

SH

中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3068—2007

代替 SH 3068—1995

石油化工钢储罐地基与基础 设计规范

Specification for design of steel storage tanks
subgrade and foundation in petrochemical industry

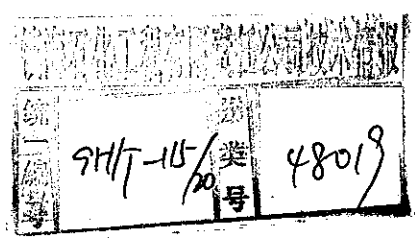


2007-11-14 发布

2008-05-01 实施

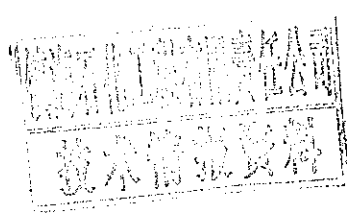
中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

2007-11-14



目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 主要符号	1
4 设计条件	2
5 基本规定	4
6 罐基础环墙计算	6
7 地基承载力及稳定性计算	8
8 罐基础地基变形计算	8
9 罐基础构造与材料	11
附录 A (规范性附录) 圆形面积上均布荷载作用下各点平均附加应力系数 α_i	14
用词说明	16
附: 条文说明	17



前 言

本规范是根据原国家经贸委“关于下达 2003 年行业标准项目计划的通知”(国经贸厅行业[2003]22 号),由中国石化工程建设公司对原 SH 3068—1995《石油化工企业钢储罐地基与基础设计规范》进行修订而成。

本规范共分 9 章和 1 个附录,附录 A 为规范性附录。

本规范与 SH 3068—1995《石油化工企业钢储罐地基与基础设计规范》(上一版本)相比,主要变化如下:

- 增加了容积为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐的相关规定,补充了储罐抗震设防类别等的相关规定;
- 按现行有关标准规范进行修订,如名词、定义等;
- 对储罐充水预压部分及土体稳定等方面进行了删改等。

本规范由中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站管理,由中国石化工程建设公司负责解释。

本规范在实施过程中,如发现需要修改补充之处,请将意见和有关资料提供给管理单位和主编单位,以便今后修订时参考。

管理单位:中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站

通讯地址:河南省洛阳市中州西路27号

邮政编码:471003

电 话:0379—64887187

传 真:0379—64887187

主编单位:中国石化工程建设公司

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码:100101

主要起草人:谭立净 陈传金 黄左坚

本规范于 1995 年首次发布,本次为第 1 次修订。

石油化工钢储罐地基与基础设计规范

1 范围

1.1 本规范规定了石油化工钢储罐地基与基础的设计基本规定、罐基础环墙计算、地基承载力及稳定性计算、基础地基变形计算和基础构造与材料等规定。

1.2 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。不适用于储存低温、低压、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设计。

1.3 执行本规范时，尚应符合现行有关标准规范的强制性条文的要求。

2 规范性引用文件

下列文件所包含的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，然而，鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

GB 50021—2001 岩土工程勘察规范

SH/T 3123 石油化工钢储罐地基充水预压监测规程

3 主要符号

3.1 作用和作用效应

F_t —— 环墙单位高环向力设计值；

F_{to} —— 外环墙单位高环向力设计值；

f_a —— 修正后的地基承载力特征值；

F_k —— 相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力值；

G_k —— 基础自重和基础上的土重；

g_k —— 罐壁底端传至环墙顶端的竖向线分布荷载标准值；

M_R —— 抗滑力矩；

M_S —— 滑动力矩；

p_k —— 相应于荷载效应标准组合时，基础底面平均压力值；

p_o —— 对应于荷载效应准永久组合时罐基础计算底面处的附加压力；

S —— 地基最终沉降量；

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

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

3.2 计算指标

E_{si} —— 罐基础底面下第 i 层土的压缩模量；

$E_{s0.1-0.2}$ —— 地基土在 $100\text{kPa} \sim 200\text{kPa}$ 压力作用时的压缩模量；

f_{ak} —— 地基承载力特征值；

f_y —— 普通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 —— 环墙内各层土的平均重度；

γ_w —— 水的重度。

3.3 几何参数

- A —— 罐基础底面面积;
 A_s, A_{so} —— 环墙、外环墙单位高环向钢筋的截面面积;
 b —— 环墙宽度;
 b_1 —— 外环墙内侧至罐壁内侧距离;
 D_t —— 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_h —— 外环墙内侧半径;
 R_t —— 储罐底圈内半径。

3.4 计算系数及其它

- K —— 环墙侧压力系数;
 α_i —— 平均附加应力系数;
 β —— 罐壁伸入环墙顶面宽度系数;
 γ —— 罐体自重分项系数;
 γ_0 —— 重要性系数;
 γ_{Q1} —— 环墙内各层自重分项系数;
 γ_{Q2} —— 水自重分项系数;
 ψ_s —— 沉降计算经验系数。

4 设计条件

4.1 罐基础设计应具有建设场地的下列资料:

a) 岩土工程勘察报告:

1) 一般地基:

应包括场地地形地貌、地质构造、场地的地震效应、不利地质作用、地层分层条件、各岩土层的物理力学指标、场地的稳定性、地基的均匀性、地基的承载力特征值、压缩系数、压缩模量、地下水、土的冻胀性、土体由于工程活动而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,尚应包括地基的组成、分布、分布范围、垂直方向和水平方向的渗透系数和固结系数、地基土的天然含水量、天然孔隙比、天然孔隙率、天然孔隙水压力、天然抗剪强度、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,并对场地的稳定性作出评价,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，应按现行有关标准规范要求提供相关资料；

b) 勘探点数量及勘探孔深度：

1) 勘探点数量：

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。初勘阶段，按 GB 50021—2001 要求执行，详勘阶段每台储罐地基勘探点数量可按表 1 采用，其中控制性勘探点的数量占勘探点总数的 1/5~1/3；

表 1 每台储罐地基勘探点数量

场地类别	储罐公称容积, m ³					
	≤5 000	5 000~10 000	10 000~20 000	20 000~50 000	50 000~100 000	150 000
简单场地	3	3~5	3~5	5~9	10~13	13~16
中等复杂场地	3~4	5~7	5~9	9~13	13~21	16~25
复杂场地	4~5	6~9	9~12	13~18	21~25	25~30

2) 勘探孔深度：

一般性勘探孔深度，可根据地质情况和储罐的容积确定。土质地基可按表 2 采用。岩质地基到基岩顶面；

表 2 一般性勘探孔深度

储罐公称容积 m ³	勘探孔深度, m	
	一般地基	软土地基
≤5 000	1.0D _i ~1.2D _i	1.2D _i ~1.5D _i
10 000	1.0D _i ~1.2D _i	1.2D _i ~1.5D _i
20 000~30 000	0.9D _i ~1.0D _i	1.0D _i ~1.1D _i
50 000	0.7D _i ~0.9D _i	0.8D _i ~0.9D _i
100 000	0.6D _i ~0.7D _i	0.7D _i ~0.8D _i
150 000	0.5D _i ~0.6D _i	0.6D _i ~0.7D _i

注：D_i为储罐底圈罐壁内直径，m。

——控制性勘探点深度，土质地基按一般性勘探孔深度加 10m；岩质地基按一般性勘探孔的深度加 5m。

4.2 罐基础设计，应具有下列设计内容，并应附总图：

- 罐区平面布置及设计竖向标高，罐中心坐标；
- 储罐的型式、容积、几何尺寸、罐底坡度及中心标高、环墙顶标高、设计地面标高；
- 罐体金属总重、保温及附件总重、罐壁、罐顶（或浮船）、罐底总重；
- 储罐内介质及最高液位面的高度、最高温度、介质重度；
- 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；
- 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；
- 储罐施工安装、试压等方法对罐基础的要求；
- 对储罐基础使用的要求。

5 基本规定

5.1 抗震设防

5.1.1 对大型罐区工程应按国家相关规定对建筑场地进行地震安全性评价。

5.1.2 储罐容积大于 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的基础抗震设防分类应按乙类考虑；小于或等于 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的油罐基础应按丙类考虑。

5.1.3 场地液化判别和处理：抗震设防烈度为 6 度时可不进行判别和处理，但对于储罐容积大于 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的应按 7 度的要求进行判别和处理；7 度~9 度时应按抗震设防烈度的要求进行判别和处理。

5.2 地基基本要求

5.2.1 当罐基础下地基土为软土地基、有不良地质作用的山区地基、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特征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。

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

5.2.3 罐基础下有局部软弱土、暗塘、暗沟、生活垃圾等时，均应清除，并用素土、级配砂石或灰土分层压（夯）实，压（夯）实后地基土的力学性质宜与同一基础下未经处理的土层相一致。当清除有困难时，应采取有效的处理措施。

5.2.4 罐基础不宜建在部分坚硬，部分松软的地基土上，无法避免时，应采取有效的处理措施。

5.3 基础选型

5.3.1 罐基础选型，应根据储罐的型式、容积、地基条件、材料供应情况、施工技术条件及地基处理方法和经济合理性等条件综合考虑。

5.3.2 罐基础按地质条件的选型，应符合下列规定：

- 当修正后的地基承载力特征值大于等于基底平均压力，地基变形满足本规范第 8.3.1 条规定的允许值且场地不受限制时，可采用护坡式、环墙或外环墙式（钢筋混凝土）罐基础（如图 1~图 3）；
- 当修正后的地基承载力特征值小于基底平均压力（但经过地基处理后或经充水预压后能满足承载力的要求），但地基变形满足本规范第 8.3.1 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（如图 1~图 3）；

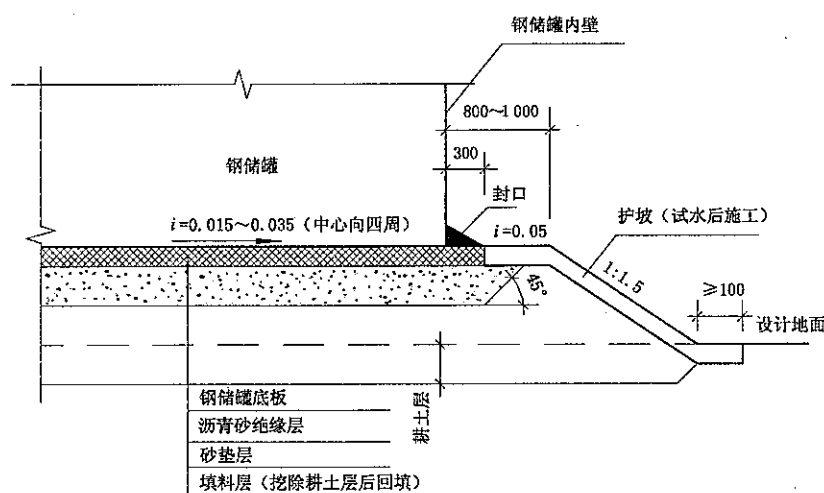
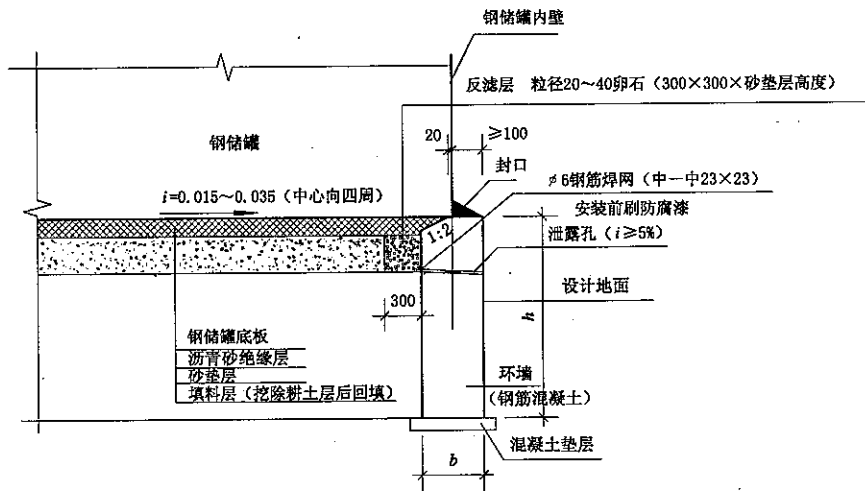


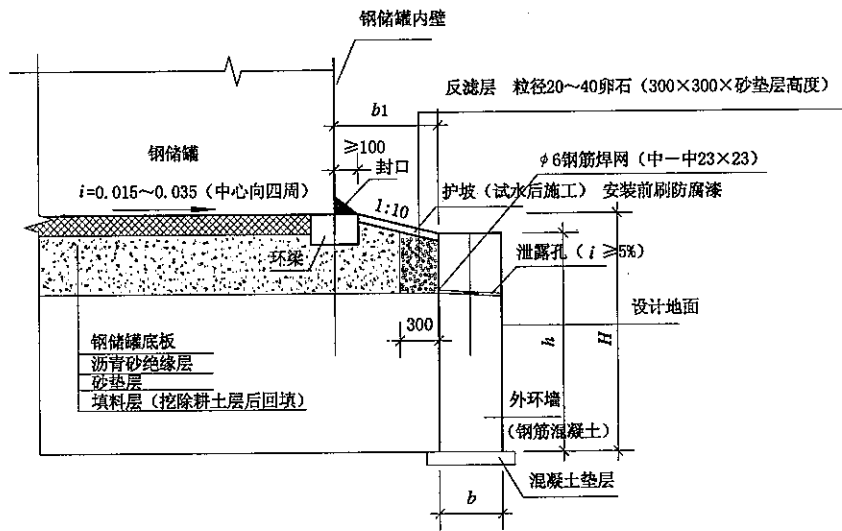
图 1 护坡式基础

- c) 当修正后的地基承载力特征值小于基底平均压力(但经过地基处理后或经充水预压后能满足承载力特征值要求), 且地基变形不能满足本规范第 8.3.1 条规定的允许值(但经过地基处理后或经充水预压后能满足本规范第 8.3.1 条规定的允许值要求)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(如图 2);
- d) 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(如图 2)。



b —— 环墙宽度, m;
 h —— 环墙高度, m。

图 2 环墙式基础



b —— 环墙宽度, m;
 h —— 环墙高度, m;
 b_1 —— 外环墙内侧至罐壁内侧距离, m;
 H —— 罐底至外环墙底高度, m。

图 3 外环墙式基础

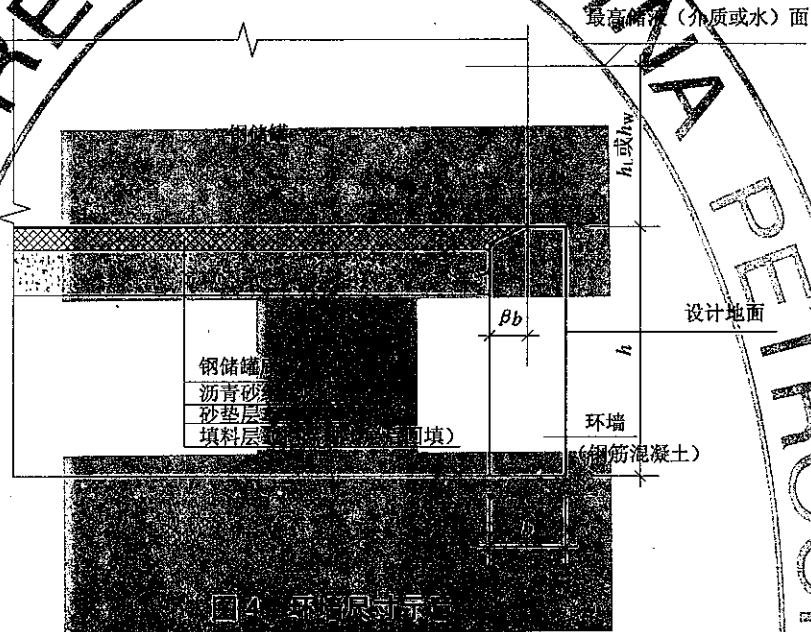
5.4 环境保护

当储罐基础座落在静流水源地及储存不可降解介质时,且储罐泄露物有可能污染地下水或附近环境时,储罐基础部分应采取防渗漏措施。

6 罐基础环墙计算

6.1 环墙宽度

6.1.1 当罐壁位于环墙顶面时,环墙式罐基础等截面环墙(见图4)的宽度,可按下列式计算:



$$b = \frac{8\delta}{(1-\beta)\gamma_L h_L} = (\gamma_w + \gamma_m) h \quad (1)$$

式中:

- b —— 环墙宽度, m;
- δ —— 罐壁底端传至环墙顶部的线分布荷载标准值(当罐壁为保温层时,尚应包括保温层的荷载标准值), kN/m;
- β —— 罐壁伸入环墙顶部系数;可取0.5~0.6,宜取0.55;
- γ —— 环墙的重度, kN/m³;
- γ_L —— 罐内使用阶段液体介质的重度, kN/m³;
- γ_m —— 环墙内各层的平均重度, kN/m³;
- h_L —— 环墙顶面至罐内液面高度, m;
- h —— 环墙高度, m。

6.2 环墙上作用效应

6.2.1 环墙作用效应,应根据地基情况进行计算。

6.2.2 环墙可仅进行环向力计算。

6.2.3 当罐壁位于环墙顶面时(即环墙式),环墙单位高环向力设计值,可按下列式计算(图4):

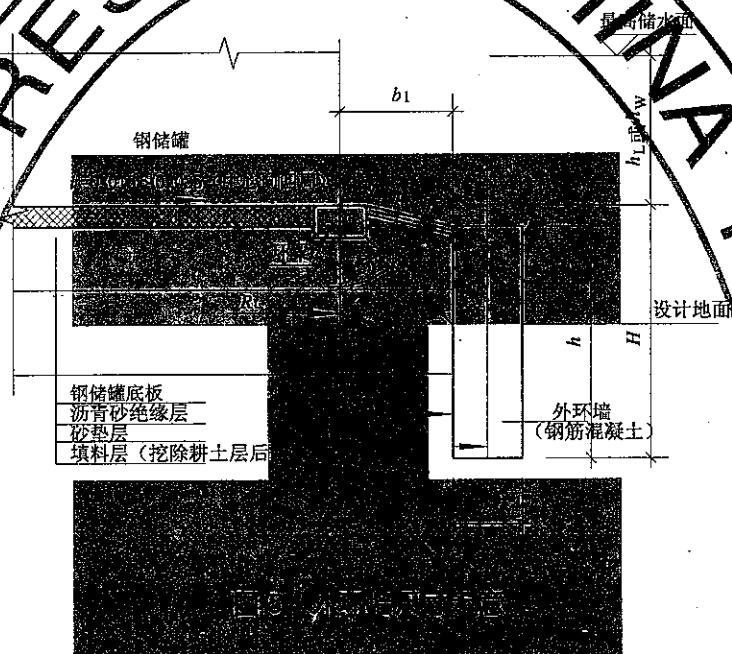
$$F_t = (\gamma_{QW} \gamma_w h_w + \gamma_{Qm} \gamma_m h) K R \quad (2)$$

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/m^3 , 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 —— 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。

6.2.4 当罐壁位于环墙内侧一定距离时(即外环墙式), 外环墙单位高环向力设计值可按下列公式计算(图 5)。



a) 当 $b_1 \leq H$ 时

1) 在 45° 扩散角以下的部分, 可按下列公式计算:

$$F_{t0} = \left(\gamma_m b_1 + \gamma_w h_w + \gamma_m H + \gamma_m R \right) K R \quad (3)$$

2) 在 45° 扩散角以上的部分, 可按下列公式计算:

$$F_{t0} = \left(\gamma_m b_1 + \gamma_w h_w + \gamma_m H + \gamma_m R \right) K R \quad (4)$$

b) 当 $b_1 > H$ 时

$$F_{t0} = \left(\gamma_m b_1 + \gamma_w h_w + \gamma_m H + \gamma_m R \right) K R \quad (5)$$

式中:

F_{t0} —— 外环墙单位高环向力设计值;

γ —— 罐体自重分项系数;

b_1 —— 外环墙内侧至罐壁内侧距离, m;

R_h —— 外环墙内侧至罐壁内侧距离, m;

R_t —— 储罐底圈内半径, m;

H —— 罐底至外环墙底高度, m;

R —— 外环墙中心线半径, m。

6.3 环墙截面配筋

6.3.1 环墙单位高环向钢筋的截面面积, 可按下列公式计算:

$$A_s = \frac{\gamma F_t}{f_y} \quad (6)$$

式中:

A_s —— 环墙单位高环向钢筋的截面面积, mm^2 ;

γ_0 —— 重要性系数, 取 1.0;

f_y —— 普通钢筋的抗拉强度设计值, kN/mm^2 。

6.3.2 外环墙单位高环向钢筋的截面面积, 可按下列式计算:

$$A_{s0} = \frac{\gamma_0 F_{10}}{f_y} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

A_{s0} —— 外环墙单位高环向钢筋的截面面积, mm^2 。

7 地基承载力及稳定性计算

7.1 承载力计算

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

$$p_k \leq f_a \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

p_k —— 相当于荷载效应标准组合时, 基础底面平均压力值, kN/m^2 ;

f_a —— 修正后的地基承载力特征值, kN/m^2 。

7.1.2 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:

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

F_k —— 相当于荷载效应标准组合时, 上部结构传至基础顶面的竖向力值, kN ;

G_k —— 基础自重和基础上的土重, 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罐壁底圈内直径。

7.2 稳定性计算

7.2.1 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、已填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。

7.2.2 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。

7.2.3 地基抗滑稳定性可采用圆弧滑动面法进行验算, 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应符合下列式要求:

$$\frac{M_R}{M_S} \geq 1.2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

M_R —— 抗滑力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

M_S —— 滑动力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

8 罐基础地基变形计算

8.1 一般规定

8.1.1 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)。

8.1.2 计算地基变形时, 应符合下列规定:

- a) 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;

- b) 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。

8.2 变形计算

8.2.1 罐基础当处于下列情况之一时, 应做沉降量计算:

- 地基基础设计等级为甲级、乙级的罐基础;
- 当天然地基土不能满足承载力特征值要求时, 或储罐影响深度范围内有软弱下卧层时;
- 当罐基础与相邻基础较近, 罐基础有可能发生倾斜时;
- 当罐基础下有厚、薄不均匀的地基土时。

8.2.2 计算地基沉降量时, 不考虑由风荷载和地震作用引起的附加应力。

8.2.3 地基最终沉降量, 可采用分层总和法, 并按下式计算:

$$s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- s —— 地基最终变形量, mm;
- s' —— 按分层总和法计算出的地基变形量, mm;
- ψ_s —— 沉降计算经验系数, 根据现行国家标准或地区的规定采用;
- n —— 罐基础沉降计算深度范围内所划分的土层数, 见图 6;
- p_0 —— 对应于荷载效应准永久组合时罐基础计算底面处的附加压力, kPa, 见 8.2.4 条注;
- E_{si} —— 罐基础底面下第 i 层土的压缩模量, MPa, 应取土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段计算;
- 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 A 表 A.1 采用。

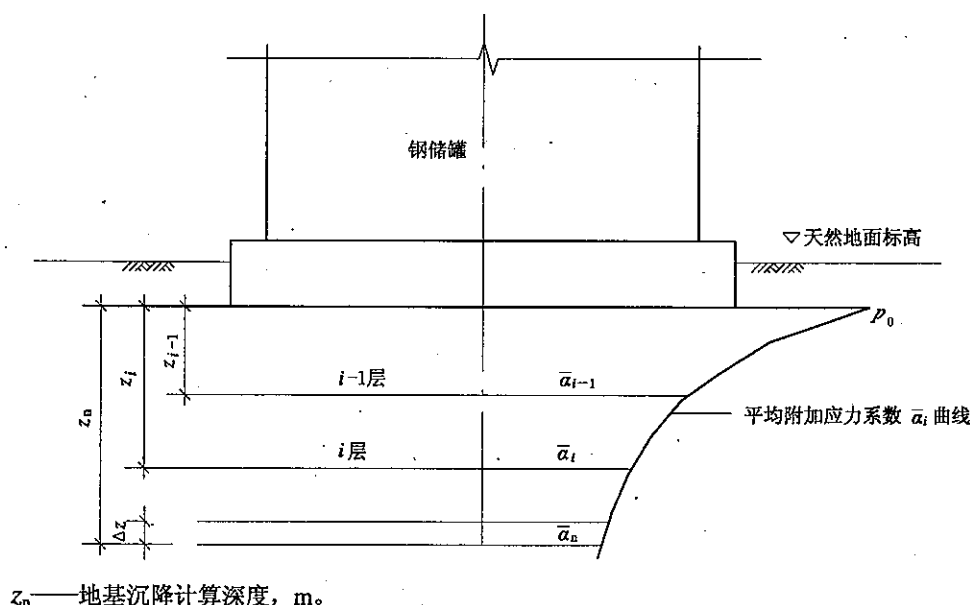


图 6 储罐基础沉降计算的分层示意

8.2.4 地基变形计算深度 z_n (见图 6), 应符合下式要求:

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- $\Delta s'_i$ —— 在计算深度范围内，第*i*层土的计算变形值；
- $\Delta s'_n$ —— 在由计算深度向上取厚度为 Δz 的土层计算变形值， Δz （见图 6）并按表 3 确定。

表 3 Δz 值

D_t, m	$8 < D_t \leq 15$	$15 < D_t \leq 30$	$30 < D_t \leq 60$	$60 < D_t \leq 80$	$80 < D_t \leq 100$	$D_t > 100$
$\Delta z, m$	0.92~1.11				1.62~1.68	1.68

如确定的计算深度下部仍
注：地基变形计算深度 z_0 ；当
当环境底至填料层之间的原土层较厚时，同
周边和罐中心处均自填料层底面算起， p_0 值

8.3 地基变形允许值

储罐地基变形允许值，可按表 4 规定采用

储罐地基变形特征		沉降差允许值
平面倾斜 (任意直径方向)		$0.007 D_t$
		$0.006 D_t$
	$30 < D_t \leq 40$	$0.005 D_t$
		$0.004 D_t$
		$0.0035 D_t$
		$0.003 D_t$
非平面倾斜 (罐周边不均匀沉降)	浮顶罐	$0.015 D_t$
		$0.010 D_t$
	≤ 30	$0.009 D_t$
	≤ 40	$0.008 D_t$
罐基础锥面坡度	≤ 60	$\Delta s'_1 \leq 0.0025$
	≥ 0	$\Delta s'_1 \leq 0.0040$

注 1: D_t 为储罐底圈内直径，
注 2: $\Delta s'_1$ 为罐周边相邻测点的
注 3: 1 为罐周边相邻测点的

8.4 地基变形观测

8.4.1 地基变形观测，应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 沉降观测应包括：罐基础完工后、储罐充水前、充水过程中、充水稳压阶段、放水后及投产使用等全过程的各个时段；
- c) 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；

- d) 沉降观测应设专人定期进行，每天不少于一次并作好记录。测量精度宜为Ⅱ级水准；
- e) 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；
- f) 充水预压的监测与监测报告编制的要求尚应符合 SH/T 3123 中的有关规定。

8.4.2 沉降观测点布置，应符合下列要求：

- a) 每台罐基础应设置沉降观测点进行沉降观测；
- b) 罐基础沉降观测点可按表 5 要求设置；

表 5 沉降观测点设置数量

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
1 000 及以下			16
2 000			24
3 000	8	50 000	24
5 000	8	100 000	32
10 000			32

- c) 沉降观测点宜采用预埋件，待基础施工完后将 $\phi 20\text{mm}$ 的钢筋与预埋件焊接。

9 罐基础构造与材料

9.1 构造

- 9.1.1 护坡式、环墙式、外壁式罐基础的构造应符合图 1~图 3 的要求。
- 9.1.2 罐基础顶面，应自罐壁向外做成 1:2 的坡度，承载力及变形能满足要求或储罐容积较大时取较小坡度；不满足要求或储罐容积较小时，应取较大坡度。
- 9.1.3 当浮顶罐选用护坡式罐基础时，应在罐壁与基础之间设置一道钢筋混凝土构造环梁。
- 9.1.4 罐基础顶面周边高度（指基础顶面至最终罐壁抬高的高度）不宜小于 300mm。
- 9.1.5 罐基础顶面，应设置保温层，厚度为 80mm。中砂与石油沥青按重量的配比宜为 93:7。
- 9.1.6 沥青砂绝缘层下面应设置保护层，厚度不宜小于 100mm。
- 9.1.7 护坡式罐基础周围应设置排水沟，排水沟应设在基础与罐壁之间。
- 9.1.8 护坡式罐基础的护坡，当采用浆砌卵石护坡时，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。
- 9.1.9 环墙式罐基础环墙的埋深（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 1000mm。在寒冷地区罐基础埋深宜满足冻土深度要求，若不能满足冻土深度要求则应采取处理措施。
- 9.1.10 钢筋混凝土环墙宽度不宜小于 250mm。环墙顶面应在罐壁内 20mm 处做成 1:2 的坡度。罐壁至环墙外缘尺寸不宜小于 100mm。环墙底部不应放脚扩宽（见图 7）。

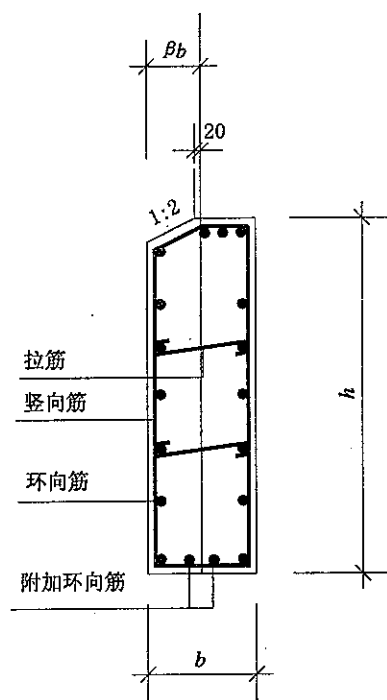


图7 环墙配筋

9.1.11 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 10m~15m。泄漏孔的孔径为 50mm（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 20mm~40mm 的卵石组成反滤层和钢筋滤网（见图 1~图 3），出口应高于设计地面。

9.1.12 钢筋混凝土环墙顶面，宜设置厚度为 20mm~30mm 的 1:2 水泥砂浆或 50mm 厚 C30 细石混凝土找平层。

9.1.13 钢筋混凝土环墙不宜开缺口，施工时当必需留施工活口时，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缺口封堵密实，钢筋接头应采用焊接。

9.1.14 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 40mm。

9.1.15 钢筋混凝土环墙的配筋（见图 7），应符合下列要求：

- a) 环向受力钢筋的截面最小总配筋率，不应小于 0.4%。对于公称容积不小于 10 000m³ 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；
- b) 竖向构造钢筋的最小配筋率，不应小于 0.15%~0.2%（每侧），钢筋直径宜为 12mm~18mm，间距宜为 150mm~200mm，竖向钢筋其上下两端宜为封闭式。

9.1.16 环向受力钢筋接头，应采用机械连接或焊接连接。

9.1.17 钢筋混凝土环墙、外环墙、环梁，当圆周（中心圆）长度大于 40m 时，宜留宽度为 900mm~1 000mm 后浇带，在保证钢筋连续的原则下分段浇灌，后浇带应采用提高一个强度等级的微膨胀混凝土浇灌并捣实或采取其他有效措施。

9.1.18 罐前操作平台的基础，应与钢筋混凝土环墙基础分开。

9.1.19 当储罐内储存介质最高温度高于 90℃时，与罐底接触的罐基础表面应采取隔热措施。

9.1.20 当考虑地震作用或其他原因需防止罐体位移或倾覆时，应在罐体与基础之间采取适当的锚拉措施。具体做法可根据罐体本身的要求或通过计算取得。

9.1.21 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。

9.2 材料

9.2.1 填料层的回填土不得用淤泥、耕土、膨胀土、冻土及有机杂质含量超过 5%的土料。回填土应为最优含水量；需分层夯实，压实系数不应小于 97%。

9.2.2 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%。

9.2.3 沥青砂绝缘层，应采用中砂配制，含泥量不得超过 5%。

9.2.4 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。

9.2.5 钢筋混凝土环墙的混凝土强度等级，不应低于 C25。环向钢筋宜用 HRB335 级或 HRB400 级钢筋；竖向钢筋宜用 HPB235 级或 HRB335 级钢筋。

附录 A
(规范性附录)

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

表 A.1 圆形面积上均布荷载作用下各点平均附加应力系数 $\bar{\alpha}_i$

Z/R	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	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.50000
0.1	0.99975	0.99974	0.99971	0.99965	0.99954	0.99932	0.99884	0.99762	0.99534	0.96698	0.49185
0.2	0.99808	0.99791	0.99778	0.99732	0.99650	0.99496	0.99184	0.98461	0.96439	0.89180	0.48391
0.3	0.99381	0.99359	0.99321	0.99157	0.98920	0.98497	0.97697	0.96058	0.92302	0.82577	0.47580
0.4	0.98623	0.98570	0.98439	0.98173	0.97715	0.96933	0.95558	0.93014	0.88005	0.77323	0.46759
0.5	0.97508	0.97435	0.97268	0.96784	0.96075	0.94916	0.93299	0.89737	0.83959	0.73070	0.45927
0.6	0.96053	0.95949	0.95680	0.95044	0.94133	0.92823	0.91023	0.87451	0.80259	0.69518	0.45088
0.7	0.94302	0.94169	0.93762	0.93025	0.91955	0.90357	0.88237	0.83766	0.76894	0.66467	0.44242
0.8	0.92313	0.92154	0.91671	0.90805	0.89455	0.87537	0.85069	0.80226	0.73824	0.63786	0.43393
0.9	0.90149	0.89968	0.89422	0.88455	0.86929	0.84853	0.82233	0.77946	0.71009	0.61386	0.42542
1.0	0.87868	0.87670	0.87076	0.86033	0.84451	0.82263	0.79483	0.74526	0.68412	0.59207	0.41693
1.1	0.85520	0.85310	0.84682	0.83587	0.81942	0.79620	0.76727	0.72058	0.66004	0.57207	0.40849
1.2	0.83147	0.82929	0.82279	0.81151	0.79471	0.77024	0.73936	0.69334	0.63759	0.55353	0.40012
1.3	0.80782	0.80560	0.79897	0.78752	0.77013	0.74512	0.71270	0.67344	0.61659	0.53625	0.39184
1.4	0.78450	0.78225	0.77557	0.76409	0.74619	0.72073	0.68787	0.65180	0.59688	0.52004	0.38368
1.5	0.76168	0.75944	0.75277	0.74134	0.72292	0.69693	0.67125	0.63131	0.57832	0.50477	0.37565
1.6	0.73950	0.73728	0.73067	0.71936	0.69992	0.67343	0.65068	0.61191	0.56080	0.49035	0.36776
1.7	0.71804	0.71585	0.70933	0.69820	0.67824	0.65073	0.63109	0.59352	0.54424	0.47669	0.36004
1.8	0.69735	0.69519	0.68879	0.67788	0.65840	0.62992	0.61246	0.57607	0.52854	0.46372	0.35249
1.9	0.67745	0.67534	0.66907	0.65840	0.63932	0.61073	0.59472	0.55950	0.51366	0.45138	0.34512
2.0	0.65866	0.65629	0.65017	0.63975	0.62124	0.59263	0.57784	0.54375	0.49952	0.43968	0.33793
2.1	0.64046	0.63804	0.63207	0.62191	0.60372	0.57513	0.55975	0.52577	0.48607	0.42842	0.33093
2.2	0.62254	0.62058	0.61475	0.60488	0.58707	0.55848	0.54309	0.51002	0.47326	0.41772	0.32411
2.3	0.60578	0.60386	0.59819	0.58856	0.57107	0.54248	0.52709	0.49592	0.46106	0.40749	0.31749
2.4	0.58974	0.58782	0.58226	0.57299	0.55599	0.52740	0.51201	0.48594	0.44941	0.39770	0.31106
2.5	0.57441	0.57260	0.56723	0.55812	0.54163	0.51304	0.49765	0.47158	0.43830	0.38834	0.30482
2.6	0.55975	0.55798	0.55276	0.54390	0.52780	0.50021	0.48482	0.45875	0.42767	0.37935	0.29876
2.7	0.54572	0.54428	0.53892	0.53030	0.51469	0.48710	0.47171	0.44564	0.41751	0.37074	0.29288
2.8	0.53230	0.53083	0.52553	0.51730	0.50209	0.47450	0.45911	0.43304	0.40779	0.36248	0.28718
2.9	0.51946	0.51784	0.51262	0.50485	0.48992	0.46233	0.44694	0.42087	0.39848	0.35455	0.28166
3.0	0.50716	0.50558	0.50039	0.49295	0.48152	0.46626	0.44625	0.42156	0.38955	0.34698	0.27630
3.1	0.49539	0.49385	0.48928	0.48154	0.47042	0.45566	0.43565	0.41209	0.38099	0.33951	0.27111
3.2	0.48410	0.48260	0.47815	0.47019	0.45978	0.44502	0.42501	0.40202	0.37278	0.33257	0.26608
3.3	0.47327	0.47181	0.46747	0.45933	0.44957	0.43481	0.41480	0.39173	0.36489	0.32579	0.26120
3.4	0.46289	0.46146	0.45723	0.44899	0.43978	0.42502	0.40501	0.38194	0.35730	0.31926	0.25648
3.5	0.45292	0.45153	0.44740	0.43916	0.43039	0.41563	0.39562	0.37255	0.35001	0.31140	0.25190
3.6	0.44335	0.44199	0.43795	0.42971	0.42115	0.40639	0.38638	0.36331	0.34300	0.30692	0.24745
3.7	0.43415	0.43282	0.42888	0.42064	0.41227	0.39751	0.37750	0.35443	0.33624	0.30107	0.24315
3.8	0.42530	0.42400	0.42016	0.41192	0.40345	0.38869	0.36868	0.34561	0.32973	0.29543	0.23897
3.9	0.41678	0.41552	0.41177	0.40353	0.39496	0.38020	0.36019	0.33712	0.32346	0.28999	0.23492
4.0	0.40859	0.40735	0.40369	0.39545	0.38688	0.37212	0.35211	0.32904	0.31741	0.28743	0.23098
4.1	0.40070	0.39949	0.39590	0.38766	0.37919	0.36443	0.34442	0.32135	0.31158	0.27965	0.22717
4.2	0.39309	0.39191	0.38840	0.38016	0.37169	0.35693	0.33692	0.31385	0.30594	0.27474	0.22347
4.3	0.38575	0.38460	0.38116	0.37292	0.36445	0.34969	0.32968	0.30661	0.30050	0.26999	0.21987
4.4	0.37868	0.37754	0.37419	0.36595	0.35748	0.34272	0.32271	0.29964	0.29524	0.26539	0.21638
4.5	0.37184	0.37074	0.36740	0.35916	0.35069	0.33593	0.31592	0.29285	0.29015	0.26094	0.21299
4.6	0.36525	0.36416	0.36082	0.35258	0.34411	0.32935	0.30934	0.28627	0.28523	0.25663	0.20969
4.7	0.35887	0.35781	0.35447	0.34623	0.33776	0.32300	0.30300	0.27993	0.28047	0.25245	0.20649
4.8	0.35271	0.35166	0.34832	0.34008	0.33161	0.31685	0.29684	0.27377	0.27566	0.24840	0.20330
4.9	0.34674	0.34572	0.34238	0.33414	0.32567	0.31091	0.29090	0.26783	0.27139	0.24448	0.20035
5.0	0.34097	0.33997	0.33663	0.32839	0.31992	0.30516	0.28515	0.26208	0.26706	0.24067	0.19741
5.1	0.33539	0.33440	0.33106	0.32282	0.31435	0.29959	0.27958	0.25651	0.26287	0.23697	0.19454
5.2	0.32998	0.32901	0.32567	0.31743	0.30896	0.29420	0.27419	0.25112	0.25879	0.23338	0.19176
5.3	0.32473	0.32378	0.32044	0.31220	0.30373	0.28897	0.26896	0.24589	0.25484	0.22990	0.18904
5.4	0.31965	0.31872	0.31538	0.30714	0.29867	0.28391	0.26390	0.24083	0.25100	0.22651	0.18640
5.5	0.31472	0.31380	0.31046	0.30222	0.29375	0.27899	0.25898	0.23591	0.24728	0.22322	0.18383
5.6	0.30993	0.30903	0.30569	0.29745	0.28898	0.27422	0.25421	0.23114	0.24366	0.22002	0.18132
5.7	0.30529	0.30440	0.30106	0.29282	0.28435	0.26959	0.24958	0.22651	0.24014	0.21691	0.17888
5.8	0.30078	0.29991	0.29657	0.28833	0.27986	0.26510	0.24509	0.22202	0.23772	0.21389	0.17650
5.9	0.29640	0.29555	0.29221	0.28397	0.27550	0.26074	0.24073	0.21766	0.23434	0.21094	0.17418
6.0	0.29214	0.29130	0.28796	0.27972	0.27125	0.25649	0.23648	0.21341	0.23116	0.20807	0.17191
6.1	0.28800	0.28717	0.28383	0.27559	0.26712	0.25236	0.23235	0.20928	0.22701	0.20528	0.16970
6.2	0.28397	0.28316	0.27982	0.27158	0.26311	0.24835	0.22834	0.20527	0.22394	0.20255	0.16755
6.3	0.28006	0.27926	0.27592	0.26768	0.25921	0.24445	0.22444	0.20137	0.22096	0.19990	0.16545
6.4	0.27625	0.27546	0.27212	0.26388	0.25541	0.24065	0.22064	0.19757	0.21805	0.19732	0.16339
6.5	0.27253	0.27176	0.26842	0.26018	0.25171	0.23695	0.21694	0.19387	0.21521	0.19480	0.16139
6.6	0.26892	0.26815	0.26481	0.25657	0.24810	0.23334	0.21333	0.19026	0.21245	0.19234	0.15943
6.7	0.26540	0.26464	0.26130	0.25306	0.24459	0.22983	0.20982	0.18675	0.20976	0.18994	0.15752
6.8	0.26197	0.26122	0.25788	0.24964	0.24117	0.22641	0.20640	0.18333	0.20713	0.18760	0.15565
6.9	0.25862	0.25789	0.25455	0.24631	0.23784	0.22308	0.20307	0.18000	0.20456	0.18531	0.15382
7.0	0.25536	0.25464	0.25130	0.24306	0.23459	0.21983	0.20082	0.17775	0.20206	0.18229	0.15204

表 A.1 (续) 圆形面积上均布荷载作用下各点平均附加应力系数 $\bar{\alpha}_i$

Z/R	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	0.02797	0.00486	0.00148	0.00060	0.00030	0.00016	0.00010	0.00006	0.00004	0.00003
0.2	0.08870	0.02535	0.00396	0.00148	0.00075	0.00041	0.00024	0.00014	0.00008	0.00005
0.3	0.13779	0.05306	0.01233	0.00420	0.00215	0.00121	0.00074	0.00047	0.00032	0.00022
0.4	0.17284	0.07979	0.02338	0.00836	0.00420	0.00215	0.00121	0.00074	0.00047	0.00032
0.5	0.19774	0.10275	0.03685	0.01306	0.00662	0.00368	0.00229	0.00150	0.00092	0.00060
0.6	0.21558	0.12178	0.05073	0.01846	0.00984	0.00541	0.00326	0.00205	0.00126	0.00082
0.7	0.22839	0.13714	0.06502	0.02460	0.01250	0.00762	0.00489	0.00305	0.00186	0.00121
0.8	0.23752	0.14951	0.07985	0.03160	0.01584	0.00984	0.00614	0.00385	0.00235	0.00150
0.9	0.24391	0.15934	0.09491	0.03924	0.01954	0.01184	0.00762	0.00489	0.00305	0.00186
1.0	0.24819	0.16704	0.10967	0.04724	0.02354	0.01431	0.00953	0.00614	0.00385	0.00235
1.1	0.25085	0.17313	0.12342	0.05569	0.02784	0.01710	0.01117	0.00733	0.00458	0.00286
1.2	0.25221	0.17775	0.13624	0.06449	0.03244	0.01984	0.01317	0.00885	0.00556	0.00346
1.3	0.25256	0.18121	0.14811	0.07361	0.03724	0.02244	0.01517	0.00996	0.00646	0.00406
1.4	0.25211	0.18369	0.15891	0.08291	0.04204	0.02504	0.01747	0.01096	0.00746	0.00466
1.5	0.25100	0.18536	0.16861	0.09224	0.04684	0.02764	0.01977	0.01276	0.00866	0.00526
1.6	0.24938	0.18635	0.17721	0.10154	0.05154	0.03024	0.02207	0.01456	0.00966	0.00586
1.7	0.24735	0.18677	0.18461	0.11074	0.05614	0.03284	0.02437	0.01616	0.01026	0.00646
1.8	0.24499	0.18672	0.19101	0.11984	0.06074	0.03544	0.02697	0.01776	0.01186	0.00706
1.9	0.24237	0.18628	0.19641	0.12884	0.06534	0.03804	0.02957	0.01936	0.01296	0.00766
2.0	0.23956	0.18552	0.20081	0.13774	0.06994	0.04064	0.03217	0.02196	0.01406	0.00826
2.1	0.23660	0.18448	0.20431	0.14649	0.07454	0.04324	0.03477	0.02456	0.01566	0.00886
2.2	0.23352	0.18322	0.20691	0.15504	0.07914	0.04584	0.03737	0.02716	0.01726	0.00946
2.3	0.23037	0.18178	0.20861	0.16349	0.08374	0.04844	0.04007	0.02976	0.01886	0.01006
2.4	0.22716	0.18018	0.20941	0.17174	0.08834	0.05104	0.04267	0.03236	0.02046	0.01066
2.5	0.22392	0.17847	0.20931	0.17984	0.09294	0.05364	0.04527	0.03496	0.02206	0.01126
2.6	0.22067	0.17666	0.20831	0.18774	0.09754	0.05624	0.04787	0.03756	0.02466	0.01186
2.7	0.21742	0.17477	0.20641	0.19549	0.10214	0.05884	0.05047	0.04016	0.02726	0.01246
2.8	0.21419	0.17282	0.20361	0.20304	0.10674	0.06144	0.05307	0.04276	0.02986	0.01306
2.9	0.21098	0.17084	0.20081	0.21034	0.11134	0.06404	0.05567	0.04536	0.03246	0.01366
3.0	0.20781	0.16882	0.19701	0.21734	0.11594	0.06664	0.05827	0.04796	0.03506	0.01426
3.1	0.20467	0.16678	0.19231	0.22404	0.12054	0.06924	0.06087	0.05056	0.03766	0.01486
3.2	0.20158	0.16474	0.18771	0.23054	0.12514	0.07184	0.06347	0.05316	0.04026	0.01546
3.3	0.19854	0.16269	0.18311	0.23684	0.12974	0.07444	0.06607	0.05576	0.04286	0.01606
3.4	0.19555	0.16064	0.17851	0.24294	0.13434	0.07704	0.06867	0.05836	0.04546	0.01666
3.5	0.19262	0.15860	0.17391	0.24884	0.13894	0.07964	0.07127	0.06096	0.04806	0.01726
3.6	0.18974	0.15658	0.16931	0.25454	0.14354	0.08224	0.07447	0.06356	0.05066	0.01786
3.7	0.18691	0.15458	0.16471	0.26004	0.14814	0.08484	0.07767	0.06616	0.05326	0.01846
3.8	0.18415	0.15260	0.16011	0.26534	0.15274	0.08744	0.08087	0.06876	0.05586	0.01906
3.9	0.18144	0.15064	0.15551	0.27044	0.15734	0.09004	0.08407	0.07136	0.05846	0.01966
4.0	0.17880	0.14870	0.15091	0.27534	0.16194	0.09264	0.08667	0.07396	0.06106	0.02026
4.1	0.17621	0.14679	0.14631	0.28004	0.16654	0.09524	0.08927	0.07656	0.06366	0.02086
4.2	0.17367	0.14492	0.14171	0.28454	0.17114	0.09784	0.09187	0.07916	0.06626	0.02146
4.3	0.17120	0.14307	0.13711	0.28884	0.17574	0.10044	0.09447	0.08176	0.06886	0.02206
4.4	0.16878	0.14125	0.13251	0.29294	0.18034	0.10304	0.09707	0.08436	0.07146	0.02266
4.5	0.16641	0.13946	0.12791	0.29684	0.18494	0.10564	0.09967	0.08696	0.07406	0.02326
4.6	0.16410	0.13771	0.12331	0.30054	0.18954	0.10824	0.10227	0.08956	0.07666	0.02386
4.7	0.16184	0.13598	0.11871	0.30404	0.19414	0.11084	0.10487	0.09216	0.07926	0.02446
4.8	0.15964	0.13429	0.11411	0.30734	0.19874	0.11344	0.10747	0.09476	0.08186	0.02506
4.9	0.15747	0.13263	0.10951	0.31044	0.20334	0.11604	0.11007	0.09736	0.08446	0.02566
5.0	0.15537	0.13100	0.10491	0.31334	0.20794	0.11864	0.11267	0.09996	0.08706	0.02626
5.1	0.15331	0.12940	0.10031	0.31604	0.21254	0.12124	0.11527	0.10256	0.08966	0.02686
5.2	0.15130	0.12783	0.09571	0.31854	0.21714	0.12384	0.11787	0.10516	0.09226	0.02746
5.3	0.14934	0.12626	0.09111	0.32084	0.22174	0.12644	0.12047	0.10776	0.09486	0.02806
5.4	0.14742	0.12478	0.08651	0.32294	0.22634	0.12904	0.12307	0.11036	0.09746	0.02866
5.5	0.14554	0.12330	0.08191	0.32484	0.23094	0.13164	0.12567	0.11296	0.10006	0.02926
5.6	0.14371	0.12185	0.07731	0.32654	0.23554	0.13424	0.12827	0.11556	0.10266	0.02986
5.7	0.14191	0.12043	0.07271	0.32804	0.24014	0.13684	0.13087	0.11816	0.10526	0.03046
5.8	0.14016	0.11903	0.06811	0.32934	0.24474	0.13944	0.13347	0.12076	0.10786	0.03106
5.9	0.13844	0.11767	0.06351	0.33044	0.24934	0.14204	0.13607	0.12336	0.11046	0.03166
6.0	0.13677	0.11633	0.05891	0.33134	0.25394	0.14464	0.13867	0.12596	0.11306	0.03226
6.1	0.13513	0.11501	0.05431	0.33204	0.25854	0.14724	0.14127	0.12856	0.11566	0.03286
6.2	0.13352	0.11372	0.04971	0.33254	0.26314	0.14984	0.14387	0.13116	0.11826	0.03346
6.3	0.13195	0.11246	0.04511	0.33284	0.26774	0.15244	0.14647	0.13376	0.12086	0.03406
6.4	0.13042	0.11122	0.04051	0.33294	0.27234	0.15504	0.14907	0.13636	0.12346	0.03466
6.5	0.12891	0.10998	0.03591	0.33284	0.27694	0.15764	0.15167	0.13896	0.12606	0.03526
6.6	0.12744	0.10875	0.03131	0.33244	0.28154	0.16024	0.15427	0.14156	0.12866	0.03586
6.7	0.12600	0.10753	0.02671	0.33174	0.28614	0.16284	0.15687	0.14416	0.13126	0.03646
6.8	0.12459	0.10631	0.02211	0.33084	0.29074	0.16544	0.15947	0.14676	0.13386	0.03706
6.9	0.12321	0.10509	0.01751	0.32974	0.29534	0.16804	0.16207	0.14936	0.13646	0.03766
7.0	0.12186	0.10388	0.01291	0.32844	0.30004	0.17064	0.16467	0.15196	0.13906	0.03826

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

用 词 说 明

对本规范条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

- (一) 表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”(must)。
- (二) 表示要准确地符合规范而应严格遵守时，用的助动词为：
 - 正面词采用“应”(shall)；
 - 反面词采用“不应”或“不得”(shall not)。
- (三) 表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：
 - 正面词采用“宜”(should)；
 - 反面词采用“不宜”(should not)。
- (四) 表示在规范的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：
 - 正面词采用“可”(may)；
 - 反面词采用“不必”(need not)。

中华人民共和国石油化工有限公司标准

石油化工钢储罐地基与基础 设计 规 范

SH/T 3068—2007

条 文 说 明

2008 北 京

目 次

1 范围.....	21
4 设计条件.....	21
5 基本规定.....	21
6 罐基础环墙计算.....	24
7 地基承载力及稳定性计算.....	25
8 罐基础地基变形计算.....	26
9 罐基础构造与材料.....	28

石油化工钢储罐地基与基础设计规范

1 范围

1.1 本规范是 GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》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撑罐壁的环境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 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的钢储罐基础的设计。大于 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的钢储罐其直径和高度均较大，对钢材材质的要求很高，目前国内尚无工程实例，因此不予考虑。

1.2 本规范不适用范围的原因如下：

(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) 对储存低压介质的罐。因为低压介质的罐的设计要求罐基础与罐共同工作，在罐基的结构、材料和填料上应进行特殊的处理；

(3) 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；

(4) 因储罐（本标准所包括的）在试压和罐基础在地基处理时均采用充水来试压和预压的，而水的重度为 9.80 kN/m^3 。对储存介质自重大于 10 kN/m^3 的储罐，应按有关要求特殊的处理。

4 设计条件

4.1 a) 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，对地基土的承载能力和沉降要求高，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。对于储罐基础，如不均匀沉降过大，将导致储罐的倾斜或失稳，使浮顶罐的浮船不能升降，甚至产生储罐破裂，并造成严重的次生灾害。因此本规范中特别强调了储罐基础的设计，必须具有建设场地的工程地质勘察报告，并分别提出了对一般地基、软土地基、山区地基、特殊土地基的工程地质勘察的项目要求。

4.2 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，为罐壁和罐顶的重量。当罐壁有保温层时，尚包括保温层的重量。

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。但现在施工的大型储罐基本上采用脚手架正装法。

5 基本规定

5.1 本条为新增加的规定。

5.2 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) 软土具有触变特性。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 S_t 一般在 3~4 之间，个别可达 8~9，为此当软土地基受到振动荷载后，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的变形外，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在垂直压力为 100kPa 左右。反应在储罐地基的沉降方面为：

(4) 软土地基承载力很低。其不排水抗剪强度一般均小于 20kPa。

(5) 软土透水性能弱。一般垂直渗透系数在 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-8}$ 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，地基固结沉降慢，后期固结沉降快，影响地基的承载力。

(6) 软土中局部有夹层。软土由于沉积环境不同，在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，使储罐地基易产生不均匀沉降。

山区地基由于工程地质和水文地质条件比平原地基复杂，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过程中，常常遇到基岩的部分露头 and 表面倾斜或者是有大块孤石存在，而形成软硬不均，常使地基不均匀地发生沉降，如在地基中挖大坑，形成不均匀的半挖半填地基，在岩溶地区，由于岩溶发育，地基土质不均匀，其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、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等，对工程安全有极大的危害。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、泥石流和崩塌以及岩溶、土洞等强烈发育，不允许在此类地区建罐，必须使用这类场地时应采取可靠的防治措施。

特殊土是指湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土、冻土、污染土和填土。是在特殊的工程地质环境中生成的，具有特殊的工程地质性质。

(1) 湿陷性黄土。其主要特点是土质疏松，结构松散，天然含水量低，孔隙比大，含水量小，浸水后强度急剧降低发生大量下沉。黄土地区地基土受水浸渍，多数下沉是不均匀的，一般是哪里受水哪里下沉。湿陷性黄土的湿陷是一种不均匀的变形，一般往往在 1~2 天内就可能产生 20cm~30cm 的沉降，这样大的沉降变形对工程影响很大，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《湿陷性黄土地区建筑规范》因地制宜，采取以地基处理为主的综合措施，以防止地基不均匀沉降。

(2) 膨胀土。是一种高塑性粘土，其特点是具有较高的吸附能力，在环境湿度变化影响下，土体发生膨胀和收缩，这种周期性的膨胀和收缩，这种周期性的膨胀和收缩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（一般在三年以上）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。主要是有不连续的粘粒、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)石颗粒甚至漂石,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。混合土也具有膨胀性和收缩性等。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对罐基稳定性的影响。

(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。在石化企业中要特别注意。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。是指有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。杂填土的特点是成分复杂,成层性明显,土质也不相同,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。冲填土是水流挟带形成的,在沿海和江河边较多。其特点是在冲填过程中由于泥沙含量的变化,造成冲填土在纵横两个方向上的不均匀性,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,呈流塑或软塑状态。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;含粘土颗粒多的冲填土,还是欠固结的,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后才能作为罐基础的地基。

5.3 罐基础的选型是至关重要的。储罐对地基的作用主要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,对地基的竖向深度影响小。对于软弱地基产生的沉降和不均匀沉降大。储罐基础主要是支撑罐体、罐壁和罐底。在正常工作状态下,储罐的安全可靠,一旦地基基础失稳,其严重后果将不堪设想的,轻则造成严重的质量事故,重则造成人员伤亡。GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》附录 A 对罐基础提出了具体的要求。附录 A 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 10m 弧长内的沉降差应不大于 25mm;支撑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 300mm。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用条件,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。它的优点是省钢材、水泥、工程投资小；缺点是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，但占地面积大。

环墙式罐基础。一般用于软和中软场地土，多用于浮顶罐与内浮顶罐，罐壁下设置钢筋混凝土环墙，这种型式的罐基础，在国内用的较多，它的优点是：(1) 可减少罐周的不均匀沉降。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，从而减少罐壁的变形，避免浮顶罐与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) 增加基础的稳定性，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。当设置外环墙式时，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) 由于罐体坐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) 由于设置外环墙式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) 当罐壁下节点处的下沉量低于外环墙顶时易造成两者之间的凹陷。

5.4 新增加的内容。关于静流水源地的确定是依据建设场地的有关环境的评价报告；防止储存的不可降解介质（如经 MTBE 调节出来的汽油）渗漏措施，一般可参用土工模或相应的材料铺设，并设检查井等辅助设施。

6 罐基础环墙计算

6.1 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(1)是按环墙底压强与环墙内同一水平地基土压强相等（标准值）的条件而求得的。即 $p_1 = p_2$ （见图 1）。主要是为了使环墙内基础沉降不至于产生突变。

如式(1)以 β 作为应变量可得

$$\beta = 1 - \frac{g_k}{r_L h_L b} - \frac{h}{h_L} \left(\frac{r_c - r_m}{r_L} \right) g_k \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

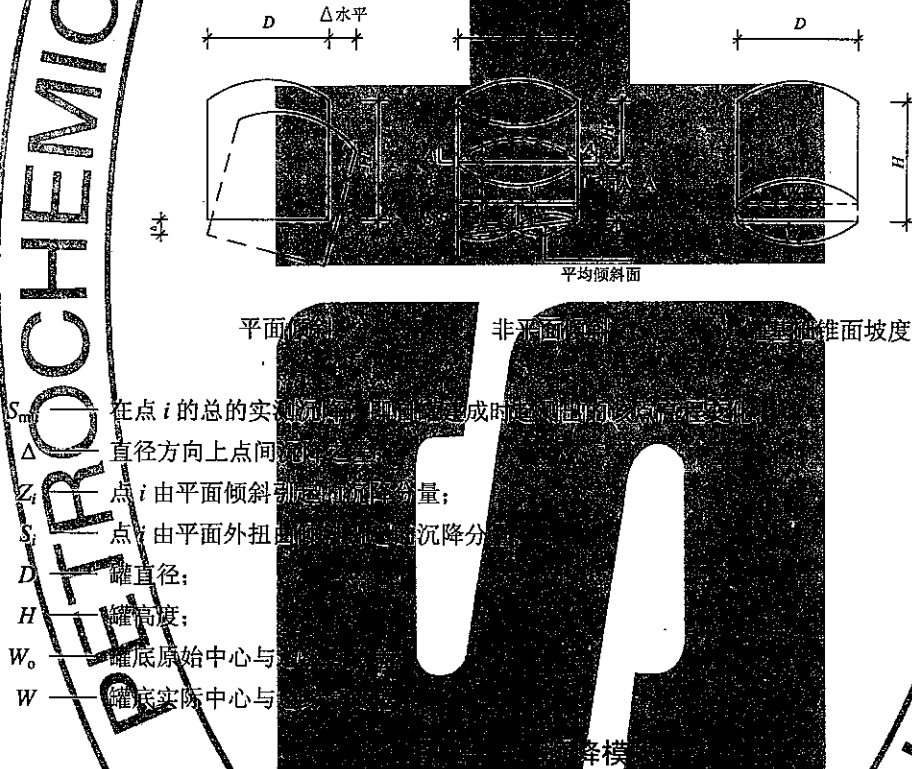
- β —— 罐壁伸入环墙顶面宽度系数；
- g_k —— 罐壁底端传给环墙顶端的线分布荷载标准值（当有保温层时尚应包括保温层的荷载标准值），kN/m；
- b —— 环墙宽度，m；
- r_L —— 罐内使用阶段储存介质的重度，kN/m³；
- h_L —— 环墙顶面至罐内最高储液面（介质）高度，m；
- r_c —— 环墙的重度，kN/m³；
- r_m —— 环墙内各填料层的平均重度，kN/m³；
- h —— 环墙高度，m。

技术规范》中描述的也很具体，因此在本规范中取消了该部分内容，具体的作法请设计人员根据具体情况进行相关的设计。

8 罐基础地基变形计算

8.1 按国家标准 GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》，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工业发展很快，兴建了一大批不同容积的储罐，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 $10\times 10^4\text{m}^3$ 、 $15\times 10^4\text{m}^3$ 的储罐，直径 80m、100m，高 21.80m，地基承载力要求达 250kPa~280kPa；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，从储罐工程实例沉降来看，尽管不均匀沉降有多种形式，但基本上可归纳为两种形式：(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。

储罐是一种柔性很大的薄壳结构，任何一种沉降模式或倾斜模式都会影响到罐的各个部件，某一种沉降模式可能产生一种或几种破坏情况。



由于差异沉降引起储罐的破坏，最主要的有两种类型：(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。经研究结果表明，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际上是控制非平面倾斜、罐基础锥面坡度，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,因此罐底易成蝶形,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。

8.2 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、储罐地基的整体倾斜、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。原则上所有的储罐均应做相应的验算。沉降计算方法很多在国内不下十余种。本规范选用了 GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》中的分层总和法进行计算。但对储罐的建造地区若有相关的规定更能准确地反映实际情况,则按相关的规范采用。如在上海地区建罐,按上海市工程建设规范 DGJ 08—11—1999《地基基础设计规范》做相应的计算。

8.3 地基变形允许值的规定,主要是根据 GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》,附录 E“油罐对基础和地基的基本要求”和大量的实测数据并参考国外标准而制定的。本规范增加了 $10\times 10^4\text{m}^3$ 和 $15\times 10^4\text{m}^3$ 储罐的具体要求。

(1) GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》中规定对平面倾斜,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。

表 1 储罐基础沉降差许可值

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
$D \leq 22$	$0.007D$	$D \leq 22$	$0.015D$
$22 < D \leq 30$	$0.004D$	$22 < D \leq 30$	$0.010D$
$30 < D \leq 40$	$0.005D$	$30 < D \leq 40$	$0.009D$
$40 < D \leq 60$	$0.004D$	$40 < D \leq 60$	$0.008D$
$60 < D \leq 80$	$0.0025D$		
$80 < D \leq 100$	$0.003D$		

对非平面倾斜,沿罐壁圆周方向任意 10m 范围内的沉降差不大于 25mm 。对基础锥面坡度,一般地基为 15% ,软弱地基应不大于 25% ,基础应保持稳定,锥面坡度不小于 8% 。

(2) 罐体本身平面倾斜和力矩不是最重要的,相当大的倾斜,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,应力分析表明,只要罐壁在弹性范围内,给出最大倾斜即可。即需保证储罐的正常工作即可。

(3) 国外储罐基础设计,对罐体倾斜、罐周边差异沉降、罐罐周边缘差异沉降等控制值,见各国储罐差异沉降控制标准(见表 2)。美国、日本、欧洲、中国对比见表 2。

表 2 标准

各国标准	SH 3046—92	英国 BS—2064—73	美国 API—650—88	日本 JISB8501—76
控制项目	控制值			
罐体倾斜(罐直径方向差异沉降)	浮顶(内浮顶) $0.007D \sim 0.003D$	$D/250$	$D/360$ 或 $< 150\text{mm}$	$D/200$
罐周边缘差异沉降	@ $10\text{m} \leq 25\text{mm}$	$L/250$	@ $10\text{m} \leq 25\text{mm}$	
罐基底坡(min)	$\geq 8\%$	$L/200$	$L/120$	$L/120$

表 3 控制标准对比表

沉降模式		平面倾斜 (沿储罐任意直径方向)		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	$\Delta S \leq 0.00333D \sim 0.005D$	$\Delta S \leq 0.005D$				
	英国工程标准 BS—2064—73	$D/250$		$L/250$		$I_{\min} = D/120$	
	比利时 DeBeer (1969)			$\Delta S \leq L/450$			$L/200 > \Delta S/L > L/600$ 为小的损毁 $\Delta S/L > L/300$ 为大的损毁
	日本消防厅规定 JFDA (1977)	试水 $\Delta S \leq 12D/1000$ 且 $\leq 300\text{mm}$ 储油 $\Delta S \leq 0.005D$		$\Delta S = +20 \sim 50\text{mm}$	$\Delta S \leq 20\text{mm} \sim 50\text{mm}$	$W \leq D/100$	水岛油罐事故后修改规定
	日本工程标准 JISB—8501—76	$D/250$				$I_{\min} = D/120$	
	荷兰 Langeveld (1974)	$\Delta S \leq 500$ $\Delta S_{\text{平均}} \leq 300$				$W \leq D/100$	假设 $S(X) = S_{\max} \sin \pi X/L$
	美国工程标准 API—650—80	$D/360$ 或 $< 150\text{mm}$		$@ 10\text{m} \leq 25\text{mm}$		$I_{\min} = D/120$	
	美国 Sullivan 和 Nowicki 等人 (1974)			$S_{\max} \leq 30\text{mm} \sim 45\text{mm}$			具有 21 个浮顶油罐的经验
	英国 Greenwood (1974)			$S_{\max} \leq 40\text{mm}$ ($D \leq 50\text{m}$)	$S_{\max} \leq 60\text{mm}$ ($D > 50\text{m}$)		具有 27 个固定油罐和具有 21 个浮顶油罐的经验

9 罐基础构造与材料

9.1.2 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，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，GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》中规定基础锥面坡度不得大于 35%。

9.1.5 罐基础顶面，设置沥青砂绝缘层，其主要作用为防止潮气、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，并减少其透水性；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。

9.1.6 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 300mm 时，可防止地下毛细管水的渗入，当底板泄露时，可作为漏油信号的通道。

9.1.8 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。

9.1.9 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，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 1m 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的可能时,采用埋深不小于 1m 的钢筋混凝土环墙。

9.1.11 钢筋混凝土环墙设置泄露孔,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,以便安全人员及时检查,采取对策。

9.1.13 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,当必需留施工活口时,其尺寸应尽量减少,并必须采取加强措施。

9.1.15 a) 对公称容积不小于 10 000m³ 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试压时,环墙有摇摆下沉的现象,设置附加环向钢筋和封闭式竖向钢筋,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 10 000m³ 时,可不设置附加环向钢筋和封闭式竖向钢筋。

b) 按 GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》对构造钢筋的最小配筋率进行修改。

9.1.16 GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》中第 9.4.2 条规定“轴心受拉及小偏心受拉杆件的纵向受力钢筋不得采用绑扎搭接接头”。故本规范规定环向受力钢筋接头,应采用机械连接或焊接连接。

9.1.17 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 40m 时可留后浇带。

9.1.19 GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》对储罐基本要求中提出“当储罐的设计温度大于 90℃ 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。目前用的较多的方法只按储存介质的不同温度采取平铺的红砖进行隔热。也可采用其他行之有效的隔热材料。

9.1.21 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,一完成基础的大部分沉降,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面变位的剪切,但挤压是主要的。但当储罐防空后,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。

9.2.4 沥青绝缘层所用的沥青材料,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)道路石油沥青其软化点为不低于 45℃,30 甲(或 30 乙)建筑石油沥青其软化点为不低于:30 甲为 70℃,30 乙为 60℃。为了与 SH/T 3528—2005《石油化工钢储罐地基与基础施工及验收规范》中的规定取得一致,故本条中取用了 30 甲或 30 乙。

中 华 人 民 共 和 国
石 油 化 工 行 业 标 准
石油化工钢储罐地基与基础设计规范
SH/T 3068—2007

*

中国石化出版社出版
中国石化集团公司工程标准发行总站发行
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号
邮编：100011 电话：(010) 84271850
石化标准编辑部电话：(010) 84289937
读者服务部电话：(010) 84289974
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com.cn
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 55 千字
2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

*

书号：1580229·241 定价：25.00 元
(购买时请认明封面防伪标识)