

蒸汽鍋爐能源節約 及污染減量技術介紹

司洪濤 • 劉文清

台灣每年使用之能源若換算成原油，其數量相當於87.6百萬公秉油當量：這些能源有96%仰賴進口；消費最多者為石油（51%）和天然氣（6%），其次為煤炭（30%）、核能（10%）及水力（3%）。而現階段能源短缺且環保意識日益高漲，如何充分利用燃料，達成最佳的能源效益，並且降低污染排放量，是工業界及研究單位所努力的方向。尤其我國能源大部分仰賴進口，積極尋求各種經濟效益之技術，促使產業界節約能源與減少污染，更是刻不容緩。本文主要介紹一球鞋製造廠，其採用具有節能功效之流體磁化器，安裝於鍋爐之進油管與進水管上，經長時間觀察其運轉情形，並追蹤統計相關測試數據，結果發現在能源節約上，工廠單位產能耗油率由1.048公秉/千雙球鞋，降為0.946公秉/千雙球鞋，亦即在相同的產量下，成功地減少重油使用量9.7%，以該廠88年度球鞋總產量4,272千雙為基準，推估每年可節省重油436公秉，若以中油低硫鍋爐用油價格8,887元/公秉（89.9.14牌價表）估算，相當於每年節省燃料費387萬元新台幣。而在減少空氣污染物排放量方面更是貢獻匪淺；另外在鍋爐熱交換器結垢之情形亦大為改善，自安裝流體磁化器後，工廠鍋爐水停止加化學品的情形下，發現熱交換器結垢並未增加，且管壁上結垢物變為軟泥容易清洗，除了大大提升熱傳效率之外，亦節省許多維修人力。此能源節約及污染減量成功實例，值得國內相關耗能工業之參考與仿效。

【關鍵詞】鍋爐、節能、減廢、磁化、水處理



前言

台灣每年使用之能源若換算成原油，其數量相當於 87.6 百萬公秉油當量：這些能源有 96 % 仰賴進口；消費最多者為石油 (51%) 和天然氣 (6%)，其次為煤炭 (30%)、核能 (10%) 及水力 (3%)。而現階段能源短缺且環保意識日益高漲，如何充分利用燃料，達成最佳的能源效益，並且降低污染排放量，是工業界及研究單位所努力的方向。尤其我國能源大部分仰賴進口，積極尋求各種具有經濟效益之技術，促使產業界節約能源與減少污染，更是刻不容緩。有鑑於此，財團法人台灣產業服務基金會（以下簡稱產基會）乃成立研發專案組，積極蒐集國內外科技產品相關資訊，並從事能源節約、環境保護與工業安全技術之引進、推廣及研發工作，在產基會執行多年工業局委辦工業減廢輔導過程中，接觸歐、美及國內數種宣稱具有節能功效之流體磁化器產品，將其安裝於鍋爐之進油管（或進水管）上，便可提升鍋爐燃燒效率（或熱傳效率），達到 10 至 30% 不等之節能功效，如此高經濟效益之節能技術，產基會雖持保留之態度，然而工業實務上，卻陸續有測試成功之案例，值得進一步之探討。故要求產品供應商說明其技術原理，每每問及技術關鍵之處，皆因涉及製造專利（KNOW HOW）笑而不答，其中不免具有過份誇大功效之處，但在核四廠遭遇停建或續建搖擺不定之際，站在能源節約的觀點，任何一種技術或產品，若真能為工廠節省 5% 以上之能源耗用量，就有存在及大力推廣的價值，是以本文彙整流體磁化器相關技術文獻，並以一家工廠安裝此項設備後，

單位產能耗油率減少 9.7 % 之運轉情形與測試結果，供國內致力於能源節約之參考。

案例工廠簡介

（一）工廠製造流程與生產量

本文所介紹之鍋爐燃油減量及排污減廢成功案例，為某從事 Nike 球鞋製造之 OEM 工廠（以下簡稱 A 廠），其鍋爐房內之三座蒸汽鍋爐外觀實景如圖 1，A 廠 Nike 球鞋之製造流程如圖 2，其在 88 年度球鞋之總生產量為 4,272 千雙，如表 1 所示。

（二）工廠鍋爐重油使用情形

由於球鞋橡膠底製造之混合熱壓程序需使用熱源，故工廠配置有了三座蒸汽鍋爐（編號分別為 No.1、No.2 及 No.3 鍋爐，如圖 1），皆以重油為燃料，統計 88 年全年重油總使用量為 4,250 公秉，而為了方便評估三座鍋爐整體之節能績效，故截取 A 廠 88 年及 89 年 2~7 月間重油耗油量情形，詳如表 2 所示。

流體磁化器工作原理

所謂「磁化」，本文採較廣泛之定義，包含磁鐵或非磁鐵之各種處理方式，近年來有研究單位將此類「磁化水」統稱為「機能水」。流體磁化器可設計為管線中設備元件之一部分，或直接夾在管線外即可。有的為超強磁鐵之材質；有的為含特殊成分之合金。其外型結構看似簡單，但其工作原理卻頗具學問，其所涉及之基本物理現象與化學變化，很少有流體磁化

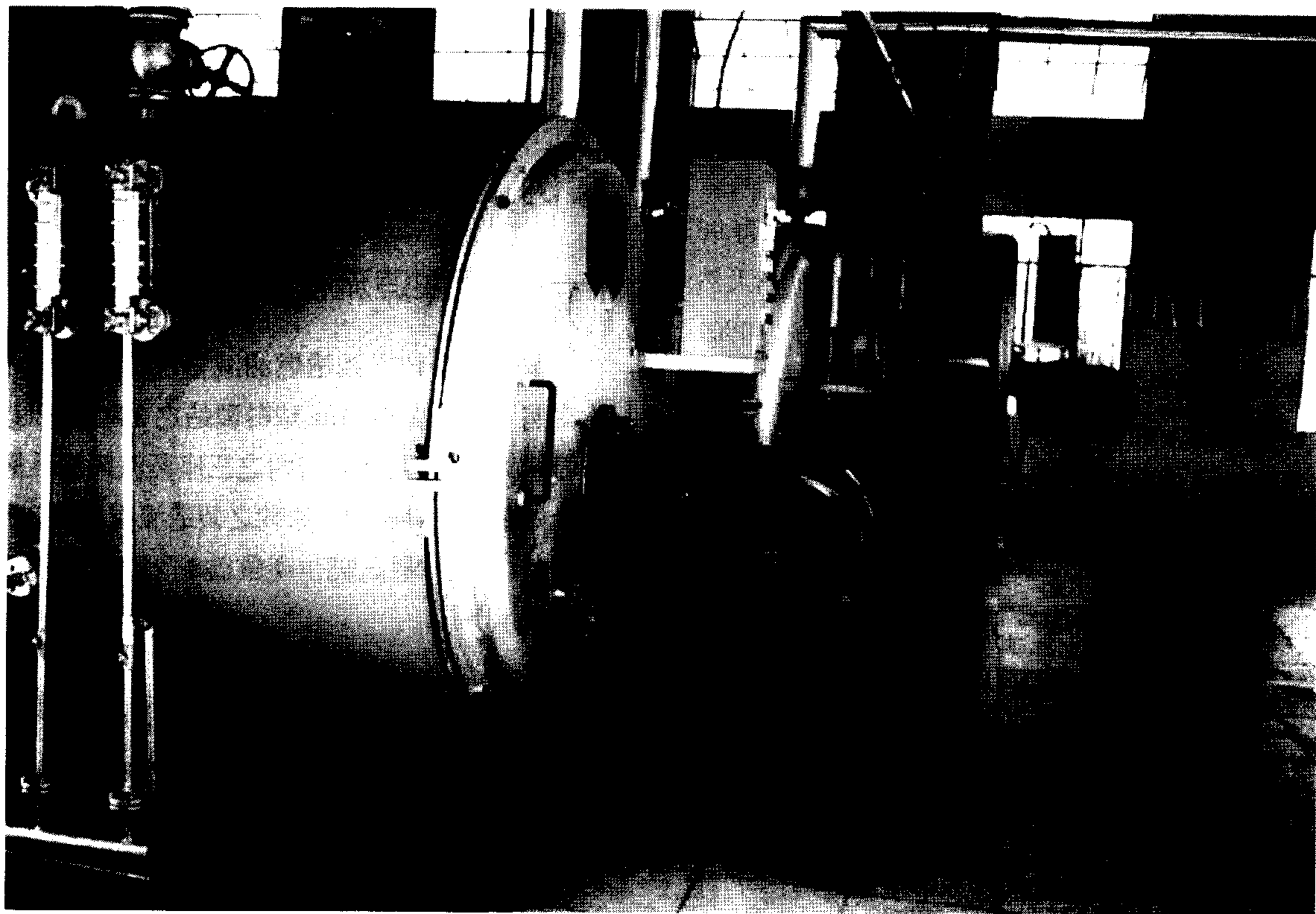


圖1 A廠三座蒸汽鍋爐外觀實景

器銷售員能說明清楚，然而進一步要求原始產品供應商說明其技術原理，每每問及技術關鍵處，皆因涉及製造專利點到為止，或笑而不答，故僅能由現有國內外少數之文獻報告，彙整一些可信度較高之科學數據，為流體（油或水）經磁化後，具有節約能源及防止結垢之功能提供理論上之解釋。

（一）節約能源的基本原理

燃料油的成分太過複雜，故以水為代表，

探究其節能原理就顯得較單純。水的分子是二個氫及一個氧原子所結合，然而，科學家發現水分子並非以單分子獨立存在，而由多分子像念珠般聯結存在。這種水分子的集團稱為水的族群（或稱為水分子團）。

有關水的族群之大小，在科學上的量測方法，可利用氧¹⁷-核磁共振儀，測定水樣光譜之半高寬度（單位為Hz）以資判斷。該測試水樣半高寬度值愈小表示水的族群愈小。其氧¹⁷-核磁共振光譜示意圖如圖3所示。

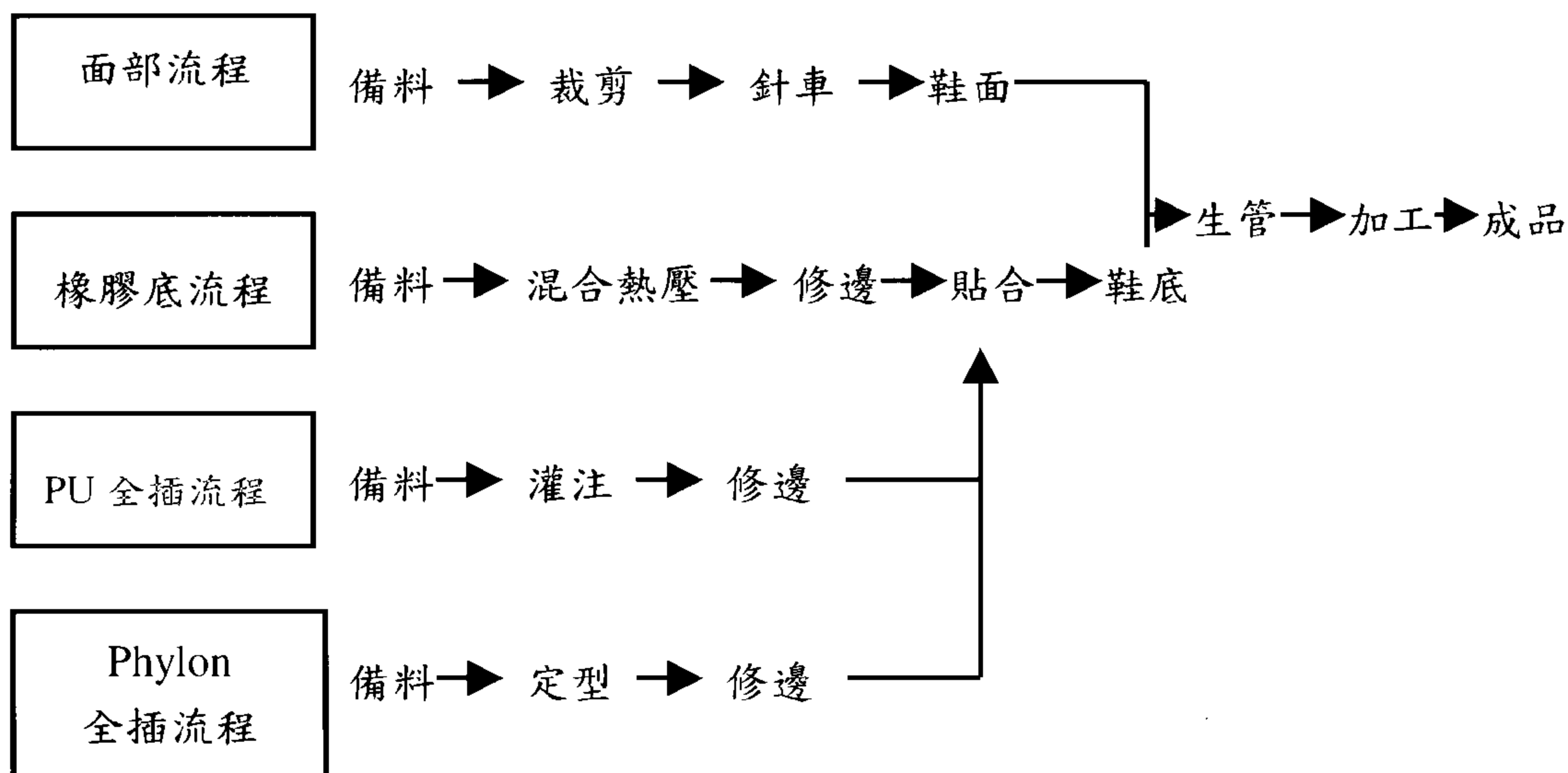


圖2 A廠球鞋之製造流程

表1 A廠88年及89年球鞋生產量統計表

(單位：雙)

月 年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	小計
88年	354976	290309	321833	349328	354898	356393	363925	371453	372278	379894	366251	391408	4272946
89年	385160	320849	363514	350010	330016	316903	349506	337396	—	—	—	—	統計中

文獻上水的族群／氧¹⁷-核磁共振光譜的半高寬度如表3所示。國內某一設備供應商取台中中興大學自來水為樣品，利用氧¹⁷-核磁共振儀進行上述半高寬度之測試，發現磁化水之半高寬度確實有減小之現象，其未磁化水及已磁化水光譜測試結果如圖4、圖5所示。

由水分子族群之觀念導入燃油分子族群之觀念，同理可推，燃油經流體磁化器磁化後，其燃油分子族群亦由大族群變成小族群，促使燃料油在燃燒器噴嘴霧化後，相對地較容易霧化成較小的燃油分子團，在微觀上，其劇烈的燃燒化學反應過程中，空氣與燃油分子接觸之

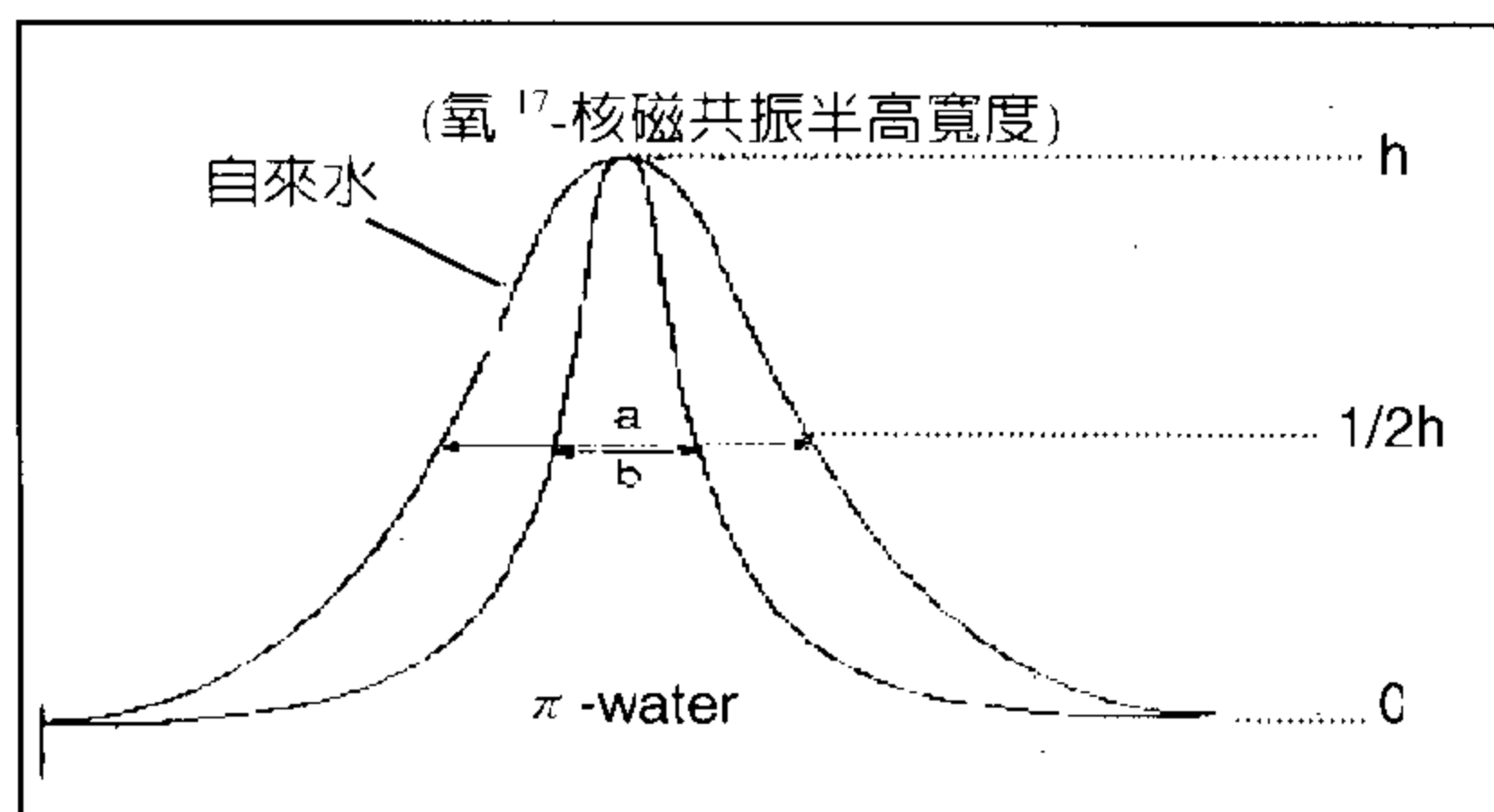


表2 A廠88年及89年2~7月間之重油使用量

(單位：公秉)

月份 年度	2月	3月	4月	5月	6月	7月	2~7月 合計
88年	343.269	378.453	361.029	358.000	346.707	346.707	2134.165
89年	336.762	344.886	318.086	310.228	307.299	304.874	1922.135

備註：1、88年1~12月全年重油總使用量約為4,250公秉



橫座標：頻率(Hz)

圖3 氧¹⁷-核磁共振儀光譜示意圖

比表面積 (Specific Area) 比尚未磁化前高出很多，故燃燒較為完全而充分釋放燃油的熱量，在產生相同的熱當量條件下，相對地減少鍋爐燃油的耗油量，在符合質能不滅定律的前提下，此水分子族群由大變小的光譜科學證據，間接提出流體磁化器為何能達成能源節約之理論依據。

另外，有學者提出一種特殊的能量理論，此理論指出水（或流體）經磁化後被賦予某些能量，由於將水磁化的方式有很多種（詳見表3所

表3 水的族群/氧¹⁷-核磁共振光譜的半高寬度

類別	水樣名稱	半高寬度
未 磁 化 水	原水	128.0Hz
	自來水（日本愛知縣幡豆鎮）	127.8Hz
已 磁 化 水	π-water 淨水器處理水	53.2Hz
	陶磁球浸漬水	89.0 Hz
	磁鐵礦石浸漬水	85.0 Hz
	麥飯石浸漬水	97.0 Hz
	遠紅外光陶磁球浸漬水	89.0 Hz
	鹼性電解水	64.0 Hz

示），究竟磁化水被賦予什麼形式的能量以及提升能量之多寡，如何以科學的儀器給予定性或定量的分析，目前有興趣之研究者仍在研究中，日本牧野伸治理學博士在神奇的π-WATER一書中，提出磁化水具有多少能量？可利用一種蘇俄發明的克理安照相法進行攝影來觀察，

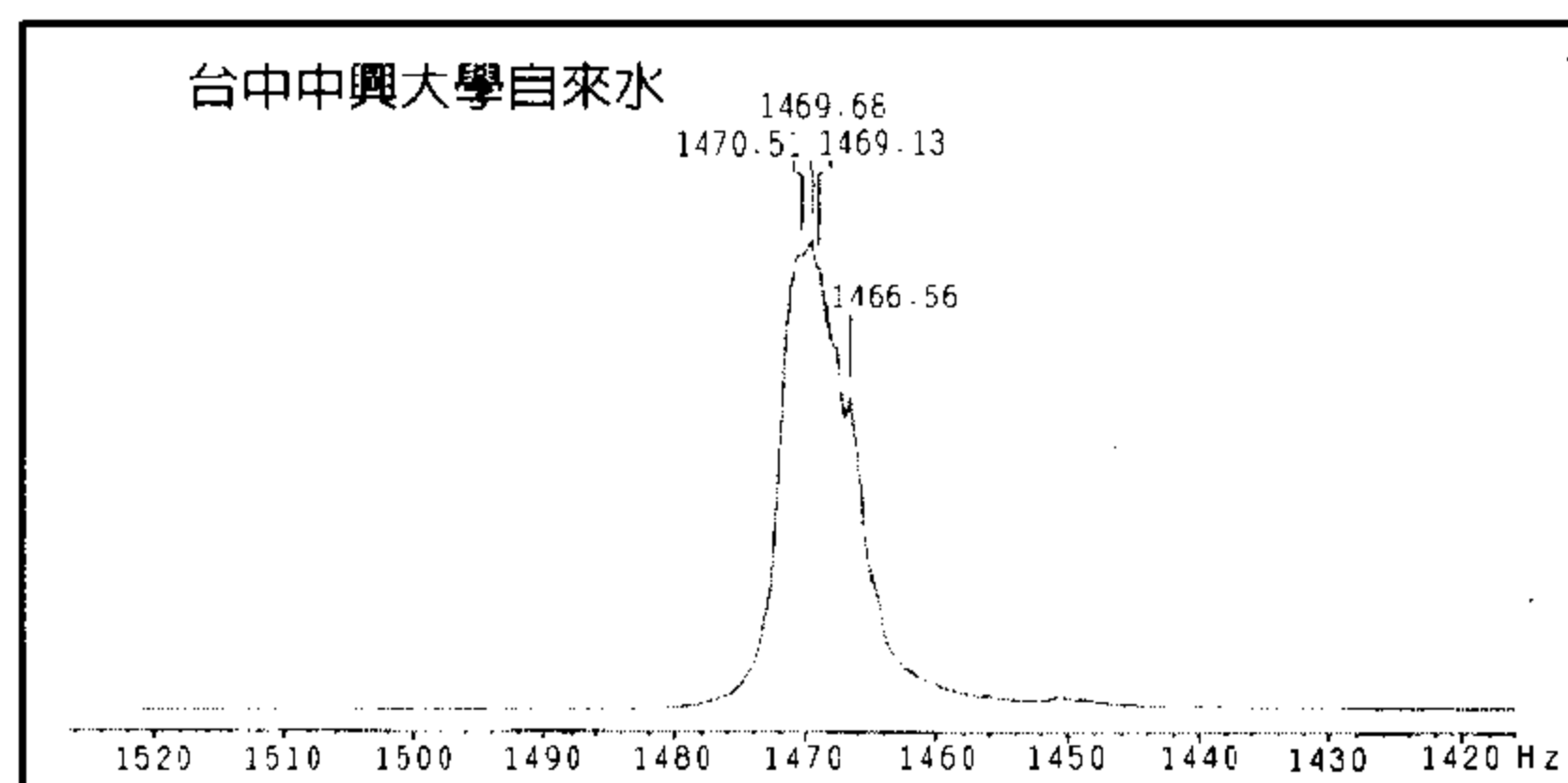


圖4 未磁化水之氧¹⁷-核磁共振光譜

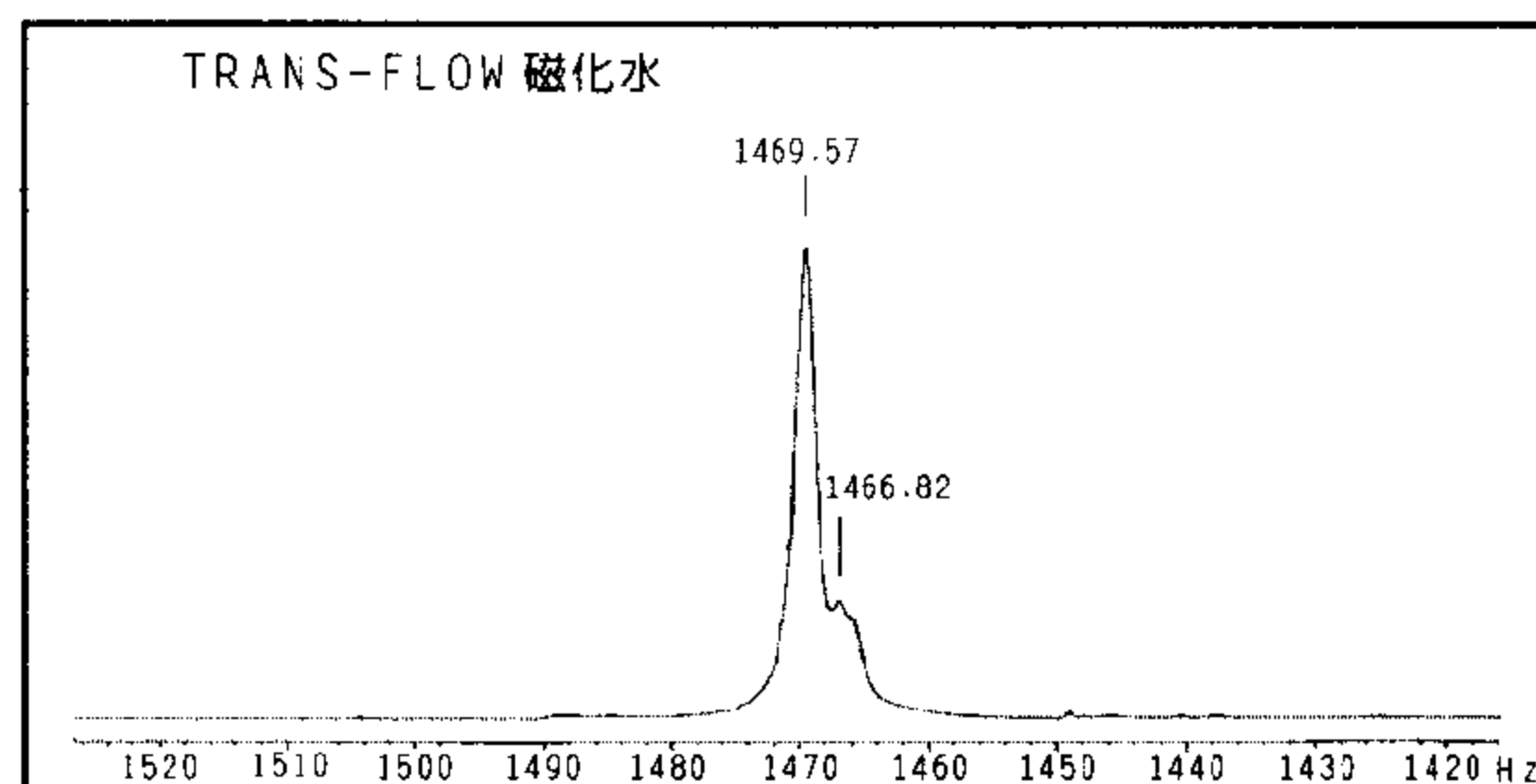


圖5 已磁化水之氧¹⁷-核磁共振光譜

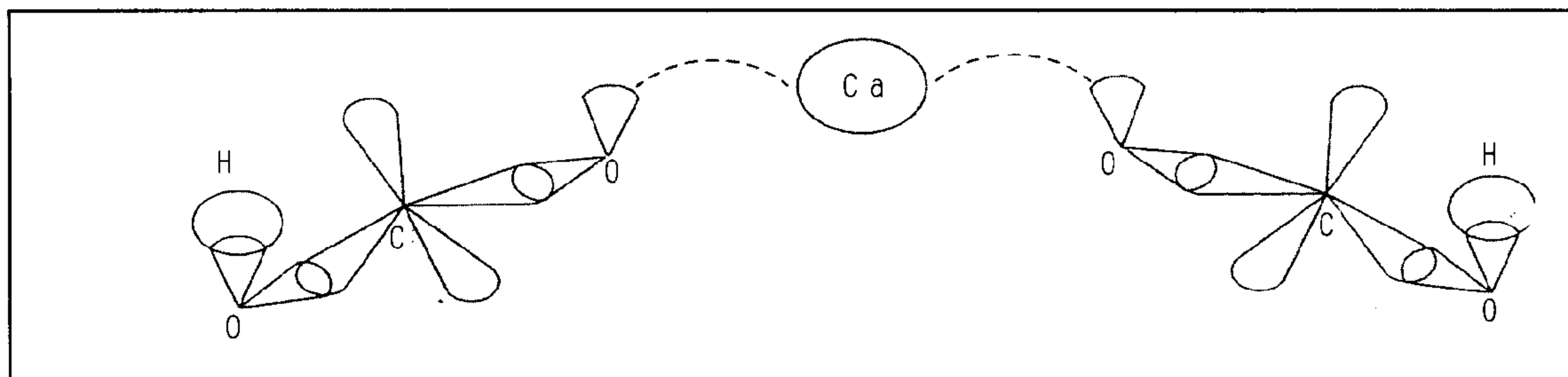


圖6 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 分子結構示意圖

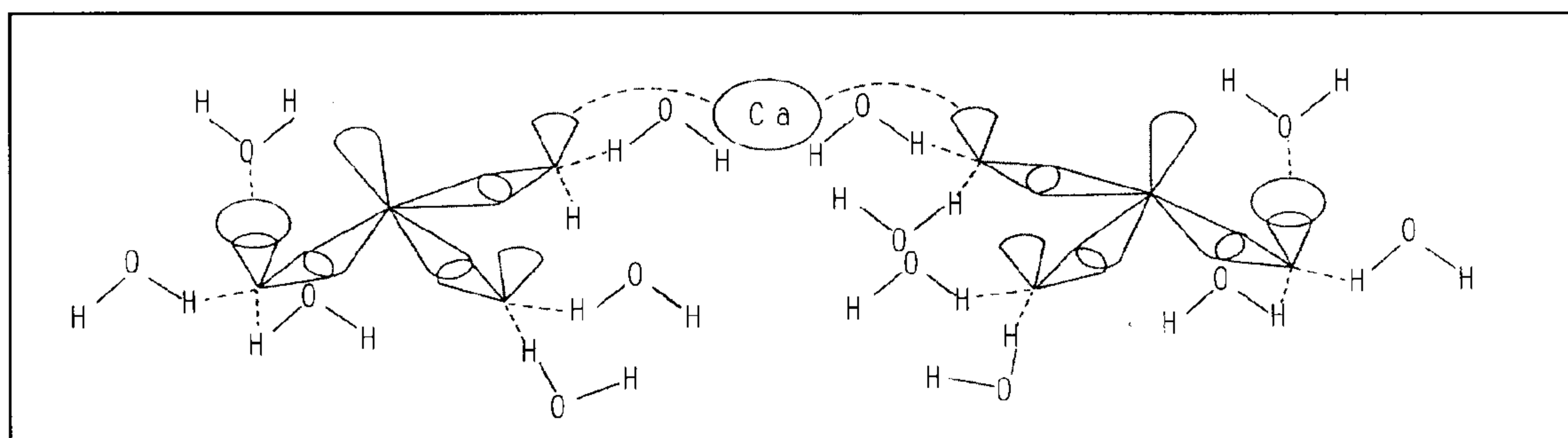


圖7 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 分子與水分子的氫鍵締合

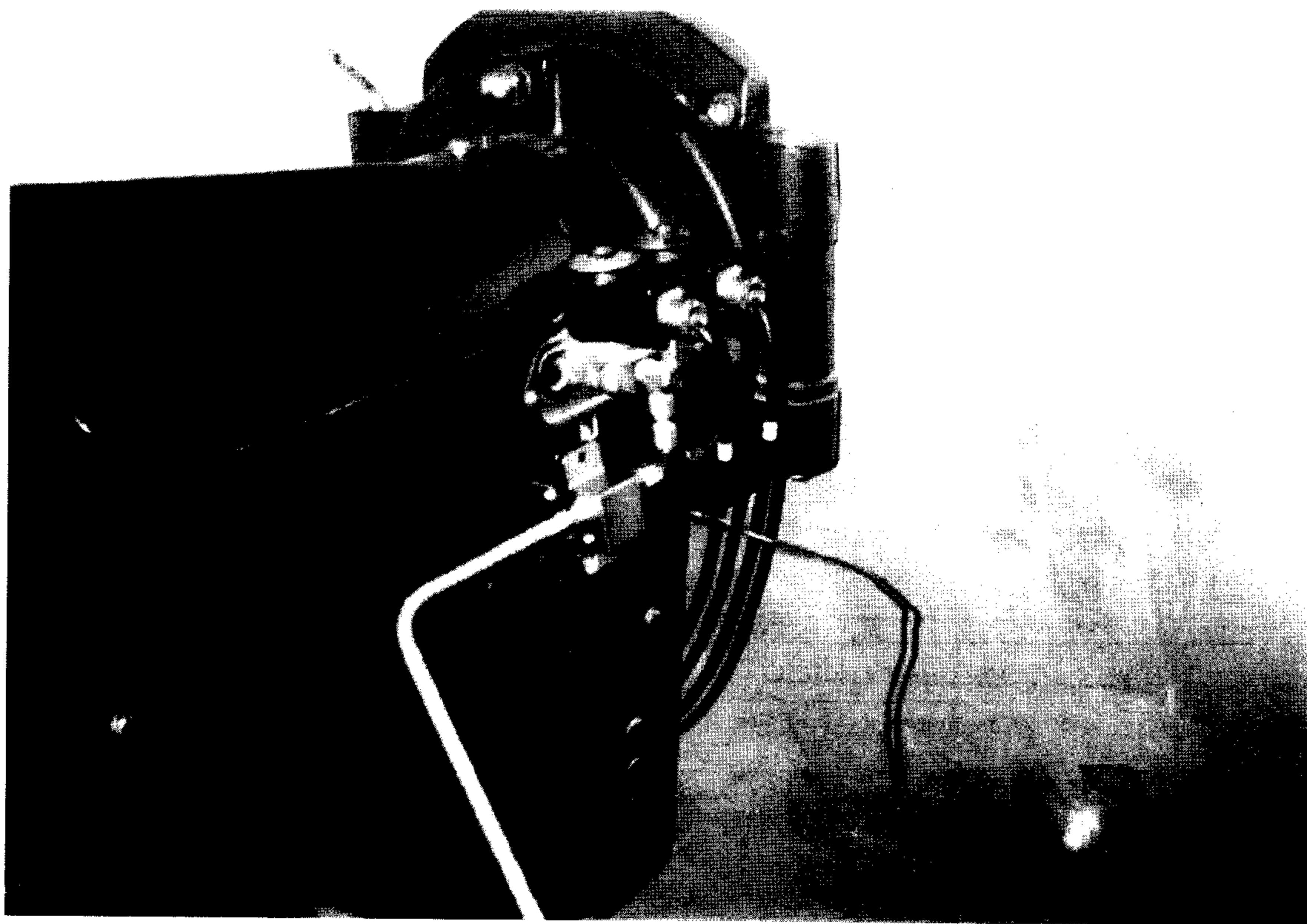


圖8 A廠鍋爐燃燒機重油進油管上安裝流體磁化器

以被拍攝物體散發光芒之強弱代表賦予能量的大小。當磁化水具有很強的能量時，所拍出之克理安照片中，磁化水就所射出很強的光芒， π -WATER 所拍出之克理安相片詳如該書封面所附之彩色照片，同理可推，燃料流體經磁化後亦被賦予某些能量，因而達成可促進燃燒效率之功效，亦間接提供流體磁化器為何能達成能源節的另一種解釋。

至於其它更具體或直接的理論，則有待專家學者進一步探討之。

(二) 鍋爐防垢基本原理

採用磁化法處理水是近年發展的一種新技術，國內外已廣泛用來解決鍋爐、熱交換設備和冷卻水管道等除垢與防垢問題，並獲得極為顯著的效果。磁化水去除水垢的原因是，水中碳酸鈣 (CaCO_3) 結晶形態的改變。水垢的主要成分 CaCO_3 是由水中所含的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 受熱分解而生成，它有兩種結晶方式，當磁化處理過的水受熱時，析出的 CaCO_3 晶體主要為針狀文石結

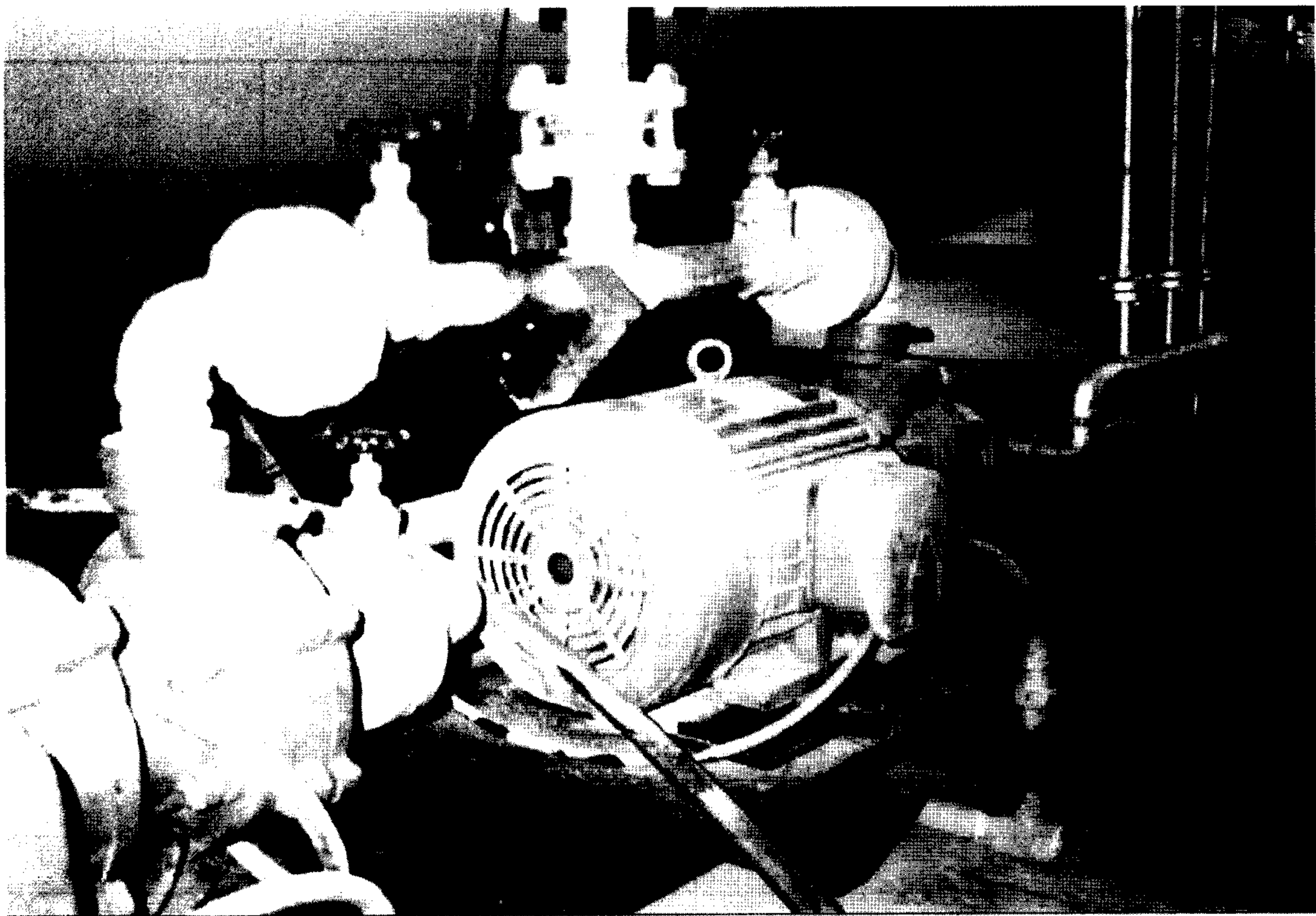


圖9 A廠鍋爐蒸汽用水進水管上安裝流體磁化器

晶，文石結晶的結構疏鬆、抗拉、抗壓能力差，黏結性弱，不易黏結成堅硬水垢。它可在水中任意成核結晶，形成泥渣狀態沉澱而藉由鍋爐水排污除去，而未經磁化處理的水在加熱時析出的 CaCO_3 結晶主要為緊密的菱形方解石晶體，易在受熱的金屬面上形成堅硬的水垢。

此外，磁化作用不僅是改變了水垢的結晶狀態，也改變了水分子與晶體之間的關係，即改變了晶體的水合狀態。 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的分子結構如圖6所示。水為極性分子，水的單分子常由

於氫鍵作用而締合成雙分子或多分子的聚合體 $(\text{H}_2\text{O})_n$ 。而水分子與 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 之間也由於氫鍵的作用發生締合，如圖7所示。未經磁化處理的水，在 HCO_3^- 離子周圍締合著許多水分子，當受熱後 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 分解生成 CaCO_3 結晶時，由於周圍這層水分子的包圍， Ca^{+2} 與 CO_3^{-2} 離子碰撞機會少，形成的結晶中心少，因而易於形成大塊水垢結晶附於管壁上。

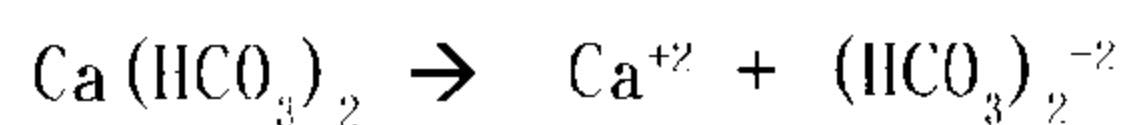




表4 A廠鍋爐流體磁化器效益追蹤評估重點摘要

項目 日期		重點工作項目	評估結果/追蹤情形	備註
八十八年	11月18日	開始接觸此技術		
	11月19日	詳讀流體磁化器相關資料，評估流體磁化器優點	● 可節省用藥費 ● 具有獨特脫垢功能 ● 有助於完全燃燒 ● 延長設備使用壽命	著手評估可行性
	11月28日	首先選擇 No.1 鍋爐進行安裝測試	打開爐體並拍照取証，同時建立 No.1 鍋爐試驗追蹤報表	No.1 鍋爐停止用藥
	12月1~8日	抽水取樣反覆測試	鍋爐水漸漸變清	
	12月9日	總結觀察	pH 值基本正常 9.5-10.5，火焰集中，呈現藍焰	
	12月21日	評估 No.2，No.3 鍋爐是否安裝	No.2，No.3 鍋爐決定安裝進行測試，同時建立試驗追蹤報表	No.2，No.3 鍋爐停止用藥
	12月27日	繼續測試觀察	pH 值有所降低 8	
八十九年	1月2日	再次打開爐體檢查	TDS 濃度在 1000 左右	未長新垢
	2月11日	測試 No.2，No.3 鍋爐	pH 值基本達到標準	
	2月14日	總結評估	安裝該設備可省燃油 3%左右	
	3月5日	打開 No.2，No.3 鍋爐人孔檢查結垢狀況	未見新垢形成	No.2，No.3 鍋爐停用軟水，改用自來水
	3月12日	打開 No.1 鍋爐人孔檢查結垢狀況	爐膽上的舊垢有明顯脫落	No.1 鍋爐停用軟水，改用自來水
	3月19日	檢查 3 座鍋爐	一切正常	
	4月2日	No.3 鍋爐年檢，打開人孔查結垢狀況	無新垢形成，但 pH 值較低，一般 pH 值在 8 左右	
	4月25日	抽水取樣反覆測試	爐水漸漸變清	
	4月29日	檢查 3 座鍋爐	一切正常	
	5月3日	打開 No.1 鍋爐檢查	鍋爐爐膽未長新垢	
	7月9日	打開 No.1 鍋爐人孔及手孔取樣檢查	無新垢產生，水質正常，並拍照取証	硬垢形成軟泥

註：TDS 為總溶解固體物

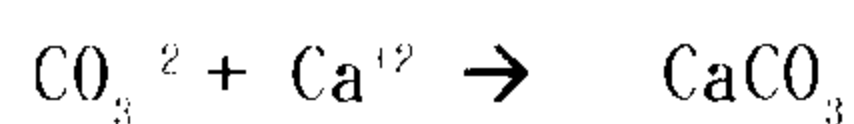
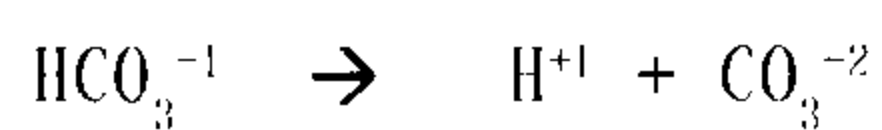


表5 A廠三座鍋爐安裝流體磁化器排氣溫度情形

鍋爐編號	No.1	No.2	No.3
安裝前排氣溫度	250°C	220°C	210°C
安裝後排氣溫度	230°C	210°C	200°C
排氣溫度下降	20°C	10°C	10°C

表6 A廠88年及89年單位產能耗油量統計表

月 份 類 別	2月	3月	4月	5月	6月	7月	2~7月間 平均	單位
88年	1.182	1.176	1.033	1.008	0.973	0.935	1.048	公秉/千雙球鞋
89年	1.050	0.949	0.909	0.940	0.970	0.872	0.946	公秉/千雙球鞋
降低量	0.132	0.227	0.124	0.068	0.003	0.081	0.102	公秉/千雙球鞋
降低百分比	11.2	19.3	12.0	6.7	0.3	8.5	9.7	%
備註	1.鍋爐安裝流體磁化器之後，平均每生產 1000 雙球鞋可節省 0.102 公秉之重油量。 2.若以 88 年 1~12 月全年總生產量為計算基本，估算每年可節省重油：0.102 公秉/千雙*4272 千雙/年=436 公秉。							



在水磁化過程中，磁場向水輸送能量，而破壞了氫鍵，根據呂查得里原理可推知，水經磁場後水中締合的氫鍵及水與 HCO_3^{-1} 之間的氫鍵遭到破壞，而使 Ca^{+2} 與 CO_3^{-2} 離子間接觸機會增加，硬度鹽類顆粒的穩定性降低，而使結晶中心增加，易成無定形軟泥型態之泥渣，易於排



表7 A廠鍋爐空氣污染物排放減量推估

類別	粒狀物	二氧化硫	三氧化硫	一氧化碳	氮氧化物	揮發性有機物	
	PM	SO ₂	SO ₃	CO	NO _x	非甲烷	甲烷
排放係數 (kg/公秉)	1.25	9.5	0.12	0.6	6.6	0.14	0.057
減量推估 (kg/年)	545	4,142	52	262	2,878	61	25
節省空污費 (元/年)	尚未開徵	50,328		尚未開徵	28,780	尚未開徵	尚未開徵
備註	1、 依據美國環保署 AP-42 空氣污染排放係數 2、 以 A 廠每年減少 436 公秉重油使用量為基準(假設含硫量為 0.5%) 3、 空氣污染防治費係以三級防治區收費費率為計算基準：即 SO _x ：12 元/公斤、 NO _x ：10 元/公斤						

污除去。其重點在於結晶中心的增多，因結晶中心的表面積和熱面積之比值，決定泥渣量和沉積在受熱面上水垢量的比值，如硬度 350~400mg/l 的水，經磁化處理後，可減少沉積物達 92%，因而有防止結垢的作用。

此外，文獻資料亦顯示水分子經磁化後，在某些化學或物理性質也有些改變，例如：水分子氫氧鍵之夾角、水的表面張力、水的電導率、水的溶解度、水中溶氧量、以及水中正負電荷分離與分布情形產生變化，這些科學上可量測的數據，尚有賴專家學者的研究，如能瞭解磁化技術的進一步理論基礎，相信必有助於磁化處理技術應用領域的發展。

燃油減量及排污減廢成效

(一) 評估與測試過程

A 廠在 88 年 11 月 18 日接觸此新技術後，開始評估流體磁化器之可行性，在詳細研讀相關資料後，88 年 11 月 28 日決定先由 No.1 鍋爐進行測試，在其進油管及進水管上各安裝 1 個流體磁化器，其安裝位置如圖 8 及圖 9 所示。並建立流體磁化器追蹤評估報表，逐日記錄並觀察其使用情形，以便日後評估能源節約與經濟成本之效益，初步觀察 No.1 鍋爐在停止用藥的情形下，各方面之運轉狀況皆無不良影響，88 年



圖10 鍋爐安裝流體磁化器後鍋垢脫落並不再形成

12月1~8日抽水取樣並反覆測試，鍋爐水有漸漸變清的現象，且鍋爐火焰集中，呈現藍焰，故在88年12月21日於No.2及No.3鍋爐亦加裝流體磁化器，89年2月14日評估結果節省燃油約3%，其安裝後之效益追蹤評估重點摘要，如表4所示。

(二) 能源約節效益

1. 鍋爐排氣溫度下降

在鍋爐加裝流體磁化器初期，即可明顯觀

察到鍋爐排氣溫度有下降10~20°C的情形，鍋爐燃料燃燒之熱量利用率有顯著的提升，而熱量回收之多寡亦可用簡單的公式計算 $Q = MC_p \Delta T$ ，其中Q：回收之熱量；M：鍋爐排氣之質量流率； C_p ：鍋爐排氣之平均； ΔT ：鍋爐排氣之溫度差，三座鍋爐在安裝流體磁化器前後之比較如表5所示。

2. 單位產能耗油率降低

又經長時間觀察其運轉情形，並追蹤統計相關測試數據，由表1及表2換算成單位產能耗



圖11 鍋爐安裝流體磁化器後硬垢變成軟泥型態

油率，結果發現工廠單位產能耗油率由每千雙球鞋1.048公秉，變為0.946公秉，也就是少用0.102公秉/千雙球鞋，亦即在相同的產量下，成功地減少重油使用量9.7%。

3. 節省重油使用量與燃料費

A廠88年及89年2~7月間單位產能耗油率如表6所示。若以88年度球鞋總生產量4,272千雙為基準，推估每年可節省重油使用量436公秉，並以中油低硫鍋爐用油價格8,887元/公秉（89.9.14牌價表）估算，相當於每年節

省燃料費達387萬元新台幣。

(三) 排污減廢效益

1. 減少空氣污染物排放量方面

如前所述A廠重油使用量每年可節省436公秉，因此在減少空氣污染物排放量方面，依據美國環保署AP-42(Compilation of Air Pollutant Emission Factors)之鍋爐空氣污染物排放係數推估：工廠三座鍋爐每年粒狀物(PM)減少545kg；硫氧化物(SO_x)減少4,194kg；



一氧化碳(CO)減少262kg；氮氧化物(NO_x)減少2,878kg；揮發性有機物(VOC)減少86kg，詳如表7所示。

2. 減少繳納空氣污染防制費方面

因鍋爐減少硫氧化物(SO_x)及氮氧化物(NO_x)的排放量，相對地可以減少應繳納之空氣污染防制費，若以三級防制區收費費率為計算基準(SO_x：12元/公斤、NO_x：10元/公斤)，SO_x的空氣污染防制費可節省50,328元/年；NO_x可節省28,780元/年，故空氣污染防制費預估可減少繳納79,108元/年，詳如表7所示。這對要繳納空氣污染防制費之工廠而言，又可節省一筆可觀的費用。

3. 鍋爐水垢處理成效方面

另外，在鍋爐熱交換器原有結垢之情形亦大為改善，自安裝流體磁化器後，又在鍋爐水停止加化學品的情形下，發現熱交換器原有之鍋垢脫落並未產生新的結垢，如圖10，而管壁上結垢物已轉變為軟泥且容易清洗，如圖11，同時鍋爐水排污次數由5次/日減少為1次/日，因此除了提升熱交換器熱傳效率之外，亦節省許多藥

品費用、維修人力以及寶貴的水資源。

結語

一般工廠在不明瞭流體磁化器能源節約與排污減廢的工作原理，以及不確定其是否真正有效之前，很難輕易地接受安裝此項設備，尤其是中、大型企業更不敢冒然嚐試，故有必要對此技術進一步研究揭開其學理，以化解欲使用者之疑慮。在核四廠遭遇停建或續建搖擺不定之際，從能源節約的觀點來看，任何一種技術或產品能真正為工廠節省5%以上之能源，就有其存在及大力推廣的價值，此鍋爐燃油減量9.7%及排污減廢之成功案例，值得國內相關耗能工業之參考與仿效，更期待國內對此技術有興趣者，共同努力從事有關磁化技術理論與實務之研究，探討其廣泛之應用領域，排除功效誇張不實的部分，並創造更多的能源節約及排污減廢成功案例，不論其能源節約百分比為何，只要能達5%以上，皆是工廠之福。 ■

參考資料

Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42 Fourth Edition September 1985。

Gunned Nilsson, Department of Geology, Earth Sciences, Göteborg University, S-413 81 Göteborg. Soil Remediation of A Heavy Metal and Creosote Contaminated Site Applied on the Former Wood-Preservation Site at Grimstorp,

South Sweden。

Magnetic Effects of Simulated Brine Properties Pertaining to Magnetic Water Treatment, National Heat Transfer Conference, Minneapolis, MN, July 1991。

Perry Chemical Engineers Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill International Editions。



中國石油股份有限公司燃料油產品牌價表，89年9月14日。

台灣面臨的能源問題，油小看大集，<http://www.cpc.com.tw> 網站資訊。

李雲春，有關鍋爐勁磁水處理器之效率評估報告，三豐鞋業有限公司。

牧野伸治理學博士，神奇的 π -WATER，正義出版社，ISDN：957-664-208-6。

磁化科技的原理與應用，瑞典流體磁化器產品型錄、技術密件及書信資料。

磁化科技的原理與應用，丹麥流體磁化器產品型錄、技術密件及書信資料。

磁化科技的原理與應用，美國加拿大流體磁化器產品型錄、技術密件及書信資料。

磁化科技的原理與應用，台灣與中國大陸流體磁化器產品型錄、技術密件及書信資料。

作者簡介：

作者：司洪濤

學歷：國立中山大學環境工程研究所碩士

經歷：財團法人生物技術開發中心生化組助理研究員(78/9～79/3)；中鼎工程公司環工部專案工程師(79/4～81/8)；財團法人中國技術服務社工業污染防治中心專案經理(81/9～89/4)

現職：財團法人台灣產業服務基金會研發專案組專案經理

專長 / 研究領域：環保法規、環境工程、化學工程單元設計、空氣污染防治規劃設計

作者：劉文清

學歷：國立雲林科技大學環境與安全工程研究所碩士

現職：財團法人台灣產業服務基金會研發專案組工程師

專長 / 研究領域：環境工程、污水處理規劃設計、ISO14001 與 OHSAS18001 輔導

責任編輯 / 王心彥