

鋅與硫酸反應之催化劑探討

高中組化學第三名

臺中市臺中女子高級中學

作者：張櫻藍等六名
指導老師：黃石谷

一、動機：

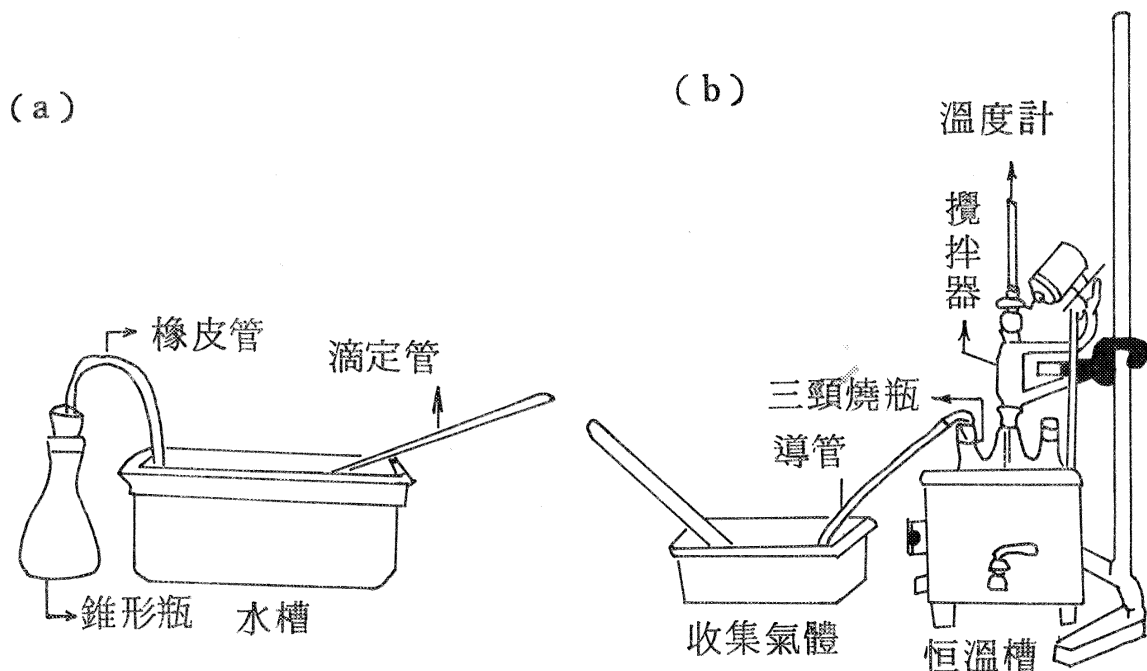
我們知道催化劑在今日工業上可說是應用得非常廣；尤其在有機化學方面，更可說是很重要的一環。就一個反應而言，催化劑往往不只一種，若我們能尋求得一途徑，以對某反應之催化劑加以探討，並求出其活化能，則必可求得一最實用，最經濟之催化劑，深信這在工業上將會有很大的助益。

二、目的：

- (一)選擇鋅與酸反應之催化劑，並比較之。
- (二)找出 Zn 與酸反應之反應速率定律式。
- (三)研究 Zn 與酸反應速率受溫度與濃度影響的定量關係。
- (四)研究各種催化劑對反應活化能的影響，並製作各種不同催化劑存在下之反應位能圖。

三、主要藥品與儀器：

- (一)藥品：Zn， H_2SO_4 ， H_2O ， $CuSO_4$ ， $CuCl_2$ ， $Cu(NO_3)_2$ ， $MgSO_4$ ， Na_2SO_4 ，Cu，Ag。
- (二)儀器：溫度計、導管、攪拌器、三頸燒瓶、恒溫槽、橡皮管、水槽、滴定管、燒杯、酒精管。
- (三)置圖：



四、實驗過程與結果：

(實驗一) 鋅與硫酸反應之催化劑選擇：

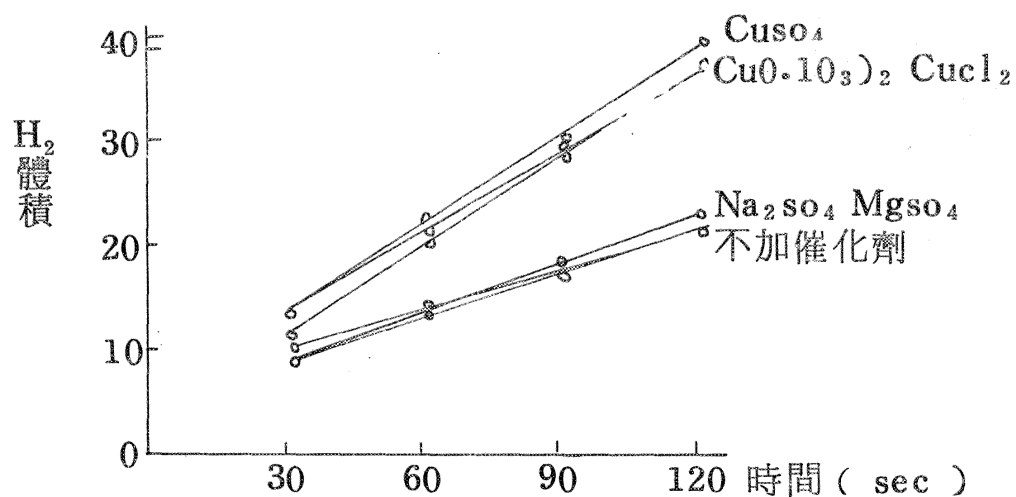
由參考資料上得知，在 Zn 與 H_2SO_4 之反應中，加入 $CuSO_4$ 可加速 H_2 之生成速率。而 $CuSO_4$ 是由 Cu^{2+} 與 SO_4^{2-} 所組成，是 Cu^{2+} 有催化作用呢？還是 SO_4^{2-} ？或者要 Cu^{2+} 與 SO_4^{2-} 同時存在，才有催化作用呢？爲了求證這個疑問，我們選擇了含有 Cu^{2+} 之 $CuCl_2$ ， $Cu(NO_3)_2$ ，與含有 SO_4^{2-} 之 Na_2SO_4 ， $MgSO_4$ 作如下之實驗。

1. 手續：

如上圖，裝置妥當後，於錐形瓶中加入 20 ml 蒸餾水，0.01 mole 之 $CuSO_4(s)$ (或 $CuCl_2$ ， $Cu(NO_3)_2$ ， Na_2SO_4 ， $MgSO_4$) 然後加入 4g 之 Zn 與 20 ml 3M 之 $H_2SO_4(aq)$ 記錄收集一定 H_2 之時間。

表 1 - 1 Zn 皆 4 克 $3M\text{A}_2\text{SO}_4$ 20 ml 加入之其他試劑皆 0.01 mole 溫度 21 °C

加入 催化 劑	時間 (sec)			
	30	60	90	120
CuSO_4	13	22	31	40
CuCl_2	11	20	29	38
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	13	21	30	38
MgSO_4	9	13	17	22
Na_2SO_4	8	13	18	23
不 加	8	14	17	22



2. 結果分析：

圖 1 - 1

由上圖知，收集 H_2 之體積在相同時間內以 CuSO_4 ， CuCl_2 ， $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 較多，而加入 Na_2SO_4 ， MgSO_4 者無外加其他藥品者幾乎相同，故知本反應之催化劑為 Cu^{2+} 而非 SO_4^{2-} 。

(實驗二) 銅、銀是否對本反應也有催化作用

Cu^{2+} 有催化作用，Cu 是否也有？而金屬 Ag 又如何

1 手續：

以 Cu (Ag) 代替實驗一所用之外加試劑重作實驗

2 結果：

溫度 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 壓力 758 mmHg $[\text{H}^+] = 6\text{ M}$

試劑	時間 (sec)	30	60	90	120
不加	H ₂ 體積	5	10	16	21
Ag		25	38	50	63
Cu		16	26	35	47

3. 結果分析：

由圖 2—1、表 2—1 可知 Cu, Ag 亦可作本反應之催化劑，且效果較 Cu^{2+} 好，其原因可能為 Cu^{2+} 會與 Zn 起反應 ($\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$) 而使反應物 Zn 與 H^+ 之接觸面積減少之緣故。

(實驗三) Zn 與 H^+ 反應之定量關係

爲了能比較各種催化劑催化的定量關係，需先求反應速率定律式

1 手續：

同實驗一，但改變 H_2SO_4 之濃度

2 結果：

室溫 21 °C 壓力 758 mm Hg (皆用 CuSO₄ 為催化劑)

[H ⁺]	6	5	4	3	2	1
120sec 收集 之 H ₂ 體積 (ml)	40	34	27	21	15	8
(H ₂ 體積 / 時間) × 100	33.3	28.3	22.5	17.5	12.5	6.7
$\frac{\Delta [H_2]}{\Delta t}$ mole / lsec × 10 ⁷	134.4	114.3	90.8	70.6	50.4	26.9

(實驗四) 製作各種催化劑影響下之 Zn + 2H⁺ 反應位能圖

$$\text{由 } \log k = \frac{-E_a}{4.58 T} + C \quad \left(\begin{array}{l} k: \text{速率常數} \quad E_a: \text{活化能} \\ T: \text{絕對溫度} \quad C: \text{常數} \end{array} \right)$$

故改變溫度與濃度，求各種溫度下之反應速率常數即可求得活化能。

1 手續：

改變溫度 [H⁺] 而固定 Zn 量 4g 每次催化劑都用 0.01 mole 重複實驗。

2 結果：

表 4 - 1 以 0.01 mole CuSO_4 爲催化劑 (120sec 收集 H_2 之體積)

溫度 °C	[H_2]					
	6	5	4	3	2	1
15 °	26	23	18	14	9	5
21 °	40	34	27	21	15	8
25 °	52	45	35	26	17	9
30 °	78	65	52	38	25	13
35 °	103	89	71	52	36	18
40 °	145	121	98	75	54	28

表 4 - 2 以 0.01 mole Cu 爲催化劑 (120sec 收集 H_2 之體積)

溫度 °C	[H^+]					
	6	5	4	3	2	1
15	31	25	20	15	11	5
21	47	40	31	25	17	10
25	63	52	41	32	21	11
30	92	75	60	45	30	15
35	130	110	83	66	44	22
40	179	143	121	91	60	31

表 4-3 以 0.01mole Ag 爲催化劑 (120sec 收集 H₂ 之體積)

溫度 °C	[H ⁺]					
	6	5	4	3	2	1
15	37	32	28	20	14	6
21	63	53	42	30	19	9
25	77	66	49	39	26	12
30	108	91	72	54	36	17
35	145	122	98	69	47	23
40	190	161	129	96	64	33

表 4-4 不加催化劑 (120sec 收集 H₂ 之體積)

溫度 °C	[H ⁺]					
	6	5	4	3	2	1
15	15	12	9	7	3	2
21	23	18	15	12	8	5
25	29	25	19	15	11	6
30	42	35	28	23	14	7
35	56	48	38	27	20	10
40	82	69	55	46	27	14

表 4-5 加 Cu SO_4 爲催化劑

溫度 °C	$[\text{H}^+]$					
	6	5	4	3	2	1
15	89.2	78.9	61.8	48.0	30.9	17.2
21	134.4	114.2	90.7	70.6	50.4	26.9
25	172.4	149.2	116.0	86.2	56.4	29.8
30	254.4	212.0	169.6	123.9	81.5	42.4
35	330.4	285.5	227.8	166.8	115.5	57.7
40	457.7	381.9	309.3	236.7	170.5	88.4

表 4-6 加 Cu 爲催化劑

溫度 °C	$[\text{H}^+]$					
	6	5	4	3	2	1
15	106.4	85.8	68.6	51.5	37.8	17.2
21	158.0	134.5	104.2	84.0	57.1	33.6
25	201.0	172.5	136.0	106.2	69.7	36.5
30	304.2	248.0	198.4	148.8	99.2	49.6
35	422.7	357.7	269.9	214.6	143.1	71.5
40	572.6	457.4	387.1	291.1	191.9	99.2

表 4-7 加 Ag 爲催化劑

溫度 °C	[H ⁺]					
	6	5	4	3	2	1
15	127.0	109.8	96.1	81.9	57.4	24.6
21	221.8	178.2	141.2	100.9	63.9	30.3
25	255.4	218.9	162.5	129.4	86.2	39.8
30	357.1	300.9	238.1	178.5	119.0	56.2
35	471.5	391.7	318.7	224.4	152.8	74.8
40	607.8	515.0	412.7	307.1	204.7	105.6

表 4-8 不加催化劑

溫度 °C	[H ₂]					
	6	5	4	3	2	1
15	51.5	41.2	30.9	24.0	10.3	6.9
21	70.6	60.5	50.4	40.3	26.9	16.8
25	96.1	82.8	63.0	49.7	36.5	19.9
30	137.0	114.2	91.3	75.0	45.7	22.8
35	179.6	153.9	121.9	86.6	64.1	32.1
40	258.8	217.8	173.6	145.2	85.2	44.2

表 4-9 各種情況下速率常數表列

催化劑	反應之溫度			速率	常數
	°C	°K	$\frac{1}{T} \times 10^3$	$k \times 10^7$	10g k
CuSO	15	288	3.47	13.3	— 5.88
	21	294	3.40	21.2	— 5.67
	25	298	3.36	28.6	— 5.55
	30	303	3.30	42.8	— 5.37
	35	308	3.25	53.5	— 5.28
	40	313	3.19	74.4	— 5.13
Cu	15	288	3.47	18.6	— 5.74
	21	294	3.40	25.0	— 5.61
	25	298	3.36	35.3	— 5.46
	30	303	3.30	51.8	— 5.29
	35	308	3.25	70.2	— 5.16
	40	318	3.19	94.1	— 5.03
Ag	15	288	3.47	30.2	— 5.52
	21	294	3.40	39.8	— 5.39
	25	298	3.36	49.0	— 5.31
	30	303	3.30	60.0	— 5.20
	35	308	3.25	77.6	— 5.11
	40	313	3.19	99.8	— 5.00

不加 催 化 劑	15	288	3.47	5.10	- 6.29
	21	294	3.40	8.89	- 6.06
	25	298	3.36	11.8	- 5.93
	30	303	3.30	18.5	- 5.73
	35	308	3.25	26.9	- 5.57
	40	313	3.19	42.4	- 5.37

$\log k$ 與 $\frac{1}{T}$ 有直線之關係，與 $\log k = \frac{-E_a}{4.58 T} + C$ 之公式相符合，圖中斜率 (m) 即為 $\frac{-E_a}{4.58}$ 故知活化能 $E_a = -4.58$

× 斜率現將所求得之各活化能 (Kcal) 表列如下：

催 化 劑	CuSO ₄	Cu	Ag	不加催化劑
活化能 (Kcal)	13.67	10.91	8.56	14.99

五、結論、應用與推廣

- (一) 由本次實驗結果，驗證了影響反應速率的因素有濃度、溫度、催化劑等，而且同一種反應的催化劑，可能有數種，效果不一定會相同。如能求出各種催化劑加入後之活化能改變，必可找到每一種反應最適合，最經濟之催化劑。
- (二) 本實驗找到了加速反應之正催化劑，但如時間及資料足夠，應也可找出抑制反應之負催化劑即可隨需要加以控制了。
- (三) 本實驗尚可研究催化劑用量對反應速率之影響，而找出每一種

反應之催化劑最適當用量。

(四)本實驗如以 Cu^{+2} 為催化劑因 Zn 活性較大，可能發生下列反應

$\text{Zn} + \text{Cu}^{+2} \rightarrow \text{Zn}^{+2} + \text{Cu}$ ，而影響到反應 Zn 之量。但如以 Cu, Ag 為催化劑，即可使上述之不良影響除去。

(五)本實驗僅是一群中學生利用課餘時間，將課本上所學的知識加以推廣應用，考慮不周之處，尚請各位教授，先進惠予批評指教。

評語：1 製做認真，作品完整

2 前二部是重複科學月刊之資料，第三部活化能之部分是他們進一步的延伸。