

高强化柴油机进气流动特性研究

张鑫华,许俊峰,魏福祥,王宏达,杜关心

(中北大学 能源动力工程学院,山西 太原 030051)

摘要:针对某高强化柴油机,运用发动机三维仿真软件 converge 建立模型,并通过柱坐标系下气门间隙环带的总速度和速度分量以及缸内不同截面下的速度分布规律,对切向进气道和螺旋进气道出口处的气体流动特性进行研究。研究发现:气流通过切向气道的速度整体略高于通过螺旋气道的速度,径向速度的变化趋势更贴近于总速度;在进气过程中,气门间隙处会发生回流,这是由于气流通过两气道后相撞,产生了小的涡团。回流的影响虽然很小,但综合考虑是不可以完全忽略的。

关键词:高强化柴油机;螺旋气道;切向气道;气门环带

中图分类号:TK421.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)01-0113-04

Research on Intake Flow Characteristics of Highly Intensified Diesel Engine

ZHANG Xinhua, XU Junfeng, WEI Fuxiang, WANG Hongda, DU Guanxin

(School of Energy and Power Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A model for a highly intensified diesel engine is established by using the engine three-dimensional simulation software converge, and the gas flow characteristics at the outlet of tangential inlet and helical inlet is studied through the total velocity and velocity component of valve clearance ring in cylindrical coordinate system and the velocity distribution law of different sections in cylinder. It is found that the overall velocity of airflow through tangential airway is slightly higher than that through spiral airway, and the variation trend of radial velocity is closer to the total velocity. In the process of intake, backflow will occur at the valve clearance due to the collision of air flow through the two air passages resulting in small vortices. Although the impact of reflux is very small, it should not be completely ignored.

Keywords: highly intensified diesel engine; helical port; tangential port; valve ring belt

0 引言

进气过程是内燃机运转过程中的一个重要阶段,它为内燃机燃烧过程提供新鲜空气^[1]。进气的优劣是决定动力输出、燃油经济性以及排放性能好坏的关键因素之一^[2-3]。受不同进气道和气门复杂结构的影响,气门附近的流动特性十分复杂。因此,对气门附近的流动特性进行研究具有重要意义。近年来,相关学者对优化进气口的流动特性愈加重视,对评估高增压条件下的柴油机进气流动特性有了进一步的研究^[4],且有大量研究分析了不同组合气道形式的柴油机进气流动特性^[5-8],并取得了一定的成果。

仿真可以更好地预测、分析和评估模型,对所研究目标更具有针对性。本文运用 converge 软件,对切向和螺旋组合气道的某高强化柴油机进行三维瞬态数值模拟研究,通过分析其进气流动特性,为进一步优化进气口流动特性奠定基础。

1 模型构建与标定

以某真实单缸柴油机为基础,通过 Pro/E 构建柴油机几何模型,并运用 converge 软件搭建仿真计算模型,如图 1 所示。

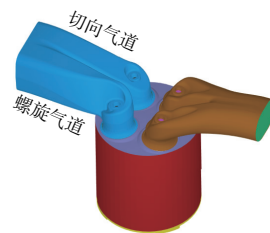


图 1 单缸柴油机仿真模型

柴油机主要参数如表 1 所示,仿真值与试验值对比如表 2 所示。因数据偏差较小,考虑到实际存在不可控的误差,基本可认定该模型构建的准确性。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51605447);山西省应用基础研究计划项目(201601D021085)

第一作者简介:张鑫华(1997—),男,山西临汾人,硕士研究生,研究方向为内燃机工作过程和性能排放。

表 1 发动机技术参数

参数	数值
缸径×行程/(mm×mm)	110×110
压缩比	13.4
进气道	切向+螺旋
燃烧室	Ω 型
标定转速/(r·min ⁻¹)	3 800
标定功率/kW	92.03

表 2 仿真值与试验值对比

项目	最大爆发压力		对应位置		功率	
	数值/MPa	偏差/%	数值/°CA	偏差/%	数值/kW	偏差/%
仿真值	20.09		367.8		92.40	
试验值	21.04	4.52	369.1	0.35	92.03	0.40

2 进气流动特性研究

图 2 为进排气门升程曲线,进气门开启时刻为-33°CA,最大升程的中间时刻为 102°CA,关闭时刻为 238°CA。

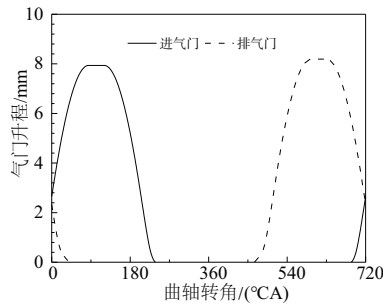
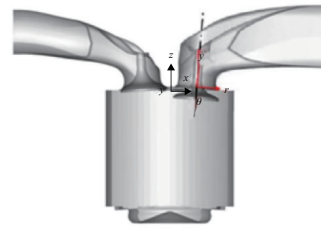
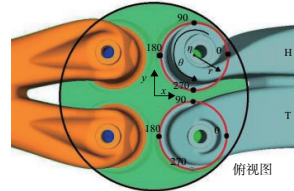


图 2 进排气门升程曲线

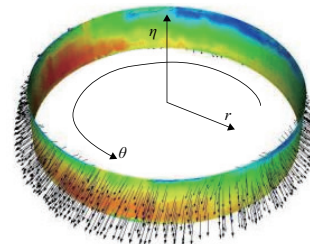
建立柱坐标系以及进气门间隙环带区域速度场,如图 3 所示。图 3(a)、图 3(b)中柱坐标系原点位于气门中心线与气缸顶交界处, η 轴沿气门杆向上, r 轴沿气门半径方向, θ 为气门周向。图 3(b)中 T 表示切向气道,H 为螺旋气道。图 3(c)中环带半径与气门底面半径相同,高度随不同曲轴转角时刻的气门升程而变化。



(a) 气门处坐标示意图



(b) 气缸顶部俯视图



(c) 气门间隙环带速度图

图 3 气门间隙处速度环带提取示意图

2.1 气门环带流场分析

图 4 选取进气门最大升程时刻(102°CA)以及前后各 50°CA 3 个不同时刻,将气门间隙环带速度云图沿 θ 方向展开显示。由图 4 可知 52°CA 和 102°CA 时高速区域较多,且切向气道出现在 θ 为 100°~270°之间;螺旋气道出现在 θ 为 200°~260°之间,呈现不均匀分布状况;152°CA 时由于气门逐渐关闭,基本没有高速区域,分布较为均匀。由此 3 个典型时刻可以看出在整个进气过程中,环带上方即气门阀座区域速度明显较小,形成低速区域。

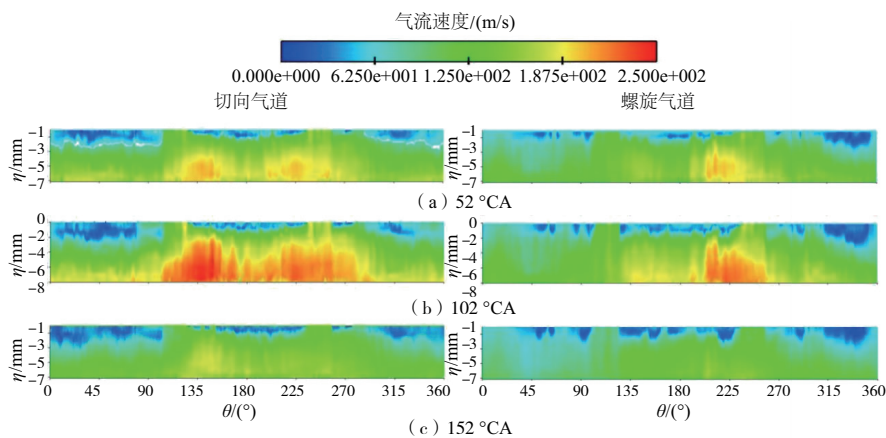


图 4 3 个典型时刻下气门间隙处总速度云图

图5、图6将气门间隙处速度分布量化处理,选取了5个曲轴转角时刻的气门间隙总速度沿 θ 的分布规律。该速度是将在每个切向位置对 η 方向上所有位置处的总速度进行平均得到的^[9]。图中显示 2°CA 时气门打开初期间隙处进气整体流速虽然不大,但由于气道与缸内的较大压差,在局部形成高速区域;随着活塞下行,气门开度逐渐变大,在 52°CA 时整体速度增大;在气门开度最大时刻,即 102°CA 时高速区域显著;随着气门的逐渐关闭,在 152°CA 时整体速度明显下降,但速度分布仍然较均匀;当气门即将关闭,即 202°CA 时,由于缸内压力接近于进气压力,较小的压差导致进气速度急剧下降,且分布较均匀。对比发现螺旋气道出口处速度分布规律与切向气道相似,但数值略低。

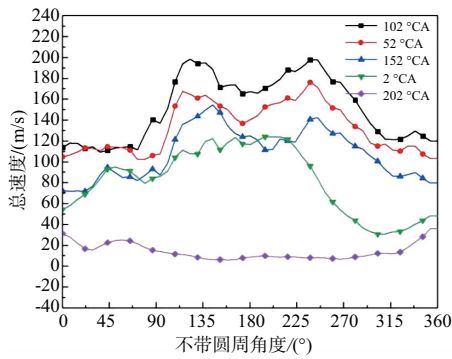


图5 切向气道气门间隙处总速度分布规律

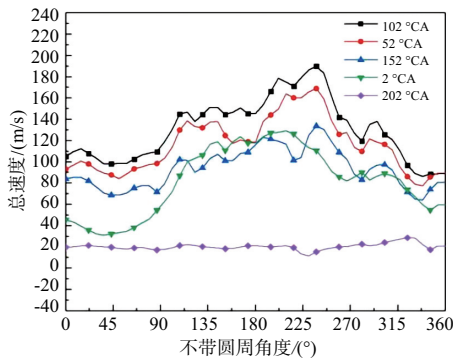


图6 螺旋气道气门间隙处总速度分布规律

图7、图8显示了气门开度最大,即 102°CA 时,气门间隙环带的3个速度分量沿气门圆周的分布规律,其中,3个速度分量分别为径向速度 $V_{r\eta}$ 、轴向速度 $V_{\eta\eta}$ 和切向速度 $V_{\theta\eta}$ 。其中螺旋气道出口处的3个速度大小较接近,这归因于气道的几何结构;径向速度略高于其余两个方向速度,且与螺旋气道相比,切向气道中的径向速度要高,这是由于气体通过切向气道时,会直接冲入缸内导致径向速度明显升高;而螺旋气道中的切向速度较高,这是由于气体通过螺旋气道时,沿着环绕气门杆的路径回旋流入缸内,有了绕气门轴线的角动量,使得切向速度有所提高。

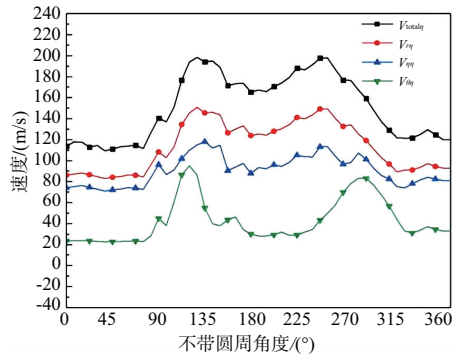


图7 切向气道气门间隙处速度分量分布规律

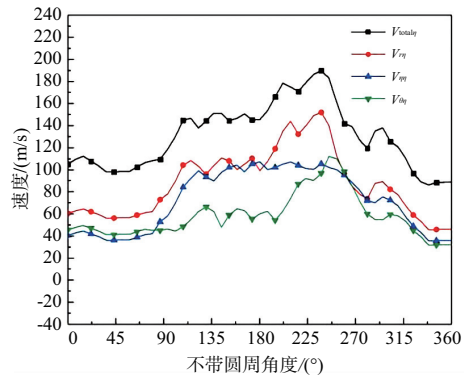


图8 螺旋气道气门间隙处速度分量分布规律

2.2 缸内流场参数分析

对流场宏观特征参数进行分析^[10],图9显示了缸内气体质量 m 、涡流比 S_r 和湍动能 T_{KE} 随曲轴转角的变化规律。

在图9中可以看出3个参数在进气过程快速上升, S_r 在 120°CA 附近达到峰值, T_{KE} 在 130°CA 附近达到峰值。随着曲轴转角增大以及进气门开度的减小, S_r 缓慢减小, T_{KE} 迅速减小,在 200°CA 附近 m 达到峰值,随后的回流程度将超越进气程度,当进气门彻底关闭并进入压缩中后期时, m 保持稳定, S_r 和 T_{KE} 继续减小,此时充气效率为84.13%。

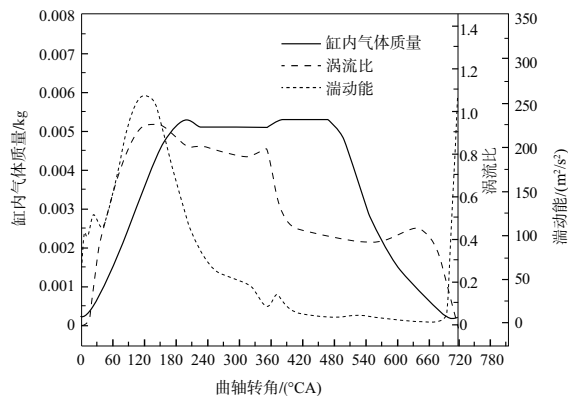


图9 缸内气体质量和湍动能随曲轴转角变化规律

图 10 为截面示意图,图 11 显示了 102°CA 时不同截面下缸内气体速度 V 和湍动能 T_{KE} 云图。在图 11(a) 和图 11(c) 中,两进气门周围速度场向外扩散,冲入缸内中心的气流高速区域较多,导致缸内中心以及左侧区域湍流强烈,且气门阀座处小部分区域的湍动能高于其周围,说明气体流出两进气道时相撞,且相互作用较明显。如图 11(b) 和图 11(d) 所示,可明显看到多个涡团的产生,此时缸内气体的涡流比相对较高,切向气道附近明显比螺旋气道气流速度高;气门间隙附近出现小的涡团从而产生回流,且在两气门间气体相撞后回流现象显著,靠近切向气道下方近壁处的湍动能较为强烈,气体流速较高。

综上,高强度柴油机在进气过程中的回流现象是不可避免的,其使得进气道出口气门间隙处的速度分布不均。

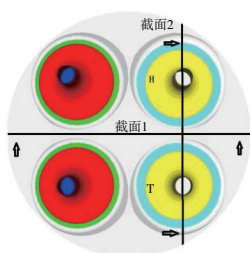


图 10 截面示意图

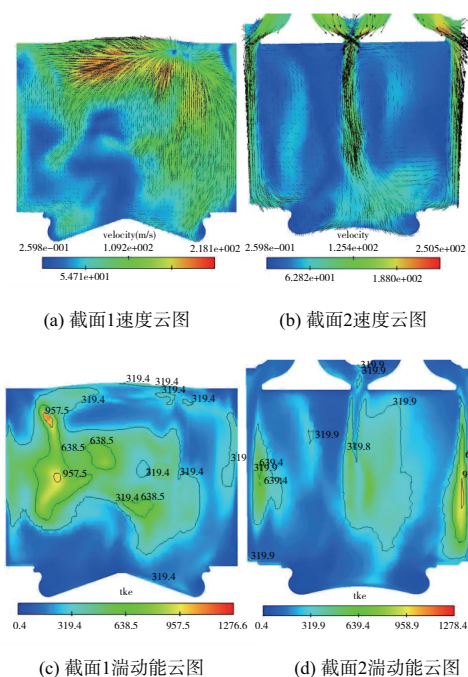


图 11 102°CA 时缸内两截面速度和湍动能云图

3 结语

本文利用 converge 软件,以某高强度柴油机为研究对象,对进气门附近气体流动问题展开了三维瞬态数值模拟研究,并进行试验标定,研究了气门间隙处气体流动特性,详细分析了不同曲轴转角下气门间隙圆周速度分布规律以及缸内流场特征参数。结论如下:

1) 气流通过切向气道的速度整体略高于通过螺旋气道的速度,螺旋气道出口气流由于绕杆产生角动量而提升了速度分量中切向速度的数值,导致其 3 个速度分量较切向气道更接近。

2) 由于在进气过程中,气门间隙处会产生小的涡团,且会产生较高的涡流比,所以进气过程中会发生回流。

3) 无论是切向气道还是螺旋气道,回流发生的区域较小,但不可忽略。

参考文献:

- [1] 王子玉,张岩,王雷,等. 进气门晚关米勒循环对高强度柴油机燃烧和换气影响的研究 [J]. 兵工学报,2019,40(1):8-18.
- [2] 李永平. 高强度柴油机进气系统对柴油机性能影响的仿真研究 [D]. 北京:北京交通大学,2010.
- [3] LI X, ZHAO L, WANG X, et al. Flow characteristics of intake port for diesel engine under high boosting condition [J]. Energy Education Science and Technology, 2013,32(2):683-688.
- [4] 王春辉. 4 气门柴油机进气和压缩过程缸内流场的影响因素研究 [D]. 昆明:昆明理工大学,2013.
- [5] LI H M, LI G X, HOU Y J, et al. Three-dimensional simulation of the intake port combination effect on intake flow characteristic in a highly intensified diesel engine [J]. Advanced Materials Research, 2013,744:211-214.
- [6] LU Z, WANG T Y, LIU S L, et al. Experimental and modeling study of the effect of manufacturing deviations on the flow characteristics of tangential intake port in a diesel engine [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2014, 136(11):112101.
- [7] JIA D W, DENG X W, LEI J L, et al. Intake flow interference analysis of combination intake port in diesel engine [J]. Journal of Applied Fluid Mechanics, 2019,12(1):61-67.
- [8] JIA D W, DENG X W, WANG Y, et al. Flow field influence analysis of combination intake port to port and in-cylinder for a four-valve diesel engine [J]. Journal of Applied Fluid Mechanics, 2019,12(3):871-881.
- [9] 贾梦秋. 增压柴油机进气门附近流动特性研究 [D]. 天津:天津大学,2018.
- [10] 王天友,刘大明,沈捷,等. 内燃机气道及缸内气体流动特性研究 [J]. 工程热物理学报,2008,29(4):693-697.

收稿日期:2021-09-17