

灰色理論應用於石化工業二級排放水回收系統

陳永隆

國立臺中科技大學資訊工程系

e-mail: ylchen66@nutc.edu.tw

周永邦

國立臺中科技大學資訊工程系

e-mail: punto1023@gmail.com

摘要

本研究以台灣某工業園區內某石化廠的二級處理排放水回收測試機組為例，使用灰色理論模型 GM(1,1) (Grey Theory) 進行反滲透膜 (RO) 產水量預測分析，提高有效水回收處理系統的使用效能，並避免回收系統因 RO 膜堵塞，所以我們的方法能夠減少廢水排放及穩定系統運轉。

關鍵詞: 灰色理論; 二級處理排放水; 水回收。

Abstract

In this paper, a secondary treatment system for wastewater reclaim in a petrochemical plant of Taiwan industrial park is used to be an example. We use the gray theory model GM (1,1) (Grey Modeling) to forecast the flow of the reverse osmosis membrane (RO). Furthermore, our method can improve the efficiency of the water recycling system and avoid the shutdown of this system because the reverse osmosis membrane is fouled. Our method can reduce the discharge of waste water and make sure that the system operation stably.

Keywords: Grey Theory; Secondary treatment of waste water; Water reclaim.

1. 前言

根據行政院主計處所公布的"產業關聯程度表" [1]顯示，化工原料產業不僅可以帶動其他產業發展，亦為配合其他產業發展所不可缺少的基礎產業，是致力經濟發展所必須推廣的關鍵性產業。在化工原料產業中，以原油及天然氣為原料所生產的石油化學品產業產值更高達整體化工原料產值的 90% 以上，因此石化產業可稱得上是所有產業的火車頭。

由於石化是工業之母，且石化產業確是一個產品眾多，製造方法複雜的產業結構，而這個產業也因為資本密集、技術密集、上下游間利益關係密切等特性而導致此一產業發展出

龐大的上、中、下游產業體系，而產業各環節之間為了節省成本提高市場競爭力，上中下游間不同的廠商必須高度的整合。舉例來說，因為石化基本原料如乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯...等等均是易燃且危險的化學品，運送不便，船運時，必須用裝設有低溫高壓特殊儲槽的化學船載運。因此，產業上下游之間設廠時考慮近距離、自我形成一個石化專區是常有的事。

近年來的乾旱以及可能實施的限水措施，凸顯了台灣的水資源的問題，但深入去了解以後令人驚訝的是，我們台灣對於水資源的運用並沒有真正可靠的資料，我們都知道掌握實際資訊是改善現實的第一步，但我們卻連第一步都還沒有做到。

若將用水的來源包括水庫的供水與地下水，則依據經濟部水利署的估計[2]，在 2008 年台灣的用水結構為生活用水 17.64%、工業用水 8.14% 及農業用水 74.22%。

依據水利署的估計，工業用水中超過 33% 以上是利用地下水。而實際上似乎只有台北市內鑿井是有受到控制，在其他地方則只能有大約估計，登記有水權的合法水井約佔水井數目的 10%，其他則為未登記的水井，而每個井抽水量多少則更是沒有人知道(雖然每個抽水泵浦都需要接電力來抽水用以預估)，因此地下水的用量很可能只會低估。

工業用水的使用量應該可分為補充水量以及回收水量，回收水量所指的是工業本身將已經用過的廢水，經過處理後再來利用，但是這個資料當然闕如。普查資料中，將各產業用水量來源分為自來水廠供應量，以及自行鑿井及引水量，也就是只有補充水量的部分有紀錄。幸好目前因為回收量有增加或是其他製程上的改善，補充水量已有減少的趨勢。

石化業用水在用途上多用在冷卻、洗條以及製程中使用等，其中冷卻為主要用途。所以其排放之廢水可分為一般廢水與製程廢水兩種，一般廢水包括冷卻水、清洗用水、鍋爐排水、暴雨逕流等，前者則可能來自反應器、分離設備、回收設備、蒸餾塔底部等，成分複雜。

因為環保標準的提高，廠商投資於廢水處理設備的數目增加，不單使得排放的廢水污染減少，也使得回收水的數量增加，節省水資源的利用。

石化業使用水量的多寡依據既定的技術或製程設計而定，但是補充用水量的多寡則也依據回收水量而變化，亦即提高用水回收率至少可以減少補充水量的需要量。依據鄭欽龍在1992年的報告[3]，1987年日本石化業的使用水量雖也很高，占製造業總額的30%，但是因為其高達80%的回收利用率，其補充水量則只占總量的24%，日本製造業全體的用水回收率也已經達到75%左右。而台灣因為資料的缺乏而無法計算回收率，但是可以預期離此比率會有相當大的距離，亦即表示我們台灣應該仍有相當大的改善空間。

2. 研究目的

目前水回收處理設備雖然多是使用Programmable Logic Controller(PLC) 程式邏輯控制器，或是搭配 Human Machine Interface(HMI)人機介面做系統的操作控制，但此些功能僅是提供作為設備本身的起停運轉控制而已。但是作為回收水處理系統，其來源水並非如同一般地表水或是市政用水而較為單純，二級排放水雖然是已經經過二級處理而達到法規放流的標準，但實際上，其放流水中仍有許多物質(如有機物、懸浮固體、溶解物質、金屬離子…等)會對水回收系統造成操作上的影響，進而使得水回收系統故障、停機，甚至造成系統中的膜元件有不可逆的堵塞。此狀況除了會造成系統停機進而影響現場水源調配外，也會因為膜元件堵塞而需要更換新品，使得系統操作成本大幅上升。

針對上述問題，本研究提出在水回收系統控制設備加設一套灰色理論模型 GM(1,1) (Grey Theory)[7-9]運用在水回收系統日常操作的數據統計及預測，當此單元統計出水回收系統的流量、壓力及產水水質發生變化時，即可進行預測未來水回收系統需要進行線上藥洗的時間，即可預先做進一步工作人力或現場製程用水的調配。

3. 文獻探討

本章節主要是搜集、整理、回顧及探討與本研究有關議題之相關文獻，用以作為本研究基礎及理論的延伸及發展。本章節將對灰色系

統理論、相關文獻分別用來加以探討，以作為本研究的基礎。

3.1 灰色理論(Grey Theory)

在1956年，學者 W.R.Ashby 首次在控制論導論(An introduction to cybernetics)[6]書內對於黑箱理論(Black Box Theory)有特別的加以論述，他是認為黑箱可以當作是一種系統來看待，在該系統中是無法事先取得任何內部的訊息，卻僅能從系統取得最終的輸出值及最初的輸入值。

而灰色理論(Grey System Theory)[6-7]是於1982年由鄧聚龍博士首次提出，該理論是針對系統模型之不確定性及資訊之不完整性，進行系統的關連分析及模型建構，並藉著預測及決策的方法來探討與瞭解系統，主要是運用於信息不完全、不確定的系統以及研究少數據不確定性的學科。並且稱訊息為完全明確者為白色系統，而訊息完全不明確者視為黑色系統，訊息部分明確者則視為灰色系統。

使用灰色理論(Grey Theory)作為預測技術，GM(1,1)(Grey Modeling(1,1))已經被利用在許多預測的問題，例如燃料生產的預測[13]，能源消耗的預測[10-12]，河川水質污染評估的預測[5]。

在灰色預測原理及應用[4]書中有提到灰色理論主要包含：灰色生成(Grey Generating)、灰色關聯度分析(Grey Relational Analysis)、灰色建模(Grey Model Construction)、灰色預測(Grey Prediction)、灰色決策(Grey Decision Making)以及灰色控制(Grey Control)，本文研究所應用之方法即為灰色預測。

4. 水回收系統操作運行之灰色預測

4.1 水回收系統架構

石化產業其排放之廢水可分為一般廢水與製程廢水兩種，一般廢水包括暴雨逕流、冷卻水、清洗用水、鍋爐排水等，後者則可能來自反應器、分離設備、回收設備、蒸餾塔底部等，成分相當複雜，故本研究僅探討已經過廠內廢水處理設備處理至符合政府規定排放標準之放流水進行水處理回收，如此可將原本要排放之放流水予以回收至場內再利用。

由於放流水之水質較為單純，故水回收系統之設備之處理流程如圖1所示：

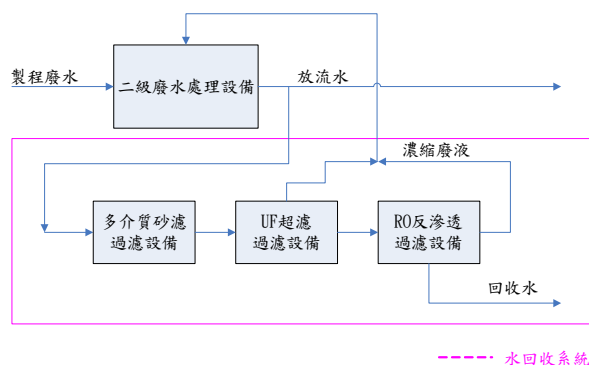


圖 1.石化產業水回收處理流程示意圖

UF (Ultrafiltration) 超濾膜能有效去除水中膠體粒子及大分子有機物，已廣為熟知，但是在放流水回收處理上，目前在國內運用尚不廣泛，但是運用在廢水處理已有相當多的實績。本研究即是評估以 UF 作為 RO (Reverse Osmosis:逆滲透膜)的前處理，本測試設備所使用薄膜為 GE Water 美商奇異公司之產品，UF 膜型號為 ZW1500-600，其基本資料如圖 2 所示，RO 膜型號為 AG8040F400-LF，其基本資料如圖 3 所示，模型測試實廠架設如圖 4、圖 5、圖 6 所示。

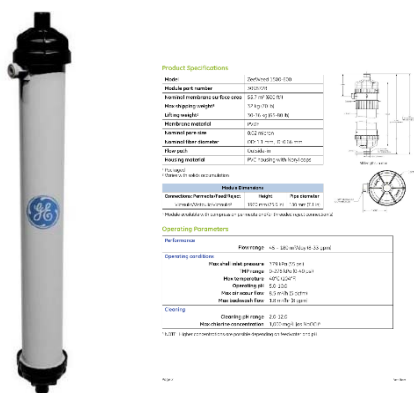


圖 2.GE Water ZW1500-600 UF 膜基本資料

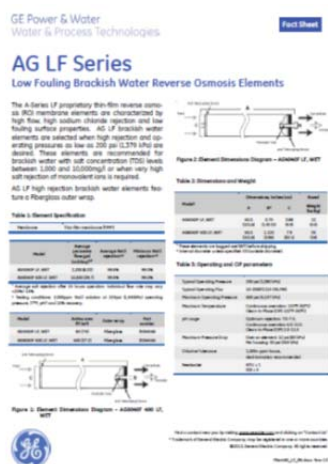


圖 3.GE Water 抗污染 RO 膜基本資料



圖4.某工業區某石化廠之水回收處理系統Pilot
模型廠(前處理及UF)



圖 5.某工業區某石化廠之水回收處理系統 Pilot 模型廠(RO)



圖6.某工業區某石化廠之水回收處理系統Pilot
模型廠HMI操作面板

本水回收處理系統的試驗中，砂濾及 UF 為 RO 系統之前處理，主要目的在於去除水中的膠體粒子，避免 RO 遭受阻塞，RO 操作中對於膠體微粒濃度之控制常以 SDI(Solid

Density Index:汙泥密度指數)表示，一般 RO 進流水 SDI 需小於 4。

在 pilot 模廠測試期間，該石化廠之廢水綜合處理廠接受各生產工廠所排放之廢水，雖然已達國家排放放流水之標準，但實際的排放水質會依不同原廢水之水質變化而變化，故在前處理過濾設備運行時，砂濾及 UF 皆會遭受到阻塞的問題，但此阻塞狀況可適時設定使用壓差來自動控制反洗，並添加次氯酸鈉藥劑加以控制微生物之滋長。

因為前方有砂濾及 UF 作為前處理，所以 RO 系統在測試期間產水量(單位:CMH Cubic Meter Per Hour)並無明顯降低之現象(表二，圖 9)，且產水水質佳(水質單位: $\mu\text{s}/\text{cm}$)(表一、圖 8)，可證實 RO 用於管末排放水回收上確有其可行性，初步評估處理後之回收水應可回收成為冷卻水之補充水。

表一. 某工業區石化廠水回收處理系統 Pilot 模型廠測試運轉產水水質表(2016/8/1~2016/8/9)

	RO 產水水質 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	原水水質 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
2016/8/1	39.1	4710
2016/8/2	39.2	4630
2016/8/3	32.9	4560
2016/8/4	31.1	4640
2016/8/5	30.1	4900
2016/8/6	30.9	4740
2016/8/7	48.1	5000
2016/8/8	44.1	5930
2016/8/9	40.6	5670

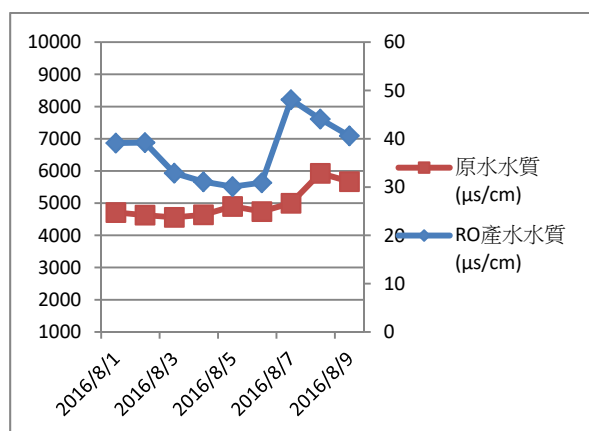


圖 8. 某工業區石化廠水回收處理系統 Pilot 模型廠測試水質數據曲線圖(2016/8/1~2016/8/9)

表二. 某工業區石化廠水回收處理系統 Pilot 模型廠測試運轉產水水量表(2016/8/1~2016/8/9)

	RO 進水水量 (CMH)	RO 產水水量 (CMH)
2016/8/1	1.65	0.91
2016/8/2	1.65	0.9
2016/8/3	1.65	0.9
2016/8/4	1.65	0.9
2016/8/5	1.63	0.88
2016/8/6	1.63	0.85
2016/8/7	1.67	0.89
2016/8/8	1.64	0.88
2016/8/9	1.63	0.87

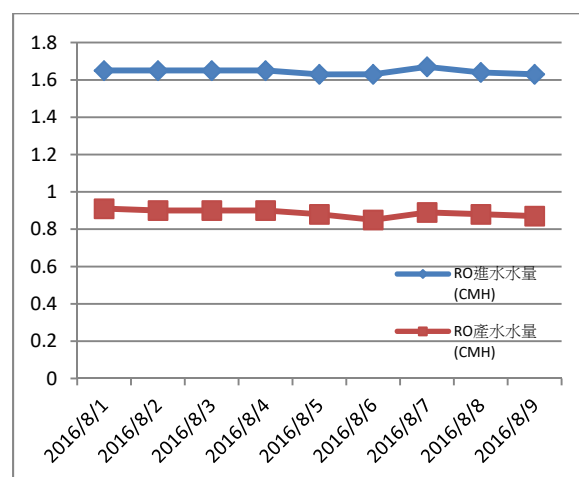


圖 9. 某工業區石化廠水回收處理系統 Pilot 模型廠測試運轉水量曲線圖(2016/8/1~2016/8/9)

在測試操作運行中發現系統的 RO 產水水量有緩慢下降的狀況，RO 產水水質也有些許上升的趨勢，所以本研究將使用表二的數據資料，並結合灰色理論 GM(1,1)及 Rolling-GM(1,1)用以預測水回收系統 RO 膜管未來堵塞的情形，用以作為未來實廠回收系統日常操作運行的評估。

4.2 灰色預測 GM(1,1)模型

灰色預測 GM(1,1)模型主要是以灰色理論作為基礎，所謂的灰色生成模型，其實是作為數據或訊息補充的處理方式。可將一些本來是非線性、非常態性或是非穩定離散的初始資料，轉換成為擁有一定規律的全新數據序列，並再從中取得該數據的規律性及特徵，以供後續研究或實廠使用。

本文研究是屬於數列預測，它是根據已知的數據資料直接建立灰色預測模型。其灰色預測 GM(1,1)模型之建立及說明如下：

4.2 灰色生成(Grey Generation)

4.2.1.1 累加生成(AGO)

將已知數據依序累加而成，以利取得灰色建模的數據。

$$x^{(0)}=(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\dots,x^{(0)}(n)) \quad (1)$$

$x^{(1)}$ 則視為 $x^{(0)}$ 一次 AGO 的序列，同下所示

$$x^{(1)}=[\sum_{k=1}^1 x^{(0)}(k), \sum_{k=1}^2 x^{(0)}(k), \dots, \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k)] \quad (2)$$

4.2.1.2 定義級比(Class Ratio)

$\sigma(k) = \frac{x^{(k-1)}}{x^{(k)}} \quad k \geq 2$ ，如果 $\sigma(k) \in (0,1)$ ，則就可以建模。

4.2.1.3 逆累加生成(IAGO)

將序列中的數據前後相減逆推所得到數據，其用意在於作為驗證建模後的數據精確度。

$$\hat{x}^{(0)}(k)=x^{(1)}(k)-x^{(1)}(k-1)$$

4.2.2 灰導數(Grey Derivatives)

若 $x^{(1)}=AGOX^{(0)}$ ，則我們稱 $x^{(1)}$ 於 k 點之導數為 $G(k)$ ，

$G(k)=x^{(0)}(k)-x^{(1)}(k-1)$ ， $x^{(1)}$ 之灰導數 $G(k)$ ，

對於 $G(k)$ 之間存在有一半的對應關係，其關係我們可視為

$$Z^{(1)}(k)=0.5x^{(1)}(k)+0.5x^{(1)}(k-1) \quad (3)$$

4.2.3 灰差分方程(Grey Difference Equation)

$G(k)=x^{(1)}(k)-x^{(1)}(k-1)$ ，前述 $x^{(1)}(k)$ 與 $x^{(1)}(k-1)$ 我們可以視為白化點，但是因為 $G(k)$ 的訊息並不完整，此可轉化為灰微分方程式 $\frac{dx}{dt}+ax=b$ ，其中 a 及 b 均為係數，寫成差分方程式的格式為 $x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b$ ，此方程式即稱之為 GM(1,1) 模型。

$$x^{(0)}(2)+az^{(1)}(2)=b$$

$$x^{(0)}(3)+az^{(1)}(3)=b$$

$$\dots\dots\dots x^{(0)}(n)+az^{(1)}(n)=b$$

其中， $Z^{(1)}(k)=0.5x^{(1)}(k)+0.5x^{(1)}(k-1)$ ，

$$\text{令 } Y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2)1 \\ -z^{(1)}(3)1 \\ \dots \\ -z^{(1)}(n)1 \end{bmatrix} \quad \hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

$$Y_N = BA$$

$$B^t Y_N = B^t B A$$

$$A = (B^t B)^{-1} B^t Y_N$$

將上方矩陣個個數值展開後可得：

$$a = \frac{\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k) \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [Z^{(1)}(k)]^2 - [\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k)]} - \frac{(n-1) \sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k) x^{(0)}(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [Z^{(1)}(k)]^2 - [\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k)]} \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_{k=2}^n [Z^{(1)}(k)]^2 \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [Z^{(1)}(k)]^2 - [\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k)]^2} - \frac{\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k) \sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k) x^{(0)}(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [Z^{(1)}(k)]^2 - [\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k)]^2} \quad (5)$$

或是將矩陣算是展開後引用中間參數 C ， D ， E ， F ，就可以得到

$$a = \frac{CD - (n-1)E}{(n-1)F - C^2}, \quad b = \frac{DF - CE}{(n-1)F - C^2} \quad (6)$$

$$C = \sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k) \quad (7)$$

$$D = \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) \quad (8)$$

$$E = \sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k) x^{(0)}(k) \quad (9)$$

$$F = \sum_{k=2}^n (Z^{(1)}(k))^2 \quad (10)$$

4.2.4 白化響應式(Whitening Equation)

在 GM(1,1) 方程式 $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$ 裡， $x^{(1)}$ 的初始值 $x^{(0)}(1) = x^{(1)}(1)$ ，利用一般常微分方程式進行求解，即可得到離散化的 $x^{(1)}$ 白話響應式：

$$\hat{x}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (11)$$

使用 IAGO(Inverse Accumulated Generating

Operation)還原 $\hat{x}^{(0)}(k)$ 可以得到

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=x^{(1)}(k+1)-x^{(1)}(k) \quad (12)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=(1-e^{-a})[x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}]e^{-ak} \quad (13)$$

對於當 $k+1$ 時的值，我們即可稱之為預測值。

5. 模擬結果

我們使用圖內的現場實際操作所得之 RO 產水量之數據進行 GM(1,1)的預測分析，其相關程序說明如下：

(1)建立原始序列

$$x^{(0)}(k)=(0.91, 0.9, 0.9, 0.9, 0.88, 0.85, 0.89, 0.88, 0.87)$$

(2)累加生成

$$x^{(1)}(k)=(0.91, 1.81, 2.71, 3.61, 4.49, 5.34, 6.23, 7.11, 7.98)$$

(3)求均值

$$z^{(1)}(k)=0.5^{(1)}(k)+0.5^{(1)}(k-1)$$

$$z^{(1)}(k)=(-, 1.36, 2.26, 3.16, 4.05, 4.915, 5.785, 6.655)$$

(4)求中間參數 C、D、E、F 及發展係數 a 與灰作用量 b

$$C=\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k)=35.745$$

$$D=\sum_{k=2}^n x^{(0)}(k)=7.07$$

$$E=\sum_{k=2}^n Z^{(1)}(k)x^{(0)}(k)=31.42615$$

$$F=\sum_{k=2}^n (Z^{(1)}(k))^2=192.3847$$

$$a=\frac{CD-(n-1)E}{(n-1)F-C^2}=0.00246$$

$$b=\frac{DF-CE}{(n-1)F-C^2}=0.906109$$

(5)將以上求出的 a、b 值代入以下白化響應式，以求各個時點模型累加值

$$\hat{x}^{(1)}(k)=\hat{x}(k+1)=[x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}]e^{-ak}+\frac{b}{a}$$

$$\hat{x}^{(1)}(k)=(0.8993, 1.7941, 2.6844, 3.5659, 4.443, 5.3157, 6.184, 7.048)$$

(6)2016/8/10 的產水水量經以下 IAGO 還原後可得預測

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(1)}(k) &= \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \\ \hat{x}^{(0)}(10+1) &= \hat{x}^{(1)}(11) - \hat{x}^{(1)}(10) \end{aligned}$$

$$=7.048-6.184$$

$$=0.864$$

經使用 Matlab 軟體繪出系統運轉 RO 產水水量如下圖 10 所示：

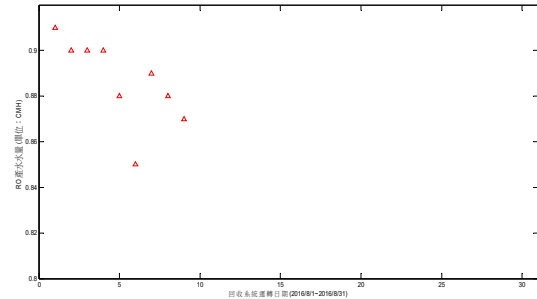


圖 10. RO 產水水量 Matlab 對應圖

經使用 Matlab 軟體繪出系統運轉使用灰預測 GM(1,1)預測 8/10 RO 產水水量圖形如下圖 11 所示：

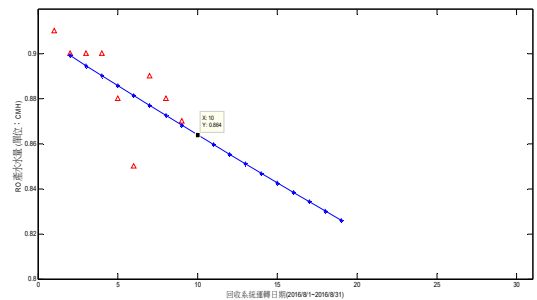


圖 11. RO 產水水量 GM(1,1)預測 Matlab 對應圖

由於 RO 模系統的操作在三個條件下：1. RO 產水量下降 15%(在膜系統初始穩定操作後，如果產水流量下降 5~15%)，2. RO 膜壓差上升 25%(RO 膜壓差顯著增大時，說明膜元件表面已累積大量污染物或是沉澱物)，3. 產水水質的透鹽度上升 30~40%時，則須對膜元件進行藥洗，以期能夠恢復使用性能，並避免膜元件產生不可逆的狀況發生。

本研究我們是收集該回收系統的產水水量進行 GM(1,1)預測，可以得到 8/10 的產水水量值為 0.864CMH，如使用 8/1 產水量作為穩定產水量的基準值，可算出 $0.91\text{CMH} \times 85\% = 0.7735\text{CMH}$ 為建議藥洗的臨界值。我們使用 Rolling-GM(1,1)[15]的方式進行後續系統的產水水量預測，表三為 Rolling-GM(1,1)所得數據，圖 12 為使用 Matlab 軟體繪出 Rolling-GM(1,1)預測 RO 產水水量圖形，可以得到 9/1 的預測產水水量為 0.7732CMH，已經

達到建議藥洗的最低操作產水水量。

表三. Rolling-GM(1,1)預測 RO 產水量預測表

日期	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10
產水水量	0.91	0.9	0.9	0.9	0.88	0.85	0.89	0.88	0.87	0.864
日期	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20
產水水量	0.8597	0.8554	0.8511	0.8469	0.8427	0.8385	0.8343	0.8301	0.826	0.8217
日期	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29	8/30
產水水量	0.8176	0.8134	0.8093	0.8052	0.8011	0.7971	0.7931	0.789	0.785	0.7811
日期	8/31	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	9/9
產水水量	0.7771	0.7732	0.7693	0.7654	0.7615	0.7576	0.7538	0.75	X	X

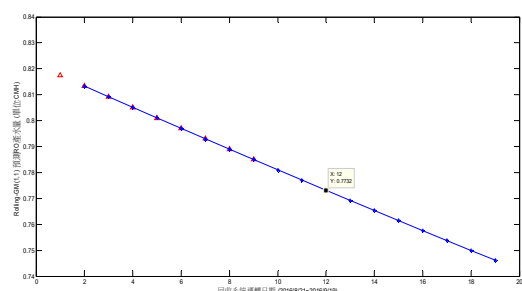


圖 12. RO 產水水量 Rolling-GM(1,1)預測 Matlab 對應圖

6. 結論

工業用水目前多是使用自來水或是灌溉用水，但使用自來水太過於奢侈，主要是工業用水部分區域的水質需求不需要太好，所以就浪費了自來水的處理成本；而以台灣最大的單一工業區：麥寮工業區為例，其水源供應部分來源為南投集集攔河堰的灌溉用水，在枯水期時，甚至需要政府協調農業休耕，而將其水源供應給麥寮工業區使用。實際上大多數的工業區廢水在經過處理達到符合政府訂定的排放標準後即放流，實際上將其放流水在處理後予以回收，除可減少自身外在用水需求外，也可達到環保減廢的要求。

本研究提出利用灰色理論之預測方式，預測石化產業排放水在使用水回收系統運行之未來狀況，由於排放水水質的狀況受到生產製程不同，而產生的廢水也會不同，再者也會受到廢水處理系統的功能影響，使得回收系統的運行狀況也會受到影響，如系統產水水量、操作壓力及產水水質。但前述的問題我們在此次研究並不將其納入考量，主要原因是 RO 膜的產水水量也會受到供水水溫的干擾而有所變化，並且會受到前處理系統的功能及性能而有變化。

回收系統的操作穩定度除了會影響整個生產排程，並也會影響到水回收系統耗材成本之

預算編列。依據本研究分析之結果，歸納如下：

1. 灰色理論預測模式 GM(1,1)，在使用現場測試機組的 9 天運行資料可以推測出後續未來產水水量的變化。
2. 由於放流水的水質會受到生產製程批次產出的影響，並不需長期的歷史資料作計算，僅需要以短期的數據資料輔助預測計算，故再配以 Rolling-GM(1,1)的灰預測，可以推測更長期的運行數據，用以評估水回收系統藥洗之時間，以供生產單位或是廠務單位作生產排程或是水源供應之調配，較能符合工廠用水之實際需求，

在研究過程中，實際的可變因素及模型變化方式甚多，並且受到某些限制如測試機組的功能較簡易，以致於預測的結果也許不夠完整，下列可供未來研究後續之探討：

1. 實廠放大的正式放流水回收水處理機組納入更多參考數據，如進水及產水電導度值變化、系統各單元的壓力數據、水溫變化之補償…等等，將資料納入更高階的 HMI 人機介面，甚至於中控室的 DCS 系統 (Distributed Control System) 作更為複雜的系統計算分析，有助於提升系統的正常運轉及效益。
2. 本研究僅針對放流水回收水處理系統的操作運行作預測分析，未來可將廠內其他的水處理系統，如純水系統、廢水系統的操作也納入整體的預測分析，並可藉由灰色關聯度、模糊邏輯控制等分析或是控制方式，進一步將全廠的水處理系統作統一規劃及探討。

7. 結論

本論文為科技部專題計畫(計畫編號：MOST 105-2221-E-025-006)之研究成果的一部分，感謝科技部的經費贊助使本論文得以順利完成。

參考文獻

- [1] 行政院主計總處(2015)，產業關聯程度表。擷取日期：2016 年 10 月 5 日，網站：<http://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=37004&ctNode=3106&mp=1>
- [2] 地下水觀測網(2015)，水資源統計，網站：<http://pc183.hy.ntu.edu.tw/gwater/resource>

s-stat.php

- [3] 鄭欽龍,台灣工業用水需求結構變化之研究,經濟部水資會委託,中華經濟研究院,1992。
- [4] 鄧聚龍,郭洪,“灰預測原理及應用”,全華圖書公司,1996。
- [5] Akay, D. and Atak, M., “Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey,” *Energy*, Vol. 32, No. 9, pp. 1670-1675, 2007.
- [6] Ashby, W. R., “An introduction to cybernetics,” London, *Chapman & Hall*, 1956.
- [7] Cheng, B., “The grey control on industrial process,” *Journal of huangshi college*, Vol. 1, pp. 11-23, 1986.
- [8] Deng, J. L., “Grey prediction and grey decision-making,” *Huazhong University of Science and Technology Press*, 2002.
- [9] Deng, J. L., “Introduction to grey system theory,” *The Journal of Grey System*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-24, 1989.
- [10] Lee, Y. S. and Tong, L. I., “Forecasting energy consumption using a grey model improved by incorporating genetic programming,” *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, No. 1, pp. 147-152, 2011.
- [11] Pao, H. T., “Forecast of electricity consumption and economic growth in Taiwan by state space modeling,” *Energy*, Vol. 34, No. 11, pp. 1779-1791, 2009
- [12] Tsay, J. S., Lo, J. J., Lin, J. L. and Wu, H. J., “Application of grey relational analysis to river water pollution,” *The Journal of Grey System*, Vol. 12, No. 4, pp. 391-398, 2000.
- [13] Zhou, W. and He, J. M., “Generalized GM(1,1) model and its application in forecasting of fuel production,” *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 9, pp. 6234-6243, 2013.
- [14] Bianco, V., Manca, O., Nardini, S. and Minea, A. A., “Analysis and forecasting of nonresidential electricity consumption in Romania,” *Applied Energy*, Vol. 87, No. 11, pp. 3584-3590, 2010.
- [15] Zhao, H. and Guo, S., “An optimized grey model for annual power load forecasting,” *Energy*, Vol. 107, pp. 272-286, 2016.