

一种海底电缆及其制备方法和应用

本申请要求于 2023 年 11 月 09 日提交中国专利局、申请号为 202311486890.7、
5 申请名称为“一种海底电缆及其制备方法和应用”的中国专利申请的优先权，其全部
内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及通信设施技术领域，尤其涉及一种海底电缆及其制备方法和应用。
10

背景技术

海底电缆是一种将光缆或电缆通过海底连接两地之间的通信系统，主要用于实现
跨海洋、跨海峡等长距离通信。海底电缆是现代通讯技术中的重要组成部分，对于推
动全球信息化进程和促进地区经济发展具有重要意义。

15 海底电缆通常由多种部分组成，其中包括电缆芯、涂层、绝缘材料、外护层、连
接器、插头、终端设备等。电缆芯是核心部分，是由多股铜线或光纤缠绕成的芯材，
它负责信号的传输。涂层或绝缘材料用于包覆电缆芯，防止电缆芯与海水接触造成短
路或数据丢失。外护层则用于保护电缆，使其能够承受海底环境的恶劣条件。连接器
和插头是电缆的必要组件，用于连接电缆和设备。终端设备用于将海底电缆的信号转
20 换为能够被理解的信息，并进行相关的处理。

目前，海底电缆普遍使用交联聚乙烯作为绝缘层的主要成分，采用交联聚乙烯作
绝缘的电缆，其长期最高允许工作温度为 90℃，国际电工委员会（IEC）的标准 IEC
60216-1 规定，交联聚乙烯的短时过负荷温度建议为 130° C，在该温度下的运行时间
不应超过 100 小时；160° C 为极限温度，运行时间不应超过 50 小时，热寿命可达 40
25 年。由于海缆载流量与导体最大工作温度有直接关系，绝缘材料的长期耐热性能对海
底电缆传输容量产生了一定程度的限制。随着海缆传输容量需求的不断提升，对海缆
绝缘最高耐热温度也提出了更高的要求。

发明内容

为了解决现有技术存在的问题，本申请提供一种海底电缆及其制备方法和应用。
30 本申请通过特定的硫化剂和抗氧剂制备得到一种运行温度显著提升的绝缘层材料，其
可以显著提高海底电缆的容量。

第一方面，本申请提供一种绝缘材料，包括：聚乙烯、硫化剂和抗氧剂；
所述硫化剂为过氧化二异丙苯；
所述抗氧剂为四季戊四醇酯；
35 所述聚乙烯、硫化剂和抗氧剂的质量比为（100）：（0.8-2.5）：（0.1-0.4）。
可选地，所述聚乙烯、硫化剂和抗氧剂的质量比为（100）：（1.3-1.9）：（0.15-
0.31）。

现有技术中常规的交联聚乙烯绝缘材料的最高长期运行温度仅为 90℃，影响了海缆可承载的电流，继而影响载流量。

- 本申请提供一种采用特定的硫化剂和抗氧剂制备的交联聚乙烯绝缘材料，其长期运行温度提升至 105℃ 以上，同时老化前的抗张强度 $\geq 17\text{Mpa}$ ，断裂伸长率 $\geq 500\%$ ，体积电阻率(23℃) $\geq 1.0 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{m}$ ，介电常数 $\leq 2.3-2.35$ ，介质损耗角正切 $\text{tg } \delta \in (0.0005, 0.001)$ ，短时工频击穿强度(23℃) $\geq 40\text{kV/mm}$ ，熔流率(190℃/2.16kg)介于 0.7-1.1 之间。可选的，熔流率在 0.95 时性能更优。

- 除此之外硫化剂含量对交联聚乙烯绝缘性能有显著影响，若含量过少，则无法满足材料交联生产效率，交联度不足，进而影响力学性能和耐温性能；含量过高则会导致材料过交联及交联副产物产量增加，不利于产品质量控制。

抗氧剂的含量对绝缘的电气、热和机械性能等有显著影响。同时，抗氧剂作用机理是清除聚合物中的活性自由基，因此对材料交联反应也有显著影响。

可选地，所述聚乙烯为低密度聚乙烯，在所述绝缘材料中质量百分含量为 80-95%。

可选地，所述抗氧剂为四季戊四醇酯 1010 或四季戊四醇酯 1035。

- 15 可选地，还包括阻焦剂和增塑剂。

可选地，所述阻焦剂包括：苯甲酸、邻苯二甲酸酐或 N-环己基硫代邻苯二酰亚胺中的一种或多种；所述增塑剂包括：2-萘硫酚、二甲基硫酚或五氯硫酚中的一种或多种。

- 20 可选地，以重量份计，所述绝缘材料包括聚乙烯 100 份、硫化剂 0.8-2.5 份、抗氧剂 0.1-0.4 份、阻焦剂 0.4-1.2 份和增塑剂 0.8-2 份。

第二方面，本申请提供一种海底电缆，所述海底电缆包括光纤单元和导体；所述光纤单元被所述导体包裹。

- 同时，目前光纤复合海底电缆正常运行时，光纤单元一般放置在外层成缆填充间隙内，无法准确测量其运行温度，这将对海缆的后期运维检测产生不利影响。而本申请将光纤单元置于被导体包裹的位置，其可以通过光纤准确测量海底电缆的运行温度，方便精准定位故障地点。

可选地，所述导体包括内层导体和外层导体；所述外层导体为梯形绞合导体、SZ 型绞合导体或分割绞合导体中的一种或多种。

可选地，所述导体的原料包括铜、镀锡铜、铝或铝合金中的一种或多种。

- 30 可选地，还包括冷却装置。

本申请进一步在海底电缆中设置冷却管道，其可以设置于填充层内，在运行温度超过某一阈值后进行降温，防止超温。

可选地，所述海底电缆中绝缘层采用所述绝缘材料制备得到。

- 35 可选地，所述海底电缆中在所述导体外依次设有导体屏蔽层、绝缘层、绝缘屏蔽层、阻水层、金属屏蔽层、非金属护套层。

可选地，所述海底电缆中所述线芯与填充层绞合后，外依次包覆有包带层、内垫层、铠装层和外被层。

可选地，所述导体屏蔽层和所述绝缘屏蔽层为乙烯-醋酸乙烯共聚物添加炭黑制得，制备过程中加入耐热型硫化剂。

可选地，所述导体屏蔽层、所述绝缘层和所述绝缘屏蔽层采用三层共挤方式制备得到，具体流程如下：

预热导体芯的温度至 70-120℃，采用三层共挤的方式依次挤出导体屏蔽层、绝缘层和绝缘屏蔽层。

5 可选地，所述阻水层为半导体阻水带。

可选地，所述金属屏蔽层包括合金铅套、铜带、铜丝、铜管中的一种或多种。

可选地，还包括冷却装置；所述冷却装置设置于填充材料之间。

可选地，所述冷却装置为冷却液体管道、惰性气体冷却管道或磁冷却装置。

10 所述液体冷却管道工作原理为：温度大于 70℃，触发冷却液装置工作，冷却液体可以为水、矿物油、电子氟化液等；所述惰性气体为氮气或二氧化碳；所述磁冷却装置是利用磁场对材料进行制冷的技术，通过减少物质内部的热量来降低其温度，其冷却原理是耦合熵变效应（MCE），即当磁场对材料施加时，其自身的热力学特性会发生变化，从而导致材料热力学熵的变化。当海缆中铠装材料为磁性铠装时，效果更优。

15 总而言之，本申请提供的光纤单元和冷却装置的设置方式，可以非常及时地反应光纤单元的温度，进而有效的改善了电缆温度过高而导致的载流量下降问题。

可选地，所述包带为涂胶棉布带或环保型棉布带。

可选地，所述内垫层的材料为聚丙烯。

可选地，所述铠装层的材料包括镀锌钢丝、硬铜丝、不锈钢丝或铝合金丝中的一种或多种。

20 可选地，所述外被层的材料为聚丙烯。

本申请进一步提供所述海底电缆在提高故障定位准确率或检测运行温度准确率中的应用。

本申请具有如下有益效果：

25 本申请采用特定的硫化剂和抗氧剂改进现有的绝缘层材料，得到一种运行温度显著提高的绝缘材料，相较于现有的 90℃ 而言，运行温度提高至 105℃ 以上。本申请提供的绝缘层材料具有较高的运行温度，从而显著提高了海底电缆可承载的电流，提高其容量和使用寿命，具有较高的经济价值。

附图说明

30 图 1 是本申请实施例 2 提供的海底电缆整体构造示意图；

图 2 是本申请实施例 2 提供的第一种光纤单元构造示意图；

图 3 是本申请实施例 2 提供的第二种光纤单元构造示意图；

图 4 是本申请实施例 2 提供的第三种光纤单元构造示意图。

附图标记：

35 1：光纤单元；2：阻水导体；21：内层紧压圆导体；201：外层 T 型导体；202：外层 SZ 型导体；203：外层分割导体；3：导体屏蔽层；4：绝缘层；5：绝缘屏蔽层；6：阻水层；7：金属屏蔽层；8：非金属护套层；9：冷却装置；10：填充层；11：包带层；12：内垫层；13：铠装层；14：外被层。

具体实施方式

实施例 1

本实施例提供一种绝缘材料，包括如下组分：

低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 0.8-2.5 份，抗氧剂 0.1-0.4 份，阻焦剂 0.4-1.2 份，增塑剂 0.8-2 份。

所述绝缘材料的制备方法如下：

5 按照比例将低密度聚乙烯、硫化剂、抗氧剂与阻焦剂、增塑剂等形成的聚乙烯混合物热压后，进行硫化，制得交联聚乙烯绝缘层材料。

按照如上方法，本实施例得到多种绝缘材料如下：

绝缘材料 1-1：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1 份，抗氧剂 0.1 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8 份。

10 绝缘材料 1-2：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.1 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

绝缘材料 1-3：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 2.5 份，抗氧剂 0.1 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

15 对比材料 1-4：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 2.8 份，抗氧剂 0.1 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

如上各材料中硫化剂为过氧化二异丙苯（dicumyl peroxide, DCP）；抗氧剂为四季戊四醇酯 1035；阻焦剂为 N-环己基硫代邻苯二甲酰亚胺（Antiscorching agent—N-cyclohexylthiophthalimide, CTP）；增塑剂为 2-蔡硫酚。

20 对比材料 1-5：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.1 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8 份；

其中硫化剂为过氧化二苯甲酰（Dibenzoyl peroxide, BPO），抗氧剂为四季戊四醇酯 1035；阻焦剂为 N-环己基硫代邻苯二甲酰亚胺；增塑剂为 2-蔡硫酚。

绝缘材料 2-1：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.2 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8 份。

25 绝缘材料 2-2：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

绝缘材料 2-3：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.4 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

30 对比材料 2-4：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.5 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

其中硫化剂为过氧化二异丙苯 DCP；抗氧剂为四季戊四醇酯 1035；阻焦剂为 N-环己基硫代邻苯二甲酰亚胺；增塑剂为 2-蔡硫酚。

对比材料 2-5：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 0.8 份，增塑剂 0.8；

35 其中硫化剂为过氧化二异丙苯 DCP；抗氧剂为四季戊四醇酯 1035；阻焦剂为邻苯二甲酸酐；增塑剂为五氯硫酚。

绝缘材料 3-1：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 0.4 份，增塑剂 0.8 份。

绝缘材料 3-2：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.0

份，增塑剂 0.8；
绝缘材料 3-3：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.2 份，增塑剂 0.8；
对比材料 3-4：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.6 份，增塑剂 0.8；
5 其中硫化剂为过氧化二异丙苯（dicumyl peroxide，DCP）；抗氧剂为四季戊四醇酯 1035；阻焦剂为 N-环己基硫代邻苯二甲酰亚胺；增塑剂为 2-蔡硫酚。
绝缘材料 4-1：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.0 份，增塑剂 1.0 份。
10 绝缘材料 4-2：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.0 份，增塑剂 1.5；
绝缘材料 4-3：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.0 份，增塑剂 2.0；
对比缘材料 4-4：低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.0 份，增塑剂 2.5；
15 其中硫化剂为过氧化二异丙苯 DCP；抗氧剂为四季戊四醇酯 1035；阻焦剂为 N-环己基硫代邻苯二甲酰亚胺；增塑剂为 2-蔡硫酚。
绝缘材料 5：
低密度聚乙烯 100 份，硫化剂 1.8 份，抗氧剂 0.3 份，阻焦剂 1.0 份，增塑剂 1.5 份。
20 其中硫化剂为过氧化二异丙苯 DCP；抗氧剂为四季戊四醇酯 1010；阻焦剂为 N-环己基硫代邻苯二甲酰亚胺；增塑剂为 2-蔡硫酚。
本实施例将上述绝缘材料和对照组的材料进行热延伸实验，实验按照标准 GB/T 2951.11-2008 制样：试样制作试样长度为 100mm，哑铃型试片厚度应不小于 0.8mm，不
25 大于 2.0mm，在每个试样的中间标注 20mm 间距的标志线 L0，制样结束后按照前述标准进行热延伸试验，结果如下表所示：

30

35

表 1 不同绝缘材料和对照组热延伸实验结果

实验对象	低 密 度 聚 乙 烯 (份)	耐 热 硫 化 剂 (份)	抗 氧 剂 (份)	阻焦剂 (份)	增塑剂 (份)	负 荷 下 变 形 率 %/永久变形率%
绝缘材料 1-1	100	1	0.1 (1035)	0.8	0.8	84%/8%
绝缘材料 1-2	100	1.8	0.1 (1035)	0.8	0.8	65%/7%
绝缘材料 1-3	100	2.5	0.1 (1035)	0.8	0.8	77%/9%
对比材料 1-4	100	2.8	0.1 (1035)	0.8	0.8	103%/15%
对比材料 1-5	100	1.8 (BPO)	0.1 (1035)	0.8	0.8	115%/15%
绝缘材料 2-1	100	1.8	0.2 (1035)	0.8	0.8	66%/7%
绝缘材料 2-2	100	1.8	0.3 (1035)	0.8	0.8	58%/6%
绝缘材料 2-3	100	1.8	0.4 (1035)	0.8	0.8	69%/-7%
对比材料 2-4	100	1.8	0.5 (1035)	0.8	0.8	93%/11%
对比材料 2-5	100	1.8	0.3 (1035)	0.8(邻 苯二甲 酸酐)	0.8(五 氯 硫 酚)	72%/10%
绝缘材料 3-1	100	1.8	0.3 (1035)	0.4	0.8	72%/8%
绝缘材料 3-2	100	1.8	0.3 (1035)	1.0	0.8	55%/5%
绝缘材料 3-3	100	1.8	0.3 (1035)	1.2	0.8	65%/7%
对比材料 3-4	100	1.8	0.3 (1035)	1.6	0.8	77%/18%
绝缘材料 4-1	100	1.8	0.3 (1035)	1.0	1.0	58%/5%
绝缘材料 4-2	100	1.8	0.3 (1035)	1.0	1.5	42%/3%
绝缘材料 4-3	100	1.8	0.3 (1035)	1.0	2.0	58%/6%
对比材料 4-4	100	1.8	0.3 (1035)	1.0	2.5	58%/19%
绝缘材料 5	100	1.8	0.3 (1010)	1.0	1.5	45%/7%

从表 1 中的测试结果可知，绝缘材料 4-2 与其他组别绝缘材料相比热延伸伸长率显著优化；更换了抗氧剂后的对照组绝缘材料 5 符合相关交联聚乙烯绝缘海底电缆标准要求，但其热延伸性能稍次与绝缘材料 4-2。因此绝缘材料 4-2 是在韧性、柔性、耐

5

实施例 2

本实施例提供一种海底电缆，具体构造如图 1 所示，其中：

光纤单元 1 在阻水导体 2 内充当中心线，光纤单元 1 可以为现有技术中常用种类的光纤单元，例如单模光纤、多模光纤或者两种的混合。光纤单元 1 外有挤出护套，该挤出护套厚度可选为 0.5-1mm。

10

5 5 阻水导体 2 位于光纤单元 1 外层，其可以为阻水胶、阻水粉、阻水纱、阻水带中的一种或多种结合。阻水导体 2 的结构分为内外两层，例如图 2-图 4 所示，其列出了三种不同的阻水导体结构，图 2 中在光纤单元 1 之外依次设有内层紧压圆导体 21 和外层 T 型导体 201，也即是梯形线绞合导体；图 3 在光纤单元 1 之外依次设有内层紧压圆导体 21 和外层 SZ 型导体 202；图 4 在光纤单元 1 之外依次设有内层紧压圆导体 21 和外层分割导体 203。

可选地，阻水导体 2 的材料可以为铜、镀锡铜、铝或铝合金中的一种或多种。

10 阻水导体 2 之外设有导体屏蔽层 3，导体屏蔽层 3 外包覆绝缘层 4，绝缘层 4 可以选择现有技术中已有的绝缘材料，例如交联聚乙烯或乙丙橡胶。但是现有的交联聚乙烯绝缘材料的最高允许工作温度为 90℃，由于海缆载流量与导体最大工作温度有直接关系，现有绝缘材料的耐热性能对海底电缆传输容量产生了一定程度的限制。

15 因此可选使用前述实施例 1-3 提供绝缘材料制备绝缘层 4，该材料老化前的抗张强度 $\geq 17\text{Mpa}$ ，断裂伸长率 $\geq 500\%$ ，体积电阻率(23℃) $\geq 1.0 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{m}$ ，介电常数 $\leq 2.3-2.35$ ，介质损耗角正切 $\text{tg} \delta \in (0.0005, 0.001)$ ，短时工频击穿强度(23℃) $\geq 40\text{kV/mm}$ ，熔流率(190℃/2.16kg)介于 0.7-1.1 之间。

可选地，熔流率在 0.95 时，性能更优。

20 绝缘层 4 外挤包绝缘屏蔽层 5，导体屏蔽层 3、绝缘层 4 和绝缘屏蔽层 5 采用三层共挤工艺一次挤出。举例而言，导体屏蔽层 3 和绝缘屏蔽层 5 由乙烯-醋酸乙烯共聚物添加炭黑而成，同时材料中加入耐热型硫化剂。

可选地，三层共挤工艺具体如下：

将导体芯进行感应加热，加热温度范围为 70℃-120℃，可选的，前预热温度为 110℃，后预热温度为 80℃。通过检测导体表面温度，在设定区间内即满足要求，可以开机挤塑。

25 在导体芯表面采用三层共挤方式依次挤出导体屏蔽层、绝缘层和绝缘屏蔽层，形成绝缘线芯，挤出机温度设置如下：

表 2 挤出机温度设置

	一区	二区	三区	四区	五区	六区	七区	机颈	导胶管一	导胶管二
绝缘挤出机	121	123	122	122	122	122	122	122	126	126
导体屏蔽挤出机	96	99	102	104	/	/	/	100	102	104
绝缘屏蔽挤出机	96	117	124	125	/	/	/	126	126	126

其中导体屏蔽、绝缘屏蔽滤网目数为 40 目/80 目/150 目 200 目 80 目/40 目的过滤网组合，绝缘层为 20 目/80 目/200 目/400 目/80 目/20 目的过滤网组合。

由于绝缘材料的耐热性，其配模公式设置为：

30 模芯：D1=导体外径+ (0.6-1.8) mm；紧压圆与型线的系数稍有不同，型线外径较大，且表面圆整度控制工艺不及紧压圆导体，为避免卡模停机，会将型线系数设置稍

大于紧压圆导体：

衬模： $D_2 = \text{内屏外径} + (0.1 - 1.2) \text{ mm}$ ；VCV 与 CCV 所增大的系数也不同，使用 VCV 生产时，绝缘厚度稍大，因此系数要大于 CCV 系数。

模套： $D_3 = \text{导体直径} + 2 \times \text{内屏厚度} + 2 \times \text{绝缘厚度} \times (1.1 - 1.2) + 2 \times \text{外屏厚度}$ ；

5 将绝缘线芯在温度为 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 、氮气压力大于 10Mpa 的交联管道内进行交联，使绝缘屏蔽层表面最高温度控制在 250°C 以下，防止出现焦烧。

在绝缘屏蔽层 5 之外设有阻水层 6，阻水层 6 为半导体阻水带，可以为单面阻水带、双面阻水带或组合使用。

10 在阻水层 6 之外设有金属屏蔽层 7，金属屏蔽层 7 可以为合金铅套、铜带、铜丝、铜管中的一种或多种组合。

在金属屏蔽层 7 之外设有非金属护套层 8，非金属护套层 8 为导电 PE 护套、绝缘 PE 护套中的一种。

可选地，海底电缆中，在光纤单元 1 及其外包覆的多层材料之外设有冷却装置 9，可在电缆温度大于 75°C 时，系统自动冷却，方式包含不限于液氮冷却。

15 可选地，海底电缆中，在光纤单元 1 及其外包覆的多层材料之外，在冷却装置 9 之外为填充层 10，填充层 10 中为常规的填充材料，例如聚乙烯泡沫、聚氨酯泡沫或硅胶，可以为填充条或填充绳；冷却装置 9 为可以为冷却液体管道、惰性气体冷却管道或磁冷却装置。

20 可选地，海底电缆外包覆层整体由包带层 11、内垫层 12、铠装层 13 和外被层 14 组成，包带层 11 为涂胶棉布带或环保型棉布带，内垫层 12 为聚丙烯 PP 材料，铠装层 13 可以为镀锌钢丝、硬铜丝、不锈钢丝、铝合金丝，外被层 14 可以为聚丙烯 PP 材料。

实施例 3

25 基于实施例 2 提供的海底电缆，本实施例验证采用不同绝缘层材料制备得到的海底电缆的性能，具体设置实验组和对照组，其中实验组 1-1 至 1-3 分别使用实施例 1 中的绝缘材料 1-1 至 1-3；实验组 2-1 至 2-3 分别使用实施例 1 中的绝缘材料 2-1 至 2-3；实验组 3-1 至 3-3 分别使用实施例 1 中的绝缘材料 3-1 至 3-3；实验组 4-1 至 4-3 分别使用实施例 1 中的绝缘材料 4-1 至 4-3；实验组 5 使用实施例 1 中的绝缘材料 5。对照组 1-4 和 1-5 使用实施例 1 中的对比材料 1-4 和 1-5；对照组 2-4 和 2-5 使用实施例 1 中的对比材料 2-4 和 2-5；对照组 3-4 使用实施例 1 中的对比材料 3-4；对照组 30 4-4 使用实施例 1 中的对比材料 4-4。

35 其余材料选择如下：光纤单元 1 为单模光纤；阻水导体 2 为铜导体；导体屏蔽层 3 和绝缘屏蔽层 5 为可交联半导体屏蔽，其材料为乙烯-醋酸乙烯共聚物添加炭黑所得；阻水层 6 为半导体阻水带；金属屏蔽层 7 为合金铅套；非金属护套层 8 为导电 PE 护套；冷却装置 9 为磁冷却装置；填充层 10 为填充条；包带 11 为环保型棉布带；内垫层 12 为聚丙烯材质；铠装层 13 为镀锌钢丝；外被层 14 为聚丙烯材质。

对于以上实验组和对照组进行如下电气性能实验 1：

热循环试验电压试验：每次包含至少 8h 加热，至少 16h 自然冷却，电流加热导体温度达到 $105^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$ ，每个热循环中，导体温度需保持 $105^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$ 至少 2h，加热和冷却循环需要进行 20 次。在整个试样期间，试样上施加 $2U_0\text{kV}$ （额定电压）电压，

实验过程不发生击穿。

进一步进行如下电气性能实验 2：

局放试验：进行过热循环电压试验的线芯进行局放试验，实验环境（20±15）℃，局放试验测试灵敏度为 5pC 或优于 5pC。试验电压逐步升高至 1.75U₀，保持 10s 后降为 1.5U₀，实验过程无超过申明灵敏度的可测放电。

5

电气性能实验的结果如下表：

表 3 电气性能实验结果

实施例	热循环电压试验	耐压试验
实验组 1-1	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 1-2	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 1-3	未击穿	无超过申明灵敏度放电
对照组 1-4	第 15 个热循环击穿	/
对照组 1-5	第 12 热循环击穿	局部放电数 9pC
实验组 2-1	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 2-2	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 2-3	未击穿	无超过申明灵敏度放电
对照组 2-4	未击穿	局部放电数 12pC
对照组 2-5	未击穿	局部放电数 9pC
实验组 3-1	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 3-2	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 3-3	未击穿	无超过申明灵敏度放电
对照组 3-4	第 14 个热循环击穿	/
实验组 4-1	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 4-2	未击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 4-3	未击穿	无超过申明灵敏度放电
对照组 4-4	第 18 个热循环击穿	无超过申明灵敏度放电
实验组 5	未击穿	无超过申明灵敏度放电

以上所述，仅为本申请的具体实施方式，但本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

10

权 利 要 求 书

- 1、一种绝缘材料，其特征在于，包括：聚乙烯、硫化剂和抗氧剂；
所述硫化剂为过氧化二异丙苯；
所述抗氧剂为四季戊四醇酯；
- 5 所述聚乙烯、硫化剂和抗氧剂的质量比为 100：（0.8-2.5）：（0.1-0.4）。
- 2、根据权利要求 1 所述的绝缘材料，其特征在于，所述聚乙烯为低密度线性聚乙烯，在所述绝缘材料中分数比为 100 份。
- 3、根据权利要求 1 所述的绝缘材料，其特征在于，
所述抗氧剂为四季戊四醇酯 1010 或四季戊四醇酯 1035。
- 10 4、根据权利要求 1-3 任一项所述的绝缘材料，其特征在于，还包括阻焦剂和增塑剂。
- 5、根据权利要求 4 所述的绝缘材料，其特征在于，以重量份计，包括：
聚乙烯 100 份、硫化剂 0.8-2.5 份、抗氧剂 0.1-0.4 份、阻焦剂 0.4-1.2 份和增塑剂 0.8-2 份。
- 15 6、一种海底电缆，其特征在于，所述海底电缆以权利要求 1-5 任一项所述的绝缘材料为绝缘层。
- 7、一种海底电缆，其特征在于，所述海底电缆包括光纤单元和导体；所述光纤单元被所述导体包裹。
- 8、根据权利要求 7 所述的海底电缆，其特征在于，所述导体包括内层导体和外层
- 20 导体；所述外层导体为梯形绞合导体、SZ 型绞合导体或分割绞合导体中的一种或多种。
- 9、根据权利要求 7 或 8 所述的海底电缆，其特征在于，还包括冷却装置和填充材料；所述冷却装置设置于所述填充材料之间。
- 10、权利要求 1-5 任一项所述的绝缘材料在提高海底电缆的运行温度中的应用。
- 11、权利要求 7-9 任一项所述海底电缆在提高故障定位准确率或检测运行温度准
- 25 确率中的应用。