

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

複合材料壓力容器的可靠性研究(III)-總計劃

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 87-2218-E-009-021

執行期限：86年08月01日至87年7月31日

主持人：金大仁 執行機構及單位名稱：國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

本計劃應用理論分析、實作及試驗方法來研究纏繞式複合材料壓力容器的可靠性。利用有限單元法和破壞準則來預測壓力容器的初始破壞強度，所用之材料常數由實驗求得。對纏繞式複合材料壓力容器進行液壓脹破實驗，利用聲射量測方法量取壓力容器初始破壞時所釋放的能量，由實驗結果探討理論分析方法之準確性及設計提升可靠度之道。

關鍵詞：複合材料、纏繞、壓力容器、破壞、脹破試驗、有限單元法。

Abstract

This project used analytical and experimental methods to study the reliability of filament wound composite pressure vessels. The finite element method and an appropriate failure criterion were used to predict the incipient failure pressure of composite pressure vessels. A number of filament wound pressure vessels were fabricated and subjected to burst testing. An acoustic emission technique was used to measure the stress waves emitted from the pressure vessels during the failure process. The experimental data were used to verify the accuracy of the analytical predictions and study the way for reliability improvement of the vessels.

Keywords: composite materials, filament winding, pressure vessels, reliability, finite element method, failure.

二、緣由與目的

纏繞式複合材料構件的製造是一重要研究課題，特別是纏繞式複合材料壓力容器，因其製造可自動化，且具有減重強度高等優點而深受工業界重視。已有不少人研究纏繞製造的方法與技術[1-5]，也有一些人研究纏繞式構件的機械行為[6-8]，但有關纏繞花樣及可靠性方面的成果則甚少在文獻上看到，此乃屬研發機密，不易向外公開。因此，若要掌握繞製高可靠度複材壓力容器的技術，吾人必須從基礎開始，確實了解纏繞式複材壓力容器的製程、繞製方法、力學行為、破壞機製及可靠性評估方法。本研究便是秉持這種精神來進行高可靠度纏繞式複材壓力容器的研製。利用有限單元法和破壞準則來建立一預測纏繞式複材壓力容器初始破壞強度的方法，此法將有助於評估壓力容器的可靠度；進行繞製試片及實體，由實驗求取材料性質及壓力容器的初始破壞強度；由分析及比較實驗和理論結果來研究提升壓力容器可靠度的方法。

三、強度分析

本研究利用有限單元法來分析複合材料壓力容器的應力分佈，所用之單元是根據一階剪變形理論推導而得，然後根據Tsai-Wu破壞準則來計算壓力容器發生初始破壞的內壓力，此壓力定義為壓力容器的強度。分析所用之材料常數由實驗獲得，所用之試片由繞製之實體或圓管中切

割而得，由實驗量取之材料常數為纖維方向及垂直纖維方向的楊氏係數(E_1, E_2)，波松比(ν_{12})，平面剪力剛性常數(G_{12})，纖維方向及垂直纖維方向的張力強度(X_1, Y_1)和平面剪力強度(S)。

四、脹破實驗

用不同花樣繞製完成之壓力容器進行液壓脹破實驗，並在壓力容器表面黏貼聲射規用以量測壓力容器在破壞過程中所產生的壓力波。實驗後，進行試體失效分析，破壞位置靠近試體中間，破壞模式包含基材破裂、脫層及纖維斷裂。

五、結果與討論

由實驗求得之纏繞式複材的材料常數列於表一中，不過影響材料常數的因素很多，諸如纖維含量、纖維張量、烘焙溫度和時間等都會影響材料性質，所以製程中要適當地控制這些參數。利用上述分析方法及材料常數進行繞線路徑設計，不同纏繞角度繞製之壓力容器其初始破壞強度及最後之脹破強度列於表二中，由結果得知，繞線花樣對壓力容器的強度有很大的影響，同樣可知，強度越高者，其可靠度越大。

六、結論

本研究建立了分析纏繞式複合材料壓力容器機械行為、材料常數測試、繞製及脹破試驗等項目的方法，並確實掌握這方面的技術，據此吾人可研發高可靠度纏繞式複合材料壓力容器。

七、參考文獻

1. G. DiVita, M. Marchetti, P. Moroni and P. Perugini, "Designing Complex Shape Filament-wound Structures", *Composites Manufacturing*, Vol. 3, pp.53-58(1992).
2. S. Kurt Olofsson, P. Gudmundson, L. Anders Strombeck, "Process Simulation of Wet Filament Winding and Curing of Thick Walled Cylinders", 37th, *International SAMPLES Symposium*, pp. 1132-1145,(1992).
3. R.R. Rizzo and A.A. Vicario, "A Finite Element Analysis of Laminated Anisotropic Tubes", *J. Composite Materials*, Vol. 4, pp. 344-359(1970).
4. N.J. Pagano and J.M. Whitney, "Geometric Design of Composite Cylindrical Characterization Specimens", *J. Composite Materials*, Vol. 4, pp. 360-379(1970).
5. A.K. Ray and S.W. Tasi, "Design of Thick Composite Cylinders", *J. Pressure Vessel Technology*, Vol. 110, pp. 255-262(1988).
6. H. Fukunaga, & T. W. Chou, "Simplified design techniques for laminated cylindrical pressure vessels under stiffness and strength constraints", *Journal. Comp. Master.*, Vol. 9, pp. 1157-169(1988).
7. H. Krandekar, R. Srivivasan, F. Mistree, & W.J. Fuchs, Compromise : "An effective approach for the design of pressure vessels using composite materials", *Computer & Structure*, Vol. 33, No. 6, pp. 1465-1477(1989).
8. S. Aladi, Summers E. B. & V. E. Verijenko., "Optimisation of laminated cylindrical pressure vessels under

strength criterion.”, *Composite Structures*,
Vol. 25, pp. 305-312(1993).

表一. 纏繞式複材之材料常數

材料	纖維含量比	E_1 (Gpa)	E_2 (Gpa)	G_{12} (Gpa)	ν_{12}	X_T (Mpa)	Y_T (Mpa)	S (Mpa)
G1/EP	0.5	60	6.0	2.0	0.3	1030	30	44
G1/EP	0.5	130	6.5	2.2	0.3	1230	38	65

表二. 複材壓力容器之破壞強度

纏繞花式 (由外至內)	初始破壞強度(Mpa)	脹破強度(Mpa)
$[(30^\circ / -30^\circ)_4]$	0.63	2.3
$[90^\circ / (30^\circ / -30^\circ)_2]$	3.51	3.8
$[(30^\circ / -30^\circ)_3 / 90^\circ_2]$	3.34	8.1
$[(30^\circ / -30^\circ)_2 / 90^\circ_4]$	3.64	12.1