

渦輪引擎葉片包覆動態分析

陳涵鏞、柯著成、李政錡
國家中山科學研究院航空研究所

摘要

在飛機引擎設計上，為避免引擎內部高動能旋轉件因失效後而擊穿外罩，需考量引擎外罩的設計強度與重量配置，以滿足整體設計需求。本文參考彈道撞擊測試方式(ballistic impact test)進行動態分析，將引擎外罩以平板模擬，並將外罩與葉片材料設定為Ti-6Al-4V鈦合金，來探討不同葉片動能下，平板厚度遏制失效葉片的關係，參照上述關係結果，讓未來在引擎外罩的設計佈局上能更有效率。

關鍵字：撞擊分析、彈道撞擊測試、遏制

ABSTRACT

To prevent the damaged high kinetic energy engine component cutting through the engine case, it is required to consider the structural strength and weight arrangement in the design phase. Based on the dynamic analysis of the ballistic impact test method, this paper investigated the dynamic impact behavior between the flat plate and engine blade which are Ti-6Al-4V(Ti-64) titanium alloy. With the relations of containment between the thickness of flat plate and high kinetic energy blade, it is more efficient for the design of engine cases.

Keywords: Engine case, blade, Dynamic impact analysis、Ballistic impact test、Containment

一、前言

由於渦輪引擎運轉時高溫伴隨複雜高負載關係，容易造成葉片或其內部零件的損壞，為避免運轉中部件失效後撞擊外部組件系統，使引擎系統中燃油管路、線路等系統失效或是產生火災等二次損傷，更嚴重狀況則有可能因零件擊穿而導致人員傷亡等飛安事件，且引擎外罩設計常因性能與內部結構安排要求，影響殼罩強度與重量，尤其商業客機需擁有高旁通比的節能引擎，整體殼罩厚度變化對於重量的影響更是顯著；故引擎外罩設計需取得強度與重量平衡，才能達成設計需求與規範。

本文將依照 Jet engine fan blade containment using an alternate geometry [1]文中所使用的 ballistic impact test 方法，以 Abaqus[2]分析軟體進行重建，比對[1]結果趨勢吻合後，再以此設定來進行 Ti-64 鈦合金材料，於不同平板厚度與葉片能量撞擊計算與結果探討彙整，以提供未來設計佈局所需之參考。

二、邊界設定與負載條件

2.1 幾何設定

依照[1]幾何設定方式，平板幾何如圖 1、葉片幾何設定如圖 2，平板與水平夾角 45° 上下兩邊固定；葉片以水平夾角 45° 之姿態給與水平速度撞擊平板，如圖 3。

2.2 材料設定

驗證分析使用平板材料 304L 不鏽鋼，葉片使用 Ti-64 鈦合金，材料機械性能如表 1 與表 2 所示。後續不同平板厚度與葉片能量之探討則全部使用 Ti-64 鈦合金材料。

2.3 負載條件

為驗證本分析模型，採用[1]分析負載條件，葉片初始速度設定為 457m/s，並比較[1]分析結果，來確定本分析模型正確性。新增負載條件則給予葉片初始速度從 200m/s~750m/s 負載，探討於 10000~120000 J 下，不同厚度之平板與葉片能量關係，及平板厚度變化對動能的遏制效果。

三、結構動態分析

3.1 分析設定

分析模型元素種類使用三維實體元素

(Solid Element), 平板上下兩側設定為固定邊界, 接觸條件以 General contact 並忽略摩擦係數的影響, 葉片則是給予一水平初速度, 作為負載設定條件, 如圖 4。

3.2 分析結果

分析結果如圖 5, 平板在撞擊後的 0.0006s 總吸收能量為 170000(in-lbs), 如圖 5.所示;葉片在撞擊後 0.0006s 總吸收能量為 89000(in-lbs), 如圖 6.所示, 其能量變化趨勢與參考論文一致。

透過以上分析手法, 將平板材料調整為 Ti-64 鈦合金, 並以不同能量變化之葉片撞擊, 其整體平板厚度變化如圖 7.所示。在能量 28000~47000(J)時之厚度變化較為明顯, 為 3.2~6.5mm。顯示在撞擊過程中的葉片幾何改變會影響其吸能效果。

四、結論

在厚度與能量變化曲線中, 葉片會因不同應變速率導致葉片本身的幾何產生不同變化, 幾何剛性也隨之改變, 造成實際外罩對葉片抑制分析難以掌握。若考量破壞時葉片幾何變異性以及外罩設計重量限制, 則可利用擴大其曲線寬帶方式, 如圖 8, 提供設計者較為彈性且安全的設計選擇。

本文未來將以此分析模式, 進行發動機各級之外罩厚度與能量關係分析, 並由實驗驗證曲線寬帶合宜性, 提供較佳之發動機殼罩的設計佈局參考。

五、參考文獻

- [1] K.S.Carney.,J.M.Pereira.,D.M.Revilock.,P.Matheny."Jet engine fan blade containment using an alternate geometry", International Journal of Impact Engineering, 36, 720-728, 2009.
- [2] Abaqus 6.12, "Abaqus/CAE User's Manual", Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI, USA,2012.

六、表資料

表 1. SUS304L 材料性質表

SUS304L	
Density	7750.373kg/m ³
Young's modulud	193.053GPa
Poisson's ratio	0.305
Yield stress	339.222MPa

Tangent modulus	165MPa
Plastic strain to failure	0.36

表 2. Ti-6Al-4V 材料性質表

Ti-6Al-4V	
Density	4650.22kg/m ³
Young's modulud	110.316GPa
Poisson's ratio	0.31
Yield stress	1.00663GPa
Tangent modulus	1.59269GPa
Plastic strain to failure	0.22

七、圖資料

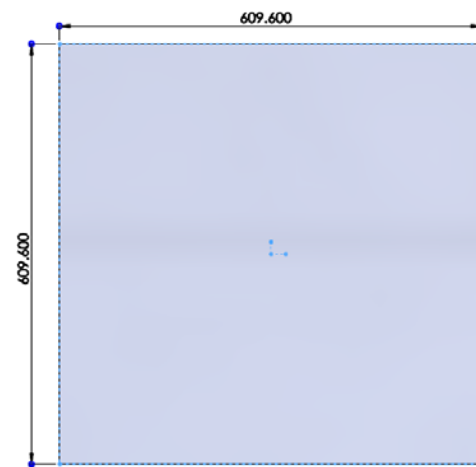


圖 1. 平板幾何尺寸示意

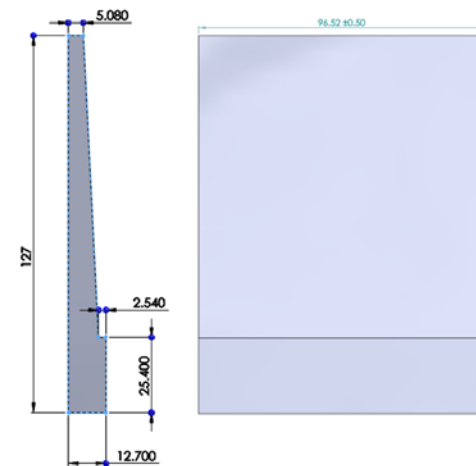


圖 2. 葉片幾何尺寸示意

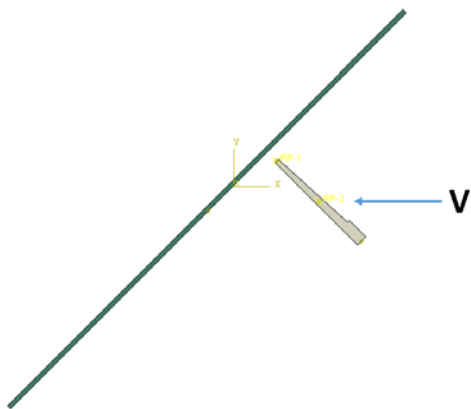


圖 3. 整體幾何尺寸示意

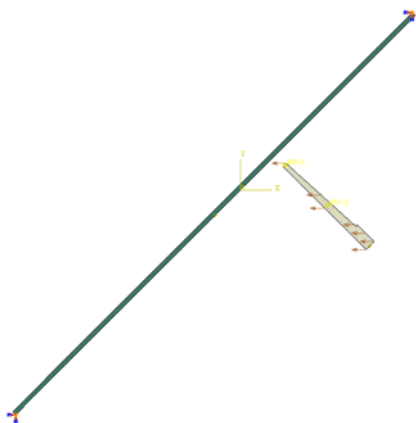


圖 4. 邊界設定方式示意

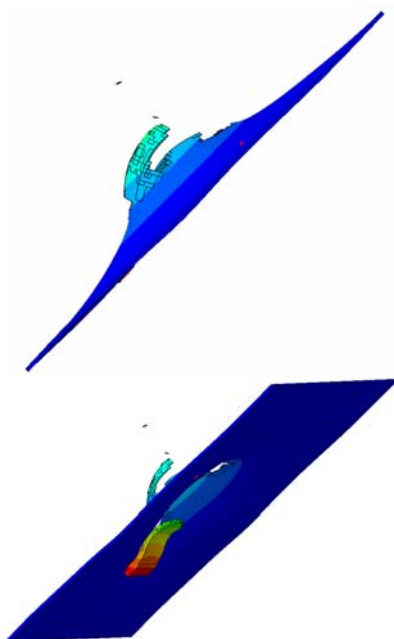


圖 5. 葉片撞擊平板示意

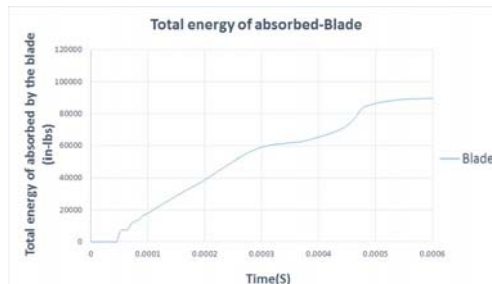
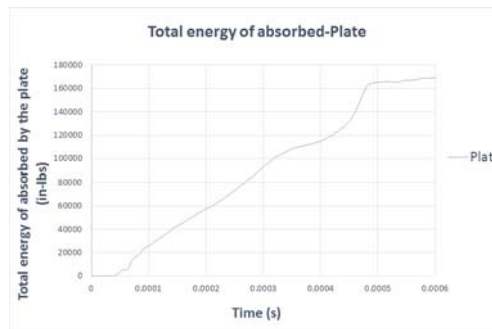


圖 6. 457m/s 下撞擊後葉片與平板吸能分佈

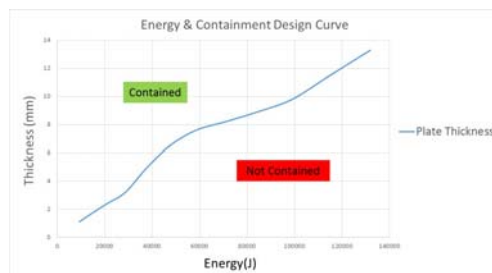


圖 7. 不同葉片能量下與平板厚度變化關係



圖 8. 設計曲線寬帶說明