

陶瓷电容器的制作

洪 鐘 編著

人民邮电出版社

內 容 提 要

本書是一本系統地敘述陶瓷電容器製造的書籍。其中首先介紹了一般電容器的性能和陶瓷電容器的特點；其次敘述陶瓷材料和陶瓷做介質的電容器的種類和性能。然後詳細地逐步敘述了陶瓷電容器的生產過程和製造用的設備。最後介紹了我國生產的各種陶瓷電容器的結構和性能規格。

壹玖伍玖年 陸月貳肆日

陶 瓷 電 容 器 的 製 造

編著者：洪 鐘
出版者：人 民 郵 電 出 版 社
北京東四六條13號
(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)
印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠
發行者：新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

1959年6月北京第一版

印張 5 2/22 頁數 81

1959年6月北京第一次印刷

印刷字數 121,000 字

印數 1—6,700 冊

統一書號：15045·總1019-無266

定價：(9) 0.54 元

緒 言

由于近代無線电事業的迅速发展，人們越来越对短波与超短波发生了兴趣，这是因为它能令人滿意地完成通信任务；但是对于使用这两波段的無線电机的性能也提出了高度的要求。實質上也就是对于組成这些無線电机的各無線电元件的性能有高度的要求。例如要求各項元件具有很好的耐热、抗潮性能，以及能在不同的环境下保持稳定地工作，和在高頻工作时产生的損耗極小等等。只有在以上这些要求得到充分滿足以后，短波与超短波的通信才有可能很好地完成。我們大家都知道，無線电机性能的好坏在很大程度上决定于無線电零件的性能。可以这样說：如果無線电零件本身性能不够理想的話，那么用它裝备起来的無線电机，其性能也不可能令人滿意。

陶瓷电容器是一种無線电零件，在無線电机上使用它可以得到很好的效果。这是因为陶瓷电容器具有很多独特的优越性。利用陶瓷做介質制造电容器，不但能做成很多不同介質常数和溫度系数的电容器；而且做成的电容器具有很高的电容量稳定度、很高的耐热性，以及極小的損耗。在目前的高頻与超高頻領域內，能很好地代替陶瓷电容器的零件还是很少很少的。

做陶瓷电容器的介質用的陶瓷，它的应用在我国已有很悠久的历史了。早在几千年以前，人們已在日常生活中运用了它。过去無非是用它来做些盆、碗、罐子等日常生活用品；把陶瓷作为电容器的介質在我国还是近几年的事。虽然只有短短的几年，但由于我們偉大的党的领导和苏联科学家对我們的無私援助，以及我国陶瓷專家和工人的不倦努力，几年来，陶瓷工業已經有了飞速的发展。在無線电工業上，試制出了很多不同的

瓷料配方，来制造各种無線电零件。除了用它来制造电容器以外，我們还可运用它来制造电子管管座、波段开关片、高频絕緣子、电阻器、电感綫圈等各种电气陶瓷零件。在我国無線电科学技术領域內，由于大量应用陶瓷，使得我国無線电事業有了新的进展。

正由于这样，無線电陶瓷的發展是令人乐观的。我們今后还要进一步發展强性介質材料；研究它們的高介性（介質常数可高达 10000）、压电性，以及非直綫性；并进而利用它們来制造体积微小而性能良好的电容器、变压器与介質放大器等，使無線电元件向“小型化”与“超小型化”方向迈进一步。

陶瓷电容器实質上是一个以陶瓷为基体，表面被复銀層，并在銀層上鍍接引出綫（片）而制成的。陶瓷基体本身是由各种不同的原料按照不同的配方配好后，經過成型与高溫燒結而得到的。經過高溫燒結后的陶瓷，不但有着很高的机械强度，而且它也具备了各种化学性能与电性能。制造成功后的电容器的电性能，在很大的程度上是决定于做介質用的陶瓷本身的电性能，如果陶瓷介質本身的电性能不好，那么用它做成的电容器也不可能是合格的。

目 录

緒言

第一章 电容器和它的电参数	1
第一节 电容器概述	1
第二节 电容器的电性能	6
第三节 电容器的应用	17
第二章 無綫电陶瓷的分类和陶瓷电容器的特性	19
第一节 無綫电陶瓷的分类	19
第二节 陶瓷电容器的特性	29
第三章 陶瓷电容器的电介質制造	42
第一节 原料(成型料)的制备	43
第二节 成型	60
第三节 燒成	69
第四章 陶瓷电容器的装配	79
第一节 陶瓷电容器导电極的制造	79
第二节 陶瓷电容器电極引出綫(片)的装配	97
第三节 陶瓷电容器的防潮保护裝置	106
第五章 陶瓷电容器的类型	118
第一节 高频电容器	118
第二节 鉄电陶瓷电容器	150

第一章 电容器和它的电参数

第一节 电容器概述

所謂“电容器”，就是由中間有介質隔开的两个导电体所組成的器件。換句話說，任何两个导电体，当其中間被介質隔開，那么它就組成了一个电容器。介質部分可用任何絕緣体充担，介質兩旁的导电体是电容器的电極部分。

当我們在桌子上平行地豎放了兩塊互相对着而隔開一定距离的任何金屬板，或是在一塊木板的上下兩面夾上兩塊鐵板，或是把一張紙的兩面用兩塊导电片夾住，都能組成一个电容器。第一种电容器是利用“空气”做介質来將导电体隔開；第二种则是利用“木板”做介質；第三种电容器的介質是由“紙”担任。这样看来，我們把它們都称之为“电容器”还是有道理的。因为它們都符合电容器的定义。但是在实际应用中的电容器还需要符合很多严格的要求，所以，并不是符合上述定义的电容器在实际中都能得以运用。

我們可以从很多方面把电容器分成不同的类型：

1. 按电介質性質来分，可分为：

甲、气体介質电容器——主要有空气电容器、真空电容器和充气电容器等。

乙、液体介質电容器——主要有充油电容器、充化学綜合液体的电容器等。

丙、固体無机介質电容器——主要有陶瓷电容器、云母电容器、石英电容器、玻璃电容器、玻璃瓷漆电容器、硫質电容

器等。

丁、固体有机介質电容器——主要有紙質电容器和有机膠質电容器等。

戊、电解电容器——主要有有極性电解电容器和無極性电解电容器等。

2. 按使用頻率来分, 可分为:

甲、用于直流或脉动电流电路的电容器;

乙、用于 50 赫工業頻率的电容器;

丙、用于 100~10,000 赫音頻的电容器;

丁、用于 0.1~100 兆週無綫电頻率的电容器;

戊、用于脉冲頻率的电容器。

3. 按工作电压分, 可分为:

甲、高压电容器——工作电压大于 1000 伏;

乙、低压电容器——工作电压小于 1000 伏。

4. 按功率分, 可分为:

甲、高功率电容器: (無功功率大于 4 千伏安)

乙、低功率电容器: (無功功率小于 4 千伏安)

当电容器接在綫路里时, 常用下列的綫路符号来表示。

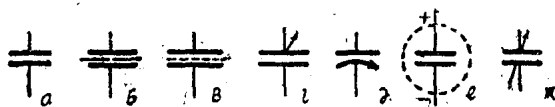


圖 1 电容器的代表符号

a—固定电容器; b—無机介質固定电容器;

B—有机介質固定电容器; L—半可变电容器; 2—半可变电容器;

e—电解电容器; K—可变电容器。

現在我們就来談一談电容器是如何工作的。 —

当把电容器兩端接上一电源 E_a 后, 發現电容器的兩極片上积聚有数量相等、極性相反的正負电荷。与电源正極相接的

極片上积聚的是正电荷，与負端相接的則是負电荷（圖2）。

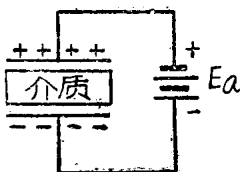


圖2 电容器工作时的电荷分佈

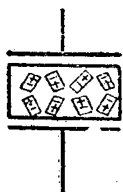


圖3 常態下介質內分子排列的情況

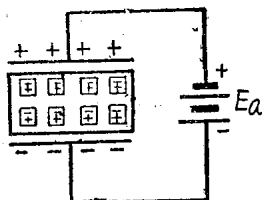


圖4 加电压后介質內分子的排列

我們知道，当电容器兩端未加上电压以前，电容器介質內的分子排列是杂乱無章的（圖3）。此时由于分子与分子之間極性的互相抵消作用，使总的介質不显極性。但是，当电容器兩端施加电压 E_a 后，在电極上就瞬时出現了电荷，也就是說介質兩端造成一电場。由于該电場的作用，使原来介質內呈杂乱排列状态的分子按造电場的方向有規則的排列起来（圖4）。因而介質显示了極性。介質的極性恰好与介質兩端电極上的極性相反。正由于这样，已显極性的介質的分子將通过靜电吸引力，而把电容器兩極片上的电荷牢牢吸引住。結果一个極片上积有正电荷，另一極片上积有負电荷。这就是为什么电容器在加电压后能蓄积电荷的全部道理。这种在加电源后电容器極片上有电荷出現的現象一般我們称作“充电”。如果这时我們把电源拿开，并用一导綫把兩电極直接連接起来，發現極片上的电荷立即消失，这种現象称之为“放电”。

充电的过程我們可用圖5来表示。

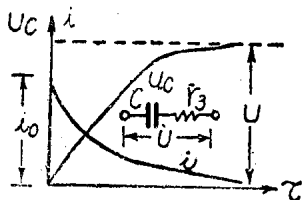


圖5 無电感电路电容器的充电过程

$$i = i_0 e^{-\frac{\tau}{r_s \cdot C}} \quad (1) \quad U_c = U(1 - e^{-\frac{\tau}{r_s \cdot C}}) \quad (2)$$

τ ——時間，秒； e ——自然对数的底；

i_0 ——充电电流的最初值，安； i ——充电电流，安；

U_c ——电容器兩端电压，伏； C ——充电电路的电容量，(法)；

r_s ——充电电路的电阻，欧； U ——电源电压，伏。

由圖 5 及公式(1)(2)可看出：电容器的充电电流在电压加上后瞬時間变为最大值；然后随時間按自然对数降落，最后趋近于“零”。电容器兩端的电压則是以漸近綫的形态逐步升高，而接近于电源电压。

实际情况往往是这样：充电电路內除了有純电容与純电阻以外，还有电感存在。这对电容器的充电情况將如圖 6 与圖 7 所示。

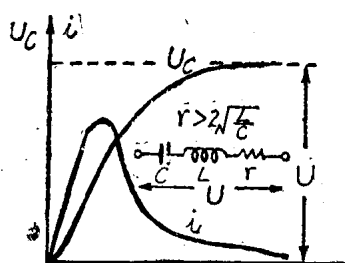


圖 6 电容器在有电感的直流电路中
充电的情况 ($r > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$)

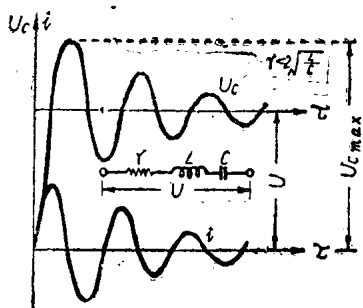


圖 7 电容器在有电感的直流电路中
充电的情况 ($r < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$)

在有电感的直流电路中，电容器在充电时，其充电电流由三部份組成(圖 8)：这就是正常性充电电流(位移电流)、漏电流与非正常性充电电流(吸收电流)。第一种电流是由于

介質在電場作用下產生正常極化（即原子位移）而引起的。而漏電流則是由於介質內的離子與電子在電場作用下生成離子電導與電子電導所造成的。最後一種電流（吸收電流）通常是由於介質層中部份電荷位移較慢而引起的。

電容器的放電也是根據無電感與有電感分成兩種不同的情況。它們的放電過程可用圖 9、圖 10 來表示。

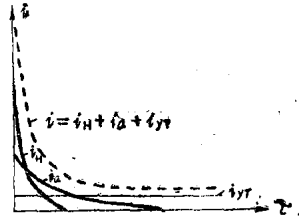


圖 8 實際電容器充電時的三種電流成份

i_H —正常性充電電流；
 i_a —吸收電流；
 i_{lr} —漏電流。

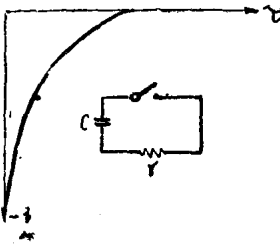


圖 9 電容器在無電感電路中的放電過程

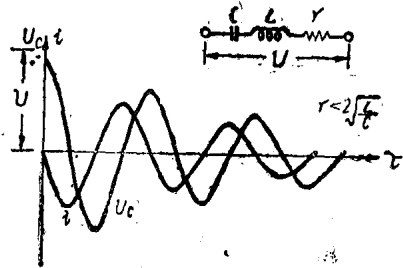


圖 10 電容器在有電感電路中的放電過程 ($r < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$)

圖 9 中最大電流（瞬時值）之數值是決定於放電電路電阻值的大小（包括導電極、接觸端以及引出綫的全部電阻）。我們常利用這個原理，通過充電電容器對小電阻的放電，來得到我們所需要的瞬時值巨大的強電流。

由圖 10 我們可看出，當電容器在有電感的電路中放電時，其電流與電壓是呈週期性的衰減振盪。

電容器充放電的速率是決定於電容器的時間常數之大小。

所謂時間常數可將其看作充（放）電电路中电阻与电容的乘积，其实質上也等于电容器充（放）电时的电压或电流降到最初值的37%时所需的时间。該值越大，电容器完成充放电的速度也就越慢。这样我們也就不难看出，在电路内电阻值一定的情况下，容量大的电容器要比容量小的电容器完成充放电任务来得慢。

电容器还有这样一种特性。当施加交、直流两种电源于电容器兩端时，它对电源呈現不同的阻力：交流情况的阻力小，直流情况的阻力大，（詳細見第二节）。

总起来說，电容器本身就是中間有介質隔开的兩塊导体所組成的。它具有很多特点（如充、放电；对交直流的不同阻力等）人們能把它运用到实际生活中去也就是利用它的这些特点。

第二节 电容器的电性能

衡量一个电容器的好坏，其最主要的依据就是电容器本身的电性能。如果电容器电性能不好，那我們就認為这个电容器是一个不好的电容器。电性能包括下列几方面：

一、电 容 量 (C)

电容器常用电容量来表示其容电数值的大小。当我們把一个电容器的兩端接上一电压 E_a （圖2）时，从前面已經知道，此时电容器的極片上就积聚了正負电荷。所謂“电容量”就是用来表征其極片上能容納电荷能力的大小。容量越大，在 E_a 不变的情况下，極片上积聚的正負电荷就越多。

电容量的單位是“法拉”（簡写“法”）。当电容器兩極上施加的电压为1伏特，極片上积聚的电荷为1庫侖时，那么它的

电容量为

$$1 \text{ 法拉即: } C(\text{法拉}) = \frac{Q(\text{庫侖})}{V(\text{伏特})} \quad (3)$$

由于在实际运用中很难有近于 1 法拉这么大的电容量（整个地球的电容亦不过只有 0.000709 法），所以我们又采用了“微法”与“微微法”来做电容量的单位。一般“法”用 F （或 f ）代表；“微法”用 μF （或 μf ）代表；“微微法”用 $\mu\mu F$ （或 $\mu\mu f$ ）或 PF 代表。

$$1 F = 10^6 \mu F = 10^{12} \mu\mu F (PF)$$

电容器的电容量与电极片面积和（两导电体间的距离）介质的厚度与性质有关，如下式所示。

$$C \propto \frac{S \cdot \varepsilon}{d}$$

S ——导电层相对重合面积；

d ——介质厚度；

ε ——介质常数。

由上式可以看出：电容量与导电层相对重合面积 S ，以及材料本身的介质常数 ε 成正比；而与介质的厚度成反比。

电容器的电容量，根据其不同的形状有不同的计算方法。我们最常用到的是下面两种计算方法：

$$1. \text{ 平板形电容器: } C(\text{微微法}) = 0.0884 \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad (4)$$

ε ——介质常数；

S ——极板相对重合面积（公分²）；

d ——介质厚度（公分）。

2. 管形（圆筒形）电容器（见左图）

$$C(\text{微微法}) = \frac{\epsilon \cdot l_g}{4.14 \lg \frac{R}{r}} \quad (5)$$

l_g ——导电層重合長度 (公分)；

$\lg$ ——以“10”为底的对数；

R ——圓筒外半徑 (公分)；

r ——圓筒內半徑 (公分)；

ϵ ——介質常数。

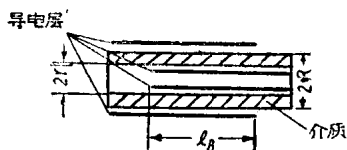


圖 11 圓筒形电容器

現在我們來解釋一下什么叫介質常数(ϵ)。

當我們在电容器兩端接上电源“ E_a ”，如果这时該电容器的介質是“真空”，我們發現極片上將积聚电荷 (設該电荷量为“ Q_0 ”)。然后把介質由真空換为除真空外的任何絕緣体，而其它任何条件都不改变，我們將發現極片上积聚的电荷量由“ Q_0 ”变成了“ Q_1 ”。介質常数在数值上也就等于这两个电荷量的比值 (即 $\epsilon = \frac{Q_1}{Q_0}$)。以不同的电介質代替真空，其得到的“ Q_1 ”值也不同，所以不同的电介質具有不同的介質常数。

如果我們給介質常数下定义，那就是：以某物質为介質时極片上的电荷量与以真空为介質时極片上电荷量的比值称为該物質的“介質常数”。

介質常数本身是一个不很稳定的数值。在某些情况下，它將随工作溫度、相对湿度、工作頻率、工作电場溫度等因素的改变而改变。这样我們也就很易理解：电容器的电容量也將是一个不稳定的数值，它將随 ϵ 值的改变而改变。这里要特別說明的是溫度对电容量的影响。因为溫度改变不仅使得介質的

“ ϵ ”值改变，而且还將改变介質厚度与导电極面积。

在实际运用中，我們希望电容器所具有的电容量正是我們所要求的数值。所以对电容器的介質的选用是一个很重要的問題。

二、絕緣电阻(R_{u3})

在电容器的兩端接上直流电源 E_a ，我們將發現电容器呈現很大的阻力。因而迴路內只有很微小的电流“ i_{yT} ”通过(圖12)。这一电流称它为漏电流。如果此时把直流电源改为交流电源，將發現电容器对于交流电流的阻力小得多。这是由于电容器在交流电压作用下产生週期性的充放电而引起的。电容器的絕緣电阻也就是电容器对于直流电流的阻力作用的大小。阻力越大，則絕緣电阻值也越大；在同样直流电压值的作用下，迴路內的电流（即电流）就越小。

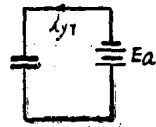


圖 12 电容器加直流电源

$$R_{u3} = \frac{E_a}{i_{yT}} \quad (6)$$

E_a ——直流电压，伏特；

i_{yT} ——漏电流，微安；

R_{u3} ——絕緣电阻，兆欧。

电容器的絕緣电阻值很大，所以它是用兆欧（1兆欧 = 10^6 欧姆）作單位。由公式(6)可看出，它在数值上等于电容器兩端的直流电压与迴路內的电流（电容器的漏电流）的比值。

电容器的絕緣电阻与外界因素也有关系。溫度越高，介質內越易产生离解作用，电导的可能性就越大，因而絕緣电阻值就越小。当外界环境的相对湿度越大，絕緣电阻也將降低，这主要是因为沿电容器边缘或引出端絕緣物的表面漏泄电流增加而

促使 i_{yT} 增加的緣故。

在測量絕緣電阻值時，其數值的大小（指針表示的值）與我們施加的直流電壓值有關。如該電壓值不大，在儀表上我們可觀察到絕緣電阻隨電壓施加時間的增加而增加。反之如該電壓值很大（超過工作電壓很多），則從指針上可發現，絕緣電阻隨電壓施加時間而增加的速率減慢；在有些情況下甚至隨時間而逐步降低。

我們希望電容器的絕緣電阻越大越好。只有這樣，電容器在線路中的作用才更為顯著。

三、損 耗

理想電容器在工作時的功率損耗等於零。但實際上電容器要達到這種情況是不可能的，也就是說電容器在工作時多少都要損失一些功率的。損耗的產生是由介質與電極損耗而導致的。前者主要是包括：

1. 由於介質內部的空氣電離而產生的損耗；
2. 由於介質內部離子的移動而產生的損耗；
3. 由於極片邊緣空氣的電離作用而產生的損耗；
4. 由於介質內偶極子的旋轉或有極根（如 OH ）可動部份對固定部份的定向位移而產生的損耗。

電極損耗一般則是因為極片與其接觸部份之間電阻而產生的發熱損耗，以及極片的振動而引起的。

由於電容器本身質量而引起的損耗的大小，我們用“損耗角” δ 的正切值 “ $\operatorname{tg} \delta$ ” 來表示。損耗角等於電路中電流電壓間的相位移角 φ 的余角，即 $\delta = 90^\circ - \varphi$ 。 $\operatorname{tg} \delta$ 越大，則電容器的損耗越大。當然，電容器工作時損耗的功率不僅僅與電容器的質量有關，而且它還與電容量及工作頻率成正比；與工作電壓的

平方成正比，如下式所示，

$$\begin{aligned} P &= U^2 \omega c \operatorname{tg} \delta \\ &= U^2 2\pi f c \operatorname{tg} \delta \end{aligned} \quad (7)$$

U ——工作电压，伏；

f ——工作频率，赫；

c ——电容量，法；

P ——损耗功率，瓦。

电容器的损耗功率往往也不是一个定值。这是因为损耗中所包括的介质损耗部份，随着不同的环境温度具有不同的数值（金属部份的损耗在温度不甚高时一般不随温度的改变而改变）。另外工作频率还将直接影响 $\operatorname{tg} \delta$ 数值。在一般情况下，频率越高， $\operatorname{tg} \delta$ 值将降低。

现在我们可以知道，实际电容器在工作时是有损耗的。而且损耗的数值与外界因素有关。这时可将实际（带损耗）的电容器用一纯电阻与一纯电容串（并）联的等效电路表示，

1. 串联等效电路

由圖 13 可得出：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta &= \frac{U_r}{U_c} = \frac{I \cdot r}{I \cdot \frac{1}{\omega c}} = \omega c_r r \\ &= 2\pi f c_r r \end{aligned} \quad (8)$$

r ——电阻，欧；

c_r ——电容，法；

f ——频率，赫。

2. 并联等效电路

由圖 14 可知：

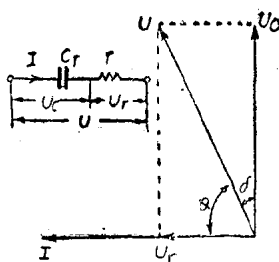


圖 13 有損耗電容器的串聯等效電路

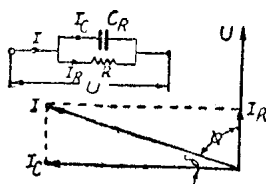


圖 14 有損耗電容器的並聯等效電路

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta &= \frac{I_R}{I_c} = \frac{\frac{U}{R}}{U \omega C_R} = \frac{1}{\omega C_R R} \\ &= \frac{1}{2\pi f \cdot C_R \cdot R} \end{aligned} \quad (9)$$

R ——電阻，歐；

C_R ——電容，法；

f ——頻率，赫。

不同的電容器，其在等效電路中的 r (或 R) 值不同，故其 $\operatorname{tg} \delta$ 也不一样。我們所希望的是電容器 $\operatorname{tg} \delta$ 越小越好。這樣，把它用在槽路內，不管是發熱或是对槽路的衰減都將達到很小的數值。

四、電容量的溫度系數(TKC)

這裡我們先來做一個實驗。把電容器放在某一溫度情況下，用儀表測量後得出某一電容值。然後將該電容器放在另一種溫度情況下，發現電容量改變了。如果我們進一步再試驗下去，還會繼續發現不同介質做的電容器在上述情況下其容量改變的數值也不同。電容量的溫度系數也就是用來說明這種現象