

行政院國家科學委員會研究計畫成果報告

總計畫：航空材料動態測試及航空結構之撞擊行為研究(III)

計畫編號: NSC 88-2212-E-002-055

執行期間: 87年8月1日至88年10月31日

計畫主持人: 吳恩柏教授

國立臺灣大學應用力學研究所

一. 中文摘要

本計畫中包含四個子計畫，研究範疇涵蓋航空結構中金屬材料、三維立體強化織物複合材料、鋁鎂金屬基碳纖維複合材料與編織/鋁合金混成複材管件之材料動態測試與撞擊行為分析。本計畫經由材料靜態實驗與動態撞擊與疲勞負載實驗設計、執行與實驗結果分析，對於上述材料靜態與動態撞擊行為研究有更深層瞭解；同時本計畫亦藉由上述成果進一步建立各材料在動態撞擊行為之數值分析模型，有效的預測各材料動態撞擊行為，進而擴展各材料在航空結構設計之應用。本計畫經由各子計畫主持人通力合作下所研發成果，可提供航空結構在材料結構設計與動態撞擊行為分析一參考依據，以提昇航空結構設計之安全性與可靠度。

Abstract

The goal of this project was to integrate four sub-projects to study the dynamic impact behavior of different materials and structures that

used for aerospace applications. The materials used in this study included Al metal, 3-D braided textile composites, carbon fiber reinforced aluminum lithium metal matrix composites, and braided aluminum hybrid composite tubes. Experiments were designed for static, dynamic impact and fatigue to study the behavior of these types of materials. On the other hand, FEM models as well as analytical methods were used to predict the dynamic impact behavior. The results are expected to provide basic information for enhancement of the design of aerospace structures.

二. 緣起與目的

近年來，在政府大力推動航太工業，提昇自主性國防力量之際，正逐漸將研究主力轉移至開發新的航太科技，並結合機械，材料，控制，電腦，通訊等技術，以發展出高性能之民航客機及軍用戰鬥機。然而這些空中載具於飛行使用過程中常易遭受不同異物

如飛鳥，冰雹，甚或彈頭之撞擊，造成重大之傷亡與損失，因此其對結構材料之性質要求往往甚為嚴苛，其中高強度，高韌性及輕量化則是其考量之重點。為提高航太和結構體抗衡撞擊的特性，以達到設計時之各項特殊需求，有關高性能航太結構材料之研發製造及其相關撞擊特性之測試及數值模擬分析就顯得日益迫切及重要。

本計畫中所包含四個子計畫，分別為成功大學航空太空工程系鄭泗滄教授所主持之子計畫(一)：三維立體強化織物複合材料結構之擬靜態壓穿；成功大學機械系李偉賢教授所主持子計畫(二)：鋁鋰金屬基碳纖維複合材料之動態撞擊行為分析及模擬；逢甲大學紡織工程系邱長垣教授所主持子計畫(三)：編織/鋁合金混成複材管件壓碎與動態疲勞特性之研究；臺灣大學應用力學所吳恩柏教授所主持子計畫(四)：航空材料之動態測試與圓管結構之高速撞擊研究。

本計畫目的在於經由整合各子計畫之執行成果，對於航空結構材料中金屬材料、三維立體強化織物複合材料、鋁鋰金屬基碳纖維複合材料與編織/鋁合金混成複材管件之材料動態測試與撞擊行為研究有更深一層瞭解，同時也進一步掌握各結構材料靜態、疲勞與動態撞擊行為及破壞模式。同時本計畫中亦期冀藉由上述研究成果進一步建立各材料在動態撞擊行為之數值分析模型，有效的

預測各材料動態撞擊行為及破壞分析，進而擴展各材料在航空結構設計之應用，以提供航空結構在材料結構特性、材料結構設計與動態撞擊行為分析一重要參考依據，以提昇航空結構設計之安全性與可靠度。

三.研究成果

本計畫中主要研究成果略述如下，各子計畫詳細研究成果可參閱各子計畫研究成果報告。

子計畫一:三維立體強化織物複合材料結構之擬靜態壓穿

本子計畫主要探討有關四段式三維強化玻纖環氧樹脂複材結構的動態衝擊問題的研究。在上期研究中我們使用商用有限元素程式 MARC 來模擬擬靜態壓穿實驗過程，並得到了壓頭壓力與其行程的關係圖與結構勁度銳變的關聯性。這個研究的成果配和修正 Hertz 接觸律，在本期計畫中進行動態衝擊數值分析，以計算出彈道極限預測值。結果顯示目前發展的方法可以相當準確的來預測四段式三維強化玻纖環氧樹脂複材結構的彈道極限值。

子計畫二:鋁鋰金屬基碳纖維複合材料之動態撞擊行為分析及模擬

本子計劃主要是探討鋁鋰金屬基碳纖維複合材料在高速撞擊下之動態變形與穿甲行為。為期三年，包括學理研究及實驗測試分

析與模擬。本計劃主要是利用顯式有限元素的套裝軟體 LS-DYNA3D，分析模擬三種不同的碳纖維體積含有率，以層狀方式強化鋁鎂金屬基之複材平板，遭受鎢合金彈頭撞擊的行為與現象。撞擊的條件包含四種不同的速度及四種不同的撞擊傾角。在有限元素網格分割上，鎢合金及複材平板鋁鎂合金基地部分使用八節點六面體固體元素模擬，而碳纖維強化材則使用 Hughes-Liu 薄殼元素；在材料設定上，鎢合金及複材平板鋁鎂合金基地部分使用彈塑性材料模式模擬，而碳纖維強化材使用 Chang-Chang 複合材料破壞模式。經模擬此四十八組撞擊情況後，得知每種情況撞擊體的變形、整體的能量、平板所受的撞擊作用力與壓力及撞擊體的貫穿速度受撞擊條件的影響。

子計畫三：編織/鋁合金混成複材管件壓碎與動態疲勞特性之研究

本子計畫執行結果可歸納為以下幾點結論：

1. 碳纖維編織包覆 6061-T6 鋁合金管件所呈現之破壞型態為鋁合金管葉片狀擴張導致碳纖維編織帶的彎曲破裂及鋁合金管本身的彎曲破壞。而且隨碳纖維編織角度增大，外層編織帶破壞葉片由細長狀轉為塊狀；但在 45°及 60°時的破壞型態隨鋁合金管折疊而壓碎夾住。
2. 隨編織角度及編織層數的增加，碳纖維編織包覆 6061-T6 及 6061-T6 鋁合金管件的

最大壓碎負荷隨之增加。但最大壓碎負荷和測試速度無關。

3. 管件的耐疲勞性會隨著編織角度的上升而下降，以 15°混成管件最高，其疲勞壽命增加 25 倍

編織/鋁合金混成複材管件之破壞模式受編織角度影響甚巨，其中 30°和 45°管件之破壞為粗糙不規則而 15°和 60°管件之破壞面則較為平整。

子計畫四：航空材料之動態測試與圓管結構之高速撞擊研究

為因應試體尺寸限制所產生之動態實驗瓶頸，本文結合直接撞擊法(*Direct Impact Method, DIM*)以及暫態雷射都普勒測速系統(*Transient Laser Doppler Anemometer, TLDA*)兩者優點，成功的發展應力梯度直接撞擊法(*Stress Gradient Direct Impact Method, SGDIM*)，用以完整呈現大尺寸結構材料於衝擊壓縮荷載下的真實力學行為。由本文實驗結果顯示對於大尺寸試體之材料動態測試，若撞擊過程中試體兩端力平衡的假設無法存在，則以梯度應力理論模型來考慮撞擊歷程中試體內部的應力分佈對時間歷程是較為正確的。本文中所發展之應力梯度直接撞擊法(*SGDIM*)，對於未來在航空大型結構之材料動態測試與撞擊研究上建立一嶄新量測方式。

四.計畫成果自評

本計畫經由各子計畫主持人通力合作與協調溝通下，在航空結構材料研究範疇涵蓋航空結構中金屬材料、三維立體強化織物複合材料、鋁鎂金屬基碳纖維複合材料與編織/鋁合金混成複材管件之材料動態測試與撞擊行為分析。在材料結構實驗設計與分析上包括材料結構靜態實驗分析、材料結構疲勞測試分析與材料結構動態撞擊實驗分析。經由上述一系列實驗，對於上述材料靜態與動態撞擊行為研究有更深一層瞭解，同時也進一步掌握各結構材料靜態、疲勞與動態撞擊行為及破壞模式；本計畫中同時藉由上述研究成果進一步建立各材料在動態撞擊行為之數值分析模型，有效的預測各材料動態撞擊行為及破壞分析，進而擴展各材料在航空結構設計之應用。本計畫之研究成果經在各子計畫主持人通力合作下所研發成果，可提供航空結構在材料結構特性、材料結構設計與動態撞擊行為分析一重要參考依據，以進而提昇航空結構設計之安全性與可靠度。