

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

應用加藥處理改善冷卻水水質之研究 - 以 A 廠為例

A Study on Improving the Cooling Water Quality by Dosing Chemical --
Taking Plant A as an Example

研究生：鄭文屏

指導教授：陳春盛 教授

中華民國九十九年九月

應用加藥處理改善冷卻水水質之研究 - 以 A 廠為例

A Study on Improving the Cooling Water Quality by Dosing Chemical --
Taking Plant A as an Example

研 究 生：鄭文屏

Student : Wen-Ping Cheng

指導教授：陳春盛

Advisor : Chun-Sung Chen

國 立 交 通 大 學

工學院產業安全與防災學程

碩 士 論 文

A Thesis

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

1896

Industrial Safety and Risk Management

September 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 九 年 九 月

應用加藥處理改善冷卻水水質之研究 - 以 A 廠為例

學生：鄭文屏

指導教授：陳春盛

國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士班

摘 要

以空調設備的節能觀點，改善水冷式空調系統的熱交換效率對廠房的投資報酬是可預期的。如果能穩定空調設備的熱交換效率，將可使設備效率損失降至最低，減少不必要的耗水、耗電及維修保養，進而減少不必要的設備投資。

空調冷卻水系統熱交換效率受結垢、腐蝕及微生物的影響甚鉅，如果能有效的管理和控制，將可創造明顯的效益。

本研究係發現在使用自來水為補充水的水源下，即使經由水質軟化處理仍無法有效的解決雜質、菌類等問題，從而使得空調設備的熱交換效率降低。本研究篩選出利用加藥處理進行冷卻水處理的方法並進行實際測試，發現採用生物水處理劑的加藥方法對熱交換效率有極佳的穩定效果，同時解決了腐蝕菌類的問題，而投入的成本相對於節省的能源有極大的效益。

關鍵字：水冷式空調設備、結垢、腐蝕、藻菌、熱交換效率、節能、加藥處理

A Study on Improving the Cooling Water Quality by Dosing Chemical --Taking Plant A as an Example

Student : Wen-Ping Cheng

Advisor : Dr. Chun-Sung Chen

Institute of Industrial Safety and Risk Management Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

From the perspective of energy-saving in air conditioning systems, the improvement of heat exchange efficiency of water-cooled air conditioning systems on the return of investment is foreseeable. If the heat exchange efficiency of air conditioning systems could be stabilized, the efficiency loss of equipments could be minimized, and unnecessary water consumption, power consumption, maintenance, and services could be reduced. Therefore, unnecessary investment on equipments could be reduced.

The heat exchange efficiency of cooling water systems is affected by precipitation, corrosion and microorganisms. If these factors are managed and controlled effectively, significant benefit would be created.

This study found that when tap water is used as the source of supplementary water, although the water has been softened, the problems, such as impurities and bacteria, still remain. Thus, the heat exchange efficiency of air conditioning systems is reduced. This research sieve up the way to process the cooling water by dosing chemical & experimentation, we found the biological water treatment is not only effective on stabilizing the heat exchange efficiency but also solving the problem of corrosion & microorganism, and the investment return rate between cost input & energy conservation is greatly.

Key words: water-cooled air conditioning system, precipitation, corrosion, phycomycete, heat exchange efficiency, energy-saving, dosing chemical

誌 謝

對於此篇論文能順利完成，首先感謝指導教授 陳春盛博士在三年中的用心指導，及口試委員陳俊瑜教授、林志高教授給予寶貴的建議，使得此篇論文更具完整性。同時，特別感謝產安專班的學長與同學於課業上的提攜與幫助，在此致上深深的謝意。

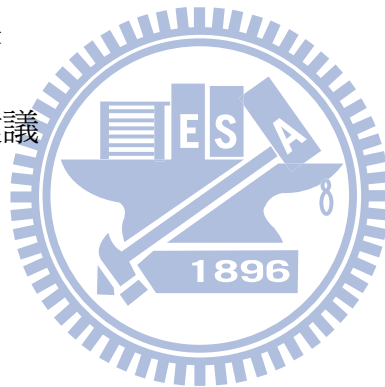
最重要的是感謝我老婆的全力支持，在工作繁忙中，仍能無怨無悔的兼顧家務，讓我在課業上無後顧之憂。

三年的研究所生涯中，不論是在學問的研究上及處世方面，皆讓我獲益良多。期盼在未來的職場生涯中，能秉持研究的精神，在工作上力求突破，以貢獻己力於社會。



目 錄

中文摘要		i
英文摘要		ii
誌謝		iii
目錄		iv
表目錄		v
圖目錄		vi
第一章	緒論	1
1.1	研究背景、動機與目的	1
1.2	研究架構及對象	2
第二章	文獻回顧	3
2.1	冷卻水的障害(沉積物,腐蝕,微生物)	3
2.2	軟水之處理方法	13
第三章	研究方法	14
3.1	A 廠空調冷卻水系統的管理作法及面臨問題	14
3.2	冷卻水之處理方案評估	16
3.3	本研究選用之方案	24
第四章	實證結果及分析	27
4.1	實證結果	27
4.2	分析	33
第五章	結論與建議	36
5.1	結論	36
5.2	建議	37
參考文獻		38



表目錄

表 2-1	PHS 計算時各項數值相關參數對照表	6
表 2-2	微生物對設備的影響	11
表 3-1	自來水與軟水水質成份分析	14
表 3-2	空調冷卻水系統的管理作法	14
表 3-3	空調冷卻水系統面臨的問題	15
表 3-4	阻垢劑種類評估比較	18
表 3-5	防腐蝕劑種類評估比較	21
表 3-6	殺菌滅藻劑之評估比較	23
表 3-7	生物水處理劑與一般加藥比較	26
表 4-1	加藥過程中冷卻水中菌落數控制情形	31
表 4-2	加藥前後比較表	33



圖目錄

圖 1-1	研究架構示意圖	2
圖 2-1	結垢厚度與耗電關係圖	4
圖 3-1	生物水處理劑的作用原理	25
圖 4-1	R1 冰機負載及趨近溫度趨勢圖	27
圖 4-2	R2 冰機負載及趨近溫度趨勢圖	28
圖 4-3	R1 冰機鐵離子濃度趨勢圖	29
圖 4-4	R2 冰機鐵離子濃度趨勢圖	30
圖 4-5	微生物抑制效果-1	31
圖 4-6	微生物抑制效果-2	32
圖 5-1	加藥前冰水機的冷凝器趨近溫度趨勢圖	34



第一章 緒論

1.1 研究背景、動機與目的

1.1.1 研究背景

空調設備在工廠是非常重要的設備，尤其在近年微電子產業發展的歷程中，產品對溫濕度的要求極為嚴苛，許多產品在不適當的溫濕度下，品質就無法確保，因而溫濕度的穩定控制直接的影響產品的生產製程及良率。同時以電子產業的能源消耗狀況分析，空調設備所用電力佔整個廠房電力消耗比重約達四成。因此空調設備的管理必是工廠能源管理中佔有重要的比重而節能在空調設備的管理上自然是極重要的一項任務。

1.1.2 研究動機

空調設備的作用主要是以應用能量不滅的原理，將熱源的熱能經由冷媒的吸收，然後傳送至室外的大氣中。而水冷式與氣冷式則是兩種不同的設計用以將熱能逸散至大氣的方式。水冷式系統相對於氣冷式系統由於水的熱傳導效率優於空氣，因此水冷式設備可以有效的提高空調主機運轉的能量效率比(Energy Efficiency Ratio, EER)，也就是在相同的電量投入後，相對而言產生較大的冷卻效果。因此，大型科技廠房主要是以水冷式空調設備為主。

以空調設備的節能觀點，改善水冷式空調系統的熱交換效率對廠房的投資報酬是可預期的。如果能有效的管理冷卻水水中的雜質及菌類，將可使廠房設備效率損失降至最低，減少不必要的耗水、耗電及維修保養，進而減少不必要的設備投資。

本研究係發現研究對象工廠為空調設備長期耗能問題所困擾，這些耗能除了增加電費、水費外，保養維修的費用及工作人員的負荷也是一大問題。雖然已採取諸如改善水質、設備殺菌劑等方案，但效果一直很有限。本研究將針對此一問題，與研究對象共謀解決方案。

1.1.3 研究目的

- 1.本研究的目的是在於透過比較分析選擇一個較適當的水處理方案。
- 2.經由此研究，提供工廠設備管理者選擇適當的水處理方案，用以節省能源消耗、提昇設備穩定性及運轉效率、降低運轉成本。

1.2 研究架構及對象

1.2.1 研究架構

本研究將依圖 1-1 研究架構進行研究分析與執行，首先就國內外相關之次級資料及文獻報告進行蒐集與整理，以作為資料分析之基本參考。

其次分析診斷某科技廠的空調冷卻水處理方法，並分析其問題及可能影響。以分析各種可能的解決方案，比較其優劣點。

最後將選擇可行改善方案並建議執行，並且在執行之後進行改善前後之差異分析。

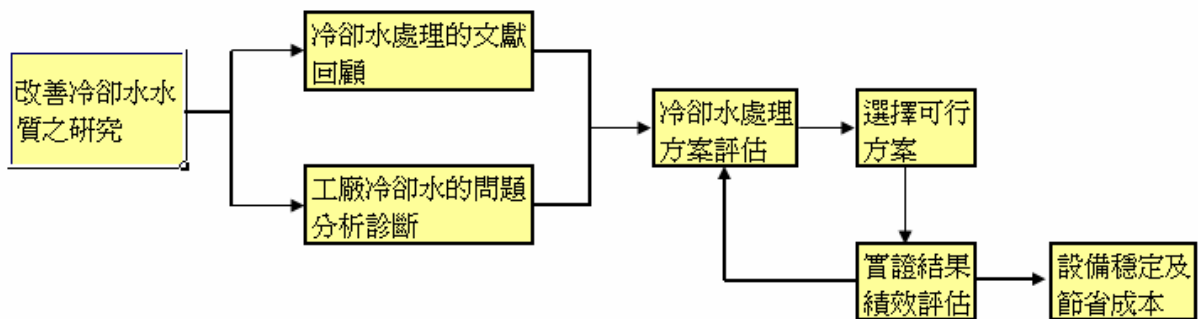


圖 1-1 研究架構示意圖

1.2.2 研究對象

以國內某科技廠冷卻水塔水質進行分析、評估及改善以達設備穩定及節能之研究。

本研究係選定某生產工廠之空調設備的冷卻水管理為研究對象，對其管理方式進行分析、提出改善方案並執行改善方案，最後付諸執行檢討改善方案績效。

第二章 文獻回顧

2.1 冷卻水的障害(沉積物,腐蝕,微生物)

水是大自然賦予的天然資源，因為具有大量且成本低廉的特性，因而受到青睞作為冷卻交換的介質。然而水的一些性質卻也是空調設備運轉過程中極為頭痛的一些問題。因此，如何有效的管理水進而使水成為系統運轉的助力而非阻力是相當重要的。

冷卻水在冷卻水塔中不斷循環使用，水溫升高、蒸發，造成許多有機無機物質的濃縮，同時也由於在室外開放空間中受到日光，外氣等的影響，會產生諸如沉積物、腐蝕及微生物的大量滋生(周本省，1997)。

2.1.1 沉積物

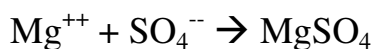
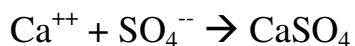
沉積物主要是由水垢及污垢所組成。而沉積物的形成直接造成熱交換效率降低，甚者造成設備的過載跳機等嚴重狀況。一旦沈積物形成，其處理是非常麻煩及耗用資源的。沉積物的產生因素很多，如 pH、鈣硬度、M 鹼性度、矽酸鹽等(蔡騰龍，1996)。

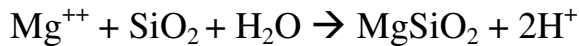
1.水垢

冷卻水中溶解有各種金屬離子，如鈣離子、鎂離子、矽酸根離子、硫酸根離子等，其中以所謂硬度(鈣離子及鎂離子)的量最多，也最容易因熱交換而化合成碳酸鈣(鎂酸鈣)水垢沉積。因此當冷卻水中含有較高的硬度時，這些水經過熱交換循環而流經熱交換器表面時，這些離子會產生化學反應式如下(周本省，1996)，



上述化學反應特別容易在高溫與高 pH 環境中進行。另外常在水垢中發現的成份來自下列的反應式，





在這些反應式中硫酸鈣的結垢一般較不易發生，因為硫酸鈣要形成的因素中需有足夠的硫酸根離子存在，它的量需達 1400ppm 以上(如果有這麼高的硫酸根離子存在，那應該先煩惱腐蝕的問題)。而台灣地區的水質除了部份地區含硫酸根離子較高外，大部分的地區水質中硫酸根離子均不構成威脅。矽酸鈣的問題倒是比較需要重視的問題，因為當矽酸根離子含量超過 50ppm 時，就會開始有 CaSiO_2 水垢的沉積。在台灣冷卻水中含 SiO_2 的量是屬於比較高的地區，很容易就會有 SiO_2 水垢的沉積。

另外水垢中還有需附帶一提的就是磷酸鈣(鎂)，這是一個外來的物質，通常來自於添加冷卻水塔處理藥劑時所添加的磷酸鹽配方控制不當造成。結垢對熱交換效率的影響如下圖。

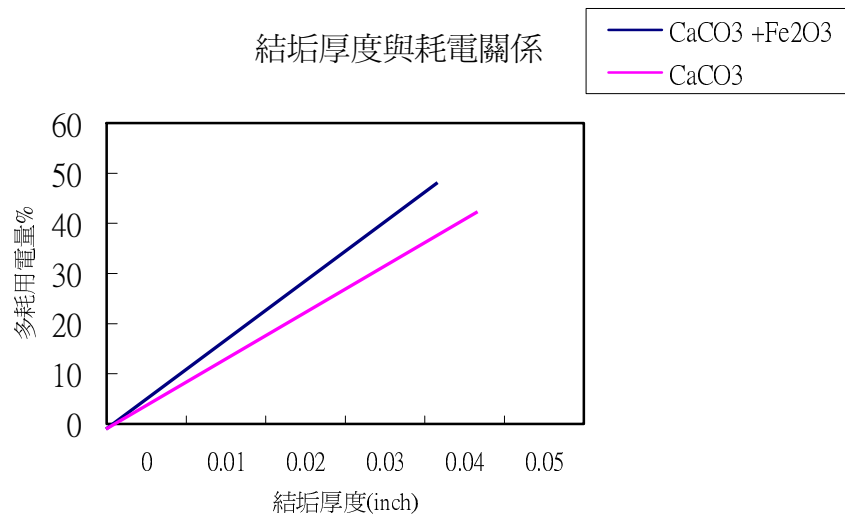


圖 2-1 結垢厚度與耗電關係圖

2. 污垢

污垢的來源通常是來自顆粒較小的細砂、塵土、黏泥、腐蝕產物、油污及菌藻類產生的。當冷卻水濁度高、細微泥砂多時或油污洩漏時都會加速污垢的形成。若這些雜質進入並停滯在熱交換器，可能嚴重的影響熱交換效率。同時由於這些污垢的體積較大，使得污垢的沉積處，成為菌類生長的溫床，會造成菌藻類的生長，更加速熱交換效率的惡化。

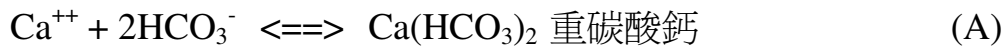
3. 水垢沉積的判斷

一般而言，最容易沉積在熱交換器而且難以處理的就是水垢，而水垢中的代表性物質正是碳酸鈣水垢。因此如何判斷冷卻水即將快速的沉積水垢是水質管理上很重要的課題。

(1) 飽合指數(Langelier Saturation Index : L.S.I.)

判斷冷卻水是否為易結垢水質時，飽合指數(L.S.I.)是經常被應用的指標。L.S.I.是 1936 年 Langelier 根據化學關係上的動態平衡提出了 L.S.I.的觀念，用來判斷冷卻水是否會產生水垢的化學反應，並用以作為水質管理的依據。

L.S.I.應用的基礎是依據當冷卻水中碳酸鹽飽合時，存在動態平衡關係式



從上面三個平衡式分析，如果碳酸鈣在水中呈現飽合狀態則三個化學式會處於平衡狀態，此時重碳酸鈣不會分解成碳酸鈣結垢，也不會溶解。此時水的 pH 值是為水的飽合 pH 值。於是 Langelier 依離子的變化導出公式計算水的飽合 pH 值的公式，一般以 PHS 表示。並以實際 pH 與 PHS 的差異判斷水質是為腐蝕性水質，或為結垢性水質，此即為飽合指數(L.S.I.)。

$$\text{L.S.I.} = \text{pH} - \text{PHS}$$

Langelier 認為 L.S.I.大於零時，水垢會逐漸的產生，是為結垢性水質；當 L.S.I.小於零時，附著的水垢會溶解掉，會使金屬表面裸露，並且開始腐蝕，是為腐蝕性水質。水質的管理當以 L.S.I.等於零為目標。此時既不會產生新水垢，也不會腐蝕金屬，是為穩定性水質。就以(A)、(B)、(C)三式平衡而言，如果冷卻水逐漸蒸發，使得金屬離子濃度升高，則 H^+ 被中和，於是水中的 pH 值升高，則化學式(B)向右側平衡，水中產生了碳酸鈣的結垢。相反的，如果加入酸，則水中的 pH 值下降，化學式(B)將向左側平衡，碳酸鈣水垢逐漸溶解直至金屬外露並且腐蝕金屬。

PHS 的計算目前已推演出簡易的計算公式為

$$\text{PHS} = (9.7 + \text{A} + \text{B}) - (\text{C} + \text{D})$$

公式中，

A 為總溶解固體。

B 為水溫係數。

C 為鈣離子係數(以 CaCO_3 計)。

D 為 M 鹼性度係數(以 CaCO_3 計)。

表 2-1.PHS 計算時各項數值相關參數對照表

TDS (mg/l)	A	水溫 °C	B	離子濃 度 (mg/l)	C 或 D	離子濃 度 (mg/l)	C 或 D
45	0.07	0	2.6	10	1	120	2.08
60	0.08	2	2.54	12	1.08	130	2.11
80	0.09	4	2.49	14	1.15	140	2.15
105	0.10	6	2.44	16	1.2	150	2.18
140	0.11	8	2.39	18	1.26	160	2.2
175	0.12	10	2.34	20	1.3	170	2.23
220	0.13	15	2.21	25	1.4	180	2.26
275	0.14	20	2.09	30	1.48	190	2.28
340	0.15	25	1.98	35	1.54	200	2.3
420	0.16	30	1.88	40	1.6	250	2.4
520	0.17	35	1.79	45	1.65	300	2.48
640	0.18	40	1.71	50	1.7	350	2.54
800	0.19	45	1.63	55	1.74	400	2.6
1000	0.20	50	1.55	60	1.78	450	2.65
1250	0.21	55	1.48	65	1.81	500	2.7
1650	0.22	60	1.4	70	1.85	550	2.74
2200	0.23	65	1.33	75	1.88	600	2.78
3100	0.24	70	1.27	80	1.9	650	2.81
≥4000	0.25	80	1.16	85	1.93	700	2.85
				90	1.95	750	2.88
				95	1.98	800	2.9
				100	2	850	2.93
				105	2.02	900	2.95
				110	2.04		

註：得以內插法計算相對應數值。

TDS: Total Dissolved Solids。

(2)穩定指數(Ryznar Stabilitation Index : R.S.I.)

1946年 Ryznar 修正了 L.S.I.的缺失，他發現在現實的環境中有許多水質在 L.S.I.的計算之下，呈現結垢性水質的特徵，然而實際運用時確呈現高腐蝕性水質的現象。他提出兩種水樣作對比

a) 75°C，PHS=6.0，實際 pH=6.5，L.S.I.=+0.5

b) 75°C，PHS=10.0，實際 pH=10.5，L.S.I.=+0.5

在這兩種水質中，L.S.I.值均為+0.5 都屬結垢性水質。實際運用時，a) 仍為結垢性水質，而 b)卻為強腐蝕性水質。於是 Ryznar 透過實驗提出了穩定指數 R.S.I.的經驗公式來取代 L.S.I.。

$$R.S.I.=2PHS-pH$$

當 R.S.I.的數值為 6 時，屬於不結垢不腐蝕的穩定性水質，當 R.S.I.的數值大於 6 時，此時水質為腐蝕性水質；而 R.S.I.的數值小於 6 時為結垢性水質。將公式代入上述兩種水樣作分析時，

a) R.S.I.=+5.5

b) R.S.I.=+9.5

顯示 a)為結垢性水質，而 b)為腐蝕性水質。

現今，國內的冷卻水管理實務上，L.S.I.及 R.S.I.均為水質管理指標的主要選項。

2.1.2 腐蝕

冷卻系統中常用的金屬有碳鋼、銅、銅合金、鋁和不銹鋼等，這些金屬在冷卻水中是不穩定的，如果沒有加以控制，那將快速的經由腐蝕的途徑，到達它們的穩定均衡即腐蝕狀態(魏寶明，1984)。

1.一般腐蝕

一般腐蝕(Uniform or general corrosion)也稱均勻腐蝕，它的特點是金屬裸露的表面均勻的進行腐蝕狀態，在這過程中，金屬表面因腐蝕而漸漸變薄，最後達到被破壞。其反應式如下，



一般腐蝕經常發生在低 pH 值的環境下，如利用鹽酸、硫酸等處理熱交換器的結垢而未使用適當的緩蝕劑，或是冷卻水系統加酸調節 pH 值時，加酸異常造成的腐蝕。

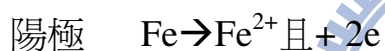
2. 電位腐蝕

電位腐蝕(Galvanic corrosion)，是當兩種不同的金屬物質互相接觸或處於具導電性的溶液中時，兩種金屬間便存在著電位差，這種電位差會形成具備陽極、陰極而有電子互相流動，形成腐蝕電池效應。它的特色是耐蝕性較好的金屬腐蝕速度會下降，而耐蝕性較差的金屬腐蝕速度會上昇。在空調熱交換器的系統中，熱交換器的銅管與碳鋼的殼管間的電位腐蝕也是持續發生的，由於耐蝕性較差的碳鋼被加速腐蝕，而耐蝕性較佳的銅則受到保護。

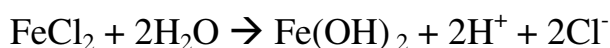
3. 裂縫腐蝕

裂縫腐蝕(Crevice corrosion)，當金屬表面有裂縫、孔穴、螺帽、墊片底面、接縫，甚至沉積物時，常發生強裂的局部腐蝕現象，這種腐蝕也被稱為縫隙腐蝕、沉積物腐蝕，垢下腐蝕或墊片腐蝕等。

這種腐蝕有一個特色，就是無論是在裂縫中或是水垢沉積物下，均是創造一個不流動液體的環境。其腐蝕作用的原理是



在腐蝕過程中，金屬生成金屬離子 Fe^{2+} ，而氧離子則因為裂縫、垢下對流不暢的緣故，氧的還原反應發生在裂縫外，氧容易到達的區域進行。於是孔隙中就有過剩的正電荷。這些過剩的正電荷需要帶負電的氯離子搬遷到孔隙中，以維持電位的平衡。結果孔隙中的 FeCl_2 濃度增加，而後再經過水解，生成不溶性的沉澱物和溶解性的鹽酸。

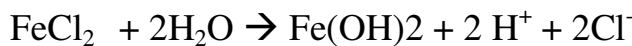


鹽酸是強電解質，它在水中會電離為 $2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$ 而這些離子會加速金屬及合金的腐蝕。

4.點蝕

點蝕(Pitting corrosion)，是在金屬表面產生小孔洞的一種局部的腐蝕狀態，大部分情況，這種現象的孔徑都很小。有些點蝕是單獨的存在，有些則是緊密的湊在一起，像一片粗糙的表面。點蝕的破壞性極大，而且檢查很困難，因為蝕孔通常很小，又常為銹蝕物或沉積物覆蓋著，是空調設備很困擾的隱憂。它使設備穿孔破壞，是一種局部但是嚴重的狀態，常使保養人員措手不及。

點蝕是金屬腐蝕中很特別的一種型式，在點蝕發生時，鐵在蝕孔內發生溶解，生成亞鐵離子 Fe^{2+} ，此時在蝕孔內形成正電荷，引導氯離子遷移到孔中以維持蝕孔內的電位平衡，形成電中性。因此孔內會有高濃度的 FeCl_2 。然後經由水解產生 Cl^- 和 H^+ ，化學式如下：



氯離子和氫離子可以使得多數的金屬或是合金溶解，而且隨著化學反應的進行會逐漸加快。在這過程中，氧離子並不存在於蝕孔內部，無法在孔內進行氧的陰極還原，而是孔的外部表面還原，因而產生附近金屬反而不為腐蝕的現象。

冷卻水中大部分點蝕的發生和鹵素離子有關，其中影響最大的是氯離子、溴離子和次氯酸根離子。

5.微生物腐蝕

微生物腐蝕(Biofouling corrosion)，有些好氧性微生物存在水中會含有硫的成份，而有些厭氧性微生物因生長於沉積物或水垢污泥底下，這些微生物都會轉化為鹽酸或硫化氫，直接或間接影響金屬的腐蝕。

6.其他

其他的腐蝕有應力腐蝕來自於機件裝配時產生應力造成腐蝕；線性腐蝕來自於水的流速、沖刷造成的腐蝕。

2.1.3 微生物

在空調冷卻水系統中由於是開放型結構，經由水蒸氣的蒸發，造成冷卻水中的有機鹽、無機鹽的高倍數濃縮，成為微生物生存的天堂。廣為大眾所週知的退伍軍人菌屬即是這樣環境下的產物。

1.微生物對人體的影響

一般在探討冷卻水中微生物問題時，均把對人體有害的菌種忽略不討論，這是因為當解決完其他微生物問題時，這些對人體有害的菌種也被控制住了。再者，空調系統作用的本身即為製冷工程而設計的，而冷卻水對人體的影響應屬醫學的範疇而非工程的範疇。然而空調設備管理人員仍需注意操作的安全性以免暴露在危險的環境下。

在大自然空氣中即存在各種有益與有害的菌種，退伍軍人菌屬是其中有害菌種的一種，在極低濃度時對人體幾乎無影響(洪柏宸，2009)。然而如果在適當溫度 25~45°C，其中 35°C 為最適當溫度，並且潮濕下，則可能創造一個利於繁殖的環境，這種環境存在於包括水龍頭、蓮蓬頭、冷卻水塔等，其中以冷卻水塔的環境最適合，因其溫度相對而言較高更適合菌類的生長，同時又是開放於室外的水洗系統。退伍軍人菌會引起流行性急性肺炎，致死率高達四成，是一種會造成高死亡率的有害菌種，一般而言冷卻水塔中退伍軍人菌屬濃度以不超過 10 cfu/ml 為範圍，然而國內有許多單位以零檢出為目標，這反而增加冷卻水塔管理上殺菌劑的過度使用。此外，冷卻水中含有極多菌種，對於身體有傷口的作業人員應減少接觸或注意安全衛生，以免引發蜂窩性組織炎，而造成個人的傷害。

2.微生物對設備的影響

冷卻水系統中的微生物分為細菌、真菌和藻類三種。由於空調冷卻水塔屬開放式的系統，經由大量的水蒸氣散發，造成水中物質的濃縮，為微生物帶來了大量的營養源。再加上適合的陽光和水溫，造就微生物的大量繁殖。據信，在大氣中高度 500FT 以內的微生物包括桿狀菌、酵母菌、黴菌、花粉等均透過空氣的塵粒或樹葉的夾帶進入冷卻水中(香港機電工程署，2006)。下表分析了冷卻水中主要影響的微生物屬。

表 2-2 微生物對設備的影響

	類別	菌種	特性	引起的問題
微 生 物	細菌	產黏泥細菌屬	膠狀 具黏性、黏泥狀 附著力很強	降低冷卻水的冷卻效果 沉積物下方造成金屬裂縫 腐蝕(垢下腐蝕)。
		鐵沉積細菌屬	在含鐵的水中生長 存在鐵化合物中 紅棕色黏泥 屬好氧菌	產生銹瘤 堵塞管路 引起電位腐蝕
		硫酸鹽還原菌屬	屬厭氧菌 能將冷卻水中的硫 酸鹽還原為硫化氫	硫化氫為酸性 具強腐蝕性 造成金屬的腐蝕
	真菌	霉菌和酵母菌屬	生長在木頭結構上 、水塔壁 或熱交換器上	造成木材的腐蝕 黏泥降低熱交換效率 黏泥引起電位腐蝕及裂縫 腐蝕
	藻類	藍藻、綠藻、 矽藻	生長在散水板、孔 及散熱材上	引起堵塞，造成熱交換不良 造成裂縫腐蝕

3. 影響微生物的環境因素

營養源，微生物需要維持生長、繁殖就需要各種營養源，其中最重要的元素是碳、氮、磷等。雖然微生物依種類的不同，攝取營養源的方式也不盡相同，但相同的是這些營養源進入冷卻系統的途徑是來自空氣、補充水與設備洩露。

水溫，不同的微生物有不同的最適生長與繁殖水溫，然而大部份的微生物均會在最佳的 30~40°C 環境中生長與繁殖。這也是冷卻水系統中經常維持的水溫。

pH 值，細菌適合在中性或鹼性的環境中繁殖，而霉菌則適合在酸性的環境中繁殖。總的來說，6~9 之間是微生物最適宜生長的環境。而冷卻水塔運轉時控制的 pH 則是在 7.0~9.5 之間，正是處於微生物最佳生長的範圍。

溶氧，冷卻水是經由不斷曝氣的原理，靠著大自然的溫度以降低水溫的。然而不斷曝氣的過程也為冷卻水帶來了充足的溶氧。因此好氧性的細菌、霉菌等就利用溶氧以氧化分解有機物為營養源，取得大量繁殖的基礎。

陽光，微生物中藻類是需要陽光才能生長與繁殖的。

水流速，冷卻水在循環管線中流動，並不是全部管線中的每一個點都有相同的流速，必然有部分位置的流速比較低，於是黏泥和淤泥就會在該處堆積。

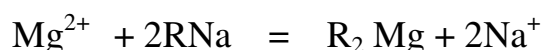
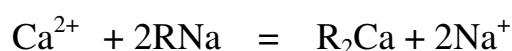


2.2 軟水之處理方法

由於原水中的硬度是構成空調設備熱交換器結垢的主要因素，因此如果能將水中的硬度，也就是鈣、鎂離子去除，那麼冷卻水造成結垢的主要成分就不再存在，也就意味鈣、鎂造成的結垢不再存在，則工程人員就不需要在冷卻水的問題上作太多煩惱。

2.2.1 離子交換軟化水處理

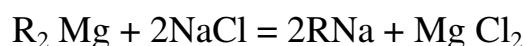
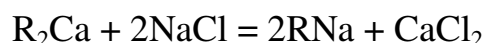
軟水的處理原理乃是利用陽離子交換樹脂中的陽離子(Na⁺, H⁺)，將水中的鈣、鎂離子置換出來，經過置換過程，即是軟化過程的水，就稱為軟水(蔡騰龍，1996)。在軟化過程中，最常用的交換樹脂是鈉型強酸性陽離子交換樹脂，或稱鈉離子交換樹脂。軟化過程的離子反應式為



由上列的化學反應式可以看出，水中原有的 Ca²⁺以及 Mg²⁺被 RNa 型樹脂中的 Na⁺置換出來，並且這些 Ca²⁺以及 Mg²⁺ 留存在樹脂中，使得離子交換樹脂由 RNa 型變成 R₂Ca 及 R₂Mg 型樹脂。經過離子交換後的水質鈣硬度可達 0.03mmol/L 以下，亦即 1.2ppm 以下。

2.2.2 離子交換樹脂再生

在離子交換樹脂交換軟化的過程中，樹脂經不斷的置換而逐漸趨於飽合，當水流經樹脂後的出水硬度超過設計的限值後，則交換器中的離子交換樹脂將失效，不再具有軟化作用。這時，為恢復離子交換樹脂的交換能力，通常採用食鹽水溶液對離子交換樹脂進行再生還原，也就是用食鹽水中的鈉離子將樹脂中吸附的鈣、鎂離子置換出來，其反應式為



由上式可知，再生後的離子交換樹脂又回復成為 RNa 型樹脂，也就是恢復其置換水中 Ca²⁺以及 Mg²⁺ 的能力。

第三章 研究方法

本章係以針對研究對象進行實際的現場操作分析及依據研究對象的需求，尋求對佳的解決方案，並據以執行。

3.1 A 廠空調冷卻水系統的管理作法及面臨問題

空調冷卻水系統的管理作法

最初以自來水作為冷卻水塔補充水，而由於補充水中鈣硬度高，造成設備結垢問題嚴重，冷卻水塔青苔問題嚴重，造成熱交換不良。故改以軟水作為冷卻水塔補充水，而由於未進行水質控制及未使用適當的防垢及殺菌措施，仍發生設備結垢及冷卻水塔青苔的問題，影響到空調設備之正常運轉。

表 3-1 自來水與軟水水質成份分析

取樣日期		98/05	98/05	備註
來源水樣		自來水	軟水	
pH Value	pH 值	8.2	7.8	因去離子結果，pH 值微降
Conductivity in Micromhos	電導度	380	260	因去離子結果，電導度值微降
M-Alkalinity ppm as CaCO ₃	M-鹼性度	110	80	鹼性度略降
Ca -Hardness ppm as CaCO ₃	鈣硬度	90	14	鈣硬度明顯降低
Silica ppm as SiO ₂	二氧化矽	16	15	變化不明顯

資料來源：長瑩科技股份有限公司提供

表 3-2 空調冷卻水系統的管理作法

問題	解決方案
補充水硬度高造成結垢問題嚴重	自來水 加軟化設備
青苔藻類生長嚴重	投加固態 氧化性殺菌劑

表 3-3 空調冷卻水系統(使用軟水)面臨的問題

原因	結果	問題	狀況	影響
未進行水質控制； 未使用適當的防垢 及殺菌措施	結垢 青苔 黏泥	冷凝器趨近 溫度升高	熱交換效 率不良	需開更多 台冰水機 才能達成 需求的熱 交換效果
		冷凝器冷媒 壓力升高	壓縮機負 荷上昇	耗電
		壓縮機喘震		壓縮機可 能受損； 有跳機風 險
委外清洗冷凝器	成本高			
自行清洗冷凝器	未洗乾淨	冷凝器趨近 溫度升高。	熱交換效 率不良	需開更多 台冰水機 才能達成 需求的熱 交換效果
		冷凝器冷媒 壓力升高	壓縮機負 荷上昇	耗電
	過度清洗或 方法錯誤	銅管腐蝕	可能造成 銅管穿孔	冷凝器損 壞



3.2 冷卻水之處理方案評估

3.2.1 水垢的控制

冷卻水系統控制水垢問題，其解決方案如下：

1. 補充水軟化

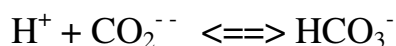
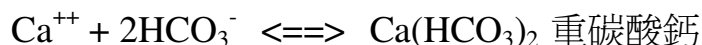
由於水垢的來源主要源於水中的鈣、鎂離子(硬度)，因此只要於去除水中硬度，則碳酸鈣水垢就不會生成，進而可以維持良好的熱交換效率。一般而言，去除水中硬度最常用的方即為離子交換樹脂法，利用此法將補充水中的硬度去除形成軟水後投入冷卻水中以為補充逸失的水份。

離子軟化時所採用的樹脂是鈉型陽離子交換樹脂，硬水通過樹脂時，二價的陽離子 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 與 Na^+ 交換，而後與樹脂結合。因此得以去除水中的鈣、鎂離子，使水軟化。當樹脂中 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 逐漸飽合而失去交換能力時，就需進行再生操作。再生時，以食鹽水通過樹脂，利用食鹽水中的 Na^+ 與 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 進行交換，讓 Na^+ 重新與樹脂結合，於是樹脂又可以產製軟水。再生後的 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 則隨再生廢水排走。

以軟水作為冷卻水塔的補充水時，會增加用水成本。再者冷卻水在水塔中循環時除了補充水中的微量硬度外，也會帶入空氣中的雜質這些雜質會增加水中硬度，因此適度的水質控制仍是必需的。

2. 控制 pH 值

從冷卻水動態平衡關係式中，可以看出當加酸進入冷卻水中時，可以使得反應式向右邊進行，使得重碳酸鹽呈穩定的狀態。於是加酸仍是水質控制者的選項之一。再者許多的防腐蝕劑、防垢劑在高的 pH 值下效率會降低，甚至失效，此時也需要利用加酸調節需要的 pH 值。唯加酸時使用的酸劑，及量均需有良好的控制才能有效的達成需求的目的，否則有些酸劑如鹽酸，會直接造成金屬會腐蝕。另外加酸不足會效果不彰，加酸過多造成金屬腐蝕，實應小心。



3. 使用阻垢劑或阻垢設備

結垢就是微溶性的的碳酸鹽結晶沉澱的一種過程，從結晶生成的過程來看，首先是生成晶核，形成少數的微晶粒，然後微晶粒在水中不斷的互相碰撞，也和金屬產生碰撞。這樣的結果，不但提供晶體成長

的動能也提供成長的熱能，使晶體不斷的長大，於是形成在傳熱區覆蓋的水垢。此時，如果能投加某些藥劑，破壞結晶對生長，就可達到控制水垢形成的目的。

阻垢劑的發展(祈魯梁，2000)，在六七十年代以前最早是使用一些天然高分子如丹寧、木質素、澱粉類等產品作為抑垢使用。後來磷酸鹽類才被開發出來作為冷卻水抑垢劑，然而磷酸鹽類產品(無機)的缺點是用量大、容易在水中分解以及環境污染等問題。隨著環保的發展，有機磷酸鹽類發展成為緩蝕抑垢的主要配方，這時藥劑的發展呈現越來越高的要求，鹼性配方、含鋅鹽配方、全有機配方等在在反應出市場的需求趨勢。

七十年代中期逐漸出現了許多的聚合物作為緩蝕抑垢使用，聚合物的發展改變了緩蝕抑垢劑的使用觀念。由於用於水處理的藥劑已發展許多種類，功能也各有差異，然而市場上對抑垢作用的原理看法的多元化以及不斷出現的新問題，於是經由各個單體予以合成，而後引入不同功能的品項，以改善原始單一品項功能不足的部分，而形成聚合物。

九十年代產品的發展除了在聚合物方面不斷的精進外，也引入了更多綠色概念產品。如生物性的水處理劑、磁性裝置、電子除垢裝置等都是新一代的科技環保產品。



表 3-4 阻垢劑種類評估比較

產品	特點	問題
磷酸鹽配方、緩蝕配方甚至殺菌殺藻配方參配而成	<ol style="list-style-type: none"> 1、考慮到客戶不同的需求，調配需要的產品。 2、成本低，對需求低成本與有限效果的客戶具有極大的吸引力。 	<ol style="list-style-type: none"> 1、各單品間的混合參配產生化學沉澱、藥劑衝突抵銷各單獨藥劑的效果，藥桶常有沉澱物析出堵住藥劑的輸出。 2、pH 值超過 8.5 時，效果大為減少。
聚合物(Kemmer, 1979)	<ol style="list-style-type: none"> 1、大部分抑垢成分聚合物均具緩蝕效果。 2、新聚合配方不斷出現以適應新問題、新挑戰。 3、有機產品的出現降低環境污染的問題。 	<ol style="list-style-type: none"> 1、綠色產品開發仍持續努力與改善中。 2、適應水質變異的能力仍有待改善，pH 值大於 9.0 時效力仍大幅減低。 3、單一藥劑處理多種問題，常有配方無法通用的問題。
生物性水處理劑 (長瑩科技, 2008)	<ol style="list-style-type: none"> 1、利用生物膜的原理，不改變水質，適應多種變異性水質。 2、對環境衝擊極微。 3、具緩蝕、抑垢、殺菌滅藻多功能。 	<ol style="list-style-type: none"> 1、針對台灣氣候，藻菌滋生快速，不易以單一藥劑處理藻菌問題。 2、需輔以高單價的非氧化性殺菌滅藻劑配合殺菌滅藻使用。 3、不能使用氧化性殺菌劑，以免破壞生物膜。
磁性裝置	<ol style="list-style-type: none"> 1、利用磁場影響液體中的懸浮微粒或離子以防止結垢。 2、物理方法，完全不添加藥劑，無環保困擾。 	<ol style="list-style-type: none"> 1、殺菌滅藻部分、仍依賴藥劑。 2、失敗案例高，仍待努力。 3、缺乏普及性及效果實證數據。
電子除垢裝置 (Zeta, 1993)	<ol style="list-style-type: none"> 1、利用磁場及搖擺電場原理，使水中離子帶電後互相碰撞，正負離子撞擊後產生沉澱，再將沉澱物以過濾器濾 	<ol style="list-style-type: none"> 1、殺菌滅藻部分、仍依賴藥劑。 2、失敗案例高，仍待努力。 3、缺乏普及性及效果實證

	<p>除。</p> <p>2、物理方法，完全不添加藥劑，無環保困擾。</p> <p>3、使用相容的藥劑，可以節省藥劑量及強化藥劑效果。</p>	<p>數據。</p> <p>4、需使用相容藥劑配合使用，不相容的藥劑，效果差。</p>
<p>奈米流體 (Eastman, 1997)</p>	<p>1、利用奈米顆粒投入冷卻水中，用以吸附微生物及雜質。再透過磁性集中法去磁、過濾。</p> <p>2、物理方法，完全不添加藥劑，無環保困擾。</p>	<p>1、具未來性。</p> <p>2、開發門檻高。</p> <p>3、技術發展瓶頸仍待突破。</p>

3.2.2 腐蝕的控制

1.冷卻水系統處理腐蝕問題，其解決方案有

- (1)採用耐腐蝕材料或塗覆防蝕塗料。
- (2)採用化學加藥，使用緩蝕藥劑。
- (3)提高冷卻水的 pH 值。
- (4)控制結垢與微生物的生成，防止裂縫腐蝕(垢下腐蝕)的問題(魏寶明，1984)。

由於冷卻水系統的管路輸送設備已是既成的設施，目前主要探討使用化學加藥模式進行防蝕工程。

2.防腐蝕劑作用模式

防腐蝕劑品項極多，而用量不大，顯然這些藥劑不會改變金屬在水中的腐蝕傾向，而是減緩腐蝕速度。一般而言，依據防腐蝕作用模式分成有陽極式防腐蝕劑、陰極式防腐蝕劑、混合式防腐蝕劑及吸附式防腐蝕劑等種類。由於腐蝕的形成，主要是藉由電位差的形式產生的，因此化學藥劑主要也是透過阻止陽極與陰極產生反應的角度來完成防蝕的功能。

(1)陽極系防蝕劑

陽極系防蝕劑的作用原理是利用陰陽子電位反應中的陽極端以防腐蝕膜保護起來，於是當陽極端都被阻隔時，氧化的反應自然無法進

行。這種方法需有足夠的防蝕藥劑進行極點的保護，以免有漏網之魚。

(2)陰極系防蝕劑

與陽極系防蝕劑的作用原理相近，只是本系列的防蝕劑採用在陰極端腐蝕位置形成保護膜。這種方法相較於陽極系防蝕劑的不同點在於藥劑的使用量可以較少。減少投藥量、成本與環境衝擊，是目前大部分的冷卻水用化學藥劑的主流。

(3)混合系防蝕劑

混合系列的防蝕劑是綜合以上兩種藥劑的特點進行聚合而成的，因為不同系列的藥劑間可以進行互補，用以強化防蝕效果，節省防蝕藥劑的功能，這些藥劑多是專利型的防蝕藥劑。

(4)吸附式防蝕劑

此類型的防蝕劑是以極性分子膜的形式附著於金屬的表面，降低金屬表面的電位差，用以防止金屬和水中離子之間產生足夠的電位差，進而降低電位腐蝕困擾，同時由於分子膜的隔離，亦使得氧化作用無法在金屬的表面進行，進而阻絕了一般腐蝕的困擾。一般而言，有機化合物多以本類型的機制防制腐蝕的發生。

(5)其他

其他類型的防蝕機制包含有造膜、鈍化等，這些方法多為防腐蝕作業的一環，非為單獨使用即可有效達成防腐蝕的目的，使用上亦需專業的人員縝密的操作方可達成目的。



表 3-5 防腐蝕劑種類評估比較

陽極型			
主成份	適用 (pH)	缺點	優點
鉻酸鹽	6~11	毒性大 不能與還原性物質共存。	對所有金屬都有保護作用。 緩蝕效果佳。
鉬酸鹽	7.0~8.5	昂貴 與氯會產生化學反應。	毒性低 可防止裂縫腐蝕。
陰極型			
鋅鹽	6.5~7.5	單獨使用效果佳 有毒	成本低 需與其他緩蝕性複方使用 作用迅速
聚磷酸鹽 (聚合物)	6.5~8.5	易水解 促進微生物生長	緩蝕兼抑垢 成本低
有機磷化合物 (聚合物)	7~9	水中需有鈣或鋅 以防蝕	適合高硬度、高 pH 及高溫 緩蝕兼阻垢
吸附型			
BTA ; TTA	6~9	成本高	對銅及銅合金緩蝕效果強
生物性水處理劑	6~9.5	成本高 易為氯及氯銨氧化破壞	環保性佳 對銅及銅合金緩蝕效果好

3.2.3 微生物的控制

冷卻水系統微生物的控制，其解決方案如次(CTI，2005)。

1. 補充水水質及環境管理

補充水水源管理的目的是在管理補充水中硬度、pH 值，懸浮物和微生物的養份等。油類、有機排氣、氨等是微生物的營養源，因此如果補充水或環境中有此類物質，應儘量避免其洩露至冷卻水塔中。

2. 清洗

進行物理清洗或化學清洗可以把冷卻系統中微生物所需的養份、微生物生長的基地以及微生物本身從冷卻水系統中移除。清洗對於被微生物污染的系統，是非常有效的方法。同時，未被徹底清除的微生物也因而直接暴露在表層，可為殺菌劑直接作用而達到理想的結果。

3.防止陽光照射

藻類的生長和繁殖需要陽光，所以在容易滋生藻類的位置進行遮陽的工作，可以減少許多殺菌劑的用量。

4.添加殺菌滅藻劑

控制冷卻水中藻菌的最直接有效的方法就是投加殺菌滅藻劑。殺菌滅藻劑通常可分為氧化性及非氧化性兩類。

氧化性殺菌劑是具有強烈氧化性的殺菌劑，這些藥劑通常也是一種強氧化劑，對水中生物殺滅作用強烈。這些藥劑以漂白水、氯錠、過氧化物及溴化物為代表。它們的普遍特色是殺菌效果快又廣泛，費用較低微生物也不易產生抗藥性等優點。然而藥效時間短，受 pH 影響大、分散滲透、剝離效果差等是這型藥劑不足之處。另外部分產品易導致點蝕的問題，也是使用上需謹慎的地方。

非氧化性殺菌劑不是以氧化作用殺滅微生物的，而是以其化學特性作用於微生物，所以受水質影響較小。具有作用較持久、對沉積物滲透力強，具剝離作用、受水中 pH 影響較小等特點。不過成本較高、並且容易產生抗藥性等是其缺點。



表 3-6 殺菌滅藻劑之評估比較

殺菌滅藻劑	優點	缺點	備註
氧化性 殺菌滅藻劑	1、成本低 2、作用快速 3、無抗藥性問題	1、pH 過高無效， (通常以 8.5 為 界)。 2、對人體刺激 性，致癌疑慮。 3、對金屬有氧化 腐蝕、點蝕的困 擾。	氯錠 次氯酸鈉 臭氧 溴錠 氯溴錠 等
非氧化性 殺菌滅藻劑	1、pH 範圍較 廣。 2、持久性佳。	1、成本較高。 2、有抗藥性問題。	四級氨 異塞唑啉 季磷鹽 有機硫化物
生物性水處理劑	在歐美國家亦歸 類為殺菌劑。 環保性佳。	在台灣地區殺菌效 果不明顯。	
紫外線光殺菌	環保性優 可有效消滅水中 某些致病性細菌。	水質混濁，效果就 會降低。需在設備 的上游加裝過濾器 以減少混濁。	
銅、銀離子電離器	利用電離器產生 銅、銀離子作為殺 菌使用。	硬水系統中容易產 生電極積垢，而失 效。 pH 值大於 7.6 時銀 離子含量難以保 持。 銅離子會造成沉澱 及電位腐蝕。	

3.3 本研究選用之方案

在成本及效率的優先考量下，本廠選擇在可接受的成本下具環保及效率優勢的生物水處理劑為緩蝕抑垢劑，搭配非氧化性殺菌滅藻劑，作為冷卻水塔水處理的添加劑。

3.3.1 方案之選定

- 1.軟水系統經常被選擇用於改善補充水問題的方法，但昂貴的設備、有限度的成效經常是使用者往後另尋他途的主因，畢竟並非補充水管理好，冷卻水設備即會得到完全的改善，仍需投注許多精力在現場設備的維護管理。同時又因冷卻水塔設備是開放式設備，外在空氣灰塵中也會含有許多硬度成份。另外其他非碳酸鈣結垢的其他阻礙熱交換的沉澱物，本來不是很明顯的項目，也會在此時由於管理上的因素，而變得明顯。
- 2.加藥方法是目前市場上最為主流的水處理方式，然而訪視過許多的使用者發現，成效有很大的差異，通常在水質好再採取加藥的情況下，效果較佳，然而在水質條件不佳的情況下，效果就有很大的出入。
- 3.本研究在選擇使用產品時，自然將水質因素納入考慮，生物水處理劑在適應變異水質，較差的水質條件上有不錯的表現，是出線的重要因素。環保也是考量因素之一，化學性產品終將面臨環保的挑戰，因此在一開始就將環保的問題考慮進去避免後續衍生其他的問題。
- 4.使用物理方式可能是未來的潮流之一，這些物理方法如磁力式、電子式或所謂奈米式都有許多人投入研發。只是進展有限，依各研發廠家的技術資料，仍需佐以化學性產品(號稱可以節省許多化學藥劑成本)。不過，實務上均未能取得市場廣泛的認同。

3.3.2 生物水處理劑的作用原理

生物水處理劑是一種「驅散性-極性分子-複合膜」對管路及系統腐蝕、結垢、生物黏泥、污塞能澈底解決之「全方位系統處理劑」。其特性是以產品的物理特性利用其分極性附著力，在系統內建浴時，可迅速抑制系統內的腐蝕、結垢、生物黏泥及污塞。使系統清潔，達到最佳熱交換效率。其特性有

- 1.具有分散特性的膜處理劑，能夠附著在處理系統管路內部的表面，形成不間斷的極化分子層，能有效解決生物依附於管路而產生的生物積塞，並能分解生物積塞所產生的天然膠著問題。
- 2.除可防止結垢的沉積和依附外，本產品以其分散特性，正確經常使用能將現存結垢沉積物逐漸清除。
- 3.藉由膜層組織來抑制處理表面而防止腐蝕的發生，並能完全防止因氯化物所引起的點蝕及其它常見的腐蝕現象。

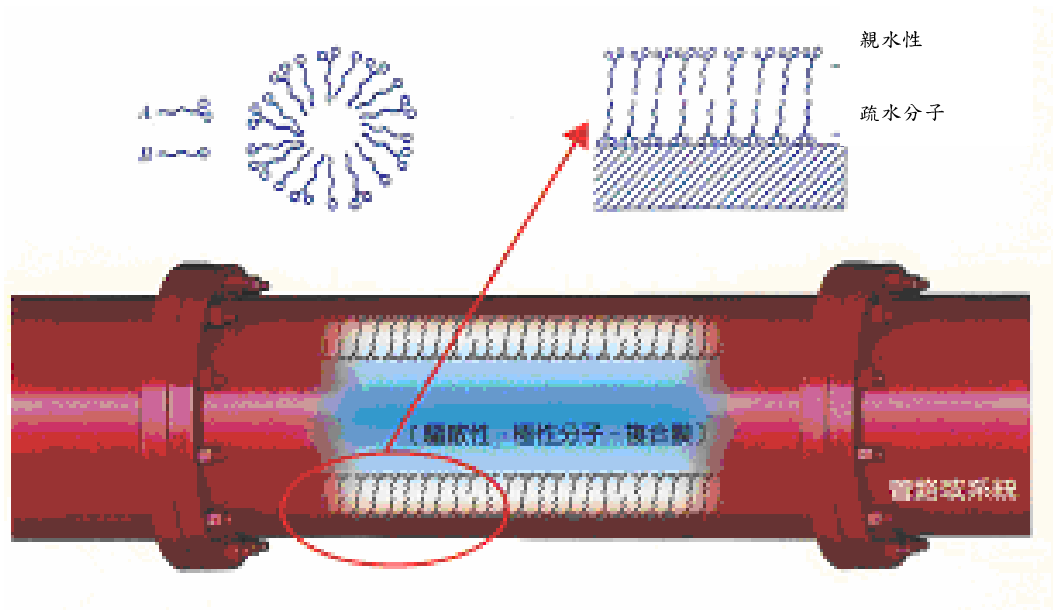


圖 3-1 生物水處理劑的作用原理

3.3.3 生物水處理劑處理之特性及優越性

1. 產品之特點之一為補給水源之節省，因此產品非以化學藥劑之方法處理水質，因此也就沒有酸鹼度及各種礦物質控制之強烈水質要求。於枯水期間限水條件下極具效益。
2. 可加寬冷卻水水質之適用控制範圍，操作管理簡便。
3. 因其為非揮發性產品，保存及操作簡便，且不影響功效。
4. 產品本身無毒性，分解後也不會產生傷害。它附著在處理系統的表面，不僅具有快速的生物分解性，對於系統內、外的環境完全不會造成任何影響。
5. 為歐洲 EED、美國 EPA 認可河川、湖泊、海洋的環保排放的產品。

3.3.4 生物水處理劑與一般加藥比較 (表 3-7)

項目	使用軟水或不加藥	一般化學加藥方式	生物水處理劑
環境影響	對環境無影響	需留意水中物質及含量以免影響環境或逾越法規。	環保性佳
水垢抑制	軟水可以減緩水垢的發生，但仍會產生水垢。自來水或地下水則仍水垢快速生長。	有抑制效果	有抑制效果
腐蝕抑制	無	有抑制效果	有抑制效果
微生物抑制	無	需添加殺菌滅藻劑	需再補充殺菌滅藻劑 需使用非氧化性殺菌滅藻劑
水質監控	無	需監控 pH 值，pH 超過藥劑容許上限時，藥劑失效。需監控電導度值，以免硬度超過容許上限造成水垢生長。	需監控電導度值，以免硬度過高時，容易在水中形成自然沉澱，形成水垢效果。但因不需考量 pH 值，因此可忍受範圍較寬。
節電效果	逐漸耗電	可達成省電效果	可達成省電效果
節水效果	不排水最省水但若要達到適度抑制水垢功能，需大量的排放水。	配合藥劑的耐受度，調整濃縮倍數	變化性水質亦可適用，硬度忍受範圍較高，較之化學加藥更能節水

第四章 實證結果及分析

4.1 實證結果

經過將近一年的實際投藥測試，其結果將依沈積物抑制效果、腐蝕抑制效果及微生物抑制效果分別敘述。

4.1.1 沉積物抑制效果

經過一年的實驗測試，冰水機的趨近溫度維持良好的運轉狀況。

冰水機 R1 冰機自九十八年六月開始使用生物水處理劑起，至九十九年五月止，趨近溫度維持在 1°F 的範圍裡面變動，顯示冷凝器內部並無明顯結垢產生。

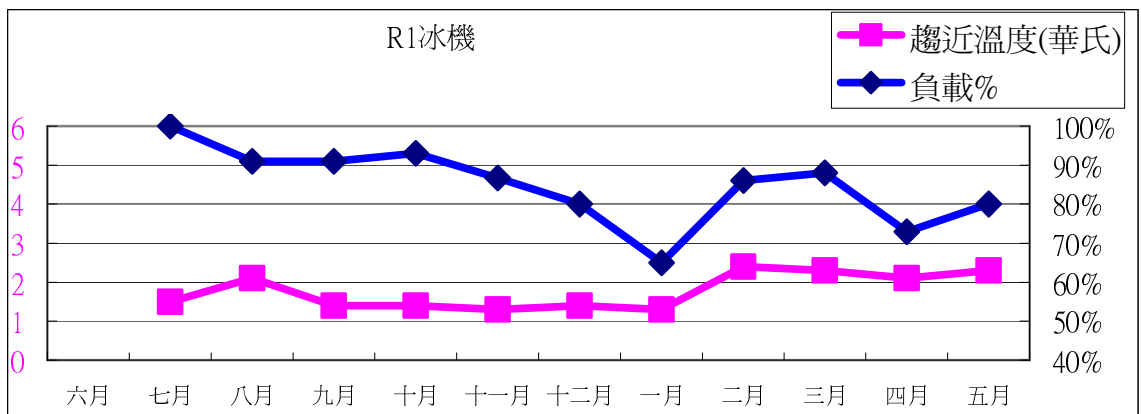


圖 4-1 R1 冰機負載及趨近溫度趨勢圖

冰水機 R2 冰機自九十八年六月開始使用生物水處理劑起，至九十八年一月止，趨近溫度亦維持在 1°F 的範圍裡面變動。然因這段期間趨近溫度維持在平均 5~6°F 的範圍內，略為的偏高，於是安排於九十九年二月進行冷凝器清洗的工程，於是冷凝器趨近溫度有下降的狀況。並且自二月至五月趨近溫度亦維持在很小範圍內變動，足以顯示冷凝器於加藥期間內，內部並無明顯產生水垢沉積的問題。

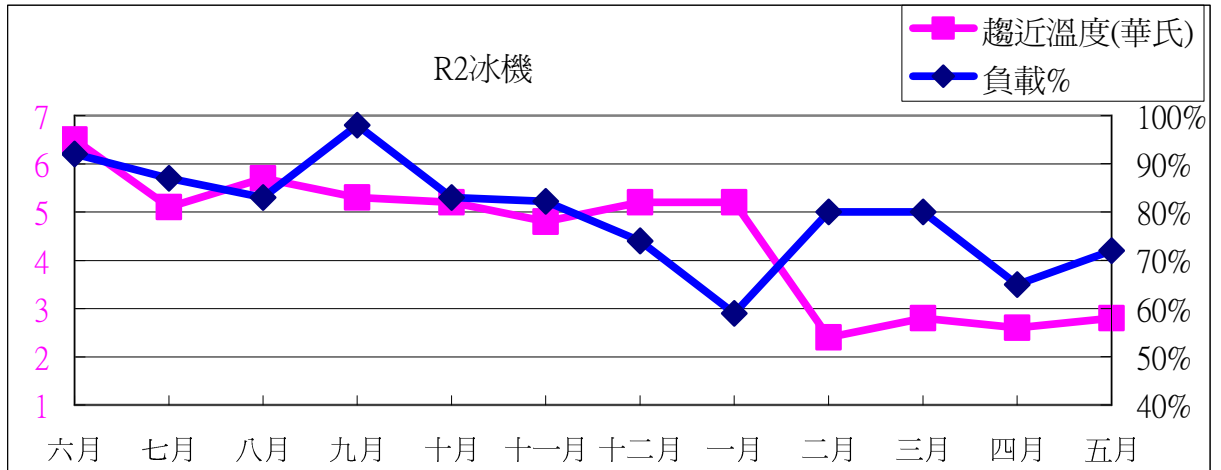


圖 4-2 R2 冰機負載及趨近溫度趨勢圖



4.1.2 腐蝕抑制效果

最簡易的腐蝕狀況判定為測量冷卻水中的鐵離子濃度，依日本日立空調所制定的標準，冷卻水中的鐵離子濃度不得超過 1.0ppm，否則設備將有嚴重腐蝕狀況的產生。本廠冷卻水加藥後冷卻水中鐵離子的濃度，隨著加藥時間的拉長而逐漸減少，這符合加藥前產品所宣示的功能，即具有將舊的金屬銹蝕物分散帶出，並且重建新的防腐蝕層，達到防蝕的功能。

R1 冰機所屬冷卻水塔水中的鐵離子濃度從加藥之初的 0.6ppm 輕微腐蝕程度，到加藥半年後已達到接近無鐵離子析出的狀態，顯示金屬受到良好的保護。

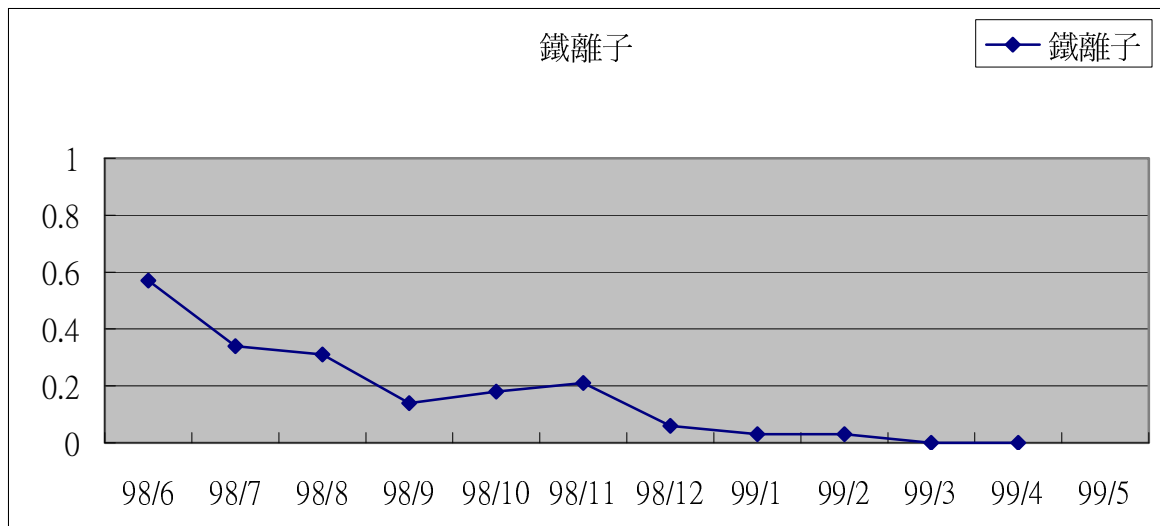


圖 4-3 R1 冰機鐵離子濃度趨勢圖

R2 冰機所屬冷卻水塔水中的鐵離子濃度從加藥之初的 0.3ppm 的輕微腐蝕程度，到加藥半年後亦已達到接近無鐵離子析出的狀態，顯示金屬也受到良好的保護。

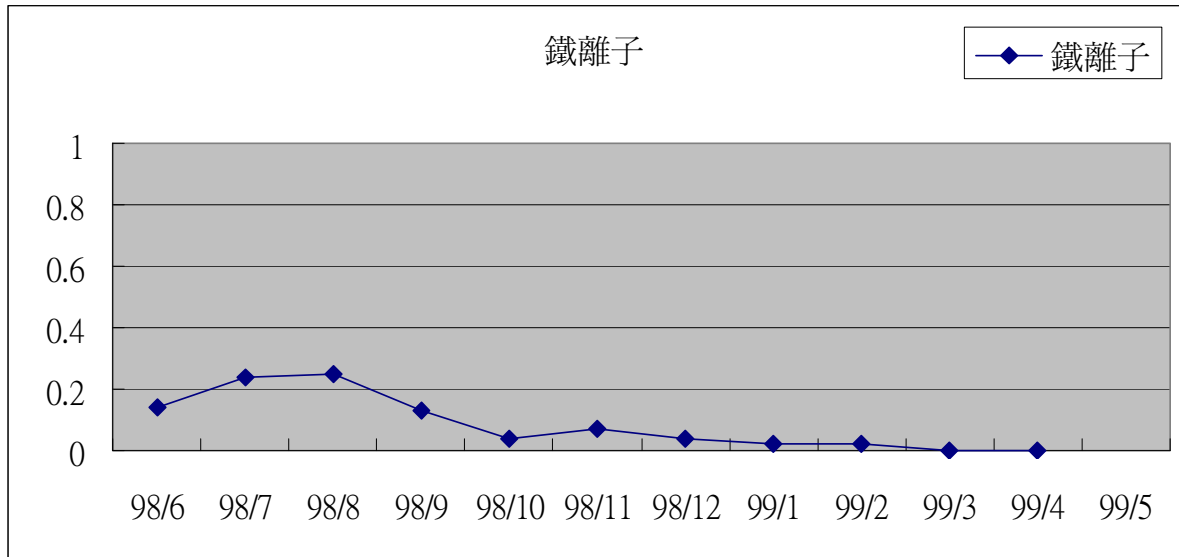


圖 4-4 R2 冰機鐵離子濃度趨勢圖



4.1.3 微生物抑制效果

微生物的抑制效果尚稱理想，本研究之微生物抑制效果分成兩部分，一是菌落數(Total Bacteria Count) (Colony forming units/mL, CFU/ml)比較，二是目視冷卻水塔生長狀況。其主要原因為在比較菌落數時，可能會出現冷卻水塔已經青苔生長明顯，然而冷卻水中的總菌落數卻不高的現象。

1.加藥前後菌落數比較

菌落數一般是以 3×10^5 (CFU/ml) 為冷卻水中菌落數控制的標準。本研究在開始加藥前冷卻水中菌落數達 1×10^8 (CFU/ml) 以上，屬菌類生長嚴重的狀況。加藥後，菌落數即很快的降至 1×10^3 以下。由於菌類的生長是成等比級數的生長，因此控制稍有不甚，即會發生快速生長後超標的狀況。

表 4-1 加藥過程中冷卻水中菌落數控制情形

日期	98/6	98/7	98/8	98/9	98/10	98/11	98/12	99/1	99/2	99/3	99/4	99/5
總菌落數	$>1 \times 10^8$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$	$<1 \times 10^3$

2.青苔生長目視結果

加藥後冷卻水塔已無明顯可現的青苔，亦未發生因黏泥帶來趨近溫度上升的問題。圖 4-5，冷卻水塔散熱片，整體情況尚稱理想。



圖 4-5 微生物抑制效果-1

圖 4-6，2000RT 冷卻水塔，散熱片尚稱理想，唯回風板的部分，因水氣到達受潮且無水流部分，有輕微菌類滋生。此部分可於停機時以高壓水柱清除。



圖 4-6 微生物抑制效果-2



4.2 分析

使用加藥方式後設備的變化如下表

表 4-2 加藥前後比較表

問題	改善前	改善後
結垢 (趨近溫度)	趨近溫度升高 (熱交換效率降低)	趨近溫度維持穩定 (熱交換效率維持穩定)
腐蝕	輕微腐蝕 (有鐵離子滲出)	腐蝕的問題大幅改善 (鐵離子接進零滲出)
青苔	輕微生長	無明顯可見青苔

由表中可以看出經過加藥處理後，設備的狀況均呈現改善的跡象。

4.2.1 加藥後的改善狀況

經過加藥後，設備的問題明顯改善了，原本每年會明顯變化的趨近溫度(熱交換效率的指標)維持低而穩定；設備輕微腐蝕的問題改善了，青苔菌類的問題改善了。唯一稍微不理想的地方是因為不再使用軟水設備，減少軟水設備的運轉及維護成本，而造成冷卻水塔的積砂增加了。

1. 結垢問題

結垢是一種長期的化學作用，並非短時間可以看出其中的變化，因此本研究進行長達一年的時間實驗分析，並據以得到結果。加藥前趨近溫度呈快速上昇的現象，然而經過研究測試一年的期間，整理的變化均呈現相對穩定的狀況。

2. 腐蝕問題

加藥前設備呈現輕微的鐵離子滲出現象，一般這種現象可以解讀為管線輕微的腐蝕現象，然而加藥之後，這些現象均消失了。

3. 微生物問題

投藥後，微生物的生長被抑制了，顯示適當的使用加藥措施，是可以有效的抑制微生物的生長。

4.2.2 效益

具有無形的效益及有形的效益。

- 1.無形的效益：提昇設備穩定度，降低當機後之設備維修成本及巨額之生產損失成本。
- 2.有形的效益：將用水效益、節電效益、保養效益及加藥成本作分析。

(1) 用水效益

研究對象在加藥之前使用自來水軟化水作為冷卻水塔補充水，軟化成本大約為 \$2/TON，加藥之後本部分改為直接使用自來水為補充水。不考慮耗水量差異後，則水質軟化成本若以平均開機 RT 數 1200RT 計算，冷卻水塔月用水量為 5000TON 計，即平均月用水量節省 5000TON/月*\$2/TON = \$1 萬/月，則年節省水質軟化成本金額為 \$12 萬/年

(2) 節電效益

加藥前冰水機的冷凝器趨近溫度變化圖如下表。

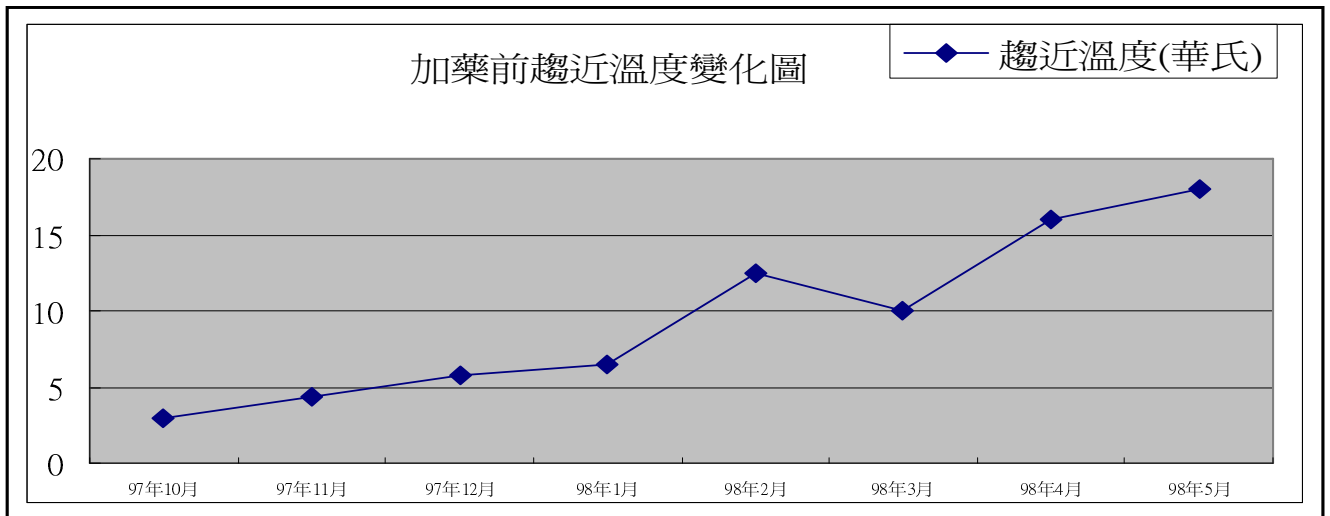


圖 5-1 加藥前冰水機的冷凝器趨近溫度趨勢圖

從表中可以看出，九十七年十月時趨近溫度為 2.9°F，相對於目前的趨近溫度值，亦為 2.9°F。以此值為標準，則在七個月後上升至 18°F，而後進行冰機的藥洗，才使冰機趨近溫度降低下來。若以這七個月的簡單平均計算，其平均趨近溫度為 9.5°F，相較於 2.9°F 平均上升達 6.6°F。若以加藥後每年最高溫升 2°F 計算，即平均溫升 1°F，即可算出相對而言，加藥平均可以減少 5.6°F 的溫升空間(李瑞墉，2002)。

則加藥創造節電效益計算如次。

1°F 影響 0.015KWH/RT，

則 5.6°F 影響 0.084KWH/RT

若以年平均 1200RT 的運轉負載下，並且設定電費為 \$2/KW，

則每月減少用電 0.084*24*30*1200*2=14.5 萬元電費

即每年減少 174 萬元電費

(實際值會因冰機的負載與實際開機 RT 數而有些許差異)。

(3)保養效益

目前實驗廠共有四台冰機，在未加藥前每年每台冰機冷凝器每年藥洗一次，每次每台成本清洗成本以委外計，每台清洗成本為 2.5 萬元，即每年清洗成本節省 $\$2.5$ 萬/台.年*4 台 = $\$10$ 萬/年。

(4)加藥成本

本實驗廠使用加藥處理之藥劑年總費用為 29 萬元。

生物水處理藥劑每日添加量

(每 1000RT，每日添加 2000ml)

2000RT： $2*2000 = 4000$ ml/日= 120 l/月 $\doteq 120$ kg/月

殺菌滅藻藥劑每日添加量

(每 1000RT，每次添加 4kg)

2000RT： $2.0*4*12$ 次/月 $\doteq 100$ Kg/月

總效益應包含藥劑費用及用水效益、節電效益、保養效益。

總效益合計: (1)+(2)+(3)-(4)

(1)節水效益節省 12 萬

(2)節電效益節省 174 萬

(3)保養效益節省 10 萬

(4)水處理劑加藥成本 29 萬

即使用加藥方式，共可創造經濟效益達 167 萬元。



第五章 結論與建議

5.1 結論

空調冷卻水系統熱交換效率受結垢、腐蝕及微生物的影響甚鉅，如果能有效的管理和控制，將可創造明顯的效益。補充水軟水處理可以將冷卻水塔補充水中的鈣離子去除，創造一個不易結成產生碳酸鈣水垢的環境，但仍不能避免熱交換效率的下降的困擾。而依本研究建議採用生物水處理劑的加藥方法可以有效控制熱交換效率下降、設備腐蝕及微生物滋生的問題，維持冷卻系統長期穩定良好的熱交換效率。

經過加藥後，設備的問題明顯改善了，原本每年會明顯變化的趨近溫度(熱交換效率的指標)維持低而穩定；設備輕微腐蝕的問題改善了，青苔菌類的問題改善了。

經過加藥後，具有無形的效益及有形的效益。

- 1.無形的效益：提昇設備穩定度，降低當機後之設備維修成本及巨額之生產損失成本。
- 2.有形的效益：包含用水效益、節電效益、保養效益並扣除藥劑費用。共可創造經濟效益達 167 萬元。



5.2 建議

本研究係以研究對象的現況進行改善的個案分析研究(case study)，並且是在一個受限於研究對象的時間壓力及成本限制下完成，在選擇過程雖盡力參考所有可用、可蒐集的資訊，然而亦恐有遺珠之憾。因此對各種不同產品間的成本效益作產品間的比較是未來研究所需完成的。另外科技的發展日新月異，許多新產品的出現，如奈米流體等，雖然尚未形成市場認同，但其發展卻隨時可能顛覆現有市場的發展，頗值得關注。盼望未來研究者在新科技的領域有明顯的突破。

以上僅就此篇研究之心得提供業界有志者之研究參考。



參 考 文 獻

1. 香港機電工程署，「水冷式空調系統實務守則」，第三部：冷卻塔水處理方法，2006。
2. 蘇金佳譯，冷凍與空調，美商麥格羅.希爾國際有限公司，2002，p52-60。
3. 許顯志、莊嘉琛，「冷卻水塔水資源節能管控對策探討(中)」，中華水電冷凍空調月刊，民國九十五年七月。
4. 陸紀文、王輔仁、謝文健合譯，冷凍空調原理，滄海書局出版。
5. 李瑞墉，「冰水系統能源效益分析」，台北科技大學碩士論文，民國 91 年 7 月。
6. 展茂光電股份有限公司，「冷卻水塔砂濾系統改善」，2007.1。
7. 蔡騰龍，工業冷卻水處理概論，正文書局，1996。
8. 蔡騰龍，冷卻水腐蝕水垢抑制論，正文書局，1996。
9. 張廣智，潘惠民，「讓園區用水無虞不再乾等待—台灣新竹科學工業園區旱災應變處理對策」，節約用水季刊，第 28 期，2002。
10. 李玲玲，楊育昌，「台灣水資源政策之探討」，節約用水季刊，第 28 期，2002。
11. 謝博丞，「冷卻水塔之節水策略」，國立成功大學機械工程研究所，碩士論文，台南，2004。
12. 周本省，工業水處理技術，化學工業出版社，北京，1997。
13. 祈魯梁，李永存，楊小莉，水處理藥劑及材料實用手冊，中國石化出版社，北京，2000。
14. 魏寶明，金屬腐蝕理論與應用，化學工業出版社，北京，1984。
15. 洪柏宸，退伍軍人菌即時定量檢測技術現場應用研究，勞委會安全衛生研究所出版，2009。
16. 長瑩科技股份有限公司，「冷卻水系統處理簡報」，產品教育訓練，2008。
17. Langelier, W. F. , "The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment", AWWA Journal, 28:1500, 1936.
18. Ryznar, W. J." A New Index for Determining Amount of Calcium Carbonate Scale Formed by a Water", AWWA Journal, 36:472, 1944.
19. Drew Chemical Corporation, Principles of Industrial Water Treatment, 4th Edition, 1981.
20. F.N. Kemmer, The NALCO Water Handbook, McGraw-Hill Book Company, 1979.
21. Rohm and Hass Co. , Kathon WT Water Treatment Microbiocide, Philadelphia, 1990.
22. Zeta-Meter, Inc., Everything you want to know about Coagulation & Flocculation, 1993.
23. CTI Journal, Organic Deposit & Fouling Control, CTI Journal, no 26, 2005
24. Hwalader and Liu, Numerical study of the thermal hydraulic performance of evaporative natural draft cooling towers, Applied Thermal Engineering, no 22 ,2002.