

乱堆填料塔压降计算新方法

嵇 鸣¹, 李春军²

(1. 淮阴师范学院 化学系 江苏 淮安 223001; 2. 清江化肥总厂 江苏 淮安 223002)

摘 要: 本文在 Billet 关联式的基础上, 结合填料塔中流体学流动实际和流体力学特征, 经过理论分析并结合试验数据, 提出了一个适宜于乱堆填料层压强降计算的新的半经验关联式。

关键词: 乱堆填料层; 压降; 关联式; 填料因子

中图分类号: O6-04 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-6876(2002)03-0056-04

填料塔的压降是填料的流体力学主要特性之一, 是确定填料塔操作单元动力消耗的重要参数。因此压降的确定对填料层操作的可靠性和经济性起决定性作用。

通常填料层压降的确定, 多由实验数据得出的关联图或关联式来估算, 由于计算时只用一个填料因子参数, 所以计算结果误差较大, 在生产实际操作中, 已有多种关联式报道, 这些关联式在载点以下较为准确, 但在载点以上误差仍然较大, 本文在 Billet 关联式的基础上, 通过理论分析, 并结合试验结果, 提出了一个适宜于乱堆填料压降计算的新的半经验关联式。

1 乱堆填料层压降的半经验关联式

Billet 提出的单位高度喷淋填料层压降 P/H 和单位高度干填料层压降 P_o/H 的计算式为^[1]:

$$\Delta P/H = \lambda_L [a/(\varepsilon - h_L)^3] \rho_G W^2 / (2f_s) \quad (1)$$

$$\Delta P_o/H = \lambda_o (a/\varepsilon^3) \rho_G W^2 / (2f_s) \quad (2)$$

式中: ΔP 、 ΔP_o — 喷淋填料层和干填料层的压降, Pa; H — 填料层高度, m; W — 空塔气速, m/s; λ_o 、 λ_L — 分别为干填料层和喷淋填料层的摩擦系数; a — 干填料的比表面积, m²/m³; ε — 干填料层的空隙率; ρ_G — 气体密度, kg/m³; f_s — 壁因子。

f_s 可由(3) 式计算:

$$1/f_s = 1 + 1/(ads) \quad (3)$$

式中: ds — 塔径, m。

λ_o 、 λ_L 分别由(4)、(5) 式计算:

$$\lambda_o = C_p (64/Re_G + 1.8/Re_G^{0.08}) \quad (4)$$

$$\lambda_L = C_p (64/Re_G + 1.8/Re_G^{0.08}) [\exp(Re_L/200)] \cdot (h/h_{L,s})^{0.3} [(\varepsilon - h_L)/\varepsilon]^{1.5} \quad (5)$$

式中: C_p — 填料常数; Re_G , Re_L — 气相雷诺准数和液相雷诺准数; h , $h_{L,s}$ — 分别为填料持液量和载点下的填料持液量, m³/m³。

Re_G 和 Re_L 可由(6)、(7) 式定义:

$$Re_G = wdp Re_L \rho_G f_s / (1 - \varepsilon) \mu_G \quad (6)$$

$$Re_L = U_L \rho_L / (\mu_L) \quad (7)$$

式中: μ_G 、 μ_L — 气相和液相的粘度, Pa·s; ρ_L — 液相密度, kg/m³; U_L — 液相喷淋密度, m³/(m²·s); dp

收稿日期: 2002-04-26

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金资助项目(99JB530001)

作者简介: 嵇鸣(1944-), 男, 江苏灌南人, 副教授, 主要从事化工工艺和应用化学等研究。

填料的当量直径, m .

dp 由(8)式计算:

$$dp = 6(1 - \varepsilon) / a \quad (8)$$

由式(1)、(2)、(4)、(5)可得到:

$$\begin{aligned} \Delta P / \Delta P_o &= (\lambda_t / \lambda_o) [\varepsilon / (\varepsilon - h_L)]^3 \\ &= [\exp(Re_L / 200)] (h_L / h_{L,s})^{0.3} [\varepsilon / (\varepsilon - h_L)]^{1.5} \end{aligned} \quad (9)$$

以上各式中的持液量 h_L 和载点持液量 $h_{L,s}$ 由文献公式^[1]计算,计算时还需引入3个填料常数,连同常数 C_p 共需采用4个填料常数.

按照Billet关联式计算填料层压降,在液相负荷较小时准确性较高,但随着液相负荷的增大,计算误差也随着增大.

由(9)式可见,湿填料床层和干填料床层阻力和填料持液量及液相流动状况有关.但同时还应注意,由于气液两相在同一通道中流过,气体对液体会产生一些作用力,增大了液膜的厚度;液体也会因气液相界面的状况如波纹成漩涡而影响气体的流动状况,使气体的流动阻力增大.这种气液两相的互相影响,与填料的几何形状、尺寸大小及表面性质有关.因此,本文对(5)式作了两项修改:①将(5)式右边指数项中的液相雷诺数 Re_L 前面乘以常数 C_L ,以表示不同填料层液相流动状况对压降的影响;②在该式右边乘以 $(1 + C_V Re_G)$,以表示在不同填料层气体流动对压降的影响, C_V 、 C_L 、 C_p 对每种填料来说,均为一个常数,表示填料的几何形状、尺寸大小及表面性质对压降的影响.

这样,本文提出的喷淋填料层摩擦系数计算式为:

$$\lambda_t = C_p (64 / Re_G + 1.8 / Re_G^{0.08}) [\exp(C_L \cdot Re_L / 200)] (h_L / h_{L,s})^{0.3} \cdot [(\varepsilon - h_L) / \varepsilon]^{1.5} \cdot (1 + C_V Re_G) \quad (10)$$

将(10)式代入(1)式计算填料层压降.

对上面式子中的填料持液量,本文采用以下关联式计算:当空塔气速 w 不大于载点空塔气速 w_s 时,采用大竹一冈田公式^[2]计算:

$$h_L = h_{L,s} = 1.295 (d \cdot u_L \rho_L / \mu_L)^{0.176} (d^3 g \rho_L^2 / \mu_L)^{-0.44} \quad (11)$$

式中: d — 填料的名义尺寸, m ; g — 重力加速度, $g = 9.81 m/s^2$.

当 $w > w_s$ 时,采用下式计算持液量:

$$h_L = h_{L,s} + (h_{L,F} - h_{L,s}) (w / w_F)^{13} \quad (12)$$

式中泛点下的持液量 $h_{L,F}$ 用(13)式计算:

$$h_{L,F} = 2.2 h_{L,s} \quad (13)$$

泛点空塔气速 w_F 需通过泛点气体质量流速 G_F 来计算^[3]:

$$G_F = B \cdot \exp\{-5.0423 + [-9.6575 \cdot \ln(AB^2) - 10.4963]^{0.5}\} \quad (14)$$

$$W_F = G_F / \rho_G \quad (15)$$

$$\begin{cases} A = \phi_F \rho_w \mu_L^{0.2} / (g \rho_G \cdot \rho_L^2) \\ B = L (\rho_G / \rho_L)^{0.5} \end{cases} \quad (16)$$

式中: ρ_w — 水的密度, kg/m^3 ; L — 液体质量流速, $kg/(m^2 \cdot s)$; G_F — 泛点气体质量流速, $kg/(m^2 \cdot s)$; ϕ_F — 泛点填料因子; μ_L — 液体的粘度, $mPa \cdot s$.

载点空塔气速 w_s 的计算式可根据文献^[4]的乱堆填料层压降通用关联图中的载点线得出:

$$W_s = A_2 \cdot \exp\{-14.92570764 + [-18.10263285 - 8.81709034 \ln(A_1 A_2^2)]^{0.5}\} \quad (17)$$

$$\begin{cases} A_1 = A = \phi_F \rho_w \rho_G \mu_L^{0.2} / (g \rho_L^2) \\ A_2 = \mu_L (\rho_L / \rho_G)^{0.5} \end{cases} \quad (18)$$

(16)式与(18)式中的泛点填料因子和压降填料因子由文献[4]可查出.

2 计算结果

根据天津大学化工教研室发表的有关文献资料,计算了几种规格的鲍尔环、矩鞍环、拉西环填料的填料常数,然后利用这些填料常数,计算了这些填料的常数和其计算误差见表 1.

表 1 几种填料的常数值和压降误差

填料名称	C_p	C_V	C_L	平均误差 (%)	泛点平均误差 (%)
Dg50 金属鲍尔环	0.752	2×10^{-5}	1.418	5.318	6.425
Dg50 塑料鲍尔环	1.24	3×10^{-5}	1.042	8.002	9.872
Dg50 瓷矩鞍环	0.397	1.2×10^{-4}	2.01	6.698	8.491
Dg25 铝矩鞍环	0.477	2.2×10^{-4}	1.887	8.216	10.228
Dg25 瓷拉西环	0.800	5.5×10^{-4}	5.051	9.643	9.676
平均值				7.302	8.326

对于 Dg50 金属鲍尔环,本文针对不同喷淋密度和空塔气速条件下,测定的压降与本文提出的计算方法的计算值和 Billet 关联式、金祖源关联式图值进行比较见表 2.

表 2 Dg50 金属环乱堆填料层压降计算值与文献值的比较

喷淋密度 (μL)	空塔气速 (W)	测定值 $\Delta P/H$	计算值		Billet 关联式		金祖源关联图	
			$\Delta P/H$	偏差(%)	$\Delta P/H$	偏差(%)	$\Delta P/H$	偏差(%)
10	1.0	8.40	8.02	- 4.55	8.42	+ 0.26	7.10	- 18.31
	1.5	18.0	17.20	- 0.47	18.23	+ 1.29	15.1	- 16.11
	2.0	29.9	32.00	+ 7.00	31.58	+ 5.61	30.5	+ 2.01
	2.5	47.0	50.93	+ 8.36	48.37	+ 5.16	56.0	+ 21.74
	2.9	65.0	72.56	+ 11.64	64.25	- 1.15	82	+ 17.14
50	1.0	17.2	16.34	- 5.01	14.73	- 14.84	15	- 13.29
	1.5	36.7	36.51	- 0.53	31.89	- 13.10	40	+ 5.26
	2.0	66.0	69.93	+ 5.96	55.24	- 16.31	75	+ 13.64
	2.37	157.0	136.33	- 13.17	76.4	- 15.34	150	- 4.46
绝对 平均值				5.20		8.08		12.86

从表 1 可以看出,本文提出的计算式平均计算误差最低值为 5.318,最高值为 9.643,总平均误差为 7.302;其中泛点平均最低值为 6.425,最高值为 10.228,总平均计算误差为 8.326.

从表 2 看出,与其它方法相比,本文提出的计算方法准确性较高.

3 结论

本文提出的计算方法对多种填料床层压降的总平均计算误差为 7.302,其中泛点床层压降的总平均计算误差为 8.326,均小于其它文献资料的计算误差.

参考文献:

- [1] Billet R. 填料塔 [M]. 魏建华译. 北京:化学工业出版社,1998. 91 ~ 94.
- [2] 大竹英雄,冈田和夫. 化学元素工业 [M]. 北京:化学工业出版社,1953. 176 ~ 179.
- [3] 王树楹. 现代填料塔技术指南 [M]. 北京:中国石化出版社,1998. 13 ~ 17.
- [4] 李锡源. 新型工业塔填料应用手册(散堆填料部分) [M]. 北京:化学工业出版社,1994. 45 ~ 47.

A New Computing Method of Pressure-lowering in Huddle Filling Towers

JI Ming¹, LI Chun-jun²

(1. Department of Chemistry, Huaiyin Teachers College, Huaian 223001, Jiangsu, China)

(2. Fertilizer chemical plant general, Huaian 223002, Jiangsu, China)

Abstract: On the basis of Billet relevance formula, the actual flow in filling towers and the characteristics of hydrodynamics, this paper provides a new quasi-experience relevance formula suitable to calculate the pressure reduction in huddle filling towers after theoretical analysis and experimental data collecting.

Key words: huddle filling layer; pressure reduction; relevance formula; filling factor

[责任编辑:蒋海龙]

(上接第 33 页)

参考文献:

- [1] Scanders S T, Jenkins T P, Hanson R K. Diode Laser Sensor System for Multi-Parameter measurements in Pulse Detonation Engine Flows [A]. In: 36th AIAA/ ASME/ SAE/ ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit [C]. Huntsville, 2000, 1 ~ 7.
- [2] 何立明,徐通模,严传俊,等. 脉冲爆震发动机的推力测试与分析 [J]. 西安交通大学学报,1998,32(10):18 ~ 21.
- [3] 高稚允,高岳. 光电检测技术 [M]. 北京:国际工业出版社,1991.
- [4] 姜士昌. 辐射传递通路中的介质对单波段红外测温的影响 [J]. 红外技术,1993,15(6):37 ~ 40.
- [5] 刘铁安. 提高火焰温度测量精度的方法 [J]. 红外技术,1996,18(6):42 ~ 44.

The Real-time Temperature Measurement System of High Temperature Flames Based on Laser Diagnosis Technology

SUN Hong-bing¹, DING Wan-shan²

(1. Department of Physics, Huai Ying Teachers College, Huaian 223001, Jiangsu, China)

(2. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: The locally invented real-time temperature measurement system of high temperature flames based on laser diagnosis technology consists of four components; optic signal emitting module, optic signal receiving module, signal amplifying and processing circuit and micro-computer. The working principle and the basic structure are presented together with technical difficulties and their solutions. Experiment results are provided along with the analysis of some factors affecting precision of temperature measurement.

Key words: laser diagnosis technology; real-time measurement; semiconductor laser, black object

[责任编辑:李晓薇]