

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 96103124.7

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

C08L 7/02

[43]公开日 1996年11月6日

[22]申请日 96.3.14

[30]优先权

[32]95.3.17 [33]US[31]405632

[71]申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72]发明人 S·B·布朗 C·F·R·黄  
S·T·莱斯 小·J·J·施科博  
J·B·亚特斯  
M·J·林威

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 罗才希

C08L 81/02 C08L 83/04

权利要求书 4 页 说明书 23 页 附图页数 0 页

[54]发明名称 含有聚苯醚、聚(亚芳基硫醚)和聚硅氧烷树脂的阻燃组合物

[57]摘要

提供非卤素阻燃的组合物, 包含相容化聚苯醚树脂、聚(亚芳基硫醚)树脂和聚硅氧烷树脂。该组合物可以进一步包含增强填料、润滑剂、金属盐及其他添加剂, 以便提供具有增强物理性能的组合物。用这种组合物模塑的制品可用于电气连接器工业。

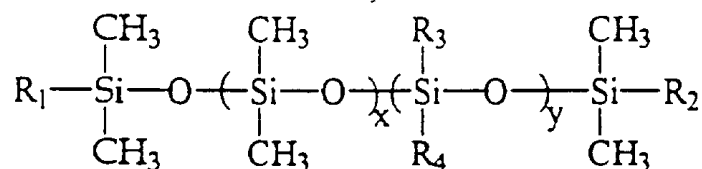
# 权 利 要 求 书

1. 一种组合物, 包含:

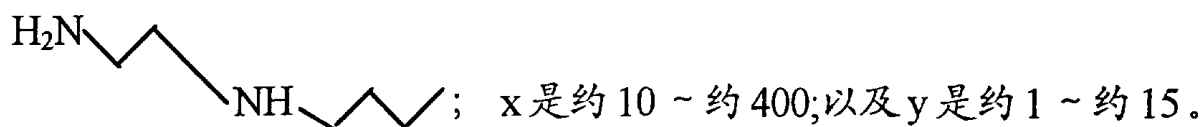
- (a) 一种相容聚苯醚树脂;
- (b) 一种聚亚芳基硫醚树脂; 以及
- (c) 一种聚硅氧烷树脂。

2. 权利要求 1 的组合物, 其中以组合物的总重量为基准, 相容性的聚苯醚树脂的含量为约 5% ~ 约 95%(重量); 聚亚芳基硫醚树脂的含量为约 5% ~ 95%(重量); 以及聚硅氧烷树脂的含量为足以使组合物的阻燃性较不含聚硅氧烷的相同组合物获得改善的水平。

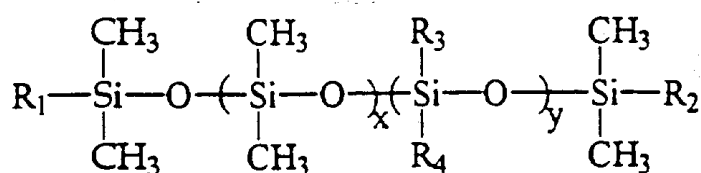
3. 权利要求 2 的组合物, 其中聚硅氧烷树脂包含下式的化合物:



其中 R<sub>1</sub> 和 R<sub>2</sub> 独立地是甲基、乙基、甲氧基或 3-(正丙胺); R<sub>3</sub> 是甲基或氧; R<sub>4</sub> 是

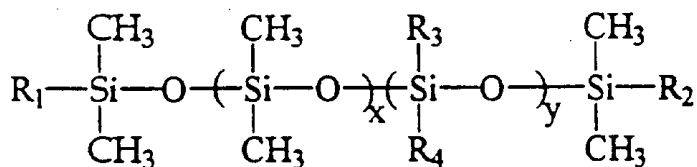


4. 权利要求 1 的组合物, 其中聚硅氧烷树脂包含下式的化合物:

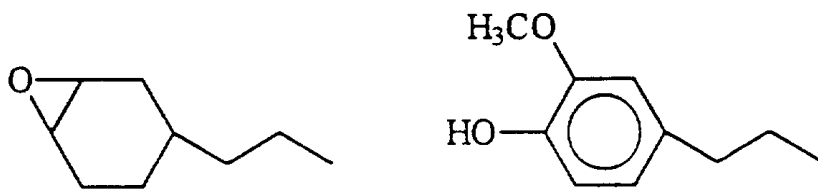


其中 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub> 和 R<sub>4</sub> 独立地是乙烯基或甲基但其条件是至少有一个 R 基是乙烯基；x 是约 25 ~ 约 3500 以及 y 是 0 ~ 约 600。

5. 权利要求 1 的组合物，其中聚硅氧烷树脂包含下式的化合物：

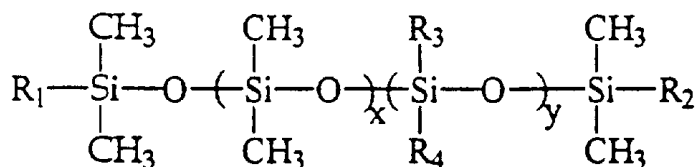


其中 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub> 和 R<sub>4</sub> 独立地是



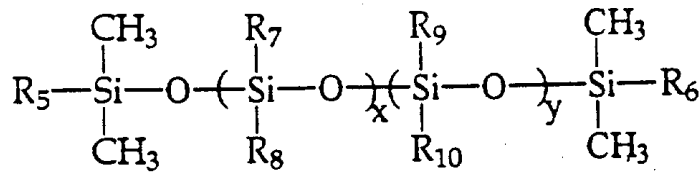
氯或甲基，但其条件是至少有一个基不是甲基；x 是约 15 ~ 约 100；以及 y 是约 0 ~ 约 20。

6. 权利要求 1 的组合物，其中聚硅氧烷树脂包含下式的化合物：



其中 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub> 和 R<sub>4</sub> 可以独立地是氢或 C<sub>1</sub>-6 的低级烷基，但其条件是，至少有一个基是氢；且其中 x 是约 10 ~ 约 400 而且 y 是 0 ~ 约 50。

7. 权利要求 1 的组合物，其中聚硅氧烷树脂包含下式的化合物；



其中 R<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>、R<sub>7</sub>、R<sub>8</sub>、R<sub>9</sub>和 R<sub>10</sub>可以独立地是 C<sub>1</sub>-6 的低级烷基或 C<sub>6</sub>-20 的芳基，且其中 x 是约 10 ~ 约 400 以及 y 是 0 ~ 约 400。

8. 权利要求 2 的组合物，进一步包含至少一种增强填料，其含量为，以组合物总重量为基准，约 2% ~ 约 50%(重量)。

9. 权利要求 8 的组合物，其中增强填料选自玻璃纤维、碳纤维、钛酸钾单晶纤维、氧化铝纤维、硅灰石、玻璃珠、中空玻璃珠、滑石、云母、白垩、石英、天然高岭土、煅烧高岭土，以及它们的混合物。

10. 权利要求 2 的组合物，进一步包含至少一种抗冲改性剂，其含量为，以组合物总重量为基准，约 2% ~ 约 20%(重量)。

11. 权利要求 10 的组合物，其中抗冲改性剂选自：

(i) 链烯基芳族化合物与二烯烃的嵌段共聚物；

(ii) 环氧官能的 α - 烯烃弹性体；以及

(iii) (i)和(ii)的混合物。

12. 权利要求 11 的组合物，其中嵌段共聚物是三嵌段共聚物。

13. 权利要求 12 的组合物，其中嵌段共聚物包括聚苯乙烯端嵌段和选择性氢化二烯衍生的中嵌段。

14. 权利要求 2 的组合物，进一步包括至少一种链烯基芳族聚合物。

15. 一种由组合物做成的制品，所说组合物包含：

(a) 一种相容性聚苯醚树脂；

(b) 一种聚亚芳基硫醚树脂；以及

(c) 一种聚硅氧烷树脂。

16.一种制备组合物的方法, 包括:

将相容性的聚苯醚树脂、聚亚芳基硫醚树脂和聚硅氧烷树脂均匀混合。

17.一种基本上由下列构成的组合物:

- (a)一种相容性的聚苯醚树脂;
- (b)一种聚亚芳基硫醚树脂; 以及
- (c)一种聚硅氧烷树脂。

18.一种基本上由下列构成的组合物:

- (a)一种相容性的聚苯醚树脂;
- (b)一种聚亚芳基硫醚树脂;
- (c)一种聚硅氧烷树脂; 以及
- (d)至少一种增强填料。

# 说明书

## 含有聚苯醚、聚(亚芳基硫醚) 和聚硅氧烷树脂的阻燃组合物

本发明涉及聚苯醚和聚(亚芳基硫醚)树脂共混物，该共混物具有增强的诸如阻燃和韧性等性能。

聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂共混物已广为人知，但是此类共混物若未在这两种材料间进行相容处理则通常发脆，且耐化学性也很差。为此，人们曾开发出许许多多的方法以便提供两种树脂间的相容性。这些方法一般地都涉及使聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂之一或二者官能化，指望在这两种树脂之间形成共聚物。然后生成共聚物作为其余部分的聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂的相容剂。聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂的各种相容共混物的例子可见诸于 U. S. 专利号 5, 290, 881、5, 122, 578、5, 292, 789 和 4, 528, 346 以及 EP-341422-A、EP-368413-A、EP-491884-A、JP 03121159-A 和 JP 04213357-A；所有上述均收做本文的参考文献。

尽管聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂单独地都具有低可燃性，但是二者的共混物的火焰特性对于许多要求严格耐火性的电子连接器用途来说是不能接受的，尤其是在极薄的壁部分。JP 03265661-A 披露了利用含卤素或磷的化合物阻燃剂的聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂共混物的改良阻燃组合物。但是，含卤素和磷的阻燃剂，由于当组合物被点燃时可能释放出有毒和腐蚀性烟气故对许多上述用途来说是不符合要求的。

可见，需要提供一种聚苯醚树脂和聚(亚芳基硫醚)树脂组合物，

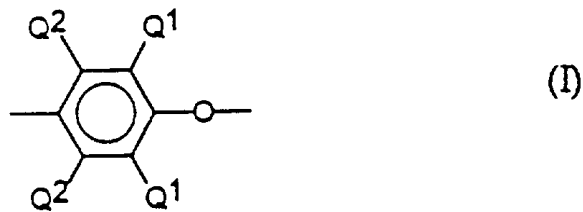
它不含卤素或磷阻燃剂，而能显示出诸如阻燃性、耐化学性和韧性等增强的性能。

现发现一种改良热塑性组合物已能全面地满足以上所讨论的要求。所说组合物包括：

- a) 一种相容的聚苯醚树脂，
- b) 一种聚亚芳基硫醚树脂，以及
- c) 一种聚硅氧烷树脂。

在较好的实施例中，该组合物可以进一步包含抗冲改性剂、填料和金属盐，以进一步提高最终组合物的综合性能。本文下面的说明将提供有关本发明的进一步细节。

用于本发明的聚苯醚树脂(以下称“PPE”)是已知的聚合物，包含式(I)所示的许多结构单元：



其中每个 Q<sup>1</sup> 独立地是卤素、伯或仲低级烷基(即含至多约 7 个碳原子的烷基)、苯基、卤代烷基、氨基烷基、烃氧基或卤代烃氧基，其中卤素和氧原子被至少 2 个碳原子分开；每个 Q<sup>2</sup> 独立地是氢、卤素、伯或仲低级烷基、苯基、卤代烷基、烃氧基或卤代烃氧基，其定义与 Q<sup>1</sup> 相同。多数情况下，每个 Q<sup>1</sup> 是烷基或苯基，尤其是 C<sub>1</sub>-<sub>4</sub> 烷基，且每个 Q<sup>2</sup> 是氢。

均聚和共聚 PPE 都包括在内。较好的均聚物是含有 2,6-二甲基-1,4-亚苯基醚单元的均聚物。合适的共聚物包括含有，例如，此种单元与 2,3,6-三甲基-1,4-亚苯基醚单元共同构成的无规共聚物。包括在

内的还有，含有通过接枝乙烯基单体或聚合物，如聚苯乙烯和弹性体，而制得的部分的 PPE，和耦联 PPE，其中耦合剂，如低分子量聚碳酸酯、醌类、杂环类和缩甲醛类；与两种 PPE 链的羟基按已知的方式发生反应生成较高分子量聚合物。

该 PPE 一般地具有介于约 3,000 ~ 40,000 的数均分子量和介于约 20,000 ~ 80,000 的重均分子量(按凝胶渗透色谱测定)。其特性粘度通常介于约 0.15 ~ 0.6dl/g(按溶于 25 °C 的氯仿中测定)。

PPE 典型地通过至少一种象 2,6-二甲苯酚或 2,3,6-三甲基苯酚之类的单羟基芳族化合物的氧化耦联制备。通常对此种耦联使用催化体系；催化体系典型地含有至少一种象铜、锰或钴化合物之类的重金属化合物，通常与其他材料结合使用。

对许多目的而言特别有用的 PPE 是那些包含具有至少一个含氮烷基端基分子的 PPE。该氮烷基基团一般位于羟基的邻位。含有此种端基的产物可以通过将一种适当的伯或仲一元胺，例如二正-丁基胺或二甲基胺作为一种成分加入到氧化耦联反应混合物当中来制备。常常存在的还有 4-羟基联苯基端基，典型地从一种反应混合物获得，其中存在一种副产物联苯酚合苯醌，尤其是在一种铜卤化物-仲胺或叔胺体系当中。典型地占高达该聚合物重量的约 90%的相当一部分聚合物分子可以含有所说含氮烷基端基和 4-羟基联苯基端基中的至少一种。

本专业的技术人员从以上描述中将会清楚，设想可用于本发明的 PPE 包括所有目前已知的 PPE，不论在结构单元或次要化学特征方面如何不同。

就本发明的一个实施例而言，重要的是至少一定量的 PPE 含至少一种反应性官能团，此种官能团可以存在于聚合物端基上也可以沿聚合物主链存在。



J 是 1 或 2； 以及

p: 当  $R^{15}$  与  $C^*$  形成环时是零, 否则是 1。

$R^{15}$  基可以是  $C_1 - 4$  伯或仲烷基, 如甲基、乙基、正丙基、异丙基、正丁基、异丁基或仲丁基。通常以伯基, 且尤其是甲基较好。

也可以是,  $R^{15}$  与分子中其他部分构成第二个 5-或 6-元环。为此目的, 要指定原酸酯环中的碳原子之一为  $C^*$ , 以便指出其作为所说第二个环的一部分的作用。

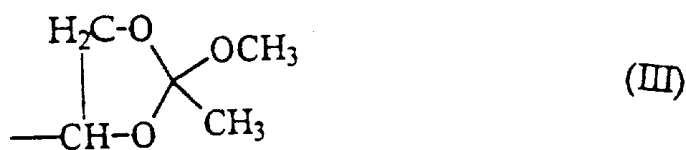
$R^{14}$  的含义可以是象上面对  $R^{15}$  定义时规定的  $C_1 - 4$  伯或仲烷基, 或者是  $C_1 - 10$  芳(较好是芳烃)基。最后, 还可以是,  $R^{14}$  和  $R^{15}$  连同与之相连接的原子一起构成一个 5-、 6-或 7-元环。这样, 本发明就包括某些螺原酸酯官能化 PPE。

$R^{16}$  基可以是氢或类似  $R^{14}$  和  $R^{15}$  的烷基。较好  $R^{16}$  是氢。

J 和 K 的数值视环状原酸酯部分是 5-元环还是 6-元环而定。一般, 5-元环较好; 就是说, K 是 0 且 J 是 1。但是, 本发明还包括其中存在 6-元环的组合物, 这便要求, 或者 J 和 K 二者均是 1, 或者 K 是 1 且 J 是 2。

下标 p 的数值也依原酸酯部分环状结构而定。若  $C^*$  是连带  $R^{15}$  一起的环状结构的一部分, 其所有 4 价均已满足, 于是 p 将为 0。若不是这种情况, 则 p 将是 1。

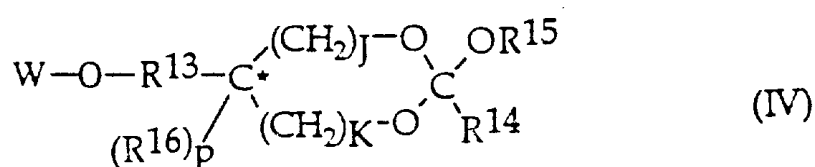
下列是可以存在于原酸酯官能团 PPE 中的一个示例性原酸酯部分(III):



而它还可以被称为 4-(2-甲氧基-2-甲基-1,3-二氧戊环基)基团, 而且通

常是较好的。用于制备这种化合物的中间体包括 4-羟甲基-2-甲氧基-2-甲基-1,3-二氧戊环，它可以通过甘油和原乙酸甲酯间的反应获得。U. S. 专利 5, 231, 197 (收做本文参考文献)披露用于制备基本上纯净形式的此种化合物及其结构相关化合物的改良方法及其获得的产物。

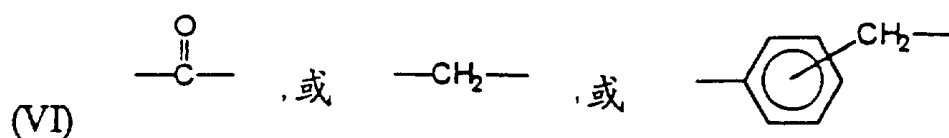
具有原酸酯官能部分的 PPE 较好通过 PPE 与至少一种可接枝烯链不饱和原酸酯单体熔融挤塑来制备。官能原酸酯单体可以用通式(IV)表示:



其中  $R^{14}$ 、 $R^{15}$ 、 $R^{16}$ 、 $Z$ 、 $J$ 、 $K$ 、 $p$  和  $C^*$  与前面的定义相同， $R^{13}$  是  $C_1 - 5$  亚烷基，而  $W$  是用下式(V)代表的可接枝的不饱和基团:

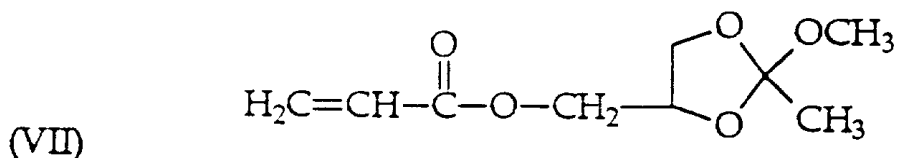


其中每个  $R^{11}$  可以独立地是氢或  $C_1 - 8$  基，或者其取代衍生物，或者也可以是芳基或其取代衍生物。每个  $R^{11}$  还可以是其他基团，只要该基团对原酸酯为惰性的。 $m$  的数值可等于或大于 1。 $R^{12}$  可以是下列式(VI)中的一个:

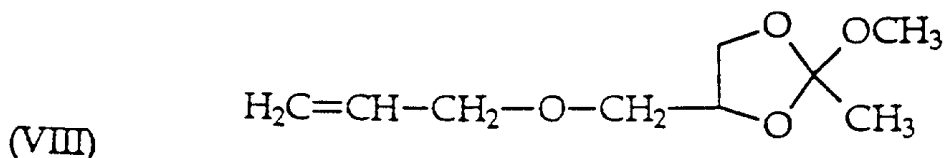


可用于本发明的单体的说明性实例包括 4-烯丙酰氧甲基-2-甲氧基-2-甲基-1,3-二氧戊环、4-甲基烯丙酰氧基-2-甲氧基-2-甲基-1,3-二氧戊环、4-烯丙酰氧甲基-2-甲氧基-2-苯基-1,3-二氧戊环以及 4-(2-甲氧基-2-甲基-1,3-二氧戊环基)甲基乙烯基苄基醚异构体的混合物。这类材料的制法及其与 PPE 的反应可见诸于 U. S. 专利号 5, 171, 866、5, 153, 290 和 5, 212, 255，同时收做本文的参考文献。

较好的乙烯基官能原酸酯单体是具有式(VII)的那些：



另一种较好乙烯基官能原酸酯单体可用式(VIII)代表：



在使用烯烃化合物制备官能化 PPE 的过程中有时用一种引发剂是有利的。适用于本发明的引发剂包括技术上普遍已知的游离基引发剂。具体的引发剂包括各种过氧化物和氢过氧化物。具体的例子包括过氧化苯甲酰、过氧化二枯基、2,5-二甲基-2,5-二(叔丁基过氧)己炔-3 和过氧化枯烯，优选 2,5-二甲基-2,5-二(叔丁基过氧)己炔-3。使用时，引发剂的用量可以在 PPE 重量的约 0.05%(重量)~约 0.5%(重量)之间变化。

象前面对环氧基团提到的，氯三嗪化合物的原酸酯衍生物也是有用的，包括 2-氯-4-(2-甲氧基-2-甲基-1,3-二氧戊环基)甲氧基-6-苯氧基-1,3,5-三嗪，仅举一例。有关合适三嗪化合物制备的参考文献。可见

诸于 U. S. 5, 132, 373, 收作本文参考文献。

上面提出的官能化试剂的用量, 即使 PPE 适当官能化所需数量, 是足以改善组合中各种不同成分间相容性的数量。有效数量一般为, 以 PPE 数量为基准, 至多约 8%(重量), 较好约 0.05%~约 4%(重量)。在最好的实施例中, 官能化试剂的数量, 以 PPE 数量为基准, 在约 0.1%~约 3%(重量)范围内。

在官能化 PPE 制备过程中, 使用至少一种对官能化试剂及其他成分基本上为惰性的润滑剂有时也是有利的。润滑剂的存在降低了生产官能化 PPE 以及由它制备的相容的共混合物所需熔体加工温度。结果, 凝胶生成量被大大减少。

合适的润滑剂对于本专业人员来说, 将是很清楚的; 通常, 它们是高润滑性固体或熔点较低的固体或油类。例子包括聚四氟乙烯、脂肪酸酰胺(如与本申请相关的, 与本申请相同拥有者的申请序列号为 07/815211 的申请(已放弃)中所披露并要求保护的)、烷基磷酸铝(如在与本申请相关的, 序列号为 07/816629 的申请中所披露并要求保护的)和氢化聚( $\alpha$ -烯烃)(如在与本申请相关的, 与本申请相同拥有者的, 序列号为 07/816430 的申请(已放弃)中以及相同拥有者的 U. S. 专利号 5, 214, 099 和 5, 281, 667 中所披露并要求保护的), 所有上述文献均收作本文的参考文献。

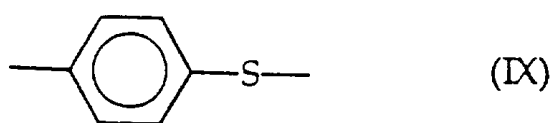
氢化聚( $\alpha$ -烯烃)通常是较好的。它们可以通过  $\alpha$ -烯烃的催化聚合然后氢化以消除残余的不饱和性来获得。可以用于其制备的催化剂包括阳离子和复分解催化剂。制备氢化聚( $\alpha$ -烯烃)的方法披露在, 例如 U. S. 专利号 4, 225, 739、4, 282, 392、4, 311, 864、4, 319, 065、4, 334, 113 和 4, 409, 415 中, 全都收做参考文献。其产物包括连同齐聚物在内的各种不同分子量的聚合物。

最好的氢化聚( $\alpha$ -烯烃)是运动粘度为约 2~20 厘沱(100 °C)且尤其是 8~12 厘沱的此类聚合物, (按 ASTM 方法 D445 测定)。它们可以从诸如 Henkel 公司以商品名 EMERY 的流体购得。

该氢化聚( $\alpha$ -烯烃)一般地按润滑量使用。以 PPE 重量为基准, 该

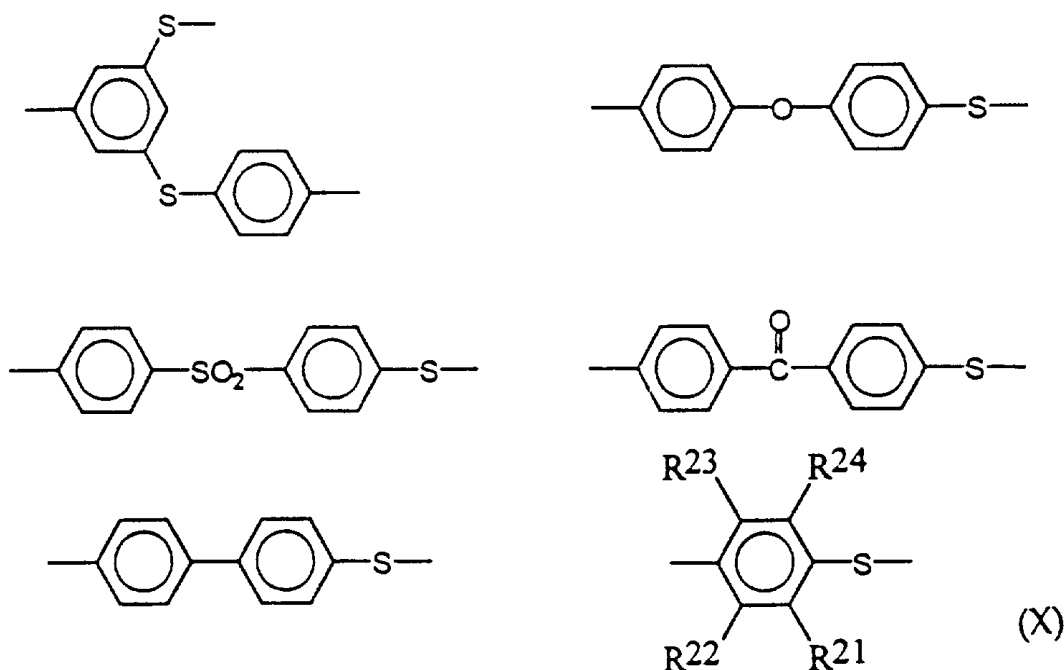
润滑量通常在约 1%~约 5%(重量)范围, 且较好在约 2%~约 4%(重量)范围。

用于本发明的聚(亚芳基硫醚)树脂(以下称“PPS”)系由含有中间被硫原子分开的亚芳基的已知聚合物衍生出来的。聚(亚芳基硫醚)树脂包括各种聚(亚苯基硫醚), 例如聚对苯硫醚和取代的聚对苯硫醚。典型的 PPS 聚合物包括至少 70%(摩尔), 较好至少 90%(摩尔)下列结构式(IX)的重复单元:



当式(IX)重量单元的数量少于 70%(摩尔)时, 耐热性不够。

其余 30%(摩尔), 较好 10%(摩尔)甚至更少的 PPS 重复单元可以是具有如下结构式(X)的单元:



其中  $R^{21}$ 、 $R^{22}$ 、 $R^{23}$  和  $R^{24}$  独立地选自由氢、卤素、烷基、苯基、烷氧基、芳氧基、硝基、氨基和羧基构成的一组基团。

本发明的 PPS 可以是线型、支链或硫化(交联)的聚合物或其混合物。分子量较低的线型 PPS 可以用例如 U. S. 专利号 3, 354, 129 的说

说明书中描述的方法制备，该说明书被收做本文的参考文献。具有较高分子量的线型 PPS 可以用例如 U. S. 专利号 3, 919, 177 的说明书披露的方法制备，该说明被收做本文的参考文献。支链 PPS 可以利用一种支化剂，例如 U. S. 专利号 4, 749, 163 披露的 1,3,5-三氯苯来制备，该专利内容被收做本文的参考文献。用 U. S. 专利号 3, 354, 129、3, 919, 177 和 4, 749, 163 的方法制成的聚合物的聚合度，可以在聚合之后把聚合物放在氧气氛或在诸如过氧化物交联剂的存在下加热固化，获得进一步提高。

PPS 可以是官能化的，也可以是未官能化的。如果 PPS 是官能化的，则该官能团包括所有能同 PPE 上的官能团或 PPE 本身反应的官能基团。合适的官能基团的例子包括，但不限于氨基、羧酸、金属羧酸盐、二硫化物、硫代以及金属硫醇盐等基团。

把官能基团结合到 PPS 中去的一种方法可见诸如 U. S. 专利号 4, 769, 424，该文献收做本发明的参考文献。其中公开了在卤素取代 PPS 中结合进取代硫代苯酚的方法。另一种方法涉及结合进含需要的官能基团的氯取代芳族化合物的方法，它是通过让 PPS 与碱金属硫化物和氯化芳族化合物反应实现的。第三种方法涉及 PPS 同含需要官能基团的二硫化物反应，典型地在熔体或在一种合适的高沸点溶剂，象氯苯中进行。

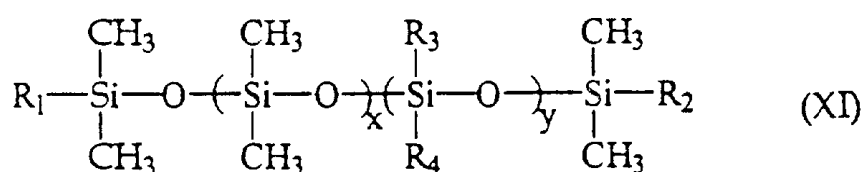
虽然用于本发明的 PPS 的熔体粘度并不受具体限制，只要能获得混合物，但是从 PPS 本身韧性出发，至少约 100 泊的熔体粘度是较好的，而且从可注塑性的观点出发约 10,000 泊或稍低的熔体粘度是较好的。

用于本发明的 PPS 还可以经处理以除掉不需要的夹杂离子，做法是将树脂浸泡在脱离子水中或者用酸处理，典型地用盐酸、硫酸、磷酸或醋酸，可参见日本专利公开号 3, 236, 930-A、1, 774, 562-A、1, 299, 872-A 和 3, 236, 931-A，全部被收做本文的参考文献。对某些产品用途来说，希望在 PPS 中有非常低的杂质含量。杂质含量通常用 PPS 试样燃烧后残余灰份的重量百分数来表示。典型地说，低于约

1%(重量)的 PPS 灰份含量是希望的, 较好的该灰份数值小于约 0.5%(重量), 最好的灰份数值小于约 0.1%(重量)。

本发明组合物还包含至少一种聚硅氧烷树脂。该聚硅氧烷树脂可以是官能化的也可以不是官能化的, 即未官能化的。“官能化的”意思是包括能与组合物中其他成分起化学反应的那些部分。能把未官能化聚硅氧烷转变成官能化聚硅氧烷的部分包括, 例如氢化物、羟基、氨基、苯氧基、环氧基、烷氧基、卤素和乙烯基。还可以使用相同聚硅氧烷树脂上的各种官能化基团的混合物。不同官能化聚硅氧烷树脂的混合物以及官能化与未官能化聚硅氧烷树脂的混合物。

官能化聚硅氧烷树脂的例子包括式(XI)的官能化树脂:



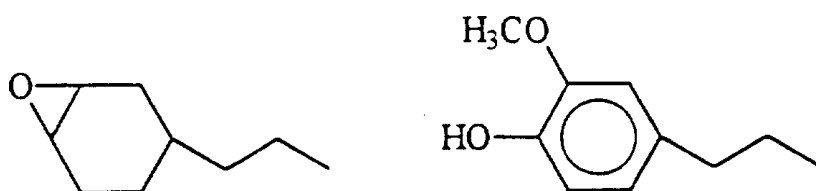
其中  $R_1$  和  $R_2$  独立地是甲基、乙基、甲氧基或 3-(正丙胺);  $R_3$  是甲基或氧(支链聚硅氧烷树脂);  $R_4$  是



$x$  是约 10 ~ 约 400; 以及  $y$  是约 1 ~ 约 15。

官能化聚硅氧烷树脂的另一些例子包括乙烯基官能化树脂, 其中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  独立地是乙烯基或甲基, 但其条件是, 至少有一个  $R$  基是乙烯基;  $x$  是约 25 ~ 约 3500, 且  $y$  是 0 ~ 约 600。

官能化聚硅氧烷树脂的又一些例子包括环氧基、苯氧基和卤素官能化树脂, 其中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$  独立地是

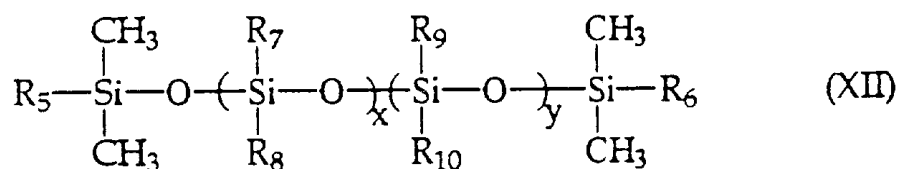


氯或甲基但其条件是至少有一个基团不是甲基；x 是约 15 ~ 约 100；以及 y 是 0 ~ 约 20。

官能化聚硅氧烷树脂进一步的例子包括氢化物，其中 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub> 和 R<sub>4</sub> 可以独立地是氢或 C<sub>1</sub>-6 低级烷基，较好是甲基，但其条件是至少有一个基是氢；而且其中 x 是约 10 ~ 约 400 以及 y 是 0 ~ 约 50。

较好是官能化聚硅氧烷树脂包括胺和环氧官能化树脂。

未官能化聚硅氧烷树脂包括式(XII)的树脂：



其中 R<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>、R<sub>7</sub>、R<sub>8</sub>、R<sub>9</sub> 和 R<sub>10</sub> 可独立地是 C<sub>1</sub>-6 低级烷基或 C<sub>6</sub>-20 芳基，较好是甲基和苯基，且其中 x 是约 10 ~ 约 400 以及 y 是 0 ~ 约 400。

聚硅氧烷树脂的比例在宽广范围内变化。聚硅氧烷树脂的用量一般是足以使组合物阻燃性比不含聚硅氧烷树脂的相同组合物有改善的数量。一般而言，聚硅氧烷树脂的范围，以组合物总重量为基准，介于约 0.1%(重量) ~ 约 15%(重量)之间。

本发明还包括，其中含有与 PPE 和 PPS 之一或两者相容的弹性体抗冲改性剂的组合物。

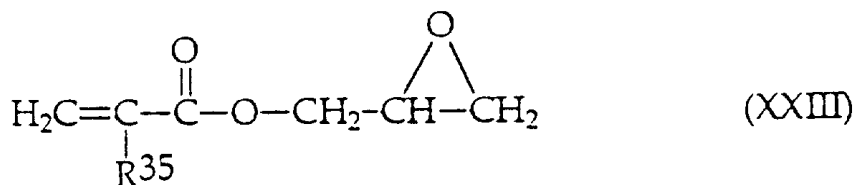
用于 PPE 和 PPS 的抗冲改性剂典型地是由一种或多种选自由烯烃、乙烯基芳族单体、丙烯酸和烷基丙烯酸及其酯类衍生物和共轭二烯构成的一组中的单体衍生来的。尤其较好的抗冲改性剂是橡胶状高分子量材料，包括室温下就显示出弹性的天然及合成聚合物材料。它们既可以是均聚物也可以是共聚物，包括无规、嵌段、辐射形嵌段、接枝和皮芯共聚物，以及上述各种形式的组合。抗冲改性剂可以是官能化的或不是官能化的。

可用于本发明的烯烃聚合物和共聚物包括低密度聚乙烯

(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、线型低密度聚乙烯(LLDPE)、全同立构聚丙烯、聚(1-丁烯)、聚(4-甲基-1-戊烯)等。另外的烯烃共聚物包括一种或多种 $\alpha$ -烯烃,尤其是乙烯,与可共聚合单体的共聚物,这些单体包括,例如醋酸乙烯、丙烯酸和烷基丙烯酸及其酯类衍生物,包括,例如丙烯酸乙酯、甲基丙烯酸、甲基丙烯酸甲酯等。合适的还有离子键树脂,可以是全部或部分用金属离子中和的。

一种类型的可用于本发明的烯烃弹性体是 $\alpha$ -烯烃与 $\alpha$ ,  $\beta$ -不饱和羧酸缩水甘油酯的共聚物。这里所用的 $\alpha$ -烯烃是指乙烯、丙烯和丁烯-1等。其中,乙烯较好。 $\alpha$ ,  $\beta$ -不饱和羧酸缩水甘油酯是通式(X X III)

的化合物:



其中 $\text{R}^{35}$ 代表氢原子或低级烷基。 $\alpha$ ,  $\beta$ -不饱和羧酸缩水甘油酯的例子包括丙烯酸缩水甘油酯、甲基丙烯酸缩水甘油酯和乙基丙烯酸缩水甘油酯。环氧官能的烯烃弹性体较好是一种含,以弹性体组合物的重量为基准,约60%~约99.5%(重量) $\alpha$ -烯烃和约0.5%~约40%(重量) $\alpha$ ,  $\beta$ -不饱和羧酸缩水甘油酯,较好约3%~约30%(重量)该缩水甘油酯的 $\alpha$ -烯烃共聚物。当缩水甘油酯的含量少于约0.5%(重量)时,得不到预期的效果,而当超过约40%(重量)时,则熔融共混过程中会出现凝胶,造成挤塑稳定性、可模塑性和产品机械性能等方面的恶化。合适的环氧官能的 $\alpha$ -烯烃弹性体包括:乙烯-丙烯酸缩水甘油酯共聚物、乙烯-甲基丙烯酸缩水甘油酯共聚物、乙烯-甲基丙烯酸缩水甘油酯-醋酸乙烯三元共聚物、乙烯-甲基丙烯酸缩水甘油酯-丙烯酸甲酯三元共聚物、乙烯-丙烯酸乙酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯三元共聚物。较好的环氧官能弹性体可以从 Sumitomo Chemical 公司以商品

名 IGETABOND 和 BONDFAST，和从 Elf Atochem 公司以商品名 LOTADER 获得。

尤其有用的一类抗冲改性剂是那些由乙烯基芳族单体衍生出来的。它们包括 AB 和 ABA 型嵌段、组成递变和辐射形嵌段共聚物以及乙烯基芳族-共轭二烯芯-皮接枝共聚物。

乙烯基芳族单体衍生树脂中尤其较好的子类是包含单链烯基芳烃(通常为苯乙烯)嵌段和共轭二烯(例如丁二烯或异戊二烯)嵌段或烯炔(例如乙烯-丙烯、乙烯-丁烯)嵌段并且用 AB 和 ABA 嵌段共聚物表示的嵌段共聚物。共轭二烯嵌段可以部分或全部地氢化，氢化之后的性能类似于烯炔嵌段共聚物。

合适的 AB 型嵌段共聚物披露于，例如 U. S. 专利号 3, 078, 254、3, 402, 159、3, 297, 793、3, 265, 765 和 3, 594, 452 以及 U. K. 专利 1, 264, 741，全部被收做本文的参考文献。AB 嵌段共聚物典型种的例子包括，例如，聚苯乙烯-聚丁二烯(SBR)、聚苯乙烯-聚(乙烯丙烯)(S-EP)、聚苯乙烯-聚异戊二烯和聚( $\alpha$ -甲基苯乙烯)-聚丁二烯。此种 AB 嵌段共聚物可以由市场上购得，包括 Phillips Petroleum，商品名 SOLPRENE；Shell Chemical Co., 商品名 KRATON；和 Kuraray，商品名 SEPTON。

另外，ABA 嵌段共聚物及其生产和氢化(希望的话)方法，可见诸 U. S. 专利号 3, 149, 182、3, 231, 635、3, 462, 162、3, 287, 333、3, 595, 942、3, 694, 523 和 3, 842, 029，全部收做本文参考文献。

三嵌段共聚物的例子包括，例如，聚苯乙烯-聚丁二烯-聚苯乙烯(SBS)、聚苯乙烯-聚异戊二烯-聚苯乙烯(SIS)、聚( $\alpha$ -甲基苯乙烯)-聚丁二烯-聚( $\alpha$ -甲基苯乙烯)和聚( $\alpha$ -甲基苯乙烯)-聚异戊二烯-聚( $\alpha$ -甲基苯乙烯)。尤其好的三嵌段共聚物可以从市场上购得 Shell Chemical 公司的 CARIFLEX 和 KRATON 购得。

另一类有用的抗冲改性剂可由共轭二烯衍生得来。虽然前面已经讨论了许多含共轭二烯的共聚物，但还有另外一些共轭二烯改性剂树脂，包括例如一种或多种共轭二烯的均聚物或共聚物，包括例如聚丁

二烯、丁二烯-苯乙烯共聚物、异戊二烯-异丁烯共聚物、氯丁二烯聚合物、丁二烯-丙烯腈共聚物、聚异戊烯二烯等等。也可以使用三元乙丙橡胶(EPDM)。它们可以典型化为包含以乙烯单元为主、适当数量的丙烯单元以及至多为 20%(摩尔)非共轭二烯单体单元。它们还可以含有象酸、噁唑啉、原酸酯、环氧、胺或酞之类的反应基团。U. S. 专利号 2, 933, 480、3, 000, 866、3, 407, 158、3, 093, 621 和 3, 379, 701 披露了许多 EPDM 及其生产方法, 这些专利也收做本文参考文献。

其它合适的抗冲改性剂是芯-皮型接枝共聚物。一般, 这类含有以共轭二烯橡胶或交联丙烯酸酯橡胶为主的芯, 和一层或多层在芯上聚合并且由单烷基芳烃和/或丙烯酸类单体单独, 或较好地与其他类乙烯基单体联合使用, 衍生而成的皮。这类抗冲击改性剂的各皮层还可以含有反应性基团, 例如酸、环氧、噁唑啉、原酸酯、胺或酸酐基团。芯-皮共聚物普遍地以切粒和粉末形式供应, 例如由 Rohm and Haas 公司供应的包括 EXL-3330、EXL-3691、EXL-2600、EXL-2607、EXL-2624、EXL-3386 和 EXL-3607 等品级, 可参见 U. S. 专利号 3, 808, 180、4, 034, 013、4, 096, 202、4, 180, 494 和 4, 292, 233。

有用的芯-皮共聚物还有, 其中的芯和皮之间的界面存在着一种独特的互穿网络, 由使用的树脂构成。在这方面尤其较好的是由 GE Plastics 公司提供, 商品名为 GELOY 树脂的 ASA 型共聚物, 可参见 U. S. 专利号 3, 944, 631, 该专利收做本文参考文献。

此外, 还可以使用共聚或接枝了带有官能团和/或极性或反应性基团的各种单体的上述聚合物或共聚物。最后, 其他合适的抗冲击改性剂包括 Thiokol 橡胶、聚硫橡胶、聚氨酯橡胶、聚醚橡胶(例如聚环氧丙烷)、氯醚橡胶、热塑性聚酯弹性体以及热塑性聚醚酯和聚醚酰胺弹性体。

抗冲击改性剂或其他树脂类材料的比例可在宽广范围内变化。冲击改性剂的用量一般地以足以改善组合物的韧性为准。象二嵌段或三嵌段共聚物这类抗冲击改性剂, 使用时通常的含量为每 100 份 PPE 最

多约 50 份。环氧官能烯烃弹性体用作抗冲击改性剂时通常的含量为每 100 份 PPS 最多约 50 份。还可以含有其他抗冲击改性剂。

按本发明的聚合物混合物还可以包含一种非弹性体金属盐，其熔融温度低于聚合物混合物的混炼温度，其中的例外是二烷基二硫代次磷酸的金属盐。重要的是金属盐的熔融温度应低于聚合物混合物的混炼温度；当该熔融温度等于或者高于混炼温度时，则金属盐对机械性能的改善效果就会降低。混炼温度是按本发明的聚合物混合物各成分在熔融条件或类似条件下混合成一团或多或少均一的物料的温度。混炼温度一般高于约 285 °C，通常在大约 300 ° ~ 350 °C 之间。

适合的金属盐为无机或有机盐，较好是有机酸金属盐。合适的有机酸是饱和及不饱和脂族羧酸、芳族羧酸、脂族及芳族磺酸或磷酸以及烷基硫酸氢盐。该盐的有机部分较好具有低于约 500 的分子量，更好低于约 300。

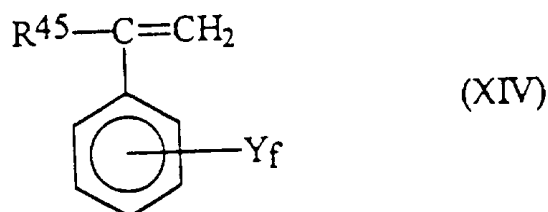
具体的有机酸包括，但不限于苯甲酸、棕榈酸、月桂酸、醋酸、硬脂酸、葡糖酸以及十二烷基苯磺酸。

合适的金属盐可以从范围宽广的金属中挑选，只要盐的熔融温度低于聚合物混合物混炼温度。象钙、铝和锌等金属是较好的，但是这并不排除象钠、锂、钾、钡、铍、镁、铜、钴和铁等金属。特别以硬脂酸金属盐较好。金属盐的比例范围较宽。金属盐的用量一般以足以改善组合物韧性为准。金属盐使用时，其用量有利地为组合物总重量的约 0.01% ~ 约 5%。

在本发明组合物中还考虑到添加增强填料。合适的增强填料是那些能提高共混组合物刚度的物质。其中，纤维材料是较好的，尤其是由低碱 E-玻璃制成的玻璃纤维，其纤维直径从约 8 μ ~ 约 14 μ。成品模塑件中玻璃纤维的长度典型地，例如在约 0.01mm ~ 约 0.5mm 之间。玻璃纤维可以做成粗纱或切断或磨玻璃纤维来使用，而且可以给其施加以硅烷为主要成份的合适油剂及粘合促进剂或促进剂体系。增强纤维的用量一般以足以改进组合物强度和刚度为准。增强填料的用量有利地为组合物总重量的约 5% ~ 约 60%，尤其是约 10% ~ 40%。

也可以使用其他纤维增强材料，例如碳纤维，钛酸钾单晶纤维、石膏纤维、硅灰石纤维、氧化铝纤维或石棉纤维。非纤维材料，例如玻璃珠、空心玻璃珠、滑石粉、云母、白垩、石英、天然或煅烧高岭土，当与玻璃纤维联合使用时则是另一种较好的填料。象玻璃纤维一样，后一类填料也可以施加以油剂和/或粘合促进剂或粘合促进剂体系，一种非纤维状同时又是扁平构造的填料，例如滑石、云母和扁平状高岭土，同玻璃纤维的联合使用时对某些用途如减少最终组合物各向异性特别有利，各向异性是由于玻璃纤维在加工过程中沿充模方向取向造成的。非纤维填料的加入量可为整个组合物总重量的 0%~ 约 50% 范围。

本发明组合物还可以含有至少一种链烯基芳族化合物的聚合物。合适的这类型聚合物可以通过本门技术已知的方法制备。包括本体、悬浮及乳液聚合。它们一般含至少约 25%(重量)从式(XIV)的链烯基芳族单体衍生的结构单元：



其中  $\text{R}^{45}$  是氢、低级烷基或卤素；Y 是氢、乙烯基、卤素或低级烷基；以及 f 是 0 ~ 5。这类树脂包括苯乙烯、氯苯乙烯和乙烯基甲苯的均聚物；苯乙烯同一种或多种由丙烯腈、丁二烯、 $\alpha$ -甲基苯乙烯、乙基乙烯基苯、二乙烯基苯和马来酐为代表的单体生成的无规共聚物；以及橡胶改性聚苯乙烯，包括共混物和接枝物，其中的橡胶是聚丁二烯或一种由约 98% ~ 65% 苯乙烯和约 2 ~ 35% 二烯单体生成的橡胶状共聚物。这类橡胶改性聚苯乙烯包括高抗冲击聚苯乙烯(常称为“HIPS”)。还可以使用具有线型嵌段、辐射状嵌段和组成递增嵌段共聚物构造的苯乙烯和丁二烯非弹性体嵌段共聚物组合物。它们可从市场上购得如 Fina Oil 公司的 FINACLEAR(商品名)树脂以及从 Phillips

Engineering Resins K-RESINS(商品名)。

当含有链烯基芳族化合物时，其用量一般为组合物总重量的约1%~25%，较好约5%~约15%。

本发明的各组合物成分比，均以组合物总重量百分数表示时，可以是，约5%~约95%(重量)PPE树脂、约5%~约95%(重量)PPS和约0.1%~约15%(重量)聚硅氧烷聚合物，而且还进一步包括至多约8%(重量)的官能化试剂、0%~约20%(重量)环氧官能弹性体、0~约20%(重量)弹性体嵌段共聚物、0%~约25%(重量)链烯基芳族聚合物以及0%~约10%(重量)金属盐。

组合物中 PPE 含量较好为，以全部组合物的重量百分数表示，约5%~约95%(重量)，更好为25%~约40%(重量)，且最好约30%~约35%(重量)。组合物中 PPS 的含量较好为，以全部组合物的重量百分数表示，约5%~5%(重量)，更好约40%~约65%(重量)，且最好约50%~约60%(重量)。组合物中聚硅氧烷含量，以全部组合物的重量百分数表示，为约0.1%~约10%(重量)，更好约0.1%~约5%(重量)，且最好约0.5%~约2.0%(重量)。组合物中官能化试剂的含量，以全部组合物重量百分数表示，较好约0.1%~约8%(重量)，更好约0.25%~约3%(重量)，且最好约0.5%~约2%(重量)。当用环氧官能弹性体做为一种冲击改性剂时，不论是另外还加其他环氧化合物抑或单独使用，其含量，以全部组合物的重量百分数表示，较好为约2%~约18%(重量)，更好约5%~15%(重量)，且最好约7%~约12%(重量)。组合较好含弹性体嵌段共聚物，其含量，以全部组合物的重量百分数表示，为约2%~约18%(重量)。更好约3%~约10%(重量)，且最好约4%~约7%(重量)。金属盐，以组合物总重量百分数表示，较好约占约0.05%~约5%(重量)，更好约占约0.1%~约1%(重量)，且最好约占约0.1%~约0.3%(重量)。较好 PPS 与 PPE 的重量比介于约75:25到约30:70，更好介于约70:30到约50:50，且最好介于约67:33到约62:38。较好 PPE 与官能化化合物含量的重量比介于约93:7和约99:1之间，更好介于约95:5和约99:1之间，且最好介于约96:4和98:2

之间。较好组合物中环氧官能弹性体和弹性体嵌段共聚物的重量比介于约 15:2 至约 5:10，更好介于约 12:3 至约 6:6，且最好介于约 10:6 到约 7:5。较好在组合中环氧官能弹性体和弹性体嵌段共聚物合计总重量百分数，以组合物总重量百分率表示，介于约 5%和约 21%(重量)，更好介于约 8%和约 16%(重量)，且最好介于约 10%~约 14%(重量)之间。典型地说，当使用增强填料时，冲击改性剂的含量相当地低，一般在组合物总重量的 5%(重量)以下。较好该组合物不含附加的象聚酯、聚酰亚胺、聚酰胺和聚碳酸酯之类的树脂材料。组合物确切比例的确切部分地取决于该组合物预期的最终使用场合以及为该场合所需具备的性能。

本组合物在不含卤素及磷阻燃剂情况下表现出在韧性和阻燃方面的改善，这两种性能对许多电子器件的应用是关键性的。该组合物还进一步表现出不飞边特性和高耐化学。本发明组合物表现出的其他有利的性能包括低热膨胀系数、低吸湿性、高热畸变温度和长期热稳定性。而且，本发明组合物还表现提高的落镖耐冲击性和改善的断裂张力伸长。

这种组合物可以含也可以不含传统添加剂，象增塑剂、稳定剂、抗氧化剂、结晶成核剂、润滑剂、抑制剂和脱模剂。

可以用各种各样的方法制备本发明组合物。一种制备原酸酯官能 PPE/PPS 组合物的方法包括将 PPE 官能化和随后与 PPS 和添加剂的混炼结合在熔融混炼的一步操作中。例如，可以把 PPE、可接枝原酸酯、游离基抑制剂和润滑剂加入一台螺杆挤塑机中，其中在头几个机筒段里温度和混合区适合于促进原酸酯官能团高效地接枝到 PPE 上。可以把 PPS 和添加剂(任选地以母料的形式)在适当的下游加料口加入到同一台挤塑机中去。任选地，还可以在聚亚芳基硫醚加料口前面或该聚亚芳基硫醚加料口后面的机筒段，也可以在这两处对挤塑机抽真空。任选地，还可以把一部分 PPS、添加剂，或者二者的各种组合同 PPE 和原酸酯单体一起经喉部加入。

该组合物也可以按两步工艺制造，包括在单独的反应步骤中合成

原酸酯官能 PPE 和随后的把该原酸酯官能 PPE 同聚亚芳基硫醚树脂以及任选的包括抗冲击改性剂在内的添加剂熔融混合(较好用挤塑)。

待官能团化 PPE 较好具有约 0.19dl/g ~ 约 0.80dl/g(按 25 °C 氯仿溶液测定)的特性粘度, 且更好约 0.25dl/g ~ 约 0.49dl/g。结合进 PPE 的原酸酯官能度较好, 按 PPE 计, 介于约 0.4% ~ 约 3%(重量)(按质子 NMR(核磁共振)光谱法测定)。

### 实例

用一台 Werner-Pfleiderer 双螺杆挤塑机在约 290 ~ 340 °C 以及混炼期间对熔体施以 10 ~ 20 英寸汞柱真空, 将表 1 的各种组合物进行挤塑。获得的组合物用一台 VanDorn 注塑机进行模塑, 温度设定约 300 ~ 320 °C, 且模温约 120 ~ 150 °C。按照保险业实验所公报 94 方法(UL94)对全部组合物做了可燃性试验。尤其是, 测定了平均火焰熄灭时间和最长火焰熄灭时间并做出了 UL94 等级评定。还按 ASTM D256(试样尺寸 2.5 英寸 × 0.5 英寸 × 0.125 英寸)测定组合物试样的缺口伊佐德冲击强度, 按 ASTM D3763(用 4 英寸直径、0.125 厚的圆盘)测定 Dynatup(断裂能、落镖试验)强度, 按 ASTM D790(用试样尺寸为 6 英寸 × 0.5 英寸 × 0.25 英寸)测挠曲模量和挠曲强度, 按 ASTM D648(试样尺寸 6 英寸 × 0.5 英寸 × 0.25 英寸)测 264 磅/平方英寸载荷下的热挠度以及按 ASTM D638 测张力屈服和断裂张力伸长。

采用的实际挤塑条件可能会影响获得的共混物的物理性能。在本发明的一个实施例中, 有利地将 PPE 同官能化试剂预混制成官能化 PPE, 当做一种相容化 PPE 使用。然后把该官能化 PPE 同其余的成分混合制成最终组合物。我们的想法是, 通过在加入 PPS 之前将 PPE 官能化, 一俟官能化试剂与 PPE 之间希望发生的反应实现之后便可避免官能化试剂同 PPS 反应。同 PPS 混合之前把 PPE 同官能化试剂预混还可以使官能化试剂最大程度地被用于 PPE 官能化。在另一实施例中, 采用单台有至少 2 个成分加入口的挤塑机。把 PPE 和官能化试剂加入挤塑机喉部(第一口)后混炼。同时, 在第一口下游的各口加入其它各成分, 且混炼继续进行。较好对挤塑机的每个部分都抽真空。典

型的混炼温度在约 290 ~ 340 °C 之间。

在下面的实施例中使用的物料如下：

PPE 是聚(2,6-二甲基亚苯基醚)树脂，按 25 °C 氯仿溶液测定的特性粘度约为 0.46dl/g，由 GE Plastics 提供。

PPE-EP 是通过 PPE 同大约 4%(重量)的 2-氯-4-(2,4,6-三甲基苯氧基)-6-环氧丙氧基-1,3,5-三嗪(MGCC)反应制成的环氧官能化 PPE。

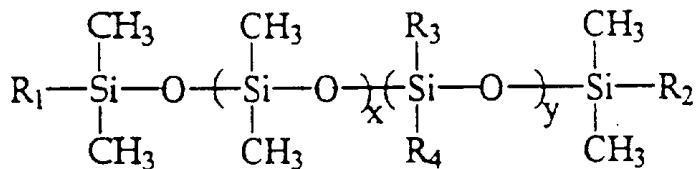
PPE-OE 是通过 2%(重量)的丙烯酸原酸酯(式VII)同 PPE 挤塑制成的原酸酯官能化 PPE。PPE-OE 使用前要在约 110 °C 下干燥。

PPS-1 是熔体流动速率为 42g/10min(300 °C，载荷 1kg)的线型 PPS。

SIL-1 是聚合度约 100 的甲基苯基硅氧烷流体，系由 GE Plastics 提供的 SF1265。

SIL-2 是聚合度约 50 的甲基硅氧烷流体，系由 GE Plastics 提供的 SF9650。

SIL-3 是胺官能化聚硅氧烷流体，其通式为：

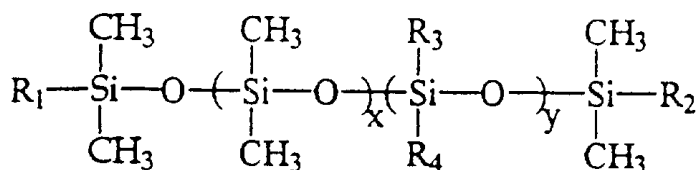


其中 R<sub>1</sub> 和 R<sub>2</sub> 各是甲氧基，R<sub>3</sub> 是分支点的氧，R<sub>4</sub> 是

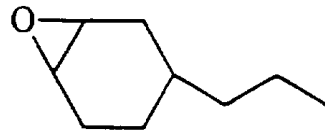


x 是约 50，以及 y 是约 4，系由 GE Plastics 获得的 SF1706。

SIL-4 是环氧官能化聚硅氧烷流体，结构式为：



其中 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 和 R<sub>4</sub> 各是



, R<sub>3</sub> 是甲基,

x 是约 600 以及 y 是约 5, 系由 GE Plastics 提供的 UV9315。

玻璃纤维-1 是 G-型切断玻璃纤维, 平均长度 1/8 英寸, 平均直径 10 μ。该玻璃纤维由 Owens-Corning 公司获得, 品级为 497EE。

玻璃纤-2 是 G-型切断玻璃纤维, 平均长度约 1/8 英寸, 平均直径 10 μ。该玻璃纤系由 Owens-Corning 公司提供的, 品级为 187A-AA。

表 1 中的数据说明了含有聚硅氧烷树脂的相容 PPE/PPS 组合物具有增强的耐火性能。试样 1 和 5 采用一种环氧官能化 PPE(PPE-EP)为相容化 PPE。对照试样 1(不含聚硅氧烷树脂)与试样 2 ~ 5(每个均含有有效量的聚硅氧烷树脂)比较证明, 含聚硅氧烷树脂的试样的熄灭时间缩短了。试样 5 是聚硅氧烷树脂含量超出为提供增强耐火性的有效数量的范围, 因而熄灭时间延长的例子。试样 6 和 7 是采用原酸酯官能化 PPE 做为相容化 PPE 的例子, 同样也显示了, 含有聚硅氧烷树脂的相容化 PPE/PPS 组合物相对于不含硅氧烷流体的对照试样(试样 8), 具有优异的熄灭时间。应当指出, 给出这些实例不过为说明本发明的某此实施方案而已, 故不应在任何意义上构成对本发明的限制。

表 1

试样	1	2	3	4	5	6	7	8
PPS1	41	41	41	41	41	41	41	41
PPE-EP	18	18	18	18	18	0	0	0
PPE-OE	0	0	0	0	0	18	18	18
玻璃纤维-1	40	40	40	40	40	0	0	0
玻璃纤维-2	0	0	0	0	0	40	40	40
SIL-1	0	1	0	0	0	1	0	0
SIL-2	0	0	1	0	0	0	0	0
SIL-3	0	0	0	1	3	0	0	0
SIL-4	0	0	0	0	0	0	1	0
NI	-	-	-	-	-	0.98	1.05	1.03
U-NI	-	-	-	-	-	5.38	4.08	5.7
挠曲模量	-	-	-	-	-	1653	1371	1794
挠曲强度	-	-	-	-	-	23040	15710	25540
抗张强度	-	-	-	-	-	19460	19230	19980
张力伸长	-	-	-	-	-	3.7	3.8	3.6
燃烧时间	6.5	4.6	3.99	3.7	8.8	3.8	6.3	6.5

HDT - °F; NI - 英寸磅/英寸; 挠曲模量 - 千磅/平方英寸; 挠曲强度 - 磅/平方英寸; 抗张强度 - 磅/平方英寸; 张力伸长 - %; 燃烧时间 - 秒。