



土电容器

哈尔滨工业大学土电厂著

159
3

水利电力出版社

目 录

一、电容器的一些知識.....	2
二、土低壓電容器.....	4
三、土高壓電容器.....	9
四、電容器的維護和修理.....	13

一、电容器的一些知識

电容器是由絕緣体和导体組成的，如果在絕緣体薄片二側貼上金屬箔，我們便得到了一个电容器。电容器的容量用符号“*C*”表示，計算方法按照下列公式：

$$C = \frac{\text{絕緣体的介質系数} \times \text{金屬箔的面积}}{36\pi \times 10^6 \times \text{絕緣体的厚度}};$$

式中面积的單位是平方公分 (Cm^2)，厚度是公分 (Cm)，



图 1 电容器原理图

电容的單位是法拉。由于采用
一般电容器的实际电容量都比 1 法
拉小得多，所以通常把 10^{-6} 法
拉（百分之一法拉）叫做微法

拉，作为电容量的通用單位。

用上式計算时，金屬箔必須对好，不能錯开（錯开的部分計算面积时不包括在內）。上式還可用来估計紙質电容器的压緊程度，未加緊压时实际測量所得的电容比上式計算所得的理論值低得多，有时測量值尚不及理論值的一半。压緊时，測量值可达理論值的90%以上。在一般情況时，測量值也可达理論值的90%以上。由此可見，当发现測量值小得很多时，就說明有巨大的潛力可挖。一般絕緣体的介質除數見表 1。

除了电容量外，电容器尚有絕緣电阻、损失角正切、耐压等特性数据及其意义，現分述于后。

1. 絶緣电阻 絶緣电阻一般用兆欧表測量，其單位为兆欧。如电阻低，则电容器的絕緣电阻会剧降。故絕緣电阻过分

表 1 各种常用絕緣体介質系数及損耗角正切

材 料 名 称	介 質 系 數 ϵ	損耗角正切 $\operatorname{tg}\delta$ (常溫時)
油浸电容器紙(洋紙)	3.5	0.0025~0.003
油浸美濃紙	3.0	
变压器油	2.1~2.2	0.001
蓖麻子油	4.2~4.7	0.01~0.05
玻璃(安瓶料)	7~9	0.02~0.05

降低說明此电容器工作不可靠。

絕緣电阻和电容量有关，同一种絕緣体制成的电容器，电容量愈大則絕緣电阻愈低，故通常以电容量和絕緣电阻的乘积（以符号“ RC ”表示）作为电容器質量指标之一。我們用油浸美濃紙制成的土电容器的 RC 值不小于50微法兆欧。

2. 損耗角正切 在交流电压作用下，电容器中通过的电流和加于它的电压成积，实际上可当做該电容器的虛功功率（以符号“ Q ”表示）。除此以外，电容器还产生一小部分功率損耗（以符号“ P ”表示）。功率損耗和虛功功率之比，称为損耗角正切，以符号“ $\operatorname{tg}\delta$ ”表示

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{P}{Q}$$

損耗角正切大的电容器，不仅在工作中多消耗一部分能量，在紙質电容器中，損耗角正切大，还意味着質量差，运用不可靠。

测量 $\operatorname{tg}\delta$ 需用較复杂的仪器。在紙質电容器中 $\operatorname{tg}\delta$ 和 RC 是有联系的，只要知道其中一个就够了。

如果以导电性較差的非金屬来代替金屬箔作为电极时，电极的电阻 r_g 对損耗角也有影响， r_g 不宜过大，以 Cr_g 不大于50

微法·歐為极限。

耐压 如果加在电容器上的电压不断上升，则至某一电压时，电容器便会损坏，这种現象称作击穿，发生击穿时的电压称为击穿电压。

已击穿的电容器有的可部分修复，有的破坏很严重就根本不能修复。因此，击穿电压是衡量电容器質量的最重要指标。电容器的击穿电压和加电压的作用時間有关。电压作用時間短，击穿电压就比較高。

由于电容器击穿后成为廢品，因此电容器不能做击穿試驗，只作耐压試驗。所謂耐压試驗就是在某一指定的电压（試驗电压）下，承受一定時間沒有击穿，就認為合格。由此可見，电容器的击穿电压必須高于耐压試驗电压。

耐压电压試驗的試驗电压可根据实际須要来选定，按工程規定，为工作电压的 2.2 倍。試驗時間为 1 分鐘。耐压試驗电压所以高于工作电压，是因为考慮到电容器在运行中，因受潮湿等原因使击穿电压逐漸降低，以及在工作时，可能在短時間內在电容器上出現高于工作电压的过电压等原因而确定的。

二、土低电压电容器

同洋电容器一样，土低电容器仍采用油浸紙作絕緣体。极板采用紙烟中的鋁箔或迷信用的錫箔。但电容器中采用的美濃紙和洋电容器中的电容器紙不同，前者厚度約为 0.03~0.05 公厘 (mm)，后者在厚度为 0.01~0.012 公厘。油浸电容器紙的击穿电压很高，每公厘 70 千伏。而油浸美濃紙① 則每公厘仅为 15

①美濃紙比重为 0.5，比重愈大漫油后的 ϵ 也愈大。

~25千伏。因此在制造土电容器时，不得不多用几层纸作绝缘，以提高耐压能力。由于这一原因，使得土电容的成本增加及体积增大。应该指出，在同一绝缘厚度时，增加纸的层数有利于击穿电压的提高，如3张0.033公厘的油浸纸的击穿电压高于2张0.05公厘的油浸纸。这是由于纸中有个别含有杂质的小点，这些小点非常容易击穿，故称做导电点。在制造电容器时，各层的导电点凑在一起，则其击穿电压很低，因此即使总的厚度相同，纸的层数增加就使击穿电压提高，通常绝缘中，纸的层数不小于3张，在个别场合（例如采用高级的绝缘纸）可采用2张。

绝缘纸应选择色白密集而薄的纸张。

土电容器的制造有两种方法，即绕卷法和迭片法：

绕卷法是将很长的宽纸条和金属箔条卷成纸卷，见图2。纸张的面积应比金属箔大（在各个方向都比金属箔大1厘米）。

绕卷时，先放3张宽纸条然后放1张金属箔，随后又加3张纸条及1张金属箔，迭好后再卷起来，卷到约为一半的地方，在金属箔上放入两根引线（引线可用薄铜片包铝箔，宽5~10公厘），然后继续绕卷。卷好后，在外边单独卷2~3圈纸条，用虫胶油粘好就制成了电容器的基本单元，这样的单元称作元件。

纸条及金属箔条不够长时，可用较短的纸条，金属箔条联接起来，在联结处，纸条应互相搭接（见图3 a）不要采取（图3 b）的联结方式。

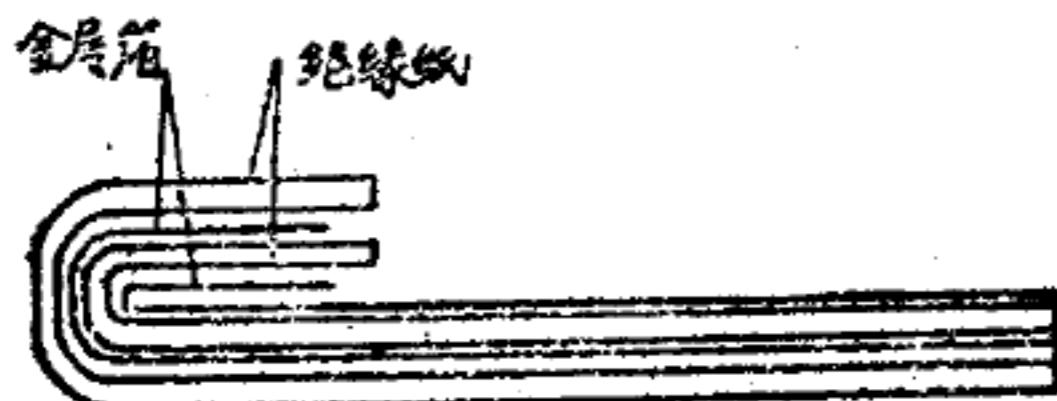


图2 纸卷的绕卷

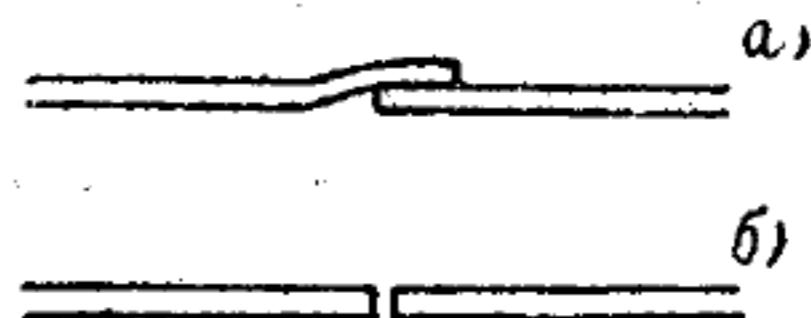


图3

元件尺寸的大小，沒有严格的規定，視原材料的尺寸而定。

迭片法的元件制造，是將金屬箔和絕緣紙交替迭起來（見圖4），每一金屬箔（极板）上，放一根引綫（鋁箔极板可放細銅絲，迷信用錫箔只能放柔軟的鋁箔條，見圖4b）。然后将引綫相間地联在一起組成兩組（見圖4a），并在每一組联一引出綫，制成元件。

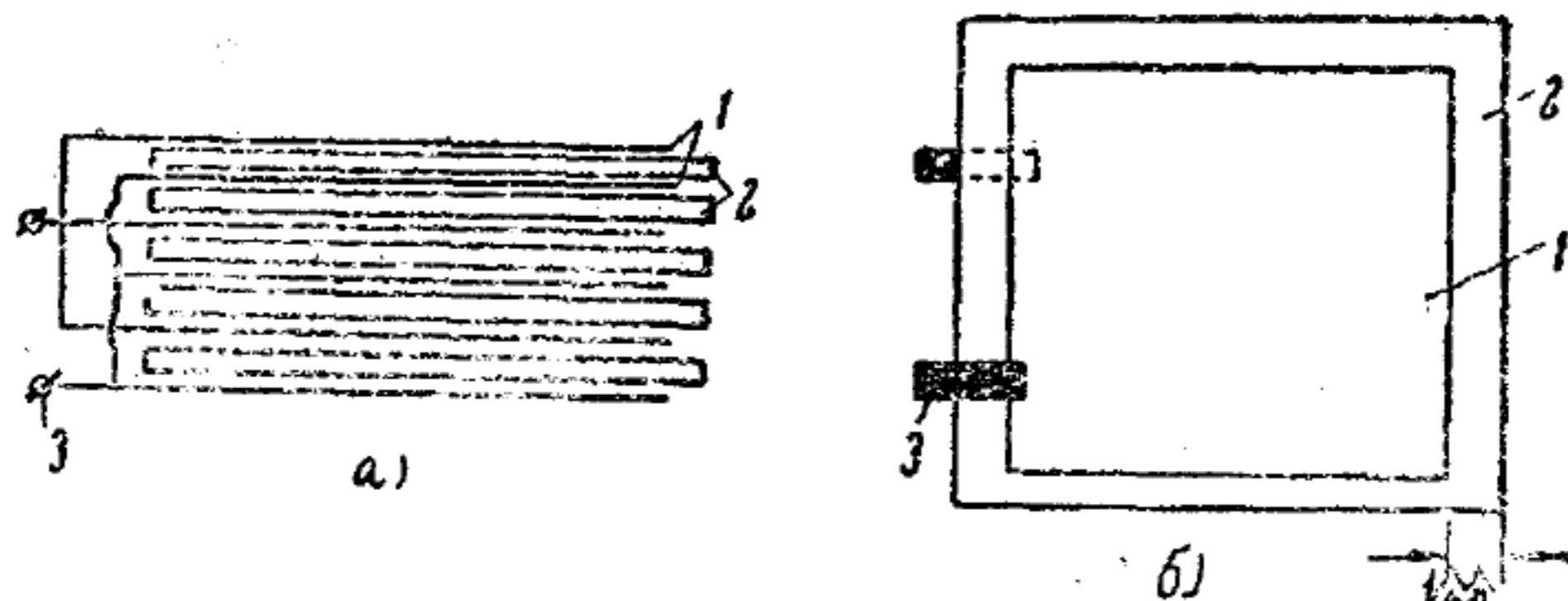


图4 a、b迭片型元件結構图

1—金屬箔；2—絕緣紙；3—引綫。

同繞卷法一样，用迭片法制元件时，紙在各个方向都应比金屬箔大1公分。

采用迭片型时，紙張的面积可以大些（ $350 \sim 1,000$ 公分²），否则引綫消耗量太大。至于每个元件的迭数，在能够保証良好的紧压条件下不受压制。

在实用上，如以鋁箔作极板，可采用繞卷型。用极易破碎的迷信用錫箔作极板时，只能采用迭片型，否則，当引綫附近錫箔发生裂开时，就会使电容完全損失。

元件制成功后，可将若干个元件放在一起，組成电容器的心子，外面包上青壳紙，然后在两侧加压板，压板用較厚的洋鐵皮制成，其形状如图5所示。

压板的边上应略带弧形，以免元件在緊压时遭受損伤。心子

放入外壳前，須加以压紧，压紧的程度对电容器的电容量影响很大。紧压后，可使电容量增加百分之几十。换言之，也可使成本大大降低。紧压后，心子就用軟鋼絲（或鐵絲）加以捆扎，以免松开。心子制成后，被放入外壳内，并将各个元件的引綫分别联在一起，再和螺杆相联。整个电容器结构如图 6 所示。

电容器装配好后，再装上盖子，在盖子未装以前，須将瓷套固定好，下瓷套时，在盖子接触处放置耐油的軟木（或薄紙板）垫圈；上瓷套时，在盖子接触处放置橡皮垫圈。在上下瓷套間的中空处，充以油性泥子。此后，再将螺帽上紧。盖子上需留两个小孔，以备灌油之用。电容器装上盖子后，放入烘箱或烘房中（保持 $90^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{C}$ ），烘 12 小时后冷却至 60°C 左右，在小孔中注入温热的变压器油① 变压器油的击穿电压，不应低于 25 千伏（在极間距离为 2.5 公厘的試油杯中試驗），然后用焊錫将小孔封上。

油注入后，放置 2 小时使紙浸透，才能作耐压試驗或投入运行。

图 6 油紙电容結構图

1—螺帽；2—螺杆；3—上下瓷套；4—垫圈（上面的用橡皮，下面用軟木片或薄紙板）；5—元件；6—青壳紙；7—夹板（0.8~1.0 公厘洋鐵皮制）；8—捆扎用軟鋼絲；9—外壳 10.5~1.0 公厘鐵皮制；10—油泥子。

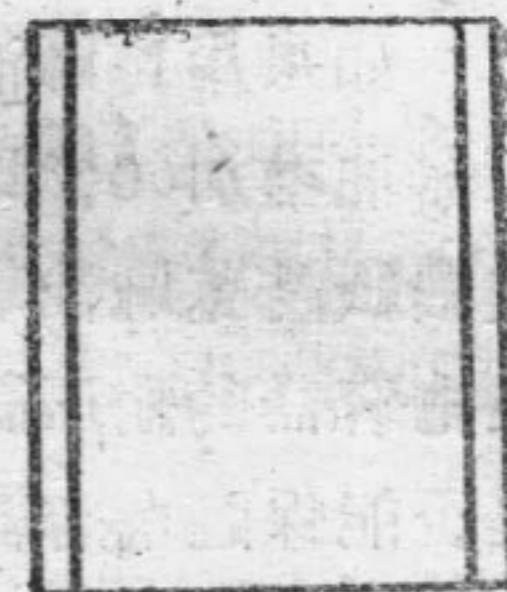
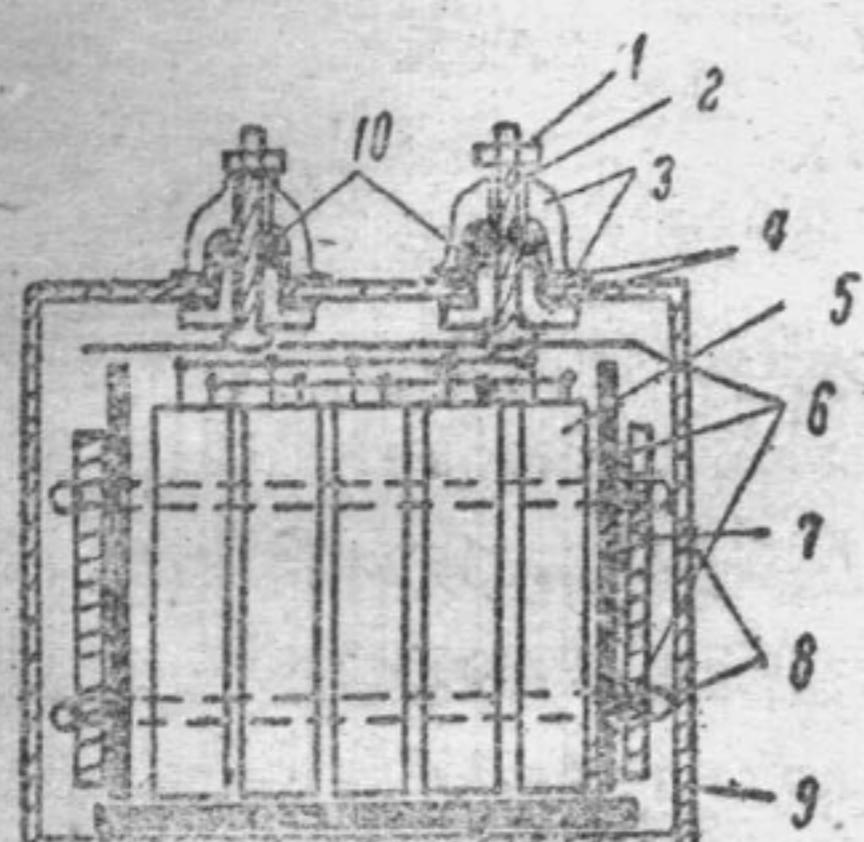


图 5 压板投影图



① 变压器油如在外地采購，搬运及保存时須放在密閉的桶內，否則油会吸潮迅速降低質量，对于質量差的油可請有关部门过滤。

如果用蓖麻油浸漬，同样大小的电容器可使电容量比用变压器油增加60%以上。但其击穿电压不高，三层0.045公厘的美濃紙浸蓖麻油后，击穿电压約为650~750伏，因此，对于这类电容器的耐压試驗，可考慮工作电压降至1.5倍。但这样作是否能保証电容器工作的充分可靠，目前尚未試驗，因此，可小批試作，待取得經驗之后再推广。浸蓖麻油时，浸油温度应提高到90~110°C，浸油時間也应大大延长(1~2小时)，否則将不能保証浸透。

目前，土低压电容器的經濟效果，成本是比較高，約为洋电容的2倍。我們試制成的土电容器是用錫箔-美濃紙电容器做的，一个电容器的电容量为1.37微法，其成本如下：

外壳及夹板	1.24公斤鐵皮	0.88元
美濃紙(0.043公厘厚面积为38.7×		
26公分 ² 帶印格)3.6本		2.74元
迷信用錫箔面积为 34×26.5 公分 ² 60大張	0.87元	
瓷套螺杆等		0.30元
变压器油1.7公斤		3.23元
其他零星材料及易耗品		0.30元
總計		8.32元
平均每微法		6.07元

根据土电容器的試制情况来看，我們認為制造成本是可以降低的，其原因如下：

1.美濃紙只需用厚度为0.03~0.035公厘的大張白美濃紙(由用户裁成小張)就可以了，这样既可以省去印費，裝訂費，并可节省15%的用紙量(过去我們所买的美濃紙和錫箔的大小配合不上，有15%的面积未被利用)。而帶有印格的美濃紙又比白美濃紙貴40%，因而采用美濃紙，可省去費用一半。

2.采用三層0.03~0.035公厘的厚美濃紙作絕緣，这样耐

压能基本满足需要，但其电容就会比用三层 0.043 公厘的美濃紙高 25%。此外，我們制造的电容器压得还不够紧(測量值仅为理論計算值的75%)，估計压紧后，电容尚可提高5~10%。

3.我們制造的电容器外壳較大，多費了些油。

4.制造电容量較大的电容器，外壳，螺杆等附加費用并不和电容量成正比地增加，就可降低每微法的成本。

根据以上因素，我們估計制造一台15微法的电容器，每微法成本可降至 3 元左右①。

三、土高压电容器

目前我們利用玻璃初步制成价格低廉的高压电容器。玻璃电容器的成本仅为洋高压电容器的1/3到1/2。

土高压电容器在土法发电中也自有其用途。前面已經提到，如将感应发电机直接接到电网 上，就不需要电容器来励磁了，此时电网必須增添相应的能够发生虚功功率的装置。土高压电容器就可用来作为这种装置。

高压电容器的特点是电容量小，但同样大小的电容接在高压电网中，就比在低压电网中大得多。这种情况就象在图 7 不等臂的杠杆两侧挂重物，其作用各不相同的道理一样。重物 B 重量虽較 A 小，但因臂长其作用所以和 A 相同。所不同的是，电容器接在电网中，其所起的作用不是和工作电压成正比，而是和工作电压的平方成正比。

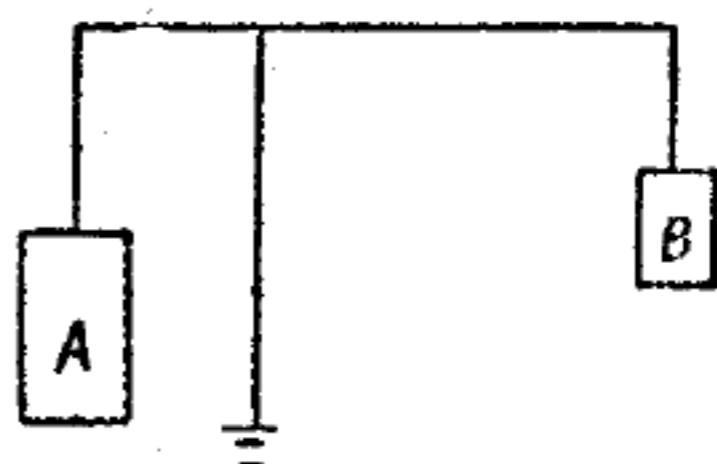


图 7

①未計及工資。

因此，高压电容器的应用是有条件的，直接接在低压发电机的出线端上就起不了作用。如果有高压变压器，应将高压电容器接在高压侧，将感应发电机接到低压侧，其作用就象在感应发电机上直接接上 k^2 (k 为变压比) 倍的电容量一样。由此可見，在有变电设备的单位或电网所及的区域内，均可設法利用土高压电容器。

使用土高压电容器就单使用电容器而言是很經濟的。每千乏容量不到10元，其作用就和22微法的380伏电容器相似。22微法的380伏电容器价值在50元以上。

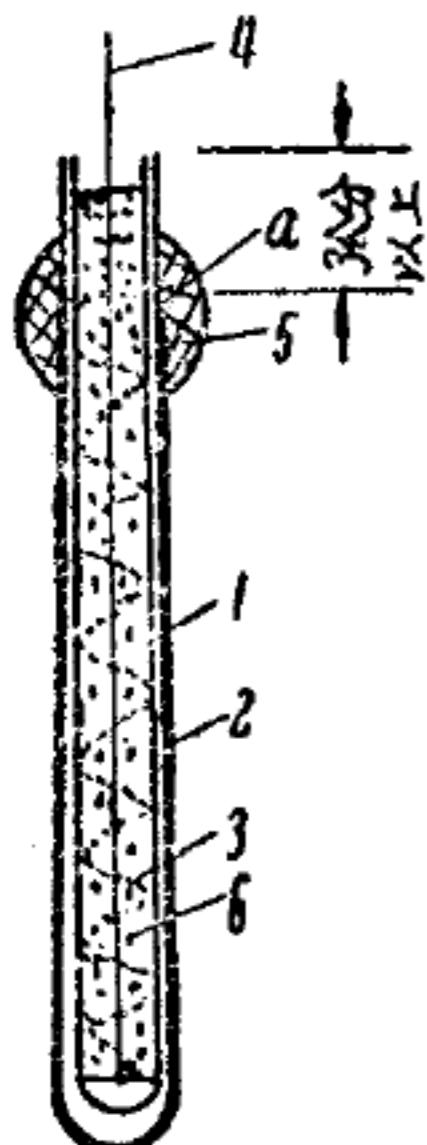


图8 玻璃管电容器

1—玻璃管；2—石墨层；3—細銅絲；
4—放于水中的銅絲；5—瀝青；
6—水。

土高压电容器的制造非常簡單，其方法是先用石墨和虫胶油調成石墨胶①，然后将石墨胶涂在封好口的纏有細銅絲的玻璃管上（見圖8），并烘干，再在玻璃管中灌入自来水，并放入一銅絲，就制成一个簡單的小高压电容器。在这个电容器中，插在水內的銅絲為一电极，而纏在石墨层上的銅絲為另一电极。为了降低成本，应尽量采用細銅絲②。同时，为了联結方便，放在水中的銅絲的上半部，可以粗一些。

如玻璃管長为 1.0~1.2 公尺，管徑 1 公分，管壁厚 0.35~0.5 公厘，其电容量約为 0.007 微法，其工作电压为 3800 伏(丫型联結，用于 6600 伏电网中)，其容量約为 0.03 千乏。这样的小电容器的成本約为：

①石墨胶中应尽量增加石墨的分量，但不应过稠以免妨害涂刷。

②放于水中的銅絲应放到底，否则会发生过热，为了使細銅絲容易放入，可在下部挂一小重物。

玻璃管	0.08公斤	0.08元
細銅絲	直徑0.2公厘裸線2.5公尺	
粗銅絲	直徑0.5公厘裸線0.5公尺共計2公分	
石墨虫胶油等		0.2元 0.1元
人工費用		0.05元
總計		0.16元

每千乏价約为5~6元，考慮到安装費用，每千乏总計不超过8元(洋电容器每千乏价为25元)。玻璃管电容器的耐压甚高，我們在2.4倍工作电压試驗3分鐘仍未发生击穿。当加压至2.5倍以上的工作电压时，才有个別管子被击穿。

玻璃管电容器的損耗角正切和其成分有关。用安瓶(即医院里装送用注射液的小玻璃瓶)制成，在12°C时为0.03~0.035。而我們用較厚的某种玻璃管制成的則仅为0.0160，可以預期，如果在玻璃料中减少 Na_2CO_3 (燒碱)的用量，而增加鉛、鋇、鎂、鉀等氧化物含量，其損耗角正切还是会降低的。

简单的玻璃管电容器在应用时有一缺点，即在石墨层的終点a处(見图8)工作时，有輕微的表面游离現象。这种現象无严重的危害，仅損耗略有增加，在工作时产生臭氧(一种难聞的味)，不会引起击穿現象。

为了消除表面游离現象，在a处上下一公分以上的地区，涂以瀝青①效果較好。在涂瀝青时，瀝青中不应有气泡。

涂瀝青后，个别試驗开始发生表面游离电压，一般提高到5千伏以上。将許多玻璃管电容器捆在一起时，虽仍会发生輕微的游离(可听到嚓嚓的声响并聞到臭氧的味)，但这样工作了数小时，并未发生任何异常現象。可以設想，如玻璃管上涂的石墨高度严格地保持相同，并在綁扎时石墨层的終点a处彼此湊

①应采用无毒的石油瀝青，而不能用煤焦瀝青(柏油)以免中毒。

在一起，就可消除此現象。

玻璃管电容器运用时，是将許多管子綁在一起（彼此对齐，以免互相放电），組成电容器組，并固定在相应的木架上，避免震动或遭受撞击。

玻璃管电容器組可联成丫形，将所有纏在石墨层上的細銅絲联在一起作为中心点。而三組放在水內的銅絲分別联在一起，并接到高压电网的三相上。同时使中心点对地絕緣。此时，如果一組电容器损坏，也不会引起任何事故。因为其它两組可滿意地承受線电压，一相短路仅使网路发生輕微的不平衡。

玻璃管电容器在运用时应保持石墨层的完整，在石墨剥落之处会发生表面游离，纏于石墨层上的細銅絲如发生斷絲时，也可能引起放电，这些游离或放电有可能起火（可能性很小），因此在运用时应注意这一点。

为了保护石墨层不受損害，可在石墨层外包以旧報紙（但不能包到瀝青上）。

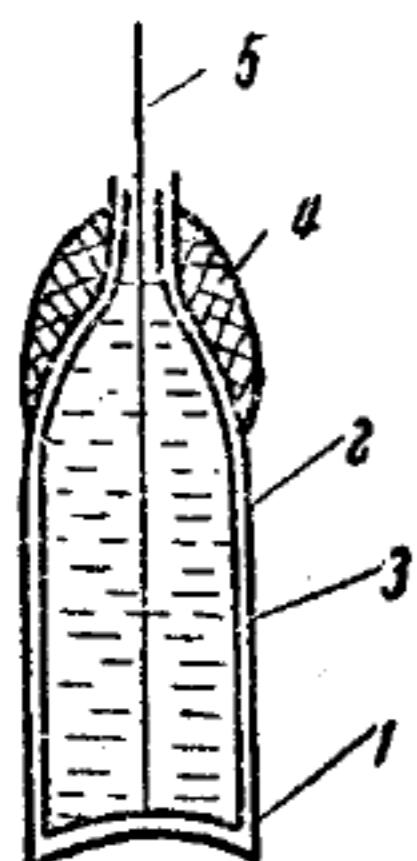


图 9 安瓶电
容器

1—玻璃瓶；2—石
墨层；3—纏在石
墨层上的細銅絲；
4—瀝青；5—放于
水中的銅絲。

玻璃管电容器在工作时；水中发生电解現象，不时有气泡上升，并消耗一小部分水。同时，还有一部分水会蒸发掉，因此經過一段時間后，必須添点水。为了减少水的蒸发，可在水面上放一层廢油，此时添水的間隔便大大延长了。如果不及时添水，也不会造成事故，仅使电容有所減少而已。

沒有玻璃管时，可利用吃完药的廢安瓶（20cc 装的），制成高压土电容器，其制法和玻璃管相似，外形如图 9 所示。

安瓶电容器的工作电压較低，为 3300 伏，每个容量仅为 0.002~0.0035 千乏，損耗角正

切比玻璃管电容器大一些。

安瓶电容器的成本虽較玻璃管电容器便宜，只是单个容量过小，无论在安装上及运行维护上都很不方便。

應該注意，所有这类土高压电容器都不能在零度以下的低温中工作。

四、电容器的维护和修理

電容器在運行時，如細心加以維護可延長其使用年限，出了故障及時修理，以免造成更大的損失。

煩的，到元宵用油燈，會感到麻痺，否則等裂縫，外壳重

长了就会吸进

保險絲
E 击穿
(其熔
时, 2

复，只
查，等
件及盖

湿。王太潮