

發電機的噪音改善

徐廷珪

本文就發電機的噪音來源、改善方式來討論發電機所引起的噪音問題並就實際計算例子，說明發電機的噪音改善方式，茲分述如下：

一、發電機的噪音來源

一般而言，柴油發電機的噪音來源有四：

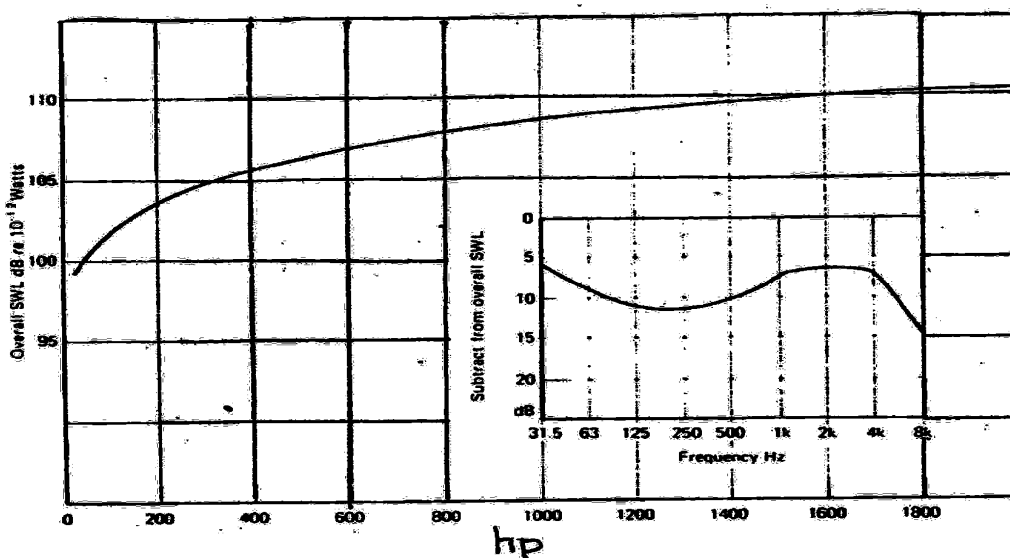
1. 從引擎殼體散發出來

一般頻率約為 500-4kHz，在不同的引擎轉速下有不同的噪音值，一般轉速增加 2 倍時，噪音值約增加 9-12 分貝。

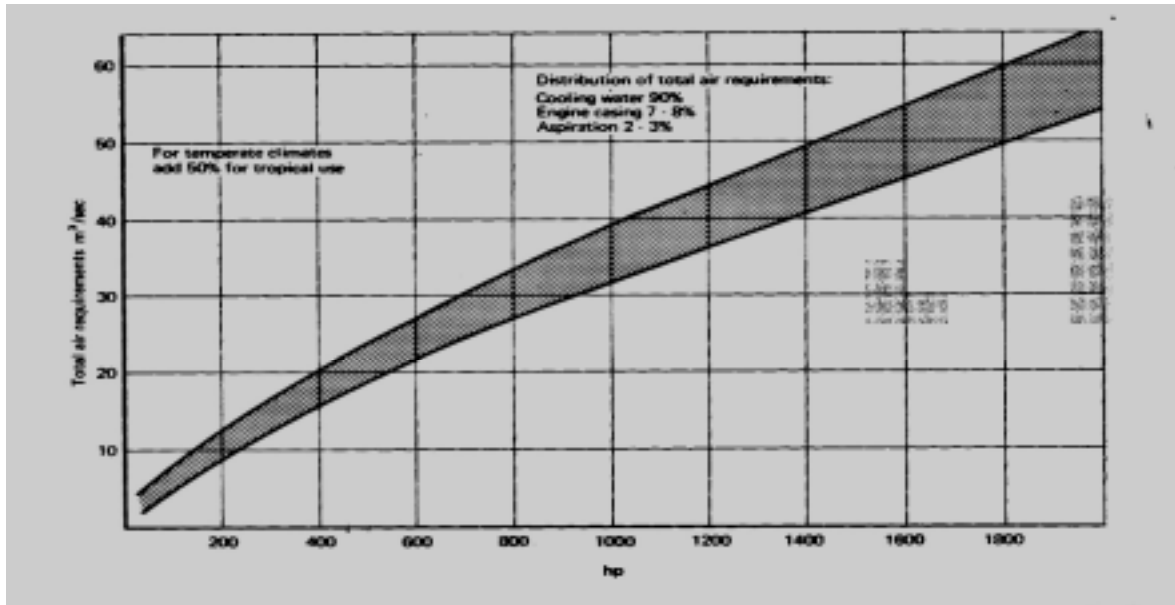
2. 從空氣進氣與出氣口溢散出來

有沒有負載之下相差約 5-10 分貝，此噪音特性為 250-4kHz 頻率的噪音值最大，其大小可由圖一查出來。一般進氣風量有 90-95% 用來冷卻，5-10% 用來燃燒。空氣需求量可由引擎廠商提供，若原廠廠商無法提供，或已查無資料，可由圖二查出。(如果引擎有額外的冷卻系統，如冷卻水與水冷式系統來帶出引擎的熱氣，其冷卻空氣量只要降為原來的 10% 即可。一般發電機的引擎大於 1000kw 時經常有用冷卻水塔與冷卻水系統的考量。)

正常的一般進氣其面速度 (face velocity) 為 2.5m/s~3.5m/s，但是若有額外的冷卻風扇加強冷卻，可以增加面速度到達 7.5m/s。



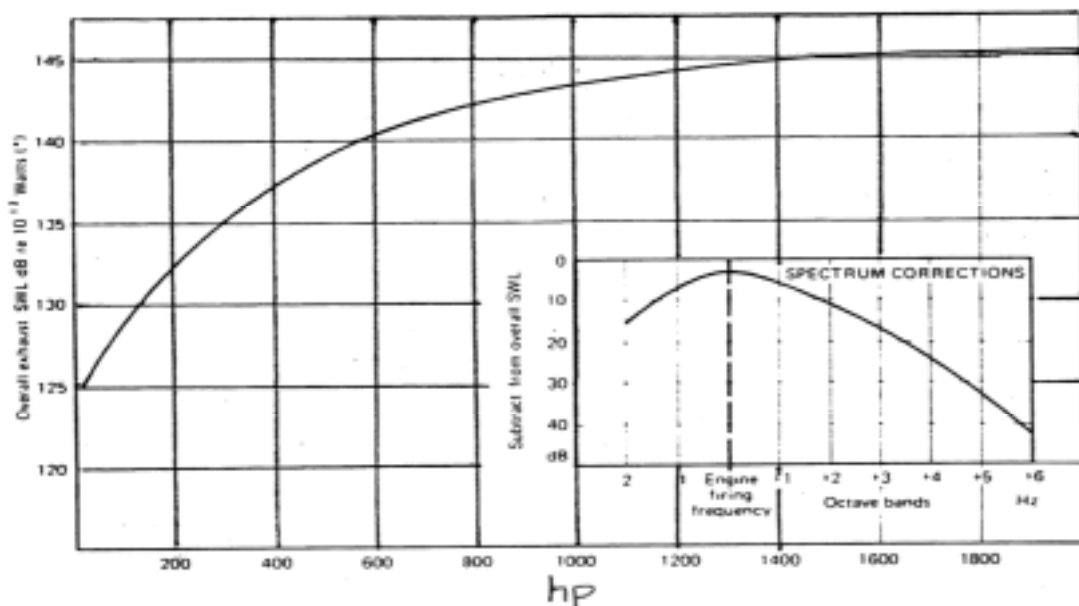
圖一：發電機進氣、出氣口噪音頻率與噪音值



圖二：空氣需求量與發電機的關係

3. 從引擎排放口（排煙口）

發電機有沒有負載之下其排煙噪音值相差約 5-10 分貝，主要噪音發生頻率在： $(轉速/60) \times (汽缸數/2) Hz$ ，其大小可由圖三判斷出來。另外一般若需要二個排放型消音器串聯以降低更多噪音，其組合方式為一個為降低低頻的反應型消音器，一個為吸收高頻音的吸收型消音器。前者可置於隔音罩之內，後者可置於隔音罩之外以節省空間。

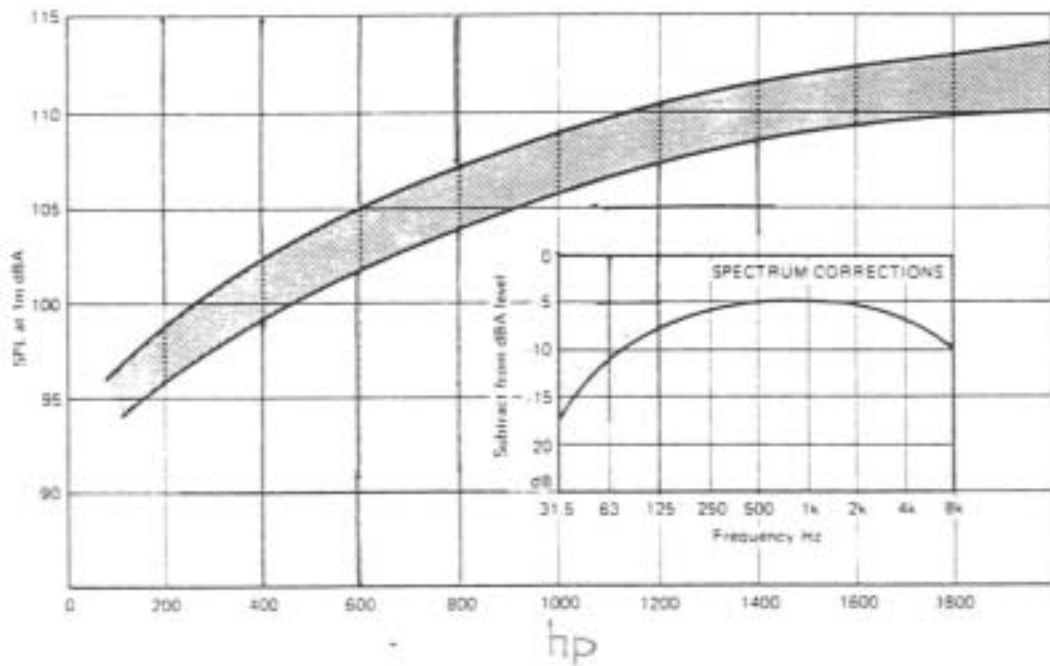


圖三：發電機排放口各頻率的噪音值(聲功率)

4. 從冷卻風扇與其他附屬設備

此部份噪音值與前所述的相較值不大，一般都可以忽略不計。但若是外加的排氣風扇，則需考量其噪音大小，尤其軸流式風扇，其噪音值相對非常的大。

另外，更簡易的柴油引擎的噪音估算可從其引擎數來推估其噪音值，例如 250kw 約為 100dbA，600kw 約為 105dBA，詳圖四。



圖四:發電機噪音與發電機引擎馬力的關係

二、發電機的噪音防治設計

由於引擎的主要噪音來源如前所述，所以應針對發電機噪音發生的頻率特色與噪音的大小來設計相關的防音工程，針對發電機各部份噪音源擬定之主要的防音設計如下：

(一)降低引擎殼體所散發出來的噪音：

主要興建隔音罩來阻隔發電機噪音溢散，若發電機已經置於 RC 的機房內，則僅需加強發電機房的壁面吸音與隔音門的隔音量即可。

1. RC 機房的防音：

一般 RC 機房的隔音量相當大，約為 40 分貝的隔音量，所以並不需要再加強隔音的部分，僅需要加強吸音壁面、吸音天花板與隔音門即可。

(1)吸音壁面與天花板

有關吸音天花板與吸音壁面的效果計算如下：

$$NR=10 \log \frac{\alpha_1 S_1}{\alpha_0 S_0}$$

其中 NR：減音量

α_1 , S_1 ：機房改善後的平均吸音係數與表面積。

α_0 , S_0 ：機房改善前的平均吸音係數與表面積。

其中 $S_1=S_0$ (表面積不變)

$\alpha_0=0.1$, RC 表面幾乎不吸音，吸音率 0.1。

$\alpha_1=0.5$, 吸音材裝設五面後(地板不適合裝設)，機房的平均吸音率約為 0.5。

所以減音量 $NR=10 \log \frac{0.5}{0.1}=7$ 分貝，但根據實際經驗一般僅約為 5 分貝。

(2)隔音門

除了吸音壁面外，需要特別注意隔音門的設計需求，方能使整體的隔音效果達到一致的標準，不會因為僅採用防火門而影響機房的整體隔

音效能。一般標準防火門的隔音量約為 10-15 分貝，而隔音門的隔音量約為 35-50 分貝。所以妥善的考量隔音門的設立可以使整個機房外的噪音降低。有關隔音門的隔音量整理如表一。另有關吸音壁面的相關施工方式，整理如附件工程圖。

表一：一般隔音門的隔音量

型號	八度音頻減音量 (分貝)							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
AD38	18	25	30	35	40	42	43	45
AD45	25	30	32	38	44	45	45	47
AD50		36	39	43	48	54	55	

2. 沒有 RC 機房的防音：

由於部份發電機並沒有放置於 RC 機房內，或發電機置於大機房內，此時需要設置隔音罩，發電機可使用完整隔音罩，其內容包含：

進出隔音門：設置與效果同前。

隔(吸)音牆板：以鍍鋅鋼板與沖孔鍍鋅鋼板組成隔吸音板來當成隔音罩的牆板。

通風消音箱：併下節討論。

(二) 空氣進、出口的噪音改善：

1. 說明：

空氣的開口一般需要做消音處理，否則聲音便從開口逸出，使整體的防音效果大打折扣，所以會設置消音箱（或消音百葉）。空氣的一般開口可分成空氣進氣口與空氣排出口二部分，其中空氣進氣口(intake outlet)因為聲音與氣流反向(聲音的流向與空氣的流向相反)較之空氣排出口(discharge outlet)的噪音來的小些(因為其噪音與空氣流向同方向)，約低了 4-7 分貝之間。

2. 使用消音箱或消音百葉長度：

一般消音箱的長度從 90-300cm 的長度，所以其隔音量約為 25-50 分貝(500Hz)，消音百葉長度約為 30-60cm 之間，隔音量約為 10-25 分貝(500Hz)。消音箱與消音百葉內含多片消音閘板，其中閘板的選用需考量發電機的頻率特性與其要求距離衰減大小，最好能經過試算來選取合適的消音箱與消音百葉。

3. 消音箱(消音百葉)的開口面積：

消音箱或消音百葉的開口選取係採用流量與流速來決定，亦即發電機的進氣量 $Q(\text{cms})$ 是一開始我們就可以從廠商那邊得到的資料(若廠商無法提供資料，亦可由圖二得知)。一般進氣的面速度為 $V=3\text{m/s}$ ，所以需要的開口面積即很容易算出 $A=Q/V$ 。如此我們可以決定開口的面積與大小。此即為需要的消音百葉(或消音箱)開口面積。並從需要的隔音量來決定採用消音箱或消音百葉與其長度。一般各公司對發電機廠房外的噪音值因為發電機廠房外的用途不同，而有不同的噪音要求，一般工業區外的噪音可要求在廠房周界 70 分貝（依噪音管制標準規定）。

4. 消音箱壓損：

過大的壓損會讓發電機的風扇負荷過大，或造成進氣量的不足，使發電機跳機，所以壓損的計算需要相當小心，並且需要尋求發電機廠商的協助，並告知設計單位發電機所能承受的壓損大小。根據筆者多年的經驗，與洽詢各發電機廠商的資料發現，一般壓損在 100Pa 以下都是可以接受的範圍內。而壓損的計算方式如下： $P=kV^2$ ，其中 P 為壓損，單位為 pa， V 為進氣或出氣速度，以面速度表示(m/s)。k 為壓損係數，一般皆由實驗室得來，大部分的消音箱製造廠商皆可提供其 k 值或壓損值。表二、表三為相關消音箱、消音百葉的插入損失資料，而表四為消音箱的壓損係數的資料。

表二：消音箱的插入損失

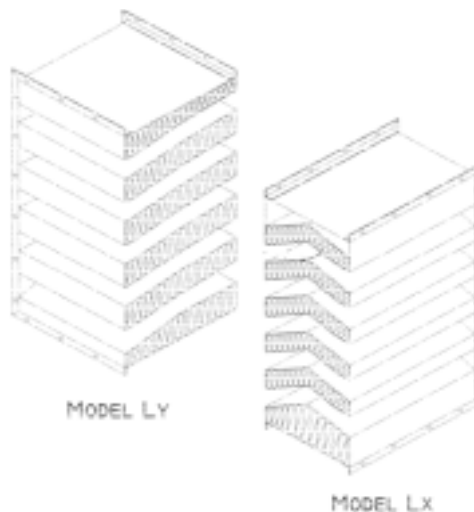
開板式消音箱	適用空調箱，風管內，進出風口，發電機房等場所								
型號	長度 (mm)	八度音頻減音量(分貝)							
	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
I 33(開孔率，有效面積 33%)	900	3	7	14	28	38	40	30	20
	1200	4	10	16	30	43	45	33	23
	1500	6	15	23	39	45	48	36	26
	1800	8	18	30	44	48	51	40	30
	2400	9	21	37	48	51	55	45	34
	3000	11	25	43	55	57	60	49	37
I 38(開孔率，有效面積 38%)	900	3	7	14	25	31	30	22	15
	1200	4	12	20	29	40	42	32	21
	1500	6	15	24	35	43	45	40	25
	1800	7	17	30	44	45	48	43	28
	2400	8	19	34	55	48	48	46	30
	3000	9	22	39	60	55	53	51	33

開板式消音箱		適用空調箱，風管內，進出風口，發電機房等場所							
型號	長度 (mm)	八度音頻減音量(分貝)							
	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
I 43(開孔率，有效面積 43%)	900	2	8	13	26	30	25	18	13
	1200	5	11	23	27	35	34	23	14
	1500	6	13	26	29	39	42	26	16
	1800	6	15	29	36	44	45	30	19
	2400	7	18	41	48	45	46	34	21
	3000	9	20	44	55	54	50	36	25
I 50(開孔率，有效面積 50%)	900	3	9	12	18	24	22	18	12
	1200	5	11	16	23	33	30	20	14
	1500	5	14	22	29	37	33	22	16
	1800	6	15	26	34	40	35	14	18
	2400	7	16	29	38	50	41	28	20
	3000	8	18	35	43	54	45	32	21

表三：消音百葉的插入損失

型號	長度 mm	八度音頻減音量(分貝)							
	Hz	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1k</i>	<i>2k</i>	<i>4k</i>	<i>8k</i>
Lx300	300	6	8	10	15	18	22	24	21
Lx600	600	6	10	14	22	32	42	43	39
Ly300	300	8	12	15	16	19	20	21	19
Ly600	600	8	13	21	26	32	32	29	26

Lx：彎曲型消音百葉。 Ly：直通型消音百葉



表四：消音箱的壓損係數

型號 長度 mm	I-2S 33	I-2S 38	I-2S 43	I-2S 50
900	1.90	1.20	0.80	0.60
1200	2.10	1.36	0.90	0.65
1500	2.35	1.52	1.00	0.72
1800	2.60	1.68	1.11	0.80
2400	3.09	2.00	1.32	0.95
3000	3.59	2.32	1.53	1.11

(三) 燃燒廢氣排放口噪音改善：

一般而言，發電機廠商在安裝發電機時都會裝設排放型消音器在廢氣排出口，在安寧的環境中，有時一個排放型消音器尚且不夠，而需要增設二個排放型消音器方能達成預期降噪目標。

一般而言，有三類的排放型消音器：

反應型排放消音器：隔音量 20-30 分貝

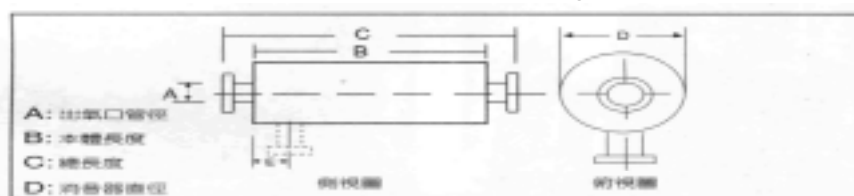
吸收型排放消音器：隔音量 10-20 分貝

混合型排放消音器：隔音量 25-35 分貝

排放型消音器的尺寸大小如圖五。

排放型消音器亦需考慮引擎的背壓問題，此部份亦需與引擎廠商討論。

一般引擎所能承受的背壓約為 10inch Ag。



管直徑 (A)	消音器直徑 (B)	消音器總長度 (End) (C)	消音器總長度 (Side) (C)	消音器本體長度 (B)	排氣出口距排氣距離 (E)	重量 (Kg)	適用發電機 (KW)
100	450	1290	1215	1140	230	70	100-150KVA
125	550	1550	1475	1400	230	95	100-180KVA
150	600	1675	1600	1525	250	140	200-350KVA
200	750	2005	1920	1830	300	215	400-600KVA
250	850	2515	2430	2340	350	365	700-850KVA
300	1020	2920	2830	2740	400	530	1000-1500KVA
350	1120	3475	3390	3300	450	715	1500-1750KVA
400	1270	4035	3950	3860	500	995	2000-2500KVA
450	1470	4470	4370	4270	550	1250	2000-2500KVA

頻率 (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
分貝	25	30	34	35	33	30	26	22

圖五: 排放型消音器的尺寸與性能

三、發電機的改善實例

舉例：一台 250kw 的柴油發電機，設計其噪音改善方法：

若需要做到一公尺外的噪音為 65 分貝，設計的方法如表五：

表五：發電機降低噪音的設備選購與計算方式（進出口噪音值）

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	均能音量(各頻率的加權總和)
Lw(圖一)	100	100	100	100	100	100	100	100	109.0 (發電機在空曠處的噪音)
發電機修正係數(圖一)	-10	-7.5	-6	-5	-5	-5	-7	-10	發電機在各頻率的修正
修正後音功率 Lw	90	93	94	95	95	95	93	90	102.5 (或直接由發電機廠商提供)
距離 r=	3	3	3	3	3	3	3	3	發電機中心距門外 1m 處距離為 3m
Lp(Lin)在 r 處音壓位準	72	75	76	77	77	77	75	72	85.0, $L_p=L_w-20\log r-8$
室內回音增加	6	6	6	6	6	6	6	6	若有吸音壁面，此部份可以減為 2-3
A 加權修正係數	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1	A 加權指數的運算權值
A 加權修正後 dB(A)	52	65	73	80	83	84	82	77	89.4 (修正後的總和)
* 消音百葉(或消音箱) -- 長度 600mm	8	13	21	26	32	32	29	26	消音百葉的減音量，隨減音量的需求做調整
受音處距機房開口外 1 公尺之噪音值	44	52	52	54	51	52	53	51	61.2 (門外 1m 處的 A 加權噪音值)
同理在 * 處改成隔音門的隔音量，可推算門外 1m 處的噪音值。									

說明：

1. 聲功率 Lw 與聲壓位準 Lp 的差別

聲功率是聲音的能量 (Sound Power)，不因距離、環境而改變，聲壓位準 (Sound Pressure) 是壓力，會因距離、環境而有不同的值。所以離發電機 1 m 處的噪音值大於 7 m 處的噪音值。

2. 一般發電機的噪音值

可參考各引擎公司提供的的資料。

3. 發電機的距離衰減

$L_p=L_w-20\log r-8$ ；半自由音場下，聲功率 Lw 與聲壓位準 Lp 的關係，此需特別注意近音場 (near field) 的干擾。

4. A 加權的修正意義

目前全世界幾乎都以 A 加權來計算噪音值，它代表在不同頻率下。(63, 125, 250...) 聲音有不同的加權值。(-26, -16, -9...)

一般不加權的狀態下為 L_p (Linear) 或 dBL , 當採 A 加權後以 L_p (A) 或 dBA 表示之。

五、結論

在台灣日益密集的居住環境中，有必要妥善注意到發電機可能產生的噪音困擾，而整個發電機的噪音改善，若事先妥善規劃，所費經費有限，且避免以後噪音的困擾與受環保法令噪音管制法的罰責。

參考文獻

- 1.噪音管制法，行政院環保署，中華民國八十九年四月。
- 2.Noise control in industry...3rd edition...1991 Sound Research Lab. Ltd E.&F.N. Spon
- 3.環協工程顧問公司型錄