

全国环境噪声及控制
工程学术会议论文

化工放空消声器实验研究及应用

邱子中

一、化工放空性噪声

化工放空消声器主要用于消除压缩机、蒸汽锅炉、化工设备工艺气体排放噪声。

我国设计的压缩机、蒸汽锅炉及工艺气体排放管的排放速度，绝大部分都达到声速。国外引进30万吨/年合成氨装置及其配套尿素装置中，排放管速度各有差异，但基本上达到声速，如下表1。

排放噪声是空气动力性噪声，声功率取决于排放速度，气体由放空管排入大气时，高速气体粒子和周围的低速气体粒子发生湍流混合，使大气的稳定状态受到破坏而发生无规律的巨大扰动，从而产生强大的喷气喷声。这种喷气噪声的功率级很高，频谱极宽。

例如，

4L-20/8空压机距入去"放空管出口处与轴线成45°角, 距离一米或二米处测得噪声(分贝)值。

| | | 倍频带中心频率(赫兹) | | | | | | | | 加权声级分 | | |
|----|----|-------------|------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|---|
| | | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | 16K | A | B | C |
| 2米 | 83 | 86 | 89.5 | 101 | 111.5 | 113.5 | 110 | 118 | 110.5 | 120.5 | 119 | |
| 1米 | 87 | 90 | 92.5 | 102 | 111 | 113.5 | 112.5 | 114 | 110.5 | 120.5 | 119.5 | |

· 5吨/时锅炉18公斤/厘米² 450°C 3"排汽管7.8米45°测得噪声(分贝)值

| | | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | A | B | C |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3米 | 63 | 65 | 68 | 71 | 74 | 76 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 |
| 9米 | 98 | 105 | 114 | 119 | 129 | 129 | 122 | 118 | 130 | 132 | 132 |

表A

美国凯洛格

| 项目 | 位号 | 美国凯洛格 | | | | | | |
|--------|----|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Sp72 | | Sp73 | | Sp75 | | |
| 排放介质 | | 蒸汽 | 蒸汽 | 转化气 | 转化气 | 合成气 | 变换气 | 排放气 |
| 温度 °C | | 260 | 254 | 371 | 371 | 46 | 60 | 49 |
| 流量 吨/时 | | 4.44 | 173.3 | 150.11 | 41 | 80.6 | 47.2 | 20.5 |
| 分子量 | | 18 | 18 | 15.8 | 8.65 | 11 | 8.7 | 11.5 |
| 排放管径 | | 12" | 24" | 24" | 24" | 8" | 8" | 8" |
| 速度 米/秒 | | 424 | 410 | 声速 | 415 | 声速 | 声速 | 415 |
| 项目 | 位号 | 日本东工 | | | 法国赫尔蒂 | | | |
| | | Sp74 | Sp77 | Sp78 | JZ-1204 | JZ-1301 | JZ-1502 | |
| 排放介质 | | 低变气 | 空气 | 蒸汽 | | | | |
| 温度 °C | | 127 | 194 | 321 | | | | |
| 流量 吨/时 | | 110.66 | 66.67 | 90.8 | | | | |
| 分子量 | | 15.12 | 28.9 | 18 | | | | |
| 排放管径 | | 12" | 10" | 16" | | | | |
| 速度 米/秒 | | 声速 | 声速 | 543 | | | | |
| 项目 | 位号 | 日本东工 | | | | 法国赫尔蒂 | | |
| | | 107-u | 108-u | 109-u | | JZ-1204 | JZ-1301 | JZ-1502 |
| 排放介质 | | 蒸汽 | 空气 | 工艺气 | 空气 | 转化气 | 高变气 | 合成气 |
| 温度 °C | | 370 | 105 | 200~300 | 133 | 430 | 270 | 115 |
| 流量 吨/时 | | 120 | 195 | 150 | 50 | 181.07 | 174.7 | 47.5 |
| 分子量 | | 18 | 29 | 12.83 | 29 | 16.0 | 16.38 | 8.7 |
| 排放管径 | | 18" | 14" | 14" | 12" | 24" | 24" | 12" |
| 速度 米/秒 | | 声速 | 253 | 声速 | 234 | 600 | 450 | 500 |

某30万T/年合成氨，48万T/年尿素装置开车投产时，CO₂压缩机或尿素合成塔纯化放空时，在两里远的集市仍能听到使人胸闷、头痛、刺耳的噪声，集市受到干扰，难于进行贸易，办公室无法办公，会议室无法开会，足见排放污染十分严重。

二、针对化工装置排放噪声特点，消声器设计要求及提出解决措施。

- 要求：
1. 足够大的消声量（35~40分贝）；
 2. 既消除高频，又能消除低频；
 3. 适用化工工艺介质场合；
 4. 排放速度大；
 5. 设计适宜，结构简单，加工容易。

目前消声元件大体上分为利用吸声材料消声的阻性元件，分散噪声源的扩散器以及利用插入多孔管与空腔配合的缓冲器等等。

采用如<图8>阻扩缓冲复合式消声器对化工放空排放较为适合，它属常压设备，排放速度较大，制造极为容易，在化工介质场合有使用的历史。能克服单纯阻性管消声器速度低，克服扩散器小孔被化工介质堵塞，粘糊，腐蚀介质扩孔以及小孔对消声只受压筒位开孔群，孔边应力集中，壁厚过厚，钻孔加工困难等问题。但阻扩缓冲复合式消声器，消声效果仍不理想，对低频消除不好。如美国凯洛格勃本工艺放空消声器，设计消声量

i x

150

排放时距消声器进口垂直方向11.0米、水平方向0.1米处的
噪声不大于下列数值:

| | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| 频率(赫) | 20~75 | 75~150 | 150~300 | 300~1000 |
| 声压级(分贝) | 116 | 108 | 103 | 101 |
| | 600~1.2K | 1.2~2.4K | 2.4~4.8K | 4.8~10K |
| | 101 | 101 | 101 | 101 |

蒸汽放空消声器,要求高于地面2.5米和在消声器下方的水
平方向0.1米各点噪声,不大于下列数值:

| | | | | |
|---------|----------|----------|----------|---------|
| 频率(赫) | 20~75 | 75~150 | 150~300 | 300~600 |
| 声压级(分贝) | 105 | 98 | 93 | 91 |
| | 600~1.2K | 1.2~2.4K | 2.4~4.8K | 4.8~10K |
| | 91 | 91 | 91 | 91 |

对某厂上述两消声器进行实测,测得数据可看出,消声值都不
理想。

为解决消声值,采用扩散器把噪声源分散并改变声波的传播方
向,达到有利于吸声材料吸收声能,阻性管与扩散器配合适当,定
能大大提高消声值。再用适当的缓冲管,使低频声波在缓冲管壁上
小孔多次旋转,破坏声波的传出,声波在侧孔壁上摩擦转化为热能
而消耗掉,这样必定达到予期高的消声值。

三、试验装置

1. 试验装置如<图2>, 仪器仪表

排放噪声源: 4 L-20/8型压缩空气。

流量计: 采用孔板流量计。

测试仪表: 丹麦B. K 2209

试验元件: 扩散器, 阻性管, 缓冲管。

2. 测试方法 声学性能测试采用比较法。在排放管口装上与消声元件等长，管径与排放口径相近即 1.4" 管子。在小管出口处与轴线成 45° ，距离 1 米或 2 米米处布测点，测得放空噪声，然后装上试验元件，并在试件出口处与轴线成 45° ，距离 1 米或 2 米布测点，测得消声后剩余噪声两者的差值为消声量。

四、实测结果分析

1. 阻性管及带扩散器阻性管试验

阻性管结构，几何参数及其装配如图 3~4

阻性管设计最大气量 $1200 \text{ Nm}^3/\text{时}$ ，流速约 50 米/秒。
吸声材料容重 $20 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，护面板开孔率 35%。

扩散器和阻性管配合有两种形式，即扩散器直接放进阻管内如图 4 a 和扩散器放在阻性管前的扩张室内。

见图 4 b c

图 3 阻性管

a

b

图4 扩散器和阻性配合形式

这次试验的流速在20~50米/秒之间。阻性管的长度分别为1000和1500毫米，并分别配合各种规格的扩散器。测得数据见表2。

从表2可明显看出：

- (1) 1000%阻性管消声值约10分贝。
- (2) 1500%阻性管消声值约3.5分贝。
- (3) 1000%阻性管加扩散器消声值约4.8分贝。
- (4) 1500%阻性管加扩散器消声值约5.4分贝。
- (5) 1500%阻性管加扩散器消声后达环境噪声。

~10~

(6) 阻性管与扩散器配合不仅对高中频声能大大提高消声量作用，而且对低频声亦有很好的消除作用。

一米的阻性管加长50%（即1.5米），增加消声值约2.8分贝。用同样一米的阻性管与扩散器配合后，却能增加消声值2.3分贝，而且达到设计要求。

阻性管和扩散器的消声量已有近似计算公式，但与实测数值出入大。图5曲线所示。对于阻性管与扩散器配合形式还没有消声量的计算公式，它的消声原理仍然与吸声材料的吸声系数，吸声面积和通道以及介质的性质和流速有关，而扩散器只起分散噪声源，改变声波传播方向，作有利于吸声材料吸收。通过试验研究，在2.8~4.5米/秒流速范围内，阻性管与扩散器配合消声量可参考下式计算。

$$\Delta L = 0.86 \frac{P \epsilon \phi(a_0)}{S} \quad (\text{分贝})$$

式中 ΔL ——消声量（分贝）；

P ——饰面部份周长（米）；

ϵ ——饰面部份长（米）；

S ——饰面部份通道横截面积（米²）。

a_0 ——饰面吸声材料用驻波管法测得吸声系数。

$\phi(a_0)$ 吸声系数 a_0 的函数，称为消声系数（分贝），其

关系式如下:

$$\psi(a_0) = 4.34 \times \frac{\lambda - \sqrt{\lambda - a_0}}{\lambda + \sqrt{\lambda - a_0}} \quad (\text{分贝})$$

图5 阻性管、带扩散器阻性管消声值

2 扩散器优选

扩散结构及几何尺寸如图 6 表 3

测试数据列表 4

图 6 扩散器

M 型扩散器参数表

表 3

| 型式 | ØXS | F _{1mm} | d | t | 孔数 | ΣF _{1mm} | Y% | ΣE/F ₁ |
|----------------|-------|------------------|----|------|-----|-------------------|----|-------------------|
| M ₁ | Ø89X4 | 5150 | 5 | 8.5 | 551 | 10813 | 30 | 2.1 |
| M ₂ | " | " | 10 | 17 | 136 | 10676 | 30 | 2.07 |
| M ₃ | " | " | 15 | 22.5 | 77 | 13600 | 30 | 2.64 |
| M ₄ | " | " | 20 | 34 | 36 | 11304 | 30 | 2.19 |
| M ₅ | " | " | 10 | 21 | 70 | 5495 | 20 | 1.066 |
| M ₆ | " | " | 10 | 15 | 70 | 5495 | 40 | 1.066 |
| M ₇ | " | " | 10 | 17 | 70 | 5495 | 20 | 1.066 |

N₁ 型扩散器参数表

续表 3

| 型式 | ØXS | F _{1mm} | d | t | 孔数 | ΣF _{1mm} | Y% | ΣE/F ₁ |
|----------------|---------|------------------|---|---|------|-------------------|----|-------------------|
| N ₁ | Ø57X3.5 | 2250 | 1 | 3 | 2074 | 1628 | 10 | 0.638 |
| N ₂ | " | 2250 | 2 | 6 | 527 | 1654 | 10 | 0.649 |
| N ₃ | " | 2250 | 3 | 9 | 231 | 1632 | 10 | 0.64 |

续表 3

F、u 型扩散器参数表

| 型式 | ΦXS | F/mm | d | t | 孔数 | ΣF/mm | Y% | ΣF/FI |
|----|--------|-------|----|----|-----|-------|----|-------|
| U | Φ219X6 | 33636 | 10 | 21 | 266 | 20881 | 20 | 0.62 |

续表 3

F、u 型扩散器参数表

| 型式 | ΦXS | F/mm | d | t | 孔数 | ΣF/mm | Y% | ΣF/FI |
|----------------|---------|------|----|------|----|-------|----|-------|
| U ₁ | Φ32X3.5 | 491 | 10 | 21 | 70 | 5945 | 20 | |
| U ₂ | Φ45X3.5 | 1134 | 10 | 21 | 70 | 5945 | 20 | |
| U ₃ | Φ57X3.5 | 1628 | 10 | 21 | 70 | 5945 | 20 | |
| U ₄ | Φ39X4 | 5156 | 10 | 21 | 70 | 5945 | 20 | |
| F ₁ | Φ25X3 | 288 | 6 | 13.7 | 10 | 383 | | 2 |
| F ₂ | Φ32X3.0 | 491 | 6 | 16.5 | 13 | 508 | | 1.03 |
| F ₃ | Φ38X3.0 | 754 | 6 | 16.8 | 23 | 791 | | 1.05 |
| F ₄ | Φ45X3.0 | 1134 | 6 | 17.5 | 40 | 1130 | | 0.99 |
| F ₅ | Φ32X3 | 491 | / | / | / | / | / | / |