

## 自來水供水系統之電力能源指標探討



撰寫單位：供水處、第八區管理處

撰寫人員：王炳鑫、吳安邦、陳文祥、陳信利、蕭瑞榮

撰寫日期：九十五年十月五日

## 摘 要

供應飲用水所需耗用電力能源極大，為節約電力能源與電價，近年來越來越多學術進行以節約能源為基礎的研究理論。本研究目標為發展一套容易評估自來水供水系統所使用之電力能源是否過高或是否仍有節能空間。經由最小耗能（minimal energy）之觀念，可以將自來水事業與能量相關之特性建立結構性指標（structure' s indicator）與品質指標（Quality indicator），藉以顯示出用戶與水源位址差異影響耗能的情形。

近年來因水價未調整與新擴建自來水工程不易，使得自來水事業的經營困難度越來越高，且台灣地區自產能源十分缺乏，百分之九十七以上仰賴國外進口，故如何使自來水系統之耗電減輕至最低，以達節約用電就顯得格外重要。然而，現今尚未有一套標準的永續能源發展之指標系統檢視方法，更遑論能有一套適合評估自來水系統的能源指標，且自來水供水系統較為複雜，因其所耗之能源並不僅於輸送水量，並且在於水源與用戶所位於之地理位置及其他物理特性。

**關鍵字：**供水系統、電力能源指標

## 目 錄

摘要 .....	iv
第一章 前言 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的及重要性 .....	1
1.3 國內外有關本研究情況 .....	3
1.4 研究步驟及流程 .....	4
第二章 自來水供水系統節能措施 .....	5
2.1 電力供應概論 .....	6
2.2 自來水供水系統簡介 .....	6
2.3 自來水廠所之節能措施 .....	7
2.4 自來水之節能理論探討 .....	7
第三章 研究架構與內容 .....	10
3.1 電力能源指標 (indicator) 定義與探討 .....	10
3.2 資料蒐集與補正 .....	10
3.3 建立自來水節能指標理論 .....	12
第四章 自來水不同型式供水系統分析與探討 .....	14
4.1 單一水源供水系統案例 .....	14
4.2 雙水源供水系統案例 .....	16
4.3 混合型供水系統案例 .....	20
第五章 結論與建議 .....	23
5.1 結論 .....	23
5.2 建議 .....	24
參考文獻 .....	26
圖目錄 .....	iv
表目錄 .....	iv
照片目錄 .....	iv

## 圖目錄

圖 1.1	研究方法流程圖	5
圖 2.1	供水特性例圖一	8
圖 2.2	供水特性例圖二	9
圖 3.1	宜蘭（澳花、東澳、南澳）供水系統抄見量與用電量比較圖	11
圖 4.1	澳花系統供水示意圖	15
圖 4.2	東澳系統供水示意圖	19
圖 4.3	南澳系統供水示意圖	22
圖 5.1	宜蘭澳花、東澳及南澳系統節能指標比較圖	24

## 表目錄

表 3.1	澳花供水系統(單水源-雙供水區域)資料表	11
表 3.2	東澳供水系統(雙水源-單一供水區域)資料表	11
表 3.3	南澳供水系統(雙水源-雙供水區域)資料表	12
表 5.1	宜蘭澳花、東澳及南澳系統節能指標比較表	24

## 照片目錄

照片 1	宜蘭澳花系統深井照片	27
照片 2	宜蘭澳花系統下村用戶照片	27
照片 3	宜蘭澳花系統上村用戶照片	27
照片 4	宜蘭澳花系統 400 噸配水池照片	28
照片 5	宜蘭東澳淨水場與深井照片	28
照片 6	宜蘭東澳供水系統供水區照片	28
照片 7	宜蘭東澳淨水場之配水池照片	29
照片 8	宜蘭南澳淨水場之深井照片	29
照片 9	宜蘭南澳供水系統下村用戶照片	29
照片 10	宜蘭南澳供水系統上村用戶照片	30
照片 11	宜蘭南澳供水系統 500 噸配水池照片	30
照片 12	宜蘭南澳淨水場照片	30

## 第一章 前言

### 1.1 研究背景與動機

自來水是每日與人類生活息息相關而不可或缺的東西，台灣省自來水股份有限公司（以下簡稱本公司）近年來因水價未調整與新擴建自來水工程不易，使得自來水事業的經營困難度越來越高，且台灣地區自產能源十分缺乏，百分之九十七以上仰賴國外進口，故如何使自來水系統之耗電減輕至最低，以達節約用電就顯得格外重要。然而，現今尚未有一套標準的永續能源發展之指標系統檢視方法，更遑論能有一套適合評估自來水系統的能源指標，以提供決策者評估是否就該系統做全盤性之改善。

由於國內工業電價便宜，故多數永續能源指標多採宏觀管理，未涉入多項指標的建立及予以量化，相對於較為專業個體能源指標建立，鮮少討論國內能源指標與自來水之節能分析。

本研究目標為發展一套容易評估自來水供水系統（中～小型系統）所使用之電力能源是否過高或是否仍有節能空間，以幫助自來水事業機構作經濟評估。經由最小耗能（minimal energy）之觀念，可以將自來水事業與能量相關之特性建立結構性指標（structure's indicator），藉以顯示出用戶與水源位址差異影響耗能的情形。

### 1.2 研究目的及其重要性

歐盟於 1998 年開啟一個嶄新，且對實際政策採行更有效之永續發展構想，該構想的基本觀念是將傳統由中央政府所承擔之維護環境責任移轉至部門機構的政策措施上。永續發展是一個廣泛的觀念，包括人類對於商品與勞務、就業、社會榮景(social aspects)、及環境維護等的基本需求，因此，具有永續發展的政策應該能夠照顧未來世代且同時能夠提供現世代的生活福祉及經濟競爭力。

若從能源政策的觀點看，則必須體察到永續發展的能源政策應該兼顧三個能源政策的傳統目標，亦即

- (1) 『供給安全』(security of supply)：提供能源供應安全及穩定；
- (2) 『競爭力』(competitiveness)：支撐經濟、就業及福利的動態成長；
- (3) 『關心環境』(concern for the environment)：維護環境及生態系統；

前述任一個能源政策目標，均是構成社會追求永續發展不可或缺的一環。基於此，可以瞭解到『永續能源政策』(sustainable energy policy)的內涵，為謀求國民最大長期福祉，並同時維持能源供應安全、能源服務競爭力及環境保護間的合理平衡。

一般而言，指標主要在反應現實狀況，具體呈現真相，藉量化數據以簡化複雜資訊，促進溝通傳達，故最常用以代表環境品質之評量結果，如反應空氣品質狀況的空氣污染指數(pollutant standard index, PSI)、反應經濟情勢變化的領先及同時指標，以及反應一國永續發展的 PSR(Pressure State Response)指標等。指標是一種參數或由參數所導出的值，作為提供資訊以描述現象、環境、及地區的狀態(OECD, 1994)，藉由指標的建立，並予以量化，可以瞭解環境變化的情況，並予以抽絲剝繭歸納其脈絡，以作為掌握經濟社會能源使用狀況、能源效率變化及其衍生之相關環境問題(如溫室氣體排放)，此外並可作為衡量能源政策成效參考指標及擬訂能源政策之參考。

因此，「永續能源指標」即是指一套可觀察、可量化且與永續能源政策目標最具關聯性之數值系統，透過該數值系統的變化可以正確衡量永續能源政策之執行成效，以及檢視政策趨向不永續之原因，提供永續能源政策修正及訂定之參考。依據 1999 年歐盟舉辦之能源會議(energy council)同意列出相關之能源指標清單，包括全面性指標(overview indicators)、能源供給指標、最終能源消費指標、能源產業指標、可再生能源指標、能源效率、能源價格及污染物排放指標等，以期藉由該指標系統的建立與觀察，以瞭解能源市場變化、能源效率提升及能源政策績效之資訊，並可綜合評鑑能源政策是否具有永續發展性。

我們知道供應飲用水所需耗用電力能源極大，為節約電力能源與電價，近年來越來越多學術進行以節約能源為基礎的研究理論。然而自來水供水系統較為複雜，因其所耗之能源並不僅於輸送水量，並且在於水源與用戶所位於之地理位置及其他物理之特性[1]。

預計自來水供水系統之電力能源指標探討未來將對自來水事業機構帶來以下效益：

1. 提供自來水供水系統（中～小型系統）電力指標。
2. 提供爾後自來水系統新擴建工程參考資訊。
3. 有效減少水源及電力浪費。
4. 合適使用淨水處理所需之設備機具。
5. 推導較佳之操作模式。
6. 經濟且有效地控制淨水場出水量。

### 1.3 國內外有關本研究情況

陳淑薇[1]說明能源是經濟發展中不可或缺的要素之一。因此研究探討台灣現階段節約能源措施施行現況及使用能源效率問題。以及觀察日本節約能源措施及相關法令，再對日本在節約能源政策上所做的努力與效果與台灣做一比較，最後找出台灣在節約能源議題上政策及法令待改進的空間，提供建議。

謝煜琦[2]主要探討節約能源及再生能源推廣宣導的知識管理之架構，並應用「知識管理」針對研究發現與結論，分別就推廣宣導節約能源及再生能源有關單位及產業後續研究等方面，提出建議，以作為推廣節約能源及再生能源宣導之參考。

T. Pelli and H. U. Hitz (2000.06) [3]描述水源與用戶之地理位置所耗能量之結構性指標 (structure's indicator)，導出評估自來水系統一設計、施設裝置、操作，整體使用能源效率之品質指標 (quality indicator)。該指標可與許

多自來水事業機構之操作效率相比較，並研討增加效率之可能。

周育德[4]研究永續能源發展指標可以用來做為檢驗能源發展是否具永續性，然而，國際上尚未有一套標準的永續能源發展之指標系統檢視方法，所以參考 IAEA 及 OECD 等國際著名機構建立之永續能源發展指標系統，再依據我國的社經狀況，建立永續能源發展指標系統。最後再進行降低人均能源消費與能源密集度模擬分析。

#### 1.4 研究方法及進行步驟

國內淨水場之處理設備、水源條件、用戶位址不盡相同，故採取不同處理的淨水程序，其流程為一非線性之複雜系統，一般以混凝、沉澱、過濾等單元為主的傳統淨水場處理流程。本研究擬應用電力指標於自來水系統上，期望建立一般自來水系統之節能操作模式，並求經濟且有效地控制淨水場出水之水量。

研究方法如圖 1.1 所示，首先認識自來水系統與能源指標，進而對文獻蒐集與回顧後，建立自來水系統能源利用指標，再對已設計之計算公式進行系統參數蒐集與運算，最後提出系統改善建議與評估。

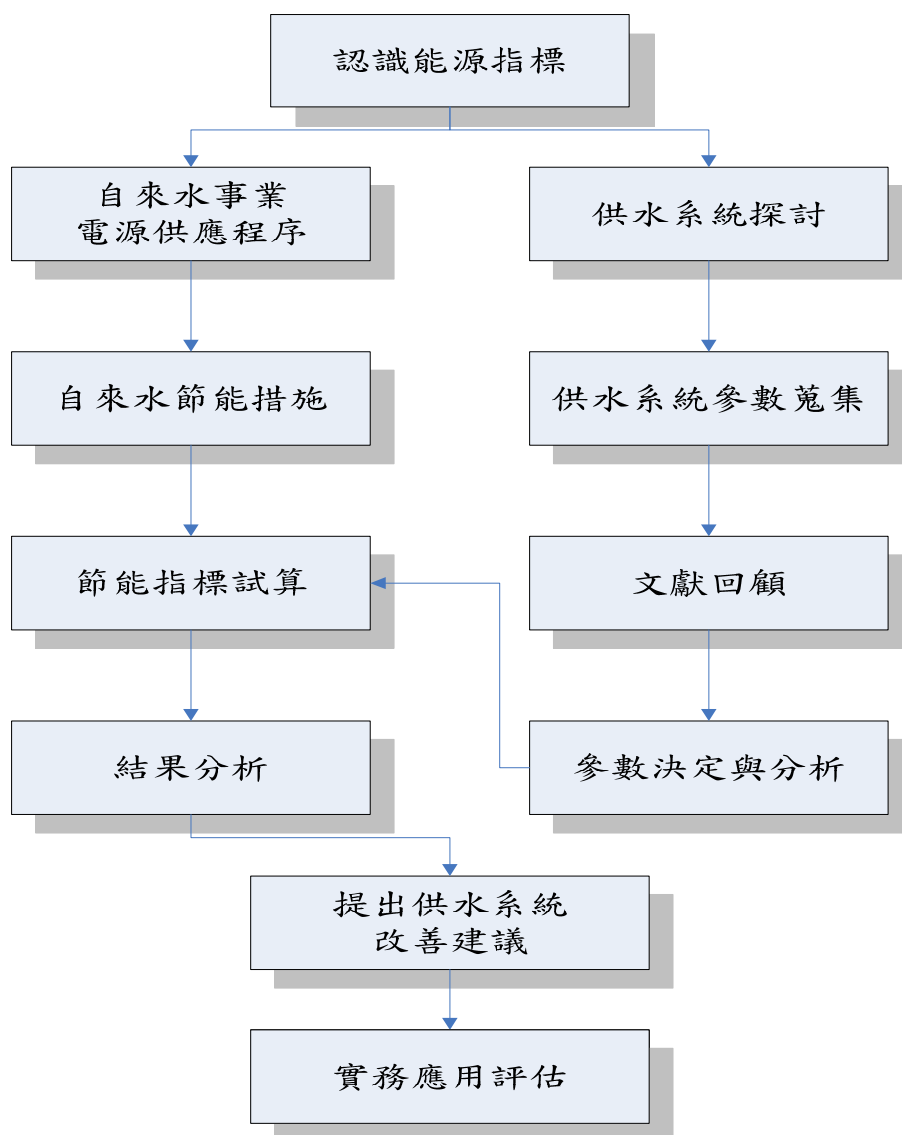


圖 1.1 研究方法流程圖

## 第二章 自來水供水系統節能措施

由於電力供應於自來水事業供水過程中扮演相當關鍵的地位，因此自來水事業節約能源及永續發展的浪潮中，如何有效減少供水電力即為核心課題，2002年8月於南非約翰尼斯堡舉行的世界高峰會議，永續能源利用即是其中一項重要的議題。基此之外，國際先進國家或機構紛紛發展一系列永續能源指標系統用以追蹤評估一國能源永續發展之成效，並藉由相關能源使用情形進行經濟評估。本

報告期望能提供一套適合評估自來水中小型系統的能源指標，以提供決策者評估是否就該系統做全盤性之改善，或修正減少不當能源消耗以永續經營。

## 2.1 電力供應概論

無論是核能電廠、火力電廠或水力電廠所產生的電力，都必須藉助輸變電系統轉變電壓、傳輸電力，供給用戶使用。由於發電廠均設於偏遠地區，遠離用電多的地方，為提高輸電能力並減少損失，須先提高電壓以利長距離輸送，再依用電需要逐段降低電壓，供下游使用。其中電力藉由「變電所」提高或降低電壓，並分配用電量。

台灣地區之輸電線路若依電壓級別區分，可分為下列三種：

- (一) 34 萬 5 仟伏特輸電線，又稱超高壓輸電線。
- (二) 16 萬 1 仟伏特輸電線，又稱一次輸電線。
- (三) 6 萬 9 仟伏特輸電線，又稱二次輸電線。

另依「電業法」第七十五條之一第三項及第四項規定訂定之「專任電氣技術人員及用電設備檢驗維護業管理規則」指出，自來水事業營業處所依電壓級別區分，應分置專任電氣技術人員或另委託用電設備檢驗維護供電設備分界點以內一般及緊急電力設備之用電安全，其種類如下：

- (一) 低壓（六百伏特以下）供電且契約容量達五十瓩以上，應置初級電氣技術人員。
- (二) 高壓（超過六百伏特至二萬二千八百伏特）應置中級電氣技術人員。
- (三) 特高壓（超過二萬二千八百伏特）應置高級電氣技術人員。

## 2.2 自來水供水系統簡介

水質就是水的性質，化學上水的分子式為  $H_2O$  其性質是一定的。但水是很好的溶劑，故我們日常所接觸的天然水因其來源不同，故均含有不同成份，因而影

響其原有性質。

自來水供水系統由水源地送到家戶，一般需要經過取水、導水、淨水、送(配)水等流程，然後才能到達消費者家中提供安全又方便的飲用水。其中「取水」係指在水源地以抽水機將原水抽送至導水渠道(圳路)；「導水」指將原水由水源地送至淨水場的過程，而「淨水」指原水進入淨水場後經過混凝 (Coagulation)、膠凝 (Flocculation)、沉澱 (Sedimentation)、過濾 (Filtration) 及消毒 (Disinfection) 等淨水程序，以去除水中的雜質及病菌；「送 (配) 水」則是原水經過淨水程序及消毒後已適合飲用之自來水，以管線配送至家戶的過程。

### 2.3 自來水廠所之節能措施

本公司為有效善用電能並擷節動力費用支出，已責請各區管理處成立「節能督導小組」，針對各淨水場站進行契約容量、功率因數及尖離峰用電進行檢討，以「最佳契約容量分析模式」計算全年度實際用電需求量之最佳契約容量值，並以抽水機馬力組合測試、加裝變頻器、調配供水區供水壓力方式，藉以測試最低電力耗能。

### 2.4 自來水之節能理論探討

就自來水事業供水系統而言，供水管網維護扮演重要角色，不但可以減少漏水、增加供水安全、確保消防水量，對於配水管網內之管線、抽水機及各種閘類等設備之修護與清理，亦息息相關。

一般常見的配水管網系統內含有許多抽水機、配水池、管線，可藉由抽水機與配水池之最佳化操作節省能源與動力費，其變數為不同用電費率與需水量。然而對於較複雜之配水系統，達到最佳化之操作是很困難。

本文就描述水源與用戶之地理位置所耗能量，簡化供水系統設施影響電力能源供給因素視為系統性損失，謹探討自來水供水系統 (中~小型系統)，並將較

大且複雜供水系統排除簡化影響變數。

自來水供水系統較一般能源指標分析較為複雜，因消耗之能源並不僅在於輸送水量，且包含水源與用戶所位於之地理位置、抽水機效率、管線摩擦、無計費水量漏水等物理特性。

本研究初期參採 T.Pelli and H.U.Hitz 描述水源與用戶之地理位置所耗能量之結構性指標為例，如圖 2.1 所示供水特性範例，其水源取自高程 300 公尺之湖泊，加壓至高程 500 公尺處淨水場處理後，再輸送至高程 560 公尺之配水池，因需將水分段加壓送 260 公尺高，需耗費相當大之能源。圖 2.2 所示供水特性範例，係取用較高處之湧泉送至配水池後，以重力流下供應，不需能源。

以上兩種範例不計淨水場設施之效率，其所耗用之比能（specific energy – 每輸送 1 噸水所需要之能源）差異甚大。

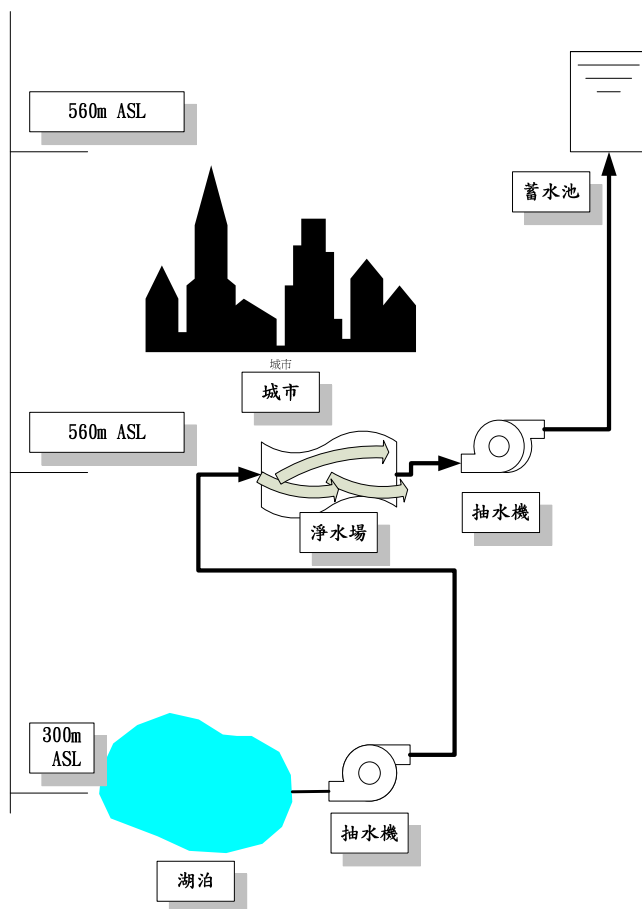


圖 2.1 供水特性例圖一

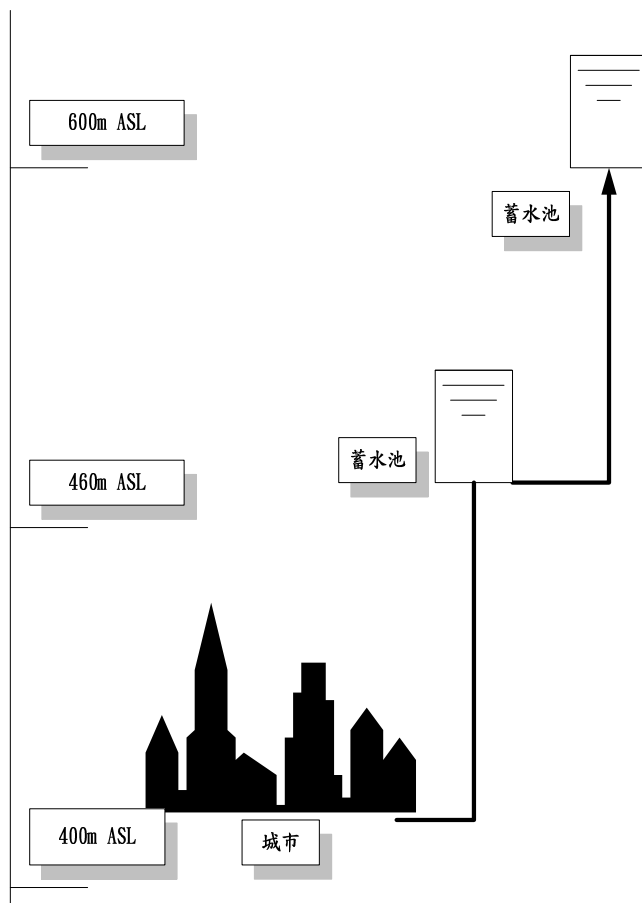


圖 2.2 供水特性例圖二

以圖 2.1 計算最小耗能，假設供水區人口 2000 人，每人每日用水 300lpcd 為例題一試算，則：

(一) 年用水量 ( $Q_v$ ):

$$Q_v = 300\text{lpcd} \times 2000 \text{ 人} \times 365 \text{ 天} = 2.19 \times 10^5 \text{ m}^3。$$

(二) 壓送高程 = 200 + 60 = 260 公尺

(三) 所需壓送最小能量 ( $E_{min}$ )

$$\begin{aligned} E_{min} &= \text{水重} \times \text{重力加速度} \times \text{壓送高程} \\ &= 0.00273 \times Q \text{ (m}^3\text{)} \times H \text{ (m)} \\ &= 2.19 \times 10^5 \times 9.81 \times 260 \div (1 / 2.778 \times 10^7) \\ &= 155161 \text{ kWh}。 \end{aligned}$$

(四) 壓送每噸水所需之理論能量 (Eumin)

$$E_{\text{umin}} = 155161 \text{ kWh} / 2.19 \times 10^5 \text{ m}^3 = 0.71 \text{ kWh/m}^3。$$

### 第三章 研究架構與內容

#### 3.1 電力能源指標 (indicator) 定義與探討

永續能源發展指標可以用來做為檢驗能源發展是否具永續性，然而，國際上尚未有一套標準的永續能源發展之指標系統檢視方法。本文主要參考 IAEA 及 OECD 等國際著名機構建立之永續能源發展指標系統，再依據我國的社經狀況，建立永續能源發展指標系統。另外透過近十年來(1990~2003)實證資料顯示，相對於基期年(1990)，台灣永續能源發展亦朝向永續性方向。另外本研究藉由建置具系統迴歸關聯性的指標，初步實證分析後發現，經濟成長率與 CO<sub>2</sub> 排放具有正向關係。最後本研究再進行降低平均能源消費與能源集中度模擬分析後發現，此兩能源政策將是達到經濟成長與 CO<sub>2</sub> 排放脫鉤的重要能源政策之一。自來水供水系統耗用能源主要受水源與用戶地理位置之影響，特別是崎嶇之地形，水源是主要之問題。如水源高於供水區，則僅需少許能源或以重力流下即可輸送水量。若水源低於供水區，則輸送水量需耗用大量之能源。耗能結構最主要之影響為比耗能 (specific energy consumption-Kw·H/m<sup>3</sup>) 與淨水場使用能源之效率無關。

#### 3.2 資料搜集與補正

為符合本省實際情況，經先行蒐集本省宜蘭澳花、東澳及南澳等三處供水系統實際資料進行運算 (包括各取供水設施高程基本資料、抽水機馬力、效率、表差、計畫每人每日用水量、抄見量、配水量、供水人口及年用電度數等)，有關各項參數實際資料如表 3.1 至表 3.3 所示，其中資料補遺採線性內插方式填列。

圖 3.1 宜蘭（澳花、東澳、南澳）供水系統抄見量與用電量比較圖

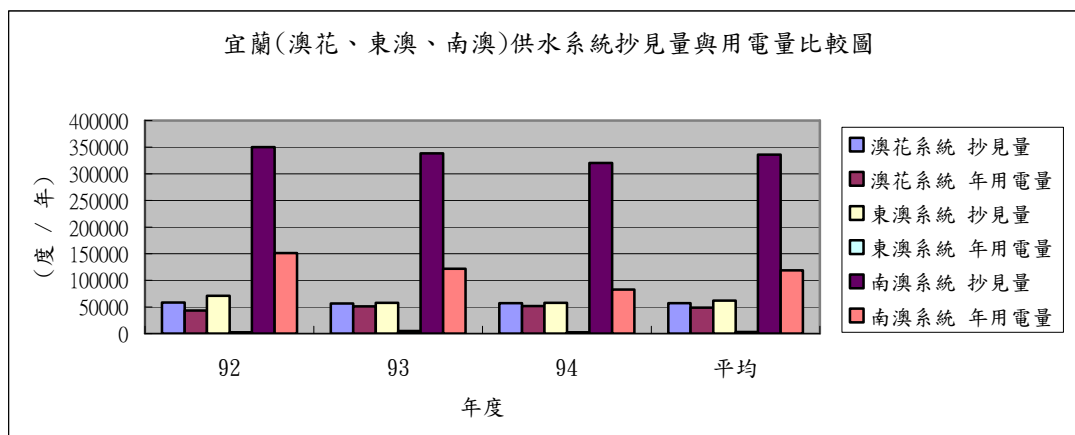


表 3.1 澳花供水系統(單水源-雙供水區域)資料表

基本資料	高程(M)			備註
配水池	95.51	抽水機馬力	10HP	上、下 村供水 比 1 : 1
用戶(上村)	80.0	計畫每人每日用水量	250lpcd	
用戶(下村)	40.0	最低供水水壓	1.2kg	
水井位置	45.60	抽水機總效率	45.45%	
水井水位	35.60	表差	4%	
時間(年)	抄見量(度/年)	配水量(度/年)	供水人口	年用電量(度)
92	58198	76835	427	43337
93	56476	95975	482	50985
94	57037	97763	485	51779
平均	57237	90191	465	48700

表 3.2 東澳供水系統(雙水源-單一供水區域)資料表

基本資料	高程(M)			備註
地面源水	143.93	抽水機馬力	10HP	
配水池	57.20	計畫每人每日用水量	250lpcd	
用戶	20.00	最低供水水壓	1.2kg	
水井位置	21.50	抽水機總效率	44.23%	
水井水位	15.48	表差	4%	
時間(年)	抄見量 (度/年)	配水量 (度/年)	供水人口	年用電量 (度)
92	48945	72125	847	2549
93	57396	84579	842	4719
94	57356	84520	859	2303
平均	54565	80408	849	3190

表 3.3 南澳供水系統(雙水源-雙供水區域)資料表

基本資料	高程(M)			備註
地面源水	122.90	抽水機馬力	30HP	上、下 村供水 比 1 : 20
配水池	73.00	計畫每人每日用水量	250lpcd	
用戶(上村)	50.00	最低供水水壓	1.2kg	
用戶(下村)	25.00	抽水機總效率	55.68%	
水井位置	35.20	表差	4%	
水井水位	20.07			
時間(年)	抄見量 (度/年)	配水量 (度/年)	供水人口	年用電量 (度)
92	350131	569719	5530	151040
93	337968	509941	5538	121720
94	319993	604321	5477	82600
平均	336030	561327	5515	118453

### 3.3 建立自來水節能指標理論

本研究所述之能量係指以產生操作壓力將水源輸送之用戶所使用之能源，不包括燈光、加熱、淨水場處理等能源與灰色能源—製造管材、混凝土或建造工程。

為順利發展一套容易評估自來水供水系統(中~小型)所使用之電力能源是否過高或有可能節能之方法，首先應針對電力能源各項指標(indicator)明確定義與探討，

#### 結構性指標 (Structure indicator)

經由最小耗能之觀念，可以將自來水事業與能量相關之特性建立結構性指標  $I_1$ ， $I_1$  指標顯示出用戶與水源位址「高程」差異影響用能之狀況。

$$I_1 = E_{min}/Q_v \text{ (kw} \cdot \text{H}/\text{M}^3\text{)}$$

$Q_v$  : 用戶年用水量

$I_1$  為單位用水量之最小耗能，不受供水範圍大小之影響，如例題一所示：

$$I_1 = 155249 / 219000 = 0.71 \text{ kw} \cdot \text{H}/\text{m}^3\text{。}$$

當  $I_1$  為負數時，水源處之潛在能量大於用戶處，如水源由高處流下。

#### 品質指標 (Quality indicator)

品質指標  $I_2$  係表示自來水事業整體上是否經濟用能，為年實際使用能量與最小耗能（所需之壓送理論能量）之比值，顯示出供水系統漏水量、管線動力損失與過濾後效率等影響耗能因子嚴重程度。

$$I_2 = E / E_{min}$$

E：年實際使用能量

$I_2$  是自來水廠用能效率之倒數，若果  $I_2=1$  係表示實際使用能量與理論最小值相當，但於實際操作時由於存有漏水與抽水機效率等問題而不可能  $I_2 = 1$ ， $I_2$  愈高表示自來水廠愈有節能之空間， $I_2$  與水廠大小無關，實質上對自來水廠相關之能量結構特性不敏感。

#### 壓送水之最小能量

本定義僅適用於需壓送之水源，如果部分水源來自高處，最小耗能  $E_{min}$  需以  $FE_{min}$  替換， $FE_{min}$  之計算方法與  $E_{min}$  相同， $I_2 = E / FE_{min}$ 。

若地形複雜，加壓之水源常與高處重力流下之水源混和，則需分開計算加壓之潛在能量， $FE_{min}$  可以下列方式計算：

$Q_E$ ：供水系統之年流通量

$$Q_E = Q_{EP} + Q_{EQ}$$

$Q_{EP}$ ：加壓送水年流通量

$Q_{EQ}$ ：重力流年流通量

$$FE_{pv} = E_{pv} \times Q_{EP} / Q_E, FE_{nd} = E_{nd} \times Q_{EP} / Q_E$$

$$FE_{dq} = \text{所有壓送水源潛在能量之總和} / (1 + p \nu / 100)$$

$$FE_{min} = FE_{pv} - FE_{dq} + FE_{nd}$$

若所有水源均為加壓輸送則  $Q_{EQ} = 0$ ， $Q_{EP} = Q_E$ ， $E_{min} = FE_{min}$ 。

品質指標可以以全供水區計算或以各別壓力區計算，以各別壓力區計算較可以精確地評估設備用電之情形，所需之準備工作較全區評估複雜，惟對供水較複雜之自來水事業可能不易取得計算品質指標所需之流量資料。

## 第四章 自來水不同型式供水系統分析與探討

### 4.1 單一水源供水系統案例（澳花供水系統）

本案例以宜蘭澳花供水系統實際資料(92、93、94 年 3 年平均數)進行運算(包括各取供水設施高程基本資料、抽水機馬力、效率、表差、計畫每人每日用水量、抄見量、配水量、供水人口及年用電度數等),供水人口 465 人,平均用水 250 l/人日,水源來自地下水抽取。配水池高程 95.51 公尺,1/2 人口在高程 80 公尺其餘人口位於 40 公尺處,地下水高程 35.60 公尺(如圖 4.1 所示),壓送水源經過濾後之效率為 0.4545,管線動力損失之校正因子  $BV=1.05$ ,約有 36.5 %之輸水損失:

#### 4.1.1 澳花供水系統計算說明

(一) 年用水量 ( $Q_v$ , 亦即抄見量):

$$Q_v = 57237 \text{ m}^3。$$

(二) 壓送高程  $H$  (配水塔高程- 水井水位):

$$H = 95.51 - 35.6 = 59.91 \text{ 公尺}$$

(三) 所需壓送最小能量 ( $E_{min}$ ):

$$\begin{aligned} E_{min} &= \text{水重} \times \text{重力加速度} \times \text{壓送高程} \\ &= 57237 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2 \times 59.91 \text{ m} \\ &= 3.364 \times 10^{10} \text{ kgxm}^2 / \text{sec}^2 \\ &= 9344.212 \text{ kw}\cdot\text{H}。 \end{aligned}$$

(註:  $\text{kgxm}^2 / \text{sec}^2 = \text{joule} = \text{watt}\cdot\text{sec}$ ;  $1 \text{ joule} = 2.778 \times 10^{-7} \text{ kw}\cdot\text{H}$ )

(四) 壓送每噸水所需之理論能量 ( $E_{umin}$ ):

$$E_{umin} = 9344.212 \text{ kw}\cdot\text{H} / 57237 \text{ m}^3 = 0.163 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3$$

(五) 計算損失後所需壓送能量 ( $E$ ):

$$\begin{aligned} E &= (57237 \times 9.81 \times 1.365 \times 59.91 \times 1.05 / 0.4545) / (60 \times 60) \\ &= 29466.65 \text{ kw}\cdot\text{H}。 \end{aligned}$$

(六) 系統所需實際壓送能量 (Eactual) :

$$E_{actual} = 48700 \text{ kw}\cdot\text{H} \circ$$

(七) 校正因子 (K) :

$$K = E_{actual} / E$$
$$= 48700 / 29466.65 = 1.653$$

(八) 結構指標 (I1) :

$$I1 = E_{min} / QV \text{ (kw}\cdot\text{H/M}^3\text{)}$$
$$= 9344.212 / 57237 = 0.163 \text{ kw}\cdot\text{H/m}^3$$

(九) 品質指標 (I2) :

$$I_2 = E / E_{min}$$
$$= 29466.65 / 9344.212 = 3.153 \circ$$

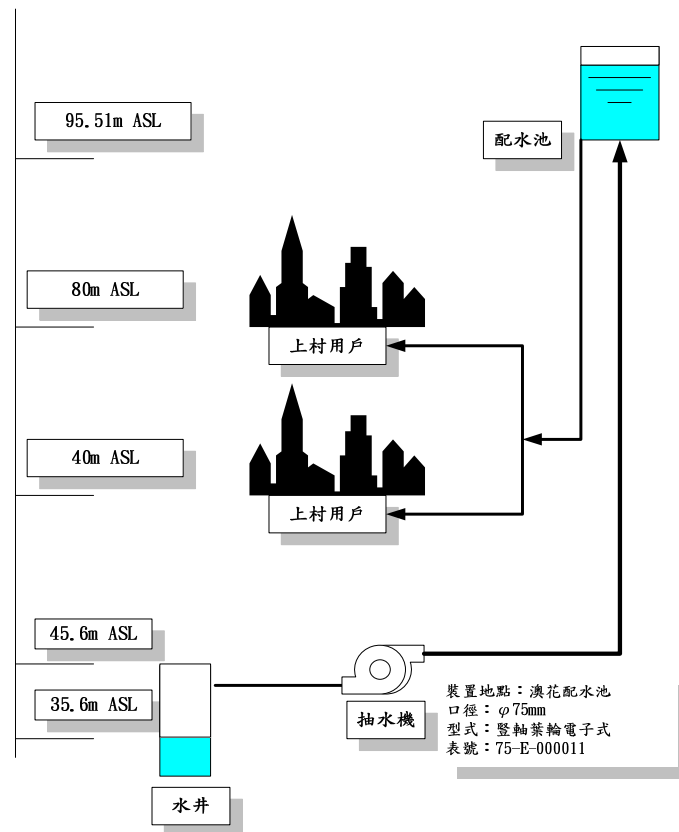


圖 4.1 澳花系統供水示意圖

#### 4.1.2 澳花供水系統計算分析

宜蘭澳花供水系統實際資料運算結果：

- (一) 所需壓送最小能量  $E_{min} = 9344.212 \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。
- (二) 壓送每噸水所需之理論能量  $E_{umin} = 0.163 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3$
- (三) 計算損失後所需壓送能量  $E = 29466.65 \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。
- (四) 系統所需實際壓送能量  $E_{actural} = 48700 \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。
- (五) 校正因子  $K = 1.653$ 。
- (六) 結構指標  $I_1 = 0.163 \text{ kw}\cdot\text{H}/\text{m}^3$ 。
- (七) 品質指標  $I_2 = 3.153$ 。

宜蘭澳花系統以前 3 年配水量平均數計算最小所需能量為 9344.212 kw·H，而計算損失後所需壓送能量為 29466.65 kw·H，兩者相差 3.15 倍，且系統所需實際壓送能量  $E_{actural}$  為 48700 kw·H，表示初期可從壓送水源經過濾後之效率及漏水率等進行檢討，並探討是否有其他影響耗能因子。

結構指標  $I_1$  為 0.163，顯示出用戶與水源位址「高程」差異性不大，但是該供水系統配水池與上村用戶高程相差 15.51 公尺，若非地形地貌限制與未來需求考量，亦可考量降低配水池高程，或增設較低之配水池調配用水。品質指標  $I_2$  為 3.153，表示該自來水系統較不具經濟用能，用能效率僅為 31.72%，但也表示該自來水系統越有節能空間。

#### 4.2 雙水源供水系統案例（東澳供水系統）

本案例以宜蘭東澳供水系統實際資料(92、93、94 年 3 年平均數)進行運算(包括各取供水設施高程基本資料、抽水機馬力、效率、表差、計畫每人每日用水量、抄見量、配水量、供水人口及年用電度數等)，其中 92 年度抄見量及 93 年度配水量因數值較為極端，故採線性內插方式補列(如表 3.2 所示)，其供水系雙屬雙水源供應模式，全數人口在高程 20 公尺處，人口約 849 人，平均用水

250 l/人日，水源來自地下水抽取及高處地面水源（如圖 4.2 所示），地面水高於配水池，配水池高程 57.20 公尺，地下水高程 15.48 公尺，且 94.85% 水源來自山澗水，約 5.15% 由地下水抽取，壓送水源經過濾後之效率為 0.4423，管線動力損失之校正因子  $BV=1.05$ ，約有 39.53% 之輸水損失。

#### 4.2.1 東澳供水系統計算說明：

(一) 年用水量 ( $Q_v$ ，亦即抄見量)：

$$Q_v = 54565 \text{ m}^3。$$

(二) 最大壓送高程  $H$  (地面水水源高程- 水井水位)：

$$H = 143.93 - 15.48 = 128.45 \text{ 公尺}$$

(三) 所需壓送最小能量 ( $E_{min}$ )：

$$\begin{aligned} E_{min} &= \text{水重} \times \text{重力加速度} \times \text{壓送高程} \\ &= (54565 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times (20 \text{ m} + (128.45 / 2) \text{ m}) \\ &\quad - (54565 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times 0.9485 \times 143.93 \text{ m} \\ &\quad - (54565 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times 0.0515 \times 15.48 \text{ m} \\ &= -2.842 \times 10^{10} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2 \\ &= -7894.5 \text{ kw} \cdot \text{H}。 \end{aligned}$$

$FE_{min}$  (加壓潛在能量)

$$\begin{aligned} &= (54565 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times (20 \text{ m} + (128.45 / 2) \text{ m}) \\ &\quad - (54565 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times 0.0515 \times 15.48 \text{ m} \\ &= 44.657 \times 10^{10} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2 \\ &= 1.24 \times 10^5 \text{ kw} \cdot \text{H}。 \end{aligned}$$

註：1.  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2 = \text{joule} = \text{watt} \cdot \text{sec}$  ; 1  $\text{joule} = 2.778 \times 10^{-7} \text{ kw} \cdot \text{H}$ 。

2. 所需壓送最小能量為負數，代表水源處之潛在能量大於用戶處，亦即水源由高處流下。

3. 若部分水源來自高處，則最小耗能須加計算  $FE_{min}$ ，且品質指標

$$(I_2 = E / FE_{min})。$$

(四) 壓送每噸水所需之理論能量 ( $E_{min}$ ):

$$E_{min} = 1.24 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{H} / 54565 \text{ m}^3 = 2.273 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3。$$

(五) 計算損失後所需壓送能量 ( $E$ ):

$$\begin{aligned} E &= (56545 \times 0.0515 \times 9.81 \times 1.3953 \times (57.2-15.48) \times 1.05 / 0.4423 \\ &= 1096.61 \text{ kw}\cdot\text{H}。 \end{aligned}$$

(六) 系統所需實際壓送能量 ( $E_{actual}$ ):

$$E_{actual} = 3190 \text{ kw}\cdot\text{H}。$$

(七) 校正因子 ( $K$ ):

$$\begin{aligned} K &= E_{actual} / E \\ &= 3190 / 1096.61 \\ &= 2.9。 \end{aligned}$$

(八) 結構指標 ( $I_1$ ):

$$\begin{aligned} I_1 &= E_{min} / Q_v \text{ (kw}\cdot\text{H}/\text{M}^3) \\ &= -7894.5 / 54565 \\ &= -0.145 \text{ kw}\cdot\text{H}/\text{m}^3。 \end{aligned}$$

(九) 品質指標 ( $I_2$ ):

$$\begin{aligned} I_2 &= E / FE_{min} \\ &= 1096.61 / 1.24 \times 10^5 = 8.84 \times 10^{-3}。 \end{aligned}$$

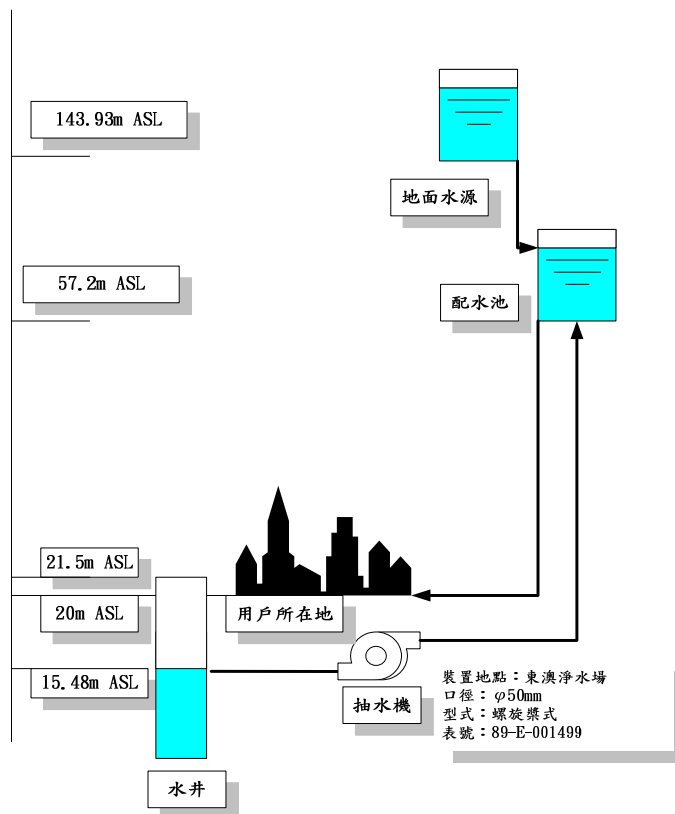


圖 4.2 東澳系統供水示意圖

#### 4.2.2 東澳供水系統計算分析

宜蘭東澳供水系統實際資料運算結果：

(一) 所需壓送最小能量  $E_{min}$

$$E_{min} = -2.842 \times 10^{10} \text{ kw}\cdot\text{H} ; FE_{min} = 1.24 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{H}。$$

(二) 壓送每噸水所需之理論能量  $E_{umin} = 2.273 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3。$

(三) 計算損失後所需壓送能量  $E = 1096.61 \text{ kw}\cdot\text{H}。$

(四) 系統所需實際壓送能量  $E_{actual} = 3190 \text{ kw}\cdot\text{H}。$

(五) 校正因子  $K = 2.9。$

(六) 結構指標  $I_1 = -0.145 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3。$

(七) 品質指標  $I_2 = 8.84 \times 10^{-3}。$

東澳系統計算最小所需能量為-7894.5 kw·H，而計算損失後所需壓送能量為1096.61 kw·H，代表水源處之潛在能量遠大於用戶處，亦即大多數水源由高處流下重力式供應，能源耗用低，但系統所需實際壓送能量  $E_{actual}$  為3190 kw·H，

表示應檢討抽水機是否有 over design (設計超越)，因水源來自地下水抽取僅佔 5.15%。

結構指標  $I_1$  為 -0.145，顯示出用戶水源取自高處湧泉較多。品質指標  $I_2$  為  $8.84 \times 10^{-3}$ ，表示該自來水系統極具經濟效益。

### 4.3 混合型供水系統案例

以南澳系統為例，供水人口 5508 人，平均用水 250 l/人日，72% 水源來自山澗水，約 28% 由地下水抽取。地面源水高於配水池，配水池高程 73.0 公尺，1/20 人口在高程 50 公尺其餘人口位於 25 公尺處，地下水高程 20.07 公尺，壓送水源經過濾後之效率為 0.5568，管線動力損失之校正因子  $BV=1.05$ ，約有 40.39 % 之輸水損失：

(一) 年用水量 ( $Q_v$ ，亦即抄見量)：

$$Q_v = 336030 \text{ m}^3。$$

(二) 最大壓送高程  $H$  (地面水水源高程 - 水井水位)：

$$H = 122.9 - 20.7 = 102.2 \text{ 公尺。}$$

(三) 所需壓送最小能量 ( $E_{min}$ )：

$$\begin{aligned} E_{min} &= \text{水重} \times \text{重力加速度} \times \text{壓送高程} \\ &= (336030 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times [ (19/20) \times \\ &\quad (25 + (73+20.07)/2) ] + [ (1/20) \times (50 + (73+20.07)/2) ] \\ &\quad - [ (0.28 \times 20.07) + (0.72 \times 122.9) ] \\ &= (336030 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times (-21.3226) \\ &= -7.03 \times 10^{10} \text{ kg} \times \text{m}^2 / \text{sec}^2 \\ &= -1.952 \times 10^4 \text{ kw} \cdot \text{H}。 \end{aligned}$$

$FE_{min}$  (加壓潛在能量)

$$FE_{min} = (336030 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/sec}^2) \times 0.28$$

$$\begin{aligned} & \{ [(1/20) \times (50 + (73+20.07) / 2)] + [(19/20) \times \\ & (25 + (73+20.07) / 2)] - 20.07 \} \\ & = (336030 \text{ m}^3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.81\text{m/sec}^2) \times (0.28 \times 52.715) \\ & = 4.866 \times 10^{10} \text{ kg}\times\text{m}^2 / \text{sec}^2 \\ & = 1.35 \times 10^4 \text{ kw}\cdot\text{H}。 \end{aligned}$$

註：1.  $\text{kg}\times\text{m}^2 / \text{sec}^2 = \text{joule} = \text{watt}\times\text{sec}$  ; 1 joule =  $2.778 \times 10^{-7} \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。

2. 所需壓送最小能量為負數，代表水源處之潛在能量大於用戶處，亦即水源由高處流下。

3. 若部分水源來自高處，則最小耗能須加計算  $E_{\text{min}}$ ，且品質指標 ( $I_2 = E / E_{\text{min}}$ )。

(四) 壓送每噸水所需之理論能量 ( $E_{\text{min}}$ ):

$$E_{\text{min}} = 1.35 \times 10^4 \text{ kw}\cdot\text{H} / 336030 \text{ m}^3 = 0.04 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3。$$

(五) 計算損失後所需壓送能量 (E):

$$\begin{aligned} E &= 336030 \times 0.28 \times 9.81 \times 1.4039 \times \{ [(1/20) \times (50 + (73+20.07) / 2)] \\ & + [(19/20) \times (25 + (73+20.07) / 2)] - 20.07 \} \times 1.05 / 0.5568 \\ &= 336030 \times 0.28 \times 9.81 \times 1.4039 \times 52.715 \times 1.05 / 0.5568 \\ &= 12.88 \times 10^{10} \text{ kg}\times\text{m}^2 / \text{sec}^2 \\ &= 3.578 \times 10^4 \text{ kw}\cdot\text{H}。 \end{aligned}$$

(六) 系統所需實際壓送能量 ( $E_{\text{actual}}$ ):

$$E_{\text{actual}} = 118453 \text{ kw}\cdot\text{H}。$$

校正因子 ( $K = E_{\text{actual}} / E$ )

$$\begin{aligned} K &= 118453 / 3.578 \times 10^4 \\ &= 3.31。 \end{aligned}$$

(七) 結構指標 ( $I_1$ ):

$$\begin{aligned} I_1 &= E_{\text{min}} / Q_v \text{ (kw}\cdot\text{H/M}^3\text{)} \\ &= -1.952 \times 10^4 / 336030 = -0.058 \text{ kw}\cdot\text{H/m}^3。 \end{aligned}$$

(八) 品質指標 (I<sub>2</sub>) :

$$I_2 = E / FE_{min}$$

$$= 3.578 \times 10^4 / 1.35 \times 10^4 = 2.65。$$

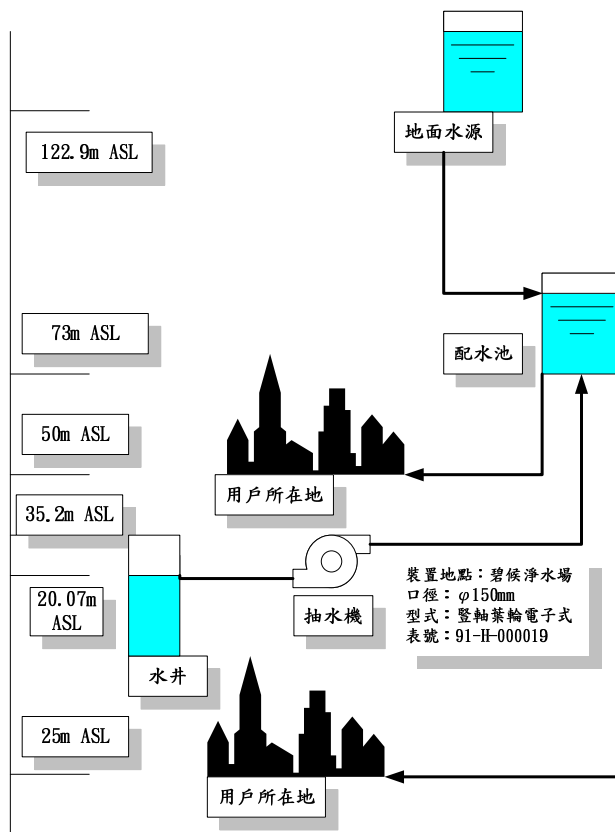


圖 4.3 南澳系統供水示意圖

4.3.2 南澳供水系統計算分析

宜蘭南澳供水系統實際資料運算結果：

- (一) 所需壓送最小能量  $E_{min} = -1.952 \times 10^4 \text{ kw}\cdot\text{H}$  ;  $FE_{min} = 1.35 \times 10^4 \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。
- (二) 壓送每噸水所需之理論能量  $E_{umin} = 0.04 \text{ kw}\cdot\text{H} / \text{m}^3$ 。
- (三) 計算損失後所需壓送能量  $E = 3.578 \times 10^4 \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。
- (四) 系統所需實際壓送能量  $E_{actual} = 118453 \text{ kw}\cdot\text{H}$ 。
- (五) 校正因子  $K = 3.31$ 。
- (六) 結構指標  $I_1 = -0.058 \text{ kw}\cdot\text{H}/\text{m}^3$ 。

(七) 品質指標  $I_2 = 2.65$ 。

南澳系統計算最小所需能量為 $-1.952 \times 10^4 \text{kw}\cdot\text{H}$ ，而計算損失後所需壓送能量為 $3.578 \times 10^4 \text{kw}\cdot\text{H}$ ，代表水源處之潛在能量遠大於用戶處，亦即大多數水源由高處流下重力式供應，能源耗用低，但系統所需實際壓送能量  $E_{\text{actual}}$  為 $118453 \text{kw}\cdot\text{H}$ ，為壓送所需能量的 3.31 倍，表示應就整個供水系統進行探討與進一步模擬試運算，檢討抽水機與配水池所在地是否最佳，以及壓送水源經過濾後之效率、漏水率及是否有其他影響耗能因子。

結構指標  $I_1$  為 $-0.058$ ，顯示出用戶水源取自高處湧泉較多，結構仍具經濟效益。品質指標  $I_2$  為 2.65，表示表示該自來水系統較不具經濟用能，用能效率僅為 37.74%，但也表示該自來水系統越有節能空間。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

提供現代生活的能源需求與降低其對環境衛生的衝擊，是兩個不能分割的目標，所以我們必須從節約能源、提高用能、增加可再生能源的利用及預防污染與意外事件等方面著手。就自來水事業而言，配水池高程是耗能主要的決定因素，且配水池數量、容量、地點的選擇，以及抽水機之型式與數量，主要管線之管徑與位址，均影響計算結果，故執行節約能源，應自系統初期規劃階段及往後的操作維護持續辦理，方有成效。

研究結果，宜蘭澳花、東澳及南澳系統節能指標詳如表 5.1 及圖 5.1 所示，其中計算損失後所需壓送能量與實際用電量比較，以澳花系統最為接近，代表各項主要損失能源因子數值較接近真值，惟品質指標為 3.153，表示該自來水系統較不具經濟用能，用能效率僅為 31.72%，但也表示該自來水系統越有節能空間。

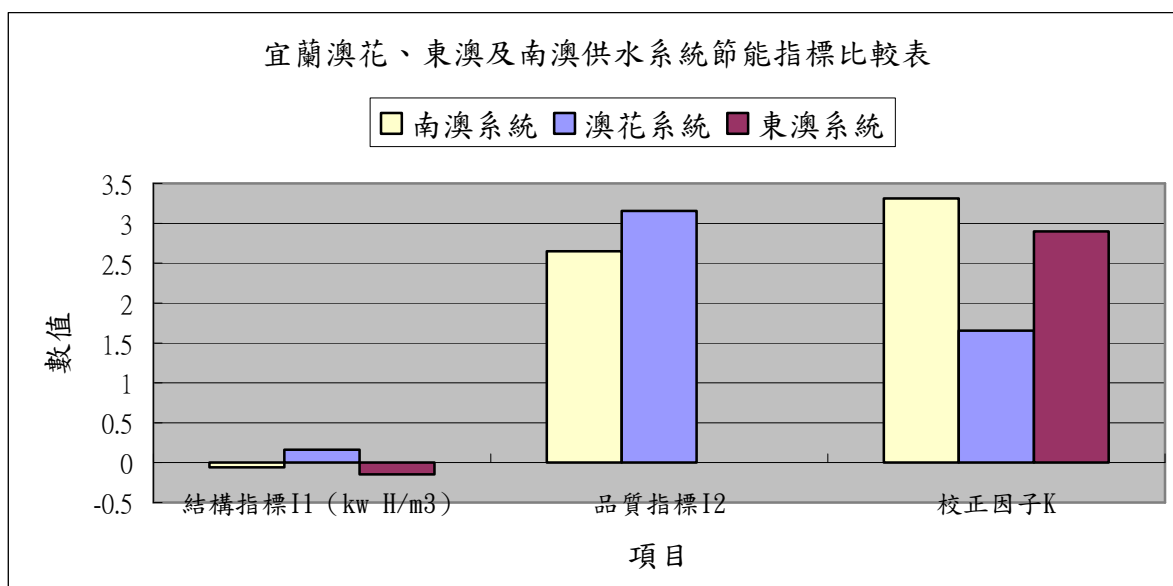
結構指標與品質指標均以東澳系統為最佳，代表該系統具經濟效能，且系統效能極優，相對於南澳系統，其系統所供應用戶之水源取自高處山澗水較多，結

構仍具經濟效益示，但應就整個供水系統進行探討與進一步模擬試運算，檢討抽水機與配水池所在地是否最佳，以及壓送水源經過濾後之效率、漏水率及是否有其他影響耗能因子。

表 5.1 宜蘭澳花、東澳及南澳系統節能指標比較表

系統別 項目	澳花系統	東澳系統	南澳系統
校正因子 K	1.653	2.9	3.31
結構指標 I <sub>1</sub> (kw·H/m <sup>3</sup> )	0.163	- 0.145	- 0.058
品質指標 I <sub>2</sub>	3.153	8.84× 10 <sup>-3</sup>	2.65

圖 5.1 宜蘭澳花、東澳及南澳系統節能指標比較圖



## 5.2 建議

本文使用 T.Pelli and H.U.Hitz (2000.06) [3]所訂定之結構性指標及整體使用能源效率之品質指標，可以更客觀觀察各供水系統能源使用情況，但現階段僅蒐集 3 個系統近 3 年節能參數資料進行分析試算，可能無法更精準分析研究，未來如可將資料蒐集的時間間距縮短為每月一筆或每日一筆，且納入其他不同地域特性的供水系統試運算，將可適度修正計算公式以求更為精確。

在供水系統各項節源資料收集整理當中，可能因為自動監測存在不可抗拒因素所造成之干擾，與人工監測失誤而導致資料不完整，且亦可能因天然災害導致淨水場非正常調配操作而影響評估基準，各供水系統應統一建立連續且等間距之監測資料以利分析，以便長期觀察節約能源變化及趨勢。

在淨水場傳統操作中，抽水機往往是用電量最大的負載，也是淨水場重要關鍵的操作設備，但卻無法以一單純方程式計算最佳抽水機組合模式，以致多數情況仍需仰賴規設工程人員經驗，或由操作人員進行調配操作求取次佳情形，未來應可再進一步藉由網路系統模式研究抽水機最佳調配組合。

## 參考文獻

- [1]. 陳淑薇,“我國節約能源政策及措施之檢討與研究”,國立台北大學公共行政暨政策學系研究所碩士論文,2001
- [2]. 謝煜琦,“節約能源及再生能源推廣之知識管理架構研究”,國立台北科技大學工業工程與管理研究所研究所碩士論文,2004
- [3]. T.Pelli and H.U.Hitz , Energy indicators and savings in water supply ”, journal AWWA , Volume: 92 issue 6, Pages: 55 - 62 , June 2000
- [4]. 周育德 ,“台灣永續能源發展指標建置與評估之研究”,國立台北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文,2004
- [5]. <http://www.water.gov.tw/>
- [6]. <http://www.taipower.com.tw/>



照片 1 宜蘭澳花系統深井照片



照片 2 宜蘭澳花系統下村用戶照片



照片 3 宜蘭澳花系統上村用戶照片



照片 4 宜蘭澳花系統 400 噸配水池照片



照片 5 宜蘭東澳淨水場與深井照片



照片 6 宜蘭東澳供水系統供水區照片



照片 7 宜蘭東澳淨水場之配水池照片



照片 8 宜蘭南澳淨水場之深井照片



照片 9 宜蘭南澳供水系統下村用戶照片



照片 10 宜蘭南澳供水系統上村用戶照片



照片 11 宜蘭南澳供水系統 500 噸配水池照片



照片 12 宜蘭南澳淨水場照片