = \eta f_c A_0 \quad (\text{A.1.7-1})$$

式中： η ——不同管材折减系数；

f_c ——管材的纵向抗压强度设计值；

A_0 ——管材环向最小截面面积。

2 按工作井后背墙确定的最大允许顶力按下式计算：

$$P_t = B_j \left(\gamma_{sj} H_j^2 \frac{K_p}{2} + 2cH_j \sqrt{K_p} + \gamma_{sj} h_j H_j K_p \right) \quad (\text{A.1.7-2})$$

式中： H_j ——反力墙高度；

B_j ——反力墙宽度；

K_p ——后背土体被动土压力系数；

c ——后背土体粘聚力；

h_j ——反力墙顶到地面的距离。

γ_{sj} ——反力墙后背土体容重；

3 顶管顶进阻力按下式计算：

$$F = F_1 + F_2 \quad (\text{A.1.7-3})$$

$$F_1 = \pi D^2 (P + 20) / 4 \quad (\text{A.1.7-4})$$

$$F_2 = \pi f_k DL \quad (\text{A.1.7-5})$$

4 顶进施工时的最大顶力不能超过管材和工作井后背墙的允许顶力，且应大于顶进阻力。

A.1.8 对于有顶盖的水域沉井，在设计时应考虑使用中可能形成的真空压力。真空压力的标准值可根据使用条件确定。

条文说明：该条来源于《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》4.3.7条。

A.1.9 作用在沉井结构的风荷载应根据沉井结构的用途，按照相关行业标准的

相关规定计算。

条文说明：风荷载可参考《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3390-01、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《水工建筑物荷载设计规范》SL 744 进行计算。

A.1.10 温度作用计算应符合下列规定：

1 沉井当计入温度作用时，应根据当地具体情况、结构物使用的材料和施工条件等因素计算由温度引起的结构效应；

2 材料的线膨胀系数可按表 A.1.10 取用；

表 A.1.10 线膨胀系数

结构种类	线膨胀系数（以摄氏度计）
钢结构	0.000 012
混凝土和钢筋混凝土结构	0.000 010

3 当计算沉井结构因均匀温度作用引起外加变形或约束变形时，应从受到约束时的结构温度开始，计入最高温度和最低有效温度的作用效应；

4 钢沉井，其闭合温度作用的标准值可按具体工况条件确定，无特殊环境要求时，温度作用的标准值可按 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 温差采用；

5 地下钢筋混凝土沉井，一般可不计算温度变化作用，暴露在大气中的圆形沉井可只计算温差作用，不计算温度变化对中面的作用；

6 温度作用的计算尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

A.1.11 波浪力大小计算应符合现行行业标准《港口与航道水文规范》JTS 145 的规定。

A.1.12 船舶荷载计算应按《港口工程荷载规范》JTS 144-1 有关规定计算。作用在沉井结构上的船舶荷载应包括下列内容：

- 1 由风和水流产生的系缆力；
- 2 由风和水流产生的对沉井结构挤靠船力；
- 3 船舶靠近沉井结构时产生的撞击力；
- 4 系泊船舶在波浪作用下产生的撞击力等。

A.1.13 施工临时荷载应根据采用的施工方法和工艺的实际情况确定。

A.2 偶然作用

A.2.1 通航水域中的桥梁墩台，设计时应考虑船舶的撞击作用，其撞击作用设

计值可按下列规定采用：

- 1 船舶的撞击作用设计值宜按专题研究确定；
- 2 四至七级内河航道当缺乏实际调查资料时，船舶撞击作用可按《公路桥梁抗撞设计规范》JTG/T 3360-02 有关内容计算；
- 3 规划航道内可能遭受大型船舶撞击作用的桥墩，应根据桥墩的自身抗撞击能力、桥墩的位置和外形、水流流速、水位变化、通航船舶类型和碰撞速度等因素作桥墩防撞设施的设计。当设有与墩台分开的防撞击的防护结构时，桥墩可不计船舶的撞击作用；
- 4 内河船舶的撞击作用点，假定为计算通航水位线以上 2m 的桥墩宽度或长度的中点。海轮船舶撞击作用点需视实际情况而定。

A.2.2 有漂流物的水域中的桥梁墩台，设计时应考虑漂流物的撞击作用，其横桥向撞击力设计值可按下式计算，漂流物的撞击作用点假定在计算通航水位线上桥墩宽度的中点：

$$F = \frac{Wv}{gT} \quad (\text{A.2.2})$$

式中： W ——漂流物重力（kN），应根据河流中漂流物情况，按实际调查确定；
 v ——水流速度（m/s）；
 T ——撞击时间（s），应根据实际资料估计，在无实际资料时，可用 1s；
 g ——重力加速度， $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

A.3 地震作用

A.3.1 沉井结构地震作用的计算应符合下列规定：

- 1 用作永久构筑物、桥梁基础的沉井应考虑地震作用；
- 2 给排水构筑物沉井在使用阶段的地震作用按现行国家规范《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032 的相关规定计算；
- 3 水工建筑等构筑物沉井在使用阶段的地震作用按现行国家规范《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的相关规定计算；
- 4 公路桥梁地震作用应符合现行《公路工程抗震规范》JTG B02 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的规定。

A.3.2 给排水永久盛水构筑物沉井应根据现行《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032 的要求进行抗震作用验算。

A.3.3 有盖的矩形沉井。当顶盖结构整体性良好并与壁板、立柱有可靠连接时，在水平向地震作用下的抗震验算应考虑结构体系的空间作用可按《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032 中附录 B 进行计算。

A.3.4 沉井内部的隔墙或导流墙，在水平地震作用下，应类同于井壁计算其自重惯性力和动水压力的作用和作用效应。

广州市市政集团有限公司

附录 B 分项系数取值及作用组合

B.0.1 建筑与市政工程沉井作用分项系数可按下表确定：

表 B.0.1 建筑与市政工程作用分项系数

	作用类别	分项系数
永久荷载类别	结构自重	1.2；对结构有利时取 1.0
	沉井内水压	1.3；对结构有利时取 1.0
	沉井外土压	1.3；对结构有利时取 1.0
	不均匀沉降	1.3；对结构有利时取 1.0
可变荷载	顶板和平台活荷载	1.50
	地面活荷载	1.50
	地下水压力	1.3（排水法下沉时*0.7）
	温度作用	1.50
	顶管顶力	1.30
	流水压力	1.50
	融流冰块压力	1.50

B.0.2 公路桥涵沉井基础永久作用分项系数按表 B.0.2 取值。

表 B.0.2 公路桥涵沉井基础永久作用分项系数

序号	作用类别	永久作用分项系数	
		对结构的承载能力不利时	对结构的承载能力有利时
1	混凝土和圬工结构重力（包括结构附加重力）	1.2	1.0
	钢结构重力（包括结构附加重力）	1.1 或 1.2	
2	预加力	1.2	1.0
3	土的重力	1.2	1.0
4	混凝土的收缩及徐变作用	1.0	1.0
5	土侧压力	1.4	1.0
6	水的浮力	1.0	1.0
7	基础变位作用	混凝土和圬工结构	0.5
		钢结构	1.0

B.0.3 铁路工程沉井基础的作用分项系数按表 B.0.3 取值。

表 B.0.3 铁路工程沉井基础的作用分项系数

作用分类	作用名称	承载能力极限状态					
		基本组合					
		I	II	III	IV	V	VI

永久作用	结构自重		1.1 (1.2)					
	结构附加力	道砟桥面	1.4				1.2	
		其他桥面	1.1					
	预加力		1.0 (1.35)					
	混凝土收缩及徐变作用		1.1					
	不均匀沉降作用		1.0				0.5	
	土压力		1.2				1.1	
基本可变作用	静水压力及浮力		1.1					
	列车荷载及动力作用		1.5	—	1.2	1.2	1.2	—
	列车离心力		1.5	—	1.2	1.2	1.2	—
	列车横向摇摆力		1.5	—	1.2	1.2	1.2	—
其他可变作用	列车荷载引起的土压力		1.5	—	1.2	1.2	1.2	—
	风荷载		—	1.4	1.1	—	0.75	0.75
	温度作用	均匀升降温	—	—	—	1.3	1.0	1.0
		温度梯度	—	—	—	1.0	0.8	0.8
	流水压力		—	—	0.8	1.0	0.8	1.1
	冰压力		—	—	1.1	1.1	1.1	1.0
施工荷载		—	—	—	—	—	1.15	

注：1.当永久作用对结构的承载能力有利时，其作用的分项系数取 1.0；

2.表中结构自重分项系数，对于钢构件及混凝土预制构件取括号外 1.1，对于现浇混凝土构件取括号内 1.2；

3.道砟桥面包括混凝土和钢结构有砟道床桥面，其他桥面包括混凝土和钢结构无砟桥面以及钢结构明桥面；

4.预加力分项系数根据设计状况取值，一般取括号外 1.0，对局部承压设计验算可取括号内 1.35；

5.本表中未列出的作用，若参与组合，分项系数一般取 1.0；

6.人行荷载作为主导作用对结构或构件进行设计验算时，其分项系数取 1.4；

7.作用组合名称如下：

组合I：永久作用设计值与基本可变作用设计值相组合；

组合II：永久作用设计值与其他可变作用设计值相组合；

组合III：永久作用设计值与基本可变作用设计值与其他可变作用（温度作用和施工荷载除外）设计值相组合；

组合IV：永久作用设计值与基本可变作用设计值与其他可变作用（风荷载和施工荷载除外）设计值相组合；

组合V：永久作用设计值与基本可变作用设计值与其他可变作用（施工荷载除外）设计值相组合；

组合VI：永久作用设计值与施工荷载设计值与其他可变作用设计值相组合。

B.0.4 水运工程沉井的作用分项系数按表 B.0.4 取值。

B.0.4 水运工程沉井的作用分项系数按表 B.0.4 取值

荷载名称		分项系数		取值说明
		符号	取值	
永久作用	构件自重力、固定设备重力、填料重力	γ_G	1.2	(1) 当作用效应对结构承载力有利作用时，该作用分项系数取值不应大于 1.0； (2) 当作用组合中以构建自重力、固定设备重、填料重力作用为主时，其分项系数应不小于 1.3；
	自重及回填料产生的水平和垂直土压力	γ_E	1.35	
	剩余水压力	γ_{PW}	1.05	

				(3) 当总土压力效应对结构承载能力不利时, 土压力水平和垂直分力作用的分项系数均取 1.35
可变作用	可变作用引起的水平和垂直土压力	γ_E	1.35	(1) 当作用效应对结构承载能力起有利作用时, 该作用分项系数取值不应大于 1.0; (2) 当总土压力效应对结构承载能力不利时, 土压力水平和垂直分力作用的分项系数均取 1.35; (3) 当总波浪力效应对结构承载能力不利时, 波浪力及其托浮力分项系数稳定验算均取 1.3, 构件计算均取 1.5; (4) 海港结构在极端高水位和极端低水位情况下, 承载能力极限状态持久组合的可变作用分项系数应减小 0.1 采用; (5) 短暂状况可变作用分项系数可按表中所列数值减少 0.1 采用
	构件计算时五金钢铁荷载	γ_Q	1.5	
	构件计算时散货荷载			
	构件计算时起重机荷载			
	构件计算时汽车荷载	λ_Q	1.4	
	构件计算时铁路荷载			
	构件计算时一般件杂货、集装箱荷载			
	构件计算时液体管道(含推力)荷载			
	构件计算时运输机械荷载			
	构件计算时风荷载			
	构件计算时缆车荷载	λ_P λ_U	1.3	
	构件计算时人群荷载			
	稳定验算时的波浪力及其托浮力	λ_P λ_U	1.5	
	构件计算时的波浪力及其托浮力			
	冰荷载	λ_I	1.4	
	水流力	λ_C		
船舶撞击力	λ_{PZ}			
船舶系缆力	λ_{PR}	1.4		
船舶挤靠力	λ_{PJ}			
预应力	λ_{PS}	按现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151 取值		

注: 1.基床反力分项系数、静水压力及其浮托力分项系数分别按 1.35、1.2 取值;

2.作用综合分项系数除本章规定外, 按有关规定取值。

B.0.5 承载能力极限状态可变作用的组合值系数、频遇值系数及准永久值系数除有特别规定外, 应按不同行业相关规范要求按下表确定:

表 B.0.5 承载能力极限状态可变作用的组合值系数、频遇值系数及准永久值系数

可变作用类型	行业	组合值系数 φ_{cj}	频遇值系数 φ_{fj}	准永久值系数 φ_{qj}
顶板活荷载	建筑与市政 (公路工程)	0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0)[1.0] {0.7}	0.4(1.0) [1.0] {0.6}
地面活荷载		0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0) [1.0] {0.7}	0(1.0) [1.0] {0.6}

地下水压力	[铁路工程]	0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0) [1.0] {0.7}	0.8(1.0) [1.0] {0.6}
顶管顶力	{水运工程}	0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(-) [-] {0.7}	0.6(-) [-] {0.6}
流水压力		0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0) [1.0] {0.7}	0.8(1.0) [1.0] {0.6}
融流冰块压力		0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0) [1.0] {0.7}	0.6(1.0) [1.0] {0.6}
真空压力		0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0) [1.0] {0.7}	0(1.0) [1.0] {0.6}
汽车(列车)荷载		-(0.75) [1.0] {0.7}	-(0.7) [1.0] {0.7}	-(0.4) [1.0] {0.6}
人群荷载		-(0.75) [1.0] {0.7}	-(1.0) [1.0] {0.7}	-(0.4) [1.0] {0.6}
风荷载		-(0.75) [1.0] {0.7}	-(0.75) [1.0] {0.7}	-(0.75) [1.0] {0.6}
温度梯度		0.9(0.75) [1.0] {0.7}	-(0.8) [1.0] {0.7}	1.0(0.8) [1.0] {0.6}

注：1.表中“-”表示无规定。

2.无括号数据用于建筑与市政工程，括号()内数据用于公路工程沉井，中括号[]内数据用于铁路工程沉井，大括号{}内数据用于水运工程。

3.水运工程中，对经常以界限值出现的有界作用，根据具体情况，组合值系数和准永久值系数可取 1.0。

B.0.6 沉井结构构件作用效应基本组合设计值，应根据沉井所处的环境及其工况取不同的作用组合，不同工况组合可按表 B.0.6 确定。

表 B.0.6 建筑与市政工程不同工况作用组合

项目			作用项目							
			永久作用				可变作用			
			结构自重 G_1	沉井内水压 G_2	沉井外土压 G_3	顶板活荷载 Q_2	沉井外水压 Q_1	顶管顶力 Q_3	流水压力 Q_4	融流冰压力 Q_5
陆地沉井	施工期间	工作井	√	△	√		√	√		
		非工作井	√	△	√		√			
	使用期间	沉井内无水	√		√	√	√			√
		沉井内有水	√	√	√	√	√			√
水域沉井	施工期间	工作井	√	△	√		√	√		
		非工作井	√	△	√	√	√		√	
	使用期间	沉井内无水	√		√	√	√		√	√
		沉井内有水	√	√	√	√	√		√	√

注：1.符号“√”表示排水下沉沉井的作用项目

2.符号“△”表示带水下沉沉井的永久作用项目

B.0.7 公路桥涵结构设计应考虑结构上可能同时出现的作用，应按下列原则取其最不利组合效应进行设计：

1 只有在结构上可能同时出现的作用，才进行组合。当结构或结构构件需做不同受力方向的验算时，则应以不同方向的最不利的作用组合效应进行计算；

2 当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时，该作用不应参与组合。实际

不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的作用，按表 B.0.7 规定不考虑其参与组合；

表 B.0.7 可变作用不同时组合表

作用名称	不与该作用同时参与组合的作用
汽车制动力	流水压力、冰压力、波浪力、支座摩阻力
流水压力	汽车制动力、冰压力、波浪力
波浪力	汽车制动力、流水压力、冰压力
冰压力	汽车制动力、流水压力、波浪力
支座摩阻力	汽车制动力

3 施工阶段的作用组合，应按计算需要及结构所处条件而定，结构上的施工人员和施工机具设备均应作为可变作用加以考虑。

附录 C 裂缝宽度及变形限值

C.0.1 沉井最大裂缝宽度限值根据不同行业应符合下表要求。

表 C.0.1-1 建筑与市政工程沉井最大裂缝宽度限值 (mm)

类别	ω_{\max}
构筑物基础沉井、盛水构筑物沉井	0.2
临时顶管井沉井	0.3

表 C.0.1-2 水利工程沉井最大裂缝宽度限值 (mm)

环境类别	ω_{\max}
一	0.40
二	0.30
三	0.25
四	0.20
五	0.15

注：1.结构构件的混凝土保护层厚度大于 50mm 时，裂缝宽度限值可增加 0.05；

2.当结构构件不具备检修维护条件时，最大裂缝宽度限值宜适当减小；

3.当结构构件承受水压且水力梯度 $i > 20$ 时，最大裂缝宽度限值宜减小 0.05；

4.结构构件表面设有专门的可靠的防渗层等防护措施时，最大裂缝宽度限值可适当加大；

5 对严寒地区，当年冻融循环次数大于 100 时，最大宽度裂缝限值宜适当减小。

表 C.0.1-3 公路桥梁工程沉井最大裂缝宽度限值 (mm)

	环境类别						
	I类	II类	III类	IV类	V类	VI	VII类
	一般环境	冻融环境	近海或海洋氯化物环境	除冰盐等其他氯化物环境	盐结晶环境	化学腐蚀环境	磨蚀环境
ω_{\max}	0.2	0.2	0.15	0.15	0.10	0.15	0.2

表 C.0.1-4 铁路工程沉井基础最大裂缝宽度限值 (mm)

环境类别	环境等级	ω_{\max}
碳化环境	T1, T2, T3	0.20
氯盐环境	L1, L2	0.20
	L3	0.15
化学腐蚀环境	H1, H2	0.20

	H3, H4	0.15
盐类结晶破坏环境	Y1, Y2	0.20
	Y3, Y4	0.15
冻融破坏环境	D1, D2	0.20
	D3, D4	0.15
磨蚀环境	M1, M2	0.20
	M3	0.15

表 C.0.1-5 水运工程沉井混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 和最大裂缝宽度限值 ω_{max}

构件类别	钢筋种类		淡水港			海水港			
			水上区	水位变动区	水下区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
钢筋混凝土结构	—	裂缝控制等级	三	三	三	三	三	三	三
		ω_{max} (mm)	0.25	0.25	0.40	0.20	0.20	0.25	0.30
预应力混凝土结构	冷拉 HRB400 级钢筋	裂缝控制等级	二	二	二	二	二	二	二
		α_{ct}	0.5	0.5	0.8	0.5	0.3	0.5	0.8
	钢丝、钢绞线、螺纹钢	裂缝控制等级	二	二	二	二	一	二	二
		α_{ct}	0.3	0.3	0.5	0.3	0.0	0.3	0.5

注：受冻融作用的海水环境结构的水位变动区按浪溅区规定采用。

C.0.2 沉井构件挠度限值根据不同行业应符合下表要求。

表 C.0.2-1 建筑与市政工程挠度限值

构件种类	吊车梁		平台梁支承竖向转动装置设备时	屋盖楼盖		
	手动吊车	电动吊车		$L \leq 7m$	$7m < L \leq 9m$	$L > 9m$
f_{max}	$L/500$	$L/600$	$L/750$	$L/200$ ($L/250$)	$L/250$ ($L/300$)	$L/300$ ($L/400$)

注：1.L——计算跨度；

2.括号内的数字适用于使用上对挠度有较高要求的构件；

3.对悬臂构件的挠度限值，其计算跨度按实际悬臂长度的2倍取用。

表 C.0.2-2 水利工程挠度限值

构件种类	吊车梁		工作桥及启闭机下大梁	屋盖楼盖		
	手动吊车	电动吊车		$L \leq 6m$	$6m < L \leq 12m$	$L > 12m$
f_{max}	$L/500$	$L/600$	$L/400$ ($L/500$)	$L/200$ ($L/250$)	$L/300$ ($L/350$)	$L/400$ ($L/450$)

注：1. L ——计算跨度；

2. 括号内的数字适用于使用上对挠度有较高要求的构件；

3. 对悬臂构件的挠度限值，其计算跨度按实际悬臂长度的2倍取用。

表 C.0.2-3 水运工程挠度限值 f_{max}

构件种类	轨道梁	一般梁	板
f_{max}	$L/800$	$L/600$	$L/300$

注：1. L ——计算跨度；

2. 短暂状况的正常使用极限状态对挠度有要求时，应根据具体情况而定；

3. 对悬臂构件的挠度限值，其计算跨度 L 按实际悬臂长度的2倍取用。

C.0.3 超静定结构相邻墩台沉降量之差除应满足本表的规定外，尚应根据沉降差对结构产生的附加应力的影响确定。

表 C.0.3 墩台基础沉降工后沉降限值

	设计速度	沉降类型	限值 (mm)
有砟轨道静定结构	250km/h 及以上	墩台均匀沉降	30
		相邻墩台沉降差	15
	200km/h	墩台均匀沉降	50
		相邻墩台沉降差	20
	160km/h 及以下	墩台均匀沉降	80
		相邻墩台沉降差	40
无砟轨道静定结构	250km/h 及以上	墩台均匀沉降	20
		相邻墩台沉降差	5
	200km/h 及以下	墩台均匀沉降	20
		相邻墩台沉降差	10

附录 D 沉井刃脚计算

D.0.1 沉井刃脚抗弯承载力验算可分别采用悬臂梁和框架结构模型进行。

D.0.2 刃脚作为向外弯曲的悬臂梁进行承载力验算时，其作用力可按下列规定计算（图 D.0.2-1、图 D.0.2-2）；

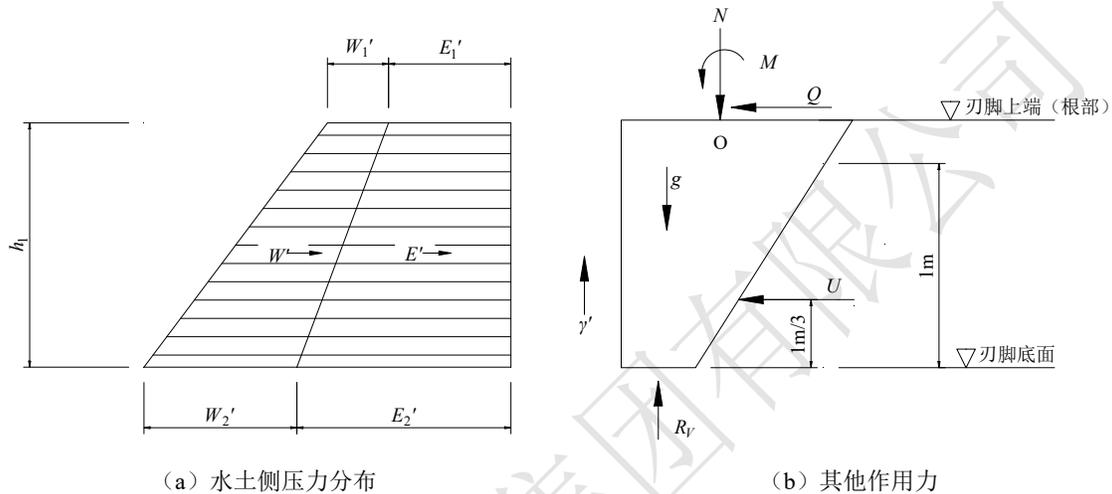


图 D.0.2-1 刃脚受力示意图

1 假定刃脚内侧切入土中 1m，并考虑沉井在地面以上或水面以上露出一定高度或井壁全部浇筑完成后具有外露高度；

2 沿刃脚周边水平方向取单位宽度，并按本规范 5.7.3 条的规定计算作用在刃脚上的侧土压力 E_1' 、 E_2' ， E' 和水压力 W_1' 、 W_2' ， W' ；

3 作用在刃脚外侧的侧土压力和水压力的总和大于静水压力的 70%，取 70% 的静水压力；

4 沿井壁单位周长上沉井侧面的总摩阻力按下列公式计算，并取其中较小值：

$$T = \mu \cdot E \quad (\text{D.0.2-1})$$

$$T = q \cdot A \quad (\text{D.0.2-2})$$

式中： T ——沿井壁单位周长上沿沉井侧面的总摩阻力（kN/m）；

μ ——摩擦系数， $\mu = \tan\varphi$ ；

φ ——土的内摩擦角，一般取 $\tan\varphi = 0.5$ ；

q ——土与井壁间的单位摩阻力（kPa），按本规范附录 A.1.3 选用；

(3) 作用在刃脚底面的垂直反力 V_1 按式 (D.0.2-5) 计算, 作用点距刃脚外壁的距离为 $a/2$ 。

$$V_1 = R_V - V_2 \quad (\text{D.0.2-5})$$

7 作用在刃脚斜面上的水平分力 U 按下式计算, 其作用点距刃脚底面 $m/3$ 高处。

$$U = V_2 \tan(\alpha - \beta) \quad (\text{D.0.2-6})$$

8 刃脚重力 g 按下式计算:

$$g = \gamma_h \cdot h_1 \frac{t+a}{2} \quad (\text{D.0.2-7})$$

式中: γ_h ——混凝土重度 (kN/m^3), 若不排水下沉, 应扣除水的浮力;

h_1 ——刃脚斜面的高度 (m)。

9 作用在刃脚外侧的摩阻力 T' , 可取下列公式计算值的较大值。

$$T' = \mu \cdot E' \quad (\text{D.0.2-8})$$

$$T' = q \cdot A' \quad (\text{D.0.2-9})$$

$$A' = 1 \times h_1 = h_1 \quad (\text{D.0.2-10})$$

式中: A' ——刃脚外侧面与土接触的单位宽度上的总面积 (m^2),

E' ——作用在刃脚高度范围内每 m 宽度的总土压力 (kN/m)。

10 作用在刃脚悬臂梁侧面上的水平力为刃脚上的最大水平力乘以分配系数 α , 其值按本规范 D.0.5 条计算。

D.0.3 刃脚作为内弯曲的悬臂梁进行承载力能力验算时, 其作用力可按如下规定计算:

1 沿刃脚周边水平方向取单位宽度, 并假定沉井沉到设计高程, 且刃脚下的土已经挖空, 如图 D.0.3 所示;

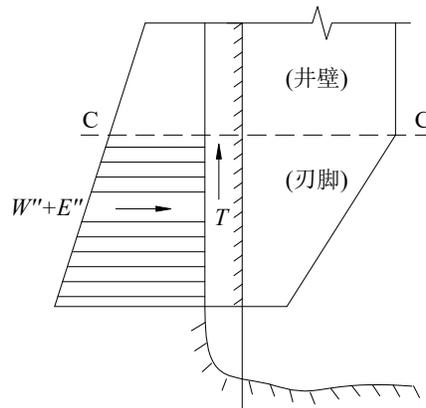


图 D.0.3 刃脚内向弯曲

- 2 刃脚外侧的土压力和水压力计算可按本规范 5.7.3 条的规定计算；
- 3 当不排水下沉时，井壁外侧水压力可按 100%计算，井内水压力一般按 50%计算，也可按施工中可能出现的水头差计算。当排水下沉时，在透水土中，外侧水压力可按静水压力的 70%计算；
- 4 作用在井壁外侧的摩阻力 T 按本规范模式 (D.0.2-8) 或 (D.0.2-9) 计算，并取其中较小值；
- 5 刃脚重力 g 按本规范式 (D.0.2-7) 计算。

D.0.4 刃脚作为水平框架计算其水平方向的承载能力验算时，其受力计算可按如下规定进行 (图 D.0.4)：

- 1 假定沉井下沉到设计高程，刃脚下的土已被掏空，沿刃脚上沿竖直方向截取单位高度形成水平框架结构。
- 2 作用在水平框架上的作用力计算同本规范 D.0.3 条；必要时，根据施工情况考虑框架内向外的水平作用力。
- 3 作用在水平框架全周上的最终均布荷载为刃脚上的最大水平力乘以分配系数 β ，其值按本规范第 D.0.5 条计算。

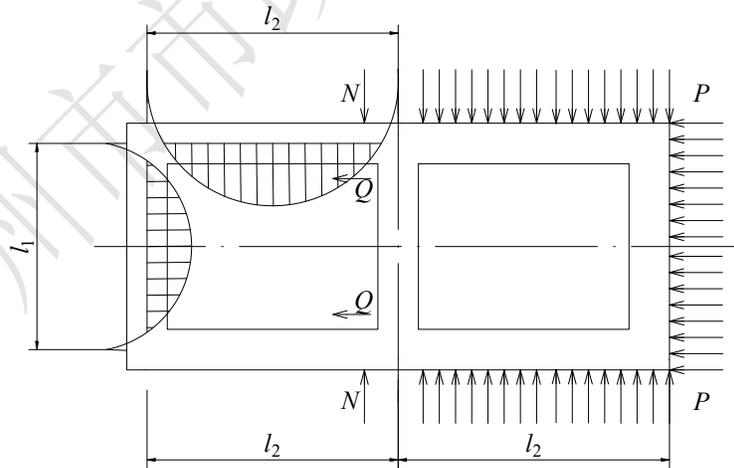


图 D.0.4 刃脚上的水平框架

D.0.5 对于矩形沉井，沉井刃脚上水平作用力的分配系数可按下列近似方法计算：

- 1 刃脚沿竖向视为悬臂梁，其悬臂长度应等于斜面部分的高度。当内隔墙的底面距刃脚底面为 0.5m 或大于 0.5m 而采用竖向承托加强时，作用于悬臂部分的水平力可乘以分配

系数 α :

$$\alpha = \frac{0.1l_1^4}{h_1^4 + 0.05l_1^4} \leq 1.0 \quad (\text{D.0.5-1})$$

式中: l_1 —— 支承在内隔墙间的外壁最大计算跨径 (m);

h_1 —— 刃脚斜面部分的高度 (m)。

2 刃脚水平方向可视为闭合框架, 当刃脚悬臂的水平力乘以分配系数 α 时, 作用于框架的水平力可乘以分配系数 β :

$$\beta = \frac{h_1^4}{h_1^4 + 0.05l_2^4} \quad (\text{D.0.5-2})$$

式中: l_2 —— 支承在内隔墙间的外壁最小算跨径 (m)。

附录 E 圆形沉井倾斜状态的内力计算

E.0.1 圆形沉井倾斜状态的内力计算原则应符合下列规定：

1 根据地质剖面，确定可能发生突沉的软弱土层厚度和底标高。当软弱土层厚度小于或等于 2m 时，应按实际厚度作为沉降差计算沉井倾角。若土层厚度大于 2m，应考虑采用地基处理措施；

2 计算发生突沉的插入比 ξ ，并应限制在 0.5~0.8 范围；

3 沉井倾角 $\alpha < 10^\circ$ 可按 10° 计算。当外径 $D_1 \geq 30\text{m}$ 时，可以不考虑沉井倾斜产生的内力；

4 沉井的垂直反力大于或等于地基土极限承载力时应防止发生突沉；

5 可不考虑主动土压力对圆形沉井的作用计算，仅计算沉井自重作用产生的环向内力；

6 当 $M - M_0 < 0$ 时，入土段在地面处不产生抗力，可不考虑沉井倾斜产生的内力。

E.0.2 沉井入土段的内力计算应符合下列规定：

1 入土段受力模式，见图 E.0.2-1。

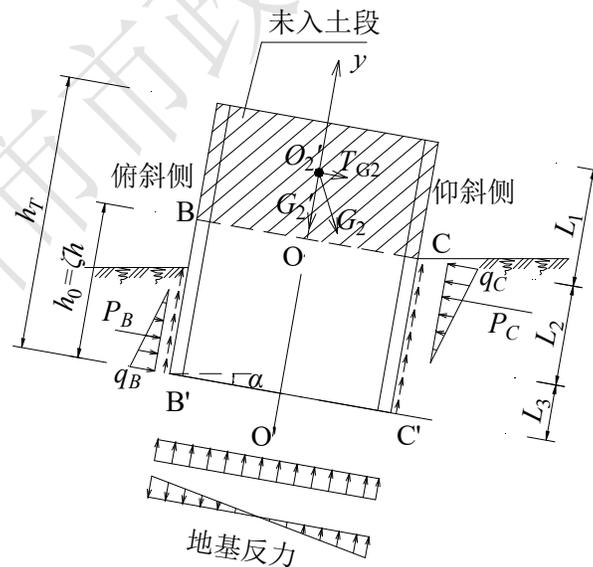


图 E.0.2-1 入土段自重引起的沉井受力简图

2 设计数据应符合下列规定：

沉井倾角

$$\alpha = \frac{\text{软弱土层厚度}}{\text{沉井外壁直径}} \quad (\text{E.0.2-1})$$

沉井插入比

$$\xi = \frac{h_0}{h} \quad (\text{E.0.2-2})$$

沉井内半径 r_2 ;

沉井外半径 r_1 ;

沉井中心半径 r_c ;

混凝土的重度 $\gamma=25\text{kg/m}^3$;

沉井总高度 h_T ;

入土段高度 h_0 ;

每米高度井壁自重 x 方向分力 $T_{g1} = 2\pi r_c t \gamma \cdot \sin \alpha$ 。

3 内力计算应符合下列规定:

入土段环向内力, 见图 E.0.2-2

弯矩

$$M_{g1} = k_m T_{g1} \quad (\text{E.0.2-3})$$

轴力

$$M_{g1} = k_n T_{g1} \quad (\text{E.0.2-4})$$

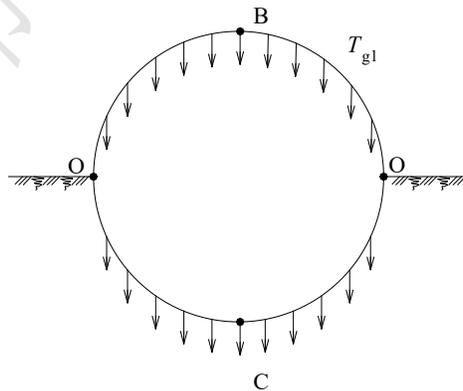


图 E.0.2-2 内力计算点示意图

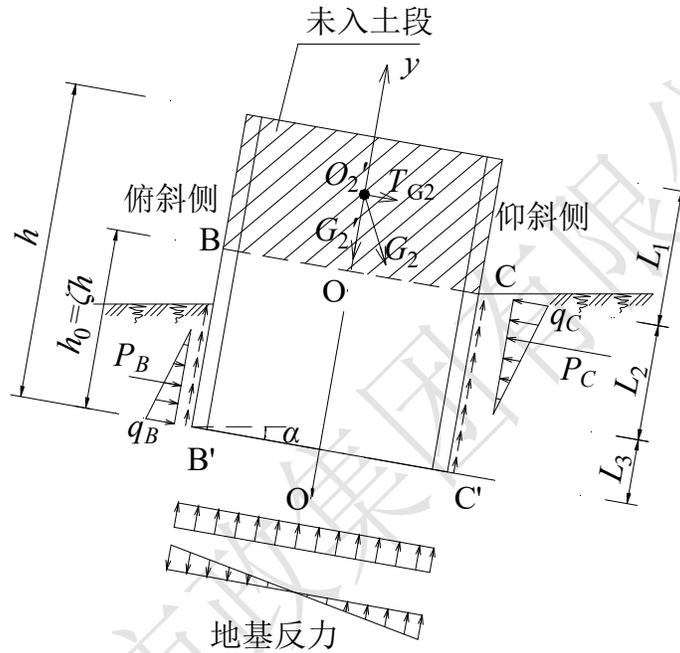
环向各点内力系数应符合表 E.0.2 的规定。

表 E.0.2 环向各点内力系数 k_m, k_n

计算点	弯矩系数 (k_m)	计算点	轴力系数 (k_n)
C	0.070	C	0.277
O	-0.063	O	0.250
B	0.057	B	-0.027

E.0.3 考虑入土段自重作用的入土段内力计算应符合下列规定：

1 未入土段自重作用的入土段受力模式应符合图 E.0.3 的规定；



G ——沉井总重； G_2 ——未入土段总自重； T_{G2} —— G_2 的 x 方向分力； G_2' —— G_2 的 y 方向分力； L_1 ——未入土段长度； L_2 ——俯面抗力分布长度； L_3 ——仰面抗力分布长度； q_1 ——井自重 y 方向均布反力； q_2 ——未入土段引起的不均匀反力； f_u ——土的极限承载力； t ——刃脚根部厚度

图 E.0.3 未入土段井自重作用引起的沉井入土段受力模式

2 地面处仰面抗力的分布长度及最大抗力应按下列公式计算：

$$q_1 = \frac{G - \xi h \pi D_1 f}{2r_0 \pi} \cos \alpha \quad (\text{E.0.3-1})$$

$$q_2 = f_u - q_1 \quad (\text{E.0.3-2})$$

式中： f ——井外壁土的摩擦系数；

D_1 ——沉井外径 (mm)。

未入土段自重对入土段顶面造成的弯矩：

$$M = T_{G2} \frac{L_1}{2} \quad (\text{E.0.3-3})$$

反力 q_2 对井底截面中心形成的弯矩:

$$M_0 = \frac{\pi}{4} \times \frac{(r_1^4 - r_2^4) q_2}{r} \quad (\text{E.0.3-4})$$

令 $\alpha = M - M_0, b = h_0 T_{G2}$,

仰面抗力分布长度:

$$L_2 = \frac{h_0 \left(\frac{2}{a-3} \right) b}{2a+b}, \quad L_3 = h_0 - L_2 \quad (\text{E.0.3-5})$$

仰面合力:

$$P_C = \frac{T_{G2} (1 + L_3^2)}{h_0 (L_2 - L_3)} \quad (\text{E.0.3-6})$$

仰面抗力最大值:

$$q_c = \frac{2P_C}{L_2} \quad (\text{E.0.3-7})$$

3 内力计算应按下列公式计算:

C 点内力:

$$M_{g2} = k_m q_c \quad (\text{E.0.3-8})$$

$$N_{g2} = k_n q_c \quad (\text{E.0.3-9})$$

式中: k_m 、 k_n ——可按表 E.0.2 确定。

4 入土段地面处的环向内力叠加应按下列公式计算:

$$M = M_{g1} + M_{g2} \quad (\text{E.0.3-10})$$

$$N = N_{g1} + N_{g2} \quad (\text{E.0.3-11})$$

附录 F 带中隔墙圆形沉井的内力计算

F.0.1 在均匀外荷载 q_1 （水、土压力）作用下，沉井各截面的内力可按下列公式计算（图 F.0.1）：

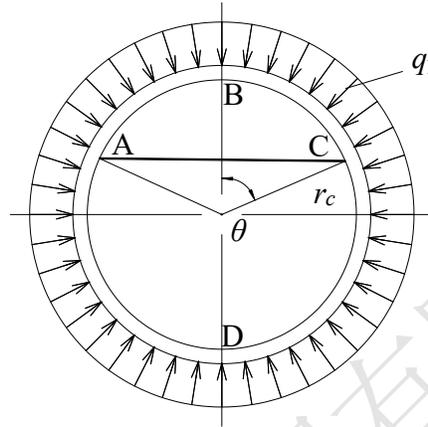


图 F.0.1 在外压作用下

$$M_{CB} = \alpha_1 q_1 t^2 \quad (\text{F.0.1-1})$$

$$M_{CD} = \alpha_2 q_1 t^2 \quad (\text{F.0.1-2})$$

$$M_{CA} = \alpha_3 q_1 t^2 \quad (\text{F.0.1-3})$$

$$H_{CB} = \alpha_4 q_1 t^2 / r_c \quad (\text{F.0.1-4})$$

$$H_{CD} = \alpha_5 q_1 t^2 / r_c \quad (\text{F.0.1-5})$$

$$M_B = H_{CB}(1 - \cos\theta)r_c - M_{CB} \quad (\text{F.0.1-6})$$

$$N_B = -q_1 r_c + H_{CB} \quad (\text{F.0.1-7})$$

$$N_{CB} = -q_1 r_c + H_{CB} \cos\theta \quad (\text{F.0.1-8})$$

$$M_D = -(1 + \cos\theta)H_{CD}r_c - M_{CD} \quad (\text{F.0.1-9})$$

$$N_D = -q_1 r_c + H_{CD} \quad (\text{F.0.1-10})$$

$$N_{CD} = -q_1 r_c + H_{CD} \cos\theta \quad (\text{F.0.1-11})$$

$$N_{CA} = H_{CB} - H_{CD} \quad (\text{F.0.1-12})$$

F.0.2 在一格内压荷载 q_2 作用下，沉井各截面的内力可按下列公式计算（图 F.0.2）：

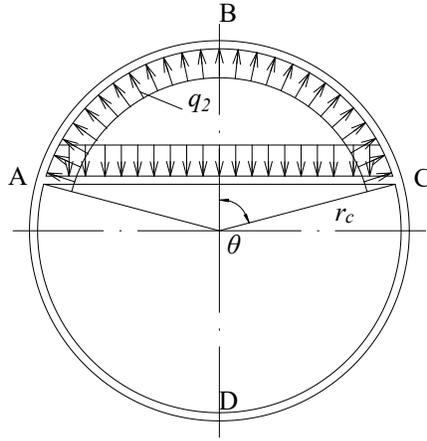


图 F.0.2 在一格内水压作用下

$$M_{CB} = \alpha_6 q_2 t^2 + \alpha_7 q_2 r_c^2 \quad (\text{F.0.2-1})$$

$$M_{CD} = \alpha_8 q_2 t^2 + \alpha_9 q_2 r_c^2 \quad (\text{F.0.2-2})$$

$$M_{CA} = \alpha_{10} q_2 t^2 + \alpha_{11} q_2 r_c^2 \quad (\text{F.0.2-3})$$

$$M_{COA} = -\alpha_{10} q_2 t^2 + \alpha_{12} q_2 r_c^2 \quad (\text{隔墙跨中弯矩}) \quad (\text{F.0.2-4})$$

$$H_{CB} = \alpha_{13} q_2 t^2 / r_c + \alpha_{14} q_2 r_c \quad (\text{F.0.2-5})$$

$$H_{CD} = -\alpha_{15} q_2 t^2 / r_c - \alpha_{16} q_2 r_c \quad (\text{F.0.2-6})$$

$$M_B = H_{CB} (1 - \cos \theta) r_c - M_{CB} \quad (\text{F.0.2-7})$$

$$N_B = q_2 r_c + H_{CB} \quad (\text{F.0.2-8})$$

$$N_{CB} = q_2 r_c + H_{CB} \cos \theta \quad (\text{F.0.2-9})$$

$$M_D = -(1 + \cos \theta) H_{CD} r_c - M_{CD} \quad (\text{F.0.2-10})$$

$$N_D = H_{CD} \quad (\text{F.0.2-11})$$

$$N_{CD} = H_{CD} \cos \theta \quad (\text{F.0.2-12})$$

式中: r_c ——井壁中心半径 (m);

t ——井壁厚度 (m);

t_1 ——中隔墙厚度 (m)

θ ——ABC 所对中心角之半 ($^\circ$);

$\alpha_1 \sim \alpha_{16}$ ——内力系数, 可按 m 查表 F.0.2 取用。

$$m = t_1 / t \quad (\text{F.0.2-13})$$

式中： t_1 —— 中隔墙厚度（m）。

F.0.3 框架内力的符号应按照图 F.0.3 的规定采用，框架内力系数应按表 F.0.3 取用。

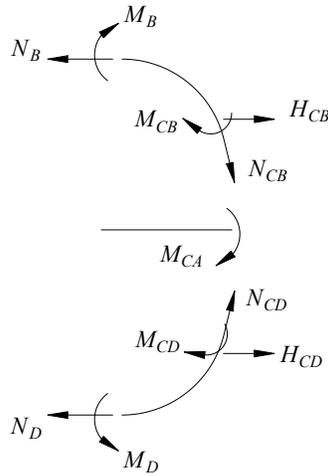


图 F.0.3 内力符号规定（图示为正值）

表 F.0.2 内力系数 α_i

θ	m α_i	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
		0.95	α_1	0.4559	0.4275	0.4053	0.3879	0.3744
	α_2	-0.3590	-0.3529	-0.3492	-0.3478	-0.3485	-0.3514	-0.3566
	α_3	-0.0969	-0.0746	-0.0561	-0.0401	-0.0259	-0.0127	0
	α_4	1.6801	1.3209	1.0666	0.8818	0.7443	0.6402	0.5601
	α_5	0.3419	0.3578	0.3815	0.4112	0.4493	0.4979	0.5601
	α_6	-0.3685	-0.3295	-0.2963	-0.2675	-0.2420	-0.2192	-0.1985
	α_7	-0.1567	-0.1636	-0.1671	-0.1671	-0.1636	-0.1571	-0.1478
	α_8	0.2557	0.2362	0.2184	0.2090	0.1865	0.1719	0.1581
	α_9	-0.0648	-0.0790	-0.0938	-0.1087	-0.1230	-0.1363	-0.1478
	α_{10}	0.1128	0.0933	0.0799	0.0656	0.0555	0.0472	0.0403
	α_{11}	0.2214	0.2426	0.2609	0.2757	0.2867	0.2934	0.2956
	α_{12}	0.1536	0.1681	0.1806	0.1903	0.1983	0.2028	0.2044
	α_{13}	-1.4598	-0.1069	-0.8574	0.6761	-0.5410	-0.4384	-0.3588
	α_{14}	-0.3948	-0.3576	-0.3209	-0.2853	-0.2511	-0.2187	-0.1882
	α_{15}	0.2203	0.2140	0.2092	0.2057	0.2032	0.2018	0.2013
	α_{16}	-0.0558	-0.0716	-0.0899	-0.1107	-0.1341	-0.1599	-0.1882
1.0	α_1	-0.4658	0.4384	0.4105	0.3914	0.3766	0.3651	0.3566
	α_2	-0.3549	-0.3493	-0.3463	-0.3455	-0.3469	-0.3506	-0.3566
	α_3	0.1109	-0.0854	-0.0642	-0.0459	-0.0296	-0.0145	0
	α_4	1.7051	1.3368	1.0766	0.8878	0.7476	0.6415	0.5601

	α_5	0.3384	0.3555	0.3787	0.4088	0.4475	0.4969	0.5601
	α_6	-0.3800	-0.3386	-0.3036	-0.2732	-0.2466	-0.2228	-0.2014
	α_7	-0.1537	-0.1606	-0.1640	-0.1640	-0.1606	-0.1542	-0.1451
	α_8	0.2509	0.2319	0.2144	0.1982	0.1830	0.1688	0.1552
	α_9	-0.0636	-0.0775	-0.0921	-0.1067	-0.1208	-0.1338	-0.1451
	α_{10}	0.1292	0.1068	0.0892	0.0750	0.0635	0.0541	0.0624
	α_{11}	0.2173	0.2381	0.2561	0.2706	0.2814	0.2880	0.2902
	α_{12}	0.1577	0.1726	0.1855	0.1959	0.2036	0.2083	0.2098
	α_{13}	-1.4889	-1.1268	-0.8713	-0.6859	-0.5481	-0.4435	-0.3625
	α_{14}	-0.3875	-0.3509	-0.3150	-0.2800	-0.2465	-0.2146	-0.1847
	α_{15}	0.2162	0.2101	0.2054	0.2019	0.1995	0.1981	0.1976
	α_{16}	-0.0548	-0.0702	-0.0882	-0.1086	-0.1316	-0.1570	-0.1847
1.05	α_1	0.4767	0.4425	0.4160	0.3952	0.3788	0.3662	0.3566
	α_2	-0.3506	-0.3456	-0.3432	-0.3431	-0.3452	-0.3497	-0.3566
	α_3	-0.1258	-0.0969	0.0728	-0.0521	-0.0336	-0.0165	0
	α_4	1.7316	1.3537	1.0872	0.8942	0.7510	0.6430	0.5601
	α_5	0.3346	0.3521	0.3757	0.4063	0.4457	0.4959	0.5601
	α_6	-0.3923	-0.3483	-0.3112	-0.2794	-0.2515	-0.2267	-0.2045
	α_7	-0.1506	-0.1573	-0.1607	-0.1607	-0.1574	-0.1511	-0.1422
	α_8	0.2458	0.2272	0.2101	0.1942	0.1794	0.1654	0.1521
	α_9	-0.0623	-0.0760	-0.0902	-0.1045	-0.1183	-0.1311	-0.1422
	α_{10}	0.1465	0.1211	0.1012	0.0851	0.0721	0.0613	0.0524
	α_{11}	0.2129	0.2333	0.2509	0.2652	0.2757	0.2822	0.2844
	α_{12}	0.1621	0.1774	0.1906	0.2013	0.2092	0.2140	0.2156
	α_{13}	-1.5198	-1.1479	-0.8860	-0.6963	-0.5556	-0.4489	-0.3665
	α_{14}	-0.3796	-0.3438	-0.3086	-0.2744	-0.2416	-0.2103	-0.1810
	α_{15}	0.2118	0.2058	0.2012	0.1978	0.1955	0.1941	0.1937
	α_{16}	-0.0537	-0.0688	-0.0864	-0.1065	-0.1290	-0.1539	-0.1810
1.10	α_1	0.4875	0.4507	0.4218	0.3991	0.3812	0.3673	0.3566
	α_2	-0.3460	-0.3417	-0.3399	-0.3405	-0.3434	-0.3487	-0.3566
	α_3	-0.1415	-0.1090	-0.0819	-0.0586	-0.0378	-0.0185	0
	α_4	1.7596	1.3716	1.0984	0.9009	0.7547	0.6445	0.5601
	α_5	0.3306	0.3486	0.3726	0.4037	0.4437	0.4947	0.5601
	α_6	-0.4052	-0.3585	-0.3193	-0.2858	-0.2566	-0.2308	-0.2078
	α_7	-0.1474	-0.1539	-0.1572	-0.1572	-0.1540	-0.1479	-0.1391
	α_8	0.2405	0.2223	0.2055	0.1900	0.1755	0.1618	0.1488
	α_9	-0.0609	-0.0743	-0.0883	-0.1023	-0.1158	-0.1283	-0.1391
	α_{10}	0.1648	0.1363	0.1138	0.0958	0.0811	0.0690	0.0589
	α_{11}	0.2083	0.2820	0.2455	0.2595	0.2698	0.2761	0.2782
	α_{12}	0.1667	0.1825	0.1960	0.2070	0.2151	0.2201	0.2218

	α_{13}	-1.5524	-1.1702	-0.9016	-0.7073	-0.5635	-0.4546	-0.3706
	α_{14}	-0.3714	-0.3364	-0.3020	-0.2685	-0.2364	-0.2058	-0.1771
	α_{15}	0.2072	0.2014	0.1969	0.1936	0.1913	0.1899	0.1895
	α_{16}	-0.0525	-0.0673	-0.0845	-0.1042	-0.1262	-0.1505	-0.1771
1.15	α_1	0.4991	0.4592	0.4279	0.4032	0.3837	0.3684	0.3566
	α_2	-0.3412	-0.3375	-0.3365	-0.3378	-0.3415	-0.3477	-0.3566
	α_3	-0.1579	-0.1217	-0.0914	-0.0645	-0.0422	-0.0207	0
	α_4	1.7889	1.3902	1.1101	0.9079	0.7586	0.6461	0.5601
	α_5	0.3265	0.3488	0.3693	0.4010	0.4416	0.1936	0.5601
	α_6	-0.4188	-0.3692	-0.3278	-0.2925	-0.2620	-0.2351	-0.2112
	α_7	-0.1439	-0.1504	-0.1536	-0.1536	-0.1505	-0.1445	-0.1359
	α_8	0.2349	0.2171	0.208	0.1856	0.1715	0.1581	0.1454
	α_9	-0.0595	-0.0726	-0.0862	-0.0999	-0.1131	-0.1253	-0.1359
	α_{10}	0.1839	0.1521	0.1270	0.1069	0.0905	0.0770	0.0658
	α_{11}	0.2034	0.2229	0.2398	0.2535	0.2636	0.2698	0.2718
	α_{12}	0.1716	0.1878	0.2017	0.2130	0.2214	0.2265	0.2282
	α_{13}	1.5865	-1.1935	-0.9178	-0.7189	-0.5717	-0.4606	-0.3750
	α_{14}	-0.3627	-0.3286	-0.2950	-0.2623	-0.2309	-0.2011	-0.1731
	α_{15}	0.2024	0.1967	0.1923	0.1891	0.1869	0.1856	0.1851
	α_{16}	-0.0513	-0.0658	-0.0826	-0.1018	-0.1233	-0.1471	-0.1731
1.20	α_1	0.5112	0.4681	0.4343	0.4075	0.3864	0.3696	0.3566
	α_2	-0.3362	-0.3333	-0.3329	-0.3350	-0.3396	-0.3467	-0.3566
	α_3	-0.1750	-0.1348	-0.1014	-0.0725	-0.0468	-0.0226	0
	α_4	1.8193	1.4096	1.1223	0.9153	0.7626	0.6478	0.5601
	α_5	0.3222	0.3409	0.3659	0.3982	0.4395	0.4923	0.5601
	α_6	-0.4328	-0.3803	-0.3366	-0.2996	-0.2676	-0.2396	-0.2148
	α_7	-0.1404	-0.1466	-0.1498	-0.1498	-0.1468	-0.1409	-0.1326
	α_8	0.2291	0.2117	0.1958	0.1811	0.1673	0.1542	0.1418
	α_9	-0.0580	-0.0708	-0.0841	-0.0975	-0.1103	-0.1222	-0.1326
	α_{10}	0.2038	0.1685	0.1408	0.1185	0.1003	0.0854	0.0729
	α_{11}	0.1984	0.2174	0.2339	0.2473	0.2571	0.2631	0.2652
	α_{12}	0.1766	0.1933	0.2076	0.2193	0.2278	0.2331	0.2348
	α_{13}	-1.6219	-1.2178	-0.9347	-0.7308	-0.5803	-0.4668	-0.3795
	α_{14}	-0.3538	-0.3205	-0.2877	-0.2559	-0.2522	-0.1961	-0.1688
	α_{15}	0.1974	0.1918	0.1876	0.1844	0.1823	0.1810	0.1806
	α_{16}	-0.0500	-0.0642	-0.0806	-0.0993	-0.1202	-0.1435	-0.1688

附录 G 单、双孔圆端形、椭圆形沉井的内力计算

G.0.1 单孔、双孔圆端形沉井井壁计算简图如图 G.0.1 所示，各截面内力按公式 G.0.1 计算。

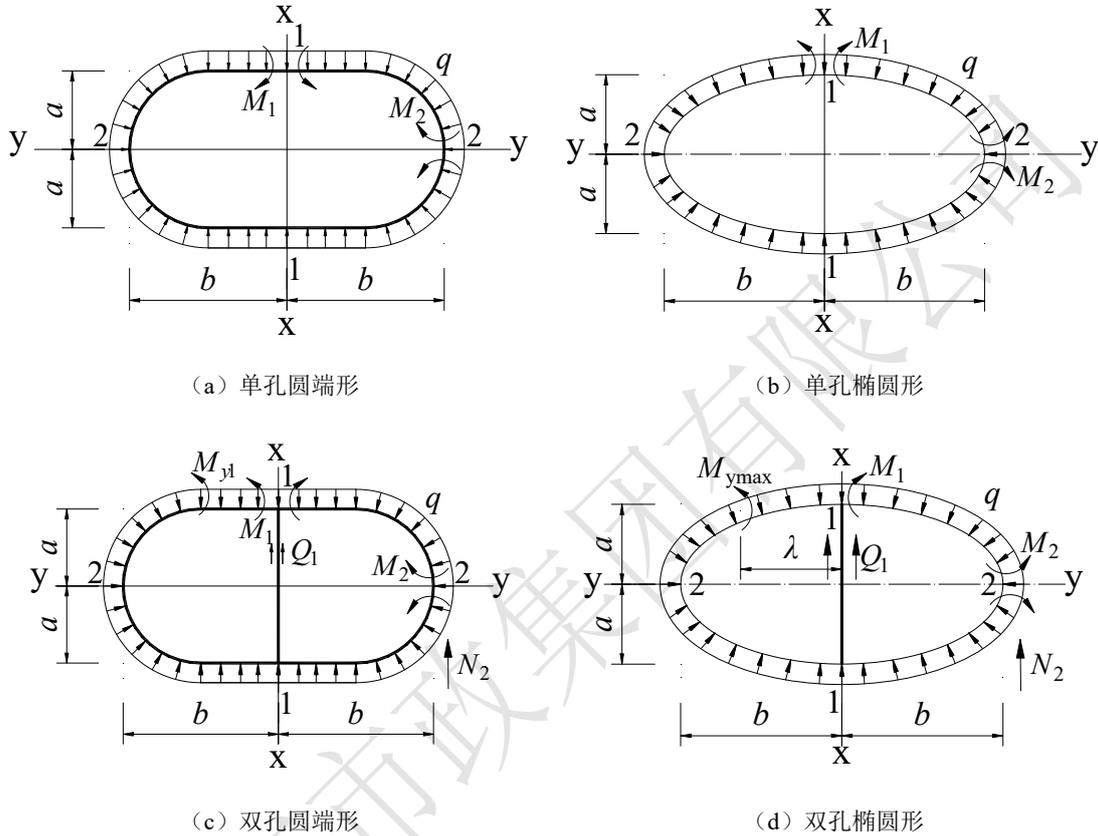


图 G.0.1 单孔、双孔圆端形沉井井壁计算简图

1 单孔圆端形、椭圆形沉井跨中弯矩按公式 G.0.1-1 计算：

$$M_i = kqa^2 \quad (\text{G.0.1-1})$$

式中： M_i ——跨中弯矩（kN·m）

k ——内力系数，按表 G.0.1 取值。

q ——均布水土荷载（kN/m）

a ——圆端半径（m）

2 双孔圆端形沉井内力按公式 G.0.1-2~5 计算。

$$M_i = kqb^2 \quad (\text{G.0.1-2})$$

$$Q_1 = kqb \quad (\text{G.0.1-3})$$

$$N_2 = kqb \quad (\text{G.0.1-4})$$

$$\lambda = kb \quad (\text{G.0.1-5})$$

式中： M_i ——特征点弯矩（kN·m）；

Q_1 ——中隔墙端部剪力（kN）；

N_2 ——中隔墙轴力（kN）；

b ——沉井总长度的一半（m）；

λ ——最大弯矩处与沉井中心的距离（m）。

表 G.0.1 组合形平面框架内力系数 k

名称	图形	a/b	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
单孔圆端形	a	M_1	0	0.072	0.166	0.293	0.484	0.759	1.247	2.235
		M_2	0	-0.045	-0.115	-0.227	-0.405	-0.741	-1.738	-2.821
单孔椭圆形	b	M_1	0	0.0571	0.1329	0.2375	0.3902	0.6299	1.0492	1.9169
		M_2	0	-0.0602	0.1484	-0.2829	-0.4987	-0.8701	-1.5785	-3.1387
双孔圆端形	c	Q_1	0	0.0993	0.1945	0.2821	0.3590	0.4230	0.4720	0.5049
		N_2	1	0.9007	0.8055	0.7179	0.6410	0.5770	0.5280	0.4951
		M_1	0	-0.0044	0.0157	-0.0307	-0.0471	-0.0628	-0.0760	-0.0854
		M_2	0	-0.0001	-0.0012	-0.0036	-0.0081	-0.0148	-0.0240	-0.0355
		$M_{y\max}$	0	0.0005	0.0033	0.0091	0.0173	0.0267	0.0354	0.0420
双孔椭圆形	d	Q_1	0	0.1058	0.1991	0.2797	0.3484	0.4050	0.4489	0.4760
		N_2	1	0.8942	0.8009	0.7203	0.6516	0.5950	0.5511	0.5240
		M_1	0	-0.0200	-0.0371	-0.0514	-0.0635	-0.0733	0.0791	-0.0826
		M_2	0	-0.0092	-0.0180	-0.0267	-0.0351	-0.0433	-0.0502	-0.0616
		$M_{y\max}$	0	0.0095	0.0180	0.0253	0.0313	0.0360	0.0408	0.0419
		λ		0.5578	0.5531	0.5484	0.5444	0.5400	0.5344	0.5277

注：1. q 为井壁外水土压力（kN/m²）；

2. 弯矩 M 值，+表示内侧受拉，-表示外侧受拉。

附录 H 顶管沉井主动、被动土压力合力计算公式

H.0.1 顶管沉井主动土压力、被动土压力标准值按表 H.0.1 所示公式计算。

表 H.0.1 土压力标准值计算公式

形状		计算公式
圆形	主动土压力	$E_{ep,k} = 2R \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2Hc \sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \right)$ $K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$
	被动土压力	$E_{pk} = \gamma H^2 R (0.89 K_p + 0.11 (1 - \sin \varphi)) + 3.56 R H c \sqrt{K_p}$ $K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$
矩形	主动土压力	$E_{ep,k} = \left[\frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + 2cH \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{2c^2}{\gamma} \right] B$
	被动土压力	$E_{pk} = \left[\frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2cH \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right] B$

注： γ ——土的重度（KN/m³）；

H ——后背墙外天然土壁的高度（m）；

φ ——土层的内摩擦角（°）；

c ——土的粘聚力（KN/m²）；

B ——沉井顶力方向对应外壁宽度（m）；

R ——沉井外壁直径（m）。

附录 J 多孔矩形沉井外壁水平弯矩计算

J.0.1 多孔矩形沉井井壁计算简图如图 J.0.1 所示，各截面弯矩按公式 J.0.1 计算。

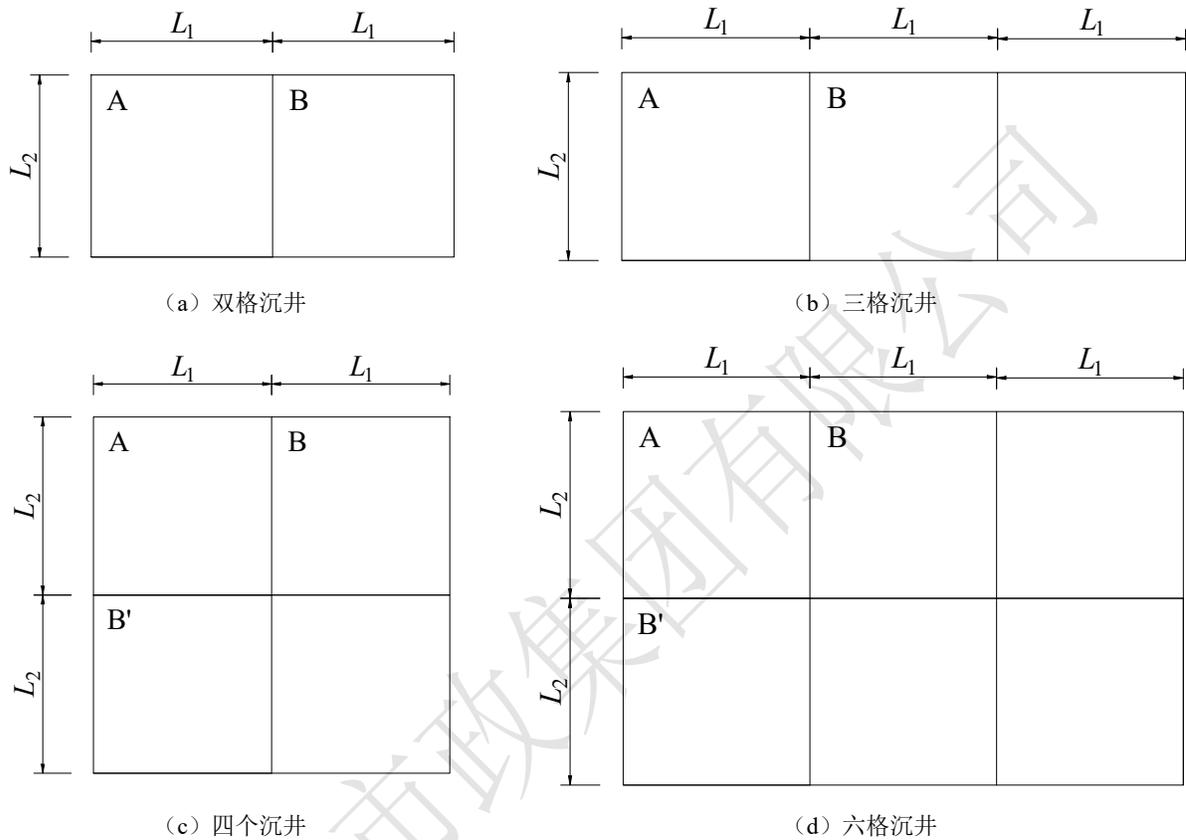


图 J.0.1 多孔沉井计算简图

$$M_i = \lambda \frac{pL_1^2}{12} \quad (\text{J.0.1})$$

式中： M_i ——截面弯矩（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

λ ——内力系数，按表 J.0.1 取值；

q ——井壁外水土压力（ kN/m ）；

L_1 ——矩形沉井长度（ m ）。

表 J.0.1 多孔矩形沉井外壁水平弯矩系数表 λ

沉井平面图形	M_A	M_B	M'_B	乘数
a	$-\frac{2K^3 + 1}{2K + 1}$	$-\frac{1 + 3K - K^3}{2K + 1}$		$-\frac{pL_1^2}{12}$

b	$\frac{K^3+1}{K+1}$	$\frac{2+3K-K^3}{2(K+1)}$	$\frac{2K^3+3K^2-1}{2(K+1)}$	$\frac{pL_1^2}{12}$
c	$\frac{5K^3+3}{5K+3}$	$\frac{3+6K-K^3}{5K+3}$		$\frac{pL_1^2}{12}$
d	$\frac{5K^3+6}{5K+6}$	$\frac{6+6K-K^3}{5K+6}$	$\frac{5K^3+9K^2-3}{5K+6}$	$\frac{pL_1^2}{12}$

注：1. $K=L_2/L_1$;

2. 负号表示外壁受拉；

3. 跨中弯矩可用结构力学方法求取，等于 $pL_1^2/8$ 减去两端支座弯矩的平均值。

广州市市政集团有限公司

附录 K 刚性沉井基础的水平位移及作用效应计算

K.0.1 本附录适用于 $ah \leq 2.5d$ 刚性沉井基础的的水平位移及作用效应计算，对支承在非岩石上和岩石上的深基础，可分别采用表 K.0.1-1 和 K.0.1-2 方法计算。

表 K.0.1-1 支承在非岩石上的刚性沉井基础水平位移及作用效应计算方法

计算图示	当水平力 H 与偏心竖向力 N 共同作用时	当仅有偏心竖向力 N 时
计算图示		
基础转角	$\omega = \frac{6H}{Amh}$	$\omega = \frac{2\beta(Ne)}{mhB} = \frac{2\beta M}{mhB}$
基础旋转中心至地面或局部冲刷线的距离	$z_0 = \frac{\beta b_1 h^2 (4\lambda - h) + 6dW_0}{2\beta b_1 h (3\lambda - h)}$	$z_0 = \frac{2h}{3}$
地面或局部冲刷线以下深度 z 处基础截面上的弯矩	$M_z = H(\lambda - h + z) - \frac{Hb_1 z^3}{2hA} (2z_0 - z)$	$M_z = M_1 - \frac{\beta M b_1 z^3}{6Bh} (2z_0 - z)$
地面或局部冲刷线以下深度 z 处基础侧面水平压力	$P_z = \frac{6H}{Ah} z(z_0 - z)$	$P_z = \frac{2\beta M}{Bh} z(z_0 - z)$
基础底面的竖向压力	$P_{\min}^{\max} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{3dH}{A\beta}$	$P_{\min}^{\max} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{dM}{B}$
表内系数	$A = \frac{\beta b_1 h^3 + 18dW_0}{2\beta(3\lambda - h)};$ $B = \frac{1}{18} \beta b_1 h^3 + dW_0;$ $\beta = \frac{mh}{c_0} = \frac{mh}{m_0 h} = \frac{m}{m_0}, \quad \lambda = \frac{\sum M}{H}$	

注： β ——深度 h 处基础侧面的地基系数与基础底面土的地基系数之比，当基础底面置于非岩石类土上时， m 、 m_0 以及

当置于岩石上时的 c_0 按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的相关规定取值；

λ ——底面或局部冲刷线以上所有水平力和竖向力对基础底面重心总弯矩与水平力合力之比 (m)；

d ——水平力作用面 (垂直于水平力作用方向) 的基础直径或宽度 (m)；

W_0 ——基础底面的边缘弹性抵抗矩 (m^3)；

b_1 ——基础的计算宽度 (m)；

A_0 ——基础底面积 (m^2)；

N ——基础底面处竖向力标准值 (包括基础自重) (kN)；

e ——基础底面处竖向力偏心距 (m)

M ——基础底面处竖向力偏心弯矩标准值 (kN·m)

N_1 ——基础 z 深度截面处的竖向力 (包括 z 以上基础自重) (kN)

M_1 ——由竖向力 N_1 (包括 z 以上基础自重) 在基础 z 深度截面处产生的偏心弯矩 (kN·m), $M_1=N_1 \cdot e_1$, e_1 为深度 z 处 N_1 偏心距; 当基础形状对称时, $M_1=N_1 \cdot e$ 。

K.0.1-2 支承在岩石上的刚性沉井基础水平位移及作用效应计算方法

计算图示	当水平力 H 与偏心竖向力 N 共同作用时	当仅有偏心竖向力 N 时
基础转角	$\omega = \frac{H}{mhD_0}$	$\omega = \frac{Ne}{D_1mh} = \frac{M}{D_1mh}$
基础旋转中心至地面或局部冲刷线的距离	$z_0 = h$	$z_0 = h$
地面或局部冲刷线以下深度 z 处基础截面上的弯矩	$M_z = H(\lambda - h + z) - \frac{Hb_1z^3}{12hD_0}(2h - z)$	$M_z = M_1 - \frac{Mb_1z^3}{12D_1h}(2h - z)$
地面或局部冲刷线以下深度 z 处基础侧面水平压力	$P_z = \frac{H}{D_0h}z(h - z)$	$P_z = \frac{M}{D_1h}z(h - z)$
基础底面的竖向压力	$P_{\max/\min} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{dH}{2\beta D_0}$	$P_{\max/\min} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{dM}{2\beta D_1}$

基础嵌固处水平力	$H_1 = H \left(\frac{b_1 h^2}{6D_0} - 1 \right)$	$H_1 = b_1 \frac{h^2 M}{6D_1}$
表内系数	$D_0 = \frac{\beta b_1 h^3 + 6d \cdot W_0}{12\beta\lambda};$ $D_1 = \frac{\beta b_1 h^3 + 6d \cdot W_0}{12\beta};$ $\beta = \frac{mh}{c_0} = \frac{mh}{m_0 h} = \frac{m}{m_0}, \quad \lambda = \frac{\sum M}{H}$	

注：符号意义同 K.0.1-1。

K.0.2 为了保证基础在土中有可靠的嵌固，基础侧面水平压力 P_z 应满足下列条件：

$$\begin{cases} p_{h/3} \leq \frac{4}{\cos \varphi} \left(\frac{\gamma}{3} h \tan \varphi + c \right) \eta_1 \eta_2 \\ p_h \leq \frac{4}{\cos \varphi} (\gamma h \tan \varphi + c) \eta_1 \eta_2 \end{cases} \quad (\text{K.0.2})$$

式中： $p_{h/3}$ —— $z=h/3$ 深度处的水平压力；

p_h —— $z=h$ 深度处的水平压力；

φ 、 γ 、 c —— 土的内摩擦角、重度、粘聚力；对透水性土， γ 取浮重度，在验算深度范围内有数层土时，取各层土的加权平均值；

η_1 —— 系数，对外超静定推力拱桥的墩台 $\eta_1=0.7$ ，其他结构体系的墩台 $\eta_1=1.0$ ；

η_2 —— 考虑结构重力在总荷载中所占百分比的系数， $\eta_2=1-0.8M_g/M$ ；

M_g —— 结构自重对基础底面重心产生的弯矩；

M —— 全部荷载对基础底面重心产生的总弯矩。

K.0.3 墩台顶面水平位移计算采用下式计算：

$$\Delta = k_1 \omega z_0 + k_2 \omega l_0 + \delta_0 \quad (\text{K.0.3})$$

式中： l_0 —— 底面或局部冲刷线至墩台顶面的高度；

δ_0 —— 在 l_0 范围内墩台身与基础变形产生的墩台顶面水平位移；

k_1 、 k_2 —— 考虑基础刚性影响的系数，按表 K.0.3 采用。

表 K.0.3 k_1 、 k_2 系数

换算深度 $\bar{h} = \alpha h$	系数	λ/h				
		1	2	3	5	∞
1.6	k_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

	k_2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
1.8	k_1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
	k_2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
2.0	k_1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2
	k_2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4
2.2	k_1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
	k_2	1.2	1.5	1.6	1.6	1.7
2.4	k_1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3
	k_2	1.3	1.8	1.9	1.9	2.0
2.5	k_1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4
	k_2	1.4	1.9	2.1	2.2	2.3

注：1. $\alpha h < 1.6$, $k_1 = k_2 = 1.0$;

2. 当仅有偏心竖向力作用时, $\lambda/h \rightarrow \infty$ 。

K.0.4 悬索桥锚定在运营阶段的水平变位不宜大于 0.0001 倍的主跨跨径。竖向变位不宜大于 0.0002 倍的主跨跨径。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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

- 1 《爆破安全规程》 GB 6722
- 2 《城市轨道交通工程监测技术规范》 GB 50911
- 3 《沉井与气压沉箱施工规范》 GB/T 51130
- 4 《沉井与气压沉箱施工技术规范》 DG/TJ 08-2084
- 5 《船舶用气囊上排、下水工艺要求》 CB/T 3837
- 6 《船舶与海上技术 船舶下水用气囊》 GB/T 33487
- 7 《地下防水工程施工质量验收规范》 GB 50208
- 8 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 9 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 10 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 11 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 12 《钢结构工程质量检验评定标准》 GB 50221
- 13 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 14 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 15 《港口工程荷载规范》 JTS 144-1
- 16 《港口与航道水文规范》 JTS 145
- 17 《钢围堰工程技术标准》 GBT 51295
- 18 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》 CECS 137
- 19 《给水排水工程构筑物结构设计规范》 GB 50069
- 20 《工业控制系统信息安全》 GB/T 30976
- 21 《工作场所职业病危害警示标识》 GBZ 158
- 22 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTG 3362
- 23 《公路工程技术标准》 JTG B01
- 24 《公路工程抗震规范》 JTG B02
- 25 《公路桥涵地基与基础设计规范》 JTG 3363

- 26 《公路桥梁抗震设计规范》 JTG/T 2231-01
- 27 《公路桥梁抗撞设计规范》 JTG/T 3360-02
- 28 《构筑物抗震设计规范》 GB 50191
- 29 《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》 JTS153-3
- 30 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》 JTJ 275
- 31 《滑动模板工程技术标准》 GB/T 50113
- 32 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 33 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB T 50476
- 34 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 35 《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
- 36 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202
- 37 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 38 《建筑工程抗浮技术标准》 JGJ 476
- 39 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 40 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 41 《建筑施工模板安全技术规范》 JGJ 162
- 42 《建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准》 JGJ 184
- 43 《码头结构设计规范》 JTS 167
- 44 《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》 GB 50032
- 45 《水电水利工程沉井施工技术规程》 DL/T 5702
- 46 《水运工程测量规范》 JTS 131
- 47 《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》 JTS 202-1
- 48 《水运工程混凝土结构设计规范》 JTS 151
- 49 《水运工程混凝土施工规范》 JTS 202
- 50 《水运工程混凝土质量控制标准》 JTS 202-2
- 51 《水运工程结构耐久性设计标准》 JTS 153
- 52 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 53 《铁路桥涵地基和基础设计规范》 TB 10093

- 54 《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002
- 55 《信息安全技术—网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239
- 56 《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》GB/T 22080
- 57 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 58 《组合钢模板技术规范》GB/T 50214

广州市市政集团有限公司

中国工程建设标准化协会标准

沉井工程技术规程

T/CECS XXX-202X

条文说明

广州市市政集团有限公司

目 次

1	总则	11
2	术语与符号	12
2.1	术语	12
2.2	符号	13
3	基本规定	20
4	岩土工程勘察	21
4.1	一般规定	21
4.2	工程地质勘察	22
4.3	水文地质勘察	24
4.4	勘察成果	25
5	设计	27
5.1	一般规定	27
5.2	方案设计	30
5.3	设计计算内容	38
5.4	承载能力极限状态计算	41
5.5	正常使用极限状态计算	45
5.6	沉井稳定性计算	47
5.7	沉井结构计算	66
5.8	沉井构造设计	92
5.9	材料和耐久性设计	101
6	陆域沉井施工	106
6.1	一般规定	106
6.2	制作	108
6.3	取土	115
6.4	下沉	118
6.5	接高	124
6.6	封底、底板与填仓	125

6.7	顶板施工	127
6.8	质量检验	128
7	水域沉井施工	131
7.1	一般规定	131
7.2	制作	132
7.3	出运	134
7.4	浮运	139
7.5	定位与下沉	141
7.6	接高	143
7.7	质量检验	143
8	监控	146
8.1	一般规定	146
8.2	监测内容和方法	147
8.3	预警	148
8.4	监测资料编制	149
9	安全与环境保护	150
9.1	一般规定	150
9.2	机械设备使用	151
9.3	临时用电管理	151
9.4	临边防护	152
9.5	有限空间安全措施	153
9.6	水上作业安全措施	154
9.7	环境保护	155
9.8	智能监控设备	157
	附录 A 荷载与作用	158
	附录 B 分项系数取值及作用组合	176
	附录 C 裂缝宽度及变形限值	181
	附录 D 沉井刃脚计算	184

附录 E 圆形沉井倾斜状态的内力计算.....	189
附录 F 带中隔墙圆形沉井的内力计算.....	193
附录 G 单、双孔圆端形、椭圆形沉井的内力计算.....	198
附录 H 顶管沉井主动、被动土压力合力计算公式.....	200
附录 J 多孔矩形沉井外壁水平弯矩计算.....	201
附录 K 刚性沉井基础的水平位移及作用效应计算.....	203
本规程用词说明.....	207
引用标准名录.....	208
条文说明.....	211

广州市市政集团有限公司