

# (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2月20日 (20.02.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/034629 A1**

(51) 国际专利分类号:  
*G01M 15/00* (2006.01) *G01M 15/02* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/077567

(22) 国际申请日: 2019年3月8日 (08.03.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:  
201810922488.1 2018年8月14日 (14.08.2018) CN  
201810922489.6 2018年8月14日 (14.08.2018) CN

(71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市津南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。

(72) 发明人: 潘家营 (PAN, Jiaying); 中国天津市津南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。 王磊 (WANG, Lei); 中国天津市津

南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。 卫海桥 (WEI, Haiqiao); 中国天津市津南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。 舒歌群 (SHU, Gequn); 中国天津市津南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。 刘昌文 (LIU, Changwen); 中国天津市津南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。 马国斌 (MA, Guobin); 中国天津市津南区海河教育园雅观路135号北洋园校区, Tianjin 300350 (CN)。

(74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI & OCEAN); 中国天津市南开区鞍山道282号启航大厦1210室, Tianjin 300073 (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,

(54) Title: ELECTROMAGNETIC BRAKING SYSTEM FOR RAPID COMPRESSION MACHINE, AND CONTROL METHOD

(54) 发明名称: 一种用于快速压缩机的电磁制动系统及控制方法

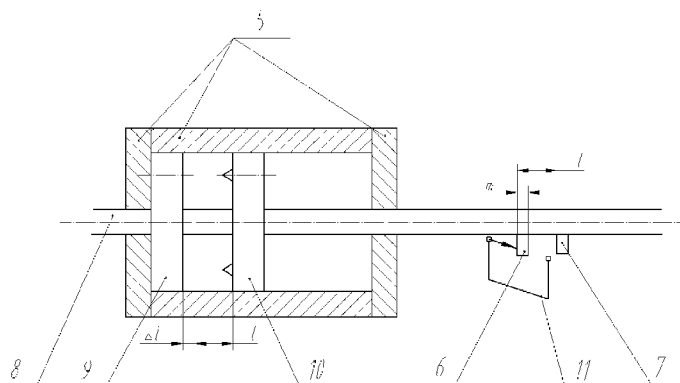


图 2

(57) Abstract: Disclosed in the present invention are an electromagnetic braking system for a rapid compression machine, and a control method. The electromagnetic braking system for a rapid compression machine comprises a central control unit, a braking cylinder, a pushing rod, an electromagnetic braking ring, an electromagnetic braking piston fixed on the pushing rod, a first shading plate and a second shading plate fixed on the pushing rod, a photoelectric sensor fixed around the pushing rod, and an electromagnetic braking control circuit. The present invention further provides a control method adopted by the system, the method comprising: preliminarily estimating a braking distance  $L$  according to the value of a provided current, an electromagnetic force between two electromagnetic coils, and an initial velocity  $v$  of a pushing rod assembly during braking, reserving a small part of a recovery distance  $\Delta L$  between the piston and a top dead center when the braking is ended, so as to enable the electromagnetic braking piston to be further fastened to the electromagnetic braking ring, and mounting the two shading plates and the photoelectric sensor, so that the distance between the two electromagnetic coils is  $L = I + \Delta L$  at the start of the braking.



WO 2020/034629 A1

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: 本发明公开一种用于快速压缩机的电磁制动系统及控制方法, 所述快速压缩机电磁制动系统包括中央控制单元, 制动缸, 推杆, 电磁制动圆环以及固定在推杆上的电磁制动活塞、固定在推杆上的第一遮光板、第二遮光板、固定在推杆附近的光电传感器以及电磁制动控制电路。本发明同时提供一种采用所述的系统实现的控制方法, 包括: 根据所能提供电流的大小、两个电磁线圈之间的电磁力以及制动时推杆组合的初速度 $v$ 来初步预估制动距离 $l$ , 并使在制动结束后活塞与上止点仍有较小一部分恢复距离 $\Delta l$ , 来让电磁制动活塞和电磁制动圆环进一步扣紧, 安装两个遮光板和光电传感器, 在开始制动时, 两电磁线圈之间的距离为 $L=l+\Delta l$ 。

# 一种用于快速压缩机的电磁制动系统及控制方法

## 技术领域

本发明为用于快速压缩机的电磁制动系统及控制方法，其涉及热能与动力工程测试技术领域，具体涉及用于内燃机模拟和燃料化学动力学研究的快速压缩机系统及控制方法。

## 背景技术

快速压缩机是一种用来模拟内燃机工作过程和燃料燃烧的基础实验平台。其借助外力推动压缩活塞，将燃烧室内的预混合气瞬间压缩到高温高压热力学状态，然后运用制动系统将压缩活塞制止，使缸内预混合气维持高温高压平衡热力学状态，以此来模拟内燃机单次压缩行程。通过研究快速压缩机活塞上止点处缸内混合气燃烧状态，可以间接获得内燃机不同热力学状态下缸内的燃烧过程。与内燃机相比，快速压缩机结构简单，可以暂时抛弃复杂影响因素，只研究内燃机的单次压缩和燃烧过程。另外，快速压缩机还可以更加方便地改变燃烧室结构，从而模拟内燃机非正常燃烧现象，如内燃机爆震，大大减少了内燃机的研发成本。

传统快速压缩机要依靠气压驱动，利用液压制动或者机械制动的方式。但是这两种方式均存在一些缺陷，例如液压制动方式对工况依赖性较强，往往会引起活塞回弹现象，致使缸内热力学状态发生改变，影响着火滞燃期和燃烧相位；而机械制动方式效果较好，但是存在机械磨损和撞击问题，影响机械结构和人身安全。针对上述问题，提出一种基于电磁制动的快速压缩机及控制方法，能够使快速压缩机在宽广工况范围内高效、稳定、安全工作。

20

## 发明内容

本发明的目的是开发一种用于快速压缩机的电磁制动系统及控制方法，利用电磁增强原理和磁铁“同性相斥、异性相吸”特点来设计工作过程。技术方案如下：

一种用于快速压缩机的电磁制动系统，包括中央控制单元、由隔磁材料制成的制动缸，穿过制动缸的推杆，固定在制动缸上的电磁制动圆环以及固定在推杆上的电磁制动活塞、固定在推杆上的第一遮光板、第二遮光板、固定在推杆附近的光电传感器以及电磁制动控制电路，其中，在电磁制动圆环以及电磁制动活塞上分别嵌有周向缠绕的电磁线圈；两个遮光板分别固定在需要开始制动以及结束制动时对应的推杆上的位置，两个遮光板之间距离等于制动距离 $l$ ，并且在制动开始时的第一遮光板处布置光电传感器；光电传感器对两个遮光板的检测信号被送入中央控制单元；中央控制单元，根据光电

传感器的检测信号得到第一遮光板的遮挡时间，并根据第一遮光板的厚度  $m$  计算出此时的瞬时速度；

电磁制动控制电路包括直流电源、滑动变阻器和三个开关，三个开关，一个作为通断开关，另外两个一起作为转换开关，直流电源与滑动变阻器串联，然后并联在两个相互并联的电磁线圈的两端，一个电磁线圈串联有用来控制电流有无的通断开关，另一个电磁线圈的两端分别串联有用来控制电流有无和电流方向的两个转换开关，直流电源用来提供电流，滑动变阻器用来调节电流的大小以调节电磁力的大小。

本发明同时提供一种采用所述的系统实现的控制方法，包括下列步骤：

步骤 1，根据所能提供电流的大小、两个电磁线圈之间的电磁力以及制动时推杆组合的初速度  $v$  来初步预估制动距离  $l$ ，并使在制动结束后活塞与上止点仍有较小一部分恢复距离  $\Delta l$ ，来让电磁制动活塞和电磁制动圆环进一步扣紧，安装两个遮光板和光电传感器，在开始制动时，两电磁线圈之间的距离为  $L = l + \Delta l$ ；

步骤 2，增加驱动气缸内的气体压力，同时闭合与两个电磁线圈串联的通断开关和转换开关，并调节滑动变阻器  $P$  同步增加电流，从而使电磁制动圆环和电磁制动活塞的电流流向相反，由于电流会产生磁场，二者产生相互排斥的电磁力，适当调节电流大小使电磁力与气缸内气体压力所产生的对驱动活塞的气体力平衡，当增加到所需压力时，断开控制电路的各个开关，破坏推杆组合的平衡，电磁力消失，此时由于气体力的单方面的作用，压缩行程开始；

步骤 3，推杆组向前运动，当检测到第一次位置信号即第一遮光板遮挡住光电传感器时，中央控制单元通过遮光板的厚度  $m$  和遮挡时间计算出其推杆组的初速度，并计算出制动距离为  $l$  时所需的电流大小，中央控制单元闭合控制三个开关，通过自动调节滑动变阻器  $P$ ，供应相应的电流，此时，仍使两电磁线圈的电流方向相反，反向电流导致电磁线圈产生相互排斥的电磁力，电磁排斥力作为阻力，阻碍推杆组合的运动；

步骤 4，推杆组继续向前减速运动，当检测到第二次位置信号即第二遮光板遮挡住光电传感器时，快速压缩机的活塞仍有很小的速度且与上止点仍有较小一部分距离  $\Delta l$ ，这时中央控制单元切换开关，两电磁线圈内的电流方向相同，产生相互吸引的电磁力，并改变电流的大小，使快速压缩机的活塞在驱动气缸气体力和电磁力的作用下完全达到上止点，让电磁制动活塞和电磁制动圆环进一步扣紧，从而防止活塞回弹问题的发生，接下来由驱动气缸气体压力和电磁力共同来平衡燃烧过程中所产生的缸内压力。

上述制动系统和控制方法，电磁制动圆环和电磁制动活塞分别设置凹槽和凸起，以便二者接触时，产生一定的配合。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：本发明结合电磁原理和快速压缩机工作特点，运用先进控制单元和控制方法，显著减少了活塞回弹现象，降低了制动噪声，使获得的实验数据更加准确可靠，从而更加贴近实际内燃机运行工况。同时，本发明通过传感器捕获位置信号和速度信号，并反馈为电流信号，从而产生大小与速度匹配的电磁力，更加准确的将活塞停止在预设位置，从而达到更好的控制效果。

### 附图说明

图 1 是采用本发明的电磁制动快速压缩机示意图；

图 2 是本发明制动缸内零件布置示意图；

10 图 3a 是固定在制动缸上的电磁制动圆环主视图和右视图；

图 3b 是固定在推动杆上的电磁制动活塞主视图和左视图；

图 4 是本发明电磁控制电路示意图；

图 5 是本发明控制流程示意图。

图中：

15 1-燃烧装置 2-电磁制动系统 3-驱动装置 4-活塞 5-电磁屏蔽制动缸

6-遮光板 a 7-遮光板 b 8-推杆 9-电磁制动圆环 10-电磁制动活塞

11-光电传感器 12-绝缘圆环 13-电磁线圈 14-凹坑 15-绝缘圆盘 16-凸起

### 具体实施方式

20 下面结合附图和具体实施方式对本发明技术方法作进一步详细描述，但本发明并不局限于此具体实施方式，此描述并不用以限制本发明。

如图 1 所示，为采用本发明的电磁制动系统的快速压缩机的结构示意图，包括燃烧装置 1、电磁制动系统 2、驱动装置 3 和活塞 4。

25 图 2 为本发明的电磁制动系统的结构示意图。其由隔磁材料制成的制动缸 5，穿过制动缸的推杆 8，固定在制动缸 5 上的电磁制动圆环 9 以及固定在推杆 8 上的电磁制动活塞 10 和两个遮光板 6、7 以及固定在推杆附近的光电传感器 11。两个遮光板 6、7 以及光电传感器 11 的位置经过试验标定。

遮光板 6 厚度为  $m$ ，两个遮光板之间的距离为  $l$ ， $l$  为制动过程中活塞减速时的制动距离， $\Delta l$  为电流反向后，活塞加速到最后由于阻碍而停止的距离。当光电传感器 11 的接收器未被遮光板遮挡时，接收器可以检测到发射器发射的光。当接收器被遮光板遮挡时，接收器检测不到发射器，此时光电传感

器便将此信号传递给中央控制单元，并可以通过遮挡时间以及遮光板 6 的厚度  $m$  计算出此时的瞬时速度。

图 3a 中，制动缸上装有绝缘圆环 12，内部嵌有周向缠绕的电磁线圈 13，二者构成电磁制动圆环 9。

图 3b 中，推杆 8 上固定有电磁制动活塞 10，其由绝缘圆盘 15 和内部嵌有的周向缠绕的电磁线圈 13 组成。其中，二者电磁线圈材料相同、导电性相同。另外，电磁制动圆环有两个凹槽 14，而推动杆上的电磁制动活塞的有两个凸起 16 与之对应，以便二者接触时，产生一定的配合。

图 4 为电磁制动控制电路示意图，其由三个开关  $L_1$ 、 $L_{21}$ 、 $L_{22}$ ，直流电源，滑动变阻器  $P$  和导线组成。其中，开关用来控制电流的有无，即控制电磁力的有无，直流电源用来提供电流，滑动变阻器用来调节电流的大小以调节电磁力的大小。

图 5 为控制流程示意图，其控制过程由传感器、中央控制单元、开关、滑动变阻器来共同完成。

本发明具体操作过程为：

步骤 1，将两个遮光板 6、7 分别安装在需要开始制动以及结束制动时对应的在推杆 8 的位置，遮光板要与制动缸有一定的距离，防止制动结束后制动缸与遮光板相碰撞，另外，两遮光板之间距离等于制动距离  $l$ ，并且在制动开始时的遮光板 6 处安装光电传感器 11。由两通电线圈电磁力公式

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + d^2}} \left[ K(k) - \frac{1+k'^2}{2k'^2} E(k) \right]$$

根据所能提供电流的大小  $I$  以及制动时推杆组合的初速度  $v$  来初步预估制动距离  $l$ 。由于电磁制动力较大，制动效果较好，所以一般设计两个遮光板 6、7 之间的距离  $l$  较小。另外，要使在制动结束后活塞 4 与上止点仍有较小一部分恢复距离  $\Delta l$ ，来让电磁制动活塞 10 和电磁制动圆环 9 进一步扣紧。则在开始制动时，两电磁线圈之间的距离为  $L = l + \Delta l$ ，此时，光电传感器被遮光板 a 遮挡，接收器检测不到发射器。

步骤 2，增加驱动气缸 3 内的气体压力，同时闭合电磁线圈的开关  $L_1$ ， $L_{21}$  连接 A 端， $L_{22}$  连接 A 端，并调节滑动变阻器  $P$  同步增加电流，从而使电磁制动圆环 9 和电磁制动活塞 10 的电流流向相反，由于电流会产生磁场，二者产生相互排斥的电磁力，由两通电线圈之间的电磁力公式可以看出，增加电流会使二者间电磁力增大，适当调节电流大小可以使电磁力与气缸内气体压力所产生的对驱动活塞的气体力平衡。当增加到所需压力时，断开控制电路的开关  $L_1$ 、 $L_{21}$ 、 $L_{22}$ ，破坏推杆组合的平衡，此时电磁力消失，此时由于气体力的单方面的作用，压缩行程开始。

步骤 3，推杆组向左运动，当检测到第一次位置信号即遮光板 a 遮挡住光电光电传感器时，中央控制单元通过遮光板 6 的厚度  $m$  和遮挡时间计算出其推杆组的初速度。并由两通电线圈电磁力公式和能

量守恒公式

$$\frac{1}{2}mv^2 - 0 = \int_0^1 F(x)dx$$

计算出制动距离为 1 时所需的电流大小。由于电磁制动中，电磁力远大于气缸驱动力，这里暂且将气缸驱动力忽略，只考虑电磁制动力的影响。此时，中央控制单元闭合控制电路开关  $L_1$ ， $L_{21}$  连接 A 端， $L_{22}$  连接 A 端，通过自动调节滑动变阻器 P，供应相应的电流。此时，仍使两电磁线圈的电流方向相反，但是理论上讲要比平衡过程中的电流大得多。反向电流导致电磁线圈产生相互排斥的电磁力，电磁排斥力作为阻力，阻碍推杆组合的运动。而两电磁线圈之间的距离不断缩小，由公式可以看出，这也会导致电磁力的不断增大，从而更好地达到电磁制动的效果。

步骤 4，推杆组继续向左减速运动，由于气缸驱动力的存在以及反馈的延迟影响，当检测到第二次位置信号即光电传感器第二次被遮挡时，活塞 4 仍有很小的速度且与上止点仍有较小一部分距离  $\Delta l$ ，这时中央控制单元将开关  $L_{21}$  切换到 B 端， $L_{22}$  切换到 B 端，并适当改变电流的大小。此时，两电磁线圈内的电流方向相同，产生相互吸引的电磁力，使活塞在驱动气缸 3 气体力和电磁力的作用下完全达到上止点，让电磁制动活塞和电磁制动圆环进一步扣紧，从而防止了活塞回弹问题的发生。接下来由驱动气缸气体压力和电磁力共同来平衡燃烧过程中所产生的缸内压力。

实验结束时，断开电磁制动电路开关  $L_1$ 、 $L_{21}$ 、 $L_{22}$ ，卸去驱动缸内的气体压力。并调节滑动变阻器 P，以微小的反向电流闭合电磁制动开关  $L_1$ ， $L_{21}$  连接 A 端， $L_{22}$  连接 A 端，使其产生微弱的相互排斥的电磁力，从而使推杆组慢慢回到初始位置。

综上，本发明为基于快速压缩机电磁制动系统的控制方法，包括电磁制动系统的传感器的安装，电磁制动电路的设计以及电磁制动控制流程。运用该电磁制动系统的控制方法，更加方便准确的控制快速压缩机压缩行程活塞的制动，对快速压缩机的制动控制具有重要的作用。

## 权利要求

1. 一种用于快速压缩机的电磁制动系统，包括中央控制单元、由隔磁材料制成的制动缸，穿过制动缸的推杆，固定在制动缸上的电磁制动圆环以及固定在推杆上的电磁制动活塞、固定在推杆上的第一遮光板、第二遮光板、固定在推杆附近的光电传感器以及电磁制动控制电路，其中，在电磁制动圆环以及电磁制动活塞上分别嵌有周向缠绕的电磁线圈；两个遮光板分别固定在需要开始制动以及结束制动时对应的推杆上的位置，两个遮光板之间距离等于制动距离  $l$ ，并且在制动开始时的第一遮光板处布置光电传感器；光电传感器对两个遮光板的检测信号被送入中央控制单元；中央控制单元，根据光电传感器的检测信号得到第一遮光板的遮挡时间，并根据第一遮光板的厚度  $m$  计算出此时的瞬时速度；

电磁制动控制电路包括直流电源、滑动变阻器和三个开关，三个开关，一个作为通断开关，另外两个一起作为转换开关，直流电源与滑动变阻器串联，然后并联在两个相互并联的电磁线圈的两端，一个电磁线圈串联有用来控制电流有无的通断开关，另一个电磁线圈的两端分别串联有用来控制电流有无和电流方向的两个转换开关，直流电源用来提供电流，滑动变阻器用来调节电流的大小以调节电磁力的大小。

2. 根据权利要求 1 所述的电磁制动系统，其特征在于，电磁制动圆环和电磁制动活塞分别设置凹槽和凸起，以便二者接触时，产生一定的配合。

3. 一种采用权利要求 1 所述的系统实现的控制方法，其特征在于，包括下列步骤：

步骤 1，根据所能提供电流的大小、两个电磁线圈之间的电磁力以及制动时推杆组合的初速度  $v$  来初步预估制动距离  $l$ ，并使在制动结束后活塞与上止点仍有较小一部分恢复距离  $\Delta l$ ，来让电磁制动活塞和电磁制动圆环进一步扣紧，安装两个遮光板和光电传感器，在开始制动时，两电磁线圈之间的距离为  $L = l + \Delta l$ ；

步骤 2，增加驱动气缸内的气体压力，同时闭合与两个电磁线圈串联的通断开关和转换开关，并调节滑动变阻器  $P$  同步增加电流，从而使电磁制动圆环和电磁制动活塞的电流流向相反，由于电流会产生磁场，二者产生相互排斥的电磁力，适当调节电流大小使电磁力与气缸内气体压力所产生的对驱动活塞的气体力平衡，当增加到所需压力时，断开控制电路的各个开关，破坏推杆组合的平衡，电磁力消失，此时由于气体力的单方面的作用，压缩行程开始；

步骤 3，推杆组向前运动，当检测到第一次位置信号即第一遮光板遮挡住光电传感器时，中央控制单元通过遮光板的厚度  $m$  和遮挡时间计算出其推杆组的初速度，并计算出制动距离为  $l$  时所需的电流大小，中央控制单元闭合控制三个开关，通过自动调节滑动变阻器  $P$ ，供应相应的电流，此时，仍使两电磁线圈的电流方向相反，反向电流导致电磁线圈产生相互排斥的电磁力，电磁排斥力作为阻力，阻碍推杆组的运动；

步骤 4，推杆组继续向前减速运动，当检测到第二次位置信号即第二遮光板遮挡住光电传感器时，快速压缩机的活塞仍有很小的速度且与上止点仍有较小一部分距离  $\Delta l$ ，这时中央控制单元切换开关，两电磁线圈内的电流方向相同，产生相互吸引的电磁力，并改变电流的大小，使快速压缩机的活塞在驱动气缸气体力和电磁力的作用下完全达到上止点，让电磁制动活塞和电磁制动圆环进一步扣紧，从而防止活塞回弹问题的发生，接下来由驱动气缸气体压力和电磁力共同来平衡燃烧过程中所产生的缸内压力。

4. 根据权利要求 3 所述的控制方法，其特征在于，电磁制动圆环和电磁制动活塞分别设置凹槽和凸起，以便二者接触时，产生一定的配合。



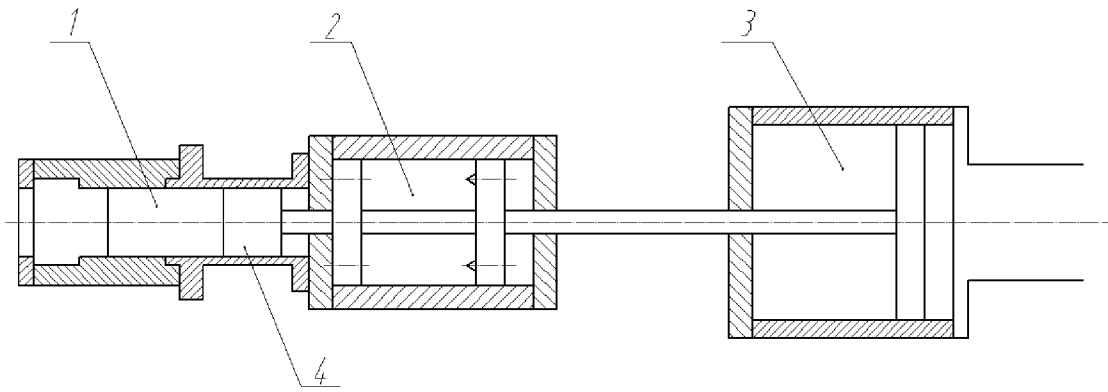


图 1

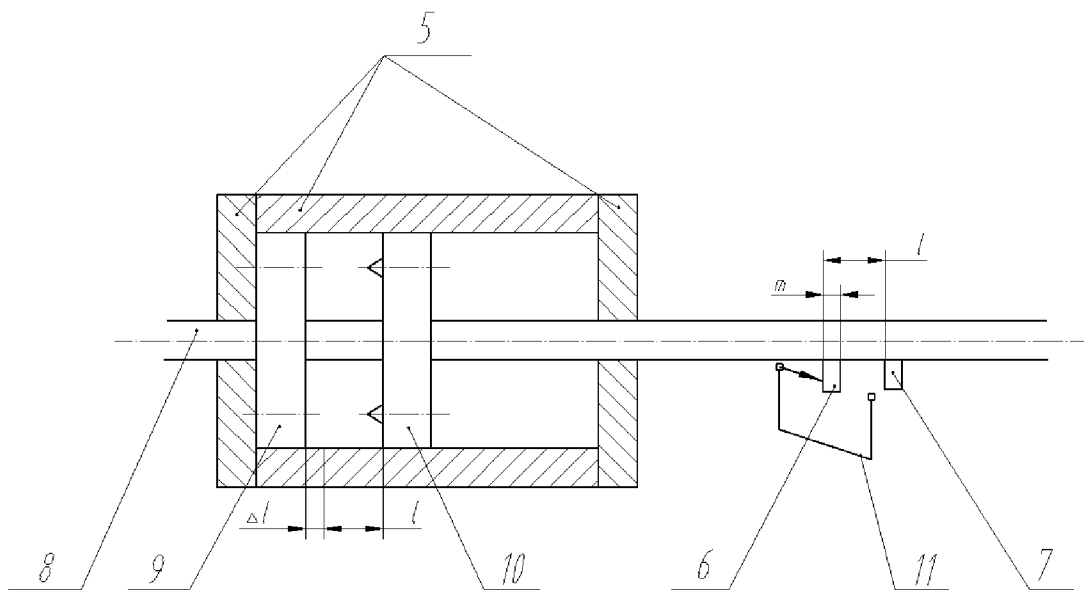


图 2

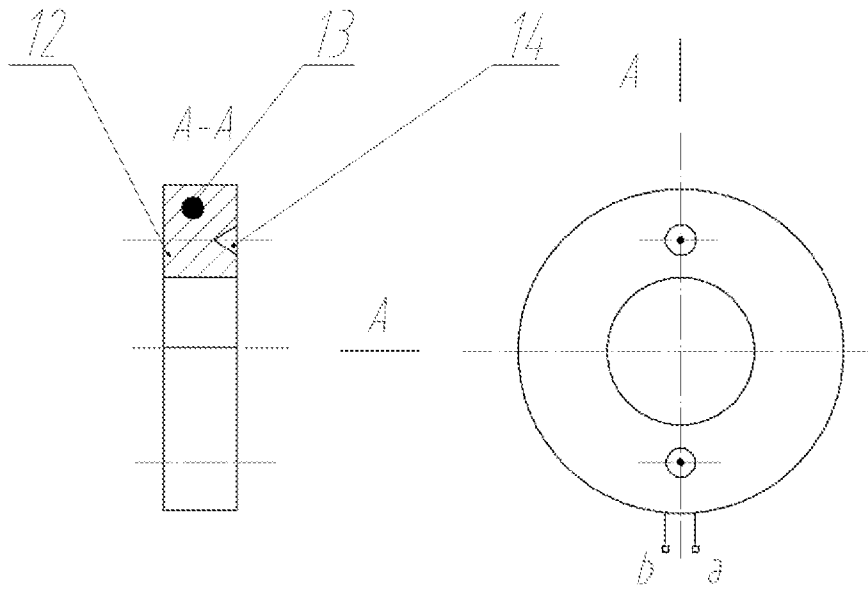


图 3a

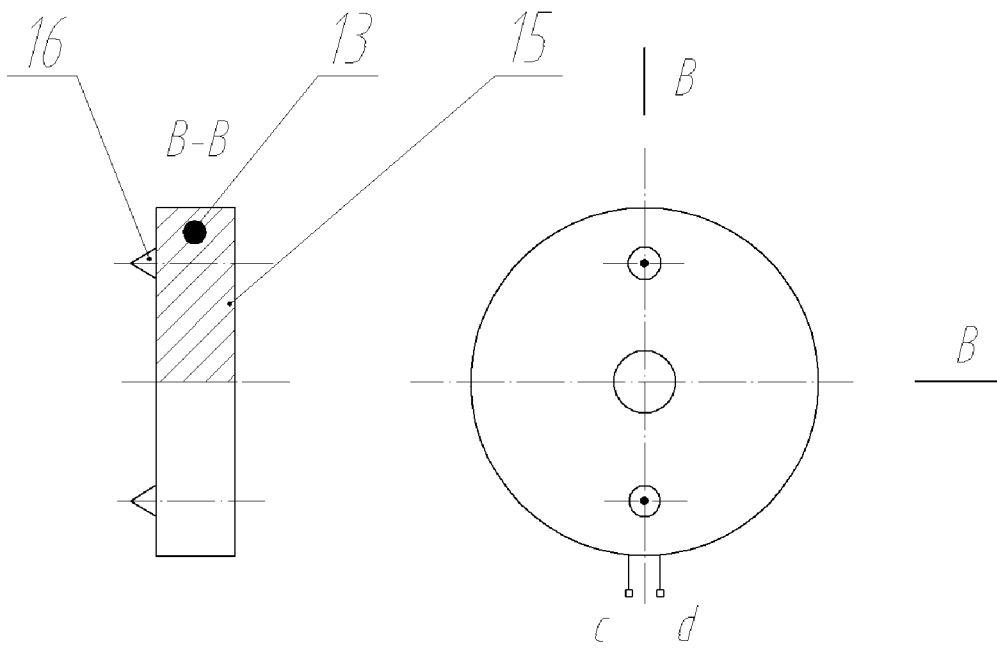


图 3b

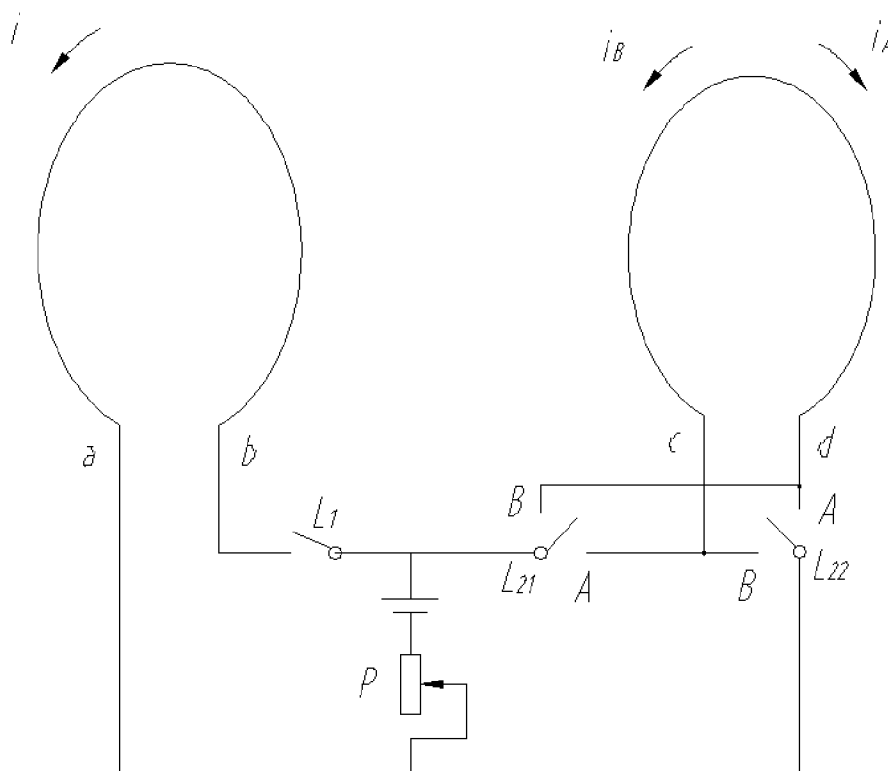


图 4

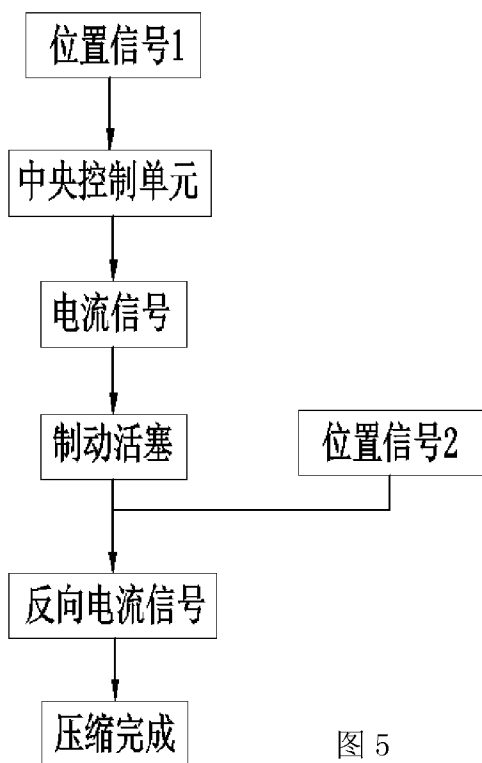


图 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/077567

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
G01M 15/00(2006.01)i; G01M 15/02(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01M15 F04B51		
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; CNKI; CNTXT; VEN; USTXT; EPTXT: 快速压缩机, 快速压缩膨胀机, 内燃机, 模拟, 电磁, 磁力, 活塞, 制动, rapid compress+ machine?, internal combust+ engine?, simulat+, electromagnet+, piston?, brak+		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109297714 A (TIANJIN UNIVERSITY) 01 February 2019 (2019-02-01) description, paragraphs [0017]-[0032], and figures 1-4	1-4
PX	CN 109297715 A (TIANJIN UNIVERSITY) 01 February 2019 (2019-02-01) description, paragraphs [0022]-[0037], and figures 1-4	1-4
A	CN 203730449 U (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 23 July 2014 (2014-07-23) description, paragraphs [0018]-[0020], and figures 1-3	1-4
A	CN 103527316 A (CHENGDU GAOBIAO TECHNOLOGY CO., LTD.) 22 January 2014 (2014-01-22) entire document	1-4
A	KR 20160119308 A (UNIV ULSAN FOUND FOR IND COOP) 13 October 2016 (2016-10-13) entire document	1-4
A	US 6152094 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 28 November 2000 (2000-11-28) entire document	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>17 April 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>28 May 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/CN <b>China National Intellectual Property Administration No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088 China</b>		Authorized officer
Facsimile No. (86-10)62019451		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2019/077567**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)	
CN	109297714	A	01 February 2019	None		
CN	109297715	A	01 February 2019	None		
CN	103527316	A	22 January 2014	None		
KR	20160119308	A	13 October 2016	KR	101743815 B1	08 June 2017
US	6152094	A	28 November 2000	JP	2000161092 A	13 June 2000
				EP	0987406 A1	22 March 2000
				DE	19843073 C1	31 May 2000

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/077567

<p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>G01M 15/00(2006.01)i; G01M 15/02(2006.01)i</p> <p>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</p>																							
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>G01M15 F04B51</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNABS;CNKI;CNTXT;VEN;USTXT;EPTXT:快速压缩机, 快速压缩膨胀机, 内燃机, 模拟, 电磁, 磁力, 活塞, 制动, rapid compress+ machine?, internal combust+ engine?, simulat+, electromagnet+, piston?, brak+</p>																							
<p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109297714 A (天津大学) 2019年 2月 1日 (2019 - 02 - 01) 说明书第[0017]-[0032]段, 附图1-4</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109297715 A (天津大学) 2019年 2月 1日 (2019 - 02 - 01) 说明书第[0022]-[0037]段, 附图1-4</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 203730449 U (北京工业大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 说明书第[0018]-[0020]段, 附图1-3</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103527316 A (成都高彪科技有限公司) 2014年 1月 22日 (2014 - 01 - 22) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 20160119308 A (UNIV ULSAN FOUND FOR IND COOP) 2016年 10月 13日 (2016 - 10 - 13) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6152094 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 2000年 11月 28日 (2000 - 11 - 28) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109297714 A (天津大学) 2019年 2月 1日 (2019 - 02 - 01) 说明书第[0017]-[0032]段, 附图1-4	1-4	PX	CN 109297715 A (天津大学) 2019年 2月 1日 (2019 - 02 - 01) 说明书第[0022]-[0037]段, 附图1-4	1-4	A	CN 203730449 U (北京工业大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 说明书第[0018]-[0020]段, 附图1-3	1-4	A	CN 103527316 A (成都高彪科技有限公司) 2014年 1月 22日 (2014 - 01 - 22) 全文	1-4	A	KR 20160119308 A (UNIV ULSAN FOUND FOR IND COOP) 2016年 10月 13日 (2016 - 10 - 13) 全文	1-4	A	US 6152094 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 2000年 11月 28日 (2000 - 11 - 28) 全文	1-4
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 109297714 A (天津大学) 2019年 2月 1日 (2019 - 02 - 01) 说明书第[0017]-[0032]段, 附图1-4	1-4																					
PX	CN 109297715 A (天津大学) 2019年 2月 1日 (2019 - 02 - 01) 说明书第[0022]-[0037]段, 附图1-4	1-4																					
A	CN 203730449 U (北京工业大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 说明书第[0018]-[0020]段, 附图1-3	1-4																					
A	CN 103527316 A (成都高彪科技有限公司) 2014年 1月 22日 (2014 - 01 - 22) 全文	1-4																					
A	KR 20160119308 A (UNIV ULSAN FOUND FOR IND COOP) 2016年 10月 13日 (2016 - 10 - 13) 全文	1-4																					
A	US 6152094 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 2000年 11月 28日 (2000 - 11 - 28) 全文	1-4																					
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																							
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” 同族专利的文件</p>																							
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2019年 4月 17日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2019年 5月 28日</p>																					
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>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</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>颜彦</p> <p>电话号码 86-(0512)-88997267</p>																					

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/077567

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	109297714	A	2019年 2月 1日	无			
CN	109297715	A	2019年 2月 1日	无			
CN	103527316	A	2014年 1月 22日	无			
KR	20160119308	A	2016年 10月 13日	KR	101743815	B1	2017年 6月 8日
US	6152094	A	2000年 11月 28日	JP	2000161092	A	2000年 6月 13日
				EP	0987406	A1	2000年 3月 22日
				DE	19843073	C1	2000年 5月 31日