**UDC**

中华人民共和国国家标准 **GB**

**P GB 5××××—20××**

**钢制储罐地基基础设计规范**

**Code for design of steel tank foundation**

**（局部修订征求意见稿）**

20XX－XX－XX 发布 20XX－XX－XX 实施

|  |
| --- |
| 中华人民共和国住房和城乡建设部  联合发布 |
| 国家市场监督管理总局 |

**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**

（局部修订征求意见稿）

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

实施日期： 2009 年 8 月 1 日

中国计划出版社

**2022 北 京**

**修订说明**

本次局部修订是根据住房城乡建设部建标函[2020]9号文“关于印发《2020年工程建设标准规范制订、修订计划》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有限公司会同有关单位对《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473-2008进行局部修订。

本次局部修订的主要内容包括：相关条文应进行相应的修改。增加储罐防渗内容；增加高温储罐的隔热内容。

本规范中下划线表示修改的内容；用黑体字表示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有限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，并请将意见和有关资料寄交中国石化工程建设有限公司国家标准《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。

本规范的主编单位、参编单位和主要起草人和主要审查人：

**主编单位：**中国石化工程建设有限公司

**参编单位:** 中石化广州工程有限公司

大庆石化工程有限公司

**主要起草人：**

**主要审查人：**

**《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473—2008**

**修订对照表**

**（方框部分为删除内容，下划线部分为增加内容）**

| 现行《规范》条文 | 修订征求意见稿 |
| --- | --- |
| **1 总则** | **1 总则** |
| **1.0.2** 本规范适用于储存介质自重不大于10kN/m3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。 | **1.0.2** 本规范适用于储存石油、石化产品及其他类似液体的常压和接近常压立式圆筒形钢制焊接储罐地基基础（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 |
| **2 术语和符号** | **2 术语和符号** |
| **3 基本规定** | **3 基本规定** |
| **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（m3） | | | | | | | ≤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 | 9 | 9～13 | 13～21 | 16～25 | | 复杂场地 | 4～5 | 6～9 | 9～12 | 13～18 | 21～25 | 25～30 | | **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（m3） | | | | | | | ≤5000 | 10000 | 20000~30000 | 50000 | 100000 | 150000 | | 简单场地 | 3 | 3～5 | 5~7 | 7～9 | 10～13 | 13～16 | | 中等复杂场地 | 3～4 | 5～7 | 7～9 | 9～13 | 13～21 | 16～25 | | 复杂场地 | 4～5 | 6～9 | 9～12 | 13～18 | 21～25 | 25～30 | |
| **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。 | **3.1.7A** 当储罐设置锚固螺栓时，储罐基础设计应分别计入风荷载和地震作用。 |
| **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》GB50009的有关规定。 | **3.3.4** 基本组合可变荷载和地震作用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》GB50009的有关规定。  4 储罐的地震作用应符合国家现行标准《石油化工构筑物抗震设计规范》SH 3147的有关规定。 |
| **3.4.2** 容积大于50000m3的储罐基础抗震设防分类应为乙类；容积小于或等于50000m3的储罐基础抗震设防分类应为丙类。 | **3.4.2** 容积大于或等于100000m3的储罐基础抗震设防分类应为乙类；容积小于100000m3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50000m3的储罐可不进行判别和地基处理，容积大于50000m3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，并应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。 | **3.4.3** 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100000m3的储罐可不进行判别和地基处理，容积大于或等于100000m3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，并应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。 |
| **3.5.1** 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。  **3.5.3** 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。 | **3.5.1** 储罐基础部分的防渗漏措施，应符合现行国家标准《石油化工工程防渗技术规范》GB/T 50934中的有关规定。 |
| **4 基础环墙设计** | **4 基础环墙设计** |
| **5 地基承载力及稳定性计算** | **5 地基承载力及稳定性计算** |
| **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：  Pk≤ƒa (**5.1.1)**  式中 — 相应于荷载效应标准组合时，基础底面平均压力值（kN/m2）；  — 修正后的地基承载力特征值（kN/m2）。 | **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：  ≤ζ (**5.1.1-1)**  **Pkmax≤1.2** (**5.1.1-2)**  式中 — 相应于荷载效应标准组合时，基础底面平均压力值（kN/m2）；  Pkmax-相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘最大压力值（kN/m2）；  ζ—地基承载力调整系数，一般情况下取1.0，当计入风荷载时取1.2，当计入地震作用时取值应符合国家现行标准《石油化工构筑物抗震设计规范》SH 3147的相关规定；  — 修正后的地基承载力特征值（kN/m2）。  **5.1.1A** 对桩基的储罐基础应符合下式要求：  1.荷载效应标准组合：  轴心竖向力作用下  Nk≤R (**5.1.1A-1)**  偏心轴心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式要求：  Nkmax≤1.2R (**5.1.1A-2)**  2.地震作用效应和荷载效应标准组合：  轴心竖向力作用下  NEk≤1.25R (**5.1.1A-3)**  偏心轴心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式要求：  NEkmax≤1.5R (**5.1.1A-4)**  式中 Nk— 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力（kN）；  Nkmax— 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，基桩桩顶最大竖向力（kN）；  NEk— 地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩的平均竖向力（kN）；  NEkmax—地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩最大竖向力（kN）；  R— 基桩竖向承载力特征值（kN）。 |
| **5.1.2** 储罐基础底面处的平均压力设计值可按下式计算：  (**5.1.2)**  式中 —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（kN）；  — 基础自重和基础上的土重（kN）；  — 储罐基础底面面积（m2），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。 | **5.1.2** 储罐基础底面处的平均压力设计值可按下式计算：  1. 当轴心荷载作用时  (**5.1.2-1)**  式中 —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（kN）；  — 基础自重和基础上的土重（kN）；  — 储罐基础底面面积（m2），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。  2. 当偏心荷载作用时  Pkmax=(Fk+Gk)/A+Mk/W (**5.1.2-2)**  Pkmin=(Fk+Gk)/A-Mk/W (**5.1.2-3)**  式中 Mk—相应于作用标准组合时，作用于基础底面的力矩值（kN.m）；  W— 基础底面的抵抗矩（m3）；  Pkmin —相应于作用标准组合时，基础底面边缘的最小压力值(kPa)。  **5.1.2A** 桩基的储罐基础竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力可按下式计算：  1 竖向力  轴心竖向力作用下  Nk= (Fk+Gk)/n (**5.1.2A-1)**  偏心竖向力作用下  Nik= (Fk+Gk)/n±Mxkyi/∑yj2±Mykxi/∑xj2 (**5.1.2A-2)**  **2 水平力**  **Hik=Hk/n** (**5.1.2A-3)**  式中 —荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的的竖向力（kN）；  —桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水维以下部分应扣除水的浮力（kN）；  Nk—荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩的平均竖向力（kN）；  Nik—荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第i基桩的竖向力（kN）；  Mxk、Myk—荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的x、y主轴的力矩（kN.m）；  xi、xj、yi、yj—第i、j基桩或复合基桩至y、x轴的距离(m)；  **Hk**—荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力（kN）；  **Hik**—荷载效应标准组合下，作用于第i基桩的水平力（kN）；  n— 桩基中的桩数。 |
| **5.1.3** 储罐桩基基础的设计应符合下列规定：  1 基桩可采用预制方桩、钢筋混凝土灌注桩和预应力管桩等；  2 桩基设计应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和《建筑桩基技术规范》JGJ94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。 | **5.1.3** 储罐桩基基础的设计应符合下列规定：  1 基桩可采用预制方桩、钢筋混凝土灌注桩和预应力管桩等；当抗震设防烈度为7度（0.15g）且场地类别为Ⅲ、Ⅳ类和抗震设防烈度为8度、9度时，不宜采用预应力管桩；  2 桩基设计应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和《建筑桩基技术规范》JGJ94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。 |
| **6 地基变形计算** | **6 地基变形计算** |
| **7 基础构造与材料** | **7 基础构造与材料** |
| 7.1.18 当储罐内储存介质最高温度高于90°C时，与罐底接触的罐基础表面，应采取隔热措施。 | **7.1.18** 当储罐内储存介质最高温度高于90°C时，与罐底接触的罐基础表面，应根据储存介质的温度采取平铺或架空等隔热措施。 |
|  | **7.1.20 当**储罐设置阴极保护时，不宜设置沥青砂绝缘层，可采用边长不大于300mm、厚度不宜大于30mm的混凝土砌块满铺并用干砂填缝。 |
| **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°C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°C时，宜采用30号甲、乙建筑石油沥青。 | **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°C时，宜采用60号甲、乙道路石油沥青，也可采用30号甲、乙建筑石油沥青或指标相近的材料；当储罐内介质温度等于或高于80°C时，宜采用30号甲、乙建筑石油沥青或指标相近的材料。 |
| **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。 | **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HRB400级或HRB500级钢筋，竖向钢筋宜采用HPB300级或HRB400级钢筋。 |
|  | **7.2.6** 地脚螺栓中心到边缘距离不应小于4倍地脚螺栓直径，也不应小于150mm。 |

**中华人民共和国国家标准**

**钢制储罐地基基础设计规范**

GB 50473-2022

（2022年版）

**条 文 说 明**

**修订说明**

本次局部修订是根据住房城乡建设部建标函[2020]9号文“关于印发《2020年工程建设标准规范制订、修订计划》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有限公司会同有关单位对《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473-2008进行局部修订。

本次局部修订的主要内容包括：相关条文应进行相应的修改。增加储罐防渗内容；增加高温储罐的隔热内容。

本规范是在《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473-2008的基础上修订而成的。《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473-2008的主编单位是中国石化工程建设公司；参编单位是：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；主要起草人员是：黄左坚、谭立净、陈传金、武笑平、李立昌、任意、孙恒志。

本标准修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了工程建设的实际经验，同时参考了国内外先进技术标准，许多单位和学者进行了大量的研究，为本次修订提供了极有价值的参考资料。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用标准时正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，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标准规定的参考。

**目 次**

1 总则 31

3 基本规定 32

3.1 一般规定 32

3.2 基础选型 32

3.3 荷载及荷载效应组合 33

3.4 抗震设防 34

3.5 环境保护 34

4 基础环墙设计 35

4.1 环墙厚度及环向力计算 35

4.2 环墙截面配筋 36

5 地基承载力及稳定性计算 37

5.1 承载力计算 37

6 地基变形计算 38

6.1 一般规定 38

6.2 变形计算 40

7 基础构造与材料 41

7.1 构造 41

7.2 材料 42

**1 总则**

**1.0.1、1.0.2** 立式圆筒形钢制储罐包括固定顶、浮顶和内浮顶储罐，罐底板由中心向周边的锥面坡度一般为15‰。用以储存原油、成品油和其他类似液体。

储罐基础类型分为护坡式、环墙式、外环墙式和桩基基础。各种基础均由沥青砂绝缘层、砂垫层、填料层和钢筋混凝土环墙、桩基承台或护坡共同组成储罐基础。一般钢储罐基础均设计为柔性基础。

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。对储存以上介质的储罐基础有可能出现以下情况：

1 对储存低温介质的储罐。因为低温介质会导致罐基土的冻涨，在储罐基础的结构、材料和填料上应进行特殊的处理。

2 对储存毒性程度为极度和高度危害介质、酸、碱腐蚀介质的储罐。因上述介质会对储罐基础产生腐蚀破坏，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。

本规范对操作压力超常压和储存介质自重大于10kN/m3的储罐有可能出现以下情况：

1 对储存操作压力超常压的储罐。因为操作压力超常压的储罐设计要求储罐基础与储罐共同工作，在储罐基础的结构、材料和填料上应进行特殊的处理。

2 因储罐（本规范所包括的）在试压和储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9.80kN/m3。对储存介质自重大于10kN/m3的储罐，还应按有关要求进行特殊的处理。

**3 基本规定**

**3.1** 一般规定

**3.1.1**  随着国民经济的发展，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变形要求高，影响深度大，尤其是软土地基、山区地基以及特殊性土地基，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（盘）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，必须进行建筑场地的岩土工程地质勘察。

**3.1.3～3.1.5**  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（α1-2>0.5MPa-1或α1-3>1MPa-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>wl），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。

**3.1.6** 储罐基础不宜建在部分坚硬，部分松软的地基上，因为储罐是由钢板组成的圆柱体，油罐底为上凸圆锥状。储罐基础过大的不均匀沉降，将导致储罐的倾斜或失稳，使浮顶罐的浮船（盘）不能升降，甚至产生储罐破裂，并造成严重的次生灾害。

**3.1.7、3.1.8** 不设锚固螺栓的储罐基础，因为钢储罐直接坐落在基础上，钢储罐与基础之间无固定连接，靠钢储罐底与基础顶面的摩擦维持相对稳定，当有风荷载和地震作用时，其作用效应较之竖向荷载产生的效应要小得多，为计算简便，该类储罐基础设计可不考虑风荷载和地震作用。当设置锚固螺栓时，储罐基础设计则应考虑与钢储罐共同承担风荷载和地震作用。

**3.2** 基础选型

**3.2.1～3.2.3**  储罐基础的选型是至关重要的，作用于储罐基础上的主要荷载是罐体及储存介质的重量，该作用荷载的特点是荷载强度大、分布面积大，对地基的影响深度大。特别是对软弱地基产生的沉降和不均匀沉降大。储罐基础主要是支撑罐体，在建造和正常操作状态下保证储罐的安全可靠，一旦地基基础失稳，其严重后果将不堪设想，并将带来严重的次生灾害。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。

储罐基础的型式很多，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。按照地质条件并参考国内外常用的基础型式，规范中提出的四种储罐基础型式。

1 护坡式基础一般用于硬和中硬场地土，多用于固定顶储罐，其优点是省钢材、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。且占地面积大。

2 环墙式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储罐基础差。② 钢筋水泥耗量较多。

3 外环墙式储罐基础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储罐基础好。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。

4 桩基基础，有一定的应用范围，但要注意桩基承台板的设计。缺点是投资规模较大。

**3.3** 荷载及荷载组合

**3.3.1**  按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009及《建筑地基基础设计规范》GB50007中的相关要求制定。其中将储罐中的储液重或储罐中充水水重划为可变荷载考虑。

**3.3.2**  地基基础设计时，所采用的荷载效应最不利组合和相应的抗力限值的规定是依据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007中的有关条文。

**3.3.4**  可变荷载分项系数的取值按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009-2012中3.2.4条中对标准值大于4kN/m2的活荷分项系数取1.3。

3.4 抗震设防

**3.4.1**  本节明确地震区作场地和地基的地震效应评价按国家防灾法及相应的现行国家标准《工程场地地震安全性评价》GB17741执行。但对大型罐区的定义，可按单罐容积或罐区库容及储罐储存的介质等参照现行国家标准《石油库设计规范》GB50074-2002的有关规定确定。即：原油储罐库容不小于100000 m3、其余石化产品储罐库容不小于30000 m3的为大型罐区。

**3.4.2**  由于储罐容积大于或等于100000m3的基础直径较大，地基不均匀沉降对其影响大，一旦发生罐体泄漏等事故，将造成较大的经济损失。故提出储罐容积大于或等于100000m3的基础抗震设防分类为乙类；小于或等于100000m3的储罐基础为丙类。

**3.4.3**  对场地液化判别和处理按现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB50191执行等。

3.5 环境保护

**3.5.1**  由于环境保护日益受到重视，提出了储罐基础部分应采取防渗漏措施。具体的要求与做法，在《石油化工工程防渗技术规范》GB/T 50934-2018中表述的很清楚，本标准不再逐条列出了。

**4 基础环墙设计**

4.1环墙厚度及环向力计算

**4.1.2**  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P1=P2（见图1）。



图1 环墙计算

如式（1）以β作为应变量可得：

 （1）

式中 —罐壁伸入环墙顶面宽度系数；

—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）；

—环墙厚度（m）；

—罐内使用阶段储存介质的重度（kN/m3）；

—环墙顶面至罐内最高储液面（介质）高度（m）；

—环墙的重度（kN/m3）；

—环墙内各填料层的平均重度（kN/m3）；

—环墙高度（m）；

关于罐壁底端传给环墙的线分布荷载标准值（gk），当为浮顶罐时，仅为罐壁的重量（包括保温层重量）；当为固定顶罐（包括内浮顶罐）时，应为罐壁和罐顶的重量（包括保温层重量）。

**4.1.4** 外环墙的环向力主要考虑三种荷载作用在外环墙上，即填料层荷载，罐体自重（固定顶罐和内浮顶罐除罐壁保温重外还应包括固定顶盖重）和充水水重。外环墙式罐基础，其罐壁和底板均为柔性支承，因此对基础的竖向抗力刚度应有较高的要求。

**4.2** 环墙截面配筋

影响环墙环向力计算的主要因素是环墙侧向压力系数和储罐的半径。而近几年来建造的100000m3的储罐越来越多，储罐的半径为40m，而150000m3的储罐半径为50m，相应的环向力也很大。在实际工程中，仅几个100000m3的储罐和150000m3的储罐进行了相关的监测，其实测的结果与计算的结果有一定的差异；但由于试验数据偏少，且通过有限元分析，得出的结论与按规范公式计算的结果比较接近。因此环墙环向力的计算可按本规范给出的公式进行。

**5 地基承载力及稳定性计算**

5.1 承载力计算

**5.1.3** 对储罐桩基基础由桩、桩承台和环墙三部分组成。桩的设计按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94中的具体要求考虑；桩承台的设计按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94及现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007中的相关规定执行；储罐环墙部分的计算可按实际受力状态进行。本次修订对桩基础的抗震承载力验算提出了要求，具体应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB50191及《石油化工构筑物抗震设计规范》SH 3147的有关规定。

**6 地基变形计算**

**6.1** 一般规定

**6.1.1、6.1.3**  按现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341中，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（具有固定顶和浮顶两种特点）。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100000m3、150000m3的储罐，直径80m、100m，高21.80m，地基承载力要求达250～280kPa；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，从储罐工程实例来看，尽管不均匀沉降有多种形式，但基本上可分为三种模式：即⑴ 平面倾斜—罐基整体倾斜；⑵ 非平面倾斜—罐基周边不均匀沉降；⑶ 罐基础锥面坡度—罐中心与储罐周边的沉降差（见图2）。



（a）平面倾斜 （b）非平面倾斜 （c）罐基础锥面坡度

图2 储罐基础变形示意

图2中 —在点i的总的实测沉降，即自罐建成时起测出的该点高程变化；

—直径方向上点间沉降之差；

—点i由平面倾斜引起的沉降分量；

—点i由平面外扭曲倾斜引起的沉降分量；

—罐直径；

—罐高度；

—罐底原始中心与边缘高度差；

—罐底实际中心与边缘高度差。

由于差异沉降引起储罐破坏主要有两种类型：⑴ 罐壁扭曲导致浮顶失灵；⑵ 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，次应力还可引起储罐破裂。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，当下部基础出现不均匀沉降时，就会使罐底与罐壁间的角焊缝和罐底的边缘板受力产生很大的次生应力。罐基础锥面坡度，鉴于圆形均布荷载作用下的地基附加应力分布特性，将导致罐底易成蝶形，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。

地基变形允许值的规定，主要是根据现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341，附录E“油罐对基础和基础的基本要求”和大量的实测数据并参考国外标准而制定的。本规范增加了100000m3和150000万m3储罐的具体要求。

1 现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341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≤22 | 0.007D | D≤22 | 0.015D |
| 22＜D≤30 | 0.006D | 22＜D≤30 | 0.010D |
| 30＜D≤40 | 0.005D | 30＜D≤40 | 0.009D |
| 40＜D≤60 | 0.004D | 40＜D≤60 | 0.008D |
| 60＜D≤80 | 0.0035D | — | — |
| 80＜D≤100 | 0.003D | — | — |

对非平面倾斜，沿罐壁圆周方向任意10m弧长内的沉降差应不大于25mm。

对基础锥面坡度，一般地基为15‰；软弱地基应不大于35‰，基础沉降基本稳定后的锥面坡度不小于8‰。

2 罐体本身平面倾斜相对来说不是最重要的（除非大的倾斜）。由于罐体倾斜改变了液面形式，从而使罐壁增加了附加应力，由罐体应力分析表明，只要罐壁在无次应力情况下，保证储罐的正常工作即可。

**6.1.4** 储罐基础的锥面坡度一般为15‰，但在软弱地基条件下，由于罐基础中心沉降量比罐周沉降量大，为了满足基础沉降基本稳定后的锥面坡度不小于8‰的要求，可将基础锥面坡度从15‰提高到不大于35‰，并与现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341中规定基础锥面坡度不得大于35‰一致。

**6.2** 变形计算

规范中验算地基变形时所规定的项目包括储罐基础的变形量、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变形量。储罐建造地区若有相关规定更能准确地反映实际情况，则按相关的规范采用。

**7 基础构造与材料**

**7.1** 构造

**7.1.3**  储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；使其下面的砂石土填料层稳固，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。关于沥青砂绝缘层的压实系数是指按规定方法采取的沥青砂垫层试样的体积密度与标准密度之比。

**7.1.4** 设置砂垫层的作用，主要是使压力分布均匀，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，当底板开裂时，可作为漏油显示信号的通道。

**7.1.7**  护坡式储罐基础，均应待储罐充水试压后施工，因罐在充水试压时，产生地基沉降，为避免护坡的开裂，因此不应与储罐基础同时施工。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。

**7.1.8**  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”。根据储罐许可有较大变形的特征，综合考虑震害影响情况，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。

**7.1.10** 储罐基础设置泄漏孔，埋设漏油信号管，当底板漏油时经过砂垫层和反滤层沿该管流出，便于安全人员检查，及时采取对策。

**7.1.12**  钢筋混凝土环墙当留缺口后，将环向受力钢筋切断，对环墙的受力是极为不利的。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，当必需留施工缺口时，其尺寸应尽量减少，并必须采取加强措施。

**7.1.14** 对公称容积不小于10000m3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，环墙有不均匀下沉的现象，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。

**7.1.15** 现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010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”。故本条规定环向受力钢筋接头，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。按一般规定当圆周（中心圆）长度超过40m时宜设置后浇带。

**7.1.18** 现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341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。

隔热层在沥青砂绝缘层上，隔热层大多采用红砖铺砌，厚度是三或四层红砖，顶层满铺。（四层为顶、底层满铺）中间的两层预留通风孔。采用的方法为通风隔热的方式。其厚度只有180mm~240mm。

但实际现场中红砖的使用成了一个大问题。现阶段红砖（粘土砖）因为环境保护等要求基本上已经“禁用”。另外是否有其他的隔热层材料可以使用成为关键。

从隔热层设计来说，其主要作用是采用通风隔热。其主要荷载是储罐及储存介质的重量。其荷载等级对于高温介质储罐，最大在180kPa。因此选择其他的隔热层材料是可行的。

在现行国家标准《砌体结构设计规范》GB50003-2011中，砖砌体：包括烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土普通砖、混凝土多孔砖等。砌块砌体：包括混凝土砌块、轻集料混凝土砌块等。石砌体：包括各种料石和毛石的砌体等。其抗压强度指标与红砖也基本相当。只是砌块的规格各不相同。因此可取与普通砖规格相近的砌块，按常规隔热层的做法施工，应该可以满足高温介质储罐隔热层的要求。主要要保证留出通畅的通风孔和相应的厚度即可，顶层一定要满铺，以保证储罐底板的施工。但是对于蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖等蒸压硅酸盐砖不得用于长期受热200℃以上、受急冷急热和有酸性介质侵蚀的部位，因此本次修订只选择采用烧结普通砖、烧结多孔砖来替代红砖。

总的来说，隔热通风层的材料可选取与普通砖的规格，强度与普通红砖相当的材料即可。

另外还有些高温介质储罐的隔热层采用耐火砖、隔热砖等材料铺设，也是可行的。但是成本太高了。

**7.1.19**  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，已完成基础的大部分沉降，再进行封口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。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。

**7.2** 材料

**7.2.4**  沥青砂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、乙道路石油沥青其软化点为不低于45℃，30甲、乙建筑石油沥青其软化点为不低于：30甲为70℃，30乙为60℃。为了与国家现行标准《石油化工钢储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528 -2005中的规定取得一致，本条采用了30甲或30乙。

但是在实际工程中，经常遇到的问题是现场施工单位找不到设计文件中要求的石油沥青的标号。经常问这样和那样的沥青行不行并要求设计确认等问题。在市场中，各行各业对沥青制品的要求均不相同。所要求的指标、使用地点及使用方法也不尽相同，定义沥青制品的名称也各不相同。从制造沥青的企业和使用沥青的企业，基本上各自为政。但道路石油沥青和建筑石油沥青较为普遍。因此在高温介质储罐基础沥青砂绝缘层中即采用了以上两种沥青作为基本要求。本次修订增加了若无法采购到以上标号的道路、建筑石油沥青，也可选择指标相近的材料使用。主要控制指标为：针入度、延伸度和软化点等。

30号甲、乙建筑石油沥青性能指标

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 标号 | 针入度（25°,100g）10/1mm,  不小于 | 延伸度  (cm)  (25°)  不小于 | 软化点  ℃  不低于 | 溶解度  ％  不小于 | 闪光点  ℃（开口）  不低于 |
| 建筑石  油沥青 | 30甲 | 21~40 | 3 | 70 | 99 | 230 |
| 30乙 | 21~40 | 3 | 60 | 99 | 230 |
| 10 | 5~20 | 1 | 95 | 99 | 230 |

道路、建筑石油沥青性能指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 道路石油沥青 | | 建筑石油沥青 | | |
| 60号甲 | 60号乙 | 40号 | 30号 | 10号 |
| 针入度（25℃,100g,5s,1/10mm） | 51~80 | 41~80 | 36~50 | 26~35 | 10~25 |
| 延度(25℃,5cm/min,cm) | ≥70 | ≥40 | ≥3.5 | ≥2.5 | ≥1.5 |
| 软化点（环球法，℃） | 45~55 | 45~55 | ≥60 | ≥75 | ≥95 |
| 注：针入度中的“5s”和延度中的“5cm/min”是指建筑石油沥青。 | | | | | |