



作者：徐業良(2007-05-14)；推薦：徐業良(2007-05-14)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2007年六月號，史丹福專欄。

## 汽車懸載系統ABC

最近在學校上大三機械設計的課程，正好教到機械振動的單元。談機械振動最好的例子就是汽車或機車的懸載系統，雖然上課討論的內容不是什麼汽車尖端科技，發現同學們看起來都還頗有興趣，但對懸載系統卻又一知半解。

Mmmm，史丹福專欄的讀友們會不會也有興趣重溫一下汽車懸載系統的基本構造和原理呢？

讀友們閱讀汽車購買指南介紹汽車的文章時，一定會很注意汽車性能的介紹，像是馬力、扭力、0到100公里加速需要幾秒鐘之類的數據—這些性能數據都和汽車引擎有關。另外一類對汽車性能的描述，則是和汽車懸載系統有關，像是汽車的行路性(ride)和操控性(handling)。行路性指的是汽車能夠消滅、撫平路面跳動的能力，汽車的操控性指的則是汽車能夠安全地加速、煞車、轉向的能力。

如果所有道路路面是完全平坦的，也許汽車就不需要懸載系統了。不過這自然是不可能的，甚至剛剛鋪設好的高速公路路面，也會有細微的不工整，而路面上的凸起或凹陷便會施力給汽車車輪，使得車輪在垂直方向上下跳動。如果輪胎和車體之間沒有懸載系統作緩衝，輪胎垂直上下跳動的能量都會硬梆梆地直接傳送到車架，使得車體也會上下跳動。

想一想您騎腳踏車的經驗（沒有避震器的那種），經過路面的凸起或凹陷，車子很容易騰空起來，車輪和路面完全失去接觸，然後因為重力作用，車輪會再次猛地掉回路面。輕的話會讓您屁股很痛，嚴重的話腳踏車可能完全失去控制。

很久以前曾經看過一個 BMW 的汽車廣告，鏡頭從頭燈光束遠遠地拉回來，鏡頭拉到車頭再往下走，才發現輪胎在不平的路面上疾駛，激烈地上下跳動，車體和頭燈光束卻穩穩地不動如山。

這個廣告 BMW 要宣傳的是其優異的懸載系統，從汽車的行路性來看，懸載系統的基本功能之一的確就是吸收或隔絕路面跳動，當車輪順著路面不平上下跳動時，懸載系統要讓車架和車體完全不受干擾，路面跳動不致傳達至駕駛人或車室內。

從汽車的操控性來看，懸載系統則是要提供很好的抓地力(road holding)和過彎能力(cornering)。汽車完全是靠輪胎與路面的摩擦力，才能做出行進、加速、煞車、轉向等等動作，輪胎隨時要與路面接觸、保持這個摩擦力是很重要的，而所謂汽車「抓地」力，是描述一部汽車在直線前進或轉向時維持輪胎與路面接觸的能力。舉例來說，汽車煞車時整體重心會由後輪移向前輪，做出俯衝的姿勢，後輪有可能離開路面；相反的加速時車體的重量會從前輪移到後輪，做出蹲踞的姿勢，這時前輪有可能騰空起來。過彎時也是如此，車體循一曲線行駛時，離心力使得車體外側較高內側較低，而有側翻的趨勢。這時候就要倚靠懸載系統來減少車體「前仰後合」、「左右翻滾」的動作幅度，讓輪胎一直和地面維持接觸，保持一定的摩擦力，駕駛人才能穩健地操控汽車。

那麼懸載系統如何來達成這些功能呢？

有時候發現大家會把懸載系統和底盤(chassis)混在一起談，事實上汽車底盤包括了四個重要的系統：車架(frame)是用來承受負載，支撐汽車引擎、車體等等的主體結構，而車架則是被懸載系統所支撐，另外兩個系統則是轉向系統、輪圈和輪胎。所以您知道，懸載系統只是底盤的四分之一而已，懸載系統一端支撐著車架，一端透過輪圈和輪胎聯繫路面。

懸載系統組成並不複雜，最主要的結構元件就是懸載彈簧。懸載系統中彈簧的角色除了支撐車體重量外，也在輪胎經過路面跳動時提供一個軟性的緩衝，產生前面提到隔絕路面不平的效果。

最常見的汽車懸載彈簧是用線圈纏繞而成的壓縮彈簧，路面衝擊力道很大，因此懸載彈簧線圈鋼絲都非常粗。早期的汽車是採用好幾片鋼片重疊而成的葉片彈簧(leaf spring)，比圈型彈簧更夠力一些，80 年代前大部分美國車的懸載系統都還是採用葉片彈簧，現在則只有在卡車、越野車之類大負載車子的懸載系統上看得到。此外您可能

還聽說過懸載系統中採用扭力桿(torsion bar)或氣壓彈簧(air spring)，但都不算是主流派。

我的大三機械設計教材中，談到汽車振動模型有這麼一段話：

“汽車振動模型中，質量的部分被分為「懸載質量(sprung mass)」和「未懸載質量(unsprung mass)」兩部份。懸載質量是指懸載系統上方被懸載系統所支撐的車體部分，未懸載質量則是指懸載系統下方，沒有受到懸載系統支撐的部分，主要包括車輪、車胎的組合。汽車上的乘客，當然是屬於這個模型當中的懸載質量，路面的跳動則主要是施加於未懸載質量，也就是車輪、車胎組合上。而汽車懸載系統設計最主要的目的，就是希望將路面的振動隔絕，不要傳入懸載質量中。”

應該不會太難懂吧！

彈簧的剛性影響了懸載質量（就是車體啦）的反應，在汽車購買指南中常常描述某一部車底盤比較軟、某一部車底盤比較硬，大抵指的就是懸載系統的彈簧軟硬。如果懸載彈簧比較軟，可以“吃掉”路面的跳動，行路性就會比較平順，但是這樣的車子煞車和加速時車體前仰後合的幅度比較大（想想您乘坐大型遊覽車的經驗），過彎時也容易側傾或甩尾，不利於汽車操控。懸載彈簧比較硬的話（像是跑車化的車款），對於路面跳動比較不能吸收，行路舒適性較差，但是車體的前後左右傾斜幅度比較小，因此可以作比較激烈的起步、煞車、快速過彎之類的動作。

彈簧看起來是個簡單的元件，然而如何在汽車懸載上設計應用，能在行路性和操控性之間取得平衡，其實還挺有學問的。光是彈簧本身並沒有辦法完成所有工作，因為彈簧只能暫時吸收能量，並不能消滅能量，如果懸載系統只有彈簧的話，汽車經過一個路面跳動，好久以後可能還是上下振個不停，懸載系統還要靠減振筒(shock absorber)來消滅振動能量，讓上下跳動迅速停止。

比較仔細地說，懸載系統中彈簧的角色，是在被壓縮之後暫時儲存輪胎和輪圈受到路面跳動衝擊時產生的能量，使這個衝擊能量不致直接傳至車身和乘客，一旦輪胎離開路面凸起之後，彈簧開始伸張，這個能量又會被釋放出來；而懸載系統中減振筒的角色，就是產生一個抗力限制彈簧壓縮和伸張，把這個能量再“吸”走，以摩擦方式將能量在減振筒中消耗掉，使振動逐漸消失。

減振筒事實上是一個充滿液壓油的液壓缸，其液壓缸活塞的兩端是相通的，當減振筒被壓縮或拉伸時，液壓油可以從活塞的一端經過活塞上的許許多多小孔流到活塞的另一端，液壓油本身有黏滯性，流動時的摩擦力便會產生阻尼(damping)的效果。

減振筒內的液壓油很難快速地從活塞一端流至另一端，因此減振筒有一個有趣的特性，是其產生的抗力大小和速度成正比。您有機會拿到一個減振筒的話，可以自己作個小小實驗，您快速地壓縮或拉伸減振筒時，抗力非常大，幾乎完全壓不動，但如果您慢慢來，緩緩地壓縮或拉伸減振筒，反而不怎麼需要出力便能很輕鬆地壓縮或拉伸減振筒。

真是標準的吃軟不吃硬。

減振筒的「軟硬」也是懸載設計上重要的參數，汽車設計工程師們也常以調整減振筒的「阻尼常數(damping constant)」，使得懸載系統可以進一步控制車體的姿態，像是跳動(bounce)、側傾(roll)、煞車和加速時的前仰後合(pitch)等。懸載系統中的減振筒對汽車操控性有很大的影響，幾乎可以被看成汽車中關鍵的安全系統，減振筒漏油的話整個底盤都感覺鬆垮垮的，汽車行駛很不平穩，輪胎抓地能力減小，也會影響操控和煞車性能表現。

懸載系統中彈簧和減振筒各有角色，六十年前一位通用汽車公司的工程師 Earle S. MacPherson，把減振筒套在一個圈型彈簧內，成為現代汽車前輪獨立懸載最常用的「麥佛遜柱(MacPherson strut)」。麥佛遜柱可以同時有減振和支撐車體重量兩個功能，體積小、重量輕，特別適合用在前輪驅動的車子上。

除了懸載彈簧和減振筒之外，汽車底盤上也常會有「防傾桿(anti-sway bar or anti-roll bar)」的設計，來進一步提升汽車的穩定性。現代汽車大多是四輪獨立懸載，每個車輪的動作基本上互不影響，而防傾桿是一個連結兩側懸載系統的金屬桿，當一個車輪受道路面不平上下跳動時，防傾桿會將這個動作傳遞到另一側的車輪，這對汽車過彎時減少車體的側傾特別重要，因此現代汽車大部分都將防傾桿列為標準配備，要作提升操控性能的改裝時，防傾桿通常也是改裝的重點。

汽車懸載系統 ABC 上完了，下次有機會再繼續第二課吧！