

陶 瓷

下 册

[苏联] A·И·阿甫古斯契尼克 著

刘 康 时 等 译

中国工业出版社

陶 瓷

下 册

[苏联] A·И·阿甫古斯契尼克 著

刘 康 时 等 译

江苏工业学院图书馆
藏书章

中 国 工 业 出 版 社

本书詳細地論述了瓷器(硬瓷、軟瓷、电瓷、特种瓷)和陶器(精陶、彩陶、卫生陶瓷)的原料要求和成形、干燥、煅烧等生产工艺。此外,对釉的性质及其裝飾方法,和石膏模及匣钵的制造,也作了叙述。

本书特点是比較广泛地收集了各国的文献資料,介紹了不少工厂的实践經驗,并对某些工艺問題作了理論闡述。

本书适宜陶瓷工厂的技术人員閱讀,有关研究人員、設計人員和教学人員也可以参考。

参加本书譯出工作的有魯立、卢国声。

А.И.Августиник

КЕРАМИКА

Промстройиздат Москва 1957

* * *

陶 瓷

下 册

刘·康·时 等 譯

*

建筑材料工业部图书編輯部編輯(北京西郊阜外大街)

中国工业出版社出版(北京修麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $14^{1/4}$ ·字数287,000

1966年5月北京第一版·1966年5月北京第一次印刷

印数0001—1,790·定价(科六)1.70元

*

統一书号: 15165·4441(建材-11)

目 录

第四篇 瓷 器

第一章 概 論	1
硬瓷	2
軟瓷	6
特种瓷器	9
第二章 坯料組份对瓷器性质的影响	12
高岭土	12
石英	12
长石	13
第三章 坯料的制备	14
湿法制备坯料	15
干法制备坯料	21
第四章 可塑法成形	22
扁平类制品的成形	23
空心制品的成形	25
成形的机械化	25
流水作业线	27
第五章 注浆法成形	30
稀 释	30
浇注用泥浆的制备	36
注浆的方法	38
注浆的机械化	40
加速坯体形成与改进的注浆方法	41
第六章 干 燥	42
对流干燥器	42
辐射干燥器	47
第七章 切边、打光、粘接附件、修坯	49
第八章 烧 成	50
在双层圆窖中烧成瓷器	51
素烧	55
釉烧	56
釉烧及冷却制度的制訂。瓷器的形成	56
在隧道窖中烧成瓷器	61

IV

在电窑中烧成瓷器·····	72
第九章 釉料制备。半成品的拣选和加工。施釉·····	74
第十章 成品的拣选、磨光与抛光·····	77
第十一章 电瓷（低频用）·····	78
概論·····	78
电瓷的性质·····	82
高压电瓷坯料·····	85
高压电瓷釉·····	87
坯料和釉料的制备·····	88
絕緣子的成形·····	90
干燥·····	102
施釉·····	104
烧成·····	106
生产的連續化·····	110

第五篇 精陶和彩陶

第一章 概論·····	113
第二章 原料·····	115
第三章 坯料的組成·····	116
第四章 日用精陶·····	118
生产流程。成形·····	118
干燥·····	119
烧成·····	120
拣选与裝飾·····	127
第五章 精陶釉面板·····	128
原料和坯料·····	128
成形和干燥·····	131
烧成·····	132
注浆法制造板块·····	138
第六章 建筑用卫生陶瓷·····	139
概論·····	139
坯料和釉料的組成·····	140
成形·····	142
干燥·····	149
施釉·····	150
烧成·····	151
制品质量的評定·····	154
第七章 熟料精陶·····	155
原料与坯料·····	155

成形和干燥	157
烧成	159

第六篇 釉。裝飾

第一章 釉的結構	162
第二章 釉的性质	166
熔融状态下釉的性质	166
固体状态下釉的性质	168
第三章 瓷釉	173
概述	173
釉的組成	173
第四章 精陶釉	175
組成与性质	175
碎裂和接触层	181
不透明釉（玢瑯釉）	182
第五章 裝飾	183
釉下彩飾	184
用可溶性盐类着色	185
釉上彩飾	185

第七篇 石膏模。匣鉢

第一章 石膏模	197
概述	197
石膏模的浇注	199
制造石膏模的流水作业化	201
第二章 匣鉢	202
匣鉢的工作条件	202
匣鉢坯料和窑用耐火材料的組成	204
成形	207
干燥	209
烧成	210
参考文献	211

第四篇 瓷 器

第一章 概 論

就其化学組成、性质和用途來說，瓷器制品的种类极其繁多。瓷器的特性：白度、气孔率、强度、热稳定性及化学稳定性不仅决定于原料的組成，还和原料的加工条件有关。

瓷器有突出的易于裝飾的性质。1508年，葡萄牙人首先将它由中国运往欧洲，以后便吸引了欧洲人的注意。

根据中国的史料，瓷器从汉朝（公元前206年～公元221年）起在中国已很著名。按照朝代来划分瓷器生产的时期为：唐（公元618～907年）、宋（公元960～1279年）、明（公元1368～1644年）、清（17～19世紀），各朝的瓷器都有其独特的色彩。

在历来的产瓷区（江西省景德镇）附近有着取之不尽的“瓷石”（“南港”●）的资源。这种原料有着少見的、非常有利的化学組成，使配合与制备瓷器坯料（3份瓷石加上1份高岭土）时极为简单。

目前，中国的陶瓷工作者正研究恢复和闡明中国古代陶瓷艺术的传统手法，特别是用“釉果”配成中国名貴的釉料——鉄綠釉与鉄青釉，銅綠釉和銅紅釉，用銅和鉄配成的桃紅釉，“豆青釉”，“孔雀藍”等。他們还确定，在現代的球磨中細碎“瓷石”所得瓷器坯料的可塑性和結合性，不如古代用石碓搗碎瓷石所得的瓷器坯料。这种情况有着原則性的意义，它和比表面的形成及細碎原料表面的显微结构有关。

中国老艺人用鈷、錳、鎳、銅、鉄的天然化合物配成的鮮艳的瓷器顏料，相继地轉变为現代所用的調色顏料，但也还需要作科学的解释。朝鮮的某些古瓷釉，如著名的“澄藍”的制造，可能受到这种制作經驗的影响；但陶瓷的某些裝飾方法，如“嵌色”（сангам）——用黑色或白色粘土鑲飾，显然是独具风格的。

在欧洲，經過許多次揭示中国瓷器的秘密未获效果的試驗之后，偶而为葯剂师J. F. 伯特格尔（Böttger）获得成功。他在1709年于迈森城堡中为奥夫左斯特侯爵的宫廷制成了瓷器。所有的生产方法都是严守秘密的。

19世紀初叶德国的大型手工作坊有所发展，后来在以“薩克逊瓷”聞名的迈森工厂，以及維也納、柏林、尼姆芬布尔格、弗兰肯达尔和其他一些地区也发展起来。

在俄国，Д. И. 維諾格拉多夫于1746年独自研究出瓷器的組成，他在彼德堡的沙皇工厂（即現在的M. B. 罗蒙索夫瓷厂）中組織了瓷器生产^[170]。

維諾格拉多夫的手稿中記載瓷器的配方为：

“灼烧过的石英768份

精制的砂岩质粘土384份

篩过的石膏74份”

① 从矿物的角度来看，南港瓷石系絹云母质砂岩，其化学組成为： SiO_2 —75.06%、 Al_2O_3 —16.01%， TiO_2 —0.05%， Fe_2O_3 —0.41%， CaO —0.28%， MgO —0.60%， Na_2O —1.97%， K_2O —3.3%，灼烧損—2.22%。南港瓷石的化学組成和苏联的阿隆涅茨基矿石的組成相似。

在这个坯料中，石英起磨化剂的作用，石膏作熔剂，起粘結作用的可塑性加入物为粘土。

粘土（格日利所产烧后为白色的砂岩的亚种）系由淘洗而得。

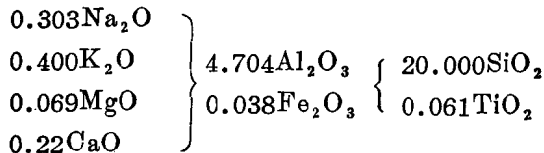
目前，瓷器分为两类：硬瓷和软瓷。

硬 瓷

現代的硬瓷坯料有三个組份。与維諾格拉多夫瓷[●]不同，它用长石作熔剂，粘土組份中采用高岭土。这种瓷器称为长石质瓷。传统的硬质瓷坯的組成为：25%石英、25%长石和50%高岭土与粘土。

硬瓷分子式的特点是碱性氧化物含量不多： $(0.18 \sim 0.20)RO \cdot 1Al_2O_3 \cdot (3.5 \sim 4)SiO_2$ 。如果令RO当量为1，則硬瓷的公式为： $1RO \cdot 5Al_2O_3 \cdot 17.5 \sim 20SiO_2$ 。

例如，当采用格魯霍威茨高岭土、鉀-鈉长石及天然石英作原料时，示性組成 为粘土物质 $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$ 55%、石英与长石物质各含22.5%的瓷器，其分子式为：



酸度系数(k.k.)是瓷器煅烧和使用时性能的重要指标。它系酸性氧化物的当量与碱性氧化物当量之比：

$$k.k. = \frac{2RO_2}{2(R_2O + RO) + 6R_2O_3} = \frac{RO_2}{R_2O + RO + 3R_2O_3} \quad (29)$$

式中 RO_2 —— SiO_2 、 TiO_2 、 SnO_2 的分子数；

R_2O ——碱性氧化物的分子数；

RO ——碱土金属氧化物的分子数；

R_2O_3 ——倍半氧化物的分子数。

按照上述分子式計算而得的瓷器的酸度系数为1.32。

酸度系数随着轉变成软瓷（以后再行闡述）而增大。例如硬瓷的 $k.k. = 1.1 \sim 1.3$ ，而软瓷的 $k.k. = 1.68 \sim 1.75$ 。根据酸度系数值来判断，現代的瓷质日用器皿，其組成許多处于硬、软瓷之間，既非硬瓷，也非软瓷。

酸度系数增大（不超过2）說明陶瓷坯体的脆性增加和煅烧时变形能力增大。反之，酸度系数越接近于1，則陶瓷坯料在火焰中越加稳定。

高岭土既可以生料状态，也可以煅烧后加入瓷器坯料中。坯料中加入高岭土熟料时会帶入較多的氧化鋁。

許多瓷器坯料的配方用高岭土和烧后呈白色的可塑粘土共同配合。所用可塑粘土的数量极不相同：由7~8至14~15%。此外，人們也特別注意采用加一种高岭土而不加可塑

● 伯特格尔瓷和維諾多夫瓷接近于硬瓷。

● 原文为 $0.5Al_2O_3$ ，疑誤。——譯者注

粘土的瓷器坯料。用这种坯料制成的瓷器，其特点是白度高；它在较高的温度下（达 1450°C ）煅烧。捷克斯洛伐克一个工厂的坯料（含54.7%高岭土和17.6%长石）就属于这种，其中加入4%膨润土作塑性添加物以代替粘土。

石英质组份的含量实际上不低于15%，一般为23~30%，很少增到40%。

在高岭土、长石及石英的三组份相图上，I为相应于硬瓷的组成，II为软瓷区，III为半瓷区，IV为远东瓷区。它们都位于图的中部^[172]。

相图的下面横轴表示酸度系数（k.k.）。相图的顶点分别为高岭土、长石和石英的组成。传统的瓷器组成50:25:25在图中用O点来表示。

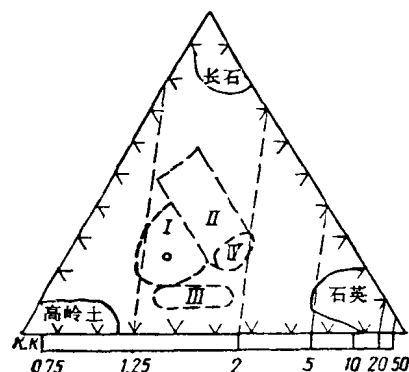


图 117 瓷器组成分布图

硬瓷在 $1350\sim 1450^{\circ}$ 范围内煅烧后，在显微镜下可看到：大量玻璃相（以体积计，占50~60%）、呈熔化状态和有裂纹的粒状石英残留物（8~12%）、偏方石英（6~10%）、新生成的针状莫来石（10~30%）以及有时还有来不及溶解于液相中的粘土与高岭土分解产物的集合体。

显微照片Ⅲ（见上册书末的插图）系瓷绝缘子（ 1320°C 下烧成）磨片在透射光线下的照片（X300），显微照片Ⅳ为上述磨片的同一部位，经过磨平、抛光及氢氟酸腐蚀2~3分钟后，用甲基紫水溶液染色，在反光下的照片。

石英颗粒1被偏方石英4的均质外缘所包围，长石颗粒2则完全玻璃化，且贯穿着针状莫来石，后者系腐蚀后突出呈粒状体（见反光下的显微照片Ⅳ）。还发现具有不溶解的高岭石脱水产物的玻璃相区域3，也可见到圆度不同的闭口气孔5。

利用J.F.谢勒尔（Schairer）和N.L.鲍文（Bowen）的 $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 三元系统相图（图118），可以确定莫来石和玻璃相形成的过程。假定瓷器坯料的组成由高岭土、正长石及石英构成，试取表49所列的坯料组成为例加以说明。

表 49

原 料	坯料中的含量 (%)	氧化物的含量(%)			
		SiO_2	Al_2O_3	K_2O	H_2O
1.高岭土组成为： SiO_2 46.5%； Al_2O_3 39.6%； H_2O 13.9%	50	23.25	19.8	—	6.95
2.正长石组成为： SiO_2 64.7%； Al_2O_3 18.4%； K_2O 16.9%	25	16.2	4.6	4.23	—
3.石英组成为： SiO_2 100%	25	25.0	—	—	—
生料的组成，%	100	64.45	24.4	4.2	6.95
灼烧后的组成，%	100	69.3	26.2	4.5	—

符合于瓷器灼烧后组成的点在上述系统的相图中用字母Φ表示。

利用杠杆规则可以计算温度 $E=1100^{\circ}\text{C}$ 的低共熔物，也可算出相应于1300、1400、

1500 和 1600°C 的 1、2、3、4 各点莫来石与玻璃相的含量，计算的数据归纳于表 50 中。

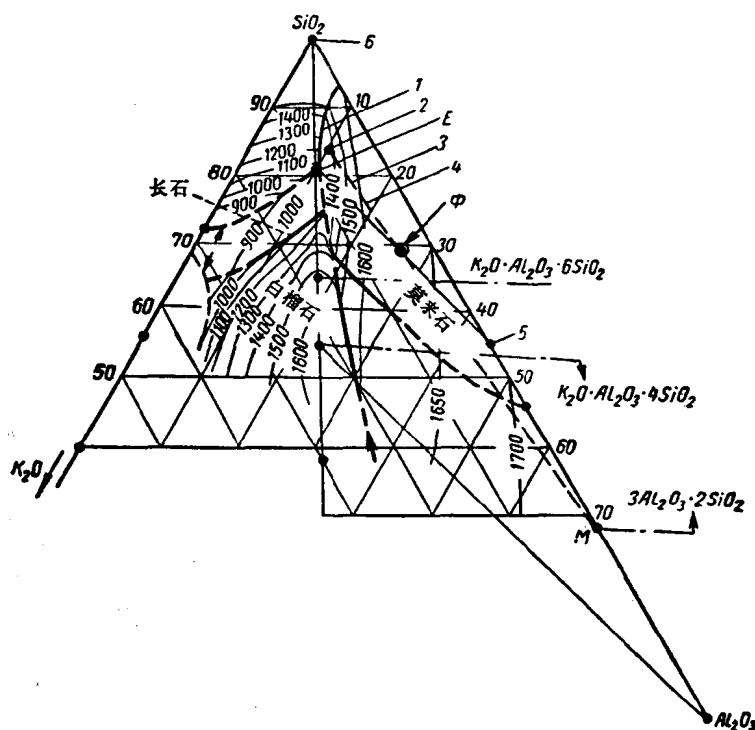


图 118 部分 $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ 三元系统相图(许多瓷器组成位于图中莫来石区内)

表 50

温 度 (°C)	根据杠杆比求得熔液 冷却时莫来石的含量 (%)	莫 来 石 含 量的 增 加 (%)	组 成 Φ 加 热 时 莫 来 石 的 含 量 (反 比 例) (%)		根据杠杆比求得 玻璃相的含量 (%)
			绝 对 %	相 对 %	
1	2	3	4	5	6
1100	$\frac{E-\Phi}{E-5} \times \frac{6-5}{6-M} = 31$	} 2.9 2.5 3.9 3.6 18.1	0	0	$\frac{\Phi-5}{E-5} = 51.5$
1300	$\frac{1-\Phi}{1-M} = 28.1$		2.9	9.4	$\frac{\Phi-M}{1-M} = 71.7$
1400	$\frac{2-\Phi}{2-M} = 25.6$		5.4	17.4	$\frac{\Phi-M}{2-M} = 74$
1500	$\frac{3-\Phi}{3-M} = 21.7$		9.3	30	$\frac{\Phi-M}{3-M} = 77.9$
1600	$\frac{4-\Phi}{4-M} = 18.1$ ①		12.9	40	$\frac{\Phi-M}{4-M} = 82.1$
1630	$\frac{\Phi-\Phi}{\Phi-M} = 0$		31	100	

① 原文为17.4，系18.1之误。——译者注

表50中列出莫来石含量的增加这一栏，其目的是，如果不从冷却符合 Φ 点组成的熔液开始（正如绘制类似的相图时那样），而是从加热已达1100°C的此种组成开始，就用它作为计算莫来石含量的基位。这里假定无论熔液从1100°C开始冷却，或是将1100°C下理论上熔液含量为51.5%的混合物加热，莫来石含量的增加都是相同的。在这个假定的前提下，可以逻辑地划出加热组成 Φ 时莫来石增多的曲线。这在实际也是符合的，但与根据相图所得的计算数据比例是相反的。

利用表50中5、6栏的数据，可以画出莫来石及液相（玻璃相）理论上增多的图样，因而也能分析各种瓷坯的相组成，从而选择最适当的组成。

研究瓷器在工艺上最主要的性质（机械强度、热稳定性、电击穿强度）表明，这些性质在任何一种瓷器组成中并不能得到最大程度的保证，这些性质完全不可兼得。

增加高岭土及氧化铝的含量会使瓷器的热稳定性提高。增多长石的用量在一定范围内有助于改善耐电击穿的能力，增多石英同样可在一定范围内改善其机械强度。

长石质硬瓷的性质和其他类型瓷器（以后再行讨论）的比较数据列于表51。

表 51

性 质	硬 瓷		钴 质 瓷	堇青石瓷	滑石—长石 质 瓷
	未施釉的	施 釉 的			
容重	2.62~2.42		3.4~3.8	2.1~2.5	2.6
真比重	2.42~2.50		3.6~3.9	2.6	2.8
闭口气孔体积(%)	4.1~7.9		~10	~7	~1
机械强度 $\times 10^2$ (公斤/厘米 ²)					
a)抗折强度					
可塑成形	4~7.8	5.2~11.9	13~16.5	4.6~10	9.5~14.5
压制成形	2.6~5.3	4.2~9	—	3.3~6	—
b)抗张强度					
可塑成形	2~4	2.5~5.3	8~8.5	2~3.3	5.3~9
压制成形	1~2	1.3~2.6	—	—	—
c)抗压强度					
可塑成形	26~43	37~66	60	26~46	53~90
压制成形	20~33	26~40	—	—	—
弹性模数(公斤/厘米 ² $\times 10^4$)	52.8~80		140~160	46~100	85~105
抗冲击强度(公斤·厘米/厘米 ²)	0.9~2.0		4~7	2.0~2.3	3~5.3
线膨胀系数 $\times 10^{-6}$	20~700° 4~6.5		20~1000° 4.8~4.9	20~1000° 2~4	20~600° 6~8
热容(卡/克·度)	0.19~0.3		0.17	0.2~0.23	0.19~0.20
导热系数(卡/厘米·厘米 ² ·秒·度)	2.5~4		11~12	4.5~6	5~5.5
介电系数	5.2~6		8.5~9.5	4.1~5	6.1~7.0
击穿电压(50赫芝)(千伏/毫米)	25~35		20~25	5~20	35~40
体积电阻(50赫芝)					
20°	10 ¹³ ~10 ¹⁴		—	10 ¹¹ ~10 ¹⁴	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵
300°	10 ⁶ ~10 ⁷		—	10 ⁷ ~10 ⁹	10 ⁸ ~10 ⁹
传声速度(米/秒)	4900~5200		—	—	—

瓷器的白度用光度計来鉴定。大部分工厂所生产的瓷器白度为 67~75%。按照 ГОСТ 7591-55, 特級制品的白度不低于 68%, 一級品的白度不低于 65%, 二級品不低于 55%。

普通瓷器的硬度接近于莫氏硬度指标 7, 若莫来石含量增多, 則硬度可增大至 8。釉的硬度为 6~6.5。瓷器在 1300°C 以下是不透气的, 而鍍质瓷則在 1500°C 以下在真空中还是致密的。

硬瓷通常施难熔的长石釉, 后者的組成和瓷坯极相近, 因而实际上不会有釉裂。硬瓷对各种酸液 (氢氟酸及磷酸除外) 和熔融的碱液的稳定性均强, 因而可广泛地用于化学工业及实验室中。

所有上述硬瓷的性质决定其主要用作工业材料。

用釉下彩裝飾硬瓷的可能性是极有限的, 因为远非所有的无机顏料可以承受釉烧时的高温 (1350~1450°C) 作用。硬瓷的透光度也是不高的, 使雕塑制品不耐看。但硬瓷也还是用作艺术—裝飾用品。哥本哈根 (丹麦) 的硬瓷到处聞名。它的特点是造型简单、色彩調和 (釉下手工彩繪)。塞佛尔 (法国) 的硬瓷茶具和捷克斯洛伐克的硬瓷都是聞名于世的。

軟 瓷

軟瓷的特点是熔剂数量較多, 常含有长石、大理石、白云石、菱鎂矿、烧过的骨灰或磷灰石、滑石以及由砂、苏打、芒硝、石膏、食盐甚至含氧化鉛的玻璃配成的熔块。增加熔剂的数量会加多玻璃相, 因而提高其透光度。軟瓷的烧成溫度比硬瓷要低些, 为 1200~1300°C。軟瓷的分子式中碱性氧化物較多。例如:



軟瓷中并未发现莫来石。

第一批軟瓷系十八世紀中叶法国塞佛尔工場将細碎的玻璃状熔块不加高岭土烧结而成。自从发现靠近塞佛尔及里摩日有高岭土矿床后, 法国的技師們 (1768~1770 年) 才开始采用高岭土^[138]。目前塞佛尔工厂生产硬瓷质艺术品为数有限。“新坯料”含 40% 高岭土、35% 长石、25% 石英砂^[177]。广泛需要的半軟质瓷在里摩日产量最大。

英国的骨灰瓷是軟瓷的一种。它含有大量 (43~49%) 由有角动物制得的磷酸鈣、16~21% 燧石、11~41% 高岭土和 19~18% 粘土。此外, 英国还由熔块 (由砂、磷灰石、碳酸鉀或硼砂和苏打熔制) 制瓷, 細碎时向熔块中加入 21~22% 高岭土。

这种坯料作成未施釉的生坯, 上面敷以蓝色、綠色、棕色雕塑用的鑲边裝飾, 将其素烧至完全烧结, 得到透光性良好的軟瓷。有时称这种瓷器为維德日烏德炆器, 这是不妥当的。

而真正維德日烏德炆器 (II. 維德日烏德, 爱特鲁利亚工厂, 1763 年) 的坯料是用烧后呈浅色的可塑粘土或天然着色的可塑粘土 (最近也加入高岭土) 加入 硫酸鋇、石膏、康瓦利石 (корнвалийский камень)、燧石以及有时加入骨灰配成。这类制品用色料覆盖, 并用鑲边的、精工制作的图案形象加以裝飾。維德日烏德制品裝飾成各种色彩: 埃及玄武岩般的黑色、黃綠色、浅蓝色、白色。这类制品不透光, 甚至极薄的边緣也透光很弱。

可用希宾的磷灰石作瓷器中烧过的骨灰的代用品。少量磷灰石 (2%) 起着矿化剂的

作用：降低燒結溫度，提高瓷器的透光性^[173]。

在三元系統 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 相圖（圖119）中，磷質瓷的組成位於二元共熔點連線構成的四方形輪廓的範圍內^[173]。

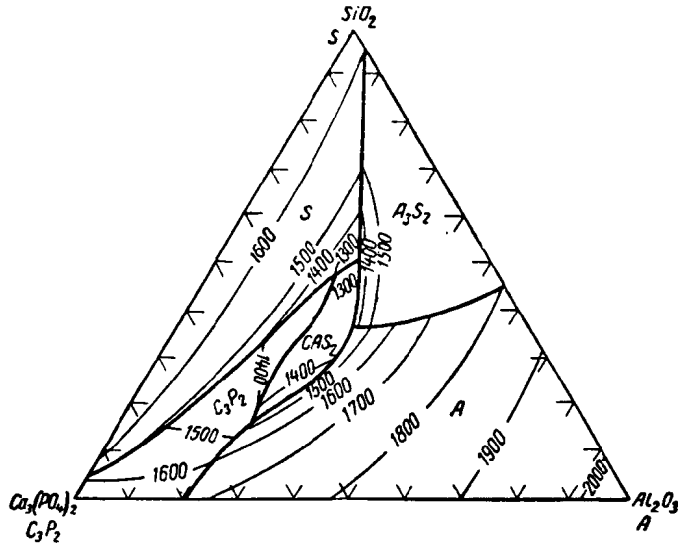


圖 119 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系統相圖

磷質瓷的理論相組成為：鈣長石、方石英、莫來石。實際上其中含有鈣長石、磷酸鈣及難熔玻璃。這種組成的瓷器熱穩定性差而且發脆，在這種陶瓷坯料的一般組成中 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2=1:3$ 時，磷酸鈣起着熔劑作用。

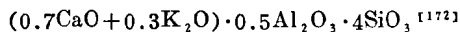
由相圖可知，在中間區域中部其組成的燒結範圍最小，因為 1400°C 等溫線和兩條低熔點曲線之間的面積相當平坦。位於該系統中其他區域的組成其燒結範圍較寬。

除磷酸鈣以外，英國軟瓷（切爾西）坯料中有时也含長石。自從發現康瓦利礦床〔康尼西石[●]（cornish stone）〕以後，英國從 1768 年起於軟瓷組成內加入高嶺土及長石（呈偉晶花崗岩形態）。這時坯料中含高嶺土 20~45%、康瓦利石 7~30%、骨灰 30~60%。骨灰瓷可用可塑法或注漿法成形，在 $1250\sim 1280^\circ\text{C}$ 下完全燒結，若不採取預防措施，則在煅燒過程中坯體易軟化和變形。

這種瓷器採用和精陶釉相似的熔塊釉，其組成為：長石 48%、石英砂 9%、工業用硼砂 22%、鉛玻璃（燧石玻璃）21%。

骨灰瓷的優點僅限於其白度高、透光性良好以及雕塑的制品有令人喜愛的外型。這種瓷器性脆，不能承受溫度的急劇變化。

塞格爾（seger）於 1880 年仿制日本的軟瓷。他選擇以長石 30%、砂 45% 及若干種燒後為白色的粘土（有时和高嶺土配成混合物）配成的組成。文獻中稱這種坯料為塞格爾軟瓷。這種瓷器的美術品在 $1250\sim 1300^\circ\text{C}$ 下燒成。但其特性是強度小和熱穩定性低。這種瓷器的釉料組成為：



● 康尼西石含螢石、長石及雲母。根據其中螢石的含量分為四級。

属于含高岭土（34~40%）的软瓷还有含大量长石（39~63%），有时含铅玻璃（6~7%）及石英—长石熔块的不施釉的材料，它称为“巴利安”。其特点是透光性良好、有柔和的特性。

应当特别注意收缩问题。美术制品的收缩应最小（总收缩不超过10%），以减少石膏模各部件接合处给制品留下的缝痕。

用苏联原料配合适用于美术及雕塑制品的软瓷坯料配方如下：格鲁霍威茨高岭土22%、柳别列茨砂22.5%、长石36%、恰索夫雅尔粘土16.5%^[174]。

这种组成的瓷器在1250°C下烧成。

现代软瓷坯料的组成中有时也含1.5~2.5%白堊和1.2~4.0%氧化鋅。

H. 特劳甫斯（Treufels）和 E. 肯姆尔克（Kempke）^[175]完成了对比各工厂 205 种瓷器组成的综合整理工作（表52）。此表可以帮助理解现代欧洲瓷器的示性组成。

表 52

瓷 坯 的 类 型	含 量 (%)		
	粘 土 物 质	石 英	长 石
高压电瓷	43.3	37.3	19.4
高压电瓷	50.6	27.7	21.7
低压电瓷	49.0	27.5	23.5
化学瓷	65.5	9.7	24.8
家庭用瓷	48.7	27.1	24.2
旅馆用瓷	51.8	24.6	23.6
厨房用瓷	60.1	17.6	22.3
美术瓷	44.4	28.2	27.4
软瓷	36.3~47.0	23.3~34.8	24.2~34.0

由表52可知，增加粘土物质的含量，即加多氧化铝的含量可改善和温度急变有关的一些使用性质（化学瓷和厨房用瓷）。美术制品（雕塑品、花瓶、部分餐具或茶具）中加入大量熔剂会使制品透光和有柔和舒适感。

苏联国立陶瓷研究院对苏联工厂的餐具和茶具提出采用下列组成（表53）。

表 53

原 料	餐 具 的 组 成 (%)	茶 具 的 组 成 (%)
普罗夏诺夫高岭土	42	39
石英或石英砂	28	27.5
长石	18	22.5
膨润土	4	4
釉烧废瓷	5	4
素烧废瓷	3	3

餐具的烧成温度为1350~1380°C，茶具的烧成温度为1300~1350°C。

特 种 瓷 器

某些含刚玉 ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) 或蓝晶石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、滑石 ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、锆英石 ($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) 或碱土金属氧化物的偏锆酸盐、氧化铍等的特种陶瓷对现代新技术有着巨大的意义。坯料中含大量刚玉 (达 97%) 经过细碎至粒子尺寸约 1 微米, 然后在 $1700 \sim 1750^\circ\text{C}$ 下煅烧可制得高强度的热稳定性制品, 适用于生产航空及汽车发动机用的火花塞, 也适于制造化学稳定性高的仪器等^[176]。

Е.里什克维奇 (Ришкевич)^[176] 叙述了氧化物 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 ThO_2 、 BeO 制品生产工艺的物理-化学基础。

坯料中加入蓝晶石或其同系矿物——硅线石、红柱石 (30~65%)——在 $1400 \sim 1500^\circ\text{C}$ 下煅烧可制得含大量莫来石、高强度 (抗折强度达 1400 公斤/厘米²)、热稳定以及高温下欧姆电阻大的瓷器。

瓷坯中加入 50% 蓝晶石精矿可将其热稳定性提高达 30~40 次冷热交换。其测定方法是将瓷板快速加热至 600°C 然后冷却^[177]。

Г.Л.叶弗列莫夫 (Ефремов) 用灼烧过的蓝晶石制备的汽车用火花塞坯料 (根据分析的结果含 Al_2O_3 20.14%、 SiO_2 51.22%)，在 1430°C 下煅烧, 其烧结范围为 260°C , 电击穿强度为 29.4 千伏/毫米, 抗张强度为 484 公斤/厘米²。

И.В.克留恰罗夫 (Ключаров)、С.А.列文什坦 (Левенштейн) 和 С.М.祖巴科夫 (Зубаков)^[177] 的类似的资料指出, 当坯料中甚至加入 8.3% 蓝晶石, 就可以大大地提高瓷器的强度和热稳定性。

制造粘土质坯时采用蓝晶石可以显著地提高其周转次数。

热电偶护管的坯料中加入 30% 红柱石 (代替废瓷和部分高岭土), 其机械强度增加 70%——抗折强度达 1300 公斤/厘米², 但同时热稳定性、耐酸性均急剧下降^[178]。由红柱石坯料制成的制品, 其抗冲击强度高。

滑石 (加入 70~87%) 会使陶瓷制品有极好的电绝缘性质。含滑石的块滑石质 (斜顽辉石质) 陶瓷广泛应用于现代无线电仪器中 (表 51)。

用镁离子及部分铝离子代替玻璃相中的碱金属离子会显著降低电介质在高频电场中的介电损耗 (图 120)。减少材料中碱的含量可降低其介电损耗, 超高频瓷的损耗角为 3~5 分, 纯氧化铝瓷 (Алюмоксид) (几乎为纯烧结氧化铝) 的损耗角为 1~2 分。此外, 滑石和熔剂一样会增加玻璃相的数量; 块滑石瓷强度高 (见图 51)。这类坯料中含有大量非粘土质原料, 因而它不能属于瓷器, 但其制造工艺实际上和瓷器生产工艺并无区别。

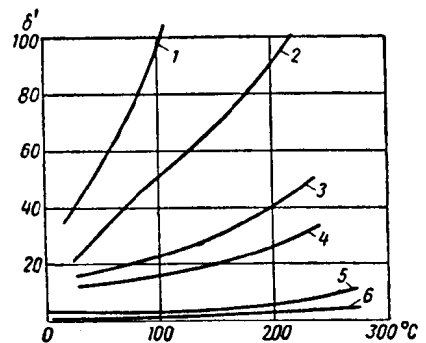


图 120 在频率为 1×10^6 赫芝的电场下介电损耗随温度的变化曲线^[179]

1—长石质高压电瓷; 2—烧过的恰索夫雅尔粘土; 3—烧过的格魯維茨粘土; 4—高频瓷; 5—超高频瓷; 6—纯氧化铝瓷

块滑石瓷的最大缺点是烧結—熔化范围极窄，这是由于升温时液相生成得很快所致。因此这种組成的制品煅烧的条件相当困难，制品易軟化和变形（参閱第三篇第五章）。

当滑石、高岭土及氧化铝的配合比例使氧化物含量符合于 $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ 的組成，則煅烧至 1410°C 可得到堇青石瓷。它的线膨胀系数最小，約为 $2 \sim 1.6 \times 10^{-6}$ 。在 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系統相图部分范围内一些組成（在 1300°C 下烧成）的线膨胀系数（ $\times 10^{-6}$ ）的变化繪于图121中。

堇青石在 1540°C 下不一致熔融，分解成莫来石和液相。煅烧这种混合物后可得到主要是堇青石的制品，且含少量玻璃相、莫来石、斜頑輝石和未反应的刚玉。

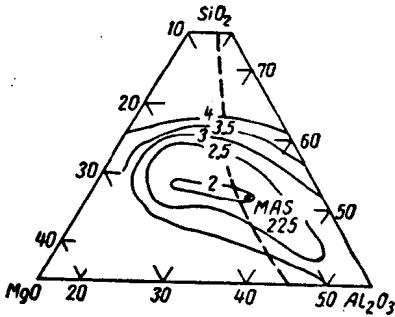


图 121 在 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系統中各成分的线膨胀系数（ $\times 10^{-6}$ ）的等值曲线

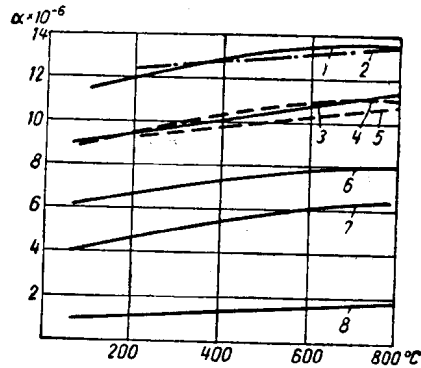


图 122 加热时线膨胀系数的变化

1—氧化鎂；2—氧化鈣；3—鎂橄欖石；4—滑石；
5—硅灰石；6—块滑石瓷；7—硬瓷；8—堇青石

因为堇青石质玻璃的线膨胀系数是結晶堇青石的若干倍。为了制取热稳定性制品和使堇青石相发育最大，必須在窄小的范围内（ $1300 \sim 1350^\circ\text{C}$ ）煅烧。这种情况正如A.C.別列日諾依及A.И.卡里亚金^[180]所述。堇青石的线膨胀系数极小（图122）。因而堇青石制品的热稳定性极高。

煅烧斜頑輝石及堇青石制品时所产生的巨大困难迫使大家去探索扩大烧結—熔融范围的途径。一个方法是加入某些能加速坯体生成液相的化合物。同时添加的化合物不应妨碍主晶相—斜頑輝石或堇青石的析晶，而且所生成的低熔物的熔点应低于上述晶相的結晶温度。第二个方法是加入耐火的化合物，它会提高組成的耐火度。

由于向滑石、粘土、氧化铝的混合物中加入70%长石，B.阿維季科夫（Аветиков）已使堇青石质材料的烧結范围有相应的扩大。在 1200°C 时吸水率已低于1%^[181]。

Н.Е.菲洛年科（Филоненко）的观察証实了加入长石和霞石正长岩的好处。他发现在 1250°C 下煅烧后，堇青石呈短菱柱形晶体存在于磨具的粘結剂中以及和刚玉顆粒接触处。因为已知堇青石和长石是共生的，所以碱金属离子显然不会阻碍堇青石的发育。在这点上，加入少量烧过的和烧結的細碎废瓷会降低开始形成液相和烧結的温度。

堇青石制品的电击穿强度大，故能用作耐电弧的材料。它的导热系数实际上和瓷器的相等（ $0.0025 \sim 0.006$ 卡/厘米²·厘米·秒）。由于线膨胀系数小，这类制品几乎不能为其选择到一种光泽良好的稳定釉料。所以堇青石坯料中加入霞石正长岩可使其自身施釉。自

身施釉系由于制品坯料内有大量熔剂，結果在制品表面生成极薄的玻璃质膜。

試驗表明，以滑石为主的坯料，通过加入少量耐火的化合物，如氧化鋯，可稍許扩大坯料的燒結范围。这类坯料的缺点是压制时对鋼模的磨損作用剧烈，因而模型会較快地磨損。

正如使用粘土的情况一样，把不同矿床的滑石混合使用是有着现实意义的。由于采用了多成分混合物，能得到低熔的共熔物，这种不算复杂的方法能够稍許扩大燒結范围。

含鋯的瓷器坯料中，或者加入鋯英石 $ZrO_2 \cdot SiO_2$ (70% 以下)，或者最好是为了保証相互反应而加入某些碱土金属氧化物（預先經過燒結）的鋯酸盐或鋯硅酸盐。硅酸鋁陶瓷中加入鋯硅酸盐可提高其机械强度和热稳定性。

根据 C. 卢特列尔 (Luttrel) ^[182]、R. 卢塞尔 (Russel) 和 W. 莫尔 (Mohr) ^[183]、E. 斯莫克 (Smoke) ^[182] 等人的試驗，鋯质瓷可以将鋯硅酸盐用湿法或干法混合，然后捏练、挤坯或注浆制成，煅燒温度为 $1300 \sim 1380^\circ C$ 。表 54 列出可能采用的一些組成。

表 54

原 料	坯 料 組 成 (%)			
	1	2	3	4
鋯英石	59.3	59.2	66.7	68.5
鋯硅酸鈣	7.4	29.6	22.2	22.6
鋯硅酸鋁	7.4	—	—	—
鋯硅酸鎂	7.4	—	—	—
可塑粘土	18.5	11.2	11.1	8.7

在 $1300 \sim 1380^\circ C$ 下煅燒后，制品强度高（特別是抗冲击强度）、介电性质良好。

近年来为了降低燒結温度，常向瓷器坯料中加入鋰离子。它有极强的电场，促使玻璃和釉料析晶。碱性氧化物用氧化鋰等分子代替可以降低线膨胀系数，提高玻璃的折射率及其表面硬度。

鋰质矿物—鋰輝石 ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$)、透鋰长石 ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$)、鋰云母 ($LiKF_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$) 等有强烈的熔剂作用，它們会降低混合物（如鋰輝石与长石）的熔点 $150 \sim 200^\circ C$ 。

根据 C. Г. 图曼諾夫 (Туманов) 和 B. И. 什瓦依科 (Швайко) ^[184] 的資料，用鋰云母或 β -鋰輝石（用天然 α -鋰輝石煅燒至 $1000^\circ C$ 而得）部分或全部代替长石可降低燒成温度 $150^\circ C$ ，且可稍許改善瓷器的性质。M. A. 別茲鮑罗多夫和 П. Ф. 米哈列維奇 (Михалевич) ^[185] 也得到了相似的結果。

当煅燒粉磨很細的半干鋰质坯料至全部燒結，其中鋰輝石已发育时，可得到线膨胀系数为負值或极小的材料 ^[162]。

П. И. 布德尼科夫和 A. M. 契列帕諾夫 (Черепанов) 的論文 ^[186] 綜述了硅酸盐制品生产中鋰质矿物应用的問題。