

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※

※

※

※

## 機翼積冰之壓力分布分析

※

※

Airfoil Ice Accretion Growth Analysis

※

※

※

※※※

計畫類別：個別型計畫    整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2212-E-032-014

執行期間：89年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：宛 同

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：淡江大學航空太空工程學系

中華民國 90 年 9 月 30 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 機翼積冰之壓力分布分析

### Airfoil Ice Accretion Growth Analysis

計畫編號：NSC 89-2212-E-032-014

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：宛同 淡江大學航空太空工程學系

計畫參與人員：陳世昌 黃皓汎 淡江大學航空太空工程學系

#### 一、中文摘要

對於飛機積冰的問題，吾人嘗試以計算流體力學來解決，大致上可以分為三個步驟，第一步是網格點之生成，之後是流場解，最後是水滴軌跡方程式。

根據流場解結果，以線性分析求解控制體積內流場之速度分佈狀況，而水滴軌跡運動方程式是一時間與速度的函數，因此可以預測若干時間後，水滴行進的方向與位置，並以此判斷出水滴是否撞擊機翼，俟積冰形成後，吾人再重新生成網格點、流場解與積冰，如此疊代運算，直到吾人所要求的時間為止。吾人之研究結果，積冰之成長趨勢相當符合，但是在部分區域，其積冰分佈與積冰厚度上有所誤差，而提出了改善之方法。

**關鍵詞：**積冰、水滴運動軌跡方程式

#### Abstract

The three causes lead to Airplane crash that include human, mechanism, and the weather. Ice accretion, the topic we want to discuss in this article, categorized into the weather. Broadly speaking, the reason of ice accretion was that temperature of air lower than freezing point, and droplet exist in supercooled water. When droplet impact on airfoil, it accretes.

Bowyer's unstructured grids scheme is useful to generated grids. It will generate grids automatically only by some inner or outer boundary points. It's easier to add or eliminate specific grid, and thus more suitable for complex geometry, just like ice accretion shapes.

The numerical scheme employed is the

typical Roe's scheme on Euler equations, and the 4<sup>th</sup> order Runge-Kutta time stepping method is also used to accelerate the convergence rate.

Droplet motion equation and tell droplet if impact the airfoil or not, based on the results of solver. Apply ice accretion analysis, the ice accretion shape come out. After that, the grids regenerate, so do flowfield and ice accretion. It lasted repeatly until the time we set.

The ice accretion results show that the trend of ice accretion is correct, but ice accretion profile and ice accretion thickness is not as good as we expected. Several improvements have been presented.

**Keywords:** Ice Accretion, Droplet Trajectory Equation.

#### 二、緣由與目的

1980年代起，積冰問題開始受到世人的注意，相關單位與機構也開始從事一連串關於積冰之研究，美國航空太空總署(NASA)於1982年完成了一系列的積冰實驗，是為開端，並開啟了積冰的發展。除了實驗，許多積冰理論及其數值方法不斷產生，隨著時代的演進，這些數值方法也不斷的修正與改進，以期能更符合真實狀況。

Tran 等人[2]針對積冰現象作了許多風洞測試，由結果得知一旦飛機產生積冰現象，而飛機本身又不具有任何除冰裝置的時候，就會降低飛機本身之空氣動力性能，對飛機之飛行安全與飛行品質構成影響。其積冰模擬主要由水滴軌跡方程式來做計算，計算的程序是一連串疊代的過程，由於流場的變化會改變積冰外形，同樣的，積冰外形也會影響到流場。

Shin 等人[3]，根據 LEWICE 程式碼研究積冰預測，其計算步驟分別為 1. 計算流場、2. 水滴軌跡方程式、3. 積冰預測，並將其結果與實驗結果[4][5]作比較，結果發現在 Rime Ice 方面與實驗結果相差不大。而在阻力係數方面，Shin 發現隨著攻角的增加，阻力係數也跟著變大，所以其數值解與實驗解在趨勢上是一樣的。

Paraschivoiu[6]發展出"INTERICE"程式碼來預測積冰，其計算步驟分別為 1. 無黏滯性小板法、2. 水滴軌跡方程式、3. 能量守恆，這當中加入了黏滯性效應，並將原本二度空間積冰預測衍生至三度空間。

Hansman [7]以實驗的方式研究水滴的大小對積冰之影響，他發現較大的水滴分子(Droplet Size)與水含量(Liquid Water Content)將會加速積冰的形成。

而 Giuseppe 等人[8]也發展了一套預測積冰外形的數值方法( $I^2CE$ )，而此數值法可以計算出單一機翼(Single Airfoil)與多重機翼(Multi-element Airfoil)之積冰情形，因此更可以針對飛機的實際起降狀況作分析與探討。

積冰對飛安之影響既如所述，因此，吾人之研究希望能運用現有技術，包括 Bowyer's 網格點生成法，以 Euler 方程式為控制方程式的流場解，預測積冰之成長狀況與空氣動力係數之改變，並進一步探討積冰的影響。

### 三、結果與討論

在格點生成的部分，由於 CPU 的增進，加快了格點生成的速度，因此對於網格點生成的條件，我們可以更為精密，以加強其均勻度，AR 值吾人由之前的 AR=1.5 改善修正到 AR=1.3，由(圖 1)與(圖 2)可知 AR 的向下修正的確對格點的均勻度產生效果，可以預期的是隨著格點的改善，在流場解方面，同樣的也會有所助益。

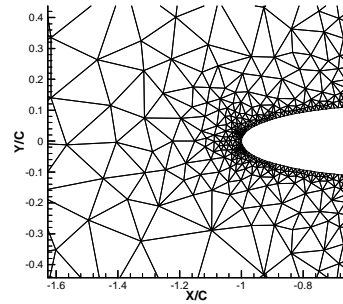


圖 1 AR=1.5 NACA0012 網格點

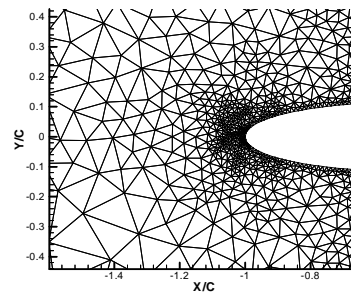


圖 2 AR=1.3 NACA0012 網格點

經過了 6.2 分鐘之後，積冰完成，吾人根據結果發現(圖 3)下半翼面之積冰面積較上半翼面大，與攻角 4 度的情形相符，同時機翼前緣積冰部分，在 X 方向之最大厚度成長了 0.075，佔機翼總長(Chord=2)之 3.75%，這樣的結果顯示，經過相當時間之積冰，原有之翼形的確遭到嚴重破壞與改變。

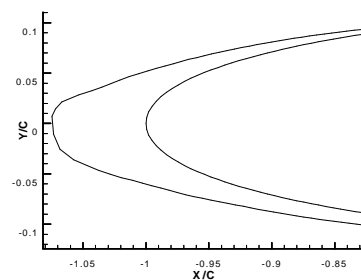


圖 3 T=6.2min 積冰外形

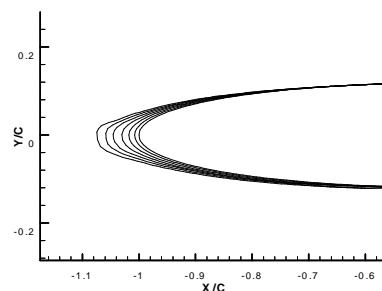


圖 4 1min·2min·3min·4min·5min·6.2min 積冰外形

吾人之研究結果顯示，雖然在積冰趨勢上是符合的(圖 4)，但是在厚度上與外形上卻有不理想之處(圖 5、圖 6) [3][10]。

首先在厚度方面，Shin 與 Olsen 的研究顯示在  $Y/C$  大於 0.03 的區域，積冰成長不多，因此積冰量較少，吾人之研究結果，積冰量較其他二者多，積冰區域也較往後延伸；而在  $Y/C$  介於 -0.1 與 0.03 和  $X/C$  小於 -1.0 的部分，是積冰成長較快的區域，因此積冰較厚，此區域也是產生最大厚度的地方，吾人與 Shin 之結果顯示，積冰之最大厚度產生位置相當接近，但是積冰最大厚度所跨越之區域，Shin 之範圍較大，而 Olsen 之積冰之最大厚度產生位置較遠且形狀尖銳，至於  $Y/C$  小於 -0.1 與  $X/C$  大於 -1.0 的部分，吾人之研究結果顯示，部分區域與 Shin 之外形類似，與 Olsen 較少交集處，而積冰之最後形成點與區域較二者往後延伸。

造成以上結果之原因主要是本文中並未將熱傳導效應與相變因素考慮，因此不會發生融化之情形，積冰量的有增無減，導致後半段積冰區域不斷擴大往後延伸；對於過冷水滴而言，一旦擊中機翼，便將其轉換成積冰點與積冰厚度，並無將是否發生相變或能量轉換而產生融化之效應考慮進來，因此與實際情況稍有不符。

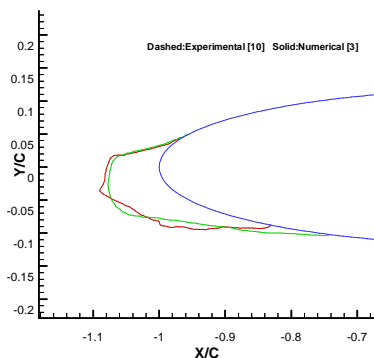


圖 5 6.2min NACA0012 積冰外形 [3][10]

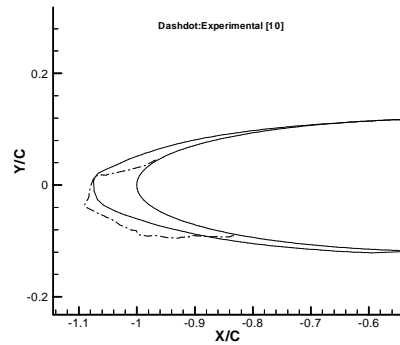


圖 6 6.2min NACA0012 積冰外形與 [10] 相較

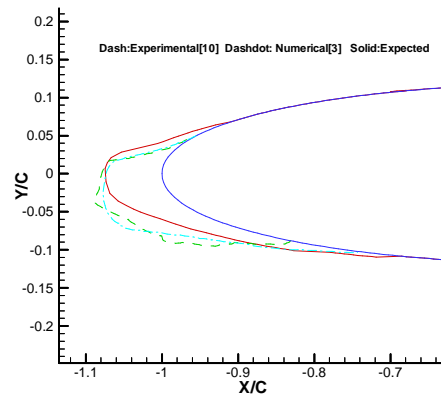


圖 7 6.2min NACA0012 積冰修正後

#### 四、計劃成果自評

吾人從網格點生成、求解流場、到求解水滴軌跡方程式、最後形成積冰，這樣的步驟的確將可以觀察到流場的變化與積冰的成長預測過程，其成長趨勢符合流場條件，並發現因積冰不斷成長而導致翼形改變，將影響飛機性能。關於流場解的部分，目前以尤拉方程式為控制方程式，而吾人並未考慮黏滯性項，因此於控制方程式中加入黏滯性，將更符合實際的流場狀況。

在積冰方面，吾人之結果顯示積冰外形仍有加強的必要，提供下列幾點，是未來可以努力的方向，首先在水滴軌跡方程式中，如果以三項流來考量，將相變因素與能量守恆定律加入，即考慮相變時發生之能量轉換、熱傳導效應等，對於積冰融化，因而減低積冰厚度，或積冰凝結再度加厚，導致積冰狀況惡化等情形，將會更符合實際的狀況，本文中並未考慮以上效應，因此並不會發生融化情形，所以積冰

量有增無減，導致後半段積冰區域不斷擴大向後延伸。此外，藉由流場解之結果，吾人可藉由  $C_p$  值，計算出機翼附近之受力狀況及受力矩，判斷積冰是否會有崩裂的情形產生，而將這種效應考慮至積冰成長過程當中，將有助於積冰分析。

## 五、參考文獻

- [1] NTSB Report Number - AAR-82-08, Adopted on 08/10/1982. Order NTIS Report Number - PB82-910408. Title: Air Florida, Inc., Boeing 737-222, N62AF, Collision with 14th Street Bridge, near Washington Nat'l Airport, Washington, DC, January 13, 1982.
- [2] Tran, P. M. T. Brahim, and I. Paraschivoiu, "Ice Accretion on Aircraft Wings with Thermodynamic Effects", Journal of Aircraft, Vol. 32, No. 2, pp444-446, 1994.
- [3] Shin, Jaiwon and Brian Berkowitz and Hsun H. Chen and Tuncer Cebeci, "Prediction of Ice Shapes and Their Effect on Airfoil Drag", Journal of Aircraft, Vol. 31, No. 2, March-April 1994.
- [4] Shaw, R. J., "NASA's Aircraft Icing Analysis Program," NASA TM-88791, Sept. 1987.
- [5] Shaw, R. J., Potapczuk, M. G., and Bidwell, C. S., "Predictions of Airfoil Aerodynamic Performance Degradation Due to Ice," Numerical and Physical Aspects of Aerodynamic Flows, IV., edited by T. Cebeci, Springer-Verlag, Long Beach, CA, 1990.
- [6] Paraschivoiu, I., P. Tran, and M. T. Brahim 'Prediction of Ice Accretion with Viscous Effects on Aircraft Wings', Journal of Aircraft, Vol. 31, No.4, pp 855-861, 1994.
- [7] Hansman, R. John Jr., "Droplet Size Distribution Effects on Aircraft Ice Accretion", Journal of Aircraft, Vol. 22, No. 6, pp503-508, 1985.
- [8] Giuseppe Mingione and Vincenzo Brand "Ice Accretion Prediction on Multielement Airfoils", Journal of Aircraft, Vol. 35, No. 2, March-April 1998.
- [9] Scavuzzo, R. J., M. L. Chu, and V. Ananthaswamy, "Influence of Aerodynamic Forces in Ice Shedding", Journal of Aircraft, Vol. 31, No. 3, May-June 1994.
- [10] Olsen, W., Shaw, R. J., and Newton, J., "Ice Shapes and the Resulting Drag Increase for a NACA0012 Airfoil," NASA TM-83556, Jan. 1984.
- [11] Robert J. Flemming and David A. Lednice "Correlation of Icing Relationships with Airfoil and Rotorcraft Icing Data", Journal of Aircraft, Vol. 23, No. 10, 1986.
- [12] Jaiwon Shin and Thomas H. Bond "Repeatability of Ice Shapes in the NASA Lewis Icing Research Tunnel", Journal of Aircraft, Vol. 31, No. 5, 1994.
- [13] 宛同、陳世昌, "Bowyer 網格點技術於飛行安全上之應用", 第四十屆航太學會學術研討會, 台中, 87年12月, pp. 769-776.