

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

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-216-004-

執行期間：94年08月01日至95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：翁魁嶽、陳美雯

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 30 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

計畫編號：NSC 94-2211-E-216-004

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 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

水利暫變主要分為三類：密閉管線之暫變流，明渠管線之暫變流以及混合自由表面與壓力流之界面狀態的暫變流。目前在解析管線內部發生之暫變流方面，大多仍沿用穩態系統或其理論加以探討，對於起始流況與結束流況之部分並無多加著墨。當穩態系統受到擾動，其原因包括計畫性或是不可抗力之人為操作控制因子狀態改變，以及環境因子所造成之出入流變化，皆會造成系統內部流況改變，而由穩態轉變為暫態。流況之變更可能產生足以破壞管線與相關設施之過大壓力，亦或是縮短系統使用壽命。

SCL 模式乃根據運用偏微分之連續方程式與動量方程式，轉化成為具特徵線之聖凡南方程式所發展之一維模式，並已應用於不同領域與案例之水利暫變解析，且略有成效。故本研究應用該模式於處理中和第二抽水站與中原抽水站間新設之串聯通水箱涵，透過該箱涵控制閘門之不同操作，探討其相異操作模式所造成之管線內部過高之壓力所造成之影響，並經由改變兩抽水站之抽水機組操作並配合閘門控制，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。

二、研究緣起及目的

台灣都市之堤後排洪設施以抽水站為最多，然而當集水區快速都市化導致逕流係數提高，亦或是排水分區改變與降雨強度增加，導致舊有抽水站排水能力不足時，可考慮聯合鄰近抽水站，透過通水箱涵或渠道將部份洪峰量交由其他抽水站抽排，並進行聯合操作，可確保抽水站正常運作，也可增加鄰近抽水站之使用效率，發揮互補之功能效益。

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，導致現有中和抽水站不敷排水需求。台北縣政府與中和市公所故於中和抽水站旁新增一抽水站，並規劃於鄰近中原抽水站與新建之中和第二抽水站兩站間興建串聯引流箱涵，以支援中原抽水站不足之抽排量，將部分洪峰量輸送至下游之中和第二抽水站，並主要以重力方式來輸送，且於箱涵兩端出入水口設置控制閘門。當兩抽水站皆為最大抽水量時，閘門會關閉，以避免水位較高者流至水位較低者，增加其抽水機的負擔。



圖一、中和第二抽水站與中原抽水站所在位置

暫變 (Transient) 為由一恆定狀態改變為另一恆定狀態時，過程中流體所發生之任何變化。其變化可能包括流體之流速分佈、密度或壓力……等等。水利暫變之系統主要分為密閉管路、明渠管路、以及自由液面與壓力流況混合之管路。若系統內部之穩態流況受到計畫性或是不可抗力之人為操作控制因子狀態改變，以及環境因子所造成之出入流變化，造成系統擾動，進而使流況轉變為暫變狀態；該狀態可能產生足以破壞管線與相關設施之過大壓力，亦或是縮短系統使用壽命與引發管路爆炸之後果。

兩抽水站在串聯箱涵間運輸流體時，可能由於下列原因造成暫變流：一、箱涵破損造成出入流量改變；二、控制閘門之瞬間開關與連續開關；三、箱涵內部之迴水現象。在第一、二種情況，箱涵內部之流體流向均為單一流向，而第三種情況，則產生於兩抽水站水位皆處於不穩定狀態，在下游抽水站水位較高之狀態下，則可能造成箱涵內部流體之流向改變，進而產生暫變流。由於暫變流之發生將可能造成管線系統安全性之疑慮，系統內部元件也可能無法承受暫變產生

之過大壓力變化而造成破壞，加上都市抽水站位於高密度土地開發區內，倘若發生箱涵元件破壞造成爆管，勢必對於人民生命財產安全為一重大威脅。基於安全性與經濟效益方面，串聯箱涵完工前之規劃設計與完工後之操作運轉，皆應將暫變所產生之壓力變化列入參考範圍，並模擬各種情況所可能產生之壓力變化，以確保運轉與輸送之安全。

傳統研究水利暫變之系統類型分為分散系統與結塊系統二類。結塊系統乃視系統內整體質量為一完整剛體，且流況若有任何變化即瞬間傳遞至系統本身。而分散系統通常應用於解析系統內部之水錘現象，該系統之控制方程式為偏微分方程式，並應用於特徵線法、有限差分法、有限元素法或頻譜法。

SCL 模式乃根據運用偏微分之連續方程式與動量方程式，轉化成為具特性線之聖凡南方程式所發展之一維模式，並已應用於不同領域與案例之水利暫變解析，且略有成效。本研究將其應用於處理中和第二抽水站與中原抽水站間新設之串聯通水箱涵，探討其相異操作模式所造成之管線內部過高之壓力所造成之影響，並經由改變兩抽水站之抽水機組操作並配合閘門控制，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。

三、研究方法與內容

分析一維非恆定暫變流使用偏微分之連續與動量方程式，在明渠管線之暫變流之連續與動量方程式分別為：

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

$$g \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0$$

c 為重力波波速，計算式為：

$$c = \sqrt{\frac{gA}{T}}, \quad A \text{ 為水流截面積，} T \text{ 為水流頂寬。}$$

密閉管線之暫變流方程式為：

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

$$g \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0$$

該式 a 為壓力波速， y 為以管底為基準之壓力水頭。

將上述偏微分方程式應用特徵線法轉化為具特性線之聖凡南方程式，明渠管線之暫變流之常微分方程式為：

$$\frac{dy}{dt} \pm \frac{c}{g} \frac{dv}{dt} \pm c(S_f - S_0) = 0$$

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

密閉管線之暫變流常微分方程式為：

$$\frac{dy}{dt} \pm \frac{a}{g} \frac{dv}{dt} \pm a(S_f - S_0) = 0$$

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

上述方程式須滿足流體之穩定性：

$$\text{明渠流：} \Delta t \leq \frac{\Delta x}{|v \pm c|}$$

$$\text{密閉流：} \Delta t \leq \frac{\Delta x}{|v \pm a|}$$

其管路方程式配合上、下抽水站貯水池之貯蓄方程式及抽水機組運算式，其貯蓄方程式為：

$$Q_{in} - Q_{pump} = A_s \frac{dy}{dt}$$

Q_{in} 為貯水池入流量， Q_{pump} 為抽水

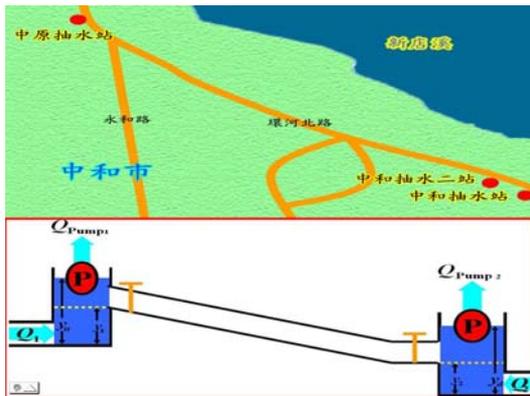
機組之抽水量， A_s 為貯水池面積， y 為貯水池之水位。

該模式即可模擬上下抽水站運作與串聯通水箱涵之流況，並配合控制閘門之開關操作，得知不同運作狀態下該密閉串聯箱涵之流況與壓力變化。

由於當地開發迅速，或是集水區之排水分區改變以及該地區降雨量劇增，皆可能導致當地之地表逕流量超過該地區既有抽水站之設計抽排量；然擴建抽水站不僅經費龐大，在高度開發之都市地區也難以取得土地，故利用既有之兩鄰近抽水站，藉由集水區相異之不同洪峰抵達時間，興建價格較為低廉之串聯通水箱涵連結該二抽水站，以聯合操作方式，發揮抽水站間互補與支援之效。

密閉串聯通水箱涵高 2 公尺，寬為 3.5 公尺，全長達 390.5 公尺，總容積約為 2733.5 m³。其中自起始高程較高之中原抽水站入流端至該箱涵 320 公尺處為重力流箱涵，最高之高程差達 3.5 公尺 m；自 320 公尺處至 390.5 公尺處，為配合中和第二抽水站壓力出水箱涵之設置，從該處起則由具高差之重力流動方式改為平行管線之壓力流動方式，以利於該壓力出水箱涵於串聯箱涵上端交錯處之施工條件。箱涵之入、出流口各設置一控制閘門。本計畫將對於中原抽水站、中和及中和第二抽水站，以及串聯通水箱涵之聯合運作加以模擬，並分析管路壓力變化及提出操作建議，提供設計

與管理單位日後發展操作之參考。



圖二、管線系統上視圖與縱斷面圖

四、成果自評

本研究發展之一維抽水站-串聯箱涵系統，該系統之數值模式已建立完成，可進行不同流量下抽水站體之抽水機組操作模擬，了解串聯箱涵於運作時之其內部流況，並分析經過串聯箱涵之分流後，該抽水站貯水槽之水位變化。本研究所建立之模式亦可變更抽水機組配置及抽水站貯水槽之蓄洪量，並搭配不同入流量，因應不同狀況下之模擬操作，可提供相關單位於串聯箱涵設計與抽水站並聯運作之參考。除已建立之貯流方程式外，目前正積極導入三維之可壓縮動力方程式，模擬貯水槽於貯水深度變化所造成之流場狀態改變，其對於箱涵入流口之穩定影響。目前本系統入流量係以合理化公式與三角歷線法所推估之抽水站集水區，以五年洪峰週期流量歷線進行模擬，將與實際抽水站入流量進行驗證，比對實際與模擬系統之抽水機組運作。

本計畫為兩年期計畫，後續工作將繼續發展檢討該數值模式臻至完善，並經由實測數據與數據結果進行比較分析，完成可即時操作之模式，

提供可靠之箱涵與抽水站聯合操作資料，作為日後參考之依據。

五、參考文獻

1. Jerry L. Modisette , 2000 , “Transient and Succession-of-Steady-States Pipe-line Flow Models”, Pipeline Simulation Interest Group.
2. Anton Bergant and Arris Tijsseling , 2001 , “Parameters Affecting Water Hammer Wave Attenuation, Shape and Timing”, Trondheim, Norway.
3. C. Song , J. Cardle , and K. Leung , 1983, “Transient Mixed-Flow Models for Storm Sewers”, Hydraulic Engineering, ASCE.
4. 鄭瑩通，1993，“液體流量校正系統之模擬與控制”，中原大學化學工程研究所碩士論文。
5. 許正昇，2000，“排水涵管暫態流況分析”，國立成功大學水利與海洋工程研究所碩士論文。