



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117394586 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 12

(21) 申请号 202311328261.1

F16F 15/315 (2006.01)

(22) 申请日 2023.10.13

H01F 6/06 (2006.01)

(71) 申请人 西南交通大学

H01F 6/04 (2006.01)

地址 610031 四川省成都市金牛区二环路
北一段111号

F25D 17/00 (2006.01)

(72) 发明人 马光同 李婧 龚天勇 周鹏博
罗俊

(74) 专利代理机构 成都信博专利代理有限责任
公司 51200

专利代理师 秦立飞

(51) Int. Cl.

H02K 7/02 (2006.01)

H02K 7/09 (2006.01)

H02J 15/00 (2006.01)

H02K 9/22 (2006.01)

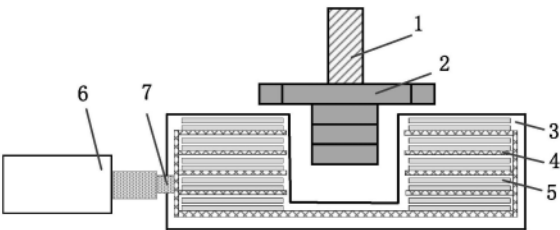
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系
统

(57) 摘要

本发明公开了一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,包括超导线圈定子、永磁转子、低温制冷系统和飞轮储能装置;超导线圈定子由圆环形超导线圈组成,每个超导线圈底部安装有导冷铜板;永磁转子由圆柱形永磁体和永磁环构成,整体固定于悬浮转轴上;低温制冷系统包括制冷机与低温真空容器,超导线圈定子与导冷铜板固定于低温真空容器内部,导冷铜板与制冷机的冷头连接;飞轮储能装置中飞轮通过转轴与电动/发电一体机和永磁转子相连,两个径向磁悬浮电磁轴承安装在飞轮转子两端的转轴上;再置于真空容器中。本发明可解决目前高温超导磁悬浮轴承所存在的承载能力低、低温旋转密封难等问题,同时还能提高超导飞轮储能系统的储能效率和功率密度。



1. 一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,包括永磁-超导磁悬浮轴承和飞轮储能装置;

所述永磁-超导磁悬浮轴承包括超导线圈定子(13)、永磁转子(2)与低温制冷系统;超导线圈定子(13)由多个圆环形超导线圈(5)串联或并联组成,每个超导线圈(5)底部安装有导冷铜板(4);永磁转子(2)由若干个圆柱形永磁体和永磁环构成,永磁转子(2)封装后整体固定于悬浮转轴(1)上;低温制冷系统包括制冷机(6)、冷头(7)与低温真空容器(3),超导线圈定子(13)与导冷铜板(4)固定于低温真空容器(3)内部,并将导冷铜板(4)与制冷机(6)的冷头(7)连接,实现超导线圈定子(13)的降温;

所述飞轮储能装置包括电动/发电一体机(8)、磁流体真空密封(9)、径向磁悬浮电磁轴承(10)、飞轮(11)和真空容器(12);飞轮(11)通过转轴(1)与电动/发电一体机(8)和永磁转子(2)相连,两个径向磁悬浮电磁轴承(10)安装在飞轮(11)转子两端的转轴(1)上;永磁转子(2)、飞轮(11)与径向磁悬浮电磁轴承(10)被置于真空容器(12)中,真空容器(12)与转轴(1)的连接处设有磁流体真空密封(9)。

2. 根据权利要求1所述的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,所述永磁转子(2)至少包括两个平行的堆叠放置的圆柱形永磁体,至少包括一个套在永磁体外部的永磁环,永磁转子(2)整体封装后,在外侧设有不导磁金属保护套。

3. 根据权利要求1所述的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,所述圆柱形永磁体和永磁环均为轴向励磁。

4. 根据权利要求1所述的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,所述圆柱形永磁体和永磁环选用稀土永磁材料、励磁后的高温超导块材磁体或者高温超导带材堆叠磁体。

5. 根据权利要求1所述的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,所述超导线圈(5)采用由二代高温超导带材绕制的圆环形单饼或双饼结构,或者采用由低温超导线材绕制的螺线管结构;所述超导线圈定子(13)的横截面形状为矩形、阶梯形或圆形。

6. 根据权利要求1所述的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,所述导冷铜板(4)包括多个圆环形铜板和圆筒型铜板,单个圆环形铜板上方与超导线圈(5)底部连接,圆环形铜板外侧与圆筒型铜板焊接连接;圆环形铜板内外半径略大于超导线圈(5)内外半径;所述冷头(7)与圆筒型铜板的底部或侧面连接。

7. 根据权利要求1所述的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,其特征在于,所述低温真空容器(3)采用双层结构,容器内部填充制冷剂。

一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统

技术领域

[0001] 本发明属于超导飞轮储能技术领域,尤其涉及一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统。

背景技术

[0002] 超导飞轮储能系统将利用高速旋转的飞轮将电能以动能形式储存,通过发电机将飞轮存储的动能转换成电能输出。超导磁悬浮轴承作为超导飞轮储能系统的关键部件之一,对储能装置的运行特性与储能效率有着重要的影响。

[0003] 磁场密度是影响磁轴承悬浮性能特别是力刚度的关键因素之一。高温超导线圈可以代替传统磁体作为磁场源,以提供更强的磁场,电磁力密度随磁通密度的平方而增大,因此,相较于传统的机械轴承、永磁轴承和电磁轴承,超导磁悬浮轴承结构更加紧凑,拥有更高的承载力和刚度。将超导磁悬浮应用于飞轮储能系统中可选择更大尺寸和重量的飞轮,能够获得更大的储能容量,从而提升超导飞轮储能系统的储能效率和功率密度。

[0004] 目前,阻碍飞轮储能系统发展的主要问题之一是轴承功率密度低,导致飞轮系统的储能效率和功率密度提升困难。另一方面,阻碍超导轴承发展的技术瓶颈之一是低温系统对旋转密封的要求很高。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的上述不足,本发明提供一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统。可解决目前超导磁悬浮轴承承载力低的问题,并避免了超导转子制冷系统复杂、旋转密封难的问题。

[0006] 本发明的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统,包括永磁-超导磁悬浮轴承和飞轮储能装置。

[0007] 永磁-超导磁悬浮轴承包括超导线圈定子、永磁转子与低温制冷系统;超导线圈定子由多个圆环形超导线圈串联或并联组成,每个超导线圈底部安装有导冷铜板;永磁转子由若干个圆柱形永磁体和永磁环构成,永磁转子封装后整体固定于悬浮转轴上;低温制冷系统包括制冷机、冷头与低温真空容器,超导线圈定子与导冷铜板固定于低温真空容器内部,并将导冷铜板与制冷机的冷头连接,实现超导线圈定子的降温。

[0008] 飞轮储能装置包括电动/发电一体机、磁流体真空密封、径向磁悬浮电磁轴承、飞轮和真空容器;飞轮通过转轴与电动/发电一体机和永磁转子相连,两个径向磁悬浮电磁轴承安装在飞轮转子两端的转轴上;永磁转子、飞轮与径向磁悬浮电磁轴承被置于真空容器中,真空容器与转轴的连接处设有磁流体真空密封。

[0009] 进一步的,永磁转子至少包括两个平行的堆叠放置的圆柱形永磁体,至少包括一个套在永磁体外部的永磁环,永磁转子整体封装后,在外侧设有不导磁金属保护套。

[0010] 进一步的,圆柱形永磁体和永磁环均为轴向励磁。

[0011] 进一步的,圆柱形永磁体和永磁环选用稀土永磁材料、励磁后的高温超导块材磁

体或者高温超导带材堆叠磁体。

[0012] 进一步的,超导线圈采用由二代高温超导带材绕制的圆环形单饼或双饼结构,或者采用由低温超导线材绕制的螺线管结构;所述超导线圈定子的横截面形状为矩形、阶梯形或圆形。

[0013] 进一步的,导冷铜板包括多个圆环形铜板和圆筒型铜板,单个圆环形铜板上方与超导线圈底部连接,圆环形铜板外侧与圆筒型铜板焊接连接;圆环形铜板内外半径略大于超导线圈内外半径;所述冷头与圆筒型铜板的底部或侧面连接。

[0014] 进一步的,低温真空容器采用双层结构,容器内部填充制冷剂。

[0015] 本发明与现有技术相比的有益技术效果为:

[0016] 本发明中的转子采用永磁材料,避免了低温旋转密封问题,简化了低温系统结构,节约了制作加工及后期运维成本;定子采用超导材料,可显著增强工作面的背景磁场,使轴承的悬浮力和飞轮系统的轴向承载力大大提升;超导飞轮储能系统中安装了两个径向电磁悬浮轴承,提高了飞轮旋转运行时的径向刚度及阻尼,克服转子临界转速时所产生的共振,提升径向稳定性,保证系统高速旋转的稳定性。因此,本发明可以解决目前高温超导磁悬浮轴承所存在的承载能力低、低温旋转密封难等问题,同时还能提高超导飞轮储能系统的储能效率和功率密度。

附图说明

[0017] 图1为本发明中永磁-超导磁悬浮轴承结构示意图。

[0018] 图2为本发明含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统示意图。

[0019] 图中:1、转轴;2、永磁转子;3、低温真空容器;4、导冷铜板;5、超导线圈;6、制冷机;7、冷头;8、电动/发电一体机;9、磁流体真空密封;10、径向磁悬浮电磁轴承;11、飞轮;12、真空容器;13、超导线圈定子。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和具体实施方法对本发明做进一步详细说明。

[0021] 本发明的一种含永磁-超导磁悬浮轴承的飞轮储能系统如图2所示,包括永磁-超导磁悬浮轴承和飞轮储能装置。

[0022] 永磁-超导磁悬浮轴承如图1所示,具有轴对称结构,包括超导线圈定子13、永磁转子2与低温制冷系统。超导线圈定子13由多个圆环形超导线圈5串联或并联组成,每个超导线圈5底部安装有导冷铜板4;其中超导线圈5可采用由二代高温超导带材绕制的圆环形单饼或双饼结构,也可采用由低温超导线材绕制的螺线管结构;超导线圈定子13的横截面形状为矩形、阶梯形或圆形,以优化永磁转子2所在工作面的磁场分布。

[0023] 永磁转子2由若干个圆柱形永磁体和永磁环构成,其中至少包括两个平行的堆叠放置的圆柱形永磁体,至少包括一个套在永磁体外部的永磁环,圆柱形永磁体与永磁环均为轴向励磁;由永磁体、永磁环组合而成的永磁转子2的横截面形状可灵活调整为圆形、T型等,以适应超导线圈定子13的横截面形状;永磁转子封装后整体固定于悬浮转轴上1,在永磁组合转子外侧设有不导磁金属保护套。圆柱形永磁体和永磁环选用稀土永磁材料、励磁后的高温超导块材磁体或者高温超导带材堆叠磁体。

[0024] 低温制冷系统的作用是为超导线圈定子13提供低温环境。包括制冷机6、冷头7与低温真空容器3,超导线圈定子13与导冷铜板4固定于低温真空容器3内部,并将导冷铜板4与制冷机6的冷头7连接,实现超导线圈定子13的降温。导冷铜板4包括多个圆环型铜板和圆筒型铜板,每个圆环型铜板上方与超导线圈底部连接,圆环形铜板内外半径与对应连接的超导线圈内外径匹配相同;圆环形铜板外侧与圆筒型铜板内侧焊接连接,圆筒型铜板底部设有圆型铜板,超导线圈定子13与导冷铜板4固定于低温真空容器3腔体内部,制冷机6的冷头7与圆筒型底部铜板或侧面导冷板固定连接提供冷量,从而实现超导线圈定子13的降温。低温容器采用双层结构,容器内部可填充液氮、液氦等制冷剂,使超导线圈定子温度分布更均匀;容器内部也可采用真空腔体,通过导冷铜板4传递冷量为超导线圈5降温。

[0025] 优选的实施例,利用高温超导带材绕制五个圆环形双饼超导线圈5,将五个双饼线圈堆叠串联构成磁悬浮轴承的超导线圈定子13,其横截面形状为矩形。

[0026] 将3块尺寸相同的圆柱形永磁体同轴堆叠,3个圆柱形永磁体分别标记为#1~#3,堆叠组合永磁体的总高度小于超导线圈定子13中心孔径高度。

[0027] 将直径大于超导线圈孔径的圆柱形永磁体置于堆叠组合永磁体上方,将上方永磁体标记为#4,其位置高于超导线圈定子13的上表面。

[0028] 在上方永磁体#4外套永磁环,使其内径略大于上方圆柱体#4直径,其高度与上方永磁体#4相同。

[0029] 将圆柱形永磁体永磁转子#1~#4与外套永磁环整体封装构成永磁转子2,并在永磁组合转子外侧设有不导磁金属保护套,将永磁转子上方与悬浮转轴1固定连接。

[0030] 在每个超导线圈底部安装导冷铜板4,并置于低温容器腔体内部,将制冷机6的冷头7与导冷铜板4连接,实现对超导线圈定子13的冷却至临界温度以下。

[0031] 采用直流电源为超导线圈定子13励磁,产生与永磁转子2的轴向励磁方向相反的磁场,使超导线圈定子13与永磁转子2间产生轴向排斥力,由于磁悬浮轴承为轴对称结构,中心平衡位置处,定转子间的径向作用力为零。

[0032] 飞轮储能装置如图2所示,包括电动/发电一体机8、磁流体真空密封9、径向磁悬浮电磁轴承10、飞轮11和真空容器12;飞轮11通过转轴1与电动/发电一体机8和永磁转子2相连,两个径向磁悬浮电磁轴承10安装在飞轮11转子两端的转轴1上;永磁转子2、飞轮11与径向磁悬浮电磁轴承10被置于真空容器12中,真空容器12与转轴1的连接处设有磁流体真空密封9。

[0033] 飞轮11转子由超导磁悬浮轴承提供轴向支撑,实现无接触的旋转,将飞轮转子置于真空容器12中,其目的是将空气阻力对运行效率的影响降至最低。

[0034] 转轴1与真空容器12连接处采用了磁流体密封技术,磁流体具有被磁铁吸引的特性,在中心轴的表面会有一些凸起,这些凸起将使连接处的间隙变小,磁流体被吸引到这些小间隙,被磁场吸引的流体在轴外部周围形成O形圈来实行转轴的旋转密封。

[0035] 飞轮储能装置中使用了两个径向磁悬浮电磁轴承10和一个永磁-超导磁悬浮轴承,来保证飞轮转子的运行稳定性。永磁-超导磁悬浮轴承,可显著增强工作面的背景磁场,提高了轴承的悬浮力,飞轮转子与超导线圈定子之间的轴向承载力大大提升。飞轮转子两端安装的径向电磁悬浮轴承,具有很高的径向刚度及阻尼,可克服转子临界转速时所产生的共振,保证了飞轮转子在高速旋转运行时的径向稳定性。

[0036] 在储能过程中,外部电能通过电动/发电一体机8与转轴1,电能转换为飞轮转子高速旋转的机械能;在释能过程中,飞轮转子高速旋转的机械能通过电动/发电一体机8与转轴1发电机及主轴将动力输出至外界完成释放。

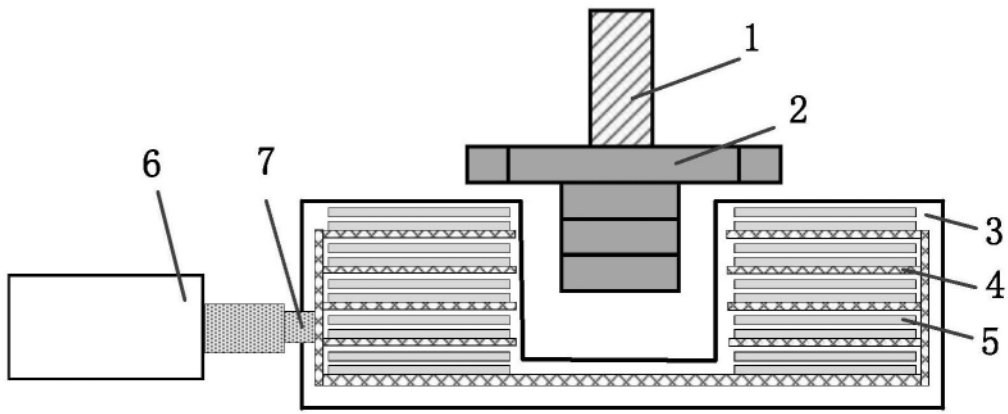


图1

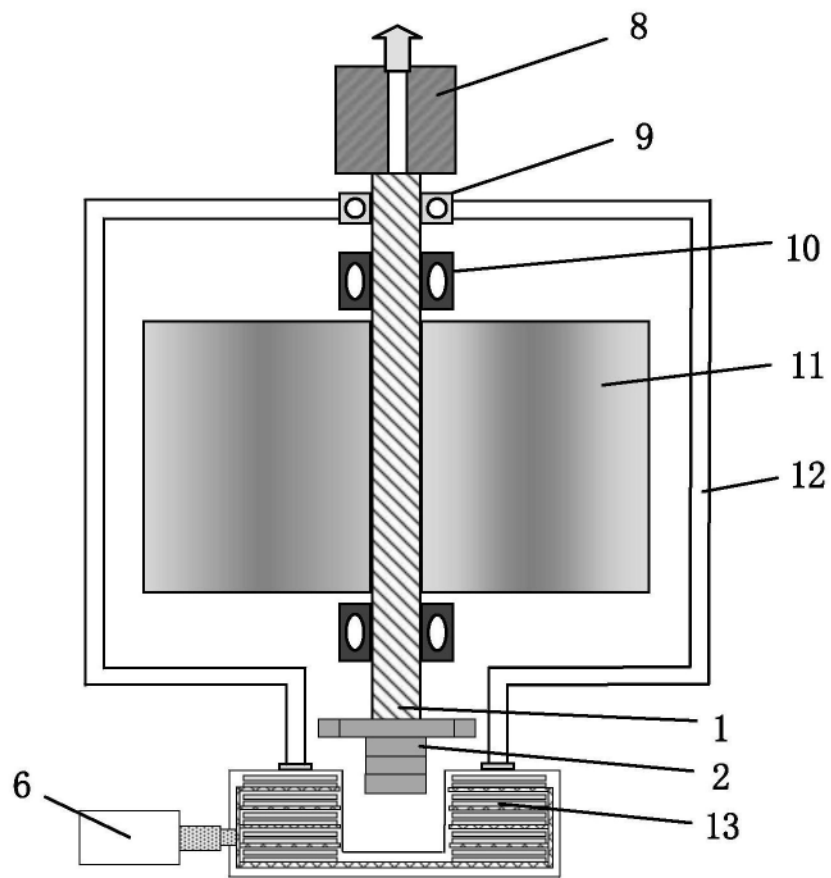


图2