

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040208

臺中市立惠文高級中學

指導老師姓名

陳健湧

韓順興

作者姓名

李媿芝

賴孟瑜

金雙氧、鉛雙氧、氧氣相連！

壹、摘要

本實驗研究，從清洗隱形眼鏡的「防漏鏡盒」中發現，白金是使雙氧水分解很好的催化劑開始，透過資料的搜尋，發現有幾屆科展作品探討過 MnO_2 對於 H_2O_2 的催化能力及相關探討，有些文獻中也探討顯示 CuO 、 PbO 可作為 MnO_2 的良好催化輔助劑；因此，本實驗透過科學邏輯的方法，設計一連串的實驗，找到了一個使雙氧水迅速（急速）分解的催化劑-- PbO_2 ，因此，本實驗研究的重點就偏重在 PbO_2 的催化動力學及應用於殘餘雙氧水檢測之可能。

貳、研究動機

從媽媽清洗隱形眼鏡的「防漏鏡盒」說明書中，發現隱形眼鏡是利用雙氧水來消毒的。盒中有一塊看似塑膠片的東西，經研究後了解它是鍍上白金的，原來白金也可以將雙氧水催化分解。以前學過雙氧水的催化劑只有二氧化錳，怎麼白金也會？！因此，在好奇心的驅使下，決定找同學共同來研究，到底還有哪些東西可以讓雙氧水分解？雙氧水分解的催化機制又是什麼？最近的新聞報導，市售許多的豆製品都以雙氧水漂白，是否會殘留？用我們的方法可以檢測出是否有殘留嗎？如何發展一個簡易的雙氧水檢測劑？

參、研究目的

- 一、探討 Pt 在 $0^\circ C$ 及 $25^\circ C$ 下的催化作用。
- 二、探討 CuO 在 $25^\circ C$ 下的的催化效果。
- 三、探討 MnO_2 與 PbO_2 在 $0^\circ C$ 及 $25^\circ C$ 下的反應速率。
- 四、探討 PbO_2 在 $0^\circ C$ 與 $25^\circ C$ 時，不同 pH 下的催化速率。
- 五、探討 PbO_2 、 MnO_2 及 CuO 的二次催化與 Pt 的多次催化之速率。
- 六、探討 Pb^{2+} 及 Mn^{2+} 是否有催化作用。
- 七、觀察 Pt 金屬絲、 PbO_2 、 MnO_2 、 CuO 測試片在不同濃度雙氧水中的反應情形。

肆、研究器材及藥品

量筒 (100ml)	20 個	Pt 金屬環	4 份
錐形瓶 (附橡皮管)	30 個	PbO_2	1 罐
血清塞	15 個	MnO_2	1 罐
醫療用針	5 支	CuO	1 罐
水槽	5 個	NaOH	1 罐
電子天平	1 台	HCl	1 罐
安全吸球+移液管	15 組	$PbCl_2$	1 罐
坩鍋	5 個	$MnCl_2$	1 罐
刮杓	5 支	H_2O_2 (35%、3%)	8 罐
滴管	10 支	溫度計	2 支
容量瓶	5 個	冰棒棍	50 支
燒杯(1000、500、100ml)	各 10 個	AB 膠	2 包
碼表	5 個	培養皿	5 組
鑽孔器	1 組	PH 儀	2 臺

固定夾+固定架	4 組	水浴槽	1 臺
升降臺	3 個	製冰機	1 臺
錶玻璃	10 片	電器乾燥器	1 臺
載玻片(含蓋玻片)	1 盒	電腦設備	1 組
數位相機	1 臺	CCD 顯微鏡電視錄影裝置	1 組
雙眼數位立體顯微鏡	1 臺	三眼顯微鏡	1 臺

※實驗裝置



雙眼數位立體顯微鏡



三眼顯微鏡與 CCD 顯微鏡電視錄影裝置



0°C 時的集氣設備



25°C 時的集氣設備

伍、研究過程

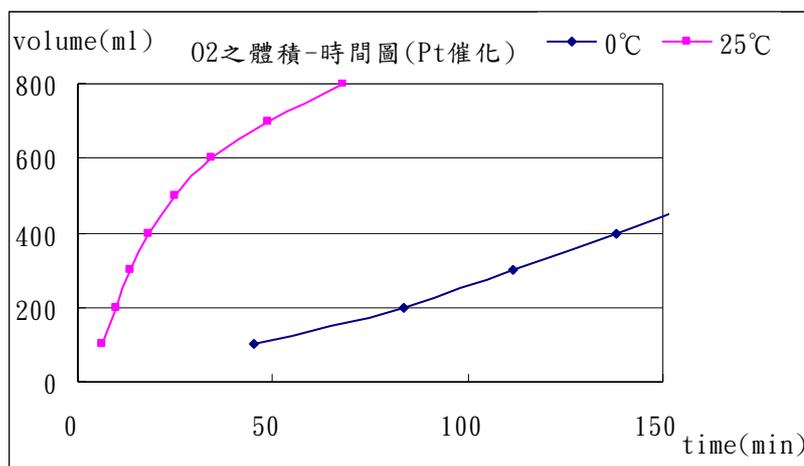
【實驗一】探討 Pt 在 0°C 及 25°C 下的催化作用

一、實驗方法

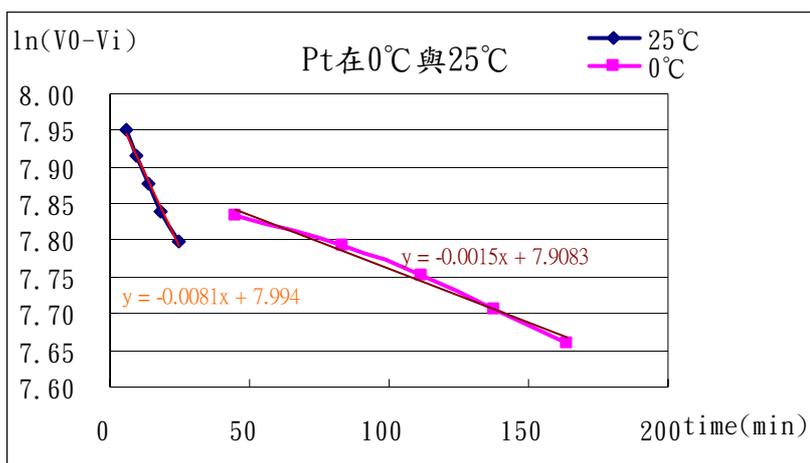
- (一) 準備排水集氣法裝置設備。
- (二) 將 2 個 Pt 金屬環分別放入裝有 40ml 的 H₂O 的錐形瓶中，並套上血清塞。
- (三) 分別放入水浴槽及 0°C 的冰水中。
- (四) 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其與 Pt 反應。
- (五) 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

二、實驗結果

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	0°C	25°C
100ml	45.17	6.13
200ml	83.67	9.68
300ml	111.62	13.48
400ml	137.93	18.30
500ml	163.52	24.93
600ml	192.93	34.40
700ml	228.42	48.70
800ml	267.17	68.02



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	0°C	25°C
100ml	0.04	0.27
200ml	0.04	0.47
300ml	0.06	0.44
400ml	0.06	0.35
500ml	0.07	0.25
600ml	0.06	0.18
700ml	0.05	0.12
800ml	0.04	0.09



where V_0 =氧氣最大體積(理論值)

V_i =氧氣體積

【實驗二】探討 CuO 在 25°C 時的催化效果

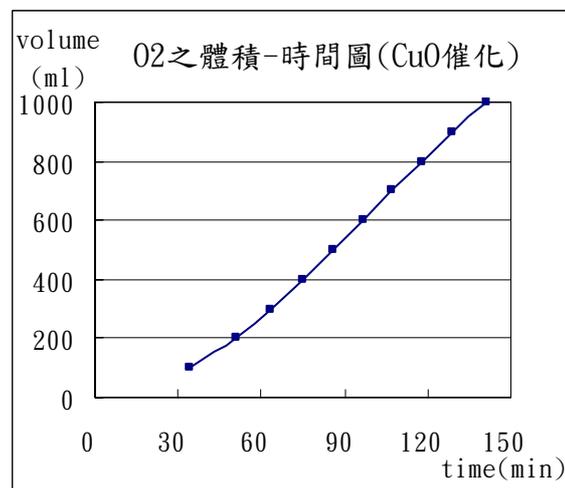
一、實驗方法

- (一) 準備排水集氣法裝置設備。
- (二) 將 CuO 0.06mole 放入裝有 10ml 的 H₂O 的錐形瓶中，並套上血清塞。
- (三) 將錐形瓶放入水浴槽中。
- (四) 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂。
- (五) 將雙氧水打入錐形瓶中，使其與 CuO 反應。
- (六) 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

二、實驗結果

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)
100ml	33.90
200ml	50.87
300ml	63.57
400ml	75.07
500ml	85.95
600ml	96.62
700ml	107.17
800ml	117.88
900ml	128.95
1000ml	141.33

體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)
100ml	0.05
200ml	0.10
300ml	0.13
400ml	0.14
500ml	0.15
600ml	0.16
700ml	0.16
800ml	0.16
900ml	0.15
1000ml	0.13



【實驗三】探討 MnO₂ 與 PbO₂ 在 0°C 及 25°C 下的反應速率

一、實驗方法

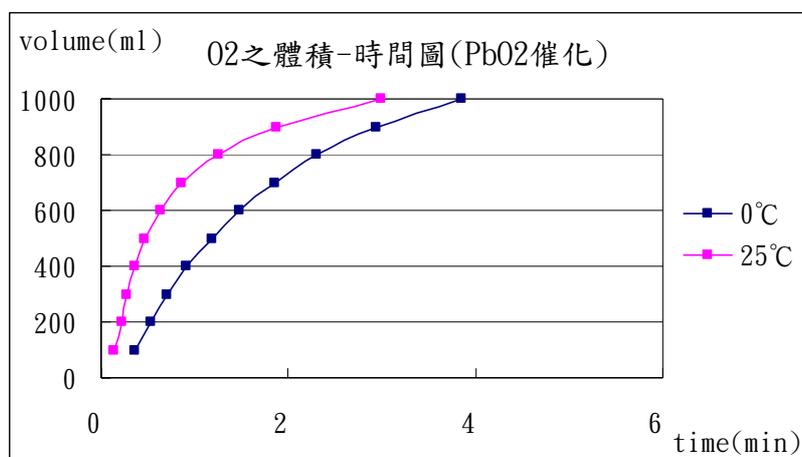
- (一) 備妥排水集氣法裝置設備。
- (二) 各取 PbO₂ 及 MnO₂ 0.0006mole 分別加入 40ml 的水於錐形瓶中，並套上血清塞。
- (三) 分別放入水浴槽及 0°C 的冰水中。
- (四) 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其與 MnO₂ 及 PbO₂ 反應。

(五) 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

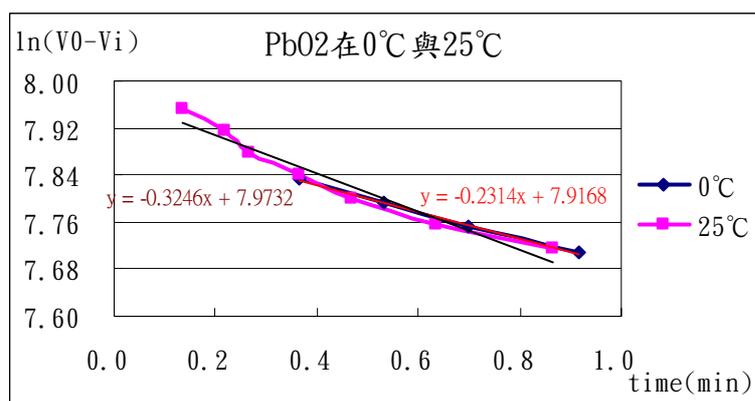
二、實驗結果

(一) PbO₂

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	0°C	25°C
100ml	0.37	0.13
200ml	0.53	0.22
300ml	0.70	0.27
400ml	0.92	0.37
500ml	1.18	0.47
600ml	1.48	0.63
700ml	1.85	0.87
800ml	2.30	1.25
900ml	2.93	1.87
1000ml	3.85	2.98



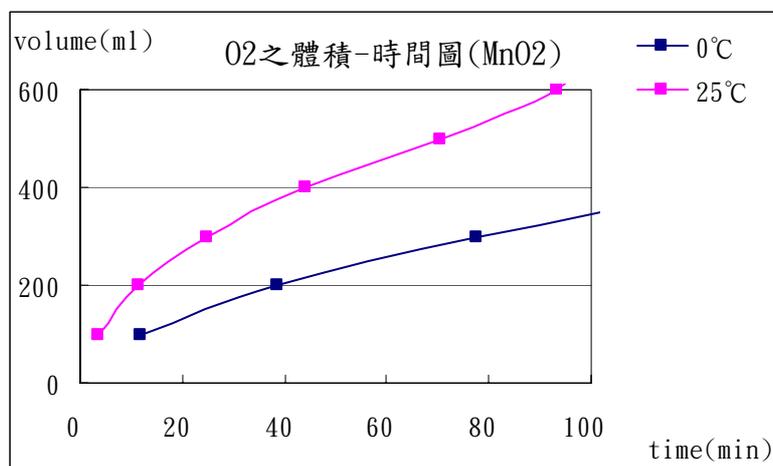
體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	0°C	25°C
100ml	4.49	11.15
200ml	9.68	24.21
300ml	9.91	26.60
400ml	7.51	19.31
500ml	6.49	14.43
600ml	5.39	10.60
700ml	4.70	7.09
800ml	3.66	4.44
900ml	2.64	2.70
1000ml	1.82	1.49



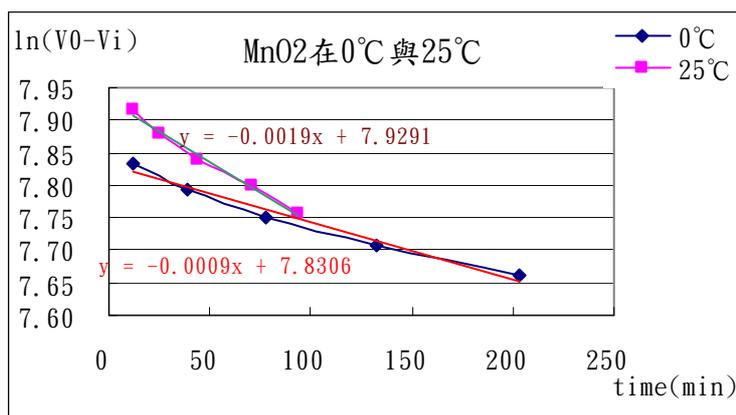
where V_0 =氧氣最大體積(理論值) V_i =氧氣體積

(二) MnO₂

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	0°C	25°C
100ml	11.90	3.35
200ml	38.50	11.55
300ml	77.55	24.97
400ml	131.98	43.90
500ml	203.30	70.35
600ml	217.92	93.40
700ml	235.57	98.72
800ml	280.35	103.90
900ml	378.17	110.30
1000ml	500.78	119.93



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	0°C	25°C
100ml	0.14	0.49
200ml	0.06	0.20
300ml	0.04	0.12
400ml	0.03	0.09
500ml	0.02	0.06
600ml	0.11	0.07
700ml	0.09	0.31
800ml	0.04	0.32
900ml	0.02	0.26
1000ml	0.01	0.17



【實驗四】PbO₂ 在 0°C 與 25°C 時，不同 pH 下的催化速率

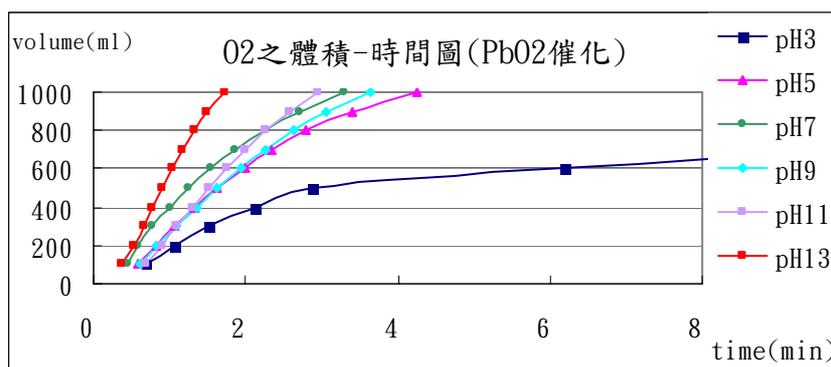
一、實驗方法

- (一) 備妥排水集氣法裝置設備，並調配 pH=1、3、5、7、9、11、13 的水溶液。
- (二) 取 PbO₂ 0.0006mole 放入已調配好的 40ml 水溶液錐形瓶中，並套上血清塞。
- (三) 分別放入水浴槽及 0°C 的冰水中。
- (四) 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其與不同 pH 的水溶液反應。
- (五) 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

二、實驗結果

(一) 0°C

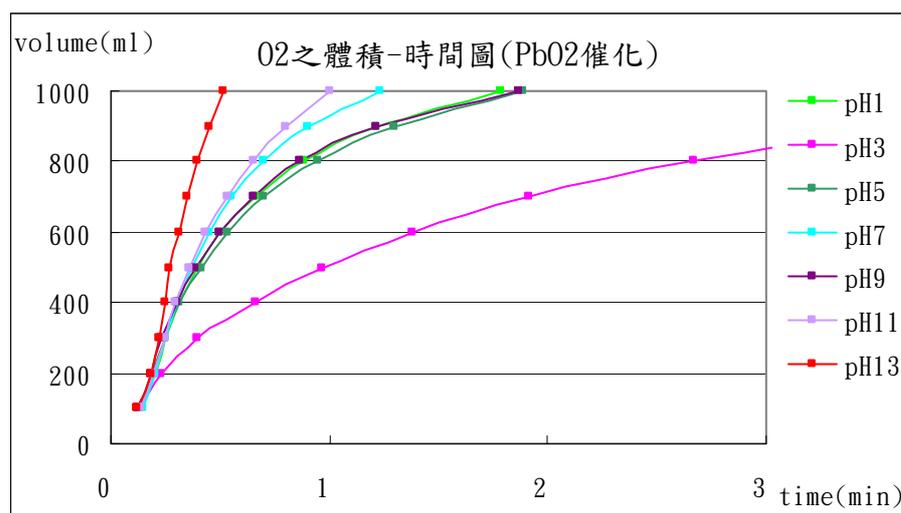
體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)					
	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11	pH=13
100ml	0.68	0.58	0.45	0.60	0.68	0.38
200ml	1.05	0.82	0.58	0.83	0.90	0.53
300ml	1.52	1.05	0.78	1.08	1.08	0.67
400ml	2.13	1.33	1.00	1.35	1.30	0.78
500ml	2.88	1.63	1.25	1.63	1.52	0.92
600ml	6.18	1.98	1.55	1.95	1.75	1.03
700ml	10.62	2.35	1.83	2.27	1.98	1.17
800ml	16.40	2.80	2.25	2.63	2.27	1.32
900ml	24.25	3.40	2.70	3.07	2.58	1.48
1000ml	35.43	4.25	3.28	3.63	2.95	1.73



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)					
	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11	pH=13
100ml	2.42	2.79	3.65	2.74	2.41	4.26
200ml	4.44	7.49	12.05	7.29	7.79	10.27
300ml	3.60	6.91	8.83	6.64	8.64	13.95
400ml	2.73	6.11	7.57	6.10	8.09	13.53
500ml	2.21	5.44	6.50	5.87	7.82	12.87
600ml	1.72	4.84	5.54	5.47	7.09	13.74
700ml	1.31	4.46	5.18	5.12	6.77	12.27
800ml	0.94	3.67	4.41	4.64	5.99	11.74
900ml	0.63	3.82	3.72	3.78	5.32	9.84
1000ml	0.36	1.94	2.84	2.96	5.46	6.80

(二) 25°C

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)						
	pH=1	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11	pH=13
100ml	0.13	0.13	0.13	0.15	0.12	0.14	0.12
200ml	0.20	0.23	0.18	0.20	0.18	0.19	0.18
300ml	0.25	0.40	0.25	0.25	0.23	0.24	0.22
400ml	0.32	0.67	0.32	0.30	0.30	0.29	0.25
500ml	0.40	0.97	0.42	0.37	0.38	0.35	0.27
600ml	0.50	1.38	0.53	0.45	0.50	0.43	0.32
700ml	0.67	1.92	0.70	0.55	0.65	0.53	0.35
800ml	0.88	2.62	0.95	0.70	0.87	0.65	0.40
900ml	1.22	3.72	1.30	0.90	1.22	0.80	0.45
1000ml	1.78	5.22	1.88	1.23	1.87	1.00	0.52



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)						
	pH=1	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11	pH=13
100ml	11.60	12.33	12.02	10.03	12.74	12.00	12.59
200ml	20.41	14.84	27.62	33.78	29.94	29.94	32.15
300ml	18.48	10.11	29.24	34.97	26.46	33.33	49.75
400ml	14.14	6.55	24.15	36.90	26.60	33.33	46.95
500ml	10.49	5.34	18.08	26.18	20.45	27.78	58.14
600ml	8.14	4.06	14.14	20.45	15.50	22.17	45.87
700ml	5.63	3.13	9.63	15.97	11.15	16.69	38.91
800ml	4.08	2.22	6.87	11.25	7.62	13.93	37.88
900ml	2.75	1.59	4.69	8.06	4.72	11.22	33.22
1000ml	1.85	1.11	2.82	5.02	2.54	8.08	24.57

【實驗五】探討多次催化之速率

一、Pt 金屬環 2 個

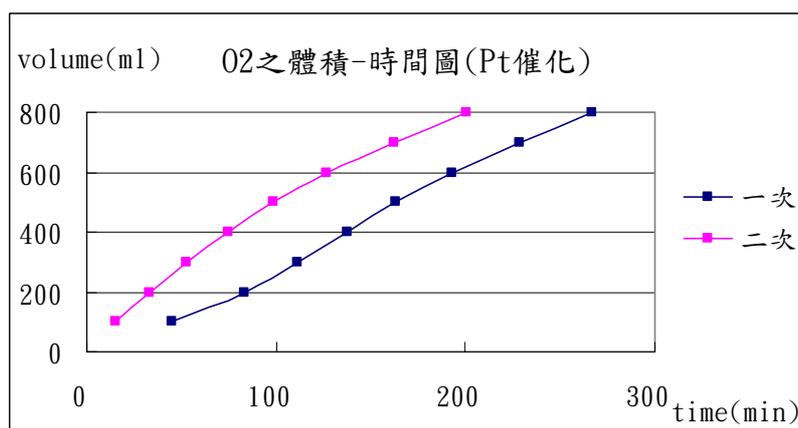
(一) 實驗方法

1. 備妥排水集氣法裝置設備。
2. 將已做一次反應後之兩個 Pt 金屬環烘乾，分別放入 40ml 的水於錐形瓶中，並套上血清塞。
3. 分別放入水浴槽及 0°C 的冰水中。
4. 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其與 Pt 金屬環做第二次反應。
5. 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

(二) 實驗結果

1. 0°C

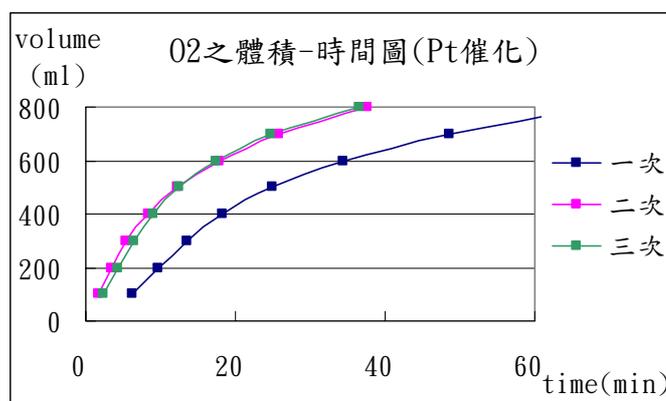
體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	第一次	第二次
100ml	45.17	15.00
200ml	83.67	33.05
300ml	111.62	52.92
400ml	137.93	74.42
500ml	163.52	98.33
600ml	192.93	126.95
700ml	228.42	162.30
800ml	267.17	200.57



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	第一次	第二次
100ml	0.04	0.11
200ml	0.04	0.09
300ml	0.06	0.09
400ml	0.06	0.08
500ml	0.07	0.07
600ml	0.06	0.06
700ml	0.05	0.05
800ml	0.04	0.04

2. 25°C

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)		
	第1次 反應	第2次 反應	第3次 反應
100ml	6.13	1.72	2.27
200ml	9.68	3.37	4.28
300ml	13.48	5.42	6.43
400ml	18.30	8.37	9.03
500ml	24.93	12.35	12.47
600ml	34.40	17.92	17.38
700ml	48.70	25.77	24.63
800ml	68.02	37.68	36.55



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)		
	第1次反應	第2次反應	第3次反應
100ml	0.27	0.96	0.73
200ml	0.47	1.02	0.83
300ml	0.44	0.81	0.77
400ml	0.35	0.56	0.64
500ml	0.25	0.42	0.49
600ml	0.18	0.30	0.34
700ml	0.12	0.21	0.23
800ml	0.09	0.14	0.14

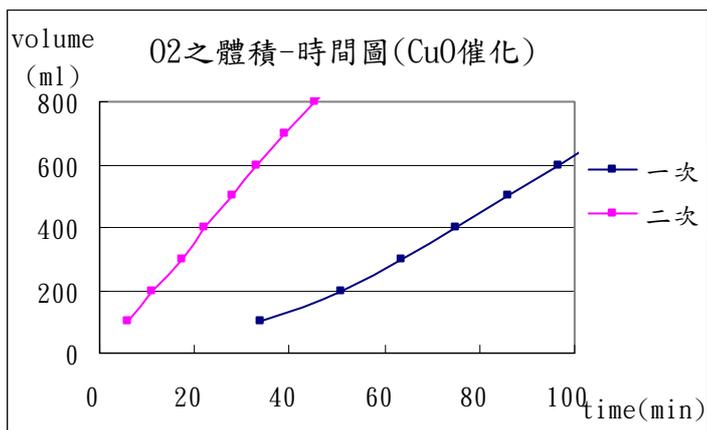
二、CuO 0.06mole

(一) 實驗方法

1. 備妥排水集氣法裝置設備。
2. 將已做一次反應後之 CuO 烘乾，加入 10ml 的水於錐形瓶中，並套上血清塞。
3. 將錐形瓶放入水浴槽中。
4. 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其與 CuO 做第二次反應。
5. 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

(二) 實驗結果

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	第1次反應	第2次反應
100ml	33.90	5.98
200ml	50.87	10.97
300ml	63.57	17.52
400ml	75.07	21.85
500ml	85.95	27.80
600ml	96.62	33.20
700ml	107.17	39.03
800ml	117.88	45.33
900ml	128.95	52.22
1000ml	141.33	59.82



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	第1次反應	第2次反應
100ml	0.05	0.28
200ml	0.10	0.33
300ml	0.13	0.31
400ml	0.14	0.30
500ml	0.15	0.28
600ml	0.16	0.31
700ml	0.16	0.29
800ml	0.16	0.26
900ml	0.15	0.24
1000ml	0.13	0.22

三、MnO₂ 0.0006mole

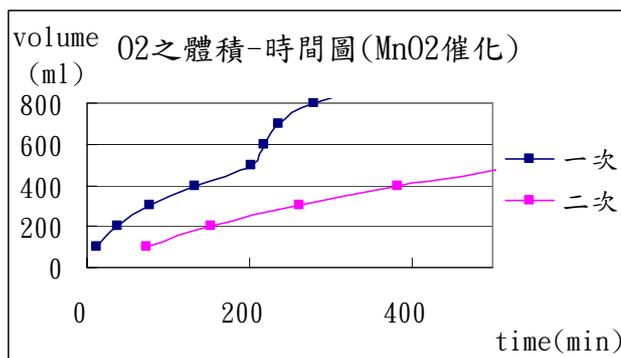
(一) 實驗方法

1. 備妥排水集氣法裝置設備。
2. 將兩份已做一次反應後之 MnO₂ 烘乾，分別加入 40ml 的水於錐形瓶中，並套上血清塞。
3. 分別放入水浴槽及 0°C 的冰水中。
4. 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其做第二次反應。
5. 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

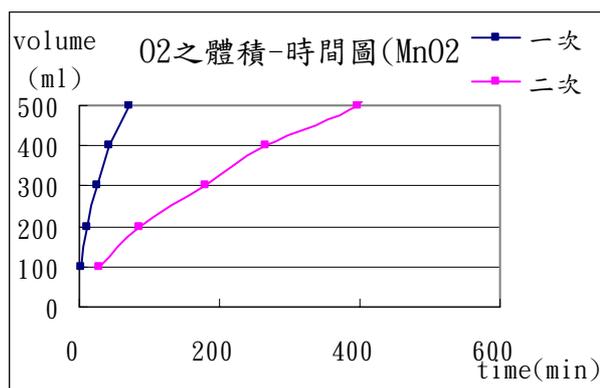
(二) 實驗結果

1. 0°C

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	第1次反應	第2次反應
100ml	11.90	74.25
200ml	38.50	152.45
300ml	77.55	262.20
400ml	131.98	382.57
500ml	203.30	527.83



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	第 1 次反應	第 2 次反應
100ml	0.14	0.02
200ml	0.06	0.02
300ml	0.04	0.02
400ml	0.03	0.01
500ml	0.02	0.01



2. 25°C

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	第 1 次反應	第 2 次反應
100ml	3.35	1713.13
200ml	11.55	5213.24
300ml	24.97	10815.06
400ml	43.90	16003.08
500ml	70.35	23898.53

體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	第 1 次反應	第 2 次反應
100ml	0.49	0.06
200ml	0.20	0.03
300ml	0.12	0.02
400ml	0.09	0.02
500ml	0.06	0.01

四、PbO₂ 0.0006mole

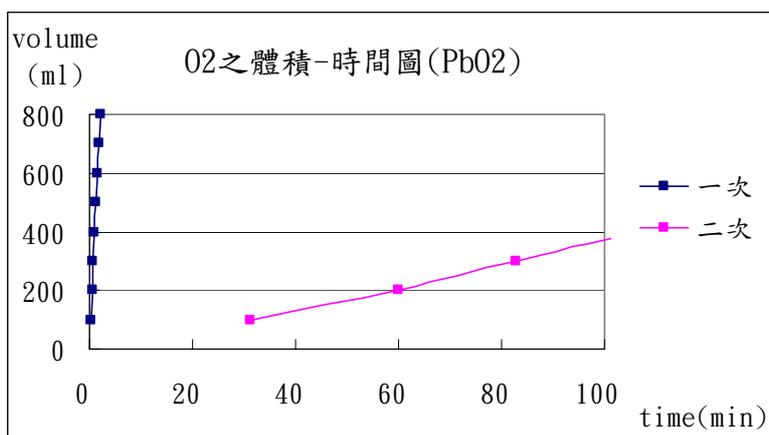
(一) 實驗方法

1. 備妥排水集氣法裝置設備。
2. 將兩份已做一次反應後之 PbO₂ 烘乾，分別加入 40ml 的水於錐形瓶中，套上血清塞。
3. 分別放入水浴槽及 0°C 的冰水中。
4. 在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，將雙氧水打入錐形瓶中，使其做第二次反應。
5. 以量筒收集 O₂，並紀錄每 100ml 之反應時間。

(二) 實驗結果

1. 0°C

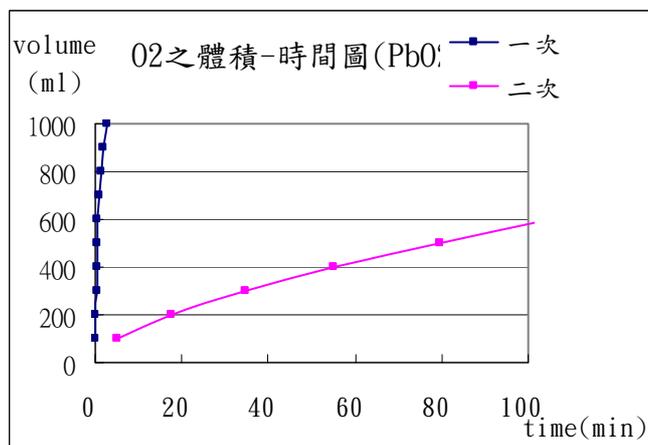
體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	第1次 反應	第2次 反應
100ml	0.37	31.13
200ml	0.53	60.07
300ml	0.70	82.97
400ml	0.92	110.00
500ml	1.18	193.05
600ml	1.48	323.32
700ml	1.85	453.23
800ml	2.30	584.95



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	第1次反應	第2次反應
100ml	4.49	0.05
200ml	9.68	0.02
300ml	9.91	0.07
400ml	7.51	0.06
500ml	6.49	0.02
600ml	5.39	0.01
700ml	4.70	0.01
800ml	3.66	0.01

2. 25°C

體積 (ml)	O ₂ 生成時間 (min)	
	第1次反應	第2次反應
100ml	0.13	5.25
200ml	0.22	17.52
300ml	0.27	34.75
400ml	0.37	55.15
500ml	0.47	79.63
600ml	0.63	104.92
700ml	0.87	129.53
800ml	1.25	162.95
900ml	1.87	196.68
1000ml	2.98	256.12



體積 (ml)	O ₂ 生成速率 (ml/sec)	
	第1次反應	第2次反應
100ml	11.15	0.32
200ml	24.21	0.14
300ml	26.60	0.10
400ml	19.31	0.08
500ml	14.43	0.07
600ml	10.60	0.07
700ml	7.09	0.07
800ml	4.44	0.05
900ml	2.70	0.04
1000ml	1.49	0.03

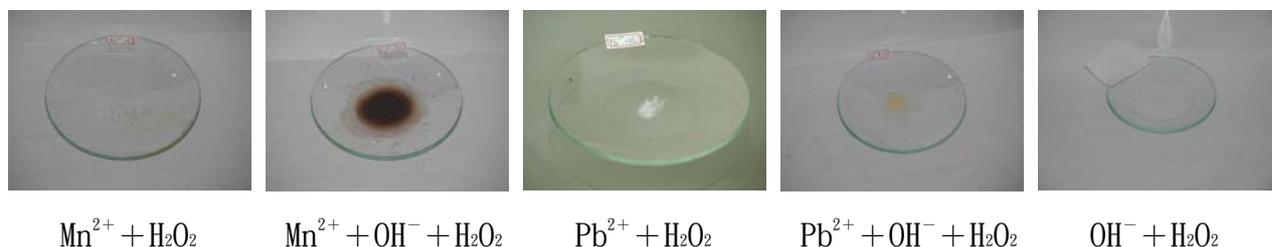
【實驗六】探討 Pb²⁺ 及 Mn²⁺ 是否有催化作用

一、實驗方法

- (一) 取 PbCl₂ 二份，分別放入有 H₂O₂ 的錶玻璃內，將強鹼加入其中一個錶玻璃，並觀察其反應情形。
- (二) 取 MnCl₂ 二份，分別放入有 H₂O₂ 的錶玻璃內，將強鹼加入其中一個錶玻璃，並觀察其反應情形。
- (三) 另外將 40ml 的強鹼加入錐形瓶中，在針筒中加入 10ml 的 H₂O₂，打入錐形瓶中，並觀察其催化情形。

二、實驗結果

藥品	反應情形	顏色變化
Mn ²⁺ + H ₂ O ₂	淡粉紅色沉澱	維持淡粉紅色
Mn ²⁺ + OH ⁻ + H ₂ O ₂	產生 MnO ₂ 和 O ₂	淡粉紅色變為灰黑色
Pb ²⁺ + H ₂ O ₂	白色沉澱	維持白色沉澱
Pb ²⁺ + OH ⁻ + H ₂ O ₂	劇烈反應	白色 Pb(OH) ₂ 變為褐色 PbO ₂ 及黃色 PbO 沉澱
OH ⁻ + H ₂ O ₂	產生小氣泡	無



Mn²⁺ + H₂O₂

Mn²⁺ + OH⁻ + H₂O₂

Pb²⁺ + H₂O₂

Pb²⁺ + OH⁻ + H₂O₂

OH⁻ + H₂O₂

【實驗七】觀察 Pt 金屬絲、PbO₂、MnO₂、CuO 測試片在不同濃度雙氧水中的反應情形

一、實驗步驟

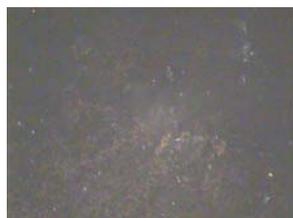
- (一) 取 Pt 金屬絲及用 AB 膠製作 PbO₂、MnO₂、CuO 的不透明測試片，放入培養皿中。
- (二) 分別加入 0.03%、0.003%、0.00003% 的 H₂O₂，靜置半小時。
- (三) 用雙眼數位立體顯微鏡、三眼顯微鏡觀察反應情形，並拍攝照片，加以紀錄。

二、實驗結果

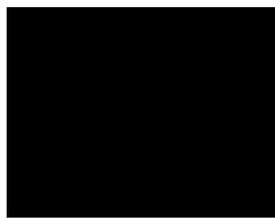
反應情形： $\text{PbO}_2 > \text{MnO}_2 > \text{CuO} > \text{Pt}$ ，如下圖所示：



PbO_2 未反應



MnO_2 未反應



CuO 未反應



Pt 未反應



$\text{PbO}_2 + 0.03\% \text{H}_2\text{O}_2$



$\text{MnO}_2 + 0.03\% \text{H}_2\text{O}_2$



$\text{CuO} + 0.03\% \text{H}_2\text{O}_2$



Pt $+ 0.03\% \text{H}_2\text{O}_2$

陸、討論

- 一、在實驗一到五中，第一瓶因為起始反應以及瓶內空氣的關係，造成速率較慢，因此，自第二瓶始的數據較具有可信度。另外，為了使數據更加精準，我們使用血清塞及醫療用針取代橡皮塞及薊頭漏斗，並且重複實驗以確定實驗的正確性。
- 二、實驗一中，Pt 在 25°C 催化雙氧水時，和 CuO 情形相同，從第二瓶開始反應時間逐漸減慢但十分穩定且長，在 0°C 時，雖然反應時間更加漫長，但其各瓶的反應時間仍相當穩定。
- 三、實驗二中發現，除第一瓶外，CuO 一直以很穩定的時間在進行，其各瓶前後的速率的比約為 1~0.9 之間。
- 四、實驗三中發現， MnO_2 及 PbO_2 催化雙氧水的速率以 PbO_2 最高，經查資料發現：
 H_2O_2 自我分解的電位差是其還原電位與氧化電位的和，其
還原電位 $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad E^0 = +1.776 \text{ V}$
氧化電位 $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \quad E^0 = -0.695 \text{ V}$
所以， $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \quad \Delta E^0 = +1.081 \text{ V}$
化合物的還原電位介於 $0.695 \sim 1.776 \text{ V}$ 間的，都可以催化 H_2O_2 自我分解。
 $\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$ 的還原電位 $E^0 = +1.23 \text{ V}$ ，因此， MnO_2 也是個催化劑；
而 $\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}$ 的還原電位 $E^0 = +1.455 \text{ V}$ ，應是 PbO_2 速率較高的原因。
- 五、實驗三中也發現，二者 (MnO_2 及 PbO_2) 有相同之處：其在 0°C 與 25°C 時的反應速率前後可差到十倍，這在 Pt 及 CuO 上是看不到的。所以這兩者的反應模式應是相雷同的。
- 六、實驗四中發現， PbO_2 在強酸 $\text{pH}=1$ 時會略為溶解，且在 0°C 下反應速率近乎為 0；但在強鹼 $\text{pH}=13$ 時速率突增許多，猜測此時是因 PbO_2 在強酸中溶解生成 Pb^{2+} ，無法產生表面催化反應，雙氧水加入後會成酸性因而降低了 PbO_2 的溶解，但在強鹼之下可維持一定的鹼性，使 PbO_2 較不易溶解生成離子態，因而催化速率特佳。
- 七、實驗五中發現，二次催化速率的比較：

藥品	二次催化速率
MnO ₂	急速下降
PbO ₂	急速下降
Pt	逐漸上升
CuO	逐漸上升

八、經由實驗六我們證明 Pb²⁺ 及 Mn²⁺ 沒有催化效果，但在強鹼溶液下卻有劇烈反應。另外，根據對照組的比較，發現強鹼對雙氧水的催化影響不大。

九、實驗七中的測試結果發現，在 H₂O₂ 0.03% 下所有測試片只需 5~10 分鐘即產生肉眼可觀察的氣泡，但 CuO 和 Pt 的氣泡生成量和氣泡大小皆少於 PbO₂、MnO₂。而在 H₂O₂ 0.003% 下需 20~30 分鐘；另外在 H₂O₂ 0.00003% (ppm) 下需 overnight，才有氣泡生成。

柒、結論

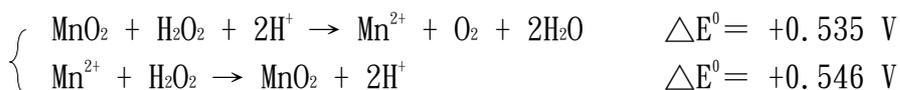
一、從分解速率的模式發現 Pt 與 MnO₂ 及 PbO₂ 模式不同，但與 CuO 大致相同，推論 Pt 及 CuO 的反應，應是在表面的自我分解反應：



因為它為表面催化，所以表面積只要固定，其催化速率的下降就很一致。

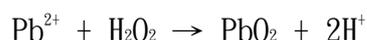
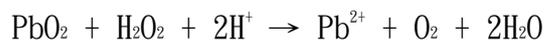
二、MnO₂ 及 PbO₂ 的催化反應則有參與，如：

MnO₂ 其反應式如下：



三、觀察 PbO₂ ①Pb²⁺ 在強鹼下應先行成 PbO₂：Pb²⁺ + 4OH⁻ → PbO₂ + 2H₂O

②PbO₂ 產生氧化還原的催化反應



因而 PbO₂/Pb²⁺ 的還原電位 E⁰ = +1.455 V 比 MnO₂ 高，所以 H₂O₂ → O₂ + 2H⁺ + 2e⁻ 的氧化電位 E⁰ = - 0.695 V，比較容易發生，因而 PbO₂ 分解速率較高。

另外，一般而言 H₂O₂ 催化生成 O₂ 的反應為一級反應，根據公式：

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

取 0°C 和 25°C 下的數據，計算出 PbO₂、MnO₂ 及 Pt 的活化能如下：

藥品	k ₂	k ₁	ln(k ₂ /k ₁)*0.001*1.987*4.18	Ea(kj/mole)
PbO ₂	0.3246	0.2314	0.002811016	9.1564
MnO ₂	0.0019	0.0009	0.006206109	20.2153
Pt	0.0081	0.0015	0.014006656	45.6243

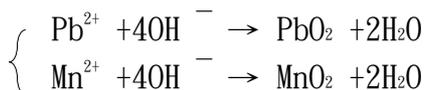
從表可知，活化能為 Pt > MnO₂ > PbO₂，而這也可由其催化速率中驗證此趨勢。

四、PbO₂ 的催化反應中發現，PbO_{2(aq)} (咖啡色) 會反應生成 PbO (黃色)，再生成 Pb²⁺。

五、

- (一) PbO_2 、 MnO_2 二次催化速率降低是因為在氧化還原的催化下還原成 Mn^{2+} ，但因為電位差過低而無法氧化回 MnO_2 ，而產生 MnO 及 Mn^{2+} ，導致 MnO 及 Mn^{2+} 附著於 MnO_2 表面，抑制 MnO_2 催化，導致速率降低。
- (二) Pt 二次催化速率較第一次快，是因為第一次催化後開啟 Pt 的活性中心，使活性提高，反應速率增快，但整體來看， Pt 的兩次催化反應速率皆非常穩定。
- (三) CuO 催化反應穩定而持久，第一次催化時雙氧水陸續開啟 CuO 的活性中心，導致速率穩定的增加；至第二次催化時，雙氧水已打開 CuO 的活性中心，使其活性增大，速率達到高峰，但斜率仍非常平穩，速率維持一定性。

六、 Pb^{2+} 及 Mn^{2+} 在強鹼下會分別氧化為 PbO_2 與 MnO_2 ，使其催化 H_2O_2 分解：



七、使用 PbO_2 、 MnO_2 、 CuO 、 Pt 測試片檢驗殘餘的 H_2O_2 ，其效果良好，尤以 PbO_2 的效果特別顯著，在 H_2O_2 濃度為 3ppm 的情況下，仍可觀察。未來將以此作為發展，研發出更精準的 H_2O_2 殘餘檢測劑。

八、展望：根據實驗七設計之測試片中發現， PbO_2 的單位面積氣泡數較多，可知其較為靈敏，可再加以運用設計成較靈敏的雙氧水殘餘檢測劑，另外，由於 PbO_2 其神速的催化效率，也可應用於雙氧水推進火箭上，因它需要比較快的催化劑，也許會是我們一個將來很好的研究方向。

捌、參考資料及其他

- 一、分析化學 魏明通著 五南圖書股份有限公司
- 二、化學原理及應用基礎(第一冊) 孔榮貴 樂秀 錢巧玲著 凡異出版社
- 三、無機化學 沈敦瑜主編 張聰慧 李其融審訂 新文京開發出版股份有限公司
- 四、無機化學 魏明通著 五南圖書股份有限公司
- 五、化學 曾國輝編著 藝軒圖書出版社
- 六、觸媒的原理與應用 李定粵編著 正中書局
- 七、定量分析 陳壽南編著 科學技術叢書 三民書局
- 八、第三十八、四十屆中小學科學展覽會優勝作品專輯
- 九、非均勻系催化原理與應用 李秉傑等 渤海堂文化公司印行
- 十、Inorganic Chemistry James E. Huheey 黎明書店出版
- 十一、Kinetics and Mechanism 3rd edition John W. Moore and Ralph G. Pearson
- 十二、高級中學物質科學化學篇第七、八及九章

評語

040208 高中組化學科 第三名

金雙氧、鉛雙氧、氧氧相連

能具體陳述氧化物之催化作用。