

電解水對超音波清洗機清潔效果之研究

著者／徐明正

高雄海洋科技大學輪機工程系

現為海軍官校輪機組教官

超音波清洗機已逐漸取代了傳統浸洗、刷洗、壓力沖洗、振動清洗和蒸氣清洗等清洗方法。然而以有機溶液來作為清潔劑的清洗效果雖是良好的，但則可能將導致相關災情，此研究比較使用電解水來做為清潔劑的效果比較之清潔狀況。亦可使相關的產業減低有機溶液之使用量不僅可有效的減低有機溶液清潔劑費用支出，亦能降低有機溶液對於環境的危害。

壹、緒論

目前國際間各國皆努力的以綠化地球為目標，但隨同精密機械工業之快速發展，許多污染皆持續的發生。因此，如何同時兼顧環境維護以及工業的持續發展，一直是世界各國努力共同目標。

然而為維持超音波清洗機精準度及持久性起見，徹底執行零件之清洗，已成為缺之不可之必要程序。有如電鍍、塗裝之金屬表面的前置作業或半導體IC加工製造過程中之脫脂及清

洗等的處理，已廣泛應用於產業領域中。又餐廳、旅館、醫院或醫藥藥品的清洗，亦已普遍採用此項超音波清洗方式¹⁻²。

目前超音波清洗機已逐漸取代了傳統浸洗、刷洗、壓力沖洗、振動清洗和蒸汽清洗等清洗方法。因在清潔期間氣體崩壞時發生的衝擊壓力波及氣泡振動，可輕易將具有複雜外形、中空和細小的零件或物品清洗，並在超聲波作用下只需幾分鐘即可完成，其速度比傳統方法可提高數倍，其清潔度也能達到高標準，故在許多對產品表面清潔和生產率要求較高的場合，

更加突顯了用其它處理方法難以達到或不可取代的結果。超音波清洗機常以水作為清潔劑，其所肇生之危害是非常低的，然而以水作為清潔劑無論是傳統機械或光電產業對於清洗結果已經無法達到滿意的情況；另一方面，雖有機溶液可提高分解髒汙的效果，但大部分有機溶液沸點甚低，因此在清洗期間易揮發而導致相關災情，然而大部分的人卻依然輕忽有機溶液可能肇生之危害。直至2014年7月31日23時震驚許多人的高雄氣爆事故，同時也引起產官學研重新對於有機溶液所引發之災害再次的重視。然而所謂有機溶液在常溫及氣壓下為揮發性液體，且具有溶解其他物質特性的有機化合物。故在密閉空間或部分開放空間，因為通風不良，容易累積可燃性氣體或造成缺氧的狀態，將可能導致中毒、缺氧、爆炸、機械、火災及其他物理性災害。

也因為這樣的情況，超音波清洗機的操作使用者只使用「有機溶液」為清潔劑，將提升災害之風險以及環境之危害。因此本研究將針對超音波清洗機之清潔劑進行實際安全改善。

大部份的人都會想，超音波清洗機與火災有何直接關係？但是火災的肇生往往是因為人不注意的因素而導致這些無法挽回的憾事。依據內政部消防署2015年1月26日所公布火災統計分析，火災原因起火原因「103年火災

起火原因以電氣設備 451 次占第 1 位」，以及「103年建築物火災以工廠火災163次第2位」。大部分起火的因素大部分除了獨立自宅外就是工廠了，而導致起火的原因以電器設備為常肇生的因素，然而這些數據對受害者而言是沉重卻不能抹滅的記憶。一場火災如果只是單純的僅有公司的廠房或者工作環境造成損害，那將是不幸中的大幸，雖然緊接著可能馬上面臨公司無法出貨，以及損毀的裝備器材修復和物料重新採購的困境，但萬一如果危及到員工這將是一件對於業者最不願意見到的事情，可想而知除了良心譴責和鉅額的補償金外，還有日後的相關醫療費用，甚至有可能必須再重新訓練一位操作人員所花費的時間和金錢。

貳、超音波清洗機的清洗機制

一、超音波清洗機介紹

超音波清洗機主要利用振動元件產生超音波頻率的振盪，一般常使用電氣振動子作為振動之元件，其材料為鉻酸鉛與鈦酸鉛混合之瓷器燒結體，一般稱為 PZT 振動子。使用時在其銀電極上，加上高週波電流，此電流的頻率與 PZT 振動子之共振頻率相同，引起振動子共振而產生超音波³⁻⁵；此清洗原理(如圖1)所示。



圖1 超音波洗淨原理示意圖

二、超音波清洗機架構

超音波洗淨機是由產生超音波電力的「發振機」和產生超音波振動的「振動子」所構成（如圖2）。發振器透過商用電源製作出符合振動子的共振周波數的超音波電力。現在是以自動偵測出振動子周波數，周波數自動追委方式為主流。

現在，為了更加提高洗淨的效果，改變液體深度，附加固定出力回路的發振器，也已經商品化生產了。振動子的種類，分別有埋在洗

淨槽使用的「投埋振動子」及附在洗淨槽底部使用的「振動板」及洗淨槽一體成型的「洗淨槽」⁶。

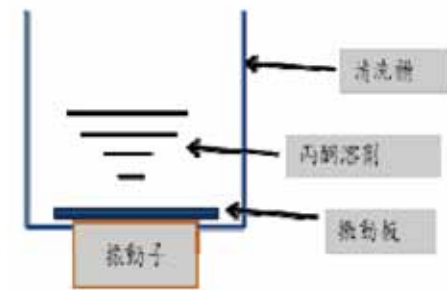


圖2 超音波洗淨架構示意圖

三、有機溶液丙酮諸元注意事項

溶劑是一種可以溶化固體，液體或氣體溶質的液體，繼而成為溶液。在日常生活中最普遍的溶劑是水。而所謂有機溶劑即是包含碳原子的有機化合物溶劑。溶劑通常擁有比較低的沸點和容易揮發。或是可以由蒸餾來去除，從而留下被溶物。因此，溶劑不可以對溶質產生化學反應。它們必須為低活性的。溶劑可從混合物萃取可溶化合物，最普遍的例子是以熱水沖泡咖啡或茶。溶劑通常是透明，無色的液體，他們大多都有獨特的氣味⁷。

本研究以丙酮作為其中一種清洗劑（如表1），丙酮在常溫下為無色透明液體，易揮發、易燃，有芳香氣味。與水、甲醇、乙醇、乙醚、氯仿和 啞等均能互溶，能溶解油、脂肪、樹脂和橡膠等，也能溶解醋酸纖維素和硝

酸纖維素，是一種重要的揮發性有機溶劑⁸，其諸元以及危機處理方式。

表1 有機溶液丙酮諸元及危機處理方式

物質名稱	丙酮(ACETONE)，別名二甲基酮或二甲基甲酮
外觀	無色液體
密度	0.79g/cm ³
熔點	-94.9°C
沸點	56.63°C
閃點	-18°C
化學文摘社登記號碼 (CAS NO.)	67-64-1
物品危害分類	易燃液體第2級。 腐蝕/刺激皮膚物質第3級。 嚴重損傷/刺激眼睛物質第2級。 吸入性危害物質第2級。
應避免之狀況	火花、明火、熱、引燃源、長期暴露受熱。
應避免之物質	1. 氧化劑及氯化溶劑和鹼的混合物。 2. 三級丁酸鉀、六氯三聚氰胺、二氯化硫、強烈反應。
吸入之急救方式	1. 移走污染源或將患者移到空氣新鮮處。 2. 若不適的症狀持續立即就醫。
皮膚接觸之急救方式	以溫水緩和沖洗受污染部位5分鐘或直到污染物除去。
眼睛接觸之急救方式	1. 立即將眼皮撐開，用緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛20分鐘，或直到污染物除去。 2. 避免清水進入未受影響的眼睛。 3. 立即就醫。
食入之急救方式	1. 若患者即將喪失意識或已失去意識或痙攣，勿經口餵食任何東西。 2. 若患者意識清楚讓其用水徹底漱口。 3. 切勿催吐。 4. 讓患者喝下240-300毫升的水。 5. 立即就醫。
適用滅火器	1. 化學乾粉 2. 乙醇泡沫 3. CO ₂ 滅火器

四、以丙酮作為清潔劑之清洗產業

選用合適的清洗劑，對於超音波清洗效果具有很大影響。由於超音波清洗的原理主要是氣泡空化作用，所以選擇清潔劑時除了依據被清洗物本身的材質，油垢或機械雜質的主要組成外。還必須考慮選擇的清潔劑粘度要小，表面張力要小，以利於清潔劑的空化。在清洗質量要求嚴格的情況下，還常常採用幾種不同的清潔劑，分槽或一次進行超音波清洗，而每種清洗劑的作用各有不同。如光學零件的清洗先採用了三氯乙烯，氫氧化鈉水溶液，合成洗滌劑，水和酒精等各種清洗劑。如半導體器件的清洗採用了丙酮，1號混合清洗劑，2號混合清洗劑和離子水等等。經多種清洗劑的多次清洗，被清洗物的表面達到了預期的效果⁹⁻¹¹，（表2）即各產業同時使用「超音波清洗機」與「丙酮」之作業。

五、電解水介紹

電解水依其電解方式分為隔膜式與無隔膜式，依其作用又可分為強電解水與弱電解水。電解產出水分為兩股，分別是酸性水與鹼性水，各有不同的用途。電解離子水是以電解方式使水之pH值與氧化還原電位改變，並分解產生O₂及H₂。一般來說，能讓自由能增加的化學反應是不存在的。因此水在自然狀態下不可能

表2 超音波清洗機以丙酮為清潔劑之作業

項次	作業名稱	清除對象	欲去除物	清洗劑
1	半導體元件的奈米製作之模仁清洗	模仁	光組殘留物質	丙酮
2	透明導電玻璃表面潔淨與濕式蝕刻	基板	油脂及有機污染物	丙酮
3	場效電晶體之製作與量測	樣品	髒污微粒	丙酮
4	晶圓製作	晶圓	髒污微粒	丙酮
5	油漆中氧化三丁錫檢測方式	樣品杯	髒污微粒	丙酮
6	複合材料相關製品製程	產品	樹脂PU	丙酮
7	氯化鎳奈米結構研究	矽晶片基材	光阻劑	丙酮
8	熱蒸鍍及電漿濺鍍法製作金屬薄膜	玻璃	髒污微粒	丙酮

分解產生O₂及H₂，但是若在水中加入陰極、陽極，通上電流，即能比照法拉第定律發生電解反應。¹²⁻¹⁵

陰極和陽極表面生成氫與氧後，電極四週的水，便會傾向酸性和鹼性，氧化還原電位亦隨之改變。在兩極之間插入能限制水移轉的多孔性半透膜，或能讓陰陽離子有選擇性通過的陰陽離子半透膜，即能自陽極收集氫離子濃度高且具氧化力的酸性水，自陰極收集氫氧離子濃度高具還原力的鹼性水。陰極、陽極產生之電解水稱謂目前並未統一，電解酸性水亦稱為電解氧化水，電解鹼性水則是電解還原水，本

文為統一起見，一律稱電解酸性水、電解鹼性水。

六、酸鹼性離子水清洗說明

(一) 鹼性離子水(pH=9~11)

鹼性離子水在家庭使用主要為煮飯、烹調用水、清洗蔬菜、植物澆灌等。日本有醫療機構，以鹼性離子水代替一般飲用水，供給患者飲用。其宣稱之療效包括：治療胃腸不適、便秘、下痢、糖尿病、高血壓、改善體質等。在電子業方面，NEC公司於1994年，曾提出以鹼性離子水清洗切割晶圓表面，比一般所用之氨水更能有效去除塵粒，且減少化學品之使用與廢水處理成本。國內亦有學者指出鹼性離子水可消除人體內之自由基(free radical)⁴(自由基，含不安定之不成對電子，過多可破壞人體之脂質，甚至最後使細胞突變而產生癌症)。

(二) 酸性離子水(pH=5~2.5)

弱酸性離子水可當皮膚收斂劑使用，據稱有美容效果，亦可清潔器皿、擦拭傢俱等。pH值小於2.5之超酸性水則有殺菌功能，日本有醫療機構以超酸性水作為消毒傷口、殺菌用。農業上也有以超酸性水替代農藥殺菌。日本NEC及Organo公司則發展出以酸性離子水清洗晶圓表面之殘餘金屬離子⁸，可減少化學藥劑之使用量。一般來說弱電解水大都應用在飲用、食物清洗浸泡及與人體或動物接觸之消毒等，

強電解水則在工業及醫界之器材消毒、清洗較多。¹⁶⁻¹⁹

參、實驗

一、實驗器材

(一)尚朋堂超音波清洗機(參考圖3)本超音波清洗機可清洗各種不同形狀之金屬，例如：彈簧、套筒…等等。

本超音波清洗機的規格如下：

- 1、LCD顯示控制狀態。
- 2、9分鐘定時關機。
- 3、藍色冷光電源指示燈。
- 4、半透明上蓋可見清洗運作。
- 5、40000週期能量波，振動頻率46KHZ。
- 6、清洗槽容量600毫升。
- 7、適合清洗手錶、眼鏡、珠寶、金飾、假牙等產品。



圖3 超音波清洗機正面圖

(二)國際牌電解水機(如圖4)，本研究以此電解水機產生PH值不相同的各種酸鹼性電解水，以供比較各種電解水對金屬之清潔效能。

- 1、尺寸：318(高)*200(寬)*124(深)(mm)

- 2、重量：約4.4kg(滿水時約4.9kg)
- 3、淨水吐水量：2.5公升/分
- 4、淨水過濾流量：2.5公升/分
- 5、淨水量：12000公升
- 6、濾材使用時間：約1年(因地區、水質、水壓等因素，更換時間會有明顯差異)
- 7、濾材種類：不織布、顆粒活性炭+特殊陶瓷、粉末活性炭、中空絲膜
- 8、使用電壓：110V / 60Hz
- 9、待機消耗電力：約0.3W
- 10、產地：日本



圖4 電解水機規格

(三)有機溶液丙酮(如圖5)，此規格每瓶為500ml，為一種無色透明有機溶液並在常溫下呈現液體狀態。



圖5 有機溶液丙酮正面圖

(四)水密門彈簧、套筒(如圖6)，本研究使用彈簧、套筒數量共計10個，水密門彈簧、套筒之目的為使水密門於關閉後，水密門把手可回座其原來之位置方可使水密門完成水密狀態此為水密門彈簧型式。



圖6 水密門彈簧、套筒正面圖

(五)電子磅秤(如圖7)，本研究為避免因人的視差，而導致重量上的誤差，因此採用電子式的磅秤，且可求得小數點以下一位。而本實驗於清潔前實施秤重乙次，並於清潔後再行實施秤重，以求得清潔效果。



圖7 電子磅秤正面圖

(六)數位溫度計(如圖8)，本研究為求溫度上之精確，使用數位式溫度計，以避免視覺上的溫度視差，為求其實驗有機溶液丙酮溫度均保持於40度時實施清潔；另外，為確保溫度計之完整性不會被有機溶液溶解，其溫度感應器選用不鏽鋼材質。



圖8 數位溫度計正面圖

二、實驗流程

* 將預備清洗之水密門彈簧先放置電子磅秤上，先實施第一次秤重，並將其重量先記錄，後再將其彈簧置超音波清洗機清洗槽中。

* 準備500C.C.的清潔溶液，倒入不鏽鋼杯內，並將其溶液調整至40℃。

* 等清潔溶液為40℃，再將其溶液完全倒入清洗槽中，再接著統一設定清洗時間為9分鐘，之後開始清潔。

* 清洗結束之後，再實施第二次秤重。

* 以清洗前重量及清洗後重量來算出清潔效率。

本研究使用10個已使用過之水密門彈簧作為樣本(如圖9)，其水密門彈簧上有牛油、棉

絮、灰塵、油漆及不同成分的雜質，另外加入超音波清洗機內之清潔溶液之成份分別有純丙酮、丙酮混合溶液及電解水等三種清潔溶液，以不同的比例之溶液成份分別對水密門彈簧實施清潔，並比較其清潔效率。



圖9 水密門彈簧置入清洗槽中示意圖

(一) 丙酮實驗

以500 C.C丙酮為例：

1、重新將預備清洗之水密門彈簧先放置電子磅秤上，實施第一次秤重(如圖10)，秤重結果為18.0公克並將其重量記錄。



圖10 500C.C丙酮第一次秤重圖

2、準備500 C.C. 丙酮為清潔溶液，倒入不鏽鋼杯內，並將其溶液等到降至40℃後再將清潔溶液倒入超音波清洗機清洗槽中。

3、等清潔溶液降為40℃，再將其溶液完全倒入清洗槽中，再接著設定清洗時間為9分

鐘，之後開始清潔。

4、清洗結束之後秤重如(圖11)，再實施第二次秤重秤，其結果為17.7公克。

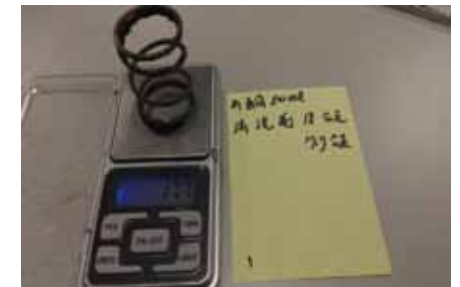


圖11 500C.C丙酮第二次秤重圖

5、其清潔效率為

清洗前重量(g)-清洗後重量(g) / 清洗前重量(g) = 清潔效率 $18.0-17.7/18.0=0.1667$

(二) 電解水實驗

以500 C.C. PH6電解水為例：

1、將預備清洗之水密門彈簧先放置電子磅秤上，先實施第一次秤重(如圖12)，秤重結果為51.80公克並將其重量記錄。

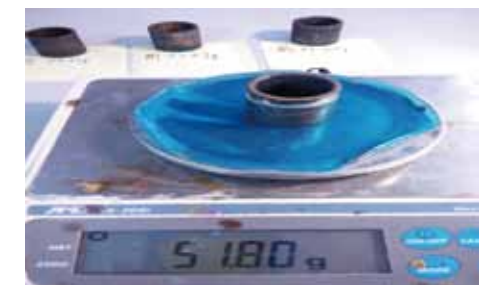


圖12 第一次秤重

2、準備500 C.C. PH6電解水為清潔溶液，倒入超音波清洗機清洗槽中。

3、設定清洗時間為9分鐘，之後開始清潔。

4、清洗結束之後，再實施第二次秤重秤，其秤重結果為51.77公克（如圖13）。

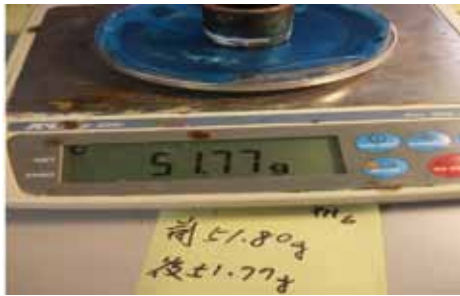


圖13 第二次秤重

5、其清潔效率為

清洗前重量(g)-清洗後重量(g)/清洗前重量(g)=清潔效率
 $51.80-51.77/51.80=0.03$

肆、實驗與討論

一、超音波清洗機使用丙酮含量差異之清潔效果比較

本實驗超音波清洗機清潔劑使用500C.C的混合溶液，由丙酮及RO水調製，變數為丙酮的含量，分別從0%間隔10%累加至100%，共分10種濃度，經由實驗結果觀察丙酮含量與清潔效果之關聯性，（如表3）。

清潔效率為清洗前重量(g)-清洗後重量(g)=清潔效率

二、超音波清洗機使用電解水PH值差異之清潔效果比較

本實驗超音波清洗機清潔劑使用500C.C的電解水溶液，變數為電解水PH值，分別從PH值

5，間隔1累加至9，共分5種溶液，經由實驗結果觀察電解水PH值與清潔效果之關聯性，（如表4）。

表3 丙酮含量差異之清潔效果比較

丙酮使用量(C.C.)	RO水使用量(C.C.)	清洗前重量(g)	清洗後重量(g)	清潔效率	備考
500	0	18.0	17.7	0.1667	最佳
450	50	19.0	18.6	0.0210	
400	100	16.4	16.2	0.0121	
350	150	18.1	17.9	0.0110	
300	200	18.3	18.1	0.0109	
250	250	19.5	19.4	0.0051	
200	300	18.2	18.0	0.0109	
150	350	18.1	18.0	0.0055	
100	400	18.2	18.0	0.0109	
50	450	18.5	18.4	0.0054	
0	500	23.2	23.2	0	

表4 電解水PH值清洗效能值比較

電解水(C.C.)	酸鹼值(PH)	清洗前重量(g)	清洗後重量(g)	清潔效率	備考
500	9	52.67	52.38	0.29	最佳
500	8	52.70	52.66	0.04	
500	7	53.90	53.90	0	
500	6	51.80	51.77	0.03	
500	5	54.24	54.18	0.06	

三、超音波清洗機使用丙酮與電解水之清潔效果比較

比較上述兩種清潔劑之實驗結果，各採用最佳清潔效果最佳之數據比較（同為500C.C溶液）分別為100%丙酮溶液與PH值9之電解水溶液，比較結果（如表5）所示。

表5 丙酮、電解水實驗效能比較

丙酮使用量(C.C.)	RO水使用量(C.C.)	清洗前重量(g)	清洗後重量(g)	清潔效率	備考
500	0	18.0	17.7	0.1667	丙酮100%含量溶液清洗效能最佳
電解水(C.C.)	酸鹼值(PH)	清洗前重量(g)	清洗後重量(g)	清潔效率	備考
500	9	52.67	52.38	0.29	電解水PH值9清洗效能最佳

伍、結論

本研究透過超音波清洗機使用「電解水」與「丙酮」為清潔溶液之實際比較清洗效能實驗證實電解水效能比有機溶液「丙酮」清洗效能佳，易對人體無害及環境無造成汙染，證實不單只可使相關產業減少有機溶液使用量，除不僅對相關清潔物品產生一定之清潔效果，也可降低對環境危害產生之影響；同時亦證明超音波清洗機使用電解水為清潔劑，雖在清潔過

程中會因PH值的不同清洗效能亦然不同但將不會造成閃燃火災等相關災害。

自然環境維護一直都是國際各國間特別重視的一個潛在危機的問題，然台灣目前使用有機溶液執行相關之產業多不勝數；如此本研究在能有效「電解水」清潔效果的情況下，對有電解水之家庭容易取得的電解水使用效果解析。

參考資料

- 鄭振東編譯，“超音波工程”，全華科技圖書股份有限公司，1999。
- 茹清雄，“智慧型超音波清洗驅動電路分析與設計”，逢甲大學碩士論文，2006。
- 董景賢，“2009年南亞機械專題製作競賽 超音波清洗機之製作”，2009。
- 許宏德、李長融，“由超音波清洗機安全設計探討機械安全之源頭管制”，國立高雄第一科技大學碩士論文，2013。
- “超音波清洗機理”，www.good-young.com.tw/tech/tech-02，(2015年4月3日存取)。
- “威愷超音波科技有限公司”，何為超音波，http://www.weikai.com.tw/。
- “溶劑”，維基百科，自由的百科全書，http://zh.wikipedia.org/wiki/，2015。
- “歐洲國際貿易股份有限公司” [超音波]超音波洗淨簡介，http://www.polybell.com.tw/。
- 許宏德、李長融，“由超音波清洗機安全設計探討機械安全之源頭管制”，國立高雄第一科技大學碩士論文，2013。
- “MoneyDJ 財經知識庫”，IEK:2015年台灣半導體產業總產值增6.1%，http://www.moneydj.com，2014。
- 李景文、涂漢欽、陳有志、陳獻章、黃敏亮、潘乃紹，“工業安全及衛生”，高立圖書有限公司，2007。
- 12-14 “勞工安全衛生研究所”，http://www.iosh.gov.tw，(2015年4月3日存取)。
- 吳義林，“101年度「事業水汙染防治相關法規」宣導會”，2012。
- 16-18 “運作中工廠土壤及地下水含氯有機溶劑污染潛勢調查及查證計畫(第4期)”，2013。
- 蘋果即時新聞，“「公害無須嚴密檢證」 RCA工殞案關鍵全文”，2015。