

投稿類別：工程技術類

篇名：

奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

作者：

林奕勳。臺北市私立景文高中。資訊科三年 2 班。  
劉怡伶。臺北市私立景文高中。資訊科三年 2 班。  
郭哲維。臺北市私立景文高中。資訊科三年 2 班。

指導老師：

吳永義老師

王連庸老師

## 奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

### 壹、前言：

#### 一、研究動機

二年級上化學課時，了解到電解的特性，利用水溶液進行導電的實驗，能夠使燈泡發光，這是因為水溶液含有電解質能導電，進而使燈泡發光。電解質的運用非常廣泛，可應用在電池、燃料電池、電鍍，甚至是與電解有關的重要工業製程。電解液能夠對任何導電的物質進行機械加工，運作的原理則是以電解為基礎。電解液廣泛應用中，甚至能改變金屬的屬性、移除物質或鍍上一層物質，進行電解加工時以電壓電流大小控制為主，由此發現電解液能產生電解現象進行物質的移除，當我們發現電解的運用是如此廣泛時，對於使用電解就可以達到去除金屬上的物質感到好奇，便想好好研究探討這神奇的電解液來完成工業上的製作。

#### 二、研究目的

我們做此研究最大目的就是在對電解加工時的電解液所形成的電解現象，進而進行物質的移除。當陰、陽電極間發生電子轉移時就是我們所說的電解現象。電解現象可以進行物質的移除，但不同的電壓、電流、溫度、極間電流、電解質導電率、電解液濃度皆會影響物質的去除量，如何有效利用不同因素對於電解現象所進行的物質移除的多寡，是我們要探討的問題。

#### 三、研究方法

- (一) 了解有關電解原理的知識。
- (二) 測量不同的電解質溶液會有不同的電壓、電流。
- (三) 不同的電解質溶液對物質的移除率會有什麼影響及優缺點。
- (四) 實驗各種電解質溶液的電流強度大小與電解時間對於物質移除率的去除量。
- (五) 結論與未來展望及應用。

### 貳、正文

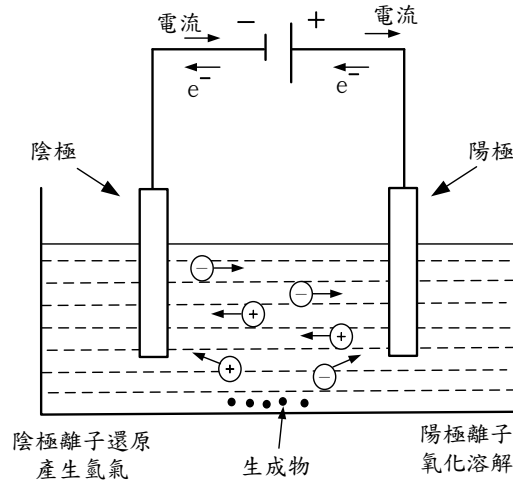
#### 一、電化學加工之原理

##### (一) 電化學加工之加工原理

電化學加工又稱電解加工，或稱為電化學機械加工，整體系統由陽極、陰極、電解質溶液、電解槽及供應電源等部份所組成。將兩金屬片分別接在直流電源陽極與陰極，再將兩電極相互平行靠近且保持某一定微小間隙，放

### 奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

入含有電解質溶液的電解槽內。然後通入直流電流，或脈衝式電源進行電化學反應，則陽極工件材料因原子析出或溶解而產生去除作用，如此便可加工出所需要的形狀，基本原理如圖（一）所示。



圖（一）電化學加工示意

#### 1、電化學反應

阿瑞尼士的電離說得知，電解質加入溶劑稀釋後，部份解離成正負離子，在正負離子所帶的總電量相等時，溶液保持電中性。如上圖所示，當兩不同材質金屬材料置入電解質溶液中通電後，電極與溶液界面造成電位差形成電場梯度。電極導體的自由電子受電場的作用順著某一特定方向流動，電解質被離子化，正離子遷移到陰極，陰極電極得到電子進行還原反應，負離子游移向陽極，陽極電極表面失去電子進行氧化反應，析出原子或溶解產生生成物的化學反應，由於陰陽離子向兩電極遷移，使得電荷橫越兩電極導通產生電場，形成了電流，這種正、負電荷定向遷移的現象是電解質溶液能導電的原因，陳文靜（2008）指出「陰、陽電極間發生電子轉移的化學反應謂之電化學反應，也稱為電解作用」。

#### 2、氧化與還原基本原理

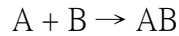
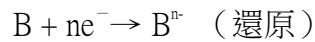
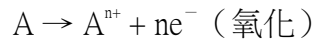
簡單而言即是氧化還原的化學變化，氧化、還原，在一般傳統化學領域認為凡是物質與氧（O<sub>2</sub>）化合的反應，稱為氧化。而從氧化物中拿走氧的反應，稱為還原。化學反應程式如



其中 A 為化學元素符號，O 為氧原子，H 為氫原子。

奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

而在電化學領域中，則認為氧化是物質失去電子的反應稱之為氧化，物質獲得電子的反應稱之為還原。如



A、B 為化學元素符號， $A^{n+}$ 、 $B^{n-}$  為化學元素離子，n 為個數， $e^{-}$  為電子。

化學反應中，氧化與還原同時發生，一個物質被氧化，則另一個物質同時被還原，故稱為氧化還原反應。其被氧化的物質謂之還原劑，被還原的物質稱之為氧化劑。在化學式  $A+B \rightarrow AB$  式中，A 是被氧化故為還原劑，B 被還原故為氧化劑。而電解加工就是類似氧化還原的電化學反應，因此材料去除量與氧化還原有直接密切關係。

## 二、法拉第定律

法拉第電解實驗中發現，通入電量與化學反應生成物量之間的關係，提出法拉第電解定律。電解反應具有離子存在及導電的功能，利用電位差調整電極表面電子能量的化學反應，黃俊誠（2009）指出「即是電極與溶液界面間產生電荷遷移現象，因此在本質上是以離子的方式進行溶解材料」。其電解定律基本定律如下。

### （一）法拉第電解定律

#### 1、法拉第電解第一定律

黃得時（2014）指出「電解過程中，金屬電極處發生游離出產物質量（m）與所通過電解質電量（Q）成比例」。

$$m = ZQ = Zit$$

$$Z = \frac{E}{F}$$

$$E = \frac{M}{n}$$

$$m = \frac{It}{F} \left( \frac{M}{n} \right) = \frac{It}{96000} \left( \frac{M}{n} \right)$$

其中 m：金屬去除量（g），Z：電化當量，Q：電量（庫侖），I：電流強度，t：電解時間（s），E：當量（g），F：法拉第常數，M：金屬原子量，n：金屬原子價。

#### 2、法拉第電解第二定律

奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

陳建添（2015）指出「電解過程中，用相同電量  $Q$ ，金屬電極處發生游離出產物質量（ $m$ ）與該物質的化學當量  $E$  成正比」。即

$$m = \frac{Q}{F} \times E$$

或

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

由法拉第定律電化學加工中之氧化還原速度與金屬移除量有密切關係，而電化學加工之金屬移除量主要遵守法拉第的電化學反應，從式知  $F$ 、 $n$ 、 $M$  為固定數，金屬移除量會隨著電流強度大小與電解時間長短乘積變化產生增減，其電化學反應之極間電流、電解質導電度、電解液濃度與不同分子的電解液等因子，皆會影響電極工具幾何外形及去除量。

### 三、電流效率及加工速度

由法拉第電解第一定律得知，電極處發生游離出之產物質量（ $m$ ），與電流大小（ $I$ ）和電解時間（ $t$ ）成正比，也與電量（ $Q=It$ ）成正比。

$$m = Z It$$

$$V = \omega It$$

$m$ ：電極溶解或析出物質量（ $g$ ）， $V$ ：電極溶解或析出物體積（ $mm^3$ ）， $Z$ ：被電解物的質量電化學當量 [ $g / (A \cdot h)$ ]， $\omega$ ：被電解物的體積電化學當量 [ $mm^3 / (A \cdot h)$ ]， $I$ ：電解電流（ $A$ ）， $t$ ：電解時間（ $h$ ）。

此定律僅考慮工件電極所溶解或析出的量，以及電極和電解質溶液間的電子得失交換的電量成正比，不考慮電解液濃度、溫度、壓力、電極材料及形狀等因素影響，來計算電解金屬去除量，稱為理論去除量。實際情況下，電極上會釋放氧／氫氣，或部分以高價離子溶解，消耗電量，因此電解時實際去除量必小於理論去除量。因此，實際電流效率  $\eta$  為

$$\eta = \frac{\text{實際去除量}}{\text{理論去除量}} \times 100\%$$

則實際金屬去除量為

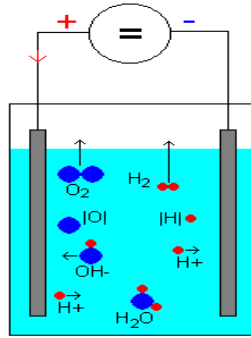
$$m = \eta Z It$$

$$V = \eta \omega It$$

#### （一）電解原理與應用

### 奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

利用直流電的電能轉變成化學能與電池的原理恰好相反，電解液必須是電解質溶液、或是熔融狀態。電化學電池是利用氧化還原反應將化學能轉為電能，反之，若以直流電通過熔融態電解質或其水溶液時，在陰極和陽極上亦會發生氧化還原反應，電解圖如下圖（二）所示。



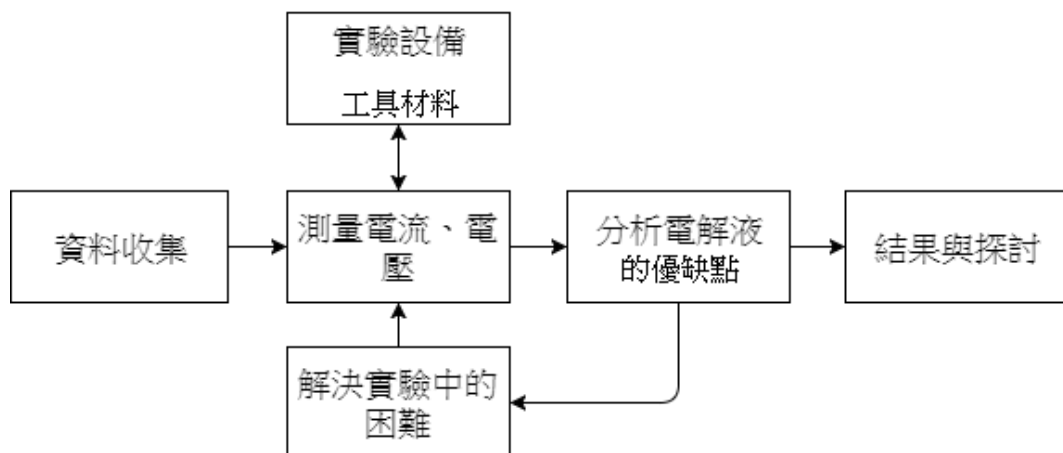
圖（二） 電解圖

### （二）電解應用

電解在工業應用上很重要；例如：鹼氯工業、電容熔液、銅電解精煉、電解製鋁、熔鹽電解、電冶金、電鍍、也可儲能成為燃料電池的燃料，電解在製造程序上稱為電化學加工。孔決良（2007）指出「**電解加工的優點不受材料本身強度、硬度和韌性的限制，可加工高強度、高硬度和高韌性等難以裁切的金屬材料**」。

### 四、實驗流程：

實驗流程圖如下圖（三）所示



圖（三） 流程圖

奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

五、實驗設備及材料

(一) 實驗機台裝置：

表(一) 實驗設備

		
名稱	電源供應器	數位式三用電表
說明	使用電源供提供三組輸出直流電源供應器，1組固定電壓 10V/2A，提供 10V 作電解液電壓。	測量電解時的電壓換算成電解電流。
		
名稱	步進馬達	實驗電解槽
說明	控制 Z 軸的進給量	利用壓克力所製成的電解槽
		
名稱	DSPIC 微控制器	
說明	檢測電解電流提供步進馬達進給量	

(二) 實驗電解液材料

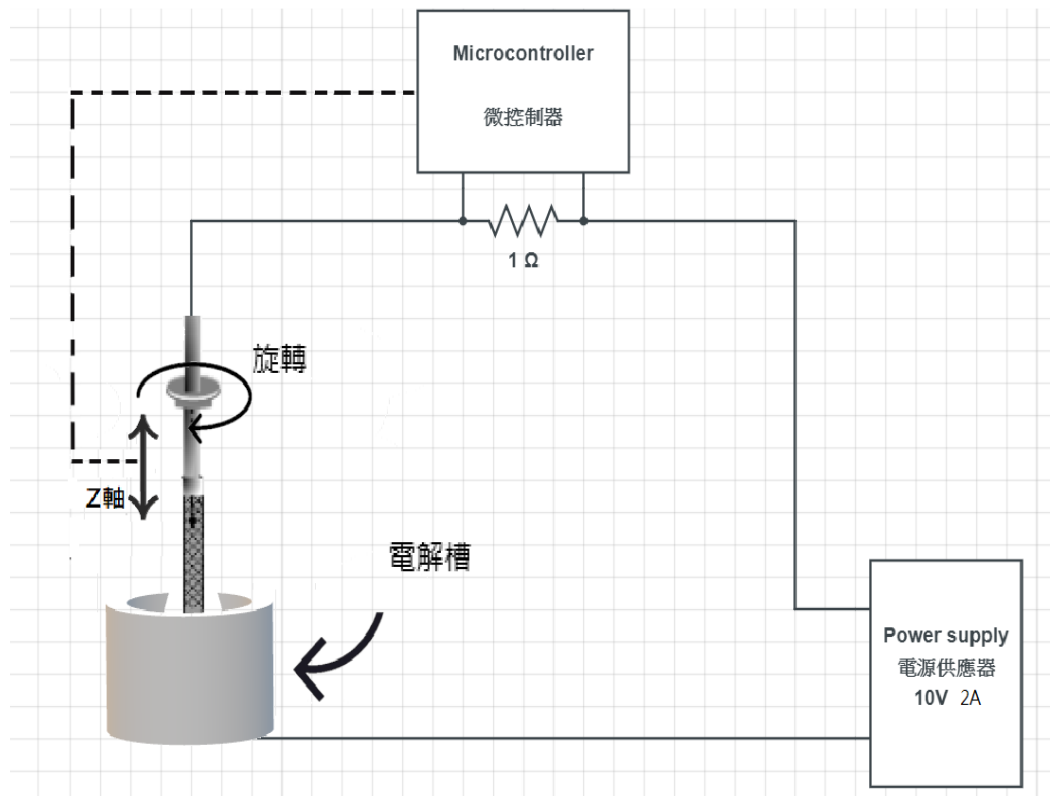
- 1、化學原料：NaOH（氫氧化鈉）。
- 2、實驗材料：寶特瓶500ml的量瓶。電子秤。燒杯、100ml量筒。

六、實驗方法與步驟及記錄

(一) 實驗方法

## 奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

調配 NaOH 電解液，濃度為 5%，放入電解槽中，接上電源供應器供電 10V 調整定電流為 2A，並利用基本電學的歐姆定  $I = \frac{V}{R} = \frac{V}{1\Omega}$ ， $I=V$  電阻兩端電壓換算成電解電流，量測在不同檢測電壓所測得 NaOH 5% 的電解電流 為多少，並記錄實驗時的數據資料，實驗情形如下圖（四）所示，提供電壓給微控制器做為參考電壓 並控制步進馬達 Z 軸的垂直移動 取得最近的間隙得到最大電解量 進行物質材料移除。



圖（四） 電路圖圖

### （二）實驗步驟

我們在老師的指導下，參考書本中的資料，並依照實驗流程圖，準備好要製作本次實驗的實驗設備與材料來進行實驗，將濃度 5% 的 NaOH 電解液倒入電解槽後，使用電源供應器供電來調整實驗所需的電壓，電壓傳送至微控制器後控制步進馬達 Z 軸的垂直移動，取得最近的間隙及最大的電解電流，使用基本電學的歐姆定律來量測流經電阻 1Ω 電壓換算成電解電流，將測量得到的電解電流數據來進行電解的控制，實驗情形如圖（五）所示。



奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂



圖（五）實驗過程

（三）、實驗記錄

實驗記錄如表（二）所示

表（二）實驗記錄

電流設定：2A					
次數	Z (mm)	NaOH 5%	次數	Z (mm)	NaOH 5%
	Z (mm)	I (A)		Z (mm)	I (A)
1	0.01	0.001	11	0.50	0.099
2	0.05	0.002	12	0.55	0.105
3	0.10	0.003	13	0.60	0.120
4	0.15	0.005	14	0.65	0.149
5	0.20	0.009	15	0.70	0.176
6	0.25	0.011	16	0.75	0.188
7	0.30	0.043	17	0.80	0.205
8	0.35	0.067	18	0.85	0.223
9	0.40	0.080	19	0.90	0.243
10	0.45	0.085	20	1.00	0.268

七、研究比較與分析：

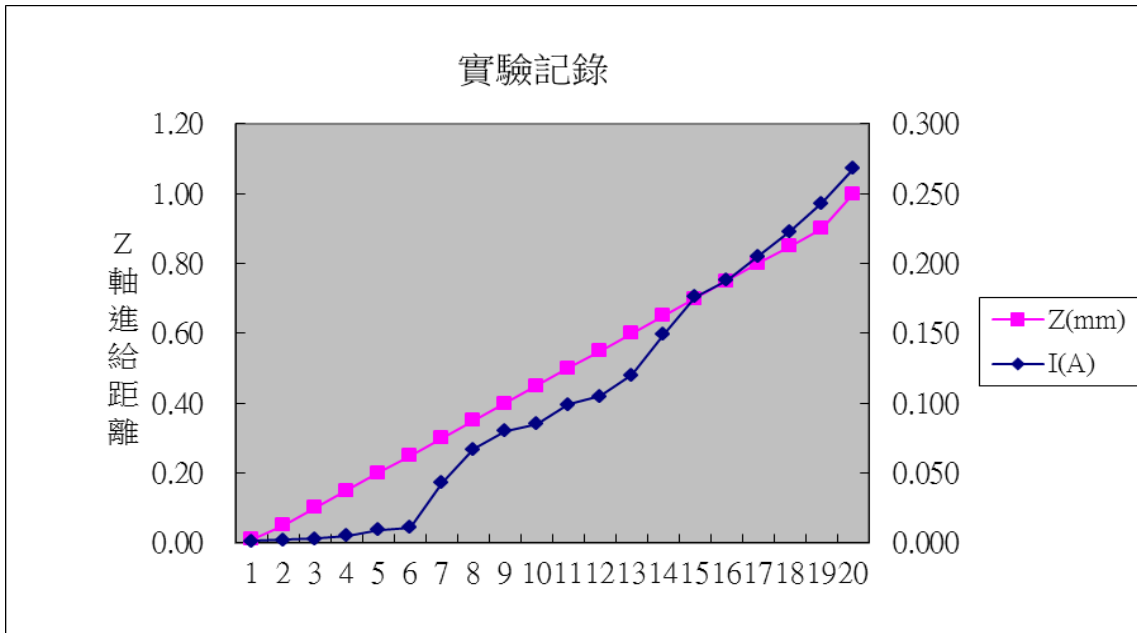
綜合以上各項電解電流測量比較實驗如下圖（六）所示，獲得以下結論：不只在材料不同，在濃度不同、距離不同，都會產生不同的電流變化都會影響電解的電

### 奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

流量，這些變化發現濃度越高電流越大情況，根據法拉第第一與第二電解定律所提，析出物質的質量  $m$  與通入的電量  $Q$  都呈現正比也與電流  $I$  與時間  $t$  乘積成正比關係、如下關係式：

$$m = ZQ = Zit$$

所以改變電流量可以控制物質移除量，來進行精微加工製造技術。



圖（六）實驗記錄曲線圖

### 參、結論：

#### 一、研究結論與心得

電解質的應用非常廣，利用化學氧化還原的電解作用，除了可以應用在電解加工、移除物質等工業製程。根據法拉第第一與第二電解定律所提，金屬電極處發生游離出產物質量與所通過電解質電量成比例關係，我們從實驗結果及分析，發現在材料不同、濃度不同、距離不同下，便會產生不同的電壓電流變化而影響電解的電流量，藉由這些變化，發現濃度越高、電流越大情況下，所以在最大的電解電流且沒有短路的情況下時，控制電解電流量的大小就可以控制物質移除，達到運用的目的。在研究過程中，遇到不少的麻煩及阻礙，但也從這實驗中學習到許多不同於本身專業的知識，讓我們獲益良多。

#### 二、未來與展望

利用機器測量出最佳間距以及電流最大時能夠使表面移除量，此為正離子與

### 奇妙的電解溶液~電化學製造技術的靈魂

負離子使物體溶解產生，來達到表面移除的目的，原理是以電解原理為基礎。我們相信改變微小電流量產生微小的物質移除量，如元智大學（2013）指出「**電化學加工(Electrochemical Machining)是一種通過電化學反應去除工件材料或是在其上鍍覆金屬材料等的一種加工方式**」，這樣的技術能夠在精微量加工製程上應用。

#### 肆、引註資料：

黃得時（2014）。**選修化學（上）**。新北市：龍騰。

陳建添（2015）。**基礎化學（二）**。新北市：龍騰。

陳文靜（2008）。電解質的應用。2018年02月09日，取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4301>

孔決良（2007）。**機械製造（II）**。新北市：台科大圖書。

黃俊誠（2009）。法拉第電解定律。2018年02月18日，取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4935>

iWord 電化學加工原理與應用。2018年02月20日，取自

<http://iword.biz/topicdetail.php?id=76&p=99>

元智大學燃料電池中心。2018年02月20日，取自

<http://www.enedu.org.tw/files/DownloadFile/20131010131246.pdf>