



78-1-3

化工单元设备资料

干燥集

(五)

上海化学工业设计院医药农药工业设计建设组

目 录

1. 下喷上式喷雾干燥设备	1
(上海染化八厂)	
2. 新型强化压力式喷雾干燥塔试验总结报告	18
(上海染化一厂、上海化工研究院)	
3. 卧式负压沸腾干燥器的试制和应用	45
(上海第十一制药厂)	
4. 气浮式振动干燥器	55
(上海第六制药厂)	
5. “CZ”干燥技术革新总结报告	59
(天津市有机化工一厂)	
6. 陶土气流干燥与冷却生产技术小结	70
(福建省龙海县农药厂)	
7. 腐植酸钠和腐植酸在惰性粒子流化床中的干燥试验	76
(成都工学院、茂名大塘煤矿、茂名石油 化工研究所、重庆煤矿研究所)	
8. 远红外线加热干燥技术及应用	83
9. 碳化硅电热板远红外辐射沅	97
(本溪市耐火材料厂)	
10. 隧道式微波灭菌干燥机使用试验报告	100
(南京中药厂、无锡市太湖电器厂、国营 南京电子管厂)	

下喷上式喷雾干燥设备

上海染料化工八厂

一、前言

我们厂，在喷雾干燥器没有上马之前，活性染料的干燥都是采用箱式烘房。箱式烘房是间断生产，产量低，质量差，劳动强度高，粉尘飞扬严重，环境卫生恶劣。在厂党总支和车间党支部的领导下，我们喷雾干燥小组按照《鞍钢宪法》的精神，发扬了“独立自主，自力更生”的精神，经过大家的努力，终于把研制了六年之久的下喷上式喷雾干燥器在一九七二年试验成功了。

从一九七二年第一台下喷上式喷雾干燥器上马以来，我厂又先后自己设计了四台下喷上式喷雾干燥器。目前已有五台喷雾干燥器投入了大规模生产。五台喷雾干燥器每天可干燥十吨染料干粉子，所以基本上革掉了老式陈旧的箱式烘房。

我们厂生产的活性染料共有三十多个品种，每个品种的喷雾干燥条件也不同。本文主要介绍其中几只主要品种，在经过七年长期生产后，我们探索了喷咀、热量、风量等几个主要因素对喷雾干燥产量和质量的关系，以及喷咀、风机、热沉、喷雾干燥塔、旋风分离器和袋式捕集器的选择及其验标。并阐述了喷雾干燥过程中怎样防止染料粘壁所要采取的必要措施，以供参考。

二、下喷上式喷雾干燥器的原理及其特点

1. 原理：液料经喷咀雾化成液滴后，在喷雾干燥塔内由下而上并流地和热空气均匀接触，进行热交换，使水份蒸发的瞬间干燥过程。

2. 特点：

(1) 操作方便。喷雾干燥器在操作时，主要的工作量是怎样控制喷咀的喷量。喷量控制适当，就可以提高产量和质量，而下喷上式喷雾干燥器的喷咀装置在底层，和染料滤井的打浆、干粉子染料的出料和装桶等工作处于同一底层面，这样与上喷下式喷雾干燥器对比，大

大地减轻了劳动强度，甚至还可以减少操作人员。

(2) 干燥速度快。液料经喷咀雾化成液滴后，是瞬间干燥，干燥过程中染料受热均匀，干燥速度快，所以得到的干粉子染料色泽鲜艳，外形美观。

(3) 喷雾干燥器和原来的老式箱式烘房对比，劳动力和劳动强度大大降低，劳动环境，特别是粉尘飞扬大大减少。如果将我厂老式烘房全部由喷雾干燥器取代后，新老情况对比见表(1)。

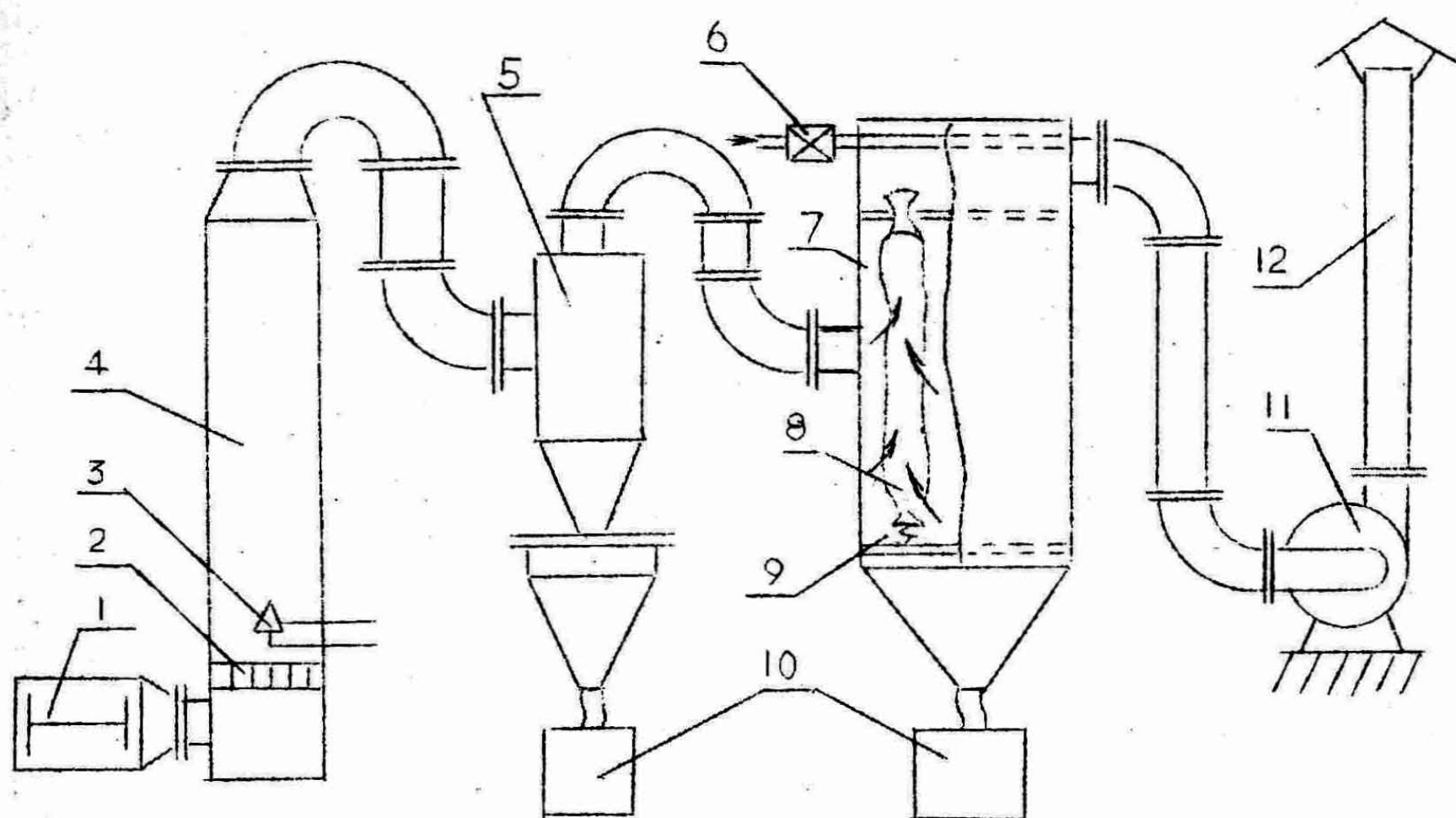
表1 . 喷雾干燥和箱式烘房情况对比

名 称 \ 类 别	操作人员 (每班)	劳动强度	质量 (外观)	生产方式	劳 动 环 境	
					温 度	粉子飞扬情况
箱式烘房	13	极重	暗沉	间断	45~50°C	严重
雾干燥器	7	轻	鲜艳	连续	室温	无

主要缺点有：空气消耗量大，即动力消耗大。染料滤瓶需加水稀释，不合理，设备的清洗工作量大而麻烦。

三、下喷上式喷雾干燥器的设备流程

喷雾干燥器可分热沅、干燥塔、旋风分离器和脉冲袋滤器等几个主要部分。见图(1)。



1. 热沅; 2. 导向板; 3. 喷咀; 4. 干燥塔; 5. 旋风分离器组
6. 脉冲阀; 7. 捕集器; 8. 滤袋; 9. 弹簧支座; 10. 贮料桶;
11. 鼓风机; 12. 放空管。

／ 工艺流程：

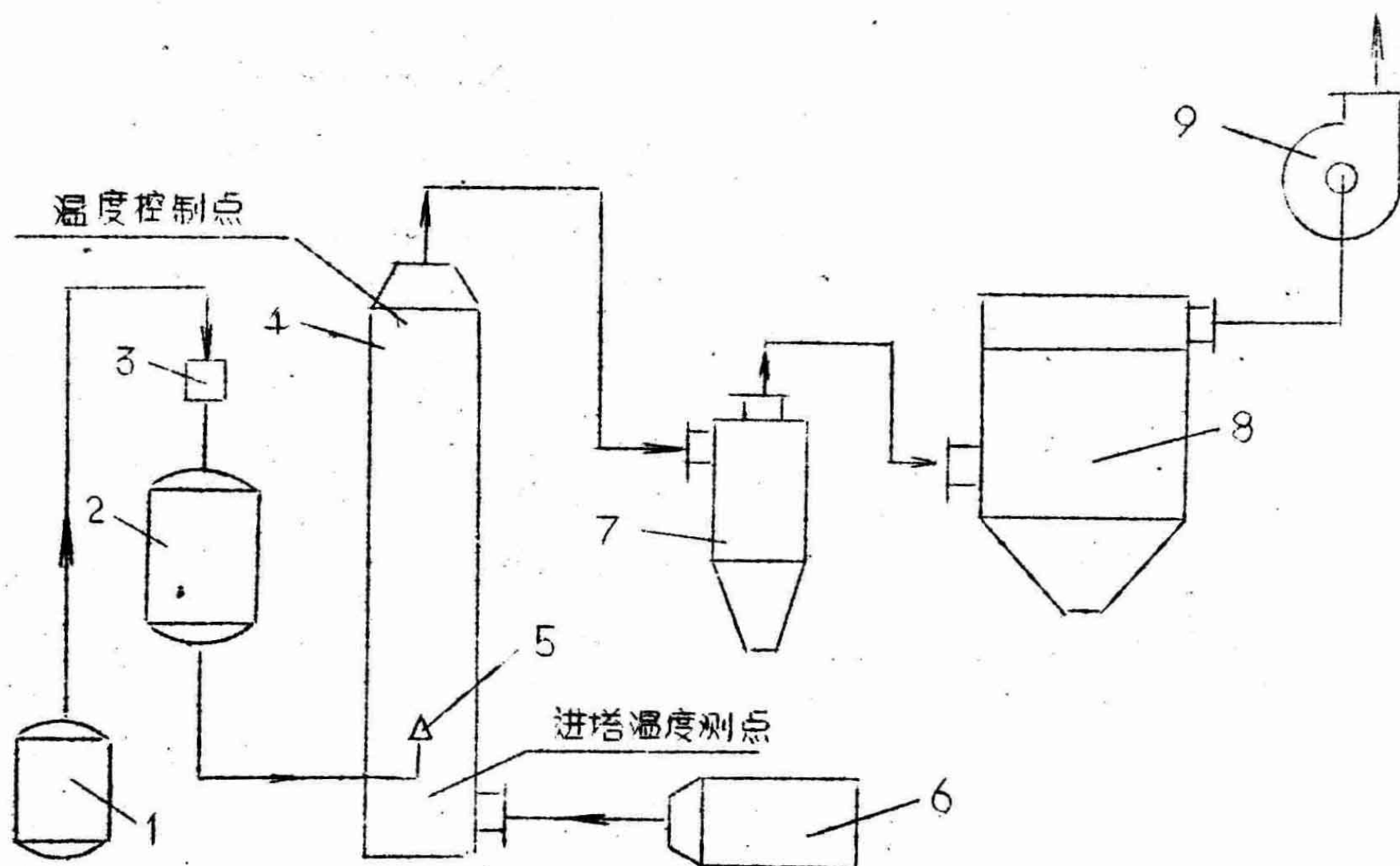


图 (2)

1. 打浆锅；2. 高位槽；3. 过滤器；4. 喷雾干燥塔；5. 喷咀
6. 热沉；7. 旋风分离器；8. 脉冲式袋滤器；9. 排风机。

2. 主要参数的确定：

在整个喷雾干燥过程中，提高产量和质量的要求是应该居首位的。而要保证干燥的产量和质量，除了有理想的喷咀外，还要保证满足喷雾干燥所必须的热量和风量。对于干燥温度来讲，如果进塔温度相同，不同产品有它的不同温度控制点。见图(2)所示。如果这一点不掌握，喷雾干燥产量和质量就受到严重的影响。同样，如果不能满足喷雾干燥时所需要风量，产量和质量也会受到严重的影响。例举其中两只产品黑K-BR和黄K-RN在喷雾干燥过程中说明产量、质量与温度控制点、风量的关系。见表(2)和表(3)。

表(2) 温度控制点与喷雾干燥产量、质量的关系

产 品	进塔温度	温度控制点	产 量	质量(含水量)	说 明
黑 K-BR	150℃	65℃	140kg/时	7%	
		70℃	130kg/时	5%	最佳
		80℃	110kg/时	3%	
黄 K-RN	150℃	85℃	90kg/时	6%	
		90℃	80kg/时	5%	最佳
		100℃	65kg/时	3%	

注：干粉子染料含水量>5%，质量为不合格。

表(3) 风量与喷雾干燥产量、质量的关系

产 品	进塔温度	风量(M ³ /时)	产 量	质量(含水量)	说 明
黑 K-BR	150℃	12500	130kg/时	5%	最佳
		9000	100kg/时	5%	
		6000	60kg/时	6%	
黄 K-RN	150℃	12500	80kg/时	5%	最佳
		9000	70kg/时	5%	
		6000	55kg/时	6%	

从表(2)和表(3)很清楚的看出，如果每只产品的最佳温度控制点和最佳风量确定后，提高进塔温度对喷雾干燥的干燥速度当然是极重要的。

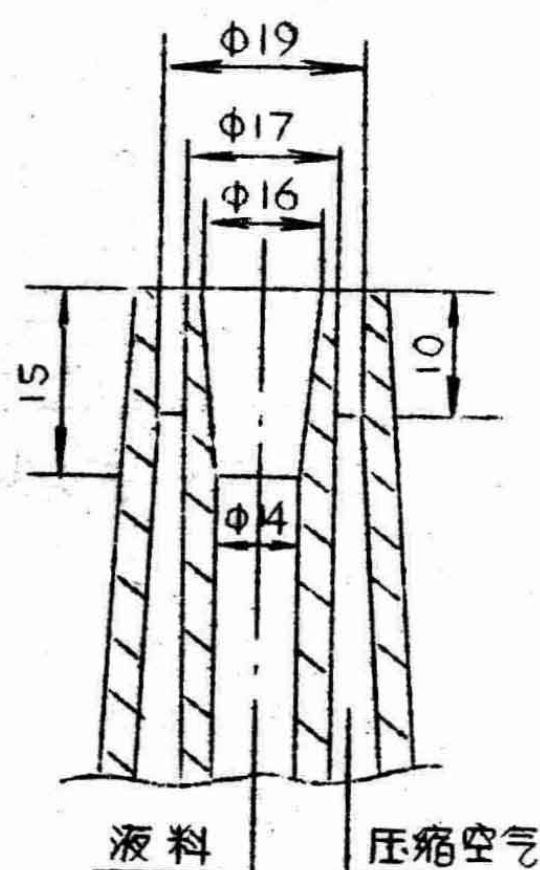
五、喷嘴的选择及其验标

下喷上式喷雾干燥器的雾化器是采用二流体式外混合喷嘴。喷雾的过程是液料在高速气流作用下，形成中间空液环，液环在高速气流的继续作用下形成液膜圈，由液膜卷形成细长的液线群，液线群随着时间的增长，在线状最细处很快地断裂而形成球状的小雾滴。气流喷

雾的好坏，主要从雾滴的分散度和均匀性来衡量。雾滴的分散度越高，均匀性越好，喷雾干燥的速度越快，质量也就越好。一般情况下，增加压缩空气与液料的流量重量比，可得到较均匀的雾滴，增加压缩空气的喷射速度，则可得到较细的雾滴。

我们的目的是既要使雾滴细，均匀，使之提高喷雾干燥的速度和质量，又要使压缩空气的用量最小，速度最高，使之最经济。要达到这个目的，喷嘴几何尺寸的设计是至关重要的。我们厂使用的喷嘴见图(3)。经过长期实践证明，效果良好。现在例举一只品种黄K-BG的喷雾干燥时雾化情况来说明之。

目前我厂在喷雾干燥黄K-BG时，每小时平均能得到含水量为2%的干粉子染料125 kg，其气液比验标如下：



图(3) 喷嘴

1. 每小时所喷出的液料重量：

设： G_1 为液料每小时喷出的重量

kg/时； G_2 为每小时所得干粉子染料重量 kg/时；

W_1 为液料含水量 (75%)； W_2 为干粉子染料含水量 (2%)。

$$\text{由方程式求得 } G_1 = G_2 \times \frac{100 - W_2}{100 - W_1} = 125 \times \frac{100 - 2}{100 - 75} = 490 \text{ kg/时}$$

$$\therefore \text{每秒所喷出的液料重量 } G_1 = \frac{490}{3600} = 0.136 \text{ kg/秒}$$

2. 每秒钟喷出的压缩空气流量重量：

设： L 为喷嘴每秒钟喷出的压缩空气的流量重量 kg/秒，

A 为喷嘴的压缩空气出口面积 cm^2

取气体常数 $R = 29.3 \text{ kg} \cdot \text{M} / ^\circ\text{C}$

摩擦速度系数 $C = 0.9$

气体的绝对温度 $T_1 = 300^\circ\text{K}$

$P = 5 \text{ kg/cm}^2$

先求得 $A = 0.785 \times (19^2 - 17^2) = 0.565 \text{ cm}^2$

$$L = 2.145 A \cdot C \cdot P \frac{1}{\sqrt{RT_1}} = 2.145 \times 0.565 \times 0.9 \times 5 \times \frac{1}{\sqrt{29.3 \times 300}} \\ = 0.055 \text{ kg/秒}$$

$$\therefore \text{气液比} = \frac{0.055}{0.136} = 0.40$$

现在我们厂，在实际生产过程中，喷得的染料干粉子直径平均在30微米左右。根据国内情况讲，要达到这个目的，喷咀的气液比一般都大于0.7，而我厂目前使用的喷咀从上面计算知，气液比只是在0.4，甚至更小些。其主要原因，我厂使用的喷咀中心液料管的口径大，如图(3)所示。由于液料管口径放大后，在干燥一定的液料时，液料在出口时的流速减慢，这样液料与压缩空气之间的速度差就增大，液料的分碎性就好。更重要的是由于喷咀的中心液料管口径放大后，在喷咀的出口处，液料和压缩空气的碰撞周边增大，而且成中间空的液环，在气流的作用下，由中间空液环很快形成液膜圈，这液膜圈薄而均匀，随后形成的液线群也细而均匀，所以雾化得到的粉子直径亦细而均匀。如图(4)所示。

在染料的喷雾干燥过程中，物料的粘壁现象所带来的后果也是非常严重的。往往这个问题不解决，就会迫使整个喷雾干燥器中断试验或停止生产。要解决这个问题，喷咀的合理设计是至关重要的。要设计一个理想的喷咀，除了以上谈到的一些因素外，喷咀的喷射角的确

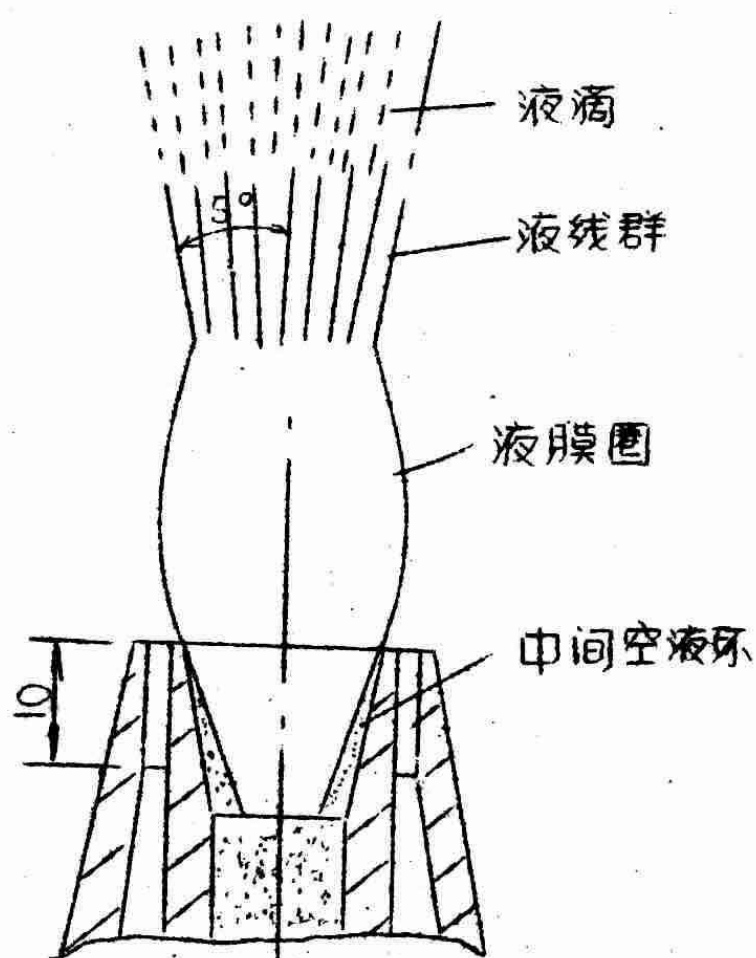


图 (4)

定也是重要的一环。（喷射角指气液射流外缘和喷嘴轴心之间的夹角）如果喷雾干燥塔的直径（ $\varnothing 1200$ ）确定后，由于喷射角太大，液滴在没有干燥前就碰到了塔壁，因此湿物料就粘在塔壁上，产生粘壁现象（活性染料由静电效应产生的粘壁因素可以忽略不计）。随之喷射角太小，会影响液料的雾化程度，也同样会造成粘壁现象，只不过在喷雾干燥塔内粘壁的位置不同而已。前者造成的粘壁方位大约在离喷嘴上方一米到三米之间，后者造成的粘壁方位大约在离喷嘴上方二米到四米之间。这一问题，我们厂经过长期喷雾干燥生产证明，活性染料的喷雾干燥采用喷射角四度到五度为最佳，见图(4)。要得到四度半左右的喷射角，喷嘴的压缩空气出口处，必须要有与喷嘴轴心平行的一段直线距离。这段直线距离如果太长，会减慢气流的流速，影响液料的雾化。直线距离太短，则喷射角会大于五度，达不到目的。所以我们确定这段直线距离为1 cm为最佳。见图(4)所示。

六、风机和热沉（散热片）的选择及其验标

在喷雾干燥过程中湿物料的干燥（去湿）程度（指干燥物料的含水量）和干燥速度，对于热量和干燥介质（空气）的供给是有密切关系的。供给的热量越多，湿物料的干燥程度和干燥速度也越好，越快。同样满足供给一定量的空气（风量）也能保证湿物料的干燥程度和干燥速度。因为空气是作为干燥介质，把热量传给物料，作为载热体，另一方面又作为载湿体，将汽化后的水分带走。所以要保证喷雾干燥器的生产能力，就要恰当地确定供给足够的热量和风量。现在例举活性黄K-6G的喷雾干燥来验证目前实际确定了的风量、热量是否恰当。

喷雾干燥生产能力为平均每小时125 kg干料；

液料含水量为75%（重量计），

干物料含水量2%（重量计），

进入铜质散热片的蒸汽压力为6 kg/cm²（表压），

空气进加热器前的温度为30℃，

空气进喷雾干燥塔温度为150℃，

空气出喷雾干燥塔温度为75℃，

液料升温到 $t_{M_1} = 90^\circ\text{C}$ 后进入喷嘴,

干物料温度 $t_{M_2} = 70^\circ\text{C}$,

m 为直线斜率,

W 为每小时需蒸发的水份 $\text{kg}/\text{时}$

G_1 为每小时喷出的液料量 (上面已求得 $G_1 = 490 \text{ kg}/\text{时}$),

G_2 为每小时所喷得干料量 (上面已求得 $G_2 = 125 \text{ kg}/\text{时}$),

V 为湿空气比容 $\text{米}^3 \text{湿空气}/\text{公斤干空气}$,

排风机处温度为 $t = 70^\circ\text{C}$

l 为从湿物料中汽化 1 公斤水份所需的绝干空气量

$\text{公斤干空气}/\text{公斤水}$

L 为汽化 W 公斤水所需要的干空气量 $\text{公斤干空气}/\text{小时}$

V 为所要求的风量 $\text{米}^3/\text{小时}$

喷雾干燥塔热量损失为总热量的 10 %

干物料比热为 $C_M = 0.8$ $\text{千卡}/\text{公斤} \cdot ^\circ\text{C}$

Q 为汽化 W 公斤水所需要的热量 $\text{千卡}/\text{小时}$

取散热面的传热系数 $K = 20 \text{ 千卡}/\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}$

F 为铜质散热片的传热面积 米^2

Δt 为传热的平均温度差

查手册得在 $7 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 绝对压力时蒸汽的汽化潜热

$V = 494 \text{ 千卡}/\text{公斤}$

在 $7 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 绝对压力时蒸汽的饱和温度 $t_0 = 164^\circ\text{C}$

(I) 风量的计标:

(1) 水份蒸发量:

$$W = G_1 - G_2 = 490 - 125 = 365 \text{ kg}/\text{小时}$$

(2) 风量:

空气进入加热器前的状态为 $(X_0, t_0 = 30^\circ\text{C}, I_0)$

$\therefore$ 上海地区 $X_0 \approx 0.010 \text{ 公斤水蒸汽}/\text{公斤干空气}$

查 $I-X$ 图得 $I_0 = 13 \text{ 千卡}/\text{公斤干空气}$

$\therefore$ A 点为 $(X_0 = 0.010, t_0 = 30^\circ\text{C}, I_0 = 13)$

B 点为 $\{X_1 = X_0 = 0.010, t_1 = 150^\circ\text{C}, I_1 = 43\}$

由 B 点沿等温球湿度线 42.5°C 找到与 $t_2 = 75^\circ\text{C}$ 的相交点 C 点

由 C 点查得 $X_2 = 0.041$

$$\ell = \frac{1}{X_2 - X_1} = \frac{1}{0.041 - 0.010} = 32.2 \text{ 公斤干空气/公斤水}$$

$$\begin{aligned} \text{蒸发每公斤水所需热量 } q &= \ell(I_1 - I_0) = 32.2 \times 43 - 13 \\ &= 966 \text{ 千卡/公斤水} \end{aligned}$$

$$\text{热损失 } q_2 = q \frac{10}{100} = 966 \times \frac{10}{100} = 96.6 \text{ 千卡/公斤水}$$

$$\begin{aligned} \text{物料升温所需热量 } q_M &= \frac{G_2 C_m (t_{m2} - t_{m1})}{W} \\ &= \frac{125 \times 0.8 \times (70 - 90)}{375} = -5.3 \text{ 千卡/公斤水} \end{aligned}$$

由方程式: $\frac{I - I_1}{X - X_1} = M = -(q_M + q_L) + t_M$, 得:

$$M = -(5.3 + 96.6) + 90 \approx -1$$

$$\therefore \frac{I - I_1}{X - X_1} = M = -1 \quad (\text{设 } X = 0.02)$$

$$\begin{aligned} \therefore I &= -1 \times (X - X_1) + I_1 = -1 \times (0.02 - 0.01) + 43 \\ &\approx 43 \text{ 千卡/公斤干空气} \end{aligned}$$

由 $I = 43$ 、 $X = 0.02$ 这点与 B 点连成直线, 在此直线的延长直线与 75°C 的交点便为所求之点。得: $X_2 = 0.040$ 公斤水蒸汽/公斤干空气

$$\begin{aligned} \therefore \text{实际空气消耗量为 } \ell &= \frac{1}{X_2 - X_1} = \frac{1}{0.04 + 0.01} \\ &= 33.3 \text{ 公斤干空气/公斤水} \end{aligned}$$

$$\therefore L = \ell W = 33.3 \times 365 = 12200 \text{ 公斤干空气/小时}$$

$$\therefore V = \left(\frac{1}{29} \times 22.4 + \frac{X_2}{18} \times 22.4 \right) \times \frac{273 + t}{273}$$

$$= \left(\frac{22.4}{29} + \frac{0.040}{18} \times 22.4 \right) \times \frac{273+70}{273}$$

≈ 1 米³ 湿空气 / 公斤干空气

$$\therefore \text{风量 } V = LV = 1220 \times 1 = 12200 \text{ M}^3 / \text{小时}$$

目前我厂喷雾干燥使用的排风机规格如下:

型号: 4-7-5

风量: 9120 M³ / 小时 17720 M³ / 小时

风压: 340 mm / 水柱 204 mm / 小柱

功率: 15 千瓦

转速: 2980 转 / 分

根据实际测量, 喷雾干燥塔内每小时通过的风量在 10000 M³ / 小时

13000 M³ / 小时之间。所以能满足计标所需要的风量

(12200 M³ / 小时)。

(II) 热量的计标:

$$Q = L(I_1 - I_0) = 12200 \times (43 - 13) = 3.66 \times 10^5 \text{ 千卡} / \text{小时}$$

(III) 传热面积的计标:

$$\therefore \Delta t = \frac{(164 - 30) - (164 - 150)}{\ln \frac{164 - 30}{164 - 150}} = \frac{120}{\ln 9.6} = 53^\circ \text{C}$$

$$\therefore F = \frac{Q}{K \Delta t} = \frac{3.66 \times 10^5}{20 \times 53} = 345 \text{ M}^2$$

$$(IV) \text{ 水蒸汽用量: } \frac{Q}{r} = \frac{3.66 \times 10^5}{494} = 741 \text{ 公斤} / \text{小时}$$

现在我厂使用的散热片(热沉)的规格如下:

型号: S 型(铜质翅片散热片)

总传热面积: 355 M²

蒸汽进散热片表压: 6 kg / cm²

所以计标所得的散热片传热面积 345 M² 小于我厂使用的散热片

传热面积 355 M^2 ，故亦能满足要求。

七、喷雾干燥塔

根据我厂多品种的特点，由于每只产品的干燥速度不一，喷雾干燥塔的大小也要求不一。为了具有通用性，我厂喷雾干燥塔的有效高度选择 $H=8\text{M}$ ，直径 $D=1.2\text{M}$ ，如图(5)。为了使热风能在喷雾干燥塔内均匀分布地流动，避免物料粘壁，在热风进口处的喷雾干燥塔底部装有热风导向板。喷雾干燥塔内平均风速在 2.5 M/秒 左右。热风进喷雾干燥塔温度为 150°C ，出喷雾干燥塔温度为 75°C （每只活性染料平均温度控制点），进入预热器前的空气温度为 20°C 。

热效率为：

$$\begin{aligned} \eta_{\text{总}} &= \left(\frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{150 - 75}{150 - 20} \right) \times 100 \\ &= 58\% \end{aligned}$$

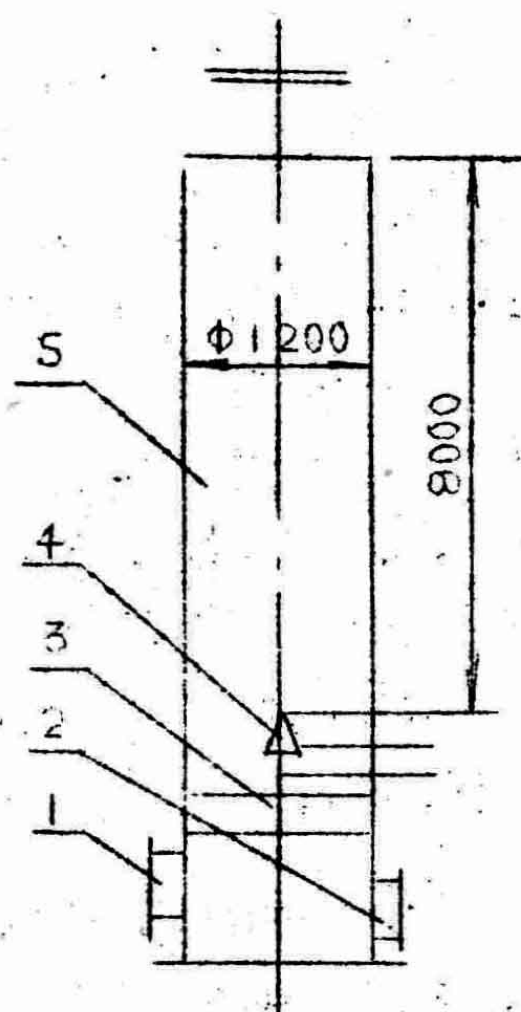


图 (5)

1. 热风进口；2. 清理口；
3. 导向板；4. 喷头；
5. 塔体。

八、旋风分离器

采用切线型旋风分离器。进风速度为 18 M/秒 。具体几何尺寸如图(6)所示。效率在 $90\% \sim 95\%$ 之间。

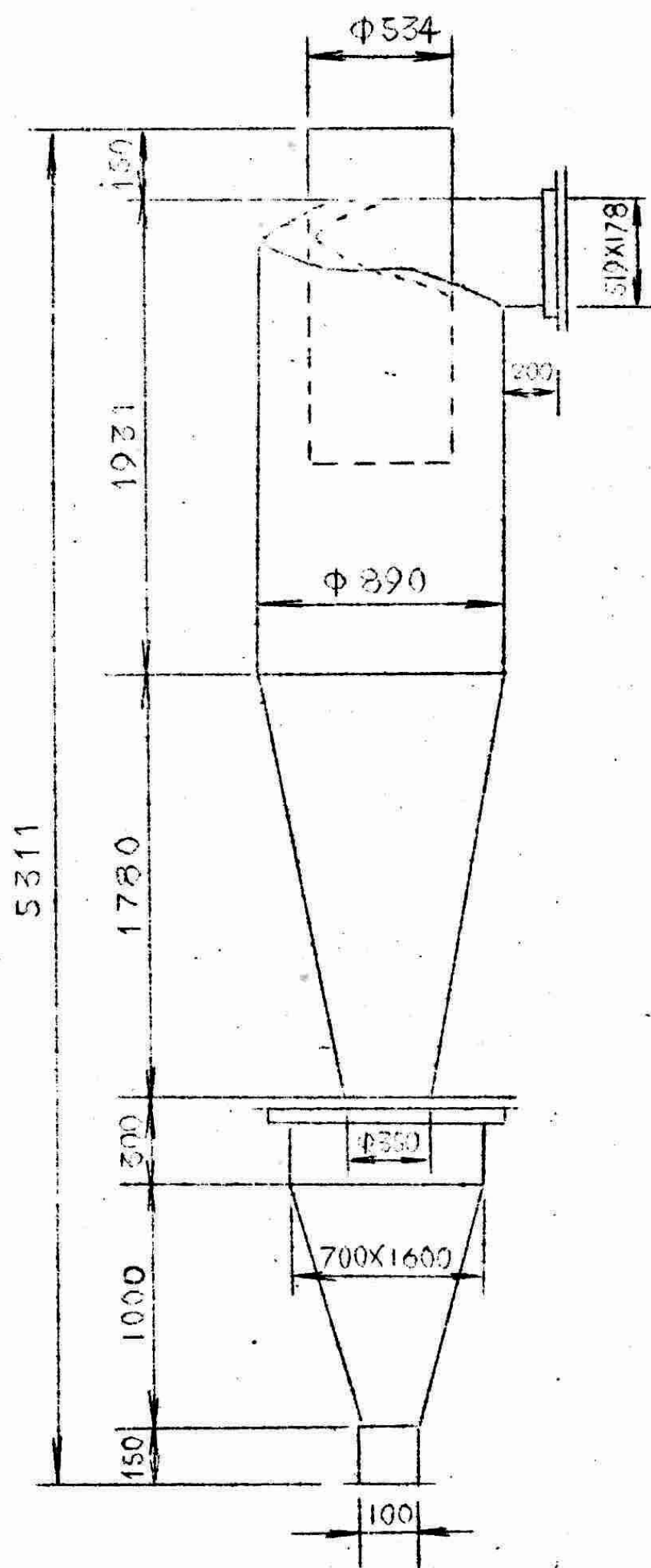
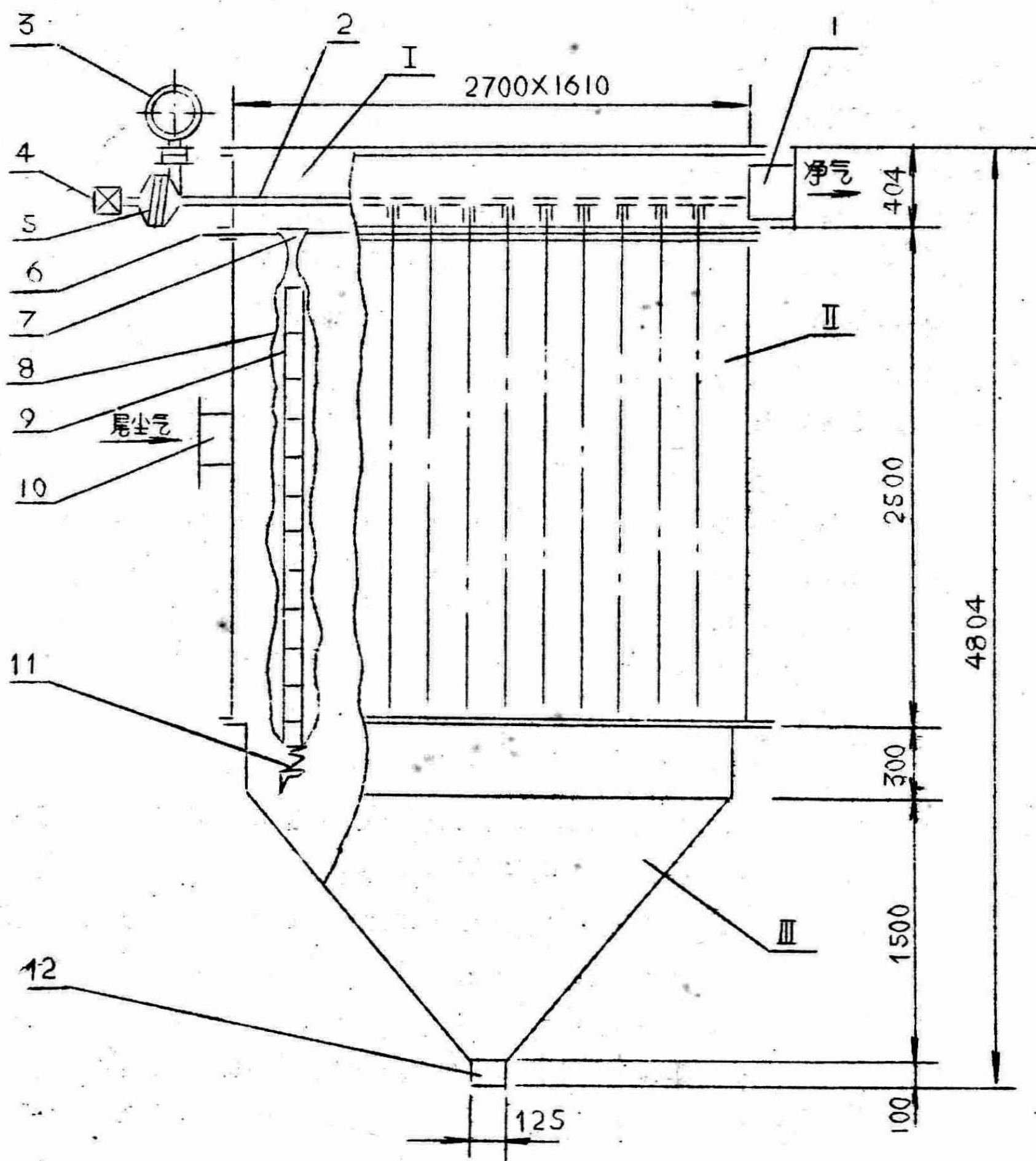


图 (6)
旋风分离器

九、袋式捕集器

采用脉冲除尘器。脉冲除尘器的构造及工作原理如下：

(1) 构造：除尘器的机体分成三部分。如图(7)所示。



图(7) 捕集器

- I 上部箱体(喷吹箱) II 中部箱体(滤箱) III 下部箱体(尾尘斗)
 1. 净气出口 2. 喷吹管 3. 贮气包 4. 电磁阀 5. 脉冲阀 6. 花板
 7. 喇叭管 8. 滤袋 9. 滤袋框架 10. 尾尘气进口 11. 弹簧支座 12. 尾尘出口

(I) 上部箱体：装有喷管(2)、喇叭管(7)、压缩空气气包(3)、电磁阀(4)、脉冲阀(5)和净气出口(1)。

(II) 中部箱体：装有滤袋框架(9)、滤袋(8)和尾尘气进口(10)。

(III) 下部箱体：装有滤袋框架弹簧支座(11)和尾尘出口(12)。

(2) 工作原理：

尾尘空气由进口(10)吸入，分散在滤尘箱内，尾尘被滤袋阻留在滤袋外壁，净气穿过滤袋，由喇叭管进入上部箱体从净气口(1)排出。一部分尾尘借重力落进存料箱，另一部分尾尘经喷吹作用也落入存料桶，使袋式捕集器阻力保持在90—120毫米水柱之间。

除尘器共有112个滤袋，分成14排，每排8个滤袋用一个脉冲阀执行喷吹清尘。喷吹清尘有脉冲控制仪控制在0.1秒的时间中喷气，每排喷吹清尘的间隔时间为15秒。

目前我厂采用由鞍山无线电厂制造的WMK-(2)型无触点脉冲控制仪。滤袋使用材料是涤纶绒布。每只滤袋的过滤面积为 0.9 M^2 ，总面积为 100 M^2 。袋式捕集器阻力在90—120 mm水柱之间。捕集效率为92%，甚至更高些。

十、讨 论

1. 喷雾干燥塔内壁的物料粘壁现象，是一个普遍问题。经过长期探索，造成物料粘壁的主要因素有以下几种：

(1) 喷咀的影响：如果喷咀在雾化时，分散度和均匀性达不到设计要求就会造成严重的粘壁现象。当然喷咀的气流单边现象，喷射角设计不恰当和喷咀安装不正也都会产生粘壁现象。

(2) 热量和风量的影响：热量不够，湿物料干燥速度降慢，没有达到干燥程度（含水量）的物料就粘在壁上。风量不足，不能把汽化的水蒸汽及时地排出，干燥塔内的相对湿度就升高，同样达不到物料的干燥程度，因此就粘在塔壁上。

(3) 湿物料的影响：在喷雾干燥前的物料打浆时，没有打均匀，块状物料夹在液料中，喷咀在雾化时不能把块状物料都能粉碎雾化，因此大液滴不能及时干燥，也就粘在壁上。