

徐氏基金會科學函授學校

冷凍空調與電器修護科訓練教材(二)

(譯自美國國家技術學校函授教材)

王 洪 鎧 編譯

(五十一至五十五課合訂本)

A51 中央系統空氣調節——冷卻設備及控制

A52 箱型冷氣機

A53 空氣之分配

A54 空調用風管

A55 風扇與鼓風機

徐氏基金會出版

A 54

空 調 用 風 管

徐氏基金會出版

目 錄

前 言

在風管系統中的阻力	54-1
空氣流動的型式	54-2
一般的空氣流	54-3
阻礙的效應	54-4
肘管轉彎半徑的影響	54-5
等效直風管的長度	54-7
風管系統的損失	54-8
風管計算	54-9
基本公式	54-10
設計上的考慮點	54-12
風管設施的計劃	54-13
費用的因素	54-14
決定風管尺寸及風速	54-16
典型的風管設施	54-18
風管尺寸與風速的關係	54-18

增加風量的效應	54-20
實用上的風管問題	54-22
風速的推薦	54-25
良好風管設計的條件	54-25
風管之厚度對寬度	54-26
以風速法設計風管	54-27
決定風速及風量	54-28
等效方風管	54-29
可允許的寬容量變化	54-31
支風管 [Ⓐ]	54-32
支風管 [Ⓐ] 的分支風管	54-33
風管計算尺	54-34
風管之總摩擦阻力	54-34
等摩擦法設計風管	54-35
附 錄	54-35
第53課複習	54-38

前 言

每一套空調設施都包含有空氣循環的問題；而實際上許多空調裝備都要利用風管來輸送及分配空氣。

但空氣在風管內行進，因受到阻力而致壓力降低，欲使在各出風口處有足夠的空氣送出，風扇（鼓風機）送風之壓力必須能克服風管中阻力所造成的壓力降，這樣才能使一定量之空氣輸送到目的地。

本課中我們就要討論在風管中造成壓力降（或稱壓力損失）的成因，以及如何計算這種壓力降，等到得出數字，才能根據壓力降以及所需輸送的風量，來選用合適的風扇（鼓風機）。

在風管系統中的阻力

當風（空氣）在風管中行進，自然會受到阻力，但我們一般常稱謂此種阻力為“摩擦”，嚴格說來，它是不大準確的。

這種阻力來自很多方面，可以分成如下的數類：

1. 因於風撞擊風管的內壁而導致的表皮或表面摩擦。
2. 當氣流通過肘管，三通，歧管時，因改變方向造成亂流所造成的阻力。
3. 氣流當互成不同方向，如通過有曲度管時所造成的摩擦阻力。
4. 風速的突然慢下來如發生在歧管上，突然增徑接頭上等處所導致的阻力。
5. 通過成為漩渦，渦流的場合時所遭受的阻力。
6. 如通過溫度突然改變之處，氣流體積之突然膨脹或收縮所造成的交互流通所形成的阻力。

由於撞擊摩擦所形成的阻力

由於撞擊摩擦所形成的阻力會依以下的情況改變：

1. 與風管的長度成正比。
2. 與風管的直徑；或方風管的截面積成反比。
3. 與風速的平方成正比。

因之，如其他條件不變下，風管的截面積應大，在一定時間內所輸送的風量要小，這樣才能減輕這方面的阻力。

上述的第三項是最重要的，因為如果在一定截面積的風管下輸送較原先多一倍風量的空氣，風速必然增加一倍，而阻力就會增加四倍。

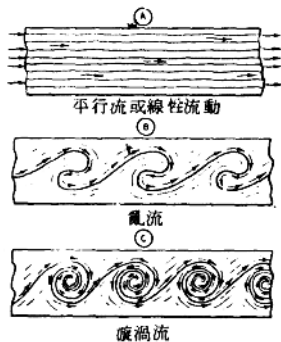


圖 1 空氣流動之數種型式

至於風管的狀況，諸如它的材料，作工，及結構等，對所需克服撞擊摩擦的力影響很大；當然，如果一個內面光滑，作工又好的風管，所產生的阻力自然要比質料粗糙，作工粗糙的風管要小得多。

風管內積留有灰塵能形成可觀的阻力，因之管內必須定期予以清潔，尤其是水平管部份。任何風管內的阻礙物能造成風觸及時改變行進路線，這種風向的改變就代表了其動能的損失。

空氣流動的型式

爲了探求風在風管中如何形成亂流及渦流，我們曾用玻璃作成圓風管及方風管，並且使空氣加入了顏料，使風成爲有色氣流，以便觀察它在透明風管中流動的情形。

圖一就顯示了這種試驗的結果。

一般的空氣流

空氣之流動形成如圖 1 中Ⓐ及Ⓒ的情況者，可能得自“邊界障礙”的原因，如不佳的風管段接合處，有物體伸入風管內阻擋氣流；或因管徑突然增大或突然收縮（改變管徑過急）所導致風速的改變等因素，見圖 2 所示。

圖 1 的Ⓐ稱為平行流或線性流動，為一種理想的氣流狀況，僅能在風量小而管徑大（截面積大）的狀況下獲得。在圖 1 Ⓑ中，注意由於邊界障礙所造成的亂流，一部份氣流直接對抗主要的氣流。

至於圖 1 Ⓒ中的漩渦，僅發生在風管接頭處，且風速甚高的狀況下，譬如在抽氣管以及空氣噴射系統中等處所。

導致氣流阻礙的原因

在圖 2 中 A 點，一平行流之風自左方吹來，會碰到風管上的接合鉚釘或風管壁上的一些突出障礙，造成亂流後又被理直成平行流。然後到 B 點，一圈反接縫又把氣流造成渦動亂流。

在圖 2 的 C 點和 D 點，風管突然增大，又要通過接頭上的接縫和管壁，氣流速度降低，形成一些渦流。然而，氣流以低速流到 E 和 F 點處再告理直成平行流，到此又有新的阻礙出現。

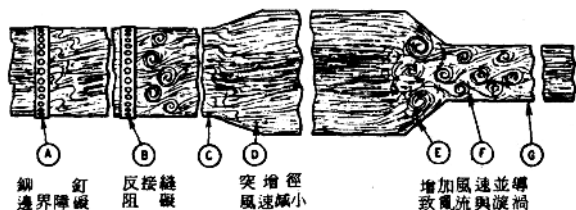


圖 2 不良氣流狀況之成因

在 E 和 F 接頭處，前行的氣流會碰到因斜管壁碰撞所折回的渦流氣體造成嚴重的能量損失。爲了克服這些損失，風扇或鼓風機的速度，也就是說驅動的馬力，必然要作可觀的增加。

圖 2 的圖雖然有些誇大，但爲解釋清楚上所必須；這些風管構造細節所造成的損失要儘量避免。但是在實際上，風管是要安裝在建築內的，有許多客觀的因素，空間的限制等，使得設計師並不能完全符合原則來設計風管的尺寸，規格，轉向等，否則風管就不能安裝了。所以如何在不太違背原則之下設計實用的風管，才是設計師的責任。

漩渦或渦流的氣流的反向流動部份能相當可觀的阻滯了氣流的流動。這些漩渦或渦流的形狀並不完全相同，即是漩渦的半徑既不一致，其作用面也不都在同一平行的平面上。

如果圖 2 所示的阻礙不能夠避免，則必須考慮到風壓力的增加以克服阻礙。

阻礙的效應

圖 3 示明在一風管中當氣流撞及一阻礙物（磚塊），其動能損失的情形。注意在阻礙物的前後會造成兩個寂靜空間。氣流在此轉向撞上阻礙物上方的邊界而造成渦動的亂流。此寂靜空間是由空氣流有朝一直線進行的趨向所導致。

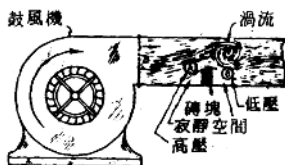


圖 3 對氣流阻礙的效應

在相等壓力下不斷流入的空氣，且有填充此寂靜空間或低壓區的傾向，但却被持續流入的空氣所造成持續更新的寂靜空間之形成所阻礙而不能實現。顯然這種阻礙使得在一 24 小時運轉的通風系統中，造成很大的動能損失。

在圖 3 中，A 段代表高壓區；而 B 段代表低壓區。能量之消耗於維持這兩個區者持續取自於氣流，這個氣流的運動力量因之

被減小到某種程度。

突然改變方向的效果

氣流都是朝一直的方向前進的，不受外力，它不會改變方向，如果使其方向突然加以改變，如圖 4 所示，它被迫的轉向會造成高壓及低壓區，其動能的損失也像氣流撞及一阻礙物一樣。

再者，像這種方角急轉的肘管一旦使用，管內氣流的動能損失甚大，必將使風扇或鼓風機的驅動馬力增加才行。

因之如若可能，應盡量避免作方角的肘管，不然，管內也要加用順風片，導使氣流在管內易於轉向。

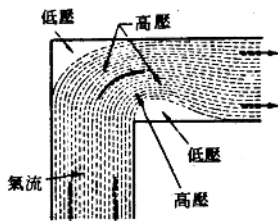


圖 4 方角肘管的轉向效應

肘管轉彎半徑的影響

小轉彎半徑的肘管，如圖 5 ①，要較圖 4 的方角肘管所消耗的動力和能量要小；但是它仍然對氣流的通過產生過大阻力而不合實用。如果把它變成圖 5 ②的樣子，把轉彎半徑加大，就很適用於實際的風管中了。

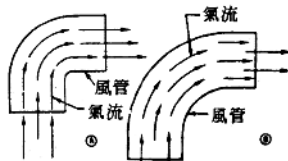


圖 5 肘管轉彎半徑對氣流的影響

圖 6 示一套設計理想的風管中，氣流均勻流動的情形。注意氣流在管中作平行流動，而渦流或亂流在實用上可說是能減小到無關大體的程度。

曲管對直徑

如前所述，風管中氣流能量的損失不能完全避免；但是靠着設計風管的材料上，形狀上，尺寸上，管件上以及作工上等因素

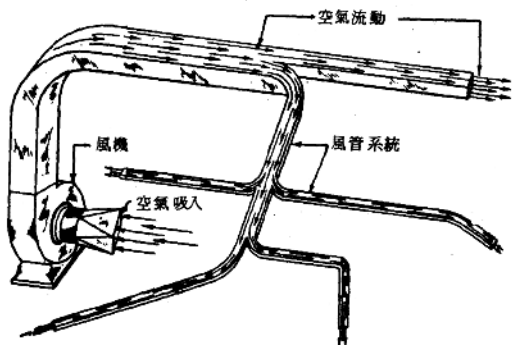


圖 6 氣流通過理想風管中的情形

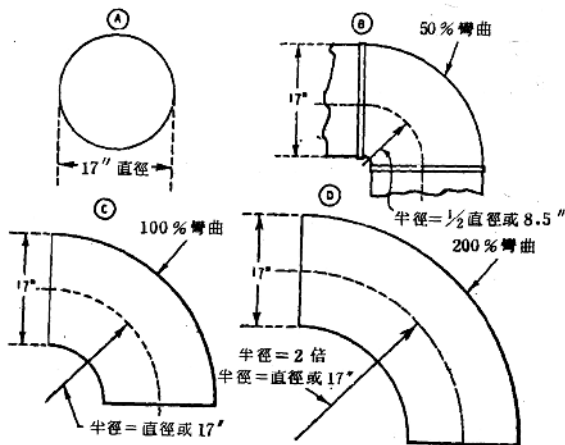


圖 7 肘管的分類

的良好程度，能夠產生最小量的摩擦壓降。壓力損失常發生在彎頭，肘管，變徑管件，阻礙物（諸如管排，過濾網，節氣閘等）上，故在設計時尤要注意；在計算風管的總損失（摩擦壓降）上，每一處彎曲所造成的損失，都要化成直風管的等效長度呎數，再加入到直風管段的長度呎數上，而得到總的等效長度呎數。

彎曲或肘管的等效直風管長度（簡稱等效長度），與它的轉彎半徑關係密切，甚麼是它（圓風管）的轉彎半徑，在圖7中有詳細的說明。

譬如在圖7④中，一支圓風管它的直徑為17"。在⑤中，肘管的轉彎半徑為直徑為1/2，或8.5"，稱為50%彎曲；在⑥中為100%彎曲，其轉彎半徑等於其直徑；在⑦中，轉彎半徑為其兩倍直徑，或說200%彎曲。可見轉彎半徑愈大，轉彎愈緩。

等效直風管的長度

表1是一個各種轉彎半徑肘管的摩擦損失表，其摩擦損失量是以等效的直風管長度呎數作為代表。風管之總等效長度等於各肘管的等效長度再加上直風管部份的長度，其總值為多少呎。

肘管彎曲的百分數	等效之直風管長度呎數
50	30.0 × 管徑
72	17.5 × 管徑
75	16.0 × 管徑
100	10.0 × 管徑
125	7.5 × 管徑
159	6.0 × 管徑
200	4.3 × 管徑
300	4.8 × 管徑
500	5.8 × 管徑

例如，一支24"徑的圓風管直管部份有200呎長，另外包括有兩個200%及兩個150%彎曲的肘管。那麼，根據表1，兩

200% 彎曲肘管的等效長度為 $2 \times 4.3 \times 24 = 206.4'$ 或 17.2 ft；兩個 150% 彎曲肘管的等效長度為 $2 \times 6.0 \times 24 = 288'$ 或 24 ft。因之，二者之等效長度共計為 41.2 ft，必須加到直風管段的實際長度中者。

如果這段風管內再有兩個 50% 彎曲及 72% 彎曲的肘管，則必須又加入 190 ft 的等效長度，使得總等效長度變成 431.2 ft 了，這可說明轉彎半徑太小，常使摩擦損失急速增加。

風管系統的損失

在送風分配系統中的壓力損失係由於動力學上及摩擦影響所導致，但却不容易在壓降上發覺。

如前所指，摩擦損失由於風撞擊風管壁所造成；而動力損失則係由於空氣流改變行進方向之結果，或在風管中受到擴大或收縮其截面積而形成。

進入損失

第一個損失就發生在剛進入風管時之損失，稱為進入損失。進入損失是在需要產生氣流的壓力，以及當其進入風管後，實際表現在氣流中壓力間之差。此壓力差可能在自 0.1 至 0.5 乘速度壓力（動壓力）之間變動。

動力損失

經過肘管的動力損失相當大，譬如在“一直徑”，或 100% 半徑（彎曲）的肘管中，將損失 25% 的速度壓力。

例如，如果在一直風管中，風速為每分鐘 2000 呎之處，測出速度壓力若為 0.25 吋水頭，一 100% 半徑的肘管將減低此速度壓力到 $0.25 - (0.25 \times 0.25) = 0.25 - 0.625 = 0.1875$ 吋。

由表 1 中的數字指示出當肘管半徑若等於其風管直徑的 $1\frac{1}{2}$ 到 2 倍時，才能產生最良好的結果。即壓力降將為約圓風管的 17

%，或方風管的 9 %。但若肘管半徑增加到等於其風管直徑的 3 到 5 倍時，壓力降反又增大；因之在製作肘管時，其轉彎半徑不要作得大於 2 倍的直徑。

材料上的影響

在管中或風管中的壓力降也會受它們構造材料上的影響而改變。

當管內壁光滑時，其壓力降自然比較粗糙時為小，故內壁之光滑與否相當重要，所選用的製造材料也要能達成這一目的才行。因之，鍍鋅白鐵皮，（或鋼皮），鋁皮，銅片，等金屬材料，就成了製作風管的常用材料，但除此而外，玻璃纖維製的風管板，FRP 材料，塑膠板材料，也能用來製作風管。

影響摩擦損失的因素

摩擦損失來自氣流與風路或風管的內周界面發生碰撞所形成，因之與風管的長度有關。同時，它也與空氣流速的平方，以及風管的直徑有關，流速愈大損失愈大，但直徑變大時，一定風量下的流速必減低，因之摩擦損失也會減小。

當估計管路或風管的相對造價時，雖則任何固定點間的長度並不改變，但風管可設計粗些或細些，二者的造價就有區別。如果風管一細，造價雖然低，但摩擦損失增大，那必須又要增加克服摩擦的動力，不一定會經濟。所以風管的粗細與風速必須要試算，以選定最適宜的風管，使得效率性與經濟性二者兼顧。

前已述及，風壓損失係由於氣流的摩擦，以及管路或風管的內周界所造成。該損失是比例於要維持所欲風速所需要的壓力。

風管計算

數學上的公式對於欲計算某一特定量時是非常有用的，它能節省了許多複雜的算法。但在實際應用上，技術人員也可以靠着查曲線圖或數字表格以迅速獲得所欲的值。數值可能不太精確，

但在實用上已足夠滿意。故決定摩擦損失，以及空调用風管的尺寸大小，我們也可以用查曲線圖或數字表格的方法。

然而，為求能清晰解釋在設計風管時各種因素互相間的關係，我們仍要在討論如何使用曲線圖或表格之前，先將風管設計的基本公式討論一下。

基本公式

加熱（暖氣），冷卻（冷氣），和通風用的風管系統是依據所需的壓力，所欲扇送的風量，以及適當的風速等要求計算出來的。由於整套風管系統每一段的尺寸和長度並不完全相同，所以實際上要一段一段的分開算出來才行。

以每分鐘扇送多少立方呎的風量，被每分鐘行進多少呎的風速來除，所得的商一定是風管的多少平方呎的截面積。所以如果在三個因素中，即風量，風速，截面積，任知其中的二個，其他一個便可以代入下述三公式之一求得出來。

$$(1) \text{ 風量 } cfm = \text{截面積 (ft}^2) \times \text{風速 (fpm)}$$

如風量以 Q 表示，截面積以 A 表示，風速以 V 表示，上述公式可寫成

$$Q = A \times V \quad \text{或} \quad Q = AV$$

(2)

$$V \text{ (fpm)} = \frac{Q \text{ (cfm)}}{A \text{ (ft}^2)}$$

$$(3) \text{ A (ft}^2) = \frac{Q \text{ (cfm)}}{V \text{ (fpm)}}$$

必須注意公式中的單位，如果 Q 以 cfm 作單位， V 以 fpm 作單位，那麼 A 必定要用 ft^2 作單位。

但是我們日常無論是圓風管或方風管，都習慣用吋來表示其直徑或兩邊之尺寸，得出的單位却是平方吋（ in^2 ），因之必須作一次單位換算，因 $1ft^2 = 12in \times 12in = 144in^2$ 。以下的例將有助於說明這點。

一方風管兩邊的長度是 $12\text{ in} \times 12\text{ in}$ (或以 $12' \times 12'$ 表示之), 其截面積將為 144 in^2 或 1 ft^2 。如另一方風管量得為 $16' \times 20'$, 則其截面積為

$$16' \times 20' = 320\text{ in}^2 \text{ 或 } \frac{320}{144} = 2.22\text{ ft}^2$$

現在讓我們研究一些風管上的實際問題。

問題 1 假定在一支 $12' \times 12'$ 的風管裏, 風速為 2000 fpm , 那麼每分鐘內可由風管輸送多少立方呎的風量?

首先我們要算出風管的截面積, 並把它換算成平方呎, 因這支風管的截面積 $12 \times 12 = 144\text{ in}$, 恰好等於 1 ft^2 。

我們又已知道風速為 2000 fpm , 即每分鐘行進 2000 呎。

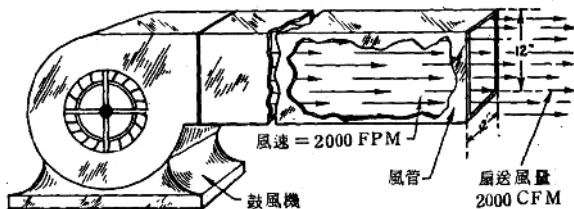


圖 8 基本風管設計問題

使用公式(1), $Q = A \times V$ 即 $1 \times 2000 = 2000\text{ cfm}$, 本例如圖 8 所示。

問題 2 如果風管的尺寸改變成 $16' \times 20'$, 風速仍是 2000 fpm , 那麼送風量應當是多少?

在此例中, 風管的截面積 A , 應算出為

$$\frac{16 \times 20}{144} = 2.22\text{ ft}^2$$

再使用公式(1), 得風量

$$\begin{aligned} Q &= A \times V = 2.22\text{ ft}^2 \times 2000\text{ ft/min (fpm)} \\ &= 4440\text{ ft}^3/\text{min (cfm)} \end{aligned}$$

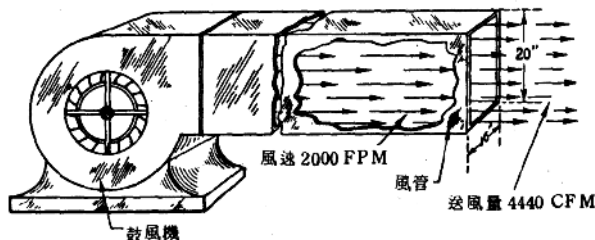


圖 8 當風管截面積增加，風量也隨之增加

本例如圖 9 所示。

問題 3 假定現在我們知道風量及風速，那麼如何決定風管截面積？

即如，如果扇送的風量是 4440 cfm，風速是 2000 fpm，那麼風管的尺寸如何？

依據公式(3)，風管的截面積等於風速去除風量是故，

$$\text{截面積 } A = \frac{Q}{V} = \frac{4440}{2000} = 2.22 \text{ ft}^2$$

問題 4 最後一個問題，假定風管截面積已知為 2.22 ft²，而輸送的風量是 4440 cfm，那麼風管內的風速是每分鐘多少呎？

依據公式(2)，風速等於截面積除風量，即

$$\text{風速 } V = \frac{Q}{A} = \frac{4440}{2.22} = 2000 \text{ fpm}$$

設計上的考慮點

基於我們所告訴你的一切，可寫出在設計時以下數點應予考慮與顯及：

1. 如果風管中風速要大，則開始的壓力也需要高。
2. 增加風量需要增高壓力。
3. 如果風管要作得小些，也需要增高壓力。反之，加大風

管尺寸需要較小的壓力。

4. 風管的長度增加，當然需要增加風的壓力，才能輸送到較遠的地方去。
5. 風管中的阻力加大，如方角形的轉向肘管等，將需要較高的壓力。
6. 如果扇送的空氣中含有較高百分比的濕度，由於空氣的重量增加，也就需要較高的壓力。
7. 換言之，若扇送較高溫度及較低濕度的空氣，則可以需要較低的壓力。
8. 所有氣流中的壓力以水柱的吋數作單位表示，簡寫為：
w.g.。

如果你能記住如下的換算值，對你必有幫助，即 1 吋水柱壓力約為每平方吋 0.577 噸。而每平方吋 1 lb 的壓力 (1 psi) 約等於 22.7" w.g.。

由於 1" 等於 25.4 mm，在公制上，壓力也可以用水柱的公厘 (毫米) mm 數來表示，又 1 psi = .07 kg/cm²。

我們以下將要告訴你如何利用你學到的知識來設計風管系統。

風管設施的計劃

風管中的風速究應如何決定，並沒有一個鐵定的準則，因為它要視許多種能影響它的因素情形而定，諸如風管構造上的機械限制，以及風管系統工作環境的需求等。

高風速的效應

你必需要記住風在風管中行進的速度與噪音有關，如果風速低，我們可以獲得完全無聲的效果；但當增加風速，毫無疑問也隨之提高了噪音。

但如果建築內可用的空間有限，風管尺寸大了容納不下，同時如果輸送的風量又不能減少的話，技術人員只好設計又小且風速又大的風管，以使二者兼顧，因之，風壓就要高，要產生高的

壓力，當然風扇的馬力就必須增加。

費用的因素

一個新的因素現在要納入算計中；那就是費用，以元及角來作單位。這種費用包括初次的裝置費用，以及以後的運轉維持及保養維護費用。

建築師和持有人（業主）都會同意一個看法，建築內的空間大小，就可以決定送風量的大小。空調技術人員必須選用適當的風扇或鼓風機配以適當馬力的馬達，以建立風管中所需的風速及壓力。如果建築上的空間不夠大，空調人員應向業主作如下的建議：

由於建築中留的空調所用的空間有限，不能不將風管作小，但是建築的空間一定，所需的風量不能減小，因之只有增加風速一途。但要增加風速，就要提高壓力，才能壓迫定量的空氣擠過狹小的風管，因為馬達的馬力須增加，最初的裝置費用顯然要增加。

再者，風速一高，噪音也跟着提升；這種噪音不能讓它存在，那就要講求消音設備，或加用良好的隔音材料，如此又增加了最初裝置費用。

但是最大的不便就是操作費用的提高，而且是一種長久性的，也許與建築本體同一壽命，為方便我們假定以十年作一個考慮計算期間。

所有上述的不便利能夠把風管截面積加大而得避免，或者再多加一條或多條送風管以代替原來的一條。當然，這也增加了最初裝置費用，但是却可減小鼓風機和馬達的尺寸，十年內可節省許多電費，同時，要增加消音設施的費用也可以避免了。

也許業主聽不進去你對他所作的這些建議。但是如果空調人員同意安裝了尺寸過小的風管，在以後的運用期間將發生氣流太大和噪音太大的抱怨。

建築內各空間的使用情形也要考慮，譬如在辦公室，就需要