

化工原理电化教学

塔设备(二)



第二节 填料塔

填料塔为连续接触式的气液传质设备。如图所示，在圆筒形塔体内部，分段装有若干段填料。填料堆积于支撑装置上，液体由塔顶入口管进入分布器，均匀喷淋在填料表面上并在重力作用下向下流动，气体在压强差的推动下，由支承板下方气体入口管进入塔内，通过填料间的空隙由塔的顶部排出。填料塔内气液两相呈逆流流动，气体和液体在填料表面上进行传质和传热，两相的组成沿塔高连续变化。

请看演示



填料塔不仅结构简单，而且阻力小，便于用耐腐蚀材料制造。适用范围：

- 1) 直径较小的塔；
- 2) 处理有腐蚀性物料；
- 3) 处理热敏性物料的真空蒸馏。

同样，填料塔也会发生液泛现象，如图所示，应绝对避免。



一、填料

常用填料大致分为两大类：

(一) 个体填料：

例如：拉西环、鲍尔环、阶梯环、鞍形环等。

1. 拉西环

拉西环是使用最早的一种填料，为外径与高度相等的圆环，如图所示。一般直径在75mm以下的拉西环采用乱堆方式；直径大于100mm的拉西环多采用整砌方式，以降低流体阻力。

拉西环可用陶瓷、金属、塑料及石墨等材质制造。



拉西环形状简单，制造容易，对其流体力学和传质特性的研究较为充分，广泛应用于工业应用中。但拉西环存在着严重的沟流及壁流现象，塔径愈大，填料层愈高，则壁流现象愈严重，致使传质效率显著下降。

2. 鲍尔环

鲍尔环的构造是在拉西环的侧壁上开出一排或两排长方形的窗孔，被切开的环壁的一侧仍与壁面相连，另一侧则向环内弯曲，且诸叶片的侧边在环中心已相搭，如图所示。

鲍尔环由于环壁开孔，大大提高气液接触面积，且使气体流动阻力降低，液体分布也较均匀。因此，鲍尔环比拉西环的传质效率高，操作弹性大，而气体压降明显降低，但价格较高。

目前，鲍尔环以其优良的性能为工业上广泛采用。

请看演示

3. 阶梯环

阶梯环是在鲍尔环基础上加以改进而发展起来的一种新型填料，如图所示。

阶梯环与鲍尔环相似之处是环壁上也开有窗孔，但阶梯环的高度仅为直径的一半、环的一端制成喇叭口。

阶梯环填料以其气体通量大、流动阻力小、传质效率高等优点成为目前使用的环形填料中性能最为良好的一种。



4.鞍形填料

包括弧鞍与矩鞍填料，均属敞开型填料，如图所示。敞开形填料的特点是表面全部散开，不分内外，液体在表面两侧均匀流动，表面利用率高，气体流动阻力小，制造也方便。



5. 金属Intalox环

这类填料综合了鲍尔环、鞍形填料及阶梯环三者的优点于一身，具有低压降、高通量、液体分布性能好、传质效率高及操作弹性大等优点，且因为它采用极薄的金属板轧制，仍能保持住良好的机械强度。

金属Intalox环在现代工业散装填料中占有明显的优势，如图所示。

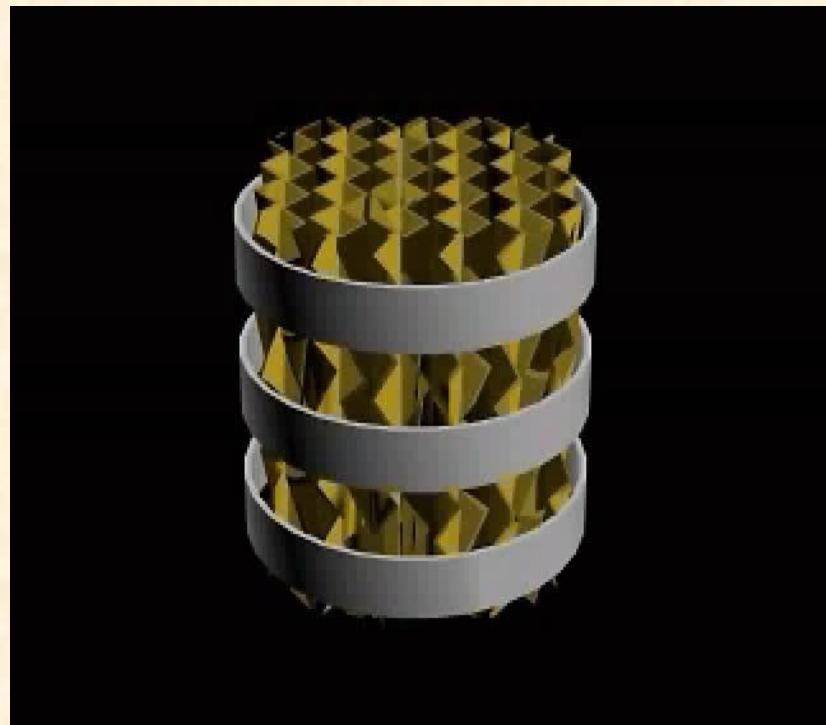


(二) 规整填料

例如：栅板、θ网环、波纹填料等

波纹填料是一种整砌结构的新型高效填料，如图所示。由于结构紧凑，具有很大的比表面积，且因气体和液体均不断重新分布，故传质效率高，又因填料的规整排列，使流动阻力减小。

波纹填料的缺点是不适于处理粘度大，易聚合或有沉淀物的物料。此外，填料的装卸、清理也较困难，造价高。



波纹填料有实体与网体两种。实体称波纹板，可由陶瓷、塑料、金属材料制造，根据工艺要求及物料的腐蚀性来选择适当的材料；波纹丝网填料的波纹片是由金属丝网制成的，故属于网体填料。近年来，又出现了金属孔板波纹填料和金属压延孔板波纹填料。

（三）填料的选材

常见的有：陶瓷（例淄博陶瓷厂）、金属、塑料、玻璃、石墨等。无论是个体填料还是规整填料均可用上材料制造。

（四）填料的装填方式

分为乱堆和整砌两种。

请看演示1

请看演示2

二、填料特性

表示填料性能的参数有以下几项：

1. 比表面积 σ (m^2/m^3)

指单位体积填料层提供的填料表面积，即

$$\sigma = \text{填料层表面积} (\text{m}^2) / \text{填料层体积} (\text{m}^3)。$$

填料的比表面积愈大，所能提供的气液传质面积愈大；而对于同一种类的填料，尺寸愈小，则比表面积愈大，即越有利于传质分离。

2. 空隙率 ε

单位体积填料层的空隙体积称为空隙率，即

$$\varepsilon = \text{填料层空隙体积 (m}^3\text{)} / \text{填料层体积 (m}^3\text{)}$$

填料的空隙率大，气液通过能力大且气体流动阻力小。

3. 填料因子 ϕ

填料因子表示填料的流体力学性能，

$$\phi = \sigma / \varepsilon^3$$

可分两种：

- (1) 干填料因子：指无液体喷淋时 ϕ 的大小。
- (2) 湿填料因子：当填料被喷淋的液体润湿后，填料表面覆盖了一层液膜， σ 与 ε 均发生相应的变化，此时 ϕ 称为湿填料因子，代表实际操作时填料的流体力学特性，故进行填料塔计算时，应采用液体喷淋条件下实测的湿填料因子。

ϕ 值小，表明流动阻力小，液泛速度可以提高。

三、填料塔的水力学性能与传质性能

(一) 填料塔的流动性能参数

1. 空塔气速 u (m/s)

$$u = \text{气体体积流量 (m}^3/\text{s)} / \text{塔截面积 (m}^2\text{)}$$

2. 气体在填料空隙间的实际线速度 u_0 (m/s)

$$u_0 = u / \varepsilon = \frac{\text{气体体积流量 (m}^3/\text{s)} / \text{塔截面积 (m}^2\text{)}}{\text{填料层空隙体积 (m}^3\text{)} / \text{填料层体积 (m}^3\text{)}} \\ = \text{实际线气速}$$

3. 空塔气速——淋洒密度——压力降关系（即 $u \sim L_w \sim \Delta p$ ）

(1) 压力降是塔设计中的重要参数，气体通过填料层的阻力大小直接决定了塔的动力消耗。

(2) 持液量是指操作时单位体积填料层中持有的液体体积，
即 液体体积（ m^3 ）/填料层体积（ m^3 ）。

1) 当 $L=0$ 时，即无液体喷淋（又称干填料线）时， $\Delta p/z$ 与 u 成直线关系。

2) 当有液体喷淋时，曲线都有两个转折点：第一个折点——载点；第二个折点——泛点。

载点和泛点将 $\Delta p/z$ 与 u 关系曲线分成三段，即恒持液量区，载液区和液泛区。

① 恒持液量区

有液体喷淋且气速较低时，气体的真实速度比空塔气速提高，压强降也较大，此区域的 $\Delta p/z-u$ 线在干填料线的左侧，且二线相互平行。

② 载液区

随着气速的增大，上升气流与下降液体间的摩擦力开始阻碍液体下流，使填料层的持液量随气速的增加而增加，此种现象称为拦液现象，开始发生拦液现象时的空塔气速称为载点。

③ 液泛区

如果气速继续增大，由于液体不能顺利下流，而使填料层内持液量不断增多，以致几乎充满了填料层中的空隙，此时压强降急剧升高， $\Delta p/z-u$ 线的斜率可达10以上。压强降曲线近于垂直上升的转折点称为泛点，达到泛点时的空塔气速称为液泛气速或泛点气速。

(二) 填料塔的水力学性能

填料层的压力降、液泛气速、持液量等水力学性能，是填料塔设计与操作中的重要参数，下面分别介绍：

1. 压力降- Δp

$-\Delta p = f$ （填料种类、尺寸、流体特性、 u 、 L_w ），

计算方法：

- 1) 现场测定；
- 2) 查专门曲线（例各种具体类型填料的经验值曲线）；
- 3) 通过关联图估计（例Eckert通用关联图）。

目前工程设计中广泛采用Eckert通用关联图来计算。

2. 液泛气速 u_F

可由Eckert关联图上的泛点线确定泛点气速。

(1) 图中最上方的三条线分别为弦栅、整砌拉西环及乱堆填料的泛点线，与泛点线相对应的纵坐标中的空塔气速应为空塔泛点气速 U_{max} 。

(2) 图中左下方线为乱堆填料层的等压强降线，在设计中可根据规定的压强降，求其相应的空塔气速，反之，根据选定的空塔气速求压强降。

埃克特通用关联图适用于各种乱堆填料，如拉西环、鲍尔环、弧鞍、矩鞍等，但需确知填料的 ϕ 值。

3. 持液量

持液量 = f (填料种类、尺寸、流体特性、 u 、 L_w)

(1) 总持液量 = 填料层内液体量 / 填料层体积

停止喷淋后经一规定时间后滞留于填料层中液体

(2) 静持液量 = 填料层体积

(3) 动持液量 = 总持液量 - 静持液量

4. 润湿性能

填料塔中气液两相间的传质主要是在填料表面流动的液膜上进行的，因此，传质效率就与填料的润湿性能密切相关。为使填料能获得良好的润湿，应使塔内液体的喷淋量不低于最小喷淋密度。

最小喷淋密度与最小润湿速率之间可取如下关系：

$$U_{\min} = (L)_{\min} \times \sigma$$

式中：(L) min——最小润湿速率。

对于直径不超过75mm的拉西环及其它填料，可取最小润湿速率为 $0.08\text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{h})$ ；对于直径大于75mm的环形填料，应取为 $0.012\text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{h})$ 。

实际操作时若喷淋密度过小，可采用增大回流比或采用液体再循环的方法加大液体流量，以保证填料的润湿性能；也可采用减小塔径，或适当增加填料层高度予以补偿。

四、填料塔的工艺计算

1. 塔径D与填料尺寸:

一般取塔径 / 填料外径 ≥ 8 ，因若该比值过小时，即填料的尺寸过大，则壁流效应十分明显，使液体分布不均匀。塔径D的计算公式如下：

$$D = [(4 \times V_s) / (\pi \times u)]^{1/2}$$

式中：u指填料塔的适宜空塔气速，空塔气速与泛点气速之比称为泛点率。对易起泡沫的物系，泛点率应取50%或更低；对加压操作的塔，减小塔径有更多好处，故应取较高的泛点率。

大多数情况下的泛点率宜取为60~80%，一般填料塔的操作气速大致为0.2~1.0 m/s。

根据上述方法算出的塔径，也应按压力容器公称直径标准进行圆整，如圆整为400、500、600...1000、1200、1400mm等。确定塔径后，还应检验塔内的喷淋密度是否大于最小喷淋密度。

2. 填料层高度 z

填料塔有效高度主要指填料层的高度，计算填料层高度常采用以下两种方法：

(1) 传质单元数法：

即 填料层高=传质单元高度×传质单元数
此法在吸收计算中已有详细介绍。

(2) 等板高度法 (H.E.T.P法)

等板高度是指与一层理论板传质作用相当的填料层高度，也称理论板当量高度。显然，等板高度愈小，说明填料层的传质效率越高。

不同类型填料的等板高度值不同，普通实体填料的等板高度大都在400mm以上，例如25mm的拉西环HETP为0.5 m，25mm的鲍尔环HETP为0.4~0.45m；网体填料具有很大的比表面积和空隙率，为高效填料，其等板高度在100mm以下，如CY型波纹丝网。

等板高度=f（填料的类型与尺寸，系统物性，操作条件及设备尺寸），等板高度的计算一般采用经验数据或经验公式，常见的如默奇（Murch）法。

五、填料塔附件

填料塔的附件主要有填料支承装置、气液体分布装置、液体再分布装置和除沫装置等。合理选择和设计填料塔的附件，对于保证塔的正常操作及良好性能十分重要。

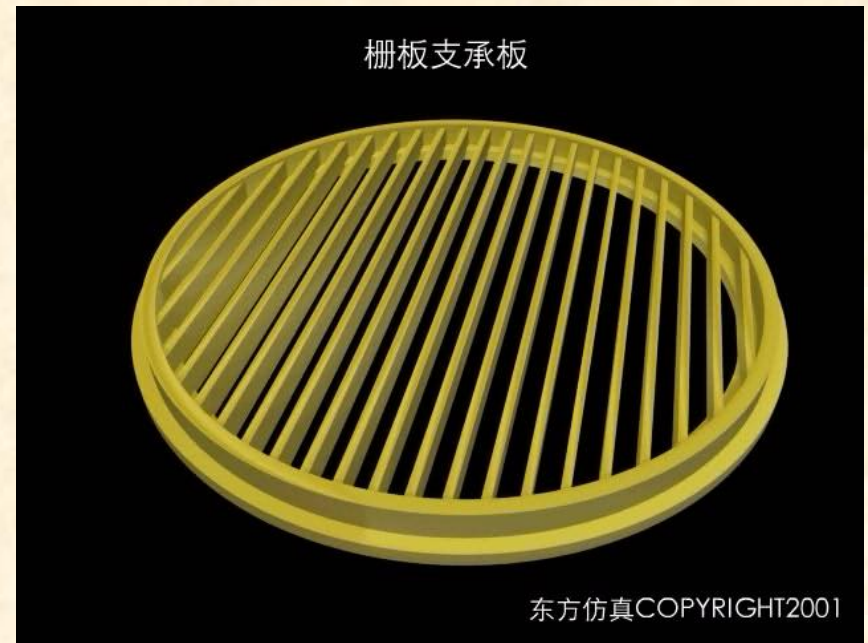
1. 填料支承装置

支承装置是用来支承塔内填料及其所持有的液体重量，并使气液顺利通过的附件，故要有足够的机械强度和自由截面积。

常见的支承装置有以下两种。

(1) 栅板式支承装置

它由竖立的扁钢条组成，为防止填料从栅板条间空隙漏下，在装填料时，先在栅板上铺上一层孔眼小于填料直径的粗金属丝网，或整砌一层大直径的带隔板的环形填料。



(2) 升气管式支承装置

如下图所示，在开孔板上装有一定数量的升气管，气体由升气管上升，而液体则通过板上的小孔流下，即气、液分道而行，特别适合于高空隙率填料的支撑。



2. 液体分布装置

液体在填料塔内分布均匀，可以增大填料的润湿表面积，以提高分离效果。因此，液体的初始分布十分重要。

常用的液体分布装置有莲蓬式、盘式、齿槽式及多孔环管式分布器等。

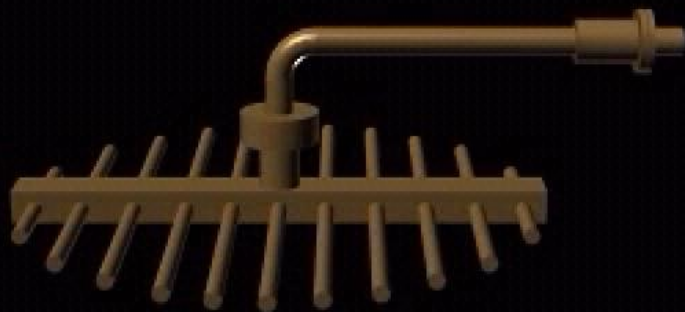
(1) 莲蓬式喷淋器

液体经半球形喷头的小孔喷出，这种喷淋器结构简单，但只适用于直径小于600mm的塔中，且小孔容易堵塞。

(2) 盘式分布器

指液体加至分布盘上，经筛孔或溢流短管流下。盘式分布器常用于直径较大的塔中，基本可保证液体分布均匀，但其制造比较麻烦。

液体分布器



东方仿真 copyright,2000

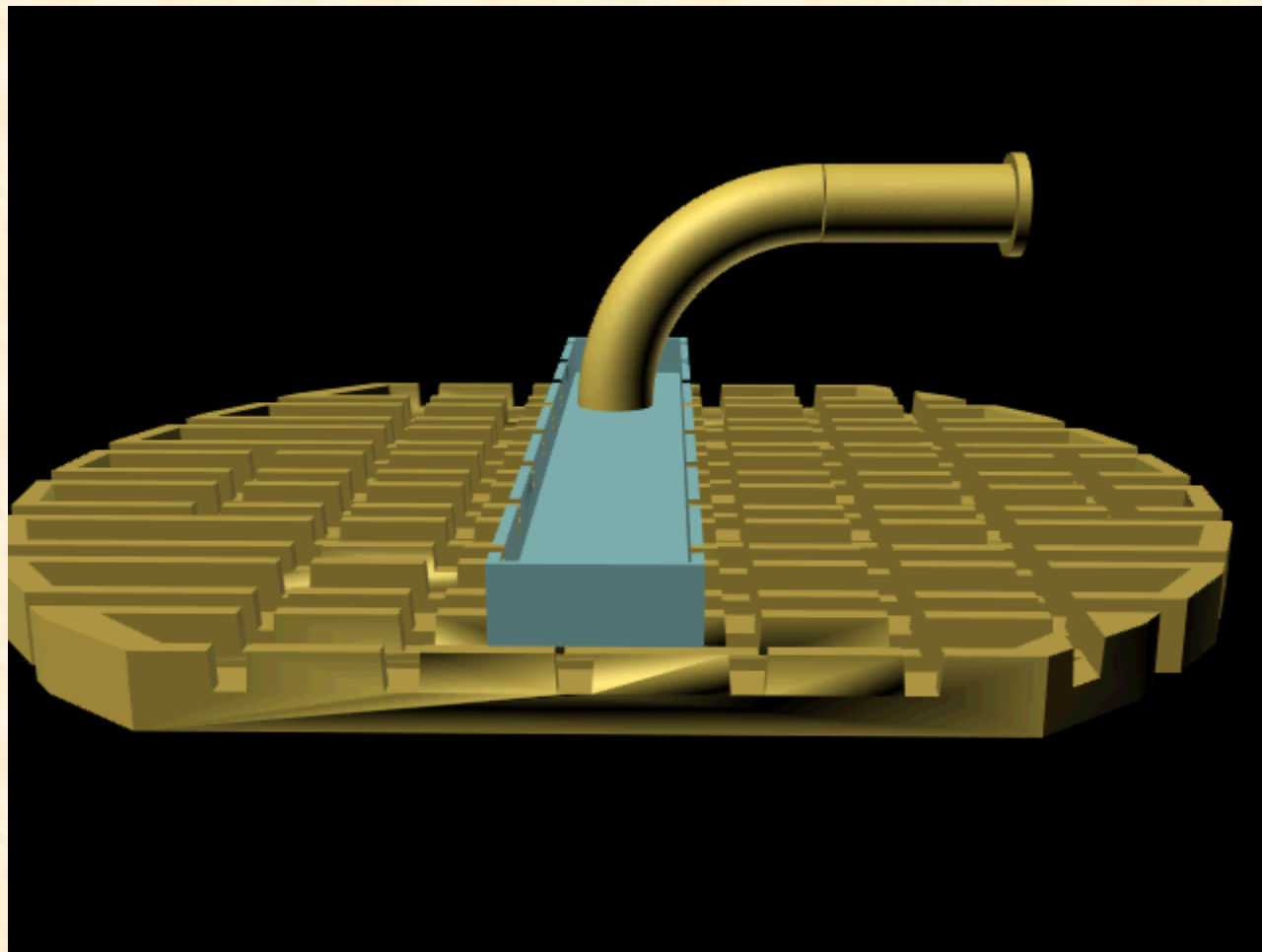
液体喷淋状态



东方仿真 copyright,2000

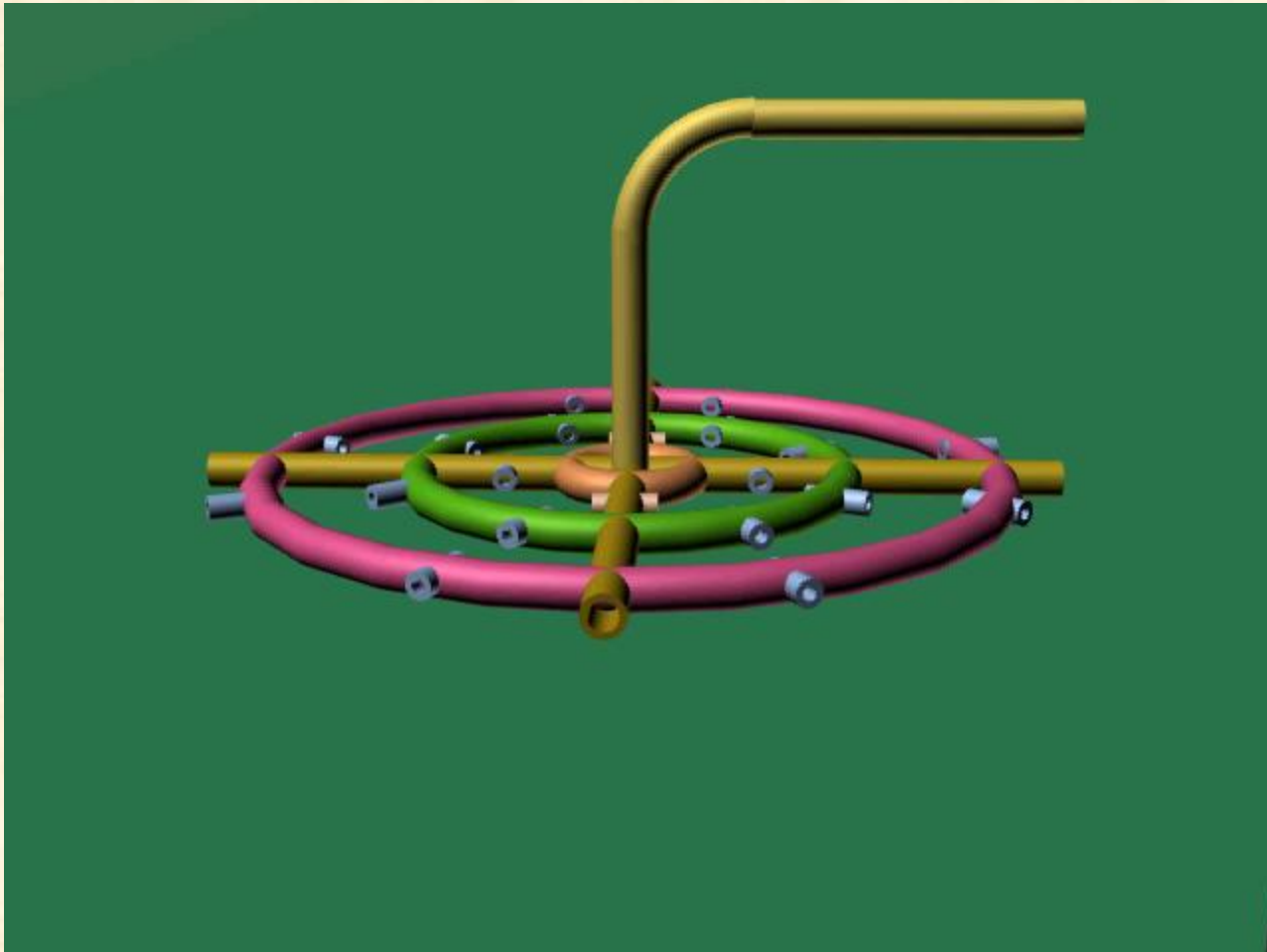
(3) 齿槽式分布器

液体先经过主干齿槽向其下层各条形齿槽作第一级分布，然后再向填料层上面分布。这种分布器自由截面积大，不易堵塞，多用于直径较大的填料塔。



(4) 多孔环管式分布器

如下图所示，由多孔圆形盘管、联接管及中央进料管组成，这种分布器气体阻力小，特别适用于液量小而气量大的填料吸收塔。



(5) 弹溅式液体分布器

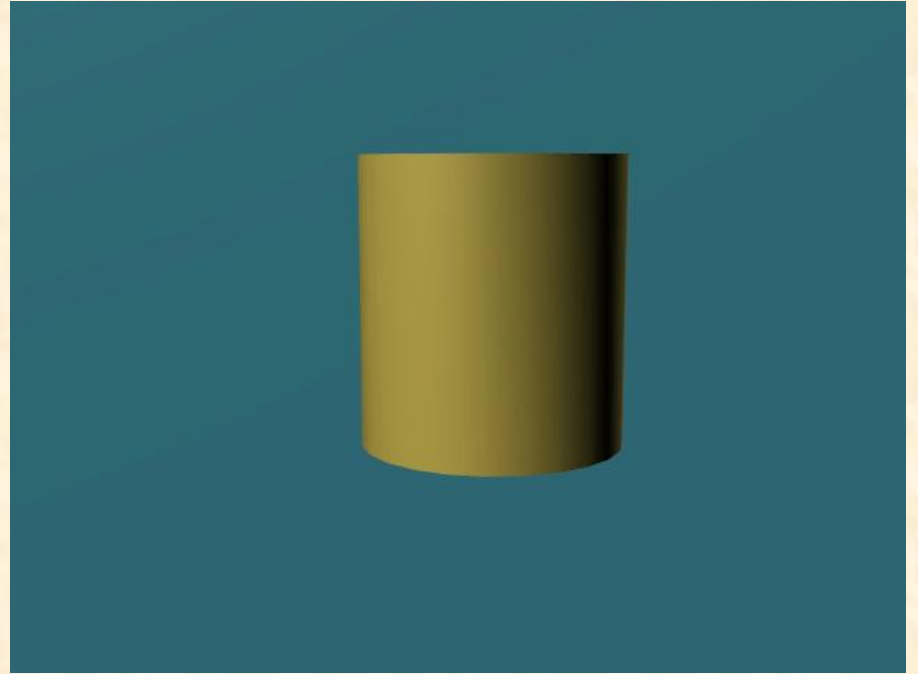
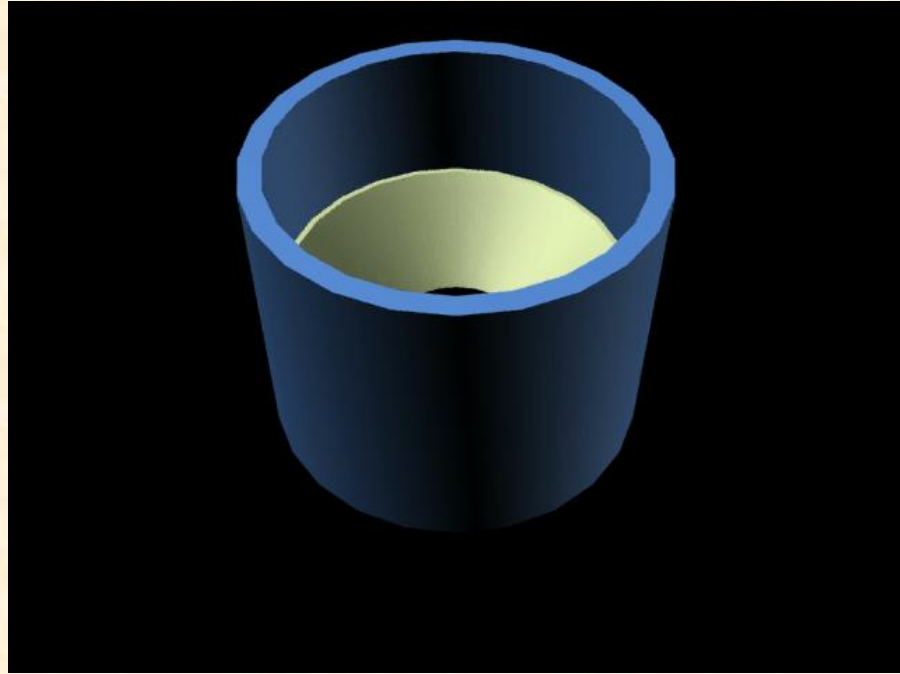


3. 液体再分布装置

液体在乱堆填料层内向下流动时，有偏向壁流的倾向。为将流到塔壁处的液体重新汇集后均匀喷洒，可在填料层内每隔一定高度设置液体再分布装置。

再分布器的型式很多，常用的为截锥形再分布器，它适用于直径0.8m以下的塔，还有盘式再分布器，均如下图所示。





4. 除沫器

除沫装置安装在液体分布器的上方，用以除去出口气流中的液滴。常用的除沫装置有折流板除沫器、旋流板除沫器及丝网除沫器等。

除此之外，填料层顶部常需设置填料压板(如下图所示)或挡网，以避免操作中因气速波动而使填料被冲动及损坏。



5. 气体分布装置

填料塔气体进口的构形，应考虑防止液体倒灌外，更重要的是有利于气体均匀地进入填料层。对于小塔最常见的方式是将进气管伸入塔截面中心位置，管端作成向下倾斜的切口或向下弯的喇叭口；对于大塔，应采取其它更有效的措施，如下图所示的管式分布装置。

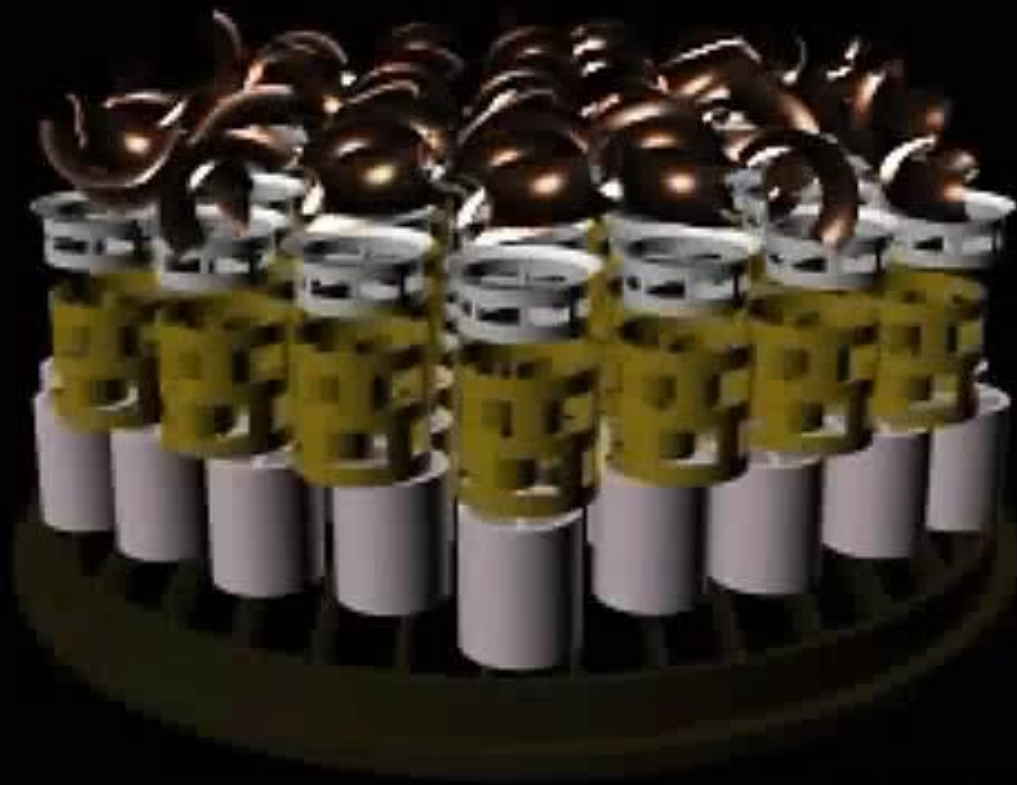


填料塔结构



东方仿真 copyright,2000





东方仿真 copyright,2000

混堆填料层示意图





乱堆填料层中液体流动



