

我的精神導師-錢學森先生

紀念 錢學森先生百年誕辰

馮朝剛

淡江大學航空太空工程學系

E-mail:ckfeng@mail.tku.edu.tw

本文作者在大學時代就被 錢學森先生的學術成就吸引、啟發與鼓舞，而對氣體動力學產生濃厚興趣，並畢身致力於高速空氣動力學之教學與研究工作。

作者在美國留學期間，師承史丹福大學 Prof. M. Van Dyke 與加州大學 Prof. J. D. Cole，他們二位皆是出身於加州理工學院應用力學學派的名師，曾受業於 錢學森先生，故作者更能體悟到該學派代表人物 錢學森的「技術科學」思想，而致力在兩岸高校及科研機構講學或訪問，以推動和鼓勵年輕教師、研究生、本科生和科研人員要多重視基礎科學，並將數理應用到工程問題中。

近二十年來，作者更致力於推動並促成兩岸間的多項學術交流與合作，略有成效。

一、 前言

「科教興國」是大家非常熟悉的一句話，而 錢學森先生，不僅是一位「科教興國」的推動者，更是一位實踐家；錢先生是世界著名的偉大科學家，也是傑出的教育家。錢先生的成就不僅在華人心目中舉足輕重，在國際學術界也是公認的，他的貢獻實令人肅然起敬。今年適逢 錢學森先生百年誕辰，特寫本紀念文，以表達對錢先生的景仰和永遠的懷念。

二、 錢學森先生影響了我的一生

60 年代中，我在台灣讀大學本科時，有一天在一家舊書店看到一本由美國麻省理工學院(MIT) Prof. Shapiro 寫的一套氣體動力學教科書 “The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow”，我在該書上冊翻到一章節有關 “The Karman-Tsien Pressure Correction Formula”，心頭一震，居然看到一位中國錢姓學者名揚國際，當場就買下這套書並保存至今。當時兩岸訊息不通且所知有限，經請教留學美國的老師，才略知 錢

學森先生的事蹟，並深受其學術成就的啟發和鼓舞，令我開始對高速空氣動力學產生了濃厚的興趣，而畢生致力於高速空氣動力學的教學與研究工作。

69 年秋，我有機會到美國加州大學聖地牙哥分校(UCSD)航空航天工程系留學，曾選了一門馮元楨教授講授的「氣體彈性力學」課程，馮教授常提到加州理工學院(CIT)及錢先生的一些往事，讓我對錢先生有更進一步的認識和了解。翌年夏取得碩士學位後，轉往史丹福(Stanford)大學航空航天系進修工程師學位，有幸追隨論文導師 Prof. M. Van Dyke (美國國家工程院院士)，Prof. Van Dyke 專精高速空氣動力學及攝動法，本人深受薰陶且受益良多。順利在史丹福大學取得工程師學位 (Engineer Degree) 後，再轉往加州大學洛杉磯分校 (UCLA) 航空航天系進修博士學位，更有幸能追隨論文導師 Prof. J. D. Cole，而 Prof. Cole 對跨音速、高超音速、攝動法與相似法有獨到的研究和傑出的成就，於 1976 年間先後獲得美國國家工程院及科學院雙料院士，讓身為 Prof. Cole 學生的我也備感光榮，順利取得博士學位後返台任教至今。

Prof. Van Dyke 與 Prof. Cole 皆是加州理工學院航空工程系畢業的傑出校友，他們經常告訴我一些在加州理工學院受教於 錢學森先生的往事，對錢先生非常尊敬和推崇，我在美求學期間，這兩位導師對我特別好，特別照顧，我想這應該是沾了錢先生的光彩。此對，我在 UCLA 攻讀博士期間，經常到加州理工學院航空系圖書館查資料，也常到吳耀祖教授研究室去請教問題，吳教授也會不時提起錢先生的一些往事，讓我對錢先生更為景仰。

過去數十年來，個人從事有關微超音速(跨音速)，超音速非線性理論及高超音速(極音速)等高速空氣動力學方面之基礎研究，參考了許多 錢學森的論文，對錢先生獨特的創見，實在欽佩不已，例如 1946 年，錢先生 35 歲，他首先發表了一篇高速空氣動力學微小擾動理論中有關高超音速相似解的論文 (Similarity Laws of Hypersonic Flows) [1]，而他的導師 Th. von Kármán 晚他一年，於 1947 年發表了一篇跨音速相似律的論文 (Similarity Law of Transonic Flow) [2]，再加上 J. Ackeret 於 1925 年發表的超音速線性化理論的論文 [3]，至此高速空氣動力學中之跨音速、超音速及高超音速微小擾動理論可謂是建構完成了。錢先生學識淵博，除高速空氣動力學外，對水動力學、固體力學、物理力學、火箭技術、工程式控制制論、系統工程等方面都有獨到的見解和深入的研究。

90年代中，我到中國科學院訪問，錢學森先生的手稿正好那一年自美運回，並在力學研究所展出，當看到幾篇過往我常參考錢先生在高速空氣動力學方面的論文手稿，內心激動不已，手稿字體工整，一絲不苟，顯見錢先生治學嚴謹，功力深厚。

我在美國留學時的兩位論文導師 Prof. Van Dyke 與 Prof. Cole 在加州理工學院就讀時，深受以 Th. von Kármán 及 錢學森為代表的應用力學學派的薰陶，爾後他們在學術上都有傑出的成就和表現，而我是唯一先後追隨過這兩位名師的學生，這對資質不足的我，算是一種奇遇，更是一種恩典，加上自己的一股傻勁和鍥而不捨的精神並努力學習，總算沾上一點應用力學學派的氣息，更領悟到 錢學森先生的「技術科學」(Engineering Science)思想。所以日後我也經常以「談數學結構之美與工程應用之妙」及高速空氣動力學領域中之相關研究專題，前往中國科學院研究生院，力學所、北京理工大學、北京航空航天大學、南京航空航天大學、西北工業大學、西安交通大學、上海交通大學、上海飛機設計研究院等著名理工科的大學及科研機構進行講學訪問，大力推動和鼓勵年輕教師、研究生、本科生及科研人員要重視基礎科學，並應用到工程問題中。因為數理可促進工程科技之進步與發展，工程應用則可啟發數理研究之靈感與創意，而「工程與數理」的結合，可促進人類科技文明邁入新的境界。

三、 立定高速空氣動力學為畢生之研究方向

由於個人的興趣和執著，近三十年來所做的研究大部分是源自 錢學森先生於 40 年代至 50 年代在美國時期就微超音速(跨音速)、超音速與高超音速等高速空氣動力學領域所做的一些研究，那個年代正是高速空氣動力學蓬勃發展的黃金年代，也是錢先生學術研究成果最豐碩的巔峰時代，他的研究皆具有原創性，更是一大寶庫，值得我們繼續鑽研和發掘它的奧妙，並加以發揚。

現將個人在高速空氣動力學方面之主要研究分述如下：

(I) 跨音速方面之研究

- (1) 跨音速方程式在速度面之廣義相似解 [4]
- (2) Tricomi 方程式在橢圓座標之局部相似及其應用 [5]
- (3) 跨超音速方程在物理面之廣義相似解 [6]
- (4) 微超音速流經楔形體之二階近似解 [7]

- (5) 普朗特-梅耶二氏流之跨音速二階近似解 [8]
- (6) 跨音速膨脹與壓縮流動邊界值問題之相似解及其應用 [9]
- (7) 微超音速凹角流動勢流理論與斜震波理論之比較 [10]
- (8) 跨音速凹角流動邊界值問題之相似精確解及其近似解 [11]

(II) 超音速非線性漸近理論方面之研究

- (1) 超音速流經旋轉體之漸近理論 [12]
- (2) 超音速扇形膨脹波之超音速非線性漸近理論 [13]
- (3) 超音速遠場非線性漸近理論 [14]
- (4) 超音速流經凸角扇形膨脹波與凹角壓縮流場之非線性漸近理論 [15]
- (5) 超音速扇形膨脹波之遠場及全場非線性解 [16]
- (6) 超音速、跨音速與極音速之遠場非線性漸近理論 [17]
- (7) 超音速尖角流場之非線性理論 [18]
- (8) 超音速遠場二階漸近理論及其應用 [19]
- (9) 超音速凹角流動邊界值問題之相似精確解及其二階漸近解 [20]
- (10) 超音速圓錐流場之漸近理論及其應用 [21]
- (11) 超音速、跨音速與極音速微擾理論之整合研究及其驗證 [22]
- (12) 超音速遠場非線性理論之應用及其驗證 [23]
- (13) 超音速尖角流動全場與遠場非線性漸近理論之比較 [24]
- (14) 超音速流經拋物線型翼剖面精確解之探討 [25]
- (15) 超音速流經拋物線型翼剖面之數值解與解析解之比較 [26]
- (16) 高速氣動力學微小擾動理論之整合探討 [27]

(III) 高超音速之研究

- (1) 普朗特-梅耶二氏流邊界值問題之極音速二階漸近解 [28]
- (2) 極音速膨脹與壓縮流動邊界值問題之相似解及其應用 [29]
- (3) 高超音速流經圓錐流場之非線性漸近理論 [30]
- (4) 高超音速三維擾動圓錐流場之漸近理論及其應用 [31]
- (5) 超音速與高超音速凹角壓縮流場漸近解之統合 [32]

四、 高速空氣動力學微擾理論之統合研究

經由前述對高速空氣動力學中之跨音速、超音速及高超音速微擾理論之深入探討和研究，得出兩個重要而又有趣的結果：

(I) 跨音速、超音速與高超音速遠場之統合

經由作者對超音速遠場非線性理論之再探討，而得出適合任意物面外形之超音速遠場非線性無黏 Burgers 方程[17]，而超音速線性化理論是超音速遠場非線性理論在近場之近似理論，也就是說近場到遠場是一種強化作用，換言之，超音速遠場理論之非線性解包含了近場理論之線性解，也就是說超音速遠場非線性理論可用以探討超音速全流場(近場與遠場)之變化。

另 Th. von Kármán 之跨音速微小擾動非線性方程是用以探討跨音速全流場問題 [2]，到了遠場則簡化成無黏 Burgers 方程；而錢學森之高超音速微小擾動非線性方程是用以探討高超音速全流場問題 [1]，到了遠場亦簡化成無黏 Burgers 方程。作者探討發現如將超音速遠場非線性無黏 Burgers 方程中之自由流馬赫數 M_∞ 、厚度比 δ 及縱座標 y 加以變換，例如將跨音速相似參數 $K = (M_\infty^2 - 1)/\delta^{2/3}$ 及 $\tilde{y} = \delta^{1/3}y$ 代入超音速遠場無黏 Burgers 方程，則得出跨音速遠場無黏 Burgers 方程；如將高超音速相似參數 $H = (M_\infty^2 - 1)\delta^2$ 及 $\tilde{y} = y/\delta$ 代入超音速遠場無黏 Burgers 方程，亦可得出高超音速遠場無黏 Burgers 方程。換言之，跨音速、超音速與高超音速三者微小擾動理論統一於遠場，皆具有相似數學結構之無黏 Burgers 方程，如表 1 所示。

表 1 高速空氣動力學之遠場統合架構

跨音速遠場	← 超音速遠(全)場	→ 高超音速遠場
非線性理論	非線性理論	非線性理論
$(M_\infty \geq 1)$	$(M_\infty > 1)$	$(M_\infty \gg 1)$
↑ 簡化	↑ 強化	↑ 簡化
跨音速全場	超音速近場	高超音速全場
非線性理論	線性化理論	非線性理論

(II) 超音速凹角壓縮流場非線性理論解與錢學森高超音速微擾理論解之統合

超音速尖角(凸角及凹角)流場具非線性本質,當轉折角 δ 很小時,超音速線性化理論無法正確地求出尖角流場之漸近解。

作者利用變形座標法,建構出超音速尖角全流場非線性漸近理論及其對應之擾動方程和邊界條件,而可正確地求出其流場漸近解 [18]。如為凸角膨脹流場如圖 1 所示,其所得之漸近解與 Prandtl-Meyer Flow 精確解展開求得之一階漸近解完全相同;如為凹角壓縮流場如圖 2 及圖 3 所示,其所得附著斜震波之漸近解與完整斜震波理論展開求得之一階漸近解相同。

錢學森先生於 1946 年首先建構出適合任意物面外形(含尖角流場)之高超音速(Hypersonic flow) 之全場非線性微擾理論 [1],使吾人對高超音速氣動力現象有更進一步的認識和了解。利用該擾動方程,可正確地求出高超音速尖角流場之漸近解。

作者建構之超音速尖角流場非線性理論中,當自由流馬赫數 $M_\infty \gg 1$ 並以高超音速相似參數 $H = (M_\infty^2 - 1)\delta^2$ 表達,另將 y 座標加以放大成 $\bar{y} = y/\delta$,則可將超音速凹角壓縮流場非線性擾動方程推展至高超音速範圍,而求出高超音速凹角流場漸近解;本解與直接由錢學森高超音速擾動方程所求得之凹角流場解相同如表 2 所示。雖二者之擾動方程式完全不同,但殊途同歸,其結果相同。換言之,作者所建構之超音速尖角流場非線性理論解包含並統合了錢學森高超音速微擾理論尖角流場解,顯現超音速尖角流場非線性理論之正確性、統合性和實用性。

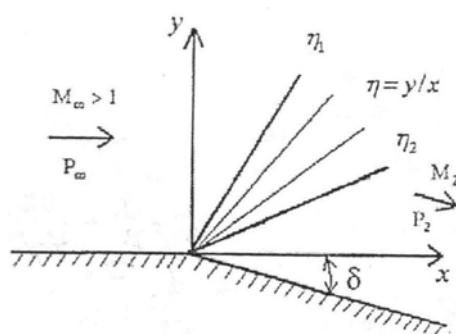


圖 1 超音速之凸角膨脹流動

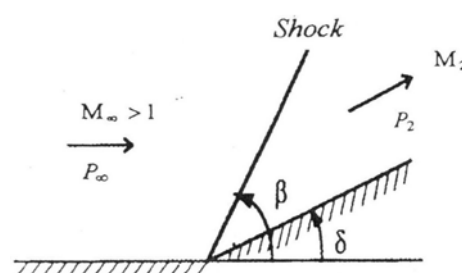


圖 2 超音速之凹角壓縮流動

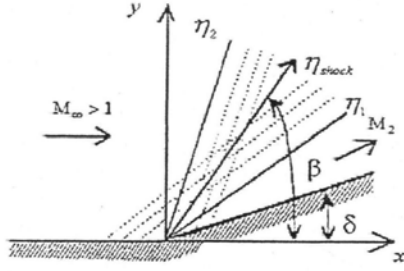


圖 3 超音速之凹角斜震波形成圖

表 2. 超音速凹角非線性理論解與錢學森高超音速凹角壓縮流場解之統合

馮朝剛超音速凹角流動邊界值問題

錢學森高超音速凹角流動邊界值問題

$$\phi_{,xy} + \frac{\delta(\gamma+1)M_\infty^4}{2B^4}\phi_y\phi_{,yy} + \frac{1}{B}\phi_{,yy} = 0$$

$\phi \rightarrow 0$, 於 $\eta = \eta_1$ (第一條特徵線)

$\phi_y = 1$, 於 $\eta = \eta_2$ (最後一條特徵線)

$$\hat{\phi}_{,xx} - \left[\frac{1}{H} - (\gamma-1)\hat{\phi}_x - \frac{(\gamma+1)}{2}\hat{\phi}_y^2 \right] \hat{\phi}_{,yy} + 2\hat{\phi}_y\hat{\phi}_{,xy} = 0$$

$\tilde{\phi} \rightarrow 0$, 於 $\tilde{\eta} = \tilde{\eta}_1$

$\tilde{\phi}_{,\tilde{y}} = 1$, 於 $\tilde{\eta} = \tilde{\eta}_2$

超音速凹角流場解

高超音速凹角流場解

$$\phi(x,y) = \frac{1}{2} \frac{x}{a_1} \frac{(\eta - \eta_1)^2}{\delta}, \eta = \frac{y}{x}$$

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{shock} = \frac{(\eta_1 + \eta_2)}{2}$$

$$\tilde{\phi}(x, \tilde{y}) = \frac{x}{\gamma+1} (\tilde{\eta} - 1/\sqrt{H})^2, \tilde{\eta} = \frac{\tilde{y}}{x}, \tilde{y} = \frac{y}{\delta}$$

$$\left. \frac{d\tilde{y}}{dx} \right|_{shock} = \frac{(\tilde{\eta}_1 + \tilde{\eta}_2)}{2}$$

$$\phi(x,y) = \frac{1}{2} \frac{x}{a_1} \frac{(\eta - \eta_1)^2}{\delta} \xrightarrow{\phi = \delta\tilde{\phi}} \tilde{\phi}(x, \tilde{y}) = \frac{x}{\gamma+1} (\tilde{\eta} - 1/\sqrt{H})^2$$

$$B = \sqrt{M_\infty^2 - 1} \quad M_\infty^2 = H/\delta^2 + 1$$

$$a_1 = \frac{(\gamma+1)}{2} \frac{M_\infty^4}{(M_\infty^2 - 1)^2} \quad 2a_1 = (\gamma+1) \frac{M_\infty^4}{B^4} \rightarrow (\gamma+1) \quad H = (M_\infty^2 - 1)\delta^2$$

有關表 2 中，超音速凹角流場之水平速度分量 $u = \phi_x$ 及垂直速度分量 $v = \phi_y$ 滿足無旋條件 $\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0$ ，其凹角附著震波之斜率 $\left. \frac{dy}{dx} \right|_{shock}$ 則可由無旋方程式得出，亦即 $\left. \frac{dy}{dx} \right|_{shock} = -\frac{[u]}{[v]}$ ，其中 $[u] = u(\eta_2) - u(\eta_1)$ 及 $[v] = v(\eta_2) - v(\eta_1)$ ，而 η_1 為第一條特徵線位置， $\eta_2 = \eta_1 + a_1\delta$ 為最後一條特徵線位置，且 $\eta_2 > \eta_1$ 如圖 3 所示。

五、 結束語 – 永遠的精神導師

一代大師 錢學森先生，我雖然未有機會見面或親炙受教，但錢先生對我的影響卻是深遠的，是我心中的楷模，更是人生中永遠的精神導師。他指引了方向，給了我啟發，帶給我力量，更鼓舞我在教育工作崗位上兢兢業業，在高速空氣動力學這個學術研究領域中，鏗而不舍，持之以恆。

參考文獻

- [1] Tsien H. S. , “Similarity Laws of Hypersonic Flows”, Journal of Mathematics and Physics, Vol. 25, 1946 : 247-251.
- [2] Th. von Kármán , “The Similarity Law of Transonic Flow ” , Journal of Mathematics and Physics, Vol. 26, No. 3, 1947 : 182-190.
- [3] J. Ackeret , “Luftkräfte auf Flügel, die mit grosserer als schallgeschwindigkeit bewegt werden”, Z. Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, 16, 1925.
- [4] Feng C.K. , “The General Similarity Solution of The Transonic Equation in the Hodograph Plane”, 21st Israel Annual Conference on Aviation and Astronautics, Haifa, Israel, 1979 : 75-82.
- [5] Feng, C. K. , “The General Similarity Solution of The Transonic Equation in the Physical Plane”, 23rd Israel Annual Conference on Aviation and Astronautics, Tel-Aviv, Israel, 1981 : 7-15
- [6] Feng, C. K. , “Local Similarity Solution of the Tricomi Equation in the Elliptic Coordinates“, Proceedings of International Symposium on Engineering Sciences and Mechanics, Cheng-Kung University and American Astronautical Society, 1981 : 592-602.
- [7] 馮朝剛、王鴻烈, “微超音速流經楔形體之二階漸近解”, STAMROC , 1988 : 105-112.
- [8] Feng, C. K. , “Second-Order Transonic Solution Obtained from the Exact Solution of the Prandtl-Meyer Flow”, 30th Israel Annual Conference on Aviation and Astronautics , Tel-Aviv , Israel , 1989 : 62-67.
- [9] 馮朝剛、楊龍杰, “穿音速膨脹與壓縮流動邊界值問題之相似解及其應用”, 中國航空太空學會學術研討會論文集 , 1991 : 51-62 。

- [10] 馮朝剛、侯昌桓，“微超音速凹角流動勢流理論與斜震波理論之比較”，第二屆海峽兩岸航空航天技術暨流固耦學術研討會，北京航空航天大學，北京，1998：123-128。
- [11] 馮朝剛、侯昌桓，“穿音速凹角流動邊界值問題之相似精確解及其漸近解”，中國航空太空學會學術研討會論文集，1998：79-86。
- [12] Feng, C. K. and Lin, S. L. , “Asymptotic Theory of Supersonic Flow Past Bodies of Revolution” , STAMROC , 1985:1-11
- [13] 馮朝剛，“扇形膨脹波之超音速非線性漸近理論”，中國航空太空學會學術研討會論文集，1990：117-126。
- [14] 馮朝剛、楊龍杰，“超音速遠場非線性漸近理論”，STAMROC-15，1991：205-212 。
- [15] Feng, C. K. , “Nonlinear Asymptotic Theory of Supersonic Centered Expansion and Compression Waves” , The 2nd International Conference on Fluid Mechanics , Beijing, 1993：311-316.
- [16] 馮朝剛、楊龍杰，“超音速扇形膨脹波之遠場及全場非線性漸近解”，中國航空太空學會學術研討會論文集，1994：205-212 。
- [17] 馮朝剛、楊龍杰，“超音速、穿音速與極音速之遠場非線性漸近理論”，第一屆海峽兩岸航空太空學術研討會論文集，淡江大學，台北，1995：7-16 。
- [18] Feng, C. K. , “Nonlinear Asymptotic Theory of Supersonic Coner Flow” , Mathematics is for Solving Problems-A Volume in Honor of Julian D. Cole on His 70th Birthday, Edited by L. P. Cook, Viction Roytburd, and Marshall Tulin, Published by SIAM, Philadelphia, 1996：18-27.
- [19] 馮朝剛、周東鴻，“超音速遠場二階漸近理論及其應用”，中國航空太空學會學術研討會論文集，1996：37-44。
- [20] 馮朝剛、侯昌桓，“超音速凹角流動邊界值問題之相似精確解及其二階漸近解”，中

- 國航空太空學會學術研討會論文集，1997：507-514。
- [21] 馮朝剛、林顯群、周永泰，“超音速圓錐流場之漸近展開理論及其應用”，中國機械工程學會學術研討會論文集，1998：191-196。
- [22] 馮朝剛、林顯群，“超音速、穿音速與極音速微擾理論之整合研究及其驗證”，中國航空太空學會聯合會議論文集，1999：1-8。
- [23] 馮朝剛、李嵩蔚，“超音速遠場非線性理論之應用及其驗證”，第三屆海峽兩岸航空太空研討會論文集，淡江大學，台北，2001：7-15。
- [24] 馮朝剛，“超音速尖角流動全場與遠場非線性漸近理論之比較”，第四屆海峽兩岸航空航天學術研討會論文集，南京航空航天大學、上海交通大學，南京、上海，2004：1-9。
- [25] 馮朝剛，“超音速流經拋物線型翼剖面精確解之探討”，第五屆海峽兩岸航空太空學術研討會論文集，淡江大學，台北，2006：23-36。
- [26] 馮朝剛、陳慶祥、劉欣怡，“超音速流經拋物線翼型之數值解與解析解之比較”，全國計算流體力學研討會論文集，宜蘭，2009：1-8。
- [27] 馮朝剛，“高速氣動力學微小擾動理論之整合探討”，第六屆海峽兩岸航空航天學術研討會論文集，西安工業大學、西安交通大學，西安，2008：1-8。
- [28] 馮朝剛、高百齡，“普朗特-梅耶二氏流邊界值問題之極音速二階漸近解”，STAMROC-14，1990：1047-1056。
- [29] 馮朝剛、高百齡，“極音速膨脹與壓縮流動邊界值問題之相似解及其應用”，中國航

空太空學會學術研討會論文集，1992：479-488。

[30] Feng, C. K. , Lin, S. C. , and Chou, Y. T. , “Nonlinear Asymptotic Theory of Hypersonic Flow Past a Circular Cone” , AIAA 6th International Aerospace Planes and Hypersonic Technologies Conference, April 3-7 , Chattanooga, TN, U.S.A. , AIAA 95-6088 , 1995

[31] 馮朝剛、林顯群，“極音速三維擾動圓錐流場之漸近展開理論及其應用”，第七屆國科會航空太空學門研究成果研討會論文集，2000。

[32] 馮朝剛，“超音速與極音速凹角壓縮流場漸近解之統合”，第五屆海峽兩岸航空太空學術研討會論文集，淡江大學，台北，2006：13-22。

附作者简历

姓名：馮朝剛

單位：淡江大學航空太空工程學系

籍貫：湖北武漢（漢陽）



住址：台灣台北縣新店市明德路 67 巷 18 號 4 樓

學歷：

- 中正理正學院工學士
- 美國加州大學（聖地牙哥）機械暨航太工程碩士
- 美國史丹福大學航空太空工程師學位
（指導教授 Prof. M. Van Dyke）
- 美國加州大學(洛杉磯)航空太空工程博士
（指導教授 Prof. J.D. Cole）

經歷：

- 中正理工學院教授，系主任、工學部部主任
- 淡江大學機械工程研究所教授、航空工程系系主任、工學院院長
- 淡江大學學術副校長兼國際交流委員會主任委員、兩岸學術合作專案小組召集人
- 北京航空航天大學顧問教授
- 南京航空航天大學客座教授
- 西北工業大學兼職教授
- 華中理工大學兼職教授
- 合肥工業大學客座教授
- 日本早稻田大學應用力學暨航空航天系交換教授

現職：淡江大學航空太空工程學系教授

專長：流體力學、空氣動力學、高等工程數學、相似法及攝動法在力學中之應用

聯絡：E-mail：ckfeng@mail.tku.edu.tw

手機：00886-2-936960388

傳真：00886-2-29152378