

笛管式配气机构进气量的分析研究

章文英, 王瑞敏

(金华职业技术学院, 浙江 金华 321007)

摘要: 阐述了笛管式内燃机配气机构的结构原理, 并创建有限元模型, 采用 CFdesign 软件仿真的方法对比传统配气机构和笛管式配气机构进气机理, 分析进气过程中两者气缸体积流量的变化规律. 结果表明: 笛管式配气机构在提高较小转角或较小开度时, 能使进排气流畅, 进气更为充分, 从而大大提高了进气量.

关键词: 笛管式配气机构; 结构原理; 进气量

中图分类号: TK423

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 03-0090-04

近年来, 中国能源对外依存度上升较快, 特别是石油对外依存度从 21 世纪初的 32% 上升至目前的 57%; 2013 年发布的国务院关于印发能源发展“十二五”规划中数据表明, 油气人均剩余可采储量仅为世界平均水平的 6%. 国务院办公厅〔2013〕12 号文件“关于加强内燃机工业节能减排的意见”, 提出了加快内燃机节能减排新技术的研发、应用和产业化的号召, 研究开发节约能源的新型内燃机已经势在必行. 国内关于无簧无凸轮轴式配气机构的研究未见报道, 只是对国外的无凸轮轴式电磁、电液控制配气系统的研究进展进行了一些报道^{[1]-[6]}. 国外以美国 Ford 公司和德国 Benz 公司为代表的无凸轮轴电液控制机构, 采用无弹簧的电液驱动气门可以减少无用功的损耗, 但是其响应时间较慢; 另外系统工作时, 液体的压力波动、可压缩性、电磁阀的响应速度以及气缸内气体压力波动时的气门运动难以精确实现. 文献[7-10]设计了用于无凸轮电液驱动气门配气机构的控制运算方法.

笔者设计了一种笛管式配气机构的内燃机^[11], 根据气缸中心孔间距, 在笛管上沿一定转角进行开孔, 通过笛管转动来完成各缸的进排气工作过程. 这种机构的特点是进排气直接, 进排气时面值大, 能有效提高进排气效果, 又因没有气门弹簧和

驱动凸轮轴等摇臂的径向作用, 机械损失小, 能够达到节能减排的效果; 同时由于没有气门弹簧和驱动凸轮轴的摇臂等, 简化了配气机构, 顺应了内燃机产业节能减排的趋势, 也是一种节能型内燃机的创新. 文中还对该配气机构的进排气工作机理进行研究, 并与现有传统的弹簧凸轮轴式配气机构进行对比分析, 验证了笛管式配气机构可以大大提高进气量, 为笛管式内燃机的设计提供了理论依据.

1 笛管式内燃机配气机构的结构设计

笛管式内燃机在气缸盖端部安装有进气管、排气管; 气缸盖上方排列 2 个平行笛管, 正对进气管为进气笛管, 正对排气管为排气笛管. 2 根笛管由曲轴正时齿轮驱动, 通过 1 号惰轮和 2 号惰轮带动进气笛管旋转齿轮和排气笛管旋转齿轮作旋转运动, 曲轴正时齿轮与笛管旋转齿轮的齿数比为 1:2, 保证四冲程内燃机曲轴转 2 周, 笛管旋转齿轮各转 1 周, 各缸进排气 1 次. 根据气缸间距, 在相应的进排气笛管轴向间隔一定距离沿一定转角开有若干孔, 故称为笛管. 开孔角度为 $360^\circ/\text{气缸数}$, 当某缸进气时, 该缸对应的进气笛管孔对准燃烧室中的进气口, 完成进气过程; 当某缸排气时, 该缸对应的排气笛管孔对准燃烧室中的排气口, 完成排气

过程;即通过笛管的转动,完成各缸的进排气工作过程^[12]。具体结构如图1所示。

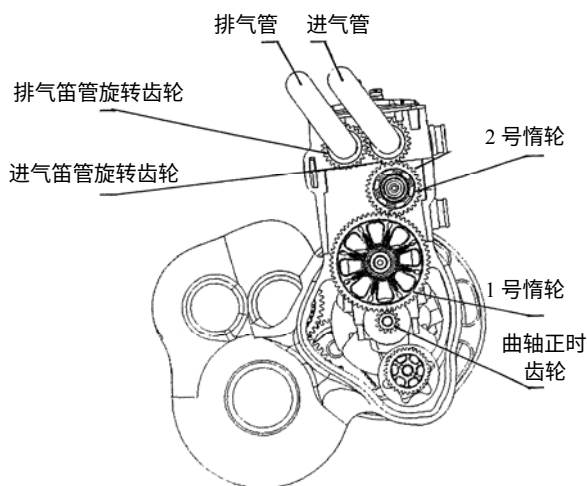


图1 笛管式配气机构传动示意图

笛管式内燃机配气机构包括曲轴正时齿轮、2个惰轮、2个进排气笛管旋转齿轮、进排气笛管等主要零部件,而传统配气机构包括曲轴正时齿轮、凸轮轴正时齿轮、挺柱、摇臂轴、摇臂、气门弹簧、气门等零部件,其中挺柱、气门弹簧、气门等数量是气缸数的2倍或2倍以上,所以笛管式内燃机配气机构的结构简单,零件数减少,克服了传统配气机构在进排气开启气门时由于气门弹簧阻力而消耗能量的缺陷,机械损失少。

2 传统配气机构进气机理分析

设计中的笛管式内燃机以普通桑塔纳 ARJ 发动机(1.8 L)为原型机,参考原型机参数,缸径为 81 mm(即半径为 40.5 mm),进排气门杆直径为 $\Phi 7.97$ mm,进气门阀盘直径 $\Phi 38$ mm,气门工作面斜角进排气门均取值为 45° 。建立如图2所示的模型。

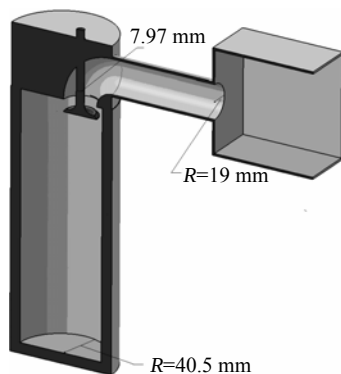


图2 内燃机原型机模型

参考原型机参数,配气机构凸轮轴基圆为 $\Phi 34$ mm,凸轮总升程为 10.0 mm,其凸轮每 1 mm 升程(即气门每位移 1 mm)时,其轴旋转角度的相关数据见表1,凸轮总轴旋转角度为 69.552 rad。凸轮对应点图形如图3所示。

表1 气门位移与凸轮轴旋转角度的关系

气门位移过程/mm	凸轮轴旋转角度/rad
0→1	22.165
1→2	8.631
2→3	6.297
3→4	5.068
4→5	4.277
5→6	3.716
6→7	3.293
7→8	2.983
8→9	3.685
9→10	9.437

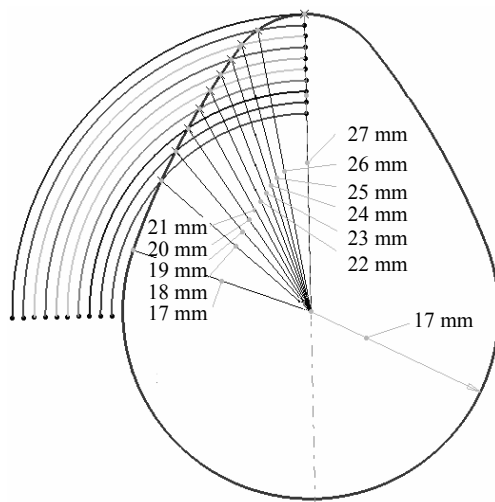


图3 凸轮每1 mm升程时的对应点

通过 CFXDesign 软件分析^[13],得出在气门开始升起至完全打开的 0~10 mm 气门位移时,凸轮转角范围为 0~69.552 rad,对应的气缸体积流量如图4所示。由图可知,气门在 0~10 mm 开启过程中的平均流量为 $0.0106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3 笛管式配气机构进气机理分析

根据进气系统的结构,选取自由网格实体单元 Ctria3 进行划分。根据气门、活塞、笛管运动的特性需要,与其他部件建立公共的表面网格模型。每个零件表面模型建完成之后,通过 Tetramesh 命

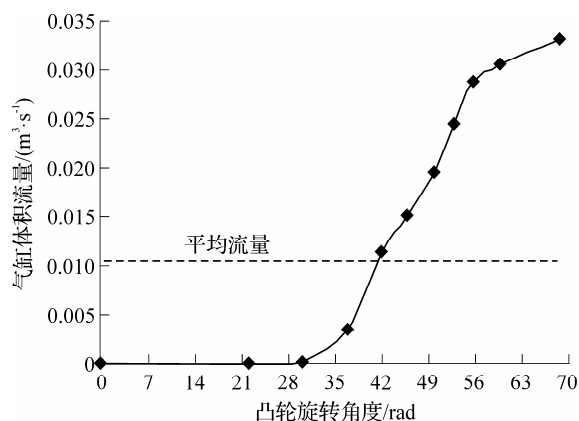


图4 凸轮转角与气缸体流量的对应关系

令建立 3D 实体网格, 导入至 CFdesign 软件中, 并进行仿真条件设置。

边界条件如下: 进口压力为 0 Pa, 出口压力为 -2 490 Pa; 空气密度为 $1.2047 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3}$, 粘性为 $1.817 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 导热系数为 $2.563 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot (\text{mm} \cdot \text{k})^{-1}$, 比热为 $1.004 \text{ J} \cdot (\text{g} \cdot \text{k})^{-1}$, 可压缩性 C_p/C_v 为 1.4。

为了获得 2 种进排气机构的可比性, 笛管式内燃机进排气机构缸径的取值与原型机进排气机构一致, 为 81 mm (即半径取 40.5 mm); 笛管直径与传统进排气机构的进气管直径一致, 取 $\Phi 38 \text{ mm}$, 笛管孔采用如图 5 模型所示的长圆孔, 尺寸选长 18 mm, $R = 11 \text{ mm}$ 。

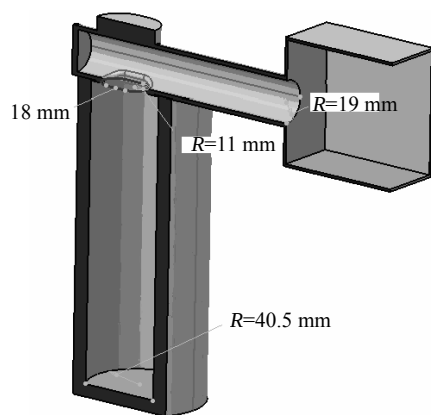


图5 笛管式内燃机模型

根据上述结构尺寸, 笛管孔从刚开到完全开启时, 笛管转角范围为 $0 \sim 68.68 \text{ rad}$, 而传统进排气机构气门完全开启的凸轮转角范围为 $0 \sim 69.552 \text{ rad}$, 两者较为接近。由图 6 的笛管旋转角度与气缸体流量关系可知, 笛管式配气机构进气孔在刚打开至完全打开的过程中, 平均流量为 $0.0183 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

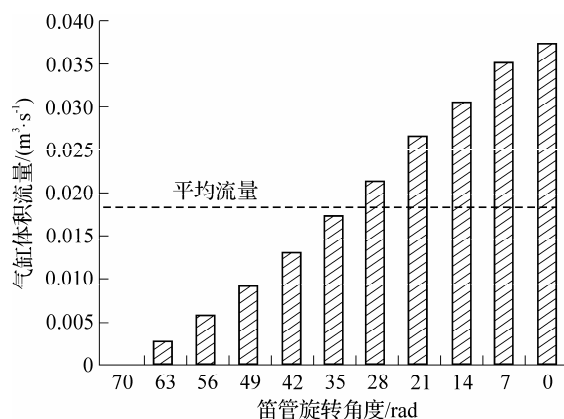


图6 笛管旋转角度与气缸体流量的对应关系

4 笛管式与传统式配气机构进气量的比较

由图 7 可知, 传统配气机构在进气过程中, 气门刚开启时, 升程较少, 进气阻力大, 凸轮轴转过 28 rad 以后, 才有明显的气缸体流量, 在达到凸轮最大升程 10 mm 时, 气缸体流量达到最大值, 为 $0.033186 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。而笛管式配气机构在进气过程中, 笛管孔一旦有开启, 就有气体体积流量, 并呈明显接近直线增长趋势, 一直到笛管孔完全打开时, 达到气缸体流量最大值, 为 $0.037502 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

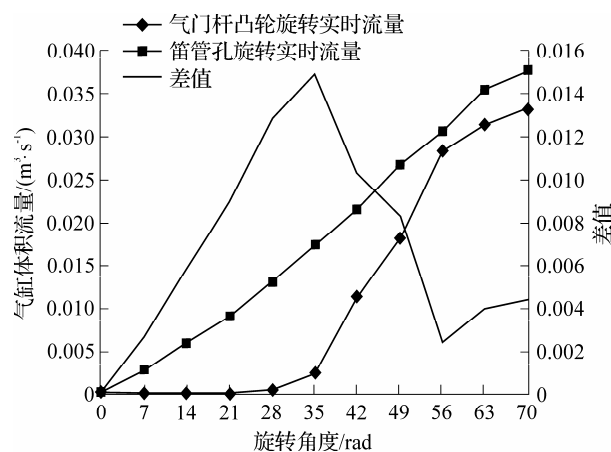


图7 笛管式与传统方式下旋转角度与气缸体流量的对应与差值关系

此外, 从图 7 的差值曲线可见, 笛管式配气机构在进排气过程中, 明显提高了 $0 \sim 35 \text{ rad}$ 转角范围内的进排气量。对于笛管孔式的进排气方式而言, 减少较小转角或较小开度时进排气流畅度大; 笛管孔式的进排气方式在其转角内由于气流流动阻力小, 在相同的转角情况下, 笛管式进排气机构进气量始终大于传统式机构进气量, 所以笛管式配

气机构大大提高了进排气量的大小,可以使进气更充分,排气更迅速。

5 结论

0~70 rad 转角范围内采用笛管式配气机构的进气量,始终大于传统式配气机构的进气量,尤其是在 0~35 rad 较小转角时,进气量提高明显,体现了笛管式配气机构的特点,进排气直接,进排气时面值大,能有效提高进排气效果。加上没有弹簧和驱动凸轮轴等摇臂等结构,使配气机构得到大大简化,并无克服弹簧做功的发动机损失,无驱动凸轮轴摇臂等的机械损失,使新型配气机构整体机械损失减少,能够达到节能减排的效果。

参考文献:

- [1] 李志锐,舒歌群. 无凸轮电液驱动气门配气机构技术的发展[J]. 拖拉机与农用运输车, 2005(2):1-3.
- [2] 苏炎玲,舒歌群,李志锐. 内燃机无凸轮电液驱动配气机构控制技术[J]. 小型内燃机与摩托车, 2004(2):36-39.
- [3] 严兆大,王希珍. 电磁控制全可变气门系统及其仿真[J]. 内燃机工程, 2002(4):10-12.
- [4] 李莉,王希珍. 电磁驱动气门机构控制策略初探[J]. 汽车工程, 2004(4):426-429.
- [5] 张廷羽,张国贤. 电液气门驱动系统动态特性分析[J]. 流体传动与控制, 2005(3):1-4.
- [6] 许回江,潘志翔. 柴油机电—液驱动气门系统仿真设计研究[J]. 航海工程, 2006(5):50-53.
- [7] Ronchi F, Rossi C, Tilli A. Sensing device for camless engine electromagnetic actuators[J]. Industrial Electronics Society, 2002(2):1669-1674.
- [8] Gibson A, Kolmanovsky L. Modeling positive intake valve overlap air charge response in camless engines[C]. Proceedings of the American Control Conference, 2003: 755-760.
- [9] Montanari M, Ronchi F, Rossi C. Trajectory generation for camless internal combustion engine valve control[J]. Industrial Electronics, 2003(1):454-459.
- [10] Hoffmann W, Peterson K, Stefanopoulou A G. Iterative learning control for soft landing of electromechanical valve actuator in camless engines[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2003, 11(2):174-184.
- [11] 苏援农. 新型内燃发动机: 中国, 200610051086.6[P]. 2006-11-08.
- [12] 袁兆成. 内燃机设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008:7.
- [13] 李鹏飞,徐敏义,王飞飞. 精通CFD工程仿真与案例实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011:10.

Probe: Gas Intake of Tube-type Internal Combustion Engine's Gas Distribution

ZHANG Wen-ying, WANG Rui-min

(Jinhua Polytechnic, Jinhua 321017, China)

Abstract: In contrast with the traditional internal combustion engine gas distribution, the tube-type gas distribution is proposed based on the finite element models and CFX software simulation. This paper describes the structure design of the tube-type gas distribution of internal combustion engine. The work mechanism is compared between the traditional gas distribution and the proposed one, and the varying regulation of cylinder volume flows is also analyzed. The conclusion is that the tube-type gas distribution improves the gas intake and exhausts smoothness as small angle or small opening enlarges. As a result, the amount of intake gas is increased significantly.

Key words: tube gas distribution mechanism; structure design; gas intake

(责任编辑 章践立)