

立式圆柱体钢罐盘梯侧板

曲率半径的计算

石 国 彦

(石油工业部北京石油设计院)

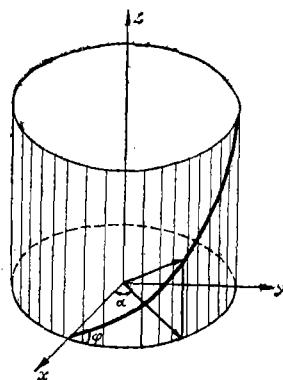
立式圆柱体钢罐盘梯,一般是在预制场分段加工预制成半成品,再安装在钢罐上。在预制时怎样确定盘梯的内、外侧板的曲率半径是个关键问题,曲率半径不合适,会给安装造成困难,甚至要切开重焊。过去一般是采取做模型按比例量出内侧板的半径,那样既麻烦也不准确。这次我们在某工程施工中,利用数学解析方法计算出内、外侧板的曲率半径,按照这个半径在平面上预制盘梯的半成品,将半成品安装在钢罐上都比较合适,加快了工程进度。

一、盘梯内、外侧板曲线方程

立式圆柱体钢罐的盘梯的内、外侧板是沿钢罐外壁由下向上螺旋式上升的。为简单起见,将油罐看成为一个半径不变的立式圆柱体,把内、外侧板看作二条圆柱螺旋线,如图所示。

圆柱螺旋线的参数方程式如下:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \cos \alpha \\ y &= R \sin \alpha \\ z &= R \operatorname{atg} \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



式中: α ——旋转角度,以弧度表示,从盘梯起点计算;

φ ——螺旋上升角,即梯子的上升角;

R ——螺旋线所围绕的圆柱体的半径,即钢罐半径加上侧板与罐壁的距离。

二、圆柱螺旋线的曲率和曲率半径

设: $\vec{r}(t) = [x(t), y(t), z(t)]$ 是空间曲线的方程式,则该曲线的曲率 k 可由下式表示。

$$k = \frac{|\vec{r}'(t) \times \vec{r}''(t)|}{|\vec{r}'(t)|^3} \quad (2)$$

而曲线的曲率半径 ρ 是曲率 k 的倒数,

$$\rho = \frac{1}{k} = \frac{|\bar{r}'(t)|^3}{|\bar{r}'(t) \times \bar{r}''(t)|} \quad (3)$$

上述式中, t 是变量, r, x, y, z 都是 t 的函数。

$\bar{r}(t)$ 是向量, $\bar{r}'(t)$ 和 $\bar{r}''(t)$ 是 $\bar{r}(t)$ 对 t 的一阶和二阶导数。

$|\bar{r}'(t)|$ 是向量 $\bar{r}'(t)$ 的长度,

$$|\bar{r}'(t)| = \sqrt{x_1'^2(t) + y_1'^2(t) + z_1'^2(t)}$$

$\bar{r}'(t) \times \bar{r}''(t)$ 是向量 $\bar{r}'(t)$ 和 $\bar{r}''(t)$ 的向量积。

$$\bar{r}'(t) = [x_1'(t), y_1'(t), z_1'(t)]$$

$$\bar{r}''(t) = [x_2(t), y_2(t), z_2(t)]$$

$$\bar{r}'(t) \times \bar{r}''(t) = \begin{vmatrix} y_1'(t) & z_1'(t) \\ y_2(t) & z_2(t) \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} z_1'(t) & x_1'(t) \\ z_2(t) & x_2(t) \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} x_1'(t) & y_1'(t) \\ x_2(t) & y_2(t) \end{vmatrix}$$

若要详细了解以上公式, 可参阅空间解析几何学和微分几何学。

圆柱螺旋线是空间曲线的一种特定曲线, 它的方程式为:

$$\bar{r}(a) = [R \cos a, R \sin a, R a \operatorname{tg} \varphi] \quad (4)$$

式中 a 是变量,

$$x(a) = R \cos a$$

$$y(a) = R \sin a$$

$$z(a) = R a \operatorname{tg} \varphi$$

这是式 (1) 已给出的。

$\bar{r}(a)$ 的一阶和二阶导数如下:

$$\bar{r}'(a) = [-R \sin a, R \cos a, R \operatorname{tg} \varphi] \quad (5)$$

$$\bar{r}''(a) = [-R \cos a, -R \sin a, 0] \quad (6)$$

现将其曲率半径 ρ 的各项分别进行计算。

$$\begin{aligned} |\bar{r}'(a)| &= \sqrt{x_1'^2(a) + y_1'^2(a) + z_1'^2(a)} \\ &= R \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{r}'(a) \times \bar{r}''(a) &= \begin{vmatrix} R \cos a & R \operatorname{tg} \varphi \\ -R \sin a & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} R \operatorname{tg} \varphi & -R \sin a \\ 0 & -R \cos a \end{vmatrix}, \\ &\quad \begin{vmatrix} -R \sin a & R \cos a \\ -R \cos a & -R \sin a \end{vmatrix} \\ &= [R^2 \operatorname{tg} \varphi \sin a, -R^2 \operatorname{tg} \varphi \cos a, R^2] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} |\bar{r}'(a) \times \bar{r}''(a)| &= \sqrt{(R^2 \operatorname{tg} \varphi \sin a)^2 + (-R^2 \operatorname{tg} \varphi \cos a)^2 + (R^2)^2} \\ &= R^2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \end{aligned} \quad (9)$$

将式 (7) 和 (9) 代入式 (3), 则得:

$$\rho = \frac{|\bar{r}'(a)|^3}{|\bar{r}'(a) \times \bar{r}''(a)|}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(R\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi})^3}{R^2\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}} \\
&= R(1+\operatorname{tg}^2\varphi)
\end{aligned}
\tag{10}$$

同理

$$k = \frac{1}{R(1+\operatorname{tg}^2\varphi)} \tag{11}$$

从(10)式中可以看出, 曲线的曲率半径 ρ 与 R 和 φ 有关, R 越大, 曲率半径 ρ 也越大, 反之亦然。这是很容易理解的。梯子的上升角 φ 越大, 也就是梯子越陡, 曲率半径 ρ 也越大, 若是 $\rho=90^\circ$, 成为直爬梯时, 其曲率半径 ρ 就趋于无穷大了。反之, 上升角 φ 越小, ρ 也越小, 当 $\varphi \rightarrow 0^\circ$ 时, $\rho \rightarrow R$, 这也是可以理解的。

三、应 用

在某工程中, 我们建了15个3350立方米的立式圆柱体钢罐, 罐高 H 14.7米, 直径 D 17.15米。我们将盘梯分成四节预制成半成品, 安装到罐上都很合适。盘梯外侧板的曲率半径 ρ 计算如下:

外侧板的上升角 $\varphi=45^\circ$, $\operatorname{tg}\varphi=1$

外侧板距钢罐壁0.707米, 故外侧板所围绕的圆柱体的半径 R :

$$R = \frac{1}{2}(17150) + 707 = 9282 \text{ 毫米}$$

则外侧板的曲线方程式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= 9282 \cos \alpha \\ y &= 9282 \sin \alpha \\ z &= 9282 \alpha \operatorname{tg} \varphi \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

它的曲率半径可用(10)式求出:

$$\rho_{\text{外}} = R(1+\operatorname{tg}^2\varphi) = 9282(1+\operatorname{tg}^2 45^\circ) = 18564 \text{ 毫米}$$

对于盘梯的内侧板说, 它的上升角 $\varphi=47^\circ 3' 29''$, $\operatorname{tg}\varphi$ 为1.0745543, 它的圆柱体半径 R 为8638毫米。而

$$R \operatorname{tg}\varphi = 8638 \times 1.0745543 = 9282$$

它的曲线方程式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= 8638 \cos \alpha \\ y &= 8638 \sin \alpha \\ z &= 9282 \alpha \operatorname{tg} \varphi \end{aligned} \right\} \tag{13}$$

内侧板的曲率半径按式(10)求出如下:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{内}} &= R(1+\operatorname{tg}^2\varphi) \\ &= 8638(1+1.0745543^2) \\ &= 18612 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

(下转59页)

偏小10.7%。孔板上游计量法兰垫片突入管内也造成气量偏低,如付家庙输气站一台内径257毫米的节流装置,垫片突入管内20毫米,此时计量气量为1765000米³/日,更换合格垫片,内径为252毫米后,计量的气量即升至1950000米³/日。

7. 搞好天然气分离保证气质干净,防止节流装置脏污

孔板差压流量计要求计量的气体为单相,流经孔板时亦不能发生相态变化,孔板在任何时候都应保持清洁,并且没有灰尘、水和其他附着物质等的结聚。当各种污物在孔板前下角部分沉积下来,堵塞环室时,将导致计量的气量偏低,污物越多偏低越多。如一台Dg250的进气计量装置,环室为污泥堵塞三分之二,孔板上流面污泥堆积厚1厘米,此时计量的气量为1672000米³/日,清洗之后气量即升至1861000米³/日,即堵塞状态下气量偏低5%左右。又一台φ325的节流装置,孔板前沉积有松散干硫化铁粉1.7公斤,造成气量偏低370000米³/日,误差13%。可见必须先分离、后计量,各进气站必须在站前输气管线上设置高效分水器,站内设置分离器,尽可能分离游离污水污物,各干线中途站、末端站要设置除尘器除去粉尘,并经常排污和定期清洗节流装置。

8. 清除脉动流的影响

节流装置上出现明显的脉动流时可能产生较大的误差,为了获得准确的计量,必须抑制脉动,使脉动衰减下来。当前输气干线

的脉动流来自以下几个方面:

(1) 气井产水带入输气干线,在管内运动,特别在低洼地带,水在管内往复运动,有的地段水冲击声每分钟20~40次,反映到邻近计量点上,仪表差压指针来回划动,记录成一条宽1~3厘米的宽带。

(2) 少数化肥厂距输气站近(100~500米),用户管径小(Dg80~100),由于往复压缩机的操作,造成脉动流,计量点差压记录曲线呈锯齿状。

(3) 输气站调压阀振动。

抑制措施:

(1) 加强管线清管作业,及时排水,如我处1980年至1981年3季度,在保持正常输气条件下用清管球、清管塞清管75段次,排出污水脏物2675立方米,不仅提高了管输效率,而且消除了脉动源,有利于搞准计量。

(2) 对化肥厂压缩机造成的脉动采取如下措施:

a. 在我站节流装置下流出站管线上安装节流阀,增大孔板至化肥厂的管线压降,最好使节流阀前后压降达到二比一,使气流处于临界流动状态。

b. 要求化肥厂关小进压缩机阀门,增大阻力损失。

c. 加大我站至化肥厂管线管径或加装一个有一定容量的容器(如一段φ720管线)

(3) 检修或更换调压阀。

(4) 对有脉动影响的计量点选用测量头带阻尼阀的双波纹管差压计,适当关小阻尼阀增大阻尼时间,降低仪表灵敏度。

(上接62页)

盘梯的预制一般是在平台上进行的。外侧板的半径应比内侧板的半径大一个梯子的宽度。而上面计算的结果是内侧板的曲率半径比外侧板还大48毫米。这就发生了矛盾。我们考虑到侧板与踏步的钢板都不太厚,都有一定的弹性。我们就采用内、外侧板的平均曲率半径作为梯子中心线的半径,制成盘

梯的半成品,安在钢罐上,都能圆满地达到设计要求。

在实际工作中,只要记住公式(10)

$$\rho = R(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)$$

就行。若是盘梯的上升角 $\varphi = 45^\circ$,就只记住 ρ 为 $2R$ 即可。用 ρ 等于 $2R$ 来作半径预制盘梯,就能顺利地安装到钢罐上。