

ICS 93.020

P 72

备案号: J869-2018

SH

中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3062—2017

代替SH/T 3062—2007

石油化工球罐基础设计规范

Specification for design of sphere tank foundation
in petrochemical industry

2017-07-07发布

2018-01-01实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 主要符号	1
3.1 作用和作用效应	1
3.2 计算指标	2
3.3 几何参数	2
3.4 计算系数及其他	2
4 基本规定	2
4.1 一般规定	2
4.2 材料	3
5 荷载与地震作用	3
5.1 荷载分类	3
5.2 风荷载	3
5.3 地震作用	4
5.4 荷载与地震作用效应组合	5
6 地基与基础	6
6.1 地基承载力计算	6
6.2 变形计算	8
6.3 基础设计	8
7 构造要求	10
附录 A (规范性附录) 球罐基础顶面荷载效应计算	14
附录 B (规范性附录) 环形基础底面部分出现零应力区时基底压力计算系数 τ 、 ζ	17
附录 C (规范性附录) 连续水平圆弧梁在均布荷载作用下的弯矩、剪力和扭矩的计算	18
附录 D (资料性附录) 球罐结构的基本自振周期计算	19
本规范用词说明	21
附：条文说明	22

Contents

Foreword	III
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Main symbols	1
3.1 Loads and load effects	1
3.2 Material properties	2
3.3 Geometry properties	2
3.4 Calculation factors and other coefficients	2
4 Fundamental requirements	2
4.1 General	2
4.2 Material	3
5 Loads and seismic action	3
5.1 Load types	3
5.2 Wind load	3
5.3 Seismic action	4
5.4 Loads and seismic effect combinations	5
6 Soil and foundation	6
6.1 Bearing capacity calculation	6
6.2 Deformation calculation	8
6.3 Design of foundation	8
7 Constructional measures	10
Appendix A (Normative) Calculation of load effects on the surface of foundation	14
Appendix B (Normative) Calculation coefficient of pressure under appearance of zero-stress zone at bottom of circular foundation, τ , ζ	17
Appendix C (Normative) Calculations of bending moment, shear force, and torque of continuous circular-curved beam	18
Appendix D (Informative) Calculation of natural vibration period of sphere tank	19
Explanation of wording in this specification	21
Add: Explanation of articles	22

前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《2014年第四批行业标准修订计划》(工信厅科[2014]236号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本规范。

本规范共分七章和四个附录。

本规范的主要技术内容是:石油化工球罐基础设计的基本规定、荷载与地震作用、地基与基础、构造要求。

本规范是在 SH/T 3062—2007《石油化工球罐基础设计规范》的基础上修订而成,修订的主要技术内容是:

- 增加“基本规定”章;
- 根据 SH 3147—2014《石油化工构筑物抗震设计规范》,修订地震作用计算方法;
- 修订附录 A 中球罐基础顶面荷载效应计算方法;
- 根据现行国家规范和原规范在执行过程中各有关单位反馈的意见,对原规范进行了全面修订和补充。

本规范由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站负责日常管理,由中国石化工程建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位,以便今后修订时参考。

本标准日常管理单位: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: 0379-64881787

本规范主编单位:中国石化工程建设有限公司

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园 21 号

邮政编码: 100101

本规范参编单位:中石化宁波工程有限公司

中石化上海工程有限公司

本标准主要起草人员:高捷 刘洪坤 黄左坚 陈瑞金 押现中 王耀东 应付钊

本标准主要审查人员:何国富 王松生 黄钟喜 杨晓红 嵇转平 张亚新 黄月年 汪宁扬

熊英 王超 刘德文 崔忠涛 王留生 马振明 郑强 唐健

路来光 周蓉 黄英 周兴辉 赵福运

本规范于 1994 年首次发布,本次为第 2 次修订。

石油化工球罐基础设计规范

1 范围

本规范规定了石油化工球罐基础设计的基本规定、荷载与地震作用、地基与基础的设计以及构造要求等。

本规范适用于石油化工行业由钢架支承的钢制球形储罐（以下简称球罐）基础的设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范
- GB 50051 烟囱设计规范
- SH 3147 石油化工构筑物抗震设计规范
- JGJ 94 建筑桩基技术规范

3 主要符号

下列主要符号适用于本规范。

3.1 作用和作用效应

- F —— 相应于荷载效应基本组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力设计值；
- F_k —— 相应于荷载及作用效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力值；
- F_{Ek} —— 作用于球罐中心处的水平地震作用标准值；
- F_{wk} —— 作用于球罐中心处的总水平风荷载标准值；
- F_l —— 相应于荷载效应基本组合时，冲切破坏锥体以外的基底净反力设计值；
- G —— 考虑荷载分项系数的基础自重及其上的土自重；
- G_k —— 基础自重及其上的土自重标准值；
- G_{eq} —— 球罐在正常操作状态时的等效总重力荷载；
- M —— 相应于荷载效应基本组合时，作用于基础底面的力矩设计值；
- M_k —— 相应于荷载及作用效应标准组合时，作用于基础底面的力矩值；
- p_k —— 相应于荷载及作用效应标准组合时，基础底面处的平均压力值；
- S —— 荷载组合的效应值；
- S_{Gk1} —— 按正常操作时永久荷载标准值计算的荷载效应值；
- S_{Q1k} —— 按正常操作时球罐内储液重力荷载标准值计算的荷载效应值；

- S_{wk} —— 按正常操作时风荷载标准值计算的荷载效应值；
 S_{Gk2} —— 按液压试验时永久荷载标准值计算的荷载效应值；
 S_{Q2k} —— 按液压试验时球罐内液体的重力荷载标准值计算的荷载效应值；
 S_{w1k} —— 按液压试验时风荷载标准值计算的荷载效应值；
 S_{Ehk} —— 水平地震作用标准值的效应；
 V_s —— 相应于荷载效应基本组合时，基础圆环梁与底板交接处的剪力设计值；
 w_0 —— 基本风压；
 w_k —— 垂直作用于球罐表面上的风荷载标准值。

3.2 计算指标

- f_a —— 修正后的地基承载力特征值；
 f_{aE} —— 调整后的地基抗震承载力；
 f_t —— 混凝土轴心抗拉强度设计值。

3.3 几何参数

- A —— 基础底面面积；
 D —— 圆环形基础底板外直径；
 D_0 —— 球壳外直径（当有保温层时为保温层外直径）；
 H_C —— 支柱底板底面至球罐中心的高度；
 H_2 —— 球罐支柱底板底面至拉杆与支柱中心线交点处的距离；
 S_1 、 S_2 —— 基础倾斜方向两端边缘的最终沉降量；
 W —— 基础底面的抵抗矩；
 θ —— 基础倾斜方向沉降差与水平面的夹角。

3.4 计算系数及其他

- T —— 球罐的基本自振周期；
 m_{eq} —— 球罐在正常操作状态下的等效质量；
 α_1 —— 相应于球罐基本自振周期的水平地震影响系数；
 β_Z —— 球罐中心处的风振系数；
 γ_G —— 正常操作时永久荷载的分项系数；
 γ_{G1} —— 液压试验时永久荷载的分项系数；
 γ_{Q1} —— 正常操作时球罐内储液的分项系数；
 γ_{Q2} —— 液压试验时液体的分项系数；
 γ_w —— 风荷载的分项系数；
 γ_{Eh} —— 水平地震作用的分项系数；
 μ_s —— 风荷载体型系数；
 μ_Z —— 球罐中心处的风压高度变化系数；
 ψ_{w1} —— 正常操作时的风荷载组合值系数；
 ψ_{w2} —— 液压试验时的风荷载组合值系数；
 ψ_w —— 地震作用时的风荷载组合值系数；
 ψ_q —— 正常操作时球罐内储液的准永久值系数。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 球罐基础的结构安全等级应为二级，结构设计使用年限应为 50 年。
- 4.1.2 球罐基础的抗震设防类别为乙类。当抗震设防烈度为 6 度时，球罐基础可不进行地震作用计算，但应符合抗震措施要求。
- 4.1.3 球罐基础的地基基础设计等级不应低于乙级。
- 4.1.4 球罐基础结构混凝土耐久性应符合 GB 50010 的有关规定。处于腐蚀环境的球罐基础，其耐久性应符合 GB 50046 的有关规定，并按 GB 50046 的有关规定采取防腐措施。
- 4.1.5 球罐的基础型式，宜采用带有圆环梁的柱下钢筋混凝土圆环形基础；当采用钢筋混凝土独立基础时，宜设置连系梁。
- 4.1.6 当球罐基础采用桩基时，应按 JGJ94 的有关规定进行设计，承台间宜设置连系梁。
- 4.2 材料
- 4.2.1 球罐基础的混凝土强度等级，不应低于 C30，垫层不应低于 C10。
- 4.2.2 基础的纵向受力钢筋宜采用不低于 HRB400 级的热轧钢筋；箍筋宜采用 HRB400、HRB335、HRBF400 级的热轧钢筋，也可采用 HPB300 级的热轧钢筋。
- 4.2.3 地脚螺栓可采用未经冷拉的 Q235B、C、D 或 Q345B、C、D 级钢或符合主体专业委托要求。

5 荷载与地震作用

5.1 荷载分类

5.1.1 球罐基础上的荷载，可分为永久荷载和可变荷载。

- a) 永久荷载：包括球罐自重、保温重、耐火层重、球罐的支柱和拉杆重、附件重（包括人孔、接管、液面计、内件喷淋装置、安全阀、梯子及平台重等）；
- b) 可变荷载：包括球罐内储液重、液压试验时的液体重、风荷载。

5.1.2 设计球罐基础时，可不考虑雪荷载和裹冰荷载。

5.2 风荷载

5.2.1 垂直作用于球罐表面上的风荷载标准值，应按下式计算：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (5.2.1)$$

式中：

- w_k ——垂直作用于球罐表面上的风荷载标准值， kN/m^2 ；
- β_z ——球罐中心处的风振系数，宜根据球罐的基本自振周期 T ，按表 5.2.1 确定；球罐的基本自振周期 T ，一般由主体专业提供，当需要计算时，可按附录 D 计算；
- μ_s ——风荷载体型系数，宜取 0.45；
- μ_z ——球罐中心处的风压高度变化系数，按 GB 50009 的规定采用；
- w_0 ——基本风压， kN/m^2 ，其值不应小于 0.35kN/m^2 。

表 5.2.1 球罐中心处的风振系数 β_z

T (s)	<0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	≥ 5.0
β_z	1.350	1.490	1.595	1.700	1.805	1.875	1.945	2.050	2.120

注：中间值用内插法计算。

5.2.2 作用于球罐中心处的总水平风荷载标准值，应按式 (5.2.2) 计算：

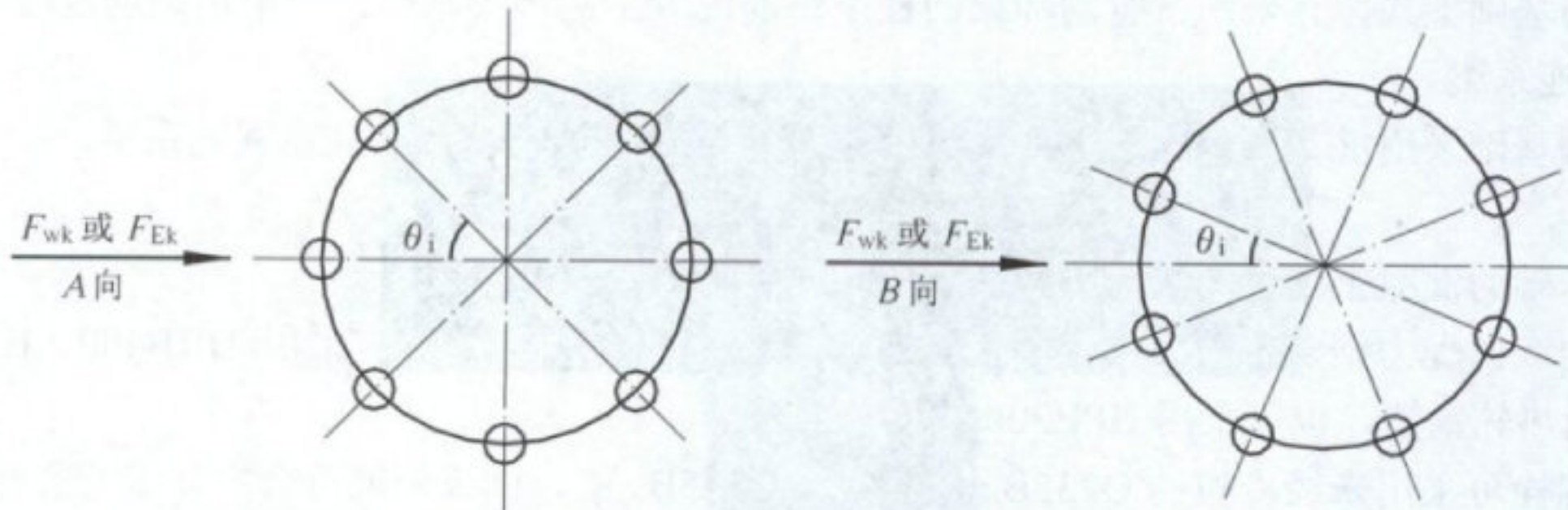
$$F_{wk} = \frac{1}{4} \pi D_0^2 w_k \dots\dots\dots (5.2.2)$$

式中:

D_0 —— 球壳外直径 (当有保温层、耐火层时为保温层、耐火层的外直径), m;

F_{wk} —— 作用于球罐中心处的总水平风荷载标准值, kN。

5.2.3 风荷载应分别考虑 A、B 两个方向的水平作用 (见图 5.2.3)。



θ_i —球罐支柱的方位角 (计算见附录 A 式 (A.1.3-2)、式 (A.1.3-3))

图 5.2.3 风荷载或地震作用计算方向

5.3 地震作用

5.3.1 球罐基础, 仅分别考虑 A、B 两个方向的水平地震作用 (见图 5.2.3), 并进行作用效应计算。

5.3.2 球罐基础的水平地震作用可采用单质点自由度体系计算, 并按 SH 3147 的有关规定确定地震影响系数。

5.3.3 球罐结构的阻尼比可取 0.035。

5.3.4 作用于球罐中心处的总水平地震作用标准值, 应按下式计算:

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \dots\dots\dots (5.3.4-1)$$

式中:

F_{Ek} —— 作用于球罐中心处的总水平地震作用标准值 (见图 5.2.3), kN;

α_1 —— 相应于球罐基本自振周期的水平地震影响系数, 按 SH 3147 的有关规定采用;

G_{eq} —— 球罐在正常操作状态时的等效总重力荷载, kN, 应按下列公式计算:

$$G_{eq} = m_{eq} g \dots\dots\dots (5.3.4-2)$$

$$m_{eq} = m_1 + m_2 + 0.5m_3 + m_4 + m_5 \dots\dots\dots (5.3.4-3)$$

$$m_2 = m_L \varphi \dots\dots\dots (5.3.4-4)$$

式中:

g —— 重力加速度, 取 9.81m/s^2 ;

m_{eq} —— 球罐在正常操作状态下的等效质量, t;

m_1 —— 球壳质量, t;

m_2 —— 球罐内储液的有效质量, t;

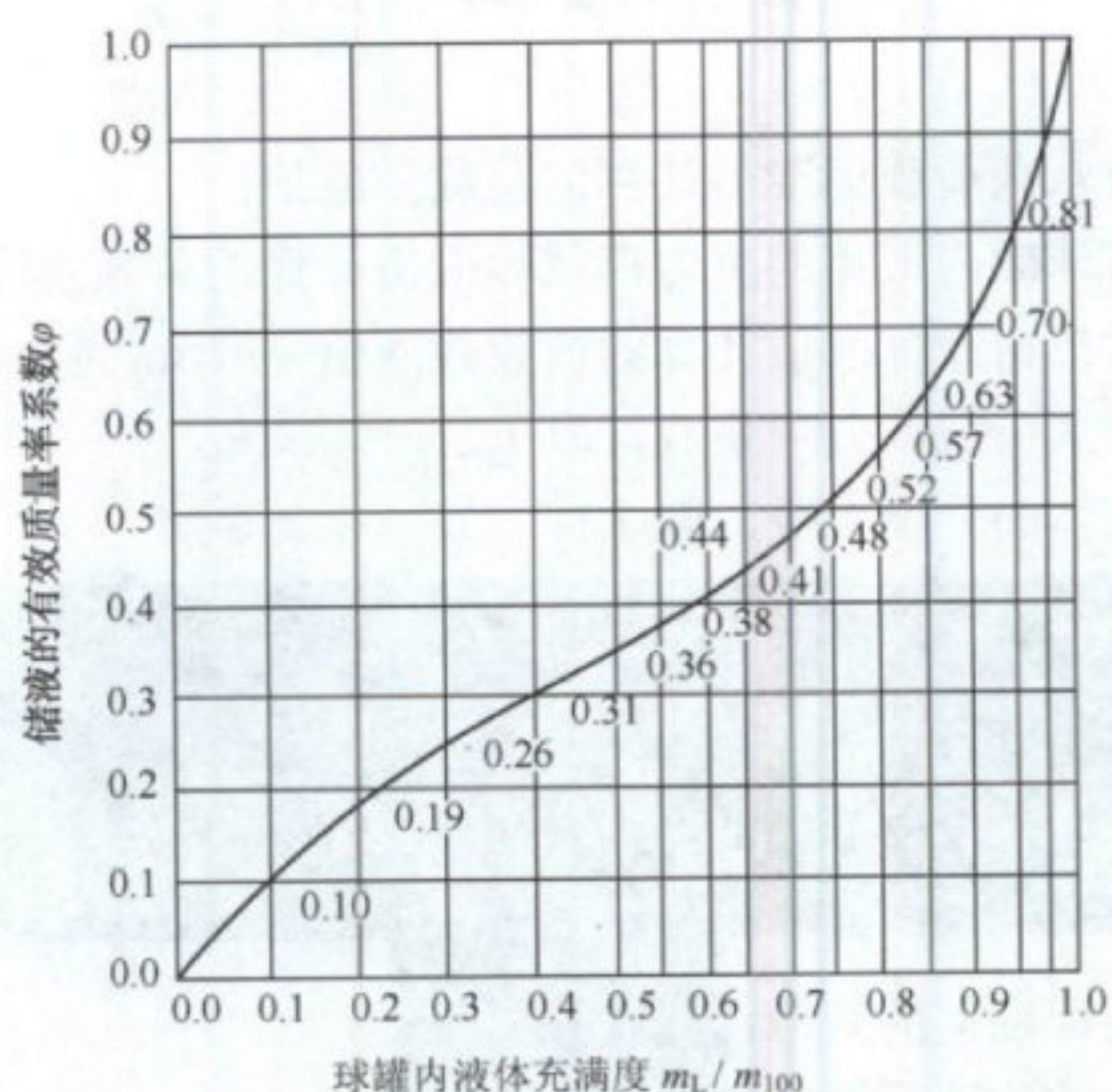
m_3 —— 支柱和拉杆的质量, t;

m_4 —— 球罐其他附件的质量, 包括各开口、喷淋装置、梯子平台等, t;

m_5 —— 球壳保温层、耐火层的质量, t;

m_L —— 球罐储液质量, t;

φ —— 储液的有效质量率系数, 可根据球罐内液体的充满度按图 5.3.4 查取。



m_L —储液质量； m_{100} —100%充满储液时的储液质量

图 5.3.4 储液的有效质量率系数

5.4 荷载与地震作用效应组合

5.4.1 球罐基础顶面的荷载、地震作用效应组合，应符合表 5.4.1 的要求。

表 5.4.1 荷载、地震作用效应组合

荷载作用状态	组合内容
正常操作	永久荷载（包括罐体自重、保温重、耐火层重、支柱和拉杆重、附件重）、储液重、风荷载
液压试验	永久荷载（包括罐体自重、支柱和拉杆重、附件重）、液压试验时的液体重、风荷载
地震作用	正常操作时的永久荷载、储液重、风荷载、水平地震作用

5.4.2 承载能力极限状态下，作用在基础顶面的荷载效应基本组合应按下列公式确定：

a) 正常操作时：

$$S = \gamma_G S_{Gk1} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \gamma_w \psi_{w1} S_{wk} \dots \dots \dots (5.4.2-1)$$

式中：

S ——荷载组合的效应值；

S_{Gk1} ——按正常操作时永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{Q1k} ——按正常操作时球罐内储液重力荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{wk} ——按正常操作时风荷载标准值计算的荷载效应值；

γ_G ——正常操作时永久荷载的分项系数，取 1.2；

γ_{Q1} ——正常操作时球罐内储液的分项系数，取 1.3；

γ_w ——风荷载的分项系数，取 1.40；

ψ_{w1} ——正常操作时的风荷载组合值系数，取 1.0。

b) 液压试验时：

$$S = \gamma_{G1} S_{Gk2} + \gamma_{Q2} S_{Q2k} + \gamma_w \psi_{w2} S_{wk} \dots\dots\dots (5.4.2-2)$$

式中:

- S_{Gk2} —— 按液压试验时永久荷载标准值计算的荷载效应值;
 S_{Q2k} —— 按液压试验时球罐内液体的重力荷载标准值计算的荷载效应值;
 S_{wk} —— 按液压试验时风荷载标准值计算的荷载效应值, 取 w_0 为 0.15kN/m^2 ;
 γ_{G1} —— 液压试验时永久荷载的分项系数, 取 1.2;
 γ_{Q2} —— 液压试验时液体的分项系数, 取 1.1;
 ψ_{w2} —— 液压试验时的风荷载组合值系数, 取 1.0。

c) 地震作用时:

$$S = \gamma_G S_{Gk1} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_w \psi_w S_{wk} \dots\dots\dots (5.4.2-3)$$

式中:

- S_{Ehk} —— 水平地震作用标准值的效应;
 γ_{Eh} —— 水平地震作用的分项系数, 取 1.3;
 ψ_w —— 地震作用时的风荷载组合值系数, 取 0.20。

5.4.3 正常使用极限状态下, 作用在基础顶面的荷载效应标准组合应按下列公式确定:

a) 正常操作时:

$$S = S_{Gk1} + S_{Q1k} + \psi_{w1} S_{wk} \dots\dots\dots (5.4.3-1)$$

b) 液压试验时:

$$S = S_{Gk2} + S_{Q2k} + \psi_{w2} S_{wk} \dots\dots\dots (5.4.3-2)$$

c) 地震作用时:

$$S = S_{Gk1} + S_{Q1k} + S_{Ehk} + \psi_w S_{wk} \dots\dots\dots (5.4.3-3)$$

5.4.4 正常使用极限状态下, 作用在基础顶面的荷载效应准永久组合应按下列公式确定:

$$S = S_{Gk1} + \psi_q S_{Q1k} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

式中:

- ψ_q —— 正常操作时球罐内储液的准永久值系数, 取 0.85。

5.4.5 当球罐相邻两支柱间均采用可调式拉杆连接时, 传至基础单个柱墩顶面的荷载及地震作用效应可按照附录 A 进行计算, 并按本规范 5.4.1 条~5.4.4 条采用相应的组合值。

6 地基与基础

6.1 地基承载力计算

6.1.1 基础底面压力, 应符合下列要求:

a) 非地震组合:

$$p_k \leq f_a \dots\dots\dots (6.1.1-1)$$

$$p_{k\max} \leq 1.2 f_a \dots\dots\dots (6.1.1-2)$$

b) 地震组合:

$$p_k \leq f_{aE} \quad \dots\dots\dots (6.1.1-3)$$

$$p_{kmax} \leq 1.2 f_{aE} \quad \dots\dots\dots (6.1.1-4)$$

式中:

- p_k —— 相应于荷载及作用效应标准组合时, 基础底面处的平均压力值, kPa;
 p_{kmax} —— 相应于荷载及作用效应标准组合时, 基础底面边缘处的最大压力值, kPa;
 f_a —— 修正后的地基承载力特征值, kPa, 按 GB 50007 的规定计算;
 f_{aE} —— 调整后的地基抗震承载力, kPa, 按 SH 3147 的规定计算。

6.1.2 基础底面的压力, 可按下列公式计算:

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A} \quad \dots\dots\dots (6.1.2-1)$$

$$p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \quad \dots\dots\dots (6.1.2-2)$$

$$p_{kmin} = \frac{F_k + G_k}{A} - \frac{M_k}{W} \quad \dots\dots\dots (6.1.2-3)$$

式中:

- F_k —— 相应于荷载及作用效应标准组合时, 上部结构传至基础顶面的竖向力值;
 G_k —— 基础自重及其上土自重的标准值;
 A —— 基础底面面积;
 M_k —— 相应于荷载及作用效应标准组合时, 作用于基础底面的力矩值, kN·m;
 W —— 基础底面的抵抗矩, m^3 ;
 p_{kmin} —— 相应于荷载及作用效应标准组合时, 基础底面边缘处的最小压力值, kPa。

6.1.3 基础底面边缘处的压力, 应满足以下控制条件:

- a) 正常操作状态时, 基础底面边缘压力除满足公式 (6.1.1-2) 外, 尚应符合下式要求:

$$p_{kmin} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (6.1.3-1)$$

- b) 地震作用状态时, 基础底面与地基土之间零应力区面积, 不应超过基础底面面积的 15%。

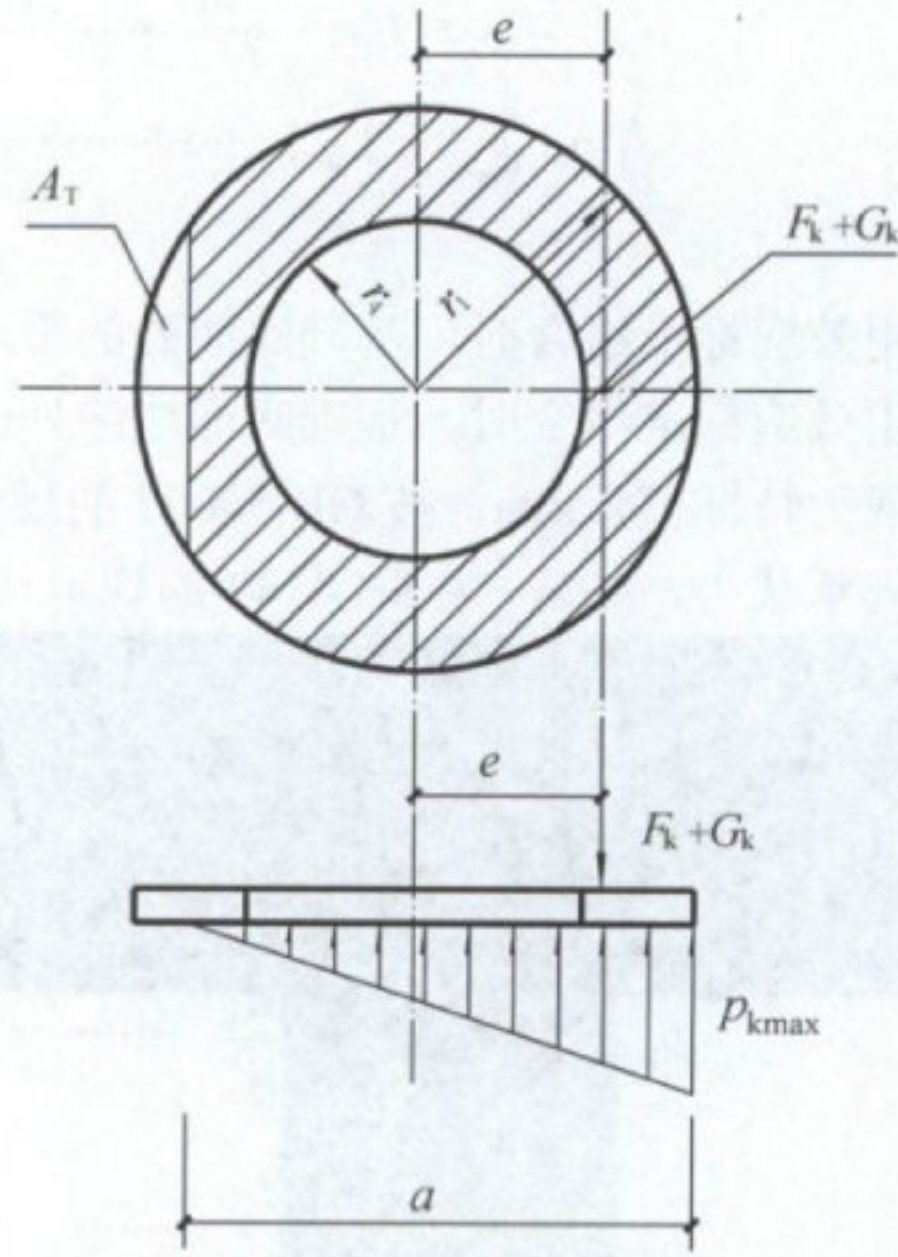
- c) 圆环形基础承受偏心荷载作用时, 当基础底面与地基土之间出现零应力区时, 底面压力应按下列公式计算 (见图 6.1.3):

$$p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{\zeta r_1^2} \quad \dots\dots\dots (6.1.3-2)$$

$$r_1 = \frac{a}{\tau} \quad \dots\dots\dots (6.1.3-3)$$

式中:

- r_1 —— 圆环形基础 (外环) 半径, m;
 a —— 圆环形基础底面受压面积的宽度, m;
 ζ 、 τ —— 系数, 根据 $\rho = \frac{r_4}{r_1}$ 及 $\frac{e}{r_1}$ 按附录 B 表 B.1 取值, r_4 为圆环形基础底面内环半径, m;
 e —— 荷载偏心距, m。



A_T —基础底面与地基土之间零应力区的面积, m^2

图 6.1.3 偏心荷载作用下环形基础底面压力

6.2 变形计算

6.2.1 球罐基础应按 GB 50007 的有关规定进行地基变形验算。当场地和地基条件简单时,对地基承载力特征值大于或等于 200kPa,且在地基压缩层范围内无软弱土夹层的球罐基础,也可不作地基变形验算。

6.2.2 地基变形应按正常操作状态时的荷载效应的准永久组合进行计算,不计入风荷载和地震作用的影响。

6.2.3 球罐基础的沉降量计算,圆环形基础可计算环宽中点处的沉降,环宽中点的平均附加应力系数,按照 GB 50051 的有关规定进行计算;独立基础沉降量计算,可按 GB 50007 的有关规定进行。

6.2.4 球罐基础的倾斜值,应按下式计算:

$$\text{tg}\theta = \frac{S_2 - S_1}{D} \dots\dots\dots (6.2.4)$$

式中:

θ —— 基础倾斜方向沉降差与水平面的夹角, ($^\circ$);

S_1 、 S_2 —— 基础倾斜方向两端边缘的沉降量, mm;

D —— 圆环形基础底板外直径, mm。

6.2.5 地基最终变形允许值,应符合下列规定:

- a) 沉降量不应大于 50mm;
- b) 倾斜值不应大于 0.002。

6.2.6 球罐基础宜设置沉降观测点。

6.3 基础设计

6.3.1 独立基础可按 GB 50010 和 GB 50007 进行计算。圆环形基础,可按基底均布荷载作用下的倒置圆弧梁所支承的环形板进行计算;应验算柱边缘处圆弧梁的受剪承载力;圆弧梁在均布荷载作用下的弯矩,剪力和扭矩,可按附录 C 表 C.1 计算。

6.3.2 圆环形基础底板的外形尺寸(见图 6.3.2),宜符合下列要求:

$$r_4 \geq \beta r_z \dots\dots\dots (6.3.2-1)$$

$$h_a \geq \frac{5(r_1 - r_2)}{11} \quad \text{且} \quad h_a \geq \frac{r_3 - r_4}{3} \quad \dots\dots\dots (6.3.2-2)$$

$$h_{1a} \geq \frac{1}{2} h_a \quad \dots\dots\dots (6.3.2-3)$$

式中:

- r_z —— 圆环梁中心至环形基础底板中心的距离, m;
 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 —— 圆环形基础底板中心至基础不同位置的半径, m;
 h_a 、 h_{1a} —— 基础底板不同位置的厚度, m;
 β —— 圆环形基础底板的外形系数, 按表 6.3.2 采用。

表 6.3.2 外形系数 β

r_1/r_z	1	1.1	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55
β	1	0.9	0.839	0.78	0.718	0.65	0.577	0.496	0.402	0.30	0

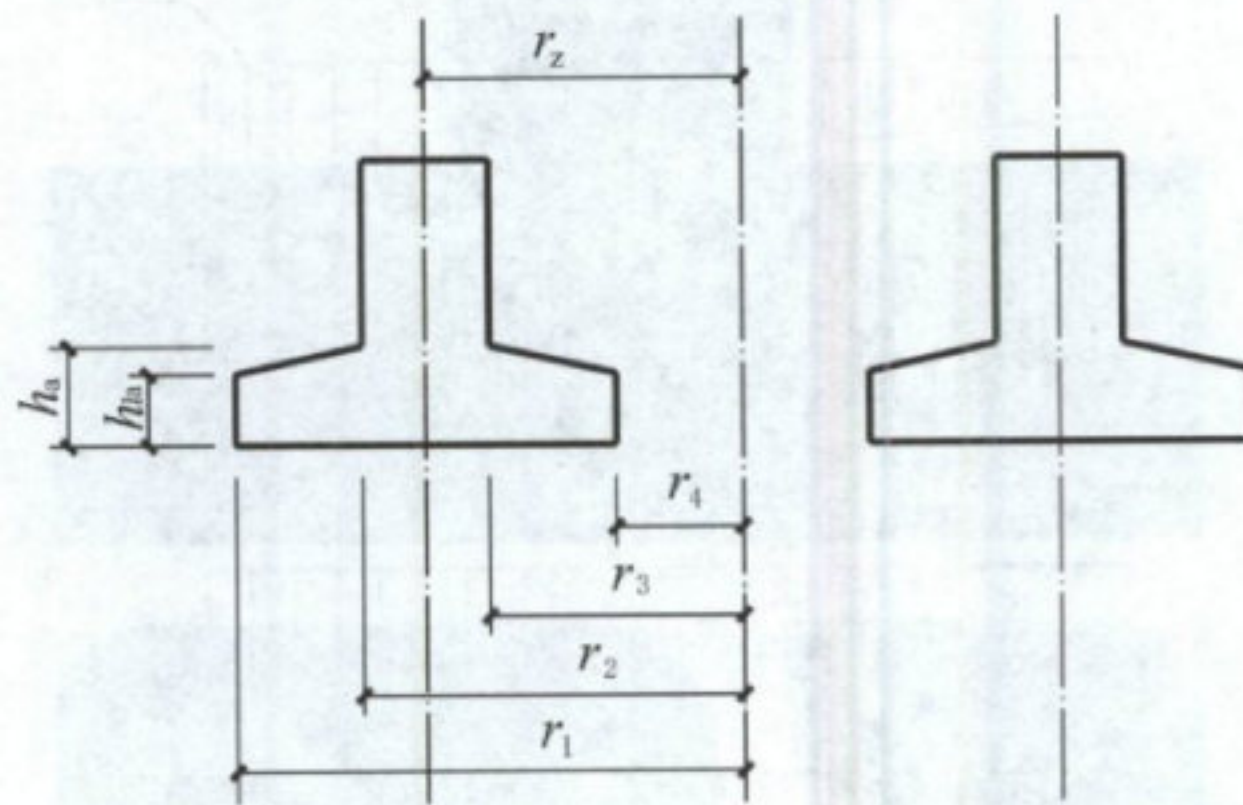


图 6.3.2 圆环形基础外形尺寸

6.3.3 计算圆环形基础底板承载力时, 上部结构引起的基底平均反力设计值, 应按下列公式计算 (见图 6.3.3):

a) 当基础底面压力 $p_{kmin} \geq 0$ 时:

$$p_1 = \frac{F}{A} + \frac{M}{I} \left(\frac{r_1 + r_2}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6.3.3-1)$$

式中:

- p_1 —— 相应于荷载效应基本组合时, 上部结构引起的基底平均单位面积净反力设计值, kPa;
 I —— 基础底板的惯性矩, m^4 ;
 F —— 相应于荷载效应基本组合时, 上部结构传至基础顶部的竖向力设计值, kN;
 M —— 相应于荷载效应基本组合时, 作用于基础底面的力矩设计值, $kN \cdot m$ 。

b) 当基础与地基土之间出现零应力区时:

$$p_2 = p_{max} \left(1 - \frac{r_1 - r_2}{2a} \right) - \frac{G}{A} \quad \dots\dots\dots (6.3.3-2)$$

式中:

- p_2 —— 相应于荷载效应地震组合时, 上部结构引起的基底平均单位面积净反力设计值, kPa;
 a —— 圆环形基础底面受压面积的宽度, m;
 G —— 考虑荷载分项系数的基础自重及其上的土自重, 当组合值由永久荷载控制时, $G=1.35G_k$;

p_{\max} —— 相应于荷载效应地震组合时，基础底面边缘处的最大压力设计值，kPa。

$$p_{\max} = \frac{F+G}{\zeta r_1^2} \dots\dots\dots (6.3.3-3)$$

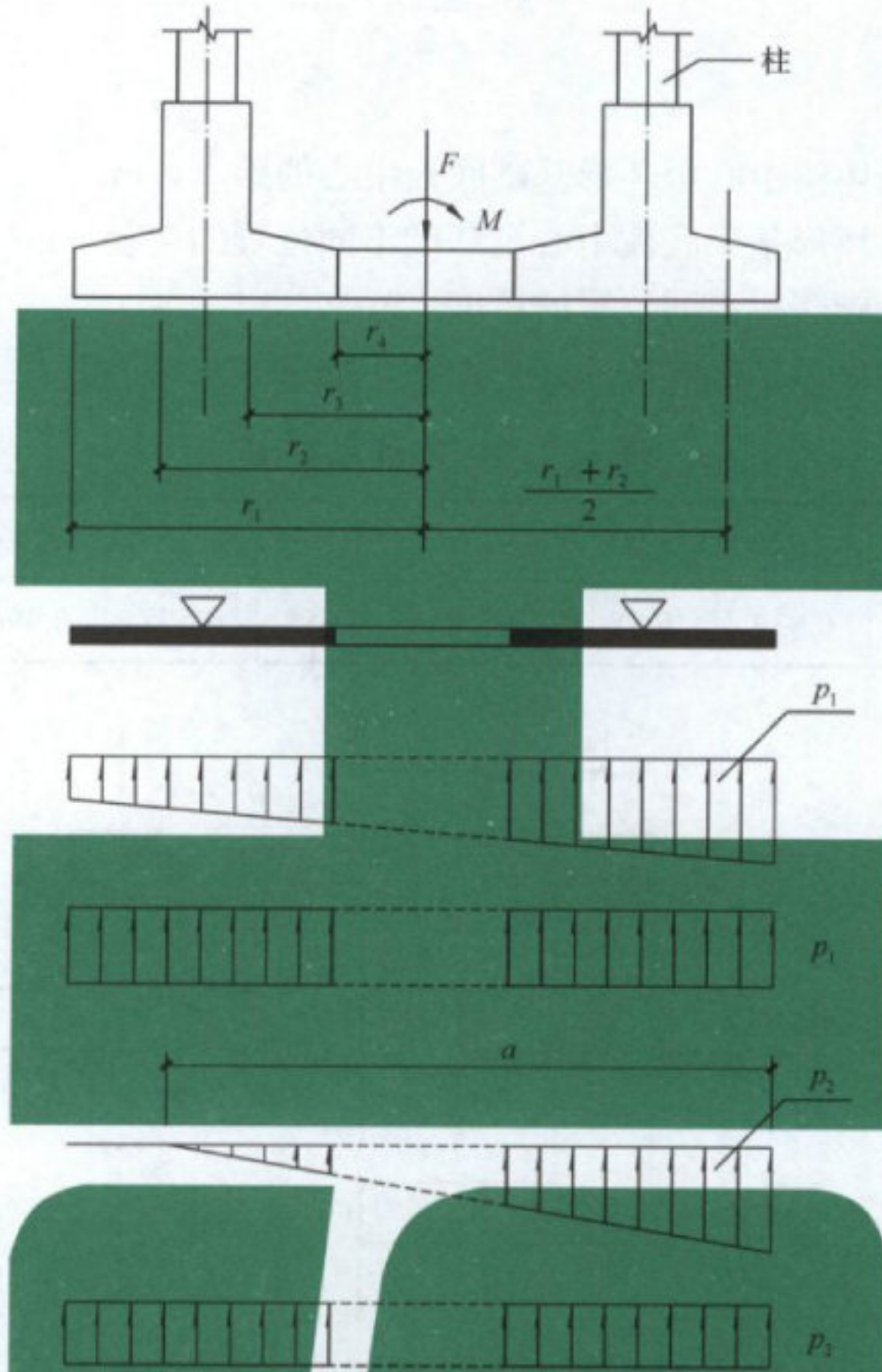


图 6.3.3 圆环形基础底板计算示意图

7 构造要求

- 7.1 球罐基础的埋置深度，除岩石地基外，埋深不宜小于 1.5m。
- 7.2 基础短柱顶面高出设计地面不宜小于 200mm，且顶面应留二次灌浆层，其厚度为 30mm~50mm；灌浆材料可采用比基础混凝土强度等级高一级的细石混凝土或高强无收缩水泥基灌浆料。
- 7.3 基础短柱截面中心线应与球罐支柱中心线相重合。
- 7.4 基础应设置不小于 100mm 厚的垫层。基础底板下层钢筋保护层不应小于 40mm，处于腐蚀环境的基础，其受力钢筋保护层厚度尚应满足防腐蚀设计要求。
- 7.5 地脚螺栓宜采用直埋，其类型和构造应符合表 7.5-1、表 7.5-2 的要求。
- 7.6 基础短柱的构造（见图 7.6），应符合下列要求：
 - a) 地脚螺栓中心至基础短柱平面外边缘距离，不宜小于 150mm，且不得小于 4 倍的地脚螺栓直径。
 - b) 竖向钢筋直径不宜小于 14mm，间距宜为 200mm~300mm，总配筋率不应小于 0.5%；短柱竖向钢筋锚入基础底板内不应小于钢筋锚固长度。
 - c) 箍筋直径不应小于 8mm；其间距在地脚螺栓埋置长度范围内，应采用 100mm，其他部位不大于 200mm；抗震设防烈度大于等于 7 度的地区，箍筋间距均应采用 100mm。箍筋末端应做成 135° 弯钩，且弯钩末端平直段长度不应小于箍筋直径的 10 倍。

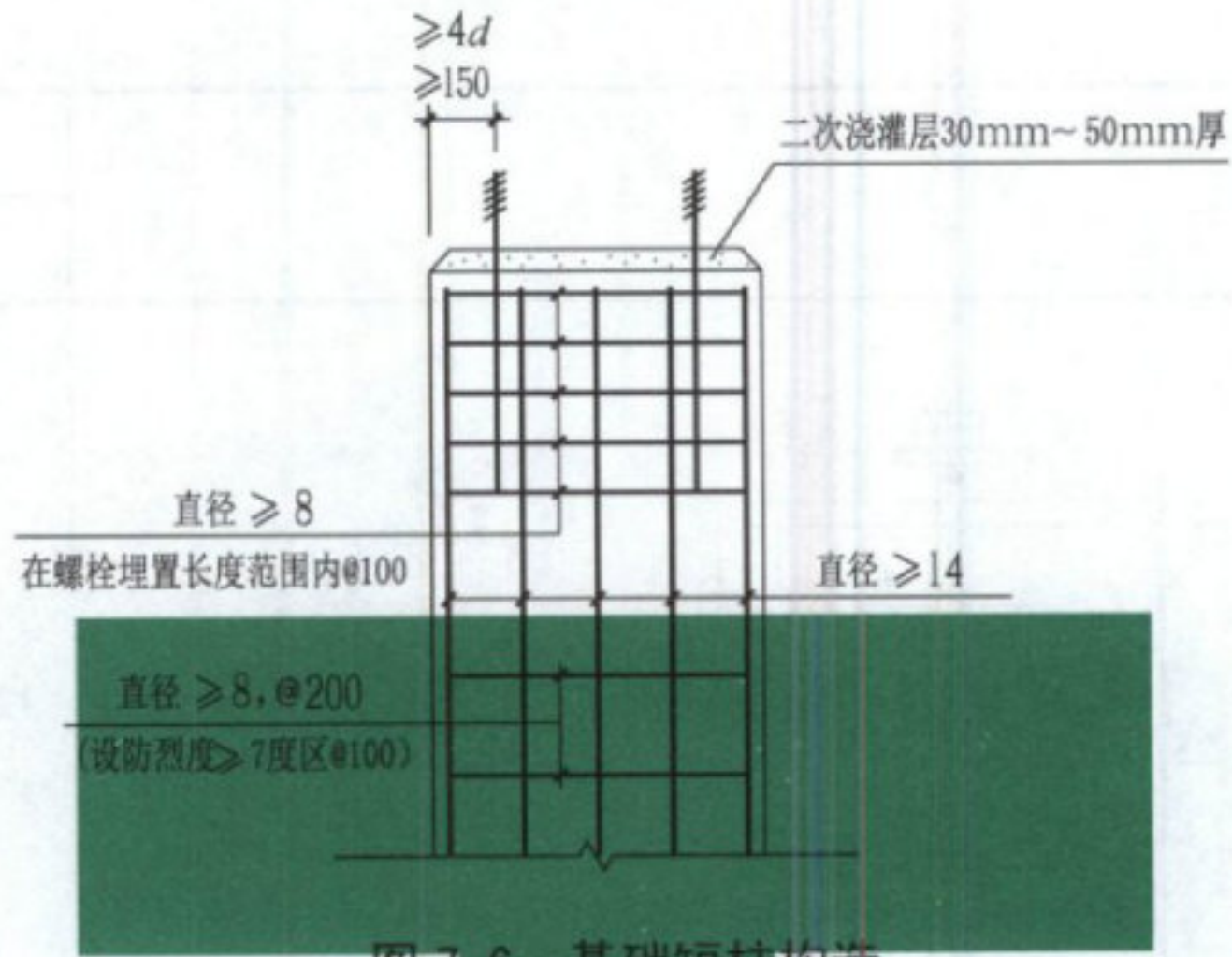


图 7.6 基础短柱构造

表 7.5-1 地脚螺栓最小埋置深度

单位: mm

地脚螺栓 类型	简 图	L_m	
		Q235 钢	Q345 钢
直 钩 式 螺 栓		20d (25d)	25d (30d)
锚 爪 式 螺 栓		12d (17d)	15d (20d)

续表

地脚螺栓 类型	简 图	L_m	
		Q235 钢	Q345 钢
锚板 式 螺 栓		12d (17d)	15d (20d)
<p>注 1: d —— 地脚螺栓直径, mm; L_m —— 地脚螺栓最小埋置深度, mm; A_L —— 地脚螺栓面积, mm²; A_Z —— 螺栓爪枝总面积, mm²; δ_1 —— 锚板厚度, mm; δ_2 —— 肋板厚度, mm; C —— 锚板边长, mm; h —— 肋板高度, mm。</p> <p>注 2: 括号内数值用于地震区; 地脚螺栓的露头、螺纹长度根据设备的要求确定。</p>			

表 7.5-2 锚板式地脚螺栓的锚板及加劲肋尺寸

单位: mm

地脚螺栓 直径 d	锚板及加劲肋尺寸				地脚螺栓 直径 d	锚板及加劲肋尺寸			
	C	δ_1	δ_2	h		C	δ_1	δ_2	h
36	100	12	8	70	72	250	25	12	175
42	120	14	8	85	76	280	26	12	200
48	150	16	10	105	80	280	28	14	200
52	180	20	10	130	85	300	30	14	210
56	180	20	10	130	90	320	32	14	225
60	200	25	10	140	95	350	34	16	245
64	200	25	10	140	100	350	36	16	245
68	250	25	12	175					

7.7 圆环形基础的构造，应符合下列要求（见图 7.7-1）：

- 基础底板边缘厚度不应小于 250mm；
- 圆环形基础底板悬挑部分宽高比不应大于 2.5（见图 7.7-2）；
- 当底板做成斜坡状时，其坡度不得大于 1:3；
- 基础环梁高度宜为相邻柱中心线间弧长的 $1/6 \sim 1/8$ ；环梁上、下配筋的最小配筋率为 0.25% 或 $45f_t/f_y$ 中的较大值，直径不宜小于 12mm，箍筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 200mm；底板受力钢筋由计算确定，底板悬挑根部截面的最小配筋率为 0.20%，且直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 150mm；环向钢筋直径不宜小于 10mm，间距不宜大于 200mm。

7.8 当采用钢筋混凝土独立基础或采用桩基时，独立基础或承台间设置的连系梁，其高度宜为相邻柱距的 $1/6 \sim 1/8$ 。

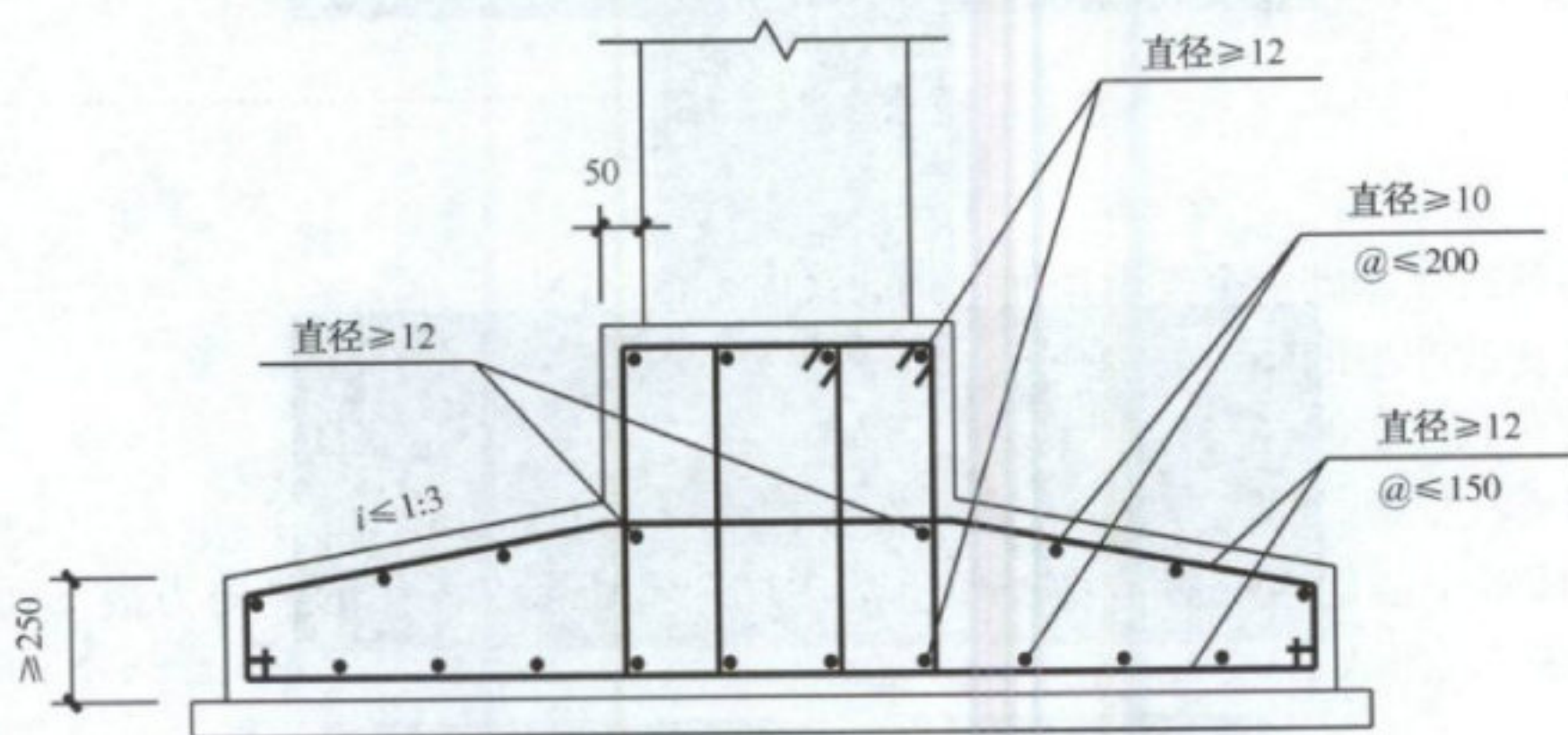


图 7.7-1 圆环形基础配筋构造

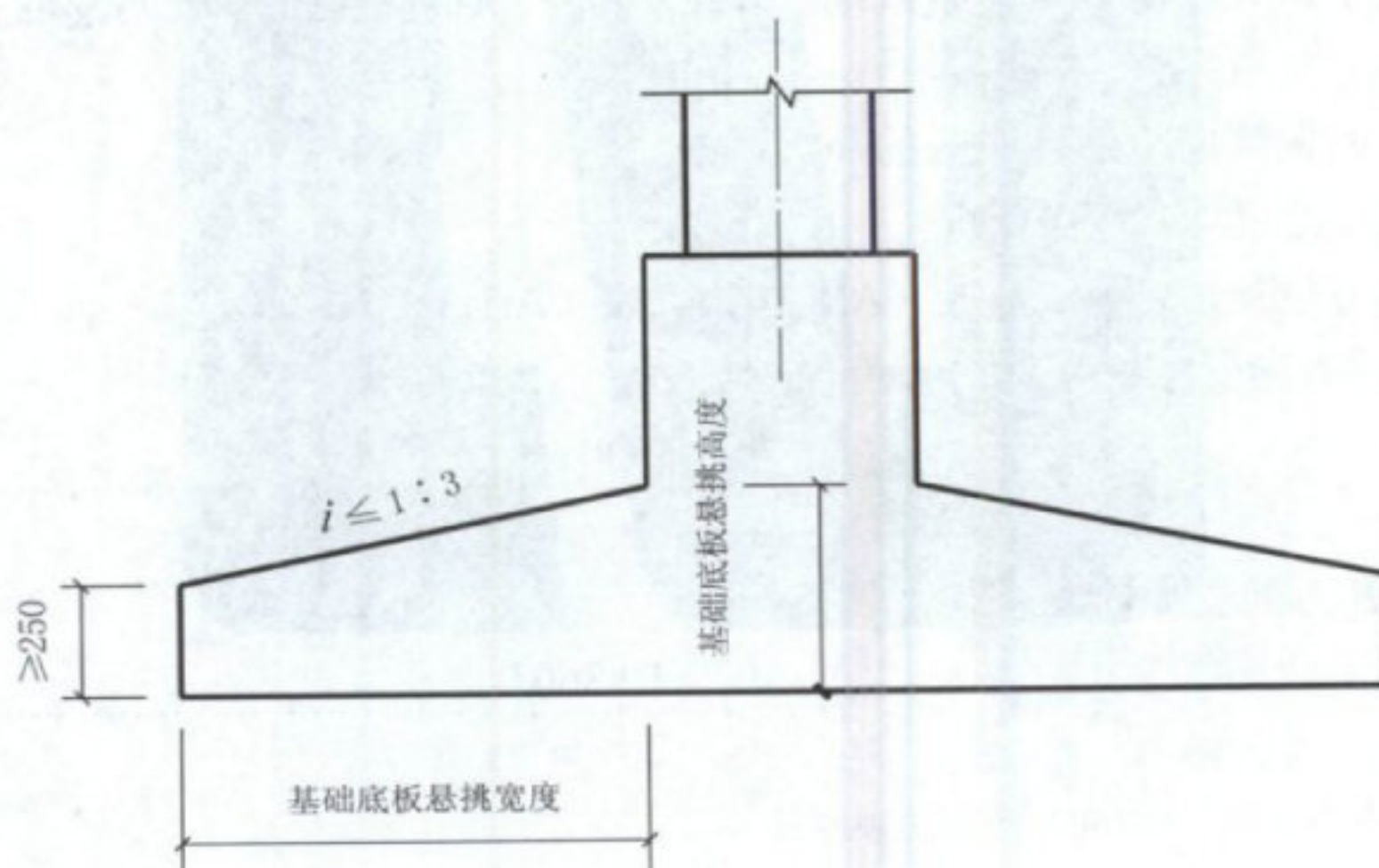


图 7.7-2 底板悬挑部分宽高比

附录 A

(规范性附录)

球罐基础顶面荷载效应计算

A.1 基础单个支墩顶面的竖向力

A.1.1 传至基础单个支墩顶面的竖向力，由重力荷载产生的竖向力和作用于球罐中心的水平荷载在单个支墩顶面产生的竖向力两部分组成。下列公式中的荷载，用于正常使用极限状态计算时，应采用荷载效应的标准组合、准永久组合；用于承载能力极限状态计算时，应采用荷载效应的基本组合。

A.1.2 不同状态下重力荷载产生的竖向力按下式计算：

$$F' = \frac{G' + Q'}{n} \quad \text{..... (A.1.2)}$$

式中：

F' ——重力荷载在基础单个支墩顶面产生的竖向力值，kN；

G' ——永久荷载产生的竖向力，kN；

Q' ——可变荷载产生的竖向力，kN；

n ——球罐支柱根数。

A.1.3 作用于球罐中心的风荷载或地震作用，在单个支墩顶面产生的竖向力按下列各式计算（图 A.1.3-1、图 A.1.3-2、图 A.1.3-3）：

$$F_i = \frac{-2F_{EW}H_c \cos \theta_i}{nR} \quad \text{..... (A.1.3-1)}$$

式中：

F_i ——作用于球罐中心的风荷载或地震作用，在基础单个支墩顶面产生的竖向力，kN；

F_{EW} ——作用于球壳中心的风荷载或地震作用，kN，风荷载标准值按 F_{WK} 取用，地震作用标准值按 F_{EK} 取用；

H_c ——支柱底板底面至球罐中心的高度，m；

R ——支柱中心圆半径，m；

θ_i ——支柱方位角，(°)，按式 (A.1.3-2)、式 (A.1.3-3) 计算。

1) 当 A 方向受力时支柱的方位角：

$$\theta_i = i \frac{360^\circ}{n} \quad \text{..... (A.1.3-2)}$$

2) 当 B 方向受力时支柱的方位角：

$$\theta_i = \left(i - \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \quad \text{..... (A.1.3-3)}$$

注：i 表示支柱在 0° 至 360° 范围的顺序号。

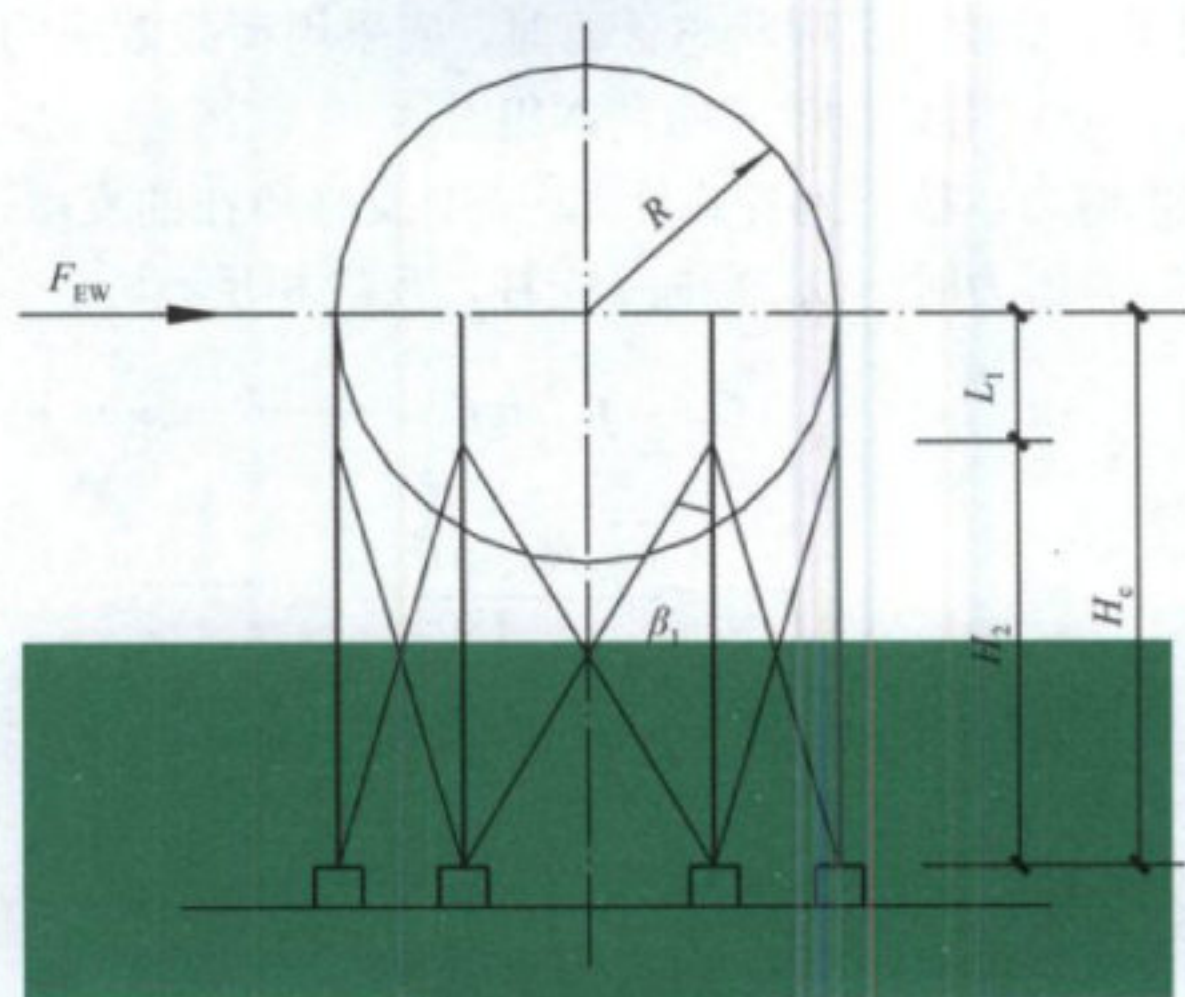


图 A. 1.3-1

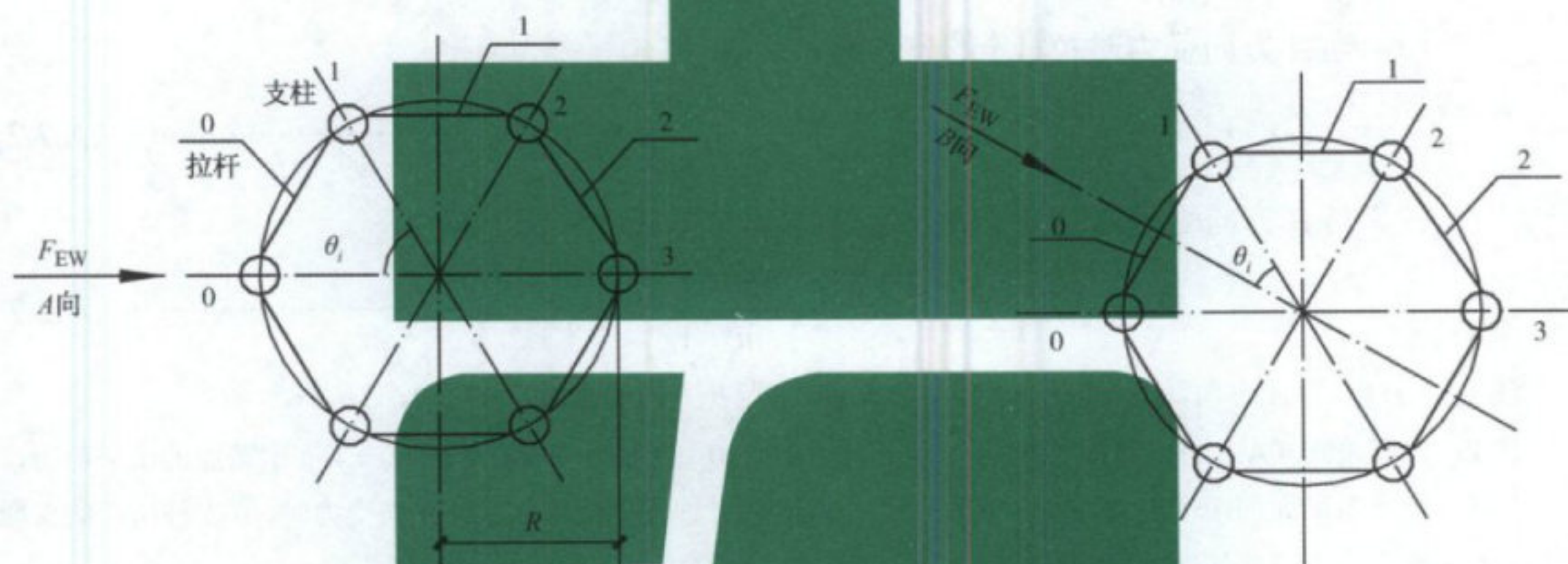


图 A. 1.3-2

图 A. 1.3-3

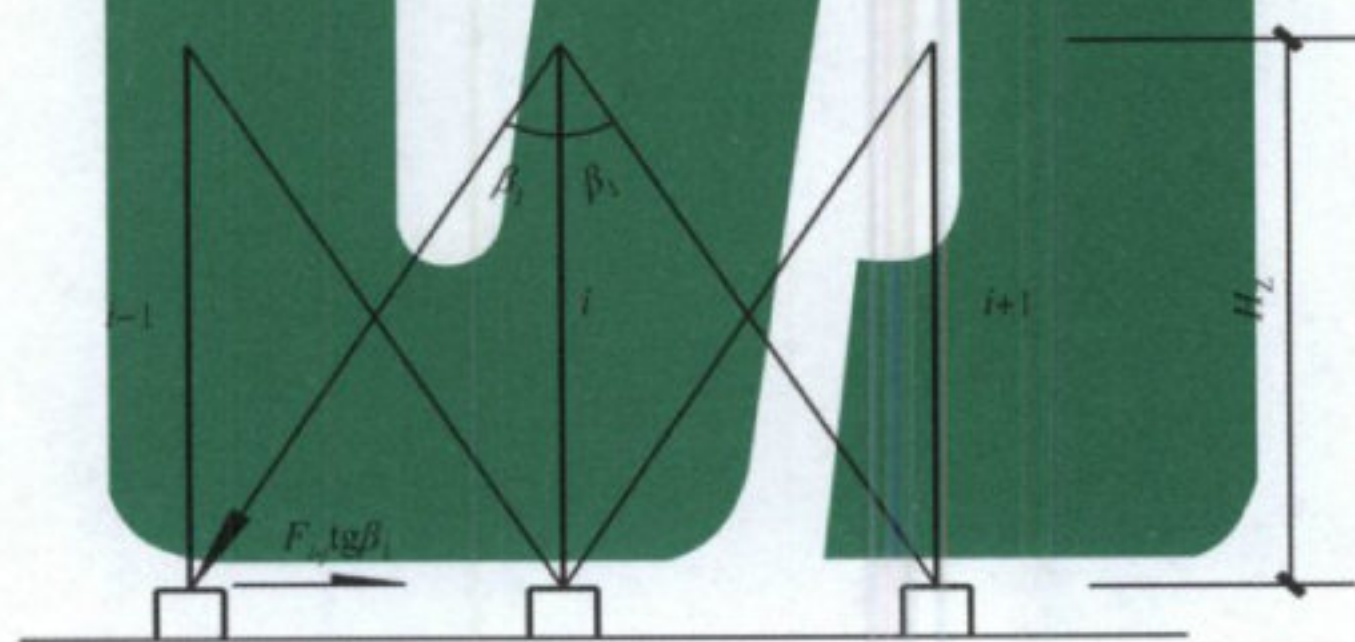


图 A. 2.1

A.2 基础单个支墩顶面的水平剪力

A.2.1 传至基础单个支墩顶面的水平剪力，其值等于支柱底端拉杆的轴力在拉杆平面内产生的水平分力值（图 A.2.1），可利用几何关系，间接由拉杆作用在相邻支柱上产生的竖向力求出。

下列公式中的荷载，用于正常使用极限状态计算时，应采用荷载效应的标准组合、准永久组合；用于承载能力极限状态计算时，应采用荷载效应的基本组合。

A.2.2 单个支墩顶面的水平剪力，按下列各式计算。 $i-1$ 支柱所在的支墩顶面剪力 Q_{i-1} 的方向，作用在拉杆所在的平面内，当 F_{i-j} 为压力时， Q_{i-1} 指向 i 支柱，反之相反。

$$Q_{i-1} = F_{i-j} \operatorname{tg} \beta_1 \quad \text{..... (A.2.2-1)}$$

$$F_{i-j} = \frac{F_{EW} H_2 \sin \theta_j}{nR \sin \frac{180^\circ}{n}} \quad \text{..... (A.2.2-2)}$$

式中：

Q_{i-1} —— 单个支墩顶面的水平剪力，kN；

F_{i-j} —— j 拉杆作用在 i 支柱上产生的竖向力值，kN；

H_2 —— 支柱底板底面至拉杆与支柱中心线交点处的距离，m；

θ_j —— 拉杆 j 的方位角，($^\circ$)，按式 (A.2.2-3)、式 (A.2.2-4) 计算，且 θ_j 的变化范围仅取 $0^\circ < \theta_j < 180^\circ$ 。

1) 当 A 方向受力时拉杆 j 的方位角：

$$\theta_j = \left(j + \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \quad \text{..... (A.2.2-3)}$$

2) 当 B 方向受力时拉杆 j 的方位角：

$$\theta_j = j \frac{360^\circ}{n} \quad \text{..... (A.2.2-4)}$$

注1： $i=j+1$ ，当 A 方向受力时， $j=0, 1, 2, 3, \dots$ ；当 B 方向受力时， $j=1, 2, 3, \dots$ 。

注2：仅需按式 (A.2.2-1)、式 (A.2.2-2) 及 $0^\circ < \theta_j < 180^\circ$ 的条件，求出沿环向一半支墩顶面的水平剪力，另一半支墩顶面的水平剪力，以 A 或 B 的受力方向为对称轴完全对称。对 A 向受力时，0 支柱所在的支墩顶面水平剪力应叠加。

附 录 B
(规范性附录)

环形基础底面部分出现零应力区时基底压力计算系数 τ 、 ζ

表 B.1 环形基础底面部分出现零应力区时基底压力计算系数 τ 、 ζ

e/r_1	$\rho=0.50$		$\rho=0.55$		$\rho=0.60$		$\rho=0.65$		$\rho=0.70$		$\rho=0.75$		$\rho=0.80$		$\rho=0.85$		$\rho=0.90$	
	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ	τ	ζ
0.25																		
0.26																		
0.27																		
0.28																		
0.29																		
0.30																		
0.31	1.995	1.157																
0.32	1.975	1.163																
0.33	1.945	1.145	1.985	1.087														
0.34	1.915	1.127	1.960	1.073	2.000	1.005												
0.35	1.890	1.111	1.930	1.056	1.970	0.990												
0.36	1.860	1.092	1.900	1.039	1.945	0.977	1.990	0.903										
0.37	1.830	1.073	1.875	1.025	1.915	0.962	1.960	0.888	2.000	0.801								
0.38	1.805	1.058	1.845	1.007	1.890	0.948	1.935	0.877	1.980	0.793								
0.39	1.775	1.039	1.820	0.993	1.860	0.933	1.910	0.865	1.955	0.783	2.000	0.687						
0.40	1.750	1.023	1.790	0.975	1.835	0.919	1.880	0.851	1.930	0.773	1.975	0.679						
0.41	1.725	1.007	1.765	0.961	1.810	0.906	1.855	0.839	1.905	0.762	1.950	0.670	2.000	0.565				
0.42	1.695	0.988	1.740	0.946	1.785	0.893	1.830	0.828	1.880	0.752	1.925	0.661	1.975	0.558				
0.43	1.670	0.973	1.710	0.929	1.760	0.880	1.805	0.816	1.885	0.742	1.905	0.654	1.950	0.551	2.000	0.436		
0.44	1.640	0.954	1.685	0.915	1.730	0.864	1.780	0.804	1.830	0.732	1.880	0.645	1.930	0.545	1.980	0.432		
0.45	1.615	0.938	1.660	0.901	1.705	0.852	1.755	0.793	1.805	0.721	1.855	0.637	1.905	0.538	1.955	0.426	2.000	0.299
0.46	1.585	0.920	1.630	0.884	1.680	0.839	1.725	0.779	1.780	0.711	1.830	0.628	1.880	0.531	1.935	0.422	1.985	0.296
0.47	1.555	0.901	1.600	0.867	1.650	0.824	1.700	0.768	1.750	0.700	1.805	0.620	1.855	0.524	1.910	0.416	1.965	0.293
0.48	1.523	0.884	1.570	0.851	1.620	0.809	1.670	0.755	1.725	0.690	1.780	0.612	1.830	0.518	1.885	0.411	1.940	0.290
0.49			1.541	0.836	1.580	0.795	1.645	0.745	1.695	0.679	1.750	0.602	1.805	0.511	1.860	0.406	1.915	0.286
0.50					1.559	0.780	1.614	0.732	1.665	0.668	1.722	0.594	1.777	0.504	1.835	0.401	1.900	0.284
0.51											1.688	0.584	1.746	0.497	1.805	0.396	1.863	0.279
0.52													1.710	0.489	1.769	0.390	1.828	0.275

注 1: $\rho=r_4/r_1 > 0$ 时为环形基础。
注 2: 当 e/r_1 及 $\rho=r_4/r_1$ 为中间值时, τ 、 ζ 值用内插法确定。
注 3: 粗线以下表示基础的零应力区面积 A_T 已超过全面积的 15%。

附录 C
(规范性附录)

连续水平圆弧梁在均布荷载作用下的弯矩、剪力和扭矩的计算

表 C.1 连续水平圆弧梁在均布荷载作用下弯矩、剪力和扭矩的计算

圆弧梁的 支柱数	圆弧梁跨中中 线与支座夹角 ψ	弯 矩		最大剪力 Q_{\max} (kN)	最大扭矩 $M_{T\max}$ (kN·m)	最大扭矩与跨 中中线夹角 φ
		M_C (kN·m)	$M_A、M_B$ (kN·m)			
4	45°	$0.1107qr^2$	$-0.2146qr^2$	$0.7854qr$	$0.0331qr^2$	25° 48'
6	30°	$0.0472qr^2$	$-0.093qr^2$	$0.5236qr$	$0.0095qr^2$	17° 16'
8	22° 30'	$0.0262qr^2$	$-0.0519qr^2$	$0.3927qr$	$0.0040qr^2$	12° 58'
10	18°	$0.0166qr^2$	$-0.0331qr^2$	$0.3140qr$	$0.0020qr^2$	10° 23'
12	15°	$0.0115qr^2$	$-0.0230qr^2$	$0.2618qr$	$0.0012qr^2$	8° 39'
16	11° 15'	$0.0065qr^2$	$-0.0129qr^2$	$0.1964qr$	$0.0005qr^2$	6° 29'
18	10°	$0.0051qr^2$	$-0.0102qr^2$	$0.1760qr$	$0.0003qr^2$	5° 46'
20	9°	$0.0041qr^2$	$-0.0082qr^2$	$0.1570qr$	$0.00025qr^2$	5° 11'

注: q ——圆弧梁上的均布荷载, kN/m。

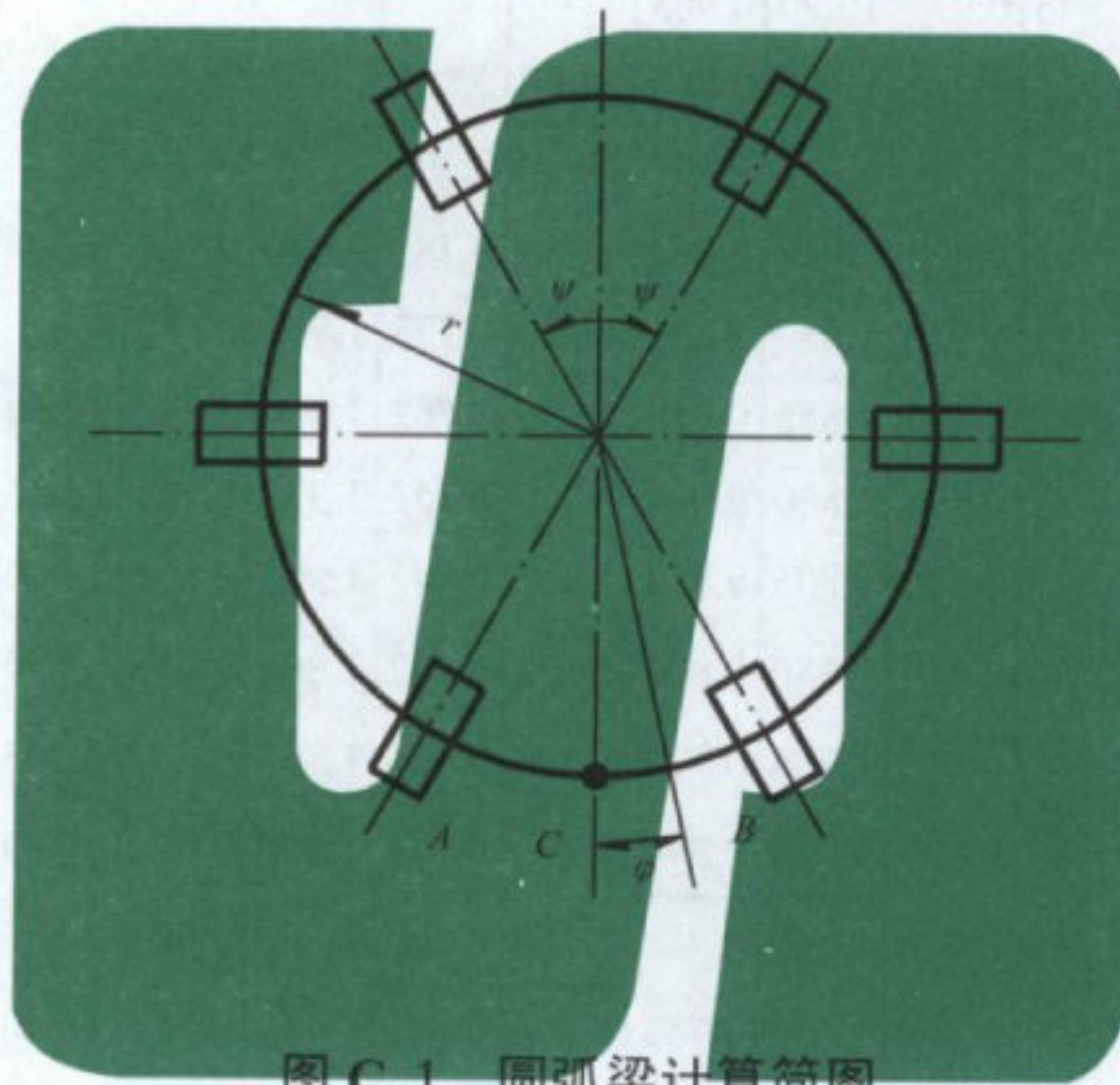


图 C.1 圆弧梁计算简图

附录 D

(资料性附录)

球罐结构的基本自振周期计算

球罐结构的基本自振周期,可按图D.1和下列公式计算:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_{eq}}{1000K}} \quad (D.1)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad (D.2)$$

$$K_1 = \frac{3nE_s A_c D_B^2}{8H_c^3} \quad (D.3)$$

$$K_2 = nK_c \left(\frac{2C_1}{C_2 + \frac{4LK_c}{E_s A}} + 1 \right) \quad (D.4)$$

$$K_c = \frac{3E_s I_c}{H_1^3} \quad (D.5)$$

$$A = \frac{1}{\frac{1}{A_b \cos^3 \theta} + \frac{\operatorname{tg}^3 \theta}{A_c}} \quad (D.6)$$

$$C_1 = 0.25\lambda_c^2 (3 - \lambda_c^2)^2 \quad (D.7)$$

$$C_2 = \lambda_c^2 (1 - \lambda_c)^3 (3 + \lambda_c) \quad (D.8)$$

$$\lambda_c = \frac{H_2}{H_1} \quad (D.9)$$

$$H_1 = H_c - L_w \quad (D.10)$$

$$L_w = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{d_c D_s}{2}} \quad (D.11)$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{H_2}{L} \quad (D.12)$$

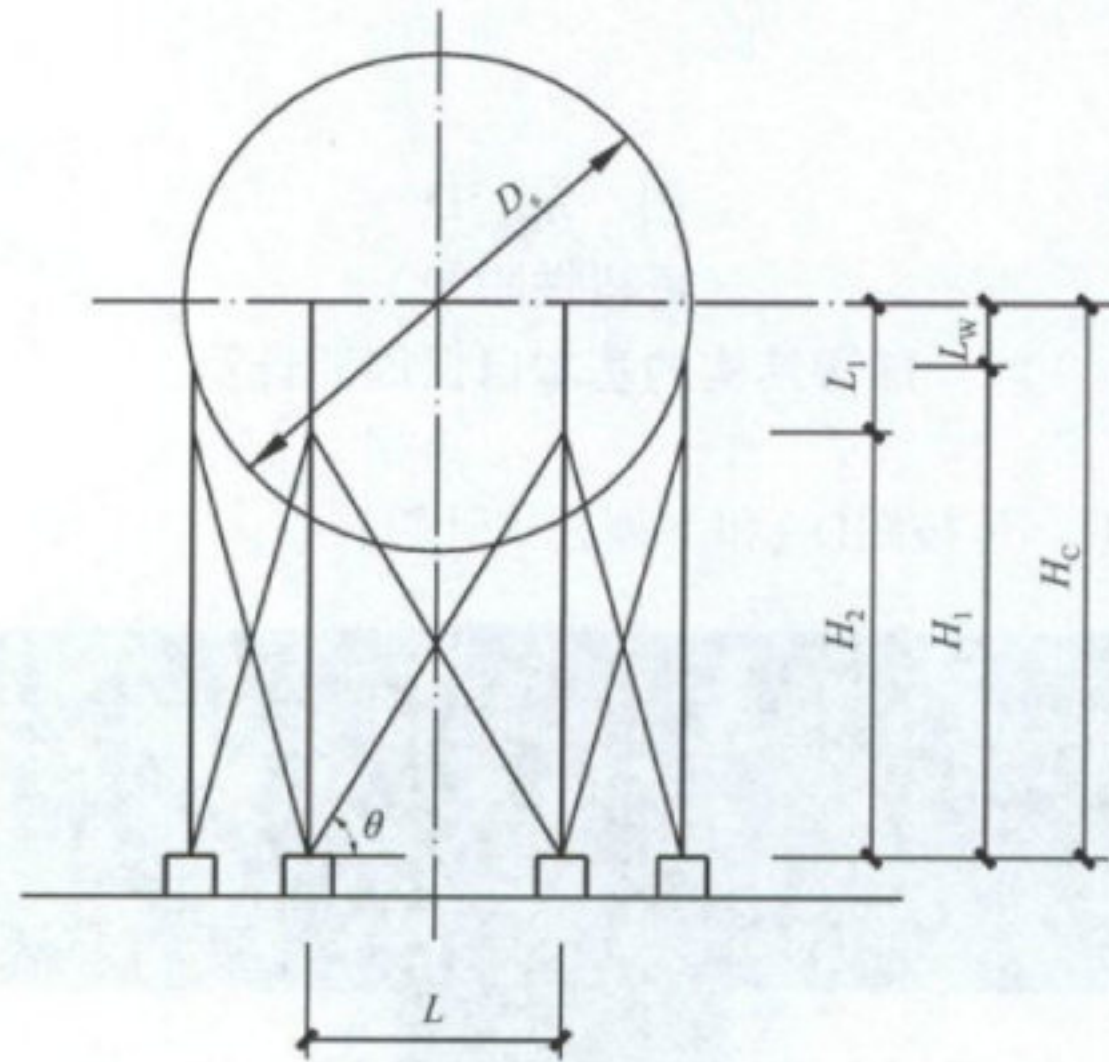


图 D.1 球罐结构简图

式中：

- T ——球罐结构的基本自振周期, s;
- K ——球罐构架的侧移刚度, N/mm;
- K_1 ——球罐构架的弯曲刚度, N/mm;
- K_2 ——球罐构架的剪变刚度, N/mm;
- K_C 、 A 、 C_1 、 C_2 、 λ_C ——计算参数或系数;
- n ——支柱根数;
- E_s ——支柱的常温弹性模量, N/mm²;
- A_C ——支柱的截面面积, mm²;
- D_B ——支柱中心圆直径, mm;
- D_s ——球罐的内直径, mm;
- H_C ——支柱底板底面至球罐中心的高度, mm;
- H_1 ——支柱的有效高度, mm;
- H_2 ——支柱底板底面至拉杆与支柱中心线交点处的距离, mm;
- L ——相邻两支柱间的距离, mm;
- I_C ——单根支柱截面的惯性矩, mm⁴;
- L_w ——支柱与球壳之间(一侧)焊缝垂直投影长度的一半, mm;
- d_C ——支柱外径, mm;
- θ ——拉杆的仰角, °;
- A_B ——拉杆的截面面积, mm²;
- m_{eq} ——球罐在操作状态下的等效质量, kg, 按 5.3.4 条的规定计算。

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国石油化工有限公司标准

石油化工球罐基础设计规范

SH/T 3062—2017

条文说明

2017 北京

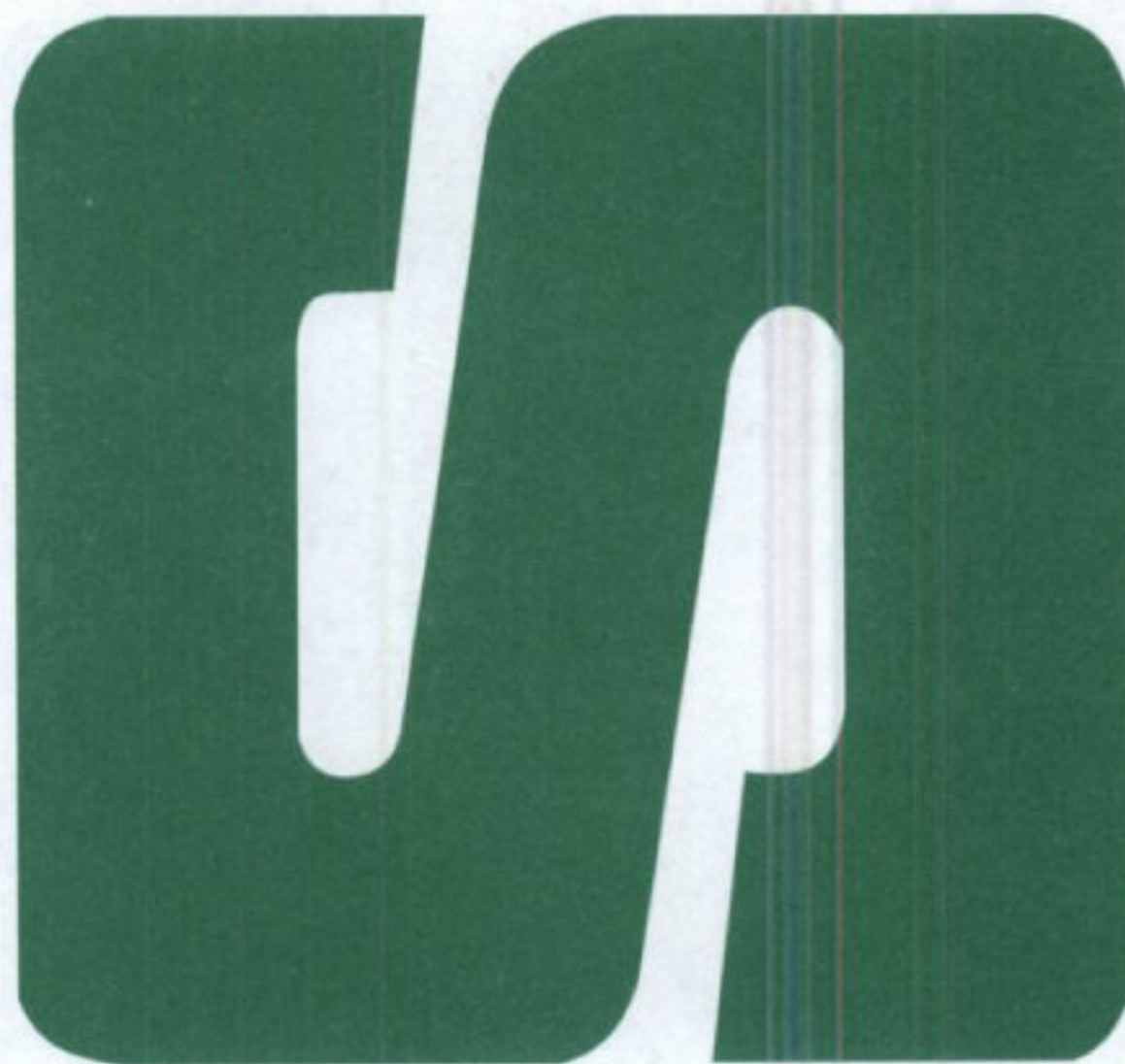
修订说明

SH/T 3062—2017《石油化工球罐基础设计规范》，经工业和信息化部 2017 年 7 月 7 日以第 32 号公告批准发布。

本规范是在 SH/T 3062—2007《石油化工球罐基础设计规范》的基础上修订而成，上一版的主编单位是中国石化工程建设公司（现中国石化工程建设有限公司），主要起草人员是高捷、聂向东、黄左坚。

本规范修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国石油化工工程建设的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，修订了一些技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《石油化工球罐基础设计规范》编制组按章、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。



目 次

1 范围	25
4 基本规定	25
4.1 一般规定	25
5 荷载与地震作用	25
5.2 风荷载	25
5.3 地震作用	25
5.4 荷载与地震作用效应组合	25
6 地基与基础	25
6.2 变形计算	25
6.3 基础设计	26

石油化工球罐基础设计规范

1 范围

球罐的种类很多，结构形式也有所不同。有拉杆式结构，其中有的拉杆是拉接在相邻支柱间，有的拉杆是隔一支柱拉接，有的是采用钢管支撑的；有V型柱式支撑结构；有三柱合一型柱式结构；此外，还有因工艺要求，将球罐放置在较高的混凝土框架上，而设有两层拉杆的结构。本规范给出的计算方法适用于拉杆在相邻支柱间的赤道正切柱式结构的球罐。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.5 球罐通常是用来储存易燃、易爆和有毒介质的高压容器，其结构形式一般都是采用赤道正切式支柱支撑。在水平地震作用下，储罐的全部质量是通过支柱支撑传递到基础。因此，本条对球罐基础的结构形式提出要求。独立基础或承台的连系梁应具有足够的刚度，当小型球罐采用单桩承台时，连系梁尚应具有足够的抗扭刚度。

5 荷载与地震作用

5.2 风荷载

5.2.1 本条将球罐表面风荷载标准值的计算公式略微调整，与《石油化工建（构）筑物结构荷载规范》GB 51006—2014一致，取消了原规范公式中的球罐附件增大系数 μ_c ，将1.1的增大系数合并入风荷载体型系数，风荷载体型系数 μ_s 由原规范的0.4改为0.45。风振系数 β_z 的计算方法仍来源于GB 12337《钢制球形储罐》。

5.3 地震作用

5.3.4 本条根据SH 3147—2014《石油化工构筑物抗震设计规范》修订了球罐水平地震作用标准值的计算方法。2007版《石油化工球罐基础设计规范》在计算球罐内储液等效质量 m_2 时，统一将罐内储液总质量乘以0.7的折减系数，本次修订，引入储液的有效质量率系数 φ ， φ 值根据球罐内液体充满程度，按本规范给出的图5.3.4查取。

5.4 荷载与地震作用效应组合

5.4.4 正常操作时球罐内储液的分项系数由原规范的1.35调整为1.3。

6 地基与基础

6.2 变形计算

6.2.1 球罐属于破坏后会产生严重次生灾害的重要构筑物，其抗震设防分类为乙类。根据球罐的重要性，其地基基础设计等级一般为乙级以上。根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007，地基基础设计等级为甲级、乙级的建筑物，均应按地基变形设计。但经长期的设计和实测数据进行验证，当地基土承

承载力特征值大于或等于 200kPa 时，地基土一般为中、低压缩性土，在场地和地基条件简单时，球罐建在这类地基上，沉降及沉降差比较小，一般不用作地基变形验算，因此，为简化计算，做此规定，但当地基压缩层范围内存在软弱土夹层时，仍应作地基变形验算。

6.2.5 球罐宜结合基础倾斜值的计算，布置勘探点。

6.3 基础设计

本节取消了圆环形基础底板的抗冲切计算。带有圆环梁的柱下钢筋混凝土圆环形基础，按 GB 50007 的要求，应验算柱边缘处圆环梁的受剪承载力。当圆环形基础底板外形尺寸符合构造要求，地基承载力特征值小于 300kPa 时，环梁边缘与基础底板交接处的抗冲切和抗剪承载力，一般都可以满足计算要求。

