

# 國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

## 碩士論文

製程廢水回收處理系統之經濟效益研究

Economic benefit of process wastewater reclamation system

研究生：林昱宏

指導教授：黃志彬 教授

中華民國九十九年一月

# 製程廢水回收處理系統之經濟效益研究

## Economic benefit of process wastewater reclamation system

研究生：林昱宏

Student：Yu-Hung Lin

指導教授：黃志彬

Advisor：Chih-Pin Huang



Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk Management

College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Industrial Safety and Risk Management  
January 2010  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 99 年 1 月

# 製程廢水回收處理系統之經濟效益研究

學生：林昱宏

指導教授：黃志彬

國立交通大學工學院產業安全與防災學程

## 摘 要

科學工業園區管理局為促進與輔導園區內廠商有效利用水資源，降低缺水壓力避免對工廠生產造成影響損失，特訂定嚴格的用水回收率標準。本研究中個案工廠因水回收率法令的要求下，必需進行提升用水回收率的工程投資。評估中的「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」之投資預算是經多家水處理專業工程承包商報價彙整後所擬定，在系統正式運轉後是否有水回收效益，是必須執行經濟效益評估的。

本研究首先調查個案工廠現況的全廠用水成本，為評估水回收案建立基礎資料。再分別評估水回收工程案設置後對全廠用水成本的影響，並以工程經濟分析工具之淨現值法（Net Present Worth, NPW）對這水回收工程與現況進行經濟效益評估。為避免過於樂觀的評估，造成誤判，故最後再以這兩個水回收系統依投資金額及回收系統產水效率的變異進行敏感性分析。

結果發現，預估投資「製程切割研磨廢水回收系統擴充」每年全廠用水成本（含設備折舊）為 26,020,650 元，「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」每年全廠用水成本（含設備折舊）為 26,341,955 元。與個案工廠現況每年全廠用水成本為 26,510,713 元相比較，似乎是符合經濟效益。

但經淨現值及敏感性分析後，「製程切割研磨廢水回收系統擴充」在投資金額比預算金額多 139%時，仍然符合經濟效益的；若回收系統產水效率在低於 49.7%以下時，將不符合經濟效益。「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」若以預算金額進行投資，與現況比較是不能符合經濟效益，除非投資金額比預算金額低 7%；而產水效率部分，若能提高到 71.7%以上時，即可符合經濟效益。此研究結果，可以提供個案工廠在執行工程議價及未來系統操作時參考。

關鍵字：經濟效益、水回收

# Economic benefit of process wastewater reclamation system

Student : Yu-Hung Lin

Advisors : Chih-Pin Huang

Degree program of Industrial Safety and Risk Management  
College of Engineering  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

The high standard of water reuse ratio has been setting up for Science Park Administration to avoid the losses on the production of the vendors' factories inside the Science Park through the promotion and supervision them the effectively usage of water resources and the reduction the water crisis.

In this study case, it is regarding to the project investments for a factory to build two engineering projects which upgrades the water recovery rate to meet the law of standard of water reuse ration. Those two projects are DSR/BG Waste Water Reclaim System and LHF Waste Water Reclaim System. It is necessary to have the Assessment of economic benefits of the Effectiveness of water reclaim for those two projects basic on the quotations from the engineering contractors.

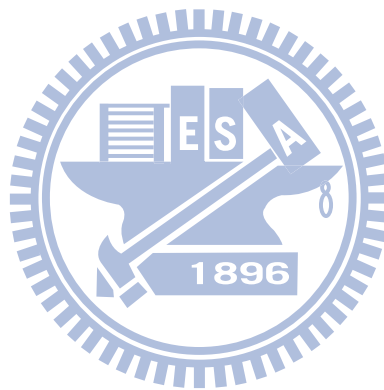
First of all, the data base for the study of the water reuse ratio has been collected basic upon the total water use cost of current factory. Secondary, the Assessment of economic benefits before and after the projects has been evaluated by the Net Present Worth, NPW, a tool of the Engineering Economy. In order to have the ultimate evaluation without any misjudgment, a Sensitivity Analysis has been processed by the variation of investment and reclaim efficiency from these two water reclamation projects.

From the result, the costs of applying DSR/BG Waste Water Reclaim System and LHF Waste Water Reclaim System (including Equipment depreciation) per year are \$ 26,020,650 NTD and \$ 26,341,955 NTD. It seems to be a positive results of the

economic benefits compared to the current cost of \$ 26,510,713 per year without applying one of these systems.

After the analysis of the Net Present Worth and the Sensitivity Analysis, the results are different. For the DSR/BG Waste Water Reclaim System, it is positive to the economic benefits when the percentage of the investment is under 139% and the effectiveness of water reclaim is higher than 49.7%. For the LHF Waste Water Reclaim System, it is negative to the economic benefits unless the percentage of the investment is lower than 7% and the effectiveness of water reclaim is higher than 71.7%. The results provide the reference to the future engineering bargaining of the project assessment for the factory.

Keywords: Economic benefit 、 reclamation



## 誌 謝

感謝恩師 黃志彬 老師在碩士班的修習過程中，對於學識經驗的傳授與悉心解惑，並協助論文研究方向的確立與指導，使學生獲益良多，在此，致上最深的謝意與敬意。

感謝論文口試委員 袁如馨 老師、周珊珊 老師於論文評審期間，以專業豐厚之學養，對本研究提出精闢之指正與寶貴之建議，均使本論文更臻完整。

感謝我的姐姐，謝謝您在論文內容的鼎力相助，姊弟情深，感銘於心！

感謝摯愛的父母，您的關懷與期望，永遠是我心靈上最大的支柱，謝謝你們。

最後，還是最感謝我的老婆、女兒，謝謝您們在我趕製論文的期間，不斷的給予關心、包容、鼓勵與體諒，是我完成這篇論文最大的動力。



# 目 錄

中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
誌謝 .....	iv
目錄 .....	v
表目錄 .....	vii
圖目錄 .....	ix
一、 前言.....	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	2
二、 文獻回顧.....	3
2.1 科學園區用水指標.....	3
2.1.1 用水計畫書核定.....	3
2.1.2 製程用水回收率規定.....	3
2.2 半導體廠之水處理系統.....	5
2.2.1 半導體製程與水處理系統.....	5
2.2.2 超純水製造系統.....	5
2.2.3 半導體廢水處理.....	7
2.2.4 半導體製程廢水回收技術.....	9
2.3 半導體廠之水處理成本.....	14
2.3.1 自來水取水成本計算.....	15
2.3.2 新竹科學工業園區污水下水道處理計價.....	16
2.3.3 半導體廠超純水製造費用.....	17
2.3.4 廢水處理及回收成本.....	19
2.4 工程經濟的分析評估.....	22
2.4.1 工程經濟分析評估步驟.....	22
2.4.2 貨幣時間價值.....	24
2.4.3 現金流量表的建立.....	30
2.4.4 工程經濟分析評估方法比較.....	32

2.4.5 淨現值法分析與敏感性分析.....	33
三、研究方法.....	38
3.1 個案工廠簡介及水處理系統.....	38
3.1.1 個案工廠簡介.....	38
3.1.2 個案工廠純水系統介紹.....	40
3.1.3 個案工廠廢水處理及製程回收系統介紹.....	42
3.1.4 新增製程回收系統介紹.....	45
3.2 工程規劃方案成本分析方法.....	48
3.3 工程規劃方案可行性分析方法.....	51
四、結果與討論.....	52
4.1 個案工廠總用水成本分析.....	52
4.1.1 全廠總用水量清查.....	52
4.1.2 取水成本分析.....	54
4.1.3 排放水處理成本分析.....	57
4.2.4 回收水處理成本分析.....	60
4.2 規劃方案可行性分析.....	64
4.2.1 方案一「個案實廠運轉現況」.....	64
4.2.2 方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」.....	67
4.2.3 方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」.....	71
4.3 敏感度分析.....	76
4.3.1 工程投資金額變異分析.....	76
4.3.2 系統處理效率變異分析.....	77
4.4 綜合討論.....	78
五、結論與建議.....	81
5.1 結論.....	81
5.2 建議.....	82
參考文獻.....	83



## 表目錄

表 1 超純水水質要求 (ITRS 2005) .....	7
表 2 RO + IX 型式與 IX + RO 型式進水水質比較.....	10
表 3 十二吋晶圓製造工廠製程排水回收處理設備單元.....	12
表 4 新竹科學園區原水水質.....	13
表 5 冷卻水塔補充水質建議值.....	14
表 6 不同 RO 回收率之設置成本與運轉成本比較表.....	18
表 7 半導體廠廢水處理及回收成本相關文獻彙整.....	19
表 8 $F/P$ 與 $P/F$ 因子：標記、公式及試算表函數.....	28
表 9 $P/A$ 與 $A/P$ 因子：標記、公式及試算表函數.....	29
表 10 $F/A$ 與 $A/F$ 因子：標記、公式及試算表函數.....	30
表 11 現金流量要素分類表.....	31
表 12 資本預算評估方式比較表.....	33
表 13 以淨現值分析應用之相關評估研究.....	36
表 14 個案工廠 UPW 及 DI 水質水量規格.....	41
表 15 個案工廠純水製造系統耗材更換時機變更表.....	42
表 16 個案工廠製程低濃度氟酸廢排水水質檢測表.....	46
表 17 研究方案之現金流量表範例.....	50
表 18 個案工廠全廠總用水量分佈表.....	53
表 19 個案工廠製程廢水月回收、排放水量表.....	54
表 20 個案工廠自來水取水成本分析表.....	54
表 21 超純水製造系統成本分析表.....	55
表 22 廢水處理系統成本分析表.....	58
表 23 個案工廠污水下水道使用費用成本分析表.....	60
表 24 製程切割研磨廢水回收系統成本分析表.....	62

表 25 製程酸洗廢水回收系統成本分析表.....	63
表 26 方案一之現金流量表.....	66
表 27 方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」系統費用預估表.....	67
表 28 方案二全廠總用水量分佈表.....	69
表 29 方案二製程廢水月回收、排放水量表.....	69
表 30 方案二之現金流量表.....	70
表 31 方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」系統費用預估表.....	72
表 32 方案三全廠總用水量分佈表.....	73
表 33 方案三製程廢水月回收、排放水量表.....	74
表 34 方案三之現金流量表.....	75
表 35 方案一、方案二在投資金額變異下之敏感度分析表.....	76
表 36 方案一、方案三在投資金額變異下之敏感度分析表.....	76
表 37 方案一、方案二在系統處理效率變異下之敏感度分析表.....	77
表 38 方案一、方案三在系統處理效率變異下之敏感度分析表.....	77



## 圖目錄

圖 1 典型的 5 年現金流量時間軸.....	26
圖 2 正向與負向現金流量.....	27
圖 3 一次償付因子現金流量圖：(a) 求 $F$ 值；(b) 求 $P$ 值.....	28
圖 4 現金流量圖：(a) 已知等額系列求 $P$ 值；(b) 已知現值求求 $A$ 值.....	29
圖 5 現金流量圖：(a) 已知等 $F$ 求 $A$ 值；(b) 已知等 $A$ 求 $F$ 值.....	30
圖 6 個案工廠製程流程.....	38
圖 7 個案工廠自來水月用量及製程用水回收率趨勢圖.....	39
圖 8 個案工廠 98 年 8 月用水平衡圖.....	40
圖 9 個案工廠純水製造單元流程.....	41
圖 10 個案工廠切割製程廢水粒徑分佈圖.....	43
圖 11 個案工廠晶背研磨製程廢水粒徑分佈圖.....	44
圖 12 個案工廠廢水處理及製程回收單元流程.....	45
圖 13 個案工廠未來廢水處理及製程回收單元流程.....	47
圖 14 超純水製造系統運轉成本百分比.....	56
圖 15 個案工廠取水成本百分比.....	56
圖 16 廢水處理系統運轉成本百分比.....	59
圖 17 個案工廠排放水成本百分比.....	60
圖 18 製程廢水回收系統運轉成本百分比.....	63
圖 19 個案工廠回收水成本百分比.....	64
圖 20 方案一「個案工廠現況」全廠用水成本結構.....	78
圖 21 方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」全廠用水成本結構.....	79
圖 22 方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」全廠用水成本結構.....	79

# 一、前言

## 1.1 研究緣起

英特爾 (INTEL) 創辦人安德魯·葛洛夫 (Andrew S. Grove) 曾在半導體環境優先研發中心的會議中指出：「IC 產業未來關鍵的發展因素，一定是水和環境」。故在面對水資源不確定性的情況，儼然成為未來高科技產業發展的瓶頸。科技重鎮科學園區內，管理局為促進與輔導園區內廠商有效利用水資源，降低缺水壓力避免對工廠生產造成影響損失，特訂定「科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點」，其中對於園區廠商各工廠用水回收率依照不同建廠時程分別做出規定要求。

然而目前在園區廠商實際運作上，並非所有廠商皆可達到相關回收率之規定要求，主要是因為廠商在執行節水回收處理時必須耗費相當程度之成本進行運作，加上目前國內水價偏低，節水回收的經濟誘因並不易呈現。目前業界較具指標性大廠，本身有公司企業形象考量且在成本預算上較有執行空間，故包括舊廠在用水回收率的表現上皆有改善提昇，新建廠也承諾將達到水回收率標準規定要求。但仍有多數廠商，對於相關用水回收率規定要求，抱持較保守的態度，在擔負著相關法規要求壓力之情況下，對於水回收設備的建置，儘可能去尋求合理成本效益。而工程經濟的任務就是在最經濟的狀態下，平衡相關成本與效益 [1]。

本研究中的個案工廠位於新竹科學工業園區內，屬半導體製造業，於民國 88 年興建，現況仍不符合「科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點」回收率的相關規定。並在個案工廠正積極投入節約用水及提升製程用水回收率之下，成立了一個製程用水回收率提升專案小組。此專案小組依各耗水點之用水現況，配合水平衡圖進行推估，並提出多項提升製程用水回收率之改善方案。方案中含括製程端的生產設備參數調整，設備端的產品用水量設定及廠務端的水回收處理設備增設等 [2]。其中在「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」這兩個工程，雖然可以大幅提升製程用水回收率，但投資金額相加卻高達 1300 萬。這對一個月營業額僅數億的工廠來說，無疑是一種負擔，在法令要求提升用水回收率下，似乎並不符合水回收的經濟效益。

因此，本研究乃對於此個案工廠在評估水回收系統方案（製程切割研磨廢水回收系統擴充及製程低濃度氟酸廢排水回收工程）的同時，以工程經濟評估方法

之淨現值法（Net Present Worth，簡稱 NPW 法）進行經濟效益的評估，並與現行處理方式作比較，評估提升用水回收率及符合水回收經濟效益的可行方案。

## 1.2 研究目的

無論任何產業對成本的控制上都非常嚴謹，若是無法得到相當的投資報酬率的話，是很難投資的。個案實廠因水回收率法令的要求下，必需進行提升用水回收率的相關工程的投資。評估中的「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」，因投資金額較大，在尚未執行之前，為了讓投資者瞭解水回收率的提升對全廠用水成本是否帶來正面的效益。故本研究目的如下：

1. 調查個案工廠現況的全廠用水成本，為評估水回收案建立基礎資料。
2. 分別評估水回收工程案設置後對全廠用水成本的影響。
3. 以工程經濟分析工具（NPW 法）對這水回收工程分別與實廠現況進行經濟效益評估。
4. 為避免過於樂觀的評估，造成誤判，故最後再以這兩個水回收工程依投資金額及回收系統產水效率的變異性進行敏感性分析（Sensitivity Analysis）。
5. 全廠用水成本及工程經濟分析結果可作為個案工廠或業界未來進行相關回收工程之參考依據。

## 二、 文獻回顧

### 2.1 科學園區用水指標

#### 2.1.1 用水計畫書核定

經濟部水利署頒布之「用水計畫書作業審查要點」中規定，計畫書內容架構應包括：基本資料與摘要內容、計畫概述、計畫用水量、節約用水計畫、水源供應計畫、供水計畫、乾旱缺水緊急應變計畫等項目。在科學園區中，管理局則依據前述各項內容訂定園區用水計畫書撰寫綱要，對於進駐園區廠商在園區投資審查或建廠運轉時，都必須依此撰寫綱要提送工廠用水計畫書，經核定後才能送交自來水公司同意配合辦理供水。在節約用水計畫中，內容則包括節水措施及用水平衡圖兩大重點。節水措施關於如何考量計畫性質及規模進行規劃、用水量回收說明、回收再利用之執行方式說明；用水平衡圖內容包括製程用水、公共空調用水（含冷凝水回收）、廢氣洗滌塔用水、生活用水及其他用水等項目，其中應說明製程用水回收率、全廠用水回收率及全廠用水排放率之工廠相關用水回收執行成效。

#### 2.1.2 製程用水回收率規定

根據「新竹科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點」，科學園區回收率計算規範對於回收率公式說明為符合水資源回收再利用精神者，皆納入其規範內公式計算之，所謂水資源回收再利用，即指工廠內製程或系統產生之廢水，經由直接供製程或系統再利用、直接供次級利用、獲間皆以回收系統處理後再利用者。準此，凡投資於可減少廢水量或原水量之系統、管線、機械、儀控等設施而產生之回收水皆屬之。

而其規範對於製程用水回收率說明為：舉凡與工廠生產製程有直接相關知水資源回收皆列入製成回收率計算，所謂直接與生產製程有關者，包含超純水之製程以及使用超純水之工廠生產製程，於此製程之水資源再利用皆稱為製程用水回收，列入製程回收率之計算公式中。製程用水回收率定義在製程用水回收總量佔製程用水百分比，其回收率計算公式與相關說明如下：

$$\begin{aligned}\text{製程用水回收率} &= \left[ \frac{\text{製程用水回收量}}{\text{製程用水總量}} \right] \times 100\% \\ &= \left[ \frac{c1 + c2 + c3 + c4}{P} \right] \times 100\%\end{aligned}$$

式中；

c1：超純水系統於製造純水之製程中，回收至超純水系統再利用者。包含超純水製程所產生之濃縮水或其他必須維持超純水系統效率之再生廢水及反洗廢水等。

c2：超純水系統於製造純水之製程中，回收至 Local/Central Scrubber、冷卻水塔、或其它次級用水端供再使用者。包含超純水製程所產生之濃縮水或其他必須維持超純水系統效率之再生及反洗廢水等。

c3：工廠生產製程機台使用超純水後產生之廢水，經由或不經由回收系統處理，回收至超純水系統再使用者。

c4：工廠生產製程機台使用超純水後產生之廢水，經由或不經由回收系統處理，回收至次級用水端再使用者。

P：製程用水總量，進入製程供超純水系統做為原水之自來水，及經過製程回收至超純水系統之總合。

此執行要點對於園區廠商各工廠相關用水回收率，依照不同建廠時程，分別做出以下之規定要求：

- (一) 民國八十三年以前興建之廠房，製程回收率需大於百分之五十，全廠回收率需大於百分之三十，排放率需小於百分之八十。
- (二) 民國八十三年至八十八年興建者，製程回收率需大於百分之七十，全廠回收率需大於百分之五十，排放率需小於百分之八十。
- (三) 民國八十八年以後興建者，製程回收率需大於百分之八十五，全廠回收率需大於百分之七十，排放率需小於百分之七十。但需辦理環評之廠商，依環評審定之承諾事項辦理。

## 2.2 半導體廠之水處理系統

### 2.2.1 半導體製程與水處理系統

半導體晶圓製造程序是十分複雜與精密，需經過數百道步驟，費時約數十天才能完成。主要是先將矽晶圓表面氧化後，再反覆進行擴散、微影、薄膜、和蝕刻而將各種電子元件和線路製作在晶圓上〔3，4〕。

半導體製造程序中需使用相當多的超純水，據經濟部技術處估計，六吋晶圓製造之超純水總用水量為 1 噸/片，而八吋晶圓為 2.5-3.0 噸/片，若提升至十二吋晶圓則總用水量將遽增至 10-15 噸/片〔5〕。以晶圓清洗步驟為例，在製造過程中需經過多次的蝕刻，每次都需要以超純水將其上之各種化學品清洗乾淨，在半導體設備清洗機台，超純水用水量主要以化學站為大宗，主要用水處在 Q.D.R. (Quick Dump Rinse)、O.F. (Over Flow) 及 F.R (Final Rinse) 槽最多，排放量也最大〔6〕。從矽晶片至晶圓中間有相當多的製程排水，但絕大多數之排水為晶片清洗、去光阻及蝕刻〔7〕。

半導體製程工廠主要廢水包括製程廢水、純水系統廢水及廠務廢水，其中製程廢水包括：氫氟酸廢水、酸性廢水、鹼性廢水、CMP 廢水、有機系廢液等；純水系統廢水：樹脂塔逆洗再生廢液、RO/UF 濃縮液；廠務廢水則為生活用水、冷卻塔排放廢水等〔8〕。以往的處理方式皆為進入廢水系統處理後排放，但在近年來，在面對水資源取得的不確定性、降低缺水壓力避免對工廠生產造成影響損失下，各工廠無不積極進行水回收工作及技術。

### 2.2.2 超純水製造系統

純水製造系統為提供製程設備清洗晶圓表面雜質所需之超純水，隨著半導體的製程進步，晶圓圖案元件的複雜度及積集度的持續增加，其表面的微量雜質劣化原件的特性與可靠度的機會愈高，由於每一製程均有洗淨步驟，故晶圓被重複的清洗以去除表面雜質，所以超純水的純度對晶圓免於污染是頗具關鍵性的，若水質品質未達標準，其本身即是污染源，將對產品性能產生危害。

半導體級之超純水系統，由於原水 (Raw Water) 中的不純物種類繁多，無法經由單一方法將雜質完全移除，故必須結合不同之去除製程技術以建置超純水製



造系統。一般來說，超純水製造系統包含前處理系統 (pretreatment system)、主處理系統 (primary treatment system)、超純水系統 (ultrapure water system)、管路系統 (piping system)、廢水再生系統 (waste water reclamation system) [9]。系統的設計，各家雖然不同，各有所長，但其純化的原理是不變的。

前處理系統 (pretreatment system) 主要將原水 (Raw Water) 中的大部分懸濁物質去除，以減輕後段系統負擔為目的，一般常見的為凝集沉澱槽、砂過濾塔 (sand filtration, SF)、活性炭塔 (activated carbon filter, ACF)、多層過濾器 (multi-media Filter, MMF)，或以薄膜單元進行前處理，如：逆滲透 (reverse osmosis, RO) 單元、超過濾 (ultra filtration, UF) 單元等。

主處理系統 (primary treatment system) 乃位於前處理系統與超純水系統之間，主要以去除大部分的可溶離子、有機物、溶解之二氧化碳、氧及細菌等。一般來說，包括下列單元：薄膜系統 (membrane system)：逆滲透 (reverse osmosis, RO) 單元、超過濾 (ultra filtration, UF) 單元、薄膜過濾器 (membrane filter)；離子交換系統 (ion-exchange system)：雙濾床超純水單元 (two-bed ultrapure water unit, 2B tower)、混合濾床離子交換塔 (mixed-bed ion-exchange tower, MB tower)；除氣系統 (deaeration system)：除氣機 (degasifier, DG tower)、真空除氣機 (vacuum degasifier, VDG tower)；其它：幫浦、貯水池、紫外線殺菌燈管 (ultraviolet sterilizer, UV)、化學品供應單元。其中逆滲透單元移除微粒子、有機物、細菌和二氧化矽，而離子交換系統則移除有機物、氧化劑、和微量離子，另除氣系統或觸媒樹脂 (catalyst resin) 則去除溶解在水中的氣體 (如氧氣)，紫外線殺菌燈管 (波長 254 nm 或 185 nm) 乃用來殺菌 (sterilization) 和分解有機物 (oxidation)。

超純水系統 (ultrapure water system) 的作用再將主處理系統所殘餘的不純物做去除，更提升從主處理系統送出的水質，再藉由其後續的管路系統 (piping system) 輸送至使用點 (point of use, POU)，通常以循環量之 10-20% 持續回流超純水系統以確保水質。超純水系統包括下列單元：紫外線殺菌燈管 (波長 254 nm 或 185 nm)、熱交換器 (Heat Exchanger)，非再生型的離子交換樹脂 (cartridge polisher, CP)、0.1  $\mu\text{m}$  以下之精密過濾器 (cartridge filter)、超過濾 (ultra filtration, UF) 等。

超純水輸送至 POU 使用後之廢水，進入廢水再生系統 (waste water reclamation system) 進行水回收再利用，這已經成為普遍的趨勢了。

The international Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) 2005 年版的超純水水質要求，如表 1 所示。根據這個需求，為維持超純水的高度品質及穩定度，系統執行定期的維護與管理更是必需被要求的。

表 1 超純水水質要求 (ITRS 2005) [10]

項目	單位	2006年	2008年	2010年	2013年	2017年	2020年
齒輪半徑	nm	70	57	45	32	20	14
粒子徑	nm	35	29	23	16	10	—
微粒子	個/ml	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
阻抗比 at25°C	mΩ.cm	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
TOC	ppb	<1	<1	<1	<1	<1	<1
生菌	CFU/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1
二氧化矽	ppb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
陰離子	ppt	<50	<50	<50	<50	<50	<50
金屬	ppt	<1.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
溶存氧	ppb	<10	<10	<10	<10	<10	<10
溶存氮	ppm	8-12	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18
溫度穩定性(°C)		±1	±1	±1	±1	±1	±1



### 2.2.3 半導體廢水處理

半導體製程廢水一般分為酸鹼廢水、氫氟酸廢水及研磨廢水。酸鹼廢水來源眾多且造成污染的化學物質相當複雜，主要來自晶片之濕式清潔過程。廢氣洗滌水、空調排水及 RO 濃縮排水大多亦併入酸鹼廢水中 [5]。氫氟酸廢水主要來自矽的濕式蝕刻及清洗製程，包括 HF 和 NH<sub>4</sub>F 等，另外製程中需使用大量含氟氣體，經 Local/Central 洗滌塔洗滌後，最終皆會產生含氟廢水。在較具規模的廢水廠，高低濃度氟系廢水在製程端已被分流，低濃度約 500 mg/L 以下，高濃度則多在 800 到數千 mg/L 之間 [11]。研磨廢水來源為化學機械研磨 (Chemical Mechanical Polishing, CMP) 製程廢水，主要污染物為奈米級微細顆粒，成分以二氧化矽為主。半導體廢水處理方法敘述如下：

#### 1. 酸鹼廢水

酸鹼廢水處理方式僅以加藥中和，調整其廢水 pH 值，加藥類型會有些許差

異，酸主要為  $H_2SO_4$  或  $HCl$ ；鹼則以  $NaOH$  為主。一般而言，此股廢水為半導體製造業中最大宗廢水來源。

## 2. 氫氟酸廢水

目前氫氟酸廢水以化學混凝沉澱法為最常使用之處理方式，藉由產生非溶解性氟化鈣沉澱，將廢水之氟化物去除，常見之加藥類型有鈣鹽、鎂鹽或鋁鹽等，其中以鈣鹽沉澱為最常見，有  $CaCl_2$ 、 $Ca(OH)_2$  和  $CaSO_4$  等，為了加強沉澱效果，亦會添加聚合物作為助凝劑，該法具有處理彈性大、單純且處理快速等優點，但常有過度加藥現象，產生大量污泥造成二次公害。

另外，還有吸附法、離子交換法、結晶法等。吸附法為利用多孔物質粒狀之活性礬土進行吸附，其中活性礬土之主成分為  $Al_2O_3$ ，亦有以鐵披覆廢觸媒吸附法，將工業使用後之廢觸媒披覆鐵，使其表面形成多孔性非結晶態的鐵氧化物，藉此吸附廢水中之氟離子，達到除氟之目的 [12]。

離子交換法乃利用樹脂與廢水間，進行可逆之離子交換反應，將廢水中欲去除之離子（如氟離子）與樹脂中離子進行交換，然因樹脂耗材昂貴，目前尚無實際運用案例，常見之樹脂類型有天然骨炭或合成氫氧基磷灰石處理法和合成離子交換樹脂等。

亦有使用流體化床結晶法 (Fluidized Bed Crystallization, FBC) [13] 可使污染物直接轉換成可資源回收再利用之物質，工研院開發之 FBC 是採用矽砂為擔體，在適當之水力條件下，將此擔體流體化，並加入藥劑，使無機污染物在擔體表面形成氟化鈣 ( $CaF_2$ ) 或冰晶石 ( $NaAlF_6$ ) 結晶，此法不僅可以處理廢水問題，亦可將產生之晶體資源化利用。目前國內業有廠商 (如奇美電子和茂德科技等) 採此法進行廠內氟系廢水處理。

## 3. 研磨廢水

研磨廢水隨著研磨液與清洗技術不同，有 Oxide-CMP、W-CMP、Poly-CMP、Al-CMP、Cu-CMP 等廢水，一般主要區分為金屬與氧化膜兩大類，目前 CMP 廢水處理方式有化學混凝沉澱、薄膜過濾、浮除法、電化學法等。

環保署 [14] 彙整國內化學混凝沉澱程序處理 CMP 廢水之去除率，其中 COD

僅有 20~30%；SS、濁度和二氧化矽等均高於 95%。傳統的混凝沉澱雖可有效移除廢水中微粒物質，但因 CMP 廢水中懸浮固體具高穩定性，若顆粒之去穩定與架橋反應不完全時，易造成混凝效果不彰，且加藥量不易控制，常有過度加藥現象，不僅浪費成本，亦造成二次污染。

薄膜過濾法較傳統化學混凝沉澱之優勢在於能忍受粒徑分佈廣、pH 範圍大且粒子種類多之 CMP 廢水，此外亦能節省加藥費用。更重要的一點在於經薄膜處理系統處理後之濾液，因其水質良好，往往可以回收再利用，可以有效善用水資源。國內已有諸多相關研究進行探討，環保署〔14〕彙整國內外相關文獻結論，薄膜系統對 TSS 可完全去除，濁度和二氧化矽則分別有 96.2% 以上和 15~95% 之去除率。此外，目前業界業已有使用薄膜過濾系統處理 CMP 廢水之成功案例。

浮除法則是利用氣泡與固體微粒結合，藉由形成比水輕之混合物，該化合物上浮至溶液表面後，再予以刮除，達固液分離效果。該法適用於固體負荷變動大之廢水，藉由調整氣體流量，以維持一定之出水水質；此外產生之污泥含水量遠低於一般污泥，可節省污泥處理成本；文獻指出以浮除法處理 CMP 廢水，該法濁度去除率介於 96.8~98%〔15〕。

電化學法則是利用外加電場與其他混凝、過濾等系統處理廢水。以以誘導電極之電解混凝系統處理 CMP 廢水，能將濁度去除率提昇至 92.5%〔16〕。以同步掃流電過濾/電透析模組處理 CMP 廢水，濾液濁度可降至 1 NTU 以下〔17〕；環保署〔14〕彙整國內外相關電化學法處理 CMP 廢水之去除率，其中對 COD 的去除率介於 75~85%；對濁度、SS 和 TDS 等項目則達 84% 以上的去除率。

#### 2.2.4 半導體製程廢水回收技術

根據「新竹科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點」對於製程用水回收率說明為：舉凡與工廠生產製程有直接相關知水資源回收皆列入製成回收率計算，所謂直接與生產製程有關者，包含超純水之製程以及使用超純水之工廠生產製程。半導體廠回收的模式為「回收利用 (Reuse)」，也就是不論經過處理或未經處理，將排放水回用至前製程用水單元所使用之方式〔18〕。其做法會訂定出回收水進流水質限值及用途，將廢水以導電度進行選別回收利用，或以回收技術進行處理回

收利用。回收後，可供應純水製造系統再利用，或自來水池或次級用水供冷卻水塔及製程廢氣處理系統（Scrubber）使用。在此針對半導體廠純水製造系統廢水回收及製程廢水回收做討論：

### 1. 純水製造系統廢水回收技術

純水製造系統為提供製程設備清洗晶圓表面雜質所需之超純水，需將原水分別經過不同處理單元去除水中各種雜質進行水質純化，使原水最終經過處理後形成所謂超純水。所產生的廢水主要以薄膜處理濃縮水、砂濾及活性炭反洗廢水、離子交換樹脂再生廢水等為主，另外還有儀表量測後所排放的廢水等。

在薄膜處理濃縮水回收方面，可依濃縮水水質回收至純水製造前處理系統（Pretreatment system 或 Primary Treatment system），前處理系統的單元流程主要可分為兩大類，（1）RO + IX 型式：逆滲透單元（reverse osmosis unit，RO）置於離子交換單元（ion-exchange unit，IX）的上游；（2）IX + RO 型式：逆滲透單元置於離子交換單元的下游，兩種類別的進水水質可參考表 2 [19]。一般來說，RO + IX 型式對進水水質要求較高，IX + RO 型式因 RO 進水有較少的硬度成份，故 RO 濃縮水通常可以直接回收至純水前處理系統中。另外，以倒極式電透析系統（EDR）技術運用在 RO 濃縮水研究中，原 RO 濃縮水導電度 800~900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，經 EDR 處理後，產生之回收水可回收至原水池，減少自來水用水量 [20]。

表 2 RO + IX 型式與 IX + RO 型式進水水質比較 [19]

Process Flow	Turbidity (unit)	SDI (15min)	Iron (mg/L)	Silica (mg/L)	Residual chlorine (mg/L)	pH	TDS (mg/L)
RO + IX	<0.5	<3-5	<0.05	<100 (RO brine)	0 or <1.0	4.5-7.5 (for scale control)	-
IX + RO	<2.0	-	<0.3	-	<0.2	-	<500

砂濾及活性炭反洗廢水、離子交換樹脂再生廢水方面。由於廢水特性不像製程生產所排放的製程廢水般含有許多未知的化學物質以及其反應生成物；只有系統在去除自來水中的不純物後，利用反沖洗以及離子交換系統再生的鹽酸、液鹼

置換反應出來的懸浮固體以及鹽類等。以某半導體廠為例，依超純水單元再生特性將其區分為不需加藥與需加藥再生兩大類型，其中不需加藥再生的單元有凝集沉澱槽、活性炭塔、回收水活性炭塔等；需加藥再生的單元有兩床三塔、混床離子交換樹脂塔與回收水陰離子交換樹脂塔。將各單元反洗及再生時的程序步驟，分別分析排放廢水的特性，直接回收或以簡單過濾或調勻處理回收，並配合實廠測試，藉由樹脂交換能力理論公式計算，執行單元再生週期的延長；達成計劃目標為超純水系統再生廢水回收水質能達到酸鹼度 pH 介於 6~9 之間，電導度  $\leq 200 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，每日平均回收水量 200 噸以上（約佔該廠總用水的 6%）供給冰水機冷卻水塔使用 [21]。至於儀表量測廢水，通常可以直接過濾後回收再利用，但須考慮儀表量測時是否有加入化學藥劑等因素。

## 2. 製程廢水回收技術

半導體晶圓製造程序是十分複雜與精密，需經過數百道步驟，而製程中會使用大量且種類複雜的化學藥品，故若要將製程設備機台排放之廢水進行再利用，其排水必須經過回收處理。廢排水經處理後，水質較佳可回收再利用至各使用點，水質較差部分則排放至廢水處理廠進行放流處理。

以新竹科學工業園區某半導體十二吋晶圓製造工廠為例，該廠於建廠初期即制訂製程機台排水分類標準，並依據此標準進行排水分流之回收處理設備規劃，將排水依據總有機碳、導電度、氟離子、雙氧水、異丙醇等條件進行水質分流，再依據各類排水水質情形建立排水水質標準，其回收處理系統名稱及單元、水質分類條件及回收使用點，詳見表 3 所示。其中純水回收 (PWR)、排水回收 (WWR) 及酸鹼系排水回收 (AWR) 排水屬於水質較佳者，可經回收處理後回用至純水製造系統再利用；低濃度酸鹼排水回收 (AWL)、低濃度氫氟酸廢水回收 (FWL)、氧化層化學機械研磨廢水 (O-CMP) 與金屬層化學機械研磨廢水 (M-CMP) 排水屬水質較差者，經回收處理後回用至公共系統再利用，其餘廢排水則導入廢水處理廠處理後放流 [22]。

另外，對於半導體廠濕式蝕刻及清洗製程排放的低濃度氫氟酸廢水及製程中使用的含氟氣體，經 Local/Central 洗滌塔洗滌後之含氟廢水，可使用前處理加上逆滲透方式處理，在 pH 10~11 時，對 F<sup>-</sup> 的去除率甚至可高達 98~99% [23, 24]。

此方式已被廣泛使用在純水系統中，其特長如下：1. 可做含高 silica 原水之 RO 處理；2. 高去除率；3. 對 Fouling 的耐性高；4. 藥品使用量低；5. 高 Flux 運轉；6. 省空間 [25]。故用於半導體製程回收水中，可增加處理能力，但操作時需特別注意鈣、鎂等高硬度的成分在 RO 產生 Scaling。

在 CMP 廢水部分，除了有使用薄膜過濾系統處理之成功案例外，尚有使用高效率電混凝/氧化複合技術進行 CMP 廢水處理，Oxide CMP 廢水濁度去除率達到 99%，溶解矽去除率達 90%，總有機碳去除率達 90% [26]。另外，以 MF/UF 膜採 Crossflow Filtration 搭配 Dead-End Filtration 全方位薄膜處理程序 (Total solution for water treatment)，將產出物僅剩濾液回收及污泥清運，往廢水零污染排放之目標邁進 [27]。

表 3 某十二吋晶圓製造工廠製程排水回收處理設備單元 [22]

回收處理系統名稱	水質分類條件	處理單元	回收使用點
PWR	Cond. < 10 $\mu$ S/cm TOC < 0.5 ppm	Micro Filter	Make-up tank
			DI water tank
			WWR reclaim sys.
			AWR reclaim sys.
WWR	Cond. < 1000 $\mu$ S/cm TOC < 1 ppm	ACF/WA/SB	Make-up tank
			DI water tank
			Filtered. W tank
			Bio feed tank
AWR	Cond. < 2000 $\mu$ S/cm TOC < 5 ppm	ACF/WA/SB	Make-up tank
			Filtered. W tank
AWL	Cond. < 2000 $\mu$ S/cm TOC > 5 ppm	ACF/RO/EVP	Make-up tank
			Filtered. W tank
FWL	Cond. < 2000 $\mu$ S/cm F <sup>-</sup> < 2000 ppm	ACF/SB/EVP	Make-up tank
			Filtered. W tank
O-CMP	O-CMP Waste water	Ceramic Filter/MB	Make-up tank
			Filtered. W tank
M-CMP	M-CMP Waste water	Ceramic Filter/MB	Make-up tank
			Filtered. W tank

以新竹科學園區來說，純水製造系統通常是以自來水作為原水的來源，若以回收基準來說，原水水質標準可詳表 4 [28]。若回收至冷卻水塔之水質標準，可參照表 5 [29]。另外，製程廢氣處理系統 (Scrubber) 洗滌水導電度一般建議可控制在 5 mS/cm 以下 [30, 31]。

表 4 新竹科學園區原水水質 [28]

成分名稱/組成	單位	原水水值
酸鹼度	pH 值	7.0~7.6
電導度 (Conductivity)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	240~370
鈣離子 (Calcium ion, $\text{Ca}^{2+}$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	80~90
鎂離子 (Magnesium ion, $\text{Mg}^{2+}$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	30~35
鈉離子 (sodium ion, $\text{Na}^+$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	20~60
鉀離子 (Potassium ion, $\text{K}^+$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	2.4~3.6
碳酸根 (Carbonate, $\text{CO}_3^{2-}$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	70~90
硫酸根 (Sulfate, $\text{SO}_4^{2-}$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	45~64
氯離子 (Chloride, $\text{Cl}^-$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	16~33
硝酸根 (Nitrate, $\text{NO}_3^-$ )	ppm as $\text{CaCO}_3$	<2.0
鐵離子 (Iron ion, $\text{Fe}^{x+}$ )	ppm	0.05~0.5
錳離子 (Manganese ion, $\text{Mn}^{x+}$ )	ppm	<0.02
總矽量 (Total Silica, $\text{SiO}_2$ )	ppm	5.0~10.0
溶解二氧化碳 (Dissolved $\text{CO}_2$ )	ppm	9.8~12.6
氯氣，臭氧 ( $\text{Cl}_2$ , $\text{O}_3$ etc.)	ppm	0.2~1.2
總有機碳含量 (Total Organic Carbon, TOC)	ppm	1.1~2.5
污泥指數 (Slit Density Index, SDI)		6.0~6.7
溫度 (Temperature)	$^{\circ}\text{C}$	15~27



表 5 冷卻水塔補充水質建議值 [29]

項 目	水質限值
pH	7.0~10.0
M-alkalinity (as CaCO <sub>3</sub> ), mg/l	7.0~10.0
Mn, mg/l	7.0~10.0
SiO <sub>2</sub> , mg/l	< 50
T-Fe, mg/l	< 0.5
TDS, mg/l	< 500
Bacteria, organism/l	< 100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	< 200
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg/l	< 1
COD, mg/l	< 10
SS, mg/l	< 3
Turbidity, NTU	< 10

\*林園廠參酌台鈉及美國 EPA 與 WPCF 標準，訂定之建議值



### 2.3 半導體廠之水處理成本

工業用水系統包括取水、排放、回收三個子系統 [32]。以成本來說，全廠總用水成本為取水成本、排放水處理成本及回收水處理成本，其中取水成本包含自來水取水費用及超純水製造費用全廠總用水成本；排放水處理成本廢水系統處理費用及污水下水道使用費；回收水處理成本則為回收水製造費用 [33, 34]。

一般來說，水處理系統的成本，可分為設置成本與運轉成本，設置成本通常與設置需求、系統容量等有關，其內容包括建築物、機械、設備、運輸工具。另外其他的附加費用，如運費、場地準備與設置的費用也要包括在內。運轉成本則是為了維持設備的正常運轉，而衍生出來操作維護成本，其內容包括設備維修費、電費、藥品費、人事費等。

### 2.3.1 自來水取水成本計算

經濟部水利署於民國九十四年統計台灣地區各用水標的用水量，在台灣地區工業用水中，自來水供水系統供水量僅占 49.95%，仍有 59.05% 左右為自行取水，其水源又分為地面水與地下水，且以抽取地下水為多〔22〕。國內半導體廠幾乎均位於科學園區內，依規定只能以自來水做為取水之來源。

目前台灣自來水的收費標準〔35〕來說，分為每月抄表及隔月抄表兩種，依每月用水度數分為四個段別，故段別之每度單價與累進差額是不同的，供應自來水不同口徑之基本費也不同。以每月抄表值為 51 度以上口徑為 150 mm 的大用戶為例，屬第四段別，口徑基本費為 5301.45 元（含稅），每度單價為 12.075 元（含稅），累進差額為 -110.25 元（含稅）。另外，其中，用水費、營業稅、清除處理費、水源保育與回饋費計算方式為：

1. 基本費 = 依上表各口徑基本費標準計收。
2. 用水費 = (每度單價 × 實用水量 - 累進差額)。
3. 營業稅 = (基本費 + 用水費) ÷ (1 + 5%) × 5% (角以下均四捨五入)，如屬非營業用戶，依法不另列示。
4. 清除處理費 = 依照環保單位核定各採掩埋或焚化處理方式之每度單價 × 實用水量 (角以下四捨五入) 代徵。若為自行委託民間清除公司，則可申請免徵。
5. 水源保育與回饋費 (代徵) = 用水費 (未含稅) × 附徵百分比 5% (角以下均四捨五入)。

依據國際水協會發布之 2007 年自來水服務費用調查資料指出，水費最高的國家為德國，每度水為新台幣 99.1 元，鄰近國家之日本每度為新台幣 35 元、新加坡 32.3 元、香港則為 18.4 元，均較我國高出甚多。而台灣在所調查的 30 個國家或地區中排名倒數第四名，屬於低水價者〔36〕。顯示目前國內水價偏低，節水回收的經濟誘因並不易呈現出來，以至於對於相關用水回收率規定要求，抱持較保守的態度。

### 2.3.2 新竹科學工業園區污水下水道處理計價

園區內之工廠，規定皆需以自來水為供水水源，故在污水排放量計算是以自來水用水量百分之八十計算。但是，對於執行水回收處理與節約用水成效較佳之廠商而言，污水量實際上是比自來水用水量百分之八十還要來的少，故污水量計算公式較不符合成本效益，也可能因此減少廠商執行用水回收處理的誘因。

根據「新竹科學園區污水處理及污水下水道使用辦法」〔37〕第十四條規定之「新竹科學園區污水下水道使用費計價基準表」，條文第三條中說明（97年1月1日起），具製程廢水廠商之污水下水道使用收費項目為水量、化學需氧量、懸浮固體及有害污染物質，其污水下水道使用費收費計算公式如下：

$$\text{污水下水道使用費} = Q \times (C_Q + C_C + C_S) + (Q_H \times C_H)$$

$C_Q$  為下水道收費單價 = 6.8 元/m<sup>3</sup>。 $Q$  為總污水量， $C_C$  為化學需氧量收費級距單價， $C_S$  為懸浮固體收費級距單價， $C_H$  為有害污染物質或異常水量（COD 或 SS）收費級距（異常水質第 4，5 級）單價。 $Q_H$  為管理局通知廠商異常日起至廠商報請管理局複驗日只知有害性或異常水質（COD 或 SS）之污水量，如經管理局複驗檢驗水質不合格，由管理局再通知廠商改善、廠商再次改善後報請複驗， $Q_H$  異常污水量則累計至複驗改善完成當次之廠商報請管理局複驗日止。流量以當季日平均用水量為計算單位。其納管標準為生化需氧量為 300 mg/L，化學需氧量為 500 mg/L，懸浮固體為 300 mg/L。

廠商及機關之污水量（ $Q$ ）計算，則依條文第四條說明分為：使用自來水水源者，其污水量依自來水用水量百分之八十計算或使用非自來水原者，其污水量依實際用水量計算或同時使用自來水水源及非自來水水源者，其污水量以第一款及第二款污水量合併計算。條文第五條、第六條則分別說明： $C_C$  為化學需氧量收費為 24.9 元/公斤、 $C_S$  為懸浮固體收費為 26.4 元/公斤，依排放水之濃度不同而有不同的收費級距、水質分級、分級費率。

第七條為有害性污染物質收費級距、水質分級、分及費率及收費單價計算公式，其中  $P_d$  為排放水水質濃度（mg/L），以每次採樣分析抽樣水質單獨計算； $P_{sd}$  為進廠容許限值（mg/L）， $U_h$  為有害性污染物質收費單價。各種有害性污染物質收費單價每公斤 1,000 元，收費項目如下：陰離子界面活性劑、油脂、酚類、銀、砷、

鎘、六價鉻、銅、總汞、鎳、鉛、硒、鋅、總鉻、氟化物、氰化物。

### 2.3.3 半導體廠超純水製造費用

如何設計超純水製造系統，主要考慮四個因素：產水的水質及水量、進水的水質與水量、選擇的系統單元與當地法規的要求〔38〕。也因如此，不同考慮因素的設計，也就有不同的設置成本與運轉成本。雖然國內高科技廠林立，但有關半導體廠超純水製造系統運轉成本的分析，可供查詢引用的相關文獻的數量相關缺乏，通常只有討論到水回收時，簡單的提到純水製造成本而已。一般來說，半導體業超純水製造每噸水量之操作成本約在 30~50 元/m<sup>3</sup>〔39〕。另外，可參考表 6〔19〕，文獻中指出，在日本，有些地區自來水水費高達 301 元/m<sup>3</sup>（約台幣 100 元/m<sup>3</sup> 左右），為了因應未來水費逐年調漲及水源供給逐漸受限制之趨勢，故在超純水製造系統中執行排水回收，如此，將可以大幅降低運轉成本。表 6 中，以供應量 2000 m<sup>3</sup>/天之超純水系統，在恆溫供給的條件下（通常為 23-25 °C），不同回收量會有不同的設置成本及運轉成本。當系統回收率 75%時運轉成本為 420 元/m<sup>3</sup> 與無回收來比較，約節省 305~230 元/m<sup>3</sup>。另外，在不考慮人力成本與系統保養成本，以系統回收率 75%的運轉成本來說，佔最大宗仍為自來水費，佔總運轉成本的 66%。若不計算自來水費，以耗材更換 67%（含離子交換樹脂、化學藥品、RO 膜、UF 膜及 TOC 的去除設備等）為最多，電費則為 19%，其餘則包含蒸氣、冰水成本。

ITEM	Non recovery FRONT STAGE RO	Non recovery FINAL STAGE RO	30% recovery FINAL STAGE RO	50% recovery FINAL STAGE RO	75% recovery FINAL STAGE RO	REMARKS
<b>1. Running Cost</b> 1) Electricity 2) City water @ 310 ¥/m <sup>3</sup> 3) Steam @ 5 ¥/m <sup>3</sup> 4) Chilled water @ 20 ¥/m <sup>3</sup> 5) TOC decomposer (Lamp + Electricity) 6) Consumable (chemical, resin, RO, UF membrane, filter etc.) Remarks: Maintenance cost is not included Running Cost Total	65 ¥/m <sup>3</sup> 480 ¥/m <sup>3</sup> 80 ¥/m <sup>3</sup> _____ _____ 100 ¥/m <sup>3</sup> 725 ¥/m <sup>3</sup>	55 ¥/m <sup>3</sup> 365 ¥/m <sup>3</sup> 105 ¥/m <sup>3</sup> _____ _____ 125 ¥/m <sup>3</sup> 650 ¥/m <sup>3</sup>	55 ¥/m <sup>3</sup> 300 ¥/m <sup>3</sup> 70 ¥/m <sup>3</sup> 5 ¥/m <sup>3</sup> _____ 125 ¥/m <sup>3</sup> 555 ¥/m <sup>3</sup>	55 ¥/m <sup>3</sup> 210 ¥/m <sup>3</sup> 50 ¥/m <sup>3</sup> 10 ¥/m <sup>3</sup> 50 ¥/m <sup>3</sup> _____ 120 ¥/m <sup>3</sup> 495 ¥/m <sup>3</sup>	55 ¥/m <sup>3</sup> 135 ¥/m <sup>3</sup> 30 ¥/m <sup>3</sup> 10 ¥/m <sup>3</sup> 70 ¥/m <sup>3</sup> _____ 120 ¥/m <sup>3</sup> 420 ¥/m <sup>3</sup>	Working hour is 24 h/d, 360 d/Y Other conditions are as per attached  Remarks: Recovery rate formula is  $\text{Recovery rate} = \frac{\text{Recovered drain water}}{\text{Ultrapure water consumption}} \times 100$
<b>2. Waste water rate</b> From use point From system total	1.0 0.4 ~ 0.5 1.4 ~ 1.5	1.0 0.1 ~ 0.2 1.1 ~ 1.2	0.7 0.1 0.9	0.5 0.1 0.6	0.25 0.1 0.35	Waste water rate  $= \frac{\text{Total waste water m}^3}{\text{Ultrapure water consumption m}^3}$
<b>3. Initial cost</b> 2000 m <sup>3</sup> /d	650,000 T¥	720,000 T¥	750,000 T¥	800,000 T¥	850,000 T¥	
<b>4. Floor space</b> Make-up Polishing	7 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> 2.5 ~ 3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	8 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> 2.5 ~ 3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	10 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> 2.5 ~ 3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	10 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> 2.5 ~ 3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	10 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> 2.5 ~ 3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	

Note: ¥ = yen; T¥ = yen (thousands).

表 6 不同 RO 回收率之設置成本與運轉成本比較表 [19]

### 2.3.4 廢水處理及回收成本

如同超純水製造系統，廢水處理成本或廢水回收成本也與產水的水質及水量、進水的水質與水量、選擇的系統單元與當地法規的要求有絕對關係。特別是在廢水回收部分，從處理系統的設置到處理成本的評估與決定都是非常主觀的，這通常與各廠之現況、目標、法規要求，甚至與企業形象及未來遠景有關，故是很難進行比較。本研究中個案工廠的水回收案評估，雖然是依法規規定必須被要求執行，但現階段評估基礎，仍以成本進行考量的，這也是本研究的目的之一。在此針對收集之文獻以表列方式進行說明並供參考，詳見表 7：

表 7 半導體廠廢水處理及回收成本相關文獻彙整

著作者	說明	結果
羅氏 2001 〔39〕	利用一套整合的小型模廠-陶瓷膜微過濾系統結合化學混凝前處理，再搭配後段活性碳吸附及逆滲透系統組合來進行 CMP 實廠廢水處理，並以期能達到回收水質為目標。	使用陶瓷膜微過濾系統搭配活性碳過濾及 RO 逆滲透設備能有效地回收 CMP 廢水，回收率高達 84%，回收水質已達到超純水製程之中段水質。取自模型廠操作條件，規劃每天回收 600 噸 CMP 廢水回收之操作成本約 43 元/m <sup>3</sup> 。以化學混凝沉澱處理後之排放水，經高級處理後使達到與本模型廠回收之水質相似時，其操作成本約在 57.5 ~ 86 元/m <sup>3</sup> 之間。
環保署 2003 〔40〕	晶圓製造業及半導體製造業工廠之產能隨訂單與景氣而起伏，或因新設廠會把較單純的廢水處理後重回製程中，廢水量較以前有微量降低。各廠之廢水處理成本因生產規模及上列各因素的影響，仍存在很大的差異。	廢水處理成本，因各廠之經濟規模與涵蓋項目相差太大之緣故，故不適合做分析、比較。

資料來源：本研究整理

表 7 半導體廠廢水處理及回收成本相關文獻彙整 (續)

著作者	說明	結果
陳氏 2003 [29]	利用實驗設計中之拉丁方格與田口式實驗設計進行氯化鐵瓶杯試驗與電聚膠凝法試驗，最後配合逆滲透法，對化學機械研磨 (CMP) 廢水進行回收處理，並探討各個操作參數對廢水處理效果之影響，並初步估計處理成本。	氯化鐵凝法處理操作成本估計為 21.71 元/m <sup>3</sup> (藥劑費用約 4.51 元/m <sup>3</sup> ，每立方公尺所產生之污泥處理費用估計為 17.2 元)。電聚膠凝法處理成本約為 27.17 元/m <sup>3</sup> (藥劑費用約 0.25 元/m <sup>3</sup> ，所需之電費成本約為 7.22 元/m <sup>3</sup> )。因此每立方公尺電聚液所產生之污泥之處理費用估計為 19.7 元)。逆滲透法之處理成本約為 3.85 元/m <sup>3</sup> (調整電聚液 pH 值至中性所需成本為 0.05 元/m <sup>3</sup> )。當逆滲透法於清水回收率=60%時，操作電費成本為 3.8 元/m <sup>3</sup> )。
林氏 2003 [41]	將 CMP 及 BG 混合廢水由原本納入氫氟酸廢水處理改為獨立以高分子凝凝處理回收。	CMP 及 BG 混合廢水納入氫氟酸廢水共同處理，處理成本每噸 78.7 元；將 CMP 及 BG 混合廢水以高分子凝凝處理回收，回收成本每噸 39.3 元。兩者處理成本皆來自污泥處理費，佔 50%以上，其次是化學藥品費。
巫氏 2005 [26]	使用高效率電凝/氧化複合技術進行 CMP 廢水處理，Oxide CMP 廢水濁度去除率達到 99%，溶解矽去除率達 90%，總有機碳去除率達 90%。	實驗設備經過系統設計量化後，再經由水處理工程公司初步成本分析，運轉成本約為 60 元/m <sup>3</sup> ，設置成本約為 108 KNT/CMD，設置成本約為業界使用之超過濾系統的 58%。

資料來源：本研究整理

表 7 半導體廠廢水處理及回收成本相關文獻彙整 (續)

著作者	說明	結果
<p>洪氏 2006 〔42〕</p>	<p>以物質流分析的方法，探討半導體廠的用水量及廢水產出量，以瞭解水資源在半導體生產活動中的各種流動狀況。分析結果可提供改善的參考，以有效提高半導體廠在水資源上的使用效率。本研究以新竹科學園區的某家半導體廠為實際調查研究的對象，研究中將分析廠區內相關單元的用水及廢水產出量。</p>	<p>每生產一片 8 吋晶圓，須消耗水約 2.8 m<sup>3</sup>；每生產一片 12 吋晶圓，須使用 3.0 m<sup>3</sup> 的自來水。而回收一噸 CMP 廢水約需 110~135 元，廢水廠處理一噸酸鹼廢水需 8~10 元，含氟廢水約 30~35 元。就經濟成本上考量，CMP 水回收根本不划算。但若再將環境成本也考慮進去的話，則相當程度的回收是需要的；但回收的比例應該訂為多少，則必須考量廢水特性與用水地區的環境條件才算合理。</p>
<p>環保署 2007 〔14〕</p>	<p>由於每家半導體業者處理的程序不一，大部份業者皆採用合流式處理，由此無法單對研磨廢水處理做一完整的分析。另外，在訪談各廠時，拿取有關污泥處理費用時，業者皆表示該費用計算到廢棄物部分，與本計畫無相關性，故不提供。</p>	<p>積體電路處理費用約 28.15 元/m<sup>3</sup>；氧化型或金屬型研磨廢液平均處理廢水的費用分別約為 37.3 及 44.32 元/m<sup>3</sup>。晶圓製造整廠平均處理費用約 14.01 元/m<sup>3</sup>。光電業之彩色濾光片處理每噸廢水成本約為 77 元，光電顯示器處理廢水則約在 0.95~54.67 元/m<sup>3</sup> 不等，而發光二極體則為 4.12~33.44 元/m<sup>3</sup>。另外，以陶瓷過濾方式處理研磨廢水，其成本為 16.2 元/m<sup>3</sup>。</p>

資料來源：本研究整理



表 7 半導體廠廢水處理及回收成本相關文獻彙整 (續)

著作者	說明	結果
<p>環保署 2008 〔43〕</p>	<p>大部分廠商均未針對單股廢水處理成本進行估算，其中僅有一廠提供各股廢水處理成本。</p>	<p>TFT-LCD 製造廠家之廢水處理成本介於 14~35 元/m<sup>3</sup> 間，其中以藥品費為最大宗之操作成本(佔總操作成本 57%以上)；LED 製造廠廢水處理成本約 12 元/m<sup>3</sup>，其中藥品費用約佔操作成本 36%；半導體製造業廠家之處理成本介於 10~27 元/m<sup>3</sup>，其中藥品費佔其操作成本 55~88%。其中，提供各股廢水處理成本，該廠 96 年 8 月份統計數據結果，廠內氟系、酸鹼和有機廢水 46.64、12.41 和 17.05 元/m<sup>3</sup>，整廠平均處理成本為 25.37 元/m<sup>3</sup>，該成本計算基準包含藥劑費、污泥處理費、耗材及維修費、電力費、人事成本等，將上述費用加總後，再除以當月處理水量。</p>

資料來源：本研究整理

## 2.4 工程經濟的分析評估

### 2.4.1 工程經濟分析評估步驟

工程經濟是一項決策工具，主要探討面對若干投資方案時，如何在有限的資源下，根據資金分配原則，選擇最佳的投資分案。而工程經濟分析是以金錢價值或經濟效用為評價基礎，計算收益及成本之金錢時間價值，進而用來評比並決策方案的技術。方案的發展與選擇有一個重要的程序，這套程序的通用名稱為解決問題方法或決策程序，其步驟為〔44〕：

1. 了解問題並定義其目的。在定義問題之前必須先了解問題，然後才能進行其他分析工作。問題界定出來之後，再以系統分析的方式來進行，在定義問題的時候，其邊界及範圍都須仔細定義。當評估程序中之資訊與原來問題的模擬有所不同時，就必須重新定義問題。
2. 收集相關資訊。本研究方案採用現金流量方法建構出產出的結果。其淨現金流量就是在每一個時間點所有流入之現金收入或節省之成本及流出之現金成本或花費之差額。
3. 定義所有可能的方案並估計之。依定義的問題找出可行方案，檢視過濾並選擇可行方案組合。可行是指每一被選擇進行的方案是經過初步評估後，被認為可以滿足或超越問題定義之需求目標。
4. 利用一個或多個特性指出決策的準則。決策的準則是要提供決策者選擇一個最能符合或超越目標方案的依據，因此經濟決策準則在工程經濟分析中十分重要。
5. 評估每個方案，利用敏感度分析去提升此評估。工程問題的經濟分析主要依方案的現金流量去估計，因此必須去得到現金流量的預測值。藉由現金流量的建立，去比較各方案的優劣。不確定性及風險性也利用敏感度分析提升評估可靠性。
6. 選擇最佳方案。當完成前面的步驟後，分析結果與決策方向，即可得到最可行方案。
7. 執行方案。
8. 監督其結果。方案開始執行時，監督的工作是必須的，可以確認改善目標並減少不確定性。藉由事前事後分析比較，提供以後參考，可作為日後改善的依據。

工程經濟在所有步驟中扮演重要角色，由其主要在步驟 2 到 6。步驟 2 和 3 建立所有的方案，並對每一方案估計。步驟 4 需要分析指出替代方案的特質，這樣便可應用此技術。步驟 5 利用工程經濟模式去完成評估並執行敏感度分析 [44]。

## 2.4.2 貨幣時間價值

資本可以創造更多財富，大部分之工程經濟研究都包括投資期間之分析，金錢隨著時間的流轉會比現在增值，因為它可得到利息（或獲利），所以金錢是有時間價值的，當資本投資在工程或商業計畫時，一定要考慮其成本的時間價值。為了後續的研究，分別以下列要素說明：

### 1. 利息觀念

利息（interest）是金錢時間價值的具體表現，代表使用金錢所需之租金。利息的支出有兩種不同角度可供觀察，及利息的支出與利息的收入，其可從以下關係式求得。

$$\text{利息} = \text{結束金額} - \text{起始金額}$$

若將某單位時間內之利息表為原始金額（本金）百分比，即稱之為「利率」（interest rate）或「報酬率」（rate of return, ROR）。

利率使用的時間單位稱為「利率週期」（interest period）。目前最常使用的利率週期為一年，當然也可以使用較短時間計算。一般情形，若只敘述利率，通常的利率週期為一年。

「投資報酬率」（rate on investment, ROI）在某些產業環境等同於「報酬率」，尤其廣泛應用於大筆資金投入之工程專案。支出利息較適用借款人的角度，收入報酬則屬於投資者觀點。工程計畫案的評估乃在預設一項合理的報酬率（rate of return, ROR），以決定方案可行與否。合理的報酬率又稱作「最低接受報酬率」（minimum attractive rate of return, MARR）。對企業而言，設定的 MARR 必須高於資金成本標準，不可低於該企業投資專案時所產生的利率支出。

利息、利率週期及利率，有助於計算前一期與後一期的等值金額。當利率週期大於 1 時，是需要使用單利與複利概念，說明如下：

單利：單利的情況就是將一週期所得到的利息與本金不再投下一計息週期。

此種單利在現代商業已很少使用。多期的單利公式如下：

$$\text{利息} = (\text{本金}) (\text{週期數}) (\text{利率})$$

複利：複利的情況就是將每一週期所得到的利息與本金再投下一利息週期，

所以利滾利的情況一直重複。複利利息也反映出金錢時間價值。一期的複利計算為：

$$\text{利息} = (\text{本金} + \text{各期利息累計}) (\text{利率})$$

## 2. 等值觀念

個方案必須要產生類似結果、達到同一目的或執行同一功能，才能互相比較。其最大問題是當利息在比較之時間中產生時，如何利用等值之基礎，使方案能互相比較。因此，等值之基礎有賴於：(1) 利率，(2) 相關之貨幣，(3) 貨幣支付或獲得時間點，(4) 投資產生利息或利潤之方式。

## 3. 折舊觀念

可折舊的資產就是一企業可把資產的折舊當做收入減項的財產，以美國稅法的內容看，可折舊財產具有下列特性：

- (1) 必須為企業擁有或使用並產生收入。
- (2) 有一定的服務期限，且長於1年以上。
- (3) 會因自然原因的使用而磨耗，損壞變成過時或失去價值。

可折舊財產包括建築物、機器、設備、運輸工具;存貨不是可折舊財產，因為在企業一般的活動，它主要是來銷售給顧客，若資產沒有一定的服務期限，就它不用提折舊，如土地不可折舊〔45〕。

依國內商業會計法第46條規定，折舊性固定資產，應設置累計折舊科目，列為各該資產之減項。固定資產之折舊，應逐年提列。固定資產計算折舊時，應預估其殘值，其依折舊方法應先減除殘值者，以減除殘值後之餘額為計算基礎。固定資產耐用年限屆滿，仍可繼續使用者，得就殘值繼續提列折舊。

過去折舊會計選擇可折舊期間，是建立在一資產能服務的時間，但決定資產服務時間通常很困難，美國官方發行分類資產的使用年數使用說明，即資產折舊範圍 (Asset Depreciation Ranges, ADRs)，這些使用手冊將分類資產使用年數，依歷史資料訂出一個範圍〔45〕。以國內來說，所得稅法第五十一條規規定，各種固定資產耐用年數，依固定資產耐用年數表之規定。但本研究水回收系統並沒有列舉在固定資產耐用年數表中，故以十年估列。

依現行商業會計法第 47 條規定，固定資產之折舊方法，以採用平均法、定率遞減法、年數合計法、生產數量法、工作時間法或其他經主管機關核定之折舊方法為準；資產種類繁多者，得分類綜合計算之。其中，平均法也稱直線法，因為本研究之個案實廠是採用之平均法，所以只介紹此種折舊方法。

平均法折舊表示固定資產提供的服務是均勻的方式，即在它服務期間每年都提供相同的服務量。平均法每年的折舊費用是資產淨成本的相同比例成本，以下表示其關係：

$$D_n = (I - S) / N$$

式中  $D_n$  = 第 n 年折舊費用

$I$  = 資產成本，包含設置費用

$S$  = 使用終了時之殘值

$N$  = 使用年數

殘值之預計標準，應以等於該項資產之最後一年度之未折減餘額為合度，其計算公式如下：殘值 = 固定資產之實際成本 / (耐用年限表規定之耐用年限 + 1)。

#### 4. 現金流量公式

現金流量圖 (cash flow diagram) 是一項相當重要的經濟分析工具，尤其可應付多筆且複雜的流量系列。現金流量圖是利用圖形化的方式，將現金量至於時間軸上，內容包含已知值、估計值及所需值等訊息。因此，完成現金流量圖後，即能以圖表解決問題。

在現金流量圖中， $t=0$  代表現在時間， $t=1$  代表時段 1 的終點。假設我們以年計期，圖 1 之時間軸為 5 年，由於期末慣例指出現金流量發生在期末，故 1 代表德是第一年年終。

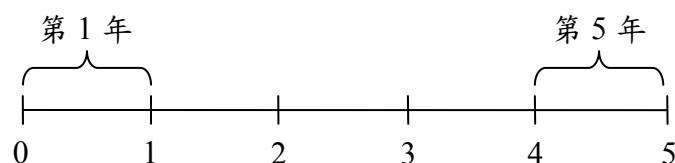


圖 1 典型的 5 年現金流量時間軸

現金流量圖內的箭頭指向也很重要。箭頭垂直向上表正流量，相反的，箭頭垂直向下表負流量。圖 2 顯示第 1 年終為收入（現金流入），第 2 與第 3 年年終含相同的支出（現金流出）。

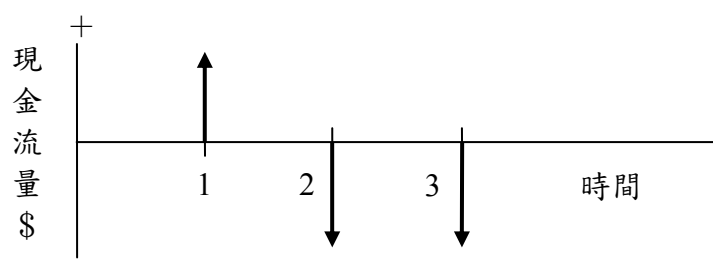


圖 2 正向與負向現金流量

為了可以計算方案現金的現值或未來值，將現金流量的公式說明如下。

(1) 一次支付

一次支付的現值 ( $P$ ) 與終值 ( $F$ ) 的經  $n$  年 (週期) 關係，如圖 3 及表 8， $F/P$  與  $P/F$  因子：標記、公式及試算表函數。



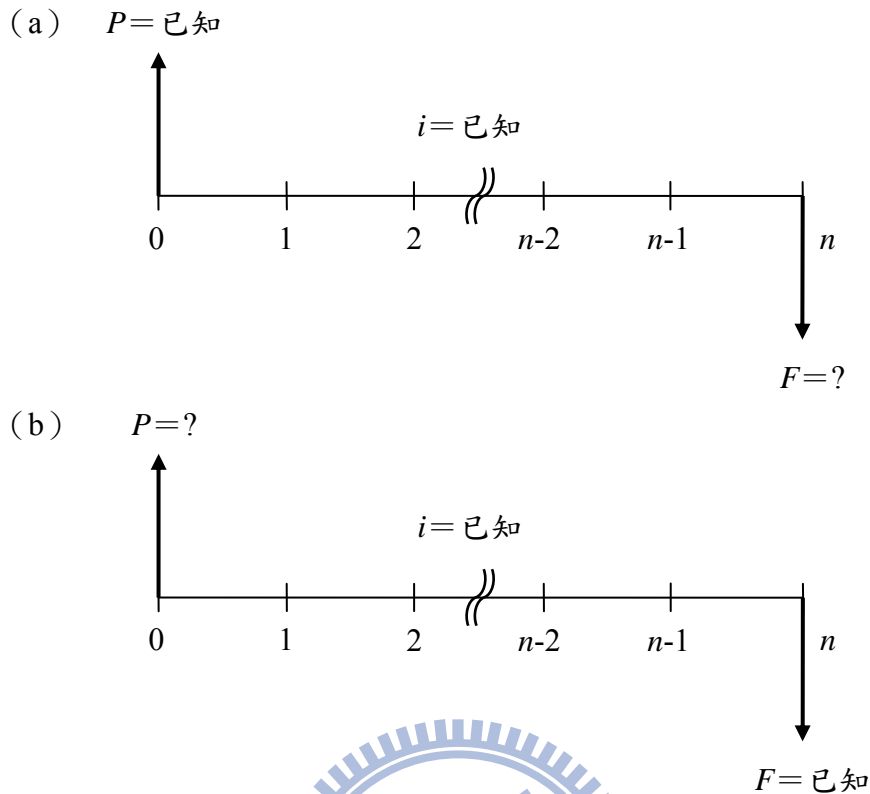


圖 3 一次償付因子現金流量圖：(a) 求  $F$  值；(b) 求  $P$  值

表 8  $F/P$  與  $P/F$  因子：標記、公式及試算表函數

因子		未知/已知	標準標記 公式	因子公式	Excel 函數
標記	名稱				
$(F/P, i, n)$	一次支付 複利因子	$F/P$	$F = P(F/P, i, n)$	$F = P(1+i)^n$	$=FV(i\%, n, P)$
$(P/F, i, n)$	一次支付 現值因子	$P/F$	$P = F(P/F, i, n)$	$P = F[1/(1+i)^n]$	$=PV(i\%, n, F)$

## (2) 等額支付

共有 4 種「等額系列」公式包含  $A$  (等額期值)，其中  $A$  需為：現金流量需發生再連續的利率週期及每利率週期出現的現金流量需相同。4 種「等額系列」公式，如圖及表 2.5  $P/A$  與  $A/P$  因子：標記、公式及試算表函數。如圖及表 2.6  $F/A$  與  $A/F$  因子：標記、公式及試算表函數。

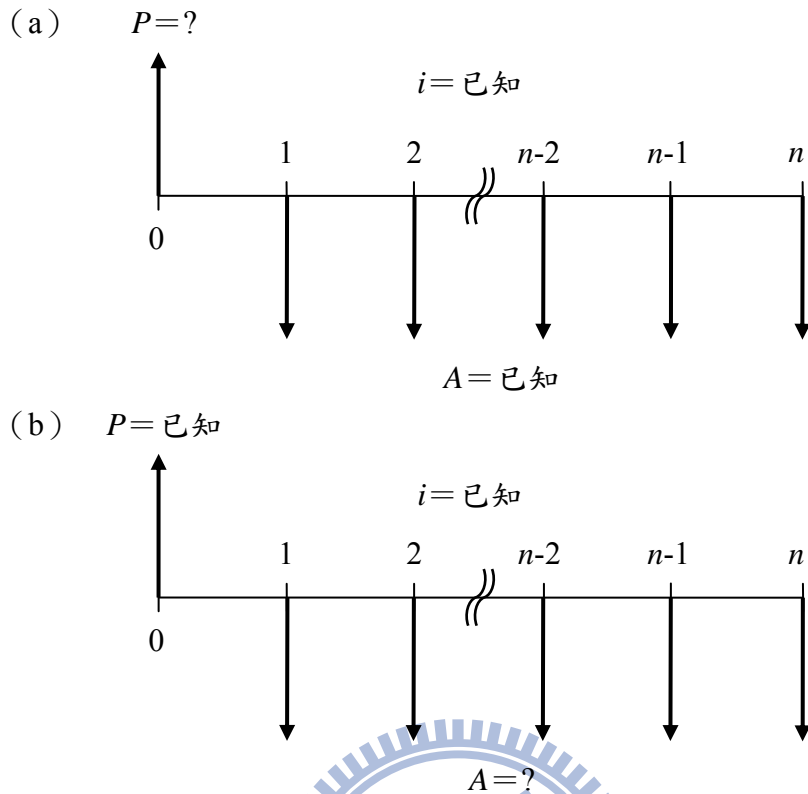


圖 4 現金流量圖：(a) 已知等額系列求  $P$  值；(b) 已知現值求求  $A$  值

表 9  $P/A$  與  $A/P$  因子：標記、公式及試算表函數

因子		未知/已知	因子公式	標準標記 公式	Excel 函數
標記	名稱				
$(P/A, i, n)$	等額系列 現值因子	$P/A$	$\frac{[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n}$	$P = A(P/A, i, n)$	$=PV(i\%, n, A, F)$
$(A/P, i, n)$	資本回收 因子	$A/P$	$\frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$	$A = P(A/P, i, n)$	$=PMT(i\%, n, P, F)$



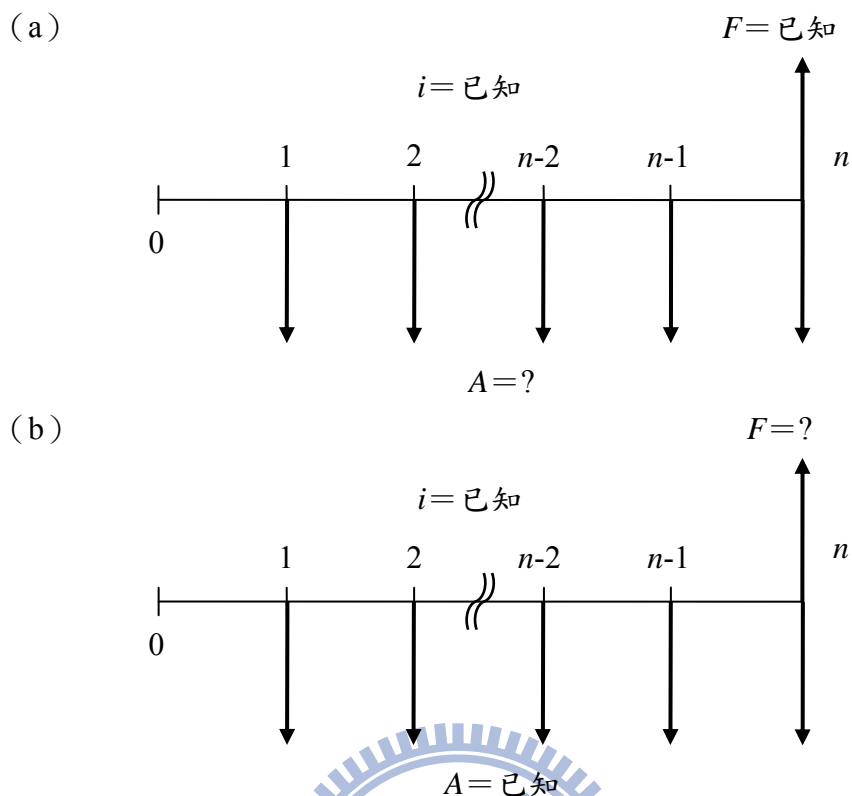


圖 5 現金流量圖：(a) 已知等  $F$  求  $A$  值；(b) 已知等  $A$  求  $F$  值

表 10  $F/A$  與  $A/F$  因子：標記、公式及試算表函數

因子		未知/已知	因子公式	標準標記 公式	Excel 函數
標記	名稱				
$(F/A, i, n)$	等額系列 複利因子	$F/A$	$[(1+i)^n - 1] / i$	$F = A(F/A, i, n)$	$=FV(i\%, n, A, P)$
$(A/F, i, n)$	下沉基金 因子	$A/F$	$i / [(1+i)^n - 1]$	$A = F(A/F, i, n)$	$=PMT(i\%, n, A, F)$

### 2.4.3 現金流量表之建立

為了可以明確了解現金的流量，方便去分析比較出各方案的經濟效益，進而選出最佳的方案，所以建立現金流量表是非常重要的步驟。現金流量表的建立方式，是先將損益表建立起來，求得淨收入值，接著將營業、投資、及融資活動的現金流量的要素分別列舉出來就可得到現金流量表，現金流量表的列舉內容如表 11 所示 [45]。

表 11 現金流量要素分類表〔45〕

現金流量要素	企業使用的其他名詞
<b>1. 營業活動</b>	
毛收入	總收入、銷貨收入、毛利、營業收入
成本節省	成本降低
製造費用	銷貨成本、收益成本
操作維護費用	營運費用
營業收入	營業利益、毛邊際收入
利息費用	利息支付、債務償還
營利事業所得稅	應付營利事業所得稅
<b>2. 投資活動</b>	
資本投資	新設備採購、資本支出
殘值	淨售價、處理價值、重售價值
營運資金投資	營運資金需求
營運資金釋出	營運資金回收
<b>3. 融資活動</b>	
借入資金	貸款金額、借入金額
本金償還	貸款償還

現金流量要素的分類，說明如下：

### 1. 營業活動

因營業活動所產生的現金流量，包括：銷售收入、銷售成本、營業費用以及營利事業所得稅。貸款中所支付的利息，可以列為淨收入中可減免的費用，並且可包括在營業活動內，現金流量常以年為基礎來表示。

淨現金流量可以用下列兩種方式來決定：第一種為淨收入，第二種為在不同階段計算營利事業所得稅的現金流量。若使用淨收入為現金流量的起點時，應該加入所有非現金的費用（主要是指折舊和攤提費用），來得到淨現金流量。但折舊（或攤提）不是現金流量，而是一種可抵減的費用，連同營業費用和租金成本，都是由毛收入到應課稅收入的稅額計算中，可以抵減的費用。但是折舊是從現金流量中被減去的，因此若想用淨收入的數字作為計算稅後現金流量的中介步驟，則應把折舊再加回去。

### 2. 投資活動

一般來說包含三項：期初投資、殘值、營運資金的投資或回收。而資本投資和營運資金投資在現金流出上都假設是發生在第 0 年。但有時候是隨著方案的進行採逐月支出，因此有時候也會以第 1 年作為投資的開始。這在小型方案上，兩種方式都可行。

### 3. 融資活動

這是屬於借貸的行為，包括：借人的金額及本金的償還。另外利息是屬於可抵減稅的一項支出，因此算是一種營業活動，而不是融資活動。

若是將該年的營業、投資、及融資活動的淨現金流量總和起來，就可以得到某一年的淨現金流量。

#### 2.4.4 工程經濟分析評估方法比較

工程經濟中針對工程方案的評估通常有 3 種採行方式，此方式也稱為資本預算評估的方法。第 1 種是回收年限法 (Payback Period, PP)，此方法是一種簡單而常用的獲利率指標，該指標量測計畫現金流量等於起始投資所需的時間，又稱還本期限法。簡言之，用於衡量回收資金所需的時間而非報酬率，即「回收年限 (PP) = 原始投資 / 每年現金流量」。決策準則是越快回收，越值得投資。

第 2 種是本論文所採用的淨現值法 (Net Present Worth, NPW 或 Net Present Value, NPV)，由於投資是一個持續有時間性的行為，故在計算投資報酬時，應考慮此貨幣時間性的因素，將未來的預期收入與支出折算成現在的價值。計算方式為根據資金成本，決定一個合理可接受的報酬率，據此將未來各年的淨現金流量折算成現值後累計，即「淨現值 (NPW) = 原始投資 - 使用期限內現金流量之折現值」。與期初投入成本相較，若大於或等於期初投入的成本，此投資估計會有獲利則可進行。若小於期初投入之資本，則此項投資估計為損失，應予取消該計畫。若多個方案可選擇，則以淨現值較高者為主要考量。

第 3 種評估的方法是內部報酬率法 (Internal Return Rate, IRR)，與淨現值法相似，同樣將一項投資在其生命週期中，將各年現金流量折現後累計。惟不同處是將淨現值設為零，以求折現率 (內部報酬率) 的值，即「內部報酬率 (IRR) = 淨現值等於零之使用期限內現金流量折現率」。若內部報酬率大於所希望的報酬率

時，該投資方案可行，反之則應放棄此計畫。

上述各種評估方式皆有其優缺點，其比較如表 12 所示〔46〕。其中的淨現值法，乃以現金流量觀點評估，並考慮貨幣的時間價值，涵蓋投資計畫效益年限，決策準則明確不會產生矛盾現象，涵蓋了所其他評估方法的優點，為一最佳的資本預算評估方法〔47〕。

表 12 資本預算評估方式比較表〔46〕

評估工具	優點	缺點
回收年限法 (PP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 容易瞭解，簡單易用</li> <li>● 特別強調變現能力</li> <li>● 當兩項投資計畫均相同NPV時，決策者可根據較短之PP做參考</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 未考慮投資方案之現金流量</li> <li>● 忽略貨幣時間價值，故不夠精確</li> </ul>
淨現值法 (NPW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 考慮現金流量</li> <li>● 運用貨幣時間價值</li> <li>● 提供最直接、一致的投資報酬資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 需要較長且詳細的增額利潤與成本之預測</li> <li>● 實務上不易取得精確的折現率</li> </ul>
內部報酬率法 (IRR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 考慮現金流量</li> <li>● 運用貨幣時間價值</li> <li>● 直接表達報酬率，易於比較與分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 需要較長且詳細的增額利潤與成本之預測</li> <li>● 實務上不易取得精確的折現率</li> <li>● 當現金之符號正負相間時，會有多重根問題</li> </ul>

#### 2.4.5 淨現值法分析與敏感性分析

方案的制定需以不同計畫提案為基礎，以達到預期的目標。方案可分為；「互斥方案」與「獨立方案」。每種方案的評估方式各不相同。互斥方案 (mutually exclusive)：在經濟分析下，只有一個可行計畫可供選擇每個可行計畫及是一個方案。獨立方案 (independent)：在經濟分析下，有超過一個以上可行計畫可供選擇。在工程實務中，以互斥方案的評選較為常見。評估過程中，互斥方案為相互競爭之關係。運用各種經濟分析技術可得到最終方案，淨現值法分析即為其中一項工具。

淨現值法 (NPW) 是時間價值現金流量法 (discounted cash flow techniques, DCF) 的其中一個。在發展 NPW 準則時，將會用現金流量等值的概念，計算等值觀點最適合的點常常是時間 0 的點。在 NPW 準則下，全部現金流入的現值對照全

部現金流出的現值組合成一個投資方案。這些現金流量現值之間的差額，被稱為淨現金流量（net present worth, NPW），決定這個方案是否是可接受的投資，現值準則應用於投資案的基本程序如下〔45〕：

1. 先決定希望從投資中賺錢的利率。所決定的利率代表永遠都用這個利率去投資金錢在此投資中。這個利率常被稱必須投資報酬率或最低可接受報酬率（minimum attractive rate of return, MARR）。通常這個選擇是一政策決定，由最高層決策者決定。MARR 在方案的壽命期間有可能會改變，但從現在起在計算 NPW 時，只會使用單一個利率。
2. 估計方案的服務年限。
3. 估計服務年限內每個時期的現金流入。
4. 估計服務年限內的現金流出。
5. 決定淨現金流量（淨現金流量＝現金流入－現金流出）。
6. 找到以 MARR 為利率的淨現金流量之現值。將這些現值相加起來；所得到的總和可以定義出方案的 NPW：

$$\begin{aligned}
 PW(i) &= \frac{A_0}{(1+i)^0} + \frac{A_1}{(1+i)^1} + \frac{A_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{A_N}{(1+i)^N} \\
 &= \sum_{n=0}^N \frac{A_n}{(1+i)^n} \\
 &= \sum_{n=0}^N A_n(P/F, i, n)
 \end{aligned}$$

式中  $PW(i)$  = 利率  $i$  的 NPW；

$A_n$  = 第  $n$  期期末的淨現金量；

$i$  = 最低可接受報酬率（MARR）；

$n$  = 方案的服務年限。

若是所對應期間是淨現金流入， $A_n$  會是正的，若是淨現金流出，則  $A_n$  是負的。

7. 一個正的 NPW 是指等值的流入大於等值的流出，因此，這個方案有產生利益。

所以，假設一個單一方案的  $PW(i)$  是正的，則此方案應是可以接受的，所以其判斷的規則如下：

假設  $PW(i) > 0$ ，接受這個投資。

假設  $PW(i) = 0$ ，保持中立。

假設  $PW(i) < 0$ ，拒絕這個投資。

這個判斷常規是對單一方案的評估，可以估計收入及成本所結合的方案。當比較有相同收入的互斥方案時，只以成本為基礎來做比較。在這情況中，因為是要求最小成本，而不是最大利潤，所以應該接受結果為最小的方案，或負最少的 NPW。本研究中所有處理方案皆是屬於法規面上必須被設置，並不能以可得到多大的利潤來衡量要不要設置。所以方案評估的比較方式是以最小成本的支出來判斷，選擇出一個負最少的 NPW。

評估方案時，多少會因參數估計值的不定性或變異性而承擔部分風險；此變異的影響可以敏感性分析（Sensitivity Analysis）評估。當有兩個以上的變異會影響到目標值時，通常會以其基本值，固定其他變數，只針對其中之一的變異進行分析，直到每一個相關變數都分析完成為止。當變數變動指標（百分比）為 0 時，也就是正常期望值或基本值，當變動指數達 +100% 就表示其值為基本值兩倍。依此類推，就可將每一變數之可能變動範圍涵蓋在整個敏感性分析中。當所有方案進行敏感性分析後，期分析範圍及結果顯示已經充分研究並考量評估，既可將分析之未來需求，與提供實際市場環境方案，確實讓投資者做出決策方案評估之考量 [45]。

互斥方案以淨現值法（Net Present Worth, NPW）等應用進行方案之經濟效益評估，相關研究彙整見表 13：

表 13 以淨現值分析應用之相關評估研究

著作者	研究對象	研究成果
黃氏 2000 [ 48 ]	基隆河員山子分 洪計畫方案評估	依經濟部水利處民國八十九年十一月完成之「基隆河員山子分洪規畫檢討(初步評估)專題報告」,就不同之分洪出口甲、乙兩案於基隆河治理工程初期計畫實施完成後之分洪前與分洪後之經濟可行性進行試算。以淨現值及益本比分析,最終評價結果為甲方案優於乙方案。
蘇氏 2002 [ 49 ]	舊有辦公大樓智 慧化方案評估	採用兩種方案:一種設備更新方案,保留現有的結構體,拆除舊有設備,以更新設備的方式導入智慧化設備;另一種是拆除重建方案,將舊有辦公大樓全部拆除,興建一個全新的智慧型辦公大樓。研究以台北市六個舊有辦公大樓為例,就淨現值分析而言,研究的六個案例中有五個案例是拆除重建方案較佳;內部報酬率分析而言,六個案例都是更新設備方案較佳;修正內部報酬率分析而言,六個案例都是更新設備方案較佳。
李氏 2005 [ 50 ]	台北市內湖區大 湖山莊街防洪方 案評估	防洪兩方案為增建抽水站與設置雨水貯留設施。以發放問卷之方式得到該地區在納莉颱風時之概估損失金額,再利用益本比與淨現值法,對這兩種防洪方案進行探討。發現研究區域在暴雨強度超過原渠道設計容量時,以益本比分析:防洪調節池之益本比優於興建抽水站,以淨現值分析:防洪調節池亦優於抽水站。

資料來源:本研究整理

表 13 以淨現值分析應用之相關評估研究（續）

著作者	研究對象	研究成果
陳氏 2005 〔51〕	印刷電路版製程 含銅酸洗廢水處 理方案評估	以淨現值法分析三個方案：方案一為化學混凝 沉澱處理放流；方案二為增設離子交換設備進 行水回收；方案三為增設離子交換設備與電解 設備進行水回收及銅金屬回收；並以利率 3%、分析期限五年或十年與不同處理效率進 行交叉分析。結果得知，若處理效率達 80% 以上時，不管分析期限是五年或十年，以方案 三為最佳方案。
陳氏 2005 〔52〕	舊建築物外遮陽 改善方案評估	以彰基兒童醫療大樓為例，評估分析現今常用 外遮陽工法共五個方案，經淨現值分析及敏感 度分析後，以「水平鋼板烤漆遮陽板」為最佳， 其次為「水平鋁板烤漆遮陽板」...等。
黃氏 2008 〔53〕	冷卻水塔排放水 回收再利用方案 評估	以南部某複循環電廠為例，利用淨現值法進行 補水成本分析，分為三個案例：案例一為自來 水購水；案例二為冷卻水塔排放水以 NF+RO 回收至冷卻水塔補水用；案例三為冷卻水塔排 放水以 NF+RO 回收至冷卻水塔補水及純水 系統原水用。並以利率、自來水單價、電費單 價及更新薄膜成本為變動因子進行敏感度分 析。結果案例三是評估後最符合經濟效益之處 理方式。

資料來源：本研究整理



### 三、 研究方法

#### 3.1 個案工廠簡介及水處理系統

##### 3.1.1 個案工廠簡介

個案工廠為位於新竹科學工業園區內，於民國 88 年興建，屬光電及半導體混合的製造工廠，使用水源以自來水及回收水為主。原生產線分為 Fab2 及 Fab3，但因 Fab2 光電製程因產品良率過低，加上工廠營運策略改變等種種因素之考量，自 96 年起，將 Fab2 製程停止生產，原 Fab3 半導體製程隨即進行擴產，其主要產品為：Photo transistor、Silicon MOSFET Chips、Eptaxial 等，屬半導體中段製程，製程流程詳圖 6。

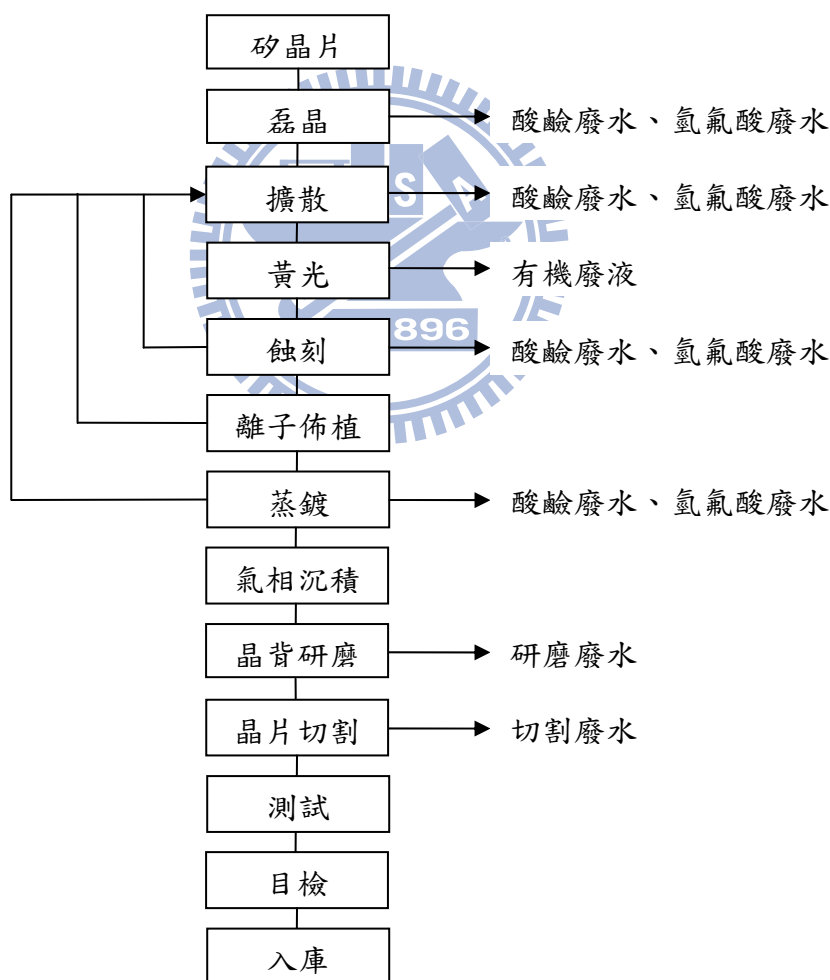


圖 6 個案工廠製程流程  
資料來源：個案工廠

近五年，由於製程的改變，故自來水用量趨勢變化很大，如圖 7 所示。以自來水月用量來看，平均為 36585 m<sup>3</sup>，最高近 50000 m<sup>3</sup>，最低卻只有 20000 m<sup>3</sup>，變化達 2.5 倍。製程用水回收率部分尚未符合「科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點」回收率的相關規定，趨勢看似與自來水用量並無關係，應該只與回收系統處理效率有關，平均為 64.08%。

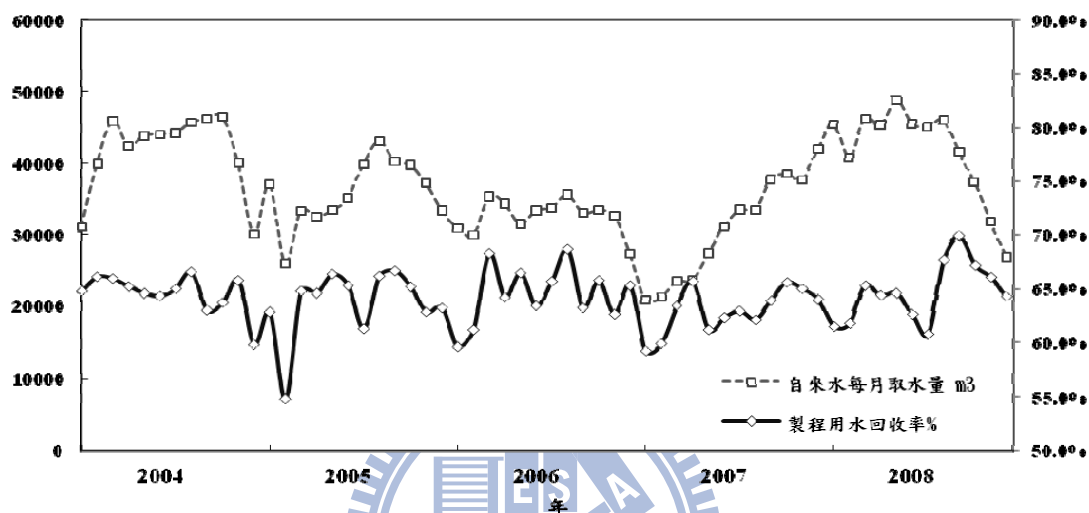


圖 7 個案工廠自來水月用量及製程用水回收率趨勢圖

資料來源：個案工廠 2004~2008 年用水資料

98 年起，由於製程產能漸漸穩定，並在個案工廠正積極投入節約用水及提升製程用水回收率之下，成立了一個製程用水回收率提升專案小組。此專案小組以近五年全廠用水量進行分析，並以用水量平均值、製程水回收率平均值及產能利用率種種考量下，決定以 98 年 8 月用水平衡圖進行推估，詳圖 8 所示，並提出多項提升製程用水回收率之改善方案。方案中含括製程端的生產設備參數調整，設備端的產品用水量設定及廠務端的水回收處理設備增設等〔2〕。其中在「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」這兩個工程，雖然可以大幅提升製程用水回收率，但投資金額相加卻要 1300 萬。這對一個月營業額僅數億的工廠來說，無疑是一種負擔，在法令要求提升用水回收率下，也似乎並不符合水回收的經濟效益。

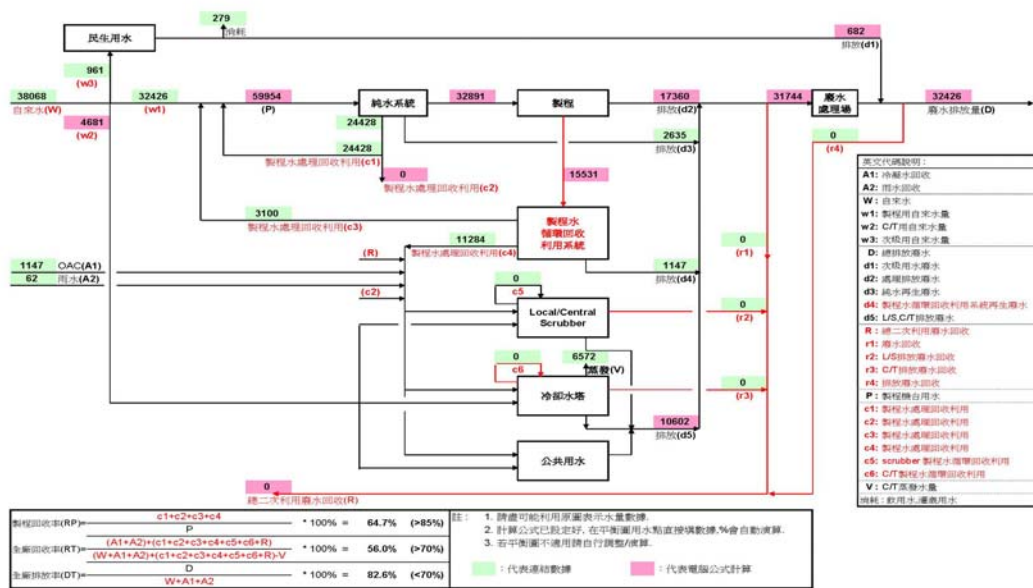


圖 8 個案工廠 98 年 8 月用水平衡圖

資料來源：個案工廠 2009 年 9 月

### 3.1.2 個案工廠純水系統介紹

個案工廠的純水系統設計水量為 90 m<sup>3</sup>/hr，主要分為為三大部分，各大部分則由各具不同處理功能的模組設備所組成。此三大部份依序為前處理系統 (Pretreatment system)、純化系統 (Make-up system) 及精製系統 (Polishing system)，流程如圖 9 所示。在前處理系統及純化系統中主要包含袋濾機、活性碳塔、陰陽離子樹脂塔 (2B3T)、逆滲透膜 (RO) 及混床 (MB)。之後的精緻系統則依廠內製程需求不同而分為兩種不同的等級，以 DI (純水) 及 UPW (超純水) 表示，DI 流程及 UPW 流程同樣包括 TOC-UV (185 nm)、脫氧膜及不需再生的離子交換樹脂 (polisher)，唯一一樣處為進使用點前 DI 採 0.2 μm 及 0.1 μm 的過濾器，UPW 則採 0.2 μm 過濾器加上超過濾系統。同樣的在回水處均裝置 UV (254 nm) 進行殺菌。水質水量規格，詳表 14。

此純水製造系統主要供應水源為自來水及製程回收水，逆滲透膜濃縮水 (ROR) 及超過濾膜濃縮水 (UFR) 則導回到前一級的處理系統回收利用 (Reuse)，採無濃縮水排放之設計。

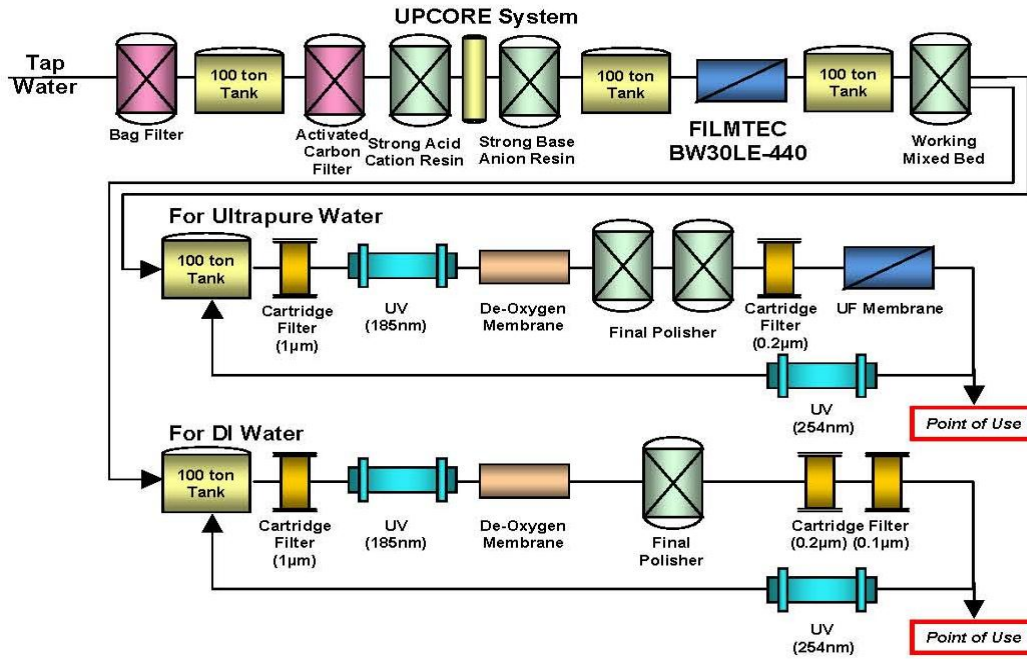


圖 9 個案工廠純水製造單元流程

資料來源：個案工廠（摘自 DOW Chemical Company 技術資料）

表 14 個案工廠 UPW 及 DI 水質水量規格

項目	DI	UPW
電阻值 (25°C)	≥ 15 MΩ-cm	≥ 18 MΩ-cm
微粒子數	0.1 µm ≤ 100 pcs/mL 0.2 µm ≤ 20 pcs/mL	0.1 µm ≤ 10 pcs/mL
細菌數	≤ 1000 cfu/L	≤ 100 cfu/L
總有機碳濃度	≤ 100 ppb	≤ 5 ppb
溶氧值	≤ 50 ppb	≤ 10 ppb
二氧化矽濃度	≤ 10 ppb	≤ 5 ppb
設計水量	30 CMH	60 CMH

資料來源：個案工廠

由於超純水系統最主要的費用支出為耗材的更換，但為了維持超純水供應品質但又需達成個案實廠一直以來推行的 cost down 政策，經實際測試後，故將部分耗材更換時機重新進行評估，詳表 15。陰陽離子交換樹脂，原廠建議每 2 年修正為每 5 年更換一次，但每年須執行添加 10% 及執行委外分析其離子交換能力；RO 膜原廠建議每 2 年修正為每 5 年更換一次，但每 2 年須執行委外藥洗；脫氧膜部

份，經修正後由每 5 年調整為每 10 年更換；UF 膜原廠建議每 2 年修正為每 5 年更換一次。

表 15 個案工廠純水製造系統耗材更換時機變更表

項次	耗材名稱	原廠建議更換時機	評估更換時機	備註欄
1	2B3T 陰陽離子交換樹脂	每 2 年	每 5 年	每年添加 10%；並執行樹脂檢驗分析
2	RO 膜	每 2 年	每 5 年	每 2 年委外藥洗
3	MB 陰陽離子交換樹脂	每 2 年	每 5 年	每年添加 10%；並執行樹脂檢驗分析
4	脫氧膜	每 5 年	每 10 年	
5	UF 膜	每 2 年	每 5 年	

資料來源：個案工廠

### 3.1.3 個案工廠廢水處理及製程回收系統介紹

個案工廠的製程廢排水主要分為四種，分別為酸鹼廢水、低濃度酸洗排水、氫氟酸廢水、晶片切割研磨廢水及有機廢液，說明如下：

#### 1. 酸鹼廢水

酸鹼廢水主要來源為製程所排放之酸鹼廢水、空調冷卻水塔濃縮排放廢水、製程廢氣處理系統廢水、超純水製造再生逆洗廢水及製程回收系統再生逆洗所產生之廢水。酸鹼廢水處理系統採 pH 調整方式處理，系統設計量為 150 CMH。主要運轉費用在於 pH 調整用之  $H_2SO_4$  及 NaOH，尤其以 NaOH 佔大宗。

#### 2. 低濃度酸洗排水

以製程晶片清洗製程 Q.D.R. (Quick Dump Rinse)、O.F. (Over Flow) 及 F.R. (Final Rinse) 排水為主。製程酸洗排水回收系統主要以活性碳進行前處理，以吸附製程低濃度酸洗排水中之有機物及氧化物等；再進入陰離子樹脂塔中將水中陰離子去除，回收後供次級用水使用，系統設計量為 120 CMH。進水水質要求如下：pH 2~6、導電度 (conductivity) 需小於  $500 \mu S/cm$ 、氟離子濃度 ( $F^-$ ) 需小於  $30 mg/L$ 。其運轉費用以耗材更換為大宗，活性碳濾材為每年更換，陰離子樹脂則採每年添加 10% 並進行樹脂交換能力分析，並規劃 5 年全部更換。

### 3. 氫氟酸廢水

個案工廠氫氟酸廢水主要來源為製程中清洗及蝕刻製程，晶片清洗主要清除金屬微粒及氧化層，蝕刻主要去除 SiO<sub>2</sub> 層、氧化膜層及氮化矽層的圖案製作與去除等。製程機台使用的是高濃度氫氟酸或經純水依比例稀釋，故在高濃度槽排放瞬間時的氟離子濃度相當高，pH 非常低；但在 Q.D.R. (Quick Dump Rinse)、O.F. (Over Flow) 及 F.R (Final Rinse) 時，氟離子濃度卻很低，pH 接近中性。廢水氟離子濃度約在 100~800 mg/L，廢水處理方式為鈣鹽添加的混凝沉澱處理法，經兩段反應槽加入 NaOH 及 CaCl<sub>2</sub>，再進行混凝、膠凝及沉澱，上沉液經監測槽後排放，系統設計量為 28 CMH。在操作上為了確保放流水氟離子濃度小於 15 mg/L 之園區納管標準，常常採用過量加藥方式，故以 CaCl<sub>2</sub> 費用最高。

### 4. 切割研磨廢水

個案工廠之晶片切割廢排水與晶背研磨廢水，外表呈現黑褐色，由於不像 CMP 製程需添加研磨液 (slurry) 及其他如氧化劑、分散劑等，故廢水 pH 值接近中性；成分大多為超純水及二氧化矽，所以導電度也不高，約在 10 μS/cm 左右。但與 CMP 廢水一樣，廢水中之顆粒粒徑均為奈米等級，晶片切割廢水粒徑大小約在 100 nm~1000 nm 之間，晶背研磨廢水則在 100 nm~400 nm 之間，詳圖 10, 11。廢水導入緩衝桶中先進入回收系統，其餘及回收系統 UF 濃縮水則再彙入廢水系統處理，廢水處理方式為混凝沉澱處理法，經兩段反應槽加入 NaOH，再進行混凝、膠凝及沉澱，上沉液經監測槽後排放，系統設計量為 30 CMH。

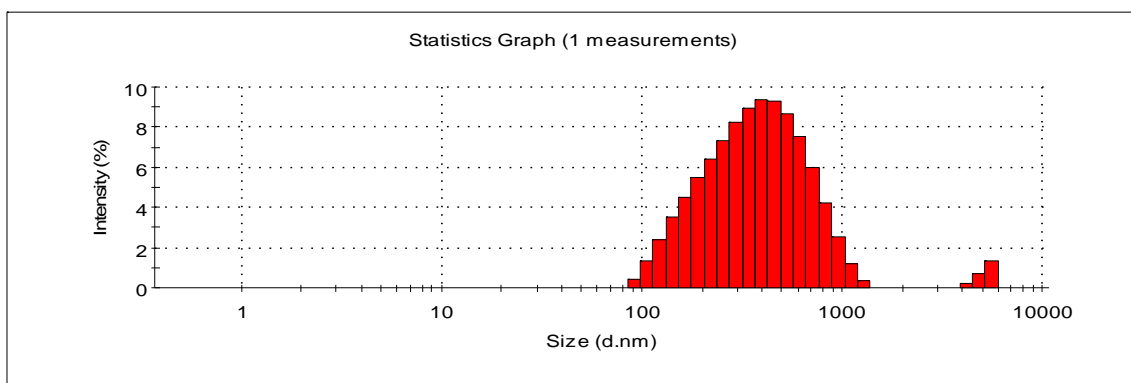


圖 10 個案工廠切割製程廢水粒徑分佈圖

資料來源：個案工廠

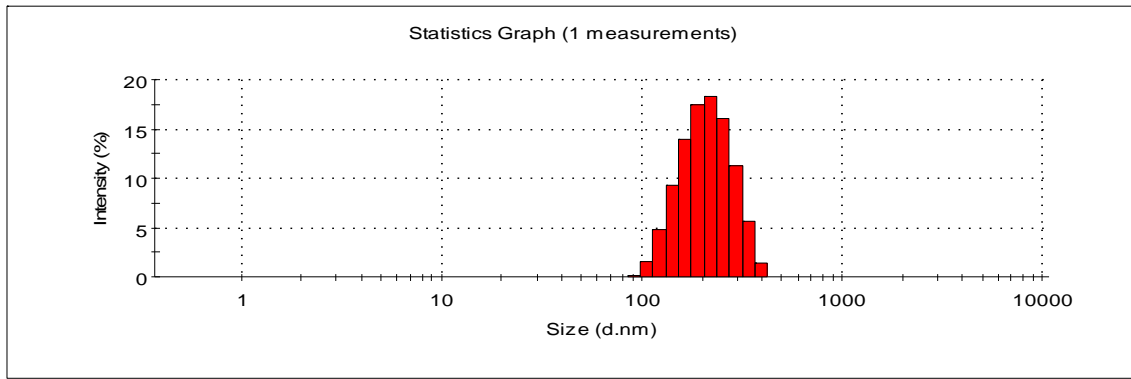


圖 11 個案工廠晶背研磨製程廢水粒徑分佈圖

資料來源：個案工廠

切割研磨廢水回收系統中，廢水先以 50  $\mu\text{m}$  袋濾進行預過濾，再以 UF Crossflow Filtration 方式處理，回收後純水製造系統前處理使用，系統設計量為 5 CMH。UF 膜採 PES(Polyethersulfone) 材質中空纖維膜(hollow fiber membranes)，MWCO (molecular weight cut-off) = 500,000。系統處理能力 80%，產水濁度可達 0.01 NTU 以下之水準。系統固定每週藥洗一次，採用片鹼及 EDTA-4Na 依比例調配，主要在清洗 UF 膜上之矽酸鹽類。UF 膜汰換平均每年約 2 支。

#### 5. 有機廢液

有機廢液來自黃光製程，主要有正負光阻、顯影劑、丙酮、異丙醇等等，經桶槽暫存，委外清理。因對廠內用水情形影響甚少，故本研究不進行討論。

綜合以上，個案工廠廢水處理及回收單元流程詳圖 12 所示。

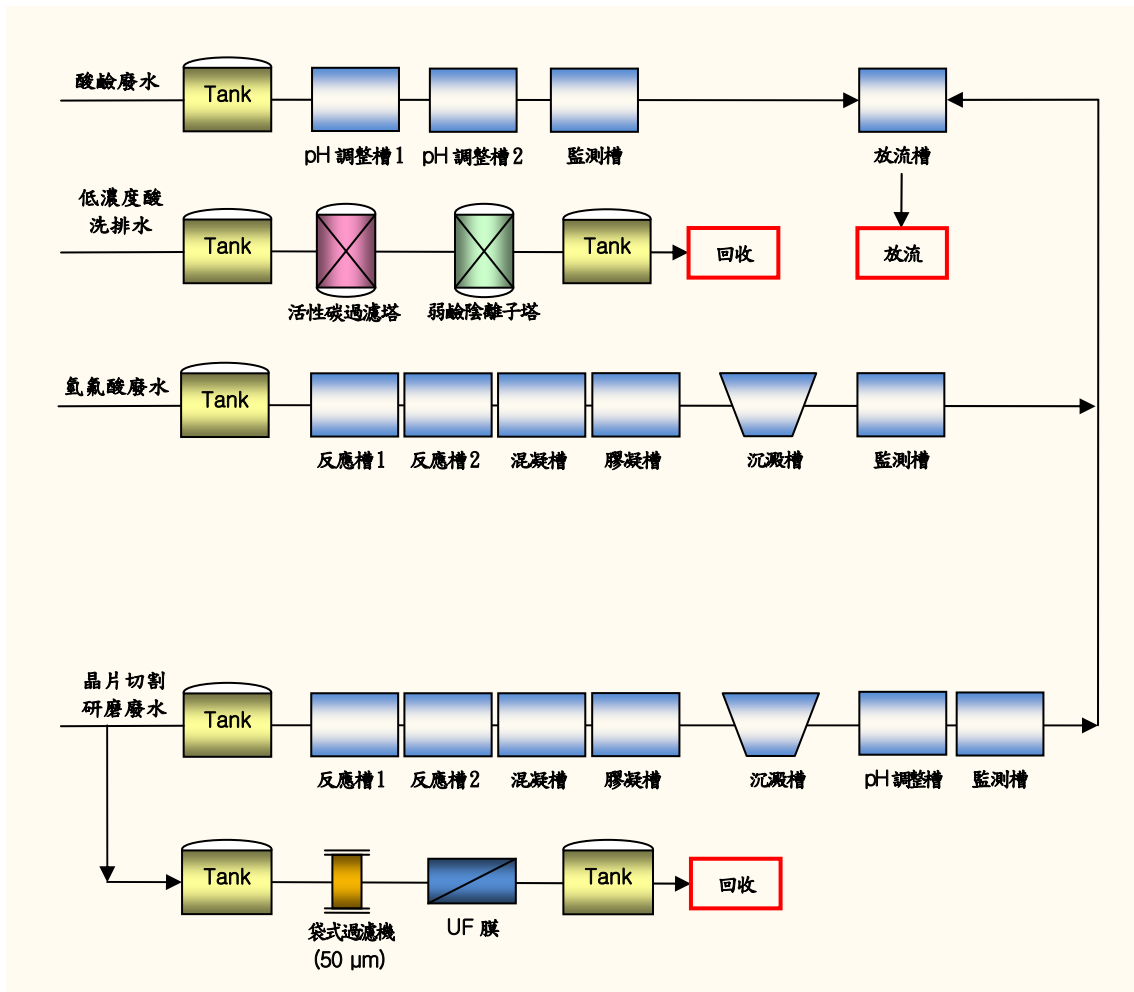


圖 12 個案工廠廢水處理及製程回收單元流程  
資料來源：個案工廠

### 3.1.4 新增製程回收系統介紹

個案工廠提升用水回收率專案小組以製程廢水量進行分析，於切割研磨廢水及氫氟酸廢水中尚有節水之潛力，故成立「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」兩方案。製程切割研磨廢水在既設回收系統運轉穩定度良好的情形下，故預計以相同系統操作處理量及相同的 UF 膜進行系統擴充，系統流程同上 3.1.2 節之切割研磨廢水回收系統。

在氫氟酸廢水中，於建廠時因考量酸鹼廢水系統無法去除氟離子，故將含氟製程中請洗設備機台的 Q.D.R. (Quick Dump Rinse)、O.F. (Over Flow) 及 F.R. (Final Rinse) 槽之廢排水均導入氫氟酸廢水系統中。再依據製程流程及排水量來分析，有大部分的清洗排水氟離子濃度應該都不高，故可針對低濃度氫氟酸廢排水進行



回收，但必須先執行管路分流。低濃度氫氟酸廢排水經取樣進行檢測，水質詳表 16 所示。

表 16 個案工廠低濃度氟酸廢排水水質檢測表

分析項目	水質檢測值	預期目標
pH 值 (at 25°C)	3.2	6.5~8.5
導電度 (μS/cm)	1248	<350
M-鹼度值 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	-	-
總硬度值 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	-	-
氟離子濃度 (mg F <sup>-</sup> /L)	225	<5
矽酸鹽濃度 (mg SiO <sub>2</sub> /L)	59	-

資料來源：個案工廠

經多家水處理專業工程承商依水質進行規劃設計，採用前處理加上 RO 系統處理，系統處理效率 70% 以上。處理流程說明如下：

#### 1. 活性碳過濾塔

前處理設備以高效率多層活性碳過濾，以無煙煤及活性碳去除製程排放之有機物及氧化性物質。保護樹脂避免遭受有機污染及氧化破壞，進而影響陽離子塔產水水質及其再生效率，無煙煤及活性碳更換週期為 1 年。

#### 2. 強酸陽離子塔

陽離子樹脂對於水中硬度離子 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>……等之去除有極大之效益。可防止 RO 膜表面產生 Metal Scale，陽離子樹脂更換週期為 2 年。

#### 3. RO 系統

原水經過陽離子樹脂塔後，將產水之 pH 值調整至 9.5~10.5 間，配合 RO 前置 1 μm 過濾器，將殘留的微粒雜質濾除，提高 RO 膜通量，增加氟離子的去除率，前置 1 μm 過濾器更換週期為每月，RO 膜更換週期為 2 年。

#### 4. 陰離子樹脂塔

陰離子樹脂塔為回收系統處理之末段，經由陰離子去除水中帶負電之離子，將 F<sup>-</sup>濃度降至最低，使處理後的回收水符合預期目標需求。陰離子樹脂更換週期

為 2 年。

預計新增廢水回收系統後，與現況廢水處理系統及回收系統彙整如圖 13 所示：

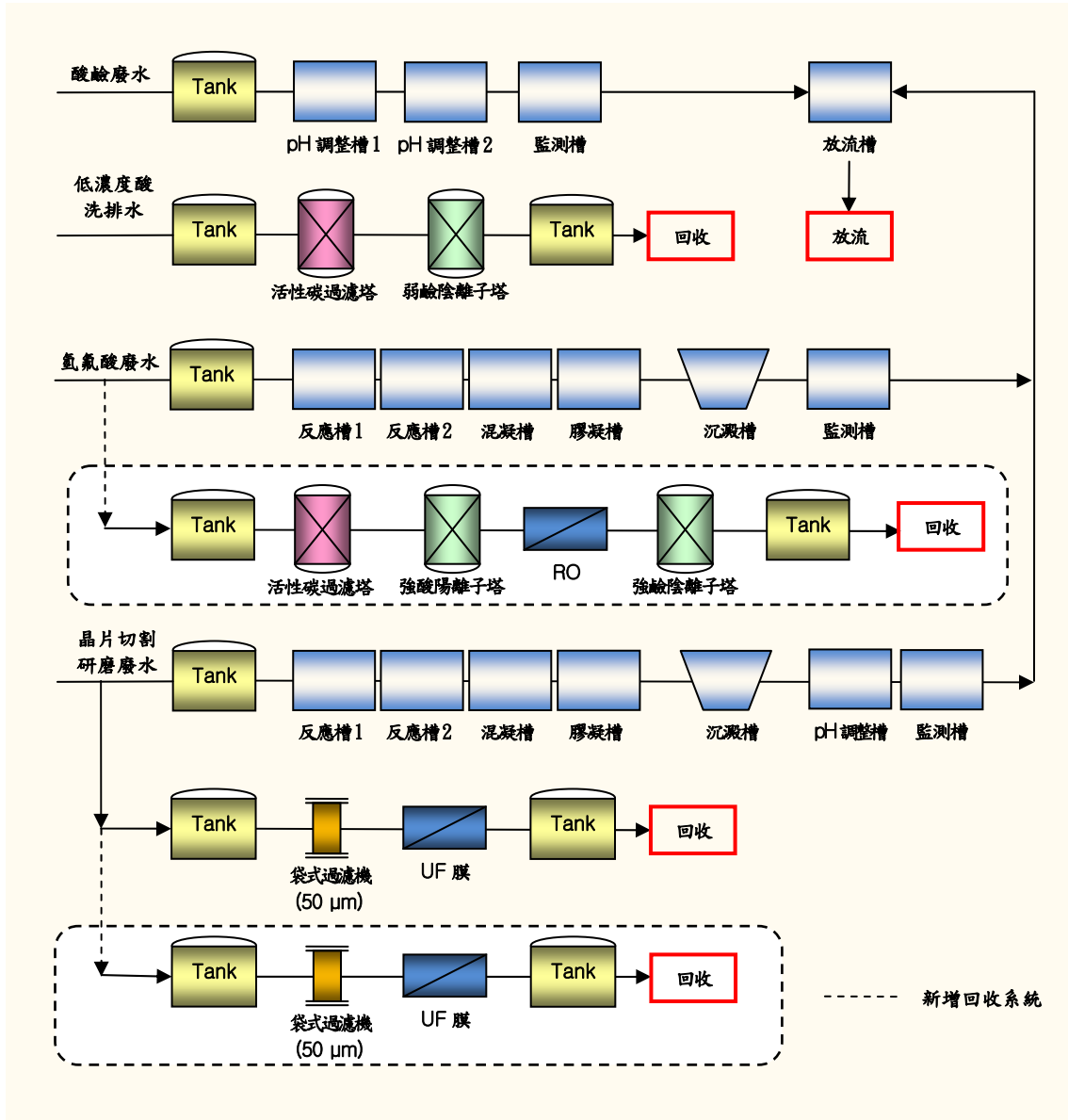


圖 13 個案工廠未來廢水處理及製程回收單元流程

### 3.2 工程規劃方案成本分析方法

本研究主要針對個案工廠現況全廠總用水成本與評估的水回收系統方案(切割研磨廢水回收系統擴充及低濃度氟酸廢水回收工程)經單獨投入運轉後的全廠總用水成本做經濟效益評估。將「個案工廠現況」制訂為方案一；水回收系統方案中，「製程切割研磨廢水回收系統擴充」制訂為方案二；「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」則制訂為方案三。雖然在水回收率相關法規要求壓力之情況下，方案二及方案三必須被進行。但以經濟效益觀點，仍然須進行相關成本分析。故設定方案一、二為互斥方案進行分析，方案一、三也為互斥方案進行分析。基本上，這些方案有不同的期初投資、不同的收入與支出，甚至不同的服務年限，在評估方案時，須以經濟上的結果為考量。

在成本分析前，必須將成本項目訂定出來，為了方便後續現金流量表的建立。本研究乃為個案工廠中整廠的用水成本進行討論，所以成本項目則以全廠總用水成本為主。全廠總用水成本為取水成本、排放水處理成本及回收水處理成本[32-34]。假設全廠總用水成本以公式表示為：

$$Z = T1 + T2 + T3$$

則  $Z$  為全廠總用水成本， $T1$  為取水成本， $T2$  為排放水處理成本， $T3$  為回收水處理成本。其中  $T1$  包含自來水取水費用及超純水製造費用。 $T2$  包括廢水系統處理費用及污水下水道使用費。 $T3$  則為回收水製造費用 [32-34]。

$T1$ 、 $T2$ 、 $T3$  各成本尚分為以下細項：初設成本、操作維護成本、設備折舊費、其他成本。

#### 1. 初設成本

增設一項新的設備時一定會有初設成本，除非今天已有舊有設備可供使用，此項目才可忽略不計，初設成本也就是可折舊的資產，其內容包括建築物、機械、設備、運輸工具。另外其他的附加費用，如運費、場地準備與設置的費用也要包括在內。個案工廠現況的超純水製造系統、廢水系統處理、回收水製造系統均已設置 10 年，故初設成本忽略不計。方案二及方案三，初設成本為方案預算金額，金額依據乃為各案工廠依廠內回收水水質水量，提供多家水處理專業工程承商報價，彙整編列而成。

## 2. 操作維護成本

為了維持設備的正常運轉，就會有操作維護成本，其內容包括設備維修費、電費、藥品費、人事費。費用的估算，總用水成本，方案一以近五年平均值來計算。方案二、三，則以下列的判斷方式取得。

- (1) 設備維修費：每年設備維修費設定為初設成本的 3%。
- (2) 電費：估算新增動力設備的規格大小而得。
- (3) 藥品費：依處理的水質水量來估算。
- (4) 人事費：個案工廠中，水處理系統滿編 3 位系統工程師，分別負責自來水及純水製造系統、廢水系統處理、回收水製造系統。故人事費將平均放入  $T1$ 、 $T2$ 、 $T3$  各成本中。在新增兩套回收系統後，也不會有多餘人事費用產生。

## 3. 設備折舊費

方案一中，現況超純水製造系統、廢水系統處理、回收水製造系統均已設置 10 年，故設備折舊費也忽略不計。方案二、三則依個案工廠公司規定，計算殘值後，並以 10 年進行平均法折舊。

## 4. 其他成本

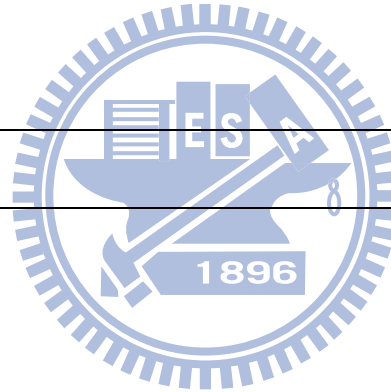
此部份的成本有現金的流入與流出，依規劃的不同而設立不同的名目，其估算方式可由過去的經驗值而得。

因此，方案二的「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及方案三的「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」，主要將製程產生的切割研磨廢水與低濃度氟酸廢排水由現況的廢水處理排放而轉變為回收系統進行回收水的產出，並補充至純水製造系統使用。故評估經投入運轉後， $T1$  取水成本及  $T2$  廢水處理成本將降低， $T3$  回收水處理成本將提高。

方案被研擬出來後，為了分析比較每個互斥方案的經濟效益，必須建立現金流量表。依據上述成本項目內容建立個方案的現金流量表，如表 17 所示。

表 17 研究方案之現金流量表範例

年 期數	2009 0	2010 1	2011 2	2012 3	2013 4	2014 5	2015 6	2016 7	2017 8	2018 9	2019 10
<b>成本計算</b>											
收入											
支出											
折舊											
取水成本( <i>T1</i> )											
排放水處理成本( <i>T2</i> )											
回收水處理成本( <i>T3</i> )											
淨收入											
<b>現金流量表</b>											
營業活動											
淨收入											
折舊											
投資活動											
新設備投資											
殘值											
淨現金流量											
淨現值											
累積淨現值											



### 3.3 工程規劃方案可行性分析方法

在工程經濟方案的分析方法中，因現值分析與年等值分析都是分析淨現值的變化，所以判定出來的結果會是一樣。因此在方案決策的準則上，本研究則以淨現值法（Net Present Worth, NPW）為判定的方式，其判定的程序如下〔45〕：

1. 決定最低接受報酬率（minimum attractive rate of return, MARR）。對企業而言，設定的 MARR 必須高於資金成本標準，不可低於該企業投資專案時所產生的利率支出。個案工廠之貸款銀行 98 年平均放款利率約 3.43%，為方便後續計算，故三個方案的 MARR 以保守 4.0% 為基準。
2. 估計方案的服務年限。以個案工廠而言，方案服務年限為 10 年。每年運轉天數為 360 天。
3. 估計方案的各項成本計算。本研究乃為個案工廠中整廠的用水成本進行討論，所以成本項目則以全廠總用水成本為主。
4. 估計服務年限內每個時期的淨現金流量。淨現金流量 = 現金流入 - 現金流出，若現金流為負值，在現金流量表中記錄則以括號表示。
5. 計算方案 NPW。依據方案的淨現金流量的現值，將這些現值加總，總和得到方案的 NPW。
6. 敏感度分析方案。主要分析方案之間假設設定的變化差異。本研究中，方案二及方案三投資金額乃為預算金額，與實際工程發包金額恐有出入，依據個案工廠管理規章規定，投資金額使用額度不得大於預算金額之 20%，故分別以 -20%、-10%、10%、20% 進行敏感度分析。另外，水回收系統成敗關鍵，在於系統之處理效率，在方案二及分案三中，以規劃之處理效率的 -10%、-20%、-30%、-40%、-50% 分別進行敏感度分析。
7. 選出最佳方案。本研究中所有處理方案皆是屬於法規面上必須被設置，並不能以可得到多大的利潤來衡量要不要設置。所以方案評估的比較方式是以最小成本的支出來判斷，選擇出一個負最少的 NPW。

## 四、 結果與討論

### 4.1 個案工廠總用水成本分析

#### 4.1.1 全廠總用水量清查

本研究乃以個案工廠 2009 年 8 月整廠的用水成本進行討論，所以成本項目則以全廠總用水成本為主。全廠總用水量分佈情形如表 18 所示。

表 18 中，符號  $W$  為全廠自來水總進水量，主要分配以超純水製造 85.2% ( $w1$ ) 最多，其次為次級用水補充 12.3% ( $w2$ ) 及民生用水使用 2.5% ( $w3$ )，次級用水主要供應空調冷卻水塔、製程廢氣處理系統 (Scrubber)、沖廁及其他等非接觸性之公共用水，民生用水則供應一般接觸性用水，如：洗手、飲用水製造及廠區內澆灌用水。

符號  $D$  表示全廠排放至園區下水道之總廢水量，分為需經廠內廢水處理系統後排放廢水量及直接排放廢水 2.1% ( $d1$ )，其中需經廠內廢水處理系統之廢水包括：最大量的製程排放廢水 53.5% ( $d2$ )，其次為空調冷卻水塔濃縮排放廢水及製程廢氣處理系統 (Scrubber) 廢水等共 32.7% ( $d5$ )，超純水製造再生逆洗廢水 8.1% ( $d3$ )，製程回收系統再生逆洗及薄膜處理濃縮廢水 3.5% ( $d4$ )。

符號  $C$  為製程回收水總量，包含超純水製造系統逆滲透膜濃縮水 (ROR)、清洗水及超過濾膜濃縮水 (UFR) 回收再利用 62.9% ( $c1$ )，製程切割研磨廢水回收再利用 8% ( $c3$ )，製程酸洗廢水回收再利用 29.1% ( $c4$ )。

另外，符號  $A$  則為空調冷凝水回收及雨水回收， $P1$  為製程用水總量， $P2$  為純水總產水量， $Pc$  為製程回收系統進水總量，至於  $V$  則表示為空調冷卻水塔蒸發飛濺水量。關於合併計算之製程排放廢水  $d2$ 、製程回收系統再生逆洗及薄膜處理濃縮廢水  $d4$  及製程回收系統進水總量  $Pc$ ，經統計紀錄，整理如表 19 所示。

表 19 中，個案工廠製程排放酸鹼廢水月產 14601  $m^3$ ，其中有 11656  $m^3$  屬於低濃度酸洗排水，經分流導入製程廢水回收系統中，經處理共產出 11284  $m^3$  供次級用水使用，故製程酸鹼廢水回收率達 77.3%。製程切割研磨廢水共 7750  $m^3$ ，3875  $m^3$  經製程廢水回收系統共產出 3100  $m^3$ ，進入超純水製造系統再利用，回收率僅 40%。製程氫氟酸廢水共 10540  $m^3$ ，皆排入廢水系統中，回收率 0%。

綜合以上數據，個案工廠在積極提升用水回收率情況下，投資「製程切割研磨廢水回收系統擴充」及「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」的方向是正確的，不僅可以減少全廠自來水總進水量，降低全廠廢水量，對製程回收率的提升也是有幫助的。

表 18 個案工廠全廠總用水量分佈表

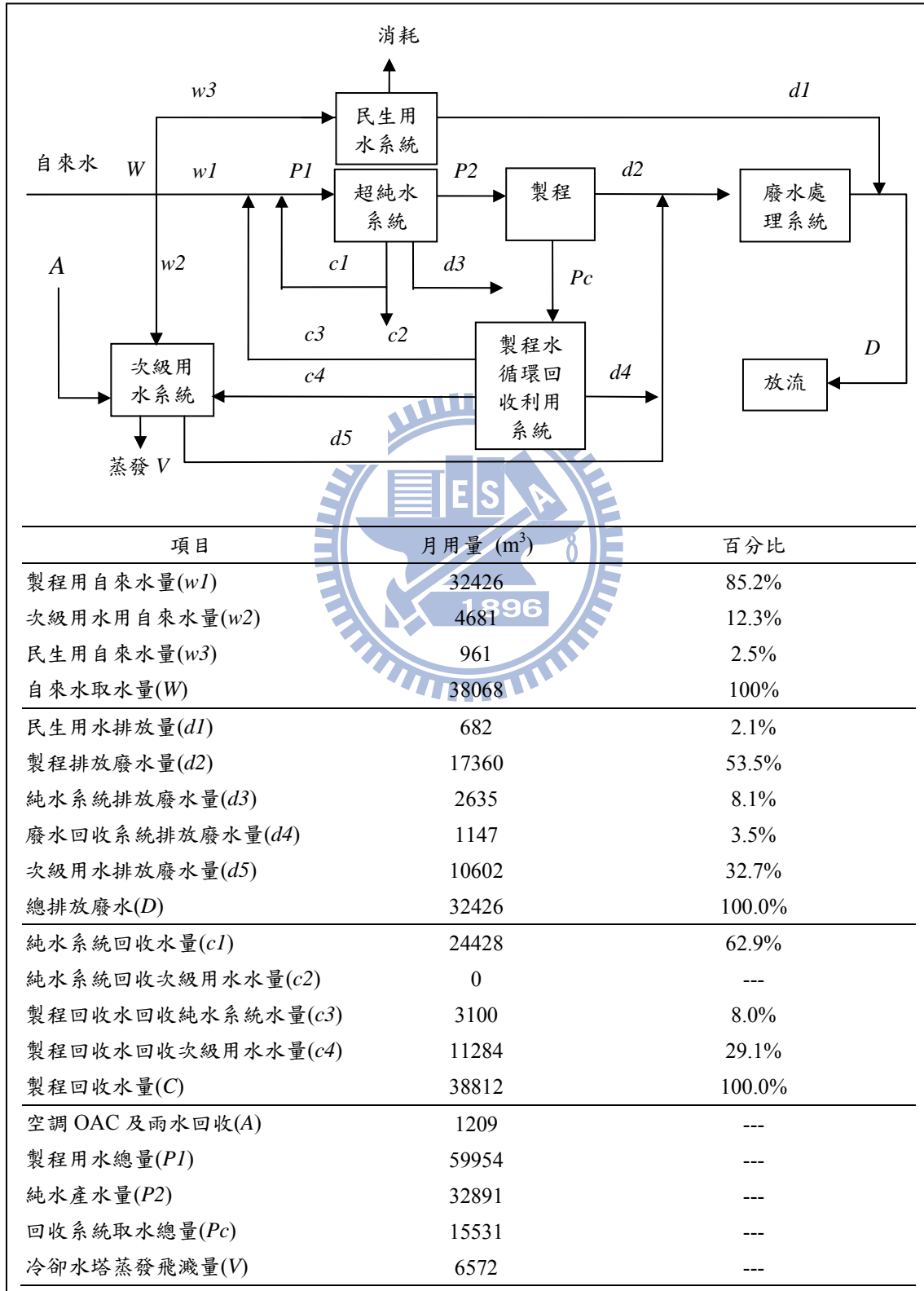




表 19 個案工廠製程廢水月回收、排放水量表

項目	製程回收系統進水總量 $P_c$			製程排放廢水 $d_2$ (m <sup>3</sup> )	合計 (m <sup>3</sup> )
	製程回收水回 收純水系統水 量 $c_3$ (m <sup>3</sup> )	製程回收水回 收次級用水水 量 $c_4$ (m <sup>3</sup> )	廢水回收系統 排放廢水量 $d_4$ (m <sup>3</sup> )		
酸鹼廢水	0			2945	2945
低濃度酸洗排水		11284	372		11656
晶片切割研磨廢水	3100	0	775	3875	7750
氫氟酸廢水	0	0	0	10540	10540
合計	3100	11284	1147	17360	32891

#### 4.1.2 取水成本分析

取水成本  $T_I$  包含自來水取水費用及超純水製造費用。說明如下：

##### 1. 自來水取水費用

個案工廠於新建廠時，依水利署頒佈之「用水計畫書作業審查要點」綱要撰寫用水計畫書，向園區管理局申請最大用水量為 2600 CMD，核定後送交自來水公司核配水表口徑為 6 吋（150 A）。個案工廠每月取水 38068 m<sup>3</sup>，以台灣自來水收費標準來看，自來水取水費用計算，詳表 20 所示。自來水年取水費用為 5,575,320 元，單位成本為 12.2 元/m<sup>3</sup>。

表 20 個案工廠自來水取水成本分析表

項次	說明	費用	備註
1	基本費	5,049 元	每月抄表/口徑 150 A
2	用水費	437,677 元	每月抄表/第四段別
3	清除處理費	0 元	
4	水源保育與回饋費(代徵)	21,884 元	用水費(未含稅)×5%
5	自來水費	464,610 元	單位成本為 12.2 元/m <sup>3</sup>

##### 2. 超純水製造費用

個案工廠純水製造系統主要供應水源為自來水及製程回收水，製程用水總量 ( $P_1$ ) 每月約 59954 m<sup>3</sup>，約可製造出超純水 ( $P_2$ ) 32891 m<sup>3</sup>/月，再生逆洗廢水排

放 (d3) 約 2635 m<sup>3</sup>/月，此產水量只佔系統設計水量不到 6 成，由於系統產水量偏低，而導致製程迴流量增加，進而影響超純水製造系統造水率降低，易造成純水系統之耗能 [54]。其成本分析如表 21 所示。

表 21 超純水製造系統成本分析表

項 目	費 用 (元/年)	成 本 (元/m <sup>3</sup> )	說 明
1. 設置成本			
超純水製造系統	0	0	此系統已設置 10 年，初設成本忽略。
2. 運轉成本			
設備維護費	400,000	1.0	工廠近五年運轉平均值。
耗材費用	5,200,000	13.2	工廠近五年運轉平均值。
電費	2,132,800	5.4	平均每年用電為 992 MWH(每度電 2.15 元)。
藥品費	1,870,000	4.7	離子交換樹脂再生 NaOH, HCl
人事費	560,000	1.4	水處理系統工程師 1 位。
3. 設備折舊費			
超純水製造系統	0	0	折舊攤提結束，忽略不計
合計	10,162,800	25.7	

\*超純水製造量：394692 m<sup>3</sup>/年

表 21 中，設置成本因系統已設置 10 年，故忽略。運轉成本分為設備維護費、耗材費用、電費、藥品費及人事費。在設備維護費部分，則包括泵浦維修保養費用、偵測電極更換及相關檢測、儀表校正費用等，平均每年約 40 萬元。耗材費用部分，為了維持超純水供應品質但又需達成個案實廠一直以來推行的 cost down 政策，經實際測試後，故將耗材更換時機重新進行評估，因每年更換金額不一樣，故以年平均價值進行計算，平均每年耗材費用為 520 萬元。電費部分，平均每年用電為 992 MWH，每度電以 2.15 元計算，共約 213 萬元。藥品費部分，主要為陰陽離子樹脂再生所耗費的 HCl 及 NaOH，每年平均耗費 187 萬元。人事則編制一位水處理系統工程師，年薪約 56 萬元。設備折舊部分以直線法折舊，分十年攤提完成殘值為 0，因為此系統已設置十年，故折舊每年已不進行攤提。以整體成本結構來看每年耗材費用佔 51% 最多，其次電費 21%，藥品費 18%，人事費及設備維護費分別為 6% 及 4%，如圖 14。故每年純水製造系統平均耗費 10,162,800 元，超純水單位產水成本為 25.7 元/m<sup>3</sup> (不包含取水費用)。至於系統原水供應的自來

水及回收水，則分別放入自來水取水費用及回收水製造費用中。

依文獻記載，半導體業超純水製造每噸水量之操作成本（含純水製造系統取水費）約在 30~50 元/m<sup>3</sup> 之間 [39]；運轉成本結構中，若不計算自來水費時，以耗材更換成本為大宗 [19]。故個案工廠純水製造系統成本結構及單位成本應屬合理。

綜合上述，可知個案工廠取水成本 *TI* 每年需花費 15,738,120 元，自來水取水成本佔 35.4%，超純水製造成本 64.6%，取水成本結構如圖 15。

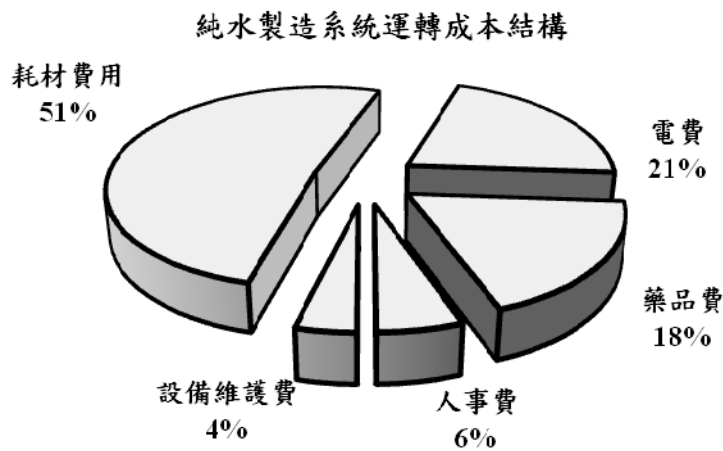


圖 14 超純水製造系統運轉成本百分比

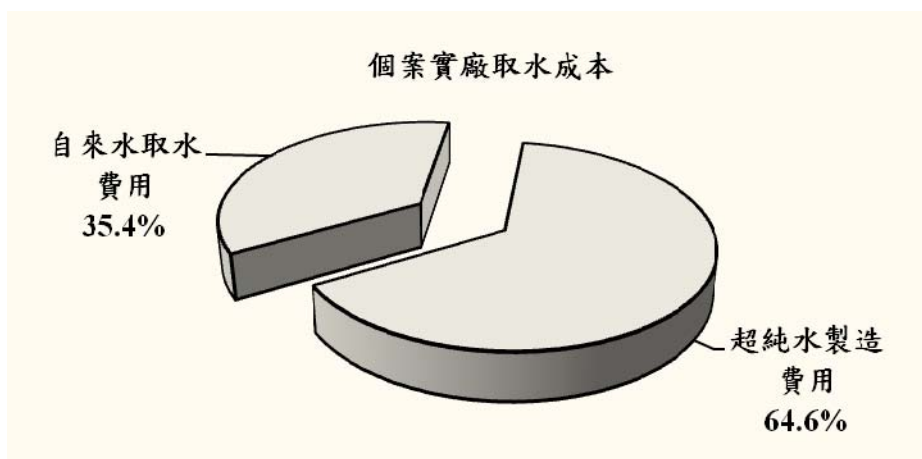


圖 15 個案工廠取水成本百分比

#### 4.1.3 排放水處理成本分析

排放水處理成本 T2 包括廢水系統處理費用及污水下水道使用費。個案工廠廢水處理系統分為酸鹼廢水處理系統、氫氟酸廢水處理系統及切割研磨廢水處理系統 3 大系統。

酸鹼廢水處理系統主要為處理製程所排放之酸鹼廢水、空調冷卻水塔濃縮排放廢水、製程廢氣處理系統廢水、超純水製造再生逆洗廢水及製程回收系統再生逆洗所產生之廢水，總水量約 16554 m<sup>3</sup>/月；氫氟酸廢水處理系統則為處理製程所排放之氫氟酸廢水，總水量約 10540 m<sup>3</sup>/月；切割研磨廢水處理系統則為處理製程排放之切割研磨廢水及切割研磨廢水回收所產生的濃縮廢液，總水量約 4650 m<sup>3</sup>/月，處理量分別佔原設計量的 14.8%、50.6%及 20.8%。

因處理水量遠低於設計水量，廢水原水於調勻池的停留時間較長，混合濃度也較為均勻，故廢水處理的運轉狀況較佳，往年並沒有因違規被罰款的情形發生，所以罰單的成本考量忽略。但是，由於系統處於待機的時間過長，易造成單位水量的處理成本過高。故為了落實 cost down 政策，系統工程師則自行修改 PLC 程式，將各反應池攪拌機設定為待機模式，由廢水輸送泵浦動作啟動反應池攪拌機運轉，電費節省由原本單位廢水用電量 1.1 度/m<sup>3</sup>降為 0.8 度/m<sup>3</sup>，每年節省近 25 萬元。其他的成本分析，詳表 22 所示。

表 22 中，設置成本同樣已設置 10 年，故忽略。運轉成本分為電費、人事費、設備維護費、藥品費及污泥清除處理費。在電費部分，為泵浦、反應槽攪拌機、沉澱池刮泥機及污泥脫水機運轉之費用，以 cost down 後成果，每年約需 65 萬元。人事則編制一位水處理系統工程師，年薪約 54 萬元；設備維護費包含泵浦維修保養費用、偵測電極更換費用及相關檢測、儀表校正費用等，酸鹼廢水系統每年約 9 萬元，氫氟酸廢水系統因氟離子偵測電極費用較高，故每年約 31 萬元，切割研磨廢水處理系統，每年費用約 11 萬元；藥品費主要為廢水處理所添加的 NaOH、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、CaCl<sub>2</sub>、PAC 及 polymer 之費用，酸鹼廢水系統以單純酸鹼中和方式處理，每年約 40 萬元；氫氟酸廢水系統處理方法為鈣鹽添加的混凝沉澱處理法，為了確保放流水氟離子濃度小於 15 mg/L 之園區納管標準，操作上常常採用過量加藥方式，故每年費用達 250 萬元，以 CaCl<sub>2</sub> 費用最高；切割研磨廢水處理系統則為傳統的混凝沉澱處理法，每年約 8 萬元；污泥清除處理費為混凝沉澱處理後所產生

的  $\text{CaF}_2$  污泥及切割研磨污泥所清除處理所產生的費用，氫氟酸廢水系統每年約花費近 40 萬元，切割研磨廢水處理系統每年則約 8 萬元；設備折舊部分以直線法折舊，分十年攤提完成殘值為 0，因為此系統已設置十年，故折舊每年已不進行攤提。將三股廢水合併計算，廢水處理成本為 13.4 元/ $\text{m}^3$ 。以整體成本結構來看每年藥品費用佔 58% 最多，其次電費 13%，人事費及設備維護費均為 10%，污泥清除處理費 9%，如圖 16。經整理並將人事費平均分攤，得知每年酸鹼廢水處理系統平均耗費 1,008,971 元，氫氟酸廢水系統每年約花費約 3,551,906 元，切割研磨廢水處理系統每年則約 543,656 元。故酸鹼廢水單位處理成本為 5.1 元/ $\text{m}^3$ ，氫氟酸廢水單位處理成本為 28.1 元/ $\text{m}^3$ ，切割研磨廢水單位處理成本為 9.7 元/ $\text{m}^3$ 。

表 22 廢水處理系統成本分析表

項 目	費用 (元/年)	成本 (元/ $\text{m}^3$ )	說 明
1. 設置成本			
廢水處理系統	0	0	此系統已設置 10 年，初設成本忽略
2. 運轉成本			
電費	655,196	1.7	每 $\text{m}^3$ 廢水需 0.8 度，每度電以 2.15 元計算
人事費	540,000	1.4	水處理系統工程師 1 位
設備維護費		1.3	
酸鹼廢水處理系統	90,000		實廠運轉近五年平均值
氫氟酸廢水處理系統	310,000		實廠運轉近五年平均值
切割研磨廢水處理系統	110,000		實廠運轉近五年平均值
藥品費		7.7	
酸鹼廢水處理系統	397,296		每 $\text{m}^3$ 酸鹼廢水需 2.0 元
氫氟酸廢水處理系統	2,466,360		每 $\text{m}^3$ 氫氟酸廢水需 17.2 元
切割研磨廢水處理系統	82,080		每 $\text{m}^3$ 切割研磨廢水需 1.5 元
污泥清除處理費		1.2	
酸鹼廢水處理系統	0		無污泥
氫氟酸廢水處理系統	378,000		每 kg 氟化鈣污泥需 3.5 元，每天產生 0.3 $\text{m}^3$
切割研磨廢水處理系統	75,600		每 kg 污泥需 3.5 元，每天產生 0.06 $\text{m}^3$
3. 設備折舊費			
廢水處理系統	0	0	折舊攤提結束，忽略不計
合計	5,104,933	13.4	

\* 酸鹼廢水量：198648  $\text{m}^3$ /年  
 \* 氫氟酸廢水量：126480  $\text{m}^3$ /年  
 \* 切割研磨廢水量：55800  $\text{m}^3$ /年

綜合相關文獻 [14, 42, 43]，個案工廠之酸鹼廢水單位處理成本偏低，應該是酸鹼廢水於調勻池的停留時間較長，故混合濃度也較為均勻，酸鹼加藥量相對較少。至於氫氟酸廢水處理成本，與環保署 [14] 調查結果來說是偏低，但與洪氏 [42] 研究結果相近。其中佔較多的  $\text{CaCl}_2$  費用部分，以此股廢水量來說，應該含有大量的超純水，氟離子濃度應不高，故可以嘗試進行降低  $\text{CaCl}_2$  加藥量；或可以針對廢水進行檢測，判斷是否有磷酸根或硫酸根與氟離子同時競爭鈣鹽，以進行各反應槽 pH 及鈣氟比之操作最佳化 [55]，鈣鹽被磷酸根所消耗，過量的鈣鹽又與硫酸根形成硫酸鈣，不僅會嚴重影響氟離子的去除率，也會使污泥脫水性不佳 [5]。

切割研磨廢水部分，由於個案工廠切割研磨廢水屬於晶片切割及晶背研磨製程，含有大量之奈米級微粒，具有不易沉降及穩定性高之特性，但並不像 CMP 廢水中含有氧化劑、分散劑等化學藥劑，故相對比較容易處理。再依據成本結構中得知，污泥費用偏低，可知個案工廠之切割研磨廢水應有混凝沉澱不佳之狀況，若直接排放，以目前行政院環境保護署公告之 SS 濃度檢測方法 (W210.57A) [56]，在廢水排放口檢測的 SS 值仍可符合園區污水下水道納管標準，且由於懸浮顆粒極小且穩定度高，能幾乎永久地懸浮在水體中，放流後順著水流之傳播，其影響範圍將難以估計。所以個案工廠預估執行製程切割研磨廢水回收系統擴充之投資，不僅對提升製程回收率有幫助，同時也減少對環境的衝擊。

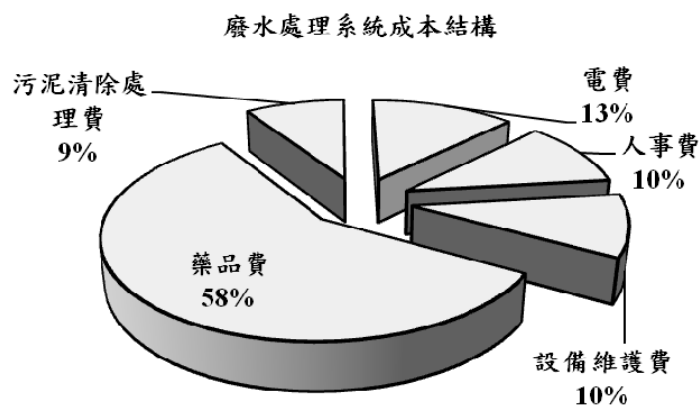


圖 16 廢水處理系統運轉成本百分比

個案工廠總排放量為廢水系統處理排放量與民生用水排放量相加，排放至園區下水道之總廢水量每季為 97278 m<sup>3</sup>，排放水質以五年統計紀錄之 COD 平均為 42.2 mg/L，SS 平均為 26.8 mg/L，依「新竹科學園區污水處理及污水下水道使用辦法」第十四條規定之「新竹科學園區污水下水道使用費計價基準表」來看，污水下水道使用費用計算，詳表 23 所示。自來水季取水量為 114204 m<sup>3</sup>，每年繳交污水下水道使用費為 3,022,180 元，單位廢水之污水下水道使用費成本為 7.8 元/m<sup>3</sup>。

表 23 個案工廠污水下水道使用費用成本分析表

項次	說明	單價	分級費率	成本	備註
1	Q=91363.2 m <sup>3</sup>	6.8 元/m <sup>3</sup>		621,270 元	自來水取水量×0.8
2	COD=42.2 mg/L	24.9 元/公斤	0.86	82,562 元	C <sub>C</sub> =單價×COD/1000×0.86
3	SS=26.8 mg/L	26.4 元/公斤	0.8	51,713 元	C <sub>S</sub> =單價×SS/1000×0.80
4	下水道使用費			755,545 元	每季繳交費用
	單位成本			7.8 元/m <sup>3</sup>	廢水量 97278 m <sup>3</sup>

綜合上述，可知個案工廠之排放水處理成本 T2 每年需花費 8,126,712 元，廢水系統處理成本佔 62.8%，污水下水道使用費成本 37.2%，排放水處理成本結構如圖 17。

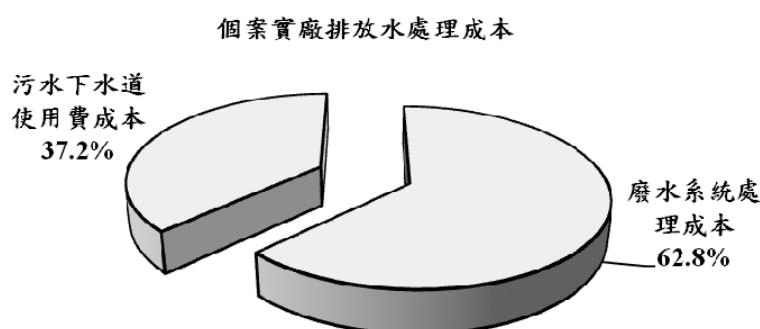


圖 17 個案工廠排放水成本百分比

#### 4.1.4 回收水處理成本分析

個案工廠內回收水主要為超純水製造排放水回收再利用及製程切割研磨廢水

回收系統及製程酸洗廢水回收系統。超純水製造系統於前處理系統 (Pretreatment system) 及純化系統 (Make-up system) 採用 IX+RO 型式，也就是逆滲透單元至於離子交換單元的下游；依個案工廠內運轉狀況得知，純水在製造過程中，原水經活性碳塔後進入陰陽離子樹脂塔 (2B3T)，出水水質可達到  $8 \text{ M}\Omega\text{-cm}$  以上， $\text{SiO}_2$  濃度小於  $0.01 \text{ mg/L}$ ，TOC 值小於  $0.1 \text{ mg/L}$ ，等同於一般文獻中典型的 2B3T+RO 系統出水水質 [19]，再經逆滲透系統 (RO) 10 倍濃縮所產出的廢液，其水質仍能符合原水進水水質要求，故將此逆滲透濃縮水 (ROR) 回收於純水原水桶再利用；另外，在後段精製系統 (polishing system) 中，為維持超純水微粒子 (particle) 等級達  $0.1 \mu\text{m} \leq 10 \text{ pcs/mL}$  要求，則採用超過濾系統 (UF) 進行過濾，通常超過濾膜濃縮水 (UFR) 水質仍相當好，故將其回收於純水製造之純化系統 (Make-up system) 再利用。超純水製造排放水回收再利用水每月約  $24428 \text{ m}^3$ ，由於是屬於未經處理再利用 [18]，故並無回收水處理成本。

在製程切割研磨廢水回收部分，個案工廠的晶片切割製程廢水及晶背研磨製程廢水每月合計排放  $7750 \text{ m}^3$ ，因目前設置的製程切割研磨廢水回收系統處理量已滿載，故仍有 5 成並未回收。製程切割研磨廢水回收系統採掃流式 (Crossflow Filtration) 超過濾膜處理設計，每月約回收  $3100 \text{ m}^3$ ，UFR 每月則有  $775 \text{ m}^3$  排入切割研磨廢水系統處理，系統處理效率為 80%。

製程酸洗排水回收系統，主要將蝕刻製程及清洗製程中未含氟離子的機台 Q.D.R. (Quick Dump Rinse)、O.F. (Over Flow) 及 F.R (Final Rinse) 所產生的酸性清洗水進行回收，經活性碳塔吸附氧化物及有機物質，再進入陰離子塔進行離子交換。每月約回收  $11284 \text{ m}^3$ ，再生逆洗廢液  $372 \text{ m}^3$  則排入酸鹼廢水系統處理。因水質 TOC 值掌控不易，故回收至次級用水系統供應空調冷卻水塔及製程廢氣處理系統 (Scrubber) 使用。製程切割研磨廢水回收系統及製程酸洗排水回收系統成本分析詳表 24，25 所示。

表 24，25 中，同樣的設置成本忽略不計。運轉成本分為設備維護費、耗材費用、電費、藥品費及人事費。設備維護費部分，包括泵浦維修保養費用、偵測電極更換及儀表校正費用等，製程切割研磨廢水回收系統平均每年約 4.1 萬元；製程酸洗排水回收系統平均每年約 24 萬元。耗材費用部分，製程切割研磨廢水回收系統主要以前置  $50 \mu\text{m}$  濾袋每週更換及 UF 膜管重置，平均每年耗材費用為 17.5



萬元；製程酸洗排水回收系統因每年耗材更換金額不一樣，故以年平均值進行計算，平均每年耗材費用為 102 萬元。電費部分，因製程切割研磨廢水回收系統採用採掃流式（Crossflow Filtration）超過濾膜設計，用電量消耗較大，平均每年用電為 58.5 MWH，每度電以 2.15 元計算，共約 12.5 萬元；製程酸洗排水回收系統，平均每年用電為 24.7 MWH，每度電以 2.15 元計算，共約 5.3 萬元。藥品費部分，製程切割研磨廢水回收系統主要為 UF 膜每週進行的藥洗所使用的藥品，每年平均耗費 3.5 萬元，製程酸洗排水回收系統則是弱陰離子樹脂再生所耗費的 NaOH，每年平均耗費近 40 萬元。回收系統人事編制一位水處理系統工程師，年薪約 56 萬元。設備折舊每年也不進行攤提。廢排水回收系統整體成本結構來看，每年耗材費用佔 45% 最多，其次人事費 21%，藥品費及設備維護費各為 16% 及 11%，電費佔 7%，如圖 18。經整理並將人事費平均分攤，得知每年製程切割研磨廢水回收系統平均耗費 656,775 元，製程酸洗廢水回收系統每年約花費約 1,989,105 元。故製程切割研磨廢水單位回收成本為 17.7 元/m<sup>3</sup>；製程酸洗廢水單位回收處理成本為 14.7 元/m<sup>3</sup>。此廢排水回收成本雖然比廢水處理成本高，但與相關文獻〔14，26，29，39，41-43〕比較起來，屬於低成本的廢排水回收系統。

表 24 製程切割研磨廢水回收系統成本分析表

項 目	費用 (元/年)	成 本 (元/m <sup>3</sup> )	說 明
1. 設置成本			
廢水回收系統	0	0	此系統已設置 10 年，初設成本忽略
2. 運轉成本			
設備維護費	41,000	1.1	實廠運轉近五年平均值
耗材費用	175,000	4.7	實廠運轉近五年平均值
電費	125,775	3.4	每年用電 58.5 MWH，每度電 2.15 元
藥品費	35,000	0.9	UF 膜每週藥洗 1 次
人事費	280,000	7.5	編制工程師 1 位人事費平均分攤
3. 設備折舊費			
廢水回收系統	0	0	折舊攤提結束，忽略不計
合計	656,775	17.7	

\*切割研磨廢水回收量：37200 m<sup>3</sup>/年

表 25 製程酸洗排水回收系統成本分析表

項 目	費用 (元/年)	成 本 (元/m <sup>3</sup> )	說 明
1. 設置成本			
廢水回收系統	0		此系統已設置 10 年，初設成本忽略
2. 運轉成本			
設備維護費	240,000	1.8	實廠運轉近五年平均值
耗材費用	1,020,000	7.5	實廠運轉近五年平均值
電費	53,105	0.4	每年用電為 24.7 MWH，每度電 2.15 元
藥品費	396,000	2.9	離子交換樹脂再生 NaOH
人事費	280,000	2.1	編制工程師 1 位人事費平均分攤
3. 設備折舊費			
酸洗排水回收系統	0	0.0	折舊攤提結束，忽略不計
合計	1,989,105	14.7	

\*酸洗廢水回收量：135408 m<sup>3</sup>/年

綜合上述，可知個案工廠之回收水處理成本 T3 每年需花費 2,645,880 元，製程切割研磨廢水回收成本佔 24.8%，製程酸洗排水回收成本 75.2%，超純水製造排放水回收成本 0%，回收水成本結構如圖 19。

製程廢水回收系統成本結構

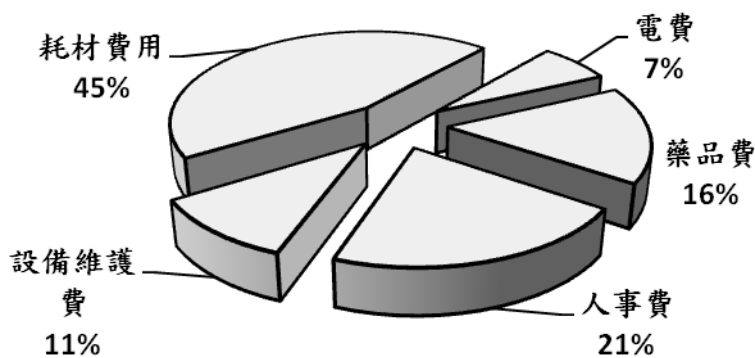


圖 18 製程廢水回收系統運轉成本百分比

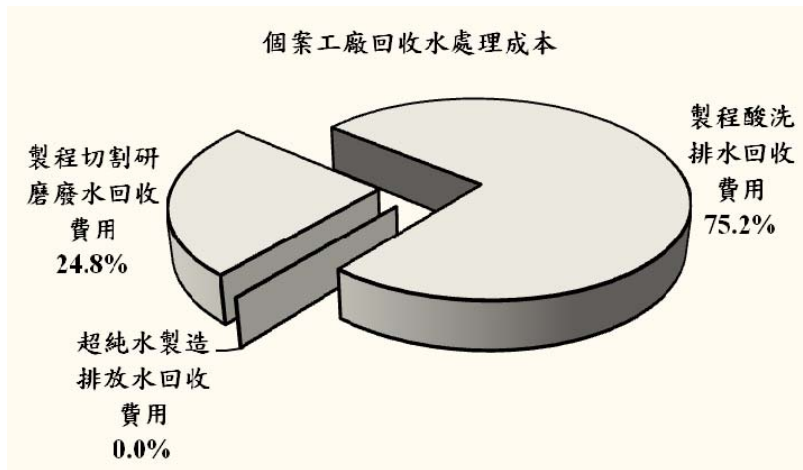


圖 19 個案工廠回收水成本百分比

#### 4.2 規劃方案可行性分析

本研究主要針對個案工廠現況全廠總用水成本與評估的水回收系統方案（製程切割研磨廢水回收系統擴充及製程低濃度氟酸廢排水回收工程）經單獨投入運轉後所得到水回收效益的全廠總用水成本做經濟效益評估。故訂定出三個方案，方案一為「個案工廠運轉現況」；方案二為「製程切割研磨廢水回收系統擴充」；方案三為「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」。並設定方案一、二為互斥方案進行分析，方案一、三也為互斥方案進行淨現值分析。為了分析比較每個互斥方案的經濟效益，必須建立各方案現金流量表。在現金流量表內，以 2009 年為幣值基準、分析期間 10 年、利率 4% 及不考慮通貨膨脹率下進行分析；若金額是負值，則是以括號表示。

##### 4.2.1 方案一「個案工廠運轉現況」

4.1 節中所進行的總用水成本分析即為個案工廠運轉現況所產生的成本，取水成本  $T1$  每年 15,738,120 元，排放水處理成本  $T2$  每年 8,126,713 元，回收水處理成本  $T3$  每年 2,645,880 元，全廠總用水成本  $Z = T1 + T2 + T3$  為 26,510,713 元，現金流量表建立如表 26 所示，淨現值 (NPW) 為：

$$PW(i) = \sum_{n=0}^N A_n(P/F, i, n) = -215,025,630$$

式中： $A_0=0$ ， $A_n=-26,510,713$  元（ $n=1\sim 10$ ）； $i=4\%$ ； $N=10$  年期

故方案一，個案工廠運轉現況之全廠總用水成本經現金流量表及淨現值法分析後，當全部十年的全廠總用水成本換算至第一年後成本的總和為-215,025,630 元。



表 26 方案一之現金流量表

年 期數	2009 0	2010 1	2011 2	2012 3	2013 4	2014 5	2015 6	2016 7	2017 8	2018 9	2019 10
<b>成本計算</b>											
收入		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
支出											
折舊		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
取水成本(T1)		\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120	\$15,738,120
排放水處理成本(T2)		\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713	\$8,126,713
回收水處理成本(T3)		\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880	\$2,645,880
淨收入		(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)
<b>現金流量表</b>											
<b>營業活動</b>											
淨收入		(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)
折舊		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>投資活動</b>											
<b>新設備投資</b>											
<b>殘值</b>											
淨現金流量		(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)	(\$26,510,713)
現值		(\$25,491,070)	(\$24,510,644)	(\$23,567,927)	(\$22,661,469)	(\$21,789,874)	(\$20,951,802)	(\$20,145,963)	(\$19,371,118)	(\$18,626,075)	(\$17,909,688)
累積現值		(\$25,491,070)	(\$50,001,715)	(\$73,569,642)	(\$96,231,111)	(\$118,020,984)	(\$138,972,786)	(\$159,118,749)	(\$178,489,867)	(\$197,115,942)	(\$215,025,630)

#### 4.2.2 方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」

個案工廠既設製程切割研磨廢水回收系統，目前每月處理量為 3875 m<sup>3</sup>，已接近系統滿載，但製程晶片切割廢水及晶背研磨廢水每月仍有 3875 m<sup>3</sup> 排入廢水處理系統，在考量提升用水回收率要求及既設回收系統運轉穩定度良好的情形下，故預計以相同系統操作處理量及相同的 UF 膜進行系統擴充，經多家水處理專業工程承商報價彙整，擬定預算金額為 250 萬元。切割研磨廢水回收擴充系統各項成本以既設系統經驗值進行估算，費用預估表見表 27 所示。

表 27 方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」系統費用預估表

項 目	費用 (元/年)	說 明
1.設置成本		
回收系統	---	預算投資成本 2,500,000 元
2.運轉成本		
設備維護費	41,000	既設系統經驗值
耗材費用	175,000	既設系統經驗值
電費	125,775	既設系統經驗值
藥品費	35,000	既設系統經驗值
人事費	0	由原系統工程師負責
3.設備折舊費		
回收系統	227,273	以平均法折舊 10 年
合計	604,048	
單位回收成本	16.2 元/m <sup>3</sup>	考慮設備攤提
單位回收成本	10.1 元/m <sup>3</sup>	不考慮設備攤提

\* 預估切割研磨廢水回收量：37200 m<sup>3</sup>/年

方案二執行方式，預計依既有系統規格進行規劃設計，故系統處理效率以 80% 計算。在未來系統運轉後，每月約可回收 3100 m<sup>3</sup>，濃縮廢液量約 775 m<sup>3</sup> 同樣排入切割研磨廢水系統處理。在表 4.5 中，設置成本 250 萬；運轉成本包含為設備維護費、耗材費用、電費、藥品費皆與既設系統相同；且不會有多餘人事費用產生；此擴充系統每年運轉成本為 376,775 元，加上設備折舊（以 10 年攤提），每年攤提 227,273 元。前 10 年運轉，單位回收成本為 16.2 元/m<sup>3</sup>。若不考慮設置成本及

設備折舊費下（在之後現金流量表中呈現），單位回收成本為 10.1 元/m<sup>3</sup>。系統運轉後全廠總用水量分佈情形如表 28、29 所示。

系統運轉後，假設製程需求及次級用水量不變之情形下，因為再回收了 3100 m<sup>3</sup>，故自來水取水量可由每月 38068 m<sup>3</sup> 減至 34968 m<sup>3</sup>，自來水單位成本以 12.2 元/m<sup>3</sup>，故取水成本 T1 每年為 15,282,115 元；排放水成本部份，切割研磨廢水每月廢水量減少 3875 m<sup>3</sup> 供擴充回收系統進行水回收，所產出之 UF 濃縮廢液 775 m<sup>3</sup> 排入原切割研磨廢水系統處理，以切割研磨廢水單位處理成本為 9.7 元/m<sup>3</sup>，故廢水處理系統成本由每年 5,104,533 元降至為 4,743,693 元；因為每月總廢水量減至 29326 m<sup>3</sup>，單位廢水之污水下水道使用費成本以 7.8 元/m<sup>3</sup> 計算為 2,744,914 元，故排放水處理成本 T2 每年為 7,488,607 元；回收水成本部分，原回收系統每年需花費 2,645,880 元，加上擴增系統運轉成本（含折舊）604,048 元，故回收水處理成本 T3 每年需花費 3,249,928 元。每年全廠總用水成本 Z= T1+T2+T3 為 26,020,650 元，現金流量表建立如表 30 所示。

表 30 中，成本計算表多了折舊的支出，主要是投資新設備必須分年攤提折舊費用，但折舊攤提不能算是現金流量，所以折舊費用在現金流量表中要再加回來。另外，方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」為新的設備，所以在投資活動的新設備投資部分有金額產生，而殘值是計算在最後一年。故方案二淨現值(NPW)為：

$$PW(i) = \sum_{n=0}^N A_n(P/F, i, n) = -211,553,854$$

式中： $A_0 = -2,500,000$  元， $A_n = -25,793,377$  元 ( $n=1\sim 9$ )， $A_{10} = -25,566,104$  元； $i=4\%$ ； $N=10$  年期。

故方案二，「製程切割研磨廢水回收系統擴充」後之全廠總用水成本經現金流量表及淨現值法分析後，當全部十年的全廠總用水成本換算至第一年後成本的總和為 -211,553,854 元。

表 28 方案二全廠總用水量分佈表

項目	現況月用量(m <sup>3</sup> )	擴充後月用量(m <sup>3</sup> )	差異
製程用自來水量(w1)	32426	29326	-3100
次級用水用自來水量(w2)	4681	4681	0
民生用自來水量(w3)	961	961	0
自來水取水量(W)	38068	34968	-3100
民生用水排放量(d1)	682	682	0
製程排放廢水量(d2)	17360	13485	-3875
純水系統排放廢水量(d3)	2635	2635	0
廢水回收系統排放廢水量(d4)	1147	1922	+775
次級用水排放廢水量(d5)	10602	10602	0
總排放廢水(D)	32426	29326	-3100
純水系統回收水量(c1)	24428	24428	0
純水系統回收次級用水水量(c2)	0	0	0
製程回收水回收純水系統水量(c3)	3100	6200	+3100
製程回收水回收次級用水水量(c4)	11284	11284	0
製程回收水量(C)	38812	41912	+3100
空調 OAC 及雨水回收(A)	1209	1209	0
製程用水總量(P1)	59954	59954	0
純水產水量(P2)	32891	32891	0
回收系統取水總量(Pc)	15531	19406	+3875
冷卻水塔蒸發飛濺量(V)	6572	6572	0

表 29 方案二製程廢水月回收、排放水量表

項目	製程回收系統進水總量 Pc			製程排放廢水 d2 (m3)	合計 (m3)
	製程回收水回收純水系統水量 c3(m3)	製程回收水回收次級用水水量 c4(m3)	廢水回收系統排放廢水量 d4(m3)		
酸鹼廢水	0	0	0	2945	2945
低濃度酸洗排水	0	11284	372	0	11656
晶片切割研磨廢水	6200	0	1550	0	7750
氫氟酸廢水	0	0	0	10540	10540
合計	6200	11284	1147	17360	32891



表 30 方案二之現金流量表

年 期數	2009 0	2010 1	2011 2	2012 3	2013 4	2014 5	2015 6	2016 7	2017 8	2018 9	2019 10
<b>成本計算</b>											
收入		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
支出											
方案二折舊		\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273
取水成本(T1)		\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115	\$15,282,115
排放水處理成本(T2)		\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607	\$7,488,607
回收水處理成本(T3)		\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655	\$3,022,655
淨收入		(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)
<b>現金流量表</b>											
<b>營業活動</b>											
淨收入		(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)	(\$26,020,650)
方案二折舊		\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273	\$227,273
<b>投資活動</b>											
新設備投資		(\$2,500,000)									
殘值											\$227,273
淨現金流量		(\$2,500,000)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,793,377)	(\$25,566,104)
現值		(\$2,500,000)	(\$24,801,324)	(\$23,847,427)	(\$22,930,218)	(\$22,048,287)	(\$21,200,276)	(\$20,384,880)	(\$19,600,846)	(\$18,846,968)	(\$17,271,544)
累積現值		(\$2,500,000)	(\$27,301,324)	(\$51,148,751)	(\$74,078,969)	(\$96,127,255)	(\$117,327,531)	(\$137,712,411)	(\$157,313,258)	(\$176,160,225)	(\$194,282,310)

#### 4.2.2 方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」

個案工廠在建廠之初，因考量酸鹼廢水系統無法去除氟離子，故將含氟製程中請洗設備機台的 Q.D.R.(Quick Dump Rinse)、O.F.(Over Flow)及 F.R(Final Rinse)槽均導入氫氟酸廢水系統中，依據個案實廠製程廢水排放量來看，製程酸鹼廢水佔 44.4%，製程切割研磨廢水佔 23.6%，製程氫氟酸廢水佔 32%，可知氫氟酸廢水量是偏高的。每月廢水量 10540 m<sup>3</sup> 中，大部分的氟離子濃度應該都不高。依個案工廠低濃度氫氟酸廢排水分析測值來看，回收的廢排水成份氟離子濃度 225 mg/L；但 SiO<sub>2</sub> 濃度卻有 59 mg/L，主要原因為製程中對 Si 或 SiO<sub>2</sub> 進行蝕刻所產生。基本上，這些離子可用 RO 系統來去除，但是 RO 膜需要有適當的前處理，才能減少及 Scaling 及 Fouling 產生。

方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」，預計是將含氟製程中請洗設備機台的 Q.D.R. (Quick Dump Rinse)、O.F. (Over Flow) 及 F.R (Final Rinse) 槽排放水新增獨立排放管路，並導入增設的低濃度氟酸廢排水回收系統中，預估低濃度氟酸廢排水每月水量為 9300 m<sup>3</sup>，回收後進入純水系統使用。經多家水處理專業工程承包商依水質進行規劃設計，加以報價彙整，擬定預算投資金額為 1,050 萬元(含管路分流工程費用 50 萬元)，並採用前處理加上 RO 系統處理，系統處理效率建議在 70%以上，故每月回收水量預估為 6510 m<sup>3</sup>。

此回收系統除了處理目前的低濃度氟酸廢排水外，也可能會處理未來 Local scrubber 所排放的廢水，未來 Local Scrubber 供應水源將以次級用水供應，但次級用水水源不足時是以自來水補充，故雖然在廢水分析測值中並沒有鈣硬度成份，但仍需考慮對鈣硬度的去除。由於 CaF<sub>2</sub> 在水體中的溶解度低，廢水中的氟離子可能因水中的鈣產生沉澱，進而層積在 RO 膜表面產生 Metal Scale。因此，在前處理設置活性碳塔以去除水中有機物、殘留餘氯及氧化物，並以陽離子樹脂對硬度濃度加以控制。SiO<sub>2</sub> 溶解度於常溫下及中性 pH 的環境下約為 110~140 mg/l，若以廢水分析測值中 pH 及 SiO<sub>2</sub> 濃度來看，以系統設計 80%的產水率來看，RO 濃縮水 SiO<sub>2</sub> 濃度將高達 295 mg/l，造成 Silica Fouling 於 RO 濃縮水端。因為 SiO<sub>2</sub> 溶解度在 pH>9 會大幅上升，故可藉由調高 pH 來提高 SiO<sub>2</sub> 溶解度。氟離子在 pH<2 時幾乎是以 HF 之形式存在於水體中，當 pH>5 後則幾乎是以 F<sup>-</sup>之形式存在 [55]，故在高 pH 的條件下 RO 膜表面帶負電性愈強，對 F<sup>-</sup> 的去除率遠大於低 pH 的情況，

甚至在 pH 10~11 時，對 F<sup>-</sup> 的去除率甚至可高達 98~99% [ 23, 24 ]。處理流程為將 RO 系統操作在 RO 膜可容許最高 pH 值的範圍 (pH=10~11)，不僅可以提高 SiO<sub>2</sub> 溶解度，將 RO 系統產水率提高，還可以增加氟離子的去除率；另外，在業界 RO 膜操作最常見的 TOC 問題及 Bio-fouling 問題均可避免；因回收後進入純水製造系統再利用，故最後以陰離子樹脂控制殘餘氟離子，使水質符合純水製造系統原水水質要求。故方案三所增設低濃度氟酸廢水回收系統，假設 RO 產水效率 80% 以上，加上活性碳塔及陰陽離子樹脂塔產水效率各 96% 來看，水處理專業工程承商所建議之系統處理效率 70% 應可達到；各項費用預估，詳表 31 所示。

表 31 方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」系統費用預估表

項 目	費用 (元/年)	說 明
1. 設置成本		
回收系統	---	預算投資成本 10,500,000 元
2. 運轉成本		
設備維護費	300,000	初設成本的 3%
耗材費用	814,680	依水處理專業工程承商規劃
電費	371,520	依水處理專業工程承商規劃
藥品費	1,137,340	依水處理專業工程承商規劃
人事費	0	由既有回收系統工程師負責
3. 設備折舊費		
回收系統	954,545	以平均法折舊 10 年
合計	3,575,085	
單位回收成本	45.8 元/m <sup>3</sup>	考慮設備攤提
單位回收成本	33.6 元/m <sup>3</sup>	不考慮設備攤提

\* 預估低濃度氟酸廢水回收量：78120 m<sup>3</sup>/年

表 31 中，設置成本 1,050 萬元；運轉成本包含為設備維護費、耗材費用、電費、藥品費。設備維護費部分，以初設成本 3% 進行預估，低濃度氟酸廢水回收系統預算投資費用為 1000 萬元，故設備維護費每年為 30 萬元；耗材費用部分，主要為前處理之活性碳、無煙煤及陰陽離子樹脂更換及 RO 膜更換，預估更換周期為 1~2 年，故以年平均價值進行計算，平均每年耗材費用約為 82 萬元。電費部分，以

全載運轉用電量 40 KW×每日預估運轉 12 hr×每年運轉天數 360 天計算。藥品費部分，則是陰陽離子樹脂再生所耗費的 HCl、NaOH，並預估每日再生及添加於 RO 膜前的 NaOH；增設系統不增加人力。故增設系統每年運轉成本為 2,623,540 元；設備折舊以 10 年計算，每年攤提 954,545 元。在前 10 年運轉，單位回收成本為 45.8 元/m<sup>3</sup>。在不考慮設置成本及設備折舊費下（在之後現金流量表中呈現），單位回收成本為 33.6 元/m<sup>3</sup>。系統運轉後全廠總用水量分佈情形如表 32、33 所示。

表 32 方案三全廠總用水量分佈表

項目	現況月用量(m <sup>3</sup> )	擴充後月用量(m <sup>3</sup> )	差異
製程用自來水量(w1)	32426	25916	-6510
次級用水用自來水量(w2)	4681	4681	0
民生用自來水量(w3)	961	961	0
自來水取水量(W)	38068	31558	-6510
民生用水排放量(d1)	682	682	0
製程排放廢水量(d2)	17360	8060	-9300
純水系統排放廢水量(d3)	2635	2635	0
廢水回收系統排放廢水量(d4)	1147	3937	2790
次級用水排放廢水量(d5)	10602	10602	0
總排放廢水(D)	32426	25916	-6510
純水系統回收水量(c1)	24428	24428	0
純水系統回收次級用水水量(c2)	0	0	0
製程回收水回收純水系統水量(c3)	3100	9610	6510
製程回收水回收次級用水水量(c4)	11284	11284	0
製程回收水量(C)	38812	45322	6510
空調 OAC 及雨水回收(A)	1209	1209	0
製程用水總量(P1)	59954	59954	0
純水產水量(P2)	32891	32891	0
回收系統取水總量(Pc)	15531	24831	9300
冷卻水塔蒸發飛濺量(V)	6572	6572	0

表 33 方案三製程廢水月回收、排放水量表

項目	製程回收系統進水總量 $P_c$			製程排放廢水 $d_2$ (m <sup>3</sup> )	合計 (m <sup>3</sup> )
	製程回收水回 收純水系統水 量 $c_3$ (m <sup>3</sup> )	製程回收水回 收次級用水水 量 $c_4$ (m <sup>3</sup> )	廢水回收系統 排放廢水量 $d_4$ (m <sup>3</sup> )		
酸鹼廢水	0	0	0	2945	2945
低濃度酸性廢水	0	11284	372	0	11656
晶片切割研磨廢水	3100	0	775	3875	7750
氫氟酸廢水	6510	0	2790	1240	10540
合計	12710	11284	3937	8060	32891

同樣的，在系統運轉後，假設製程需求及次級用水量不變之情形下，因為回收了 6510 m<sup>3</sup>，故自來水取水量可由每月 38068 m<sup>3</sup> 減至 31558 m<sup>3</sup>，自來水單位成本以 12.2 元/m<sup>3</sup>，故取水成本  $T_1$  每年為 14,782,891 元；排放水成本部份，氫氟酸廢水每月廢水量減少 9300 m<sup>3</sup> 供擴充回收系統進行水回收，所產出之活性碳塔逆洗廢液、離子交換樹脂再生廢液及 RO 濃縮廢液 2790 m<sup>3</sup> 排入氫氟酸廢水廢水系統處理，以氫氟酸廢水單位處理成本為 28.1 元/m<sup>3</sup> 計算，故廢水處理系統成本由每年 5,104,533 元降至為 2,909,361 元；因為每月總廢水量減至 25916 m<sup>3</sup>，單位廢水之污水下水道使用費成本以 7.8 元/m<sup>3</sup> 計算為 2,425,738 元，故排放水處理成本  $T_2$  每年為 5,335,099 元；回收水成本部分，原回收系統每年需花費 2,645,880 元，加上低濃度氫酸廢水回收系統運轉成本（含設備折舊）每年 3,578,085 元，故回收水處理成本  $T_3$  每年需花費 6,223,965 元。每年全廠總用水成本  $Z = T_1 + T_2 + T_3$  為 26,341,955 元，現金流量表建立如表 34 所示。

表 34 中，方案三「製程低濃度氫酸廢排水回收工程」為新的設備，所以在投資活動的新設備投資部分有金額產生，而殘值為 954,545 元。同樣的，需將折舊費用於現金流量表中要再加回來。方案三淨現值（NPW）為：

$$PW(i) = \sum_{n=0}^N A_n(P/F, i, n) = -215,769,778$$

式中： $A_0 = -10,500,000$  元， $A_n = -25,387,410$  元 ( $n = 1 \sim 9$ )， $A_{10} = -24,432,864$  元； $i = 4\%$ ； $N = 10$  年期。故方案三「製程低濃度氫酸廢排水回收工程」，運轉後之全廠總用水成本經現金流量表及淨現值法分析後，當全部十年的全廠總用水成本換算至第一年後成本的總和為 -215,769,778 元。

表 34 方案三之現金流量表

年 期數	2009 0	2010 1	2011 2	2012 3	2013 4	2014 5	2015 6	2016 7	2017 8	2018 9	2019 10
<b>成本計算</b>											
收入		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
支出											
方案三折舊		\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545
取水成本(T1)		\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891	\$14,782,891
排放水處理成本(T2)		\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099	\$5,335,099
回收水處理成本(T3)		\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420	\$5,269,420
淨收入		(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)
<b>現金流量表</b>											
<b>營業活動</b>											
淨收入		(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)	(\$26,341,955)
方案三折舊		\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545	\$954,545
<b>投資活動</b>											
新設備投資		(\$10,500,000)									
殘值											\$954,545
淨現金流量		(\$10,500,000)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$25,387,410)	(\$24,432,864)
現值		(\$10,500,000)	(\$24,410,971)	(\$23,472,087)	(\$22,569,315)	(\$21,701,264)	(\$20,866,600)	(\$20,064,039)	(\$19,292,345)	(\$18,550,332)	(\$17,836,857)
累積現值		(\$10,500,000)	(\$34,910,971)	(\$58,383,058)	(\$80,952,373)	(\$102,653,638)	(\$123,520,238)	(\$143,584,277)	(\$162,876,622)	(\$181,426,953)	(\$199,263,811)

### 4.3 敏感度分析

評估方案時，多少會因參數估計值的不定性或變異性而承擔部分風險。本研究再就方案成本結構中新增工程「投資金額」與「系統處理效率」兩項因子進行敏感度分析，以瞭解各因子變異對各方案之全廠用水成本之影響性。

#### 4.3.1 工程投資金額變異分析

方案二及方案三之投資金額乃為預算金額，與實際工程發包金額會有出入，依據個案工廠規章規定，投資金額使用額度不得大於預算金額之 20%，故分別以 -20%、-10%、10%、20% 進行敏感度分析。方案一、方案二比較，詳表 35；方案一、方案三比較，詳表 36。

表 35 方案一、方案二在投資金額變異下之敏感度分析表

變異	方案二 工程投資金額 (元)	方案一 NPW (元)	方案二 NPW (元)	經濟方案
-20%	\$2,000,000	(\$215,025,630)	(\$211,084,561)	方案二
-10%	\$2,250,000	(\$215,025,630)	(\$211,319,207)	方案二
0%	\$2,500,000	(\$215,025,630)	(\$211,553,854)	方案二
+10%	\$2,750,000	(\$215,025,630)	(\$211,788,500)	方案二
+20%	\$3,000,000	(\$215,025,630)	(\$212,023,146)	方案二
+139%	\$5,971,776	(\$215,025,630)	(\$215,025,630)	相同

表 36 方案一、方案三在投資金額變異下之敏感度分析表

變異	方案三 工程投資金額 (元)	方案一 NPW 值 (元)	方案三 NPW (元)	經濟方案
-20%	\$8,400,000	(\$215,025,630)	(\$213,798,750)	方案三
-10%	\$9,450,000	(\$215,025,630)	(\$214,784,264)	方案三
0%	\$10,500,000	(\$215,025,630)	(\$215,769,778)	方案一
+10%	\$11,550,000	(\$215,025,630)	(\$216,755,293)	方案一
+20%	\$12,600,000	(\$215,025,630)	(\$217,740,807)	方案一
-7%	\$9,755,844	(\$215,025,630)	(\$215,025,630)	相同

固定其他條件，當方案二及方案三投資金額增加或減少時，對方案一並不影響。表 35 中，方案二投資金額在 -20% 到 +20% 的變異中，結果都較方案一經濟；當方案二工程投資金額為 +139% 至 5,971,768 元時，方案二 NPW 值等於方案一。

以表 36 來看，方案三投資金額在-20%到-10%的變異中，結果較方案一經濟；但在 0%到+20%的變異，則為方案一較為經濟；當方案三工程投資金額為-7%至 9,755,844 元時，方案三全廠總用水成本等於方案一。

#### 4.3.2 系統處理效率變異分析

水回收系統成敗關鍵，在於系統之處理效率。以目前來說，方案二及方案三只屬於在規劃階段，系統之處理效率皆為估計值，必需等正式投資、設置、試車、運轉後才能得知真正的處理效率。在方案二及分案三中，規劃之處理效率分別為 80%及 70%，故以處理效率的-10%、-20%、-30%、-40%、-50%分別進行敏感度分析。方案一、方案二比較，詳表 37；方案一、方案三比較，詳表 38。

表 37 方案一、方案二在系統處理效率變異下之敏感度分析表

系統處理效率	變異	方案一	方案二	經濟方案
		NPW 值 (元)	NPW 值 (元)	
80%	0.0%	(\$215,025,630)	(\$211,553,854)	方案二
70% (-10%)	-12.5%	(\$215,025,630)	(\$212,674,009)	方案二
60% (-20%)	-25.0%	(\$215,025,630)	(\$213,794,164)	方案二
50% (-30%)	-37.5%	(\$215,025,630)	(\$214,914,319)	方案二
40% (-40%)	-50.0%	(\$215,025,630)	(\$216,034,475)	方案一
30% (-50%)	-62.5%	(\$215,025,630)	(\$217,154,630)	方案一
49.7%	-37.9%	(\$215,025,630)	(\$215,025,630)	相同

表 38 方案一、方案三在系統處理效率變異下之敏感度分析表

系統處理效率	變異	方案一	方案三	經濟方案
		NPW 值 (元)	NPW 值 (元)	
70%	0.0%	(\$215,025,630)	(\$215,769,778)	方案一
60% (-10%)	-12.5%	(\$215,025,630)	(\$220,123,675)	方案一
50% (-20%)	-25.0%	(\$215,025,630)	(\$224,477,571)	方案一
40% (-30%)	-37.5%	(\$215,025,630)	(\$228,831,468)	方案一
30% (-40%)	-50.0%	(\$215,025,630)	(\$233,185,364)	方案一
20% (-50%)	-62.5%	(\$215,025,630)	(\$237,539,260)	方案一
71.7%	+2.4%	(\$215,025,630)	(\$215,025,622)	相同



固定其他條件，當方案二及方案三系統處理效率降低時，對方案一並不影響。在表 37 中，方案二系統處理效率從 80% 降至 50% 時，結果都較方案一經濟；當處理效率只剩 40% 及 30% 時，結果以方案一較為經濟；方案二系統處理效率為 49.7% 時，方案二全廠總用水成本等於方案一。以表 38 來看，方案三與方案一比較，是不符合經濟效益的，除非系統處理效率在 +2.4 % 的變異時（系統處理效率提升到 71.7% 以上時），方案三才是較經濟方案。

#### 4.4 綜合討論

綜合以上各節，方案一「個案工廠現況」每年取水成本  $T1$  每年 15,738,120 元；排放水處理成本  $T2$  每年 8,126,713 元；回收水處理成本  $T3$  每年 2,645,880 元；故每年全廠用水成本 ( $Z = T1 + T2 + T3$ ) 為 26,510,713 元，全廠用水成本結構如圖 20。

方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」每年取水成本  $T1$  每年為 15,282,115 元；排放水處理成本  $T2$  每年為 7,488,607 元；回收水處理成本  $T3$  每年需花費 3,249,928 元；故每年全廠總用水成本  $Z = T1 + T2 + T3$  為 26,020,650 元，全廠用水成本結構如圖 21。

方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」每年取水成本  $T1$  每年為 14,782,891 元；排放水處理成本  $T2$  每年為 5,335,099 元；故回收水處理成本  $T3$  每年需花費 6,223,965 元；故每年全廠總用水成本  $Z = T1 + T2 + T3$  為 26,341,955 元，全廠用水成本結構如圖 22。

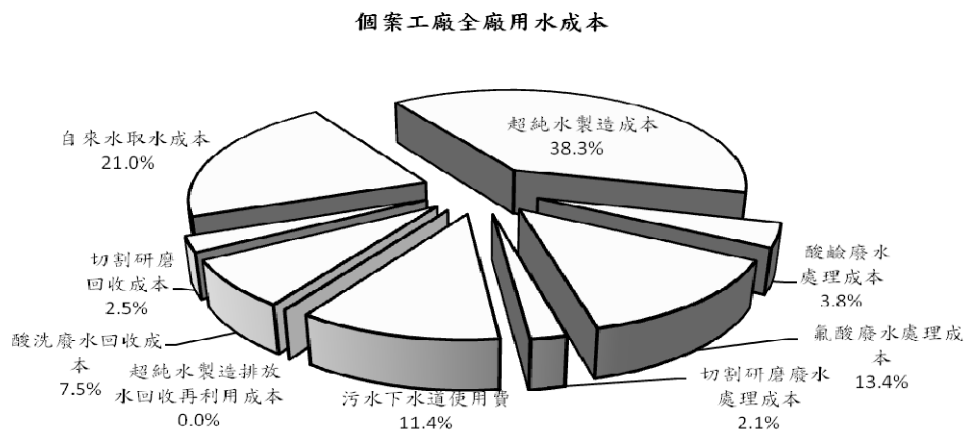


圖 20 方案一「個案工廠現況」全廠用水成本結構

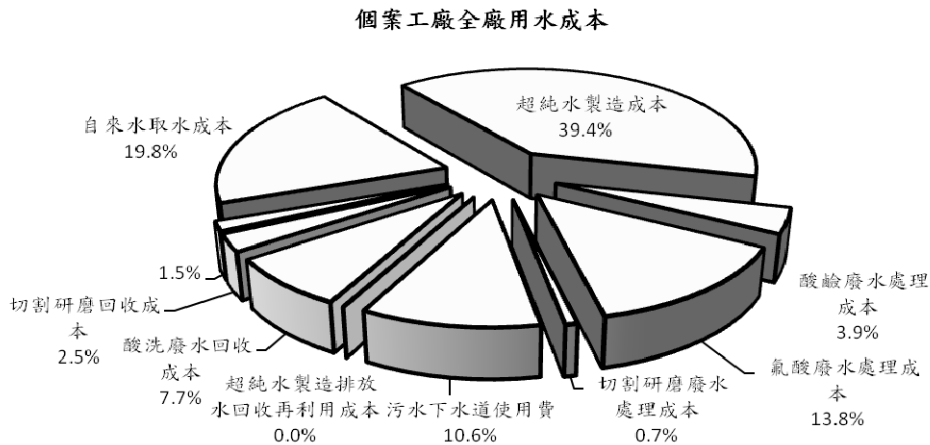


圖 21 方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」全廠用水成本結構

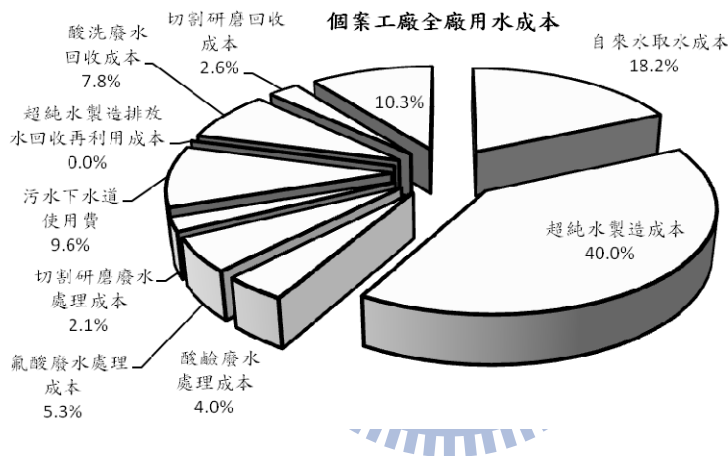


圖 22 方案三「製程低濃度氫酸廢排水回收工程」全廠用水成本結構

由圖 20-22 中，三個方案之全廠用水費用皆以超純水製造成本佔最多，其次為自來水取水費用，而超純水製造排放水回收成本 0% 最少；故個案工廠要降低全廠用水成本及提升製程水回收率可以再從超純水製造系統著手。由水量來看，超純水製造系統製程用水總量 ( $P1$ ) 每月約 59954 m<sup>3</sup>，約可製造出超純水 ( $P2$ ) 32891 m<sup>3</sup>/月，再生逆洗廢水排放 ( $d3$ ) 約 2635 m<sup>3</sup>/月，純水系統造水率  $P2/P1$  為 54.9%，經統計一般純水系統造水率約在 65%~85% 間，低於 70% 則偏低，高於 85% 則較偏高 [54]，為其原因有二：第一、純水製造系統設計過大或製程產能利用率偏低，但兩者皆是無法掌握與預估的；第二、超純水製造過程排放水回收過多；個案工廠超純水製造系統採薄膜濃縮水回流設計，若薄膜產水效率設定

過低時，濃縮水流量將增大，這雖然可增加純水系統回收水量（CI），使製程回收率提高。此兩點原因均導致製程迴流量增加，進而影響超純水製造系統造水率降低，易造成純水系統之耗能。故如何在節能及水回收率間考量，是值得再探討的課題。

以每年全廠總用水成本進行比較時，方案二預估投資「製程切割研磨廢水回收系統擴充」每年全廠用水成本（含設備折舊）為 26,020,650 元，方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」每年全廠用水成本（含設備折舊）為 26,341,955 元。與方案一「個案工廠現況」每年全廠用水成本為 26,510,713 元相比較，似乎是符合經濟效益。但以淨現值法（Net Present Worth, NPW）分析，在考慮貨幣時間價值後，似乎並不是如此。

方案一、二為互斥方案部分，方案二： $PW(4\%) = -211,553,854 >$  方案一： $PW(4\%) = -215,025,630$ ；也就是說，當全部十年的全廠總用水成本換算至第一年後成本，方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」投資金額為 2,500,000 萬，系統處理效率 80%，對個案工廠現況用水成本是有經濟效益的。固定其他條件，以投資金額來看，工程投資金額甚至可達到 5,971,776 元；但在系統處理效率部分，若系統處理效率低於 49.1% 時，方案二將不值得運轉下去；故方案二如正式投資運轉後，系統處理效率 49.1% 可以當成操作參數條件下限參考。

方案一、三為互斥方案部分，方案一： $PW(4\%) = -215,025,630 >$  方案三： $PW(4\%) = -215,769,778$ 。故當全部十年的全廠總用水成本換算至第一年後成本，方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」是對個案工廠現況用水成本是無經濟效益的。但考慮水回收率相關法規要求壓力之情況下，方案三需被執行。在固定其他條件下，以投資金額來看，工程投資金額若由 10,500,000 降至 9,755,844 元，此方案即可符合經濟效益，此金額也可提供個案工廠進行工程議價時參考；系統處理效率部分，由於是前處理加上 RO 系統，若系統處理效率可以提高至 71.7% 以上時，也可符合經濟效益。

## 五、 結論與建議

### 5.1 結論

本研究包含三部份，首先調查個案工廠現況的全廠用水成本，為評估水回收案建立基礎資料；再分別評估水回收工程案設置後對全廠用水成本的影響；最後以工程經濟分析工具（淨現值法分析及敏感度分析）對這水回收工程分別與工廠現況進行經濟效益評估。研究結論歸納如下：

個案工廠在執行現況總用水成本分析中，以取水成本每年需費 15,738,120 元為最多，其中的自來水取水成本佔 35.4%，超純水製造成本佔 64.6%，而超純水單位產水成本為 25.7 元/m<sup>3</sup>（不包含取水費用）。其次為排放水處理成本，每年需 8,126,712 元，其中廢水系統處理成本佔 62.8%，污水下水道使用費成本 37.2%，單位廢水處理成本部分，酸鹼廢水為 5.1 元/m<sup>3</sup>，氫氟酸廢水為 28.1 元/m<sup>3</sup>，切割研磨廢水 9.7 元/m<sup>3</sup>。回收水處理成本則每年需花費 2,645,880 元，其中製程切割研磨廢水回收成本佔 24.8%，製程酸洗廢水回收成本 75.2%，超純水製造排放水回收成本 0%，製程切割研磨廢水單位回收成本為 17.7 元/m<sup>3</sup>；製程酸洗廢水單位回收處理成本為 14.7 元/m<sup>3</sup>。

全廠每年總用水成本進行比較時，方案二預估投資「製程切割研磨廢水回收系統擴充」每年全廠用水成本（含設備折舊）為 26,020,650 元，方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」每年全廠用水成本（含設備折舊）為 26,341,955 元，均小於方案一「個案工廠現況」每年全廠用水成本的 26,510,713 元。其中方案二之單位回收成本為 16.2 元/m<sup>3</sup>，方案三之單位回收成本為 45.8 元/m<sup>3</sup>。

以淨現值法分析及敏感度分析部分，方案二「製程切割研磨廢水回收系統擴充」，對個案工廠現況用水成本是有經濟效益的，但若系統處理效率低於 49.1% 時，方案二將不值得運轉下去。方案三「製程低濃度氟酸廢排水回收工程」是對個案工廠現況用水成本是無經濟效益的。除非在工程投資金額降至 9,755,844 元，或系統處理效率可以提高至 71.7% 以上時，即可符合經濟效益。

以上結果可以提供個案工廠在執行工程議價及未來回收系統操作時參考，並可作為未來進行相關回收工程之依據。

## 5.2 建議

本研究建議如下：

1. 本研究之方案二及方案三是採分別探討，建議可合併討論，並增加製程水回收率之探討。
2. 個案工廠在執行水回收工程後，切割研磨廢水及氫氟酸廢水濃度將變高，對於廢水系統有混凝不佳之狀況，建議需再進行加藥參數之調整，及加藥最適化之研究。
3. 以全廠用水成本比較來看，方案二的投資金額還有 139% 的空間，故可建議在 UF 回收系統 Crossflow Filtration 處理後，UF 濃縮水再以 Dead-End Filtration 方式處理；此全方位薄膜處理程序，可將產出物僅剩濾液回收及污泥清運，往廢水零污染排放之目標邁進。
4. 個案工廠之酸洗回收系統設計容量尚有空間且運轉成本不高，故方案三中 RO 系統後之陰離子塔，可建議不需裝設，將 RO 產水而直接導入酸洗系統中，可節省方案三之工程投資金額。
5. 一般而言，製程廢水的成分較為複雜，進行製程廢水回收工程的投資金額與失敗風險皆較大。故個案工廠在持續提升回收率相關工作，建議可從純水系統回收或次級用水減量著手，工程進行前仍須以工程經濟分析方法進行經濟效益評估。
6. 未來若水價調漲及污水下水道管理費的調漲，對水回收工程的投資將會更有誘因。但在開放碳稅及能源稅後，各項的成本結構將改變，故考慮的因素將更多。
7. 工程投資常因初設成本金額過大而遭否決，以本研究為例，建議可採類似國家重大建設 BOT (Build-Operate-Transfer) 模式，將廠內廢水回收系統委託專業承攬商進行系統建置及運轉，並設定服務年限及談妥回收水單價，工廠只需依產水量進行水費單價的支付即可，目前業界已有相當多的執行實績。但如此的 BOT 架構，正適合以淨現值法的分析方法進行評估。

## 參考文獻

- [1] William G. Sullivan, Elin M. Wicks, James T. Luxhoj 原著，李克聰編譯，工程經濟學，臺灣培生教育，民國九十五年。
- [2] 光磊科技公司內部資料，民國九十八年九月。
- [3] Zant, P. V., Microchip Fabrication, McGraw-Hill, New York, 1996。
- [4] 林明獻，矽晶圓半導體材料技術，全華科技圖書，台北，民國八十九年。
- [5] 黃志彬，「高科技工業廢水處理操作效能提升研析」，第一屆高科技工業環保技術及安全衛生學術及實務研討會論文集，23~35 頁，民國九十一年。
- [6] 江岱叡，「半導體工廠用水節約之研究」，節水季刊，第二十六期，民國九十一年六月。
- [7] Giles, D. G. and Loehr R.C., 「Waste Generation and Minimization in Semiconductor Industry」, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 1994。
- [8] 林家慶，「台灣茂矽用水點滴倍珍惜」，節水季刊，第十五期，民國八十八年。
- [9] 丁志華，戴寶通，「半導體廠超純水簡介」，毫微米通訊，第七卷第四期，第 31-39 頁，民國八十九年。
- [10] 韋宗摠，「無塵室設備技術概論（二）超純水供給設備」，中華水電冷凍空調月刊，民國九十七年四月。
- [11] 科學工業園區管理局，「新竹科學園區半導體及光電製造業廢水處理設施績效提升輔導計畫」，民國九十年。
- [12] 蔡長益，「以鐵被覆廢觸媒去除水中氟離子之研究」，國立台灣工業技術學院，碩士論文，民國八十六年。
- [13] 李茂松，「半導體工業中含氟酸廢水處理技術發展」，化工技術，民國八十六年。
- [14] 環保署，「半導體研磨廢水及光電業廢水水質特性分析及管制標準探討計畫」，行政院環保署，民國九十六年。
- [15] 連介宇，「半導體工廠化學機械研磨廢水以浮除程序處理之研究」，國立台灣科技大學，碩士論文，民國九十年。

- [16] 邱顯盛，「以電化學法處理化學機械研磨水」，國立交通大學，碩士論文，民國九十一年。
- [17] 楊叢印，「結合電過濾/電透析技術處理 CMP 廢水並同步產製電解水之研究」，國立中山大學，博士論文，民國九十一年。
- [18] 陳仁仲，盧文俊，李士畦，「工業用水效率與回收率的內涵探討」，工業污染防治季刊，第 77 期，122~159 頁，民國九十年。
- [19] Tadahiro Ohmi，Ultraclean Technology Handbook Volume 1 Ultrapure，Marcel Dekker, Inc.，1993。
- [20] 夏啟鍾等，「電透析法回收逆滲透濃縮水之案例」，200 產業環保工程實務研討會論文集，339~347 頁，民國九十年。
- [21] 葉斯馨，劉金華，「晶圓廠超純水系統再生廢水回收技術研究」，半導體科技，第 29 期，民國九十年七月。
- [22] 許家榮，「高科技廠房水資源管理研究—提昇製程用水回收率影響因素探討」，國立台灣大學，碩士論文，民國九十七年八月。
- [23] 石秉鑫，謝大為，「半導體製造業水資源回收再利用之研究」，2003 產業環保工程實務研討會論文集，542~552 頁，民國九十四年。
- [24] 楊名宏等，「晶圓製造業低濃度氫氟酸廢水回收再利用之實務參考」，2006 產業環保工程實務研討會論文集，291~305 頁，民國九十五年。
- [25] 杉山 勇，知野 秀一，「半導體製造用超純水的最新動向~介紹 HERO 與 EDI SYSTEM」，電子月刊，第六卷第十二期，民國八十九年。
- [26] 巫信東，「高效率化學機械研磨廢水處理與製程回收率之研究」，國立中興大學，碩士論文，民國九十四年。
- [27] 黃志彬，「寶山給水廠原水水質特性及問題對策」，2009 年科學園區廠務技術研討會簡報資料，48~54 頁，民國九十八年。
- [28] 顏登通，高科技廠務，全華科技圖書，民國九十四年。
- [29] 陳彥旻，「半導體業化學機械研磨廢水回收處理再利用技術研究」，國立成功大學，碩士論文，民國九十二年。
- [30] 陳見財，工廠廢污水導電度因應對策研析，中技社綠色技術發展中心，民國九十三年。
- [31] 李洲銖等，「廢氣洗滌塔使用導電度控制洗滌水之研究」，2003 產業環保工

- 程實務研討會論文集，129~141 頁，民國九十四 年。
- [32] 陳亮清，「工業用水合理回收率與用水需求之研究」，國立台灣海洋大學，  
博士論文，民國九十四 年二 月。
- [33] 陳綉敏，宋曉帆，張鎮南，「晶圓廠之水資源與製程水回收比例之成本效益」，  
第十六 屆環境規劃與管理研討會，267~274 頁，民國九十二 年十一 月。
- [34] 陳正南，「TFT-LCD 廠廢水回收效益之研究以某 3.5 代廠為例」，國立中興  
大學，碩士論文，民國九十五 年六 月。
- [35] 台灣省自來水公司網站，<http://www.water.gov.tw/>。
- [36] 廖宗盛，周國鼎，「國際水價現況解析」，自來水會刊，第 27 卷，第 4 期，  
14~23 頁，民國九十七 年十二 月。
- [37] 新竹科學園區污水處理及污水下水道使用辦法，新竹科學園區管理局網站，  
<http://www.sipa.gov.tw/index.jsp>。
- [38] Avijit Dey, Ph.D.，Gareth Thomas，ELECTRONICS GRADE WATER  
PREPARATION，Tall Oaks Publishing, Inc，2003。
- [39] 羅金生，「半導體廠化學機械研磨廢水（CMP）回收再利用可行性評估」，  
國立台灣大學，碩士論文，民國九十 年六 月。
- [40] 環保署，「印染整理業、農藥業、印刷電路板業、晶圓製造及半導體製造業  
等四行業別之廢水中特定物質前處理及管理制度評估計畫」，行政院環保署，  
民國九十二 年。
- [41] 林銘洲，賴宏昌，王冬信，「CMP 及 BG 混合廢水回收再利用實例介紹」，  
2003 產業環保工程實務研討會論文集，275~285 頁，民國九十二 年。
- [42] 洪臧燮，「半導體製造業水及廢水物質流研究」，國立台灣大學，碩士論文，  
民國九十五 年。
- [43] 環保署，「高科技產業廢水水質特性分析及管制標準探討計畫」，行政院環  
保署，民國九十七 年。
- [44] Leland Blank，Anthony Tarquin 原著，方正中等編譯，工程經濟，滄海書局，  
民國九十五 年。
- [45] Chan S. Park 原著，吳家宏等編譯，現代工程經濟，普林斯頓國際，民國九  
十三 年。
- [46] 賴怡君，「冷凍空調業之環保投資資本決策」，工安環保報導，第 33 期，民



國九十五年。

- [47] 余文彬，「淨現值評估方法」，會計師季刊，第 228 期，1~10 頁，民國九十五年。
- [48] 黃宏蕭，「防洪措施之經濟可行性評價」，國立海洋大學，碩士論文，民國九十年。
- [49] 蘇良樺，「舊有辦公大樓智慧化方案之比較研究」，中國文化大學，碩士論文，民國九十一年。
- [50] 李逸靚，「設置防洪調節池及抽水站之防洪效益評估-以內湖大湖山莊街為例」，中華大學，碩士論文，民國九十四年。
- [51] 陳鎮坤，「水回收再利用之經濟效益研究以印刷電路板業為例」，國立中央大學，碩士論文，民國九十四年。
- [52] 陳天能，「工程經濟學觀點分析舊建築物外遮陽改善節能之經濟效益探討-以彰基兒童醫療大樓為例」，逢甲大學，碩士論文，民國九十四年。
- [53] 黃守正，「以冷卻水塔排放水回收處理再利用於複循環電廠之經濟效益研究」，國立成功大學，碩士論文，民國九十七年。
- [54] Wen-Shyong Lin, et al., 「Review of Water Use and Water Conservation Technology in High-Tech Industry」, 2006 Taiwan Water Industry Conference, pp. C3-33~C3-45, July 2006。
- [55] 謝政宏，「晶圓廠含氟廢水加藥模式之探討」，國立交通大學，碩士論文，民國九十五年八月。
- [56] 環檢所，「水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法-103~105°C」，NIEA W210.57A，民國九十二年。