

由模具量測資料建立有限元素分析網格系統之軟體開發()
Finite Element Mesh Generation Using The Measured Data of
Stamping Dies()

計畫編號：NSC88-2213-E-002-027

執行期間：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：陳復國 台灣大學機械系教授

一、中文摘要：(關鍵詞：沖壓模具，
電腦模擬，曲線綴合，節
點，網格)

本研究利用沖壓模具之量測資料開發出一套建立有限元素分析網格系統之軟體。在開發過程中，將量測資料透過增刪點、編為節點、綴合曲線、綴合網格等之步驟，建立合適之網格，以供分析軟體使用。而在網格的形狀控制上，也可因應要求，輸入參數而控制網格形狀及角度。

本軟體之實用性亦經實例驗證，可有效的取代傳統 CAD 軟體建立的網格系統。此外，因此法只須修改石膏模，即可再重複量測、模擬分析，以得到最佳設計狀況，故在所需的時間及人力上都較現有方法經濟，並且可節省絕大部份的製模修模時間。

英文摘要

Keywords : stamping die, CAE,
measured data, curve fitting,
mesh generation

The purpose of the present study is to generate the finite element mesh from the measured data of the stamping die. The constructed mesh is then used to perform computer simulations for the stamping die design. Since the amount of measured data is usually quite big, some unnecessary points should be deleted first, and the remaining data are re-arranged according to the curve-fitting technique.

Based on the re-arranged data, a proper finite element mesh is generated. In the present study, the mesh angle and the element aspect ratio are adjustable by some numerical treatments. The finite element mesh generated by the developed software is validated by the actual applications in the stamping process.

二、計畫緣由與目的

因為電腦在近二十年來突飛猛進的發展，因此在產業製程中引入電腦技術已成為產業升級的必然趨勢，但早期的電腦技術均停留在 CAD/CAM 的階段，在產業製程中有許多部份仍要依賴人力與經驗的累積，故產業的發展一直受到一定的限制而無法更進一步的突破；另一方面，有限元素法電腦模擬技術由於有較多的人力投入此研究領域，在近年來也有越來越多的研究成果，因此為了突破產業界所面臨的瓶頸，電腦輔助工程(Computer Aided Engineering, CAE)在這幾年間逐漸的加入了產業製程中，其主要功能即在於可以取代模具之試模過程。

在模具業中，在利用模具石膏模進行保利龍加工及之後的模具機械加工之前，為了確保該模具的準確性，都會進行量測石膏模的步驟，並且由於此一量測資料之後將配合 CAM 進行加工，故量測的精度要求相當嚴格，故此一量測資料可以完整的表現此一模面之造型，故若能在此量測步驟之後，引入 CAE 技術，利用電腦模

擬、量測及依據經驗修改石膏模來得到適當的模面造型，將能符合不影響原有生產流程且可收電腦模擬之效益的原則，但由量測點資料要進行電腦模擬之前，需先建立有限元素分析網格系統，而現有的網格建立系統均是由 CAD 圖面透過軟體本身產生網格系統，但是由量測資料要轉換成 CAD 圖檔則是一項艱鉅且費時的工作，一般較複雜的模面造型，可能需花費一、兩個星期的時間在會至 CAD 圖檔上，此一額外的工作將造成模具廠人力資源及時間成本的額外負擔，故 CAE 電腦模擬技術一直無法成功的引進模具廠中。有鑑於此一需要，本研究將利用模具廠本身具備的量測資料，透過一些曲面之計算，將最適合描述此模面之網格系統建立出來，如此一來便可節省繪製 CAD 圖檔所花費的大量時間，並且只要直接在石膏模上進行修模就可再一次進行量測、電腦模擬，直至綴合網格誤差及電腦模擬結果都合乎要求之後，便可將該量測檔轉換成 NC Code 以進行機械加工，而加工之後的模具便不需在花費大量的時間及人力進行試模，只需進行必備的合模步驟即可，如此便可有效的將 CAE 電腦輔助工程技術引進板金模具業中，以帶動國內模具業進入 CAD/CAM/CAE 全面電腦化整合的時代。

本年度為本計劃執行之第二年度，藉由第一年之研究成果，本年度已完成電腦軟體之撰寫，並獲實際實例之驗證，證明本軟體之功能與實用性。

三、研究方法與成果

1. 研究方法：

由於本研究將利用量測資料來建立綴合網格系統，所以對量測儀器及量測資料型態都需要有相當的認識，以下將先對量測部份做一說明。

一般較具規模的模具廠均使用

掃瞄機進行量測，而掃瞄機一般又可分為兩種：

一、採用電子觸發式探頭的接觸式掃瞄機。

二、採用雷射探頭的非接觸式掃瞄機。

因為不同的量測方式，所得出的量測點資料也可分規則與非規則兩種。本研究中為了要求能處理各種資料型態，採用了等間距分割與內差的步驟，以期能將各種量測點資料有效的分佈於模面上，然後採用三階 Bezier 曲線的數學模式，於模面之投影面上水平與垂直兩方向個別進行高度差、曲率之判斷，若在允許範圍之內，則將其編為節點，若否，則進一步進行 B-Spline 曲面的綴合步驟，在 B-Spline 曲面的綴合上則採用重複加控制點的方式，以得到較快的逼近速度，此外，在邊界的界定上也需加入判斷以明確的將邊界界定出來，至此，量測點的處理可算到一段落。

之後在網格的綴合上，由於考慮到網格形狀的良莠，故需再進行於選取格中加入節點的步驟，至此方可進行網格的綴合，而最後藉由誤差的計算，將所得到的網格系統與量測資料作一比較，並透過自訂網格細長比的方式，將誤差過大的網格系統再作更準確的綴合。詳細的流程如圖一所示。

針對不同量測方式所獲得之量測資料，本計劃於上年度完成曲面之綴合，本年度則就曲線與曲面完成網格之綴合，並完成軟體之開發與實例之驗證。

2. 研究成果

(1).網格綴合

在本研究中由於網格係由整理過後之節點直接綴合而成，故各節點之位置將直接影響到綴合網格之形狀，並且由於所有的增加點都落在各個選取格的四個邊上，若直接連成網格，

將會產生許多狹長且不規則的網格，故在本文中採用了在選取格中加點的步驟來解決此問題，首先先判斷此一選取格之四邊上的增加點分佈狀況，接著考慮形成網格時網格之形狀及角度，分別在此選取格中加入適當的點，使其在進行網格綴合時的網格形狀及角度能在一定要求範圍內，或是在角度及形狀符合要求之選取格中直接連接增加點以成網格，在判斷是否增點，如何連成網格以及增加點之數目及位置等問題上，本研究皆提出了解決之道。

此處所增加的點為了本身連成網格方便，均採用各邊等點數的正方形點陣，如圖二所示，一共分為一點、四點及九點三種類型，接著在有增加點的選取格中判斷選取格每一邊上的增加點數，在選取格中間加四點的情況下，若是各邊增加點數為單數則全部連成三角形網格，而若是偶數則於中間處連成四邊形網格而於其餘部份則連成三邊形網格，如圖三所示，其餘若選取格中加一點時，則全部連成三角形網格，而若是中間加九點的情況下，由於在之前的網格形狀與角度判斷時，只有當每邊增加點數都是三點時，才會在中間加入九點增加點，因此在連成網格時自然會連成十六個四邊形網格，如圖四所示。

為了避免網格產生空孔或是重複的情形，本研究中採用依照選取格的順序，分別綴合每一個選取格中之網格的方式一一處理，如此即可避免不可預期的錯誤。

(2).誤差評估

在本文中主要的研究項目在於由量測點資料建立起模面之網格系統，因此在本文中所討論的誤差侷限在模面之形狀誤差，而因為所取得之量測檔並非 CAD 圖檔，故原有之模面曲面造型與所產生之綴合網格面之間要討論其誤差並無一基準可言，在此由於必須計算模面與網格面之誤差以評估

模擬結果之可靠度，故本文中採用了點與點之間的誤差來表示模面與網格面之間的誤差。

所謂點誤差即是利用原有之量測點資料為基準，藉以比較綴合之後之網格系統各節點之誤差，即是比較在同一水平、垂直位置，量測點與節點之間之高度差，然而此方法會發生在節點水平、垂直座標位置處沒有量測點可供比較之問題，為了解決該問題，本研究中在沒有量測點可供直接比較處，採用了由落入該節點水平、垂直之一定範圍內的量測點作內差的方式來解決。

而在誤差之計算上採用了均方根的方法，計算式如下：

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n}}$$

其中

R : 整體之形狀誤差

r_i : 各節點與量測點內差值之誤差

n : 全部之節點數

由以上之誤差評估方式，在每一次使用者輸入要求之網格細長比之後，程式可提供在該細長比下綴合網格與原模面之間的誤差，讓使用者依照可接受的誤差程度，來決定適當之網格形狀與數目，以避免過多的網格產生。

(3).程式撰寫

在本研究中，利用了 C++ 程式語言做程式部分的撰寫，其撰寫流程大致可分選取量測點，曲面高度差及曲率計算，曲面加點，細長比輸入以控制運算流程，判斷網格角度，綴合網格，計算綴合網格面與原有模面之誤差，將節點及網格資料轉換成 CAE 處理軟體可接受之格式。

本程式將依據使用者所輸入的網格細長比來控制加點的次數，以控制

網格數目及形狀，接著將所有的選取點及增加點依照選取格的順序依序做網格的綴合，如此可避免網格空孔及重複，在完成網格綴合之後，本程式將對此網格系統作一誤差評估，提供使用者做修正網格細長比時之參考，最後將所有的節點座標及網格序號資料轉換成適當的形式以供後處理軟體使用。

(4).實例驗證

本計劃針對卡車油箱，汽缸以及機車油箱等實際沖壓件進行網格建立之驗證工作，成果均十分良好。圖五所示即為依據浴缸量測資料建立之網格系統。

四、結論

在產業競爭力越來越大及電腦技術快速開發的環境下，在產業中引入電腦技術以節省大量時間與人力將成為必然的趨勢，如何適當且快速的引入電腦技術也因此成為了產業電腦化的第一步驟。

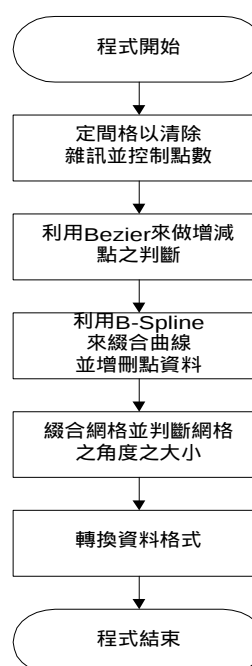
本研究中所探討的即是 CAE 技術與模具開發產業間之介面軟體建立，透過量測點資料，經過各樣計算而得到最適當的綴合網格系統以提供有限元素法電腦模擬使用，以幫助模具業界在激烈的競爭壓力下，能擺脫傳統的生產理念，進入全面電腦化的新境界中。

CAE 電腦輔助工程之所以無法普遍為產業界所接受，其主要原因在於無法建立與既有製程完全相容之介面，而本研究之前提即是在不影響模具製程下開發出 CAE 電腦輔助工程網格綴合系統軟體介面，期透過此軟體介面能早日將國內模具業帶入 CAD/CAM/CAE 全面整合的時代。

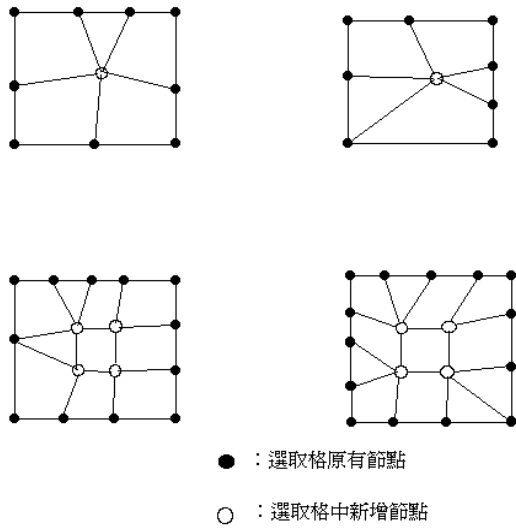
五、參考文獻

1. B.Sarkar and C.H. Menq, "Smooth-surface approximation and reverse-engineering", Computer-aided Design, Vol.23,NO.9,1991,pp.623-628.
2. H.T.Yau and S.Haque, "Reverse engineering in the design of engine intake and exhaust ports", Manuf. Sci.Eng.ASME, Vol.64,1993,pp.139-148.
3. B.Bidanda, S.Motavalli and K.Harding, "Reverse engineering : an evaluation of prospective non-contact technologies and applications in manufacturing systems", Int.J.Com.Int. Manuf., Vol.4, No.3, 1991, pp.145-156.
4. M.Witting and S.Burkhardt, "Automatic generation of finite difference meshes by an evolutionary algorithm", IEEE Trans.Mag., Vol.32, No.3, 1996, pp.1338-1340.
5. S.McFee and D.Giannacopoulos, "Optimal discretization based refinement criteria for finite element adaption", IEEE Trans.Mag., Vol.32, No.3, 1996, pp.1357-1360.

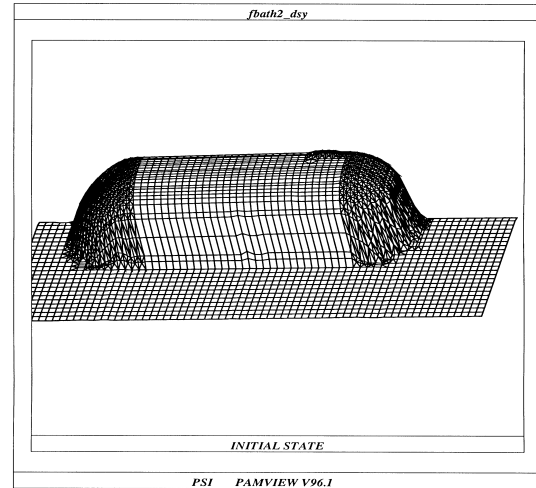
六、圖表



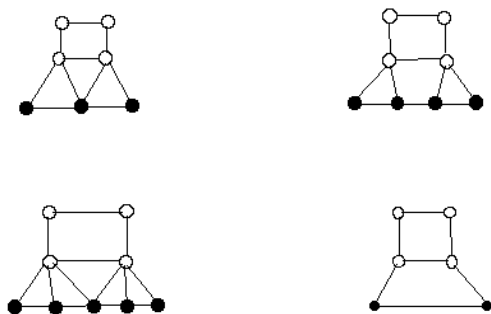
圖一、研究方法流程圖



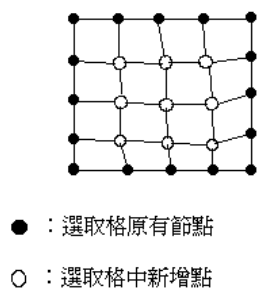
圖二、選取格中加點示意圖



圖五、浴缸最大容許曲率為 12mm 之網格系統



圖三、網格連結方式示意圖



圖四、網格綴合示意圖