

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

管路系統之暫變分析

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-216-003-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：林文欽

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

管路系統之暫變分析

Analysis of Transient Flow on Pipeline System

計畫編號：NSC 92-2211-E-216-003

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：林文欽 中華大學土木系

E-mail Address: wlin@chu.edu.tw

一、中文摘要

水利暫變可分為密閉管流的暫變流、明渠的暫變流及結合自由表面與壓力互換的暫變流等三類。在密閉管流中的暫變流一般為非穩流的流況，然而許多解析的方法仍使用穩流的理論，這些利用穩流理論的處理方法既無法解決開始流動，也無法解決停止流動等問題。當管路系統在穩定狀態被擾動時，就會從穩流的狀態產生暫變的狀態，這些擾動可能由有計劃或意外的人為系統設定控制儀器或天然系統在入流或出流的改變，以致引起流況的改變。變更流況可能引發危害管路系統整體性的巨大壓力，也可能引發管路爆炸的危險動作。根據處理方法的目的，傳統上研究密閉管路系統的水利暫態常分為結塊系統(lumped system)與分散系統(distributed system)兩大類。其中分散式的處理方法，也可稱為彈性理論，經常用來研究管路系統的壓力分佈，且分散式的處理方法的控制方程式為偏微分方程式。

根據連續方程式與動量方程式且應用特徵線法的處理方式所發展的SCL模式，已經在許多領域應用模擬水利暫態的問題。本研究發展此模式應用於雲林離島工業區之管路供水系統，分析不同操作組合可能引起管路系統高於或低於設計壓

力之問題。並藉改變各種控制設備重新模擬管路系統以達到管路系統安全操作的結果

關鍵詞：水利暫變，管路系統，數值模擬

Abstract

Hydraulic transients may be classified into three categories: transients in closed conduits, transients in open channels, and combined free-surface-pressurized transient flows. Transients in closed conduits are usually in unsteady state: yet their approaches are carried out using steady theorem. Such an approach can deal neither with the starting of the flow nor with the stopping of the flow. The transient conditions are initiated whenever the steady-state conditions in the pipeline are disturbed. Such a disturbance may be caused by changes, planned or accidental, in the settings of the control equipment of a man-made system and by changes in the inflow or outflow of a natural system. Changing a flow causes large pressure which can endanger the integrity of the closed conduit and is the most dangerous motion to which the closed conduit will ever be exposed. According to the purpose

of approach, the study of hydraulic transients in closed conduits falls traditionally into two categories: the lumped-system approach and the distributed-system approach. The distributed approach, also call the elastic theory, is used to investigate the distribution of pressure in the pipeline system, which usually has much shorter periodicity than mass oscillations (the lumped-system approach). The governing equations are partial differential equations.

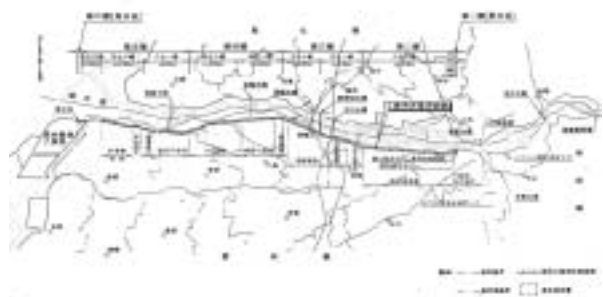
The SCL (Song-Cardle-Leung) model based on continuity equation and momentum equation by using characteristic method approach has been applied to simulate the hydraulic transient in the many areas. This model can be used in pipeline of Yun-Lin offshore industrial areas for practical applications. The pipeline system is analyzed for transients caused by various possible operating conditions. If the system response is not acceptable for the maximum and the minimum pressure, then various control devices are provided and the system is analyzed again. This procedure is repeated until safety results are obtained.

Keywords: Hydraulic Transient, Pipeline , Numerical Modeling

二、研究緣起及目的

為解決雲林離島工業區用水問題，第四河川局辦理集集共同引水計劃工業用水專用設施，由林內鄉埋設管徑分別為 $\phi 1750\text{mm}$ 及 $\phi 2000\text{mm}$ 二條平行管路利用天然地形高差以重力方式送水至麥寮離島工業區，管路總長 42 公里並加設相關設施(如圖一)，於八十六年七月全線完工通

水。為確保本管路安全需作有效管理，以利用正常供水；經濟部水利署於八十六年五月二十六日指示第四河川局成立管路暫管小組辦理。管路暫管小組工作範圍由林內進水口至麥寮尾水池台塑出水管閘門區間，包括工業用水專用設施內進口段及尾水池閘門機電操控、管路閘類操作以及各項設施維護管理。



圖一、雲林離島工業區之管路位置

水利暫變可分為密閉管流的暫變流、明渠的暫變流及結合自由表面與壓力互換的暫變流等三類。在密閉管流中的暫變流一般為非恆定流(unsteady flow)的流況，然而許多解析的方法仍使用恆定流(steady flow)的理論，這些利用恆定流理論的處理方法既無法解決開始流動問題(如打開管路系統中之閘門或啟動抽水機)，也無法解決停止流動等問題(關閉管路系統中之閘門或關閉抽水機)。當管路系統在恆定狀態被擾動時，就會從恆定流的狀態產生暫變的狀態，這些擾動可能由有計劃或意外的人為系統設定控制儀器或天然系統在入流或出流的改變，以致引起流況的改變。變更流況可能引發危害管路系統整體性的巨大壓力，也可能引發管路爆炸的危險動作。

根據分析方法的目的，傳統上研究密閉管路系統的水利暫變常分為結塊系統(lumped system)與分散系統(distributed system)兩大類。採用結塊

系統處理方法時，假設管路系統中的流況有任何改變，將於瞬間傳遞到整個管路系統。換言之，此研究法將整個管路系統的質量視為一個剛體(rigid body)。也因此結塊系統的研究方法常被稱為剛體理論(rigid-body theorem)。這些理論的發展主要用來研究在平壓塔(surge tank)的質量震盪(mass oscillation)現象及下水道中人孔(manhole)的噴泉(geyser)現象。此類問題在數學理論上，可用一組常微分的連續方程式及動量方程式作為控制方程式，並且可應用修正歐拉法(modified Euler method)、高階Runge-Kutta法、或其他的數值方法求得所探討問題的數值解。

分散系統的處理方法，也可稱為彈性理論，經常用來研究管路系統的水錘(water-hammer)壓力分佈，此類現象的震盪週期通常比質量震盪的週期短。而分散式的處理方法的控制方程式為偏微分方程式，在應用上常用特徵法(Method of Characteristics)、有限差分法(finite-difference methods)、有限元素法(finite-element methods)、頻譜法(spectral method)或邊界積分法(boundary-integral method)。在過去的數十年中，前人針對密閉管路系統的暫變流的研究，使吾人對管路系統中暫變流的動力現象有進一步的瞭解，促進今日架構此類研究的應用。

根據連續方程式與動量方程式且應用特徵法的處理方式所發展的SCL模式，已經在許多領域應用模擬水利暫態的問題。本研究擬發展正、負波的傳遞模式，並應用於雲林離島工業區之管路供水系統，分析不同操作組合可能引起管路系統高於或低於設計壓力之問題。並藉改變各種控制設備重新模擬管路系統以達到管路系統安全

操作的結果

三、研究方法及內容

管路系統動態模擬之數值模式使用特徵線法解一維的連續方程式與動量方程式。因管路操作包含重力流與壓力流，所以數值模式應包括重力流的模組、壓力流的模組、重力流變壓力流的模組以及壓力流變重力流的模組。

就一維非恆定的重力流可表示為：

$$\frac{\partial y}{\partial t} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial y}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g(S_f - S_o) = 0$$

其中c為重力波的速度($\sqrt{gA/T}$)，A為水流的截面積，T為水流的頂寬。

而一維非恆定的壓力流可表示為：

$$\frac{\partial y}{\partial t} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial y}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g(S_f - S_o) = 0$$

其中a為壓力波速，y為以管底為基準的壓力水頭。

此一維非恆定連續與動量偏微分方程式可轉換為一組常微分方程式，對重力流為：

$$\frac{dy}{dt} \pm \frac{c}{g} \frac{dv}{dt} \pm c(S_f - S_o) = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = v \pm c$$

對壓力流為：

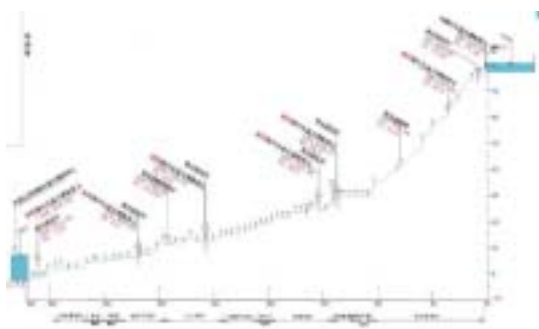
$$\frac{dy}{dt} \pm \frac{a}{g} \frac{dv}{dt} \pm a(S_f - S_o) = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = v \pm a$$

配合密閉管路系統上、下水池的蓄水情況，本模式可模擬從開啟閘門至關閉閘

門，密閉管路系統之壓力及流量變化。

雲林離島工業區之工業用水專用設施(如圖二)包括 $\phi 1750\text{mm}$ 及 $\phi 2000\text{mm}$ 兩條主要管路，管材為鋼襯預力混凝土管(PCCP)及鋼管(SP)兩種供應雲林離島工業區用水每日八六萬噸。每條管路皆設置相同之各類設施，包括蝶閥(各六組)、緊急遮斷閘(各二組)、排氣設施(各一百六十組)、排水排泥設施(各六組)及超音波流量計(各二組)等；聯通管則設置蝶閥一組。本計畫將針對雲林離島工業區之管路供水系統進行模擬分析及管路壓力分布之分析及預測，並找出潛在的高壓區域，以提供操作單位之參考。



圖二、管路縱段面圖

四、計畫成果自評

本計畫完成建立密閉管路系統動態模擬之水力時變態數值模式，並針對供水系統不同日平均供水量分別為 6 仟噸、5 萬噸、12 萬噸及 25 萬噸作分析模擬。本計畫之研究成果，除可提供操作單位於不同供水量之操作參考外，亦可作為工程設計分析研究計畫所需壓力及流量及政府相關部門與工程顧問公司評估供水系之設計及操作之資料。本研究所建立之模式亦可改變不同的管線輸水量及配置，對並聯之管路供水系統模擬提供適當的操作方式，並可對實際的管路輸水系統之設計及操作問題

帶來助益。本計畫為單一年期之計畫，後續工作可用實測資料與本模式作一比較。此外本計畫之模式為一維之數值模擬，對供水系統入水口之三維現象僅以儲存方程式代替。若入水口之面積與深度對輸送管線入流之影響超出穩定狀態，則建議須採用三維之數值模擬以提供精確之資料。

五、參考文獻

1. Song, Charles C.S., and Lin, Wenchin, 1990 "Waterhammer Analysis, City of New Brighton Wells and Associated Treatment System," Project Report for Barr Engineering Company.
2. Song, Charles C.S., and Lin, Wenchin, "Study of Potential Hydraulic Transients For Milwaukee Inline Storage System", Project Report No. 297, St. Anthony Falls Laboratory, January 1990.
3. Song, Charles C.S., Lin, Wenchin, and Gong, Guiling, "Hydraulic Transient Modeling of TARP Systems", Project Report No. 332, St. Anthony Falls Laboratory, August 1992.
4. Song, Charles C.S., and Lin, Wenchin, "Hydraulic Transient Analysis of Tunnels and Dropshaft for Milwaukee Inline Storage System", Project Report No. 340, St. Anthony Falls Laboratory, January 1993.
5. Chaudhry, M.H. "Applied Hydraulic Transients", Van Nostrand Reinhold, 1987.