

中國科學院冶金陶瓷研究所專刊

乙 種 第 3 號

化 學 瓷 製 造 的 研 究

中國科學院冶金陶瓷研究所編輯
中央輕工業部上海工業試驗所
中 國 科 學 院 出 版

化學、瓷製造的研究

編著者	中國科學院冶金陶瓷研究所 中央輕工業部上海工業試驗所
出版者	中國科學院
印刷者	上海藝文書局鑄字印刷廠
發行者	中國圖書發行公司

書號：53055 (化) 02

1953 年 11 月初版

(滬) 0001—4,300

定價 2,800 元

字數：23,900

目 次

一. 引言	1
二. 化學瓷的一般理論	2
三. 研究經過	
(一) 實驗程序	4
(二) 物性檢驗和討論	12
(三) 重點改進	16
四. 結論	21
參考文獻	

化學瓷製造的研究

中國科學院冶金陶瓷研究所

中央輕工業部上海工業試驗所

一、引言

化學瓷基本上是屬於硬質瓷器範疇的一種，它的用途很廣，是工業試驗、科學研究、製藥工業和化學工業上的一種重要器材。最常用的化學瓷製品有坩堝、蒸發皿、杓皿、研鉢、漏斗、過濾板、燃燒管、燃燒舟及噴火嘴等多種。由於這種瓷器具有很高的硬度和機械強度，因此某些需要耐磨的工業器材，如球磨機瓷瓶、瓷襯裏磚及瓷球等，也可以用化學瓷來製造。就實用的要求而言，優良的化學瓷應具備下列諸性能：

1. 玻化完全，氣孔率與吸水率接近於零。
2. 能耐急冷急熱的溫度變化。
3. 能抵抗酸鹼等化學藥品的侵蝕。
4. 經過更番的燒灼和冷卻後，其重量的變化必須極微。
5. 須具有足夠的機械強度和衝擊強度。
6. 瓷釉光亮堅硬，能耐酸鹼等化學藥品的侵蝕；在 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的高溫下，須不致有熔融現象。

硬質瓷器最早又稱為‘真瓷器’，我國在全世界最先製造，並具有二千多年的悠久歷史。在第一次世界大戰前，首先由德國梅生（Meissen）與柏林（Berlin）二瓷廠，由硬質瓷器改進為化學用瓷；其後歐美等國亦羣起製造。我國雖然最先發明，但始終停留在製造日用硬質瓷器的階段。解放前，國內雖有少數工廠從事研究和製造，但由於帝國主義的經濟侵略，和反動統治階級的半殖民地政策，產品品質始終不能達到實用要求，於是國內學校、工廠及科學研究等機關，紛紛仰求舶來，每年要花費相當數量的外匯。解放後，中國科學院冶金陶瓷研究所窯業組和中央輕工業部上海工業試驗所陶工組，為了響應政府號召，粉碎美帝封鎖，並

爲了配合新中國即將到來的大規模工業建設的需要，便開始合作試製。在合作過程中，我們採取了集體分工的研究制度，通過了雙方工作同志的努力，我們已能利用華東和中南區的國產原料，製成合乎實用要求的化學瓷成品。現在我們除了將研究結果寫成這本小冊子出版外，還希望能把這個成果推廣到生產部門中去，以期達到理論與實際相結合的目的。

二、化學瓷的一般理論

化學瓷的主要原料爲瓷土、煨瓷土、長石與少量的氧化鋁、石灰石及石英等。故就組成成分而言，化學瓷在基本上是屬於硬質瓷器範疇內的。至於製造手續方面，雖比普通硬質瓷器稍爲複雜，但大體上也是差不多的。

由此可見，化學瓷其實就是一種改良的普通硬質瓷器，雖然製造成本比較昂貴，但由於它具有許多普通硬質瓷器所不能勝任的特殊性能，因此用途很廣，是工業上一種重要的器材。

化學瓷和普通硬質瓷器不同的地方有下列幾點：

1. 化學瓷瓷坯的組成成分，瓷土的用量比較高得多，長石用得比較少，石英在一般情況下很少應用，或甚至根本不用。
2. 化學瓷的玻化主要依靠熱（燒成溫度較高）；而普通硬質瓷器則主要依靠熔劑（熔劑用得較多，燒成溫度較低）。
3. 就結構而言，化學瓷要求質地緻密，氣孔率和吸水率都接近於零；而普通的硬質瓷器，除高壓電瓷外，一般都欠緻密，氣孔率和吸水率也比較高。
4. 就微組織而言，硬質瓷器的礦物成分，不外是謨來石的針狀結晶和矽酸質玻璃的基底；此外還有一些游離矽氧（包括石英、磷石英及白矽石等）。在化學瓷瓷坯中，謨來石的含量比較多，結晶也比較大，游離矽氧很少。在普通的硬質瓷器中，情況剛巧相反。

因此，性能優良的化學瓷，必須含有多量的謨來石結晶，而游離矽氧的含量則必須很少。謨來石結晶之所以能賦予化學瓷以特殊性能，因爲它本身具有下列許多優點：

1. 謨來石結晶比較大多數的矽酸物，更能抵抗酸鹼的侵蝕。
2. 謨來石結晶的膨脹係數，雖然不算小，但却甚爲均勻，不會像游離矽氧

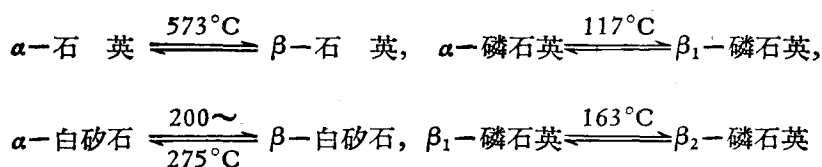
那樣，由於因同質異形體的轉化，發生急劇的體積變化，因此，尚能符合實用要求。

3. 針狀謨來石結晶所交織成的網狀骨幹，具有高度的機械強度。這種堅強的網狀骨幹，配合了略具彈性的矽酸質玻璃基底，就造成一個強韌而能耐急冷急熱溫度變化的瓷坯。

爲了促使化學瓷瓷坯中能有多量謨來石晶體的形成，必須：

1. 配成適當成分的料方，含土量至少須在 70% 以上，長石則須在 20% 以下。
2. 燒成溫度要高，一般都在 1400°C 左右燒成（美“古爾斯”牌在 1550°C 燒成），並在最高溫度下保持相當時間。
3. 使用礦化劑。礦化劑的作用，不僅能促進謨來石晶體的大量晶出和加速其晶出速度，還能降低燒成溫度，亦即減少了製造技術上的困難和製造成本。常用的礦化劑有碳酸鈣等，此外長石也具有礦化的作用。

游離矽氧（石英、白矽石等）是最不受歡迎的成分，因為它們具有下列幾個晶體的轉化：



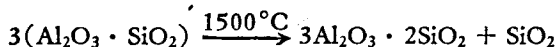
在上述任何一個轉化中，都連帶着發生巨大的體積變化，如果瓷坯中含有這些物質，就往往經不起急劇溫度變化的考驗，容易發生破裂。化學瓷的瓷坯料方中，很少或甚至根本不採用石英，就是爲了這個道理。如果瓷坯中用了石英，那麼在燒成時，必須要用很高的溫度（1500°C 以上），並保持相當長久的時間，才能使其進入熔液而與他物化合；否則，就生成有害的游離矽氧。可是 1500°C 以上的高溫，不僅在普通的陶瓷窯爐中，不太容易達到，而且也增加了製造的成本。這是化學瓷瓷坯中不採用石英的另外一個原因。

由於這些原因，一般化學瓷瓷坯中所需要的矽氧成分，大部分都取自矽氧含量較高的瓷土，在這些瓷土裏面的矽氧，主要是以化合物的形式存在的；其中雖也有一部分以游離的形式存在，但以其爲量不多，顆粒很細，在燒成時比較容易進入熔液，因此並無妨害。

化學瓷瓷坯中常含有多量的瓷土（約 50%~80%）；如果這些瓷土的黏性很

強，就容易產生下列兩個缺點：

(1) 黏性太高，成形不便。(2) 在燒成時，收縮太大，容易引致變形和破裂，增加廢品。爲了要避免這些缺點，必須要在瓷坯中，加入一些非可塑性原料，以資調節。石英雖是一種很好的非可塑性原料，但是由於前述的許多缺點，很少應用。通常使用的代替品有煨瓷土和矽綫石等。瓷土經過煨燒以後，失去了原有的黏性，但仍保有原來的化學成分。矽綫石的分子式是 $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2)$ ，很相近於謨來石分子式 $(3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)$ 的成分，而且在高溫的處理下，很易轉變成謨來石，所以是一種很好的代替品。



除了上述兩種代替品外，也有人曾試用人造謨來石代替石英的；不過實驗的結果，並不如想像中的良好，尚須等待作進一步的深入研究。

化學瓷製品大多數是施釉的，施釉的主要目的是：(1) 使瓷坯表面光潔，便於潔淨。(2) 封閉瓷坯表面的微小氣孔，使外界液體或氣體無法侵入。(3) 增加美觀。

對於化學瓷釉的要求，主要有下列四點：

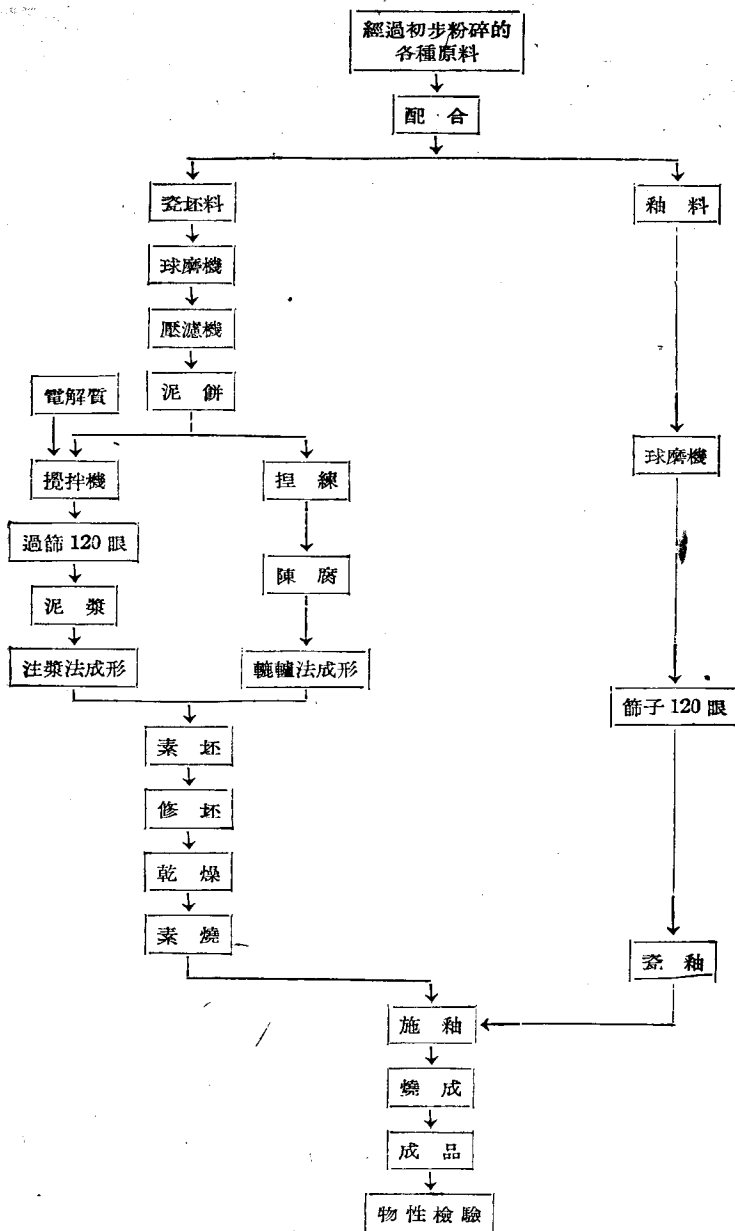
(1) 能耐高溫，在 $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ 的高溫下，須不致融化。(2) 能抵抗酸鹼的侵蝕。(3) 膨脹係數須和瓷坯相適合；否則容易引起龜裂或剝離。(4) 外表必須光潔美觀，沒有砂子和氣泡等弊病。化學瓷釉的主要原料爲長石、石英、高嶺土及碳酸鈣等。在礦物顯微鏡下觀察時，釉的組成完全和玻璃相同；其中偶有氣泡，還有粗大的謨來石結晶常常從瓷坯的表面伸展到玻璃質的釉層中，產生一種牽拉的作用，因而使釉層得以更牢固地貼附在瓷坯的表面上。

三. 研究經過

(一) 實驗程序

本題的研究計劃，主要是根據這樣一個方向擬定的：即採用華東與中南區的國產原料，參考“古爾斯”(美)，“H^v”(德)，及“柏林”(德)等牌瓷坩堝的化學成分，在目前我國工業上易於達到的高溫及其他條件下，配成一系列的料方，予以試製。最後再從這一系列的料方中，選出數種性能最好的料方，重點地予以改進，希望最後製品至少能合乎實用要求。

茲將製造程序先以簡圖表示如下，詳細的論述則分別說明於後：



1. 應用原料

我們採用的原料有蘇州瓷土、祁門瓷土、湖南長石、蘇州石英、湖州石英、氧化鋁及石灰石等數種。在開始試製以前，我們曾分別予以化學分析，茲將結果抄錄如表 1。

關於物理性能方面，由於人力和設備條件的限制，沒有做過系統的試驗，現

就根據一般的了解，與實際使用中的經驗，分別敘述如下：

(1) 蘇州瓷土——產於蘇州楊山，其化學成分和物理性能，由於礦區的不同，有相當大的差別。我們所採用的是紅葉陶業廠的特級蘇州土（即表 1，蘇州土“1”）， Al_2O_3 含量達 37% 左右，黏性甚佳，燒成後色澤潔白，強度較差，最大的

表 1. 原料的化學成分

化學成分 原料名稱	水份	灼失 熱重	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	CaO	MnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	總量 %
蘇州土“1”	—	13.67	49.32	36.96	0.17	0.05	—	0.18	—	—	0.10	0.14	100.59
蘇州土“2”	—	8.47	68.47	21.45	0.39	—	0.25	0.97	—	—	—	—	100.00
祁門瓷土	1.5	1.78	74.39	16.65	0.45	0.07	0.08	0.18	0.02	2.73	2.55	—	100.40
星子瓷土	2.8	9.18	51.67	30.26	1.56	0.15	0.02	0.12	0.03	0.35	4.51	—	100.65
湖南長石	0.28	0.62	67.14	18.21	0.19	—	—	0.17	0.01	1.2	12.31	—	100.13
蘇州石英	—	0.42	98.34	0.76	0.29	0.02	—	0.23	—	—	—	—	100.06
湖州石英	—	0.19	97.93	0.50	0.78	—	0.32	0.45	—	—	—	—	100.17
氧化鋁	0.65	0.13	0.05	98.74	0.003	—	—	0.75	—	—	—	—	100.32
石灰石	—	43.75	0.93	0.62	0.18	—	1.69	52.25	—	—	—	—	99.42

缺點是收縮太大，如果在瓷坯中摻用太多，容易引起開裂和變形。補救辦法是將蘇州土先在 1400°C 的高溫下煨燒一次，以代替瓷坯中一部分的蘇州土，這樣就可防止開裂和減少變形。

(2) 祁門瓷土——產於安徽祁門縣，它的成分介乎長石與瓷土之間，是長石的半分解物，黏性尚佳，雜質含量甚低，耐火度較低，約在 10~11 號火錐之間，是我國景德鎮製造日用瓷器的主要原料之一。如果用以製造化學瓷，用量最好在 40% 以下，燒成溫度不能超過 13 號火錐，否則極易發生起泡現象。

(3) 星子高嶺土——產於江西星子縣，黏性稍差，含鐵量甚高，並有微小的雲母片。耐火度尚高，燒成後略帶青色；也是景德鎮製瓷的主要原料。在我們開始試製化學瓷的時候，一度曾試用作瓷坯的原料，因結果不佳，以後即未採用。

(4) 長石——產於湖南攸縣，成分屬於鉀長石類，雜質甚少，試用結果滿意。

(5) 石英——產於浙江湖州、江蘇蘇州二地。前者含鐵較多，後者較少。試用結果，發現凡瓷坯中加入石英者，其耐急冷急熱性能即呈顯著降低，故以後即未使用，現僅用於釉藥。

(6) 氧化鋁和石灰石——二者都是市售工業原料，前者用於高鋁低砂質瓷

坯，後者用於釉藥。

2. 瓷坯與瓷釉料方的擬定

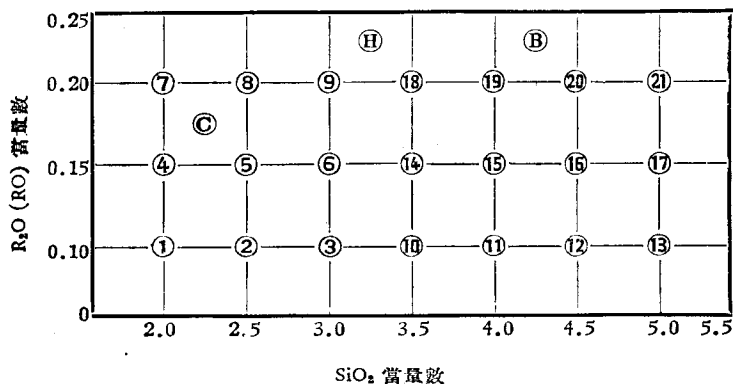
(1) 瓷坯料方——在初期試製的時候，我們僅參照“古爾斯”、“H $\downarrow$ ”、及“柏林”等牌瓷坩堝的化學成分(表2)，利用前述7種國產原料，予以配合試製。後來又擴大範圍，在可能配方的條件下，擬出一系列的料方(其範圍是0.10~0.25 R_2O } 1.0 Al_2O_3 } 2.0~5.0 SiO_2 ，共計21種)，予以配合試製，希望根據燒成瓷坯的性能，從中選出幾種比較優良的料方，然後再重點地予以改進。為了分工明確起見，他們特將這一系列料方，根據 Al_2O_3 與 SiO_2 含量的高低，劃分成高鋁低矽質與高矽低鋁質兩個部分；前者由中國科學院負責，後者由上海工業試驗所負責，最後再由雙方來總其成。

茲將這一系列瓷坯的化學成分和試樣稱號列如表2，瓷坯料方成分則列如表3。

表2. 幾種舶來品坩堝的瓷坯化學成分

牌名	化學成分	灼熱失重	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	總量
“古爾斯”(美)		0.21	53.74	39.48	0.44	0.87	2.16	0.42	2.2	0.76	100.28
“H $\downarrow$ ”(德)		—	60.67	33.88	0.81	0.19	1.15	0.73	1.6	1.08	100.16
“柏林”(德)		0.14	70.15	24.07	0.42	0.38	0.89	1.44	2.32	0.47	100.28

表3. 試製計劃中的瓷坯化學成分與試樣稱號 (Al_2O_3 當量假定為1)



註：試樣 C }
H } 一高鋁低矽質成分
1~9 }

試樣 B }
10~21 } 一高矽低鋁質成分

試樣 C—美 “古爾斯”牌坩堝成分

試樣 H—德 “H $\downarrow$ ”牌坩堝成分

試樣 B—德 “柏林”牌坩堝成分

試樣 15—德 “柏林”牌化學成分
(由參考資料)

試樣 16—美 “古爾斯”牌蒸發皿成分

表4. 瓷坯的化學成分和料方成分

成分	坯號	分子式			化學成分 %				料方成分 %							
		R ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	蘇州土 “1”	蘇州土 “2”	祁門土	湖南長石	湖州石英	蘇州石英	氧化鋁	石灰石
高鋁低砂質	C	0.169	1	2.239	3	2	41	54	71.89			18.76			6.51	2.86
	“C”	(全)					C)		52.8			19.36		10.47	14.38	2.99
	H	0.203	1	3.054	3	2	34	61	72.54			18.77		5.84		2.85
	1	0.1	1	2	4.06		44.08	51.85	61			25.27			13.43	
	2	0.1	1	2.5	3.59		39.03	57.38	76.76			20.27				2.97
	3	0.1	1	3	3.22		35	61.77	70.82		9.25	19.93				
	4	0.15	1	2	5.97		43.2	50.83	69.11			17.78			10.32	2.79
	5	0.15	1	2.5	5.3		38.33	53	83.65			12.97			0.7	2.69
	6	0.15	1	3	4.76		34.45	60.79	69.15		1.1	29.75				
	7	0.2	1	2	7.81		42.36	49.83	65.95			19			10.68	4.36
高砂低鋁質	8	0.2	1	2.5	6.95		37.66	55.39	45.93			43.67			10.4	
	9	0.2	1	3	6.25		33.9	59.86	59.63			38.13			2.24	
	B	0.238	1	3.88	3	2	29	66	61.27			19.08		16.75		2.9
	10	0.1	1	3.5	2.9		31.7	65.3	57		40.4		2.6			
	11	0.1	1	4	2.7		29	68.3	50.5		46.8		2.7			
	12	0.1	1	4.5	2.5		26.7	70.8	47.2		43.5		9.2			
	13	0.1	1	5	2.3		24.7	73	43.5		39.8		16.6			
	14	0.15	1	3.5	4.3		31.1	64.5	56.7		24.3	19				
	15	0.15	1	4	4		28.4	67.5	46		44	10				
	16	0.15	1	4.5	3.5		26.4	69.9	41		51	3.5				
	17	0.15	1	5	3.4		24.4	72.2	23	24	48	5				
	18	0.2	1	3.5	3.7		30.8	63.5	56.8			39.4	3.7			
	19	0.2	1	4	5.2		28.2	66.5	54			35.4	10.6			
	20	0.2	1	4.5	4.6		26.1	69.1	50			31	19			
	21	0.2	1	5	4.4		24.2	71.3	48			29	23.			

(2) 瓷釉料方——瓷釉的料方成分,是完全參照西格氏標準火錐 10~13 號的化學成分,利用前述各種原料,予以配成的。

茲將各種瓷釉的化學成分及料方成分列表如下:

表 5. 瓷釉的試樣稱號，化學成分及料方成分

釉 號	當 量 數				料 方 成 分 %			
	CaO	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	湖南長石	蘇州石英	蘇州土“1”	石灰石
10	0.7	0.3	1.0	10.2	24.11	46.11	21.61	8.17
11	0.7	0.3	1.2	12.0	20.36	48.86	23.93	6.85
12	0.7	0.3	1.4	14.0	17.68	51.65	24.97	5.58
13	0.7	0.3	1.6	16.0	15.60	52.22	27.01	5.18

3. 泥漿、泥餅和瓷釉的製備

經過不斷改進後的泥漿及泥餅製備步驟，大致是這樣的：

(1) 將已經粗磨過的原料(我們所用的各種原料買來時業經初步粉碎)，依照料方成分配合後，就置入球磨機加水細磨，加水的份量，約為料子重量的 100~120%。泥漿的細度，一般都憑手指的感覺來測定，如若產生滑潤的感覺，即可停止細磨。這樣的泥漿，一般有 95% 以上能通過 320 眼的標準篩。細磨所需的時間是：無熟料坯泥，約 20 小時左右，含 20% 熟料的坯泥，約 40~50 小時。

我們所用的球磨機瓷瓶是 25 ϕ × 25cm，約可裝乾料 6 公斤。

瓷釉的細磨方法與上同，唯時間較長，約需 40~50 小時。細磨後的瓷釉，先通過 120 眼的篩子，以去除石屑等雜質，然後再加水調節其稀薄度，至適於施釉即可。

(2) 將已經細磨的坯泥，置於帆布袋中，在壓濾機上壓榨；壓榨的程度視成形方法的不同而迥異，如果用輓轆法或印模法(如渣餅的製備)成形的，泥餅含水量須低於 20~25%；如果是用注漿法成形的，含水量約在 25~30% 左右。

(3) 含非可塑性原料較多的坯泥，經過壓榨後，必須放置陰暗處，陳腐二三天，以增加其黏性；否則不但成形困難，而且在乾燥和燒成時，也易於破裂。經過陳腐的泥餅，必須還要加以充分的捏練，方可用輓轆法成形；如果是用注漿法成形的，必須先將上述泥餅，用手分成 30~50 mm 的小塊置於搪瓷桶內，同時加入 0.3~0.5% (按泥餅中所含的乾泥量計算) 的水玻璃，然後用泥漿攪拌機攪拌 2~3 小時，製成一致均勻而適於澆注的泥漿(比重 1.6~1.8)；最後使之通過 120 眼的篩子，除去未曾被搗碎的泥塊以及其他雜質後，即可用注漿法在石膏模子中成形。

爲了減少瓷坯收縮，防止變形，減少澆注時間以及增加石膏模子每天利用的次數，必須使泥漿中的水份，減少到最低程度；但同時又不可過份增加泥漿的粘滯性而使澆注發生困難。針對這樣一個要求，我們曾以兩種最常用的電解質，即碳酸鈉和水玻璃，做過一系列的試驗，以期求得二者最合適的用量及其配合比例。結果如下：

(i) 就降低粘滯性一點而言，水玻璃比碳酸鈉要強得多，我們更發現如果在水玻璃中攪用一些碳酸鈉，其效果反而降低；因此，我們在以後的試驗中，都不用二者的混合物，而單獨使用水玻璃。

(ii) 水玻璃最合適的用量約爲泥漿中固體量的 0.3~0.5%。如果超過 0.5%，即產生相反的作用（即增加泥漿的黏滯性）。

(iii) 根據文獻上的記載，稀釋效力最大的水玻璃，其 Na_2O 與 SiO_2 的含量，應爲 1:4；但市售水玻璃，經化驗結果，祇有 1:2.6，因此其效果不能發揮到最大限度。

根據我們的試用經驗，認爲單獨使用水玻璃的結果相當滿意。

4. 成形、乾燥、素燒、施釉和裝窯。

(1) 化學瓷製品的成形方法有注漿法、輾轆成形法及壓坯法等數種，其中以注漿法最爲理想，因爲它有下面幾個優點：

(i) 製成品組織緻密，氣孔率和吸水率接近於零。(ii) 製品的規範、尺寸及式樣等比較容易一致。(iii) 操作簡單方便。

因此，對於性能要求比較嚴格的製品，如坩堝、燃燒管、燃燒舟及蒸發皿等，最好能用注漿法成形。研鉢、漏斗及過濾板等一類製品，由於性能的要求較寬，用注漿法或輾轆成形法都可，至於噴火嘴等一類的製品，由於形狀的關係，必須用壓坯法成形。

坩堝等比較薄的製品，在成形時實該注意一點，即生坯的厚薄要加以適當的控制。太薄了容易變形；太厚則導熱率低，同時耐急冷急熱性能亦差。具體的實例，後面還要講到。

坩堝形狀的設計，對於變形亦有相當的影響。關於這一點，在後面“重點改進”一節裏還要詳細談到。

(2) 初步成形的製品，應放置陰暗處；或以半乾濕布遮蓋，使水份徐徐逸

出，待至半乾，即可在轆轤上修坯。修好以後，再置於空氣中，讓其充分乾燥，其後即可入窯素燒。素燒的目的，是給予泥坯以相當的強度，以便進行施釉。

(3) 素燒的過程大致如下：200° 以下—每小時 50~70°C；200~800°C —每小時 80~100°C。素燒最高溫度 700~800°C；如超過 900°C，施釉即感困難。全部素燒時間約需 9~11 小時。

(4) 施釉用浸釉法，所應注意的是：(i) 瓷釉的厚薄必須適中，太厚了要降低成品的耐急冷急熱性能；太薄則光彩不好。(ii) 與渣餅接觸部分的釉，必須修去；否則在燒成時，製品就會和渣餅燒熔在一起，因而造成廢品。

(5) 為了防止在燒成時粘結匣鉢，及減少因收縮過大而引起的變形現象，坩堝等一類製品，必須要放在一定式樣的渣餅上面。渣餅的軟泥成分，必須要和瓷坯一樣；否則二者收縮不同，容易引起變形和破裂。渣餅的製法，是先在石膏模子中印成毛坯，再在轆轤車上修成，最後再在它的表面，塗上一薄層磨細的氧化鋁與水的調和物（高砂質坩堝、用蘇州土和水的調和物即可），以防止坩堝口邊上的釉和渣餅燒結在一起。我們所用的渣餅，曾經多次的改進，比較滿意的一種式樣，容於後面再談。

製就的渣餅，乾燥後即可應用，不需經過素燒。

裝窯時，先把渣餅安置在匣鉢裏面，然後將已施釉坩堝倒覆在渣餅上，此外還應注意兩點：(i) 匣鉢的耐火度須高，否則在高溫下，易於扭曲破裂，影響到坩堝的變形，或甚至造成坩堝的巨大損失。(ii) 為了避免砂粒掉到坩堝上面，造成廢品，在裝窯以前，匣鉢底部應先予刷淨，然後再塗上一層成分相當於西格火錐 11 號以上的廢釉；這樣砂粒就不會掉下來了。

5. 燒成

燒成是製造步驟中的最後一個階段，如果燒得不當，輕則影響性能；重則造成廢品，使以前的種種努力，盡成泡影。故燒成是整個製造步驟中最重要的一段，應予特別注意。

一般日用瓷器的玻化，主要是依靠熔劑，而化學瓷的玻化則主要依靠熱。這也就是說化學瓷的燒成溫度要比一般日用瓷器為高。

據參考資料載，美“古爾斯”牌坩堝的燒成溫度是 1550°C；德國“柏林”牌的燒成溫度較低，但也在 1400°C 左右。我們在最初試製階段中的燒成溫度是：

高砂質 1390°C, 保持半小時; 高鋁質 1400°C, 保持 1 小時。

燒成的過程大致如下: 200°C 以下—2~3 小時, 200~650°C—5~6 小時, 650~1000°C—3~4 小時, 1000~1350°C—3~4 小時,

{ 1350~1390°C—1 小時左右, 1390°C—½ 小時 (高砂質)
1350~1400°C—1 小時左右, 1400°C—1 小時 (高鋁質)

爲了明確起見, 必須說明幾點: (i) 以上溫度, 都是用鉑銻 (Pt, Pt-10% Rh) 熱偶計, 安裝在自製的瓷質套管內, 在匣鉢外面測得的數字。 (ii) 我們的試驗窖是: 140×116×127cm 的倒焰式方窖, 大約可裝 25φ×7.5cm 的匣鉢 16 個, (iii) 燃料用大同提塊或開灤特塊, 每次用量約 350 公斤。

此外, 在研究燒成方法的過程中, 我們發現一種特別的熱處理方法, 可使坩堝的耐急冷急熱性能, 有非常顯著的改進 (可從原來的 280°C, 提高至 380~410°C 左右)。這種熱處理方法是這樣的: 當坩堝在窖爐中燒到最高溫度時, 用鐵鉗把坩堝很快地從缺口的匣鉢內取至空氣中, 予以突然的急冷。或者將已經燒成的坩堝, 重新裝到高溫電爐中, 以最快的速度把溫度升高到 1400° (高砂質到 1390°C), 保持 1~2 小時後, 即行取出急冷; 同時另外一批坩堝就按照同樣的方法進行處理。

必須要指出的是: (i) 關於使用這種熱處理方法來改善坩堝的耐急冷急熱性能一點, 雖曾用標準試驗方法 (方法的說明, 見下節物性檢驗) 屢經試驗屬實; 但其在實際使用中的價值究屬如何, 一時還不易得到結論。 (ii) 這種特殊的熱處理方法, 在作工廠規模的生產時, 技術上很不容易解決。 (iii) 不經過熱處理的成品, 其耐急冷急熱性能實際上已經能合乎一般實用的要求。

因此, 我們不擬建議生產單位採用這種熱處理方法, 而僅是把它記在這裏作爲參考而已。

(二) 物性檢驗和討論

1. 瓷坯的檢驗:

瓷坯和瓷釉在燒成後, 必須要通過各種物性檢驗, 方能知其品質的優劣。茲將檢驗結果分別列入表 6 和表 7 內, 關於檢驗方法則扼要說明如下:

(1) 收縮率——分線收縮率和體積收縮率等二種, 試驗時先用坯料軟泥 (約含水 20%~30%) 在鋼模內壓成 5×3×3 cm (V_0) 的試樣數塊, 充分乾燥後,

和瓷坯一起燒成，然後在溢流體積測定器內，求出其體積 (V_f) 並計算其線收縮率 and 體積收縮率。

$$b \text{ (體積收縮率)} = \frac{V_0 - V_f}{V_0} \times 100$$

$$a \text{ (線收縮率)} = \left[1 - \sqrt[3]{1 - \frac{b}{100}} \right] \times 100$$

(2) 視氣孔率和吸水率——直接用燒成的坩堝測定。試驗方法是先稱出坩堝重量，在水中煮沸後，抹去多餘水份，再稱出其重量，然後算出其增加之重量 (詳細步驟及計算公式見 A. S. T. M. 1943, C-8, 70~72)。

表 6. 瓷坯的物性 (平均值)

坯 號	收 縮 率		視氣孔率 %	吸 水 率 %	真 比 重	抗彎強度 kg/cm ²	耐急冷急 熱性能 °C
	線 %	體 %					
C	12.3	32.7	0.080	0.036	2.48	480	300
'C'	12.5	33.1	0.050	0.027	2.67	450	250
H	14.3	37.2	0.031	0.009	2.53	440	270
1	14.4	37.9	0.120	0.042	2.59	380	260
2	11.7	31.2	0.110	0.044	2.62	410	250
3	15.5	39.5	0.021	0.008	2.51	410	270
4	15.1	38.8	0.015	0.007	2.61	470	290
5	16.0	40.9	0.011	0.005	2.52	480	290
6	11.8	31.8	0.080	0.033	2.44	450	260
7	13.1	34.2	0.041	0.018	2.31	490	270
8	12.9	33.9	0.034	0.013	2.55	430	280
9	13.1	34.5	0.007	0.003	2.63	450	280
B	15.1	38.9	0.080	0.035	2.53	430	270
10	13.1	34.4	0.044	0.021	2.58	470	280
11	11.1	30.5	0.010	0.008	2.48	503	290
12	11.1	30.1	0.006	0.003	2.45	441	290
13	10.9	29.0	0.004	0.002	2.45	514	270
14	11.3	30.3	0.008	0.004	2.50	328	290
15	11.3	30.0	0.004	0.001	2.48	480	310
16	8.0	24.7	0	0	2.46	410	295
17	7.3	20.2	0	0	2.40	432	280
18	13.1	34.7	0.023	0.011	2.46	290	270
19	12.3	33.5	0.017	0.006	2.44	317	270
20	10.9	29.7	0.011	0.004	2.45	370	260
21	10.9	29.8	0.031	0.013	2.51	480	260

(3) 真比重——用比重瓶法測定之。

(4) 抗彎強度——用軟泥在鋼模內壓成 15×3×3 cm 的試樣 5~10 塊，

乾燥後，和坩堝一同入窯燒成，然後在渥而生（Olsen）試驗機上試驗，求出其抗彎強度。

(5) 耐急冷急熱試驗——將試驗坩堝置於電爐中，然後調節電阻，使爐溫緩緩上升，待至某一溫度（如 250°C ），急速取出投入 20°C 的冷水中，視其是否破裂；如果依然完好，就須入爐重熱，並使爐溫較前升高 10°C ，（即 260°C ），再取出投水，如是重覆試驗，直到坩堝破裂為止。開始破裂時的溫度，就代表坩堝抵抗溫度急變的性能。必須注意的是：(i) 第一次投水溫度的選擇，須視坩堝性能的優劣而定。但不可取之太高，否則，如果第一次投水即破，那就無從得知試樣開始破裂的溫度了。(ii) 試樣的破裂，如單憑肉眼觀看，有時很不容易覺察。比較良好的方法，是用一枝鉛筆或其他物件，輕輕敲擊試樣的邊緣，從其所發聲音的清脆或沙啞，來判斷其是否破裂。(iii) 爲了取得試驗的準確性，最後的結果最好是 10 個以上數字的平均值；但最低限度不能少於 5 個。

2. 瓷釉的檢驗：分坯釉適合情況，耐酸侵蝕情況，耐鹼侵蝕情況，及外表等四方面，茲將各號瓷釉的檢驗結果列表如下：

表 7. 瓷 釉 的 檢 驗 結 果

釉號	坯釉適合情況	耐酸侵蝕情況	耐鹼侵蝕情況	外 表
10	適 合	較 次	較 次	釉面光澤尚可，釉層中有甚多微小氣泡
11	適 合	甚 佳	甚 佳	瓷釉潔白美觀光彩極佳
12	適 合	較 次	較 次	瓷釉光彩欠佳
13	適 合	較 次	較 次	瓷釉光彩欠佳

3. 討論：

在開始討論上表各項結果以前，必須聲明幾點：

(i) 各號瓷坯試樣，雖都用同一溫度（ 1400°C ）燒成，但燒成情況，如溫度上昇的快慢，在最高溫度保持的時間等，由於窯爐控制不易，及爐內溫度不平均等關係，比較有些出入。

(ii) 氣孔率和吸水率等項檢定結果，由於設備的限制，和試驗方法上的缺點，