

國立台灣大學一〇五學年度第二學期 機械工程學系教師課程教學規劃表

一、課程基本資料

課程名稱	中文：可壓縮流體力學				
	英文：Compressible Flow				
課程類別	☐ 必修 ☐ 知識領域選修 ☒ 一般選修 ☐ 大學部 ☒ 研究所(組別：熱流及航空組)			班次	
授課教師	伍次寅			學分數	3
課程編號	ME7116	每週上課時數	3	選修人數	30
上課時間	三 789	先修課程	流體力學、理想流	適修年級	研一

二、課程教學目標與預期成效

課程教學目標：

教導學生明瞭可壓縮流體之特性及其流場運動所呈現之物理現象；傳授學生描述與分析可壓縮流場的方法與技巧，期使學生能將所學的知識應用於解釋與解決與流體力學相關的課題。

單元主題	預期教學成效	教學策略及方法	評量方式	養成核心能力
Introduction & review of Thermodynamics	認識可壓縮流體基本性質與其流場特性，明瞭熱力學在可壓縮流場所扮演的角色	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1
Conservation laws & governing equations for compressible flow	熟悉可壓縮流場運動方程式之推導與其數學上及物理上所代表之意義，明瞭積分形式與微分形式統馭方程式之區分及其適用時機	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2
1-D Gasdynamics	認識震波(shock wave)物理特性及現象，了解超音速噴嘴(supersonic nozzle)，震波管(shock tube)等一維管流之氣體動力學	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2
Wave equations & characteristics	認識超音速流場特性，明瞭波動方程	A 講述教學法 C 示範教學法	a 考試 b 測驗	U1,U2,U4; G1,G2

	式數學及物理意義，學會應用特徵線法來解析波動方程式	E 問題或專題教學法	c 作業	
Small perturbations & linearized potential flow	熟悉微擾法並學會將其應用於解析可壓縮位勢能流場上	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2,G4
Further topics: Conical flow Transonic flow Hypersonic flow	認識錐型流場、穿音速及超音速流場特性	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2,G4

三、課程教學大綱

INTRODUCTION & REVIEW OF THERMODYNAMICS

0. Introduction:

compressible fluid, compressible flows, sound speed and Mach no., classification of flow regimes by flow speed

1. Review of Thermodynamics:

fundamentals, perfect-gas assumption, internal energy and enthalpy, Laws of Thermodynamics, entropy and 2nd law of thermodynamics, thermodynamic relations, adiabatic and isentropic processes, mixtures of perfect gases

CONSERVATION LAWS & GOVERNING EQUATIONS FOR COMPRESSIBLE FLOW

2. Governing Equations of Fluid Motion:

some important mathematical theorems, integral forms of conservation laws, conservation laws applied to a surface of discontinuity, jump conditions across a surface of discontinuity, differential forms of flow equations, vorticity and velocity potential function, Bernoulli equation for compressible flow, Crocco's theorem, concept of strong & weak solutions of differential equation

1-D GASDYNAMICS

3. 1-D Gasdynamics:

basic equations for 1-D inviscid adiabatic flow, sonic state & stagnation state, normal shock, normal shock relations, Rankine-Hugoniot relations across a normal shock, steady 1-D duct flow with heat addition, steady 1-D duct flow with wall friction, Rayleigh line & Fanno line, choking phenomenon, steady 1-D duct flow with mild area change (quasi-1-D flow), area-Mach no. relation, flow through a convergent-divergent nozzle, effect of diffuser

WAVE EQUATIONS & CHARACTERISTICS

4. Unsteady 1-D Wave Motion:

propagating normal shock wave, flow properties relations across a propagating shock, unsteady 1-D wave equations for isentropic flow, acoustic theory (linearized wave motion), characteristic lines of linearized wave equations, isentropic wave of finite amplitude (local linearization analysis of wave motion), nonlinear isentropic wave

equations, solution by characteristics method, formation of shock (development of discontinuity in solution), expansion waves, simple & non-simple waves, shock-tube problem

5. Steady 2-D Waves in Supersonic Flow:

Mach wave & Mach angle, oblique shock wave and expansion waves (expansion fan), oblique shock relations, weak oblique shock, shock polar (Hodograph plane method), reflection and intersection of oblique shocks, Mach reflection (λ -shock), Prandtl-Meyer expansion waves (fan), shock-expansion theory, shock-expansion waves interactions, reflection of waves on free boundary, shock wave – boundary layer interaction, characteristics & compatibility equations for 2-D supersonic flow, method of characteristics, weak-wave approximation of characteristics (cell method), design of supersonic wind tunnel by characteristics method

SMALL PERTURBATIONS & LINEARIZED POTENTIAL FLOW

6. Linearized Irrotational (Potential) Flow:

(nonlinear) velocity-potential equation for compressible irrotational flow, linearized velocity-potential equation, linearized pressure coefficient and boundary conditions, examples- subsonic & supersonic flows past wavy wall, flow past a 2-D thin airfoil (thin-airfoil theory), similarity rules in linearized 2-D flow, Prandtl-Glauert rule and Göthert rule, flow past a body of revolution (slender-body flow)

CONICAL FLOW

7. Conical Flow:

property of conical flow, basic equations for conical flow, Taylor-Maccoll equation, numerical-solution procedure for conical flow, some physical aspects of supersonic cone flow

FURTHER TOPICS

8. Further Topics:

some physical aspects of transonic flow, transonic similarity, small-perturbation velocity-potential equation for transonic flow, hypersonic flow

四、教科書及參考書目（書名、作者、出版者、出版日期）及輔助教材

教科書：‘Modern Compressible Flow’, J. D. Anderson, 3rd ed., McGraw-Hill 2003.

參考書：(1) ‘Elements of Gasdynamics’, H. W. Liepmann & A. Roshko, CIT Press 1957.
(Dover 2002)

(2) ‘The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow’, Volume I & II, A. H. Shapiro, John Wiley & Sons 1953.

(3) ‘Mathematical Theory of Compressible Fluid Flow’, R. von Mises, Academic Press 1958.

五、課程說明與進度

當流場速度達到一定程度時，流體的壓縮性即不可忽略，倘若流體速度是在大

於音速的情形下，則此時流場的特性與不可壓縮流將有著很不一樣的行為。本課程的主要宗旨即是介紹可壓縮流，特別是超音速流場的物理特性與其解析方式。由於可壓縮流場之數學模式較不可壓縮流場來得複雜，為簡化問題，本課程將不考慮流體的黏滯性，而是著重於因流體的壓縮性所引生的流場變化與流動特性改變等物理現象的描述與剖析。

由於可壓縮流牽連到流體密度、流場壓力與溫度的變化，課程的一開始會先簡短回顧熱力學的一些基本觀念與關係式，並介紹一些基本數學定理，以結合守恆定律來推導統馭一般流體的運動方程式。接下來則會探討非黏性可壓縮流與不可壓縮流(理想流)運動方程式在數學上的差異；譬如非黏性可壓縮流允許不連續介面解析解的存在，以及可壓縮流具備不可壓縮流所沒有的波動特性等，進而介紹震波的形成原因與機制，震波運動方程式，一維正震波與二維斜震波方程式，一維與二維波動方程式，波傳遞特徵方向與求解波動方程式的特徵線法，以及以位勢能來描述可壓縮流場等課題。在應用方面，本課程也會列舉一維管流受熱或管截面改變時流場變化情形，震波管內震波之傳遞，超音速噴嘴設計等例題來說明可壓縮流場的特性。由於當初可壓縮流理論發展的背景是為了要了解飛行器在高速飛行時的氣動力性質，因此我們也將獨立出一個章節來探討適用於二維可壓縮流場之薄機翼理論。若時間許可的話，我們也會探討穿音速(transonic)及超高音速(hypersonic)流場的一些特殊現象。希望同學們修完這門課後能奠定良好的可壓縮流知識基礎，以便將來能與黏性流體力學知識結合以處理更複雜的流力問題。

本課程之後續課程有「黏性流體力學」、「計算流體力學」、「燃燒學」等。

本課程 105 學年度第二學期各週之授課進度暫訂如下：

週次	講授內容概要	教科書章節
1	• Introduction — definition of compressible fluid, compressibility, sound speed & Mach no., classification of flow regimes, common solution methods for compressible flow • Review of Thermodynamics — some basic assumptions in Thermodynamics, internal energy and enthalpy, Laws of Thermodynamics, entropy and 2nd law	(Anderson): Ch.1 (Liepmann & Roshko): Ch.1
2	• Review of Thermodynamics — Thermodynamic relations, adiabatic process, isentropic relation, Maxwell relations, mixtures of perfect gases • Governing equations of fluid motion — some important theorems, Reynolds transport theorem, Reynolds transport theorem for immaterial volume, integral forms of the conservation laws	(Anderson): Ch.1, Ch.2
3	• Governing equations of fluid motion — conservation laws applied to a surface of discontinuity, jump conditions, differential forms of the flow equations (divergence form & convective form)	(Anderson): Ch.6
4	• Governing equations of fluid motion — entropy equation, vorticity and velocity potential function, Bernoulli equation, Crocco's theorem, strong & weak solutions of a differential equation	(Anderson): Ch.6

5	• 1-D Gasdynamics — — basic equations for inviscid adiabatic flow, sonic and stagnation state variables, normal shock relations, increase of entropy across a normal shock, Rankine-Hugoniot relations across a normal shock	(Anderson): Ch.3 (Liepmann & Roshko): Ch.2
6	• Steady 1-D duct flow with heat addition — basic equations, effect of heat transfer, solution by using tabulated values, Rayleigh curve, choking phenomenon • Steady 1-D duct flow with wall friction — basic equations, effect of wall friction	(Anderson): Ch.3 (Liepmann & Roshko): Ch.2
7	• 4/5 溫書假	
8	• Steady 1-D duct flow with wall friction — solution by using tabulated values, Fanno curve, choking phenomenon • Steady 1-D duct flow with mild area change (quasi-1-D flow) — basic equations, isentropic flow through duct with variable cross-section area, area-Mach no. relation	(Anderson): Ch.3, Ch.5 (Liepmann & Roshko): Ch.2, Ch.5
9	• Steady 1-D duct flow with mild area change (quasi-1-D flow) — flow through a convergent-divergent nozzle, choking phenomenon, effect of diffuser • Unsteady 1-D wave motion — propagating normal shock, flow properties across a propagating normal shock, moving piston problem	(Anderson): Ch.5, Ch.7 (Liepmann & Roshko): Ch.5, Ch.3
10	• Unsteady 1-D wave motion — unsteady 1-D wave equation for isentropic flow, acoustic theory (linearized wave motion), characteristic lines of linearized wave equations, linearized shock-tube problem, isentropic wave of finite amplitude (local linearization analysis of wave motion), formation of shock	(Anderson): Ch.7 (Liepmann & Roshko): Ch.3
11	• Unsteady 1-D wave motion — nonlinear analysis of isentropic wave, inviscid Burger's equation, formation of shock (development of discontinuity in solution), solution of nonlinear wave equations, characteristic curves & compatibility equations	(Anderson): Ch.7 (Liepmann & Roshko): Ch.3
12	• Unsteady 1-D wave motion — characteristics method for solving wave equations, centered expansion waves (expansion fan), incident and reflected expansion waves, simple & non-simple wave regions, shock-tube problem	(Anderson): Ch.7 (Liepmann & Roshko): Ch.3
13	• Steady 2-D waves in supersonic flow — Mach wave & Mach angle, analogy between 1-D unsteady wave & 2-D stationary wave in supersonic flow • Steady 2-D waves in supersonic flow — oblique shock wave & expansion waves (expansion fan), oblique shock relations	(Anderson): Ch.4 (Liepmann & Roshko): Ch.4

14	Steady 2-D waves in supersonic flow — weak oblique shock, shock polar, Hodograph plane, reflection & intersection of oblique shocks, shock polar and pressure-deflection diagrams, Prandtl-Meyer expansion fan, Prandtl-Meyer function	(Anderson): Ch.4 (Liepmann & Roshko): Ch.4
15	- Steady 2-D waves in supersonic flow — shock-expansion theory, shock-expansion waves interaction, reflection of waves on free boundary, shock wave - boundary layer interaction - Steady 2-D waves in supersonic flow — characteristics & compatibility equations of isentropic supersonic flow	(Anderson): Ch.4, Sec.11.3~11.7 (Liepmann & Roshko): Ch.4, Ch.12
16	Steady 2-D waves in supersonic flow — method of characteristics, weak-wave approximation of characteristics (cell method), example – design of supersonic wind tunnel	(Anderson): Sec.11.3~11.7 (Liepmann & Roshko): Ch.12
17	- Linearized Irrotational (Potential) Flow — nonlinear velocity-potential equation for compressible irrotational flow, linearized velocity-potential equation, linearized pressure coefficient and boundary conditions, examples- subsonic & supersonic flows past wavy wall - Linearized Irrotational (Potential) Flow — compressible flow past a 2-D thin airfoil (thin airfoil theory), subsonic & supersonic cases	(Anderson): Ch.8, Ch.9 (Liepmann & Roshko): Ch.8, Sec.4.17
18	6/21 期末考試(依照學校規定時間)	

六、評分及考試

成績評量方式：

1. 一次期中考(take-home) (50%)， 期末考(in-class) (50%)。
2. 作業(指定習題但無須繳交，也不予評分)。

七、授課教師與助教

授課教師：

伍次寅
工綜 618 室
電話 33662708
e-mail: tywu@ntu.edu.tw
Office hours: Wed. 12~2 pm

【註】：

本系大學部學生養成之核心能力如下：

- U1.具備學理基礎及應用工程知識與技術之能力。
- U2.具備設計與執行實驗，以及發掘、分析、解釋、處理問題之能力。
- U3.具備設計系統、元件、製程及工程規劃與整合及創新之能力。
- U4.具備執行工程實務之相關知識與技能以因應科技及工業發展的需求。
- U5.認識當前與機械工程相關之先進科技與時事議題，並具備整合跨領域知識之能力。
- U6.具備團隊合作之精神，有良好之表達溝通、運用外語及領導與管理之能力。
- U7.具備端正之品行、健全的人格、熱心服務及重視專業倫理之精神。

本系研究所學生養成之核心能力如下：

- G1.具備機械工程之專業知識與技術。
- G2.具備策劃及執行專題研究之能力。
- G3.具備撰寫技術報告及論文之能力。
- G4.具備創新思考及獨立解決問題之能力。
- G5.具備與不同領域人員協調整合之能力。
- G6.具備國際觀及良好的外語能力。
- G7.具備領導、管理及規劃之能力。
- G8.具備終身自我學習成長之能力。

填表說明

一、課程教學目標

課程教學目標的定義為期望學生在教學結束後會有的行為表現之敘述（陳昭雄，1997）；為高度特定的目標，目的在溝通教學意向給學習者，以可觀察可測量的行為詳述學生的學習（黃光雄，2002）。

描述在課程結束想要達成的成果，包括學生在課程結束時所學到以及能夠運用的知識。教學目標有下列三項功能：

- （一）能夠使教學有所依歸，而循序漸進，不致超過應該學習的範圍。
- （二）使教學活動的設計有所依據，來加強學生的學習效果。
- （三）使學習效果的評量有所依據，而評量的結果可以做為教學改進的指標。

*課程教學目標以 100~300 字較為適宜，以免過於簡略或冗長。

二、教學成效（學生學習成果）

將課程之教學目標予以「精確說明」，分項具體敘述達成教學目標後，所預期的成效及改變。包括學生在課程結束後能夠獲得並展現何種知識與能力。

以「基本攝影」這門課程為例，可以列出的教學成效為：（陳昭雄，1997）

- （一）認識各種照相機的特性、鏡頭尺寸、曝光速度、光圈的調整、以及顯像化學品的性質。
- （二）以一般可攜帶的相機攝影，調和顯像用的化學藥液，沖洗黑白底片，接觸印像和放大印像。
- （三）認識好的攝影作品。

三、教學策略及方法

敘述為達成課程目標及教學成效所需實施的活動、作業與歷程等。

今參考常見之教學策略及方法，共 11 項（陳昭雄，1997；黃正傑，2002）：

A. 講述教學法

講述教學法是一種以某個特定主題為中心所做的有組織、有系統的口頭講授。它使用口頭的溝通。利用黑板，或傳統投影片講授教材內容。

B. 討論教學法

討論教學的定義是一群學生在教師的指導之下，以各種討論形式，就學習上的問題參與創造性、建設性的思考，在彼此互相切磋，集思廣義之下，不但求點的切入，更求面的廣泛。在討論教學中，學生提供大部分的討論資料，教師再予匯集整理。

C. 示範教學法

教師在教學過程中，具體地解釋一個推導、操作或實驗的各項步驟。一般而言示範在科學原理、工具設備的運作，以及用手操作等技術方面的教學可以有效地使用。例如在課堂中說明建立模型，或是解題的各項步驟；或在實驗、實習中教師以行動代替講授。

D. 作業教學法

作業教學的活動是使學生在有目的、有計畫之下，進行手腦並用的學習活動。在這裡的學習活動，是學生利用所學之理論及技能，配合具體的物質材料、工具、及設備，在老師計畫實施之下，以完成某一項作品而達到學習的目的。作業的形式可以是書面，也可以是具體作品，或是指定題目的專題或報告。屬於單向之教學法。

E. 問題或專題教學法

問題教學是教師運用問題及發問的技巧以增加教學的效率。一般而言，單純的講述只是單向的溝通，問題教學是以有價值的問題，用系統的步驟引導學生解決問題，以增進學生的創造和解決難題的能力。例如專題之題目及內容由學生主動發掘、進行與完成。屬於雙向互動之教學法。

F. 角色扮演教學法

角色扮演教學就是設計或模擬工業界、企業界、社會和政府組織等各種真實的生活情境，有二個或二個以上的學生扮演情境中的各種角色，以實際去學習各行業職位的功能以及其人際關係，並尋找出具體的有關行業問題的解決方法。

G. 電視及多媒體教學法

每一次的電視教學首先都是課程單元的講解與示範，然後便是教室內教師的

補充講解，學生運用和相互檢討等教學活動。例如影片播放、幻燈片、多媒體展示等均屬電視教學法。與講授教學法不同之處在於電視教學法具聲光效果，且教師僅負責補充講解。

H. 協同教學法

協同教學是兩個或兩個以上的教師，共同合作計畫，並根據個人的專長，將學生分成小組或更多的小組，安排最適當的教學環境，從事教學活動。例如由數位不同專長之教師合開課程。

I. 創造教學法

創造教學乃是助長學生創造力所實施的教學。提供學生自動自發學習和獨立思考的機會。

J. 編序教學法

編序教學是將所需學習的教材分割成許多小步，然後再將這些小步所進行的文節，織成為一個按部就班的序列。編序教學運用編序教本，教學機或電腦以達成個別化教學的目的。

K. 電腦輔助教學法

電腦輔助教學是一種運用電腦為工具以幫助教師教學的方式。

*填表時如有需要，請附加簡短文字說明教學方式，例如講述教學法是利用黑板或是傳統投影片。

四、評量方式

評量的策略包含了蒐集教學成果的歷程，採用何種方式評量，以及如何蒐集評量成果此外，評量方法的描述應包括如何運用評量的資料以有效改善教學。

- a. 考試。例如期中考、期末考等。
- b. 測驗。例如隨堂考、平時考等。
- c. 作業(home work, assignment)。
- d. 報告(report)。例如口頭或書面，個人或小組報告等。
- e. 專題(term project)。例如口頭或書面，個人或小組專題等。
- f. 實作。
- g. 課堂討論。
- h. 教授、助教觀察記錄。例如出席情形。
- i. 其他。請簡單說明之。

*填表時如有需要，請附加簡短文字說明評量方式，如考試為期中或期末考。報告為口頭或書面，個人或小組報告等。