



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109441793 B

(45)授权公告日 2020.01.10

(21)申请号 201811083653.5

(22)申请日 2018.09.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109441793 A

(43)申请公布日 2019.03.08

(73)专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 彭学院 李雪莹 贾晓晗 赵彬

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 安彦彦

(51)Int.Cl.

F04B 51/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104234995 A,2014.12.24,全文.

CN 85108763 A,1987.03.25,全文.

EP 1988287 A1,2008.11.05,全文.

CN 204783605 U,2015.11.18,全文.

CN 105804981 A,2016.07.27,全文.

CN 102914393 A,2013.02.06,全文.

CN 206092373 U,2017.04.12,全文.

审查员 袁潜

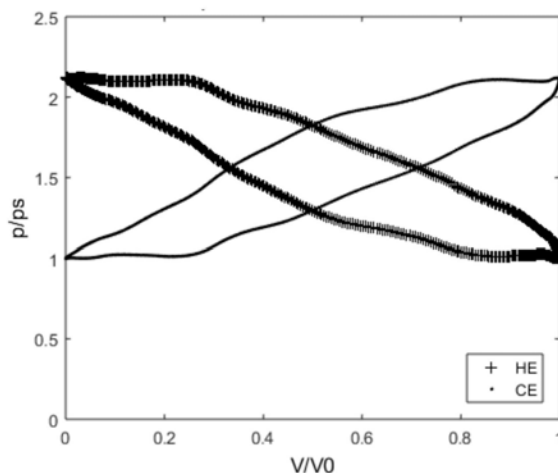
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法

(57)摘要

一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,根据测得的活塞杆应变得到杆载荷,用杆载荷减去往复惯性力得到气体力合力的变化曲线,然后对气体力合力曲线用傅立叶级数形式进行非线性回归,得到气体力合力拟合函数,然后用傅立叶级数形式表达轴侧气压函数,进而得到盖侧气压函数,再求解气体力合力为轴侧气体力与盖侧气体力之和的方程,得到气压函数的各项系数,然后得到轴侧与盖侧气压函数(p-θ图),进而得到往复压缩机p-V图。本发明一方面不用在压缩机上打孔,避免了现有技术中破坏压缩机本体问题。另一方面,通过采集数据,计算,拟合出的曲线能够反映出吸气、排气、膨胀和压缩的过程,根据往复压缩机p-V图能够进行故障诊断和运行状态监测。



1. 一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 在飞轮处安装光电传感器,通过得到的外止点信号,确定压缩机曲柄转角 θ 初始值0,在活塞杆上粘贴应变片,测量得到压缩机运转一个周期曲柄转角 θ 从 $[0, 2\pi]$ 每个角度对应的杆载荷函数 $F_{rod}(\theta)$;

(2) 对 $[0, 2\pi]$ 周期内的气体力合力函数 $F_g(\theta)$ 进行非线性回归,得到拟合结果为周期为 $[0, 2\pi]$ 的函数 $F'_g(\theta)$;其中,气体力合力函数 $F_g(\theta) = F_{rod}(\theta) - F_I(\theta)$, $F_{rod}(\theta)$ 为杆载荷函数, $F_I(\theta)$ 为往复惯性力,往复惯性力 $F_I(\theta) = m_p r \omega^2 (\cos\theta + \lambda \cos 2\theta)$,其中 m_p 为往复惯性质量, r 为曲柄半径, ω 为压缩机转速, λ 为曲柄半径连杆比, θ 为曲柄转角;

(3) 根据周期为 $[0, 2\pi]$ 的函数 $F'_g(\theta)$,求解轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,然后以 $V_{CE}(\theta)/V_{0CE}$ 和 $V_{HE}(\theta)/V_{0HE}$ 为横坐标,以 $p_{CE}(\theta)/p_{sCE}$ 和以 $p_{HE}(\theta)/p_{sHE}$ 为纵坐标,取曲柄转角 θ 为 0° 时的轴侧压力 $p_{CE}(0)$ 为轴侧吸气压力 p_{sCE} ,取曲柄转角 θ 为 180° 时的盖侧压力 $p_{HE}(180)$ 为盖侧吸气压力 p_{sHE} ,得到往复压缩机p-V图;其中, $V_{CE}(\theta)$ 为轴侧工作容积, $V_{HE}(\theta)$ 为盖侧工作容积, V_{0CE} 为轴侧总容积, V_{0HE} 为盖侧总容积; $p_{CE}(\theta)$ 为轴侧压力函数, $p_{HE}(\theta)$ 为盖侧压力函数。

2. 根据权利要求1所述的一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,其特征在于,步骤(2)中非线性回归的具体过程为:取非线性函数原型为傅立叶级数形式: $F'_g(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^n (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta)$, θ 为曲柄转角, n 为展开次数,为保证拟合精度, a_0, a_1, \dots, a_n 和 b_1, \dots, b_n 为系数,进行拟合,得到周期为 $[0, 2\pi]$ 的函数 $F'_g(\theta)$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,其特征在于,展开次数 n 大于等于50。

4. 根据权利要求1所述的一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,其特征在于,步骤(3)中求解轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,具体过程如下:

(a) 用傅立叶级数展开的形式得到轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$:

$$p_{CE}(\theta) = a_{CE0} + \sum_{n=1}^n (a_{CEn} \cos n\theta + b_{CEn} \sin n\theta)$$

其中: θ 为曲柄转角, n 为展开次数, $a_{CE0}, a_{CE1}, \dots, a_{CEn}$ 和 b_{CE1}, \dots, b_{CEn} 为系数;

(b) 由轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 得到盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$ 的表达式:

$$p_{HE}(\theta) = p_{CE}(\theta + \pi) = a_{CE0} + \sum_{n=1}^n (a_{CEn} \cos n(\theta + \pi) + b_{CEn} \sin n(\theta + \pi))$$

(c) 解方程: $F'_g(\theta) = p_{CE}(\theta) \times S_{CE} - p_{HE}(\theta) \times S_{HE}$,其中, $p_{CE}(\theta)$ 为轴侧压力函数, $p_{HE}(\theta)$ 为盖侧压力函数, S_{CE} 为活塞轴侧面积, S_{HE} 为活塞盖侧面积,得到 $a_{CE0}, a_{CE1}, \dots, a_{CEnum}, b_{CE1}, b_{CE2}, \dots, b_{CEnum}$,进而得到轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,其特征在于,轴侧工作容积 $V_{CE}(\theta) = S_{CE} \times r \left[(1 + \cos\theta) - \frac{1}{\lambda} (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta}) \right]$,盖

侧工作容积 $V_{HE}(\theta) = S_{HE} \times r \left[(1 - \cos\theta) + \frac{1}{\lambda} (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\theta}) \right]$,轴侧总容积 $V_{OCE} = 2rS_{CE}$,盖侧总容积 $V_{OHE} = 2rS_{HE}$,其中: r 为曲柄半径, θ 为曲柄转角, λ 为曲柄半径连杆比, S_{CE} 为活塞轴侧面积, S_{HE} 为活塞盖侧面积。

一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法

技术领域

[0001] 本发明属于往复压缩机技术领域,具体涉及一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法。

背景技术

[0002] 往复压缩机适用范围广,理论上可压缩所有气体,不论流量大小均可达到所需压力,容积效率高,可适应有油和无油工况,被认为是最高效的气体压缩设备而广泛应用于制冷空调、空气动力、石油化工及天然气工业等国民经济各个领域。往复压缩机一旦发生故障,将会影响整个工艺流程,造成严重甚至灾难性的后果。为了杜绝事故的发生,对压缩机进行状态监测及故障诊断至关重要。

[0003] 指示图即p-V图是压缩机工作性能和运行状态的综合反映,是诊断压缩机故障最有效的工具。通过压缩机工作过程的p-V图可以得到吸、排气压力损失、指示功率、压比及容积效率等性能参数,通过p-V图的形状可以直接反映出气阀、活塞环及填函等的泄漏情况、管道气流脉动情况和压缩机工作过程中的热交换情况等。

[0004] 现今按照API618标准制造的压缩机都配有测压孔,而还在服役中的大多老旧压缩机由于没有预留测压孔,测量气缸内压力变化需要对气缸进行加工,而某些压缩特殊介质的工艺压缩机是不允许在气缸上加工出测压孔的,此外缸壁开孔还会影响气缸强度,存在潜在威胁,如此侵入式的测取方式严重限制了p-V图诊断法的推广应用。

[0005] 为了使p-V图法不再局限于实验研究,能够应用于实际生产中,需要采用不影响气缸结构及强度的方法得到气缸内的压力变化监测。

发明内容

[0006] 针对现有技术中存在的问题,本发明的目的在于提供一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采取如下的技术方案:

[0008] 一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,包括以下步骤:

[0009] (1) 在飞轮处安装光电传感器,通过得到的外止点信号,确定压缩机曲柄转角 θ 初始值0,在活塞杆上粘贴应变片,测量得到压缩机运转一个周期曲柄转角 θ 从 $[0, 2\pi]$ 每个角度对应的杆载荷函数 $F_{rod}(\theta)$;

[0010] (2) 对 $[0, 2\pi]$ 周期内的气体力合力函数 $F_g(\theta)$ 进行非线性回归,得到拟合结果为周期为 $[0, 2\pi]$ 的函数 $F'_g(\theta)$;其中,气体力合力函数 $F_g(\theta) = F_{rod}(\theta) - F_I(\theta)$, $F_{rod}(\theta)$ 为杆载荷函数, $F_I(\theta)$ 为往复惯性力,往复惯性力 $F_I(\theta) = m_p r \omega^2 (\cos\theta + \lambda \cos 2\theta)$,其中 m_p 为往复惯性质量, r 为曲拐半径, ω 为压缩机转速, λ 为曲柄半径连杆比, θ 为曲柄转角;

[0011] (3) 根据周期为 $[0, 2\pi]$ 的函数 $F'_g(\theta)$,求解轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,然后以 $V_{CE}(\theta)/V_{OCE}$ 和 $V_{HE}(\theta)/V_{OHE}$ 为横坐标,以 $p_{CE}(\theta)/p_{sCE}$ 和以 $p_{HE}(\theta)/p_{sHE}$ 为纵坐标,取曲柄转角 θ 为 0° 时的轴侧压力 $p_{CE}(0)$ 为轴侧吸气压力 p_{sCE} ,取曲柄转角 θ 为 180° 时的盖侧压力

p_{HE} (180) 为盖侧吸气压力 p_{sHE} ,得到往复压缩机 p - V 图;其中, $V_{CE}(\theta)$ 为轴侧工作容积, $V_{HE}(\theta)$ 为盖侧工作容积, V_{0CE} 为轴侧总容积, V_{0HE} 为盖侧总容积; $p_{CE}(\theta)$ 为轴侧压力函数, $p_{HE}(\theta)$ 为盖侧压力函数。

[0012] 本发明进一步的改进在于,步骤(2)中非线性回归的具体过程为:取非线性函数原型为傅立叶级数形式: $F'_g(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^n (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta)$, θ 为曲柄转角, n 为展开次数,为保证拟合精度, a_0, a_1, \dots, a_n 和 b_1, \dots, b_n 为系数,进行拟合,得到周期为 $[0, 2\pi]$ 的函数 $F'_g(\theta)$ 。

[0013] 本发明进一步的改进在于,展开次数 n 大于等于50。

[0014] 本发明进一步的改进在于,步骤(3)中求解轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,具体过程如下:

[0015] (a)用傅立叶级数展开的形式得到轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$:

$$[0016] \quad p_{CE}(\theta) = a_{CE0} + \sum_{n=1}^n (a_{CEn} \cos n\theta + b_{CEn} \sin n\theta)$$

[0017] 其中: θ 为曲柄转角, n 为展开次数, $a_{CE0}, a_{CE1}, \dots, a_{CEn}$ 和 b_{CE1}, \dots, b_{CEn} 为系数;

[0018] (b)由轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 得到盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$ 的表达式:

$$[0019] \quad p_{HE}(\theta) = p_{CE}(\theta + \pi) = a_{CE0} + \sum_{n=1}^n (a_{CEn} \cos n(\theta + \pi) + b_{CEn} \sin n(\theta + \pi))$$

[0020] (c)解方程: $F'_g(\theta) = p_{CE}(\theta) \times S_{CE} - p_{HE}(\theta) \times S_{HE}$,其中, $p_{CE}(\theta)$ 为轴侧压力函数, $p_{HE}(\theta)$ 为盖侧压力函数, S_{CE} 为活塞轴侧面积, S_{HE} 为活塞盖侧面积,得到 $a_{CE0}, a_{CE1}, \dots, a_{CEnum}, b_{CE1}, b_{CE2}, \dots, b_{CEnum}$,进而得到轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$ 。

[0021] 本发明进一步的改进在于,轴侧工作容积 $V_{CE}(\theta) = S_{CE} \times r \left[(1 + \cos\theta) - \frac{1}{\lambda} (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\theta}) \right]$,盖侧工作容积 $V_{HE}(\theta) = S_{HE} \times r \left[(1 - \cos\theta) + \frac{1}{\lambda} (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\theta}) \right]$,轴侧总容积 $V_{0CE} = 2S_{CE}r$,盖侧总容积 $V_{0HE} = 2S_{HE}r$,其中: r 为曲柄半径, θ 为曲柄转角, λ 为曲柄连杆比。

[0022] 与现有技术相比,本发明具有的有益效果:本发明通过在飞轮处安装光电传感器,通过得到的外止点信号,确定压缩机曲柄转角 θ 初始值为0,在活塞杆上粘贴应变片,测量得到压缩机运转一个周期曲柄转角 θ 从 $[0, 2\pi]$ 每个角度对应的杆载荷函数 $F_{rod}(\theta)$;根据杆载荷函数 $F_{rod}(\theta)$ 减往复惯性力 $F_I(\theta)$,得到气体力合力的变化函数 $F_g(\theta)$,再进行傅立叶级数形式进行非线性回归得到拟合结果,另外基于轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,结合轴侧与盖侧活塞工作容积和总容积,得到往复压缩机 p - V 图。本发明一方面不用在压缩机上打孔,避免了现有技术中破坏压缩机本体的问题。另一方面,通过采集数据,计算,拟合出的曲线能够反映出吸气、排气、膨胀和压缩的过程,根据往复压缩机 p - V 图能够进行故障诊断和运行状态监测。

附图说明

- [0023] 图1为杆载荷、气体力合力、往复惯性力曲线；
 [0024] 图2为气体力合力实际曲线和拟合曲线；
 [0025] 图3为p-θ图拟合曲线结果；
 [0026] 图4为往复压缩机p-V图拟合曲线结果。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明进行详细说明。

[0028] 本发明是一种通过测量活塞杆应变获得往复压缩机p-V图的方法,包括下列步骤:

[0029] (1) 在飞轮处安装光电传感器,通过得到的外止点信号,确定压缩机曲柄转角θ初始值0,在活塞杆上粘贴应变片,测量得到压缩机运转一个周期曲柄转角θ从[0,2π]每个角度对应的杆载荷函数 $F_{rod}(\theta)$;

[0030] (2) 计算气体力合力函数 $F_g(\theta)$;具体过程如下:

[0031] (2a) 计算往复惯性力 $F_I(\theta) = m_p r \omega^2 (\cos\theta + \lambda \cos 2\theta)$,其中 m_p 为往复惯性质量, r 为曲拐半径, ω 为压缩机转速, λ 为曲柄半径连杆比, θ 为曲柄转角;

[0032] (2b) 取气体力合力函数 $F_g(\theta) = F_{rod}(\theta) - F_I(\theta)$,如图1;

[0033] (3) 对第(2)步中[0,2π]周期内的气体力合力函数 $F_g(\theta)$ 进行非线性回归,取非线性函数原型为傅立叶级数形式: $F'_g(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^n (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta)$,θ为曲柄转角,n为展开次数,为保证拟合精度,n大于等于50,优选n取50, a_0, a_1, \dots, a_n 和 b_1, \dots, b_n 为系数,进行拟合得到周期为[0,2π]的函数 $F'_g(\theta)$,如图2;

[0034] (4) 求解轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,具体过程如下:

[0035] (4a) 用傅立叶级数展开的形式得到轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$:

$$[0036] \quad p_{CE}(\theta) = a_{CE0} + \sum_{n=1}^n (a_{CEn} \cos n\theta + b_{CEn} \sin n\theta)$$

[0037] 其中:θ为曲柄转角,n为展开次数,为保证拟合精度,n大于等于50,优选n取50, $a_{CE0}, a_{CE1}, \dots, a_{CEn}$ 和 b_{CE1}, \dots, b_{CEn} 为系数;

[0038] (4b) 由轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 得到盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$ 的表达式:

$$[0039] \quad p_{HE}(\theta) = p_{CE}(\theta + \pi) = a_{CE0} + \sum_{n=1}^n (a_{CEn} \cos n(\theta + \pi) + b_{CEn} \sin n(\theta + \pi))$$

[0040] (4c) 解方程: $F'_g(\theta) = p_{CE}(\theta) \times S_{CE} - p_{HE}(\theta) \times S_{HE}$,其中, $p_{CE}(\theta)$ 为轴侧压力函数, $p_{HE}(\theta)$ 为盖侧压力函数, S_{CE} 为活塞轴侧面积, S_{HE} 为活塞盖侧面积,得到 $a_{CE0}, a_{CE1}, \dots, a_{CEnum}, b_{CE1}, b_{CE2}, \dots, b_{CEnum}$,进而得到轴侧压力函数 $p_{CE}(\theta)$ 和盖侧压力函数 $p_{HE}(\theta)$,如图3;

[0041] (5) 得到p-θ图、往复压缩机p-V图,具体过程如下:

[0042] (5a) 计算轴侧工作容积 $V_{CE}(\theta) = S_{CE} \times r \left[(1 + \cos\theta) - \frac{1}{\lambda} (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\theta}) \right]$

和盖侧工作容积 $V_{HE}(\theta) = S_{HE} \times r \left[(1 - \cos\theta) + \frac{1}{\lambda} (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\theta}) \right]$,计算轴

侧总容积 $V_{0CE} = 2S_{CE}r$ 和盖侧总容积 $V_{0HE} = 2S_{HE}r$,其中: r 为曲柄半径, θ 为曲柄转角, λ 为曲柄连杆比;

[0043] (5b) 以曲柄转角 θ 为横坐标,以 $p_{CE}(\theta)/p_{sCE}$ 和以 $p_{HE}(\theta)/p_{sHE}$ 为纵坐标,其中 $p_{CE}(\theta)$ 为轴侧压力, $p_{HE}(\theta)$ 为盖侧压力,取曲柄转角 θ 为 0° 时的轴侧压力 $p_{CE}(0)$ 为轴侧吸气压力 p_{sCE} ,取曲柄转角 θ 为 180° 时的盖侧压力 $p_{HE}(180)$ 为盖侧吸气压力 p_{sHE} ,得到 $p-\theta$ 图,如图4;

[0044] (5c) 以 $V_{CE}(\theta)/V_{0CE}$ 和 $V_{HE}(\theta)/V_{0HE}$ 为横坐标,以 $p_{CE}(\theta)/p_{sCE}$ 和以 $p_{HE}(\theta)/p_{sHE}$ 为纵坐标,取曲柄转角 θ 为 0° 时的轴侧压力 $p_{CE}(0)$ 为轴侧吸气压力 p_{sCE} ,取曲柄转角 θ 为 180° 时的盖侧压力 $p_{HE}(180)$ 为盖侧吸气压力 p_{sHE} ,得到往复压缩机 $p-V$ 图,如图4。

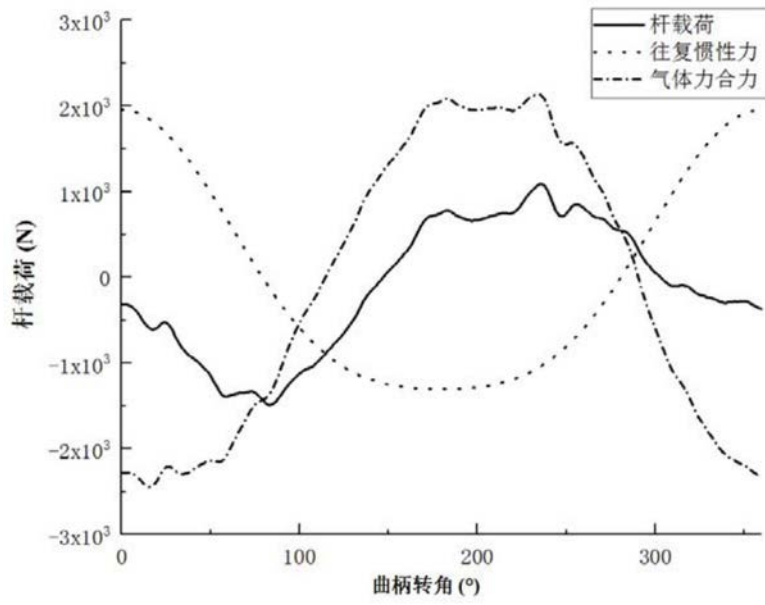


图1

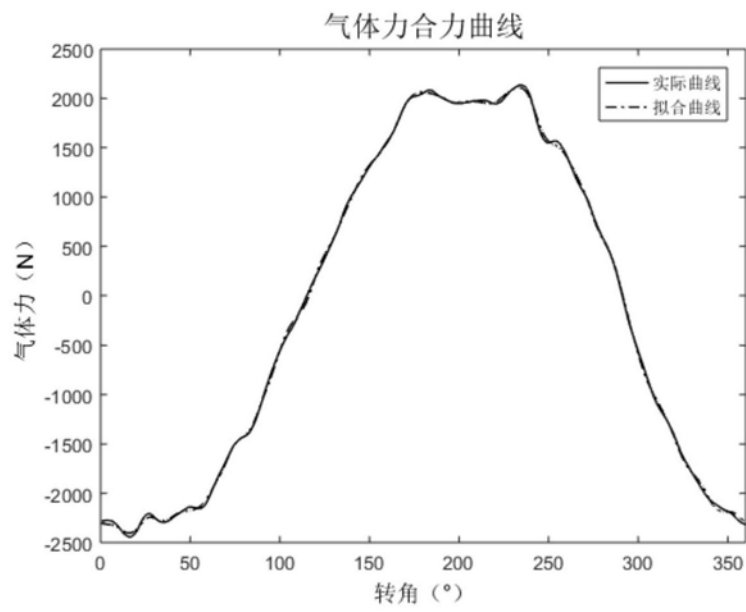


图2

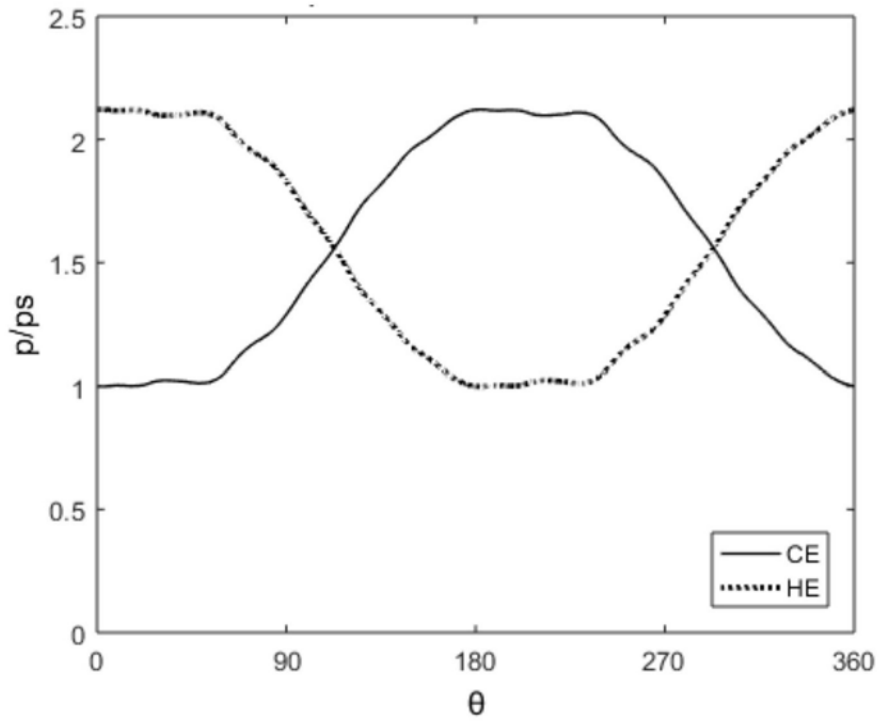


图3

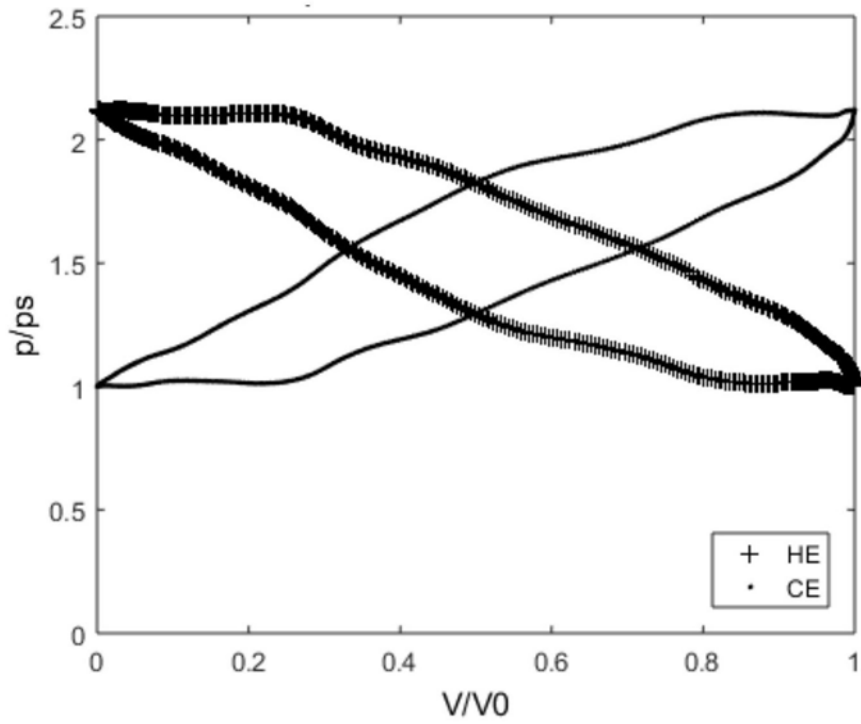


图4