



作者：徐業良(2007-07-12)；推薦：徐業良(2007-07-12)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2007年八月號，史丹福專欄。

在電腦裡作撞擊測試——淺談汽車結構撞擊模擬

那天汽車購買指南老闆大人林先生親自打電話給我，用他二十幾年不變的口氣催稿，「稿子什麼時候交啊？很多編輯都要出國，這個月要快點兒交稿啊…」

其實不管編輯出不出國，每個月雜誌社的問候都還是老話一句，早點兒交稿。

老闆大人接著又責備我一頓，「這麼久沒有來拜訪，連電話也不打一通，有這麼忙嗎…」

二十多年前從工讀生幹起的我，還是像個工讀生畢恭畢敬地回答，「是是是，對對對，一定一定一定…」

最後老闆大人還是把話題回到這個月的稿子上，「趕快交稿啊！如果找不到好題材，快點和編輯部講…」

其實大學教授的任務真的很多，我還特別多行政工作，每天從七點（早上）到十一點（晚上）工作時間還是都不太夠用。很多人都認為大學教授的工作就是上上課而已，那天去倒垃圾，對門鄰居還酸酸地（應該說是我聽起來酸酸地）跟我打招呼，「又放暑假了啊？！」，彷彿我一放暑假就可以成天在家翹二郎腿吹冷氣…

Anyway，牢騷發完了，老闆的交代的工作還是要完成。一天忙完回到家，把下禮拜要畢業的三個博士班兩個碩士班嗷嗷待哺的學生論文都放到一邊，開始冥想，這個月史丹福專欄要寫什麼。回想、揣摩一下老闆的交代，老闆似乎覺得這兩個月史丹

福專欄的題材離讀友們關心的國計民生問題差太遠了。翻翻報紙，斗大的標題，「能源報告，五年內缺油」。

這個月的史丹福專欄我原本預計要寫汽車結構撞擊模擬測試的技術現況，老闆這樣交代的話，開場白一定要跟每個星期二都上漲的油價扯上關係。

Well，這個關係本來就很密切的。要節約能源，可以大家定一個時間共同關燈一小時，也可以訂一天為「無車日」，全部的人都騎腳踏車上班。然而根本的問題還是要解決，大家總是需要開車的，怎麼樣才能讓汽車更省油呢？

把汽車設計得更小一些，更輕一些，或者大家都改開小型車，也許是最直接的省油方式。當然小型車在市場銷售上有先天的挑戰，許多的車主就是喜歡更大的空間、更多的配備、更氣派的外型。

即使務實一點的車主對小型車也會有所懷疑，小車子，發生車禍撞擊時安全嗎？

汽油價格高漲，加上降低二氧化碳排放的環保意識，小型車的市場開始抬頭，雖然稱不上「市場熱情擁抱小型車」，但是小型車銷售量確實在逐漸攀升，美國市場最新銷售數字，小型車銷售量今年三月到五月已經上升了 20%。日本車廠 Honda、Nissan、Toyota、Mazda 最近都在他們的產品系列中加入小型車款，美國的通用汽車公司也開始把觸角伸進小型車市場，Mercedes-Benz 的小車 Smart 早已銷售全球，BMW 也在思考小型車的全球佈局。然而小型車上最難以妥協的，就是其結構撞擊時的安全性，從物理定律來看，撞擊測試就像相撲大賽，先天上就有利於較大、較重的車子；從小型車的銷售來說，不管作了多少行銷包裝，官方的撞擊測試一發表出來有不好的結果，車子就不用賣了。

撞擊的安全性，車主會不會安全的顧慮而拒絕購買小型車，是許多車廠在決策是否大舉進入小車市場的關鍵考量。事實上許多銷售不錯的小型車，也都在衝擊測試表現不錯，銷售成績也許也是因為消費者的疑慮獲得解答的緣故。

撞擊測試？Crash test？就是把一個測試假人用安全帶綁在車上，對著一堵牆硬生生地高速撞上去，汽車壓扁假人飛出…

這樣的畫面確實對汽車形象不太好，更重要的是，撞這麼一次還挺貴的。汽車工程師最新的提升安全性強力武器是，在電腦裡作撞擊測試。

隨著電腦處理速度記憶容量的大幅提昇，以及模擬軟體的快速進步，電腦模擬的速度和準確性大幅提昇，汽車工程師可以不必急著製作原型車作撞擊測試，而可以在電腦裡一次又一次地把所有撞擊狀況都模擬過，所有細節都修改清楚，再進行實際製作。有了這些電腦模擬程式，工程師能夠將耐衝擊性能更加仔細、完備地建構在更小型的汽車上。

事實上不只在小型車，在任何尺寸的車子上，想要提升省油性，降低車子的重量是 No.1 最重要的因素。如何降低車體重量而仍然維持安全和耐衝擊的標準？這些電腦模擬程式幫助工程師完成這個任務。

好幾年前我做過一個類似的研究計畫，不是作全車撞擊模擬，而是作輪圈的疲勞破壞電腦模擬。來找我們幫忙的是桃園的一個輪圈廠，所有輪圈出廠之前都要通過疲勞破壞測試，輪圈廠原本的生產程序是接到外型設計後，由結構工程師依據這個外型設計輪圈結構，設計好就直接開模鑄造幾個輪圈原型掛上測試機台作疲勞測試。測試不過的話，就回去重新修改結構設計、修改模具，再重新鑄造幾個輪圈原型重作疲勞測試，這樣一直反反覆覆，直到通過測試為止。運氣不好的話，一個輪圈要測試個四五次才通得過，模具貴不說，整個開發流程也因此拖得非常久，開發一個輪圈拖上好幾個月是常有的事兒。

作研究計畫期間統計過那家輪圈廠的數據，一個輪圈平均要修改 1.8 次才能通過疲勞測試。即使運氣不錯，輪圈原型第一次掛上機台測試就通過了，工程師還是會擔心輪圈結構是不是設計得太「粗勇」，能不能挖幾個減重孔來減輕重量。

後來我們幫輪圈廠建構了一套完整的程序，用電腦軟體模擬輪圈的疲勞破壞分析，在電腦裡先測試看看輪圈能不能通過疲勞測試，工程師們可以很容易在電腦裡測試他們設計上的新想法，到處修修改改、如何減輕重量等等，直到一切模擬結果都滿意了，才去開模製作輪圈原型，掛上機台作疲勞測試。

輪圈廠後來真的把我們的研究成果實際加入他們的生產程序中，作了事前的電腦模擬分析，大部分輪圈都在第一次開模製作原型時便能通過疲勞測試，那陣子的統計數字一個輪圈平均修改 1.1 次就能通過疲勞測試，大幅降低了輪圈公司開發成本、縮短開發時程。

好像在幫自己的研究作廣告喔。

這項研究成果那時候的確讓我頗得意的，覺得自己對產業界真的有具體貢獻，大學教授不是搖搖筆桿、耍耍嘴皮子而已。只是不久之後輪圈公司就倒了，不是任何工程技術的問題，而是老闆財務操作錯誤，拖垮好好一家上市公司…

唉…

噢，我只是想藉由自身的經驗告訴您，電腦模擬分析的確是很強力的工具，可以幫助汽車工程師設計更安全、輕量化的結構，同時可以把產品更快速地推到市場上。

電腦是如何模擬汽車撞擊測試呢？這些電腦模擬軟體用的方法，基本上都是「有限元素法(finite element method)」。一部汽車受到撞擊時，結構每一個地方的受力和變形都不太一樣，有限元素法把一部汽車切割成許許多多小小的方格，叫做「元素」，每一個元素背後都可以化成一組方程式，把一部汽車分割成幾千個元素的話，就是把汽車受到撞擊後各個部分的受力和變形以幾千組方程式來表達，電腦同時解出這幾千組方程式之後，也就能瞭解汽車受到撞擊後各個部分的受力和變形的狀況了。

還是聽不太懂對不對？哈哈，這項技術您就得來讀咱們機械工程學系才學得到了。

以電腦模擬汽車撞擊測試，其實也不是新的技術，1986年時法國的雪鐵龍汽車便作了全世界第一次全車撞擊模擬。這個全世界第一個全車撞擊電腦模型一共有8000個元素，在當時可是不得了的事情，需要用到超級電腦“Cray”才能處理。兩年以後許多汽車廠也跟進採用電腦模擬，來加速汽車耐衝擊結構設計的流程，1990年左右全車模擬的模型就有大約三萬五千個元素，超級昂貴的超級電腦Cray也因此而大賣，許多公司搶著投資買一台超級電腦。

二十年前電腦速度沒那麼快，電腦軟體沒那麼強時，一部汽車的模型只能切割成幾千個元素來計算汽車各部分板金件吸收了衝擊動能時產生的變形和衝擊力大小。如果能夠切割得更細的話，自然能得到更精確、更高解析度的分析結果，只是電腦要花費的計算時間也就更長了。

電腦到底要算多久呢？1992年我剛到位在中壢的元智大學教書的時候，裕隆的工程中心也還在桃園，當時有些研究上的合作，認識一位裕隆工程中心的研發人員，他很得意地告訴我工程中心也有作全車撞擊模擬的設備和技術。我很好奇一個全車撞擊模型電腦要計算多久，這位老兄告訴我，60天。

天哪！

現在電腦的能力是十幾二十年前完全無法想像的，前面提到我自己作的輪圈的研究案，一個輪圈切割成兩三萬個元素，用一台普通的個人電腦，幾個小時就計算完了。汽車全車撞擊這樣比較複雜的計算，汽車廠開始改採新的計算架構，不用一台超級電腦，而用許多個人電腦級的電腦共同平行處理，像是一個大隊的馬匹共同拉一部馬車。用二三十部個人電腦共同分攤計算，一般全車撞擊測試模型送入電腦後，大多都一個晚上就可以完成了。

現在電腦全車撞擊模型也都十分巨大，一個典型的汽車模型可以有兩百到三百萬個元素組成，給工程師一個更高解析度的分析，更細部地瞭解衝擊發生時負載傳遞及分佈的狀況。還曾經看到一個最誇張的 case，把一部汽車切割成兩三千萬個元素，以瞭解在某一個衝擊事件後對乘客發生的影響。有了這個細節的瞭解，工程師可以改變結構形狀、改變材料的厚度、或改變合金的成分，來改進結構性能。另一種改變結構受到撞擊時性能表現的方式，是改變結構連接的方式，點焊、螺栓接合、或其他接合方式都可以造成結構件完全不同的衝擊特性。在這些設計變數上一一作細部校調，工程師們也可以設計出最好的吸收衝擊能量的結構，能以最適當的變形模式保護車內的乘客。

電腦模擬計算的結果，是解出方程式後的一堆數字，當然還得經過分析軟體「後處理」，轉化成圖形式的輸出，工程師們才看得懂撞擊過程中到底發生了什麼事兒。真正的實車撞擊往往只能「驗屍」，檢查看看撞擊過後汽車結構發生了什麼變化或破壞，電腦模擬全車撞擊的結果，則可以把整個撞擊發生過程用動畫的方式表達。像是電影的每一個定格，衝擊模擬結果的動畫也被分成許多時間小格，撞擊的發生都在一瞬間，結構可能在 0.01 秒就發生了許多變化，比較精緻的全車撞擊模擬通常會被分割成 300,000 個定格用「超級慢動作」精細地呈現每個細節。

汽車撞擊測試模擬技術的成熟，也使得汽車製造廠在要真正撞一部車子之前可以先跑許多次電腦測試。通用汽車就曾做過一個統計，在其遍及全球的研發部門，每個月大約總共要跑一萬次全車撞擊電腦模擬測試。通用汽車建立了 150 種不同的撞擊負載模式，其中大約有四分之一是模擬政府法規要求的撞擊模式，通用公司統計，一部發展中的新車平均大約要跑過 175 次電腦全車撞擊模擬，測試確認每個細節之後，才真正做出原型車，進行傳統的實車撞擊測試。

前幾年當機械系系主任的時候，每年新生訓練都得面對一群焦慮的家長，圍著問我，「讀機械系是不是將來一定得到工廠當黑手？」

Mmmm，以現代的科技來說，設計汽車或汽車撞擊測試這種工作，百分之九十可都是坐在冷氣房裡敲敲電腦就可以完成啦！