

2004 第 36 屆國際化學奧林匹亞競賽試題： 中文參考題解、評分標準與我國四位選手的成績

國立台灣師範大學化學系 方泰山、邱愛菁

前言

台灣參加 2004 第卅六屆〈7 月 18-27 日〉德國基爾國際化學奧林匹亞競賽成績揭曉：一金二銀一銅，六十一國 233 選手名列世界第七，學生 1 〈成績：70.7%〉名列 34 〈銀牌〉；學生 2 〈成績：54.2%〉名列 112 〈銅牌〉；學生 3 〈成績：65.5%〉名列 52 〈銀牌〉；學生 4 〈成績：77.5%〉名列 14 〈金牌〉。今年台灣代表團由南區組團培訓與參賽，團長為高雄師範大學校長戴嘉南，指導教授為高師大蔡文亮、楊慶成及邱鴻麟。27 日於漢堡國際會議中心舉行閉幕及頒獎典禮，德國聯邦教育暨研究部長布爾曼 (Edelgard Bulmahn) 應邀致詞並頒發金牌獎。中華民國駐漢堡辦事處之陳處長華玉亦應邀參加此盛會。德國主導的比賽題〈詳見本刊上期〉與其參考題解分別翻譯成中文，並附上我國四位選手各大題的得分情形與全體選手成績分佈，以饗讀者。英文原稿可上網查閱：
http://www.icho.de/english/04_chemistry.html#real。

四位選手成績單：

	實作	理論	總分	獎牌	名次
學生 4	23.92	53.61	77.5	金牌	14
學生 1	24.09	46.58	70.7	銀牌	34
學生 3	20.06	45.44	65.5	銀牌	52
學生 2	14.59	39.59	54.2	銅牌	112

四位選手各大題的得分情形：

		學生 1								
		題號(藍分 100%)	*.1	*.2	*.3	*.4	*.5	*.6	*.7	總藍分(國際平均值)
實作總藍分	實作題 1(100)	1	1	6	0	6.8	6.7	8.8		30.3(16.1)
	實作題 2(113)	17	35	38	3	5				98(14.0)
理論總藍分	理論題 1(24)	4	3	1	1.5	0				9.5(16.1)
	理論題 2(23)	2	3	10	5					20(14.0)
	理論題 3(21)	2.5	2	4	4	5.5	2			20(14.4)
	理論題 4(20)	7	4	1.5						12.5(10.4)
	理論題 5(18)	2	3	4	5	3				17(11.8)
	理論題 6(20)	2	2	4	4	2				14(10.1)
	理論題 7(21)	3	2.2	3	3	5.5				16.7(14.6)
	理論題 8(22)	3	5.5	1	5	5				19.5(7.8)
		學生 2								
		題號(藍分 100%)	*.1	*.2	*.3	*.4	*.5	*.6	*.7	總藍分(國際平均值)
實作總藍分	實作題 1(100)	2	2	0	22.6	8.5	13.6	20		68.7(16.1)
	實作題 2(113)	6	0	3	0	0				9(14.0)
理論總藍分	理論題 1(24)	6	3	1.5	0	0				10.5(16.1)

111.5	理論題	2(23)	3	3	9	2				17(14.0)
	理論題	3(21)	3	2	4	2	6	2		19(14.4)
	理論題	4(20)	6.5	1	0					7.5(10.4)
	理論題	5(18)	2	3	4	5	4			18(11.8)
	理論題	6(20)	2	2	4	5	0			13(10.1)
	理論題	7(21)	3	4	3	4	6.5			20.5(14.6)
	理論題	8(22)	3	2	1	0	0			6(7.8)
學生 3										
	題號(藍分 100%)	*.1	*.2	*.3	*.4	*.5	*.6	*.7	總藍分(國際平均值)	
實作總藍分	實作題	1(100)	2	2	3	1.8	10	0	0	18.8(16.1)
106.8	實作題	2(113)	7	35	38	3	5			88(14.0)
理論總藍分	理論題	1(24)	6	8.5	3.5	0	2.5			20.5(16.1)
128	理論題	2(23)	3	0	9	7				19(14.0)
	理論題	3(21)	3	2	3.5	4	5.5	2		20(14.4)
	理論題	4(20)	6.5	2	3.5					12(10.4)
	理論題	5(18)	2	3	4	4	4			17(11.8)
	理論題	6(20)	2	2	0	4	2			10(10.1)
	理論題	7(21)	3	4	3	4	5.5			19.5(14.6)
	理論題	8(22)	3	6	1	0	0			10(7.8)
學生 4										
	題號(藍分 100%)	*.1	*.2	*.3	*.4	*.5	*.6	*.7	總藍分(國際平均值)	
實作總藍分	實作題	1(100)	1	1	0	12.8	8.5	0	0	23.3(16.1)
127.4	實作題	2(113)	32	26.1	38	3	5			104.1(14.0)
理論總藍分	理論題	1(24)	6	8	3.5	2	3			22.5(16.1)
151	理論題	2(23)	3	3	7	7				20(14.0)
	理論題	3(21)	3	2	3.5	4	6	2		20.5(14.4)
	理論題	4(20)	6.5	9	3.5					19(10.4)
	理論題	5(18)	2	3	4	4	2.5			15.5(11.8)
	理論題	6(20)	2	2	4	5	6			19(10.1)
	理論題	7(21)	3	4	3	3.5	7			20.5(14.6)
	理論題	8(22)	3	5.5	0.5	0	5			14(7.8)

註：藍分為原始配分，轉成 100%，其中實作題佔 40%，理論題佔 60%則為 100%的所謂紅分成績

第一部份：36th IChO 實作參考題解、評分標準與學生得分情形

實作題 1：兩階段有機合成 2,2-雙〈對-苯氧基醋酸〉丙烷〈雙酚 A 二〈?基甲基〉醚〉

1.1 以 2.54 克聚碳酸酯 (polycarbonate) 進行反應，計算出雙酚 A (bisphenol A) 的理論產率，以克表示。〈2 分〉

$$M_1 (\text{polycarbonate}) = M_1 (\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3)_n \text{H}_2 \approx M_1 (\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3) = 254.30 \text{ g/mol}$$

$$m_1 = 2.54 \text{ g}$$

$$M_2 (\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2) = 228.31 \text{ g/mol}$$

$$m_2 = m_1 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2$$

雙酚 A 的理論產率：2.28 克

答案正確：2 分；計算錯誤，多或少於小數點下兩位（如：2.3 克、2.281 克）：1 分；錯誤或無作答：0 分。

- 1.2 以 2.00 克雙酚 A 為基準進行反應，計算出雙酚 A 二（？基甲基）醚 (bisphenol A bis(carboxymethyl)ether) 的理論產率，以克表示。（2 分）

$$M_2 (\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2) = 228.31 \text{ g/mol}$$

$$m_2 = 2.00 \text{ g}$$

$$M_3 (\text{C}_{19}\text{H}_{20}\text{O}_6) = 344.39 \text{ g/mol}$$

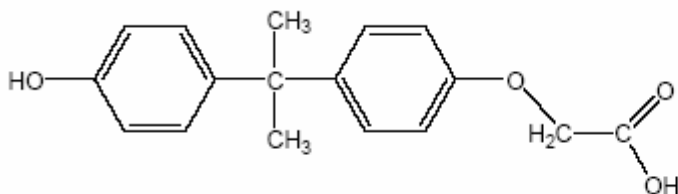
$$m_3 = m_2 \cdot M_2^{-1} \cdot M_3$$

雙酚 A 二（？基甲基）醚的理論產率：3.02 克

答案正確：2 分；計算錯誤，多或少於小數點下兩位（如：3.0 克、3.017 克）：1 分；錯誤或無作答：0 分。

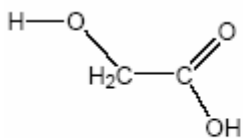
- 1.3 第二階段可能有無用的副產物。寫出最有可能的兩個無用副產物的結構式。（6 分）

1. 雙酚 A 只與氯化醋酸鈉(sodium chloroacetate)反應一次（單次取代反應(monosubstitution)）：



(3)

2. 鹼性水解的氯化醋酸鈉

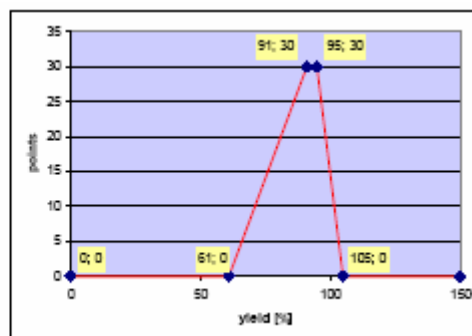


(3)

任一答案—正確結構式：3 分；一個疏忽錯誤：扣 1 分，兩個疏忽錯誤：扣 2 分；錯誤或無作答：0 分。

- 1.4 第一階段，大會代測產物產率(%)：（30 分）

$$\begin{array}{ll} f(x) = 0 & x < 61 \\ f(x) = x - 61 & 61 \leq x \leq 91 \\ f(x) = 30 & 91 < x \leq 95 \\ f(x) = -3x + 315 & 95 < x \leq 105 \\ f(x) = 0 & x > 105 \\ m_2 \cdot M_1 \cdot m_1^{-1} \cdot M_2^{-1} \cdot 100 = x \quad [\%] \end{array} \quad \text{master value}$$



1.5 第一階段，大會代測產物熔點($^{\circ}\text{C}$)：〈10分〉

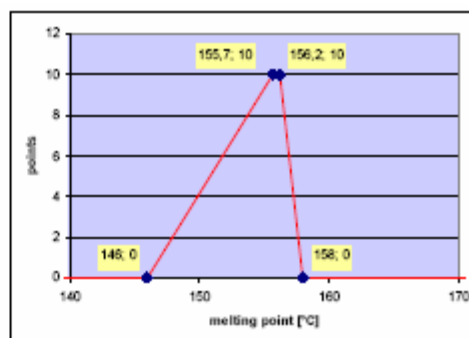
$$f(x) = 0 \quad x < 146.0$$

$$f(x) = +1.03093x + 150.51546 \quad 146.0 \leq x < 155.7$$

$$f(x) = 10 \quad 155.7 \leq x \leq 156.2 \quad \text{master value}$$

$$f(x) = -5.55556x + 877.77778 \quad 156.2 < x \leq 158.0$$

$$f(x) = 0 \quad x > 158.0$$



1.6 第二階段，大會代測產物產率(%)：〈30分〉

$$f(x) = 0 \quad x < 30$$

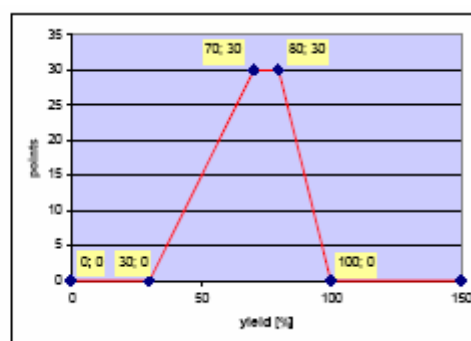
$$f(x) = 0.75x - 22.5 \quad 30 \leq x \leq 70$$

$$f(x) = 30 \quad 70 < x \leq 80 \quad \text{master value}$$

$$f(x) = -1.5x + 150 \quad 80 < x \leq 100$$

$$f(x) = 0 \quad x > 100$$

$$m_3 \cdot M_2 \cdot m_2^{-1} \cdot M_3^{-1} \cdot 100 = x \quad [\%]$$



1.7 第二階段，大會代測產物熔點($^{\circ}\text{C}$)：〈20分〉

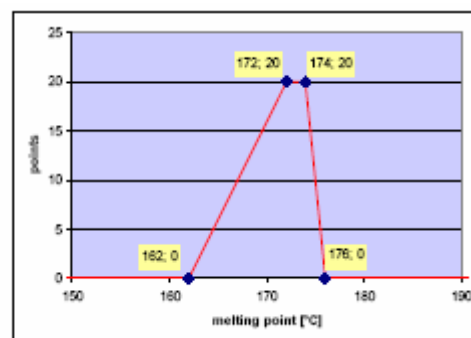
$$f(x) = 0 \quad x < 162$$

$$f(x) = 2x - 324 \quad 162 \leq x \leq 172$$

$$f(x) = 20 \quad 172 < x \leq 174 \quad \text{master value}$$

$$f(x) = -10x + 1760 \quad 174 < x \leq 176$$

$$f(x) = 0 \quad x > 176$$

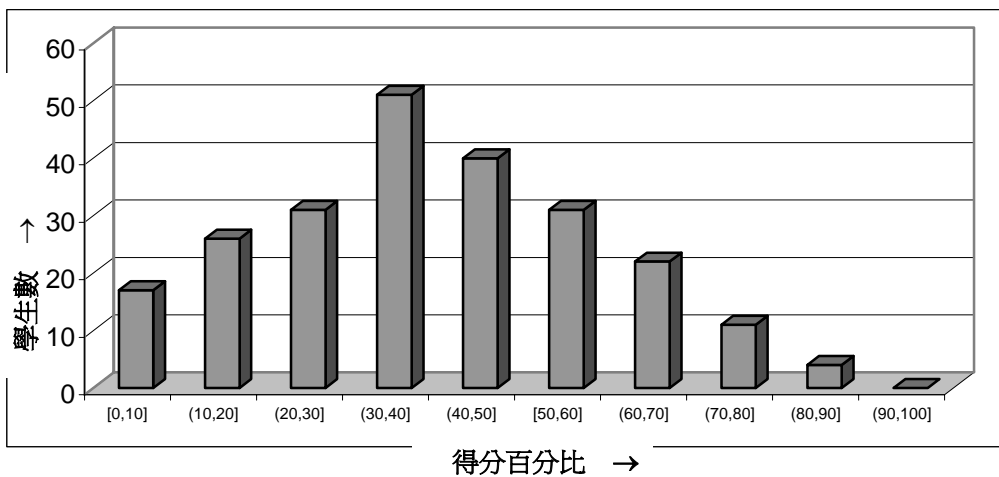


若學生沒有將熔點測管裝滿，將扣10分。

1.4至1.7的正確定點：數值為小數點下一位。

實作題號	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	總藍分
配分	2	2	6	30	10	30	20	100
學生1	1	1	6	0	6.8	6.7	8.8	30.3
學生2	2	2	0	22.6	8.5	13.6	20	68.7
學生3	2	2	3	1.8	10	0	0	18.8
學生4	1	1	0	12.8	8.5	0	0	23.3

本大題總藍分:100 (100%)，平均得分:39.2(39.2%)，成績分佈圖：



實作題 2：超導體之定性與定量分析

2.1 此超導體有那一鹼土金屬？單選！ (30)

- Ca (0) Sr (0) Ba (30)
- Ca and Sr (0) Ca and Ba (5) Sr and Ba (15)
- Ca and Sr and Ba (10)

完成以下反應式： (2)



2.2 測定鏷與銅的總含量 (35)

滴定序號	起始體積 (V_{initial}) (mL)	最終體積 (V_{final}) (mL)	體積 (V) (mL)
1			
2			
3			
--			
--			
--			

100 mL超導體溶液，消耗 $0.1000 \text{ mol L}^{-1}$ EDTA溶液的適當量，體積 (V) = 11.60* mL。

複合計量滴定 (Complexometric Titration)

$$P = 35 \cdot \left[1 - \frac{|(C1 - (MV1 \cdot PS/100)) - ((MV1 \cdot PS/100) \cdot 0.005)|}{((MV1 \cdot PS/100) \cdot 0.03) - ((MV1 \cdot PS/100) \cdot 0.005)} \right]$$

P = points

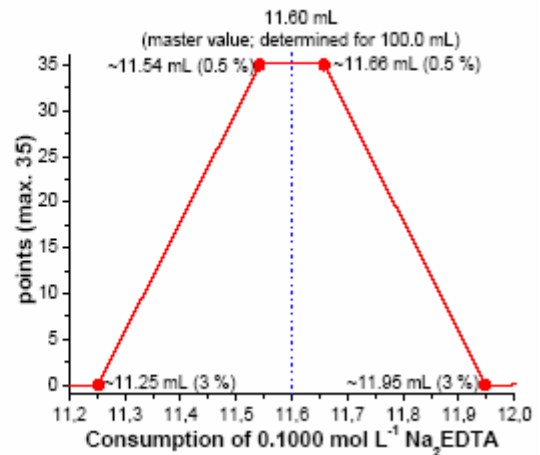
C1 = experimental consumption (mL)

MV1 = actual master value

PS = mL of superconductor solution handed out (100.0, 99.00, 98.00, 97.00 mL)

if P ≥ 35 use the maximum points of 35

if P ≤ 0 use zero points

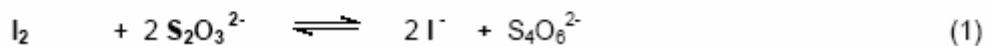
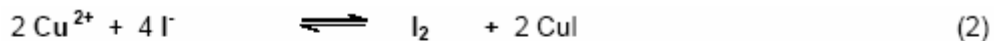


2.3 測定銅的含量 (35)

滴定序號	起始體積 ($V_{initial}$) (mL)	最終體積 (V_{final}) (mL)	體積 (V) (mL)
1			
2			
3			
--			
--			
--			

100 mL 超導體溶液，消耗 $0.01000 \text{ mol L}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的適當量，體積 (V) = 10.50^* mL。

完成以下反應式：



* 正確數值將稍後提供，所得數值必須至小數點下兩位，否則得 1 分。

碘計量滴定 (Iodometric Titration)

$$P = 35 \cdot \left[1 - \frac{|(C2 - (MV2 \cdot PS/100)) - ((MV2 \cdot PS/100) \cdot 0.0075)|}{((MV2 \cdot PS/100) \cdot 0.04) - ((MV2 \cdot PS/100) \cdot 0.0075)} \right]$$

P = points

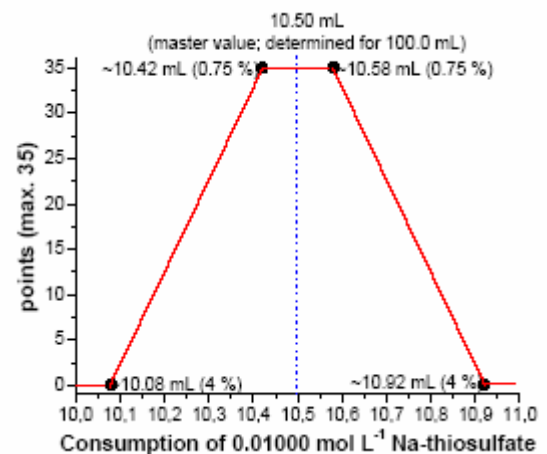
C2 = experimental consumption (mL)

MV2 = actual master value

PS = mL of superconductor solution handed out (100.0, 99.00, 98.00, 97.00 mL)

if P ≥ 35 use the maximum points of 35

if P ≤ 0 use zero points



2.2 與 2.3 的正確定點：數值為小數點下一位。

2.4 原始溶液之銅質量 (mg)

原始溶液之銅質量 (mg)

(3)

$$[M(\text{Cu}) = 63.55 \text{ g mol}^{-1}; M(\text{La}) = 138.91 \text{ g mol}^{-1}]$$

銅的質量：

$$10.50 \text{ mL} \cdot 0.01 \text{ mol L}^{-1} \cdot 4 \cdot 10 \cdot 63.55 \text{ g mol}^{-1} = 266.9 \text{ mg} \quad (1)$$

鏷的質量：

$$[11.60 - (10.50/10 \cdot 4)] \text{ mL} \cdot 0.1 \text{ mol L}^{-1} \cdot 10 \cdot 138.91 \text{ g mol}^{-1} = 1028 \text{ mg} \quad (2)$$

2.5 虛構例子：消耗 39.90 mL 的 $0.1000 \text{ mol L}^{-1}$ EDTA 溶液與 35.00 mL 的 $0.01000 \text{ mol L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液。計算分子式 $\text{La}_x\text{M}_{(2-x)}\text{CuO}_4$ 之係數 X (M 為 Ca 和/或 Sr 和/或 Ba)，並寫出此超導體之正確分子式。

鏷所消耗的部分

$$= [39.90 - (35.00/10 \cdot 4)] \text{ mL} = 25.90 \text{ mL} \quad (2)$$

銅所消耗的部分

$$= (39.90 - 25.90) \text{ mL} = 14.00 \text{ mL} \quad (2)$$

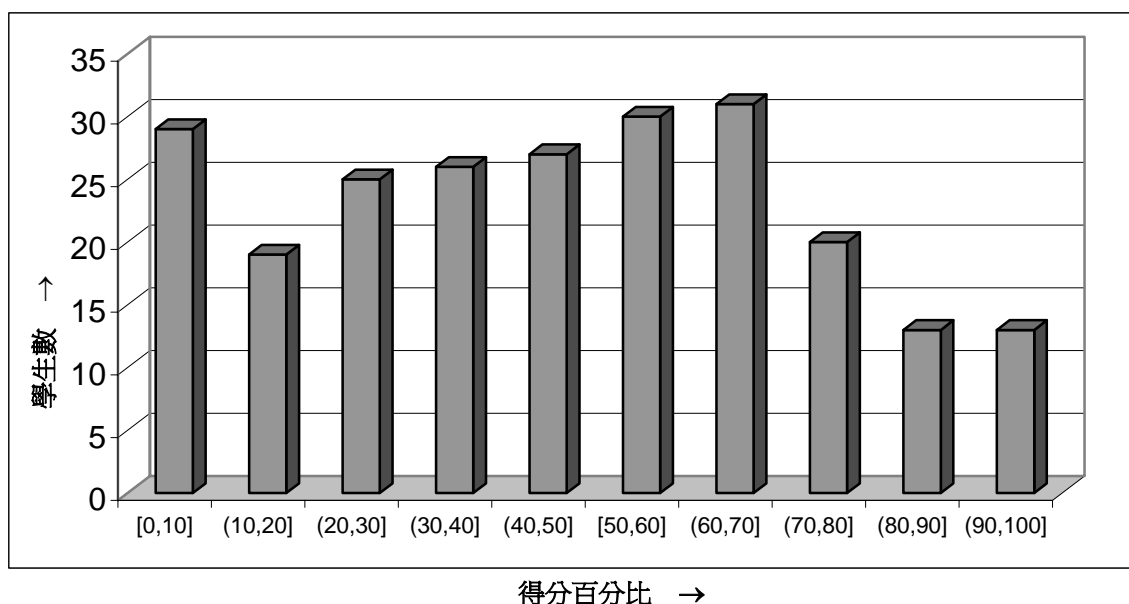
$$n(\text{La}) : n(\text{Cu}) = 25.90 : 14.00 = 1.85 : 1$$

係數 X : 1.85

分子式： $\text{La}_{1.85}\text{M}_{0.15}\text{CuO}_4$

實作題號	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	總藍分
配分	32	35	38	3	5	113
學生 1	17	35	38	3	5	98
學生 2	6	0	3	0	0	9
學生 3	7	35	38	3	5	88
學生 4	32	26.1	38	3	5	104.1

本大題總藍分:113 (100%)，平均得分: 51.8(45.9%)，成績分佈圖：



第二部份：36th IChO 理論參考題解、評分標準與學生得分情形

理論題 1：熱力學

1.1 化學方程式：〈2分〉

a) 甲烷：



b) 乙烷：



方程式的熱力學數據：〈4分〉

$$\begin{aligned} \Delta H^0 &= [2 \cdot (-241.8) - 393.5 - (-74.6)] \text{ kJ mol}^{-1} &= -802.5 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \Delta S^0 &= [2 \cdot (188.8) + 213.8 - 186.3 - 2 \cdot 205.2] \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} &= -5.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ \Delta G^0 &= -802.5 \text{ kJ mol}^{-1} - 298.15 \text{ K} \cdot (-5.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) &= -800.9 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

甲烷

$$\Delta H^0 = -802.5 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \Delta S^0 = -5.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad \Delta G^0 = -800.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^0 &= [6 \cdot (-241.8) - 4 \cdot 393.5 - 2 \cdot (-84.0)] \text{ kJ mol}^{-1} &= -2856.8 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \Delta S^0 &= [6 \cdot 188.8 + 4 \cdot 213.8 - 2 \cdot 229.2 - 7 \cdot 205.2] \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} &= +93.2 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ \Delta G^0 &= -2856.8 \text{ kJ mol}^{-1} - 298.15 \text{ K} \cdot (93.2 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) &= -2884.6 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

乙烷

$$\Delta H^0 = -2856.8 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \Delta S^0 = +93.2 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad \Delta G^0 = -2884.6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

1.2a) 1 立方公尺天然氣中甲烷與乙烷的莫耳數：〈7分〉

〈概念 2 分〉

$$m = \rho \cdot V = 0.740 \text{ g L}^{-1} \cdot 1000 \text{ L} = 740 \text{ g} \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

$$\begin{aligned} M_{\text{av}} &= \sum_i x(i)M(i) = 0.0024 \cdot 44.01 \text{ g mol}^{-1} + 0.0134 \cdot 28.02 \text{ g mol}^{-1} \\ &\quad + 0.9732 \cdot 16.05 \text{ g mol}^{-1} + 0.011 \cdot 30.08 \text{ g mol}^{-1} = 16.43 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned} \quad \langle 2 \text{ 分} \rangle$$

$$n_{\text{tot}} = m (M_{\text{av}})^{-1} = 740 \text{ g} \cdot (16.43 \text{ g/mol})^{-1} = 45.04 \text{ mol} \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

$$\begin{aligned} n(i) &= x(i) \cdot n_{\text{tot}} \\ n(\text{CH}_4) &= x(\text{CH}_4) \cdot n_{\text{tot}} = 0.0024 \cdot 45.04 \text{ mol} = 0.1081 \text{ mol} \\ n(\text{C}_2\text{H}_6) &= x(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot n_{\text{tot}} = 0.0134 \cdot 45.04 \text{ mol} = 0.6035 \text{ mol} \end{aligned} \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

1.2b) 燃燒能的相對偏差：〈2分〉

$$\begin{aligned} E_{\text{comb.}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) &= \sum_i n(i)\Delta_c H^0(i) = 43.83 \text{ mol} \cdot (-802.5 \text{ kJ mol}^{-1}) + 0.495 \text{ mol} \cdot 0.5 \cdot (-2856.8 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -35881 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$E_{\text{comb.}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -35881 \text{ kJ} \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

PUC 的相對偏差

$$E_{\text{PUC}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = 9.981 \text{ kWh m}^{-3} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 3600 \text{ kJ (kWh)}^{-1} = 35932 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \text{deviation: } \Delta E &= (E_{\text{comb.}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) - E_{\text{PUC}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) \cdot 100\% \cdot [E_{\text{comb.}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g}))]^{-1} \\ &= (35881 \text{ kJ} - 35932 \text{ kJ}) \cdot 100\% \cdot (35881 \text{ kJ})^{-1} = -0.14\% \end{aligned}$$

$$\text{相對偏差} = -0.14\% \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

1.3 水加熱所須能量：〈4分〉

$$\text{水的體積： } V_{\text{water}} = 22.5 \text{ m}^3 \quad \langle 0.5 \text{ 分} \rangle$$

$$n_{\text{water}} = V_{\text{water}} \rho_{\text{water}} (M_{\text{water}})^{-1} = 22.5 \text{ m}^3 \cdot 10^3 \text{ g m}^{-3} \cdot (18.02 \text{ g mol}^{-1})^{-1} = 1.249 \cdot 10^6 \text{ mol} \quad \langle 0.5 \text{ 分} \rangle$$

$$E_{\text{water}} = n_{\text{water}} \cdot C_p \cdot \Delta T = 1.249 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 75.30 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 14 \text{ K} = 1316 \text{ MJ} \quad \langle 0.5 \text{ 分} \rangle$$

$$E_{\text{water}} = 1316 \text{ MJ} \quad \langle 1.5 \text{ 分} \rangle$$

空氣加熱所須能量：

房子的體積：

$$V_{\text{air}} = 15 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} + 0.5 \cdot 15 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} = 480 \text{ m}^3 \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

$$n_{\text{air}} = pV \cdot (RT)^{-1} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 480 \text{ m}^3 \cdot (8.314 \text{ J (K mol)}^{-1} \cdot 283.15 \text{ K})^{-1} = 2.065 \cdot 10^4 \text{ mol} \quad (0.5)$$

$$C_p(\text{air}) = 0.21 \cdot 29.4 \text{ J (K mol)}^{-1} + 0.79 \cdot 29.1 \text{ J (K mol)}^{-1} = 29.16 \text{ J (K mol)}^{-1} \quad \langle 0.5 \text{ 分} \rangle$$

$$E_{\text{air}} = n_{\text{air}} \cdot C_p(\text{air}) \cdot \Delta T = 2.065 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 29.17 \text{ J (K mol)}^{-1} \cdot 20 \text{ K} = 12.05 \text{ MJ} \quad \langle 0.5 \text{ 分} \rangle$$

$$E_{\text{air}} = 12.05 \text{ MJ} \quad \langle 2.5 \text{ 分} \rangle$$

1.4 維持室溫所須能量：〈2分〉

房屋表面積：

$$A_{\text{house}} = 3 \text{ m} \cdot 46 \text{ m} + 8 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} + ((2 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2)^{1/2} \cdot 2 \cdot 15 \text{ m} = 288.16 \text{ m}^2 \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

熱導電度：

$$\lambda_{\text{wall}} = 1 \text{ J (s K m)}^{-1}$$

隨溫度升降的熱流量〈牆厚 $d = 0.2 \text{ m}$ 〉

$$J = E_{\text{loss}} (A \cdot \Delta t)^{-1} = \lambda_{\text{wall}} \cdot \Delta T \cdot d^{-1}$$

$$E_{\text{loss}} = 288.16 \text{ m}^2 \cdot (12-60-60 \text{ s}) \cdot 1 \text{ J (s K m)}^{-1} \cdot 25 \text{ K} \cdot (0.2 \text{ m})^{-1} = 1556 \text{ MJ} \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

$$E_{\text{loss}} = 1556 \text{ MJ}$$

1.5 總能量與費用：〈3分〉

總能量：

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{water}} + E_{\text{air}} + E_{\text{loss}} = 1316 \text{ MJ} + 12 \text{ MJ} + 1556 \text{ MJ} = 2884 \text{ MJ} \quad \langle 0.5 \text{ 分} \rangle$$

2884 MJ 相當於

$$2.884 \cdot 10^6 \text{ kJ} \cdot (3600 \text{ s h}^{-1} \cdot 9.981 \text{ kJ s}^{-1} \text{ m}^{-3} \cdot 0.9)^{-1} = 89.18 \text{ m}^3$$

氣體體積 $V = 89.18 \text{ m}^3$

〈1分〉

2884 MJ 相當於費用：

$$0.40 \text{ €m}^{-3} \cdot 89.18 \text{ m}^3 = 35.67 \text{ €}$$

設備租金：

$$150.00 \text{ €}$$

熱氣總費用

$$= 185.67 \text{ €} \quad (0.5)$$

2884 MJ 相當於費用：

$$2.884 \cdot 10^6 \text{ kJ} \cdot 0.137 \text{ €} \cdot (3600 \text{ s h}^{-1} \cdot 1 \text{ kJ s}^{-1} \text{ h})^{-1} = 109.75 \text{ €}$$

設備租金：

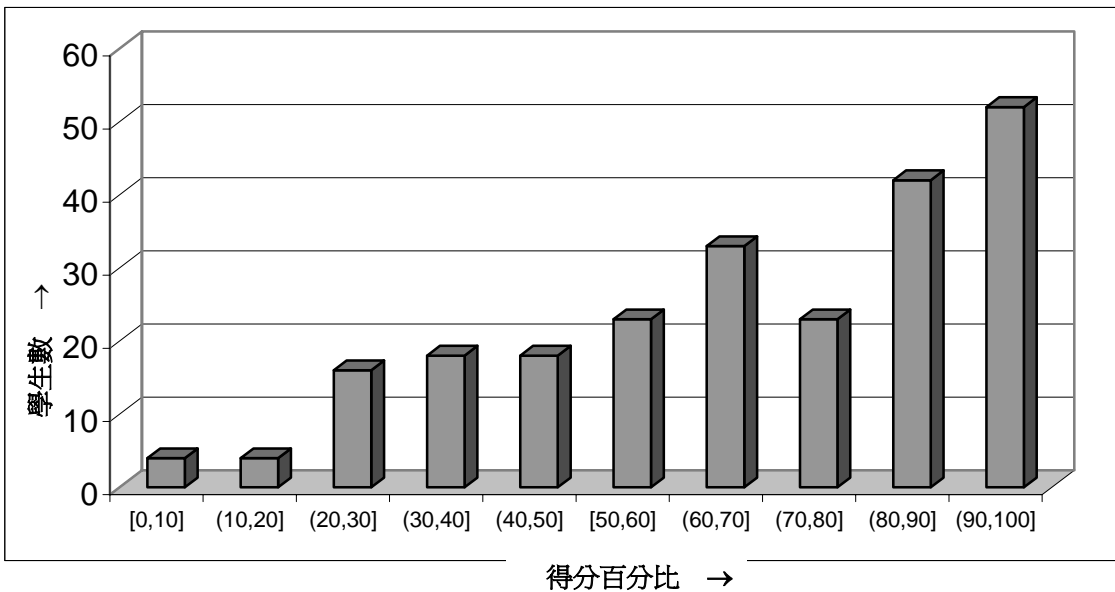
$$100.00 \text{ €}$$

熱氣總費用

$$= 209.75 \text{ €} \quad (1)$$

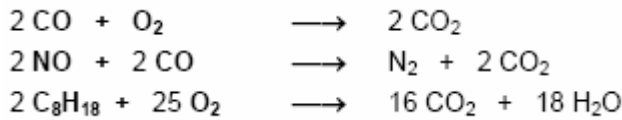
理論題號	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	總藍分
配分	6	9	4	2	3	24
學生 1	4	3	1	1.5	0	9.5
學生 2	6	3	1.5	0	0	10.5
學生 3	6	8.5	3.5	0	2.5	20.5
學生 4	6	8	3.5	2	3	22.5

本大題總藍分: 24 (100%), 平均得分: 16.1(67.1%), 成績分佈圖:



理論題 2：催化劑表面之動力學

2.1 反應式：〈3分〉



2.2 有關 λ 探頭的問題：〈3分〉

	正確	錯誤	無法判定
若 λ 值在 λ 變化範圍內，於三元催化轉化器中(three-way catalytic converter)，一氧化碳與碳氫化合物能被氧化	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$\lambda > 1$ ，於三元催化轉化器中，一氧化碳與碳氫化合物能被氧化	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$\lambda < 0.975$ ，氮氧化物 (nitrogen oxides) 不易被還原	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.3a) 表面佔據率：〈1分〉

$$\theta = \frac{0.85 \text{ kPa}^{-1} \cdot 0.65 \text{ kPa}}{1 + 0.85 \cdot 0.65}$$

$$\theta = 0.356 \text{ or } 35.6 \%$$

2.3b) 15%表面佔據率之壓力：〈2分〉

$$\theta = \frac{K \cdot p}{1 + K \cdot p} \Leftrightarrow K \cdot p = \theta + \theta \cdot K \cdot p \Leftrightarrow p \cdot (K - \theta \cdot K) = \theta \Leftrightarrow p = \frac{\theta}{K - \theta \cdot K} \quad \langle 1 \text{ 分} \rangle$$

$$\theta = 0.15$$

$$p = 0.21 \text{ kPa}$$

〈1分〉

2.3c) 分解反應級數(orders of decomposition)：〈3分〉

低氣體壓力下之分解反應級數 1 〈1.5分〉

高氣體壓力下之分解反應級數 0 〈1.5分〉

提示：

$$r = k \cdot \theta = k \cdot \frac{K \cdot p}{1 + K \cdot p}, \quad p \text{ low} \Rightarrow p \ll \frac{1}{K} \Rightarrow r = k \cdot K \cdot p \quad \text{reaction order } 1.$$

$$p \text{ high} \Rightarrow p \gg \frac{1}{K} \Rightarrow r = k \quad \text{reaction order } 0.$$

2.3d) 氣體體積 $V_{a,\max}$ 與產物 $K \cdot V_{a,\max}$ ：〈4分〉

$$\frac{1}{\theta} = \frac{1}{K \cdot p} + 1 = \frac{V_{a,\max}}{V_a} \Rightarrow \frac{1}{K \cdot V_{a,\max}} + \frac{p}{V_{a,\max}} = \frac{p}{V_a} \quad (2)$$

斜率(slope)：

$$\frac{1}{V_{a,max}} = 1.9 \text{ cm}^{-3} \quad \Rightarrow \quad V_{a,max} = 0.53 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

截距(intercept) :

$$\frac{1}{K \cdot V_{a,max}} = 6 \cdot 10^2 \text{ Pa cm}^{-3} \quad \Rightarrow \quad K \cdot V_{a,max} = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}^{-1} \text{ cm}^3 \quad (1)$$

2.4 反應速率方程式：〈7分〉

由題目能直接導出

$$r = k_2 \cdot \theta_{CO_2} \quad (2)$$

The law of mass action 對反應機制的第一步驟

$$\theta_{CO_2} = \frac{k_1}{k_{-1}} \cdot \theta_{CO} \cdot \theta_{O_2}^{\frac{1}{2}}, \quad (2) \quad \Rightarrow \quad r = k_2 \cdot \frac{k_1}{k_{-1}} \cdot \theta_{CO} \cdot \theta_{O_2}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

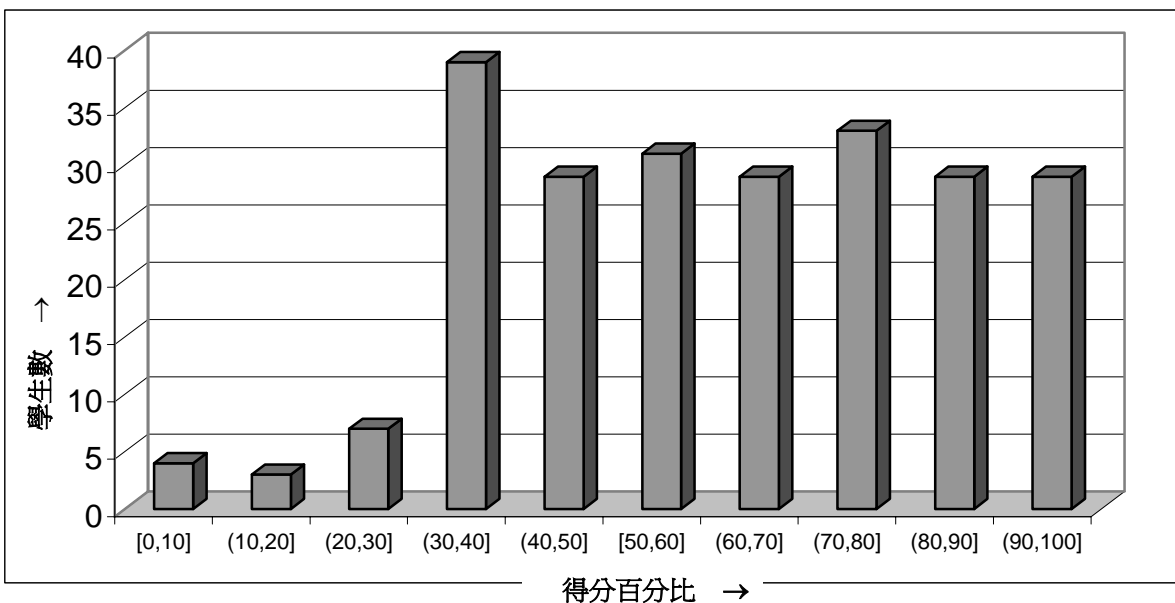
由 Langmuir 等溫線得：

$$\theta_{CO} = \frac{K_{CO} \cdot p_{CO}}{1 + K_{CO_2} \cdot p_{CO_2} + K_{CO} \cdot p_{CO} + K_{O_2} \cdot p_{O_2}} \quad \text{and} \quad \theta_{O_2} = \frac{K_{O_2} \cdot p_{O_2}}{1 + K_{CO_2} \cdot p_{CO_2} + K_{CO} \cdot p_{CO} + K_{O_2} \cdot p_{O_2}} \quad (1.5)$$

$$r = k_2 \cdot \frac{k_1}{k_{-1}} \cdot \frac{K_{CO} \cdot p_{CO} \cdot (K_{O_2} \cdot p_{O_2})^{\frac{1}{2}}}{(1 + K_{CO_2} \cdot p_{CO_2} + K_{CO} \cdot p_{CO} + K_{O_2} \cdot p_{O_2})^{\frac{3}{2}}} \quad (0.5)$$

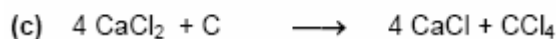
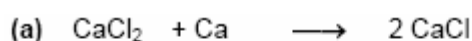
理論題號	2.1	2.2	2.3	2.4	總藍分
配分	3	3	10	7	23
學生 1	2	3	10	5	20
學生 2	3	3	9	2	17
學生 3	3	0	9	7	19
學生 4	3	3	7	7	20

本大題總藍分: 23 (100%), 平均得分: 14.0(61.0%), 成績分佈圖:



理論題 3：單價鹼土金屬化合物

3.1 化學反應式：〈3分〉



3.2 〈2分〉

銀色金屬顆粒：Ca

無色晶體：CaCl₂

提示：Ca與CaCl₂無法以傳統的固相方式反應出CaCl。

3.3 實驗式(Empirical formula)：〈4分〉

$$\begin{aligned} 100\% - (m/m\% \text{Ca} + m/m\% \text{Cl}) &= m/m\% \text{X} \\ 100\% - (52.36\% + 46.32\%) &= 1.32\% \text{X} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{mol\% of Ca} &= 52.36 \text{ m/m\%} / M(\text{Ca}) \\ &= 52.36 \text{ m/m\%} / 40.08 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 1.31 \text{ mol\%} \end{aligned} \quad (0.5)$$

$$\begin{aligned} \text{mol\% of Cl} &= 46.32 \text{ m/m\%} / M(\text{Cl}) \\ &= 46.32 \text{ m/m\%} / 35.45 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 1.31 \text{ mol\%} \end{aligned} \quad (0.5)$$

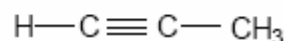
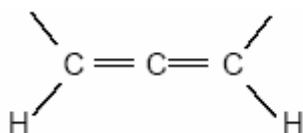
$$\begin{aligned} \text{mol\% of X} &= 1.32\% \text{X} / M(\text{H}) \\ &= 1.32\% \text{X} / 1.01 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 1.31 \text{ mol\%} \end{aligned} \quad (1)$$

$$n(\text{Ca}) : n(\text{Cl}) : n(\text{H}) = 1 : 1 : 1$$

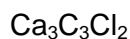
實驗式 CaClH

提示：CaCl₂與氫無法反應出CaCl，代之反應出CaClH。此化合物結構已由不適於分析如氫般之輕元素位置的X光結構分析確定。因此，許久以來存在之氫一直被忽略而將CaClH視為CaCl。

3.4a) 結構：〈2分〉



3.4b) 產物實驗式：〈2分〉



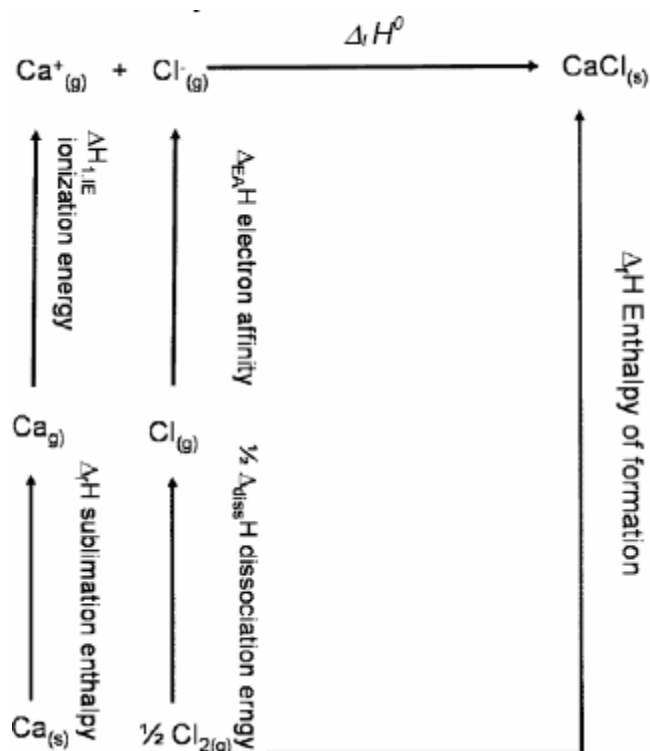
提示：若給予 $n(\text{Ca}) : n(\text{Cl}) = 1.5 : 1$ 〈或更適以 $= 3 : 2$ 來重寫 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{Ca}^{2+} = \text{Ca}_3\text{Cl}_2^{4+}$ 〉與還原產物含有須兩 Ca^{2+} 中和電荷的 C_3^{4-} 陰離子的條件，則 $\text{Ca}_3\text{C}_3\text{Cl}_2$ 隨之而得。

3.5a) CaCl 結構：〈1分〉

$$r(\text{Ca}^+)/r(\text{Cl}^-) = 120 \text{ pm}/167 \text{ pm} = 0.719$$

NaCl CsCl ZnS BN 無法判定

3.5b) 以Born-Harber-cycle計算出 $\Delta_f H^0(\text{CaCl})$ ：〈5分〉

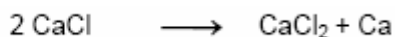


總計 Born-Harber-cycle 的所有反應步驟

$$\begin{aligned} \Delta_f H^0(\text{CaCl}) &= \Delta_{\text{subl}} H^0(\text{Ca}) + \Delta_{1, \text{IE}} H(\text{Ca}) + \frac{1}{2} \Delta_{\text{diss}} H(\text{Cl}_2) + \Delta_{\text{EA}} H(\text{Cl}) + \Delta_f H(\text{CaCl}) \\ &= (159.3 \quad + 589.7 \quad + 120 \quad - 349.0 \quad - 751.9) \text{ kJ mol}^{-1} \\ &\quad (1) \quad (0.5) \quad (1) \quad (0.5) \quad (1) \end{aligned}$$

$$\Delta_f H^0(\text{CaCl}) = -231.9 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (1)$$

3.6 從穩定至自身氧化還原反應(disproportionation)：〈2分〉



$$\Delta H = \Delta_f H^0(\text{CaCl}_2) - 2 \Delta_f H^0(\text{CaCl}) = -796.0 \text{ kJ mol}^{-1} + 463.8 \text{ kJ mol}^{-1} = -332.2 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (1)$$

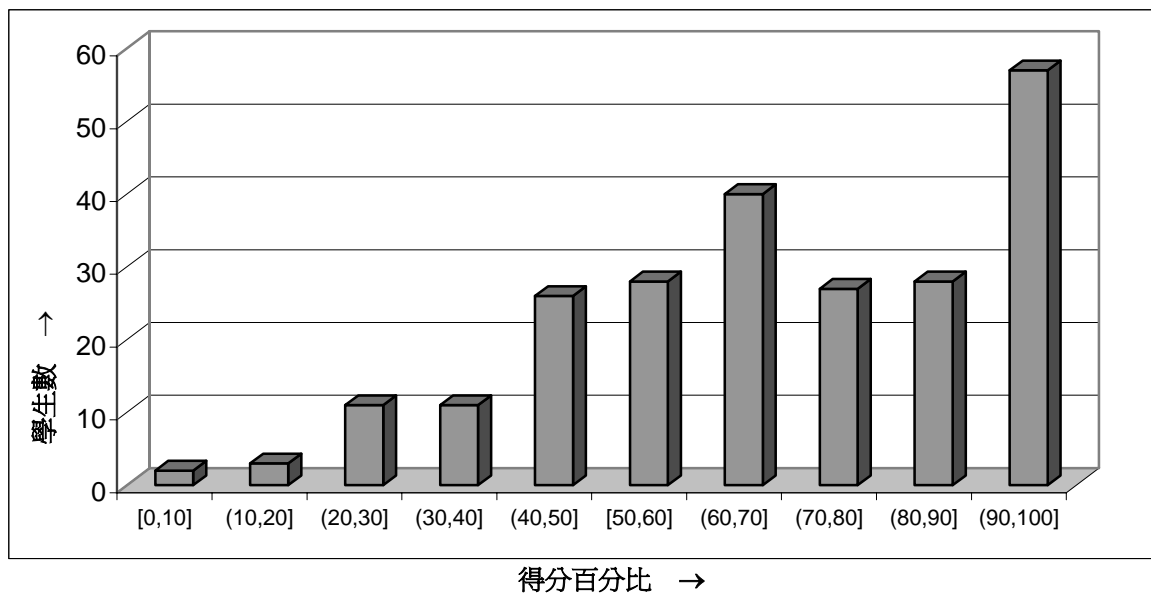
自身氧化還原反應 是 否 無法判定，須更多資料

 (1)

理論題號	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	總藍分
配分	3	2	4	4	6	2	21
學生 1	2.5	2	4	4	5.5	2	20
學生 2	3	2	4	2	6	2	19

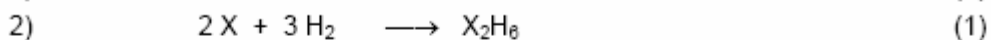
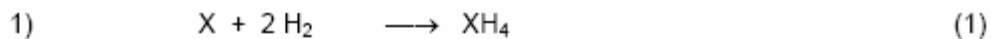
學生 3	3	2	3.5	4	5.5	2	20
學生 4	3	2	3.5	4	6	2	20.5

本大題總藍分: 21 (100%), 平均得分: 14.4(68.6%), 成績分佈圖:



理論題 4：原子量

4.1 X 的原子量、元素符號、結構 (7 分)



$$I) \quad 5.0 \text{ g} = [n_1(X) + n_2(X)] \cdot M(X)$$

$$II) \quad 5.628 \text{ g} = n_1(XH_4) \cdot [M(X) + 4 \cdot 1.01 \text{ g mol}^{-1}] + n_2(X_2H_6) \cdot [2M(X) + 6 \cdot 1.01 \text{ g mol}^{-1}]$$

$$III) \quad n_1(XH_4) = 2n_2(X_2H_6) \quad (2)$$

$$III, I) \rightarrow I') \quad 2n_1(X) \cdot M(X) = 5.0 \text{ g}$$

$$III, II) \rightarrow II') \quad n_1(X) \cdot [2M(X) + 7.07 \text{ g mol}^{-1}] = 5.628 \text{ g}$$

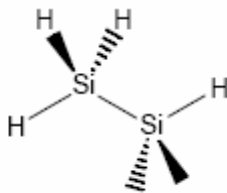
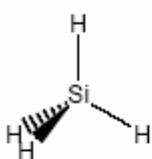
$$I', II') \rightarrow VI) \quad (5.0 \text{ g}) \cdot [2M(X)]^{-1} = (5.628 \text{ g}) \cdot [2M(X) + 7.07 \text{ g mol}^{-1}]^{-1} \quad (1)$$

$$M(X) = 3.535 \text{ g mol}^{-1} \cdot (5.628 \text{ g})^{-1} \cdot [(5.0 \text{ g})^{-1} \cdot (5.628 \text{ g})^{-1}]^{-1}$$

$$M(X) = 28.14 \text{ g mol}^{-1}$$

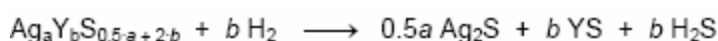
$$X \text{ 的原子量 } M(X) = 28.14 \text{ g mol}^{-1} \quad X \text{ 元素符號: Si} \quad (1)$$

兩產物的立體結構:



(1)

4.2 Y 的原子量與礦石的實驗式 (empirical formula of Argyrodite) (9 分)



$$\text{I)} \quad 10 \text{ g} = n(\text{Ag}_a\text{Y}_b\text{S}_{0.5a+2b}) \cdot [a \cdot 107.87 \text{ g mol}^{-1} + b \cdot M(\text{Y}) + (0.5 \cdot a + 2 \cdot b) \cdot 32.07 \text{ g mol}^{-1}] \quad (3)$$

$$\text{II)} \quad n(\text{H}_2) = \frac{p \cdot V(\text{H}_2)}{RT} \qquad n(\text{H}_2) = \frac{100 \text{ kPa} \cdot 0.295 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 400 \text{ K}}$$

$$n(\text{H}_2) = 8.871 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \qquad n(\text{Ag}_a\text{Y}_b\text{S}_{0.5a+2b}) = b^{-1} \cdot 8.871 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \quad (1)$$

$$\text{III)} \quad 11.88 = \frac{a \cdot 107.87 \text{ g mol}^{-1}}{b \cdot M(\text{Y})} \qquad a \cdot 107.87 \text{ g mol}^{-1} = 11.88 \cdot b \cdot M(\text{Y}) \quad (1)$$

$$\text{II, I)} \rightarrow \text{II')} \quad b \cdot 10 \text{ g} \cdot (8.871 \cdot 10^{-3} \text{ mol})^{-1} = a \cdot 107.87 \text{ g mol}^{-1} + b \cdot M(\text{Y}) + (0.5 \cdot a + 2 \cdot b) \cdot 32.07 \text{ g mol}^{-1}$$

$$b \cdot 1127 \text{ g mol}^{-1} = a \cdot 107.87 \text{ g mol}^{-1} + b \cdot M(\text{Y}) + (0.5 \cdot a + 2 \cdot b) \cdot 32.07 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{III, II')} \rightarrow \text{IV)} \quad b \cdot 1127 \text{ g mol}^{-1} = 11.88 \cdot b \cdot M(\text{Y}) + b \cdot M(\text{Y}) + (0.5 \cdot a + 2 \cdot b) \cdot 32.07 \text{ g mol}^{-1}$$

$$b \cdot 1127 \text{ g mol}^{-1} = 11.88 \cdot b \cdot M(\text{Y}) + b \cdot M(\text{Y}) + (0.5 \cdot \frac{11.88 \cdot b \cdot M(\text{Y})}{107.87 \text{ g mol}^{-1}} + 2 \cdot b) \cdot 32.07 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(\text{Y}) = 72.57 \text{ g mol}^{-1} \quad (2)$$

$$\text{Y的原子量} \quad M(\text{Y}) = 72.57 \text{ g mol}^{-1} \quad (1)$$

$$M(\text{Y}) = 72.57 \text{ g mol}^{-1} \rightarrow \text{III} \qquad a:b = 8:1 \quad (1)$$

Y元素符號：Ge 礦石的實驗式：Ag₈GeS₆

4.3 C-H 鍵的力常數 〈1分〉

$$k(\text{C-H}) = [2\pi \cdot c \cdot \tilde{\nu}(\text{C-H})]^2 \cdot \frac{1}{N_A} \cdot \frac{3M(\text{C}) \cdot M(\text{H})}{3M(\text{C}) + 4M(\text{H})}$$

$$= [2\pi \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3030 \text{ cm}^{-1}]^2 \cdot \frac{1}{6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot \frac{3 \cdot 12.01 \cdot 1.01}{3 \cdot 12.01 + 4 \cdot 1.01} \text{ g mol}^{-1}$$

$$k(\text{C-H}) = 491.94 \text{ N m}^{-1}$$

Z-H 鍵的力常數 〈1分〉

$$k(\text{Z-H}) = k(\text{C-H}) \cdot \frac{\Delta_b H(\text{Z-H})}{\Delta_b H(\text{C-H})}$$

$$= 491.94 \text{ N m}^{-1} \cdot 450.2 \text{ kJ mol}^{-1} \cdot [438.4 \text{ kJ mol}^{-1}]^{-1}$$

$$k(\text{Z-H}) = 505.18 \text{ N m}^{-1}$$

Z 的原子量、元素符號 〈2分〉

$$\frac{3M(\text{Z}) \cdot M(\text{H})}{3M(\text{Z}) + 4M(\text{H})} = \frac{k(\text{Z-H}) \cdot N_A}{[2\pi \cdot c \cdot \tilde{\nu}(\text{Z-H})]^2}$$

$$M(\text{Z}) = \frac{4}{3} \left(\frac{[2\pi \cdot c \cdot \tilde{\nu}(\text{Z-H})]^2}{k(\text{Z-H}) \cdot N_A} - \frac{1}{M(\text{H})} \right)^{-1}$$

$$M(\text{Z}) = \frac{4}{3} \left(\frac{[2\pi \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 2938.45]^2}{505180 \cdot 6.022 \cdot 10^{23}} - \frac{1}{1.01} \right)^{-1} \text{ g mol}^{-1}$$

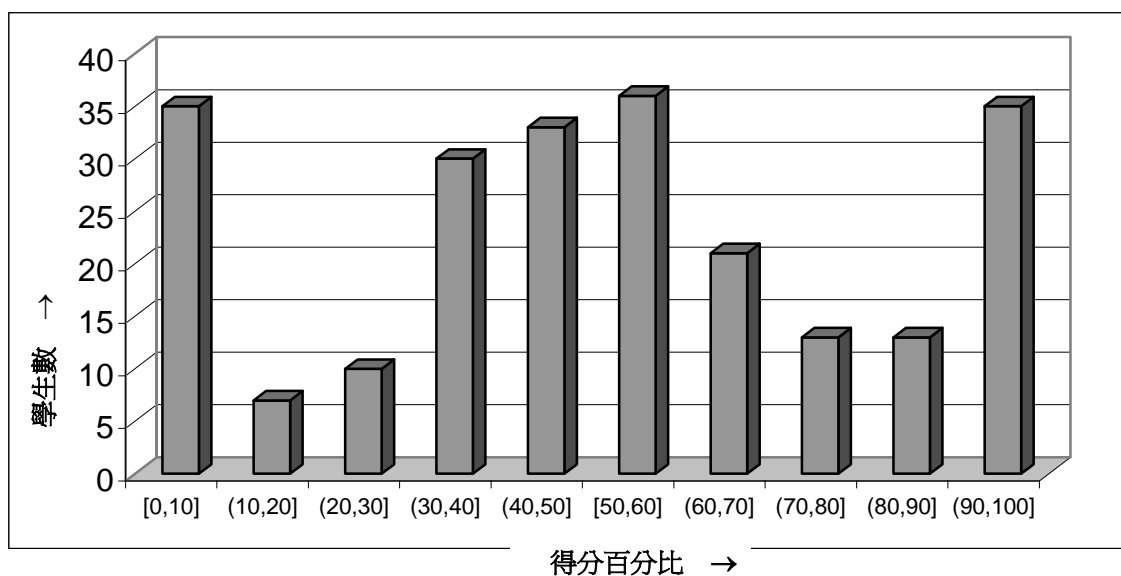
$$\text{Z的原子量} \quad M(\text{Z}) = 72.68 \text{ g mol}^{-1}$$

Z 元素符號：Ge

提示：即使學生以不同方式處理數值，而有±2 的差值，仍能得知 Z 為碳的類似物。

理論題號	4.1	4.2	4.3	總藍分
配分	7	9	4	20
學生 1	7	4	1.5	12.5
學生 2	6.5	1	0	7.5
學生 3	6.5	2	3.5	12
學生 4	6.5	9	3.5	19

本大題總藍分: 20 (100%), 平均得分: 10.4(51.8%), 成績分佈圖:



理論題 5：生化中的熱力學

5.1 反應式(1)的實際值 $\Delta G'$ (2分)

$$\Delta G' = \Delta G^{\circ'} + RT \ln \frac{c(\text{ADP}^{3-})/(1 \text{ molL}^{-1}) \cdot c(\text{HPO}_4^{2-})/(1 \text{ molL}^{-1})}{c(\text{ATP}^{4-})/(1 \text{ molL}^{-1})} \quad (0.5)$$

$$= -30500 \text{ J mol}^{-1} + 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 298.15 \text{ K} \cdot \ln (0.00025 \cdot 0.00165 / 0.00225) \quad (1)$$

$$= -30.5 \text{ kJ mol}^{-1} - 21.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= -51.8 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (0.5)$$

5.2 反應式(2)的平衡常數 K' ，[葡萄糖 6-磷酸]與[葡萄糖]的濃度比值 (3分)

$$\Delta G^{\circ'} = -RT \cdot \ln K' \quad (0.5)$$

$$K' = e^{-\Delta G^{\circ'}/RT} \quad (0.5)$$

$$= e^{-13800 \text{ J/mol} / (8.314 \text{ J/(mol K)} \cdot 298.15 \text{ K})}$$

$$= 0.0038 \quad (0.5)$$

$$K' = \frac{c(\text{glucose 6-phosphate})/(1 \text{ mol L}^{-1})}{c(\text{glucose})/(1 \text{ mol L}^{-1}) \cdot c(\text{HPO}_4^{2-})/(1 \text{ mol L}^{-1})} \quad (0.5)$$

$$\frac{(\text{glucose 6-phosphate})}{(\text{glucose})} = K' \cdot c(\text{HPO}_4^{2-}) \cdot (1 \text{ mol L}^{-1})^{-1} \quad (0.5)$$

$$= 0.0038 \cdot 0.00165$$

$$= 6.3 \cdot 10^{-6} \quad (0.5)$$

$$K' = 0.0038 \quad \frac{c(\text{glucose 6-phosphate})}{c(\text{glucose})} = 6.3 \cdot 10^{-6}$$

$$(\Sigma 1.5)$$

$$(\Sigma 1.5)$$

5.3 反應式(3)的 $\Delta G^{\circ'}$ 與 K' ，[葡萄糖 6-磷酸]與[葡萄糖]的濃度比值 〈4分〉

$$\Delta G^{\circ'}(3) = \Delta G^{\circ'}(1) + \Delta G^{\circ'}(2) \quad (0.5)$$

$$= -30.5 \text{ kJ mol}^{-1} + 13.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= -16.7 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (0.5)$$

$$\Delta G^{\circ'} = -RT \cdot \ln K' \quad (0.5)$$

$$K' = e^{-\Delta G^{\circ'}/RT}$$

$$= e^{16700 \text{ J/mol} / (8.314 \text{ J/(mol K)} \cdot 298.15 \text{ K})} \quad (0.5)$$

$$= 843 \quad (0.5)$$

$$K' = \frac{c(\text{glucose 6-phosphate}) \cdot c(\text{ADP}^{3-})}{c(\text{glucose}) \cdot c(\text{ATP}^{4-})} \quad (0.5)$$

$$\frac{c(\text{glucose 6-phosphate})}{c(\text{glucose})} = K' \cdot \frac{c(\text{ATP}^{4-})}{c(\text{ADP}^{3-})} \quad (0.5)$$

$$= 843 \cdot 2.25 \text{ mmol L}^{-1} / 0.25 \text{ mmol L}^{-1}$$

$$= 7587 \quad (0.5)$$

$$\Delta G^{\circ'} = -16.7 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (\Sigma 1) \quad K' = 843 \quad (\Sigma 1.5) \quad \frac{c(\text{glucose 6-phosphate})}{c(\text{glucose})} = 7587 \quad (\Sigma 1.5)$$

5.4a) 每天 ATP 的製造量 (Mass of ATP) 〈2分〉

$$\text{提供合成ATP的能量} : 8000 \text{ kJ day}^{-1} \cdot 0.5 = 4000 \text{ kJ day}^{-1} \quad (0.5)$$

$$\text{合成ATP的能量需求} : 52 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{ATP產量 (Amount of ATP)} : 4000 \text{ kJ day}^{-1} / 52 \text{ kJ mol}^{-1} = 76.9 \text{ mol day}^{-1} \quad (0.5)$$

$$\text{ATP的製造量 (Mass of ATP)} : 76.9 \text{ mol day}^{-1} \cdot 503 \text{ g mol}^{-1} = 38700 \text{ g day}^{-1} = 38.7 \text{ kg day}^{-1} \quad (1)$$

$$m_{\text{day}^{-1}} = 38.7 \text{ kg day}^{-1}$$

5.4b) 人體 ATP 的重量 (Mass of ATP) 〈1 分〉

$$\text{平均水解速率: } 1 \text{ day} = 1440 \text{ min} \quad 1 \text{ min} = 1440^{-1} \text{ day} \quad (0.5)$$

$$\text{人體ATP的重量: } 38.7 \text{ kg day}^{-1} / (1440^{-1} \text{ day}) \cdot 1 \text{ min} = 26.9 \text{ g} \quad (0.5)$$

$$m_{\text{body}} = 26.9 \text{ g}$$

5.4c) 其餘自由能的去處為何? 擇一正確答案: 〈2 分〉

用於降低體內的亂度 (entropy)

以水的 O-H 鍵與二氧化碳的 C=O 鍵形式釋出人體

催化製造 ATP 的酵素再生

維持體熱

5.5a) pH = 7 下, 直徑 1 μm 的球狀粒線體的質子含量? 〈2 分〉

$$\begin{aligned} V &= 4/3 \pi r^3 \\ &= 4/3 \pi (0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m})^3 \\ &= 5.2 \cdot 10^{-19} \text{ m}^3 = 5.2 \cdot 10^{-16} \text{ L} \end{aligned} \quad (0.5)$$

$$c = 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5)$$

$$n = V \cdot c \cdot N_A \quad (0.5)$$

$$= 5.2 \cdot 10^{-16} \text{ L} \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 31 \quad (0.5)$$

$$n = 31$$

5.5b) 須多少質子進入單一粒線體? 〈2 分〉

ATP 分子數目:

$$n(\text{ATP}) = \frac{m(\text{ATP}) \cdot N_A}{M(\text{ATP})} = \frac{0.2 \cdot 10^{-15} \text{ g} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{503 \text{ g mol}^{-1}} = 239400 \quad (1)$$

每一細胞的 H^+ 數目:

$$n(\text{H}^+_{\text{per cell}}) = n(\text{ATP}) \cdot 3 = 718300 \quad (0.5)$$

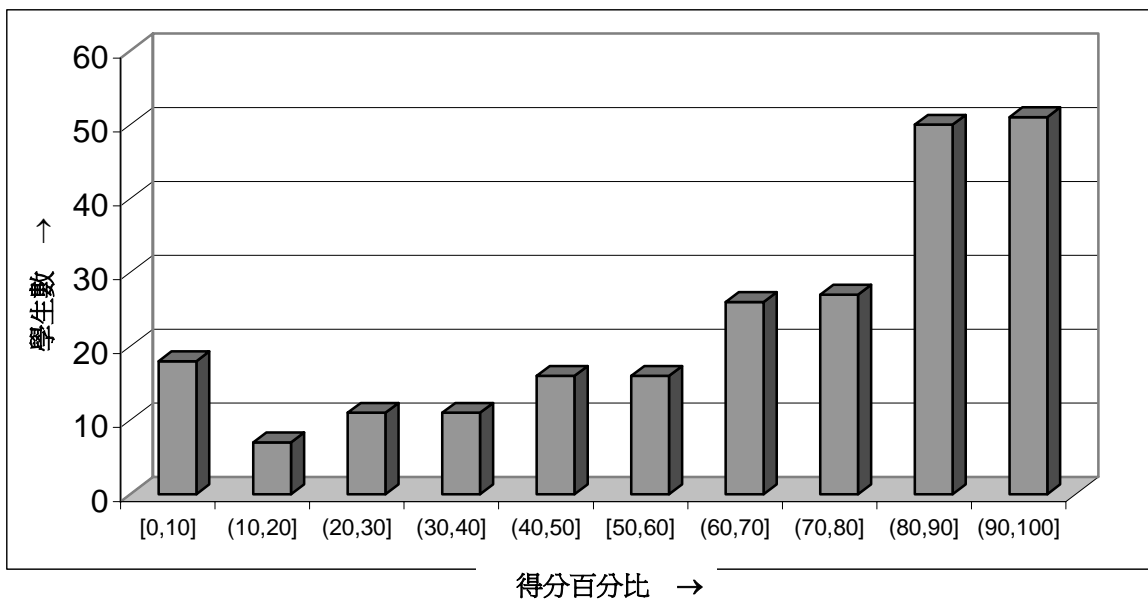
每一粒線體的 H^+ 數目:

$$n(\text{H}^+_{\text{mit}}) = n(\text{H}^+_{\text{per cell}}) / 1000 = 718 \quad (0.5)$$

$$n(\text{H}^+_{\text{mit}}) = 718$$

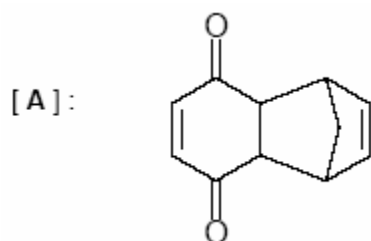
理論題號	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	總藍分
配分	2	3	4	5	4	18
學生 1	2	3	4	5	3	17
學生 2	2	3	4	5	4	18
學生 3	2	3	4	4	4	17
學生 4	2	3	4	4	2.5	15.5

本大題總藍分: 18 (100%), 平均得分: 11.8(65.7%), 成績分佈圖:

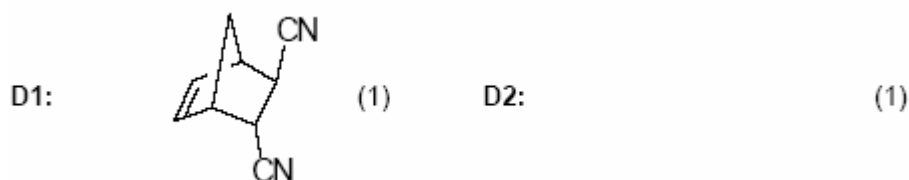


理論題 6：狄爾士-阿爾德反應 (Diels-Alder Reactions)

6.1 A 結構 (2分)



6.2 D1 與 D2 結構 (2分)



或者，以下結構亦正確：



提示：兩化合物為對掌體 (enantiomers)

6.3 B 之正確結構 (六擇一) (4分)

1 3 4 5 6

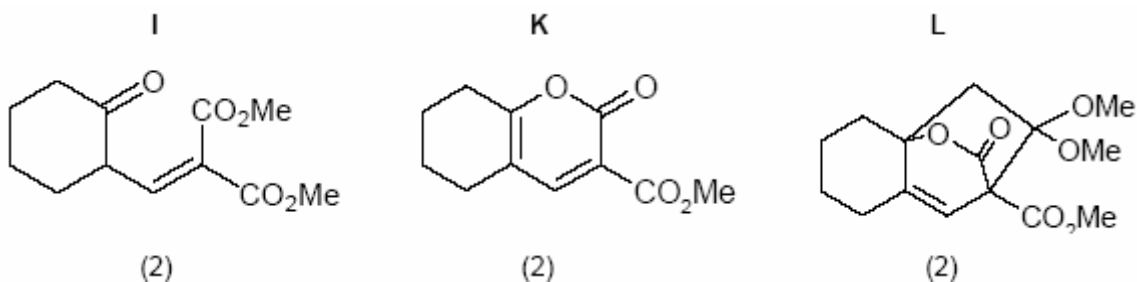
提示：狄爾士-阿爾德反應所得之產物具endo-stereochemistry性質。優勢 configuration 為題目 6.2 之結構 C。結構 C 的特點為兩氫原子與雙環系統之 CH₂-橋 (CH₂-bridge) 位於環的同一邊。六個立體異構物只有結構 1 與 2 具endo, endo stereochemistry性質。其他異構物至少有一-exo

configuration。結構 1 之三環所形成之U形(U shaped)結構，相對於結構 2 之Z形(zig-zag)結構，立體障礙較大。

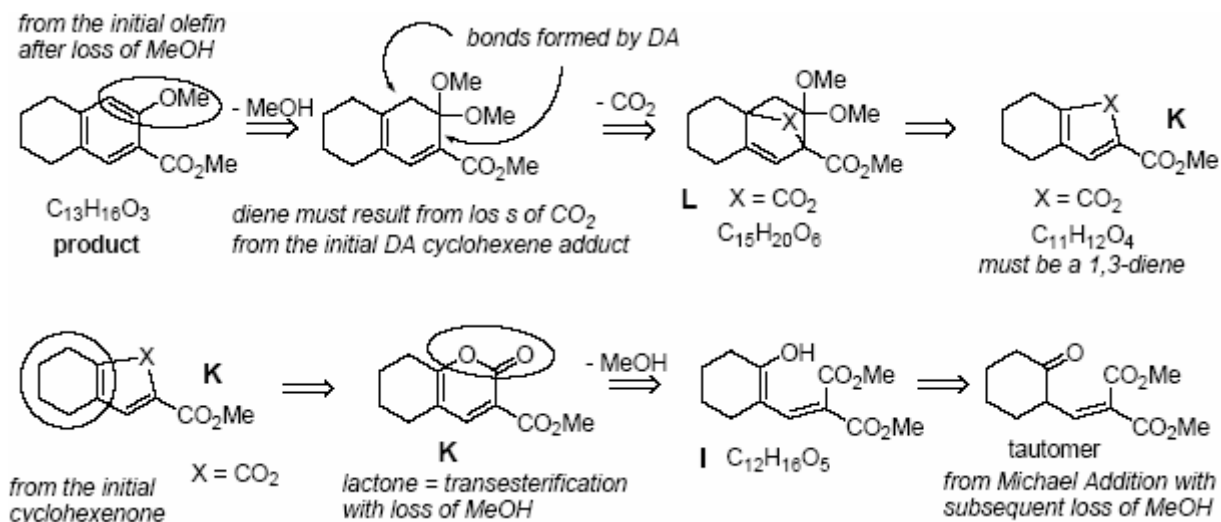
6.4 回答有關狄爾斯-阿爾德反應的問題 (6分)

	是	否	無法判定
狄爾斯-阿爾德反應為可逆反應	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
原先反應中， B 的形成為熱力學控制 (thermodynamically controlled)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
熱力學上，B 較 E 穩定	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
熱力學上，E 較 F 不穩定	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G 為 B 的對掌體 (enantiomer)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
熱力學上，G 較 F 穩定	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

6.5 I、K、L 的結構 (6分)

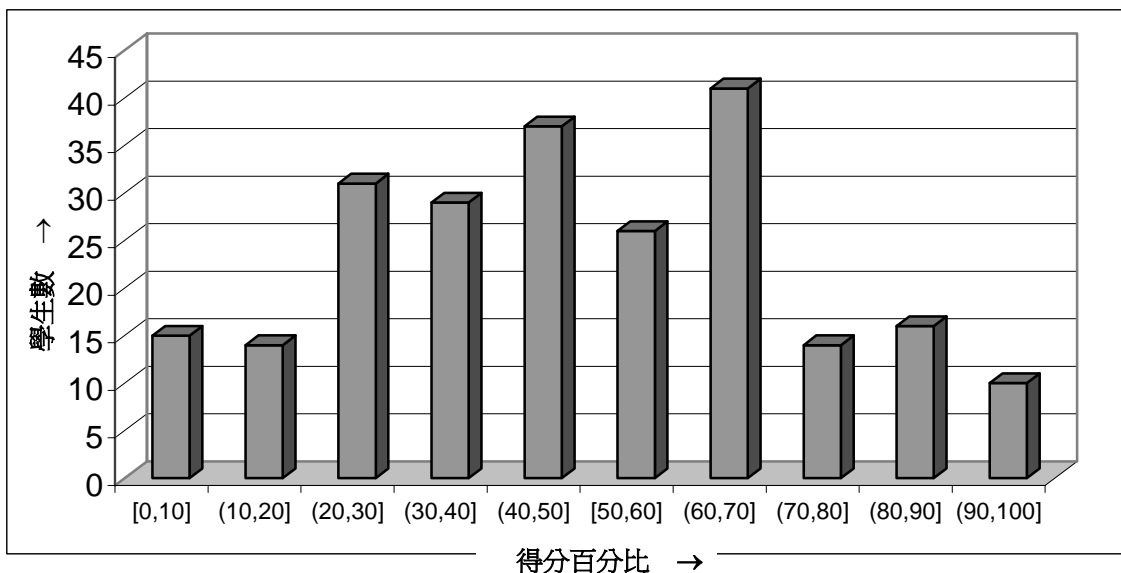


提示：



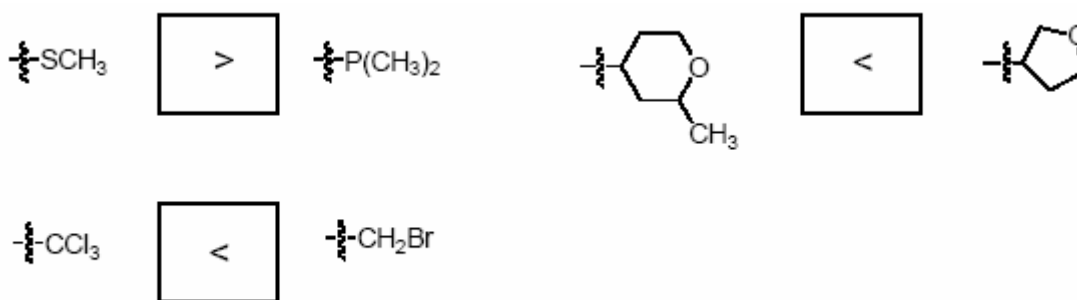
理論題號	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	總藍分
配分	2	2	4	6	6	20
學生 1	2	2	4	4	2	14
學生 2	2	2	4	5	0	13
學生 3	2	2	0	4	2	10
學生 4	2	2	4	5	6	19

本大題總藍分: 20(100%)，平均得分: 10.1(50.4%)，成績分佈圖：



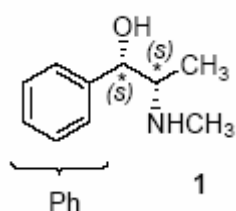
理論題 7：藥物立體化學

7.1 標示 < 或 > (A < B 意即優先順序為 A 低於 B) (3 分)



1 point each

7.2 (4 分)

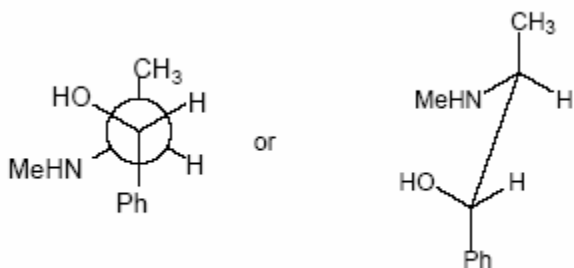


* : 0.25 points each
S: 0.75 points each
Σ: 2 points

highest priority		lowest priority		
OH	CH(NHCH ₃)CH ₃	Ph	H	(1)
NHCH ₃	CH(OH)Ph	CH ₃	H	(1)

〈扣分：每標錯一立體中心，扣 0.5 分〉

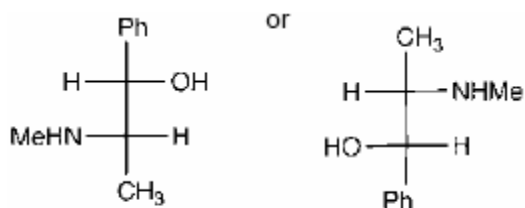
7.3 化合物 1 的紐曼 (Newman) 或透視 (Sawhorse) 表示法 (1 分)



(Me = CH₃)

答對一立體中心，得 0.5 分

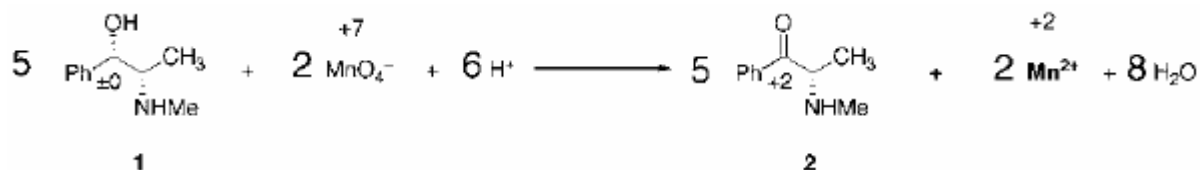
化合物 1 的費雪 (Fisher) 表示法 (2 分)



(Me = CH₃)

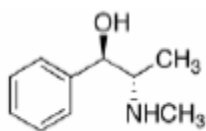
答對一立體中心，得 1 分。任一表示法，只要正確指出立體中心，即可得分。

7.4 標示一平衡反應式之氧化數與化合物 2 的立體結構 (4 分)



化合物 2 的立體結構配 1 分，平衡式配 1 分，氧化數配 2 分 (每一氧化數配 0.5 分)

7.5a) 化合物 3 的立體結構 (2 分)



正確化學式得 1 分，正確立體結構得 2 分。

7.5b) 有關異構物的敘述：

1 和 3 為立體 (stereo) 異構物

是

否

(2 分)

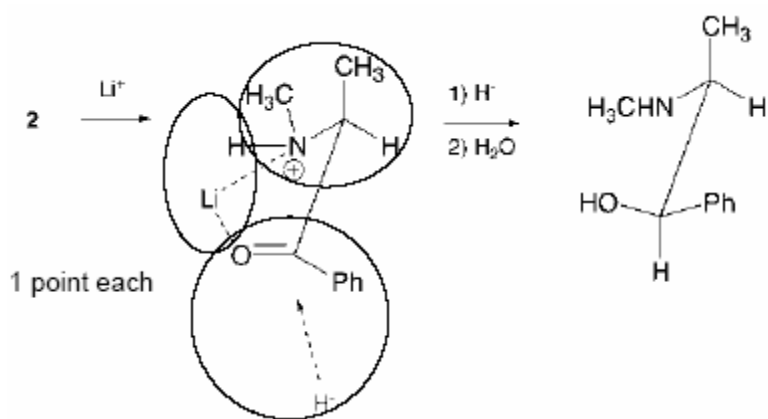
1 和 3 為對掌體 (enantiomers)

1 和 3 為非鏡像異構物 (diastereomers)

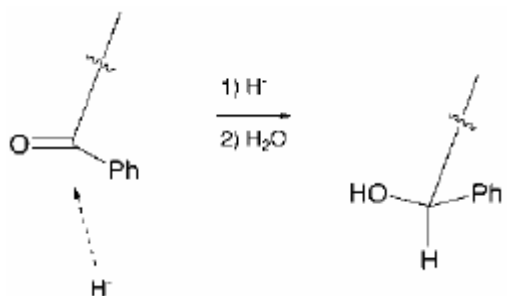
1 和 3 為構形 (conformational) 異構物

每一小題 0.5 分

7.5c) 以一結構模型來合理解釋 3 只由 2 形成 (3 分)

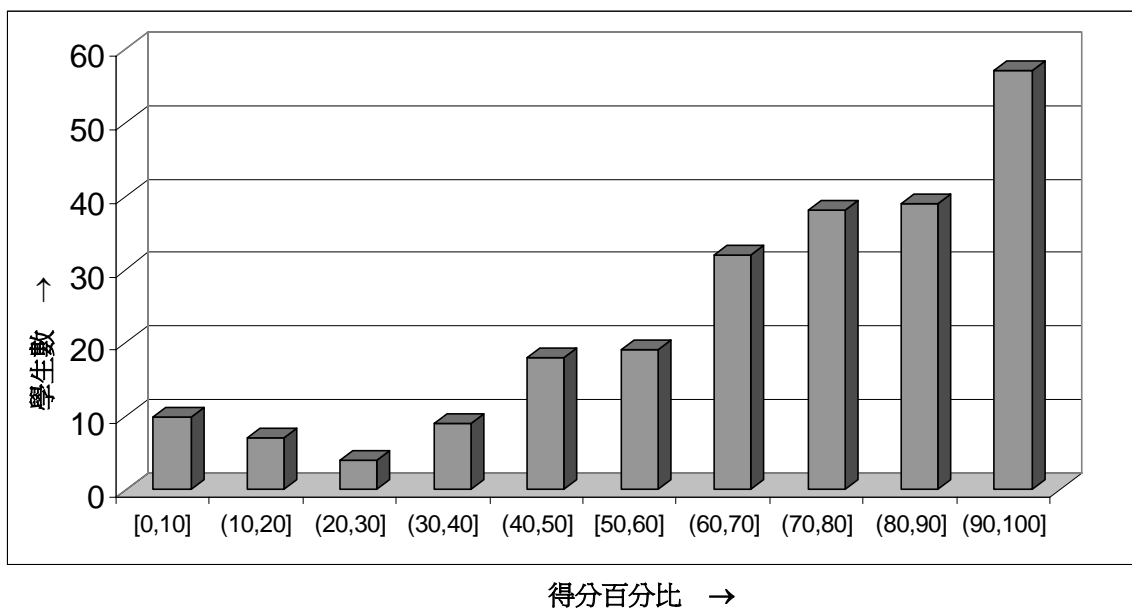


提示：反應均自立體阻礙最少的位置進行攻擊。以氫鍵形成來合理解釋反應亦可給予滿分。
能清楚顯示 hydride 由正確方位攻擊 carbonyl group，如



理論題號	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	總藍分
配分	3	4	3	4	7	21
學生 1	3	2.2	3	3	5.5	16.7
學生 2	3	4	3	4	6.5	20.5
學生 3	3	4	3	4	5.5	19.5
學生 4	3	4	3	3.5	7	20.5

本大題總藍分: 21 (100%), 平均得分: 14.6(69.4%), 成績分佈圖:



理論題 8：膠體

8.1 B 溶液的 pH 值：〈3 分〉

$$K_{b2} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)/(1 \text{ mol L}^{-1}) \cdot c(\text{OH}^-)/(1 \text{ mol L}^{-1})}{c(\text{CO}_3^{2-})/(1 \text{ mol L}^{-1})} \quad (1) \quad K_{b2} = \frac{10^{-14}}{10^{-10.33}}$$

$$K_{b2} = 2.14 \cdot 10^{-4} \quad K_{b1} = 2.34 \cdot 10^{-8}$$

由於 $K_{b2} \gg K_{b1}$ ，故只須考慮 CO_3^{2-} 質子化。

$$\begin{aligned} c(\text{HCO}_3^-) = c(\text{OH}^-) = x & \quad \text{and} & \quad c(\text{CO}_3^{2-}) = c_0(\text{CO}_3^{2-}) - x \\ c_0(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{1.700 \text{ g L}^{-1}}{105.99 \text{ g mol}^{-1}} & & \quad c_0(\text{Na}_2\text{CO}_3) = c_0(\text{CO}_3^{2-}) = 0.016 \text{ mol L}^{-1} \end{aligned} \quad (0.5)$$

$$K_{b2} = \frac{x^2/(1 \text{ mol L}^{-1})}{(c_0(\text{CO}_3^{2-}) - x)} \quad (1) \quad x = c(\text{OH}^-) = 1.75 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

〈解方程式：0.5 分〉

pH 值為 11.2

8.2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ， CaCO_3 能否沉澱？〈6 分〉

$$M(\text{CaCl}_2) = 110.98 \text{ g mol}^{-1} \quad \text{pH} = 10, c(\text{OH}^-) = 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5)$$

$$c_0(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{1.700 \text{ g L}^{-1}}{105.99 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} \quad c(\text{CaCl}_2) = \frac{1.780 \text{ g L}^{-1}}{110.98 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2}$$

$$c_0(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 8.0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5) \quad c(\text{CaCl}_2) = c_0(\text{Ca}^{2+}) = 8.0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5)$$

計算 $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$c(\text{OH}^-)^2 \cdot c_0(\text{Ca}^{2+}) = 8 \cdot 10^{-11} \text{ mol}^3 \text{ L}^{-3} < 6.46 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^3 \text{ L}^{-3} = K_{sp}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \quad (1) \quad (0.5)$$

無沉澱

計算 CaCO_3

〈視為質子化：1 分〉

$$\begin{aligned} K_{b2} = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{CO}_3^{2-})}, & \quad c(\text{HCO}_3^-) = \frac{K_{b2}}{c(\text{OH}^-)} \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) \\ c(\text{HCO}_3^-) = 2.14 \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) & \quad \text{and} & \quad c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-}) = c_0(\text{Na}_2\text{CO}_3) \\ 2.14 \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{CO}_3^{2-}) = 8.0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} & & \quad (1) \end{aligned}$$

溶液 C 之 CO_3^{2-} 起始濃度：

$$c(\text{CO}_3^{2-}) = 2.55 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5)$$

溶液 C 之 Ca^{2+} 起始濃度：

$$c(\text{Ca}^{2+}) = 8.0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

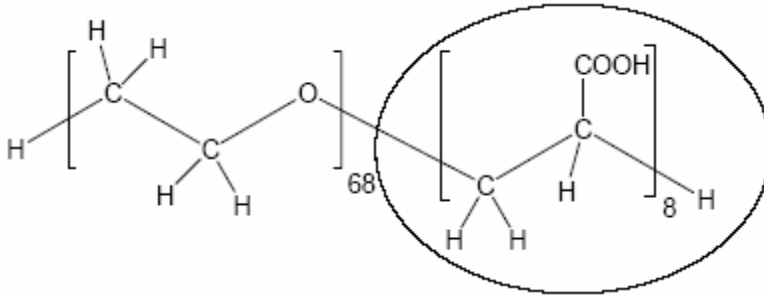
故

$$c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{Ca}^{2+}) = 2.04 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2} > 3.31 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2} = K_{sp}(\text{CaCO}_3) \quad (0.5)$$

沉澱

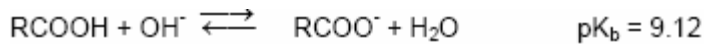
- Ca(OH)₂ 將出現於沉澱物中 是 否
- CaCO₃ 將出現於沉澱物中 是 否

8.3 圈出與CaCO₃晶體表面接觸之片段 (1分)



提示：聚合物之兩片段均為親水性。由於壓克力酸 (acrylic acid) 片段較具極性與帶多餘電荷，故易與晶體結合。聚合物將接合至離子晶體表面多餘的 Ca 離子上。

8.4 聚合物的起始量為 2 g，將有多少聚合物可發現於混成顆粒中？ (7分)



pH 與 pKa 能導出溶液之 COOH group 總濃度 (1分)

$$c(\text{COO}^-) = x \quad c(\text{COOH}) = c_0(\text{COOH}) - x \quad x = c_0(\text{OH}^-) - c(\text{OH}^-) \quad (1)$$

$$c_0(\text{OH}^-) = \frac{50 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \cdot 0.19 \text{ mol L}^{-1} \quad c_0(\text{OH}^-) = 0.038 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c(\text{OH}^-) = 10^{-1.7} \text{ mol L}^{-1} = 0.02 \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5) \quad x = 0.018 \text{ mol L}^{-1} \quad (0.5)$$

$$K_b = \frac{(c_0(\text{COOH}) - x) / (1 \text{ mol L}^{-1}) \cdot c(\text{OH}^-) / (1 \text{ mol L}^{-1})}{x / (1 \text{ mol L}^{-1})}$$

$$c_0(\text{COOH}) = \frac{K_b x \cdot (1 \text{ mol L}^{-1})}{c(\text{OH}^-)} + x \quad (1) \quad c_0(\text{COOH}) = \left(\frac{0.018 \cdot 10^{-9.12}}{0.02} + 0.018 \right) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c_0(\text{COOH}) = 0.018 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(Or as pH >> pK_a: $c_0(\text{COOH}) = c(\text{COOH}) + x \approx x$)

(由 c₀(COOH) 計算聚合物重量：0.5分)

聚合物的總濃度

$$c(\text{polymer}) = \frac{c_0(\text{COOH})}{8} \quad (0.5)$$

$$M(\text{polymer}) = M(\text{C}_{160}\text{O}_{84}\text{H}_{308}) = 3574.66 \text{ g mol}^{-1} \quad (0.5) \quad (0.5)$$

$$m(\text{polymer}) = c(\text{polymer}) \cdot V \cdot M(\text{polymer}) \quad (0.5)$$

$$m(\text{polymer}) = \frac{c_0(\text{COOH}) \cdot V \cdot M(\text{polymer})}{8} = \frac{0.018 \cdot 0.250 \cdot 3574.66}{8} \text{ g} = 2.0 \text{ g} \quad (0.5)$$

8.5 CaCO₃的晶型 (modification) : < 5 分 >

顆粒的荷電量取決於每顆粒有多少質子化的 COOH group

$$c(\text{COO}^-) \approx c_0(\text{COOH}), \alpha \approx 1$$

每顆粒所含 COOH group 的數目

$$N_{\text{COOH}} = \frac{|Z|}{\alpha} \quad N_{\text{COOH}} = 800 \quad (1)$$

每顆粒所含聚合物的數目

$$N_{\text{polymer}} = \frac{N_{\text{COOH}}}{8} = 100 \quad (1)$$

若顆粒所含之聚合物數目即為每顆粒所含之聚合物質量，則可計算出CaCO₃顆粒的質量：

$$M(\text{CaCO}_3 \text{ particle}) = M(\text{total particle}) - N_{\text{polymer}} \cdot M(\text{polymer}) \quad (1)$$

$$M(\text{CaCO}_3 \text{ particle}) = 8.01 \cdot 10^8 \text{ g mol}^{-1} - 100 \cdot 3574.66 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(\text{CaCO}_3 \text{ particle}) = 8.01 \cdot 10^8 \text{ g mol}^{-1}$$

每一CaCO₃顆粒的質量：

$$m(\text{CaCO}_3 \text{ particle}) = M(\text{CaCO}_3 \text{ particle}) \cdot N_A^{-1} \quad (0.5)$$

已知球狀顆粒的體積

$$(V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3)$$

即可計算出密度：

$$\rho(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3 \text{ particle})}{V(\text{CaCO}_3 \text{ particle})} = \frac{3 \cdot m(\text{CaCO}_3 \text{ particle})}{4\pi \cdot r^3} \quad (1)$$

$$= \frac{3(M(\text{total particle}) - N_{\text{polymer}} \cdot M(\text{polymer}))}{N_A \cdot 4\pi \cdot r^3}$$

$$= \frac{3 \cdot 8.01 \cdot 10^8 \text{ g mol}^{-1}}{N_A \cdot 4\pi (5 \cdot 10^{-8} \text{ cm})^3} = 2.54 \text{ g cm}^{-3} \quad (0.5)$$

CaCO₃晶型 (modification) 為 Calcite Vaterite Aragonite

理論題號	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	總藍分
配分	3	6	1	7	5	22
學生 1	3	5.5	1	5	5	19.5
學生 2	3	2	1	0	0	6
學生 3	3	6	1	0	0	10
學生 4	3	5.5	0.5	0	5	14

本大題總藍分: 22 (100%), 平均得分: 7.8(39.2%), 成績分佈圖:

