(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114220601 B
(45)授权公告日 2023.06.27

(21)申请号 202111551876.1
(22)申请日 2021.12.17
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114220601 A
(43)申请公布日 2022.03.22
(73)专利权人 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司
地址 510663 广东省广州市黄埔区广州科学城天丰路1号
(72)发明人 黎予颖 李泊静 徐伟
(74)专利代理机构 北京盛询知识产权代理有限公司 11901
专利代理师 马文巧
(51)Int.Cl.
H01B 12/00(2006.01)
H01B 7/02(2006.01)
H01B 7/17(2006.01)
H01B 7/18(2006.01)
H01B 9/00(2006.01)
H01B 9/02(2006.01)

(56)对比文件
CN 103177815 A,2013.06.26
CN 109411148 A,2019.03.01
CN 113506653 A,2021.10.15
CN 1574109 A,2005.02.02

审查员 秦晨

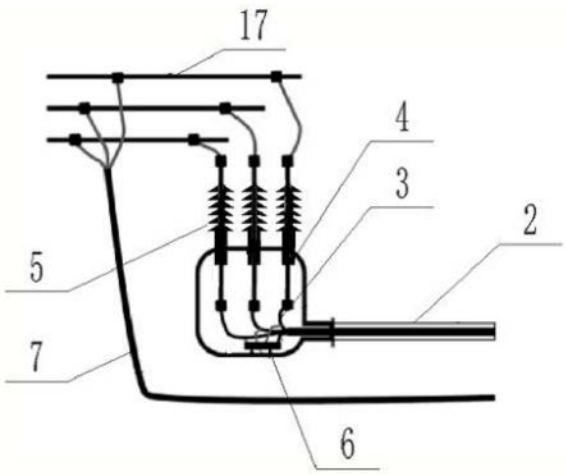
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种高可靠性超导电缆结构

(57)摘要

本发明公开一种高可靠性超导电缆结构，包括：第一骨架，所述第一骨架外套设有低温杜瓦管，所述第一骨架与所述低温杜瓦管之间绕所述固件绞合设置有四个单芯；所述单芯中去除了常规设置中的铜稳定层，所述四个单芯的一端位于终端容器内；所述终端容器内设置有高压出线单元和末端短接器，其中三个所述单芯分别与所述高压出线单元和末端短接器电性连接；另一所述单芯与所述末端短接器电性连接；所述高压出线单元电性连接有常规电网，所述常规电网电性连接有常规导体导线，三个所述单芯和所述常规导体导线与所述常规电网并联设置。



CN 114220601 B

1.一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于,包括:第一骨架(1),所述第一骨架(1)外套设有低温杜瓦管(2),所述第一骨架(1)与所述低温杜瓦管(2)之间绕所述第一骨架(1)绞合设置有四个单芯(3);所述单芯(3)中去除了常规设置中的铜稳定层,所述四个单芯(3)的一端位于终端容器(4)内;所述终端容器(4)内设置有高压出线单元(5)和末端短接器(6),其中三个所述单芯(3)分别与所述高压出线单元(5)和末端短接器(6)电性连接;另一所述单芯(3)与所述末端短接器(6)电性连接;所述高压出线单元(5)电性连接有常规电网,所述常规电网电性连接有常规导体导线(7),三个所述单芯(3)和所述常规导体导线(7)与所述常规电网并联设置;

所述单芯(3)包括由内向外依次套设的第二骨架(8)、第一半导电层(9)、超导层(10)、第二半导电层(11)、第一绝缘层(12)、第三半导电层(13)、超导屏蔽层(14)、第二绝缘层(15)和保护层(16);

其中三个所述单芯(3)的所述超导层(10)与所述高压出线单元(5)分别电性连接,且三个所述单芯(3)的所述超导屏蔽层(14)与所述末端短接器(6)电性连接,另外一个所述单芯(3)的所述超导屏蔽层(14)和所述超导层(10)均与所述末端短接器(6)电性连接;

四个所述单芯(3)围绕所述第一骨架(1)等节距绞合,完成绞合后进行统包捆扎。

2.根据权利要求1所述的一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于:所述常规电网设置有三条母线(17),三条所述母线(17)分别通过所述高压出线单元(5)与所述三个所述单芯(3)的所述超导层(10)电性连接。

3.根据权利要求1所述的一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于:所述低温杜瓦管(2)包括不锈钢波纹内管(18),所述不锈钢波纹内管(18)外壁套设有绝热层(19),所述绝热层(19)外侧套设有不锈钢波纹外管(20)。

4.根据权利要求1所述的一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于:三个所述单芯(3)的所述超导层(10)与所述高压出线单元(5)通过软铜线电性连接。

5.根据权利要求1所述的一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于:所述常规导体导线(7)设置为三芯电缆。

6.根据权利要求1所述的一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于:所述第一骨架(1)设置为不锈钢波纹管。

7.根据权利要求1所述的一种高可靠性超导电缆结构,其特征在于:所述第一骨架(1)内设置有测温光纤。

一种高可靠性超导电缆结构

技术领域

[0001] 本发明涉及超导电力电缆技术领域，特别是涉及一种高可靠性超导电缆结构。

背景技术

[0002] 高温超导电缆具有线损低、传输容量大、走廊占地小、环境友好等诸多优点，经过十几年的发展，超导电缆在基础研究方面已经取得巨大的进展。考虑电力能源需求持续增长、新能源占比快速上升等诸多因素，能同时实现高效低损耗和大容量电力输送的超导输电技术将在未来发挥更大的作用，应用前景十分广阔。

[0003] 超导电缆由于其特有的大电流传输能力，一种典型的应用模式是使用较低电压等级替代常规较高电压等级线路，例如使用10kV超导电缆替代35kV或者110kV常规线路；使用35kV超导电缆替代110kV或者220kV常规线路等。

[0004] 短路故障是超导电缆运行过程中遇到的最严苛运行条件。故障电流通过时，超导材料失超，随着短路能量的积累、导体层温度升高，可能导致超导材料发生不可逆的损坏。一般来说，超导通电导体自身的限流能力都不强，需要配合其他措施达到一定的故障电流耐受能力，例如串联超导限流器、为通电导体的超导层并联铜导体层等。

[0005] 一般而言，单相接地故障是电网最常见的短路故障。在这种情况下，存在一个很大的风险，就是：在某一单相短路故障下，超导电缆的单相受损，而其他另外两相完好。由于超导电缆的通电导体均处于低温环境，并且需要在工厂内进行指定节距绞合等预处理操作，单相受损实质上相当于整条电缆失效，必须全面退出使用。考虑到超导电缆的造价昂贵、保障程度重要，采取一定的措施降低上述风险的发生或者提供应对上述风险的措施，就显得十分重要。

[0006] 因此，亟需一种高可靠性超导电缆结构来解决上述问题。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种高可靠性超导电缆结构，一方面保持三芯式超导电缆结构紧凑的特点，不降低载流能力高、机械弯曲柔性好的能力，另一方面还将提高三芯式超导电缆的抗短路电流能力、可靠性、适应性。此外，低温制冷系统在暂态条件下的负荷水平也将得到显著的缓解。

[0008] 为实现上述目的，本发明提供了如下方案：本发明提供一种高可靠性超导电缆结构，包括：第一骨架，所述第一骨架外套设有低温杜瓦管，所述第一骨架与所述低温杜瓦管之间绕所述第一骨架绞合设置有四个单芯；所述单芯中去除了常规设置中的铜稳定层，所述四个单芯的一端位于终端容器内；所述终端容器内设置有高压出线单元和末端短接器，其中三个所述单芯分别与所述高压出线单元和末端短接器电性连接；另一所述单芯与所述末端短接器电性连接；所述高压出线单元电性连接有常规电网，所述常规电网电性连接有常规导体导线，三个所述单芯和所述常规导体导线与所述常规电网并联设置。

[0009] 优选的，所述单芯包括由内向外依次套设的第二骨架、第一半导电层、超导层、第

二半导电层、第一绝缘层、第三半导电层、超导屏蔽层、第二绝缘层和保护层。

[0010] 优选的，其中三个所述单芯的所述超导层与所述高压出线单元分别电性连接，且三个所述单芯的所述超导屏蔽层与所述末端短接器电性连接，另外一个所述单芯的所述超导屏蔽层和所述超导层均与所述末端短接器电性连接。

[0011] 优选的，所述常规电网设置有三条母线，三条所述母线分别通过所述高压出线单元与所述三个所述单芯的所述超导层电性连接。

[0012] 优选的，四个所述单芯围绕所述第一骨架等节距绞合，完成绞合后进行统包捆扎。

[0013] 优选的，所述低温杜瓦管包括不锈钢波纹内管，所述不锈钢波纹内管外壁套设有绝热层，所述绝热层外侧套设有不锈钢波纹外管。

[0014] 优选的，三个所述单芯的所述超导层与所述高压出线单元通过软铜线电性连接。

[0015] 优选的，所述常规导体导线设置为三芯电缆。

[0016] 优选的，所述第一骨架设置为不锈钢波纹管。

[0017] 优选的，所述第一骨架内设置有测温光纤。

[0018] 本发明公开了以下技术效果：单芯中不再使用铜稳定层或铜丝束骨架，功能层中由于去掉了铜稳定层或铜丝束骨架，尺寸会更为紧凑，单位长度重量得到轻化。由第一骨架、四根单芯和低温杜瓦管组成的超导电缆正常运行时，由于超导电缆支路的阻抗远小于常规导体导线支路的阻抗，几乎全部电流均通过超导电缆支路。超导电缆的高载流密度、低压大容量传输等技术优势几乎全部得以保留。当超导电缆通过故障短路电流时，超导电缆快速失超，呈现为高阻态。这时，旁路常规导体导线支路的阻抗将小于超导电缆支路，将故障电流的大部分转移至常规导体导线支路，从而提高超导电缆系统的故障电流耐受水平，保护超导通电导体的安全。运行期间，一旦发生因单相短路故障导致的单芯损坏，则可以在不拆除整条超导电缆的情况下，通过回温后终端内的“换芯”操作，继续保持超导线路的正常使用功能。

附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1为本发明的结构示意图；

[0021] 图2为本发明中低温杜瓦管的结构示意图；

[0022] 图3为本发明中单芯的结构示意图；

[0023] 其中，1、第一骨架；2、低温杜瓦管；3、单芯；4、终端容器；5、高压出线单元；6、末端短接器；7、常规导体导线；8、第二骨架；9、第一半导电层；10、超导层；11、第二半导电层；12、第一绝缘层；13、第三半导电层；14、超导屏蔽层；15、第二绝缘层；16、保护层；17、母线；18、不锈钢波纹内管；19、绝热层；20、不锈钢波纹外管。

具体实施方式

[0024] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完

整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0025] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0026] 参照图1-3，本发明提供一种高可靠性超导电缆结构，包括：第一骨架1，第一骨架1外套设有低温杜瓦管2，第一骨架1与低温杜瓦管2之间绕第一骨架1绞合设置有四个单芯3；单芯3中去除了常规设置中的铜稳定层，四个单芯3的一端位于终端容器4内；终端容器4内设置有高压出线单元5和末端短接器6，其中三个单芯3分别与高压出线单元5和末端短接器6电性连接；另一单芯3与末端短接器6电性连接；高压出线单元5电性连接有常规电网，常规电网电性连接有常规导体导线7，三个单芯3和常规导体导线7与常规电网并联设置。

[0027] 单芯3中不再使用铜稳定层或铜丝束骨架，功能层中由于去掉了铜稳定层或铜丝束骨架，尺寸会更为紧凑，单位长度重量得到轻化。由第一骨架1、四根单芯3和低温杜瓦管2组成的超导电缆正常运行时，由于超导电缆支路的阻抗远小于常规导体导线7支路的阻抗，几乎全部电流均通过超导电缆支路。超导电缆的高载流密度、低压大容量传输等技术优势几乎全部得以保留。当超导电缆通过故障短路电流时，超导电缆快速失超，呈现为高阻态。这时，旁路常规导体导线7支路的阻抗将小于超导电缆支路，将故障电流的大部分转移至常规导体导线7支路，从而提高超导电缆系统的故障电流耐受水平，保护超导通电导体的安全，运行期间，一旦发生因单相短路故障导致的单芯3损坏，则可以在不拆除整条超导电缆的情况下，通过回温后终端内的“换芯”操作，继续保持超导线路的正常使用功能。

[0028] 进一步优化方案，单芯3包括由内向外依次套设的第二骨架8、第一半导电层9、超导层10、第二半导电层11、第一绝缘层12、第三半导电层13、超导屏蔽层14、第二绝缘层15和保护层16。

[0029] 进一步优化方案，其中三个单芯3的超导层10与高压出线单元5分别电性连接，且三个单芯3的超导屏蔽层14与末端短接器6电性连接，另外一个单芯3的超导屏蔽层14和超导层10均与末端短接器6电性连接。

[0030] 进一步优化方案，常规电网设置有三条母线17，三条母线17分别通过高压出线单元5与三个单芯3的超导层10电性连接。

[0031] 进一步优化方案，四个单芯3围绕第一骨架1等节距绞合，完成绞合后进行统包捆扎。

[0032] 进一步优化方案，低温杜瓦管2包括不锈钢波纹内管18，不锈钢波纹内管18外壁套设有绝热层19，绝热层19外侧套设有不锈钢波纹外管20。

[0033] 绝热结构一般采用真空多层绝热的技术方案。

[0034] 进一步优化方案，三个单芯3的超导层10与高压出线单元5通过软铜线电性连接。

[0035] 单芯3采用软铜线等连接导体与高压出线单元5相连过渡到常温环境，在常温环境中，与母线17相连。选用为通电导体相的三个单芯3的屏蔽层在终端容器4内，通过末端短接器6短接并接地。以形成三相导体的电屏蔽和磁屏蔽。第四单芯3的导体层和超导屏蔽层14均连接于末端短接器6

[0036] 进一步优化方案，常规导体导线7设置为三芯电缆。

[0037] 在超导电缆外部，使用一条常规导体导线7，可以是电缆、排线或其他形式的导线，在超导电缆的终端处与之并联接入常规电网。常规导体导线7可以采用铜、铜合金或其他较好的导电性并有一定热容的金属、金属合金或其他材料。常规导体导线7的截面积选择由预期故障电流大小及其持续时间、导体电阻率、超导支路的超导通电导体室温电阻率等参数确定。常规导体导线7可以采用三相统合的结构(如三芯电缆)，也可以采用三相分立的结构(如三根单芯3电缆)。

[0038] 进一步优化方案，第一骨架1设置为不锈钢波纹管。

[0039] 第一骨架1骨架可以采用不锈钢、钛合金或其他具有较好低温性能的波纹管、螺旋骨架结构。超导层10也无需近邻绕制铜带层。这样一来，超导电缆单芯3的结构更为紧凑，并且单位重量更轻。

[0040] 进一步优化方案，第一骨架1内设置有测温光纤。

[0041] 设置的测温光纤用于测量超导电缆沿线温度分布，

[0042] 本发明不改变现有技术中原有液氮回路通路。

[0043] 本发明的高可靠性高温超导电缆的工作原理是：

[0044] 由第一骨架1、四根单芯3和低温杜瓦管2组成的超导电缆正常运行时，由于超导电缆支路的阻抗远小于常规导体导线7支路的阻抗，几乎全部电流均通过超导电缆支路。超导电缆的高载流密度、低压大容量传输等技术优势几乎全部得以保留。

[0045] 当超导电缆通过故障短路电流时，超导电缆快速失超，呈现为高阻态。这时，旁路常规导体导线7支路的阻抗将小于超导电缆支路，将故障电流的大部分转移至常规导体导线7支路，从而提高超导电缆系统的故障电流耐受水平，保护超导通电导体的安全。

[0046] 常规的设计，三芯式超导电缆系统在低温环境内与超导层10并联铜稳定层，故障电流过程中，由于铜层的大热容作用，与之相邻的超导层10温升得以控制。不过，故障电流的能量仍然继续在超导电缆系统的低温环境之中。一般而言，典型的故障过程释放的能量约在～10MJ级，这需要制冷系统花费很长时间，才能令超导电缆系统恢复至安全运行温度。本发明的三芯式超导电缆系统的铜稳定层位于常温环境，故障电流过程中由铜吸收的能量不会积蓄在低温环境中，可大大减少失超后制冷系统将超导体温度恢复至运行温度的时间，有利于再合闸运行。上述的故障后支路分流作用，与原技术与超导层10直接在低温环境内并联铜层(铜丝束)的方案一样，无需额外检测和开关动作，全部自动进行。

[0047] 本发明在原三芯超导电缆的基础上，增加了第四单芯3，作为冗余备份相存在。初始安装运行时，第四单芯3在两端与带电相的屏蔽层连接，并接地。正常运行时，第四单芯3流过较小的屏蔽层电流(约为额定电流的10％以内)，保持接地零电位，无电压、电流破坏风险。运行期间，一旦发生因单相短路故障导致的单芯3损坏，则可以在不拆除整条超导电缆的情况下，通过回温后终端内的“换芯”操作，继续保持超导线路的正常使用功能。特别的，在某些特定的短路条件下，尽管超导电缆没有发生完全的不可逆损伤，但发生了某相或某两相的临界电流衰减(这种情况比完全烧坏的发生概率大很多)，会导致系统不能达到额定值运行或者降低了安全裕度。此时，通过引入第四单芯3，将退降的一相或者两相并联使用以提高其总体载流水平，从而可以令超导电缆系统继续保持初始设计运行条件。中间布置的测温光纤可以实时监测超导电缆沿线的温度分布及其变化情况，有利于系统运行部门即使掌握超导电缆的状态，做出应对措施，从而提高了系统运行的可靠性和适应性。

[0048] 在本发明的描述中，需要理解的是，术语“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

[0049] 以上所述的实施例仅是对本发明的优选方式进行描述，并非对本发明的范围进行限定，在不脱离本发明设计精神的前提下，本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种变形和改进，均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

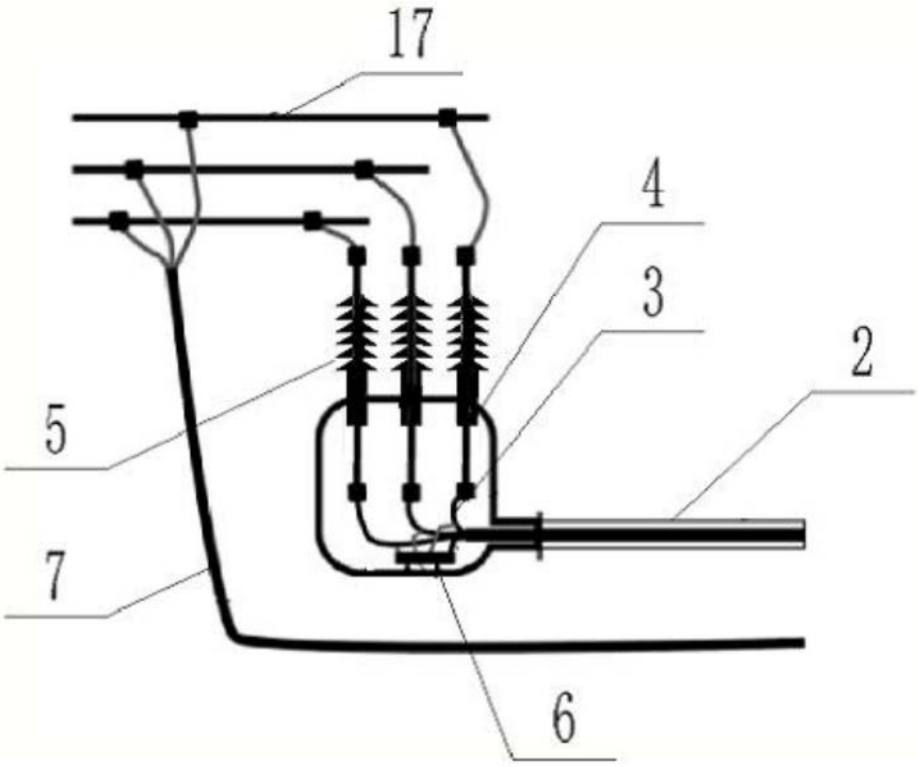


图1

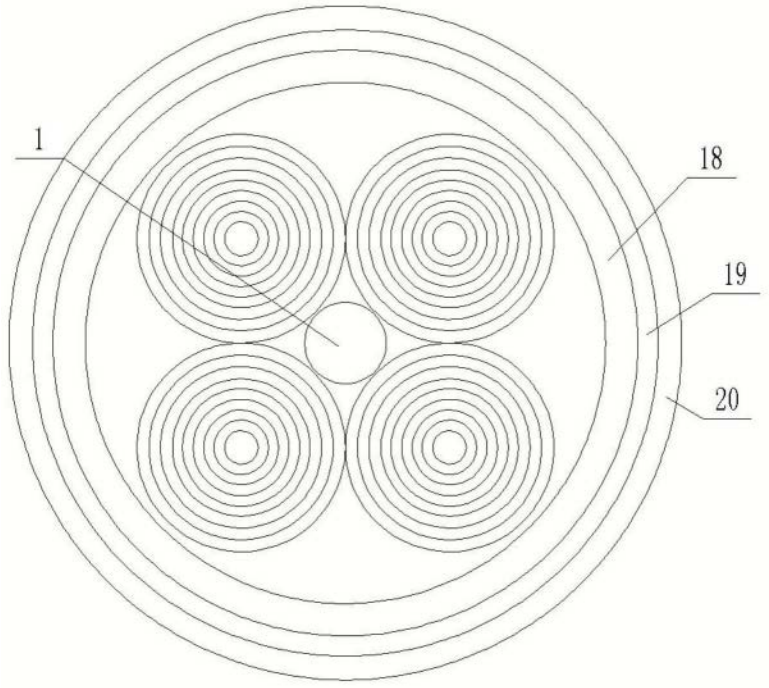


图2

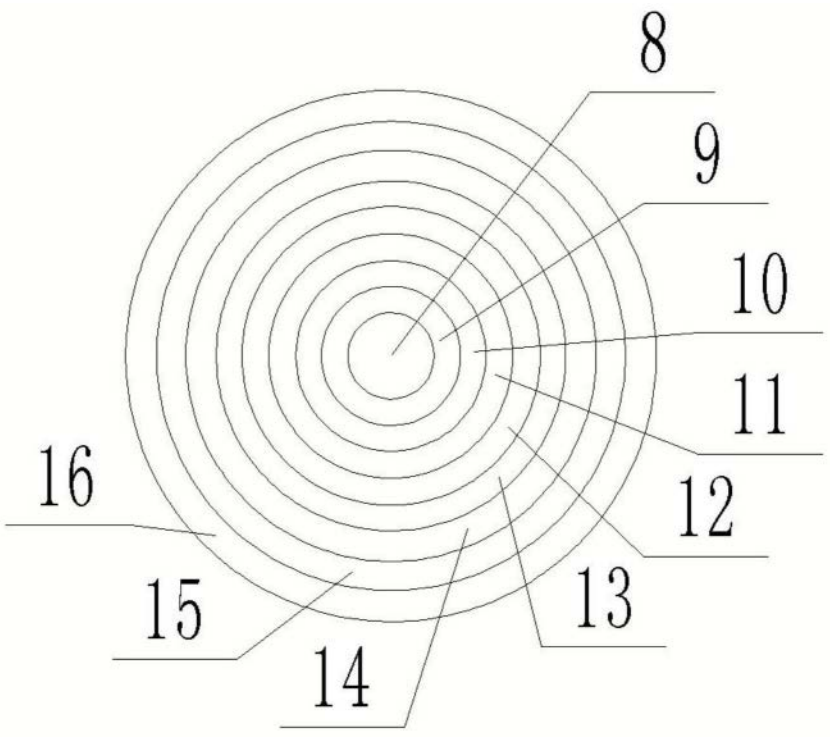


图3