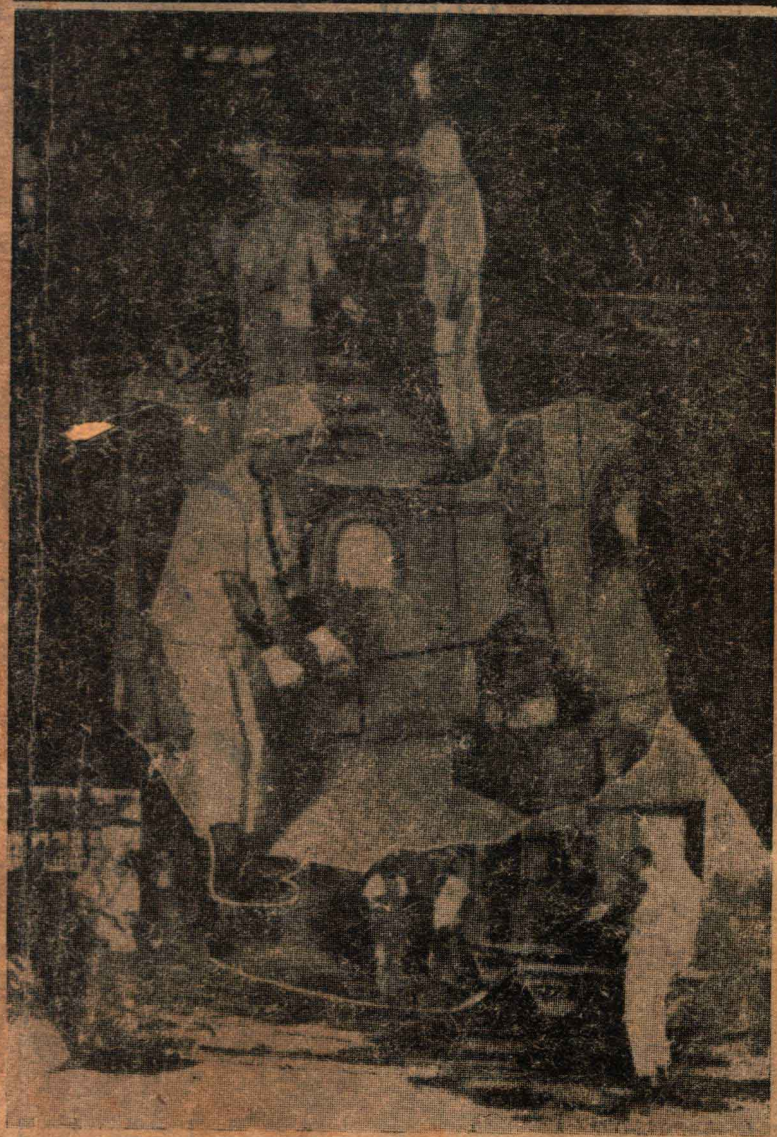


# 實驗玻璃製法



# 目次

## 玻璃概論

|                |    |
|----------------|----|
| 1. 玻璃製造概論      | 1  |
| 2. 玻璃之種類       | 9  |
| 3. 玻璃之成份       | 10 |
| 4. 玻璃之熔融溫度     | 11 |
| 5. 化學原子在玻璃中之作用 | 14 |
| 6. 玻璃製造之系統     | 17 |
| 7. 玻璃製作法       | 17 |
| 8. 光學玻璃之分類     | 18 |
| 9. 各種玻璃之分析表    | 19 |
| 10. 中國玻璃業之概況   | 33 |

## 玻璃正原料

|                |    |
|----------------|----|
| 11. 玻璃原料之分析    | 36 |
| 12. 玻璃之正原料，砂   | 37 |
| 13. 養化硼，硼砂，硼酸  | 41 |
| 14. 養化磷，骨灰，磷酸鈣 | 43 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 15. 養化鉀，炭酸鉀                 | 42 |
| 16. 養化鈉，炭酸鈉，洋碱，芒硝           | 43 |
| 17. 養化鈣，石灰石，炭酸鈣，生石灰，熟石灰，方解石 | 46 |
| 18. 養化鉛，紅丹，黃丹               | 50 |
| 19. 養化銀，硫酸銀，炭酸銀             | 53 |
| 20. 養化鋁，人造鋁，鉀長石，鈉長石，岩石及礦滓   | 54 |
| 21. 養化鎂，炭酸鎂，白雲石，硫酸鎂         | 58 |
| 22. 養化鋅，亞鉛華                 | 61 |
| 23. 養化砒，白砒，亞砒酸              | 61 |
| 24. 氟化鈣，螢石                  | 62 |

## 玻璃副原料

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 25. 玻璃之副原料，硝石，硝酸鉀，硝酸鈉，過養化銀 | 63 |
|----------------------------|----|

## 玻璃澄清劑

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 26. 玻璃之澄清劑——硝酸銨，芒硝，炭素，硝酸鉀，白砒，<br>硫酸銨，氟化銨，食鹽，螢石，硅氟化鈉。 | 65 |
|------------------------------------------------------|----|

## 玻璃脫色劑

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 27. 玻璃之脫色劑——硝酸鉀，硝酸鈉，錳粉，硒，養化鈷，<br>養化鎳。 | 66 |
|---------------------------------------|----|

## 玻璃着色劑

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 28. 玻璃之着色劑                                      | 67 |
| 29. 錳化合物，錳粉，過錳酸鉀                                | 68 |
| 30. 鐵化合物，養化第二鐵，辨柄，養化第一鐵                         | 69 |
| 31. 鈷化合物，碗青，碗華，花紺青                              | 70 |
| 32. 鉻化合物，養化鉻，鉻酸鉀，重鉻酸鉀，紅礬，重鉻酸鈉                   | 71 |
| 33. 鎳化合物，養化鎳，輕養化鎳                               | 72 |
| 34. 銅化合物，養化第一銅，養化第二銅，赤色養化銅，黑色<br>養化銅，硫酸銅，藍礬，硝酸銅 | 72 |
| 35. 金化合物，三氯化金，四氯化金                              | 74 |
| 36. 銀化合物，硝酸銀，養化銀，氯化銀                            | 74 |
| 37. 硒化合物，硒，亞硒酸鈉，金料金                             | 75 |
| 38. 鈾化合物，養化鈾，鈾酸鈉，金綠素                            | 75 |
| 39. 硫化合物，硫黃，硫化鎘                                 | 76 |
| 40. 炭素化合物，石炭，骸炭，石墨，蔗糖，木炭                        | 76 |
| 41. 銻化合物，養化銻，硝酸銻                                | 77 |
| 42. 磷化合物，磷灰石，龔化石，磷酸鈣，磷酸鈉，酸性磷酸<br>鈉，酸性磷酸鈣        | 77 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 43. 錫化合物，養化第一錫，養化第二錫，氮化第一錫 | 78 |
| 44. 氟素化合物，螢石，冰晶石，硅氟化鈉      | 78 |

## 玻璃配料法

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 45. 特殊玻璃，蛋白色玻璃，閃爍金星玻璃，乳白色玻璃，浮<br>着物質的玻璃 | 79 |
| 46. 配料須知                                | 80 |

## 配合玻璃原料計算法

|               |    |
|---------------|----|
| 47. 原料計算法     | 81 |
| 48. 化學成分計算法   | 82 |
| 49. 原子量原子價一覽表 | 84 |
| 50. 原料配合計算法   | 86 |

## 玻璃製造法

|             |     |
|-------------|-----|
| 51. 玻璃之製作程序 | 98  |
| 52. 製造玻璃之器具 | 101 |

## 玻璃配合成份標準

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 53. 普通玻璃配合成份標準     | 105 |
| 54. 無色玻璃配合成份       | 106 |
| 55. 無色玻璃器皿配合成份     | 106 |
| 56. 無色耐熱機製玻璃配合成份   | 107 |
| 57. 無色耐熱手吹玻璃配合成份   | 107 |
| 58. 無色軟質燈泡玻璃配合成份   | 108 |
| 59. 無色硬質燈泡玻璃配合成份   | 108 |
| 60. 霓虹燈用無色玻璃配合成份   | 109 |
| 61. 普通電泡用無色玻璃配合成份  | 109 |
| 62. 無色耐酸玻璃配合成份     | 110 |
| 63. 浮白色玻璃配合成份      | 110 |
| 64. 霓虹燈用乳白玻璃管配合成份  | 111 |
| 65. 乳白色燈罩套料用玻璃配合成份 | 111 |
| 66. 雪花膏瓶乳白玻璃配合成份   | 112 |
| 67. 乳白電燈泡玻璃配合成份    | 113 |
| 68. 金質深紅色玻璃配合成份    | 113 |
| 69. 銅質紅色玻璃配合成份     | 114 |
| 70. 硒質紅色玻璃配合成份     | 115 |
| 71. 橘紅色玻璃配合成份      | 117 |
| 72. 霓虹燈用淡黃玻璃管配合成份  | 118 |
| 73. 霓虹燈用黃色玻璃管配合成份  | 118 |
| 74. 黃色透明玻璃配合成份     | 119 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 75. 黃色不透明玻璃配合成份   | 119 |
| 76. 草黃色玻璃配合成份     | 120 |
| 77. 琥珀黃色玻璃配合成份    | 120 |
| 78. 綠黃螢光玻璃配合成份    | 121 |
| 79. 翠綠色玻璃配合成份     | 122 |
| 80. 蘋果綠玻璃配合成份     | 122 |
| 81. 青色玻璃配合成份      | 123 |
| 82. 深綠色玻璃配合成份     | 123 |
| 83. 鉻綠色玻璃配合成份     | 124 |
| 84. 閃綠金星玻璃配合成份    | 124 |
| 85. 綠色電泡玻璃配合成份    | 124 |
| 86. 淡藍色電泡玻璃配合成份   | 125 |
| 87. 紫紅色電泡玻璃配合成份   | 125 |
| 88. 紫色玻璃片配合成份     | 126 |
| 89. 黑色玻璃片配合成份     | 126 |
| 90. 黑色醬油瓶玻璃配合成份   | 126 |
| 91. 櫻黑色瓶玻璃配合成份    | 127 |
| 92. 優等無色瓶玻璃配合成份標準 | 127 |
| 93. 低廉洋瓶玻璃配合成份標準  | 128 |

## 玻璃弊病論

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 94. 玻璃弊病概論.....       | 128 |
| 95. 玻璃生泡或粒子弊病補救法..... | 132 |
| 96. 玻璃易裂弊病補救法.....    | 132 |
| 97. 玻璃生霧弊病補救法.....    | 133 |

## 玻璃之物理性質

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 98. 玻璃失透問題.....                         | 134 |
| 99. 玻璃之黏度 (Viscosity) .....             | 136 |
| 100. 玻璃之表面張力 (Surface Tension) .....    | 140 |
| 101. 玻璃之比重.....                         | 143 |
| 102. 玻璃之抗張力 (Tensile strength) .....    | 145 |
| 103. 玻璃之抗壓力 (Crushing strength) .....   | 145 |
| 104. 玻璃之彈性 (Elasticity) .....           | 146 |
| 105. 玻璃之彎曲強度 (Bending strength) .....   | 147 |
| 106. 玻璃之硬度 (Hardness) .....             | 148 |
| 107. 玻璃之脆弱性或衝擊強度 (Brittleness) .....    | 148 |
| 108. 玻璃之比熱 (Specific heat) .....        | 149 |
| 109. 玻璃之熱傳導度 (Heat conductivity) .....  | 151 |
| 110. 玻璃之膨脹 (Expansion) .....            | 154 |
| 111. 玻璃之異常膨脹 (Abnormal expansion) ..... | 156 |
| 112. 玻璃之耐熱性 (Thermal Endurance) .....   | 158 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 113. 寒暑表用玻璃之零點差..... | 160 |
|----------------------|-----|

## 玻璃之烘法

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 114. 玻璃之徐冷 (Annealing) 問題..... | 162 |
|--------------------------------|-----|

## 玻璃之光學問題

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 115. 玻璃之光學性質及屈折率 (Index of refraction) ..... | 166 |
| 116. 玻璃之分散率 (Dispersive Power) .....         | 170 |
| 117. 玻璃對於光線之吸收及透過性.....                      | 171 |

## 玻璃之電氣問題

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 118. 玻璃之電氣性質..... | 182 |
|-------------------|-----|

## 玻璃之化學性質

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 119. 玻璃之化學性質..... | 186 |
|-------------------|-----|

## 製造玻璃參考文獻

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 120. 玻璃成分配合之參考..... | 191 |
|---------------------|-----|

## 實驗玻璃製造法

### 一・玻璃製造概論

玻璃一物，應用最廣。近世建築，醫藥，科學，藝術上之必需品，皆玻璃製成。其在吾國，發明最早。昔吾國人所謂玻璃，指透明無色者而言。若非透明，而呈美麗之光彩者，則稱琉璃。琉璃之名，包括綦多。凡瓦上及建築上所被蓋之彩色釉質，銅器上所塗之琺瑯質，瓷器裝飾之在熏爐中製成者，概以琉璃名之。北平有琉璃廠，為昔人製成玻璃之地。而琉璃瓦近且為吾國建築上之特有物。至於銀器上之琺瑯，銅器上之景泰藍，及各國皇帝宮殿所藏之琉璃器，雕為細紋，鑄成深痕，內盛異色，中藏圖像，或則赤壁賦詩，或則蘭亭雅集，或則菩薩觀音，或則福祿壽星，凡此種種，皆吾國人獨創之絕技而非外國人所能望其項背也。琉璃與玻璃二名，皆本梵文。古佛經中常道及之，且確言其製法創自西域人。玻璃亦名頗胝，乃梵文之譯音，原意為石英之義。琉璃乃碧琉璃及番琉璃之簡稱，亦梵文之譯音也。西人謂玻璃係古時一學者名 Pliny 者在孛路斯河口（Belus），近海岸作炊事。日久，發見其竈壁所用之硝石與海砂熔成玻璃一塊。自是以後，世界始知砂與硝石可熔融成玻璃。

依據牛門氏 B. Neumann 分析古代玻璃之結果如下表：

西歷紀元前1500年之玻璃 ( Thebes )

| 成 分                             | 不透明暗青色 | 不透明暗青色 |
|---------------------------------|--------|--------|
| 砂 ( $\text{SiO}_2$ )            | 67.82  | 62.48  |
| 養化鈣 ( $\text{CaO}$ )            | 4.03   | 5.57   |
| 養化鎂 ( $\text{MgO}$ )            | 2.30   | 4.16   |
| 養化鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | 4.38   | 1.56   |
| 養化鐵 ( $\text{FeO}$ )            | 1.08   | 1.73   |
| 養化錳 ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) | 1.12   | 0.76   |
| 養化鉀 ( $\text{K}_2\text{O}$ )    | 2.34   | 2.24   |
| 養化鈉 ( $\text{Na}_2\text{O}$ )   | 13.71  | 17.80  |
| 養化銅 ( $\text{CuO}$ )            | 1.96   | 2.72   |
| 養化硫 ( $\text{SO}_2$ )           | 0.97   | 1.39   |

西歷紀元前1400年之玻璃 ( Tell el Amarna )

| 成 分                  | 不 透 明 |       |       |       | 透 明   |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 暗青色   | 黃色    | 土耳其青  | 綠色    | 無色    | 蜜黃    |
| 砂 ( $\text{SiO}_2$ ) | 61.70 | 62.71 | 62.58 | 62.44 | 63.22 | 65.93 |
| 養化鈣 ( $\text{CaO}$ ) | 10.05 | 9.16  | 9.33  | 9.23  | 9.13  | 9.06  |
| 養化鎂 ( $\text{MgO}$ ) | 5.14  | 4.52  | 4.37  | 3.05  | 5.20  | 3.72  |

| 成 分                             | 不 透 明 |       |       |       | 透 明   |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | 暗青色   | 黃色    | 土耳其青  | 綠色    | 無色    | 蜜黃    |
| 養化鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | 2.45  | 1.47  | 0.82  | 1.00  | 1.04  | 1.33  |
| 養化鐵 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) | 0.72  | 0.96  | 0.58  | 0.84  | 0.54  | 0.80  |
| 養化錳 ( $\text{MnO}$ )            | 0.47  | —     | —     | —     | —     | —     |
| 養化鉀 ( $\text{K}_2\text{O}$ )    | 1.58  | 20.26 | 2.75  | 2.76  | 0.41  | 0.64  |
| 養化鈉 ( $\text{Na}_2\text{O}$ )   | 17.63 |       | 18.19 | 18.08 | 20.63 | 17.97 |
| 養化銅 ( $\text{CuO}$ )            | 0.32  | —     | 0.52  | 2.00  | —     | 0.75  |
| 養化鉛 ( $\text{PbO}$ )            | —     | —     | —     | 0.47  | —     | —     |
| 養化硫 ( $\text{SO}_2$ )           | —     | 0.92  | 0.45  | 0.72  | —     | —     |
| 養化錫 ( $\text{SnO}_2$ )          | —     | —     | 0.47  | —     | —     | —     |

以上所列足見古代皆低熔融溫度之玻璃，而古代火力溫度之低，可以灼見。近時玻璃是一種或多種硅酸鹽類的透明物質。用硅酸（即白沙），洋碱，石灰，調合的原料，放在耐火性的坩鍋中，用  $1400-1500^{\circ}\text{C}$  高熱度在槽窯中加熱，使坩鍋中的原料熔融，大約燒至十四小時，在坩鍋中便得熔融的玻璃。把這熔融成的玻璃，取出，徐冷，用口吹在模型中，或用機器壓製，便成玻璃製品，再放在烘爐中用數十小時，徐徐烘冷，便成玻璃器皿。倘使再加工雕刻，便成美麗的玻璃器皿。用便宜的舊玻璃，再熔

融化成玻璃，就做次等的瓶罍。用硼酸等高貴原料，就能做成化學器械。用紅丹等原料，便可做成光學玻璃，如眼鏡玻片，鏡面玻片，和優等水晶般的彫刻杯皿。假使把玻璃原料塗在鐵器上，便成琺瑯器皿。假使把玻璃原料塗在瓷器上，便成優美釉料。假使放些金銀銅質在玻璃原料中，那末，金質成紅色玻璃。銀質成黃色玻璃。銅質成綠色玻璃。假使把些錳鉛磷炭在玻璃原料中，則錳成紫色玻璃。鉛成藍色玻璃。磷成乳白玻璃。炭成黑色或草黃色玻璃。

(一) 普通鈣鈉玻璃為最普通之玻璃，用以製瓶，杯，燈罩，及低價之壓製器。其配合成分如下：

|     |           |
|-----|-----------|
| 砂   | 1000分(重量) |
| 石灰石 | 100分至180分 |
| 重碱  | 380分      |

原料中石灰石愈多，則成本愈低，但燒熔時所需之溫度亦愈高。倘所用之石灰石太少，則玻璃吹成器具後變硬較慢，與水接觸亦有一部分漸漸溶化之虞。在尋常玻璃廠用煤爐以熔化玻璃，並用人工吹瓶者，可用砂1000分，石灰石200分，純碱380分。

製中等品質之玻璃杯，可用下列之配合：

|     |           |
|-----|-----------|
| 砂   | 1000分(重量) |
| 重碱  | 360分      |
| 碳酸鉀 | 70分       |

|      |      |
|------|------|
| 石灰石  | 100分 |
| 硝酸鉀  | 50分  |
| 二氧化錳 | 2分   |

此方中用炭酸鉀以替代一部分之純鹼，其目的在使玻璃明潔光亮。硝酸鉀之功用，在使玻璃清潔並消除顏色。二氧化錳為脫色劑。

(二) 含鉛玻璃 下列配合，可製成光潔之上等水晶玻璃，用於餐具及裝飾品最宜。

|      |           |
|------|-----------|
| 砂    | 1000分(重量) |
| 炭酸鉀  | 330分      |
| 硼砂   | 30分       |
| 硝酸鉀  | 40分       |
| 紅丹   | 660分      |
| 亞砒酸  | 2.5分      |
| 二氧化錳 | 2分        |

紅丹能使玻璃明亮，為結晶玻璃之重要成分。亞砒酸及二氧化錳均係脫色劑。

電燈泡之玻璃，可用下列配合：

|    |           |
|----|-----------|
| 砂  | 1000分(重量) |
| 重碱 | 330分      |
| 紅丹 | 480分      |

|      |     |
|------|-----|
| 硼砂   | 90分 |
| 長石   | 70分 |
| 硝酸鈉  | 50分 |
| 二氧化錳 | 2分  |

單純之矽酸鹽皆有特具之顏色，如矽酸鉛略帶黃色。矽酸鈉略帶綠色。倘選用數種適當之矽酸鹽，熔合一處，並加入二氧化錳及亞砷酸等脫色劑，則所得玻璃，幾為無色。矽酸鉛如遇直接火焰，則還原而成金屬體之鉛，故製含鉛之玻璃時，坩堝須加蓋，以免內容物與火焰接觸。

按凡含鐵之砂，所製玻璃必帶綠色。欲使潔白，則可加以二氧化錳少許。二氧化錳與其餘原料，須在氧化狀況下熔化之。三價鐵之黃色不及二價鐵之綠色之深，故於玻璃原料中配入硝酸鉀或硝酸鈉，使二價氧化鐵而成三價鐵，亦可使玻璃之顏色減淺。亞砷酸能使三價鐵不為玻璃中之有機物所還原，故亦有脫色之功用。玻璃中加入硼砂，則牢固之程度加增，如抵抗碰擊，溫度猝變，以及化學品之溶解力等，均同時增加。最佳良之化學玻璃，如德之 Jena，與美之 Pyrex 均含養化硼  $B_2O_3$  百分之十一至十二。此種 Pyrex 玻璃所製皿盆，可於尋常廚竈中烘製糕餅。普通鈣鈉玻璃中加入少量之硼砂，（每砂千分用硼砂五十分，）亦極有益。少量之硼砂，能使玻璃熔化及清除小氣泡之時間縮短，使玻璃光亮，並增加其抵抗碰擊，冷熱猝變，及化學品之溶解力。含

鉛玻璃中加入少量硼砂，可減少其被水溶解之量。

(三) 顏色玻璃 各種金屬之氧化物，加入玻璃中，可得各種顏色之玻璃。氧化鈷用以製藍色玻璃。其着色之力極強，千分玻璃中加入一分，即成深藍色。多量玻璃原料中加入少量之氧化鈷，熔化時不易均勻，故宜預先製成含氧化鈷百之二至七的鈷玻璃，研碎，以代氧化鈷之用。氧化鈷與二氧化錳同用，可製紫色玻璃。

黑色氧化銅 $\text{CuO}$ 及硝酸銅可用以製藍玻璃。如用硫酸銅，則得綠藍色。製紅色玻璃可用赤色氧化銅，或黑色氧化銅與還原劑。黑色氧化銅與鉻之化合物同用，可得各種綠色。

供給玻璃中之鉻，可用氧化鉻 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ，鉻酸鉀，或重鉻酸鉀。如用氧化鉻，則原料混和必須完全均勻，因其在玻璃中之溶解度較低也。用於含鉛玻璃呈檸檬黃色，用於含鈣玻璃則呈綠黃色。

鈾在含鉛玻璃中呈綠黃色，在含鈣玻璃中呈有螢光之綠黃色，普通皆用金綠素（即鈾酸鈉  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）以供給玻璃中之鈾。

二氧化錳在氧化狀況下用之，使玻璃呈紫色。

元素體之硒，及亞硒酸鈉，與還原劑（亞砷酸之類）同用，可得各種紅色。

冰晶石用於乳白色之玻璃。

下列各種配合適於製造顏色玻璃之用。

- (A) 冰晶石乳白玻璃 砂1000分，重質純碱 230分，碳酸鉀 40分，冰晶石 100分，長石 100分，螢石 100分，亞砷酸 5分。
- (B) 燈罩用乳白玻璃 砂1000分，重質純碱 150分，長石180分，螢石 90分，冰晶石 80分，氧化錫 40分。
- (C) 紅玻璃 砂 1000分，碳酸鉀 200分，紅丹 300分，赤色氧化銅 3分，氧化第一錫 1分。(此種玻璃須在爐口加熱，始成紅色。)
- (D) 橙黃玻璃 砂 1000分，碳酸鉀 120分，重質純碱 190分，石灰石 145分，硝酸鉀 5分，氧化鈦 3分，硒0.6分，亞砷酸 2.5分。
- (E) 金綠玻璃 砂 1000分，碳酸鉀 100分，重量純碱 200分，生石灰 140分，紅丹 3分，黑色氧化銅5分，氧化鉍 12.5分，亞砷酸 5分。
- (F) 深藍玻璃 砂 1000分，重質純碱 350分，石灰石 160分，氧化鈷 2分。

此不過表示原料之大概成分而已。其準確比例，則須視爐火之溫度而定。所出製玻璃之顏色，往往同一配方，色澤大異，此蓋砂中含鐵之量不同，及熔融玻璃時火焰與溫度不同，致坩堝內部或成氧化狀況，或成還原狀況，因此所得結果遂大不同。又同一金屬氧化物，用於鈣玻璃與鉛玻璃，色澤不同。用於鈉玻璃與