

科學圖書大庫

光 學 工 藝

(合訂本)

譯者 吳謀泰·李廣聞

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

光學工藝

(合訂本)

譯者 吳謀泰·李廣聞

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信

發行人 陳俊安

# 科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國七十一年十一月十六日合訂一版

## 光 學 工 藝

(合訂本)

—基本定價 4.60

譯者 吳謀泰 德國海得堡大學博士  
李廣聞 美國布魯克林大學碩士

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。 謝謝惠顧

局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱 13-306 號

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第 15795 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號

9221763

9271575

電話 9271576

9286842

電話 9719739

# 前 言

本書專為精密光學，眼科光學和眼鏡光學等人員訓練而作。除提供此等人員有關材料之製造，性質和加工方法外。涉及之輔導材料，諸如琢磨劑，磨光劑，膠合劑，漆類和溶劑等之性質，亦均詳加介紹。並藉衆多圖片及練習題目，幫助說明及重複加深讀者印象，使讀者較易理解。

書末附列本書局已出版有關光學職業訓練之文獻與書籍，以供參考。至於資料處理方面，可參閱有關電子與BMSR技術，和其他職業訓練基本文獻，以及聯邦職業訓練部門之出版目錄。

謹向參加本書編著之人士致謝，並歡迎批評指教。

柏林 VEB 技術出版社

# 目 錄

## 第一章 光學玻璃

1.1 定義，特性，構造	1	1.4.6 帶色	20
1.2 玻璃製備原料	3	1.5 玻璃之性質	23
1.2.1 組成玻璃之氧化物	3	1.5.1 光性能	23
1.2.1.1 二氧化矽	3	1.5.1.1 光穿透性	23
1.2.1.2 三氧化硼和五氧化磷	4	1.5.1.2 折光能力	24
1.2.2 溶劑	4	1.5.1.3 色散能力	24
1.2.3 穩定劑	5	1.5.2 化學性能	25
1.2.4 光學玻璃之其他組成成份	5	1.5.2.1 天候穩定性	25
1.3 光學玻璃之裝備	7	1.5.2.2 酸穩定性	26
1.3.1 熔化容器	7	1.5.2.3 鹼穩定性	27
1.3.2 熔化火爐	8	1.5.3 熱性能	27
1.3.3 準備配方	10	1.5.3.1 膨脹係數	28
1.3.4 熔化程序	10	1.5.3.2 轉化點	29
1.3.4.1 粗熔	10	1.5.3.3 下沉點	30
1.3.4.2 精熔	12	1.5.3.4 黏滯溫度	30
1.3.4.3 玻璃澆鑄	13	1.5.4 機械性能	30
1.3.5 玻璃冷卻	13	1.5.5 電性能	30
1.3.6 粗玻璃檢驗	14	1.6 光學玻璃分類	32
1.4 玻璃之缺點	16	1.6.1 玻璃種類	32
1.4.1 氣孔	17	1.6.2 供應形狀	32
1.4.2 條紋	17	1.6.3 供應品質	37
1.4.3 雜質	19	1.6.4 石英玻璃	37
1.4.4 不透明玻璃質	19	1.6.5 玻璃纖維	38
1.4.5 張力	20	1.7 有色玻璃	39
		1.8 光散射玻璃	41
		1.8.1 混濁玻璃	41
		1.8.2 毛玻璃	46
		1.V.2.1 機械粗糙法	47

1.8.2.2 化學粗糙法	46	4.2.2 纖維素硝酸鹽之製備	72
<b>第二章 晶體</b>		4.2.3 生產過程	72
2.1 定義，特性和構造	48	4.3 供應形狀	75
2.2 晶系	50	4.4 性質	76
2.3 天然和合成晶體	50	4.5 加工	77
2.4 晶體在光學工業上之應用	55	4.5.1 夾板和黏合	80
2.4.1 穿透界限	55	4.5.2 裁剪	82
2.4.2 折光和色散	55	4.5.3 修剪	82
2.4.3 雙重折光	56	4.5.4 屈曲	82
2.4.4 晶體的光軸	57	4.5.5 銑	82
2.4.5 光之極化性	57	4.5.6 插入	83
2.4.6 兩色性	58	4.5.7 鑄	83
2.4.7 分裂性	59	4.5.8 琢磨與磨光	84
2.4.8 壓電性	59	4.5.9 打孔和鑽	85
		4.5.10 熱塑包容法	85
<b>第三章 有機玻璃</b>		<b>第五章 纖維素醋酸鹽—塑料</b>	
3.1 定義	61	5.1 定義	86
3.2 製備	61	5.2 製備	86
3.3 有機玻璃 Piacryl P 的供應形狀	61	5.3 供應形狀	87
3.4 Piacryl P 之性質	63	5.4 性質	87
3.4.1 光性能	63	5.5 加工	87
3.4.2 機械性能	65	<b>第六章 其他可塑材料</b>	
3.4.3 熱性能	66	6.1 硫化纖維	90
3.4.4 化學性能	66	6.2 多元醴胺	90
3.5 加工	67	6.3 多元苯乙烯	93
3.6 用途	68	6.4 多元乙烯醇	95
<b>第四章 賽璐珞</b>		<b>第七章 琢磨劑</b>	
4.1 定義	71	7.1 琢磨目的	96
4.2 製備	71	7.2 散狀琢磨劑	96
4.2.1 纖維素	71	7.2.1 光學組件之琢磨過程	96

7.2.2 散狀琢磨劑之條件	98
7.2.2.1 硬度	98
7.2.2.2 粒子形狀	98
7.2.2.3 粒子大小	99
7.3 散狀琢磨劑之種類	101
7.3.1 砂	102
7.3.2 正剛石	102
7.3.2.1 化學組成	103
7.3.2.2 製備	103
7.4 膠合狀態之琢磨劑	106
7.4.1 種類	106
7.4.2 結合	107
7.4.3 構造	109
7.4.4 硬度	109
7.4.5 琢磨板之主要量度	110
7.4.6 琢磨板之用途	110

## 第八章 磨光劑

8.1 磨光目的	115
8.2 磨光程序	116
8.3 磨光劑之條件	118
8.4 磨光劑之種類	120
8.4.1 氧化鐵	120
8.4.2 氧化鈾	120
8.4.3 氧化鉻	121
8.4.4 氧化鈦	121
8.4.5 氧化鋯	121
8.4.6 磨光膏	122

## 第九章 磨光劑載負體

9.1 磨光劑載負體之目的	124
9.2 磨光劑載負體 必備條件	125
9.3 磨光瀝青	125

9.3.1 磨光瀝青之種類	125
9.3.2 磨光瀝青之製備原料	126
9.3.2.1 松脂	127
9.3.2.2 地瀝青	128
9.3.2.3 蠟	128
9.4 磨光絨	129
9.5 磨光巾	131

## 第十章 粗膠合劑

10.1 粗膠合劑之目的	133
10.2 粗膠合劑之種類	134
10.2.1 含漆樹樹脂和不含漆樹樹脂之粗膠合劑	134
10.2.2 蠟膠合劑	135
10.2.3 印花漆	136
10.2.4 造形蠟	136
10.3 製備粗膠合劑之原料	137
10.3.1 漆樹樹脂	137
10.3.2 蜂蠟	137
10.3.3 地蠟	138
10.3.4 石蠟	138
10.3.5 石膏	138
10.4 膠合劑·小葉片	139

## 第十一章 細膠合劑

11.1 細膠合劑之目的	140
11.2 細膠合劑之條件	140
11.3 細膠合劑之種類	141
11.3.1 熱膠合劑	141
11.3.2 冷膠合劑	142

## 第十二章 漆

12.1 定義	144
---------	-----

- 12.2 漆之目的…………… 144
- 12.3 漆之組成…………… 145
- 12.4 光學組件用漆…………… 146

### 第十三章 溶劑

- 13.1 定義…………… 147
- 13.2 溶劑之目的…………… 148
- 13.3 溶劑之用途…………… 149
  - 13.3.1 乙醇(酒精)…… 149
  - 13.3.2 丙酮…………… 150
  - 13.3.3 汽油…………… 150
  - 13.3.4 三氯乙烯…………… 150
  - 13.3.5 四氯乙烯…………… 151

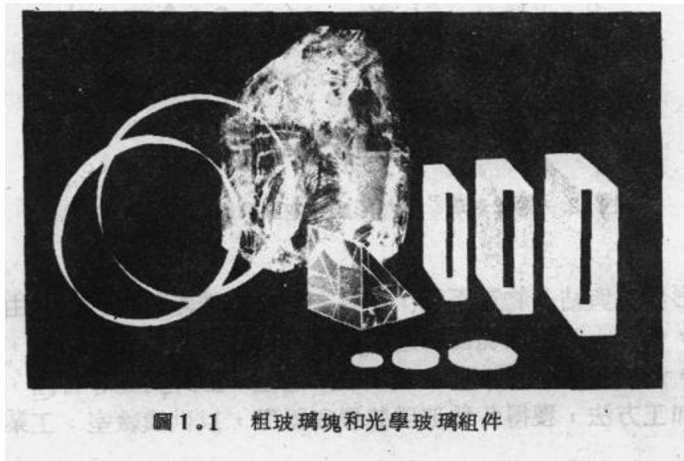
### 第十四章 金屬材料

- 14.1 金屬材料在光學職業之應用…………… 152
- 14.2 金屬和合金…………… 152
  - 14.2.1 鐵—碳—合金…… 152
- 14.3 製備小工具之金屬…………… 157
- 14.4 製備琢磨套、磨光套、載負體等之金屬…………… 159
- 14.5 反射鏡金屬…………… 162
- 14.6 製造眼鏡框之金屬…………… 164
  - 14.6.1 洋銀…………… 164
  - 14.6.2 包金…………… 165
  - 14.6.3 電鍍法…………… 167
- 14.7 焊藥…………… 168



# 第一章 光學玻璃

光學玻璃可製成光學元件（菱晶，平板和透鏡）（圖 1.1）



## 1.1 定義，特性，構造

雖然製造玻璃已有六千年歷史，但究竟“玻璃是什麼？”，迄今尚無明確答案。由於製造玻璃所需之原料，以及玻璃之化學組成，早爲人所熟知。製備玻璃之技術，已可加以控制，熔融程序亦已了解，並可製造出希望具備某類特性之玻璃。根據此等認識，可得玻璃之定義如下：

玻璃是若干無機原料之熔融成品，冷卻凝成一種性脆，非晶形，均勻，由氧化物組成的物質。

玻璃內部構造屬不定形。原子或離子不作規則性排列，如同結晶狀態（參節本書第二章）。每一種玻璃，每一次熔融，同一玻璃的任何一處，其排列狀態均各不相同。玻璃內部構造，係依冷卻時之凝結過程中，基本組成

## 2 光學工藝（眼鏡光學玻璃製造及加工）- 上

“偶然形成的空間網狀結構”。（圖 1.2）。

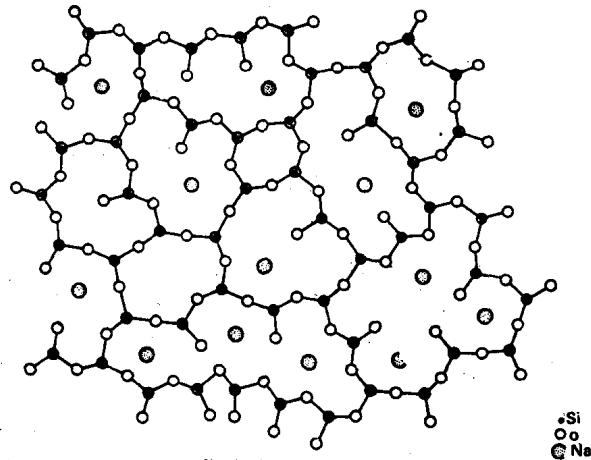


圖 1.2 鈉矽玻璃“偶然形成的空間網狀結構”垂直投影

不定形物質與結晶物質不同，不具有固定的熔點和凝固點。由固態轉化成液態時，係在一定溫度範圍內達成。溫度升高，玻璃首先軟化，逐漸變成黏濃液體，最後變成較稀液體。玻璃成形工藝，即針對此等特性，利用拉，壓和吹等加工方法，獲得各種玻璃裝置和器皿，以供實驗室，工業界和家庭中使用。

平常使用之玻璃，以對熱的性能最重要。光學玻璃則以光學性能，如折光率，色散能力，光穿透性等為主。故光學玻璃之製備技術，迥異於其他玻璃。

光學玻璃是一種品質要求特別嚴格的玻璃，由其組成可確定一定光學特性，並由已知常數來表現。

### ■問題

- 1.1 說明有機物質與無機物質之區別！
- 1.2 何時可認定某一物質性“脆”？
- 1.3 說明“均勻”的定義！列舉已知之“均勻”與“不均勻”物質各若干？
- 1.4 不定形的特性為何？

## 1.5 簡單玻璃與光學玻璃有何區別？

## 1.2 玻璃製備原料

玻璃是由氧化物所組成。依所擔負任務分爲：玻璃組成劑，溶劑和穩定劑。特殊目的之玻璃，則由異常之配方所製備，不含有常見之玻璃組成氧化物，如氟化鈹 ( $\text{BeF}_2$ ) 玻璃和硫化砷 ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) 玻璃等。

## 1.2.1 組成玻璃之氧化物

玻璃均含有一種或多種氧化物。最常用，也是最重要的組成玻璃氧化物，爲二氧化矽，其次爲三氧化硼和五氧化磷。若三氧化硼或五氧化磷變爲最重要之成份時，製成之玻璃，即分別稱爲“硼玻璃”或“磷玻璃”；混合氧化物所組成的玻璃，可稱爲硼矽玻璃，硼磷玻璃等。

**1.2.1.1 二氧化矽** 二氧化矽是以石英砂形狀熔融成玻璃。石英的化學組成是 ( $\text{SiO}_2$ )。純石英呈白色，平常因或多或少含有雜質，呈黃至紅色。

玻璃係由高價值砂（玻璃砂）所製成。高品質之砂，質純粒細。故砂在使用前，需經清洗，乾燥，煎燒，磨細，使砂粒直徑保持 0.2 至 0.5mm。

二氧化矽含量至少應達 99.8%。氧化鐵含量不得超過 0.01%。高含量氧化鐵，會使玻璃呈現明顯綠色。必須透過紫外光之玻璃，其氧化鐵含量應維持在三千分之一以下。二氧化鈦也會影響紫外光穿透率，含量必須盡量減小。石英砂可在沙坑中分解。沙的存在雖然很平常，但可供製造玻璃使用的並不多，高價值的玻璃砂更少發現。表 1.1 列出德國 Hohenbocka 出產沙之化學組成，表 1.2 則爲沙粒大小分佈。

表 1.1 德國 Hohenbocka 出產沙之化學組成

組 成	清 洗 前	清 洗 後
$\text{SiO}_2$	99.24	99.77
$\text{TiO}_2$	0.13	0.034
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.37	0.070
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.033	0.012
$\text{MgO}$	0.01	0.006
$\text{CaO}$	0.08	0.057
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	0.11	0.055
灼熱損失	0.14	0.066

#### 4 光學工藝(眼鏡光學玻璃製造及加工)-上

表 1.2 德國Hohenbocka出產沙粒大小分佈

粒子直徑	mm	含量	%
	0.5		0.02
	0.5...0.3		2.10
	0.3...0.2		37.94
	0.2...0.1		59.63
	0.1		0.31

1.2.1.2 三氧化硼和五氧化磷 有關此二類氧化物組成玻璃之資料，均列於表 1.3

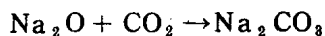
表 1.3 組成玻璃之氧化物

玻璃組成劑	化學式	原 料	化學式	對光學特性之影響
三 氧 化 硼	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	硼 酸	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	可在極小色散情形下，增加玻璃折光率。長波範圍之色散增高，短波範圍則減小。折光性不變，色散稍增強。
五 氧 化 磷	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	正磷酸 偏磷酸鋇 偏磷酸鋁 五氧化磷	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Ba(PO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Al(PO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
				紫外光穿透性增高。 保溫玻璃，在可見光譜區內之光穿透性增加。

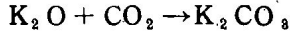
#### 1.2.2 溶 劑

石英砂的熔劑溫度甚高(約 1700°C)。加溶劑於石英砂中，製備玻璃之技術較簡單而經濟。鹼性物質：如碳酸鈉和碳酸鉀；硝酸鹽：如硝酸鈉和硝酸鉀 (NaNO<sub>3</sub> 和 KNO<sub>3</sub>)；及硫酸鹽：如硫酸鈉 (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)；均可作為此用。加入三氧化硼 (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)，亦可幫助熔化。最重要的溶劑是碳酸鈉和碳酸鉀。氧化鉀 (K<sub>2</sub>O) 和氧化鈉 (Na<sub>2</sub>O) 可熔於玻璃中。

碳酸鈉是氧化鈉和二氧化碳的化合物



碳酸鉀是氧化鉀和二氧化碳的化合物



二者均為碳酸塩。

以前化學家自海生植物或木灰之提煉液，蒸去液體，而得碳酸鈉和碳酸鉀。提煉時必須在大罐中進行（德文 Pötte，意指“大罐”；碳酸鉀之德文原名 Pottasche，即因此得名）。今日此二產品均可利用工業法大量製造。蘇俄和東非等地區，亦有自天然鹼水中提取碳酸鈉者。

石英砂和碳酸鈉共熔，形成“鈉水玻璃”（Natronwasserglas），石英砂和碳酸鉀共熔，形成“鉀水玻璃”（Kaliwasserglas），此類玻璃對化學和機械之抗力稍差，不適合製成光學組件。但因性甚軟，有時為液態，可供作玻璃膠合劑，黏貼劑和防火劑之用，亦可作為玻璃繪畫之着色劑。

### 1.2.3 穩定劑

欲使水玻璃硬度增加，以達到實用需求，以及提高對化學之穩定性，必須添加穩定劑。常用之穩定劑如：氧化鈣（CaO），氧化鋇（BaO）和氧化鉛（PbO）等。

氧化鈣的原料是石灰礦。石灰的熔點約為 2500°C。石灰在製備工業玻璃時，可用作穩定劑。

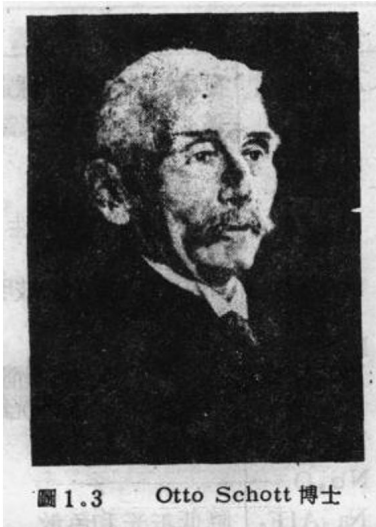


圖 1.3 Otto Schott 博士

利用碳酸鈣熔融的玻璃，稱為“石灰玻璃”（Kalkgläser）。依使用之溶劑不同，區分為“鈉石灰玻璃”（Kalknatrongläser）和“鉀石灰玻璃”（Kalkkaligläser）。

製備玻璃時所需的氧化鋇，係來自硝酸鋇（ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ）和碳酸鋇（ $\text{BaCO}_3$ ）。氧化鋇可提高具小色散性玻璃之折光性。玻璃中之氧化鋇含量，可高達 50%。

若氧化鉛係以鉛丹（ $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ）形態引進玻璃，即得“鉛玻璃”（Bleiglas）。它是一種質量較重，易呈黃色，高折光和色散性能的玻璃。鉛含量可超過 80%。鉛玻璃之軟化範圍，較石灰玻璃為低。

1.2.4 光學玻璃的其他組成成分

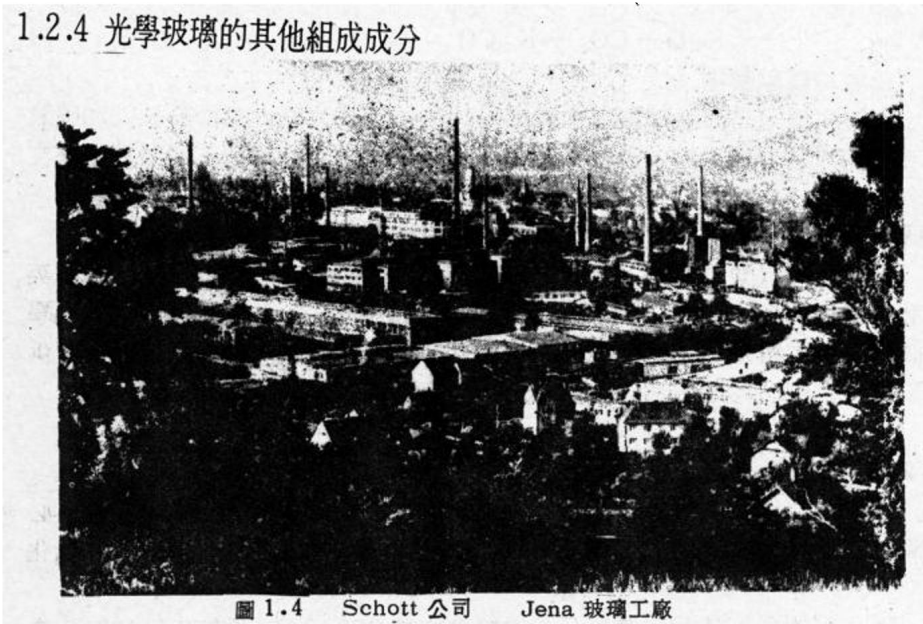


圖 1.4 Schott 公司 Jena 玻璃工廠

表 1.4 列出其他重要的光學玻璃組成份子。

表 1.4 光學玻璃的其他組成成份

組成成份	化學式	原 料	化學式	對玻璃性質之影響
氧化鋁	$Al_2O_3$	礬土水合物	$Al(OH)_3$	提高機械和化學穩定性 減少熱膨脹和玻璃質結晶化傾向。
氧化鋅	$ZnO$	氧 化 鋅	$ZnO$	減少熱膨脹 改善對化學之抗性 硬度增加 $ZnO$ 太多會增加玻璃質結晶化
氧化鐳 氧化鈷	$La_2O_3$ $ThO_2$	氧 化 鐳 氧 化 鈷	$La_2O_3$ $ThO_2$	在色散性無大改變情況下，巨幅度提高折光能力
五氧化鉬 五氧化鈳	$Ta_2O_5$ $Nb_2O_5$	五 氧 化 鉬 五 氧 化 鈳	$Ta_2O_5$ $Nb_2O_5$	
氟	F	水 晶 石 氟 化 鉀	$Na_3AlF_6$ $KHF_2$	降低折光和色散 色散向短波區域擴張

以上所列之氧化物，皆屬光學玻璃的基本組成成份。增加任何添加物，均可改變玻璃之特性，特別是其穿透性，折光性和色散性。根據 Otto Schott 博士（圖 1.3）研究結果，很多元素可參加玻璃之製備。現在可以事先計算原料配方，製備出特殊性質之玻璃。Ernest Abbe 和 Carl Zeiss 二人於 1884 年合作在德國 Jena 創立一個玻璃工廠，即今日居於世界領導地位的 Schott 公司 Jena 玻璃工廠。（圖 1.4）。

## ■ 問題

- 1.16 製備光學玻璃所用原料，均需符合一定要求。請以石英砂為例說明之。
- 1.17 玻璃之化學組成爲氧化物。何種氧化物爲玻璃之最主要成份？它係以何種形態引入熔融體中？
- 1.18 根據不同原料而製備出不同類別之玻璃。請列舉已知之玻璃種類，及其主要不同點！
- 1.19 說明“矽酸塩”，“硼酸塩”和“磷酸塩”之定義。請參考高級工業職校化學教科書！

## 1.3 光學玻璃之裝備

製備光學玻璃時，必須精確而細密。有關熔融容器，和熔融火爐等技術設施，均需特別注意其穩定性和功能。配方準備和熔融程序，必須十分精確。

### 1.3.1 熔化容器

製備光學玻璃所用之熔融容器稱爲“甕”（Häfen）（圖 1.5）。在熔融程序中，甕承擔之責任最大，故必需能滿足下列要求：

1. 在熔融玻璃所需到達之高溫下，甕之形狀必須保持不變。
2. 甕必須能抵抗液態玻璃之侵蝕。
3. 甕不得與液態玻璃起作用。

能滿足上列條件的最佳材料，是陶土與耐火黏土的混合物，它在 1800 至 1850°C 才開始軟化。玻璃的熔融溫度約爲 1500°C。未煅燒過的新陶土，和已經煅燒過一次而又重新研磨的舊陶土，依適當之比例混合，再用水混和軟化。已使用過而不含有玻璃碎片的甕，可當作煅燒過的陶土。高大耐火甕，應用手工成型。一般所用的甕，則用灌注成型。先液化麵狀陶土，將其置於高架木質混合槽內，使流入雙層石膏模型中。已成型之甕，先置於等溫



圖 1.5 光學玻璃之熔融容器



圖 1.6 置於熔融火爐中之甕

大廳中，小心的乾燥數月。再移置於“回火火爐”(Temper-ofen)中，在  $1200^{\circ}\text{C}$  加熱八天。利用可移置之鉗具，移入已冷卻之熔融火爐(圖 1.6)。溫度升高至完全熔融熱(約  $1400$  至  $1500^{\circ}\text{C}$ )，保持 10 至 12 小時，令甕澈底煅燒。

由於化學組成之關係，甕可完全避免，或僅輕微的受到玻璃之侵蝕。強烈侵蝕甕的玻璃，會形成條紋。此類玻璃可利用“電加熱白金坩堝”來熔融。唯使用純白金坩堝甚不經濟。在白金坩堝中熔融之玻璃，具有不含氣孔和無色等特性。僅能在白金坩堝中熔融的玻璃，在表 1.14 中均附加 pt 標記。

### 1.3.2 熔化火爐

製備光學玻璃時，用“單甕火爐”(Einhafenöfen)(圖 1.7)。它必須具備甕的一切條件。故需利用相同原料建造。由於溫度甚高，且需經常變換溫度，使用壽命有限。欲使火爐能迅速建造或修理，可將各構造元件單獨成形，如門，拱或管件，並先行儲存。在構工位置，僅需砌成一套，並利用金屬條和鑄等予以固定即可。

此類火爐可視為“再生火



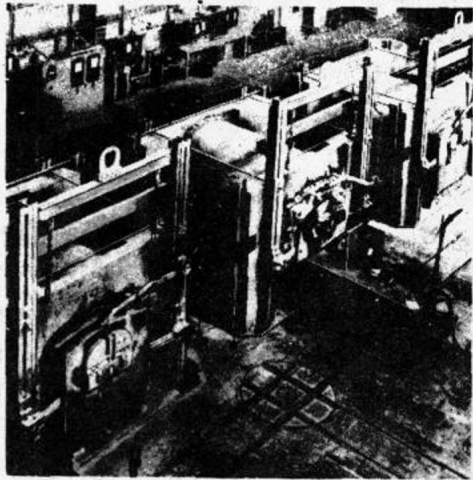


圖 1.7 熔融光學玻璃之火爐

爐”(Regenerativofen)，利用發生爐氣及城市用煤氣加熱。火爐中除煤氣外，尚通入空氣，即可達到要求之高溫。煤氣和空氣均需先預熱。預熱係利用熱廢氣行之。“再生”一詞，即指此一再度利用熱量之方式而言，如圖 1.8 示意圖所示。

熔融火爐係由上下二火爐所組成。上火爐有二燃燒頭和燃燒室，瓷即置此室。下火爐有四室，二較大者供預熱空氣，二較小者供預熱煤氣。所有小室，均由方格子式耐火磚砌成。左邊二室，由二管道連接左邊上火爐的燃燒頭，右邊二室，同樣由二管道連接右邊燃燒頭。故共有四管道可通入室中，其中連接煤氣和空氣之管道各二，互相交替連接。

利用控制調節器，引導左邊或右邊之空氣或煤氣進入室中。由燃燒室放出之熱廢氣，經過其他各室抽入煙囪。故方格式耐火磚，可熱至  $1000^{\circ}\text{C}$  左

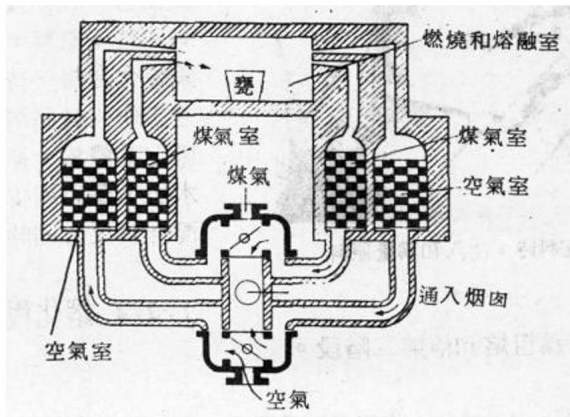


圖 1.8 再生火爐示意圖