

應用 SmartDO 智慧型設計自動化技術進行產品設計最佳化

陳申岳

S-Y. Chen, Ph.D.

崑崙科技有限公司總經理
(FEA-Opt Technology)

摘要

SmartDO 為一智慧型設計自動化系統，它可以套用於任何的 CAD/CAE 軟體之上，自動學習不同領域與軟體的差異與變動，成為快速穩定的自動化設計系統。

SmartDO 歷經十餘年之研發及密集測試，成功地應用於各行各業，包括機械，航太，化工，土木，建築，國防以及醫藥上。SmartDO 專精於 CAD/CAE 的整合，應用及最佳化，累積眾多成功案例，並結合專精 CAE 分析之顧問團隊。

本文介紹應用 SmartDO 進行設計自動化之概念，以及歷年來之成功案例。

關鍵字: 最佳化設計, 設計自動化, 系統整合, 有限元素法、CAE、結構分析, 多重物理現象分析

一、前言

設計自動化及最佳化，是人類自有工程行為以來，即有的概念及夢想。而一直以來，設計自動化與最佳化對科學家來說都是幾乎相同的議題，因為如果要進行設計的自動化，當然我們希望能得到的是最佳的設計。

根據 Wasiutynski 在 1962 年的著作[1]，早在 1638 年已有學者提出以數學方法進行設計自動化個概念。而在 1904 年，Mitchell 即已提出以系統化的數學方式[2]，求解出桁架的最佳布局設計。雖然這些都是高度理想化的設計自動化例子，但是的確證明了設計自動化在數學上的可行性。

在二次大戰期間，由於戰爭的需求，許多學者與工程師都開始投入於設計高強度低重量的結構物。而在 1950 年左右，許多學者將數學線

性規劃法(Linear Programming)應用於結構自動化及最佳化設計上，再加上 1970 年代非線性規劃法(Nonlinear Programming)及電腦的廣泛應用，終於揭開了近代以電腦進行設計最佳化及自動化的序幕。

從 70 年代到 2000 年，運用非線性規劃法作自動化及最佳化的研究論文大量出現。這期間出現了許多有趣的案例及方法，但一直都還停留在學術及研究階。在應用面，則只有少數大型公司及研究機構有能力將之應用在實務設計上。而應用領域上最常見多的，仍是航太及國防科技。在其它的商用或工程醫藥領域方面，則有 Rajan 博士的研究團隊的幾個成果，例如在 1990 年左右由 Motorola 公司所贊助的，電子封裝的自動化設計[3]，以及在 1995 年左右由醫學界贊助的，眼球外科手術的自動化判斷系統[4]，這些案例除了在當時造成不小的迴響與轟動，也證明了用數值

最佳化個的概念進行自動化設計是為可行且相當實務的作法。

二、SmartDO 之歷史背景

SmartDO 萌芽於 1990 年左右，筆者在美國就讀碩士學位，而在 Rajan 博士的實驗室團隊中工作。上述的兩個著名的研究專案，都曾參與其間，而開始了程式庫的建立；筆者的碩士論文，亦是針對非線性結構之自動最佳化設計問題。當時因為實驗室的研究專案，清一色皆是來自業界要求，必需開發全自動的自動設計最佳化系統；此研究背景最大的特色是，一般航空或國防業的應用，允許有較多的開發時間，並有素質較高的工程人員；此種環境通常允許軟體有較大的錯誤空間，而留給工程及研究人員更大的空間；而商業界的應用，因為工程人員對數值最佳化的理論並不瞭解，且開發時程較為緊迫，故通常要求軟體必需作到真正的自動化。

在 1995 年中旬筆者就讀博士班期間，研究團隊接獲當地某家廠房建築公司的委託，必需開發一套廠房屋頂結構的自動化設計系統。此公司雖然財力雄厚，但其公司並無工程設計人員，純以製造組裝為本業。雖希望擁有設計能力，但是並不希望培養或聘請高薪的工程人員。因此該公司在委託案一開始，即闡明所開發系統，必需是類似“單鍵運作”(push-button system)，也就是用戶輸入簡單數據後，一個按鈕即必需完程設計。設計結果不但需符合強度，規範，制造等所有要求，且必需考慮該公司累積多年之現場與測試經驗，並達到最低製造成本的目標。

這樣的目標即使在今天仍屬極大之挑戰。當時該系統之開發案即成為筆者博士論文的一部份。為了達到委託廠商之要求，筆者由傳統的演化運算法(Genetic Algorithms)，開發出強力演化運算法(Robust Genetic Algorithms)，並解決許多技術上之瓶頸。該系統於 1997 年初開發成功，轉交與贊助廠商，同時發表許多重要論文(文獻

[5-9])。同時時間內，Rajan 博士的實驗室將使用多年的教學用結構分析程式 GS-USA，加上上述的最佳化設計核心，成功變成結構自動化設計程式，並開始對美國境內大學銷售。由於該程式的自動化設計功能強大快速，突破許多技術上限制，因此銷售第一年即獲五十幾所大學採用；該程式並在 2000 年由 Rajan 博士納入其所著作之教科書出版發售[10]。此最佳化設計核心目前仍是該實驗室核心之重要核心產品之一。

1997 年底筆者獲得博士學位，進入 Honeywell Engines, Systems & Services 之噴射引擎部門工作，工作內容除了從事高精密度之 CAE 分析外，還包含部份公司內軟體之開發。當時即使是在這樣的大公司，自動最佳化設計對大部份的人仍是相當陌生的概念。因此筆者得以接觸許多不同的題目，用過去自行開發的軟體做應用與測試並加以改進，此期間亦發表不少論文[11,12]。

2002 年筆者由美國返國，擔任虎門科技顧問部門副總經理。當時國內 CAE 顧問業仍屬萌芽階斷，故雖然有意在國內推廣最佳化設計，但時機並未成熟，故一直都只有簡單的介紹。2004 年筆者離開虎門科技，在休假的期間，得以全力投入過去的程式庫整理並發表論文[13]。初期只是計劃為了本身顧問業務使用而開發，不久得到許多產學界先進同仁的鼓勵，即著手開發一般用戶便於使用的界面。2005 年 5 月，SmartDO 正式誕生。

SmartDO 推出初期，只對崑崙科技熟識的客戶推薦，但由於此程式在有 SmartDO 正式名稱前，早已歷經十餘年的應用測試，且具有頗具說服力的實例，故獲得我們客戶朋友的熱烈支持。2005 年 7 月，我們決定將之正式商業化。

不同於其他軟體，多半是先商業化再慢慢經由市場測試，SmartDO 是個技術上成熟穩定之軟體；除此之外，SmartDO 是應客戶要求而將之商業化之軟體。接下來，我們將簡單介紹 SmartDO 的原理及特色。

三、SmartDO 原理與特色簡介

SmartDO 乃利用數值最佳化之原理，將最佳化設計程式與 CAD/CAE/CAX 程式結合，將設計及驗證流程整合成一個如圖一所示的設計自動化系統。此外，它利用國際通用的開放程式碼 Tcl/Tk 作為界面及整合語言(見圖二)，使得用戶的模型及開發成果，在適當規劃下，可具有圖型介面，及繪圖功能，而且即使是脫離 SmartDO 系統，其無關最佳化之部份仍可執行，且為跨平台之開放程式碼。這樣地規劃，確保客戶的投資能夠達大最大的利用及保障。簡單地說，SmartDO 乃為了以下目的而開發

1. 整合 CAD/CAE 軟體之流程, 成為自動化設計系統。
2. 真正的智慧型軟體，自動學習設計趨勢，產生最佳產品設計。
3. 工程人員可選擇自行設定判斷準則，加進已有之 Know-How。
4. 突破人腦設計思考之極限與瓶頸，開創更具價值及競爭力之產品。
5. 將昂貴的 CAE 軟體及人力投資，提昇成產品設計的實用資源。

因為這樣的特色，我們將 SmartDO 定位為**一智慧型設計自動化系統**。他不僅是流程整合軟體，也不只是試誤法(Try and Error)或是亂數法(Stochastic approach)，在技術層面它具有以下特點

1. 穩定，快速，實用。
2. 自動學習並克服不同軟體及領域聯結之瑕疵問題。
3. 套用於任何 CAD/CAE 軟體之上，無需遷就於其設計上之限制，亦無需修改其程式。
4. 同時具有非線性規劃法(Nonlinear Programming)及演化運算法(Genetic Algorithms)，適用多種問題。
5. 專門針對 CAD/CAE，適用於結構/CFD/熱/電/磁/光.....等不同領域。

除此之外，由於 SmartDO 具有眾多與 CAE 結合之成功案例，而非只是紙上談兵。

數值最佳化設計是非常複雜的技術與學問。以筆者在研究所授課的經驗，許多學生修完一門課後，對它的應用仍是不甚瞭解。最好的方法，乃是直接介紹實例。下一章我們將直接介紹幾個歷年來累積之成功案例，讀者應可輕鬆地瞭解 SmartDO 強大的功能。

四、應用實例

本章介紹數個 SmartDO 之應用實例。這些實例之特色是，它們皆是由 SmartDO 應用所開發出來的”單鍵”(Push-Button)自動設計最佳化系統。也就是說，這些系統乃是針對客戶端的特色，經驗與實繼情況特別訂作，用戶只要輸入必要的參數，一個按鈕 SmartDO 即可進行自動化設計，完全不需人工判斷及干擾。SmartDO 還有許多有趣且令人驚訝的實例，讀者可洽崑崙科技或是至 www.FEA-Optimization.com 網站尋找。

1. 廠房結構物最佳化設計

圖九所示為美國某公司所生產，為廠房屋頂所設計製造之結構模組在實驗室中測試之照片。由於該公司大量生產同類行之產品，亟需要有一套專用程式，希望能快速減化設計流程，並降低成本。而設計出來之結果，必需符合強度，震動，規範，制造限制及實驗結果等複雜要求。且樑之斷面僅能從現有之產品中挑選。利用 SmartDO 之核心技術，結合 CAE 結構分析及最佳化設計程式，於 1996 年年間成功地為該公司開發出一套最佳化自動設計軟體。用戶只要輸入簡單設計參數及條件，如載重與跨距等，一個按鈕就可完成設計。圖三為兩個結構物的自動設計過程。最上方為原始設計，最下方為經電腦運算後之最佳化設計。經計算每個結構物可省下平均 40% 之成本，廠商並已為圖中兩個最佳化結構物申請專利。對廠商而言，不但大幅降低了其設計流程及人力成本，此程式等於是專利製造機，使

得此公司在市場上，短時間即大幅超前其競爭對手。

2. 眼球外科手術專家系統

眼科醫師對近視患者的治療方法之一，是在眼球角膜上作一定的切割，使眼球因眼壓自然變型而產生矯正透鏡的效果。但切割之長度深度及位置傳統上只能憑醫師之經驗，相當危險。透過結合結構分析程式及最佳化設計程式，並與診斷掃描儀器連線，醫師在掃描完病人眼球型狀、構造尺寸、眼壓等參數後，即可由程式自動計算手術之最佳切割長度、深度及位置。圖四所示為某病患眼球表面於手術前之形狀，並經由程式運算最佳手術切割後之變型預測。堪稱一具智慧的手術判斷專家系統

該專案由美國某醫院贊助完成。系統於 1993 年左右完成而於 1995 年左右通過 FDI 認證正式啟用，並已申請多項專利。

3. 射流管 (Ejector) 自動化設計系統

射流管是化工廠及許多製造工廠中，常見的重要系統管路，主要用來作加壓混合等功能。射流管的性能，直接影響到許多公司的生產效能，品質與成本。

射流管的設計，過去多半仰賴大量的實驗及經驗資料。由於其牽涉到複雜的流體行為，模擬及設計上都有相當高的難度；在引進 SmartDO 之前，有許多研究著墨於此；開發一個實用自動化的設計系統，多被認為是不可能達成的任務。

2005 年某廠商與某研究機構與崑崙科技接洽，引進 SmartDO 系統，由崑崙科技規劃，整合 CAD 及 CFD 軟體流程，加上廠商已有之經驗式，在二至三箇月中，成功開發出射流管之全自動最佳化設計系統。使用者只要輸入幾個簡單參數，如最大長度，最大管徑，氣體參數等，SmartDO 即在幾小時內自動計算出一性能最佳之設計。而 SmartDO 所得之設計，比傳統之設計，通常性能高出四至五倍。除此之外，藉由與 CAD 的整合，該系統連出圖等都可全自動化。圖五所示為該系

統之介面，以及 SmartDO 進行某個設計之變化過程。

4. 機械零件減重及強化設計

某公司之產品為多樣式之高速轉動件。因除了離心力外，轉子經常必需承受高溫，且若重量過重常有振動問題。在設計上，即使導入 CAE，由資深研發人員投入大量時間亦無法達到減重強化的目的。經由導入 SmartDO 後，建立全自動設計系統。工程人員只要輸入簡單設計需求，程式即可自動算出高強度，低重量並不易產生振動的零件。其中一設計過程如圖六所示。該設計可強化 10% 強度，並減重 40% 左右。

5. 機械組件整合及強化設計

圖七所示為某公司之機械組件斷面。在進行設計實，除了必須考慮強度及耐久度等因素，還必需考慮在設計變更時，各零件間之組合界面亦必需互相匹配。該公司有許多產品，在設計上完全無法解決其強度問題，多年懸而未決。經應用 SmartDO，建立自動化設計系統後，許多過去無法突破之設計皆快速解決。圖八所示為某一組件經 SmartDO 設計後之細部變更。其結果不但解決長期無法達到之設計目標，並將強度提高 30%。

六、結論

在本文中我們介紹 SmartDO 之歷史背景，簡單原理及特色，並討論幾個應用成功之實例。事實證明，全自動之最佳化設計是可行且成熟的技術的。除此之外，藉由 SmartDO 的產品的推出，此項技術目前已可被一般用戶廣泛應用。

七、感謝

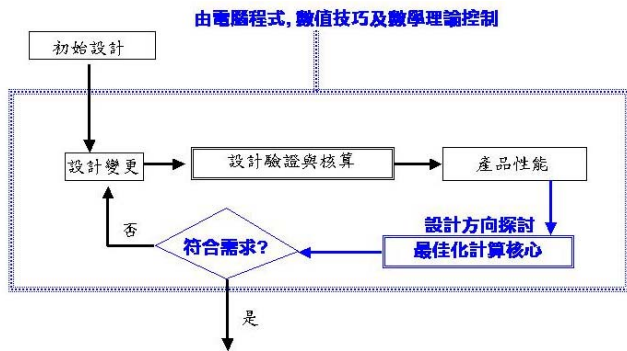
本文部份案例，分別由 American Studco, MER Corporation, 工業技術研究院及北台科學技術學院及其他不願具名客戶出資贊助，特

此致謝。

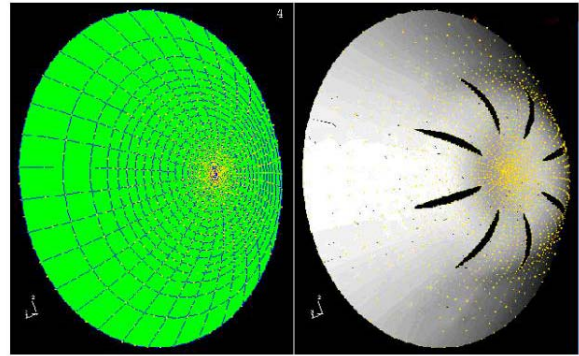
八、參考文獻

1. Wasiutynski Z (1960) On the congruency of the forming according to the minimum potential energy with that according to equal strength. Bull. de l'Academie Polonaise des Sciences, Serie des Sciences Techniques 8(6):259-268
2. Michell, AGM (1904): The Limits of Economy of Material in Framed Structures, Philosophy Magazine, Series 6, Vol. 8, pp. 589-597.
3. S.D.Rajan, B.Nagaraj and M.Mahalingam, "A Shape Optimal Design Methodology for Packaging Design", *ASME Trans. J. of Electronic Packaging*, Vol. 114, 461-466, 1992.
4. Rajan, SD, Mobasher, B, Sun, CH, and Wooton, JW. An integrated system for design of keratorefractive surgeries. *ASCRS/ASOA Symposium on Cataract, IOL and Refractive Surgery*. San Diego, CA April 1995.
5. S-Y. Chen, J. Situ, B. Mobasher and S. D. Rajan, 1996, Use of Genetic Algorithms for the Automated Design of Residential Steel Roof Trusses, *Advances in Structural Optimization-Proceedings of the First U.S.-Japan Joint Seminar on Structural Optimization*, ASCE Press, New York, pp. 43-54.
6. S-Y. Chen and S.D. Rajan, 1998, Improving the Efficiency of Genetic Algorithms for Frame Designs, *Engineering Optimization*, Vol. 30, pp281-307.
7. B. Mobasher, S-Y.Chen, C. Young and S. D. Rajan, Oct. 1998, "A Cost Based Approach To Design Of Residential Steel Roof Systems", 14th International Specialty Conference, Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction, University of Missouri-Rolla, Edited By Wei-Wen Yu and R. LaBoube, pp613-625.
8. S. D. Rajan, B. Mobasher, S-Y. Chen and C. Young, 1999, Cost-Based Design of Residential Steel Roof Systems: A Case Study, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 8, No. 2, pp165-180.
9. S-Y. Chen and S. D. Rajan, October 2000, "A Robust Genetic Algorithm for Structural Optimization", *Structural Engineering & Mechanics Journal*, Vol 10, No 4, pp313-336.
10. S. D. Rajan, June 19, 2000, "Introduction to Structural Analysis & Design", Wiley.
11. S-Y. Chen, March 2001, "An Approach for Impact Structure Optimization Using The Robust Genetic Algorithm", *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol 37, No 5, pp431-446.
12. S-Y. Chen, 2003, "Integrating ANSYS with Modern Numerical Optimization Technologies", *ANSYS Solutions Magazine*, Spring Issue, 2003.
13. S-Y. Chen, J. W.C. Liao and V. Tsai, 2007 (to be published), "Improving the Reliability and Usability of Structural Shaping Optimization – The Contour Natural Shape Function", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 30.

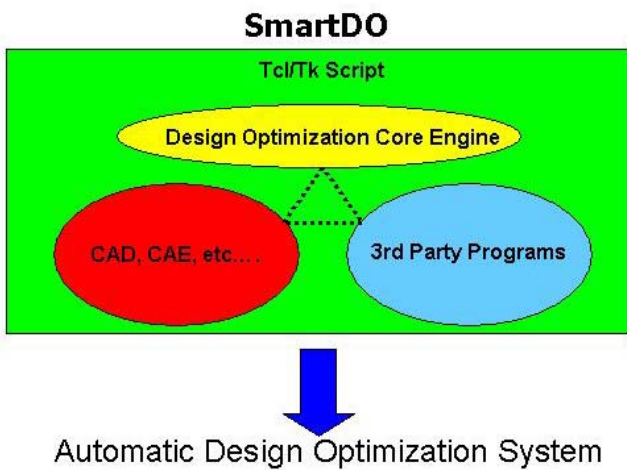
九、圖表彙整



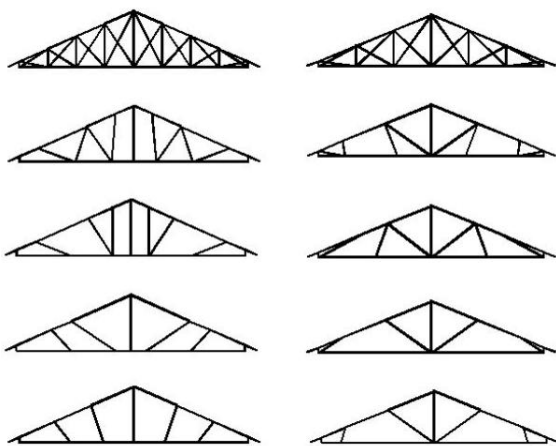
圖一、設計自動化與最佳化的基本流程及架構



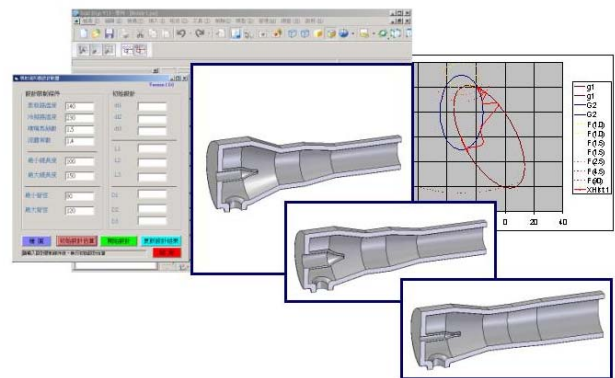
圖四 以最佳化設計及 CAE 分析計算眼科手術之最佳切割型式



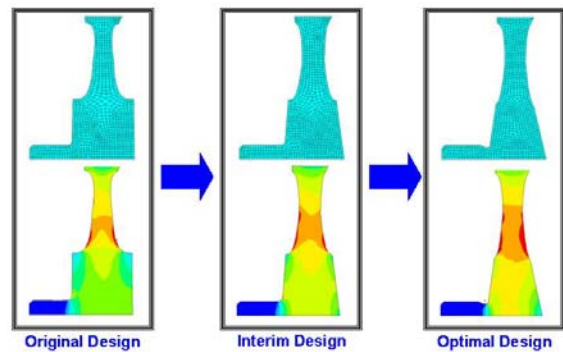
圖二、SmartDO 的程式系統架構



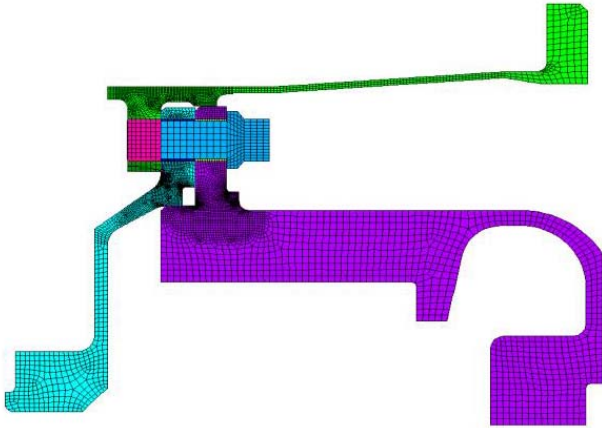
圖三、廠房屋頂結構物自動最佳化設計演進過程



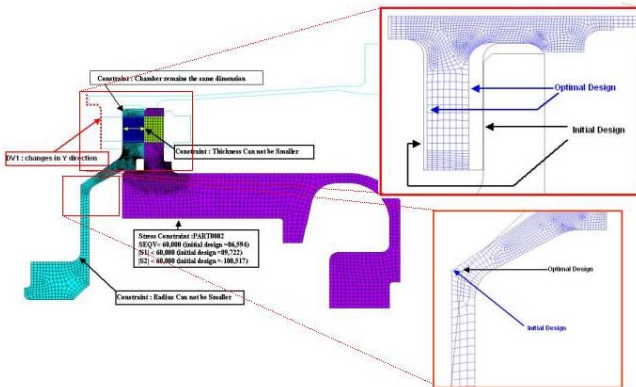
圖五 射流管自動最佳化設計系統之介面及其最佳化設計演進過程



圖六 轉子零件自動最佳化設計演進過程



圖七 機械組件之斷面示意圖



圖八 機械組件經 SmartDO 自動設計後之設計變更示意