



作者：徐業良(2004-06-16)；推薦：徐業良(2004-06-16)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2004年七月號，史丹福專欄。

## 輪胎生命週期的環保概念－談省油輪胎

有一天帶著六歲的小女兒去看暑假檔電影“The Day After Tomorrow”「明天過後」，小女孩很少看“大人電影”，帶她看這部片帶著點兒大人自以為是的教育動機，主要是希望小女孩體會一些溫室效應、環境保護之類的問題。

不是幫電影宣傳（或反宣傳），自己覺得這部電影科學的根據實在不太充足，很難把電影情節合理地解釋給小女孩聽，回答小女孩一連串的“為什麼？”，還是只能當作純粹娛樂電影來看待。不過電影生動的特效倒是結結實實把小女孩嚇了一跳，晚上兩點鐘還搖醒媽媽說自己一直在想電影畫面睡不著，接下來好幾天都認真地找爸爸討論保護地球的問題，也算是達到了大人自以為是的“教育意義”。

小女孩保護地球的結論之一，是大家最好不要每天上班上學，因為出門開車“很不保護地球”。

的確，對於大多數人來說，您每天所作最不環保的事兒，可能就是開車或是坐車，消耗了許多能源之外，還製造了大量廢氣和二氧化碳。汽車引擎自然是頭號對象，如何降低油耗、減少廢氣排放，採用替代能源等等，一直是汽車環保問題上努力的重點。

引擎環保問題談很多了，除了引擎之外，近年來輪胎也成了汽車環保問題很受重視的一環。您知道，時下最流行的輪胎不是黑色，是綠色。

輪胎又不製造廢氣，對環保有很大影響嗎？

要討論一項產品的環保問題，得由產品整個「生命週期(life cycle)」來看。輪胎的生命週期一開始是製造輪胎所需原物料的生產，包括種橡膠樹生產橡膠，輪胎裡還摻雜一些石油化合物、金屬、纖維等等成分，原物料的生產和石化工業、鋼鐵工業或多或少有關連。輪胎生命週期的第二階段則是輪胎的設計和製造，生產原物料或輪胎本身過程中的環保、污染問題，都要算在輪胎環保的帳簿上。

輪胎生命週期的第三階段便是輪胎實際在汽車上使用，全球每年大約銷售一億九千萬隻新輪胎。輪胎生命週期最後一個階段，是舊輪胎回收處理，全球每年大約也有一億九千萬隻舊輪胎需要回收處理。

對了，輪胎環保最嚴重的，應該是舊輪胎回收的問題吧？！

舊輪胎主要處理方式是重製胎紋變成再製胎，廢輪胎處理過後也可當作燃料，燃燒熱值很高，接近煤炭，另外則是重新做成其他橡膠製品，或者絞碎後用來鋪路等等。舊輪胎本身其實有不小的經濟價值，處理後使用還挺值錢的，直接當作垃圾處理比例反而不多，輪胎在回收階段環保上的衝擊並不大。

詳細計算一番，輪胎在生命週期中對環保衝擊最大的，反而是在使用階段。

汽車行駛時輪胎本身也許沒有製造廢氣，但是輪胎會製造阻力，而一部汽車的耗油性和其行駛的阻力直接相關。汽車行駛時引擎動力要對抗的，主要是加減速所需要克服的慣性力（還記得牛頓運動定律， $F=ma$  嗎？）和各種摩擦阻力，包括汽車內部動力傳輸過程中的傳動摩擦阻力、空氣阻力、以及輪胎與地面之間的滾動摩擦阻力。

這些因素在汽車整體行駛阻力中所佔份量各是如何呢？

在停停走走的市區交通，估計引擎動力耗費在克服慣性力大約是 35%，傳動摩擦阻力是大約 45%，空氣阻力大約 5%，輪胎滾動摩擦阻力 15%。而在高速公路時速 100 公里定速行駛的話，沒有克服慣性力的問題，估計引擎動力耗費在克服傳動摩擦阻力大約是 15%，空氣阻力大約是 60%，輪胎滾動摩擦阻力大約是 25%。

如果透過研發、設計，將輪胎滾動摩擦阻力減小了 20%，換算一下高速公路行駛的整體阻力就減小了 5%，意思就是引擎油耗量降低了 5%，二氧化碳或其他廢氣排放量自然也隨著降低。

5%聽起來不多，但卻是輪胎對環境保護能做出的貢獻，環保輪胎綠色的重點，便在於如何降低輪胎與地面之間的滾動摩擦阻力，許多車廠也以使用「省油輪胎(fuel-efficient tire)」作為其省油設計的一部份。

要討論降低輪胎與路面摩擦阻力前，得先討論這個阻力是怎麼產生的？

當輪胎轉動時，輪胎胎紋與地面接觸的部分會受力產生變形，這個變形就是輪胎滾動摩擦阻力的來源，這個變形量越大，消耗的能量也越大，相對的摩擦阻力也就越大。

所以設計省油輪胎最簡單的方法，就是切短胎紋深度，輪胎胎紋與地面接觸時受力產生變形量自然也小一些，消耗的能量越小，相對的摩擦阻力也就越小。胎紋深度對於輪胎耗油性確實有顯著影響，測試結果顯示，輪胎胎紋磨耗時，省油性通常反而提升，總的來說，不管是先天設計或是後天磨耗，胎紋越淺，省油性越佳，而在當輪胎胎紋快要磨耗光時，大部分輪胎，不管是一般輪胎或是所謂省油輪胎，省油性都很接近。

不合理，對不對？如果胎紋太淺的話，輪胎壽命縮短，且潮濕路面排水性不佳，造成車子循跡性不好。此外在汽車煞車的時候，我們反而是希望輪胎摩擦阻力大一些，才有足夠的抓地力和安全性。

所以您知道，省油輪胎的設計要在減小滾動摩擦阻力和許多其他性能因素之間尋求妥協。不過輪胎胎紋的設計與胎紋材料的成分，大約影響了 60~70%的滾動摩擦阻力，的確是省油輪胎設計第一個考慮的因素。

為了省油切短胎紋深度，好像有點殺雞取卵的味道，胎紋設計上另一個作法，是在不妨礙其排水性的前提下，在胎紋之間設計補強的肋條，增加胎紋受力變形時的剛性，有這種肋條設計胎紋的輪胎會比胎紋都是一塊一塊獨立塊狀設計的輪胎要省油。

從胎紋材料成分上動腦筋，有一些輪胎胎紋採用外蓋(cap)和基層(base)分開的兩層式設計，胎紋外層直接接觸路面，成分可以選擇比較堅硬的高抗磨耗材料，能有較長胎紋壽命，潮濕路面行駛循跡性也比較好。但是這種比較高抗磨

耗材料特性上會產生較多的熱，所以基材成分便選擇較能隔熱的材質，主要在保護、冷卻輪胎壁不要累積大量熱。

米其林輪胎公司在 1992 年推出的「綠色輪胎(green tire)」，也是在胎紋的成分上下功夫，在輪胎橡膠內加入「矽土(silica)」的補強成分。他們的理論是說汽車在行駛時和煞車時輪胎與路面滾動摩擦產生的機制並不相同，煞車時輪胎和路面有相對滑動，這時候胎紋是受到路面不平影響，產生高頻率、每秒幾千次的振動、變形；一般行駛時輪胎和路面間是完全滾動，以時速一百公里來看，輪胎上同一點每秒鐘接觸路面 15 次，也就是說這時輪胎胎紋是以 15Hz 的低頻率產生變形。

米其林開發的含 silica 成分的橡膠，能夠增強胎紋在低頻率變形時的剛性，降低一般行駛時的滾動摩擦，降低耗油，但是對煞車時的高頻變形卻沒有影響，仍能提供良好的抓地力。米其林自己的測試數據，這種綠色輪胎的滾動摩擦阻力比一般輪胎降低了 30%。

傑克，這太神奇了，黑黑一只輪胎也挺有學問的。

不管什麼設計、什麼成分的胎紋，快要磨光的時候，所有的輪胎省油性的差不多，這時候省油性取決於胎壁。行駛過程中除了胎紋之外，輪胎胎壁也會發生變形，胎壁結構的設計可說已經相當成熟，1946 年發明的輻射層輪胎(radial tires)是輪胎科技上和輪胎耗油性的重要里程碑，早期的輪胎內部結構多半是斜紋(bias)層，容易扭曲變形，輻射層輪胎剛性強，可說是完全解決了這個問題，測試數據顯示，輻射層輪胎比早期的斜紋層輪胎滾動摩擦阻力降低 30~40%。

談完了胎紋設計和材料成分，和胎壁結構組成，事實上真正支撐車體重量的不是胎紋也不是胎壁，而是輪胎內的空氣。胎壓對於任何輪胎的省油性都有決定性的影響，根據測試，車主手冊上建議 35 磅的胎壓，如果降到 28 磅的話，滾動摩擦阻力大約會增加 12.5%。

不管您用的是哪一種何種輪胎，維持適當的胎壓是最簡單、您可以立刻開始監測、掌控的因素，您知道，保護地球。