

氣動式釘槍流固耦合分析

The Fluid-Structure Interaction Analysis of Pneumatic Nail Gun

柯睿哲¹ 徐穎成² 余傳濤²

1.力偕實業股份有限公司

2.瑞其科技有限公司

2.山衛科技股份有限公司

摘要

以往想藉由 CAE 來輔助氣動式釘槍的設計，往往是十分困難的，分析上所遭遇的困難為，釘槍的負載輸入來源為高壓氣體，在擊發的過程中撞針上的壓力負載並非定值，進行結構分析的同時，也必須執行流場分析，以取得流場對於結構的暫態影響，進而才能模擬整個擊發過程的動態行為，現今的流固耦合分析技術與工具，已經克服了上述的難點，能成功模擬整個釘槍擊發的過程，算出釘子擊發後之動能，對後續設計參數效果的探討，取得了非常可行的解決方案，以加速設流程與降低成本。

關鍵字：Abaqus、FlowVision、氣動釘槍、流固耦合

ABSTRACT

It is very difficult to improve the design of pneumatic nail gun by CAE in the past. Because the loading of the pneumatic nail gun system is the high pressure gas, the pressure value on the firing pin is not a constant when the firing pin is moving. If we want to simulate the real dynamic behavior of the firing process, we need to do the fluid dynamic analysis and the structure dynamic at the same time. Unfortunately it is too difficult in the past. Now, the tools and techniques of the fluid-structure interaction analysis already overcome the difficulties. So we can simulate the whole process of nail gun firing and calculate the kinetic energy of the nail, after it is fired. Finally, we find a feasible solution for pneumatic nail gun. It can help us to predict the effect of the design variables, so we can speed up the design process and reduce the cost.

Keywords: Abaqus、Flowvision、Pneumatic nail gun、FSI

一、緒論

以往氣動釘槍的設計只能依據實驗結果，來獲得各設計參數的影響程度，此做法必須等待樣品實際產出後，才能知道設計的成效，如此便會耗費許多時程，且對於設計參數對實驗結果的影響，往往只能以趨勢判斷合理性，難以衡量實際上的影響程度，無

法作為研發人員建立具有邏輯性的判斷標準，若能以 CAE 分析技術，求解整個擊發的過程，取得設計上需要的物理參數，那便能更精確的判斷產品的研發設計方向。

二、原始模型分析

2.1 原始模型之建立

由於模型曲面與細節的特徵繁多，先以 CATIA 對 3D 幾何進行特徵簡化的工作，在部件經過幾何特徵簡化後，結構的網格模型建構以 Abaqus/CAE 完成如圖 1，測試棒擺放至撞針下方如圖 2，本分析主要為求得測試棒的終端速度與動能，以及受撞針衝擊時減震墊的應力分佈，以作為釘槍工作效能的依據。

2.2 CAE 虛擬實驗

本文釘槍實際測試的氣動條件，進行 CAE 虛擬實驗的分析。CFD 分析方面使用 FlowVision 進行分析，在釘槍把手末端為高壓氣體的入口端，入口端壓力為 100 psi，氣體的出口端為釘子的擊發口，設定出口端為自由出口(Free Outlet)，所以壓力為零(相對於 1 大氣壓)，而在釘槍內部同樣有高壓氣體儲存在其中，故將氣室內儲存的氣體之初始條件，設定為初始壓力為 100 psi，由於釘槍模型與入口條件為對稱，考慮分析效率，使用半對稱模型進行分析，完整的 CFD 邊界條件示意圖如圖 3，結構部分的邊界條件以及各種分析參數的設定以 Abaqus/CAE 完成，結構方面邊界條件設定，考慮撞針可以沿氣缸縱軸方向移動，氣缸本體與周邊零件為固定，完整的結構分析邊界條件示意圖如圖 4，分析求解時，需以 Abaqus/Explicit 與 FlowVision 協同運算，以求得釘槍擊發的動態反應。

2.3 流固耦合分析結果

流固耦合的分析結果如圖 5~ 11 所示。撞針組的動能歷程曲線如圖 5，由圖可知分析過程中動能的最大值為 67.5 J，釘子的速度歷程曲線如圖 6，由圖可知分析過程中速度的最大值為 39.1 m/s，撞針組的受力歷程曲線如圖 7，由圖可知因高壓氣體造成的外力，隨著撞針的移動而下降，主要的原因為

隨著撞針移動，氣缸容積上升因而壓力下降，故撞針的受力也下降，流場的壓力與速度分布如圖 8、9，由分布圖的可知流場的壓力與速度狀況，此結果與預估的狀態相似，故判斷分析結果合理，結構分析的結果為減振墊的等效應力分布如圖 10，應力最大值為 46.99 MPa，由於減振墊為橡膠材料，需要橡膠實驗的數據，作為材料參數的設定依據，本文使用 Abaqus 範例中的材料數據做設定，為一假設的材料，故應力的分布與數值可能與實際有落差。

三、 測試分析比對

3.1 測試與分析數據比對

由流固耦合分析結果可知釘槍的氣動數據為，動能：67.5 J、測試棒速度：39.1 m/s，實際測試的數據為：動能：59 J、測試棒速度：36.3 m/s，測試與分析比對的誤差為，動能：14.4 %、測試棒速度：7.7 %，我們可以看到分析與測試的誤差值可以控制在 15% 以內，由於實際情況的微小間隙，與密封環對於缸體壁面的動態阻力無法確切的考慮，故會有誤差是可以預期的，但此比對結果，以 CFD 分析的精度來說，算是十分準確的結果。

四、 結論與未來展望

此流固耦合分析技術，結合了 Abaqus 與 FlowVision 兩套軟體，發揮兩套軟體所長，能夠完整模擬的撞針受氣動力推動，撞擊測試棒的過程，且能真實地計算撞針上，因為氣動力而承受的壓力大小與受力歷程曲線，以了解各設計參數對於撞針阻力或是推力的影響，進一步輔助釘槍產品的設計與研發，在 3D 圖面設計完成的階段，便能先以虛擬實驗驗證產品效能，加速研發時程，在前端篩選掉不可行的設計，以節省後端實驗的成本，期望未來在加入橡膠材料的實驗

數據後，對於減振墊能取得更真實的分析結果，使 CAE 技術能更完整的應用於釘槍的開發流程上。

五、圖片

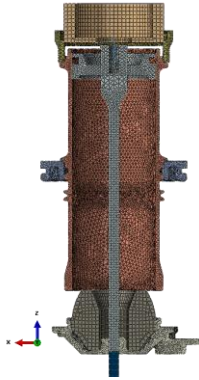


圖 1 釘槍氣缸組結構網格模型

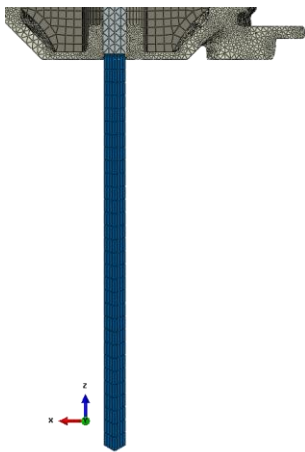


圖 2 測試棒(釘子)的組裝位置

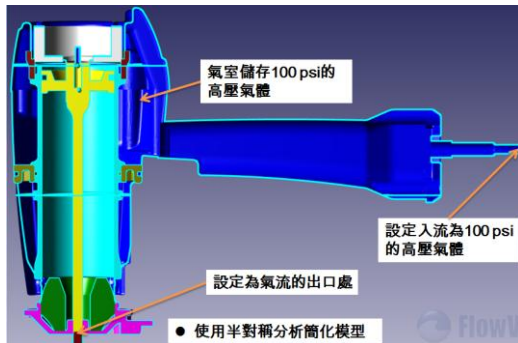
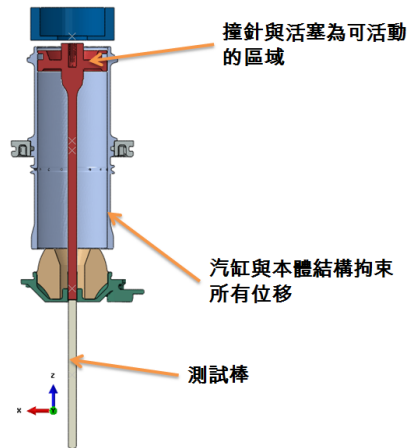


圖 3 CFD 分析邊界條件



● 使用半對稱分析簡化模型

圖 4 結構分析邊界條件

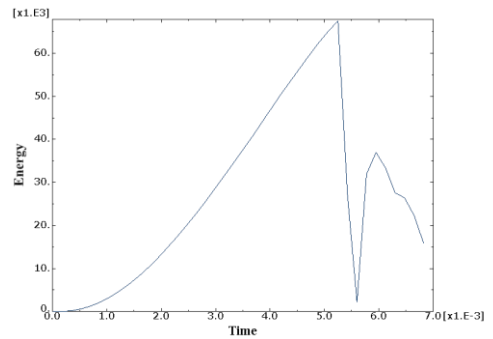


圖 5 撞針組動能歷程曲線

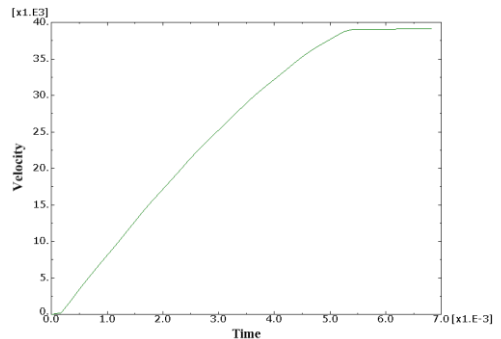


圖 6 測試棒(釘子)

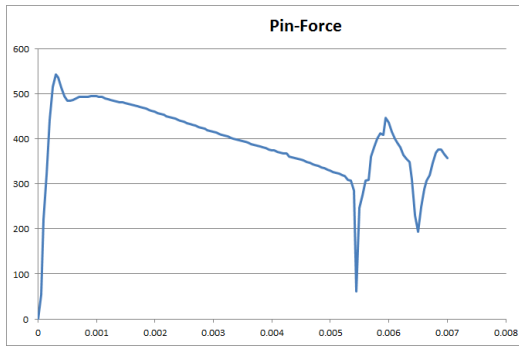


圖 7 撞針擊發過程之受力曲線

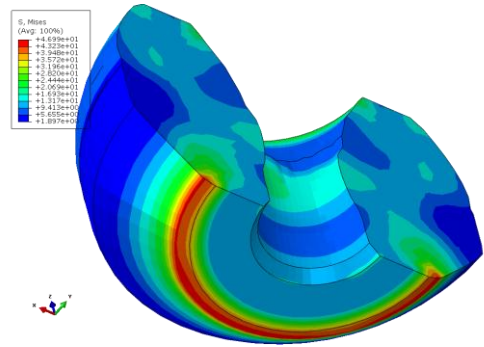


圖 10 減震墊之等效應力分佈

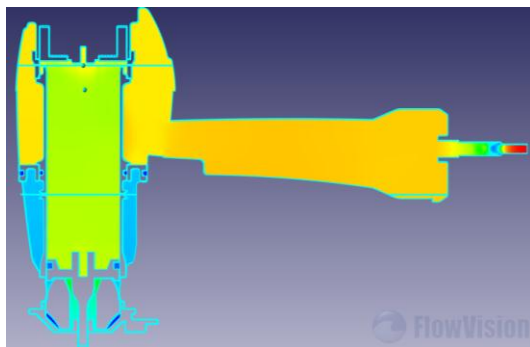


圖 8 撞針接觸減震墊時之壓力分佈

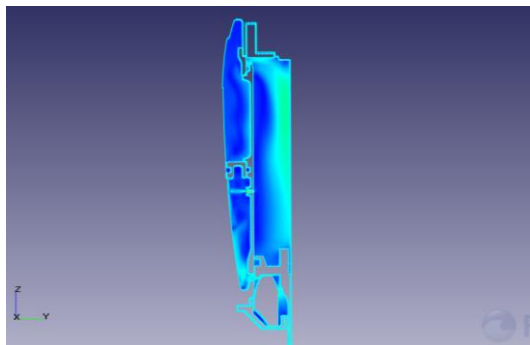


圖 9 撞針接觸減震墊時之速度分佈