

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

最佳創意獎

030212

尿者有液，電流無情

學校名稱：臺南市私立興國高級中學(附設國中)

作者： 國三 方賢堯 國三 陳沛妤 國三 周孟樵	指導老師： 黃淑芬
---	------------------

關鍵詞：電解質、觸電、電流

摘要

經由我們自製的電解動態電解質溶液裝置，可以測得在短距離(3cm)內的電流。動態電解質溶液在外加不同電壓下，經由 I-V 圖，依舊會符合歐姆定律得到線性關係。在相同 V 時，兩極距離 3 cm 下，動態電解質的電流約僅為靜態的 1/3。各項變因下之測試：改變電壓、兩電極距離、電解質種類、濃度、黏滯性等，電流大小會與電解質濃度有正向關係、與兩電極間的距離成反比關係，濃度、黏滯性、流出水柱的環境、對水柱加壓等可以影響流下水柱的連續性，拉高兩電極的距離。雖然以活性電極鐵當電極進行電解，但仍以電解水為主要反應。經由自製膀胱模擬與估算，在水柱連續的前提下，電影裡對著通有電流的電極尿尿會觸電的情節是有機會可以發生的。

壹、研究動機

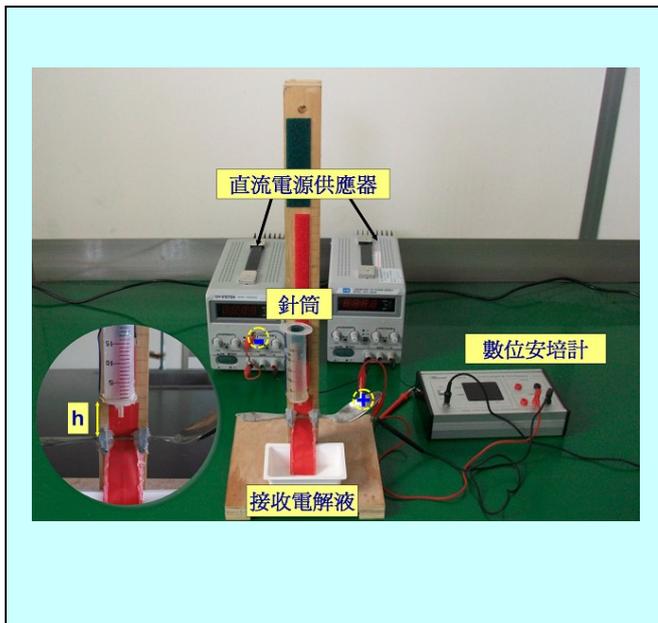
印度電影『三個傻瓜(3 idiots)』中有一個情節：男主角以自製裝置使人尿尿時觸電！我們對此劇情產生了濃厚的興趣，再加上新聞曾報導過：有人走過冷氣機底下時，被漏電的冷氣機滴下來的水滴碰到而觸電，引發我們對這種動態的電解質溶液之導電情形非常好奇，因而決定來做這個實驗，探討這個情節的真實性與動態電解質的奧秘。

貳、研究目的

- 一、測量動態電解質溶液之導電情形：電壓與電流的關係，並與靜態電解質溶液之電解情形比較。
- 二、測量在動態電解質溶液中，各項變因下之電流值：改變電壓、兩電極間距離、電解質(種類、濃度、黏滯性)、正負極位置、水柱流動方式、水柱流出環境等。
- 三、利用動態電解裝置電解尿液，並由所測得的數據，模擬推算電影中情形的電流大小及觸電的真實性。

參、研究設備及器材

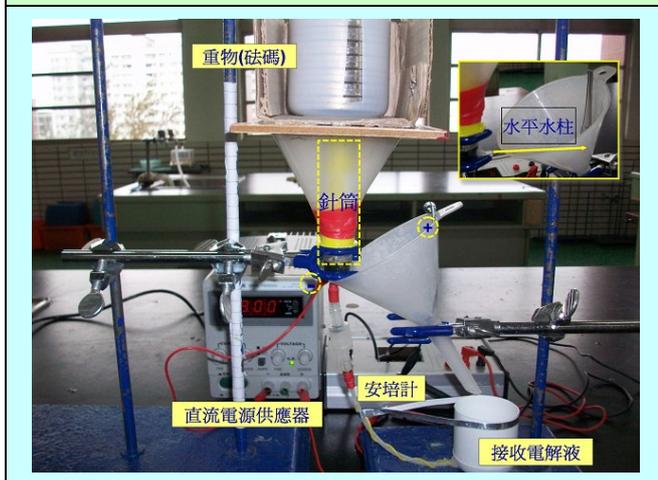
- 一、測量用：直流電源供應器、數位數字式電壓電流計
- 二、藥品：硝酸鉀、NaCl、尿素、甘油
- 三、自製裝置：
 - (一) 動態電解質溶液電流測量裝置：如圖(一)。
 - (二) 垂直射出加壓裝置：如圖(二)。
 - (三) 水平射出加壓裝置：如圖(三)。
 - (四) 膀胱裝置：如圖(四)



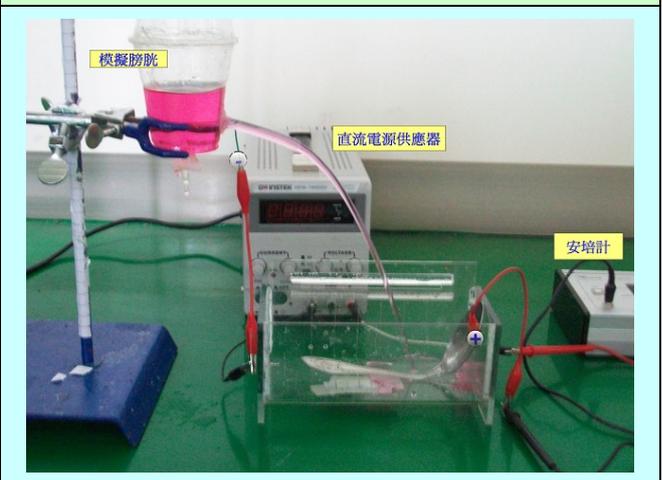
圖一、動態電解質電流測量裝置



圖二、垂直射出加壓裝置



圖三、水平射出加壓裝置



圖四、模擬膀胱裝置

肆、研究過程與方法

一、文獻探討：

電解質的導電性係溶液攜帶電流能力的衡量。

1884 年瑞典科學家阿瑞尼斯提出電離說來解釋電解質溶液的導電行為：

- (一) 電解質溶於水後會分解產生帶電的粒子，稱為離子，此過程稱為電離。即電解質在水溶液中會解離出陰離子與陽離子。
- (二) 含電解質的水溶液中，正離子和負離子的個數不一定相同，每個正離子、負離子所帶的電量也不一定相等，但是正離子的總電量一定等於負離子的總電量，使溶液保持電中性。
- (三) 電解質溶液通直流電後，陽離子移向負極，陰離子移向正極。陰、陽離子移動形成離子流(即電流)，導通電路，因此電解質水溶液可以導電。且在電極處會發生化學反應。

影響電解的因素以電解質的濃度、電極面積、溶液溫度、電解液種類(離子價數)、與兩電極間的距離等等為主。電解質水溶液在電場的影響下，藉離子的移動而傳導電流，其導電性與金屬導體一樣，遵循歐姆定律(Ohm's law)，德國物理學家歐姆(Georg Simon Ohm, 1787~1854)於1862年提出如下的歐姆定律(Ohm's law)，「通過導線的電流強度與導線兩端的電壓成正比，而與導線的電阻成反比。」即

$$\text{電流(I)} = \frac{\text{電壓(V)}}{\text{電阻(R)}} \quad (\text{單位：電流—安培(A)、電壓—伏特(V)、電阻—歐姆(}\Omega\text{)})$$

同樣的，電解質溶液中施予電壓，則電解質中兩電極間的電流會與電解質溶液的電阻成反比。電阻的倒數 $1/R$ 稱為電導(G , conductance)，其單位以 Ω 的倒數(Ω^{-1})或姆歐(mho)表示之， $G=1/R(\Omega^{-1}, \text{mho})$ 。溶液所觀察的電導(G)與兩極間的距離 d 成反比，與其面積 A 成正比：

$$G = \frac{1}{R} = \kappa \frac{A}{d} \quad \therefore \kappa = G \times \frac{d}{A} = \frac{1}{R} \times \frac{d}{A}$$

當電解質溶液被稀釋時，上列方程式中的比電導(κ , specific conductance, conductivity)將降低，在每 cm^3 溶液中攜帶電流的離子較少。

而濃度影響導電性，所以可對電解質溶液計算其平均含 1 mol 溶質的電解質溶液在單位距離內的電導，稱為莫耳電導(Λ_M)：

$$\Lambda_M = \frac{\kappa}{C_M} = \frac{1}{R} \times \frac{d}{A} \times \frac{1000}{C_M}$$

在同樣電極與距離下，可以定義 $\Lambda = \Lambda_M \times \frac{A}{d} = \frac{1}{R} \times \frac{1000}{C_M}$ 來代表莫耳電導的大小。

觸電是指當生物(主要指人類)與電有直接的接觸時，因此感受到疼痛或甚至受到傷害的意外事故。觸電有可能致命(觸電致命俗稱電死)。但怎樣的觸電才會致命，取決於以下的因素：

- 電流進入身體和離開身體之處的電位差大小。
- 流過身體的電流大小。
- 接觸的持續時間長短。
- 電流經過的部位或器官。

因此，高電壓和高電流的觸電固然可以致命，但即使電壓和電流均相對較低，如果電流持續時間太長的話還是會致命的。而即使有高的電壓和大的電流，如靜電放電造成的觸電，一般而言，對人體只會造成短暫的刺痛感，或者根本沒感覺，所以不被認為是傳統意義下的觸電，也不一定會對人有什麼危害。

一般認為，對人類而言，100 至 250 伏特的交流電最容易致命。因為人身上的電阻使較低的電壓無法產生足夠的電流，而較高的電壓則使肌肉收縮的程度足以把觸電者反彈出來(然而觸電者仍會被燒傷)。目前比較公認的安全電壓是 36 伏特，人體在正常情況下直接接觸不超過該值的電壓不會對人體造成危害。

電流對身體的損害主要在於加熱身體組織以及干擾神經控制(尤其是對心臟的控制)。10 毫安培的電流能使肌肉發生纖維性抽搐，但大於 20 毫安培的電流反而能保護心臟免於抽搐。另外，電流可以使身體組織因過熱而嚴重燒傷。一般電流通過人體所造成的傷害，如表(一)所示：

表一、一般電流通過人體所造成的傷害

感電影響	電流(mA)					
	直流		60Hz 交流		10kHz 交流	
	男	女	男	女	男	女
感知電流：開始有刺激	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8
可逃脫電流：肌肉尚可自由活動	62	41	9	6	55	37
不可逃脫電流：肌肉無法自由活動	74	50	16	10.5	75	50
休克電流：肌肉收縮、呼吸困難	90	60	23	15	94	63
心臟麻痺電流：心室痙攣、呼吸停止	500	500	100	100	500	500

二、基本操作：

所有實驗藥品，由精密天平秤量質量，蒸餾水溶解後，再利用容量瓶配置，保存於罐中。每測量一次電流值後，更換新的電解液，電極用蒸餾水沖洗。所有實驗均做三次以上的實驗取平均值。

(一) 利用重力自然流出之動態電解質溶液的基本操作步驟：

1. 將裝置組裝好，開啓電源供應器，設定提供的電壓。
2. 將 25 mL 針筒移到固定高度後，先倒入 20 mL 電解液至針筒中，關閉下方出口閥。
3. 打開出口閥，記錄溶液流至 10 mL 時安培計所讀到之瞬間電流。

(二) 利用加壓流出之動態電解質溶液的基本操作步驟：

1. 將裝置組裝好，開啓電源供應器，設定提供的電壓。
2. 將 60 mL 針筒吸取 30 mL 電解液至針筒中，關閉下方出口閥，移到固定高度。
3. 放重物(砝碼)在針筒上方的平台，打開出口閥，記錄安培計所讀到之電流範圍值。

實驗一、靜態電解質溶液的電解情形：

(一) 裝置與藥品：電解槽(培養皿)、1 M KNO_3 、尿液

(二) 實驗步驟：

1. 將電解液倒入電解槽中，以鐵湯匙為電極(浸入溶液的面積約為 1 cm^2)，兩電極間距離 $h=3\text{cm}$ ，改變電壓測電流。
2. 固定電壓在 9、18、36V，一端電極固定不動，移動另外一端，改變 h ，測其電流。
3. 改用尿液重覆步驟 1、2。

實驗二、動態電解質溶液的電解測試：

(一) 裝置與藥品：裝置如圖(一)。

(二) 實驗步驟：

1. 以鐵湯匙當正極，針筒上之迴紋針當負極，兩電極間之距離固定 3cm，電壓 9V。
2. 將 20 mL 的 1M 硝酸鉀溶液倒入針筒中，使其因重力自然流出，當流下來的電解液碰到鐵湯匙，觀察有無電流生成。記錄電流隨時間的變化。
3. 重覆步驟 1 與 2，記錄其流至 5 mL、10mL、15 mL 的瞬間電流(mA)。
4. 改變電壓 3~18V，重覆步驟 3。

實驗三、高度對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：兩電極的高度

(二) 實驗步驟：

1. 同實驗二之步驟 1、2，將針筒分別以高度 3、6cm，在電壓 3~36V(每 3V 為一間距) 下測其流至 10mL 的瞬間電流。
2. 改變高度為 5、10、15 cm，在電壓 3、36V 以不同濃度 0.1、0.5、1M 測其流至 10mL 的瞬間電流。

實驗四、正負極位置對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：正負極的位置

(二) 實驗步驟：

1. 以鐵湯匙當正極，固定於針筒上之迴紋針當負極。
2. 高度在 3 cm，硝酸鉀濃度固定為 1M，以 6 種不同電壓(3V~18V)實驗。
3. 每次固定加入 20ml 的硝酸鉀溶液，測其流至 10mL 的瞬間電流(mA)。
4. 改以鐵湯匙當負極，迴紋針當正極，重複步驟 2、3。

實驗五、電壓對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：電壓

(二) 實驗步驟：

1. 同實驗二，兩電極間之距離固定高度 $h=3\text{cm}$ ，電壓 9V。
2. 改以不同電壓(3~36V)實驗重複步驟 1 與 2。

實驗六、電解液濃度對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：電解液的濃度

(二) 實驗步驟：

1. 裝置同實驗五，步驟 2 改用电解液濃度 0.1~2M 的硝酸鉀溶液。

實驗七、電解液種類對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：電解液的種類

(二) 實驗步驟：

1. 裝置同實驗五，步驟 2 電解液種類改使用 1%NaCl、1%NaCl+1%尿素、1%的硝酸鉀溶液。

實驗八、電解液黏滯性對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：電解液的黏滯性

(二) 實驗步驟：

1. 裝置同實驗五，步驟 2 電解液改以四種不同濃度的硝酸鉀與甘油以體積比 1：1 混合液。分別在 3、36V 電壓下記錄可讀到電流之最大高度。
2. 改加入甘油與硝酸鉀混合成 1M 硝酸鉀電解液，甘油的體積百分濃度分別是 10%、20%、30%。在 3、9、18、36V，高度分別為 3、6、9 cm 下進行電解。記錄電流值。

實驗九、流出水柱的環境對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：水柱環境

(二) 實驗步驟：

1. 裝置同實驗五，但將針筒出口處套上不同材質的管子，如圖(五)所示，連接到下方鐵湯匙上方。
2. 固定高度為 6cm，以 1M 硝酸鉀實驗，測量其電流。
3. 改使用不同材質的線，一端固定在針筒出口處，一端拉直纏繞到下方的鐵湯匙上。
4. 固定高度為 5、10、15、29cm，以 1%NaCl +1% 尿素實驗，測量其電流。



圖五、不同材質軟管、線及其測電流裝置圖

實驗十、電解液加壓下對電解動態電解質溶液的影響：

(一) 操縱變因：電解液加壓射出(垂直與水平)

(二) 實驗步驟：

1. 採用自製垂直加壓射出裝置，如圖(二)。
2. 鐵湯匙為電極，固定高度為 6cm，以 1M 硝酸鉀實驗。
3. 分別以三種不同重量 1 kgw、1.5 kgw、2 kgw 的重物對針筒內的電解液加壓流出，測量其電流的範圍值。
4. 改採用水平加壓射出裝置，如圖(三)，測量其電流的範圍值。

實驗十一、模擬人體尿尿時，測量電流：

(一) 裝置：採用自製膀胱裝置

(二) 實驗步驟：

1. 採用自製膀胱裝置，如圖(四)，利用鐵架架高。
2. 下方鐵湯匙為電極，膀胱內置一迴紋針當負極，以 1M 硝酸鉀實驗。
3. 將自製膀胱裝置內的電解液放出，在不同高度下(10cm、15cm、20cm)測量其所得之電流值。
4. 改以尿液，重覆步驟 1~3。

伍、研究結果

實驗一、靜態電解質溶液的電解情形：

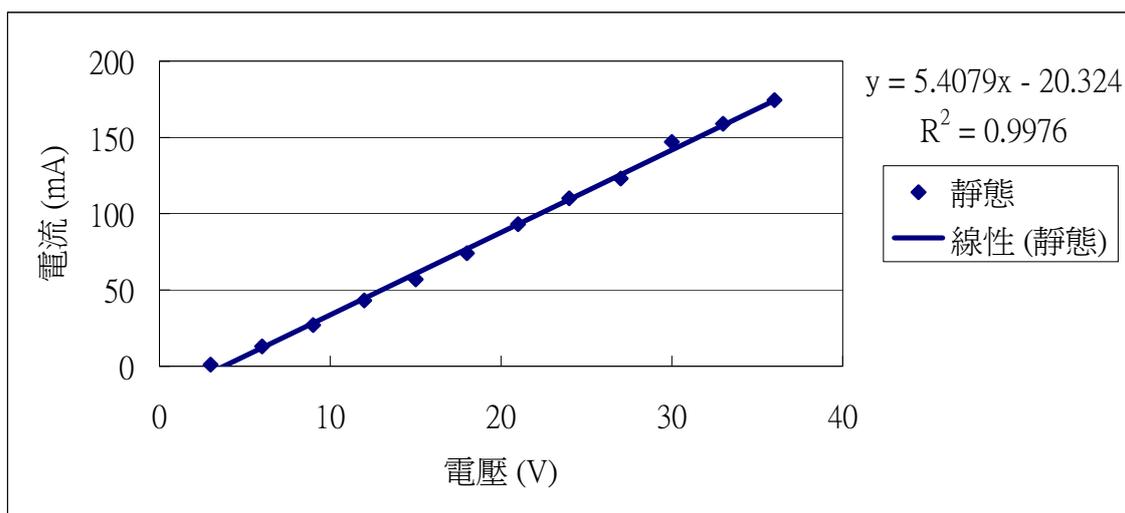
當電解液在靜態的情形下，在不同電壓與兩電極不同距離下所測得之電流，結果列於表(二)、表(三)。其 I-V 圖如圖(六)、圖(七)所示。

表(二)

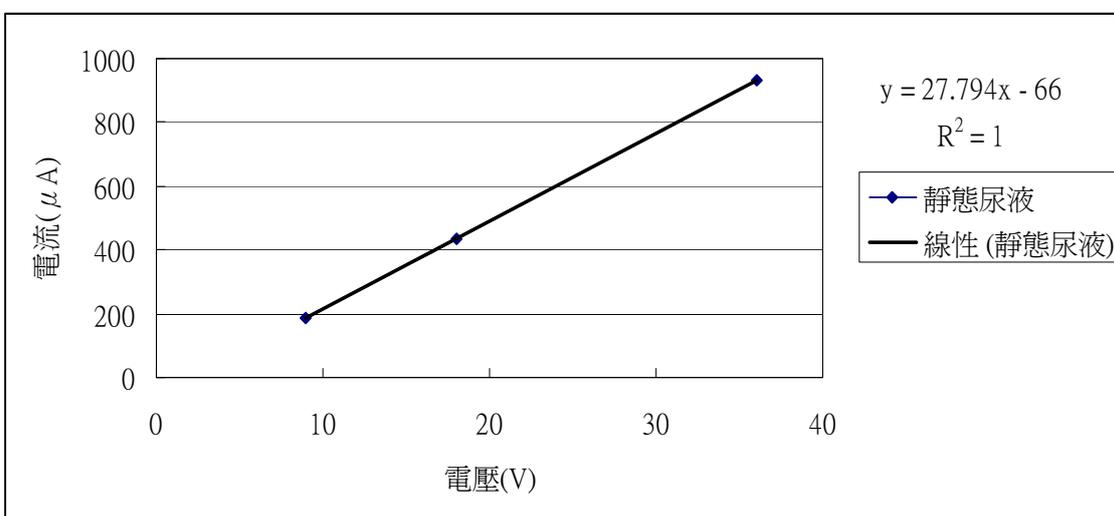
		KNO ₃ (1 M)			尿液		
V h(cm) \ I(mA)		9V	18V	36V	9V	18V	36V
2		31.50	79.50	234.00	0.184	0.434	0.934
3		25.50	67.00	182.50	0.144	0.358	0.803
4		21.00	57.50	151.00	0.121	0.306	0.683
5		18.50	49.00	136.00	0.107	0.262	0.595
6		15.50	42.50	117.00	0.092	0.218	0.479

表(三)

濃度		靜態	動態			
V(V) \ I(mA)	0.1M		0.1M	0.5M	1M	2M
3		1.05	0.21	0.63	0.74	0.96
6		13.00	0.73	2.30	3.40	6.34
9		27.00	1.26	4.45	6.42	11.00
12		43.00	1.83	6.30	9.45	16.50
15		57.00	2.41	8.39	11.00	23.00
18		74.00	3.01	9.00	14.00	29.00
21		93.00	3.60	10.50	17.00	34.00
24		110.00	4.19	12.50	20.00	40.00
27		123.00	4.80	15.00	23.00	46.00
30		147.00	5.14	16.50	26.00	53.00
33		159.00	5.74	19.00	29.00	59.00
36		174.50	6.53	22.50	32.00	65.00

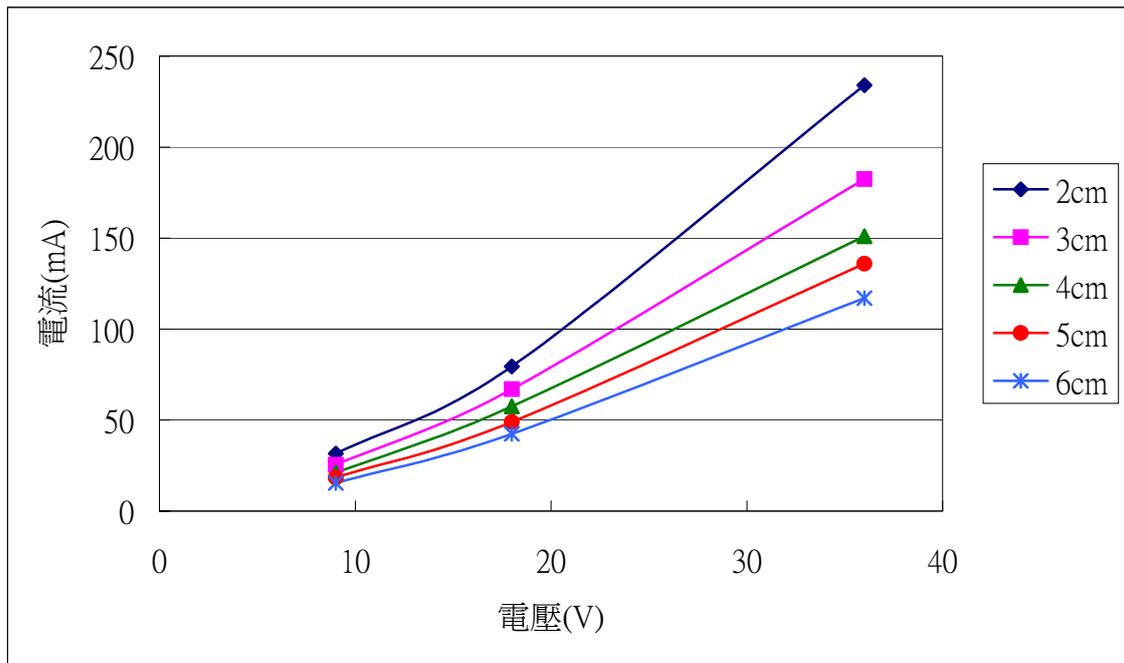


圖六、靜態電解質溶液(KNO₃)在固定 3cm 下之 I-V 圖

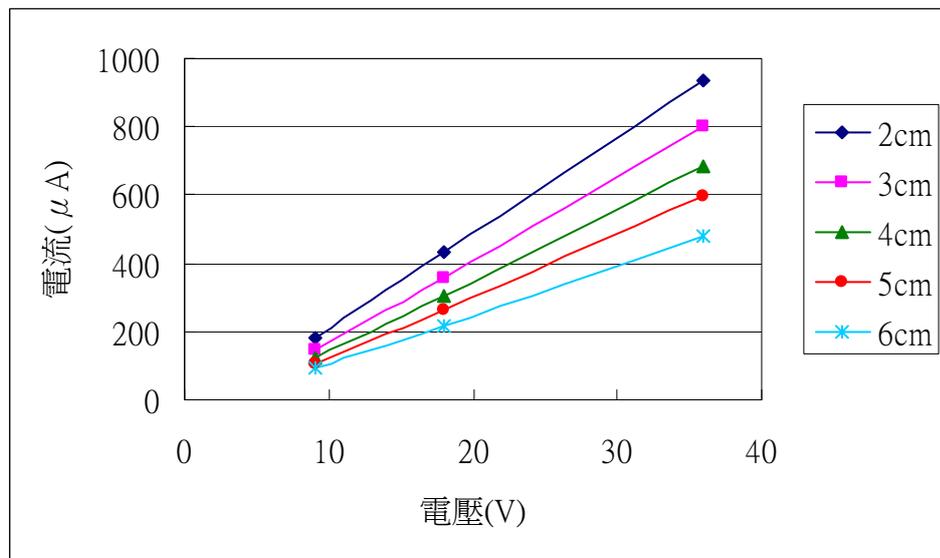


圖七、靜態電解質溶液(尿液)在固定 3cm 下之 I-V 圖

兩電極在固定距離下，電壓愈大，溶液所測得之電流愈大。一般電解水時，當電壓升高至 15V 時，即可以明顯看到電極附近有大量氣體生成。若電極在溶液中的時間較長，會造成電極附近有大量氣體生成造成的極化現象，則溶液的電流值會明顯下降。我們是將電極放入電解液中，讀取到電流值即拿起，所以溶液的電流值與電壓呈現不錯的線性關係，可以證明在電極短暫與電解液的接觸下，極化作用影響不大。電解尿液的情形與電解 KNO₃ 溶液結果相近，但明顯在同電壓與兩電極同距離下，尿液所測得的電流僅約為 KNO₃ 溶液的 1/200。



圖八、靜態電解質溶液(KNO₃)在不同距離下之 I-V 圖

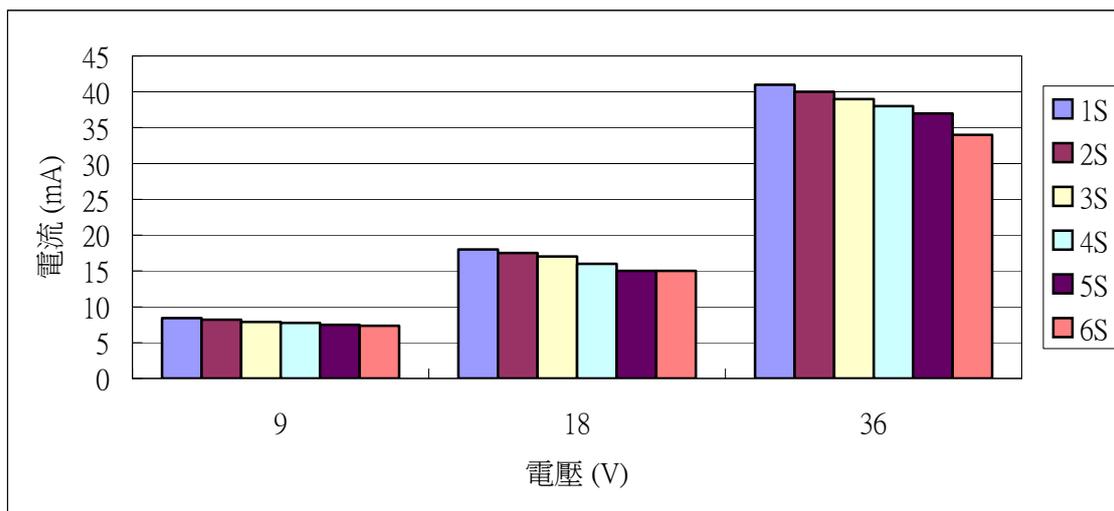


圖九、靜態電解質溶液(尿液)在不同距離下之 I-V 圖

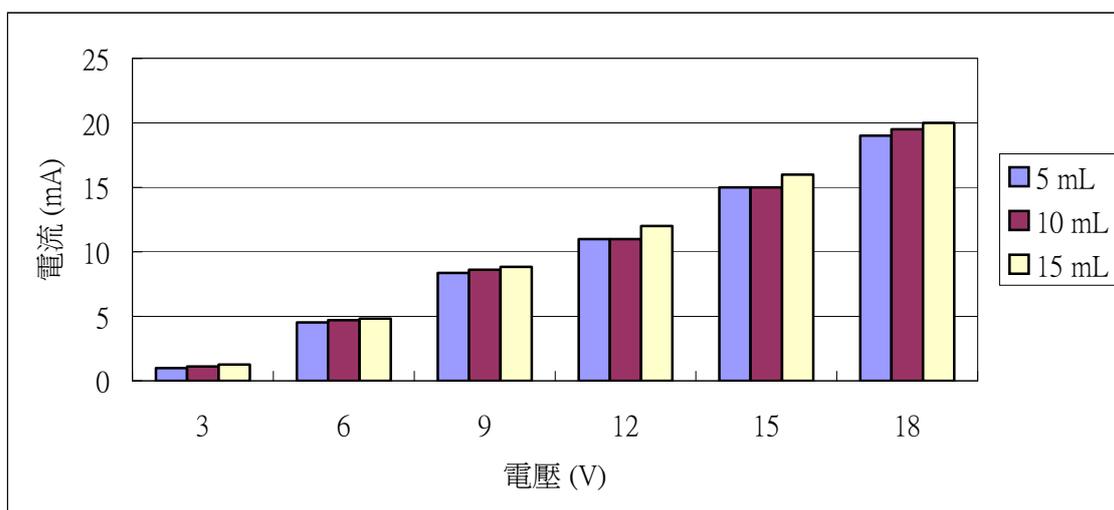
相同電壓下，由圖(八)、圖(九)可發現兩電極間的距離愈小，溶液所測得之電流愈大。可以印證兩電極間的距離會影響電流的大小。

實驗二、動態電解質溶液的電解測試：

當電解液往下流時碰到鐵湯匙時，整個線路即成通路。我們觀察到：只要電解液是連續性的流動，可讀取到電流值，甚至可以得到穩定電流。利用相機錄下不同時間之電流的數值，其 I-V 圖如圖(十)所示。而不同流下體積時之電流的數值，其 I-V 圖如圖(十一)所示。



圖十、動態電解質溶液在不同時間所得之 I-V 圖



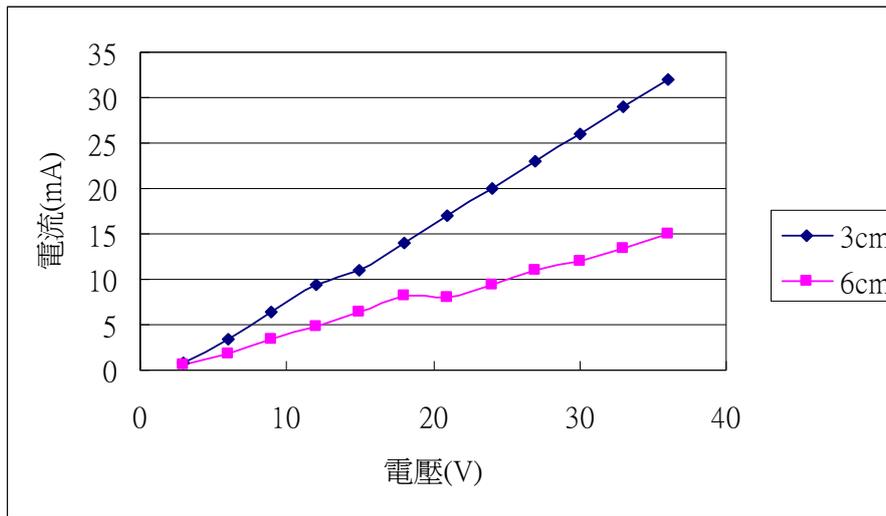
圖十一、動態電解質溶液在流下不同體積所得之 I-V 圖

在電壓 9、18V 時，電流在 1~6 秒時可以算是穩定，但電壓 36V 時，5~6 秒有較大的減少量。所以在時間 4~5 秒所讀取的電流值可以視為穩定電流。但當電解液量一直減少時，約剩下 5mL 時，流動就會出現非連續性的，即讀取不到電流值。

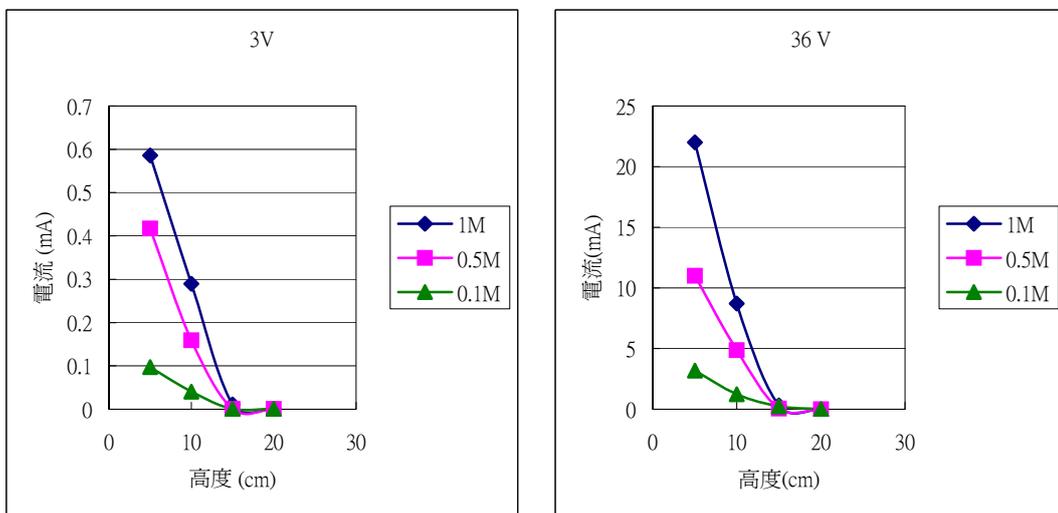
仔細記錄裝有 20 mL 電解液流出裝置 5、10、15 mL 時之電流值，在不同電壓下並沒有太大的差異性。綜合上面的實驗，所以之後的實驗均以記錄電解液流約 4~5 秒，**體積 10 mL** 所得到的瞬間電流。

實驗三、高度對電解動態電解質溶液的影響：

流動電解液中兩電極間之高度對整個電路是否接通有著重要的影響。在高度固定為 3、6cm 時所得之電流值，其 I-V 圖如圖(十二)所示。在不同濃度與定點高度下也測得其電流值，如圖(十三)所示。



圖十二、動態電解質溶液在流下不同高度所得之 I-V 圖

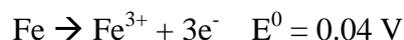


圖十三、動態電解質溶液在流下不同濃度、定點高度下所測得之電流值

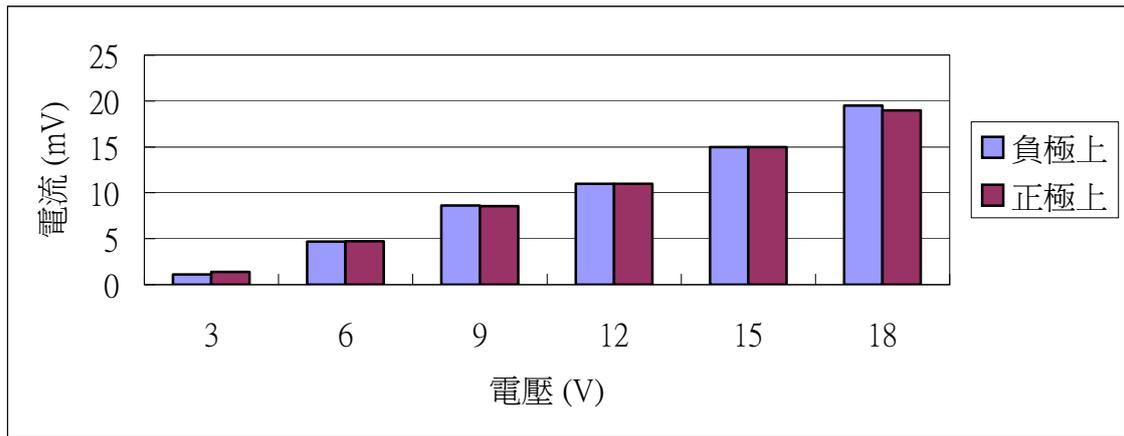
同電壓下，高度越高電流越小、電阻越大；同高度下，電壓越高電流越大。在高電壓下，高度對電流的影響較大。當高度高到 15cm 以後，此時可以觀察到流下水柱已經有不連續的現象，即使電壓高到 36V，電解質濃度 1M 下幾乎測不到電流了。所以後續一些電解質相關的性質測定，大多在高度 3~6 cm 下較可以測得穩定電流。

實驗四、正負極位置對電解動態電解質溶液的影響：

將裝置在針筒裡的迴紋針的正、負極性質交換所測得之電流，如圖(十四)所示。由圖顯示，在針筒內的迴紋針是正極或負極對所測得之電流值結果影響不大。但因為上方電極浸泡於溶液中的時間較長，若為正極，Fe 電極會參與下列反應：



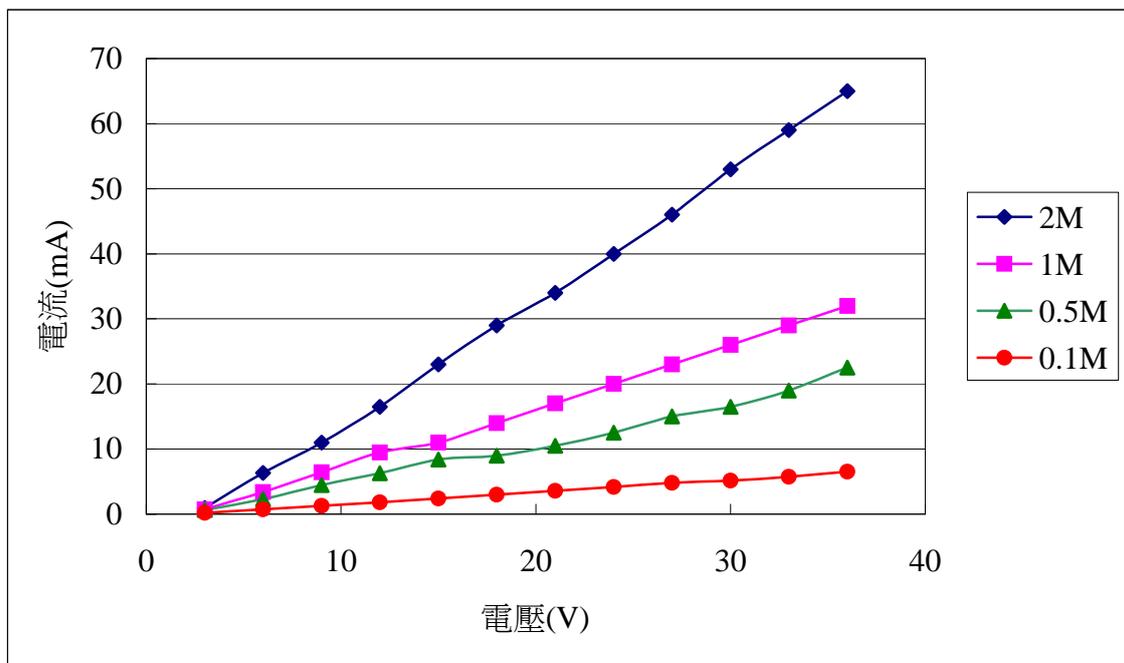
尤其到了更高電壓時，電極的表面會容易起了化學變化，進而影響整個溶液電流的測定，所以長時間的使用與重複性考量下，我們最後選擇上方的迴紋針作為惰性的負極，下方鐵湯匙為正極，因為與溶液接觸的時間極短，可視為未變質。



圖十四、動態電解質溶液在正、負電極上下交換時所測得之電流值

實驗五與實驗六、電壓與電解質濃度對電解動態電解質溶液的影響：

取不同濃度的硝酸鉀水溶液在不同電壓下所得之電流，結果如圖

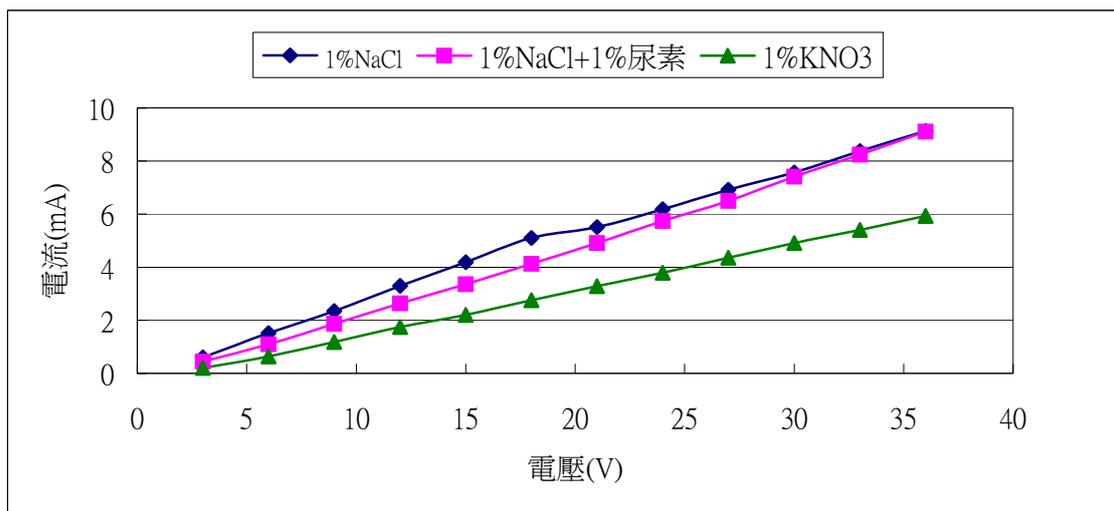


圖十五、動態電解質溶液在不同濃度、不同電壓下時所測得之電流值

由以上數據可以發現，在濃度固定的電解液下，電壓愈大，溶液所測得之電流也越大。在電壓固定的情況下，濃度越大，溶液所測得之電流也越大。電壓較小時，電解液濃度對電流的影響較小，3V時，電流值 0.1M : 0.5M : 1M : 2M 約為 1.0 : 3.0 : 3.5 : 4.5；反之電壓較大時，36V時，電流值 0.1M : 0.5M : 1M : 2M 約為 1.0 : 3.5 : 5.0 : 10.0，明顯地電解液濃度對電流的影響較大。

實驗七、電解液種類對電解動態電解質溶液的影響：

爲了模擬尿液，選擇了含 1%NaCl 或含有 1%尿素的溶液作爲電解液，再與強電解質 KNO_3 作比較，其結果如圖(十六)所示。



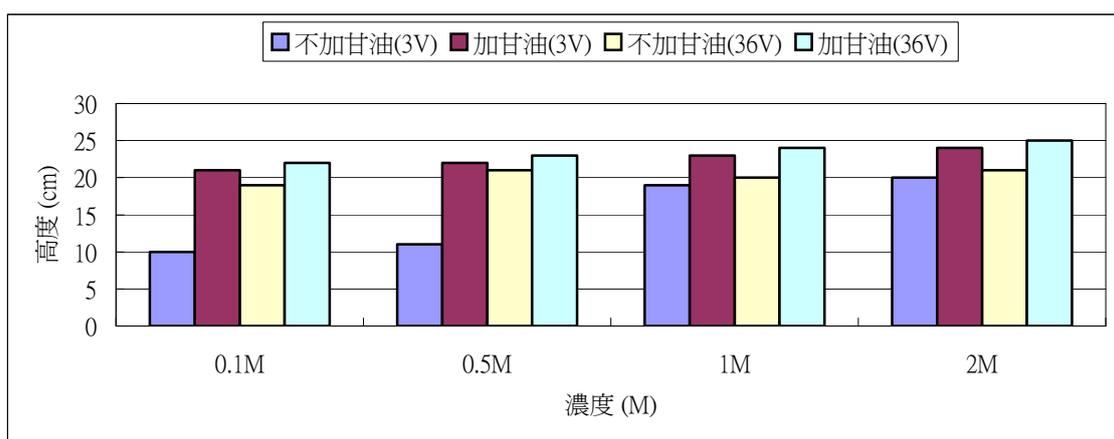
圖十六、動態電解質溶液在不同種類電解質下時所測得之電流值

同電解質下，電壓越大，所能測得的電流越大，與實驗五相符合；同電壓下，1%的 NaCl 所能測得的電流大於 1%NaCl+1%尿素，NaCl 為強電解質，解離程度會比弱鹼性的尿素佳，而純 1%尿素水溶液在靜態電解槽中所測得的電流值為 uA，因此 1%的 NaCl 加了 1%尿素，其導電程度隨之降低。電壓越高，1%NaCl 與 1%KNO₃ 所能測得的電流差值越大，但 1%NaCl 與 1%NaCl+1%尿素的電流差值，即便調高電壓也沒有多大變化。

實驗八、電解液黏滯性對電解動態電解質溶液的影響：

由實驗三可知流動電解液中兩電極間之水柱是否連續對整個電路是否接通有著重要的影響。因此我們嘗試加等體積的甘油到電解質溶液中。但剛流下的一瞬間，無法測得穩定電流，僅測得讀到電流之最大高度。結果如圖(十七)所示。

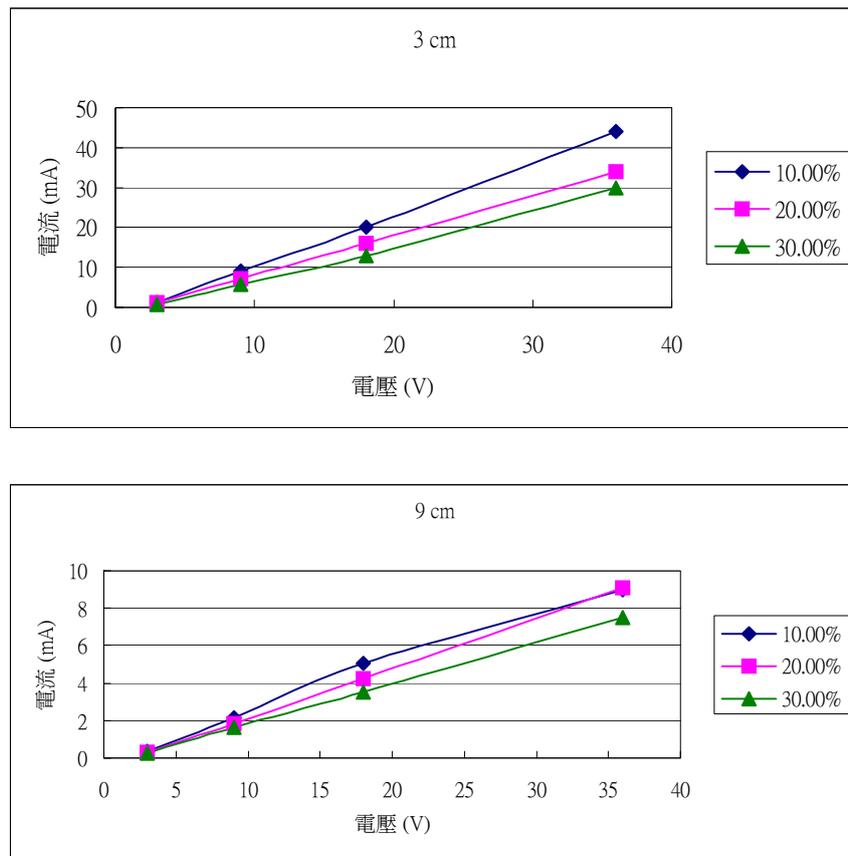
同濃度 KNO₃ 加入不同體積百分比之甘油，其所得之電流 I-V 圖如圖(十八)所示。



圖十七、動態電解質溶液在加甘油時測得電流之最大高度

添加甘油，溶液之黏滯性的確可以提高許多，在低濃度時，添加甘油可以提高高度到約 2 倍高度，3V 時加了甘油的最大高度甚至可以超過了 36V 不加甘油的情況。但添加甘油似乎對高濃度(2M)、高電壓(36V)的影響差異不大，均提高約兩公分左右。在 3V

時，水柱連續性會受濃度大小的影響，濃度大時，可以拉高水柱。



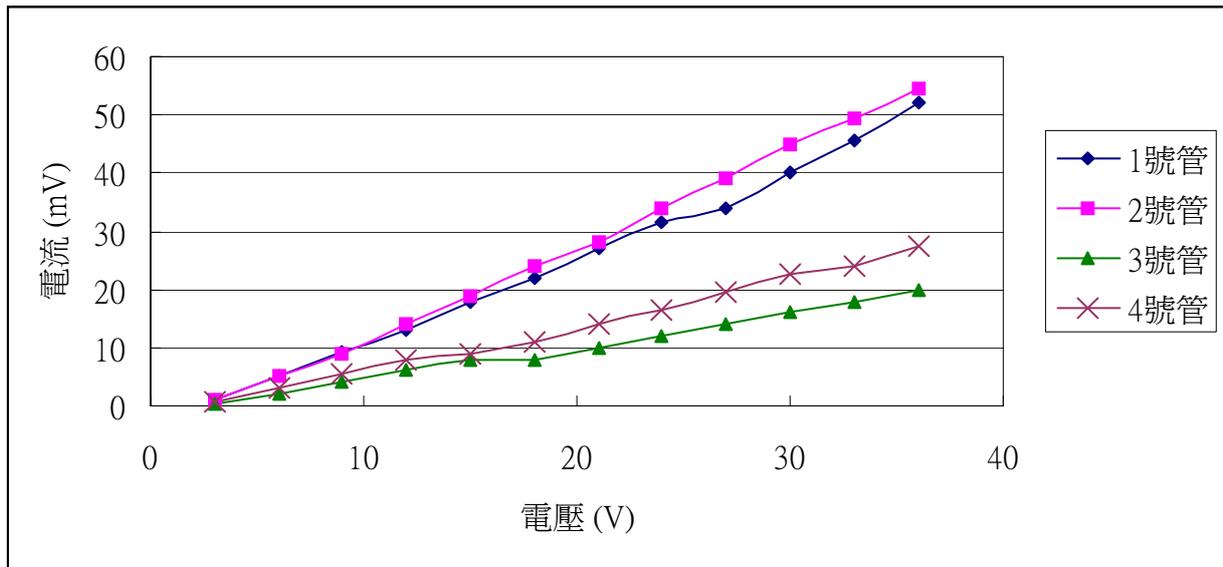
圖十八、動態電解質溶液添加不同比例甘油時之 I-V 圖

而加了甘油，其 I-V 圖仍呈現線形關係，同樣高度時，甘油比例較高明顯電流值較小；但再低電壓時，添加甘油的比例多寡對電流值的大小影響不大。

實驗九、流出水柱的環境對電解動態電解質溶液的影響：

水柱直接在空氣中或許會受有空氣阻力的因素，所以我們嘗試讓動態的電解質溶液在抵達下方電極時，可以經由管線的保護。不同管線：1 號—管徑 3/16 吋鐵弗龍材質、2 號—管徑 3/16 吋經耐油處理的 PVC 管、3 號—管徑 1/4 吋的 PVC 管、4 號—管徑 3/16 吋的 PVC 管。結果如圖(十九)所示。

一般的鐵氟龍管與耐油處理之 PVC 管與溶液之間的附著力較差，所以水流可以快速而連續，測得電流較高；反觀一般專門用於水管的 PVC 管，與水溶液之間有較好的附著力，水流或許較受影響，電流較小，而管徑較粗一些的 PVC 管，與水溶液之間的附著力又較管徑細的差一些，水柱較可以連續，因此電流又較 4 號管來的高。



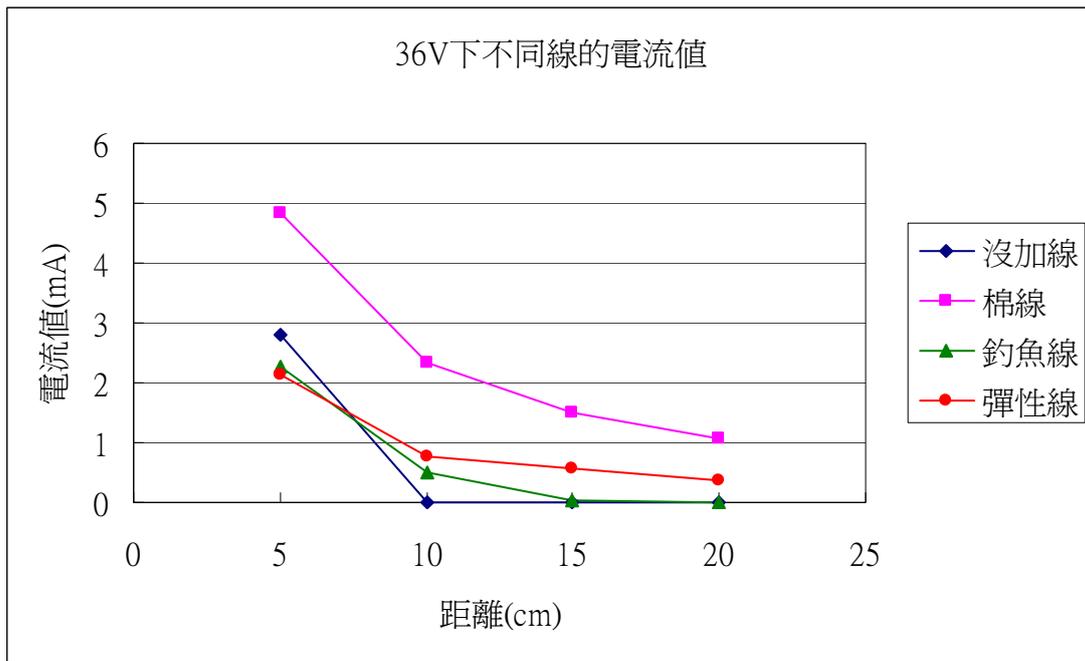
圖十九、動態電解質溶液流出水柱套管子時之 I-V 圖

在區賽時，評審給我們建議，可以嘗試利用在兩電極間以不導電的線將水流導到下方電極，應該可以加長兩電極間的距離。所以我們選用了三種不同的線。測得的電流值如表(四)與圖(二十)。

表(四) 不同線下所測得之電流值

h(cm) \ I(mA)	5	10	15	20
沒加線	2.8	不成通路	不成通路	不成通路
棉線	4.82	2.34	1.5	1.07
釣魚線	2.26	0.50	0.04	0.01
彈性線	2.15	0.76	0.56	0.37

不加線的實驗結果就跟我們實驗三得出的結論一樣，能測得電流的高度大約在 3~6cm，而加棉線所測得的電流相較於其他線來的大，我們推測是因為棉線較會吸水，易使溶液附著於線上。而彈性線的較釣魚線來的粗，所以附著力也較釣魚線好，釣魚線因較細而使水柱不易沿著線流下。而這個實驗也符合我們之前實驗五，電壓越大，電流越大的結論。有了線之後，兩電極間的距離可以拉高至 20 cm 左右均可形成通路。



圖二十、動態電解質溶液利用不同的線流出水柱時之 I-h 圖

實驗十、電解液加壓下對電解動態電解質溶液的影響：

利用自製的垂直加壓裝置，測量有沒有甘油加入時，可以得到電流的最大高度，結果整理於表(五)與表(六)。

之後再分別以垂直與水平加壓裝置，在固定高度 6 cm，加入 1M 30ml 的硝酸鉀溶液，測其在不同外加壓力下，不同電壓下的電流。結果整理於表(七)與表(八)。

表(五) 垂直加壓 固定加入 30ml 的 1M 硝酸鉀溶液

	1 kgw	1.5 kgw	2 kgw
3V	壓 4ml 就停了	16cm 瞬間電流 1uA	17cm 7uA
36V	壓 8ml 就停了	18cm 瞬間電流 96uA	18cm 68uA

表(六) 垂直加壓 固定加入 30ml 的硝酸鉀以 1:1 和甘油混合的溶液

	1 kgw	1.5 kgw	2 kgw
3V	壓不下去	24cm 6uA	27cm 2uA
36V	壓不下去	24cm 55uA	26cm 18uA

觀察其能夠測到電流的最大高度。根據表(五)結果，1kgw 很難把純 KNO_3 溶液全部壓完，也無法形成水柱，故測不到電流。而比較在同電壓下 1.5 kgw 和 2 kgw 的電流，1.5 kgw 只有在一開始下壓的時候出現瞬間電流，但 2 kgw 卻是斷斷續續有電流，上列 2 kgw 之數據為流動的過程中電流之最大值。而比較在相同壓力下，電壓升高而測到的最大高度也提高。

而加入甘油之後，根據表(八)結果，1 kgw 根本壓不下溶液，故不列入討論。而上表之電流皆是斷斷續續出現的，以上數據為流動的過程中之最大值。在 1.5 kgw 時，電壓

提高而電流也提高，但高度沒有變化；但在 2 kgw 時，3V 所測到的高度卻比 36V 高。在加入甘油後，最大高度明顯提升。而單看沒有加入甘油的結果，發現電壓影響電流較壓力影響的多；但單看有加入甘油的結果，卻是壓力影響電流較電壓影響的多。

表(七) 垂直加壓所測得的電流

I (mA)	1 kgw	1.5 kgw	2 kgw
3V	0.21~0.311	0.234~0.315	0.241~0.312
6V	0.783~0.949 流 20ml 停住	0.897~0.973	0.870~0.988
9V	壓不下去	1.54~1.6	1.53~1.58
12V	壓不下去	2.26~2.33	2.30~2.32
15V	壓不下去	3.16~3.26	3.01~3.06
18V	3.80~3.95 流 8ml 停住	3.88~4.04	3.96~4.02

在壓力為 1 kgw 的情況下，其溶液的流動不穩定，壓力太小難以完整的將 30 mL 的溶液壓完。而在相同電壓下比較 1.5 kgw 和 2 kgw 的電流值，兩者都很接近。

表(八) 水平加壓所測得的電流(25 mL 針筒)

I (mA)	1 kgw	1.5 kgw	2 kgw
3V	0.492~0.627	0.590~0.696	0.623~0.801
6V	2.19~2.30	2.11~2.18	2.14~2.55
9V	3.95~4.02	3.88~3.95	3.63~3.73
12V	5.97~6.04	5.69~5.72	5.41~5.46
15V	8.16~8.23	7.58~7.86	7.34~7.54
18V	8.95~9	9.82~9.92	9.42~9.49

根據以上結果，在相同電壓下，平均看起來 1 kgw 與 1.5 kgw 的電流比 2 kgw 還大。在 1 kgw 的壓力下，25 mL 的溶液壓到剩 5mL 時，水柱就會開始倒退，但 1.5 kgw 和 2 kgw 則是從頭到尾都可以直射至電極。

橫向射出的電流範圍比垂直射出的電流範圍來的大，可能是因為橫向射出較容易形成水柱，不易有斷流的情形發生。且本來以為流速越大所測到的電流範圍就會越大，但其實流速越快反而越容易使溶液在接觸到電極時濺出水花，使電流較不穩定，且在 1 kgw、1.5 kgw 和 2 kgw 的壓力下，電流的範圍相差並不大。

水平射出的針筒是 25 mL 的，但垂直射出是 60 mL 的，兩者截面積大小不一，故壓力也不一。所以水平射出時，在 1 kgw 的壓力下，能夠測到電流，但垂直射出卻測不到。

實驗十一、模擬人體尿尿時，測量電流：

表(九) 模擬人體尿尿時所得之電流

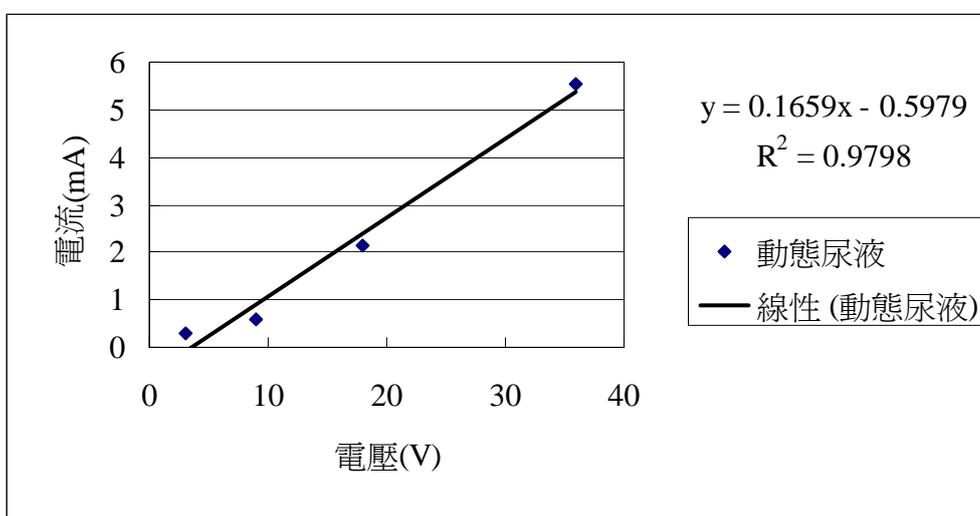
	10 cm	15 cm	20 cm
36V	1uA	1uA	1uA

雖然以自製膀胱裝置流出的水流量較大，但有可能是因為電解液濃度只有 1M，在加上高度拉的非常高，才會導致測出來的電流只有 1uA。不過，本實驗所測出的電流非常穩定，三種數據的 1uA 的數值至少都維持了五秒以上，顯示水流量大，雖然無法明顯增強電流值，但由於流量固定且水流持續不斷，因而能得到穩定而持久的電流。

最後我們以真實的尿液，在 h=5 cm 下，測得不同電壓下之電流值。

表(十) 動態電解裝置電解尿液所得之電流

	3V	9V	18V	36V
I(mA)	0.295	0.590	2.120	5.550



圖二十一、動態電解裝置電解尿液之 I-V 圖

尿液在我們設計的裝置中依舊可以幫助導電，只要水柱有連續的情形下。其依舊可以遵循歐姆定律。

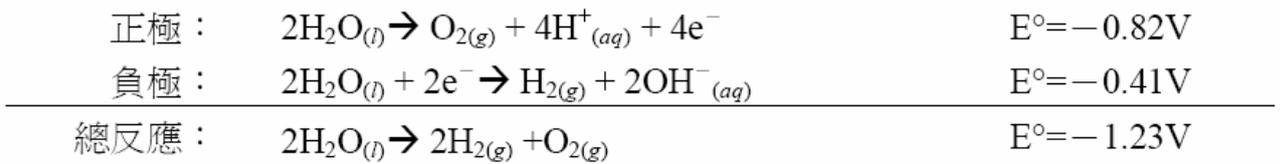
陸、討論

一、就動態與靜態電解反應差異性：

(一) 溶液電阻：

『三個白癡(3 idiots)』中，當新進同學看到了男主角利用自製裝置打退了來找碴的學長時，他說了一句：『鹽水是電的良好導體，八年級的物理我們都學過了，他運用了』。找尋了一下尿液的成分：95~97%水，溶質：3~3.5% (Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、尿素、氨、尿酸等)，所以尿液電解，主要還是進行了電解水。

電解水在中性電解質溶液與惰性電極中：



所以在靜態電解液中，當電壓超過 2V 左右此反應即可發生。所以，即使尿中幫助導電的物質濃度不是很高，但在高電壓下，還是發生了電解水反應。

但以同樣的電解液，電壓 36V 下，動態與靜態的電解裝置電解水時，動態溶液的電阻值比靜態的高出約 30 倍，這也只是在距離 3 cm 的情況下，如圖(十八)。而由 R 正比於兩電極間的距離，並參考測得的數據：

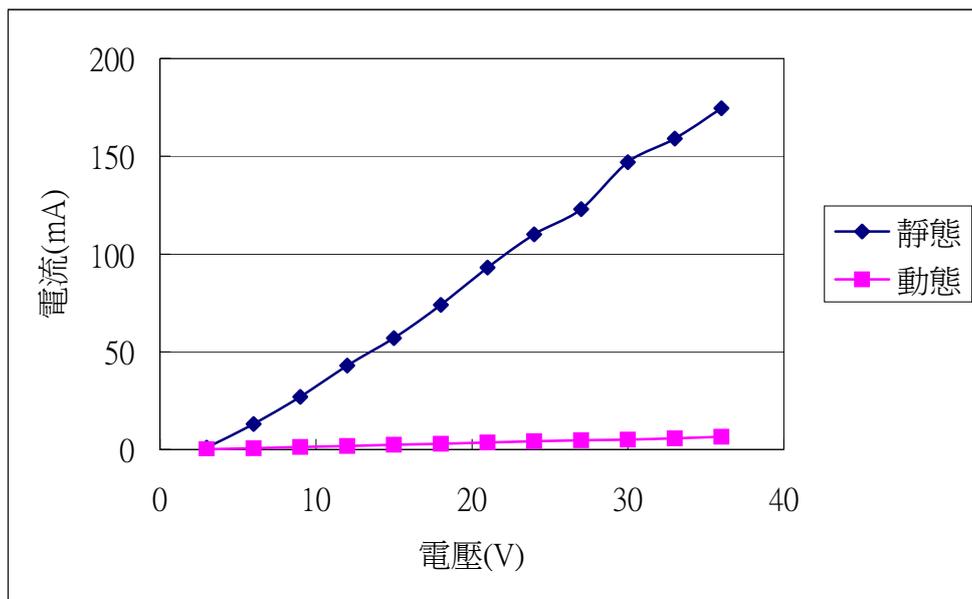
1M 的 KNO_3 在 6cm 時， $V=36\text{V}$ 、 $I=15\text{mA}$ ，以 $V=IR$ ， $36 \div 15 = 2.4$ 千歐姆。而人體尿尿的距離大概是 50~60cm，以 50cm 計算，設人體的電阻為 10 千歐姆， $6 : 2.4 = 50 : 20$ ， $110\text{V} \div (20+10) \approx 3.67 \text{ mA}$ 。

1% 的 KNO_3 在 3cm 時， $V=36\text{V}$ 、 $I=6\text{mA}$ ，以 $V=IR$ ， $36 \div 6 = 6$ 千歐姆。而人體尿尿的距離大概是 50~60cm，以 50cm 計算，設人體的電阻為 10 千歐姆， $3 : 6 = 50 : 100$ ， $110\text{V} \div (100+10) = 1\text{mA}$ 。

1% 的 NaCl 以及 1% 的 $\text{NaCl}+1\%$ 尿素，在 3cm 時， $V=36\text{V}$ 、 $I=9\text{mA}$ ，以 $V=IR$ ， $36 \div 9 = 4$ 千歐姆，而人體尿尿的距離大概是 50~60cm，以 50cm 計算，設人體的電阻為 10 千歐姆， $3 : 4 = 50 : 66.67$ ， $110\text{V} \div (66.67+10) \approx 1.43\text{mA}$ 。

所以經由估算，電影裡的人在對著通有 110V 交流電的鐵湯匙尿尿時，是可以感受到電震，但還可以自由逃脫。但若是此人因為身體潮濕或者其他會降低他身體電阻的情形下，可能會感受到較大電流而有危險發生。前提是：尿尿的水柱要能夠連續而沒有斷！

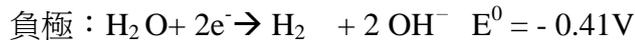
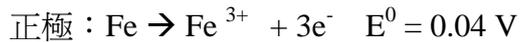
所以之前報導有人因下雨天走過滴著水的冷氣機下方，因冷氣機漏電而觸電的新聞，雖是千萬分之一的機率，還是要提防小心的！



圖二十二、動態與靜態電解質溶液之 I-V 圖

(二) 電極的正負極：

若是在靜態的電解液中，正負極若使用鐵當電極，會進行下列反應：

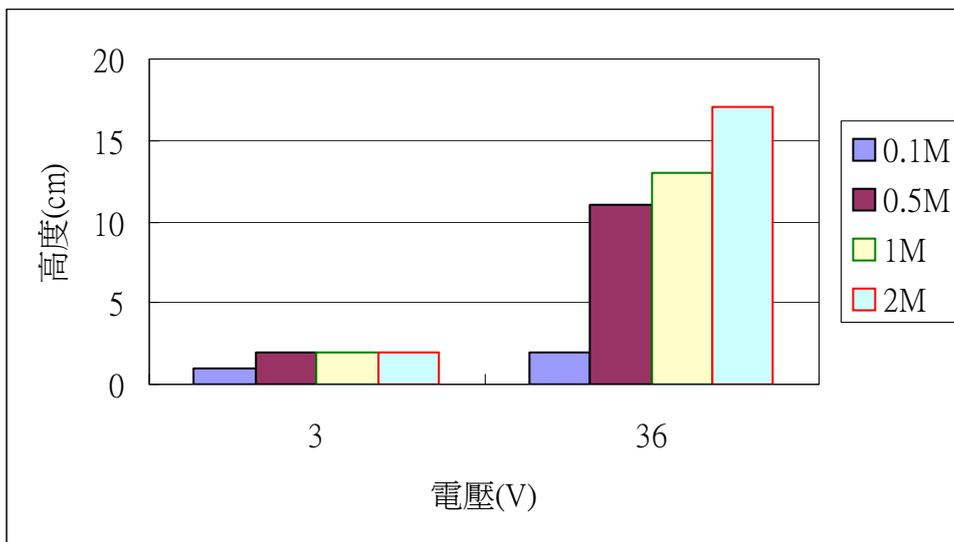


尤其在高電壓下，電極附近會有極化現象而使溶液電阻加大；但以動態電解時，電解反應發生在溶液接觸到電極的一瞬間，會有電流發生，但會以電解水這同相的反應優先。我們嘗試在針筒裡加入一兩滴的酚酞指示劑，當動態電解過程中，上方負極的針筒內溶液有變紅，明顯是電解水所產生的 OH^- 離子所導致的。再次印證了我們的推論。

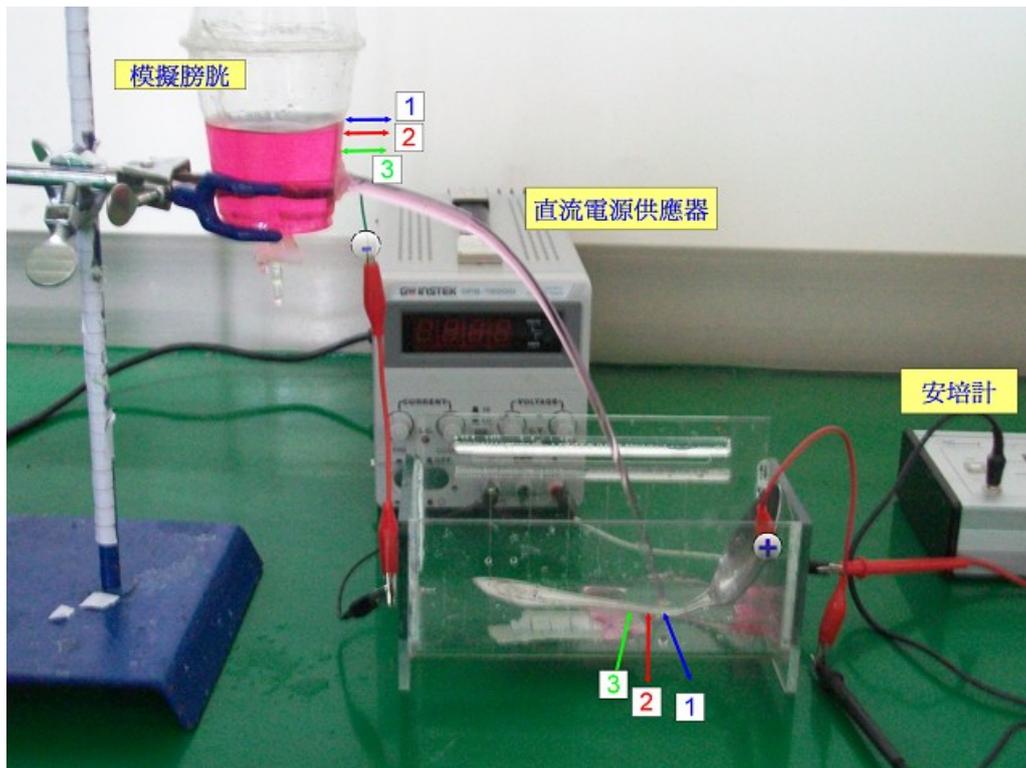
(三) 兩電極間的距離：

靜態電解，兩電極距離愈近，反應愈快，電流愈大；而動態電解，取決於溶液是否有連續性。我們進一步去測量加在針筒裡的酚酞可以變色之最大高度，結果如圖(十九)。在低電壓時(3V)，可變色的高度約為 2 cm 左右，但當高電壓時(36V)，高濃度的電解液可以到 17cm，所以即使溶液是流動的，在更高電壓下，更高距離下，是有機會形成通路的。

而改變溶液的黏滯性，由於我們所使用的液體量不多，只有 20~30 mL，因此水柱可以連貫的高度有限，當我們用自製膀胱系統時，裡面的水量可以較多時，我們以紅色墨水加入其中，連續拍攝水流情況，可以看到因水位降低 (圖(十九)中，模擬膀胱水位標示 ①→③) 壓力降低的情形下，水平流出的水柱之平移距離也會跟著縮短(下方鐵湯匙上標示 ①→③)，所以要通電的電極必須選擇面積大，才可以順利測到電流。若有些人的尿液黏滯性較大，是有機會對著通有 110V 交流電的鐵湯匙尿尿時，感受到電震的。而加裝鐵氟龍材質的管子，可以使溶液的連續性較佳。



圖二十三、動態電解質溶液中針筒內酚酞變色之高度圖



圖二十四、模擬膀胱系統水流隨水位降低流下之情形

二、就加壓裝置：

由於水柱可否連貫應該是決定此電路是否可以流通，電解反應是否可以發生的重要關鍵，因此我們假設若對流出的水加壓，是否可以讓水柱更連貫？

一開始設計了第一代的加壓裝置：以三個杯子吊掛在針筒的兩端，可在杯子裡加水，利用水的重力使針筒往下推而加壓，如圖(二十五)。但這種方式，針筒必須架很高，且在針筒移動過程中，水杯很容易掉落而放棄。

後改採用在針筒上方放置一平台，直接放置大型砝碼來達成加壓的目的；而水平噴出的設計，更是一體成型：流下來的電解液會被下方收集電解液盒子回收，經由一管線，可以直接回抽回針筒內。(見圖(三)、圖(四))

我們估算了利用大氣壓力與重力的自然因素讓在針筒裡的水自然流下，與加壓的數據列於下表中：

重力	加壓		
	1 kgw	1.5 kgw	2 kgw
20 mL / 7s	30 mL / 9.8s	30 mL / 5.4s	30 mL / 4.18 s

加壓之後的水流流速明顯快了 3~4 倍，但在實際測量電流時卻發現，水柱流得快，但相對衝擊了下方的電極，噴濺起大多數的電解液，反而使得電路斷斷續續，無法順利進行電解反應的量測。



圖二十五、第一代加壓裝置

柒、結論

- 一、經由我們自製的動態電解液裝置，可以測得在短距離(3cm)內的電流。經由 I-V 圖，依舊會符合歐姆定律，也與一般靜態電解裝置所考慮的因素：電流會與電解質濃度有正向關係、電流會與兩電極間的距離成反比關係、與溶液中可導電的物質也有相關性。
- 二、動態電解裝置的關鍵因素在於水柱是否可連續。若在短距離內，水柱可以同時碰到上、下兩電極，則化學反應可以發生，可以順利測得電流。可以經由改變濃度與溶液的黏滯性，如加入甘油，或者將溶液經由疏水性管線與細棉線或釣魚線等輸送到下方電極，則可以拉高兩電極間的距離使反應發生。
- 三、在以鐵當電極的情形下，靜態電解裝置會發生鐵參與反應的現象，尤其在高濃度電解質與高電壓情形下；但動態電解裝置因下方電極接觸溶液的時間很短暫，所以即使是以鐵當正極，發生鐵解離的情形較少，仍以電解水為主要反應。
- 四、經由我們自製的加壓系統，可以加快水的流速，但有關噴濺問題，仍需改善，或許就可以提高兩電極間的距離。
- 五、經由自行模擬的膀胱系統與估算，電影裡的情節是有機會可以發生的。

捌、參考資料及其他

- 一、中華民國第四十六屆中小學科學展覽會，國中組生活與應用科學科，包大人警濕氣，台中縣新光國中。
- 二、Wikipedia, 維基百科，關鍵字：觸電，100年5月。
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A7%B8%E9%9B%BB>
- 三、國中自然與生活科技，翰林，第二冊，單元：酸、鹼、鹽。
- 四、國中自然與生活科技，翰林，第四冊，單元：電流、電壓、電阻。

【評語】 030212

模仿印度三個傻瓜電影情節，製作電解動態溶液，在不同電壓下，兩極間電解介質之各種性質，如距離、電解質濃度、黏度等了解“被電到”的電流大小之關係加以理論模型粗糙地可以“沁實實”有“觸電”的“量”產化，有板有眼，彷如“搞笑全國科展”頗具創意。