

中國科學院冶金陶瓷研究所專刊

澆注法制造熔玻璃坩堝

賴其芳 嚴東生
潘浴新 唐永康

科學出版社

中國科學院冶金陶瓷研究所專刊

澆注法制造熔玻璃坩堝

賴其芳 嚴東生
潘浴新 唐永康

科學出版社

1958

內 容 提 要

本文主要利用華東地區的原料,以澆注法製造大容量坩堝,以求改進目前熔製玻璃坩堝的質量。經過初步試驗以後,選擇了幾種適於製造坩堝的原料,研究了它們的泥漿性能、乾燥性能與燒成性能,並在此基礎上進行了配方試驗。在配方試驗中,探討了熟料的粒度分佈、熟料的煨燒溫度與坯體的燒成條件等因素對於坩堝的耐玻璃侵蝕性與熱穩定性等的影响。試驗證明,良好的耐玻璃侵蝕性主要在於坯體具有均勻緻密的組織,經玻璃侵蝕後,表面發育了莫來石結晶層,阻止玻璃向坯體內部透入,因而產生了一定的保護作用。熟料的粒度分佈對於上述性能的影响是十分顯著的。

利用配方試驗的結果,比較滿意地解決了大容量坩堝的成型、乾燥和燒成,並在實際生產上予以試用。和上海坩堝工廠的產品相比較,初步使用試驗的結果是比較滿意的,也證實了實驗室侵蝕試驗結果的正確性。

目 錄

一、引言.....	1
二、原料的基本性能.....	2
(I) 原料的化學組成及其外貌觀察.....	2
(II) 粘土的粒度分佈.....	2
(III) 粘土的窯業性質.....	4
(IV) 粘土中所含粘土礦物的初步鑑定.....	7
(V) 討論.....	9
(VI) 小結.....	10
三、坩堝的配方試驗.....	12
(I) 坩堝配方的試探性試驗.....	12
(II) B-S-7, B-S-9 配方的試驗結果.....	14
(III) 熟料粒度及熟料煨燒溫度對於坩堝配方性能的影響.....	23
(IV) B-S-7-4 配方的試驗結果.....	24
(V) 幾種 B-S 配方試樣經玻璃侵蝕前後的礦物組成.....	25
(VI) 討論.....	28
(VII) 小結.....	30
四、大型坩堝的製備與使用試驗.....	32
(I) 大容量坩堝的澆注、乾燥和燒成.....	32
(II) 坩堝的使用試驗.....	37
(III) 小結.....	41
五、結論.....	42
參考文獻.....	42

澆注法製造熔玻璃坩堝

賴其芳 嚴東生 潘浴新 唐永康

(中國科學院冶金陶瓷研究所)

一. 引 言

在我國，除去平板玻璃和一部分瓶玻璃以外，其他如化學玻璃、醫藥用玻璃及日用玻璃等許多玻璃品種都是在坩堝爐內熔製的，因此坩堝的品質直接影響着這些特種玻璃的產量和質量，是一個值得注意的環節。

熔玻璃坩堝的製造大部分分散在小型工廠內進行，以上海一個地區而論，在公私合營以後，經過合併及專業分工的調整，現在還有近十家工廠在製造着坩堝。他們限於條件，對於原料的性能沒有進行過分析研究，也就不能採用科學的控制方法。坩堝的成型，完全採用手工方法，需要具有較高技術水平的熟練工人。成品的使用壽命也參差不齊，一般是比較短的。隨着玻璃工業的發展，不但要求產量提高，玻璃的品種也將日益增多；這樣，較系統地研究熔玻璃坩堝的製造工藝，使它能適應玻璃工業的需要是必要的。這是促使我們進行本工作的原因之一。

幾年來，我所一直在進行着特種玻璃的研究工作，有些侵蝕性是很強的，需要品質較好的坩堝以作熔製試驗，這也是進行本工作的另外一個目的。

這項工作包括了三個部分：(1) 比較系統地研究了製造坩堝所使用的粘土原料；(2) 研究了用澆注法製造坩堝的配方工藝，以求提高坩堝的品質，使之均一，並減少操作技術對於坩堝質量的影響；(3) 進行了大型坩堝的澆注、乾燥、燒成與成品的使用試驗，並觀察與檢驗了使用後的樣品。

這篇報告只是研究熔玻璃坩堝的一個開始，將來我們玻璃品種是繁多的，需要具有不同性能的坩堝來進行熔製；希望能引起有關產業部門的研究單位對這問題的興趣與重視，繼續在國產原料的基礎上，對這個問題進行創造性的研究。

參加工作者尚有張星三、吳耀安、成海君等同志及本所陶瓷實驗工場工作同志。文內的化學分析係由我所分析室代做，顯微鏡觀察由郭祝崑同志代做，部分使用試驗在上海新中科學玻璃廠進行，謹一併致以謝意。

二. 原料的基本性能

在開始進行試驗的時候，曾採用了較多種類的原料。經過初步試驗後，選擇了其中的四種粘土，一種長石和一種礫石作為主要的配方成分。除唐山紫木節土及著名的湖南長石以外，其餘四種原料均出產在華東地區，而在配方中用量最多的是蘇州的高嶺土。下表列出了這六種原料的名稱和產地。

表1. 原料名稱與產地

原料名稱	產地	備註
蘇州高嶺土	蘇州崑崙關陽山	陽西礦(舊名江南礦)
紫木節土	河北唐山	
木節土	浙江台州	(浙江臨海)
焦寶石	山東博山	
礫石	浙江溫州	
長石	湖南望城	

唐山紫木節土和湖南長石買來時就是粉狀的。其他都呈塊狀，經部分乾燥，在石輪碾機上磨細備用。為配方用的生料一般磨細至通過 40 號篩*。為做熟料用的原料則磨細至通過 16 號篩。因為這項工作的目的是要在最後做出若干與實際使用尺寸相近似的成品，進行實際使用試驗，所以開始獲得的原料較多，均經系統方法取樣縮分，得到足夠數量的樣品，進行化學分析、粘土的顆粒分佈試驗、粘土窯業性質的測定與礦物組成的初步鑑定。為下一步的坩堝配方研究提供必要的基礎。

(I) 原料的化學組成及其外貌觀察：

各種原料磨細後的代表性樣品均經化學分析，和原塊在煨燒前後的外貌觀察，表 2 列出了這部分試驗的結果。

(II) 粘土的粒度分佈：

三種粘土原料的分散度用濕過篩的方法加以測定；取通過 40 號篩的試樣 500 克，放入 2500 毫升水中，另加 5 克焦磷酸鈉作為分散劑，加熱至 90°C 維持一小時，同時加以攪拌，然後使之逐漸冷卻並繼續攪拌 24 小時。用 40、50、60、70、80 及 100 等號篩將各級顆粒分開；通過 100 號篩的懸浮液，再分別靜置 0.5、4 及 24 小時，將各次的沉積部分和懸浮部分分開。各號篩的孔徑用顯微鏡測定校正，不同時間的沉積部分的粒度用斯多克斯 (Stokes) 方程式加以計算。三種粘土的粒度分佈情況列在表 3 內。由於

* 係蘇聯標準篩號，下同。

大於 100 號篩孔徑的顆粒頗少,因此將 40 至 100 號篩之間的顆粒合併為兩個數字。

表2. 原料的化學組成與外貌描述

原料名稱	化 學 成 分 %										外 貌 觀 察	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	燒失量	總計	燒 前	燒 後 (1400°C)
蘇州高嶺土	45.79	—	39.32	0.20	0.29	0.40	0.06	0.08	14.06	100.20	白色塊狀物, 斷口緻密, 頗堅硬, 有強烈的滑膩感。	色潔白, 裂縫多, 收縮大, 玻璃態物質很少。
唐山紫木節土	43.97	1.89	31.63	1.27	0.25	1.52	0.43	1.05	17.97	99.98	深紫褐色	燒後呈灰白色並有一些棕色斑點。
台州木節土	57.33	0.69	24.58	2.90	1.22	0.62	0.09	2.75	10.14	100.32	淡灰黃色片狀物, 色澤均勻, 斷口尚緻密。	燒後表面呈淡黃色, 並有很多斑, 斷口當中有黑心, 層裂明顯似已完全玻化。
山東焦寶石	44.39	1.60	38.70	0.89	—	0.23	0.01	痕量	14.42	100.24	灰黑色塊狀物, 表皮呈黃棕色, 甚堅硬。	燒後表面呈鐵棕色, 有緻密, 無開裂現象, 呈灰白色。
溫州礬石	62.71	0.32	29.92	0.33	痕量	—	0.17	0.15	6.17	99.77	淡青黃色塊狀物, 甚堅硬, 雜有淡綠色條紋及黃斑。	燒後呈青白色, 斑及裂縫。
湖南長石	64.77	—	19.54	0.18	痕量	痕量	2.25	13.38	0.5	100.62	白色稍帶淡黃。	

表3. 粘土的粒度分佈

原料類別	蘇州高嶺土		唐山紫木節土		台州木節土	
	粒度範圍 μ	百分率 %	粒度範圍 μ	百分率 %	粒度範圍 μ	百分率 %
40—60 號篩	151—100	1.35	151—100	1.86	151—100	3.58
60—100 號篩	100—59	7.18	100—59	5.21	100—59	10.34
<100 號篩, 0.5 小時 沉澱部分	59—14	23.27	59—13.4	23.75	59—13.6	21.82
<100 號篩, 4 小時 沉澱部分	14—5.2	11.17	13.4—5.0	14.16	13.6—5.1	13.06
<100 號篩, 24 小時 沉澱部分	5.2—2.2	33.52	5.0—2.3	13.67	5.1—2.3	21.60
<100 號篩, 24 小時後 懸浮部分	<2.2	23.51	<2.3	41.25	<2.3	29.60

(III) 粘土的窯業性質：

我們測定了粘土的泥漿性能、乾燥性能和燒結性能，作為進行坩堝配方試驗時的基本參考數據。在粘土的泥漿性能方面，主要採用恩格利粘度計測定了少量電解質對於粘土泥漿的流動性和厚化度的影響。粘度計出口直徑為 4.7 毫米^[1]。表 4 列出 Na_2SiO_3 對於三種粘土的相對粘度與厚化度的影響。同時也測定了含有電解質的粘土泥漿的滲透性能^[2]。其結果列於表 5。

表 4. 電解質對粘土泥漿的相對粘度和厚化度的影響

粘土名稱	Na_2SiO_3 * 加入量 %	流出 100 毫升 泥漿所需時間 秒	流出 100 毫升 水所需時間 秒	相對 粘度	30 分鐘後流 出 100 毫升泥 漿所需時間 秒	厚化度	備 註
蘇州高嶺土	0.30	不流動	—	—	—	—	在 14°C 的室溫下進行試驗，泥漿含水量為 100%，不加電解液時呈微微流動狀態。
	0.32	8.9	5.6	1.59	17.8	2.00	
	0.23	7.1	5.6	1.27	8.5	1.20	
	0.34	7.3	5.6	1.30	8.5	1.16	
	0.36	6.9	5.6	1.23	8.5	1.23	
	0.37	6.7	5.6	1.20	8.0	1.19	
唐山紫木節土	0.03	11.9	5.7	2.09	14.2	1.19	在 12°C 的室溫下進行試驗，泥漿含水量為 62%，不加電解液時呈微微流動狀態。
	0.04	9.2	5.7	1.61	10.1	1.09	
	0.05	9.1	5.7	1.60	9.7	1.07	
	0.06	9.1	5.7	1.60	10.4	1.14	
	0.07	8.8	5.7	1.54	11.5	1.30	
台州木節土	0.37	14.5	5.8	2.50	流不出	—	在 10°C 的室溫下進行試驗，泥漿的含水量為 80%，不加電解液時呈微微流動狀態。
	0.38	14.1	5.8	2.43	流不出	—	
	0.39	13.1	5.8	2.26	流不出	—	
	0.40	12.4	5.8	2.14	流不出	—	
	0.41	13.8	5.8	2.38	流不出	—	
	0.42	16.3	5.8	2.81	流不出	—	
	0.43	17.1	5.8	2.95	流不出	—	

* Na_2SiO_3 分析結果： Na_2O , 14.94%, SiO_2 , 35.01%。

在粘土的乾燥性能方面，將上述流動性最好的各種粘土泥漿，用澆注法在石膏模中製成長 4 厘米直徑為 2 厘米的小圓柱形試樣，石膏模會均預先在 46°C 下乾燥，然後測定各種試樣的脫模水分、乾燥收縮、乾燥顯氣孔率與乾燥靈敏指數^[3]。最後一個項目表

表 5. 電解質對於粘土泥漿滲透性能的影響

粘土名稱	Na ₂ SiO ₃ 加入量 %	過濾時間 分	最初五分鐘濾液佔總濾出液的百分率 %	泥餅含水量 %
蘇州高嶺土	0.33	40	75.5	33.30
	0.34	40	76.5	34.60
	0.35	45	69.9	32.04
	0.36	45	59.7	30.43
	0.37	45	61.6	31.99
唐山紫木節土	0.03	40	78.3	23.43
	0.04	25	66.8	24.75
	0.05	45	67.95	24.98
	0.06	80	74.83	23.37
	0.07	70	76.42	23.36
台州木節土	0.39	45	43.60	39.31
	0.40	40	35.90	33.56
	0.41	40	47.5	36.72

表 6. 粘土的乾燥性能

粘土名稱	脫模水分佔乾重 %	體積收縮 %	顯氣孔率 %	乾燥靈敏指數
蘇州高嶺土	43.76	13.81	45.15	0.308
唐山紫木節土	30.21	15.75	31.80	0.549
台州木節土	48.31	27.16	37.77	0.784

徵着粘土對於各種乾燥條件的適應性。表 6 列出這部分試驗的結果。

此外就粘土的結合性能也簡略地做了一些試驗,看它們在加入多少石英砂後(直徑 0.21—0.3 毫米)仍舊能夠結成一團。如果以粘土和石英砂的總量稱為 100%。那末紫木節土、木節土、與蘇州高嶺土結合石英砂的極限分別為 70%、65% 與 55%。

在粘土的燒結性能方面,曾進行了三種主要粘土的燒結試驗。採用了長 4 厘米、直徑 1 厘米的小圓柱形試樣。並對在 1400°C 及不同保溫時間下燒成的樣品測定了幾項主要燒成性能。圖 1 畫出三種粘土的燒結曲綫,它們的燒成性能及耐火度分別列在表 7 和表 8 內。

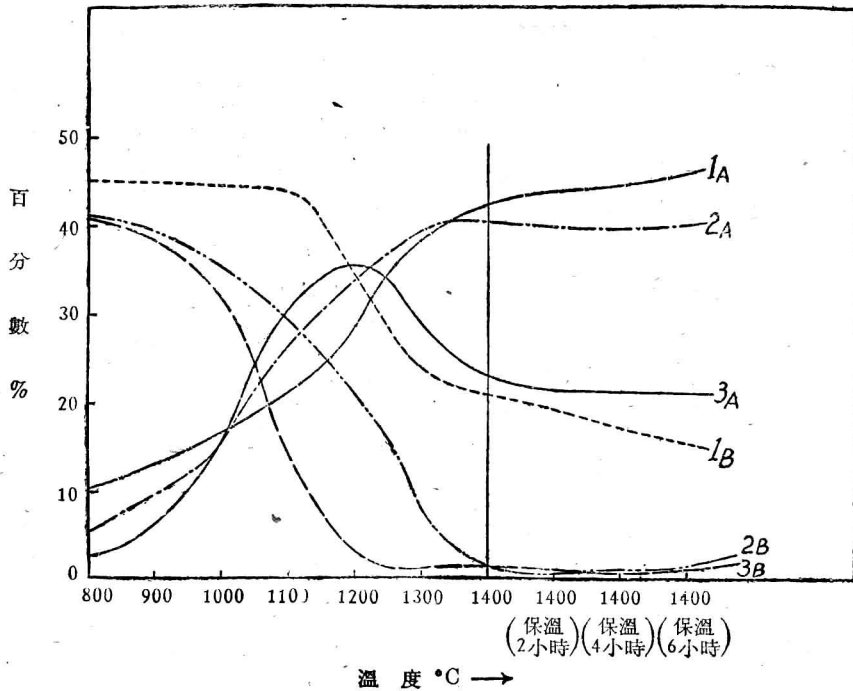


圖1. 三種粘土的燒結曲線

1A—蘇州高嶺土體積收縮 1B—蘇州高嶺土顯氣孔率 2A—紫木節土體積收縮
2B—紫木節土顯氣孔率 3A—台州木節土體積收縮 3B—台州木節土顯氣孔率

表7 粘土的燒成性能

粘土名稱	燒成溫度 保溫時間	燒成體積收縮 %	顯氣孔率 %	抗折強度 公斤/厘米 ²	外貌觀察
蘇州高嶺土	1400°C—0小時	40.97	21.64	124	呈潔白色。
	1400°C—2小時	43.91	19.10	127	呈潔白色。
	1400°C—4小時	44.42	17.23	196	呈潔白色。
	1400°C—6小時	45.73	15.58	—	呈潔白色。
唐山紫木節土	1400°C—0小時	40.40	0.97	346	呈淡灰白色,有很少數黑黃色斑點。
	1400°C—2小時	39.10	0.71	335	呈淡灰白色,有很少數黑黃色斑點。
	1400°C—4小時	39.53	1.08	334	呈淡灰白色,有很少數黑黃色斑點。
	1400°C—6小時	39.52	1.17	355	呈淡灰白色,有很少數黑黃色斑點。
台州木節土	1400°C—0小時	22.05	1.50	—	呈淡灰色有過燒起泡現象。
	1400°C—2小時	23.49	1.08	480	淡灰色起泡現象很明顯。
	1400°C—4小時	21.65	1.14	420	淡灰色起泡現象很明顯。
	1400°C—6小時	20.60	1.22	458	淡灰色起泡現象很明顯。

表8. 原料的耐火度.

原料名稱	耐火度	原料名稱	耐火度
蘇州高嶺土	1770—1780°C	山東焦寶石	1740—1750°C
唐山紫木節土	1700—1710°C	溫州礮石	1690°C
台州木節土	1590—1610°C		

(IV) 粘土中所含粘土礦物的初步鑑定:

爲了鑑定粘土中的主要粘土礦物組成,除去已有的化學分析數據以外,對三種粘土的細顆粒部分(包括通過 100 號篩在 24 小時內的沉積部分,及在 24 小時後的懸浮部分)進行了差熱分析試驗和脫水試驗。唐山紫木節土含有相當大量的有機物質,爲了消除它們對上述試驗的影響,事前連續用淡 H_2O_2 溶液處理粘土懸浮液^[4],一直延續了約四月之久。經過處理的紫木節土泥漿,色澤仍舊頗深,再加 H_2O_2 溶液仍有氣泡出

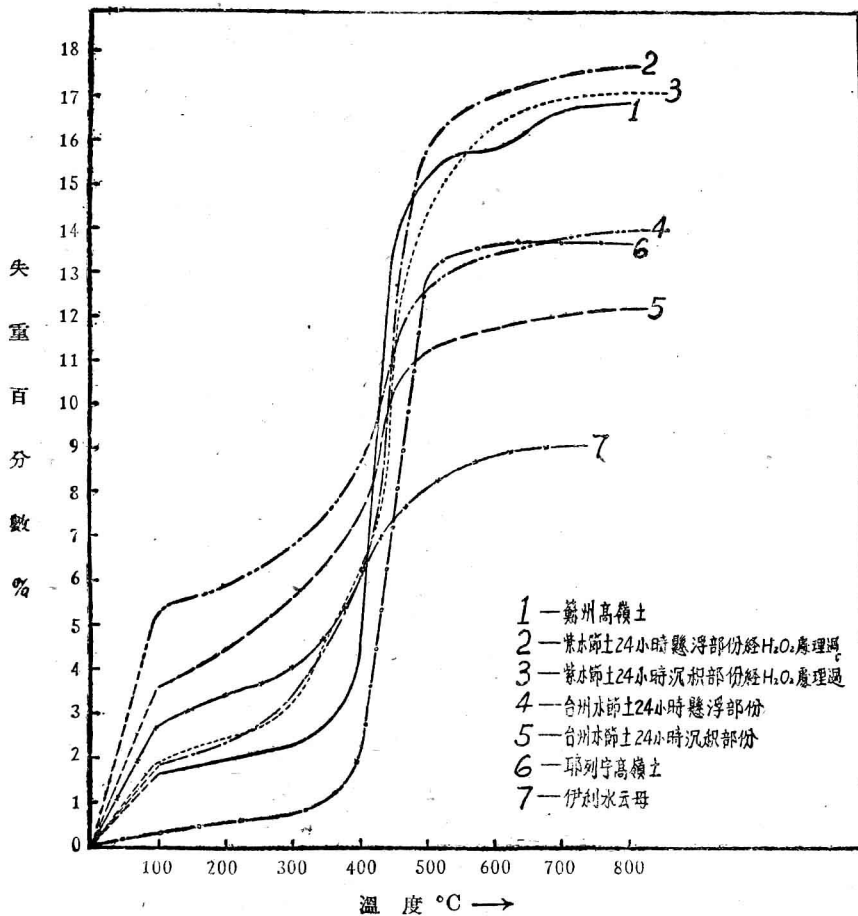


圖2. 三種粘土的脫水曲綫

現,說明有機物質尚未完全去淨。

粘土的脫水試驗是按照哥布諾夫 (Горбунов) [5] 等的辦法,利用熱天秤設備進行的。以每 50°C 為一階,測定在恆溫下的失重。圖 2 繪出這三種粘土的細顆粒部分的脫水曲綫*,並將高嶺石與伊利水雲母的脫水曲綫 [6] 一並繪入以資比較。

進行差熱分析實驗的程序是這樣的:用人工調節爐溫的上昇,使之維持在每分鐘 12°C 左右,差熱熱電偶的讀數通過鏡式檢流計在標尺上讀出,檢流計事先經過校正,在標尺上每一毫米的偏轉相當於 1°C 。圖 3 繪出了各種粘土及礫石試樣的差熱曲綫。為

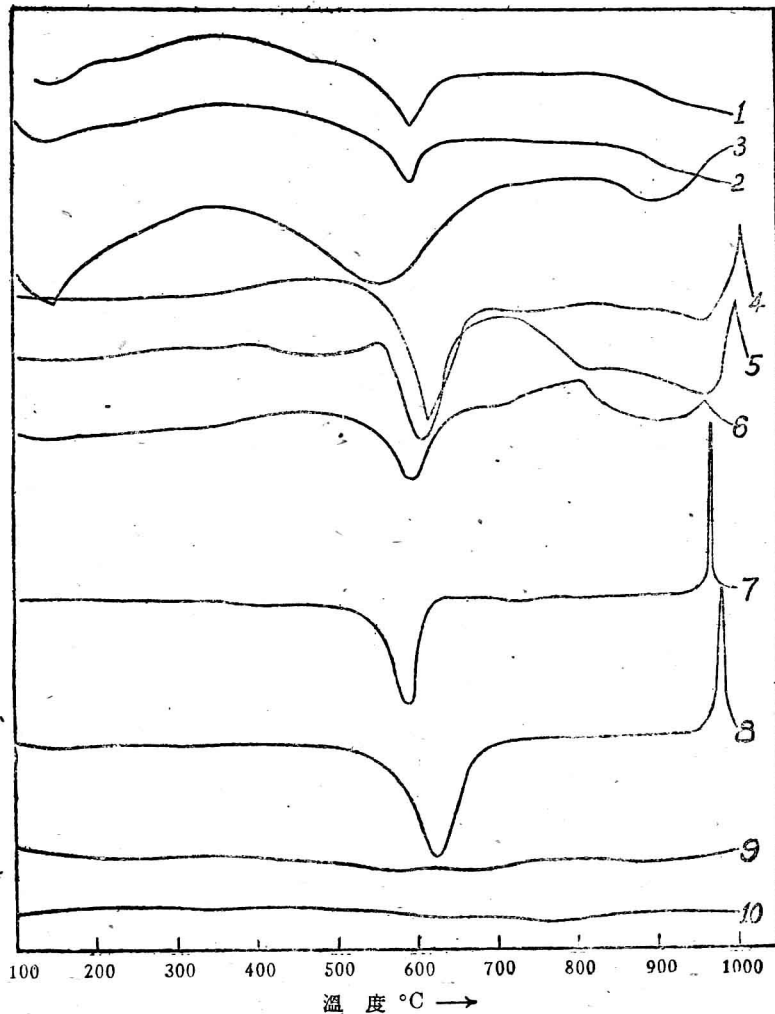


圖 3. 粘土及礫石的差熱曲綫

- 1—台州木節土 24 小時懸浮部分 2—台州木節土 24 小時沉積部分 3—伊利水雲母
 4—紫木節土 24 小時懸浮部分經 H_2O_2 處理過 5—紫木節土 24 小時沉積部分經 H_2O_2 處理過
 6—紫木節土 <40 號篩 7—蘇州高嶺土 8—高嶺石 9—溫州礫石 10—藥礫石

* 蘇州高嶺土的脫水曲綫係引用本室電瓷實驗室的結果。

了比較將高嶺石、葉礬石^[7]和伊利水雲母^[8]的差熱曲綫一並繪入。

(V) 討 論:

(1) 從幾種主要粘土的化學分析結果,它們的 $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ 分子比例是這樣:

	蘇州高嶺土	唐山紫木節土	台州木節土	山東焦寶石
$\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$	1.98:1	2.36:1	3.96:1	1.93:1
(分子比例)				

可見蘇州高嶺土和山東焦寶石的 SiO_2 、 Al_2O_3 分子比例很接近高嶺石結構的理論數值。再看蘇州高嶺土的差熱曲綫,它在 585°C 附近的大吸熱谷和在 970°C 的強放熱峯都是高嶺石礦物的標準特徵。整個差熱曲綫是那末清晰和一般公認的高嶺石的曲綫沒有什麼出入。蘇州高嶺土的脫水曲綫更進一步說明它所含的粘土礦物是屬於高嶺石類型的。顯微鏡觀察也與上述結果相符合,即使在粗顆粒部分,除去粘土礦物以外,很少發現其他非粘土礦物的雜質。

山東焦寶石的差熱分析試驗曾被進行過^[9],也是屬於高嶺石粘土礦物的類型。在本工作中,對此粘土沒有作進一步的研究。

唐山紫木節土呈深紫褐色,含有大量有機物質,經過長時間 H_2O_2 的處理,只去掉其中的一部分。在它的差熱曲綫上, $600-620^\circ\text{C}$ 附近的吸熱谷和 1000°C 附近的放熱峯也顯著地表徵着高嶺石類粘土的存在^[10]。對於最細顆粒部分 ($<2.3\mu$),差熱曲綫顯示出有機物質的氧化約在 350°C 開始,一直延續到吸熱谷的開始。對於較粗顆粒部分 ($59-2.3\mu$),有機物的氧化則主要在較高的溫度下進行;緊隨着吸熱谷之後,在 $650-730^\circ\text{C}$ 之間有放熱現象出現。脫水曲綫也說明唐山紫木節土所含的粘土礦物主要是高嶺石,有機物質的氧化似乎在 300°C 就已經開始。顯微鏡對於粗顆粒的觀察證明,它含有較多的石英、鈣長石及鐵質礦物等雜質。

從台州木節土的差熱曲綫上的 150°C 附近和 600°C 附近的吸熱效應等特徵,說明它所含的粘土礦物很可能是屬於水雲母類型的^[11]。木節土的脫水曲綫也符合於這一推論。最細顆粒部分在 100°C 以前的失重較多,可能是由於吸附了較多量的水分,在 100°C 以後,不同粒度失重曲綫的趨勢是相當接近的。化學分析結果指出木節土的含鉀量頗高也和上面的估計相一致。只有在它的差熱曲綫上, $900-1000^\circ\text{C}$ 的吸熱效應還沒有適當的解釋。

(2) 這三種粘土的分散度都是比較高的,過通 100 號篩的部分 ($<59\mu$) 均在 90% 左右,而其中以唐山紫木節土為最細,小於 2 微米(斯多克斯直徑)的顆粒在 40% 以上。

對於蘇州高嶺土和台州木節土來說,由於細的顆粒度、大的表面積,為了製備流動性能較好的泥漿,就需要加入較大量的電解質。同時台州木節土的泥漿還有嚴重的觸變現象,因此,在配方中木節土的含量不宜過多,否則對泥漿性能有不利影響。相反的,

可能是由於大量有機物質的關係，起了保護膠體的作用，唐山紫木節土的泥漿只需要很少量的電解質就可以使流動性能變得很好。同時泥漿的厚化性能也很好，因此作為生坯的結合粘土，使用紫木節土是有利的。

(3) 三種粘土的滲水性能以木節土為最差，從石膏模脫模的坯體含水量高達 48.31%，可能是由於顆粒細，含鹼量高，表面水膜厚，觸變現象嚴重，使水分不容易透過。乾燥體積收縮和乾燥靈敏指數也以木節土為最大，因此從乾燥性能來看，使用較多量的木節土也會引起困難。

粘土顆粒的堆積情況以蘇州土為最壞，乾坯的顯氣孔率達 45%，所以它的乾燥收縮和乾燥靈敏指數都最低。

作為結合粘土，給與坯體以足夠的乾燥強度，唐山紫木節土是較好的，它的結合能力為最強。

(4) 蘇州高嶺土的質地很純，含有熔劑和其他雜質均極少，因而燒結溫度很高，在 1400°C 氣孔率仍高達 20% 左右。但是由於顆粒細，原來的堆集情況不好，燒成收縮則頗大。唐山紫木節土含有大量的有機物質，在燒成時需要給予注意，燒結溫度也較高，達 1400°C，同時所含鐵質礦物分佈不均，出現一些黑棕色斑點。

台州木節土的 $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例較高，同時又含有相當數量的鹼金屬氧化物，因此它的燒結溫度頗低，在 1200—1250°C 之間就已經完全燒結。燒成強度也很高。單純粘土試樣燒至 1300°C 即有過燒起泡現象。木節土的含鐵量雖高（約 3%），但是很可能是由於類質同晶置換作用而處於粘土礦物晶格之內，所以在燒成後，色澤均勻沒有斑點現象。在坩堝配方中，少量的木節土對於燒成性能還是有好處的。

(VI) 小 結：

本節對於幾種製造坩堝所使用的原料進行了試驗，可得結論如下：

(1) 蘇州土是一種含雜質極少的高嶺石型粘土，它的顆粒度頗細，堆積情況不好，燒結溫度很高，在 1400°C 仍有約 20% 的氣孔率。色澤潔白，在適當的處理下，應可很滿意地作為坩堝的熟料。也可作為配方中的瘠性土，抵抗玻璃侵蝕的性能應較好。

(2) 山東焦寶石所含的粘土礦物，主要也是高嶺石，是一種組織緻密的硬質耐火粘土。在適當溫度下燒結，可以得到氣孔率很低的熟料（<2%），也可考慮在坩堝配方中使用，只是它的含鐵量較高。

(3) 唐山紫木節土和台州木節土是兩種結合粘土。前者顆粒度極細，含有大量有機物質，具有很好的泥漿性能。燒成時需要注意有機物質的排除，燒結溫度也較高，在坩堝配方中可以少量使用。它所含的粘土礦物主要也是高嶺石。木節土組成中的粘土礦物，很可能是屬於水雲母系的，它的泥漿性能較差，容易引起觸變現象，乾燥收縮較大，但還不容易導致開裂。它的燒結溫度較低，在 1200—1250°C 已經完全燒結，可以

增加燒成坯體的緻密度與強度,在坩堝配方中也可少量使用。

(4) 湖南長石是一種很純的鉀長石。準備在配方中少量使用,以促使坯體更好的燒結,並增加其緻密度。溫州礬石也是極純的,除去 $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 和結合水以外,其他雜質的含量均甚微。

三. 坩堝的配方試驗

(I) 坩堝配方的試探性試驗:

事實上,在進行原料基本性能試驗之前,即早已開始了坩堝的配方試驗。配方試驗的發展,主要是隨着試驗室熔製玻璃的需要進行的。最初只需要能熔製兩公斤玻璃的小坩堝,後來擴大到 10 公斤容量,然後進一步擴大到 70 至 100 公斤的容量。與此同時,又考慮到工業上的實際需要,爲了使澆注法製造坩堝能對坩堝生產的現狀起改革作用,就必須把容量能擴大到 200 公斤或者更大的製品。在擴大容量與熔製不同成分玻璃的過程中(特別是無鹼硼質玻璃和錳質玻璃),遇到了有關澆注、成型、乾燥、燒成及耐侵蝕等各方面的問題,因此進行了一系列的改變配方試驗,也更意識到探明各項原料的基本性能對於進行配方試驗的重要意義。

作爲實例,表 9 和表 10 列出 B 系坩堝的熟料成分和配方成分。B 系配方以蘇州高嶺土爲基礎, B-S-1, B-S-2 和 B-S-3 等三種配方均在瓷質球磨中製備泥漿(研磨 24 小時); 其中的熟料部分先通過 40 號篩,泥漿比重在 1.8 左右,澆注直徑 13 厘米,高 13 厘米的小坩堝甚爲滿意;但擴大至 10 公斤坩堝,成型即比較困難,而乾燥破損率極大。B-S-4 配方改變了熟料的粒度,增加了一部分較粗的顆粒,同時改用攪拌法製備泥漿,澆注 10 公斤坩堝已無問題,不過擴大至 70 公斤又發生困難。這些情況是和原料的

表 9. B 系坩堝配方的熟料成分

配方編號	熟料配方 %			熟料化學成分 %								備註
	蘇州 高嶺土	溫州 礬石	湖南 長石	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
B-G-1	45	40	15	60.78	0.14	35.69	0.27	0.14	0.19	0.47	2.30	將通過 40 號篩的各項原料,加水在瓷質球磨機中磨製 16 小時,經壓濾機製成泥餅,乾燥後,在 1400°C 保溫 2 小時燒成。再磨細爲通過 40 號篩的細粉。
B-G-2	50	40	10	60.15	0.14	37.09	0.27	0.16	0.22	0.35	1.58	同上
B-G-3	60	35	5	58.82	0.12	39.14	0.36	0.19	0.26	0.23	0.85	同上
B-G-4 B-G-9	60	35	5	58.82	0.12	39.14	0.36	0.19	0.26	0.23	0.85	將通過 40 號篩的各項原料,加水攪拌 4 小時,經壓濾機製成泥餅,乾燥後,在 1400°C 保溫 2 小時燒成。再磨細爲各種不同粒度的熟料粉。

表 10. B 系 坩 埚 的 配 方 試 驗

配方編號	坩 料		配 方				坩 料 化 學 成 分 *								備 註	
	熟 %	細 度	蘇州土 煨燒蘇州土 (1400°C)	蘇州土	唐 山 紫木節土	台 州 木節土	湖 南 長石	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O		K ₂ O
B-S-1	50	<40 號篩	—	30	—	15	5	58.94	0.18	36.13	0.75	0.35	0.32	0.39	2.90	泥漿在球磨機內研磨 24 小時,加水 40%、水玻璃 0.35%。
B-S-2	55	<40 號篩	—	30	—	10	5	58.77	0.15	37.53	0.61	0.31	0.31	0.34	1.93	泥漿在球磨機內研磨 24 小時,加水 35%、水玻璃 0.35%。
B-S-3	55	<40 號篩	—	30	—	10	5	58.00	0.14	38.72	0.67	0.32	0.34	0.27	1.51	泥漿在球磨機內研磨 24 小時,加水 35%、水玻璃 0.3%。
B-S-4	55	16-24, 40% 24-40, 20% <40, 40%	20	9	—	13	3	57.85	0.15	38.88	0.65	0.35	0.35	0.22	1.50	泥漿在攪拌機內攪拌 8 小時,加水 25%、水玻璃 0.25%。
B-S-5	55	16-24, 40% 24-40, 20% <40, 40%	—	25	10	5	5	57.57	0.30	38.94	0.64	0.27	0.45	0.31	1.48	泥漿在攪拌機內攪拌 8 小時,加水 20%、水玻璃 0.3%。
B-S-6	50	16-24, 40% 24-40, 20% <40, 40%	—	25	10	8	7	58.01	0.32	38.29	0.41	0.30	0.15	0.35	1.82	泥漿在攪拌機內攪拌 8 小時,加水 23.5%、水玻璃 0.275%。
B-S-7	60	16-24, 40% 24-40, 20% <40, 40%	—	25	5	5	5	58.49	—	38.84	0.30	0.14	0.97	0.32	1.30	—
B-S-9	65	16-24, 40% 24-40, 20% <40, 40%	—	20	3	9	3	59.17	痕量	38.44	0.59	0.12	0.82	0.29	1.06	—

* B-S-1 至 B-S-6 的化學成分係根據原料分析結果計算而得, B-S-7 及 B-S-9 的成分是直接分析數據。