

油脂工厂填料塔的设计计算

贾友苏

(北京农学院食品科学与工程系)

【摘 要】在食用植物油加工过程中，具有先进水平的连续接触式气 - 液传质设备——填料塔，经引进和消化吸收，近年来逐步在国内推广使用。但目前在行业内还缺乏较为详尽的工艺计算，因此，探讨和研究这一课题很有必要。以 100t/ d 处理量的脱臭塔为例，进行完整的工艺计算和结构设计，有一定的参考价值和典型意义。

【关键词】填料塔；塔径；塔高；塔效率，设计计算

中图分类号：TS223 文献标识码：A 文章编号：1009 - 1807 (2005) 08 - 0068 - 03

填料塔早期主要应用于实验室和小型工厂，随着新型高效填料塔的研究和开发，现代填料塔的最大直径已经达到数米甚至 10m 以上。各种规格的填料塔在石油化工、医药、原子能、轻工及食品工业中的蒸馏、吸附、洗涤、冷却、萃取等单元操作中用途广泛，它的主要特点是结构简单，塔填料便于采用耐腐蚀材料制作，与板式塔相比阻力大大减小。目前，在大中型食用植物油厂的连续精炼车间脱臭工段和石蜡吸收与解吸尾气回收工段，填料塔已经被陆续推广使用。除此之外，填料塔对于真空蒸馏即油脂工厂的油脂脱臭系统还有着特别显著的优越性。由于以上诸多因素，20 世纪 90 年代一经引入油脂加工业，填料塔就受到特别的关注。

1 结构及工作原理

用于脱臭工段的填料塔由塔体、塔填料、液体分布器、液体再分布器、支承栅板及气体和液体进出口组成，其结构如图 1 所示。

在圆筒形塔体内，油和水蒸气逆向流动：脱色油自塔顶进入，经液体分布器在填料表面成膜状下流，水蒸气自塔底进入，沿塔填料的缝隙上

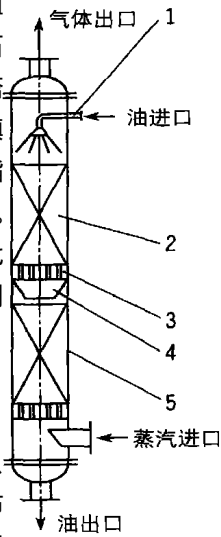


图 1 填料塔结构

1. 液体分布器 2. 塔填料 3. 支承装置 4. 液体再分布器 5. 塔体

升，在湿润的填料表面进行气 - 液两相的充分接触，传质过程得以进行，油脂中的臭味物质被气流带出。

2 填料分类及特性

填料特性主要为比表面积 α 、空隙率 ε 和几何形状，填料分为散装填料和规整填料两大类，而常用散装填料为拉西环、鲍尔环、阶梯环、弧鞍与矩鞍填料，常用规整填料为波纹板及波纹网，如图 2 所示，几种常用填料的特性见表 1。



图 2 散装填料和规整填料

3 工艺计算

3.1 塔径

填料塔的直径 D 与空塔气速 u 的关系为

$$D = \sqrt{4 V_s / \pi u}$$

式中， V_s 为气体的体积流量， m^3/s ； u 为空塔气速， m/s ，它的大小取决于泛点气速。如果气速过大，上升气流与下降液体间的摩擦力使液体不能顺利下流，填料层内的液体将不断增多，直至填料层完全被充满。这时，气体

表 1 几种常用填料的特性

填料种类	尺寸 (mm)	比表面积 (m ² / m ³)	空隙率 ε (m ³ / m ³)	堆积密度 ρ _p (kg/ m ³)	个数 n (1/ m ³)	填料因子 Φ(1/ m)
陶瓷拉西环 (乱堆)	直径×高×厚 8×8×1.5	570	0.64	600	1 465 000	2 500
	10×10×1.5	440	0.70	700	720 000	1 500
	15×15×2	330	0.70	690	250 000	1 020
	25×25×2.5	190	0.78	505	49 000	450
	40×40×4.5	126	0.75	577	12 700	350
	50×50×4.5	93	0.81	457	6 000	205
陶瓷拉西环 (整砌)	50×50×4.5	124	0.72	673	8 830	
	80×80×9.5	102	0.57	962	2 580	
	100×100×13	65	0.72	930	1 060	
	125×125×14	51	0.68	825	530	
金属拉西环 (乱堆)	150×150×16	44	0.68	802	318	
	8×8×0.3	630	0.91	750	1 550 000	1 580
	10×10×0.5	500	0.88	960	800 000	1 000
	15×15×0.5	350	0.92	660	248 000	600
	25×25×0.8	220	0.92	640	55 000	390
	35×35×1	150	0.93	570	19 000	260
金属鲍尔环 (乱堆)	50×50×1	110	0.95	430	7 000	175
	76×76×1.6	68	0.95	400	1 870	105
	16×16×0.4	364	0.94	467	23 500	320
	25×25×0.6	209	0.94	480	51 100	170
塑料鲍尔环 (乱堆)	38×38×0.8	130	0.95	379	13 400	105
	50×50×0.9	103	0.95	355	6 200	82
塑料阶梯环 (乱堆)	直径					
	16	364	0.88	72.6	235 000	320
	25	209	0.90	72.6	51 100	170
	38	130	0.91	67.7	13 400	105
陶瓷矩鞍 (乱堆)	50	103	0.91	67.7	6 200	82
	直径×高×厚					
	25×12.5×1.4	223	0.90	97.8	81 500	172
	38.5×19×1.0	132.5	0.91	57.5	27 200	115
陶瓷矩鞍 (乱堆)	直径×厚					
	13×1.8	630	0.78	548		
	19×2	338	0.77	563		
	25×3.3	258	0.775	548		
	38×5	197	0.81	483		
	50×7	120	0.79	532		

通过填料层的压强降急剧升高，液相由分散相变为连续相变，而气相由连续相变为分散相变，液体被气流大量带出塔顶，填料塔形成液泛。此时的气速就称为泛点气速，泛点气速的大小取决于填料特性、流体物理性质（气体密度、液体黏度、液体密度等）和气液比（由喷淋量控制），具体数值可以从《化工工艺手册》里的埃克特通用关联图中查到。一般取填料塔的空塔气速为泛点气速的 0.5 ~ 0.8 倍，填料塔的常用操作气速为 0.2 ~ 1.0m/ s。

3.2 塔高

塔高主要取决于填料层的高度，而填料层高度的计算通常采用传质单元法和等板高度法两种方法。

传质单元法要采用较为繁杂的图解积分或数值积分，

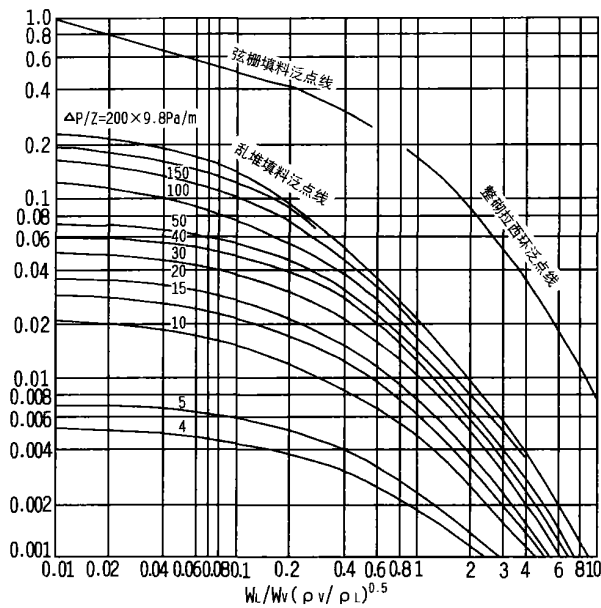


图 3 埃克特通用关联图

具体操作必须借助计算机来完成，因此工程设计中往往采用简单易行的等板高度法，即首先求取与一层理论塔板的传质作用相当的填料层高度——理论板当量高度作为计算依据，进而求取填料层总高度的方法。等板高度可采用经验公式计算或直接采用经验数据。其中经验公式来自于小型试验且受多种条件的限制，如填料类型、回流比、气体质量流速、填料高度范围等各种因素的要求都必须满足，所以目前在工业生产中实用价值不大。最有效的当属经验数值法，具体参数见表 2。

表 2 等板高度的经验数据

条件	填料直径 25mm	填料直径 50mm	塔径 <600mm	负压 操作	吸收 操作	实体 填料	网体 填料
等板高度 (m)	0.5	1	≈塔径	塔径+0.1	1.5~1.8	>0.4	<0.1

3.3 效率

填料塔的效率取决于塔内填料的效率，而由于制造材料和自身形状的不同，常用填料具有不同的传质效率。几种乱堆填料的相对效率也可以方便地从《化工工艺手册》中查到。和乱堆填料相比，规整填料结构紧凑，比表面积大，传质效率更高。

4 计算实例

以 100t/ d 处理量的植物油脱臭塔为例，整个设计计算过程如下：

4.1 塔径

取气液体积比为 1 1,脱臭温度为 240 ℃,油脂的密

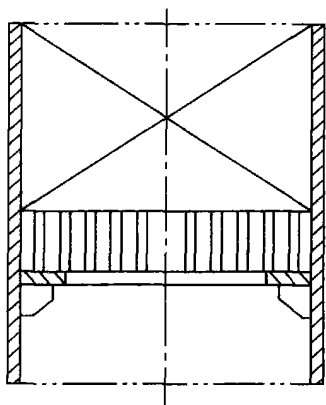


图4 填料支承装置

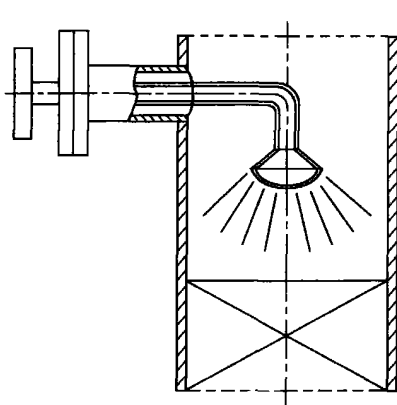


图5 液体分布器

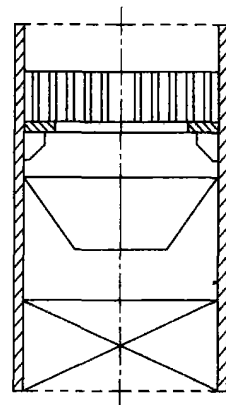


图6 液体再分布器

度 ρ 为 0.72 kg/m^3 , 操作气速取经验值 0.8 m/s , 则直接蒸汽流量

$$V_s = \frac{100 \times 1000}{24 \times 3600 \times 0.72} \times 0.83 \text{ m}^3/\text{s}$$

代入塔径计算公式, 得填料塔内径为

$$D = \sqrt{4 V_s / \pi u} = \sqrt{(4 \times 0.83) / (\pi \times 0.8)} = 1.6 \text{ m}$$

4.2 塔高

利用等板高度法进行计算: 每块理论塔板相当于 $1.6 + 0.1 = 1.7 \text{ m}$ 高度填料层的作用。理论塔板数为 10 块, 则脱臭塔填料层高度为 $1.7 \times 9 = 15.3 \text{ m}$

为了避免沟流和壁流现象发生, 把塔体分为两段, 两端之间安装液体再分布器。则每段填料层的高度为 $15.3 / 2 = 7.65 \text{ m}$

加上液体分布器及液体再分布器及塔釜所需高度, 塔体总高计算值为 $15.3 + 0.5 \times 2 + 0.5 = 16.8 \text{ m}$ 。

4.3 效率

由图 4 可知, 若采用 38 mm 的陶瓷矩鞍环, 乱堆填料的效率为 100% ; 若采用同样规格的拉西环, 塔效率为 80% , 塔高至少要放大到 $15.3 / 0.8 + 1.5 = 20.6 \text{ m}$, 此计算值可圆整为 21 m 。

5 附件

为保证填料塔的正常操作, 塔内设置填料支承装置、液体分布器、液体再分布器和除沫器等附件。其中支承装置用来支承塔内填料及液体, 如图 4 所示; 液体分布器和液体再分布器使液体在塔内分布均匀, 增大填料的湿润表面积, 以避免壁流和沟流现象的发生, 从而提高分离效果, 如图 5、图 6 所示; 除沫器常用丝网式或折流板式, 它安装在液体分布器上方, 目的在于拦住出口气流中的液滴。

通过精确计算求取塔径、塔高和填料塔效率, 正确选

用塔填料和附件, 就可以保证填料塔的设计质量, 从而保证塔的分离效果, 得到高质量的色拉油。

6 改型

板式塔和填料塔同属高效传质设备, 板式塔单位体积生产强度高, 填料塔结构简单, 各种形式的塔填料可用耐腐蚀材料制作, 操作运行成本低廉。但是板式塔的安装不够便利, 而填料塔特别是散装填料塔塔径大于 800 mm 时放大效应不佳。因此, 近年来国内外多有使用改型结构填料塔——软塔, 即下半部分用板式塔而上半部分用填料塔的结构。通过这种形式可有效弥补板式塔和填料塔各自的缺陷, 使塔设备发挥出最大的传质效应。

参考文献

- 1 陈敏恒等编. 化工原理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- 2 姚玉英主编. 化工原理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1999.
- 3 贾友苏, 张武平. 利用板式塔和填料塔进行油脂连续脱臭 [J]. 中国油脂, 1997, 22 (3): 18~22.
- 4 高福成主编. 食品工程原理 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- 5 喻冬秀, 程江, 杨卓如. 填料塔的理论研究 [J]. 石油化工设备, 2003, 32 (4): 46~50.
- 6 高碧霞, 李好管. 新型规整填料及填料塔内件 [J]. 化学工业与工程技术, 2000, 23 (5): 18~20.
- 7 贾友苏. 油脂工厂板式塔的工艺计算 [J]. 中国油脂, 2003, 28 (12): 38~40.
- 8 张锦胜, 张华, 张继鉴. 精馏塔进料位置探索 [J]. 化工装备技术, 2003, 24 (1): 30~33.

收稿日期: 2005-04-12

作者简介: 贾友苏 (1954-), 女, 北京农学院食品科学与工程系副教授, 主要从事食品机械和食品工艺的开发和研究工作。

通讯地址: (102206) 北京市德外朱辛庄