



中等专业学校試用教材

陶 瓷 工 艺

西安無線电工业学校主編

(內 部 教 材)



國防工業出版社

中等专业学校試用教材

陶 瓷 工 艺

西安無線电工业学校主編

国防工业出版社

1962

內容簡介

本書介紹無線電陶瓷零件的制造工艺原理、工艺規程和設備，以及零件設計的基本方法、原材科的選用等。

書中并介紹了無線電陶瓷原料的加工、坯料配制、成型及燒結工艺、鐵氧体的制造工艺等。

本書可作为中等专业学校無線電零件制造专业的試用教材，也可供有关技術人員参考。

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号

國防工業出版社印刷厂印刷 内部发行

*

787×1092 1/32 印張 4¹⁵/₁₆ 103 千字

1961 年 9 月第一版

1962 年 8 月第三次印刷

印数：1,501—2,100 册 統一書号 15034·542

前 言

在过去全民大跃进的三年間，国防工业的各级学校，坚决贯彻执行了党的教育方针，进行了一次极为深刻的教育革命。各校并組織广大教师，陸續編写了讲义，取得很大的成績。为了巩固教育革命的成果，进一步提高教学质量，我們遵照中央关于教材工作的指示，組織各方面的力量，在各校自編讲义的基础上，选編了专科学校、中等专业学校及技工学校所需的部分教材。經過各校党委的領導，参加选編教师的积极努力，以及有关方面的审查，这些教材已經陸續选編出来。由于時間仓促，經驗不足，教材內容还不够完善，有待今后进一步的修訂。为了适应各校教学的急需，作为試用教材，先在内部发行出版。希各校在試用过程中，广泛搜集师生反映，积极提出建議，徑告主編学校，以便进一步加以修訂。

本教材是由西安无綫电工业学校主編，北京和南京无綫电工业学校参加編选的。由王先春同志負責編写，华北无綫电器材厂馬駿同志审查。

第三机械工业部教材办公室

1961年7月6日

目 录

前言	3
第一章 概論	5
§1 陶瓷在无綫电工业中的应用	5
§2 无綫电陶瓷的种类	6
第二章 无綫电陶瓷原料	16
§1 陶瓷原料的种类	16
§2 坯料用原料	17
§3 助熔用原料	31
§4 輔助用材料	35
第三章 无綫电陶瓷瓷坯	39
§1 装置陶瓷瓷坯	39
§2 电容器陶瓷瓷坯	44
§3 相图及陶瓷配方計算	50
第四章 陶瓷制品的制造工艺	55
§1 原料加工及坯料配制	55
§2 陶瓷成型工艺	73
§3 瓷坯干燥及机械加工	95
§4 陶瓷制品的燒結	103
§5 陶瓷的上釉	120
§6 鉄氧体的制造工艺	126
第五章 陶瓷零件設計	133
§1 陶瓷零件設計的基本要求	133
§2 各种成型方法的技术規定	134
§3 各种形状的陶瓷零件設計	141
§4 瓷件公差与技术要求	148

第一章 概論

§ 1 陶瓷在無線电工业中的应用

目前生产的塑料零件在無線电工业中应用，虽有許多很好的特性，但因它們一般的耐热性不够高，热稳定性較差，且易热老化，大多易吸潮而降低其絕緣抗电强度，因此在無線电工业中应用要求耐溫更高、热稳定性更好的零件时，則多采用陶瓷零件来滿足特殊要求（如軍用無線电电子設備要求耐高溫和电气物理性能高度稳定）。陶瓷零件都是由无机物組成，它們都具有耐溫高、热稳定性好、不老化、化学性稳定、一般不吸潮、絕緣抗电强度高且相当稳定等优点，因此陶瓷零件在無線电工业中的应用，已愈来愈广泛；但它与塑料零件相比，也有它的缺点，那就是抗冲击强度較差，性脆且重，工艺性較差，要加工成复杂的构件較困难。

陶瓷零件在無線电工业中的应用是极广泛的，它可以用于各种無線电电子設備中作各种装置零件，如無線电設備中的絕緣墊衬，电子管中的絕緣支架等等；在無線电元件制造中，它可以用作高頻綫圈骨架，釉綫电阻及炭膜、金屬膜电阻骨架；作各种电接插器件；如各种瓷质开关、插头座等等；作各种高低压电容器，如高压隔直流电容器、高稳定电容器、强介瓷电容器等等；此外，陶瓷零件，还可用作特种磁性材料和压电材料，如鉄氧体（又名磁性瓷）、和鈦酸鋇压电晶体等。

由于軍用无綫电設備的特殊要求（如耐高溫），在无綫电元件制造中，几乎都要用到陶瓷，因此，展望将来，陶瓷零件的制造将随着无綫电工业的发展而不断改进和提高。

陶瓷是我国劳动人民主要創造之一，这些历史上的成就和发明，构成我国化学工业史上輝煌的一頁。目前如江西景德鎮的瓷器，江苏宜兴的陶器都是在世界市場享有盛名的。

我国电瓷制造工艺的历史很短，基础也相当薄弱，在解放前由于帝国主义、封建主义及官僚資本主义的压迫，劳动人民无从发挥他們的智慧与創造。瓷器虽是我国发明的，但如何利用科学方法，进一步改进和研究，把它应用到电力、电訊方面，却是解放以后的事。

解放以后，在共产党和毛主席的领导下，我国的电瓷工业有着一日千里的发展，无綫电陶瓷工业也取得很大的成績，充分地利用了我国丰富的資源，生产出各种高頻或超高頻的陶瓷零件，从而使各种軍用的，特殊的无綫电零件的质量和效率，得到了进一步的提高和改善，有力地促进了国防建設及其他事业的发展。

虽然陶瓷的生产是一个古老的技术，但在改良工艺，改进材料的基础上所生产的各式无綫电陶瓷，已成为无綫电工业中不可分割的一部分。当前的任务就是进一步研究新型陶瓷材料来适应无綫电工业发展的需要，大力提高质量，改进工艺設備，来代替以往的手工业操作方式，向机械化、自动化方向前进。

§ 2 无綫电陶瓷的种类

无綫电陶瓷习惯上可分为装置陶瓷、电容器陶瓷及多孔

性陶瓷三类。而从无线电陶瓷零件角度考虑，根据无线电陶瓷材料的标准，是以介电系数来分类，共分为三类八级，如表 1 所列。

1. 第一类， $\epsilon > 12$ 的高频陶瓷材料 这类材料专供制造高频电容器用。其中 I 级材料供制造高压和低压电容器用；II 级供低压电容器用。所用材料主要是 TiO_2 、 ZrO_2 、 SnO_2 及 BaCO_3 。为增加材料的可塑性，可加入部分胶粘剂，以便于成型。由于这类材料专供制造电容器用，因而又称电容器陶瓷。

按照材料标准，这一类陶瓷常用的大致有：钛康瓷 (T-150, T-80) 属于 I 级 A 组、I 级 B 组；热康瓷 (T-40, T-20) 属于 II 级 A 组、II 级 B 组及偏锡酸钙瓷 (C-III) 属于 III 级，其各类材料性能如表 2。

2. 第二类， $\epsilon < 9$ 的高频陶瓷材料 这一类材料专供制造各种接插零件、电感线圈骨架等装置用瓷，也可制造容量不大的低压或高压的高频电容器，也可以制造多孔性陶瓷，用于电子管内极间绝缘。所用材料以滑石、氧化铝为主，加以 BaCO_3 、 CaCO_3 作为助熔剂，亦可以加少量的粘土、膨润土以增加成型时的可塑性和取得需要的结晶相。有时亦加入有机胶粘剂来帮助成型。由于这一类材料大部分是用来制造装置零件的，因而又称为装置陶瓷。

按照材料标准，这一类陶瓷常用的大致有：滑石瓷 (B-17, C-55, C-4) 属于 IV 级 A 组；镁尖晶石瓷 (HI-15) 属于 IV 级 A 组；刚玉莫来石瓷 (KM-1) 属于 IV 级 B 组；钨长石瓷 (CM-3) 属于 IV 级 B 组及刚玉瓷 (YΦ-46, YΦ-53) 属于 V 级。其他尚有 VI 级陶瓷系供电真空器件内部绝缘用的多孔

性陶瓷；Ⅷ級陶瓷，系供作絕緣子用的叶腊石陶瓷。其各类材料性能見表 3。

3. 第三类， $\epsilon > 1000$ 的低頻陶瓷材料 这一类材料专供制造高低压低頻电容器和压电变能器及非綫性元件用。所用材料以二氧化鈦为主，并与其他氧化物組成化合物，如鈦酸鋇、鈦酸鋁、鈦酸鉛等。由于这类材料的介电系数特別大，且又具有电滯曲綫特性，因而又称为强性介质或鉄电陶瓷。

按照材料标准，这一类陶瓷常用的大致有：鉄电陶瓷 (CM-1、T-7500、T-1700) 屬于Ⅷ級 A、B 組；非鉄电陶瓷 (CBT) 屬于Ⅷ級 B 組。此外尚有一不屬标准範圍內的特种材料，为可变康电容器瓷 (BK-1, BK-2等)。

Ⅷ級 A 組和 B 組的材料系供制造单位体积电容量大的电容器用。在正常溫度下，A 組陶瓷的介电系数約为 B 組的 3-4 倍，但后者的介质損耗則受溫度变化的影响較小。

Ⅷ級 B 組材料的特点是具有明显的压电性能，压电模数 $d \geq 1.5 \times 10^{-6}$ (厘米·克·秒单位制)，并超过石英晶体。屬于此組的材料为 T-1700 陶瓷，专供制造拾声器、超声波发生器及电器仪表等。

可变康电容器瓷，其特点为高非綫性。即电容量随电压急剧变化，因此在某些情况下可代替电子管使用，如制成介质放大器等。

其各类材料性能見表 4。

表 1 无线电陶瓷材料标准

材料的种类	级别	组别	主			要			指			标			使用范围
			温度为 ±20±5°C 时介电系数	试样的容量温度系数	介质的损耗的正切值不大于			受潮后	温度为±100 ±5°C时的比 体积电阻(欧 姆·厘米不小 于10 ¹²)	击穿电 场强度(千 伏/毫米)	静态抗弯 强度(公 斤/厘米 ²)	总膨胀温 度系数			
					±20±5°C	±80±5°C	±100±5°C								
1. e 大于12的高 频瓷料	I	A	130~190	-(1300±200)·10 ⁻⁶	0.0006	0.0008	0.001	0.0003	10 ¹¹	6	800	12×10 ⁻⁶	用以制造不很稳定的振荡回路电容器和隔直电容器		
			E	65~100	-(700±100)·10 ⁻⁶	0.0006	0.6008	0.0012	0.0008	10 ¹¹	8	~800		8×10 ⁻⁶	
		A	31~50	-(80±30)·10 ⁻⁵	0.0006	0.0008	0.001	0.0038	10 ¹¹	8	700	8×10 ⁻⁶		用以制造稳定度很高的电容器(如军用产品)	
			B	17~30	-(50±20)·10 ⁻⁵	0.0006	0.0008	0.0012	0.0008	10 ¹¹	8	700			8×10 ⁻⁶
		II	B	17~30	-(50±20)·10 ⁻⁵	0.0006	0.0008	0.0012	0.0008	10 ¹¹	8	700		8×10 ⁻⁶	用以制造稳定度很高的电容器(如军用产品)
				12~30	-(30±20)·10 ⁻⁵	0.0006	0.0008	0.0012	0.0008	10 ¹¹	8	700		8×10 ⁻⁶	
	III	-	12~30	-(30±20)·10 ⁻⁵	0.0006	0.0008	0.0012	0.0008	10 ¹¹	8	700	8×10 ⁻⁶	用以制造稳定度很高的电容器(如军用产品)		
			A	不大于7.5	+(110±30)·10 ⁻⁶	0.001	0.0012	0.0012	0.0012	10 ¹²	20	1400		8×10 ⁻⁶	用以制造小型装置零件
				B	不大于8	+(110±30)·10 ⁻⁶	0.002	0.0013	0.0022	10 ¹²	20	1400		8×10 ⁻⁶	
			IV	B	不大于7.5	+(60±20)·10 ⁻⁶	0.0006	0.0008	0.0008	10 ¹²	20	800		3×10 ⁻⁶	用以制造稳定度很高的线圈骨架和高压电容器
					不大于9	+(110±30)·10 ⁻⁶	0.0012	0.0018	0.0015	10 ¹²	20	2000		6×10 ⁻⁶	
			V	-	不大于9	+(110±30)·10 ⁻⁶	0.0012	0.0018	0.0015	10 ¹²	20	2000		6×10 ⁻⁶	用以制造机械强度和耐热性高的小型零件
不大于7.5	+(200±100)·10 ⁻⁶	0.005			0.0070	0.006	10 ¹² (温度在300±10°C)	不规定	600	6×10 ⁻⁶	用以制造真空仪器的绝缘体				
VI	-	不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不		不	用以制造不必稳定的设备和装置零件		
		不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不	用以制造直流和低频电容器			
VII	-	不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不		用以制造直流和低频电容器		
		不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不	用以制造直流和低频电容器			
VIII	-	不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不		用以制造直流和低频电容器		
		不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不	用以制造直流和低频电容器			
IX	-	不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不		用以制造直流和低频电容器		
		不大于7.5	不	不	不	不	不	不	不	不	不	用以制造直流和低频电容器			

① 第一类材料在温度为±80°C时, tgδ 数据可给以证明不须进行检验。
 ② IV和V型材料用以制造电容器, 则不须检验瓷料材料的机械强度指标, 其ε值的上限不作规定。
 ③ Ⅸ型“D”型材料, 用以制造直流电容器时, 须进行压电系数d₃₁的测定, 压电系数的数值不应大于1.5×10⁻⁹厘米·克/秒·厘米。
 注: 在温度-50至+100°C的范围内ε的变化不大于±35% (±20°C时) 的比较。

表2 各种电容器陶瓷(介电系数大于12)的成分与性能

陶 瓷 名 称	偏钛酸钙瓷	金 红 石 瓷	金 红 石 和 单 斜 锆 固 溶 体	锡 酸 钙 瓷
等 级	I 级 A 组	I 级 B 组	II 级 A 组	II 级 B 组
材 料 代 号	T-150	T-80	T-40	T-20
主 要 结 晶 相	CaTiO ₃	TiO ₂	ZrTiO ₄	ZrTiO ₄
0.5~5兆赫时的介电系数	140~150	70~80	30~40	20~25
同上 20~80°C 时 TK _ε	-1300±200	-700±100	-80±30	-50±20
1兆赫时tgδ	20±5°C	3~4	3~4	3~4
	80±5°C	3~4	4~6	4~6
击穿强度(直流)	10~12	10~12	8~10	8~10
100±5°C时比体积电阻	10 ¹² ~10 ¹⁵	10 ¹¹ ~10 ¹²	10 ¹² ~10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹³
静态抗弯强度	800~900	800~1000	800~1000	800~1000
20~100°C线膨胀系数	8~9	7.5~8.0	5.5~6.0	5.5~6.0
密 度	3.8~3.9	3.8~3.9	3.2	3.2
煅 烧 温 度	1400±20	1360±20	1430±20	1430±20
				1380±20

表3 各种装置陶瓷(介电)

陶 瓷 名 称		滑 石 瓷 (斜 頑 輝 石)			
等 级		IV級A組	IV級A組	IV級A組	
材 料 代 号		B-17	C-55	C-4	
主 要 結 晶 相		MgO·SiO ₂	MgO·SiO ₂	MgO·SiO ₂	
0.5~5兆赫时 ϵ		6~6.5	6~7	6~7	
20~80°C, 0.5~5兆赫时介电系数温度系数	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	+110±30	+110±30	+110±30	
1兆赫时tg δ	20±5°C	$\times 10^{-4}$	6~8	3~6	7~8
	80±5°C	$\times 10^{-4}$	8~9	6~7	10~18
击 穿 强 度	千伏/毫米	>20	>20	20	
比 体 积 电 阻 ($t=100\pm 5^{\circ}\text{C}$)	欧姆·厘米	10 ¹²	10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹³	
静 态 抗 弯 强 度	公斤/厘米 ²	1400~1500	1600~2000	1400~1500	
线 膨 胀 系 数 (20~100°C間)	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	7~7.5	6.5~7	6~7	
毛坯的直径	压 制		1.12~1.13	1.17~1.18	1.25~1.27
	强 挤			1.24~1.26	
密 度	克/厘米 ³	2.95	3.0	2.8	
煅 烧 温 度	°C	1350±20	1320±20	1320±20	

系数小于9)的成分与性能

镁尖晶石瓷	刚玉—莫来石瓷	钡长石瓷	刚 玉 石 瓷	
IV级A组	IV级B组	IV级B组	V 级	V 级
III-15	KM-1	IIM-3	YΦ-46	YΦ-53
MgO·Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ 3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	BaO· Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
7~7.5	6.8~7.4	6.5~7.5	8~8.2	8~8.7
+110±30	+110±30	+60±20	+110±30	+110±30
5~8	14~18	2~4	8~12	3~5
6~9	20~24	4~6	12~15	4~8
>20	30~35	25~35	20~25	20~30
10 ¹³ ~10 ¹⁴	10 ¹³ ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹⁴
1490~1800	1000~2000	800~1000	2000~2500	2500~3000
5.5~6	3.1~3.8	2.2~2.6	5~5.5	5~5.5
1.09~1.10	1.14~1.16	1.16~1.18	1.18~1.20	1.14~1.15
1.20~1.22	1.24~1.28	1.22~1.24	1.23~1.25	1.18~1.22
3.0	3.0	3.0~3.1	3.2~3.4	3.2~3.4
1360±10	1350±20	1370±20	1360±20	1360±20

表4 各种强性介质陶瓷(介电)

陶 瓷 名 称		强
材 料 代 号		CM-1
等 级		Ⅷ级A组
主 要 结 晶 相		BaTiO ₃
20°C 时的介电系数		3000~4000
ε 的变化(与20°C时 ε 比较)		+30% -50% (-60~80°C间)
10 ³ 赫时 tg δ	受 潮 前	≤0.03
	受 潮 后	≤0.05
100 赫 时 tg δ		~0.01
100°C 时的比体积电阻	欧姆·厘米	≥10 ¹¹
击 穿 强 度 (直 流)	千伏/毫米	≥4
居 里 点	°C	35±10
极 化 后 压 电 模 数 d ₃		
静 态 抗 弯 强 度	公斤/厘米 ²	600
密 度	克/厘米 ³	~5.5
煅 烧 温 度	°C	1360±20
收 缩 率		1.1—热压鑄 1.17—压制

系数大于1000) 的成分与性能

介 陶 瓷	鈦 酸 鋇 瓷	鈦 酸 鋇 瓷	可 变 康
T-7500	T-1700	CBT	BK-1
Ⅷ級A組	Ⅷ級B組	Ⅷ級B組	
$BaTiO_3$	$BaTiO_3$	$SrTiO_3$	$BaTiO_3$
3000~4000	1500~1700	1000~1200	1200~2300
+50% -70% (-60~80°C間)	≤±40% (-60~80°C間)	≤±25% (-60~80°C間)	20%(-40°C时) 70%(+60°C时)
≤0.03	≤0.03	≤0.02	≤0.18
≤0.05	≤0.05	≤0.04	≤0.20
~0.01	~0.01	~0.01	<~0.05
5×10^{11}	10^{10}	10^{13}	10^{10}
≥2.5	≥2.5	≥6	2.5
35±10	25±10		80±10
	$19 \times 10^{-6}(c \cdot g \cdot s)$		
600	600	700	300
~5	~5.5	~6	6.5
1350±20	1430±10	1300±20	1400±20
1.18—压制	1.11—热压鑄 1.18—压制	~1.17—热压鑄 ~1.18—压制	1.18~1.20压制

第二章 无綫电陶瓷原料

§1 陶瓷原料的种类

陶瓷原料都是无机硅酸盐原料，分布极广，且蕴藏量很大，离地面深浅不一，其形成是由于火山爆发、地震、洪水、暴風等自然因素的作用，造成地质的变迁，所含的杂质已部分被分离出去。因此，这些原料經過一定的技术处理后，就成为合乎要求的而且非常经济的原料。

我們知道，地球是由一种熔融体凝固而成的。地壳的厚度約为 16 公里，其組成原都是些凝固的岩石，由于流水作用使某些岩石分解。經過这个天然淘洗过程后；在低洼地区沉积的物质，它的組成可以和原来的岩石組成完全不同。如高岭土、粘土、石英砂等許多陶瓷材料都是这样形成的。

各种原料由于其中所含有原始火成岩殘余成分不一，即內中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 等氧化物的含量不一，因此它們就具有不同的結構和不同的特性。如高岭土的化学成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ；鉀长石的化学成分为 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ 。

按照无綫电陶瓷的性能和材料的使用目的，可将无綫电陶瓷原料分为坯料用原料、助熔用原料和輔助用材料等三类。

坯料用原料大都是以滑石、剛玉、鈦白、鋯氧、碳酸鋇为主。也可以加入少量的高岭土、粘土和石英等材料。这些