

飛機噪音及其消除方法

Ю. С. 貝可夫 著



國防工業出版社



飛機噪音及其消除方法

Ю. С. 貝可夫 著

朱 民 光 譯



國防工業出版社

Ю. С. Выхов
ШУМЫ
СОВРЕМЕННЫХ САМОЛЕТОВ
И МЕТОДЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ
Государственное
издательство оборонной промышленности
Москва 1953
本書係根據蘇聯國防工業出版社
一九五三年俄文版譯出

飛機噪音及其 消除方法

[蘇] 貝可夫著
朱民光譯

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074號
北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

787×1092 紙 1/32 • 2³/₁₆ 印張 • 70,000 字
一九五六年四月第一版
一九五六年四月北京第一次印刷
印數: 1—4,000 冊 定價: 0.45 元

序 言

1950年國防工業出版社出版了Б. В. 巴甫洛夫斯基 (Павловский) 与 Н. М. 李別尔海茵 (Либерхейн) 合著的“飛機隔音学”一書。这是对有关飛機噪音問題的綜合性的闡述之初次嘗試。著者在本書中着重指出了“飛機隔音学”一書中所闡述不足的一些問題。

本書系著者个人在研究飛機噪音所作之實驗与各种雜誌所發表之許多著作的成果的綜合概述。

为便於讀者研究本書並鑒於对專門名詞了解的較少，因而在作主要闡述之前以較少的篇幅介紹了參攷材料。

本書对象为飛機制造業中之廣大工程技術人員、科学工作者、飛機維護人員与有关專業之高等学校高年級学生。所有批評意見与对本書之希望均請寄交：莫斯科彼得罗夫街 24 号國防工業出版社。

著者对 А. М. 格蘭諾夫斯基 (Граневский) 工程師，技術科学碩士 О. В. 別拉文 (Белавин) 与机械師 П. Г. 尼基京 (Никитин) 在飛機上測量噪音时所給予的協助致以謝意。

著者对 С. Н. 日惹夫金 (Ржевлин) 教授對本書所提出的許多寶貴改進意見表示感謝。

目 錄

緒 論	1
1. 引 言	1
2. 基本定义与符号	6
一 飛機的噪音及其特性	
1. 飛機噪音的組成及其主要來源	14
2. 噪音強度的計算	24
3. 各獨立声源所產生的噪音強度	30
二 飛機上所容許的噪音強度值	
1. 听觉的基本特性	32
2. 噪音對於人类器官的影响	40
3. 各种不同飛機的最大与容許的噪音強度	44
三 減小噪音的方法	
1. 一般介紹	50
2. 在声源处減小噪音	52
3. 隔音与吸音	55
四 在飛機上測量噪音	
1. 測量的方法	74
2. 尺寸不大的噪音量度分析器	77
参考文献	84

緒 論

1. 引 言

儘管消滅噪音在航空方面已取得了顯著的成績，可是現代飛機所發出的噪音的強度仍然達到了極大的數值。

表 1 中所列的是在幾種不同型別飛機的駕駛艙中所量得的噪音強度級可能達到的範圍（運輸機是在旅客艙中進行測定的）。

表 1

各種型別飛機所具之噪音強度級

飛 機 型 別	噪音強度級(分貝)
裝有發動機及螺旋槳動力裝置之歼擊機……	120~130
中型轟炸機……	110~128
重型轟炸機及運輸機……	90~110

由此可見，即使是同一型別的飛機，其噪音強度的變動範圍也是很大的。噴氣式飛機的噪音強度級，照例是要比螺旋槳發動機動力裝置的飛機來得小些。

從表 1 中可以看出，許多飛機所具之噪音強度已達到使人有頭痛感覺的數值。在這種情況下，已完全不能進行談話；同時，長期停留在一種單調的噪音中會引起聽覺的暫時減退現象。縱使是利用（如在有噪音的情況下工作時所設置的）特殊通訊設備，（如通話裝置、無線電通訊

等)，也不能保證言語的清晰可聞。当噪音強度較小时，通話虽然可能，可是長期处在这种噪音之中仍是会使人疲勞的。

表 2 中所列的是根据著者的資料所整理的一架普通飛機噪音的強度級，以及这些噪音對於人的近似的感覺*（沒有使用防音帽或耳塞）。

表 2

噪音擾亂作用的主觀上的感覺

噪音強度級（分貝）	主觀上的感覺
80	已感覺噪音很顯著
90	已感覺噪音有些煩擾，需要用高声交談
100	已感覺噪音擾人
115	即便把嘴門提到很高，也不可能談話
120	噪音压倒一切，產生刺激的感覺
125	令人頭痛的感覺

很明顯，乘客在机上应当能夠不感覺特別吃力就可以進行交談，並應不受噪音的刺激。虽然所示噪音強度超过了一輛远程优等車廂中的噪音強度，可是这約相当於 90 到 105 分貝。飛機的噪音是比較令人“舒適的”，因为火車所發出的噪音更要“刺耳”些而且是不諧和的。因此，在評定某一种噪音的感受时，不僅必須要考慮噪音的強度，而且还得考慮噪音的音譜特性。

軍用飛機上的乘員都是戴着飛行帽工作的，这就大大

* 机艙是未經任何声学加工的。

地改善了乘員的工作条件。在这里要談一下，在評定噪音的容許強度时，必須要把無線電通訊以及各乘員之間的通話質量可能發生的最大容許惡化情况估計進去。在這種情況下，噪音強度的限度是 115~120 分表。現代通訊設備在這種強度下尚能獲得令人滿意的通訊。

但是，到底用什麼办法才能使飛機的噪音強度減低呢？

在這一方面具有最重要意義的，就是如何去減少飛機上產生噪音的來源，以及機艙四壁採用隔音結構。

表 3 中所示的是一架雙發動機旅客機，在採用消滅噪音結構與減少噪音來源以後，噪音總強度 β_m 和不同音頻範圍內的強度 β_{st} 所可能減低的限度。

很顯然看出，表 3 是由兩部分組成的。

第一部分所示的是，產生噪音的一些主要來源在假定機艙四壁未經任何消滅噪音處理時，以及在沒有採取措施降低噪音和可能將噪音減小至最大限度時所發出的噪音的總強度。譬如，對發動機的某一既定功率來說，其螺旋槳所發出的噪音總強度為 122 分表。但是如果採用噪音小的特种螺旋槳，則其噪音強度就只有 100~104 分表了。

通風裝置所產生的噪音強度有 114 分表。採用合理的通風設置與空氣通路的聲學加工後，能將由此一聲源所產生的噪音強度降至 72~76 分表。如將所有聲源發出的噪音減至最小程度，那末噪音總強度就可以降至 104~108 分表，也就是可將強度降到較產生最大噪音的來源在將噪音尽可能減至最小時所發出的噪音強度略大的地步。此時，通風各機件的振動以及其他等的噪音已經不會超過 90~95 分表了。這是因為再進一步減小這些噪音，也不會顯著地影響噪音總強度（參見噪音強度 β_m 的定義及 (4) 與 (4a) 公式）。

表3

飛機上產生噪音的主要來源在沒有採取措施降低
噪音和將噪音減小到最大可能限度時所發出的
噪音的總強度

噪 音 來 源	各噪音來源所發噪音強度(分貝)	
	沒有採用措施 來降低噪音時	將噪音減至最大 可能限度時
螺旋槳.....	122	100~104
排气.....	118	100~104
發動機.....	104	89~99
通風.....	114	72~76
機件振動.....	108	74~79
空氣動力方面的噪音.....	94	79~84
噪音的總強度.....	124	104~108

機艙經聲學加工後噪音減小的程度

消滅噪音的方式 (機艙四壁構造)	總強度	600至1200 (赫芝)*	1200至2400 (赫芝)	2400至4800 (赫芝)
未經任何消滅噪音處理 (指噪音強度最小的機型)	105	86	84	82
機艙聲學加工方式	經聲學加工後,噪音強度的減低(分貝)			
機艙蒙皮為0.5公厘 硬鋁片	2~3	2~5	5~7	7~10
蒙皮及聲學加工(其 中具有空氣間隙者)	3~5	3~6	6~9	10~16
蒙皮及多層聲學加工 (其中具有空氣間隙者)	3~8	4~10	10~16	20~40

* 赫芝 (Герц) 為頻率單位。——譯者

表 3 中的第二部分是机舱各种不同声学加工对机舱中可能有的噪音强度的影响的估计。表中所见到的是机舱中噪音总强度（105 分表系自表 3 中的第一部分所选出者）以及在各不同音频范围内噪音强度的减小程度。因为，声学加工在高频时的作用特别显著。

很明显，如果採用第三种声学加工方式，那就可以把噪音的总强度降低 3~8 分表之多；而在 2400~4800 赫芝时，則可將噪音强度降低 20~40 分表。

从表 3 中可以看出，在减小飞机噪音和机舱經消滅噪音处理后噪音的总的减少可以將噪音总强度降低 25 分表（即从 122 分表降至 97 分表，这是在採用多層声学加工及最大減音情形时所獲得的結果）。而在高频率范围則降低量可达 40~50 分表。

实际上，如果未經声学加工，以及未使个别声源的噪音减弱时，那末，机舱中的噪音总强度就可达 $124 - 2 = 122$ 分表，因为机舱壁使得噪音約减小 2 分表；假設由於減少声源而獲得的噪音减弱为 20 分表，而机舱經声学加工又减弱 5 分表，則我們得到噪音的可能的总降低約为 25 分表。

这种减小噪音的办法，對於提高各通訊聯絡設備談話的清晰程度与保証客机中舒適而言，是非常重要的。

對於具有其他噪音强度的飛機，噪音可能減小的程度也差不多。

在比較表 1 和表 3 时，自然地會發生这些問題，即：

1. 飛機上強烈的噪音是用什么確定的，以及如何能將其降至最小限度？

2. 什么样的噪音就認為是可以容許的？因为，一架飛機的制造与維護的費用是決定於飛機上所採用的隔音裝

置的重量和消滅噪音裝置的複雜程度的。

在沒有着手研究這些問題以前，讓我們先談談現代飛機噪音的特性，以及飛機噪音對於人類器官所產生的影響。

2. 基本定義與符號

聲音強度級（或噪音強度級） β 是以單位分表來表示。分表所表示的是聲音或噪音之聲強 J 超過單位聲強 J_0 的數值。

通常，聲強的單位 $J_0 = 10^{-16}$ 瓦/公分²。而以分表來表示的聲音強度級則等於 J/J_0 的對數的 10 倍，或 p/p_0 對數的 20 倍，其中 p = 噪音之聲壓； $p_0 = 2 \times 10^{-4}$ 巴。

p_0 值相當於在 600~800 赫芝的平均頻率下人類正常聽覺開始或覺到的最小聲壓。

為簡便計，常將噪音強度級稱為噪音強度。如果這一強度包括音頻的全部範圍，那末我們就叫它為總強度即

$$\beta_{\text{т}} = 10 \lg \frac{J}{J_0}^* \quad (1)$$

至於在某些音頻段範圍以內的噪音強度級，則以 $\beta_{\Delta f}$ 代表之。

音譜級 B 系指同一聲音強度級在轉換成頻率為 1 個赫芝時的數值。

$$B = 10 \lg \frac{J}{J_0 \Delta f} = 10 \lg \frac{J}{J_0} - 10 \lg \Delta f = \beta_{\Delta f} - k. \quad (2)$$

式中 Δf 為所測強度級所在之頻率段寬度的數值； $k = 10 \lg \Delta f$ ， $\beta_{\Delta f}$ 為分析器讀數。

* 此式中之對數應該是常用對數，不是自然對數，以下同此。

——譯者

以后，用赫芝所計算的頻率則將以 f 表示之。

音譜級与在頻率 $\Delta f = f_2 - f_1$ 範圍以內的噪音強度級成下列关系式

$$\beta_{\Delta f} = \lg \int_{f_1}^{f_2} 10^{\frac{\beta}{10}} df \approx 10 \lg \left(\sum_1^n \frac{J_i \Delta f_i}{J_0 \Delta f_0} \right) \quad (3)$$

遇有数个声音同时重疊时，那末复音音譜級的总和可以下式確定：

$$B_x(f) = B_1(f)(+)B_2(f)(+)\cdots(+)B_n(f) \quad (4)$$

式中 $B_1(f)\cdots B_n(f)$ 为各組成声音音譜級；符号 $(+)$ 表示有条件的加号，因为須將各个別声音的強度疊積起來

$$J_x(f) = \sum_n J_n(f) \quad (4a)$$

(4) 式不僅適用於音譜級，而且也適用於強度級 β 。

在測定噪音強度級时，可以利用声压測量器或客观噪音測定器來進行測定。測定时声响頻率的特性在測定範圍內不应有顯著差異。

測定噪音音譜級 B_m 时不能採用直接法。因为任何分析器也都是測量某些範圍以內的強度級的，而由於分析器型式的不同，这些範圍也就互異。因此，在測量同一音譜时，用不同仪器則所得結果也不同，这就必須要把这些結果換算成音譜級的数值。为了根据一定音譜圖系來測定音譜級，必須先按下式求出噪音強度

$$J = J_0 10^{\frac{\beta_{\Delta f}}{10}}$$

並以分析器通过区域的等量寬度除之

$$\Delta f_3 = \int_{f_1}^{f_2} \eta^2(f) df, \quad (5)$$

式中 $\eta(f)$ 为分析器相对諧振曲線*。

我們也能用从 β_{st} 中減去 $k = 10 \lg \Delta f_3$ 的方法來求出噪音音譜級 B_m 。依据音譜級由 (3) 式求出 β_m 后, 就能夠校驗分析器和噪音測定器的讀数的正確性。在許多情況下, 測定噪音強度是在一定頻率範圍 (即八度音程) 以內來進行的。八度音程中最高頻率为其最低者的一倍。

这样一來, 在測得数个 (通常为 4 至 8) 音譜級之后, 就能求出声音能量与頻率的分佈关系圖來。

响度級 L 是指頻率为 1000 赫芝时, 与所研討之声音同量响度的音調強度級的分裴值。响度級的度量單位为“昉 (ΦOH)”。對於頻率为 1000 赫芝的正弦音調, 其以“昉”表示之响度級, 系与以分裴表示之強度級相等。

測定响度級时, 或者用主觀輪流來听取所擬測定的声音及頻率为 1000 赫芝的标准音調的办法, 或者採用頻率特性可以随与人耳特性相適應的各不同音強度級而調節的客观噪音測定器來測定。

必須注意, 對於复音來說, 由於音頻譜的不同, 不同的 L 值是能与同一強度級 β 相符合的。因此, 客观噪音測定器就不能准確地把任何声音的响度級都測出來; 然而客观噪

* 相对諧振曲線 $\eta(f)$ 有时称为标定曲線, 並以 $\eta(f) = \frac{y(f)}{y_{\max}}$ 式來確定, 其中 $y(f)$ 为分析器或滤波器在 f 頻率时的放大; 而 $y_{\max}$ 为諧振时的最大放大。式 (5) 中的 f_1 与 f_2 之極限值是按 $\eta(f) < 0.1$; $f_1 > f > f_2$ 条件选定的。

音測定器的便利之點，就在於它的讀數比較容易記載，同時也沒有主觀上的錯誤。

最近，噪音响度級在实际測量中並未使用，因為僅以 $\beta_m(f)$ 值就能完全判定出噪音的有害作用。

用耳朵剛能感覺到的最低的正弦音調強度級與頻率的关系，稱為靜寂中的聽覺閾。由於弱音被強音所掩蔽的效果，故在噪音的影響下這一閾將增高。

在噪音中的聽覺閾與靜寂中的聽覺閾的移動的关系叫做噪音的位移曲線，並以分表來測量。位移曲線的測繪是用在靜寂中與在某一噪音中來听取不同頻率的正弦音調的辦法完成的。

位移曲線可完全決定一種噪音對聽覺的擾亂作用。位移曲線是可以很容易地從噪音音譜圖系中計算出來的。

（見36頁）根據上述，我們可以認為，噪音音譜圖系完全顯示出一種噪音對於聽覺的特性。

談話清晰程度標準是指一次交談中所傳遞的語言總數究竟有多少被正確地接受了百分率而言。

聲音、音的結合（音節）、單詞及句子等都是談話的組成部分。在实际測定中最为方便的是 D 音或 S 音節的清晰程度，根據這些聲音的清晰與否就能確定語言（句子）是否清晰。

如果通訊線路的頻率特性（例如，喉頭送話器或送話器、放大器及電話等）與進行通話所用噪音的特性均為已知，那麼，就能算出清晰的程度了。

讓我們簡單地來談談與隔音、吸音及其測量方法有關的一些基本定義。

如果某一容積因內部經吸音處理而形成與外界隔音

时，則差值

$$Z = \beta_{\text{вн}} - \beta_{\text{внутр}} \quad (6)$$

即叫做消滅噪音。

而消滅噪音的量的大小則系根据下式測定

$$Z = 10 \lg \left[1 + \frac{\alpha}{\tau} \right], \quad (7)$$

式中 α 及 τ 是吸音系数与一定情况下的傳音系数。

吸音系数是指某一音波在其从任一障碍物上反射以后，其强度减弱的程度。而傳音系数則是音波在通过障碍物时的减弱程度。

在所有情况下，下式均將適用，

$$J_{\text{пад}} = J_{\text{погл}} + J_{\text{отр}} + J_{\text{звукотр}}, \quad (8)$$

$J_{\text{пад}}$ ——落到某一障碍物上的声音强度；

$J_{\text{погл}}$ ——障碍物所吸收的音強；

$J_{\text{отр}}$ ——障碍物所反射的音強；

$J_{\text{звукотр}}$ ——通过障碍物的音強。

然而， $J_{\text{звукотр}}$ 与 $J_{\text{погл}}$ 及 $J_{\text{отр}}$ 相比要小得多，因此，可以認為 $J_{\text{пад}} \approx J_{\text{погл}} + J_{\text{отр}}$ 。

吸音总值是指吸音面積与吸音系数的乘積，以單位賽宾 (сэбин) 表示。一賽宾等於吸音面積为一平方公尺，吸音系数 $\alpha = 1$ (例如：开着的窗) 时的吸音总值。

由具有不同吸音系数 α_i 的許多構件所組成的結構的总吸音量，可用下式簡單加法求出。即，

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i. \quad (9)$$

而傳音总值也可用同样方式求出。即，

$$T = \sum_1^n \tau_i S_i. \quad (10)$$

某一裝置的傳音系數決定於該裝置的“沉重程度”，也就是每 1 平方公尺所具的重量。尺寸相當大而單位面積的重量又並不大的壁板的傳音性能，在相當大的程度上決定於諧振現象。

飛機機艙內設備本身如座椅、地毯及窗簾等以及乘客都可起附加消滅噪音的作用。今以 $A_{\text{дон}}$ 代表這一附加的吸音量，那末在一般情形下，對於具有 n 個不同表面的機艙，其吸音量將為：

$$Z = 10 \lg \left(1 + \frac{\sum_1^n \alpha_i S_i + A_{\text{дон}}}{\sum_1^n \tau_i S_i} \right). \quad (7a)$$

此算式如 $A_{\text{дон}} = 0$ ，即變為 (7) 式；而 α 及 τ 之值則為機艙中各個表面之 α_i 及 τ_i 的平均值。

現在來研究一個均一而未經聲學加工的機艙的消滅噪音情況。如機艙總面積為 S_0 而與之相符合的吸音系數為 α_0 ，傳音系數為 τ_0 時，則

$$Z_0 = 10 \lg \frac{1}{\tau_0} + 10 \lg \left(\tau_0 + \alpha_0 + \frac{A_{\text{дон}}}{S_0} \right). \quad (11)$$

此算式除 $\tau = \tau_0$ 及 $\alpha = \alpha_0 + \frac{A_{\text{дон}}}{S_0}$ 與 (7) 式不同外，其餘均為當量。將本式寫成這種形式之所以便利是因為 (11) 式中右边第一項是表示噪音減弱的程度，而這一減弱只和四壁的傳音系數有關，並以 Z_0 表示之。

如果機艙已經均勻一致的聲學加工，則所消滅之噪音

可以用与 (11) 式相仿的方程式 (11a) 表示之, 其中 Z_{e1}
 $= 10 \lg \frac{1}{\tau_1}$, 即

$$Z_1 = Z_{e1} + 10 \lg \left(\tau_1 + \alpha_1 + \frac{A_{\text{吸}}}{S} \right). \quad (11a)$$

现在可以将經声学加工过的机舱和一个未經声学加工的机舱比較一下來決定效果。为此, 只要求出 $Z_1 - Z_0 = \Delta Z$ 的差值即可。

由於有了声学上的加工所得到的改進 (包括隔音与吸音) 可由下式表示。

$$\Delta Z = (Z_{e1} - Z_e) + 10 \lg \frac{\tau_1 + \alpha_1 + \frac{A_{\text{吸}}}{S_1}}{\tau_0 + \alpha_0 + \frac{A_{\text{吸}}}{S_0}}. \quad (12)$$

(12) 式右边第一項所表示的是四壁經隔音后的改進, 而第二項則表示声学加工吸音所產生的效果。

測定消滅噪音时应当非常謹慎, 以使所獲結果正確。为測定这种效果的專用标准仪器还没有。

为了進行研究工作, 則經常採用与机身艙間实际大小相同的活動試驗机艙。这种机艙可以容納各种仪器和試驗人員; 同时, 还可以將其按需要移置於与裝在試驗架上的發动机形成一定的相对位置。用这种方法可以迅速和可靠地, 在与实际情况很相近的条件下來進行試驗。

Z 的值是表示从机艙内外所量得的結果 β_m 之差值。

在試驗隔音結構与試驗尺寸不大的隔音材料样品时, 是採用特种裝置的。裝置中的試驗样品, 是封閉容積的表面之一; 因此, 必須特別注意那些未起作用的表面是否縝密地經過隔音和有无声音从封閉容積的内面反射出來。