

## 第二章 研究方法

本研究之主要研究方法有岩相學、X 光螢光分析法、實驗岩石學和電子微探針分析，分述如下：

### 2-1 岩相學研究：

首先用肉眼觀察岩石標本之顏色以及組成礦物之種類、顆粒大小與分佈。接著，取一小塊岩石樣本製成岩石薄片，並以顯微鏡對岩石組織及礦物組成做觀察及鑑定。所使用的偏光顯微鏡是由德國蔡司（Zeiss）公司所生產的透射、反射兩用偏光顯微鏡，型號為 Axioplan 7082。實驗後的樣本光片亦是利用此顯微鏡進行初步的觀察及鑑定。

### 2-2 實驗樣本的製備

首先將岩石樣本受換質部分切除不用，再將樣本敲碎後置入球磨機進行初步研磨，之後將岩石粉末取出，並用瑪瑙研鉢以手工繼續磨至約 200 篩目（Mesh）以下。將磨好之岩石粉末放入乾燥箱中備用。

### 2-3 燒失量（L. O. I., Loss on ignition）的測定

1. 取一陶瓷坩鍋，將其洗淨後放進 110°C 之烤箱內，烘烤 24 小時以去除水份，接著將其放入乾燥箱中冷卻約 30 分鐘之後，精秤坩鍋重量（A）至小數點以下第三位。
2. 精秤岩石粉末 2.000 克，將其倒入秤過的坩鍋中，精秤總重（B）至小數點以下第三位，並使  $B = A + 2.000 \pm 0.002$  克。

- 3.將步驟 2.之坩鍋及石粉放入 900°C 的烤箱中烘烤 1 小時，以去除岩石粉末的吸附水及結晶水，接著將其取出放入乾燥箱冷卻 30 分鐘，再精秤其重量 (C) 至小數點以下第三位。
- 4.計算燒失量：燒失量 (L. O. I.) =  $[(B-C)/2.000] \times 100\%$

#### 2-4 X 光螢光分析

本分析使用台大地質系李寄嶼技正之 Rigaku RIX-2000 X 光螢光分析儀，針對十個主要元素 (Si, Ti, Al, Mn, Fe, Mg, Ca, Na, K 及 P) 進行分析，分析精確度為±5%，其樣本製備流程條列如下(李寄嶼等，1997)：

- 1.首先將岩石粉末及助熔劑 (無水四硼酸鋰，anhydrous  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) 置於 110°C 之烤箱中烘乾 24 小時，以去除粉末上之吸附水。取出後，置入乾燥箱中冷卻，直至與實驗室的溫度 (溫度 27-29°C，濕度 40-50%) 同，方可使用。
- 2.秤量岩石粉末  $0.4000 \pm 0.0001\text{g}$  與助熔劑  $4.0000 \pm 0.0005\text{g}$ ，將二者均勻混合後，置入白金坩堝中。
- 3.將 2 之含試料白金坩鍋放入全自動高週波玻璃餅製備機中，製成玻璃餅。
- 4 以 X 光螢光分析儀分析玻璃餅試樣。

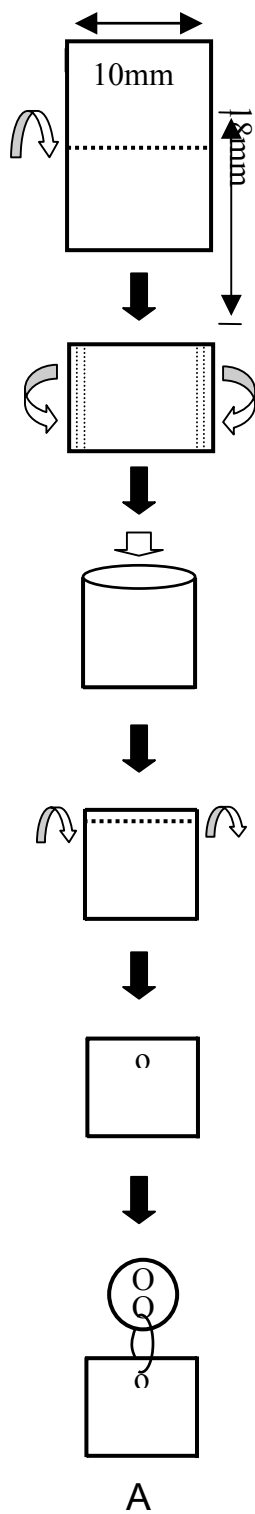
#### 2-5 實驗岩石學研究：

本實驗的樣本為關西-竹東地區玄武岩，實驗時所選取的壓力分別為一大氣壓及 1.0 京帕，溫度範圍包含玄武岩的整個熔融區間。以下分別是一大氣壓及高壓下之實驗方法及過程：

#### 2-5-1 一大氣壓下之實驗：

一大氣壓下的高溫實驗是將研磨好之岩石粉末，放置到高溫爐中進行反應，待樣品在所設定的目標溫度反應完成後，加以驟冷，將在此溫度下的礦物相保留下來。而產生礦物結晶後的殘餘岩漿，則經驟冷形成玻璃質。以下為一大氣壓下高溫實驗的程序：

1. 裁剪一大約 10mm×18mm 的白金箔，並將其折成袋狀。將製備好的岩石粉末填充到袋中，製成白金囊包（圖 2-1A）。
2. 將製作好的白金囊包以細白金絲懸掛於穿有兩條粗白金絲之氧化鋁管的下方（圖 2-1B）。
3. 將高溫爐升溫至實驗所需溫度，待高溫爐顯示溫度穩定後，以熱電偶測量溫度，所得即為實驗前實測溫度，並紀錄高溫爐顯示溫度及實測溫度。
4. 將白金囊包放入高溫爐中進行反應。
5. 待反應達所需的實驗時間後，利用釋電器放電將細白金絲熔斷，使白金囊包直接落入水中驟冷，讓反應後的相透過此步驟保留下來（圖 2-2）。



1. 將白金箔裁剪成如圖尺寸，並沿著虛線對折。
2. 左右兩側各向內折約 0.5mm 兩次，製成上側開口的袋狀。
3. 將岩石粉末填入白金袋，至約七分滿。
4. 將白金袋開口壓扁，並內折約 0.5mm 封口，製成囊包。
5. 利用圖釘於封口側刺一小洞。
6. 以細白金絲將白金囊包與兩孔氧化鋁片組合。

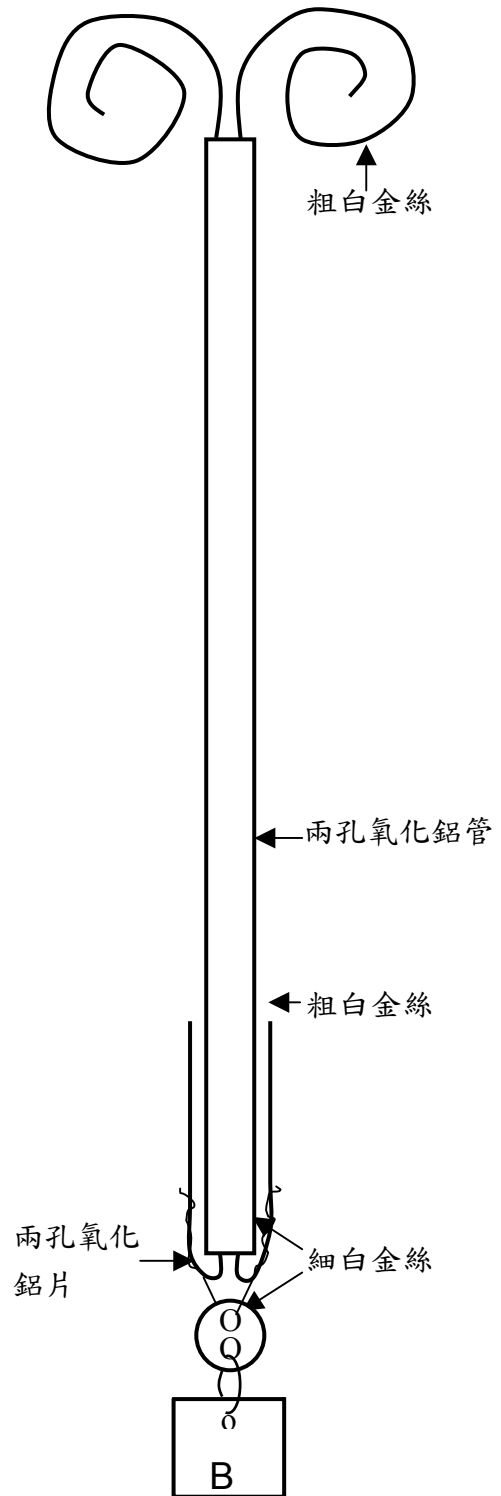


圖 2-1 A. 白金囊包的製作流程；B. 白金囊包的懸掛方式。

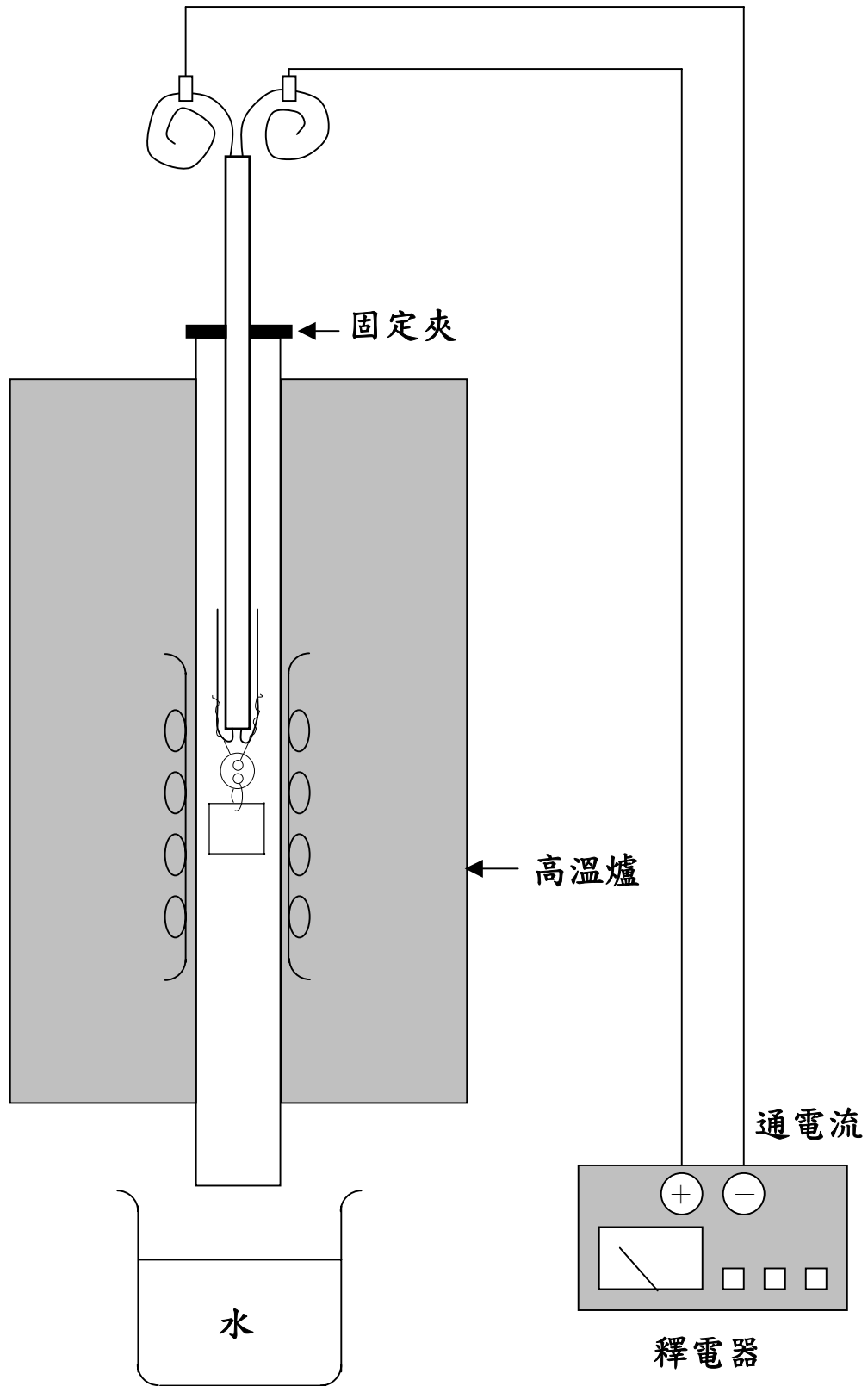


圖 2-2 一大氣壓實驗及驟冷裝置示意圖。

6. 將高溫爐中的氧化鋁管移除，再以熱電偶測量爐中溫度，所得為實驗後實測溫度。將實驗前、後所得之實測溫度平均，即為實驗溫度。
7. 將反應後的白金囊包灌膠，並將其拋光製成光片。
8. 先利用反射式顯微鏡，對拋光後的樣本進行礦物相的初步鑑定，再利用電子微探儀進行各個礦物相及玻璃相的成分分析。

本實驗所使用的高溫爐是由美國 Thermolyne 公司所製造，最高工作溫度 1500°C，測量溫度則採用 R 型熱電偶，溫度誤差範圍為±1°C，校正工作如表 2-1。

#### 2-5-2 高溫高壓實驗

高溫高壓的實驗是將研磨好之岩石粉末，放置到活塞鋼圈高壓儀中進行反應，待樣品在所設定的目標壓力及溫度下反應完成之後，加以驟冷，以使在此壓力及溫度下的礦物相保留下來，而產生礦物結晶後的殘餘岩漿，則經驟冷形成玻璃。本實驗所選取的壓力為 1.0 京帕 (GPa)，實驗溫度範圍為 1080 至 1380°C，溫度間隔 20°C。以下為高溫高壓實驗的程序：

1. 將長約 8mm 的金鈹管 ( $\text{Au}_{75}\text{Pd}_{25}$ ) (Ford, 1978; Kawamoto and Hirose, 1994) 用槌子及金屬棒將一端封口後，將岩石粉末填

表 2-1 校正 1500°C 高溫爐透輝石反應紀錄表。

編號	設定溫度 (°C)	實測溫度 (°C)	反應時間 (hr : min)	結果
8/11	1420	1441	2 : 00	Gl
8/9	1410	1431	2 : 00	Gl
8/8	1400	1419	2 : 00	Gl
8/7	1390	1417	2 : 00	Gl
9/4	1390	1418	2:00	Gl
8/28	1389	1415	1:00	Gl
8/22	1387	1412	2 : 00	Di+Gl
8/22	1383	1408	2 : 00	Di+Gl
8/21	1379	1408	2 : 00	Di+Gl
8/16	1375	1396	2 : 00	Di
8/15	1369	1390	2 : 00	Di
液相溫度為 1413.5°C， 透輝石標準液相溫度為 1394.3°C 溫度為實測溫度減去 19°C			Di : Dioside ; Gl : Glass	

入至七分滿，再將管子開口端用相同方法封閉製成管囊。

2. 將一條  $W_5Re_{95}$  熱電偶線及一條  $W_{26}Re_{74}$  熱電偶線穿入一四孔

熱電偶管，將兩金屬線一端以電焊機焊接做成熱電偶。

3. 將各組件組裝成電爐組合，並將包含實驗樣本的管囊置入

(圖 2-3)。

4. 將組裝好的電爐組合放入壓力盤中，將壓力盤推入活塞鋼圈

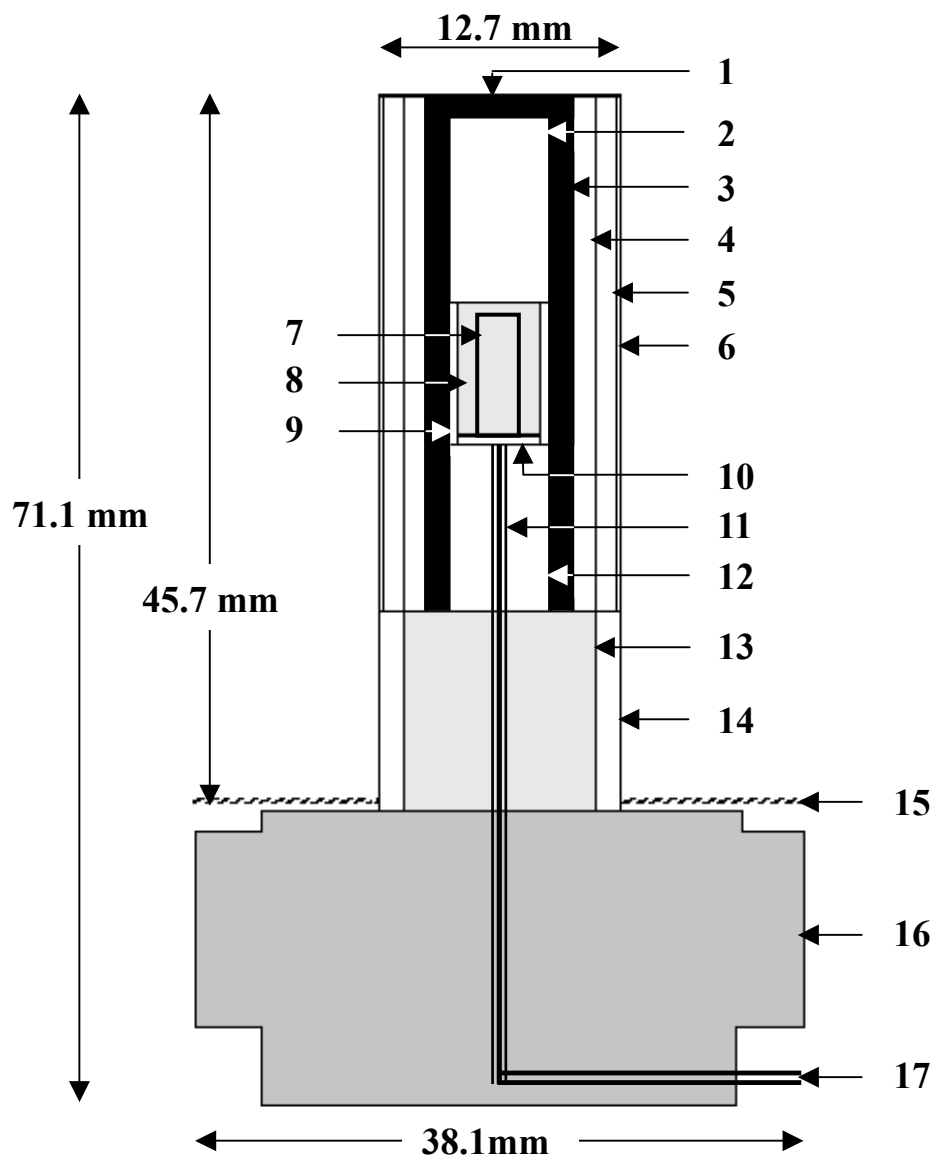
高壓儀中 (圖 2-4)。

5. 開始以油壓幫浦加壓至實驗壓力的 1.1 倍，設定實驗溫度。

6. 將測溫用熱電偶接好，開冷卻水開關後，開始升溫至實驗溫

度。

7. 待高壓儀顯示的溫度穩定之後，將壓力調整至所需的實驗壓



- |  |   |                                   |
|--|---|-----------------------------------|
| 1. 石墨蓋<br>(Graphite cap)               | 2. 玻璃柱<br>(Glass rod)                         | 3. 石墨管<br>(Graphite furnace)      |
| 4. Pyrex 玻璃套管<br>(Pyrex sleeve)        | 5. 鹽管<br>(Salt sleeve)                        | 6. 鉛箔<br>(Lead foil)              |
| 7. 金鈀管囊<br>(Au-Pd Capsule)             | 8. 氧化鎂粉<br>(Magnesia powder)                  | 9. 氧化鋁管<br>(Crushed alumina tube) |
| 10. 氧化鋁盤<br>(Wafer-thin alumina disc)  | 11. 兩孔熱電偶管<br>(2-hole crushable alumina tube) | 12. 氧化鎂柱<br>(Magnesia rod)        |
| 13. 底塞子<br>(Stainless steel base plug) | 14. 底塞子 Pyrex 玻璃環<br>(Pyrex collar)           | 15. 絕緣墊片<br>(Insulator)           |
| 16. 底塞子支撐<br>(Base plug support block) | 17. 熱電偶<br>(Thermocouple (C-type))            |                                   |

圖 2-3 高溫高壓實驗之電爐組合。

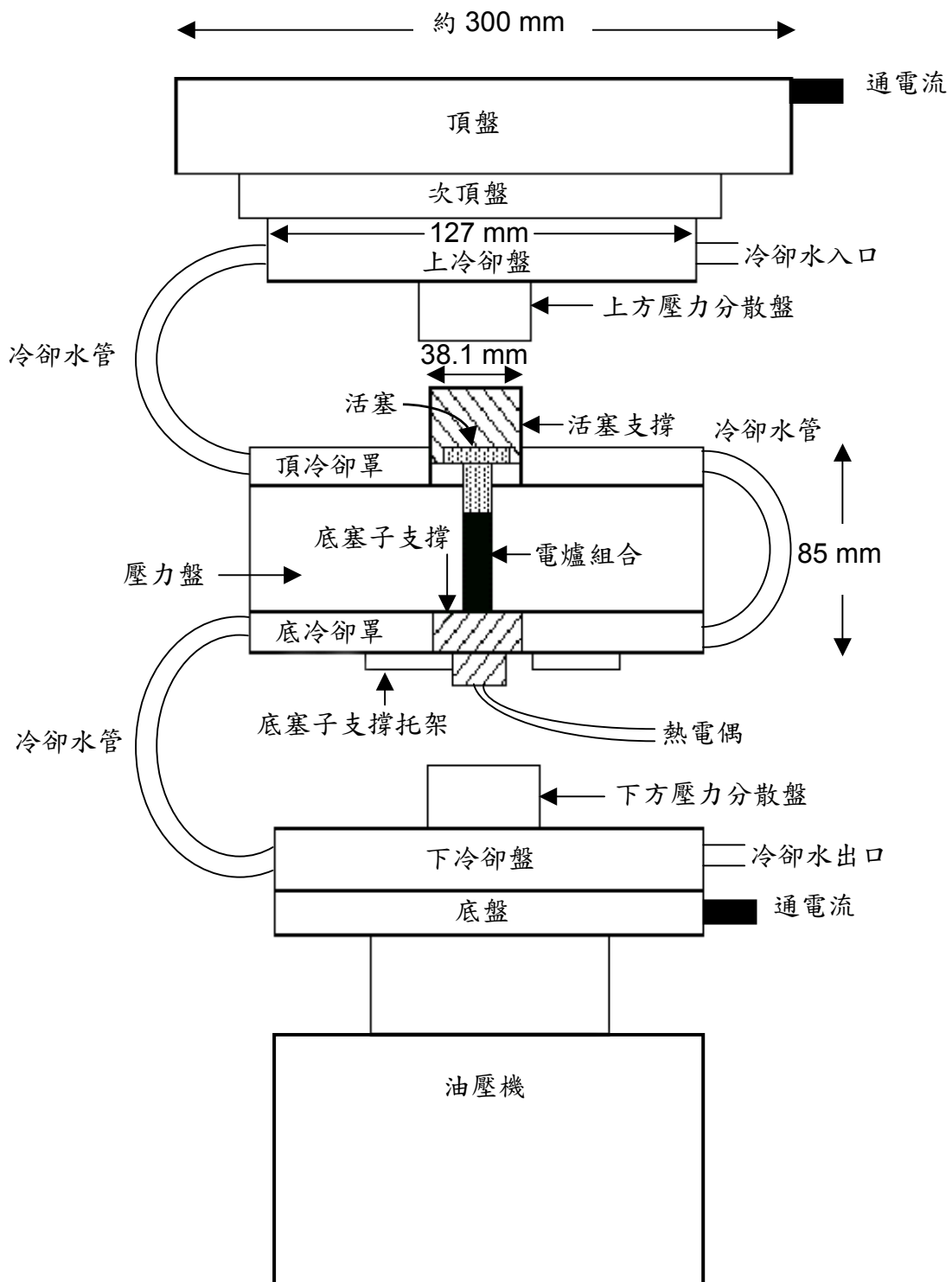


圖 2-4 高溫高壓實驗之實驗裝置。

力，並紀錄實驗開始的時間。

8.至所需的反應時間後，將電源關掉，熱電偶顯示在一分鐘之

內溫度在一千多度驟冷至 100°C 以下。

9.把反應後的金鈹管囊取出並灌膠，之後將其拋光製成光片。

10.先利用反射式顯微鏡，對拋光後的樣本進行礦物相的初步

鑑定，再利用電子微探儀進行各個礦物相及玻璃相的成分

分析。

本實驗所採用的活塞鋼圈高壓儀是由美國 Depths of the Earth 公司所製造，型號為 Quickpress 3.0，最高工作溫度為 2200 °C，最高工作壓力為 2.5 京帕（相當於地底下約 75 公里處的壓力）。實驗所需的高溫藉由電流通過石墨爐產生，而高壓儀配有微電腦控溫裝置，可使實驗溫度保持定值，實驗時以 C 型熱電偶（ $W_5Re_{95} - W_{26}Re_{74}$ ）進行溫度測量的工作，溫度之總誤差範圍估計約為  $\pm 10$  °C；實驗之壓力系統為油壓式，以手動油壓幫浦進行加壓的工作，壓力誤差範圍約  $\pm 0.05$  京帕，實際壓力與儀表顯示壓力之關係為：實際壓力 (kbar) = 儀表顯示壓力 (kbar)  $\times 1.005 - 0.564$  (Iizuka, 1999, 個人資料)。實驗時所需的冷卻系統為美國 Neslab 公司所製造的冷卻水循環機，型號為 CFT - 75。

## 2-6 電子微探針分析

本實驗岩石樣本、拋光的薄片與各實驗產物的光片，在鍍碳後皆利用電子微探針分析儀 (Electron Probe Micro-analyzer, EPMA)，進行各個礦物相及玻璃相的化學成分分析，其中包括  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\Sigma\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  及  $\text{NiO}$  等成分。每個元素所使用的標準樣本及其成分如表 2-2。

本研究是藉中央研究院地球科學所的電子微探針進行分析，其型號為 JEOL JXA-8900R，分析時使用之加速電壓為 15 千伏 (kV)，電流為 10 奈安培 (nA)，電子束的直徑約 1 微米 ( $\mu\text{m}$ )，每個元素的分析時間皆為 20 秒。

因為電子束的直徑約 1 微米，所以在分析點的選取上，為避免分析到其他的相，所以儘可能選取直徑大於 10 微米的礦物顆粒進行分析。而在分析玻璃相時，也避免在與礦物顆粒相近的地方選取分析點，儘量選取範圍大於 30 微米的區域進行分析。在分析結果上，則選取各礦物相氧化物重量百分比總合在 98 至 102 之間的數據，並檢驗其陽離子數是否符合各礦物相，之後再進行比較與討論。

在對已知化學成分的標準礦物進行分析時，各主要元素的已知含量與分析所得含量之相關係數如下： $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  及  $\Sigma\text{FeO}$  的相關係數皆大於 0.999； $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  及  $\text{K}_2\text{O}$  這些較易揮發者，相關係數則大於 0.995；當  $\text{SiO}_2$  含量在 30 wt.% 至 68 wt.% 時，相關係數可達 0.993，

所以其分析誤差較大，但所有的誤差值則皆小於 2%（誤差值：SiO<sub>2</sub> 約為 0.98%、TiO<sub>2</sub> 約為 1.65%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 約為 1.70%、FeO 約為 1.69%、MgO 約為 1.64%、CaO 約為 0.59%、Na<sub>2</sub>O 約為 3.50%、K<sub>2</sub>O 約為 1.83%）  
（Iizuka, 1999，個人資料）。

表 2-2 電子微探針分析所使用之標準樣本成分 (wt.%)。

standard	wollastonite*	rutile*	pyrope*	52NL11 <sup>1</sup>	fayalite*	Mn-olivine*	Ni-olivine*	albite**	adularia**
SiO <sub>2</sub>	<b>51.72</b>		44.70	0.22	29.47	29.75	28.67	68.24	64.39
TiO <sub>2</sub>		<b>99.98</b>		0.46					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			<b>25.29</b>	19.40				19.90	18.58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				<b>44.55</b>					
FeO				22.06	<b>70.53</b>				0.03
MnO				0.21		<b>70.25</b>			
MgO			<b>30.01</b>	0.14					
NiO				12.21			<b>71.33</b>		
CaO	<b>48.28</b>			0.14				0.03	
Na <sub>2</sub> O	0.00		0.00					<b>11.94</b>	1.14
K <sub>2</sub> O	0.00							0.04	<b>14.92</b>
<b>Total</b>	100.00	99.98	100.00	99.39	100.00	100.00	100.00	100.15	99.06

\*：合成礦物；\*\*：自然礦物；<sup>1</sup> 52NL11：Cr-spinel