

六標準差與供水監測管理系統之應用研究

林清鑫

台灣自來水公司第四區管理處副理

摘要

供水管網長期以來透過供水監控系統(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)做為供水操作主要參考依據，為達漏水控制，大量建置小區管網並廣佈水壓監測點，如何妥善運用龐大數據轉化成有效的資訊，以達成質優、量足的目的，為當前管理的一大課題。

為能更有效地管理供水，各供水單位需將供水監控系統(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)、小區管網系統及用戶資訊系統、地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)等整合成單一平台，透過供水監測系統進行管理，達到即時觀測及資訊整合之效。六標準差是一種追求「最小變異」的經營管理思維，藉用統計學上的常態分配與機率模式，主導企業的戰略與戰術，本案是藉標準差測量數值個體間的離散程度，在常態分配的機率下，約有 99.7% 的數值落在六個標準差以內，可協助衡量數據及產品的變異程度，找出異常狀況或不良品，控制整體品質。為能有效利用現有的數據，導入此概念並結合時間序列分析，系統根據點位累積的數據資料，設置六個標準差的警戒值，並繪製移動平均趨勢圖，將歷史資料延伸進行預測。其效益除了可界定當前正常用量範圍，更可預測未來走向，成為供水操作判斷依據。

關鍵字：水壓監測、供水系統、六標準差、移動平均

1. 前言

供水監控系統為近年供水管理的主要工具,以往是依人員的經驗值透過監控系統 (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)來操作及管理供水系統,近年來為了降低無收益水量(Non Revenue Water, NRW),包含改善供水端的實質漏水損失與售水端的未計費合法水量及帳面損失等,大量的建置監測站,應用所搜集到愈來愈多的資料,將這些資料數據化,運用科學技術以彌補傳統經驗上的不足,以整體性的角度協助供水調配,提高整體效益。各個監測站所收集的數據,若無法妥善利用,將資料(Data)轉化成有效的資訊(Information),則僅突增管理者困擾,故資料的整理與運用為效能提升的前提。

運用各種策略試圖降低漏水量(Annual Real Losses, ARL),大量的建置分區管網(District Meter Area, DMA)及水壓觀測站,再佐以已建置的監控點位,大量的數據不知如何妥善的運用,雖能明白水壓過高易造成爆管,降低設備壽命,加劇漏水狀況;若水壓過低,則影響用戶用水權益,與供水目的本末倒置,如何運用這些數據來建立最佳的供水模式來找回不可避免的漏水量(Unavoidable Annual Real Losses, UARL),為一個重要的課題,也是本研究之目的。

本研究根據監測站所紀錄之資料,藉由歷史的資料來預測未來的趨勢,管理者可依其制訂操作的標準作業書,設置操作值合理或異常之範圍,本研究系統化歸納整合監測站數據資料,除了透過供水監控系統進行管理,更導入統計學中六標準差的計算原理與時間序列概念,計算各點位所累積的數據資料,依其常態分配下的離散程度,自動設定警戒範圍,若有異常狀況發生,則主動通知管理者,即時改善處理,避免事態惡化。

2. 理論依據

2.1 標準差的計算

數據間的離散程度可用標準差(σ)來描述。若母體總數為 N , x_i 為 N 中第 i 個數據,則標準差計算公式則為:

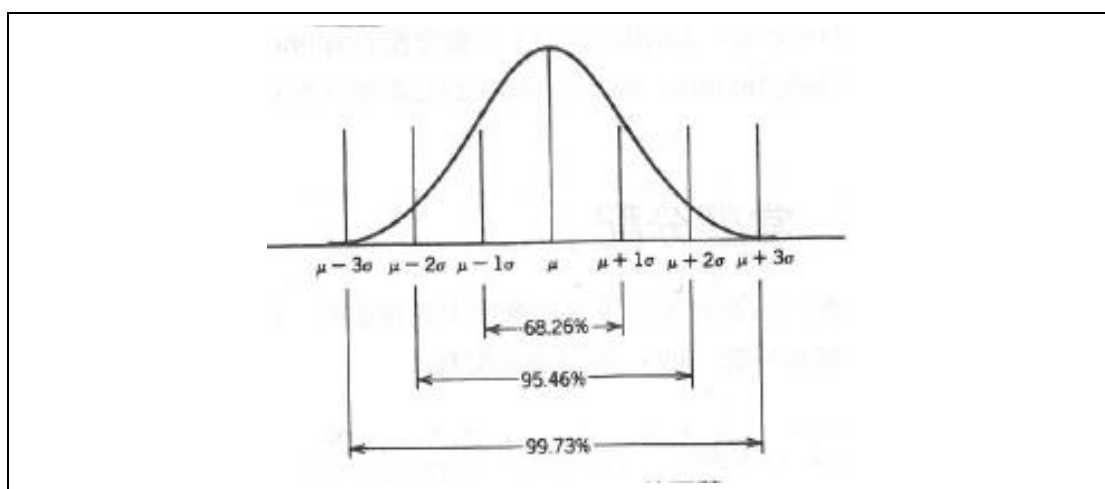
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

在統計學中，每個歸納統計幾乎皆與標準差有關，使用範圍廣泛。標準差愈大，可表示該數列的相異程度愈大，其所涵蓋的區間範圍也愈廣；標準差愈小，則表示數列與平均值相近。標準差在目前社會已廣泛應用於各種領域中，從物理天文到財務金融皆有所應用。

2.2 常態分配與標準差

自然界中的隨機數值在正常狀況下，多數集中於平均數(μ)的左右兩端，呈現以 μ 為中心高點、左右對稱的單峰鐘型曲線，曲線的兩個尾端向左右無限延伸，為統計學中最重要的連續機率分配，許多自然現象、工程流程、商業問題與社會現象可以藉由常態分配最為描述，且只要樣本數超過一定數量便近似接近，因此可假定為一種常態現象，又為常態曲線(Normal curve)(如圖一)。

在常態曲線中，68.26%的數據落在距離平均數正負一個標準差 $[\mu + \sigma \sim \mu - \sigma]$ 之內；95.46%的數據落在距離平均數正負兩個標準差 $[\mu + 2\sigma \sim \mu - 2\sigma]$ 之內；99.73%的數據落在距離平均數正負三個標準差 $[\mu + 3\sigma \sim \mu - 3\sigma]$ 之內，此被稱為經驗法則(Empirical rule)。



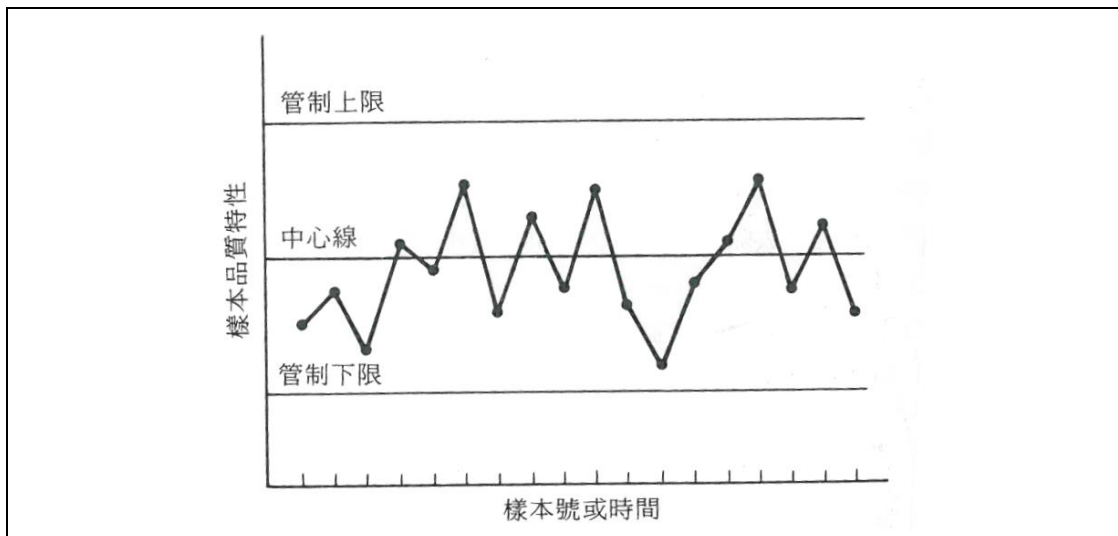
圖一：經驗法則下的常態分配

2.3 標準差於品質管理的應用

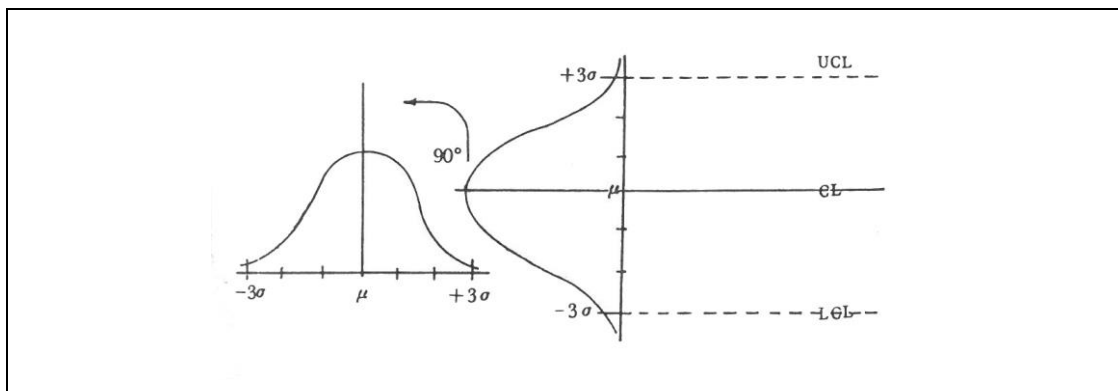
品質是為一種適用性(fitness for use)，代表該項產品符合使用者要求，由於生產製程皆會面臨不可控制變數，每件產品間必定存在差異性，因此品質管制與改善為管理上的一大重點。

為了降低變異性，品質管理導入標準差的使用，應用在統計流程管制 (Statistical Process Control,SPC)上。統計流程管制目的在於監控生產製程，為一種品質改善方法，運用統計學概念

管制流程，預防不良品的產生。管理者透過標準差繪製管制圖(Control Chart)，協助減少製程中的變異，並藉此評估整體製程能力。管制圖(如圖二)的中心線代表管制狀態的產品品質的平均數，上、下水平線則為管制上限(Upper Control limit, UCL)與管制下限(Lower Control Limit, LCL)，多以三個標準差(如圖三)作為基礎，若產品品質落在上下限之間，則無需採取措施(即產品合格)，反之，若落在上下限之外，則需人員調查並進行修正措施改善。



圖二：典型管制圖



3. 六標準差的應用研究

3.1 六標準差研究目標

六標準差(6 sigma)是一種統計的概念，是以不良率來衡量整個流程的好壞。Sigma 在統計上稱為標準差，它可以衡量資料的變異程度。簡而言之六標準差是一項解決問題的技巧，善用人力

資源、資料及統計工具等，應用在本系統上把監控點位的資料假設為常態分配，則 99.73%的資料會落在平均值正負 3 個標準差之內，若超出 3 個標準差之外即為異常警示，達到主動警戒之功能。

3.2 研究作法

為達上述目標，並符合經濟效益，於現有的供水監測管理系統中，彙整各監測站近期 30 日內的龐大紀錄資料，導入六標準差概念管理。

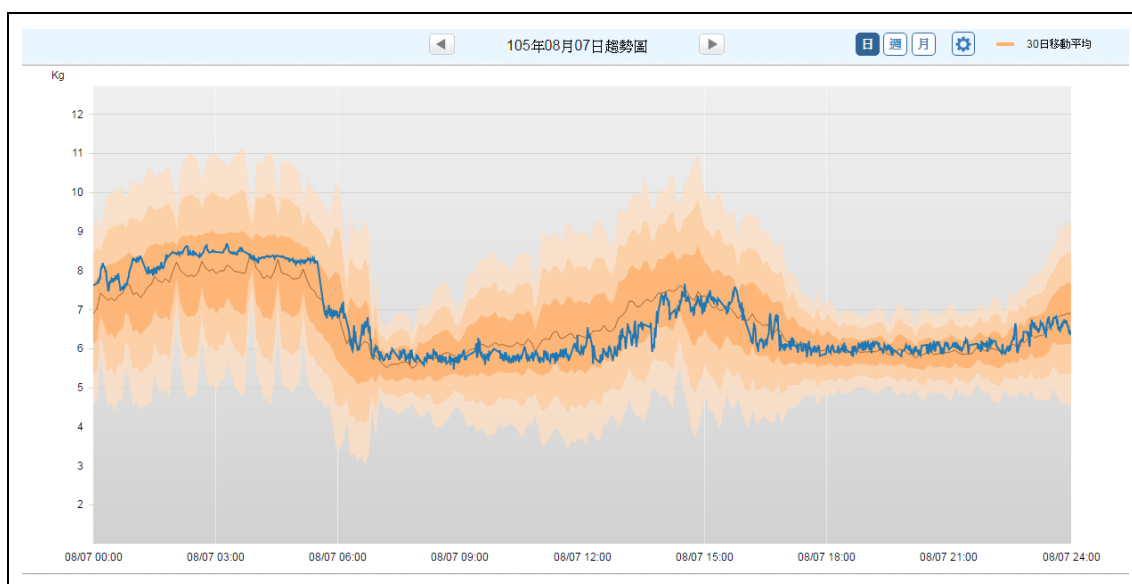
六標準差即為正負三個標準差，透過此建立管制上、下限，降低管理變異、追求高績效。運用到供水管網上，視各個監測站的數據為各個產品，依據此”產品”，由系統主動計算其標準差界限，藉此有效發現異常狀況(不良品)，即時應變改善，維持供水的穩定。

3.3 研究說明

3.3.1 基本項目：移動平均管制

系統依據近 30 日監測點資料，主動計算各監測站每個時段的管制上限與管制下限，由於限制範圍會依據時間而有所不同，因此又可稱為移動平均管制。

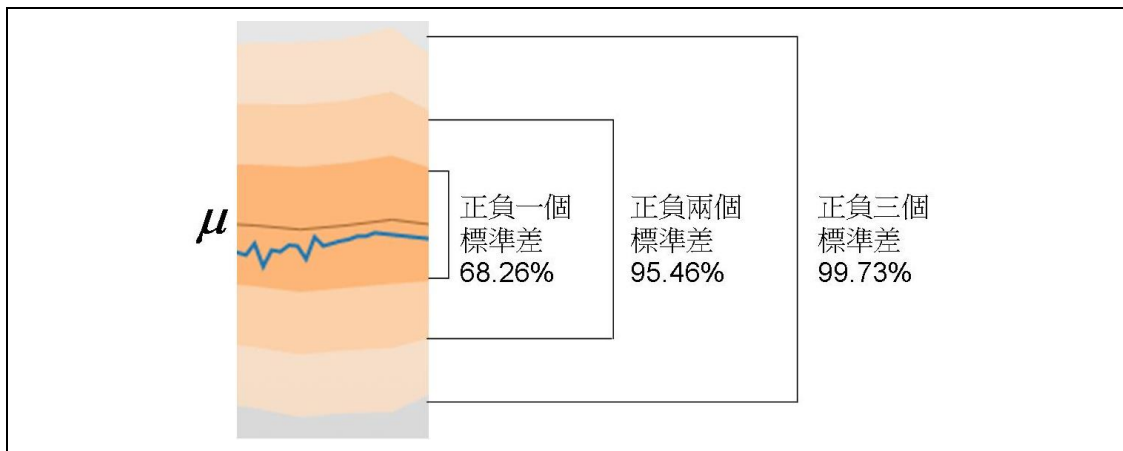
如圖四所示，圖中中間藍線為實際水壓數值，中間黑細線為 30 日平均線，三種深淺橘色部分則為管制範圍。



圖四：供水監測管理系統導入標準差管理—移動平均管理

如圖五中間深橘紅色部分表示正負一個標準差範圍，根據歷史資料推算，數據將有 68.26%

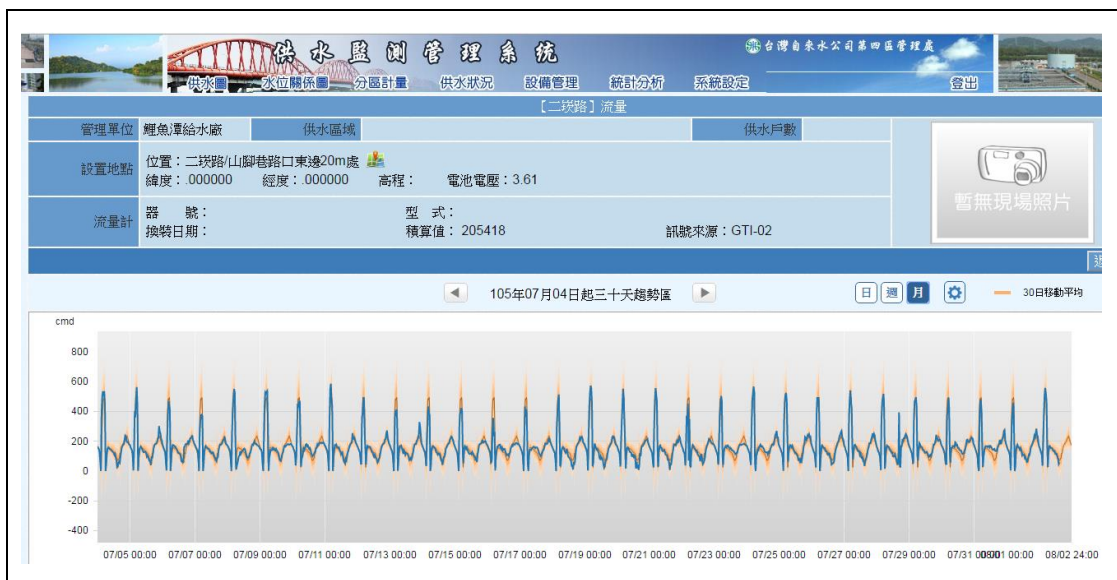
的機率落在此範圍內，向外擴散的次橘紅色部分則代表正負兩個標準差範圍，淺橘紅色部分則是正負三個標準差範圍。



圖五：供水監測管理系統導入標準差管理—移動平均管理

3.3.2 異常狀況判定：警告燈號

監測點於正常的情況下，在相同的時間及地理環境下，因操作或設備並無改變或異常時，應會呈現固定的用量趨勢，如圖六所示，30天內的用量趨勢有其規則可循。若用量趨勢偏離原先的模式，則可懷疑是否有異常狀況的發生，需要管理單位適時確認。



圖六：穩定的操作模式趨勢

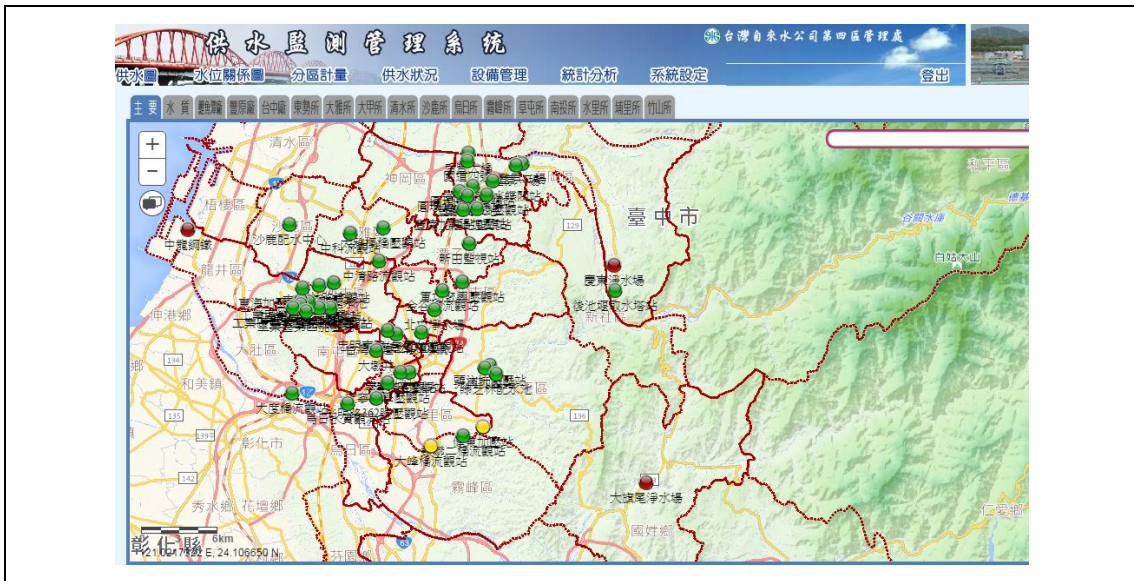
根據移動平均管制範圍，若數據落在正負兩個標準差(95.46%)以外，即僅有 4.54%的機率發生，便發出 HI/LO 警戒告示；若數據落在正負三個標準差(99.73%)以外，即僅有 0.27%機率發生，便主動發出 HIHI/LOLO 警示(如圖七)。警戒告示將於系統主要告示板及地理圖資中顯示(如圖

八)，協助管理者更快掌握異常區域。

文武、三民路口	壓力	0.63 Kg	13:50:00	▶
水美路有應公減壓閘	閘前壓力	4.97 Kg	13:50:00	▶
	閘後壓力	2.5 Kg	13:50:00	▶
東安路426號	壓力	2.21 Kg	13:50:00	▶
松安路323號	壓力	1.8 Kg	14:00:00	▶
金華西路908巷口	壓力	1.00 Kg	14:00:00	▶
重義三路22號對面	壓力	0.77 Kg	13:50:00	▶

HIHI/LOLO警戒告示
HI/LO警戒告示

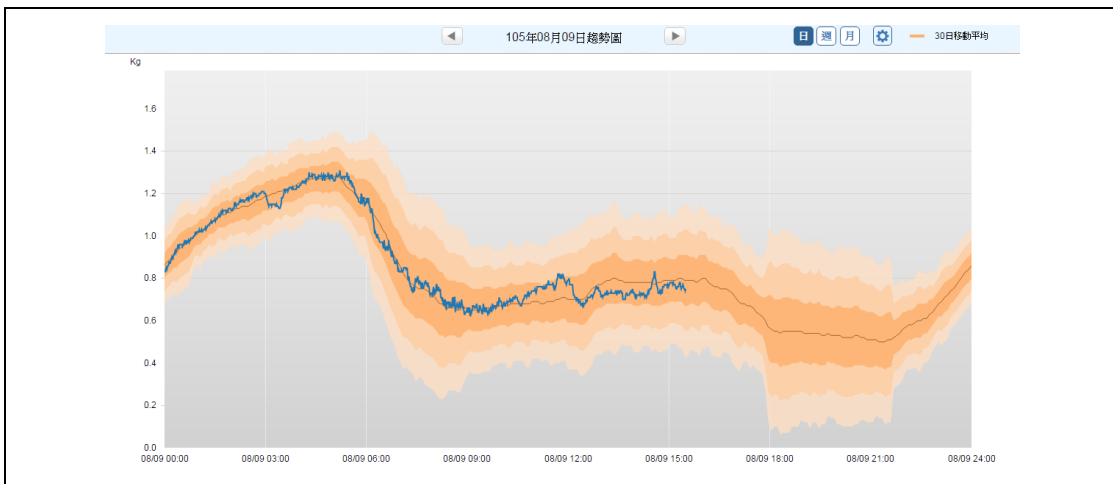
圖七：告示板警戒告知



圖八：結合地理圖資(紅燈為 HIHI/LOLO 警告、黃燈為 HI/LO 警告、綠燈為正常)

3.3.3 預測未來趨勢變化

除了警示功能，由於系統已彙整近期 30 日資料，亦可對於未來趨勢變化作簡易預測(如圖九)，協助管理者供水調配的規劃，以達供需平衡，增進管理效益。



圖九：預測未來趨勢變化

3.4 研究效益

透過六標準差的應用，可達以下效益：

(1) 以穩定供水操作為中心考量，依實際狀況持續修正標準的管理模式

標準差的計算是依據近 30 日的歷史資料，使用近期且長時間的數據作為統計母體，避免資料失準且符合用戶實際使用習慣，且系統會隨時主動進行管制線的修正，減少人力紀錄分析，提升整體效益。

(2) 異常數據警告，及早確認改善，維持供水品質

若點位數據偏離平均值，且發生機率僅小於 4.54% 或 0.27%，則可能表示有非正常狀況的發生，此時可由系統主動發出警訊通知管理單位，及早確認狀況發生原因，降低損失，維持供水品質，進而提升自來水公司形象。

(3) 系統可明確依不同時間設定不同的警戒值

如果可以明確界定屬 HI/LO 及 HIHI/LOLO 警戒者，如水質酸鹼度、濁度、餘氯等等法規有明確標準值者，則可依點位強制設定警戒值，對例行性操作曲線偏移做了第二層的防護，對於重要的監測點位更具多一層的防護。

4. 結論

將大數據轉換成具有警示功能，以導入標準差的概念，發揮更高的效用，由系統主動計算、主動修正與主動警示，建立科學化的管理模式，藉由資訊整合進而達到即時警戒、觀測目標及提
供管理者做為決策參考最佳依據來建立最佳的供水模式。

標準差的導入更是一種思考模式的轉換，將以”供水”為主體的思考模式轉向以”用戶(消費者)”為中心，加入時間序列概念，從用多少(需要多少水量)推到供多少(輸送多少水量)，達到供水上的供需平衡，也維持用戶用水品質。

參考文獻

1. Richard Johnson, Gourl Bhattacharyya, 統計學, 五南圖書出版公司, 1993 年
2. Douglas C. Montgomery, 統計品質管制 第二版 華泰書局, 1997 年五月
3. 房客成, 管制圖, 中華民國品質學會, 2000 年三月
4. 黃國永, 水量與水壓管理監測系統在分區計量應用之研究—以花蓮地區為例, 2012 年