

## 一、概述

柴油发电机组运行时，通常会产生 95-110dB(A)的噪声，如果没有采取必要的降噪措施，机组运行的噪声，将对周围环境造成严重损害。为了保护和改善环境质量，必须对噪声进行控制。国家标准 GB12348-90 和 GB12349-90 对环境噪声的要求是：二类标准（适用于居住、商业、工业混杂区及商业中心区）昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)；三类标准（适用于工业区）昼间 65dB(A)、夜间 55dB(A)。通常按昼间 60dB(A)的标准进行低噪声工程设计。

科泰公司通过采用高效吸音材料，用先进生产工艺工业化生产的降噪消声装置对进、排风通道和排气系统进行了降噪处理，确保机组在满足通风条件，也即不降低输出功率的前提下，完全满足了国家标准对环境噪声的要求。公司在多年的设计施工实践中形成了独具一格的低噪声工程设计规范。

## 二、设计思路

柴油发电机组是多发声源的复杂机器，随着机组结构型式和尺寸、运转工况的不同，各个发声源对总噪声的影响是不同的，一般情况下，机组各类噪声大致按如下顺序排列：排气噪声、燃烧噪声或机械噪声、风扇噪声、进气噪声。降噪设计的基本思路是：首先查明各种声源中的最大噪声成分及其频率特性，采取有关技术措施，将各声源的噪声级尽量降低到大致相同的水平，其中容易降低的噪声源可以降低的多一些，降噪还要和其他技术要求（如对机组输出功率的影响、降噪成本等多种具体因素）综合起来考虑。

下面按照各类噪声源分别说明降噪的技术措施：

### 1. 排气噪声的控制

排气噪声是发动机噪声中能量最大，成分最多的部分。它的基频是发动机的发火频率，在整个的排气噪声频谱中应呈现出基频及其高次谐波的延伸。

噪声成分主要有以下几种：

- a. 周期性的排气所引起的低频脉动噪声；
- b. 排气管道内的气柱共振噪声；
- c. 气缸的亥姆霍兹共振噪声；
- d. 高速气流通过排气门环隙及曲折的管道时所产生的喷注噪声。
- e. 涡流噪声以及排气系统在管内压力波激励下所产生的再生噪声形成了连续性高频噪声谱，频率均在 1000Hz 以上，随气流速度增加，频率显著提高。

排气噪声是发动机空气动力噪声的主要部分。其噪声一般要比发动机整机高 10-15dB (A)，是首先要进行降噪控制的部分。消声器是控制排气噪声的一种基本方法。正确选配消声器（或消声器组合）可使排气噪声减弱 20-30dB (A) 以上。

根据消声原理，消声器结构可分为阻性消声器和抗性消声器两大类：

- 1) 阻性消声器（即我们平时称呼为工业型消声器）是利用多孔吸声材料，以一定方式布置在管道内，当气流通过阻性消声器时，声波便引起吸声材料孔隙中的空气和细小纤维的震动。由于摩擦和粘滞阻力，声能变为热能而吸收，从而起到消声作用。
- 2) 抗性消声器（即我们平时称呼为住宅型消声器）是利用不同形状的管道和共振腔进行适当的组合，借助于管道截面和形状的变化而引起的声阻抗不匹配所产生的反射和干涉作用，达到衰减噪声的目的。其消声效果，与管道形状、尺寸和结构有关。一般选择性较强，适用于窄带噪声和低、中

频噪声的消减。

机组排气系统的降噪处理：我们一般利用一个波纹减震节、一个工业型消声器和一个住宅型消声器的组合，有效地隔断了排气震动和排气噪声的传播。同时，对排气管道进行隔热隔音包扎，也能改善机组的运行环境和由排气管引起的噪声。

### 2. 机械噪声和燃烧噪声的控制

机械噪声主要是发动机各运动零部件在运转过程中受气体压力和运动惯性力的周期变化所引起的震动或相互冲击而产生的，其中最为严重的有以下几种：

- a. 活塞曲柄连杆机构的噪声（主要为高频噪声）；
- b. 配气机构的噪声（主要为低、中频段噪声）；
- c. 传动齿轮噪声（噪声谱是一种连续而宽广的频谱）；
- d. 不平衡惯性力引起的机械震动及噪声。
- e. 燃烧噪声是燃烧过程产生的结构震动和噪声。在气缸内燃烧噪声（尤其是低频部分）声压级是很高的，但是，发动机结构中大多数零件的刚性较高，其自振频率多处于中高频区域，由于对声波传播频率响应不匹配，因而在低频段很高的气缸压力级峰值不能顺利地传出，而中高频段的气缸压力级则相对易于传出。

**控制机械噪声和燃烧噪声的有效办法：**

- 一、是对机组进行隔震处理，机组的隔震一般采用高效减震胶垫，现在这一部分技术已经非常成熟。经过隔震处理，机组表面的震动被有效隔断。
- 二、是在噪声的传播通道上进行降噪处理，减少声源对外的辐射，个别对噪声指标控制特别严的机房还要在内墙和天花粘贴高效吸音材料，使噪声源在传出机房前已被有效衰减以提高机房的降噪效果。

### 3. 冷却风扇和排风通道噪声的控制

风扇噪声是由旋转噪声和涡流噪声组成。旋转噪声由旋转风扇叶片切割空气流产生周期性扰动而引起。涡流噪声是气流在旋转的叶片截面上分离时，由于气体具有粘性，便滑脱或分裂成一系列的漩涡流，从而辐射一种非稳定的流动噪声。排风通道直接与外界相通，空气流速很大，气流噪声、风扇噪声和机械噪声经此通道辐射出去。

控制风扇和排风通道噪声的手段，主要是设计一个好的排风吸音通道，这个吸音通道可由导风槽和排风降噪箱组成，也可由导风槽和一至几组的吸音挡板组成。排风降噪箱的工作原理，类似于阻性消声器。可通过更换吸音材料（改变材料的吸音系数），改变吸音材料的厚度、排风通道的长度、宽度等参数来提高吸音效果。在设计排风吸音通道时，要特别注意排风口的有效面积必须满足机组散热的需要，以免排风口风阻增大而致排风噪声增大和机组高水温停机。

### 4. 进气噪声控制

机组工作在封闭的机房里面，从广义上讲，进气系统包括机组的进风通道和发动机的进气系统。进风通道和排风通道一样直接与外界相通，空气的流速很大，气流的噪声和机组运转的噪声都经进风通道辐射到外面。发动机进气系统的噪声是由进气门周期性开、闭而产生的压力波动所形成，其噪声

频率一般处于 500Hz 以下的低频范围。

对于涡轮增压发动机，由于增压器的转速很高，因此其进气噪声明显高于非增压发动机。涡轮增压器的压气机噪声是由叶片周期性冲击空气而产生的旋转噪声和高速气流形成的涡流噪声所组成，且是一种连续性高频噪声，其主要能量分布在 500-10000Hz 范围。

由于柴油发电机组一般都配置有设计合理的空气滤清器，其本身就具有一定的消声作用。考虑到进气噪声相对较低，故对发动机的进气系统一般不做另外处理。对机组的进气通道，则要从风道的设计，隔音材料的选用等方面进行综合控制。其基本思路是：

- a. 进风净面积符合设计规范，以保证发动机的进气系统和机组的冷却系统有足够的新鲜空气吸入；
- b. 进风通道需经吸声处理，一般采用进风百叶窗 + 导风槽 + 消声挡板的组合，如果有充足的空间，也可采用进风百叶窗+降噪箱的组合。

### 三、设计指导原则

在机组降噪方案的设计和施工时，应充分考虑到机组正常运行时所需的最低进、出风量标准以及排放背压不能超出额定许用背压值等因素，否则将会严重影响到机组的功率输出，使机组的温升较高，频繁发生故障甚至会缩短柴油发电机组的使用寿命。

通常机组排风口的面积应略大于水箱的有效面积，从降低风阻考虑，排风口离前面障碍物的距离应大于等于 600-2000，机组进风量应大于机组的排风量和燃气量的总和，其客观效果是机组在运行时机房内不能产生负压。在满足机组排风量要求的前提下，机房的降噪效果主要由进排风通道消声箱的长度和选用的吸音材料决定。

消声器的设计主要考虑消声量、消声频率范围（主要为消声量峰值的频率范围）及阻力损失三大指标，此外消声器还应具有好的结构刚性、防止受激振而辐射再生噪声；尺寸适宜；便于安装等。在某些情况下（如安装在排烟管道上）要求内部结构能耐高温和抗腐蚀。

在机房结构的设计上，机房与操作室应用厚度 240mm 的隔墙隔开；墙壁上开三层防爆玻璃观察窗（玻璃厚度量 4-5mm），外面两层玻璃的间隔应大于 100mm，面向机房的玻璃上端最好与机房地坪面略为倾斜，使噪声反射效果更好，并能防止结雾；操作室与机房之间的门应用双层夹板制成的隔音门。若做成一个门洞两扇隔音门，则降噪效果更佳。

### 四、设计计算：

1. 排风口面积 $A_{\text{排}}$  ( $\text{m}^2$ )

$$A_{\text{排}} = k \cdot S_{\text{水箱}} (\text{m}^2)$$

式中 $S_{\text{水箱}}$  为水箱净面积， $k$ 为风阻系数， $k$ 值见表 1

2. 进风口面积粗计算

$$A_{\text{进}} \approx 1.2 \cdot A_{\text{排}} (\text{m}^2)$$

3. 进风量计算

$$Q_{\text{进}} = A_{\text{进}} \cdot V_{\text{风}} \cdot k^{-1} (\text{m}^3/\text{s})$$

式中 $Q_{\text{进}}$ 为进风量

$A_{\text{进}}$  为粗算的进风口面积 ( $\text{m}^2$ )

$V_{\text{风}}$  为风速 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )，一般取 3 级风的风速平均值 4.4 ( $\text{m}/\text{s}$ ) 进行计算

风速表见表 2 (最强风速不应超过 8m/s)

4. 进、排风降噪箱风道长 $L_{\text{风}}$

$$L_{\text{风}} = C$$

式中  $C$  为常数，其值与降噪效果有关， $C$  值见表 3

5. 排气背压的计算

- 1) 排气系统背压  $P$  (kPa)

在进行排气系统计算时，可先作这样的设定：机组标准配置的波纹避震节、工业型消声器等同于同管径的直管，弯头折算成直管当量长度，把以上三项和连接直管的长度相加后用排气管背压的计算公式计算背压，可使整个计算简化，

并不失计算精度，消声器背压的计算特指住宅型消声器的计算。

$$P = (P_{\text{排}} + P_{\text{消}}) \leq [P]$$

$P_{\text{排}}$  为排气管的背压 (kPa)

$P_{\text{消}}$  为消声器的背压 (kPa)

[P]为系统许用背压值 (kPa)

**表 1：风阻系数**

附加物	K
无降噪箱	1
防鼠网	1.05~1.1
百叶窗	1.2~1.5
降噪箱	3
降噪箱+防鼠网	3.05~3.1
降噪箱+百叶窗	3.2~3.5

**表 2：风速表**

风级	名称	风速 (m/s)
0	无风	0~0.2
1	软风	0.3~1.5
2	轻风	1.6~3.3
3	微风	3.4~5.4
4	和风	5.5~7.9
5	清劲风	8.0~10.7
6	强风	10.8~13.8
7	疾风	13.9~17.1
8	大风	17.2~20.7
9	烈风	20.8~24.4
10	狂风	24.5~28.4
11	暴风	28.5~32.6
12	飓风	32.7~36.9

**表 3：C 值**

dB(A)	C(mm)
70	1600
65	1800
60	2000

2)

$$P_{\text{排}} = 6.32 \frac{L \times Q^2}{D^5} \times \frac{1}{T+273}$$

式中：L 为直管当量总长度 (m) 见表 4

Q 为排气流量 (m<sup>3</sup>/s)

D 为排气管直径 (m)

T 为排气温 (°C)

3) 消声器背压  $P_{\text{消}}$  的计算

先计算消声器的管流速  $V_{\text{管}}$

$$V_{\text{管}} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)}}{A_{\text{管}} \text{ (m}^2\text{)}} \text{ (m/s)}$$

式中  $A_{\text{管}}$  为消声器排烟口的截面积，用计算出的管流速值从图 1 (流速/阻力曲线图) 查出消声器的阻力值  $F_{\text{阻}}$ ，则排气背压

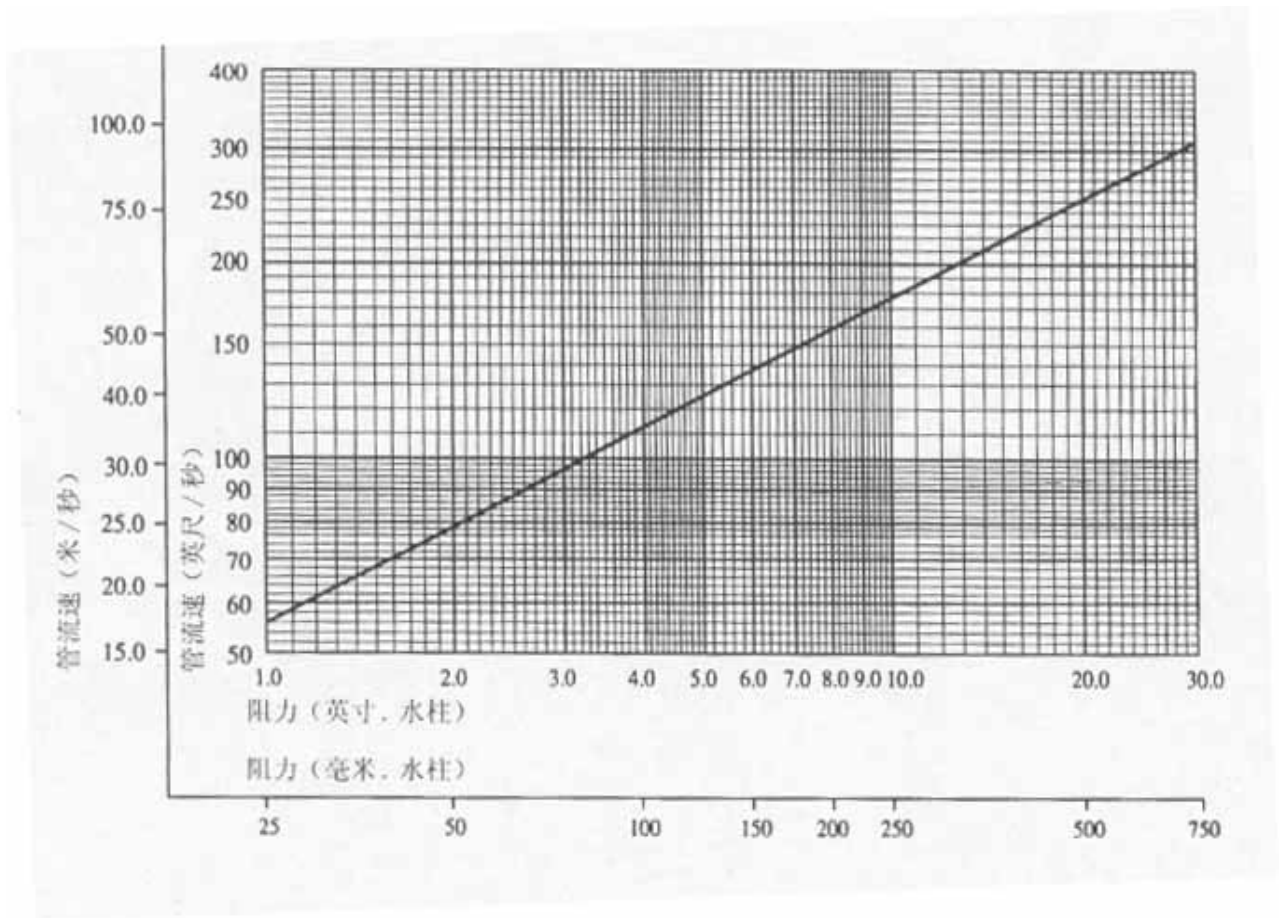
$$P_{\text{消}} = \frac{F_{\text{阻}} \text{ (毫米水柱)} \times 673}{T+273} \text{ (毫米水柱)}$$

图 1. 流速/阻力曲线图

注：1 毫米水柱=0.0098kPa

**表 4：直管当量长度表**

管径 (英寸)	45 度弯头 (m/每个弯头)	90 度弯头 (m/每个弯头)
3.5	0.57	1.33
4	0.65	1.52
5	0.81	1.90
6	0.98	2.28
7	1.22	2.70
8	1.39	3.04
10	1.74	3.8
12	2.09	4.56
14	2.44	5.32



计算示例：

机组 KV275E、发动机 TAD740GE：

住宅型消声器 6"（排烟口截面积为  $0.0214\text{m}^2$ ）（见附录 5），排气量  $41.8\text{m}^3/\text{min}=0.697\text{m}^3/\text{s}$ （见附录 1）  
 计算消声器的管流速：

$$V_{\text{消}} = \frac{Q (\text{m}^3/\text{s})}{A_{\text{消}} (\text{m}^2)} = \frac{0.697}{0.0214} = 32.55 (\text{m/s})$$

查图 1：流速/阻力曲线图，得消声器的阻力值  $F_{\text{阻}}=90$ （毫米水柱）

计算消声器的背压：

$$P_{\text{消}} = \frac{F_{\text{阻}} (\text{毫米水柱}) \times 673 \times 9.8 \times 10^{-3}}{T + 273} \quad T=540^\circ\text{C} (\text{见附录 1})$$

$$= \frac{90 \times 673 \times 9.8 \times 10^{-3}}{540 + 273} = 1.055 (\text{kPa})$$

计算排气管的背压：

假如在住宅型消声器前面有一工业型消声器，一波纹管避震节，2个90°弯头，总长度3米，管径 $\phi$ 108，其背压为 $P_{\#1}$ ，则当量长度 $L_1=3+2 \times 1.52=6$ 米（见表4）

$$\begin{aligned} P_{\#1} &= \frac{6.32 \times L_1 \text{ (米)} \times Q^2 \text{ (m}^3/\text{s)}}{D_1^5 \text{ (米)}} \times \frac{1}{T+273} \times 10^{-3} \\ &= \frac{6.32 \times 6 \times 0.697^2}{0.108^5} \times \frac{1}{540+273} \times 10^{-3} = 1.54 \text{ (kPa)} \end{aligned}$$

再假如在住宅型消声器后面有排气管30米，弯头5个，管径 $\phi$ 165，则当量长度 $L_2=30+5 \times 2.28=41.4$ （米）

$$\begin{aligned} P_{\#2} &= \frac{6.32 \times L_2 \text{ (米)} \times Q^2 \text{ (m}^3/\text{s)}}{D_2^5 \text{ (米)}} \times \frac{1}{T+273} \times 10^{-3} \\ &= \frac{6.32 \times 41.4 \times 0.697^2}{0.165^5} \times \frac{1}{540+273} \times 10^{-3} = 1.28 \text{ (kPa)} \end{aligned}$$

排气管的总背压： $P_{\#}=P_{\#1}+P_{\#2}=1.54+1.28=2.82$  (kPa)

排气系统的背压： $P=P_{\#}+P_{\#}=2.82+1.055=3.875$  (kPa)

系统的许用背压值 $[P]=10$  (kPa)

最后得出： $P=3.875 < [P]=10$  (kPa)

## 附录 1 :

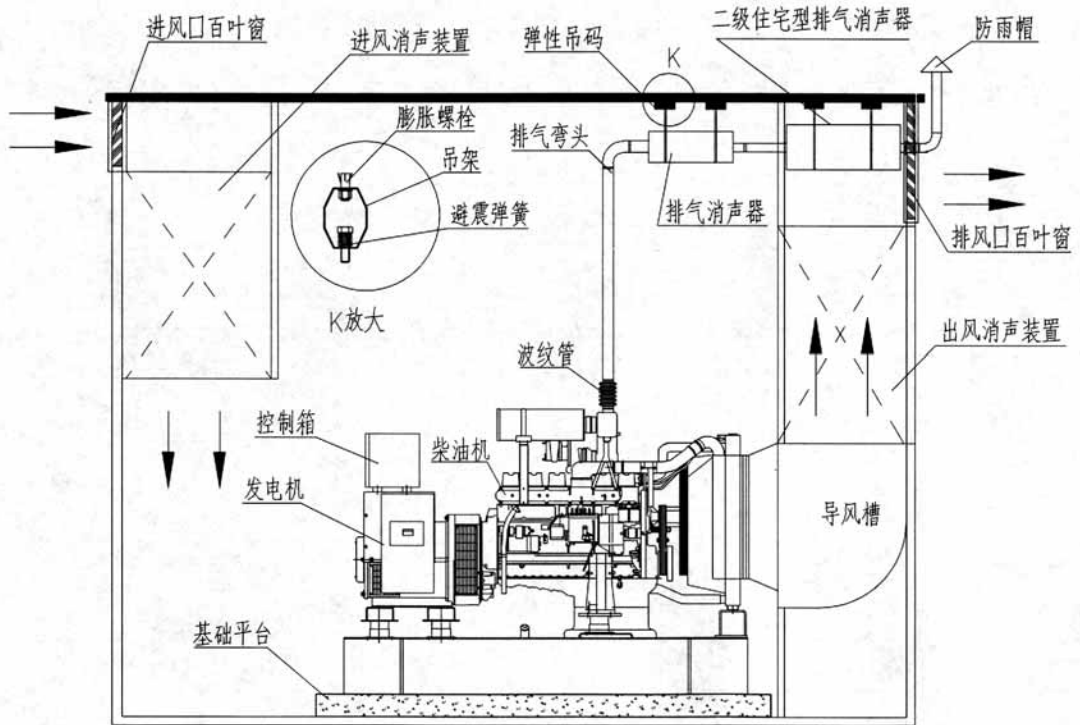
### 机组降噪工程设计原始数据表

机组型号	引擎型号	水箱散热器有效面积		排风量 m <sup>3</sup> /min	燃气量 M <sup>3</sup> /min	排烟量 m <sup>3</sup> /min	排烟温度	允许最大背压 kPa	备注
		W(mm)	H(mm)						
KJ31/KJ35E	3029DF128	535	500	120	1.8	5.2	610	7.5	
KJ40/KJ44E	4039DF008	518	558	129	2.6	7.4	600	7.5	
KJ63/KJ70E	4039TF008	518	558	126	4	11.8	623	7.5	
KJ72/KJ80E	4045TF002	602	612	129	5.5	15.5	565	7.5	
KJ80/KJ90E	4045TF258	648	620	129	5.6/6.1	12.3/13.6	565/600	7.5	
KJ100/KJ110E	6068TF158	740	740	123	8.9	19.1	555	7.5	
KJ115/KJ125E	6068TF258	602	578	150	8.9	19.1	575	7.5	
KJ150/KJ165E	6068HF158	745	780	171	11.2	25.4	575	7.5	
KJ180/KJ200E	6068HF258	745	755	240	11.5	32.9	603	7.5	
KJ230/KJ250E	6081AF001(B)	680	800	240	13.2/14.5	36.9/42.0	578/590	7.5	
KJ275/KJ300E	6081HF001(B)	750	930	240	16.5/17.3	44.4/47.3	640/703	7.5	
KJ300/KJ330E	6125HF070(A)	1054	1020	327	18.6/20.4	45.1/49.3	478/481	7.5	电喷
KJ355/KJ390E	6125HF070(B)	1054	1020	327	21.2/22.2	50.0/52.8	417/424	7.5	电喷
KJ380/KJ425E	6125HF070(C)	1054	1020	327	21.6/26.8	52.1/64.8	477/468	7.5	电喷
KV80/KV90E	TD520GE	500	523	90	4.32/4.75	14.0/15.4	610	3*	*需特别注意
KV100/KV110E	TAD520GE	500	610	90	5.25/5.77	14.7/16.2	520	5	
KV125/KV140E	TD720GE	660	700	114	7.35/8.08	20.3/22.3	560	5	

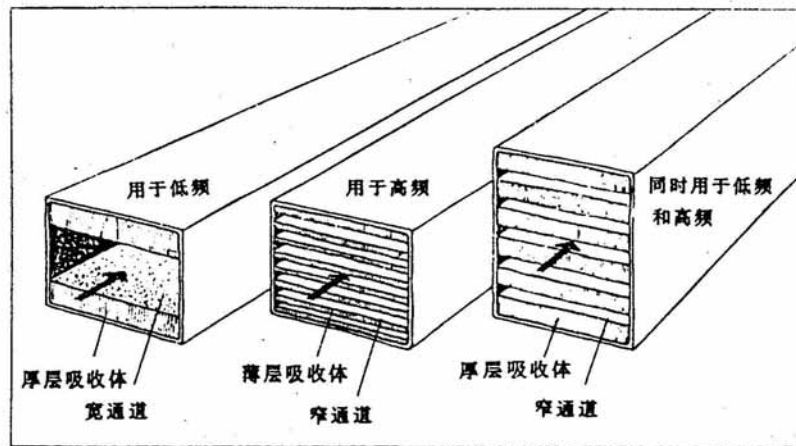
机组型号	引擎型号	水箱散热器有效面积		排风量 m <sup>3</sup> /min	燃气量 M <sup>3</sup> /min	排烟量 m <sup>3</sup> /min	排烟温度	允许最大背压 kPa	备注
		W(mm)	H(mm)						
KV150/KV165E	TAD720GE	660	700	156	9.20/10.1	24.3/26.7	476	5	
KV190/KV205E	TAD721GE	654	1076	240	11.1	33.9	540	5	
KV200/KV220E	TAD722GE	654	1076	240	11.1	33.9	540	5	
KV250/KV275E	TAD740GE	795	1001	240	15.6	41.8	540	10	
KV275/KV300E	TAD941GE	910	890	330	19.6	52.2	539	10	电喷
KV300/KV330E	TAD941GE	910	890	330	19.6	52.2	539	10	电喷
KV325/KV358E	TAD941GE	910	890	330	19.6	52.2	539	10	电喷
KV375/KV410E	TAD1241GE	910	890	462	23.5/25.0	58.0/63.0	490/505	5	电喷
KV410/KV450E	TAD1242GE	910	890	405	25.0/27.0	63.0/68.5	505/525	5	电喷
KV450/KV500E	TAD1630GE	951	1140	411	34.8	90.3	510	5	
KV500/KV550E	TAD1631GE	1123	1132	423	34.3	99	565	5	
KV570/KV625E	TAD1642GE	896	1495	423	39	98	500	5	电喷
KM600/KM660E	S6R-PTA	1292	1050	582	47	123	500	5.6	
KM650/KM750E	S6R2-PTA	1292	1050	720	52	137	500	5.6	
KM750/KM825E	S6R2-PTAA	1490	1280	726	60	159	500	5.6	
KM910/KM1000E	S12H-PTA	1566	1610	1800*	83	220	510	4*	*需特别注意
KM1050/KM1160E	S12H-PTA	1566	1610	1800*	83	220	510	4*	*需特别注意
KM1275/KM1425E	S12R-PTA	1730	1670	1800	98	258	510	5.6	
KM1375/KM1530E	S12R-PTA2	1701	2000	1800	105	279	510	5.6	
KM1500/KM1650E	S12R-PTAA2	2000	2030	1800	120	318	520	5.6	
KM1735/KM1900E	S16R-PTA	2100	2100	1950	128	339	520	5.6	
KM1906/KM2100E	S16R-PTA2	2150	2150	2040	143	379	520	5.6	
KM2000/KM2250E	S16R-PTAA2	2250	2250	2500	159	420	520	5.6	

附录 2:

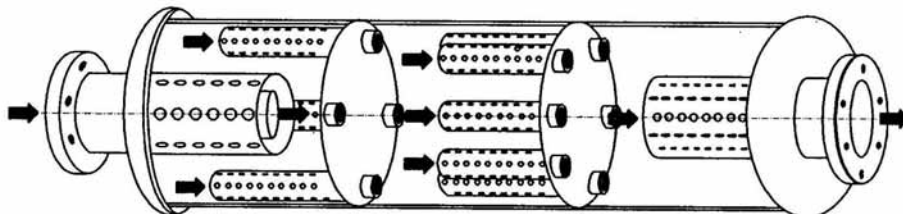
标准降噪安装图



阻性消声器的吸声特性



抗性消声器实例



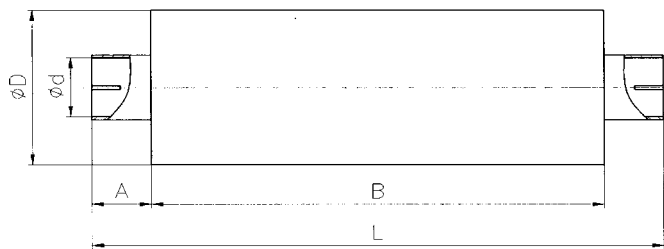
## 附录 3:

### 机组基本配置工业型消声器外形尺寸

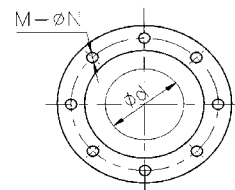
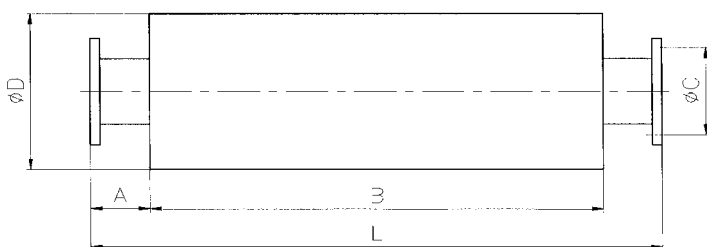
机组型号	英寸	d	D	A	B	L	C	M	N
KJ35E		60	200	50	630	730			
KJ44E、KJ70E、 KJ90E		76	220	73	704	850			
KJ110E、KJ125E、 KJ140E、KJ165E、 KJ200E、KV90E、 KV110E、KV140E、 KV165E、KV205E、 KV220E、KV275E、 KV300E、KV330E		114	270	73	884	1030			
KJ250E、KJ300E、 KJ330E、KJ390E、 KJ425E		127	300	73	1014	1200			
KV358E、KV410E、 KV450E、KV500E、 KV550E		159	320	95	1180	1370			
KV625E KM660E、 KM750E	8"	219	380	80	1100	1260	295	8	22
KM825E	10"	267	480	90	1200	1380	350	12	22
KM1000E、KM1160E、 KM1425E KM1530E、KM1650E	12"	318	530	90	1300	1480	400	12	22
KM1900E KM2100E、KM2250E	14"	355	560	100	1450	1650	460	16	22

机组基本配置工业型消声器外形尺寸

KJ、KV 机组专用



KM 机组专用



## 附录 4:

### 机组降噪工程用住宅型消声器外形尺寸

机组型号	英寸	d	D	A	B	L	C	M	N
KJ35E	2-2.5"	60-76	500	80	1250	1380	125-145	4	18
KJ44E、KJ70E	2.5"	76	500	80	1250	1380	145	4	18
KJ90E、	2.5-4"	76-114	500	80	1250	1380	145-180	4-8	18
KJ110E、KJ125E、 KJ165E、KV90E、 KV110E、KV125E、 KV140E、KV165E	4"	114	500	80	1250	1380	180	8	18
KJ200E、KJ220E KV205E、KV220E	4-5"	114-141	600	80	1600	1760	180-210	8	18
KJ250E	5"	141	600	80	1600	1760	210	8	18
KV275E KV300E、KV330E、	4-6"	114-168	650	100	1800	2000	180-240	8	22
KJ300E、KJ330E、 KJ390E、KJ425E、	5-6"	141-168	650	100	1800	2000	210-240	8	22
KV358E、KV410E KV450E、	6"	168	650	100	1800	2000	240	8	22
KV500E KV550E	6-8"	168-219	720	100	1800	2000	240-295	8	22
KV625E KM660E、 KM750E	8-10"	219-273	780	100	1800	2000	295-350	8-12	22
KM825E	10"	273	780	100	1800	2000	350	12	22
KM1000E、KM1160E、 KM1425E、KM1530E	12"	324	900	120	2520	2760	400	12	22
KM1650E	12-14"	324-355	1000	120	2520	2760	400-460	12-16	22
KM1900E KM2100E、KM2250E	14"	355	1000	120	2520	2760	460	16	22

低噪声机组配置住宅型消声器外形尺寸

