

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

可調整螺距、可更換葉片複合材料螺槳之研發(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2611-E-002-001-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所

計畫主持人：林輝政

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 92 年 5 月 26 日

可調整螺距、可更換葉片複合材料螺槳之研發(二)

The development of composite propeller with adjustable pitch and replaceable blade

計畫編號：

執行期限： 91/08/01 ~ 92/07/31

計畫主持人：林輝政教授 台灣大學工程科學及海洋工程學系

摘要

本文以有限元素結構分析於複合材料螺槳的設計上進行研究與討論。首先討論螺殼結構形狀對螺葉應力分佈的影響，將螺殼內軸承視為固定端，流體壓力以MIT-PSF2程式計算螺葉之負荷分佈，再以套裝軟體ANSYS進行結構分析。螺殼部份依螺殼形狀分為內部設計中空狀之類殼狀結構及一般實心螺殼，螺葉則一律以殼元素分析；接著檢視複合材料疊層之影響再準備五種不同疊層安排的Model進行疊層方面的設計與比較，研討出較適當的疊層設計後，便對葉片進行適當的加厚安排，最後討論螺槳較適當之設計。

一、螺槳之螺殼選擇與分析

本文所分析之螺槳在螺殼部份計有兩種，一為如圖1之空心設計殼狀結構螺殼；一為如圖2之一般實心結構螺殼。空心設計之螺殼的優點在於可讓水中的氣泡於空心處通過，減少空蝕的機會，但結構的強度則比實心螺殼來的低。另外，兩種不同的螺殼也會對螺葉造成影響而產生不同的應力分佈狀況，須做比較來決定設計上採用哪種螺殼。

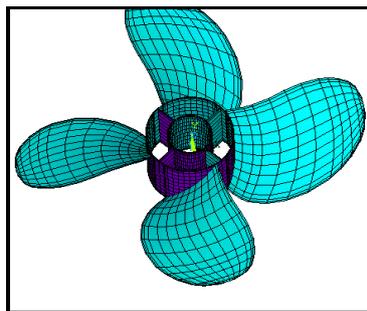


圖1 螺槳三維幾何-空心螺殼

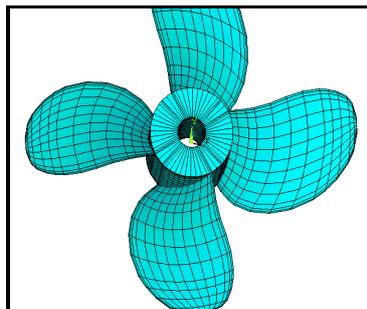


圖2 螺槳三維幾何-實心螺殼

分析時，螺殼軸承部份視為固定端，螺葉上的壓力負荷以MIT-PSF2計算的結果來給定，螺槳的材料全為SMC，螺槳基本之尺寸如表1。分析過程中，空心螺殼螺槳之螺殼與螺葉部份皆採用8點殼元素，至於實心螺殼螺槳，在螺殼部份採用三維實體元素，螺葉部份則使用8點殼元素。圖3為螺葉上的壓力分佈狀況。

表 1 螺槳基本尺寸

The Principal Dimensions of Propeller	
Number of Blade	4
Propeller Diameter	282.61 mm
Propeller Pitch	330.22 mm
Hub radius	40.98 mm

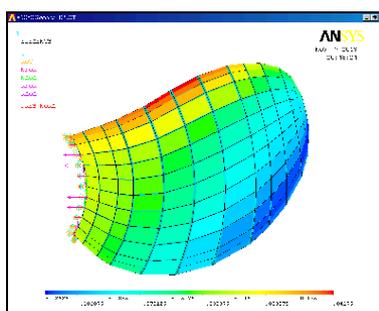


圖3 螺葉上的壓力分佈

分析後，我們發現空心螺殼之螺槳葉片在X軸方向的最大拉、壓應力分別為29.61 Mpa及28.60 Mpa，至於實心螺殼之螺槳葉片則為30.304 Mpa及32.927 Mpa；顯然空心螺殼之葉片所受之應力要比實心螺殼來的低，這是因為空心螺殼變形量比實心螺殼略大，螺殼部份幫螺葉分攤了一小部份的應力，使其螺葉之應力略小於實心螺殼螺槳葉片之應力，但整體來說，空心與實心螺殼兩者螺槳葉片所受之應力並無太大的差距，且在分析中兩種螺殼皆無破壞的可能性。

二、螺葉上複合材料疊層效應討論

再來，我們為了初步觀察複合材料疊層的效應，準備了兩個Model來作比較，一個為方向性不明顯的SMC材料螺槳(以下稱為SMC螺槳)，另一個為方向性非常明顯的UD材料螺槳，UD材料螺槳的角度疊層方式為0度與90度交相疊層(以下稱為UD螺槳)，本文進行分析所用之螺槳材料共四種，相關材料性質如表2。

表2 選用複合材料之材料性質

	CLOTH	MAT	SMC	UD
Ex (Pa)	1.7 E+10	1.2E+10	1.4E+10	2.8E+10
Ey (Pa)	1.7E+10	1.2E+10	1.4E+10	9.6 E+9
G _{xy} (Pa)	9.0E+9	5.5E+9	6.9E+9	4.1E+9
ν_{xy}	0.15	0.25	0.3	0.28
Thickness (mm)	0.43	0.34	1.62	0.5733

本次分析之方式與前面相同，同樣以MIT-PSF2所計算的結果當作螺葉上的壓力負荷，但由於本部份討論主題在於螺葉，故不加入螺轂，固定端直接設定在螺葉根部；另外，船速亦為24.5節，轉速2700RPM。圖4為SMC螺槳X方向之total應力分佈圖，圖5為UD螺槳X方向之total應力分佈圖。

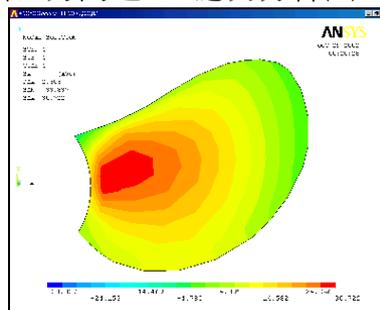


圖4 SMC螺槳X方向之應力分佈圖

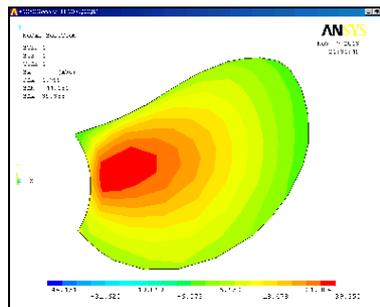


圖5 UD螺槳X方向之應力分佈圖

在兩圖中，我們可以發現兩者的應力分佈狀況幾乎一樣，應力最大值發生在靠進螺槳根部處，呈類似同心圓狀向外遞減，但是UD螺槳的應力值則明顯的比SMC螺槳要高出許多，表3為兩者最大拉、壓應力值及最大變形量之整理表，圖6、圖7則分別為兩者Z方向之變形分佈圖

從表3中，我們可以看到不管是在拉應力或壓應力方面的表現，SMC螺槳的應力極值皆比UD小了將近25%，這說明了以主方向性強烈的材料去疊層，容易產生應力集中的現象；然而，UD雖然有應力集中的現象，但也不是全無優點，至少在位移量的表現明顯的比SMC螺槳小了许多。圖6與圖7分別為兩螺槳的變形量分佈圖，從兩圖中，顯見兩者的變形趨勢是滿接近的，至於最大變形處則發生在葉尖處。

表3 SMC及UD螺槳分析之整理

	最大拉應力	最大壓應力	最大變形量
--	-------	-------	-------

SMC 螺槳	30.722(Mpa)	33.837(Mpa)	1.961(mm)
UD 螺槳	39.355(Mpa)	44.151(Mpa)	1.395(mm)

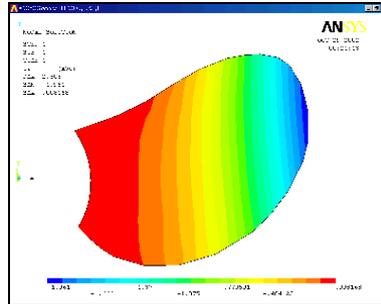


圖6 SMC螺槳變形分佈圖

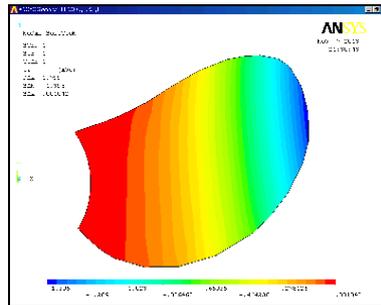


圖7 UD螺槳變形分佈圖

三、螺葉疊層分析與設計

前面已經探試了複合材料疊層的效應，接下將更深入的去進行疊層設計，總共準備五個螺槳疊層模型，螺槳編號及疊層方式如表4。這五個模型初步將螺槳分為上、下表面層及中心層，中心層材料固定為SMC；厚度方面，上、下表面疊層的厚度以材料厚度來給定，中心層厚度則隨元素在螺葉不同位置有不同的厚度；分析上的流場條件仍與前面相同。

表4 螺槳編號與疊層方式

編號	疊層方式
1	0.533S/S/0.533S
2	0.533UD/S/0.533UD
3	0.43C-0/S/0.43C-0
4	0.43C-45/S/0.43C-45
5	0.34M/S/0.34M

表5為1號到5號螺槳經分析後的結果整理，表中，顯現了各螺槳及各疊層的最大應力值。第一疊層為螺葉的face面，即壓力面，所以其應力為幾乎為壓應力，同理，位於back面的第三疊層其應力即屬於拉應力，至於第二疊層則拉應力與壓應力皆差不多，表中所列出的拉應力極值只是考量其拉應力略比壓應力大之故。

表5 各螺槳疊層之應力、位移極值

編號-疊層	Max-stress	位移-Max
1-1	-28.922(Mpa)	2.05(mm)
1-2	13.775(Mpa)	
1-3	26.686(Mpa)	
2-1	-21.888(Mpa)	2.385(mm)
2-2	15.164(Mpa)	
2-3	20.378(Mpa)	
3-1	-32.81(Mpa)	1.984(mm)
3-2	13.08(Mpa)	
3-3	30.563(Mpa)	
4-1	-27.15(Mpa)	2.131(mm)
4-2	15.615(Mpa)	
4-3	24.888(Mpa)	
5-1	-26.852(Mpa)	2.126(mm)
5-2	14.614(Mpa)	
5-3	24.917(Mpa)	

從表5中，我們可得知SMC材料作為中心層是不錯的選擇，而2號螺槳與5號螺槳其表面兩層的應力值與其他螺槳相較下比較低，但2號螺槳所用的UD材料方向性明顯，因此選用表面材料時以5號螺槳的MAT材料較適當，3號與4號螺槳主要在判斷CLOTH材料積層角度的優劣，結果顯現與螺槳座標X軸呈45度去疊層效果較好。因此，我們可以得到一個設計的準則，即疊層可考慮以M/C/UD/C/SMC/C/UD/C/M的方式去設計，如此，UD可用以抵抗彎曲應力，CLOTH呈45度積層，可補足UD主方向外強度之不足，SMC則扮演心材的角色，MAT做為表面材料亦很適當。圖8為經疊層設計之螺槳材料配置圖，圖9為經疊層設計後螺槳在X方向之應力分佈圖。

圖9中，螺槳的拉、壓應力極值分別為29.98 Mpa及32.426 Mpa，這與前面SMC螺槳及UD螺槳相比，大體上已經沒有什麼應力集中的問題了，顯然此種疊層方式是不錯的選擇。

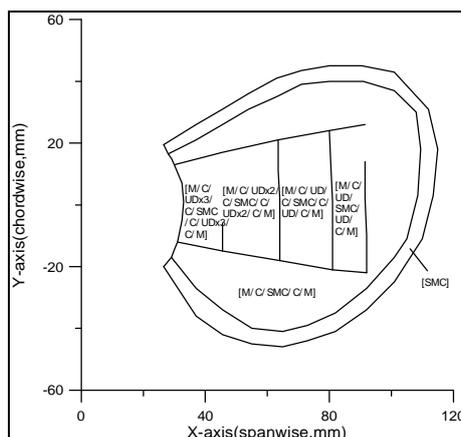


圖8 螺葉材料疊層配置圖

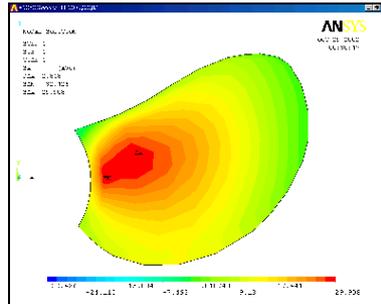


圖9 經設計後螺葉之應力分佈圖

另外，爲了降低螺葉根部的應力值，本文也考慮對螺葉適度加厚，探討其可能性，表 6 爲螺葉加厚的情況，其中，所謂的 keypoint 排數即本文進行有限元素分析時所需的 keypoint，螺葉根部即第一排，離根部一個元素處爲第二排，以此類推。

表 6 螺葉加厚情況

Keypoint 排數	一	二	三	四	五	六
厚度倍數	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1

圖 7 爲疊層設計並加厚後之螺葉的應力分佈圖。圖中，很明顯的應力極值由螺葉根部轉移到螺葉較中心的位置，而應力值也下降許多，這說明了適度對螺葉加厚，對於防止螺葉破壞有很大的幫助，另外，螺葉加厚經測試，發現其運轉效能並無變差。表 7 將設計過程中的幾個螺槳的應力、位移極值做個整理。從表 7 中，我們可發現螺葉從一開始到經過設計再考慮對螺葉加厚，我們達到了使螺葉應力值和變形量下降的目的。

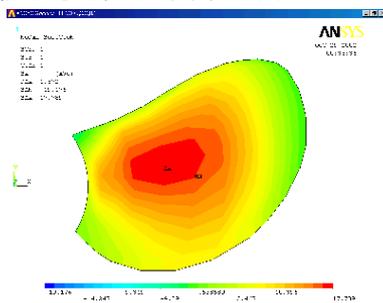


圖7 加厚後螺葉應力分佈圖

表7 螺槳分析整理

	+Max σ (Mpa)	-Max σ (Mpa)	最大變形 量(mm)
SMC 螺槳	30.722	33.837	1.961
UD 螺槳	39.355	44.151	1.395
疊層設計	29.98	32.426	2.212
疊層設計	17.789	19.176	1.293

並加厚			
-----	--	--	--

四、結論

本文以數值有限元素法分析螺葉來設計螺槳，包括螺殼結構、螺葉幾何及材料疊層設計。在螺殼方面選擇空心狀結構螺殼，其強度不會出問題，且對螺葉受力影響不大；至於疊層比較方面，也討論出以 UD 承受彎曲力矩，CLOTH 彌補 UD 主方向外之不足，並抵抗扭力，MAT 與 SMC 則用來當表面與中心材料，以這些原則設計 M/C/UD/C/SMC/C/UD/C/M 疊層，再對螺葉適度加厚，完成整個螺槳的設計，並經分析後，發現設計的效果不錯。

參考文獻

- [1] Genalis P, "Elastic Strength of propellers - an analysis by matrix methods", Ph.D. Thesis, University of Michigan, U.S.A., 1970
- [2] MSC/ARIES For MSC/EMAS Users Training Guide, 1994
- [3] "Ansys 5.6 使用手冊", 1997..
- [4] 林輝政, 林宗恆, "FRP複材螺槳之結構強構強度探討 Study on Structural Strength of FRP Propeller", 國立臺灣大學造船及海洋工程學系碩士論文, 1999