

国外机械工业基本情况

电 力 电 容 器

西安电力电容器研究所

机械工业出版社

一九八五年

电 力 电 容 器

西安电力电容器研究所

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业出版社经售

*

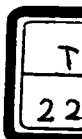
开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $1 \frac{1}{2}$ ·字数 31千字

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数 0,001—2,500 ·定价0.53元

*

统一书号: 15033·6830Q



出 版 说 明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要,必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平,提高经济效益,是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训,了解国外机械工业的生产、技术和管理水平,以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路,我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上,更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况,着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册,参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个,编写人员计达一千余人。本书为电力电容器分册,主编单位是西安电力电容器研究所,编写人胡守愚,责任编辑盛秀峰。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

一、电力电容器国外发展近况.....	(1)
二、行业概况.....	(5)
三、并联电容器.....	(9)
四、其他电容器.....	(16)

一、电力电容器国外发展近况

能源价格的上涨和对节能的要求,保护环境,以及无功功率控制在电力系统中的重大意义和并联电容器作为无功电源随电力系统规模扩大而安装容量日益增加,都要求电力电容器大大提高可靠性和经济性,降低消耗,简化维护和防止环境污染。六十年代中期在工业发达国家开始了以采用新的固体和液体介质材料为特点的改进和发展。近十年来,这种发展已遍及全世界,许多制造公司竞相研究创新。越来越多的制造公司制成了运行可靠的新型电容器,大幅度提高了技术经济效益和生产能力。各国制造动向大致趋于一致,即用聚丙烯薄膜部分地并进而全部地取代电容器纸。以及用具有优良物理化学性能(毒性、倾点、闪点、粘度、相容性和吸气性等)和电气性能(损耗、电气强度、电容稳定性等)的介质液体代替有环境污染作用和并非适当浸膜材料的PCB。美、日于七十年代较早地禁用了PCB,现已大量制造和采用非PCB浸的全膜或膜纸电容器,在欧洲,特别是北欧、法国、意大利,加强了对PCB代用品及全膜化课题的探索并已取得了不少成果。仅苏联和东欧诸国仍用低氯PCB,但也部分地采用了薄膜介质,苏联还发展了损耗减半和电气强度较高的硼化电容器纸。

介质材料的改革是大大提高电容器性能的关键,几十年来,并联电容器的基本外型虽没有什么变化,但其中固体介质和浸渍液体都已多次改变,每次改变都提高了产品效能和经济性。如每千乏体积和价格比五十年代初PCB纸介电容器有大幅度减少。介质损耗也减少很多。

最新的改进是用聚丙烯膜代纸,使电力电容器效率和性能大大提高。一九六五年左右美国GE公司首先制成聚丙烯膜和纸复合介质的电容器(最初浸PCB,后改浸非PCB液体),损耗由纸电容器的2瓦/千乏降至0.5瓦/千乏左右,膜本身的生产耗能也比纸少40%。因此,很快得到推广,多数电容器采用两膜一纸结构和改用了改进的薄膜材料,提高了膜占率,直到现在这种产品还是一种最为流行的电容器(如日本80年占67.9%,日新公司85年为70%)。但膜纸电容器的缺点是,纸的体积占15~30%,储能量却只占总储能量的7~15%,损耗大约占整个电容器损耗的一大半,原因是纸的工作场强比膜低(不超过30千伏/毫米),和在浸渍情况下纸比膜的损耗大20倍左右。但膜纸复合介质的采用完全是因为如果只有光滑的薄膜则层间会相互粘贴,介质液体较难进入;而在有纸层的情况下,液体被纸吸入,润湿膜纸界面,经浸渍横向通过聚丙烯腹,润湿铝箔和膜的交界面,从而使介质充分浸渍。

为进一步提高电容器效能,有的制造厂很早就开始研究改进无纸薄膜电容器浸渍性能的措施。美国麦克劳——爱迪生(M-E)公司于1971年首先宣称发展了全薄膜电容器,到1977年已成为全部生产全膜电容电器的公司(同时完成了非PCB电容器的全部设备改造);日本松下公司1975年左右开始生产全膜电容器;美国G、E公司最初因全膜电容器的成本较高而未投产(日新公司至今还因同样的考虑而全膜产品只占20%),但高价的能源及其它因素,迫使它重新考虑并在技术发展的基础上于1979年开始制造全膜电容器,1982年产量已占该公司产品的40%,据该公司当时按损耗降低0.25瓦/千乏计算,一台200千乏全腹电容器可比膜纸的节省运行费用98元。抵消涨价因素后对启用仍为有利。

现在,美国、日本及欧洲生产全膜电容器的厂家更多了,这是因为它除运行费用较低外,还有以下优点:

(1) 损耗低:在正常运行条件下,其平均损耗(与温度等有关)为0.15瓦/千乏,而膜

纸的则为0.48~0.8瓦/千乏，一个15000千乏的电容器组本身可少耗4.5~9.75千瓦。

(2) 运行温度较低：试验表明，在额定电压下，200千乏的全膜电容器（美）介质最热点和壳壁温度分别为59℃和57℃，壳内温差仅2℃。膜纸的介质和壳壁温度则为74℃和65℃，壳内温差达9℃。两种产品最大温度相差15℃，且前者散热好得多。

由于运行温度高会使介质材料损坏快，反之则可保证长期可靠性，故全膜电容器寿命较长。

(3) 外壳爆破危险较小：一般认为，当无纸的介质系统发生故障时，析出的热熔化击穿点周围的塑料膜而使两电极板牢固接触，形成低电阻短路而使燃弧时间和析气量大为减少，允许保护熔丝有较长的熔断时间而外壳不致爆破。

试验看到，现有全膜和膜纸电容器除在1000安以上的电流下爆破时间大致相同外，全膜电容器可较长时间安全地耐受较小电流；其爆破率为零的爆破时间——电流曲线比膜纸电容器10%机率的曲线还保险（即在同一时间——电流坐标系中位于后者右侧）。现场运行也表明，膜纸电容器爆破率占损坏数的25%。而全膜的为零（在正确的使用和保护条件下）。同时，爆破机率小又相应地消除了全膜电容器在一定条件下引起火灾的危险。

(4) 比特性较好：因工作场强较高，比特性已可达0.174公斤/千乏，比膜纸产品轻10~50%。此外最大单台容量可达400千乏（GE，WH）~600千乏（GE）。

全膜电容器生产比例增大的更重要原因在于采用了更多更有效的研究成果和大大提高了产品可靠性。应该指出，有些全膜产品过电压试验结果不如膜纸电容器。因而有些公司，如加拿大西屋公司对用这种结构迟迟不决，但事实表明，它的可靠性是能够提高和令人满意的。如美国全膜电容器第一年故障率按试验和运行数据均少于0.1%。（GE平均0.04%）低于膜纸电容器（一般为千分之几，但ASEA的BNC浸产品为0.03%）。二十年后存活率为95%的保证指标。美国最近并计划五年内大量采用这种电容器（非PCB）来撤换所有尚在运行的PCB膜纸电容器。

提高产品可靠性的保证在于结构和材料性能等的合理改进。对此已经采用的有成效的基本措施和进行较多的研究工作是：

(1) 铝箔压花：即整个箔面在卷制机上用专门的装置压成正弦图案，使之不再平坦光滑，并能在整个生产过程中保持形状不变，成为所谓“记忆图案”。这种正弦形图案是从早先凸点图案改进而来的，不会形成尖点和孔。而是均匀的峰和谷，不致损坏聚丙烯膜面或降低局部放电起始电压。

(2) 薄膜雾化：即聚丙烯膜表面（一面或两面）纤维状粗化（40%左右）而不影响基本膜体完好性，好的粗化膜介质强度不次于普通光面膜，并有严格的机械特性容差和较好的卷制工艺性，因而元件有较高的击穿水平。

世界各主要制造公司对用雾膜的必要性曾有两种意见，一种是认为单用压花箔就可得到好的效果。膜面粗化难免影响其坚实性，对产品不利；另一种则认为单用压花箔在过电压和寿命试验中电容器可靠性不够理想。因而可以肯定膜间尚有浸渍不够良好的区域。有关研究还指出了层间浸入液体的数量和流动性（或温度）对电容器局部放电特性（如局放起始电压随温度降低而降低）和寿命影响很大；局部放电熄灭电压总是随膜、箔表面粗糙度减小而降低的。因此应该用近代优质雾膜来补压花箔之不足，两者粗化表面固定液体通道，形成毛细管系统，可更好地把浸渍液体引进元件，直到浸透全膜。

(3) 研究选用某些粘度、倾点较低, 渗透率、吸气性、相容性均较好的浸渍液体。

浸渍液体的性能和电容器的可靠性关系密切, 近十多年来各国纷纷采用新的芳香烃等液体取代 PCB, 这是电力电容器介质的又一重大变革, 这使电容器可靠性得到进一步的提高。

在选择代用液体介质时, 一般首先考虑的三项基本指标是介电系数 ϵ , 允许工作场强 E 和电容器的比特性分米³/千乏 (与 ϵE^2 成反比), 由于已知浸渍剂的 ϵ 对膜纸电容器比特性影响颇大, 如其 ϵ 降低, 则为保持电容器尺寸不变必须提高介质的工作场强。因此, 最初大家都想找到一种 ϵ 和 PCB 相当的浸渍剂, 以求电容器成本不致有太大增加, 一些酯类和醚类液体如 GE 的 Dielectrol I (瑞典和法国的 BNC, M-E 的 Edisol I 等都属这种浸渍剂。但 ϵ 高的材料往往较贵 (如 BNC), 损耗较高或电气强度较差 (如 D II)。因此, 最近的电容器结构特别是全膜电容器已不再只要求浸渍剂 ϵ 高而要求其适应电容器高场强, 高可靠性和低损耗的需要, 如 GE 公司不用 D、II 而用 ϵ 低的 D、III 浸新发展的全膜电容器。主要原因是前者低温时 $\tan\delta$ 较高, 使由这种产品组成的许多可开断式电容器组失去优越的经济性, 而后者相反, 并且允许 E 较高, 其 ϵE^2 值基本上不小于前者。美国公司经试验得出: 异丙基联苯 (IPB) 和二芳基乙烷 (PXE) 满足上述要求和适于作全膜电容器浸渍剂, 但某些性能还有待于改进。日本、西德、法国等又研制了几种适用于全膜产品的新浸渍剂, 如矿物油、烷基苯、聚异丁烯等适用于膜纸电容器, 而不适用于全膜电容器。这主要由于这些液体吸气性不够好和全膜产品的膜间吸入油量较少, 而使电容器局部放电熄灭电压太低。因此, 许多研究工作现都致力于寻找具备下列性能条件的全膜电容器浸渍剂:

- (1) 粘度低, 因而湿润聚丙烯膜的能力强。
- (2) 倾点低。在低温下不致减少流动性而使吸气性变坏。
- (3) 吸氢率高 (特别是低温下), 保证电容器有好的局部放电特性。
- (4) 相容性好 (特别是高温下), 保证聚丙烯膜溶解少和膨胀小 (膨胀将阻塞层间油道)。
- (5) 击穿电压高, 介质损耗低, 体积电阻率高。
- (6) 能生物降解, 即有可用性。

表 1 列出目前取代 PCB 的几种浸渍剂特性:

由表可见, 除酯、醚类化合物外, 其它如芳香烃类 ϵ 均不高, 与三氯联苯相比新液体倾点低得多, 而且除邻苯二甲酸酯外都具有低的粘度, 但所有新液体都是可燃的。在几种可用作全膜电容器浸渍剂的液体中, PXE 倾点较高, -40°C 时局部放电起始电压下降为 20°C 时的 $1/3$, 因此最近日本松下等公司对它添加间/对三甲苯磷酸酯 ($1/3$ 或 $1/4$) 来改进这一特性。另外, 日本提出的 1.2CPE, 倾点、粘度比 PXE 低, 湿润性和低温特性较高, 相容性也较好 (使膜膨胀少); 日新公司用以浸渍的高压全膜电容器, 局部放电起始电压 (DIV) 达 85 千伏/毫米, 局部放电熄灭电压 (DEV) 66 千伏/毫米, 低压金属化聚丙烯膜电容器 DIV 160 千伏/毫米 DEV 115 千伏/毫米, 这些说明局部放电性能极好。法国的 JARYLECC 101 低温耐过电压和局部放电特性优于 PXE 和 IPB。双甲苯醚不仅粘度、倾点低, 而且 ϵ 高, 是一种有前途的新油, 目前已有奥地利 KAPSCH 公司和英国的 BICC 公司 (BIPRO II) 采用, 但其闪点较低, 挥发性较大, 在生产中可能有必要采取相应的措施。

采用新型介质材料可成功地生产可靠性高、单台容量大 (一般 200~300 千乏。GE 400~600 千乏, 日新公司“缩小型电容器” 3000~20000 千乏)、比特性好的新型电容器。低压并 联

表 1

序号	名 称	缩 写	ϵ 25℃	密 度 (克/厘米 ³) (20℃)	粘 度 (毫米 ² /秒) (20℃)	倾 点 (℃)	闪 点 (℃)	PP膜膨胀 率 (%)	芳香烃含量 (%)	tg δ (%)	备 注
1	邻苯二甲酸二丁酯 (GE, D, 1)	DOP	5.25	0.98	80	-46	216	—	—	0.03	
2	邻苯二甲酸二壬酯 (Baytrol 4200)	DNP	4.7	0.97	125	-32	215	—	—	0.05	
3	DOP十三氯苯 (D, II)	DOP+TCB	5.47	1.08	13	-52	152	8	54	—	
4	苯基新癸酸酯	BNC	3.75	0.957	6	-60	155	12	35	0.05	
5	二芳基烷 (D, III, A-7)	PXE	2.51	0.988	8	-48	148	12	75	0.01	浸全膜
6	异丙基联苯	IPB	2.83	0.988	7	-55	155	14	80	0.01	浸全膜
7	双甲苯醚 (Baytrol 4900)	DTE	3.5	1.035	58	54	146	—	—	0.03 (90℃)	浸全膜DEV/DIV高 耐过电压特性好
8	烷 基 苯	AB	2.17 (80℃)	0.87	9 (厘斯)	-50	135	—	—	0.01 (80℃)	
9	二异丙基苯 (烷基苯)	DIPN	2.47 (80℃)	0.957	7.5 (厘斯)	-47.5	150	15	63	0.01 (80℃)	可浸全膜
10	1,2-枯烯基苯基乙烷	1,2-CPE (日新 KIS-1000)	(80℃) 2.44	0.959	4.3 (厘斯)	-60	152	—	—	0.05 (80℃)	可浸全膜, 低翘性能 优于PXE
11	单 苯基甲苯混合物	JARYLECC101 (法商品名)	2.65	1.006	6.5 (厘斯)	-50	140	—	—	0.01 (80℃)	原名UGILECC100, 可浸全膜, 欧洲中东 一些国家已接受, 较贵
12	双 甲苯乙烷 + 丙基联苯	Edisol II	2.6	0.977	9 (厘斯)	-50	155	—	—	—	可浸全膜
13	三氯联苯	PCB	5.9	1.38	56	-18	165	—	—	0.04	

电容器近来趋向于改用金属化电极,以求能用单层聚丙烯膜介质,改进比特性,这种新结构可为干式(250伏以下)或浸以非PCB液体(如邻苯二甲酸二壬酯、矿物油、聚异丁烯、CPE、聚丙烯乙二醇等),单台容量可达60~120千乏,损耗低。被称为当今电力电容器工业三大技术改革之一(另二项即聚丙烯膜和压花箔)。此外,中频电热电容器发展了大单台容量(如BICC可达2800千乏,GE3300千乏),薄膜水冷式结构,很多产品装有温度超过安全值时报警的热动开关(如意大利伊卡尔和奥地利KAPSCH公司),脉冲电容器发展了长寿命(直流50000小时)、大储能量(480焦耳/分米³)、低电感(0.5微亨)的各种介质的产品,标准电容器制成了1250千伏的户外式结构等。

二、行业概况

各国电力电容器工业组成概况见表2。

表2 电力电容器行业及主要企业情况

国别	公司或厂	人数	面积 (米 ²)	生产能力 (万千乏/年)	劳动生产率 (万千乏/人年)	资金 / 营业额	千乏 / 千瓦	国际交流 或进出口	重点产品及发展沿革
美国	GE公司 ①Hudson Falls 电力电容器厂 ②Fort Edward 元件电容器厂	2000	70000	2000 (电力电容器)	2 (电力电容器)			出口电容器及其制造技术	一、1965年制成PCB浸膜纸电容器,可靠性不高;1976年左右制成DⅡ浸膜纸电容器,年损坏率0.1%;1979制成DⅢ浸全膜电容器,年损坏率0.05%以下。 二、在Fort Edward厂有电容器材料制造部门,制造铝箔,铝壳板材及聚丙烯膜。 三、实验室研制新型电力电容器和研究先进的制造工艺,有研究人员30人左右。 四、产品有高压薄膜并联电容器(包括成套设备)、金属化并联电容器、电热、储能滤波、耦合电容器及电容电压互感器等,其中全膜、电容器占40%以上
	Mograw-Edison公司 Greenwood电容器厂 (在南卡罗来纳州)	253	13300	1000~1500	4~6			出口电容器及其制造技术	一、1946年开始制造电力电容器,并取得了单台浸油专利,1949年用不锈钢壳,1959年制成100千乏电容器,1968年采用超净卷制车间,1971年发展了全膜电容器,1975年发展了Edisol I并用于少量电容器制造,1976年全部设备改用为非PCB,1977年成为100%生产全膜电容器的厂,1979年生产EdisolⅡ浸全膜并联电容器(效能和电晕特性较好),1983年改用EdisolⅢ 二、研究和发工作作在威斯康星州Franksville的技术中心进行

(续)

国别	公司或厂	人数	面积 (米 ²)	生产能力 (万千乏/年)	生产动生率 (万千乏/人年)	资金 / 营业额	千乏 / 千瓦	国际交流 或进出口	重点产品及发展沿革
美国	西屋公司	250		2000	8			出口电容器及其制造技术	一、生产较早, 1982年左右生产优质IPP, 浸全膜电容器(1980年开始用全膜, 现高压并联电容器全部全膜) 发展了电极折边技术 二、主要产品有高低压并联电容器(包括成套设备)、高频水冷式电容器、耦合电容器及电容式电压互感器等
	Sangoma								*生产并联电容器等
	Maxwell实验室								制造脉冲电容器
	合 计			7000					
日本	日新公司 1. 京都本社工场 2. 前桥制作所	3000 (其中电力电容器车间125~350人)	284000 (包括其他产品车间)	330	2.6~1.1	48.4亿日元/51.6亿日元 (说明周转快)		出口电容器	一、1946年接收了住友工业公司, 在1934年发展的OF电力电容器生产技术, 目前11KV以上并联电容器占日本的90%, 全膜产品占该公司产品的20%; 二、京都厂制造AN、PXE、CPE或KIS1000浸薄膜并联电容器, 包括3000—20000千乏/台的缩小型膜纸电容器及金属化电容器, 和串联、滤波、电热、脉冲、防雷、标准电容器、单台注油(小型电容器在真空罐内进行以保持内外压力一样, 大型产品可单台抽真空); 三、前桥厂产品: 耦合电容器及电容式电压互感器, 该厂有100万伏高压试验所, 并可用计算机和现场试验分析电容器开关现象等)
	电容器工业株式会社 草津工场	400	52100	240	0.6				一、成立于1918年, 最初制造有线用电容器, 1950年改为关西二井制作所, 开始制造电力电容器, 1961年改名电容器工业株式会社, 所属草津工场生产电力电容器 二、主要制并联电容器, 1955年前生产小型油纸电容器1.3—1.86公升/千乏, 1955—1962年制PCB纸电容器, 0.76公升/千乏, 1969年用改进纸, 0.58—0.39公升/千乏, 同年用PP膜纸介质, 0.26升/千乏, 1972年用烷基苯代PCB, 0.33升/千乏

(续)

国别	公 司 或 厂	人数	面积 (米 ²)	生产能力 (万千乏/年)	劳 动 生 率 (万千乏/人年)	资 金 / 营业额	千 乏 / 千 瓦	国际交流 或进出口	重点产品及发展沿革
日本	东芝公司		~200	~200					自1941年起制造电力电容器, 1967年开始制造薄膜电容器, 1976年后用A-7油, 粗化膜和折边箔
	松下公司								制PXE或与其与三甲苯磷酸酯的混合物浸的全膜电容器
	合 计			年产量~800 (生产能力1000~1500)			1980年: 69312兆乏/ 128386兆瓦 = 54%	1983年3月出口量: 7910兆乏/ 74210 = 10.0%	
奥地利	KAPSCH公司		~70					出口电容器及制造技术	一、1950年制造油纸并联电容器, 不久用PCB浸渍, 1976年制造PCB膜纸电容器, 1980年改用PXE并开始制造全膜电容器, 1981年全部生产粗化膜电容器, 不近改浸IPB, 最近又改用双甲苯醚。高压300千乏电容器0.23公斤/千乏或0.147升/千乏, 0.15瓦/千乏, 年损坏率0.1% 二、其他产品还有电热、滤波和直流电容器等
加拿大	西屋公司配电设备制造厂	40	1000	400	10				系美国西屋分公司, 生产高、低压IPB浸膜纸并联电容器
	GE公司彼得保罗厂电力电容器车间	14	980	200	14				系美国GE分公司生产高压膜纸并联电容器, 尼龙腰箍、热风循环干燥, 单台真空浸油(用夹具)、卷制机自动放引线片及断卷。卷制车间高仅4米, 空调散热容量较小
法国	阿尔斯通—萨伏辛公司圣图安厂	100	1900	315	3.15				78年后生产BNC浸高压膜纸电容器, 有放电电阻, 150千乏以上者并有内熔丝, 有超净卷制室
瑞典	ASEA公司电容器车间	200~250		800~1000	4				1977年制成BNC膜纸并联电容器, 现可制PXE (FARADOP500)浸双面粗化膜高压电容器, 折边箔, 不锈钢壳, 有内熔丝, 油漆及喷砂用机械手进行。其415伏, 11千乏金属化膜电容器为干式, 0.1公斤/千乏

(续)

国别	公 司 或 厂	人 数	面积 (米 ²)	生产能力 (万千乏/年)	劳 动 生 率 (万千乏/人年)	资 金 / 营业额	千 乏 / 千 瓦	国际交流 或进出口	重点产品及发展沿革
英 国	BICC Bryce 电容器公司								一、生产电力电容器较早, 1981年左右制IPB浸二光膜一纸,折边光箔高压并联电容器,有放电电阻,但可靠性不高,最近制成双甲苯醚(Bipro II)浸全膜电容器,提高了DIV、DEV及耐瞬时过电压性能。其水冷式电热电容器单台容量达2800千乏
意 大 利	ICAR S.P.A (米兰)								一、主要产品包括Bioil浸高、低压膜纸并联电容器及其成套装置,交流450伏以下金属化膜电容器,50千伏以下膜纸直流电容器,TA型耦合电容器、电容式电压互感器、电容抽能装置,220千伏 $\pm 3\%$ (负荷从0到100%变动时),一千瓦负荷储能电容器、滤波电容器、电热电容器、水冷式膜纸介质,500~12000赫,1200千乏,自冷式全膜介质,8000~24000赫,360千乏
	Ducati Electrotecnica S.P.A								产品有50赫浸渍纸(550伏以下)及膜纸(550伏及以下)低压并联电容器,后者可达120千乏/台,0.62公升/千乏, $\text{tg}\delta < 0.15\%$
比 利 时	ACEC								制造膜纸并联电容器,17.5千伏,200千乏,58公斤(1975年PCB浸),0.5~1瓦/千乏,不锈钢壳耐爆破能量大于30千焦
瑞 士	Micafil								制造并联电容器,非PCB浸金属化膜电容器;400伏、60千乏、28公斤、0.5瓦/千乏。安装时合闸不需间隙,瓷套式油浸均压电容器270千伏、1500微法、125公斤
芬 兰	阿基诺厂								制造高压并联电容器及电热电容器

三、并联电容器

近代薄膜并联电容器的主要制造技术及使用性能如下。

(一) 主要介质材料

1. 聚丙烯膜

电容器用的双轴拉伸膜，几乎都是等规结构，非结晶态的无规结构量极少，其所制电容器（浸芳烃油）的长期稳定性优良；如经过将近两年的加速寿命试验（70℃、12.5 Un），电容器的 ν - t 特性和局部放电起始场强不变（后者甚至略有升高）。膜本身的抗张强度和伸长率亦变动甚微。专门制造这种膜的有美国的海格立斯（Hercules）公司和GE公司的福特爱德华厂（先吹泡后双轴拉伸）。日本的信越、东丽和三菱螺荣（Mitsubishi Rayon）公司等，信越公司是采用GE公司专利进行生产的，有S型光面膜和R型粗化或易浸渍膜两种产品，厚度均为9~30微米。R型膜可使膜纸电容器在同样浸渍性能下提高膜占率，因而可减少膜和纸上场强，或在维持原有膜或纸上场强情况下提高平均场强，改进比特性，它也是制造全膜电容器的关键材料。三菱螺荣（Mitsubishi Rayon）公司生产用于多种电容器的薄膜产品（见表3）。还制造了具有对称性的双轴拉伸薄膜，其若干纵向和横向特性值是接近相等的（见表4）。

日本生产的新型聚丙烯膜具有高的电气强度和高的油稳定性，主要措施是：

- ① 低灰分化：原料树脂中的灰分是薄膜产生缩孔的重要原因之一，新型薄膜灰分量最低可达30PPm以下。
- ② 低缩孔化，缩孔是产生耐压弱点的原因，它是以含灰分的杂质为核心形成的，现在薄膜生产技术改善，杂质已接近极限值，缩孔可减到极限值。
- ③ 消除附着灰尘的影响：灰尘对击穿影响很大，不仅电容器卷制要在净化室进行，薄膜生产中也要求控制灰尘量。
- ④ 减低膜的膨胀性：改进了聚丙烯树脂的性能而提高了膜的耐油性（见表5）。

2. 非PCB浸渍剂

为了取得较好浸渍性、低温性、相容性、吸气性（可视全体发生电压或芳烃含量）及难燃性等，采用或研制了以下各类液体：

(1) 芳烃类绝缘油：现有烷基苯（AB）、烷基萘（AN或DIPN）、烷基二苯基乙烷（ADE，包括PXE和CPE）、单异丙基联苯（MIPB）、乙基联苯（MDE）、单苄基甲苯与二苄基甲苯的混合（法Prodelec公司商牌为JARYLEC C 101）、双二甲苯乙烷加丙基联苯（Edisol II）等。日本1978年并已将AB和ADE油列入日本工业标准JIS-C 2320，这些油除烷基苯性能较差（如DEV低）外，其他都可用于全膜电容器，其中又以PXE和MIPB应用较广。但近年研制的CPE和JARYLEC等某些性能（如前者粘度和后者吸气性等）更好，已制成了低温损耗和低温寿命特性优于PXE和AN浸的全膜电容器（CPE浸）。

(2) 酯类绝缘油 可分三类：

① 磷酸酯类油：包括磷酸三甲酚酯（TCP）；磷酸三二甲苯酯（TXP）；磷酸三乙基苯基酯（TEP）；磷酸三异丙基苯基酯（TPP）；磷酸甲酚基联苯基酯等。它们的特点是：不燃或自行熄灭， ϵ 高，为5.7~6.8，可视气体发生电压高，吸气性能好；一直到击穿都不发生气体。但精制处理困难， $\tan\delta$ 大，80℃时达0.8~1%，粘度高，40℃下为86~20厘斯，

不宜单独作电容器绝缘油。因此实用上需与芳烃油混合,以降低粘度,混合比例适当并可得到电气特性优于芳烃油的难燃性绝缘油,表6为几种混合油的特性。

混合油优点是 ϵ 、闪点和发生气体电压较高。在添加TCP的PXE或DIPN(以下两者简称为AHC)中,薄膜膨胀率随TCP添加量增加而直线下降,浸TCP+AHC的全膜电容器虽低温 $\lg\delta$ 增加,但在80℃的实际运行温度下 $\lg\delta$ 与添加量无关而仅0.02%;在交流伏秒特性方面则 10^{-3} 秒以上耐压值较只浸AHC的全膜电容器高40%。

② 邻苯二甲酸酯类绝缘油:如DOP和DNP等,其 ϵ 虽高,但粘度大,因此除用于小型元件电容器(如DOP)和低压或金属化电容器(如DOP, DNP)外,常需与其他油混合使用,如DOP加烷基苯用于低压电力电容器,加TCB用于高压膜纸电容器。

③ 苣基新葵酸酯(BNC),是瑞典阿瑟·卡勃公司与法国劳奴、布兰公司共同开发的,优点是粘度低。 ϵ 高,除ASEA外法国阿尔斯通公司也用于浸渍纸电容器,但较贵,过电压性能不如PXE电容器,不宜用于全膜电容器。

(3) 醚类油:已有两种

① 丁基一氯二苯醚(MCDO),系美国DOW化学公司与M—E公司共同开发, ϵ 为4.5,但含氯,有刺激性臭味。价格高,电容器性能不如浸PXE的,M—E公司早已使用Edisol II,1983年又改为Edisol III(IPB+XPE)。

② 双甲苯醚:系德国Bayer公司发展(Baytrol 4900),价格优惠,粘度、倾点低, ϵ 高,在技术上值得重视。奥地利KAPSch公司继PXE和IPB之后采用了这种介质液体,但闪点较低,较易挥发,而有气味。

(4) 其他绝缘油:①含氟油:如1—苯基—2—(3,3,3—三氟丙基)苯基乙烷等, ϵ 、 $\lg\delta$ 、闪点、倾点、粘度等均好,有希望用于电容器。②砒类油: ϵ 较高,与芳烃油混合可改善电气性能,但仍不够理想。③硅油:日本苯甲基硅油有较好的耐放电性,部分使用了这种油浸渍纸电容器,价格较贵,但前景不佳。④聚丙烯乙二醇:GE1983年专利,这是一种浸透性小的粘滞液体。但使P.P膜膨胀少, $\epsilon=4.5\sim5.5$ (100℃),特别适用于金属化膜电容器。因其可使元件端部场强减弱。改进散热,但不易渗入元件内部,可免使膨胀和电极腐蚀,因而电容变化较小和寿命较长。由于此液体非芳烃,吸气性不好,故用于膜纸或全膜电容器时需用添加物。

(五) 结构设计

1. 元件及芯子:制造厂在设计中大致遵循以下原则,即选用材料保证20年以上的使用寿命;在运行温度下介质系统有最大的效能和可靠性;极间厚度及场强保证室温下DIV大于 $1.8U_n$ (美国考虑经济性) $\sim 2.7U_n$ (奥地利);压紧系数0.8~0.9,若系数太小会使液层厚度不均匀,元件受到的机械压力不一致,导致不规则的电气击穿,以及加工困难,由于膜膨胀而性能不好。各公司元件基本参数见表7。

高压元件电极多为压花箔,西屋和东芝公司的元件中有一张铝箔两边各折边一公分,实验证明这可使边缘最大场强降低50%(表8)。从而改善电容器 $\lg\delta$ 和DIV。使工作场强提高和每千乏体积减小。元件中引线片对数根据电流大小决定,为改进与压花箔接触(压花箔表面不平),东芝在卷好的元件上加 $1.3U_n$ 持续一昼夜,以破坏引线片与极板间三氧化二铝层,而消除因接触不良产生的局部放电。GE公司则将引线片预先订好在一小块铝箔上(也可防机械损伤),卷制时自动插到电极上。

表3 日本三菱膜公司聚丙烯膜

型 号	用 途	厚, 微米	米 ² /公斤	每卷长, 米
SUT 6	为对称的双轴定向光面膜, 专供在电力电容器及其他电性能要求高的单元中作介质	6	184.2	6000
SUT 7		7.5	147.3	6000
SUT 9		9	122.8	6000
SUT 12		12	92.1	4000
SUT 15		15	73.7	3000
SUT 18		18	61.4	3000
SUT 22		22	50.2	2000
SUT 25		25	44.2	2000
SUT 30		30	147.4	2000
ST1 6	单面电晕处理供金属化的电容器用薄膜	6	184.2	6000
ST1 7		7.5	147.3	6000
ST1 9		9	122.3	6000
ST1 10		9.5	105.3	6000
ST1 12		12	92.1	4000
STT 7	双面电晕处理供金属化的电容器用薄膜	7.5	147.5	
SXUT 18	液体浸渍全膜电容器专用的粗化膜	18		3000
SXUT 25		25		2000
SYUT 7	干式电容器用耐热性较高的膜	7.5	147.3	6000
SLT1 7	可金属化的热收缩极少的膜	7.5	147.3	6000

表4 几种聚丙烯膜性能

性 能	信越12 μ 膜		三菱膜 SUT12膜	东丽 T2300膜
	光面	粗化度42%		
密度, 克/厘米 ³	0.906	0.906	0.905	0.9
抗拉强度,				
纵向, 公斤/毫米 ²	17	13.6	19	18.3
横向, 公斤/毫米 ²	21.1	18.3	19	28.3
断裂时延伸率				
纵向, %	113	108	71	130
横向, %	72	87	74	55
热收缩率 (120℃、15分钟)				
纵向, %	7	6.1	3.2	5
横向, %	4.8	4.2	3.9	1
体积电阻率, 欧·厘米	6×10^{16}	6.2×10^{16}	6×10^{16}	10^{16}
tgδ (1 千赫, 20℃)	$1.1 \times 10^{-4} (-42)$	同左	1×10^{-4}	2×10^{-4}
ε (1 千赫, 20℃)		2.2	2.2	2.2
介质强度, 伏(直流)/微米	550	550	617	250(交流)
弱点, 点/10米 ²			0.46	
最高工作温度 ℃				90~110
软化点 ℃				145~163

表5 P.P.膜的耐油性

试 品	膨胀率, %	溶解率, %	注
改 良 品	10.0	2.1	浸烷基二芳基乙烷, 100℃, 48小时
老 产 品	12.5	4.0	

表6 几种混合油的特性

特 性	DIPN + TCP	PXE + TCP	DIPN + TEP	DIPN + TPP
比重, 15/4℃	1.073	1.089	1.069	1.060
运动粘度, 厘施, 40℃	13	11	11	22
倾点, ℃	-37.5	-37.5	-45	-32.5
闪点, ℃	158	158	158	158
可燃性, 毫米/秒	不燃	不燃	不燃	不燃
折射率, 25℃	1.56	1.561	1.554	1.553
ϵ , 80℃	4.5	4.5	4.3	4.2
tg δ , 80℃, %	0.8	0.8	0.6	0.8
体电阻系数, 80℃, 欧厘米	1×10^{13}	1×10^{13}	1×10^{13}	1×10^{13}
击穿电压, 千伏/2.5毫米	65	65	65	65
可视气体发生电压, 千伏/厘米	65	65	65	65

表7 薄膜电容器元件参数

公 司 或 厂	元件电压, (伏)	工作场强, 千伏/毫米	介质厚度, 微米	压紧系数	注
M—E	2000	51	25~40	0.83	Edisol II 浸全膜, 压花箔
	2000	49	33~46	0.90	Edisol II 浸膜纸
西屋	2000	60	"		IPB浸全粗化膜折边压花箔
加拿大西屋	2400	46	52		IPB浸二膜纸折边箔
KAPSCH		50			"
东芝	2000	45	42	0.8~0.85	AT浸三粗化膜, 折边压花箔
ASEA	1800~2000	50			FARDOL500 浸双面粗化膜折边箔
BICC	1833	39.3	46	0.9	IPB浸二膜一纸
阿尔斯通萨瓦辛		46			BNC浸膜纸
日本电容器工业株式会社		34.3			AB浸膜纸
松下		40			PXE浸全膜
日新	2120	34.3	64	0.86	PXE浸二粗化膜一纸

表8 电极边缘最大场强

计 算 方 法	介 质	不折边电极	折边电极	备 注
有限元素法	S油	14.6	5.3	东芝全膜产品数据
	PP膜	10.0	4.4	
表面电荷法	S油	12.7	6.1	
	PP膜	12.2	5.5	

元件介质结构有两种：一种是两层膜，所有膜及箔的粗化面朝同一方向（西屋、GE 公司），因为两层间有足够间隙，有利浸渍，老练时间可较短；另一种是三层粗化膜（东芝 3×14 微米），弱点重合率较小，但其中有两张膜是光面对光面，浸渍剂较难进入，所以老练时间要长些。

由于在有串联组的电容器从一个元件（无论浸那种液体，也无论是膜纸或全膜介质）损坏到完全击穿短路的过程中，故障电流可能在外熔丝熔化之前已大到足使介质和液体加热到

产生气体，使外壳膨胀，油面下降，易于在内部连接线间跳弧或对壳短路，因而可能造成外壳爆炸，为避免这种情况，GE 公司采用了芯子分组接线的方式（图 1）。这种方式比不分组的可减少 I^2R 的析气量 $3/4$ 。

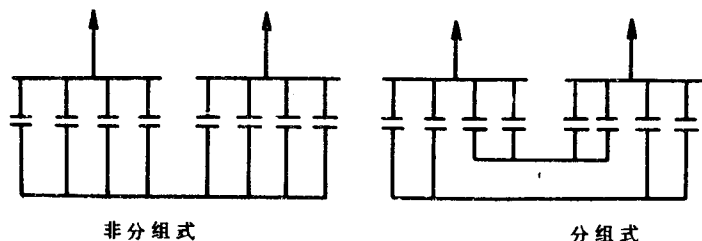


图 1 并联元件的电容器接线图

低压金属化电容器，220~440 伏的多用金属（铝）化聚丙烯膜，可为干式（端部树脂密封防潮）或浸渍剂（如聚丙烯乙二醇）并不完全浸透元件而仅浸其边缘，以改善散热和边缘电晕特性。如 GE 公司的 GEM 型和 ASEA 公司的 CLMA 型 230~415 伏，83 千乏金属化膜电容器（0.5 瓦/千乏，0.3 公斤/千乏）；400~700 伏的可用双面金属化纸电极（如 GE 公司 GEMFOLL 型为一个金属化纸和一个铝箔电极）和聚丙烯膜介质，浸以对膜膨胀和金属腐蚀作用较小的液体，损耗可达 0.02%。

2. 外壳和瓷套：外壳涂以防腐蚀和散热性能好的油漆。耐爆破能力可为 10~15 千焦（如 GE，M—E）。瓷套一般为焊接式。GE 公司发展的一种把法兰和接线帽铸在瓷体中的 Re—X 瓷套装置有特别高的密封性。由于材料为 Re—X 细晶粒无孔陶瓷，其电气和机械强度也较高（见表 9）。

表 9 Re—X 瓷与一般瓷材料特性比较

性 能	Re—X	一般焊接密封用瓷
折断强度 磅/英寸 ²	25000	0~15000
弹性模数 磅/英寸 ²	12.6×10^6	$(7 \sim 14) \times 10^6$
热胀系数 (25~800℃)	10.2×10^{-6} 英寸/℃	5.0×10^{-6} 英寸/℃
击穿强度 伏/密尔	450	250~400
连续加热安全温度 ℃	850	305

3. 其他问题

对电容器来说，熔断器不是过载保护，只是在短路后才动作的断路装置。通常当故障电流或并联储能中等数值时，用喷逐式熔断器。而当故障电流大于 6000 安或并联储能大于 10 千焦（美）时则用限流熔断器断开故障电容器。

但是，无论那一种熔断器都不能安全地保护外壳爆破的故障。在某些情况下，如成组保护的接地 Y 接电容器组，其故障电流不超过三倍额定电流值，在这种情况下熔断器要数分钟后才开断完全短路的电容器。故在熔断器断开前，串联元件已遭失败。

为了更好地防止外壳爆破，GE 公司提出了熔断器加压力开关保护的线路，压力开关可装在低压、高压全膜或膜纸电容器上。当电容器内部压力超过 8 磅/英寸² 时即断开电源（因电容器在高温下运行时，内部正常压力接近 8 磅/英寸²，这样才能在负温时不出现真空，影响电晕性能）。据试验，它至少可在外壳爆破前 0.1 秒动作，这一时间已足够断开由其控制的断