



姓名	班级	学号	课程	指导老师
聂永欣	电气 810	2186113564	电力设备设计原理	刘学忠 段娜娜

电力设备设计原理

——电力电容器

摘要

电力电容器（power capacitor），作为电力系统中重要的无功补偿设备，其安全可靠运行有利于增强电力系统稳定性、提高电能质量和降低电网功率损耗。

智能电力无功补偿电容器为改善供电功率因数、提高电网效率提供解决方案。主要应用领域有：工厂配电系统、居民小区配电系统、市政商业建筑、交通隧道配电系统、箱变、成套柜、户外配电箱。

本文主要从电力电容器的分类入手，简述电力电容器的原理，主要结构，主要性能指标，设计制造流程这四部分。从原理出发，理解电力电容器的每个部分的作用，以及在串联和并联两种不同情况下的使用方法和意义。最后，本文描述电力电容器每个部分的制造流程，对于电容器所需要的工艺作出了较为详细的阐述。

关键词：电力电容器，无功补偿，并联与串联电容器，制造工艺

目录

- 1 电力电容器概述.....2**
 - 1.1 设备简介.....2
 - 1.2 我国电力电容器行业发展现状.....2
- 2 电力电容器分类.....3**
 - 2.1 按用途分类.....3
 - 2.2 按电压分类.....4
- 3 电力电容器主要构成.....5**
 - 3.1 基本结构.....5
 - 3.2 主要部件.....5
- 4 主要承受的作用.....6**
 - 4.1 串联电容器的效果.....6
 - 4.2 并联电容器的效果.....7
- 5 主要性能指标.....7**
 - 5.1 电容器主要参数.....7
 - 5.2 电容器型号含义.....8
 - 5.3 电容器参数的基本公式.....9
- 6 设计制造流程.....11**
 - 6.1 外壳制造.....12
 - 6.2 引线片生产工艺.....12
 - 6.3 芯子制造.....12
 - 6.4 出线瓷套、金属涂敷工艺.....13
 - 6.5 装配.....13
- 参考文献.....14**

1 电力电容器概述

1.1 设备简介

电力电容器，用于电力系统和电工设备的电容器。任意两块金属导体，中间用绝缘介质隔开，即构成一个电容器。电容器电容的大小，由其几何尺寸和两极板间绝缘介质的特性来决定。当电容器在交流电压下使用时，常以其无功功率表示电容器的容量，单位为乏。^[1] 电力电容器作为电力系统中重要的无功补偿设备，其安全可靠运行有利于增强电力系统稳定性、提高电能质量和降低电网功率损耗。

1.2 我国电力电容器行业发展现状

1.2.1 应用领域

智能电力无功补偿电容器为改善供电功率因数、提高电网效率提供解决方案。主要应用领域有：工厂配电系统、居民小区配电系统、市政商业建筑、交通隧道配电系统、箱变、成套柜、户外配电箱。

1.2.2 我国电力电容器行业取得的成就

纵观电力电容器行业的发展，其间有不少重要的阶段，包括新介质的研发、新结构的应用、新工程的投运等等。但 2010 年至 2013 年，对我国电力电容器行业的发展来说，应该是一段重要里程——我国自主研发的各类电力电容器在高压、超高压及特高压交、直流输电领域里得到全面应用，产品包括并联电容器、交流滤波电容器、直流滤波电容器、直流 PLC 电容器、串联电容器、CVT 等等。经过前一阶段行业各企业对传统的生产设备、加工工艺改造升级后的，这些产品的产量和质量都得到了显著地提升。主要成就包括：云广、向上、宁东—山东、青藏联网、锦苏、糯扎渡—溪洛渡送电广东等直流输电项目，以及晋东南—荆门、淮南—上海两个 1000kV 特高压交流输电工程。另外哈密南—郑州、溪洛渡—浙西两个 ±800kV 特高压直流输电工程也即将完工投产。^[2]

1.2.3 我国电力电容器行业所面临的机遇和困扰

电力电容器行业目前来看，仍然要依靠电网的规模投资才能维持现有的平稳发展趋势，其中为特高压交直流输电及其配套工程提供的电容器将占到很大的比重。令人可喜的是，按照国家电网和南方电网“十二五”的发展规划，2020 年前要构建大规模的“西电东送”、“北

电南送”的能源配置格局。

“十二五”期间，国家电网公司规划建成“三纵三横”的特高压同步电网和 13 回特高压直流输电线路，总变电（换流）容量达到 4.1 亿千伏安；南方电网公司将在已有的直流输电线路基础上，建设金沙江中游梨园、阿海电站送电广西直流工程，各省形成坚强的 500kV 骨干网架。

巨大的无功补偿和交直流滤波需求量对行业来说，必将又是一次发展的机遇。当然，还应该清醒地认识到，现在行业虽然规模扩大了，但利润没有明显增长，除了前面讲到的人工和市场的原因，还有技术层面的原因：我国电力电容器的传统技术与国外先进水平的差距。

2 电力电容器分类

2.1 按用途分类

2.1.1 并联电容器

原称移相电容器。主要用于补偿电力系统感性负荷的无功功率，以提高功率因数，改善电压质量，降低线路损耗。

2.1.2 串联电容器

串联于工频高压输、配电线路中，用以补偿线路的分布感抗，提高系统的静、动态稳定性，改善线路的电压质量，加长送电距离和增大输送能力。

2.1.3 耦合电容器

主要用于高压电力线路的高频通信、测量、控制、保护以及在抽取电能的装置中作部件用。

2.1.4 断路器电容器

原称均压电容器。并联在超高压断路器断口上起均压作用，使各断口间的电压在分断过程中和断开时均匀，并可改善断路器的灭弧特性，提高分断能力。

2.1.5 电热电容器

用于频率为 40Hz~24000Hz 的电热设备系统中，以提高功率因数，改善回路的电压或频

率等特性。

2.1.6 脉冲电容器

主要起贮能作用，用作冲击电压发生器、冲击电流发生器、断路器试验用振荡回路等基本贮能元件。

2.1.7 直流和滤波电容器

用于高压直流装置和高压整流滤波装置中。

2.1.8 标准电容器

用于工频高压测量介质损耗回路中，作为标准电容或用作测量高压的电容分压装置。

2.2 按电压分类

2.2.1 高压电力电容器

1kV 以上的为高压电容器。

2.2.2 低压电力电容器

额定电压在 1kV 以下的为低压电容器。

1. 油浸纸质电力电容器

油浸式电力电容元件,包括铝箔以及由电容器纸和聚丙烯薄膜组成的复合介质,其特点在于,聚丙烯薄膜所占复合介质的厚度比,即膜占比为 30%~45%,优选膜占比为 35%。这种电容温度系数的绝对值可降低到 $5 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 以下,应用于电容式电压互感器,可以制造出 0.1 级高精度电压互感器。

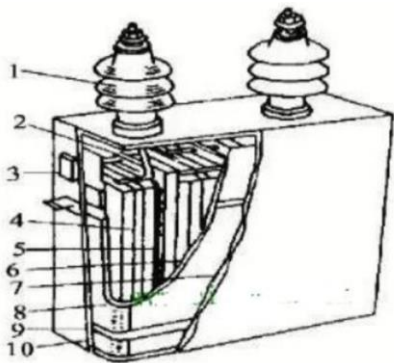
2. 自愈式电力电容器

自愈式低电压并联电容器是一种在极间介质发生击穿时，击穿点周围的金属化电极层就会迅速蒸发，自动恢复电容器性能的低电压并联电容器。

3 电力电容器主要构成

3.1 基本结构

电力电容器主要由壳体、电容器心子、绝缘介质以及出线结构等几个部分组成。壳体材质为薄钢板或不锈钢板，出线套管焊接在壳盖处，电容器心子由聚丙烯薄膜与铝箔（极板）卷制而成，壳体内部充满液体介质用以绝缘和散热。



1-出线套管 2-出线连接片 3-连接片 4-扁形元件 5-固定板
6-绝缘件 7-包封件 8-连接夹板 9-紧箍 10-外壳

Figure 1 补偿电容器结构图

电力电容器都做成三相、三角形连接线，内部元件并联，每个并联元件都有单独的熔丝；高压电容器一般都做成单相，内部元件并联。

外壳用密封钢板焊接而成，芯子由电容元件串并联组成，电容元件用铝箔作电极，用复合薄膜绝缘。电容器内充绝缘油（矿物油或十二烷基苯等）作浸渍介质。

3.2 主要部件

3.2.1 电容元件

用一定厚度和层数的固体介质与铝箔电极卷制而成。若干个电容元件并联和串联起来，组成电容器芯子。

在电压为 10kV 及以下的高压电容器内，每个电容元件上都串有一熔丝，作为电容器的内部短路保护。

当某个元件击穿时，其他完好元件即对其放电，使熔丝在毫秒级的时间内迅速熔断，切除故障元件，从而使电容器能继续正常工作。

3.2.2 浸渍剂

电容器芯子一般放于浸渍剂中，以提高电容元件的介质耐压强度，改善局部放电特性和散热条件。浸渍剂一般有矿物油、氯化联苯、SF₆ 气体等。

3.2.3 外壳和套管

外壳一般采用薄钢板焊接而成，表面涂阻燃漆，壳盖上焊有出线套管，箱壁侧面焊有吊攀、接地螺栓等。

大容量集合式电容器的箱盖上，装有油枕或金属膨胀器及压力释放阀，箱壁侧面装有片状散热器、压力式温控装置等。接线端子从出线瓷套管中引出。

4 主要承受的作用

4.1 串联电容器的效果

- 行进线路结束电压。串接在线路中的电容器，运用其容抗 x_c 抵偿线路的感抗 x_l ，使线路的电压下降削减，然后行进线路结束（受电端）的电压，通常可将线路结束电压最大可行进 10%~20%。
- 下降受电端电压不坚决。当线路受电端接有改动很大的冲击负荷（如电弧炉、电焊机、电气轨迹等）时，串联电容器能消除电压的剧烈不坚决。这是因为串联电容器在线路中对电压下降的抵偿效果是随通过电容器的负荷而改动的，具有随负荷的改动而瞬时调度的功用，能主动坚持负荷端（受电端）的电压值。
- 行进线路输电才华。因为线路串入了电容器的抵偿电抗 X_c ，线路的电压下降和功率损耗削减，相应地行进了线路的运送容量。
- 改进了体系潮流散布。在闭合网络中的某些线路上串接一些电容器，有些地改动了线路电抗，使电流按指定的线路活动，以抵达功率经济散布的意图。
- 行进体系的安稳性。线路串入电容器后，行进了线路的输电才华，这自身就行进了体系的静安稳。当线路缺点被有些切除时（如双回路被切除一回、但回路单相接地切除一相），体系等效电抗急剧添加，此刻，将串联电容器进行强行抵偿，即短时强行改动电容器串、并联数量，暂时添加容抗 X_c ，使体系总的等效电抗削减，行进了运送的极限功率 P_{max} ，然后行进体系的动安稳。

4.2 并联电容器的效果

并联电容器并联在体系的母线上，相似于体系母线上的一个容性负荷，它吸收体系的容性无功功率，这就恰当于并联电容器向体系宣告理性无功。因此，并联电容器能向体系供给理性无功功率，体系作业的功率因数，行进受电端母线的电压水平，一同，它削减了线路上理性无功的运送，削减了电压和功率损耗。

5 主要性能指标

5.1 电容器主要参数

电容器的主要参数有标称电容量和容差、额定电压、绝缘电阻、损耗率，这些参数主要由电容器中的电介质决定。电容器产品标出的电容量值。

云母和陶瓷介质电容器的电容量较低(大约在 5000pF 以下)；纸、塑料和一些陶瓷介质形式的电容器居中(大约在 0.005 μ F~1.0 μ F)；通常电解电容器的容量较大。

5.1.1 标称电容量和容差

标称电容量是标在电容器上的电容量。电容器实际电容量与标称电容量的偏差称容差。某一个电容器上标有 220nJ，表示这个电容器的标称电容量为 220nF，实际电容量应 220nF \pm 5% 之内，此处 J 表示容量误差为 \pm 5%。若 J 改为 K，表示误差为 \pm 10%；改为 M 表示误差为 \pm 20%。

5.1.2 额定电压

在最低环境温度和额定环境温度下可连续加在电容器的最高直流电压有效值，一般直接标注在电容器外壳上，如果工作电压超过电容器的耐压，电容器击穿，造成不可修复的永久损坏。

5.1.3 绝缘电阻

理想的电容器，在其上加有直流电压时，应没有电流流过电容器，而实际上存在有微小的漏电流。直流电压除以漏电流的值，即为电容器的绝缘电阻。其典型值为 100M Ω 到 10000M Ω 。现在 CL11、CBB22 等塑料薄膜电容器的绝缘电阻值可达到 5000M Ω 以上。电容器的绝缘电阻是一个不稳定的电气参数，它会随着温度、湿度、时间的变化而变化。绝缘电阻越大越好。

5.1.4 损耗率

电容器的损耗率是电容器一周期内转化成热能的能量与它的平均储能的比率，通常用百分数表示。电容器转化成热能的能量主要由介质损耗的能量和电容所有的电阻所引起的能量损耗，在直流电场的作用下，电容器的损耗以漏电阻损耗的形式存在，一般较小，在交变电场的作用下，电容的损耗不仅与漏电阻有关，而且与周期性的极化建立过程有关。有些电容器如电解电容在交流信号下工作损耗随频率迅速增加，只能在直流或低频工作。

5.1.5 频率特性

随着频率的上升，一般电容器的电容量呈现下降的规律。

5.2 电容器型号含义

以 BSMJ0.4-15-3 这个电容器类型来阐明：

B: 代表系列类型，以它作为商品类型的开端是为了让客户十分好的差异电容器的功用，这儿的 B 代表“并联”，还有 M 代表“储能”，C 代表“串联”。

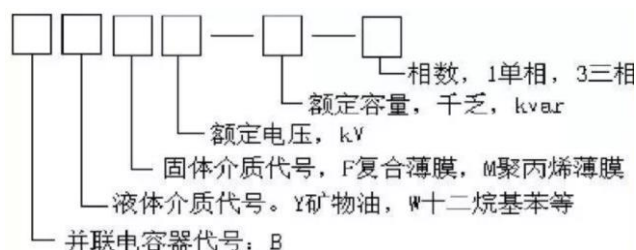
S: 代表浸渍剂代号，这儿的 S 标明“微晶蜡”，还有 Z 代表“菜籽油”，G 代表“硅油”，其间最多见的仍是微晶蜡和植物油，商场上运用率最高的仍是应当是微晶蜡介质的电容器。

MJ: 代表介质代号，这个就没啥好说的，根柢都相同都是代表金属化聚丙烯薄膜。

0.4: 代表额外电压，这儿的单位是 KV，5KV 以下的电容器都算是低压电容器，10KV 以上的电容器归于高压电容器。

15: 代表额外容量，单位是 kvar，电容量可选的计划通常在 1~50，假定对电容容量不了解，能够先去看一下电力电容器的电容容量核算公式》

3: 代表相数，即是前方接电住的数量，通常电压小一点的是都运用单相（1 相），电压大一点的都是运用三相（3 相），也有分外的是运用分相（3YN）



5.3 电容器参数的基本公式

5.3.1 相位角 ϕ

理想电容器：超前当前电压 90 度；理想电感器：滞后当前电压 90 度；理想电阻器：与当前电压的相位相同。

5.3.2 耗散系数 (%)

损耗角正切值 $\tan\delta$ 。在电容器的等效电路中，串联等效电阻 ESR 同容抗 $\frac{1}{\omega C}$ 之比称之为 $\tan\delta$ ，这里的 ESR 是在 120Hz 时计算获得的值。显然， $\tan\delta$ 随着测量频率的增加而变大，随测量温度的下降而增大。

$$D.F. = \tan\delta = \frac{ESR}{X_C} = (2\pi fC) \times ESR \quad (1)$$

损耗因数，因为电容器的泄露电阻、等效串联电阻和等效串联电感，这三项指标几乎总是很难分开，所以许多电容器制造厂家将它们合并成一项指标，称作损耗因数，主要用来描述电容器的无效程度。损耗因数定义为电容器每周期损耗能量与储存能量之比。又称为损耗角正切。

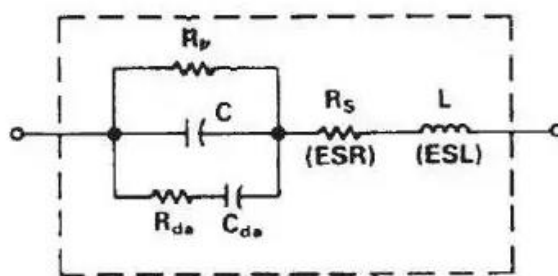


Figure 2 电容等效电路

图 1 中，电容的泄露电阻 R_p 、有效串联电阻 R_s 和有效串联电感 L 式寄生元件，可能会降低外部电路的性能。一般将这些元件的效应合并考虑，定义为损耗因数或 D.F。

电容的泄露是指施加电压时流过电介质的微小电流。虽然模型中表现为与电容并联的简单绝缘电阻 R_p ，但实际上泄露与电压并非线性关系。制造商常常将将泄露规定为 $M\Omega\cdot\mu F$ 积，用来描述电介质的自放电时间常数，单位为秒。其范围介于 1 秒或更短与数百秒之间，前者如铝和钽电容，后者如陶瓷电容。玻璃电容的自放电时间常数为 1,000 或更大；特氟龙和薄膜电容（聚苯乙烯、聚丙烯）的泄露性能最佳，时间常数超过 1,000,000 $M\Omega\cdot\mu F$ 。对于这种器件，

器件外壳的表面污染或相关配线、物理装配会产生泄漏路径，其影响远远超过电介质泄漏。

有效串联电感 ESL 产生自电容引脚和电容板的电感，它可将一般的容抗变成感抗，尤其是在较高频率时；其幅值取决于电容内部的具体构造。管式箔卷电容的引脚电感显著大于模制辐射式引脚配置的引脚电感。多层陶瓷和薄膜电容的串联阻抗通常最低，而铝电解电容的串联阻抗通常最高。因此，电解电容一般不适合高频旁路应用。

电容制造商常常通过阻抗与频率的关系图来说明有效串联电感。在低频时，器件主要表现出容性电抗；频率较高时，由于串联电感的存在，阻抗会升高。

5.3.3 品质因素

特定频率的等效串联电阻与总容性电抗之比近似于损耗因数，而前者等于品质因数 Q 的倒数。

损耗因数常常随着温度和频率而改变。采用云母和玻璃电介质的电容，其 DF 值一般在 0.03% 至 1.0% 之间。室温时，陶瓷电容的 DF 范围是 0.1% 至 2.5%。电解电容的 DF 值通常会超出上述范围。薄膜电容通常是最佳的，其 DF 值小于 0.1%。

$$Q = \cotan \delta = \frac{1}{D.F.} \quad (2)$$

5.3.4 等效串联电阻 ESR（欧姆）

有效串联电阻 ESR 由引脚和电容板的电阻组成。如上文所述，许多制造商将 ESR、ESL 和泄漏的影响合并为一个参数，称为“损耗因数”或 DF。损耗因数衡量电容的基本无效性。制造商将它定义为每个周期电容所损失的能量与所存储的能量之比。

$$ESR = (D.F.) \times X_C = \frac{D.F.}{2\pi fC} \quad (3)$$

5.3.5 功率消耗

$$PowerLoss = 2\pi fCV^2 \times D.F. \quad (4)$$

5.3.6 功率因数

$$PowerFactor = \sin \delta - \cos \phi \quad (5)$$

5.3.7 阻抗 Z

在特定的频率下，阻碍交流电流通过的电阻即为所谓的阻抗（Z）。它与电容等效电路中的电容值、电感值密切相关，且与 ESR 也有关系。

$$Z = \sqrt{ESR^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (6)$$

$$\text{式中, } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}, X_L = \omega L = 2\pi f L,$$

电容的容抗（ X_C ）在低频率范围内随着频率的增加逐步减小，频率继续增加达到中频范围时电抗（ X_L ）降至 ESR 的值。当频率达到高频范围时感抗（ X_L ）变为主导，所以阻抗是随着频率的增加而增加。

5.3.8 漏电流

电容器的介质对直流电流具有很大的阻碍作用。然而，由于铝氧化膜介质上浸有电解液，在施加电压时，重新形成的以及修复氧化膜的时候会产生一种很小的称之为漏电流的电流。通常，漏电流会随着温度和电压的升高而增大。

5.3.9 纹波电流和纹波电压

在一些资料中将此二者称做“涟波电流”和“涟波电压”，其实就是 ripple current, ripple voltage。含义即为电容器所能耐受纹波电流/电压值。它们和 ESR 之间的关系密切，可以用下面的式子表示：

$$U_{RMS} = I_{RMS} R \quad (7)$$

式中， V_{rms} 表示纹波电压， I_{rms} 表示纹波电流，R 表示电容的 ESR

由上可见，当纹波电流增大的时候，即使在 ESR 保持不变的情况下，涟波电压也会成倍提高。换言之，当纹波电压增大时，纹波电流也随之增大，这也是要求电容具备更低 ESR 值的原因。叠加入纹波电流后，由于电容内部的等效串连电阻（ESR）引起发热，从而影响到电容器的使用寿命。一般的，纹波电流与频率成正比，因此低频时纹波电流也比较低。

6 设计制造流程

电力电容器的制造工艺主要可分为外壳制造，瓷套加工，芯子制造，装配，浸渍剂净化

处理,真空干燥浸渍处理,油漆装箱等部分。

6.1 外壳制造

容器的金属外壳由箱壁、底、盖、名牌固定板及吊攀等焊接组成。箱壁是用薄钢板由专用弯形机一次加工成形的,底和盖等为冲压成形。

用的焊接方法有:气焊、电弧焊、碳弧焊、接触焊(点焊、滚焊)、二氧化碳保护焊和氢气保护焊等。

6.2 引线片生产工艺

引线片是用来连接电容器元件电极和外面导电部分的,它的作用极其重要,因此对它也提出很高的要求。引线片必须柔软平整,边缘光滑无毛刺,毛刺会刺破电容器纸或薄膜而使元件短路或施加电压时造成击穿,即使不击穿也会由于电场集中而产生局部放电,严重影响使用性能和寿命。引线片一般由 0.05 毫米紫铜带制成,还要求它不露铜,露铜在电场作用及较高温度下会促使油老化,使电容器性能变坏,降低使用期限。因此,引线片需要进行退火,镀锡等处理。过去在加工工序上先进行冲制成形,然后再退火,镀锡,由于引线片数量很大,采用人工挂镀工作量很大,需要多人劳动。现在进行了改进,采用连续生产方式,即将成卷紫铜簿带在退火炉里用通过式方法连续退火,然后立即进入电镀槽镀锡,镀锡后再进行冲制。全部过程采用机械传动,和过去相比大大节约了人力,缺点是在引线片的边缘有露铜现象。成形的引线片,为了便于焊接,在其一端用铅锡焊料进行搪锡处理。

除上述采用铜箔作引线片外,也有采用铝箔来制成引线片的,但铝引线片由于铝的表面有一层氧化膜焊接较困难,一般采用压接触结构,需要用特制的夹钳来夹紧他们

6.3 芯子制造

芯子制造分为元件卷制,绝缘件加工,芯子压装,引线和预烘等工序。为了保证制造的质量,制造芯子的车间应保持很高的清洁度。为此,通常采用打蜡木地板,水磨石或瓷砖地坪,墙壁、房柱和屋顶都需油漆。车间应采用双层窗和两道门,以防外面尘土和杂质侵入车间。同时还应具备空调设备,保持室内一定的温度和湿度,一般温度应保持在 $2\pm 4^{\circ}\text{C}$,相对湿度保持在 $60\pm 5\%$ 。送入车间的空气应加以一次水淋及两道泡沫塑料的过滤除尘。工作人员进入车间应换上清洁的工作服的工作鞋。目前在电力电容器的制造中塑料薄膜的应用愈来愈广泛,由于塑料薄膜在绕卷过程中会产生静电效应而吸尘,因此要求生产车间具有更高的清洁

度。为了防止吸尘而严重影响产品质量，应采取有效措施，如采用具有消除静电效应装置的卷制机，能控制空气尘埃微粒数量的净化室等。

6.4 出线瓷套、金属涂敷工艺

电力电容器的出线瓷套，一般有装配式和焊接式两种。装配式瓷套有内外两个瓷件，利用耐油橡胶作为密封垫圈，依靠螺杆螺母将其固定于箱盖上。焊接式瓷套，即金属涂敷式瓷套，其焊接程序是先在瓷套的规定部位的表面涂一层由金属氧化物和有机溶剂充分混合而成的介拭，然后在足以烧去其中有机键的高缸下焙烧，使金属氧化物还原为金咦。经过高温焙烧即可在瓷套表而获得一层紧附于其上的牢固金属层，并借助纤焊，将金属法兰仑和出线帽盖与该金属层焊接在一起。焙烧在瓷套表面的金属层有铂、铁，银等数种，口前较普遍采用的是烧银工艺，工艺过程如下：

- 银膏配置
- 被覆金属层
- 焊接
- 试漏
- 清洗

6.5 装配

并联电容器的装配是将经过预烘及检查合格的芯子装入外壳中，并把芯子的引出线通过已装在箱盖上的套管与其接线螺丝牢固焊接，然后焊接箱盖，并试漏检查密封性。大型电容器，如柄合电容器以及部分脉冲电容器等，需将芯子先进行真空干燥浸渍处理后再进行装配，然后再次进行真空脱气处理。为了便于工序间半制品传递，降低操作工人的劳动强度，装配场所的产品运送方式以使用滚轴运输带为宜。

参考文献

- [1].2020 年《电力电容器与无功补偿》总索引[J].电力电容器与无功补偿,2020,41(06):211-216.
- [2]刘伟,张健.电力电容器传热模型计算及温度寿命预测研究[J].黑龙江电力,2020,42(06):491-496.
- [3]顾建华.单台电力电容器外熔丝的选择标准[J].电世界,2020,61(12):39.
- [4]郭磊,张卓,张劲光,王栋,张科,董曼玲,李东亚.一起并联电容器装置损毁故障分析[J].电力电容器与无功补偿,2020,41(05):23-28+34.
- [5].电力电容器行业运行情况分析 & 展望[J].电器工业,2018(11):6-9.
- [6]杨慧杰,郭利波,刘学理. 电力电容器的常见故障和 处理方法[A]. 中国硅酸盐学会玻璃分会.2017 年全国玻璃科学技术年会论文集[C].中国硅酸盐学会玻璃分会:中国硅酸盐学会,2017:4.
- [7]贾华,成明,平怡.电力电容器行业运行状况和技术发展动态分析[J].电器工业,2014(02):28-32.
- [8]倪学锋. 我国电力电容器行业的发展及对几个问题的观点[A]. 中国电机工程学会变电专业委员会、中国电工技术学会输变电设备专业委员会、中国电工技术学会大容量试验技术专业委员会、中国电工技术学会电工陶瓷专业委员会、中国电工技术学会电力电容器专业委员会.2010 输变电年会论文集[C].中国电机工程学会变电专业委员会、中国电工技术学会输变电设备专业委员会、中国电工技术学会大容量试验技术专业委员会、中国电工技术学会电工陶瓷专业委员会、中国电工技术学会电力电容器专业委员会:中国电工技术学会,2010:5.
- [9]陆根兴.电力电容器通俗讲座之四——电力电容器的制造工艺[J].电力电容器,1982(01):18-25.