

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：NSC 87-2213-E-002-008

執行期間：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：陳復國 台灣大學機械系副教授

一、 中文摘要：(關鍵詞：模具量測資料、三維有限元素法、網格系統、曲面綴合、逆向工程。)

本計畫利用板金沖壓模具製程中，對石膏模進行量測所獲得的資料，轉換成三維有限元素法分析之網格系統，進而從事 CAE 電腦模擬，以逆向工程的理念，改善國內模具業界的製程形態，進而大量節省模具製程的成本與時間。為達到此目的，本計畫預計以兩年的時間開發出一套建立有限元素分析網格系統的軟體，而本(87)年度為計畫執行的第一年。

本年度之研究重點在於量測點的特性探討，並完成由量測點建立網格系統軟體之主要架構。其中包括規則與非規則量測點之整理，並用 Bezier 及 B-Spline 綴合曲面的數學模式建立及運算，以建立增、減量測點以綴合網格的準則，藉此建立軟體之主要架構。

本年度已順利完成預定進度，研究成果將成為下年度後續研究之基礎。

英文摘要：

Keywords：(measured data of stamping dies, 3-D finite element method, mesh system, curve-fitting,

reverse engineering.)

The purpose of this project is to develop a computer software which can generate 3-D finite element shell element mesh with the use of the measured data of stamping dies or master models. The concept of reverse engineering is applied to implement this project. The measured data is classified into two categories: regular and irregular. For each type of measured data, the number of points is first reduced by deleting unnecessary points and then re-arranged based on curve-fitting. The Bezier and B-Spline theories are adopted as the criteria for the re-arrangement of measured data.

The project is to be completed in two years. This report describes the research results obtained in the first year.

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。

而現在模具業製程中最浪費成本及時間的一環即是試模，因此模具業者皆努力嘗試改善試模之流程，但至現在為止，皆無太大的成果。為了滿足業界此項需求，本研究將引用逆向工程的理念，來解決此項問題。在逆向工程中，以不影響模具業現有製程的前提下，只需在製作石膏模後，加入將量測點資料轉換成綴合網格的步驟，再進行 CAE 模擬，若結果不滿意，只需修改石膏模再進行量測、電腦模擬的步驟，直至得到滿意的結果，再進行金屬模的製作即可。如此不但可節省試模所需的大量人力，亦可節省很多的時間成本，但是現在的網格建立系統，都是直接從 CAD 檔直接轉換成網格系統，尚無從量測點資料轉換成網格之技術，因此本研究將針對此需求，建立一套可以提供此技術的軟體，以提昇國內模具業生產的品質及水準。

在網格系統建立之研究方面，早期之努力均侷限於二維網格之建立

〔1,2,3,〕，而在近年來，由於電腦技術的不斷改善，在運算速度及介面處理上都有突破，因此，三維網格系統之建立亦已成為目前研究之重點，相關之研究結果也廣見於各期刊中〔4,5,6,〕。然上述之研究著重胚料的網格建立，且胚料均是已有完整的幾何圖形，而對於利用量測點資料來建立網格系統之研究則付之闕如。

因此本計畫擬分兩年來進行，第一年重點在瞭解量測點分佈之特性，研究綴合曲面的數學模式，及完成增減量測點之步驟，以供綴合網格時的需要，並且蒐集產生網格技術的相關文獻；而第二年主要的工作即在建立可供使用者調整密度分佈的網格，及對於此網格系統與真實模面的誤差計算，而最後的工作即是將此軟體安裝在工作站上，以利於電腦模擬之使用。

三、研究方法與成果

由於本研究將利用量測資料來建立起綴合網格系統，所以對量測儀器及量測資料型態都需有相當的認識，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描機進行量測，而掃描機一般又可分為兩種：

一、採用電子觸發式探頭的接觸式掃描機。

二、採用雷射探頭的非接觸式掃描機。

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。詳細的研究方法如圖1所示。

對於規則點之選取方式而言，為了減少量測點的數目，本研究採用了利用選取格來篩選量測點的方法，而最先的步驟即是決定選取格的大小。此處所謂的選取格即是將整個模面沿水平方向及垂直方向作一等間距的區隔，在各間隔中只取一量測點，其餘落入此選取格中之量測點皆與以省略不選，如此在模面上的量測點將成為較疏散的棋盤式分佈，如圖2所示。如此便能有效的減少龐大的量測資料。

而針對非規則點，則先將模面作一等間隔之區隔，若是經判斷在某格內沒有選到量測點，則從此一選取格前後兩格有選取點之選取格中分別讀

取其中之量測點，然後依照水平方向、高度方向與垂直方向之座標值，分別採用內差方式將所有沒有量測點的選取格中給定內插值，如此一來便能將整個模面做一均勻的分割，且量測點可呈現均勻的分佈。而在邊界部份，由於非規則量測點有時會發生邊界平緩處不量測的現象，故處理方式不似規則量測點般只要強制設定其水平、垂直座標為邊界座標即可，還必須參考其前兩個選取格中有選取點的高度座標，利用外插的方式將邊界處的高度座標決定出來，如此才能有效的定義出邊界，至此非規則量測點的整理方告一段落。

在曲線、曲面中，由於不同的數學定義方式，每一種曲線、曲面都呈現不同的特性，也因此個別適合不同的情形，因此如何依照所需的要求來選取適當的曲線、曲面數學模式，已成為進行曲線、曲面綴合的重要步驟。

對於 Bicubic 曲線、曲面而言，其必定通過所輸入的點座標，故所綴合出來的曲面最為接近原有的模面造型，但是由於在做 Bicubic 曲線、曲面計算時，需算出每個輸入頂點的切線向量與扭曲向量，需花費極多的計算時間方能綴合出該曲線或曲面，相當不方便，因此在本研究中不採用 Bicubic 曲面來做綴合量測點的工作。

而基於 Bezier 曲面之特點，本研究將模面先作一較平滑的曲面綴合，將整個模面分割成許多三階乘三階的小塊曲面，藉由計算該曲面的曲率來判斷該曲面之平滑與否，若是該小曲

面之曲率過大（亦即造型變化大），則在該小曲面內加入適當的量測點或曲面綴合點，以求將該處之造型清楚的表示出來，而本文中所採用之加點方式有兩種，一是依循原有之量測點資料進行加點，而另一則是利用 B-Spline 曲面重新綴合該小曲面，而在該曲面上擷取適合的綴合點以成增加點。

在利用 Bezier 曲面綴合之後，若判斷曲率過大而需進行加點時，所應採取之加點方式應符合下列兩個原則；一是要求符合原有模面造型，另一則是必須節省計算時間，綜合以上兩點原則，本研究採用 B-Spline 曲面及內差量測點的方式來進行加點的步驟。且 B-Spline 曲面會與相鄰之控制點連線相切，故若在同一控制點上重複加點的話，則該曲面將會通過該控制點，故本研究即利用此一特性來進加點的步驟。此外，B-Spline 在共用邊界處為連續，而在斜率上則不像 Bezier 一樣若控制點共線則斜率連續，雖斜率之連續性為此，但若每一 B-Spline 曲面甚小，則此結果亦可接受。

由於改變 B-Spline 曲面之任一控制點的位置，將只會影響該控制點附近之曲面造型（如圖 3 所示）。

以上之研究成果將透過卡車油箱之實例，比較在增加不同點數下，增加節點與原模面之誤差，以說明此處加點對綴合模面之影響。結果如表 1 所示。

由此可見，增加之節點數越多。將越能正確的表示出原模面造型（如圖 4 所示）。

四、結論與討論

在處理量測點時，常遇見的問題即是模面邊界的界定，在邊界界定上會發生問題的原因有二，一是在量測時由於探針在邊界處會頻頻觸發，且量測資料的讀取可能會發生錯誤，而另一則是由於在利用選取格選取量測點時，在此選取格擷取一點之後，即不再於此選取格內擷取其他點，故選取點之間並不一定成直線分佈。本研究將在邊界處之選取點其水平、垂直 (x, y) 方向的座標強制設定為邊界處之水平及垂直座標，而在高度方面則將原有之選取點內插或外插至新的 x, y 座標上，如此便可有效的界定出邊界來。

對於 Bicubic 曲線、曲面而言，其必定通過所輸入的點座標，故所綴合出來的曲面最為接近原有的模面造型，但是由於在做 Bicubic 曲線、曲面計算時，需算出每個輸入頂點的切線向量與扭曲向量，需花費極多的計算時間方能綴合出該曲線或曲面，相當不方便，因此在本研究中不採用 Bicubic 曲面來做綴合量測點的工作。

本研究發現 B-Spline 曲線、曲面的計算相當繁複且相當花費時間，故在此為了節省本程式所需花費的 CPU 時間，本文中所採用來進行加點的 B-Spline Surface 乃是三階乘三階的 B-Spline surface，不但在準確性上可達到相當高的要求，在節省 CPU 時間上亦可發揮其功能，省去許多不需要之高階計算。

另外在曲率過大處，本研究採用

了內插加點的方式來彌補利用 B-Spline 曲線加點的不足，因為在曲率過大處單由三階四個控制點的 B-Spline 曲線，無法正確的預測模面原有的造型，因此在此時必須在曲率超過可接受範圍之處，利用原有在鄰近兩控制點之間的量測點做內插來進行加點的步驟，並且在此處所得之內插點數必須依照使用者所輸入的網格細長比和在此範圍內之實際量測點數互相配合來做決定，至此方能將 B-Spline 曲面加點與內插加點兩種方式結合在加點步驟中。

五、參考文獻

1. J. A. Talbert and A. R. Pakinson, "Development of an Automatic, Two-dimensional Finite Element Mesh Generator using Quadrilater Elements and Bezier Curve Boundary Definition", Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 29 pp.1551-1567, (1990)"
2. L. Sezer and I. Zeid, "Automatic Quadrilateral/ Triangular Freeform Mesh Generation for Planner Regions", Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 32, pp.1441-1483, (1991)
3. W. H. Frey and D. A. Field, "Mesh Relaxation: A New Technique for Improving Triangulations", Int. J. Numer. Methods Eng., Vol.31 pp.1121-1133, (1991)
4. R. B. Simpson, "Automatic Local Refinement for Irregular Rectangular Meshes", Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 14,

pp.1665-1687, (1979)

5. S. Motavalli and B. Bldanda, "A Part Image Reconstruction System for Reverse Engineering of Design Modifications", J. of Manuf. Sys. Vo1.10 No.5 pp.383-394
6. J. M. Zhou, K. D. Zhou and K. R. Shao, "Automatic Generation of 3D Meshes for Complicated Solids", IEEE Trans. on Magnetics, Vo1.28 No.2 pp.1759-1762, (1992)

六、圖表

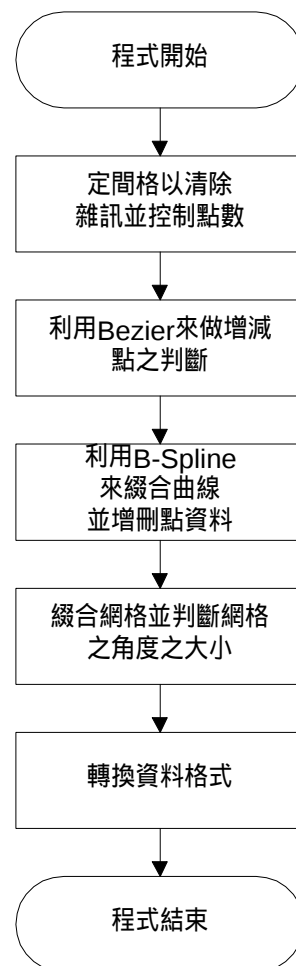


圖 1. 研究方法流程圖

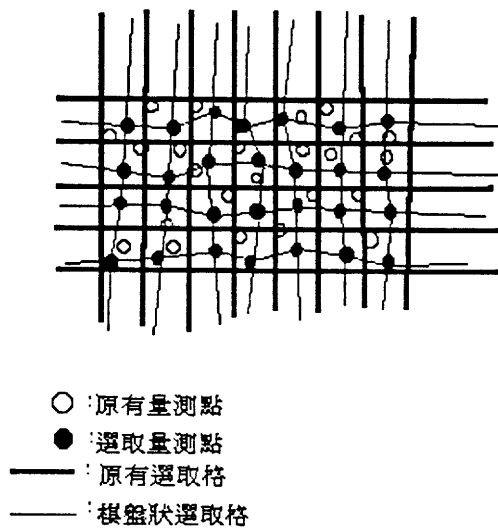


圖 2. 棋盤式選取格示意圖

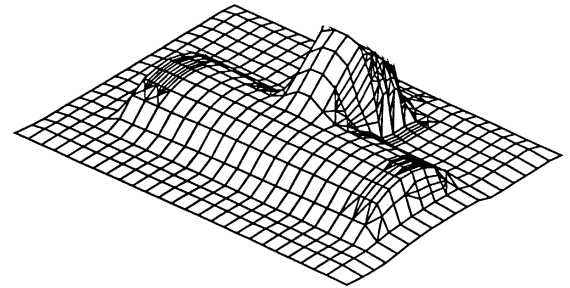
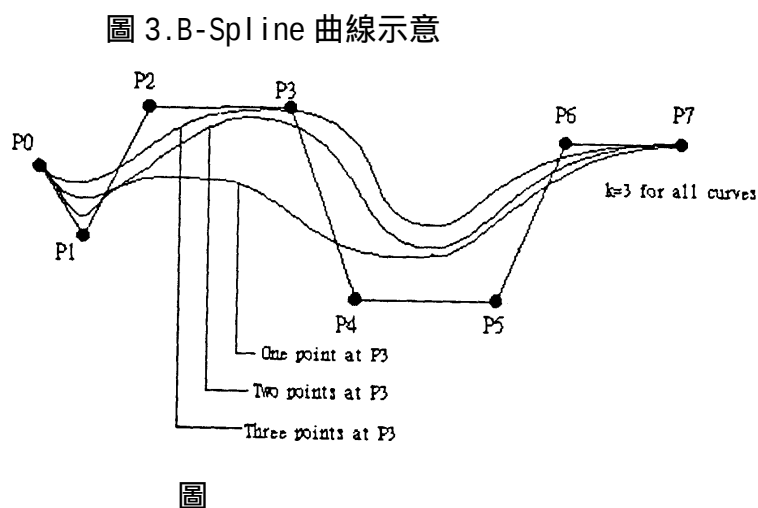


圖 4. 卡車油箱之原模面造型

相鄰選取點間之 增加點	誤差(%)
0	4.07
1	3.25
3	1.32

表 1. 不同增加點之誤差



圖