

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

水質水量整合交易制度之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2415-H-032-013-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：淡江大學產業經濟學系

計畫主持人：洪鳴丰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

(水質水量整合交易制度之研究)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2415-H-032-013-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

計畫主持人：洪鳴丰

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學產業經濟系(所)

中華民國 94 年 10 月 31 日

摘要

水資源之「質」與「量」的稀少性問題，是現代環境經濟學相當重要的研究課題之一。過去四十餘年來，排放交易與水權交易之相關研究，已累積相當之研究成果，前者藉由污染的總量管制，控制污染總量以維護環境品質，並透過排放許可證的交易，降低污染源的污染防治成本，期使環境與經濟二者由相剋到相生；後者之研究則透過水權之交易，使水量無效率分配之現狀得以藉由交易改善，使水資源之使用效益達到最大。然而，河川水質不只受到受到污染排放量多寡的影響，也受到水量多寡的影響，因此水量交易必須內部化其交易對水質造成的外部性。另一方面，水質的高低也可能會影響到水量的價值，水資源的水質越高，其水價可能較高，反之則較低。因此水質與水量的交易，事實上不能獨立進行，必須整合為之。本研究即針對水質水量之市場交易，設計一「兩步驟水質水量整合交易制度」，考慮經濟效益、水質保護以及留川價值，並期提升水質水量交易制度在實務上之可行性。

關鍵詞：排放交易、水權交易、交易比、留川水、交易制度

Abstract

The researches regarding emission trading and market for water rights have been rather developed independently in the past few decades. However, a redistribution of surface rights will alter water quality along the river. Water with different quality also costs differently. It is therefore the studies of emission trading and market for water rights should not be separated. In this research, we propose a two-stage integrated system for water quality and quantity trading. We try to internalize the inter-externalities that both trading systems cause on each other. This integrated trading system could increase the aggregate benefits of all water users and at the same time, maintain the water qualities and minimum instream flows of the river.

Keywords: emission trading, water right trading, trading ratio, instream flow, trading system

一、前言

自古以來，「水」便是一項非常重要的資源，不唯是民生必需品，也是農工商業發展所仰賴之重要生產要素之一。然而，由於水資源在時間以及區域間之分配極不平均，許多國家與地區均面臨水資源供需失衡以及水資源稀少性日益嚴重的問題。另一方面，由於經濟發展，污染的排放也對我們的河川、湖泊與海洋造成危害，更進一步損及人體、景觀以及生態健康。綜而言之，水資源之「質」與「量」的稀少性問題，是現代環境經濟學相當重要的研究課題之一。

針對水量稀少性問題，早期的研究有 Hirshleifer et al. (1960) 與 Hatrman and Seastone (1970) 提出以兩部水價制度 (two-tiered system of water pricing) 改善水資源分配效率問題；近期的研究則有 Burness and Quirk (1979)、Burness and Quirk (1980)、Johnson et al. (1981)、Anderson and Johnson (1986)、Livingston and Miller (1986)、Hsu and Griffin (1992)、Griffin and Hsu (1993) 與經濟部水資源局 (2000) 等文，進行水量 (水權) 交易市場之效率性以及制度研究。在這類研究上需要特別考量的因素，包括第三者效果 (third party effects)¹、回歸水 (return flows) 以及留川價值 (instream value)。

在水質稀少性的研究問題上，排放交易 (emission trading) 是近年來相當熱門的研究課題，其首先藉由污染的總量管制，控制污染總量以維護環境品質，其次透過排放許可證 (tradable discharge permits) 的交易，降低污染源的污染防治成本，使經濟得以發展，期使環境與經濟二者由相剋到相生。在排放交易制度的設計上，主要有 Montgomery (1972) 所提出之 APS (ambient-permit system) 與 EPS (emission permit system) 制度、Krupnick et al. (1983) 所提出之 POS (pollution-offset system) 制度、Førsund and Nævdal (1994) 與 Klaassen et al. (1994) 所提出之 ERS 制度 (exchange-rate emission trading system)、以及 Hung and Shaw (2005) 所提出之 TRS 制度 (trading-ratio system)。

基本上，上述水質與水量的研究均已發展一段時間且有相當成果，但二者大抵被分開且獨立研究。然而眾所皆知，水質不只受到受到排放量多寡的影響，也受到水量多寡的影響，因此水量交易必須內部化其交易對水質造成的外部性。另一方面，水質的高低也可能會影響到水量的價值，水資源的水質越高，其水價可能較高，反之則較低。因此水質與水量的交易，事實上不能獨立進行，必須整合為之。但水質、水量整合交易的研究非常少，就申請人目前所知，僅有 Weber (2001)、Sabbaghi and Spulber (1995)

¹ 第三者效果指水量移轉造成留川水量以及其他水使用者可用水量降低的效果。

與 Frisvold and Caswell (1995) 三篇。

Sabbaghi and Spulber (1995) 與 Frisvold and Caswell (1995) 二文，將整個水質水量交易市場極度簡化，既無考慮水量交易面之第三者效果、回歸水問題以及留川價值，也無考慮水質交易面之排放位置效果與環境品質維護等基本特質。前文區分水市場為下游地方機關與上游供給者之雙佔情況，雙方彼此協議談判，求出合作賽局解；後文將不同品質的水視為異質性商品，由市場供需決定均衡的水價、數量與品質，個人以為此模型應用於桶（瓶）裝水與自來水之交易市場較為適當。

Weber (2001) 是本研究計畫主要之參考與比較文獻，該文從理論上探討河川表水之水質水量交易²以及市場均衡解之特質。首先，其設定一受消費水量、排放量、留川水量、以及水質影響之效益函數，而管制者的目標，即是在河川各點水質要求與最低留川水量的限制下，極大化總效益函數。其次，該文以數學證明在一連串的競價行為後，水量交易以及 APS 式的水質交易之市場均衡能夠達成 Pareto 最適。該市場均衡的特色是水質水量均無跨區交易，且單位水價與單位排放許可證價由上游至下游越來越低。該模型設定之缺點是：(1) 訊息與交易成本很高，每個水使用者不論何時，均需擁有其他所有使用者的出價與所在位置，而從水質交易之歷有文獻也可知，APS 之交易制度在真實世界非常難行；(2) 有路徑相依 (path dependent) 問題，若使用者無法明確知道彼此的成本，則一旦交易錯誤，最後將無法達到 Pareto 最適；(3) 狀態相依 (state dependent) 問題，水使用者須視其他人的交易後，才能決定自己的交易狀況。最後該文作者認為，要落實水質水量交易制度之「可行性」，更多制度設計的研究是非常必要的。

本研究計畫即針對水質水量之市場交易制度進行研究，期能設計一水質水量之整合交易制度，考慮經濟效益、水質保護以及留川價值，內化水質水量交易之外部性，並期提升水質水量交易制度在實務上之可行性。

二、研究方法與模型設定

假設在一河川沿岸，從上游至下游有 $i=1, \dots, n$ 之取水者與污染排放者（以下以水使用者稱之），而 $B_i(e_i, d_i)$ 為個別水使用者之效益函數，此效益

² 河川、湖泊與海洋等水體性質不同，就河川而言，抽水以及污染排放的位置效果影響重大，湖泊則因無上下游關係與水污染之擴散作用，因此位置效果影響不大，其在水質水量交易制度上，可視為是河川者之特例。

函數基本上受污染排放量（ e_i ）與引水量（ d_i ）之正向影響³。此外，並假設河川無支流、無蒸發及滲漏問題，以及引水之回歸係數為零。如同 Weber（2001）之基準模型設定，管制者的目標乃是極大化所有用水者之總效益，限制條件則是其必須使環境品質獲得維護以及最小河川流量得以維持，否則河川將受過度污染，河川生態、野生動物以及遊憩價值等，也將因水量之過度使用而無以為繼。因此最適水質水量之基準模型(benchmark)設定如下：

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{e_i, d_i} \sum_{i=1}^n B_i(e_i, d_i) \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^j d_i \leq v_0 - \bar{v}_j, \quad j=1, \dots, n \\ & \quad \quad \sum_{i=1}^n t_{ij} e_i \leq E_j, \quad j=1, \dots, n \\ & \quad \quad d_i, e_i \geq 0. \end{aligned}$$

其中， v_0 為水源處之總水量， \bar{v}_j 為各取水點取水後所需維持之最小留川水量， t 為水污染之轉移係數 (transfer coefficient)， E_j 為各點之污染排放總量限制。在此模型設定下，可以解出一個污染排放量與引水量之最適解，而此均衡解能符合水質水量限制，且使所有水使用者之總效益最大，故此最適解是任何交易制度所要達成的目標。

為達成此目標，本研究計畫之研究方法擬定為：(1) 採取 TRS 排放交易制度，進行水質交易。(2) 設計水量交易法則。(3) 結合前述二項之交易法則，形成水質水量整合交易制度。茲將各項說明如下：

(1) TRS 排放交易制度：相較於其他排放交易制度，TRS 之優點在於其交易比是外生設定、交易成本較低、無熱點與坐享其成者問題，並且能以最小之總污染防治成本達成河川各點之水質要求，因此採取 TRS 應較 Weber (2001) 所採取之 APS 排放交易制度更具可行性。TRS 排放交易制度之交易法則主要包括下列五步驟：(i) 管制當局以河川各點水質標準換算之「污染總量標準」為各點之環境限制，(ii) 管制當局由上游至下游設定各「河點排放許可證」，此數量為該河點「污染總量標準」減去上游下游之污染量。(iii) 管制當局將所有「河點排放許可證」完全分配給污染源，

³ 為將問題專注於水質水量之探討，因此將效益函數簡化為僅受排放量與引水量影響。此外由於本文假設回歸係數為零，引水量等同用水量。

(iv) 管制當局設定各污染源間交易比為河點間之轉移係數，並事先公布，
 (v) 污染源依據交易比自由交易，當局則確保污染源遵守交易規則，並於交易期末確認污染源之總排放量小於其所擁有之有效許可證數量。

(2) 水量交易法則：仿效 TRS 之作法，(i) 管制當局以河川各點之「最小留川水量」為水量限制，藉以保護留川價值⁴，(ii) 管制當局由上游至下游設定「河點水權」($d_i^0 = (v_0 - \bar{v}_i) - \sum_{j=1}^{i-1} d_j^0$)，並將之分配給該河點之引水者，(iii) 管制當局設定水權交易之交易比，下游引水者購買上游「河點水權」之交易比為 1:1，上游引水者則不得購買下游之「河點水權」，(iv) 引水者依據交易比自由交易，當局則確保引水者遵守交易規則，且於期末時，其引水量小於其擁有之水權數量。

(3) 結合 TRS 排放交易制度與水量交易法則：結合上述兩套交易法則，此整合性之水質水量市場交易應能提高污染排放之成本有效性與水量之分配效率性。

依據上述之制度設計，此水質水量整合交易制度可設定如下：

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{e_i, d_i} \sum_{i=1}^n B_i(e_i, d_i) \\ \text{s.t. } & d_i - \sum_{k=1}^{i-1} W_{ki} + \sum_{k>i}^n W_{ik} \leq d_i^0, \quad i=1, \dots, n \\ & e_i - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} T_{ki} + \sum_{k>i}^n T_{ik} \leq \bar{T}_i, \quad i=1, \dots, n \\ & d_i, e_i, W_{ki}, W_{ik}, T_{ki}, T_{ik} \geq 0. \end{aligned}$$

其中， W 、 T 為水權與排放權交易量， \bar{T}_i 為污染源始初許可證數量。

值得注意的是，由於水量交易會影響水質，水量之交易應先於 TRS 交易。在本計畫中，水權會由上游移轉到下游（見水量交易比之設計），因此上游留川水量會因此移轉而提高，為充分利用此水量交易帶來的污染涵容能力提升，污染排放交易因而隨之發生改變。因此為使交易簡單，可將交易過程分成兩個步驟，首先進行水量交易，然後再進行水質交易，而整合性的水質水量交易制度將因此簡化，本研究稱此制度為「兩步驟水質水量整合交易制度」。

⁴ 在本研究中，留川價值之維護係透過最小留川水量進行之，此乃因為留川水之使用者難以界定（如野生動物、生態等），無法直接參與後續之水量交易，且有公共財問題，因此本文假設管制當局訊息充分，事先以使用價值與非使用價值之估算方法，算出最小留川水量來保護留川價值。

三、結果與討論

在真實世界中，由於引水與防治設備投資的缺乏彈性，因此 Ermoliev et al. (2000)建議採取一 MADIC (Multi-agent decentralized market) 方式進行交易，此方式將整個交易過程區分成交易期與執行期。首先在交易期，由所有交易者考量所有訊息後進行權證之交易；其後，在執行期時，用水者才真正依據擁有之權證進行引水與防治。本研究之水質水量交易則進一步在交易期時，先進行水量交易，待水量交易完成後，再進行水質交易。

依據 Hung and Shaw (2005)，TRS 之交易結果為單純考量水質交易之社會最適結果；而依據歷有水量交易文獻，在不考慮回歸水之情況下，水量的 1:1 交易為單純考量水量交易之社會最適結果。以下將分三種情境 (scenarios) 進行數學模擬，來比較不同制度下社會總效益之大小，三種情境分別是(1)水質、水量單獨交易，(2) 兩步驟水質水量整合交易，與(3) 社會最適。

模擬情境之各變數與參數設計如下：假設河川沿岸有三個水使用者 ($i=1,2,3$)，源頭總水量為 150 (水量單位)，各河點之最小留川水量要求為(50,40,30)水量單位，總引水效益 $D = \sum_{i=1}^3 d_i^{a_i}$ ，其中 $a=(0.2,0.3,0.1)$ 。總防

治成本 $C = \sum_{i=1}^3 50 + 0.5(85 - e_i) + b_i(85 - e_i)^2$ ，其中 $b=(0.01,0.03,0.02)$ ，河川之轉

移係數 $t_{12} = 0.5$ ， $t_{23} = 0.4$ 。在污染總量限制方面，為簡化問題，假設除水量外，影響河川涵容能力之其他因素固定，因此不予考慮，並且假設各點之水質要求等於一，即多少水量便可涵容多少污染排放量，因此各河點之總量限制等於各河點之可引水量。當管制者同時重視水質與水量二者時，假設總效益函數為 $B = D - C$ ，管制者極大化此效益函數，受限於各河點之最小留川水量與污染總量限制。

模擬結果如表一所示。由表中各數據可知，水質、水量單獨交易之社會總效益最低，而本研究所設計之「兩步驟水質水量整合交易」，其總效益雖然比水質、水量單獨交易時為高，但仍非社會最適。究其原因，雖然兩步驟交易納入了第一步驟水量交易後帶來涵容能力提升的好處，但仍然沒有完全內化水量交易對水質產生的所有外部性。

四、結論與建議

排放交易與水權交易的個別研究雖然已有四十餘年之歷史，但結合二者的整合性交易制度之研究，卻仍然相當相當少見。本研究提出一「兩步驟水質水量整合交易制度」，在水質水量之權證分配與後續之交易法則設計上，均見創新與簡化，也對水質水量個別進行交易的效率性有所提升，但是仍非社會最適之交易制度。

後續之研究，應可在權證之始初分配以及交易比之設計上進行改善，以期能達到社會最適。此外，本研究在水權交易之情境，係較為簡化之設定，未來應可進一步納入回歸水之討論，俾使交易制度之設計更符合實際情況、適用性更高。

參考文獻

經濟部水資源局 (2000)，*水權交易制度與配套措施之研究*，經濟部水資源局。

Anderson, T.L. and R.N. Johnson (1986), "The problem of Instream Flows," *Economic Inquiry*, 24: 535-54.

Burness, H.S. and J.P. Quirk (1979), "Appropriative Water Rights and the Efficient Allocation of Resources," *American Economic Review*, 69: 25-37.

Burness, H.S. and J.P. Quirk (1980), "Water Law, Water Transfers, and Economic Efficiency: the Colorado River," *Journal of Law Economics*, 23: 111-34.

Ermoliev, Y., M. Michalevich, and A. Nentjes (2000), "Markets for Tradeable Emission and Ambient Permits: A Dynamic Approach," *Environmental and Resource Economics*, 15, 39-56.

Førsund, F. R. and E. Nævdal (1994), "Trading Sulfur Emissions in Europe," in Klaassen, G. and F.R. Førsund (Eds.), *Economic Aspects of Air Pollution Control*, Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 231-48.

Frisvold, G.B. and M.F. Caswell (1995), "A Bargaining Model for Water Transfers Including Water Quality," in Dinar, A. and E.T. Loehman (eds.), *Water Quantity/Quality Management and conflict Resolution—Institutions, Processes, and Economic analyses*, Connecticut: Praeger publisher, 399-407.

Griffin, R.C. and Hsu S.H. (1993), "The Potential for Water Market Efficiency When Instream Flows Have Value," *American Journal of Agricultural Economics*, 75: 292-303.

Hatman, L.M. and D. Seastone (1970), *Water Transfer: Economic Efficiency and*

- Alternative Institutions*, Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Hirshleifer, J., J.C. De Haven, and J.W. Milliman (1960), *Water Supply: Economics, Technology, and Policy*, Chicago: the University of Chicago Press.
- Hsu, S.H. and R.C. Griffin (1992), "A Distributed Parameter Control Systems Approach to the analysis of Water Allocation," *Natural Resource Modeling*, 6(2): 191-219.
- Hung, M.F. and D. Shaw (2005), "A Trading Ratio System for Trading Water Pollution Discharge Permits," *Journal of Environmental Economics and Management*, 49, 83-102.
- Johnson, R.N., M. Gisser, and M. Werner (1981), "The Definition of a Surface Water Rights and Transferability," *Journal of Law Economics*, 24: 273-88.
- Klaassen, G., F. R. Førsund, and M. Amann (1994), "Emissions Trading in Europe with an Exchange Rate," *Environmental and Resource Economics*, 4: 305-30.
- Krupnick, A. J., W. E. Oates, and E. Van De Verg (1983), "On Marketable Air-Pollution Permits: The Case for a System of Pollution Offsets," *Journal of Environmental Economics and Management*, 10: 233-47.
- Livingston, M.L. and T.A. Miller (1986), "A Framework for Analyzing the Impact of Western Instream Water Rights on Choice Domains: Transferability, Externalities, and Consumptive Use," *Land Economics*, 62(3): 269-77.
- Montgomery, W. D. (1972), "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs," *Journal of Economic Theory*, 5: 395-418.
- Sabbaghi, A. and N. Spulber (1995), "Integration of Quantity and Quality in a Water Market," in Dinar, A. and E.T. Loehman (eds.), *Water Quantity/Quality Management and conflict Resolution—Institutions, Processes, and Economic analyses*, Connecticut: Praeger publisher, 155-63.
- Weber, M.L. (2001), "Markets for Water Rights under Environmental Constraints," *Journal of Environmental Economics and Management*, 42: 53-64.

表一 各情境之模擬結果

		個別引水量	個別排放量	總引水效益 <i>D</i>	總防治成本 <i>C</i>	總效益 <i>B=D-C</i>
情境一	水質、水量單獨交易	(28.37, 81.63, 10)	(55.71, 22.14, 20.0)	6.957	328.679	-321.722
情境二	兩步驟水質水量整合交易	(28.37, 81.63, 10)	(93.03, 47.02, 2.58)	6.957	290.115	-283.158
情境三	社會最適	(36, 0, 84)	(100, 60, 70)	—	—	-146.395