

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 複合式冷卻技術對於內冷卻通道中熱傳和壓力降之影響 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 98-2218-E-009-016-  
執行期間：98年10月01日至99年09月30日  
執行單位：國立交通大學機械工程學系(所)

計畫主持人：劉耀先

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99年12月30日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  期中進度報告

計畫名稱：複合式冷卻技術對於內冷卻通道中熱傳和壓力降之影響

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2218-E-009-016-

執行期間：98年10月01日至99年09月30日

執行機構及系所：國立交通大學 機械工程學系(所)

計畫主持人：劉耀先 助理教授

共同主持人：

計畫參與人員：黃思齊 研究生

賴思宇 研究生

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 2010 年 12 月 30 日

## 複合式冷卻技術對於內冷卻通道中熱傳和壓力降之影響

# Compound Cooling Technique on Heat Transfer and Pressure Drop in Internal Cooling Channels

計畫編號：NSC 98-2218-E-009-016

計畫執行起迄：2009.10.01 至 2010.09.30

計畫主持人：劉耀先 交通大學機械工程學系 助理教授

### 中文摘要

本計畫以實驗方法來探討應用於內冷卻通道中的複合式冷卻技術。燃氣輪機葉片內之冷卻通道常使用熱傳強化技術來增進冷卻效果。複合式冷卻技術藉由結合兩種以上之熱傳強化方法來達成，如衝擊冷卻、肋、鰭片以及其他冷卻方式。比較於傳統的熱傳強化技術，此主要目標在於達成較高的熱傳效果及較低的壓力降。測試的雷諾數範圍在 10000 到 40000 之間。在本計畫中使用斜角肋條配合短鰭片來測試正三角形內冷卻通道中之熱傳強化情形。肋條與鰭片結合之排列方式有平行排列以及交錯排列，測試的結果顯示二者具有相近之通道平均紐賽數比值。採用此種複合式的熱傳增強方式，整體內冷卻通道之紐賽數比值約比平滑通道高出 2 倍，壓力損失和常見之 45 度斜角肋條之情形無明顯差異。

關鍵詞：熱傳、燃氣輪機、冷卻通道、肋條

### Abstract

An experimental investigation of the compound cooling technique in the internal cooling channels was conducted. Internal cooling channels of the gas turbine blade were usually implemented with heat transfer enhancement technique to improve cooling effect. Compound cooling technique was achieved by combining more than two different heat transfer augmentation methods, such as impingement cooling, ribs, pin-fins, or dimples. The objective was to have higher heat transfer and lower pressure drop than the traditional heat transfer enhancement technology. Reynolds number was from 10000 to 40000 in the current study. Angled ribs and short pin-fins were combined in an equilateral triangular-shaped cooling channel for heat transfer enhancement study. Configurations of ribs with pin-fins were either inline or staggered. Results showed that inline and staggered arrangement had similar channel averaged Nusselt number ratios. By the compound cooling technique with ribs and pin-fins, Nusselt number ratios inside an equilateral triangular cooling channel were about two times higher than the smooth case. There was no significant difference between the current configuration and the commonly used 45 degree angled ribs.

Keywords: Heat Transfer, Gas Turbine, Internal Cooling Channel, Rib

### 前言

燃氣渦輪機其應用相當廣泛，包含了航太、船艦及車輛的引擎甚至是發電機組，因此燃氣渦輪機已成為有效率且可靠的來源，不論在交通工具推進系統及能源的生產方面。為了使燃氣渦輪機達到最高的熱效率，燃氣渦輪機裡的空氣溫度將儘可能的被提高。現今燃氣渦輪機的葉

片所承受的溫度約在 2500~3000°F，其溫度遠高於葉片材料本身的熔點。由於過高的溫度將在葉片上產生有害的熱應力，為了使葉片使用的壽命增長，冷卻技術的發展可提高葉片所承受更高的空氣溫度。葉片冷卻的方式又分為外部冷卻及內部冷卻。外部冷卻即為將冷卻空氣由葉片表面上的小孔導入，使冷卻空氣沿著主流方向在葉片表面上形成一個冷卻的保護膜以降低葉片表面的溫度達到冷卻的目的，例如：薄膜冷卻。而內部冷卻則是藉由冷卻空氣在葉片通道中循環流動帶走熱量達到冷卻的效果，如：衝擊式冷卻(jet impingement)或是在葉片通道中設置可強化熱傳機制的元件，如：肋條(rib turbulators)及鰭片(pin-fins)。內部冷卻藉由空氣在葉片的通道中循環流動，已成為現今最廣泛使用的葉片冷卻技術。由於葉片幾何形狀的關係，冷卻通道在靠近翼前緣的部分較為寬扁，靠近翼後緣的部份則較為窄長，因此葉片上各部位的通道寬高比(AR)也會略有不同，較常見的寬高比(AR)大致為 1:2、1:4、2:1 及 4:1，而葉片本身又可分為單通道、雙通道及多通道。為了增強內冷卻通道熱傳的效果，通道表面通常都會設置肋條使流體流經肋條時產生再接合點(reattachment)、二次流動(secondary flow)及更強的紊流效應來提高熱傳係數。有關於肋條對於熱傳的研究可分為幾種不同的方向，不同肋條間距及肋條高度比(P/e)，其範圍介於 5~15、肋條與主流方向的攻角( $\alpha$ )大約在 45°~60°、肋條的排放位置為連續(continuous)、交錯(discrete)、V 型等，以及肋條的幾何形狀包含了肋條高度(e)、水力直徑(Dh)的改變皆能成為影響熱傳表現的參數，一般來說較高熱傳效應伴隨而來都會有較高的壓力降產生。而鰭片式冷卻為在熱傳表面裝置圓柱型的突起物，此方法大部份應用在葉片的翼後緣，且鰭片式冷卻必須同時考慮內部冷卻及外部冷卻的效應，在分析上相對比較複雜。

## 研究目的

本文研究正三角形冷卻通道中，利用結合兩種以上之熱傳強化結構，採用肋條及鰭片於翼前緣及翼後緣表面時，對於冷卻通道中各個位置所造成的熱傳影響及整體的壓力降變化。實驗中將測試：(1)平滑通道中的熱傳分佈情形，以作為基本的比較數值；(2)結合肋條與鰭片對於通道內之紐賽數比值的變化；(3)不同排列方式(平行排列以及交錯排列)在不同雷諾數下，紐賽數比值之變化並與前人研究比較。

## 文獻探討

近年來關於葉片內冷卻通道的研究，在許多團隊的努力下已有大幅的提升。早期關於冷卻通道的研究大部份都集中在靜止狀態下單通道中肋條的幾何形狀及擺放的位置，如：V 型肋條、交錯型肋條或是通道的寬高比(AR)等。Cho 等人[1]在寬高比(AR)為 2.04 的矩形通道及肋條間距與高度比(P/e)為 10 的情況下，將攻角為 45°的肋條及交錯型 45°肋條做熱傳比較。文中指出在肋條為交錯時與肋條為連續時相比較，熱傳係數有些許的下降。Han 和 Park[2]將四種不同的肋條攻角( $\alpha=90^\circ$ 、60°、45°、30°)裝置於不同的通道寬高比(AR=1、2、4)中量測熱傳值，並將熱傳值與摩擦因子(f)的關係式對於肋條攻角( $\alpha$ )、肋條高度(e)、肋條間距(P)、通道寬高比(AR)及雷諾數(Re)以半經驗公式的方式呈現。Liu 等人[3]發現在靜止的三角形通道中裝有  $\alpha=45^\circ$ 的肋條，紐賽數的比值  $Nu/Nu_0$  在翼前緣較翼後緣高，而隨著雷諾數 Re 上升由肋條所導致的熱傳效果則會下降。而當旋轉時，在翼前緣的區域由肋條所引起的二次流動較旋轉所產生的二次流動來的強烈，故在此區域熱傳較無明顯的變化；而在翼後緣的區域由於有較大的空間可使旋轉所產生的二次

流動自由的發展，使該區域熱傳的表現較為明顯。因此可得知旋轉效應在設置有肋條的通道比起平滑的通道影響較小。而 Lee 等人[4]在肋條間距( $P/e$ )=8、雷諾數( $Re$ )10000 時分別做了肋條攻角  $\alpha=45^\circ$ ( $Ro=0.05$ )、 $90^\circ$ ( $Ro=0$ )及  $135^\circ$ ( $Ro=0.1$ )的比較。當通道靜止時，肋條攻角為  $90^\circ$ 的通道裡所有區域皆有相似的熱傳值；而當通道旋轉時，由於肋條攻角  $45^\circ$ 及  $135^\circ$ 所產生的二次流動較旋轉時所產生的二次流動明顯，故熱傳值與其在靜止狀態下具有相似的值。Metzger 和 Vedula[5]以實驗方式量測三角形通道中三種不同肋條的角度及三種不同通道的方位角。研究指出肋條攻角為  $60^\circ$ 時比起攻角為  $30^\circ$ 時有較高的熱傳值，尤其在肋條間距與高度比( $P/e$ )為 7.5 時熱傳效果最佳，不論增加或減少肋條間距與高度比皆會降低熱傳的效果。其它內冷卻通道的相關文獻可參照[6]~[10]。

## 研究方法

將往復式空壓機所產生的空氣經由流量計(TOKYO KEISO 型號 TF-4000)與調壓閥進入正三角形的冷卻通道。正三角形冷卻通道包含了三個主要的部份：翼前緣 (leading edge)、翼後緣 (trailing edge)及內牆(inner wall)，所有材料均為電木。三角形通道截面積為  $1126.27\text{mm}^2$ ，水力直徑( $D_h$ )為 29.4 mm，通道中未加熱的長度為 141mm( $L_e/D_h=4.79$ )用以使流體發展。通道中每面上皆具有 3 行用以加熱的銅片，使三角形通道內軸向的熱分佈相較於以往每面僅使用兩行銅片均勻，而每一行則沿著徑向方向由 7 片銅片所組成，每片銅片長為 25mm、寬 15mm 及厚度 4mm，相鄰的銅片間的縫隙皆以矽膠填滿。每片銅片上皆鑽有直徑 2mm 的小孔並填滿  $\Omega$  膠用以黏上熱電偶線(T-type)以量測銅片加熱時的溫度；每一行銅片中的溝槽則擺設電阻加熱線加熱銅片並填滿矽膠以防止空氣外洩。換句話說，總計 6 條電阻加熱線分別將 L1、L2、L3、T1、T2、T3 加熱至實驗所需達到的溫度。而為了計算出各部位的容積溫度( $T_{b,x}$ )，在通道的入口及出口處靠近三角形的形心位置也擺放熱電偶線以量測入口及出口的溫度，藉由焊接的方式將每一條熱電偶線連結至一台熱電偶線集線器(NI 型號 9213)，最後再連接至電腦上並將資料用 Labview Express 3.0 擷取下來再轉換成 Excel 檔以便處理。加熱線則也利用焊接的方式與電壓調整控制器連接，並藉由電壓調整器控制電壓輸入來加熱銅片。本實驗將使用寬為 2.5mm、高為 2.5mm 的矩形肋條黏貼於三角形冷卻通道中翼前緣及翼後緣的表面。對於所有的肋條，不同肋條間距與肋條高度比( $P/e$ )為 9，而肋條高度與水力直徑比( $e/D_h$ )則為 0.085。除此之外，本實驗所使用的鰭片則為直徑與高皆為 4mm 的圓柱體。而肋條與鰭片的排列方式則分別為平行排列(inline)及交錯排列(stagger)(如圖一(a))，不同肋條的間距為 26.5 mm，本次實驗三角形內冷卻通道其餘圖示如圖一(b)~(e)所示。

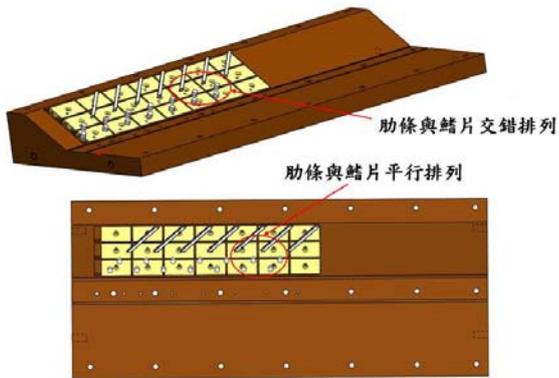
## 結果與討論

為了比較肋條與鰭片所帶來的熱傳影響，圖二為雷諾數( $Re$ )10000 時平滑的三角形通道中沿著主流方向各個位置的紐賽數比值。由於此正三角形通道為對稱的，因此在翼前緣及翼後緣的表面皆有相似的紐賽數比值，在通道後方流體發展後，紐賽數比值約為 0.7。圖三為雷諾數( $Re$ )10000 時肋條與鰭片為平行排列方式，可發現相較於平滑通道時，其各位置的紐賽數比值上升將近一倍，由此圖也可發現，此種排列方式在肋條區域(1)與鰭片區域(3)所造成的熱傳影響差異較為不明顯，而在肋條與鰭片交界區域(2)相較於肋條區域(1)與鰭片區域(3)其熱傳效果隨著主

流方向下降約 25~30%。圖四至圖六則為排列方式為交錯型，雷諾數(Re)分別為 10000、25000 及 40000。實驗結果顯示，當雷諾數(Re)10000 時相較於平行排列方式，肋條與鰭片交界區域(2)其紐賽數比值從 2.0 下降到 1.5，但鰭片區域(3)的熱傳效果則大幅上升其比值在 4.0 以上；而肋條區域(1)的熱傳效果則最低。隨著雷諾數(Re)上升，當雷諾數(Re)25000 時，鰭片區域(3)紐賽數比值則下降到 1.5 左右，反之肋條區域(1)其紐賽數比值則上升了約兩倍。當雷諾數(Re)提高至 40000 時，肋條區域(1)的熱傳效果則與鰭片區域(3)所產生的熱傳效果相似。而肋條與鰭片交界區域(2)其紐賽數比值隨著雷諾數(Re)升高則皆無明顯的改變。圖七為本次實驗三角形冷卻通道中平均紐賽數比值，結果顯示與前人的 90 度肋條[5]相比較其平均紐賽數比值無明顯差異，並顯示出不同肋條與鰭片的排列方式對於熱傳效果並沒有太大影響，但相較於平滑通道而言，熱傳效果大幅提升了約兩倍。圖八為雷諾數 15000 時此通道中摩擦因子比值比較圖，本實驗所使用之 U 型管壓力計和微壓計重複量測均顯示相同之結果，從圖中可看出此種複合式結構和一般常見之 45 度斜角肋條之壓力降並無明顯差異。

### 參考文獻

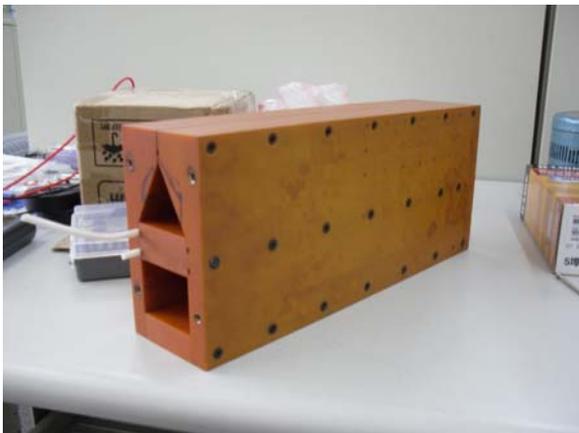
- [1] Cho H.H., Wu S. J., and Kwon H.J., 2000, “Local Heat/Mass Transfer Measurements in a Rectangular Duct With Discrete Ribs,” ASME J.of Turbomachinery, 122 (3), pp. 579-586.
- [2] Han J.C., and Park J.S., 1988, “Developing heat transfer in rectangular channels with rib turbulators”. International Journal of Heat and Mass Transfer 31 , pp. 183–195.
- [3] Liu Y.H., Huh M., Rhee D.H., Han J.C., and Moon H.K., 2008, “Heat transfer in leading edge, triangular shaped cooling channels with angled ribs under high rotation numbers” ASME paper GT2008-50344.
- [4] Lee D.H., Rhee D.H., and Cho H.H., 2006, “Heat transfer measurements in a rotating equilateral triangular channel with various rib arrangements” ASME paper GT2006-90973.
- [5] Metzger D. E. and Vedula R. P., 1987, “Heat Transfer in Triangular Channels with Angled Roughness Ribs on Two Walls” Experimental Heat Transfer, Vol. 1, pp. 31-44.
- [6] Fu W.L., Wright Lesley M., and Han J.C., 2006, “Heat Transfer in Two-Pass Rotating Rectangular Channel (AR=2:1) with Discrete Ribs” J.of Thermophysics and Heat Transfer, Vol.20,NO.3.
- [7] Lee E., Wright Lesley M. , and Han J.C., 2003, “Heat Transfer in Rotating Rectangular Channels (AR=4:1) with V-Shaped and Angled Rib Turbulators with and without Gaps” ASME paper GT2003-38900.
- [8] Acharya S., Nikitopoulos D.E., and Agarwal P., 2004, “Heat/Mass Transfer in a 4:1 AR Smooth and Ribbed Coolant Passage with Rotation in 90-degree and 45-degree Orientations” ASME paper GT2004-53928.
- [9] Johnson B.V., Wagner J.H., Steuber G.D., and Yeh F.C., 1992, “Heat Transfer in Rotating Serpentine Passages With Trips Normal to the Flow,” ASME J.of Turbomach., 114, pp. 847–857.
- [10] Liu Y.H., Huh M., Han J.C., and Moon H.K., 2009, “High rotation number effect on heat transfer in a triangular channel with 45-degree, inverted 45-degree, and 90-degree ribs” ASME paper GT2009-59216.



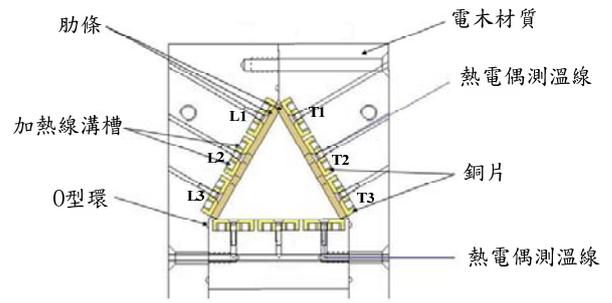
圖一(a) 肋條與鳍片不同排列方式



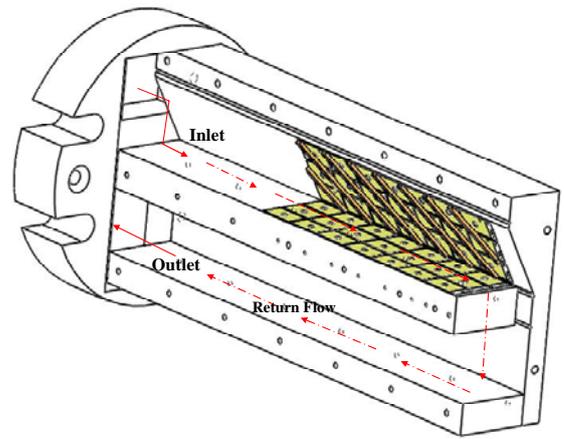
圖一(b) 通道內部實體



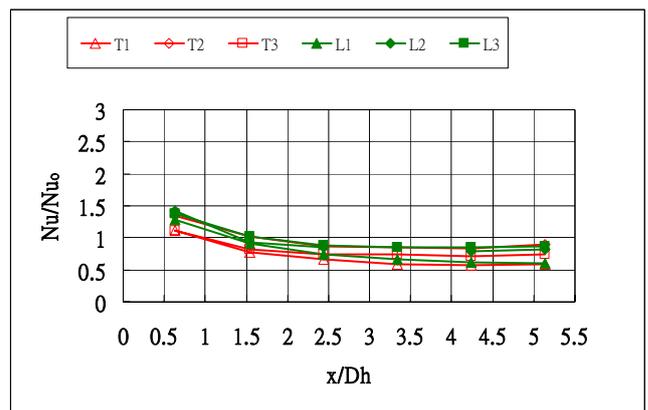
圖一(c) 三角形冷卻通道實體



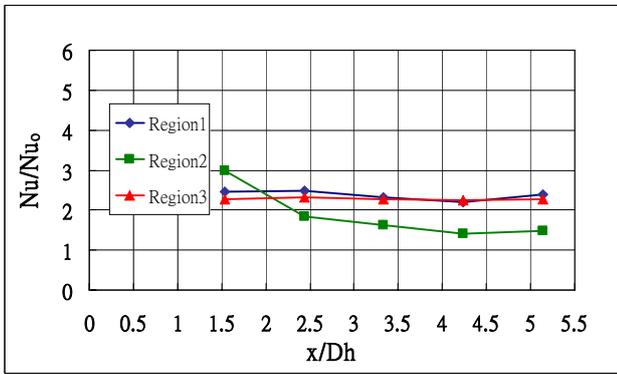
圖一(d) 三角形冷卻通道構造示意圖



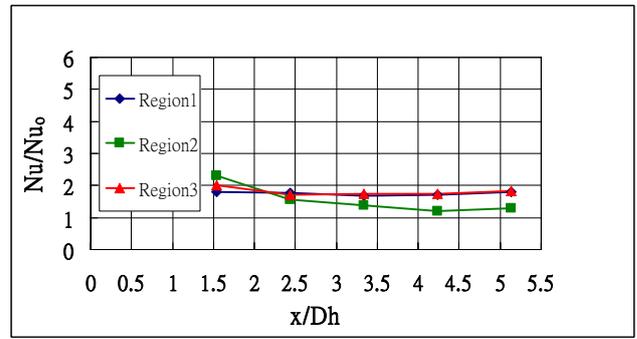
圖一(e) 三角形流道示意圖



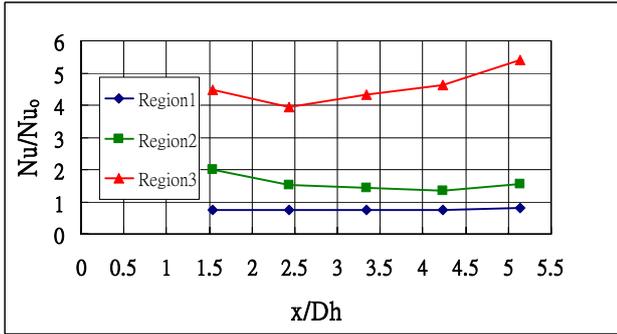
圖二 雷諾數(Re)10000 時平滑通道之  
紐賽數比值



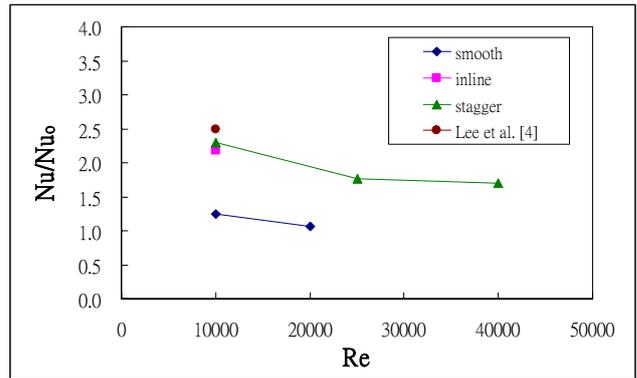
圖三 雷諾數(Re)10000 時肋條與鰭片平行排列之紐賽數比值



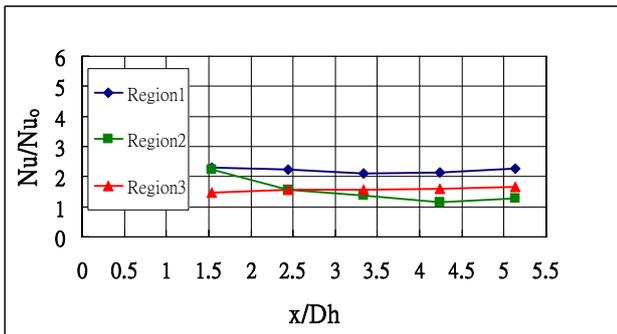
圖六 雷諾數(Re)40000 時肋條與鰭片交錯排列之紐賽數比值



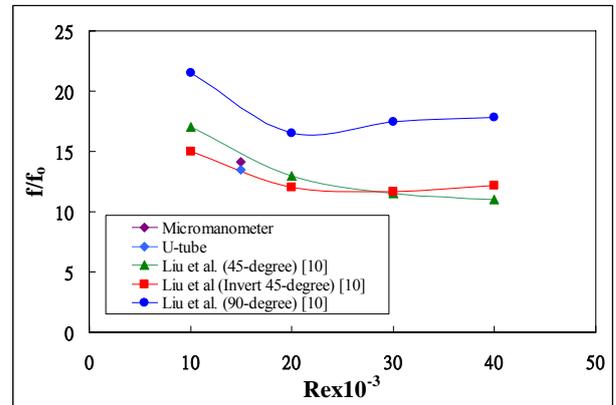
圖四 雷諾數(Re)10000 時肋條與鰭片交錯排列之紐賽數比值



圖七 通道平均紐賽數比值比較圖



圖五 雷諾數(Re)25000 時肋條與鰭片交錯排列之紐賽數比值



圖八 通道摩擦因子比值比較圖

# 國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：99年12月30日

計畫編號	NSC-98-2218-E-009-016		
計畫名稱	複合式冷卻技術對於內冷卻通道中熱傳和壓力降之影響		
出國人員姓名	劉耀先	服務機構及職稱	交通大學機械工程系 助理教授
會議時間	99年6月14日至 99年6月18日	會議地點	Glasgow, United Kingdom
會議名稱	(中文) 美國機械工程學會 渦輪機學術會議 2010 (英文) ASME Turbine Technical Congress and Exposition (ASME Turbo EXPO 2010)		
發表論文題目	(中文) 高旋轉數下具鰭片及溝槽排氣之楔子形葉尾緣通道之熱傳研究 (英文) Heat Transfer in Trailing Edge Wedge-Shaped Pin-Fin Channels with Slot Ejection under High Rotation Numbers		

## 一、參加會議經過

此次出國主要目的為參加國際會議並發表論文。該會議為 Turbo Expo 2010，為國際間最著名之燃氣輪機會議。筆者於6月11日晚間搭機離開台北前往英國，於6月19日搭機離開英國返回台北。會議時間從6月14日至6月18日，為期五天。筆者報告日期為6月17日(四)下午，題目為 Heat Transfer in Trailing Edge Wedge-Shaped Pin-Fin Channels with Slot Ejection under High Rotation Numbers。與會之人士多為此領域之專家，工業界之資深人員，以及學界之著名學者。該會議於6月14日早上開幕，並邀請三位著名專家發表演說：P. Christman, President, Pratt & Whitney Power Systems; W. D. Downing, Executive Vice President, Southwest Research Institute; Colin Smith, Director of Engineering and Technology, Rolls-Royce，演講內容主要為講述此領域之發展現況及未來展望，該會議於6月18日舉行閉幕式。本會議除了學術論文發表外，更有世界上知名的渦輪機製造商的展覽，如 GE、Siemens、Honeywell、Rolls-Royce...等。可以知道最新的技術及最先進的產品，也為尋找合作對象的好時機。本次會議共有超過三千人參加，33個不同領域，以及超過一千篇以上的論文發表。

## 二、與會心得

因應近代對能源的重要性，許多研究也往此方向。如二氧化碳之補捉技術，風力渦輪機之研究，以及再生能源之再利用等，如何以一位渦輪機研究者的角度，來整合完成未來能源的目標。筆者主要的研究領域在渦輪機的熱傳和冷卻技術，主要在內冷卻及膜冷卻方面之研究，此方面的研究對葉片設計相當重要。在此次會議中，關於內冷卻方面，較有趣的為在內冷卻通道中 180 度轉彎處，利用熱傳強化技術如肋條或鰭片之研究。但是目前所能得到的資料仍然為相對少數，此方面的研究將可對此區域之複雜流體及熱傳現象有進一步了解，進而對葉片設計有所幫助。其次為創新的內冷卻通道，利用衝擊冷卻，配合肋條或鰭片等之流場和熱傳之文章，也有相當多的論文發表。而筆者所報告的時段內，主要的論文為內冷卻之旋轉效應，總共有六篇文章發表。第一篇為筆者之文章，主要探討在葉片尾緣的冷卻通道，利用楔子形狀之冷卻通道來模擬此部份，並用鰭片來增進熱傳效益，研究在高旋轉數下之熱傳情形。重在於比較兩種不同形式之鰭片在高旋轉數下，對實際熱傳分佈之影響。因為在葉片尾緣部份，冷卻空氣會從此部排出，因此在此處之結構對於熱流的影響也列入考慮。此篇文章引起與會者相當大的興趣，主要問題來自測試的形狀方面的問題，因為此種形狀的研究目前仍然為相對少數，因此對於設計者來說可以成為重要參考資料。第二篇為利用數值方式，模擬內冷卻通道中的流場和熱傳現象；第三篇為較有趣的文章，利用 PIV 來量測旋轉情形下的流場，採用 sequencer 技術，來提供更佳的結果，因為在旋轉情形下，量測流場或溫度場需要克服許多技術上之問題，此方面之研究仍然為許多人之未來發展方向。第四篇也為高旋轉數下的研究，並比較在不同的旋轉角度之下的結果。第五篇為利用數值方法，模擬在高旋轉數的效應，對於使用 Dimple 表面的熱傳結果。第六篇為高雄海洋大學張始偉教授以及清華大學劉通敏教授所發表之文章，乃採用可視化之紅外線熱像儀技術，量測高旋轉數下具有半圓球形突起物之熱傳現象，為新式的熱傳強化結構以及創新的量測方式，為相當受注目之文章。而在膜冷卻方面，主要發表的有利用 PIV 技術，配合 PSP 技術，來得到更詳細及更佳的量測結果。其相關膜孔設計、表面形狀、密度比值等仍然為相當熱門之主題。發表文章大多數以實驗之結果為主，但近年來以數值方式，來模擬膜冷卻之情形之研究也逐漸增加。下圖為會場入口處之照片。



### 三、考察參觀活動(無是項活動者略)

### 四、建議

此會議為國際間最著名之會議，但台灣去參加之教授及學生為相對少數，此會議增加台灣國際知名度之大好機會，如西安交大有 25 人參加、上海交大也有數十人，而本校只有筆者一人參加，相當可惜。此領域在近代節能減碳以及能源議題佔有相當重要的地位，值得大力推廣及多多給與鼓勵支持。

### 五、攜回資料名稱及內容

會議行程手冊

會議發表之論文集 DVD 一片

### 六、其他

GT2010-22832

HEAT TRANSFER IN TRAILING EDGE WEDGE-SHAPED PIN-FIN CHANNELS WITH  
 SLOT EJECTION UNDER HIGH ROTATION NUMBERS

**Akhilesh P. Rallabandi**

Turbine Heat Transfer Laboratory  
 Mechanical Engineering Dept.  
 Texas A&M University  
 College Station, TX 77843-3123  
 akhlsh@tamu.edu

**Yao-Hsien Liu**

Mechanical Engineering Dept.  
 National Chiao-Tung University  
 Hsinchu  
 Taiwan 30010  
 yhliu@mail.nctu.edu.tw

**Je-Chin Han**

Turbine Heat Transfer Laboratory  
 Mechanical Engineering Dept.  
 Texas A&M University  
 College Station, TX 77843-3123  
 jc-han@tamu.edu

**ABSTRACT**

The heat transfer characteristics of a rotating pin-fin roughened wedge shaped channel have been studied. The model incorporates ejection through slots machined on the narrower end of the wedge, simulating a rotor blade trailing edge. The copper-plate regional average method is used to determine the heat transfer coefficient; pressure taps have been used to estimate the flow discharged through each slot. Tests have been conducted at high rotation ( $\approx 1$ ) and buoyancy ( $\approx 2$ ) numbers, in a pressurized rotating rig. Reynolds Numbers investigated range from 10,000 to 40,000 and rotational speeds range from 0-400rpm. Pin-fins studied are made of copper as well as non-conducting garolite. Results show high heat transfer coefficients in the proximity of the slot. A significant enhancement in heat transfer due to the pin-fins, compared with a smooth channel is observed. Even the non-conducting pin-fins, indicative of heat transfer on the end-wall show a significant enhancement in the heat transfer coefficient. Results also show a strong rotation effect, increasing significantly the heat transfer coefficient on the trailing surface - and reducing the heat transfer on the leading surface.

**NOMENCLATURE**

$A_c$  Cross section area of channel  
 $A_s$  Smooth (projected) area of copper plates, Eq.3  
 $A_t$  Total (wetted) area, Table 1  
 $Bo$  Mean buoyancy number, Eq.6

$C_D$  Discharge coefficient, Eq.1  
 $D$  Hydraulic diameter of channel,  $\frac{4A_c}{P} = 22.16mm$   
 $d$  Pin-fin diameter = 4.6mm  
 $Gr_x$  Local Grashof Number,  $\frac{\Omega^2 R_x D^3}{\nu^2} \left( \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)_x$   
 $h$  Heat transfer coefficient,  $W/m^2 - K$   
 $k_{air}$  Thermal conductivity of air  
 $L_s$  Length of slot = 19.05mm, Fig.4  
 $\dot{m}_x$  Local mass flow rate, kg/s  
 $Nu$  Nusselt number  
 $Nu_0$  Nusselt number for smooth duct, Eq.7  
 $Nu_E$  Nusselt number based on exposed area, Fig. 12(b)  
 $Nu_s$  Measured Nusselt number for stationary case at same Reynolds number.  
 $P$  Channel perimeter  
 $P_s$  Slot pitch = 25.4mm, Fig.4  
 $Pr$  Prandtl number  
 $q$  Heat dissipated by heater, W  
 $Re$  Reynolds number in channel at inlet  
 $Re_x$  Local Reynolds number  
 $Ro_x$  Local rotation number, Eq.4  
 $S_x$  Streamwise pin-fin spacing, Fig.4  
 $S_y$  Spanwise pin-fin spacing, Fig.4  
 $t_s$  Thickness of slot, = 1.6mm, Fig.4  
 $T_i$  Test section inlet temperature, 22 deg C  
 $T_B$  Local bulk mean temperature, Eq.3  
 $T_w$  Local wall temperature, Eq.3  
 $V$  Inlet velocity, m/s

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2010/12/30

國科會補助計畫	計畫名稱: 複合式冷卻技術對於內冷卻通道中熱傳和壓力降之影響
	計畫主持人: 劉耀先
	計畫編號: 98-2218-E-009-016- 學門領域: 熱傳學、流體力學
無研發成果推廣資料	

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：劉耀先		計畫編號：98-2218-E-009-016-				計畫名稱：複合式冷卻技術對於內冷卻通道中熱傳和壓力降之影響	
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			

<p style="text-align: center;">其他成果</p> <p>(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	無
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	



# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本次實驗主要研究通道中擺放強化熱傳機制元件的研究，但所有測試的資料皆處在靜止狀態下，此與真實葉片運轉的情況還有一段差距。而從前人所做的研究可發現到，影響葉片中通道的熱傳有許多可變的參數，包括了通道的外型、方位角的範圍、肋條的排列方式及旋轉數的控制...等。因此未來的工作將注重在旋轉通道中的熱傳研究，並針對高旋轉數，高浮力參數及通道相對於旋轉軸方位角度所造成的熱傳影響作更進一步的探討。