

《国外机械工业基本情况》参考资料

电 力 电 容 器

西 安 电 力 电 容 器 研 究 室

第 一 机 械 工 业 部 情 报 所

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展了无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了介绍国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……“一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义的社会烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导，采取分析、批判的态度。

本册为电力电容器的国外基本情况部分，编写单位是西安电力电容器研究室。

由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所

一九七四年

目 录

一、电力电容器行业	1
(一) 国外电力电容器行业发展简况	1
(二) 国外低、高压电力电容器间及其与发电设备等的比例关系	17
(三) “三化” 状况	18
(四) 各年代国外电力电容器水平资料	21
二、国外电力电容器制造企业和科研机构	24
(一) 国外制造企业	24
(二) 国外电力电容器技术科研机构	27
三、国际性行业组织和几个主要学术团体	29
(一) 国际电工委员会第 33 技术委员会	29
(二) 国际大电网会议第 18 电容器委员会	29
(三) 美国 IEEE 输配电委员会电容器小组委员会	29
(四) 若干欧洲国家的“电容器生产问题”会议	30
四、产品情况	30
(一) 移相电容器	30
(二) 电热电容器和其他电容器	33
(三) 电容器纸	34
(四) 浸渍剂	35

一、电力电容器行业

(一) 国外电力电容器行业发展简况

1. 概述

电力电容器最初是指在工频交流下高提功率因数用的电容器, 现在已成为许多强电技术用电容器的总称。不过, 国际电工委员会电力电容器技术委员会, 到目前为止所探讨的, 还只涉及提高交流电路功率因数的电容器、电力线路中的耦合电容器和串联电容器。有人则认为: 凡是直接接入输配电线路的及用在各种高压大电流电工装置或试验设备中的电容器, 即电力电容器厂的所有产品都应包括在内。目前, 各国电力电容器厂的产品主要为:

- ① 用以提高工频电力系统或工业装置功率因数的移相电容器;
- ② 用于频率 40~24000 赫感应加热设备的电热电容器;
- ③ 在输、配电线路中补偿感抗的串联电容器;
- ④ 用于高压输电线路高频通讯、保护、抽能测量和供给电力负荷的耦和电容器及抽能电容器;
- ⑤ 用于冲击电压或冲击电流发生器、分压器及电容储能装置的脉冲电容器或储能电容器;
- ⑥ 用于电气铁道和固定式或其他整流装置滤波器的滤波电容器;
- ⑦ 西林电桥测量和放电测定用的高压标准电容器等。

此外, 工业较发达的国家, 还生产了一些以电力电容器为主体的成套装置, 通常包括:

- ① 自动控制无功功率的成套移相电容器装置;
- ② 带保护系统的成套串联电容器装置;
- ③ 成套电容抽能装置及电容电压互感器;
- ④ 成套冲击发生器等。

总的来说, 电力电容器行业发展历史不是太长, 来顿瓶电容器问世(1745年)之后一百多年, 才出现电力电容器, 其大量生产, 比有线及无线电通讯用电容器略晚。1899年意大利制成了5千伏的纸质电容器, 装于50赫的工业网络中, 这是用电容器提高功率因数的第一次尝试。但当时因工艺和材料问题, 损耗率高达1%, 因而宣告失败。以后还出现过其它移相电容器, 如瑞典玻璃电容器。但纸质电力电容器的成功使用和工业化生产, 是1926年于美国实现的。当时, 纸质电力电容器多半分散在变压器厂或无线电器材厂的辅助车间生产, 因而成本高, 销售量也不大。到1932年美国电力装置中安装电力电容器总数为100万千乏, 西欧安装总数约为30万千乏。近几十年来由于大电站和远程输电线的建立, 以及新技术部门的兴起, 迫使工业较发达的国家开展对电力电容器的科研工作, 建立或扩充科学实验基地, 发展电力电容器生产的专门厂或专门车间, 从而形成了在电工技术中占有相当重要地位的近代电力电容器行业(见表1)。欧洲五十年代已有不少电力电容器公司, 但规模不大, 如西德等六个国家生产能力总和不过五百万千乏; 自动化机械化水平也低。六十年代采用聚丙烯薄膜介质材料以来, 生产水平大幅度提高。其他许多国家也大都如此。目前, 生产上, 除推广采用

表1 各国电力电容器行业基本资料统计

序号	项 目	美 国	苏 联	日 本	西 德	英 国	法 国	意大利	瑞 士	芬 兰	瑞 典	东 德
1	主要生产厂和研制单位数	20	10	14	11	25	16	14	3	1	2	1
2	职工总数	>3800	~4000	>3000	>3000					210		
3	年产量, 万千瓦											
	1954年	400	100									
	1965年	~900	600~800		(7952吨)							
	1970年			783.1	(7022吨)							
	1971年			840.7								
	1972年							~350		250		300
	1975年	1670	~1000		~600	~650						
4	产值, 1970年			70亿日元	1.6亿马克							
5	安装容量, 万千瓦, 1954年	3000										
	1957年			660								
	1962年			1210								
	1965年		3000									
	1967年			1810								
6	劳动生产率, 千瓦/人, 1965年	平均约2400	平均约2000	平均约2800								
	1971年			平均17000, 最高71800	最高52400					600		
7	折合人民币元/人年, 1973年											
	单位面积产量, 万千瓦/平方米											

附注: 1. 职工数除根据有关资料外, 是按每厂一般不少于50~80人计算的;

2. 日本年产量和价值包括高、电压电产低电容值(低压电产高值按220伏折算), 其他电容器未包括在内;

3. 其他资料来源见后面有关各节。

上述薄膜外,还研究用新的无毒浸渍剂取代氯化联苯。因氯化联苯是当前公害之一,故日本,瑞士已限制使用或停用,苏联、意大利已分别用聚异丁烯和蓖麻油浸渍某些交流电力电容器,并强调指出,它们与氯化联苯相比的最大优点,是能保证环境卫生;美国虽企图继续用低氯液体,但最近也表示要研究无毒浸渍剂。

2. 美国

美国电力电容器企业见表2。其中通用电气公司和西屋公司都在资本主义国家制造厂中居住主导地位;有些厂商常采用它们的技术资料,如1964年瑞士迈卡费尔公司,按通用电气公司聚丙烯薄膜电容器技术专利来试制。

美国电力电容器生产历史虽久(如通用电气公司1913年已用亚麻纸制电容器),但主要制造厂仍不过二十来家,且多是联合企业。电力电容器制造在其中往往只是一个较小的部门,人数不多。生产移相电容器有名的是通用电气和西屋公司。

就产品而言,早在本世纪初期,美国移相电容器由于结构笨,成本高,销路不大。随着电力电容器高频加热等应用新领域的开辟,在1926年左右制出了一种破布纸(卷烟纸类的)油浸介质的电容器,可作移相(最大5千乏)、电热及串联等电容器用。这种材料经过真空工艺处理,其损耗角正切值已降低到0.3%以下。因而扩大了生产。到1932年,总产量已超过100万千乏。

美国电力电容器生产常受各种材料价格的影响。在资本主义国家,材料部门对加工或成品部门是有统治作用的。为了补偿这种影响,电力电容器生产部门不得不经常改进其产品(见1958年CIGRE有关报告)。上述电容器作为量大面广的工频移相电容器,其结构保持了七年多,随后便改用不燃性的氯化联苯浸渍,体积减小一半。同时中频电热电容器也发展成为专门的水冷式结构,单位体积容量提高了十几倍。四十年代初,美国用木浆纸代破布纸,提高了电容器热稳定性。1947年又用化学法处理控制纸浆,取得了较好的结果(每平方米导电点少于17个,100℃时 $\tan \delta < 0.15\%$)。1948年改用低温氯化联苯浸渍,改进了产品的低温可靠性。其单台容量比欧洲的小,便于流水生产和柱上安装。五十年代中对纸继续作了三次重大改进后,所制造的氯化联苯浸渍低密度(0.75克/立方厘米)低损耗高电气强度优质纸介质电容器容量可达100千乏,而热稳定性仍很高,其他许多技术经济性能也都较好。1954年移相及串联电容器最大生产能力为400万千乏,安装总数为3000万千乏,占当时电站装机容量的33%。产品出口加拿大、萨哈拉等地。到六十年代,美国认为纸质电容器不能再作很大的改进。便于1960年左右,研究以聚丙烯薄膜代替电容器纸。1965年后,美国各公司先后生产了这种新介质材料的工频交流电容器,又提高了制造水平(见表3)。如以1965年纸质电容器比特性平均值为0.35升/千乏,1973年薄膜电容器比特性平均值为0.2升/千乏计算,则不需增加任何生产面积和设备,便可使产品产量增加75%,从表3可见,美国电力电容器产量约10~12年翻一番。最近趋向于制造较大单台容量的聚丙烯薄膜-纸组合或纯薄膜介质的移相电容器,如科来尔-杜必里昂公司的组合介质电容器已达400千乏通用电气公司已达600千乏,麦格劳-爱迪生公司的S型纯薄膜电容器,可达200千乏,(21.6千伏, $\tan \delta$ 为0.03%左右)。据报导,近年来为提高这种薄膜质量,还建立了材料研究基地,如赫尔克斯公司拉制的B500型薄膜,经西屋公司试用和作相应改进之后,现在又制成一种EK500型聚丙烯薄膜,专供电力电容器使用,可与各种常用的浸渍剂相容,且能金属化。通用电气公司也自建有薄膜车间。此外,直流或脉冲电容器因采用薄膜介质,有的还浸以高介电系数的浸渍剂

表2 美国电力电容器制造企业

序号	公司名称	制造部门及地址	主要产品	人数	资料来源
1	General Electr. Co.	Capacitor Dept. John ST. Hudson Falls N. Y.	工业用电容器 (不包括无绳电话的电容器)	500~999	Fortune 企业手册, 1963~64年
2	Sangamo Electr. Co.	Dickens, S. C.	移相电容器及其他电容器等三种产品	1000~4999	Fortune 企业手册, 1963~64年
3	Ohio Brass Co.	380 North Main Street, Mansfield, Ohio.	电力电容器及其他电容器等六种产品	63年3000人	Fortune 企业手册, 1963~64年
4	Federal Pacific Electro. Co.	109 Avenue "L" Newark, N. J.	工业电容器		Fortune 企业手册, 1963~64年
5	Bendix Corp.	Scintilla Div. Sinden, N. Y.	高温工业电容器、电气试验设备、通讯设备等九种产品	1000~4999	Fortune 企业手册, 1963~64年
6	International Telephone and Telegraph Corp.	ITT Components Div. 815 S. Antonio Rd. Plo Alto, Cal.	工业用电容器	100~499	Fortune 企业手册, 1963~64年
7	Westinghouse Electric Co	Distribution Apparatus Div.	工业用电容器及其热电容器等		Fortune 企业手册, 1963~64年
8	Westinghouse Electric Co.	Bloomington, Ind. Lighting Div. P. O. Box 284 Vicksburg, Miss.	工业用电容器等		Fortune 企业手册, 1963~64年
9	Sprague Electric Co.	Industrial Capacitor Div., 149 Marshall, Mass, North Adams.	移相电容器		Thomas' Register of America Manufacturers 1958
10	Industrial Condenser Corp.	3265 N California Av. Chicago, 18 Illinois	移相电容器		Thomas' Register of America Manufacturers 1958
11	Gugeman Co.	The 340 W Huron Dept. 825 Ill. Chicago.	移相电容器		Thomas' Register of America Manufacturers 1958
12	Electrical Utilities Company.	2429 st. Vincent Ave. I.A Salle Ill.	移相电容器		Thomas' Register of America Manufacturers 1958
13	Potter Company	The 1944-52 Sheridan Rd Ill. North Chicago	移相电容器		Thomas' Register of America Manufacturers 1958
14	Tobeschmann Cor. p	Norwood Mass	移相、脉冲等电容器		Thomas' Register of America Manufacturers 1958

15	Centralab ADiv of Glove Union INC.	932 E Keefe Av. Wis Milwaukee.	移相、脉冲等电容器	Thomas' Register of America Manufacturers 1958
16	Cornell-Dubilier Electric Corp.	1000 Hamilton Blvd N. J. South Plain field.	移相电容器、户内外用，柱式架式及防生式	Thomas' Register of America Manufacturers 1958
17	Line Material Co.	700 W Michigan.	移相电容器	Thomas' Register of America Manufacturers 1958
18	Ideal Electric and mfg Co.	The 1940 E 1st St.	移相电容器	Thomas' Register of America Manufacturers 1958
19	Allis-Chalmers Corp.		电力电容器	
20	Mc Graw-Edison Co.	Power Systems Div, Canonsburg Pa. 15317	纯聚丙烯薄膜移相电容器	T. and D. 1973 V. 25. №10. P145.

附注：表中人数系按电力电容器制造部门的，并非其所属公司整个人数。如通用电气公司共有210个厂，近30万人，这里仅占其三分之一。

表 3 美国工频交流电力电容器发展概况

年份	单台容量 (千乏)	公斤/千乏	升/千乏	tg (%)	生产能力 (万千瓦)	介 质 材 料	总安装量 (万千瓦)	注
1924	2	15	9.5			油、纸		
1926	5	6	3.7	0.3		油、纸		
1930	10	2.8	1.8			油、纸		
1935	10	1.9	1.0			氟联苯、纸		
1938	15	1.8	0.9			氟联苯、纸		
1954	15~25	1.5	0.6		400	氟联苯、纸		
1961~1964	100	0.324~0.435	0.265	0.2	~900(1964年)	氟联苯、纸	3000(其中串联电容器约占7%)	产量按俄文“电容器”一书估计
1965	155~400	0.175	0.171	0.04		聚丙烯薄膜、纸、氟联苯		产量按大量生产产品平均
1973	150~500			0.03	1600	聚丙烯薄膜、纸、氟联苯及纯薄膜、氟联苯		比特性改进情况估计(见文字说明)一般薄膜电容器为纸质的1.5倍以上

(如 $\epsilon = 7$ 和 $9 \sim 14$ 的氟化硅和硝基硅), 以及有些低电感电容器, 以 550 毫米宽纸制造 (元件内部有串联电容) 降低了电感, 提高了技术经济指标。如马克斯威尔实验室制出的 5C35L 型聚脂薄膜 (马依拉薄膜) 脉冲电容器, 电感为 $5 \sim 10$ 毫微亨, 工作场强 200 千伏/毫米, 比能达 480 焦耳/立方分米; 不过这种电容器的放电次数 (寿命) 只有五百到五千次。科来尔-杜必里昂公司的 ESC260 型电容器, 电感仅 0.5 毫微亨。通用电气公司所有绝缘出头电容器的密封性, 由于采用了 RE-X 型新陶瓷材料而得到提高。

美国电力电容器的生产能力和某些主要性能, 目前虽暂居首位, 但腐朽的资本主义制度本身阻碍着生产技术的进一步提高。如美国 1960 年已肯定氯化联苯是一种难于分解的有毒液体, 但由于它作为电容器浸渍有一些优点, 直到 1972 年还以稍加改良的低氯含量的氯化联苯 (Aroclor 1016) 不很积聚为借口, 坚持继续使用, 置环境卫生和工人健康于不顾, 引起工人和居民的不安和反对。还有, 美国公司各自拥有一些专利权, 互相防止侵犯, 必然导致各公司间发展不平衡。如六十年代初纸电容器比特性, 俄亥俄铜公司为 0.435 公斤/千乏, 而西屋公司为 0.87 公斤/千乏; 通用电气公司 1965 已制出薄膜-纸组合介质电容器, 麦克格劳公司 1972 年已售出纯薄膜移相电容器, 而其他公司晚好几年或至今尚未制造。

3. 苏联

苏联电力电容器行业形成较晚, 创始于 1932 年。其制造单位见表 4。专业化的主导厂为谢普霍夫厂和乌斯奇卡明诺果尔斯基厂。初期的产品是按美国扁元件小油纸电容器仿制的, 材料和某些专用设备依靠进口。三十年代末期建立国内材料基地, 到五十年代自制了较完善的工艺设备。

表 4 苏联电力电容器生产厂及研制单位

序号	名 称	主 要 产 品	人 数	产 量 (万千乏)	注
1	谢普霍夫电容器厂	各种电力电容器	千余人	约200	1946年由罐头厂改建
2	乌斯奇卡明诺果尔斯基电容器厂	各种电力电容器及其成套设备	两千余人	约300	1959~61年建成
3	中央无线电电容器实验室	移相电容器			1932年研制
4	基辅工学院试制工厂	移相电容器			1933年开始
5	厂克兹叶太厂	移相电容器			战前生产
6	莫斯科变压器厂	移相电容器, 电容电压互感器及抽能装置			1938年开始
7	列宁格勒工学院高压实验室	脉冲电容器			1933年开始
8	雪布卡伯尼 Севкабель	脉冲电容器			1934年开始
9	哈尔科夫工学院高压实验室	脉冲电容器			
10	尼布克金 Нипкити	脉冲电容器			

三十年代的油纸交流电力电容器 (КИП型) 是手工卷制, 工作场强高到 $18 \sim 20$ 千伏/毫米, 因过早游离击穿, 就放弃了。1938 年克兹叶太厂产品改为 14 千伏/毫米, 提高了可靠性。据统计, 该移相电容器有运行 $10 \sim 15$ 年以上的, 但体积仍很庞大, 6 千伏 6.3 千乏的 КРМ6-1 型电容器重 21 公斤。到 1941 年, 苏联发展了当时国民经济所需的各种主要电力电容器。但生产规模只在工厂辅助车间或高等院校试制工厂生产, 年产量总和不过一百万千乏。

卫国战争末期, 建立了谢普霍夫电力电容器厂。在战后恢复时期, 该厂进行了大量生产定

型和研究改进工作，技术理论上已成熟，确定了较合理的工作场强和生产比例。开展了“三化”工作，针对故障原因（主要是高温度和过电压）实施了适当的标准。移相电容器外壳尺寸及另部件标准化、通用化并系列生产了以10千乏为主的1号尺寸产品。该系列产品只有高低压两种元件。高压元件一律按12~13千伏/毫米及70微米厚计算，低压元件3~4层。这就便于机械化生产。四十年代末拟订了5~25千乏油浸及10~40千乏苏伏油即五氯联苯浸Ⅱ号尺寸产品的发展草案。苏伏油战前已合成，到1958年化工部供应后才大量采用。在高低压移相电容器之间，该厂鉴于高压无论材料消耗、劳动量及成本均较低，电容较小而可靠，认为应占较大比例。其他电热电容器采用水冷和显极，从战前12~14千乏提到150千乏。脉冲电容器电压达300千伏（胶纸筒式）等。关于材料和工艺，1948年以电容器油代变压器油，控制了 $\tan\delta$ 指标。提出以蓖麻油等新浸渍剂提高直流产品的产量和寿命。为提高产品质量，外壳用电焊代替了锡焊，并重视了清洁防尘工作。产品的 $\tan\delta$ 降到了0.3%以下，且分散性小。采取这些改进措施后，使移相产品每千乏重量减为战前的76%。相应地减少了成本，扩大了生产。

五十年代是生产发展较快的阶段。在要求所有企业功率因数达到0.92~0.95和为了兴建新工业部门，本专业扩大了实验研究基地和工厂试验室，以加速掌握新技术，还开始筹建新厂。老厂则尽量提高产量，革新产品。1950~1954年继续通过从材料和工艺降低电容器损耗，改进稳定性，低压产品作薄纸等以提高比特性和容量，以及研制较完善的真空设备等，使产量增加了四倍。1955年一年的产量超过战前各年的总和。在此基础上进一步挖掘了潜力，如试用了工频电流干燥、成品连续电气试验、在传送带上油漆并红外线烘干、深拉大壳、高频焊金属涂敷瓷瓶代手工焊、壳盖半自动保护焊等。发展了15千乏Ⅱ号及50千乏Ⅲ号尺寸油纸移相电容器系列。小批采用了苏伏油浸渍。其中KC-2-6.3型移相电容器可达1.9kg/千乏，1.04千乏/升，8000赫电热电容器20千乏/升，分别具有当时欧洲及世界较先进水平。1955~1958年制造并投入了莫斯科——古比雪夫400千伏（已升到500千伏）线路五十万千乏纵补偿装置（当时是世界上最大的）用的串联电容器，提高了通过能力25%。在脉冲电容器中采用了各种新材料（如硝基苯苏伏油介质，聚氯乙烯壳等），并制成了可控热核反应堆，比能达143焦耳/升的脉冲电容器。提供了400~500千伏电容抽能装置（3×12千乏，低压部分绝缘35千伏级）及电容电压互感器（1级300伏安，低压15千伏级）。在行业内开展了基础和应用研究，如介质击穿和设计理论研究，干纸与电容器参数关系等的工艺分析和产品性能测试等，取得了一定成果。由于游离测试得出油纸绝缘不够稳定，而油压式电容器又不适于气候差大的国情，以及为增产起见，便决定推广氯化联苯的应用。

六十年代以来主要进展是第二个电力电容器厂的投产。全行业产量据1965年报导为600~800万千乏，仅次于美国。国内总安装量约为3000万千乏。1970年出口量约为30万千乏。大量生产和采用了苏伏油及其他氯化联苯，如1962~1964年电容器厂与某化工厂合作制了类似三氯联苯的ГМ-30液体等。采用了低密度（0.8克/立方厘米）低损耗优质电容器纸并组织大量供应金属涂敷瓷瓶。从1973年实施的ГОСТ 1282-72来看，KC型氯化联苯电容器已成为主要的移相电容器产品。因而年产量按1965年占总产量一半的（因新厂生产氯化联苯产品）油纸电容器容量提高1.5倍计算，可能达到了1000万千乏左右。脉冲电容器采用了新材料、新结构，降低了电感和（或）提高了质量因数Q值。ИК型蓖麻油浸渍的以及ИС型三氯联苯浸渍的电容器比能133焦耳/升，前者电感可为十毫微亨。高频放电用的电容器，为了增加元

件宽度以减少电感，在公共母线上并联穿有两个元件。其中聚酯薄膜纸组合介质的低电感电容器，比能大到 360 焦尔/升。聚乙烯薄膜纸组合介质（用纸提高电气强度，因聚乙烯膜不耐电晕）的或纯氟塑料膜的低电感电容器放电损耗小，特别是后者电感为 13 毫微亨， $Q = 250 \sim 300$ 。电感最小的为 3 毫微亨（哈尔科夫工学院平板元件电容器），但比能不大。此外，电容器厂还实现了装配过程机械化、真空测量自动化，改进了压床和绕卷机等。研究了防电离老化措施（如电极被敷氧化膜）、聚丙烯薄膜在移相电容器中的应用和新浸渍剂等。但在生产中的应用进展不大。薄膜移相电容器，目前尚处于试生产阶段，以解决材料和工艺等问题。氯化联苯仍未放弃；虽然少数交流电容器采用了特制的聚异丁烯，但未推广。这就是苏联修正主义路线办企业以及追求所谓“正规化”的结果。

5. 日本

日本电力电容器的生产，是从 1931 年开始的。那时，日本住友电工株式会社，根据意大利 Pirelli 公司的电缆制造专利，生产出日本第一批矿物油浸渍纸介电力电容器，即所谓 OF 电容器。此后，随着电力电容器的不断增加，日本电力电容器的生产和制造技术有了提高。

表 5 为日本生产电力电容器的主要公司即日新电机株式会社历年来生产的电力电容器情况。该公司的产量约占日本同年生产电力电容器的 85%^[1]。从该公司看到战后日本电力电容器生产大约每隔五年一番。但是 1972 年的产量比 1971 年降低了 62%，仅为 1971 年产量的 38%。这可能与日本 1972 年停产氯化联苯电容器（因污染问题而改用所谓 A7 油）有关。

在 1967 年到 1971 年的五年中，整个日本电力电容器的生产见表 6^[2]。

从表 6 看出，日本倾向于制造单台大容量电力电容器，就高压电容器而言，日本的单台容量平均为 123 千乏。而在日本电力电容器生产中机器用电容器（日光灯、汽车、起动等用

表 5 日新电机株式会社历年来生产的电力电容器

年 份	容 量 (千乏)		总 容 量 (千乏)
	6.6 千伏以下	11 千伏以上	
1933	2950	0	2950
1934	12785	0	12785
1935	33080	1500	34580
1936	53770	10000	63770
1937	115997	65000	180997
1938	121180	174200	295380
1939	152230	60000	212230
1940	74425	214600	289025
1941~45	579803	487350	1067153
1946~50	641948	463200	1105148
1951~55	1033879	1207474	2241353
1956~60	1143618	1613619	2757237
1961~65	1539868	2597594	4137460
1966~70	3776188	5926500	9702688
1971	1000300	3463000	4463300
1972	402600	1306000	1708600
合计	10884619	17590037	28274656

的) 占了相当大的比例。

据日新电机株式会社的统计, 日本从生产电力电容器起, 到 1972 年为止, 共生产约 2500 万千乏的电力电容器。到 1967 年止, 日本设置的电力电容器总数为 1800 万千乏⁽¹⁾。其中自 1957 年到 1962 年五年内平均每年增加电容器的设置容量 13%, 自 1962 年到 1967 年五年内平均每年增加 11%, 其增长数见表 7。

日本电力电容器行业的制造单位见表 8。

表 6 1967~1971 年日本电力电容器的生产

年 份	总产值 (百万日元)	高压和特高压电力电容器			低压电力电容器			机器用电容器	
		总台数 (台)	容量 (千千乏)	产值 (百万日元)	总台数 (台)	容量 (千μF)	产值 (百万日元)	总台数 (千台)	产值 (百万日元)
1967	7841	37132	2649	1881	869061	42926	1159	21744	4861
1968	10988	46324	4192	3101	962022	55294	1389	25582	6498
1969	13554	51788	4847	3408	1151266	62375	1578	29816	8568
1970	16824	67109	6871	5314	1142980	64253	1802	31250	9608
1971	17420	61673	7617	6505	335262	52849	1549	26352	9366

表 7 日本电力电容器安装量

年 份	1957	1962	1967
设置容量(兆乏)	6600	12100	18100

表 8 1969~1970 年日本各电力电容器公司概况

序 号	公 司 名 称	制 造 部 门	主 要 产 品	人 员		产 值 (亿日元)		生产面积 平方米		全公司劳 动生产率	
				全公司	本专业	全公司	本专业	总数	建筑物	百万日元 /人月	百万日元 /人年
1	日新电机株式会社	本社 工厂	移相、串联、耦合电 容器及变压器等	3300		80.7	13.08	92000	59000	2.44	
2	日本电容器工业株 式会社		移相、机器用电容器、 1700kv 试验用电容互 感器及电子电容器	1601		57.63	13.122			3.6	
3	二井电容器株式会 社		移相电容器、冲击发 生器及日光灯电容器 (MP、DF、OF 式)	350							
4	指月电机制作所		电力电容器及电子电 容器	671		18.785	11.5987	44000		2.8	
5	中国电机制造株式 会社		移相电容器及变压器	396		38.8				0.81	9.8
6	帝国电容器株式会 社		移相、电热、耦合电 容器		109						
7	东海电容器株式会 社		薄膜电容器、管式电 容器	107							
8	东和电容器株式会 社		电介电容器、MP 电 容器、铝电容器	625							
9	日立电容器株式会 社		高低压移相电容器								
10	松下电容器株式会 社		高压移相电容器								

(续)

序号	公司名称	制造部门	主要产品	人 员		产 值 (亿日元)		生产面积 平方米		全公司劳动生产率	
				全公司	本专业	全公司	本专业	总数	建筑物	百万日元 /人月	百万日元 /人年
11	古河电气工业株式会社		高低压移相电容器								
12	日电商工株式会社		电容器、电缆、变压器								
13	日本变压器株式会社		电容器、变压器	30							
14	东京芝浦株式会社		高低压移相电容器、 薄膜纸混合介质电容器								
15	三菱电机株式会社		高低压移相电容器、 薄膜和纸混合介质电容器								
16	东京电器株式会社		油浸交、直流电容器、 电介电容器等	1300							

4. 西德

西德电力电容制造业的特点,是各大型企业内从事本专业生产的和电力电容器专业厂的人数都不多,从几十到数百人,生产面积少而产量大。国内较大的公司有通用电气和西门子公司。布许公司则是世界唯一生产金属化介质电力电容器的公司。产值 1.45 亿马克,劳动生产率较高(表 9)。据分析其原因为:

- ① 采用了新型材料如聚丙烯薄膜;
- ② 单台容量大,大大减少了如整配等不少工序的工作量;
- ③ 品种比较简单,如多米尼特厂只产铁壳的移相电容器,没有其他外壳的产品。便于组织生产,有利于提高效率。
- ④ 采取了一定的机械化自动化措施,如自动焊壳设备,芯子滚轴运输带,温度及真空度自动记录装置,及有关的生产线等,降低了劳动强度,提高了效率;
- ⑤ 车间布置紧凑,车间内运输路线很短。如多米尼特厂的电容器车间就在变压器车间的边上,外壳零件传递较便。

西德电力电容器制造业在欧洲是比较发达的。就移相电容器来说,已广泛采用聚丙烯薄膜纸组合介质。多米尼特公司并决定最近两年内完全淘汰高压纸质电容器。西门子公司高压(10 千伏左右及以下)产品单台可达 225 千乏,比特性 0.307 公斤/千乏, $\tan \delta$ 0.03~0.06%。通用电气公司低压产品可达 100 千乏,0.85 公斤/千乏, $\tan \delta$ 为 0.15%。但大部分低压电容器仍用纸介质。西德产品可靠性一向较高。战前纸电容器即用氯化联苯浸渍。五十年代氯化联苯浸渍的电容器和油浸电容器各占一半(认为后者油少,燃烧危险不大)。但五氯化联苯电容器在 1953~54 年冻坏很多,以后便改用了三氯联苯 A30。六十年代,高压氯化联苯电容器已占多数。其中 A30 的年损坏率(不计某些易修复的漏油现象)为 0.1~0.05%,低压户内电力电容器低于 0.01%。目前,西德的电力电容器,除少数如西门子的低压小电容器和布许公司的金属化电容器用油外,都用三氯联苯浸渍。多米尼特公司和从事电容器生产多年的培,霍赫叶斯劳认为,三氯联苯不及高氯的稳定,不易聚集在动物体内,落地可分解,万一流失出去,污染较小。

电热电容器以多种薄膜作介质，最大可达 600 千乏。脉冲电容器是氯化联苯或蓖麻油浸渍的纸介质。西门子公司 1967 年出产的同轴出头铁壳电容器，电感 40~70 毫微亨，电流 20 万安，比能 95 焦耳/升。普通绝缘壳的脉冲电容器，电压最高为 500 千伏。

据出国报告称，西德各电容器厂的工艺，一般的多，也用自动设备，但不普遍。有一些生产线，但自动线不多。采取了简单的防止三氯联苯扩散措施，以及一些较高的工艺参数。主要如下：

① 一般卷绕机。卷绕部分清洁度较高；卷薄膜元件的清洁度更高（多米尼特厂的台两薄膜元件卷绕机，放在卷制间由三夹板隔开的小间内）；

② 当元件压入外壳内形成芯子后，多米尼特厂以自动焊设备焊外壳一侧大面；

③ 该厂真空浸渍同卷绕、压装、焊接、试验在同一车间，而以隔间隔开，也和装配完全隔开。西门子公司浸渍也是隔开的，以防止三氯联苯扩散。该公司在出罐前把三氯联苯气体抽尽，抽出的气体冷凝回用。出罐温度为 50℃。

④ 高度及真空度自动记录，减少接触三氯联苯的机会。

⑤ 真空度及纸质三氯联苯电容器损耗角正切值（薄膜产品的参数见表 19）：西德真空度水平较高。五十年代，据当时雷伯公司培、霍赫霍叶斯劳报导，列波尔特公司的十三立方米真空罐，真空度可达 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 毫米汞柱，在此真空度下，五氯联苯纸电容器的 $\text{tg}\delta = 0.0017 \sim 0.0025$ ，并易于抽尽开罐前的氯化联苯。但在 10^{-4} 毫米汞柱下，从加热水套的水中出来的氢，将透过罐壁进入罐内，故需采取预防措施。据最近介绍，目前，多米尼特厂所用立式方罐余压为 10^{-3} 毫米汞柱，高压产品的 $\text{tg}\delta$ 不大于 0.25%。西门子公司余压为 10^{-3} 毫米汞柱，产品的 $\text{tg}\delta$ 高压不大于 0.23%，低压不大于 0.28%。西门子工程师认为，真空度太高也没有必要。

表 9 西德电力电容器公司概况

序号	公司名称及地址	主要产品	人 员		建筑面积 平方米		产量	产值	劳动 生产率 (马克/ 人年)
			全公司	本专业	全公司	本专业	(万千乏)	(百万马克)	
1	西门子公司	移相电容器、脉冲电容器、成套移相装置	305000	50~80		1500	150		
2	通用电气公司	移相电容器等	170000	600				12000	71000
3	Ceag Dominit AG.	电力电容器及变压器等	3268	120	37272	1620	350	244.35	74800
4	Frako, Kondensatoren und Apparateben Gm bH	电力电容器	1300					55	
5	Berliner Kon-ren Fabrik.	电力电容器、成套装置等	125		1200			4.7	
6	Hydrawerk.	移相电容器						40	
7	Robert Bosch GmbH.	电力电容器等	53950		1783285			5500	
8	Richard Jahre Spezialfabrik fur Kon-ren (Berlin).	电力电容器等							
9	Suddentscher Kon-renbau.	电力电容器等	77		1000			3	40000
10	Electrica Kon-renfabrik.	高压电容器等	351		3500			6.3	15100
11	HRQ-STARKSTRQM Kon-ren GmbH.	电力电容器及成套装置							

附注：资料来源为 Handbuch der Gross-Ventemehom 1972。

⑥ 真空浸渍方法：多米尼特厂是用泡注，且罐内只装一层大电容器，可简化工作。西门子公司泡注和单台注都用，单注的电容器顶部接管子抽浸。

⑦ 西门子公司高压移相电容器油漆前外壳喷锌。

6. 英国

英国电力电容器行业简况见表 10。其中 BICC 是国内最大的也是世界最早的电力电容器公司之一。英国五十年代前主要生产油纸介质元柱型元件 50~300 千乏的大移相电容器，比特性很差，约 4.5 升/千乏及 6.3 公斤/千乏。产量不大，如 BICC 公司赫尔斯比厂几十年内总共不过几百万千乏。但经过长期研究，后来制成了气稳定性好的油和各种新型优质纸，完成了可自动调压的测试设备（可测 100 微法）的研制并改进了产品结构（如用扁元件和小体积等）。因而大大改进了产品比特性。五十年代末 3~90 千乏电容器每千乏体积和重量约为上述老式产品的 43%。高压电容器标准化产品一般为 2.4 千伏，25 千乏的。

英国电力电容器行业采用各种新介质和迈立新厂得到了进一步发展。五十年代后期研究采用了蓖麻油、氟化芳香化合物、有机胺和氯化联苯等高介电系数的浸渍剂。1958 年约翰逊和菲利浦公司建成了一个新电力电容器厂，使英国总生产能力达到 100 万千乏左右。该厂根

表 10 英国电力电容器企业

序号	公司名称	部门及地址	主要产品	人员	营业额	注
1	STC Ltd	Capacitor Div. Brixhem Rd. Cambridge	移相电容器			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
2	Bryce Capacitor Ltd	Burrington Way, Honicknowle, Plymouth Devon	移相、脉冲电容器	70		按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
3	Bushing Co. Ltd	South Drive, Hebburn Co. Durham	充气电容器			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
4	Educational Measurements Ltd		移相			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
5	J. J. Lloyd Instruments Ltd		移相			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
6	BICC	21 Bloomsbury st. London Wcl	移相、脉冲、电热等	37000 (国内)	228000000 英镑	按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
7	Dubilier Condenser Co(1925) Ltd	Ducon Wks, Victoria Rd, London W3	移相、脉冲等	1600		按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
8	Wego Condenser Co. Ltd	42 Bidford Av. Perivale, Greenford	移相、脉冲等			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
9	Johnson and Phillips Capacitors Ltd	Haverhill, Suffolk	移相电容器及其成套装置			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
10	A. H. Hunt Capacitors Ltd	New Addington, Croydon, Surrey	移相、脉冲等			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
11	Capacitors Ltd	Solihull, Handsworth, Birmingham	移相			按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969
12	Plessay Co. Ltd	Components Group, Kembrey st. Swindon Wilts	移相、脉冲等	85000	208000000 英镑	按 Kampass in association with the confederation of British industry 1969

(续)

序号	公司名称	部门及地址	主要产品	人员	营业额	注
13	Bonar Long and Co. Ltd	East Kingsway Wks, Dundee Scot	移相、脉冲			
14	Asea Electric Ltd	London	移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
15	Bruce Peebles and Co. Ltd		移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
16	Cromton Parkinson Ltd	Aldurych, London W. C. 2	移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
17	English Electric A. E. I. Industrial Ltd		移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
18	Kandem Electrical Ltd	Charlton, London S. E. 7	移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
19	Lancashire, Dynamo and Crypto Ltd	711 Fulham Rd, London S. W. 6	移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
20	Lawrence Scott and Electromotors, Ltd		移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
21	Mather and Pratt Ltd	Parkworks, Manchester M10 6BA	移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
22	Murihead and Co. Ltd		移相电容器			按 Machinery's Buyer's Guide, 1970
23	Hawkey Siddoley Power Transformers Ltd		移相电容器			样本 "Hawkey Siddoley Summary of Products, 1972"
24	C. A. Parsons Ltd	Heaton 厂电容器车间				
25	Osram (GEC) Ltd		移相电容器			BEAMA 1970 Directory

据 ERA 的研究结果,“杂质和水分是引起绝缘游离老化的主要因素”,采用了较好的真空干燥技术和清洁措施,如卷制车间空气双层过滤和有温度调节,轻微正压,真空系统阀电气操作,泵有安全保护装置,出故障时能维持真空。产品后来大量用 Monsanto 化学公司的 Aroclor 浸渍,户外式的油漆前喷铝。1960~1968 年 ERA 及 BICC 公司研制了聚丙烯薄膜-纸组合介质高压移相电容器,减少薄膜厚度后又生产了 380~660 伏的低压电容器。目前该公司新型三氯联苯纸电容器最大 100 千乏,每千乏 0.3 升、0.58 公斤,tgδ 为 0.0022~0.002。高压组合介质产品为 50~200 千乏,tgδ 起始值为 0.1%,运行五千小时后降为 0.05%,每千乏仅 0.217 升、0.38 公斤。如按五十年代比特性为 1.95 升/千乏计算,则年产量应在 650 万千乏以上(按这种产品超过半数计)。今后趋势是高压产品用纯薄膜,使损耗角正切值降到 0.03% 以下。低压电容器仍用组合介质,但将用金属化电极,以减小体积和提高可靠性。浸渍剂仍用三氯联苯,但其污染物已可用专用设备烧化处理。

BICC 公司的蓖麻油纸脉冲电容器,近 15 年内生产了 45 兆焦耳,除供应国内外还出口美、法、西德、瑞士和奥地利等国。产品常有内部过压保护装置及击穿信号装置,寿命较长。其他如 Bushing Co 的 SF₆ 和氮混合介质的全屏蔽式标准电容器,电容 100 微微法,工作电压 1.2 兆伏,是目前参数较大的试验设备。

7. 法国

法国电力电容器制造厂见表 11,产品出口较多的单位有萨瓦新公司等。法国电力电容器行业在四十年代已相当发达,1949 年制成了硫酸盐木浆纸(Kraft 纸),阿尔斯托姆公

表 11

序号	制造厂名称	产 品	人数	建筑面积 (平方米)	备 注
1	阿尔斯汤姆机电公司圣·乌昂厂	电力电容器及变压器等	2000	60000	按 Kompass 1964~65, 下同 资本一万达朗 系瑞士 Haefely 分公司
2	萨瓦新机电制造公司安·勒·朋厂	电力电容器及变压器等			
3	Condensateurs (Cie Gen des), Iter, rue Chanez.....Paris	移相电容器	1100	20000	
4	Condensateurs (Sté Parisienne des), B, rue Barbés	移相电容器			
5	F. A. C. O. N	移相电容器		1500	
6	Haefely	移相、电热、脉冲、储能、 耦合、均压、及滤波电容器			
7	Helgo (Paris)	移相电容器			
8	Restiphase (M. A. E)	移相电容器			
9	S. I. A. E. A (Paris)	移相电容器			
10	Valdex	移相电容器			
11	Wireless	移相电容器			
12	Siemens	移相电容器			
13	Regue (Condensateurs)	脉冲电容器			
14	Condensateurs (Sté Indust des), 95, rue Belierke	移相、脉冲			
15	Condensateurs, E. M., 58, av. A-Briand	移相、脉冲			

司等 1950 年开始用五氯联苯 Pyralen 1476, 两年后又改用三氯联苯 Pyralen 1499 (实际上, 第二次世界大战期间就已因石油缺乏而采用了氯化联苯)。1958~63 年电力电容器在所有无功能源中占比例由 31% 提高到 58%, 即增加 0.9 倍, 相应地扩大了行业规模和发展了生产技术。1958 年用来代替破布纸的 Kraft 纸, 到 1965 年因提高了水净度和原料质量, 降低了 $\text{tg}\delta$ 及提高了击穿场强。使三氯联苯纸电容器容量及比特性达到, 低压 40 千乏, 1.3 公斤/千乏, 高压 100 千乏, 0.7 公斤/千乏。E. D. F 认为, 除有了制造和使用保护方面的可能外, 从经济观点来看, 为降低每千乏价格以与美国竞争, 增大容量是必要的。1965 年以来还采用了新浸渍剂, Pyralen 1500 及 1477。Pyralen 1477 凝固点很低, 可供寒带电容器之用; Pyralen 1500 介电系数较高为 6.3, 所浸纸质移相电容器每千乏体积 0.26 升, $\text{tg}\delta$ 约 0.24% (Alsthöm 公司产品)。1969 年制成了塑料薄膜氯化联苯电容器, 大大改进了技术经济性能, 其体积和损耗比一般纸质电容器的小 50% 左右 (表 12)。法国 2.9~8.7 千伏移相电容器通常成套供应, 每套带有差动及无功继电器, 按双星接线装于金属网内。对更高电压的大电容器组, 也常采取标准化措施, 便于用户安装。低压电容器一般较小, 可供电杆上用。

表 12 阿尔斯汤姆-萨瓦新公司 Maxivar 电容器

容 量 (千乏)	高(带瓷瓶)×长×宽 (毫米)	重 量 (公斤)	注
50	407(595)×344×126	27	0.42kg/kvar 0.257升/千乏 tg 为0.01~0.05%
66.6	407(595)×344×152	31	
87.3	457(645)×344×152	35	
100	527(715)×344×162	43	
150	737(925)×344×152	68	