



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112327229 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 26

(21) 申请号 202011137147.7

G01N 3/26 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.02

G01N 3/06 (2006.01)

G01N 3/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112327229 A

(56) 对比文件

CN 110118681 A, 2019.08.13

CN 111537927 A, 2020.08.14

CN 2643454 Y, 2004.09.22

(43) 申请公布日 2021.02.05

(73) 专利权人 东部超导科技(苏州)有限公司

地址 215000 江苏省苏州市吴江经济技术开发区庞金路1801号

审查员 姜相宇

(72) 发明人 周彬 王玉山 陈天博 熊旭明

蔡渊 袁文

(74) 专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有

限公司 32103

专利代理师 范晴

(51) Int. Cl.

G01R 33/12 (2006.01)

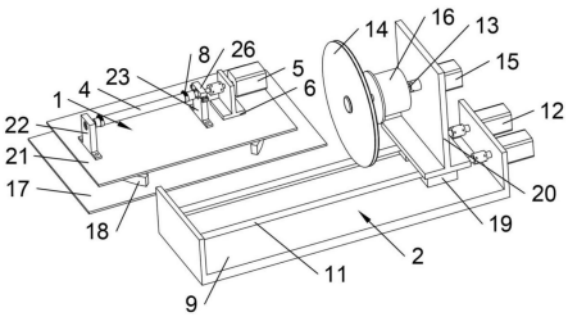
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置及检测方法

(57) 摘要

本发明公开了用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置,包括扭绞机构以及收放带机构;扭绞机构包括第一支架、芯轴、以及第一电机,且芯轴上还安装有多个卡箍;收放带机构包括第二底座、收放带支架、以及收放带动力组件;第二底座上转动设置有至少一个丝杠,丝杠上套设收放带支架,丝杠的一端安装有第二电机,第二电机转动并驱动丝杠转动,丝杠转动并驱动收放带支架移动;收放带动力组件包括转动设置在收放带支架上的转轴,转轴的一端固定有卷带盘,转轴的另一端设有用于驱动转轴转动的第三电机,且转轴上还安装有张力控制器。通过该装置可以测试高温超导带材在一定扭绞状态下的临界电流,以检验超导带材的抗扭绞性、稳定性以及可靠性。



1. 用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:利用用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置,其步骤如下:

步骤1)、取一段待测超导带材(7),在超导带材(7)上分别焊上电流引带和电压引线;

步骤2)、用四引线法测出步骤1)中的超导带材(7)在平直状态下的临界电流 I_{c_0} ,并记录;

步骤3)、将步骤1)中的超导带材(7)的一端盘绕在卷带盘(14)上,超导带材(7)的另一端通过卡箍(8)固定在半径为R的芯轴(4)上;调整芯轴(4)的位置并使超导带材(7)的长度方向与芯轴(4)的夹角为 θ ;

步骤4)、开启第一电机(5),第一电机(5)转动并驱动芯轴(4)转动,进而使超导带材(7)沿芯轴(4)的表面缠绕;

步骤5)、同时,开启第三电机(15),第三电机(15)驱动卷带盘(14)转动并使其释放超导带材(7),且通过张力控制器(16)保持超导带材(7)在芯轴(4)上的张力状态;

步骤6)、同时,开启第二电机(12),第二电机(12)转动并驱动丝杠(11)转动,丝杠(11)转动并带动滑块(19)移动,从而带动收放带动力组件移动,以保持 θ 不变;

步骤7)、缠绕结束后,用另一个卡箍(8)将超导带材(7)固定在芯轴(4)上,并使其保持扭绞状态;

步骤8)、用四引线法测出步骤7)中的超导带材(7)在扭绞状态下的临界电流 I_{c_s} ,并记录;

步骤9)、使步骤8)中的超导带材(7)保持扭绞状态,并将其放入液氮中浸泡,每隔10天,测试浸泡后的超导带材(7)的临界电流 $I_{c_{ei}}$,并记录;

步骤10)、循环步骤9)多次或者超导带材(7)失超后,取下超导带材(7);根据测试的临界电流计算临界电流保留率并绘制曲线;

所述用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置包括扭绞机构(1)以及设置在所述扭绞机构(1)一侧的收放带机构(2);

所述扭绞机构(1)包括第一支架(3)、转动设置在所述第一支架(3)上的芯轴(4)、以及用于驱动所述芯轴(4)转动的第一电机(5);且芯轴(4)上还安装有用于固定超导带材(7)的多个卡箍(8);

所述收放带机构(2)包括第二底座(9)、设置在所述第二底座(9)上的收放带支架(10)、以及设置在所述收放带支架(10)上的收放带动力组件;

所述第二底座(9)上转动设置有至少一个丝杠(11),所述丝杠(11)上套设所述收放带支架(10),所述收放带支架(10)与丝杠(11)螺纹连接,且收放带支架(10)以周向限位和轴向不限位的方式滑动设置在第二底座(9)上,丝杠(11)的一端安装有第二电机(12),第二电机(12)转动并驱动丝杠(11)转动,丝杠(11)转动并驱动收放带支架(10)在第二底座(9)上移动;

所述收放带动力组件包括转动设置在收放带支架(10)上的转轴(13),所述转轴(13)的一端固定有卷带盘(14),所述转轴(13)的另一端设有用于驱动所述转轴(13)转动的第三电机(15),第三电机(15)的电机轴与转轴(13)固定连接,且所述转轴(13)上还安装有张力控制器(16);

所述扭绞机构(1)还包括第一底座(17),所述第一底座(17)上固定有圆弧形导轨(18),

所述第一支架(3)的底部设有与所述圆弧形导轨(18)相配合的圆弧形凹槽(25),所述第一底座(17)上的圆弧形导轨(18)嵌入第一支架(3)上的圆弧形凹槽(25)内,且第一支架(3)能够沿所述圆弧形导轨(18)进行周向转动;所述第一底座(17)上还设有用于将第一支架(3)锁定在第一底座(17)上的锁紧机构;

待测超导带材(7)上分别焊上电流引带和电压引线,且超导带材(7)的一端盘绕在卷带盘(14)上,超导带材(7)的另一端通过卡箍(8)固定在半径为R的芯轴(4)上。

2.根据权利要求1所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述锁紧机构包括紧固件,第一底座(17)上开设有与圆弧形凹槽(25)相连通的螺纹孔,紧固件螺纹连接在螺纹孔上;通过旋转紧固件使其与圆弧形导轨(18)相抵,进而能够将第一支架(3)锁定在第一底座(17)上。

3.根据权利要求2所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述圆弧形导轨(18)上间隔开设有多个与紧固件相配合的定位孔。

4.根据权利要求1所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述收放带支架(10)包括套设在丝杠(11)上的滑块(19),所述滑块(19)与丝杠(11)螺纹连接,且所述滑块(19)上固定有第三支撑板(20),所述第三支撑板(20)上转动设置所述转轴(13)。

5.根据权利要求4所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述第一底座(9)上转动设置两个所述丝杠(11),两个丝杠(11)相互平行设置,且两个丝杠(11)均与所述收放带支架(10)螺纹连接。

6.根据权利要求1所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述芯轴(4)通过第一联轴器与第一电机(5)的电机轴固定连接。

7.根据权利要求1所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述转轴(13)通过第二联轴器与第三电机(15)的电机轴固定连接。

8.根据权利要求1所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,其特征是:所述第一支架(3)包括第一底板(21)、以及固定在第一底板(21)上的第一支撑板(22)和第二支撑板(23),芯轴(4)的一端转动设置在第一支撑板(22)上,所述第二支撑板(23)的上端开设有第一半圆形凹槽,第二支撑板(23)的上端通过紧固件安装有锁紧板部(26),所述锁紧板部(26)上开设有第二半圆形凹槽,第一半圆形凹槽和第二半圆形凹槽相配合形成轴孔,所述芯轴(4)的另一端转动设置在所述轴孔内。

用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置及检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超导线缆技术领域,更具体地说,它涉及用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置及检测方法。

背景技术

[0002] 随着高温超导材料的不断深入研究,以及高温超导带材制备技术的不断提高,高温超导带材的应用也在逐步实现。目前高温超导带材主要用于超导磁体和超导电力技术。

[0003] 高温超导材料的超导层为陶瓷结构,在制备、运输和绕制成超导电缆或超导磁体,以及其在应用的过程中,不可避免地会受到拉伸、弯曲及扭绞等持续应变的影响。超导材料受到持续的拉伸、弯曲及扭绞等应变时,其晶体结构会发生改变,由此造成超导带材的缺陷。超导电缆或超导磁体在工作时,电流经过缺陷位置时会产生一定的热量,未能及时传导消散的热量使超导材料升温,进而导致超导体由超导态转变为正常态,出现失超。有研究表明在超导体出现局部失超后,该位置的正常态会沿着电流传输的方向传播,正常态的传播速度即为失超传播速度。与低温超导带材相比,高温超导带材的失超传播速度较慢,缓慢的失超传播速度导致带材失超后更容易产生热量聚集,由此会有更多的热量不能经传导消除,更容易使超导体产生失超,也更容易毁坏这些超导装置或超导设备。因此,随着高温超导材料在超导磁体及超导电力中的应用普及,市场上对超导材料的抗拉、抗弯及抗扭绞等力学性能的要求也越来越高。

[0004] 但是在现有的技术中还没有一种专门的方法既能实现高温超导带材的扭绞实验还能测试带材在不同扭绞状态下持续工作后的临界电流。这就亟需根据高温超导带材特殊的工作环境设计实验,对其在不同扭绞状态下持续工作后的性能进行检测,并对超导带材的应用可靠性进行验证,这对高温超导带材在超导磁体和超导电力技术上的产业化具有重要的参考价值。

发明内容

[0005] 针对现有技术存在的不足,本发明在于提供用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置及检测方法,其可以测试高温超导带材在一定扭绞状态下的临界电流,检验超导带材的抗扭绞性、稳定性及可靠性。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了如下技术方案:用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置,包括扭绞机构以及设置在所述扭绞机构一侧的收放带机构;

[0007] 所述扭绞机构包括第一支架、转动设置在所述第一支架上的芯轴、以及用于驱动所述芯轴转动的第一电机,且芯轴上还安装有用于固定超导带材的多个卡箍;

[0008] 所述收放带机构包括第二底座、设置在所述第二底座上的收放带支架、以及设置在所述收放带支架上的收放带动力组件;

[0009] 所述第二底座上转动设置有至少一个丝杠,所述丝杠上套设所述收放带支架,所述收放带支架与丝杠螺纹连接,且收放带支架以周向限位和轴向不限位的方式滑动设置在

第二底座上,丝杠的一端安装有第二电机,第二电机转动并驱动丝杠转动,丝杠转动并驱动收放带支架在第二底座上移动;

[0010] 所述收放带动力组件包括转动设置在收放带支架上的转轴,所述转轴的一端固定有卷带盘,所述转轴的另一端设有用于驱动所述转轴转动的第三电机,第三电机的电机轴与转轴固定连接,且所述转轴上还安装有张力控制器。

[0011] 通过该装置可以测试高温超导带材在一定扭绞状态下的临界电流,以检验超导带材的抗扭绞性、稳定性及可靠性,其适用性强,可用于各类高温超导带材的扭绞实验,且可操作性强,成本低、设备简单可控。

[0012] 作为优选,所述扭绞机构还包括第一底座,所述第一底座上固定有圆弧形导轨,所述第一支架的底部设有与所述圆弧形导轨相配合的圆弧形凹槽,所述第一底座上的圆弧形导轨嵌入第一支架上的圆弧形凹槽内,且第一支架能够沿所述圆弧形导轨进行周向转动;所述第一底座上还设有用于将第一支架锁定在第一底座上的锁紧机构。

[0013] 作为优选,所述锁紧机构包括紧固件,第一底座上开设有与圆弧形凹槽相连通的螺纹孔,紧固件螺纹连接在螺纹孔上;通过旋转紧固件使其与圆弧形导轨相抵,进而能够将第一支架锁定在第一底座上。

[0014] 作为优选,所述圆弧形导轨上间隔开设有多个与紧固件相配合的定位孔。

[0015] 作为优选,所述收放带支架包括套设在丝杠上的滑块,所述滑块与丝杠螺纹连接,且所述滑块上固定有第三支撑板,所述第三支撑板上转动设置所述转轴。

[0016] 作为优选,所述第二底座上转动设置两个所述丝杠,两个丝杠相互平行设置,且两个丝杠均与所述收放带支架螺纹连接。

[0017] 作为优选,所述芯轴通过第一联轴器与第一电机的电机轴固定连接。

[0018] 作为优选,所述转轴通过第二联轴器与第三电机的电机轴固定连接。

[0019] 作为优选,所述第一支架包括第一底板、以及固定在第一底板上的第一支撑板和第二支撑板,芯轴的一端转动设置在第一支撑板上,所述第二支撑板的上端开设有第一半圆形凹槽,第二支撑板的上端通过紧固件安装有锁紧板部,所述锁紧板部上开设有第二半圆形凹槽,第一半圆形凹槽和第二半圆形凹槽相配合形成轴孔,所述芯轴的另一端转动设置在所述轴孔内。

[0020] 作为优选,用于检测高温超导带材的扭绞性能的检测方法,利用上述所述的用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置,其步骤如下:

[0021] 步骤1)、取一段待测超导带材,在超导带材上分别焊上电流引带和电压引线;

[0022] 步骤2)、用四引线法测出步骤1)中的超导带材在平直状态下的临界电流 I_{c0} ,并记录;

[0023] 步骤3)、将步骤1)中的超导带材的一端盘绕在卷带盘上,超导带材的另一端通过卡箍固定在半径为R的芯轴上;调整芯轴的位置并使超导带材的长度方向与芯轴的夹角为 θ ;

[0024] 步骤4)、开启第一电机,第一电机转动并驱动芯轴转动,进而使超导带材沿芯轴的表面缠绕;

[0025] 步骤5)、同时,开启第三电机,第三电机驱动卷带盘转动并使其释放超导带材,且通过张力控制器保持超导带材在芯轴上的张力状态;

[0026] 步骤6)、同时,开启第二电机,第二电机转动并驱动丝杠转动,丝杠转动并带动滑块移动,从而带动收放带动力组件移动,以保持 θ 不变;

[0027] 步骤7)、缠绕结束后,用另一个卡箍将超导带材固定在芯轴上,并使其保持扭绞状态;

[0028] 步骤8)、用四引线法测出步骤7)中的超导带材在扭绞状态下的临界电流 I_{c_s} ,并记录;

[0029] 步骤9)、使步骤8)中的超导带材保持扭绞状态,并将其放入液氮中浸泡,每隔10天,测试浸泡后的超导带材的临界电流 $I_{c_{ei}}$,并记录;

[0030] 步骤10)、循环步骤9)多次或者超导带材失超后,取下超导带材;根据测试的临界电流计算临界电流保留率并绘制曲线,以衡量带材的抗扭绞性、稳定性和可靠性。

[0031] 综上所述,本发明具有以下有益效果:

[0032] 1、本发明可以对超导带材的应用可靠性进行验证,并对其在持续工作后的性能进行检测,可以用于检验超导带材的抗扭绞性、稳定性及可靠性;

[0033] 2、本发明实现对一定扭绞状态下的超导带材直接进行临界电流测试;

[0034] 3、本发明的扭绞装置适用性强,可用于各类高温超导带材的扭绞实验;

[0035] 4、本发明的扭绞装置可操作性强,成本低,设备简单、可控。

[0036] 5、本发明的扭绞装置方便更换芯轴,进而可以测试在不同半径 R 条件下的超导带材的临界电流;

[0037] 6、本发明的扭绞装置方便调整芯轴的位置以改变扭角 θ ,进而可以测试超导带材在不同的扭角 θ 状态下的临界电流。

附图说明

[0038] 图1为本发明的结构示意图;

[0039] 图2为本发明的扭绞结构组装在第一底座上的结构示意图;

[0040] 图3为本发明的扭绞机构的结构示意图;

[0041] 图4为本发明的收放带机构的结构示意图;

[0042] 图5为图3中A处的放大图;

[0043] 图6为本发明的超导带材在芯轴上的扭绞状态示意图;

[0044] 图7为测试得到的临界电流保留率 δ_2 曲线图。

[0045] 附图标记:1、扭绞机构;2、收放带机构;3、第一支架;4、芯轴;5、第一电机;6、电机支架;7、超导带材;8、卡箍;9、第二底座;10、收放带支架;11、丝杠;12、第二电机;13、转轴;14、卷带盘;15、第三电机;16、张力控制器;17、第一底座;18、圆弧形导轨;19、滑块;20、第三支撑板;21、第一底板;22、第一支撑板;23、第二支撑板;24、导向块;25、圆弧形凹槽;26、锁紧板部。

具体实施方式

[0046] 参照附图对本发明做进一步说明。

[0047] 本实施例公开了用于检测高温超导带材的扭绞性能的扭绞装置及检测方法,如图1~5所示,扭绞装置包括扭绞机构1以及设置在扭绞机构1一侧的收放带机构2;扭绞机构1

包括第一支架3、转动设置在第一支架3上的芯轴4、以及用于驱动芯轴4转动的第一电机5；第一电机5通过电机支架6固定在第一支架3上，芯轴4的一端通过第一联轴器与第一电机5的电机轴固定连接，且芯轴4上还安装有用于固定超导带材7的多个卡箍8；收放带机构2包括第二底座9、设置在第二底座9上的收放带支架10、以及设置在收放带支架10上的收放带动力组件；第二底座9上转动设置有至少一个丝杠11，丝杠11上套设收放带支架10，收放带支架10与丝杠11螺纹连接，且收放带支架10以周向限位和轴向不限位的方式滑动设置在第二底座9上，进而使收放带支架10能够在第二底座9上进行前后滑动而不发生周向转动；丝杠11的一端安装有第二电机12，第二电机12转动并驱动丝杠11转动，丝杠11转动并驱动收放带支架10在第二底座9上移动；收放带动力组件包括转动设置在收放带支架10上的转轴13，转轴13的一端固定有卷带盘14，转轴13的另一端设有用于驱动转轴13转动的第三电机15，第三电机15的电机轴通过第二联轴器与与转轴13固定连接，且转轴13上还安装有张力控制器16。其中，张力控制是诸如胶带、金属箔带、电线电缆、绳缆等各类带材、线材等在收放过程中的重要技术，本申请中的张力控制器为现有技术中常见的用于带材的张力控制器。

[0048] 通过该装置可以测试高温超导带材7在一定扭绞状态下的临界电流，以检验超导带材7的抗扭绞性、稳定性及可靠性，其适用性强，可用于各类高温超导带材7的扭绞实验，且可操作性强，成本低、设备简单可控。

[0049] 作为优选，扭绞机构1还包括第一底座17，第一底座17上固定有圆弧形导轨18，第一支架3的底部设有与圆弧形导轨18相配合的圆弧形凹槽25，第一支架3上的圆弧形凹槽25嵌入第一底座17上的圆弧形导轨18上，第一底座17上的圆弧形导轨18嵌入第一支架3上的圆弧形凹槽25内，且第一支架3能够沿圆弧形导轨18进行周向转动；第一底座17上还设有用于将第一支架3锁定在第一底座17上的锁紧机构。通过转动第一支架3使其在第一底座17上转动，并通过锁紧机构锁定第一底座17与第一支架3两者之间的相对位置并保持不变；如此，方便调整芯轴4的位置以改变扭角 θ ，进而可以测试超导带材7在不同的扭角 θ 状态下的临界电流。其中，锁紧机构包括紧固件，第一底座17上开设有与圆弧形凹槽25相连通的螺纹孔，紧固件螺纹连接在螺纹孔上；通过旋转紧固件使其与圆弧形导轨18相抵，进而能够将第一支架3锁定在第一底座17上；进一步的，圆弧形导轨18上间隔开设有多个与紧固件相配合的定位孔，调整芯轴4位置后，转动紧固件使其嵌入圆弧形导轨18上的定位孔内，进而锁定了第一底座17与第一支架3两者之间的相对位置。

[0050] 收放带支架10以周向限位和轴向不限位的方式滑动设置在第二底座9上，具体的，当第二底座9上转动设置一个丝杠11时，收放带支架10的底部与第二底座9相抵并限制收放带支架10发生转动，如此，丝杠11转动并驱动收放带支架10移动时，由于受到第二底座9的作用力，限制了收放带支架10的周向转动；或者，第二底座9上转动设置两个丝杠11，两个丝杠11相互平行设置，且两个丝杠11均与收放带支架10螺纹连接，如此，一方面，可以避免收放带支架10发生周向转动，另一方面，两个丝杠11均与收放带支架10螺纹连接，可以使收放带支架10的移动更加平稳。上述技术方案中，收放带支架10包括套设在丝杠11上的滑块19，滑块19与丝杠11螺纹连接，且滑块19上固定有第三支撑板20，第三支撑板20上转动设置转轴13。

[0051] 为了便于更换不同半径R的芯轴4，芯轴4以可拆卸的方式转动设置在第一支架3

上,具体的,第一支架3包括第一底板21、以及固定在第一底板21上的第一支撑板22和第二支撑板23,第一底板21的底部固定有多个导向块24,且多个导向块24沿第一支架3的滑动路径间隔布置,导向块24上开设有圆弧形凹槽25;芯轴4的一端转动设置在第一支撑板22上,第二支撑板23的上端开设有第一半圆形凹槽,第二支撑板23的上端通过紧固件安装有锁紧板部26,锁紧板部26上开设有第二半圆形凹槽,第一半圆形凹槽和第二半圆形凹槽相配合形成轴孔,芯轴4的另一端转动设置在轴孔内,如此,方便更换芯轴4,进而可以测试在不同半径R条件下的超导带材7的临界电流。

[0052] 用于检测高温超导带材7的扭绞性能的检测方法,利用上述所述的用于检测高温超导带材7的扭绞性能的扭绞装置,其步骤如下:

[0053] 步骤1)、取一段待测超导带材7,用助焊剂在超导带材7两端焊上同样宽度的电流引带和电压引线,以降低电极和带材间的接触电阻,避免临界电流实验时,接触电阻过大造成在电极附近烧毁;焊点要求无虚接、气泡等缺陷;

[0054] 步骤2)、用助焊剂将两个电压极焊接在步骤1)中的超导带材7上,两个电压极距离为 $L=50\text{cm}$,用四引线法测出待测超导带材7平直状态下的临界电流 I_{c_0} ,电压引线在电流引线内侧,并保证一定距离;

[0055] 步骤3)、将步骤1)中的超导带材7的一端盘绕在卷带盘14上;同时,在距离超导带材7的起始端10cm处,超导带材7的另一端通过卡箍8固定在半径为R的芯轴4上,其中, $R \geq 15\text{mm}$;调整芯轴4的位置并使超导带材7的长度方向与芯轴4的夹角为 θ , θ 即为扭角, θ 为 $20^\circ \sim 60^\circ$;

[0056] 步骤4)、开启第一电机5,第一电机5转动并驱动芯轴4转动,进而使超导带材7沿芯轴4的表面缠绕;

[0057] 步骤5)、同时,开启第三电机15,第三电机15第二电机12,第二电机12驱动卷带盘14转动并使其释放超导带材7,且通过张力控制器16保持超导带材7在芯轴4上的张力状态;

[0058] 步骤6)、同时,开启第二电机12,第二电机12转动并驱动丝杠11转动,丝杠11转动并带动滑块19移动,从而带动收放带动力组件移动,以保持 θ 不变;

[0059] 步骤7)、缠绕结束后,用另一个卡箍8将超导带材7固定在芯轴4上,并使其保持扭绞状态,并在距离该卡箍810cm处剪断超导带材7;超导带材7在芯轴4上的扭绞状态,如图6所示;

[0060] 步骤8)、用四引线法测出步骤7)中的超导带材7在扭绞状态下的临界电流 I_{c_s} ,并记录;

[0061] 步骤9)、使步骤8)中的超导带材7保持扭绞状态,并将其放入液氮中浸泡,每隔10天,测试浸泡后的超导带材7的临界电流 $I_{c_{Ei}}$,并记录;

[0062] 步骤10)、循环步骤9) 10次或者超导带材7失超后,取下超导带材7;计算临界电流保留率 $\delta_1 = (I_{c_s}/I_{c_0}) * 100\%$, $\delta_2 = (I_{c_{Ei}}/I_{c_s}) * 100\%$, δ_1 用来验证超导带材7扭绞后是否损坏,并绘制 δ_2 和浸泡时间的关系图;根据测试的临界电流计算临界电流保留率并绘制曲线,以衡量带材的抗扭绞性、稳定性和可靠性。(其中: I_c :临界电流; I_{c_0} :初始未扭绞状态的临界电流; I_{c_s} :初始扭绞状态的临界电流; I_{c_E} :扭绞状态浸泡后的临界电流; $I_{c_{Ei}}$:浸泡每隔8~12天测一次的临界电流)

[0063] 当实验需要时,可以分别改变不同半径R的芯轴4和扭角 θ ,并重复步骤3)至步骤

10);一般地,半径 R 和扭角 θ 应根据超导带材7实际应用的场景进行设计,可适当的严苛于应用场景。另外,在实验过程中,应保证电流引线和电压引线的焊接性良好,确保接触电阻不会过大,应选用合适的焊接温度,以防止对超导带材7有损伤,应选择合适的助焊剂,确保长期试验时,电流引线和电压引线的焊接牢固性。

[0064] 如图7所示,曲线a-c分别表示在三种不同扭绞条件下的高温超导带材7的临界电流保留率 δ_2 与浸泡时间的关系曲线,其中 $R_1 > R_2$, $\theta_1 < \theta_2$ 。从图中曲线a、曲线b可以看出,当扭角 θ 不变时,扭绞芯轴4半径 R 越大,超导带材7的抗扭绞性能越好,抗疲劳性能越好。从图中曲线b、曲线c可以看出,当扭绞芯轴4半径 R 不变时,扭角 θ 越小,超导带材7的抗扭绞性能越好,抗疲劳性能越好。图中K线表示当临界电流保留率 δ_2 小于临界电流保留系数 K 值时,即判定高温超导带材7在此条件下已达到疲劳状态,不同超导带材7的电流保留系数 K 值不同。

[0065] 本具体实施例中的指定方向仅仅是为了便于表述各部件之间位置关系以及相互配合的关系。以上所述仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

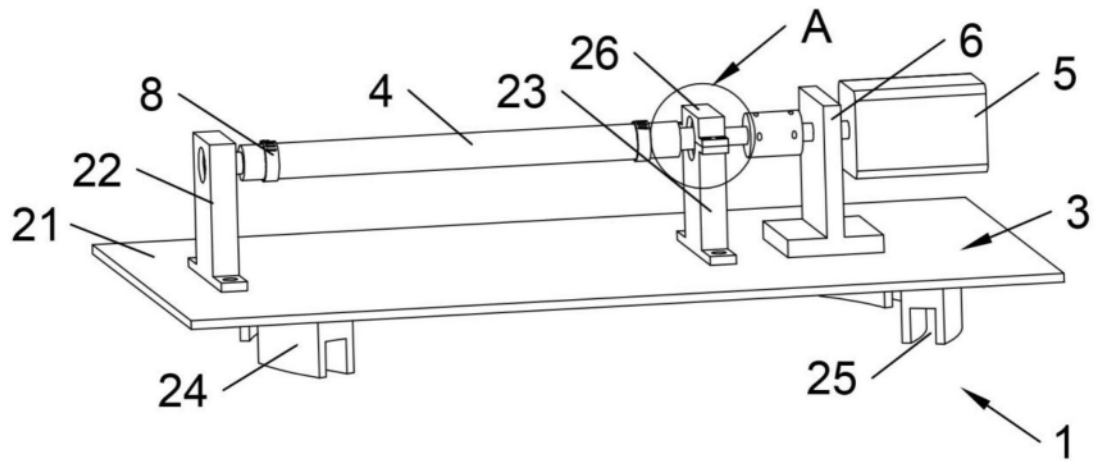


图3

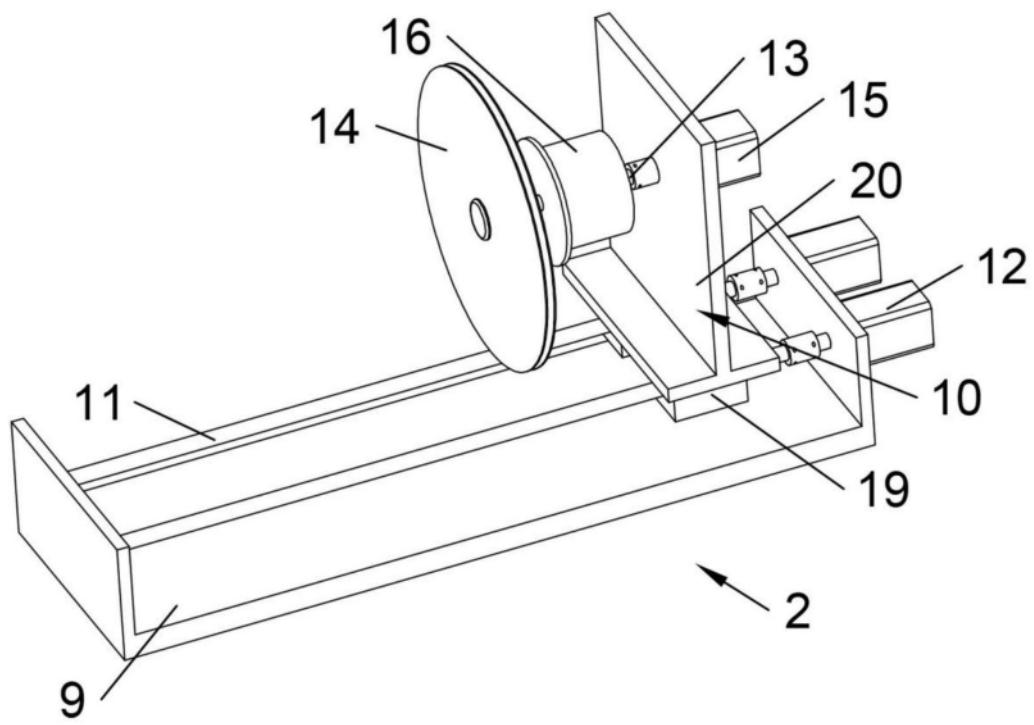


图4

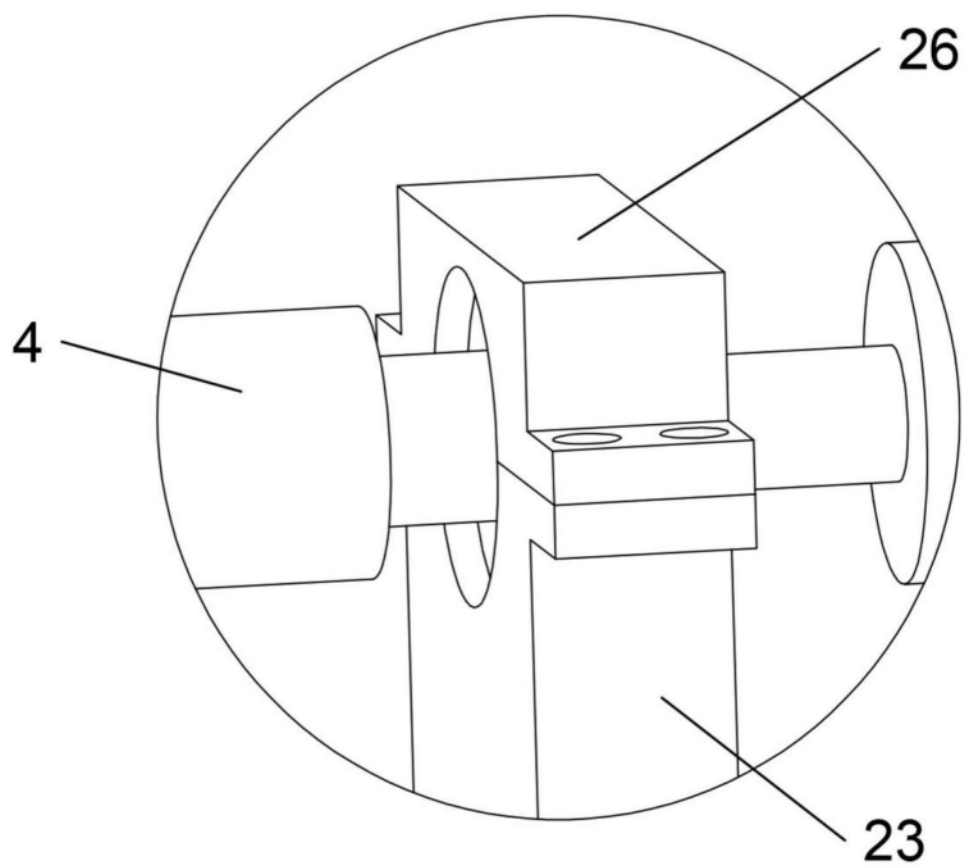


图5

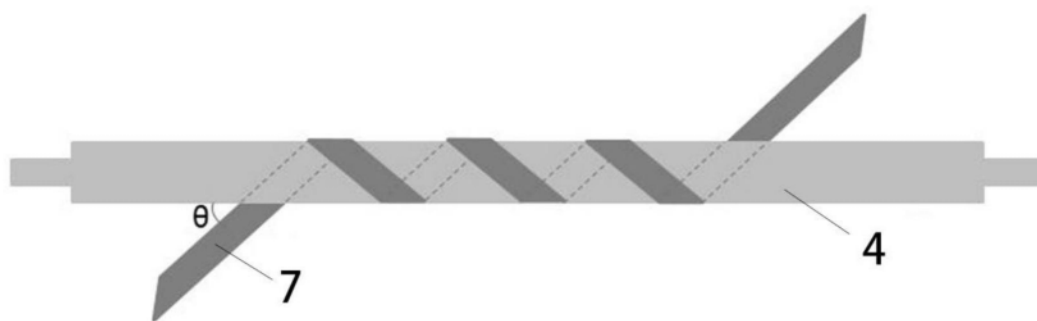


图6

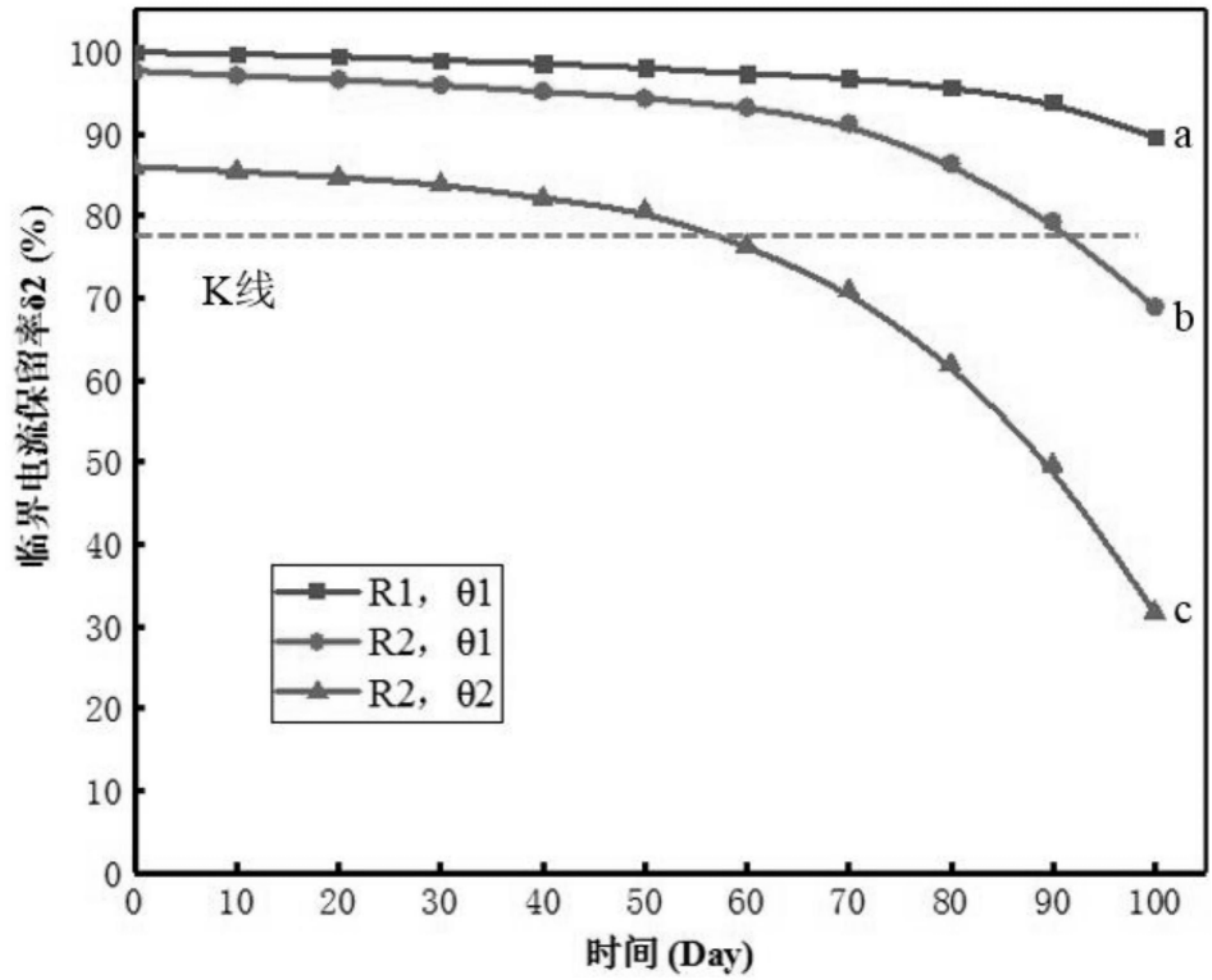


图7