

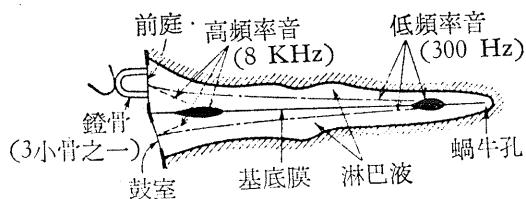
噪音及噪音防制（三）

詹 正 行*

參、噪音之生理及心理

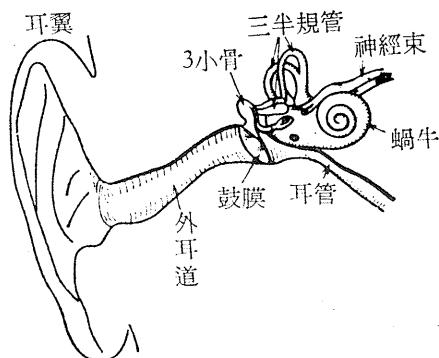
一、聽覺器官

圖一為聽覺器官之構造圖。音波係從外耳道即耳孔進入，先將振動傳給鼓膜。從鼓膜到蝸牛之間的部份為中耳，在此有三個所謂耳小骨依次連結成一整體而且備有機能，使鼓膜振幅較大的運動，以壓力波輸送到內部充滿淋巴液的蝸牛中。亦即耳小骨承擔着調整空氣與液體的阻抗的變壓器角色。



圖一 聽覺器官之構造

在蝸牛裏面有一叫做基底膜的隔膜，將蝸牛分隔成為兩條的液柱。當進來的音波屬於低頻率長波長時，蝸牛則以長尺寸的液柱起共鳴，而當進來的音波為頻率高波長短時，就在基底膜入口處附近引起共鳴。即聲音之高低係由基底膜之那一部引起波動而判定，圖二為將蝸牛拉直畫出，將波動的動作加以模型化者。



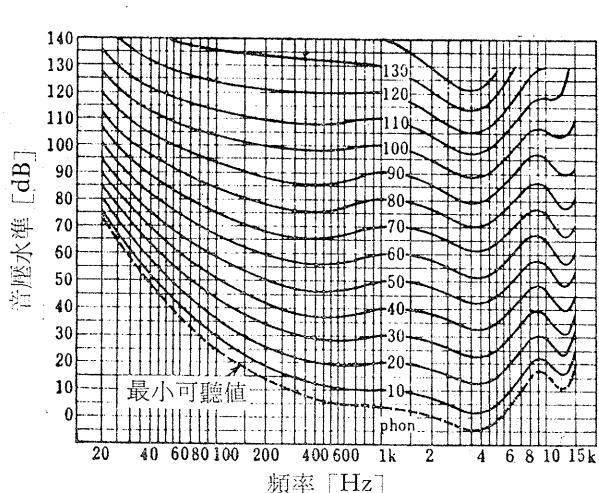
圖二 將蝸牛拉直畫出的圖（全長約 33 mm），
感音時基底膜振動（擴大）圖。

* 經濟部國營會工程師

當分布在基底膜末端的神經受到聲音的刺激時，就會產生電氣訊號，在此產生的電氣訊號係具有一定大小的脈動，並隨着刺激強度的增加而增加脈動數。亦即，由那條神經產生訊號係依頻率而定，至於發生多少訊號則由刺激的強度而定，腦部接到電氣訊號就感覺出聲音。此外，圖中的耳管係對氣壓變化等緩慢的壓力變動擔負調整的角色。

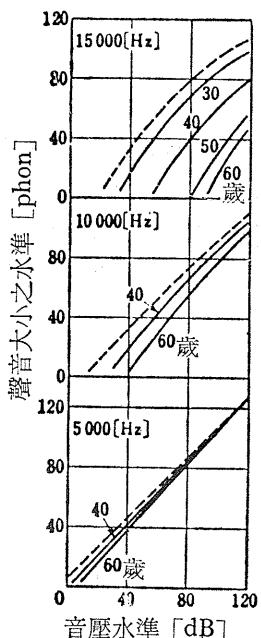
二、聽覺曲線

圖三為國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 所採納，目前廣受採用的純音聽覺曲線。圖中最下面標示有最小可聽值之曲線，係表示各頻率聲音的最小可聽界限。聲音的聽取方法係由聽力正常年齡在18至25歲年青健康的人，正對着音源發出的平面正弦進行波以兩耳聽取聲音。首先就 1,000 Hz, 聲音在 0.00002 N/m^2 壓力以 dB 標尺求出其音壓水準，其次就 1,000 Hz 以外的各聲音求出感覺到與 1,000 Hz 聲音大小相同時之音壓水準處畫出曲線，就可得出圖中曲線羣，例如將感覺到與 1000 Hz, 40 dB 相同大小之各頻率聲音之音壓水準連結而成由圖中下面算起第4條之實線。此線即為 40 Phon 的水準。如此得出的 phon 水準即謂聲音大小的水準 (Loudness level, 簡稱音大水準)。因此 60 phon 線上所有各聲音均會被判斷為與頻率 1,000 Hz 音壓水準 60 dB 聲音的大小相同。



圖三 聽覺曲線

曲線上標示之 phon 數，即為聲音大小的水準



圖四 老化性重聽

標示在實線上之數字為年齡，
點線為青年的標準值

又，在觀看此曲線羣時，使人首先感覺到的是我們的可聽範圍實在很廣。從可聽的強度來說，可從 0 dB 聽到 130~140 dB。以 1,000 Hz 聲音為例，可自約 10^{-12} W/m² 聽到 10~100 W/m²，即達 $10^{13} \sim 10^{14}$ 倍的範圍。從頻率來說，可由 20 Hz 到 20,000 Hz 的範圍，達到了 1,000 倍，亦即跨越了 10 個八音階 (Octave)。而在可見光，則只不過 2 倍強，但在通信上使用的無線電之頻率，却常為狹窄的比頻率帶，乃是音響技術上困難原因的所在。以一個擴音機或揚聲機要擔任發生這樣範圍廣大的多種聲音的任務，其艱難的程度可想而知矣。

在此曲線羣中，設 x 為某一聲音的音壓水準時，則可由下式，

求出其 phon 數 y 。式中之係數 a, b, c 如表一所示。表中也將各頻率之最小可聽值以音壓水準列出。

表一 聽覺曲線的係數

頻率 [Hz]	a	b	c	最小可聽音壓水準 [dB]
20	- 217.2	3.669	- 0.00927	+ 74.3
50	- 73.0	2.021	407	41.7
70	- 49.1	1.723	305	32.9
100	- 33.5	1.570	269	25.1
200	- 14.7	1.404	242	13.8
300	- 8.1	1.325	218	9.4
500	- 3.0	1.205	151	6.0
700	- 1.0	1.109	- 0.00084	4.7
1000	0	1	0	4.2
2000	+ 3.3	0.924	+ 0.00100	+ 1.0
3000	+ 6.9	0.937	120	- 2.9
5000	+ 5.3	0.973	059	- 1.1
6000	- 0.5	1.011	+ 0.00014	+ 4.6
8000	- 13.3	1.159	- 0.00089	15.3
10000	- 16.8	1.314	203	16.4
12000	- 12.7	1.450	350	12.0
14000	- 22.7	1.777	591	16.0
15000	- 43.0	2.146	- 0.00772	+ 24.1

請以圖三及式(1)就 1,000 Hz 聲音作一研討。首先可由圖看出最小可聽音壓水準並非 0 dB 而是 4.2 dB。以前被採用為聽覺曲線的 Fletcher 氏曲線，係將頻率 1,000 Hz 的最小可聽值音壓水準取為 0 dB，惟在新的曲線，則將 0 dB，即 0.00002 N/m^2 的聲音，當作聽不到。因而就沒有 4 phon 以下的音大水準了。

其次由表可知，1,000 Hz以外的各頻率之 a, c 項均不爲 0，也各不相等。此乃表示依次並排的各相同大小聲音曲線間的間隔距離並不相同的原因。

茲用表一及式(1)並舉例來作音壓水準及音大水準之計算。以 100 Hz 為例，則

$$y = -33.5 + 1.57x - 0.00269x^2$$

該音壓水準爲 74 dB，亦即 0.1 N/m^2 聲音之大小的水準爲

$$y = -33.5 + 1.57 \times 74 - 0.00269 \times 74^2 = 65.6 \text{ phon}$$

反過來說，100 Hz 聲音的音大水準為 100 phon 之音壓水準之求法為從

$$100 = -33.5 + 1.57x - 0.00269x^2$$

求出 $x=103$ dB。

在上述國際標準組織的規定裏，把因年齡的老化導致聲音大小水準的變化也有表示出來，即老化性重聽也。老化性重聽對頻率在 1,000 Hz 以下部份之聲音則無變化，惟自約 3,000 Hz 起開始起變化，而在 10,000 Hz 以上的聲音起顯著的變化。

圖四橫軸表示音壓水準的 dB 數，縱軸表示耳朵所感到聲音大小之水準的 phon 數。曲線上所標記之數字表示年齡。例如就 15,000 Hz 來說，年青人在 30 dB 以下就能聽到，但到 50 歲時就要 80 dB 才能聽到。此外圖中點線為青年人的標準值，即為圖三的最小可聽值。

三、聲音之大小 sone

以上所述聲音之音壓水準的 dB 數，係以 0.00002 N/m^2 為標準作純物理量的測定所得出，又聲音大小之水準的 phon 數，係對某一聲音之大小與 $1,000 \text{ Hz}$ 聲音的音壓水準幾 dB 之大小感覺到相同時之表示法。上面所述均對純音而言。

不過在周圍環境中存在的聲音，幾乎全是複合音，係由種種頻率成分所組成，且各組成成分並隨着時間起不規則的變化。對此若從圖三中就不能得出任何的資訊，而需由完全不同的測定資料中獲取需要的資訊。

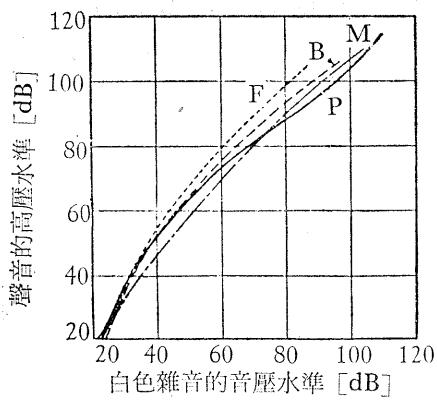
對於複雜聲音大小之水準的測定，已有心理學家做過種種測定。圖五為 H. Fletcher and M. A. Munson (1937), F. H. Britain (1939), G. A. Miller (1947) 以及 I. Pollack (1951) 所做的測定，係將白色雜音的大小與 1,000 Hz 聲音作比較的結果，表示有大致的相似傾向。橫軸為白色雜音的音壓水準，縱軸則為 1,000 Hz 的音壓水準。對於各種聲音經作過許多類似的研究結果，所得到對複合音的知識，使聲音之大小的 sone 與聲音之大小的 phon 間關係得到了瞭解。

聲音大小的 sone，係從試將聲音的感覺量加以數量化爲目的而作的計量，於比較兩個聲音當一聲音大於另一聲音 2 倍時，其 sone 數爲 2，大 3 倍時 sone 數爲 3。這樣的關係在 phon 是無法表達的。例如於比較 50 phon 與 100 phon 之兩個聲音時，後者並不感覺到 2 倍大，而是感覺到後者比前者非常地大。目前相信大約增加 10 phon，聲音就會感覺到 2 倍大。在這種情形下，當作標準之 1 sone 究應設在何處爲宜就成爲問題，惟目前則採取以 40 phon 的聲音當作 1 sone。因而 sone S 與 phon P 之關係可依下式作出定義。

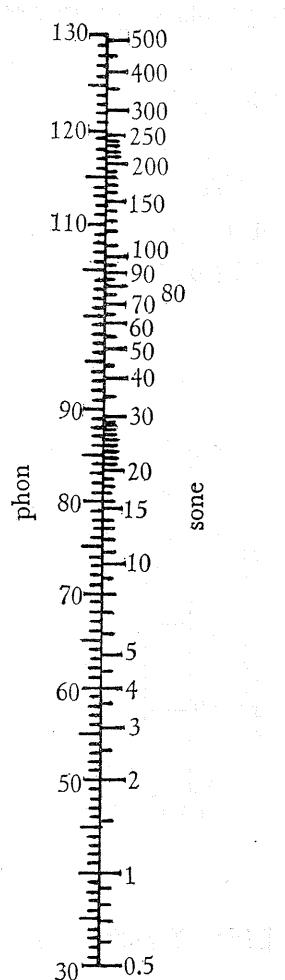
又如取其近似值則成

$$\log_{10} S = 0.03(P - 40) \dots \dots \dots \quad (3)$$

如果以圖來表示，則成如圖六。40 phon 為 1 sone，50 phon 為 2 sone，60 phon 為 4 sone，100 phon 為 64 sone，而彼此間成對數的等間隔關係。如將 62 phon 與 72 phon 及 82 phon 相比，就分別成爲 2 倍與 4 倍之關係。



圖五 白色雜音大小之水準
白色雜音與 1,000 Hz 純音作比較的四個測定



圖六 phon 與 sone 之關係

這樣的關係並非對所有的聲音都能够適用，不過對於從 20 phon 到 120 phon 的聲音，這種關係在實用上是足夠使用的，並認為可將此關係延伸到更高或更低水準的範圍。

四、複合音的大小水準算法—S. S. Stevens 法

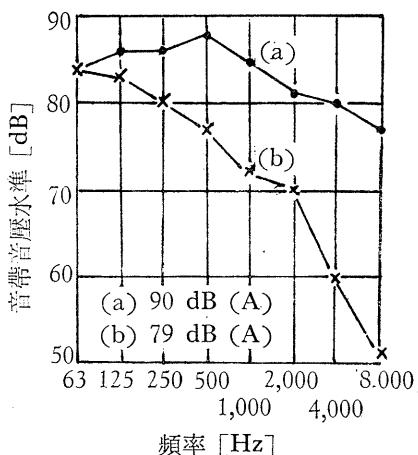
圖三所表示者係有關純音聲音大小水準的聽覺曲線。不過在我們身邊純音幾乎不存在，而以某種形態的複合音，即混雜有二個以上的成分並不斷在起種種變化的情況下存在着。除了比較特殊的聲音，如撞擊聲之外，一般的聲音可藉下述計算法算出其大小的水準。

茲以八音階分析法來分析對象聲音作一研討。先求各音帶之各別音壓水準後，用圖七求出各音帶之各別 loudness index 的 sone 數 S_i 。將 S_i 中最大值者作為 S_m ，再由次式求出相當於對象聲音全體之大小的 sone 數 S_T 。

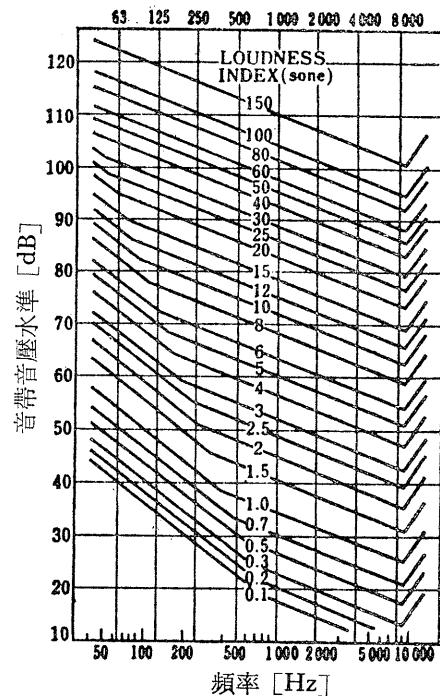
由圖六或式(3)求出相當於此 S_T 的 phon 數，即為此複合音的大小之水準。

因 10 phon 之差約等於 dB 之差，故在音壓約成 3 倍，在強度成為約 10 倍，而感覺出的大小則為 2 倍大。所以在噪音措施上應將強度作相當的減低，始能對聽覺顯出改善的效果。

茲舉一例以示複合音大小水準的算法。設某一機械的聲音為如圖八的 (a) 線，而經過改善後成為如圖八的 (b) 線。改善前與改善後之噪音水準如所標示的分別為 (a) 90 dB(A)，(b) 為 79 dB(A)。再就聲音之大小加以計算則成 (a) 為 8, 14, 18, 25, 23, 21, 25, 25 sones。而 $S_T = 25 + 0.3 (126) = 63$ sone，約等於 100 phon。(b) 則成為 8, 11, 11, 12, 10, 11, 7, 5 sones，而 $S_T = 12 + 0.3 (63) = 31$ sone，約等於 90 phon。則改善前後之 sone 數即聲音大小約降低一半。



圖七 音壓水準與聲音大小的 sone

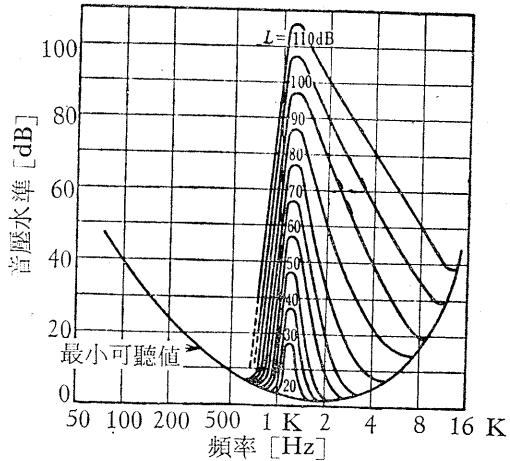


圖八 計算例的聲音

五、聲音的掩蓋

同時存在的二個聲音之一方比較大時，另一較小的聲音就感覺到更加的小，並且每每聽不到。在有噪音的地方不容易講電話或聽到講課、收音機與電視的情形，則為良好的實例。

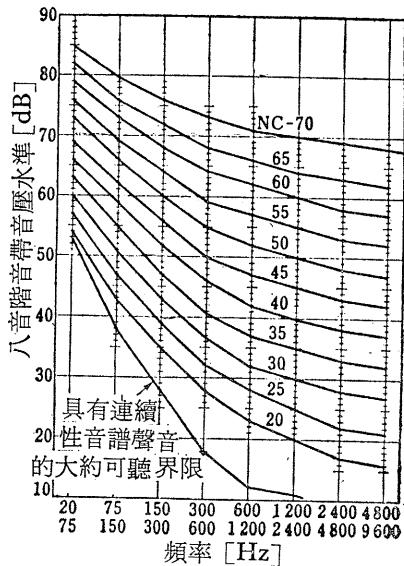
圖九表示一聲音掩蓋之例。圖示中心頻率為 1,200 Hz 的狹音帶聲音僅在所標示的音壓水準之強度時，耳朶的最小可聽值的變化程度。例如最大的 110 dB 聲音在 1,200 Hz 附近約有 106 dB，在 2,000, 4,000 Hz 則各有 90 dB 及 70 dB 的最小可聽值之提高，故在其下方的聲音就聽不到了。由圖也可以知道音壓水準愈高影響也愈大，不過對於低頻率聲音之掩蓋影響較小，對高頻率的影響則較大。街道噪音或飛機噪音等進入屋內後，一般都成低頻率強高頻率成分不太強的情形，由上述的性質使聲音中高頻率成分多的部分受到掩蓋，導致說話的明瞭度降低難於聽到。



圖九 聲音掩蓋之例子

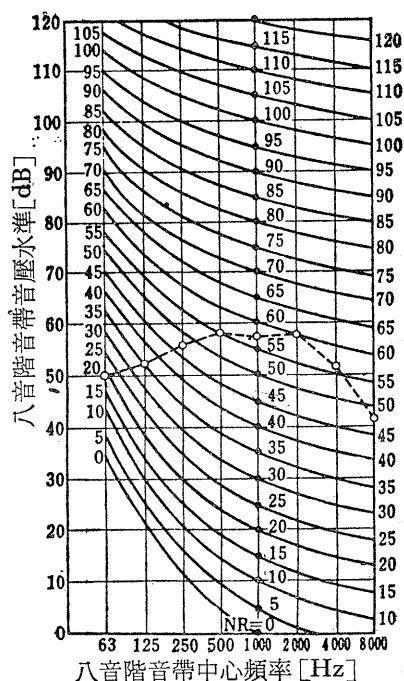
六、噪音指標 (NC) 數及噪音等級 (NR) 數

要表示某一場所的噪音容許界限時，則僅用噪音水準來表示，就不如就聲音的音譜各成分的界限來表示更易據以研探對策。由於這樣的理由，美國很早就有 NC 曲線的建議提出，作為建築音響的噪音容許界限值而廣受使用。NC 為 noise criteria 的縮寫。圖十為 NC 曲線羣，以每八音階的音壓水準來表示。相當於美國的此項建議，在國際上有如圖十一的建議提出來。圖十一的曲線做 NR 曲線，其數據叫做 NR 數。NR 為 Noise Rating 的縮寫。



圖十 NC 曲線羣

家庭噪音之推薦值如為 NC-35 時，則將家庭噪音加以分析後之任一八音階音帶之音壓水準均低於 NC-35 線則可也。



圖十一 Noise Rating 曲線

將某一聲音例如作八音階分析後記入 NR 曲線圖上，以 NR 曲線為計量尺度，從各音帶中找出數值最大者，作為 NR 數。例如假設分析某場所的噪音得出如標示在圖十一中的數值。其中最大的數值為 2,000 Hz 音帶的 NR 60。因此此聲音就叫做 NR 60 的聲音。

又同一聲音的 NR 數值比其 dB(A) 值大約要小 5。也就是 NR=60 的聲音多數都接近 65 dB(A)。建議 NR 值的國際標準原案，曾提出如表二的數值，用以表示室內噪音水準的容許值。

表二 室 內 容 許 值

NR 值	場 所
20—30	寢室、病房、播音室、起居室、會議室、教室、小辦公室
30—40	大辦公室、商店、百貨公司、會客室、安靜的餐廳
40—50	大型餐廳、有打字機的秘書室、體育館
50—60	大型打字機室
60—70	工廠

七、噪音的種種評估方法

為對聲音的吵鬧程度或噪音的有害性作定量性的評估，自古以來就有種種有關數值與單位的建議提出，目前也在各別領域裡為因應其特別需要，不斷有新建議提出來。雖然有些評估方法幾已不再使用，茲介紹重要的評估方法如后。

(一) **聲音強度的水準 (sound intensity level)**，簡稱音強水準)，係以 10^{-12} W/m^2 作標準以計量聲音之強度，用 dB 作單位表示者，係與下述音壓水準相同者，近來則多使用音壓水準來表示。

(二) **音壓水準 (sound pressure level)**，係與上述音強水準相同者，以 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ 作為標準的音壓表示法，單位為 dB，符號多記作 SPL。

(三) **聲音的大小之水準 (loudness level 簡稱聲大水準)**，係以耳朵聽取聲音時所感到的大小作定量的表示，單位為 phon。在純音方面有國際標準組織的等感覺曲線(圖三)可應用，即感覺到與 1,000 Hz 音壓水準 a dB 相同大小的各頻率聲音，均為 a phon。在複合音方面，有關國際標準組織的計算值有 R-532，已在上述介紹其中的 S. S. Stevens 氏所提出的算法。音大水準的符號記作 LL。LL 值約等於 dB(A)+K，K 約為 13~14。

(四) **音源的功率之水準 (power level)**，簡稱功率水準)，係表示音源本身輸出功率之大小的數值，以比 10^{-12} W 的輸出功率大幾 dB 來表示。其符號記做 PWL。要計量噪音源之輸出功率之大小時，常可使用噪音計 A 特性聽覺校正來測量較為方便。這樣的計量符號應記做 PWL(A)，但是其單位仍為 dB 不可寫成 dB(A)。

(五) **噪音水準 (sound level)** 將某一聲音以噪音計 A 特性聽覺校正測定之讀值即為噪音水準，其單位為 dB。將單位寫成 dB(A) 則更明白。噪音水準之符號寫做 SL 或 SL(A)，有時僅寫作 L。

此外噪音計尚有 B 特性、C 特性及 D 特性等聽覺校正的計量，對於此等聽覺特性今後應使其

各表其各別意義，不宜當作音壓水準。B 特性不常用，C 特性的讀值可做為音壓水準之代替，而特性D的讀值 dB(D) 則建議作為飛機噪音測定之用。

(六) NC (noise criteria) 與 NR (noise rating) 係將聲音作八音階或1/3八音階分析後來評估的方法，兩者的構想約略相同，NC 係用於老式的頻率劃分，NR (或N值，亦叫做 noise rating number, NRN) 則用於新式的劃分，已說明如前述。

(七) 聲音妨礙度 (speech interference level) 係古老已久的八音階分析法，以 600~1200, 2400~4000 及 2400~4800 Hz，等 3 個音帶音壓水準之平均值作為定義，稱做 SIL 值的計量法。後來在新式的八音階劃分法，建議以中心頻率 500, 1,000 及 2,000 Hz 音帶的噪音水準中 NR 值最大者來做計量。目前有一種作法為使用 500, 1,000, 及 4,000 Hz 等四個八音階的平均值。

(八) 對等噪音水準 (equivalent sound level) 係用以表示不規則且噪音水準起大幅度變化聲音之噪音水準代表值，可以下式求出。

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L/10} dt \right\} \quad (5)$$

式中 L 為在時刻 t 時噪音水準的 dB(A) 值， L_{eq} 而係在某一期間 T 噪音水準 dB(A) 的能量平均值。

如果從讀取有限個數的測定值來求 L_{eq} 時，則成

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_i 10^{L_i/10} \right\} \quad (6)$$

式中 n 為測定值之個數，為 L_i 各別之測定值。

上式中，如 n 個數多時的計算，宜採用下述國際標準組織 ISOR 1996 的式子來計算。

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{100} \sum_i f_i 10^{L_i/10} \right\} (\text{dB}) \quad (7)$$

式中之 L_i ，並非使用各別之數值，而是如分成 5 dB 一組，以各組中心的音壓水準為 L_i ，並以屬於各組的數值個數佔全部數值個數的比率 (%) 作為 f_i 。例如測定變動範圍為 64 dB 到 82 dB 的聲音，得出 50 個測定值。則先按 65, 70, 75 及 85 dB 分成四組。此等數值則為 L_i 。此四組設各有 5 個，18 個，23 個及 4 個測定值時， f_i 就可取成 10, 36, 46 及 8 來計算。

(九) 汽車噪音之評估 在英國有 TNI (traffic noise index, 交通噪音指數) 的計量提案。

$$TNI = 4L_{10} - L_{90} + L_{90} - 30 \quad (8)$$

式中 L_{10} 表示在測定期間有 10% 數值超過此值的水準， L_{90} 表示有 10% 數值低於此值的水準。因此兩者分別相當於 80% 範圍的上值及下值。

(十) 飛機噪音的評估 對於飛機噪音的討厭程度之評估值，有 PNL (perceived noise level) 作為定義，所用的單位為 PNdB，也是經國際標準組織所正式採用的單位。英國則據此提出有 NNI (noise and number index) 評估值，也在日本頗受樂用。