

撫順石油學院

300噸/年煤成堆干餾廠經驗之三

泡沫式冷卻塔

撫順石油學院著

石油工業出版社

內 容 提 要

煤成堆干餾廠設備簡單、操作容易、投資少、建廠快，是全國各地都可以興辦的一種小型人造石油廠。撫順石油學院在煤成堆干餾方面創造了較好的經驗，采油率也超過設計指標，氫的回收率也很高。泡沫式塔是該院提出的一項重要經驗，可用于冷卻、氫回收及除塵等方面，效率很高，使建廠投資大為降低。本書介紹了該院煤成堆干餾廠泡沫式冷卻塔的設計與試運轉情況，對各地煤成堆干餾廠的同志有很大的參考價值。同時，本書還編入了一篇關於採用泡沫式塔建議的文章，供作參考。

統一書號：15037·550

泡 沫 式 冷 却 塔

撫順石油學院300噸/年煤成堆干餾廠經驗之三

撫順石油學院著

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可証出字第080號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張1 $\frac{3}{8}$ * 22千字 * 印1—5,000冊

1958年11月北京第1版第1次印刷

定價(10)0.20元

目 录

- 泡沫式冷却塔的设计与试运转情况····· 1
- 利用泡沫法改进抚顺頁岩干餾工业产品回收设备的建議···26

泡沫式冷却塔的设计与试运转情况

一、前 言

泡沫设备为近代化工方面新成就之一，广泛应用于传热、传质及除尘的操作过程，其操作效果比一般填料塔，泡罩塔或喷洒塔要高出十倍至百倍。在泡沫设备中，各过程之所以获得如此显著强化的原因，在于气体以较高之流速通过筛板上之液层而形成剧烈运动的泡沫层，因而增加了气液两相的接触面积，并由于气泡不断生成与破坏及增加了扰动程度，因而亦降低了扩散阻力，由于泡沫设备结构简单，节省钢材，操作可靠、效率高，因此在我国许多化工厂已先后采用或进行试验。在石油工业中，应用泡沫设备亦有很大之可能性。但是，由于瓦斯中含有焦油及氨等成分对泡沫之形成可能有影响，此外也可能使焦油乳化。不过根据泡沫设备的机理看来，在瓦斯流速超过2米/秒时则气液的性质对泡沫形成的影响是不大的，而乳化问题则只有由实验来证明。

为了使这一新型设备能在石油工业中得到应用和推广，从而提高设备效率，减少投资，节约钢材。在我院煤成堆干馏工厂流程中，在全国首次地采用了泡沫式冷却塔。根据试验结果证明其冷却效果比一般填料塔高十倍，传热系数达10.000—12.000仟卡/米²时^oC，塔板热效率为0.7—0.75，而且用钢板，木板或钢筋混凝土皆可制造，但焦油有乳化情况，凉水塔水中含油1仟克/米³。

今将我院泡沫式冷却塔设计及运转情况介绍如下。

二、泡沫式冷却塔設計

1. 泡沫塔构造，溢流装置与截面形状的选择。

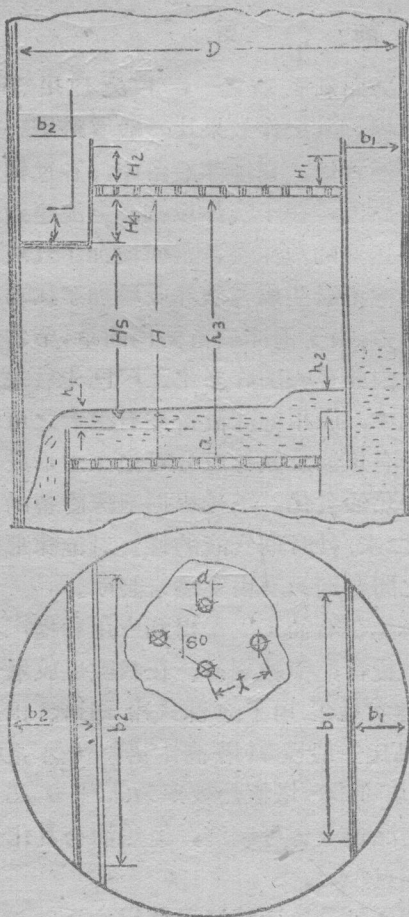


图 1 圓形內溢流泡沫器結構圖

- a ——含气液层高度；
- D ——設備直径；
- b_1 ——溢流器厚度；
- b_2 ——水封厚度；
- d ——篩孔直径；
- t ——篩孔中心距；
- H ——板間距；
- H_1 ——溢流堰高度；
- H_2 ——迴流堰高度；
- H_3 ——从水封底部到溢流器下边缘的距离；
- H_4 ——从篩板到水封底部的距离；
- H_5 ——溢流孔高度；
- e_1 ——溢流堰寬度；
- e_2 ——迴流堰寬度；
- δ ——篩板厚度；
- h_1 ——通过溢流堰的溢流水高度；
- h_2 ——通过迴流堰的溢流水高度；
- h_3 ——在液体上面的自由空間高度。

泡沫塔从结构看来可以分为二大类型：内溢流与外溢流；从截面看来又可以分为圆形及矩形两种。内溢流与外溢流，它们对建立一定高度的泡沫层的原理是不一样的，前者依靠溢流堰高度和溢流水的动力学位压头，而后者依靠溢流堰高度及溢流孔高度来保证。

图 1 为一双板圆形内溢流泡沫塔简图。

图 2 为一单板矩形外溢流泡沫塔简图。

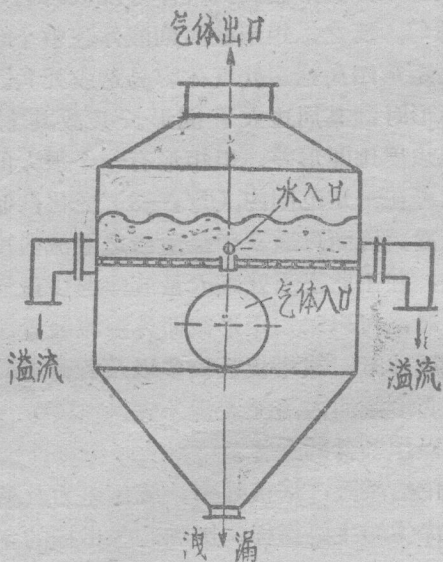


图 2 矩形外溢流泡沫器

从操作上看，由于泡沫需较大之溢流面积，因而气体通过量减少生产能力降低。但外溢流者构造复杂，制造安装不便，且在设备上开孔较大，因此降低了设备的强度。此外，

外溢流泡沫器中，泡沫高度是依靠溢流孔高度及溢流堰高度來保證的。當二者一定時，若溢流強度超過一定數值則可以引起泡沫高度不規則的迅速增加，可能形成液泛，並使阻力迅速增加，因此在負荷變動時，對它的操作影響較大。反之，內溢流裝置則可以允許氣體及液體負荷在較大範圍內變化，其操作彈性較好。

泡沫設備的截面形狀，主要影響到氣體和液體在截面上的分布。一般說來，圓形截面的氣體分配較均勻，但液體流經截面上不均勻。反之，矩形截面則液體在整個篩板截面上的均勻溢流而矩形四周摺邊處氣體容易造成死角。

在採用矩形時，其周邊大於圓形長度故其材料消耗較多。並且機械強度比圓形差。但矩形有一個很大的優點，就是它的長寬比可在一定範圍內（ $1/2$ — 3 ）變化，並且可以採用兩面溢流裝置，因而可適應於最適當之溢流強度。

一般說來，在工業上當處理大量液體與少量氣體時，或溢流強度很大時，可以採用矩形截面外溢流裝置。若處理大量氣體與少量液體時，或塔板數較多以及負荷有較大之變化時，則以採用圓形截面內溢流裝置為宜。

2. 泡沫塔操作條件的選擇。

泡沫塔之傳熱係數，塔板效率，流體阻力及濺沫滯出量是評定其操作優劣的主要指標。影響這些指標的主要操作條件是空塔速度，泡沫高度，小孔流速及液流強度。

在泡沫塔內當氣體流速為 0.3 — 0.6 米/秒時篩板上液體成鼓泡狀，此時傳熱效率極低，當氣體流速為 1.3 — 3.5 米/秒時則成泡沫狀，而且傳熱係數隨氣體流速的增加而增加（見圖 3），但是氣體流速的上限受兩個因素的限制，即飛沫

与阻力增加，若超过一定流速会形成液泛。一般在传热过程中气体流速取1.5—2.5米/秒为宜。

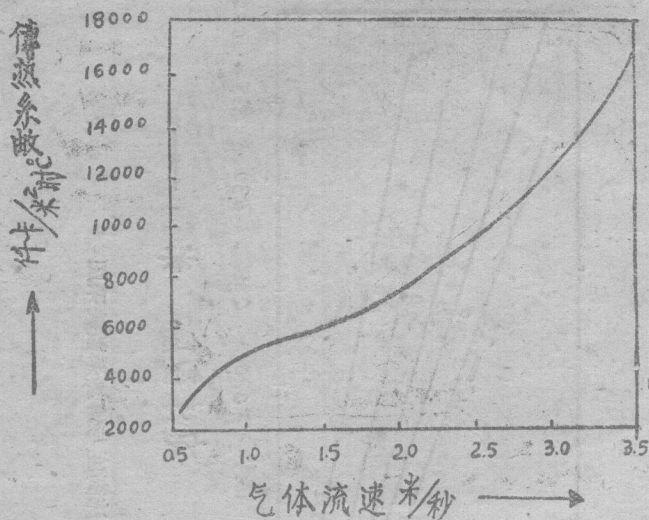


图3 气体流速与传热系数关系图

泡沫高度是决定操作强度的因素。当气体的流速一定时，随着泡沫高度的增加传热系数及塔板效率都增加（见图4,5）但是阻力也增加。塔板阻力由于干板阻力 ΔP_1 及泡沫阻力 ΔP_2 所组成，当干板阻力一定时，塔板的经济性可以用 $K_T/\Delta P_2$ 来表示。图6所示为一定速度下平均的 $K_T/\Delta P_2$ 与 u 的关系。一般在传热过程中，泡沫高度以采用200毫米比较适宜。

要使泡沫的产生正常，在筛板上必须保持一定的原液层高度 h_0 （或泡沫高度 H ）。在内溢流装置的泡沫器中原液层高度是由一定的溢流堰高度 h_n 及溢流强度 i 而决定的。对于

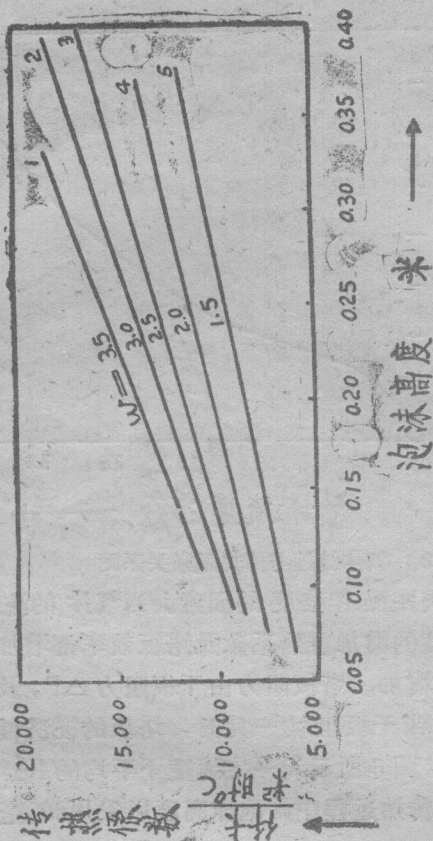


图4 泡沫高度与传热系数关系图

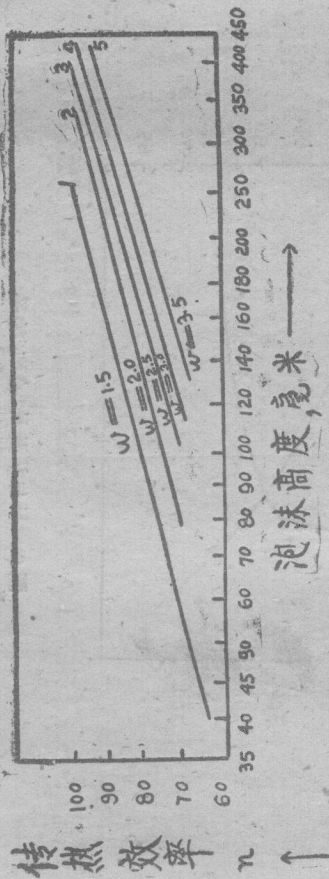
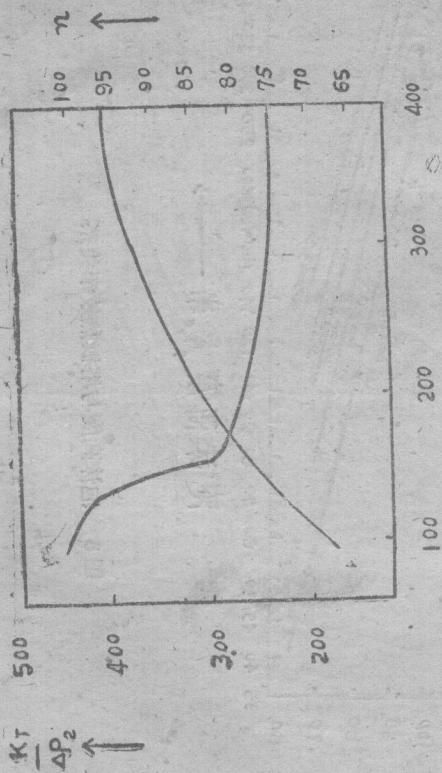


图5 泡沫高度与塔板热效率关系

图6 H与 η 及 $K/\Delta P_2$ 关系

空气——水系統的泡沫高度一般在50—400毫米範圍內即可操作。對於傳熱過程則以150—250毫米最宜。H與 h_o 的關係如下：

$$h_o = \frac{H}{V_o} \text{ 毫米}$$

式中 V_o ——泡沫相對比容，即原液體比容與泡沫比容之比值。

對於空氣——水系統（煤氣——水也可近似應用） V_o 與W關係如下表所示。

表1

W	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
V_o	3.5	4.5	5.5	6.2	7.1

h_o 與 h_n 及 i 的關係如下：

$$h_o = 3^3 \sqrt{i^2 + 0.4 h_n} \text{ 毫米}$$

當選擇一定的泡沫高度H及流速W後則可求得原液層高度 h_o 。再根據設備的尺寸及用水量則可確定其溢流強度 i 。從上式即可求得合適之溢流堰高度 h_n 。

根據實驗結果表明溢流強度 i 在1—40米³/米時可以更容易地建立起來。最好是在15—25米³/米時。某些設備若用水量很大時，則可採用兩面溢流裝置。過大之溢流強度則容易引起液泛。增加篩板自由截面積 S_o （穿孔面積與塔板總面積之比%）時，可以採用較大之溢流強度 i 。如 t/d 為 $6/4$ ，氣體流速為1.4米/秒時， i 上限為70—75米³/米時。

氣體在篩板小孔中的速度 W_o 主要影響篩板上液體的洩

漏量及塔板阻力。一般 W_0 在 8—13 米/秒范围内，若流速过小洩漏过多则引起塔板效率降低，若流速过大则于板阻力增加洩漏停止，甚至产生液泛现象。对于除尘操作为了保证所需要洩漏量而达到有 60—80% 的灰尘被洩漏水所扑集， W_0 可取 6—11 米/秒；而对于吸收则 W_0 应大于 11 米/秒；对于解吸则 W_0 应大于 13 米/秒；在传热操作中， W_0 可取 8—13 米/秒。

溅沫带出量 L_B 主要决定于空塔流速，原液层高度及塔板距离。当气体流速相同时， h_0 越少则 L_B 越大。而在同一 h_0

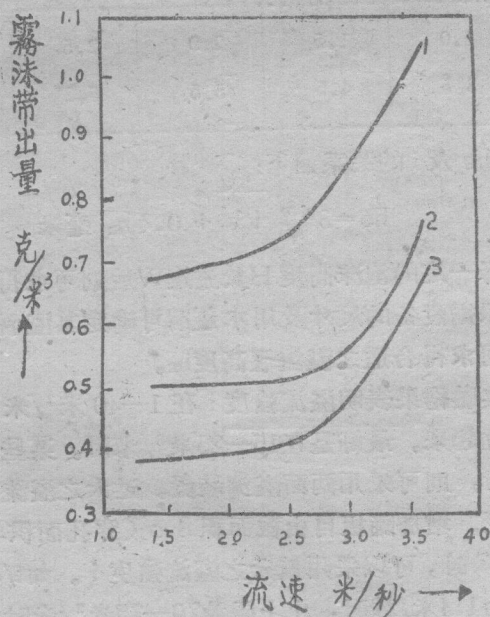


图7 雾沫带出量与流速关系

时, W 越大则 L_B 越大。但在 W 小于 25 米/秒时增长不大, 超过 3 米/秒则 L_B 迅速增长。一般在 W 小于 2.5 米/秒时, L_B 小于 1 克/米³ (见图 7)。

综合以上所述, 可知在泡沫式冷却塔中最有利之操作条件为:

(1) 空塔流速 $W = 1.5 - 2.5$ 米/秒;

(2) 泡沫高度 $H = 150 - 250$ 毫米;

(3) 小孔流速 $W_0 = 8 - 13$ 米/秒;

(4) 溢流强度 $i = 15 - 25$ 米³/米时。

3. 筛板参数的选择。

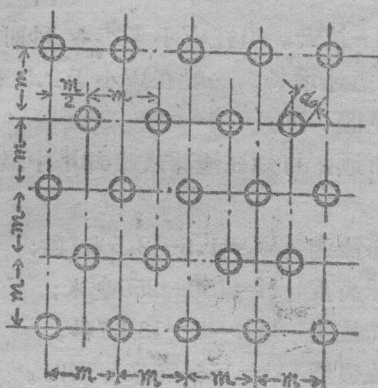
塔板是泡沫设备中重要部件之一。传热或传质过程是在塔板上泡沫层内进行的。选择合适的筛板参数则可获得最好的泡沫结构, 并且阻力小制造方便。

泡沫塔中筛板主要特性因素为: 小孔直径 d , 小孔中心距 t , 筛板自由截面积 S_0 , 塔板厚度 δ 及塔板材料等。

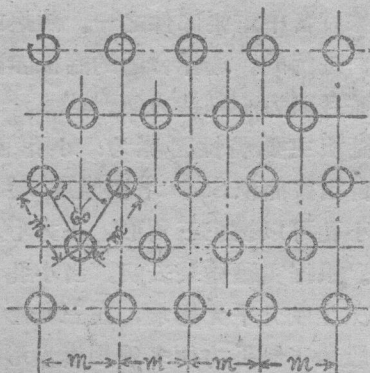
在塔板上小孔可以按正三角形, 正方形及旗盘形排列 (又称六角形)。根据实验结果表明, 当小孔 d 、 t 、 δ 相同时, 排列方法对泡沫生成几乎无影响, 正三角形自由截面最大故阻力小, 但一般为了制造方便多采用旗盘形排列 (见图 8)。

小孔直径大小对传热系数几乎无影响, 主要影响塔板阻力, 一般孔径范围在 2—8 毫米而在 4—6 毫米时阻力最小。

小孔中心距与直径之比 $e = \frac{t}{d}$ 对于二相混合程度有决定性的意义, 当 e 增大时, 阻力增大, 并有大量液体不参加质交换。当 e 小时, 则气泡在小孔出口处膨胀而相互合拼, 使相接触面减少, 对传热不利。一般 e 应取 2—3。



a. 六角形



b. 正三角形

图8 小孔排列形式

塔板自由截面积 S_0 为穿孔面积与塔板总面积之比(%)。它与小孔的排列方法以及孔径和中心距之比有关。对于三角形及六角形排列之筛孔其 S_0 与 d_0 、 t 关系如下:

$$S_0 = 90.7 \left(\frac{d_0}{t} \right)^2 \quad (\text{三角形})$$

$$S_o = 78.5 \left(\frac{d_o}{t} \right)^2 \text{ (六角形)}$$

S_o 对泡沫高度无关，但与泡沫性質有关，当 S_o 大时，生成活动性小而大的泡沫；当 S_o 小时，飞沫增多而且阻力也增加。一般 S_o 应取 10—18%。

綜合以上可知，篩板最好之規格为 $1^2/5$ ， $1^4/6$ 。因为鉗头規格的限制，沒有 5 及 6 毫米的鉗头則可用 $1^4/5.4$ 規格。

塔板厚度 δ 对阻力有影响，一般可取 4—6 毫米，过厚或过薄則阻力皆大。如用非金屬材料，最厚可达 20 毫米。

4. 塔板数及冷却水用量的計算。

泡沫塔之理論塔板数可利用热焓——温度图 ($I-\theta$ 图) 以图解法求得。

饱和空气的 $I-\theta$ 值如下表：

飽和空气之 $I-\theta$ 值

表 2

θ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
I	2.30	4.50	7.07	10.14	13.87	18.45	24.13	31.26	40.30	51.85
θ	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
I	66.72	86.17	112.0	147.1	196.3	268.2	380.2	57.48	981	

对于瓦斯——水系統使用上列数据亦足夠准确。利用表 2 数据可作出 $I-\theta$ 的平衡曲綫 (見图 9)。

根据塔的热量平衡可得下列操作綫方程式

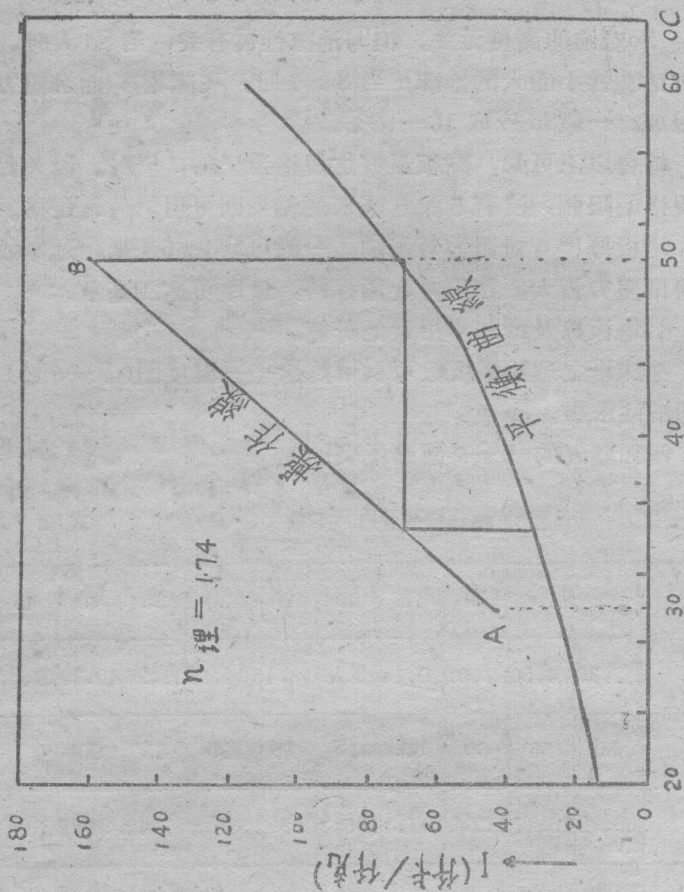


图9 I—O图中的平衡曲线与操作线