

电力电容器通俗讲座之四

电力电容器的制造工艺

陆根兴

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, 其简化的工艺流程如图18所示。

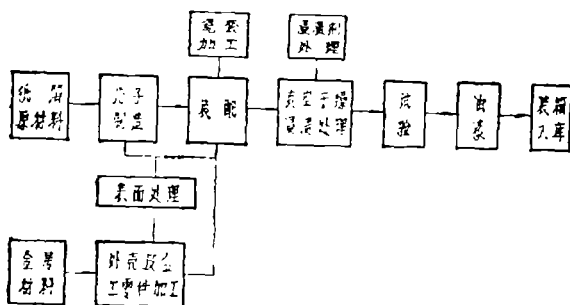


图18 电力电容器简化工艺流程图

电力电容器与其他电工产品相比, 其结构比较简单, 因此其制造工艺从整体来看也并不复杂, 但是为了保证产品的性能和质量, 对某些关键专业工艺(如元件卷制, 真空干燥浸渍等)的要求是非常高的, 因此, 必须加以极其严格的控制, 以保证这些工艺要求的完全实现。尤其在各道加工工序的过程中应强调必须特别注意清洁问题, 因为任何杂质如尘埃、油污、水分等进入电容器内, 都将会使电容器的性能严重恶化, 质量低劣和缩短使用寿命。在电力电容器行业中一直流行“清洁就是质量”这句口号, 是十分富有哲理和现实意义的, 决不是随便说说而已。此外, 还应十分注意密封和试漏工艺, 努力消除渗漏油现象, 以防潮气进入电容器内部, 逐渐恶化介质性能, 导致电容器最终击穿损坏。现将电力电容器的一些主要制造工艺简介如下。

一、外壳制造

电力电容器的外壳有金属、瓷套、酚醛、纸筒及

塑料等数种。无论采用那种材料制成外壳, 均要求它具有良好的密封性。下面着重介绍金属外壳的制造工艺。

1. 金属外壳制造

电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, 如图19所示。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。

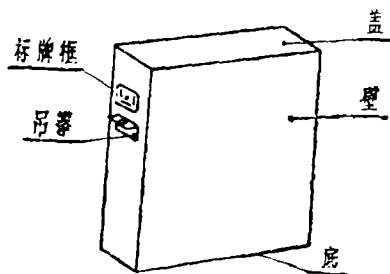


图19 金属外壳

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

(1) 碳弧焊

碳弧焊主要用来焊接中小型电容器外壳的箱底、箱盖和箱壁的连接, 碳弧焊需在直流焊机上(例如AT-320型)进行, 并采用正联接法, 即工件接焊机二次出线的正极, 夹碳精棒的焊钳接负极, 在焊接回路中串联一个螺旋线圈, 以克服焊接时电弧的摆动(电弧偏吹)现象。焊接时将工件放置于线圈内, 同时在操作者左侧装一风扇吹弧, 使电弧稳定, 并驱散产生的烟雾。碳精棒直径为6毫米, 焊接的一端应先磨成长35毫米, 端头直径为2毫米的锥形。焊接时先将碳精棒与焊件短路, 然后拉开起弧, 保持弧长约8毫米左右匀速前进。

(2) 点焊和滚焊

滚焊主要用于箱壁搭接处的焊接, 点焊则用来焊

接吊攀, 名牌固定板以及底与箱壁的定位等。点焊和滚焊由点焊机和滚焊机来完成, 焊机主要由焊接变压器, 电极移动机构(或滚轮的转动), 加压机构和电流断续器等组成。点焊时需将焊件彼此搭迭置于电机之间加压并通以电流, 于是焊件接触处金属受热熔化, 断电后在压力状态下熔化核心强烈冷却, 形成致密的金属焊接接点。滚焊的过程实质上与点焊一样, 只是用滚轮式的圆盘电极代替了柱状电极而已。电流在规定的时间内接通与切断, 每一个电流脉冲都造成一个不大的金属熔化区, 这种金属熔化区彼此链接形成滚焊焊缝。

焊件的表面状态对焊接质量有很大的影响, 因此在焊接前必须把焊件上的油污、氧化皮、氧化膜、油漆等加以清除。如有氧化皮或氧化膜, 可以采用化学侵蚀或喷砂等方法清除。

(3) 二氧化碳保护焊

二氧化碳保护焊一般用在箱盖与箱壁的对焊接中。在焊接时二氧化碳气体沿着焊丝(电极)向电弧周围吹送, 形成一个可靠的保护层来防止空气中的有害气体与电弧中的熔金属和熔池中的熔化金属接触。由于二氧化碳在高温时会发生分解而具有氧化性, 所以必须采用含有脱氧元素如锰和硅的焊丝。

(4) 为了进一步提高焊接质量, 确保产品密封性, 外壳焊接正在逐步向氩气保护焊方面发展。此外, 也可考虑发展拉深外壳, 拉深深度一般小于150毫米, 另一大侧壁于装配完成后在自动焊接设备上与拉深部分焊接。拉深外壳的优点是: 产量大、机械强度高、便于装配芯子以及减少了焊缝从而减少渗漏油的机会。

2. 金属外壳的密封性检查

电容器的密封性很重要, 若密封不良有渗漏油现象, 不仅浸渍剂会渗漏到外面影响电容器的外观和环境卫生, 有时会破坏油漆防护层, 而且更严重的是, 电容器会由于温度变化产生呼吸作用而吸潮, 导致介质性能变坏而击穿, 至少也要缩短使用寿命。对金属外壳的密封性检查可采用煤油或压缩空气来试漏。煤油试漏, 先在外部各焊缝涂刷白粉, 将煤油倒入外壳并用毛刷刷刷焊缝, 静置30分钟左右检查有无渗漏, 或向外壳内通以过滤过的压缩空气, 同时在各焊缝外部涂肥皂水检查有无漏气。

3. 外壳清洗

电力电容器的任何一种类型的外壳, 加工制成后都必须擦洗干净才能交付装配。金属外壳的清洗一般在清洗机内进行, 其工艺程序大致为热碱水去油, 磷化处理, 热水冲洗, 红外线烘干。还可采用超声波来加强热碱水的去油能力。磷化处理是为了防止外壳在

放置过程中生锈。

二、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, 即将成卷紫铜箔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。

三、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 and 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 $22 \pm 4^\circ\text{C}$, 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。

1. 元件卷制



元件卷制一般在专用的卷制机上进行,如图20所示。为了保证元件的卷制质量,要求卷制机制造得非常精密。卷制机装纸卷、膜卷和铝箔卷的轴应与卷绕心轴相互平行,各轴之间应具有相当高的平行度,以保证卷绕时元件不起皱。这些轴的拉力是可以随纸卷、膜卷、箔卷的大小而调整的,并具有一定的刚度,以免受纸卷、箔卷的重力影响而变形。

元件卷绕过程中,应特别注意并尽可能避免产生皱纹。实践证明,皱纹对产品质量有着不可忽视的有害影响,元件具有较严重皱纹时,能使元件的击穿电压下降5~10%,起始局部放电电压下降到近一半,容易造成电容器的早期膨胀和击穿,因而降低了产品的使用寿命。产生皱纹的主要原因有:(1)材料保管不善,纸卷所含水分的变化过快;(2)机床各轴平行度差;(3)机床各轴的拉力不一致;(4)机床运转时振动较大。针对以上原因,应采取相应的措施,如保持车间和贮存纸库的恒温恒湿,调整卷制机各轴的平行度和拉力等来消除皱纹。

为了使元件的电容量较精确地保持在所要求的范围内,在卷制过程中应使上下两张铝箔对齐,同时需控制元件的长度或卷绕圈数。国际上已有自动化程度较高的卷制机出现,我们曾经做过一些工作,为了减轻劳动强度,保证并提高元件质量,应考虑在结构上增加自动断纸、断箔及插放引线片等装置来加以改进,向自动卷制机发展。

2. 绝缘件加工

绝缘件主要是指芯子与外壳绝缘的包封件,各种绝缘衬垫以及纸腰箍、夹板等的加工,一般采用剪切、折边、滚压等机械及手工制成。

3. 芯子压装

芯子压装即把元件,绝缘件,包封件迭置在压床上,然后压紧再套上金属或绝缘材料的夹板,腰箍组成芯子。压床有用机械传动的或用液压传动的,压台也有直立式的或倾斜式的。压床上一一般装有可调的限

位装置,以免压头行程超过限度而使元件绝缘性能受到损伤。要注意在压装时不应在元件受压力的情况下调整引线片的位置,否则可能擦伤元件或使引线片形成皱折而使元件早期损坏。

4. 芯子引线

芯子引线即用钎焊或机械夹急的方式把芯子中元件的引线片按设计要求(连接成串联、并联、串并联)连接起来。对于镀锡铜引线片一般采用钎焊连接,焊料采用锡铅焊料HLS₂P₃₉(锡61%),并以松香作助熔剂。焊接时至少使引线片三分之二以上的宽度焊牢,并注意避免烙铁烫坏绝缘介质及把焊料掉落入芯子内。焊接后应清除松香残渣。

对于铝引线片的连接可采用贮能脉冲点焊焊接,也可采用机械夹具压接触夹紧的方法。采用铝引线片可以取消繁重的芯子引线焊接工作,简化工艺,节省劳动力。

电热电容器大都频率较高发热量很大,一般采用水冷式结构,因此芯子内部焊有冷却水管。焊接时,应在芯子一边的所有元件外露的铝箔焊成一体的基础上,乘芯子预烘后尚未完全冷却或放在烘箱内加温至80~90℃后,先搪上一层锌锡合金(锌35%,锡65%),然后再用HLS₂P₃₉焊料把冷却水管焊上。

5. 芯子预烘处理

纸质电容器的芯子预烘、即加热真空干燥处理,目的是除去芯子内电容器纸和绝缘件中大部分水分,以便进行耐压试验挑选元件,并缩短装配后进行真空干燥浸渍处理过程的处理时间。进行真空预烘干燥的主要设备如下:

(1) 真空预烘罐或预烘隧道窑

预烘罐通常采用卧式的,圆形或方形。加热采用蒸汽或电加热。预烘隧道窑是通过式的,由轨道小车传送芯子,在窑内间歇循序进出。隧道窑分加热,抽真空及冷却三部分,各部分之间有真空密闭门加以隔离。加热段采用热风循环加热,带走一部分水分,中间段进行真空脱水,冷却段以通过冷却器的循环冷风强迫冷却。隧道窑具有生产效率高,质量好,改善劳动条件等优点。

(2) 真空泵

可以采用真空度较低但不怕水分的真空泵,如使用活塞式W型真空泵等。

(3) 冷凝器

一般为管式,并附有冷凝水收集器。

芯子预烘处理的工艺时间可根据具体设备条件和芯子装载数量来确定。采用真空罐的约48小时左右,采用隧道窑的约60小时(包括冷却)。表1表示容积为3.5立方米的中型罐的预烘工艺处理过程。

芯子预烘处理工艺过程 表 1

罐内真空度 (托)	芯子表面 温度(℃)	处理时间 (小时)	累计时间 (小时)	备 注
0 (大气压)	105~135	12	12	真空逐渐 抽 高
50~500	105~135	15	27	
0 (破真空)	105~135	1	28	真空逐渐 抽 高
200~600	105~135	18	46	
600~700以上	105~135	10	56	

预烘时,真空度应缓慢地逐渐抽高,一下子真空抽得太高反而对纸的出水不利,这是由于真空不导热,芯子得不到补充热量而温度往往偏低之故。破除真空主要是为了加热并保持芯子温度,不使芯子温度由于出水而降低过多,破除真空时应放入干燥热空气。

6. 芯子元件的耐压试验及检查

予烘后,应对芯子中的每个元件作短时直流耐压试验,并用微法表对芯子作电容测量,检查元件及芯子有无击穿,短路,开路及相间电容不平衡等毛病,以便及时返修。作耐压试验不宜采用交流,否则容易损伤元件。施加直流电压的数值随电容器纸的密度(造纸厂一般称作紧度)和厚度的不同而异,如表 2

所示。

元件直流耐压试验数值 表 2

电容器纸密度 克/立方厘米	每10μ厚度施加电压值 伏
0.8	200
1.0	250
1.2	250

对于用塑料薄膜或膜纸复合介质制造的电容器,由于塑料薄膜基本上不含水分,在元件中纸占有的比例甚少的情况下,芯子就不一定要进行预烘处理。元件卷绕完毕后即可进行预压及直流耐压试验,以挑选元件。其直流耐压试验值相当高,一般两膜一纸的元件取6000~7000伏,持续时间约半分钟。芯子压好后再次对元件进行耐压试验,试验电压可比第一次稍低。应该特别注意,在芯子元件作过直流耐压试验后,必须进行极间短路放电,放电可通过一适当电阻进行,否则会造成人身伤亡事故。

四、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,如图21所示。装配式瓷套有内外两个瓷件,利用

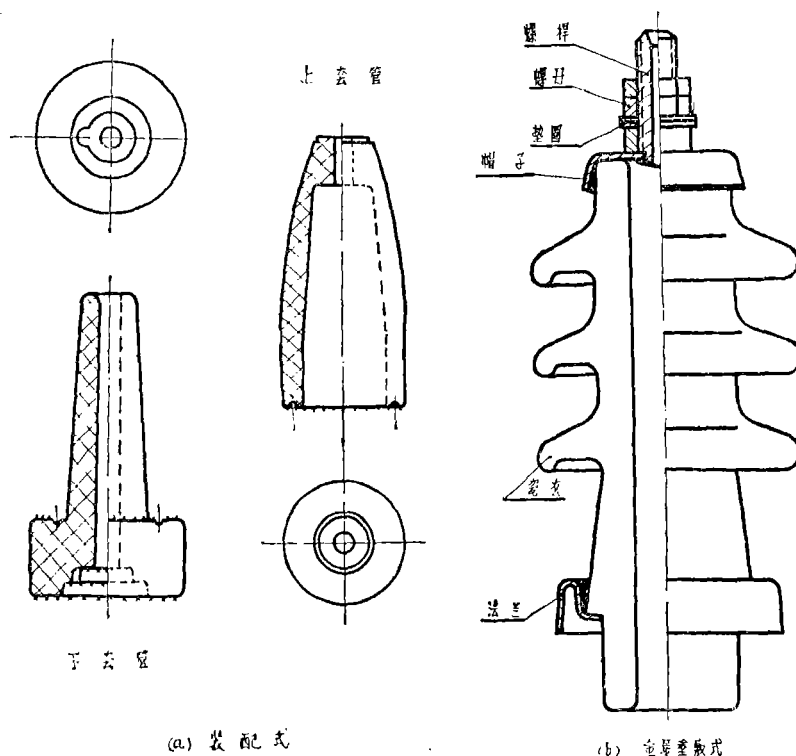


图 21 装 配 式 及 金 属 涂 敷 式 瓷 套

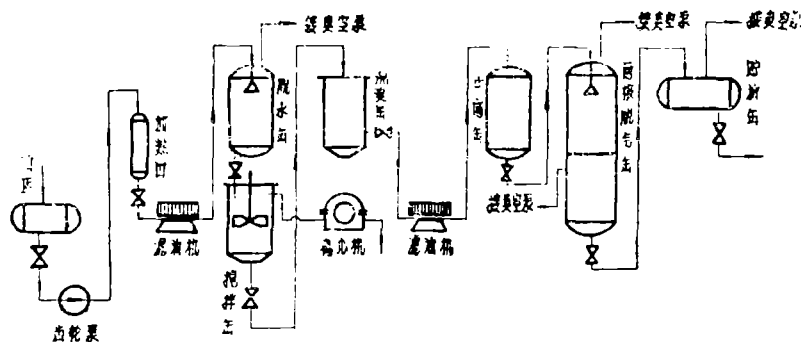


图22 油处理系统示意图

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上一层由金属氧化物和有机溶剂充分混合而成的膏剂，然后在足以烧去其中有机键的高温下焙烧，使金属氧化物还原为金属。经过高温焙烧即可在瓷套表面获得一层紧附于其上的牢固金属层，并借助纤维焊将金属法兰套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，目前较普遍采用的是烧银工艺，其工艺过程如下：

(1) 银膏配制

按各种材料的配比根据需要量称取各种组分，然后倒在干净的瓷桶内，密封后放在球磨机上研磨72小时，即可将银膏倒入深色瓶内，置于通风避光处备用。

涂敷银层

将经过热水清洗并烘干的瓷套放在涂敷机上，将制备好的银膏用松节油稀释并均匀搅拌至工作稠度，然后用蘸有银膏的画笔涂敷在瓷套规定部位上。

焙烧银层

把上好银膏的瓷套放进通过式隧道窑或高温炉内进行焙烧，焙烧温度为860℃左右，保持15~30分钟。进出口的温度应不高于100℃重复上述过程反复涂烧1~2次，使银层厚度不低于12微米。

(4) 被复金属层

瓷套烧银后应立即搪上一层银锡焊料，以便焊接，并可防止银层脱落。银锡焊料含有银2%、锡5%、锡39%和铅63%。

(5) 焊接

可采用高频焊接机或电烙铁将金属帽盖和法兰与瓷套焊接为一体，即构成套管。当采用高频焊接时，应采取措施，防止高频电场及磁场影响操作者的健康。

(6) 试漏

为了检查焊接质量，保证密封性能，可对焊接部位用压缩空气试漏，压力3.5公斤/厘米²，时间约10秒。

(7) 清洗

将套管放在3%的碳酸钠溶液中煮沸5~10分钟，以除去松香等污物，然后用热水冲洗干净后烘干。

为了保证瓷套涂敷银膏的质量，应对银层厚度及附着强度进行测定。一般附着强度应不低于50公斤/厘米²。在金属涂敷加工过程中，应注意严格保持清洁，否则对涂敷质量会产生破坏性的影响。

除了上述两种套管外，还有一些其他类型的套管和密封结构方法，如对小型套管采用环氧树脂浇铸成型，然后再用粘接的方法固定于箱盖上；采用金属接线头和法兰可直接浇铸在套管上的玻璃纤维套管；采用以硅橡胶在瓷套及法兰间严密压实密封结构的紧配式瓷套；采用在金属帽盖和法兰与瓷套之间垫硅橡胶滚压于瓷套凸缘的滚压密封结构等等。上述各种类型的套管和密封结构，大都可简化工艺，提高劳动生产率。但是，有的密封结构尚处于试验研究阶段，需作进一步的完善以及投入实际使用的考验。

五、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。大型电容器如耦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。为了便于工序间半成品传递，降低操作工人的劳动强度，装配场所的产品传送方式以使用滚轴运输带为宜。当然，也可采用其他合适的方法。

电力电容器的装配应注意以下几点：

1. 装配场所应保持清洁, 进入装配场所工作时必须换上干净的工作服和工作鞋。

2. 外壳清洗完毕后应立即用于装配, 不要存放过时间, 避免粘附灰尘和生锈。

3. 芯子预烘完毕后必须立即进行装配, 以防吸潮或积尘而影响产品质量, 如果不能立即装配时, 允许芯子在防尘条件下存放不超过三天的时间, 否则应作为未经预烘处理来考虑。

4. 已经浸渍的芯子(如耦合电容器芯子等)极易受潮, 必须在数小时内装配完毕, 否则将会严重影响质量。如果不能即时装配, 则芯子仍应保存在油槽中并保持真空, 不要过早出罐。

5. 芯子装入外壳后, 应用微法表再次作电容测量, 以检查装配时有无损坏元件及芯子而造成短路, 开路以及相间不平衡等毛病, 以便及时返修。

6. 焊接箱盖时, 为了防止焊渣落入电容器内, 应用帽盖等罩住注油孔及套管孔。此外在箱盖上焊接法兰以及在套管上焊接引出线时, 也应防止焊锡、松香或盐酸等杂质掉入电容器内部。

7. 为了保证电容器的密封性, 在装配完毕后必须进行试漏。一般采用压入干燥压缩空气的试漏方法, 即往电容器内通以不超过1个大气压(表压)的压力, 同时用肥皂水在焊缝等密封部位检查有无漏气现象。

8. 电容器在真空浸渍处理前应将外壳表面用干净破布擦净。

六、浸渍剂的净化处理

无论是刚进厂的油或已使用过的回油一般都要经过真空净化处理, 目的是除去油中的水分、空气和杂质, 使之成为可适于浸渍电容器的纯净干燥绝缘油。无论是电容器油或是其他浸渍剂, 其净化处理方法都是类似的, 仅处理时控制的温度, 加入的吸附剂的数量及处理时间等不同而已。浸渍剂的净化处理主要可分为加热、过滤、脱水、加吸附剂搅拌、沉淀、真空脱气、真空干燥贮存等过程, 其工艺流程示意图如图22所示。工艺流程及设备说明如下:

1. 加热

加热器系一采用蒸汽加热的热交换器, 当油从油库中借助油泵流经加热器时即被加热至要求温度(矿物油一般为70~80℃)。并且在以后的处理过程中均需保持这一温度, 因此除滤油机, 沉淀罐外, 其余各罐都需用热水夹套保温。要注意油温的保持, 过高会使油老化, 性能变坏。

2. 过滤

油的过滤是在两个大气压下使油通过滤油机的滤纸除去混入油中的机械杂质。滤纸在使用前要在110~120℃的温度下烘3~4小时。

3. 脱水

脱水罐应在油进入前先抽真空, 油通过脱水罐上面的喷嘴时, 喷成雾状进入罐内, 大部分水分被抽走。

4. 加吸附剂搅拌

这一过程的目的是用吸附剂吸附油中的杂质和酸根离子, 以降低油的介质损耗和酸值。吸附剂可采用白土(其主要成分为 M_2O 、 Al_2O_3 、 SiO_2)或活性氧化铝等, 按被处理油重的1%左右陆续加入, 加入吸附剂的数量, 可根据油的质量情况酌情增减, 干净的新油有时可不加白土或极少的白土。同时利用罐内的机械搅拌器进行搅拌, 吸附剂加完后还应搅拌1小时左右, 使吸附剂与油充分接触。白土在使用前应过筛并放在烘箱中在温度 $150 \pm 10^\circ C$ 下烘干4~5小时, 然后贮存在干燥箱内待温度降到50℃以下后使用。

5. 沉淀

油中的吸附剂由于比重较大逐渐沉淀, 沉淀时间可根据油量多少来确定, 一般每吨油约需4~5小时。沉淀物通过离心机分离为油与残渣, 油再打回搅拌罐, 把残渣清理掉。

6. 再次过滤

经过白土搅拌沉淀后的油再次通过滤油机过滤, 除去油中尚存的少量白土等杂质, 进入中间罐。

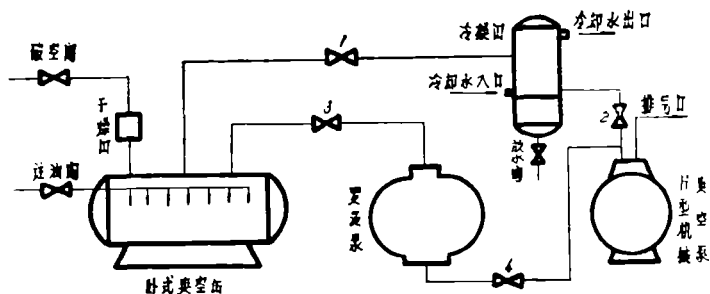
7. 脱气

两级脱气罐是一个完全密封, 具有热水夹套的罐, 附有真空设备, 中间有真空隔离阀门, 脱气前将其关闭。脱气时先将脱气罐的上下两级分别抽真空至0.1和0.03千, 真空度达到后打开中间罐的连接阀, 使油喷雾状地进入脱气罐的上级脱气, 然后打开上下级之间的隔离阀, 使油进入下级。待油注满脱气罐后, 关闭进油阀, 并保持真空至油面气泡消失为止。在把油打入贮存罐贮放前要破空并取油样检验。对电容器油来说应达到表3的各项指标才能贮存备用。

电容器油油样合格指标 表 3

项目	指标	备注
击穿电压	$> 60 \text{ kV} / 2.5 \text{ mm}$	室温, 标准电极
酸值	$< 0.02 \text{ mg KOH/g}$	室温
t_{56}	$< 0.4\%$	100℃

如果油样检验结果中仅击穿电压值低于应达指标, 那末需要再进行一次脱气; 如介质损耗和酸值偏高, 则应放回油库按回油重新处理。



1、2、3、4——真空阀 当1、2开，3、4关时，抽低真空。当1、2关，3、4开时，抽高真空。

图23 真空干燥浸渍处理系统

8. 贮存

贮油罐也是一个具有热水夹套的罐，也附有真空设备。当罐内真空度达0.07托左右时即可将合格的油打入罐内贮存。在往真空浸渍罐内注油前至少5小时，不应再将新处理好的油放入贮存罐，贮油罐的油面上不应再出现波浪和气泡，并保持真空度在0.03托以上。如贮存期过长或有过温破空现象，应再取油样检验，如不合格则按回油重新处理。

上述设备的温度测量和控制，真空度的测量和控制，贮油罐液位的高低以及设备的启动都可以集中在专用的控制台上进行操作和监视。并且浸渍剂的净化处理正在逐步向自动控制方面发展。

七、真空干燥浸渍处理

真空干燥浸渍处理是电力电容器生产中的关键工艺，对产品质量好坏有一定的决定性的影响。其目的是在注油浸渍的最后最大限度地排除电容器芯子中的水分和空气，然后用于净化处理绝缘性能良好的浸渍剂在真空状态下进行罐注浸渍，以填充芯子及箱壳中的空隙，从而提高产品的电气性能和散热性能。真空干燥浸渍处理的真空系统设备的示意图如图23所示，并对系统中所用的主要设备及附件作简要说明。

1. 真空罐

一般真空罐为卧式圆罐，采用蒸汽加热或电加热，采用蒸汽加热时具有夹套。真空罐不宜做得过大，否则罐内的温度不易均匀，真空度也不易达到要求。通常容积较大的罐为10M³左右。

2. 初级泵

一般采用气镇式机械真空泵，例如采用H型滑阀式真空泵。对泵极限真空和抽气速率的选择应根据真空罐的体积和预期要达到的真空度来确定，同时要特别注意真空管道大小的配合，应尽量选择得大些。

3. 次级泵

对电力电容器的真空干燥浸渍处理来说，只用一台机械真空泵是满足不了要求所达到的真空度的，因此为了达到所要求的真空度，必须增加一台次级泵。以前的厂往往采用油扩散泵，而目前则大都采用机械增压泵，即罗茨泵，但其大小应与初级泵相配合。如果对电容器的处理要求剩余压力达10⁻³托以上时，则应考虑串联一台油扩散泵或喷射泵。

4. 冷凝器

为了把从电容器中抽出来的水蒸汽冷凝下来，以避免水蒸汽进入真空泵影响真空度及泵的使用性能，所以要采用冷凝器。冷凝器通常是管式的，内部有蛇形管，蛇形管内通以经过致冷的冷却液（如用氨压缩机产生的冷盐水）来提高冷凝效果。冷凝器下面附有水收集器及放水阀门，以便把水放掉。

5. 真空计

真空系统一般配备有指针式真空计测量低真空，过去常用麦氏计测量高真空，而现在开始采用电阻式或热偶式真空计进行测量，并可作自动检测。但要注意，用麦氏计测量时所测得的真空度为分压力而不是全压力，因此往往偏高。

在真空系统方面，今后的发展是在每个真空罐旁装一台专用的测量记录控制板，可对罐内的各点温度，真空度进行自动测量和记录，并可启闭真空泵及各个真空阀（采用电子真空阀），及对整个处理过程进行监控。

此外，真空系统中的管道选择要适当大些，且距离越短，弯头越少越好。这样对气流的阻力越小，就越容易提高真空度。

电容器的真空干燥浸渍处理工艺分为加热，低真空，高真空，注油及浸渍等过程，各过程的目的和作用如下：

1. 加热

目的是为了使真空罐内的电容器升高到一定的温度，使其中的水分充分蒸发出来。加热阶段不抽真

空,这样可利用空气对流来传热,缩短加热时间。

2.低真空

低真空阶段是主要排除电容器中蒸发出来的水分的阶段,真空度应逐渐抽高,过快地抽高真空将会使芯子温度迅速下降而影响水分的蒸发,并可能损伤电容器纸的纤维。真空度的控制可利用真空阀门的开启来实现。在整个低真空阶段中必须使用冷凝器,以免水分进入初级泵劣化泵油。

3.高真空

高真空是排出纸内少量剩余水分及空气的阶段,因此高真空阶段不允许破除真空,如发生破空现象,必须重新开始高真空处理。这个阶段的真空度也应逐渐抽高,直到真空系统所能达到的限度。在高真空阶段的后期应逐渐降温,作好注油的准备。

4.注油

电容器注油有两种方式:浸泡式和单台注油。在电力电容器生产的前期,大都采用浸泡式,六十年代中后期才逐渐采用单台注油,目前国际上主要采用单台注油方式注油,已很少再使用浸泡式了。单台注油比浸泡式具有清洁度好和用油量少的优点,这样就可减少油净化处理的工作量和提高产品质量。不管采用那一种方式注油,注油时都必须缓慢地注入,以免把气体封闭在纸纤维的毛细管内。

5.浸渍

浸渍是为了使浸渍剂更好地渗透到电容器纸或薄膜中去。浸渍阶段仍应在高真空状态下进行,在浸渍时间已达到规定时如果浸渍剂液面上还有气泡出现,应延长浸渍过程,直到气泡消失为止。浸渍结束后待温度降到60℃以下才允许破除真空出罐。

由于各种电力电容器应用的介质材料和体积大小不一,所用真空设备的容积也一样,因此真空干燥浸渍处理的时间和要求也不尽相同。现以矿物油浸渍的纸电容器为例列示真空干燥浸渍处理的工艺过程于表4。

如果采用较先进与合理的真空系统,则表中真空度有可能达到0.005mm以上。

对于耦合电容器及某些脉冲电容器等大型产品,一般不宜直接将整台电容器放进真空罐内作真空浸渍处理,而可先把芯子放入罐内作干燥浸渍处理,然后在装配时从罐内取出尽可能快地装配完毕,再放回罐内进行再次脱气处理。

纸电容器的真空干燥浸渍处理的工艺过程 表4

工艺过程	罐内真空度 (mm)	罐内温度 (℃)	处理时间 (小时)	蒸汽管道压力 Kg/cm ²
加热	0	120~135	16~20	2~5
低1	400~760(表压)	120~135	16~18	<5
真2	10~1	120~135	16~18	<5
空3	1~0.5	120~135	16~18	<5
高1	0.5~0.1	120~135	16~18	<5
真2	<0.1	120~135	16~18	<5
空3	<0.03	120~125	16~18	0
注油	<0.03	<100	4~6	0
浸渍	<0.03	100~60	8~10	0

累计处理时间(小时)

124~144

随着膜纸和纯膜作介质的电力电容器的日益发展,真空干燥浸渍处理工艺也有不少新的进展。例如可研究采用在热风循环的烘房内对电容器进行单台真空干燥工艺,由于热风直接与外壳接触,热传导的效率高,因此工艺处理周期可大大地缩短。真空干燥结束后可将电容器从烘房内取出,再作单台浸渍处理,并可考虑以特种气体充入加压来提高浸渍效果。尤其薄膜介质,由于基本上不含水分,故可在常温下进行真空干燥浸渍处理,并且时间也可大大地缩短,但在注油浸渍后,为了使薄膜介质得到充分完全的浸渍,可再补充加热浸渍处理。为了确保产品质量和真空干燥浸渍处理过程的准确执行,可采用程序控制装置来进行。