

大型立式低压储罐的设计计算

裴召华

(中油辽河工程有限公司 机械工程所, 辽宁 盘锦 124010)

摘 要: GB50341-2003 和 SH3046-1992 标准的适用范围是正压不大于 6kPa, 所以对于设计压力大于 6kPa 的储罐就不能采用 GB50341-2003 和 SH3046-1992 标准, 需采用 SY/T0608-2006 标准。大型立式低压储罐(以下简称低压储罐)的设计有三个重要的方面, 这三个方面分别是: 抗压圈、罐壁计算及锚栓的设计。通过对该规范的研究, 本文重点介绍了这三个方面的设计, 对低压储罐的设计具有指导作用。

关键词: 立式低压储罐; 抗压圈; 锚栓; 自由体

1 前言

在许多情况下, 为了减少低沸点储液在储存时的蒸发损耗, 或避免介质与空气接触而造成氧化等的需要, 所以提高储罐的操作压力。随着改革开放, 石油化工工业迅速发展, 低压储罐的使用量也在不断增加。

目前, 国内对于立式储罐的设计所采用的规范有 SH3046-1992《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》、GB50341-2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》和 SY/T0608-2006《大型焊接低压储罐的设计与建造》规范。其中 SH3046-1992 和 GB50341-2003 的适用压力范围是设计内压不大于 6kPa, 对于设计内压大于 6kPa 且小于 100kPa 的储罐只能按照 SY/T0608-2006《大型焊接低压储罐设计与建造》标准进行设计, 现就设计内压大于

6kPa 的低压储罐设计中的几个问题进行探讨(设计内压大于 6kPa 且小于 100kPa 的储罐简称低压储罐)。

2 罐壁设计^[1]

2.1 分析

一般常压或微内压储罐罐壁设计可采用定点法进行设计, 即以高出每圈罐壁板底面 0.3m 处的液体压力来确定每圈壁板厚度。

根据 SY/T0608-2006《大型焊接低压储罐设计与建造》, 低压储罐罐壁设计的基本原理是由罐体的自由体分析得到罐壁单位长度上的内力, 并根据罐壁单元的双向应力状态及所用材料的许用应力、焊接接头系数等来确定计算壁厚, 再考虑工程上对罐壁最小允许厚度的要求, 最终确定罐壁的名义厚度。罐壁的设计过程如图 2.1-1^[2]:

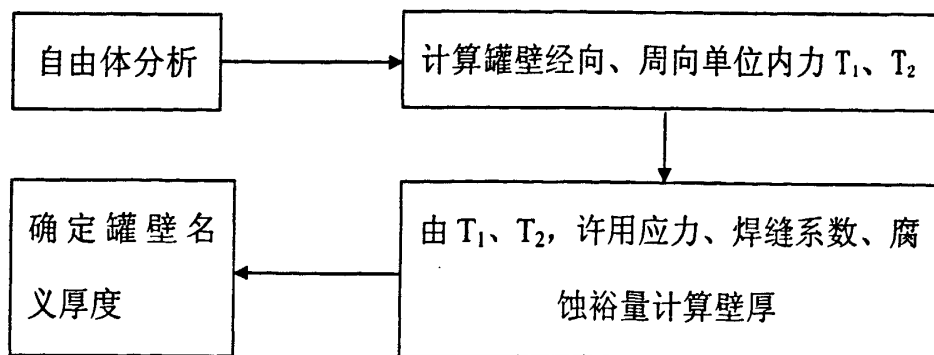


图 2.1-1 罐壁的设计过程图

2.2 罐壁计算^[1]

本计算方法采用 SY/T0608-2006 标准介绍的方法。

$$T_1 = \frac{Rc}{2} \left(P + \frac{W + F}{\pi R_c^2} \right)$$

$$T_2 = PR_c$$

T_1 、 T_2 均为正值时：

$$t = \frac{T}{S_s E} + C$$

(T 为 T_1 和 T_2 两者间的大值)

T_1 与 T_2 异号，该种情况国内设计比较少见，本文不再提及。

式中：

T_1 —在给定水平面处，壳体上纬向单位弧长的经向单位力，正值表示受拉，N/mm；

T_2 —在给定水平面处，壳体上经向单位弧长的纬向单位力，正值表示受拉，N/mm；

Rc —储罐半径，mm；

P —在给定水平面处，特定负荷情况下的总压力， $p = p_L + p_g$ ，MPa；

P_L —在给定水平面处的介质液体静压力，MPa；

P_g —储罐液面上方的气相空间的压力，真空时为负值，MPa；

S_s —纯拉伸最大许用应力，MPa；

E —焊缝系数；

W —在给定水平面处，作为自由体的壳体和介质的重力，N； W 若和作用在自由体水平面上的压力 p 方向相同， W 正负值符号与 p 相同； W 若和 p 方向相反， W 正负值符号与 p 相反；

F —在给定水平面处，作用在所选自由体上的其他外力的垂直分力之和，N，包括自由体上所有内外部拉杆、支柱、支架、隔板、裙座或其他构架上的力的垂直分力； F 若和作用在自由体水平面上的压力 p 方向相同时， F 正负值符号与 p 相同； F 若和 p 方向相反时， F 正负值符号与 p 相反；

A_r —在给定水平面处，储罐内部的横截面积， m^2 ；

C —厚度附加量，mm。

在实际工程上（正压储罐），对于大型储罐（尤其是其最下面几层罐壁板）来说，罐体及其他支撑件的重量相对于罐内的介质来说很小，可以忽略。那么，我们就可以将公式 $\frac{W + F}{\pi R_c^2}$ 就可以只看作是液体静压力。再由于 W 的方向与 p 的方向相反，所以 T_1 就可以简化为： $T_1 = \frac{R_c p}{2}$ 。所以， $T = T_2 = PR_c$ 。

所以，罐体的厚度就可以直接简化为： $t = \frac{PR_c}{S_s E} + C$ 。

3 罐顶厚度计算和稳定性校核

对于低压储罐而言，按内压引起球面拱顶的薄膜应力核算得罐顶壁厚较小，相比较而言，对罐顶壁厚起决定作用的是设计外压，拱顶厚度的计算和稳定性校核，可按 GB50341-2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》附录 C 带肋球壳拱顶计算。

4 抗压圈设计^[1, 2]

4.1 分析

自支撑式拱顶抗压圈承受从罐顶传来的横向力，此横向力是因罐内或罐外压力而产生的水平分力。当罐顶受内压作用时，抗压圈受压；受外压时，抗压圈受拉。一般常压储罐，由于内压微小，其抗压圈主要受外压控制即由罐顶自重、雪载荷和罐顶附加载荷等所控制。其数值大致可以按罐体直径大小而定量，所以有关规范中按直径大小，直接查得。

对于低压储罐，罐顶与罐壁连接处，主要承受由内压引起的环向压缩力，所以对承压区域的结构要求得更严格，承压区域的面积主要按承受的内压来计算确定，所需的承压面积往往比其他储罐所需面积大得多。所以，抗压圈的承压区域面积必须要满足 $A \geq A_0$ 。

式中：

A —承压圈的承压区域面积， mm^2 ；

A_0 —承压区域所需面积， mm^2 。

4.2 抗压圈承压面积计算（采用 SY/T0608-2006 计算方法）

抗压圈的结构示意图见图 4.2-1。

罐顶承压区域宽度 W_h : $W_h = 0.6\sqrt{R_n(t_h - c)}$

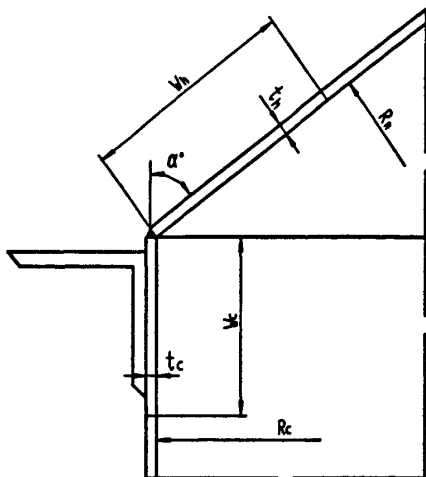


图 4.2-1 抗压圈结构示意图

罐壁承压区域宽度 W_c : $W_c = 0.6\sqrt{R_c(t_c - c)}$

承压面积的计算: $A = W_h(t_h - C) + W_c(t_c - C) + A_s$

式中:

t_h —接近顶板与圈板连接处的顶板的名义厚度, mm;

t_c —接近顶板与圈板连接处的圆柱圈板相应的名义厚度, mm;

A_s —附加在承压圈上承压范围内的额外面积, mm^2 。

4.3 承压区域所需面积计算

承压区域所需面积: A_0 取 $Q/103.4$ 和 $Q/S_b E$ 中的较大者。

式中:

Q —作用在通过压缩环区域垂直横截面上的总环向力 Q , N;

$$Q = T_2 W_h + T_{2s} W_c - T_1 R_c \sin \alpha$$

T_1 —在罐顶与罐壁连接处顶板经向单位力,

$$\text{N/mm}; \quad T_1 = \frac{R_n}{2}(p + \omega)$$

T_2 —罐顶所受的纬向单位力, N/mm;

$$T_2 = \frac{R_n}{2}(p - \omega)$$

T_{2s} —与罐顶连接的储罐圈板的环向单位力,

$$\text{N/mm}; \quad T_{2s} = PR_c$$

α — T_1 方向与垂直线之间的夹角;

ω —为单位面积顶板及肋板的重力, MPa。

S_b —最大许用应力; MPa;

E —经向焊接接头系数。

5 锚固的设计^{[1]、[2]}

5.1 分析^[2]

由于以下三个原因使得罐壁与罐底的连接处有离地升举倾向时, 储罐应当在储罐底部设置锚栓:

(1) 内压产生的举升力大于罐顶、罐壁及其所支撑的构件的总重时;

(2) 风弯矩、地震弯矩产生的倾覆举升力;

对于我们经常接触的常压储罐, 因其内压等于或接近于常压, 由风载荷等外界引起提升力较储罐自重重要小得多, 因此一般不需设置锚固装置。

对低压储罐而言, 由于内压、风压及地震弯矩所产生的提升力当大于罐顶、罐壁及其所支撑的构件的总重时, 就会使罐底边缘部分分离地面, 造成罐底破裂, 因此在这类储罐上应考虑设计锚固装置, 将提升力传递至储罐基础上, 或用其他办法来平衡提升力。

5.2 设计计算^[2]

计算风弯矩和地震弯矩的组合弯矩为:

$$M = \text{Max}(M_w, M + 0.25M_w), \text{ 其中风压产生的风弯矩}$$

$M_w = q_0 A H_0$, 地震弯矩按照 GB50341-2003 中附录 D

进行计算。锚栓承受的总载荷 $W = \pi P_g R_c^2 + 2M/R_c - N$,

锚栓的数量 $n = W / ([\sigma]_b A_b)$ 。

式中, q_0 —基本风压, Pa;

A —储罐迎风面面积, m^2 ;

H_0 —储罐(空罐)重心高度, m;

N —储罐的空罐重量, N;

$[\sigma]_b$ —锚栓材料许用应力, MPa;

A_b —单个锚栓的截面积, m^2 。

5.3 底层壁板刚性的要求

有些人认为对于低压储罐的设计只要完成以上的这些就已经足够了, 其实实际情况不是这样, 还有一个在设计上非常容易忽视的问题, 那就是储罐底层罐壁的刚性问题。当锚栓的力矩使罐壁受到过大的局部应力时, 应当考虑在罐壁上设置刚性环或增加罐壁厚度的方法来保证储罐的安全。锚栓安装示意图见图 5.3-1。

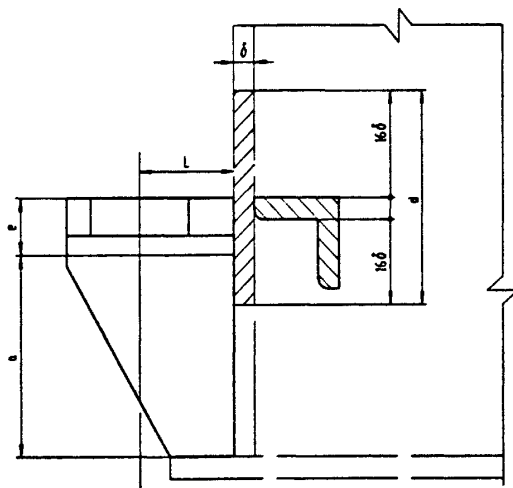


图 5.3-1

只有满足下式时, 该储罐才能保证安全。

$$\frac{p + \rho g (H - a) d R_c}{F} + \frac{W L}{2 \pi a F} + \frac{W L e R_c}{W_f} \leq [\sigma] \phi$$

式中:

ρ —储存介质的密度, kg/m^3 ;

H —罐壁高度, m;

F —起刚性作用的有效面积, 它包括环两侧各 16 倍壁厚范围内的面积 m^2 ;

e —偏心距, m;

W_f —刚性环有效截面系数, m^3 ;

$[\sigma]$ —罐壁许用应力, MPa;

ϕ —焊接接头系数。

6 结语

低压储罐设计, 与一般储罐设计相比, 关键在于储罐顶部抗压圈、罐壁和锚栓的设计。低压储罐抗压圈的设计主要是通过计算总环向力, 确定所需

的承压区域面积, 选择推荐的承压圈结构, 计算所选结构的承压区域面积, 使其大于所需的面积。低压储罐罐壁厚度可通过罐体自由体分析计算罐壁经向、周向单位内力, 进而通过公式计算确定罐壁厚度。锚固的设计, 应根据外界载荷确定升举力, 判断是否大于罐顶、罐壁及其所支撑的构件的总重, 确定是否设置锚固装置。

参考文献

- [1] 大型焊接低压储罐的设计与建造[S]. 2006;
- [2] 徐英, 杨一凡, 朱萍. 球罐和大型储罐[M]. 化学工业出版社, 2005: