

中华人民共和国国家标准

## 钢制储罐地基基础设计规范

Code for design of steel tank foundation

**GB 50473 - 2008**

主编部门：中国石油化工集团公司

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2009年8月1日

标准分享网 [www.bzfxw.com](http://www.bzfxw.com) 免费下载

中国计划出版社

2009 北 京

# 中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 171 号

## 关于发布国家标准 《钢制储罐地基基础设计规范》的公告

现批准《钢制储罐地基基础设计规范》为国家标准,编号为 GB 50473—2008,自 2009 年 8 月 1 日起实施。其中,第 3.1.1、3.3.2、3.4.1、3.5.1 条为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇〇八年十一月二十七日

### 中华人民共和国国家标准 钢制储罐地基基础设计规范

GB 50473-2008

☆

中国石油化工集团公司 主编

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

---

850×1168 毫米 1/32 1.875 印张 43 千字

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—10100 册

☆

统一书号:1580177·173

定价:10.00 元

## 前 言

本规范是根据建设部建标[2006]136号文“关于印发《2006年工程建设标准规范制定、修订计划(第二批)》的通知”的要求,由中国石油化工集团公司组织中国石化工程建设公司会同有关单位共同编制。

本规范在编制过程中,总结了多年来在钢制储罐地基基础设计和施工方面的经验,吸收近年来针对大型钢制储罐基础结构的研究成果,参考了国内外有关标准规范的内容,广泛征求了有关勘察、设计、施工和使用单位的意见,经反复讨论、修改,最后经审查定稿。

本规范共分7章和1个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、基础环墙设计、地基承载力及稳定性计算、地基变形计算、基础构造与材料。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国石油化工集团公司负责日常管理,由中国石化工程建设公司负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,并将意见和有关资料寄交中国石化工程建设公司国家标准《钢制储罐地基基础设计规范》管理组(地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号,邮政编码:100101),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人:

主 编 单 位: 中国石化工程建设公司

参 编 单 位: 中国石化集团洛阳石油化工工程公司

中国石油大庆石化工程有限公司

主要起草人: 黄左坚 谭立净 陈传金 武笑平 李立昌

任 意 孙恒志

## 目 次

|     |                   |       |
|-----|-------------------|-------|
| 1   | 总 则 .....         | ( 1 ) |
| 2   | 术语和符号 .....       | ( 2 ) |
| 2.1 | 术语 .....          | ( 2 ) |
| 2.2 | 符号 .....          | ( 2 ) |
| 3   | 基本规定 .....        | ( 5 ) |
| 3.1 | 一般规定 .....        | ( 5 ) |
| 3.2 | 基础选型 .....        | ( 7 ) |
| 3.3 | 荷载及荷载效应组合 .....   | (10)  |
| 3.4 | 抗震设防 .....        | (11)  |
| 3.5 | 环境保护 .....        | (12)  |
| 4   | 基础环墙设计 .....      | (13)  |
| 4.1 | 环墙厚度及环向力计算 .....  | (13)  |
| 4.2 | 环墙截面配筋 .....      | (15)  |
| 5   | 地基承载力及稳定性计算 ..... | (17)  |
| 5.1 | 承载力计算 .....       | (17)  |
| 5.2 | 稳定性计算 .....       | (18)  |
| 6   | 地基变形计算 .....      | (19)  |
| 6.1 | 一般规定 .....        | (19)  |
| 6.2 | 变形计算 .....        | (20)  |
| 6.3 | 地基变形观测 .....      | (22)  |
| 7   | 基础构造与材料 .....     | (23)  |
| 7.1 | 构造 .....          | (23)  |
| 7.2 | 材料 .....          | (25)  |

附录 A 圆形面积上均布荷载作用下各点  
平均附加应力系数  $\bar{\alpha}_i$  ..... (27)  
本规范用词说明 ..... (31)  
附:条文说明 ..... (33)

1 总 则

- 1.0.1 为保障钢制储罐地基基础的设计,做到经济合理、安全适用、技术先进和保护环境,制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于储存介质自重不大于  $10\text{kN/m}^3$  的原油、石化产品及其他类似液体的常压(包括微内压)立式圆筒形钢制储罐地基基础(以下简称“储罐地基基础”)的设计。
- 本规范不适用于储存低温、介质毒性程度为极度或高度危害介质、酸或碱腐蚀介质及高架储罐地基基础的设计。
- 1.0.3 储罐地基基础的设计除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 固定顶储罐 fixed roof tank

罐顶周边与罐壁顶端刚性连接的储罐。

#### 2.1.2 浮顶储罐 floating roof tank

浮顶随液面变化而上下升降的储罐,包括外浮顶储罐和内浮顶储罐。

#### 2.1.3 护坡式基础 slope protected foundation

由罐壁外的混凝土护坡或碎石护坡和护坡内的填料层、砂垫层、沥青砂绝缘层等共同组成的储罐基础。

#### 2.1.4 环墙式基础 ringwall foundation

由罐壁下的钢筋混凝土环墙和环墙内的填料层、砂垫层、沥青砂绝缘层等共同组成的储罐基础。

#### 2.1.5 外环墙式基础 outside ringwall foundation

由罐壁外的钢筋混凝土环墙和环墙内的填料层、砂垫层、沥青砂绝缘层等共同组成的储罐基础。

#### 2.1.6 桩基基础 pile foundation

由灌注桩或预制桩和连接于桩顶的钢筋混凝土桩承台及承台上的填料层、砂垫层、沥青砂绝缘层等共同组成的储罐基础。

### 2.2 符 号

#### 2.2.1 作用和作用效应

$F_t$ ——环墙单位高度环向力设计值;

$F_{t0}$ ——外环墙单位高度环向力设计值;

$f_a$ ——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的合重;

$g_k$ ——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;

$P_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时储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  $\Delta Z$  的土层计算沉降量。

#### 2.2.2 计算指标

$E_{si}$ ——储罐基础底面下第  $i$  层土的压缩模量;

$E_{s0.1-0.2}$ ——地基土在 100~200kPa 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;

$\gamma_c$ ——环墙的重度;

$\gamma_L$ ——罐内使用阶段储存介质的重度;

$\gamma_m$ ——环墙内各层填充材料的平均重度;

$\gamma_w$ ——水的重度。

#### 2.2.3 几何参数

$A$ ——储罐基础底面面积;

$A_s$ 、 $A_{s0}$ ——环墙、外环墙单位高环向钢筋的截面面积;

$b$ ——环墙厚度;

$b_1$ ——外环墙内侧至罐壁内侧距离;

$D_t$ ——储罐罐壁底圈内直径;

$H$ ——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。

#### 2.2.4 计算系数及其他

$K$ ——环墙侧压力系数;

$\bar{\alpha}_i$ ——平均附加应力系数;

$\beta$ ——罐壁伸入环墙顶面宽度系数;

$\gamma$ ——罐体自重分项系数;

$\gamma_0$ ——重要性系数;

$\gamma_{qm}$ ——环墙内各层填充材料自重分项系数;

$\gamma_{qw}$ ——水自重分项系数;

$\psi_s$ ——沉降计算经验系数。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

3.1.1 储罐地基基础工程在设计前,应对建筑场地进行岩土工程勘察。

3.1.2 储罐地基基础设计等级应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

3.1.3 当储罐基础地基为特殊性土及地震作用地基土有液化,或地基土的承载力及沉降差不能满足设计要求时,应对地基进行处理或采取深基础等措施;当有不良地质作用和地质灾害时,应进行专门的岩土工程勘察。

3.1.4 建筑场地岩土工程勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定,并应满足下列要求:

1 储罐中心及边缘宜布置勘探点,勘探点数量应根据储罐的型式、容积、地基复杂程度等确定。详细勘察阶段每台储罐地基勘探点数量也可按表 3.1.4-1 采用,其中控制性勘探点的数量宜取勘探点总数的 1/5~1/3。

表 3.1.4-1 每台储罐地基勘探点数量

| 地基复杂程度 | 储罐公称容积( $m^3$ ) |       |             |       |        |        |
|--------|-----------------|-------|-------------|-------|--------|--------|
|        | $\leq 5000$     | 10000 | 20000~30000 | 50000 | 100000 | 150000 |
| 简单场地   | 3               | 3~5   | 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 勘探孔深度应符合下列要求:

1) 一般性勘探孔深度可根据地基情况和储罐的容积按表 3.1.4-2 确定,或到基岩顶面;

2) 控制性勘探孔深度,土质地基应按一般性勘探孔的深度加 10m;岩质地基应按一般性勘探孔的深度加 5m,并宜进入中风化基岩不小于 1m。

表 3.1.4-2 一般性勘探孔深度

| 储罐公称容积( $m^3$ ) | 一般地基(m)           | 软土地基(m)           |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| $\leq 5000$     | $1.0 \sim 1.2D_t$ | $1.2 \sim 1.5D_t$ |
| 10000           | $1.0 \sim 1.2D_t$ | $1.2 \sim 1.5D_t$ |
| 20000~30000     | $0.9 \sim 1.0D_t$ | $1.0 \sim 1.1D_t$ |
| 50000           | $0.7 \sim 0.8D_t$ | $0.8 \sim 0.9D_t$ |
| $\geq 100000$   | $0.6 \sim 0.7D_t$ | $0.7 \sim 0.8D_t$ |

### 3 岩土工程勘察报告应包括下列内容:

- 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、不良地质作用、地层成层条件、各岩土层的物理力学性质、场地的稳定性、岩土的均匀性、岩土的承载力特征值、压缩系数、压缩模量、地下水、土和水对建筑材料的腐蚀性、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、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和有效内摩擦角、内聚力、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,尚应探明建筑场区地基的滑坡、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,确定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) 特殊性土地基:除按一般地基要求外,尚应按相关国家现

行标准提供对特殊土地基的利用、整治和改造的建议。

3.1.5 储罐基础下的耕土层、软弱土、暗塘、暗沟及生活垃圾等均应清除,并应采用素土、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。

3.1.6 储罐基础不宜建在部分坚硬、部分松软的地基上,当无法避免时,应采取有效的处理措施。

3.1.7 当储罐不设置锚固螺栓时,储罐基础设计可不计入风荷载作用。

3.1.8 当储罐不设置锚固螺栓时,非桩基基础设计可不计入地震作用,但应满足抗震措施要求。

3.1.9 当场地土、地下水对混凝土有腐蚀性时,应对储罐基础采取防腐蚀措施,并应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的有关规定。

## 3.2 基础选型

3.2.1 储罐基础的型式可分为护坡式基础、环墙式基础、外环墙式基础和桩基基础。

3.2.2 储罐基础选型应根据储罐的型式、容积、场地地质条件、地基处理方法、施工技术条件和经济合理性等综合确定。

3.2.3 储罐基础根据场地和地质条件选型时,应符合下列规定:

1 当天然地基承载力特征值大于或等于基底平均压力、地基变形满足本规范第 6.1.3 条规定的允许值且场地不受限制时,宜采用护坡式基础,也可采用环墙式或外环墙式基础(图 3.2.3-1~图 3.2.3-3)。

2 当天然地基承载力特征值小于基底平均压力、但地基变形满足本规范第 6.1.3 条规定的允许值,且经过地基处理后或经充水预压后能满足承载力的要求时,宜采用环墙式基础,也可采用外环墙式基础或护坡式基础(图 3.2.3-1~图 3.2.3-3)。



3 当天然地基承载力特征值小于基底平均压力、地基变形不能满足本规范第 6.1.3 条规定的允许值、地震作用下地基有液化土层,经过地基处理或充水预压后能满足承载力的要求和本规范第 6.1.3 条规定的允许值要求或液化土层消除程度满足有关规定时,宜采用环墙式基础(图 3.2.3-2);当地基处理有困难或不做处理时,宜采用桩基基础(图 3.2.3-4)。

4 当建筑场地受限制及储罐设备有特殊要求时,应采用环墙式基础(图 3.2.3-2)。

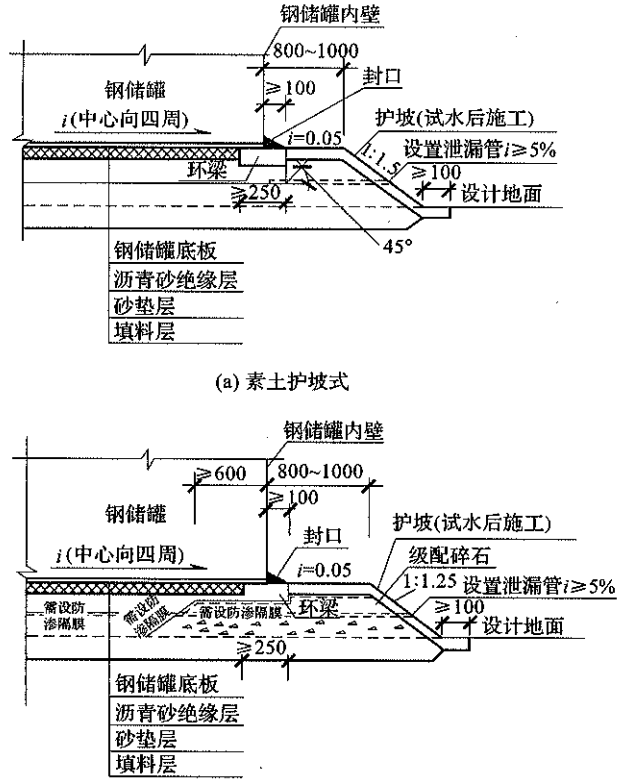


图 3.2.3-1 护坡式基础

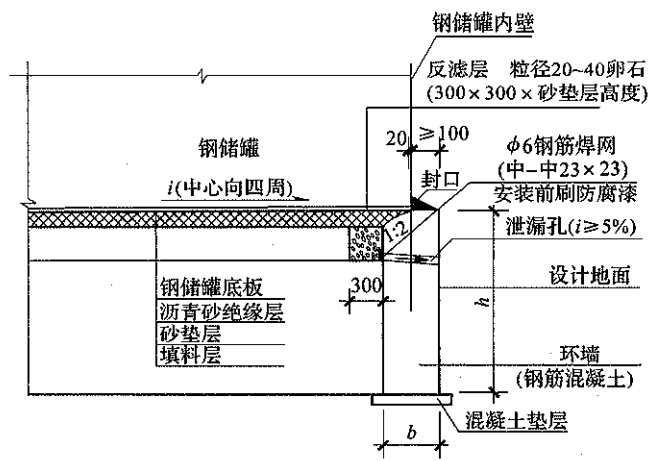


图 3.2.3-2 环墙式基础  
b—环墙厚度(m);h—环墙高度(m)

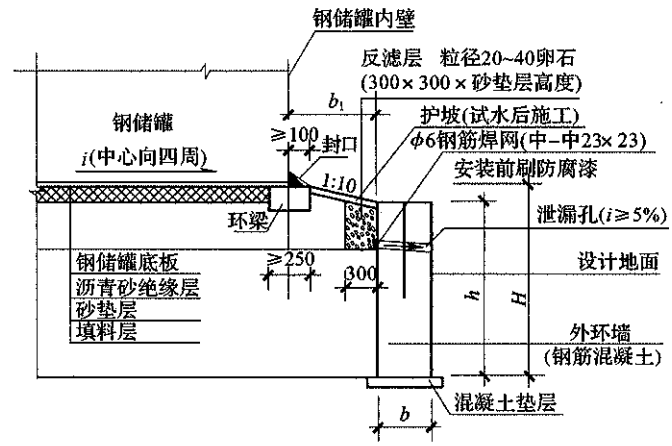


图 3.2.3-3 外环墙式基础  
b—环墙厚度(m);h—环墙高度(m);b<sub>1</sub>—外环墙内侧至罐壁内侧距离(m);  
H—罐底至外环墙底高度(m)

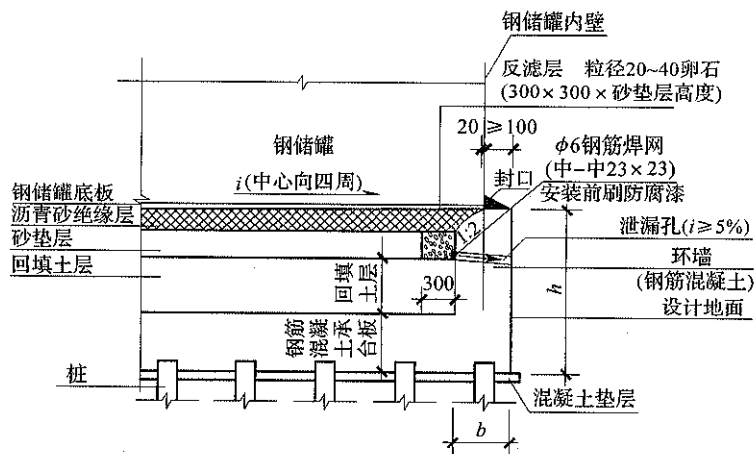


图 3.2.3-4 桩基基础

### 3.3 荷载及荷载效应组合

#### 3.3.1 储罐基础上的荷载分类,应符合下列规定:

- 1 永久荷载:储罐自重(包括保温及附件自重)、基础自重和基础上的土重等。
- 2 可变荷载:储罐中的储液重或储罐中充水试压的水重,风荷载。

#### 3.3.2 储罐地基基础设计时,荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应符合下列规定:

- 1 验算地基承载力或按单桩承载力确定桩数时,传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合;相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值。
- 2 计算地基变形时,传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用;相应的限值应为储罐地基变形允许值。

- 3 计算地基稳定时,荷载效应应按承载力极限状态下荷载

效应的基本组合,但其分项系数均应为 1.0。

4 在计算基础环墙环向力和承台内力、确定配筋及验算材料强度时,上部结构传至基础的荷载效应组合,应按承载力极限状态下荷载效应的基本组合,并应采用相应的分项系数。当需验算基础裂缝宽度时,应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。

#### 3.3.3 基本组合永久荷载分项系数,应符合下列规定:

- 1 储罐自重(包括保温及附件自重)应取 1.2。
- 2 基础自重和基础上的土重应取 1.2。

#### 3.3.4 基本组合可变荷载分项系数,应符合下列规定:

- 1 储罐中充水试压时水重应取 1.1。
- 2 储罐中储液应取 1.3。
- 3 储罐的风荷载应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

#### 3.3.5 准永久值系数,应符合下列规定:

- 1 储罐充水试压时水重应取 0.85。
- 2 储罐中储液应取 1.0。

### 3.4 抗震设防

#### 3.4.1 大型罐区工程应对建筑场地进行地震安全性评价。

3.4.2 容积大于 50000m<sup>3</sup> 的储罐基础抗震设防分类应为乙类;容积小于或等于 50000m<sup>3</sup> 的储罐基础抗震设防分类应为丙类。

3.4.3 饱和砂土和饱和粉土的液化判别和地基处理,应符合下列要求:

1 抗震设防烈度为 6 度时,容积小于或等于 50000m<sup>3</sup> 的储罐可不进行判别和地基处理,容积大于 50000m<sup>3</sup> 的储罐应按抗震设防烈度为 7 度的要求进行判别和地基处理。

2 抗震设防烈度为 7 度和 8 度时,应进行判别和地基处理,并根据储罐基础的抗震设防类别和地基的液化等级采取抗液化措施。

3.4.4 储罐基础的地震作用计算应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定。

### 3.5 环境保护

3.5.1 当储罐基础坐落在静流水源地或储存不可降解介质,且储罐存储介质泄漏会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。

3.5.2 储罐基础设计时,应设置渗漏检测设施。

3.5.3 储罐基础可采取下列防渗漏措施:

1 可采用压实系数不小于 0.97、厚度大于 500mm 的黏土层。

2 经济条件允许及对环境保护要求严格时,也可采用防渗土工膜及相关的配套设施。

## 4 基础环墙设计

### 4.1 环墙厚度及环向力计算

4.1.1 基础环墙宜按本章的有关规定进行内力计算,也可根据实际地基情况进行整体结构分析。

4.1.2 当罐壁位于环墙顶面时(图 4.1.2),环墙的厚度可按下式计算:

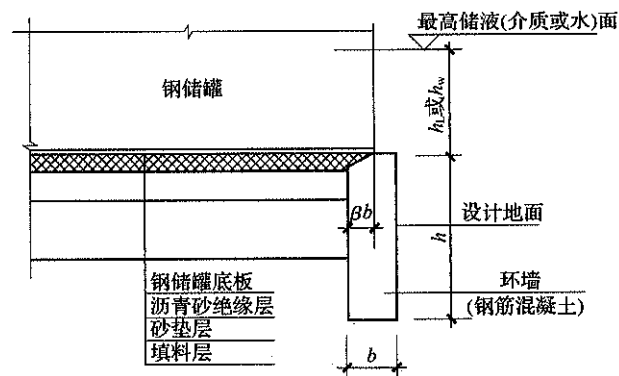


图 4.1.2 环墙示意

$$b = \frac{g_k}{(1-\beta)\gamma_L h_L - (\gamma_c - \gamma_m)h} \quad (4.1.2)$$

式中  $b$ ——环墙厚度(m);

$g_k$ ——罐壁底端传至环墙顶端的竖向线分布荷载标准值(当有保温层时,尚应包括保温层的荷载标准值)(kN/m);

$\beta$ ——罐壁伸入环墙顶面宽度系数,可取 0.4~0.6;

$\gamma_c$ ——环墙的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$\gamma_L$ ——罐内使用阶段储存介质的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$\gamma_m$ ——环墙内各层材料的平均重度(kN/m<sup>3</sup>);

$h_L$ ——环墙顶面至罐内最高储液面高度(m);

$h$ ——环墙高度(m)。

4.1.3 环墙(图 4.1.2)单位高度环向力设计值,可按下列公式计算:

1 充水试压时,可按下列式计算:

$$F_t = \left( \gamma_{Qw} \gamma_w h_w + \frac{1}{2} \gamma_{Qm} \gamma_m h \right) KR \quad (4.1.3-1)$$

式中  $F_t$ ——环墙单位高度环向力设计值(kN/m);

$\gamma_{Qw}$ 、 $\gamma_{Qm}$ ——水、环墙内各层材料自重分项系数,  $\gamma_{Qw}$  可取 1.1,  $\gamma_{Qm}$  可取 1.2;

$\gamma_w$ 、 $\gamma_m$ ——水的重度、环墙内各层材料的平均重度(kN/m<sup>3</sup>),  $\gamma_w$  可取 9.8,  $\gamma_m$  宜取 18.0;

$h_w$ ——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 0.5;

$R$ ——环墙中心线半径(m)。

2 正常使用时,可按下列式计算:

$$F_t = \left( \gamma_{QL} \gamma_L h_L + \frac{1}{2} \gamma_{Qm} \gamma_m h \right) KR \quad (4.1.3-2)$$

式中  $F_t$ ——环墙单位高度环向力设计值(kN/m);

$\gamma_{QL}$ ——使用阶段储存介质分项系数,取 1.30;

$\gamma_L$ ——使用阶段储存介质的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$h_L$ ——环墙顶面至罐内最高储液面高度(m)。

4.1.4 外环墙(图 4.1.4)单位高度环向力设计值,可按下列公式计算:

1 当  $b_1 \leq H$  时,可按下列公式计算:

1) 在 45° 扩散角以下的部分:

充水试压时:

$$F_{t0} = \left( \frac{1}{2} \gamma_{Qm} \gamma_m H + \gamma \frac{g_k}{2b_1} + \gamma_{Qw} \gamma_w h_w \frac{R_i^2}{R_h^2} \right) KR \quad (4.1.4-1)$$

正常使用时:

$$F_{t0} = \left( \frac{1}{2} \gamma_{Qm} \gamma_m H + \gamma \frac{g_k}{2b_1} + \gamma_{QL} \gamma_L h_L \frac{R_i^2}{R_h^2} \right) KR \quad (4.1.4-2)$$

2) 在 45° 扩散角以上的部分:

$$F_{t0} = \left( \frac{1}{2} \gamma_{Qm} \gamma_m b_1 \right) KR \quad (4.1.4-3)$$

2 当  $b_1 > H$  时可按下列式计算:

$$F_{t0} = \frac{1}{2} \gamma_{Qm} \gamma_m HKR \quad (4.1.4-4)$$

式中  $F_{t0}$ ——外环墙单位高度环向力设计值(kN/m);

$\gamma$ ——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);

$R_h$ ——外环墙内侧半径(m);

$R_i$ ——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)。

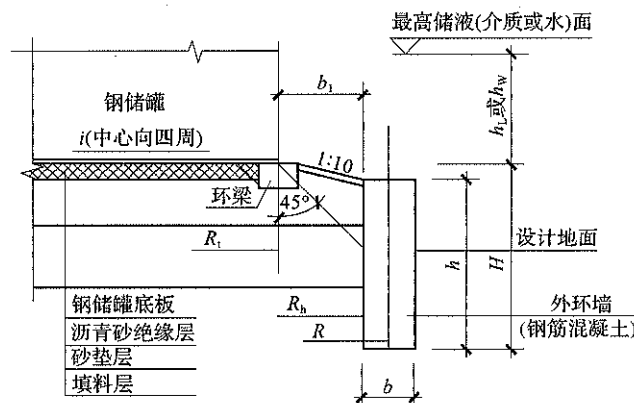


图 4.1.4 外环墙示意

## 4.2 环墙截面配筋

4.2.1 环墙单位高度环向钢筋的截面面积,可按下列式计算:

$$A_s = \frac{\gamma_0 F_t}{f_y} \quad (4.2.1)$$

式中  $A_s$ ——环墙单位高度环向钢筋的截面面积( $\text{mm}^2$ );  
 $\gamma_0$ ——重要性系数,取 1.0;  
 $f_y$ ——钢筋的抗拉强度设计值( $\text{kN}/\text{mm}^2$ );  
 $F_t$ ——环墙单位高度环向力设计值( $\text{kN}/\text{m}$ ),取式 4.1.3-1 和式 4.1.3-2 的较大值。

4.2.2 外环墙单位高度环向钢筋的截面面积,可按式计算:

$$A_{s0} = \frac{\gamma_0 F_{t0}}{f_y} \quad (4.2.2)$$

式中  $A_{s0}$ ——外环墙单位高度环向钢筋的截面面积( $\text{mm}^2$ );  
 $F_{t0}$ ——外环墙单位高度环向力设计值( $\text{kN}/\text{m}$ ),当  $b_1 \leq H$  时,在  $45^\circ$  扩散角以下的部分取式 4.1.4-1 和式 4.1.4-2 的较大值。

## 5 地基承载力及稳定性计算

### 5.1 承载力计算

5.1.1 对天然地基或处理后的地基上的储罐基础,其底面(持力层顶面)处的压力应符合下式要求:

$$P_k \leq f_a \quad (5.1.1)$$

式中  $P_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面平均压力值( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值( $\text{kN}/\text{m}^2$ )。

5.1.2 储罐基础底面处的平均压力设计值可按式计算:

$$P_k = \frac{F_k + G_k}{A} \quad (5.1.2)$$

式中  $F_k$ ——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( $\text{kN}$ );

$G_k$ ——基础自重和基础上的土重( $\text{kN}$ );

$A$ ——储罐基础底面面积( $\text{m}^2$ ),对环墙式基础,计算直径应取环墙外直径;对护坡式、外环墙式基础,计算直径应取储罐罐壁底圈内直径。

5.1.3 储罐桩基基础的设计应符合下列规定:

- 1 桩基可采用预制方桩、钢筋混凝土灌注桩和预应力管桩等。
- 2 桩基设计应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。
- 3 挤土桩的桩筏基础,应采取减少挤土效应对储罐基础的不利影响的措施。

## 5.2 稳定性计算

5.2.1 对于采用预压排水固结法加固的软土地基和位于斜坡、陡坎边缘、已填塞或掩埋的旧河道,以及深坑边缘地带的地基,应对整体和局部地基进行抗滑稳定性计算。

5.2.2 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,应符合下式要求:

$$\frac{M_R}{M_s} \geq 1.2 \quad (5.2.2)$$

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

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

## 6 地基变形计算

### 6.1 一般规定

6.1.1 地基变形特征可分为储罐基础沉降、储罐基础整体倾斜(平面倾斜)、储罐基础周边不均匀沉降(非平面倾斜)及储罐中心与储罐周边的沉降差(储罐基础锥面坡度)。

6.1.2 计算地基变形时,应符合下列规定:

1 由于荷载、地基不均匀等因素引起的地基变形,对不同型式与容积的储罐应按不同允许变形值来控制。

2 储罐基础应根据在充水预(试)压期间和使用期间的地基变形值,确定储罐基础预抬高后的标高及与管线的连接形式和施工顺序;对于外环墙式基础,应验算地基变形稳定的储罐罐壁底端标高,储罐罐壁底端标高应高于外环墙顶标高,且走道向外坡度不应小于 0.1。

6.1.3 储罐地基变形允许值应按表 6.1.3 采用:

表 6.1.3 储罐地基变形允许值

| 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                                                                                       |
|------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 整体倾斜<br>(任意直径方向) | 浮顶罐与内浮顶罐 | $D_i \leq 22$<br>$22 < D_i \leq 30$<br>$30 < D_i \leq 40$<br>$40 < D_i \leq 60$<br>$60 < D_i \leq 80$<br>$D_i > 80$ | $0.0070 D_i$<br>$0.0060 D_i$<br>$0.0050 D_i$<br>$0.0040 D_i$<br>$0.0035 D_i$<br>$0.0030 D_i$ |
|                  | 固定顶罐     | $D_i \leq 22$<br>$22 < D_i \leq 30$<br>$30 < D_i \leq 40$<br>$40 < D_i \leq 60$                                     | $0.015 D_i$<br>$0.010 D_i$<br>$0.009 D_i$<br>$0.008 D_i$                                     |

续表 6.1.3

| 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                   |
|---------------|--------------------|---------|--------------------------|
| 罐周边不均匀沉降      | 浮顶罐与内浮顶罐           | —       | $\Delta S/l \leq 0.0025$ |
|               | 固定顶罐               | —       | $\Delta S/l \leq 0.0040$ |
| 储罐中心与储罐周边的沉降差 | 沉降稳定后 $\geq 0.008$ |         |                          |

注:1  $D_i$  为储罐罐壁底圈内直径(m);

2  $\Delta S$  为储罐周边相邻测点的沉降差(mm);

3  $l$  为储罐周边相邻测点的间距(mm)。

6.1.4 储罐安装前,基础正锥形顶面自中心向周边的坡度宜为 15%~35%。

## 6.2 变形计算

6.2.1 当储罐基础处于下列情况之一时,应做变形量计算:

- 1 当储罐地基基础设计等级为甲级或乙级时。
- 2 当天然地基承载力不能满足要求或地基土有软弱土层时。
- 3 当储罐基础有可能发生倾斜时。
- 4 当储罐基础持力层有厚薄不均匀的地基土时。

6.2.2 地基沉降量可采用分层总和法进行计算,最终沉降量可按下式计算:

$$S = \psi_s S' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{si}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (6.2.2)$$

式中  $S$ ——地基最终沉降量(mm);

$S'$ ——按分层总和法计算出的地基沉降量(mm);

$\psi_s$ ——沉降计算经验系数,可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定采用;

$n$ ——储罐基础沉降计算深度范围内所划分的土层数(图 6.2.2);

$P_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时储罐基础计算底面处

的附加压力(kPa),见本规范第 6.2.3 条;

$E_{si}$ ——储罐基础底面下第  $i$  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;

$Z_i, Z_{i-1}$ ——储罐基础底面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离(m);

$\bar{\alpha}_i, \bar{\alpha}_{i-1}$ ——储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,可按附录 A 采用。

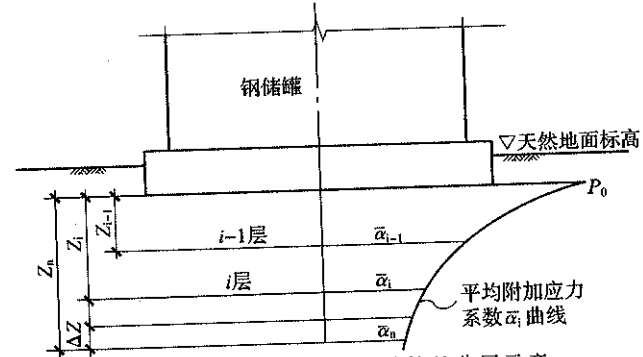


图 6.2.2 储罐基础沉降计算的分层示意

$Z_n$ ——地基变形计算深度(m)

6.2.3 地基变形计算深度(图 6.2.2),应符合下式要求:

$$\Delta S_n' \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta S_i' \quad (6.2.3)$$

式中  $\Delta S_i'$ ——在计算深度范围内,第  $i$  层土的计算变形值;

$\Delta S_n'$ ——由计算深度向上取厚度为  $\Delta Z$  的土层计算变形值, $\Delta Z$ (图 6.2.2)宜按表 6.2.3 确定;

表 6.2.3  $\Delta Z$  值

| $D_i$ (m)      | $8 < D_i \leq 15$ | $15 < D_i \leq 30$ | $30 < D_i \leq 60$ | $60 < D_i \leq 80$ | $80 < D_i \leq 100$ | $D_i > 100$ |
|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| $\Delta Z$ (m) | 0.92~1.11         | 1.11~1.32          | 1.32~1.53          | 1.53~1.62          | 1.62~1.68           | 1.68        |

如确定的计算深度下部仍有较软土层时,应继续计算。

注:地基变形计算深度  $Z_n$ , 当为环墙式储罐基础时, 储罐周边和储罐中心处均自环墙底面算起,  $P_0$  值为环墙底面处的附加压力, 当环墙底至填料层之间的原土层较厚时, 尚应计算该土层的附加变形值; 当为护坡式、外环墙式储罐基础时, 储罐周边和储罐中心处均自填料层底面算起,  $P_0$  值为填料层底面处的附加压力。

6.2.4 桩基础变形计算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行, 变形允许值应满足本规范表 6.1.3 的要求。

### 6.3 地基变形观测

6.3.1 地基变形观测应符合下列要求:

1 在储罐充水预(试)压和投产使用期间, 应对储罐基础的地基变形进行观测; 变形观测应在储罐基础完工后、储罐充水前、充水过程、充满水稳压阶段、放水过程、放水后及投产使用等各个时段进行。

2 充水预压地基应进行沉降观测, 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。

3 变形观测应设专人定期进行, 在充水预压阶段每天不应少于 1 次并应作好记录, 测量精度宜采用 II 级水准测量。

4 充水预压过程中如发现储罐地基基础沉降有异常, 应立即停止充水, 并应待处理后继续充水。

5 充水预压的监测与监测报告的编制应符合国家现行标准《石油化工钢储罐地基充水预压监测规程》SH/T 3123 的有关规定。

6.3.2 每台储罐基础应设置沉降观测点; 沉降观测点宜沿罐基础周边均匀布置, 沉降观测点设置数量应符合表 6.3.2 的要求:

表 6.3.2 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) |
|-----------------|------------|-----------------|------------|
| 1000 及以下        | 4          | 20000           | 16         |
| 2000            | 4          | 30000           | 24         |
| 3000            | 8          | 50000           | 24         |
| 5000            | 8          | 100000          | 26         |
| 10000           | 12         | 150000          | 32         |

## 7 基础构造与材料

### 7.1 构造

7.1.1 当选用护坡式、外环墙式基础时, 宜在罐壁底面位置设置一道钢筋混凝土环梁。环梁可采用矩形截面梁, 环梁宽可按本规范式 4.1.2 计算确定, 且不宜小于 250mm; 环梁高可与环梁宽相同。钢筋混凝土环梁的配筋可按构造要求配置。

7.1.2 储罐基础顶面周边高出设计地面高度(不含预抬高的高度)不宜小于 300mm。

7.1.3 储罐基础顶面应设置沥青砂绝缘层; 沥青砂绝缘层厚度宜为 80~150mm, 压实系数不应小于 0.95。中砂与石油沥青的重量配比宜为 93:7; 基础表面的沥青砂绝缘层在任意方向上不应有突起的棱角, 从中心向周边拉线测量基础表面凹凸度不应超过 25mm。

7.1.4 沥青砂绝缘层下面, 应设置中粗砂垫层; 中粗砂垫层厚度不宜小于 300mm。压实系数不应小于 0.96。

7.1.5 中粗砂垫层下回填土层的压实系数不应小于 0.96。

7.1.6 护坡式基础顶面的人行道宽度宜为 800~1000mm。

7.1.7 护坡式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, 护坡厚度不宜小于 100mm; 当采用浆砌毛石护坡时, 护坡厚度不应小于 200mm。护坡施工应待储罐充水试压后进行。

7.1.8 除基岩地基外, 环墙式基础的埋深(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; 在寒冷地区储罐基础埋深宜满足冻土深度要求, 无法满足时应采取防冻胀措施。



7.1.9 钢筋混凝土环墙厚度不宜小于 250mm,环墙顶面应在储罐内壁向中心 20mm 处做成 1:2 的坡度,储罐内壁至环墙外缘尺寸不宜小于 100mm(图 7.1.14)。

7.1.10 储罐基础应设置泄漏孔。泄漏孔应沿储罐周均匀设置,泄漏孔间距宜为 10~15m,孔径宜为  $\Phi 50$ ,泄漏孔进口处孔底宜与砂垫层底标高相同,并应以不小于 5% 的坡度坡向环墙外侧;泄漏孔出口处应高于设计地面,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(图 3.2.3-1~图 3.2.3-4)。

7.1.11 钢筋混凝土环墙顶面宜设置厚度为 20~30mm 的 1:2 水泥砂浆或厚度为 50mm 的 C30 细石混凝土找平层,环墙顶面的水平度在表面任意 10m 弧长上不应超过  $\pm 3.5\text{mm}$ ,在整个圆周上,从平均的标高计算不应超过  $\pm 6.5\text{mm}$ 。

7.1.12 钢筋混凝土环墙不宜开缺口。当罐体安装要求必需留施工缺口时,环向钢筋应错开截断,待罐体安装结束后,应采用比环墙混凝土强度等级高一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。

7.1.13 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不应小于 40mm。

7.1.14 钢筋混凝土环墙的配筋(图 7.1.14),应符合下列要求:

1 环向受力钢筋的截面最小总配筋率不应小于 0.4%,且应按环墙的全截面面积计算。对于公称容积不小于  $10000\text{m}^3$  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根附加环向钢筋,钢筋直径应与环墙的环向受力筋相同。

2 环墙每侧竖向钢筋的最小配筋率不应小于 0.15%,钢筋直径宜为 12~18mm,间距宜为 150~200mm,竖向钢筋宜为封闭式。

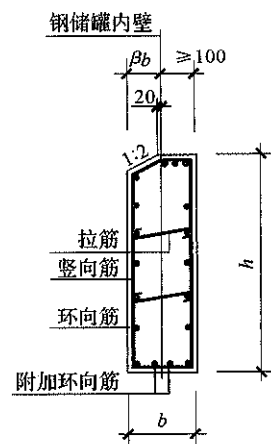


图 7.1.14 环墙配筋

7.1.15 环向受力钢筋接头应采用机械连接或焊接连接。

7.1.16 钢筋混凝土环墙弧长大于 40m 时,宜留宽度为 900~1000mm 的后浇带,并应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,或采取其他有效措施。当有成熟的经验和可靠的保证措施时,后浇带的间距可适当放宽。

7.1.17 储罐前操作平台的基础应与钢筋混凝土环墙基础分开。

7.1.18 当储罐内储存介质最高温度高于  $90^{\circ}\text{C}$  时,与罐底接触的罐基础表面,应采取隔热措施。

7.1.19 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和罐体未保温前进行。

## 7.2 材 料

7.2.1 填料层的回填土宜采用黏性土,不得采用淤泥、耕土、膨胀土、冻土,以及有机杂质含量大于 5% 的土料。

7.2.2 砂垫层宜采用质地坚硬的中、粗砂,也可采用最大粒径不大于 20mm 的砂石混合料,不得含有草根等有机杂质,含泥量不得大于 5%,不得采用粉砂和冰结砂。

7.2.3 沥青砂绝缘层应采用中砂配制,含泥量不得大于 5%。

7.2.4 用于沥青砂绝缘层的沥青材料,当储罐内介质温度低于 80℃ 时,宜采用 60 号甲、乙道路石油沥青,也可采用 30 号甲、乙建筑石油沥青;当储罐内介质温度等于或高于 80℃ 时,宜采用 30 号甲、乙建筑石油沥青。

7.2.5 储罐基础环墙的混凝土强度等级不应低于 C25;环向钢筋宜采用 HRB335 级或 HRB400 级钢筋,竖向钢筋宜采用 HPB235 级或 HRB335 级钢筋。

## 附录 A 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 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 | 0.99334 | 0.96698 | 0.49186 |
| 0.2 | 0.99808 | 0.99801 | 0.99778 | 0.99732 | 0.99650 | 0.99496 | 0.99184 | 0.98461 | 0.96439 | 0.89180 | 0.48391 |
| 0.3 | 0.99381 | 0.99359 | 0.99291 | 0.99157 | 0.98920 | 0.98497 | 0.97697 | 0.96056 | 0.92302 | 0.82577 | 0.47580 |
| 0.4 | 0.98623 | 0.98578 | 0.98439 | 0.98173 | 0.97715 | 0.96933 | 0.95558 | 0.93014 | 0.88005 | 0.77323 | 0.46759 |
| 0.5 | 0.97508 | 0.97435 | 0.97208 | 0.96784 | 0.96075 | 0.94916 | 0.92999 | 0.89737 | 0.83959 | 0.73070 | 0.45927 |
| 0.6 | 0.96053 | 0.95949 | 0.95630 | 0.95044 | 0.94088 | 0.92585 | 0.90222 | 0.86451 | 0.80259 | 0.69518 | 0.45088 |
| 0.7 | 0.94302 | 0.94169 | 0.93762 | 0.93025 | 0.91852 | 0.90064 | 0.87367 | 0.83266 | 0.76894 | 0.66467 | 0.44242 |
| 0.8 | 0.92313 | 0.92154 | 0.91671 | 0.90805 | 0.89455 | 0.87450 | 0.84519 | 0.80226 | 0.73824 | 0.63786 | 0.43393 |
| 0.9 | 0.90149 | 0.89968 | 0.89422 | 0.88455 | 0.86969 | 0.84809 | 0.81729 | 0.77346 | 0.71009 | 0.61336 | 0.42542 |
| 1.0 | 0.87868 | 0.87670 | 0.87076 | 0.86033 | 0.84451 | 0.82189 | 0.79027 | 0.74626 | 0.68412 | 0.59207 | 0.41693 |
| 1.1 | 0.85520 | 0.85310 | 0.84682 | 0.83587 | 0.81942 | 0.79620 | 0.76427 | 0.72058 | 0.66004 | 0.57207 | 0.40849 |
| 1.2 | 0.83147 | 0.82929 | 0.82279 | 0.81151 | 0.79471 | 0.77124 | 0.73936 | 0.69634 | 0.63759 | 0.55353 | 0.40012 |
| 1.3 | 0.80782 | 0.80560 | 0.79897 | 0.78752 | 0.77058 | 0.74712 | 0.71570 | 0.67344 | 0.61659 | 0.53625 | 0.39184 |
| 1.4 | 0.78450 | 0.78225 | 0.77557 | 0.76409 | 0.74718 | 0.72392 | 0.69287 | 0.65180 | 0.59688 | 0.52004 | 0.38368 |
| 1.5 | 0.76168 | 0.75944 | 0.75277 | 0.74134 | 0.72459 | 0.70166 | 0.67125 | 0.63131 | 0.57832 | 0.50477 | 0.37565 |
| 1.6 | 0.73950 | 0.73728 | 0.73067 | 0.71936 | 0.70286 | 0.68036 | 0.65068 | 0.61191 | 0.56080 | 0.49035 | 0.36776 |
| 1.7 | 0.71804 | 0.71585 | 0.70933 | 0.69820 | 0.68200 | 0.66000 | 0.63109 | 0.59352 | 0.54424 | 0.47669 | 0.36004 |
| 1.8 | 0.69735 | 0.69519 | 0.68879 | 0.67788 | 0.66203 | 0.64056 | 0.61246 | 0.57607 | 0.52854 | 0.46372 | 0.35249 |
| 1.9 | 0.67745 | 0.67534 | 0.66907 | 0.65840 | 0.64292 | 0.62202 | 0.59472 | 0.55950 | 0.51366 | 0.45138 | 0.34512 |
| 2.0 | 0.65836 | 0.65629 | 0.65017 | 0.63975 | 0.62485 | 0.60433 | 0.57784 | 0.54375 | 0.49952 | 0.43963 | 0.33793 |
| 2.1 | 0.64006 | 0.63804 | 0.63207 | 0.62191 | 0.60722 | 0.58746 | 0.56176 | 0.52877 | 0.48607 | 0.42842 | 0.33093 |
| 2.2 | 0.62254 | 0.62058 | 0.61475 | 0.60486 | 0.59057 | 0.57137 | 0.54645 | 0.51451 | 0.47326 | 0.41772 | 0.32411 |
| 2.3 | 0.60578 | 0.60386 | 0.59819 | 0.58856 | 0.57467 | 0.55602 | 0.53185 | 0.50092 | 0.46106 | 0.40749 | 0.31749 |
| 2.4 | 0.58974 | 0.58788 | 0.58236 | 0.57299 | 0.55949 | 0.54138 | 0.51793 | 0.48797 | 0.44941 | 0.39770 | 0.31106 |
| 2.5 | 0.57441 | 0.57260 | 0.56723 | 0.55812 | 0.54499 | 0.52740 | 0.50465 | 0.47561 | 0.43830 | 0.38834 | 0.30482 |
| 2.6 | 0.55975 | 0.55798 | 0.55276 | 0.54390 | 0.53113 | 0.51404 | 0.49196 | 0.46381 | 0.42767 | 0.37935 | 0.29876 |
| 2.7 | 0.54572 | 0.54428 | 0.53892 | 0.53030 | 0.51789 | 0.50129 | 0.47985 | 0.45254 | 0.41751 | 0.37074 | 0.29288 |
| 2.8 | 0.53230 | 0.53063 | 0.52568 | 0.51730 | 0.50523 | 0.48909 | 0.46826 | 0.44176 | 0.40779 | 0.36248 | 0.28718 |
| 2.9 | 0.51946 | 0.51784 | 0.51302 | 0.50486 | 0.49312 | 0.47742 | 0.45718 | 0.43144 | 0.39848 | 0.35455 | 0.28166 |
| 3.0 | 0.50716 | 0.50558 | 0.50089 | 0.49295 | 0.48152 | 0.46626 | 0.44625 | 0.42156 | 0.38955 | 0.34693 | 0.27630 |

续表 A

| 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     |
| 3.1 | 0.49539 | 0.49385 | 0.48928 | 0.48154 | 0.47042 | 0.45556 | 0.43642 | 0.41209 | 0.38099 | 0.33961 | 0.27111 |
| 3.2 | 0.48410 | 0.48620 | 0.47815 | 0.47061 | 0.45978 | 0.44531 | 0.42668 | 0.40302 | 0.37278 | 0.33257 | 0.26608 |
| 3.3 | 0.47327 | 0.47181 | 0.46747 | 0.46013 | 0.44957 | 0.43548 | 0.41734 | 0.39431 | 0.36489 | 0.32579 | 0.26120 |
| 3.4 | 0.46289 | 0.46146 | 0.45723 | 0.45007 | 0.43978 | 0.42605 | 0.40837 | 0.38594 | 0.35730 | 0.31926 | 0.25648 |
| 3.5 | 0.45292 | 0.45153 | 0.44740 | 0.44042 | 0.43039 | 0.41700 | 0.39977 | 0.37791 | 0.35001 | 0.31140 | 0.25190 |
| 3.6 | 0.44335 | 0.44199 | 0.43796 | 0.43115 | 0.42136 | 0.40830 | 0.39150 | 0.37019 | 0.34300 | 0.30692 | 0.24745 |
| 3.7 | 0.43415 | 0.43282 | 0.42889 | 0.42224 | 0.41268 | 0.39994 | 0.38354 | 0.36275 | 0.33624 | 0.30107 | 0.24315 |
| 3.8 | 0.42530 | 0.42400 | 0.42016 | 0.41367 | 0.40434 | 0.39189 | 0.37589 | 0.35560 | 0.32973 | 0.29543 | 0.23897 |
| 3.9 | 0.41678 | 0.41552 | 0.41177 | 0.40542 | 0.39631 | 0.38415 | 0.36852 | 0.34871 | 0.32346 | 0.28999 | 0.23492 |
| 4.0 | 0.40859 | 0.40735 | 0.40369 | 0.39748 | 0.38858 | 0.37670 | 0.36143 | 0.34208 | 0.31741 | 0.28743 | 0.23098 |
| 4.1 | 0.40070 | 0.39949 | 0.39590 | 0.38984 | 0.38113 | 0.36951 | 0.35459 | 0.33567 | 0.31158 | 0.27965 | 0.22717 |
| 4.2 | 0.39309 | 0.39191 | 0.38840 | 0.38247 | 0.37395 | 0.36259 | 0.34799 | 0.32950 | 0.30594 | 0.27474 | 0.22347 |
| 4.3 | 0.38575 | 0.38460 | 0.38116 | 0.37536 | 0.36702 | 0.35591 | 0.34163 | 0.32354 | 0.30050 | 0.26999 | 0.21987 |
| 4.4 | 0.37868 | 0.37754 | 0.37418 | 0.36850 | 0.36034 | 0.34946 | 0.33548 | 0.31778 | 0.29524 | 0.26539 | 0.21638 |
| 4.5 | 0.37184 | 0.37074 | 0.36744 | 0.36188 | 0.35389 | 0.34323 | 0.32955 | 0.31222 | 0.29015 | 0.26094 | 0.21299 |
| 4.6 | 0.36525 | 0.36416 | 0.36094 | 0.35548 | 0.34765 | 0.33722 | 0.32381 | 0.30684 | 0.28523 | 0.25663 | 0.20969 |
| 4.7 | 0.35887 | 0.35781 | 0.35465 | 0.34930 | 0.34163 | 0.33140 | 0.31827 | 0.30164 | 0.28047 | 0.25245 | 0.20649 |
| 4.8 | 0.35271 | 0.35166 | 0.34855 | 0.34332 | 0.33580 | 0.32578 | 0.31290 | 0.29660 | 0.27586 | 0.24840 | 0.20330 |
| 4.9 | 0.34674 | 0.34572 | 0.34268 | 0.33754 | 0.33017 | 0.32034 | 0.30771 | 0.29173 | 0.27139 | 0.24448 | 0.20035 |
| 5.0 | 0.34097 | 0.33997 | 0.33699 | 0.33195 | 0.32471 | 0.31507 | 0.30268 | 0.28701 | 0.26706 | 0.24067 | 0.19741 |
| 5.1 | 0.33539 | 0.33440 | 0.33148 | 0.32653 | 0.31943 | 0.30997 | 0.27781 | 0.28243 | 0.26287 | 0.23697 | 0.19454 |
| 5.2 | 0.32998 | 0.32901 | 0.32614 | 0.32128 | 0.31431 | 0.30502 | 0.29390 | 0.27800 | 0.25879 | 0.23338 | 0.19176 |
| 5.3 | 0.32473 | 0.32378 | 0.32096 | 0.31619 | 0.30935 | 0.30023 | 0.28852 | 0.27370 | 0.25484 | 0.22990 | 0.18904 |
| 5.4 | 0.31965 | 0.31872 | 0.31595 | 0.31126 | 0.30454 | 0.29558 | 0.28408 | 0.26952 | 0.25100 | 0.22651 | 0.18640 |
| 5.5 | 0.31472 | 0.31380 | 0.31108 | 0.30648 | 0.29987 | 0.29107 | 0.27977 | 0.26547 | 0.24728 | 0.22322 | 0.18383 |
| 5.6 | 0.30993 | 0.30903 | 0.30636 | 0.30183 | 0.29534 | 0.28669 | 0.27559 | 0.26153 | 0.24366 | 0.22002 | 0.18132 |
| 5.7 | 0.30529 | 0.30440 | 0.30177 | 0.29733 | 0.29094 | 0.28244 | 0.27152 | 0.25771 | 0.24014 | 0.21691 | 0.17888 |
| 5.8 | 0.30078 | 0.29991 | 0.29732 | 0.29295 | 0.28667 | 0.27831 | 0.26758 | 0.25400 | 0.23672 | 0.21389 | 0.17650 |
| 5.9 | 0.29640 | 0.29554 | 0.29300 | 0.28870 | 0.28252 | 0.27430 | 0.26374 | 0.25039 | 0.23340 | 0.21094 | 0.17418 |
| 6.0 | 0.29214 | 0.29130 | 0.28880 | 0.28456 | 0.27849 | 0.27040 | 0.26001 | 0.24687 | 0.23016 | 0.20807 | 0.17191 |
| 6.1 | 0.28800 | 0.28717 | 0.28471 | 0.28054 | 0.27457 | 0.26661 | 0.25639 | 0.24346 | 0.22701 | 0.20528 | 0.16970 |
| 6.2 | 0.28397 | 0.28316 | 0.28073 | 0.27663 | 0.27075 | 0.26292 | 0.25286 | 0.24013 | 0.22394 | 0.20255 | 0.16755 |
| 6.3 | 0.28006 | 0.27926 | 0.27687 | 0.27283 | 0.26704 | 0.25932 | 0.24942 | 0.23689 | 0.22096 | 0.19990 | 0.16545 |
| 6.4 | 0.27625 | 0.27546 | 0.27310 | 0.26913 | 0.26343 | 0.25583 | 0.24607 | 0.23374 | 0.21805 | 0.19732 | 0.16339 |
| 6.5 | 0.27253 | 0.27176 | 0.26944 | 0.26552 | 0.25991 | 0.25242 | 0.24282 | 0.23067 | 0.21521 | 0.19480 | 0.16139 |
| 6.6 | 0.26892 | 0.26815 | 0.26587 | 0.26201 | 0.25648 | 0.24911 | 0.23964 | 0.22767 | 0.21245 | 0.19234 | 0.15943 |
| 6.7 | 0.26540 | 0.26464 | 0.26239 | 0.25859 | 0.25314 | 0.24587 | 0.23655 | 0.22475 | 0.20976 | 0.18994 | 0.15752 |
| 6.8 | 0.26197 | 0.26122 | 0.25901 | 0.25526 | 0.24988 | 0.24272 | 0.23353 | 0.22191 | 0.20713 | 0.18760 | 0.15565 |
| 6.9 | 0.25862 | 0.25789 | 0.25570 | 0.25201 | 0.24671 | 0.23965 | 0.23059 | 0.21913 | 0.20456 | 0.18531 | 0.15382 |
| 7.0 | 0.25536 | 0.25464 | 0.25248 | 0.24884 | 0.24361 | 0.23666 | 0.22772 | 0.21642 | 0.20206 | 0.18229 | 0.15204 |

续表 A

| 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 | 0.00398 | 0.00420 | 0.00215 | 0.00121 | 0.00074 | 0.00047 | 0.00032 | 0.00022 |
| 0.3 | 0.13779 | 0.05306 | 0.02338 | 0.01156 | 0.00629 | 0.00368 | 0.00229 | 0.00150 | 0.00102 | 0.00072 |
| 0.4 | 0.17284 | 0.07979 | 0.04009 | 0.02167 | 0.01250 | 0.00764 | 0.00489 | 0.00326 | 0.00225 | 0.00160 |
| 0.5 | 0.19774 | 0.10279 | 0.05685 | 0.03306 | 0.02014 | 0.01279 | 0.00844 | 0.00575 | 0.00404 | 0.00291 |
| 0.6 | 0.21558 | 0.12178 | 0.07233 | 0.04460 | 0.02846 | 0.01875 | 0.01272 | 0.00887 | 0.00633 | 0.00462 |
| 0.7 | 0.22839 | 0.13717 | 0.08602 | 0.05560 | 0.03691 | 0.02511 | 0.01749 | 0.01246 | 0.00905 | 0.00670 |
| 0.8 | 0.23752 | 0.14951 | 0.09785 | 0.06570 | 0.04508 | 0.03155 | 0.02251 | 0.01635 | 0.01207 | 0.00906 |
| 0.9 | 0.24391 | 0.15934 | 0.10791 | 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 | 0.01863 | 0.01434 |
| 1.1 | 0.25085 | 0.17313 | 0.12342 | 0.08969 | 0.06613 | 0.04937 | 0.03729 | 0.02847 | 0.02196 | 0.01712 |
| 1.2 | 0.25221 | 0.17775 | 0.12924 | 0.09569 | 0.07180 | 0.05449 | 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 | 0.02263 |
| 1.4 | 0.25211 | 0.18369 | 0.13781 | 0.10515 | 0.08119 | 0.06330 | 0.04976 | 0.03942 | 0.03146 | 0.02528 |
| 1.5 | 0.25100 | 0.18536 | 0.14085 | 0.10879 | 0.08500 | 0.06702 | 0.05325 | 0.04261 | 0.03433 | 0.02782 |
| 1.6 | 0.24938 | 0.18635 | 0.14319 | 0.11181 | 0.08828 | 0.07031 | 0.05641 | 0.04555 | 0.03701 | 0.03024 |
| 1.7 | 0.24735 | 0.18677 | 0.14496 | 0.11428 | 0.09108 | 0.07319 | 0.05923 | 0.04823 | 0.03950 | 0.03251 |
| 1.8 | 0.24499 | 0.18672 | 0.14621 | 0.11627 | 0.09344 | 0.07571 | 0.06176 | 0.05067 | 0.04179 | 0.03464 |
| 1.9 | 0.24237 | 0.18628 | 0.14704 | 0.11784 | 0.09542 | 0.07789 | 0.06399 | 0.05287 | 0.04389 | 0.03661 |
| 2.0 | 0.23956 | 0.18552 | 0.14749 | 0.11903 | 0.09706 | 0.07976 | 0.06595 | 0.05483 | 0.04581 | 0.03843 |
| 2.1 | 0.23660 | 0.18448 | 0.14763 | 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 | 0.06916 | 0.05815 | 0.04911 | 0.04164 |
| 2.3 | 0.23037 | 0.18178 | 0.14713 | 0.12084 | 0.10024 | 0.09378 | 0.07044 | 0.05952 | 0.05051 | 0.04303 |
| 2.4 | 0.22716 | 0.18018 | 0.14656 | 0.12096 | 0.10083 | 0.09467 | 0.07152 | 0.06071 | 0.05175 | 0.04428 |
| 2.5 | 0.22392 | 0.17847 | 0.14584 | 0.12091 | 0.10123 | 0.09538 | 0.07244 | 0.06175 | 0.05286 | 0.04541 |
| 2.6 | 0.22067 | 0.17666 | 0.14497 | 0.12069 | 0.10146 | 0.09593 | 0.07320 | 0.06265 | 0.05383 | 0.04643 |
| 2.7 | 0.21742 | 0.17477 | 0.14398 | 0.12033 | 0.10155 | 0.09633 | 0.07381 | 0.06341 | 0.05469 | 0.04733 |
| 2.8 | 0.21419 | 0.17282 | 0.14290 | 0.11985 | 0.10151 | 0.09659 | 0.07430 | 0.06404 | 0.05543 | 0.04813 |
| 2.9 | 0.21098 | 0.17084 | 0.14173 | 0.11927 | 0.10135 | 0.09674 | 0.07467 | 0.06457 | 0.05606 | 0.04884 |
| 3.0 | 0.20781 | 0.16882 | 0.14050 | 0.11860 | 0.10109 | 0.09679 | 0.07493 | 0.06500 | 0.05660 | 0.04945 |
| 3.1 | 0.20467 | 0.16678 | 0.13922 | 0.11786 | 0.10074 | 0.09674 | 0.07510 | 0.06533 | 0.05705 | 0.04999 |
| 3.2 | 0.20158 | 0.16474 | 0.13789 | 0.11705 | 0.10032 | 0.09661 | 0.07519 | 0.06558 | 0.05742 | 0.05044 |
| 3.3 | 0.19854 | 0.16269 | 0.13652 | 0.11618 | 0.09984 | 0.09641 | 0.07521 | 0.06576 | 0.05772 | 0.05083 |
| 3.4 | 0.19555 | 0.16064 | 0.13513 | 0.11528 | 0.09929 | 0.09614 | 0.07515 | 0.06587 | 0.05795 | 0.05115 |
| 3.5 | 0.19262 | 0.15860 | 0.13372 | 0.11433 | 0.09870 | 0.09582 | 0.07504 | 0.06591 | 0.05812 | 0.05142 |
| 3.6 | 0.18974 | 0.15658 | 0.13230 | 0.11336 | 0.09806 | 0.09544 | 0.07487 | 0.06590 | 0.05823 | 0.05163 |
| 3.7 | 0.18691 | 0.15458 | 0.13087 | 0.11236 | 0.09739 | 0.09503 | 0.07465 | 0.06584 | 0.05830 | 0.05179 |
| 3.8 | 0.18415 | 0.15260 | 0.12944 | 0.11134 | 0.09669 | 0.09457 | 0.07439 | 0.06574 | 0.05832 | 0.05190 |
| 3.9 | 0.18144 | 0.15064 | 0.12801 | 0.11030 | 0.09596 | 0.09409 | 0.07410 | 0.06560 | 0.05829 | 0.05197 |
| 4.0 | 0.17880 | 0.14870 | 0.12658 | 0.10926 | 0.09521 | 0.09357 | 0.07377 | 0.06542 | 0.05823 | 0.05200 |

续表 A

| Z/R | r/R     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|     | 1.1     | 1.2     | 1.3     | 1.4     | 1.5     | 1.6     | 1.7     | 1.8     | 1.9     | 2.0     |
| 4.1 | 0.17621 | 0.14679 | 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 | 0.06469 | 0.05786 | 0.05191 |
| 4.4 | 0.16878 | 0.14125 | 0.12097 | 0.10503 | 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 | 0.06409 | 0.05748 | 0.05171 |
| 4.6 | 0.16410 | 0.13771 | 0.11824 | 0.10293 | 0.09046 | 0.08008 | 0.07129 | 0.06377 | 0.05725 | 0.05157 |
| 4.7 | 0.16184 | 0.13598 | 0.11690 | 0.10188 | 0.08965 | 0.07946 | 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 | 0.05676 | 0.05125 |
| 4.9 | 0.15747 | 0.13263 | 0.11427 | 0.09981 | 0.08803 | 0.07819 | 0.06986 | 0.06270 | 0.05649 | 0.05106 |
| 5.0 | 0.15537 | 0.13100 | 0.11298 | 0.09879 | 0.08722 | 0.07756 | 0.06936 | 0.06232 | 0.05621 | 0.05086 |
| 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 | 0.06835 | 0.06153 | 0.05561 | 0.05042 |
| 5.3 | 0.14934 | 0.12626 | 0.10924 | 0.09580 | 0.08481 | 0.07564 | 0.06784 | 0.06113 | 0.05530 | 0.05019 |
| 5.4 | 0.14742 | 0.12478 | 0.10803 | 0.09482 | 0.08402 | 0.07500 | 0.06733 | 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 | 0.09196 | 0.08169 | 0.07309 | 0.06578 | 0.05947 | 0.05399 | 0.04919 |
| 5.8 | 0.14016 | 0.11903 | 0.10339 | 0.09103 | 0.08093 | 0.07247 | 0.06526 | 0.05905 | 0.05365 | 0.04889 |
| 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 | 0.05779 | 0.05261 | 0.04805 |
| 6.2 | 0.13352 | 0.11372 | 0.09905 | 0.08746 | 0.07796 | 0.07000 | 0.06322 | 0.05737 | 0.05226 | 0.04777 |
| 6.3 | 0.13195 | 0.11246 | 0.09802 | 0.08659 | 0.07724 | 0.06940 | 0.06272 | 0.05694 | 0.05191 | 0.04748 |
| 6.4 | 0.13042 | 0.11122 | 0.09700 | 0.08575 | 0.07653 | 0.06880 | 0.06221 | 0.05652 | 0.05156 | 0.04718 |
| 6.5 | 0.12891 | 0.11001 | 0.09599 | 0.08491 | 0.07583 | 0.06821 | 0.06172 | 0.05610 | 0.05121 | 0.04689 |
| 6.6 | 0.12744 | 0.10882 | 0.09501 | 0.08409 | 0.07513 | 0.06763 | 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 | 0.05486 | 0.05015 | 0.04601 |
| 6.9 | 0.12321 | 0.10538 | 0.09216 | 0.08169 | 0.07311 | 0.06591 | 0.05976 | 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)。

## 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,非这样做不可的用词:

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用词:

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用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。