

78-1-4

# 化工单元设备资料

## 气液分离田

上海化学工业设计院医药农药工业设计建设组

\*\*\*\*\*  
\*  
\*                    目                    录                    \*  
\*  
\*\*\*\*\*

一	<p>编辑说明及气液分离器的概述</p> <p style="padding-left: 20px;">本站..... 1</p>	1
三	<p>丝网除沫器的设计和计标</p> <p style="padding-left: 20px;">天津市化工设计院..... 7</p>	7
三	<p>汽——液分离器的设计</p> <p style="padding-left: 20px;">赵培德..... 28</p>	28
五	<p>复档除沫器简介</p> <p style="padding-left: 20px;">上海硫酸厂..... 47</p>	47
六	<p>美国卅万吨合成氨引进装置的分水器及设计计标</p> <p style="padding-left: 20px;">化工部第一设计院..... 52</p>	52
六	<p>捕雾器</p> <p style="padding-left: 20px;">石油二厂设计室..... 67</p>	67
五	<p>旋流板除雾器</p> <p style="padding-left: 20px;">浙江大学..... 87</p>	87
八	<p>国外除雾技术简介</p> <p style="padding-left: 20px;">王能珊..... 92</p>	92

## 一、 編集說明及氣液分離器的概述

### (一) 編集說明：

氣液分離器（包括捕沫器、除霧器、氣體淨化器等）是化工生產中常用的設備，廣泛用於蒸發、蒸餾、吸收、洗滌、汽提、反應等裝置中。為方便同志們在设计氣液分離器時的需要，特編集此集，集中各篇均有刪節，重複之處亦予合併。此集重點是介紹典型的氣液分離器的設計計標，並對國外資料作簡介。為了促成此集的系统性和完整性，我們編寫“氣液分離器的概況”一文，作為拾遺之用，亦收入本集，均供同志們參考。

### (二) 氣液分離器的概述：

#### 1. 霧沫形成的机理：

蒸發裝置中溶液在沸騰狀態下，由於大勢蒸汽從溶液中跑出，並產生激烈的攪動，使液面中一部分溶液的分子成霧狀。而且常因溶液本身的性質關係，在蒸發時產生很多泡沫。這些溶液的霧狀分子和泡沫被上升的蒸發汽（即二次蒸汽）夾帶一起離開蒸發器，這種現象我們稱為霧沫夾帶。

在蒸餾、吸收等其它氣液傳質設備中，同樣由於氣相與液相之間的激烈攪動，氣相對液相的破碎作用，使液相的部分分子霧化被氣相帶走，這也稱為霧沫夾帶。

產生霧沫的原因有以下三點：

① 溶液的發泡性：由於一些溶液表面張力小的原因，它在設備中產生泡的薄膜強度很大，不易破碎。泡連泡，越積越多形成泡沫。

② 氣（汽）體的機械破碎性：在設備中部分溶液被卷入激烈的气（汽）流中，經強烈的碰撞，破碎造成霧狀。

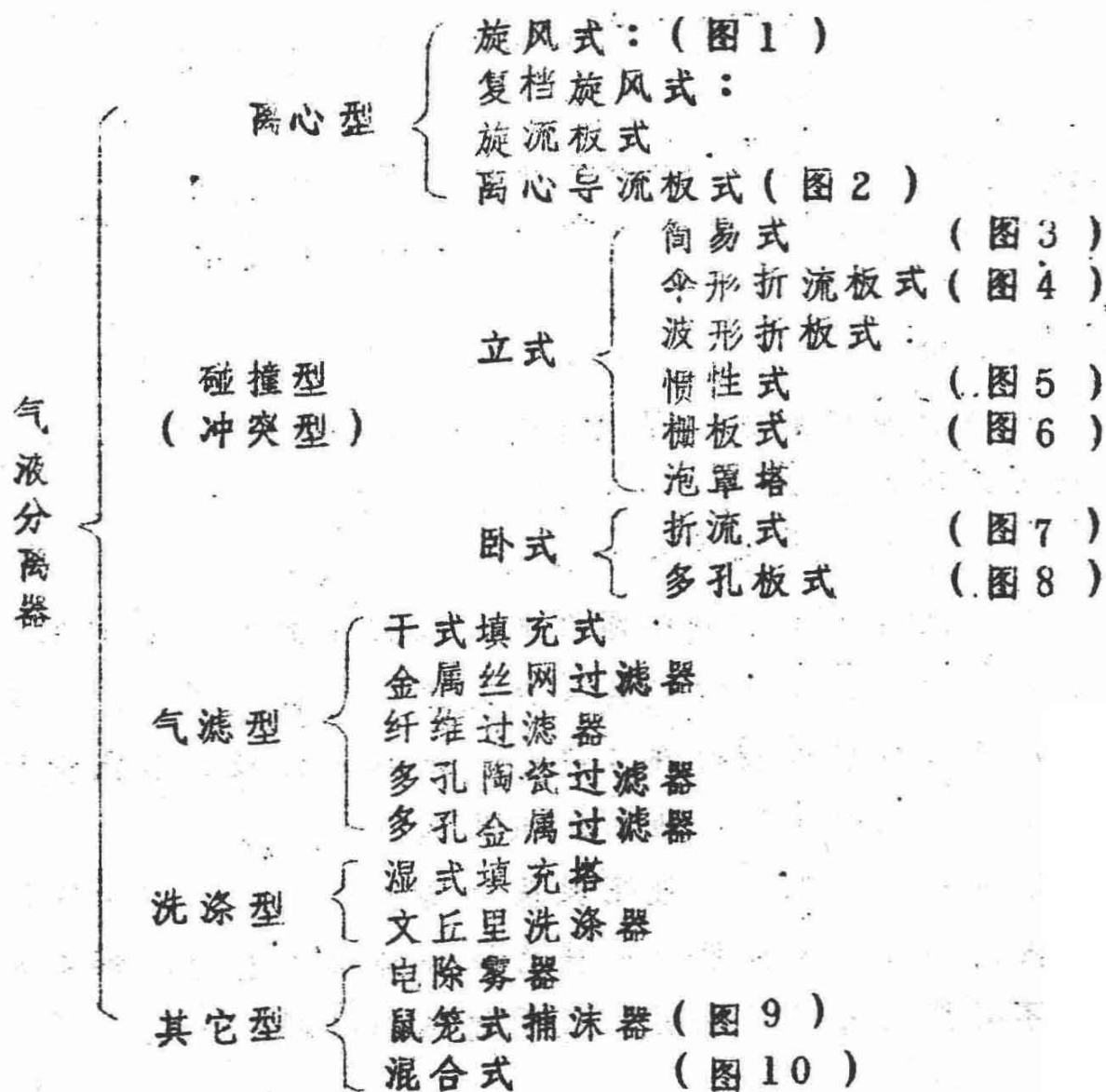
③ 溶液的閃急蒸發性：溶液在減壓、高真空下操作時，常發生崩沸現象（即閃急蒸發）。如液面的壓力驟然降低，液相底部發生局部過熱，此時不需要另外供給熱源，僅用過熱部分料液溫度降低所放

出的热量，作为汽化热，就可使部分溶剂汽化，这种蒸发称为闪急蒸发。在闪急蒸发时，被汽化的溶剂全部都发生成小汽泡（而不象一般沸腾蒸发时，溶液仅在接触传热面的部分发生汽泡），因而它的体积增大，同时使料液的湍动更为激烈，加之二次蒸汽在减压，真空下体积膨胀，更加容易产生泡沫和雾化作用。

## 2 气液分离器的类型及特点：

随着工程技术的迅速发展，特别是近廿年来，由于放射性液体的蒸发、环境保护及提高产品质量、回收率等对雾沫夹带的严格要求，大大促进了气液分离器的发展。今将目前实用的气液分离器，试作如下分类。

依据除雾的机理和结构的特点，我们将气液分离器分为：离心型、气滤型，碰撞型（俗称冲突型），洗涤型及其它型。各型又有不同型式，请见下表：



以上各种型式的结构见下面诸图，对于本集有专门介绍的复档式旋流板式，波形折板式，气滤型各式等，本篇不再累述，请参看本集有关文章。对于常用的旋风式，离心导流板式，惯性式三种仅作如下介绍：

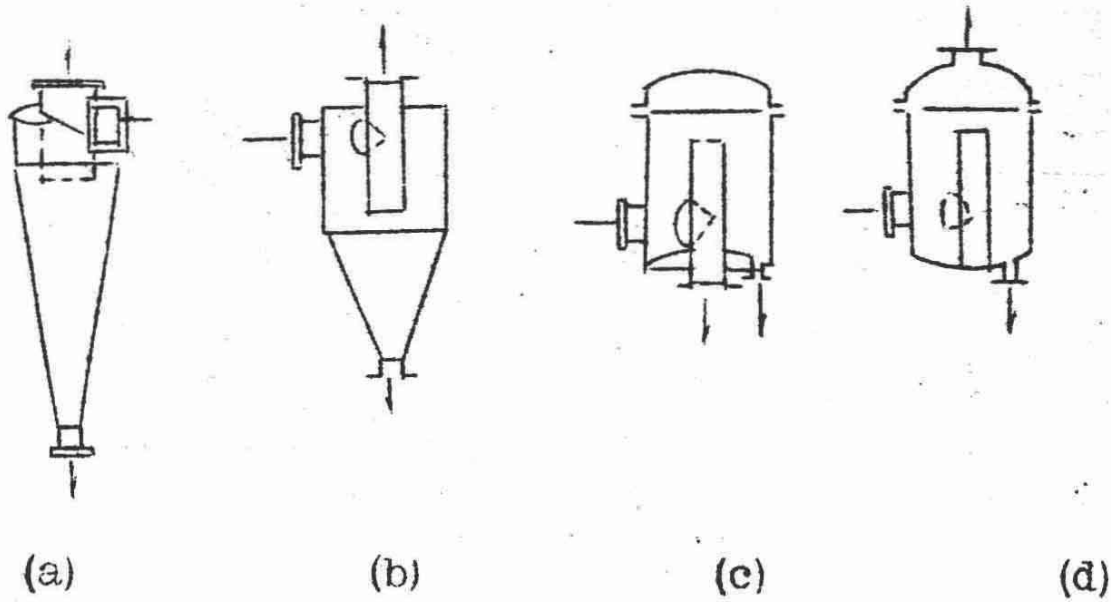


图 1 旋风式

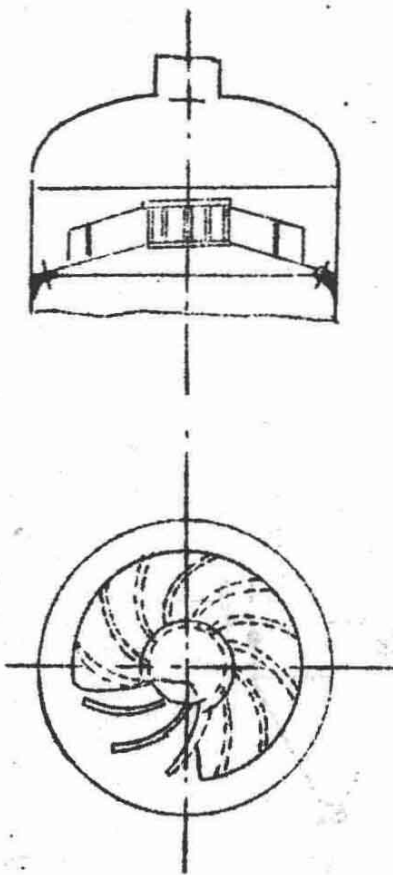


图 2 离心导流板式

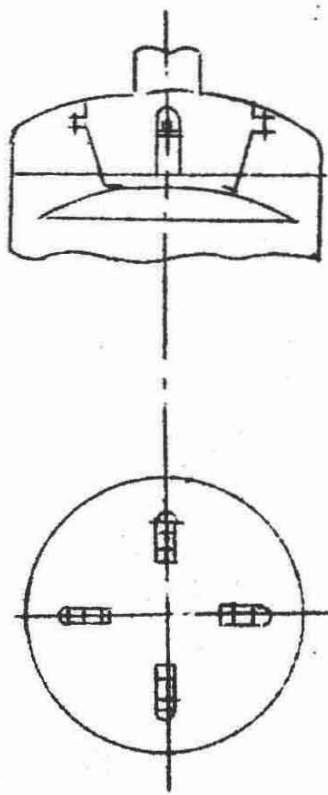


图 3 简易式

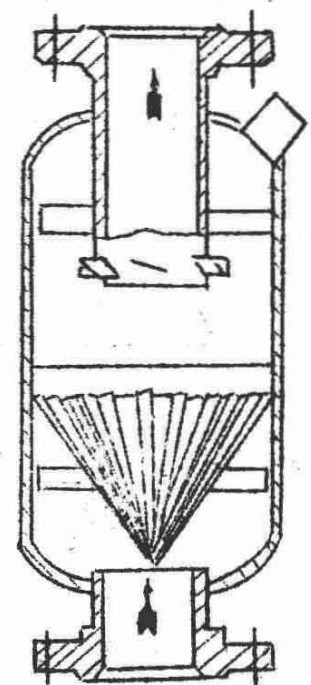


图 4 伞形折流板式

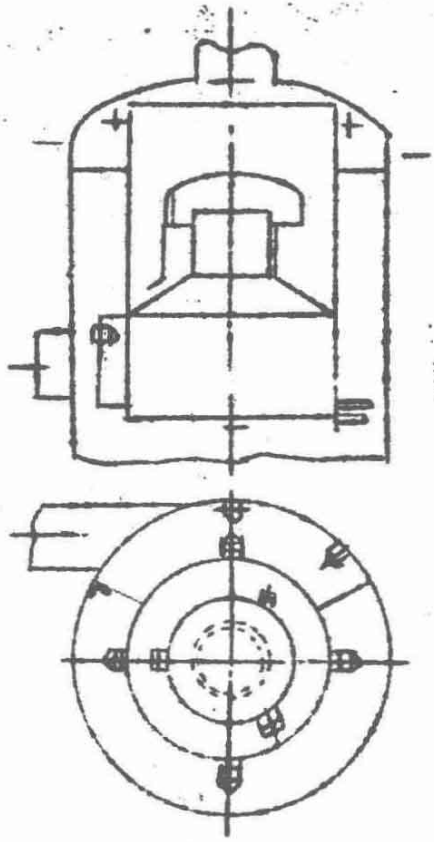


图5 惯性式

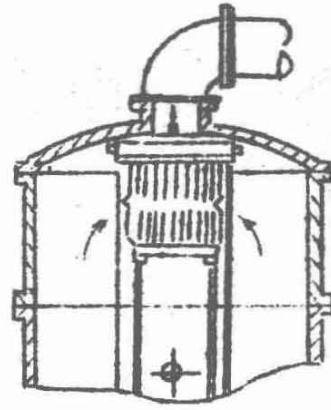


图6 栅板式

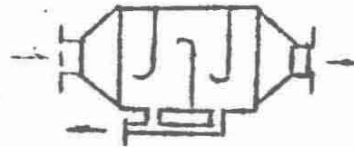
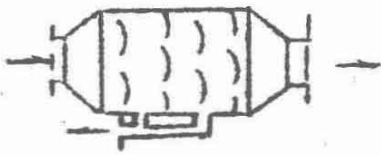


图7 折流式

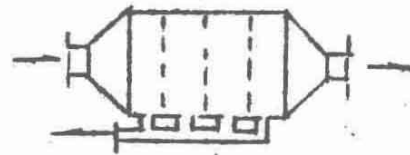
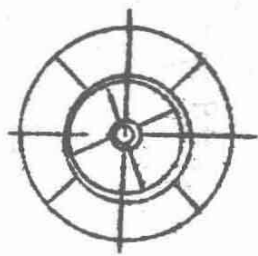
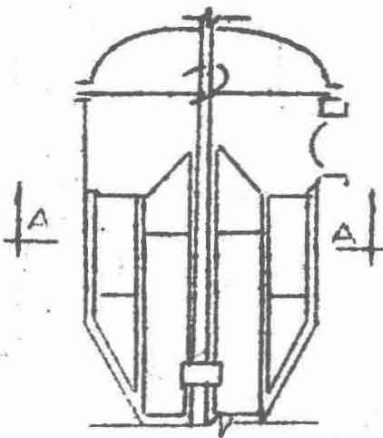


图8 多孔板式



A-A 剖面

图9 鼠笼式

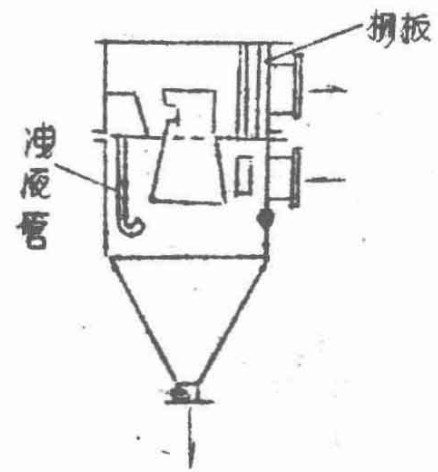


图10 混合式

### ① 旋风式：

旋风式分离器系利用离心力将气相中的液滴甩除聚积后分离出来。因此必须保证进口有较大的流速，以产生足够的离心力。图1中a、b式系通用的气固相旋风分离器，进口气速范围为12~40米/秒，常压时 $< 20$ 米/秒，减压时 $> 20$ 米/秒。其它相对尺寸按旋风分离器确定不再累述。

图1中c、d式为沉降式旋风分离器，进口流速同a、b式，而筒体内截面流速范围为2~4米/秒，并以此来确定筒体的内径。

旋风式适用于液滴直径在数十 $\mu$ 以上，其效率为85~94%，阻力降为40~75 $\text{mm H}_2\text{O}$ 。

### ② 离心导流板式：

此式常称为离心式，一般安装在沉降式分离器的顶部。离心式适用于直径在50 $\mu$ 以上的液滴，其效率为 $\geq 90\%$ 。离心式导流板数通常为12~18块，分离器直径 $< 400$ 毫米取其下限，直径 $> 800$ 毫米则取其上限。分离器的截面流速在0.3~4.5米/秒变动，离心导流板式均有较好的分离效率。

### ③ 惯性式：

此式系利用进口较高流速（15米/秒左右）产生的离心力将气相中较大的液滴分离出来。较小的雾滴通过多次折流、碰撞聚积成大的液滴后被分离出来。也是安装在沉降式分离器的顶部。它适用于分离直径 $> 50\mu$ 以上的液滴，其效率为85~90%。效果比简易式高，比离心导流板式为低。

诸种汽液分离器特性表

型式	捕集雾滴 的直径 $\mu$	阻力降 毫米水柱	效率 %	汽速范围 米/秒
旋风式	> 50	40 ~ 75	85 ~ 94	12 ~ 30 (进口)
惯性式	> 50	20 ~ 60	85 ~ 90	15 (进口)
离心导流板式	> 50	—	> 90	.3 ~ 4.5
旋流板式	—	12 ~ 30	90 ~ 99.3	2 ~ 5
复档式	> 10	20 ~ 40	95 ~ 99.6	12 ~ 20 (进口)
填充式	> 10	—	90 ~ 95	2 ~ 10
丝网式	> 5	25 ~ 75	98 ~ 100	1 ~ 4
波型折板式	> 10	20 ~ 80	85 ~ 95	3 ~ 10
多孔材料过滤式	3 ~ 50	—	95 ~ 99	—
纤维过滤式	1 ~ 3	125 ~ 375	95 ~ 99.9	1.5 ~ 10
电除雾器	< 3	25	92.2 ~ 99.9	1 ~ 3



## 三 丝网除沫器的设计和计标

天津市化工设计院 工艺室化机组

### 前 言

目前国内外在石油化工生产中广泛地采用了丝网除沫 (Demister) 装置。用以分离夹带在蒸汽或气体中的雾滴。它具有比表面积大、重质轻、自由体积大、使用方便等优点。尤其是它具有除沫效率高, 压力降小的特点, 使之成为目前大有发展前途的一种气液分离装置。

采用丝网除沫在改善操作条件、简化分离设备、增加处理量或回收有价值的物料等方面, 不论在技术上和经济上都有很大的意义。

丝网除沫器适用于洁净的气体。在气液中含有粘着物时, 则易堵塞网孔, 以致影响正常操作。

在一般情况下, 丝网除沫器为塔器和容器内部不可缺少的一个附件。为便于设计计标, 我们收集有关资料, 加以整理, 以供设计参考。

### (一) 丝网除沫过程的分析

带液滴的气体以一定的速度穿过丝网时, 由于惯性的作用, 气体中的液滴与丝网撞击, 附着于丝网上, 液滴沿着细丝向下流至两根丝的接触处, 由于接触处缝隙的毛细作用和液体表面张力的作用, 使液滴不断变大, 直到聚集的液滴达到足够大, 由本身重量产生的重力, 超过由气体上升的速度力与液体表面张力的合力时, 液滴就离开丝网而分离, (如图1) 所示。

对金属丝网除沫器而言, 当雾沫夹带量小于  $10 \text{ 磅/小时} \cdot \text{呎}^2$  ( $48.8 \text{ 公斤/小时} \cdot \text{米}^2$ ) 时, 聚集的液滴是以分散的小液滴存在于丝网上。雾沫夹带负荷高时, 由于气体速度的增加, 附在丝网上的液体状况有下面三种:

(1) 随着气速上升，附在丝网上液滴的不断增多，丝网上形成一层蓄液层，其厚度约有 25 ~ 50 毫米。

(2) 当气速超过 A 点时(如图2)，丝网上的蓄液层将随着气速的增加而增厚，并且其上部充满着气泡，这时液体占据丝网空隙空间的大部分。丝内即产生液泛，压力降急剧升高，并稍有波动。

(3) 当气体速度增高到 B 点时(如图2)，由于蓄液层升高到网顶表面，压力降的波动更大；液体就无法再通过丝网漏下，而在丝网顶部重行雾化。

由以上分析可知，操作状态的气速须控制在 A 点以下。

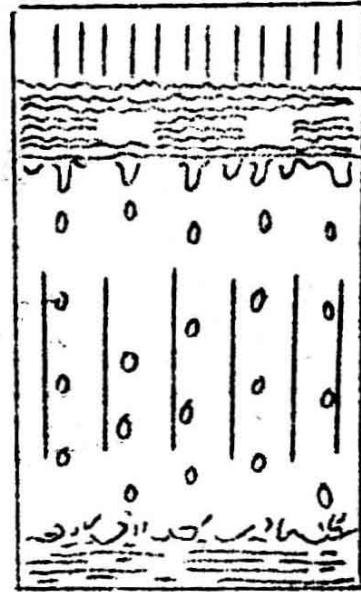


图1 丝网除沫原理图

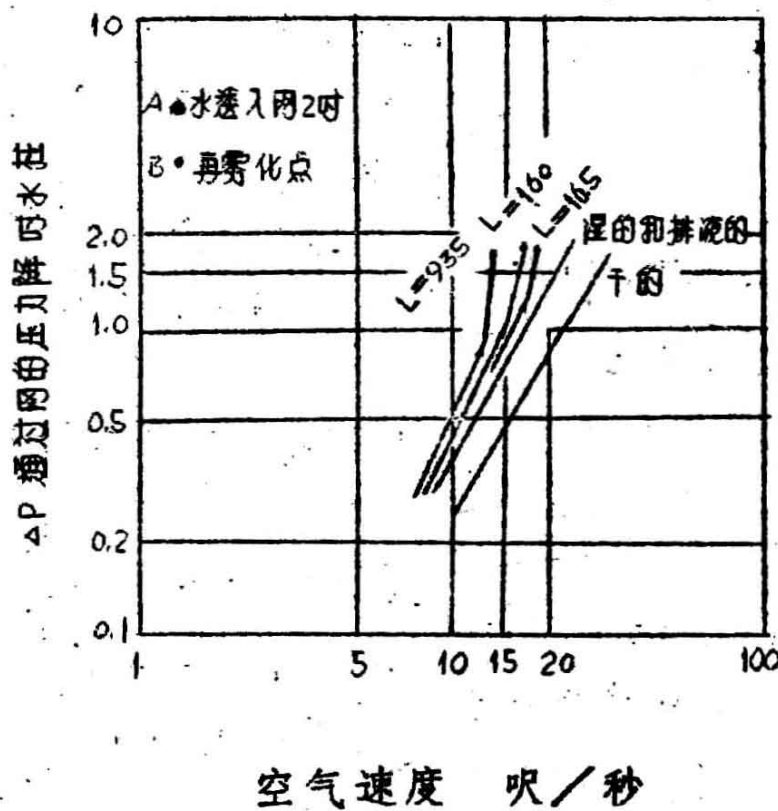


图2 带水滴空气经6吋厚York 931型丝网时，压力降与气速的关系

注：L为液体重身流身，磅/小时·呎<sup>2</sup>。

## (二) 丝网的构造与特性

### 1. 丝网的构造：

丝网除沫器是用一种象袜筒一样，由很细的金属丝编织成的网带构成的。丝网编织的方式很多，其中一种为网呈连环状结构，织成圆筒形网套，织成的网套压平为具有双层折皱形的网带。我国生产的丝网规格就采用这种编织方式。这种结构使丝网具有在很大的自由体积下又有很大的比表面积的特征。图3~5所示为三种常用的连环状丝网结构。

(1) 标准型（如图3）：适用于一般用途。

(2) 高效型（如图4）：适用于对气体除沫要求较高的情况。

(3) 高流易型（如图5）：亦称高穿透型，适用于要求气速较大和气体或液体比较脏或粘度比较大的情况。

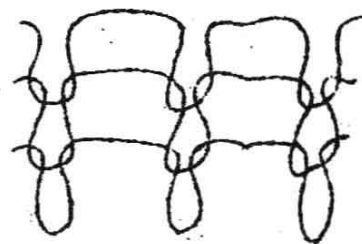
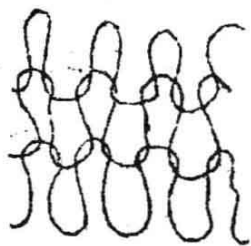


图3 标准型丝网

图4 高效型丝网

图5 流易形丝网

我国产品规格（见表1）中还有一种叫做特殊型。由表1可以看出，特殊型与标准型网孔的密度（单位长度上的孔数）和网丝的尺寸是完全相同的。其区别仅在于圆筒形网折成带状的宽度H不同。前者为150毫米，后者为100毫米。因此从除沫性能来看，特殊型与标准型可以看作同一类型。

根据对丝网要求比表面积大、重量轻、自由体积大的特点，编成金属丝网的网丝可分为圆丝和扁丝两种。圆丝通常最粗不超过0.015吋（0.381毫米），一般用0.011吋（0.274毫米），最细可达0.00066吋（0.0168毫米）。扁丝常用0.1×0.4毫米。这种扁

丝较相同截面积的圆丝的面积大29%左右。因此最好选用扁丝。对纤维编成的非金属丝网的网丝直径约为0.005~0.03毫米(一般多采用0.005~0.015毫米)。我国生产的纤维非金属网所用网丝直径稍粗一些(见表1)。

### 3. 丝网的材料：

丝网材料的选择主要考虑材料对介质腐蚀和操作温度的适应性。

丝网有很大的比表面积，正是被腐蚀的极大目标，用普通碳钢，即使在介质腐蚀性很小的情况下也是容易锈蚀的，所以大多采用耐腐蚀的合金或有色金属以及耐腐蚀的合成纤维材料。

网丝材料按其材质的不同，可分为三种类型：

- ① 金属丝网；
- ② 由合成纤维编成的非金属丝网；
- ③ 金属线与纤维组合的丝网。

金属丝网具有良好的机械强度，能耐多种流体的腐蚀，并能在比较高的温度下使用。常用的有含奥氏体不锈钢、镍、铜、铝、银、钛、钼及蒙乃尔合金等。

由合成纤维编成的非金属丝网，近年来得到发展和应用，并且比金属结构的丝网良好，能耐很多种介质腐蚀。虽然机械强度不如金属丝网，但对于除沫器来说合成材料丝网是完全适用的，因为在操作时构件所受的应力可以忽略。常用材料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、涤纶和尼龙丝等。以上材料，通常只能在低于 $150\sim 170^{\circ}\text{F}$ ( $56\sim 77^{\circ}\text{C}$ )情况下使用。聚四氟乙烯能在 $300^{\circ}\text{F}$ ( $149^{\circ}\text{C}$ )情况下使用。

金属线与纤维组合的丝网是由纤维和金属线联合编织成的，玻璃纤维、合成纤维或天然纤维视具体条件均可以选用。没有金属线作筋，纤维网经常会松弛。当压力降过大时还可能被分裂或破碎，致使纤维所具有的极大表面积失效。而组合的丝网能使这种情况得到很大改善，但组合网的结构必须保持纤维的极好分布，即当气流通过时，使细的纤维具有最大的暴露表面。据国外报道，组合丝网具有很高的分离效率，能除去比一般的金属丝网所能除去的颗粒还小，它可以应用到酸雾的分离方面。

丝网产品规格 [5]

表 1

名 称	规 格 (n-H)	类 型	网 丝 的 尺 寸 ( 毫 米 )	
			圆 丝 ( 直 径 , 毫 米 )	扁 丝 ( 厚 × 宽 )
不 锈 钢 丝 网 ClCr18 N19	40-100	标准型	0.23	0.1×0.4
	80-100	高效型	0.1~0.15	—
	60-150	特殊型	0.23	0.1×0.4
	20-100	高穿透型	0.23~0.25	0.1×0.4
磷 铜 丝 网	40-100	标准型	0.12~0.15	0.1×0.4
	60-150	特殊型	0.12~0.15	0.1×0.4
紫 铜 丝 网	40-100	标准型	0.23~∅0.25	0.1×0.4
	60-150	特殊型	0.23~∅0.25	0.1×0.4
黄 铜 丝 网	40-100	标准型	0.2	0.1×0.4
	60-100	特殊型	0.1	0.1×0.4
镀 锌 铁 丝 网	40-100	标准型	0.2~∅0.25	0.1×0.4
	60-150	特殊型	0.2~∅0.25	0.1×0.4
纯 镍 丝 网	40-100	标准型	0.25	0.1×0.4
聚 四 氟 乙 烯 丝 网	40-100	标准型	0.25	—
	80-100	高效型	0.1	—
聚 乙 烯 丝 网	40-100	标准型	0.2	—
	60-150	特殊型	0.2	—
尼 龙 丝 网	40-100	标准型	0.25	—
	80-100	高效型	0.15~0.2	—
	60-150	特殊型	0.25	—
聚 氯 乙 烯 丝 网	40-100	标准型	0.8	—
	60-150	特殊型	0.8	—

注：① n为圆筒形网的孔数。

② H为圆筒形网折叠成带状的宽度，单位为毫米。

③ 40-100型不锈钢圆丝的网重为0.054公斤/米。

④ 尼龙丝网重量约为金属丝网重量的1/3。

⑤ 价格：不锈钢丝网80元/公斤，尼龙丝网70元/公斤，镍丝网65元/公斤，紫铜丝网17元/公斤（包括加工费和材料费），以上价格为1970年标准，列出仅供参考。

铁丝网的规格：

目前我国生产丝网的工厂（上海金属丝网厂）其规格列于表1。几种国外生产的金属丝网的物理性能列于表2，以供参考。

几种国外生产的金属丝网的物理性能表 (2)

表 2

制造厂家	型号	重 度		比 表 面 积		自由体积	类 型
		磅/呎 <sup>2</sup>	公斤/米 <sup>2</sup>	呎 <sup>2</sup> /呎 <sup>2</sup>	米 <sup>2</sup> /米 <sup>2</sup>		
美国 O.H. York 公司	421	12		110		0.977	
	931	5		46		0.99	
英国 Begg Cousland 公司	954	5	80	46	151	98.5~99	
	936	7	112	64	210	98~99	
	922	8.5	136	78	256	98~98.5	
	890	12	192.5	110	361	97~98	
英国 KnitMesh 公司	9030	9	144	90	295	98	标准型
	9001	12	192.5	180	590	97.5	高效型
	9036	6	96	60	197	98.75	高流量型

### 三 丝网除沫器的效率和压力降

#### 1. 效率：

据国外报道，金属丝网除沫器在雾沫量不是很大，或雾滴不是特别小的情况下，很容易得到99%以上的除沫效率。一般对于分离大于5微米的液滴，效率可达99%，对于10微米液滴效率可达99.5%，并且尚能有效地除去2~5微米的雾滴。我国吴泾化工厂用带油空气进行除沫试验，当气速为2米/秒时，效率达98%。

金属丝网除沫器的效率，大致可按式(1)进行计算。

$$E = 1 - (1 - 0.148\eta)^N \quad (1)$$

式中： $E$ ——分离效率（以小数表示）；

$N$ ——金属网的层数；

$\eta$ ——惯性冲击效率，与冲击数 $k$ 有关，冲击数 $k$ 可按下列式求得：

$$k = \frac{1}{9} (Re) \left( \frac{d}{D} \right) \quad (2)$$

式中： $Re$ ——雷诺数；

$$Re = 10 \times \frac{dV\rho}{\mu}$$

式中： $d$ ——雾沫颗粒的直径，米；

$\rho$ ——雾沫的密度，公斤/米<sup>3</sup>；

$V$ ——气体的速度，米/秒；

$\mu$ ——气体的粘度，泊；

$D$ ——金属线的直径，米；

公式(1)和(2)可以看出，当气体速度增加，雾沫粒子较大和丝网线径愈细，则效率越高。在同样情况下，丝网层数越多，效率越高。公

式(1)和(2)对于合成纤维编成的非金属丝网和金属线与纤维组合的丝网除沫器效率的计标是不适用的。

据国外报道，合成纤维编成的非金属丝网除沫器，对于0.3~3微米的雾滴的除沫效率很高。

## 2 压力降：

通常气体经过丝网的压力降很小。金属丝网在一般情况下，通过150毫米厚的丝网层，压力降小于25毫米水柱。合成纤维编成的非金属丝网，在容许的气速范围内，压力降也小于25毫米水柱。金属线与纤维组合的丝网，在大多数情况下，压力降为75~150毫米水柱〔4〕。

气体通过丝网除沫器的总压力降，如同填料塔一样，应由于网压力降（ $\Delta P_{干}$ ）及由于网中液体所造成的压力降（ $\Delta P_{液}$ ）两部分组成，即：

$$\Delta P_{总} = \Delta P_{干} + \Delta P_{液}$$

丝网除沫器的 $\Delta P_{液}$ 相对 $\Delta P_{干}$ 而言，其值较大，尤其当雾沫含量较高，网中有明显的液层时， $\Delta P_{液}$ 约占总压力降的80~85%。

丝网除沫器的总压力降可按下式进行大致的计标。

$$\Delta P = \frac{fV^2 X \rho (1-\Sigma)}{gD} \quad (\text{毫米水柱}) \quad (3)$$

式中：V——气体设计速度，米/秒；

$\rho$ ——气体重度，公斤/米<sup>3</sup>；

X——网层厚度 米；

$\Sigma$ ——网层的空隙率（0.9~0.98）；

D——线径，米；

g——重力加速度（0.98米/秒<sup>2</sup>）；

f——摩擦系数（金属网一般可取1.5）。

由公式(3)可知，压力降与气体速度及气液比等因素有关。



#### 四) 丝网除沫器的计标

##### 1. 丝网除沫器的计标步骤：

(1) 根据气液介质的性质，气体的处理量和对除沫的要求，选择适当材料和规格的丝网（有特殊要求，还可与生产丝网的工厂协商提出订货）。

(2) 计标气体通过丝网的计标气速（或称容许气速），选取适宜的设计速度。并由气体处理量决定丝网的使用面积。前面已指出，气体通过丝网必须具有一定的速度，以产生必要的惯性作用。适宜气速是取得高除沫效率的重要因素。气速太低，夹杂在气体中的沫滴飘浮着，没有撞击在网丝上，随着气流通过丝网。气速太高，聚集的沫滴不易从丝网中降落，结果液体充满丝网，形成一块塔板的作用，气体通过丝网时又重新带走沫滴。

影响气体通过丝网容许气速的因素很多，如气体和液体的重度，液体的表面张力，液体的粘度，丝网的比表面积，气体中的雾沫量，气体中悬浮固体的含量，等等。其中主要是气体和液体的重度，常用一个经验公式来表示，而把许多其他因素归入一个常数K，一般用下式表示：

$$V = K \sqrt{\frac{\varphi_L - \varphi_G}{\varphi_G}} \quad (4)$$

式中：V —— 计标速度，米/秒；

K —— 常数，通常取0.107；

通常利用K值为0.35（英制），当公式其他参数采用公制单位时， $K = 0.35 \times 0.3057 = 0.107$ （公制）。对大多数的雾沫分离，效果是令人满意的，但是当液体粘度和雾沫夹带负荷较大或液体很脏时，就需采用较小的K值，在应用润滑剂的水系统中，表面张力减小，亦需找出较小的K值。

有些杂志介绍系数  $K = 0.227 R_d$ （石油炼制1963年第10期介绍）当  $R_d = 0.46 \sim 1.69$  的范围内时，除沫器都能正常操作，故对