

## 如何較有效率地作汽車噪音與振動問題之故障排除

張超群      許哲嘉      吳宗霖      陳文川  
南台科技大學機械工程系汽車組

### 摘要

本文研究當汽車出現噪音與振動問題時，如何較有效率地作故障排除。首先我們介紹汽車噪音與振動的兩大類型：結構振動噪音、空氣噪音及它們在故障排除上的應用。接著依照停止、煞車、起步及行駛(滑行)四種操作狀況，再加上汽車異音，對汽車噪音及振動問題作較有系統的歸類。然後選擇適當的診斷方法，運用排除可疑系統和零組件法，逐步縮小故障源範圍，有效率地尋找噪音與振動源，進而排除故障。

關鍵詞：故障排除，結構振動噪音，空氣噪音。

### 1 前言

汽車的噪音與振動問題是指汽車聲音的響度或振動幅度超過正常的程度或汽車出現異音或異常振動。汽車出現噪音與振動問題，經常會造成駕駛者及乘客的不舒服，同時也很可能是汽車故障的前兆。但車主開車到保養場時，技工大都憑經驗，用嘗試錯誤法進行維修，有時花了大量時間及力氣也找不出原因。此外技職體系的學生也甚少學習這方面的課程。因此，如何較有效率地作汽車噪音與振動問題的故障排除，就成了汽車教育界及修護業的重要課題。

目前市面上常用的汽車修護書籍及手冊[1-4]，只有零散地提到汽車噪音與振動問題的故障維修，並沒有系統地介紹汽車噪音與振動問題的故障排除。國內的Toyota及裕隆汽車的訓練手冊[5-7]等，只有簡單地介紹噪音與振動問題的診斷與維修，但並不够系統化。雖然國內外各大汽車廠都有噪音振動部門，但他們主要是負責汽車設計階段的噪音及振動的測試和改良，並且技術都列為各廠的商業機密，很少對外公開。文獻[8-10]對汽車噪音及振動問題之故障診斷作了些探討，本文以文獻[8-10]為基礎再針對如何提高汽車噪音及振動問題之故障排除效率作較有系統地研究。

為了提高汽車噪音與振動問題之故障排除效率，本文從下列幾點著手：(1)汽車噪音與振動的兩大類型：結構振動噪音、空氣噪音；(2)汽車噪音與振動問題的歸類；(3)選擇適當的診斷方法；(4)應用排除可疑系統及零組件法逐次縮小故障的範圍。以下我們依序介紹前述四點，並舉例說明。

## 2 基本原理

汽車工業界將汽車噪音及振動分成下列兩大類，這兩類噪音的產生原理不同，故障排除的方法也不一樣，簡述如下：

### 2.1 結構振動噪音

汽車是由非常多的零件組合而成的，當這些零組件在激振力(例如引擎、輪胎的不平衡、崎嶇路面等)的作用下會發生振動，這振動會以彈性波的形式在相鄰的結構中傳播，並使周遭空氣振動而輻射噪音。當振動的頻率及振幅在人可感覺的範圍時，人們就感覺到振動的存在；當輻射噪音的頻率及聲壓在人耳的聽覺範圍(20~20,000 Hz)時，人們便感覺噪音的存在。

結構振動噪音(structure-borne NVH)是指激振力經過結構的傳遞而到達車身，引起車身或其附屬元件振動，而發出噪音。結構振動噪音的產生，可用圖1流程加以說明。激振力引起某個結構振動或共振(振動系統)，這個振動會經相鄰的隔振結構(傳輸系統)(例如引擎腳、排氣管固定架等)傳遞至車身，引起車身或其內部元件振動而發出噪音。例如，引擎扭矩變化所引起之振動力(激振力)，激起排氣管振動(振動系統)，其彈性波經過排氣系統固定架(傳輸系統)的傳輸，引起車身的振動，並輻射噪音至人耳。又例如，輪胎的不平衡激起懸吊系統或轉向系統的振動，其彈性波經過控制臂的橡膠襯套傳到車身，引起方向盤、座椅及踏板的振動，讓人感覺到振動。因此，診斷這類振動噪音問題時，應從激振力、振動系統、傳輸系統、車身或其附屬元件著手。

常見的激振力來源有輪胎的不平衡、失均勻性、變形，傳動軸的不平衡，道路的不平度，引擎的不均勻燃燒等。上述的振動系統、傳輸系統構成傳遞路徑。因此，診斷時我們可思考激振力經過何種傳遞路徑到達車身。例如引擎的振動通常經過引擎腳架或排氣管及其吊耳傳至車身，因此診斷時須注意是否有零組件變形、損壞或鬆動，腳架是否有裂痕、變形等。檢查結構振動噪音常採用的措施如表1所示。

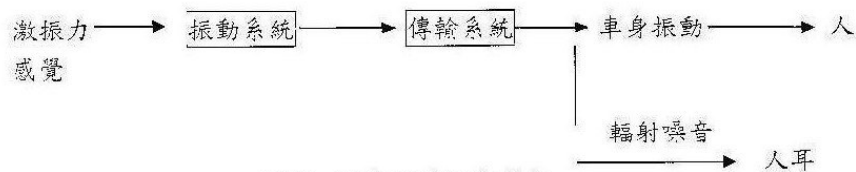


圖1 汽車結構振動噪音

表 1 汽車結構振動噪音可能故障原因之檢查

|          | 檢 查   |
|----------|---|
| 激振力      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 旋轉元件(輪胎、飛輪、傳動軸等)是否平衡</li> <li>• 調整引擎，以減少扭矩的變化</li> <li>• 傳動軸、驅動軸的銜接角度</li> </ul> |
| 振動系統     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 零組件是否有鬆動</li> <li>• 質量減振器或動力吸振器</li> <li>• 懸吊彈簧及避震器是否良好</li> </ul>               |
| 傳輸系統     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 檢查襯套及橡皮墊(懸吊系統的襯套、扭力桿的襯套、排氣管支架隔熱襯套、引擎座橡皮墊等)是否破損或變形</li> </ul>                     |
| 車身及其附屬元件 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 車身底板鋪阻尼材料是否良好</li> <li>• 使用的毛氈墊是否良好</li> <li>• 車身嵌板、柱及軸是否變形</li> </ul>           |

## 2.2 空氣噪音

汽車工業界定義凡是不經過結構傳遞力至車身而產生之噪音為空氣噪音(airborne noise)。它的形成如圖 2 所示。常見的風切聲、進排氣聲、風扇噪音等都屬於空氣噪音。空氣噪音主要包含(1)振動體表面輻射的噪音，穿透車身的隔音裝飾(sound package)而傳到乘座艙；(2)空氣打在汽車上，因空氣流場變化所造成之噪音(例如氣流流經孔、縫隙及空氣流場變化而產生的噪音)。因此，診斷這類噪音時，除了檢查可能的噪音源或異音源外，尚須從隔音、吸音、消音及檢查孔、縫隙上著手。通常檢查空氣噪音採用的措施如表 2 所示。

對於空氣噪音其頻率通常較結構振動噪音高，當我們從振動噪音分析儀上量測的頻譜圖上之峰值頻率大於 300Hz 以上，則這噪音很可能是空氣噪音，它會傳到人耳，很可能是吸音、隔音、孔隙密封不良或消音裝置出了問題。

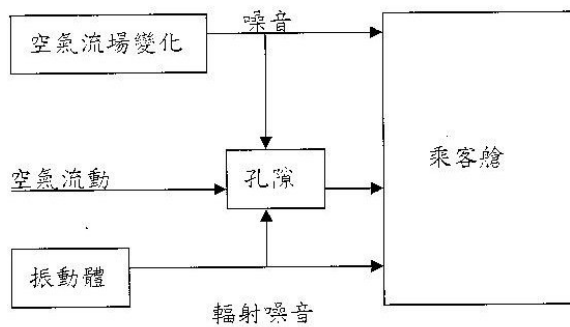


圖 2 空氣噪音

| 檢 查 |  |
|-----|--|
| 隔 音 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 隔音墊是否安裝良好</li> <li>• 各縫隙是否密封良好</li> </ul> |
| 吸 音 | • 地毯、車頂蓬內襯等吸音材料是否良好  |
| 消 音 | • 排氣管是否有破洞   |

表 2 空氣噪音可能故障原因之檢查

### 3 汽車噪音與振動問題的歸類

汽車噪音及振動問題千變萬化，要將所有的問題找出解決途徑並將其明確的歸類是一件非常困難的事。本文嘗試歸納較有效率的診斷流程，依照汽車的停止、煞車、起步及行駛(滑行) [5] 四種操作狀況，再加上汽車異音，將汽車的噪音與振動問題歸類如圖 3 所示。診斷時可依圖 3 的流程，有效率地逐步尋找產生噪音及振動問題的故障源。圖 3 中的上標 1 代表結構振動噪音，2 代表空氣噪音。

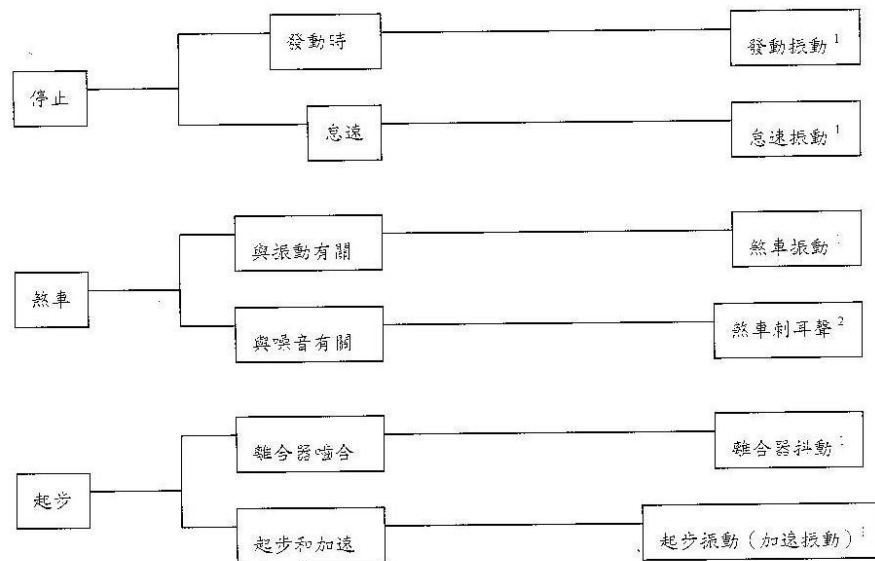


圖 3 汽車噪音與振動問題的大致歸類

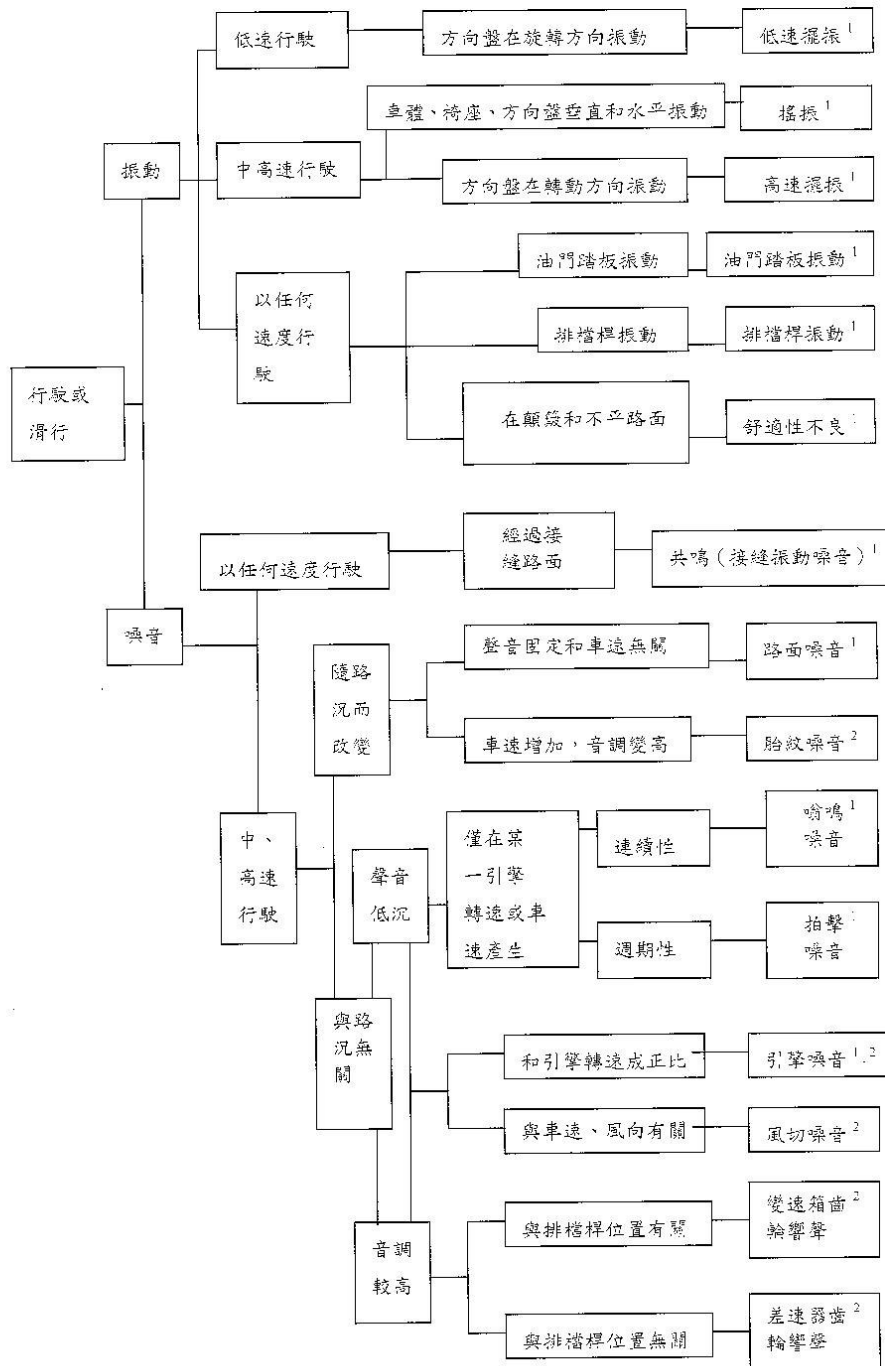


圖3 汽車噪音與振動問題的大致歸類(續)

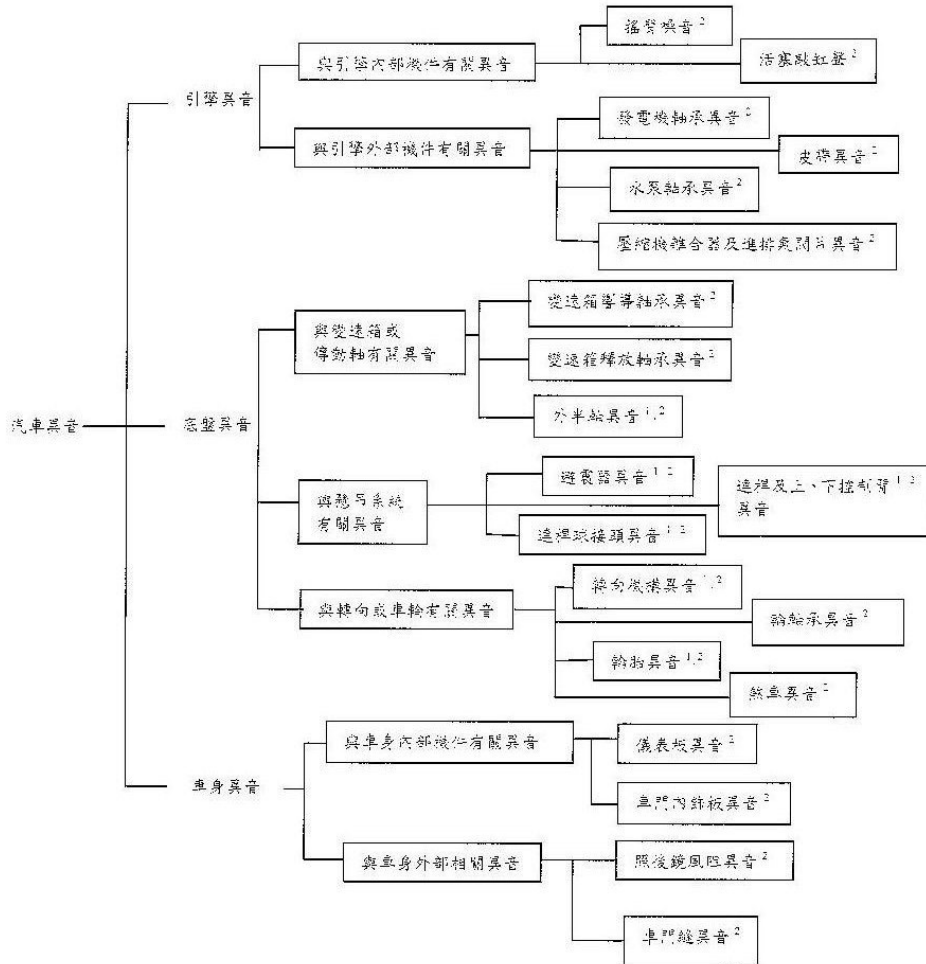


圖 3 汽車噪音與振動問題的大致歸類 (續)

應用前節之基本原理，我們較易判斷故障源。例如圖 3 的搖振屬於結構振動噪音，其可能的激振力來源有車輪的不平衡、輪胎失圓、傳動軸銜接角度不正確或靜、動平衡不良，可能的傳遞路徑可經懸吊系統的振動放大，再經控制臂橡膠襯套傳至車身，或傳給引擎，若激振力頻率與引擎自然頻率接近時會引起引擎共振，振動被放大再經引擎腳傳至車身，引起車身搖動。因此對搖振的故障排除可從如下著手：

激振力：車輪的不平衡、輪胎失圓、傳動軸銜接角度不正確或不平衡、驅動軸不平衡。

振動系統：懸吊系統、引擎系統。

傳輸系統：懸吊系統控制臂、連桿避震器之橡膠襯套，引擎腳。

當然圖 3 只是大致的歸類，但這種歸類對故障排除仍是有幫助的。

#### 4 選擇適當的診斷方法

我們將汽車噪音與振動問題的診斷方法，較有系統的歸類為傳統診斷法及應用掌上型振動噪音分析儀的診斷方法。

##### 4.1 傳統診斷方法

###### (1) 聽診法

這是一般用的最廣的方法。可用金屬棒或聽診器抵在汽車的某個部位(例如引擎、發電機、油泵)上來聽異音；或用空心管置於引擎皮帶滑輪附近直接聽取空氣傳來的聲音來判斷異音源。在使用聽診器時，應根據噪音的出現部位及其變化情形，在不同的區域進行聽診。例如，連桿軸承和曲軸軸承鬆動之異音是在引擎中、下部。此外，引擎各零件發出聲音最明顯時的轉速都不同。因此，在使用聽診器檢查引擎時，應利用改變引擎轉速的方法，在不同的轉速或突然改變轉速進行聽診，這樣對異音源的尋找很有幫助。

###### (2) 改變負荷法

汽車引擎與底盤的異音與異常振動問題其強度多數和負荷成正比變化，即負荷愈大噪音與振動也就愈顯著。根據汽車異音與異常振動隨負荷變化的規律及特點，可判斷故障的位置及性質。負荷法係改變汽車某機件、機構或系統的負荷，以突出某些不明顯的異音與異常振動，或讓明顯的異音與異常振動減弱或消失。改變負荷的方法有下列幾種：

###### (a) 起步法：

當汽車起步時由於慣性力，零組件承受較大的負荷。可突顯出某些異音與異常振動問題來。

###### (b) 改變汽車速度法：

汽車轉動件不平衡或定位偏離設定值時，當汽車低速行駛時產生的異音與異常振動不是很明顯。提高車速時因不平衡或定位偏離所造成的異音與異常振動問題會增強。此法可用來檢查曲柄連桿機構、傳動軸、及車輪等是否平衡不良，車輪定位是否在允許的設定值內。

###### (c) 踩踏油門法：

將油門踏板從鬆油門狀態下突然踩下，使引擎轉速突然升高，然後鬆油門讓轉速快速下降，並重複上述步驟，此方法主要用於引擎異音問題之診斷。

###### (3) 轉速及速度法

當汽車引擎轉速或行駛速度對應的頻率等於汽車車身、系統或零組件的自然頻率時，會產生共振現象，使異音響度或振動幅度增大。即汽車異音與異常振動通常都對應於某一個轉速或速度區段，從這些區段可診斷可能的原因。例如傳動軸不平衡所發出的聲音在中等車速時比較明顯，而高速行駛時並不顯著。

###### (4) 從汽車的新舊或修護後的特點作診斷

新車出現異音與異常振動問題多半是某零組件鬆動或裝配不當；舊車發

生噪音與振動問題則大多是老化、磨損或鬆動等原因所造成的；修護後的汽車出現異音與異常振動問題一般是調整不當，螺絲、螺帽等未按規定扭力鎖緊，皮帶太鬆或太緊，漏裝或裝錯零件所造成的。

(5) 同型車比較法

如果與同型車相比，大多數車都有同樣的噪音與振動問題，這表示設計或製造出了問題。

(6) 貼膠布或化學土至可疑空隙法

此法適用於風切聲等高速空氣流動噪音。將膠布或化學土貼至可疑空隙，如後視鏡、門縫等，如果噪音消失，則該處很可能密封不良或縫隙過大。

(7) 擠壓、敲打、搖動可疑部位法

此法對診斷車內異音很有用。當零組件因間隙改變或鬆動時，我們擠壓、敲打或搖動可疑部位，機件可能會相對滑動或振動而讓噪音突顯出來。

(8) 溫度法

引擎剛發動時溫度較低，有些異音會顯現出來，當溫度升高時異音又會減弱或消失。例如，有些軸承異音冷車時較明顯，熱車時異音會減弱。

(9) 潤滑法

噴潤滑劑(如 WD40 或油脂)至可疑部位，如果異音消失，很可能該部位有問題。例如，某些車門的鉸鏈在開關車門時出現異音，經噴 WD40 後異音消失或減弱，可確定該組件欠缺潤滑或零件磨損過度，可噴塗油脂或更換零組件。

(10) 某缸不噴油或不點火法

如果讓某缸不點火或不噴油時，噪音如果減弱許多或消失，則可能該缸有問題。

#### 4.2 應用掌上型振動噪音分析儀法

掌上型振動噪音分析儀可用來量測汽車噪音或振動的頻譜圖，藉由頻譜圖上的峰值頻率，配合汽車知識去判斷那個零件會產生這個峰值頻率，進而找到故障源。由於轉動件的頻譜圖較有規律，此法特別適合旋轉件的故障排除。將噪音計的 AC OUT 用線接至分析儀，便可當作量測噪音用的麥克風。使用時只要裝上加速規放置在振動元件表面或裝上麥克風置於駕駛或乘客的耳朵附近，即可顯示出振動或噪音的頻譜圖。配合前述基本原理中所敘述之汽車噪音與振動問題發生的可能系統，這對故障的診斷較前述之傳統診斷法更準確。

#### 4.3 診斷注意事項

診斷時須特別注意下列事項：

(1) 車速及引擎轉速

每種噪音與振動問題大都對應於某一個轉速或速度區段。從出現噪音與振動問題的車速及引擎轉速範圍，我們可以大致判斷這些故障源可能出自何處。



### (2) 引擎負荷

汽車引擎與底盤的噪音與振動強度多數和負荷成正比變化，即負荷愈大噪音或振動通常也就愈顯著。

### (3) 變速箱的排檔位置

藉由變速箱檔位及汽車的行駛或靜止，大致可判斷噪音與振動問題是來自引擎或底盤。

## 5 應用排除可疑系統和零組件法以縮小故障源

為了較有效率地尋找故障源，可採用排除可疑系統和零組件法來逐漸縮小故障源的範圍。此法簡述如下：

圖 4 所示為汽車噪音與振動問題的主要可能零組件圖。應用排除可疑系統和零組件法，首先決定是引擎系統或底盤系統或車身所造成的問題，然後再判斷那個零組件是故障源。例如，手排車輛停止（引擎發動中），打入空檔，如果噪音與振動問題仍然存在，則問題是引擎或其相關零組件引起的。再將皮帶拆下，上述噪音與振動問題徵狀消失，則故障源可能是與皮帶相關的引擎輔助件（如發電機、水泵等）。圖 5 是我們應用排除可疑系統和零組件法，以尋找可能汽車異音源的大致流程圖。

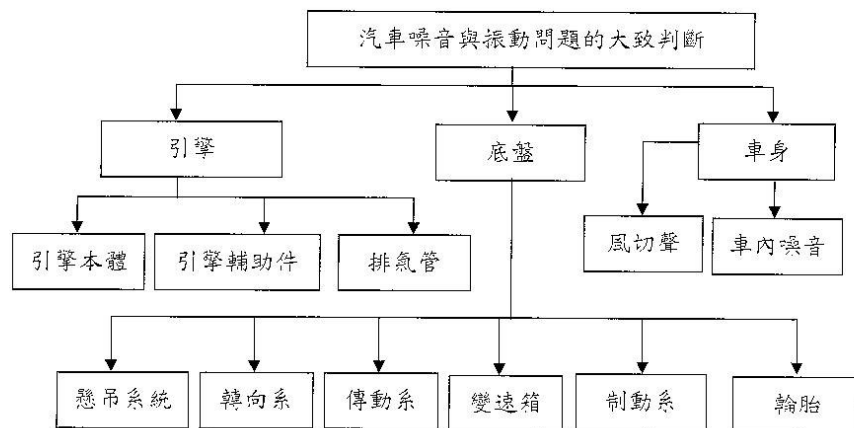


圖 4 應用排除可疑系統和零組件法尋找故障源

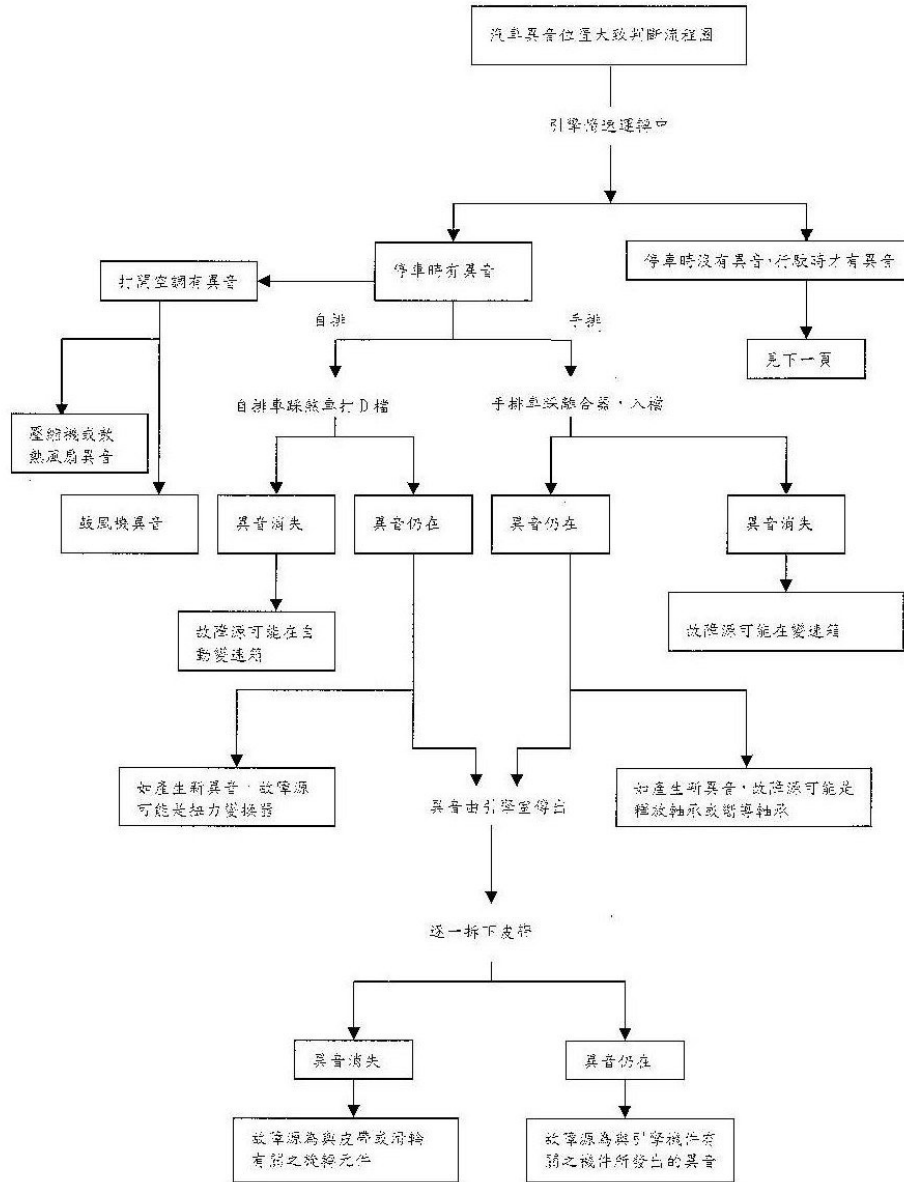


圖 5 尋找汽車異音源之大致流程图

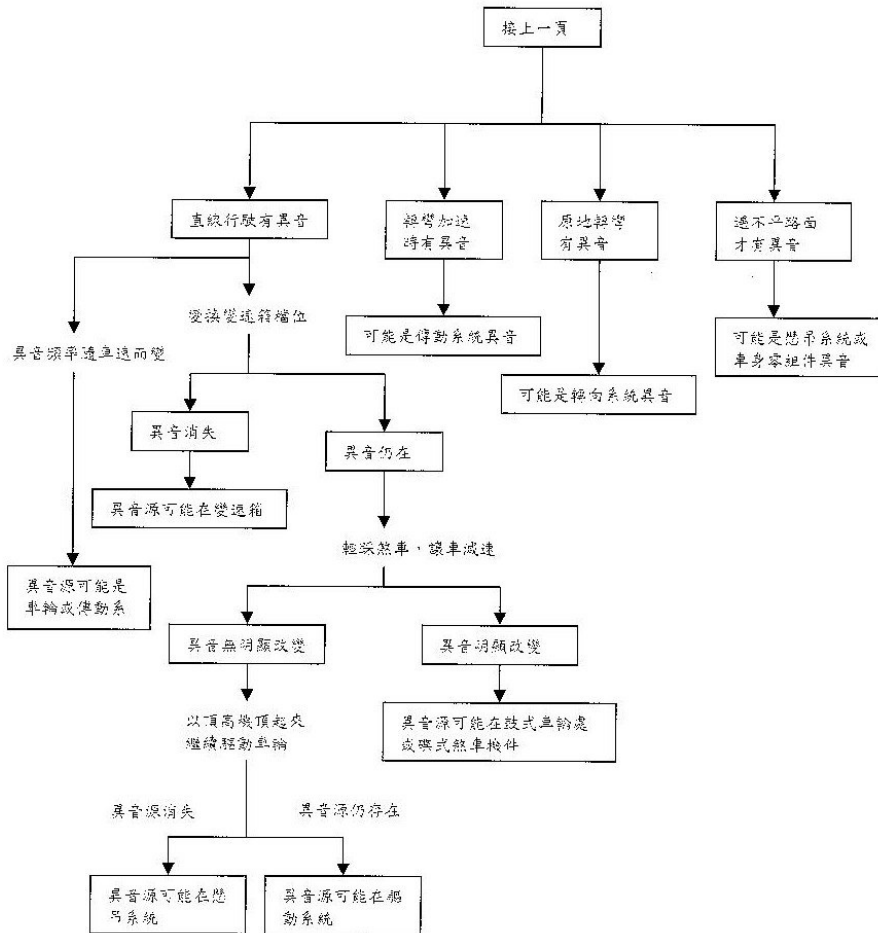


圖 5 尋找汽車異音源之大致流程圖(續)

## 6 實例

某部福特好幫手當行駛至 65km/h 左右會出現異音伴隨異常振動，車速約到 75km/h 左右時振動及噪音達到最大。在試車時我們更換變速箱檔位行駛，發現車速仍在 75km/h 左右振動及噪音最大，這表示異音與引擎轉速及變速箱無關，但與車速有關。應用排除可疑系統和零組件法，我們知道最有可能出問題的是傳動系或輪胎。我們將噪音計的 AC OUT 接於掌上型振動噪音分析儀，量測時由一人坐於前座，拿著噪音計置於駕駛耳朵附近，在車速約 75km/h 時量得的噪音和振動頻譜圖，如圖 6 和圖 7 所示。從頻譜圖中，我們得知 66Hz 有最大峰值，並且 132Hz 也有峰值，我們判斷是旋轉件造成的。此車的輪胎型號

是 P155/70R12，其半徑等於  $(155 \times 0.7 + 12/2 \times 25.4) / 1000 = 0.2609\text{m}$ ，所以車輪轉動頻率等於  $[(75 \times 1000) / 3600] / 0.2609 = 79.85\text{rad/s} = 12.71\text{Hz}$ 。此車的最終齒輪減速比為 5.125，因此傳動軸的轉速為  $12.71 \times 5.125 = 65.13\text{Hz}$  近似於 66Hz。因此，我們推斷可能的故障源是傳動軸，經檢查後發現傳動軸質量不平衡，更換傳動軸後問題解決。此例題是屬於結構振動噪音問題，激振力是由於傳動軸不平衡所引起的，振動系統是懸吊系統，傳輸系統是葉片彈簧吊耳。

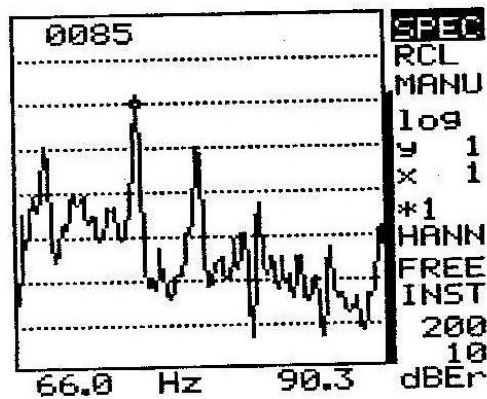


圖 6 噪音頻譜圖

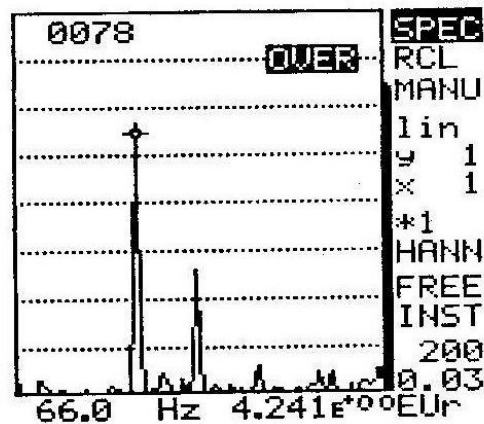


圖 7 振動頻譜圖

另外一個例題是某車輛在行駛中或停車時，當打方向盤快到底時會出現“啪、啪”的異音。試車時我們改變變速箱檔位、引擎轉速及引擎負荷，發覺徵狀不變，因此我們判斷是底盤異音。因與轉向有關，我們首先檢查轉向系統，發覺一切良好，因而我們懷疑是懸吊系統的問題，經更換右前避震器總成後，聲音仍在。從前述分析我們已排除轉向系統及懸吊系統，我們懷疑可能是車身異音。經拆下檔泥板及葉子板後發現右前葉子板內部與隔板間車身焊點未完全，當轉向時車身上揚，將未焊接完全的鈹金部分拉開後又彈回，如此就會發出“啪、啪”聲。經 CO<sub>2</sub> 焊接後，塗上防銹漆就無異音。

## 7 結論

本文在千變萬化的汽車噪音與振動問題中，提出較有效率的故障排除方法。首先我們必須了解汽車噪音與振動產生和傳播的基本原理。汽車振動與噪音有結構振動噪音及空氣噪音兩種，在診斷上最好先判斷是何者所造成的。通常結構振動噪音的頻率較低，若是結構振動噪音問題可從激振力、振動系統、傳輸系統及車身及其附屬元件上找尋答案；若是空氣噪音問題，其解決方法須從零組件噪音源或從週遭吸音、隔音材料或消音裝置上作診斷。其次是我們將汽車噪音與振動問題作較有系統的歸類，並將傳統上診斷異音與異常振動方法作有系統歸納，同時介紹應用振動與噪音原理的掌上型振動噪音分析儀的診斷方法和診斷時注意的事項。最後應用排除可疑系統和零組件法，縮小故障源的範圍，提高故障排除的效率。

本文希望能提供給汽車教育界及修護業，作為汽車噪音與振動問題之故障排除的參考。

## 致謝

本文承國科會經費補助，計畫編號 90-2516-S-218-001，特此致謝。

## 參考文獻

1. *Chilton's Auto Repair Manual 1981-1988*, Chilton Book Company, NY, 1987.
2. Stockel, M. W. and Stockel, M. T., *Auto Service and Repair*, 5th ed., GoodHeart-Willcox, IL, 1998.
3. Crouse, W. H. and Anglin, D. L., *Automotive Mechanics*, 10th ed., McGraw-Hill, NY, 1993.
4. *Bosch Automotive Handbook*, 3rd ed., Robert Bosch GmbH, 1996.
5. Toyota NEW TEAM 第三階段訓練手冊，Vol. 8，NVH(噪音、振動、共鳴)，和泰汽車公司，台北，1992。
6. Toyota 檢診工具組操作手冊，和泰汽車公司，台北，1992。
7. 裕隆汽車公司講師手冊，裕隆汽車公司，三義，1999。

8. 張超群、許哲嘉、吳宗霖，汽車異音與異常振動之故障診斷，汽車工程會刊第十六期，頁 121-135，2002。
9. 劉成群、張超群，汽車振動與噪音，文京圖書公司，2002。
10. 張超群、許哲嘉，汽車噪音與振動問題之故障診斷研究，第十六屆全國技術及職業教育研討會，工業類車輛工程組，頁 337-346，2001。
11. Harris, C. H., *Shock and Vibration Handbook*, 4th ed., McGraw-Hill, 1996.
12. Norton, M. P., *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
13. Halderman, J. D., *Automotive Steering, Suspension, and Alignment*, Prentice-Hall, NJ, 1995.
14. Beranek, L. L. and Ver, I. L., *Noise and Vibration Control: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, NY, 1992.
15. Crocker, M. L., *Handbook of Acoustics*, John Wiley and Sons, NY, 1998.
16. 鄭長聚，環境噪音控制工程，科技圖書公司，台北，1995。
17. 蘇德勝，噪音理論及控制，臺隆書店，台北，1991。
18. 白明憲，聲學理論與應用，全華科技圖書公司，台北，1999。