

0f00050
聖嬰-南方振盪現象氣候預報對臺灣水資源之潛在影響與最適規劃(I)

The Potential Effect of El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

Forecast on and Optimal Planning of Taiwan's Water Resources (I)

執行單位：台灣大土木工程系研究所 計畫編號：NSC89-2621-~~2~~002-018

計畫主持人：徐年盛

(國立台灣大學土木工程學系副教授)

研究人員：林岳岡

聯絡方式：台北市羅斯福路四段一號 台灣大學土木工程學系

E-Mail: nsshue@ce.ntu.edu.tw

☒ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

計畫摘要

本研究計畫擬以三年時間建立一套較具系統之方法，期能在將來預報聖嬰-南方振盪現象發生時，根據各種可能之因應措失進行最佳配水規劃以求降低缺水損失。

本計畫第一年之工作內容包括資料收集、歷史水文情況分析、歷史供需情況分析、國內外降雨—逕流模式評估與國內外配水模式評估，以及聖嬰-南方振盪現象時，區域性供水系統之可靠度評估，最後並將所發展之可靠度評估方法應用於淡水河流域以彰顯其實用性。

本研究首先介紹聖嬰-南方振盪現象之定義及發生之機制，並進而分析該現象對台灣地區之降雨量與溫度之相關性。接著說明可靠度評估方法之建立步驟，包括：(1) 以 Thomas 和 Fiering 模式合成 30 組定義聖嬰-南方震盪現象之 Nino3.4 指數；(2) 分別建立 Nino3.4 指數與溫度及 Nino3.4 指數與雨量間之迴歸方程式以計算溫度及雨量；(3) 將所得之溫度及雨量輸入水平衡模式以模擬河川流量；(4) 應用最佳配水模式進行水資源最佳調配以求得各需水點之可供水量；(5) 根據可供水量及需水量估算缺水指數；以及(6) 利用缺水指數評估其供水系統之可靠度。

本研究最後將所建立之可靠度評估方法實際應用於淡水河流域中的新店溪流域和大漢溪流域，以評估此研究區域內在現況之水利設施及需水情形下，滿足各標的需水量之可靠度。而在應用本方法之前，本研究先進行各模式之檢定與驗證工作以求得各模式之參數。

本研究之方法經應用後可得下列結論：（1）Nino3.4 指數與溫度及其與雨量之相關性相當接近，皆以延遲一個月之相關性較高，延遲二個月之相關性最高；（2）本研究發現聖嬰-南方振盪現象對台灣北、中兩區域的降雨量影響較為明顯，對全省溫度影響較不受地域性之差別；（3）以現況之水利設施及需水量而言，新店溪流域呈現不缺水情形，而大漢溪流域之缺水情形則較新店溪流域嚴重，然若新店溪流域之水源可全力支援大漢溪流域之用水，則全區域之缺水可改善甚多；（4）以現況之水利設施及需水情形而言，大漢溪流域滿足缺水指數等於 1.0 之可靠度為 95.6%；全區滿足缺水指數等於 1.0 之可靠度為 100%。

一、前言

台灣地區之水文特性屬於缺水國家，且具有下列造成水資源供需失調之特性：（1）乾濕季分明，且由北而南愈趨明顯，（2）河川年流量大，但卻豐枯懸殊，（3）水土流失量多，對水資源衝擊大，（4）河川、水庫遭受污染，影響水資源利用及飲用水安全甚巨，（5）生活與工業用水成長快速，需水量大量增加，（6）良好之水庫壩址已不多見、新水庫之成本逐年遞增及水庫計畫之推動漸趨困難，以及（7）地下水超抽已導致嚴重之海水入侵與地層下陷問題。上述第（1）及（2）項特性，若遇到聖嬰-南方振盪現象（ENSO）發生時，其特性則更為明顯。聖嬰-南方振盪現象為聖嬰現象（El Nino）與南方振盪（Southern Oscillation）兩個名詞的字首合組而成，乃指聖嬰期間海洋水溫與大氣氣壓相伴而生之變化現象。

聖嬰現象指的是赤道地區，東太平洋海水表面溫度偶爾增暖的現象，其特徵是東、西太平洋海面溫度的逆向改變。由歷史海溫資料可知「聖嬰」現象發生時會出現東太平洋海面溫度增加而西太平洋降低的現象，但西太平洋之海面溫度仍高於東太平洋海面溫度。至於大氣環流會發生逆時針循環的原因乃因海面溫度加熱機制引起東太平洋海面大氣因對流而上升，西太平洋海面大氣則受壓迫而下降，並非因東太平洋海面溫度高過西太平洋而引起逆時針方向之循環對流。

在非「聖嬰-南方振盪現象」時期，沿著赤道太平洋海面溫度呈西高東低之傾斜。當太平洋赤道因海溫變化而導致溫度坡降斜率變緩時，氣壓場則為東低西高（聖嬰期）；反之，若海溫變化而導致溫度坡降斜率變陡，此時氣壓場則呈現西低東高之型態（反聖嬰期），此一伴隨海面溫度變化而生之大氣氣壓變化現象，名為「南方振盪」。

國內外有關聖嬰-南方振盪現象對氣象及水文影響方向之研究已有相當成果，Quinn 等（1987）曾將聖嬰-南方振盪現象之強度分為成熟（strong）、中等（moderate）、虛弱（weak）、很虛弱（very weak）等四個等級。Quinn 等（1987）同時根據分析結果指

出聖嬰-南方振盪現象之成熟期通常發生在 12 月到次年 2 月之間，換言之，聖嬰南方振盪現象最強期間發生於冬季。Chen 等 (1995) 考慮風應力之距平 (anomaly) 下以 CZ 模式去預報聖嬰-南方振盪現象發生時之海面溫度 (SST)；Eltahir (1996) 在考慮聖嬰-南方振盪現象下以 Lamont 模式預報 1 或 2 年後之海溫變化，並指出海面溫度 SST 值與尼羅河流量相關性為負相關；Piechota 和 Dracup (1996) 在考慮聖嬰-南方振盪現象下利用調和分析法模擬降雨與溫度之變化並指出反聖嬰現象與美國南部之乾早有明顯相關；許晃雄 (1998) 指出聖嬰-南方振盪現象對台灣 2、3 月之雨量有明顯之影響；Chiew 等 (1998) 以大氣指數 SOI 值作為聖嬰-南方振盪現象之強度指標，並找出澳洲降雨、流量與聖嬰-南方振盪現象之關係，其結果發現流量之相關性較雨量高。蘇世穎等 (1999) 利用 T-test 法分析聖嬰-南方振盪現象下台灣地區各月雨量與正常年份各月降雨量之差異顯著性，得到不顯著之結果，並探討聖嬰指數之定義；蘇世穎等 (1999) 提出聖嬰現象造成赤道和極地溫差變小，副熱帶高壓因而北移，因此使北半球颱風路徑較正常年偏北及偏東，造成侵台次數減少；蕭政宗進行 Nino3.4 指數與台灣地區降雨量之相關分析，並提出兩者相關性不高之結論。

在任何水資源規劃方案進行之前，除必須對其所帶來之效益及造成之影響進行分析與評估外，更必須估算當聖嬰-南方振盪現象發生時，水資源供水系統之可靠度，以提供作為水資源規劃之參考。然回顧過去國內外之研究，僅童慶斌等 (1999) 提到氣候變遷對水資源之影響，但並未分析區域性水資源供水系統之可靠度，而有關聖嬰-南方振盪現象對水資源影響以及對供水系統可靠度之影響分析，至今尚未有任何研究提及。

本研究的主要目的在於建立一套研究方法，用以評估聖嬰-南方振盪現象發生時，區域性供水系統之可靠度，並將此方法應用於淡水河流域以彰顯本方法之實用性。

二、聖嬰-南方振盪現象與台灣地區雨量及溫度之相關分析

聖嬰-南方振盪現象之強度指數可分為大氣指數 (SOI) 及海溫指數 (Nino Index) 兩種，大氣指數是以南太平洋東部之大溪地和西部澳洲達爾文二地間氣壓場之差異值表示之；海溫指數指的是海平面溫度，Trenberth (1997) 提出以北緯 5 度至南緯 5 度，西經 120 度至西經 170 度範圍之海溫變化，稱為 Nino3.4，作為量度聖嬰現象強弱的指標。當 Nino3.4 之平均海溫距平經過 5 個月滑動平均後，若其值連續 6 個月以上均大於 0.4°C ，即為進入聖嬰現象的狀態；反之，若其值連續 6 個月以上小於 -0.4°C ，即為進入反聖嬰的狀態，其他情形則為正常狀態。美國國家環境預報中心 (NCEP) 及國內中央氣象局均採用 Nino3.4 為聖嬰-南方振盪現象之強度指標，本研究亦採用 Nino3.4 指數作為定義聖嬰-南方振盪現象之強度指數，並以此指數與雨量及溫度進行相關分析以便作為推求迴歸方程式之依據。

1、Nino3.4 指數與台灣地區雨量之相關性分析

本研究採用 1950 年 1 月到 1998 年 12 月之 Nino3.4 指數與同時期台北、台中、高雄、花蓮等四站之月雨量進行相關性分析。此期間共 588 個月，其中聖嬰期有 192 個月，佔 32.65%；反聖嬰期有 133 個月，佔 22.62%，其餘的 263 個月為正常期，佔 44.73%（如表 1 所示）本研究另將 Nino3.4 指數之距平值大於 1.5 者定義強烈聖嬰現象(El Nino)，若 Nino3.4 指數之距平值小於-1.5 者定義為強烈反聖嬰現象 (La Nina)。自西元 1950 年 1 月到西元 1998 年 12 月，強烈聖嬰現象共有 42 次；強烈反聖嬰現象僅有 14 次（如表 2 所示）。茲將分析過程及結果分述如下。

（1）逐月相關分析

本研究首先將每月之 Nino3.4 指數之值與四個站當月以及延遲一個月及兩個月之雨量進行線性相關分析，其結果列如表 3 所示，茲將結果分述如下：（1）當月之相關係數均偏低，延遲一至二個月的相關係數較高；（2）相關係數以西半部較高。

（2）強烈聖嬰-南方振盪現象與雨量之相關分析

本研究將表 2 所列出月份之 Nino3.4 指數與對應月份之雨量或延遲一、二月的雨量進行相關性分析，其結果列如表 4 所示，茲將結果分述如下：（1）相關係數較逐月之相關性高；（2）相關係數以北、中半部較高；（3）聖嬰之相關性以延遲一個月最高，而反聖嬰則以當月最高。

2、Nino3.4 指數與台灣地區溫度之相關性分析

（1）逐月相關分析：

本研究將 1950 年 1 月到 1998 年 12 月之當月 Nino3.4 指數與台北、台中、高雄、花蓮等四站之當月溫度以及延遲一個月與兩個月之溫度進行相關性分析，結果列如表 5 所示，茲將結果分述如下：（1）Nino3.4 指數與溫度及雨量之相關性於延遲時間性之趨勢相當接近，皆為當月之相關性不高，而延遲一個月之相關性較高，延遲二個月之相關性最高；（2）各站溫度與 Nino3.4 指數之相關係數均明顯比雨量高；（3）Nino3.4 指數與台灣地區溫度之相關性不因地區的不同而有明顯差異。

（2）強烈聖嬰-南方振盪現象與溫度之相關分析

本研究將表 3 所列強烈聖嬰-南方振盪現象月份之 Nino3.4 指數與對應月份之溫度以及延遲一個月與二個月之溫度進行相關性分析，結果列如表 6 所示。茲將結果分述如下：

(1) 聖嬰及反聖嬰情形下 Nino3.4 指數與溫度及雨量之相關性均是以延遲二個月最高；

(2) Nino3.4 指數與台灣地區溫度之相關性不因地區的不同而有明顯差異。

三、研究方法之流程

本研究計畫所發展研究方法之流程可表如圖 1 所示，流程中包括工作步驟、各步驟所使用之模式以及利用現地資料進行各模式之建立等。工作步驟包括合成 Nino3.4 指數，模擬雨量及溫度，模擬流量，估算最佳配水條件下之缺水量，估算缺水指數以及分析供水系統之可靠度，茲將各步驟及其所使用之模式分別說明如后。

1、合成 Nino3.4 指數

本研究在對 1950-1998 年之 Nino3.4 指數進行分析後，發現其滿足定常性(stationary)之假設，另外，在進行卡方檢定後，發現在 95%之信心區間下該指數呈現常態分佈。為使模擬之序列能保留歷史資料之平均性(mean)、變異性(variance)以及相依性(dependence)，本研究乃應用 Thomas-Fiering 模式(簡稱 T-F 模式)合成多組 Nino3.4 指數。T-F 模式(Loucks 等, 1981)可表示如下式：

$$X_{i+1} = \bar{X}_{j+1} + b_j(X_i - \bar{X}_j) + t_i s_{j+1} (1 - r_j^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$b_j = r_j \frac{s_{j+1}}{s_j} \quad (2)$$

其中，

X_{i+1}, X_i ：合成序列中第 $i+1$ 及第 i 月之產生數值；

$\bar{X}_{j+1}, \bar{X}_j$ ：歷史資料序列中第 $j+1$ 及第 j 月之平均值；

b_j ：第 j 月與第 $j+1$ 月數值之最小平方迴歸係數；

t_j ：平均值為 0，標準差為 1 之常態分佈，(即 $N[0,1]$)，所產生之亂數；

s_{j+1}, s_j ：歷史資料序列中第 $j+1$ 及第 j 月序列之標準差；

r_j ：歷史資料序列中第 j 及第 $j+1$ 月間之相關係數。

2、模擬雨量及溫度.

本研究在模擬溫度及雨量前，先估算 Nino3.4 指數與溫度及 Nino3.4 指數與降雨量之相關係數，再分別建立 Nino3.4 指數與溫度以及 Nino3.4 指數與雨量間之迴歸方程式，式中之自變數為 Nino3.4 指數；應變數為溫度或雨量值。本研究同時考慮延遲性以及強烈聖嬰-南方震盪現象兩種情況以求得迴歸方程式。

本研究首先針對欲模擬氣象站之全部歷史資料、一般聖嬰現象、一般反聖嬰現象、強烈聖嬰現象（距平值大於 1.5）以及強烈反聖嬰現象（距平值小於 -1.5）等五種情況進行 Nino3.4 指數與當月及延遲數月之溫度及雨量間之相關性分析，並求得溫度與 Nino3.4 指數及雨量與 Nino3.4 指數間之當月及延遲數月之相關係數，在找出具最高相關係數之延遲月數後，分別求得溫度及雨量對 Nino3.4 之迴歸方程式。本研究再由上述五種情況所求得之相關係數中，選取最高者所對應之迴歸方程式代表該時段之迴歸方程式以計算雨量與溫度。

3、模擬流量

本研究應用美國 Country Study Program 所發展之水平衡概念模式 WatBal (Water Balance Model) 來估算流量。WatBal 模式所考慮水平衡關係如下：有效降雨降 (effective precipitation) 至地面後，一部份成為直接逕流 (direct runoff) 流入河川；而另一部份則入滲至土壤中。入滲至土壤中之水可轉變成地表逕流 (surface runoff)、伏流 (sub-surface runoff) 以及基流 (base flow) 而排至河川，因此，河川流量為直接逕流、地表逕流、伏流以及基流之總和，其中，基流必須由分析歷史資料決定外，其他各項可表示如下：

$$R_d = \beta P_{eff} \quad (3)$$

$$R_s = \begin{cases} z^e (P_{eff} - R_b) & \text{if } P_{eff} > R_b \\ 0 & \text{if } P_{eff} \leq R_b \end{cases} \quad (4)$$

$$R_{ss} = \alpha z^y \quad (5)$$

其中，

R_d ：直接逕流；

P_{eff} ：有效降雨；

R_b : 基流 ;

R_s : 地表逕流 ;

R_{ss} : 伏流 ;

z : 土壤相對含水量 (relative storage) , 其值介於 0 與 1 之間 ;

$\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$: 參數。

WatBal 模式亦考慮蒸發散 (evapotranspiration) 之模擬, 其蒸發散量可利用下式計算之 :

$$E_v = PET \times z' \quad (6)$$

其中 ,

E_v : 蒸發散量 ;

PET : 潛能蒸發散量 (potential evapotranspiration) ;

z' : 土壤潮濕狀態 (soil moisture state) 。

WatBal 模式中含水層土壤水份之平衡可描述如下式所示 :

$$S_{\max} \frac{dz}{dt} = P_{\text{eff}} (1 - \beta) - R_s - R_{ss} - E_v - R_b \quad (7)$$

其中 ,

$S_{\max}$: 集水區土壤最大含水量。

由於 WatBal 模式具有自動尋求最佳參數之能力, 在模式參數經過檢定與驗證後, 可應用於模擬不同氣候情境下之河川流量。

4、估算最佳配水條件下之缺水量

本研究採用 Hsu 和 Cheng (2000) 所提出內植通用性網路模式 (EMNET) 為最佳配水模式, 用以規劃區域性水資源系統之供需情形。網流優選模式的構成則是包含了節點 (node) 和箭線 (arc) 兩種元件。依據其實際位置及上下游關係, 將各個節點和箭線相互加以連結建立研究區域中之網路架構。

Hsu 和 Cheng (2000) 所提最佳配水模式之目標函數可表示如下式：

$$\text{Minimize } \sum_{y=1}^n \sum_{t=36 \times (y-1)+1}^{36 \times y} \left\{ \sum_{i \in A_S} C_S X_{i,t} + \sum_{i \in A_P} C_P X_{i,t} + \sum_{i \in A_F} C_F X_{i,t} \right\} \quad (8)$$

模式中之限制式則可表示如下：

$$(1 - e_{i,t-1}) \sum_{i \in A_S} X_{i,t-1} - \sum_{i \in A_S} X_{i,t} + \sum_{h_{i,t}=j} X_{i,t} - \sum_{f_{i,t}=j} X_{i,t} = 0 \quad j \in N_S \quad (9)$$

$$\sum_{h_{i,t}=j} X_{i,t} - \sum_{f_{i,t}=j} X_{i,t} = -IN_{j,t} \quad j \in N_I \quad (10)$$

$$\sum_{h_{i,t}=j} X_{i,t} - \sum_{f_{i,t}=j} X_{i,t} = 0 \quad j \in N_G \quad (11)$$

$$0 \leq X_{i,t} \leq \Delta V_{i,t} \quad i \in A_S \quad (12)$$

$$0 \leq X_{i,t} \leq \Delta D_{j,t} \quad h_{i,t} = j \quad j \in N_P \quad (13)$$

$$0 \leq X_{i,t} \leq \Delta D_{j,t} \quad h_{i,t} = j \quad j \in N_F \quad (14)$$

$$0 \leq X_{i,t} \leq U_{i,t} \quad f_{i,t} = j \quad j \in N_D \quad (15)$$

$$t \in (36 \times (y-1) + 1) \sim (36 \times y)$$

上式中各符號所代表的意義定義如下：

t ：時段標號(Time step index)；

$e_{i,t-1}$ ：蒸發水量比例；

$X_{i,t}$ ：箭線 i 在時間 t 之決策變數；

C_S ： $X_{S,t}$ 之單位成本；

C_P ： $X_{P,t}$ 之單位成本；

C_F ： $X_{F,t}$ 之單位成本；

$IN_{j,t}$ ： j 節點在時間 t 之外部入流量；

$\Delta V_{i,t}$ ：水庫箭線 i 在時間 t 之上限；

$\Delta D_{j,t}$ ：公共用水或灌區用水箭線 i 在節點 $h_i=j$ 時之上限；

$U_{i,t}$ ：取水箭線 i 在時間 t 之上限；

f_i ：箭線終止節點 i ；

g_i ：箭線起始節點 i ；
 h_i ：水庫分區箭線 i ；
 AS ：水庫分區箭線組；
 AP ：公共用水箭線組；
 AF ：灌區用水箭線組；
 NS ：水庫節點組；
 NI ：入流節點組；
 NG ：一般節點組；
 NP ：公共用水節點組；
 NF ：灌區用水節點組；以及
 ND ：取水口節點組。

該模式於建立網路系統架構時，乃同時考慮時間與空間之關係。模式之輸入資料包括上游河川入流量、公共需水量、灌區需水量、蒸發量以及各箭線之單位成本值等，輸出資料則為最佳配水下各箭線之流量值。

5、 估算缺水指數

本研究應用前節所述最佳配水模式進行分析後可得區域供水量，依此供水量及需水量資料即可估算缺水指數以評估缺水情形。Hsu 和 Cheng (2000) 建議採用修正缺水指數 (MSI)，並描述如下：

$$MSI = \frac{100}{n'} \sum_{t=1}^{n'} \left(\frac{TS_t}{TD_t} \right)^2 \quad (16)$$

其中，

MSI ：修正缺水指數；
 TS_t ：第 t 旬之缺水量；
 TD_t ：第 t 旬之需水量；
 n' ：分析旬數。

6、 分析供水系統之可靠度

本研究將所估算之 *MSI* 值繪製可靠度曲線 (reliability curve) 以評估滿足各種需水情形下供水系統之可靠度，茲將過程分述如下：

- (1) 將所估算多組之 *MSI* 值依大小順序排列；
- (2) 以威伯法 (Weibull's method) 計算累積機率；
- (3) 以累積機率為橫座標，*MSI* 值為縱座標繪於機率紙上；
- (4) 去除不缺水之情形後繪製 *MSI* 值之可靠度曲線。

四、研究方法之應用

由前面分析結果可知聖嬰-南方振盪現象對台灣地區水資源的影響以西半部較為顯著，且以中部及北部之趨勢較為接近，影響亦較大，而此兩區中，又以北部地區之資料較為完整，且前人研究亦較為完備，故本研究乃選取台灣北部淡水河流域之新店溪及大漢流域為研究區域（如圖 2 所示）。

1. 研究區域概述

(1) 新店溪流域

新店溪發源於棲蘭山，於江子翠匯入淡水河，全長 82 公里，流域面積 916 平方公里。主要支流為北勢溪、南勢溪及景美溪，因其水質清澈，故為台北地區重要自來水源。北勢溪長 50 公里，流域面積 310 平方公里，河床平均坡降 1/110，南勢溪長 45 公里，流域面積 332 平方公里，平均坡降 1/38，坡陡流急，適於水力發電之開發，目前已設置烏來、桂山以及粗坑電廠。景美溪長 25 公里，流域面積 120 平方公里，流域沿岸均已開發為良田社區，但其流量小，水質已受污染，不利水源的開發，台北市政府已於其上游翡翠谷興建翡翠水庫一座，供應大台北地區之公共用水，其溢洪道設計排洪量為 5,850 立方公尺/秒 (*cms*)，排洪隧道設計排洪量為 1,500 *cms*，沖刷道設計排洪量為 2,520 *cms*。

(2) 大漢溪流域

大漢溪發源於品田山，於江子翠匯新店溪而為淡水河，全長 126 公里，流域面積 1163 平方公里。其上游泰崗溪與白石溪在秀巒匯合後稱玉峰溪，經玉峰、三光，納三光溪後始稱大漢溪，流經石門後，河寬逐漸寬廣，流路分歧，於鳶山上游納烏塗窟溪，於沛舍埔納三峽河與橫溪而進入台北盆地。其中三峽河發源於塔開山，在沛舍埔附近入大漢溪，主要長 23 公里，流域面積 137 平方公里。烏塗窟溪及橫溪兩支流，前者長 7.5 公里，

流域面積 30.1 平方公里，後者長 11.3 公里，流域面積 153.4 平方公里。位於上游的石門水庫，主要目標為供應桃園台地及石門水庫下游地區之灌溉用水、水力發電、防洪及桃園台地及板新水廠之公共給水。其溢洪道設計排洪量為 10,000 *cms*，排洪隧道設計排洪量為 2,400 *cms*，永久河道放水口最大放水量為 34 *cms*。

(3) 其他重要水工設施

研究區域內之其他重要水工設施包括直潭壩、青潭堰以及鳶山堰。直潭壩位於新店溪中游，南、北勢溪合流口下游約 4 公里處，壩體為一閘門控制浮式混凝土低壩，蓄水容量為 420 萬立方公尺。直潭取水口位於直潭壩右岸上游 260 公尺處，為一混凝土箱型結構，直接取水供應直潭淨水場，其設計輸水容量為 270 萬立方公尺/日 (*cmd*)，約為 31.25 *cms*。

青潭堰位於新店溪中游，距台電公司小粗坑電廠下游約 800 公尺處，為一浮式混凝土堰，並分成閘門及溢流段兩部份，形成為 7 萬立方公尺蓄水容量之調節池。青潭取水口位於直潭壩右堰座上游 40 公尺處，為一混凝土箱型結構，直接取水供應長興淨水場之所需，餘水由長興淨水場前之一分水井送至公館淨水場，其設計輸水容量為 108.5 萬 *cmd* (12.56 *cms*)。

鳶山堰建於大漢溪三鶯大橋上游約兩公里處，係為配合板新淨水場自大漢溪抽取原水而興建，並用以調蓄石門水庫下游河道來控制流量。堰全寬約 300 公尺，堰體為臥箕形構造並設有矩形閘門 21 座，堰頂高 46 公尺，滿水位高 51.5 公尺，蓄水容量 126 萬立方公尺。鳶山堰體南端設重力導水箱涵，直接取水供應板新淨水場，其設計輸水容量為 100 萬 *cmd* (11.57 *cms*)。

(4) 水資源利用情形

本區域中之公共用水包括台北、板新及石門三個地區，翡翠水庫主要提供大台北地區之用水，而石門水庫則供給板新及石門地區的用水。農業用水主要有石門、桃園及大漢溪流域一帶，全部由石門水庫供應。本區域之灌溉水源分屬石門、桃園、疏公及七星等農田水利會，其中以石門及桃園兩水利會的灌區為最多。近來因本流域下游工商業發達，導致灌溉面積逐年遞減，水利會業務日漸式微，本研究乃假設灌溉用水量不會成長。

在兩流域交互支援方面，目前新店溪系統提供 15 萬 *cmd* 之公共用水給大漢溪系統之板新地區，而在西元 2008 年將改由三峽堰及直潭引水工程代替。三峽堰預計在西元 2001 年完工，屆時將提供 50 萬 *cmd* 之水量，而直潭引水工程則於西元 2008 年完工，完工後可提供 100 萬 *cmd* 之水量。

2. 各模式之檢定與驗證

本研究方法實際應用於研究區域之前，需對各模式進行檢定與驗證以求得各模式之參數。各模式之建立流程如圖 3 所示，茲說明如后。

(1) T-F 模式

本研究乃以西元 1950 年 1 月到 1998 年 12 月之 Nino3.4 指數為基本資料以估算 T-F 模式中之參數，包括各月之平均值與標準偏差以及鄰月之相關係數，茲將模式參數之檢定與合成 30 組資料之驗證結果列如表 7 所示。

(2) 迴歸方程式

本研究以台北站之資料作為模擬雨量與溫度之參考站，在估算 Nino3.4 指數與台北站雨量及溫度之相關係數後，即可考慮延遲性以及依次分全部歷史、一般聖嬰現象、一般反聖嬰現象、強烈聖嬰現象、強烈反聖嬰現象等五種情況進行相關性分析，並求得迴歸方程式，然後選取相關係數較高者，代表該時段之迴歸方程式，以求得雨量與溫度，表 8 為所求得之迴歸方程式及其相對應之相關係數，其中自變數 x 為 Nino3.4 指數，預測值 y 分別為台北站之雨量及溫度。

(3) 水平衡模式

本研究以 1971-1985 共 15 年之歷史流量進行參 WatBal 模式中參數之檢定，而 1986-1993 共 8 年之歷史流量進行模式之驗證，由於研究區域內有七個上游入流點，故需進行七組模式之參數檢定與驗證。模式參數之檢定與驗證結果列如表 9 所示。

(4) 最佳配水模式

本研究採用 Hsu 和 Cheng (2000) 所提之新店溪及大漢溪流域之網路結構（如圖 4 所示），其網路結構由 40 個節點與 68 個箭線所組成。本研究即依此網路結構系統進行最佳配水分析。

鄭克偉（1999）已經將本模式與 RIBASIM 模式之模擬結果進行驗證以選取適用之成本係數，故本研究乃直接採用其驗證結果。

3. 應用結果與討論

本研究將研究方法應用於研究區域，期望能在聖嬰-南方振盪現象之氣候情境下進行研究區域之水資源供需分析，並評估其區域性供水系統之可靠度。茲將分析過程與結果分述如下。

(1) 合成 Nino3.4 指數

本研究應用 T-F 模式合成 30 組 23 年之 Nino3.4 指數以進行後續分析。合成組數之選取乃根據統計學對大樣本之定義而選取 30 組，而年數之選取則根據歷史資料之長度而取 23 年。

(2) 模擬雨量及溫度

本研究根據前面所建立之迴歸方程式，將所合成 30 組 23 年之 Nino3.4 指數輸入迴歸方程式分別合成 30 組 23 年之溫度及雨量。

(3) 模擬流量

本研究利用已經過檢定及驗證之 WatBal 模式來估算流量。將七個入流量之模式參數及 30 組 23 年之雨量與溫度輸入模式後，即可模擬出研究區域七個入流量各 30 組 23 年之河川流量值。

(4) 估算最佳配水條件下之缺水量

本研究應用前述所建立之最佳配水模式，針對現況之需水量及水工設施，並考慮新店溪流域每天支援大漢溪流域 15 萬 *cmd* 水量之情形下對研究區域內包括新店溪流域內之台北用水區，以及大漢溪流域內之板新石門用水區、桃園灌區、石門灌區、大漢上游灌區、大漢下游灌區等共六區需水情形進行最佳調配。在輸入 30 組之河川流量值後，即可求得 30 組各需水點之供水量。

(5) 估算缺水指數

本研究利用所得之 30 組各需水點之供水量及需水量分別估算研究區域內包括新店溪流域與大漢溪流域以及研究區域等之修正缺水指數 *MSI* 值，並將結果列如表 10 所示。由表 10 可知新店溪流域在 30 組模擬方案中均呈現未缺水之情形。

(6) 分析供水系統之可靠度

本研究根據所求得之 *MSI* 值，針對大漢溪流域及全區之缺水指數繪製可靠度曲線以進行可靠度分析，藉以評估在目標年之水利設施及需水情形下，滿足各標的用水需水量之可靠度，圖 5 及圖 6 分別為大漢溪流域及研究區域供水系統之可靠度曲線。由圖 5 可知大漢溪流域在現況之水利設施及需水情況下，滿足 *MSI* 值等於 1.0 之可靠度為 100%；滿足 *MSI* 值等於 0.5 之可靠度為 78.47%；滿足 *MSI* 值等於 0.1 之可靠度為 50.35%。由圖 6 可知研究區域在現況之水利設施及需水情形情況下，滿足 *MSI* 值等於 1.0 之可靠度為 100%；滿足 *MSI* 值等於 0.3 之可靠度為 93.44%；滿足 *MSI* 值等於 0.1 之可靠度為 66.35%。由分析結果可知若新店溪之水量可全力支援大漢溪流域之用水，則在 *MSI* 值等於 1.0 條件下，全區之供水可靠度可達 100%。

五、結論

本研究除了進行聖嬰-南方振盪現象對台灣地區雨量與溫度之相關性分析外，亦建立了一套研究方法，以評估發生聖嬰-南方振盪現象時，區域性供水系統之可靠度，並將此研究方法應用於淡水河流域以彰顯本方法之實用性。

本研究所發展之方法經應用後可獲致下列結論：（1）Nino3.4 指數與溫度及其與雨量之相關性之趨勢相當接近，皆為當月之相關性不高，而延遲一個月之相關性較高，延遲二個月之相關性最高；（2）本研究發現聖嬰-南方振盪現象對台灣北、中兩區域的降雨量影響較為明顯，對全省溫度影響較不受地域性之差別；（3）以現況之水利設施及需水情形而言，大漢溪流域之缺水情形較新店溪流域嚴重；（4）以現況之水利設施及需水情形而言，大漢溪流域滿足 *MSI* 值等於 0.1 之可靠度為 50.35%；滿足 *MSI* 值等於 0.5 之可靠度為 78.47%；滿足 *MSI* 值等於 1.0 之可靠度為 95.58%。而新店溪流域則呈現不缺水之情形；（5）以現況之水利設施及需水情形而言，全區滿足 *MSI* 值等於 0.1 之可靠度為 66.35%；滿足 *MSI* 值等於 0.3 之可靠度為 93.44%；滿足 *MSI* 值等於 1.0 之可靠度為 100%。

本研究建議未來應朝以下列研究方向進行進一步之研究：（1）建議將來在各種可能之預報條件下，進行短期之即時調配包括休耕、輪作等因應措施以收未雨綢繆之效；（2）建議將來在需水量增加或欲提高可靠度條件下，可利用本模式決定新的水利設施之開發時程以滿足需求；（3）建議未來應考慮長期氣候變遷之條件以進行供水系統之可靠度分析。

六、參考文獻

1. 柳中明、王維強、吳明進，『台灣地區未來氣候變遷之評估』，台灣地區氣候變遷因素及影響研討會論文集，民國八十三年。
2. 郭振泰，『台灣水資源的永續發展』，台灣教授學會主辦，水資源研討會論文集，民國八十三年。
3. 許晃雄，『從氣象觀點看台灣水資源』，台灣教授學會主辦，水資源研討會論文集，民國八十三年。
4. 徐享崑、虞國興、鄭昌奇、童慶斌，『台灣水資源對氣候變遷之因應與適應策略』，氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集，民國八十五年。
5. 經濟部水資源局，巨廷工程顧問股份有限公司，『臺灣地區北部區域水資源綜合發展計劃(I)』，民國八十七年。
6. 經濟部水資源局，『台灣地區水資源供需情勢分析(三)』，民國八十七年。
7. 中央氣象局氣象科技中心，『百年(1897-1996)侵台颱風路徑圖集及其應用』，專題研究報告，民國八十七年。
8. 童慶斌，『氣候變遷與環境生態』，授課講義，民國八十八年。
9. 童慶斌、連宛渝、周哲正，『氣候變遷對作物需水量之影響』，第十屆水利工程研討會，民國八十八年。
10. 童慶斌、洪念民、陳主惠，『氣候變遷對水資源影響評估與適應策略研擬』，環境變遷趨勢對我國之衝擊與適應策略評估研討會論文集，民國八十八年。
11. 鄭克偉，『流域性水資源系統運用規劃優選模式之建立與應用』，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，民國八十八年。
12. 蔡宏麟，『聖嬰網頁，<http://stdank.as.ntu.edu.tw/~hsutsai/>』，民國八十八年。
13. 蘇世穎，『台大大氣系網頁，[http://www.as.ntu.edu.tw//weather/ weather.htm](http://www.as.ntu.edu.tw//weather/weather.htm)』，民國八十八年。
14. 蕭政宗，『聖嬰現象與台灣地區降雨量之相關分析』，中國農業工程學報，第43卷，第3期，民國八十九年。
15. Chen, Dake, Stephen E. Zebiak, Antonio J. Busalacchi, and Mark A. Cane, "An Improved Procedure for El Nino Forecasting: Implication for Predictability," *Science*, 269, pp1699-1702, 1995.
16. Chiew, F.H.S., T.C. Piechota, John. A. Dracup, and T.A. McMathon, "El Nino/Southern Oscillation and Australian Rainfall, Streamflow and Drought: Links and Potential for Forecasting," *Journal of Hydrology*, 204, pp138-149, 1998.
17. Eltahir, Elfatih A.B, "El Nino and Natural Variability in the Flow of the Nile River," *Water Resources Research*, 32(1), pp131-137, 1996.
18. Golubtsov, V.V., V.I. Lee, and I.I. Scotselyas, "Vulnerability Assessment of the Water Resources of Kazakhstan to Anthropogenic Climate Change and Structure of Adaptation Measures," *Water Resources Development*, 12(2), pp193-208, 1996.

19. Hsu, N. S., and K. W. Cheng, "Development of an Optimization Model for Basin-Wide Water Resources Planning." accepted by *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 2000.
20. Kothiyari, U.C., V.P. Singh, and V. Aravamuthan, "An Investigation of Changes in Rainfall and Temperature Regimes of the Ganga Basin in India," *Water Resources Management*, 11, pp17-34, 1997.
21. Loucks D.P., J.R. Stedinger, and A.H. Douglas, *Water Resource System Planning and Analysis*, Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
22. Piechota, Thomas C., and John A. Dracup, "Drought and Regional Hydrologic Variation in the United States: Associations with the El Nino Southern," *Water Resources Research*, 32(5), pp1359-1373, 1996.
23. Quinn, W. H., V. T. Neil, and S. A. Mayolo, "El Nino Occurrences over the Past Four and a Half Centuries," *Journal of Geography Reserch*, 92, pp14449-14461, 1987.
24. Reynolds, Richard W., and Thomas M. Smith, "A High-Resolution Global Sea Surface Temperature Climatology," *Journal of Climate*, 8, pp1571-1583, 1995.
25. Trenberth, K. E., "The Definition of El Nino," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), pp.2771-2777, 1997.
26. Tung, Ching-Ping, and Douglas A. Haith, "Global-Warming Effect on New York Streaming," *Journal Water Resources Planning and Management*, 121(2), pp216-225, 1995.
27. Tung, Ching-Ping, and Douglas A. Haith, "Climate Change, irrigation, and Crop Response," *Journal of American Water Resources Association*, 34(5), pp1071-1085, 1998.

表 1 以 Nino3.4 指數定義之 El Nino 與 La Nina 之月份

El Nino		
開始	結束	時間長度(月)
51-11	52-2	7
53-3	53-11	9
57-4	58-6	15
63-6	64-2	9
65-5	66-6	14
68-9	70-5	19
72-4	73-5	12
76-8	77-5	8
77-7	78-1	7
79-10	80-4	7
82-4	83-7	16
86-8	88-2	19
91-3	92-7	17
93-2	93-9	8
94-6	95-3	10
97-4	98-6	15
總計		192
La Nina		
開始	結束	時間長度 (月)
50-3	51-2	12
54-6	56-3	22
56-5	56-11	7
64-5	65-1	9
70-7	72-1	19
73-6	74-6	13
74-9	76-4	20
84-9	85-6	10
88-5	89-6	14
95-9	96-5	7
總計		133

表 2 以 Nino 3.4 指數定義之強烈 El Nino 與 La Nina 之月份

強烈El Nino		
開始	結束	時間長度(月)
57-11	58-2	4
65-9	65-12	4
72-10	73-1	4
82-9	83-3	7
87-12	87-12	1
87-6	77-11	6
91-11	92-4	6
97-6	98-3	10
總計		42
強烈La Nina		
開始	結束	時間長度(月)
50-2	50-2	1
55-10	55-11	2
70-12	70-12	1
73-11	74-1	3
75-12	76-1	2
88-10	89-1	4
98-12	98-12	1
總計		14

表 3 西元 1950-1998 年 Nino3.4 指數與當月或延遲數月降雨量之相關係數

	降雨量之月份		
	當月	延遲一月	延遲二月
台北	0.148	0.224	0.264
台中	0.208	0.291	0.306
高雄	0.113	0.251	0.323
花蓮	-0.079	-0.005	0.047

表 4 強烈聖嬰-南方振盪現象時期之 Nino3.4 指數與台灣地區各站當月或延遲數月降雨量之相關係數

台北		強烈 El Nino	強烈 La Nina
降雨量 之月份	當月	0.314	0.533
	延遲1月	0.429	0.302
	延遲2月	0.391	-0.035
台中		強烈 El Nino	強烈 La Nina
降雨量 之月份	當月	0.464	0.583
	延遲1月	0.539	0.403
	延遲2月	0.479	0.132
高雄		強烈 El Nino	強烈 La Nina
降雨量 之月份	當月	0.297	-0.016
	延遲1月	0.347	-0.182
	延遲2月	0.356	-0.171
花蓮		強烈 El Nino	強烈 La Nina
降雨量 之月份	當月	-0.016	0.002
	延遲1月	0.197	0.116
	延遲2月	0.096	-0.018

表 5 西元 1950-1998 年間 Nino3.4 指數與當月或延遲數月溫度之相關係數

	溫度之月份		
	當月	延遲一月	延遲二月
台北	0.147	0.331	0.430
台中	0.182	0.347	0.425
高雄	0.222	0.372	0.433
花蓮	0.162	0.344	0.442

表 6 強烈聖嬰-南方振盪現象時期 Nino3.4 指數與台灣地區各站當月或延遲數月溫度之相關係數

台北		強烈 El Nino	強烈 La Nina
溫度 之月份	當月	-0.027	-0.084
	延遲1月	0.149	0.059
	延遲2月	0.315	0.414
台中		強烈 El Nino	強烈 La Nina
溫度 之月份	當月	0.011	0.063
	延遲1月	0.181	0.299
	延遲2月	0.309	0.305
高雄		強烈 El Nino	強烈 La Nina
溫度 之月份	當月	0.044	0.054
	延遲1月	0.218	0.181
	延遲2月	0.334	0.475
花蓮		強烈 El Nino	強烈 La Nina
溫度 之月份	當月	0.011	0.106
	延遲1月	0.172	0.192
	延遲2月	0.319	0.506

表 7 T-F 模式之參數檢定與驗證結果

月份	平均值		標準差		延遲一個月之 相關係數
	歷史資料	合成資料	歷史資料	合成資料	歷史資料
一月	26.52	26.57	1.27	1.28	0.97
二月	26.71	26.66	1.05	1.19	0.97
三月	27.2	26.82	0.83	1.03	0.90
四月	27.66	26.83	0.71	0.92	0.91
五月	27.76	27.34	0.74	0.96	0.90
六月	27.57	26.99	0.76	1.01	0.93
七月	27.09	26.63	0.74	0.99	0.97
八月	26.69	26.50	0.81	1.06	0.94
九月	26.68	26.61	0.82	1.03	0.94
十月	26.66	26.50	1.05	1.29	0.99
十一月	26.56	26.49	1.18	1.22	0.98
十二月	26.58	26.67	1.26	1.27	0.98

表 8 Nino3.4 指數與台北站溫度與雨量之迴歸方程式

Nino3.4 指數	雨量			
	延遲情形	相關係數	迴歸方程式	R ²
全部歷史資料	延遲二月	0.26	$Y=34.833 \cdot x - 750.93$	0.06
強烈 EL Nino	延遲一月	0.43	$Y=183.01 \cdot x - 5050.2$	0.28
強烈 La Nina	當月	0.53	$Y=514.21 \cdot x^2 - 25068 \cdot x + 306006$	0.38
Nino3.4 指數	溫度			
	延遲情形	相關係數	迴歸方程式	R ²
全部歷史資料	延遲二月	0.43	$Y=1.8904 \cdot x - 28.412$	0.16
強烈 EL Nino	延遲一月	—	—	—
強烈 La Nina	當月	—	—	—

表 9 WatBal 模式之參數檢定與驗證結果

	$S_{\max}$	ε	α	相關係數	
				檢定	驗證
坪林溪	233	7.3	29	0.46	0.45
鯉魚坑溪	88.5	4.1	27.9	0.52	0.54
南勢溪	503	2.1	51.85	0.47	0.46
玉峰溪	173	5.825	52.2	0.63	0.55
三光峽	612.5	12	10.02	0.60	0.47
三河峽	210	8.9	11.875	0.45	0.42

表 10 研究區域在現況水利設施及需水條件下各組資料所估算之 MSI 值

組別	新店溪 流域	大漢溪 流域	全區	組別	新店溪 流域	大漢溪 流域	全區
1	0	0.014	0	16	0	0.211	0.035
2	0	0.015	0	17	0	0.035	0.355
3	0	0	0	18	0	0.355	0.773
4	0	0.298	0.1	19	0	0.773	0.427
5	0	0.779	0.23	20	0	0.427	0
6	0	0.014	0	21	0	0.015	0
7	0	0.416	0.14	22	0	0.307	0.1
8	0	0.009	0	23	0	0.248	0.08
9	0	0.042	0.01	24	0	0	0
10	0	0.002	0	25	0	0	0
11	0	0.018	0.006	26	0	0	0
12	0	1.118	0.363	27	0	0.023	0.01
13	0	0.670	0.215	28	0	0.148	0.05
14	0	0.11	0.036	29	0	0.931	0.3
15	0	0.652	0.21	30	0	0.211	0.035

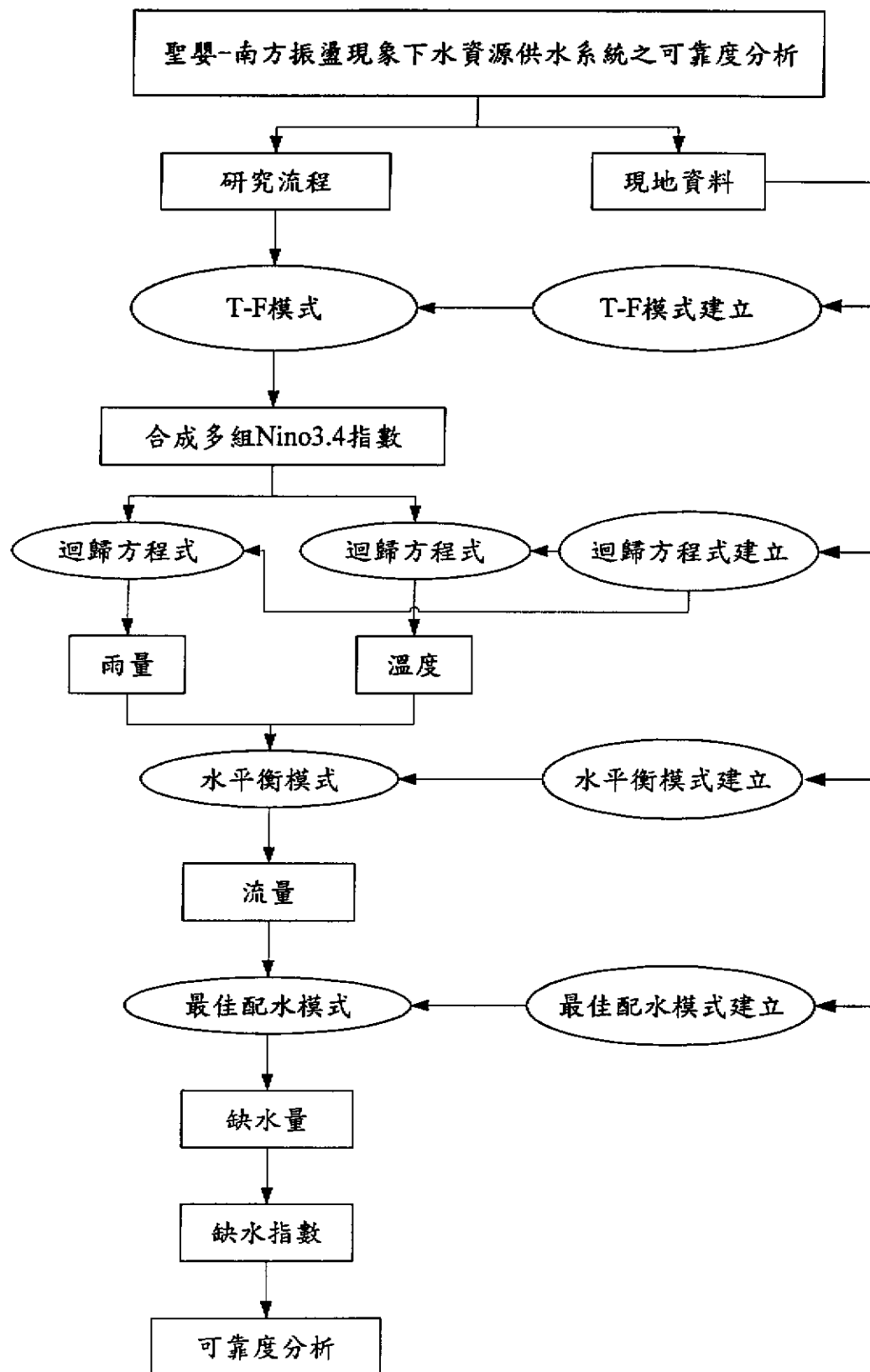


圖 1 研究方法流程圖

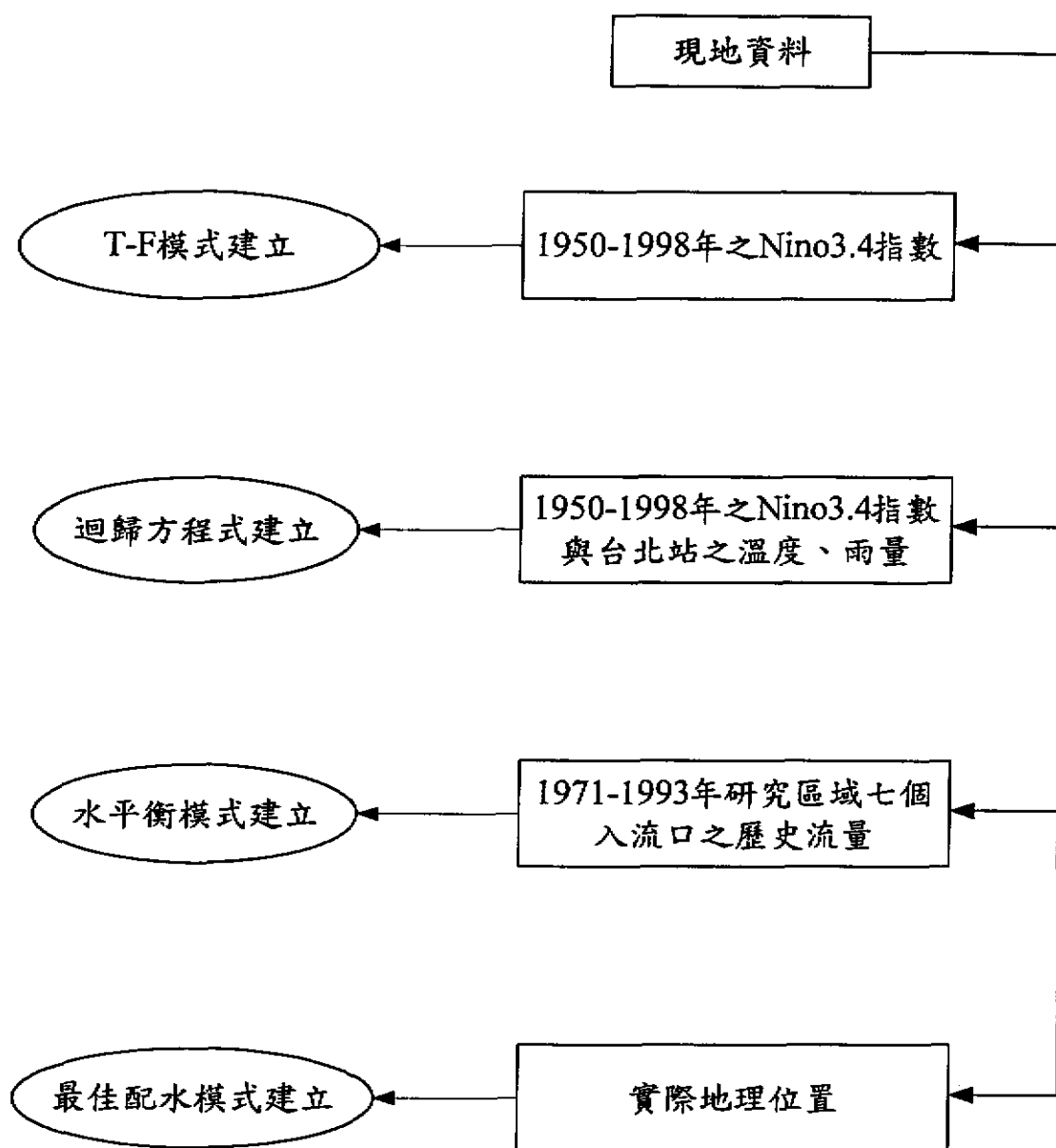


圖 3 各模式之建立流程圖

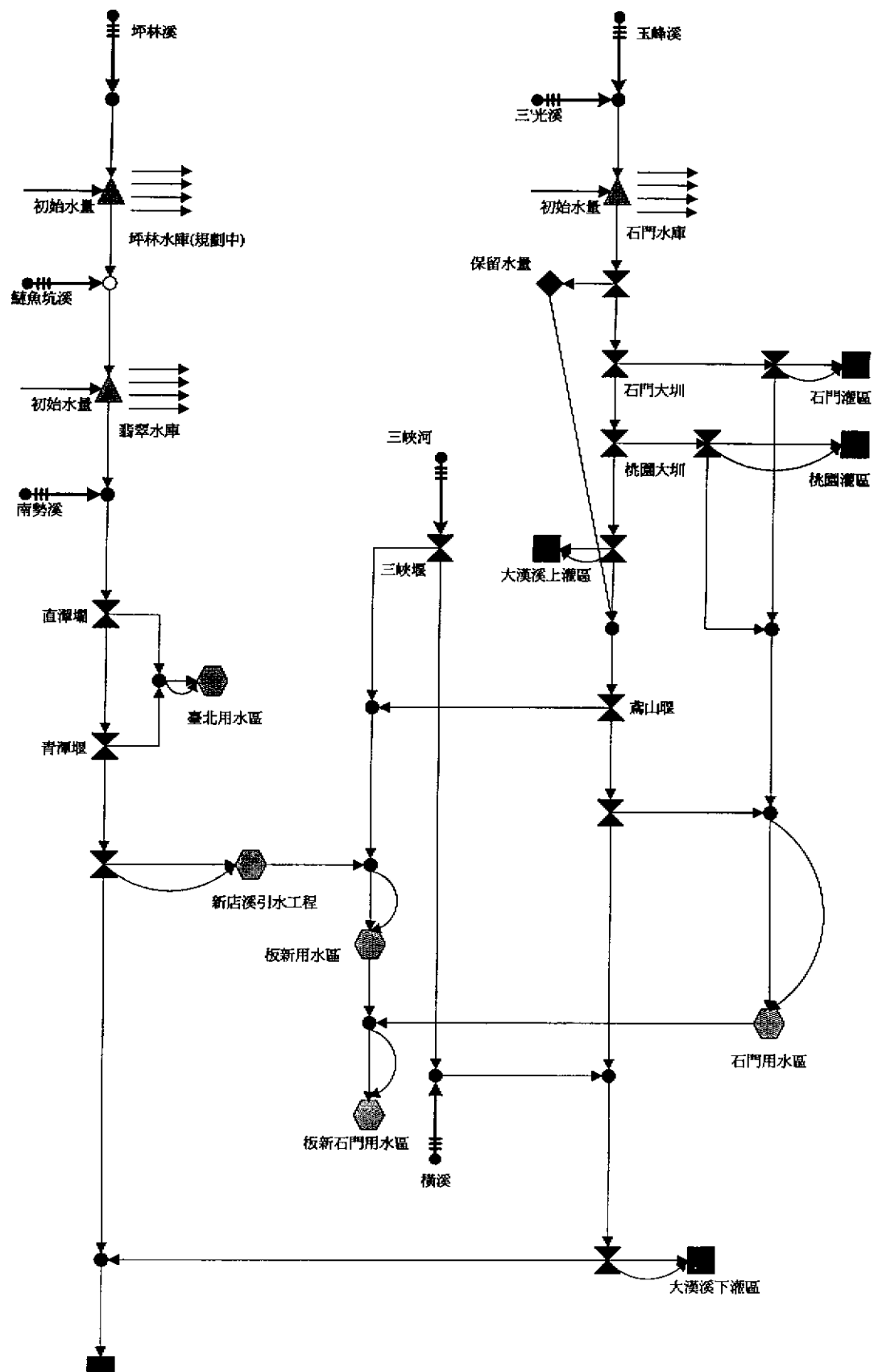


圖 4 研究區域網路架構圖

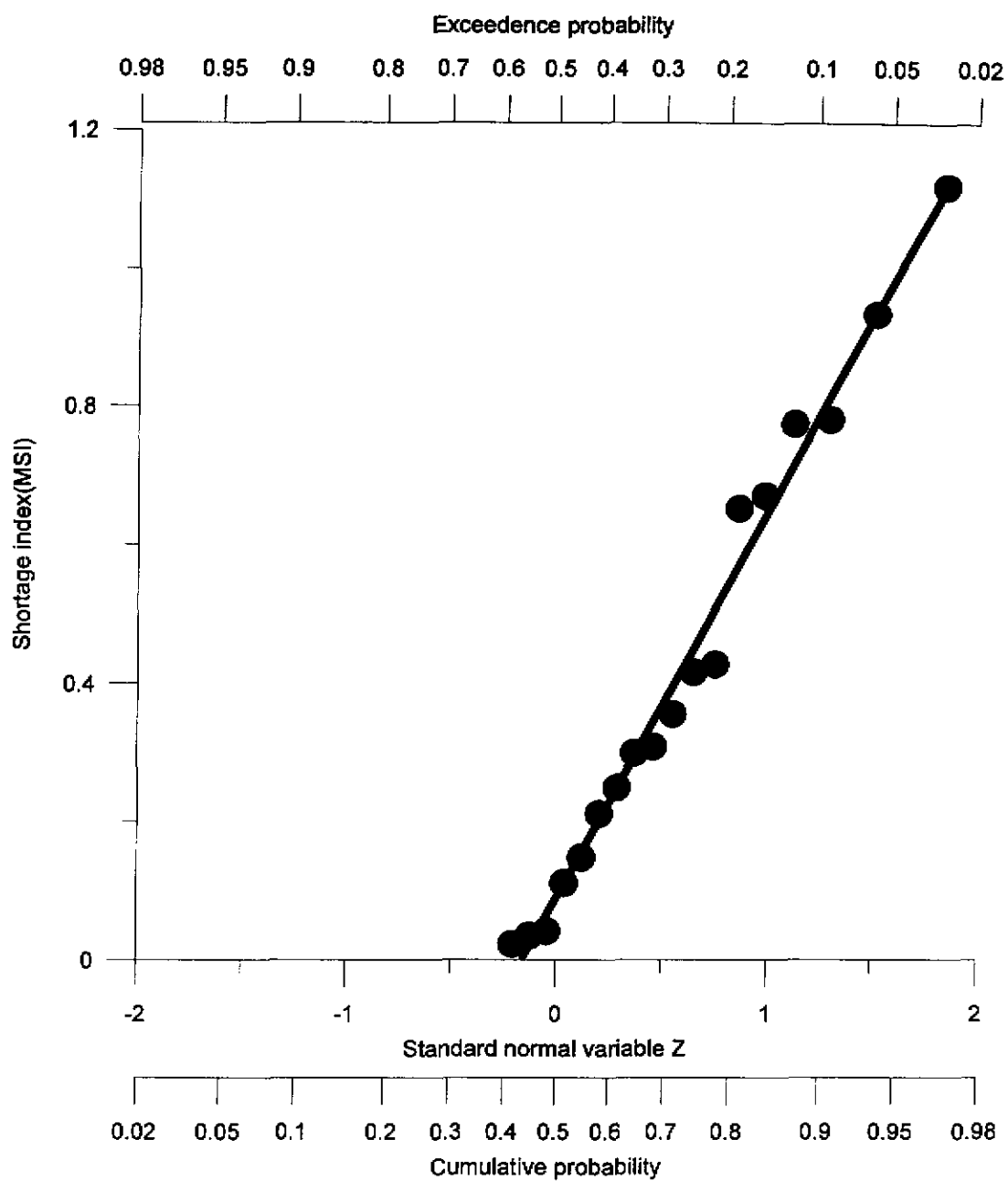


圖 5 大漢溪流域供水系統可靠度曲線

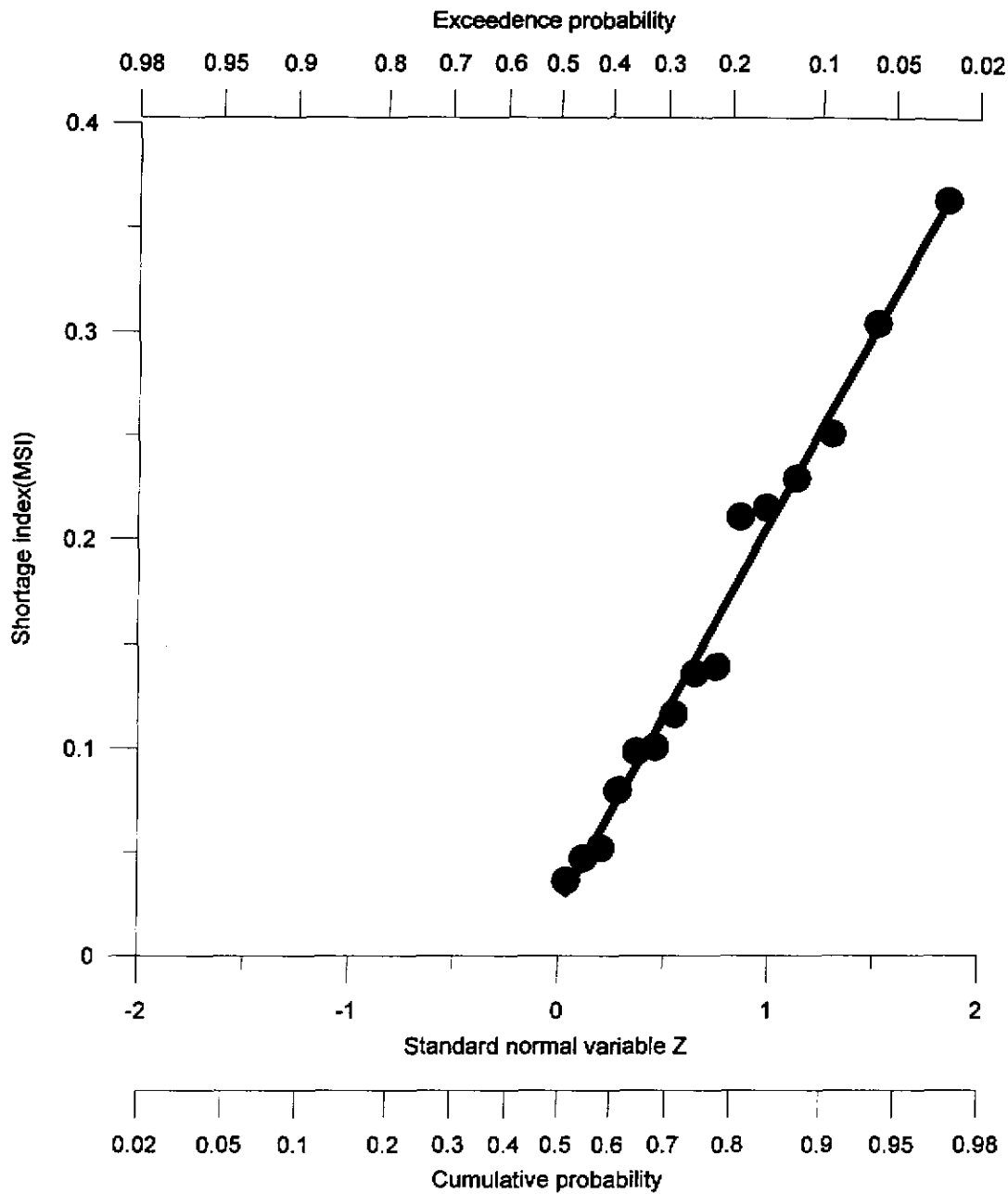


圖 6 研究區域供水系統可靠度曲線圖

70 3421
聖嬰-南方振盪現象氣候預報對臺灣水資源之潛在影響與最適規劃(I)
出國報告

計畫編號：NSC89-2621-2-002-018

計畫主持人：徐年盛（國立台灣大學土木工程學系副教授）

執行單位：台灣大土木工程系研究所

會議名稱：AGU 1999 Fall Meeting, San Francisco, California, USA

會議時間：December 13-17, 1999

會議地點：Moscone Convention Center in San Francisco

主辦單位：American Geophysical Union

心得報告：

1. 美國地球物理聯盟(AGU) 約有超過 35,000 個會員，共來自 115 個國家。會員的研究領域包括地球、大氣、海洋、水文、太空以及行星科學等。
2. 本次會議共有約 15,00 個作者提出約 5,000 篇論文，並分成口頭報告與海報張貼兩種方式進行。兩種方式又各分成十五個主題進行，包括生物地球科學(Biogeosciences)，大氣科學(Atmospheric Sciences)，水文(Hydrology)，海洋科學(Ocean Sciences)，行星科學(Planetary Sciences)，地震學(Seismology)，航空學(Aeronomy)，太陽科學(Solar and Heliospheric physics)，磁球物理(Magnetospheric Physics)，地殼構造物理(Tectonophysics)，火山學、地球化學、石油學(Volcanology, Geochemistry, and Petrology)，教育與公共政策(Education and Public Policy)，測地學(Geodesy)，地磁與古磁學(Geomagnetism and Paleomagnetism)，以及聯盟(Union)。
3. 本人之主要研究領域為水文學方面，因此對此方面之論文特別加以注意。水文學方面的論文共分為下列幾個場次進行：
 - (1) Environmental Hydrogeology Posters
 - (2) Recent Advances in Interaction of Groundwater and Surface Water I Posters
 - (3) Calibrating Regional-Scale Groundwater Models I
 - (4) Proxy Climate Records From Alpine Glaciers and Ice Caps I
 - (5) Spatially Distributed measurement Techniques and Approaches for Testing Spatially Distributed Models
 - (6) Utilizing Permeable Reactive Barriers to Remediate Ground Water Contaminated by Radionuclides and Other Inorganic Contaminants I Posters
 - (7) Interdisciplinary Assessment of the Oasis Valley Groundwater Flow System, Southern Nevada Posters
 - (8) Glaciers and Ice Sheets I Posters
 - (9) Proxy Climate Records From Alpine Glaciers and Ice Caps II Posters
 - (10) Use of Risk-Based Approaches in the Assessment and Management of

Groundwater Resources

- (11) Incorporating Thermal Data in Groundwater Flow Models
- (12) Linkages Between Vegetation, Soil, Terrain Features, and Runoff Processes

I

- (13) Recent Advances in Interaction of Groundwater and Surface Water II
- (14) Calibrating Regional-Scale Groundwater Models II Posters
- (15) Monitoring, Measuring, and Modeling Snow Process Posters
- (16) Spatially Distributed measurement Techniques and Approaches for Testing Spatially Distributed Models II Posters
- (17) Linkages Between Vegetation, Soil, Terrain Features, and Runoff Processes

II Posters

- (18) Coastal Aquifers: Analysis and Management of Seawater I Posters
- (19) Water Resources Management I
- (20) Glaciers and Ice Sheets II
- (21) Federal and International Priorities in the Hydrologic Sciences: A Town Hall meeting and discussion with Agency Representatives
- (22) Strategies for Water Supply Development and Management in Developing Countries I Posters
- (23) Gas and Vapor Diffusion Processes and Porous and Fractures Media I Posters
- (24) Land Surface Characterization and Analysis for Estimating Transport of Water, Sediment, Carbon, and Nutrients Over Large Areas Posters
- (25) Transport and Coupled Processes in the Vadose Zone I
- (26) Water Resources Management II
- (27) Utilizing Permeable Reactive Barriers to Remediate Ground Water Contaminated by Radionuclides and Other Inorganic Contaminants II
- (28) Glaciers and Ice Sheets III
- (29) Pedotransfer Functions: The End of Field Data Collection in Hydrology?
- (30) Coastal Aquifers: Analysis and Management of Seawater II
- (31) Porous Media Characterization and Flow Posters

4. 本人投稿之論文名稱為「Evaluation of Groundwater Production from Infiltration Galleries Using 3-D Simulation」獲得熱烈的討論。

H32C-11 1330h POSTER

High-resolution reflection seismic imaging of a shallow aquifer, central Sweden

Christopher Juhlin¹ (+46-18-4713392; juhlin@geology.uu.se)

Palm¹ (+46-18-4713392; hp@geology.uu.se)

Frederik Muller² (+46-18-170000; frederik.muller@geu.se)

Wallberg² (+46-18-170000; le.wallberg@geu.se)

Uppsala University, Geocentrum Villavägen 16, Uppsala 75236, Sweden

Geological Survey of Sweden, Box 470, Uppsala 75123, Sweden

A large proportion of Sweden's ground water resources are contained in glacially deposited sand/gravel. These sand/gravel deposits often lie on top of Precambrian crystalline basement and are covered by glacially deposited clay. The depth to the sand/gravel deposits varies from surface exposure to about 100 m and their thickness is generally in the order of 10-20 m, but may be thinner. Traditionally, seismic seismic methods and well penetration tests have been used to localise the sand/gravel deposits below the clay and to determine their thickness. However, when the overlying clay deposits are thick or the glacial deposits show significant 2D structure, refracting waves do not penetrate into the sand/gravel deposits or into the crystalline basement, making interpretation impossible. Reflection seismic methods are then a possible alternative for mapping the structure of the glacial deposits. Therefore, a test profile seismic profile was acquired over glacial deposits where the structure is unknown from well penetration tests. Fifty gram shots were fired in 1.5 m deep shot holes every 2 m along a 72 channel spread with a geophone spacing of 1 m giving 18 fold data. Standard processing shows that the clay/sand/gravel boundary is well imaged from depths of 5 m to 20 m, as is the sand/gravel bedrock boundary at a depth of about 30 m. A thin 0.5 m thick and lens with the clay is also imaged on the western part of the profile at about 9 m depth. In general, there is excellent agreement between the seismic image of the structure determined from the well penetration tests except where the sand/gravel deposits reach the surface.

H32C-12 1330h POSTER

Improved Definition of Hydraulic Conductivity Structure Using Multilevel Nonlinear Slug Tests

David D. McElroy¹ (785-864-5085; dmcc@ksu.edu)

Robert M. Zemanek² (785-841-4545; rzemanek@ksu.edu)

Kansas Geological Survey, 1920 Chestnut Ave., Lawrence, KS 66047, United States

Kansas Environmental, Inc., 3000 W 19th Court, Lawrence, KS 66047, United States

Major control on the transport and fate of a contaminant as it moves through an aquifer is the spatial distribution of hydraulic conductivity. Although hydraulic conductivity is a generic term, it is increasingly apparent that non-uniformity (such as high conductivity zones) need to be identified in order to reliably predict contaminant transport and design a remediation plan for a given site.

At the Kansas River alluvium (coarse sand/gravel overlain by silt and clay) exhibits non-uniformity and nonlinear behavior for slug tests. The hydraulic conductivity is a generic term, it is increasingly apparent that non-uniformity (such as high conductivity zones) need to be identified in order to reliably predict contaminant transport and design a remediation plan for a given site.

The hydraulic conductivity is a generic term, it is increasingly apparent that non-uniformity (such as high conductivity zones) need to be identified in order to reliably predict contaminant transport and design a remediation plan for a given site.

The hydraulic conductivity is a generic term, it is increasingly apparent that non-uniformity (such as high conductivity zones) need to be identified in order to reliably predict contaminant transport and design a remediation plan for a given site.

The hydraulic conductivity is a generic term, it is increasingly apparent that non-uniformity (such as high conductivity zones) need to be identified in order to reliably predict contaminant transport and design a remediation plan for a given site.

two zones of considerably higher hydraulic conductivity in the vicinity of this well. The first series of multilevel slug tests was performed using a 2 foot slugged interval (17 locations) and was analyzed with the nonlinear model. The analysis results did indeed show the presence of two zones of higher hydraulic conductivity. A second series of multilevel slug tests was performed using a 1 foot slugged interval (39 locations) to see if more detail in the hydraulic conductivity distribution could be seen. After analysis with the nonlinear slug test model, we do see more detail in the results for the hydraulic conductivity distribution. In some regions of low hydraulic conductivity, the results of the earlier survey are confirmed on average while some additional small structure is revealed. The largest difference in the two series occurs in delineating the two zones of higher hydraulic conductivity. The 1 foot interval survey suggests that the gradation into zones of higher conductivity is sharper than seen previously and that the maximum conductivity observed in the high conductivity zone is larger than previously measured. The results at this point are very positive for better definition of the hydraulic conductivity distribution using multilevel slug tests analyzed with the nonlinear slug test model.

H32C-13 1330h POSTER

Ultrasonic Velocities in Unconsolidated Sand/Clay Mixtures at Low Pressures

Chenwei M. Arango-Rodriguez¹ (925-422-3446;

arango@uclink1.berkeley.edu); Brian P. Bunker¹

(925-422-7040; bunker@uclink1.berkeley.edu); Gennadi N.

Trunin²; Edgar D. Hardy²; Patricia A. Baga¹

(925-422-4330; barga@uclink1.berkeley.edu); Carol G. Berry¹

(925-422-7010; berry@uclink1.berkeley.edu); Barbara

Wildenreich¹ (925-422-0257;

wildenreich@uclink1.berkeley.edu); Christen D. Rowe¹; David

J. Hart¹

Lawrence Livermore National Laboratory, PO Box 808, L-304, Livermore, CA 94550, United States

Effective seismic interpretation of the near surface requires that measured parameters, such as compressional and shear velocities and attenuation, be related to important soil properties. Porosity, compaction (clay content), fluid content and type are of particular interest. The ultrasonic (100-300 kHz) pulse transmission technique was used to collect data for highly attenuating materials representative to the vadose zone. Up to several meters of overburden was simulated by applying low uniaxial stress of 0.1 MPa to the sample. The approach was to make baseline measurements for pure quartz sand, because the elastic properties are relatively well known except at the lowest pressures. Clay was added to modify the sample microstructure and ultrasonic measurements were made to characterize the effect of the admixed mineral phase. Samples were fabricated from Ottawa sand mixed with a swelling clay (Wyoming bentonite). The amount of clay added was 1 to 40 percent by mass. Compressional (P) velocities are low, ranging from 150 to 450 m/s for the materials at low stress. Shear (S) velocities are about half of the compressional velocity, but show different sensitivity to microstructure. Adding clay increases the shear amplitude dramatically with respect to P, and also changes the sensitivity of the velocities to load. These data are available at www.epsc.lnl.gov/www/epsc/sergey/Berg/BEMSP/. These experiments demonstrate that P and S velocities are sensitive to the amount of clay added, even at low concentrations. Other properties of the transmitted signals which include the ratio of S and P amplitudes, velocity gradient with depth, and the frequency content of transmitted pulses, provide additional information about the clay content. Direct observation of sand-clay microstructure indicated that the clay particles electrostatically cling to the sand grains but do not form a coating. Instead, in the dry mixture clay particles tended to bridge the gaps between grains, influencing how stresses were carried across grain contacts. Because of this tendency to bridge the gaps, small amounts of clay can have large effects on the wave propagation.

Acknowledgments We thank M. Viani for advice on the selection and preparation of samples. This work was performed under the auspices of the U.S. Department of Energy by the Lawrence Livermore National Laboratory under contract number W-7408-ENG-48 and supported specifically by the Environmental Management Research Program of the Office of Environmental Management and the Office of Energy Research.

URL: <http://www.epsc.lnl.gov/www/epsc/sergey/Berg/BEMSP/>

H32C-14 1330h POSTER

Evaluation of Groundwater Production from Infiltration Galleries Using 3-D Simulation

Nien-Sheng Hsu (+886-2-2362-1840;

hsu@cc.nyu.edu.tw)

This page may be freely copied.

Dept. of Civil Engineering, National Taiwan University, Dept. of Civil Engineering National Taiwan University, Taipei 107, Taiwan

A 3-D numerical simulation model has been developed to simulate groundwater flow near an infiltration gallery construction site to evaluate the potential discharge and water level changes. The governing equation is a 3-D saturated-unsaturated groundwater flow equation, similar to 3D-FEMWATER of Yen (1987). Therefore, the developed model is based largely upon the algorithm and source code of 3D-FEMWATER.

The model was applied to a groundwater basin located upstream of Luchuan creek in southern Taiwan. The flow domain is 6 square kilometers. The main part of the alluvium is 783 meters in length and 1.62 meters in diameter with a slope of 0.01. Based upon geological findings, the flow domain is divided into five layers and then discretized into 1,301 column-wise elements by 1,068 nodes. Three types of boundary conditions are used; namely, prescribed heads, prescribed flux and variable boundaries. Water level observations from two observation wells near the galleries and the corresponding gallery discharges are used to calibrate the hydraulic conductivity distribution of the model. Using a trial-and-error approach, a good match is obtained between the observed and calculated relationships of discharge and water level. The calibrated model is then used to estimate the maximum discharge from the galleries by assuming that the water level is above the ceiling of the galleries at all times. The maximum discharge was estimated to be 142,344 cubic meters per day (CMD).

H32C-15 1330h POSTER

Effects of Electroosmosis on Soil Temperature and Hydraulic Head: I. Field Observation

Jiann-Long Chen¹ ((513)569-7404;

chen.jiannlong@unh.edu)

Jim Ryan¹ ((513)569-7653)

Bouhalil R. Al-Abed¹ ((513) 560-7849)

Mike Ruvlin¹ ((513)569-7658)

Mark Kemper¹ ((513)568-7006)

US EPA/NRMRL, 8905 Center Hill Ave., Cincinnati, OH 45224, United States

A field test to quantify the changes of soil temperature and hydraulic head during electroosmosis has been conducted. The arena (3.1 m x 3.4 m) was created by laying pieces of titanium mesh coated with mixed metal solder on top of a 2 cm thick sand layer at a depth of 0.4 m. The cathode (3.1 m in radius) was a hydraulic fracture filled with graphite at a depth of 2.2 m. A constant voltage of 47 volts was applied for 4 weeks resulting a near constant current of 6.5 amperes between the electrodes. The electrical potentials and soil temperatures were monitored at 7.5 cm depth intervals at distances of 0.6, 1.3, 2.1, and 3.0 m from the cathode wall. An array of piezometers were installed at various depths and radial distances from the cathode wall to monitor the hydraulic head distribution. The initial soil temperature decreased by 2 to 5 °C per unit m of depth with minor radial gradient. After the power was turned on, the temperatures of soil in the vicinity of the graphite well increased. The increase of temperature propagated outward as a contour in the radial direction from the graphite well causing the vertical temperature gradient to disappear. The propagating speed of the temperature decreased with energy input. On a unit kW-hr basis, the speed decreased from 1.7x10⁻³ m/kW-hr at 470 kW-hr to 1.4x10⁻³ m/kW-hr at 1,380 kW-hr of energy input. In addition, the temperature contours show on both the edges of the mesh electrode and graphite fracture increased and propagated outward vertically. In the region where these three propagating fronts met, the soil temperature profiles were disturbed and formed "S" shaped contours. The hydraulic head close to the cathode decreased as much as 10 cm, whereas it increased between 3 and 6 cm close to the anode. The results showed that electroosmosis caused a hydraulic gradient that was opposite the electroosmosis flow.

H32C-16 1330h POSTER

Groundwater Investigations on the Pajarito Plateau, Northern New Mexico

David K. Broxton¹ (505-867-2492;

broxton@lin.gov); Patrick Luginbuhl¹; William

Stone¹; David Rogers¹; Claudia Nylander¹;

Uroco Gallagher¹

1. Lawrence Livermore Laboratory, P.O. Box 1689 Mail Stop D402, Los Alamos, NM 47545, United States

The first three of up to 32 wells to the regional aquifer have been installed as part of a seven-year