(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117748815 A
(43)申请公布日 2024.03.22

(21)申请号 202410183283.1

(22)申请日 2024.02.19

(71)申请人 中国科学院电工研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72)发明人 邱清泉 肖立业 林玉鑫 罗晓悦 聂子攀 叶华 张京业 靖立伟 周微微

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责任公司 11251
专利代理师 金怡

(51)Int.Cl.
H02K 7/02(2006.01)
H02K 7/09(2006.01)
H02K 9/19(2006.01)
H02K 55/00(2006.01)
H02J 15/00(2006.01)
H02J 3/30(2006.01)
H02N 15/00(2006.01)

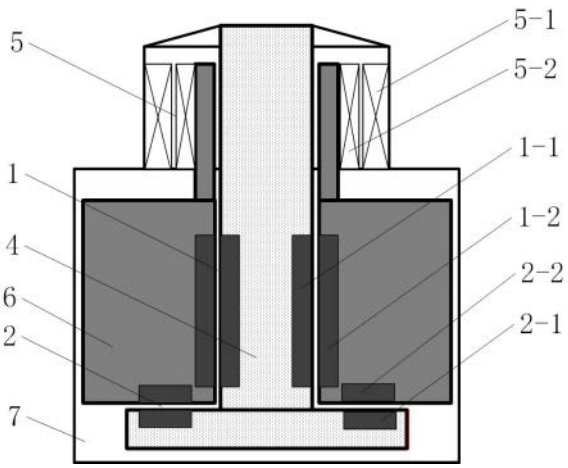
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统

(57)摘要

本发明提供一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,属于储能领域,由径向型超导块材磁轴承、轴向型超导块材磁轴承或轴向型超导线圈磁轴承、低温杜瓦、空心轴电机、空心轴飞轮和空心轴真空腔构成;径向型超导块材磁轴承定子、轴向型超导块材磁轴承定子或轴向型超导线圈磁轴承定子均安装在低温杜瓦中,由液氮或过冷液氮冷却;空心轴电机安装在空心轴飞轮的上部或下部,空心轴电机定子依靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机转子依靠低温杜瓦的冷壁强化冷却。本发明充分利用超导磁轴承的低温冷却系统形成的低温冷壁,实现对电机转子和轴承转子的强化冷却,可以提高电机的功率。



CN 117748815 A

1.一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,包括径向型超导块材磁轴承(1)、轴向型超导块材磁轴承(2)、低温杜瓦(4)、空心轴电机(5)、空心轴飞轮(6)和空心轴真空腔(7);所述低温杜瓦(4)从下部依次穿过空心轴飞轮(6)和空心轴电机(5)与空心轴真空腔(7)连接为一体;径向型超导块材磁轴承(1)的径向型超导块材磁轴承定子(1-1)、轴向型超导块材磁轴承(2)的轴向型超导块材磁轴承定子(2-1)均安装在低温杜瓦(4)中,由液氮或过冷液氮冷却;径向型超导块材磁轴承定子(1-1)安装在空心轴飞轮(6)内部的低温杜瓦(4)中,径向型超导块材磁轴承(1)的径向型超导块材磁轴承转子(1-2)安装在空心轴飞轮(6)中部和空心轴真空腔(7)中部的间隙中;轴向型超导块材磁轴承定子(2-1)安装在空心轴飞轮底部的低温杜瓦(4)中,轴向型超导块材磁轴承转子(2-2)安装在空心轴飞轮(6)下部;空心轴电机(5)安装在空心轴飞轮(6)上部,空心轴电机(5)的空心轴电机定子(5-1)依靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机(5)的空心轴电机转子(5-2)依靠低温杜瓦(4)的冷壁强化冷却;空心轴真空腔(7)内填充氦气以增强低温杜瓦(4)的冷壁对空心轴电机转子(5-2)和径向型超导块材磁轴承转子(1-2)、轴向型超导块材磁轴承转子(2-2)的冷却。

2.根据权利要求1所述的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,所述低温杜瓦(4)采用“倒T”字型结构。

3.根据权利要求1所述的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,所述轴向型超导块材磁轴承定子(2-1)采用多块圆柱型或瓦型超导块材拼接结构,利用REBCO制作,RE为Y、Nd、Sm、Gd、Dy超导块材材料,采用多块超导块材在平面拼成超导环,置于低温杜瓦(4)下方的圆盘型空间内;所述轴向型超导块材磁轴承转子(2-2)的永磁体采用轴向磁化结构或Halbach结构;轴向型超导块材磁轴承转子(2-2)的铁轭(2-2-2)位于永磁体上部,与轴向型超导块材磁轴承定子(2-1)构成闭合磁路。

4.根据权利要求1-3之一所述的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,所述径向型超导块材磁轴承定子(1-1)采用多块瓦型超导块材拼接结构,利用REBCO制作,RE为Y、Nd、Sm、Gd、Dy超导块材材料,采用多块超导块材堆叠成超导环,置于低温杜瓦(4)的内热沉与内壁之间的环状空间内;所述径向型超导块材磁轴承转子(1-2)的永磁体采用轴向磁化,同极性相对,采用环状的永磁体和聚磁铁(1-2-2)形成永磁环和聚磁铁环,永磁环与聚磁铁环一一交错排列叠放。

5.一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,包括径向型超导块材磁轴承(1)、轴向型超导线圈磁轴承(3)、低温杜瓦(4)、空心轴电机(5)、空心轴飞轮(6)和空心轴真空腔(7);所述低温杜瓦(4)从上部依次穿过空心轴电机(5)和空心轴飞轮(6)与空心轴真空腔(7)连接为一体;径向型超导块材磁轴承(1)的径向型超导块材磁轴承定子(1-1)、轴向型超导线圈磁轴承(3)的轴向型超导线圈磁轴承定子(3-1)均安装在低温杜瓦(4)中,由液氮或过冷液氮冷却;径向型超导块材磁轴承定子(1-1)安装在空心轴飞轮(6)内部的低温杜瓦(4)中,径向型超导块材磁轴承(1)的径向型超导块材磁轴承转子(1-2)安装在空心轴飞轮(6)中部和空心轴真空腔(7)中部的间隙中;轴向型超导线圈磁轴承定子(3-1)安装在空心轴飞轮(6)上部的低温杜瓦(4)中,轴向型超导线圈磁轴承转子(3-2)安装在空心轴飞轮(6)上部;空心轴电机(5)安装在空心轴飞轮(6)下部,空心轴电机(5)的空心轴电机定子(5-1)依靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机(5)的空心轴电机转子(5-2)

依靠低温杜瓦(4)的冷壁强化冷却;空心轴真空腔(7)内填充氦气以增强低温杜瓦(4)的冷壁对空心轴电机转子(5-2)和径向型超导块材磁轴承转子(1-2)、轴向型超导线圈磁轴承转子(3-2)的冷却效果。

6.根据权利要求5所述的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,所述低温杜瓦(4)采用十字型结构。

7.根据权利要求5所述的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,所述径向型超导块材磁轴承定子(1-1)采用多块瓦型超导块材拼接结构,利用REBCO制作,RE为Y、Nd、Sm、Gd、Dy超导块材材料,采用多块超导块材堆叠成超导环,置于低温杜瓦(4)的内热沉与内壁之间的环状空间内;所述径向型超导块材磁轴承转子(1-2)的永磁体(1-2-1)采用轴向磁化,同极性相对,采用环状的永磁体(1-2-1)和聚磁铁(1-2-2)形成永磁环和聚磁铁环,永磁环与聚磁铁环一一交错排列叠放。

8.根据权利要求5-7之一所述的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,其特征在于,所述轴向型超导线圈磁轴承定子(3-1)的超导线圈(3-1-1)采用Bi系带材或REBCO带材绕制,为螺管线圈或双饼线圈结构,由外部电源供电;轴向型超导线圈磁轴承定子(3-1)的铁心磁轭(3-1-2)包围在超导线圈(3-1-1)外面,与轴向型超导线圈磁轴承转子(3-2)铁心形成闭合磁路。

一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统

技术领域

[0001] 本发明属于储能领域,具体涉及一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统。

背景技术

[0002] 全球经济快速发展,化石能源紧缺,世界各国对于风能、太阳能等可再生能源的大规模发展给予了高度重视,但是其间歇性和随机性对于电网的安全稳定运行造成了严重的不利影响,因此发展先进的储能技术成为了以新能源变革为核心的智能电网的重要环节。相较于其他的一些储能方式,飞轮储能具有转换效率高、使用寿命长、充电时间短、无污染等优点,在电网调频、UPS电源和脉冲功率电源等诸多领域获得了广泛应用。

[0003] 现有磁悬浮飞轮储能技术通常基于实体转轴结构来进行飞轮转子的悬浮导向和驱动控制,用高强度的钢或碳纤维材料制作飞轮转子,并通过提高转速来增加系统储能量。但随着转速的增加,对飞轮本体和转轴材料的强度要求越来越高,且高转速下的陀螺效应也会大幅增加系统控制难度,会大幅增加系统成本,同时也限制了系统储能量的进一步提高。

[0004] 另外,随着飞轮储能技术在电网调频领域的应用,大功率、短时高频次充放电等技术需求导致飞轮储能系统面临严峻的散热需求。尤其是飞轮储能系统电机和磁轴承转子由于处在真空和磁悬浮状态,其热量导出困难。为防止转子超温,真空条件下电机和磁轴承转子的强化散热和冷却是必须解决的难题。中国发明专利申请CN201811044270.7提出了一种利用水蒸气、氨气或甲醇一种或两种循环工质进行空心轴电机和磁轴承转子强化散热的方法,但上述工质工作温度较高,强化散热效果有限。中国发明专利申请CN201911154659.1提出了一种利用风机对空心轴进行直接强化散热的方法,但风冷散热效果有限。

[0005] 磁轴承通过磁力支撑转子,定转子之间无机械接触,具有传统机械轴承无法替代的优势,磁轴承根据其受力方式的不同,可以分为永磁轴承,电磁轴承、超导磁轴承。永磁轴承一般利用永磁体之间的吸力或者斥力来实现磁悬浮,可以作为辅助卸载轴承使用,但是无法实现自稳定;电磁轴承通过给线圈通电来构造一个电磁铁,可通过控制通过线圈的电流来实现对于悬浮力的控制从而使其稳定,但常规电磁轴承损耗大,通过超导线圈构造电磁轴承将有效降低轴承损耗;高温超导块材轴承利用高温超导块的迈斯纳效应来实现悬浮,但是其悬浮力和刚度较低。中国发明专利申请CN202310418100.5尽管提出了一种高温超导磁轴承,但并未利用高温超导磁轴承的低温制冷系统进一步实现对电机转子的强化冷却,也并未利用空心轴飞轮储能系统的中心轴孔进行径向型超导块材磁轴承的安装。

发明内容

[0006] 为克服由于现有磁轴承的缺点,以及真空环境下电机转子和磁轴承转子散热困难导致飞轮功率和能量受限的问题,本发明提供一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,将径向型超导块材磁轴承、轴向型超导块材磁轴承或轴向型超导线圈电磁轴承有

机结合在一起,可有效提高整个轴承的承载力、刚度和稳定性,从而使其具有轴向大承载力,径向高稳定性的特点。本发明充分利用超导磁轴承的低温冷却系统形成的低温冷壁,进一步实现对电机转子和轴承转子的强化冷却,可以提高电机的功率。

[0007] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案如下:

一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,包括径向型超导块材磁轴承、轴向型超导块材磁轴承、低温杜瓦、空心轴电机、空心轴飞轮和空心轴真空腔;所述低温杜瓦从下部依次穿过空心轴飞轮和空心轴电机与空心轴真空腔连接为一体;径向型超导块材磁轴承的径向型超导块材磁轴承定子、轴向型超导块材磁轴承的轴向型超导块材磁轴承定子均安装在低温杜瓦中,由液氮或过冷液氮冷却;径向型超导块材磁轴承定子安装在空心轴飞轮内部的低温杜瓦中,径向型超导块材磁轴承的径向型超导块材磁轴承转子安装在空心轴飞轮中部和空心轴真空腔中部的间隙中;轴向型超导块材磁轴承定子安装在空心轴飞轮底部的低温杜瓦中,轴向型超导块材磁轴承转子安装在空心轴飞轮下部;空心轴电机安装在空心轴飞轮上部,空心轴电机的空心轴电机定子依靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机的空心轴电机转子依靠低温杜瓦的冷壁强化冷却;空心轴真空腔内填充氦气以增强低温杜瓦的冷壁对电机转子和轴承转子的冷却效果。

[0008] 进一步地,所述低温杜瓦采用“倒T”字型结构。

[0009] 进一步地,所述轴向型超导块材磁轴承定子采用多块圆柱型或瓦型超导块材拼接结构,利用REBCO制作,RE为Y,Nd,Sm,Gd,Dy超导块材材料,采用多块超导块材在平面拼成超导环,置于低温杜瓦下方的圆盘型空间内;所述轴向型超导块材磁轴承转子的永磁体采用轴向磁化结构或Halbach结构;轴向型超导块材磁轴承转子的铁轭位于永磁体上部,与轴向型超导块材磁轴承定子构成闭合磁路。

[0010] 进一步地,所述径向型超导块材磁轴承定子采用多块瓦型超导块材拼接结构,利用REBCO制作,RE为Y,Nd,Sm,Gd,Dy超导块材材料,采用多块超导块材堆叠成超导环,置于低温杜瓦的内热沉与内壁之间的环状空间内;所述径向型超导块材磁轴承转子的永磁体采用轴向磁化,同极性相对,采用环状的永磁体和聚磁铁形成永磁环和聚磁铁环,永磁环与聚磁铁环一一交错排列叠放。

[0011] 本发明还提供另一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统,包括径向型超导块材磁轴承、轴向型超导线圈磁轴承、低温杜瓦、空心轴电机、空心轴飞轮和空心轴真空腔;所述低温杜瓦从上部依次穿过空心轴电机和空心轴飞轮与空心轴真空腔连接为一体;径向型超导块材磁轴承的径向型超导块材磁轴承定子、轴向型超导线圈磁轴承的轴向型超导线圈磁轴承定子均安装在低温杜瓦中,由液氮或过冷液氮冷却;径向型超导块材磁轴承定子安装在空心轴飞轮内部的低温杜瓦中,径向型超导块材磁轴承的径向型超导块材磁轴承转子安装在空心轴飞轮中部和空心轴真空腔中部的间隙中;轴向型超导线圈磁轴承定子安装在空心轴飞轮上部的低温杜瓦中,轴向型超导线圈磁轴承转子安装在空心轴飞轮上部;空心轴电机安装在空心轴飞轮下部,空心轴电机的空心轴电机定子依靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机的空心轴电机转子依靠低温杜瓦的冷壁强化冷却;空心轴真空腔内填充氦气以增强低温杜瓦的冷壁对电机转子和轴承转子的冷却效果。

[0012] 进一步地,所述低温杜瓦采用十字型结构。

[0013] 进一步地,所述径向型超导块材磁轴承定子采用多块瓦型超导块材拼接结构,利

用REBCO制作,RE为Y,Nd,Sm,Gd,Dy超导块材材料,采用多块超导块材堆叠成超导环,置于低温杜瓦的内热沉与内壁之间的环状空间内;所述径向型超导块材磁轴承转子的永磁体采用轴向磁化,同极性相对,采用环状的永磁体和聚磁铁形成永磁环和聚磁铁环,永磁环与聚磁铁环一一交错排列叠放。

[0014] 进一步地,所述轴向型超导线圈磁轴承定子的超导线圈采用Bi系带材或REBCO带材绕制,为螺管线圈或双饼线圈结构,由外部电源供电;轴向型超导线圈磁轴承定子的铁心磁轭包围在超导线圈外面,与轴向型超导线圈磁轴承转子铁心形成闭合磁路。

[0015] 本发明具有以下有益效果:

1、本发明有效结合了径向型超导块材磁轴承、轴向型超导块材磁轴承和轴向型超导线圈磁轴承的优点,有效改善了电磁轴承控制系统复杂且在运行过程中有损耗的问题,同时将高温超导轴承的无损耗以及自稳定性结合起来,有效提高了整个磁轴承系统的性能,使其具有轴向大承载力,径向高稳定的特点。

[0016] 2、本发明有效利用混合式超导磁轴承定子的低温冷却系统,进一步实现对电机转子和轴承转子的强化冷却,有效提升了飞轮储能的功率和储能量。

附图说明

[0017] 图1为本发明实施例1的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统的结构图;

图2为本发明实施例2的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统的结构图;

图3为本发明径向型超导块材磁轴承结构示意图;

图4为本发明轴向型超导块材磁轴承结构示意图;

图5为本发明的轴向型超导线圈磁轴承结构示意图。

[0018] 其中,1-径向型超导块材磁轴承,2-轴向型超导块材磁轴承,3-轴向型超导线圈磁轴承,4-低温杜瓦,5-空心轴电机,6-空心轴飞轮,7-空心轴真空腔,1-1-径向型超导块材磁轴承定子,1-2-径向型超导块材磁轴承转子,2-1-轴向型超导块材磁轴承定子,2-2-轴向型超导块材磁轴承转子,3-1-轴向型超导线圈磁轴承定子,3-2-轴向型超导线圈磁轴承转子,5-1-空心轴电机定子,5-2-空心轴电机转子。

具体实施方式

[0019] 如图1所示,本发明实施例1的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统包括径向型超导块材磁轴承1、轴向型超导块材磁轴承2、低温杜瓦4、空心轴电机5、空心轴飞轮6和空心轴真空腔7;所述低温杜瓦4采用“倒T字型”结构,从上部穿过空心轴电机5和空心轴飞轮6与空心轴真空腔7连接为一体;径向型超导块材磁轴承定子1-1、轴向型超导块材磁轴承定子2-1安装在低温杜瓦4中,由液氮或过冷液氮冷却;径向型超导块材磁轴承定子1-1安装在空心轴飞轮6内部的低温杜瓦4中,径向型超导块材磁轴承转子1-2安装在空心轴飞轮6中部和空心轴真空腔7中部的间隙中;轴向型超导块材磁轴承定子2-1安装在空心轴飞轮底部的低温杜瓦4中,轴向型超导块材磁轴承转子2-2安装在空心轴飞轮6底部和空心轴真空腔7底部的间隙中;空心轴电机5安装在空心轴飞轮6的上部,空心轴电机定子5-1依

靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机转子5-2依靠低温杜瓦4的冷壁强化冷却。空心轴真空腔7内可以填充少量氦气以进一步增强低温杜瓦4的冷壁对电机转子和轴承转子的冷却效果。

[0020] 如图2所示,本发明实施例2的一种基于混合式超导磁轴承的空心轴飞轮储能系统包括径向型超导块材磁轴承1、轴向型超导线圈磁轴承3、低温杜瓦4、空心轴电机5、空心轴飞轮6和空心轴真空腔7;所述低温杜瓦4采用“十字型”结构,从下部穿过空心轴电机5和空心轴飞轮6与空心轴真空腔7连接为一体;径向型超导块材磁轴承定子1-1、轴向型超导线圈磁轴承定子3-1均安装在低温杜瓦4中,由液氮或过冷液氮冷却;径向型超导块材磁轴承定子1-1安装在空心轴飞轮6内部的低温杜瓦4中,径向型超导块材磁轴承转子1-2安装在空心轴飞轮6中部和空心轴真空腔7中部的间隙中;轴向型超导块材磁轴承定子2-1安装在空心轴飞轮底部的低温杜瓦4中,轴向型超导块材磁轴承转子2-2安装在空心轴飞轮6底部和空心轴真空腔7底部的间隙中;轴向型超导线圈磁轴承定子3-1安装在空心轴飞轮上部的低温杜瓦4中,轴向型超导线圈磁轴承转子3-2安装在空心轴飞轮6和空心轴真空腔7上部的间隙中;空心轴电机5安装在空心轴飞轮的下部,空心轴电机定子5-1依靠独立的水冷或油冷系统冷却,空心轴电机转子5-2依靠低温杜瓦4的冷壁强化冷却。空心轴真空腔7内可以填充少量氦气以进一步增强低温杜瓦4的冷壁对电机转子和轴承转子的冷却效果。

[0021] 如图3所示,径向型超导块材磁轴承定子1-1的超导磁体采用瓦型超导块材结构,利用REBCO,RE=Y,Nd,Sm,Gd,Dy超导块材材料制作,采用多块超导块材堆叠成超导环,置于低温杜瓦4的内热沉与内壁之间的环状空间内;所述径向型超导块材磁轴承转子1-2的永磁体1-2-1采用轴向磁化,同极性相对,采用环状的永磁体1-2-1和聚磁铁1-2-2形成永磁环和聚磁铁环,永磁环与聚磁铁环一一交错排列叠放。

[0022] 如图4所示,轴向型超导块材磁轴承定子2-1采用多块圆柱型或瓦型超导块材拼接结构,利用REBCO制作,RE为Y,Nd,Sm,Gd,Dy超导块材材料,采用多块超导块材在平面拼成超导环,置于低温杜瓦4下方的圆盘型空间内;所述轴向型超导块材磁轴承转子2-2的永磁体2-2-1采用轴向磁化结构或Halbach结构;轴向型超导块材磁轴承转子2-2的铁轭2-2-2位于永磁体2-2-1上部,与轴向型超导块材磁轴承定子2-1构成闭合磁路。

[0023] 如图5所示,轴向型超导线圈磁轴承定子3-1的超导线圈3-1-1采用Bi系带材或REBCO带材绕制,为螺管线圈或双饼线圈结构,由外部电源供电;轴向型超导线圈磁轴承定子3-1的铁心磁轭3-1-2包围在超导线圈外面,与轴向型超导线圈磁轴承转子3-2铁心形成闭合磁路。

[0024] 虽然所述两个实施例分别讨论了基于径向型超导块材磁轴承和轴向型超导块材磁轴承、以及基于径向型超导块材磁轴承和轴向型超导线圈磁轴承构成的混合式超导磁轴承的结构,以及基于混合式超导磁轴承构成的空心轴飞轮储能系统。但应理解,本发明提及的混合式超导磁轴承不限于实施例中所述情形,因而在不背离本发明的技术原理的原则下,可做出各种改变和变形。如以上实施例中提及的超导磁轴承、空心轴电机和空心轴飞轮的空间位置可以有更多的排列组合方式,也可以增加普通轴向和径向电磁轴承、带永磁偏置的普通轴向和径向电磁轴承、永磁卸载轴承和机械保护轴承进一步提升悬浮力和系统的稳定性。

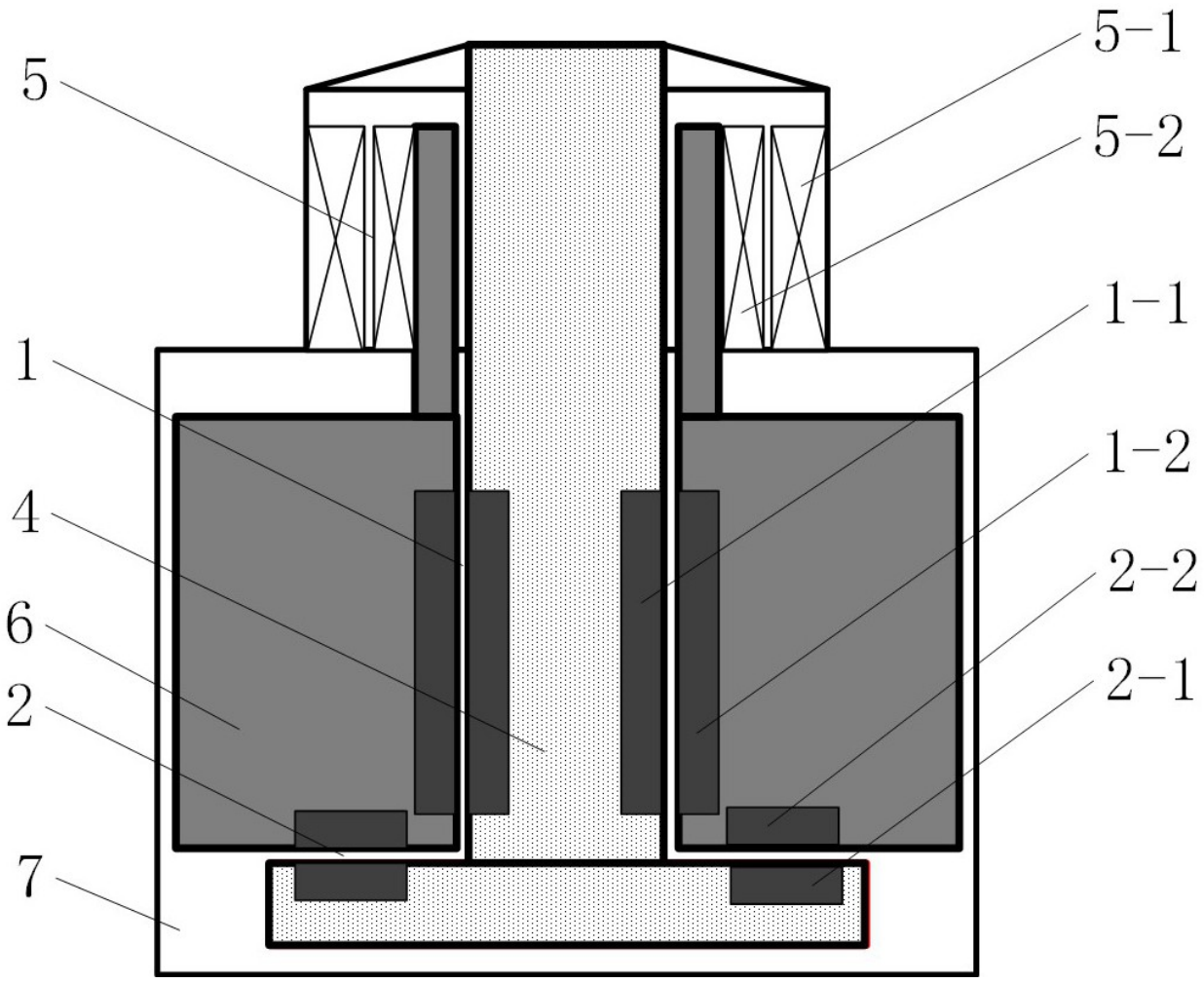


图 1

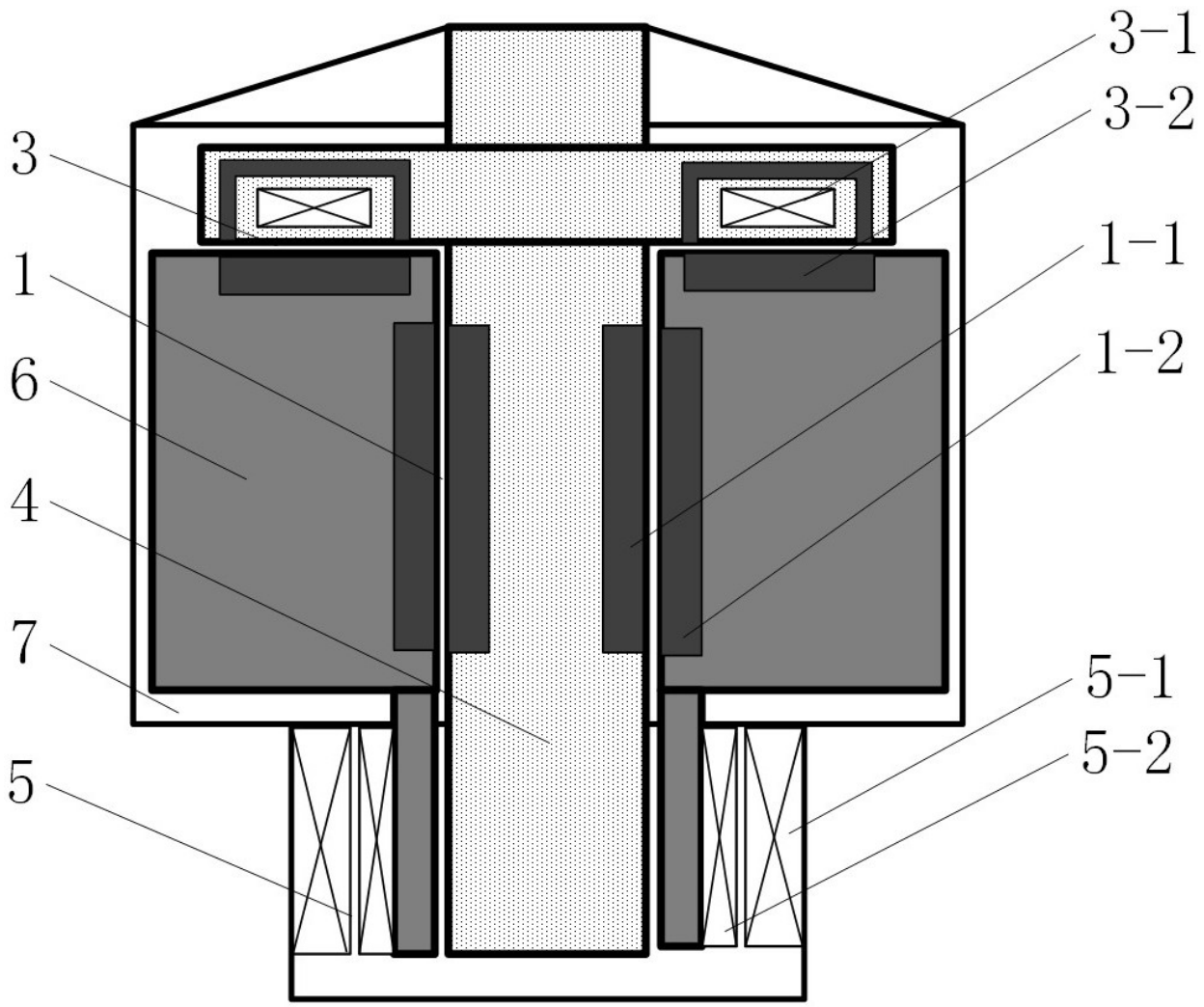


图 2

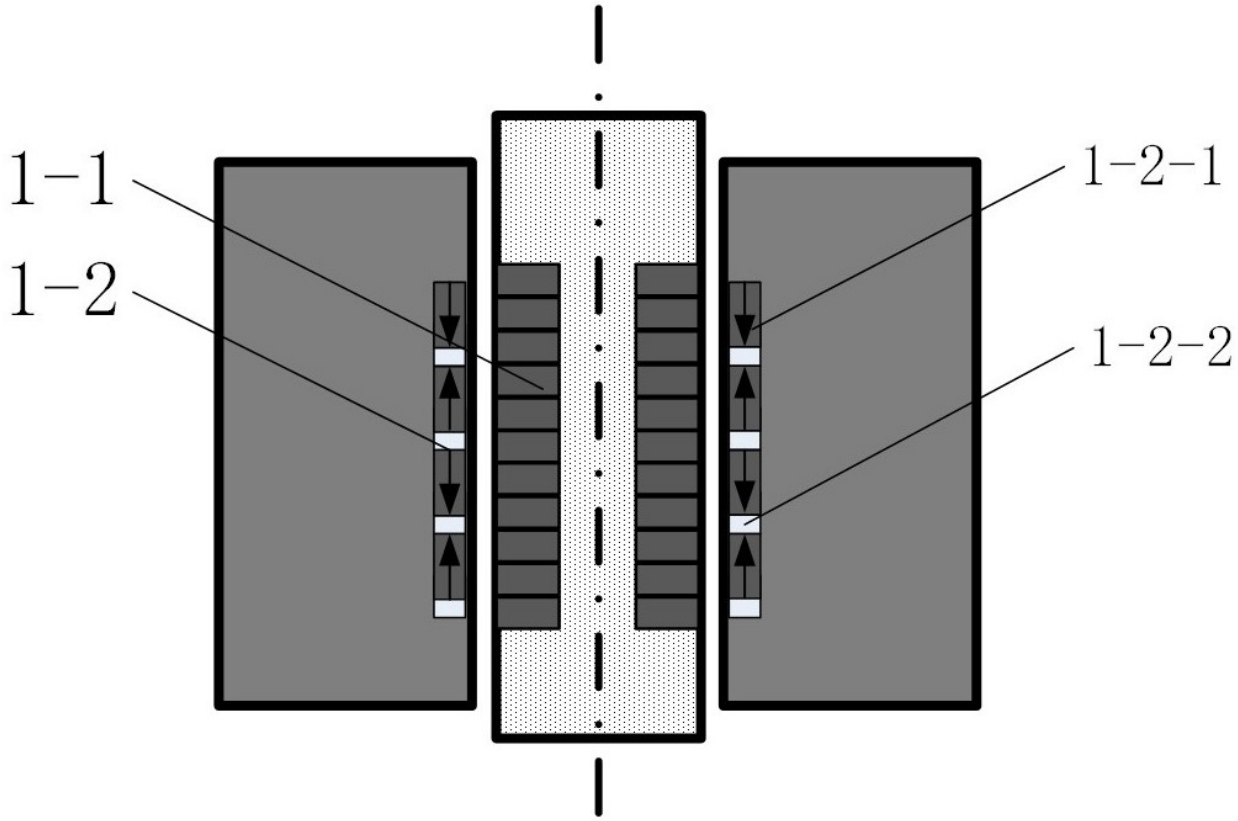


图 3

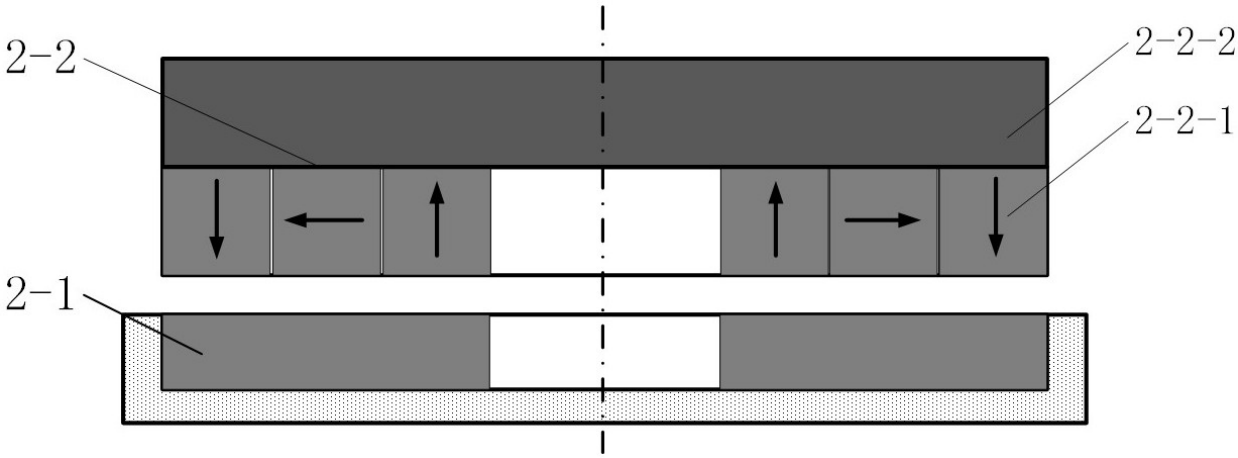


图 4

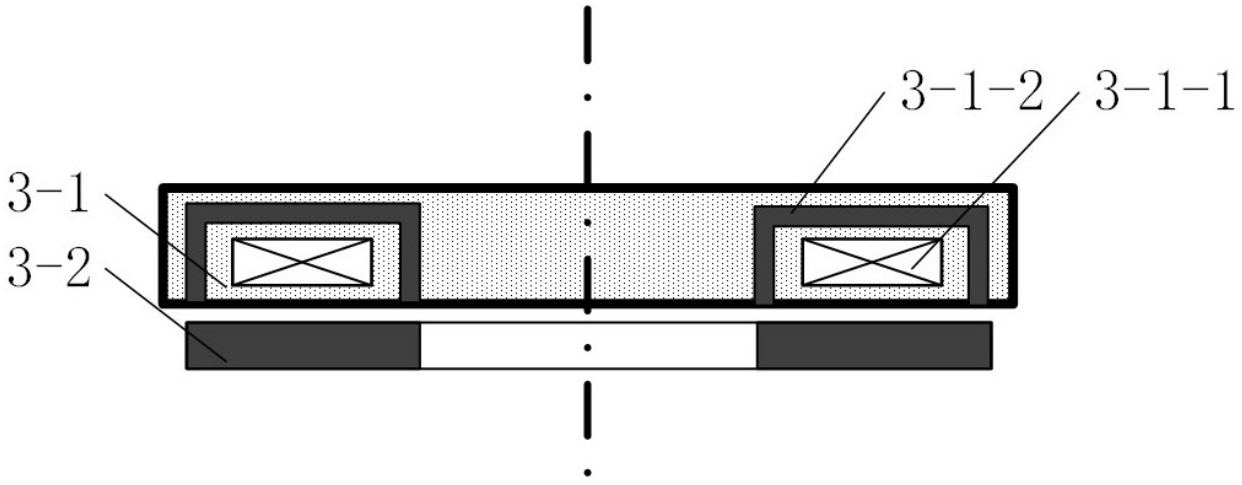


图 5