

三峽攔河堰取水能力分析之研究

*黃文政，**楊富堤，***謝啟男，****李賢明，*****羅健成
*教授，**助理教授，***副總經理，****副總工程師，*****企劃處經理
國立台灣海洋大學河海工程學系，台灣省自來水公司

摘要

本文主要利用水文分析，探討三峽攔河堰取水能力，以了解攔河堰實際可供板新淨水場之供水量，藉由本文分析之方法，可提供未來水源開發規劃中有關水源取(供)水能力之應用。文中首先應用流量超越機率之水文統計分析，探討河川地面水在年內不同期間(月、旬)之流量豐枯分佈情形，分析出攔河堰取水水源之取水潛能，再經由整供水系統水源分析，及其計畫(或設計)取水量，分析出各取水口不同時期之取水剩餘或不足量之取水能力。透過上述分析，可了解整個供水系統中規劃或興建取水設施之取水能力。目前台灣地區新增水源之水利設施，大多為攔河堰之河川地面水取水，此分析模式可提供取水基準或水量調配等規劃管理之取水資訊，做為未來水資源調配利用之應用。

關鍵字：流量超越機率、潛能水量、可取水量、取水可靠度

前言

台灣地區目前水資源開發利用，在水庫設施開發愈形困難情況下，大多採取河川地面水之攔河堰開發，再配合即有水庫調節應用。以自來水水源而言，從近期完

工設施，如三峽攔河堰、頭前溪之隆恩堰、曾文溪之玉峰堰及高屏溪攔河堰，均是類似的水資源利用型態。而河川攔河堰配合水庫調節之水資源利用之取(供)水能力，除攔河堰新增水源之取水潛能，需考慮既有水庫調節能力，尚能據以探討取水系統之取水能力。

一般河川流量具有季節性之豐枯分佈特性，歷年同時期(同旬別或月別)流量亦具統計之豐枯分佈特性，故本文擬從流量超越機率之水文統計分析，探討河川地面水在年內不同期間(月、旬)之流量豐枯分佈情形，分別分析各河川取水水源之潛能水量。而供水系統水源取水分析，乃以水量平衡觀念，將潛能水量扣除河川上游取水量及下游保留水量，即為取水水源之可取水量，並透過流量豐枯分佈，分析出取水水源之取水能力。文中並以板新供水系統之取水水源為案例研究之對象。

水源設施

三峽攔河堰位於大漢溪支流三峽河上，上游集水區面積 112.64 km²，於民國 88 年 3 月完工通水，主要為板新淨水場新增水源，而板新淨水場水源主要取自石門水庫調節經後池堰放水後至鳶山堰取水之水源，三峽攔河堰水源除可補充板新淨

水場供水系統之水源外，未來透過水庫水量調配，亦可考慮將其新增水源調配至石門供水系統，同時板新系統未來水源亦規劃擬由新店溪引取餘水。整個水系、引水設施位置如圖 1. 所示。

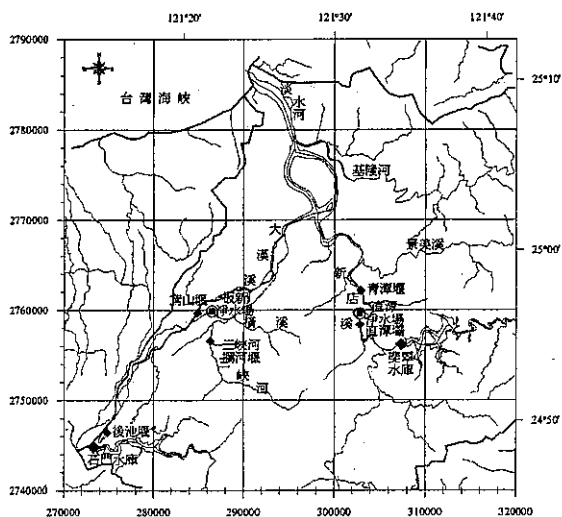


圖 1. 三峽攔河堰位置圖

現況板新、石門地區公共給水供水系統，主要乃透過石門水庫蓄水調配，其中於石門水庫大壩取水之石門大圳，供給平鎮、龍潭、石門等淨水場，而於後池堰藉由桃園大圳取水供應大湳淨水場水源，另後池堰河道放水於鳶山堰取水，為板新及大湳淨水場水源，而三峽攔河堰亦是板新淨水場之新增取水水源，整個板新石門地區取水水源架構如圖 2. 所示。

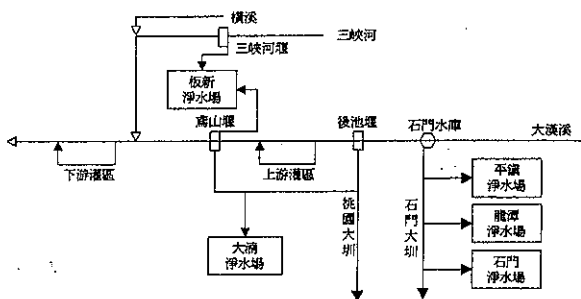


圖 2. 石門水庫供水系統架構圖

水文分析

河川潛能水量-旬流量超越機率

一般河川流量具有季節性之豐枯分佈特性，歷年同時期(同旬別或月別)流量亦具統計之豐枯分佈特性，故本研究旬為基期，探討流量年內季節性分佈情形，而時期之統計豐枯分佈特性，本研究利用旬流量超越(exceedence probability)分析，以建立各旬之流量統計豐枯分佈之水文特性。旬流量超越(exceedence probability)分析，乃根據各旬流量之歷史記錄，依流量大小由大至小進行排序，以威伯法(Weibull)經驗機率公式 $P = \frac{m}{N+1}$ 計算各排序 m 之發生超越機率 P ，其 N 中表總記錄數(即當旬記錄年數)。進而建立旬流量超越機率曲線，如圖 3. 所示之示意圖，各超越機率所對應流量如公式 1. 所示。

$$\text{Prob}[Q \geq Q_p] = P \quad (1)$$

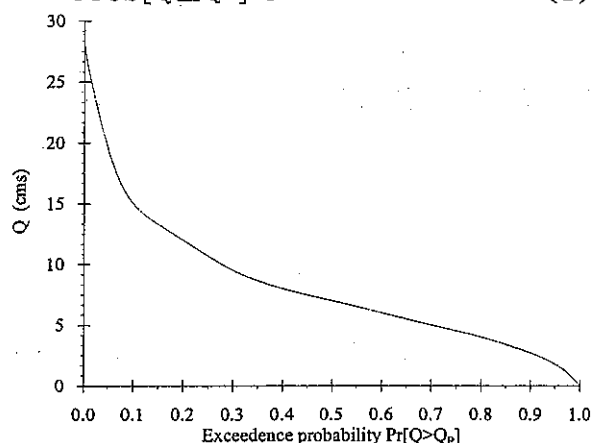


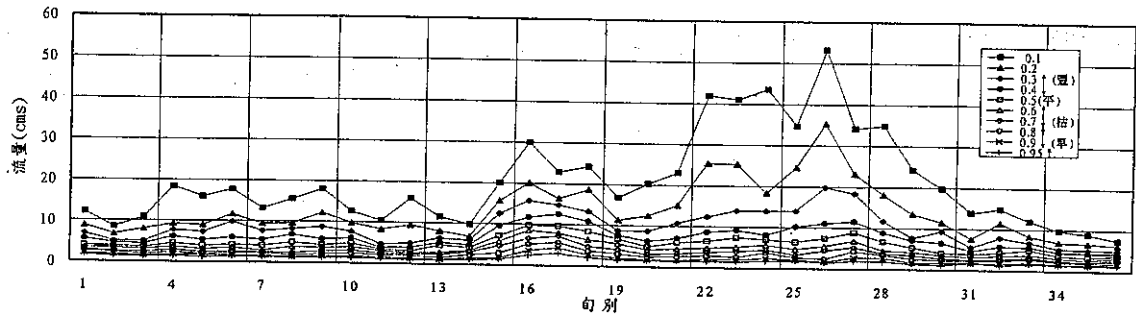
圖 3. 旬流量超越機率分佈曲線示意圖

同時以流量超越機率曲線，將相同超越機率所對應流量值連成曲線群，製作成流量歷時過程線，此流量歷時過程線之各旬超越機率大小，即可表示不同水文豐枯之各旬流量統計特性，做為測站旬流量之潛能特性。

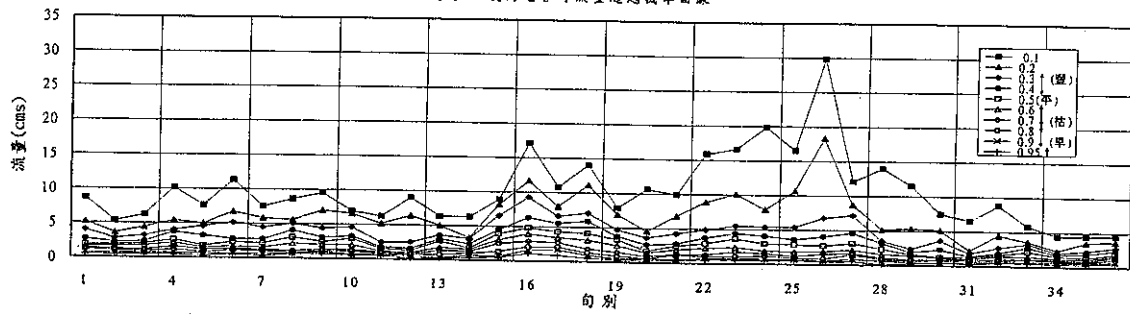
而無記錄之取水断面潛能水量，則利

用區域化變數(regionalized variable)理論之克利金(kriging)推估模式，逕行區域化潛能水量推估，其推估原理乃藉由鄰近測站潛能水量(各旬相同超越機之對應流量)，將其轉換為集水區控制形心(centroid of catchment area)之逕流深

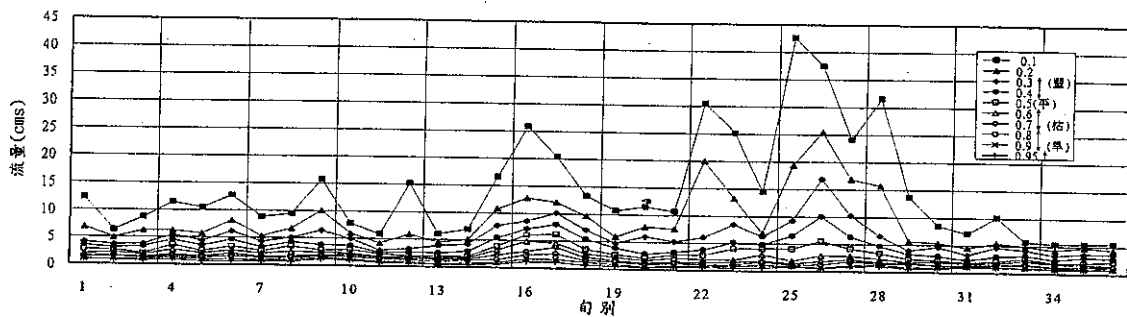
度(runoff depth)為區域化變數，而斷面潛能水量即可利用推估集水區之逕流深度的區域化變數，轉換推求出，本研究四個取水斷面之潛能水量，經推估分析，利用旬流量歷時過程線展示，如圖 4. 所示。



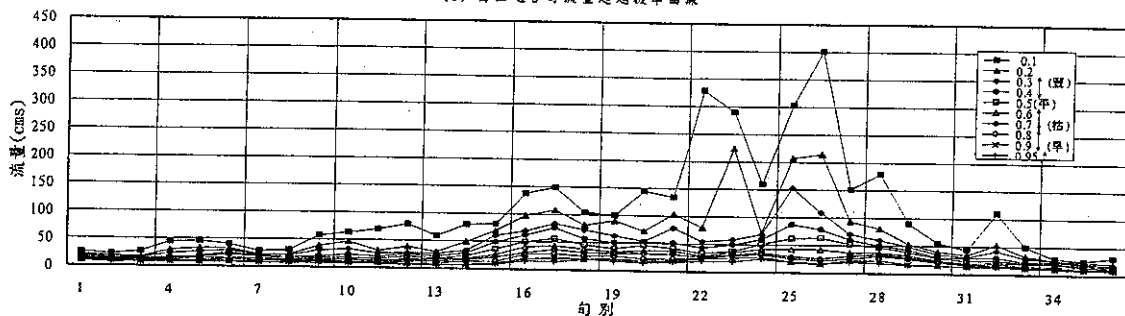
(a) 三峽河堰各旬流量超越機率曲線



(b) 橫溪各旬流量超越機率曲線



(c) 嵩山堰各旬流量超越機率曲線



(d) 石門水庫各旬流量超越機率曲線

圖 4. 石門水庫下游四個河川斷面潛能水量分佈圖

潛能水量模式應用

本研究所建立旬流量歷時過程線，即為河川天然流量下潛能水量分佈，其各旬超越機率表示河川斷面年內不同豐枯季節下之流量分佈情形。因此若以各旬超越機率分佈潛能水量，將相同超越機率對應流量連成曲線，若以超越機率小於40%時表示屬豐水流量，40%~60%時表示屬平水流量，60%~80%時表示屬枯水流量，大於80%時表示屬乾旱流量，則超越機率30%之流量 $Q_{30\%,t}, Q_{30\%,t+1}, \dots, Q_{30\%,t+n}$ ，可視為一般豐水水文狀況下可能發生流量序列；同樣地超越機率50%之流量 $Q_{50\%,t}, Q_{50\%,t+1}, \dots, Q_{50\%,t+n}$ ，可視為平水水文狀況下可能發生流量序列；超越機率70%之流量 $Q_{70\%,t}, Q_{70\%,t+1}, \dots, Q_{70\%,t+n}$ ，可視為枯水水文狀況下可能發生流量序列；超越機率95%之流量 $Q_{95\%,t}, Q_{95\%,t+1}, \dots, Q_{95\%,t+n}$ ，可視為乾旱水文狀況下可能發生流量序列。在流量水文隨機變異性下，延續性發生豐水水文可能過於樂觀，延續乾旱水文又過於悲觀，但此不同豐枯水文狀況下之延續發生流量，乃未來所有可能發生流量之包絡分佈，可據此做為評估未來蓄水、引水之狀況，此長期距水文序率分析對公共給水引水水源而言，乃可供決策參考之資訊。

若欲利用推估潛能水量進行引水分析，需考量上游是否有引水設施或下游應保留水量，當潛能水量扣除上游引水量及下游保留水量即為河川斷面可引水量，一般而言上下游引水量或保留水量，可利用各取水口計畫引水量或水權量進行計算。分析之可引水量即表示河川取水斷面（水庫入流量、攔河堰引水等），在一不同超越機率分佈下可引取水水量，經由該河川斷面引水之計畫用水量或實際用水

量，可利用流量所對應超越機率，即為取水可靠度(Reliability)。取水可靠度計算如公式2. 所示：

$$\text{取水可靠度} = \text{Prob}[Q \geq Q_{P\%}] = P\% \quad (2)$$

式中 $\text{Prob}[Q \geq Q_{P\%}]$ 為計畫引水量 $Q_{P\%}$ 在可引水量旬超越機率之值 $P\%$ ，亦即在河川流量大於超越機率 $P\%$ 方能滿足計畫引水量 $Q_{P\%}$ ，因此計畫引水量 $Q_{P\%}$ 取水可靠度為 $P\%$ 。若以超越機率小於40%時表示屬豐水流量，40%~60%時表示屬平水流量，60%~80%時表示屬枯水流量，大於80%時表示屬乾旱流量，如取水可靠度為50%時，則表示流量若小於平水流量時即有取水不足，亦即水文情況在枯水、乾旱流量時有缺水情形產生，需流量超越機率小於50%發生豐水流量尚可滿足其計畫取水量。因此以取水可靠度分析可做為判斷供給面與需求面之關係，可了解計畫用水量之取水情形。尤其當河川流量隨季節性豐枯變化，而計畫用水量變動不大情況，常會發生枯水期間供水可靠度偏低情形，即枯水期間取水不足機率增大，若取水可靠度豐枯變化太大，此時只有以水庫調洪濟枯方式，方能維持穩定之供水水源，以提高整體之取水可靠度。

潛能水量、可引水量及取水可靠度另可做為非水庫操作系統之河川取水評估資訊，在規劃或管理階段，可應用此河川取水評估資訊了解相關取水位置，年內不同季節之各旬可引取水量之情形。本研究以石門水庫下游相關取水斷面之取水評估，探討潛能水量、可引水量及取水可靠度在河川取水評估資訊之應用情形。

取水系統分析

本研究大漢溪石門水庫下游引水系統，其取水標的有農業及公共給水，包含：板新淨水場 D1、下游灌區農業用水 D2、上游灌區農業用水 D3、大湳淨水場 D4、桃園大圳農業用水 D5、石門大圳農業用水 D6 及平鎮等淨水場 D7。水源取水口三峽攔河堰、鳶山堰、後池堰及石門水庫，其中三峽攔河堰為新近完成取水設施，供應板新淨水場新增水源，其最大取水量 50 萬 CMD，鳶山堰為供應下游灌區不足水源及板新、大湳淨水場水源，經由水庫調蓄放水之後池堰，為補充下游不足水源之河道放水及桃園大圳引水水源，而直接由水庫取水有石門大圳引水，其水系及取水系統如圖 5. 所示，而相關取水標的各旬計畫取水量如圖 6. 所示。

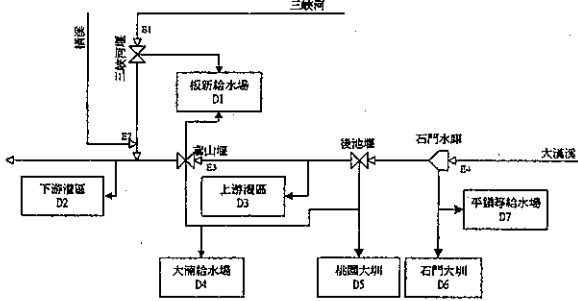


圖 5. 石門水庫下游引水系統分析圖

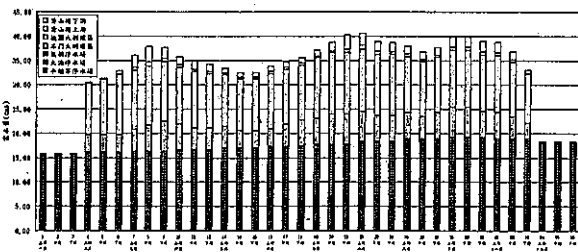


圖 6. 石門水庫系統相關取水標的計畫取水量

整個取水系統水量分析方法，即以各

取水點分別分析其取水情形，若分析取水點上游有引水或下游水需保留量，則此河段潛能水量扣除上游引水量或下游保留水需即為取水口之可取水量，並利用上下游間水量平衡關係計算各水量分析點之取水情形，由圖 5. 水系及取水系統，相關水量分析點之潛能水量、保留水量、可取水量、計畫取水量、實際取水量、剩餘水量及不足水量之計算架構，整理如表 1. 所示。

表 1. 本研究引水系統水量計算架構

水量分析點	潛能水量	保留水量	可用水量	計畫取水量	實際取水量	剩餘水量	不足水量
三峽河堰	E1	F1	(E1-F1)	D1	F1 = Min(E1-F1, D1)	R1 = E1-F1	L1 = Max(D1-(E1-F1), 0)
下游灌區	E2		E2-F1	D2	F2 = Min(E2-(E1-F1), D2)	R2 = E2-R1-F2	L2 = Max(D2-R1-F2, 0)
上游灌區	E3		E3	D3	F3 = Min(E3, D3)	R3 = E3-F3	L3 = Max(D3-E3, 0)
鳶山堰	E4		L1+L2+D41	D4	F4 = Min(E4, L1+L2+D41)	R4 = E4-F4	L4 = Max(D4-L1-L2-D41, 0)
後池堰			L3+L4+E5+D52				
石門水庫	E6		L3+L4+E5+D51+D52-D7	D6	F6 = Min(E6, L3+L4+E5+D51+D52-D7)	R6 = E6-F6	L6 = Max(D6-L3-L4-E5-D51-D52-D7, 0)

大漢溪相關取水口水量供需分析，經由表 1. 之水量計算架構及圖 3. 為四個斷面之潛能水量與圖 6. 相關取水口各旬計畫取水量，其中鳶山堰為石門水庫下游未控流量之潛能水量，由河川控制斷面之潛能水量分析各旬別不同水文條件下之取水情形，如表 2. 所示。其中表 2-(1) 即三峽攔河堰潛能水量 E1，扣除環保基流量 P1 或下游灌區需保留水量 D2(兩者取大值)，所分析之三峽攔河堰可引水量。表 2-(2) 即後池堰至鳶山堰間未控制潛能水量 E2，扣除上游灌區引水量 D3 後剩餘水量 R3，即鳶山堰可引水量。表 2-(3) 即後池堰需水量，包括經河道放水供給下游不足水量 L3+L4 及桃園大圳取水量 (D5+D42)，此即需石門水庫放水調配之水量。表 2-(4) 即經由分析後石門水庫蓄水變化(剩餘及不足水量)，正值表水庫可增加蓄水量(入流量-放水量；盈)，負值表需由水庫蓄水補充之不足水量(入流量-

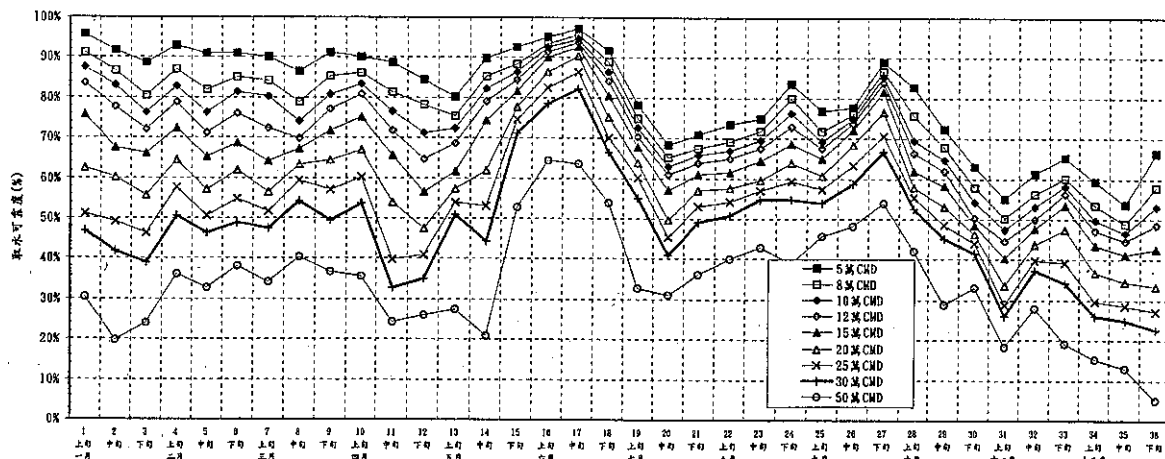


圖 7. 三峽攔河堰不同設計取水量之取水可靠度分佈情形

經由表 2-(4) 經由分析後之石門水庫蓄水變化(剩餘及不足水量)，即顯示無水庫調節下大漢溪取水系統之取水能力，其中陰影部分，表其水文情況下能滿足下游需水，而負值表示無水庫調節之缺水量，當為零時表示入流量剛好滿足需水量，其所在流量超越機率即為取水可靠度。其中當水文條件為平水水文(流量超越機率在 40%~60%間)情況下，則 5~10 月可滿足下游引水，且水庫可蓄存剩餘水量，而 11 月~隔年 4 月需水庫蓄水補充下游不足引水量，方能滿足取水系統所需之取水量。而當水文條件為枯水水文(流量超越機率在 60%~80%間)情況下，則全年任何旬別均需水庫蓄水補充下游不足引水量，才能滿足取水系統所需之取水量。

三峽攔河堰於民國 88 年 3 月完工通水，新增水源目前供應板新給水場，同樣可依水量之計算架構，分別分析三峽攔河堰啟用前後水量供需變化，其中分析鳶山堰水量不足水量變化，由表 2-(1) 三峽攔河堰可引水量，即可了解三峽攔河堰啟用後新增水量，經整理不同水文情況下新增水量，如表 3. 所示，由表 3. 可知當平

水水文條件下，三峽攔河堰啟用後新增水量為 103 百萬噸/年(平均每日增加 28 萬 CMD)，當枯水水文條件下，三峽攔河堰啟用後新增水量為 46 百萬噸/年(平均每日增加 12 萬 CMD)。

表 3. 三峽攔河堰啟用前後不同水狀況下新增水量

單位:百萬噸/年

水文條件 (超越機率)	鳶山堰不足水量			三峽河攔河堰可供水量
	完工前	完工後	淨差	
豐水水文 (0.3)	326.07	171.05	155.02	158.79
平水水文 (0.5)	384.57	281.11	103.46	103.46
枯水水文 (0.7)	404.72	358.20	46.51	46.51
乾旱水文 (0.9)	414.65	402.37	12.28	12.28
平均值	342.45	193.85	148.59	148.66

流量超越機率分析及取水系統水量架構分析，可了解不同水文情況下取水情形及取水可靠度，這些取水分析資訊，提供灌溉、公共取水等水源供需實際操作與管理之重要取水資訊。透過取水可靠度分析不同水文情況下取水情形，可了解引取河川天然流量之取水能力，同時透過水利設施啟用前後水量供需變化架構分析，亦可評估新增水源之量。如三峽攔河堰經由

本研究分析，了解不同水文情況下，其新增水源之取水能力，及新增水源之可出水量等訊息。目前台灣地區新增水源之水利設施，大多為攔河堰，且以現有水庫與攔河堰聯合操作之供水系統，做為未來水資源調配利用之趨勢，因此本研究流量超越機率在河川取水可靠度分析，正可提供這些取水基準或水量調配等規劃或管理之取水訊息。

結論與建議

1. 本研究利用流量超越機率分析，展示取水水源之年內流量豐枯分佈，並分析出各水點之不同水文狀況下之可引水量，此分析結果可做為實際引水水源管理之重要應用資訊。
2. 透過河川攔河堰取水水量架構，進而分析相關新增水源點之引水能力，此分析資訊可做為新增水源設施之取水能力評估，並可透過取水能力評估，了解新建水利設施水資源可利用之量，可做為未來相關攔河堰開發之探討依據。
3. 本研究所分析三峽攔河堰啟用前後不同水狀況下之新增水量，若板新淨水場可取得其他水源，如新店溪下游餘水運用、石門水庫加強灌溉水源等，未來可透過水量調配方式，做為石門水庫其他供水系統之水源，如平鎮淨水場擴場之水源。
4. 本研究僅考慮取水系統新增水源前後所反映之供水能力，其中水庫部分未考慮蓄水能力，未來可進一步考慮水

庫需水功能，據以分析新增水源之供水能力。

致謝

本研究蒙台灣省自來水公司委託研究計畫「大漢河流域板新、石門地區與頭前溪新竹、苗栗地區水源調配利用研究」經費支持與推動，計畫執行期間相關參與人員之合作，始成此作，謹此申謝。

參考文獻

1. 黃文政(1998), “大漢河流域板新、石門地區與頭前溪新竹、苗栗地區水源調配利用研究” 台灣省自來水公司研究報告。
2. 黃文政(1998), “基宜地區及淡水河流域可用水量及用水現況之探討” 經濟部水資源局研究報告. 88EC2B370053.
3. 楊富堤(2001), “水庫供水決策支援系統之研究” 國立臺灣海洋大學河海工程研究所博士論文。
4. Huang, Wen-Cheng, Fu-Ti Yang (1998), “Streamflow Estimation Using Kriging”, Water Resources Research, Vol.34, No.6, pp.1599-1608.
5. Salas, J.D, J. W. Delleur, V. yevjevich and W. L. Lane, “Applied Modeling of Hydrologic Time Series.”, Third Ed. Water Resources Publications, Colorado, 1988.