

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)-子計劃四：

複合材料壓力容器的最佳製程參數研究

Optimal Parameters for Manufacturing Filament Wound Composite Pressure Vessels

計畫編號：NSC 87-2218-E-009-022

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

本計畫研發纏繞式複合材料壓力容器的製造技術，其中包括心模之製作、繞線路徑及花樣之規劃、烘焙參數(溫度、壓力和時間)之選擇和脫模之技術等。利用所發展出來的技術繞製複合材料壓力容器，由實作探討影響壓力容器品質的參數，藉改變製程參數和纏繞方式以提升壓力容器的品質及可靠度。

關鍵詞：複合材料、纏繞、壓力容器、繞線路徑、製程、可靠度。

Abstract

This project studied the technology for manufacturing filament-wound composite pressure vessels. Techniques for making mandrels, designing filament winding path and choosing curing parameters were developed. A number of pressure vessels were filament wound using different winding paths and patterns. The quality of the pressure vessels as well as the methods for improving their quality and reliability were investigated.

Keywords—Composite materials, filament winding, pressure vessels, reliability,

curing, winding pattern.

二、緣由與目的

纏繞式複合材料壓力容器因有減重、強度高及可自動化等優點而深受工業界重視，有一些專家就纏繞方式、路徑規劃及製程參數模擬等方面進行研究[1-8]，雖然已有不少成果記載在文獻中，但若要掌握纏製此類複合材料的技術，吾人仍需身體力行，從實作及研發過程中掌握這方面的技術，從而發展出一套纏製高可靠度複材壓力容器的方法和技術。

纏繞法是將連續性的纖維經過樹脂槽含浸後通過出眼口，沿著預先設定之路徑，纏繞在心模的表面上。當達到設計所需的纏繞厚度後，將壓力容器加熱硬化，便可得最後之成品。本計劃根據上述的製程研發繞線路徑的控制程式、最佳的纏繞花樣和製程參數，以及心模之製造方式與脫模方法。

三、壓力容器之製作

本研究將可溶性樹脂與細砂混合後，再利用加溫硬化等過程來製作壓力容器的內模。在砂心模的表面貼上壓力容器的內襯，然後將處理好的砂心模夾持在纏繞機的轉軸上。纖維束通過盛載熱固性樹脂的槽後便纏繞在砂心模上，藉著纏繞機轉軸

的轉動及出線口的前後移動和轉動，可在砂心模上繞出不同的花樣。纏繞時纖維束張力的大小可用一張力控制機構來調整，纏繞角度是由近似geodesic 路徑來決定，纏繞週期及順序是根據Lossie [8]的方法來訂定，纏繞週期為連貫的兩段纖維路徑的組合，其中第一段是從心軸一端開口到令一端開口，第二段則是將纖維從此端開口繞回到先前的開口處，然後按所採用之纏繞順序 $\frac{m}{n}$ 重複上述之纏繞動作，直到整個心模被纖維所覆蓋。纏繞完成之壓力容器連同心模一起進行加溫硬化處理，加溫的時間和溫度的大小視所用之樹脂的特性而定。硬化完成後，進行心模去除的工作，將熱水灌入壓力容器內便可溶解砂模。然後將壓力容器做表面處理，便可得到所需之實體如圖一所示。纏繞的厚度視所需之壓力大小而定，在壓力容器中間部分纏繞近似 90° 的纖維有助增強壓力容器的脹破強度。增加繞線張力可減少樹脂中的氣泡，並可提升壓力容器的品質。

四、結果與討論

為了達成上述繞製壓力容器之目的，特研發出一套分析及設計纖維纏繞的路徑的軟體(WIND1.0)，此軟體的主要功能為：1. 心軸幾何外型的建立，2. 纖維路徑的設計，3. 纏繞機各軸運行軌跡之產生及編碼。利用本軟體分別繞製纖維角度為 $[\pm 30^\circ_4]$ ， $[\pm 90^\circ/\pm 30^\circ_3]$ ， $[\pm 30^\circ_3/\pm 90^\circ]$ ， $[90^\circ_2/\pm 30^\circ_2]$ 和 $[\pm 30^\circ_2/90^\circ_2]$ 的壓力容器。製造完成之壓力容器進行液壓脹破試驗，以研究纏繞角度對壓力容器脹破強度之影響。表一所示為各壓力容器的脹破壓力，結果可知，雖

然各壓力容器都有相同層數，但以 $[\pm 30^\circ_2/90^\circ_2]$ 纏繞方式繞製而成的壓力容器具最大脹破壓力，所以在上述纏繞方式中，先纏繞2層 90° （其實角度是 88° ），然後再以 $\pm 30^\circ$ 交錯纏繞，便可得最佳之效果。

五、結語

本研究成功開發纖維纏繞壓力容器的技術，並建立四軸繞線機器繞製壓力容器的控制軟體。利用所開發之軟體實際繞製複材壓力容器，以探討纏繞角度對脹破強度的影響，由試驗結果得知纏繞角度對壓力容器的脹破強度有重要的影響，將來宜對最佳的纏繞角度作進一步研究，以冀獲得重量輕可靠度高的壓力容器。

六、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*, *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. Mater.*, Vol. 9 pp. 1157-169(1988).
 7. H. Kranderkar, 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. M. Lossie, *Production oriented design of filament wound composites*-PH.D. Dissertation 90D5, Faculty of applied sciences, Division PMA, K. U. Leuven, (1990)

纏繞角度	脹破壓力 (kg/cm ²)
[± 30 ₄ ⁰]	23
[90°/± 30 ₃ ⁰]	28
[90 ₂ ⁰ /± 30 ₂ ⁰]	38
[± 30 ₃ ⁰ /90°]	81
[± 30 ₂ ⁰ /90 ₂ ⁰]	121



圖 (一) 纏繞式壓力容器
表一、脹破壓力

