

空調通風系統噪音防制工程

徐廷珪(環工技師)、蔡佩樺、葉秀玲

大部份的工廠、住家都需要有風機來輸送氣體，不管是保溫的冷氣、引入新鮮的空氣或是排風的氣體，而這些風機都會產生噪音或透過風管來傳遞噪音，因此產生令人困擾的噪音問題。

一般輸送空氣的機械，依其輸送空氣壓力大小可分成三種：

- (1)送風機(Fan)
- (2)鼓風機(Blower)
- (3)壓縮機(Compressor)

而此三者的分類依壓力區別為：

- (1)送風機：靜壓為 0~1,000mm H₂O
- (2)鼓風機：靜壓為 1,000~10,000mm H₂O
- (3)壓縮機：靜壓為 10,000(1kg/cm² 以上)

而鼓風機與壓縮機所產生的噪音不在此篇幅討論，本文僅討論送風機的噪音問題。一般空氣調節所使用的送風機主要分成二種形式，一為離心式(Centrifugal)，另一為軸流式(Axial)兩類，其中離心式又分成：

- a. Forward curve type
- b. Radial blade type
- c. Backward curve type
- d. Reversed curved type

而軸流式送風機有：

- a. Propeller Fan (螺旋式)：大風量、小靜壓
- b. Tube Axial Fan
- c. Vane Axial Fan

一、風機系統

一般常用的送風機為離心式送風機，用來估算送風機噪音的公式如下：
(industry noise control by Lewis H. bell)

(一)、離心風機 (sound power)

1. 平均聲功率離心式風機推估

$$SWL=10 \log Q+20 \log P_t+K \text{ (dB)}$$

其中 SWL：聲功率位準 dB。

Q：流量，單位採用 cfm。

P_t ：靜壓，單位採用 in H₂O。

K：常數，前、後傾式風機 K=35，輻射式 K=43。

2. 各頻率修正係數：

因應各種離心式風機的差別，在各頻率有不同的修正係數，而不同風扇在不同的頻率修正值列如下表：

各類型離心風機的頻譜修正資料

表一、不同離心風機的頻譜修正值

項目	各頻率修正值								
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	BPFI(a)
前傾式	15	10	5	0	-5	-8	-10	-13	3
後傾式	4	4	3	1	0	-5	-13	-20	2

(a): Blade Passing Frequency Increment，葉片通過頻率之加值。

*聲功率是所有送風設備最重要的聲音參數，可依 AMCA 300 來量測。

3. 葉片通過頻率加值：

風扇在某些頻率會有離散(discrete)的噪音值發生，亦即在固定的頻率會產生較大噪音(與風扇的葉片及轉速有關)下，噪音值特別高，稱此特定的頻率為葉片通過頻率(blade passing frequency) 在此頻率下的噪音值會稍高於周圍頻譜的噪音值，使人產生不和諧的感覺，其計算的方式如下：

$$fn=nBN/60 \text{ (Hz)}$$

其中 fn：葉片通過頻率。

B：轉速(rpm)。

N：葉片數目。

n=1,2,3....

今將風機噪音聲功率計算方式分析說明如下：

Ex：某風機的風量為 2000cfm，靜壓為 1inH₂O，風扇葉片為 30 片且轉速為 600rpm，該風扇為前傾式風機。試計算風機的八度音頻聲功率 (sound power)

$$\begin{aligned} (1) L_w &= 10 \log Q + 20 \log P_t + K \\ &= 10 \log 2000 + 20 \log 1 + 35 \\ &= 68 \text{ dB} \end{aligned}$$

(2) 計算葉片通過頻率加值：

$$f_n = nBN/60 = 1 * 600 * 30 / 60 = 300 \text{ Hz} \approx 250 \text{ Hz}$$

註解 [edward1]:

因為是前傾式離心風扇，所以 BPF_I=3dB

(3) 計算各頻率噪音值(聲功率)

項目	頻率							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
平均聲功率	68	68	68	68	68	68	68	68
前傾式修正	+15	+10	+5	+0	-5	-8	-10	-13
BPF _{Ia}			3					
結果	83	78	76	68	63	60	58	55

(二)、軸流風機

同離心風機的計算方式，軸流風機的計算方式簡略描述如下：

1. 聲功率推估：

$$L_w = 10 \log Q + 20 \log P_t + 48 \text{ (dB)}$$

L_w：聲功率位準 dB。

Q：流量，cfm。

P：靜壓；in H₂O。

2. 各頻率修正值：

各類型軸流風機的各頻率的修正係數如下

總類	各頻率修正值							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Vane	-6	-4	0	0	0	-2	-5	-10
Tube	-7	-6	0	-1	-3	-4	-10	-12

3. 葉片通過頻率加值：

在此部份可以予以省略。

依離心式風機的噪音推估方式，可以自行推估軸流風機的八度音頻聲功率。

二、通風系統

有二種通風系統，分別為低速與高速風管系統，一般低、高速風管的使用場所與其適合風速，列如表二：

表二、風管最大風速參考表(m/s)

類別	低速風管			高速風管	
	住宅	公共建物	工廠	公共建物	工廠
外氣吸入口	2.5-4.0	2.5-4.9	2.5-6	5	6
主風管	3.6-6	5-8	6-11	25	30
分歧管	3-5	3-6.5	4-9	10	15
過濾網	1.2-1.5	1.5-1.8	1.5-1.8	3	3
蒸發器	2.5-3.0	2.5-3.0	2.5-3.0	3	3

而在設計時常需考量各場所的安寧需求詳列如下表：

由表三可以了解各場所所需要的背景噪音值，包含住宅、醫院、辦公室、劇場、商業大樓、公共建物等場所的背景噪音需求。

表三、室內所容許的噪音值

室名	NR 值，NC 值
住宅、公寓	30-40
◎賓館	
客房	30-40
宴會廳	30-40
大廳、休息廳	35-40
◎醫院	
特別病房	25-35
開刀房、病房、門診室	30-40
檢查室、候診室	35-45
◎事務所	
VIP 室、大會議室	25-35
接待室、小會議室	35-45
一般辦公室、製圖室	40-50
打字室、計算機房	50-60
電話總機室(手動)	50-55
◎劇場、音樂廳	
音樂廳	20-30
舞台劇場，多功能廳	25-35
電影院、演講廳、天文台	30-40
休息廳	35-45
◎學校，教會	
禮拜堂	30-35
普通教室	30-40
音樂教室	30
講堂	30-35
研究所	35-45
大廳、走廊	40-55
◎公共建物	
大會堂	30-35
博物館、美術館、法院	35-45
圖書館、閱覽室	40-50

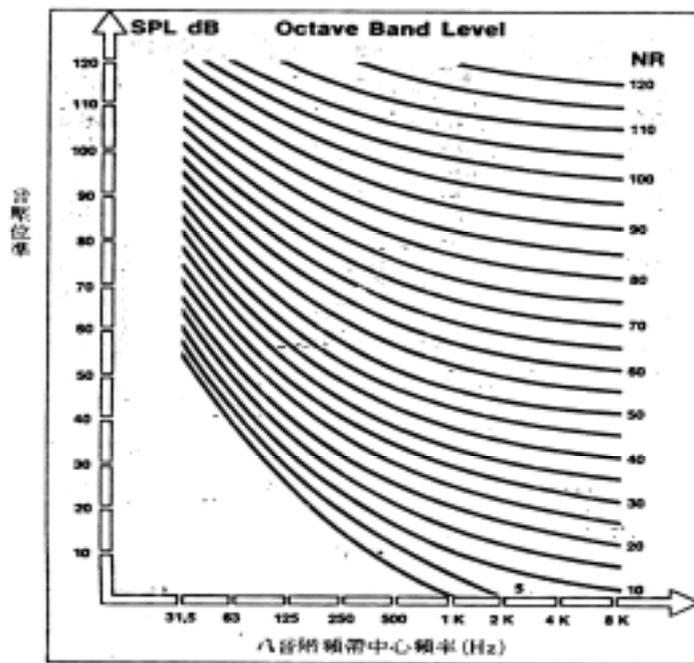
室名	NR 值, NC 值
◎商業 百貨公司(二層以上)、音響 器具店、寶石店、美術品店 書站	35-45
百貨公(一樓), 一般性 商店、銀行	40-50
◎室內體育設施 一般性	45-55
大會堂兼用時	35-45
◎工廠 辦公室	50-60
作業現場	~65
【注】1)只有空調設備引起的容許噪音值一般是指室內居住的噪音。 2)根據情況, 冷凍機的內部機械必需設置在室內, 本表並不適用。	

其中 NC 值為美國所發展適合空調噪音來使用, 而 NR 為歐洲發展出來。NR 的判別標準即是在背景噪音的各個頻率都將之與最接近的 NC(NR)曲線值相比, 找出各頻率與 NC 比較出來的 NC 最大值, 此即在該場合的 NC 值。

表四、NC 曲線定義圖

Freq	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NC-15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC-20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC-25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC-30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC-35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC-40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC-45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC-50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC-55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC-60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC-65	80	75	71	68	66	64	63	62

目前美國空調協會改用 RC 來做室內噪音的建議指標。



圖一、噪音率定曲線(NR)(資料來源：噪音原理與控制、蘇德勝)

舉例而言，某場合的背景噪音量測結果如下：

頻 率	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
*背景噪音	73	66	61	58	50	48	51	57
NC60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC50	71	64	58	54	51	49	48	47
判別結果	NC55	NC55	NC55	NC55	NC50	NC50	NC55	NC60

*背景噪音指的值為 $Leq(lin)$ ，未經 A 或 C 加權值。雖然此背景噪音在 63Hz-500Hz 屬於 NC55，在 1k-2k 屬於 NC50，然在 8k 處此背景噪音屬於 NC60，所以此場所經判別後屬於 NC60。

三、通風系統減音的考量

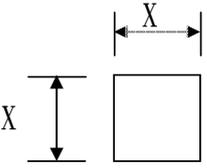
來自送風機的聲音會在直管 (straight pipe)、彎曲(Bend)、擴張(Expansion)和出口處(grille outlet)進行衰減，而在加熱/冷卻(heater/cooler)與過濾系統(Filter)會有更大的聲音損失。另外氣流速度較大時(一般大於 10m/s 以上)，會有氣流再生噪音 (self-noise) 的產生。亦需要特別注意。今將各噪音損失的過程與損失量說明如下：

(一)、傳遞過程噪音損失

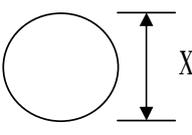
1. 直風管的聲音損失

風管一般可分成圓形風管、方形風管與螺旋風管三類，其中螺旋風管幾乎沒有減音的效果，而圓形風管與方形風管的各頻率之每公尺減音量如下表：

無襯裡直管之減音量 (每公尺之減音量)

長方形直管	長邊 X (mm)	中心頻率(Hz)						
		63	125	250	500	1k	2k	4k
	75~200	0.16	0.33	0.49	0.33	0.33	0.33	0.33
	200~400	0.49	0.66	0.49	0.33	0.23	0.23	0.23
	400~800	0.82	0.66	0.33	0.16	0.16	0.16	0.16
	800~1500	0.66	0.33	0.16	0.10	0.07	0.07	0.07

無襯裡圓管之減音量 (每公尺之減音量)

圓形風管	直徑 X (mm)	中心頻率(Hz)						
		63	125	250	500	1k	2k	4k
	75~200	0.07	0.10	0.10	0.16	0.23	0.33	0.33
	200~400	0.07	0.10	0.10	0.16	0.23	0.23	0.23
	400~800	0.07	0.07	0.07	0.10	0.16	0.16	0.16
	800~1500	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07	0.07	0.07

2.風管彎曲時的聲音損失

圓形風管的肘彎(Radius Bend)在高頻時會因為聲音撞到管壁反射，而有明顯的聲音損失。而方形風管的米特肘彎(Mitre Bend)若長度較長時，可在低頻處有一些明顯的減音效果，若是為了減低壓損而在 Mitre Bend 內裝設導流片(turning vane)，則因聲音的撞擊與反射較少，使米特肘彎(Mitre Bend)的聲音降低程度傾向圓形肘彎。

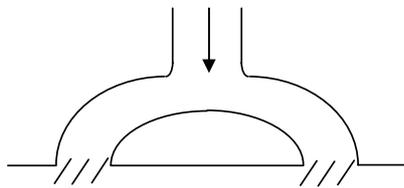
方管長邊長		無襯裡方形彎管減音量 (每公尺的減音量)						
		中心頻率 Hz						
mm	Inch	63	125	250	500	1000	2000	4000
75-100	3-4	--	--	--	--	1	7	7
110-140	4.5-5.5	--	--	--	--	5	8	4
150-200	6-8	--	--	--	1	7	7	4
230-280	9-11	--	--	--	5	8	4	3
300-360	12-14	--	--	1	7	7	4	3
380-430	15-17	--	--	2	8	5	3	3
460-510	18-20	--	--	5	8	4	3	3
530-580	21-23	--	--	6	8	4	3	3
610-660	24-26	--	1	7	7	4	3	3
680-740	27-29	--	1	8	6	3	3	3
760-820	30-32	--	2	8	5	3	3	3
840-890	33-35	--	3	8	5	3	3	3
910-970	36-38	--	5	8	4	3	3	3
990-1040	39-41	1	6	8	4	3	3	3
1060-1120	42-44	1	6	8	3	3	3	3
1400-1200	45-47	1	7	7	4	3	3	3
1220-1280	48-50	1	7	7	4	3	3	3
1300-1350	51-53	2	8	7	3	3	3	3
1370-1430	54-56	2	8	6	3	3	3	3
1450-1510	57-59	2	8	6	3	3	3	3
1520-1580	60-62	3	8	5	3	3	3	3

無襯裡圓形彎管的減音量 (每公尺的減音量)

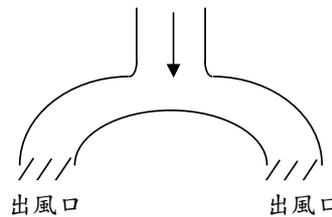
圓管直徑		中心頻率, Hz						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
mm	Inch							
62.5-125	2.5-5	--	--	--	--	--	1	2
150-250	6-10	--	--	--	--	1	2	3
275-500	11-20	--	--	--	1	2	3	3
525-1000	21-40	--	--	1	2	3	3	3
1025-2000	41-80	--	1	2	3	3	3	3

3. 出風口的聲音損失：

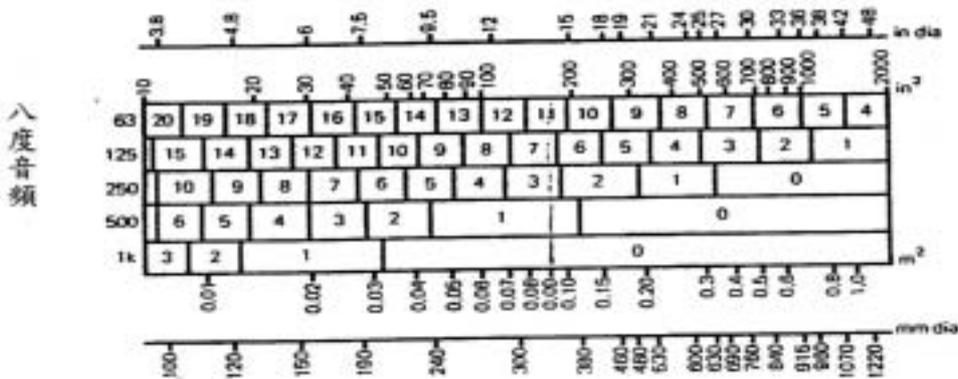
由於風管的聲音從風機傳送出來一直到出風口，因為出風口的體積突然變大，會在低頻處有較大的聲音損失。



出口處屬於壁面



出口處屬於自由空間



出風口位於牆面的狀況下，出風口的噪音減少值

4. 其他通風設備的減音量

其它通風設備的八度音頻減音量詳列如下表：

項目	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
袋式過濾	0	2	2	2	4	7	12	
絕對過濾	3	5	5	5	7	8	12	
加濕氣	3	3	3	4	4	4	5	
盤管	1	1	1	1	1	2	2	
噴霧淨化	2	3	2	3	3	4	4	

算至此處為送風機聲音離開風管出風口的聲功率(L_w)，聲音進入受音室會形成二種不同的音壓(L_p)特性，一為直接音壓，另一為反射音壓，但若聲音出口為戶外，則僅有一個直接音壓特性，茲說明如下：

(二)、聲音離開風口的變化

1. 聲音進入受音室：

一般的聲音可分成直接音與反射音二種，當送風機送來的聲音伴隨空氣送至出風口，需考慮受音端的相關條件並做聲音的修正：

$$L_p(\text{total})=L_p(\text{dir})+L_p(\text{rev})$$

$$\text{直接音壓 } L_p(\text{dir})=L_w(\text{to room})+10 \log Q -10 \log 4 \pi r^2$$

$$\text{反射音壓 } L_p(\text{rev})=L_w(\text{to outlet})+10 \log T -10 \log V+14$$

為方便設計者使用查表方式來迅速完成風管噪音的設計，上式可分解成：

$$L_p(\text{dir})=L_w(\text{to room})+A+B$$

$$\text{其中 } A=10 \log Q, B=-10 \log 4 \pi r^2$$

$$L_p(\text{rev})=L_w(\text{to outlet})+A+B$$

$$\text{其中 } A=10 \log T, B=-10 \log V+14$$

由此，很容易對出 $L_p(\text{dir})$ 與 $L_p(\text{rev})$ ，並透過對數和的計算方式，求出受音室的背景噪音，再來判斷是否需進行噪音改善。

$L_p(\text{total})$ =總音壓位準(dB)

$L_p(\text{dir})$ =直接音壓位準(dB)

$L_p(\text{rev})$ =反射音壓位準(dB)

$L_w(\text{to room})$: 進入受音室的聲功率位準(dB) (以風量百分比來表示)

$L_w(\text{to outlet})$: 出風口的聲功率位準(dB) (以風量百分比來表示)

Q: 方向性因子

r: 音源(出風口)至受音者耳朵位置: 即出風口高度-1.5m (人耳高度)

T: 殘響時間(S)以中頻 500 Hz 為主, 一般以 1 秒為主。

V: 室內體積(m^3)

其中 T 或 T_{60} 可由下式算出或現場直接量測:

$$T_{60}=T=0.16V/\alpha S=0.16V/(\sum \alpha_i S_i)$$

α_i =各壁面的吸音係數(典型房間材質的吸音係數如下表)

S_i =6 個壁面的表面積 m^2

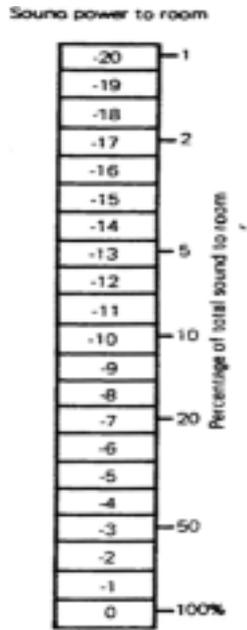
若是風機系統傳到戶外, 即只有直接音而沒有反射音, 如進排風機傳到戶外的情形, 今將二者的計算方式與表格整理如下:

常用建材的吸音係數

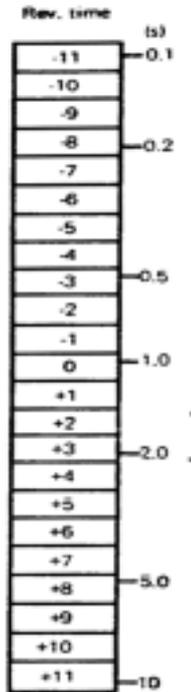
常用之建材	八度音頻之中心頻率(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
磚	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
油漆過的磚	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
在成型橡皮上的毛氈	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73
在混凝土上的毛氈	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
粗糙的混凝土塊	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
油漆的混凝土塊	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
混凝土或磨石子地板	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02

常用之建材	八度音頻之中心頻率(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
彈性材料在混凝土上的地板	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
硬木地板	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
厚的玻璃	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
標準窗玻璃	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
1/2 in 石膏板	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
1/2 in 玻璃纖維板	0.86	0.91	0.80	0.89	0.62	0.47
4 in 穿孔金屬板	0.07	0.99	0.99	0.99	0.94	0.83
穿孔金屬板附 2 in 玻璃棉	0.21	0.87	1.52	1.37	1.34	1.22
穿孔金屬板附 4 in 礦棉	0.89	0.20	1.16	1.09	1.01	1.03
3/8 in 合板、夾板	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
粗塗石膏、石灰的板條	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03
細塗石膏、石灰的板條	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03
1 in 厚普麗龍	0.16	0.25	0.45	0.84	0.97	0.87
礦纖瓦天花板	0.18	0.45	0.81	0.97	0.93	0.82
堅硬或光滑的瓦	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
2 in 厚實心木	0.01	0.085	0.05	0.04	0.04	0.04

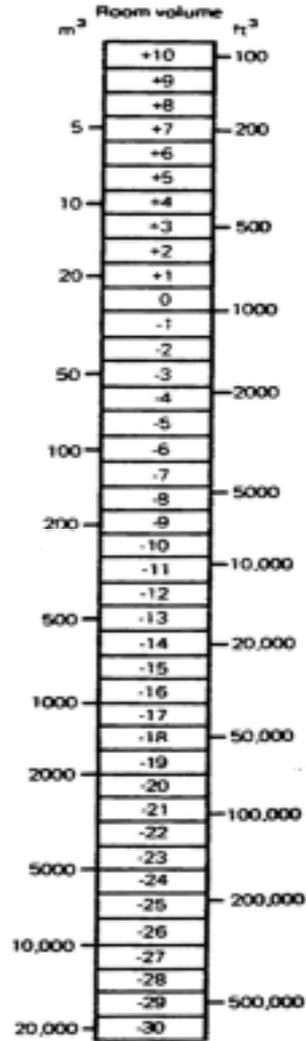
$$\text{反射音 } L_p(\text{rev}) = \text{到出風口的聲功率}(L_w) + A(10\log T) + B(-10\log V + 14)$$



(進入房間的風量百分比)



(殘響時間的影響)

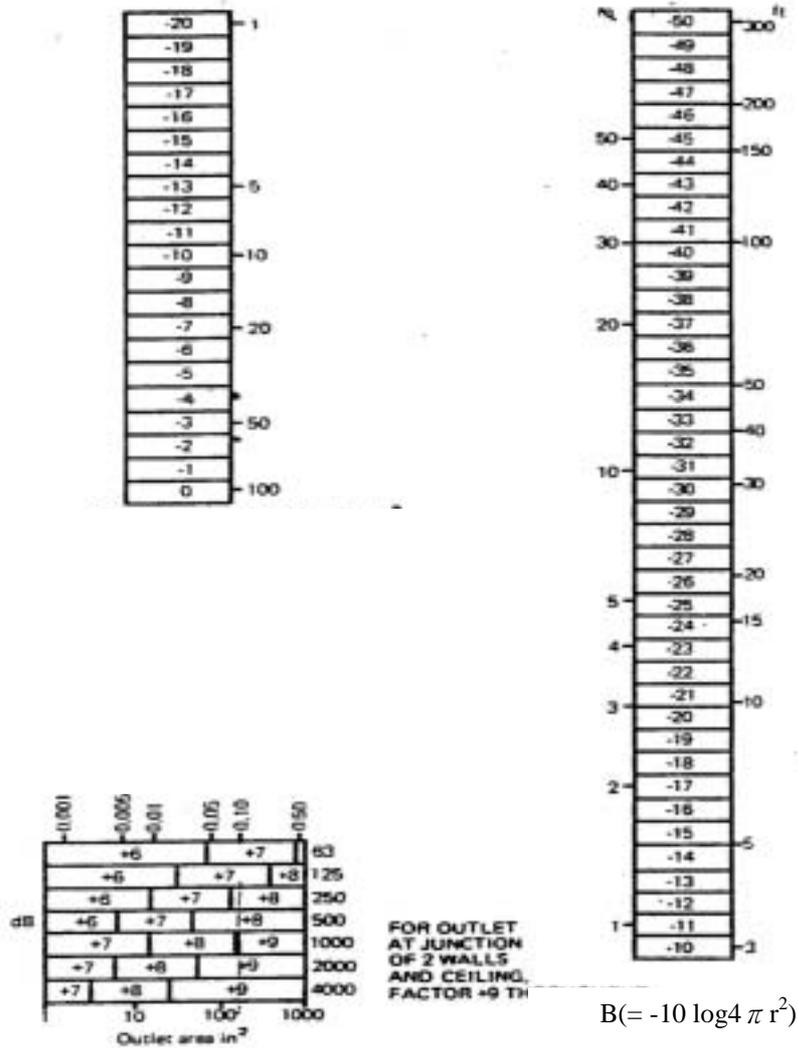


(室內體積的影響)

反射音噪音推估 $L_p(\text{rev})$

直接音 $L_p(\text{dir}) = L_w(\text{到房間風量百分比}) + A(10 \log Q) + B(-10 \log 4 \pi r^2)$

A 的判斷方法(10 log Q)



FOR OUTLET AT JUNCTION OF 2 WALLS AND CEILING, FACTOR = 9 TH

$B = -10 \log 4 \pi r^2$

出風口面積與所在的反射面

出風口到聽者距離的影響

直接音噪音推估 $L_p(\text{dir})$

根據以上的討論，配合電腦程式的計算，使繁鎖的程式簡化，本章計算室內噪音 NC 值（出風與迴風）與戶外噪音值 dBA 如表五、表六與表七。其中需特別注意的是室內以 NC 指標為主（未來可能以 RC 指標為主），遵循的是 ASHRAE 的建議標準；而戶外以 dBA 為準，遵循的是環保署公告的噪音管制標準。其中 NC 考量的是各頻率的值都要符合相對應的 NC 指標，屬於分頻標準；而 dBA 考慮的是符合人耳聽覺總量標準，前者重視的是人在室內的主觀感覺，後者重視的是執行的便捷性與民眾的易於瞭解性。

戶外噪音計算表											
專案名稱		:									
噪音源		: 冷卻水塔									
評估噪音地點		: 3M處									
Section		: 出風									
風機風量		: 3.77 m3/s									
機外靜壓		: 50 Pa									
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
機器聲功率		76 dBA	73	71	73	73	72	69	64	62	
Power split		50 %	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
直管	(W)mm	(H)mm	(L)mm	Type							
D	0	0	0	unlined	0	0	0	0	0	0	0
彎管	(W)mm	(H)mm	(No.)	Type							
B	0	0	0	unlined	0	0	0	0	0	0	0
出風口面積		0.54 m2									
離開風管之聲功率		64									
距離與方向衰減		r = 3 m	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
		Q = 2									
風向係數 (angle)		30 deg	4	5	5	6	6	7	7	7	
(area)		0.54 m2									
Contribution		6 sets	9	9	9	9	9	9	9	9	
安全係數			3	3	3	3	3	3	3	3	
A- 加權			-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1	
沒有消音器的噪音值		73 dBA	36	49	60	67	69	68	63	59	
消音器的音量			5	10	21	36	39	31	22	17	
加上消音箱 (百萬) 後噪音值		46 dBA	31	39	39	31	30	37	41	42	
消音箱型號		AE4-15T									
消音箱尺寸		W	H	L							
		826	826	1500							
空氣流量		3.77 m3/s									
風速度		5.5 m/s									
靜壓		34 Pa									

室內噪音計算表										
專案名稱 :										
風機編號 :		AHU1-1~2								
第一出風口位置 :										
Section :		Sluopy								
風機風量 :		6.23 m3/s								
機外靜壓 :		850 Pa								
		八度音頻資料								
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
聲功率(風機廠商提供)		91	88	92	89	87	82	76	70	
Power split		100 %	0	0	0	0	0	0	0	
直管	(W)mm (H)mm (L)mm Type									
D	1200 500 1500 unlined	-1	-1	0	0	0	0	0	0	
彎管	(W)mm (H)mm (No.) Type									
B	1200 500 1 unlined	0	0	0	-1	-2	-3	-3	-3	
出風口面積	0.36 m2	-7	-3	0	0	0	0	0	0	
離開風管之聲功率		80	84	92	88	85	79	73	67	
風機到房間的風量百分比	100 %	0	0	0	0	0	0	0	0	
房間體積	1728 m3	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	
房間換氣時間	1 sec	0	0	0	0	0	0	0	0	
反射音聲壓位準		62	66	74	70	67	61	55	49	
風機到出風口的風量百分比	5 %	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	
風口到聽者距離	r = 1.5 m	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	
	Q = 2									
面積與方向係數 (angle)	30 deg	4	5	5	6	6	7	7	7	
面積與方向係數 (area)	0.36 m2									
直接音聲壓位準		59	64	72	69	66	61	55	49	
Contribution	2 set	3	3	3	3	3	3	3	3	
合成音 (直接音+反射音) 音壓	78 dBA	67	71	79	76	73	67	61	55	
要求噪音值	NC40	64	57	50	45	41	38.5	36	37	
需求減音量		3	14	29	31	32	27.5	23	18	
消音箱的減音量		9	16	32	47	50	42	29	24	
加上消音箱 (百葉) 後噪音值	43 dBA	58	55	47	29	23	26	32	31	
消音箱型號	AE3-211									
消音箱尺寸	W	H	L							
	1600	500	2100							
空氣流量	6.23 m3/s									
風速度	7.8 m/s									
靜壓	104 Pa									

室內噪音計算表												
專家名稱:												
風機編號: AHU1-1~2												
第一出風口位置 : Section : return					八度音頻資料							
風機風量 : 6.23 m3/s					63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
機外靜壓 : 650 Pa												
聲功率(風機廠商提供) 91 dBA					88	88	92	89	87	82	76	70
Power split 100 %					0	0	0	0	0	0	0	0
直管	(W)mm	(H)mm	(L)mm	Type								
D	1200	500	1500	unlined	-1	-1	0	0	0	0	0	0
彎管	(W)mm	(H)mm	(No.)	Type								
B	1200	500	1	unlined	0	0	0	-1	-2	-3	-3	-3
出風口面積 0.36 m2					-7	-3	0	0	0	0	0	0
迴路風管之聲功率					80	84	92	88	85	79	73	67
風機到房間的風量百分比 100 %					0	0	0	0	0	0	0	0
房間體積 1728 m3					-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
房間殘響時間 1 sec					0	0	0	0	0	0	0	0
反射音聲位準					62	66	74	70	67	61	55	49
風機到出風口的風量百分比 5 %					-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13
風口到聽者距離 r = 1.5 m					-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
Q = 2												
面積與方向係數 (angle) 30 deg					4	5	5	6	6	7	7	7
(area) 0.36 m2												
直接音聲位準					59	64	72	69	66	61	55	49
Contribution 2 set					3	3	3	3	3	3	3	3
合成音(直接音+反射音)音壓 78 dBA					67	71	79	76	73	67	61	55
要求噪音值 NC40					64	57	50	45	41	39.5	38	37
需求減音量					3	14	29	31	32	27.5	23	18
消音箱的減音量					9	16	32	47	50	42	29	24
加上消音箱(百葉)後噪音值 43 dBA					58	55	47	29	23	25	32	31
消音箱型號 AE3-211												
消音箱尺寸					W	H	L					
					1600	500	2100					
空氣流量 6.23 m3/s												
箱速度 7.8 m/s												
靜壓 104 Pa												

四、消音箱設計或工程上注意事項

- (1) 注意消音箱的選用因各家設計與使用有所不同，請洽各原廠資料。為確保消音箱發揮功效，應事先進行計算。
- (2) 風管內若安裝消音箱，需注意其再生噪音(regenerated noise)，最好可以控制其面速度(Face Velocity)在 7.5m/s 以下。
- (3) 若風管中途使用 damper，它可能增加整個系統的噪音值，若有特別安寧的需求，考慮於 damper 後方設置消音箱，或以內保溫內消音處理。
- (4) 消音箱的壓損與減音量應得到一個平衡的考慮。
- (5) 消音箱安裝位置以穿越機房牆壁為優先，機房的穿牆穿管防音亦應一併妥善處理。
- (6) 受體所需要安寧程度是設計單位、施工單位及業主必須先設計與要求的，否則完工後若聲音太大的責任歸屬及解決都是困難的議題。有關室內所需的安寧程度，可參考 ASHARE。
- (7) 訂出室內 NC 指標後，對應該指標的安寧程度所需的風管內風速設計是所有空調設計者容易疏失的地方，而現場狀況的限制，又常常讓工程公司改變風管尺寸，使風速的控制更易偏離設計值，當風速超過 7.5m/s，許多較安寧的場合 (NC40 以下)，會受到風快速通過消音箱、出風口、damper 所產生的再生噪音影響，而達不到當初設定的標準。
- (8) 消音箱的插入損失 (Insertion loss) 效能與壓損是最重要的參數，如何取得好的平衡 (足夠的消音，可接受的壓損) 是設計單位與消音箱生產、銷售商需一起努力的，否則可能造成消音效果很好，風送不到後端支管 (壓損太大) 或後端風夠，但聲音太吵 (消音量不足)。
- (9) 房間安寧程度的計算來自於出風與迴風，二者都需達到才能確保房間的噪音值是符合設計的，而風管的路徑、出風口的面積、位置與離人耳的高度、房間的吸音係數、房間的體積都是影響安寧程度的要件，亦都要被檢驗與核對。
- (10) 戶外屬於自由音場與房間內的擴散音場不同，少了反射音的影響，針對 AHU 的外氣引入或送排風機的引入排出一樣，在戶外端可能吵到鄰房部份，應以 dBA 來規範，而規範標準以噪音管制法中的噪音管制標準要求，與房間內的 NC 值不同。
- (11) 聲功率是所有風車廠商需提供的資料，沒有聲功率資料的風車，會導致無法計算整個系統的噪音，風機廠商可與工研院能資所討論測量的

費用與細節，所有以前慣用的風機噪音描述方法（如離風車 1m 處 80 分貝或 80dBA）都屬於聲壓位準的描述，此二者有許多差別，設計單位與工程公司都需小心其中不同。

參考文獻

- 1.Noise Control in industry
- 2.Industry noise control
- 3.噪音控制理論
- 4.工業污染防治、工業噪音與振動防制。
- 5.冷凍空調原理與工程(下)，許守平，1998.12，金采科技圖書。