

# 钢制焊接沼气发酵罐结构设计计算

申禄坤, 施国中, 罗 涛

(农业部沼气科学研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 在沼气工程中, 厌氧发酵罐多采用立式圆筒形钢制焊接罐, 立式圆筒形钢制焊接沼气发酵罐结构设计最主要在于钢板的厚度和焊缝设计, 文章从发酵罐的底板、罐壁、罐顶 3 个部分分别给出了设计计算方法, 以期在今后的钢制沼气发酵罐的设计中起到指导作用, 使设计科学合理, 节约钢材。

**关键词:** 立式圆筒; 钢制焊接; 沼气; 发酵罐; 结构设计

**中图分类号:** S216.4    **文献标志码:** B    **文章编号:** 1000-1166(2016)03-0063-03

**Calculation in Design of Steel Biogas Tank / SHEN Lu-kun, SHI Guo-Zhong, LUO Tao / (Biogas Institute of Ministry of Agriculture, Chengdu 610041, China)**

**Abstract:** In biogas engineering, the fermentation tank are usually vertical, cylindrical, and welded steel tank. Its main design work are the thickness of the steel plate and welding seams. The design calculation method for the bottom of tank, the wall and the top, were given in this paper, so that to make the designing more scientific and reasonable.

**Key words:** vertical cylinder; steel welding; biogas; fermentation tank; structure design

发酵罐是沼气工程最主要的生产设备, 随着国家对农村沼气工程转型升级政策的实施以及国家对生物天然气项目的实施, 沼气发酵罐容积不断增大, 目前每个单体发酵罐的容积一般都在 4000 m<sup>3</sup> 以上, 然而目前沼气工程钢制发酵罐结构的设计还停留在经验值的基础上, 这样的设计方法一方面是结构设计不合理, 该加强的地方未加强, 该减弱的地方反而加强; 另一方面是大大浪费钢材, 设计人员人为地加厚钢板加大焊缝等。为此沼气工程中焊制钢结构发酵罐的结构设计必须去除经验值的设计方法, 采用一种科学可靠经济的设计方法。笔者结合以往的设计经验, 给出采用定设计点法进行沼气工程钢结构发酵罐的设计。

## 1 发酵罐设计参数的选取

根据沼气发酵工艺条件及要求, 参照《钢结构设计规范》(GB50017-2012), 《碳素结构钢》GB/T 700。选取钢结构发酵罐设计条件:

设计压力:  $P = 1 \sim 2$  MPa, 参照《大中型沼气工程技术规范》(GB T 51063-2014) 计算;

设计温度(中温发酵罐):  $T = 35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;

筒体内径:  $D_i$ ;

介质: 沼气发酵液。

## 2 发酵罐材料的选取

钢材选用应综合考虑发酵罐的设计温度、发酵液的腐蚀特性、材料使用部位、材料的化学成分及力学特性、焊接性能等, 选取发酵罐圆筒体及封头材料为 Q235B 碳素钢。对于建罐地区的最低日平均温度低于 0<sup>°</sup>C 时, 不得采用沸腾钢。

## 3 罐底板设计

### 3.1 底板厚度设计

目前国内沼气工程发酵罐的基础通常采用筏板基础或者桩筏板基础, 因而罐底板的作用主要是防止发酵液的渗漏及与罐壁底板连接使罐体成为整体, 故钢底板的强度和刚度一般不做太多要求, 只要满足规范的规定即可。参考《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》规定, 罐底板的厚度除腐蚀裕量外不应小于表 1 和表 2 的规定。

收稿日期: 2016-01-20

项目来源: 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2016-BIOMA)

作者简介: 申禄坤(1976-), 男, 陕西西乡人, 助理研究员, 主要从事沼气工程结构与研究工作, E-mail: 446096448@qq.com

表1 罐底板厚度

发酵罐内径 m	罐底板厚度 mm
D ≤ 10	5
D > 10	6

表2 环形边缘板厚度 (mm)

底圈罐壁板名义厚度	环形边缘板厚度
≤ 6	6
7 ~ 10	7
11 ~ 20	9

### 3.2 底板尺寸设计

对于内径小于 12.5 m 的发酵罐,罐底板可不设环形边缘板,只采用中幅板形式;对于内径大于等于 12.5 m 的发酵罐,罐底板应设置环形边缘板。环形边缘板的尺寸在水平面内沿罐半径方向的大小按下式计算:

$$L_m = \frac{215t_b}{\sqrt{H_w\rho}}$$

式中:  $L_m$  为底圈罐壁内表面至环形边缘板与中幅板连接焊缝的最小径向距离, mm; 且不小于 600 mm;  $t_b$  为罐底环形边缘板的名义厚度(不包括腐蚀裕量), mm;  $H_w$  为设计液位高度, mm;  $\rho$  为发酵液相对密度,底圈罐壁外表面沿径向至边缘板外缘的距离不应小于 50 mm,且不宜大于 100 mm。

## 4 罐壁设计

### 4.1 壁板厚度设计

#### 4.1.1 壁板计算厚度

目前国内几乎所有的沼气发酵罐的直径都小于 60 m,因而在计算时选用定设计点法进行计算,其计算公式:

$$t = \frac{4.9D_i(H - 0.3)}{[\sigma]\varphi}$$

对于沼气发酵罐而言,发酵液一般取水的密度:  $1 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,故设计条件下与试水条件下计算所得壁板厚度相同。

式中:  $t$  为罐壁板的计算厚度, mm;  $D_i$  为油罐内径, m;  $H$  为计算液位高度, m; 指从所计算的那圈罐壁板底端到溢流口下沿的高度,或到采取有效措施限定的设计液位高度;  $[\sigma]$  为设计温度下钢板的许

用拉应力, MPa;  $\varphi$  为焊接接头系数,底圈罐壁板取 0.85,其他各圈罐壁板取 0.9。

#### 4.1.2 壁板厚度附加量

考虑到钢板的负偏差、加工减薄量以及生产过程中各种介质对钢板的腐蚀,引进壁厚附加量  $C$ :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

式中:  $C_1$  为钢板负偏差,查钢板负偏差表得;  $C_2$  为腐蚀裕量,当材料被介质的腐蚀速度  $V > 0.1 \text{ mm} \cdot (\text{年})^{-1}$ ,  $C_2 = \text{腐蚀速度} \times \text{发酵罐的使用年限}$ ;  $C_3$  为圆筒体加工过程中拉伸减薄量,对于冷卷成型  $C_3 = 0$ ,热加工、冲压减薄成型  $C_3 = 1.5 \text{ mm}$ 。

由上述可知,发酵罐的设计壁厚  $T = t + C$ ,根据设计规范规定,不论计算公式算出的壁板厚度多大,必须同时满足容器的最小壁厚要求:  $T \geq T_{\min}$ 。容器的最小壁厚计算:

$$T_{\min} = \max\left\{\frac{2D_i}{1000} A \text{ mm}\right\} + C_2$$

式中:  $D_i$  为发酵罐内径;  $C_2$  为腐蚀裕量。

#### 4.1.3 壁板强度校核

内压圆筒体强度校核公式:

$$\frac{P(D_i + T - C)}{2(T - C)\varphi} \leq [\sigma]$$

式中:  $P$  为设计计算压力(参看《大中型沼气工程技术规范》计算),一般取 1 ~ 2 MPa;  $D_i$  为筒体内径;  $T$  为设计壁板厚度;  $C$  为壁厚附加量;  $\varphi$  为焊接接头系数;  $[\sigma]$  为材料在设计温度下的许用拉应力。

### 4.2 壁板尺寸设计

罐壁板的尺寸根据事先确定的发酵罐直径及高度确定,确定的原则应尽量不浪费钢材为宜。沿罐体高度方向罐体壁板圈数确定由钢板尺寸规格而定,相邻两圈壁板的纵向接头应相互错开,距离不应小于 300 mm。

## 5 顶板设计

### 5.1 顶板厚度设计

目前国内钢制焊接沼气发酵罐多采用自支撑式锥顶,在设计时,罐顶坡度不应小于 1/6,且不应大于 3/4,罐顶板的计算厚度按下式计算:

$$t_{cr} = \frac{D_i}{4.8 \sin\theta} \sqrt{\frac{F}{2.2}}$$

式中:  $t_{cr}$  为罐顶板的计算厚度, mm;  $F$  为荷载组合, kPa,组合时,顶板上的活荷载在水平方向的投

影值与雪荷载比较取大者,且取值不应小于 1.0 kPa;  $D_i$  为发酵罐内径, m;  $\theta$  为罐顶与罐壁连接处罐顶与水平面之间的夹角,  $^\circ$ 。

同时罐顶板的名义厚度不应小于 5 mm,且不应大于 12 mm。罐顶板的最终设计厚度  $T = t_{cr} + C$ ,  $C$  为顶板腐蚀裕量。

## 5.2 顶板强度校核

内压开孔锥形封头强度校核公式:

$$\frac{P(D_i + T - C)}{2(T - C)\varphi\cos\alpha} \leq [\sigma]$$

式中:  $P$  为设计计算压力(参看《大中型沼气工程技术规范》计算),一般取 1~2 MPa;  $D_i$  为罐顶锥壳底端内径;  $T$  为设计罐顶板厚度;  $C$  为罐顶板厚度附加量;  $\varphi$  为焊接接头系数;  $[\sigma]$  为材料在设计温度下的许用拉应力;  $\alpha$  为罐顶锥壳半顶角,  $^\circ$ 。

顶板间的连接采用搭接,搭接宽度不应小于 5 倍

板厚,且不应小于 25 mm。

## 6 结语

立式圆筒形钢制焊接沼气发酵罐结构设计最主要的就在于钢板的厚度设计及结构尺寸设计,文章从发酵罐的底板、罐壁、罐顶这 3 个部分分别给出了发酵罐的结构设计计算方法,这在今后的钢制焊接沼气发酵罐设计中能够起到指导作用,使设计科学合理,节约钢材。

## 参考文献:

- [1] GB/T51063-2014 大中型沼气工程技术规范[S].
- [2] GB50017-2012 钢结构设计规范[S].
- [3] GB50341-2014 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范[S].
- [4] GB50661-2011 钢结构焊接规范[S].