



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97195925.0

[45] 授权公告日 2003 年 12 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1132502C

[22] 申请日 1997.6.24 [21] 申请号 97195925.0

[30] 优先权

[32] 1996.6.28 [33] US [31] 08/672,603

[86] 国际申请 PCT/US97/11057 1997.6.24

[87] 国际公布 WO98/01010 英 1998.1.8

[85] 进入国家阶段日期 1998.12.28

[71] 专利权人 雷伊化学公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·K·杨维林

G·W·奥斯特尔豪特

审查员 孙克良

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

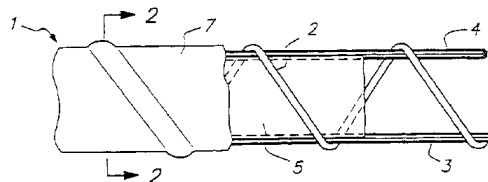
代理人 崔幼平 杨松龄

权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 1 页

[54] 发明名称 加热电缆

[57] 摘要

一种电加热电缆(1)，其中，至少有两个细长导体(3、4)，它们由绝缘间隔件(5)分隔开且与至少一条细长加热带(2)相接触。该加热带由呈 PTC 特性的导电聚合物成分制成，于沿带的长度和各导体的长度在纵向相间隔开的接触点与第一和第二导体交替接触。导体为同心绞股线，具有最大 20 毫米的捻距 L 或最小 11° 的捻角 β ，或最大 20 毫米的捻距 L 和最小 10° 的捻角 β 。



1. 一种电加热电缆 (1)，其包括：
- (1) 可连至电源的、相间隔开的第一和第二细长导体 (3、4)；
- (2) 一细长电阻加热带 (2)，它
- 5 (a) 包括一细长的 PTC 元件，该元件 (i) 沿加热带的长度延伸和 (ii) 包含呈现 PTC 特性的导电聚合物成分，和
- (b) 于接触点处交替地与第一导体 (3) 和第二导体 (4) 形成电接
- 触，接触点沿带的长度和沿各导体的长度在纵向相间隔开；和
- (3) 一条设置于导体之间的绝缘材料带 (5)，因此当导体与电源
- 10 相连接时，所有在导体之间通过的电流均通过该加热带，其特征在于，
- 所述第一和第二导体各自包括一捻距 L 最大为 20 毫米、至少为 14 毫米，捻角至少为 10 度、最大为 16 度的同心绞合线。
2. 根据权利要求 1 所述的电缆，其特征在于，所述同心绞合线具有至少为 11° 的捻角 β 。
- 15 3. 根据权利要求 1 或 2 所述的电缆，其特征在于，加热带包括熔融挤压的导电聚合物成分。
4. 根据权利要求 1 或 2 所述的电缆，其特征在于，该导电聚合物成分在 23°C 下具有至少 100 欧姆-厘米的电阻率。
5. 根据权利要求 1 或 2 所述的电缆，其特征在于，包括有多条缠绕在导体上的加热带。
- 20 6. 根据权利要求 1 或 2 所述的电缆，其特征在于，包括一层涂于导体和加热带之间接合处上的 ZTC 导电聚合物成分的涂层。
7. 根据权利要求 1 或 2 所述的电缆，其特征在于，第一和第二导体包括直径为 1.93 毫米的 14AWG 导线。

加热电缆

发明的背景

5 发明的领域

本发明涉及加热电缆，特别是自调节型电加热电缆。

发明背景

10 在用于管子、流体容器和其它基底的防冻和保温维修时，细长的电加热电缆是众所周知的。特别实用的细长加热电缆包括：(a)第一和第二长电极，(b)多个平行地连接于上述电极之间的电阻加热元件，和(c)围绕该电极和加热元件的绝缘护套。另外，该加热电缆经常还包括一层以编织带或条带形式缠绕该绝缘护套的金属接地层，它起到使加热电缆电接地和提供机械保护的作用。由于加热元件的平行结构，这种加热电缆可切成合适的长度，以用于各应用场合。

15 对于许多应用场合，各加热元件最好包括某种导电聚合物，即一种弥散分布有颗粒状导电填充物的聚合物基体。这种导电聚合物最好呈现正温度系数(PTC)特性，使加热电缆能够自调节。普通的细长加热电缆有两种。第一种，导电聚合物呈连续带的形式，电极嵌在其中。这种加热件在例如美国专利 No. 3,858,144(Bedard 等人)、3,861,029
20 (Smith-Johannsen 等人)、4,017,715(Whitney 等人)、4,242,573 (Batliwalla)、4,334,148 (Kampe)、4,334,351(Sopory)、4,426,339 (Kamath 等人)、4,574,188(Midgley 等人)和 5,111,032(Batliwalla 等人)，和国际专利申请 No. W091/17642(Raychem 公司，1991年11月14日出版)中有所说明。在第二种加热电缆中，导电聚合物为缠绕
25 在细长电极上的连续带的形式，随着沿加热电缆长度方向的缠绕前进，与暴露的电极交替接触。在这种结构中，电极通常通过一绝缘间隔件彼此间隔开。或者，电极可缠绕在一由导电聚合物条带构成的内芯上。这种电缆在美国专利 No. 4,459,473(Kmath)中有说明。

30 在正常的操作条件下，当细长热电缆被设置为与所加热的基底接触时，它将受到物理应力和变形。例如，当该基底是一根管子或导管时，电缆经常是以螺旋形式缠绕在该管子上。再者，电缆必须缠绕阀门、接头和其它所必须加热的区域。尽管加热电缆是柔软的，但是在诸如

小直径管子或阀门等特定条件下，将要求电缆弯折或扭转。另外，在正常使用条件下，电热电缆要经受从较低温度向高温的温度周期变化，由于布置在基底上所造成的物理应力和温度周期变化所引起的热应力均可能造成加热电缆的某些改变。特别是，如果电极布置在间隔件相反的两边缘处，而不是嵌在导电聚合物条带内，则该电极可能从其在间隔件上的位置处移开，和/或减弱与缠绕其上的导电聚合物条带的接触。

发明概要

我们已经发现，选择特定类型的导线用作电极，可生产出少受变形的加热电缆。其结果是，本发明的加热电缆即使在受到物理应力和热应力的情况下也具有稳定和可靠的性能。在本发明的第一方面提供了一种电加热电缆，其包括：

- (1) 可连至电源的、相间隔开的第一和第二细长导体。上述第一和第二导体各自包括一捻角 β 至少为 11° 的同心式绞合线；
- (2) 一细长电阻加热带，它
 - (a) 包括一细长的 PTC 元件，该元件(i)沿加热带的长度延伸和(ii)包含呈现 PTC 特性的导电聚合物成分，和
 - (b) 于接触点处交替地与第一导体和第二导体形成电接触，接触点沿带的长度和沿各导体的长度在纵向相间隔开；和
- (3) 一条设置于导体之间的绝缘材料带，因此当导体与电源相连接时，所有在导体之间通过的电流均通过该加热带。

在第二方面，本发明提供一种电加热电缆，其包括：

- (1) 可连至电源的、相间隔开的第一和第二细长导体。上述第一和第二导体各自包括一捻距 L 最大为 20 毫米(0.8 英寸)的同心式绞合线；
- (2) 一细长电阻加热带，它
 - (a) 包括一细长的 PTC 元件，该元件(i)沿加热带的长度延伸和(ii)包含呈现 PTC 特性的导电聚合物成分，和
 - (b) 于接触点处交替地与第一导体和第二导体形成电接触，接触点沿带的长度和沿各导体的长度在纵向相间隔开；和
- (3) 一条设置于导体之间的绝缘材料带，因此当导体与电源相连接时，所有在导体之间通过的电流均通过该加热带。

在第三方面，本发明提供一种电加热电缆，其包括：

(1)可连至电源的、相间隔开的第一和第二细长导体。上述第一和第二导体各自包括一捻距 L 最大为 20 毫米(0.8 英寸)且捻角 β 至少为 10° 的同心式绞合线;

(2)一细长电阻加热带, 它

5 (a)包括一细长的 PTC 元件, 该元件(i)沿加热带的长度延伸和(ii)包含呈现 PTC 特性的导电聚合物成分, 和

(b)于接触点处交替地与第一导体和第二导体形成电接触, 接触点沿带的长度和沿各导体的长度在纵向相间隔开; 和

10 (3)一条设置于导体之间的绝缘材料带, 因此当导体与电源相连接时, 所有在导体之间通过的电流均通过该加热带。

附图的简要说明

本发明通过附图给出图示说明, 其中

图 1 是本发明一加热电缆的平面图;

图 2 是沿图 1 中 2-2 线所截取的横截面图;

15 图 3 是本发明另一加热电缆的平面图;

图 4 是本发明加热电缆所用导体的示意图; 和

图 5 是本发明加热电缆所用导体的横截面图。

发明的详细说明

本发明的加热电缆包括至少一条由细长 PTC 元件构成的细长加热
20 带, 该 PTC 元件沿加热带的长度延伸且包括有呈现 PTC 特性的导电聚合物成分。在本说明书中, “PTC”一词用于特指随着温度超过某较小温度范围电阻率的显著增大, 即该成分的 R_{14} 值至少为 2.5 和/或 R_{100} 值至少为 10, 而最好是该成分的 R_{30} 值至少为 6, 其中 R_{14} 是 14°C 范围终了时与开始时电阻率的比值, R_{100} 是 100°C 范围终了时与开始时电阻率的比值, R_{30} 是 30°C 范围终了时与开始时电阻率的比值。该成分包括最
25 好是晶体状聚合物的聚合物组分, 即这种聚合物在被加工进入该成分前至少有 20% 的结晶度。合适的晶体状聚合物包括聚烯烃, 例如聚乙烯或乙烯共聚物; 含氟聚合物, 例如氟化聚乙二烯(PVDF), 乙烯/四氟乙烯共聚物(ETFE), 或四氟乙烯/全氟烷氧共聚物(PFA); 或两种或多
30 种这类聚合物的混合物。另外, 聚合物成分中还可以包括某种弹性物质, 例如, 热塑性弹性物质。弥散在聚合物组分中是颗粒状导电填充剂, 例如碳黑、石墨、金属、金属氧化物, 有导电涂层的玻璃或陶

瓷珠、颗粒状导电聚合物，或这些物质的组合。一些附加组分，例如抗氧化剂、惰性填料、不导电填料、辐射交联剂(经常称为 Prorads 或交联增强剂)、稳定剂、弥散剂、结合剂、除酸剂(如 CaCO_3)、或其它组分也是可以存在的。一些适用成分的例子在下文中给出。

- 5 导电聚合物成分在 23°C 时的电阻率通常为 1 至 100,000 欧姆-厘米，100 至 10000 欧姆-厘米更好，1000 至 10000 欧姆-厘米、特别是 100 至 5000 欧姆-厘米最佳。在大多数应用场合， 23°C 下的电阻率至少为 100 欧姆-厘米。

- 10 加热带可用任何便利的技术制造，例如一般最好是通过熔融挤压，或通过使基底通过某种液体，例如溶剂基的成分，随后再进行冷却和/或去除溶剂。当采用熔融挤压生产加热带时，拉拔比对于加热带的电特性有重大影响。例如，采用较大的拉拔比可提高加热带的电阻均匀性，但减弱 PTC 的效果。最佳的拉拔比取决于具体的导电聚合物成分。

- 15 加热带可以具有任何方便的形状，例如圆的或椭圆的横截面，或呈扁平带的形状。加热带的厚度一般为 0.25 至 2.5 毫米(0.010 至 0.1 英寸)，0.38 至 2.16 毫米(0.015 至 0.085 英寸)更好，0.51 至 1.91 毫米(0.020 至 0.075 英寸)最佳。

- 20 本发明的加热电缆包括第一和第二细长导体，其可与例如供电装置或墙壁输出端的电源相连，如果需要可采用合适的插头或电气元件。该导体(在本说明书中也称为电极或导线)最好是用金属，例如镍、铜、锡、铝、镀镍的铜、镀锡的铜、金属合金、或其他合适的材料制成。该导体具有同心绞合结构，即一根中心(芯)导线为一层或多层按反方向绞合的螺旋绞合导线(股)层所环绕，所以接续的层为相反方向的线
- 25 股所捻绞。呈同心结构的导线股的各接续层的捻距均大于下面一层。捻距 L 是单独一根导线股绕中心(芯)线缠绕 360° 所需要的轴向距离。在此处，规定的捻距是指螺旋绞合导线最外面一层的。此结构与(1)单层绞合结构不同，区别在于一根中心导线为多于一层的螺旋绞合导线所环绕，每一层均有同样的绞合方向和同样的捻距；与(2)单向同心结构
- 30 不同，区别在于中心导线虽然为具有相同绞合方向的一层或多层螺旋绞合导线层所环绕，但是各层的捻距是不断增加的。尽管本发明加热电缆所用导体的规格取决于施加的电压、所需的电流承载能力和所

要求的电缆长度,但本发明大多数电缆的规格为最大 14AWG,即直径 1.93 毫米(0.076 英寸),虽然小直径导线,例如 16AWG(1.52 毫米(0.060 英寸))、18AWG(1.27 毫米(0.050 英寸))或 20AWG(1.02 毫米(0.040 英寸)),或大直径导线,例如 12AWG(2.16 毫米(0.085 英寸))或 10AWG(3.05 毫米(0.12 英寸))也适用于某些应用场合。(AWG 是 American Wire Gauge,与 Brown & Sharpe 导线标准规格相同。)。本发明加热电缆所用导体的捻距 L 最大为 20 毫米(0.8 英寸),最好是最大为 18 毫米(0.7 英寸),特别是 15 毫米(0.6 英寸)。捻距 L 一般至少为 14 毫米(0.55 英寸)。本发明加热电缆所用导体的捻角 β 至少为 10° ,最好是至少为 11° ,尤其是至少 12° ,特别是至少 13° 。如下面的图 4 所示,捻角 β 是螺旋角 α (即导线股绕中心导线的缠绕角)的函数。 β 等于 $[(\pi/2)-\alpha]$,即 $[(3.14/2)-\alpha]$,所以它受中心线和绕中心线缠绕的绞线的直径的影响。 β 一般最大为 16° 。在一个优选实施例中,本发明加热电缆所用导体的捻距 L 最大 20 毫米(0.8 英寸),且捻角 β 至少 10° ,最好是 L 最大 18 毫米(0.7 英寸),且 β 至少 11° 。本发明加热电缆作为导体所用的最佳导线的捻距 L 可以根据芯线的直径 d_c 确定。因此,对于有 7 股的导体, L 最好小于 $36d_c$,尤其要小于 $31d_c$,特别要小于 $28d_c$;对于 9 股的导体, L 最好小于 $72d_c$,尤其要小于 $65d_c$,特别要小于 $55d_c$;对于 37 股的导体, L 最好小于 $110d_c$,尤其是小于 $97d_c$,特别是小于 $80d_c$ 。

尽管本发明的加热电缆一般包含两条细长导体,但对于某些应用场合,只要导体与一个或多个电源恰当连接,也可以有三个或更多的导体顺序与加热带接触。当存在三个或更多的导体时,它们可以布置为通过将不同对的导体连接到单向或双相电源来获得不同的功率输出。当存在三个导体时,它们可以布置为使加热电缆适于连接到三相电源。

对于某些应用场合,导体上可涂以一层导电材料,例如低电阻率 ZTC(电阻率的零温度系数)导电聚合物成分、某种充填有石墨、银、或碳黑的乳剂,或碳黑粉。涂层在导体与加热带接触前或接触后进行均可。

为了保证加热电缆能保持其形状,第一和第二导体借助于置于两导体之间的绝缘材料条带相互分离,因此当导体与电源连接时,所有通过导体间的电流也通过加热带。绝缘条带(或间隔件)一般由电绝缘材料构成,例如聚合物、陶瓷或玻璃,尽管在正常的使用中有热膨胀

和收缩，但它们在加热电缆的制备和使用过程中足以保持其形状。对于某些应用场合，绝缘带可包括某种元件来改善间隔件的导热性，例如由绝缘带所环绕的金属带或导热颗粒填料。绝缘带通常与导体有大体同样的结构，例如，如果导体是直的，绝缘带也是直的；如果它们是缠绕式的，绝缘带随其缠绕。为了改善加热电缆的物理稳定性，绝缘带的结构最好是使其大体能最靠近间隔件固定住，例如可借助具有凹坑或槽的侧面或边缘，其尺寸应适于承纳该导体。

尽管在本发明的加热电缆中存在至少一条与导体相接触的加热带，但也可存在两条或多条加热带。如果存在多条加热带，它们通常，但不是必须的，沿加热电缆的长度方向相互平行。它们最好用相同材料制成，但也可以是不同材料和/或不同尺寸的。对于某个具体的加热带，通过用一条带以较小的节距缠绕(单位长度的圈数多)，或用多条平行加热带以较大节距缠绕，可以获得同样输出功率的加热电缆。使用多条带可使加热带上的电压应力较小。

为了在相间隔开的点上形成所预期的电接触，导体和加热带可以设置成各种结构。一般最好是导体是直的，而加热带沿一条规则的波形路径延伸，或者是相反。该路径一般可以是例如螺旋的(一般包括圆螺旋或压扁的圆螺旋)、正弦的、或 Z 形的。但是，导体和加热带均沿不同形状或节距不同或捻制方向相反的规则波形路径延伸，或者一个或两者均沿不规则路径延伸也是可能的。在一优选实施例中，加热带缠绕在一对直的平行导体上，两导体可借助一分离带保持所需的间隔距离。在另一种结构中，加热带缠绕在一分离带上，而后缠绕后的带与直的导体相接触。在另一优选结构中，导体缠绕在一条或多条直加热带和一根或多根直绝缘内芯上。在另一种结构中，导体先缠绕在绝缘内芯上，而后再与直加热带相接触。对于缠绕元件，一般具有螺旋结构比较方便，因为可使用传统的导线缠绕装置来得到。为了使至基底的热传递最佳，加热件的形状通常最好是带圆角的矩形。

一旦加热带和导体缠绕后，在导体和加热带之间的联结处可以涂注某种 ZTC 导电聚合物成分，以形成接合缝且增强导体和带之间的电接触。

加热带可以是例如通过辐射交叉联接的，在它们组装到加热电缆内之前或之后进行均可。

其他的加热电缆结构和制备技术在美国专利 No. 4, 459, 4073 (Kamath) 中有说明。

本发明借助附图给出图示说明，其中图 1 是本发明加热电缆 1 的平面图，图 2 是沿 2-2 线所截取的电缆 1 的横截面图。单独一条加热带 2 以螺旋形式缠绕在由绝缘带(间隔件)5 分隔开的第一导体 3 和第二导体 4 上。加热带 2 和导体 3、4 之间的电接触通过低电阻率材料 8 得到加强，后者在带和导体之间于接触(结合)点处形成接合缝。聚合物绝缘护套 7 环绕加热带 2、导体 3、4 和绝缘带 5。

图 3 是本发明另一种加热电缆的平面图，其中两条加热带 2、9 缠绕在导体 3、4 和绝缘带 5 上。

图 4 以示意形式给出了呈同心绞合导线的导体 10，表示出了螺旋角 α 和捻角 β 。

图 5 给出 7 股导体 10 的横截面，带有芯线 11 和螺旋导线 12。还给出了内芯直径 d_c 。

本发明以下列实施例加以说明，其中例 2 是本发明的一个实施例，而例 1 和例 3 至例 6 是对比实施例。实施例中的各加热电缆均根据三步程序制备，它们大体遵循美国专利 No. 4, 459, 473 中例 2 所述的程序，该专利中所公开的内容在此引用作为参考。

加热带的制备

将四氟乙烯/全氟烷氧共聚物(PFA)和炭黑干燥混合的混合物在一双螺旋式挤压装置内混合。该混合物经球团化、干燥后通过装配在挤压装置上的一个 1.52 毫米(0.060 英寸)圆模挤压。该挤压生成物经拉拔得到直径 0.94 毫米(0.037 英寸)的加热带。

间隔件的制备

将填充有玻璃纤维的 PFA 干燥和通过一凹侧面平顶面模具进行挤压，得到带有内凹侧面且规格为 1.9 × 3.0 毫米(0.075 × 0.120 英寸)的绝缘间隔件。

加热电缆的组装

将两条导线置于间隔件的内凹侧面内，且将四条单独的加热带用缠绕机以螺旋方式缠绕在导体和间隔带上。各相邻加热带之间的间距是 4.3 毫米(0.170 英寸)。导体，以及在导体与加热带相接触区域内的加热带，被涂以石墨乳剂。所得到的加热电缆首先被套一层 PFA，而后是

一层镀锡铜编织带，最后是第二层 PFA。套装后的加热电缆进行热处理，并可以冷却。

实施例 1 至 6

在根据上述程序制成的加热件中用作导体的是表 1 中所示的 14AWG 5 导线。各导线均是镀镍的铜导线(即 2% 镍的电镀 (NPETP))，可以从 Hudson International Conductors 公司得到。

表 I

实施例	导线类型	股数	绞线规格 (AWG)	导线直径 (毫米/英寸)	绞线直径 (毫米/英寸)	捻距 L (毫米/英寸)	捻角 β (度)
1	同心	7	22	1.93/0.076	0.64/0.025	22.2/0.875	10.3
2*	同心	7	22	1.93/0.076	0.64/0.025	14.5/0.571	15.5
3	同心	19	27	1.80/0.071	0.36/0.014	25.4/1.000	10.1
4	单层	19	27	1.80/0.071	0.36/0.014	20.3/0.800	12.6
5	单层	19	27	1.80/0.071	0.36/0.014	15.2/0.600	16.6
6	单层	37	30	1.78/0.070	0.25/0.010	19.1/0.750	14.1

* 本发明的实施例

10 例 1 至 6 的加热电缆根据下面的试验 A 至 E 进行试验。对于每项试验，各加热电缆的结果均按最佳性能至最差性能排列。这些结果示于表 2。对于各项试验，例 4 电缆的性能均较例 5 电缆的差，本发明的实施例(例 2 的加热电缆)具有最佳的综合性能。

表 II

性能	试验 A	试验 B	试验 C	试验 D	试验 E
最佳	2	2	2,1	2	6
	6	6	(关联)	1	2
	3	3	5	6	3
	5	5	3	3	5
最差	1	1	6	5	1

15 试验 A: 弯曲

此试验测量加热电缆承受弯曲的能力，弯曲中一导线置于拉伸状态而另一导线置于压缩状态。这种弯曲可造成受压缩的导线折损。在安

装的过程中，当加热电缆在某基底上被布置成扁平，却被迫绕过某物体，例如凸缘或螺栓时，可能出现这类变形。

5 将一长度为 0.91 毫米 (3 英寸) 的加热电缆扁平状布置在一基底 (一压力机的下压板) 上，而两个中每个直径为 6.4 毫米 (0.25 英寸) 的卷筒布置在沿电缆向下一半之处，于电缆的边缘处每个可处于电缆的一侧。测量两导体间的距离。而后将压力机的上压板置于电缆和卷筒的顶部，以将卷筒稳固地把持住，但使电缆能自由前后滑动但不翻转。将电缆的两端均绕一个卷筒弯曲 (即每一端相对于初始位置弯曲 90°) 至一第一位置，然后绕过第二卷筒 (即各端相对于初始位置弯曲 180°)。而后
10 再返回到初始位置。在第一位置，其中一个导体处于拉伸状态而一个处于压缩状态；而在第二位置，原来受拉的导体呈压缩状态，而原来受压的导体呈拉伸状态。记录下导体的任何变形，记录下在最近点测量出的导体间距离。使用直径 25 毫米 (1 英寸) 和 51 毫米 (2 英寸) 的卷筒重复该试验。导体间距离最接近初始距离的电缆的性能最好。

15 试验 B: 压缩

此试验测量加热电缆承受轴向压缩的能力。当加热电缆联接到一例如管束的刚性基底上，而其随后弯曲，使加热电缆处于内半径时，会出现这种压缩。

20 将长度为 133 毫米 (5.25 英寸) 的加热电缆样品的一端置于试验夹具的一第一 (上) 件内，而另一端置于夹具的一第二 (下) 件内，留下电缆的中心部分 [5.8 毫米 (0.23 英寸)] 不受夹具作用。测量导体间的距离。将夹具插入一 Inslron™ 装置中，且给试验夹具加压力，以 2.5 毫米/分 (0.1 英寸/分) 的速率压缩电缆 4.6 毫米 (0.18 英寸)。松弛压力，
25 从试验夹具中取出电缆，测量导体间最短的距离。导体间距离最接近初始距离的电缆性能最好。

试验 C: 温度周期性变化

此试验测量加热电缆承受可能在电缆内产生热松弛应力的反复加热和冷却的能力。在加热电缆的正常使用过程中会出现这种温度周期性变化，尽管此试验是将电缆暴露于比通常所受到的更严酷的温度下。

30 通过如试验 A 那样使电缆在各方向上弯曲 90° 而将长度为 0.76 米 (2.5 英尺) 的加热电缆导体故意扭曲。施以充分弯曲，直至导体间距离处于 0.51 至 1.0 毫米 (0.02 至 0.04 英寸) 间。在记录下此初始距离之

后，将该电缆置于一热腔室内，并在 -71°C 和 204°C (-95°F 至 400°F) 间循环十次。在 -71°C 至 204°C 每个周期的保持时间为 30 分钟。而后测量导体间的距离。初始距离和最终距离差最小的电缆性能最好。

试验 D: 安装

- 5 此试验测量加热电缆承受在安装过程中引起变形的外部施加的应力和外力的能力。

通过将一根 3 米 (10 英尺) 长的加热电缆缠绕在一个 76 毫米 (3 英寸) 阀门上而将其安装在阀门上。而后拆除该电缆并再次安装在阀门上，此次使电缆上的弯曲处弯向第一次安装中所形成弯曲的相反方向。将
10 电缆从阀门上拆下并进行检查，确定变形导线的总数量和导体间的最小距离。几乎没有变形导线且导体间距离最大的导线性能最好。

试验 E: 周期性弯曲

- 15 此试验测量加热电缆承受轻度反复弯曲的能力，弯曲中一导线受拉而另一导线受压。在电缆和基底 (例如管子) 的维护过程中由于反复弯折可出现这类弯曲。

将一个 0.3 米 (1 英尺) 长加热电缆置于每个直径为 12.7 毫米 (0.50 英寸) 的两卷筒间，卷筒设置在沿电缆向下一半位置，处于电缆的各边处 (处在与试验 A 中所述相似的位置)。将电缆的端部夹持在试验夹具内，将一欧姆表联接到导体上测量电缆的电阻。迫使样品绕过第一卷筒 (向前弯曲)，使第一导线受拉而第二导线受压，然后绕过第二卷筒 (反向弯曲)，使第一导线受压而第二导线受拉，以每 11 秒完成一个循环
20 周期的速度穿过 120° 的总角度。试验连续进行，直至达到 40 周或有指示 (基于电阻) 表明导体已被迫相互接触。能承受的周期数量最多的电缆性能最好。

25

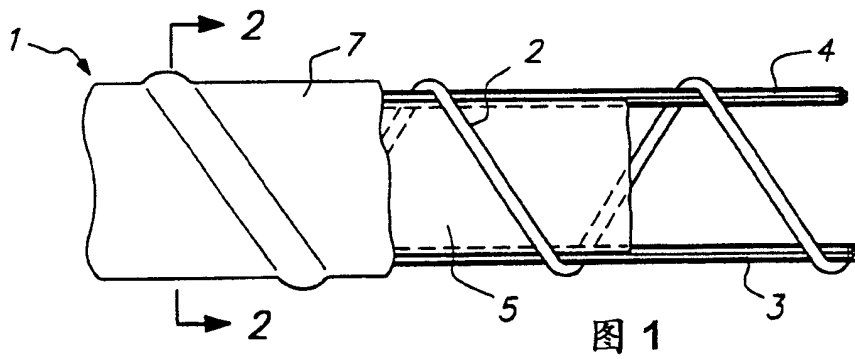


图 1

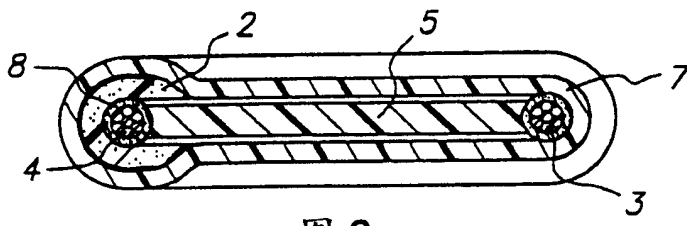


图 2

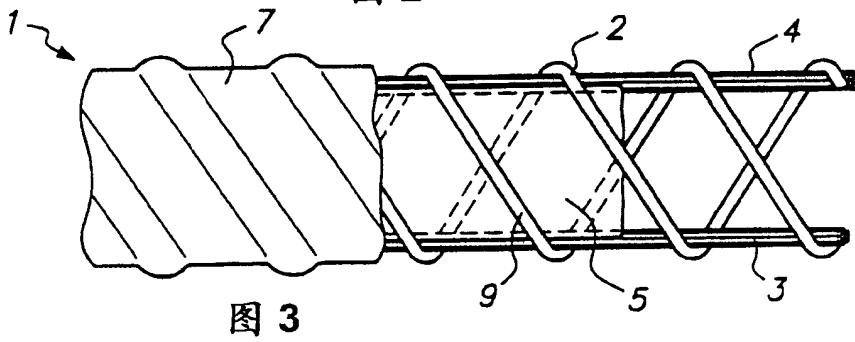


图 3

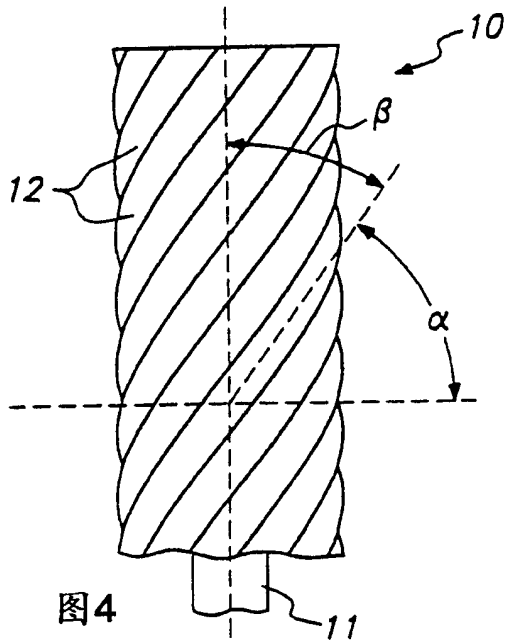


图 4

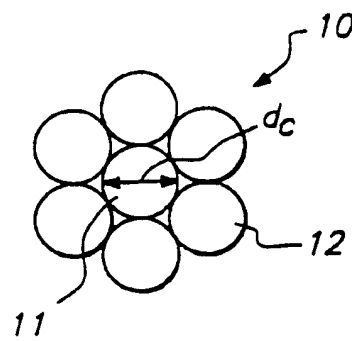


图 5