

國立台灣大學一〇七學年度第一學期 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：理想流體力學				
	英文：Ideal-Fluid 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	522 M2840	每週上課時數	3	選修人數	30
上課時間	二 789	先修課程	流體力學、工數	適修年級	研一

二、課程教學目標與預期成效

課程教學目標：

教導學生明瞭理想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理想流場的方法與技巧，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
理想流場簡介	瞭解理想流體基本性質及其限制	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
理想流場之統馭方程式	熟悉理想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	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
理想流場與位勢能理論(Potential Theory)	明瞭位勢能理論及理想流運動(位勢能流場 Potential Flow)所呈現之物理特性及現象	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法 G 電視及多媒體教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2
二維位勢能流場之通解	學會描述及分析二維位勢能流場的一些方法與數學技巧	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
二維位勢能流場之應用	會將所學之位勢能理論及二維位勢能流場觀念及知識應用於解	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

	析與流力相關之工程問題	法		
三維位勢能流場	學習三維位勢能流場的基本解及分析物體於流場運動時所受之作用力	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

0. Ideal-Fluid Flows:

definition, justification of an ideal flow

GOVERNING EQUATIONS FOR IDEAL-FLUID MOTION

1. Mathematical Tools:

tensors, gradient, divergence, curl, orthogonal curvilinear coordinates, Green's & Stokes' theorems, stress & rate-of-strain, deformation tensor, rate-of-strain tensor & rotation tensor

2. Equations of Motion of an Ideal Fluid:

Lagrangian & Eulerian descriptions, Reynolds transport theorem, differential equations, boundary conditions

3. Kinematics & Dynamics of Ideal-Fluid Motions:

streamlines & vorticity lines, circulation and vorticity, stream functions & potential functions, Bernoulli equation, Helmholtz vortex theorem, Kelvin's circulation theorem, vorticity equation

POTENTIAL FLOW AND ITS GENERAL PROPERTIES (POTENTIAL THEORY)

4. General Properties of Irrotational Motions:

equation of an irrotational motion, boundary conditions, fundamental solution and Green's theorem, irrotational motion and circulation, properties of irrotational motions, Biot-Savart law, velocity field induced by vorticity

SOLUTIONS TO 2-D POTENTIAL FLOWS

5. Fundamental Solutions of Two-Dimensional Potential Flows:

review of complex-variable theory, complex potential, elementary 2-D potential flows, superposition, flow past a circular cylinder, force & moment on cylinders, Blasius theorem, Kutta-Joukowski theorem

6. Solutions by Conformal Mapping Technique

Conformal mappings, Joukowski airfoils, Kutta condition, Schwarz-Christoffel transformation for channel flows

APPLICATIONS OF POTENTIAL FLOW

7. Thin-airfoil theory:

thin-airfoil approximations, distributed source/sink & vortex solution, aerodynamic characteristics of a thin airfoil

3-D POTENTIAL FLOWS

8. Three-Dimensional Potential Flows:
elementary 3-D potential flows, flow past a sphere, force exerted on a 3-D body with uniform & nonuniform translating motions, kinetic energy and apparent mass tensor

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：** (1) 'Principles of Ideal-Fluid Aerodynamics', K. Karamcheti, Wiley, 1966.
(2) 'Fundamental Mechanics of Fluid', 2nd ed., I. G. Currie, McGraw-Hill, 1993.
- 參考書：** (1) 'Incompressible Aerodynamics', ed. by B. Thwaites, Oxford Univ. Press 1960, Dover 1987.
(2) 'Theoretical Aerodynamics', 4th ed., L. M. Milne-Thomson, Macmillan 1966, Dover 1973.

五、課程說明與進度

理想流體力學是一門傳統且古老的學問。由於忽略流體黏滯性並假設流場為不可壓縮，描述流場之運動方程式得以大大的化簡，也因為方程式簡化的關係，反而需要應用到更多的數學技巧以求得方程式的通解及其相關特性。因此同學們心理要有所準備這門課會需要用到相當多的數學知識。

課程的一開始會介紹一些基本數學工具及定理，作為應用守恆定律來推導一般流體運動方程式的準備。接下來則會探討理想流體運動方程式所代表的意義以及其所具備的一些物理特性。由於理想流體所滿足之運動方程式為一典型的位勢能方程式 (Potential equation)，因此課堂裡所介紹有關理想流場的一些數學及物理特性也適用於其他應用位勢能理論的領域上；譬如電學、磁學、固體力學、彈性力學、熱傳學等。課程的後半段則是藉助複變理論 (Complex Theory) 及保角映射法 (Conformal Mapping) 來建構一些簡單或複雜二維幾何形體的位勢能流場並介紹其應用。同時，我們將獨立出一個章節來專門探討二維位勢流在航空工程上應用最成功的一個例子——薄機翼理論。課程最後，我們也會介紹一些三維的位勢能流場及其性質。

雖然位勢能流場是一個理想化之後的產物，與實際流場不盡相同。然而在很多情況下，我們可以藉由簡單的位勢流觀念來瞭解或解釋實際流場所展現的流動現象。希望同學們修完這門課後能奠定良好的流力知識基礎，以便將來處理更複雜的流力問題。

本課程之後續課程有「可壓縮流體力學」、「黏性流體力學」、「計算流體力學」、「紊流」等。

本課程 107 學年度第一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 ideal fluid, justification of ideal flow • Mathematical tools — Cartesian tensor, metric tensor, gradient divergence & curl, some vector identities	(Karamcheti) Ch.1
2	• Mathematical tools — orthogonal curvilinear coordinates, physical components in curvilinear coordinates, gradient divergence & curl in curvilinear coordinates, integral definitions of gradient divergence & curl	(Karamcheti) Ch.2
3	• Mathematical tools — Green's & Stokes' theorems, stress & rate-of-strain tensors, rotation tensor & vorticity, constitutive equation • Equations for ideal-fluid motion — Lagrangian vs. Eulerian descriptions, Reynolds transport theorem	(Karamcheti) Ch.2, Ch.3, Ch.4, Ch.6
4	• Equations for ideal-fluid motion — conservation laws of fluid mechanics, differential equations for ideal-fluid motion, boundary conditions for ideal-fluid flow • Kinematics & dynamics of ideal-fluid motion — kinematics: streamline & vorticity line, circulation & vorticity, potential function & stream function, stream function for axisymmetric flow	(Karamcheti) Ch.4, Ch.5, Ch.18: Sec.18.1~18.5
5	• Kinematics & dynamics of ideal-fluid motion — dynamics: Bernoulli equation, Kelvin's circulation theorem, Helmholtz vortex theorem, vorticity equation • General properties of irrotational motion — equations for inviscid incompressible irrotational motion, Laplace equation, potential flow, boundary conditions at far-field	(Karamcheti) Ch.8, Ch.9: Sec.9.1~9.10, Sec.9.16~9.17
6	• General properties of irrotational motion — fundamental solution to the Laplace equation, Green's function, Green's theorem, applications of Green's formula, interpretation of Green's formula	(Karamcheti) Ch.11: Sec.11.11
7	• General properties of irrotational motion — irrotational motion & circulation, some Topological notions • General properties of Potential theory — Mean-value theorem, Max. & Min. principles, Min. kinetic energy principle, constraint on natural boundary condition for Neumann problem, uniqueness of solution	(Karamcheti) Ch.9: Sec.9.11~9.15, Sec.9.18
8	• Flow induced by concentrated vorticity — Biot-Savart law, applications of B-S law, vortex filament, horseshoe vortex, vortex sheet	(Karamcheti) Ch.18: Sec.18.6~18.10

9	• Review of complex theory — complex variable, complex function, analytic function, Cauchy integral theorem, Taylor & Laurent series, singularities, residue theorem, complex integral • 2-D potential flows — complex potential, some elementary plane-flow solutions, uniform flow, flow around corner, plane source/sink, plane vortex, plane doublet	(Karamcheti) Ch.14: Sec.14.1~14.10, Sec.14.15~14.23 (Currie) Ch.4: Sec.4.1~4.7
10	• 2-D potential flows — image method, flows generated by superposition, flow around circular cylinder w/ & w/o circulation, Circle theorem, flow around cylinder of arbitrary cross-section, Blasius theorem, force & moment on cylinder, Kutta-Joukowski theorem, D'Alembert paradox	(Currie) Ch.4: Sec.4.8~4.11
11	• Flow generated by Conformal transformation — general properties of Conformal transformation, critical points of transformation, applications to potential flow • Joukowski transformation (flow around airfoil) — general properties of Joukowski transformation, families of Joukowski transformation, flow around elliptic cylinder, flow around flat plate	(Currie) Ch.4: Sec.4.12~4.14
12	• Joukowski transformation (flow around airfoil) — flow around circular arc, flow around symmetrical Joukowski airfoil, flow around cambered Joukowski airfoil • Generation of circulation (lift force) around airfoil — Kutta condition, formation of starting vortex, bounding vortex, Joukowski airfoil revisited	(Currie) Ch.4: Sec.4.15~4.18 (Karamcheti) Ch.13: Sec.13.7~13.10
13	• Schwarz-Christoffel transformation (flow in channel) — general properties of S-C transformation, implementation of S-C transformation, application to channel flow	(Currie) Ch.4: Sec.4.19~4.20
14	• Schwarz-Christoffel transformation (flow in channel) — Hodograph method, free-streamline problems • Thin-airfoil theory — small perturbation theory, thin-airfoil approximation, linearized boundary condition, linearized pressure coefficient	(Currie) Ch.4: Sec.4.21~4.22 (Karamcheti) Ch.17: Sec.17.1~17.5
15	• Thin-airfoil theory — splitting of thin-airfoil problem, solution to symmetric airfoil at zero angle of attack, solution to cambered airfoil at zero angle of attack, solution to flat plate at nonzero angle of attack, complete thin-airfoil solution, aerodynamic lift & moment coefficients	(Karamcheti) Ch.17: Sec.17.6~17.9
16	• 3-D potential flow — potential equation in spherical coordinates, general solution to 3-D axisymmetric potential flow, some elementary 3-D potential flows, point source/sink, point doublet, flows generated by superposition, flow around sphere, Butler's sphere theorem	(Currie) Ch.5: Sec.5.1~5.10
17	• 1/1 元旦放假	

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: Tue. 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，將學生分成衣組或更多的小組，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。