

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/151060 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02K 7/02 (2006.01) **H02K 7/09** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/077586
- (22) 国际申请日: 2019 年 3 月 11 日 (11.03.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910072060.7 2019 年 1 月 25 日 (25.01.2019) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 张维煜 (ZHANG, Weiyu); 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
王健萍 (WANG, Jianping); 中国江苏省镇江京

口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 杨恒坤 (YANG, Hengkun); 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 朱鹏飞 (ZHU, Pengfei); 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 程玲 (CHENG, Ling); 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 张林东 (ZHANG, Lindong); 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 朱焯秋 (ZHU, Huangqiu); 中国江苏省镇江京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

- (74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) Title: VIRTUAL SHAFT-TYPE MAGNETIC LEVITATION FLYWHEEL ENERGY STORAGE DEVICE FOR ELECTRIC CAR

(54) 发明名称: 电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置

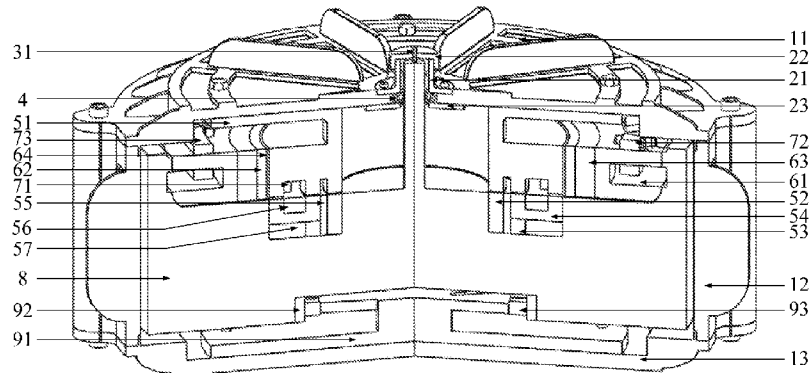


图 1

(57) Abstract: Disclosed is a virtual shaft-type magnetic levitation flywheel energy storage device for an electric car. A flywheel rotor has, sequentially from bottom to top, and being tightly fixedly connected and having the same outer diameter, a lower annular member, a main cylindrical member, an upper annular member, and a radial/torsion rotor yoke. A central cylindrical member is coaxially and fixedly connected at the exact center of an upper surface of the main cylindrical member, a top elongated cylindrical member is coaxially and fixedly connected at the exact center of an upper surface of the central cylindrical member, and an upper end of the top elongated cylindrical member extends upward and coaxially passes through a static portion of a magnetic bearing having five degrees of freedom. The lower annular member and the central cylindrical member are both solid circular disks. An annular recess is formed between the upper annular member and the central cylindrical member, and a rotating portion of the magnetic bearing having five degrees of freedom is coaxially provided within the annular recess. A cylindrical cavity is formed between the main cylindrical member and the lower annular member. A motor conductor plate is coaxially provided within the cylindrical cavity. The invention achieves excellent suppression of the gyroscopic effect, and achieves a high level of stability, integration, and bearing capacity.

CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置, 飞轮转子具有自下而上依次紧密固定连接且外径相同的下部圆环体、主圆柱体、上部圆环体和径向/扭转转子轭, 主圆柱体正中间的上表面同轴固定连接中心圆柱体, 中心圆柱体上表面的正中间同轴固定连接长圆柱顶, 长圆柱顶的上端向上同轴穿过五自由度磁轴承的静止部分; 下部圆环体和中心圆柱体都是实心圆盘, 在上部圆环体和中心圆柱体之间形成一圈环形槽, 该环形槽内同轴心地嵌有五自由度磁轴承的旋转部分, 在主圆柱体和下部圆环体之间形成圆柱形凹槽, 该圆柱形凹槽内同轴心地嵌有所述的电机导体板; 可以很好的抑制陀螺效应, 实现高稳定性、高集成度和高承载力。

电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置

技术领域

本发明涉及一种飞轮电池（也称飞轮储能装置）结构，具体是用于电动汽车的车载磁悬浮飞轮电池。

背景技术

飞轮储能装置作为一种机械储能电池，具有充放电效率高、比功率大、无污染和寿命长等优势，是电动汽车理想的辅助动力电池。目前，大多数飞轮储能装置为带有长惯性主轴的拓扑结构，当储能装置受到外界干扰时，易发生陀螺效应，因而不适合应用于车载储能装置。带有球面的长主轴型飞轮储能装置虽然能在一定程度上抑制陀螺效应，但是由于主轴轴向长度大，仍不可避免会发生不稳定现象。盘式飞轮储能装置由于具有短惯性主轴及盘式飞轮结构，可以更好的抑制陀螺效应，但是盘式电机仍然通过电机转轴驱动飞轮转子，因此该“短轴”结构仍然属于“有轴”结构，仍然会产生一定的陀螺效应，影响飞轮电池系统的稳定性。另外，传统的盘型飞轮储能装置的悬浮支承系统采用二自由度磁轴承和三自由度磁轴承分布于飞轮轴向上下两侧分散控制，导致储能装置轴向长度过大，集成度不高。

对于车载飞轮储能装置，通常其飞轮转子由磁轴承负责支承，尤其对具有成本优势的金属材料飞轮转子来说，要想实现高储能量的设计目标，飞轮重量及体积会很大，因而导致用于支承飞轮转子重量的磁轴承的承载力要设计的足够大。通常的磁轴承在轴向多采用围绕飞轮转子上下对称分布形式，为了支承较大的转子重力，轴向上下两个气隙的磁密绝对值的差值较大，使得轴向线圈电流很大，进而导致系统功耗较大。因此，设计承载力大、功耗低、集成度高的飞轮电池支承系统尤为关键。另外，目前大多数飞轮储能装置的拓扑结构仍然采用飞轮、电机、磁轴承独立布置，即使有些拓扑结构已经将飞轮和电机集成化，但均为带惯性主轴结构，因此集成度比较低，不利于在电动汽车狭小的空间安装。因此，进一步提高飞轮电池整体系统的集成度，即将电机、飞轮及磁悬浮支承系统进一步高度集成是飞轮电池发展的必然趋势。再者，为了实现车载飞轮储能装置的规模化应用，需要进一步降低飞轮储能装置的成本。大多数飞轮采用高强度复合材料制成，因此价格昂贵，不易实现大规模推广应用。虽然采用金属材料制成的飞轮具有成本低的优势，但是在相同储能量的基础上，其重量和体积成倍增加，不适宜车载环境。因此在满足储能量的基础上，设计一种新型的高稳定性、高集成度、高承载力、低

能耗及低成本的车载飞轮储能装置具有重要意义。

发明内容

本发明的目的是为了最大限度地利用车载飞轮电池的空间以及提高稳定性，提出一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，从结构上实现车载飞轮储能装置高稳定性、高集成度、高承载力、低成本、低能耗等设计目标。

本发明的目的是采用以下技术方案来实现的：其最外部是一个外壳，外壳腔内同轴分布五自由度磁轴承、飞轮转子和感应电机，五自由度磁轴承包括静止部分和旋转部分，感应电机具有电机定子和能旋转的电机导体板，电机导体板同轴套在电机定子外，飞轮转子具有自下而上依次紧密固定连接且外径相同的下部圆环体、主圆柱体、上部圆环体和径向/扭转转子轭，主圆柱体正中间的上表面同轴固定连接中心圆柱体，中心圆柱体上表面的正中间同轴固定连接长圆柱顶，长圆柱顶的上端向上同轴穿过五自由度磁轴承的静止部分；下部圆环体和中心圆柱体都是实心圆盘，上部圆环体的内径大于下部圆环体的内径，下部圆环体的内径大于中心圆柱体的外径，在上部圆环体和中心圆柱体之间形成一圈环形槽，该环形槽内同轴心地嵌有五自由度磁轴承的旋转部分，在主圆柱体和下部圆环体之间形成圆柱形凹槽，该圆柱形凹槽内同轴心地嵌有所述的电机导体板。

进一步地，五自由度磁轴承的静止部分包括轴向定子、径向/扭转定子和径向永磁体，轴向定子的最上方是上部固定圆盘，上部固定圆盘的下表连接经连接圆柱环的连接轴向定子轭，轴向定子轭下表面径向的内侧连接轴向内环定子极、中间连接轴向外环定子极、外侧连接轴向外围接收极，轴向控制线圈绕在轴向外环定子极上；所述的轴向定子轭和轴向外围接收极的外壁上依次紧密套有圆环形的径向隔磁铝环、径向内定子环、径向永磁体和所述的径向/扭转定子，径向永磁体沿径向由内向外充磁；所述的径向/扭转定子由径向/扭转定子轭、径向定子极、扭转定子极和径向/扭转接收极构成，径向/扭转定子轭为圆环体，其上端面沿径向向外延伸 3 个径向定子极和 3 个扭转子极，3 个径向定子极和 3 个扭转子极沿圆周方向交错间隔均匀地分布，径向/扭转定子轭的下端面沿径向向外延伸径向/扭转接收极，径向/扭转接收极的外侧面为沿径向向外凸的球面状，径向定子极上绕制径向控制线圈，扭转定子极上绕制扭转控制线圈。

进一步地，五自由度磁轴承的旋转部分包括置放在上部圆环体和中心圆柱体之间形成的圆环形槽内的圆环体的轴向转子，轴向转子由同轴布置的轴向内环转子极、轴向外环转子极和轴向转子轭组成，轴向转子轭的上表面分别与轴向内环转子极、轴向外环转子极的下表面相连接，轴向内环转子极和轴向外环转子极之间嵌有第二轴向隔磁铝环；

轴向内环定子极的正下方是固定套在所述的中心圆柱体的外壁上的轴向内环永磁体，轴向内环定子极的正下方是所述的轴向内环转子极，轴向外围接收极的正下方是轴向外环转子极，轴向外环永磁体固定连接于轴向转子轭的下表面，在轴向外环永磁体的内壁、轴向转子的内壁与轴向内环永磁体外壁之间固定嵌有第一轴向隔磁铝环，在轴向外环永磁体外壁与轴向转子之间固定连接第三轴向隔磁铝环，轴向内环永磁体沿轴向向上充磁，轴向外环永磁体沿轴向向下充磁。

本发明与现有技术相比的有益效果在于：

1、支承系统采用单侧悬浮支承的高度集成五自由度磁轴承，相比于采用飞轮、电机、磁轴承独立布置带惯性主轴的支承结构，本发明将磁轴承全部集成在飞轮转子的一侧甚至内部，减少了轴向尺寸，减小了体积。采用双永磁体环轴向充磁方式，相比单永磁体轴向充磁不仅在压缩了轴向永磁体长度的情况下增强了轴向气隙磁通，增大了轴向承载力。采用成熟的逆变器驱动径向控制线圈，使得能耗和成本降低，从而实现了承载力大、功耗小、体积小的五自由度磁轴承。

2、将飞轮转子上端和下端开槽，本发明采用分离式五自由磁轴承，将磁轴承的轴向永磁体内埋于飞轮转子内，将五自由度磁轴承内嵌于飞轮转子上端槽内，电机的导体板与飞轮转子的下槽壁紧密连接，电机的定子和线圈内嵌于下端槽内，这样将五自由度磁轴承、电机与飞轮集成为一体，既不影响飞轮的储能量，又大大减小了轴向长度，使得飞轮电池体积减小，集成度提高，抑制了陀螺效应。飞轮转子上槽中心是一个细长圆柱形的柱顶辅助转子，该柱顶转子没有贯穿飞轮转子，因此没有与电机相连接，完全属于飞轮转子的内部结构，因此该细长柱顶转子又称之为“虚拟轴”，目的是以便安装辅助轴承和传感器。正是因为飞轮转子在旋转时与电机无惯性主轴相连接，因此可以很好的抑制陀螺效应，提高整体系统的稳定性。

3、飞轮转子的形状为带虚拟轴式的柱顶圆盘，中心柱顶与辅助轴承配合实现对飞轮以及底部电机的保护。飞轮转子主要储能部位为中心实心圆盘，相比于同尺寸带有中心孔的圆盘飞轮，实心圆盘状飞轮转子的储能密度可增加一倍。飞轮采用金属材料加工，在实现了同等储能效果上降低了成本。

4、设计的电机为多弧线感应电机，采用多弧线的定子结构代替普通感应电机的定子，不仅可以在切向提供旋转力矩使飞轮转子转动，而且可以在法向提供控制力进行定位控制和径向二自由度辅助控制。且该电机结构简单易于保养和维修。

5、径向/扭转定子极的下部接收极的外表面加工为球面，利用了球形更容易抑制陀

螺效应的特性。

6、径向/扭转定子极的上部设置了 6 个磁极， 3 个径向定子极和 3 个扭转定子极交错间隔分布，且 3 个径向定子极和 3 个扭转定子极沿圆周方向均匀分布，相互间隔 120 度。巧妙地将径向定子和扭转定子集成于同一定子上，提高了集成率、减小了体积和成本。

7、传感器安装支架都设在样机顶部，轴向传感器和径向传感器都集中在安装在支架上，易于安装及维护。

8、本发明将五自由度磁轴承、飞轮和电机密封在一个真空外壳中，消除了空气摩擦对飞轮所带来的损耗。外壁采用大量的散热片，解决高速时飞轮转子的升温问题，减少能耗。

附图说明

图 1 是本发明结构立体图；

图 2 是本发明的内部结构正视图；

图 3 是图 1 中外壳体的结构剖视图；

图 4 是图 1 中的飞轮转子的立体结构放大剖视图；

图 5 是图 1 中五自由度磁轴承的轴向定子的三维结构放大剖视图；

图 6 是图 1 中五自由度磁轴承的轴向转子的三维结构放大剖视图；

图 7 是图 1 中五自由度磁轴承的径向/扭转定子的三维结构放大剖视图；

图 8 是图 1 中五自由度磁轴承和飞轮转子的装配结构剖视图；

图 9 是图 8 中五自由度磁轴承的轴向定子、轴向转子等关联部件和飞轮转子在轴向上的装配结构剖视图；

图 10 是图 8 中五自由度磁轴承的径向/扭转定子等关联部件和飞轮转子在径向上的装配结构剖视图；

图 11 是图 1 中轴向和径向传感器支架的装配结构放大剖视图；

图 12 是图 11 中径向传感器支架的三维结构剖视图；

图 13 是图 11 中轴向传感器支架的三维结构剖视图；

图 14 是图 1 中电机和飞轮转子装配结构放大正视图；

图 15 是图 1 中电机和飞轮转子装配结构俯视图；

图 16 是图 14 中电机定子的结构放大图；

图 17 是本发明工作时五自由度磁轴承实现静态被动悬浮的原理图；

图 18 是本发明工作时实现径向二自由度平衡控制和扭转配合控制的原理图；

图 19 是本发明工作时实现轴向单自由度平衡控制的原理图。

图中：11.上端盖；111.上部圆盘；112.中间圆环；113.下部圆环；114.第三散热片；115.第二散热片；

12. 壳身；121.第一散热片；122.端盖连接架；

13.下端盖；

21.径向传感器支架；211.径向传感器上圆环体；212. 径向传感器下圆环体；

22.轴向传感器支架；221.轴向传感器圆盘；222.轴向传感器圆环体；

23.圆环体紧固片；

31.轴向传感器；32.径向传感器；

4.辅助轴承；

51.轴向定子；511.上部固定圆盘；512. 连接圆柱环；513.轴向定子轭；514.轴向内环定子极；515.轴向外环定子极；516.轴向外围接收极；

52.轴向内环永磁体；53.轴向外环永磁体；

54.轴向转子；541.轴向内环转子极；542.轴向转子轭；543.轴向外环转子极；

55.第一轴向隔磁铝环；56.第二轴向隔磁铝环；57.第三轴向隔磁铝环；

61.径向/扭转定子；611.径向定子极；612.径向/扭转定子轭；613.扭转定子极；614.径向/扭转接收极；

62.径向内定子环；63.径向永磁体；64.径向隔磁铝环；

71.轴向控制线圈；72.径向控制线圈；73.扭转控制线圈；

8.飞轮转子；81. 长圆柱顶（虚拟轴）；82.主圆柱体；83.上部径向/扭转转子极；84.下部径向/扭转转子极；85.径向/扭转转子轭；86.上部圆环体；87.中间圆柱体；88.下部圆环体；

91.电机定子；911.上端圆盘；912.柱形电机定子极；913.下端圆盘；914.电机螺栓孔；92.导体板；93.电机线圈。

具体实施方式

参见图 1、图 2 所示，本发明的最外部是一个外壳，外壳是由一个空心圆柱的壳身 12、一个上端盖 11 和一个下端盖 13 组成，壳身 12 的上端紧密固定连接上端盖 11，壳身 12 的下端紧密固定连接下端盖 13，由壳身 12、上端盖 11 和下端盖 13 围成外壳腔。

在外壳腔内同轴分布五自由度磁轴承、飞轮转子 8、多弧线感应电机。五自由度磁

轴承包括静止部分和旋转部分，静止部分包括轴向定子 51、径向/扭转定子 61、径向永磁体 63 等部分；旋转部分包括轴向转子 51、轴向内环永磁体 52、轴向外环永磁体 53、隔磁铝环等。五自由度磁轴承的旋转部分和多弧线感应电机分别内嵌于飞轮转子 8 的上部和下部。

如图 3 所示的外壳，上端盖 11 和下端盖 13 从外形上看均为圆柱形阶梯状。上端盖 11 中心开圆柱形孔，以便安装辅助轴承 4。壳身 12 的外侧壁沿圆周方向均匀分布四个大小相同的端盖连接架 122，端盖连接架 122 的上下两端开孔攻丝，以便使用螺栓分别将上端盖 11 和下端盖 13 与壳身 12 紧密连接。每两个端盖连接架 122 之间均匀布置四个形状相同的第一散热片 121，每两个第一散热片 121 之间的壳身 12 外侧壁上均匀切出两行两列分布的、四个形状相同的方形散热槽。上端盖 11 由一个带中心圆柱孔的上部圆盘 111、一个中间圆环 112 和一个下部圆环 113 依次连接组成，中间圆环 112 的外径和上部圆盘 111 的外径相同，中间圆环 112 的内径和下部圆环 113 的内径相同，中间圆环 112 的外径小于下部圆环 113 的外径，中间圆环 112 的内径远大于上部圆盘 111 的内径。中间圆环 112 的上下端面分别与上部圆盘 111 的下端面和下部圆盘 113 的上端面紧密连接。这样，由上部圆盘 111 的外侧面、中间圆环 112 外侧面以及下部圆盘 113 的上端面组成了台阶圆柱状。在下部圆盘 113 的上端面上，沿圆周方向均匀分布 24 个第二散热片 115，第二散热片 115 为三角片状，第二散热片 115 的一个直角底面与下部圆环 113 上端面连接，第二散热片 115 的另一直角面与上部圆盘 111 的外侧面、中间圆环 112 的外侧面连接。上部圆盘 111 的上表面上沿圆周方向均匀分布六个形状相同的方形第三散热片 114。上部圆盘 111 靠近中心孔附近开环形槽，环形槽底部沿圆周方向开 4 个圆柱孔，并攻丝，以便使用螺栓来固定安装轴向传感器支架 22。下部圆环 113 沿圆周方向均匀分布四个端盖连接孔位，用来与壳身 12 的端盖连接架 122 的孔位配合。上端盖 11 和下端盖 13 相对于壳身 12 两者上下对称安装，下端盖 13 中心不设置圆柱孔，底部端面为实心圆盘，其余结构与上端盖 11 完全相同，这里不再赘述。大量安装散热片和设置散热槽可有效散发飞轮转子 8 高速旋转时产生的热量。由壳身 12、上端盖 11 和下端盖 13 以及轴向传感器支架 22 组成了成一个密闭的真空腔室，可有效减少空气摩擦损耗。

参见图 4 所示，为飞轮转子 8 的结构立体图。飞轮转子 8 主体是由同轴装配的主圆柱体 82、上部圆环体 86、下部圆环体 88，中心圆柱体 87，长圆柱顶 81、径向/扭转转子轭 85、上部径向/扭转转子极 83 以及下部径向/扭转转子极 84 构成。外围整体是圆柱体结构，正中间是长圆柱顶 81，即虚拟轴。其中，外围整体结构的下部圆环体 88、主圆柱

体 82、上部圆环体 86 和径向/扭转转子轭 85 的外径相同，并且自下而上依次叠放且紧密固定连接在一起，该外径小于壳身 12 的内径。主圆柱体 82 正中间的上表面固定连接一个中心圆柱体 87，中心圆柱体 87 上表面的正中间固定连接长圆柱顶 81，长圆柱顶 81 的上端向上同轴穿过五自由度磁轴承的静止部分，有间隙地穿过轴向定子 51、径向/扭转定子 61、径向永磁体 63 的中心通孔。长圆柱顶 81 的外径远小于中心圆柱体 87 的外径。径向/扭转转子轭 85 外形上是一个圆环体，其内侧壁的下端沿径向向内连接下部径向/扭转转子极 84，下部径向/扭转转子极 84 的下端面与径向/扭转转子轭 85 的下端面平齐，与上部圆环体 86 的上表面相连接。

径向/扭转转子轭 85 内侧壁的上端沿径向向内连接上部径向/扭转转子极 83，上部径向/扭转转子极 83 的上端面与径向/扭转转子轭 85 的上端面平齐。径向/扭转转子极 83 的外径和下部径向/扭转转子极 84 的外径与上部径向/扭转转子轭 85 的内径相等。上部径向/扭转转子极 83 和下部径向/扭转转子极 84 不接触，之间留有距离。下部径向/扭转转子极 84 外形是一个环状体，其内侧表面为向外凹的球面状，其外侧表面为柱面。上部径向/扭转转子极 83 和下部径向/扭转转子极 84 的内径远大于上部圆环体 86 的内径。

下部圆环体 88 和中心圆柱体 87 都是实心圆盘，上部圆环体 86 的内径大于下部圆环体 88 的内径，下部圆环体 88 的内径大于中心圆柱体 87 的外径。这样，在上部圆环体 86 和中心圆柱体 87 之间形成一圈环形槽，用于安装五自由度磁轴承的旋转部分，旋转部分便同轴心地嵌在该环形槽中。

如图 5 所示是五自由度磁轴承的轴向定子 51 的三维结构图。轴向定子 51 由同轴布置的上部固定圆盘 511、连接圆柱环 512、轴向定子轭 513、轴向内环定子极 514、轴向外环定子极 515 和轴向外围接收极 516 组成。最上方是上部固定圆盘 511，上部固定圆盘 511 的下表连接连接圆柱环 512 的上表面，连接圆柱环 512 的下表面连接轴向定子轭 513 的上表面。轴向定子轭 513 的下表面分别连接轴向内环定子极 514、轴向外环定子极 515 和轴向外围接收极 516，其中径向内侧是轴向内环定子极 514，中间是轴向外环定子极 515，径向外侧是轴向外围接收极 516，轴向内环定子极 514 和中间是轴向外环定子极 515 的下表面平齐，但轴向外围接收极 516 的下表面高于轴向内环定子极 514 和中间是轴向外环定子极 515 的下表面约 1mm。连接圆柱环 512、轴向定子轭 513、轴向内环定子极 514、轴向外环定子极 515 和轴向外围接收极 516 的外形均为圆环体。上部固定圆盘 511、连接圆柱环 512、轴向定子轭 513，轴向内环定子极 514 的内径均相等，因此正中间形成一个上下贯通的中心通孔。上部固定圆盘 511 的外径大于轴向定子轭 513 的外径，轴向

定子轭 513 的外径远大于连接圆柱环 512 的外径。连接圆柱环 512 的外径等于轴向内环定子极 514 的外径。轴向外环定子极 515 的内径大于轴向内环定子极 514 的外径，且轴向外环定子极 515 的外径小于轴向外围接收极 516 的内径。外围接收极 516 的外径等于轴向往定子轭 513 的外径。因此，在轴向内环定子极 514 和轴向外环定子极 515 之间、轴向外环定子极 515 和轴向外围接收极 516 之间形成轴向定子槽，轴向定子槽中置放轴向控制线圈 71，轴向控制线圈 71 绕在轴向外环定子极 515 上。

图 6 为五自由度磁轴承的轴向转子 54 的三维结构剖视图，五自由度磁轴承的轴向转子 54 整体是圆环体结构，由同轴布置的轴向内环转子极 541、轴向外环转子极 543 和轴向转子轭 542 组成。轴向内环转子极 541、轴向外环转子极 543 和轴向转子轭 542 均为圆环体，轴向转子轭 542 的上表面分别与轴向内环转子极 541、轴向外环转子极 543 的下表面相连接，轴向内环转子极 541、轴向外环转子极 543 的上表面平齐。轴向转子轭 542 的内径与轴向内环转子极 541 的内径相等，轴向转子轭 542 的外径与轴向外环转子极 543 的外径相等。轴向外环转子极 543 的内径大于轴向内环转子极 541 的外径，这样，在轴向内环转子极 541 和轴向外环转子极 543 之间形成一个圆环形槽。

图 5 中的五自由度磁轴承的轴向定子 51 和图 6 中的轴向转子 54 装配时，轴向转子 54 位于轴向定子 51 的下方，轴向定子 51 下端的外侧表面与轴向转子 54 的外侧表面上下对齐。定子轴向外围接收极 516 的正下方是转子轴向外环转子极 543，定子轴向外环定子极 515 的正下方是转子轴向内环转子极 541。

如图 7 为五自由度磁轴承的径向/扭转定子 61 的三维剖视图。径向/扭转定子 61 由径向/扭转定子轭 612、径向定子极 611，扭转定子极 613 以及径向/扭转接收极 614 构成。径向/扭转定子轭 612 为圆环体，径向/扭转定子轭 612 的上端面沿径向向外延伸 3 个径向定子极 611 和 3 个扭转子极 613，3 个径向定子极 611 和 3 个扭转子极 613 沿圆周方向交错间隔均匀地分布，并且均是外端带有极靴的磁极。径向定子极 611、扭转定子极 613 的上表面与径向/扭转定子轭 612 的上表面平齐。径向/扭转定子轭 612 的下端面沿径向向外延伸径向/扭转接收极 614，径向/扭转接收极 614 外形是环状体，其内表面为柱面，外侧表面为沿径向向外凸的球面状，其下端表面与径向/扭转定子轭 612 的下端面平齐。径向/扭转接收极 614 的内径与径向/扭转定子轭 612 的外径相等。

参见图 1、2、3、4、5、6、8 所示，飞轮转子 8 位于外壳的密闭的真空腔室的内部轴心正中间。五自由度磁轴承的轴向定子 51 与飞轮转子 8 同轴分布，轴向定子 51 的上部固定圆盘 511 的上表面与上端盖 11 带中心圆柱孔的上部圆盘 111 的下表面紧密固定相

连。轴向定子 51 的下表面正下方是图 4 中飞轮转子 8 的中心圆柱体 87 和上部圆环体 86 所形成的圆环槽，轴向定子 51 的下表面与圆环槽的上表面平齐且外径相等，轴向定子 51 下表面的内外径分别与圆环槽的内外径对应地相等。

飞轮转子 8 的中心圆柱体 87 和上部圆环体 86 所形成的圆环槽内置放有轴向转子 54、轴向内环永磁体 52 和轴向外环永磁体 53。轴向内环永磁体 52 和轴向外环永磁体 53 均为圆环体。其中，轴向外环永磁体 53 固定连接轴向转子 54 的下表面，并且轴向外环永磁体 53 的内径等于轴向转子 54 的内径。轴向内环永磁体 52 在轴向转子 54 和轴向外环永磁体 53 的内侧。轴向内环永磁体 52 的内径等于飞轮转子 8 的中心圆柱体 87 的外径，固定套在图 4 中飞轮转子 8 的中心圆柱体 87 的外壁上，与飞轮转子 8 同轴旋转。轴向内环永磁体 52 的上下表面分别与中心圆柱体 87 对应的上下表面平齐。

轴向内环永磁体 52 的正上方是轴向定子 51 的轴向内环定子极 514，也就是轴向内环永磁体 52 的内外径分别对应地等于轴向内环定子极 514 的内外径。轴向外环永磁体 53 的内外径分别对应地等于轴向转子 54 的轴向内环定子极 541 以及轴向定子 51 的轴向外环定子极 515 的内外径，轴向定子 51 的轴向外环定子极 515 的正下方是轴向转子 54 的轴向内环定子极 514，轴向内环定子极 514 的正下方是轴向外环永磁体 53，三者上下对应。轴向内环定子极 514 的正下方是轴向内环转子极 541，轴向外围接收极 516 的正下方是轴向外环转子极 543。

在轴向外环永磁体 53 的内壁、轴向转子 54 的内壁与轴向内环永磁体 52 外壁之间通过过盈配合固定嵌有第一轴向隔磁铝环 55。在轴向外环永磁体 53 外壁与轴向转子 54 之间固定贴合第三轴向隔磁铝环 57。

轴向转子 54 的内环转子极 541 的内外径分别对应地等于轴向定子极 51 的轴向外环定子极 515 的内外径，轴向转子 54 的外环转子极 543 的内外径分别对应地等于轴向定子极 51 的轴向外围接收极 516 的内外径。

在轴向内环转子极 541 和轴向外环转子极 543 之间的圆环形槽内过盈配合固定嵌有第二轴向隔磁铝环 56。

轴向转子 54 的轴向外环转子极 543 的外径和第三轴向隔磁铝环 57 的外径相等，且均等于飞轮转子 8 的上部圆环体 86 的内径，与上部圆环体 86 固定连接。轴向内环永磁体 52、第一轴向隔磁铝环 55、轴向转子 54、第二轴向隔磁铝环 56、飞轮转子 8 的上部圆环体 86 和中间圆柱体 87 的上端面都平齐。

轴向内环永磁体 52、轴向外环永磁体 53、轴向转子 54、第一轴向隔磁铝环 55、第

二轴向隔磁铝环 56、第三轴向隔磁铝环 57 与飞轮转子 8 同轴分布且均为圆环体。

轴向内环永磁体 52 的高度大于轴向外环永磁体 53，永磁体均采用高性能稀土材料钕铁硼制成。轴向内环永磁体 52 沿轴向向上充磁，轴向外环永磁体 53 轴向向下充磁，两者的充磁方向相反。

轴向内环永磁体 52 上表面和轴向定子 51 的下表面相距 0.5mm，即和轴向内环定子极 514 的下表面相距 0.5mm，形成轴向气隙。轴向转子 54 的内环转子极 541 和轴向外环定子极 515 的下表面相距 0.5mm，形成轴向气隙。轴向外围接收极 516 的下表面与外环转子极 543 的上表面相距 1.5mm，形成轴向外围接收气隙，轴向外围接收气隙大于轴向气隙。

如图 10 所示为五自由度磁轴承径向磁轴承和飞轮转子 51 的装配结构剖视图。参见图 1、2、3、4、6、8 所示，在轴向定子 51 的轴向定子极 513 和轴向外围接收极 516 的外壁上紧密套有圆环形径向隔磁铝环 64，径向隔磁铝环 64 外壁上紧密套有径向内定子环 62，径向隔磁铝环 64 和轴向定子 51 通过盈配合连接，且径向隔磁铝环 64 的上下端面分别对应地与轴向定子 51 的定向定子极 513 的上端面和轴向定子 51 的轴向外环定子极 515 的下表面平齐。径向内定子环 62 的上下表面分别对应地与径向隔磁铝环 64 的上下表面平齐。在径向内定子环 62 的外壁紧密套有圆环状的径向永磁体 63，径向永磁体 63 外壁紧密套有径向/扭转定子 61。圆环状的径向永磁体 63 的内外径分别对应地等于径向内定子环 62 的外径和径向/扭转定子 61 的径向/扭转定子极 612 的内径。圆环状径向永磁体 63 通过胶水紧密地套在径向内定子环 62 的外围，径向/扭转定子 61 通过过盈配合套在圆环状径向永磁体 63 外。径向/扭转定子极 612 上下表面分别对应地与径向永磁体 63 的上下表面平齐。径向永磁体 63 采用高性能稀土材料钕铁硼制成，其充磁方向是沿径向由内向外充磁。

径向定子极 611 上绕制径向控制线圈 72，扭转定子极 613 上绕制扭转控制线圈 73。

再参见图 7 和图 4，径向/扭转定子 61 的径向定子极 611 和飞轮转子 8 的上部径向/扭转转子极 83 在径向上正对，径向/扭转接收极 614 和下部径向/扭转转子极 84 在径向上正面对面。径向定子极 611 的外侧表面和上部径向/扭转转子极 83 内侧表面相距 0.5mm，之间留有径向气隙。径向/扭转接收极 614 的外侧表面和下部径向/扭转转子极 84 内表面相距 0.5mm，之间留有径向气隙。

如图 11 所示径向传感器支架 21 和轴向传感器支架 22 的装配结构剖视图。辅助轴承 4 安装在开孔上端盖 11 的中心孔内。辅助轴承 4 的上下端面与上端盖 11 中心孔槽上下端

面平齐。飞轮转子 8 的长圆柱顶 81 从辅助轴承 4 内孔穿出，其直径小于辅助轴承内孔直径 0.5mm，两者有间隙地配合。辅助轴承 4 的上方设有径向传感器支架 21 和轴向传感器支架 22。

如图 12 所示是径向传感器支架 21 的三维剖视图，径向传感器支架 21 由上方的径向传感器上圆环体 211 和下方的径向传感器下圆环体 212 连接而成。在径向传感器下圆环体 212 的上端面沿圆周方向均匀开 4 个轴向的螺栓孔，并且径向传感器下圆环体 212 下表面与上端盖 11 中心圆槽的上表面平齐，结合图 11 所示，上端盖 11 的中心孔下表面紧密贴合着圆环体紧固片 23。紧固片 23 的端面沿圆周方向均匀开四个轴向螺栓孔。径向传感器下圆环体 212 上的 4 个螺栓孔与上端盖 11 中心圆槽上的四个螺栓孔和紧固片 23 的四个螺栓孔相配合，通过螺栓将径向传感器支架 21 与紧固片 23 紧固，使得辅助轴承 4 和径向传感器支架 21 固定。径向传感器上圆环体 211 的圆柱壁上沿圆周方向上均匀开四个径向的通孔，用于安装径向传感器探头 32，径向传感器探头 32 指向长圆柱顶 81 侧壁。

如图 13 所示，是轴向传感器支架 22 的三维结构剖视图，其由上方的一个轴向传感器圆盘 221 和下方的轴向传感器圆环体 222 连接而成。轴向传感器圆盘 221 的中心沿轴向开孔，以便安装轴向传感器探头 31，轴向传感器探头 31 指向长圆柱顶 81 的上端面正中间。且轴向传感器圆盘 221 的下表面与径向传感器支架 21 的径向传感器上圆环体 211 的上表面紧密接触。轴向传感器圆环体 222 侧壁沿径向开一螺栓孔，用螺栓与径向传感器支架 21 的圆环体 211 配合，以固定轴向传感器支架 22。

参见图 1、2、14、15 所示，在飞轮转子 8 的正下方安装感应电机，飞轮转子 8 的主圆柱体 82 和下部圆环体 88 之间形成圆柱形凹槽。感应电机包括固定的电机定子 91、电机线圈 93 以及能旋转的电机导体板 92，电机导体板 92 同轴套在电机定子 91 外，将电机定子 91、电机导体板 92 和电机线圈 93 内嵌于圆柱形凹槽中。圆环形电机导体板 92 为能旋转的转子部分，其外壁与飞轮转子 8 的下部圆环体 88 的内壁紧密贴合，电机导体板 92 的上端面与飞轮转子 8 的主圆柱体 82 的下端面紧密连接，电机导体板 92 的下端面与飞轮转子 8 的下部圆环体 88 的下端面平齐。

再如图 16 所示，电机定子 91 由一个上端圆盘 911、一个实心圆柱 915 和一个下端圆盘 913 组成。上端圆盘 911 沿圆周方向均匀切割出六个形状相同的扇形定子，每个扇形定子的外边缘都沿圆周方向均匀切割出六个柱形定子极 912，六个柱形电机定子极 912 之间相隔 5 度。实心圆柱 915 的上下端面分别与上端圆盘 911 的下端面和下端圆盘 913

上端面紧密连接，且实心圆柱 915、上端圆盘 911 和下端圆盘 913 同轴配置。下端圆盘 913 的边缘沿圆周方向均匀分布八个电机螺栓孔 914，用来与下端盖 13 的螺栓孔位配合，通过安装螺栓将下端圆盘 913 的下端面与下端盖 13 的上端面紧密固定连接。电机定子极 912 的弧面外壁与导体板 92 的内壁之间留有 0.5mm 气隙，电机定子极 912 的上端面与飞轮转子 8 的主圆柱体 82 的下端面留有一定间隙以便安装线圈，电机定子极 912 的下端面与电机导体板 92 的下端面齐平。电机线圈 93 缠绕在每个电机定子极 912 上。飞轮转子 8、电机定子 91、导体板 92 和下端盖 13 均同轴装配。电机定子 91 与飞轮转子 8 下槽壁之间有间隙以便安装线圈，且电机线圈 93 与飞轮转子 8 互相不接触。

电机线圈 93 通三相交流电，在气隙中产生旋转磁场，在旋转磁场的作用下，导体板 92 中感应出感应电流，导体板 92 转动，感应电流与旋转磁场相互作用产生电磁推力 F_1 ，使飞轮转子 8 沿弧形气隙切线方向运动，由于飞轮转子 8 与导体板 92 固定连接，所以带动飞轮转子 8 共同旋转。当飞轮转子 8 发生略微扰动偏离中心时，通过改变线圈电流，在弧面对应的导体板上产生法向力 F_2 ，使飞轮转子 8 回到圆心。

本发明工作时，能实现飞轮转子 8 的静态被动悬浮、径向二自由度平衡、径向扭转二自由度平衡以及轴向单自由度平衡。当飞轮转子 8 高速旋转时，在轴向控制方面，轴向控制线圈 71 通以直流电与轴向定子 51 组成电磁铁，通过改变控制直流电的大小和方向来改变轴向上飞轮转子 8 的受力大小与方向，从而实现对轴向一个自由度的控制。在径向控制方面，三组径向控制线圈 72 通以三相交流电，通过改变控制线圈 72 的电流大小，实现了径向上自由度的精准控制。在扭转控制方面，三组扭转控制线圈 73 通以直流电，通过改变控制直流电的大小和方向来改变来实现扭转控制。具体如下：

静态被动悬浮的实现：参见图 17，径向永磁体 63 产生的偏置磁通如图 17 虚线及箭头所示，径向永磁体 63 产生的偏置磁通从径向永磁体 63 的 N 极开始经过径向/扭转定子轭 612，分别经过径向定子极 611、径向气隙、上部径向/扭转转子极 83 和径向/扭转接收极 614、径向气隙、下部径向/扭转转子极 84，在飞轮转子 8 的径向/扭转转子轭 85 中汇合，经过飞轮转子 8 的上部圆环体 86、轴向气隙、径向定子环 62，最后回到径向永磁体 63 的 S 极。轴向内环永磁体 52 轴向向上充磁，轴向外环永磁体 53 轴向向下充磁，轴向内环永磁体 52 和轴向外环永磁体 53 产生的偏置磁通如图 17 虚线及箭头所示。轴向内环永磁体 52 产生的偏置磁通从轴向内环永磁体 52 的 N 极开始，依次经过轴向气隙、轴向内环定子极 514、轴向定子轭 513、轴向外环定子极 515、轴向气隙、轴向转子 54 的轴向内环转子极 541（由于轴向外围接收极 516 的下表面与外环转子极 543 的上表面距离

为 1.5mm，大于轴向气隙的距离 0.5mm，使得偏置磁通只经过轴向气隙和轴向内环转子极 541)，最后到达轴向外环永磁体 53 的 S 极。当飞轮转子 8 处于中心平衡位置时，飞轮转子 8 的中心轴与磁轴承的轴向中心轴和电机定子轴向中心轴重合。在径向上，飞轮转子 8 的圆环状上部径向/扭转转子极 83、球面的下部径向/扭转转子极 84 和径向定子极 611、球面的径向/扭转接收极 614 之间的的气隙磁通完全相同，因此飞轮转子 7 在径向上受电磁力平衡，实现飞轮转子 7 径向稳定悬浮。在轴向上，轴向内环定子极 514、轴向外环定子极 515 和轴向内环永磁体 52、轴向转子 54 的轴向内环转子极 541 之间的轴向气隙磁通完全相同，飞轮转子 8 在轴向上受到的电磁力平衡，因此，实现飞轮转子 8 轴向稳定悬浮。

径向二自由度平衡的实现是：参见图 18 所示，在径向平面建立 A、B、C 三个方向的坐标系，当飞轮转子 8 在径向二自由度受到扰动向 A 方向偏移时，对三个径向控制线圈 72 同时通电，在 A 方向、B 方向和 C 方向产生的控制磁路如图 15 粗实线及箭头所示。本发明中径向控制线圈采用三相逆变器驱动，其中虚线及箭头表示偏置磁通的方向，粗实线及箭头表示径向控制磁通的方向。虚线和粗实线方向相同表示磁通叠加，方向相反表示磁通抵消。所以，合成磁通在 A 的负方向叠加，既在 A 的负方向产生合成磁拉力，使得飞轮转子 8 回到径向平衡位置。B 和 C 方向发生偏移的工作原理与上述类似。

扭转二自由度的平衡实现：参见图 18 所示，当飞轮转子受到扰动在 A 方向发生向下的扭转偏移时，A 方向的轴向气隙变大，A 负方向的轴向气隙变小。对扭转线圈 73 通电，使得 A 方向的磁通叠加增强，A 负方向的磁通抵消减小，使飞轮转子在 A 方向受到向上的磁拉力在 A 负方向受到向下的磁拉力，从而 A 方向的轴向气隙减小，A 反方向的轴向气隙增大，最终飞轮转子 8 回到平衡位置。

轴向单自由度的平衡的实现：参见图 19，当飞轮转子 8 在轴向单自由度受到扰动向下的偏移时，轴向气隙增大，对轴向控制线圈 71 通直流电，轴向控制线圈 71 产生的磁路如图 19 粗实线及箭头所示。其中虚线及箭头表示偏置磁通的方向，粗实线及箭头表示轴向向控制磁通的方向，虚线和粗实线方向相同表示磁通叠加，方向相反表示磁通抵消。可以看出在轴向的总磁通增加，在飞轮转子 8 上产生向上的合成磁拉力，使轴向气隙减小，最终使飞轮转子 8 回到轴向平衡位置。

根据以上所述，便可以实现本发明。对本领域的技术人员在不背离本发明的精神和保护范围的情况下做出的其它的变化和修改，仍包括在本发明保护范围之内。

权 利 要 求 书

1.一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，最外部是一个外壳，外壳腔内同轴分布五自由度磁轴承、飞轮转子（8）和感应电机，五自由度磁轴承包括静止部分和旋转部分，感应电机具有电机定子（91）和能旋转的电机导体板（92），电机导体板（92）同轴套在电机定子（91）外，其特征是：飞轮转子（8）具有自下而上依次紧密固定连接且外径相同的下部圆环体（88）、主圆柱体（82）、上部圆环体（86）和径向/扭转转子轭（85），主圆柱体（82）正中间的上表面同轴固定连接中心圆柱体（87），中心圆柱体（87）上表面的正中间同轴固定连接长圆柱顶（81），长圆柱顶（81）的上端向上同轴穿过五自由度磁轴承的静止部分；下部圆环体（88）和中心圆柱体（87）都是实心圆盘，上部圆环体（86）的内径大于下部圆环体（88）的内径，下部圆环体（88）的内径大于中心圆柱体（87）的外径，在上部圆环体（86）和中心圆柱体（87）之间形成一圈环形槽，该环形槽内同轴心地嵌有五自由度磁轴承的旋转部分，在主圆柱体（82）和下部圆环体（88）之间形成圆柱形凹槽，该圆柱形凹槽内同轴心地嵌有所述的电机导体板（92）。

2.根据权利要求 1 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：五自由度磁轴承的静止部分包括轴向定子（51）、径向/扭转定子（61）和径向永磁体（63），轴向定子（51）的最上方是上部固定圆盘（511），上部固定圆盘（511）的下表面连接经连接圆柱环（512）的连接轴向定子轭（513），轴向定子轭（513）下表面径向的内侧连接轴向内环定子极（514）、中间连接轴向外环定子极（515）、外侧连接轴向外围接收极（516），轴向控制线圈（71）绕在轴向外环定子极（515）上；所述的轴向定子轭（513）和轴向外围接收极（516）的外壁上依次紧密套有圆环形的径向隔磁铝环（64）、径向内定子环（62）、径向永磁体（63）和所述的径向/扭转定子（61），径向永磁体（63）沿径向由内向外充磁；所述的径向/扭转定子（61）由径向/扭转定子轭（612）、径向定子极（611）、扭转定子极（613）和径向/扭转接收极（614）构成，径向/扭转定子轭（612）为圆环体，其上端面沿径向向外延伸 3 个径向定子极（611）和 3 个扭转子极（613），3 个径向定子极（611）和 3 个扭转子极（613）沿圆周方向交错间隔均匀地分布，径向/扭转定子轭（612）的下端面沿径向向外延伸径向/扭转接收极（614），径向/扭转接收极（614）的外侧面为沿径向向外凸的球面状，径向定子极（611）上绕制径向控制线圈（72），扭转定子极（613）上绕制扭转控制线圈（73）。

3.根据权利要求 2 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：径向/扭转转子轭（85）内侧壁的上端沿径向向内连接上部径向/扭转转子极（83）、内侧壁

的下端沿径向向内连接下部径向/扭转转子极（84），下部径向/扭转转子极（84）的内侧表面为向外凹的球面状，径向定子极（611）和上部径向/扭转转子极（83）在径向上正对且之间留有径向气隙，径向/扭转接收极（614）和下部径向/扭转转子极（84）在径向上正对且之间形成留有气隙。

4.根据权利要求 2 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：五自由度磁轴承的旋转部分包括置放在上部圆环体（86）和中心圆柱体（87）之间形成的圆环形槽内的圆环体的轴向转子（54），轴向转子（54）由同轴布置的轴向内环转子极（541）、轴向外环转子极（543）和轴向转子轭（542）组成，轴向转子轭（542）的上表面分别与轴向内环转子极（541）、轴向外环转子极（543）的下表面相连接，轴向内环转子极（541）和轴向外环转子极（543）之间嵌有第二轴向隔磁铝环（56）；轴向内环定子极（514）的正下方是固定套在所述的中心圆柱体（87）的外壁上的轴向内环永磁体（52），轴向内环定子极（514）的正下方是所述的轴向内环转子极（541），轴向外围接收极（516）的正下方是轴向外环转子极（543），轴向外环永磁体（53）固定连接于轴向转子轭（542）的下表面，在轴向外环永磁体（53）的内壁、轴向转子（54）的内壁与轴向内环永磁体（52）外壁之间固定嵌有第一轴向隔磁铝环（55），在轴向外环永磁体（53）外壁与轴向转子（54）之间固定连接第三轴向隔磁铝环（57），轴向内环永磁体（52）沿轴向向上充磁，轴向外环永磁体（53）沿轴向向下充磁。

5.根据权利要求 4 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：轴向内环永磁体（52）与轴向内环定子极（514）之间留有轴向气隙，轴向内环转子极（541）与轴向外环定子极（515）之间留有轴向气隙，轴向外围接收极（516）的下表面与外环转子极（543）之间形成轴向外围接收气隙，该轴向外围接收气隙大于轴向气隙。

6.根据权利要求 2 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：所述的外壳由一个空心圆柱的壳身（12）、一个上端盖（11）和一个下端盖（13）固定连接组成，轴向定子（51）的上部固定圆盘（511）固定连接上端盖（11），电机定子（91）的下端固定连接下端盖（13）；上端盖（11）的中心设有装有辅助轴承（4）的圆柱孔，所述的长圆柱顶（81）从辅助轴承 4 内孔有间隙地穿出，辅助轴承（4）的上方设有径向传感器支架（21）和轴向传感器支架（22）。

7.根据权利要求 6 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：壳身（12）的外侧壁沿圆周方向均匀分布大小相同的端盖连接架（122），每两个端盖连接架（122）之间均匀布置四个形状相同的第一散热片（121），每两个第一散热片（121）之间的壳身（12）外侧壁上均匀切出两行两列分布的形状相同的方形散热槽；上端盖（11）

由一个带中心圆柱孔的上部圆盘（111）、一个中间圆环（112）和一个下部圆环（113）依次连接组成，下部圆盘（113）的上端面上沿圆周方向均匀分布第二散热片（115），上部圆盘（111）的上表面上沿圆周方向均匀分布第三散热片（114），上端盖（11）和下端盖（13）相对于壳身（12）上下对称，下端盖（13）中心不设置圆柱孔。

8.根据权利要求 2 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：轴向内环定子极（514）和中间是轴向外环定子极（515）的下表面平齐，轴向外围接收极（516）的下表面高于轴向内环定子极（514）和中间是轴向外环定子极（515）的下表面；上部固定圆盘（511）、连接圆柱环（512）、轴向定子轭（513），轴向内环定子极（514）的内径均相等，上部固定圆盘（511）的外径大于轴向定子轭（513）的外径，轴向定子轭（513）的外径大于连接圆柱环（512）的外径，连接圆柱环（512）的外径等于轴向内环定子极（514）的外径，外围接收极（516）的外径等于轴向定子轭（513）的外径。

9.根据权利要求 4 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：轴向内环转子极（541）、轴向外环转子极（543）的上表面平齐。轴向转子轭（542）的内径与轴向内环转子极（541）的内径相等，轴向转子轭（542）的外径与轴向外环转子极（543）的外径相等。

10.根据权利要求 2 所述的一种电动汽车用虚拟轴式磁悬浮飞轮储能装置，其特征是：轴向控制线圈（71）通以直流电，径向控制线圈（72）通以三相交流电，扭转控制线圈（73）通以直流电。

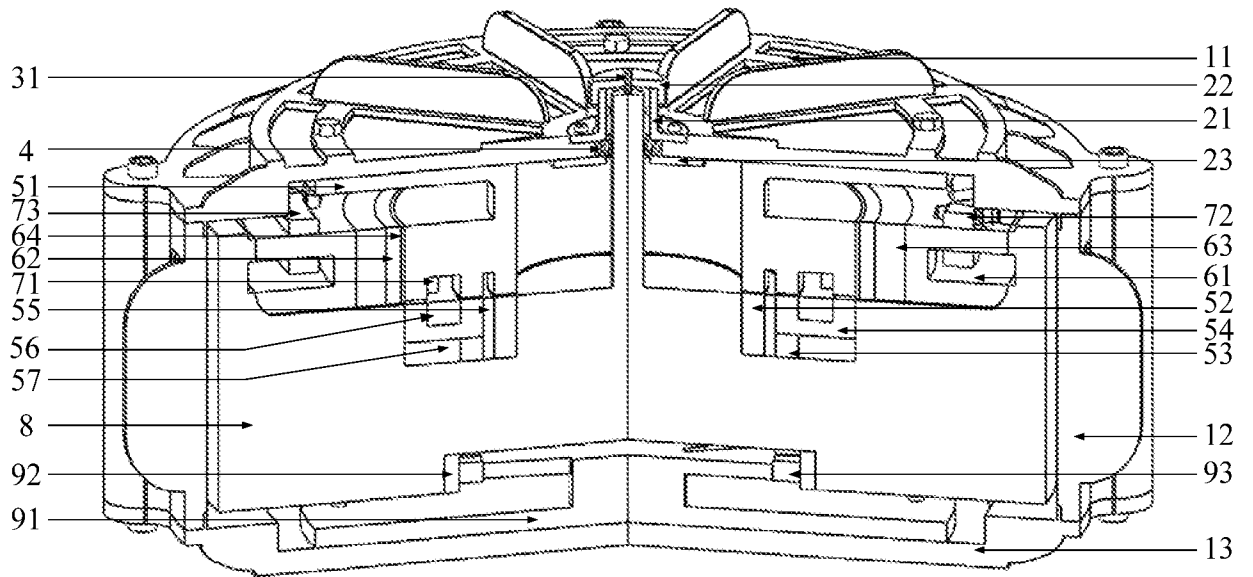


图 1

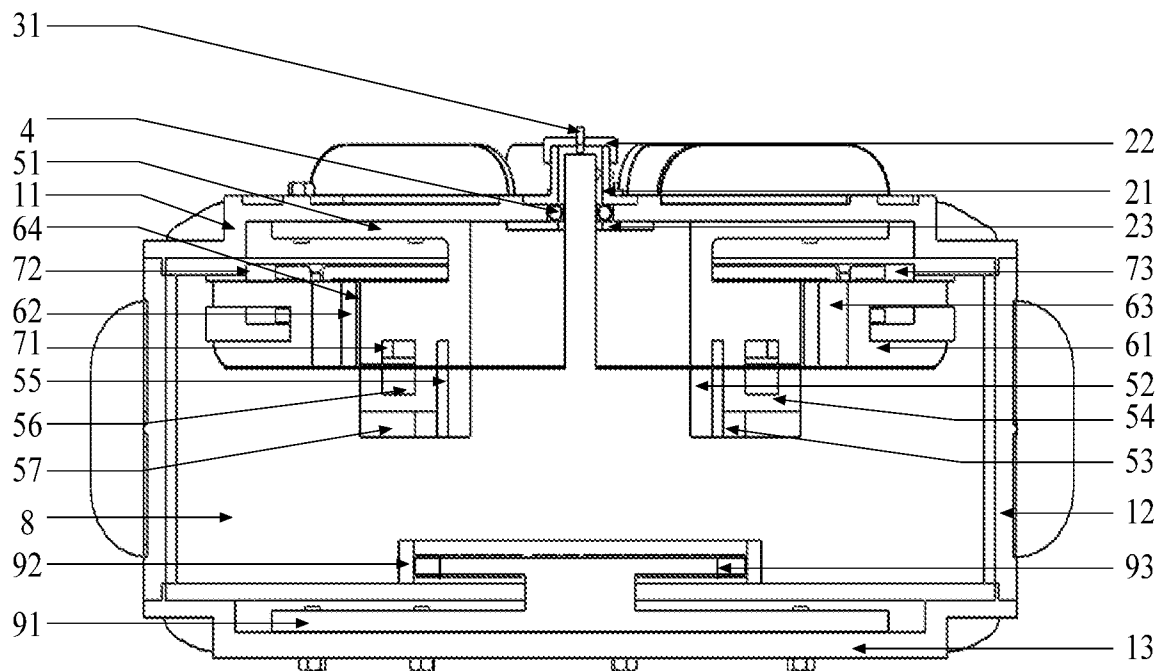


图 2

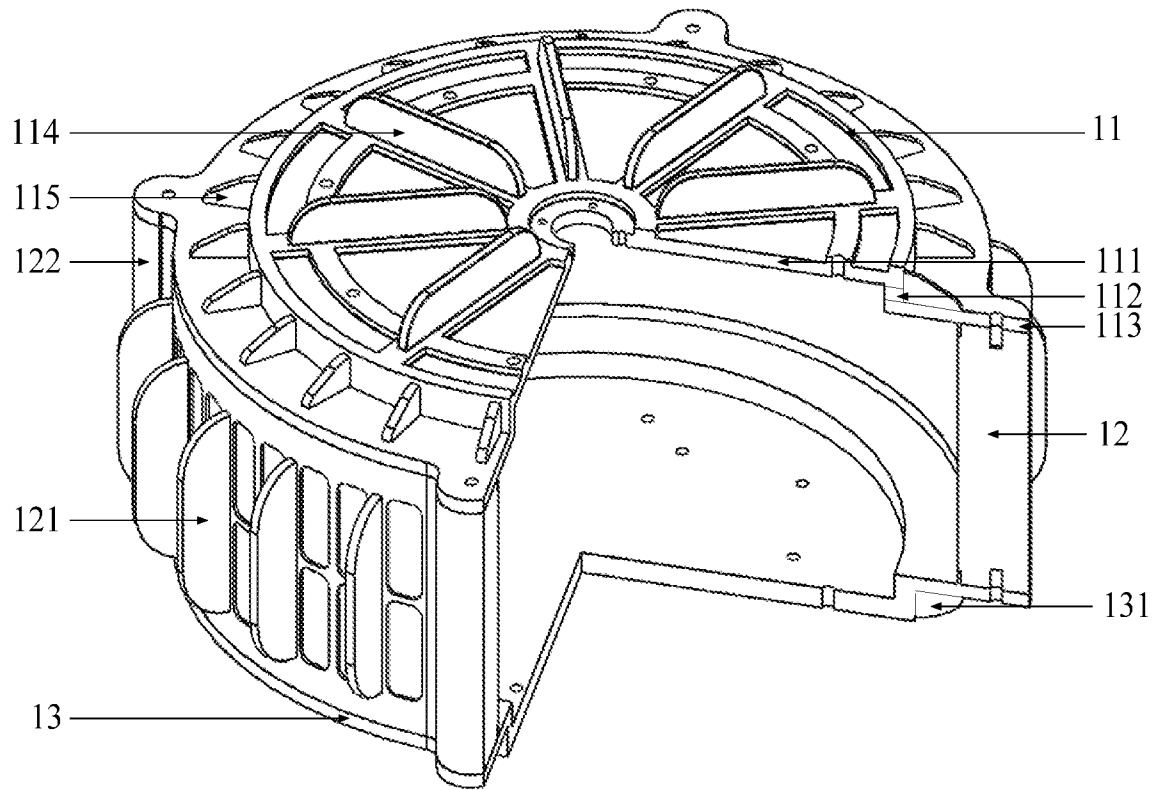


图 3

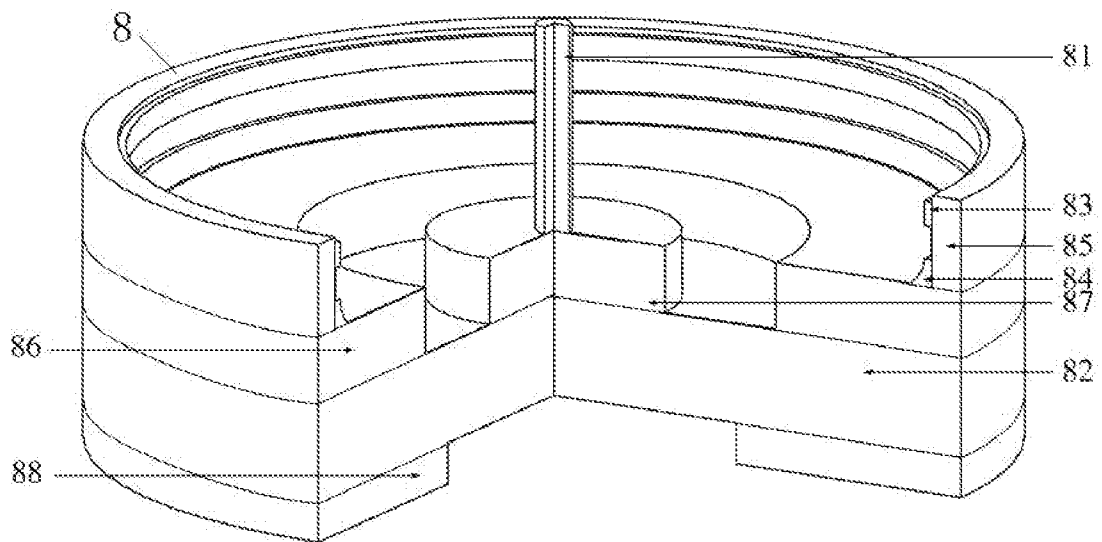


图 4

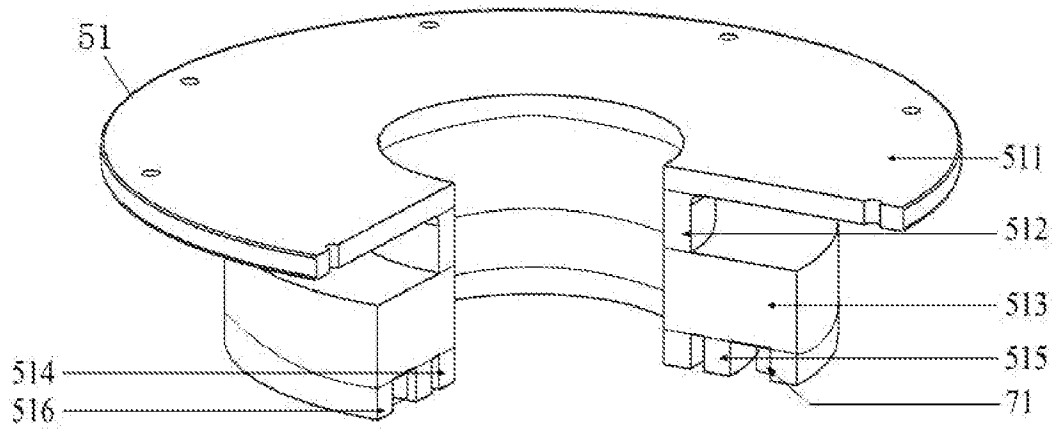


图 5

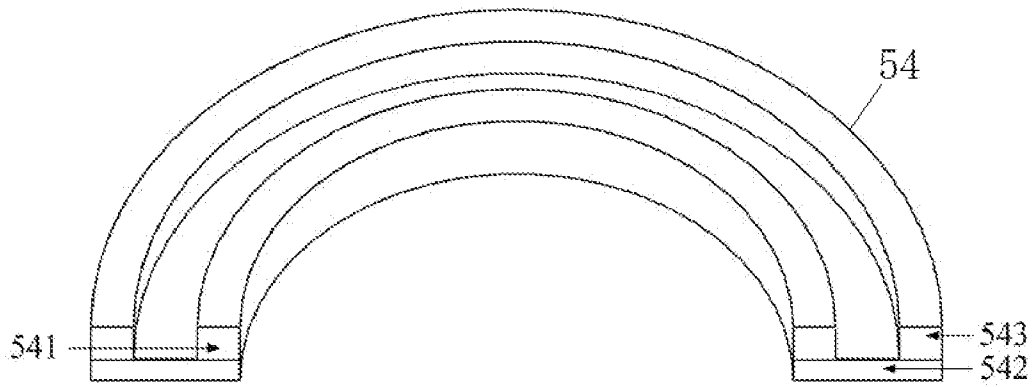


图 6

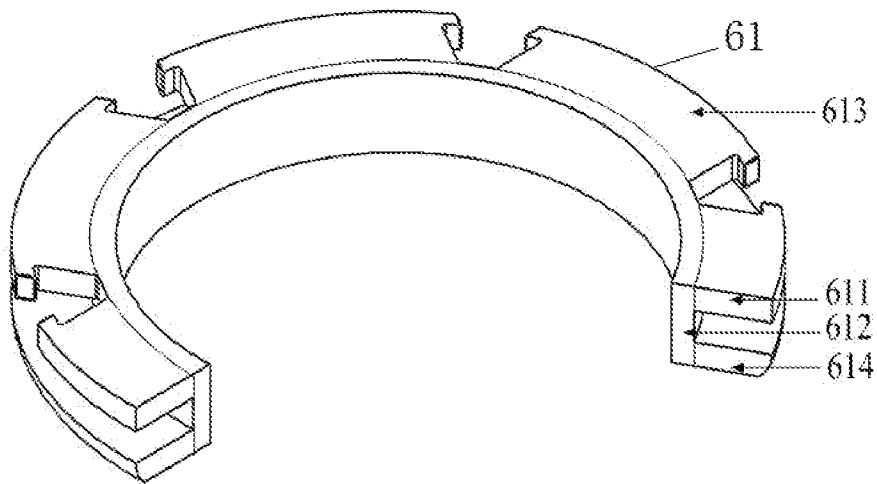


图 7

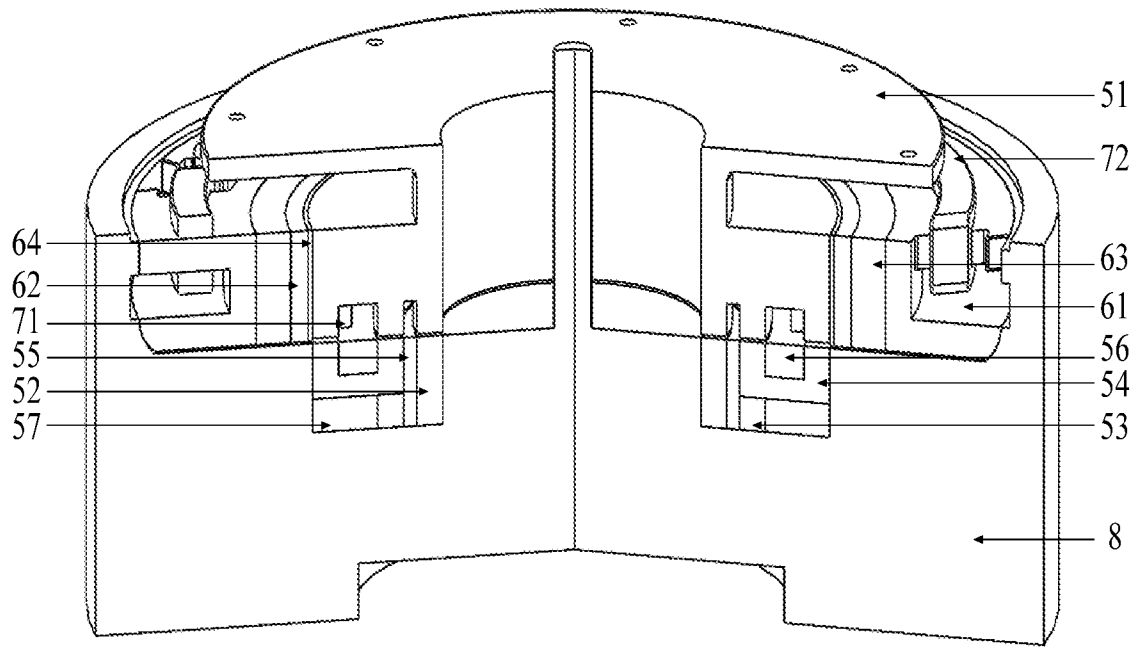


图 8

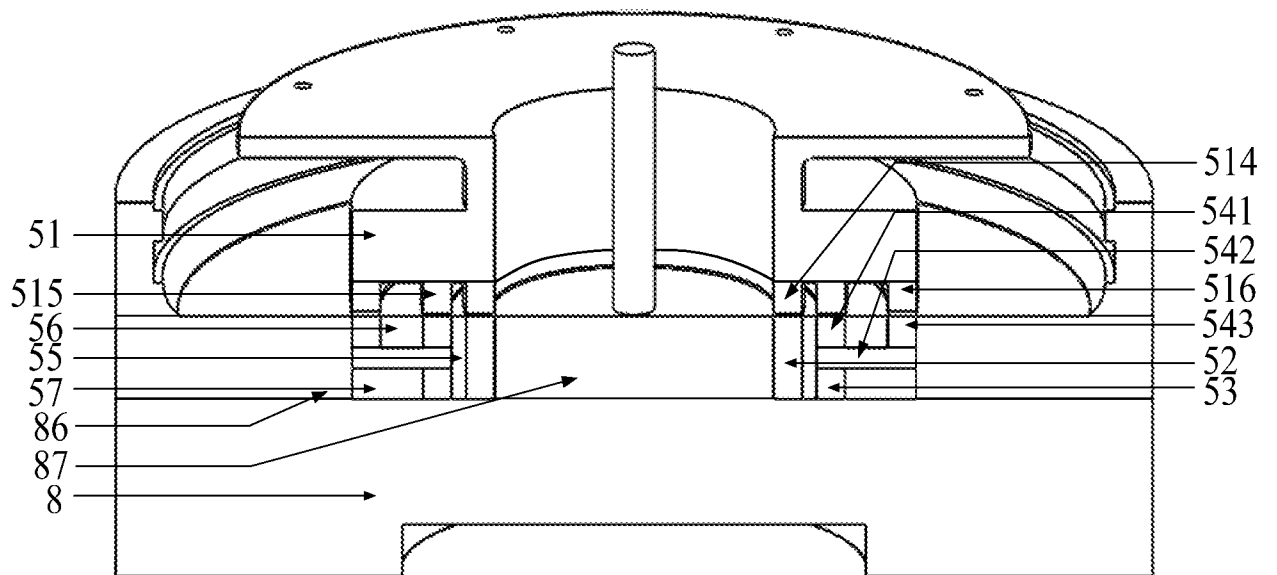


图 9

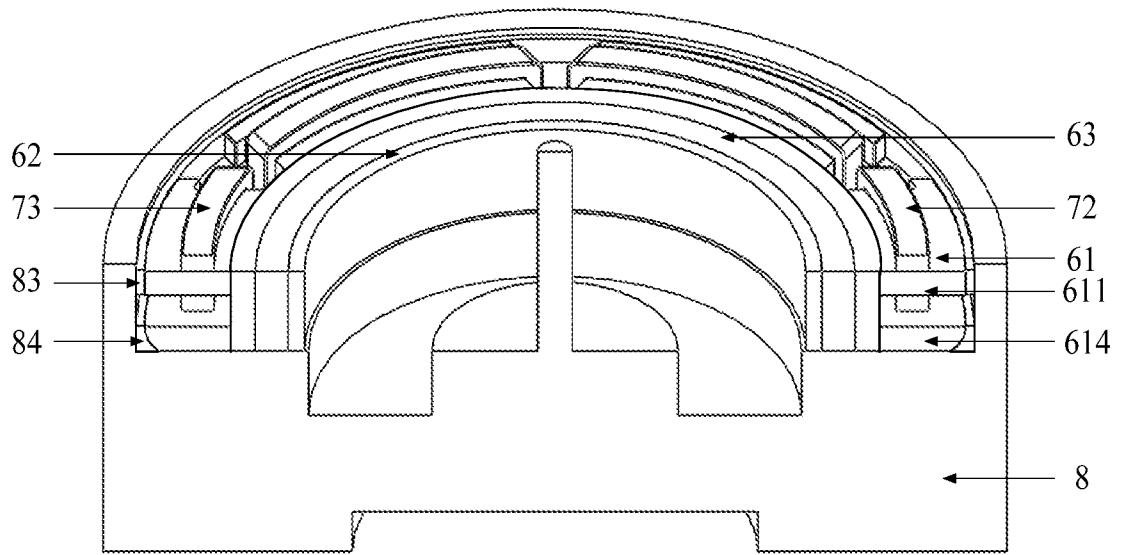


图 10

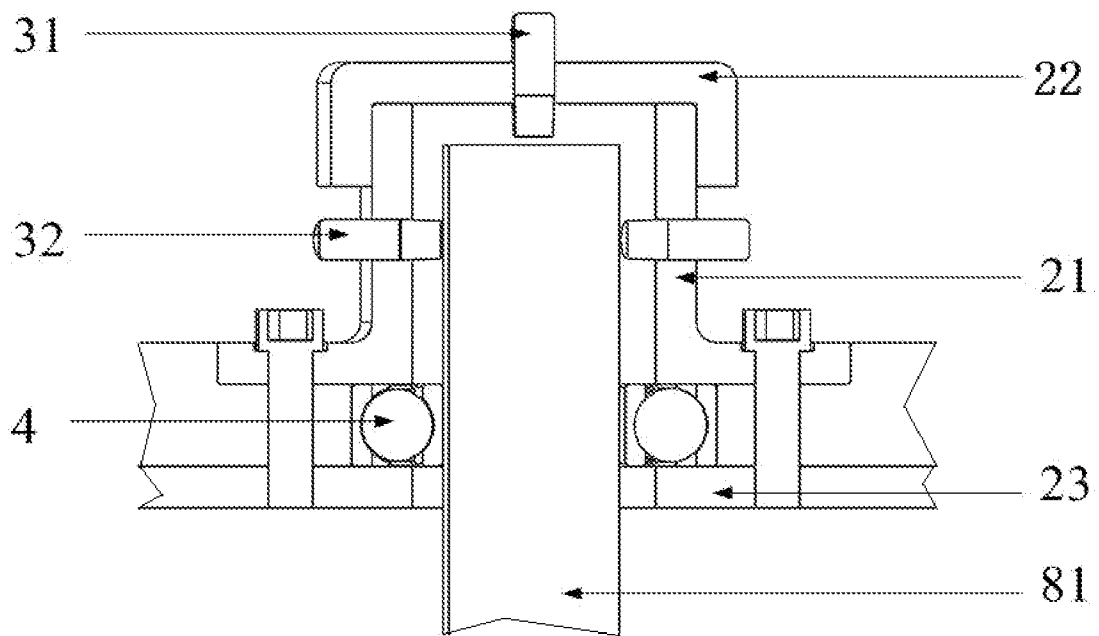


图 11

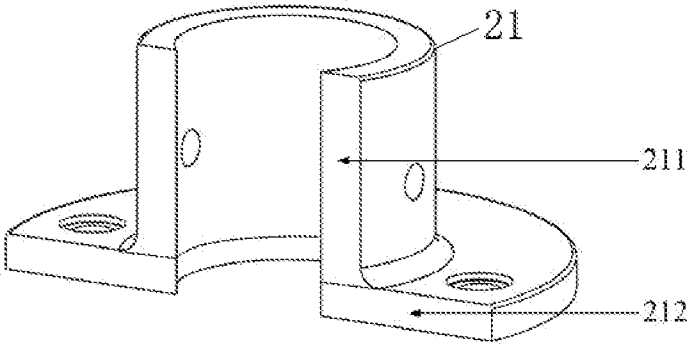


图 12

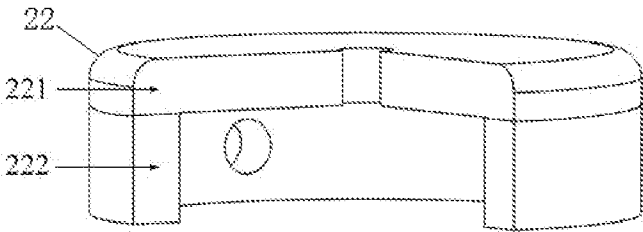


图 13

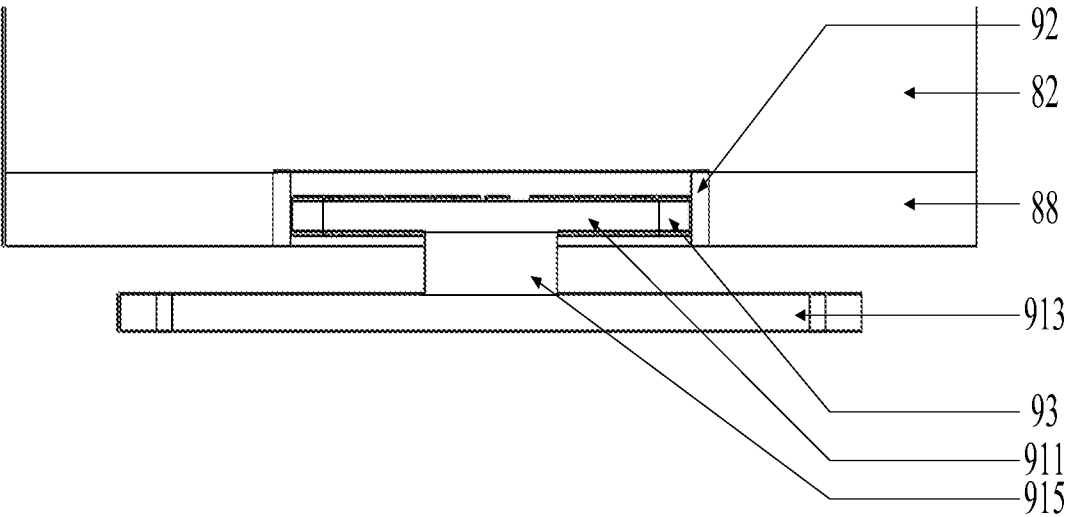


图 14

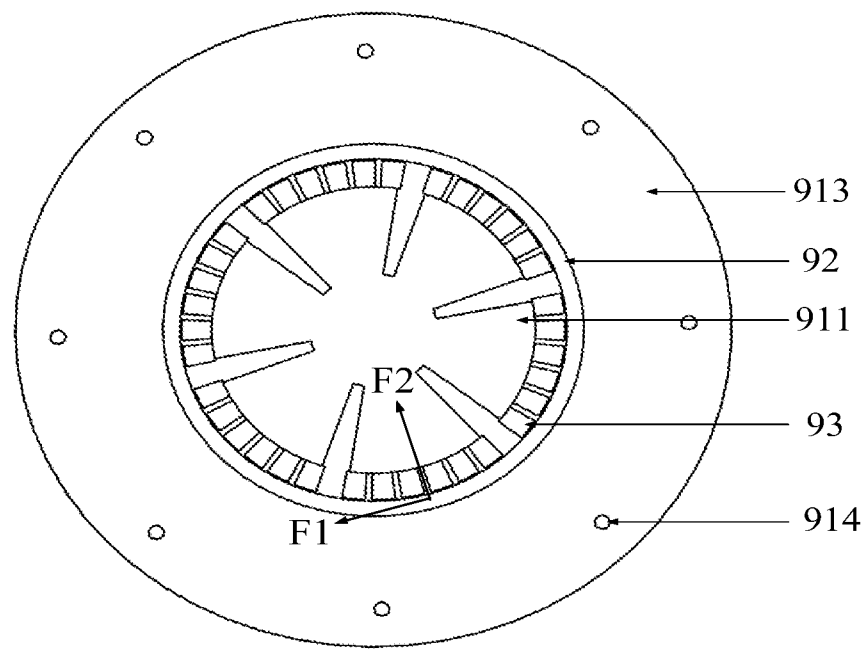


图 15

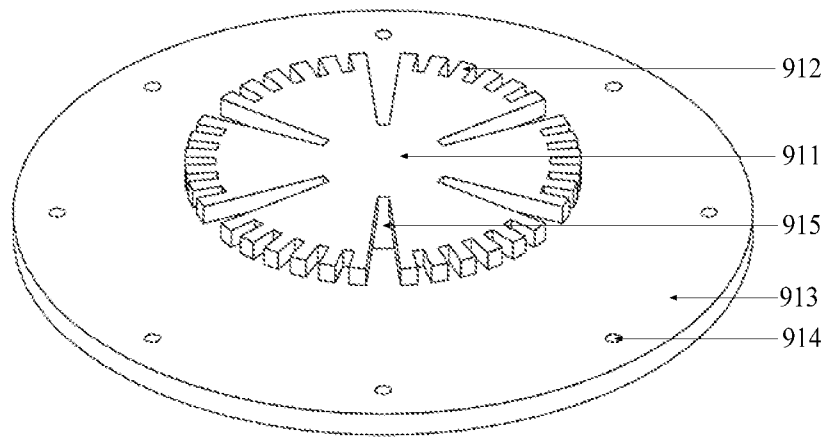


图 16

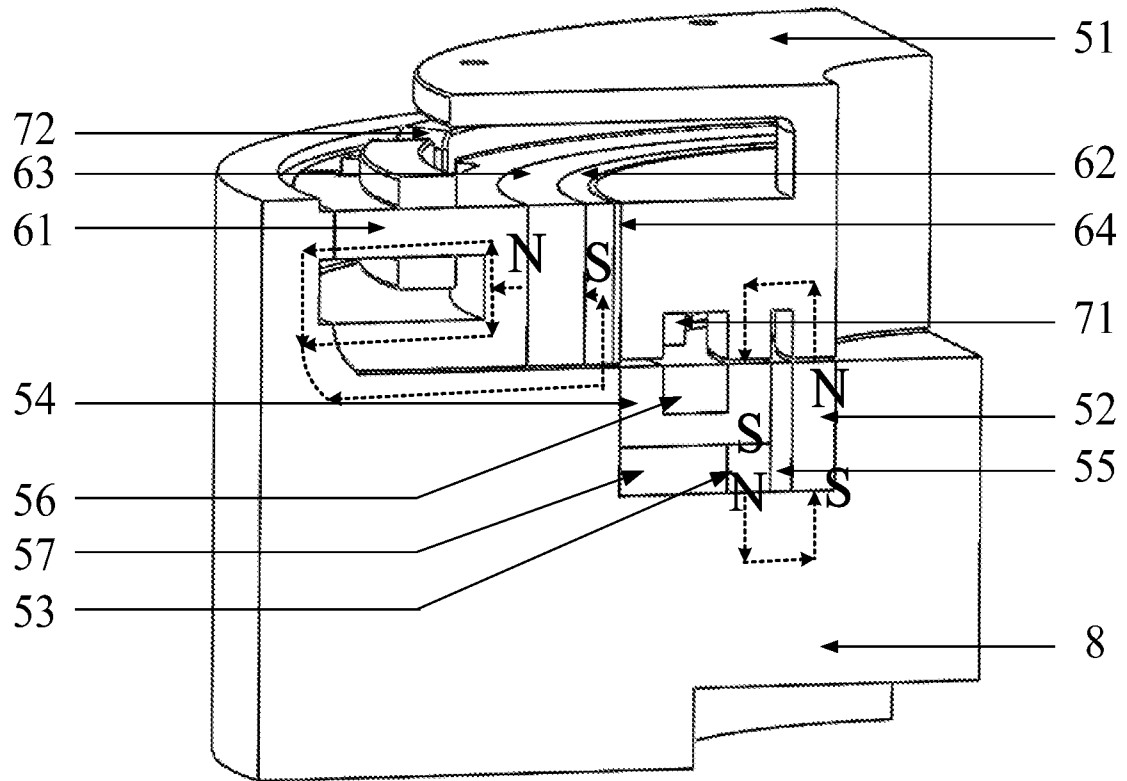


图 17

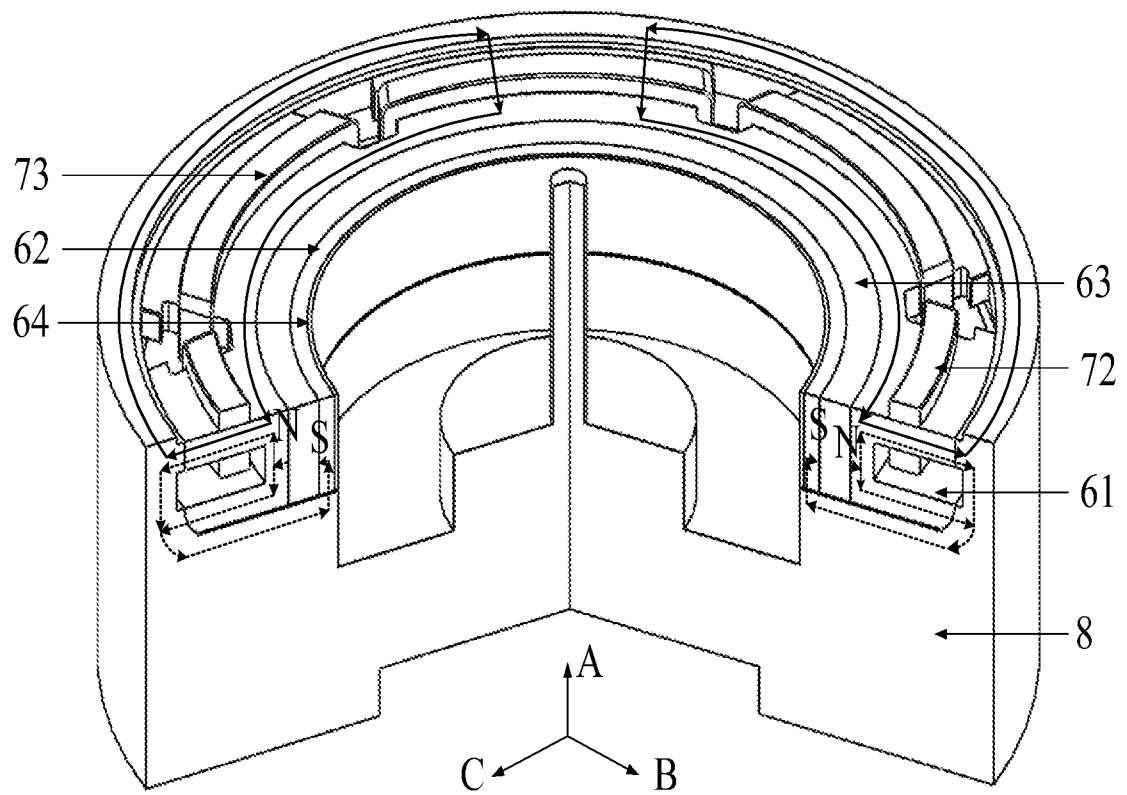


图 18

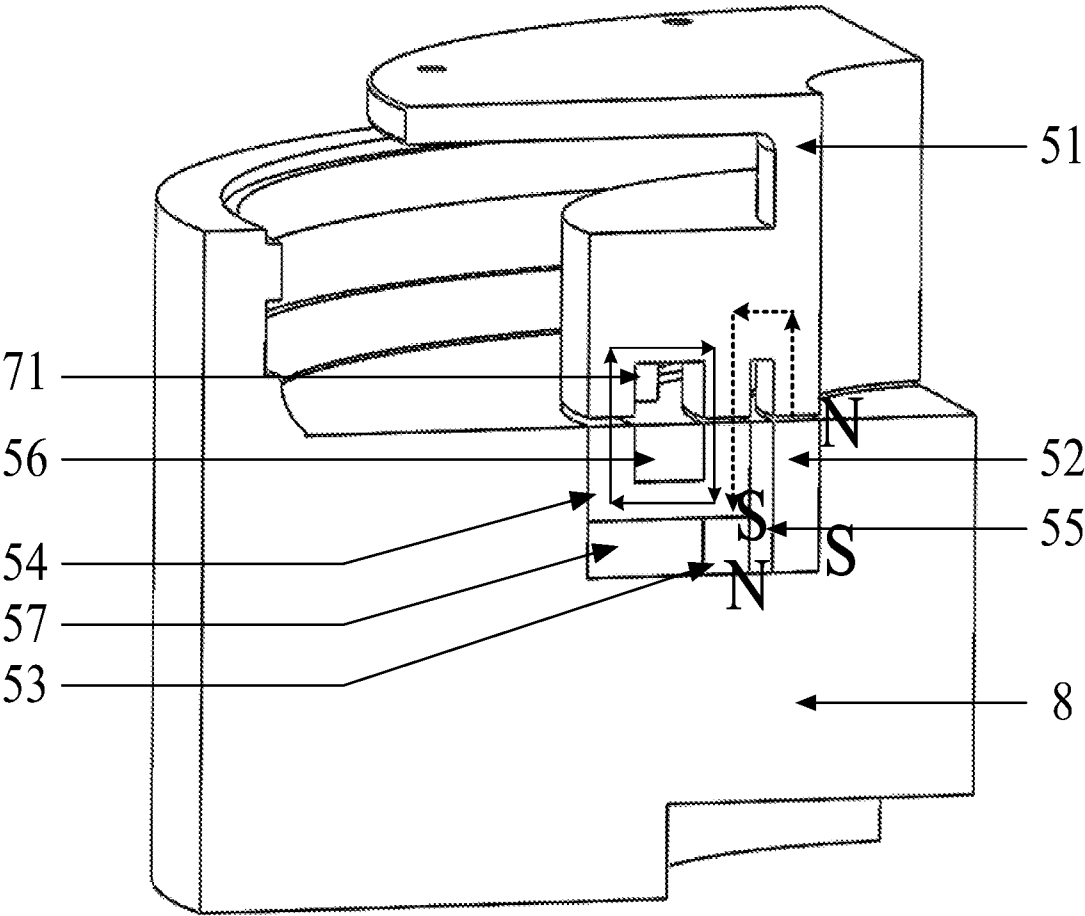


图 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/077586

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 7/02(2006.01)i; H02K 7/09(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K; F16C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI, CNABS, CNTXT, CNKI: 车, 飞轮, 转子, 定子, 电机, 导体板, vehicle, flywheel, rotor, stator, motor, conductor, plate

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102412664 A (LI, Mingshan) 11 April 2012 (2012-04-11) entire document	1-10
A	CN 107289004 A (JIANGSU UNIVERSITY) 24 October 2017 (2017-10-24) entire document	1-10
A	CN 107448474 A (JIANGSU UNIVERSITY) 08 December 2017 (2017-12-08) entire document	1-10
A	CN 102647123 A (ZHANG, Yubao) 22 August 2012 (2012-08-22) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 October 2019

Date of mailing of the international search report

30 October 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/077586

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	102412664	A	11 April 2012	KR	101415260 B1	04 July 2014
CN	107289004	A	24 October 2017	CN	107289004 B	02 April 2019
CN	107448474	A	08 December 2017	CN	107448474 B	05 February 2019
CN	102647123	A	22 August 2012	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/077586

A. 主题的分类

H02K 7/02 (2006.01) i; H02K 7/09 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H02K; F16C

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

DWPI, CNABS, CNTXT, CNKI: 车, 飞轮, 转子, 定子, 电机, 导体板, vehicle, flywheel, rotor, stator, motor, conductor, plate

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102412664 A (李明山) 2012年 4月 11日 (2012 - 04 - 11) 全文	1-10
A	CN 107289004 A (江苏大学) 2017年 10月 24日 (2017 - 10 - 24) 全文	1-10
A	CN 107448474 A (江苏大学) 2017年 12月 8日 (2017 - 12 - 08) 全文	1-10
A	CN 102647123 A (张玉宝) 2012年 8月 22日 (2012 - 08 - 22) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 10月 21日

国际检索报告邮寄日期

2019年 10月 30日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

李莉

电话号码 (86-10)62411773

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/077586

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102412664	A	2012年 4月 11日	KR	101415260	B1	2014年 7月 4日
CN	107289004	A	2017年 10月 24日	CN	107289004	B	2019年 4月 2日
CN	107448474	A	2017年 12月 8日	CN	107448474	B	2019年 2月 5日
CN	102647123	A	2012年 8月 22日	无			