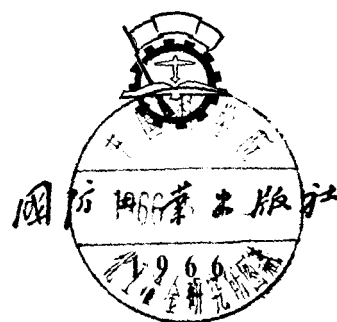


有机合成介质薄膜电容器

[苏联] B. T. 連涅 著

朱复欣、朱德庄 译

陈国光 校



序 言

在一九五九年出版的“电容器”一书中，作者未能充分地注意到新型的及发展最快的以合成有机薄膜做介质的薄膜电容器。此外，自该书出版以来，薄膜电容器已有更进一步的发展。因此，专门出版一本论述薄膜电容器的书，是完全及时的。

目前，“薄膜电容器”这一术语含义很广，它不仅单指有机介质电容器，而且也包括无机介质电容器，例如某些类型的陶瓷电容器和玻璃电容器。

本书仅论及卷绕型有机合成介质电容器。

合成有机材料目前虽然也用于某些可变和半可变（微调）电容器的生产中，但是与大量用于卷绕型电容器生产中的合成薄膜比较，它的用量毕竟还是很少的。本书仅论及卷绕型固定电容器。

作 者

引 言 (节譯)

在現代技术中，合成材料有很重要的意义。这种材料主要是从石油、天然气及煤中用化学法提炼出来的。在这些材料中，目前应用最普遍的是高分子物质，其特点是，分子尺寸非常大，其中含有几千、几万甚至几十万个原子。这些材料的分子量可达几十万或几百万。

由于高分子物质的分子尺寸大，所以它具有許多在技术上很有价值的特性。首先是它的强度和容易加工处理。高分子物质是压制或压鑄各种产品用的塑料的基础，用它可以制成强度甚高的纖維，其质量超过天然物质制成的纖維，同时也可以制成薄的和强度大的薄膜。許多高分子物质都有电絕緣特性。

对电容器制造来說，最感兴趣的是制成膜状的高分子物质。

目前，如果不考虑聚苯乙烯薄膜电容器生产的話，合成薄膜用于电容器生产尚处在发展的最初阶段，因为前者早在第二次世界大战前就开始小規模生产了。

在电容器制造中，通常有人将合成薄膜看成是电容器紙的代用品。这种看法是沒有充分依据的。可以认为，对許多种电容器来說，在今后的长久年代中，紙仍将是一种主要的介质，因为这是一种价廉、易得的材料，并且有相当好的电性能。此外，合成薄膜在电容器制造中不仅不会排除紙，而且在卷繞型电容器生产中，当紙已不能滿足新的技术要求时，还要用来弥补这种介质的不足。

非极性合成薄膜首先是用来制造損耗角小、時間常数很大及容量更稳定的电容器。极性薄膜和某些非极性薄膜可以扩大电容器的工作溫度范围，使其超过浸漬紙所能保証的溫度值。許多合成薄膜的一个重大优点是，用它可以制成电荷吸收量非常小的电容

器，这一点对一系列的新技术领域有很重大的意义。

现有的以合成薄膜做介质的各种电容器主要可分为以下几类：

- 1) 非极性薄膜电容器；
- 2) 极性薄膜电容器；
- 3) 复合介质薄膜电容器；
- 4) 薄层膜电容器。

下面将依据这种分类来叙述合成薄膜电容器，并分别考察各种薄膜本身的特性及用其制成的电容器的各种特性。

目 录

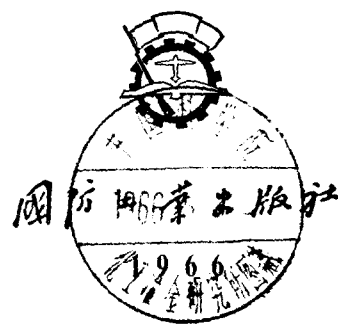
序言	3
引言	5
第一章 非极性薄膜电容器	7
§ 1 电容器制造用非极性薄膜的一般特性	7
§ 2 聚苯乙烯薄膜——斯提罗弗列克斯	9
§ 3 聚苯乙烯电容器的制造工艺和结构	17
§ 4 聚苯乙烯电容器的电性能	35
§ 5 电压和无功功率较高的聚苯乙烯电容器	60
§ 6 聚苯乙烯薄膜耐热性提高的问题	67
§ 7 聚乙烯薄膜及其在电容器制造中的应用	71
§ 8 聚四氟乙烯(氟塑料-4)薄膜	80
§ 9 聚四氟乙烯(氟塑料)薄膜电容器	88
§ 10 耐热性较高的非极性或弱极性介质的制取问题	99
第二章 极性薄膜电容器	110
§ 11 电容器制造用的极性薄膜的一般特性	110
§ 12 纖維酯薄膜及其在电容器生产中的应用	112
§ 13 几种試用于电容器制造但未获普遍应用的极性薄膜	122
§ 14 聚对苯二甲酸乙二醇酯——新型电容器介质	132
§ 15 聚对苯二甲酸乙二醇酯电容器	137
§ 16 聚碳酸酯薄膜及其用于电容器制造中的初步經驗	153
§ 17 提高极性合成薄膜材料介电系数的问题	161
第三章 复合介质电容器	164
§ 18 复合介质用于卷繞型电容器中的一般原理	164
§ 19 极性合成薄膜与电容器紙复合介质电容器	170
§ 20 非极性薄膜与电容器紙复合介质电容器	179
§ 21 两种不同合成薄膜构成的复合介质电容器	186
第四章 薄层膜电容器	190
§ 22 电容器制造中用的有机介质的厚度减小问题	190
§ 23 漆膜电容器	195
§ 24 金屬-漆膜电容器	200
§ 25 金屬化聚四氟乙烯电容器	209
参考文献	213

有机合成介质薄膜电容器

[苏联] B. T. 連涅 著

朱复欣、朱德庄 译

陈国光 校



内 容 提 要

本书叙述了新型有机合成薄膜介质固定电容器的各种特性、结构及其工艺，同时也列举出生产这类电容器所用的合成薄膜的一些数据。

本书可供与电容器制造或应用有关的电气工程和无线电工程技术人員参考，对于高等院校相应专业的高年级学生也是一本有益的参考书。

ПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ С ОРГАНИЧЕСКИМ СИНТЕТИЧЕСКИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

〔苏联〕В. Т. Ренне

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1963

*

有机合成介质薄膜电容器

朱复欣、朱德庄 译

陈国光 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 67/8 175 千字

1966 年 3 月第一版 1966 年 3 月第一次印刷 印数：0,001—2,300 册

统一书号：15034·1098 定价：（科六）1.00 元

序 言

在一九五九年出版的“电容器”一书中，作者未能充分地注意到新型的及发展最快的以合成有机薄膜做介质的薄膜电容器。此外，自该书出版以来，薄膜电容器已有更进一步的发展。因此，专门出版一本论述薄膜电容器的书，是完全及时的。

目前，“薄膜电容器”这一术语含义很广，它不仅单指有机介质电容器，而且也包括无机介质电容器，例如某些类型的陶瓷电容器和玻璃电容器。

本书仅论及卷绕型有机合成介质电容器。

合成有机材料目前虽然也用于某些可变和半可变（微调）电容器的生产中，但是与大量用于卷绕型电容器生产中的合成薄膜比较，它的用量毕竟还是很少的。本书仅论及卷绕型固定电容器。

作 者

目 录

序言	3
引言	5
第一章 非极性薄膜电容器	7
§ 1 电容器制造用非极性薄膜的一般特性	7
§ 2 聚苯乙烯薄膜——斯提罗弗列克斯	9
§ 3 聚苯乙烯电容器的制造工艺和结构	17
§ 4 聚苯乙烯电容器的电性能	35
§ 5 电压和无功功率較高的聚苯乙烯电容器	60
§ 6 聚苯乙烯薄膜耐热性提高的問題	67
§ 7 聚乙烯薄膜及其在电容器制造中的应用	71
§ 8 聚四氟乙烯(氟塑料-4)薄膜	80
§ 9 聚四氟乙烯(氟塑料)薄膜电容器	88
§ 10 耐热性較高的非极性或弱极性介质的制取問題	99
第二章 极性薄膜电容器	110
§ 11 电容器制造用的极性薄膜的一般特性	110
§ 12 纖維酯薄膜及其在电容器生产中的应用	112
§ 13 几种試用于电容器制造但未获普遍应用的极性薄膜	122
§ 14 聚对苯二甲酸乙二醇酯——新型电容器介质	132
§ 15 聚对苯二甲酸乙二醇酯电容器	137
§ 16 聚碳酸酯薄膜及其用于电容器制造中的初步經驗	153
§ 17 提高极性合成薄膜材料介电系数的問題	161
第三章 复合介质电容器	164
§ 18 复合介质用于卷繞型电容器中的一般原理	164
§ 19 极性合成薄膜与电容器紙复合介质电容器	170
§ 20 非极性薄膜与电容器紙复合介质电容器	179
§ 21 两种不同合成薄膜构成的复合介质电容器	186
第四章 薄层膜电容器	190
§ 22 电容器制造中用的有机介质的厚度减小問題	190
§ 23 漆膜电容器	195
§ 24 金屬-漆膜电容器	200
§ 25 金屬化聚四氟乙烯电容器	209
参考文献	213

引 言 (节譯)

在現代技术中，合成材料有很重要的意义。这种材料主要是从石油、天然气及煤中用化学法提炼出来的。在这些材料中，目前应用最普遍的是高分子物质，其特点是，分子尺寸非常大，其中含有几千、几万甚至几十万个原子。这些材料的分子量可达几十万或几百万。

由于高分子物质的分子尺寸大，所以它具有許多在技术上很有价值的特性。首先是它的强度和容易加工处理。高分子物质是压制或压鑄各种产品用的塑料的基础，用它可以制成强度甚高的纖維，其质量超过天然物质制成的纖維，同时也可以制成薄的和强度大的薄膜。許多高分子物质都有电絕緣特性。

对电容器制造來說，最感兴趣的是制成膜状的高分子物质。

目前，如果不考虑聚苯乙烯薄膜电容器生产的話，合成薄膜用于电容器生产尚处在发展的最初阶段，因为前者早在第二次世界大战前就开始小規模生产了。

在电容器制造中，通常有人将合成薄膜看成是电容器紙的代用品。这种看法是沒有充分依据的。可以认为，对許多种电容器來說，在今后的长久年代中，紙仍将是一种主要的介质，因为这是一种价廉、易得的材料，并且有相当好的电性能。此外，合成薄膜在电容器制造中不仅不会排除紙，而且在卷繞型电容器生产中，当紙已不能滿足新的技术要求时，还要用来弥补这种介质的不足。

非极性合成薄膜首先是用来制造損耗角小、時間常数很大及容量更稳定的电容器。极性薄膜和某些非极性薄膜可以扩大电容器的工作溫度范围，使其超过浸漬紙所能保証的溫度值。許多合成薄膜的一个重大优点是，用它可以制成电荷吸收量非常小的电容

器，这一点对一系列的新技术领域有很重大的意义。

现有的以合成薄膜做介质的各种电容器主要可分为以下几类：

- 1) 非极性薄膜电容器；
- 2) 极性薄膜电容器；
- 3) 复合介质薄膜电容器；
- 4) 薄层膜电容器。

下面将依据这种分类来叙述合成薄膜电容器，并分别考察各种薄膜本身的特性及用其制成的电容器的各种特性。

第 一 章

非极性薄膜电容器

§ 1 电容器制造用非极性薄膜的一般特性

非极性合成物质及用其制成的薄膜,主要的优点是损耗角小。用这种薄膜制成的电容器,其损耗角正切值比纸介电容器小一个数量级,也就是说,与云母、特种陶瓷这一类最好的高频材料的数量级相同。从损耗角的大小来看,可以把非极性薄膜电容器看作是云母电容器的代用品,特别是在较大的标称容量值时,前者尤为适宜。由于电容器用云母缺乏且昂贵,因此,凡是在容量稳定性方面容许比优良的云母电容器差一些的情况下,这种代用是极为适当的。从无机材料(云母)改用有机材料(合成薄膜),容量稳定性降低是难免的。这一方面是由于膨胀温度系数急剧增大,另一方面也应归因于硬度的降低。这两个因素导致薄膜电容器介质在温度变化时出现不可逆的机械变形,从而使容量的变化也不可逆。非极性薄膜电容器的电容温度系数,也比最好的云母电容器试样为大。必须指出,根据非极性合成物质的电子-变形极化特性,非极性薄膜的 $\text{TK}\epsilon$ 原则上是负值。在制成的电容器中, $\text{TK}\epsilon$ 通常也是负值,尽管在许多情况下,电容器受热时容量的降低小于薄膜介电系数在相应条件下的降低。有时甚至还发现容量随温度升高反而略有增大的情况。这可能是由于电容器芯子在受热时发生机械变形和极片膨胀引起的。

如果采用严密的生产工艺,非极性薄膜电容器的电容温度系数和容量稳定度,可以接近中等质量的云母电容器(即苏联国家标准B类或国际标准D类)所具有的相应值。因此,在极为重要

的一些电测量技术中，某些类型的非极性薄膜电容器作为精密容量的电容器应用。

由于这种电容器的损耗角甚小，可将其用来代替以水冷却的纸介电力电容器，后者用于中频范围 ($10^3 \sim 10^4$ 赫)，特别是用在电热装置中。在这种情况下，从纸改用为合成薄膜，可以降低电容器的过热，降低比例相当于损耗角降低的程度，即减少了十分之九左右。此时，可以不用水进行冷却，这就显著地简化了电容器的结构，并使其价格（尽管薄膜价格略高于纸）因而降低。

非极性薄膜通常有极高的体积电阻率，因此用其制成的电容器的时间常数也很大。在电容器制造中采用这种薄膜，可以得到时间常数超过 10^6 欧姆·法拉的特殊类型电容器，而纸介电容器的这一数值却很少超过 10^4 欧姆·法拉，即比前者小两个数量级。时间常数值如此之大的电容器，已用于各种类型的解算装置中。

非极性薄膜电容器的一个独特优点，是吸收系数很小，通常低于 0.1%。这就保证了电容器的剩余电荷值小。在应用到各种新型电子设备中时，这是此类型电容器的一种极其可贵的特性。但是，必须注意到，这种电容器在浸渍时，如果在各层薄膜之间和薄膜与箔极片之间所出现的孔隙为液体介质填满，则其吸收系数可能急增。此时，时间常数经常也因而显著降低。吸收系数的增大，是由于填满孔隙的液体中有自由离子存在，因而产生层间极化的缘故。而绝缘电阻（时间常数）的降低，则是因为靠近极片两边的薄膜边缘部分的液体导电。

从电容器制造的观点来看，非极性薄膜的缺点是介电系数小，通常在 2~2.5 的范围内。这比浸渍纸的介电系数小得多。浸渍纸视其密度和采用浸渍料的不同，介电系数范围可为 3.5~10。因此，在介质厚度相等时，非极性薄膜电容器的比容量[●]比纸介电容器的要小 $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ 。通常薄膜的厚度下限大于纸的最小厚

● 比容量表明电容器在单位体积内所具有的容量值，比体积的意义则相反。

——译者

度，而其容許工作場强却不及后者；在这种情况下，非极性薄膜电容器的比体积必然增大，这不仅是由于介电系数小，而且也是因为介质厚度增大的緣故。总之，在相同的容量值和工作电压值时，非极性薄膜电容器的体积和外形尺寸，較之紙介电容器要增大許多。这就是非极性薄膜电容器一个严重的缺点。如果把这种电容器与具有相同标称数据的云母电容器相比，虽然云母的 $\epsilon = 7$ ，但在比体积上，前者还是略小于后者。其原因是，由尺寸不大的单片云母所叠装成的云母电容器，其外形結構对电容器体积的影响，較之紧凑的卷繞薄膜电容器要明显得多。

目前，非极性薄膜电容器已广泛应用于无綫电接收机、电视机、各种类型的电子设备及計算机中。它們也用在电测量技术中。如前所述，这种电容器也开始用在中頻电热裝置的振蕩迴路中。

最近，非极性合成薄膜已开始在所謂剂量測定电容器中用作介质。这种电容器是用来探测放射性輻射的。

在根据电容器原理制成的电剂量計中，在将其送入需要探测有否輻射的空間之前，将电容器充电至一定电压；如果有輻射，則游离室（其中装有与电容器极片相接的电极）中空气的电导率增大，致使电容器因其放电而电压下降；根据电压下降大小即可判断輻射强度。

对于剂量測定电容器，要求它的自放电尽可能小，也就是說，使其尽可能有最大的時間常数。要使这种电容器的这一特性达到所需的数值（当容量在 300~500 微微法左右时，不小于 $(2\sim3) \times 10^6$ 欧姆·法拉），只有用电阻率特大的非极性合成薄膜才能得到。

現代电容器制造用的非极性薄膜主要是聚苯乙烯薄膜；至于聚四氟乙烯薄膜的应用，虽然在相当大的程度上受到价格昂貴的限制，目前也比較通用；聚乙烯薄膜則很少采用；聚丙烯薄膜的应用尚存在問題。

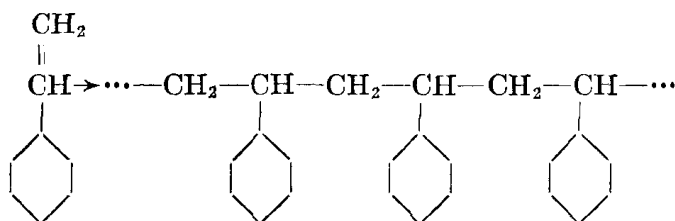
§ 2 聚苯乙烯薄膜——斯提罗弗列克斯●

苯乙烯 $C_6H_5CH=CH_2$ ，又称乙烯苯或苯基乙烯，系略有气味

● Styroflex, 商名。——譯者

的无色液体。其物理特性如下：压力为 760 毫米汞柱时，沸点为 145.2°C ，凝固点为 -30.6°C 。 20°C 时折射率为 1.5469，密度在 20°C 时为 0.9060。苯乙烯不溶于水，但可溶于某些有机溶剂，如汽油、四氯化碳等。苯乙烯可用各种不同方法制得，但工业上通常都用乙苯 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$ 制取，后者是用苯和氯代乙烷或用苯和乙烯合成的。

液体苯乙烯（单体）在电容器制造中可用作浸渍料，如国外一些公司生产的某几种纸介电容器就是用它作浸渍料的；但主要还是应用固体产物，即用原始单体制成的聚苯乙烯。制取方法是，在加热时用引发剂（通常是苯酰化过氧）使其聚合而成；在聚合过程中，苯乙烯分子在双键打开处结合，形成长链的聚苯乙烯分子：



所得分子的长度，表明聚合产物分子量的大小。此长度取决于聚合过程进行时的温度，并随温度的升高而缩减。如果在 200°C 聚合，则分子量小于 100000；在 100°C 时，约为 200000，而当聚合温度为 50°C 时，则分子量可达 350000，甚至还更大些。分子的平均长度也取决于原料的纯度，因为有杂质存在时，其原子可能在分子两端的自由键上结合，使分子长度停止增长，从而中断聚合。随着分子量的增大，聚苯乙烯的耐热性（可用软化点表示）也增大。按马丁氏法求得的软化点，一般为 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。如果在材料中还有剩余的单体，则软化点可能要降低。

早在本世纪三十年代初期，苏联科学院列宁格勒物理技术研究所首次发现聚苯乙烯有很高的电性能。И. И. 鲍戈罗季茨基 (Богородицкий) 于 1934 年发表了最初的研究成果，即将这种材

料实际用作高频介质，特别是用于电容器制造方面。

在好些年內，某些单位一直是小批制造小容量的聚苯乙烯电容器，所用薄膜是在实验室条件下用涂漆法得到的。

三十年代末期，德国聚苯乙烯电容器的生产开始迅速发展，因为当时已研究出制造柔韧聚苯乙烯薄膜（斯提罗弗列克斯）的方法。

用聚苯乙烯制取薄而柔的薄膜，其方法是，将加过热的聚苯乙烯通过挤嘴缝口压出来。待薄带从中压出后就进行拉伸。要同时在两个方向拉伸，力求薄带在两个方向的强度均匀增大。图1示出聚苯乙烯薄膜拉伸装置。在温度为 $150\sim 160^{\circ}\text{C}$ 时从挤嘴1缝口压出的聚苯乙烯薄膜，其两边被两个环形传送器2上的齿轮夹住，该传送器沿滑轮3转动；齿轮4紧拉着薄膜，以便从两个方向（即纵向和横向）拉伸；拉伸出的薄膜（称作“定向”薄膜）被卷绕在接受筒5上。

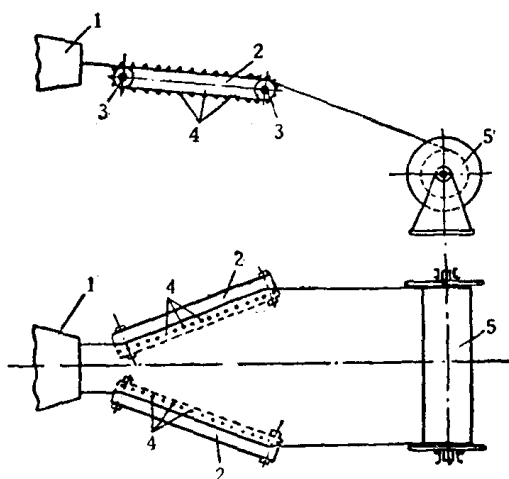


图1 用拉伸法制取聚苯乙烯薄膜的装置图

如果将溶液沉积在平滑表面上来制取聚苯乙烯薄膜，则这种非定向薄膜的机械性能，如表1所示，比定向薄膜的机械性能差得多。其原因是，倾倒溶液制成的薄膜中，聚苯乙烯的长分子卷成一团，分子间的内聚力因而减弱；拉伸灼热薄膜时，可使聚苯乙烯分子展直，并且按拉伸方向定向，这就增大了抗断裂强度，提高了伸长率，特别是显著地增大了抗弯强度。拉伸灼热聚合物以使分子定向的原理，不仅用于薄膜制造，也用在合成纤维，如卡普隆的生产中。

表 1 拉伸对聚苯乙烯薄膜机械性能的影响 (厚度 100 微米)

薄膜类别	极限拉伸强度 (公斤/厘米 ²)	伸长率 (%)	断裂前往复折叠次数
非定向	250~280	1	1
定向(拉伸400%)	920~1000	5	1000~2000

加热定向薄膜至软化点时, 薄膜总是要回到最初的状态, 因为被拉伸过的分子又缩卷成一团。此时, 薄膜长度缩减, 而宽度略有增大。图 2 示出定向聚苯乙烯薄膜 (20 微米厚) 试样的长度收缩率在不同温度时与加热时间和在一定加热时间 (1 小时) 与温度的关系曲线。试验时, 曾将试样任意挂在恒温箱中。在此试验中, 当温度为 100°C 时, 薄膜试样的长度缩小了二分之一以上。

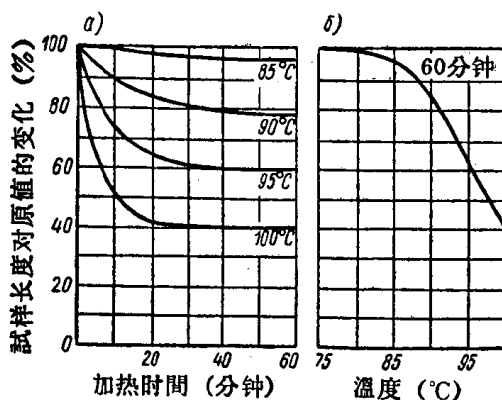


图 2 在不同温度时聚苯乙烯薄膜试样的长度收缩率与加热时间 (a) 和当加热时间一定时与温度 (b) 的关系曲线

为 800~900 公斤/厘米², 而伸长率为 2.8~3.2%; 这些数据表明, 通常的拉伸程度小于表 1 所示的数据。

聚苯乙烯薄膜的电特性很少与频率有关: 在 50 赫~1 兆赫范围内, $\epsilon = 2.5 \sim 2.6$, $\text{tg } \delta = (2 \sim 3) \times 10^{-4}$ 。薄膜的体积电阻率极大, 可达 $10^{19} \sim 10^{20}$ 欧姆·厘米 (所有这些都是室温条件下的数据)。

国外聚苯乙烯薄膜厚度下限为 10 微米, 苏联的为 20 微米; 上限约为 100~200 微米。但在电容器制造中很少采用厚度大于 40~50 微米的薄膜, 这种薄膜通常只是用来包封电容器芯子。

聚苯乙烯薄膜的密度为 1.04~1.05 克/厘米³; 极限拉伸强度的范围