



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101069247 B

(45) 授权公告日 2010.07.28

(21) 申请号 200580041609.2

H01B 12/16(2006.01)

(22) 申请日 2005.10.31

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

350327/2004 2004.12.02 JP

JP 特开平 11-66982 A, 1999.03.09, 全文.

JP 特开平 7-201230 A, 1995.08.04, 全文.

JP 昭 58-81819 U, 1983.06.02, 全文.

JP 昭 58-81820 U, 1983.06.02, 全文.

CN 1331831 A, 2002.01.16, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007.06.04

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2005/020019 2005.10.31

审查员 段满银

(87) PCT申请的公布数据

W02006/059447 JA 2006.06.08

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 广濑正幸

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 孙志湧 陆锦华

(51) Int. Cl.

H01B 12/02(2006.01)

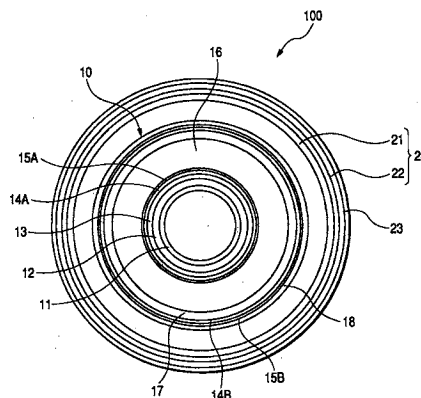
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 发明名称

超导电缆

(57) 摘要

提供一种超导电缆,该超导电缆能够以一种简单的结构吸收冷却中的超导线元件的收缩量。根据本发明的超导电缆包括:通过螺旋形缠绕构成超导层(导体层(13)、回流管导体(17))的超导线元件;设置在超导层的内侧上的应力松弛层(内侧应力松弛层(12)、绝缘层/外侧应力松弛层(16));以及设置在应力松弛层的内侧上的电缆构成元件(成形件(11))。电缆构成为由应力松弛层吸收对应于由制冷剂冷却超导线元件的超导层在直径方向的收缩量。



CN 101069247 B

1. 一种超导电缆,包括:
通过螺旋形缠绕构成超导层的超导线元件;以及
设置在该超导层的内侧上的应力松弛层,构成所述应力松弛层的材料为牛皮纸、塑料带以及牛皮纸和塑料带的复合带中的至少一种,其中
对应于由制冷剂冷却该超导线元件的该超导层的在直径方向的收缩量由该应力松弛层吸收。
2. 根据权利要求1所述的超导电缆,还包括:
设置在所述应力松弛层的内侧上的电缆构成元件,其中
对应于由所述制冷剂冷却所述超导线元件的所述超导层的在所述直径方向的所述收缩量由所述应力松弛层和所述电缆构成元件吸收。
3. 根据权利要求1所述的超导电缆,其中
所述超导层包括:导体层,以及所述应力松弛层包括形成在所述导体层的内侧上的内侧应力松弛层。
4. 根据权利要求3所述的超导电缆,其中
所述应力松弛层还包括设置在所述导体层的外侧上的绝缘层,该绝缘层用作外侧应力松弛层,以及
所述超导层还包括形成在所述绝缘层的外侧上的外导体层。
5. 根据权利要求1所述的超导电缆,其中
所述超导线元件的缠绕节距是所述超导线元件的缠绕直径的4至6倍。
6. 根据权利要求2所述的超导电缆,其中
电缆构成元件包括成形件,以及
该成形件是波纹管 and 螺旋形条状元件中的任何一种。
7. 根据权利要求1所述的超导电缆,还包括:
在所述超导层的外侧上的保持缠绕层。
8. 根据权利要求1至7中任何一项所述的超导电缆,其中
所述超导电缆是直流超导电缆。

超导电缆

技术领域

[0001] 本发明涉及一种超导电缆。具体地,本发明涉及一种能够吸收超导线元件的热收缩的直流超导电缆。

背景技术

[0002] 作为超导电缆,已经提出了图 4 中示出的超导电缆。超导电缆 100 由在热绝缘管 20(例如参考专利参考文献 1,专利参考文献 2)的内部包含三个电缆芯 10 的结构构成。

[0003] 电缆芯 10 从其中心连续地包括成形件 11,导电层 13,绝缘层 16A,屏蔽层 17A,保护层 18。导电层 13 通过螺旋形缠绕多层超导线元件而构成。通常,使用带状的超导线元件,其中包括氧化物超导材料的多种细丝布置在银套等的基体中。绝缘层 16A 通过缠绕绝缘纸构成。在绝缘层 16A 上,屏蔽层 17A 通过与导电层 13 相似地螺旋形缠绕超导线元件而构成。此外,绝缘纸等用于保护层 18。

[0004] 此外,绝缘管 20 通过绝缘件(未示出)设置在包括内管 21 和外管 22 双层管之间的结构构成,并且双层管的内部被抽真空。抗腐蚀层 23 形成在热绝缘管 20 的外侧上。此外,使用的状态通过如下状态构成,其中填充液态氮等制冷剂并且使制冷剂通过成形件 11(在中空的套管中)的内部或在内管 21 和芯 10 之间形成的空间循环,并且该制冷剂注入到绝缘层 16A。

[0005] 专利参考文献 1:日本专利特许公开:JP-A-2003-249130(图 1)

[0006] 专利参考文献 2:日本专利特许公开:JP-A-2002-140944(图 2)

发明内容

[0007] 本发明所解决的技术问题

[0008] 同时,根据上述超导电缆,在操作中,通过将被收缩的制冷剂将超导线元件冷却到非常低的温度,因此需要一种吸收该收缩量的结构。然而,还没有发现作为吸收收缩量的机构的简单结构。

[0009] 虽然根据包括三个电缆芯的结构,可以设计出通过松弛扭绞的芯而吸收收缩量的对策,但是在具有单个芯的超导电缆的情况下,不能采用这样的对策。因此,可以构想通过允许应力根据冷却中的收缩对超导线元件起作用,或根据电缆的热收缩滑移超导电缆的远端部分来进行处理。

[0010] 然而,在前一种情况下,允许收缩的应力对超导线元件起作用,因此存在以下情况,即取决于应力的幅值,在超导线元件中产生大的张力,超导线元件变差,或热绝缘管在电缆的弯曲部分根据电缆的收缩被施加侧压而减小热绝缘功能。此外,在后一种情况下,需要用于滑移超导电缆远端的机构,并且易于引起抵抗收缩的大范围的对策。具体地,使用滑移机构的抵抗收缩的对策不适于通过接点与多个超导电缆连接的远距离的超导电缆线。

[0011] 本发明是鉴于上述情况而进行的,其主要目的是提供一种超导电缆,该超导电缆能够通过一种简单的结构来吸收冷却中的超导线元件的收缩量。

[0012] 此外,本发明的另一个目的是提供一种直流超导电缆,该直流超导电缆能够通过一种简单的结构吸收冷却中的超导线元件的收缩量。

[0013] 此外,本发明的其它目的是提供一种超导电缆,该超导电缆能够通过一种简单的结构吸收冷却中的超导线元件的收缩量,并且还能够尽可能地减少使用超导线元件的量。

[0014] 解决技术问题的技术方案

[0015] 本发明通过提供一种超导层热收缩机构到电缆芯自身来实现上述目的。

[0016] 根据本发明,提供一种超导电缆,该超导电缆包括:通过螺旋形缠绕而构成超导层的超导线元件;和设置在超导层的内侧上的应力松弛层,其中对应于由制冷剂冷却超导线元件的超导层在直径方向的收缩量由应力松弛层吸收。

[0017] 通过在超导层的内侧上设置应力松弛层,当超导线元件由于冷却而收缩时,根据对应于该收缩的超导层直径的收缩量(螺旋形缠绕的超导线元件的直径由于冷却而减小的量)通过吸收至少一部分的量,可以避免超导线元件受到过度的张力作用。

[0018] 下面将详细描述根据本发明的超导电缆的构成元件。

[0019] 根据本发明的超导电缆典型地由电缆芯和包含该电缆芯的热绝缘管构成。其中,电缆芯由包括应力松弛层、导体层、绝缘层的基本结构构成。通常,电缆芯设置有构成电缆构成元件的成形件。此外,还可以设置外导体层(屏蔽层)、保持缠绕层、垫层。

[0020] 成形件用于将导体层保持为预定形状,并且可以使用形成为管形状或螺旋形的带状元件或具有扭绞线结构的构造。作为成形件的材料,优选的是铜、铝等非磁性金属材料。此外,也可以使用各种塑料。当成形件由管状形状构成时,考虑到揉曲性,优选地由波纹管构成成形件。在管状形状的成形件的情况下,成形件的内侧可以构成制冷剂的流动通道。

[0021] 应力松弛层是用于吸收超导层的热收缩量的层。超导层是通过螺旋形缠绕超导线元件形成的层,并且包括如下所述的导体层或外导体层(屏蔽层)。在操作电缆中,超导层由于被制冷剂冷却到极低的温度而热收缩。对应于超导线元件的热收缩,还产生直径方向的收缩,因此当设置在超导层内侧上的应力松弛层对应于超导线元件的热收缩而收缩时,可以抑制超导线元件受到过度的张力作用。

[0022] 当由于制冷剂而受到极低的温度时,应力松弛层可以具有一定的收缩量,该收缩量能够吸收超导层的直径收缩量的至少一部分。也就是说,应力松弛层可以构成为通过应力松弛层和设置在应力松弛层内侧上的电缆构成元件吸收超导层由于冷却而在直径方向收缩的量,或可以构成为仅由应力松弛层吸收超导层由于冷却而在直径方向收缩的量。

[0023] 在前一种情况下,超导层的收缩由应力松弛层和电缆构成元件的收缩而被吸收,因此应力松弛层自身可以是薄的。成形件作为设置在应力松弛层内侧上的电缆构成元件的典型例子被指出。在后一种情况中,超导层的直径收缩量由应力松弛层吸收,因此可以自由地选择在应力松弛层内侧上的构成元件(例如成形件)的材料或结构。

[0024] 布置应力松弛层的位置是设置在超导层的内侧上。例如,指出提供导体层(在成形件的外侧上)内侧的应力松弛层作为内侧应力松弛层,或在外导体层(屏蔽层)内侧上提供应力松弛层作为外侧应力松弛层。作为设置在外导体层内侧上的应力松弛层,可以使用绝缘层自身,或除了绝缘层之外可以分离地形成应力松弛层。当绝缘层自身用作外侧应力松弛层时,不必提供除了绝缘层之外的应力松弛层,从而能够有助于形成小直径的电缆芯。

[0025] 作为构成应力松弛层的材料,优选地可以使用牛皮纸、塑料带以及牛皮纸和塑料带的复合带中的至少一种。至于塑料带,优选地可以使用聚烯烃带,特别是聚丙烯。虽然牛皮纸通常廉价,但是由于冷却而收缩的量较小,并且虽然牛皮纸和聚丙烯的复合带是昂贵的,但是由于冷却而收缩的量较大。具体地,在复合带的情况下,当使用具有大厚度的聚丙烯的复合带时,可以确保大的收缩量,并且甚至当超导元件的直径收缩量大时,可以形成不施加过多张力到超导元件的应力松弛层。此外,至于牛皮纸,皱纹牛皮纸或湿润牛皮纸可以确保大的收缩量。此外,具有能够吸收超导元件的直径收缩量的至少一部分的厚度的应力松弛层可以由这些材料的单一材料或这些材料的组合构成。

[0026] 导体层是由超导元件构成的导体部分。例如,导体层通过在成形件的外侧上螺旋形缠绕多层超导元件形成。作为超导元件的具体例子,指出了一种带形形状的超导元件,在该超导元件中,包含 Bi2223 类氧化物超导电材料的多种细丝布置在银套等的基体中。可以以单层或多层缠绕超导元件。此外,当构成多层时,可以提供夹层绝缘层。至于夹层绝缘层,指出了通过缠绕牛皮纸等的绝缘纸或 PPLP(由 Sumitomo Denki Kogyo K. K. 制造,注册的商标)等的复合纸提供的夹层绝缘层。

[0027] 绝缘层由具有根据导体层电压的绝缘能力的绝缘材料构成。例如,优选地可以使用牛皮纸、塑料带以及牛皮纸和塑料带的复合带中的至少一种。

[0028] 在上述的各种材料中,仅由牛皮纸构成的绝缘层的结构成本最低。当复合带和牛皮纸混合使用时,与仅由复合带构成绝缘层的情况相比,可以减少使用昂贵复合带的量,从而可以减少电缆成本。

[0029] 具体地,当使用层叠有牛皮纸和聚丙烯膜的复合带时,优选地使用聚丙烯膜厚度与复合带总厚度的比 k 为 60% 或以上的复合带。由于构成复合带的牛皮纸和聚丙烯膜的电阻率之间的差值,因而电场应力显著地施加在耐电压特性出色的塑料薄膜上。因此,通过增加绝缘层中的塑料薄膜的比率,可以提高绝缘层的耐电压特性(具体地是耐受直流电压的特性),并且可以减小绝缘层的厚度。

[0030] 此外,当提供如下所述的外导体层时,优选地使用绝缘层自身作为应力松弛层。虽然应力松弛层可以从绝缘层分离地形成,但是通过利用绝缘层自身作为应力松弛层用于吸收外导体层的直径收缩量,可以抑制超导电缆的外径增加。

[0031] 此外,半导体层可以形成在绝缘层内外圆周的至少一个上,即在导体层和绝缘层之间,或在绝缘层和屏蔽层之间。通过形成前者的内半导体层和后者的外半导体层,有效地稳定了电功能。

[0032] 外导体层可以设置在绝缘层的外侧上。具体地,在直流超导电缆中,外导体层是执行单极系统的电力传输所必需的结构。虽然在交流超导电缆中,为了减少超导元件的交流电损失,需要用于屏蔽漏出到导体层外圆周的磁通量的屏蔽层,但根据直流超导电缆,在对应于交流超导电缆的屏蔽层的部分,回流管导体需要通过外导体层构成。也就是说,通过提供在绝缘层的外侧上包括超导元件的外导体层(回流管导体),导体层可以在单极电力传输中构成正向电流流动通道,并且外导体层可以用作回流管电流流动通道。外导体层需要由具有与导体层相同的电流容量的结构构成。此外,超导电缆可以由在热绝缘管中包含多个芯的多芯汇总型构成,并且也可以采用单极电力输送系统或双极电力输送系统。在后一种情况下,在本发明的电缆中的外导体层具有作为中性线的功能。

[0033] 优选地,构成导体层或外导体层的超导线元件的缠绕节距是超导线元件的缠绕直径的 4 至 6 倍。缠绕直径指的是缠绕有超导线元件的元件的直径,即由超导线元件构成的层的内径。通过限制如上所述的缠绕节距与缠绕直径的比,可以构成当超导线元件由于冷却而收缩时能够减小线收缩量的短节距,以及构成还能够抑制使用超导线元件的量的缠绕节距。

[0034] 根据交流超导电缆,为了通过使多层缠绕的超导线元件的各个层的电流均匀(形成均匀电流)从而减少交流电损失,调整各层超导线元件的缠绕节距。例如,通过缠绕超导线元件和弯曲所述芯的关系,在没有劣化超导线元件的范围内组合短节距和长节距。因此,对于选择缠绕节距的限制是相当大的。

[0035] 另一方面,在直流超导电缆的情况下,不必考虑形成均匀电流,因此对于选择缠绕节距的限制是不值得考虑的,缠绕节距可以相对自由地选择,并且所有的层也可以以相同的节距缠绕。

[0036] 当超导线元件的缠绕节距减小时,当超导线元件由于冷却而收缩时的直径收缩量,即由应力松弛层吸收的量同样减小,因此可以容易地形成应力松弛层。然而,当缠绕节距减小时,使用超导线元件的量增加从而使成本增大,因此重要的是选择抑制使用超导线元件的量尽可能少地增加的缠绕节距。因此,通过限制如上述的缠绕节距相对于缠绕直径的比,可以通过当超导线元件由于冷却而收缩时能够减少直径的收缩量的短节距并且通过也相对地限制使用超导线元件的量的节距从而构成超导电缆。超导线元件的更加优选的缠绕节距是缠绕直径的 5 倍。

[0037] 可以如下试验性地计算超导线元件的优选缠绕节距。首先,研究在冷却超导线元件中构成超导层的超导线元件的缠绕节距与缠绕直径的比“(节距/直径)比”和直径收缩量之间的关系。接下来,研究“(节距/直径)比”和使用超导线元件的量之间的关系。此外,选择超导线元件的缠绕节距和缠绕直径,能够使得超导线元件的直径收缩量等于或小于规定值,并且能够使得使用超导线元件的量等于或小于规定值。

[0038] 此外,保持缠绕层可以形成在超导层的外侧上。通过在超导层的外侧上形成保持缠绕层,可以预期将超导层紧固到内侧的操作。通过该紧固操作,使超导层的直径收缩可以平稳地进行。保持缠绕层的材料可以由能够在超导层上生产预定紧固力的材料构成,例如,优选地可以使用金属带,特别是铜带等等。

[0039] 当使用保持缠绕层时,同样优选地,在保持缠绕层和超导层之间插入垫层。当金属带用于保持缠绕层时,通常,超导线元件也使用银等金属,在保持缠绕层和超导层之间构成金属之间的接触,并且可能损坏超导线元件。因此,当垫层插入在这两个层之间时,通过避免金属直接接触可以防止超导线元件被破坏。至于垫层的具体材料,优选地可以使用绝缘纸或复写纸。

[0040] 此外,优选地在电缆芯的最外围提供保护层。该保护层具有机械地保护外导体层和从热绝缘管隔离的功能。至于保护层的材料,可以使用牛皮纸等绝缘纸或塑料带。

[0041] 另一方面,热绝缘管可以由任何结构构成,只要该结构是能够保持制冷剂的热绝缘的结构。例如,这里提出一种结构,该结构在包括外管和内管的双层结构的双层管之间设置热绝缘元件并且抽真空内管和外管之间的间隙。通常,层叠有金属箔和塑料网的超绝缘设置在内管和外管之间。内管的内侧包含有至少导体层,并且充满液态氮等的制冷剂,用来

冷却导体层。

[0042] 制冷剂可以将超导线元件保持在超导状态。虽然目前,最实用的是利用液态氮作为制冷剂,另外可以构想利用液态氦、液态氢等。具体地,在液态氮的情况下,可以构成超导电缆,该超导电缆由不会使聚丙烯膨胀的液体构成绝缘,并且即使当绝缘层由比率 k 高(即具有大厚度的聚丙烯)的复合带构成时,在直流电压耐受特性或 I_{mp} 电压耐受特性上是出色的。

[0043] 本发明适于直流和交流超导电缆中的任何一种。具体地,优选地将本发明应用于直流超导电缆,在直流超导电缆中,如上所述,不需考虑在超导层中对超导线元件的缠绕节距的限制。然而,即使在交流电缆的情况下,例如,(1)当导体层和屏蔽层分别由单个层构成时,(2)虽然导体层和屏蔽层由多个层构成,但不需考虑调整节距的必要性,并且优选地采用热收缩对策,可以采用短节距作为超导线元件的缠绕节距。因此,即使在交流电缆的情况下,可以给电缆芯自身提供热收缩吸收机构。

[0044] 本发明的技术效果

[0045] 根据本发明的超导电缆,可以实现下列效果。

[0046] (1)通过在超导层内侧上提供应力松弛层,当超导线元件由于冷却而收缩时,根据该收缩与超导层的直径收缩量对应的量的至少一部分可以由应力松弛层吸收。因此,可以避免超导线元件受到过度的张力作用,并且可以抑制超导特性的减小。

[0047] (2)吸收热收缩量的机构可以通过在超导层的内侧上提供应力松弛层的简单结构在电缆芯自身上构成。因此,不必采用滑移电缆等的远端部分,同时构造能够稳固地吸收超导线元件的热收缩量的结构的大尺度结构。

[0048] (3)通过将热收缩吸收机构提供到电缆芯自身,不仅在多芯超导电缆中而且在曾经认为难以提供传统吸收机构的单芯超导电缆中,都可以吸收超导线元件的收缩量。

[0049] (4)通过构成由绝缘层自身吸收外导体层的直径收缩量的应力松弛层,不必重新形成用于外导体层的应力松弛层,并且可以抑制电缆直径的增加。

[0050] (5)通过将超导线元件的缠绕节距构成为缠绕直径的4至6倍,可以构成这样的超导电缆,该超导电缆能够以简单的结构吸收超导线元件的收缩量并且也能够尽可能地减少使用超导线元件的量。

[0051] (6)通过在超导层外侧上提供保持缠绕层,通过将超导层挤压到内圆周侧并且使得根据超导线元件的热收缩的直径收缩表现平稳,直径收缩量可以由应力松弛层平稳地吸收。

附图说明

[0052] 图1是根据本发明的超导电缆的截面图。

[0053] 图2是示出在冷却超导线元件中“(节距/直径)比”和直径收缩量之间的关系的图表。

[0054] 图3是示出“(节距/直径比)”和使用超导线元件的量之间的关系的图表。

[0055] 图4是根据现有技术的超导电缆的截面图。

[0056] 附图标记

[0057] 100 直流超导电缆,10 芯,11 成形件,12 内侧应力松弛层,13 导体层,14A、14B 垫

层,15A、15B 保持缠绕层,16 绝缘层 / 外应力松弛层,16A 绝缘层,17 回流管导体,17A 屏蔽层,18 保护层,20 热绝缘管,21 内管,22 外管,23 抗腐蚀层

具体实施方式

[0058] 下面将说明本发明的实施例。

[0059] (实施例 1)

[0060] [总体结构]

[0061] 如图 1 所示,根据本发明的直流超导电缆 100 由单个电缆芯 10 和包含该芯 10 的热绝缘管 20 构成。

[0062] [芯]

[0063] 该芯 10 从其中心连续地包括成形件 11,内侧应力松弛层 12,导体层 13,垫层 14A,保持缠绕层 15A,绝缘层(也就是外应力松弛层)16,外导体层(回流管导体 17),垫层 14B,保持缠绕层 15B 和保护层 18。

[0064] <成形件>

[0065] 由不锈钢构成的波纹管用于成形件 11。当使用中空成形件 11 时,其内部可以构成制冷剂(在这种情况下是液态氮)的流动通道。

[0066] <内侧应力松弛层>

[0067] 内侧应力松弛层 12 通过缠绕由 Sumitomo Denki Kogyo K. K. 制造的复合胶带 PPLP(注册的商标)形成,其中 PPLP 通过在成形件 11 上叠层牛皮纸和聚丙烯膜构成。在此,选择能够吸收在冷却导体层 13 中的直径收缩量的材料和厚度,该导体层将在下面描述。此外,具体地,使用聚丙烯膜的厚度与复合胶带的总厚度的比率 k 为 60% 的 PPLP。

[0068] <导体层>

[0069] 0.24mm 厚、3.8mm 宽的 Bi2223 类 Ag-Mn 铠装的带形线元件用于导体层 13。导体层 13 通过在内侧应力松弛层 12 上多层缠绕带形线元件而构成。在此,超导线元件在其上缠绕 4 层。

[0070] <垫层和保持缠绕层>

[0071] 垫层 14A 形成在导体层 13 上,并且保持缠绕层 15A 进一步形成在垫层 14A 上。垫层 14A 通过在导体层上缠绕几层牛皮纸而构成,保持缠绕层 15A 通过缠绕铜带而构成。垫层 14A 避免导体层和保持缠绕层 15A 的金属之间的接触,并且通过借助垫层 14A 将导体层 13 固定到内圆周侧,保持缠绕层 15A 使得导体层 13 的直径收缩在冷却中表现平稳。

[0072] <绝缘层 / 外应力松弛层>

[0073] 绝缘层 16 形成在保持缠绕层 15A 上。在此,绝缘层 16 由具有 60% 的比率 K 的 PPLP 构成。绝缘层 16 具有电绝缘导体层 13 的功能,以及还具有作为用于吸收直径收缩量的外应力松弛层的功能,如下所述,该直径收缩量是由于冷却外导体层而导致的。通过由绝缘层 16 自身构成外应力松弛层,不必分离地形成外应力松弛层,以及可以抑制电缆芯的外径增加。

[0074] 此外,虽然没有示出,但是绝缘层的内圆周侧形成有内半导体层,并且其外圆周侧形成有外半导体层。任何一个半导体层都是通过缠绕复写纸形成。

[0075] <外导体层(回流管导体)>

[0076] 外导体层（回流管导体 17）设置在绝缘层 16 的外侧上。在直流中，需要电流的往复流动通道，因此回流管导体 17 设置在单极电力传输中以用作返回电流的流动通道。回流管导体 17 由与导体层 13 相似的超导线元件构成，并且设置有与导体层 13 相似的电力传输容量。

[0077] < 垫层和保持缠绕层 >

[0078] 接下来，垫层 14B 形成在外导体层上，并且保持缠绕层 15B 进一步形成在垫层 14B 上。垫层 14B 和保持缠绕层 15B 的构成材料类似于设置在导体层 13 的外侧上的垫层 14A 和保持缠绕层 15A 的材料。垫层 14B 避免回流管导体 17 和保持缠绕层 15B 的金属之间的接触，并且通过由垫层 14B 将回流管导体 17 固定到内圆周侧而使得回流管导体 17 的直径收缩表现平稳。

[0079] < 保护层 >

[0080] 回流管导体 17 的外侧设置有由绝缘材料构成的保护层 18。在此，保护层 18 通过缠绕牛皮纸构成。通过该保护层 18，可以在机械上保护回流管导体 17，可以使热绝缘管（内管 21）绝缘，并且可以防止返回电流分流到热绝缘管 20。

[0081] [绝缘管]

[0082] 热绝缘管 20 包括具有内管 21 和外管 22 的双层管，并且真空热绝缘层在内外管 21、22 之间构成。真空热绝缘层的内侧设置有所谓的超绝缘，该超导绝缘层叠有塑料网和金属箔。在内管 21 的内侧和芯 10 之间形成的空间构成制冷剂的流动通道。此外，抗腐蚀层 23 可以根据需要通过聚氯乙烯等形成在热绝缘管 20 的外周边上。

[0083] （ 试验计算例 ）

[0084] 接下来，在制造超导电缆中，执行下面的试验计算，使得使用超导线元件的量可以尽可能地小，同时旨在形成超导线元件的短节距以使得直径收缩量尽可能小。

[0085] 首先，这里研究构成超导层的“（节距 / 直径）比”的超导线元件的缠绕节距和缠绕直径的比率与超导线元件的直径收缩量之间的关系。在此，缠绕直径由 20mm Φ 、30mm Φ 、40mm Φ 三种方式构成，并且通过使用各个材料的线性膨胀系数试验地计算当超导线元件由于工作中冷却而收缩 0.3% 时直径的收缩量。其结果在图 2 的图表中示出。

[0086] 如图表所示，当“（节距 / 直径）比”保持相同时，已知缠绕直径越大，直径收缩量越小。此外，同样已知当缠绕直径保持相同时，“（节距 / 直径）比”越小，直径收缩量越小。从结果中可知，当选择短节距时吸收的直径收缩量小。

[0087] 接下来，研究“（节距 / 直径）比”和使用超导线元件的量之间的关系。在此，当沿着缠绕的对象纵向形成超导线元件时，即当超导线元件形成为与其纵向成直线时，使用超导线元件的量构成 1.0，并且示出当“（节距 / 直径）比”改变一相对值时，使用超导线元件的量如何改变。其结果在图 3 的图表中示出。

[0088] 如图表所示，已知虽然使用超导线元件的量没有大大地增加达到约 6.0 的“（节距 / 直径）比”，但是当该比率变得小于 4.0 时使用超导线元件的量快速地增加。

[0089] 从试验计算的两个结果可知，“（节距 / 直径）”比可以形成为约 4.0 至 6.0，这时，在冷却中超导线元件的收缩量形成为容易被吸收的程度并且使用超导线元件的量较小。

[0090] 表 1 概括了根据基于试验计算结果设计的本发明的超导电缆（50kV, 10000A）各个部分的构成材料和尺寸。此外，导体层和外导体层的超导线元件的缠绕节距是缠绕直径的

5 倍。也就是说,导体层的节距是 210mm,外导体层的节距大约是 274mm。

[0091] [表 1]

[0092]

构成元件	材料	外径 (mm) 等
成形件	不锈钢波纹管	30
内侧应力松弛层	PPLP	42 (厚度 :6mm)
导体层	Bi2223 类超导线元件	46.4 (4 层)
垫层 / 保持缠绕层	牛皮纸 / 铜带	47.4

[0093]

绝缘层 / 外侧应力松弛层	PPLP	54.7 (厚度 :3mm)
外导体层	Bi2223 类超导线元件	57.5 (3 层)
垫层 / 保持缠绕层	牛皮纸 / 铜带	59.5
保护层	牛皮纸	61.7 (厚度 1mm)
电缆外径		116

[0094] 在表 1 的构成中,成形件自身的直径同样由于冷却而收缩。当在冷却中其收缩率是 0.3% 时,接触成形件的直径的量变为 0.09mm。另一方面,在 42mm 的缠绕直径、210mm 的缠绕节距的条件下,0.3% 的收缩率的超导线元件的直径收缩量是 0.45mm。因此,已知的是,20% 的导体层直径收缩量可以仅由成形件的直径收缩量吸收。因此,已知的是,当内侧应力松弛层的直径收缩量是 0.36mm 时,100% 的导体层直径收缩量可以由成形件和内侧应力松弛层的总的直径收缩量吸收。此外,已知的是,当内侧应力松弛层的直径收缩量是 0.45mm 时,总的导体层直径收缩量可以仅由内侧应力松弛层吸收。

[0095] 虽然已经参考具体实施例进行了详细的说明,但是对于本领域技术人员来说,显而易见的是,本发明可以进行各种改变或变更而不脱离本发明的精神和范围。

[0096] 此外,本申请基于 2004 年 12 月 2 日提交的日本专利申请(日本专利申请 No. 2004-350327),并且该日本专利申请的内容以参考的形式并入于此。

[0097] 工业实用性

[0098] 根据本发明的超导电缆可以用作电力传输装置。具体地,根据本发明的超导电缆可以优选地用作单芯直流电力传输装置。

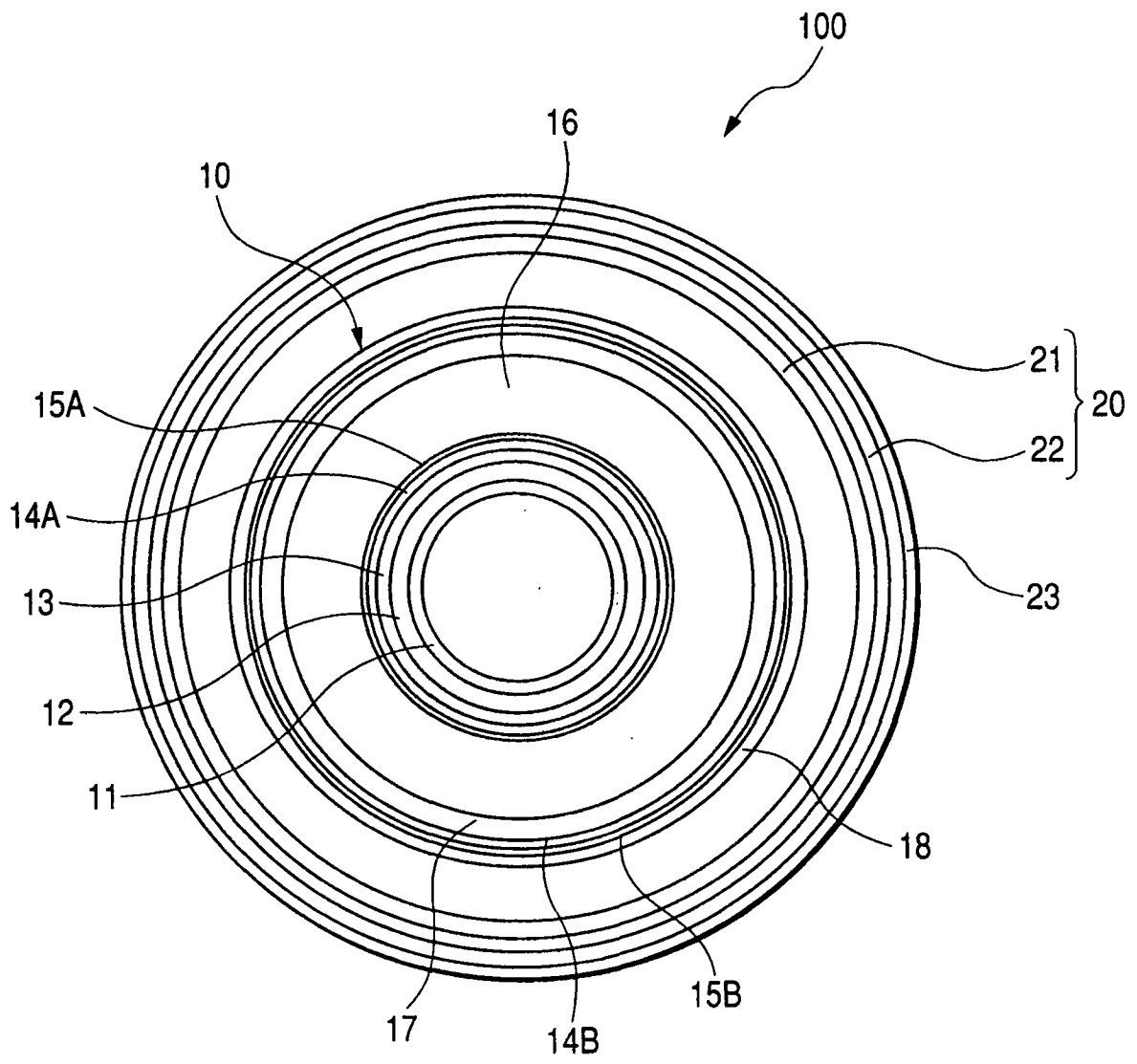


图1

吸收时的直径收缩量0.3% (mm)

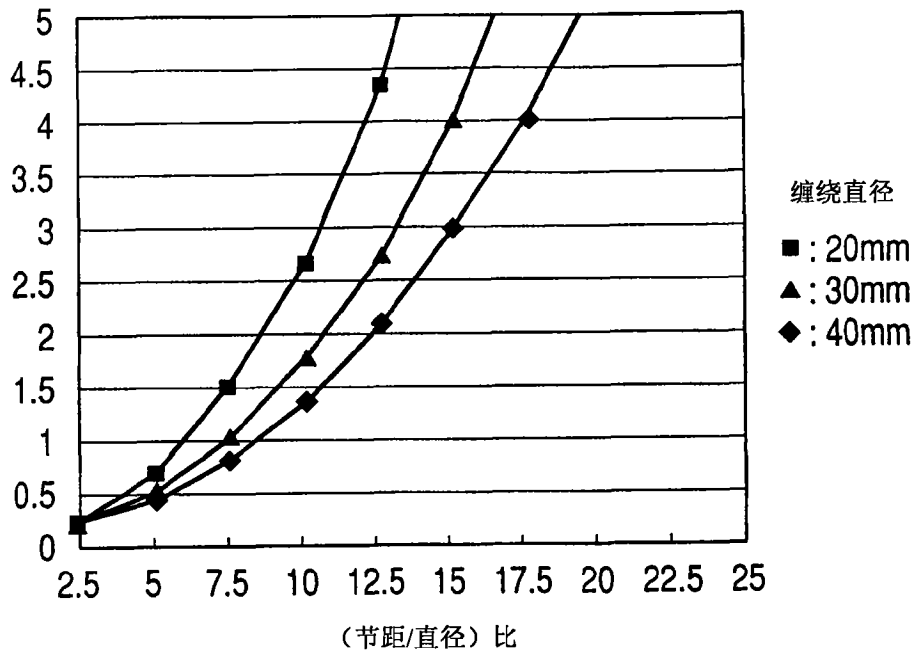


图2

导线元件必要量比率

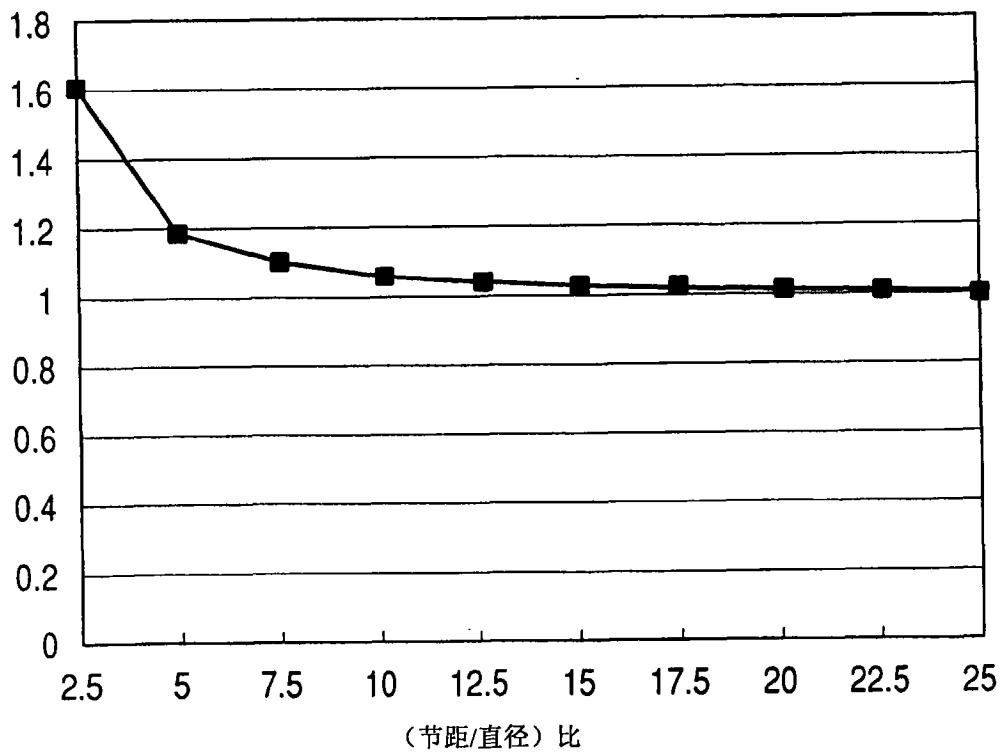


图3

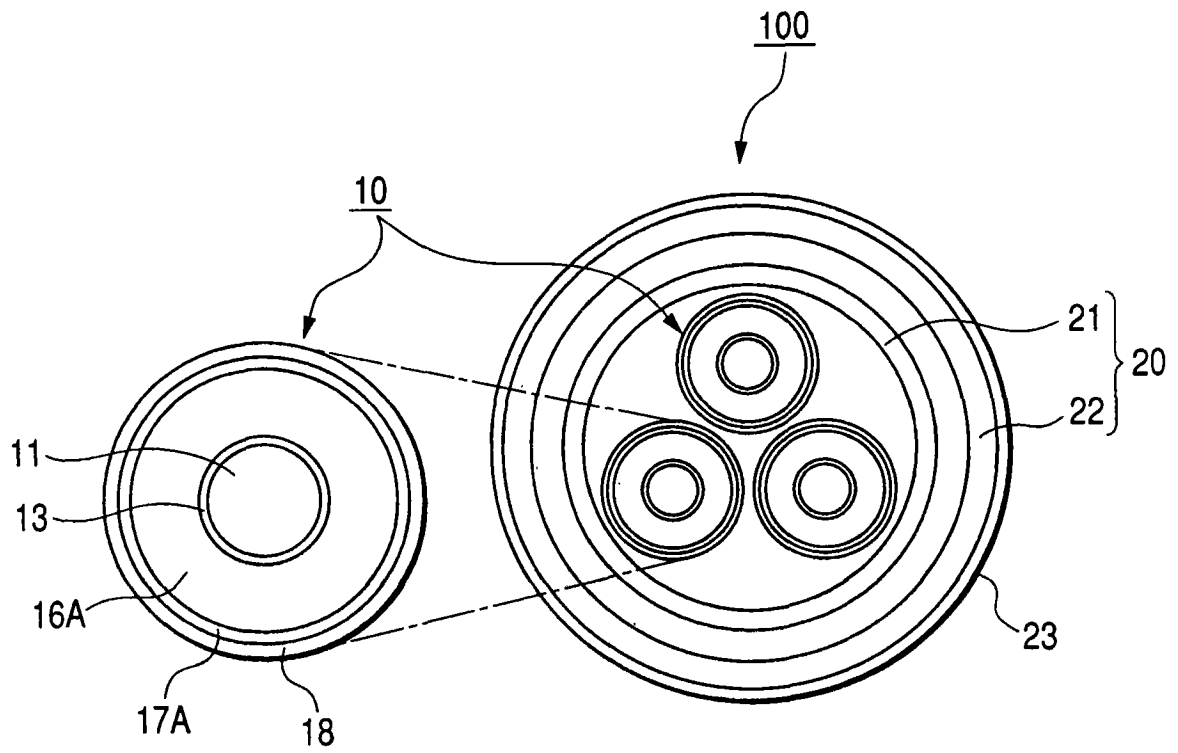


图4