

螺旋结构冷却塔的塔板设计方法

黄 锐

(中南大学资源与安全工程学院安全与环保研究所,长沙 410083)

[摘要] 针对冷却塔中螺旋结构类型的气液交换塔,提出其内部螺旋塔板形状的设计方法,包括塔壁上外螺旋线和塔中心轴管上内螺旋线的位置确定,以及两线之间螺旋曲面板在平面上的拓扑尺寸。通过塔的几何参数确定螺旋曲面板设计的关键参数,可实现扭曲状塔板与塔壁及内轴的准确配合。

[关键词] 冷却塔;塔板设计;螺旋曲面;拓扑

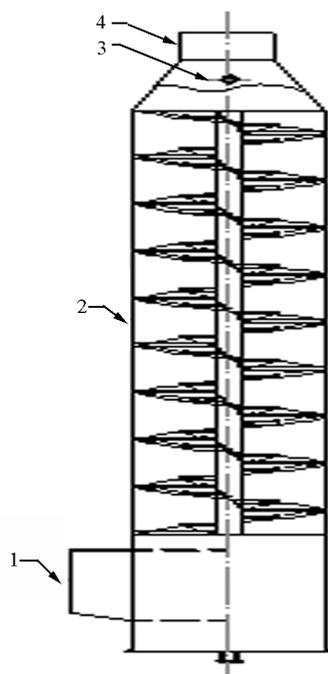
[中图分类号] X701 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)11-0043-04

1 前言

目前在化工、环保、节能等领域都大量采用冷却塔完成换热、传质等功能,除了筛板塔、填料塔等,还部分采用了内部具有螺旋结构的气液交换塔,其外形如图 1 所示。基本原理是液体从塔顶部向下喷淋,通过每个塔板挡水沿边积在螺旋曲面板上,所积液体又从螺旋塔板上的许多小孔向下一塔节流动(见图 2),在气体经过的螺旋通道中形成液体雨帘;气体从塔底沿螺旋通道向上运动,并与从孔洞流下的雨帘传质换热,实现有效的热交换过程和有害气体吸收过程^[1]。

由于螺旋结构可以有效增加气液换热时间^[2],并通过板上一定数量的小孔保证较大的换热传质面积,而且螺旋板对塔体还起到稳定塔身的力学效果。另外,螺旋塔为单通道,清洗方便,由于自旋离心作用,不易发生沉降结垢堵塞^[3]。因此,螺旋结构的冷却塔应用范围逐渐增加,并部分替代其他冷却塔型。

不过,在实际应用中存在由于螺旋塔板设计不够合理而产生的问题,一是某些塔板的平面板下料尺寸按塔的圆柱截面设计内圆径与外圆径,导致螺旋边配合困难,加工人员焊接塔板时,或磨边或补



1 - 进烟口;2 - 螺旋塔节;3 - 喷液管;4 - 排烟口

图 1 螺旋塔整体结构图

Fig. 1 Sketch of the spiral tower's structure

边;二是塔板没按螺旋线形成光滑曲面,而是阶梯状平面拼接成螺旋上升通道,结果塔内阻力上升,提高风机配置要求和能耗;三是没能准确定型螺旋板形

[收稿日期] 2008-03-04

[基金项目] 国家科技支撑计划(2006BAK04B03)

[作者简介] 黄锐(1975-),男,四川邛崃市人,中南大学副教授

状,导致强制扭曲的螺旋塔板在塔内长期受弹性力作用,经过一段时期后在薄弱环节(如焊边、孔眼

等)产生裂纹,严重的甚至一年时间就出现脱落掉板现象。

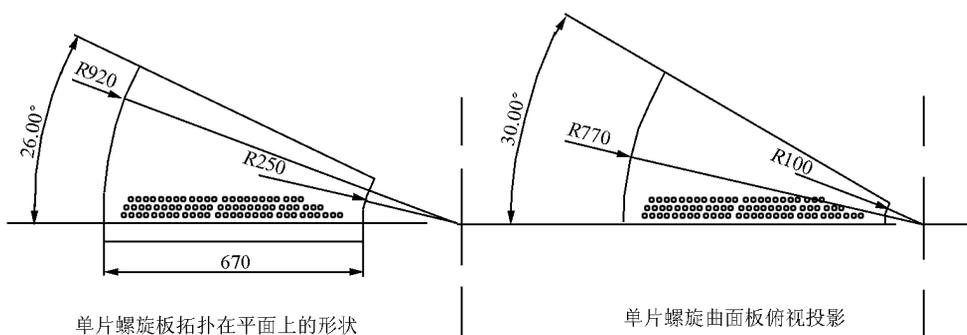


图2 1/12 圆周螺旋曲面板的拓扑形状与俯视投影图

Fig. 2 The topologic shape and the planform of the spiral curving board by 1/12 circles

为此,需要通过数学分析,明确螺旋线的位置与螺旋板的模具形状,以使螺旋塔加工难度降低,螺旋通道气体流通阻力较小,确保塔身应力分布合理,延长螺旋冷却塔的使用寿命。

2 螺旋线的位置

冷却塔螺旋结构设计中有3个要素,即内螺旋线、外螺旋线和螺旋板,其中内外螺旋线较容易确定。

设螺旋线上所有点的集合用 $L(r, \theta, z)$ 表示,其中 r 表示圆筒(塔节外壁或内轴管)的半径, θ 表示旋转角度, z 表示距离底面高度(参考图3)。若单个旋转一周的塔节对应高度是 h ,那么对于圆的任一位置 θ ,对应点在圆筒表面上的高度 z 为

$$z = \theta h / 360 \quad (1)$$

根据算式(1),可以算出螺旋线在圆筒面的位置,如表1数据所示。

表1 螺旋线在圆筒面不同角度方向的高度坐标
Table 1 The height scale of the anchor point of spiral line on the cylinder surface

角度 $\theta/(\circ)$	0	60	90	120	180	240	270	300	360
高度 z	0	$h/6$	$h/4$	$h/3$	$h/2$	$2h/3$	$3h/4$	$5h/6$	h

在同一塔节内,由于内外螺旋线在相同 θ 位置的高度 z 一样,而塔节外壁与内轴管各自对应的圆半径 r 不同;因而两条螺旋线尽管在相同角度 θ 位置上对应点等高,其连线平行于水平面,但因两螺旋线倾斜角度不相等(即圆筒展开平面的对角线斜率不相等),所以螺旋板曲面上任两条径向线都不在

一个平面内,显然该塔板是由无数异面曲线组成的扭曲的曲面板,参见图3。

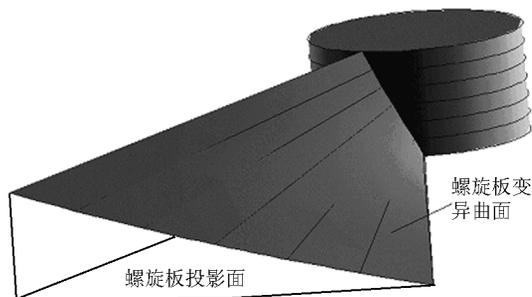


图3 沿圆周12等分的单个螺旋曲面板三维外形

Fig. 3 The 3D drawing of a tower board divided by 12 along circles

实际制作螺旋线时,其实它就是内外筒在卷筒前,位于矩形平面状原料板上的两条对角线。假定一个矩形平面板,如图4所示,在其上面画一条对角线,将此平面卷成圆筒,则此对角线即成一条旋转360°的螺旋线。同理,内轴表面的螺旋线也是同样的确定方法。

而对角线的总长度 l 就等于

$$l = \sqrt{(2\pi r)^2 + h^2} \quad (2)$$

但在确定内外螺旋线时,还应注意塔壁内表面的螺旋线和内轴外表面的螺旋线应沿相反方向绘制。这样才能保证卷好筒后,接塔板时两螺旋线都是左手螺旋或都是右手螺旋。

除了平板绘制螺旋线外,当直接采用标准规格的圆筒或圆管而无需卷筒时,就需要在圆筒内表面或内

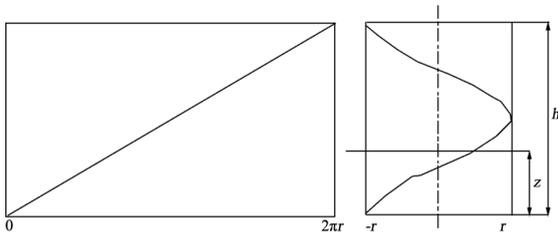


图4 在展开平板上绘制对角线
卷成柱面就成为螺旋线

Fig. 4 The spiral line on the column is just
the diagonal on the rectangular flat

轴外表面绘制螺旋线。实际制作中,可以 n 等分圆柱的 360° 周长,计算单个扇形弦长,再用等于该弦长的绳及直尺沿圆周在圆筒表面画 n 条平行于轴线的直线,分割其表面为 n 等分,再按单个塔板在空间垂直方向上的高度 h/n ,沿塔壁筒体或内轴管道长度方向等分若干。连接两组正交线的交点所形成的曲面上斜线就是对应螺旋塔板的外或内螺旋边线。

3 曲面塔板在平面上的下料形状

由于螺旋塔板是圆环面在空间的拓扑,其形状确定需要考虑环形板内外弧线和空间角度的变化。即螺旋曲面投影在平面上是圆环面,但制作时在平面板材上的下料尺寸和圆环面的内外径长度是不相同的,且拓扑角度也不是圆环面的 360° 。

如果将每个塔节内,沿整个圆周 360° 的螺旋板分为 n 个等分扇形塔板,那么每个塔板拓扑在平面上的内外弧线长度(参见图4中对角线)分别为

内弧线长度

$$l_n = [(\pi r)^2 + h^2]^{1/2} / n \quad (3)$$

外弧线长度

$$L_n = [(\pi R)^2 + h^2]^{1/2} / n \quad (4)$$

同时可以确定,单个螺旋面塔板在塔节内的垂直高度方向上的距离为 $z = h/n$ 。

假设单个螺旋曲面板的拓扑在平面上的角度为 φ ,外壁与内筒半径相差距离为 Δr (即投影圆环面半径的大小),那么将此单个螺旋曲面板展开在平面上时,其形状尺寸计算方程组如下:

$$\begin{cases} (\varphi/360) \cdot \pi r = l_n \\ (\varphi/360) \cdot \pi R = L_n \\ R - r = \Delta r \end{cases} \quad (5)$$

由以上3个方程可求解出螺旋曲面板拓扑在平面上的角度 φ 、内弧半径 r 和外弧半径 R ,由此可

得出其在平板上的下料形状。

以某螺旋塔的设计为例,塔节高度为 1.2 m ,外筒壁直径 Φ 为 1.54 m ,内轴管直径 Φ 为 0.2 m 且单个塔节的塔板分为 12 等分。

那么单个塔板对应旋转角度 30° (投影角度),在垂直方向上的高度为 $1.2/12 = 0.1 \text{ m}$;

塔板投影内弧线长度为

$$\pi \cdot 0.2 / 12 = 0.0524 \text{ m},$$

内弧线长度按计算式(3)

$$l_n = [(\pi \times 0.2)^2 + 1.2^2]^{1/2} / 12 = 0.1129 \text{ m},$$

塔板投影外弧线长度为

$$\pi \cdot 1.54 / 12 = 0.4032 \text{ m},$$

外弧线长度按计算式(4)

$$L_n = [(\pi \times 1.54)^2 + 1.2^2]^{1/2} / 12 = 0.4154 \text{ m},$$

而外壁与内轴半径相差距离

$$\Delta r = (1.54 - 0.2) / 2 = 0.67 \text{ m}$$

将 $l_n, L_n, \Delta r$ 代入方程组(5),得

$$\begin{cases} (\varphi/360) \cdot \pi r = 0.1129 \text{ m} \\ (\varphi/360) \cdot \pi R = 0.4154 \text{ m} \\ R - r = 0.67 \text{ m} \end{cases}$$

解方程组得 $\varphi = 25^\circ 8' 7''$, $r = 0.25 \text{ m}$, $R = 0.92 \text{ m}$,由此3个参数可以画出 $1/12$ 圆周的螺旋曲面板形状,扇形环角度 25.87° (对应平面投影角度 30°),扇形环内半径 0.25 m ,外半径 0.92 m ,而不是原来的内半径 0.1 m 和外半径 0.77 m 。 $1/12$ 圆周螺旋曲面板拓扑在平面上的下料形状与其在空间中投影的形状如图2所示。

根据实际制作结果,两螺旋边与内外螺旋线结合得非常准确。

4 结语

螺旋结构的冷却塔在实际中应用越来越多,尤其在节能环保领域,某些技术公司还将其作为主体技术来采用。在实际制作过程中,需要注意螺旋线的准确定位,科学计算螺旋塔板的平面拓扑形状。

在实际制作过程中,单个螺旋板在焊接时需要先焊定塔板下沿边线两个点,再焊接好内螺旋边,然后压外螺旋边,压一点焊一点直至焊满整条边。焊接时需防止塔板中间段凸起。如果预先制作螺旋塔板模具,对塔板曲面定型,则焊接就相当省事。当然,一个模具只能对应一种尺寸,当塔的内外径变化时,该模具曲面也要改变。因此在实际制作时,必须根据某尺寸塔型的需求量进行效益核算,评估是否

有制作专门模具的必要。同时,所制作塔节外壁要尽可能滚圆(否则影响塔板焊接),所制作各部分外径需保持一致,避免因误差大而导致筒壁焊成整体时难以配合。

参考文献

[1] Nygaard H G, Kiil S, Johnsson J E, et al. Full - scale measure-

ments of SO₂ gas phase concentrations and slurry composition in a wet flue gas desulphurization spray absorber [J]. Fuel ,2004, 83: 1151 - 1164

[2] 李荫堂, 李安平, 王 双, 等. 烟气脱硫喷淋塔气体旋流实验研究[J]. 环境技术, 2005, (1): 25 - 28

[3] 刘岭梅, 陆卫平. 螺旋板换热器在 SPVC 装置汽提系统中的应用[J]. 化工科技市场, 2004, (5): 38 - 39, 42

Design on the board of spiral cooling tower

Huang Rui

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

[**Abstract**] A spiral structure of cooling tower is designed for heat exchange of gas & liquid. The method includes the locating of the outer spiral line on the tower wall and the inner spiral line on the central axial pipe, as well as the topologic shape in the plane for the curving board between the two spiral lines. According to the basic parameters of cooling tower, the critic parameters of spiral curving board can be ascertainable, so as to accurately link up the tower board with the tower wall and the inner axial pipe.

[**Key words**] cooling tower; board; spiral curving board; topology