

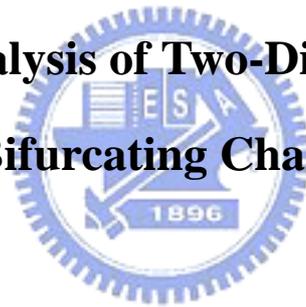
國 立 交 通 大 學

機 械 工 程 研 究 所

碩 士 論 文

二 維 分 歧 管 流 場 之 數 值 分 析

**Numerical Analysis of Two-Dimensional Flow  
in Bifurcating Channels**



研 究 生：呂 治 宇

指 導 教 授：崔 燕 勇

中 華 民 國 九 十 三 年 七 月

# 二維分歧管流場之數值分析

## Numerical Analysis of Two-Dimensional Flow in Bifurcating Channels

研究生：呂治宇

Student : Chih-yu, Lu

指導教授：崔燕勇 教授

Advisor : Yeng-Yung Tsui

國立交通大學

機械工程研究所



Submitted to Institute of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

July 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年七月

# 二維分歧管流場之數值分析

## Numerical Analysis of Two-Dimensional Flow in Bifurcating Channels

研究生:呂治宇

指導教授:崔燕勇 教授

國立交通大學機械工程研究所

### 摘 要



本研究將採用非結構性網格，以數值方法來計算二維、穩態且不可壓縮之分歧管流場，流場假設為層流，且工作流體為牛頓流體。而研究的對象則為對稱造型之 45 度夾角 Y 型分歧管和直角 T 型分歧管。在計算過程中，我們將加大兩者之下游流道寬度，使其擴張比大於二，並觀察其流場之變化。而在分岔端點處之造型，本研究採用銳角(sharp corner)造型之分岔端點，來進行分析。此外，在分歧管的出口條件上，我們採用壓力邊界條件，來觀察在出口處無壓力差和有微量壓力差時，分歧管流場中的變化。其結果發現，當出口處無壓差時，流場大部分呈現對稱的狀態；而當有壓力差時，則會造成上下方流道內的流場，出現不對稱的現象。下游流道寬度的增大，會增加流場的複雜性，同時也會在下游流道中產生許多迴流。另外，壓力差的增加和下游流道寬度的增大都會造成上下方流道出口處之流量比的差距增大。

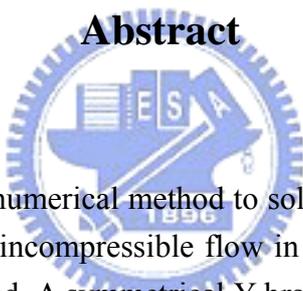
# Numerical Analysis of Two-Dimensional Flow in Bifurcating Channels

Student: Chih-yu Lu

Adviser: Yeng-Yung Tsui

Institute of Mechanical Engineering  
National Chiao Tung University

## Abstract



In this thesis, we will use the numerical method to solve the Navier-Stokes equations of a two-dimensional, steady, incompressible flow in bifurcations. Laminar flow and Newtonian fluids are assumed. A symmetrical Y branch with forty degree angle and a right angled Tee branch will be studied. In our research, we enlarge the channel width in the downstream of the both branches to make the extension ratio more than two and we observe its variation of the flows. The shape of the branching point is sharp corner. Furthermore, there are pressure conditions at the outlet boundaries of both branches and the variation of the flow with tiny and zero pressure difference is what we want to know. The results show that most flows with zero pressure difference are symmetric, but tiny pressure difference will make the flows between upper and lower channel asymmetric. The enlargement of the channel width in the downstream of the both Y and Tee branch will make the flow more complicated and produce more recirculations in the downstream channel of the both branches. Besides, regardless of the Y or the Tee branch, the enlargement of the channel width in the downstream and the pressure difference at the outlets both enlarge the difference of the mass flow between upper and lower channel.

## 誌謝

衷心感謝崔燕勇教授在我研究所三年的歲月中，無論在課業中或是論文研究上殷切的指導，使我得以完成這篇論文。同時也要感謝吳添成學長的教導，以及胡育昌同學和邱建仁、王宏文、黃弼鑫、謝崇民、唐宜甫、沈詩珍等學弟妹們的幫助。另外也感謝傅武雄教授與楊文美教授在論文上的建議，在此至上深深的謝意。

特別感謝父母親多年的養育之恩，以及我最可愛的妹妹小萍和女友雨馨，在我碩士生涯中，一直不斷鼓勵著我，沒有他們就沒有今日的我，僅以此小小的成就獻給他們。最後感謝每一位在我人生的路途上，伴我成長的師長、朋友、同學、伙伴們，謝謝你們。

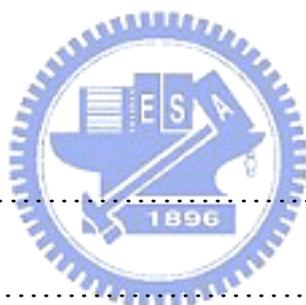


呂治宇 2004. 7. 26

于交大機械研究所 計算流力實驗室

# 目 錄

章次	頁數
中文摘要	i
英文摘要	ii
致謝	iii
目錄	iv
圖目錄	vi
符號說明	ix
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>1</b>
1.1 前言.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究方向.....	7
<b>第二章 數學模式</b> .....	<b>9</b>
2.1 分歧管流場的基本假設(Basic Assumption) .....	9
2.2 統御方程式(Governing Equation).....	9
2.3 邊界條件(Boundary Condition) .....	10
<b>第三章 數值方法</b> .....	<b>12</b>
3.1 傳輸方程式的離散化(Discretization) .....	12



3.2 線性代數方程式.....	15
3.3 壓力與速度的耦合關係式 (SIMPLE 法則) .....	15
3.4 出口處邊界條件的數值處理.....	21
<b>第四章 程式驗證.....</b>	<b>22</b>
4.1 準確度測試.....	22
<b>第五章 網格的建立.....</b>	<b>28</b>
5.1 網格的建立.....	28
5.2 網格數目對計算結果的影響.....	31
<b>第六章 結果與討論.....</b>	<b>35</b>
6.1 研究目標說明.....	35
6.2 計算結果的說明.....	36
6.3 分析與討論.....	41
<b>第七章 結論.....</b>	<b>46</b>
參 考 文 獻.....	48
圖 示.....	51



## 圖目錄

圖 3.1	over-relaxed 方法示意圖.....	51
圖 3.2	計算邊界上壓力示意.....	51
圖 4.1	Bramley& Sloan 之 Y 型流道示意圖.....	52
圖 4.2	本文與 Bramley 和 Sloan 驗證的結果.....	53
圖 4.3	Hayes 等人之 T 型流道示意圖.....	56
圖 4.4	本文與 Hayes 等人驗證的結果.....	56
圖 4.5	Kelkar 和 Choudhury 之 T 型流道示意圖.....	57
圖 4.6	本文與 Kelkar 和 Choudhury 之 T 型管流場驗證的結果.....	57
圖 4.7	Kelkar 之 Y 型網格示意圖.....	58
圖 4.8	本文與 Kelkar 和 Choudhury 之 Y 型管流場驗證的結果.....	58
圖 4.9	Liepsch 等人之 T 型流道示意圖.....	59
圖 4.10	Liepsch 等人之主流道截面速度分佈.....	60
圖 4.11	Liepsch 等人之側流道截面速度分佈.....	61
圖 5.1	Y 型分歧管的幾何造型.....	62
圖 5.2	Y 型分歧管的網格分佈.....	62
圖 5.3	T 型分歧管的幾何造型.....	63
圖 5.4	T 型分歧管的網格分佈.....	63

圖 5.5	Y 型分歧管之網格數目測試結果.....	64
圖 5.6	T 型分歧管之網格數目測試結果.....	66
圖 6.1	迴流長度在 Y 型分歧管之說明圖.....	68
圖 6.2	迴流長度在 T 型分歧管之說明圖.....	69
圖 6.3	當 $\Delta P=0.0$ 時，Y 型分歧管中，其上下流道中的所有迴流長度及起始點位置，隨著雷諾數變化的情形.....	70
圖 6.4	當 $\Delta P=0.0$ 時，T 型分歧管中，其上下流道中的所有迴流長度及起始點位置，隨著雷諾數變化的情形.....	72
圖 6.5	$\Delta P=0.0$ 時，Y 型分歧管之流線圖.....	74
圖 6.6	$\Delta P=0.0$ 時，T 型分歧管之流線圖.....	77
圖 6.7	當 $\Delta P=0.02$ 時，Y 型分歧管中，其上下流道中的所有迴流長度及起始點位置，隨著雷諾數變化的情形.....	80
圖 6.8	當 $\Delta P=0.05$ 時，Y 型分歧管中，其上下流道中的所有迴流長度及起始點位置，隨著雷諾數變化的情形.....	82
圖 6.9	當 $\Delta P=0.02$ 時，T 型分歧管中，其上下流道中的所有迴流長度及起始點位置，隨著雷諾數變化的情形.....	84
圖 6.10	當 $\Delta P=0.05$ 時，T 型分歧管中，其上下流道中的所有迴流長度及起始點位置，隨著雷諾數變化的情形.....	86
圖 6.11	$\Delta P=0.02$ 時，Y 型分歧管之流線圖.....	88



圖 6.12	$\Delta P=0.05$ 時，Y 型分歧管之流線圖.....	91
圖 6.13	$\Delta P=0.02$ 時，T 型分歧管之流線圖.....	94
圖 6.14	$\Delta P=0.05$ 時，T 型分歧管之流線圖.....	97
圖 6.15	Y型分歧管的上下方流道之主迴流長度在不同壓力差和下游流道寬度 $d_{out}$ 時，隨著雷諾數變化的情形.....	100
圖 6.16	T型分歧管的上下方流道之主迴流長度在不同壓力差和下游流道寬度 $d_{out}$ 時，隨著雷諾數變化的情形.....	101
圖 6.17	Y分歧管的出口處流量比在不同壓力差和下游流道寬度 $d_{out}$ 時，隨著雷諾數變化的情形.....	102
圖 6.18	T分歧管的出口處流量比在不同壓力差和下游流道寬度 $d_{out}$ 時，隨著雷諾數變化的情形.....	103



## 符號說明

符號：

定義：

$a$	入口處流道寬度
$c$	入口處流道寬度 $a$ 的一半
$d_{\text{out}}$	下游流道寬度
$F$	通量
$\dot{m}$	質量流率
$P$	壓力項
$Re$	雷諾數
$u$	X 方向之速度項
$v$	Y 方向之速度項
$\vec{V}$	速度向量
$\bar{V}$	入口處的平均速度值
$V_{\text{max}}$	入口處中心最大速度值
$\rho$	密度
$\mu$	分子黏滯係數
$\Phi$	相關變數
$\phi$	流量比

$\theta$  流道夾角

下標：

b 網格之任意一面

c 控制體積周圍網格之中心格點

f 控制體積之任一面之中點

i 控制體積周圍邊界數

lower 代表下方流道

p 主格點

upper 代表上方流道



上標：

c 表示對流項

CD 中央差分法

d 表示擴散項

UD 上風差分法

\*, \*\* 預測及修正步驟

' 修正量