

## HC1 水吸收填料塔设计要点

# 设计任务书

## 1. 水吸收 HCl 填料塔的设计

### (一) 设计题目

试设计一座填料吸收塔，用于回收空气中的 HCl 气体。混合气体处理量为  $3500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。进口混合气中含 HCl  $6\%$ （体积百分数）；混合气进料温度为  $30^\circ\text{C}$ 。采用  $20^\circ\text{C}$  清水进行吸收。要求：

- ① HCl 的回收率达到  $99.85\%$ 。
- ② 塔顶排放气体中 HCl 含量低于  $0.15\%$

### (二) 操作条件

- (1) 操作压力  $202.6 \text{ kPa}$
- (2) 操作温度  $20^\circ\text{C}$
- (3) 吸收剂用量为最小用量的倍数自己确定
- (4) 塔型与填料自选，物性查阅相关手册。

### (三) 设计内容

- (1) 设计方案的确定和说明
- (2) 吸收塔的物料衡算；
- (3) 吸收塔的工艺尺寸计算；
- (4) 填料层压降的计算；
- (5) 液体分布器简要设计；
- (6) 绘制液体分布器施工图；
- (7) 其他填料塔附件的选择；
- (8) 塔的总高度计算；
- (9) 泵和风机的计算和选型；
- (10) 吸收塔接管尺寸计算；
- (11) 设计参数一览表；
- (12) 绘制生产工艺流程图（A3 号图纸）；
- (13) 绘制吸收塔设计条件图（A3 号图纸）；
- (14) 对设计过程的评述和有关问题的讨论。



# 目录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 前 言 .....                | 0  |
| 1、 填料塔主体设计方案的确定 .....    | 1  |
| 1.1 装置流程的确定 .....        | 1  |
| 1.2 吸收剂的选择 .....         | 1  |
| 1.3 填料的选择 .....          | 1  |
| 2、 基础物性数据及物料衡算 .....     | 2  |
| 2.1 基础物性数据 .....         | 2  |
| 2.1.1 气相物性数据 .....       | 2  |
| 2.1.2 气液相平衡数据 .....      | 2  |
| 2.1.3 物料横算 .....         | 3  |
| 2.2 填料塔工艺尺寸的计算 .....     | 4  |
| 2.2.1 塔径的计算 .....        | 4  |
| 2.2.2 填料层压降计算: .....     | 8  |
| 2.2.3 液体分布装置 .....       | 8  |
| 3、 附属设备的选择与计算 .....      | 9  |
| 3.1 填料支撑装置 .....         | 9  |
| 3.2 填料压紧装置 .....         | 9  |
| 3.3 吸收塔主要接管的尺寸计算 .....   | 9  |
| 3.4 填料塔附属高度的计算 .....     | 11 |
| 3.5 离心泵和风机的选择 .....      | 11 |
| 设计一览表 .....              | 13 |
| 1 基础物性数据和物料衡算结果汇总: ..... | 13 |
| 2 填料塔工艺尺寸计算结果表: .....    | 14 |
| 3 吸收塔设计一览表 .....         | 15 |
| 对本设计的评述 .....            | 15 |

# 前 言

填料塔不但结构简单，且流体通过填料层的压降较小，易于用耐腐蚀材料制造，所以她特别适用于处理量小，有腐蚀性的物料及要求压降小的场合。液体自塔顶经液体分布器喷洒于填料顶部，并在填料的表面呈膜状流下，气体从塔底的气体口送入，流过填料的空隙，在填料层中与液体逆流接触进行传质。因气液两相组成沿塔高连续变化，所以填料塔属连续接触式的气液传质设备。

## 1、 填料塔主体设计方案的确定

### 1.1 装置流程的确定

本次设计采用逆流操作：气相自塔底进入由塔顶排出，液相自塔顶进入由塔底排出，即逆流操作。

逆流操作的特点是：传质平均推动力大，传质速率快，分离效率高，吸收剂利用率高。工业生产中多采用逆流操作。

### 1.2 吸收剂的选择

因为用水做吸收剂，故采用纯溶剂。

### 1.3 填料的选择

塔填料的选择包括确定填料的种类、规格及材料。填料的种类主要从传质效率、通量、填料层的压降来考虑，填料规格的选择常要符合填料的塔径与填料公称直径比值  $D/d[1]$ 。

综合考虑填料规格，种类和材质后，选用聚丙烯鲍尔环填料

## 2、基础物性数据及物料衡算

### 2.1 基础物性数据

#### 2.1.1 液相物性数据

对低浓度吸收过程，溶液的物性数据可近似取纯水的物性数据。由手册查得 20℃ 水的有关物性数据如下：

1.  $\rho_l = 998.2 \text{ kg/m}^3$
2. 黏度：  $1.005 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
3. 表面张力为：  $\sigma_z = 72.6 \text{ dyn/cm} = 940896 \text{ kg/h}^2$
4. 20℃ HCl :  $H = 0.199 \text{ kmol/(m}^3 \cdot \text{kPa)}$
5. 20℃ HCl :  $D_L = 2.8 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
6. 20℃ HCl :  $D_V = 1.56 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

#### 2.1.2 气相物性数据

##### 1. 混合气体的平均摩尔质量为

$$\overline{M} = 0.06 \times 36.5 + (1 - 0.06) \times 29 = 29.45 (\text{kg/kmol})$$

##### 2. 混合气体的平均密度

$$\rho_V = \frac{P\overline{M}}{RT} = \frac{202.6 \times 10^3 \times 29.45 \times 10^{-3}}{8.315 \times 293} = 2.449 \text{ kg/m}^3$$

$$R = 8.314 \text{ m}^3 \cdot \text{KPa/kmol} \cdot \text{K}$$

##### 3. 混合气体黏度可近似取为空气黏度。查手册得 20℃ 时，空气的黏度

$$\mu_V = 1.73 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} = 6228 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{h}$$

$$\text{注： } 1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad 1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2 = 1\text{kg/s}^2 \cdot \text{m} \quad 1\text{Pa} \cdot \text{s} = 1\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$$

#### 2.1.3 气液相平衡数据

由手册[2]查得，202.6 kPa，20℃ 时，HCl 在水中的亨利系数为  $E = 275 \text{ kPa}$

20<sup>0</sup>C 时, HCl 在水中的溶解度:  $H=0.199\text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{kPa})$

$$\text{相平衡常数: } m = \frac{E}{P} = \frac{\rho_L}{HM_s P} = \frac{998.2}{0.199 \times 18.00 \times 202.6} = 1.375$$

溶解度系数:  $H = 0.199\text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{kPa})$

#### 2.1.4 物料衡算

##### 1. 进塔气相摩尔比为

$$Y_1 = \frac{0.06}{1-0.06} = 0.06383$$

##### 2. 出塔气相摩尔比为

$$Y_2 = 0.0015$$

对于纯溶剂吸收过程, 进塔液相组成为:  $X_2 = 0$  (清水)

$$\text{混合气体流量: } 3500 \times \frac{273}{293} \times \frac{1}{22.4} = 145.59(\text{kmol}/h)$$

$$\text{惰性气体流量: } V = 145.59 \times (1 - 0.06) = 136.85(\text{kmol}/h)$$

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1^* - X_2}$$

$$\text{最小液气比: } = \frac{Y_1 - Y_2}{\frac{Y_1}{m} - X_2} = \frac{0.06383 - 0.0015}{\frac{0.06383}{1.375} - 0} = 1.3427$$

取实际液气比为最小液气比的 2.5 倍, 则可得吸收剂用量为:

$$L = 1.3427 \times 136.85 \times 2.5 = 459.37(\text{kmol}/h)$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{V(Y_1 - Y_2)}{L} \\ &= \frac{0.06383 - 0.0015}{1.3427 \times 2.5} = 0.01857 \end{aligned}$$

V——单位时间内通过吸收塔的惰性气体量, kmol/s;

L——单位时间内通过吸收塔的溶解剂, kmol/s;

$Y_1, Y_2$ ——分别为进塔及出塔气体中溶质组分的摩尔比, kmol/kmol;

$X_1, X_2$ ——分别为进塔及出塔液体中溶质组分的摩尔比, kmol/kmol;

## 2. 2 填料塔工艺尺寸的计算

### 2. 2. 1 塔径的计算

$$\text{混合气体的密度 } \rho_G = \frac{PM}{RT} = \frac{202.6 \times 10^3 \times 29.45 \times 10^{-3}}{8.315 \times 293} = 2.449 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{填料总比表面积: } a_t = 115 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\text{水的黏度 } \mu_L = 1.005 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

采用贝恩-霍根泛点关联式[3]计算泛点速度:

$$\begin{aligned} \lg\left[\frac{u_F^2}{g} \cdot \frac{a_t}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_V}{\rho_L} \cdot \mu_L^{0.2}\right] &= A - K \left(\frac{w_L}{w_V}\right)^{1/4} \left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)^{1/8} \\ &= 0.0942 - 1.75 \times \left(\frac{459.37 \times 18}{3500 \times 2.449}\right)^{1/4} \times \left(\frac{2.449}{998.2}\right)^{1/8} \\ &= -0.7241 \end{aligned}$$

$$\frac{u_F^2 a_t \rho_V}{g \varepsilon^3 \rho_L} \mu_L^{0.2} = 0.1888$$

$$u_F = \sqrt{\frac{0.1888 \times 9.81 \times 0.89^3 \times 998.2}{115 \times 2.449 \times 1.005^{0.2}}} = 2.1405 \text{ m/s}$$

$\mu_F$ ——泛点气速, m/s;

$g$ ——重力加速度, 9.81m/s<sup>2</sup>

$a_t$ ——填料总比表面积, m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

$\varepsilon$ ——填料层空隙率, m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

$\rho_V, \rho_L$ ——气相、液相密度, kg/m<sup>3</sup>;

$\mu_L$ ——液体粘度, mPa·s;

取泛点率为 0.6, 即  $u = 0.85u_F = 0.85 \times 2.1405 = 1.8194 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{4V_S}{\pi u}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 3500}{3.14 \times 1.8194 \times 3600}} = 0.8250 \text{ m/s} \end{aligned}$$



圆整后取  $D = 1.0m$

$D$ ——塔径，m；

$V$ ——操作条件下混合气体的体积流量， $m^3/s$ ；

$u$ ——空塔气速，即按空塔截面积计算的混合气体线速度， $m/s$ 。

圆整后取  $D=0.8m$ （常用的标准塔径为 400、500、600、700、800、1000、1200、1400、1600、2000、2200）

泛点率校核：

$$u = \frac{3500/3600}{0.785 \times 1.0^2} = 1.2385 m/s$$

$$\frac{u}{u_F} = \frac{1.2385}{2.1405} = 0.58 \quad (\text{对于散装填料，其泛点率的经验值为 } u/u_F = 0.5 \sim 0.85)$$

$$\text{填料规格校核: } \frac{D}{d} = \frac{1000}{38} = 26.3 > 10 \sim 15$$

液体喷淋密度校核：取最小润湿速率为  $(L_W)_{\min} = 0.08 m^3/(m \cdot h)$

$$a_t = 115 m^2/m^3$$

$$\text{所以 } U_{\min} = (L_W)_{\min} \cdot a_t = 0.08 \times 115 = 9.20 m^3/(m^2 \cdot h)$$

$$\begin{aligned} U &= \frac{L_h}{0.785 \cdot D^2} \\ &= \frac{459.37 \times 18 \div 998.2}{0.785 \times 1.0^2} = 10.55 m^3/(m^2 \cdot h) U_{\min} \end{aligned}$$

经以上校核可知，填料塔直径选用  $D = 1.0m$  合理。

## 2.2.2 填料层高度的计算及分段

查表知， $0^\circ C$ ， $101.3 kpa$  下， $HCl$  在空气中的扩散系数  $D_0 = 0.156 cm^2/s$

$$\text{由 } D_G = D_0 \left( \frac{P_0}{P} \right) \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}},$$

则  $293 K$ ， $202.6 kpa$  下， $HCl$  在空气中的扩散系数为

$$D_G = 0.156 \times \left( \frac{101.3}{202.6} \right) \left( \frac{293}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 0.0867 cm^2/s$$

液相扩散系数  $D_L = 1.50 \times 10^{-5} m^2 / s$

$$\text{液体质量通量为 } U_L = \frac{459.37 \times 18}{0.785 \times 1.0^2} = 10533.32 kg / (m^2 \cdot h)$$

$$\text{气体质量通量为 } U_V = \frac{3500 \times 2.449}{0.785 \times 1.0^2} = 10919.11 kg / (m^2 \cdot h)$$

$$Y_1^* = mX_1 = 1.375 \times 0.01857 = 0.02553$$

$$Y_2^* = mX_2 = 0$$

$$\text{脱吸因数为 } S = \frac{mV}{L} = \frac{1.375 \times 136.85}{459.37} = 0.4096$$

气相总传质单元数为：

$$\begin{aligned} N_{OG} &= \frac{1}{1-S} \ln[(1-S) \cdot \frac{Y_1 - Y_2^*}{Y_2 - Y_2^*} + S] \\ &= \frac{1}{1-0.4096} \times \ln[(1-0.4096) \times \frac{0.06383-0}{0.0015-0} + 0.4096] = 5.488 \end{aligned}$$

气相总传质单元高度采用修正的恩田关联式计算：

$$\frac{a_w}{a_t} = 1 - \exp \left\{ -1.45 \cdot \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_L} \right)^{0.75} \cdot \left( \frac{U_L}{a_t \cdot \mu_L} \right)^{0.1} \cdot \left( \frac{U_L^2 a_t}{\rho_L^2 g} \right)^{-0.05} \cdot \left( \frac{U_L^2}{\rho_L \sigma_L a_t} \right)^{0.2} \right\}$$

查表[4]知， $\sigma_c = 33 dyn / cm = 427680 kg / h^2$

$$\begin{aligned} \text{所以, } \frac{a_w}{a_t} &= 1 - \exp \left\{ -1.45 \times \left( \frac{427680}{940896} \right)^{0.75} \times \left( \frac{10533.32}{115 \times 3.6} \right)^{0.1} \times \left( \frac{10533.32^2 \times 115}{998.2^2 \times 1.27 \times 10^8} \right)^{-0.05} \right. \\ &\quad \left. \times \left( \frac{10533.32^2}{998.2 \times 940896 \times 115} \right)^{0.2} \right\} = 0.3582 \end{aligned}$$

气膜吸收系数由下式计算：

$$\begin{aligned} \kappa_G &= 0.237 \left( \frac{U_V}{a_t \mu_v} \right)^{0.7} \cdot \left( \frac{\mu_v}{\rho_v D_v} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{a_t D_v}{RT} \right) \\ &= 0.237 \times \left( \frac{10919.11}{115 \times 0.065} \right)^{0.7} \times \left( \frac{0.065}{2.449 \times 1.56 \times 10^{-5} \times 3600} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left( \frac{115 \times 1.56 \times 3600 \times 10^{-5}}{8.314 \times 293} \right) \\ &= 0.0803 kmol / (m^2 \cdot h \cdot kpa) \end{aligned}$$

液膜吸收系数由下式计算：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/127140141014006114>