

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 抽水站串聯箱涵之暫變分析(II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 95-2221-E-216-003-  
執行期間：95年08月01日至96年07月31日  
執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

計畫主持人：林文欽

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：陳美雯  
工讀生：鍾尚諭、胡瞻淇、簡鳴毅

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年10月31日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

抽水站串聯箱涵之暫變分析(II)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2221-E-216-003

執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：林文欽

共同主持人：

計畫參與人員：陳美雯

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：中華大學 土木與工程資訊學系

中 華 民 國 九 十 六 年 十 月 三 十 一 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

抽水站串聯箱涵之暫變分析(II)

計畫編號：NSC 95-2221-E-216-003

執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：林文欽

E-mail Address：wlin@chu.edu.tw

## 一、中文摘要

由於土地使用改變遠快於排水系統的興建，當豪雨來臨時，許多地區易發生淹水的情況，使得生命財產受到威脅，所以防洪的議題備受重視。然而抽水站興建往往是防洪工程的選擇，然而在都會區興建抽水站，其腹地的徵收有一定的困難性，所以建議透過鄰近的抽水站串聯運作，以減少抽水站的興建，達到防洪的功能。其抽水站串聯運作是藉由串聯箱涵連通兩抽水站，其管內的壓力會影響抽水站的運作，所以本研究期望可透過一維與三維的聯合模擬方式，探討分析在不同情況下，各抽水站及串聯箱涵的壓力變化。

## 二、研究緣起與目的

當逕流量超過區域排水原設計容量時，其排水能力不足以排除逕流時，增設抽水站為其中的選擇方式之一，但增設抽水站所需考量的因素較多，如工程經費龐大、工程時程較長且都市內之土地取得不易等因素。因此針對都市的防洪，增設抽水站屬於最後一道防線，若暴雨來臨時，降雨量大於該區域的抽水設備容量時，抽水設備可能會受到減頂而失去原有功能，而會造成更嚴重的損失(淹水等問題)。當鄰近抽水站仍屬於正常排水範圍內，假使能將超出抽水站原先設計抽水量之逕流，引導部分逕流至另一

正常操作之抽水站，不但可減低抽水站減頂之慮，亦可增加其他抽水站的使用效率、共同排放暴雨流量、減低都市淹水機率，發揮互補功能效益。

台北縣中和地區因工商發展快速，使中和抽水站集水區逕流量增加，導致現有抽水站不敷排水需求。為了解決排水需求，台北縣政府與中市公所規劃於中和抽水站旁新增一抽水站(中和抽水二站)，並規劃將鄰近的中原抽水站與中和抽水站兩抽水站之間興建串聯箱涵，期望可透過串聯箱涵因應一方抽水站暴雨逕流量過多而導致抽水站排水不及時，可由連通管原理，將洪水傳輸至另一方的抽水站，再排放到新店溪中，避免抽水站附近因排水不及而導致淹水情形，其抽水站位置圖，如圖一所示。



圖一 中和抽水站與中原抽水站之位置圖

然兩抽水站利用串聯箱涵採取聯合操作時，箱涵之輸送管線易因抽水站之水位改變造成管線瞬間出流或入

流的變化，易引發管線內暫變現象，增加管線的危險性。因此本研究延續前一研究案，針對串聯管線的暫變問題與兩抽水站之進水口穩定狀態，擬提供在兩抽水站採用聯合操作時，串聯管線內可能發生管線內瞬間流入或流出之暫變現象，而發生管線破壞的現象。

本研究主要目的在於運用三維模式模擬抽水站與一維模式模擬串聯箱涵(輸送管)之流況與壓力變化，期望可探討不同操作模式所造成之管線內部壓力影響，並經由改變兩抽水站之抽水機組操作及配合閘門控制，藉此降低暫變狀態之壓力影響，以達安全操作與運轉順利之效果。並提供設計單位在箱涵設置時，加強箱涵因內力產生破壞的保護與措施，且作為未來抽水站之聯合操作模式及參考研究。

### 三、文獻回顧

林英鴻(1995)針對雪山隧道的通風探討研究，以三維模式分析計算通風站附近與豎井抽排出口外部環境兩大區域，模擬污染物濃度與風速分布等流場結構為主，以圖形顯示流場分布結果僅提供參考。

許正昇(2001)利用連續方程、動量方程及實驗數據三種模式對照波速並探討尤拉數(Eu)、馬赫數(Ma)、福祿數(Fr)、雷諾數(Re)間的相關性，其實驗目的在於量測初始與終結穩態流況與斷面壓力隨時間演變之波形，並計算界面移動的速度及探討其相關性，其實驗僅進行下游水量驟增、水位驟減而引起的負波，及上游流量驟增、水位驟增而產生的正波情形。其實驗(數位攝影所拍攝之影像)與量測的趨勢雷同，但數值資料有所差距。

蕭輔洲(2002)以控制理論及數值方法探討單一管路系統閘門在關閉時所產生的壓力波震盪與閘門關閉的最佳化關係。其將水錘方程式導入Lagrange，並加入限制式後予以變分，使該方程式成為系統最佳化之Euler-Lagrange 聯立方程式，並以特徵線法進行聯立方程式之數值模擬，可得一最佳化閘門流速控制行程，其研究結果顯示，在無考慮流體黏滯性及摩擦耗損之狀況下，當閘門之關閉時間於 40 秒後，其壓力震盪近乎消失；若閘門關閉時間大於 40 秒後，流量之最佳控制行程與閘門關閉時間之長短毫無關聯。

簡棋彪(2003) 因都會區缺乏滯洪池等防洪空間，而近年來因降雨量過大及降雨延時長，洪峰量無法馬上消滅，導致淹水現象發生，進而影響抽水站的運轉，然而就都會區而言，抽水站可謂是防洪功能的最後一道防線。針對台北地區的抽水站現況分析，並利用暴雨經理模式(Storm Water Management Model)XP SWMM 2000 7.51 版模擬士林東、西站單獨及聯合操作等不同狀況及進行敏感度分析，模擬聯合操作時利用四種連通管模擬以取得連通管的最佳斷面及型式。而研究中顯示抽水站的聯合運作的成果相當良好，能有效降低前池水位並可降低淹水的風險。

周哲正(2003)利用控制理論中的變分法推倒水錘方程式中流場所需之必要條件與邊界條件，探討閘門瞬間關閉及最佳關閉形成中，不同摩擦係數造成之流速與壓力變化。分別又以摩擦係數 0、0.03、0.1 三種情況下，計算閘門處壓力隨時間的變化，其摩

擦效應越大則推擠效應越明顯，而其摩擦係數會影響閘門處所受的壓力大小，但對於流量的影響有限，所以壓力變化量對於流量變化量影響不大。

Ming Zhao and Mohamed S. Ghidaoui, M.ASCE(2004) 利用 First-and second-order explicit finite volume(FV) Godunov-type 模擬及分析水錘問題，並與傳統的 MOC 數值方法比較探討，得知下列結論：FV 保證兩種方案皆可保存質量、動量和實際過程中可感受到的衝擊舉止；Godunov 的邊界條件有部分與 MOC 相似；數值測試與理論分析後，在 space-line 時，First-order Godunov 與 MOC 相同；second-order 方案有較高的效率及準確度。

黃勇憲 (2006) 利用模式一 (Washington State University) 及模式二 (SCL) 兩種模式，針對雲林離島工業區的 42 公里供水系統管線進行模擬，探討其在不同的操作下所產生的壓力水頭數值及時間，經由模式模擬在理想化的狀況下，最高可輸送 13cms 的流量，但實際狀況與模擬會有些許差異，所以建議輸水的最高流量不超過 10cms。

#### 四、研究方法

本研究主要利用三維模式 (Song and Yuan(1988) 與 Wenchin Lin(1995) 所建立之可壓縮流水動力方程式 (compressible hydrodynamic equation) 模擬抽水站集水井進水口的穩定度，並結合前一研究案的一維暫變流的模式模擬串聯箱函的壓力及流況。三維可壓縮水動力模式模擬抽水站之數值模擬提供一維模式之邊界入流條件，而一維模式的平均流速與壓力可提供

三維模式之邊界條件。

在不穩定可壓縮流中的連續方程式及動量方程式為：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = f_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \dots\dots\dots(2)$$

其中， $\rho$  為流體密度， $u_i$  為流體速度， $f_i$  為浮力， $\sigma_{ij}$  為應力張量

在牛頓流體中，(2) 式中支應力張量  $\sigma_{ij}$  可由壓力與速度兩參數組成

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \dots\dots(3)$$

在完全可壓縮等壓流中，聲速  $a$  可表示成(4)式，且在流體密度變化量及小的低速流流場中，可將(4)式近似成(5)式

$$\alpha^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} \dots\dots\dots(4)$$

$$p - p_0 = \alpha_0^2 (\rho - \rho_0) \dots\dots\dots(5)$$

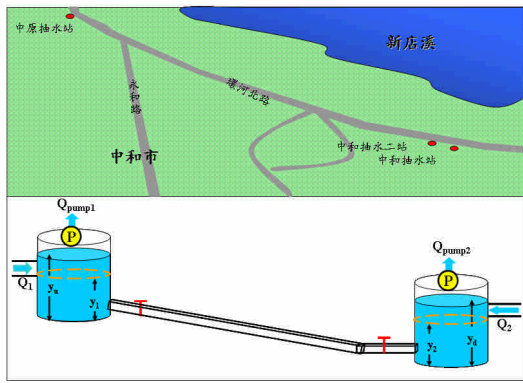
藉由(5)式解得之密度，帶回(1)與(2)式後，(1)會產生馬赫數平方的項次，而該項次在低馬赫數流場下是可以忽略的，因此最後可推得在低馬赫數流場可適用的可壓縮水動力方程式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + k \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} = \left[ \frac{T}{T_0} - 1 \right] g \bar{k} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \dots\dots\dots(7)$$

其中  $k = \rho_0 a_0^2$

研究區域的中原抽水站及中和抽水站兩抽水的位置圖，及其抽水管線系統的分佈圖，如圖二所示。



圖二 管線系統上視圖與縱斷面圖

本研究主要方法為經由上述的三維模式模擬抽水站抽水井的流況，提供一維模式的邊界條件。並將一維模式所獲得的上下游的流況資訊提供三維模式的邊界條件。藉由三維與一維的聯合模擬方式，探討分析兩抽水站間串聯箱涵所引起的壓力與流量變化，經由串聯箱涵間壓力及流量變化的關係圖瞭解兩抽水站的操作變化。同時三維的模擬可分析抽水井在操作其間，可評估抽水機產生穴蝕的現象。

##### 五、結論與建議

1. 三維與一維的模式需注意時間間距尺度的差異，三維採用的時間間距遠比一維所需要的時間間距小，為維持一維的精準度可同時減小距離間距以提高精準度。
2. 後續應針對抽水站操作模式持續作模擬，方能提供正常的操作模式及緊急應變措施。

##### 參考文獻

1. 林英鴻，1995，公路隧道通風設計研究，財團法人中興工程顧問社。
2. 許正昇，2001，排水涵管暫態流況分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
3. 蕭輔洲，2002，控制管路水錘效應之最佳閘門關閉行程研究，國

立臺灣大學機械工程學研究所碩士論文。

4. 簡錕彪，2003，台北市防洪抽水站現況評估與聯合運轉可行性之探討，國立海洋大學河海工程學系碩士在職專班碩士論文。
5. 周哲正，2003，水錘效應於具摩擦之管路中最佳閘門關閉行程研究，國立臺灣大學機械工程學研究所碩士論文。
6. Ming Zhao and Mohamed S. Ghidaoui, M.ASCE, Godunov-Type Solutions for Water Hammer Flows, JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING @ ASCE / APRIL 2004, p341-348.
7. 黃勇憲，2006，水利暫變之管線模擬，中華大學土木與工程資訊學系碩士論文。
8. Song, C.C.S., and Yan, M.,1988, "A weekly compressible flow model and rapid convergence methods," Journal of Fluids Engineering, Vol. 110, pp. 441-445.
9. Wenchin Lin, "A Numerical Simulation in Longitudinal Ventilation System of Long Highway Tunnel," Ph.D Thesis, University of Minnesota.