

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H02G 15/22 H02G 15/02

H01R 4/00

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96121597.6

[45] 授权公告日 2002 年 11 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1095232C

[22] 申请日 1996. 12. 20 [21] 申请号 96121597.6

[30] 优先权

[32] 1995. 12. 21 [33] IT [31] 002723A/95

[73] 专利权人 皮雷利·卡维有限公司

地址 意大利米兰

[72] 发明人 皮尔洛·迈塔拉

审查员 李 涛

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

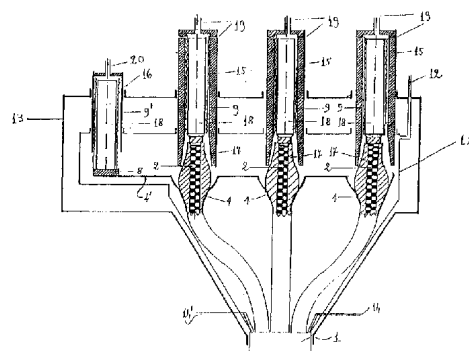
代理人 王以平

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 5 页

[54] 发明名称 用于连接超导多相电缆和常温电设备的终端

[57] 摘要

本发明描述了一个将一条多相超导电缆,例如一条三相超导电缆,与一个室温电设备相连的终端。这个终端有一个带有冷却液的壳体,在这个壳体里,三根超导电缆分别与一个阻性导体相连,阻性导体的另一端在壳体外面,与室温设备的对应相线相连。这个终端还有个超导连接装置,用以将三根超导中线与一个单一阻性导体相连,后者的另一端与室温设备相连。这个超导中线连接装置及所述装置与单一阻性导体的接线区,安装在壳体的冷却区中。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1.一种用于连接一多相电缆和室温下的电设备的热绝缘终端，所述电缆的每一相包括至少一具有超导相线的同轴单元，一插入的电绝缘层和一同轴超导中线，此外所述电缆还包括用于将每一所述同轴单元的所述超导体保持在超导状态的热控装置，所述终端包括：

至少一个壳体，

冷却装置，

每一超导相线的通电电流引线，具有用于连接至所述室温设备的相应的相连接器，

所述电流引线安置有一介于超导相线和所述电流引线的连接器之间的阻性导体，所述阻性导体与超导相线的连接区安置于壳体内，所述终端的特征在于包括：

安置单一中性阻性导体的单一中性电流引线，其上端连接至用于连接至室温设备的中性连接器；

所述超导中线和单一中性阻性导体之间的由超导材料制成的连接装置，

所述由超导材料制成的连接装置和单一中性阻性导体之间的连接区，以及至少所述的超导中线和所述单一阻性导体间的连接装置位于壳体内部，并且通过所述冷却装置被保持在低于相应于超导状态的临界温度的温度，

导体相线及导体中线包括用于与冷却液进行热交换的热交换装置。

2.权利要求1所述的终端，其特征在于，所述连接装置包括Y型连接在所述超导中线和用于连接所述中性阻性导体的连接终端之间的超导元件。

3.权利要求1所述的终端，其特征在于，所述连接装置包括每个所述同轴单元的超导中线的至少一部分。

4.权利要求1所述的终端，其特征在于，所述冷却装置包括用作所述壳体内部的冷却液的液氮。

5. 权利要求 1 所述的终端,其特征在于,所述引线部分地引出壳体。
6. 权利要求 1 所述的终端,其特征在于,所述壳体的上表面与超导相线和导体相线间的连接区基本上处于同一高度。
7. 权利要求 5 所述的终端,其特征在于,对于相电压在 60 至 150KV 的三相电缆,壳体基座与超导相线及超导中线和导体相线及导体中线间的相互连接区间的距离为 0.5 至 1 米之间。
8. 权利要求 4 所述的终端,其特征在于,它包括置于壳体内用于控制每相电场的装置。
9. 权利要求 8 所述的终端,其特征在于,所述场控制装置以具有锥形表面的反射器的形式构成在超导相线周围,由导电材料制成,并由其下表面为锥形的绝缘体所环绕。
10. 权利要求 1 所述的终端,其特征在于,它包括由多个具有各自冷却液的彼此独立的回路构成的热控装置,每一所述回路由所述液体在其中循环的双壁柱体组成,所述柱体与安置在至少一个真空壳体内的所述单一导体中线成同轴关系地彼此分开安置,通过壳体下部的通过入口支管和出口支管导向电缆的超导中线和超导相线的冷却液体流入其中的管道,所述超导连接装置和用于连接至中性阻性导体的连接区被保持在临界温度以下。
11. 权利要求 10 所述的终端,其特征在于,导体相线和中线在其上端分别与同各绝缘体相邻连的各相应导体部分构成一整体,所述导体部分由从壳体延伸至相应绝缘体的连接器的第二筒状金属导体构成。
12. 权利要求 11 所述的终端,其特征在于,所述绝缘体的底部安置于壳体的上表面。
13. 权利要求 1 所述的终端,其特征在于,在壳体入口处包括一多相超导系统,每相包括具有各自独立的热绝缘的同轴单相电缆。
14. 权利要求 1 所述的终端,其特征在于,在入口处包括由在同一热绝缘体内的几个同轴部件构成的多相超导电缆。
- 15.一种用于将保持在超导温度下的超导多相电缆连接至室温电设备的方法,包括:

将各超导中线连接至所述设备的相应的导体元件，和
将超导中线连接至所述设备的相应的中性元件，
其特征在于，将超导中线连接至相应中性元件的步骤包括：
在具有所述超导温度的区域将所述超导中线彼此连接，和
通过单一的电流引线将所述超导中线连接至设备的所述中性元件。

用于连接超导多相电缆和常温电设备的终端

本发明涉及一个将 n 相的 (n 大于 1) 超导多相电缆与一个室温电设备, 如一个变压器, 相连接的终端。

众所周知, 超导体是金属、合金及氧化物, 通常为混合物, 在一定温度下, 它的电阻率下降直到近乎为零, 这一温度称之为临界温度, 这是所有超导体的特征。

有许多相关的文献, 例如: 1992 年 4 月 2 日的本申请人的意大利专利申请 No.MI92A 000798 可做为参考例子, 它公布了这类材料中的一种和其制备方法。

这类超导体必须工作在它们的临界温度以下, 通常低于 -175°C , 因此它们需要用合适的冷却液来冷却, 因为一旦高于临界温度, 它们的超导状态就会失去, 电缆将会有阻抗损失, 甚至比传统导体还高。

通常, 同轴型超导电缆, 对每一相, 包括一个可导电的内芯超导体, 至少一层电绝缘材料, 处于零电位同轴超导中线 (**neutral superconductor**) 以及沿着超导相线 (**phase superconductor**) 内的管道, 从电缆的一端流向另一端, 然后再流到导管外部进行循环的冷却液。所有这些均在一包括绝热材料的覆层下, 以保持导电材料处在所需的温度。

对这种电缆的每一相, 流过超导相线与超导中线的电流是相同的。

显然, 连接超导电缆与室温设备的终端应有保持电缆的超导状态的区域, 以及对电缆的电场及温度加以控制, 直到它们离开终端的区域。

1974 年, 在 NATO Technical Seminar 第 514 - 516 页中, C.Bogner 发表了“用超导电缆传输电能”一文, 他描述了一个用

于单相超导电缆的终端的实施例，该终端包括一个里边安置一装满低温液氮的壳体的真空容器。

超导相线进入壳体中并在一定高度上与壳体内的阻性导体连接，这个阻性导体穿过壳体及真空容器，通向室温下的外部。

与超导相线同轴的超导中线的与第二个阻性导体相连，该导体也穿过壳体和真空容器通往外部。

在两导体之间插入了一个高压绝缘体，其上部穿过真空容器通到外部，其下部为锥形以和围绕超导相线的反射器的锥形匹配。

用于将超导相线和超导中线与外部设备相连的两个导体，其尺寸应选择合适的，一方面，它们应有较大截面以减小阻抗损耗，但另一方面，又需要它们取较小的截面以减小从外部到装有超导电缆壳体内部的冷却区的热传导。

1975年，M.Rechowicz在“低温电能”一书（牛津大学出版社）中给出了这两个相互矛盾问题的解决方法，它的基本原则是通过电损和热损总和的优化根据温度差别，电流通过能力及导线长度和金属特性进行导体金属最佳截面的确定。事实上是这样来选取相线与中线，使电损相应于热损的一半。

在上述文章中导体截面大小由书中的特定表达式决定，其结果是用小直径导线制成的编织线做为导体。

在G.Bogner描述的单相终端的例子中，这些导体用编织线构成热交换器，并将从室温下外部吸收的热量及电流通过时阻性效应产生的热量传给通过导体编织线的冷却液，使之加热，蒸发并以气体形式从终端的合适开口处放出。

一个连接室温设备的三相超导电缆终端，可以通过采用三个与前述相似的结构实现。

对于这个终端，三相电缆的中线之间的连接是在处于室温下的容器外面。

申请人旨在减小终端中的热损与电损，特别致力于解决降低现有技术中，由于中线设置方式引起的热损与电损这一问题的可能性。

观察上述的终端装置，例如三相终端，可以对这一问题有具体的认识。与超导中线相连的三个电流导体与外部设备相连，并在外部，三条中线相互连接在一起。

因此，每一个在这终端中的中线导体，即使其尺寸设计为上述优化截面，电流的通过必然导致热损与电损的发生。

事实上人们知道，在同轴超导电缆系统中对每一相来说，通过中线电缆的电流是与通过相线的电流完全相同的。

通常采用适当的导线连接，如下面图中所示，可以既消除电缆外部的磁场，从而消除感应电流引起的损耗，也使超导体内部磁场减到最小，从而提高其性能。

考虑到三个中性导体引起的热损与电损的复杂性，申请人着重于均衡地减小整个终端的热损与电损的可能性，其解决方法是用超导连接装置，将三个超导中线在壳体的冷却区连接在一起，然后如前所述与一个处于室温的外部中线导体连接。

因此，本发明的一个目的是提供一个用于连接一个多相电缆和一个室温电设备的绝热终端，所述电缆的每一相至少包括有一个同轴单元，该单元具有一个超导相线，一个插入的绝缘层及一个同轴超导中线，另外还包括热控制装置，使上述同轴单元中的超导体保持在超导状态，上述终端包括：

- 至少一个壳体，
- 冷却装置，
- 每个超导相线的电流引线，有一个相应的接头，以使其与上述的室温设备连接。

上述的电流引线具有一个置于超导相线和所述电流引线的接头之间的阻性导体。所述阻性导体和超导相线之间的连接区域位于壳体中，上述的终端的特征在于包括：

- 一个单一中线电流引线，它有一个单一阻性导体，其上端与一个用于和室温设备相连的中线连接端子相连；
- 一个由超导材料制成的、上述超导体与单一中线阻性导体之间的连接装置，

上述超导材料连接装置与单一阻性中线导体之间的接线区，和至少上述超导中线与单一阻性导体之间的连接装置被置于壳体的内部，并通过上述的冷却装置，使其处于低于相应超导态的临界点的温度下。

所述的终端最好用于将一个三相超导电缆与一个室温设备相连接。

在本发明中，室温是指高于超导体临界温度的温度，在这个温度下，所述的超导体基本上表出为非超导性。

另外所述连接装置最好包括在电缆的超导中线和用于连接中性阻性导体的一连接终端之间的安置成Y连接结构的超导元件。

连接装置最好由相同的电缆的超导中线组成，由终端移出，并在连接端中彼此形成Y型连接。

本终端的壳体中采用液氮做为冷却液，这是本发明的一个特别的优点。

本终端的另一个特点是壳体盖与超导相线和导体相线的连接区基本上处在同一高度。

与这个优化的方案相一致，本终端的另一个特点是，在相电压为60到150KV的三相电缆中，壳体底到超导相线和超导中线及阻性导体相线和阻性导体中线的连接区的距离在0.5到1米之间。

在本发明一个实施例中，终端的特征是它包含安置于盒中控制每一相电场的装置。

本发明涉及保持在超导温度下将超导多相电缆与室温设备连接的方法，包括：

- 将每一个超导相线与上述设备的相应导电部件相连接，及
- 将超导中线与上述设备的相应中性部件连接，其特征在于超导中线与相应中性部件的连接步骤包括：
 - 将上述超导中线在处于上述超导温度下的一个区域相互连接，及
 - 通过单一电流引线将上述超导中线与上述设备的中性部件连接。

借助下面的图示与描述，本发明可以被很好地理解，这些图只用来说明，并不用于限制本发明的保护范围，它们是：

图 1 表示一个三相超导电缆；

图 2 表示一个连接在发电机与变压器间包括三根单相超导电缆系统的一个例子；

图 3 表示具有三个根据本发明的单相超导电缆构成的系统的终端内部重要部分的简图；

图 4 是图 3 中终端的详细截面图；

图 5 是图 4 中终端的另一个实施例；

图 6 表示一个根据现有技术实现的单极终端；

图 7 表示一个根据现有技术实现的三相超导终端的简图；

图 8 表示根据本发明实现的三相超导终端的另一个实施例。

图 1 表示一个三相超导电缆的截面简图，标注为 1，它由三个同轴单元或“相”构成，其中每一单元又由一个超导相线 2，至少一层绝缘材料 3，和一个超导中线 4 构成。

这个三相电缆由液体“F”冷却，它通常在超导相线内部导管中沿一个方向从电缆的一端向另一端循环，在超导相线外部取相反方向，或者，根据另一个方法，即在超导相线内部与外部以同一个方向流动，在电缆的外面返回；超导相线的外面由第一覆层 5 及绝热层 6 和外覆层 7 所封闭。

由部件 5，6，7 组成的部分，通常称为“致冷器”，一般具有将其内部器件保持在指定温度的功能。

在一个实施例中，电缆的超导材料是由基于超导体的带子构成，通常称为陶瓷型高温带，直径在 30 - 40mm 之间，用以提供 2000 - 5000A 的相电流。

进一步讲，在这个实施例中，超导带是以固定的或可变的角度缠绕在一个金属的或绝缘的管状柱形支架上，带子之间及每一个带子内部之间的角度在 10° - 60° 之间。

这种所谓的“高温”超导带是指在 $70 - 77^{\circ} \text{K}$ ($-203/-196^{\circ} \text{C}$) 之间能传导电流的超导带。

再进一步讲，为描述的完整需指出这种“高温”带包括在由银或类似金属的合金制成的外壳中的超导材料，在具体领域中用缩写 BSCCO 表示，下面的表达式可以方便地使用：



其中：

α 数值在 1.4 到 2.0 之间， β 在 0 到 0.6 之间， γ 在 1.5 到 2.5 之间， δ 在 0 到 2.5 之间， ϵ 在 1.0 到 4.0 之间， x 是根据存在的不同氧化物的化学计量决定的。

图 2 是一个用三根单相电缆将发电机 G 与一个在室温的用户设备，如变压器 T，连接起来的布局示意图。

用于将这三根单相电缆与外部设备连接的终端没有在图 2 中画出，图 3 是与本发明一致的终端基本构成的示意图。

简要讲，这个终端包括一个冷却区 A，在冷却区 A 电缆保持在低于超导临界点的温度下，围绕 A 区的绝热区 B，长度为 L_0 的热控区 C，它的作用是阻止从外部室温向电缆所在的冷却区的热穿透，以及长为 L_1 用于控制电场的位于冷却区内（如图 3 所示）或冷却区外的区 D。

图 3 的下方是三根单相电缆进入终端的入口。

更详细地讲，在冷却区中每根通电的超导相线 2，通过接线端 8，在连接段 L_2 处与阻性导体连接在一起，然后导体 9 穿过热控区 C 与室温电设备的接线端 10 连接。

本发明终端的基本特征包括三根超导中线 4 在到冷区入口的距离为 L_3 处通过超导连接装置 4' 相互连接在一起，然后通过接线端 8' 与一个阻性导体构成的单引线 9' 相连，以和其它相线相同的方式通到外面。

该超导连接装置最好包括基于超导中线的末端具体结构制成的超导元件，这将在图 4，图 5 和图 8 中进一步描述。

在图 3 所示用于 60 - 150KV 电压的终端的一些特定实施例中，各区的尺寸包括在下列数据中：

- 热控区 C 长度 L_0 为 0.3 到 0.6 米，

- 电场控制区 D 长度 L_1 为 0.5 到 1 米,
- 超导相线与超导体之间的接线区 L_2 的长度为 0.2 到 0.4 米,
- 中性线连接处到冷却区底边的距离 L_3 为 0.1 到 0.2 米,
- 接线端到冷却区顶的距离 L_4 为 0.1 到 0.2 米。

图 4 为本发明的一个简便实施例的细节。

参照该图, 终端的冷却区由金属盒 11 确定, 通过入口管 12 向盒中注入冷却液, 优选温度在 -200°C 左右的液氮。

控制液氮在指定温度下向壳体的注入, 以及壳体周围的绝热程度, 使壳体的冷却区总是低于 -175°C , 高于这个温度超导体将不处于超导状态。

图 4 特别给出了超导中线之间的连接装置的布局。由图可见, 这个超导装置全部位于壳体较低的部位, 并在冷却区与穿过壳体通向壳体外设备的单一阻性导体连接。

壳体周围的绝热区包括容器 13, 它限定了一个包围壳体的真空空间。

在这个容器及壳体的入口是三根单极电缆, 通过在其内部循环液氮的方法, 使它们保持在临界温度以下。图中 14 与 14' 分别是液氮的入管与出管。

导体相线 9 与导体中线 9' 分别穿出这个容器与盒盖, 它们分别在高压绝缘体 15 和低压绝缘体 16 里边。

绝缘体内表面的下端为截头圆锥形, 这一形状是为了使它与反射器的锥体 17 之间有一定的间隙, 这个反射器锥体包围在超导相线周围, 用于控制电场。

导体 9 和 9' 最好由金属制成, 并由纯电导性金属线编制成套子, 套在与之同轴的圆柱形部件 18 上, 部件 18 由非导电材料制成 (例如掺有玻璃纤维的塑料, 或类似材料), 或者在某些情况下由任何低热导材料制成, 其作用是为构成液氮的热交换器提供机械支撑。

在本终端的使用过程中, 外部的热会通过阻性导体的传导向内部传递, 而且由于构成导体的材料自身的电阻性, 当电流通过阻性

导体 9 与 9' 时也会损耗能量。

导线中所有这些热量被反向流动的蒸发液氮吸收，蒸发后的液氮以气体形式分别从绝缘体 15 和 16 上端的开口 19 和 20 泄放。

为减少导体 9 和 9' 的热损与电损，可采用前面提到的《低温电能》一书（牛津大学出版社，1975 年版）中的方法，为每个阻性导体提供一个最佳截区。

因此，为简单起见，我们省略了有关阻性导体相线 9 与导体中线 9' 最佳截面尺寸的已知标准的进一步细节，其尺寸可依据该标准确定。

与本发明的另一种形式相一致，这个终端还可以为三相电缆 1，例如图 1 所示的类型，提供进入壳体冷却区的入口。

参图 5 可以清楚地看到，与前面的描述相比，变化只在壳体下表面连接区的形状，为适应这一变化，容器被制成漏斗形。

由于终端的其它部分并没有变化，所以图 5 的标记与图 4 相同。

为了估价本发明的终端所获得的结果，我们将一个现有的终端与按图 3 和图 4 为例制成的终端实施例进行了比较。这些终端每一相都有一条中线，进行比较的各终端的导体与超导体的尺寸以及各连接区的长度都相同，施加的电压和电流也相同。

为了最好地理解这个比较，在图 6 中再次画出现有技术的与单极电缆 22 相联系的终端 21 的示意图。

终端 21 有两条电流引线，分别由同轴导体 23 和 24 组成，以热交换器的形状制成；导体 23 和 24 置于电缆 22 的超导相线 25 与超导中线 26 和与外部设备相连的两个上接线端 23' 和 24' 之间。这个终端的其它部分前面已经描述过，为简便起见，这部分的描述省略，并用与图 4 和图 5 中相同的数字标记，这里加“'”以示区别。

三相终端由三个图 6 所示终端组成，它们可以是彼此独立的，也可以置于同一冷却区，图 7 为一现有的三相终端 27 的举例示意图。

参考图 7，现有技术的终端中，中线连接 28 是在室温下进行的。

三相电缆及终端尺寸及其它指标的数据如下:

- Y型连接的超导三相电缆的线间电压为 115KV, 额定电流强度为 4100A.

- 超导相线与超导中线均由陶瓷材料 BSCCO 制成, 其截面积为 1cm^2 , 临界温度为 -165℃ .

- 相线与中线末端的阻性导体由铝材制成, 截面为 200mm^2 .

- 热控区 C 长度 $L_0=0.30\text{m}$.

- 电场控制区 D 长度 $L_1 = 0.70\text{m}$.

- 超导相线与导体间的接线区高度 $L_2 = 0.20\text{m}$.

- 冷却区低端到中线连接处的距离 $L_3 = 0.30\text{m}$.

- 接线终端到冷却区顶端的距离 $L_4 = 0.10\text{m}$.

- 电流值: 4100A 和 0.00A.

对比测试的结果在下表中给出, 冷却区由液氮冷却到 -196℃ , 损耗的单位为 W/triad.

表 1

电 流 (A)	4100	4100	0.00	0.00
结 构	现有	三条相线, 一条中线	现有	三条相线, 一条中线
阻性相线损耗(W)	3600	3600	0	0
阻性中线损耗(W)	3600	0	0	0
相线热损耗(W)	810	810	810	810
中线热损耗(W)	810	270	810	270
其它热损耗(W)	100	100	100	100
感应损耗(W)	0	80	0	0
总损耗(W)	8920	4860	1720	1180
总损耗(%)	100	54	100	69

特别值得指出的是在阻性中线损耗方面, 本发明的终端为零, 而现有终端的阻性中线损耗很大。

事实上, 对于现有终端, 其中线在处于室温下的壳体外相互连

接，然后产生阻性损耗的中性电流再流经阻性引线 24。

在本发明的终端中，在一部分平衡的三相系统中实际为 0 的中性电流在进入连接端 8' 之前被补偿，在阻性导线 9 中沿着超导体部件 4 与 4' 流动，其结果正如表中所示，没有阻性损耗。

在热损方面，本发明再次表现出这样的特征，对应在冷却区中将三条超导中线连在一个超导连接器上，只需使用一个阻性导体，作为电缆的超导中线与外部设备连接时的热交换器。

应该指出，上述的单一阻性导体的尺寸大小适合于单相电流，与现有技术中的终端的三个相引线中的每一个情况相同。

因此，凭借上述特点，通过采用单一中线导体，使由于吸收外部热量导致的损耗得到限制，与现有的三个阻性中线导体的终端相比，热损减小 2/3。

本发明的特点导致的热损的减少在零电流的情况下再次得到体现。

从表中的结果可以看到，本发明的终端有 80W 感应损耗。这在现有终端中是没有的。

该损耗缘于这样的事实，即同轴中线中，相电流流经 L_2 部分时由于同轴中线的存在，而没有得到屏蔽，而在现有终端中，这部分得到了屏蔽。没有屏蔽时，相电流在它周围空间产生了磁场，导致了在壳体的金属结构中形成感应电流。

但是，如表所示，这一影响已被降到较小值。

应特别指出，这个较小的损耗是由大大降低金属壳体高度所导致的，这一点可以从上面的数据看到。

另外，为使温度保持在超导体的临界温度以下，本终端优选液氮作为冷却流，以避免由于结构金属在低温时产生非常小的电阻率降低，这个降低值可以在使用液氮冷却时观察到，磁损与材料导电性为反比关系，因此，在上述状态下，磁损基本上可以忽略不计，或是一个很小的值。

因此，已经发现，通过将冷却液类型与金属壳体高度这两个性质不同的特征分别加以合适的控制，与现有终端相比，感应损耗不

会使本终端的性能劣化到严重程度。

表中数据使人们直接理解这一事实，即与现有终端相比，本发明的终端基本上减少了 50 % 的阻性损耗及 70 % 的热损耗。

本发明的另一个优点在于终端的绝缘体，无论对建造还是使用，它都不麻烦，与“相”线相比，它的绝缘电压可以忽略不计。

事实上，中线导体的绝缘电压理论上为零。但实际上是有一定的低压，不是高压，由于连接系统中可能存在过压，因此要考虑选择一定的连接尺寸和其绝缘程度。

显然，本发明不仅仅局限于前面描述的内容，基于本发明，熟悉本领域的人可以很容易想到其它的本文没有描述的方法和替代手段，但这一切都包括在本发明中。

例如，终端可以采用图 8 所示的结构。在图中，真空盒 29 的冷却区由壳体内冷却液在管道 30 内的循环确定的。冷却管的入口 30a 与出口 30b 在壳体壁上。

根据图 8 的实施例，由屏 6 和常规保护层保护的三个同轴单极电缆进入壳体，通过管道 30 的入口支管 33 和出口支管 34，冷却液沿纵向流过所述电缆。

以热交换器的形状构成的阻性导体 31 和 31' 中的热场控制是通过彼此独立并由分别流过不同温度的冷却液的三个柱状双壁体 35，36，37 构成的三个回路来实现的；这三个柱体彼此分立，且与阻性导体 31 和 31' 成同轴关系。

终端与外部设备的电连接是这样实现的：对于三个相线，将阻性导体 31 与同在高压绝缘体 40 的端部与接头 39 连接的管状金属部分 38 连接，而对于中性线，将阻性导体 31' 与同在高压绝缘体 41 的顶端与接头 39' 连接的管状金属部分 38 连接。

这些绝缘体完全安装在壳体外面，它们的底部固定在壳体上。

电场控制在这些绝缘体内实现。

根据前面提到的 1974 年发表的《用超导电缆传输电能》中的一个实施例，从外面进入超导相线与中线的热能，首先被 4.4° K 的液氮回路吸收，然后是属于中间温度的 20° K 的液氢回路，最

上端是 80°K 的液氮回路。

这种结构得到的冷却温度可以保证该终端可用于工作在低温，即液氮温度的超导体。

根据本发明这个终端的基本特征之一是将三条超导中线由一个置于壳体中冷却区的超导连接装置 42 以 Y 型方式连接在一起，然后通过一个连接端（没有画出）与唯一的一个阻性中线导体 31' 相连。

凭借这个优点，正如图 3 和图 4 所示，与现有的有三条阻性相线和三条阻性中线，并将中线在盒外相连的终端相比，这种终端使阻性损耗与热损耗大大减少。

这里还要指出本发明的一个比前面参考图示描述进一步的实施例。例如，用于具有 n 相的多相电缆的终端，其中 n 大于 1，如一个具有六相的超导电缆的终端。

其基本特征是，不论“相”数多少，将所有超导“中”线在终端的冷却区相互连接在一起。

显然，本文中所描述的构成超导体基本成分的材料，也是构成连接超导中线与线路中单一阻性导体的超导连接装置的材料。

在本文描述中，阻性导体是指电阻不为零的导电部件，它至少有一个重要部分的电阻不为零。本发明的两端优选使用低电阻率的导体，特别是铝、铜或类似材料的金属导体，以及用于磁铁的电流引线及其它低温设备的混合部件或金属-超导材料的混合部件。

一个这种引线的例子可参见《低温 1993》Vol.33, No.5 第 555 - 562 页。它有一部分由超导材料组成，在临界温度区域采用的是超导材料，在较高温度区域采用的是金属材料。

图 1

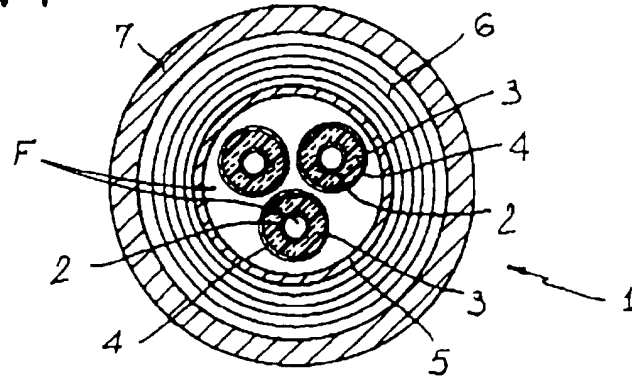


图 2

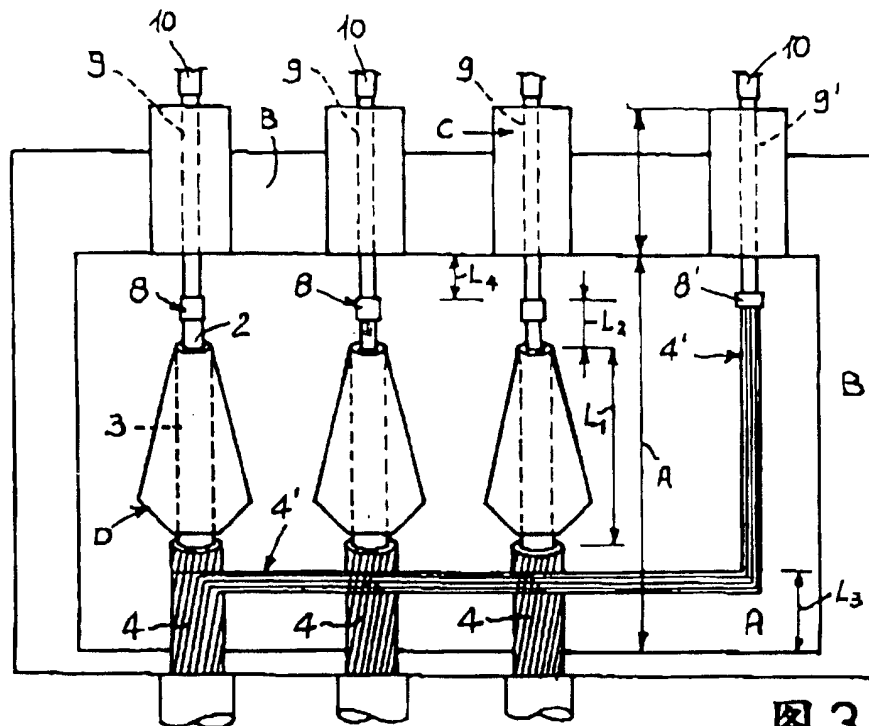
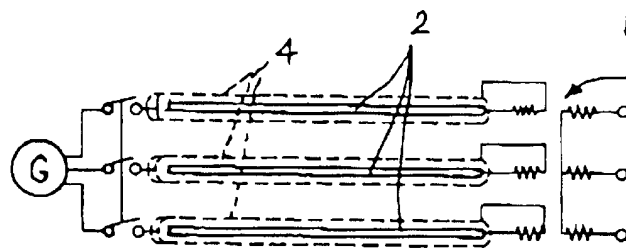


图 3

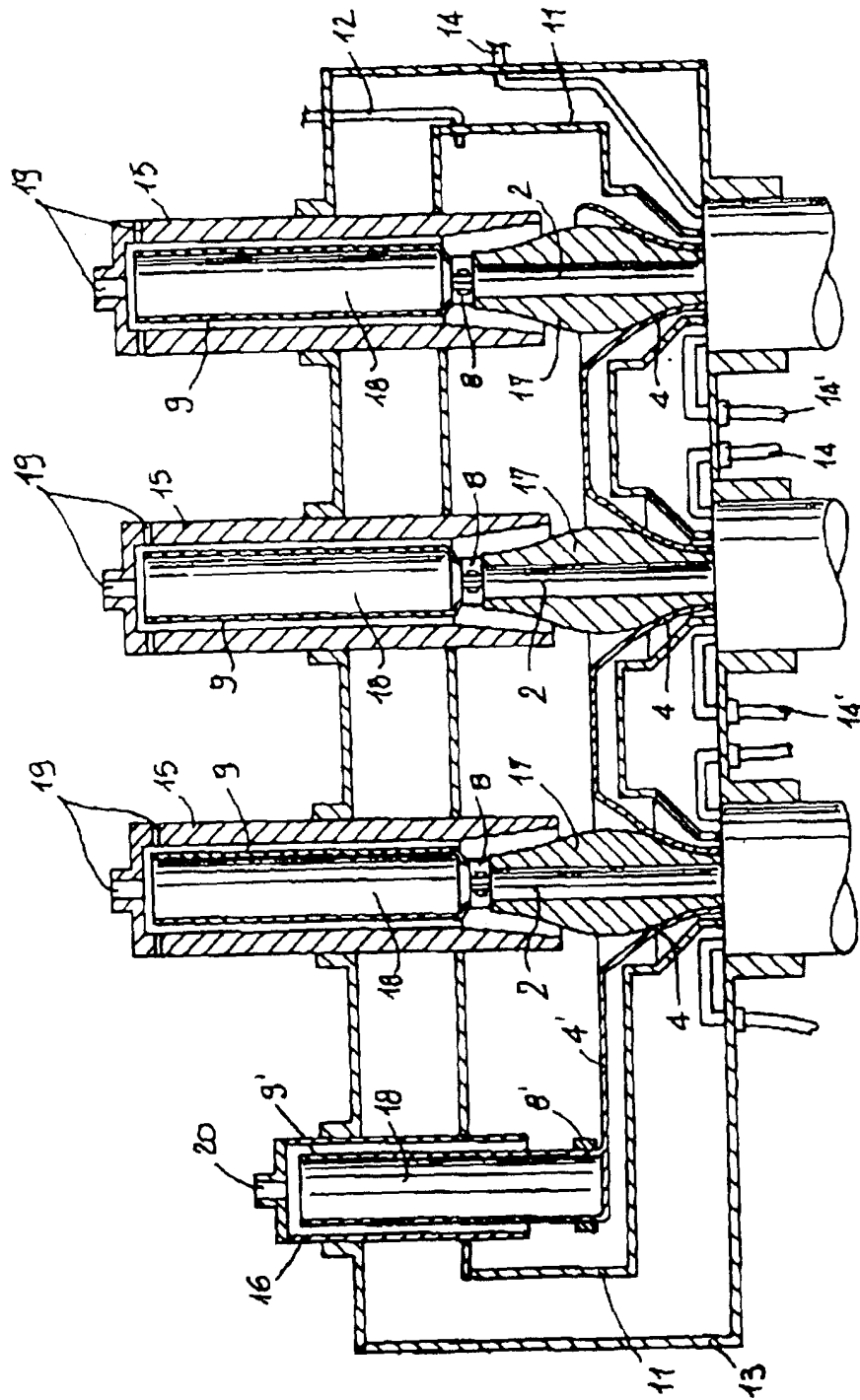


图 4

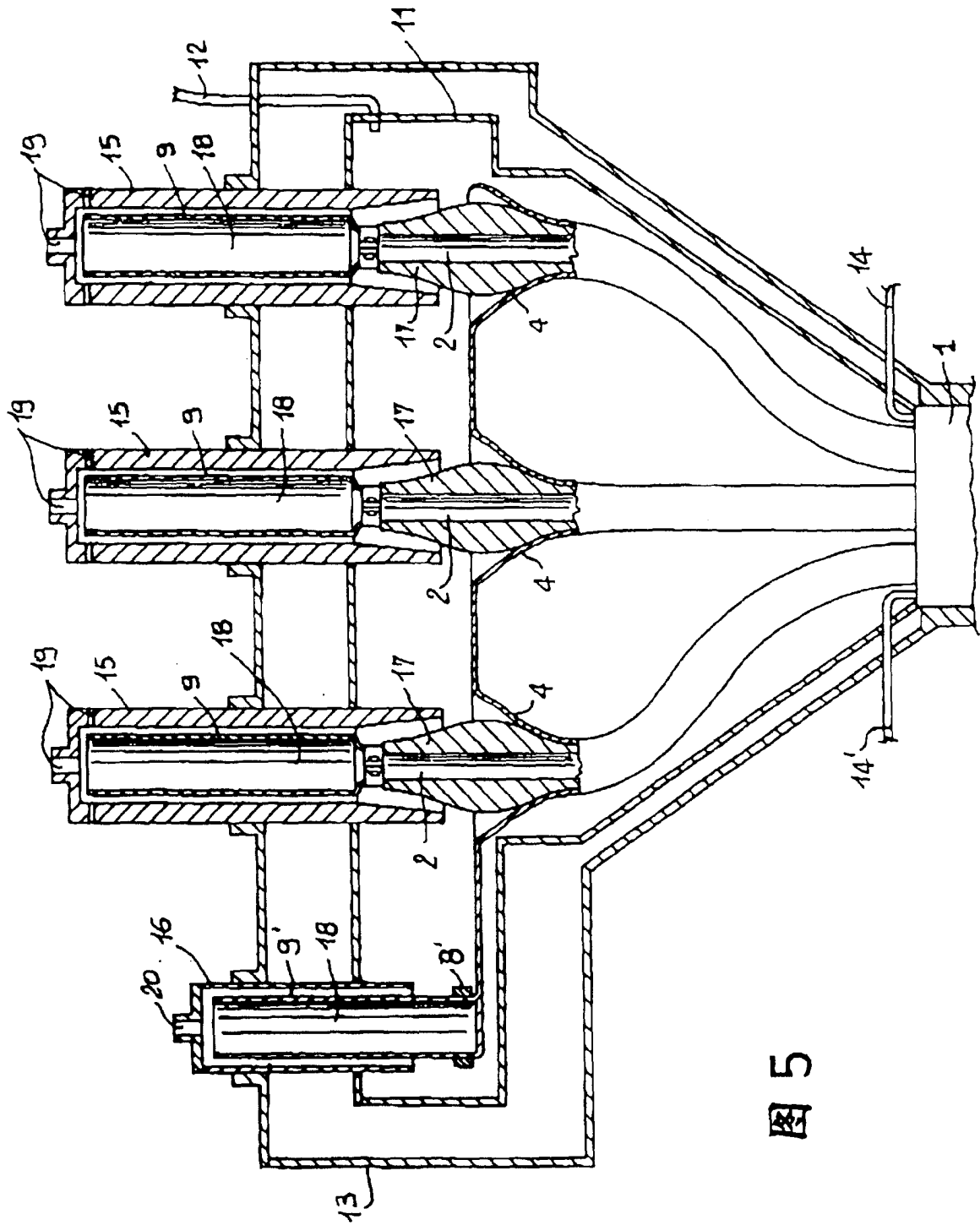


图 5

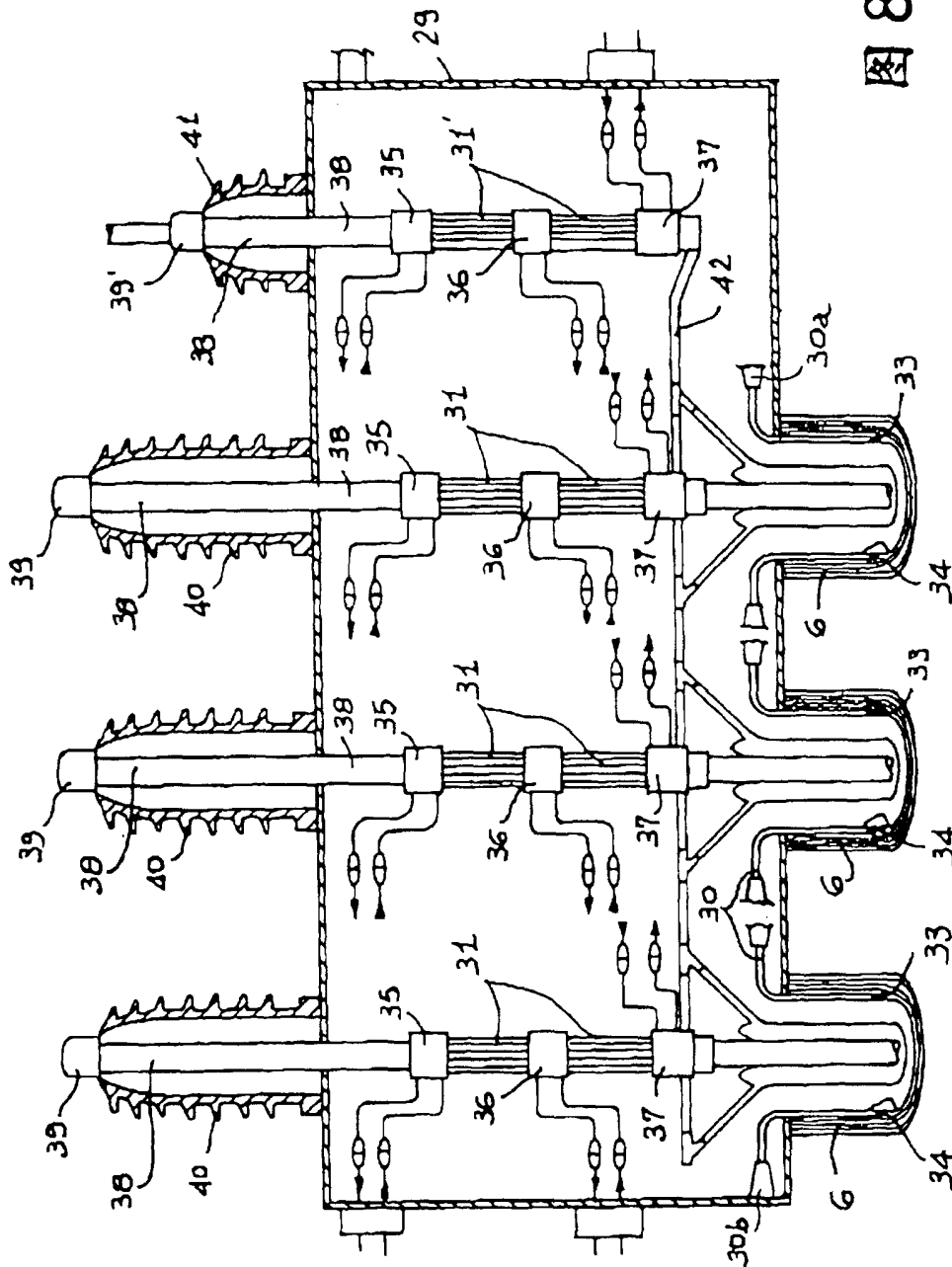


图 8