



CECS 137 : 2015

中国工程建设协会标准

给水排水工程钢筋混凝土 沉井结构设计规程

Specification for structural design of reinforced concrete
sinking well of water supply and sewerage engineering

中国计划出版社

中国工程建设协会标准

给水排水工程钢筋混凝土
沉井结构设计规程

Specification for structural design of reinforced concrete
sinking well of water supply and sewerage engineering

CECS 137 : 2015

主编单位：上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 1 5 年 7 月 1 日

中国计划出版社

2015 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 197 号

关于发布《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2008 年工程建设协会标准制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标协字〔2008〕98 号)的要求,由上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司等单位全面修订的《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》,经本协会贮藏构筑物专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 137 : 2015,自 2015 年 7 月 1 日起施行。原《混凝土水池软弱地基处理设计规范》CECS 137 : 2002 同时废止。

中国工程建设标准化协会

二〇一五年四月十六日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2008年工程建设协会标准制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标协字〔2008〕98号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结近年来国内外给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计的工程实践经验,与国内相关标准协调,并在广泛征求意见的基础上,修订了《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》。

《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》是我国唯一的一本沉井设计方面的专项标准。自颁布实施以来得到了广泛应用。本次修编总结了该规程近十年来的应用情况,吸收了国内的工程实践经验,并参考了国内外相关资料,对原规程做了充实和完善。特别是圆形沉井的水平受力,通过沉井下沉过程中倾斜状态的受力分析研究,对沉井结构设计公式做了补充。

本规程共分7章和4个附录,主要内容包括:总则,术语和符号,材料,结构上的作用,基本设计规定,沉井下沉和结构计算,构造要求等。

本规程修订的主要技术内容是:

1. 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对第6.1.13条沉井水下封底混凝土厚度的计算公式(6.1.13)作了相应调整;
2. 第6.2.2条沉井刃脚向外弯曲的计算,可以考虑沉井自重 N_1 的作用,按压弯构件进行配筋计算;
3. 第6.2.3条圆形沉井水平配筋计算,根据不同土质情况,可按两种模式计算;
4. 第6.2.9条圆形板的计算内容由正文改为列入附录C;

5. 第 7.2.4 条刃脚构造增加了(f)形;

6. 附录 B 圆形沉井倾斜状态的内力计算新增内容,是全新的圆形沉井计算模式。

本规程由中国工程建设标准化协会贮藏构筑物委员会(CECS/TC10)归口管理,由上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料径寄解释单位(上海市中山北二路 901 号,邮政编码:200092)。

主编单位:上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

参编单位:上海基础工程有限公司

湖北省电力勘测设计院

主要起草人:葛春辉 陈 顺 彭夏军 王恒栋 王广平

王荣文 周质炎 姜春辉 方国和 董亚军

徐 俊 强 健 王建伟

主要审查人:沈世杰 苏发怀 郭天木 王乃震 舒亚俐

范民权 李耀良 徐 震

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(2)
3	材 料	(4)
4	结构上的作用	(6)
4.1	作用分类和作用代表值	(6)
4.2	永久作用标准值	(6)
4.3	可变作用标准值和准永久值系数	(8)
5	基本设计规定	(12)
5.1	一般规定	(12)
5.2	承载能力极限状态计算	(13)
5.3	正常使用极限状态验算	(15)
6	沉井下沉和结构计算	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	圆形沉井	(24)
6.3	矩形沉井	(31)
7	构造要求	(36)
7.1	一般规定	(36)
7.2	基本构造	(36)
附录 A	钢筋混凝土沉井结构构件处于受弯或大偏心 受拉(压)状态时的最大裂缝宽度计算	(42)
附录 B	圆形沉井倾斜状态的内力计算	(45)
附录 C	带中隔墙圆形沉井的内力计算	(49)

附录 D 圆形沉井底板在均布荷载作用下的弯矩计算	(55)
本规程用词说明	(57)
引用标准名录	(58)
附:条文说明	(59)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(2)
3	Materials	(4)
4	Structure on the action	(6)
4.1	Effect of classification and representative value	(6)
4.2	Characteristic value of permanent action	(6)
4.3	Value of variable action and quasi-permanent value of the coefficient	(8)
5	Basic design requirements	(12)
5.1	General requirements	(12)
5.2	Ultimate limit states	(13)
5.3	Serviceability limit states	(15)
6	Sinking and structural calculation	(18)
6.1	General requirements	(18)
6.2	Circular sinking well	(24)
6.3	Rectangular sinking well	(31)
7	Detailing requirements	(36)
7.1	General requirements	(36)
7.2	Basic detailing	(36)
Appendix A	Calculation for maximum crack of reinforced concrete sinking well structure section under flexural or large eccentricity	

	tensile state	(42)
Appendix B	Internal force calculation of circular sinking well tilt state	(45)
Appendix C	The calculation of internal forces of circular sinking well with partition	(49)
Appendix D	Circular sinking well bottom plate under uniform bending huge load calculation	(55)
	Explanation of wording in this specification	(57)
	List of quoted standards	(58)
	Addition; Explanation of provisions	(59)

1 总 则

1.0.1 为在给水处理工程钢筋混凝土沉井结构设计中贯彻国家的技术政策,力求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于给水处理工程中各类钢筋混凝土沉井结构的设计。

1.0.3 给水处理工程钢筋混凝土沉井结构设计,除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 沉井 sinking well

在地面制作后,从井内部取土下沉至预定标高的结构。

2.1.2 干式沉井 dry sinking well

使用时井内无水的沉井。

2.1.3 刃脚 cutting curb

沉井壁板下端带有斜面的部分,用于支承沉井重量和切土下沉。

2.1.4 排水下沉 sinking by drainage

沉井下沉过程中,在取土作业时排除井内积水。

2.1.5 不排水下沉 sinking without drainage

沉井下沉过程中,在取土作业时不排除井内积水。

2.2 符 号

2.2.1 作用、作用效应和抗力:

$E_{ep,k}$ ——主动土压力合力标准值;

E_{pk} ——被动土压力合力标准值;

f_k ——井壁外侧土的摩阻力标准值;

$F_{ep,k}$ ——主动土压力标准值;

F_{pk} ——被动土压力标准值;

$F_{dw,k}$ ——流水压力标准值;

$F_{fw,k}$ ——水的浮托力标准值;

R ——结构构件抗力设计值;

ω_{max} ——混凝土构件的最大裂缝宽度。

2.2.2 材料性能：

F_i ——混凝土的抗冻等级；

P_i ——混凝土的抗渗等级。

2.2.3 几何参数：

h_i ——沉井水下封底混凝土厚度；

h_1 ——刃脚斜面垂直高度；

h_f ——顶管顶力至刃脚底部的距离；

H ——沉井入土深度；

r_c ——圆形沉井井壁中心半径。

2.2.4 设计系数：

k_a ——主动土压力系数；

k_p ——被动土压力系数；

k_{st} ——下沉系数；

$k_{st,s}$ ——下沉稳定系数；

k_{fw} ——抗浮系数；

k_s ——抗滑移系数；

k_{ov} ——抗倾覆系数。

3 材 料

3.0.1 沉井结构的混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。干式沉井主体结构的混凝土强度等级不应低于 C25,湿式沉井主体结构的混凝土强度等级不应低于 C20。

3.0.2 水下封底混凝土强度等级不宜低于 C20。

3.0.3 凡有抗渗要求的沉井,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 3.0.3 的规定。

表 3.0.3 混凝土抗渗等级 P_i

最大水头与混凝土壁板厚度的比值 i_w	抗渗等级 P_i
<10	P4
10~30	P6
>30	P8

注:混凝土抗渗等级 P_i 系指,龄期为 28d 的混凝土试件,施加 $i \times 0.1$ MPa 水压力后满足不渗水的指标,其中 i 为 4、6、8。

3.0.4 最冷月平均气温低于 -3°C 的地区,外露的井壁混凝土应具有良好的抗冻性能,并按表 3.0.4 的规定采用。抗冻混凝土用水泥不得采用火山灰硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。

表 3.0.4 混凝土抗冻等级 F_i

最冷月平均气温	冻融循环次数	
	≥ 100	<100
$< -10^\circ\text{C}$	F300	F250
$-3^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$	F250	F200

注:1 混凝土抗冻等级 F_i 系指,龄期为 28d 的混凝土试件,在进行相应冻融循环总次数 i 次作用后,其强度降低不大于 25%,重量损失不超过 5%;

2 气温应根据连续 5 年以上的实测资料,统计其平均值确定;

- 3 冻融循环总次数系指一年内气温从 $+3^{\circ}\text{C}$ 以上降至 -3°C 以下,然后回升至 $+3^{\circ}\text{C}$ 以上的交替次数;对于地表水取水头部,尚应考虑一年中月平均气温低于 -3°C 期间,因水位涨落而产生的冻融交替次数,此时水位每涨落一次应按一次冻融计算。

3.0.5 当沉井混凝土满足抗渗要求时,可不做外加的抗渗处理;当地下水和井内贮水对混凝土和钢筋具有腐蚀性时,应按国家现行有关标准规定或进行专门试验确定防腐措施。

3.0.6 沉井混凝土的碱含量最大值应符合现行协会标准《混凝土碱含量限值标准》CECS 53 的规定,混凝土的最大氯离子含量应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.0.7 沉井结构的混凝土可根据需要适当采用外加剂。当采用外加剂时,应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

3.0.8 普通钢筋应选用 HPB300、HRB 400 和 HRB 500 钢筋,对必须进行裂缝宽度验算的构件宜优先选用变形钢筋。

3.0.9 沉井结构的混凝土及钢筋的力学性能指标,应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。

4 结构上的作用

4.1 作用分类和作用代表值

4.1.1 沉井结构上的作用可分为永久作用和可变作用两类。永久作用应包括结构自重、土的侧向压力、沉井内的静水压力；可变作用应包括沉井顶板和平台活荷载、地面活荷载、地下水压力（侧压力、浮托力）、顶管的顶力、流水压力、融流冰块压力等。

4.1.2 沉井结构设计时，不同荷载应采用不同的代表值，对永久荷载，应采用标准值作为代表值；

对可变荷载，应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。

4.1.3 当结构承受两种或两种以上可变作用，承载能力极限状态按作用效应基本组合计算或正常使用极限状态按作用效应标准组合验算时，应采用标准值和组合值作为可变作用代表值。可变作用组合值应为可变作用的标准值乘以作用组合值系数。

4.1.4 当正常使用极限状态按作用效应准永久组合验算时，应采用准永久值作为可变作用代表值。可变作用准永久值应为可变作用的标准值乘以准永久值系数。

4.2 永久作用标准值

4.2.1 结构自重的标准值，可按结构构件的设计尺寸与相应材料的重度计算确定，钢筋混凝土重度可取 25kN/m^3 ，素混凝土重度可取 $22\text{kN/m}^3 \sim 24\text{kN/m}^3$ 。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。

4.2.2 作用在沉井壁上的侧向主动土压力标准值，应按下列规定

确定:

1 对地面水平,地下水位以上的主动土压力标准值应按下列公式计算:

砂性土:

$$F_{ep,k} = k_a \gamma_s z \quad (4.2.2-1)$$

黏性土:

$$F_{ep,k} = k_a \gamma_s z - 2c \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.2.2-2)$$

$$k_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.2.2-3)$$

式中: $F_{ep,k}$ ——地下水位以上的主动土压力标准值(kN/m²);

k_a ——主动土压力系数;

ϕ ——土的内摩擦角;

γ_s ——土的重度(kN/m³);

z ——自地面至计算截面处的深度(m)。

2 对地面水平,地下水位以下的主动土压力标准值应按下列式计算:

$$F'_{ep,k} = k_a [\gamma_s z_w + \gamma'_s (z - z_w)] \quad (4.2.2-4)$$

式中: $F'_{ep,k}$ ——地下水位以下的主动土压力标准值(kN/m²);

z_w ——自地面至地下水位距离(m);

γ'_s ——地下水位以下土的有效重度,可按10kN/m³采用。

3 对地面水平,多层土层的主动土压力标准值应按下列式计算:

$$F_{epn,k} = k_{an} \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_{si} h_i + k_{an} \gamma_{sn} \left(z_n - \sum_{i=1}^{n-1} h_i \right) \quad (4.2.2-5)$$

式中: $F_{epn,k}$ ——第 n 层土层中,距地面 z_n 深度处的主动土压力标准值(kN/m²);

γ_{si} ——第 i 层土的重度(kN/m³),当位于地下水位以下时取有效重度;

γ_{an} ——第 n 层土的重度 (kN/m^3), 当位于地下水位以下时取有效重度;

h_i ——第 i 层土的厚度 (m);

k_{an} ——第 n 层土的主动土压力系数;

z_n ——自地面至第 n 层土计算截面处的深度 (m)。

4.2.3 作用在沉井壁上的侧向被动土压力标准值, 应按下列规定确定:

1 对地面水平, 地下水位以上的被动土压力标准值应按下列公式计算:

$$F_{pk} = k_p \gamma_s z \quad (4.2.3-1)$$

$$k_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.2.3-2)$$

式中: F_{pk} ——地下水位以上的被动土压力标准值 (kN/m^2);

k_p ——被动土压力系数。

2 对地面水平, 地下水位以下的被动土压力标准值应按下列公式计算:

$$F'_{pk} = k_p [\gamma_s z_w + \gamma'_s (z - z_w)] \quad (4.2.3-3)$$

式中: F'_{pk} ——地下水位以下的被动土压力标准值 (kN/m^2)。

3 对地面水平, 多层土层的被动土压力标准值应按下列公式计算:

$$F_{pn,k} = k_{pn} \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i h_i + k_{pn} \gamma_n \left(z_n - \sum_{i=1}^{n-1} h_i \right) \quad (4.2.3-4)$$

式中: $F_{pn,k}$ ——第 n 层土层中, 距地面 z_n 深度处的被动土压力标准值 (kN/m^2);

k_{pn} ——第 n 层土的被动土压力系数。

4.2.4 沉井内的静水压力应按设计水位计算。清水的重度可取 $10\text{kN}/\text{m}^3$; 污水的重度根据水质可取 $10\text{kN}/\text{m}^3 \sim 10.8\text{kN}/\text{m}^3$ 。

4.3 可变作用标准值和准永久值系数

4.3.1 沉井顶板和平台的活荷载标准值应根据实际情况确定。

当无特殊要求时可取 4.0kN/m^2 ，准永久值系数可取 0.4。

4.3.2 地面活荷载作用在沉井壁上的侧压力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土层的主动土压力系数；
- 4 地面堆积荷载和地面车辆荷载作用在沉井井壁上的侧压力标准值取二者中的较大值，准永久值系数可取 0。

4.3.3 地下水(包括上层滞水)对沉井作用的标准值和准永久值系数应符合下列规定：

- 1 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。当取最低水位时，相应的准永久值系数应取 1.0；当取最高水位时，相应的准永久值系数可取平均水位与最高水位的比值；
- 4 地下水对沉井浮托力的标准值，应按最高水位乘以浮托力折减系数确定。浮托力折减系数，对非岩质地基取 1.0；对岩石地基按其破碎程度确定，当基岩面设置滑动层时取 1.0。

4.3.4 当沉井位于江心时，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 4.3.4)。流水压力的准永久值系数，应按本节第 4.3.3 条第 3 款的规定确定。

$$F_{d.w.k} = n_d k_l \frac{\gamma_w v_w^2}{2g} A \quad (4.3.4)$$

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 4.3.4-1 采用；

n_d ——淹没深度影响系数，按表 4.3.4-2 采用，对于非淹没式应为 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。

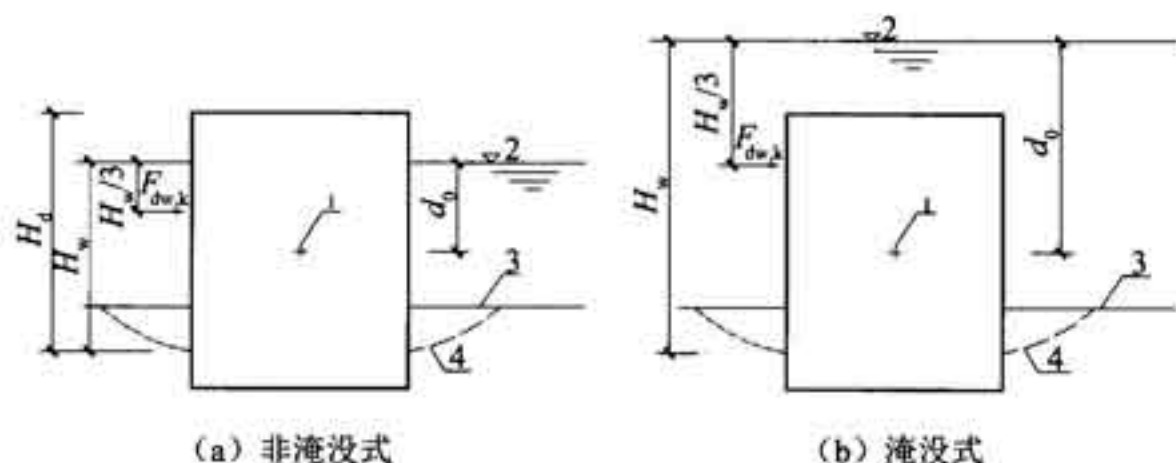


图 4.3.4 作用在沉井上的流水压力

1—沉井中心；2—设计水位；3—河床线；4—最低冲刷线

表 4.3.4-1 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 4.3.4-2 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 —沉井中心至水面的距离； H_d —沉井最低冲刷线至井顶的距离。

4.3.5 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式计算：

$$F_{ik} = m_h f_i b t_i \quad (4.3.5)$$

式中： F_{ik} ——沉井上融流冰块的压力标准值(kN)；

m_h ——沉井迎冰流面的体型系数，矩形时取 1.0；圆形时取 0.9，尖端形时按表 4.3.5 采用；

f_i ——冰的极限抗压强度(kN/m²)，初融流冰水位时按 750kN/m² 采用；

b ——作用面宽度(m)；

t_i ——冰厚(m)，按实际情况确定。

表 4.3.5 尖端形沉井体型系数 m_h

沉井迎水流面的角度	45°	60°	75°	90°	120°
m_h	0.60	0.65	0.69	0.73	0.81

2 融流冰块压力的准永久值系数，对东北地区 and 新疆北部地区可取 0.5；对其他地区可取 0。

4.3.6 当沉井作为顶管工作井时，作用在沉井上的顶力标准值应按国家现行有关标准或当地的经验公式确定，其准永久值系数可取 0.6。

4.3.7 对于有顶盖的江心沉井，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，其准永久值系数可取 0。

5 基本设计规定

5.1 一般规定

5.1.1 各类沉井结构构件均应按承载能力极限状态计算。

5.1.2 沉井结构按承载能力极限状态计算时,除结构整体稳定性验算外,其余均应采用分项系数设计表达式。

5.1.3 各类沉井结构构件的使用阶段均应按正常使用极限状态验算。对轴心受拉和小偏心受拉构件应按作用效应标准组合进行抗裂度验算;对受弯构件和大偏心受拉构件应按作用效应准永久组合进行裂缝宽度验算;对需要控制变形的结构构件应按作用效应准永久组合进行变形验算。

5.1.4 各种形式的沉井均应进行沉井下沉、下沉稳定性及抗浮稳定性验算,必要时尚应进行沉井结构的倾覆和滑移验算。

验算时抵抗力应只计永久作用(可变作用不应计入),参与组合的作用力均应采用标准值。沉井的工作特征设计系数应符合表 5.1.4 的规定。

表 5.1.4 沉井的工作特征设计系数

工作特征	设计系数
下沉	$k_{st} \geq 1.05$
下沉稳定	$k_{st} = 0.8 \sim 0.9$
抗滑动	$k_s \geq 1.30$
抗倾覆	$k_{ov} \geq 1.50$
抗上浮	$k_{fu} \geq 1.0$ (不计侧壁摩阻力) $k_{fu} \geq 1.15$ (计侧壁摩阻力)

注:稳定验算公式见沉井下沉及结构计算条款。

5.1.5 当用作建(构)筑物基础时,沉井的地基承载力和变形验

算,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

5.2 承载力极限状态计算

5.2.1 沉井结构构件按承载力极限状态计算时,应满足下式要求:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.2.1)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,沉井安全等级可取二级,重要性系数取 1.0;

S ——重要效应组合的设计值;

R ——结构构件抗力的设计值,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定确定。

5.2.2 沉井按承载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 强度计算的作用效应基本组合设计值应按下式计算:

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} C_{Qj} Q_{jk} \quad (5.2.2-1)$$

式中: γ_{Gi} ——第 i 个永久荷载的分项系数;

γ_{Q1} 、 γ_{Qj} ——分别为第一个和第 j 个可变荷载的分项系数;

G_{ik} ——第 i 个永久荷载的标准值;

Q_{1k} ——第一个可变荷载的标准值,取地表水或地下水的的作用作为第一个可变荷载;

Q_{jk} ——第 j 个可变荷载的标准值;

C_{Gi} 、 C_{Q1} 、 C_{Qj} ——分别为第 i 个永久荷载、第一个可变荷载和第 j 个可变荷载的荷载效应系数;

ψ_c ——可变荷载的组合值系数,取 0.9。

2 永久荷载分项系数应按表 5.2.2-1 的规定采用。

表 5.2.2-1 永久荷载分项系数

永久荷载类别	分项系数
结构自重	1.20; 当对结构有利时取 1.00
沉井内水压	1.27; 当对结构有利时取 1.00
沉井外土压	1.27; 当对结构有利时取 1.00

3 可变荷载分项系数应按表 5.2.2-2 的规定采用。

表 5.2.2-2 可变荷载分项系数

可变荷载类别	分项系数
顶板和平台活荷载	1.40
地面活荷载	1.40
地下水压力	1.27
顶管的顶力	1.30
流水压力	1.40
融流冰块压力	1.40

4 强度计算的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项目。不同工况的项目组合可按表 5.2.2-3 确定。

表 5.2.2-3 不同工况的作用组合

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_1	沉井外水压 Q_2	顶管顶力 Q_3	流水压力 Q_4	融流冰块压力 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	✓	✓	✓	✓	✓			

续表 5.2.2-3

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
江心 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。

5.3 正常使用极限状态验算

5.3.1 沉井结构构件按正常使用极限状态设计时,应分别按作用效应的标准组合或准永久组合进行验算。结构构件的变形、抗裂度和裂缝宽度计算值应满足相应的规定限值。

5.3.2 当沉井结构构件处于轴心受拉或小偏心受拉时,应控制抗裂度,并取作用效应的标准组合按下列规定确定:

1 对正常使用极限状态验算,作用效应标准组合的设计值应按下列式计算:

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + C_{Q1} Q_{1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (5.3.2)$$

式中: S_d ——作用效应组合设计值。

2 标准组合应根据沉井所处的不同环境及其工况按本规程表 5.2.2-3 选取。

5.3.3 当沉井结构构件处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉时,应控制裂缝宽度,并取作用效应的准永久组合按下列规定确定:

1 正常使用极限状态验算时,作用效应准永久组合的设计值应按下式计算:

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj} \psi_{Qj} Q_{jk} \quad (5.3.3)$$

式中: ψ_{Qj} ——第 j 个可变荷载的准永久值系数。

2 准永久组合应根据沉井所处的环境及其工况按本规程表 5.2.2-3 选取不同的作用项目组合。

5.3.4 钢筋混凝土沉井结构构件处于轴心受拉或小偏心受拉时,抗裂度验算应符合下列规定:

1 对轴心受拉构件,应满足下式要求:

$$\frac{N_k}{A_n + \alpha_E A_s} \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (5.3.4-1)$$

式中: N_k ——构件在作用效应标准组合下,计算截面上的纵向力(N);

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值(N/mm²),按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用;

A_n ——混凝土净截面面积(mm²);

A_s ——验算截面内纵向受拉钢筋的总截面面积(mm²);

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值;

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数,取 0.87。

2 对小偏心受拉构件,应满足下式要求:

$$N_k \left(\frac{e_0}{\gamma W_0} + \frac{1}{A_0} \right) \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (5.3.4-2)$$

式中: e_0 ——纵向拉力对截面重心的偏心距(mm);

W_0 ——构件换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩(mm³);

A_0 ——构件换算截面面积(mm²);

γ ——受拉区混凝土的塑性影响系数,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。

5.3.5 钢筋混凝土沉井结构构件处于受弯、大偏心受拉或大偏心

受压时,最大裂缝宽度限值 ω_{\max} 应按表 5.3.5 确定。

表 5.3.5 沉井的最大裂缝宽度限值 (mm)

类 别	ω_{\max}
污水构筑物	0.20
净水构筑物	0.25

注:沉井下沉施工期间,裂缝不应大于 0.3mm。

5.3.6 钢筋混凝土沉井结构构件处于受弯、大偏心受拉或大偏心受压时,最大裂缝宽度可按本规程附录 A 计算确定。

5.3.7 当沉井平台梁支承竖向传动装置设备时,应按作用效应准永久组合进行变验算,其挠度计算值应满足下式要求:

$$\omega_v \leq \frac{1}{750}L \quad (5.3.7)$$

式中: ω_v ——支承梁的挠度计算值(mm);

L ——支承梁的计算长度(mm)。

6 沉井下沉和结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 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 6.1.1 的规定选用。

表 6.1.1 单位摩阻力标准值 f_k (kPa)

土层类别	f_k	土层类别	f_k
流塑状态黏性土	10~15	砂性土	12~25
可塑、软塑状态黏性土	12~25	砂砾土	15~20
硬塑状态黏性土	25~50	卵石	18~30
泥浆套	3~5	—	—

注:1 当井壁外侧为阶梯型井采用灌砂助沉时,灌砂段的单位摩阻力标准值可取 7kPa~10kPa;

2 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。该值可按式计算:

$$f_{kn} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ki} h_{si}}{\sum_{i=1}^n h_{si}} \quad (6.1.1)$$

式中: f_{kn} ——多土层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(kPa),按表 6.1.1 选

用；

h_{si} ——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 6.1.1(a)采用;当井壁外侧为阶梯形时,可按图 6.1.1(b)采用。

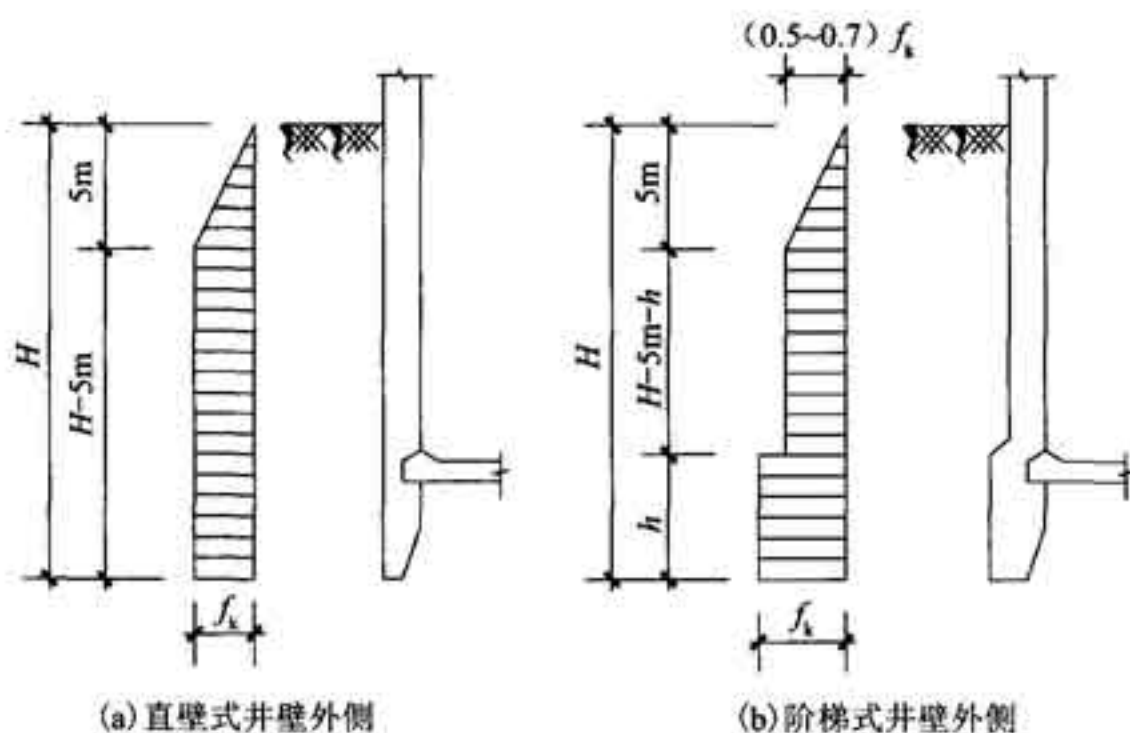


图 6.1.1 摩阻力沿井壁外侧分布

6.1.2 沉井下沉系数应满足下列公式要求：

$$k_{st} \geq 1.05 \quad (6.1.2-1)$$

$$k_{st} = (G_{ik} - F_{fw,k}) / F_{fk} \quad (6.1.2-2)$$

式中： k_{st} ——下沉系数；

G_{ik} ——沉井自重标准值(包括外加助沉重量的标准值)(kN)；

$F_{fw,k}$ ——下沉过程中水的浮托力标准值(kN)；

F_{fk} ——井壁总摩阻力标准值(kN)。

6.1.3 当下沉系数较大,或在下沉过程中遇有软弱土层时,应根据实际情况进行沉井的下沉稳定验算,并满足下列公式的要求：

$$k_{st,s} = 0.8 \sim 0.9 \quad (6.1.3-1)$$

$$k_{st,s} = \frac{G_{ik} - F'_{fw,k}}{F'_{fw} + R_b} \quad (6.1.3-2)$$

式中： $k_{st,s}$ ——下沉稳定系数；

$F'_{fw,k}$ ——验算状态下水的浮托力标准值(kN)；

F'_{fw} ——验算状态下井壁总摩阻力标准值(kN)；

R_b ——沉井刃脚、隔墙和底梁下地基土的极限承载力之和(kN)，当无极限承载力试验资料时，可按表 6.1.3 选用。

表 6.1.3 软弱土层极限承载力参考表 (kPa)

土的种类	极限承载力
泥炭	60~70
淤泥	80~100
淤泥质黏土	10~120

6.1.4 沉井抗浮应按沉井封底和使用两个阶段，分别根据实际可能出现的最高水位进行验算，并满足下列公式的要求：

$$k_{fw} \geq 1.00 \text{ (不计侧壁摩阻力)} \quad (6.1.4-1)$$

$$k_{fw} = \frac{G_{ik}}{F_{fw,k}^b} \quad (6.1.4-2)$$

式中： k_{fw} ——沉井抗浮系数；

$F_{fw,k}^b$ ——基底的水浮托力标准值(kN)。

6.1.5 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。

6.1.6 位于江(河、湖、水库、海)岸的沉井，若前后两面水平作用相差较大，应按下列要求验算沉井的滑移和倾覆稳定性：

1 抗滑移验算应满足下列公式要求：

$$k_s \geq 1.3 \quad (6.1.6-1)$$

$$k_s = \frac{\eta E_{pk} + F_{bf,k}}{E_{cp,k}} \quad (6.1.6-2)$$

式中： k_s ——沉井抗滑移系数；

η ——被动土压力利用系数，施工阶段可取 0.8，使用阶段可取 0.65；

$E_{ep,k}$ ——沉井后侧主动土压力标准值之和(kN)；

E_{pk} ——沉井前侧被动土压力标准值之和(kN)；

$F_{bf,k}$ ——沉井底面有效摩阻力标准值之和(kN)。

2 抗倾覆验算应满足下列公式要求：

$$k_{ov} \geq 1.5 \quad (6.1.6-3)$$

$$k_{ov} = \frac{\sum M_{ov,k}}{\sum M_{ov,k}} \quad (6.1.6-4)$$

式中： k_{ov} ——沉井抗倾覆系数；

$\sum M_{ov,k}$ ——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)。

6.1.7 靠近江、河、海岸边施工的沉井，应进行土体边坡在沉井荷重作用下整体滑动稳定性的验算及考虑下沉引起沉降的影响。

6.1.8 水中浮运的沉井在浮运过程中(沉入河床前)，必须验算横向稳定性。沉井浮体在浮运阶段的稳定倾斜角 ϕ 不得大于 6° ，并应满足 $(\rho - l) > 0$ 的要求。 ϕ 角应按下式计算：

$$\phi = \tan^{-1} \frac{M}{\gamma_w V (\rho - l)} \quad (6.1.8-1)$$

$$\rho = \frac{I}{V} \quad (6.1.8-2)$$

式中： ϕ ——沉井在浮运阶段的倾斜角；

M ——外力矩(kN·m)；

V ——排水体积(m^3)；

l ——沉井重心至浮心的距离(m)，重心在浮心之上为正，反之为负；

ρ ——定倾半径(图 6.1.8)，即定倾中心至浮心的距离(m)；

I ——沉井浸水截面面积对斜轴线的惯性矩(m^4)；

γ_w ——水的重度(kN/m^3)。

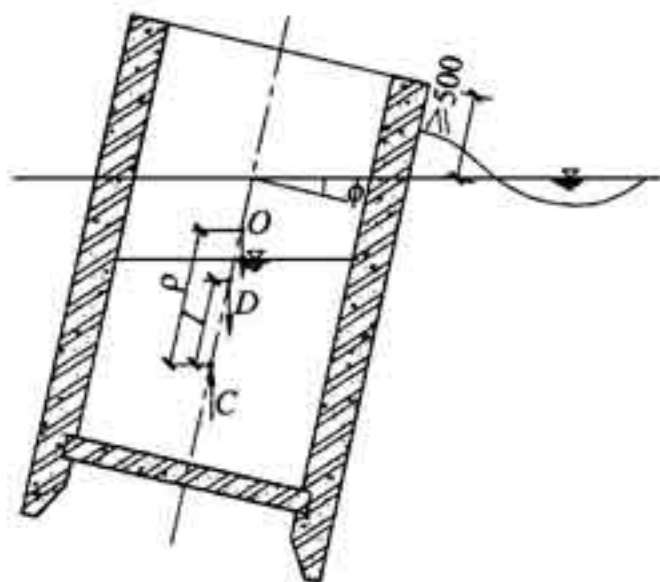


图 6.1.8 水中浮运沉井

D—重心;C—浮心;O—定倾中心

6.1.9 在施工阶段,井壁的竖向抗拉应按下列规定计算:

1 土质为硬土且沉井下沉系数接近 1.05 时,等截面井壁的最大拉断力应为:

$$N_{\max} = \frac{G}{4} \quad (6.1.9)$$

式中: G ——沉井下沉时的总重量设计值(kN),自重分项系数取 1.20,即 $G=1.2G_{1k}$ 。

2 土质均匀的软土地基,沉井下沉系数较大(大于或等于 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。

3 当井壁上有预留洞时,应对孔洞削弱断面进行验算。

6.1.10 当沉井的下沉深度范围内有地下水时,对下列情况可按不排水施工或部分不排水施工设计:

1 在下沉度范围内的土层中存在粉土或粉细砂层,排水下沉有可能造成流砂时;

2 沉井附近存在已有建筑物或构筑物,降水施工可能增加其

沉降或倾斜而难以采取其他有效措施时。

6.1.11 作用在底板上的反力可假定按直线分布,计算反力时不宜考虑井壁与土的摩阻力作用。底板与井壁间,当无预留插筋连接时,应按铰接考虑;当用钢筋整体连接时,可按弹性固定考虑。

6.1.12 对建造在软土地基上设有底梁的沉井,应对底梁进行下沉阶段的强度验算。梁下的地基反力设计值可取地基土的极限承载力值。

6.1.13 水下封底混凝土的厚度应根据基底的向上净反力计算确定。水下封底混凝土的厚度,应按下式计算:

$$h_1 = \sqrt{\frac{9.09M}{bf_1}} + h_u \quad (6.1.13)$$

式中: h_1 ——沉井水下封底混凝土厚度(mm);

M ——每米宽度最大弯矩的设计值(N·mm);

b ——计算宽度(mm),取 1000mm;

f_1 ——混凝土抗拉强度设计值(N/mm²);

h_u ——附加厚度(mm),可取 300mm~500mm。

6.1.14 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。

6.1.15 沉井可简化为平面体系进行结构分析。

6.1.16 在沉井下沉阶段,不带内框架的井壁结构进行内力计算时,可在垂直方向截取单位高度的井段,按水平闭合结构进行计算;对带内框架的井壁结构,则应根据框架的布置情况,按连续的平板或拱板计算。计算可采用下列假定:

1 在同一深度处的侧压力可按均匀分布考虑;

2 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;

3 刃脚根部至凹槽顶以上高度等于该处井壁厚度 1.5 倍的一段井壁,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、土压力作用。外层水平配筋时可考虑

计入刃脚的水平钢筋。

6.1.17 在沉井的使用阶段,其结构应根据底板及后浇隔墙浇筑完成后的结构体系和实际作用进行计算。

6.1.18 排水法下沉的井外的最大水压力作用可乘 0.7 折减系数。

6.2 圆形沉井

6.2.1 圆形沉井应根据下沉前的支承情况,对井壁竖向受力进行强度计算。沉井制作采用支承时,可按周边均匀布置,支点数量和尺寸可根据沉井的直径、砂垫层厚度及持力土层的极限承载力决定。四支点情况(图 6.2.1)井壁所承受的最大内力,可按下列公式计算:

跨中最大弯矩:

$$M_0 = 0.035\pi g_s r_c^2 (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad (6.2.1-1)$$

支座弯矩:

$$M_s = -0.068\pi g_s r_c^2 (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad (6.2.1-2)$$

最大扭矩:

$$T_{\max} = 0.011\pi g_s r_c^2 (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad (6.2.1-3)$$

最大剪力:

$$V_{\max} = 0.25\pi g_s r_c^2 (\text{kN}) \quad (6.2.1-4)$$

式中: g_s ——单位周长井壁自重(kN/m);

r_c ——沉井井壁中心半径(m)。

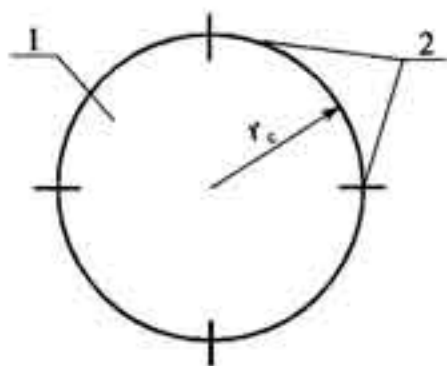


图 6.2.1 圆形沉井定位支承点布置

1—沉井;2—定位支承点

6.2.2 圆形沉井刃脚的内力应按下列规定计算：

1 刃脚竖向的向外弯曲受力，应按沉井开始下沉刃脚已嵌入土中的工况计算〔忽略刃脚外侧水、土压力，图 6.2.2(a)〕。当沉井高度较大时，可采用分节浇筑多次下沉的方法减小刃脚向外弯曲受力。弯曲力矩可按下列公式计算：

$$M_1 = P_1 \left(h_1 - \frac{h_s}{3} \right) + R_j d_1 \quad (6.2.2-1)$$

$$N_1 = R_j - g_1 \quad (6.2.2-2)$$

$$P_1 = \frac{R_j h_s}{h_s + 2a \tan \theta} \tan(\theta - \beta_0) \quad (6.2.2-3)$$

$$d_1 = \frac{h_1}{2 \tan \theta} - \frac{h_s}{6 h_s + 12 a \tan \theta} (3a + 2b) \quad (6.2.2-4)$$

式中： M_1 ——刃脚根部的竖向弯矩计算值〔(kN·m)/m〕；

P_1 ——刃脚内侧的水平推力之和(kN/m)；

h_1 ——刃脚的斜面垂直高度(m)；

h_s ——沉井开始下沉时刃脚的人土深度(m)，可按刃脚的斜面高度 h_1 计算；当 $h_1 > 1.0\text{m}$ 时， h_s 可按 1.0m 计算；

R_j ——刃脚底端的竖向地基反力之和(kN/m)；

d_1 ——刃底面地基反力的合力作用点至刃脚根部截面中心的距离(m)；

N_1 ——刃脚根部的竖向轴力计算值(kN/m)；

g_1 ——刃脚的结构自重(kN/m)；

a ——刃脚的底面宽度(m)；

θ ——刃脚斜面的水平夹角；

β_0 ——刃脚斜面与土的外摩擦角，可取等于土的内摩擦角，硬土可取 30° ，软土可取 20° ；

b ——刃脚斜面入土深度的水平投影宽度(m)。

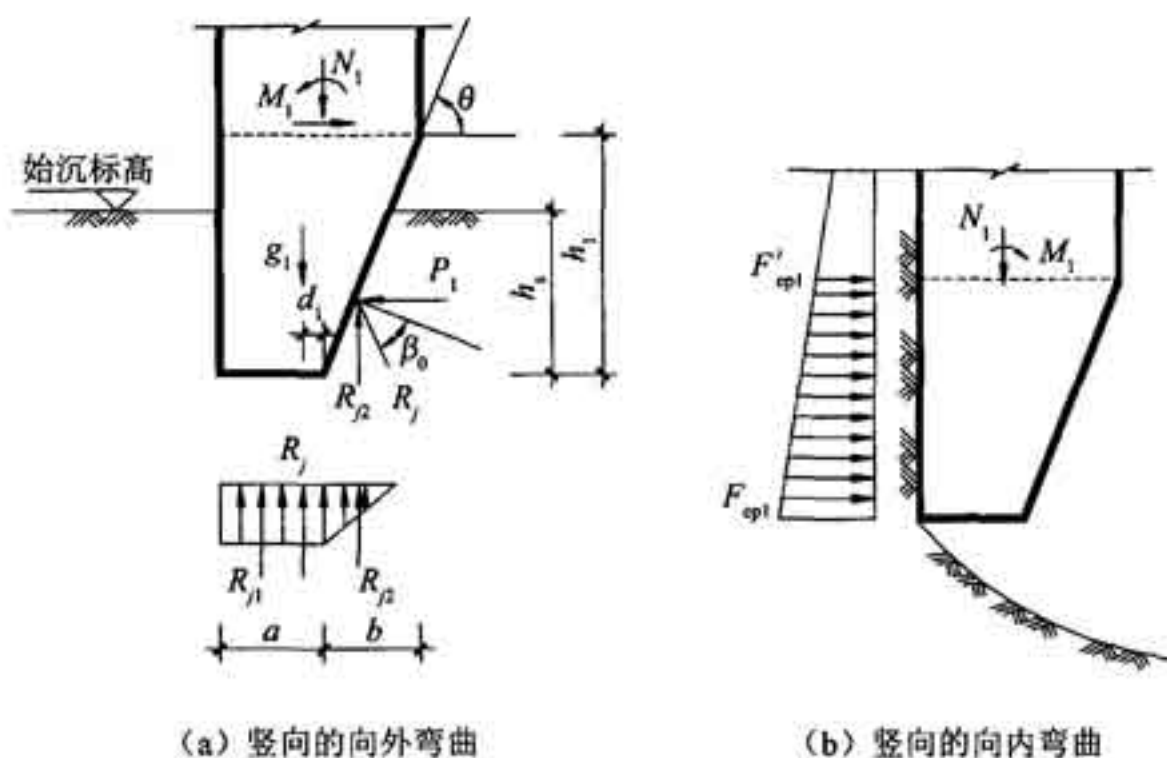


图 6.2.2 刃脚计算简图

2 刃脚竖向的向内弯曲受力,可按沉井已沉至设计标高,刃脚下的土已被全部掏空的工况计算[图 6.2.2 (b)]:

$$M_1 = \frac{1}{6}(2F_{ep1} + F'_{ep1})h_1^2 \quad (6.2.2-5)$$

式中: F_{ep1} ——沉井下沉到设计标高时,沉井刃脚底端处的水、土侧压力计算值(kN/m^2);

F'_{ep1} ——沉井下沉到设计标高时,沉井刃脚根部处的水、土侧压力计算值。

3 当刃脚以上井壁留有连接底板的企口凹槽时,尚应对凹槽处的截面进行竖向弯曲受力验算;

4 刃脚的环向拉力,可按下式计算:

$$N_0 = P_1 r_s \quad (6.2.2-6)$$

式中: N_0 ——刃脚承受的环向拉力(kN);

r_s ——刃脚的计算中心半径(m),取刃脚截面 P_1 作用点的中心半径。

5 计算刃脚向外弯曲时,可考虑沉井自重轴压力 N_1 的作用,按压弯构件配筋;

6 圆形沉井的刃脚力矩对井壁竖向配筋影响,可根据筒壳两端自由,应按筒壳下端有弯矩作用的图式计算。

6.2.3 不带隔墙下沉的圆形沉井,在下沉过程中井壁的水平内力可按下列规定计算:

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,并假定在互成 90° 的两点处土的内摩擦角差值为 $4^\circ \sim 8^\circ$ 。内力可按下列公式计算(图 6.2.3):

$$N_A = p_A r_c (1 + 0.7854 \omega') \quad (6.2.3-1)$$

$$N_B = p_A r_c (1 + 0.5 \omega') \quad (6.2.3-2)$$

$$M_A = -0.1488 p_A r_c^2 \omega' \quad (6.2.3-3)$$

$$M_B = -0.1366 p_A r_c^2 \omega' \quad (6.2.3-4)$$

$$\omega' = \frac{p_B}{p_A} - 1 \quad (6.2.3-5)$$

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)。

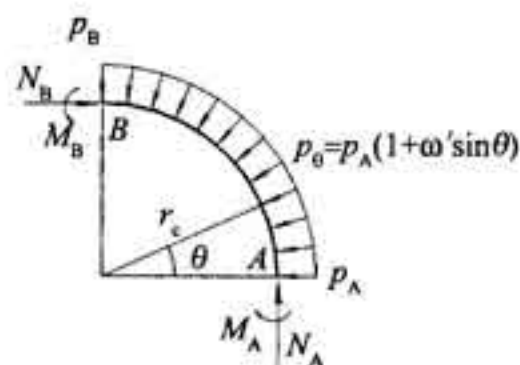


图 6.2.3 圆形沉井井壁计算

2 当下沉区域有较厚的杂填土、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 B 的规定执行。

6.2.4 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圆环上的土压力均匀分布。各截面的内力可按本规程附录 C 计算确定。

6.2.5 单孔、双孔圆端形沉井(图 6.2.5),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的水、土压力 q 均匀分布,各截面的内力系数可按表 6.2.5 取值。

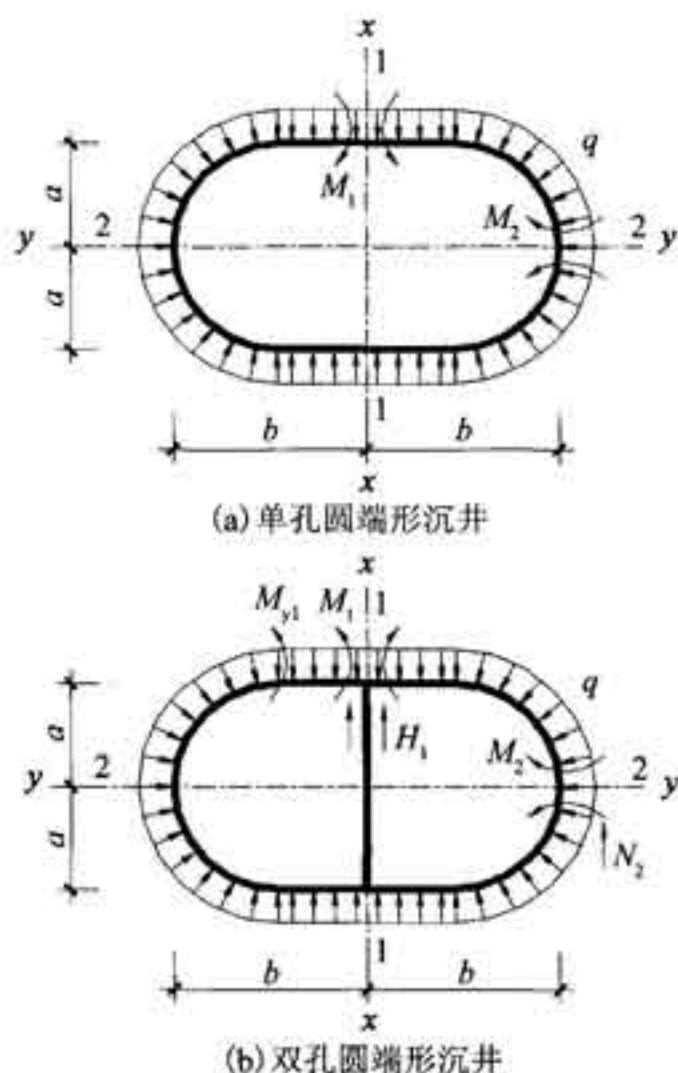


图 6.2.5 单孔、双孔圆端形沉井井壁计算简图

表 6.2.5 圆端形平面框架内力系数

内 力 型 式		a/b								乘数
		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	
单孔	M ₁	0	0.072	0.166	0.293	0.484	0.759	1.247	2.235	qa ²
	M ₂	0	-0.045	-0.115	-0.227	-0.405	-0.741	-1.378	-2.821	qa ²
双孔	H ₁	0	0.0993	0.1945	0.2821	0.3590	0.4230	0.4720	0.5049	qb
	N ₁	1	0.9007	0.8055	0.7179	0.6410	0.5770	0.5280	0.4951	qb
	M ₁	0	-0.0044	-0.0157	-0.0307	-0.0471	0.0628	-0.0760	-0.0854	qb ²
	M ₂	0	-0.0001	-0.0012	-0.0036	-0.0081	-0.0148	-0.024C	-0.0355	qb ²
	M _{y1}	0	0.0005	0.0033	0.0091	0.0173	0.0267	0.0354	-0.042C	qb ²

注:1 最大正弯矩 M_{max} 在 $y=H_1/q$ 处;

2 弯矩 M 值,“+”值表示里皮受拉;“-”表示外皮受拉。

6.2.6 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。

6.2.7 圆形顶管工作井在顶管力作用下的土抗力假定沿竖直方向按三角形分布,沿水平方向按余弦函数分布(图 6.2.7)。壁板后土抗力最大值和各点内力可按下列公式计算:

$$q_{\Lambda max} = \frac{4P_t}{3\pi r_c h_t} \quad (6.2.7-1)$$

$$P_t = \gamma_p P_{tk} \quad (6.2.7-2)$$

$$M_A = -0.307q_{\Lambda} r_c^2; N_A = -0.375q_{\Lambda} r_c \quad (6.2.7-3)$$

$$M_B = 0.068q_{\Lambda} r_c^2; N_B = 0 \quad (6.2.7-4)$$

$$M_C = -0.057q_{\Lambda} r_c^2; N_C = -0.125q_{\Lambda} r_c \quad (6.2.7-5)$$

式中: $q_{\Lambda max}$ ——壁板后土抗力的最大值(kN/m²);

P_t ——顶管力设计值(kN);

r_c ——沉井中心半径(m);

h_t ——顶管力至刃脚底的距离;

γ_p ——顶管力分项系数,取 1.3;

P_{ik} ——顶管力标准值(kN),根据本规程第 4.3.6 条确定;
 q_A ——任意高度上 A 点的土抗力(kN/m²)。

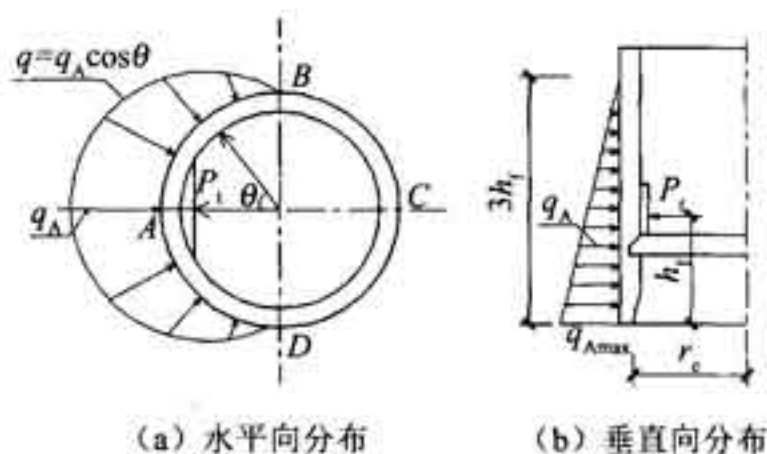


图 6.2.7 圆形顶管井土抗力分布

6.2.8 圆形沉井在顶管力作用下,后背土体的稳定应符合下列公式规定(图 6.2.8):

$$P_{ik} = \xi(0.8E_{pk} - E_{cp,k}) \quad (6.2.8-1)$$

$$E_{pk} = \frac{1}{4} \pi r H F_{pk} \quad (6.2.8-2)$$

$$E_{cp,k} = \frac{1}{4} \pi r H F_{cp,k} \quad (6.2.8-3)$$

$$\xi = (h_t - |h_t - h_p|) / h_t \quad (6.2.8-4)$$

$$h_p = H/3 \quad (6.2.8-5)$$

式中: P_{ik} ——顶管力标准值(kN);

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} ——沉井后方被动土压力合力标准值(kN);

$F_{cp,k}$ ——刃脚底部主动土压力标准值(kN/m²);

r ——沉井外壁半径(m);

H ——沉井入土深度(m);

F_{pk} ——刃脚底部被动土压力标准值(kN/m²);

$E_{cp,k}$ ——沉井前方主动土压力合力标准值(kN);

h_p ——土压力合力至刃脚底的距离。

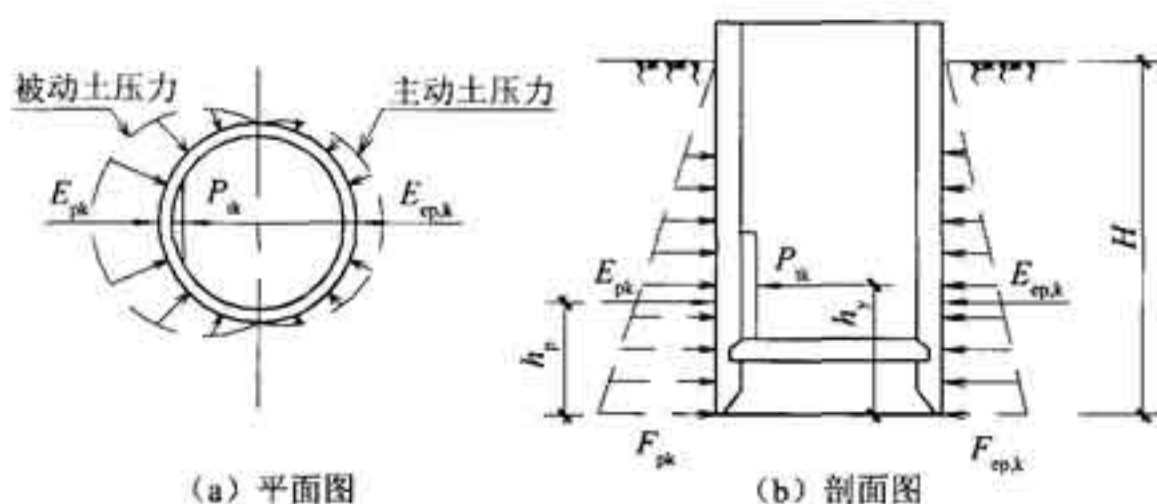


图 6.2.8 圆形沉井在顶管力作用下后背土体的稳定计算

6.2.9 圆形沉井的底板在均布荷载作用下的弯矩可按下列规定计算：

- 1 当底板与池壁采用凹槽连接时，应按周边简支的圆板计算；
- 2 当底板与池壁采用预留插筋连接时，按周边固定的圆板计算；
- 3 圆形板在均布荷载作用下的计算公式可按本规程附录 D 的规定执行。

6.3 矩形沉井

6.3.1 矩形沉井应根据其下沉前的支承情况，对井壁自重作用下竖向受力进行强度计算。沉井制作采用垫木或素混凝土支承时，计算时的不利支承点应符合下列规定：

- 1 长宽比不小于 1.5 的小型矩形沉井，应按四点支承计算，定位支承点距端部的距离可取 $0.15L$ (图 6.3.1)。

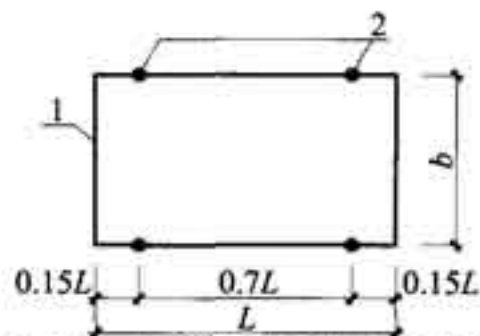


图 6.3.1 矩形沉井定位支承点布置
1—沉井壁；2—定位支承点

2 长宽比小于 1.5 的小型矩形沉井,定位支点宜在两个方向均按本条第 1 款规定设置;

3 对于大型矩形沉井,支承点数量和尺寸可根据沉井尺寸、砂垫层厚度和持力土层的极限承载力确定。

6.3.2 矩形沉井刃脚的竖向弯曲内力计算应按第 6.2.2 条计算简图和有关规定外,尚应遵守本规程第 6.3.3 条规定。

6.3.3 矩形沉井刃脚强度计算时,可按下列规定对水平荷载进行折减:

1 当内隔墙的底面距刃脚底面距离不大于 500mm,或大于 500mm 且有垂直腋角时,作用于垂直悬臂部分的水平荷载应乘以折减系数 α :

$$\alpha = \frac{0.1l_1^4}{h_1^4 + 0.05l_1^4} \quad (6.3.3-1)$$

当 $\alpha > 1$ 时,取 $\alpha = 1$ 。

式中: l_1 ——刃脚水平向最大计算跨度(m);

h_1 ——刃脚斜面垂直高度(m)。

2 刃脚在水平方向可按闭合框架计算,作用于框架上的水平荷载应乘以折减系数 β :

$$\beta = \frac{h_1^4}{h_1^4 + 0.05l_2^4} \quad (6.3.3-2)$$

式中: l_2 ——刃脚水平向最小计算跨度(m)。

6.3.4 单孔矩形沉井作为顶管工作井时,在顶管力作用下壁板可按下列规定设计:

1 顶管千斤顶后座尺寸宜为 3m×3m(图 6.3.4-1),其等效荷载在壁板上的分布高度可按下列公式计算:

当 $3000 + 2t \leq 0.6l_0$ 时:

$$b = 3000 + 2t + 0.7l_0 \quad (6.3.4-1)$$

当 $0.6l_0 \leq 3000 + 2t \leq l_0$ 时:

$$b = 0.6(3000 + 2t) + 0.94l_0 \quad (6.3.4-2)$$

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)。

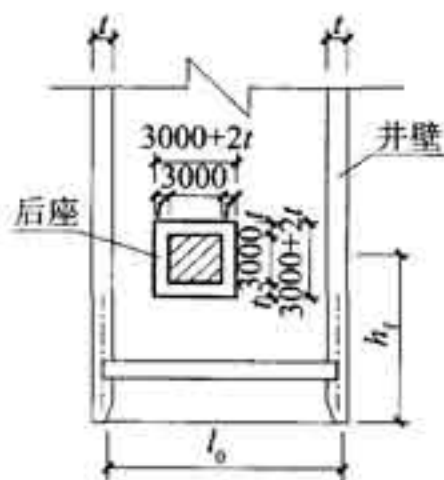


图 6.3.4-1 顶力后座尺寸

2 当顶管力与刃脚底的距离 $h_1 \geq b/2$ 时,等效荷载分布范围可按图 6.3.4-2 确定;

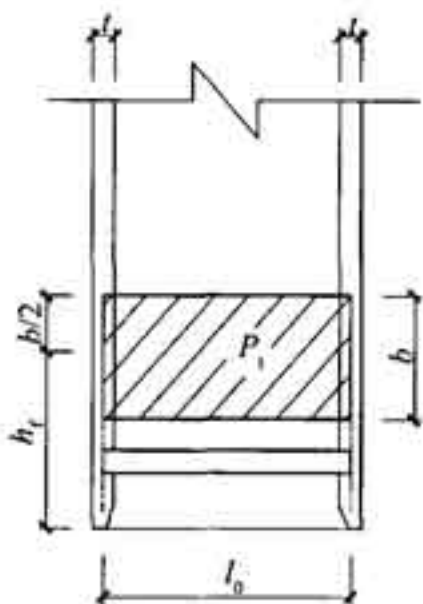


图 6.3.4-2 $h_1 \geq \frac{b}{2}$ 时顶管力等效荷载分布高度

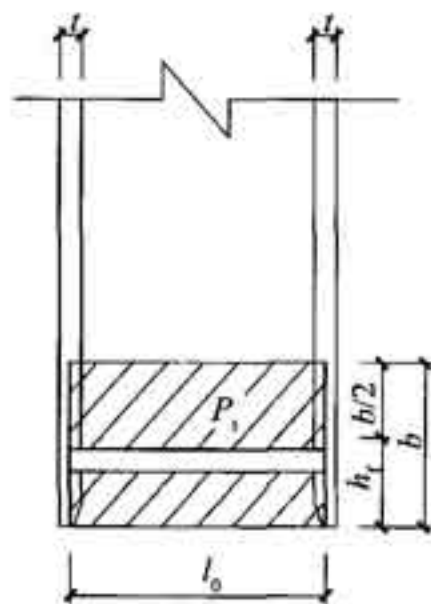


图 6.3.4-3 $h_1 < \frac{b}{2}$ 时顶管力等效荷载分布高度

3 当顶管力与刃脚底的距离 $h_t < b/2$ 时,顶管力的等效荷载分布高度 $b' = \frac{b}{2} + h_t$ 可按图 6.3.4-3 确定。

4 当顶管力作用在壁板中轴上时,壁板后的土抗力可按下式计算(图 6.3.4-4):

$$q_{\max} = \frac{2P_t}{3l_b h_t} \quad (6.3.4-3)$$

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);

h_t ——顶管力至刃脚底距离(m)。

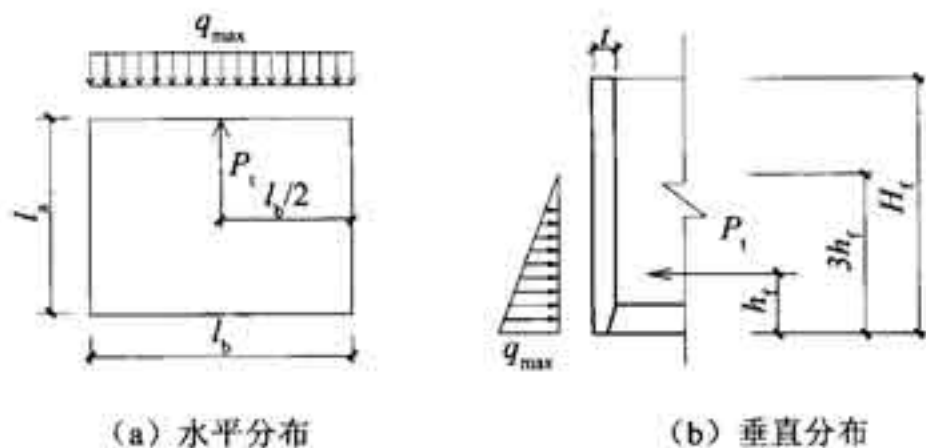


图 6.3.4-4 顶管力作用在壁板中轴上的土抗力分布

6.3.5 当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 6.3.5):

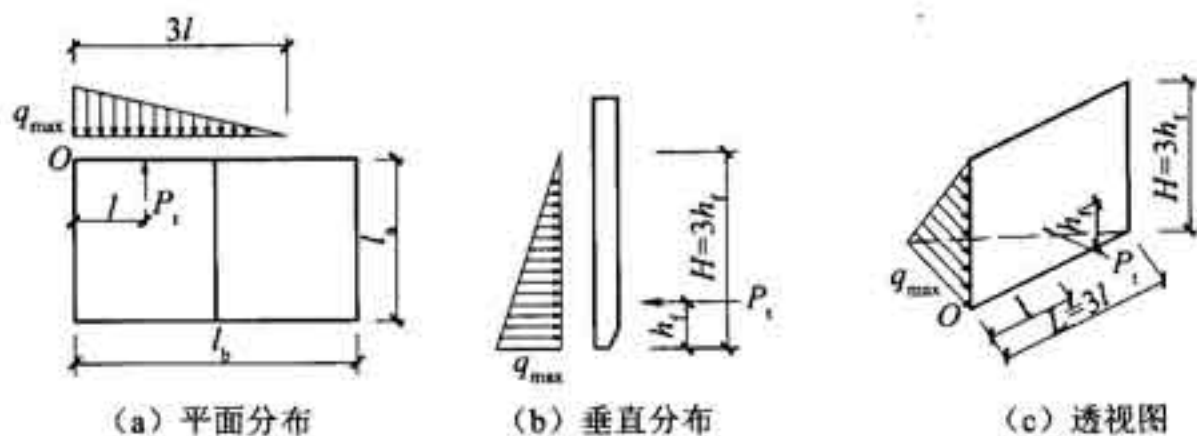


图 6.3.5 偏心顶管力作用时的土抗力分布

沉井刃脚底的最大抗力：
$$q_{\max} = \frac{4P_u}{9h_1l} \quad (6.3.5)$$

6.3.6 矩形沉井在顶管力作用下，后背土体的稳定性验算应满足本规程公式(6.2.8-1)的要求。 E_{pk} 和 $E_{cp,k}$ 应按图 6.3.6 所示的土压力分布计算。

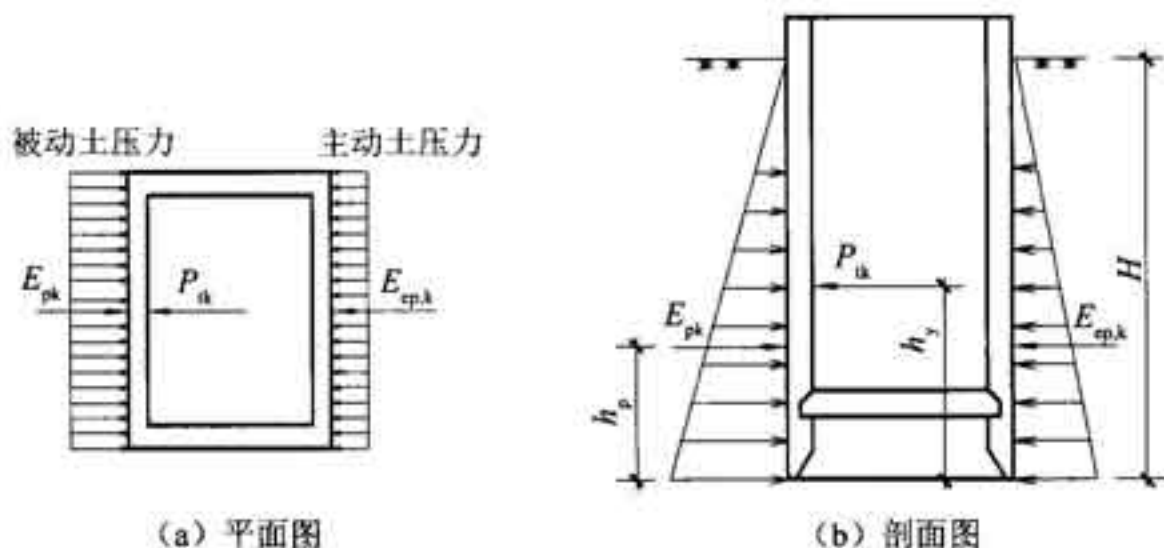


图 6.3.6 矩形沉井在顶管力作用下后背土体稳定计算

6.3.7 矩形沉井底板内力宜按下列规定计算：

- 1 应按钢筋混凝土底板与井壁所设凹槽或水平插筋的构造情况，确定支座条件为简支、固定或弹性固定；
- 2 可假定底板反力呈直线分布；
- 3 板的长边 l_1 与短边 l_2 之比 $l_1/l_2 > 2$ 时，应按单向板计算， $l_1/l_2 \leq 2$ 时应按双向板计算；
- 4 设有底梁时，底板应按连续板计算。

6.3.8 壁板内力计算可按本规程第 6.1.16 条执行。

7 构造要求

7.1 一般规定

- 7.1.1 沉井平面宜对称布置,矩形沉井的长宽比不宜大于 2,高宽比不宜大于 2.5。
- 7.1.2 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。
- 7.1.3 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。
- 7.1.4 受力钢筋的最小配筋率,应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的规定。
- 7.1.5 沉井受力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm。
- 7.1.6 当沉井位于航道内时,应采取防撞措施或保护措施。

7.2 基本构造

- 7.2.1 沉井平面分格净尺寸不宜小于 3.0m。沉井作为顶管工作井时,分格尺寸应满足顶管施工工艺要求。
- 7.2.2 当沉井在人工筑岛上制作时,人工筑岛的基本构造应符合下列规定:
- 1 岛面标高应比施工期最高水位高 500mm 以上;
 - 2 岛面尺寸应等于沉井平面尺寸加施工护道宽度,护道宽度不宜小于 2m;
 - 3 围堰的设计应考虑沉井重量对围堰产生的附加侧压力作用;
 - 4 筑岛材料宜采用砂土。

7.2.3 水位应控制在沉井起沉标高以下不小于 500mm。

7.2.4 刃脚的踏面底宽宜为 150mm~400mm,刃脚斜面与水平面夹角宜为 50° ~ 60° 。当遇坚硬土层时,刃脚的踏面底宽可取 150mm,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 7.2.4)。

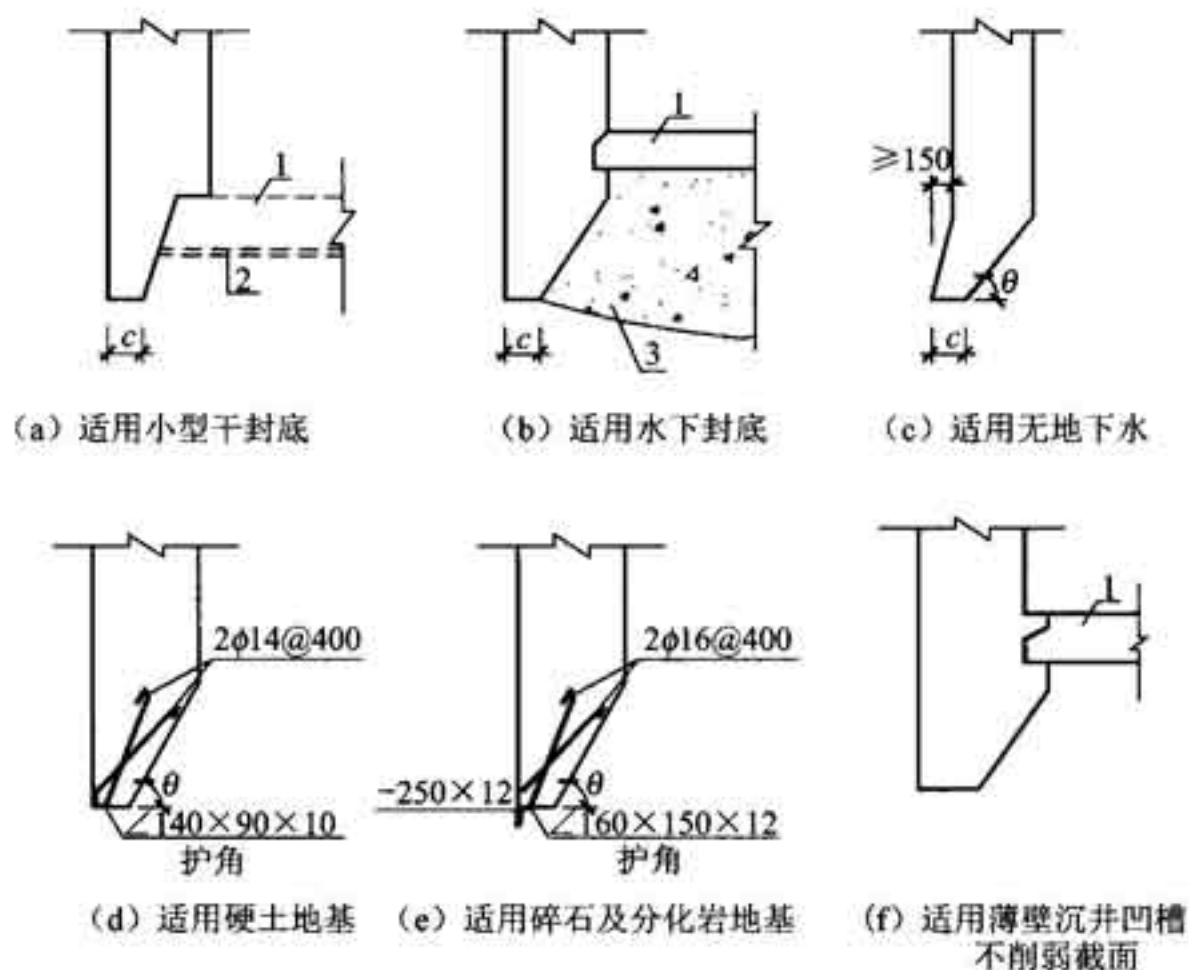


图 7.2.4 刃脚构造

θ —刃脚斜面倾角; c —刃脚踏面底宽;1—底板;2—垫层;3—封底混凝土

7.2.5 沉井下沉前,刃脚内侧(包括凹槽)及底梁和隔墙二侧均应打毛。打毛范围不应小于封底混凝土和底板混凝土的接触面。

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

7.2.7 刃脚的配筋应符合下列规定:

1 刃脚的竖向钢筋应设置在水平向钢筋的外侧,并应锚入刃脚根部以上;

2 刃脚的内、外层竖向钢筋间应设置 $\phi 6 \sim \phi 8$ 拉筋,拉筋的间距可取 300mm~500mm。

7.2.8 沉井的封底应符合下列规定:

1 通过降水进行干封底时,应待封底混凝土强度等级达到设计要求后,方可停止降水;

2 对水下封底混凝土,待强度等级达到设计要求后,方可将井内水抽除。

7.2.9 钢筋混凝土底板的构造应符合图 7.2.9 的规定。

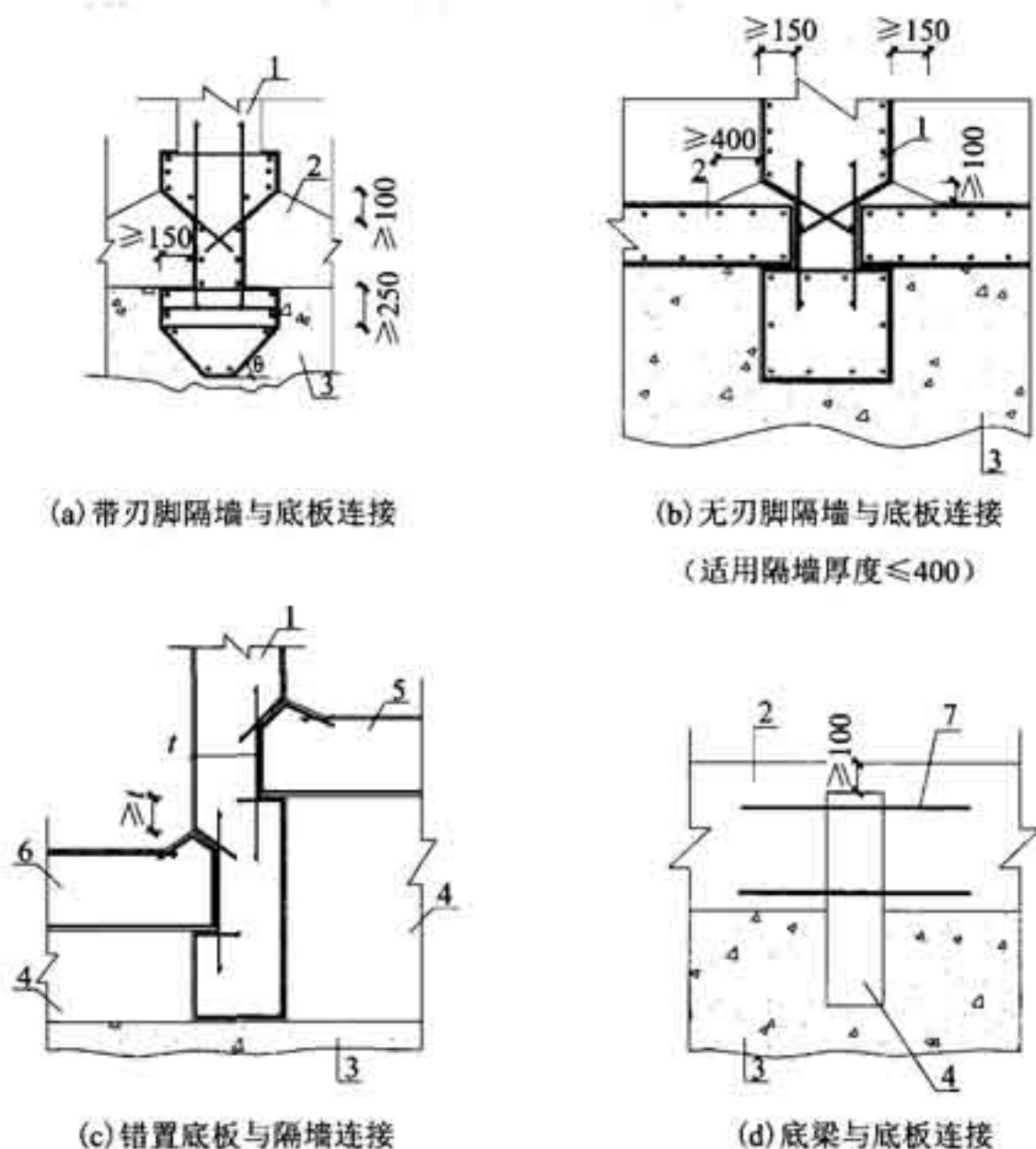
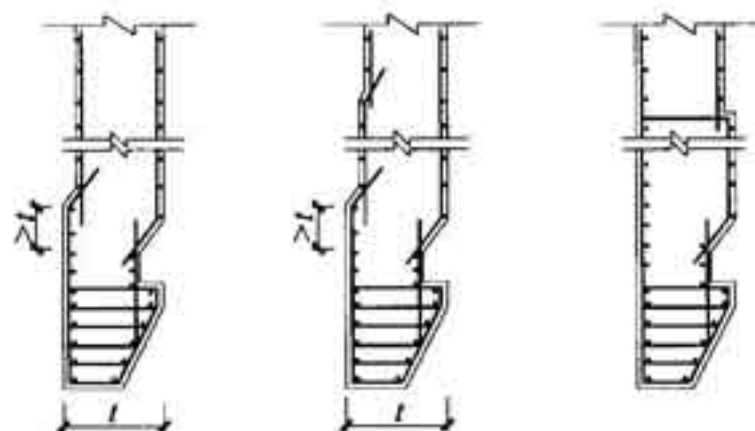


图 7.2.9 沉井底板构造

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

7.2.10 沉井井壁变截面台阶宽度可采用 100mm~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 7.2.10)。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。



(a) 外置一级台阶 (b) 外置多级台阶 (c) 内置台阶

图 7.2.10 井壁变截面台阶

7.2.11 分节制作的沉井应符合下列规定:

1 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;

2 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。沉井的竖向框架在沉井下沉前应形成封闭体系。

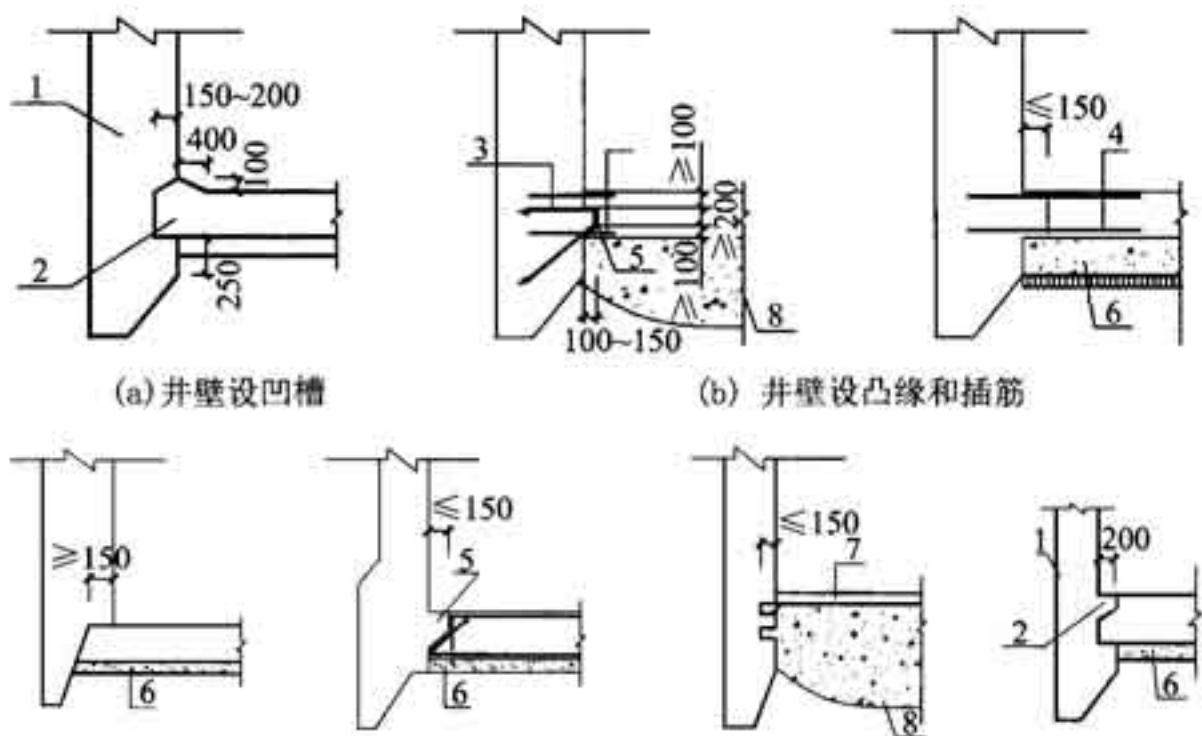
7.2.12 在井壁与后浇隔墙的连接处,宜在井壁上加设腋角,并预留凹槽、连接钢筋和止水片。凹槽的深度不宜小于 25mm,连接钢筋的直径和间距应与隔墙边的水平向钢筋一致。

7.2.13 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。

7.2.14 现浇钢筋混凝土沉井壁板厚度不宜小于 300mm。

7.2.15 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 7.2.15)。



(a) 井壁设凹槽 (b) 井壁设凸缘和插筋 (c) 利用壁端支承底板 (d) 井壁设凸缘 (e) 不设钢筋混凝土底板 (f) 井壁不削弱

图 7.2.15 井壁及底板构造

1—井外壁;2—凹槽;3—凸缘配筋;4—预留钢筋;5—凸缘;

6—垫层;7—找平层;8—永久性水下封底

7.2.16 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。

7.2.17 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。

7.2.18 为增强沉井下沉刚度所设置的隔墙或框架梁,应与井壁同时施工。

7.2.19 井壁框架柱宜向沉井内凸出。

7.2.20 沉井作为顶管工作井或接收井时,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:对于钢管顶管不宜小于

($0.12\text{m} + \text{顶管外径}$),对于钢筋混凝土顶管不宜小于($0.20\text{m} + \text{顶管外径}$);

2 沉井井壁预留接收洞口的直径:对于钢管顶管不宜小于($0.40\text{m} + \text{顶管外径}$),对于钢筋混凝土顶管不宜小于($0.30\text{m} + \text{顶管外径}$);

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 。

7.2.21 顶管后座面积不宜小于 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 。对于圆形沉井,在顶管支座处应浇制平整的钢筋混凝土后座。

附录 A 钢筋混凝土沉井结构构件处于受弯 或大偏心受拉(压)状态时的 最大裂缝宽度计算

A.0.1 受弯、大偏心受拉或受压构件的最大裂缝宽度,可按下列公式计算:

$$\omega_{\max} = 1.8\psi \frac{\sigma_{sq}}{E_s} \left(1.5c + 0.11 \frac{d}{\rho_{te}} \right) (1 + \alpha_1) \nu \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_{sq}\alpha_2} \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{0.5bh} \quad (\text{A.0.1-3})$$

对受弯、大偏心受压构件取 $\alpha_1 = 0$, 对大偏心受拉构件取:

$$\alpha_1 = 0.28 \left[\frac{1}{1 + \frac{2e_0}{h_0}} \right] \quad (\text{A.0.1-4})$$

对受弯构件取 $\alpha_2 = 1.0$, 对大偏心受压构件取:

$$\alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0} \quad (\text{A.0.1-5})$$

对受弯构件取 $\alpha_2 = 1.0$, 对大偏心受拉构件取:

$$\alpha_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0} \quad (\text{A.0.1-6})$$

式中: ω_{\max} ——最大裂缝宽度(mm);

ψ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数,当 $\psi < 0.4$ 时,取 0.4; 当 $\psi > 1.0$ 时,取 1.0;

σ_{sq} ——按作用效应准永久组合计算的截面纵向受拉钢筋

应力(N/mm²);

E_s ——钢筋的弹性模量(N/mm²);

c ——最外层纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度(mm);

d ——纵向受拉钢筋直径(mm),当采用不同直径的钢筋时,应取 $d = \frac{4A_s}{u}$,其中 u 为纵向受拉钢筋截面的总

周长(mm), A_s 为受拉钢筋截面面积(mm²);

ρ_{te} ——以有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率;

b ——截面计算宽度(mm);

h ——截面计算高度(mm);

A_s ——对偏心受拉构件取偏心力一侧的钢筋截面面积(mm²);

α_1 ——系数;

e_0 ——纵向力对截面重心的偏心距(mm);

h_0 ——计算截面的有效高度(mm);

v ——纵向受拉钢筋表面特征系数,对光面钢筋取 1.0;对变形钢筋取 0.7;

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值(N/mm²);

α_2 ——系数。

A.0.2 受弯、大偏心受压、大偏心受拉构件的计算截面纵向受拉钢筋应力 σ_{sq} ,可按下列公式计算:

1 受弯构件的纵向受拉钢筋应力:

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q}{0.87A_s h_0} \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中: M_q ——在作用效应准永久组合下,计算截面处的弯矩(N·mm)。

2 大偏心受压构件的纵向受拉钢筋应力:

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q - 0.35N_q(h_0 - 0.3e_0)}{0.87A_s h_0} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： N_q ——在作用效应准永久组合下，计算截面上的纵向力（N）。

3 大偏心受拉构件的纵向受拉钢筋应力：

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q + 0.5N_q(h_0 - \alpha')}{A_s(h_0 - \alpha')} \quad (\text{A. 0. 2-3})$$

式中： α' ——位于偏心力一侧的钢筋至截面近侧边缘的距离（mm）。

附录 B 圆形沉井倾斜状态的内力计算

B.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 ζ 并应限制在 $\zeta=0.5\sim 0.8$ 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。

B.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 B.0.2-1。

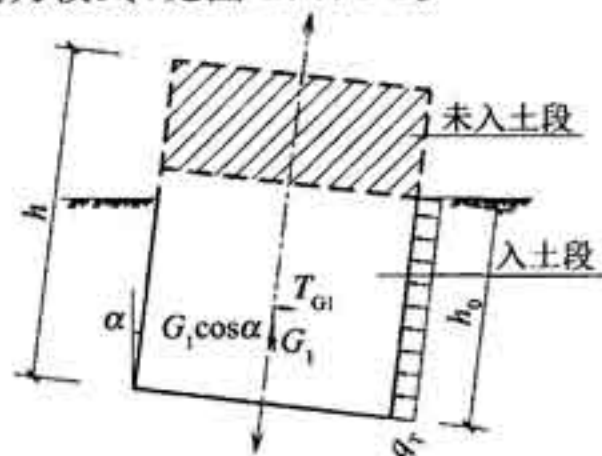


图 B.0.2-1 入土段自重引起的沉井受力简图

2 设计数据应符合下列规定:

沉井倾角 $\alpha = \frac{\text{软弱土层厚度}}{\text{沉井外壁直径}}$;

沉井插入比 $\zeta = \frac{h_0}{h}$;

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 ;

入土段高度 h_0 ;

每米高度井壁自重 r 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 B. 0. 2-2

弯矩 $M_{g1} = k_m T_{g1}$

轴力 $N_{g1} = k_n T_{g1}$

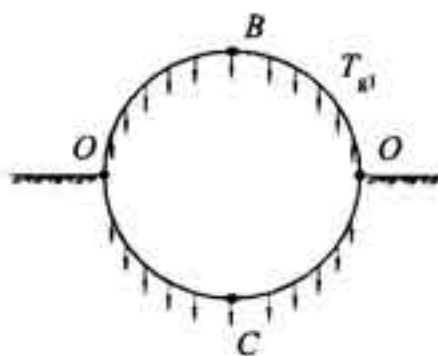


图 B. 0. 2-2 内力计算点示意图

环向各点内力系数应符合表 B. 0. 2 的规定。

表 B. 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

B.0.3 考虑未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 B.0.3 的规定。

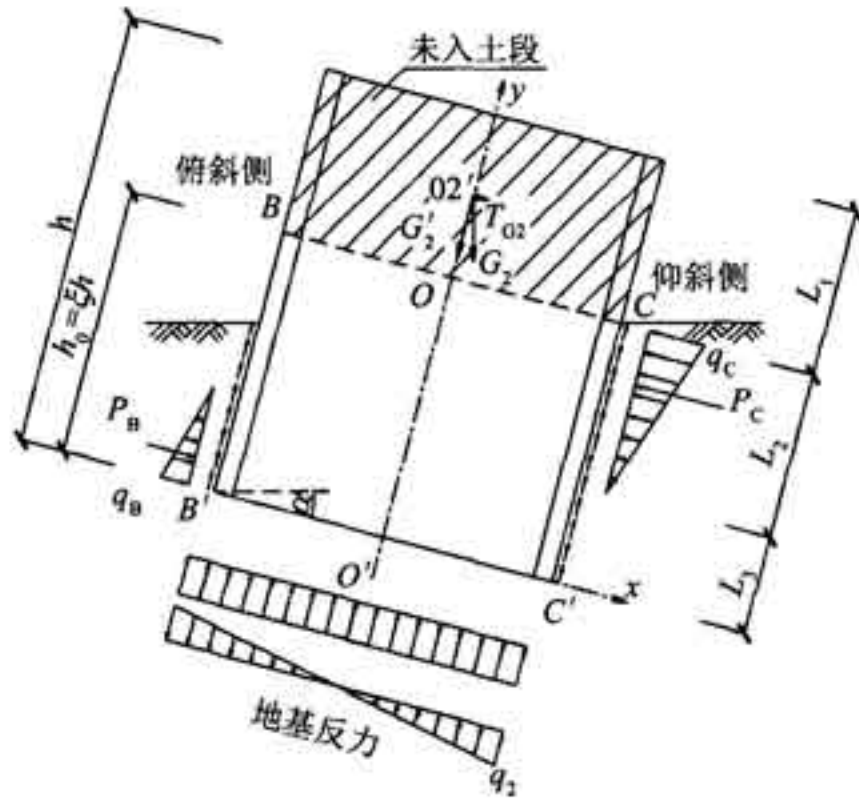


图 B.0.3 未入土段并自重作用引起的沉井入土段受力模式

G —沉井总重; G_2 —未入土段总自重; T_{02} — 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

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:

$$q_1 = \frac{G - \zeta h \pi D_1 f}{2r_0 \pi t} \cos \alpha \quad (\text{B.0.3-1})$$

$$q_2 = f_u - q_1 \quad (\text{B.0.3-2})$$

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:

$$M = T_{G2} \frac{L_1}{2} \quad (\text{B. 0. 3-3})$$

反力 q_2 对井底截面中心形成的弯矩:

$$M_0 = \frac{\pi}{4} \times \frac{(r_1^4 - r_2^4)q_2}{r} \quad (\text{B. 0. 3-4})$$

$$\text{令 } a = M - M_0, b = h_0 T_{G2}$$

仰面抗力分布长度:

$$L_2 = \frac{h_0 \left(\frac{2}{a-3} b \right)}{2a+b}, L_3 = h_0 - L_2 \quad (\text{B. 0. 3-5})$$

$$\text{仰面合力: } P_c = \frac{T_{G2}(1+L_3^2)}{h_0(l_2-l_3)} \quad (\text{B. 0. 3-6})$$

$$\text{仰面抗力最大值: } q_c = \frac{2P_c}{l_2} \quad (\text{B. 0. 3-7})$$

3 内力计算应按下列公式计算:

C点内力:

$$M_{g2} = k_M q_c \quad (\text{B. 0. 3-8})$$

$$N_{g2} = k_N q_c \quad (\text{B. 0. 3-9})$$

式中: k_M, k_N ——可按表 B. 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:

$$M = M_{g1} + M_{g2} \quad (\text{B. 0. 3-10})$$

$$N = N_{g1} + N_{g2} \quad (\text{B. 0. 3-11})$$

附录 C 带中隔墙圆形沉井的内力计算

C.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 C.0.1):

$$M_{CB} = \alpha_1 q_1 t^2 \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$M_{CD} = \alpha_2 q_1 t^2 \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$M_{CA} = \alpha_3 q_1 t^2 \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$H_{CB} = \alpha_4 q_1 t^2 / r_c \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$H_{CD} = \alpha_5 q_1 t^2 / r_c \quad (\text{C.0.1-5})$$

$$M_B = H_{CB}(1 - \cos\theta)r_c - M_{CB} \quad (\text{C.0.1-6})$$

$$N_B = -q_1 r_c + H_{CB} \quad (\text{C.0.1-7})$$

$$N_{CB} = -q_1 r_c + H_{CB} \cos\theta \quad (\text{C.0.1-8})$$

$$M_D = -(1 + \cos\theta)H_{CD}r_c - M_{CD} \quad (\text{C.0.1-9})$$

$$N_D = -q_1 r_c + H_{CD} \quad (\text{C.0.1-10})$$

$$N_{CD} = -q_1 r_c + H_{CD} \cos\theta \quad (\text{C.0.1-11})$$

$$N_{CA} = H_{CB} - H_{CD} \quad (\text{C.0.1-12})$$

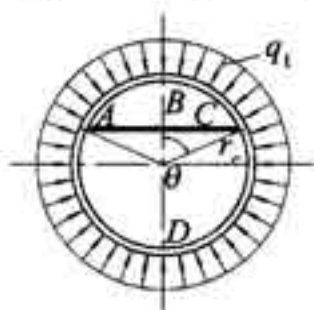


图 C.0.1 在外压作用下

C.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 C.0.2):

$$M_{CB} = \alpha_6 q_2 t^2 + \alpha_7 q_2 r_c^2 \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$M_{CD} = \alpha_8 q_2 t^2 + \alpha_9 q_2 r_c^2 \quad (\text{C.0.2-2})$$

$$M_{CA} = \alpha_{10} q_2 t^2 + \alpha_{11} q_2 r_c^2 \quad (\text{C. 0. 2-3})$$

$$M_{COA} = -\alpha_{10} q_2 t^2 + \alpha_{12} q_2 r_c^2 \quad (\text{隔墙跨中弯矩}) \quad (\text{C. 0. 2-4})$$

$$H_{CB} = \alpha_{13} q_2 t^2 / r_c + \alpha_{14} q_2 r_c \quad (\text{C. 0. 2-5})$$

$$H_{CD} = -\alpha_{15} q_2 t^2 / r_c - \alpha_{16} q_2 r_c \quad (\text{C. 0. 2-6})$$

$$M_B = H_{CB} (1 - \cos\theta) r_c - M_{CB} \quad (\text{C. 0. 2-7})$$

$$N_B = q_2 r_c + H_{CB} \quad (\text{C. 0. 2-8})$$

$$N_{CB} = q_2 r_c + H_{CB} \cos\theta \quad (\text{C. 0. 2-9})$$

$$M_D = -(1 + \cos\theta) H_{CD} r_c - M_{CD} \quad (\text{C. 0. 2-10})$$

$$N_D = H_{CD} \quad (\text{C. 0. 2-11})$$

$$N_{CD} = H_{CD} \cos\theta \quad (\text{C. 0. 2-12})$$

式中： r_c ——井壁中心半径(m)；

t ——井壁厚度(m)；

θ ——ABC 所对中心角之半(度)；

$\alpha_1 \sim \alpha_{16}$ ——内力系数，可按 $m = t_1/t$ 查表 C. 0. 2 确定，其中 t_1 为中隔墙厚度(m)。

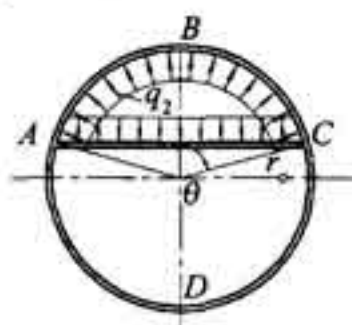


图 C. 0. 2 在一格内水压作用下

表 C. 0. 2 内力系数 α_i

θ		m						
		60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
0.95	α_1	0.4559	0.4275	0.4053	0.3879	0.3744	0.3641	0.3566
	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

续表 C.0.2

m	θ α_i	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
		0.95	α_4	1.6801	1.3209	1.0666	0.8818	0.7443
	α_5	0.3419	0.3587	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	0.0779	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
1.00	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

续表 C.0.2

θ $m \quad \alpha_i$		60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
		α_1	0.4764	0.4425	0.4160	0.3952	0.3788	0.3662
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	
1.05	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
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

续表 C.0.2

θ $m \quad \alpha_i$		60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
		1.10	α_{10}	0.1648	0.1363	0.1138	0.0958	0.0811
	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	0.3448	0.3693	0.4010	0.4416	0.4936	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	0.2008	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

续表 C.0.2

m	θ α_i	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
		1.20	α_3	-0.1750	-0.1348	-0.1014	-0.0725	-0.0468
	α_1	1.8193	1.4096	1.1223	0.9153	0.7626	0.6478	0.5601
	α_3	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	-0.2252	-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

C.0.3 框架内力的符号,应按图 C.0.3 的规定采用。

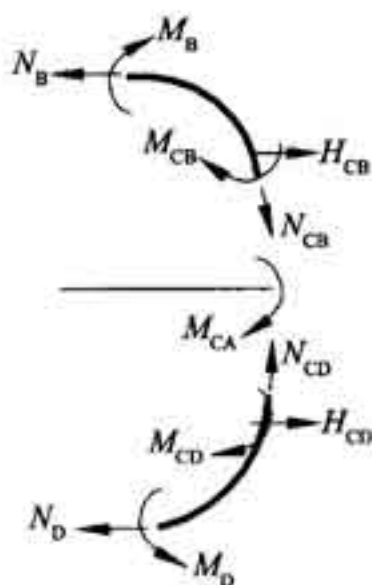


图 C.0.3 内力符号规定

注:图示为正值。

附录 D 圆形沉井底板在均布荷载作用下的弯矩计算

D.0.1 周边简支的圆板(图 D.0.1)应符合下列规定:

径向弯矩:

$$M_r = k_r q r_c^2 \quad (\text{D.0.1-1})$$

切向弯矩:

$$M_t = k_t q r_c^2 \quad (\text{D.0.1-2})$$

内力系数 k_r 和 k_t 可按表 D.0.1 采用。

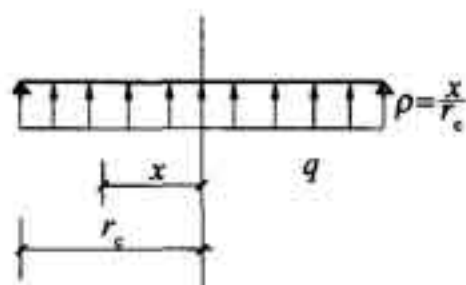


图 D.0.1 周边简支圆板简图

表 D.0.1 周边简支圆板弯矩系数

ρ	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	
k_r	-0.1979	-0.1959	-0.1900	-0.1801	-0.1662	
k_t	-0.1979	-0.1970	-0.1942	-0.1895	-0.1829	
ρ	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
k_r	-0.1484	-0.1267	-0.1009	-0.0712	-0.0376	0.0000
k_t	-0.1745	-0.1642	-0.1520	-0.1379	-0.1220	-0.1042

注:表中“-”表示板顶面受拉。

D.0.2 周边固定圆板(图 D.0.2)应符合下列规定:

径向弯矩:

$$M_r = k_r q r_c^2 \quad (\text{D. 0. 2-1})$$

切向弯矩:

$$M_t = k_t q r_c^2 \quad (\text{D. 0. 2-2})$$

内力系数 k_r 和 k_t 可按表 D. 0. 2 采用。

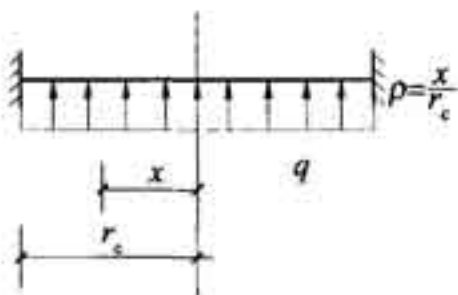


图 D. 0. 2 周边固定圆板简图

表 D. 0. 2 周边固定圆板弯矩系数

ρ	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	
k_r	-0.0729	-0.0709	-0.0650	-0.0551	-0.0412	
k_t	-0.0729	-0.0720	-0.0692	-0.0645	-0.0579	
ρ	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
k_r	-0.0234	-0.0167	0.0241	0.0588	0.0874	0.1250
k_t	-0.0495	-0.0392	-0.0270	-0.0129	0.0030	0.0208

注:表中“-”表示板顶面受拉。

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

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《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
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《混凝土碱含量限值标准》CECS 53

中国工程建设协会标准

给水排水工程钢筋混凝土
沉井结构设计规程

CECS 137 : 2015

条文说明

目 次

1 总 则	(63)
3 材 料	(64)
4 结构上的作用	(65)
4.1 作用分类和作用代表值	(65)
4.2 永久作用标准值	(65)
4.3 可变作用标准值和准永久值系数	(65)
5 基本设计规定	(66)
5.1 一般规定	(66)
5.2 承载能力极限状态计算	(67)
5.3 正常使用极限状态验算	(67)
6 沉井下沉和结构计算	(68)
6.1 一般规定	(68)
6.2 圆形沉井	(70)
6.3 矩形沉井	(71)
7 构造要求	(74)
7.1 一般规定	(74)
7.2 基本构造	(74)
附录 B 圆形沉井倾斜状态的内力计算	(76)

1 总 则

1.0.2 沉井按材料分,混凝土沉井、钢筋混凝土沉井、钢板沉井、钢壳沉井、圻工沉井等。本规程为给水排水工程的钢筋混凝土沉井编制,其他行业使用的沉井和非钢筋混凝土沉井,可结合具体情况按照本规程执行。

3 材 料

3.0.1 干式沉井指使用阶段沉井内无水,如卧式泵泵房等;湿式沉井指使用阶段沉井内贮水,如集水井、进水箱等。对于部分干式部分湿式的沉井,应按干式沉井考虑。

3.0.2 水下封底混凝土设计强度等级不宜低于 C20,以免厚度过大,抗渗性能过差,同时受水影响的水下混凝土强度不宜低于 C20。

3.0.4 本条依据现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的规定制定。

3.0.5 当地下水或井内贮水对混凝土和钢筋有腐蚀作用时,应采取相应的防腐措施。

3.0.7 外加剂可分为减水剂、早强剂和密实剂等,可根据实际需要选用。

3.0.9 本规程未列出混凝土和钢筋的力学性能指标均应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 执行。

4 结构上的作用

4.1 作用分类和作用代表值

4.1.1 本条针对给水排水沉井设计中遇到的各种作用,根据现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 规定的原则,区分为永久作用和可变作用。

4.1.2 沉井结构设计时,对不同荷载采用不同的代表值。本规程给出了三种代表值:标准值、组合值和准永久值。其中标准值是荷载的基本代表值,其他代表值以标准值乘以相应的系数得出。

4.1.3、4.1.4 结构承受两种或两种以上可变作用时,作用效应组合值在承载能力极限状态下采用基本组合值;在正常使用极限状态下采用标准组合值和准永久组合值。

4.2 永久作用标准值

4.2.1~4.2.3 条文规定了沉井结构设计中各项永久作用标准值的取值。现对沉井壁上的侧向土压力计算说明如下:

- 1 侧向土压力按朗金理论计算;
- 2 土的抗剪强度一般采用固结快剪或快剪的峰值作为指标。

4.3 可变作用标准值和准永久值系数

4.3.1~4.3.5 条文规定了给水排水沉井结构设计中各项可变作用标准值的取值。对正常使用极限状态按作用效应准永久组合设计时的准永久值系数,均根据工程实际情况或按照国家现行相关标准做出了具体规定。对地下水标准值也做了明确规定。

5 基本设计规定

5.1 一般规定

5.1.1、5.1.2 条文明确了沉井结构构件均应进行承载力极限状态计算。

对于承载能力极限状态设计除稳定验算外,均采用以概率理论为基础的分项系数设计表达式。

5.1.3 对使用阶段应进行正常使用极限状态验算。当沉井结构构件为轴心受拉或小偏心受拉时,因全截面处于受拉状态,裂缝贯穿全截面,将对防渗、防漏和耐久性构成严重危害,故应按作用效应标准组合进行抗裂度验算。当沉井结构构件为受弯或大偏心受拉时,部分截面处于受拉,部分截面处于受压,故可按作用效应准永久组合进行裂缝宽度验算。对直接承受竖向传功装置设备的构件,为确保设备正常运行并满足感观要求和耐久性要求,应按准永久组合进行变形(挠度)验算。

5.1.4 沉井设计应进行沉井下沉、下沉稳定性和抗浮稳定性验算。沉井一般靠自重克服壁外侧摩阻力下沉。当自重不足时可采取配重措施助沉。下沉系数不小于 1.05 时,能保证沉井顺利下沉。当为软土地基时,下沉系数不宜太大,如下沉系数过大,可能会发生超沉、突沉现象。下沉稳定性主要指,在下沉至设计标高时,由于地基土承载力弱,使沉井“刹车”不止,造成超沉,影响工艺流程。抗浮稳定主要是,在不排水下沉时,沉井已封底而底板尚未施工,井内水已抽空时为最不利。抗浮稳定性验算的地下水位取此阶段可能出现的最高水位。使用阶段的抗浮稳定性应采用可能出现的最高水位进行验算。沉井的倾覆和滑移验算主要指,当沉井位于边坡时,沉井兼做挡土结构的验算。表 5.1.4 中,根据工程

经验和有关标准给出的工作特征设计系数,实质是安全系数。

5.1.5 本条规定了沉井结构的地基计算所遵循的标准。当沉井下沉深度不大,上部荷载较重时,应考虑验算地基承载力。当沉井下沉较深,且井上部又没有建筑时,则不需要验算地基承载力。

5.2 承载力极限状态计算

5.2.1 这是以概率理论为基础的极限状态设计法中承载力设计表达式的通式。

5.2.2 对第一个可变荷载应取其标准值,对其他可变荷载均取其组合值。同时根据现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的原则,给出了具体可变荷载的分项系数和各种工况的组合。

5.3 正常使用极限状态验算

5.3.1 对正常使用极限状态,沉井结构构件分别按效应的标准组合或准永久组合进行验算,以确保满足结构构件的运行要求、感观要求,尤其是耐久性要求。

5.3.2、5.3.3 对正常使用极限状态验算,按标准组合和准永久组合,分别给出了作用效应组合的一般计算公式,并结合沉井的情况明确应根据不同工况取不同作用项目。

5.3.4、5.3.5 条文列出了构件截面最大裂缝宽度限值与变形限值。抗裂度验算与最大裂缝宽度验算的计算公式,均按现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的规定执行。

沉井的刃脚不需要进行裂缝宽度验算。沉井井体施工期间的受力,裂缝宽度 ω 可控制在不大于 0.25mm。

6 沉井下沉和结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 本规程所列摩阻力图式是传统的,如有地区的成功经验可进行调整。

6.1.2 根据工程实践经验,一般沉井多按结构自重克服摩阻力下沉。加载下沉只用于薄壁沉井,但当下沉发生困难时,也可用作临时处理措施。

在选择沉井下陷系数时,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。

6.1.3 当沉井下陷系数大于 1.50 或下沉过程中遇有软弱土层时,有可能会发生沉井突沉事故。如果沉井下陷稳定验算不能满足,需进行地基加固,或者考虑沉降差,按倾斜理论计算沉井内力。公式(6.1.3)中的 R_0 值也可按修正后的地基极限承载力采用。

6.1.4 抗浮稳定验算时不计井壁外侧土体摩阻力的作用。考虑到实际上摩阻力存在,抗浮稳定系数下限取 1.00 是能够保证沉井抗浮稳定要求的。如果沉井较深,宜考虑摩阻力。考虑摩阻力的抗浮系数,宜取 1.15,当井外壁与土之间采用注浆措施时,则可取 1.05。

6.1.5 当封底混凝土与底板有可靠连接时,封底混凝土可作为沉井抗浮重量的一部分,通常的连接方式是使用插筋。封底混凝土与底板共同作用,目前尚无实例。临时用于工作井的沉井,封底后可以不另做钢筋混凝土底板。

6.1.8 本条系参考现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTJ 024 的有关规定制定。

6.1.9 沉井施工阶段的竖向拉断计算,在软土地基上不必计算。

6.1.12 对软土地基上设有底梁的沉井,下沉时考虑到底梁的切土作用或利用底梁作用防止突沉措施时,应对底梁进行下沉阶段的强度验算。梁下的地基反力设计值可取地基土极限承载力。

6.1.13 封底素混凝土厚度计算公式,系按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中有关矩形截面素混凝土受弯构件承载力公式调整,推导如下:

$$M \leq \frac{\gamma f_{ct} b h^2}{6} \Rightarrow h \geq \sqrt{\frac{6M}{\gamma f_{ct} b}} \quad (1)$$

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,沉井封底素混凝土厚度较大,故取值 $\gamma=1.2$;

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:

$$h \geq \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} \quad (2)$$

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:

$$h \geq \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} + h_0 \quad (3)$$

6.1.14 封底混凝土板边缘处剪力较大,考虑到素混凝土强度较低,平面尺寸大的板应进行冲剪验算。

6.1.16 将刃脚传来的水、土压力传至刃脚上井壁,计算此段井壁的外层水平配筋时,可以把刃脚的外层水平钢筋面积包括进去。计算内层钢筋时,不可计入凹槽和刃脚斜面部分的钢筋。传力高度范围原规程描述不够清晰,现示意如下:

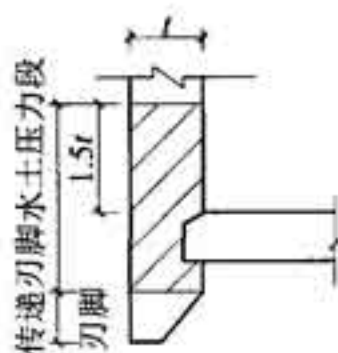


图1 传力示意

6.1.18 排水法施工,井内水位降至刃脚以下,井外的最大水压已降低至零,可将原计算的水压力乘 0.7 系数。

6.2 圆形沉井

6.2.1 本条仅列出了圆形沉井下沉前采用四点支承情况的内力计算表达式。采用垫木支承的大型沉井,在下沉前支承点较多,应根据实际情况进行计算。当使用素混凝土垫层替代垫木支承时,应按弹性地基梁计算。

6.2.2 本条为沉井刃脚的内力计算规定:

(1)刃脚向外竖向弯曲受力,在沉井抽除承垫木,且刃脚入土时最不利,此时沉井自重全部由刃脚支承,并且刃脚斜面有向外推力作用。

(2)刃脚向内竖向弯曲受力,在沉井下沉到设计标高且刃脚内侧已清土时最不利。此时刃脚外侧水平土压力最大。

(3)据使用者反映,刃脚配筋偏多。这次修编时,考虑刃脚按压弯构件计算比较符合实际。根据上海经验,沉井下沉时刃脚都埋入土中,考虑轴压力是可靠的。在硬土地基上,刃脚下可能会被挖空。建议在下沉系数大于 1.50 考虑轴压力比较合适。

(4)当刃脚的设计构造用凹槽与底板连接时,应验算凹槽对截面削弱的影响。

(5)刃脚的环向受力状态,按刃脚向外挠曲的模型计算。圆形

沉井刃脚斜面上的水平推力尚对刃脚产生环向拉力。

6.2.3 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° 方向土摩擦角相差 $5^\circ\sim 10^\circ$,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。

6.2.7 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,比《给排水结构设计手册》中推荐的在水平向和竖向均按矩形图式分布更为合理。

6.2.8 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的方法,是主编等人研究推导的成果。设计人员可以根据条文中的荷载分布简图进行土抗力近似计算。沉井后背土体稳定验算的公式,系参考上海市标准《市政排水管道工程施工及验收规程》DBJ 08—220—90 相关规定,本规程对系数作了适当调整。计算土压力时,有地下水时,对于砂性土采用水土分算,对于黏性土采用水土合算。

6.3 矩形沉井

6.3.1 矩形沉井施工阶段的井壁竖向受力计算,须按沉井在施工过程中的传力体系合理确定计算图式,随后配置水平和垂直方向的两种钢筋。由于沉井形状各异,施工的具体技术措施亦不尽相同,因此应根据具体情况进行分析计算。

对采用承垫木支承的矩形沉井,施工中实际的支承位置是复杂的,因此,对小型矩形沉井可按最不利的支承情况进行计算。对大型矩形沉井,若在一个方向上只考虑两点作为不利支承则与实际情况出入较大,布点时还应考虑砂垫层厚度和持力土层的地基

极限承载力。

6.3.3 矩形沉井在下沉过程中刃脚受力较为复杂。刃脚刚切入土中时受到向外的弯曲作用,挖空刃脚下的土后,刃脚又受到外部的水土压力作用而向内弯曲。根据结构分析,可以认为刃脚把一部分力以悬臂梁作用传到刃脚根部,另一部分由本身作为一个水平闭合框架而负担。因此,可以把刃脚看成在平面上是一个水平闭合框架,在竖向是一个固定在井壁上的悬臂梁。水平荷载的分配系数要根据悬臂和水平框架两者的变位关系确定。

6.3.4 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。本条是近年来的经验总结,设计人员可以根据条文中的荷载分布简图进行土抗力的近似计算。

现对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,沿高度方向三角形分布(图 6.3.4-4)。

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 $H=3h_t$ 。

可整理得:

$$P_t = \frac{1}{2} q_{\max} H l_1 \quad (4)$$

$$q_{\max} = \frac{2P_t}{3l_1 h_t} \quad (5)$$

式中: q_{\max} ——土体对井壁的最大抗力(kN/m^2);

P_t ——顶管对井壁的总顶力设计值(kN)。

6.3.5 对于顶管位不在结构平面中心的双格井,顶力作用引起的两个方向土抗力的公式可推导如下(图 2、图 3):

根据图示压力分布,假定 $L=3l$:

沿井高线性变化如下列公式:

$$q_y = q_{\max} \left(1 - \frac{y}{3h_t} \right) \quad (6)$$

$$P_t = \frac{L}{2} \int_0^{3h_t} q_y dy = \frac{9h_t l}{4} q_{\max} \quad (7)$$

$$q_{\max} = \frac{4P_t}{9h_t l} \quad (8)$$

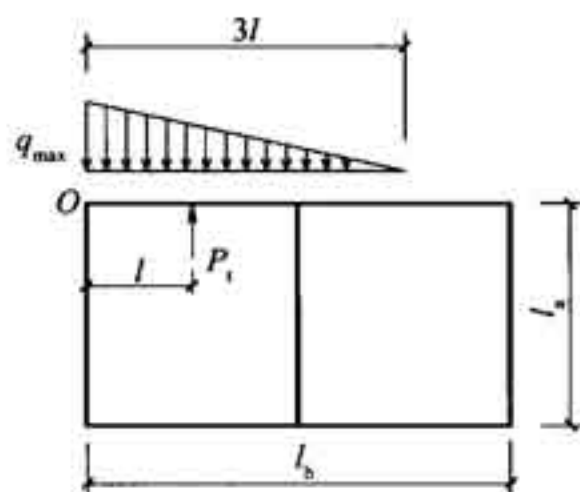


图2 双井一格顶进时土抗力水平分布

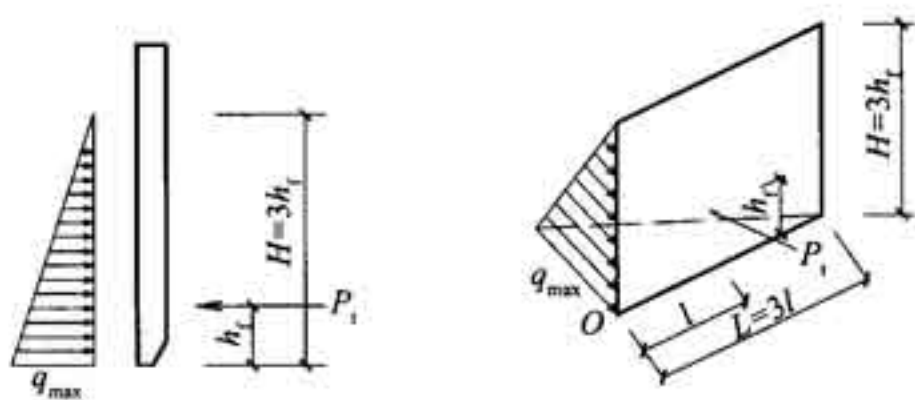


图3 土抗力三角形分布透视

7 构造要求

7.1 一般规定

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沉稳定控制的需要。在有经验时可放宽,但应有相应的构造和施工措施。沉井高宽比不宜大于2.5,如果不满足要求,可考虑采用分段制作、多次下沉的方法,降低地面以上沉井的高度。

7.1.2 满足本条要求的沉井,下沉把握大;不满足要求时,可以将导致偏心的隔墙厚度减薄或改成二次浇筑。

7.1.3 沉井分节制作时,上节井壁混凝土的收缩与下节不一致,须采取措施予以控制。矩形沉井的井壁长度大于50m或圆形沉井的直径大于40m时,均应采取措施。措施中应包括设后浇带、用补偿收缩混凝土和增加水平钢筋等。

7.1.5 沉井克服土摩阻力下沉,沉井外壁受土摩擦,土层外层钢筋的混凝土保护层宜适当加大。

7.2 基本构造

7.2.1 分格尺寸不宜太小,否则施工工具械不好操作。

7.2.2 筑岛材料的选用应与挖土方式相适应。当采用水力机械下沉时,填筑的砂中不宜夹有砾石。

7.2.3 沉井起沉标高应在水位以上,以满足浇筑混凝土的要求。如水位高于沉井起沉标高,应采取筑岛、围堰或降水措施。

7.2.4 图7.2.4(f)特别适用薄壁沉井,这种构造对井壁截面不削弱。图中踏面宽度 c 可按下式计算:

$$c = \frac{W - F}{f \cdot v} \quad (9)$$

式中: W ——井自重;

F ——摩阻力;

f ——地基强度;

v ——踏面中心周长。

7.2.6 刃脚的长度应满足封底混凝土厚度的要求。封底前有可能发生涌土时,应采取必要措施。

7.2.8 除用井点降水外,水下封底混凝土中埋设的排水管也能起降水泄压作用,管道布设、直径等应满足泄压的要求。

7.2.13 直径大于 $\phi 20$ 的粗钢筋弯折困难,施工不方便。

7.2.15 顶管工作井受顶力作用的壁板凹槽,要设插筋同底板连接,防止顶力造成底板同井壁脱离。

7.2.16 梁底和隔墙底的下面留有空间是为了取土下沉。

7.2.19 井壁框架柱向井外凸,对下沉不利。

7.2.20 本条文所列井壁预留洞尺寸是最小尺寸,设计时需根据实际情况确定。

附录 B 圆形沉井倾斜状态的内力计算

1 倾斜状态沉井的基底反力计算：

1) 沉井自重作用产生的均布反力：

$$q_1 = \frac{G \cos \alpha}{A} \quad (10)$$

式中： q_1 ——沉井自重作用产生的均布反力(kPa)；

G ——沉井总重量(kN)；

A ——井底的底面积(m^2)；

α ——沉井倾角($^\circ$)。

2) 沉井突沉导致不均反力：

$$q_2 = f_u - q_1 \quad (11)$$

式中： q_2 ——不均匀反力最大值(kPa)；

f_u ——软弱土层极限承载力(kPa)。

2 井底不均反力 q_2 产生的抵抗力 M_0 (图 4)。

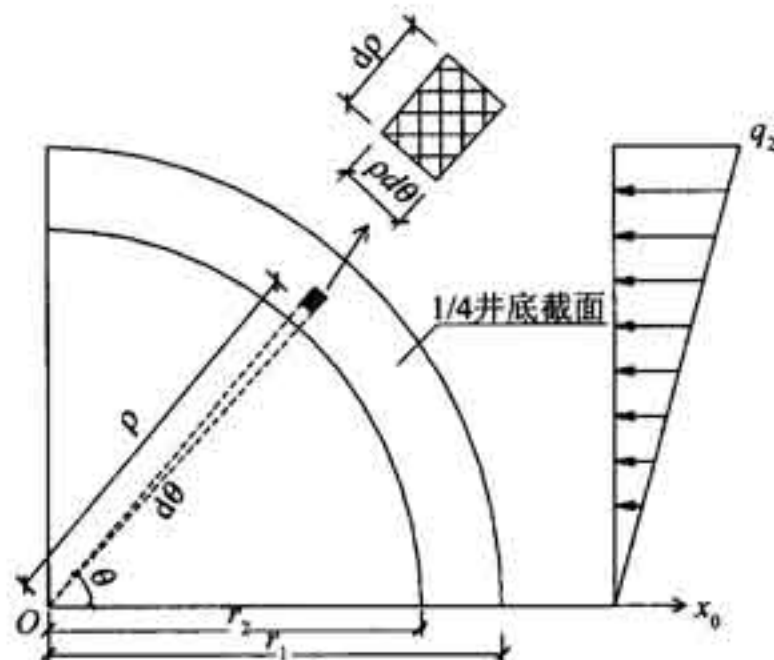


图 4 M_0 计算示意图

r_1 ——井的外径； r_2 ——内径。

1) 用极坐标双重积分求 M_0 :

井底截面上某微元处的土反力强度:

$$q_s = \frac{q_2}{r_1} \rho \sin \theta \quad (12)$$

微元面积上的反力对 x_0 轴产生的弯矩为:

$$dM_0 = \frac{q_2}{r_1} \rho \sin \theta \rho \sin \theta d\theta d\rho \quad (13)$$

经过双重积分计算可得:

$$\begin{aligned} M_0 &= 4 \iint \frac{q_2}{r_1} \rho \sin \theta \rho \sin \theta d\theta d\rho = 4 \frac{q_2}{r_1} \int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta d\theta \int_{r_2}^{r_1} \rho^3 d\rho \\ &= \frac{\pi}{4} \frac{q_2 (r_1^4 - r_2^4)}{r_1} \quad (14) \end{aligned}$$

3 方程式建立和推导(图 5):

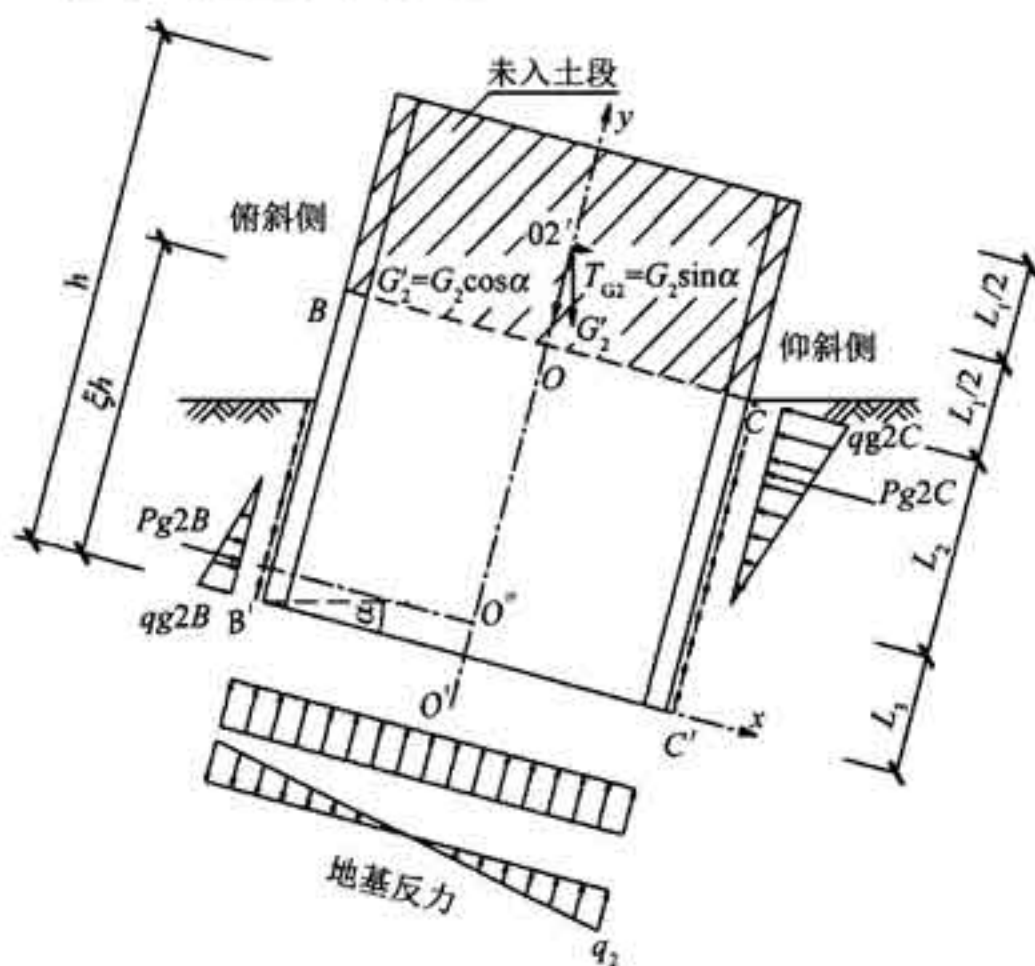


图 5 圆形沉井倾斜受力模式

几何关系：

$$h_0 = L_2 + L_3 \quad (15)$$

由于井两边呈线性关系 $\frac{P_C}{P_B} = \frac{L_2^2}{L_3^2}$

$$P_C = \frac{L_2^2}{L_3^2} P_B \quad (16)$$

$$\sum X = 0, T_{G2} + P_B = P_C \quad (17)$$

$$\sum M_0 = 0$$

$$P_C \frac{2}{3} (L_2 + L_3) = P_C = M - M_0 + T_{G2} \left(L_2 + \frac{2}{3} L_3 \right) \quad (18)$$

$$T_{G2} + P_B = \frac{L_2^2}{L_3^2} P_B$$

$$P_B = \frac{L_3^2}{L_2^2 - L_3^2} T_{G2} = \frac{L_3^2}{h_0 (L_2 - L_3)} T_{G2} \quad (19)$$

$$P_C = \frac{L_2^2}{h_0 (L_2 - L_3)} T_{G2} \quad (20)$$

由公式(20)代入公式(18)：

$$\frac{L_2^2}{h_0 (L_2 - L_3)} T_{G2} \frac{2}{3} (L_2 + L_3) = M - M_0 + T_{G2} \left(L_2 + \frac{2}{3} L_3 \right)$$

$$\frac{2}{3} L_2^2 T_{G2} = (M - M_0) (L_2 - L_3) + T_{G2} \left(L_2 + \frac{2}{3} L_3 \right) (L_2 - L_3)$$

$$L_3 = h_0 - L_2 \quad (21)$$

由公式(21)代入上式：

$$\frac{2}{3} L_2^2 T_{G2} = (M - M_0) (2L_2 - h_0) + T_{G2} \left(L_2 + \frac{2}{3} h_0 - \frac{2}{3} L_2 \right)$$

$$(2L_2 - h_0)$$

$$\frac{2}{3} L_2^2 T_{G2} = 2L_2 (M - M_0) - h_0 (M - M_0)$$

$$+ T_{G2} \left(\frac{2}{3} h_0 + \frac{1}{3} L_2 \right) (2L_2 - h_0)$$

$$\begin{aligned}
\frac{2}{3}L_2^2 T_{G2} &= 2L_2(M - M_0) - h_0(M - M_0) \\
&\quad + T_{G2} \left(\frac{2}{3}L_2^2 - \frac{1}{3}L_2 h_0 + \frac{4}{3}L_2 h_0 - \frac{2}{3}h_0^2 \right) \\
0 &= 2L_2(M - M_0) - h_0(M - M_0) + L_2 h_0 T_{G2} - \frac{2}{3}h_0^2 T_{G2} \\
0 &= L_2[2(M - M_0) + h_0 T_{G2}] - h_0(M - M_0) - \frac{2}{3}h_0^2 T_{G2} \\
L_2 &= \frac{\frac{2}{3}h_0^2 T_{G2} + h_0(M - M_0)}{2(M - M_0) + h_0 T_{G2}} = \frac{3(M - M_0)h_0 + 2h_0^2 T_{G2}}{6(M - M_0) + 3h_0 T_{G2}} \quad (22)
\end{aligned}$$

$$\text{令 } a = M - M_0$$

$$b = h_0 T_{G2}$$

$$L_2 = \frac{3ah_0 + 2h_0 b}{6a + 3b} = \frac{h_0 \left(a + \frac{2}{3}b \right)}{2a + b} \quad (23)$$

L_2 求出后,由公式(15)求出 L_3 ,由公式(20)求出 P_c ,由此可得:

$$q_c = \frac{2P_c}{L_2} \quad (24)$$