

台灣自來水股份有限公司

一〇〇年度

水資源品質指標與水資源定價 模型之研究

撰寫單位：第六區管理處業務課

撰寫人員：柯芄亘

撰寫期程：民國一〇〇年五月至民國一〇〇年六月

目 錄

摘要.....	2
第一章 緒論.....	3
第一節 研究目的及動機.....	4
第二節 研究方法.....	5
第二章 模擬分析與研究.....	6
第一節 水資源品質指標QL.....	6
第二節 水資源定價P模型.....	10
第三章 結論.....	13
致謝.....	14
附錄 I.....	15
附錄 II.....	24
參考文獻.....	26

摘要

隨著全球經濟發展和資源稀少性的逐步顯現，水資源供給出現短缺，使人們不僅認識到天然水資源的價值，重視其優化配置、合理利用和水資源保護的問題，也開始致力於水資源品質的研究。過去相關文獻大多探討水資源品質與環境變化如土壤、河道、降雨等之影響，近來更擴展到探討水質與水資源定價間之關聯性分析。目前大多數文獻以溶氧量(DO)和生化需氧量(BOD)等部份參數來代表水質指標 Q 。然而國際上基於民生、經濟的實質需求，規範許多詳盡的水質項目(如附錄)以針對不同水資源的需求設定對應的標準，最終目的皆是為了確保用水安全；不過，若欲完全考量所有規範下的水質項目，事實上並不易應用在國民經濟統計與水資源品質管理相結合的研究上。因此本研究的貢獻乃採納所有已規範的水質項目，利用羅吉型(Logit)函數定義出較廣義的水資源品質指標 QL ，其中亦考慮了相關項目之變異數對水質的影響。期望本研究的 QL 能輔助一般文獻中的水資源品質 Q 指標，以定量的鑑別出不同水源的細微品質差異，並探討其中是否含有汙染超標的風險，以幫助國人更深切地評價水的內涵及其對於每個人生活息息相關的重要性。此外，針對近期政府欲重新評估訂定水價的動機促使本研究進一步應用廣義的水資源品質指標(QL)及水資源數量(QN)來從事模擬分析水的訂價策略，以供政府未來水價訂價模型的參考。

第一章 緒論

水資源係為國家民生之命脈，關乎一國經濟發展之動力及重要天然資源之使用，雖能替人民帶來豐沛及蓬勃發展生活，還能新興社會與產業結構經濟，但事實上，資源卻非取之不盡、用之不竭。全球近年來，環境面臨工業化生產過度開發與自然資源不知節制濫用等因素，導致氣候變遷、暖化、聖嬰效應等現象逐一發生，造成用水環境的變動益發不受控制，水資源的來源穩動性受到嚴峻的考驗。

根據今年度政治風險諮詢機構 Maplecroft 編纂的缺水憂慮指數指出，如印度跟南韓等國的新興經濟體被列入高度缺水憂慮之國家，鄰近之中國則是列在中度缺水憂慮之國家。此機構表示，這些國家的缺水問題有可能會危及到國家的經濟成長，進而導致社會動盪不安，因此印度、南韓、中國及波灣國家，皆陸續於發展中國家購買水源穩定的土地開墾農業，目的即避免因全球糧價波動過大帶來民生衝擊，確保食物供給無憂。此外，世界知名的飲料與食品業者，亦開始嗅到原物料的未來性，紛紛在各地開始搶購水權。雖然目前台灣暫時無因缺水憂慮而危及到國家的經濟成長，但仍應未雨愁謀、及早做好萬全因應準備。

除缺水問題外，關心水環境品質、共同保護水資源亦是刻不容緩的課題，當前研究水質的目的除為了分析環境污染物在水中的作用和遷移以供作水資源保護的目的，期可實現水質的評價，進行水質預測，制訂污染物排放標準以及進

行水域的水質管理等，以針對水資源品質作有效的控制。

在台灣，由於水價等政策性因素，及民眾用水習慣等節制性不夠，加上水源開發本就有其困難性等因素，即便台灣不列為高度缺水範圍，其台灣水資源的開源節流問題仍面臨相當嚴峻挑戰。是以，無論在政策宣導或教育宣示下，應導正全民對於水資源的使用習慣，並且能強化水資源的重要性，進而節約用水以建立節水型社會，才得以讓國家永續發展。

第一節 研究目的及動機

水資源品質模型至今已有 70 多年的歷史，最早的水質模型在 1925 年美國俄亥俄州上開發的斯特里特－菲爾普斯模型，其為一個溶氧量 DO－生化需氧量 BOD 模型，經後來許多學者改進而逐步完善。美國環境保護局於 1977 年發表的 QUALII 型，為此模型之代表。於 1982 年最新版本 QUAL2E 中，能模擬任意組合的 15 種水質參數。在 80 年代後隨著水質研究的深入，另一類描述水中有毒物的模型應運而生。由於考慮了泥沙的作用，使這類模型變成了一個描述水流、泥沙和其他水質組成分相互作用的氣、液、固三相共存之複雜體系。其代表作是 1994 年美國環境保護局推出的 WASP5 模型，能模擬有毒物質在水中發生的酸鹼平衡、揮發、沉澱、溶解、水解、生物降解、吸附和解析、氧化還原、生物聚集、光解等過程以及大氣的乾、濕沉降物。同時，以食物鏈和能量傳遞為主線的生態學模型亦有了長足的發展。

過去相關文獻大多以溶氧量(DO)和生化需氧量(BOD)等部份參數來代表水質

指標 Q，但基於民生、經濟上對水資源品質的實際需求，國際組織規範許多詳盡的水質參數 parameter(請參見附錄)以針對不同水資源的需求(例如:飲用水、自來水、放流水、灌溉水、污水管制等)設定對應的標準，但最終目的皆是為了確保用水安全。

若考量所有已規範下的水質參數，事實上並不易應用在經濟、統計或行銷上的研究並與水資源品質的管理相互結合。因此本研究提供一個水質模型可歸納所有已規範的水質參數，並利用羅吉型 (Logit)函數定義出較廣義的水資源品質指標 QL 模型，其中亦考慮了相關水質參數之變異數對水質的影響，以期能輔助一般文獻中的水資源品質指標 Q 指標，以定量的鑑別出不同水源的細微品質差異，並探討其中是否含有汙染超標的風險，以幫助國人更深切地評價水的內涵及其重要性。此外，針對近期政府欲重新評估訂定水價的動機促使本研究進一步考量可應用廣義的水資源品質(QL)及水資源數量(QN)進行水的訂價策略，以提供未來政府針對水的價格訂定作進一步的參考。

第二節 研究方法

本研究並利用羅吉型 (Logit)函數定義出較廣義的水資源品質指標 QL 模型並可將所有已規範的水質參數歸納進水質模型中。另外，針對水價，本研究參考徐曉鵬與武春友(2005)對定價模型的概念,引進水資源品質(QL)與水資源多寡(QN: Quantity)對自來水價格的訂定提供一個參考。

第二章 模擬分析與研究

第一節 水資源品質指標 QL

茲先定義本研究水資源品質指標 QL 如下：

(一) 廣義水資源品質指標 QL：

藉由 Logit 函數，水資源品質指標 QL 定義為：

$$QL = \prod_{i=1}^M Q_i = \prod_{i=1}^M \frac{e^{\gamma_i(n_i - n_{L,i})}}{1 + e^{\gamma_i(n_i - n_{L,i})}} \left(1 - \frac{e^{\gamma_i(n_i - n_{H,i})}}{1 + e^{\gamma_i(n_i - n_{H,i})}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

其中 M 表示考慮的水質項目 i 的個數， n_i 表示該項目 i 的濃度， γ_i 則關聯到該項目的關鍵性 $\chi_i \equiv 2\gamma_i / (lbnd_i + hbnd_i)$ ，例如：pH 的 γ 較小，塑化劑的 γ 較大。 $n_{L,i}$ 和該項目的下限濃度標準 $lbnd_i$ 有關(若無下限標準，則定義 $n_{L,i} = -\infty$)， $n_{H,i}$ 和該項目的上限濃度標準 $hbnd_i$ 有關，此處函數參數 $n_{L,i}$ 定義為一適當值，使 Q_i 在 $n_i = lbnd_i$ (low bound) 時，該項目的品質指標為 $Q_i(n_i = lbnd_i) = 0.95$ ，即：

$$\begin{aligned} Q_i(n_i = lbnd_i) &= \frac{e^{\gamma_i(lbnd_i - n_{L,i})}}{1 + e^{\gamma_i(lbnd_i - n_{L,i})}} \left(1 - \frac{e^{\gamma_i(lbnd_i - n_{H,i})}}{1 + e^{\gamma_i(lbnd_i - n_{H,i})}} \right) \\ &\approx \frac{e^{\gamma_i(lbnd_i - n_{L,i})}}{1 + e^{\gamma_i(lbnd_i - n_{L,i})}} = 0.95 \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

同理，函數參數 $n_{H,i}$ 為一適當值，使 Q_i 在 $n_i = hbnd_i$ (high bound) 時，該項目的品質指標為 $Q_i(n_i = hbnd_i) = 0.95$

$$\begin{aligned} Q_i(n_i = hbnd_i) &= \frac{e^{\gamma_i(hbnd_i - n_{L,i})}}{1 + e^{\gamma_i(hbnd_i - n_{L,i})}} \left(1 - \frac{e^{\gamma_i(hbnd_i - n_{H,i})}}{1 + e^{\gamma_i(hbnd_i - n_{H,i})}} \right) \\ &\approx 1 - \frac{e^{\gamma_i(hbnd_i - n_{H,i})}}{1 + e^{\gamma_i(hbnd_i - n_{H,i})}} = 0.95 \end{aligned} \dots\dots\dots (3)$$

故由方程式(2)與(3)可分別求得 $n_{L,i}$ 與 $n_{H,i}$ 。

在一般情形下， $\gamma_i \gg 2/(lbnd_i + hbnd_i)$ ，所以方程式(2)及(3)可以做以上的近似。假設若不存在 $lbnd_i$ ，則定義 $lbnd_i = 0$ ， $n_{L,i} = -\infty$ 。

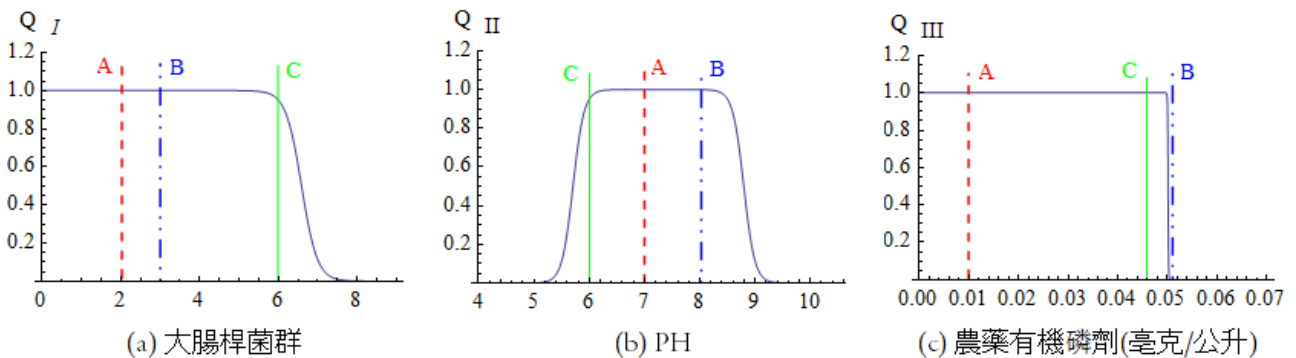
接著舉例以國家公告之自來水標準計算三種 A、B、C 水質，其水資源品質指標則為 $QL^{A水}$ 、 $QL^{B水}$ 、 $QL^{C水}$ ，並對其做樣本變動分析。由於實際之水質項目(如附錄 I)多達數十種以上，以下分析此僅列舉其中三種水質項目供作說明範例之用，結果分析如圖一所示。

其中所用的相關水質項目標準為：

(I) 大腸桿菌群(Coliform Group) ≤ 6 MPN；即 $hbnd_I = 6$

(II) $6.0 \leq$ 氫離子濃度指數(pH) ≤ 8.5 ；即 $lbnd_{II} = 6.0$ ， $hbnd_{II} = 8.5$

(III) 農藥有機磷劑 ≤ 0.05 毫克/公升；即 $hbnd_{III} = 0.05$



(圖一)

如圖一所示，對於項目 II (pH) 考慮其相對的安全性，故將其關鍵性參數設定相對較小 $\chi_{II} = 2\gamma_{II} / (lbnd_{II} + hbnd_{II}) \approx 1$ 。故若該項目超過標準值，則其該項目的水

品質指標 Q_{II} 會緩慢下降，反映其品質遠離標準而進入污染範圍，另外，針對農藥有機磷劑(III)，考慮其對人體相對的危險性較大，其關鍵性參數設定應相對較大，如： $\chi_{III} = 2\gamma_{III} / (lbnd_{III} + hbnd_{III}) \approx 100$ ，其表示若農藥有機磷劑這個項目一超過標準值，則該項目的水品質指標 Q_{III} 會快速下降，反映出危險性；對於大腸桿菌群(I)則將其關鍵性參數設定相對適中，為 $\chi_I = 2\gamma_I / (lbnd_I + hbnd_I) \approx 5$ 。實際的關鍵性參數則由專家決定。

現假設三種不同水源計有 A、B、C 三種水質，針對以上三種水質項目得出檢驗結果，結果如下：

1. A 水資源品質指標 $QL^{A水} = Q_I^{A水} Q_{II}^{A水} Q_{III}^{A水}$ 中相關水質項目的平均值為：大腸桿菌群=2 MPN，pH=7，磷劑=0.01 毫克/公升；
2. B 水資源品質指標 $QL^{B水} = Q_I^{B水} Q_{II}^{B水} Q_{III}^{B水}$ 中相關水質項目的平均值為：大腸桿菌群=3 MPN，pH=8，磷劑=0.051 毫克/公升；
3. C 水資源品質指標 $QL^{C水} = Q_I^{C水} Q_{II}^{C水} Q_{III}^{C水}$ 中相關水質項目的平均值為：大腸桿菌群=6 MPN，pH=6，磷劑=0.046 毫克/公升；

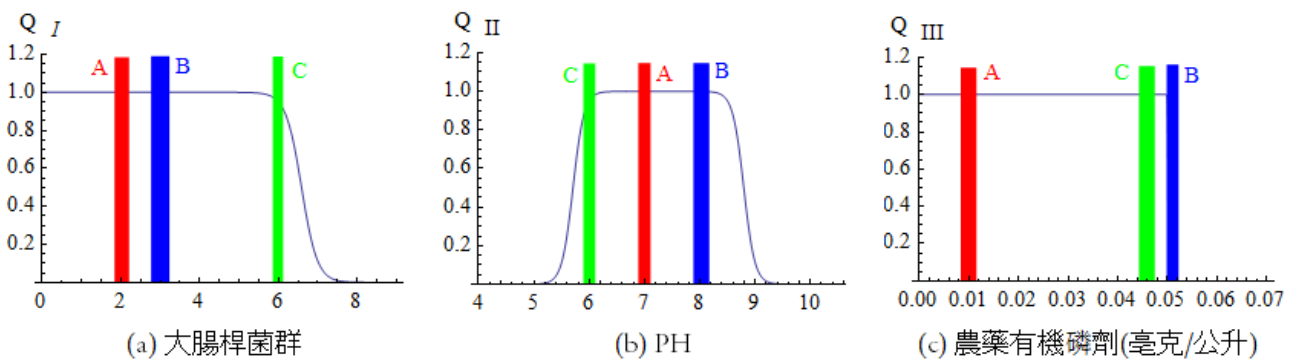
其中 $QL^{A水}$ 內的項目皆位於標準值之內， $QL^{B水}$ 的項目 I、II 也在標準值之內，但項目 III 稍微超過規定，但也幾乎在臨界值上； $QL^{C水}$ 的項目亦在安全臨界值附近，依此，其對應的 QL 平均值則分別為：

$$\overline{QL}^{A水} = \overline{Q_I}^{A水} \overline{Q_{II}}^{A水} \overline{Q_{III}}^{A水} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$\overline{QL}^{B水} = \overline{Q_I}^{B水} \overline{Q_{II}}^{B水} \overline{Q_{III}}^{B水} = 1 \times 1 \times 0 = 0$$

$$\overline{QL}^{C_{水}} = \overline{Q}_I^{C_{水}} \overline{Q}_{II}^{C_{水}} \overline{Q}_{III}^{C_{水}} = 0.95 \times 0.95 \times 1 = 0.9$$

由這些數值可以顯示出 QL 可以量化出相對的水資源品質，當存在眾多風險大小不一的汙染項目時，由指標 QL 中可即時歸納辨別出該水質是否存在風險，亦可顯示出該水資源品質的風險等級。再者，多個樣本水質檢測的差異性(變異數)亦顯現非常重要的訊息，茲舉例如下：



(圖二)

如圖二所示，Red、Green、Blue bar 分別代表 A 水、B 水及 C 水的多樣本水質檢測結果的分布範圍，即平均值 $\pm 3 \times$ 標準差；其中：

(A) A 水的相關項目分佈範圍為：大腸桿菌群=1.8~2.2 MPN，pH=6.9~7.1，

農藥有機磷劑=0.008~0.012 毫克/公升；

(B) B 水的相關項目分佈範圍為：大腸桿菌群=2.7~3.3 MPN，pH=7.8~8.2，

農藥有機磷劑=0.049~0.053 毫克/公升；

(C) C 水的相關項目分佈範圍為：大腸桿菌群=5.8~6.2 MPN，pH=5.8~6.2，

農藥有機磷劑=0.044~0.048 毫克/公升；

其相對應的 QL 分佈範圍則為： $QL^{A水} = 1 \sim 1$ ， $QL^{B水} = 0 \sim 1$ ， $QL^{C水} = 0.87 \sim 0.98$

顯示出 A 水品質安全穩定，B 水品質存有過量危險的風險，C 水的品質落於標準範圍上下。

以上假設分析可延伸至所有的水質項目並定義出有別於其他文獻更廣義的水資源品質指標 QL。在本研究中，藉由水質檢測說明如何計算水質項目的有效分佈範圍及其平均值 \overline{QL} 。其結果顯示，除可定量的鑑別出不同水源的細微品質差異，亦可由其 QL 的分佈範圍得知水源是否有使用風險，以幫助國人能更直覺的認識水的真正內涵及其對使用上的意義。

第二節 水資源定價模型

本研究參考徐曉鵬與武春友(2005)對定價模型的概念，引進水資源品質(QL)與水資源多寡(QN: Quantity)對自來水價格 P 的影響。茲將水資源價格 P 定義為：

$$P = P_{QL} + P_{QN} = f(QL) + [\alpha \cdot e^{\beta r} - 1]f(QL) = \alpha \cdot e^{\beta r} f(QL) \quad \dots\dots\dots (4)$$

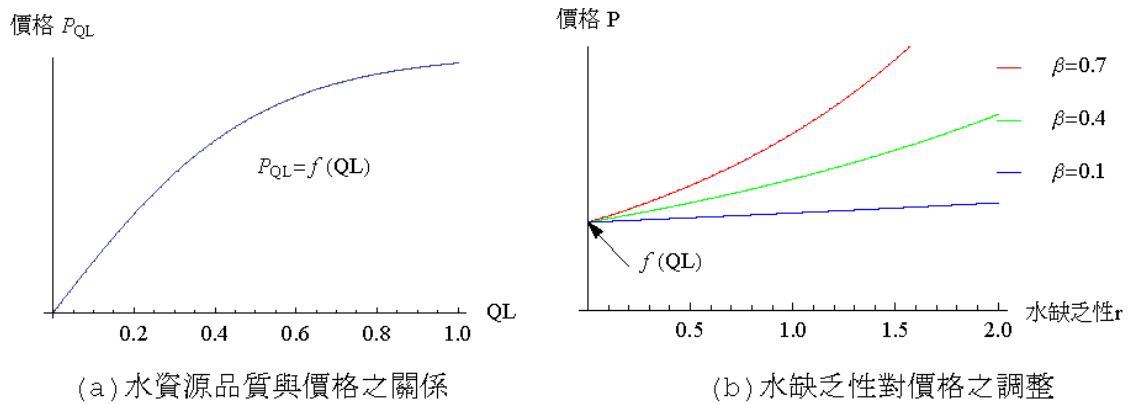
此處 P_{QL} 為一個水資源品質 QL 相關的理想價格函數 $f(QL)$ ，數學模型表示為

$P_{QL} = f(QL)$ 。 P_{QN} 係依水資源多寡(QN: Quantity)而調整的價格，數學模型表

示為 $P_{QN} = [\alpha \cdot e^{\beta r} - 1]f(QL)$ 。其中， α, β 為水資源價格的政策性調整係數，

$r = \frac{\text{年平均可用之水資源量}}{\text{當月可用之水資源量}}$ 可表示出水資源供應量的盈缺狀況。如以下圖三所

示：



(圖三)

依照圖三(a)定性地說明水資源品質 QL 與價格 P 之關係： $P=f(QL)$ 。一般而言，水質越佳，水的價值就越大；相反地，水質越差，其價值就越小抑或為零。據此，函數 $f(QL)$ 可藉由民眾問卷調查或國際水價行情比照國民生產毛額(GNP) 後統計決定合理水價範圍，其標準的統計分析簡述如下：

圖三(b)說明水缺乏性 r 對水價 P 之調整，其中已假設 $\alpha=1$ ，不同的 β 則代表不同的政策性價格調整係數；例如 $\beta=0.1$ 表示水價較不會因應水資源的缺乏而調整，大致維持在 $P=f(QL)$ 的理想水準；反之， $\beta=0.7$ 則表示水價會因應水資源的缺乏作大幅度的調漲，以達到國人節約用水與生態環保的目的，其係數之決定可由政府相關單位依當時政策方向、時序供水量的多寡及水資源的運作調配而定。

最後，此研究分析簡述如何利用線性最小二乘法進行多項式 $f(QL)$ 函數之模

擬統計。分析步驟如下：

考慮 m 種水，按水品質指標 QL 由高至低分別標記為：

1 級，2 級，……， m 級

對應的水品質= QL_1, QL_2, \dots, QL_m ；

其理想價格= $P_{QL,1}, P_{QL,2}, \dots, P_{QL,3}$ 。

假設水資源品質 QL 與其理想價格 P_{QL} 為一連續均勻變化的關係，則可設 $f(QL)$

之擬合曲線為：

$$f(QL) = a_n QL^n + a_{n-1} QL^{n-1} + \dots + a_1 QL + a_0 = \sum_{k=0}^n a_k QL^k \quad \dots\dots\dots (5)$$

其中 $a_k (k \in 0,1,2,\dots,n)$ 為待定係數，並滿足 $n < (m-1)$ 。擬合函數 $f(QL)$ 與已知 m 種

水資源價格 P_{QL} 的擬合誤差可計算為：

$$\delta(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^m [f(QL_j) - P_{QL,j}]^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

為求 (a_0, a_1, \dots, a_n) 使得擬合誤差 δ 為最小值時，需利用數值的必要條件

$$\frac{\partial \delta(a_0, a_1, \dots, a_n)}{\partial a_k} = 0 \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n), \text{ 即}$$

$$\rightarrow \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=0}^n a_k QL_j^k - P_{QL,j} \right] = 0$$

$$\sum_{j=1}^m QL_j \left[\sum_{k=0}^n a_k QL_j^k - P_{QL,j} \right] = 0$$

$$\sum_{j=1}^m QL_j^2 \left[\sum_{k=0}^n a_k QL_j^k - P_{QL,j} \right] = 0 \quad \dots$$

$$\sum_{j=1}^m QL_j^n \left[\sum_{k=0}^n a_k QL_j^k - P_{QL,j} \right] = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

方程式(7)可表示成矩陣形式

$$R^T RA = R^T P \quad \dots\dots\dots (8)$$

其中， $A = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_n)^T$ ， $P = (P_{QL,1}, P_{QL,2}, \dots, P_{QL,m})^T$ ，

$$R = \begin{bmatrix} 1 & QL_1 & \dots & QL_1^n \\ 1 & QL_2 & \dots & QL_2^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & QL_m & \dots & QL_m^n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (9)$$

則擬合曲線的係數解 $A = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_n)^T$ 為

$$A = (R^T R)^{-1} R^T P \quad \dots\dots\dots (10)$$

從而可得到擬合曲線(方程式(5))的具體表達式. 這樣就得到了水資源品質 QL 與相應理想水價 P_{QL} 的函數模型。

第三章 結論

本研究報告主要是針對眾多的水質項目來定義一簡明之水資源品質指標 QL。藉由此品質指標可合併考量實際水資源之供應量及政策方向對應出一個水資源定價模型。本研究的 QL 能輔助一般文獻中的水資源品質指標 Q，以定量的鑑別出不同水源的細微品質差異，並探討其中是否含有汙染超標的風險，以幫助政府及國人評價水的真正內涵。另外，本研究應用廣義的水資源品質(QL)及

水資源數量(QN)進行模擬水資源的訂價策略，期望能供作未來政府針對水價的訂定參考。最終，藉由本研究量化模擬之分析，無論是幫助政府機關或是用水人能更深層的認識水的真正內涵及價值，應可供作未來全球之生態環保作出更進一步之研究依據。

致謝

這份報告的完成，除了感謝本公司的長官、同仁指導，也感謝中研院應科中心何宜霖在數理統計知識上的協助研究。

附錄 I

自來水水質項目對人體健康之影響，如下表所述：

序號	水質項目	對人體健康之影響
1	大腸桿菌群	水中出現大腸桿菌群時，表示可能會有其他致病菌同時出現。
2	總菌落數	為評估消毒效率的要項。
3	臭度	影響適飲性項目，與水中藻類及微生物生長有關。
4	濁度	(1) 當濁度大於1NTU 時，將影響消毒效率；而大於5NTU 時肉眼可辨，會造成消費者之抱怨。 (2) 濁度過高可能於顆粒中藏匿微生物進而影響人體健康。
5	色度	(1) 屬影響適飲性項目。 (2) 大於 15 度時在玻璃杯中可被查覺。
6	砷	(1) 對皮膚、神經系統等造成危害。 (2) 對人體之致癌性已被證實，惟發生腫瘤之器官以皮膚及肺臟等易直接接觸或吸入者為主，其餘部位較少出現。 (3) 根據研究長期飲用砷含量偏高的深井水，已被懷疑是烏腳病的主要成因。
7	鉛	(1) 對腎臟、神經系統造成危害，對兒童具高毒性。 (2) 對動物之致癌性已被證實，對人體能否引發腫瘤之證據仍不足夠。
8	硒	(1) 為人體必要之微量元素之一，每人每日理想攝入量為0.1~0.2mg（含食物及飲水）。 (2) 高濃度會危害肌肉及神經系統。 (3) 對動物已發現具致癌性，對人體則尚未獲得證實。
9	鉻（總鉻）	(1) 對肝、腎及循環系統造成危害。 (2) 對動物已發現具致癌性，對人體則尚未獲得證實。
10	鎘	(1) 對腎臟有急性之傷害。 (2) 對動物之致癌性已被證實，對人體引發腫瘤亦有部分研究證實。
11	銀	銀對人體具毒害性已被確定。其主要以食入方式進入人體，對人體之影響在於肌肉神經、消化系統及心臟等組織，美國環保署指出長期食入銀可能引起高血

		壓，其致癌性美國環保署列為D類(無適當或無動物及人體致癌證據者)。
12	銻	體具毒害性已被證實。暴露於高濃度時中毒症狀類似砷中毒，如中樞神經損傷、胃腸道受損等，其致癌性美國環保署列為D類(因缺少人體之研究，且在動物實驗上僅得到不成熟之證據)。
13	鎳	鎳為人體必要之微量元素，人體消化道對鎳之吸收能力偏低，不易累積在組織中。WHO 認為鎳會造成過敏性病徵，如皮膚炎，但主要是經由皮膚接觸而非食入。除了皮膚疾病外，可能還會造成體重減輕、肝臟機能之損害，另外在高濃度下對動物之致癌性已被證實，但對於人類仍不甚明確，美國環保署將其致癌性列為D類。
14	汞	(1) 汞對人體健康傷害極大，在日本曾造成水俣病。 (2) 無機汞傷害之主要器官為腎臟，有機汞則會危害中樞神經系統，一般而言有機汞對人體危害較大。 (3) 致癌性方面，目前仍無證據顯示汞會致癌，故美國環保署將其列為D類。
15	氰鹽	對人體具急性且致病之毒性，可經由肺臟、消化道及皮膚進入人體，主要傷害之器官包括脾、肝、甲狀腺及神經系統等。致癌性方面，美國環保署將其列為D類。
16	亞硝酸鹽氮	(1) 為毒性物質之一，人體內亞硝酸鹽主要為硝酸鹽在體內轉換而成。 (2) 能將血紅素氧化為變性血紅素，因而失去正常之攜氧能力，此生理影響對嬰孩尤其明顯，可能產生急性中毒甚至致死。在高濃度時會產生心血管方面之疾病，低濃度時會發生變性血色蛋白血症(發生於嬰孩則稱為藍嬰症)，症狀為皮膚出現藍紫色之斑紋及呼吸急促等。 (3) 過量之亞硝酸鹽被認為在體內可能轉變為具致癌性之亞硝胺，美國環保署將其列為D類。
17	三鹵甲烷	(1) 三鹵甲烷在自來水中常見的有四種，即氯仿、溴仿、二溴一氯甲烷、一溴二氯甲烷等，其中以氯仿之出現頻率最高，對健康的影響亦最大。 (2) 致癌性方面最常發生的是膀胱癌。目前總三鹵甲烷的標準值為0.1mg/L' 其終身的致癌風險為10 ⁻⁵ (即每人每天平均飲用2公升的水，連續喝70年，大約每十萬人中有一人可能有致癌風險)。

18	三氯乙烯(有機物)	(1)三氯乙烯是一種中樞神經系統之鎮靜劑，在動物實驗中發現，吸入大量三氯乙烯會導致中樞神經系統衰弱，以及抑制心臟功能。長期暴露下會導致人體肝臟受損和小白鼠的肝細胞病變，對小白鼠具致癌性。 (2) 美國環保署將三氯乙烯列為極可能人類致癌物 (B2 類) ，計算出最大容許值為0.005 mg/L 。
19	四氯化碳(有機物)	(1)四氯化碳對人體健康有非常廣泛之影響，包括致癌性，並危害到肝臟與腎臟之功能等。 (2) 美國環保署將四氯化碳列為極可能人類致癌物 (B2 類) ，計算出最大容許值為0.005 mg/L 。
20	1, 1, 1-三氯乙烷(有機物)	(1) 1, 1, 1-三氯乙烷會引起吸入性急性中毒，在健康上的影響有肺部充血與水腫現象，肝臟之脂肪質有空泡狀態。 (2) 美國環保署將1, 1, 1-三氯乙烯列為無適當致癌證據的化合物(D 類) ，計算出最大容許值為0.2 mg/L 。
21	1, 2-二氯乙烷(有機物)	(1) 1, 2-二氯乙烷之暴露途徑有吸入、攝食及接觸，連續暴露會導致中樞神經系統的損害並會傷害到肝臟、腎臟與心臟血管系統。 (2) 美國環保署將1, 2-二氯乙烷列為極可能人類致癌物(B2 類) ，計算出最大容許值為 0.005 mg/L 。
22	氯乙烯(有機物)	(1)氯乙烯在急性曝露對健康的影響，會引起中樞神經之衰弱，並在病理上發現有肺部充血與水腫之現象。 (2)在動物實驗及人類流行病學研究顯示，均有腫瘤發生之現象，並以肝臟的血管肉瘤為最常引起的腫瘤形式。 (3)美國環保署將氯乙烯列為人類致癌物(A 類)，計算出最大容許值為0.002 mg/L 。
23	苯(有機物)	(1)苯在人類與動物之實驗上，具有相當穩定之毒性；急性中毒會導致中樞神經系統之衰弱；而慢性曝露於苯之中，會出現貧血與白血症現象。 (2)在幾個流行病學案例之研究上發現曝露於苯之中與白血病之間有關聯性，並證實苯在人體中是一致癌因子。 (3) 美國環保署將苯列為人類致癌物(A 類) .計算出最大容許值為 0.005 mg/L 。

24	對-二氯苯(有機物)	(1)對-二氯苯之暴露途徑有吸入、攝食及接觸等，屬於低急毒性，在動物實驗的證據上顯示，長時間的暴露會增加小鼠腎臟腫瘤以及大鼠肝細胞腺瘤的發生，但對-二氯苯並不具有基因突變性。 (2)美國環保署將對-二氯苯列為可能人類致癌物(C類)。計算出最大容許值為0.075 mg/L。
25	1, 1-二氯乙烯(有機物)	(1)1, 1-二氯乙烯會導致中樞神經系統退化，根據動物實驗發現90天連續暴露在1, 1-二氯乙烯下，會損害肝臟及腎臟，在慢性影響方面，長期暴露可能使大白鼠產生肝脂肪變化及肝細胞肥大。(2)美國環保署將其列為可能人類致癌物(C類)。計算出最大容許值為0.007 mg/L
26	安殺番(農藥)	(1)安殺番為非系統性的接觸毒及胃毒，吸入或吞入安殺番會有致命的危險，經由皮膚接觸也有高度的危險；全身性的中毒導致神經過敏、精神激昂、震顫、痙攣等現象。 (2)以目前動物實驗結果來看，並無明顯的致癌性和致突變性。
27	靈丹(農藥)	(1)吸入或吞入會有致命的危險，經由皮膚接觸也有高度的危險。 (2)以大白鼠實驗，在高劑量時會有肝細胞肥大症或腎臟發炎現象，慢性中毒會導致體重減輕，以及尿液、血液與組織中抗壞血酸變化，除對中樞神經具刺激性外，並具有高度致癌性。
28	丁基拉草(農藥)	為一種廣效性的除草劑，且是目前國內使用量最多之除草劑，根據動物性試驗丁基拉草對於小白鼠急性口服半致死劑量約3000-3630 mg/kg，而對眼睛是微具刺激性，對皮膚無刺激性。
29	2, 4-地(農藥)	(1)主要用途為除草劑，用以控制闊葉植物的生長。 (2)臨床上對人體健康方面的影響包括：肌纖維抽筋、痲痺、血色蛋白尿與肌紅蛋白尿，在致突變性與致癌性之實驗上，無任何顯著不良影響之發現，個體暴露在2, 4-地之下會感到容易疲勞、頭痛、肝臟疼痛、食慾減低。 (3)美國環保署依2, 4-地之致癌性，將其分類為D類，在致癌風險評估上，並未訂立任何標準。
30	巴拉刈(農藥)	(1)對人體有急毒性，皮膚接觸巴拉刈濃縮液可能導致嚴重皮膚刺激，不慎吸入造成症狀包括嘴、喉嚨、眼睛、皮膚有灼熱感覺，或有下痢、咽喉炎與嘔吐現

		<p>象，大致來說經由皮膚或吸入者應沒有致死之跡象，而蓄意或意外服入大量巴拉刈者，將導致呼吸困難引起死亡。</p> <p>(2) 美國環保署將其列為 E 類，即對人類沒有致癌之證據。</p>
31	納乃得(農藥)	<p>(1) 短期暴露:中毒症狀包括口吐白沫、抽搐及顫抖，大約 12 至 15 mg/kg 劑量的納乃得會對人類造成致命的影響。</p> <p>(2) 長期暴露:經調查在製造納乃得的工廠中工作人員的健康情形，包裝人員有最高的不良徵兆，46% 的人瞳孔縮小、46% 會反胃和嘔吐、46% 的人視力會變模糊和 27% 的人唾液分泌會增加。</p>
32	加保扶(農藥)	<p>(1) 主要作為殺蟲劑及殺線蟲劑。其具有接觸性毒以及胃毒，可抑制膽鹼酯酵素之作用。</p> <p>(2) 現有文獻中未發現其真有致癌性或致突變性。加保扶的每人每日可接受攝入量 ADI 值為 0.01 mg/kg/day 。</p>
33	滅必蝨(農藥)	<p>(1) 作為昆蟲殺蟲劑，遇熱分解產生有毒氣體 NO_x 。</p> <p>(2) 中毒症狀有嘔吐、腹部抽搐、腹瀉、盜汗、倦怠、虛弱、肌肉抽痙、失去協調、呼吸肌麻痺導致呼吸困難致死。</p>
34	達馬松(農藥)	<p>(1) 作為昆蟲殺蟲劑，是極毒物質，若吞食將導致死亡，對人體致死劑量為 5-50 mg/旬，大約 7 滴至 1 湯匙。</p> <p>(2) 中毒症狀如盜汗、視覺模糊、噁心、嘔吐、胸部及腹部抽痙、腹瀉、有時肺部水腫。</p>
35	大利松(農藥)	<p>(1) 作為昆蟲殺蟲劑，是極毒物質，若吸入或吞食或由皮膚接觸將導致死亡。</p> <p>(2) 中毒症狀如盜汗、視覺模糊、噁心、嘔吐、胸部及腹部抽痙、腹瀉。</p>
36	巴拉松(農藥)	<p>(1) 作為昆蟲殺蟲劑，是極毒物質，若吞食將導致死亡，對人體致死劑量為 5-50mg/kg，大約 7 滴至 1 湯匙。</p> <p>(2) 中毒症狀如頭痛、噁心、嘔吐、胸部及肌肉抽痙、腹瀉、流口水、呼吸困難，且因中樞神經失調而致死。</p>
37	一品松(農藥)	<p>(1) 作為昆蟲殺蟲劑，是極毒性神經物質，若吞食將導致死亡，且該化合物經由呼吸或皮膚接觸進入動物體內引起中毒；人類口服致死劑量為 0.3g / 70kg。亦可經由呼吸系統進入生物體導致中毒致死。</p>

		(2) 中毒症狀為頭痛、噁心、嘔吐、腹部及肌肉抽痙、腹瀉、頭暈、呼吸肌痙攣導致呼吸困難致死。
38	亞素靈(農藥)	(1) 作為殺蟲劑或突變劑，為作用極快速的殺蟲劑，可廣泛的用於去除小蟲、具有吸盤的昆蟲、食葉性甲蟲、螟蛉及其他喜噬作物昆蟲的幼蟲。 (2) 中毒症狀為盜汗、視覺失常、嘔吐、胸部及腹部疼痛、腹瀉、有時肺水腫、頭痛、肌肉失去協調、精神錯亂、失去方向感、昏睡、呼吸中樞破壞導致死亡。
39	氟鹽	(1) 對人體是否屬必要元素目前仍不確定，若濃度適當對預防齲齒之功效已受到證實。 (2) 濃度高(大於2 mg/L) 時可能會引起牙齒氟化而出現棕色斑點，更高之濃度會造成骨骼氟化而損壞。 (3) 一般地下水含量較高。
40	硝酸鹽氮 (以氮計)	(1) 對人體之毒性目前仍不確定，屬低毒性或無毒性。除飲水外，食物(主要為蔬菜)也是硝酸鹽進入人體之主要來源。 (2) 因進入人體後有部分會轉變為亞硝酸鹽，因而對人體造成危害，尤其出生後三個月內之嬰孩能在消化道內將硝酸鹽完全轉換成巨硝酸鹽(成人及兒童約轉換10%)，因此硝酸鹽對三個月內之嬰孩危害較大。
41	銀	(1) 低毒性之物質，長期曝露可能造成皮膚或頭髮變為青灰色。 (2) 因不具致惡性或致突變性，且對健康影響不大，美國列為次要水質管制項目。
42	鐵	(1) 屬人體必要元素之一，每日攝入總量為10-50 mg 之間。 (2) 不具毒性，濃度高會造成色度增加、斑點及味覺上之困擾等。 (3) 地下水含量較高，尤其是缺氧之深井。 (4) 配水系統之末端管線，如鐵細菌之過量繁殖，會造成嚴重的氣味問題，甚至出現多量的黑褐色硫酸亞鐵或氧化亞鐵顆粒。
43	錳	(1) 屬人體必要微量元素之一，但極少出現因缺乏而產生病症。 (2) 目前仍無證據顯示會導致腫瘤發生，屬低毒或無毒性物質。和鐵類似，管線中錳含量過高時，洗衣會有斑點污染及產生味覺、嗅覺之困擾。
44	銅	(1) 屬人體必要微量元素之一，每日理想攝取量約為2 mg/day，對人體不具累積性危害，高劑量時方被視

		<p>為毒性物質。急性中毒主要會刺激消化道而造成嘔吐、疼痛等症狀。</p> <p>(2) 目前仍無證據顯示會導致腫瘤發生。銅之味覺閾值約在1-2mg/L 之間，超過5 mg/L 之飲水令人無法接受，因人類味覺極易感知，所以經由飲水造成之急性銅中毒極少發生。</p>
45	鋅	<p>(1) 為人體必要微量元素之一，每日理想攝取量約為4~10mg/day 。</p> <p>(2) 為低毒性或無毒性之物質，水質中鋅含量超過4 mg/L 以上可能產生苦澀味。另外濃度長期超過5 mg/L 時，會導致煮沸容器壁上產生乳白色滑膩之薄膜。</p>
46	硫酸鹽	<p>(1) 為低毒性或無毒性物質，研究證明低於500 mg/L 以下之飲水，對健康並無影響，但高濃度時(約500-750 mg/L) 會導致腸胃道刺激，甚至有下痢、脫水等症狀出現。一般人在攝入含有高濃度硫酸鹽之飲水，在出現症狀後，生理通常經過一段時間後會自然調適。</p> <p>(2) 水中硫酸鹽含量過高，可能加速金屬管線腐蝕速率。</p> <p>(3) 美國環保署基於味覺上之困擾，於次要水質標準中以250mg/L 做為限值。</p>
47	酚類(以酚計)	<p>(1) 水中酚類濃度在1 mg/L 時，不致干擾家庭給水之用途;200mg/L 對魚類及水生生物尚無影響。</p> <p>(2) 如攝食酚類濃縮液將導致嚴重之痛苦，刺激腎臟、休克及可能死亡。但在低濃度時，不致對人體構成毒害。</p> <p>(3) 飲用水水質標準對酚類之限值多係考慮其臭味之問題，其臭味閾值因酚化合物種類而異。</p>
48	陰離子界面活面劑(MBAS)	<p>此物質是一種陰離子界面活性物質，其親水基帶著負電荷，已經被廣泛的使用為清潔劑。在飲用水水質標準中是歸類在影響適飲性的物質。</p>
49	氯鹽(以 Cl ⁻ 計)	<p>(1) 為人體細胞內主要陰離子之一，屬無毒性物質，正常成人平均每日攝取量約在6 公克左右，攝取自飲水之氯鹽僅佔每日攝入總量2%左右。</p> <p>(2) 飲水中氯鹽應不致對人體產生不良影響，但由於鈉鹽常伴隨氯鹽同時出現，故對少數必須嚴格控制食物鹽份之慢性病患(如心臟病、腎臟病患)。需另行考量其影響性。</p>

		(3) 現行飲用水水質標準中將氯鹽納入管制,是基於適飲性方面的考量,一般人對氯鹽之味覺閾值約在 250 mg/L .與美國環保署目前所訂標準(250 mg/L) 相同。
50	氨氮(以氮計)	(1) 水源是否受到人為污染的重要指標,在國內排放未經處理之畜牧廢水及家庭河水是造成水源中氨氮過量之主要原因。 (2) 水中存在之氨氮對人體僅具低毒性,主要為味覺上之困擾(NH ₃ , 味覺閾值為1.5 mg/L; NH ₄ ⁺ 較高, 可達35 mg/L) 。 (3) 經消毒後大部分氨氮均形成氯胺或轉變為硝酸鹽及亞硝酸鹽,已不足以代表原有濃度。
51	總硬度 (以 CaCO ₃ , 計)	(1) 水中之硬度乃源於溶解多價之金屬離子(以 CaCO ₃ 為單位). 主要包括鈣、鎂離子,其餘如Sn ²⁺ 、Fe ²⁺ 、Mn ²⁺ 均屬之。 (2) 由於鈣及鎂均為人體必要之微量元素,每人每日都必須自飲食中攝取相當量,方能維持生理機能(鈣: 0.7-2.0 公克,鎂: 3.6-4.2 毫克)。 (3) 由於人體對水中鈣與鎂離子之吸收效率尚不明確,所以總硬度過高之飲水與泌尿系統結石疾病間之相關性尚無法確定。 (4) 硬度在飲水中之影響主要為味覺口感,而水質之味覺閾值則因人而異。 (5) 水中總硬度太低,可能加速管線腐蝕作用,而太高時(超過200 mg/L). 可能在加熱過程中形成鍋垢或水垢。
52	總溶解固體量	(1) 總溶解固體量為多種物質之總稱,主要包括碳酸氫根離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉、鉀等無機鹽及少量可溶性之有機物質。 (2) 飲水中總溶解固體量對於該地區民眾患病率及死亡率並無明顯之直接關聯,因此一般將其視為影響適飲性之指標項目。 (3) 總溶解固體量主要影響在味覺口感方面,一般認為低於600mg/L 之水質口感最佳,通常超過1200 mg/L 時,才會令消費者無法接受。日本基於飲用水口感的舒適度所訂的飲用水水質標準,規定總溶解固體量的目標值為30-200mg/L 。 (4) 美國環保署基於影響適飲性(主要為味覺). 於次要水質標準中,採取較嚴謹之角度來訂定標準值為

		500mg/L。
53	自由有效餘氯(僅限加氯消毒之供水系統)	<p>(1)消毒之目的在於殺滅水中可能存在之病原體，加氯為確保飲用水安全之必要處理單元。(2) 氯溶於水中後會產生HOCl、OCl⁻、H⁺、Cl⁻等反應物，相較而言以次氯酸(HOCl)消毒效力最佳，而其毒性也強，在酸性條件時(pH 值為6)約96%之添加氯形成次氯酸，在pH值為9時，僅3%左右。</p> <p>(3) 氯在水中濃度約2~3 mg/L 時，人類嗅覺即能感受到其特殊刺激之氣味。</p> <p>(4) 考量多數人感覺及確保殘餘劑量之消毒效力，WHO 推薦以0.6-1.0 mg/L 為基於適飲性考量而訂定之基準，建議各國依國情狀況不同自行調整。</p>
54	pH 值(公私場所供公眾飲用之連續供水固定設備處理後之水不在此限)	<p>(1) pH 值為氫離子濃度之一種表示方式，許多酸性或鹼性食物攝入體內對健康並無影響，通常在相當極端之pH 值時方會危害人體。</p> <p>(2) 在健康上pH 影響屬間接性，主要是會造成配水系統中管線腐蝕，使水質中鉛、銅、鋅等重金屬含量過高。</p> <p>(3) pH 值大於8.0 時，會造成消毒效力之降低，進而造成潛在之健康威脅，超過8.5 時，可能會有苦味及管垢產生等困擾。</p> <p>(4) 基於防止管線腐蝕、妨害消毒效力及影響適飲性之理由，多數國家訂定6.5~8.5 為標準值。</p>

資料來源:行政院環境保護署網站

附錄 II

名稱	<u>自來水水質標準</u>
發布日期	民國 92 年 08 月 20 日
<u>第 1 條</u>	本標準依自來水法第十條規定訂定之。
<u>第 2 條</u>	<p>本標準用詞定義如下：</p> <p>一、大腸桿菌群：指能分解乳糖，格蘭姆染色陰性，無芽胞之桿菌，或以膜濾法培養，產生金屬光澤之深色菌落。</p> <p>二、大腸桿菌群密度：指以多管醱酵法一百毫升水樣中所存在之大腸桿菌群最大可能數值（以下簡稱最大可能數（MPN）），或以膜濾法時一百毫升水樣在濾膜上所實際產生之菌落數值。</p> <p>三、陶姆斯（H. A. Thomas, Jr）公式： 最大可能數等於醱酵為正值之管數乘以一百後，除以醱酵數為負值之水樣與接種之全部水樣相乘後開根號之值。</p> <p>四、多管醱酵法：指以不同容積或以不同稀釋度之細菌水樣（稀釋水樣之稀釋水須經滅菌）核定大腸桿菌群存否及密度之方法。</p> <p>五、膜濾法：指以特製過濾介質，核定大腸桿菌群存否及密度之方法。</p> <p>六、總菌落數：指一毫升水樣在標準平板培養基上，實際產生之菌落數。</p> <p>七、細菌水樣：指專供檢驗細菌之取樣容器所採取之水樣。</p> <p>八、有效餘氯：指水經加氯或氯化合物作消毒處理後，仍存在之有效剩餘氯量。</p> <p>九、自由有效餘氯：指以次氯酸或次氯酸根離子存在之有效餘氯。</p> <p>一〇、結合有效餘氯：指以氯胺、二氯胺存在之有效餘氯。</p> <p>一一、總三鹵甲烷：指水中之氯仿、溴化二氯甲烷、二溴化氯甲烷、溴仿等四種三鹵甲烷之總和。</p>
<u>第 3 條</u>	<p>自來水水質細菌最大容許量如下：</p> <p>一、大腸桿菌群密度月平均值為一·〇。</p> <p>二、單一細菌水樣大腸桿菌群密度為六·〇。</p> <p>三、單一細菌水樣總菌落數為一〇〇。</p>
<u>第 4 條</u>	<p>自來水水質濁度、色度、臭度及味最大容許量如下：</p> <p>一、濁度：</p> <p>（一）水源濁度在五〇〇濁度單位（NTU）以下：四個濁度單位（NTU）。</p> <p>（二）水源濁度超過五〇〇濁度單位（NTU）至一五〇〇濁度單位（NTU）：十個濁度單位（NTU）。</p> <p>（三）水源濁度超過一五〇〇濁度單位（NTU）：三十個濁度單位（NTU）。</p> <p>二、色度：十五鉑鈷單位。</p>

三、臭度：初嗅數三。

四、味：無異常。

前項水質檢驗，應每週取樣一次以上。

自來水水質化學性物質最大容許量或容許範圍如下：

一、鉛 (Pb)：0.05 毫克/公升。

二、硒 (Se)：0.05 毫克/公升。

三、砷 (As)：0.05 毫克/公升。

四、鉻 (Cr)：0.05 毫克/公升。

五、鎘 (Cd)：0.005 毫克/公升。

六、銀 (Ag)：0.05 毫克/公升。

七、汞 (Hg)：0.002 毫克/公升。

八、鐵 (Fe)：0.3 毫克/公升。

九、錳 (Mn)：0.05 毫克/公升。

一〇、銅 (Cu)：1.0 毫克/公升。

一一、鋅 (Zn)：5.0 毫克/公升。

一二、氰鹽 (CN-1)：0.05 毫克/公升。

一三、氟鹽 (F-1)：0.8 毫克/公升。

一四、氯鹽 (Cl-1)：250 毫克/公升。

一五、硫酸鹽 (SO4-2)：250 毫克/公升。

一六、氨氮 (NH3-N)：0.5 毫克/公升。

一七、亞硝酸鹽氮 (NO2--N)：0.1 毫克/公升。

一八、硝酸鹽氮：(NO3--N)：10.0 毫克/公升。

一九、總三鹵甲烷 (年平均值表示)：0.15 毫克/公升。

二〇、總溶解固體量：800 毫克/公升。

二一、酚類：0.001 毫克/公升。

二二、陰離子界面活性劑 (MBAS)：0.5 毫克/公升。

二三、總硬度 (CaCO3)：400 毫克/公升。

二四、自由有效餘氯：0.2 至 1.5 毫克/公升。

二五、氫離子濃度指數 (PH)：6.0 至 8.5。

二六、農藥。

(一) 有機磷劑 (巴拉松 Parathion、大利松 Diazinon、達馬松 Met-hamidophos、亞素靈 Monocrotophos、一品松 EPN) 加氨基甲酸鹽 (滅必蟲 Isoprocarb、加保扶 Carbofuran、納乃得 Meth-omyl)：0.05 毫克/公升。

(二) 靈丹 (Lindane)：0.0002 毫克/公升。

(三) 安殺番 (Endosulfan)：0.003 毫克/公升。

(四) 除草劑：

1 丁基拉草 (Butachlor)：0.02 毫克/公升。

2 巴拉刈 (Paraquat)：0.01 毫克/公升。

第 5 條

3 2-4 地 (2, 4-D) : 〇・〇七毫克/公升。

(五) 其他有害水質之農藥，其容許量由中央主管機關訂定並公告之。

資料來源：中華民國九十二年八月二十日經濟部經水字第九二四六一二八號令發布

參考文獻：

石鳳城，水質分析與檢測，新文京 2005 年。

江漢全，水質分析，三民 2004。

陳昌佑，水質分析檢測及實驗，新文京 2005 年。

徐曉鵬, 武春友，資源水價定價模型研究，甘肅社會科學 2005 年第 03 期，
p218-221。

馬曉威，階梯式水價方案的訂價策略研究，科學技術與工程 2008 年第 24 期，
p6545-6552。