

填料塔的填料层高度和塔径计算实例

段全军,周桂亭,樊守传

*(青岛天元化工股份有限公司,山东 胶南 266400)

[关键词] 不锈钢矩鞍环;气相总传质单元高度;空塔气速;最小喷淋密度;压降

[摘 要] 用闲置金属鞍环填料对填料塔进行防腐处理。介绍了利用现有引风机的条件下,填料塔塔径、塔高的计算示例。

[中图分类号] TQ028.2 [文献标识码] B [文章编号] 1008 - 133X(2005)04 - 0023 - 03

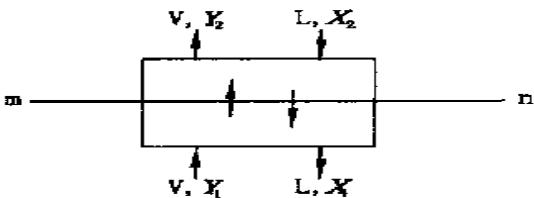
一般情况下,选用耐氯腐蚀的材料或对塔做一些防腐处理。例如,小塔采用 PVC 材料,使用钢材的塔里应该采用衬胶等措施。填料塔的填料最好采用塑料鲍尔环,因为它耐氯气腐蚀,而且环内空间及环内表面的利用率高,气体流动阻力降低,液体分布均匀。由于鲍尔环上的两排窗孔交错排列,才使得通过环的气体流动通畅,避免了液体严重的沟流及壁流现象,因此,鲍尔环的操作弹性大,是选择的理想填料。青岛天原公司有大量常年闲置的 25 mm 不锈钢矩鞍环,所以,选择了不锈钢矩鞍环和限制引风机来计算填料塔的计算事例。

1 前提条件

已知:气体工作温度 20 ,工作压力 104.9 Pa,入塔气体流量 10 000 m³/h,气体平均相对分子质量 33.2,20 %烧碱耗用量 112 752 kg/h。吸收塔采用 25 mm 的金属鞍环。

2 物料衡算

逆流吸收塔的物料衡算图见图 1。



V —单位时间内进塔空气的摩尔流量,kmol/s;

L —单位时间内进入塔的 20 %碱量,kmol/s;

Y_1 —进塔气体中氯气量的摩尔分数, %;

Y_2 —进塔及出塔气体中氯气量的摩尔分数, %;

X_1 —进塔液体中氯气量的摩尔分数, %;

X_2 —出塔液体中氯气量的摩尔分数, %

图 1 逆流吸收塔的物料衡算图

2.1 混合气体的质量流量

混合气体 $V_S = 10\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$,即 $2.78\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

$$w_V = 10\ 000 \times 273 \times 104.9 \times 33.2 / [101.3 \times (273 + 35) \times 22.4] = 13\ 604\ (\text{kg}/\text{h}) = 3.78\ (\text{kg}/\text{s})。$$

进塔气体的摩尔流量为 $410\ \text{kmol}/\text{h}$,即 $0.114\ \text{kmol}/\text{s}$ 。

2.2 进塔空气的摩尔流量

$$V = 0.114 \times (1 - 0.1) = 0.102\ 6\ (\text{kmol}/\text{s})。$$

2.3 吸收掉的氯气量

设气体的吸收率为 95 %,则:

$$y_1 = 0.1,$$

$$Y_1 = 0.1 \div (1 - 0.1) = 0.11,$$

$$Y_2 = Y_1 (1 - \phi_A) = 0.11 \times 0.05 = 0.005\ 5,$$

$$X_2 = 0.001。$$

在填料塔的吸收过程吸收掉的氯气量:

$$V(Y_1 - Y_2) = 0.102\ 6 \times 0.104\ 5 = 0.011\ (\text{kmol}/\text{s})。$$

2.4 NaOH的用量

由化学平衡式知,1 kmol 氯气与 2 kmol NaOH 反应,所以:

$$2 \times 0.011 = 0.022\ (\text{kmol}/\text{s})。$$

则用 20 %的碱:

$$(0.022 \times 2 \times 40) / 0.2 = 8.8\ (\text{kg}/\text{s})。$$

20 %碱的平均分子质量为:

$$100 \div (20 \div 40 + 80 \div 18) = 20.225\ (\text{kg}/\text{kmol})。$$

所以, $L_{\text{理论}} = 8.8 \div 20.225 = 0.435\ (\text{kmol}/\text{s})$ 。

取碱的用量为理论计算用量的 1.8 倍,则:

$$L = 0.435 \times 1.8 = 0.783\ (\text{kmol}/\text{s})。$$

* [收稿日期] 2004 - 10 - 08

[作者简介] 段全军(1976 -),男,1997年毕业于北京服装学院精细化工专业,现为青岛天元化工股份有限公司天宁车间副主任,主要负责生产、安全技术工作。

2.5 求最小液气比

已知 $(L/V)_{\min} = 0.435 \div 0.1026 = 4.24$,
 $(L/V)_{\min} = (Y_1 - Y_2) / (X_1^* - X_2)$,
 即: $(0.11 - 0.0055) / (X_1^* - 0.001) = 4.24$, 可得:
 $X_1^* = 0.0256$ 。

2.6 求出塔碱液的浓度

已知 $V(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2)$,
 $X_1 - X_2 = 0.011 / 0.783$, 得:
 $X_1 = 0.015$ 。
 所以通过物料衡算得出进出塔的液、气组成为:
 $X_1 = 0.015$,
 $X_2 = 0.001$,
 $Y_1 = 0.11$,
 $Y_2 = 0.0055$,
 $V = 0.1026 \text{ kmol/s}$,
 $L = 0.783 \text{ kmol/s}$ 。

3 求填料层高度

3.1 气相总传质单元数 N_{OG}

在衡算图的 $m-n$ 截面求操作线 $Y-X$ 的关系方程式:

$$Y = XL/V + (Y_2 - X_2L/V) = 0.783/0.1026 X + (0.0055 - 7.63 \times 0.001) = 7.63X - 0.00213$$

求相平衡常数 m :

$Y^* = 0.0256m + b$ 与 $Y = 7.63X - 0.00213$ 的交点是 (X_2, Y_2) , 即 $(0.001, 0.0055)$, $m = 4.25$;
 $b = -0.00125$, 得关系式

$$\begin{aligned} Y^* &= 4.25X - 0.00125, \\ Y_1^* &= 4.25 \times 0.015 - 0.00125 = 0.0625, \\ Y_2^* &= 4.25 \times 0.001 - 0.00125 = 0.003, \\ \Delta Y_1 &= Y_1 - Y_1^* = 0.11 - 0.0625 = 0.0475, \\ \Delta Y_2 &= Y_2 - Y_2^* = 0.0055 - 0.003 = 0.0025, \\ \Delta Y_m &= (0.0475 - 0.0025) / \ln(0.0475/0.0025) = 0.0155, \\ N_{OG} &= (Y_1 - Y_2) / \Delta Y_m = 6.7。 \end{aligned}$$

3.2 求气相总传质单元高度

查《氯碱物理化学常数手册》, 得:

$$\begin{aligned} K_Y &= 7.95 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{h)} , \\ H_{OG} &= V / (K_Y \Omega) = 0.1026 / (10.9 \times 10^{-5} \times 171 \times 3.14) = 1.75 \text{ (m)}。 \end{aligned}$$

3.3 填料层高度

$$Z = H_{OG} \times N_{OG} = 1.75 \times 6.7 = 12 \text{ (m)}。$$

4 求填料塔的塔径

$$D = \sqrt{4V_S / \pi u}。$$

已知 $V_S = 10000 \text{ m}^3/\text{h}$, 即 $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$,
 进塔气体的密度 $\rho_v = 1.36 \text{ (kg/m}^3)$,
 碱的密度 $\rho_L = 1.297 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3)$,
 $w_v = 13604 \text{ (kg/h)}$,
 $L = 0.342 \text{ (kmol/s)}$,
 $w_L = 112752 \text{ (kg/h)}$ 。
 则 $(w_L / w_v)(\rho_v / \rho_L)^{0.5} = 112752 \div 13604 \times (1.36 \div 1297)^{0.5} = 0.27$ 。
 根据埃克特通用关联图, 由横坐标 0.27 查纵坐标为 0.08, 即:

$$u_F^2 \phi \mu_v \mu_L^{0.2} / (g \rho_L) = 0.08。$$

查 25 mm 的金属鞍环的填料因子 $\phi = 441$,
 液相校正系数 $\psi = 1000 / 1297 = 0.77$,
 碱的黏度 $\mu_L = 4.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,
 所以:

$$u_F = \frac{\sqrt{0.08 \times 9.81 \times 1297}}{441 \times 0.77 \times 1.36 \times 40.2} = 1.29 \text{ (m/s)}。$$

取空塔气速为泛点气速的 60%, 即

$$u = 0.60 u_F = 0.60 \times 1.29 = 0.774 \text{ (m/s)}。$$

则塔径 $D = \sqrt{(4 \times 2.78) / (\pi \times 0.774)} = 2.14 \text{ (m)}$, 取 $D = 2.2 \text{ m}$ 。再计算空塔气速为:

$$u = 4V_S / (\pi D^2) = 4 \times 2.78 / (3.14 \times 2.2^2) = 0.73 \text{ (m/s)}。$$

取安全系数 $u / u_F = 0.73 / 1.29 = 57\%$ 。

5 核对操作条件下的喷淋密度是否大于最小喷淋密度

因为填料尺寸小于 75 mm, 故取

$$(L_w)_{\min} = 0.08 \text{ (m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})。$$

已知 $\sigma = 185 \text{ m}^2/\text{m}^3$, 所以

$$\begin{aligned} U_{\min} &= (L_w)_{\min} \sigma = 0.08 \times 185 = 14.8 \text{ (m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})。 \end{aligned}$$

操作条件下的喷淋密度为:

$$\begin{aligned} U &= (112752 \div 1297) \div (\pi / 4 \times 2.2) = 27.7 \text{ (m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}) > U_{\min}。 \end{aligned}$$

6 计算 1 m 填料层的压降, 确定风机能力是否适合

纵坐标

$u^2 \phi \rho_v \mu_L^{0.2} / (g \rho_L) = 0.572 \times 0.08 = 0.026$,
横坐标 $(w_L / w_v) (\rho_v / \rho_L)^{0.5} = 0.27$ 。
根据横、纵坐标的数值在图埃克特通用关联图中确定塔的操作点 , 该点位于 $\Delta p / Z = 280$ (Pa / m) 。
所以通过填料层总的压降为 $280 \times 12 = 3\,360$ (Pa) 。
已知引风机的参数为 :

型号	9 - 26 ;	风压	3 834 / 3 529 Pa ;
转速	1 450 r / min ;	机号	8 ;
风量	8 792 / 12 166 m ³ / h ;	功率	18.5 kW ;
工作温度	20 °		

通过计算可知 , 利用闲置的引风机和 25 mm 规格的不锈钢矩鞍环可以与 1 个填料层高度 12 m、塔径为 2.2 m、压降为 3 360 Pa 的吸收塔相配备。进入吸收塔的 20 %碱液量为 112 752 kg / h。

参考文献

[1] 曲文海. 压力容器与化工设备实用手册 (下册) [S]. 北京 : 化学工业出版社出版。
[2] 化学工业部第一设计院. 氯碱工业理化常数手册 [S]. 北京 : 化学工业出版社出版。
[3] 姚玉英. 化工原理 (下册) [M]. 天津 : 天津科学技术出版社出版。 [编辑 : 蔡春艳]

调整液化效率降低尾氯含氢的方法

哈广浦

* (聊城蓝威化工有限公司 , 山东 聊城 252000)

近几年来 , 蓝威公司氯碱生产中发现一个问题 , 每到一年的春夏之交、夏秋之交天气变化、昼夜温差变大的季节 , 夜间尾氯含氢指标时常超标 (体积分数超过 4.0 %) , 尾氯纯度低于 60 % , 给生产的安全运行带来极大的隐患 , 这时氯气 (电解槽) 总管纯度正常 , 含氢不超标。分析发生这种情况的原因有 : 氯气取样管白天受强光照射 , 氯、氢有部分参与反应 , 使白天采样分析含氢偏低 ; 电解槽单槽有含氢高现象 ; 电解槽在隔膜吸附制作、制浆过程操作中存在问题。
根据以上研究 , 对电解槽统一进行了普查 , 并对以上存在的问题及时修正、整改 , 但效果并不理想 , 夜间仍有尾氯含氢高现象。如果合成盐酸岗位向合成炉加气量过大 , 一是容易造成石墨换热器进口温度超标 ; 二是容易造成 HCl 气体吸收系统正压 , 给生产操作带来安全隐患。为了保证盐酸生产岗位的安全运行 , 只好间断性排放尾氯 , 合成次氯酸钠 , 以保证尾氯含氢指标的稳定 , 既被动 , 又浪费了氯气 , 给公司带来了一定的经济损失。
笔者综合以往的工作经验和理论知识 , 认真分

析 (夜间) 尾氯含氢高的原因 , 总结如下。
每到这个季节 , 昼夜温差增大 , 夜间要比白天温度 (气温) 低 10 ° 以上 , 电解岗位输送到氯气液化岗位的气 , 受外界气温的变化较大 , 在输送过程中散热幅度较大 , 对制冷压缩机来说减轻了很大负荷 , 如果不及调整液化效率 , 仍按白天的控制操作运行 , 液化效率会比白天明显增高 , 造成尾氯纯度低、尾氯含氢超标。
根据以上分析 , 及时通知氯气液化岗位 , 夜间降低制冷压缩机负荷 , 降低液化效率 , 使尾氯系统压力控制在 0.17 ~ 0.18 MPa 之间 , 原氯压力 (氯气干燥岗位) 在 0.22 ~ 0.24 MPa , 尾氯含氢可以保证稳定在 3.0 % ~ 3.5 % , 给生产的安全稳定运行提供了保障。
实施该措施给生产带来的有利之处有 : 使尾氯纯度及尾氯含氢指标稳定合格 ; 因尾氯纯度高 , 在盐酸岗位生产合成 HCl 气体过程中 , 向合成炉中的加气量可相应减少 , 便于稳定控制 , 安全操作 ; 避免不必要的排氯浪费。 [编辑 : 蔡春艳]