

石門水庫水量調配模式之研究 —多目標水資源衝突協調 系統方法之應用

劉祥熹、王裕民*

台灣地區因氣候與地理因素影響，使降雨時期與降雨地區分配不平均，加上河川逕流短且水質污染嚴重，造成水資源供需失衡的現象，而將豐水期水資源儲存以供枯水期時使用，水庫扮演重要的角色。建造新的水庫花費許多時間與金錢，且需考量政治、經濟與社會等因素與完成各種評估工作，緩不濟急，因此如何將現有之水庫水資源有效調配為當務之急。石門水庫為水資源多目標使用之水庫，可供發電、農業、與生活等用水，為台灣地區重要水庫之一，研究其水資源調配之有效性極具價值。

本研究為分析石門水庫水量使用的衝突性，採用高階水資源管理模式，以石門水庫管理局為核心。首先蒐集相關背景資料，界定衝突團體，選擇變數，引用 Loucks and Thiessen (1992) 提出水資源衝突協調模式與衝突協調系統之架構，建立水資源衝突協調模式。並利用 VISUAL BASIC 程式語言發展衝突協調系統，最後加入衝突團體決策者偏好資訊，求取妥協解，模擬解決石門水庫水資源調配衝突性的問題，使水資源利用更加有效率。

關鍵詞：水資源、多目標衝突解、協調

* 劉祥熹為國立中興大學合作經濟學系教授兼系主任；王裕民為國立中興大學碩士，目前任職於私立達德商工。
本文文稿審查作業之執行由傅祖壇編輯負責。

1. 前 言

台灣為一小島，幅員不廣、地勢陡峻，暴風雨時水流湍急，河川流量隨降雨而迅速漲落，水資源之供給受氣候因素影響極大，除春季時流量小，幾乎全部引用外，常年約 80% 逕流入海。水資源保存不容易，且興建水庫並非處處皆可，可供開發水庫之地點有限，開發時間長，成本太高，開發新水源並非妥善的辦法。近年來地層下陷問題嚴重，使用地下水必須謹慎，地表水則須靠水庫保存，以減少豐水期與枯水期水資源供需失調之情形，避免造成水災或旱災。水資源為農業與工業生產之原動力，更為人民生活之所需，在水資源供給易短缺情況下，需求導向是未來必然之趨勢，故要做好水資源需求面妥善之管理，即是要使水資源作適當的調配，減緩水資源供需失衡現象。

各種標的用水（如工業用水、農業用水、民生用水、發電用水等）存有衝突之關係，尤其是各用水團體間更具有相互影響性與衝突性，以傳統單目標技術求解利益團體間衝突性問題，恐有缺失，不易將經濟、社會等因素全部納入考慮。因此，如何採用多目標決策方法將水資源適當調配，也是重要研究方向。於水資源有限情況下，做好水庫水資源之調配，減少浪費是解決水資源供需失調的較佳方法。

現今，台灣地區人們民主理念加深、環保意識提升，衝突之解決則應以理性或民主之程序協調之。因此有鑑於水資源有限、自來水與電力事業傾向民營化及民主意識高漲等情況下，本研究擬以石門水庫為研究對象，以石門水庫管理局為決策核心，於水資源利用具有衝突之情況下（尤其利益團體間），並採用 Loucks and Thiessen (1992) 提出水資源衝突協調模式與衝突協調系統之架構，建構石門水庫水量分配衝突協調處理程序，並依照此程序設計「水資源多目標使用衝突協調」之資訊輔助系統，促使水資源作適當的調配，以利水資源使用效率提升（註 1）。

2. 石門水庫水資源利用之概況

石門水庫位於大漢溪主流上，為一多目標水庫，可提供農業用水、發電、公共給水、防洪與遊憩，其中農業用水、發電用水、公共給水等三種標的用水具有衝突性，頗值得重視。本段針對石門水庫水資源供需概況與用水團體衝突性說明如下：

2.1 石門水庫水資源供需概況

石門水庫水資源可供發電、公共給水與灌溉之用（將用水團體依用途不同可分為發電團體、公共給水團體、農業團體等利益團體），民國六十七年到八十三年間，有豐水年與枯水年之分，民國八十一年為豐水年，供給量為 17,226 CMS（立方米/秒），其次為民國七十九年，供水量為 15,769 CMS。民國八十二年水荒情況嚴重，為枯水年，供給量為 10,298 CMS，其次為民國六十九年，供給量為 10,418 CMS。依據該些事實指出，石門水庫水資源有限，會因時間、降雨量等因素使水量供應產生變化。枯水年或水資源短缺的情況下，上述三種用水之利益團為求本身利益最大，競奪使用水的權力，因此產生衝突。如何化解衝突，適當調配水資源為重要的研究方向。為解決此衝突應從利益團體的協商著手，而此必須考量各團體水資源調配的狀況是否能達到各團體（農業團體、發電團體、公共給水團體）的滿意程度為依據，有關各團體水資源使用的衝突性在下段陸續說明。

2.2 用水團體衝突性分析

水資源的利用因有利益團體之介入，各團體為追求自身利益最大，而引起水資源使用上的衝突性。依該衝突性，石門水庫用水團體區分為發電團體、公共給水團體與石門水利團體。其衝突狀況，根據訪談結果，

依實務性內含加以闡釋：

發電團體（石門電廠）

發電團體即為石門發電廠，由台灣電力公司負責營運。（台灣電力公司電費可分電燈與電力用電，收費標準不同為使決策者有統一之標準，採用電力公司之平均電價資料為本研究之參考依據）。石門水庫之水可供發電團體水力發電之用，發電用水增加會使石門與龍潭水廠供給之公共給水與石門水利會所屬之石門灌溉用水量減少。發電團體希望發電用水之供水量至少滿足其需求且越多越好、電價越高越好、其他團體之用水量越少越好、產品售價（水價、米價）越低越好。發電團體平均電價，於民國七十三年最高為每度 2.6526 元，民國七十七年最低為每度 2.094 元，民國八十年到八十二年平均電價呈現增加的趨勢。依石門水庫管理局提供之資料顯示：發電團體在面對衝突下，其用水量若要達到滿意，年發電用水平均流量應介於 15,070 CMS 與 8,050 CMS 間（如表 1）。

公共用水團體（石門與龍潭水廠）

石門水庫公共給水團體於本研究中包括石門與龍潭水廠所構成之團體，此團體要求石門水庫之水有其一定之水量以避免水庫中之水質不良，增加處理費用。希望自來水售價價格越高越好、其他團體之平均用水量與產品價格（電價、米價）越低越好。平均水價從民國七十二年至八十一年自來水平均售價最高為民國八十一年每度 7.13 元，最低為民國七十六年的每度 6.21 元。依石門水庫管理局提供之資料顯示：公共給水團體在面對衝突下，其用水量若要達到滿意，應介於 717 CMS 與 420 CMS 間（如表 1）。

石門水利團體（石門水利會）

石門水庫於農業用水方面分為桃園水利會與石門水利會兩大部分，桃園水利會以桃園大圳取用後池發電後的水，並非直接由石門水庫取水，石門水利會農業用水直接取用石門水庫的水，因此本研究於農業用水方面，僅考慮石門水利會之農業用水。此團體即石門農田水利會。石門農

表 1 流量統計表

單位：CMS

年度	發電團體	公共用水團體	石門水利團體	年度	發電團體	公共用水團體	石門水利團體
83	10759	717	1072.83	74	11985	511	1619.43
82	8165	704	1429.40	73	10054	517	1170.73
81	15070	677	1479.82	72	10738	516	1412.46
80	95156	677	1464.41	71	10321	524	1622.12
79	13698	675	1396.60	70	13532	519	1479.13
78	11453	658	1482.21	69	8050	499	1868.98
77	9426	584	1643.02	68	12319	485	2069.75
76	11695	534	1388.18	67	10119	420	1908.96
75	13474	520	1428.50				

資料來源：石門水庫管理局（民國83年）

田水利會以石門大圳取水（取水口高度為 195 公尺）而此團體希望平均用水量能越多越好，以得到足夠之農業用水，提高農業生產力，稻米價格越高越好，獲利越大。希望其他團體之用水量、電價、水價越低越好。依台灣糧食統計要覽之資料：民國七十二年至八十二年平均米價最高為民國八十二年的每公斤 32.15 元，最低為民國七十六年的每公斤 23.3 元。依石門水庫管理局提供之資料顯示（如表 1）：石門水利團體在面對衝突下，其用水量若要達到滿意，應介於 2,069.8 CMS 與 1,072.8 CMS 間。

依上述分析顯示，各利益團體為使其團體或經營的業務順利運作，該些主力團體水資源為其最主要的投入資源，而產出各為公共用水、電力與稻米等產品，在缺水時極易造成爭水現象，產生衝突。衝突時各團體若能考慮大局，於可達成協調的範圍內互相讓步，則可達成共識，協調工作方能順利進行。居於此，石門水庫管理局於水庫水資源短缺時，會與此些衝突團體進行協商工作，將衝突性大的團體界定出來，詢問其希望之水量或相關的資訊，先進行協商工作，再配合衝突性小的團體，

召開協調會議，將各團體希望的水量與籌碼（損失賠償）提出以利協調。因此，本文研究有關衝突協調系統之設計，乃依此協調方式，建立模擬系統，該系統模式能發揮以衝突性較大的團體先進行協商之功能，提供希望的水量及相關資訊，求出滿意解。即在該些利益團體衝突折衷下，促成水資源有效調配。有關該系統模式能促水庫水資源有效利用之功能與理念可約略闡述如下：

為解決發電團體、石門水利團體與公共給水團體間用水衝突的問題，應於各團體均能接受的協調範圍下，考慮到各團體的目標衝突性與滿意程度，因此擬採用「多目標決策方法」，解決問題。並以發電團體之平均流量、公共給水團體之平均流量、石門水利團體之平均流量、平均電價、平均水價、平均米價為變數，並同時參照水利法，於枯水期或水資源不足時，公共給水團體有優先用水之權利，發電團體次之，農業團體有損失時可受到補償，因而農業團體願意於水資源使用衝突時讓步，如此，使用衝突協調系統提供建議方案而達成協調為解決水資源衝突之有效方法。

3. 理論基礎與文獻回顧

石門水庫為多目標用途的水庫，為解決水資源調配的問題，應以石門水庫管理局為決策核心，兼顧各團體，使其追求的目標達到極大，因此採用多目標決策方法解決水資源調配的問題，並以滿意理論為基礎衡量總滿意度，作為建立水資源多目標使用衝突模式之依據。因此，本節中介紹多目標決策方法與滿意理論，並回顧相關文獻以利本文實證引用模式之建構。

3.1 理論基礎

為有效建立石門水庫水資源多目標使用衝突模式，並選取模式求解

的方法，因此，本節將探討多目標決策方法，內容包括此方法之演進過程、求解模式、分類與限制。而為衡量各團體滿意度之大小，以各團體滿意程度為決策依據，於介紹解決水資源調配問題的方法時（ ϵ -限制式法），亦一併介紹滿意函數理論，以利本文建構完整性的系統模擬模式。

3.1.1 多目標決策方法之理念

多目標決策方法 (multiple objective decision making, MODM) 是多重準則決策 (multiple criteria decision making, MCDM) 方法之一，多重準則決策可分為兩類即多屬性決策 (multiple attribute decision making, MADM) 與多目標決策。多屬性決策，注重方案之評選，即於已知的替代方案中依其屬性決定優先順序供決策者參考、選取。而多目標決策為多目標函數下於限制條件所形成之區間內，由決策者之偏好以求得非劣解 (noninferior solution) 之求解過程。本研究注重水資源多目標使用衝突情況下，提供協調方案，解決衝突問題而非方案之評選，因此擬採用多目標決策方法。有關多目標決策方法演進過程、求解方法與限制將說明如下：

多目標決策方法是由單一準則之賽局理論發展而來，1944 年 Von Neumann and Morgenstern 提出衝突的「兩難問題 (prisoner's dilemma)」，以賽局理論 (game theory) 處理衝突的問題，1951 年 Koopmans 利用向量最適化之概念為多目標決策奠下發展之基礎。同年，Kuhn and Tucker 二人在「非線性規劃 (non-linear programming)」中提出「向量最適化 (vector optimal)」，並導出非劣解存在的條件。1955 年 Charnes and Cooper 在「線性規劃管理模式與工業應用 (management models and industrial applications of linear programming)」提出多個目標間相互衝突時之求解技術，並命名為目標規劃法 (goal programming)。1963 年 Zedeh 直接由 Kuhn-Tucker 條件以權重法求解，1965 年 Zedeh 提出 Fuzzy sets 之觀念。1972 年首次多目標規劃之國際會議於南卡羅萊州 (South Carolina) 舉行。七〇年代多目標規劃發展更快，七〇年代末期，更廣泛用於實務以解決問

題。1973 年 Cohon and Marks 將 ϵ - 限制式法用於集水區水資源規劃上，1974 年 Haimes and Hall 發展出 surrogate worth tradeoff method-SWT，1977 年 Haimes 將此方法用於解決水資源規劃問題，1977 年 Major 在「多目標水資源規劃 (Multiobjective Water Resource Planning)」一書中討論多目標規劃分析之權重法和限制式法。1980 年 Cohon 等人利用 ϵ - 限制式法模擬美國電廠設定之問題，1982 年 Yu 發展動態多階段之方法，1985 年 Yu 於「多準則決策 (Multiple-Criteria Decision Making)」一書中介紹多目標決策方法，1987 年 Yu 提出應變計劃，1990 年 Haimes 發展多階層多目標動態規劃，1990 年以後「模糊多階層多目標動態多階段規劃」與 Yu 提出之「習慣領域 (Habitual Domain)」已進行整合，1992 年模糊類神經網路開始運用於多重準則決策，1992 年 Loucks and Thiessen 利用 ϵ - 限制式法提出水資源衝突協調模式與衝突協調系統之架構（本文即利用此架構之精義設計，進行石門水庫水量調配之模式實證研究）。現今，國內外政府部門或學術機構大多採用多目標決策方法作決策分析，而促此理論發展至今更為完備，極具好評。

黃文政、吳建民與吳明洋 (1990)、廖述良、宋家敏 (1990)、陳進益 (1991) 等人，利用多目標決策方法應用水資源管理上，並解決水資源調配問題。Thiessen and Loucks (1992)、陳慶和 (1993) 等人以多目標決策方法建立水資源衝突協調模式，提出水資源衝突協調系統雛型，為本文為文之重要參考文獻。許志義 (1994) 將多目標決策方法作一系統性之整理與敘述，其中對 ϵ - 限制式法求解過程介紹極為詳細。

3.1.2 滿意函數與 ϵ - 限制式法

本研究擬以 ϵ - 限制式法為研究方法，茲將 Loucks and Thiessen (1992) 所提出之滿意理論與 ϵ - 限制式法，說明如下：

水資源多目標使用常會產生衝突情形，資源管理者要使各衝突團體間達成協調，應使各用水團體於水資源供應有限之條件下，均能盡量獲

得最大滿足。因此於多目標決策模型中，考慮衝突團體於衝突協調時之滿意程度為決策之依據，故以滿意函數與 ϵ - 限制式法結合架構衝突協調程序，解決水資源供應有限下之調配問題。

人若是理性的，則於單目標之下透過決策者的偏好或效用即能找出最適解 (optimal solution)；但是於多目標衝突性之下則會有取捨 (trade-off) 而不能達到最適，取捨之後會要求至少要達到決策者要求之滿意水準，本研究擬採滿意函數衡量滿意度。

Thiessen and Loucks (1992) 將每一衝突團體之總滿意函數分解為數個附加滿意函數 (additional satisfaction function)，並考慮附加滿意函數之相互重要性賦予相當權重，附加滿意函數即用以表示某一變數與滿意度關係之函數。（附加滿意度函數詳閱第 4.2 節）

本研究擬建構之衝突協調資訊輔助系統於農業、公共給水與發電等用水團體衝突時，提出可行方案，供衝突團體決策者參考，因此於多目標決策之方法中選擇 ϵ - 限制式法為研究方法，以求取最適化目標達成之方案。

ϵ - 限制式法乃是限制其他目標在某定值以求出最適化某一目標之技術，亦即藉由限制其他目標在不同的目標值之上，進而求得一系列的單一目標最適解，並合成近似的非劣解集合之方法。此方法之求解先界定 $K-1$ 個目標，並找出每一目標最小可接受範圍之後將目標式轉成限制式，再求解（詳細說明見許志義，1994，Cohon，1978）。

4. 石門水庫水量調配模式之建立

石門水庫水資源調配乃在其水資源於各利益團體間使用衝突時進行的管理或調控過程。本文為建立實證相關模式，必須考慮水資源利用團體間之衝突性與解決方式，因此以第 2 節相關背景資料與第 3 節所介紹之滿意函數與 ϵ - 限制式法為基礎，建構水資源多目標使用衝突模式與

衝突協調程序，依此程序設計衝突協調系統，透過系統提供之使用者界面 (user interface) 詢問各團體（即本文所指利益衝突團體）決策者相關資訊，求出附加滿意函數，設計電腦資訊輔助系統求解，提供衝突協調方案使各團體均能滿意，達到衝突協調之目的。本節首先界定衝突團體、選擇建立實證引用模式之相關變數、附加滿意函數、總滿意函數，其次介紹估計方法，以利建立水資源多目標使用衝突協調系統，而供實證研究之用，即形成系統設計，達成衝突協調相關程序之內涵。本研究實證引用模式更以 ϵ -限制式法達成解決石門水庫水資源多目標使用衝突之問題。建構模式過程中，先界定衝突團體與相關變數，再以附加滿意函數與總滿意函數為基礎，建立水資源多目標決策模式，模擬模式建構過程陸續說明於本節。

4.1 界定衝突團體與變數選擇

依據第2節之資料將本研究有關水庫用水衝突團體的範圍界定於直接由石門水庫取水之用水團體，而決策變數則選擇各衝突團體之平均流量與產品價格為依據。

依石門水庫水資源使用標的觀之，可將衝突團體劃分為三：發電團體、公共給水團體與石門水利團體。其中發電團體發電後的水流入後池供桃園水利會與大湳、板新等水廠使用，雖為另一水資源使用衝突（農業用水與公共給水）之情況，但本研究中將著重於由石門水庫直接取水之團體，暫不考慮後池用水衝突之協調。因此石門水庫水資源多目標使用之衝突團體可以明確的分為發電團體（石門發電廠）、公共給水團體（石門、龍潭兩個水廠）與石門水利團體（石門農田水利會）。

依第2節相關背景資料與衝突狀況選擇相關的變數，水資源調配的重要變數有各團體之平均水量、平均電價、平均水價、平均米價等，這些變數為本文分析相關問題之重要指標且相互間均為獨立的（參見第3節），符合理論之要求，而能建構較具實用性之模式體系。發電團體於談

表 2 各團體滿意度與各變數之關係

變數種類	衝突團體別	發電團體之滿意度	公共給水團體之滿意度	石門水利團體之滿意度
發電團體之年平均水量		+	-	-
公共給水團體之年平均水量		-	+	-
石門水利團體之年平均水量		-	-	+
年平均電價		+	-	-
年平均水價		-	+	-
年平均米價		-	-	+

資料來源：本研究訪談結果

註：+ 表變數與該團體之滿意度成正向變化

- 表變數與該團體之滿意度成反向變化

判時可以調高電價為籌碼要求水量合理分配，電價調高，會直接影響其他團體的總滿意度。公共給水團體於談判時可以調高水價為籌碼要求水量合理分配，水價調高，會使其他團體總滿意度受影響。石門水利團體於談判時可以調高米價為籌碼要求水量合理分配，米價調高，會直接影響其他團體之總滿意度。因此本研究中以各團體平均水量與產品價格為用水調配決策之重要變數，各團體與各變數間的關係如表 2（請參考第 2 節與第 3 節）所示。

4.2 附加滿意函數

附加滿意函數有各種不同的形式，依訪談資料及調查資料顯示滿意函數為二次式形式。於此實證中有六個事件（變數）即三個團體之平均流量、平均電價、平均水價、平均米價需要協調且變數間之關係經檢定均為互相獨立的，因此選定此些變數，進行研究。各團體對上述六變數之附加滿意度最高均為 100%。附加滿意度函數共分為六種：為發電團體平均流量附加滿意度函數、公共給水團體平均流量附加滿意度函數與石

門水利團體平均流量附加滿意度函數，電價附加滿意度函數，水價附加滿意度函數，米價附加滿意度函數等。附加滿意度函數 ($S_{ij}(V_{ij})$) 之表示法如下：

$S_{ij}(V_{ij})$ ： i 團體對 j 變數之附加滿意函數

$i = 1, 2, 3$ ，表團體別， $j = 1, 2, \dots, 6$ 表示不同之事件（變數）。 (1)

$i = 1$ ，代表發電團體。 $i = 2$ ，代表公共給水團體。 $i = 3$ ，代表石門水利團體。

$j = 1$ ，代表發電團體之平均流量。 $j = 2$ ，代表公共給水團體之平均流量。

$j = 3$ ，代表石門水利團體之平均流量。 $j = 4$ ，代表平均電價。

$j = 5$ ，代表平均水價。 $j = 6$ ，代表平均米價。

V_{ij} ： i 團體之 j 變數大小

4.3 總滿意函數

各衝突團體於協調與談判時，各變數變動會影響其附加滿意度，如此，為衡量總效果，則應以總滿意函數為之。依據第 3 節中的滿意函數理論可知，各個附加滿意度函數依其重要性的大小乘上權重後可加總而得總滿意度。因此本研究中之總滿意函數 (TS_i) 可表示如下：（ TS_i 。 $i = 1$ ，代表發電團體。 $i = 2$ ，代表公共給水團體。 $i = 3$ ，代表石門水利團體。）

$$TS_i = W_{i1} \times S_{i1}(F_1) + W_{i2} \times S_{i2}(F_2) + W_{i3} \times S_{i3}(F_3) + W_{i4} \times S_{i4}(EP) \\ + W_{i5} \times S_{i5}(WP) + W_{i6} \times S_{i6}(RP) \quad (2)$$

TS_i ： i 團體之總滿意函數

F_i ： i 團體之平均流量

EP ：平均電價。 WP ：平均水價。 RP ：平均米價

$S_{i1}(F_1)$ ： i 團體的發電團體平均流量附加滿意函數

$S_{i2}(F_2)$ ： i 團體的公共給水團體平均流量附加滿意函數

$S_{i3}(F_3)$: i 團體的石門水利團體平均流量附加滿意函數

$S_{i4}(EP)$: i 團體之電價附加滿意函數

$S_{i5}(WP)$: i 團體之水價附加滿意函數

$S_{i6}(RP)$: i 團體之米價附加滿意函數

W_{i1} : 為 i 團體對發電團體平均流量之附加滿意函數權重

W_{i2} : 為 i 團體對公共給水團體平均流量之附加滿意函數權重

W_{i3} : 為 i 團體對石門水利團體平均流量之附加滿意函數權重

W_{i4} : 為 i 團體平均電價之附加滿意函數權重

W_{i5} : 為 i 團體平均水價之附加滿意函數權重

W_{i6} : 為 i 團體平均米價之附加滿意函數權重

$i = 1$, 代表發電團體。 $i = 2$, 代表公共給水團體。 $i = 3$, 代表石門水利團體。

4.4 實證引用模式

依據本文上述所述衝突團體的界定、變數選擇、附加滿意函數與總滿意函數等為基礎，將可建立實證引用模式。要解決水資源多目標使用衝突現象，需建立水資源多目標使用模式以利水資源調配，而調配情形應使各團體滿意且能接受，因此以三團體追求總滿意度最大為目標式，並受限於衝突協調空間（式 6 至式 11 所圍成之空間）及石門水庫水資源供給量限制下求解。基本模式如下：

Max (目標式)

$$TS_1 = W_{11} \times S_{11}(F_1) + W_{12} \times S_{12}(F_2) + W_{13} \times S_{13}(F_3) \\ + W_{14} \times S_{14}(EP) + W_{15} \times S_{15}(WP) + W_{16} \times S_{16}(RP) \quad (3)$$

$$TS_2 = W_{21} \times S_{21}(F_1) + W_{22} \times S_{22}(F_2) + W_{23} \times S_{23}(F_3) \\ + W_{24} \times S_{24}(EP) + W_{25} \times S_{25}(WP) + W_{26} \times S_{26}(RP) \quad (4)$$

$$TS_3 = W_{31} \times S_{31}(F_1) + W_{32} \times S_{32}(F_2) + W_{33} \times S_{33}(F_3) \\ + W_{34} \times S_{34}(EP) + W_{35} \times S_{35}(WP) + W_{36} \times S_{36}(RP) \quad (5)$$

Subject to (限制式)

$$MAX\{F_{11n}, F_{21m}, F_{31m}\} \leq F_1 \leq MIN\{F_{11m}, F_{21n}, F_{31n}\} \quad (6)$$

$$MAX\{F_{12m}, F_{22n}, F_{32m}\} \leq F_2 \leq MIN\{F_{12n}, F_{22m}, F_{32n}\} \quad (7)$$

$$MAX\{F_{13m}, F_{23m}, F_{33n}\} \leq F_3 \leq MIN\{F_{13n}, F_{23n}, F_{33m}\} \quad (8)$$

$$MAX\{EP_{1n}, EP_{2m}, EP_{3m}\} \leq EP \leq MIN\{EP_{1m}, EP_{2n}, EP_{3n}\} \quad (9)$$

$$MAX\{WP_{1m}, WP_{2n}, WP_{3m}\} \leq WP \leq MIN\{WP_{1n}, WP_{2m}, WP_{3n}\} \quad (10)$$

$$MAX\{RP_{1m}, RP_{2m}, RP_{3n}\} \leq RP \leq MIN\{RP_{1n}, RP_{2n}, RP_{3m}\} \quad (11)$$

式 (6) 代表發電團體之流量限制，應介於 $MAX\{F_{11n}, F_{21m}, F_{31m}\}$ 與 $MIN\{F_{11m}, F_{21n}, F_{31n}\}$ 間。至於式 (7) 至式 (11) 之說明相同，不再贅述。

$$\sum_{i=1}^3 F_i \leq \text{石門水庫可供應之年平均水量 (CMS)} \quad (12)$$

$$F_i \geq 0, W_{ik} \geq 0, EP \geq 0, WP \geq 0, RP \geq 0, F_{ijm} \geq 0, F_{ijn} \geq 0, \\ EP_{im} \geq 0, EP_{in} \geq 0, WP_{im} \geq 0, WP_{in} \geq 0, RP_{im} \geq 0, RP_{in} \geq 0 \quad (13)$$

式中：

F_{ijm} ： i 團體對 j 團體最滿意 (m) 之平均流量

F_{ijn} ： i 團體對 j 團體最不滿意 (n) 之平均流量

EP_{im} ： i 團體最滿意 (m) 之平均電價

EP_{in} ： i 團體最不滿意 (n) 之平均電價

WP_{im} ： i 團體最滿意 (m) 之平均水價

WP_{in} ： i 團體最不滿意 (n) 之平均水價

RP_{im} ： i 團體最滿意 (m) 之平均米價

RP_{in} ： i 團體最不滿意 (n) 之平均米價

W_{i1} ： i 團體對發電團體平均流量附加滿意函數之權重

W_{i2} ： i 團體對公共給水團體平均流量附加滿意函數之權重

W_{i3} : i 團體對石門水利團體平均流量附加滿意函數之權重

W_{i4} : i 團體電價附加滿意函數之權重

W_{i5} : i 團體水價附加滿意函數之權重

W_{i6} : i 團體米價附加滿意函數之權重

F_i : i 團體之平均流量

$i = 1$, 代表發電團體。 $i = 2$, 代表公共給水團體。 $i = 3$, 代表石門水利團體。

$j = 1$, 代表發電團體。 $j = 2$, 代表公共給水團體。 $j = 3$, 代表石門水利團體。

$k = 1, 2, \dots, 6$

4.5 水資源衝突協調系統設計

依第 2 節所述相關資料可知台灣地區水資源受季節性因素影響極大，水資源多寡直接影響衝突團體決策者之總滿意函數，水資源枯水年與豐水年調配情況未必相同，因此所建立水資源多目標使用衝突協調系統係分別考量解決豐水年或枯水年時，不同利益團體間水資源使用衝突性之問題。

依本節所建立的衝突協調程序（如圖 1）可設計衝突協調系統（如圖 2），主要分為輸入、演算與結果輸出三大部分。衝突協調系統以交談方式輸入相關資訊，透過使用者界面，將決策者相關資料蒐集以供系統使用。利用決策者輸入對各種平均水量最滿意與最不滿意等之資料，求取衝突協調空間，加上衝突團體之附加滿意函數、總滿意函數與石門水庫水資源供給限制，建立多目標決策模型，用 ϵ -限制式法求解。處理過程係結合 VISUAL BASIC 建構水資源多目標使用衝突協調系統，經系統演算後求得滿意解，三團體均能接受則協調達成目標，若不能接受則三團體重新協調修改相關資料，直到達成妥協為止。滿意解將顯示於電腦螢幕上，以供參考（讀者若有需要電腦程式及相關細節，可洽作者）。

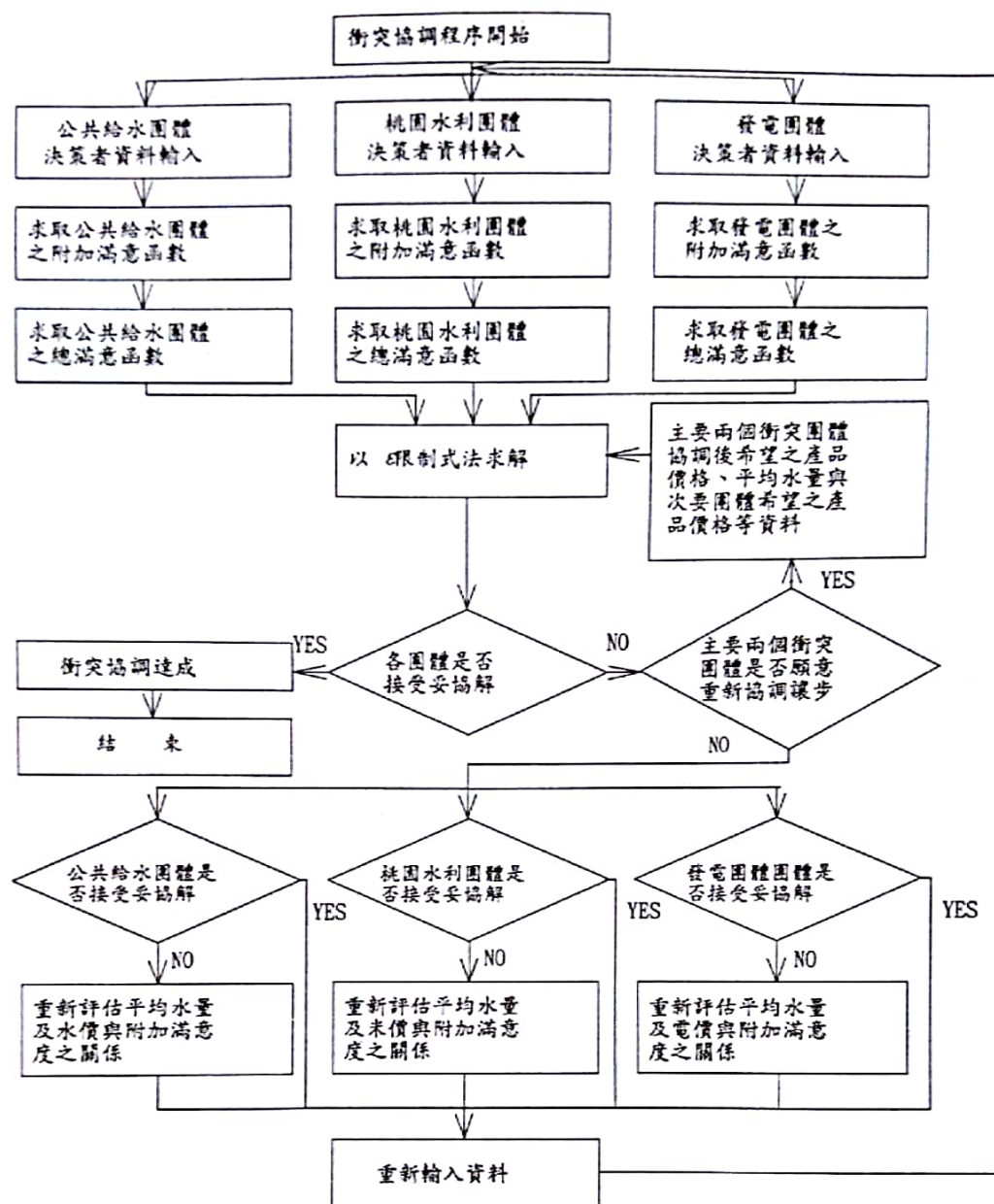


圖1 衝突協調程序流程圖

5. 實證結果與分析

依第4節相關理念，納入第2節有關石門水庫水資源使用概況、第3節理論基礎與文獻回顧等相關資料，設計水資源多目標使用衝突協調系統，將衝突團體用水量與產品價格等資料輸入系統，即可進行相關研

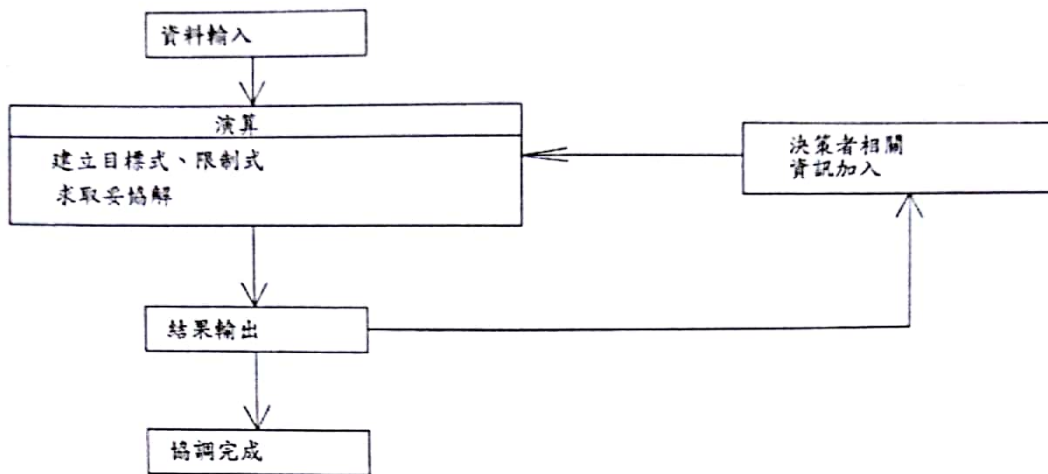


圖 2 衝突協調系統架構圖

究與分析。本節將利用衝突協調系統與資料進行實證研究，將所獲致之結果加以分析，以利學術研究與提供水資源使用決策相關單位參考。

依前述實際資料輸入衝突協調系統，模擬衝突團體決策者將採取的措施，求取滿意解，模擬狀況分為豐水年與枯水年的水庫水資源使用與調配，模擬結果如下：

假設於豐水年時（個案一），石門水庫可供應之水量為年平均流量 14,145 CMS，枯水年（個案二）時，石門水庫可供應之水量為年平均流量 10,297 CMS（此即石門水庫水資源供應量之限制），衝突狀況分為三種：(1)石門水利團體與發電團體為主要衝突團體，(2)發電團體與公共給水團體為主要衝突團體，(3)石門水利團體與公共給水團體為主要衝突團體之實証結果如表 3 所示，有關該些團體之協調程序之詳細內容見本文第 2.2 節。

根據上述實証結果（表 3）並比較豐水年（個案一）與枯水年（個案二）有關水資源使用衝突協調所獲致之結果與含意分析如下：

1. 依本文實証結果並搭配第 4 節相關訊息說明，石門水庫用水之各團體會依據水資源可供量的多寡調整總滿意函數，且在相同用水量下，於枯水年或於豐水年各團體會有不同的滿意度。

表 3 豐水年、枯水年石門水庫水資源衝突協調結果

豐 水 年									
任何兩主要衝突團體之協調	發電團體年平均流量 (CMS)	公共給水團體年平均流量 (CMS)	石門水利團體年平均流量 (CMS)	年平均電價 (元)	年平均水價 (元)	年平均米價 (元)	發電團體總滿意度	公共給水團體總滿意度	石門水利團體總滿意度
石門水利團體、發電團體	11990	525	1620	2.34494	6.2739	31.3212	52.15136	52.15133	52.15176
發電團體與公共給水團體	11985	665	1465	2.23447	6.50394	23.1864	52.15167	52.15137	52.1517
石門水利團體與公共給水團體	11840	675	1630	2.11765	6.5849	30.3547	52.15118	52.15151	52.1518
枯 水 年									
任何兩主要衝突團體之協調	發電團體年平均流量 (CMS)	公共給水團體年平均流量 (CMS)	石門水利團體年平均流量 (CMS)	年平均電價 (元)	年平均水價 (元)	年平均米價 (元)	發電團體總滿意度	公共給水團體總滿意度	石門水利團體總滿意度
石門水利團體、發電團體	8156	724	1408	2.62131	6.0421	33.109	45.778	45.77612	45.77613
發電團體、公共給水團體	8150	743	1388	2.69538	6.61756	29.5161	45.77826	45.77675	45.77586
石門水利團體、公共給水團體	8145	741.2	1403	2.2218	6.6086	35.0623	45.77588	45.77705	45.77767

資料來源：本研究結果

2. 水資源多目標使用衝突協調系統以各團體之總滿意度作為水資源調配之指標，可依照各用水團體在達成滿意度下用水需求狀況，提供水資源調配方案，使石門水庫水資源能有效運用：

(1) 豐水年（個案一）的實證結果顯示，石門水庫水資源年供應量為 14,145 CMS 時，發電團體獲得石門水庫水資源年平均調配量應介於 11,840 CMS~11,990 CMS 之範圍，才能使該團體獲得滿意，公共給水團體水資源年平均調配量應介於 525 CMS~675 CMS 間，該團體才能獲得滿足，

石門水利團體水資源調配量則應介於年平均 1,465 CMS~1,630 CMS 之範圍，才能符合該團體之滿意水準。此資訊可供豐水年時，提供政府當局解決水資源調配與採取相關措施時之參考。

(2) 枯水期（個案二）分析之結果可發現石門水庫水資源年平均供應量為 10,297 CMS 時，發電團體所獲得的石門水庫水資源調配年平均供應量應介於 8,145 CMS~8,156 CMS 間，公共給水團體則為 724 CMS~743 CMS，石門水利團體則介於 1,388 CMS~1,408 CMS 間才能使各團體達到滿足。此資訊可供枯水年時，提供政府當局解決水資源調配與採取相關措施時之參考。

3. 豐水年與枯水年水資源調配情形之對照與比較，因枯水期依水利法規定：公共用水團體有優先用水的權力，加上枯水年缺水狀況可能不知要持續多久，發電團體與石門水利團體於枯水期仍需要公共給水團體提供之民生用水，故而顯示公共給水團體，會獲得較多水量，以提供民生用水。如個案二中，公共給水團體於枯水年易與發電團體或石門水利團體產生衝突，協調後得到的水量較豐水年時為多，這也顯示枯水期時民生用水尤感迫切。

4. 另外依據個案一或個案二之分析均可知，衝突性大的團體，於協調時可獲得較大的優勢，雖其迫切性大而分配到較多的水量，但水資源使用衝突性小的團體，在不喪失其利益下，認為其所分配的水資源已足夠，亦可達其滿意度。顯示，衝突性小的團體較願意配合用水團體之協商而達成妥協，此即於水資源使用發生衝突現象時，不論是豐水期或枯水期，在不損害衝突性小的團體之利益下，由衝突性大的兩個團體先行協商，使水資源調配時更易達成妥協之效。

依上述分析亦可引申，水資源調配時應重水資源有效利用的原則，而藉由滿意函數理論之總滿意度為指標與藉由多目標決策理論中之 ϵ -限制式法，設計水資源多目標使用衝突協調系統，經各團體協調達成共識後，於各團體達到滿意的程度下，更能獲致符合水資源有效利用之方案，

此項結果可供學術研究與水資源使用決策相關單位參考，極具價值。

6. 結 論

台灣地區因地形與氣候因素常造成水資源供需失調的現象，由本文第2節之分析可知水庫有儲存水資源的功能，減緩水資源供需失調的現象，而石門水庫為重要的水庫之一，且具有發電、公共給水與農業灌溉等功能，為一多目標使用之水庫，其水資源調配得當，可使各用水團體間衝突性減少，使水資源用得其所，提高使用效率。為達成此目的，本文以石門水庫為研究對象，引用滿意理論與多目標決策方法中之 ϵ -限制式法，作為有效調配水資源理念之切入，並考慮水資源使用之衝突性，建立水資源多目標使用衝突模式與水資源衝突協調程序，依此建構水資源多目標使用衝突協調系統，並將石門水庫水資源使用衝突團體決策者之相關資料輸入系統，以互動的方式，加入衝突團體之偏好資訊，依衝突協調系統求取妥協方案，使各衝突團體均能於滿意的狀況下，解決水資源調配的問題。歷經本文上述之研究過程，所獲重要結論與含意如下：

1. 石門水庫為一多目標使用之水庫，於水資源多目標使用產生衝突現象時，以傳統單目標求解方法則無法兼顧其他目標，因此宜以多目標決策方法求解。以滿意理論為據，所建立之總滿意度為指標，可衡量各團體之總滿意度以求取各衝突團體均能滿意之妥協方案。

2. 本研究中，選擇各衝突團體（發電團體、公共給水與石門水利團體）之平均流量與平均電價、平均水價與平均米價為變數，建立水資源多目標使用衝突模式之目標式與限制式。再以 ϵ -限制式法求解，於三個團體中決定衝突性大的兩個團體，將此團體之目標式轉換成限制式，以衝突性小的團體追求最大總滿意度受限於衝突協調空間、水資源供給量限制與衝突性大的團體總滿意度維持於某一水準下，依照衝突協調程序，以衝突協調系統並加入衝突團體決策者的資訊即可求出妥協解，而

易建立水資源有效調配之方案。

3.本研究結果也指出，豐水年，石門水庫水資源年供應量為 14,145 CMS 時，發電團體獲得石門水庫水資源調配量應介於年平均 11,840 CMS~11,990 CMS 之範圍，公共給水團體水資源年平均調配量應介於 525 CMS~675 CMS 間，石門水利團體則年平均調配量應介於 1,465 CMS~1,630 CMS 之範圍才能符合各團體之用水達於滿意水準。枯水年，石門水庫水資源年平均供應量為 10,297 CMS 時，發電團體水資源調配年平均供應量應介於 8,145 CMS~8,156 CMS 間，公共給水團體則為 724 CMS~743 CMS，石門水利團體則介於 1,388 CMS 到 1,408 CMS 間才能使各團體之用水達到滿足。因此上述水資源使用衝突團體進行協商時，應於各團體滿意的範圍內協商，才能易於達成妥協，並促水資源有效調配。

4.再依豐水年（個案一）與枯水年（個案二）的實證結果與比較亦可獲致下列重要啟示：

(1)有效建立水資源多目標使用衝突協調系統，可促衝突團體會依據石門水庫水資源的多寡（豐水或枯水）來調整其滿意函數，而使水資源調配達成該些團體所望追求的滿意度而發揮水資源使用效率。

(2)枯水年時因有水利法對水權使用優先順序的規定，（模式中權重大小即可表示此優先順序），加上枯水年缺水期間的不確定性與各團體均需要公共給水團體提供之民生用水維生，因此，於枯水期公共給水團體之水資源使用量較豐水期時為多，這也顯示枯水期時民生用水需求之迫切性。

(3)在水資源使用有衝突時，衝突性較大的團體先進行協商，在不喪失衝突性小的團體權益為前提下，可使衝突協調的工作順利達成，此即衝突性大的團體雖其用水較迫切而可獲得較多的水資源，但衝突性小的團體仍能維持其滿意水準，則其調配效果，將更能達成。

(4)若各團體滿意度變動時，可輸入新的滿意度資訊，並藉由本文所設計之衝突協調系統求得妥協方案，所獲致枯水期與豐水期水資源調配

結果之資訊，可供學術機關與政府部門對石門水庫水資源調配與使用決策之參考。

另外，因時間、經費等因素使研究受限，但這也顯示仍有許多可拓展研究的空間，未來可朝下列方向持續進行研究，對學術或實務領域將更能有所貢獻：

(1)有關本研究中設計之衝突協調系統加入各衝突團體決策者偏好資訊求解，能解決石門水庫水資源多目標使用衝突性的問題，將來可考慮以其他方法求解如逐步法 (STEM) 等，並將所求之解加以分析比較或於限制式中考慮各團體投入水量與產出產品價值之比例等均是值得研究的方向。

(2)依據本研究的基礎，亦可蒐集更多資料，例如，考慮水質、水量與其他因素，配合電腦作更周詳的設計，可發展功能完善水資源利用的決策支援系統 (decision support system, DSS)，雖然決策支援系統設計費時且需投入較多的資金與人力，但仍值得鼓勵進行。

最後，對本研究必須體認，本研究所提出的結論與建議，乃依所蒐集相關資料且採滿意理論與多目標決策中之 ϵ -限制式法進行模擬所獲致之成果。無疑地，引用其結果必須同時考量石門水庫水資源供應量因季節不同而變動、用水衝突團體之滿意度因各種因素影響而改變及其他環境情景隨時間過程的動態變化，方能在實際經濟情況中作靈活應用，亦即在實際應用中對水資源調配能獲致良好之成效。

附 註

1. 審查人之一曾指出：在考慮水資源利用衝突團體間，可能具有策略行為時，則利用 game strategic approach 加以求解較符合實際，這是一個未來值得嘗試的方向。

參考文獻

- 王又慈 (1992)「多目標決策方法在公共政策分析之應用以經濟環境系統規劃為例」，碩士論文，中興大學公共政策研究所。
- 宋家敏 (1990)「多目標水管理最佳化模式之建立」，碩士論文，淡江大學水資源及環境工程研究所。
- 施孫富 (1993)「未來台灣水資源之開發與管理」，台灣水利，41：2。
- 張四立 (1990)「政策優先次序之選擇與多目標決策模型之建立」，公共政策學報，12。
- 張四立 (1993)「能源——環境——經濟系統之整合性規劃模型的建立與應用」，都市與計劃，21：1。
- 許志義 (1994) 多目標決策，五南圖書公司。
- 郭翊玉、蕭代基 (1991)「現階段水資源管理之困境及其解決方案水權交易制度芻議」，河川環境與水源保護學術研討會論文。
- 陳玉珠 (1993)「台灣地區水市場可行性之分析」，碩士論文，台灣大學農業經濟學研究所。
- 陳武正、林科 (1993)「海峽兩岸通航方案之評估——多重準則決策之應用」，交通運輸季刊，15。
- 陳進益 (1991)「水資源調配之經濟效益分析多目標規劃與分析方法之應用」，碩士論文，淡江大學水資源暨環境工程研究所。
- 陳慶和 (1993)「水管理決策支援系統之研究與發展高階水管理決策理論與程序之研究」，碩士論文，淡江大學水資源暨環境工程研究所。
- 曾國雄、王國材 (1990)「發展非線性多目標規劃模式及其應用」，交通運輸，十二期。
- 黃文正、吳建民、吳明洋 (1990)「多目標決策分析在水資源管理上之運用」，第五屆水利工程研討會論文集。
- 經濟部水資局 (1994) 台灣地區之水資源。

經濟部水資局 (1987) 板新石門地區最佳供水調配之研究。

廖述良與宋家敏 (1990) 「多目標水管理最佳化模式之建立」，中華民國環境工程學會第三屆環境規劃與管理研討會論文集。

劉祥熹 (1991) 水資源調配及其經濟效益研究，行政院國科會第一年度、第二年度計畫。

蕭代基 (1991) 「現階段水資源管理之困境及其解決方案——水權交易制度初議」，河川環境與水源保護學術研討會論文。

Charnes, A. and W. W. Cooper (1957) "Management Models and Industrial Applications of Linear Programming," Management Science, 4 : 1, 81-87.

Cochrane, J. L. and Milan Zeleny (1973) Multiple Criteria Decision Making, University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina.

Cohon, J. L. (1978) Multiobjective Programming and Planning, Academic Press, New York.

Colson, G. and C. D. Bruyn (1989) Models and Methods in Multiple Criteria Decision Making, Oxford, New York.

Goicoechea, A., D. R. Hansen and L. Duckstein (1982) Multiobjective Decision Analysis With Engineering and Business Applications, John Wiley, New York.

Haimes, Y.Y. Hall (1974) "Multiobjectives in Water Resource Systems Analysis: the Surrogate Worth Trade Off Method," Water Resources Research, 10 : 4, 615-624.

Hwang, C. L. and K. Yoon (1981) Multiple Objective Decision Making-Methods and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Keeney, R. L., and E. F. Wood (1977) "An Illustrative Example of the Use of Multi-attribute Utility Theory for Water Resource Planning," Water Resources Research, 13(4), 705-712.

Keeney, R. L., and H. Raiffa (1993) Decisions with Multiple Objectives Preferences, John Wiley & Sons inc.

Koopmans, T. C. (1951) "Analysis of Production as an Efficient Combination of Ac-

- tivities,” in T. C. Koopmans (ed.), Activity Analysis of Production and Allocation, Cowles Commission Monograph 13, Wiley, New York, 33–97.
- Kuhn, H. W., and A. W. Tucker (1951) “Nonlinear Programming,” in J. Neyman(ed.), Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, Berkeley.
- Louck, D. P. and E. M. Thiessen (1992) “Computer Assisted Negotiation of Multiobjective Water Resources Conflicts,” Water Resources Bulletin, 28 : 1, 163–177.
- Major, D. C. (1977) Multiobjective Water Resource Planning, American Geographical Union, Washington, D. C.
- Neumann, S. (1973) “Calibration of Distributed Parameter Groundwater Flow Models Viewed as a Multiobjective Decision Process under Uncertainty,” Water Resource Research, 9, 1006.
- Roy, B., S. Roman and T. Wiktor (1992) “Multicriteria Programming of Water Supply Systems for Areas,” Water Resources Bulletin, 28 : 1, 13–31.
- Sakawa, M., and Fumiko Seo (1988) Multiple Criteria Decision Analysis in Regional Planning, D. Reidel Publishing Company, TOKYO.
- Tecle, A. (1992) “Selecting a Multicriteria Decision Masking Technique for Watershed Resources Management,” Water Resources Bulletin, 28 : 1, 129–140.
- Thanh, N. C., K. Biswas (1990) Environmentally Sound Water Management, Oxford, New York.
- Yu, P. L. (1990) Forming Winning Strategies, Springer-Verlag, New York.
- Yu, P. L. (1985) Multiple-Criteria Decision Making, Plenum press, New York.
- Zadeh, L. (1969) “Optimality and Non-Scalar-Valued Performance Criteria,” IEEE Transactions, Cliffs New York.
- Zeleny, M. (1982) Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, Inc.

A study on for Water Resources Distribution and Utilization in Taiwan Shihmen Reservoir: Multiobjective Water Resources Conflict Negotiation Approach

Hsiang-Hsi Liu and Yuh-Min Wang

Department of Cooperative Economics, National Chung-Hsing University

Department of Business Management, Dar-Der Vocational
High School

Due to unstable supply of water caused by the seasonal factors and pollution, the reservoirs in Taiwan have played a crucial role in providing water resources for utilization. How to allocate the water in reservoir efficiently and effectively is thus an important and emerging issue in Taiwan. The Shihmen reservoir is one of major reservoirs that having multiple objective functions in water utilization, for example, in hydro-electric, agriculture and living water.

In this study, we apply the multiobjective water resource conflict negotiation approach developed by Louck and Thiessen (1992) to water allocation of the Shihmen reservoir. We develop a system which dealing with conflicting negotiations on water resources utilization in the Shihmen reservoir and link some information from decision markers to find out the solution that can be compromised by those conflicting groups. This system is computerized in VISUAL BASIC language. At last, some empirical simulations for different water supply scenarios in the Shihmen reservoir area are also conducted in the paper.

Keywords: *water resources, multiobjective conflict resolution, negotiation*