فیلتراسیون Filtration

- حذف جامدات موجود در یک سیال به کمک صافی را فیلتراسیون یا صافش گویند. جنس پارچه صافی می تواند از پارچه های کرباسی، شیشه ای، کاغذ، توری فلزی یا الیاف مصنوعی باشد.

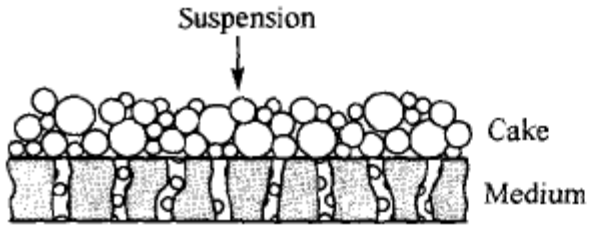


Fig. 3.11 Mechanism of cake filtration.

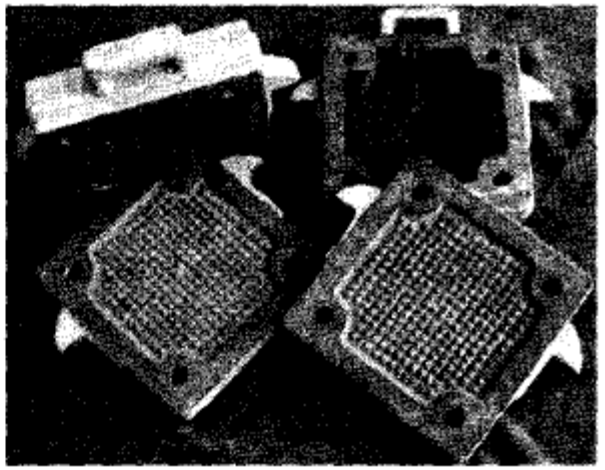


Fig. 3.12 Frames and plates.

مشخصات صافی

- ۱) ارزان و در دسترس
- ۲) مقاومت شیمیایی و فیزیکی
- ۳) کارایی صاف کردن بالا
- ۴) cake به راحتی از آن جدا شود
- ۵) به راحتی گرفتگی ایجاد نکند.
- کمک صافی یا Filter aid: این مواد یا روی سطح صافی (برای مواد ژلاتینی) و یا به عنوان افزودنی به خوراک اضافه می شوند تا از شکل گیری cake جامد با تخلخل پایین جلوگیری کنند. معمولاً از موادی مانند خاک اره، خاک دو اتمه و یا پرلیت به عنوان کمک صافی استفاده می شود.

تقسیم بندی فیلتراسیون بر اساس فشار

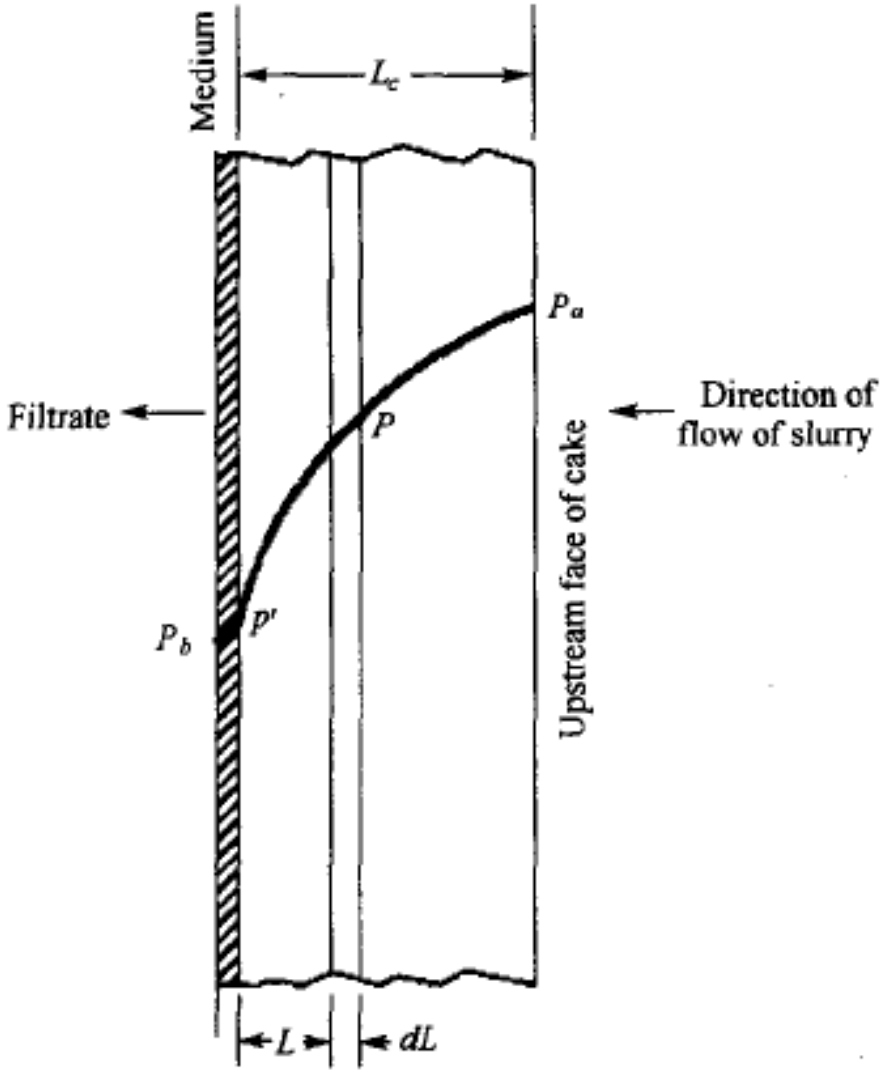
نوع فیلتراسیون	فشار ورودی به فیلتر (atm)	فشار خروجی از فیلتر (atm)	اختلاف فشار بیشینه (atm)
تحت فشار	$P_a>1$	$P_b=1$	10
تحت خلا	$P_a=1$	$P_b<1$	1

تقسیم بندی فیلتراسیون براساس جداسازی

- Strainer: (صافی روغن، صافی هوا، فیلتر شنی) برای دوغاب هایی که ذرات درشت دارند و هدف جداسازی ذرات درشت است استفاده می شود.
- Clarifier: برای صاف کردن محلول های رقیق که ذرات کم و کیکی از جامد تشکیل نمی شود.
- Cake filter: برای صاف کردن محلول های غلیظ که ذرات زیاد و کیکی از جامد تشکیل می شود.

- Filter thickener (تغلیظ کننده): یک پیش فیلتر است که سیال حاوی مواد جامد وارد حوضچه های استوانه ای بزرگ می شود. این مواد جامد به اندازه ای هستند که نه می توان از clarifier و نه از cake filter استفاده کرد. مواد جامد سنگین تر و درشت تر در کف ظرف ته نشین می شود و در نتیجه یک محلول غلیظ در کف ظرف ایجاد می شود و محلول حاوی ذرات ریز جامد از بالای ظرف خارج شده و محلول غلیظ نیز وارد cake filter می شود.

اصول فیلتراسیون Filter cake



- طی فیلتراسیون دو مقاومت یکی پارچه فیلتر و دیگری cake در برابر عبور سیال است. اساس فرمول ها بر مبنای معادله ارگان (برای بستر حاوی ذرات جامد) است. cake یک محیط متخلخل مانند آکنه است. پارچه فیلتر هم محیط متخلخل است.

$$-\Delta p = -(p_a - p_b) = -(p_b - p') - (p' - p_a) = -\Delta p_m - \Delta p_C$$

$$-\frac{dp}{dl} = \frac{(1-\varepsilon)^2 \left(S_p / V_p\right)^2 k_1 \mu u}{\varepsilon^3 g_c} \qquad (1)$$

$$dm = \rho_p (1-\varepsilon) A dl \qquad (2)$$

$$(1),(2) \Rightarrow -dp = \frac{(1-\varepsilon) \left(S_p / V_p\right)^2 k_1 \mu u}{\varepsilon^3 g_c \rho_p A} dm$$

- اگر کیک تراکم ناپذیر باشد مقدار S_p/V_p و تخلخل ثابت است و می تواند از انتگرال خارج شود و داریم:

$$-\Delta p_c = \frac{(1-\varepsilon)\left(S_p/V_p\right)^2 k_1 \mu u}{\varepsilon^3 g_c \rho_p A} m_c$$

به این ترتیب مقاومت ویژه کیک برابر است با:

$$\alpha = \frac{(1-\varepsilon)\left(S_p/V_p\right)^2 k_1}{\varepsilon^3 g_c} = \frac{-\Delta p_c A g_c}{\mu.u.m_c}$$

$$-\Delta p_c = \frac{\alpha \mu u}{g_c A} m_c \quad (3)$$

با توجه به رابطه 3 می توان نتیجه گرفت که مقاومت فیلتر به قرار زیر است:

$$-\Delta p_m = \frac{\mu u}{g_c} R_m \quad (4) \quad R_m = \frac{\alpha_m m_m}{A}$$

$$-\Delta p = \frac{\mu u}{g_c}\left(\frac{\alpha m_c}{A} + R_m\right) \quad u = \frac{dV/dt}{A}, \quad m_c = VC, \quad C = \frac{Mass\ of\ cake}{Filtrate\ volume}$$

$$-\Delta p = \frac{\mu\, dV/dt}{A g_c}\left(\frac{\alpha V C}{A} + R_m\right) \quad \frac{dt}{dV} = K_c V + \frac{1}{q_0}$$

$$K_c = \frac{\mu \alpha C}{g_c A^2 (-\Delta p)}; \quad \frac{1}{q_0} = \frac{\mu R_m}{g_c A(-\Delta p)}$$

فیلتراسیون فشار ثابت

$$\frac{dt}{dV} = K_c V + \frac{1}{q_0} \Rightarrow \int_0^t dt = \int_0^V \left(K_c V + \frac{1}{q_0} \right) dV$$

$$t = K_c \frac{V^2}{2} + \frac{V}{q_0} \Rightarrow \frac{t}{V} = K_c \frac{V}{2} + \frac{1}{q_0}$$

زمان شستشو و حجم مایع لازم برای شستشو

- در عملیات فیلتراسیون ناپیوسته پس از تشکیل کیک و ایجاد یک ضخامت مشخص ادامه فرایند دیگر به صرفه نبوده و نیاز به شستشو فیلتر و حذف کیک به شرح ذیل می باشد:

1) به کمک شستشو دهنده مایع داخل کیک خارج می شود
2) کیک خشک می شود (زمان خشک کردن به کمک فصل قبل)
3) فیلتر باز کیک خارج و فیلتر تمیز و دوباره مدول بسته می شود (زمان تجربی)

$$cleaning\ time = \frac{liquid\ volume}{Final\ \ filtrate}$$

تغییرات آلفا به اختلاف فشار:

$$\alpha = \alpha_0 (-\Delta p)^s$$

کیک تراکم پذیر ۰.۲<s<۰.۸
کیک تراکم ناپذیر s=۰

مثال: فیلتراسیون محلول دوغاب کربنات کلسیم در آب در مقیاس آزمایشگاهی انجام و داده های زیر به دست آمد. اگر سطح فیلتر ۴۴۰ cm^2، جرم جامد به ازای واحد حجم filtrate ۲۳.۵ گرم بر لیتر، دما ۲۵ درجه سانتی گراد و اختلاف فشار دو طرف ۴۹.۱ psf باشد، مطلوبست تعیین مقادیر مقاومت کیک و پارچه فیلتر

V(L)	Time (s)	t/V
0.5	4.4	8.8
1	9.5	9.5
1.5	16.3	10.87
2	24.6	12.3
2.5	34.7	13.88
3	46.1	15
3.5	59	16.86
4	73.6	18.4
4.5	89.4	19.87
5	107.3	21.46

- فیلتراسیون دبی ثابت

$$-\Delta p_c = \frac{\alpha \mu u}{g_c A} m_c \quad u = \frac{\frac{dV}{dt}}{A} = \frac{V}{t.A} \quad m_c = VC$$

$$-\Delta p_c = -\Delta p + \Delta p_m$$

$$\alpha = \alpha_0 \left(-\Delta p_c\right)^s$$

$$(-\Delta p + \Delta p_m)^{1-s} = \frac{\alpha_0 \mu C V^2}{g_c A^2 t}$$

$$(-\Delta p + \Delta p_m)^{1-s} = \frac{\alpha_0 \mu C u^2}{g_c} t = k_r t$$

$$(1-s) Ln\left(-\Delta p + \Delta p_m\right) = Ln(k_r) + Ln(t)$$

$$Ln(t) = -Ln(k_r) + (1-s) Ln\left(-\Delta p + \Delta p_m\right)$$

فیلتراسیون پیوسته

- مهمترین نوع فیلتراسیون پیوسته، نوع دوار است که در دسته فیلتراسیون فشار ثابت است.

$$t = K_c \frac{V^2}{2} + \frac{V}{q_0} \Rightarrow K_c \frac{V^2}{2} + \frac{V}{q_0} - t = 0$$

$$V = \frac{-\frac{1}{q_0} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{q_0}\right)^2 + 2K_c t}}{K_c}$$

$$\frac{V}{At} = \frac{\left(\left[\frac{2(-\Delta p)g_c}{C\alpha\mu t} + \left(\frac{R_m}{t}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} - \frac{R_m}{t}\right)}{C\alpha}$$

$$A = A_t f$$

$$t = t_c f$$

$$t_c = \frac{1}{n}$$

f: درصدی از سطح کل که آغشته می شود.

t_c: زمان یک سیکل استوانه

n: سرعت دوران

$$\frac{\dot{m}_c}{A_t} = \frac{\left(\left[\frac{2(-\Delta p) g_c C \alpha . f . n}{\mu} + (nR_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - nR_m \right)}{\mu}$$

می توان از فرمول فوق با در نظر گرفتن رابطه آلفا با اختلاف فشار استفاده نمود و مسائل مربوط به فیلتر پیوسته دوار را حل کرد . اگر مقاومت کیک از پارچه فیلتر بیشتر باشد و بتوان از مقاومت پارچه صرف نظر کرد داریم:

$$\frac{\dot{m}_c}{A_t} = \left[\frac{2(-\Delta p)^{1-S} g_c C . f . n}{\alpha_0 \mu} \right]^{\frac{1}{2}}$$

مثال: یک فیلتر دوار با درصد آغشتگی ٪ ۳۰ برای فیلتر کردن یک دوغاب کربنات کلسیم حاوی lb ۱۴.۷ جامد در ft^3 آب استفاده می شود. افت فشار in-Hg ۲۰ است. اگر کیک فیلتر حاوی ٪ ۵۰ رطوبت باشد (برپایه مرطوب) سطح فیلتر لازم برای فیلتر نمودن gal/min ۱۰ دوغاب را وقتی که زمان سیکل min ۵ می باشد محاسبه کنید. از مقاومت صرف نظر شود. سایر اطلاعات به قرار زیر است:

$$\alpha_0 = 2.9\times10^{10}\frac{ft}{Ib},\ S = 0.26,\ \mu = 1Cp = 6.72\times10^{-4}\frac{Ib}{ft.s}$$

$$\rho_{water} = 62.3\frac{Ib}{ft^3},\ \rho_{CaCO_3} = 168.8\frac{Ib}{ft^3}$$

جرم جامد /حجم مایع دوغاب