



Chapter 4



航空噪音

4.1 噪音特性

- 4.1.1 飛機噪音
- 4.1.2 機場噪音
- 4.1.3 航空噪音評估指標

4.2 噪音預測和評估

- 4.2.1 航空噪音的預測
- 4.2.2 航空噪音的預測模式
- 4.2.3 航空噪音的評估

4.3 噪音控制

- 4.3.1 機場噪音控制
- 4.3.2 航空噪音管理

習題



本章所介紹的航空噪音包括飛機和機場的噪音，將說明航空噪音的噪音源、特性及評估指標，在瞭解其特性的基礎上對機場和飛機的噪音進行測量，並對機場噪音進行預測和評估，並提出航空噪音常用的防制方法。

4.1 噪音特性

4.1.1 飛機噪音

航空噪音主要由推進器系統噪音及空氣動力噪音組成。推進器系統噪音主要由推進器噪音（螺旋槳噪音，噴氣噪音等）、排氣噪音、風扇噪音和壓縮機噪音構成，空氣動力噪音除了氣流經過機身所引發的擾動外，還有在飛機高速飛行時，由於附面層壓力起伏而在機內引起的噪音。以超音速飛行的飛機壓縮空氣所產生的衝擊波還會引發音爆。

航空噪音：指各類飛行器尤指飛機在起飛，航行和著陸時所發出的噪音。自1903年萊特兄弟發明飛機以來，飛機逐步得到了廣泛的應用。飛機發明初期，引擎的功率並不大，且數量稀少，因而飛機噪音並不足以對日常生活造成危害。到了20世紀40年代的時候，由於飛機引擎的功率迅速提高，飛機引擎的噪音引起了飛機設計者的注意，航空噪音也成爲一個重要的社會和科學技術問題。

民航初期，航空噪音主要影響機組人員的舒適；到後來，航空噪音嚴重地影響到飛機內乘客和機組人員之間的交流。第二次世界大戰後，噴氣式飛機大量出現，帶來了巨大的噪音。飛機噪音影響機內儀器設備等的正常運作，同時也導致機體結構材料產生疲勞及損傷，甚至影響飛機的安全性。1953年，一架英國德哈威蘭（de Havilland）公司生產的彗星式客機在飛行中解體，就是由於機體材料疲勞斷裂導致的。

機場對地面工作人員及生活在機場附近的居民的影響：不斷起落的飛機影響人們工作、睡眠，久之甚至會導致聽力損傷，損害了相關人員的身心健康。

1. 短程：如波音727、737、道格拉斯DC-9等，著陸時噪音大小約爲85～90 dB，起飛時噪音爲94～100 dB，飛機艙內噪音爲77～92 dB。
2. 中程：如波音707、720，道格拉斯DC-8等，著陸時噪音大小約爲94～100 dB，起飛時噪音爲100～105 dB，飛機艙內噪音爲75～85 dB。

3. 遠程：如波音 747，著陸時噪音為 92 dB，起飛時噪音為 103 dB，而機艙內噪音為 72 ~ 84 dB。

一般大型噴氣客機起飛時，跑道兩側 1 ~ 1.5 km 內語言通訊會受干擾，4 ~ 5 km 內不能正常地睡眠和休息，超音速飛機在 1,500 m 的高空飛行時，地面 30 ~ 50 km 範圍內的人會受到影響。

螺旋槳噪音是由螺旋槳葉片在空氣中轉動時所產生的起伏力場和漩渦而引起的，它是一種無規噪音，但也含有週期性成分。排氣噪音一般比推進器噪音要小得多，而噴氣噪音則是目前人工產生連續噪音較大的噪音源，空氣動力噪音是航空噪音 600 Hz 以上噪音的主要音，但是在飛機著陸和起飛時，空氣動力噪音有可能會低於推進器噪音。下面分別介紹幾種不同類型飛機的噪音。

一 螺旋槳推進器噪音

螺旋槳飛機中，帶動螺旋槳的引擎功率一般較大。螺旋槳飛機噪音主要由螺旋槳噪音和引擎排氣噪音組成，其中螺旋槳噪音佔主要地位。在螺旋槳推力一定的條件下，螺旋槳噪音是葉片頂端速度的函數。螺旋槳噪音的頻率如公式所示：

$$f = inz / 60 \quad (4-1)$$

式中：

- n ：每分鐘的轉速，
- z ：葉片數，
- i ：頻率諧波序號， $i=1$ 時的頻率為基頻。

二 渦輪噴氣引擎噪音

渦輪噴氣引擎透過將燃燒過後之氣體向後急速噴出，給飛機提供推力。它的運轉流程主要如下：

1. 空氣在引擎進氣口的離心壓縮機處被壓縮。
2. 壓縮空氣進入燃燒室，與霧化燃油充分混合後被點燃。
3. 燃燒後體積急速膨脹的高壓氣體向後高速噴出。

根據渦輪噴氣引擎的原理，這類引擎在運轉時，會產生三種噪音：進氣口

噪音、引擎外殼振動輻射噪音、排氣噪音，其中第三種為噴氣引擎噪音的主要部分。圖 4.1-1 為渦輪噴氣引擎截面及噪音源的示意圖。



圖 4.1-1 渦輪噴氣引擎示意圖

三 渦輪風扇引擎噪音

渦輪風扇引擎由渦輪噴氣引擎發展而成，在飛機速度低於 724 km/h 時，純噴氣引擎的效率低於螺旋槳引擎，而在飛機速度高於 563 km/h 以上時，螺旋槳的高葉尖速度造成的氣流擾動會導致螺旋槳效率迅速降低。渦輪風扇引擎很好地結合了兩者的優點，達到了最高的綜合效率，在推力一定的前提下顯著減小了噪音。

渦輪風扇引擎的噪音主要由空氣動力噪音和螺旋槳噪音組成。由其運轉原理可知，渦輪風扇引擎的噴氣噪音是由內涵道和外涵道的噴氣噪音共同組成的。同時，可以通過減少其他主要的機器噪音如風扇噪音、壓縮機噪音、渦輪機噪音和燃燒噪音等來進一步降低渦輪風扇引擎的噪音。

四 直昇機航空噪音的特性

(一) 旋翼噪音

直昇機的旋翼包括主旋翼和尾部旋翼，它所產生的噪音就可分為主旋翼噪音和尾部旋翼噪音。主旋翼所產生的噪音是構成直昇機航空噪音的主要部分，其又可分為旋轉噪音、寬頻噪音和脈衝噪音。這部分噪音頻率較寬，對

形成遠場噪音起決定性作用。旋轉噪音是由槳葉上載荷的週期性擾動以及槳葉厚度而引起的，可分為載荷噪音和厚度噪音，載荷噪音是旋轉噪音中重要的噪音之一，它由槳葉表面載荷對空氣的脈動激勵引起，厚度噪音由槳葉厚度引起，當槳葉旋轉時，槳葉厚度迫使周圍氣體體積位移週期性填充，由此產生噪音；寬頻噪音主要是由作用在槳葉上的隨機脈動力引起的；脈衝噪音又可分為兩種：一種為葉片 - 漩渦干涉噪音 (blade-vortex interaction noise, BVI)，另一種為高速衝擊噪音。脈衝噪音的出現會大大提高直昇機的系統噪音水準。尾部旋翼主要用來抵消主旋翼產生的扭矩，產生的噪音主要影響直昇機周圍。尾部旋翼噪音旋轉頻率相對主旋翼較高，產生頻率較高的噪音，主要影響直昇機近場，由於人耳對高頻音最敏感，所以這部分聲音對人的傷害很大。

(二) 發動機噪音

發動機噪音取決於發動機的類型，常見的發動機有：活塞發動機、燃氣渦輪發動機和衝壓式噴氣發動機。發動機等發出的機械噪音為寬頻高頻噪音，能量主要集中在高頻區。高頻音很容易被空氣吸收，它只對直昇機的近場起作用，遠場則可以忽略它的影響。

(三) 傳動裝置噪音

傳動裝置噪音是指直昇機的包括變速箱在內的傳動裝置在直昇機運行時所產生的噪音，通過振動的傳遞，齒輪、油箱、支撐結構以及機艙本身都可以是音源。若這些結構發生共振，噪音則更為強烈。這部分噪音的頻率在 500 ~ 1,500 Hz，會嚴重影響飛行員的通訊和操作，並給機上乘客帶來很大的不適。

(四) 直昇機外部噪音和內部噪音

直昇機外部噪音特性是：噪音信號為一寬頻信號，主要能量集中在低頻，噪音來自空中，地面地形、遮擋等很難衰減飛機噪音。噪音的時間特性也很特別，人們聽到飛機噪音是由遠而近，再遠去。直昇機內部噪音特性是：噪音主要來自傳動裝置和發動機，噪音量較高，頻率集中在高頻，對艙內工作人員及乘客影響很大。直昇機航空音環境是指直昇機飛行時的各種噪音通過各種途徑在直昇機外部和內部形成的音場環境。直昇機航空噪音按噪音來源可以分為旋翼噪音、發動機噪音和傳動裝置噪音；按噪音輻射區域來看又可分為外部噪音和內部噪音。其頻譜如圖 4.1-2 所示。

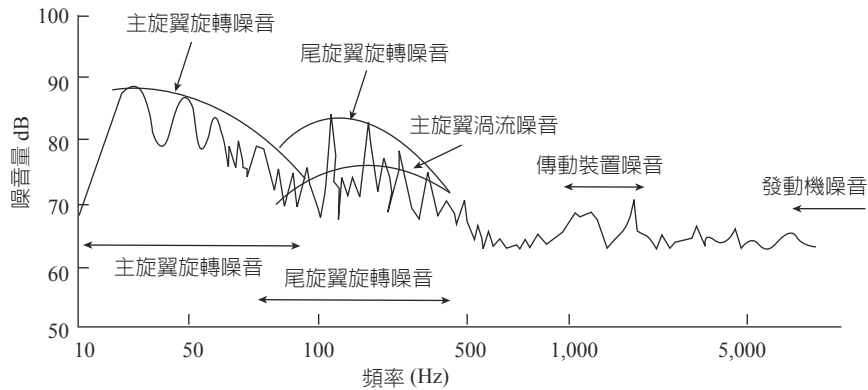


圖 4.1-2 直昇機航空噪音的頻譜

4.1.2 機場噪音

噪音的危害是多方面的。比如損傷聽力、影響睡眠、誘發疾病、干擾語言交談；特別強的噪音還會影響設備正常運轉，損壞建築結構等。機場噪音的影響可以分為兩類：(1) 飛行時對周圍環境造成的噪音污染；(2) 飛行時噪音對機上駕駛員以及乘客的影響。機場噪音具有噪音量高、影響範圍廣、短時持續發生的特點。因此比起其他的城市區域環境噪音，對人們的危害更大，對機場工作人員和機場周圍的居民的傷害尤為嚴重。

以松山機場為例，飛機的降落遠從林口、三重就準備下降程序，低噪音型的飛機需求越顯重要，但如果飛機噪音變小，住在航空噪音等噪音線以外地區的居民所關切的問題，將不再全是個別飛機所產生的噪音，而是大量飛機越過上空所造成的累積衝擊 (cumulative impact)。航道下方的居民他們感覺到，沒有飛機越過上空的時間消失了，以前班次少還有短暫喘息時段，如今卻沒有了；而敏感時段 (如夜間和週末包機) 的航空噪音事件卻比以前頻繁了。以往航空噪音的評估與管理只注意到機場周邊「近區 (close in)」之區域，這區域航空噪音的暴露值最高。然而，近幾年大家才意識到，等噪音線外圍地區居民要求限制機場活動或反對機場成長的社區壓力，已經日益升高，這些飽受噪音之苦的較「遠區」居民也受到很大的影響，因為「遠區」居民通常住在繁忙航道的下方。也就是說航空噪音問題過去一直都主要發生於機場層面，但近年來，與距離機場相當遠之主要航道相關的噪音，在某些國家也已成爲一個問題，如果「遠區」居民預期某些地區應該「很安靜」，即使在總航空噪音暴露量可能很低的情況下，民眾所感受的除了累積衝擊，噪音苦惱或干擾程度仍可能非常高。故無論「近區」或「遠區」之居民對航空噪音的反應

是產生了根本的改變，我們試問：航空噪音影響的地理範圍擴大是因為民眾對航空噪音變得比較敏感 (sensitive)，還是因為機場周邊噪音暴露型態 (noise exposure patterns) 起了變化？

雖然我們不知居民對航空噪音的心理是產生了怎樣的改變，但很明顯的是，近年來機場周邊航空噪音型態，在實質上已產生了重大變化，亦即個別新型飛機變得比過去安靜得多，但飛機起降活動卻大幅增加。因此，雖然機場附近居民所接收到的總噪音暴露量 (noise dose) 或許沒有改變，甚至降低，但噪音暴露量的構成已經大不相同。今天，住在機場附近特定點上的居民可能接受到來自較多數量相對較安靜的飛機越過上空的航空噪音暴露量，而不是像過去一樣，接受到來自數量較少但聲音非常大的噪音事件的航空噪音暴露量。

過去，我們對「近區」航空噪音的管理勘稱完善，我們現在需要做的是「遠區」延伸區域的防制，以便在管理航空噪音時，積極考量這些機場周邊外圍地區。住在外圍地區的居民由於距離機場太遠，並不適用隔音措施或其他國外常見的物產收購和航空地役權 (property buyouts, aviation easements)，這些居民通常住在不適合強制實施航空噪音相關土地利用規劃管制措施的地段；同樣地，他們的房屋也不適合在其產權登記和買賣文件上登載相關的噪音資訊 (但連這一點我國都尚未實施，至少我國應讓人民買房子時知道我住在什麼噪音管制區中？心理上有某種程度的預防與預期，政府應加速推動噪音資訊地籍化)。

我國的航空噪音評估以航空噪音日夜音量 (DNL) 等噪音線為基礎，這些等噪音線亦作為機場周圍航空噪音管制區之劃定與補助之依據，然如何劃定這些所謂專業的等噪音線，國內並沒有一套自己的方法，也無認證方式與單位 (政府應加速推動「噪音士」專業認證化，否則連要開罰單都恐受質疑)。另外，「全區噪音公開化」也是航空噪音管理的一項重要手段。就這點而言，「噪音公開化」指的不是國外在房屋產權登記和買賣文件上登載噪音資訊，而是為社區所有居民提供可取得簡單明瞭且最新的全區噪音資訊的管道。如前文所述，住在機場周邊較外圍地區的居民，通常預期自己不會受到航空噪音的干擾。因此，一旦他們發現自己竟然是住在繁忙航道的下方，其負面反應必然特別激烈。由於近年來航道追蹤和家庭電腦化的進展，可為社區提供最新全區航空噪音資訊，管理「意外噪音」，相對容易多了。

最後，如果一座機場希望獲得附近廣泛社區居民的支持，他們必須設法讓所有社區居民 (包括近區及遠區居民) 都深信，所有管理航空噪音選項都經

過專業測試，並採行公平合理的結果。由國外經驗顯示，如果希望建立良好的社區關係（採取圓桌會議，機場—中立者—居民共同參與），機場與社區雙方的資訊交換必須充分透明，爲了達到此目的，相關資訊需要以簡單易懂的描述來呈現，並顯示機場周邊廣泛地區的航空噪音影響範圍。

下面分別介紹次音速飛機、直昇機、超音速飛機在上空飛過時的噪音特點。

一 次音速飛機在上空飛過時的噪音特點

飛機在上空飛過時，與聽者距離逐漸變小，因而噪音逐漸變大。當飛機飛臨聽者頭頂時，距離達到最小值，噪音強度達到最大。此後距離逐漸變大，噪音也逐漸減小，直至消失。

二 直昇機在上空飛過時的噪音特點

一般直昇機的主轉子爲主要噪音源。主轉子的噪音含有主引擎發出的噪音，葉片轉動的週期噪音和由於與轉子非週期性空氣動力相互作用引起的寬頻帶的空氣動力噪音。

三 音爆音

以超音速飛行的飛機除了推進系統產生的噪音以外，還含有因高速飛行所產生的衝擊波帶來的噪音，即音爆。當飛機作超音速飛行時，在機頭或突出部分會像水中前進的快艇一樣出現楔形或錐形波—激波。同時飛機所發出的音波疊加在機身後方，形成圓錐形狀的音錐。它們向外傳播時互相干擾和影響，彙集爲一道包括機頭的前激波和一道尾隨機尾的後激波。這種波的厚度很小，經激波後空氣的壓強、密度、溫度都突然升高，速度立即下降。當這兩道激波波及到人的耳朵時，耳鼓膜受到突然的空氣壓強變化，便感覺是兩音雷鳴般的巨響，稱爲音爆。「音爆」只有在飛機作超音速飛行時才會出現。「音爆」的強弱及其對地面影響的大小，與飛機飛行高度有著直接的關係。若飛行高度過低，音爆能夠對地面帶來極大的破壞。音爆傳播到地面時的壓力波形狀如英文字母 N，故稱爲 N 形波，N 形波的產生如圖 4.1-3 所示。圖 4.1-4 展示了 N 形波的時域和頻域特徵。

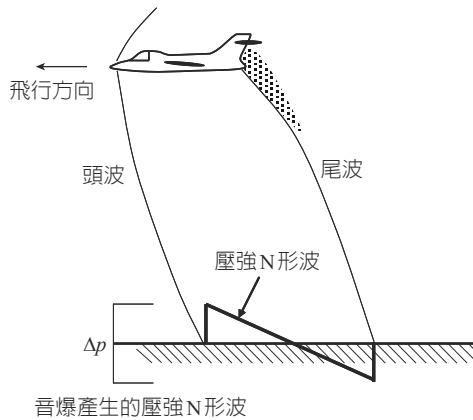


圖 4.1-3 N 形波

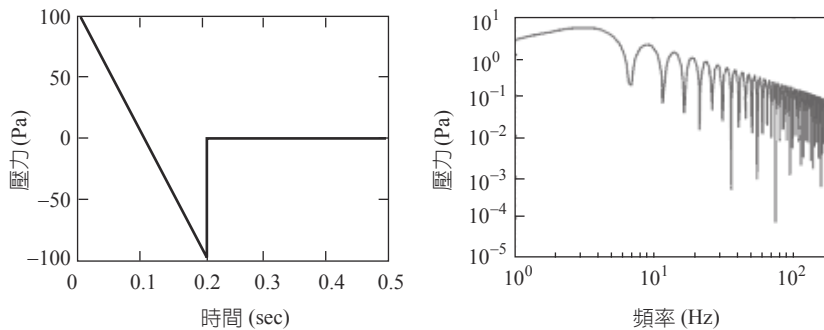


圖 4.1-4 N 形波的時域和頻域特徵

根據「協和式」和其他超音速飛機的測量資料，音爆的超壓範圍是 25 ~ 150 Pa。它一般通過三種途徑傳播到地面：直接由飛機通過大氣傳播到地面；向上的波被逆溫層折射到地面；向下的波被地面反射後再次被大氣折射回地面。

音爆的危害不僅在於其巨大的聲響和潛在的破壞力，還在於其範圍。超音速客機的機體龐大，其產生的音爆能傳播到很遠的地方。也就是說，一般飛機主要對機場附近帶來噪音污染；而超音速客機把噪音帶到了飛機航線所經過的廣大區域。故在許多國家，超音速客機是禁止過境的。世界唯一的超音速客機「協和式」被停飛，美國波音公司曾經研製的 2707 系列超音速客機計畫最後被取消，很大程度上就是因為環境尤其是噪音問題。

4.1.3 航空噪音評估指標

一 暴露噪音量 SEL (sound exposure level)

對於單次或離散航空噪音事件，如飛機的一次起飛或降落過程，可用 SEL 來表示這一噪音事件的大小。從數學上來說，它是持續噪音能量的總和，可以把它當作持續 1 秒的均能噪音，由圖 4.1-5 表明了噪音事件中的 SEL 音能量部分。

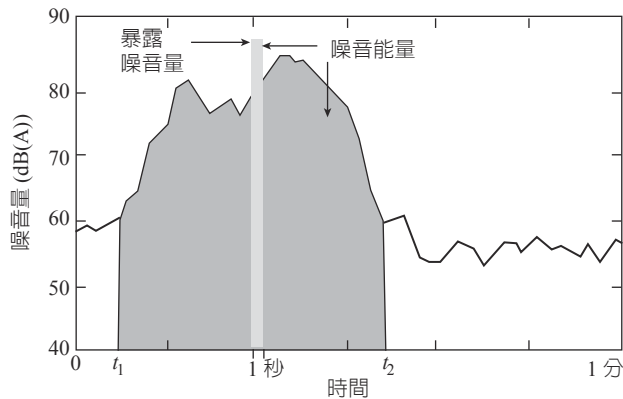


圖 4.1-5 噪音事件中的 SEL 音能量部分

由於 SEL 將時間規範為 1 秒，因此，在航空噪音事件中它幾乎總是比最大音量重要。事實上，對於大多數飛機噪音， SEL 會比最大音量高 7 到 12 $dB(A)$ 。而且，由於它是積累的 (cumulative) 量度，那就意味著一個更高的 SEL 可以來自較大的聲音或較長的時間或聯合作用。 SEL 提供了一種描述噪音的綜合方式，在建立模型並比較噪音環境時可利用這種方式。 SEL 值的計算公式如下：

$$L_{SE} = SEL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_e^2} dt \right] \quad (4-2)$$

式中：

- $p_A(t)$ ：A 加權音壓值，
- p_e ：參考音壓，
- t_1 ：單一噪音事件的開始時間，

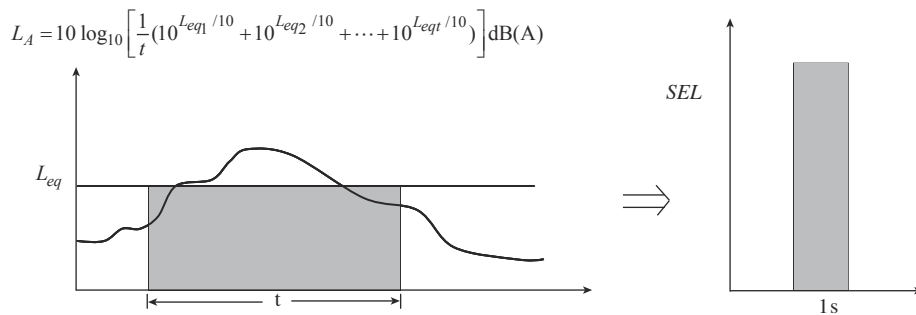
t_2 : 單一噪音事件的結束時間，

t_0 : 參考時間，一般取 1 秒。

例如有三個航空噪音事件，持續時間分別為 20 秒、14 秒及 10 秒。均能音量 L_{eq} 分別為 84.1 dB、79.5 dB 及 84.8 dB，將事件持續時間「壓縮」成視為 1 秒，則 SEL 值分別為 97.1 dB、91.0 dB 及 94.8 dB。

針對一個異常高噪音的噪音事件，一定要記錄該事件發生期間的每秒噪音值與維持的時間。單一個噪音事件的 L_{eq} 值係將該事件每秒產生的噪音量加總後平均在持續的時間內。單一個噪音事件的 SEL 值係將該事件每秒產生的噪音量加總後集中在一秒內而所顯示的噪音值。

$$SEL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{1} (10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10} + \dots + 10^{L_{eqt}/10}) \right] \text{dB(A)}$$



$$L_A = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t} (10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10} + \dots + 10^{L_{eqt}/10}) \right] \text{dB(A)}$$

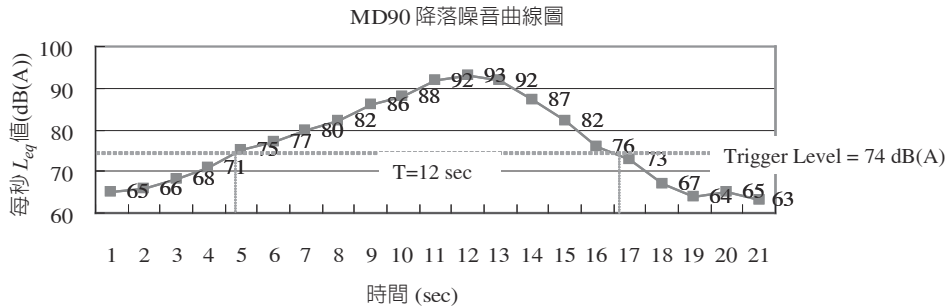
$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{12} (10^{75/10} + 10^{77/10} + 10^{80/10} + 10^{82/10} + 10^{86/10} + 10^{88/10} + 10^{92/10} + 10^{93/10} + 10^{92/10} + 10^{87/10} + 10^{82/10} + 10^{76/10}) \right]$$

$$= 87.8 \text{ dB(A)}$$

$$SEL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{1} (10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10} + \dots + 10^{L_{eqt}/10}) \right] \text{dB(A)}$$

$$SEL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{1} (10^{75/10} + 10^{77/10} + 10^{80/10} + 10^{82/10} + 10^{86/10} + 10^{88/10} + 10^{92/10} + 10^{93/10} + 10^{92/10} + 10^{87/10} + 10^{82/10} + 10^{76/10}) \right]$$

$$= 98.6 \text{ dB(A)}$$



二 感覺噪音量 PNL (perceived noise level)

克雷特 (Kryter) 等人提出了新的評估指標：噪度和感覺噪音量。其思路是，測試聽眾對不同中心頻率的頻帶噪音量的平均回應，並用噪音量 - 頻率的形式得到一個統計的倍頻帶等噪度曲線族。噪度的單位為訥 (noy)，用 N_a 表示。定義在中心頻率為 1KHz 的倍頻帶上，噪音量為 40 dB(A) 的噪音的噪度為 1 noy。將噪度轉換為 dB(A) 指標，稱為感覺噪音量，用 PNL 表示。感覺噪音量與噪度的關係如下：

$$L_{PN} = PNL = 40 + 10 \log_{10} N_a \quad (4-3)$$

從感覺噪度來計算感覺噪音量比較複雜，實際測量中常近似地由 L_{\max} 噪音量加 13 dB(A) 求得。

另有其他相關文獻資料，感覺噪音量的值 L_{PN} 亦可以利用噪音計測量該噪音源的 A 加權噪音值 L_A ，換算由下式表示：

$$L_{PN} \approx L_A + 12.4 \quad (4-4)$$

三 有效感覺噪音量 $EPNL$ (effective perceived noise level)

當飛機飛過頭頂時，人們感覺到的噪音的幅度和頻率都在隨時間變化，因此用感覺噪音量來評估顯然就不合適了。為此，在考慮噪音頻率特性的基礎上，有效感覺噪音量還加入了對噪音作用效果的累加，以更好地用於評估噪音對於人體的影響，提出有效感覺噪音量的評估方法。有效感覺噪音量記為 $EPNL$ ，單位 dB(A)。它除了對純音加以校正外，還要考慮到噪音的持續時間等特性，計算比較複雜，往往需要使用電腦計算。它主要包括四個量：絕對噪音量、頻譜、最大純音及飛越頭頂的持續時間。其簡要運算式如下，詳細的計算方法參閱參考文獻。

$$L_{EPN} = EPNL = PNL_{\max} + D + F = L_{PN\max} + D + F \quad (4-5)$$

式中：

D ：持續時間修正量，

F ：純音修正量。

且國際民航組織規定，對飛機做噪音鑒定時，採用有效感覺噪音量作為度量單位。其定義為：

$$\begin{aligned} L_{EPN} &= 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_0} \right) \int_{t_1}^{t_2} 10^{0.1L_{TPNi}} dt \\ &= 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_{PNLT}/10} \right] - 13 \text{ PN dB} \\ &\text{或} \\ &= L_{EPN\max} + 10 \log_{10} \left(\frac{t_2 - t_1}{20} \right) \text{ PN dB} \end{aligned} \quad (4-6)$$

式中：

T_0 ：基準時間，一般取 10 秒，

t_1, t_2 ：計算的起、止時間，即在最大值 $L_{TPN\max}$ 下降 10 dB 的起、止時間。

L_{TPNi} ：經過純音修正的感覺噪音量。

$$L_{TPNi} = L_{PN} + F \quad (4-7)$$

式中：

L_{PN} ：感覺噪音量 (perceived noise level)，

F ：考慮噪音中純音成分的修正值。

在實際使用時，一般採用下面的近似計算方法：

$$L_{PN} = L_{A\max} + 10 \log_{10} \frac{t_2 - t_1}{20} + 13 \quad (4-8)$$

式中：

$L_{A\max}$ ：最大 A 加權噪音值，

t_1, t_2 ：計算的起、止時間，即在最大值 $L_{A\max}$ 下降 10 dB 的起、止時間。

上面兩種評估指標僅評估了某種飛機一次飛行時造成的影響，但在實際使用時要考慮的是多架不同類型的飛機在不同時間段飛行時造成的影響，下面簡單介紹幾種常用的飛機噪音污染評估指標。

四 加權有效感覺噪音量 *WECPNL*(weighted equivalent continuous perceived noise level)

加權有效感覺噪音量主要用於評估飛機飛越一次的噪音干擾程度，目前多用作評估飛機本身的噪音指標。一般在某點(機場附近)一天總有多架次飛機飛越，為評估某點受飛機干擾的程度。日本、中國及國際民航組織採用此指標作為評估量。其計算公式如下：

$$L_{WECPN} = \overline{L_{EPN}} + 10 \log_{10}(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 39.4 \quad (4-9)$$

亦有此寫法 $L_{WECPN} = \overline{L_{EPN}} + 10 \log_{10}(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 40$ ，單位為 dB(A)。

式中：

$\overline{L_{EPN}}$ ：N 次飛行的有效感覺噪音量的平均值，

N_1 ：白天 (07:00 ~ 19:00) 的飛行架次，

N_2 ：傍晚 (19:00 ~ 22:00) 的飛行架次，

N_3 ：夜間 (22:00 ~ 07:00) 的飛行架次。

另一種表示方法：

分兩時段：

$$WECPNL = 10 \log_{10} \left[(5/8)10^{(ECPNL_d/10)} + (3/8)10^{(ECPNL_n/10)} \right] + S \quad (4-10)$$

式中：

$ECPNL_d$ ：白天的均能連續感覺噪音量 (07:00 ~ 22:00)，

$ECPNL_n$ ：夜間的均能連續感覺噪音量 (22:00 ~ 07:00)，

S ：季節修正因數 (夏季 +5 dB(A)，冬季 -5 dB(A))。

或分三時段：

$$WECPNL = 10 \log_{10} \left[\begin{array}{l} (4/8)10^{(ECPNL_d/10)} \\ + (1/8)10^{(ECPNL_e/10)} \\ + (3/8)10^{(ECPNL_n/10)} \end{array} \right] + S \quad (4-11)$$

式中：

$ECPNL_d$ ：白天 (07:00 ~ 19:00) 的均能連續感覺噪音量，
 $ECPNL_e$ ：傍晚 (19:00 ~ 22:00) 的均能連續感覺噪音量，
 $ECPNL_n$ ：夜間 (22:00 ~ 07:00) 的均能連續感覺噪音量，
 S ：季節修正量 (夏季 +5 dB(A)，冬季 -5 dB(A))。

加權有效感覺噪音量也可以由下式近似計算：

$$WECPNL = \overline{L_{\max}} + 10 \log_{10} N - 27 \quad (4-12)$$

式中：

$\overline{L_{\max}}$ 各次飛越測得的最大 A 噪音量的平均值，
 $N = N_1 + 3N_2 + 10N_3$ ，
 N_1 ：白天 (07:00 ~ 19:00) 的飛機架次，
 N_2 ：晚上 (19:00 ~ 22:00) 的飛機架次，
 N_3 ：夜間 (22:00 ~ 07:00) 的飛機架次。

實際上 $WECPNL$ 物理概念很明確，它表示飛機噪音全天平均每秒鐘對人的衝擊 (感覺噪音量)。

惟因日本航空噪音評估指標將最大音量因子 ($\overline{L_{\max}}$) 納入，其航空噪音防制區劃定標準相較於美國及我國之數值來的高 (詳如表 4.1-1)，然經換算比較，日本使用 $WECPNL$ 指標所劃定之航空噪音防制區與我國使用指標 DNL 所劃定之防制區範圍並無顯著差異。

表 4.1-1 日本航空噪音管制標準

日本航空噪音防制區		
第 1 種區域	75 $WECPNL$	相當於 62 DNL
第 2 種區域	90 $WECPNL$	相當於 77 DNL
第 3 種區域	95 $WECPNL$	相當於 82 DNL

五 日夜均能音量 L_{DN} (day-night sound level)

這是目前美國採用的對機場噪音的評估指標，其計算公式如下：

$$L_{DN} = L_{SE} + 10 \log_{10}(N_d + 10N_n) - 49.4 \quad (4-13)$$

單位為 dB(A)。

式中：

$(N_d + 10N_n)$ ：考慮飛機在日夜有不同影響，經過加權後的一天飛行的總架次，

L_{SE} ：噪音暴露量，是飛機飛行一架次時某一測點經受的全部噪音換算到第 1 秒鐘的 A 加權噪音值，具體計算方法如公式 (4-2)。

對 L_{DN} 的物理概念進行分析可得：「日夜均能音量」表示飛機全天平均每秒鐘對人的衝擊 (A 加權噪音值)。

六 總噪音暴露級 $TNEL$ (total noise exposure level)

總噪音暴露級是表示飛機噪音在統計時間內 (通常為一天) 對人的總衝擊總量，即作用在人體上的總感覺噪音量。

總噪音暴露級的計算公式如下：

$$TNEL = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0.1EPNL_i} + 10 \log_{10} \frac{T_0}{t_0} \quad (4-14)$$

式中：

n ：飛機的飛行架次，

T_0 ：取 10 秒，

t_0 ：取 1 秒，

$EPNL_i$ ：表示第 i 架次的有效感覺噪音量。

七 均能連續感覺噪音量 $ECPNL$ (effective continue perceived noise level)

均能連續感覺噪音量的計算公式如下：

$$ECPNL = TNEL - 10 \log_{10} \frac{t}{t_0} \quad (4-15)$$

式中：

t ：為規定的評估時間，如一日、一週等，單位為秒。

t_0 = 取 1 秒。

八 噪音與次數指數 *NNI* (noise and number index)

這是英國在 60 年代初提出的一種評估量，通常記為 *NNI*，是一個複合變數，它考慮了平均峰值感覺噪音量和在規定期間內聽到的飛行架次數，計算公式如下：

$$NNI = \overline{PNL}_{\max} + 15 \log_{10} N - 80 \quad (4-16)$$

式中：

\overline{PNL}_{\max} ：平均峰值感覺噪音量 ($\overline{PNL}_{\max} = 10 \log_{10} [\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 PNL(i)}]$)，
N：指定時間裡飛機的架次。

數值 80 是煩擾度的閾限值，公式 (4-16) 中包含此值表明，上式只涉及高於 80 PNdB(A) 的噪音事件。如果感覺噪音量用 A 加權音量來近似，代入上式，則有：

$$NNI = \overline{L}_A + 15 \log_{10} N - 67 \quad (\text{dB(A)}) \quad (4-17)$$

式中：

\overline{L}_A ：A 加權音量平均值，
 當 *NNI* = 20~30 dB(A) 時，則感覺有干擾，
 當 *NNI* = 40 dB(A) 時，感覺很吵，
 當 *NNI* = 50 dB(A) 時，感覺非常吵，
 當 *NNI* = 60 dB(A) 時，則感覺無法容忍。

該指數對晚間或夜間出現的噪音沒有規定明確的補償。只是規定夜間容許一個較低的 *NNI* 值。*NNI* 是第一個在英國使用的暴露指數。它是基於倫敦希思羅機場附近居民的社會調查，以及 1961 年凡堡羅 (Farnborough) 航展期間的主觀評估試驗得出的。當時噴氣飛機在英國日常生活中還是一個新事物，公眾對新機器產生的高音量噪音普遍反應強烈。而且調查的取樣較多地依賴於生活在機場跑道末端的人們，那裡的音量總是偏高。所以，公式中採用了一個較大的飛行次數的加權係數。後來發展的指數一般都改為 $10 \log_{10} N$ 。

然而，*NNI* 已經受時間的考驗，它一直使用了 1/4 個世紀。它被用來描述英國主要機場四周的噪音趨勢；用於制定法律準則。借助它，房主能夠取得用於房子隔音的財政補貼，以及用以劃分其他有關城市噪音的可接受和不可接受之間的界限。倫敦機場採用 *NNI* 作為控制標準，認為當 *NNI* 為 20 ~ 30

dB(A) 時，感覺有干擾；40 dB(A) 時，感覺很吵；50 dB(A) 時，感覺非常吵；當達到 60 dB(A) 時則感覺無法容忍。

九 複合噪音評估 CNR (composite noise rating) 和噪音暴露預報 NEF (noise exposure forecast)

複合噪音評估是根據有效感覺噪音量和日夜的飛行次數來定義的，記為 CNR，計算公式如下：

$$CNR = EPNL + 10 \log_{10}(N_d + 10N_n) - 12 \quad (4-18)$$

式中：

$EPNL$ ：有效感覺噪音量，

N_d 、 N_n ：分別是白天和夜間的飛行次數(架次)。

爲了用一個盡可能將各種因素都考慮進去的單一數值評估機場附近的噪音干擾，在 CNR 的基礎上，加拿大與美國空軍部門提出了噪音暴露預測值 (NEF)，用以評估航空噪音暴露預測，某特別種類之飛機 i ，在飛行路線 j 時，其噪音暴露預測值 (NEF)。

在地面一定位置之總噪音暴露預測值如下公式所示：

$$NEF = 10 \log_{10} \left[\sum_i \sum_j 10^{0.1NEF_{ij}} \right] \quad (4-19)$$

式中：

NEF_{ij} ：表示在飛行路線 j 上飛行的 i 型飛機的噪音暴露預報值。

$$NEF_{ij} = ENPL_{ij} + 10 \log_{10}(N_{Dij} + 16.67N_{Nij}) - 88 \quad (4-20)$$

式中：

N_{Dij} 、 N_{Nij} ：分別爲白天和夜間的飛行次數(架次)。

亦可以下式表示之：

$$NEF_{ij} = EPNL_{ij} + 10 \log_{10} \left[nD_{(ij)} / 20 + nN_{(ij)} / 1.2 \right] - 75 \quad (4-21)$$

式中：

$EPNL_{ij}$ ：第 i 種飛機沿 j 飛行路線所產生之有效感覺噪音位準，

$nD_{(ij)}$ ：飛機種類 i 在飛行路線 j 於白天之飛行次數(架次)，

$nN_{(ij)}$ ：同上於夜間之飛行次數(架次)。

這種方法考慮的因素比較全面，能夠更好地反映人們在實際條件下對飛機噪音的主觀感受，在澳洲、加拿大與美國已被廣泛使用。一般認為噪音暴露位準大於 $NEF = 40$ 通常難為人們所接受，而位準低於 $NEF = 30$ 則可以接受。 NEF 以下簡捷式求之：

澳洲、加拿大、美國空軍航空噪音防制區	
30 NEF	相當於 65 DNL

$$N_t = N_d + 10 \times \frac{15}{9} \times N_n = N_d + 16.7 N_n \quad (4-22)$$

$$NEF = \overline{L_{PN \max}} + \Delta PN + 10 \log_{10} N_t - 88 + F \quad (4-23)$$

式中：

$\overline{L_{PN \max}}$ ：最大噪音量之平均值，

N_t ：表示飛機起飛及降落次數，

N_d ：表示白天 15 小時之次數，

N_n ：表示夜間 9 小時之次數，

F ：表示純音修正量，

ΔPN ：持續時間修正量。

航空噪音事件察覺音量取最大值的日平均與預測時間的加權起降架次之和，再減 88，其計算公式如下：

$$NEF = \overline{L_{PN \max}} + 10 \log_{10} [(t_2 - t_1) / 20] + F + 10 \log_{10} N_t - 88 \quad (4-24)$$

式中：

F ：純音校正 0 ~ 3 dB(A)。

另外表達式為：

$$NEF = \overline{L_{EPN}} + 10 \log_{10} (N_d + 16.7 N_n) - 88 \quad (4-25)$$

式中：

N_d ：日間（通常為 07:00 ~ 22:00）航空器的起降架次，

N_n ：夜間（通常為 22:00 ~ 07:00）航空器的起降架次。

上式可以改寫為：

$$NEF = [\overline{L_{EPN}} + 10 \log_{10}(N_d + 16.7N_n) - 40] - 48 \text{ dB(A)} \quad (4-26)$$

又

$$L_{WECPN} = \overline{L_{EPN}} + 10 \log_{10}(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 40 \text{ dB(A)} \quad (4-27)$$

NEF 的物理概念與 L_{WECPN} 相似，也是表示 航空噪音全天平均每秒鐘對人的衝擊。但是其值比 L_{WECPN} 相應較低 48 dB(A)，而且噪音日夜不同影響只分兩段時間去考慮，不如 L_{WECPN} 分三段時間考慮的細緻。如果省略噪音日夜不同影響考慮細緻程度的差別，則可以認為： $NEF \approx L_{WECPN} - 48 \text{ dB(A)}$ 。

一般地， NEF 都根據飛機場周圍各個地點的 NEF 計算值繪出等音線，即在同一條線上 NEF 值都相同，這個等音線可用於飛機場附近土地的規劃上。 NEF 值超過 30 就認為對土地使用可能會有影響。國外研究表明，在 NEF 在 30 ~ 40 內，土地的使用隨各建築物的種類而異，一般作為學校建築是不允許的，而作為商業企業建築則不受限制，在 NEF 值大於 40 的區域內的建築物則必須進行隔音措施。這種方法考慮的因素比較全面，能夠更好地反映人們在實際條件下對飛機噪音的主觀感受，在美國已被廣泛使用。

十 等干擾指數 N(isopsophic index)

法國於 60 年代末提出了等干擾指數 N 。考慮這一評估量的基礎是假定工業噪音每天 8 小時工作的情況下，感覺噪音量為 96 dB(A) 是可以忍受的。白天一系列飛行的等干擾指數 N ，計算公式如下：

$$N = \overline{PNL_{\max}} + 10 \log_{10} n - 30 \quad (4-28)$$

式中：

$\overline{PNL_{\max}}$ ：一架次飛行的感覺噪音量的最大值的平均值，

n ：白天飛行次數。

對於夜間，等干擾指數的處理要複雜些，它將夜間分為 (22:00 ~ 02:00) 與 (02:00 ~ 06:00) 兩段，認為在第一段時間裡飛行的重要性為第二段時間的三倍，夜間的等干擾指數為：

$$N_n = \overline{PNL_{\max}} + 10 \log_{10}(3n_1 + n_2) - 31 \quad (4-29)$$

式中：

n_1 和 n_2 ：分別為夜間兩段時間內的飛行次數。

十一 日夜均能音量 DNL (day-night sound level)

爲了考慮噪音在夜間對人們煩惱的增加，規定在夜間測得的所有噪音量均加上 10 dB(A 加權) 作爲修正值，計算日夜噪音能量的加權平均，由此構成日夜均能音量這一評估量 DNL 。 DNL 表示當噪音發生在 24 小時以上時，假設在夜裡(晚上 10 點到早晨 7 點)噪音的響度比其實際響度高 10 dB(A)。這 10 dB(A) 的補償適用於解釋人耳對於夜間噪音較爲敏感，而且感覺夜間噪音更具干擾性，這是由於夜間環境噪音比白天的環境噪音小。圖 4.1-6 描述了假定的日常噪音量。

中間的包括了一小時中的 1 分鐘間隔。陰影部分代表了這一小時內發生的 16 起噪音，每起噪音都產生了 SEL 。最後，底部的圖包括 24 小時內的 1 小時間隔。陰影區域在這裡代表了聽者一整天接受的噪音量。其可表示爲：

$$DNL = 10 \log_{10} \left[\frac{5}{8} 10^{0.1\bar{L}_d} + \frac{3}{8} 10^{0.1(\bar{L}_n+10)} \right] \quad (4-30)$$

式中：

\bar{L}_d ：日間 (07:00 ~ 22:00) 的平均 A 加權噪音量，

\bar{L}_n ：夜間 (22:00 ~ 07:00) 的平均 A 加權噪音量。

又可表示爲

$$DNL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(\int_7^{22} 10^{L_A/10} dt + \int_{22}^7 10^{(L_A/10)/10} dt \right) \right] \text{dB(A)} \quad (4-31)$$

式中

L_A ：每小時的事件均能音量。

$$L_A = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{3600} (10^{SEL_{E_1}/10} + 10^{SEL_{E_2}/10} + \dots + 10^{SEL_{E_n}/10}) \right] \text{dB(A)}$$

式中

SEL_{E_n} ：第 n 個噪音事件的噪音暴露位準值。

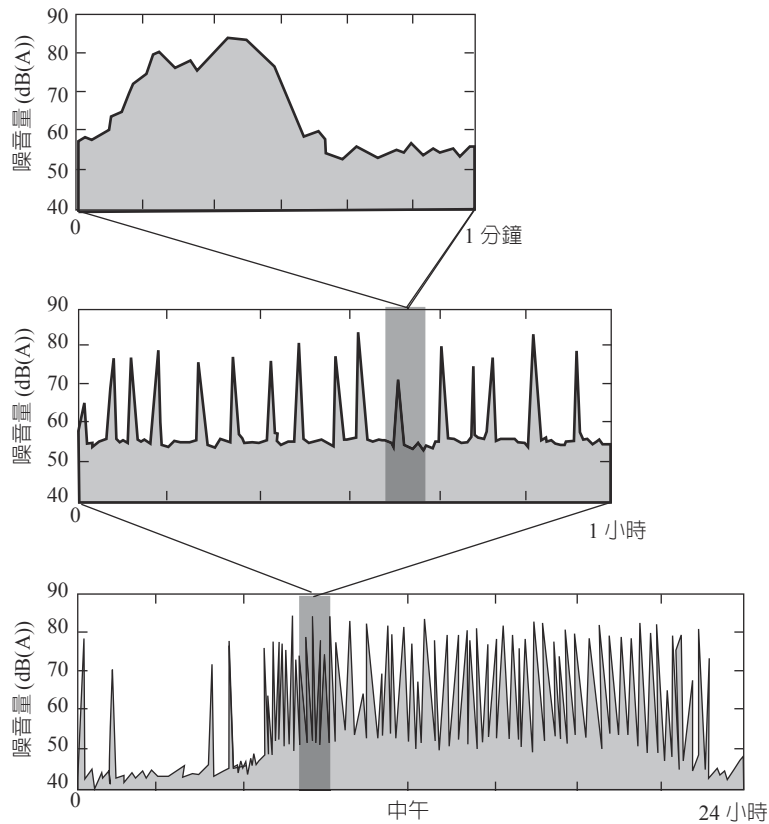


圖 4.1-6 假定的日常噪音量

Noise Event(En)：噪音事件

SEL：噪音暴露位準

L_{eq} ：均能音量

DNL：航空噪音日夜音量

我國、美國 *DNL* 被廣泛接受。美國 *EPA* 和 *FAA* 都將它作為評估航空噪音的首要指標。美國聯邦航空總署飛航規則 (FAR PART 150) 所訂定之土地相容使用對策 (詳如表 4.1-2)。另考量我國國情 (土地狹小、人口密度高)，且絕大部分之機場周遭即緊鄰住家，爰將美國所訂第一級及第二級航空噪音日夜音量等噪音線分貝值之標準向下調修 5 dB(A) (第一級 65 → 60、第二級 70 → 65、詳如表 4.1-3)。

DNL 可以通過標準監測設備測量，或者通過電腦模式預測。大多數飛機噪音研究利用的是電腦估計的 *DNL*，該 *DNL* 由所有來自單個噪音的 *SEL* 所決

表 4.1-2 美國航空噪音管制標準

美國航空噪音防制區
第一級：DNL 65 dB(A) 及 70 dB(A) 兩等噪音線間之區域。
第二級：DNL 70 dB(A) 及 75 dB(A) 兩等噪音線間之區域。
第三級：DNL 75 dB(A) 之等噪音線以內的區域。

表 4.1-3 我國航空噪音管制標準

我國航空噪音防制區
第一級：DNL 60 dB(A) 及 65 dB(A) 兩等噪音線間之區域。
第二級：DNL 65 dB(A) 及 75 dB(A) 兩等噪音線間之區域。
第三級：DNL 75 dB(A) 之等噪音線以內的區域。

定，這裡的 SEL 由地面給定地點的總噪音量組成。 DNL 的計算值經常被描述為機場周圍均能暴露的噪音等值反映線（就像地形圖上標示的等高線）。 DNL 等值線一般反映年平均操作狀況，它將每天平均的飛機數量、每條機場跑道的年使用頻率、周圍社區上方飛機日常飛行區域都考慮在內。

而 DNL 與 SEL 的關係如：100 Events/day SEL 94.4 dB(A) = DNL 65 dB(A), 10 Events/day SEL 104.4 dB(A) = DNL 65 dB(A), 1 Events/day SEL 114.4 dB(A) = DNL 65 dB(A)。

十二 居住區噪音均能噪音量 $CNEL$ (community noise equivalent level)

居住區噪音均能噪音量類似於 DNL ，它是日間、傍晚以及夜間航空噪音量加權平均。它是美國加州與丹麥常用的噪音指標。計算公式如下：

$$CNEL = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \{ [12 \times 10^{0.1L_d}] + [3 \times 10^{0.1(L_e+5)}] + [9 \times 10^{0.1(L_n+10)}] \} \quad (4-32)$$

式中：

L_d ：日間 (07:00 ~ 19:00) 起降噪音的平均音量，

L_e ：傍晚 (19:00 ~ 22:00) 起降噪音的平均音量，

L_n ：夜間 (22:00 ~ 07:00) 起降噪音的平均音量。

十三 平均煩擾度指數 \bar{Q} (mean annoyance level)

\bar{Q} 是德國表述飛機噪音煩擾度的指數，公式如下：

$$\bar{Q} = 13.3 \log_{10} [10^{\bar{L}_{PN}/13.3}] - 13.3 \log_{10} N - 47 \quad (4-33)$$

式中：

\bar{L}_{PN} ：感覺噪音量的平均峰值，

N ：飛行架次數。

又稱為煩擾指數 (disturbance index)

$$Q = 13.3 \log_{10} \left[\frac{t}{T} \int_0^t 10^{L_i/13.3} dt \right] \text{dB} \quad (4-34)$$

式中：

L_i ：Leq of Hourly。

十四 總噪音載荷 B (total noise load)

荷蘭提出了總噪度載荷，用作飛機噪音對機場周圍地區群眾反應的評估量，公式如下：

$$B = 20 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n W_i 10^{\frac{L_i}{15}} \right] - C \quad (4-35)$$

式中：

L_i ：第 i 個單次噪音事件的最大 A 加權噪音量 L_{Amaxi} ，

W_i ：第 i 個噪音事件出現時間的加權係數，如表 4.1-4 所示，

n ：噪音事件數，

C ：常數，對一天的測量取 106，一年取 157。

表 4.1-4 加權係數

時間 /h	加權係數 /W	時間 /h	加權係數 /W
00:00 ~ 06:00	10	19:00 ~ 20:00	3
06:00 ~ 07:00	8	20:00 ~ 21:00	4
07:00 ~ 08:00	4	21:00 ~ 22:00	6
08:00 ~ 18:00	1	22:00 ~ 23:00	8
18:00 ~ 19:00	2	23:00 ~ 24:00	10

十五 平均噪度指數 \overline{NI} (noise index)

噪度指數 \overline{NI} ：對 24h 內經純音修正的 A 加權噪音量進行能量平均所求得的噪音量。公式表示如下：

$$\overline{NI} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_i + 10 \log_{10}(\frac{t}{t_0}) + S + C)} \right] \quad (4-36)$$

式中：

L_i ：1/3 倍頻程資料進行純音修正的 A 加權噪音量，

t ：有效持續時間，公式如下：

$$t = \frac{1}{10^{0.1L_{\max}}} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0.1L(t)} dt \quad \text{或} \quad t = \frac{\sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \Delta t}{10^{0.1L_{\max}}}$$

n ：取樣數，

t_0 ：全部觀察時間，

C ：一天中不同時間建議修正值，見表 4.1-5，

S ：季節修正量。

表 4.1-5 C 的修正值

	時間/h	C
時間分兩段	07:00 ~ 22:00	0
	22:00 ~ 07:00	10
時間分三段	07:00 ~ 19:00	0
	19:00 ~ 22:00	5
	22:00 ~ 07:00	10

S 值的選取如下：每月氣溫 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的時間少於 100 小時， S 取 -5 ；每月氣溫 $\geq 25.6^\circ\text{C}$ 的時間超過 100 小時， S 取 5 ；其他情況取 0 。國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO)、國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 都推薦了航空噪音的評估方法，很多國家也提出了各自的評估方法。中國 1988 年 11 月份開始實施的機場周圍飛機噪音的測量方法和環境標準，所採用的評估量是加權均能連續感覺噪音量 $WECPNL$ ，它也是國際民航組織 (ICAO) 所推薦的評估方法，其科學性

與實用性在我國飛機噪音實測、社會調查及實驗室主觀評估中得到了證明，能比較客觀地反映飛機噪音的大小及其影響程度。表 4.1-6 說明了國內外的關於航空噪音的評估指標與相關參數，而表 4.1-7 說明世界各國所使用的航空噪音評估指標與公式。

直昇機的噪音標準在 1979 年 6 月飛機噪音委員會 (committee of aviation noise, CAN) 第六次會議 (CAN6) 中被列入了附錄 16(Annex 16) 中。這些標準是在 CAN 工作組 B 經過對直昇機的大量研究後提出來的。噪音容限的標準是在幾種直昇機噪音量平均值的基礎上稍微嚴格一點而得，目的在於鼓勵直昇

表 4.1-6 各國航空噪音評估指標與相關參數綜整表

國家	量度	音量	純音修正	持續時間修正	噪音事件數	日間/夜間	時間
美國	NEF	EPNL	有	有	$10 \log_{10} N$	晚上 1 架次相當於白天 17 架次	1967
國際民航組織、中國、日本	WECPNL	EPNL	有	有		分 3 段，傍晚加 5 dB，夜間加 10 dB	1970
美國	CNR	最大的 EPNL	無	無		分 2 段，夜間加 10 dB	
法國	N	最大的 EPNL	無	無		分 3 段，可變	1969
英國	NNI	最大的 EPNL	無	無	$15 \log_{10} N$		1963
德國	Q	PNL 平均峰值	無	有	$13.3 \log_{10} N$		1965
美國	DNL	L_A	無	有	$10 \log_{10} N$	分 2 段，夜間加 10 dB	
美國加州、丹麥	CNEL	L_A	無	有		分 3 段，傍晚加 5 dB，夜間加 10 dB	
南非	NI	L_A	有	有		可分為 2 段或 3 段	
荷蘭	B	L_A	無	有		不同的時間段有不同的加權係數	1968
ISO	TNEL						1970

機產商設計出更安靜的直昇機，但是這個標準出於對直昇機行業造成衝擊的顧慮並沒有真正地實施起來，直到1983年5月的CAN7(CAN第七次會議)中決定把容限提高3 EPNdB(A)，這個標準一直延用至今，基本的直昇機噪音指數是均能感覺噪音量(EPNL)，單位是EPNdB(A)，這也是唯一一個把頻率和持續時間考慮在內的航空噪音評估量。對於起飛，飛過，著陸都有不同的規定。最低的限制是在直昇機飛過時，起飛和著陸時的限制比飛過時高1~2 EPNdB(A)。ICAO的標準沒有強制性，只是一個推薦的標準。由於採用的直昇機型號和使用情況的不同，各國制定了符合自己實際情況的直昇機噪音標準。表4.1-8整理了幾個不同國家和地區對直昇機噪音採用的主觀評估量和評估標準。

表 4.1-7 各國使用的航空噪音評估指標與公式一覽表

國家	噪音指標	音量單位及加權時段
澳洲 Australia	$ANEF$ $10 \log \left(\sum_i gi 10^{0.1Li} \right) - 88$	Li 單位 EPNdB gi = 1 07:00 ~ 19:00 = 4 19:00 ~ 07:00
加拿大 Canada	NEF $10 \log \left(\sum_i gi 10^{0.1Li} \right) - 88$	Li 單位 EPNdB gi = 1 07:00 ~ 22:00 = 16.67 22:00 ~ 07:00
瑞典 Sweden 丹麥 Denmark	L_{den} $10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_i gi 10^{0.1Li} \right)$	Li 單位 dB(A), T = 86400s gi = 1 07:00 ~ 19:00 = 3.14 19:00 ~ 22:00 = 10 22:00 ~ 07:00
德國 Germany	L_{eq} $13.3 \log \left(\frac{1}{T} \sum_i gi \times ti 10^{Li/13.3} \right)$	Li 單位 PNdB gi = 1 daytime = 10 nighttime
法國 France	N $10 \log \left(\sum_i gi 10^{0.1Li} \right) - 32$	Li 單位 dB(A), T = 180*86400s gi = 1.5 06:00 ~ 22:00 = 0 22:00 ~ 06:00 or gi = 1 06:00 ~ 22:00 = 5 22:00 ~ 06:00
英國 Great Britain	$L_{Aeq,T}$	$L_{Aeq(16h)}$ 06:00 ~ 22:00
日本 Japan 中國大陸 Mainland China	$WECPNL$ $10 \log \left(\sum_i gi 10^{0.1Li} \right) - 27$	Li 單位 dB(A _{max}) gi = 1 07:00 ~ 09:00 = 3 19:00 ~ 22:00 = 10 22:00 ~ 07:00
荷蘭 Netherlands	B $20 \log \left(\sum_i gi 10^{Li/15} \right) - 157$	Li 單位 dB(A _{max}), yearly flights gi = 1 08:00 ~ 18:00 = 2 06:00 ~ 08:00 ; 18:00 ~ 23:00 = 10 23:00 ~ 06:00

挪威 Norway	<i>EFN</i> $10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_i g_i 10^{0.1L_i} \right)$	Li 單位 dB(A), T = 86400s g _i = 1 08:00 ~ 18:00 = 5 06:00 ~ 08:00 ; 18:00 ~ 24:00 = 10 24:00 ~ 06:00
瑞士 Switzerland	<i>NNI</i> $L_i + 15 \log N - 80$	Li 單位 PNdB _{max} (尖峰噪音位準 (Peak Noise Level)) N number during 06:00 ~ 22:00 (為飛機飛過數目)
美國 USA 紐西蘭 New Zealand	<i>DNL</i> $10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_i g_i 10^{0.1L_i} \right)$	Li 單位 dB(A), T = 86400s g _i = 1 07:00 ~ 22:00 = 10 22:00 ~ 07:00

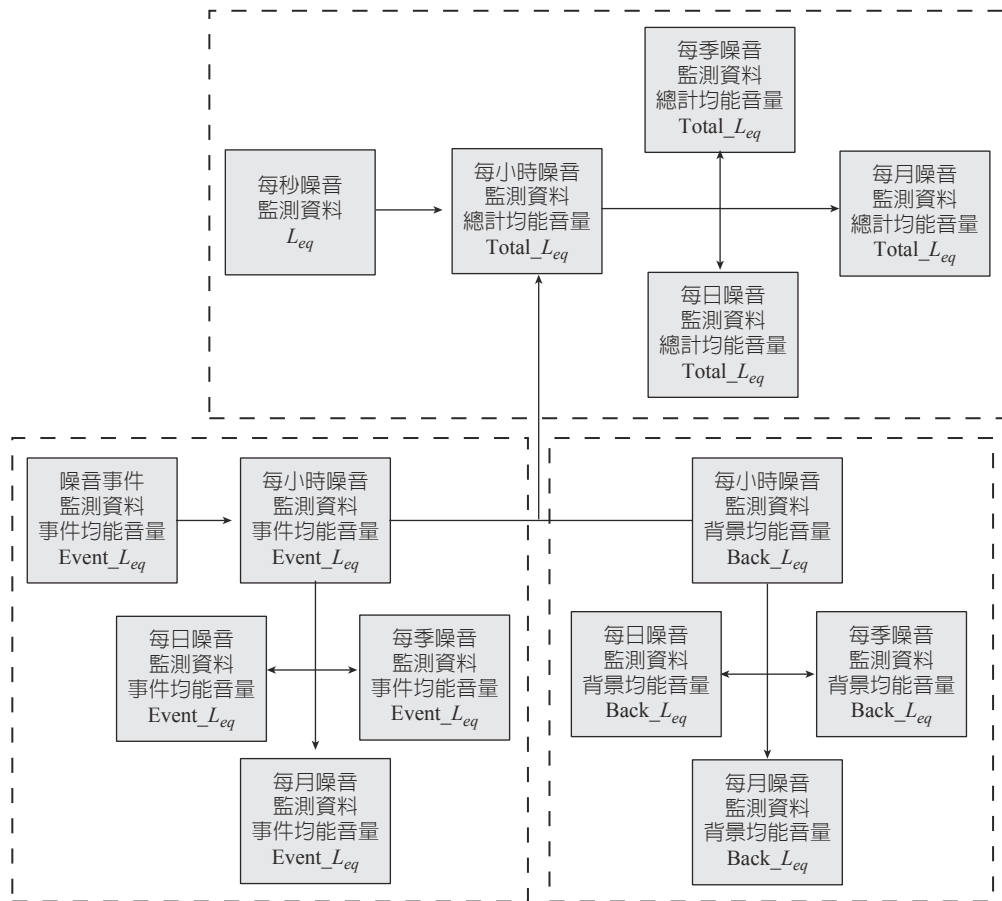
資料來源：

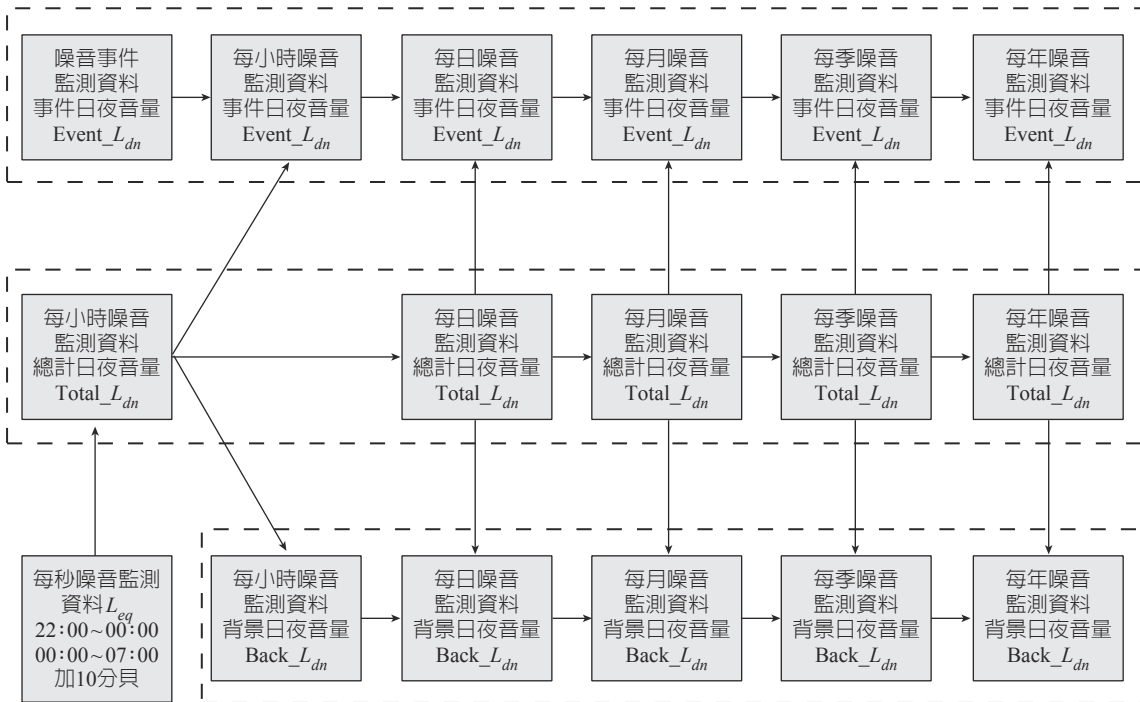
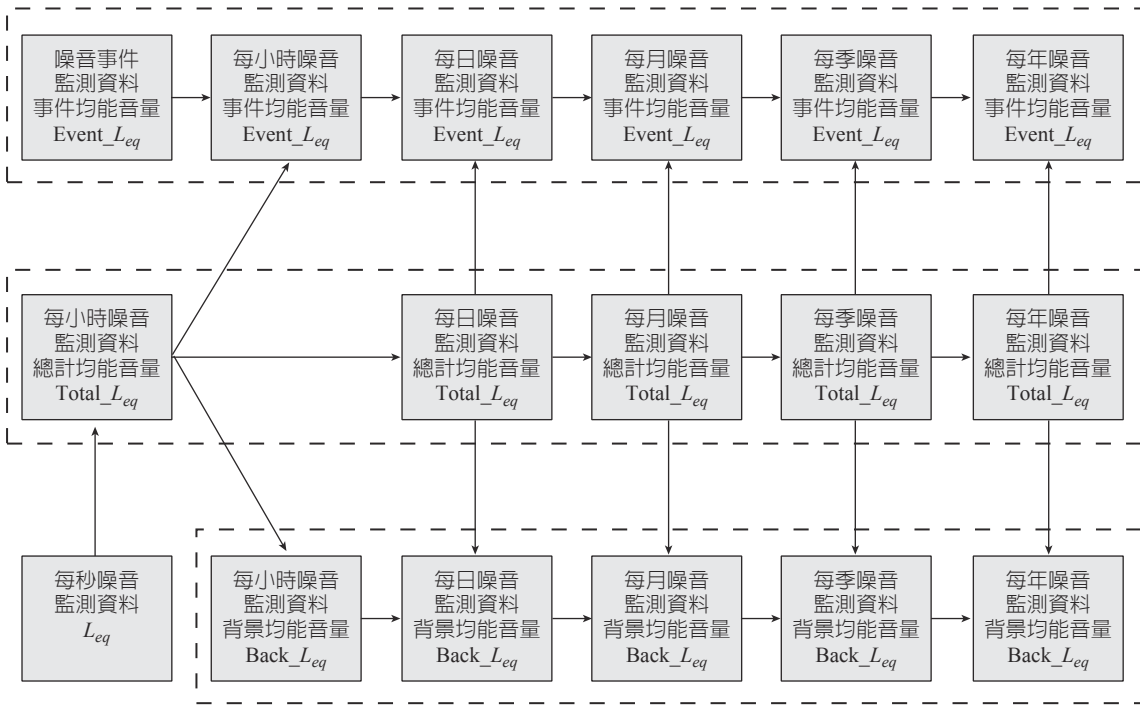
1. Aircraft noise guideline limits in Denmark.
2. Ministère des Transports. Circulaire du 6 October 1978(modificatif du 23 fevrier 1983).
3. Air Traffic Act of 1971-03-30. Bundesgesetzblatt I 1971, 282287.
4. UK Department of Environment: Planning Policy Guidance Note PPG24-Planning and Noise. Sep. 1994(The Civil Aviation Act 1982, The Airports Act 1986, Town and Country Planning Act 1990).
5. Health and Welfare Canada: National guidelines for environmental noise control, Ottawa, Canada 1989.
6. Environmental Quality Standards For Aircraft Noise of 1973-12-27.
7. New Zealand Standard 6805, Airport Noise Management And Land Use Planning, 1992.
8. US Department of Housing And Urban Development, The Noise Guidebook, Washington DC, USA 1985.
9. Decree of Mistry of Environment 31.10.1997(Methodology for the measurement of the aircraft noise around airports), Decree of the President of the Republic 11.12.1997(Measures for the control and reduction of the noise produced by civil aircrafts).
10. Swiss Noise Protection Ordinance of 1986-12-15: The Protection of the Environment, 1983.

表 4.1-8 各國區昇機噪音標準

國家/地區	評估量	全稱	運算式	時間週期	標準限值
香港	L_{max}	最大 A 加權噪音量 (Maximum Sound Level)	單一事件中噪音量隨時間改變 時測得的最大噪音量	白天 (7:00 ~ 19:00)	住宅區 85 dB(A) 辦公區 90 dB(A)
加拿大	NEF	噪音暴露預報 (Noise Exposure Forecast)	—	24 小時	30 dB(A)
日本	WECPNL	加權均能連續感覺噪音量 (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)	$\frac{dB(A)}{N} = \frac{dB(A)}{N \cdot 2 + 3N \cdot 3 + 10(N \cdot 1 + N \cdot 4)}$ $dB(A) : A \text{ 加權均能音量之平均}$ $N : \text{均能飛行次數}$	飛行 次數	區域 I 不低於 70 dB(A)
				時間段 0:00 ~ 7:00 7:00 ~ 19:00 19:00 ~ 22:00 22:00 ~ 24:00	區域 II 不低於 75 dB(A)
美國 加利福尼亞州 Anabeim	$L_{eq(24)}$	24 小時均能連續 A 加權噪音量 (24 hours A-weighted Equivalent Continuous Sound Level)	$10 \log_{10} \frac{1}{24} \int_{0:00}^{24:00} [10^{0.1L_{p,d}(t)} dt]$	24 小時	郊區 57 dB(A)
					住宅區 67 dB(A)
					市區 72 dB(A)
聯邦航空局 FAA	DNL	日夜均能音量 (Day-Night Average Sound Level)	$10 \log_{10} \frac{1}{24} [15(10^{0.1L_d}) + 9(10^{0.1(L_n+10)})]$	白天 (7:00 ~ 22:00) 夜間 (22:00 ~ 7:00)	商業區 72 dB(A)
					工業區 77 dB(A)
英國	$L_{Aeq,T}$	均能連續 A 加權噪音量 (A-weighted Equivalent Continuous Sound Level)	$10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{A_i} \tau_i} \right]$	音暴露類型 (dB(A))	A <57
					B 57 ~ 66
新西蘭	L_{max}	最大 A 加權噪音量 (Maximum Sound Level)	單一事件中噪音量隨時間改變 時測得的最大噪音量	噪音源 7:00 ~ 23:00 23:00 ~ 7:00	C 66 ~ 72
					D >72
				24 小時	不低於 70 dB(A)

十六 每小時噪音監測資料格式與噪音事件監測資料格式關係





4.2 噪音預測和評估

4.2.1 航空噪音的預測

一 概述

各國評估航空噪音之指標皆不盡相同，航空噪音管制區繪製所使用之等噪音線亦有所差異，如日本 *WECPNL* 等噪音線 70 dB(A) 相當於 NEF 等噪音線 30 dB(A)、或相當 L_{dn} 等噪音線 65 dB(A)、或相當於 *DNL* 等噪音線 57 dB(A)、或相當 L_{eq} 等噪音線 66 dB(A)。

同類型的飛機，同一飛機的不同部位產生噪音的原理不同，飛機以不同的速度飛行產生的噪音不同，飛機在跑道上產生的噪音和飛機從高空掠過在地面上感受到的噪音也不同；再者，不同的時間段飛機的數目不同，在不同的背景噪音下感受到的噪音響度也不同。因此，有統一的噪音評估指標是必須的。噪音評估量是一個主觀量，它的建立必須考慮噪音對人們影響的特點。不同的頻率對人的影響不同，人耳對不同頻率的主觀反應也不同，噪音漲落對人的影響存在差異，噪音出現的時間對人的影響也不同，同樣的聲音對不同人群的反應不同。噪音的評估量就是在研究人對噪音反應各方面的不同特徵。自 60 年代以來，飛機噪音越來越引起人們的注意，由於飛機噪音很大，把一般對於公路和土木建築的評估標準用於飛機噪音的評估已經不再適用。因此現在通常採用建立在人對噪音煩惱程度的基礎上的感覺噪音量和有效噪音量作為測評量。

在過去的三十年中，人們對直昇機噪音評估方法做過許多的研究，其中以美國國家航空暨太空總署 (The National Aeronautics and Space Administration, NASA) 組織的研究最為龐大。很多研究者和政府管理者都認為，由於直昇機噪音的低頻特性和衝擊特性，對它的評估應該採用不同於評估普通定翼飛機噪音的方法。大多數北約國家用 A 加權暴露音量 (*SEL*) 評估直昇機噪音。另一種方法是均能感覺噪音量 (*EPNL*)，ICAO 推薦的直昇機噪音標準就是基於 *EPNL*。

目前各國所採用的航空噪音評估指標不盡相同，大多數都採用感覺噪音量 *PNL* 或 A 加權噪音量來評估一次飛行事件，對於長期連續的飛行事件，國際民航組織 (ICAO) 推薦採用加權均能連續感覺噪音量 *WECPNL*，一些國家也提出了其他的評估指標。

從前面的評估指標的選取中可以看出，各個國家採用的評估標準不同。中國採用 ICAO 推薦使用的加權連續均能感覺噪音量，美國採用日夜均能音量，加拿大採用噪音暴露預報，英國採用噪音事件數指數，日本採用的則是改進後的加權連續均能感覺噪音量。在不同的評估指標的基礎上會有不同的預測模式。由於機場噪音源是多架不同類型的飛機，所以要對眾多噪音事件進行累加，而各國的累加規則不盡相同。另外，對於單個模式各國也有不同的修正方法。

但是從許多的模式的處理方法也可以看出，航空噪音預測模式一般和評估指標有關，根據評估指標選定預測點以及預測範圍。預測範圍可取航空噪音的評估範圍，也可以略大於該評估範圍。選擇座標系，得出預測點與噪音源的位置關係，根據測量的遠近把噪音源看作點音源、線音源或者面音源，應盡量使用便於計算的近似模式。

在預測點上測得的資料，根據噪音源與預測點之間的距離以及環境條件等得出噪音傳播到預測點的衰減，再做修正後得到預測點的噪音量。不同國家按相應的噪音累加計算公式得到所需預測量。為了直觀地看出航空噪音對周邊環境的影響以及便於對各個敏感點的噪音超過標準狀況做具體分析，並對航空噪音做合理的管理，一般通過某種數學方法計算並繪製出等值線圖。繪製等值線圖的方法有兩種，由預測點的佈置方法決定，一種是按方格網佈置，另一種則是按等值點佈置。

二 機場噪音暴露模式比較

各國機場噪音暴露模式的比較見表 4.2-1。

4.2.2 航空噪音的預測模式

由於對航空噪音的實測受很多條件的限制，並且需要投入許多的人力和物力。因此，利用經驗公式或半經驗公式對航空噪音進行預估已受到相當重視。目前，對飛機噪音的預測，包括對發動機噪音等的預測基本上可達到很可信的程度，這對控制航空噪音是極為有利的。下面介紹目前國內外主要應用的航空噪音預測模式。

一 FAA(Federal Aviation Administration) 預測模式

1976 年美國提出降低航空噪音法案，重申了美國聯邦航空總局 (FAA) 必須負起降低航空噪音的職責。後來責任範圍有擴大到機場周圍土地的管制，

表 4.2-1 機場噪音暴露模式比較

國家 / 來源	機場噪音暴露模式	單個時間度量單位	單音修正	持續時間修正	噪音事件數	日 / 夜補償
英國	<i>NNI</i>	最大 <i>PNL</i>	無	無	$15 \log_{10} N$	時間分2段，夜間容許較低的 <i>NNI</i>
美國	<i>NEF</i>	<i>EPNL</i>	有	有	$10 \log_{10} N$	$K_d = 20$, $K_n = 1.2$, 晚上1架次相當於白天17架次
美國	<i>CNR</i>	最大 <i>PNL</i>	無	無	$10 \log_{10} N$	時間分2段，夜間+10 dB(A)
美國加州	<i>CNEL</i>	L_A	無	有	$10 \log_{10} N$	時間分3段，夜間+10 dB(A)，晚上+5 dB(A)
美國	<i>DNL</i>	L_A	無	有	$10 \log_{10} N$	時間分2段，夜間+10 dB(A)
法國	<i>N</i>	最大 <i>PNL</i>	無	無	$10 \log_{10} N$	時間分3段，可變補償
德國	<i>Q</i>	<i>PNL</i> 平均峰值	無	有	$13.3 \log_{10} N$	—
俄(前蘇聯)	L_{reff}	最大 L_A	無	無	按飛行密度 Δ 修正	時間分2段，晚上 Δ 修正量加大
國際民航組織、中國、日本	<i>WECPNL</i>	<i>EPNL</i>	有	有	$10 \log_{10} N$	時間分3段，傍晚+5 dB(A)，晚上+10 dB(A)

以及為經營者執行大範圍的降低噪音提供技術及經濟上的協助。從那以後，美國聯邦航空總局 FAA 就開始研究評估航空噪音的工具和模式。目前，美國聯邦航空總局支持的兩種主要航空噪音預測模式為 INM(integrated noise model) 和 HNM(helicopter noise model)。

由於直昇機的機翼是旋轉的，情況遠比固定機翼複雜。於是，美國聯邦航空總局環境與能源辦公室於 1989 年至 1994 年委託 John A. Volpe National Transportation System Center 開發了用來估算直昇機機場周圍環境噪音影響的軟體程式 HNM，它是以 INM 第四版為基礎建立的，最後更新於 1994 年，版本為 2.2。HNM 是一個 DOS 程式，可以畫出機場周圍地區的等噪音量曲線，但它沒有一個用來收集 HNM 源資料的程式，並且當預測一個新的直昇機時，還需要改變程式的代碼才能實現。

此外，美國國家航空太空總署 (NASA) 與國防部合作發展了旋翼飛機噪音模式 (rotorcraft noise model, RNM)，它主要用來解決 HNM 不能處理的傾斜旋翼的噪音預測。現在世界各國廣泛使用 INM 於相關機場活動的研究，它的最新版本是 6.2a。為了使 HNM 也能夠使用 INM 中的 NMPlot，在之前的版本中已經整合了一部分 HNM 的功能，實現了對直昇機的支持，目前 7.0 版 INM 的發展趨勢是將 HNM 及 RNM 全部整合到 INM 中，得到一個對固定機翼和旋翼均完全適用的預測模式。

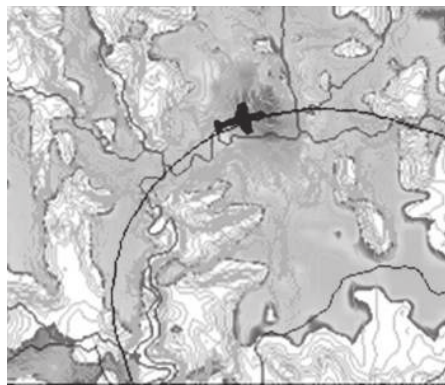
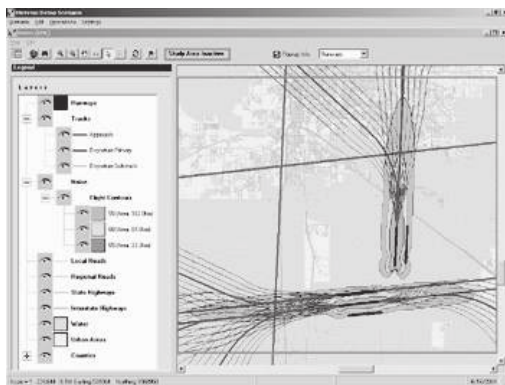
INM 的輸入參數主要包括：機場高度與氣溫、起降跑道、飛機運行狀態、機型、飛行時間等，輸出用的評估噪音指標主要為 NEF 、 L_{eq} 及 DNL ，並可繪製等噪音曲線圖。

二 Noisemap 模式

Noisemap 是由美國空軍於 19 世紀 70 年代發展起來的一種預測機場周圍航空噪音的模式，它主要用於軍用機場噪音的模擬和預測。

使用這個模式預測時可分為兩步：第一階段建立資料庫，以人工的方式輸入機場、試車台、飛行操作等相關資料；第二階段用其程式計算航空噪音及非噪音 (如地面試車噪音) 的等噪音量曲線，最後利用繪圖程式繪出我們所需的總等噪音量曲線圖。

後來，Wyle 實驗室基於 Noisemap 模式發展了 NMSim (noise model simulation)。NMSim 可以預測包括航空噪音、鐵路、高速公路在內的所有交通噪音。



資料來源：<http://www.wylelabs.com/products/acousticssoftwareproducts/nmsim.html>

圖 4.2-1 NMSim 噪音模擬示意圖

除了上述的幾種預測模式外，一些國家也發展了其他的機場周圍航空噪音的預測模式，如丹麥 DELTA 的 DANSIM 模式 (danish airport noise simulation model) 以及美國國家公園管理局發展的 NPSODSSM (national park service overflight decision support system model)。

4.2.3 航空噪音的評估

一 航空噪音評估流程

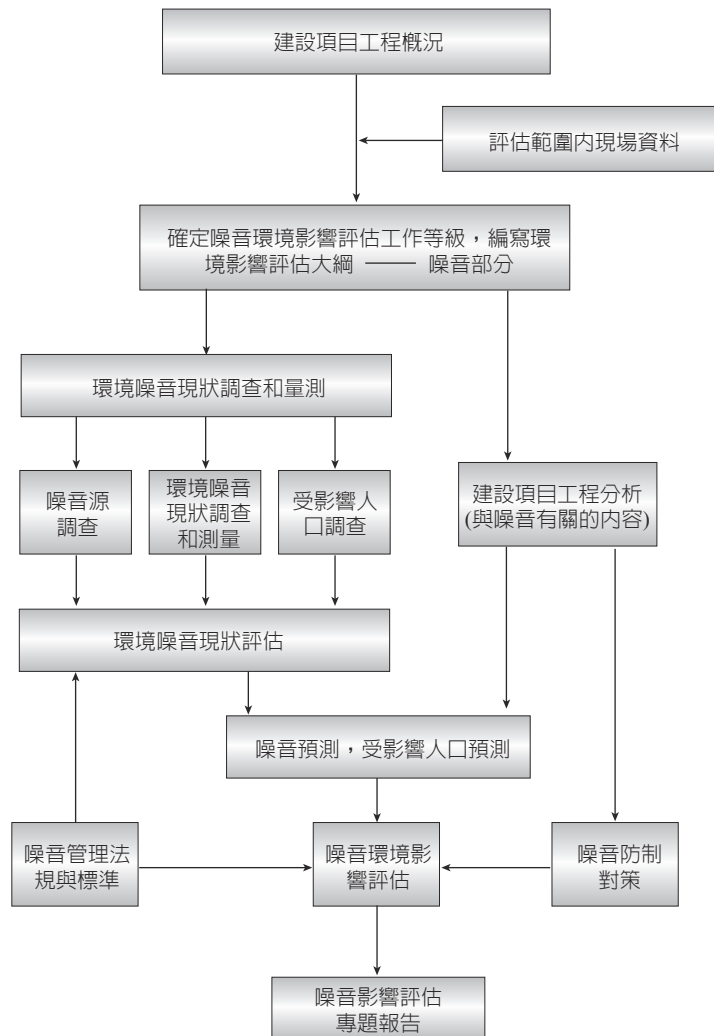


圖 4.2-2 航空噪音評估流程圖

二 航空噪音評估方法

(一) 我國

我國依據「開發行為環境影響評估作業準則」第四十九條規定訂定「航空噪音評估模式技術規範」，模式名稱說明如表 4.2-2。

表 4.2-2 航空噪音評估模式

適用機場	模式名稱
固定翼飛機起降的機場	整合噪音模式 (INM)
迴旋翼飛機或直昇機起降的飛行場	直昇機噪音模式 (HNM)

噪音管制法施行細則(民國 99 年 3 月 11 日)第十二條本法第十八條第二項所定室內航空噪音日夜音量，其計算方法依美國聯邦飛航規則第一百五十號規定，並於監測時噪音計設定為「A 加權」。測定時間連續蒐集二十四小時之航空噪音日夜音量，慢特性(SLOW)。

環境音量標準(民國 99 年 1 月 21 日)第二條專有名詞定義及計算公式如航空噪音日夜音量(DNL)，同(4-30)式及(4-31)式：用於評估航空噪音量之指標，其計算公式如下：

$$DNL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{86400} \left(\int_0^{25200} 10^{[L_A+10]/10} dt + \int_{25200}^{79200} 10^{[L_A]/10} dt + \int_{79200}^{86400} 10^{[L_A+10]/10} dt \right) \right] \quad (4-37)$$

式中：

L_A ：航空噪音事件持續時間內均能音量。

第五條航空噪音環境音量標準如下：

區域	航空站類型	全年航空噪音日夜音量
非屬各級航空噪音防制區之區域	噴射飛機及螺旋槳飛機起降之航空站	60 dB(A)
	供直昇機起降之航空站	52 dB(A)

(二) 中國

在 2002 年由中國國家環境保護總局和中國民用航空總局聯合頒佈的《環

境影響評估技術導則—民用機場建設工程》中明確的規定了對於機場附近的噪音評估方法。其中就包括了《環境影響評估技術導則—聲環境》中規定的各項指標，具體的評估範圍與噪音監測點分佈方法如下：

1. 新建機場環境噪音現狀評估

- (1) 評估範圍包括機場跑道兩側各 1 ~ 2 km，跑道兩端延長線各 5 ~ 8 km 的區域。公路交通噪音：機場進場公路兩側各 100 m 內的區域。
- (2) 噪音監測點佈設：在機場調查範圍內現有居民區、學校、醫院等噪音敏感點佈設，但重點要佈置在現有噪音源對噪音敏感目標有影響的那些點上。當機場調查範圍內沒有明顯的噪音源，且噪音量較低 (<45 dB(A))，噪音現狀監測點可選擇 1 ~ 3 個監測點。
- (3) 現狀評估：按照都市區域環境噪音測量方法中規定進行測定，得出各監測點日間和夜間的 A 加權均能音量、超過標準情況和主要音源。

2. 機場改擴建環境噪音現狀評估

- (1) 評估範圍包括機場飛機現行飛行狀況以及周圍影響：依據機場飛行架次，飛行程式具體確定，一般為機場跑道兩側各 1 ~ 2 km，跑道兩端延長線各 5 ~ 8 km 的區域，但大型機場應該根據飛行程式適當擴大調查範圍。機場周圍噪音敏感目標：居民區、學校、醫院等，並在 1 : 50,000 地形圖上標註敏感目標位置及座標。
- (2) 噪音監測點佈設：根據機場飛行程式、機場周圍人口分佈和飛機噪音預測的需要，一般在跑道兩端各 3 km (大型機場應適當擴大) 和跑道兩側各 500 m 範圍內的重點敏感目標佈設監測點。
- (3) 現狀評估：在每個測點測量不同機型起飛降落時最大 A 加權噪音量及其持續時間，每種機型測量起降狀態均不少於 3 次，並確定測點和跑道的相對位置，根據測量結果計算出各測點的實測 *WECPNL*，對該實測結果進行校核，根據從機場當局得到的飛機飛行動態等資料在網格點上計算出 *WECPNL* 值，按照 5 dB(A) 的間隔在 1 : 50,000 包括機場區域在內的地形圖上畫出等值圖。由等值圖，計算出各類噪音量覆蓋面積，提出各點噪音量下的敏感目標和人口數。

3. 進場公路交通噪音現狀評估

- (1) 評估範圍包括交通流量、車速：按日間和夜間分別統計進場道路大、中、小型車的小時流量、車速。道路狀況：公路寬度、結構、路面材料、坡度，公路與敏感點間的地貌。進場道路兩側噪音敏感點：在進

- 場公路兩側各 100 m 範圍內，調查敏感點數量、結構狀況、受影響的人數。
- (2) 噪音監測點佈設：在進機場公路兩側，根據以點代線的原則，選擇不同距離敏感點進行監測，監測點一般為 2 ~ 3 個。
 - (3) 現狀評估：根據都市環境測量方法得到環境噪音值，按都市區域噪音標準進行現狀評估，提出監測點噪音量，超過標準狀況，說明超過標準原因。

4.3 噪音控制

4.3.1 機場噪音控制

飛機在高空所產生的噪音並不會對地面造成太大的影響，然而在機場附近頻繁起降的飛機，所產生的噪音卻會極大地影響和妨礙航道下方與機場周邊地區人員的正常生活。相對於本書前幾章所提到的各種噪音控制手段，機場噪音的處理方法大不一樣。從根本上來說，只有降低飛機的噪音才能真正地降低機場的噪音，機場噪音控制有其局限之處。本節主要討論如何從機場角度出發來降低飛機噪音對周邊地區環境的危害。

目前在國際上已經得到廣泛使用的機場噪音控制方法主要有以下幾種：

一 加強飛行程式的管理

合理安排飛機在機場的起降能夠達到降低噪音的目的。目前一般採用如下方法：

- (一) 對飛機進出場航線進行最佳化，即環保航線，避開居民區生活區等噪音敏感之地區。若噪音敏感地區處於跑道延長線上，但是距跑道較遠，可規定飛機起飛或著陸時按照一定角度飛行，以避開這些區域，減少噪音對人的影響；如果噪音敏感區處於跑道延長線上並且距跑道較近時，則應當規定靠近噪音敏感區的跑道一端不准飛行，而只在跑道的另一端起飛著陸，如果飛機班次較多機場無法調度，可適當放寬規定，允許飛機在有噪音敏感區的一端著陸，但不許起飛，因飛機起飛時的噪音相比於降落時更大；當噪音敏感區在跑道的某一側時，須規定飛機起飛著陸只沿另一側飛行，或在離開噪音敏感區足夠距離的地方繞過。

- (二) 對跑道的使用進行最佳化。應當盡量避免飛機在距離噪音敏感地區近的跑道起飛和降落，以減小對噪音敏感地區的噪音影響，特別是在夜間時段。
- (三) 合理安排飛機班次。對於機場來說，爲了取得最大的經濟效益，就必須起降盡可能多班次的飛機，然而頻繁起降的飛機所產生的噪音也會對周邊居民造成影響。一般而言，人在晚上對噪音比較敏感，因此晚上應當盡可能減少航班數，並且優先安排低噪音飛機的航班。

各國機場對夜間航班都有限制政策。有些機場在夜間完全禁止飛機起降，如雪梨機場，夜間有七小時不許任何飛機起降；另一些機場只允許噪音低的螺旋槳飛機起降。而香港、倫敦、東京和巴黎的機場允許延誤的飛機降落。倫敦希思羅 (Heathrow) 機場對飛機起降實行暫態噪音強度限額制度。實行這些政策的目的是盡可能地減少夜間機場的噪音。

飛機起飛和降落時採用消音程序。通過合理地控制飛機起飛和降落時的姿態、動力等要素，能夠在噪音、燃油、安全等方面取得一個平衡點。

國際民航組織 (ICAO) 於 1996 年底對起飛消音程序進行了修訂，提出兩種方案，分別用於減輕跑道末端和跑道延伸方向的噪音影響。ICAO 建議的用於減輕跑道末端噪音影響的起飛消音程序爲：(1) 飛機離地並爬升至 240 m 以上；(2) 減油門，但至少要保持在一台引擎不工作情況下的最後起飛爬升速度；(3) 按規定收襟翼或縫翼；(4) 高於機場地面 900 m 後，增速至航路爬升速度，過渡到正常航路爬升程式。用於減輕跑道方向一定距離處噪音影響的起飛消音程序與上述程式類似，只是交換一下第 2 步和第 3 步的次序。

二 合理規劃機場及其周邊地區土地使用

(一) 合理安排機場選址

機場應當規劃在地廣人稀且不易對周邊造成噪音污染的地區；同時，機場的交通必須較爲快速便捷，否則會影響機場的貨運和客運效率。一般而言，機場宜建在郊區，以避免對人口密集地區的噪音污染，同時使用機場高速公路及捷運來將機場與交通發達地區連通。對於這點世界各國均已有豐富的經驗，且歸於都市規劃範疇，本書不予討論。

(二) 合理規劃土地使用減少機場的周邊噪音敏感地區

雖然此方法無益於減少噪音，但能減少受機場噪音影響的人數。對於不

同用途的建築物，其噪音敏感程度均不同，如住宅區、醫院、學校等地極易受噪音騷擾，應當盡可能地遠離機場；而重工業區對噪音不敏感，可優先靠近機場。最後，制定出能夠滿足各個建築物的規劃方案。目前國際上採用的基本構想是對機場周邊的地區根據噪音進行劃分。但是具體劃分的策略各國不盡相同，一般可分為粗略型和精細型兩種。粗略型只將機場周邊地區分為兩個區域，即噪音污染區和非噪音污染區，此方法簡單靈活，然而不一定能達到最好的土地利用效率；精細型通過詳細測定各地區噪音強度，將機場周邊地區劃分為若干等級，以達到最高的土地利用效率，然而土地用途不夠靈活。兩種方法各有優劣，實際應用時可根據具體情況來取得降低噪音效果和靈活性的平衡。

(三) 使用機場建築物也可達到隔音牆的效果

機場在沒有飛機起降時的主要噪音為噴氣引擎試車噪音。試車產生的噪音具有一定的指向性，因此可在靠近機庫的地方進行引擎試車，利用機庫的遮蔽效果來降低特定方向的噪音。機庫對試車噪音的遮蔽效應可達 10 ~ 25 dB(A)。

三 採用隔音措施

對受噪音影響地區的建築物應用隔音措施，對處於噪音敏感區的建築物，應採取隔音措施，在機場附近，可以佈置隔音牆，也可以在建築物內部放置隔音、吸音裝置，由於機場收取旅客費用而營運，我國在噪音管制上的管理，以噪音管制標準第五條娛樂場所、營業場所管制標準來管制機場地面所有的噪音。樹林是很好的隔音牆，但是若種植不當反而會引來過多飛鳥。機場附近過多的飛鳥容易在飛機起降時造成鳥擊事故，影響機場安全，因此在種植前需要謹慎考慮樹林的方位、樹種及大小等要素。通過最佳化建築物的設計，在建築物內再對各個房間進行噪音敏感度的評估，將最需要安靜的房間放在最安靜的角落，也可達到降低部分重要房間噪音的目的。

4.3.2 航空噪音管理

航空噪音條例(英國)分三個等級：國際條例、歐洲條例和國內相關條例，國際條例由國際民航組織 ICAO 制定，適用於其成員國，ICAO 在飛機噪音排放方面已經制定了嚴格的標準，規定了不同飛機起降所允許的最大噪音

量，成員國的飛機運作必須符合標準，ICAO 還要求成員國在機場噪音管理方面考慮：

1. 減小飛機自身噪音。
2. 土地使用計畫。
3. 飛機運作程式的改變。
4. 限制高噪音飛機的使用。

歐洲條例由歐盟 EU(European Union) 制定，其主要的執行機構為歐洲民航會議 (European Civil Aviation Conference)。歐盟就飛機噪音標準問題發佈了相關指令，成員國應遵守指令要求並有義務將其寫入國家立法。與航空噪音關係密切的指令包括 EC Directive 92/14/EEC、EC Directive 2002/30 和 EC Directive 2002/49(“Environment Noise Directive”)。

我國為配合民國 97 年 12 月 3 日噪音管制法修正公佈施行，依據第十一條第一項之授權修正「民用航空器噪音管制標準」(98.07.16)，民用航空器噪音管制標準係依據國際民航組織西元 1993 年 7 月修訂之「國際民航公約第十六號附約環境保護第一冊航空噪音第三版」內容訂定相關標準。另依據噪音管制法第十一條第三項之授權修正「民用航空器噪音管制辦法」第一條、第九條、第十一條修正。行政院環境保護署民國 98 年 6 月 1 日公告「應設置自動監測設備連續監測機場周圍地區飛航噪音狀況之航空站」，包括：台北松山機場、台灣桃園國際機場、海軍航空指揮部(桃園基地)、陸軍航空 601 旅(桃園龍潭基地)、空軍 499 聯隊(新竹機場)、空軍 427 聯隊(台中清泉崗機場)、陸軍航空 602 旅(台中新社基地)、空軍 455 聯隊(嘉義水上機場)、空軍 443 聯隊(台南機場)、陸軍飛行訓練指揮部(台南歸仁基地)、高雄小港機場、空軍官校(高雄岡山基地)、空軍 439 聯隊(屏東機場)、台東豐年機場、空軍 737 聯隊(台東志航基地)、空軍 401 聯隊(花蓮機場)、澎湖馬公機場、金門尚義機場，並依機場周圍地區航空噪音防制辦法規定向當地主管機關申報監測結果。



習題

一、問答題

1. 何謂航空噪音？
2. 請問飛機噪音特性？
3. 請問機場噪音特性？
4. 航空噪音評估指標有那些？
5. 航空噪音如何預測？
6. 航空噪音的預測模式有那些？
7. 如何進行航空噪音的評估？

二、計算題

1. 某社區 24 小時噪音測定結果每一小時的均能音量如下表，試計算此環境之日夜音壓位準。

時間	L_{eq} (dB(A))	夜間加權 L_{eq}	時間	L_{eq} (dB(A))	夜間加權 L_{eq}
10 PM	50	60	10 AM	60	60
11	50	60	11	60	60
12 半夜	50	60	12 中午	70	70
1 AM	40	50	1 PM	60	60
2	30	40	2	60	60
3	30	40	3	60	60
4	30	40	4	60	60
5	40	50	5	70	70
6	50	60	6	70	70
7	60	60	7	60	60
8	70	70	8	60	60
9	60	60	9	50	60

