

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01B 12/00 (2006.01)

H02G 15/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410059723.5

[45] 授权公告日 2007 年 5 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1316513C

[22] 申请日 2004.6.21

[21] 申请号 200410059723.5

[30] 优先权

[32] 2003.6.19 [33] JP [31] 174666/03

[73] 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

共同专利权人 东京电力株式会社

[72] 发明人 增田孝人 汤村洋康 高桥芳久

本庄升一 卫藤敬佐

[56] 参考文献

CN1095232C 2002.11.27

JP2003-9330A 2003.1.1

审查员 俞文良

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 陶凤波 侯宇

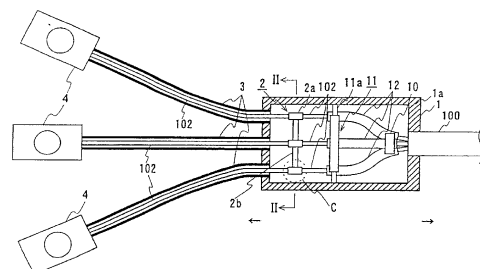
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 5 页

[54] 发明名称

多相超导电缆的分相结构

[57] 摘要

本发明公开了一种超导电缆的分相结构，其包括三根电缆芯线(102)，每一电缆芯线具有设置在超导体周围的屏蔽层(203)；分线盒(1)，其中放置了从将所述三根电缆芯线(102)装配到电缆中的装配部延伸的三根电缆芯线(102)，并使电缆芯线(102)处于互相隔开的状态；以及屏蔽连接部(2)，该部分使电缆芯线(102)各自的屏蔽层在分线盒(1)内互相连接。该屏蔽连接部使电缆芯线的各自的屏蔽层低阻抗地连接在一起，并且通过每个屏蔽层的电流与通过每个超导体的电流大小基本相等。于是，在每个屏蔽层中形成的磁场具有能抵消由每个超导体产生的磁场的水平。因此，该结构能有效地防止形成在电缆芯线外部的大磁场。



1. 一种多相超导电缆的分相结构，包括：

具有在各超导体周围设置的各自的屏蔽层的多根电缆芯线(102)；

一分线盒(1)，其安放了从所述电缆芯线(102)被装配到所述超导电缆中的装配部延伸的所述多根电缆芯线(102)，所述分线盒(1)中的所述电缆芯线(102)互相隔开；以及

一屏蔽连接部(2)，其使所述电缆芯线(102)的所述各自的屏蔽层在所述分线盒(1)中互相连接，所述屏蔽连接部(2)采用超导材料形成；

其中，所述屏蔽连接部(2)包括柱形部件和连接部件，所述柱形部件覆盖所述电缆芯线的屏蔽层各自的外周边，所述连接部件将所述多个柱形部件相互连接；以及

所述屏蔽连接部(2)的组成不同于所述屏蔽层。

2. 如权利要求 1 所述的结构，其中，所述屏蔽连接部(2)具有的临界电流值比所述屏蔽层的临界电流值小。

多相超导电缆的分相结构

技术领域

本发明涉及一种将由多根电缆芯线构成的多相超导电缆分开为包含所述芯线的各自分支部分 (respective segments) 的分开结构。具体地说, 本发明涉及一种多相超导电缆的分相结构, 以减小或者抵消每根电缆芯线外部产生的磁场。

背景技术

尽管采用以 Bi 为基的高温超导带材形成的超导体的超导电缆已经投产, 但将多根电缆芯线装配成一个单元从而制成例如多芯线型多相超导电缆仍处于开发之中。图 5 示出了三芯线型三相超导电缆的横截面。该超导电缆 100 包括扭绞并设置在绝热管 101 中的三根电缆芯线 102。

绝热管 101 具有外管 101a 和内管 101b。由这些外管 101a 和内管 101b 构成的套管中装有绝热材料(未示出), 并且在套管内形成真空。按照从最内层元件开始的顺序, 每个电缆芯线 102 包括线圈架 200、超导体 201、电绝缘层 202、屏蔽层 203 以及保护层 204。超导体 201 通过在线圈架 200 周围以螺旋形式缠绕多层超导线而形成。屏蔽层 203 通过在电绝缘层 202 周围以螺旋形式缠绕与超导体 201 相同的超导线形成。在稳定的状态下, 在屏蔽层 203 中, 感应电流的大小与流过超导体 201 的电流几乎相同但方向相反。该感应电流产生磁场, 此磁场能抵消超导体 201 产生的磁场, 从而在电缆芯线 102 外侧实现几乎是零泄漏的磁场。内部管 101b 和每根电缆芯线 102 之间形成的空间 103 通常设为制冷剂流动通道。

在例如将多个多相超导电缆互相连接、将多相超导电缆连接到正常导电电缆上、或者形成多相超导电缆的终端结构的情况中, 多相超导电缆被分成各相即电缆芯线的各自分支部分。电缆在保持在低温下的分线盒中分成电缆芯线分支部分, 并且电缆芯线在分线盒内保持互相分开的状态。例如, 用于容纳电缆并且其间具有足够空间的夹具披露在日本专利公开 2003-009330 号中。

在例如多个多相正常导电电缆互相连接或形成多相正常导电电缆的终端结构的另一种情况下，多相正常导电电缆也象多相超导电缆那样被分成电缆芯线的各自分支部分。此时，正常导电电缆分成电缆芯线部分不需要所述分线盒，而且电缆芯线与前述一样隔开。在电缆的分开部分，为了使每相得到地电位，每根电缆芯线的屏蔽层通常接地。该技术例如在1989年3月25日由Kihachiro Iizuka, Kabushiki Kaisha Denkishoin出版的“电力电缆技术手册，新版(“Power Cable Technology Hand book, New Edition”)”第一版第一册p645中已被描述。

然而，对于多相超导电缆而言，还不知道或者设计在分割部分怎样处理每根电缆芯线的屏蔽层，因此需要适当处理屏蔽层的具体方法。在超导电缆分开部分处每根电缆芯线屏蔽层象所述正常导电电缆那样接地。然而，与正常导电电缆相比，超导电缆流过的电流大得多，因此若屏蔽层象正常导电电缆那样接地，电缆芯线的每个屏蔽层通过地连接，在这种情况下每根芯线外部产生的磁场将不利地增加。如果超导电缆的电缆芯线的每个屏蔽层分别接地并且这些屏蔽层通过地连接在一起，因为在屏蔽层之间具有高的电连接阻抗，流过屏蔽层的电流比流过超导电缆的电流小。随之产生的问题是每个电缆芯线的屏蔽层不能产生足够大的磁场来抵消每根芯线的超导体产生的磁场，而在每根芯线的外部产生大的磁场。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种多相超导电缆的分相结构，以减小或者抵消在多根电缆芯线外部产生的磁场。

本发明的另一目的是提供一种多相超导电缆的分相结构，例如当发生短路或者出现其他类似故障时，能通过短路电流流过超导体而减小在屏蔽层上感应的电流。

本发明的所述目的可借助于屏蔽连接部将多根电缆芯线的各自的屏蔽层互相连接来实现，所述屏蔽连接部由导电材料以使屏蔽层低阻抗地互相连接的方式形成。

具体地说，本发明的多相超导电缆的分相结构包括：多根电缆芯线，所述电缆芯线具有在每个超导体周围设置的各自的屏蔽层；安放电缆芯线的分线盒，每根电缆芯线从安装电缆芯线的装配部延伸，在分线盒中的电

缆芯线互相隔开；以及在分线盒中将电缆芯线的各自屏蔽层互相连接的屏蔽连接部，所述屏蔽连接部通过采用超导材料来实现。

如果多相超导电缆的电缆芯线各自的屏蔽层通过地互相连接，屏蔽层之间的连接阻抗高。在这种情况下，欲通过电缆芯线的各自屏蔽层产生抵消从每根电缆芯线的超导体产生的磁场的难度将增加。因此本发明通过具有低连接阻抗的导电材料特别是超导材料将电缆芯线的各屏蔽层互相连接，而取代产生高连接阻抗的通过地连接的屏蔽层。

因此，根据本发明，当电流从超导电缆中流过时，屏蔽层之间的电连接阻抗能减小，因而使流过每根电缆芯线的屏蔽层的电流与流过超导体的电流相等。因此，根据本发明，每根电缆芯线的超导体产生的磁场能被每根芯线的屏蔽层上产生的磁场抵消。每根芯线外部产生的泄漏磁场能进一步减小或者完全消失。此外，根据本发明，由超导材料形成的屏蔽连接部使得屏蔽层之间的电连接阻抗减小，因此，在屏蔽连接部上通过传导产生的热量减小，因而制冷机的负荷量减小。下面将更具体地描述本发明。

本发明旨在提供一种具有多根电缆芯线的多相超导电缆，其中在各超导体周围设有各自的屏蔽层。例如，本发明旨在提供一种三芯线型三相超导电缆，其具有三根被扭绞且被安置在绝热管中的电缆芯线。本发明的超导电缆可以是公知的多相超导电缆中的任何一种。

本发明采用分线盒，以便放置借助于将超导电缆分开为包含电缆芯线的各自的分支部分而形成的多相超导电缆的电缆芯线分支部分。具体而言，在所述分线盒中，安置了从装配部延伸并互相隔开的电缆芯线。这里，装配部指的是将多相超导电缆中构成超导电缆的多根电缆芯线安装到该电缆上的部分。分线盒填充有如液态氮之类用于冷却电缆芯线的制冷剂，从而使电缆芯线保持在超导状态。因此，该分线盒优选由绝热结构构成。

分线盒中的电缆芯线由支撑工具支撑。支撑工具的一实例能支撑每一电缆芯线并能将这些电缆芯线保持在电缆芯线互相隔开的状态。详细地说，优选将支撑工具构造成当电缆芯线散开/合拢时能在分线盒内移动。

根据本发明，放置在分线盒内的电缆芯线的各自的屏蔽层通过专门的连接部分特别是由导电材料形成的屏蔽连接部互相连接。所述屏蔽连接部可沿纵向连接放置在分线盒中的电缆芯线的各自屏蔽层的至少相应部分(respective parts)。所述屏蔽连接部可相对于周边方向以连接部件接触电缆芯

线的各自屏蔽层的至少相应部分的方式成型，并且能使电缆芯线的各自屏蔽层互相连接。如果电缆芯线各自屏蔽层的每一个由多根超导线束形成，所述连接部优选以使连接部与所有构成的超导线束电连接的方式进行成型。例如，将连接部成型为柱状部件的联结体及将这些柱状部件互相连接的连接件，每个柱状部件能覆盖电缆芯线各自的屏蔽层的外围。在本发明中，这种屏蔽连接部至少部分由超导材料形成。例如，柱状部件可由铜、铝或其他便于实现与其连接操作的类似金属形成，连接部件可由超导材料形成。例如，金属柱状部件能通过超导线连接在一起。此外，连接部件可由一起使用的铜、铝或其他类似金属及超导材料形成。例如，金属板可具有纵向连接到其上的超导线，或者一对金属板可通过超导线隔开并连接。

超导材料例如可包括采用 Bi2223 相或其他类似相的带状形式的超导线；与用于超导体、屏蔽层等的以 Bi 为基的氧化物超导体；以及如圆形超导线等用作形成带状导线的超导线。超导带和圆形导线例如可通过粉末装管法(power in tube process)形成。更具体地说，将 Bi2223 相或其他类似的超导相的粉末原材料导入 Ag 或其他类似的金属管中，然后进行拉制并形成包层导线(clad wire)。使多根这种包层导线成束在一起并导入 Ag 或其他类似金属管中，然后进行拉制，从而制成多芯导线，再依次对其进行热处理从而得到期望的用作圆形超导线的超导相。如果对多芯线导线进行轧制和热处理，则可提供带状导线。圆形导线的优点是：(1)能通过由比带状导线更少步骤的工艺制成；(2)其横截面为圆形，因此比带状导线具有更大的结构强度；以及(3)能对其进行处理，并且比带状导线的连接更可靠。

若发生短路或其他类似故障且短路电流流过超导体以及在屏蔽层中感应出大电流时，大电流将使屏蔽层的温度升高，而不再维持超导状态且转变为正常导电状态，或为所谓的淬火(quench)。因此需要有效地减小出现故障时在屏蔽层上感应的大电流。例如有人建议减小屏蔽连接部的临界电流值，使其小于电缆芯线屏蔽层的临界电流值。当发生短路或其他类似故障且屏蔽层和屏蔽连接部具有大的感应电流时，屏蔽连接部可比屏蔽层更快超过其临界电流值，导致出现大阻抗，从而使得屏蔽层具有减小的感应电流。更具体地说，比屏蔽层更快被淬火的屏蔽连接部能显著地防止故障感应电流或完全毁坏屏蔽层。此外，如果在故障中屏蔽连接部由于大电流而被毁坏，能方便地确定毁坏部分。此外，可简单地改变屏蔽连接部，并很

容易对故障进行处理。

在故障中具有比屏蔽层更小的临界电流值、即可提供更高阻抗的屏蔽连接部可通过改变用于形成该屏蔽连接部的超导材料获得。例如，如果通过粉末装管法形成超导材料，可减少超导线的使用量。此外，可使用具有比用于屏蔽层的超导线量少的多芯线包层导线的超导线。再者，例如，也可使用粉末装管法形成的超导材料以外的超导材料，具体地说，可使用不包括所述 Ag 或类似金属基体的超导体而仅由超导相即所谓的大尺寸的超导体(bulk superconductor)形成的超导体。所述超导相具体包括所述以 Bi 为基的氧化物超导相、稀土氧化物超导相如 Re-Ba-Cu-O 的组合物及类似物，其中 Re 表示 Y、Sm、Nd、Pr 或其他类似的以镧为基的元素。稀土氧化物超导相具体可包括 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 、 Y_2BaCuO_x 、 $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 、 $\text{Nd}_4\text{Ba}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$ 、 $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 、 $\text{Sm}_2\text{BaCuO}_x$ 、 $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 、 $\text{Pr}_2\text{BaCuO}_x$ 、 $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 的组合物。这种不含 Ag 或其他类似金属并且仅由氧化物相形成的大尺寸导体旨在在故障中提供大阻抗。可很方便地以适当形式如杆状、板状或其他类似形状使用这种大尺寸超导体。

此外，在故障中提供高阻抗的超导材料包括由金属基底和在该基底上沉积的所述以 Re 为基的超导层形成的超导体。所述金属基底例如可由具有高熔点的 Ni 合金形成。以 Re 为基的超导层可通过公知的 CVD、PVD 或类似工艺进行沉积。金属基底和以 Re 为基的超导层可具有在其中形成加入氧化钇稳定剂的氧化锆(YSZ)或其他类似中间层。当金属板以适当的形式例如带状形成时，这种超导体使用起来更方便。

优选所述屏蔽连接部和屏蔽层在连接点上以更低的阻抗进行连接。例如，通过焊料进行适当连接。当将屏蔽连接部连接到屏蔽层上时，如果提供给每个电缆芯线的话，事先应以去掉连接处的保护层部分的方式部分去掉保护层。

屏蔽连接部可与引出分线盒外的电缆芯线的屏蔽层连接。这里，伸出分线盒的电缆芯线每根都设有充注如液态氮之类的冷却剂的绝热管，以便维持类似安装在分线盒中的电缆芯线那样的超导状态。此外，将屏蔽连接部连接到伸出分线盒的电缆芯线的各自屏蔽层的每一个上的结构非常复杂，因此，本发明将屏蔽连接部连接到分线盒内的芯线上。

屏蔽连接部可设置在分线盒内的每根电缆芯线的任意位置上。如果屏

蔽连接部位于相对更靠近分开电缆的终端(此后称为分开终端)的位置,电缆芯线彼此进一步隔开,因此电缆芯线之间的距离增加。在这种情况下,连接连接部的可操作性提高,因此该方法是优选的。相反,如果屏蔽连接部位于更靠近装配部的位置,电缆芯线基本上不进一步隔开,因此其间的距离较小。在这种情况下,可将屏蔽连接部制造得更紧凑,由于连接部分位于离开分开终端的位置,分线盒靠近分开终端的部分能制造得更小。换句话说,分线盒能制造得更紧凑。

优选将本发明的分开结构不仅形成在电缆芯线(超导电缆)的一端而且还形成在其两端中的每一端上。如果在超导电缆的各端上设有本发明的分开结构,电缆各端上各自分线盒的每一个内的电缆芯线的各自屏蔽层互通过屏蔽连接部进行连接。然后,在从超导电缆一端上的屏蔽连接部延伸到其另一端上的屏蔽连接部的电缆芯线的每个屏蔽层中,在稳定状态下感应的电流与流过相应超导体中的电流大小几乎相等但方向相反,因此能抵消芯线外部的任何漏磁场。与流过超导体的电流大小几乎相等但方向相反的电流的大部分流过屏蔽层中相对屏蔽连接部更接近装配部的部分。因此,在屏蔽层中位于屏蔽连接部和分开终端之间的部分中,仅流过比流过超导体的电流更小的电流。那么,如果伸出分线盒外的每根电缆芯线的周围具有的所述绝热管由电气低阻抗材料(electrically-low-resistance material)制成,由于位于屏蔽连接部和分开终端之间的电缆芯线周围产生的泄漏磁场而出现涡流损耗。因此,为了减小或抵消涡流损耗,绝热管优选由高阻材料或绝缘材料构成。高阻材料优选具有从室温到接近 77K 的低温的阻抗率 ρ 至少为 $10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 。高阻材料的实例为不锈钢(阻抗率 $\rho = 4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 到 $8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$)。绝热材料的实例为 FRP(纤维增强塑料)。

下面结合附图对本发明进行详细描述,通过描述,本发明的前述和其他目的、特点、方面和优点将更清楚。

附图说明

图 1 示意地示出了本发明的具有更靠近分开终端的屏蔽连接部的多相超导电缆的分相结构;

图 2A 为沿图 1 中线 II-II 剖切的剖面图,图 2B 为图 1 所示的区域 C 中的电缆芯线部分的剖面图,图 2C 为另一种形式的屏蔽连接部的剖面图;

图 3A 和 3B 总的示出了本发明的多相超导电缆的分相结构的屏蔽连接部的连接件放大的部分，图 3A 示出了连接件的一实例，该连接件包括上面轴向地连接有超导线的铜板，图 3B 示出了连接件的一实例，它包括一对隔开的且通过超导线连接在一起的铜板；

图 4A 示意地示出了本发明的多相超导电缆的分相结构，其具有相对更靠近装配部的屏蔽连接部，图 4B 是图 4A 沿线 IV-IV 剖切的剖面图；

图 5 为三芯线型三相超导电缆的剖面图。

具体实施方式

现在描述本发明的实施方式。

第一实施方式

本实施方式和随后描述的第二实施方式均是结合如图 1 和 4 所示的具有三根电缆芯线 102 的三相超导电缆 100 的分相结构的实例进行描述的。

参见图 1，该分相结构包括三根电缆芯线 102、分线盒 1 和屏蔽连接部 2，每一根芯线具有围绕超导体设置的屏蔽层，分线盒中装有电缆芯线 102，其中，所述电缆芯线从一装配部分延伸并处于互相隔开的状态，在该装配部分三根电缆芯线 102 被装配到超导电缆中，屏蔽连接部使电缆芯线 102 的各自屏蔽层在分线盒 1 中互相连接。

该实施方式的三相超导电缆 100 具有与图 5 所示相同的结构。具体地说，三相超导电缆 100 通过扭绞三根电缆芯线 102 并将它们安放到绝热管 101 中而构成，每根电缆芯线按从最内部的元件开始的顺序包括线圈架 200、超导体 201、电绝缘层 202、屏蔽层 203 和保护层 204。线圈架 200 通过扭绞多根铜线形成，每根铜线由绝缘体覆盖。超导体 201 通过以螺旋的方式围绕线圈架 200 的各层中缠绕以 Bi2223 为基的超导带状线(Ag-Mn 包套导线 (sheath wire))形成。屏蔽层 203 通过以螺旋方式在围绕电绝缘层 202 的各层中缠绕以 Bi2223 为基的超导带状导线(Ag-Mn 包套导线)形成。电绝缘层 202 通过围绕超导体 201 缠绕聚丙烯叠层片(由 Sumitomo 电子工业公司生产的 PPLP(R))而形成。保护层 204 通过在屏蔽层 203 周围缠绕牛皮纸形成。绝热管 101 具有外管 101a 和内管 101b，每个管由 SUS 波纹管形成。由外管 101a 和内管 101b 构成的套管结构具有设置在各层中的绝热材料，并在套管中形成真空以实现真空多层绝热结构。此外，在绝热管 101 周围设置有

聚氯乙烯的防蚀层 104。

内部装有扭绞电缆芯线 102 的三相超导电缆 100 通过互相隔开电缆芯线 102 而分成电缆芯线 102 的各自的分支部分，因而可对电缆芯线 102 分别进行处理。分线盒 1 容纳逐渐互相分开的三根电缆芯线 102。因此，超导电缆 100 从分线盒 1 的一侧(图 1 的右侧)插入，并且在其与一侧相对的另一侧(图 1 的左侧)电缆芯线 102 从电缆突出部分开。分线盒 1 的内部充注有如液氮之类的制冷剂用于冷却内部具有制冷剂的电缆芯线 102。因此，分线盒 1 具有包括带有绝热层 1a 的绝热结构。本实施方式的分线盒 1 为柱形。

放置在分线盒 1 中的电缆芯线 102 从分线盒 1 的一侧(从超导电缆 100 装配部)向分线盒 1 的另一侧(向芯线 102 的分开终端)延伸，同时芯线 102 之间的空间逐渐增加到为恒定值。本实施方式的电缆芯线 102 由第一支撑工具 10、第二支撑工具 11 及中间支撑工具 12 支撑，其中第一支撑工具 10 在相对更靠近装配部的位置支撑芯线，第二支撑工具 11 在中间位置支撑芯线，中间支撑工具 12 在第一支撑工具 10 和第二支撑工具 11 之间支撑芯线 102。

第一支撑工具 10 具有环形中心部，三个中间支撑工具 12 固定到该环形部的外周边上。第一支撑工具 10 以使环形部的中心基本位于由三个电缆芯线 102 封闭的空间的中心的的方式设置在电缆芯线 102 之间。电缆芯线 102 设置在各自的中间支撑工具 12 上，从而使中间支撑工具 12 支撑互相隔开的电缆芯线 102。

第二支撑工具 11 的基本结构与第一支撑工具 10 的基本结构几乎相同，其区别仅在于环形部的直径比第一支撑工具 10 的直径大。在该实施方式中，设置滑动部 11a 使其几乎与分线盒 1 的内周边表面点接触，因而当电缆芯线 102 伸长/收缩时该滑动部可在分线盒 1 内移动。滑动部 11a 连接到环形部的外周边上中间支撑工具 12 未被固定的任何部分。

各中间支撑工具 12 均为柱形，通过连接所谓细管部件的半弧部件形成。在本实施方式中，成对的细管部件覆盖电缆芯线 102 的外周边并且细管部件的外周边连接到电缆芯线 102 的外周边上，同时用象带子(未示出)之类的一些紧固工具将电缆芯线 102 固定在其中。中间支撑工具 12 中可适当地具有一些通孔，以便于中间支撑工具 12 中的电缆芯线 102 与制冷剂之间的接触。

本实施方式的一个特点是该结构可使电缆芯线 102 的各自的屏蔽层通过屏蔽连接部 2 互相连接。更具体地说, 根据本发明, 每根电缆芯线 102 具有通过屏蔽连接部 2 形成闭环的屏蔽层。在本实施方式中, 相对第二支撑工具 11 位于更靠近分开终端的电缆芯线 102 的各自的屏蔽层通过屏蔽连接部 2 互相连接。在本实施方式中, 屏蔽连接部 2 包括覆盖电缆芯线 102 的屏蔽层 203 的各自的外周边的柱形部件 2a 以及使柱形部件 2a 互相连接的连接部件 2b, 如图 2A 到 2C 所示。

每个柱形部件 2a 由一对形状与电缆芯线 102 的外形匹配的半弧部件构成, 从而使柱形部件 2a 与每根电缆芯线 102 的屏蔽层 203 的外周边的连接更方便。于是, 可将该半弧部件组合以覆盖屏蔽层 203 的外周边。更详细地说, 如图 2B 所示, 部分除去电缆芯线 102 的保护层 204, 以部分地暴露屏蔽层 203, 并且该成对的半弧部件设置在屏蔽层 203 的暴露部分上方, 以覆盖电缆芯线 102。在本实施方式中, 柱形部件 2a 由铜制成。在该实施方式中, 用焊料将所述成对的半弧部件连接。另外, 也可通过如螺钉之类的连接部件进行连接。此外, 每个柱形部件 2a 和电缆芯线 102 的屏蔽层 203 也可通过焊料进行连接。因此, 可使柱形部件 2a 与构成屏蔽层 203 的超导带状导线接触。

连接部件 2b 使柱形部件 2a 互相连接, 它们被设置在电缆芯线 102 之间, 并且和柱形部件 2a 一样由铜构成。在本实施方式中, 使用三个连接部件 2b, 将柱形部件 2a 连接到每个连接部件 2b 的各自的端上, 据此, 如图 2A 所示, 屏蔽连接部 2 以与柱形部件 2a 在各自的顶点上呈三角形的形状(Δ 连接型)形成。在本实施方式中, 连接部件 2b 和柱形部件 2a 通过焊料进行连接。也可使它们通过如螺钉之类的连接部件连接。此外, 如图 2C 所示, 屏蔽连接部 2 可以构造成具有中心部件 2c, 该部件可设置在柱形部件 2a 在各自的顶点上形成的三角形的中心部位, 屏蔽连接部还具有连接中心部件 2c 到每个柱形部件 2a 上的连接部件 2b(Y 连接型)。

所述连接部件具体具有下文将描述的结构。图 3A 以实例的方式示出了板状连接部件, 其包括铜板 20 和轴向连接并焊接而结合在铜板上的超导线 21。在该实例中, 超导线 21 由粉末装管法形成。更具体地说, 将形成 Bi2223 相的原始粉末材料导入 Ag 管中然后拉制成包层导线。将多根这种包层导线成束地合在一起并导入 Ag 管中, 然后拉制成多芯线导线, 再依次进行轧制

和热处理以提供带状导线，用作超导线 21。

图 3B 以实例的方式示出了连接部件，其包括铜板 22 的一对铜片、并列设置的超导线 23，及焊接的相对端，借此被焊接到片 22 上。在本实例中，超导线 23 为通过对如上所述的粉末装管法形成的多芯线导线进行热处理而得到的圆形导线。如该实例所示，连接部件 2b 具有仅由超导线 23 形成的中间部分，使得屏蔽连接部 2 的电连接阻抗比图 3A 实例中的小。此外，采用圆形导线使得不管连接部件 2b 是否具有由超导线 23 形成的中间部分都具有大的机械强度。值得注意的是，圆形导线可由与前述相同的带状导线取代。如果这样，可将多根带状导线在各层中进行叠置并焊接在一起从而使强度增加。

根据本实施方式，绝热管 3 设置在从分线盒 1 引出的每根电缆芯线 102 的周围，绝热管 3 由 FRP 形成的绝缘材料制成，并且绝热管 3 充注有与分线盒 1 相同的制冷剂。因此，每根从分线盒 1 延伸的电缆芯线 102 可保持在超导状态。此外，如果在从屏蔽连接部 2 延伸到端部 4 的电缆芯线 102 的外围产生漏磁场，由绝缘 FPR 形成的绝热管能防止迅速形成涡流电流。每根电缆芯线 102 的分开终端设置有可连接到另一电缆芯线或连接设备的端部 4。这也是随后将描述的第二实施方式。

如上所述构成的超导电缆的分相结构具有连接电缆芯线的各自的屏蔽层的由超导材料构成的屏蔽连接部，这样使得当电流流过电缆时这些屏蔽层互相短路。具体而言，由于屏蔽连接层以低连接阻抗进行连接，流过每个屏蔽层的电流大小基本上可等于流过每个超导体的电流。因此在每个屏蔽层中可产生抵消每个超导体产生的磁场的磁场，因此能减小电缆芯线外部产生的大磁场。此外，由超导材料形成的屏蔽连接部使得在屏蔽层之间的电连接阻抗明显减小，因此在屏蔽连接部通过传导产生的热量减小。可使制冷机从明显过重的负荷中解脱出来。

再者，根据本实施方式，屏蔽连接部连接在相对更靠近分开终端的部位，这样可将屏蔽连接部方便地连接在电缆芯线彼此充分隔开的地方。

第二实施方式

图 4A 中未示出端部。除了在相对第二支撑工具 11 更靠近装配部设置了屏蔽连接部 2'，该分相结构具有基本与第一实施方式中描述的结构相同的结构，在下面将对不同之处进行描述。

如图 4B 所示, 本实施方式的屏蔽连接部 2' 包括覆盖多根电缆芯线 102 的各自屏蔽层的各自的外周边的柱形部件 2a' 和使这些柱形部件 2a' 互相连接的连接部件 2b'。本实施方式的柱形连接部件 2a' 与第一实施方式中的相同, 每个由一对铜的半弧部件构成。柱形部件 2a' 的半弧部件设置在相应的屏蔽层周围并与螺栓连接以覆盖电缆芯线 102, 所述相应的屏蔽层通过部分地除去电缆芯线 102 的保护层 204 而露出。每个柱形部件 2a' 通过焊料连接到各电缆芯线 102 的相应的一屏蔽层 203 上。

本实施方式中的连接部件 2b' 使这些柱形部件 2a' 互相连接, 其设置在电缆芯线 102 之间。连接部件 2b' 由三角棱柱形材料形成, 该三角棱柱形材料具有对应于切割成弧形的三角形横截面的每个顶点的部分, 所述连接部件与柱形部件 2a' 一样由铜制成。在本实施方式中, 每个连接部件 2b' 的切掉部分与相应的一柱形部件 2a' 连接, 以形成具有三角形横截面的屏蔽连接部 2', 同时各自的顶点上设置有柱形部件 2a', 如图 4B 所示(Δ 连接型)。尽管在本实施方式中连接部件 2b' 和柱形部件 2a' 通过焊料互相连接, 它们也可通过如螺栓等连接部件进行连接。

上面所述的连接部件具体具有与下文将描述的结构相同的结构。在本实施方式中, 如图 4B 所示, 将铜板 24 和设置在其上的超导线 25 进行焊接, 从而结合在一起。设置超导线 25 以连接柱形部件 2a', 即, 形成如图 4B 所示的三角形。在本实施方式中, 超导线 25 为在粉末装管法中形成的带状导线, 这与第一实施方式中所描述的类似。

与上所述地构成的超导电缆分相结构具有由超导材料形成的屏蔽连接部, 其中多根电缆芯线的各自的屏蔽层互相连接, 致使电流流过电缆时, 可降低屏蔽层之间的连接阻抗, 正如通过第一实施方式所实现的那样。因此, 可使流过每个屏蔽层的电流大小基本上等于流过每个超导体的电流的大小, 因而由超导体产生的磁场可由屏蔽层中产生的磁场抵消。这样, 就能有效地减小电缆芯线外部产生的大磁场。由超导材料形成的屏蔽连接部使得屏蔽层的电连接阻抗减小, 因此减小了由于传导而在屏蔽连接部上产生的热量, 可使制冷机从明显过重的负荷中解脱出来。

此外, 由于本实施方式的屏蔽连接部设置在更靠近装配部, 电缆芯线之间的距离相对变短。于是, 屏蔽连接部可以制作得很小, 并使相对分线盒中第二支撑工具更靠近分开终端的空间更小。这样, 可使分线盒更紧凑。

第三实施方式

在第一和第二实施方式中，采用由粉末装管法形成的超导线、即由超导相形成的超导体和金属以实现屏蔽连接部。在本实施方式中，将描述采用的屏蔽连接部与第一实施方式中所描述的基本结构类似并采用仅由超导相形成的超导体的实例。更具体地说，其对应于图 1 的具有由 Bi2223 氧化物超导相的大尺寸超导体形成的超导线 23(见图 3B)的实例。在该实施方式中，所使用的超导体为杆状。

如本实施方式所述，屏蔽连接部包括由大尺寸超导体形成的连接件，其未加入银或其他类似金属。此外，大尺寸超导体沿纵向不设置在铜板等上。这样，其具有比由以 Bi2223 为基的超导带状导线(Ag-Mn 包套导线)的屏蔽层的临界电流值小而正常传导阻抗大的临界电流值和正常传导阻抗。当出现短路电流或其他类似故障并且短路电流流过超导体时，屏蔽连接部比导体更快超过临界电流值，因此可提供大的阻抗以减小从导体到屏蔽层的感应电流。因此能保护该屏蔽层免受因故障而导致的电流引起的明显损坏。此外，如果在故障中屏蔽连接部由短路电流损坏，很容易确定哪个部位受损，并能简单地更换受损部分或屏蔽连接部。因此，容易对故障进行处理。

第四实施方式

下面将描述采用屏蔽连接部的一实例，该屏蔽连接部具有与第二实施方式中描述的类似的基本结构并采用以 Re 为基的氧化物导体。更具体地说，其对应于图 4 的实例，代替铜板 24 的是 Ni 合金板，具体由具有通过已知 PVD 在该合金板上沉积 $YBa_2Cu_3O_x$ 膜的 Hasteroy(由 Haynes Stellite 公司所有的注册商标)。

如该实施方式所示，屏蔽连接部由稀土超导体形成。因此，如果出现短路或其他类似故障并且短路电流流过超导体，类似于第三实施方式所述，屏蔽连接部的阻抗增加，因此屏蔽层具有减小的感应电流。如果发生故障，电流流过屏蔽层不致于使其明显受损。此外，如果在故障中由于短路电流使屏蔽连接部受损，也很容易确定哪个部分被损坏，而且可简单地更换损坏部分或者屏蔽连接部，因而，很容易对故障进行处理。此外，超导层通过沉积形成，基底的几何形状可按期望的形状改变，并且连接部分可以形成为任意的几何形状。

因此，如上所述，本超导电缆的分相结构使得电缆芯线具有通过导电材料连接的各自的屏蔽层，以使屏蔽层之间的电连接阻抗明显减小，并且当电流流过超导电缆时，流过屏蔽层的电流大小基本与流过导体的电流大小相等，方向相反，从而能有效地抵消由流过导体的电流产生的磁场。因此，本发明能有效防止电缆芯线外部产生大磁场。

此外，屏蔽连接部具有比电缆芯线的屏蔽层小的临界电流值。如果出现短路或其他类似故障，超过临界电流值的屏蔽连接部能提供大阻抗以减小在屏蔽层上感应的电流。因此本发明防止因故障感应出的大电流明显或完全损坏屏蔽层。此外，如果在故障中由于大电流使屏蔽连接部损坏，也能迅速确定被损坏部位并能迅速更换屏蔽连接部。

尽管上面已对本发明进行了详细描述和绘示，但应清楚地懂得这些只是示例性说明，而不是对本发明的限制，本发明的构思和保护范围仅由所附的权利要求书限定。

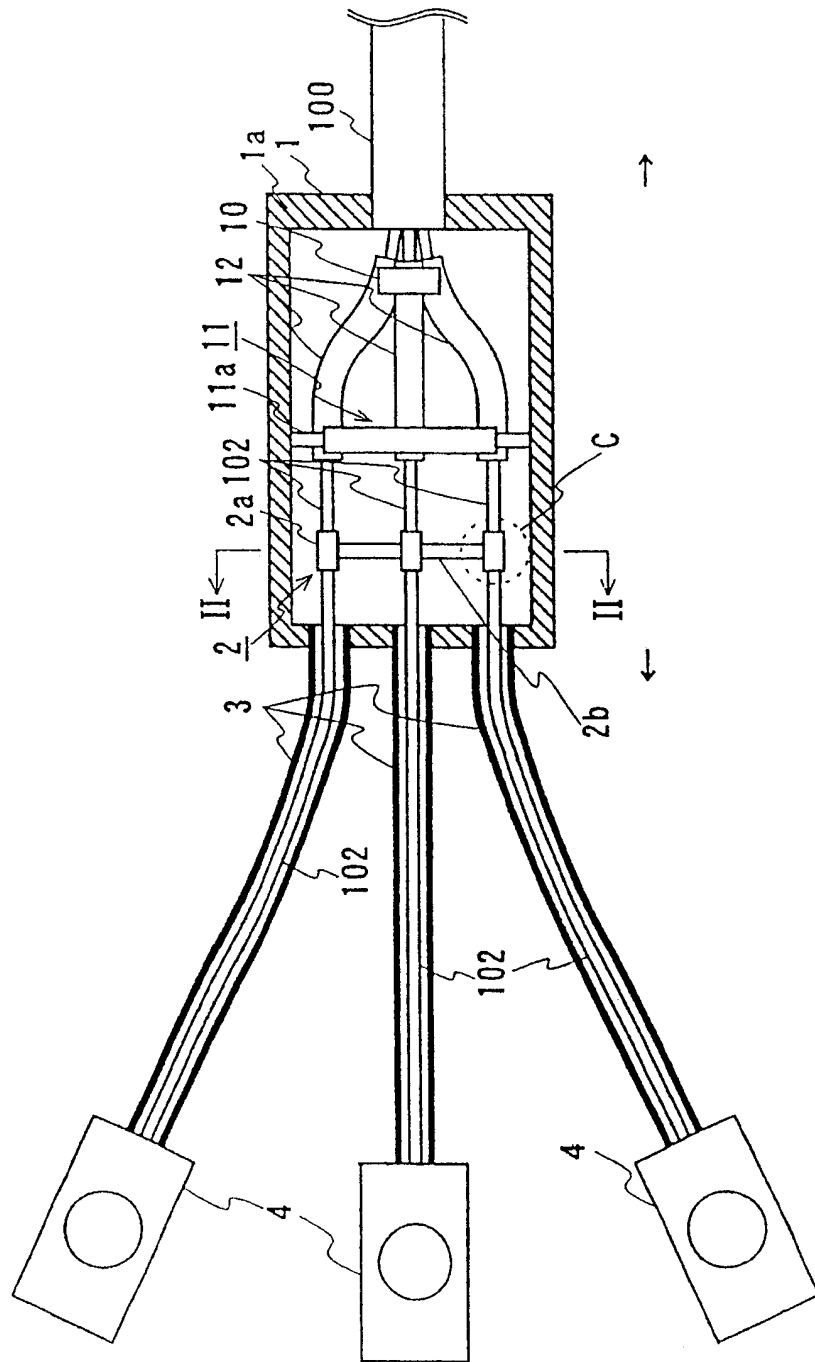


图 1

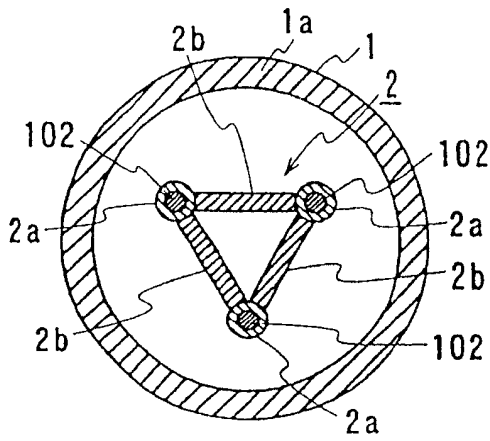


图 2A

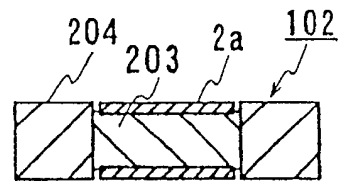


图 2B

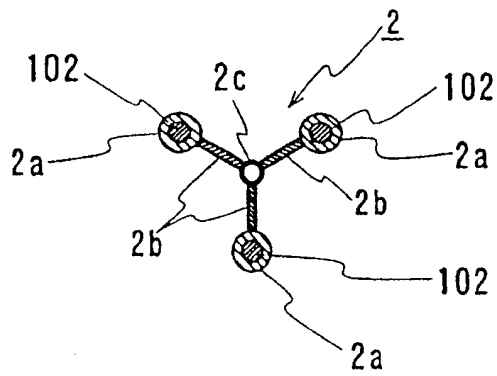


图 2C

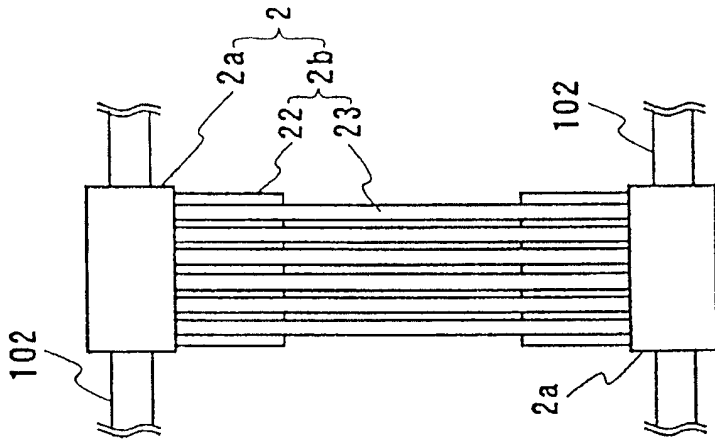


图 3B

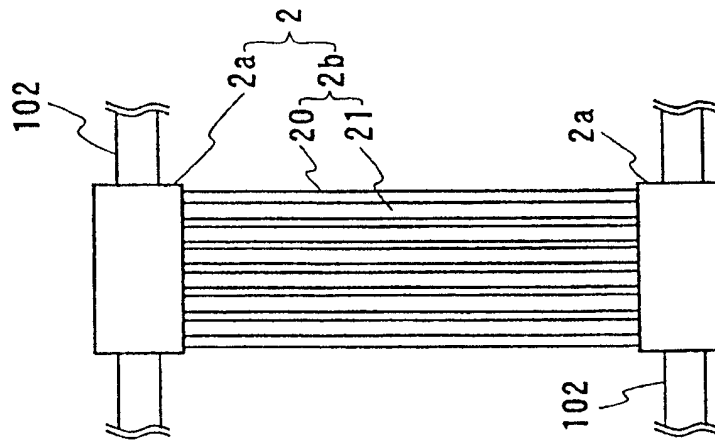


图 3A

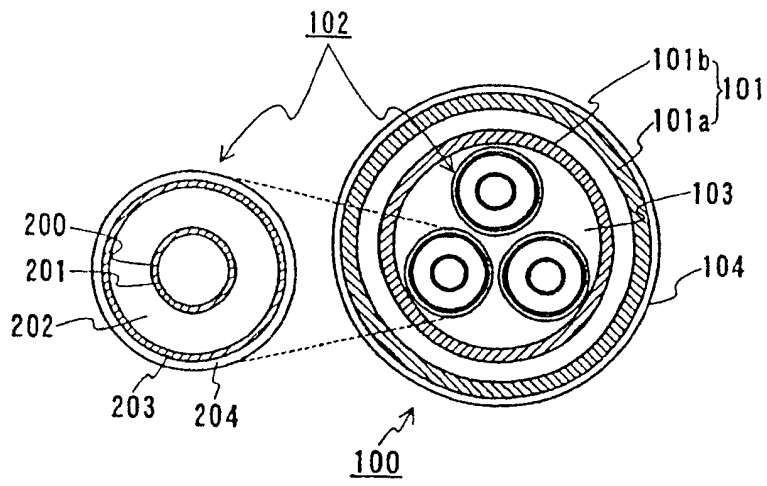


图 5