

UDC



中华人民共和国行业标准

P

SH 3068-1995

石油化工企业钢储罐地基与基础 设计 规 范

Petro-Chemical enterprises design specification
for steel storage tanks subgrade and foundation

1995-07-07 发布

1995-12-01 实施

中国石油化工总公司 发布

中华人民共和国行业标准

石油化工企业钢储罐地基与基础 设计 规 范

Petro-Chemical enterprises design specification
for steel storage tanks subgrade and foundation

SH 3068-1995

主编单位：中国石化北京设计院

批准部门：中国石油化工总公司

中国石油化工总公司文件

中石化(1995)建字293号

关于发布行业标准《石油化工企业钢储罐 地基与基础设计规范》的通知

各有关单位:

由中国石化北京设计院主编的《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》已经审查和定稿。现批准《石油化工企业钢储罐地基与基础设计规范》SH 3068-1995 为石油化工行业标准,自1995年12月1日起实施。原《炼油厂钢油罐基础设计技术规定》SHJ1058-84,于1996年5月31日废止。

本规范的具体解释工作,由中国石化北京设计院负责。

中国石油化工总公司

一九九五年七月七日

目 次

1	总则	1
2	主要符号	2
3	设计条件	5
4	罐基础的选型	9
4.1	地基要求	9
4.2	选型	9
5	环墙计算	14
5.1	环墙宽度	14
5.2	环墙上作用效应	15
5.3	环墙截面配筋	17
6	地基承载力及稳定性计算	18
6.1	承载力计算	18
6.2	稳定性计算	18
7	地基变形计算	25
7.1	一般规定	25
7.2	变形计算	25
7.3	地基变形允许值	27
7.4	地基沉降观测	28
8	罐基础构造与材料	30
8.1	构造	30
8.2	材料	33
附录A	圆形面积上均布荷载作用下各点附加应力 系数 α_1	插页

附录B	圆形面积上均布荷载作用下各点平均附加应力 系数 α ,	插页
附录C	上海地区罐基础地基最终沉降量计算	插页
附录D	罐基础沉降观测记录	插页
附录E	用词说明	37
附加说明	38

1 总 则

1.0.1 本规范适用于储存原油、中间产品油和成品油等石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐的地基与基础(以下简称“罐基础”)设计。

本规范不适用于储存低温、剧毒、酸、碱腐蚀介质和介质自重大于 10kN/m^3 及架高储罐的地基与基础的设计。

1.0.2 执行本规范时,尚应符合现行有关标准规范的要求。

2 主要符号

2.0.1 作用和作用效应

C_{mj} —— 第 j 级荷载时地基土的抗剪强度;

F —— 上部罐体及储水传至罐基础顶面的竖向力设计值;

F_i —— 环墙单位高环向力设计值;

$F_{i,0}$ —— 外环墙单位高环向力设计值;

f —— 地基承载力设计值;

G —— 罐基础各层自重设计值;

g —— 罐壁底端传给环墙顶端的线分布荷载标准值;

M_R —— 抗滑力矩标准值;

M_S —— 滑动力矩标准值;

P —— 罐基础底面(持力层顶面)处的平均压力设计值;

P_0 —— 对应于荷载标准值时的罐基础计算底面处的附加压力;

P_z —— 罐基础底面下深度 Z 处土的附加压力标准值;

P_{cz} —— 罐基础底面下深度 Z 处土的自重压力标准值;

S —— 地基最终沉降量;

$\Delta S_i'$ —— 在计算深度范围内, 第 i 层土的计算沉降值;

S_{ij} —— 正常固结状态的粘性土, 在荷载 p_j 作用下, 地基滑弧上第 i 段时间为 t 时的抗剪强度;

$\Delta S_n'$ —— 在由计算深度向上取厚度为 ΔZ 的土层计算沉降值。

2.0.2 计算指标

- $E_{n,i}$ —— 罐基础底面下第*i*层土的压缩模量;
 $E_{n,1-2}$ —— 地基土在100~200kPa压力作用时的压缩模量;
 f_k —— 地基承载力标准值;
 f_y —— 钢筋的抗拉强度设计值;
 γ_c —— 环墙的重度;
 γ_L —— 罐内使用阶段储存介质的重度;
 γ_m —— 环墙内各层的平均重度;
 γ_w —— 水的重度。

2.0.3 几何参数

- A —— 罐基础底面面积;
 A_n, A_{no} —— 环墙、外环墙单位高环向钢筋的截面积;
 b —— 环墙宽度;
 b_1 —— 外环墙内侧至罐壁内侧距离;
 D_p —— 塑料排水带当量换算直径;
 D_c —— 储罐底圈内直径;
 H —— 罐底至外环墙底高度;
 h —— 环墙高度;
 h_L —— 环墙顶面至罐内最高储液面(介质)高度;
 h_w —— 环墙顶面至罐内最高储水面高度;
 i —— 坡度;
 R —— 环墙, 外环墙中心线半径;
 R_n —— 外环墙内侧半径;
 R_o —— 滑弧半径;
 R_c —— 储罐底圈内半径。

2.0.4 计算系数及其它

- F_n —— 抗滑稳定安全系数;

- K —— 环墙侧压力系数;
- Q —— 竖向排水体贯入比;
- U_t —— 固结时间为 t 时, 对总荷载而言的地基平均固结度;
- α —— 参数;
- α_1 —— 附加应力系数;
- $\overline{\alpha}_1$ —— 平均附加应力系数;
- β —— 罐壁伸入环墙顶面宽度系数, 参数;
- γ —— 罐体自重分顶系数;
- γ_0 —— 重要性系数;
- γ_{qm} —— 环墙内各层自重分项系数;
- γ_{qw} —— 水自重分项系数;
- ψ_s —— 沉降计算经验系数;
- δ —— 沉降系数。

3 设计条件

3.0.1 罐基础设计必须具有建设场区的下列资料:

3.0.1.1 工程地质勘察报告

(1) 一般地基:

应包括任务要求及场地地形地貌、地质构造(包括断层)、不良地质现象、地层成层条件、岩土的物理力学性质、场地的稳定性、岩土的均匀性、岩土的承载力标准值、地下水的特性、土的标准冻结深度以及由于工程建设可能引起的工程问题等的结论和建议。并附勘探点平面布置图、工程地质剖面图、地质柱状图、以及有关测试图表等。

(2) 软土地基:

除按一般地基要求外,尚应包括土层的组成、土的分类、分布范围、压缩系数、压缩模量、垂直方向和水平方向的渗透系数和固结系数、固结压力和孔隙比的关系、三轴固结不排水抗剪强度、无侧限抗压强度、不固结不排水三轴抗剪强度及有效内摩擦角、十字板原位抗剪强度、灵敏度以及地基处理方法的建议等。

(3) 山区地基:

除按一般地基要求外,尚应包括建设场区地基的滑坡、岩溶、土洞、崩塌、泥石流等不良地质现象,地基的不均匀性的分布范围以及对地基处理方法的建议等。

(4) 特殊土地基(如湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土、盐渍土、混合土、填土、红粘土、污染土等):

除按一般地基要求外，有关资料应按现行有关标准规范要求提供。

(5) 地震区：

尚应作场地和地基的地震效应评价。

3.0.1.2 勘探点数量及勘探孔深度：

(1) 勘探点数量

勘探点数量应根据储罐的型式、容积、场地类别等确定。一般布置在储罐中心和边缘。初期阶段，一个罐区不宜少于3~5点，详勘阶段可按表3.0.1采用。

储罐勘探点数量

表3.0.1

场地类别	储罐公称容积 (m ³)			
	<5000	10000	20000~30000	50000
简单场地	2	2~3	3~4	4~5
中等复杂场地	3~4	4~5	5~7	6~8
复杂场地	4~5	5~7	6~8	8~10

注：① 浮顶、内浮顶罐，宜采用大值，固定顶罐可采用小值；

② 5000m³以下的储罐，容积大的宜采用大值，容积小的宜采用小值；

③ 当为储罐群时，罐间勘探点可以共用。

(2) 勘探孔深度

储罐的勘探孔深度，可根据地基情况和储罐的容积确定。一般可按表3.0.2采用。

勘 探 孔 深 度

表 3.0.2

储罐公称容积 (m^3)	勘探孔深度 (m)	
	一般地基	软土地基
< 5000	$0.8D_s \sim 0.9D_s$	$1.0D_s \sim 1.1D_s$
10000	$0.7D_s \sim 0.8D_s$	$0.9D_s \sim 1.0D_s$
20000 ~ 30000	$0.6D_s \sim 0.7D_s$	$0.8D_s \sim 0.9D_s$
50000	$0.5D_s \sim 0.6D_s$	$0.7D_s \sim 0.8D_s$

注： D_s 为储罐底圈内直径 (m)。

3.0.1.3 抗震设防烈度

3.0.2 罐基础设计，应具有下列工艺、安装、设备及总图等资料：

3.0.2.1 罐区平面布置及设计竖向标高，罐中心座标；

3.0.2.2 储罐的型式、容积、几何尺寸、罐底坡度及中心标高、设计地面标高、罐壁底端线分布荷载标准值；

3.0.2.3 储罐内介质及最高储液面的高度、最高温度、介质重度；

3.0.2.4 储罐的罐前平台、排放口、沟、井、梯基础等辅助设施的位置及型式；

3.0.2.5 与储罐罐体有关的管道布置、预埋件、锚栓布置及罐周的排水设施等;

3.0.2.6 储罐施工安装、试压等方法对罐基础的要求;

3.0.2.7 对储罐基础使用的要求。

4 罐基础的选型

4.1 地基要求

4.1.1 当罐基础下地基土为软土地基、不良地质现象的山区地基、特殊土地基，及地震作用地基土有液化时或地基土的承载力设计值及沉降差不能满足设计要求时，均应对地基进行处理，或采取相应的技术措施。

4.1.2 罐基础下未经妥善处理的耕土层、人工填土、生活垃圾、工业废料等稳定性差的土层，均不得作为持力层。

4.1.3 罐基础不得采用有膨胀性或湿陷性的填料，如必须采用时，应采取相应的处理措施。

4.1.4 罐基础下有局部软弱土以及暗塘、暗沟等时，均宜清除，并用素土、级配砂石或灰土分层压（夯）实，压（夯）后地基土的物理力学性能宜力求与同一基础下未经处理者相一致。当清除有困难时，应采取有效的处理措施。

4.1.5 罐基础应避免建在部分坚硬，部分松软的地基土上，当必须建在软硬不一的地基土上时，应采取有效的处理措施。

4.2 选 型

4.2.1 罐基础的选型，应根据储罐的型式、容积、地质条件、材料供应情况、业主要求及施工技术条件，地基处理方法和经济合理性等条件综合考虑。

4.2.2 罐基础按地质条件的选型，应符合下列规定：

4.2.2.1 当地基土能满足承载力设计值和沉降差的要求及建罐场地不受限制时，宜采用护坡式或外环墙式（钢筋混凝土）罐基础。（图4.2.2-1、3）；

4.2.2.2 当地基土不能满足承载力设计值要求，但计算沉降差不超过本规范第7.3.1条规定的允许值时，可采用环墙式、外环墙式（钢筋混凝土）、护坡式罐基础；

4.2.2.3 当地基土为软土，地基土不能满足承载力设计值要求，且计算沉降差不能满足本规范第7.3.1条规定的允许值或地震作用地基土有液化时，宜采用环墙式（钢筋混凝土）罐基础（图4.2.2-2）；

4.2.2.4 当建罐场地受限制时（如装置区内），宜采用环墙式（钢筋混凝土）罐基础。

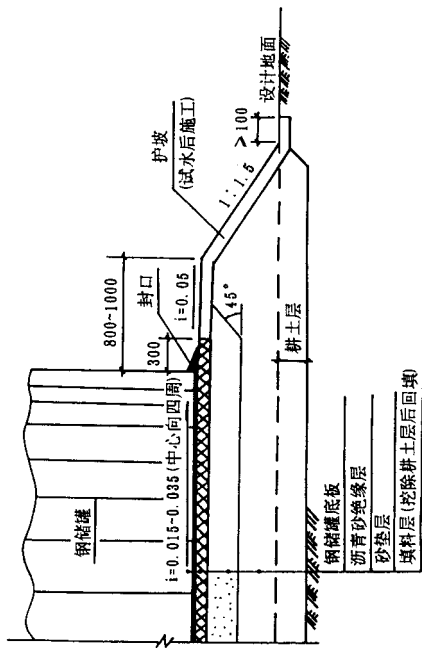


图4.2.2-1 护坡式罐基础

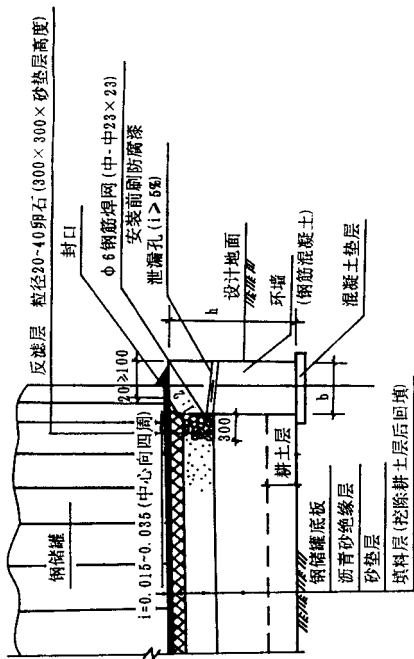


图4.2.2-2 环墙式罐基础

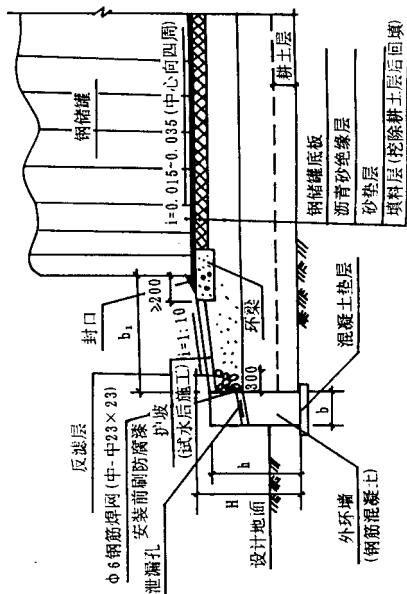


图4.2.2-3 外环墙式罐基础

5 环 墙 计 算

5.1 环 墙 宽 度

5.1.1 当罐壁位于环墙顶面时，环墙式罐基础等截面环墙的宽度，可按式计算(图5.1.1)：

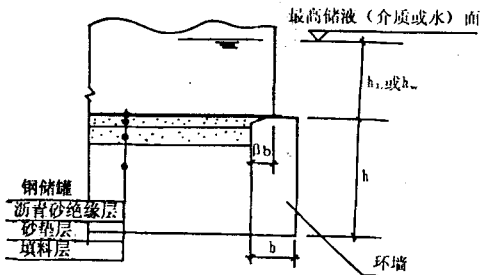


图5.1.1 环墙尺寸示意

$$b = \frac{G}{(1 - \beta) \gamma_L h_L - (\gamma_c - \gamma_m) h} \quad (5.1.1)$$

式中 b —— 环墙宽度 (m);

g —— 罐壁底端传给环墙顶端的线分布荷载标准值 (当有保温层时, 尚应包括保温层的荷载标准值) (kN/m);

β —— 罐壁伸入环墙顶面宽度系数; 一般可取 0.4 ~ 0.6, 宜取 0.5;

γ_L —— 罐内使用阶段储存介质的重度 (kN/m³);

h_L —— 环墙顶面至罐内最高储液面 (介质) 高度 (m);

γ_c —— 环墙的重度 (kN/m³);

γ_m —— 环墙内各层的平均重度 (kN/m³);

h —— 环墙高度 (m)。

5.2 环墙上作用效应

5.2.1 环墙作用效应, 应根据地基情况进行计算。

5.2.2 环墙可仅进行环向力计算。

5.2.3 当罐壁位于环墙顶面时, 环墙单位高环向力设计值, 可按下式计算 (图 5.1.1)。

$$F_t = (\gamma_{qw} \gamma_w h_w + \gamma_{qm} \gamma_m h) KR \quad (5.2.3)$$

式中 F_t —— 环墙单位高环向力设计值 (kN/m);

γ_{qw} 、 γ_{qm} —— 分别为水, 环墙内各层自重分项系数, γ_{qw} 可取 1.1, γ_{qm} 可取 1.0;

γ_w 、 γ_m —— 分别为水的重度, 环墙内各层的平均重度 (kN/m³), γ_w 可取 9.80, γ_m 可取 18.00;

h_w —— 环墙顶面至罐内最高储水面高度 (m);

K —— 环墙侧压力系数, 一般地基可取 0.33; 软土地基可取 0.50;

R —— 环墙中心线半径 (m)。

5.2.4 当罐壁位于环墙内侧一定距离时(即外环墙式), 外环墙内侧至罐壁内侧距离 (b_1), 宜大于罐底至外环墙底高度(H)。外环墙单位高环向力设计值可按下列规定计算(图5.2.4):

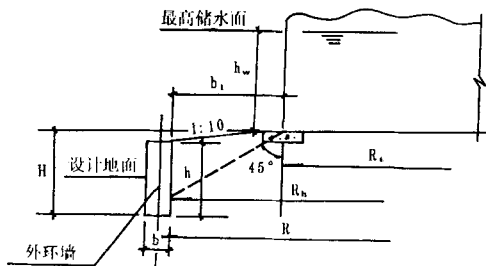


图5.2.4 外环墙尺寸示意图

5.2.4.1 当 $b_1 < H$ 时

(1) 在 45° 扩散角以下的部分, 可按下式计算:

$$F_{1.0} = \left(\gamma_{qm} - \gamma_m H + \gamma \frac{g}{2b_1} + \gamma_{qw} - \gamma_w b_w \frac{R_s^2}{R_h^2} \right) KR \quad (5.2.4-1)$$

(2) 在 45° 扩散角以上的部分, 可按下式计算:

$$F_{1.0} = \gamma_{qm} - \gamma_m b_1 KR \quad (5.2.4-2)$$

5.2.4.2 当 $b_1 > H$ 时:

$$F_{10} = \gamma_{qm} \gamma_m H K R \quad (5.2.4.3)$$

式中 F_{10} —— 外环墙单位高环向力设计值 (kN/m);

γ —— 罐体自重分项系数, 可取 1.2;

b_1 —— 外环墙内侧至罐壁内侧距离 (m);

R_1 —— 储罐底圈内半径 (m);

R_h —— 外环墙内侧半径 (m);

H —— 罐底至外环墙底高度 (m);

R —— 外环墙中心线半径 (m)。

5.3 环墙截面配筋

5.3.1 环墙单位高环向钢筋的截面面积, 可按下式计算:

$$A_n = \frac{\gamma_0 F_1}{f_y} \quad (5.3.1)$$

式中 A_n —— 环墙单位高环向钢筋的截面面积 (mm²);

γ_0 —— 重要性系数, 取 1.0;

f_y —— 钢筋的抗拉强度设计值 (kN/mm²)。

5.3.2 外环墙单位高环向钢筋的截面面积, 可按下式计算:

$$A_{n0} = \frac{\gamma_0 F_{10}}{f_y} \quad (5.3.2)$$

式中 A_{n0} —— 外环墙单位高环向钢筋的截面面积 (mm²)。

6 地基承载力及稳定性计算

6.1 承载力计算

6.1.1 罐基础底面(持力层顶面)处压力的确定,对于天然地基或经处理后的地基,应符合下式要求:

$$p \leq f \quad (6.1.1)$$

式中 p — 罐基础底面(持力层顶面)处的平均压力设计值(kN/m^2);

f — 地基承载力设计值(kN/m^2),取 $1.1f_k$, f_k 为地基承载力标准值(kN/m^2)。

6.1.2 罐基础底面处的平均压力设计值可作为轴心荷载考虑,按下式计算:

$$p = \frac{F + G}{A} \quad (6.1.2)$$

式中 F — 上部罐体及储水传至罐基础顶面的竖向力设计值(kN);

G — 罐基础各层自重设计值(kN);

A — 罐基础底面面积(m^2),环墙式基础计算直径取环墙外直径,护坡式、外环墙式基础计算直径取储罐底圈内直径。

6.2 稳定性计算

6.2.1 对于软土地基采用预压排水固结法加固地基时,在加载各阶段及位于斜坡、陡坎边缘、已堵塞或掩埋的旧河道及深坑边

缘地带的储罐基础，应进行整体和局部地基抗滑稳定性计算。

6.2.2 地基抗滑稳定性，当为均质粘性土坡和软土地基时，可采用圆弧滑动面法进行验算。

6.2.3 采用圆弧滑动面法进行地基抗滑稳定性验算时，抗滑稳定安全系数为最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩之比，其值应符合下式要求：

$$F_s = \frac{M_R}{M_s} > 1.2 \text{ (或} > 1.3 \text{)} \quad (6.3.2)$$

式中 F_s — 抗滑稳定安全系数，当滑动面为圆弧形面时，取1.2；
为平面时，取1.3；

M_R — 抗滑力矩标准值 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)；

M_s — 滑动力矩标准值 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

6.2.4 均质粘性土坡边坡稳定性的抗滑力矩标准值及滑动力矩标准值，可按下列公式计算 (图6.2.4)；

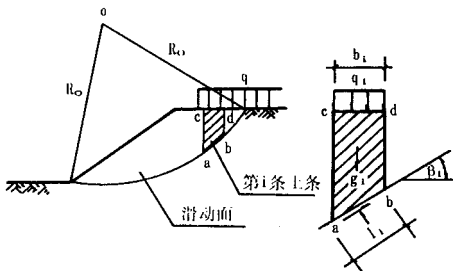


图6.2.4 圆弧滑动面分析

$$M_R = \sum c_i l_i + \sum (q_i b_i + g_i) \cos \beta_i \tan \varphi_i \quad (6.2.4-1)$$

$$M_s = \sum (q_i b_i + g_i) \sin \beta_i \quad (6.2.4-2)$$

- 式中 c_i —— 第*i*条土条滑动面上土的粘聚力标准值(kPa);
 l_i —— 第*i*条土条的弧长(m);
 q_i —— 第*i*条土条顶面的作用荷载标准值(kPa);
 b_i —— 第*i*条土条的宽度(m);
 g_i —— 第*i*条土条的自重。无渗流作用时,地下水位以上用土的天然重度计算;地下水位以下用土的有效重度(kN/m);
 β_i —— 第*i*条土条弧线中点切线与水平线夹角(°);
 φ_i —— 第*i*条土条滑动面上土的内摩擦角标准值(°)。

6.2.5 当按第6.2.4条验算边坡稳定性,其土体抗剪强度以固结快剪峰值确定时,边坡稳定安全系数宜取1.45。

6.2.6 对于软土地基当采用预压排水固结法加固地基时,加载各阶段的抗滑力矩标准值及滑动力矩标准值,可按下列公式计算(图6.2.6):

$$M_R = \sum_{i=1}^m R_{0i}^2 \theta_i C_{m,i} + \frac{1}{2} P'_i b_i'^2 \quad (6.2.6-1)$$

$$M_s = \frac{1}{2} P_i B^2 \quad (6.2.6-2)$$

$$C_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^m R_{0i}^2 \theta_i S_{1,i}}{\sum_{i=1}^m R_{0i}^2 \theta_i} \quad (6.2.6-3)$$

$$S_{1,i} = \eta (S_{0,i} + \alpha_i P_i U_i \frac{\sin \varphi' \cos \varphi'}{1 + \sin \varphi'}) \quad (6.2.6-4)$$

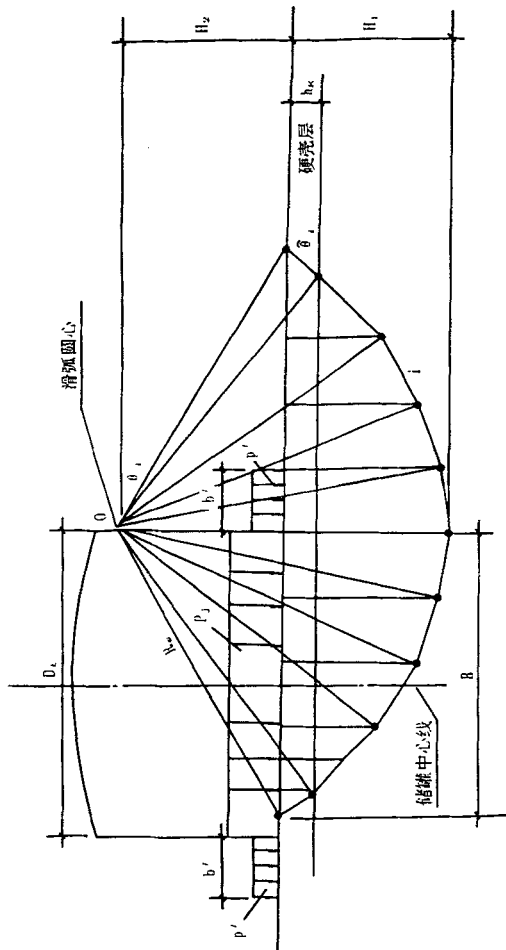


图6.2.6 储罐地基稳定分析

注：图中 H_1 —— 滑弧最大深度，可取 $0.707B$ ；

H_2 —— 滑弧圆心距地面的距离，可取 $R_0 - 0.707B$ ；

h_k —— 硬壳层的厚度。

- 式中 m —— 滑弧分段总数 (每段对应一垂直土条);
- i —— 滑弧分段序号, $i=1 \sim m$;
- R_0 —— 滑弧半径 (m);
- θ_i —— 第 i 段滑弧分区的弧度;
- j —— 分级加荷的级数, 其值为 1 至总级数 N ;
- C_{mj} —— 第 j 级荷载时地基土的抗剪强度 (kN/m^2);
- P' —— 镇压层填土荷载标准值 (kN/m^2);
- P_j —— 第 j 级加荷完毕时的荷载标准值 (kN/m^2);
- b' —— 镇压层填土的宽度 (m);
- B —— 滑弧起点至位于滑动体上的罐壁之间的距离 (m);
- $S_{i,j}$ —— 正常固结状态的粘性土, 在荷载 P_j 作用下, 地基滑弧上第 i 段时间为 t 时的抗剪强度 (kN/m^2);
- $S_{0,i}$ —— 地基滑弧上第 i 段于加荷前的十字板原位抗剪强度或三轴不排水抗剪强度 (kN/m^2);
- η —— 考虑剪切蠕变及其他因素对强度影响的折减系数, 取 $0.75 \sim 0.90$, 对于排水性能好, 固结较快的地基土取大值; 反之取小值;
- α_i —— 地基中第 i 段滑弧处的附加应力系数, 按附录 A 查取;
- U_j —— 镇压荷载下对应于荷载 P_j 固结时间为 t 时的地基平均固结度 (%);
- φ' —— 三轴固结不排水试验求得的土的内摩擦角 ($^\circ$)。

6.2.7 在一级或多级等速加载条件下设置竖向排水体, 固结时间为 t 时, 相应于总荷载的地基平均固结度, 可按下列式计算:

$$U_z = \sum_{i=1}^j \frac{q_i}{\sum \Delta P} \left[(T_i - T_{s,i}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta t} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_i - 1}) \right] \quad (6.2.7)$$

式中 U_t —— 固结时间为 t 时, 相应于总荷载的地基平均固结度 (%);

q_j —— 第 j 级荷载的加荷速率 (kPa/S);

$\Sigma \Delta P$ —— 各级荷载的累计值 (kPa);

T_j —— 第 j 级加荷载的终止时间, 当计算第 j 级加载过程中时间 t 的固结度时, 应将 T_j 改为 t (s);

T_{j-1} —— 第 j 级加载的起给时间 (s);

α, β —— 参数, 按表 6.2.7 采用。

参数 α, β

表 6.2.7

排水固结条件	α	β
竖向排水固结 ($U_z > 30\%$)	$\frac{8}{\pi^2}$	$\frac{\pi^2 C_v}{4H_1^2}$
向内径向排水固结	1	$\frac{8C_h}{F_{(n)} d_w^2}$
竖向和向内径向排水固结 (砂井贯穿受压土层)	$\frac{8}{\pi^2}$	$\frac{8C_h}{F_{(n)} d_w^2} + \frac{\pi^2 C_v}{4H_1^2}$
砂井未贯穿受压土层之固结	$\frac{8}{\pi^2} Q$	$\frac{8C_h}{F_{(n)} d_w^2}$

注: ① 表中符号

C_v —— 地基土的竖向排水固结系数, 以固结试验确定 (cm^2/S);

C_h —— 地基土的径向 (水平向) 排水固结系数, 以固结

试验确定 (cm^2/S) ;

H_1 —— 土层竖向排水距离, 双面排水时, H_1 为土层厚度的一半, 单面排水时, H_1 为土层厚度 (cm) ;

d_0 —— 砂井有效排水圆柱体的直径 (cm) ; 等边三角形布置时, 取 $1.05S_0$; 正方形布置时, 取 $1.13S_0$; S_0 为砂井间距。

Q —— 竖向排水体贯入比, $Q \approx \frac{h_1}{h_1 + h_2}$, 其中 h_1 为竖向排水体部分的土层厚度 (cm) , h_2 为竖向排水体以下压缩土层厚度 (cm) 。

$$(2) \quad F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

n —— 井径比, 为砂井有效排水圆柱体的直径 (d_0) 与砂井直径 (d_w) 之比, 即 $n = d_0 / d_w$ 。

6.2.8 普通砂井直径可取 $300 \sim 500 \text{mm}$, 袋装砂井直径可取 $70 \sim 100 \text{mm}$, 塑料排水带的当量换算直径, 可按下式计算:

$$D_p = \alpha \frac{2(b_p + \delta_p)}{\pi} \quad (6.2.6)$$

式中 D_p —— 塑料排水带当量换算直径 (mm) ;

α —— 换算系数, 无试验资料时, 可取 $0.75 \sim 1.00$;

b_p —— 塑料排水带宽度 (mm) ;

δ_p —— 塑料排水带厚度 (mm) 。

6.2.9 砂井的间距, 可根据地基土的固结特性和预定时间内所要求达到的固结度确定。普通砂井的间距, 可按井径比 n 为 $6 \sim 8$ 选用; 袋装砂井或塑料排水带的间距, 可按 n 为 $15 \sim 20$ 选用。

6.2.10 砂井的深度,应按储罐对地基的稳定性和变形确定。砂井深度应超过最危险滑动面,其距离不得小于2m;如压缩土层厚度不大,砂井宜贯穿压缩土层;对深厚的压缩土层,应根据在限定的预定时间内应消除的变形量确定。

6.2.11 对长径比大(长度与直径之比),井料渗透系数较小的袋装砂井或塑料排水带,考虑井阻和涂抹影响时,按本规范第6.2.7条规定所计算的地基平均固结度,应乘以折减系数,其值可取0.80~0.95。

6.2.12 采用预压排水固结法加固地基土时,当地基土经预压增长的强度,已满足设计要求,且受水土层的平均固结度达到80%以上时,即可停止预压。

7 地基变形计算

7.1 一般规定

7.1.1 地基变形特征可分为罐基沉降量、罐基整体倾斜（平面倾斜）、罐基周边不均匀沉降（非平面倾斜）及罐中心与罐周边的沉降（罐基础锥面坡度）。

7.1.2 计算地基变形时，应符合下列规定：

7.1.2.1 由于地基不均匀、荷载等因素引起地基变形，对不同型式与容积的储罐，应按不同允许变形值来控制；

7.1.2.2 储罐地基应根据在充水试压期间和使用期间的地基变形值，考虑罐基预抬高及与管线连接的方法和施工顺序。

7.2 变形计算

7.2.1 罐基础当处于下列情况之一时，应作沉降量计算：

7.2.1.1 当天然地基上不能满足承载力设计值要求时，或有软弱下卧层时；

7.2.1.2 当罐基础与相邻基础较近，罐基础有可能发生倾斜时；

7.2.1.3 当罐基础下有厚、薄不均匀的地基土时；

7.2.1.4 有特殊要求的储罐基础。

7.2.2 计算地基沉降量时，可不考虑由风荷载和地震作用引起的附加压力。

7.2.3 地基最终沉降量，可采用分层总和法，按下式计算：

$$S = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{s_i}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (7.2.3)$$

- 式中 S —— 地基最终沉降量 (mm);
- ψ_s —— 沉降计算经验系数, 根据现行国家规范或地区的规定采用;
- n —— 罐地基沉降计算深度范围内所划分的土层数 (图 7.2.3);
- P_0 —— 对应于荷载标准值时的罐基础计算底面处的附加压力 (kpa), 见 7.2.4 条注;
- E_{s_i} —— 罐基础底面下第 i 层土的压缩模量, 按实际应力范围取值 (MPa);
- Z_i 、 Z_{i-1} —— 罐基础底面至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离 (m);
- $\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ —— 罐基础底面计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数, 可按本规范附录 B 表 B 采用。

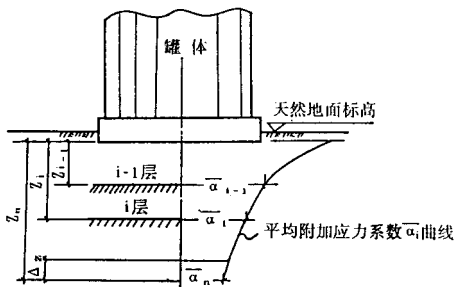


图 7.2.3 罐基础沉降计算的分层示意

7.2.4 地基沉降计算深度 Z_n (图7.2.3), 应符合下式要求:

$$\Delta S'_n < 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta S'_i \quad (7.2.4)$$

式中 $\Delta S'_n$ —— 在由计算深度向上取厚度为 ΔZ 的土层计算沉降值, ΔZ 见图 7.2.3 并按表 7.2.4 确定;

$\Delta S'_i$ —— 在计算深度范围内, 第 i 层土的计算沉降值。

如确定的计算深度下部仍有较软土层时, 应继续计算。

ΔZ 值

表 7.2.4

D_k (m)	$8 < D_k < 15$	$15 < D_k < 30$	$D_k > 30$
ΔZ (m)	1.0	1.2	1.5

注: 地基沉降计算深度 Z_n ; 当为环墙式罐基础时, 罐周边和罐中心处均自环墙底面算起, P_0 值为该处的附加压力, 当环墙底至填料层之间的原土层较厚时, 尚应考虑该土层的附加沉降量; 当为护坡式、外环墙式罐基础时, 罐周边和罐中心处均自填料层底面算起, P_0 值为该处的附加压力。

7.3 地基变形允许值

7.3.1 储罐地基变形允许值, 可按表 7.3.1 规定采用。

地基变形允许值

表 7.3.1

储罐地基 变形特征	储罐型式	储罐底圈内直径	沉降差允许值
平面倾斜 (任意直径方向)	浮顶罐与 内浮顶罐	$D_c < 22$	$0.007D_c$
		$22 < D_c < 30$	$0.006D_c$
		$30 < D_c < 40$	$0.005D_c$
		$40 < D_c < 60$	$0.004D_c$
	固定顶罐	$D_c < 22$	$0.015D_c$
		$22 < D_c < 30$	$0.010D_c$
		$30 < D_c < 40$	$0.009D_c$
		$40 < D_c < 60$	$0.008D_c$
非平面倾斜 (罐周边不均匀沉降)	浮顶罐 与内浮顶罐		$\Delta S/l < 0.0025$
	固定顶罐		$\Delta S/l < 0.0040$
罐基础锥面坡度	> 0.008		

注: ① D_c 为储罐底圈内直径 (m);

② ΔS 为罐周边相邻测点的沉降差 (mm);

③ l 为罐周边相邻测点的间距 (mm)。

7.4 地基沉降观测

7.4.1 地基沉降观测, 应符合下列要求:

7.4.1.1 应及时掌握罐基础在罐内充水预压时的地基变形特征并控制基础不均匀沉降。在储罐充水预压和投产使用期间，应对罐基础的地基变形进行观测；

7.4.1.2 沉降观测应包括：罐基础完工后、储罐充水前、充水过程中、充满水稳压阶段、放水后等全过程的各个时段；

7.4.1.3 充水预压地基除进行沉降观测外，对软土地基尚宜进行水平位移观测、倾斜观测及孔隙水压力测试等；

7.4.1.4 沉降观测应设专人定期进行，每天不少于一次并认真按附录D表D作好记录。测量精度宜采用Ⅱ级水准测量；

7.4.1.5 充水预压过程中如发现罐基础沉降有异常，应立即停止充水，待处理后方可继续充水。

7.4.2 沉降观测点布置，应符合下列规定：

7.4.2.1 每台罐基础，应按要求设置沉降观测点进行沉降观测；

7.4.2.2 罐基础沉降观测点，宜沿罐周长约10m 设置一点并沿圆周方向对称均匀设置；沉降观测点数的设置，应按设计图纸要求进行。当设计图纸无要求时，可按表7.4.2要求设置。

沉降观测点设置数量

表 7.4.2

储罐公称容积 (m ³)	沉降观测点数量 (个)	储罐公称容积 (m ³)	沉降观测点数量 (个)
1000及以下	4	10000	12
2000	4	20000	16
3000	8	30000	24
5000	8	50000	24

8 罐基础构造与材料

8.1 构造

8.1.1 护坡式、环墙式、外环墙式罐基础的构造,应符合本规范图4.2.2-1,2,3的要求。

8.1.2 罐基础顶面,应自中心向周边做成15%~35%的坡度,当地基承载力及变形能满足要求时取较小坡度,不能满足要求时,取较大坡度。

8.1.3 当浮顶罐选用护坡式、外环墙式罐基础时,宜在罐壁位置下设置一道钢筋混凝土构造环梁。

8.1.4 罐基础顶面周边高出设计地面(不包括考虑最终沉降量而预抬高的高度)不宜小于300mm。

8.1.5 罐基础顶面,应设置沥青砂绝缘层,其厚度宜为80~100mm。中砂与石油沥青按重量的配比宜为93:7。

8.1.6 沥青砂绝缘层下面,应设置砂垫层,其厚度不宜小于300mm。

8.1.7 护坡式罐基础周围人行道的宽度宜为800~1000mm。

8.1.8 护坡式罐基础的护坡坡度宜为1:1.5。当采用混凝土或碎石灌浆护坡时,其厚度不宜小于100mm,当采用浆砌毛石护坡时,其厚度应不小于200mm。护坡施工应待储罐充水试压后方可进行。

8.1.9 环墙式罐基础埋深(以沉降基本稳定为准)不宜小于600mm,在地震区,当地基土有液化可能时,埋深不宜小于1.0m。

8.1.10 钢筋混凝土环墙宽度不宜小于250mm。环墙顶面应在罐

壁向内20mm处做成1:2的坡度。罐壁至环墙外缘尺寸不宜小于100mm,罐壁宜置于环墙顶面中心处。环墙底部不应放脚扩宽(图4.2.2~2)。

8.1.11 钢筋混凝土环墙,应设置泄漏孔。泄漏孔应沿罐周均匀设置,其间距宜为10~15m。泄漏孔的孔径为 $\Phi 50$ (可埋设DN50钢管),其进口处孔底宜与砂垫层底标高相同,并以不小于5%的坡度坡向环墙外侧。泄漏孔进口处应设置由砾石和粒径为20~40mm的卵石组成反滤层和钢筋滤网见(4.2.2-2),出口应高于设计地面。

8.1.12 钢筋混凝土环墙顶面,应设置厚度为20~30mm的1:2水泥砂浆或50mm厚C25细石混凝土找平层。

8.1.13 钢筋混凝土环墙不宜开缺口,当留缺口时,应采取加强措施,当必须留施工活口时,其尺寸应尽量减小,环向钢筋应错开截断。罐体安装结束后,应采用比环墙高一强度等级的微膨胀混凝土立即将活口封堵密实,钢筋接头应采用焊接。

8.1.14 钢筋混凝土环墙的环向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度(从钢筋的外边缘算起),不应小于35mm。

8.1.15 钢筋混凝土环墙的配筋(图8.1.15),应符合下列要求:

8.1.15.1 环向受力钢筋的截面最小总配筋率,不应小于0.3%。对于公称容积不小于10000m³或建在软土、软硬不一地基上的储罐,环墙顶端和底端宜各增加两圈附加环向钢筋,其直径应与环墙环筋相同,竖向钢筋其上下两端宜为封闭式;

8.1.15.2 竖向构造钢筋的截面最小配筋率,不应小于0.15%(每侧),钢筋直径宜为10~14mm,间距宜为200~250mm。

8.1.16 环向受力钢筋接头,应采用焊接连接或机械连接。

8.1.17 钢筋混凝土环墙,外环墙、环梁,当圆周(中心圆)长度大于40m时,可留后浇缝,在保证钢筋连续的原则下分段浇筑,

缝宽宜为300~500mm， 接缝应采用提高一个强度等级的微膨胀混

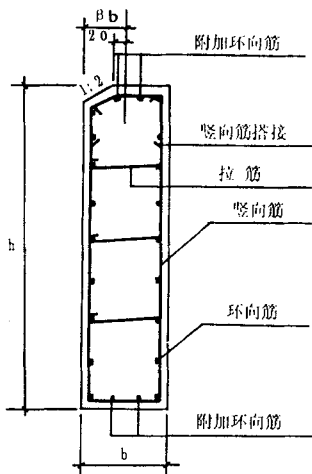


图8.1.15 环墙配筋

凝土浇灌并捣实或采取其他有效措施。

8.1.18 罐前操作平台的基础，应与钢筋混凝土环墙基础分开。

8.1.19 当储罐内储存介质最高温度高于95℃时，与罐底接触的

罐基础表面，应采取隔热措施。

8.1.20 当考虑地震作用或其他原因，需防止罐体位移或倾复时，应在罐体与基础之间采取锚拉措施。

8.1.21 储罐底板外周边应封口，封口应采用能适应罐底板变形的构造措施及材料，并应在储罐充水试压完毕罐体未保温前进行。

8.2 材 料

8.2.1 砂垫层宜采用质地坚硬的中、粗砂，亦可采用最大粒径不超过20mm的砂石混合料。不宜采用细砂，不得采用粉砂或冰结砂，不得含有草根等有机杂质，含泥量不得超过5%。

8.2.2 沥青砂绝缘层，应采用中砂配制，含泥量不得超过5%。

8.2.3 沥青砂绝缘层所用沥青材料，当罐内介质温度低于80℃时，宜采用60号甲（或60号乙）道路石油沥青，或30号甲（或30号乙）建筑石油沥青；当罐内介质温度等于或高于80℃时，宜采用30号甲（或30号乙）建筑石油沥青。

8.2.4 钢筋混凝土环墙的混凝土强度等级，不宜低于 C20。环向钢筋宜用Ⅱ级钢筋；竖向钢筋宜用Ⅰ级或Ⅱ级钢筋。

圆形面积上均布荷载作用下各点附加应力系数 α_z 续表 A

r/R	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.1	0.08358	0.01747	0.00559	0.00234	0.00115	0.00064	0.00038	0.00024	0.00018	0.00011
0.2	0.20131	0.07681	0.03207	0.01520	0.00803	0.00462	0.00284	0.00184	0.00124	0.00088
0.3	0.26141	0.13653	0.07079	0.03834	0.02200	0.01334	0.00849	0.00583	0.00387	0.00274
0.4	0.28894	0.17848	0.10795	0.06538	0.04059	0.02803	0.01725	0.01178	0.00828	0.00598
0.5	0.30222	0.20727	0.13782	0.09083	0.06044	0.04085	0.02817	0.01885	0.01428	0.01047
0.6	0.30508	0.22408	0.15884	0.11522	0.07810	0.05598	0.04007	0.02908	0.02144	0.01604
0.7	0.30330	0.23338	0.17512	0.12955	0.09528	0.07014	0.05193	0.03877	0.02824	0.02230
0.8	0.29857	0.23744	0.18507	0.14228	0.10855	0.08262	0.06289	0.04825	0.03720	0.02880
0.9	0.29117	0.23781	0.19092	0.15133	0.11885	0.09311	0.07283	0.05708	0.04490	0.03547
1.0	0.28212	0.23558	0.19364	0.15732	0.12675	0.10160	0.08117	0.06491	0.05201	0.04180
1.1	0.27232	0.23121	0.19378	0.16068	0.13213	0.10807	0.08810	0.07174	0.05844	0.04789
1.2	0.26200	0.22572	0.19223	0.16213	0.13570	0.11293	0.09382	0.07748	0.06405	0.05299
1.3	0.25141	0.21931	0.18935	0.16204	0.13767	0.11630	0.09785	0.08211	0.06881	0.05788
1.4	0.24078	0.21230	0.18547	0.16073	0.13833	0.11840	0.10092	0.08578	0.07275	0.06188
1.5	0.23021	0.20492	0.18087	0.15846	0.13794	0.11943	0.10288	0.08851	0.07590	0.06501
1.6	0.21984	0.19734	0.17577	0.15548	0.13670	0.11958	0.10418	0.09044	0.07833	0.06774
1.7	0.20976	0.18969	0.17033	0.15196	0.13480	0.11899	0.10461	0.09186	0.08011	0.06988
1.8	0.20000	0.18208	0.16468	0.14805	0.13238	0.11782	0.10444	0.09227	0.08130	0.07149
1.9	0.19061	0.17458	0.15893	0.14387	0.12957	0.11617	0.10375	0.09235	0.08199	0.07282
2.0	0.18162	0.16727	0.15317	0.13951	0.12647	0.11415	0.10284	0.09189	0.08222	0.07333
2.1	0.17303	0.16018	0.14744	0.13506	0.12318	0.11184	0.10119	0.09128	0.08209	0.07366
2.2	0.16485	0.15329	0.14181	0.13057	0.11971	0.10931	0.09947	0.09023	0.08162	0.07387
2.3	0.15708	0.14667	0.13630	0.12610	0.11618	0.10663	0.09753	0.08894	0.08089	0.07340
2.4	0.14970	0.14033	0.13084	0.12167	0.11260	0.10384	0.09544	0.08746	0.07983	0.07289
2.5	0.14272	0.13426	0.12576	0.11732	0.10903	0.10098	0.09322	0.08581	0.07897	0.07217
2.6	0.13611	0.12846	0.12075	0.11306	0.10548	0.09809	0.09082	0.08405	0.07750	0.07128
2.7	0.12986	0.12294	0.11593	0.10892	0.10199	0.09518	0.08857	0.08219	0.07608	0.07027
2.8	0.12395	0.11768	0.11131	0.10491	0.09855	0.09230	0.08619	0.08027	0.07458	0.06914
2.9	0.11837	0.11207	0.10687	0.10103	0.09520	0.08944	0.08380	0.07831	0.07301	0.06792
3.0	0.11310	0.10792	0.10283	0.09729	0.09194	0.08684	0.08142	0.07633	0.07138	0.06663
3.1	0.10812	0.10341	0.09858	0.09388	0.08977	0.08588	0.08196	0.07833	0.07493	0.07168
3.2	0.10342	0.09912	0.09471	0.09022	0.08570	0.08120	0.07673	0.07344	0.07037	0.06748
3.3	0.09898	0.09505	0.09101	0.08689	0.08274	0.07858	0.07445	0.07037	0.06637	0.06248
3.4	0.09479	0.09120	0.08749	0.08371	0.07988	0.07603	0.07221	0.06842	0.06470	0.06106
3.5	0.09082	0.08754	0.08414	0.08065	0.07712	0.07357	0.07002	0.06650	0.06303	0.05962
3.6	0.08708	0.08406	0.08094	0.07773	0.07447	0.07118	0.06789	0.06462	0.06138	0.05819
3.7	0.08354	0.08077	0.07789	0.07493	0.07192	0.06888	0.06582	0.06277	0.05975	0.05677
3.8	0.08018	0.07764	0.07499	0.07228	0.06947	0.06655	0.06361	0.06067	0.05781	0.05503
3.9	0.07701	0.07467	0.07222	0.06970	0.06712	0.06450	0.06188	0.05922	0.05658	0.05397
4.0	0.07401	0.07185	0.06959	0.06728	0.06487	0.06243	0.05998	0.05751	0.05505	0.05260
4.1	0.07116	0.06917	0.06708	0.06492	0.06270	0.06044	0.05819	0.05585	0.05355	0.05125
4.2	0.06847	0.06662	0.06489	0.06269	0.06063	0.05852	0.05638	0.05424	0.05208	0.04994
4.3	0.06591	0.06420	0.06241	0.06055	0.05864	0.05668	0.05469	0.05268	0.05066	0.04864
4.4	0.06348	0.06190	0.06024	0.05851	0.05673	0.05490	0.05304	0.05117	0.04928	0.04738
4.5	0.06118	0.05971	0.05818	0.05656	0.05490	0.05320	0.05148	0.04970	0.04793	0.04615
4.6	0.05899	0.05762	0.05619	0.05459	0.05314	0.05155	0.04993	0.04828	0.04662	0.04495
4.7	0.05690	0.05564	0.05430	0.05291	0.05146	0.04998	0.04848	0.04692	0.04536	0.04378
4.8	0.05492	0.05374	0.05250	0.05120	0.04985	0.04846	0.04704	0.04559	0.04413	0.04265
4.9	0.05304	0.05194	0.05078	0.04956	0.04830	0.04700	0.04567	0.04431	0.04294	0.04155
5.0	0.05124	0.05022	0.04914	0.04800	0.04682	0.04560	0.04435	0.04308	0.04178	0.04047
5.1	0.04953	0.04858	0.04765	0.04650	0.04540	0.04426	0.04308	0.04188	0.04066	0.03943
5.2	0.04791	0.04701	0.04606	0.04507	0.04403	0.04296	0.04186	0.04073	0.03958	0.03842
5.3	0.04635	0.04551	0.04463	0.04369	0.04272	0.04172	0.04068	0.03962	0.03854	0.03744
5.4	0.04487	0.04408	0.04325	0.04238	0.04146	0.04052	0.03954	0.03854	0.03753	0.03649
5.5	0.04345	0.04271	0.04193	0.04111	0.04026	0.03937	0.03845	0.03751	0.03655	0.03557
5.6	0.04210	0.04141	0.04067	0.03990	0.03910	0.03828	0.03740	0.03651	0.03560	0.03467
5.7	0.04080	0.04015	0.03947	0.03874	0.03799	0.03719	0.03638	0.03554	0.03468	0.03381
5.8	0.03957	0.03896	0.03831	0.03763	0.03691	0.03617	0.03540	0.03461	0.03380	0.03297
5.9	0.03838	0.03780	0.03720	0.03658	0.03593	0.03518	0.03445	0.03371	0.03294	0.03216
6.0	0.03725	0.03671	0.03613	0.03553	0.03489	0.03423	0.03354	0.03284	0.03211	0.03137
6.1	0.03616	0.03565	0.03511	0.03454	0.03394	0.03331	0.03268	0.03200	0.03131	0.03061
6.2	0.03512	0.03464	0.03413	0.03359	0.03302	0.03243	0.03182	0.03118	0.03053	0.02987
6.3	0.03413	0.03367	0.03319	0.03268	0.03214	0.03158	0.03100	0.03040	0.02978	0.02915
6.4	0.03317	0.03274	0.03228	0.03180	0.03129	0.03076	0.03021	0.02964	0.02906	0.02846
6.5	0.03225	0.03184	0.03141	0.03095	0.03047	0.02997	0.02945	0.02891	0.02835	0.02778
6.6	0.03137	0.03108	0.03065	0.03014	0.02968	0.02921	0.02871	0.02820	0.02767	0.02713
6.7	0.03053	0.03028	0.02987	0.02936	0.02892	0.02847	0.02800	0.02752	0.02702	0.02650
6.8	0.02972	0.02948	0.02908	0.02860	0.02819	0.02776	0.02732	0.02686	0.02638	0.02588
6.9	0.02893	0.02869	0.02829	0.02788	0.02749	0.02708	0.02666	0.02622	0.02576	0.02530
7.0	0.02818	0.02798	0.02753	0.02718	0.02681	0.02642	0.02602	0.02560	0.02517	0.02472

- 注: ① R — 圆形面积的半径 (m);
 ② Z — 计算点离基础底面的垂直距离 (m);
 ③ r — 计算点距圆形面积中心的水平距离 (m)。

附录B

圆形面积上均布荷载作用下各点平均

附加应力系数 $\bar{\alpha}$ 圆形面积上均布荷载作用下各点平均附加应力系数 $\bar{\alpha}$

表B

r/R	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.0	1.00000	1.00000	0.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.50000
0.1	0.98975	0.98974	0.98971	0.98965	0.98954	0.98932	0.98884	0.98762	0.98534	0.98188	0.48186
0.2	0.98008	0.98001	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.3	0.98001	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.4	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.5	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.6	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.7	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.8	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
0.9	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.98000	0.48186
1.0	0.87888	0.87870	0.87870	0.87870	0.87870	0.87870	0.87870	0.87870	0.87870	0.87870	0.41693
1.1	0.85520	0.85310	0.84682	0.83587	0.81942	0.79620	0.76427	0.72058	0.66604	0.57207	0.40849
1.2	0.83147	0.82829	0.82278	0.81151	0.79471	0.77124	0.73938	0.69634	0.63759	0.55353	0.40012
1.3	0.80782	0.80460	0.80000	0.78873	0.77193	0.74846	0.71660	0.67356	0.61481	0.53075	0.38734
1.4	0.78415	0.78093	0.77632	0.76505	0.74825	0.72478	0.69292	0.64988	0.59113	0.50707	0.36366
1.5	0.76048	0.75726	0.75265	0.74138	0.72458	0.70111	0.66925	0.62621	0.56746	0.48340	0.34000
1.6	0.73681	0.73359	0.72898	0.71771	0.70091	0.67744	0.64558	0.60254	0.54379	0.45973	0.31633
1.7	0.71314	0.70992	0.70531	0.69404	0.67724	0.65377	0.62191	0.57887	0.52012	0.43606	0.29266
1.8	0.68947	0.68625	0.68164	0.67037	0.65357	0.63010	0.59824	0.55520	0.49645	0.41239	0.26899
1.9	0.66580	0.66258	0.65797	0.64670	0.62990	0.60643	0.57457	0.53153	0.47278	0.38872	0.24532
2.0	0.64213	0.63891	0.63430	0.62303	0.60623	0.58276	0.55090	0.50786	0.44911	0.36505	0.22165
2.1	0.61846	0.61524	0.61063	0.60000	0.58320	0.55973	0.52787	0.48483	0.42608	0.34202	0.19862
2.2	0.59479	0.59157	0.58696	0.57633	0.55953	0.53606	0.50420	0.46116	0.40241	0.31835	0.17495
2.3	0.57112	0.56790	0.56329	0.55266	0.53586	0.51239	0.48053	0.43749	0.37874	0.29468	0.15128
2.4	0.54745	0.54423	0.53962	0.52899	0.51219	0.48872	0.45686	0.41382	0.35507	0.27101	0.12761
2.5	0.52378	0.52056	0.51595	0.50532	0.48852	0.46505	0.43319	0.39015	0.33140	0.24734	0.10394
2.6	0.50011	0.49689	0.49228	0.48165	0.46485	0.44138	0.40952	0.36648	0.30773	0.22367	0.08027
2.7	0.47644	0.47322	0.46861	0.45798	0.44118	0.41771	0.38585	0.34281	0.28406	0.20000	0.05660
2.8	0.45277	0.44955	0.44494	0.43431	0.41751	0.39404	0.36218	0.31914	0.26039	0.17633	0.03293
2.9	0.42910	0.42588	0.42127	0.41064	0.39384	0.37037	0.33851	0.29547	0.23672	0.15266	0.00953
3.0	0.40543	0.40221	0.40000	0.38937	0.37257	0.34910	0.31724	0.27420	0.21545	0.13139	0.00000
3.1	0.38176	0.37854	0.37393	0.36330	0.34650	0.32303	0.29117	0.24813	0.18938	0.10532	-0.00000
3.2	0.35809	0.35487	0.35026	0.33963	0.32283	0.30000	0.26814	0.22510	0.16635	0.08229	-0.00000
3.3	0.33442	0.33120	0.32659	0.31596	0.29916	0.27639	0.24453	0.20149	0.14274	0.05868	-0.00000
3.4	0.31075	0.30753	0.30292	0.29229	0.27549	0.25272	0.22086	0.17782	0.11907	0.03501	-0.00000
3.5	0.28708	0.28386	0.27925	0.26862	0.25182	0.22905	0.19719	0.15415	0.09540	0.01134	-0.00000
3.6	0.26341	0.26019	0.25558	0.24495	0.22815	0.20538	0.17352	0.13048	0.07173	0.00000	-0.00000
3.7	0.23974	0.23652	0.23191	0.22128	0.20448	0.18171	0.14985	0.10681	0.04806	0.00000	-0.00000
3.8	0.21607	0.21285	0.20824	0.19761	0.18081	0.15804	0.12618	0.08314	0.02439	0.00000	-0.00000
3.9	0.19240	0.18918	0.18457	0.17394	0.15714	0.13437	0.10251	0.05947	0.00000	0.00000	-0.00000
4.0	0.16873	0.16551	0.16090	0.15027	0.13347	0.11070	0.07884	0.03580	0.00000	0.00000	-0.00000
4.1	0.14506	0.14184	0.13723	0.12660	0.10980	0.08703	0.05517	0.01213	0.00000	0.00000	-0.00000
4.2	0.12139	0.11817	0.11356	0.10293	0.08613	0.06336	0.03150	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.3	0.09772	0.09450	0.08989	0.07926	0.06246	0.03969	0.00783	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.4	0.07405	0.07083	0.06622	0.05559	0.03879	0.01602	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.5	0.05038	0.04716	0.04255	0.03192	0.01512	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.6	0.02671	0.02349	0.01888	0.00825	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.7	0.00304	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.8	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
4.9	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
5.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00000
5.1	0.33538	0.33440	0.33118	0.32653	0.31943	0.30997	0.29781	0.28243	0.26287	0.23897	0.19454
5.2	0.32998	0.32891	0.32614	0.32118	0.31431	0.30502	0.29303	0.27800	0.25879	0.23338	0.18770
5.3	0.32473	0.32378	0.32098	0.31596	0.30935	0.30023	0.28822	0.27370	0.25488	0.22980	0.18404
5.4	0.31955	0.31872	0.31595	0.31112	0.30454	0.29553	0.28352	0.26900	0.25018	0.22510	0.17934
5.5	0.31472	0.31400	0.31123	0.30640	0.29982	0.29081	0.27880	0.26428	0.24546	0.22038	0.17462
5.6	0.30993	0.30930	0.30653	0.30170	0.29512	0.28611	0.27410	0.25958	0.24076	0.21568	0.16992
5.7	0.30529	0.30466	0.30189	0.29706	0.29048	0.28147	0.26946	0.25494	0.23612	0.21104	0.16528
5.8	0.30078	0.30015	0.29738	0.29255	0.28597	0.27696	0.26495	0.25043	0.23161	0.20653	0.16077
5.9	0.29640	0.29577	0.29299	0.28816	0.28158	0.27257	0.26056	0.24604	0.22722	0.20214	0.15638
6.0	0.29214	0.29151	0.28873	0.28390	0.27732	0.26831	0.25630	0.24178	0.22296	0.20000	0.15424
6.1	0.28800	0.28737	0.28459	0.27976	0.27318	0.26417	0.25216	0.23764	0.21882	0.19374	0.14798
6.2	0.28387	0.28324	0.28046	0.27563	0.26905	0.26004	0.24803	0.23351	0.21469	0.18961	0.14385
6.3	0.28000	0.27937	0.27659	0.27176	0.26518	0.25617	0.24416	0.22964	0.21082	0.18574	0.13998
6.4	0.27625	0.27562	0.27284	0.26801	0.26143	0.25242	0.24041	0.22589	0.20707	0.18199	0.13623
6.5	0.27250	0.27187	0.26909	0.26426	0.25768	0.24867	0.23666	0.22214	0.20332	0.17824	0.13248
6.6	0.26882	0.26819	0.26541	0.26058	0.25400	0.24500	0.23299	0.21847	0.19965	0.17457	0.12881
6.7	0.26540	0.26477	0.26199	0.25716	0.25058	0.24157	0.22956	0.21504	0.19622	0.17114	0.12538
6.8	0.26197	0.26134	0.25856	0.25373	0.24715	0.23814	0.22613	0.21161	0.19279	0.16771	0.12195
6.9	0.25862	0.25799	0.25521	0.25038	0.24380	0.23479	0.22278	0.20826	0.18944	0.16436	0.11860
7.0	0.25536	0.25473	0.25195	0.24712	0.24054	0.23153	0.21952	0.20500	0.18618	0.16110	0.11534

圆形面积上均布荷载作用下各点平均附加应力系数 α

续表B

z/r	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.1	0.02787	0.00488	0.00148	0.00060	0.00030	0.00016	0.00009	0.00006	0.00004	0.00003
0.2	0.08870	0.02535	0.00838	0.00420	0.00215	0.00121	0.00074	0.00047	0.00032	0.00022
0.3	0.13779	0.05306	0.02338	0.01158	0.00629	0.00368	0.00229	0.00150	0.00102	0.00072
0.4	0.17284	0.07979	0.04008	0.02167	0.01250	0.00784	0.00489	0.00328	0.00225	0.00180
0.5	0.19774	0.10278	0.05885	0.03308	0.02014	0.01279	0.00844	0.00575	0.00404	0.00318
0.6	0.21558	0.12178	0.07233	0.04480	0.02845	0.01875	0.01272	0.00837	0.00633	0.00512
0.7	0.22839	0.13717	0.08602	0.05580	0.03681	0.02511	0.01749	0.01248	0.00905	0.00740
0.8	0.23752	0.14951	0.09785	0.06570	0.04508	0.03155	0.02251	0.01635	0.01207	0.00980
0.9	0.24381	0.15934	0.10781	0.07475	0.05274	0.03784	0.02757	0.02039	0.01530	0.01163
1.0	0.24819	0.16709	0.11637	0.08274	0.05978	0.04381	0.03253	0.02447	0.01883	0.01434
1.1	0.25085	0.17313	0.12342	0.08989	0.06613	0.04937	0.03729	0.02847	0.02196	0.01712
1.2	0.25221	0.17775	0.12924	0.09569	0.07180	0.05448	0.04177	0.03233	0.02525	0.01989
1.3	0.25256	0.18121	0.13399	0.10081	0.07681	0.05913	0.04593	0.03599	0.02843	0.02283
1.4	0.25211	0.18309	0.13781	0.10515	0.08119	0.06330	0.04976	0.03942	0.03146	0.02528
1.5	0.25100	0.18356	0.14085	0.10878	0.08500	0.06702	0.05325	0.04261	0.03433	0.02782
1.6	0.24938	0.18365	0.14319	0.11181	0.08822	0.07031	0.05641	0.04555	0.03701	0.03024
1.7	0.24735	0.18377	0.14496	0.11428	0.09108	0.07319	0.05923	0.04833	0.03950	0.03251
1.8	0.24499	0.18372	0.14621	0.11627	0.09344	0.07571	0.06176	0.05067	0.04179	0.03484
1.9	0.24237	0.18368	0.14704	0.11784	0.09542	0.07789	0.06399	0.05287	0.04389	0.03681
2.0	0.23958	0.18352	0.14749	0.11903	0.09706	0.07978	0.06585	0.05483	0.04581	0.03843
2.1	0.23680	0.18448	0.14783	0.11990	0.09838	0.08134	0.06767	0.05659	0.04754	0.04011
2.2	0.23352	0.18322	0.14749	0.12049	0.09943	0.08267	0.06816	0.05815	0.04911	0.04184
2.3	0.23037	0.18178	0.14713	0.12084	0.10024	0.08378	0.07004	0.05952	0.05051	0.04303
2.4	0.22716	0.18018	0.14656	0.12096	0.10083	0.08467	0.07152	0.06071	0.05175	0.04428
2.5	0.22392	0.17847	0.14584	0.12091	0.10123	0.08538	0.07244	0.06175	0.05288	0.04541
2.6	0.22067	0.17666	0.14497	0.12069	0.10146	0.08593	0.07320	0.06285	0.05383	0.04643
2.7	0.21742	0.17477	0.14398	0.12033	0.10155	0.08633	0.07381	0.06341	0.05469	0.04733
2.8	0.21419	0.17282	0.14290	0.11985	0.10151	0.08659	0.07430	0.06404	0.05543	0.04813
2.9	0.21098	0.17084	0.14173	0.11927	0.10135	0.08674	0.07467	0.06457	0.05606	0.04884
3.0	0.20781	0.16882	0.14050	0.11860	0.10109	0.08679	0.07493	0.06500	0.05680	0.04945
3.1	0.20467	0.16678	0.13922	0.11786	0.10074	0.08674	0.07510	0.06533	0.05705	0.04999
3.2	0.20158	0.16474	0.13789	0.11705	0.10032	0.08661	0.07519	0.06558	0.05742	0.05044
3.3	0.19854	0.16269	0.13652	0.11618	0.09984	0.08641	0.07521	0.06576	0.05772	0.05083
3.4	0.19555	0.16064	0.13513	0.11528	0.09939	0.08614	0.07515	0.06587	0.05795	0.05115
3.5	0.19262	0.15860	0.13372	0.11433	0.09870	0.08582	0.07504	0.06591	0.05812	0.05142
3.6	0.18974	0.15658	0.13230	0.11338	0.09806	0.08544	0.07487	0.06590	0.05823	0.05163
3.7	0.18691	0.15458	0.13087	0.11238	0.09739	0.08503	0.07465	0.06584	0.05830	0.05179
3.8	0.18415	0.15260	0.12944	0.11134	0.09669	0.08457	0.07439	0.06574	0.05832	0.05190
3.9	0.18144	0.15064	0.12801	0.11030	0.09596	0.08409	0.07410	0.06560	0.05829	0.05197
4.0	0.17880	0.14870	0.12658	0.10926	0.09521	0.08357	0.07377	0.06542	0.05823	0.05200
4.1	0.17621	0.14678	0.12516	0.10820	0.09445	0.08303	0.07341	0.06520	0.05814	0.05200
4.2	0.17367	0.14492	0.12375	0.10715	0.09367	0.08247	0.07303	0.06496	0.05801	0.05197
4.3	0.17120	0.14307	0.12235	0.10609	0.09288	0.08189	0.07262	0.06489	0.05786	0.05191
4.4	0.16878	0.14125	0.12097	0.10502	0.09208	0.08130	0.07219	0.06440	0.05768	0.05182
4.5	0.16641	0.13946	0.11959	0.10398	0.09127	0.08070	0.07175	0.06408	0.05748	0.05171
4.6	0.16410	0.13771	0.11824	0.10293	0.09048	0.08008	0.07129	0.06377	0.05725	0.05157
4.7	0.16184	0.13598	0.11690	0.10188	0.08965	0.07948	0.07083	0.06342	0.05701	0.05142
4.8	0.15964	0.13429	0.11557	0.10084	0.08884	0.07883	0.07034	0.06307	0.05678	0.05125
4.9	0.15747	0.13262	0.11427	0.09981	0.08803	0.07819	0.06986	0.06270	0.05649	0.05108
5.0	0.15537	0.13100	0.11298	0.09879	0.08722	0.07756	0.06936	0.06232	0.05621	0.05088
5.1	0.15331	0.12940	0.11172	0.09778	0.08641	0.07692	0.06886	0.06193	0.05591	0.05065
5.2	0.15130	0.12783	0.11047	0.09678	0.08561	0.07628	0.06825	0.06153	0.05581	0.05042
5.3	0.14934	0.12629	0.10924	0.09580	0.08481	0.07564	0.06783	0.06113	0.05550	0.05018
5.4	0.14742	0.12478	0.10803	0.09482	0.08402	0.07500	0.06734	0.06072	0.05498	0.04994
5.5	0.14554	0.12330	0.10684	0.09385	0.08324	0.07436	0.06681	0.06031	0.05465	0.04969
5.6	0.14371	0.12185	0.10567	0.09290	0.08246	0.07373	0.06630	0.05989	0.05432	0.04943
5.7	0.14191	0.12043	0.10452	0.09198	0.08169	0.07309	0.06578	0.05947	0.05399	0.04917
5.8	0.14016	0.11903	0.10339	0.09103	0.08093	0.07247	0.06526	0.05905	0.05365	0.04888
5.9	0.13844	0.11767	0.10228	0.09012	0.08017	0.07184	0.06475	0.05863	0.05330	0.04862
6.0	0.13677	0.11633	0.10118	0.08922	0.07943	0.07122	0.06424	0.05821	0.05296	0.04834
6.1	0.13513	0.11501	0.10011	0.08833	0.07869	0.07061	0.06373	0.05778	0.05261	0.04805
6.2	0.13352	0.11372	0.09905	0.08746	0.07796	0.07000	0.06322	0.05737	0.05228	0.04777
6.3	0.13195	0.11246	0.09802	0.08659	0.07724	0.06940	0.06272	0.05694	0.05181	0.04748
6.4	0.13042	0.11122	0.09700	0.08575	0.07652	0.06870	0.06221	0.05652	0.05158	0.04718
6.5	0.12891	0.11001	0.09598	0.08491	0.07582	0.06801	0.06172	0.05610	0.05121	0.04689
6.6	0.12744	0.10882	0.09501	0.08409	0.07513	0.06733	0.06122	0.05569	0.05085	0.04660
6.7	0.12600	0.10765	0.09404	0.08327	0.07445	0.06705	0.06073	0.05527	0.05050	0.04630
6.8	0.12459	0.10651	0.09309	0.08248	0.07378	0.06648	0.06025	0.05488	0.05015	0.04601
6.9	0.12321	0.10538	0.09216	0.08169	0.07311	0.06581	0.05978	0.05445	0.04980	0.04571
7.0	0.12186	0.10428	0.09124	0.08092	0.07245	0.06535	0.05929	0.05404	0.04946	0.04542

注: ① R — 圆形面积的半径(m);② z — 计算点离基础底面的垂直距离(m);③ r — 计算点距圆形面积中心的水平距离(m);

附录C 上海地区罐基础地基最终 沉降量的计算

C. 0. 1 地基最终沉降量, 可采用分层总和法按下式计算:

$$S = \psi_{\bullet} P_{\bullet} D_{\bullet} \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{(\sum E_{s, i-2})_i} \quad (\text{C. 0. 1})$$

式中 S —— 地基最终沉降量 (cm);

ψ_{\bullet} —— 沉降计算经验系数, 可采用下列值: 当 $P_0 < 40 \text{ kPa}$ 时, 可取 0. 7; $P_0 = 60 \text{ kPa}$ 时, 可取 1. 0; $P_0 = 80 \text{ kPa}$ 时, 可取 1. 2; $P_0 > 100 \text{ kPa}$ 时, 可取 1. 3; 中间值可内插;

D_{\bullet} —— 储罐底圈内直径 (cm);

P_{\bullet} —— 对应于荷载标准值时的罐基础计算底面处的附加压力 (kPa), 见 7. 2. 4 条注;

i —— 自罐基础底面往下算的土层序数 1, 2, \dots n ;

δ —— 沉降系数, 查附录 C 表 C;

$E_{s, i-2}$ —— 地基土在 100~200 kPa 压力作用时的压缩模量 (kPa)。

C. 0. 2 当采用 C. 0. 1 条计算地基最终沉降量时, 地基沉降计算深度 Z_0 应符合下式规定。计算附加压力时, 应考虑相邻基础的影响。

$$P_z = 0. 1 P_{\bullet z} \quad (\text{C. 0. 2})$$

式中 P_z —— 罐基础底面下深度 Z 处土的附加压力标准值 (kPa);

$P_{\bullet z}$ —— 罐基础底面下深度 Z 处土的自重压力标准值 (kPa)。

C. 0. 3 罐基础底面下深度 z 处土的附加压力标准值 P_z 可按下列式计算:

$$P_z = \alpha_1 P \quad (C. 0. 3)$$

式中 α_1 —— 附压应力系数, 查附录A表A.

附表C 圆形基础下各点沉降系数 δ 圆形基础下各点沉降系数 δ

表C

r/r_0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.1	0.04998	0.04997	0.04997	0.04997	0.04995	0.04993	0.04989	0.04977	0.04940	0.04751	0.02457
0.2	0.09976	0.09975	0.09973	0.09967	0.09957	0.09939	0.09893	0.09821	0.09604	0.08868	0.04831
0.3	0.14898	0.14895	0.14883	0.14862	0.14824	0.14751	0.14632	0.14380	0.13814	0.12381	0.07127
0.4	0.19711	0.19702	0.19673	0.19618	0.19525	0.19395	0.19087	0.18577	0.17580	0.15452	0.09341
0.5	0.24350	0.24341	0.24294	0.24177	0.23998	0.23707	0.23227	0.22414	0.20977	0.18201	0.11471
0.6	0.28795	0.28781	0.28689	0.28492	0.28205	0.27754	0.27047	0.25920	0.24070	0.20852	0.13515
0.7	0.32983	0.32977	0.32795	0.32538	0.32128	0.31503	0.30581	0.29131	0.26910	0.23284	0.15473
0.8	0.36902	0.36840	0.36547	0.36102	0.35470	0.34693	0.33784	0.32682	0.29529	0.25516	0.17345
0.9	0.40544	0.40465	0.40020	0.39376	0.38520	0.38150	0.36767	0.34801	0.31958	0.27627	0.19131
1.0	0.43912	0.43816	0.43520	0.43000	0.42211	0.41083	0.39505	0.37310	0.34210	0.29608	0.20833
1.1	0.47015	0.46903	0.46559	0.45958	0.45056	0.43782	0.42029	0.39631	0.36307	0.31469	0.22454
1.2	0.49869	0.49742	0.49353	0.48678	0.47673	0.46258	0.44358	0.41782	0.38262	0.33218	0.23994
1.3	0.52490	0.52350	0.51920	0.51178	0.50080	0.48558	0.46510	0.43777	0.40086	0.34863	0.25457
1.4	0.54988	0.54846	0.54280	0.53478	0.52297	0.50671	0.48501	0.45630	0.41790	0.36410	0.26845
1.5	0.57111	0.56947	0.56249	0.55294	0.54040	0.52423	0.50345	0.47354	0.43384	0.37866	0.28101
1.6	0.58946	0.58773	0.57947	0.56847	0.55426	0.53749	0.51657	0.48559	0.44485	0.38927	0.29409
1.7	0.60501	0.60319	0.60328	0.59144	0.57569	0.55610	0.53161	0.50157	0.45621	0.40058	0.30589
1.8	0.62750	0.62561	0.61867	0.60507	0.58822	0.56793	0.54326	0.51355	0.46781	0.41144	0.31712
1.9	0.64748	0.64552	0.63859	0.62454	0.60709	0.58695	0.56204	0.53161	0.48510	0.42891	0.33274
2.0	0.66526	0.66326	0.65631	0.64175	0.62468	0.60437	0.57790	0.54634	0.49985	0.44373	0.34781
2.1	0.67198	0.66991	0.66306	0.64801	0.63061	0.61038	0.58392	0.55231	0.51050	0.46395	0.37136
2.2	0.68471	0.68261	0.67622	0.66066	0.64266	0.62256	0.60112	0.56906	0.52702	0.48050	0.38541
2.3	0.69657	0.69444	0.68812	0.67207	0.65367	0.63357	0.61162	0.57917	0.53735	0.49082	0.39500
2.4	0.70762	0.70548	0.69914	0.68266	0.66386	0.64376	0.62151	0.58958	0.54814	0.49161	0.39516
2.5	0.71795	0.71579	0.70944	0.69266	0.67346	0.65336	0.63111	0.59958	0.55854	0.49201	0.39516
2.6	0.72761	0.72544	0.71909	0.70191	0.68231	0.66221	0.63996	0.60903	0.56859	0.50206	0.39516
2.7	0.73667	0.73449	0.72814	0.71066	0.69066	0.67011	0.64786	0.61741	0.57747	0.51094	0.39516
2.8	0.74517	0.74299	0.73664	0.71896	0.69866	0.67761	0.65536	0.62541	0.58617	0.51964	0.39516
2.9	0.75317	0.75099	0.74464	0.72676	0.70611	0.68486	0.66261	0.63317	0.59443	0.52790	0.39516
3.0	0.76070	0.75852	0.75217	0.73409	0.71324	0.69199	0.66974	0.64029	0.59205	0.52552	0.41434
3.1	0.76781	0.76563	0.75928	0.74100	0.72005	0.70000	0.67875	0.65750	0.62025	0.56372	0.42011
3.2	0.77452	0.77234	0.76599	0.74751	0.72636	0.70631	0.68506	0.66381	0.62656	0.57003	0.42562
3.3	0.78086	0.77868	0.77233	0.75375	0.73250	0.71245	0.69120	0.66995	0.63270	0.57617	0.43088
3.4	0.78688	0.78469	0.77834	0.75976	0.73851	0.71846	0.69721	0.67596	0.63871	0.58218	0.43599
3.5	0.79258	0.79039	0.78404	0.76546	0.74421	0.72416	0.70291	0.68166	0.64441	0.58788	0.44071
3.6	0.79799	0.79580	0.78945	0.77087	0.74962	0.72957	0.70832	0.68707	0.64982	0.59329	0.44501
3.7	0.80314	0.80095	0.79460	0.77602	0.75477	0.73472	0.71347	0.69222	0.65497	0.59844	0.44971
3.8	0.80803	0.80584	0.79949	0.78091	0.75966	0.73961	0.71836	0.69711	0.65986	0.60333	0.45303
3.9	0.81270	0.81051	0.80416	0.78558	0.76433	0.74428	0.72303	0.70178	0.66453	0.60800	0.45797
4.0	0.81715	0.81496	0.80861	0.78993	0.76868	0.74863	0.72738	0.70613	0.66888	0.61235	0.46186
4.1	0.82149	0.81930	0.81295	0.79427	0.77302	0.75297	0.73172	0.71047	0.67322	0.61669	0.46558
4.2	0.82564	0.82345	0.81710	0.79842	0.77717	0.75712	0.73587	0.71462	0.67737	0.62084	0.46917
4.3	0.82934	0.82715	0.82080	0.80212	0.78087	0.76082	0.73957	0.71832	0.68107	0.62454	0.47261
4.4	0.83306	0.83087	0.82452	0.80584	0.78459	0.76454	0.74329	0.72204	0.68479	0.62826	0.47592
4.5	0.83662	0.83443	0.82808	0.80940	0.78815	0.76810	0.74685	0.72560	0.68835	0.63182	0.47911
4.6	0.84003	0.83784	0.83149	0.81281	0.79156	0.77151	0.75026	0.72901	0.69176	0.63523	0.48218
4.7	0.84331	0.84112	0.83477	0.81609	0.79484	0.77479	0.75354	0.73229	0.69504	0.63851	0.48514
4.8	0.84646	0.84427	0.83792	0.81924	0.79800	0.77795	0.75670	0.73545	0.69820	0.64167	0.48799
4.9	0.84949	0.84730	0.84095	0.82227	0.80102	0.78097	0.75972	0.73847	0.70122	0.64469	0.49074
5.0	0.85240	0.85021	0.84386	0.82518	0.80393	0.78388	0.76263	0.74138	0.70413	0.64760	0.49340
5.1	0.85520	0.85301	0.84666	0.82798	0.80673	0.78668	0.76543	0.74418	0.70693	0.65040	0.49597
5.2	0.85790	0.85571	0.84936	0.83068	0.80943	0.78938	0.76813	0.74688	0.70963	0.65310	0.49845
5.3	0.86050	0.85831	0.85196	0.83328	0.81203	0.79198	0.77073	0.74948	0.71223	0.65570	0.50084
5.4	0.86301	0.86082	0.85447	0.83579	0.81454	0.79449	0.77324	0.75200	0.71475	0.65822	0.50316
5.5	0.86543	0.86324	0.85689	0.83821	0.81696	0.79691	0.77566	0.75441	0.71716	0.66063	0.50548
5.6	0.86777	0.86558	0.85923	0.84055	0.81930	0.79925	0.77800	0.75675	0.71950	0.66297	0.50778
5.7	0.87003	0.86784	0.86149	0.84281	0.82156	0.80151	0.78026	0.75901	0.72176	0.66523	0.50988
5.8	0.87221	0.87002	0.86367	0.84499	0.82374	0.80369	0.78244	0.76119	0.72394	0.66741	0.51172
5.9	0.87432	0.87213	0.86578	0.84710	0.82585	0.80580	0.78455	0.76330	0.72605	0.66952	0.51369
6.0	0.87638	0.87419	0.86784	0.84916	0.82791	0.80786	0.78661	0.76536	0.72811	0.67158	0.51581
6.1	0.87834	0.87615	0.86980	0.85112	0.83087	0.81082	0.78957	0.76832	0.73107	0.67454	0.51747
6.2	0.88025	0.87806	0.87171	0.85303	0.83278	0.81273	0.79148	0.77023	0.73298	0.67645	0.51927
6.3	0.88211	0.87992	0.87357	0.85489	0.83464	0.81459	0.79334	0.77209	0.73484	0.67831	0.52102
6.4	0.88391	0.88172	0.87537	0.85669	0.83644	0.81639	0.79514	0.77389	0.73664	0.68011	0.52272
6.5	0.88565	0.88346	0.87711	0.85843	0.83818	0.81813	0.79688	0.77563	0.73838	0.68185	0.52437
6.6	0.88735	0.88516	0.87881	0.86013	0.83988	0.81983	0.79858	0.77733	0.74008	0.68355	0.52598
6.7	0.88899	0.88680	0.88045	0.86177	0.84152	0.82147	0.80022	0.77897	0.74172	0.68519	0.52754
6.8	0.89059	0.88840	0.88205	0.86337	0.84312	0.82307	0.80182	0.78057	0.74332	0.68679	0.52906
6.9	0.89214	0.89005	0.88370	0.86502	0.84477	0.82472	0.80347	0.78222	0.74497	0.68844	0.53054
7.0	0.89364	0.89145	0.88510	0.86642	0.84617	0.82612	0.80487	0.78362	0.74637	0.68984	0.53194

圆形基础下各点沉降系数 δ

续表 C

r/R	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.1	0.00020	0.00044	0.00074	0.00108	0.00150	0.00200	0.00260	0.00330	0.00410	0.00500
0.2	0.00091	0.00219	0.00408	0.00650	0.00950	0.01320	0.01760	0.02280	0.02880	0.03570
0.3	0.00208	0.00500	0.00885	0.01400	0.02080	0.02940	0.03990	0.05250	0.06730	0.08450
0.4	0.00358	0.00900	0.01580	0.02440	0.03520	0.04860	0.06490	0.08450	0.10750	0.13400
0.5	0.00535	0.01320	0.02280	0.03480	0.05000	0.06880	0.09160	0.11880	0.15050	0.18680
0.6	0.00740	0.01800	0.03120	0.04720	0.06680	0.09080	0.11960	0.15350	0.19280	0.23770
0.7	0.00980	0.02300	0.04000	0.05920	0.08280	0.11200	0.14640	0.18680	0.23350	0.28680
0.8	0.01260	0.02960	0.05000	0.07280	0.10000	0.13320	0.17280	0.21880	0.27150	0.33100
0.9	0.01580	0.03560	0.06000	0.08680	0.11800	0.15600	0.20080	0.25280	0.31200	0.37950
1.0	0.01940	0.04320	0.07000	0.10000	0.13400	0.17280	0.21880	0.27150	0.33100	0.37950
1.1	0.02340	0.05000	0.08000	0.11200	0.14800	0.18880	0.23680	0.29280	0.35680	0.41880
1.2	0.02780	0.05760	0.09000	0.12400	0.16400	0.20880	0.25920	0.31680	0.38280	0.44780
1.3	0.03260	0.06560	0.10000	0.13600	0.17800	0.22480	0.27720	0.33680	0.40380	0.46880
1.4	0.03780	0.07400	0.11000	0.14800	0.19200	0.24080	0.29420	0.35480	0.42280	0.48780
1.5	0.04340	0.08280	0.12000	0.16000	0.20600	0.25680	0.31220	0.37480	0.44380	0.50980
1.6	0.04940	0.09200	0.13000	0.17200	0.22000	0.27280	0.32920	0.39280	0.46280	0.52980
1.7	0.05580	0.10160	0.14000	0.18400	0.23400	0.28880	0.34620	0.41080	0.48180	0.54980
1.8	0.06260	0.11160	0.15000	0.19600	0.24800	0.30480	0.36120	0.42680	0.49880	0.56680
1.9	0.06980	0.12200	0.16000	0.20800	0.26200	0.32080	0.37820	0.44480	0.51780	0.58680
2.0	0.07740	0.13280	0.17000	0.22000	0.27600	0.33680	0.39420	0.46120	0.53520	0.60580
2.1	0.08540	0.14400	0.18000	0.23200	0.29000	0.35280	0.41120	0.47880	0.55380	0.62580
2.2	0.09380	0.15560	0.19200	0.24400	0.30400	0.36880	0.42820	0.49680	0.57280	0.64480
2.3	0.10260	0.16760	0.20000	0.25600	0.31600	0.38280	0.44320	0.51280	0.58980	0.66280
2.4	0.11180	0.18000	0.21000	0.26800	0.32800	0.39680	0.45820	0.52880	0.60680	0.67980
2.5	0.12140	0.19280	0.22000	0.28000	0.34000	0.41080	0.47320	0.54480	0.62380	0.69780
2.6	0.13140	0.20600	0.23000	0.29200	0.35200	0.42480	0.48820	0.55980	0.63980	0.71480
2.7	0.14180	0.21960	0.24000	0.30400	0.36400	0.43880	0.50320	0.57480	0.65480	0.73080
2.8	0.15260	0.23360	0.25000	0.31600	0.37600	0.45280	0.51820	0.59080	0.67080	0.74680
2.9	0.16380	0.24800	0.26000	0.32800	0.38800	0.46780	0.53420	0.60780	0.68780	0.76280
3.0	0.17540	0.26280	0.27000	0.34000	0.40000	0.48280	0.55020	0.62480	0.70480	0.77980
3.1	0.18740	0.27800	0.28000	0.35200	0.41200	0.49680	0.56520	0.64080	0.72080	0.79580
3.2	0.19980	0.29360	0.29000	0.36400	0.42400	0.51080	0.58020	0.65680	0.73680	0.81180
3.3	0.21260	0.30960	0.29600	0.37600	0.43600	0.52580	0.59620	0.67380	0.75380	0.82880
3.4	0.22580	0.32600	0.30000	0.38800	0.44800	0.54180	0.61320	0.69180	0.77180	0.84980
3.5	0.23940	0.34280	0.31000	0.40000	0.46000	0.55780	0.63020	0.70980	0.79080	0.86980
3.6	0.25340	0.36000	0.32000	0.41200	0.47200	0.57380	0.64720	0.72780	0.80880	0.88780
3.7	0.26780	0.37760	0.33000	0.42400	0.48400	0.58980	0.66420	0.74580	0.82680	0.90580
3.8	0.28260	0.39560	0.34000	0.43600	0.49600	0.60680	0.68220	0.76480	0.84580	0.92480
3.9	0.29780	0.41400	0.35000	0.44800	0.50800	0.62480	0.70120	0.78480	0.86580	0.94480
4.0	0.31340	0.43280	0.36000	0.46000	0.52000	0.64280	0.72020	0.80480	0.88580	0.96480
4.1	0.32940	0.45200	0.37000	0.47200	0.53200	0.66080	0.73920	0.82480	0.90580	0.98480
4.2	0.34580	0.47160	0.38000	0.48400	0.54400	0.67880	0.75820	0.84480	0.92580	1.00480
4.3	0.36260	0.49160	0.39000	0.49600	0.55600	0.69680	0.77720	0.86480	0.94580	1.02480
4.4	0.37980	0.51200	0.40000	0.50800	0.56800	0.71480	0.79620	0.88480	0.96580	1.04480
4.5	0.39740	0.53280	0.41000	0.52000	0.58000	0.73280	0.81520	0.90480	0.98580	1.06480
4.6	0.41540	0.55400	0.42000	0.53200	0.59200	0.75080	0.83420	0.92480	1.00580	1.08480
4.7	0.43380	0.57560	0.43000	0.54400	0.60400	0.76880	0.85320	0.94480	1.02580	1.10480
4.8	0.45260	0.59760	0.44000	0.55600	0.61600	0.78680	0.87220	0.96480	1.04580	1.12480
4.9	0.47180	0.62000	0.45000	0.56800	0.62800	0.80480	0.89120	0.98480	1.06580	1.14480
5.0	0.49140	0.64280	0.46000	0.58000	0.64000	0.82280	0.91020	1.00480	1.08580	1.16480
5.1	0.51140	0.66600	0.47000	0.59200	0.65200	0.84080	0.92920	1.02480	1.10580	1.18480
5.2	0.53180	0.68960	0.48000	0.60400	0.66400	0.85880	0.94820	1.04480	1.12580	1.20480
5.3	0.55260	0.71360	0.49000	0.61600	0.67600	0.87680	0.96720	1.06480	1.14580	1.22480
5.4	0.57380	0.73800	0.50000	0.62800	0.68800	0.89480	0.98620	1.08480	1.16580	1.24480
5.5	0.59540	0.76280	0.51000	0.64000	0.70000	0.91280	1.00520	1.10480	1.18580	1.26480
5.6	0.61740	0.78800	0.52000	0.65200	0.71200	0.93080	1.02320	1.12480	1.20580	1.28480
5.7	0.63980	0.81360	0.53000	0.66400	0.72400	0.94880	1.04120	1.14480	1.22580	1.30480
5.8	0.66260	0.83960	0.54000	0.67600	0.73600	0.96680	1.05920	1.16480	1.24580	1.32480
5.9	0.68580	0.86600	0.55000	0.68800	0.74800	0.98480	1.07720	1.18480	1.26580	1.34480
6.0	0.70940	0.89280	0.56000	0.70000	0.76000	1.00280	1.09520	1.20480	1.28580	1.36480
6.1	0.73340	0.92000	0.57000	0.71200	0.77200	1.02080	1.11720	1.22480	1.30580	1.38480
6.2	0.75780	0.94760	0.58000	0.72400	0.78400	1.03880	1.13520	1.24480	1.32580	1.40480
6.3	0.78260	0.97560	0.59000	0.73600	0.79600	1.05680	1.15320	1.26480	1.34580	1.42480
6.4	0.80780	1.00400	0.60000	0.74800	0.80800	1.07480	1.17120	1.28480	1.36580	1.44480
6.5	0.83340	1.03280	0.61000	0.76000	0.82000	1.09280	1.18920	1.30480	1.38580	1.46480
6.6	0.85940	1.06200	0.62000	0.77200	0.83200	1.11080	1.20720	1.32480	1.40580	1.48480
6.7	0.88580	1.09160	0.63000	0.78400	0.84400	1.12880	1.22520	1.34480	1.42580	1.50480
6.8	0.91260	1.12160	0.64000	0.79600	0.85600	1.14680	1.24320	1.36480	1.44580	1.52480
6.9	0.93980	1.15200	0.65000	0.80800	0.86800	1.16480	1.26120	1.38480	1.46580	1.54480
7.0	0.96740	1.18280	0.66000	0.82000	0.88000	1.18280	1.27920	1.40480	1.48580	1.56480

注: ① R — 圆形面积的半径 (m);② z — 计算点离基础底面的垂直距离 (m);③ r — 计算点距圆形面积中心的水平距离 (m)。

附录D 罐基础沉降观测记录

罐基基础沉降观测记录表

[illegible]

罐容量	罐重量
1000	1000
500	500
250	250
125	125
62.5	62.5
31.25	31.25
15.625	15.625
7.8125	7.8125
3.90625	3.90625
1.953125	1.953125
0.9765625	0.9765625
0.48828125	0.48828125
0.244140625	0.244140625
0.1220703125	0.1220703125
0.06103515625	0.06103515625
0.030517578125	0.030517578125
0.0152587890625	0.0152587890625
0.00762939453125	0.00762939453125
0.003814697265625	0.003814697265625
0.0019073486328125	0.0019073486328125
0.00095367431640625	0.00095367431640625
0.000476837158203125	0.000476837158203125
0.0002384185791015625	0.0002384185791015625
0.00011920928955078125	0.00011920928955078125
0.000059604644775390625	0.000059604644775390625
0.0000298023223876953125	0.0000298023223876953125
0.00001490116119384765625	0.00001490116119384765625
0.000007450580596923828125	0.000007450580596923828125
0.0000037252902984619140625	0.0000037252902984619140625
0.00000186264514923095703125	0.00000186264514923095703125
0.000000931322574615478515625	0.000000931322574615478515625
0.0000004656612873077392578125	0.0000004656612873077392578125
0.00000023283064365386962890625	0.00000023283064365386962890625
0.000000116415321826934814453125	0.000000116415321826934814453125
0.0000000582076609134674072265625	0.0000000582076609134674072265625
0.00000002910383045673370361328125	0.00000002910383045673370361328125
0.000000014551915228366851806640625	0.000000014551915228366851806640625
0.0000000072759576141834259033203125	0.0000000072759576141834259033203125
0.00000000363797880709171295166015625	0.00000000363797880709171295166015625
0.000000001818989403545856475830078125	0.000000001818989403545856475830078125
0.0000000009094947017729282379150390625	0.0000000009094947017729282379150390625
0.00000000045474735088646411895751953125	0.00000000045474735088646411895751953125
0.000000000227373675443232059478759765625	0.000000000227373675443232059478759765625
0.0000000001136868377216160297393798828125	0.0000000001136868377216160297393798828125
0.00000000005684341886080801486968994140625	0.00000000005684341886080801486968994140625
0.000000000028421709430404007434844970703125	0.000000000028421709430404007434844970703125
0.0000000000142108547152020037174224853515625	0.0000000000142108547152020037174224853515625
0.00000000000710542735760100185871124267578125	0.00000000000710542735760100185871124267578125
0.000000000003552713678800500929355621337890625	0.000000000003552713678800500929355621337890625
0.0000000000017763568394002504646778106689453125	0.0000000000017763568394002504646778106689453125
0.00000000000088817841970012523233890533447265625	0.00000000000088817841970012523233890533447265625
0.000000000000444089209850062616169452667236328125	0.000000000000444089209850062616169452667236328125
0.0000000000002220446049250313080847263336181640625	0.0000000000002220446049250313080847263336181640625
0.00000000000011102230246251565404236316680908203125	0.00000000000011102230246251565404236316680908203125
0.000000000000055511151231257827021181583404541015625	0.000000000000055511151231257827021181583404541015625
0.0000000000000277555756156289135105907917022705078125	0.0000000000000277555756156289135105907917022705078125

引用水准点编号: 水准点高程:

頁
第 年

表D

[illegible]

检验员:

技術負責人:

附录E 用词说明

本规范条文中要求严格程度的用词，在执行时按下述说明区别对待。

E. 0. 1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

E. 0. 2 表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”

反面词采用“不应”或“不得”。

E. 0. 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

E. 0. 4 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附加说明 **本规范主编单位、参加编制单位和
主要起草人名单**

主 编 单 位： 中国石化北京设计院

参加编制单位： 中国石化高桥石化公司设计院
中国石化洛阳石化工程公司

主 要 起 草 人： 陈树棕 蒋 津 贾庆山
陈兴东

中华人民共和国行业标准

石油化工企业钢储罐地基 与基础设计规范

S H 3068 — 95

条 文 说 明

1 9 9 5 北 京

制 订 说 明

本规范是根据中国石油化工总公司中石化（86）建字 8 号文的通知由我院主编的。

在编制过程中，进行了广泛的调查研究，总结了多年石油化工在钢制立式储罐地基与基础方面的设计经验，并征求了有关设计、施工等方面的意见，对其中的主要问题，进行了多次讨论，最后经审查定稿。

在本规范实施过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和有关资料提供我院，以便今后修订时参考。

中国石化北京设计院

一九九五年七月

目 次

1	总则	1
3	设计条件	3
4	罐基础的选型	5
4.1	地基要求	5
4.2	选型	10
5	环墙计算	14
5.1	环墙宽度	14
5.2	环墙上作用效应	15
6	地基承载力及稳定性计算	21
6.1	承载力计算	21
6.2	稳定性计算	21
7	地基变形计算	23
7.1	一般规定	23
7.2	变形计算	26
7.3	地基变形允许值	28
8	罐基础构造与材料	31
8.1	构造	31
8.2	材料	35

1 总 则

1.0.1 本规范是《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046—92 的配套标准。立式圆筒形钢制焊接储罐包括固定顶、浮顶和内浮顶焊接储罐，罐底板向上的锥面坡度不小于 15%，钢储罐用以储存原油、中间产品油和成品油等石油化工产品。

罐基础是指将罐体及罐内介质的重量传到地基持力层上的部分。一般除钢筋混凝土环墙部分外，钢储罐基础均设计为柔性基础。护坡式和外环墙式罐基础为包括罐底板下至地基持力层以上的各填料层部分，后者并包括外环墙；环墙式罐基础为包括支承罐壁的环境墙和罐底板下至地基持力层以上的各填料层部分。

本规范主要适用于不大于 50000 m³ 的钢储罐基础的设计，大于 50000 m³ 的储罐其直径和高度均较大，因目前国内建造还不多，对地基承载力和基础沉降的要求均较高较严、尚缺少经验。

本规范不适用于下列情况：

(1) 对储存低温介质的罐。因为低温介质会导致罐基土的冻胀，在罐基的结构、材料和填料上应进行特殊的处理。

(2) 对储存剧毒、酸、碱腐蚀介质的罐。因上述介质会对罐基产生腐蚀破坏，为了进行渗、漏的观察，这

类储罐基础一般均设计为架空基础。

(3) 对储存介质自重大于 10 kN/m^3 的储罐。因储罐在试压和罐基础在地基处理时均是采用充水来试压和预压的。而水的重度为 9.81 kN/m^3 。

3 设计条件

3.0.1 储罐的自重以及介质重通过基础传递给土。承受来自基础的全部荷载的这部分土层就是地基，储罐依靠地基的承载能力保持稳定和正常工作。土是自然界演化的产物。土的种类很多，即使是同一种土，它所具有的结构和物理状态也可能很不一样。土的性质随时间及外界条件而发生变化。这就要求设计储罐基础时，必须首先详细了解储罐拟建地点的土层情况以及各层土的物理力学性质，通过计算分析，预估储罐基础施工过程中以及建成后可能出现的地基性状，并提出对地基的处理方法。这是能否做好储罐基础设计的关键所在。

随着国民经济的发展、石油油品储罐的容量也越来越大，特别是大型储罐，直径、高度大，对地基土的承载力和沉降要求高，影响深度大，尤其是软土地基、山区地基以及特殊土地基，地层复杂。储罐基础不同于一般的建、构筑物基础，如不均匀沉降过大，将导致油罐的倾斜或失稳，使浮顶罐的浮船不能升降，甚至产生储罐破裂。有些工程甚至在无工程地质资料的情况下，进行不正确的设计和施工，以致造成储罐破坏的事故。因此本规范中特别强调了储罐基础的设计，必须具有建设场区的工程地质勘探报告，并分别提出了对一般地基、软土地基、山区地基、特殊土地基以及地震区的工程地

质勘察的项目要求。

对勘探点数量和勘探孔的深度，主要是根据以往的设计经验，能控制住罐区变化的地质情况，并满足设计计算的要求。提出初勘阶段一个罐区不宜少于3~5点。详勘阶段则根据储罐的型式、公称容积和场地类别确定。一般罐中心应设置一点。勘探孔深度是按储罐容积和地基情况，主要根据储罐充水时对地基的影响深度和国内以往对地基勘探的经验和参考工程地质（第三版）对大型油罐及大庆地区大型油罐地基勘探孔深度确定。在具体工程中，尚应针对工程的实际情况对勘探点数量和勘探孔深度做适当的增减。

3.0.2 工艺、安装、设备及总图等设计条件为设计罐基础所必不可少的资料。罐壁底端线分布荷载标准值，主要为计算环墙宽度用。当为浮顶罐时，仅为罐壁的重量；当为固定顶罐（包括内浮顶罐）时，应为罐壁和罐顶的重量。当罐壁有保温层时，尚应包括保温层的重量。

储罐施工安装、试压等方法是指储罐施工安装是采用正装还是倒装的方法，如采用气吹倒装法时，尚应提出穿环墙处的预留通风口等。

4 罐基础的选型

4.1 地基要求

4.1.1 软土一般是指天然含水量大(接近或大于液限)、孔隙比大(一般大于1)、压缩性高($\alpha_{1-2} > 0.5\text{MPa}^{-1}$ 或 $\alpha_{1-3} > 1\text{MPa}^{-1}$)、承载能力低、渗透系数小的一种软塑到流塑状态的粘性土。如淤泥、淤泥质土以及其他高压缩性饱和粘性土、粉土等。淤泥和淤泥质土是指在静水或缓慢的流水环境中沉积,经生物化学作用形成的粘性土。这种粘性土含有机质,天然含水量大于液限($W > W_L$),天然孔隙比 e 大于1.5时称为淤泥。天然孔隙比 e 小于1.5而大于1.0时,称为淤泥质土。当土的灼烧量大于5%时,称为有机土,大于60%时称为泥炭。

软土具有如下的工程性质:

(1) 软土具有触变特征。当原状土受到振动以后,破坏了结构连接,降低了土的承载力或很快地使土变成稀释状态。软土的灵敏度 St 一般在3~4之间,个别可达8~9,为此当软土地基受振动荷载后,易产生侧向滑动、沉降及基底面两侧挤出等现象。

(2) 软土具有流变性。软土除排水固结引起变形外,在剪应力作用下,土体还会发生缓慢而长期的剪切变形,对储罐地基的沉降有较大的影响,对储罐地基稳定性不

利。

(3) 软土具有高压缩性。软土的压缩系数大，这类土的大部分压缩变形发生在垂直压力为 100kPa 左右。反应在储罐地基的沉降方面为沉降量大。

(4) 软土地基承载力很低。其不排水抗剪强度一般均在 20kPa 以下。

(5) 软土透水性能弱。一般垂直向渗透系数在 $i \times (10^{-6} \sim 10^{-8})$ cm/S 之间，对储罐地基排水固结不利，沉降延续时间长，在加载初期，地基中常出现较高的孔隙水压力，影响地基的承载力。

(6) 软土中局部有夹层。软土由于沉积环境的变化，粘性土层中常局部夹有厚薄不等的粉土，使水平和垂直分布上有所差异，使储罐地基易产生差异沉降。

山区地基由于工程地质和水文地质条件比较复杂和特殊，与平原地基相比，具有如下主要特点：

(1) 地基的不均匀性。这是由于在地基压缩层范围内，常常遇到基岩的部分露头和表面倾斜或者是有大块孤石存在，而形成软硬不均的岩土地基；山区地表高差大，在平整场地中大挖大填，形成不均匀的半挖半填地基；在岩溶地区，常常石芽林立，溶沟，溶槽密布，其间充填着性质和厚度都不相同的土，因而形成不均匀不稳定的岩溶地基。

(2) 多种不良地质现象。如滑坡、泥石流和崩塌等对工程建设均会造成极大的危害。因此在山区建设中应按工程地质和水文地质资料进行地基处理。对建罐地区

有直接危害或潜在威胁的滑坡、泥石流、崩塌以及岩溶、土洞等强烈发育的地段，一般不允许选作为建罐场地，如必须使用这类场地则应采取可靠的防治措施。

特殊土是指湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土、红粘土、盐渍土、混合土、污染土和填土。是在特殊的工程地质环境中生成的，具有特殊的物理力学性质。

（1）湿陷性黄土。其主要特征是大孔结构和湿陷性。它的天然强度很高，孔隙比大，含水量小，浸水后强度急剧降低发生大量下沉。湿陷性黄土地基对罐基础的危害十分严重，地基土受水浸后，多数下沉是不均匀的，一般是哪里受水浸哪里就下沉。黄土地基的湿陷是一种失稳类型的变形，一般往往在 1 ~ 2 天内就可能产生 20 ~ 30cm 的变形，这样大而快速的沉降变形对罐体的影响很大，因此为保证湿陷性黄土地区罐基础的安全与正常使用，应根据国家专门规范《湿陷性黄土规范》因地制宜，采取以地基处理为主的综合措施，以防止地基的湿陷。

（2）膨胀土。是一种高塑性粘土，它含有大量的亲水性粘土矿物成份。它的特点是具有较高的吸附能力，在环境湿度变化影响下可产生强烈的胀缩变形，这种土吸水膨胀，失水收缩，以及膨胀—收缩—再膨胀，这种周期性的变形是与其他土的基本区别所在。膨胀土地区的罐基础，必须根据膨胀土的特性，综合考虑气候特点、地形地貌条件、土中水份的变化情况等因素，因地制宜，采取治理措施。我国自 1973 年开始经过大规模的试验研究已总结出在勘察、设计、施工和维护等方面

的成套经验。并编制出《膨胀土地区建筑技术规范》。

(3) 多年冻土。是指冻结状态持续多年(一般是三年以上)不融的冻土。其主要特点是多年冻土常存在地面下的一定深度,其上部接近地表部分往往亦受季节性影响,冬冻夏融。此冬冻夏融的部分常称为季节融冻层。因此多年冻土地区常伴有季节性冻融现象。冻土作为储罐基础地基在冻结状态时,具有较高的承载力和较低的压缩性或不具压缩性。但冻土融化后则承载力大为降低,压缩性急剧增高,使地基产生融陷,相反在冻结过程中又产生冻胀,对地基极为不利。因此在多年冻土地区建罐,应根据冻土的性质,对冻土地基进行处理。

(4) 红粘土。外观上是棕红、褐黄色的高塑性粘土。其主要特点是土的含水量、孔隙比、饱和度以及塑性界限很高,但承载力较高、压缩性较小,有时亦具有一定的胀缩性。此外,红粘土层下部常为溶蚀的基岩,既破碎又此起彼伏、构成极不均匀的地基,也是造成罐基不均匀沉降的主要原因。

(5) 盐渍土。是指易溶盐量大于 0.5%且具有吸湿、松胀等特性的土。这种土的特性是土中盐类在结晶过程中产生强烈的机械膨胀作用,土体本身可能随之膨胀,同时盐分渗入与其接触的建筑材料中后,即会在结晶过程中把材料及其砌体膨胀破坏,并具有较强的腐蚀性。另外,这种土的骨架结构遇水易崩解,造成土体失稳,对罐基础也是极为不利的。

(6) 混合土。主要是由不连续的粘粒、粉粒和碎石

粒（砾粒）组成的土。其主要特点是混合土因含有大量的粗颗粒，如碎（砾）石颗粒甚至漂粒，因此很难取样，用一般室内试验方法很难得出正确的物理力学性质指标，甚至不能掌握其级配情况；混合土中的粗颗粒可能互相接触，也可能为细粒局部包围，因而使混合土极不均匀；混合土也常具有膨胀性和湿陷性等。因此对于混合土层，应充分考虑到其下伏层的性质和面层坡度，核算地基的整体稳定性。对于含有巨大颗粒的混合土，尤其是粒间填充不密实或为软土填充时，要考虑这些巨石滚动或滑动影响地基的稳定性。

（7）污染土。主要是由于在工厂生产过程中，某些对土有腐蚀作用的废渣、废液渗漏进入地基，引起地基土发生化学变化。在石化企业中要注意这类土。污染土的特点是孔隙比和压缩性增大，抗剪强度降低；污染土颗粒的腐蚀新生成含结晶水的盐类，在干燥条件下，体积增大而膨胀、浸水收缩，经反复交替作用，土质受到破坏；地基土遇酸、碱等腐蚀性物质与土中的盐类形成离子交换，从而改变土的性质；地基土经腐蚀后使结构破坏而形成沉陷变形或产生不均匀变形；另一种破坏是引起地基土的膨胀。因此，这类土对罐基础也是极为不利的。

（8）填土。是指由人类活动而堆积的土。填土分为素填土、杂填土和冲填土。素填土的特性是它的均匀性和密实度，未经压实者一般密实度较差。但堆积时间较长，由于土的自重压密作用，也能达到一定的密实度。

杂填土的特点是其成份复杂，成层有厚有薄，性质也不相同，且无规律性；在大多数情况下，杂填土是比较疏松和不均匀的，在同一场地的不同位置，地基承载力和压缩性也有较大的差异。因此杂填土地基需要处理才能作为罐基础的地基。冲填土是由水力冲填形成的，在沿海和江河边较多。其特点是在冲填过程中由于泥砂来源的变化，造成冲填土在纵横方向上的不均匀性，故土层多呈透镜体状或薄层状；冲填土的含水量大，一般大于液限，呈软塑或流塑状态；冲填土多属未完成自重固结的高压缩性的软土，透水性能弱，排水固结差；含粘土颗粒较多的冲填土往往是欠固结的，其承载力和压缩性指标都比同类天然沉积土差。因此这类土应经处理始能作为罐基础的地基。

4.2 选 型

4.2.1, 4.2.2 罐基础的选型是至关重要的，储罐对基础地基的主要作用荷载是罐体及储存介质的重量，该作用荷载的特点是荷载强度大、分布面积大，对地基的影响深度大。特别是对软弱地基产生的沉降和不均匀沉降大。储罐基础主要是支持罐体，在建造和正常操作状态下保证储罐安全可靠，一旦地基基础失稳，其严重后果将是不堪设想的，并将带来严重的次生灾害。我国行业标准《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046—92 附录一，对基础提出了八条基本要求。其中对沉降方面的要求是储罐基础任意直径方向最终沉降差许

可值，按罐的不同内径，浮顶罐与内浮顶罐为 $0.007D \sim 0.004D$ ，固定顶罐为 $0.075D \sim 0.008D$ （ D 为罐内径）；沿罐壁圆周方向任意 10 m 弧长内的沉降差应不大于 25 mm ；支承罐壁的基础部分与其内侧的基础之间不应发生沉降突变；基础沉降基本稳定后的锥面坡度不小于 8% ，基础边缘上表面应高出地坪不小于 300 mm 。按上述要求，因此在对储罐基础的选型中，应认真考虑地质条件，对地基土的稳定性要有足够的重视，基础必须具有足够的安全性、适用性（满足业主的使用要求）和耐久性。

罐基础的型式很多，各型基础有其各自的特点和适应条件，因此在选型时应根据储罐的型式、容积、地质条件、材料供应情况、业主要求和施工技术条件、地基处理方法和经济合理性进行综合考虑。规范中提出的三种罐基础型式，是仅按地质条件，根据国内常用和参考国外的标准而提出的。

护坡式罐基础。一般用于硬和中硬场地土，多用于固定顶罐，它的优点是（1）基础的整体均匀性好，因而对罐体受力较好。（2）省钢材、水泥、工程投资小。缺点是（1）基础的平面抗弯刚度差，因而对调整地基不均匀沉降作用小，效果较差。（2）基础本身的稳定性差。

环墙式罐基础。一般用于软和中软场地土，多用于浮顶罐及内浮顶罐，罐壁下设置钢筋混凝土环墙，这种型式的罐基础，在国内用得较多，它的优点是（1）可

减小罐周的不均匀沉降。钢筋混凝土环墙平面抗弯刚度较大，能很好地调整在地基下沉过程中出现的不均匀沉降，从而减小罐壁的变形，避免浮顶罐或内浮顶罐发生浮顶不能上浮的现象。（2）罐体荷载传递给地基的压力分布较为均匀。（3）增强基础的稳定性，抗震性能较好。防止由于冲刷、浸蚀、地震等造成环墙内各填料层的流失，保持罐底下填料层基础的稳定。（4）有利于罐壁的安装。环墙为罐壁底端提供了一个平整而坚实的表面，并为校平储罐基础面和保持外形轮廓提供了有利条件。（5）有利于事故的处理。当罐体出现较大的倾斜时，可用环墙进行顶升调整，或采用半圆周挖沟纠偏法，（6）起防潮作用。钢筋混凝土环墙顶面不积水，减少罐底的潮气和对罐底板的腐蚀。（7）比护坡式罐基础占地面积小。缺点是（1）由于环墙的竖向抗力刚度比环墙内填料层相差较大，因此罐壁和罐底的受力状态较外环墙式罐基础差。（2）钢筋水泥耗量较多。

外环墙式罐基础。当设置外环墙时，罐壁下也可设置钢筋混凝土小环梁，或碎石环梁，一般多用于硬和中硬场地土。它的优点是（1）由于罐体座落在由砂石土构成的基础上，其竖向抗力刚度相差不大，因此对罐壁和罐底的受力状态较环墙式罐基础好。（2）由于设置外环墙基础具有一定的稳定性，因此其抗震性能也较好。（3）较环墙式罐基础省钢筋和水泥。缺点是（1）外环墙式罐基础的整体平面抗弯刚度较钢筋混凝土环墙式罐基础差，因此调整不均匀沉降的能力较差。（2）当

罐壁下节点处下沉量低于外环墙顶时易造成两者之间的凹陷。

5 环 墙 计 算

5.1 环 墙 宽 度

5.1.1 当罐壁位于环墙顶面时,环墙式罐基础等截面环墙的宽度计算式(5.1.1)是按环墙底压强与环墙内同一水平面地基土压强相等(标准值)的条件而求得的。即 $p_1=p_2$ (见图5—1)。主要是为了使环墙内基础沉降不致于产生突变。

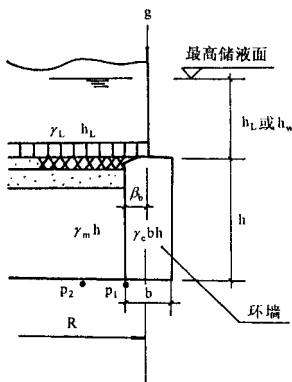


图 5-1 环墙计算简图

如将式 (5.1.1) 以 β 作为应变量可得

$$\beta = 1 - \frac{g}{\gamma_L h_L b} - \frac{h}{h_c} \left(\frac{\gamma_c - \gamma_m}{\gamma_L} \right) \quad (\text{式 5-1})$$

式中 β —— 罐壁伸入环墙顶面宽度系数;

g —— 罐壁底端传给环墙顶端的线分布荷载标准值 (当有保温层时尚应包括保温层的荷载标准值) (kN/m);

b —— 环墙宽度 (m);

γ_L —— 罐内使用阶段储存介质的重度 (kN/m³);

h_L —— 环墙顶面至罐内最高储液面 (介质) 高度 (m);

γ_c —— 环墙的重度 (kN/m³);

γ_m —— 环墙内各填料层的平均重度 (kN/m³);

h —— 环墙高度 (m);

关于罐壁底端传给环墙的线分布荷载标准值 (g), 当为浮顶罐时, 仅为罐壁的重量; 当为固定顶罐时, 应包括罐壁和罐顶的重量。

环墙宽度的计算可先假定 β 值, 按规范式 (5.1.1) 求出 b , 再根据选用的 b 值适当调整 β 值; 也可先假定 b 值, 按 (式 5-1) 求出 β 值。规范第 8.1.10 条在构造中规定钢筋混凝土环墙宽度不宜小于 250 mm。

5.2 环墙上作用效应

5.2.2 环墙可仅进行环向力计算, 即对环墙不做竖向力计算。竖向配筋按构造设置, 竖向构造钢筋的截面最小

配筋率不应小于 0.15%（每侧），主要是因环墙的径向位移沿竖向的分布趋近于直线，环墙的竖向弯矩很小，在以往的很多计算方法中，仅《炼油厂钢油罐基础设计技术规定》SHJ 1058—84（试行）中提出了计算环墙竖向弯矩的计算式。我们按环墙竖向弯矩的计算式，并通过很多实例的计算（包括浮顶罐和拱顶罐），其需要配筋率大约在 0.06%~0.15% 范围内，而在工程中实际配筋率一般均大于 0.15%，均能满足计算的要求。

5.2.3 关于环墙环向力的计算方法。石化行业在不同时期有下列几种对环墙环向力及配筋的计算：

1. “三系数”法。主要是按《钢筋混凝土结构设计规范》GBJ 21—66。侧压力系数按朗肯主动土压力系数，并考虑环墙外侧土压力的作用，未考虑地基土的条件，其计算式为：

$$F = [n_1 r_1 H + r_2 (n_2 h - h_1)] \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) R \quad (\text{式 5-2})$$

$$Ag = \frac{F}{mRg} \quad (\text{式 5-3})$$

式中 F —— 环墙每米高环向力（t/m）；

n_1, n_2 —— 分别为水和环墙内填料的超载系数；

H —— 环墙顶面至罐内最高储水面高度（m）；

r_1, r_2 —— 分别为水、环墙内填料的平均容量（t/m³）；

h —— 环墙高度（m）；

h_1 —— 环墙外侧地面至环墙底高度（m）；

ϕ —— 填料平均内摩擦角（°）；

R —— 环墙中心线半径（m）；

A_g —— 环向钢筋的截面面积 (cm^2/m) ;
 m —— 构件的工作条件系数;
 R_g —— 受拉钢筋设计计算强度 (kg/cm^2) 。

2. “84 规定”法。按《钢筋混凝土设计规范》TJ 10 — 74 , 《炼油厂钢油罐基础设计技术规定》SHJ 1058 — 84 (以下简称“84 规定”法)。

“84 规定”法是假定环墙为等刚度旋转圆柱体,其在轴对称的水平荷载作用下,由环墙之竖向和环向共同负担,建立壳体弹性曲面的基本微分方程,通过求解并利用初参数得出环墙任一点竖向弯矩和环向力,并按环墙两端边界约束条件和原石油部《浮顶罐系列》及《拱顶罐系列》的几何尺寸和有关数据经简化而成。其侧压力系数仍按朗肯主动土压力系数考虑、适用于一般地基土。当地基土为饱和软弱土时,采用扩大系数法计算环墙环向力。

一般地基土:当环墙高度不超过 2.5 m,且地基土各层均能满足容许承载力要求,且油罐外形符合石油工业部油罐系列尺寸时。

$$T = (0.55H + h) K_r R \quad (\text{式 5-4})$$

软土:当地基为饱和软弱土,且罐容积等于或小于 50000 m^3 时;

$$T = (0.55H + h) K_s R \quad (\text{式 5-5})$$

$$A_g = \frac{KT}{R_g} \quad (\text{式 5-6})$$

式中 T —— 环墙每米高环向力 (t/m) ;

H —— 环墙顶面至罐内最高液面高度 (m) ;

- h —— 环墙高度 (m) ;
 K_1 —— 中等密实地基, 边界为半较的环墙环向力计算系数, 按表 3.0.2—1 取值。
 K_s —— 饱和软弱土地基环墙环向力计算系数 (t/m^2); 当地基容许承载力为 $6 t/m^2$ 时, 取 0.85; 当地基容许承载力为 $10 t/m^2$ 时, 取 0.7; 中间值可用内插法取值;
 A_g —— 环向钢筋的截面面积 (cm^2/m);
 K —— 安全系数, 取 1.4;
 R_g —— 受拉钢筋设计计算强度 (kg/cm^2)。

3. “控拉力”法。控制最大环拉力法 (以下简称“控拉力”法) 是由中石化总公司洛阳设计研究院在上海软土地基对大型油罐进行多种项目的实测后, 提出了计算环墙侧压力系数的经验公式和环向力的简化计算式。并按《钢筋混凝土设计规范》TJ—74 进行计算。主要用于软土地基。其简化计算式为:

$$T = m_d K_0 (h + 0.6 H) R \quad (\text{式 5-7})$$

$$K_0 = 0.22 + 0.05 H + 0.01 h \quad (\text{式 5-8})$$

$$A_g = \frac{KT}{R_g} \quad (\text{式 5-9})$$

- 式中 T —— 环墙单位高环向力 (t/m);
 m_d —— 系数, 对中粗砂取 1.6 (t/m^2);
 h —— 环墙高度 (m);
 H —— 油罐充水高度 (m);
 K_0 —— 环墙内侧砂垫层平均侧压力系数;

其他符号同上。

4. 本规范（“95 规范”）法。规范中环墙环向力的计算式，是按国标《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—89 及《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89，以概率理论为基础的结构极限状态设计的，是考虑了分项系数后的环向力设计值。由于“84 规定”中，原石油部《浮顶罐系列》及《拱顶罐系列》两系列均不再使用。且按两向受力计算公式较为复杂，且环墙边界约束条件的假设因地基条件很复杂、很难与实际情况相符。并参照美国、日本等国规范，确定环向力按静力环公式作近似计算，并用通式表达不作简化。对于环墙侧压力系数，“84 规定”中采用的是朗肯主动土压力系数，但根据近 20 多年来在沿海软土地基上对罐基础进行的大量测试工作，根据环基实测土压力数据分析，比较有代表性的是侧向土压力呈曲线分布规律，在填土中将发生拱的作用，而不是朗肯的主动土压力，随深度呈线性分布，而且在各个阶段其侧压力分布曲线是不一致的。侧压力系数也不是固定值。根据中石化总公司洛阳设计研究院等单位编写的，“利用上海软土薄层粉砂水平向渗透固结特性建造大型油罐的试验研究”一书中对上海高桥 4 座 2 万 m³ 油罐埋设 71 只压力盒和 20 只钢筋计，浙江镇海一座 1 万 m³ 油罐埋设 24 只压力盒 6 只钢筋计，以及上海金山一座 1 万 m³ 油罐埋设 5 只压力盒对环墙实测得出的侧压力系数，提出的建议值取 0.5。因此规范中根据国内几十年来建罐的经验，并考虑到规范的连续性，在环墙的配

筋上仍与“84规定”基本上相接近。确定侧压力系数按不同地质条件取值，在一般地基取 0.33，软土地基取 0.5。

5.2.4 外环墙的环向力主要考虑三种荷载作用在外环墙上，即填料层荷载，罐体自重（固定顶罐和内浮顶罐除罐壁重保温重外还应包括固定顶盖重）和充水水重。外环墙式罐基础，其罐壁和底板均为柔性支承，因此对基础的竖向抗力刚度应有较高的要求。外环墙柔性基础适宜在中硬以上的场地上采用，当地质情况较差时，应先进进行地基处理，再建造基础。

6 地基承载力及稳定性计算

6.1 承载力计算

6.1.1 如何确定罐基础的承载力设计值?《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89第5.1.3条中规定当基础宽度大于3m或埋置深度大于0.5m时,除岩石地基外,按(5.1.3)式计算。当不满足按(5.1.3)式计算的条件下,可按 $f = 1.1f_k$ 直接确定地基承载力设计值。罐基础一般均为柔性基础,直径较大,不满足(5.1.3)式计算的条件,因此不能按(5.1.3)式进行计算,故取 $f = 1.1f_k$ 。

6.2 稳定性计算

6.2.1 ~ 6.2.3 在什么情况下,罐基础需要进行稳定性计算,在“84规定”中没有规定。而在以往工程中,在软土地基上,多采用基础预抬高分级加荷预压排水固结法。在采用此法时,则应进行整体和局部地基抗滑稳定性计算。

6.2.4 ~ 6.2.6 计算均质粘性土坡边坡稳定性的抗滑力矩标准值及滑动力矩标准值的计算式是参照浙江省标准《建筑软弱地基基础设计规范》DBJ 10—1—90(试行)及《上海地基基础设计规范》DBJ 08—11—89以及地基处

理手册编写委员会编写的《地基处理手册》第 3.3.2 条砂井排水法编写的。

6.2.7 ~ 6.2.12 在一级或多级等速加载条件下设置竖向排水体，固结时间为 t 时，相应于总荷载的地基平均固结度的计算式是参照《建筑地基处理技术规范》JGJ 79—91 编写的。

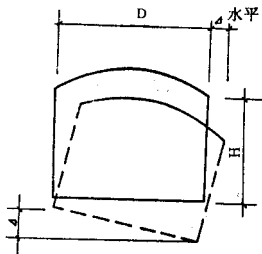
排水固结法加固地基，在软土地基上采用是比较多的。有采用充水预压也有采用砂井、袋装砂井、塑料排水板（带）或碎石桩充水预压。充水预压排水固结法较其他方法经济省投资，但预压时间较长。地基处理的方法很多，除排水固结法外，采用较多的还有振冲碎石桩法、强夯法，水泥深层搅拌桩法等等。

7 地基变形计算

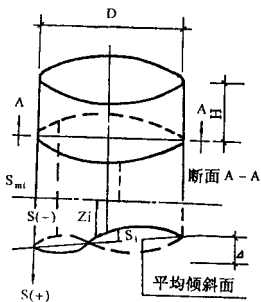
7.1 一般规定

7.1.1 按石油化工业标准《石油化工业立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046—92，钢储罐按结构形式分为三种型式，即固定顶式（拱顶）储罐，浮顶式储罐和内浮顶式储罐（具有拱顶和浮顶两种特点）。近年来我国石油化工业发展很快，兴建了一大批不同容量的储罐，从建造地点来看，大部分在沿海或临海回填地区，这些地区地基松软。而大型储罐的特点是荷载大、面积大，压缩层影响深，因此对地基的不均匀沉降要求高。如5万 m^3 的储罐，直径为60m，高19.35m，地基承载力要求达250kPa；从国内外储罐工程事故分析表明，多由于储罐产生差异沉降导致了储罐的破坏，从储罐工程实测沉降来看，尽管不均匀沉降有多样形式，但基本上可分为三种模式：即（1）平面倾斜—罐基整体倾斜，（2）非平面倾斜—罐基周边不均匀沉降，（3）罐基锥面坡度—罐中心（见图7—1）。

储罐是一种柔性很大的薄板结构，每一种沉降模式可影响到罐体各部件，某一种沉降模式可能产生一种或几种破坏情况。

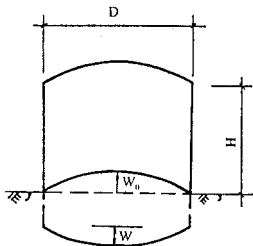


(a) 平面傾斜



(b) 非平面傾斜

图 7-1 油罐沉降模式



(c) 罐基础锥面坡度

图 7-1 油罐沉降模式

注：图中 S_{mi} —— 在点 i 的总的实测沉降，即自罐建成时起测出的该点高程变化；

Δ —— 直径方向上点间沉降之差；

Z_i —— 点 i 由平面倾斜引起的沉降分量；

S_i —— 点 i 由平面外扭曲引起的沉降分量；

D —— 罐直径；

H —— 罐高度；

W_0 —— 罐底原始中心的边缘高度差；

W —— 实际的中心与边缘高度差。

由于差异沉降引起储罐的破坏，最重要的有两种类型，（1）罐壁扭曲导致浮顶失灵，（2）罐壁与底板或罐壁与底板连接处的破坏。根据国内 60 座储罐的沉降观测资料分析表明，凡采用钢筋混凝土环墙的，通常呈平面倾斜，仅呈平面倾斜的储罐基础，罐壁不至于遭到破坏；而非平面倾斜通常使罐壁径向扭曲或使罐壁产生过大次应力引起径向扭曲（即椭圆度）而使浮顶失灵。次应力还可引起破裂和罐内储液溢漏。非平面倾斜包括罐壁板周边的不均匀沉降和局部沉降，这是最危险的。经研究表明，储罐对于不均匀沉降的适应能力与罐底的结构、包括罐底边缘板的宽度、厚度、角焊缝的韧性等有关。由于罐壁在垂直方向的刚度很大，当下部基础沉降时，就会使罐底与罐壁间的角焊缝和罐底的边缘板受力状况急剧恶化。因此对罐底基础沉降的控制实质上是控制非平面的倾斜。罐基锥面坡度，由于圆筒形荷载的地下应力差，导致底板中心沉降多，周边沉降少，因此罐底易成碟形，罐底中心的过大沉降，使罐底的拉应力增大，同时影响罐内的清扫。

7.2 变形计算

7.2.3 ~ 7.2.4 规范中验算地基变形时所规定的项目包括储罐基础的沉降量、储罐地基整体倾斜、罐周边不均匀沉降、罐中心与罐周边沉降差等，设计时最基本的计算是计算地基的最终沉降量。沉降计算方法很多在国内不下十余种。本规范选用了分层总和法。因该法在我

国最为常用，国标《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 也采用此法，为广大勘测、设计人员所熟悉；该法考虑的因素较全面，可以分层计算任意点上的沉降，并可考虑相邻荷载的影响；可以采用勘察资料一般均有的室内压缩试验成果，并可根据地区沉降观测资料及经验确定的沉降计算经验系数 φ_s 值。对压缩模量的取值，在《建筑地基基础设计规范》TJ 7—74 规范中是以压力为 100kPa 至 200kPa 固定压力段下的压缩系数 α_{1-2} 和压力为 100kPa 下的孔隙比 e_1 按下式确定的。

$$E_s = \frac{1 + e_1}{\alpha_{1-2}} \quad (\text{式 7-1})$$

考虑到地基变形的非线性性质，一律采用固定压力段下的 E_s 值必然会引起沉降计算的误差，因此在《建筑地基基础设计规范》GBJ 7—89 规范中改用采用实际压力下的 E_s 值即

$$E_s = \frac{1 + e_0}{\alpha} \quad (\text{式 7-2})$$

式中 E_s —— 按实际应力范围取值的压缩模量；

e_0 —— 土自重压力下的孔隙比；

α —— 从土自重压力至土自重压力与附加压力段的压缩系数。

地基压缩层范围内压缩模量 E_s 的加权平均值，按分层变形进行 E_s 的加权平均方法。

$$\text{设 } \frac{\sum A_i}{\bar{E}_s} = \frac{A_1}{E_{s1}} + \frac{A_2}{E_{s2}} + \frac{A_3}{E_{s3}} + \dots = \sum \frac{A_i}{E_{si}} \quad (\text{式 7-3})$$

$$\text{则 } \bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}} \quad (\text{式 7-4})$$

式中 \bar{E}_s —— 压缩层内加权平均的 E_s 值；

E_{si} —— 压缩层内某一层土的 E_s 值；

A_i —— 压缩层内某一层土的附加应力面积。

原 TJ 7—74 规范规定“当压缩层由多层土组成时， E_s 值可按厚度加权平均值采用”。加权平均后的 E_s 是为了选取 φ_s 值而列出的，它与沉降计算的关系十分密切，按深度加权平均的方法是比较简单的。但是，它忽略了附加应力沿深度分布的特点，因而当压缩层为多层土组成时与压缩层为一层土组成时所得的 E_s 值在沉降计算中并不等效。显然，应用（式 7—4）进行计算能够充分体现各分层土的 E_s 值在整个沉降计算中的作用，使在沉降计算中 E_s 完全等效于分层的 E_s 值。

在上海地区建罐，罐基础的地基最终沉降量可按附录 C 进行计算。基压缩模量仍为地基土在 100 ~ 200kPa 压力作用时的压缩模量 E_{1-2} 。

7.3 地基变形允许值

7.3.1 地基变形允许值的规定，主要是根据《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046—92，附录一《立式圆筒形钢制焊接储罐对基础的基本要求》和大量的实测数据并参考国外标准而制定的。

（1）SH 3046—92 规范规定对平面倾斜：即储罐基础

直径方向上的沉降差不应超过附表 1 所列的沉降差许可值。附表 1 见表 7—1。

储罐基础沉降差许可值 表 7-1

浮顶罐与内浮顶罐		固定顶罐	
罐内径 D(m)	任意直径方向最终 沉降差许可值	罐内径 D(m)	任意直径方向最终 沉降差许可值
$D \leq 22$	$0.007D$	$D \geq 22$	$0.015D$
$22 < D \leq 30$	$0.006D$	$22 < D \leq 40$	$0.010D$
$30 < D \leq 40$	$0.005D$	$40 < D \leq 60$	$0.008D$
$40 < D \leq 60$	$0.004D$		

对非平面倾斜：沿罐壁圆周方向任意 10 m 弧长内的沉降差应不大于 25 mm。对基础锥面坡度：一般地基为 15 %；软弱地基应不大于 35 %，基础沉降基本稳定后的锥面坡度不小于 8 %。

(2) 罐体本身平面倾斜相对来说不是最重要的（除非大的倾斜）。由于罐体倾斜改变了液面形式，从而使罐壁增加了附加应力，由罐体应力分析表明，只要罐壁在无次应力情况下，给出最大倾斜即可，Green, Hight 指出，如果罐壁平面倾斜达到肉眼可见 1/200 (0.5%) 以内不会造成事故。中国石化总公司洛阳设计研究院等单位根据上海地区大量油罐 (1000 ~ 20000 m³) 工程，从实例沉降数据分析，并参考国外有关文献资料得出，储罐倾斜小于 $6 \times 10^{-3} D$ 情况属良好， $(6 \sim 9) \times 10^{-3} D$ 者属于一般，大于 $10 \times 10^{-3} D$ 者较差。(D 为储罐直径)。

储罐地基，实测变形值如表 7—2。

储罐地基实测变形值 表 7-2

储罐地基变形特征	储 罐 型 式	实测变形值
平面倾斜 (罐体倾斜)	浮顶与内浮顶储罐	$2 \times 10^{-3} D \sim 8 \times 10^{-3} D$
	固定顶(拱顶)储罐	$2 \times 10^{-3} D \sim 13 \times 10^{-3} D$
非平面倾斜 (罐周边不均匀沉降)	浮顶与内浮顶储罐	0.15×10^{-2}
	固定顶(拱顶)储罐	0.22×10^{-2}
罐基础拱度 (罐中心与周边沉降差)		$2.15 \times 10^{-3} D$

(3) 国外储罐基础设计，对罐体倾斜、罐周边缘差异沉降和罐中心与罐周边缘沉降差等的控制值，见各国储罐差异沉降控制标准，表 7—3。我国与英、美、日控制标准的对比见控制标准对比表 7—4。

控制标准对比 表 7-4

<div> <div>各国标准</div> <div>控制值</div> </div>		中国	英国	美国	日本
控制项目		SH 3046-92	BS- 2064-73	API- 650-88	JIS B8501-76
1	罐体倾斜 (罐直径方向差异沉降)	浮顶(内浮顶): $0.007D \sim 0.004D$ 固定顶: $0.015D \sim 0.008D$	$D/250$	$D/360$ 或 < 150 mm	$D/200$
2	罐周边缘差异沉降	$@10m \leq 25mm$	$1/250$	$@10m \leq 25mm$	
3	罐基底坡 (min)	$\geq 8\%$	$1/200$	$1/120$	$1/120$

各国储罐差异沉降控制标准

表 7-3

沉降模式		平面倾斜 (沿油罐任意直径方向)		非平面倾斜 (沿罐壁圆周方向)		底板沉降 (基础拱度)	规定依据
罐顶形式		浮 顶	固定顶	浮 顶	固定顶		
土层特征		土层厚呈线性变化或 可压缩性土		土层厚度呈线性变化或 可压缩性土		可压缩性土	
破坏形式		罐壁与管道支承间不均匀 沉降引起管道破坏		超出液面高度引起漏油 或拱顶扭曲液面呈椭圆 度引起浮顶密封破坏, 超压力引起罐壁破坏			
沉 降 标 准	日本甲阳 实施标准	$\Delta S \leq \frac{3.33-5.0}{1000} D$	$\Delta S \leq \frac{5}{1000} D$				
	英国工程标准 BS-2064-73	$\frac{D}{250}$		$\frac{l}{250}$		$l_{mix} = \frac{D}{120}$	
	比利时 DeBeer (1969)			$\Delta S \leq \frac{l}{450}$			$\frac{l}{200} > \frac{\Delta S}{l} > \frac{l}{600}$ 为小的损毁 $\frac{\Delta S}{l} > \frac{l}{300}$ 为大 的损毁
	日本消防厅规 定 JFDA (1977)	试水: $\Delta S \leq \frac{12D}{1000}$ 且 $\leq 300 \text{ mm}$ 储 油: $\Delta S \leq \frac{5}{1000} D$		$\Delta S = \pm 20$ ~ 50 mm	$\Delta S \leq 50$ ~ 200 mm	$W \leq \frac{D}{100}$	水岛油罐 事故后修改 规定
	日本工程标准 JISB-8501-76	$\frac{D}{200}$				$l_{mix} = \frac{D}{120}$	
	荷兰 Langeveld (1974)	$\Delta S \leq 500 \text{ mm}$ $\Delta S_{av} \leq 300 \text{ mm}$				$W = \frac{D}{100}$	假设 $S(x) = S_{max} \sin \frac{\pi x}{l}$
	美国工程标准 API-650-80	$\frac{D}{360}$ 或 < 150 mm		@ 10 m $\leq 25 \text{ mm}$		$l_{mix} = \frac{D}{120}$	
	美国 Sullivan 和 Nowicki 等人 (1974)			$S_{max} \leq 30 \sim 45 \text{ mm}$			具有 21 个浮 顶油罐的 经验
	英国 Greenwood (1974)			$S_{max} \leq 40 \text{ mm}, S_{max} \leq 60 \text{ mm}$ ($D \leq 50 \text{ m}$) ($D > 50 \text{ m}$)			具有 27 个固 定顶罐和 21 个浮顶罐经验

8 罐基础构造与材料

8.1 构造

8.1.2 储罐底板的锥面坡度一般为 15 %，因此储罐基础的锥面坡度在一般地基条件下，也可设计为 15 %，但在软弱地基条件下，由于罐基础中心沉降量比罐周沉降量大，为了满足基础沉降基本稳定后的锥面坡度不小于 8 % 的要求，可将基础锥面坡度从 15 % 提高到不大于 35 %。根据罐底板受力的要求，《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046—92 中规定基础锥面坡度不得大于 35 %。

8.1.5 罐基础顶面，设置沥青砂绝缘层，其主要作用为防止潮气、及砂石土填料层中的有害化学物质及杂散电流等对罐底板的腐蚀；覆盖其下面的砂石土填料层，使之稳固，并减小其透水性；便于罐底板的铺设和安装，保持罐基顶的形状和基础锥面坡度和平整度。

8.1.6 设置砂垫层的作用，主要是使压力分布均布，调整和减少地基的不均匀沉降，当厚度不小于 300 mm 时，可防止地下毛细管水的渗入，当底板泄漏时，可作为漏油信号的通道。

8.1.8 护坡式罐基础，当不论采用何种结构型式的坡度，均应待储罐充水试压后施工，因罐在充水试压时，

有大量的沉降产生，为避免护坡的开裂，因此不应与罐基础同时施工。但应特别注意，储罐在充水试压时，应防止罐顶上雨水下落的冲刷，或其他人为的对护坡的破坏，可采取临时的防护措施。否则易造成严重的滑坡事故。

8.1.9 在地震区中建造罐基础，如完全消除地基液化的影响进行设计，势必造成施工工程量大，工期长，投资大。我们借鉴日本三次强震资料“储罐凡是用钢筋混凝土环墙、而埋深不小于 1 m 时，地震作用时地基液化，罐体虽出现倾斜，但经修复仍能满足继续使用。如无钢筋混凝土环墙，除地震时，部分罐区发生火灾外，罐体大部分倒塌崩裂，无法修复使用”。根据储罐许可有较大变形的特征，并着重从施工和经济等方面着眼，考虑震害影响情况，规定当储罐建在地震区，地震时地基土有液化可能时，采用埋深不小于 1 m 的钢筋混凝土环墙。

8.1.11 钢筋混凝土环墙设置泄漏孔，埋设漏油信号管，当底板漏油时经过砂垫层和反滤层沿该管流出，以便安全检查人员及时发现，采取对策。

8.1.12 钢筋混凝土环墙当留缺口后，将环向受力钢筋切断，对环墙的受力是极为不利的。但根据生产操作要求，储罐要设置穿环墙的清扫孔，另外，当储罐采用气吹法倒装施工时，也要在环墙上留人孔。因此本条规定环墙不宜开缺口，当必须留施工活口时，其尺寸应尽量减小，并必须采取加强措施。

8.1.15 对公称容积不小于 10000 m³ 或建在软土，软硬

不一地基上的储罐，主要是考虑在上述条件下的储罐在充水预压时，环墙有摇摆下沉的现象，设置附加环向筋和封闭式竖向筋，一是防止环墙顶的应力集中，二是起到抵抗不均匀下沉对环墙的受力作用。当为一般地基或公称容积小于 10000 m^3 时，可不设置附加环向筋和封闭式竖向筋。

8.1.16 《混凝土结构设计规范》GBJ 10 — 98 中第 6.1.10 条规定，“轴心受拉及小偏心受拉杆件的受力钢筋不得采用非焊接的塔接接头”。故本规范规定环向受力钢筋接头，应采用焊接连接或机械连接。中国建筑科学研究院结构研究所开发的“CABR 变形钢筋套筒挤压连接技术”是一种机械式钢筋接头，适用于直径 $d = 20 \sim 40 \text{ mm}$ 的变形钢筋。北京市建筑工程研究所研究的“锥螺纹钢筋接头”可连接 $d = 10 \sim 50 \text{ mm}$ 的 I~IV 级钢筋。

8.1.17 钢筋混凝土环墙一般均采用现浇钢筋混凝土结构，而现浇钢筋混凝土环墙大多在早期出现裂缝，特别是在施工条件多变，环墙内外侧回填料不及时，养护较差等产生温差和混凝土的收缩情况下，更容易在储罐未投入使用或刚投入使用初期，环墙就出现裂缝的现象。由温度和收缩变形引起的应力比较复杂。规范中按一般施工常规规定当圆周（中心圆）长度超过 40 m 时可留后浇缝。

8.1.19 《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》SH 3046 — 92 对储罐基本要求中提出“当储罐的设计温

度大于 95°C 时，储罐的基础应适应储罐在高温下工作的要求”。因此本条规定，与罐底接触的罐基础表面，应采取隔热措施，主要是由于高温介质破坏沥青砂绝缘层。目前用得较多的方法是按储存介质的不同温度采用平铺若干层浸沥青的红砖进行隔热。也可采用其他行之有效的隔热材料。

8.1.21 储罐底板外周边封口，是为了防止雨水渗入而腐蚀罐底板。封口防水层过去一般多采用灌沥青，或沥青砂。但由于罐底板的变形，沥青或沥青砂材料均不能适应而产生裂缝。储罐在充水试压完后，已完成基础的大量沉降，再进行防水层的施工是有利的。底板封口防水层的施工时期有两种情况：一种是空罐时施工，一种是储罐使用时期施工。两种不同的施工时期，对防水层的受力情况是不一样的。在空罐时施工，储罐投用后防水层将同时受来自水平方向变位的挤压（在变化范围内防水层与基础面的粘结被剪断）和边缘板端部向下方向变位的剪切，但挤压是主要的。但当储罐放空后，防水层又随罐体恢复原型，由于边缘板塑性变形而向上翘曲，并破坏防水层，并在其下面留下空洞。而空洞将随使用次数的增多，时间的增长而加大，这种空洞可造成结露、底板生锈；如果是在满罐时施工，就应考虑到底板在恢复原位时对防水层所起的拉伸作用。底板防水层最应注意的是防水层与被粘结的界面的粘结力。因此，对底板封口防水层要求所选用的防水材料应具有防水性、耐候性、粘结性和可挠性。关于底板封口防水层在国外普遍

采用弹性橡胶质材料（多数为橡胶沥青）封口的做法。但这种材料使用后由于溶剂的蒸发，时间长了也不能避免表面龟裂。为了解决这种缺欠，国外也有采用橡胶沥青—玻璃丝布复合防水层的做法。

8.2 材 料

8.2.3 沥青砂绝缘层所用沥青材料，主要是根据储罐内储存介质的温度，按沥青的软化点来选用。60 甲（或 60 乙）是按《道路石油沥青》SY1661—77 其软化点为不低于 45℃，30 甲（或 30 乙）建筑石油沥青是按 GB 494—75，其软化点为不低于：30 甲为 70℃，30 乙为 60℃。而 GB 494—85 中则不分 30 甲和 30 乙，改为 30 号，其软化点为不低于 70℃。为了与《石油化工钢储罐地基与基础施工及验收规范》SH 3528—93 中的规定取得一致，故本条中取用了 30 甲或 30 乙。具体工程施工中可按 GB 494—85 标准选用。