



作者：徐業良(2003-04-17)；推薦：徐業良(2003-04-17)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2003 年五月號，史丹福專欄。

生命週期的環保概念－從福特Model U談起

大豆、玉米、葵花子。噢，不是在寫菜單，這些是福特公司最近推出的環保概念車“Model U”上使用的材料。

事實上這種綠色材料的使用對汽車工業來說並不是什麼新鮮事兒，1940 年代亨利福特（對，就是福特汽車公司的創辦人，發明汽車的那一位）便已經在實驗綠色材料的概念，曾經嘗試用大豆為基材製造一部汽車車體。傳說中的故事是，亨利福特那部綠色概念車最大的問題，是車子所到之處隨時吸引了大批牛群。

2003 年福特公司正準備慶祝公司一百年生日，發展一部綠色材料環保概念車，把老祖宗亨利福特未完成的志願再度實現，自然是非常理想的生日禮物。一百年前亨利福特發明的汽車叫做“Model T”，英文字母 T 接下來是 U，“Model U = Model T + One century”，這部環保概念車便取個名字叫做“Model U”，也頗有“慎宗追遠”的意思。

的確，汽車經過了一個世紀的蓬勃發展，已經成為人類最最重要的交通工具，是二十世紀改變人類生活型態的重要產品之一。在這個新世紀裡，汽車未來發展技術的重點又是什麼呢？

Model U 希望標明的重點是環境保護和生物科技。談到環境保護，自然有一大堆電動車、燃料電池等等熱門議題。當然 Model U 上也有超級增壓氫燃料內燃機引擎搭配混合電動動力設計，來達到低廢氣排放等環保要求，但是 Model U 上最令人注意的重點，是環境保護和生物科技結合，發展車體製造乃至運作上所使用的「生物基 (bio-based)」材料。

「生物基」？

噢，汽車一般大量使用的材料是來自「礦物」，像是各種金屬以及石油煉製的塑膠製品，Model U 上則使用了許多綠色材料，有的材料可真的是「綠色」喔，因為材料本身的來源便是植物。即使材料的來源不是植物，這批綠色材料的發展，也特別重視其製造和使用過程中對環境的安全性，以及材料本身的回收、再生性。像是 Model U 在座椅、面版、方向盤、頭枕、門板、手靠等等上大量使用的聚酯纖維(polyester)皮面，便是特別發展出的綠色材料，特點是可以一次又一次地回收、再製成為基礎材料，而完全不會影響其品質。

Model U 車頂棚和地毯墊的纖維材料則是用另一種特殊的材料叫做“Polylactide(PLA)”，這種奇怪的化合物名稱實在令人頭大，簡單地說，“poly”是聚合物，“lactide”是「減水乳酸」(我也不知道是什麼碗公)，重點是這個「聚合減水乳酸」PLA 就是一種「生物基」材料，是從玉米提煉出來的，廢棄之後當成垃圾埋在土裡，不但不會污染環境，反而還會是很好的肥料。除此之外，這種玉米做的纖維材料觸感非常好，材料的韌性、耐磨性、乃至於維護的方便性，完全不輸石油基的塑膠材料。

除了 PLA 之外，Model U 上還採用了許多可回收、更新的植物基材料，取代了慣用的石油基材料。像是輪胎中原本的碳黑色添加物，在 Model U 中採用的是玉米提煉的添加物，福特公司宣稱使用這種材料，輪胎更輕、轉動摩擦力更低，使得耗油性和濕滑路面的循跡性都更加提升。除了玉米之外，Model U 上有些元件材料的來源是老祖宗亨利福特用過的大豆，像是座椅椅墊的泡棉就有大豆成分，尾門則是由大豆基的聚合物經過玻璃纖維強化後製成。福特公司的研究團隊並且和油品大廠 Shell 的研究團隊合作，在 Model U 上測試使用生物基的潤滑油，目前 Model U 的引擎機油是葵花油。

實在有點兒誇張。

當然，這究竟是一部硬梆梆的汽車，所以不可能整部車全部都是植物做的。除了材料的使用之外，Model U 在設計、製造上也開始注意如何降低汽車對環境的衝擊。例如在製造程序上 Model U 嘗試發展彈性製造程序，降低製造過程中所需的能量和零件複雜度。福特公司特別提出來的是，Model U 在車體表面塗裝發展了一套叫做“UV-cure”的新製程，一般上漆、塗裝的程序車體需要在烤箱中長時間烘烤，消耗大量熱能，“UV-cure”製程中“UV”是指紫外線(ultraviolet)，也就是利用自然光中的紫外線完成烘烤的動作，理論上 Model U 只要停在太陽底下一陣子便能烤乾表面塗裝。

Model U 內裝設計上也處處表達了回收、再生、再利用的考量，例如四個門板的靠手都是完全一樣，前後座的中央靠手也完全相同，這種模組化思考使得材料回收更加容易；除此之外大部分的內裝元件，小從後照鏡、遮陽板，大到音響系統、座椅，都設計了標準化、易拆裝的介面，如果有哪些元件損壞，車主可以很容易拆裝、使用其他車子上拆下來的舊品，提升這些元件的再利用性。

事實上這部福特環保概念車 Model U 的報導引起我的興趣，倒不是我有多麼喜歡、推崇這車子，而是 Model U 提供了一個很好「生命週期管理(life cycle management)」的環保概念範例，也就是說除了在減低汽車運轉時能源的消耗與污染的研究之外，同時也要注意在汽車整個生命週期，從原材料的製造、到最後廢棄、回收，對環境可能造成的衝擊。

汽車工業是世界上最大的製造業，也是最消耗資源的產業之一。歐洲和美國的汽車工業每年大約生產兩千四百萬輛汽車，消耗了大約四千六百萬噸原材料，主要的原材料包括鋼鐵、其他金屬材料，另外就是塑膠，特別是在汽車輕量化的趨勢之下，質輕的材料像是鋁合金和種類繁多的塑膠材料的使用越來越多。

汽車生命週期對環境造成的第一個衝擊，便是原材料取得與處理過程中，所要消耗的資源與能源。資源可否再生（如植物）？煉製原材料的過程是否需要消耗大量能源？這些都應該是選擇、發展汽車材料時所要考慮的重要因素。

從資源消耗的角度來看，新材料發展的確是必須要關注的。石油基的塑膠材料又輕又耐用，我們已經過份熟悉、依賴各式各樣的塑膠材料，環顧四周，百分之七、八十的日常用品都是塑膠製的，或者含有塑膠成分。值得憂慮的是，地球上石油的儲藏量估計只能再維持四十年，石油一旦枯竭，到時候不只是能源的問題，塑膠材料也將沒有原料來源。

在汽車生產、製造過程中所要消耗的大量能源，更應該是材料選擇與製程改善關注的重點。在汽車能源消耗與造成污染方面，大部分的焦點都放在實際使用汽車時消耗的能源與造成的污染，但是從整個汽車生命週期來看，事實上有接近百分之二十的能源，是消耗在原材料處理與汽車製造的過程中，像是數以百萬噸計的鋼、鋁、塑膠、玻璃，在處理過程中需要反覆加熱融化、冷卻成型，其中消耗的能源極為巨大，同時也會產生許多危害環境的廢棄、廢液、重金屬、和有毒化學物質。

汽車生產過程中車體的塗裝則是最不環保的程序，超過一半的污染排放都是在這個程序中產生，汽車生命週期中廢氣 VOC 排放最主要的階段當然還是實際使用汽車的階段，但是不要忽略第二大 VOC 來源就是汽車塗裝的程序，此外車體的塗裝也是

汽車製造過程中消耗能源最多的。顯然 Model U 發展的“UV-cure”新塗裝製程，抓到了製程環保上改進的重點。

在最後汽車廢棄、回收的階段考慮的重點是最後產生不能利用廢棄物的量，以及回收、在利用過程中必須消耗的能源。這個階段對環境的衝擊又和汽車使用材料成分關係密切，一般來說金屬材料的回收性(recyclability)較好，也就是大部分金屬材料都可以重新成為原材料使用（但可能又必須耗費大量能源），相對的塑膠材料的回收性較差。如 Model U 中發展回收性極高的材料，或者發展植物基材料，使得其廢棄物對環境衝擊小，都是從這樣的角度考量。

所以汽車的綠色科技，不只是燃料電池、電動汽車而已。從生命週期管理的觀點看汽車對環境的衝擊，是不是發現整個視野更加寬廣了呢？！