

(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 11 月 5 日 (05.11.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/220428 A1

(51) 国际专利分类号:
B04B 9/02 (2006.01) *G01N 33/24* (2006.01)
B04B 15/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/089466

(22) 国际申请日: 2019 年 5 月 31 日 (31.05.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910350086.3 2019 年 4 月 28 日 (28.04.2019) CN

(71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 郑传祥 (ZHENG, Chuanxiang); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 林伟岸 (LIN, Weian); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 陈冰冰 (CHEN, Bingbing); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 蒋建群 (JIANG, Jianqun); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 陈云敏 (CHEN, Yunmin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 唐黎明 (TANG, Liming); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 林娇 (LIN, Jiao); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 窦丹阳 (DOU, Danyang); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(54) Title: VACUUM CAVITY STRUCTURE OF ULTRA-HIGH-GRAVITY GEOTECHNICAL CENTRIFUGAL DEVICE

(54) 发明名称: 一种超高重力土工离心装置真空腔体结构

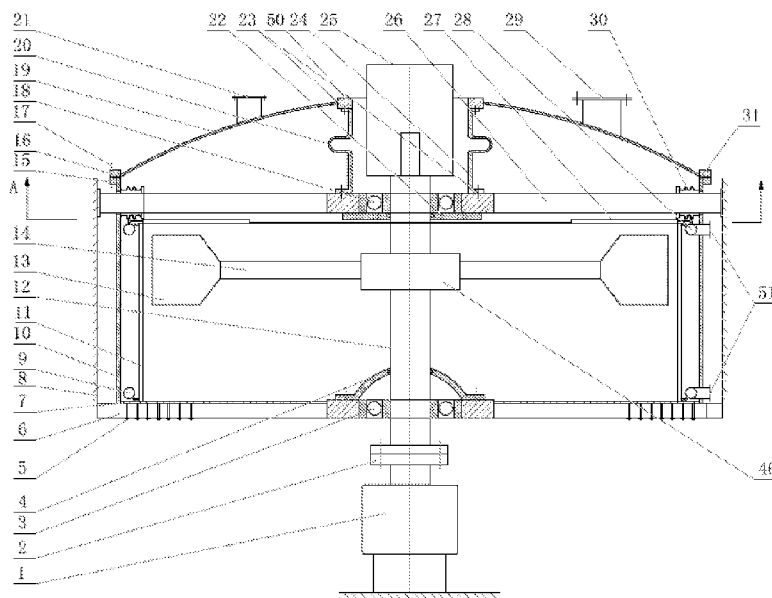


图 1

(57) Abstract: Provided is a vacuum cavity structure of an ultra-high-gravity geotechnical centrifugal device. The vacuum cavity structure comprises a cylindrical barrel (10); a convex sealing head (19), a lower sealing head (7), a lower bearing sealing cover (4), a top cylindrical barrel (24) and an upper sealing plate (22) constitute a vacuum pressure-bearing cavity; a high-speed rotor system (46) is surrounded in the vacuum pressure-bearing cavity; a cylindrical cooling device (11) is arranged between an inner side of the cylindrical barrel (10) and the high-speed rotor system (46); and an annular cooling device (27) is arranged directly above hanging baskets (13) at two sides of a rotating arm (14) of a centrifuge. A vibration isolation expansion joint (47) is arranged at an intersection of the high-speed

(74) 代理人：杭州求是专利事务所有限
公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE
CO.,LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区玉
古路 147 号黄鸿年科技综合大楼 215 室/
林超, Zhejiang 310013 (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,
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))。

rotor system (46) and the cylindrical barrel (10), such that the vibration of a host is isolated from the vacuum cavity, thereby greatly reducing the vibration; and a lower bearing system (3) and an upper bearing system (18) are placed outside the vacuum pressure-bearing cavity, such that the centrifuge operates with low power consumption under vacuum, and the bearing systems operate reliably under normal pressure. By means of the vacuum cavity structure, the gravitational acceleration of an ultra-high-gravity geotechnical centrifuge can reach more than 1500 g, and the problem of ultra-high-gravity geotechnical centrifuges having difficulties regarding a large amount of vibration and heat dissipation is solved.

(57) 摘要: 一种超高重力土工离心装置真空腔体结构, 包括圆柱形筒体 (10), 凸形封头 (19)、下封头 (7)、下轴承密封盖 (4)、顶部圆柱形筒体 (24) 和上封板 (22) 构成真空承压腔体; 高速转子系统 (46) 包围在该真空承压腔体里, 圆柱形筒体 (10) 的内侧与高速转子系统 (46) 之间设置有圆柱形冷却装置 (11), 离心机转臂 (14) 两侧的吊篮 (13) 正上方设置环形冷却装置 (27); 在高速转子系统 (46) 和圆柱形筒体 (10) 的交叉处, 设有隔振膨胀节 (47), 将主机振动与真空腔体隔离开, 大大减少振动; 将下轴承系统 (3) 和上轴承系统 (18) 置于真空承压腔体外, 从而使离心机在真空下低功耗运转, 而轴承系统在常压下可靠运转, 这种真空腔体结构能够使超重力土工离心机的重力加速度达到 1500g 以上, 解决了超高重力离心机振动大和散热难的难题。

一种超高重力土工离心装置真空腔体结构

技术领域

本发明涉及一种真空腔体结构，特别是涉及一种超高重力土工离心装置真空腔体结构。

背景技术

高加速度、高速土工离心机是研究岩土演变、地质构造演变、地质灾难还原等地质演变过程再现试验的必不可少的装置，振动和散热是超高重力机和土工离心机的两大突出难题。振动会引起结构的疲劳损伤，产热会引起舱内温度升高导致一起不能正常工作。随着加速度 g 的不断增加，土工离心机本身的散热问题成为一个难题，因为离心机的转速和线速度越高，转臂、吊篮与空气摩擦产生的热量越大。在加速度 $500g$ 以下时，一般可以采用冷风机组冷却，或者自然风流通冷却。但是当加速度增加到 $1000g$ 以上，甚至 $1500g$ 以上以后，直径 11 米的离心舱内产热量可达到 $10MW$ ，相当于 5 万平方米的大型空调机组的换热量，如此巨大的换热需要巨大的风量，而且风力过大会影响转臂的振动，因此传统冷风冷却已经不能满足高加速度离心机散热的需要，而温控解决不好，离心舱内的所有仪表均会出现问题，一般要求离心舱温度控制在 $45^{\circ}C$ 以下。一般多采用与离心壁四周冷水冷却相结合的方法冷却；但是当离心机的载荷进一步增加时，离心室内的产热量会进一步增加，这时候冷风冷却联合冷水冷却也无法达到散热的要求。为了解决这个问题，最有效的方法是对离心室抽真空，降低空气的密度以降低转臂与空气的摩擦生热，但是抽真空后会引发另外的问题，一是由于真空状态下空气分子稀薄，传热能力也大幅下降，且真空状态下空气无法对流，因此，转臂与空气摩擦引起的转臂温度升高的热量无法被有效传递出去。另一个问题是高真空下离心机的轴承会漏油，离心舱四周的密封都变得困难，故真空度不能太高。

目前有关土工离心机试验舱散热的专利主要有本单位浙江大学刘国贵等的CN201210056367.6“土工离心机试验舱的喷淋水幕式冷却装置”，提出了一种采用离心舱四周喷淋冷却水的方法进行散热的方法，效果很好，但是当加速度增加到 $1000g$ 以上，仅仅依靠水冷也达不到散热控温的目的；冷风冷却属于常规技术，自然风冷却是采用离心机本身的空气流场达到流通冷却，其他冷却散热技术未见报道。

发明内容

为了解决超高加速度土工离心机轴承系统漏油和主机振动的问题，主机室抽真空是很好的选择，本发明的目的在于提供一种超高重力土工离心装置真空腔体结构，顶部设置轴承系统使高速转子的刚性大大增强，减少了主机的振动，将轴承系统通过特殊方法隔离在真空腔体以外，彻底解决漏油问题；采用特殊隔振装置将主机的振动与真空腔体隔离，达到安全运行的要求。采用内置式散热技术，采用蛇式弯曲流道以增加散热效率，采用曲面板式换热器，

确保内壁面风阻功率没有改变，从而实现低能耗、可靠温控的目的，顶部设置轴承系统使高速转子的刚性大大增强，减少了主机的振动。

为了达到上述发明目的，本发明采用的技术方案是：

本发明包括圆柱形筒体、凸形封头、下封头、下轴承密封盖、顶部圆柱形筒体和上封板用密封圈密封构成真空承压腔体；高速转子系统被包围在该真空承压腔体里面，圆柱形筒体的内侧与高速转子系统之间设置有圆柱形冷却装置，高速转子系统的主轴下端经下轴承密封盖和下轴承系统，伸出下封头后，再依次与联轴器和马达连接，将下轴承系统、联轴器和马达隔离于真空承压腔体外；高速转子系统的主轴上端经上封板和上轴承系统与安装在顶部圆柱形筒体内的仪器舱连接；将上轴承系统和位于凸形封头中心处的顶部圆柱形筒体内的仪器舱隔离于真空承压腔体外；上轴承系统支撑装置由上轴承支撑环和多根大梁构成放射形的支撑结构，每根大梁的一端与上轴承支撑环连接，另一端穿过圆柱形筒体后与连接垫板连接，每块连接垫板再连接到侧面混凝土上，上轴承系统安装于上轴承支撑环内；多根大梁一端四周与圆柱形筒体的交叉开孔为间隙配合，每根大梁分别通过大梁防振隔离装置与圆柱形筒体通过垫片构成密封连接；高速转子系统的离心机转臂两侧分别装有吊篮，每根大梁上面位于吊篮正上方的位置设置环形冷却装置；圆柱形筒体上开有多个侧壁接管和一个侧门，凸形封头上开有真空抽气管、吊装孔、进气管、真空复压管和备用接管；圆柱形冷却装置和环形冷却装置与上集液管和下集液管联通，上集液管穿过圆柱形筒体连接到冷冻机的低温出口，下集液管穿过圆柱形筒体连接到冷冻机的回水进口；圆柱形筒体的侧面开有侧门。

所述顶部圆柱形筒体，在其圆柱形筒身中间位置设置有一个或多个 U 形或者 Ω 形的隔振装置，顶部圆柱形筒体上端与凸形封头通过凸缘法兰与密封圈密封连接，顶部圆柱形筒体下端与上轴承支撑环通过另一密封圈密封连接，上轴承支撑环底部用上封板密封连接后与主轴动密封连接。

所述大梁防振隔离装置，由大梁圆柱形筒体和位于筒体中间部位的一个或者多个 U 形或者 Ω 形的隔振膨胀节组成，大梁防振隔离装置的一端焊接或者通过垫片密封联接于大梁上，另一端通过垫片密封连接于圆柱形筒体上。

所述圆柱形冷却装置，它由多块弧形的冷却单元组装成一个完整的圆形筒，每一个冷却单元组由上侧板、焊于上侧板的进水接管、下侧板、外侧板和内侧板、左侧板、右侧板及焊于下侧板上的进水接管组成一个密闭的腔体；上侧板、下侧板、左侧板、右侧板是弧形隔板形状，均为外圈为凸弧形、内圈为凹弧形的板，外侧板和内侧板通过多个弧形隔板相间焊接在左侧板或右侧板，构成 S 形流道；进水接管与上集液管相连通，出水接管与下集液管相连通；环形冷却装置与圆柱形冷却装置结构相似的多个平板冷却单元组成。

所述下封头，采用预埋在底部混凝土中的拉筋焊接或者铆接固定于底部混凝土上，下封头与圆柱形筒体底端焊接成一体。

所述上轴承系统，由上轴承支撑环和固定于上轴承支撑环上的多根大梁支撑到连接垫板上，连接垫板固定于侧面混凝土上。

所述圆柱形冷却装置和环形冷却装置的材料为铝合金、不锈钢或低碳钢。

本发明具有的有益效果体现在：

1)由于轴承系统置于真空腔体之外，可以采用高真空度下运转，解决目前高速转子轴承系统真空下渗油、漏油问题；

2)将散热设备置于真空腔体内部，可以将换热系数进一步提高，增加散热效果；

3)区别于传统土工离心机采用单轴承系统悬臂梁转子，本发明的高速转子设置上轴承系统，大大增加了高速转子的刚度和运行稳定性，解决高速转子振动大的问题；

4)在高速转子系统和圆柱形筒体的交叉处，采用一个或者多个 U 形或者 Ω 形的隔振膨胀节，将主机振动与真空腔体隔离开，大大减少振动；

5)将上轴承支撑环与凸形封头采用一个或者多个 U 形或者 Ω 形的隔振膨胀节，将上轴承系统的振动与真空腔体隔开，同时将凸形封头的变形与上轴承系统隔开。

因此，本发明在加速度增加到 1500g 以上运行时，离心舱内温度均能控制在 45℃ 以下。

附图说明

图 1 是本发明的结构主视剖面图。

图 2 是图 1 的 A-A 的横截面图。

图 3 是圆柱形冷却装置的结构图。

图 4 是圆柱形冷却装置的俯视图。

图 5 是大梁防振隔离装置的连接图。

图 6 是环向冷却装置示意图

图中：1、马达，2、联轴器，3、下轴承系统，4、下轴承密封盖，5、拉筋，6、底部混凝土，7、下封头，8、侧面混凝土，9、下集液管，10、圆柱形筒体，11、圆柱形冷却装置，12、主轴，13、吊篮，14、离心机转臂，15、下密封法兰，16、上密封法兰，17、压紧装置，18、上轴承系统，19、凸形封头，20、隔振装置，21、真空抽气管，22、上封板，23、密封圈，24、顶部圆柱形筒体，25、仪器舱，26、上轴承系统支撑装置，27、环形冷却装置，28、上集液管，29、吊装孔，30、大梁防振隔离装置，31、密封垫片，32、大梁，33、上轴承支撑环，34、进气管，35、真空复压管，36、外侧板，37、内侧板，38、上侧板，39、进液管，40、弧形隔板，41、右侧板，42、S 形流道，43、左侧板，44、出液管，45、连接垫板，46、高速转子系统，47、隔振膨胀节，48、垫片，49、连接板，50、凸缘法兰，51、侧壁接管，52、侧门，53、备用接管，54、大梁圆柱形筒体，55、下侧板，56、环形冷却单元。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明作进一步的说明。

如图 1、图 2 所示, 本发明包括圆柱形筒体 10、凸形封头 19、下封头 7、下轴承密封盖 4、顶部圆柱形筒体 24 和上封板 22、下密封法兰 15 和上密封法兰 16 及位于二法兰之间的密封垫片 31 用压紧装置 17 压紧的可拆密封构成真空承压腔体; 圆柱形筒体 10 上端连接安装上轴承系统支撑装置 26 和凸形封头 19, 凸形封头 19 位于上轴承系统支撑装置 26 上方, 凸形封头 19 和上轴承系统支撑装置 26 中心内孔之间通过顶部圆柱形筒体 24 连接, 圆柱形筒体 10 下端连接安装下封头 7, 下轴承密封盖 4, 离心机的主轴 12 套装在上轴承系统支撑装置 26 和下轴承密封盖 4 的中心内孔中, 圆柱形筒体 10 上端固接下密封法兰 15, 凸形封头 19 外圈下端固接上密封法兰 16, 下密封法兰 15 和上密封法兰 16 密封固接, 使得圆柱形筒体 10 上端和凸形封头 19 密封固接。

高速转子系统 46 被包围在该真空承压腔体里面, 圆柱形筒体 10 的内侧与高速转子系统 46 之间设置有圆柱形冷却装置 11, 高速转子系统 46 的主轴 12 下端经下轴承密封盖 4 和下轴承系统 3, 伸出下封头 7 后, 再依次与联轴器 2 和马达 1 连接, 主轴 12 经下轴承系统 3 套装于下封头 7 的中心内孔中, 下轴承系统 3 通过下轴承密封盖 4 轴向定位安装, 将下轴承系统 3、联轴器 2 和马达 1 隔离于真空承压腔体外; 高速转子系统 46 的主轴 12 上端经上封板 22 和上轴承系统 18 与安装在顶部圆柱形筒体 24 内的仪器舱 25 连接; 将上轴承系统 18 和位于凸形封头 19 中心处的顶部圆柱形筒体 24 内的仪器舱 25 隔离于真空承压腔体外。

上轴承系统支撑装置 26 由上轴承支撑环 33 和多根大梁 32(图 2 中为八根大梁)构成放射形的支撑结构, 每根大梁 32 的一端与上轴承支撑环 33 连接, 另一端穿过圆柱形筒体 10 后与连接垫板 45 连接, 每块连接垫板 45 再连接到侧面混凝土 8 上, 上轴承系统 18 安装于上轴承支撑环 33 内; 多根大梁 32 一端四周与圆柱形筒体 10 的交叉开孔为间隙配合, 即交叉开孔有 10mm 以下的间隙, 每根大梁 32 分别通过大梁防振隔离装置 30 与圆柱形筒体 10 通过垫片 48 构成密封连接。

高速转子系统 46 的离心机转臂 14 两侧分别装有吊篮 13, 每根大梁 32 上位于吊篮 13 正上方的位置设置环形冷却装置 27。

如图 2 所示, 圆柱形筒体 10 上开有多个侧壁接管 51 和一个侧门 52, 凸形封头 19 上开有真空抽气管 21、吊装孔 29、进气管 34、真空复压管 35 和备用接管 53; 圆柱形冷却装置 11 和环形冷却装置 27 均与上集液管 28 和下集液管 9 联通, 上集液管 28 穿过圆柱形筒体 10 经各自的侧壁接管 51 连接到冷冻机的低温出口, 下集液管 9 穿过圆柱形筒体 10 经各自的侧壁接管 51 连接到冷冻机的回水进口; 圆柱形筒体 10 的侧面开有侧门 52。

如图 1、图 2 所示, 所述顶部圆柱形筒体 24, 在其圆柱形筒身中间位置设置有一个或多个 U 形或者 Ω 形的隔振装置 20, 隔振装置 20 为设置于顶部圆柱形筒体 24 中间部位将顶部圆柱形筒体 24 筒壁弯折成环形的截面为 U 形或者 Ω 形的结构, 顶部圆柱形筒体 24 上端与凸形封头 19 通过凸缘法兰 50 与密封圈 23 密封连接, 凸缘法兰 50 密封连接在凸形封头 19 内圈,

凸缘法兰 50 下端面经密封圈 23 和顶部圆柱形筒体 24 上端密封连接，顶部圆柱形筒体 24 下端与上轴承支撑环 33 通过另一密封圈 23 密封连接，上轴承支撑环 33 底部用上封板 22 密封连接后与主轴 12 动密封连接。

如图 2、图 5 所示，所述大梁防振隔离装置 30，由大梁圆柱形筒体 54 和位于筒体中间部位的一个或者多个 U 形或者 Ω 形的隔振膨胀节 47 组成，隔振膨胀节 47 为设置于大梁圆柱形筒体 54 中间部位将大梁圆柱形筒体 54 筒壁弯折成环形的截面为 U 形或者 Ω 形的结构，大梁防振隔离装置 30 的一端焊接或者通过垫片 48 和连接板 49 密封联接于大梁 32 上，具体是先通垫片 48 连接到环形的连接板 49 上，环形的连接板 49 再密封套装于大梁 32 外，另一端通过垫片 48 密封连接于圆柱形筒体 10 上。

如图 3、图 4、图 6 所示，所述圆柱形冷却装置 11，它由多块弧形柱体的冷却单元组装成一个完整的圆形筒，每一个冷却单元组由上侧板 38、焊于上侧板 38 的进液管 39、下侧板 55、外侧板 36 和内侧板 37、左侧板 43、右侧板 41 及焊于下侧板 55 上的出液管 44 组成一个密闭的腔体；上侧板 38、下侧板 55、左侧板 43、右侧板 41 是弧形隔板形状，均为外圈为凸弧形、内圈为凹弧形的板，外侧板 36 和内侧板 37 通过多个弧形隔板 40 相间焊接在左侧板 43 或右侧板 41，构成 S 形流道 42，S 形流道 42 沿柱体轴向布置；进液管 39 与上集液管 28 相连通，出液管 44 与下集液管 9 相连通。环形冷却装置 27 与圆柱形冷却装置 11 结构相似，是主要由多个弧形盘状的平板冷却单元 56 组成，其 S 形流道沿盘状径向布置，其进液管和出液管分别与上集液管 28 下集液管 9 相连通。

如图 2、图 5 所示，所述下封头 7，采用预埋在底部混凝土 6 中的拉筋 5 焊接或者铆接固定于底部混凝土 6 上，下封头 7 与圆柱形筒体 10 底端焊接成一体。

所述上轴承系统 18，由上轴承支撑环 33 和固定于上轴承支撑环 33 上的多根大梁 32 支撑到连接垫板 45 上，连接垫板 45 固定于侧面混凝土 8 上。

所述圆柱形冷却装置 11 和环形冷却装置 27 的材料为铝合金、不锈钢或低碳钢等导热系数高的材料制成。

本发明的工作原理：

在高速转子的吊篮里面放置所需的实验物品后，关闭整个真空腔体的所有门和吊装孔阀门，打开进风管和出风管的阀门，开启冷风冷却系统；同时打开上集液管和下集液管的阀门，开启冷冻机组，开启圆柱形冷却装置和顶部环形冷却装置。开启超高重力离心机主机，开始工作。当真空腔体内的温度上升到 40 度时，如果仍有上升趋势，关闭风冷系统，打开真空抽气管阀门，开启真空泵抽真空，此时圆柱形冷却装置和顶部环形冷却装置继续工作，当真空腔体内的温度不再上升时。停止真空泵抽气，保持真空下工作。当温度继续下降到 20 度以下时，可以调节真空度或者调节冷冻机的出液量来控制真空腔体内的温度在 20-45 度之间工作。

主机需要停机时，关闭真空泵，开启复压阀，关闭冷冻机，关闭圆柱形冷却装置和顶部环形冷却装置，打开侧门，取出试件。一个试验结束。

权利要求书

1、超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：包括圆柱形筒体(10)、凸形封头(19)、下封头(7)、下轴承密封盖(4)、顶部圆柱形筒体(24)和上封板(22)用密封圈密封构成真空承压腔体；高速转子系统(46)被包围在该真空承压腔体里面，圆柱形筒体(10)的内侧与高速转子系统(46)之间设置有圆柱形冷却装置(11)，高速转子系统(46)的主轴(12)下端经下轴承密封盖(4)和下轴承系统(3)，伸出下封头(7)后，再依次与联轴器(2)和马达(1)连接，将下轴承系统(3)、联轴器(2)和马达(1)隔离于真空承压腔体外；高速转子系统(46)的主轴(12)上端经上封板(22)和上轴承系统(18)与安装在顶部圆柱形筒体(24)内的仪器舱(25)连接；将上轴承系统(18)和位于凸形封头(19)中心处的顶部圆柱形筒体(24)内的仪器舱(25)隔离于真空承压腔体外；上轴承系统支撑装置(26)由上轴承支撑环(33)和多根大梁(32)构成放射形的支撑结构，每根大梁的一端与上轴承支撑环(33)连接，另一端穿过圆柱形筒体(10)后与连接垫板(45)连接，每块连接垫板(45)再连接到侧面混凝土(8)上，上轴承系统(18)安装于上轴承支撑环(33)内；多根大梁(32)一端四周与圆柱形筒体(10)的交叉开孔为间隙配合，每根大梁分别通过大梁防振隔离装置(30)与圆柱形筒体(10)通过垫片(48)构成密封连接；高速转子系统(46)的离心机转臂(14)两侧分别装有吊篮(13)，每根大梁上面位于吊篮(13)正上方的位置设置环形冷却装置(27)；圆柱形筒体(10)上开有多个侧壁接管(51)和一个侧门(52)，凸形封头(19)上开有真空抽气管(21)、吊装孔(29)、进气管(34)、真空复压管(35)和备用接管(53)；圆柱形冷却装置(11)和环形冷却装置(27)与上集液管(28)和下集液管(9)联通，上集液管(28)穿过圆柱形筒体(10)连接到冷冻机的低温出口，下集液管(9)穿过圆柱形筒体(10)连接到冷冻机的回水进口；圆柱形筒体(10)的侧面开有侧门(52)。

2、根据权利要求1所述的超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：所述顶部圆柱形筒体(24)，在其圆柱形筒身中间位置设置有一个或多个U形或者 Ω 形的隔振装置(20)，顶部圆柱形筒体(24)上端与凸形封头通过凸缘法兰(50)与密封圈密封连接，顶部圆柱形筒体(24)下端与上轴承支撑环(33)通过另一密封圈密封连接，上轴承支撑环(33)底部用上封板(22)密封连接后与主轴动密封连接。

3、根据权利要求1所述的超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：所述大梁防振隔离装置(30)，由大梁圆柱形筒体(54)和位于筒体中间部位的一个或者多个U形或者 Ω 形的隔振膨胀节(47)组成，大梁防振隔离装置(30)的一端焊接或者通过垫片(48)密封联接于大梁(32)上，另一端通过垫片(48)密封连接于圆柱形筒体(10)上。

4、根据权利要求1所述的超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：所述圆柱形冷却装置(11)，它由多块弧形的冷却单元组装成一个完整的圆形筒，每一个冷却单元组由上侧板(38)、焊于上侧板(38)的进水接管(39)、下侧板(55)、外侧板(36)和内侧板(37)、左侧板

(43)、右侧板(41)及焊于下侧板(55)上的进水接管(44)组成一个密闭的腔体；上侧板(38)、下侧板(55)、左侧板(43)、右侧板(41)是弧形隔板形状，均为外圈为凸弧形、内圈为凹弧形的板，外侧板(36)和内侧板(37)通过多个弧形隔板(40)相间焊接在左侧板(43)或右侧板(41)，构成 S 形流道(42)；进水接管(39)与上集液管(28)相连通，出水接管(44)与下集液管(9)相连通；环形冷却装置(27)与圆柱形冷却装置(11)结构相似的多个平板冷却单元(56)组成。

5、根据权利要求 1 所述的一种超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：所述下封头(7)，采用预埋在底部混凝土(6)中的拉筋(5)焊接或者铆接固定于底部混凝土(6)上，下封头(7)与圆柱形筒体(10)底端焊接成一体。

6、根据权利要求 1 所述的超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：所述上轴承系统(18)，由上轴承支撑环(33)和固定于上轴承支撑环(33)上的多根大梁(32)支撑到连接垫板(45)上，连接垫板(45)固定于侧面混凝土(8)上。

7、根据权利要求 1 所述的超高重力土工离心装置真空腔体结构，其特征在于：所述圆柱形冷却装置(11)和环形冷却装置(27)的材料为铝合金、不锈钢或低碳钢。

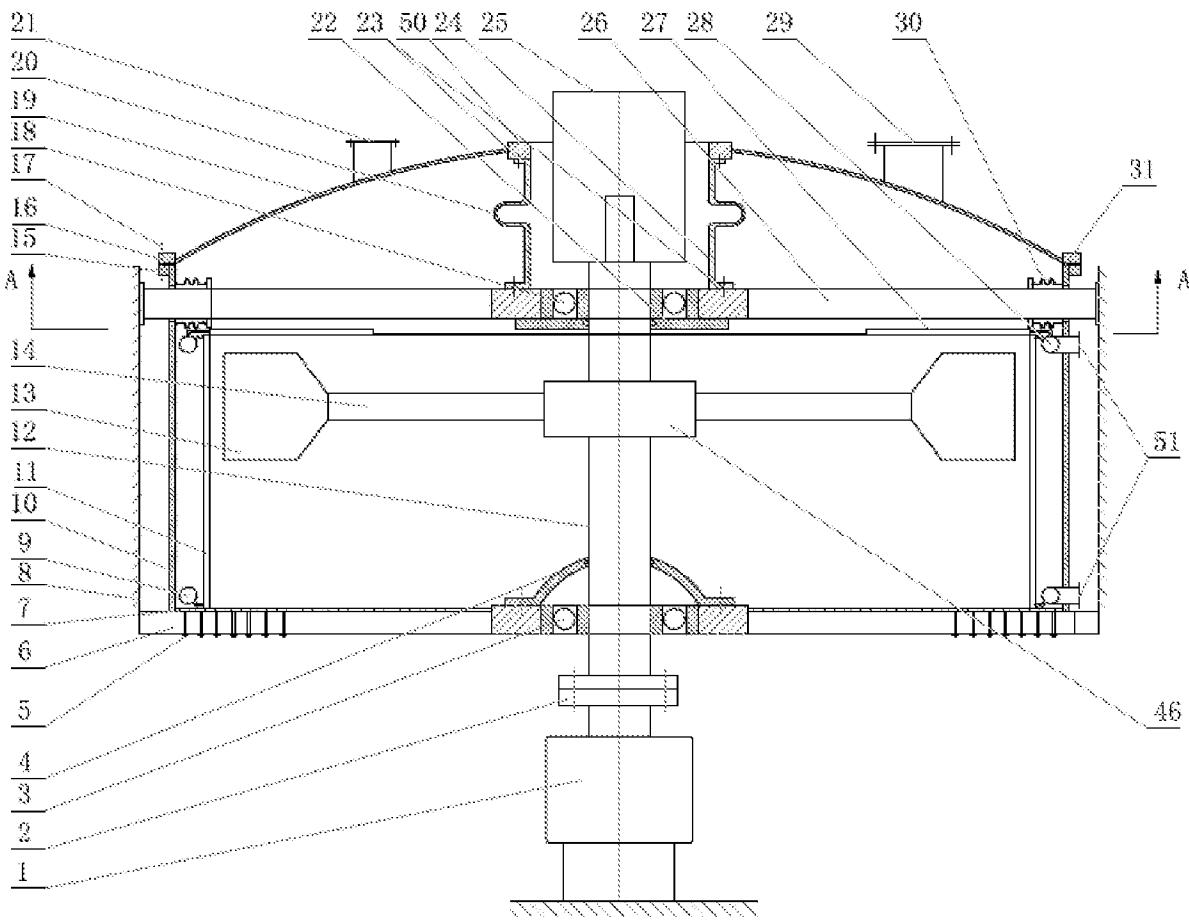


图 1

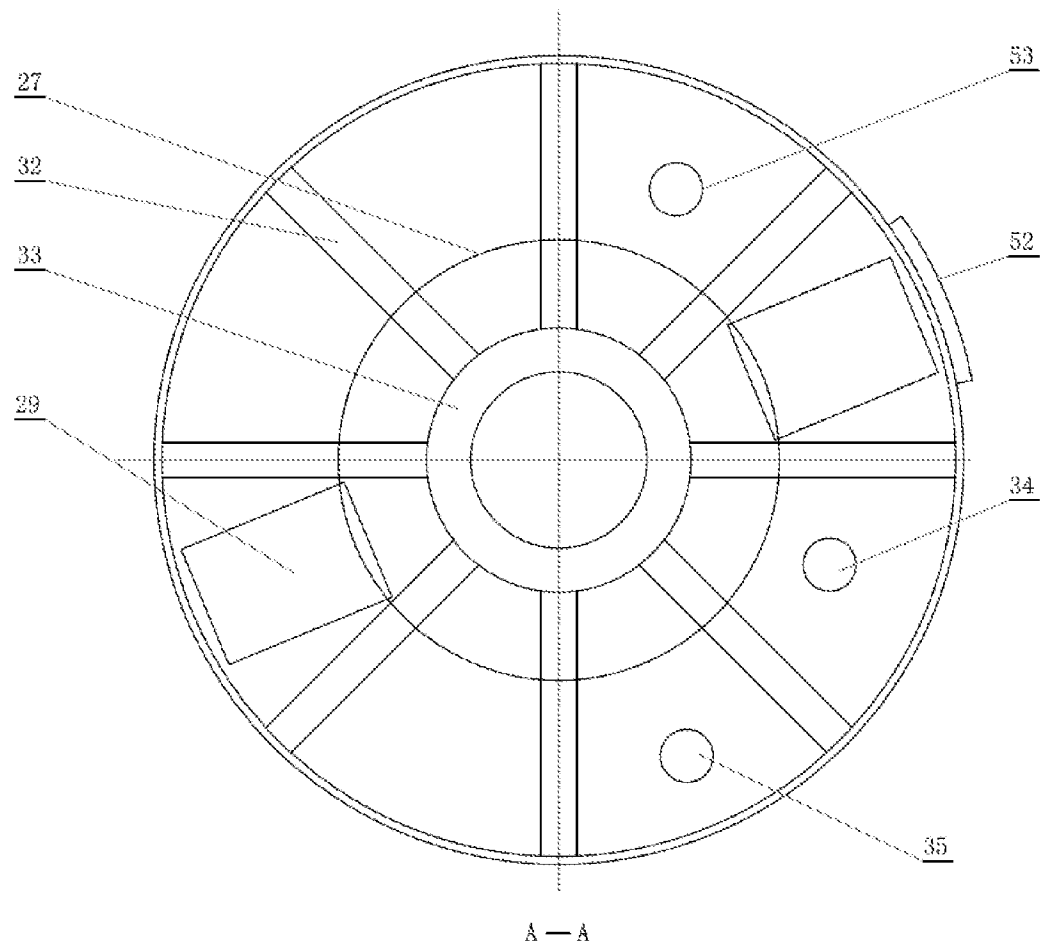


图 2

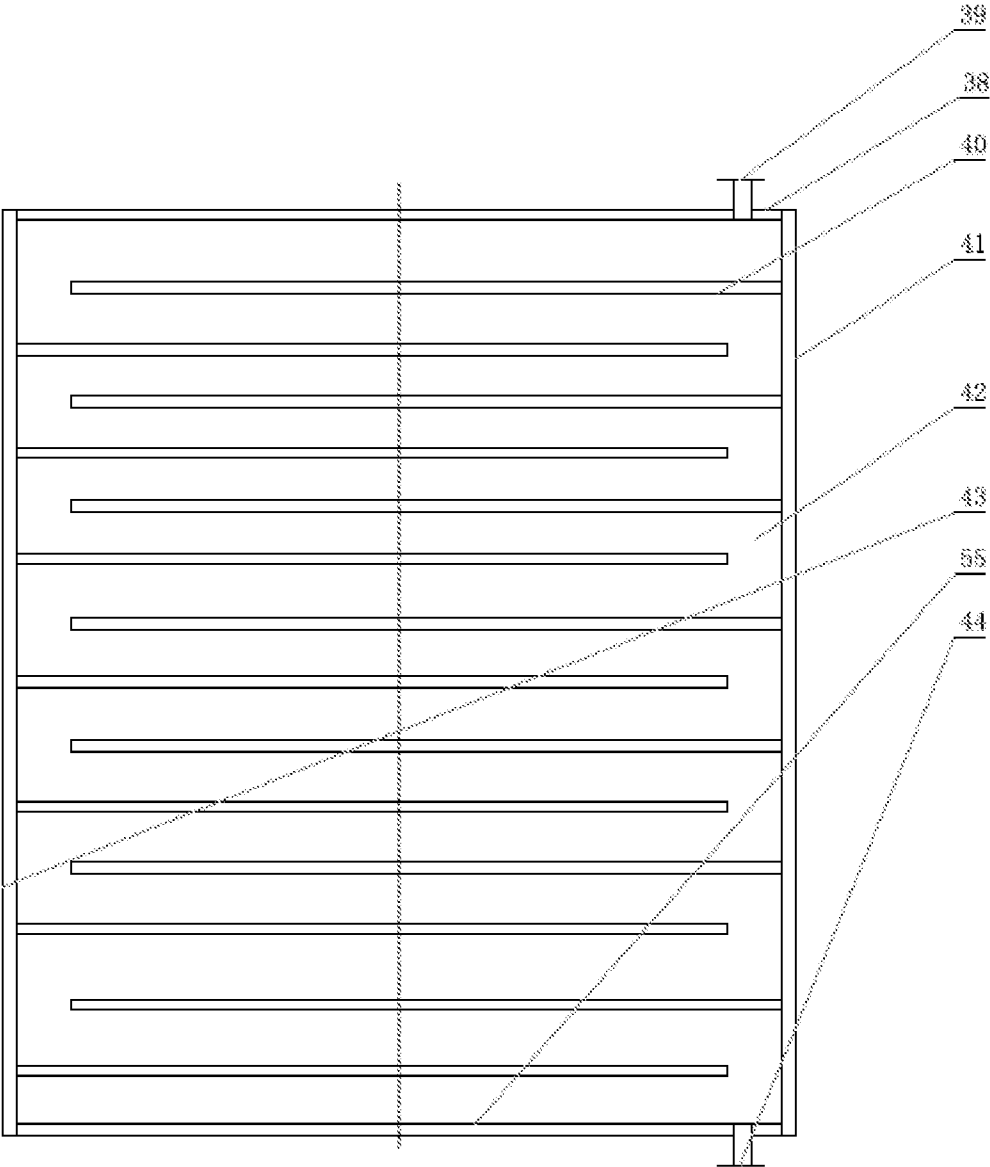


图 3

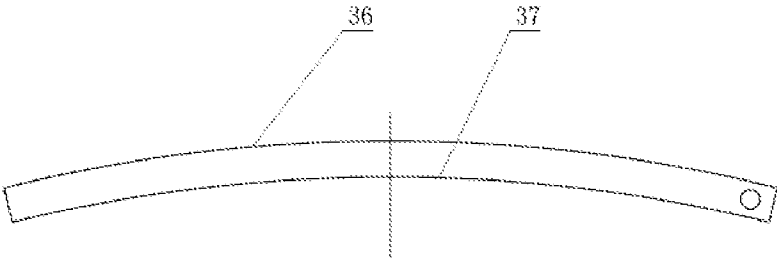


图 4

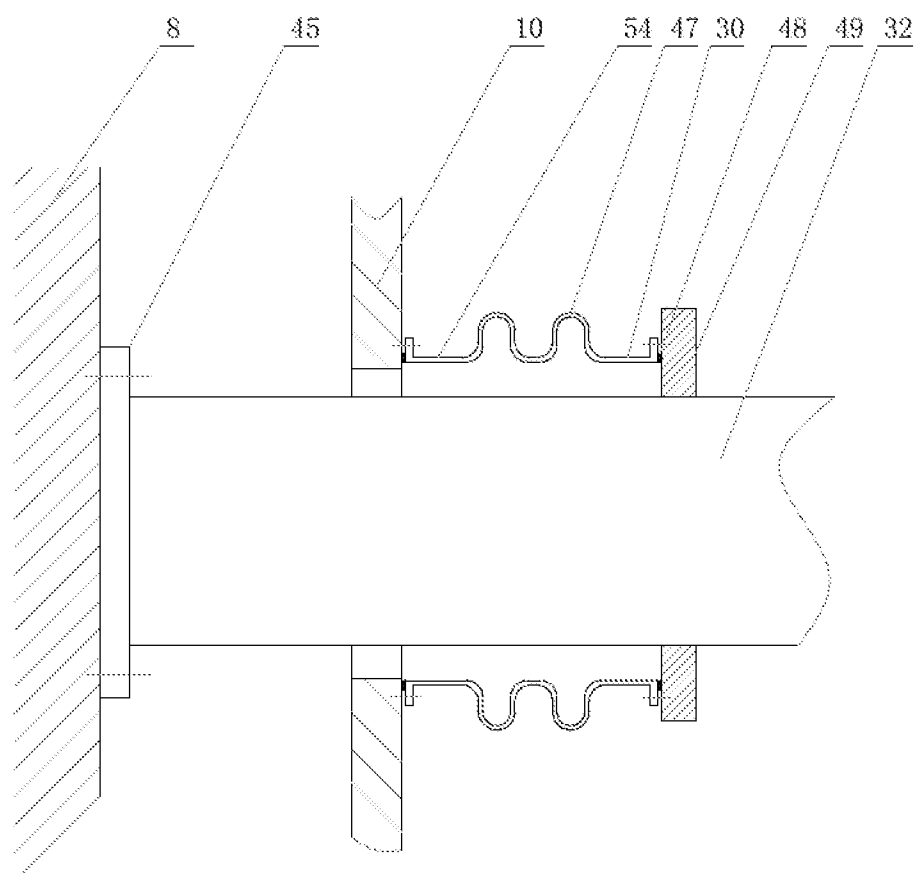


图 5

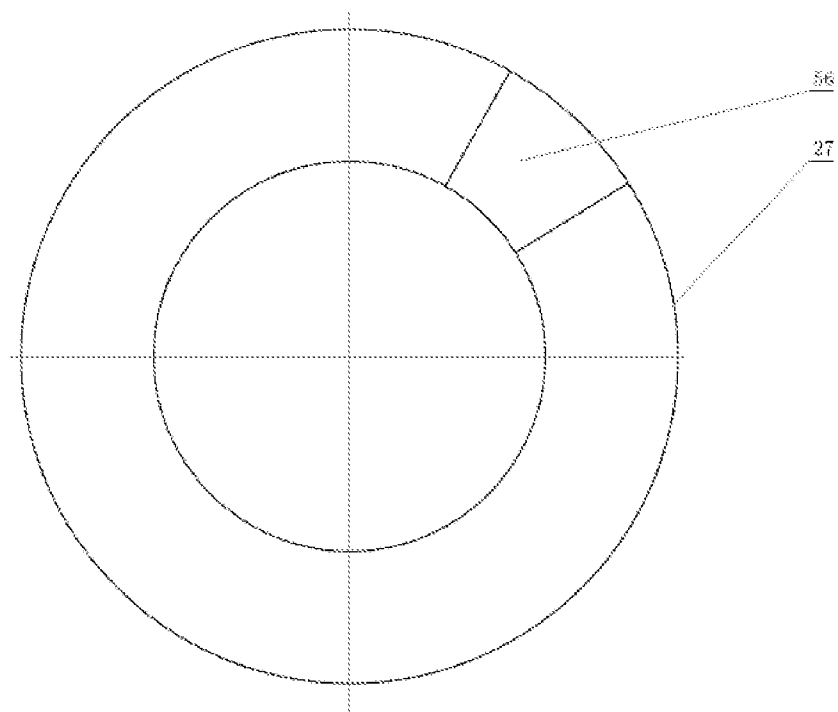


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/089466

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B04B 9/02(2006.01)i; B04B 15/02(2006.01)i; G01N 33/24(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)

B04B,G01N

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)

CNABS, CNTXT, SIPOABS, DWPI, CNKI: 土工, 离心, 真空, 冷却, 轴承, 减振, 隔振, geotechnical, geotechnics, centrifugal, centrifuge, vacuum, cool, bearing, vibrate, damper

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106645652 A (INSTITUTE OF SYSTEMS ENGINEERING, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 10 May 2017 (2017-05-10) description, paragraphs [0024]-[0046], and figures 1-6	1-7
A	CN 102609016 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 25 July 2012 (2012-07-25) entire document	1-7
A	CN 108525868 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 14 September 2018 (2018-09-14) entire document	1-7
A	CN 206356150 U (INSTITUTE OF SYSTEMS ENGINEERING, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 28 July 2017 (2017-07-28) entire document	1-7
A	US 3313139 A (FRANCE ETAT et al.) 11 April 1967 (1967-04-11) entire document	1-7
A	CN 104233998 A (INSTITUTE OF SYSTEMS ENGINEERING, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 24 December 2014 (2014-12-24) entire document	1-7



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

16 December 2019

Date of mailing of the international search report

11 February 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/089466**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109365143 A (INSTITUTE OF SYSTEMS ENGINEERING, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 22 February 2019 (2019-02-22) entire document	1-7
A	CN 102590480 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 18 July 2012 (2012-07-18) entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/089466

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106645652	A	10 May 2017	None			
CN	102609016	A	25 July 2012	CN	102609016	B	05 March 2014
CN	108525868	A	14 September 2018	None			
CN	206356150	U	28 July 2017	None			
US	3313139	A	11 April 1967	GB	1032309	A	08 June 1966
				DE	1297035	B	04 June 1969
				FR	1391760	A	12 March 1965
CN	104233998	A	24 December 2014	None			
CN	109365143	A	22 February 2019	None			
CN	102590480	A	18 July 2012	CN	102590480	B	21 May 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/089466

A. 主题的分类 B04B 9/02 (2006.01) i; B04B 15/02 (2006.01) i; G01N 33/24 (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) B04B, G01N 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)) CNABS, CNTXT, SIPOABS, DWPI, CNKI: 土工, 离心, 真空, 冷却, 轴承, 减振, 隔振, geotechnical, geotechnics, centrifugal, centrifuge, vacuum, cool, bearing, vibrate, damper		
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 106645652 A (中国工程物理研究院总体工程研究所) 2017年 5月 10日 (2017 - 05 - 10) 说明书第[0024]-[0046]段、附图1-6	1-7
A	CN 102609016 A (浙江大学) 2012年 7月 25日 (2012 - 07 - 25) 全文	1-7
A	CN 108525868 A (浙江大学) 2018年 9月 14日 (2018 - 09 - 14) 全文	1-7
A	CN 206356150 U (中国工程物理研究院总体工程研究所) 2017年 7月 28日 (2017 - 07 - 28) 全文	1-7
A	US 3313139 A (FRANCE ETAT 等) 1967年 4月 11日 (1967 - 04 - 11) 全文	1-7
A	CN 104233998 A (中国工程物理研究院总体工程研究所) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24) 全文	1-7
☒ 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 12月 16日		国际检索报告邮寄日期 2020年 2月 11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		受权官员 徐长红 电话号码 (86-10)62085248

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 109365143 A (中国工程物理研究院总体工程研究所) 2019年 2月 22日 (2019 - 02 - 22) 全文	1-7
A	CN 102590480 A (浙江大学) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 全文	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/089466

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	106645652	A	2017年 5月 10日	无	
CN	102609016	A	2012年 7月 25日	CN 102609016	B 2014年 3月 5日
CN	108525868	A	2018年 9月 14日	无	
CN	206356150	U	2017年 7月 28日	无	
US	3313139	A	1967年 4月 11日	GB 1032309	A 1966年 6月 8日
				DE 1297035	B 1969年 6月 4日
				FR 1391760	A 1965年 3月 12日
CN	104233998	A	2014年 12月 24日	无	
CN	109365143	A	2019年 2月 22日	无	
CN	102590480	A	2012年 7月 18日	CN 102590480	B 2014年 5月 21日