

基于间隙误差的 HCPE 运动精度仿真分析

黄妮,戴作强

(青岛大学 机电工程学院,山东 青岛 266071)

摘要:为了研究间隙误差对液压约束活塞发动机(HCPE)运动精度的影响,首先在 ADAMS 中建立含有间隙误差的 HCPE 主运动系统动力学模型,然后通过对比不同间隙误差模型之间的输出参数,分析间隙误差对系统运动以及受力的影响,从而对运动系统精度进行评价。研究结果表明,在一定范围内,间隙误差对动力活塞-滑块-柱塞组的位移、速度的影响较小,但对运动副构件之间作用力有明显的影响,并随着间隙误差的增大而增加。

关键词:HCPE; ADAMS; 活塞发动机; 间隙误差; 运动精度

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)06-0086-04

Simulation Analysis of Motion Accuracy of HCPE Based on Clearance Error

HUANG Ni, DAI Zuoqiang

(School of Electromechanic Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: To study the influence of clearance error on the kinematic accuracy of hydraulic confined piston engine (HCPE), the dynamical model of the main motion system of HCPE with clearance error is established in ADAMS. Then, by the output of parameters between models of different clearance error, the influence of clearance error on system motion and force is analyzed and the kinematic accuracy of the motion system is evaluated. The results show that the clearance error has little effect on the displacement and velocity of the dynamic piston-slender-plunger group, but it has obvious effect on the force between the moving pair members, and the effect increases with the increase of the clearance error.

Keywords: HCPE; ADAMS; piston engine; clearance error; kinematic accuracy

0 引言

HCPE 是一种新型动力技术与设备,装车后不仅能够合理地调节动力系统负荷、回收再利用惯性能源,而且还能够大大简化后续动力传动系统^[1-5]。机构的运动精度首先取决于零件在生产过程中的制造和装配精度,如果零件本身在制造过程中的精度不高,任何系统都无法对其产生优化的效果。首先对运动产生影响的就是尺寸误差,所以,需要分析系统尺寸误差对机构运动精度的影响。其次,由于运动需要运动副,就必然会产生运动副间隙,如果间隙过小则机构运动摩擦过大,产生多余的能量消耗,缩短构件的寿命;间隙过大则会使运动精度降低,还会产生运动副冲击,应力增大,所以应将运动副的间隙考虑在内。机械结构运动精度可靠性是在结构可靠性和电子可靠性的基础上发展而来的,虽然起步晚^[6],但是已经成为近些年学术研究的热点。在运动副间隙误差对机构运动精度可靠性的研究分析方面, Lee 等人建立有效杆长理论,对机构运动链运动概率特性进行了分析,这一理论成为间隙模型处理分析的依据。李昌等人利用该有效杆长理论模型,基于 ADAMS 的虚拟环境下,对曲柄滑块机构进行了可靠性仿真分析^[7]。同样,罗继曼、孙志礼也利用该理论对盘形凸轮等机构进行了运动及动作可靠性研究,并得到

相应分析结论^[8-9]。宋黎利用计算机仿真技术对含有间隙的曲柄滑块机构运动误差分析的模拟实验修正法作了进一步研究^[10]。此外,还有很多学者对连杆机构、平面四连杆、曲柄摇杆以及其他平面机构进行了计算机仿真分析^[11-14]。

本文对 HCPE 主运动系统进行运动精度仿真分析,从运动副间隙误差两个影响因素出发,对 HCPE 的运动精度和受力情况进行分析研究。

1 HCPE 主运动系统模型的建立

HCPE 系统主要参数如下:动力活塞-导向滑块行程 $x = 90 \text{ mm}$;曲柄半径 $\gamma = 45 \text{ mm}$;连杆长度 $l = 130 \text{ mm}$;动力活塞和导向滑块直径 $I = 82 \text{ mm}$;活塞中心线偏离曲轴中心 1.2 mm ;液压柱塞直径 16 mm ,每缸柱塞数为 3;主轴径 62 mm ;连杆轴径 28 mm 。首先,利用 Solidworks 建立零件模型,并进行装配,然后再将模型导入到 ADAMS 中。模型设定转速为 1600 r/min ,进行运动仿真分析,HCPE 仿真模型见图 1。

首先对各零部件名称以及材料属性进行修改,然后对各部件之间约束和驱动进行设置,使整个系统可以按照预

基金项目: 国家科技支撑计划(80114020168)

作者简介: 黄妮(1994—),女,湖南常德人,硕士研究生,研究方向为氢燃料电池客车。

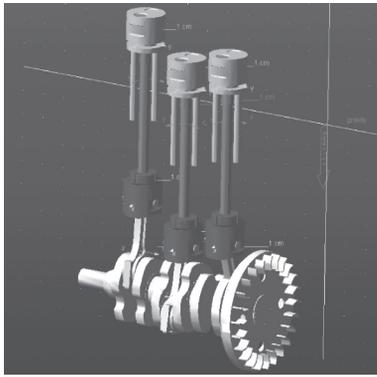


图1 HCPE 仿真模型

定的路线运动。最后对模型设置仿真时间及步数,仿真得到运动参数并进行后处理分析。

2 间隙误差对 HCPE 运动精度的影响

通过对活塞销转动副间隙误差、气缸侧向间隙误差、连杆大头转动副间隙误差对系统运动规律和运动副间受力的影响进行分析,进而评价间隙误差对 HCPE 运动精度的影响。

2.1 活塞销转动副间隙误差对运动精度和受力的影响

活塞销与导向滑块之间间隙误差分别取 0.04 mm、0.06 mm、0.08 mm 及理想状态(无误差)时,对动力活塞-滑块-柱塞组的纵向运动规律、动力活塞与气缸之间侧向力、连杆大头与曲柄之间垂直方向作用力进行仿真分析,仿真结果如图 2-图 4 所示(本刊为黑白印刷,如有疑问请联系作者)。

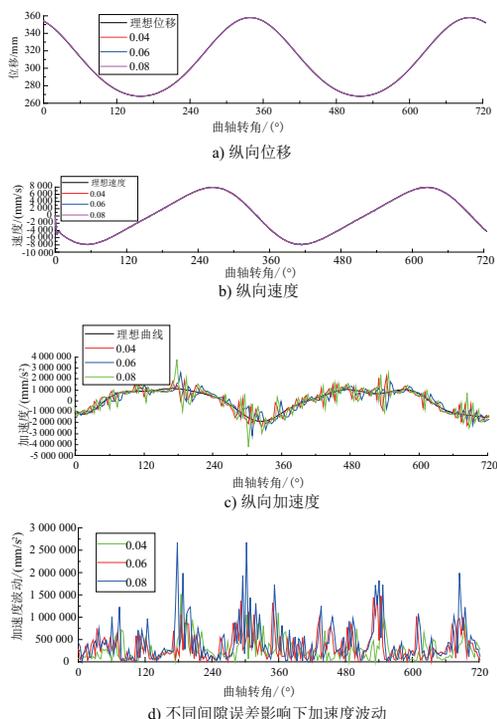


图2 动力活塞-滑块-柱塞组的纵向运动规律

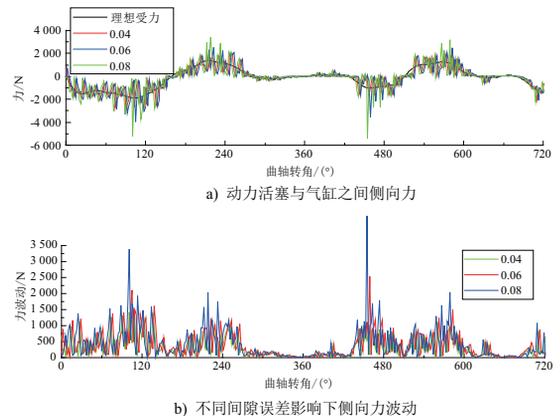


图3 动力活塞与气缸之间侧向力

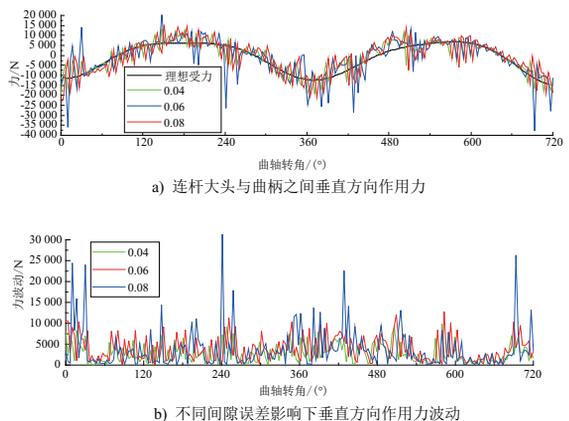


图4 连杆大头与曲柄之间垂直方向作用力

由图 2-图 4 可分析计算得出:在 0.04 mm、0.06 mm、0.08 mm 3 个间隙误差下,与理想状态比较,加速度波动幅值分别为 1324 m/s^2 、 1731 m/s^2 、 2675 m/s^2 ,波动平均值分别为 338.1 m/s^2 、 383.9 m/s^2 、 444.2 m/s^2 ;动力活塞与气缸之间侧向力波动幅值分别为 1417 N、2535 N、3386 N,波动平均值分别为 310.2 N、371.5 N、414.6 N;连杆大头与曲柄曲柄之间在垂直方向上受力波动幅值分别为 9046 N、12776 N、26306 N,波动平均值为 2870 N、3766 N、3851 N。

通过分析可以看出,随着活塞销与导向滑块之间转动副间隙误差的增大,动力活塞位移、速度发生轻微波动,变化不大。而动力活塞加速度、动力活塞与气缸之间侧向力、连杆大头与曲柄曲柄之间垂直方向上受力发生了明显的波动,并且随着间隙误差的增加波动增大,这会使得零件的磨损加剧,寿命降低,带来较大损耗。

2.2 气缸侧向间隙误差运动精度和受力的影响

动力活塞与气缸之间侧向间隙误差分别取 0.04 mm、0.16 mm、0.22 mm 及理想状态(无误差)时,对动力活塞-滑块-柱塞组的纵向运动规律、动力活塞与气缸之间侧向力、连杆大头与曲柄之间垂直方向作用力进行仿真分析,结果如图 5-图 7 所示。

由图 5-图 7 可得出在 0.04 mm、0.16 mm、0.22 mm 3 个间隙误差下,与理想状态比较,加速度波动幅值分别为

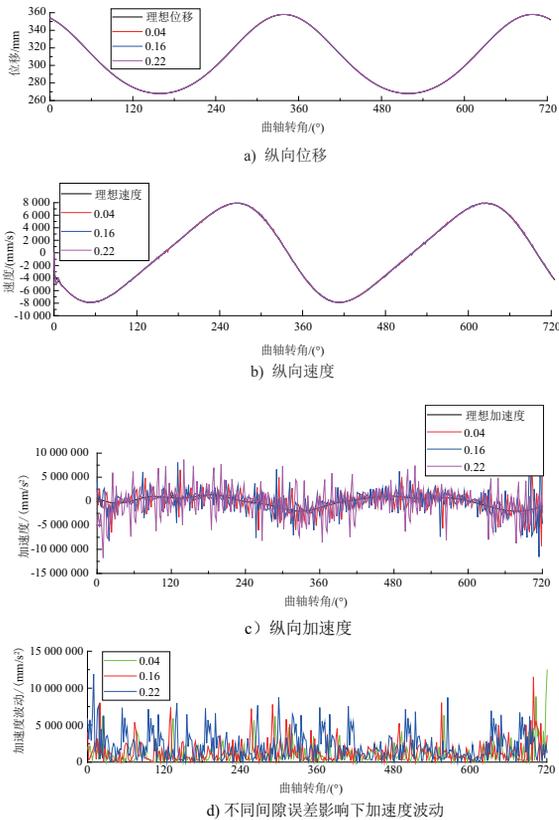


图5 动力活塞-滑块-柱塞组的纵向运动规律

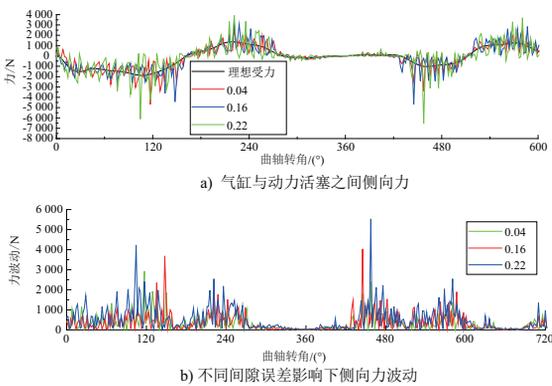


图6 动力活塞与气缸之间侧向力

6212 m/s²、8042 m/s²、11910 m/s², 波动平均值分别为 1104 m/s²、1477 m/s²、2252 m/s²;动力活塞与气缸之间侧向力波动幅值分别为 2922 N、4039 N、5534 N, 波动平均值分别为 337.6 N、359.8 N、521.0 N;连杆大头与曲轴曲柄之间在竖直方向上受力波动幅值分别为 14 199 N、35 944 N、45 869 N, 波动平均值为 3 326 N、4 119 N、5 517 N。

通过分析可知随着动力活塞与气缸缸套之间转动副间隙误差的增大,动力活塞位移、速度发生轻微波动,变化不大。而动力活塞加速度、动力活塞与气缸之间侧向力和连杆大头与曲轴曲柄之间竖直方向上受力发生了明显的波动,并且随着间隙误差的增加,波动增大。当动力活塞与气缸缸套之间径向间隙增加到 0.22 mm 时,作用力甚至能增加到理想状态下的 1 倍。

可以看出随着间隙误差的增大,构件运动基本运动性

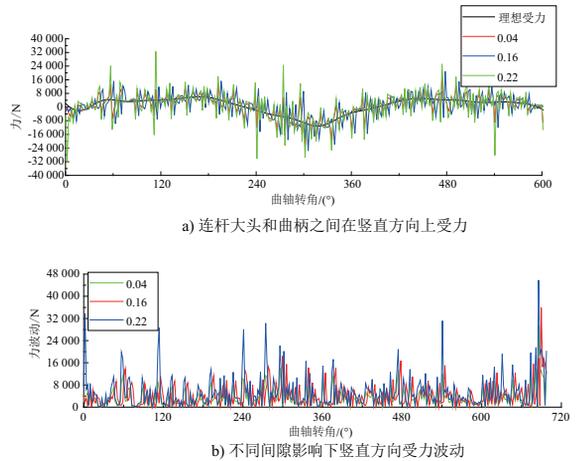


图7 连杆大头与曲柄之间垂直方向作用力

质没有发生变化,而构件之间作用力加强,这对构件会产生一定的影响。

2.3 连杆大头转动副间隙误差对运动精度和受力的影响

连杆大头和曲轴曲柄之间转动副径向间隙误差分别取 0.04 mm、0.12 mm、0.18 mm 及理想状态时,对动力活塞-滑块-柱塞组的纵向运动规律、动力活塞与气缸之间侧向力、连杆大头与曲柄之间竖直方向作用力进行仿真分析,结果如图 8-图 10 所示。

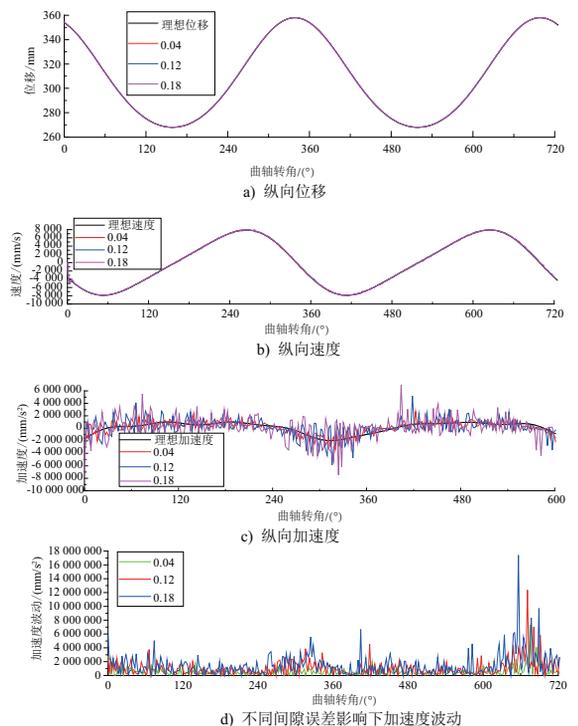


图8 动力活塞-滑块-柱塞组的纵向运动规律

由图 8-图 10 可得出在 0.04 mm、0.12 mm、0.18 mm 3 个间隙误差下,与理想状态比较,加速度波动幅值分别为 7 312 m/s²、12 358 m/s²、17 414 m/s², 波动平均值分别为 583.7 m/s²、1 025 m/s²、1 452 m/s²;动力活塞与气缸之间侧

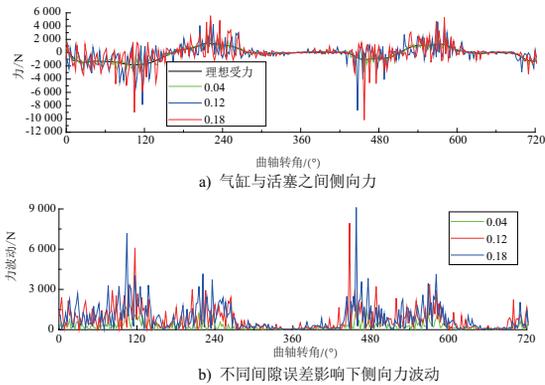


图9 动力活塞与气缸之间侧向力

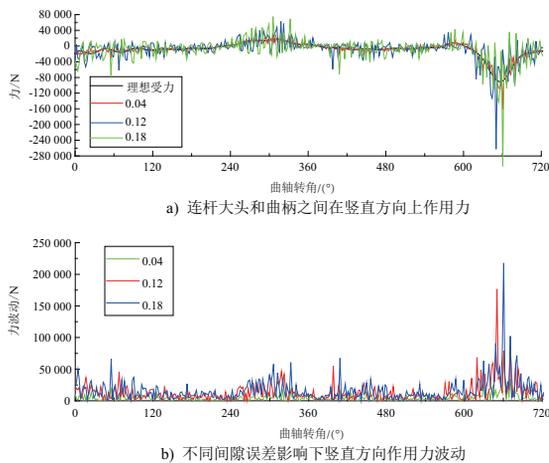


图10 连杆大头与曲柄之间垂直方向作用力

向力波动幅值分别为 1835 N、7945 N、9113 N,波动平均值分别为 250.4 N、758.3 N、860.4 N;连杆大头与曲轴曲柄之间在竖直方向上受力波动幅值分别为 72825 N、176518 N、217814 N,波动平均值为 4797 N、12945 N、15760 N。

由分析可知随着连杆大头与曲轴曲柄之间转动副间隙误差的增大,动力活塞位移、速度发生轻微波动,变化不大。而动力活塞加速度、动力活塞与气缸之间侧向力和连杆大头与曲轴曲柄之间竖直方向上受力发生了明显的波动,并且随着间隙误差的增加波动增大。当曲轴曲柄之间转动副径向间隙增加到 0.18 mm 时,作用力甚至能增加到理想状态下的 1 倍。在某些角度时,构件之间作用力波动尤为明显,容易造成构件在某些部位磨损大于其他部位,对构件之间配合圆柱度产生影响,加速构件的失效速度。

3 结语

通过对含有间隙误差的 HCPE 主运动系统动力学模

型进行仿真分析,得到不同误差对系统运动精度的影响程度。分析结果表明:

1) 在运动学方面,随着间隙误差的变化,系统运动状态没有发生明显变化,只是加速度发生一定程度的波动,所以间隙误差对系统运动状态的影响较小。

2) 在受力方面,随着间隙误差的增大,组成运动副构件之间互相作用力会增大,当动力活塞与气缸缸套之间径向间隙增加到 0.22 mm、连杆大头与曲轴曲柄之间转动副径向间隙增加到 0.18 mm 时,作用力甚至能增加到理想状态下的 1 倍。

3) 间隙误差对发动机各构件的受力影响明显,这将会对组成运动副构件的寿命和系统的稳定性产生不利的影响,加速构件的磨损,降低构件寿命。因此,需要对间隙进行进一步合理设计,减小间隙误差,以保证零部件以及系统使用的可靠性。

参考文献:

- [1] 张洪信,张铁柱,霍炜,等. 液压约束活塞发动机能量平衡分析[J]. 农业机械学报,2009,40(3):36-39.
- [2] 张洪信,戴作强,张翼,等. 轴向液压约束活塞发动机工作原理与运转平稳性[J]. 中国机械工程,2006,17(5):529-532.
- [3] ZHANG Hongxin,ZHANG Tiezhu,WANG Weichao. Influence of valve's characteristic on total performance of three cylinders internal combustion water pump [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2009,22(1):91-96.
- [4] 赵红,张铁柱,张洪信,等. 三缸内燃式水泵的动力学建模和外特性仿真[J]. 农业工程学报,2009,25(3):114-118.
- [5] 张铁柱,张洪信,张继忠,等. 工程机械的未来动力源——机械-液压双元动力系统[J]. 中国工程机械学报,2005,3(3):262-266.
- [6] 王超,王金. 机械可靠性工程[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.
- [7] 李昌,韩兴,孙志礼. 基于机构运动精度的可靠性虚拟实验方法研究[J]. 机械设计,2007,24(11):17-21.
- [8] 罗继曼,孙志礼. 盘形凸轮机构运动可靠性模型的研究[J]. 机械设计与制造,2002(3):11-13.
- [9] 罗继曼,孙志礼. 对曲柄滑块机构运动精度可靠性模型的研究[J]. 机械科学与技术,2002,21(6):959-962.
- [10] 宋黎. 间隙曲柄滑块机构运动误差分析的模拟实验修正法[J]. 机械设计,1999(4):37-40.
- [11] 陆凤仪,孙占营. 基于杆组理论的连杆机构运动精度及运动仿真研究[J]. 太原重型机械学院学报,2003,24(1):57-61.
- [12] 陈建军. 平面四杆机构运动精度可靠性分析与数字仿真[J]. 西安电子科技大学学报,2001,28(6):759-763.
- [13] 武丽梅,耿华. 基于 ADAMS 的曲柄摇杆机构的运动精度仿真研究[J]. 机械设计与制造,2006(10):9-12.
- [14] 周聰明,赵竹青. 平面机构运动精度可靠性分析与数字仿真[J]. 机械设计,2005,22(1):48-50.

收稿日期:2018-08-21