

柴油机顺序增压系统进气切换机构的设计与数值模拟

杨 磊, 张俊跃, 王振彪

(中国北方发动机研究所柴油机高增压技术国防科技重点实验室, 山西大同 037036)

摘 要: 利用 Pro/E 三维实体建模功能建立所研究的顺序增压系统进气切换机构的实体模型, 并利用机构运动分析模块对该机构进行了模拟仿真和校验, 最后结合 CFD 软件 Fluent 对该机构止回阀阀管内部流场进行了数值模拟计算与分析。该方法可在样机制造之前预测验证进气切换机构的设计优劣及装配干涉问题, 对顺序增压系统进气切换机构的选型、优化设计等具有工程使用价值。

关键词: 顺序增压系统; 切换; 数值模拟

中图分类号: TK421.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)04-0034-04

Design and Numerical Simulation for Inlet Switch Mechanism of Diesel Engine Sequential Turbocharging System

Yang Lei, Zhang Junyue, Wang Zhenbiao

(China North Engine Research Institute; Shanxi Datong 037036)

Abstract: The 3D model of inlet switch mechanism was established by Pro/E. At the same time, with the mechanism dynamics simulation module of Pro/E, the movements of inlet switch mechanism was simulated and verified. At last, the numerical simulation and analysis for air flow in the anti-drainback valve shell was made by CFD software Fluent. This method can be used to forecast and validate the design quality and assembly, and could be applied in the selection and optimizing design of inlet switch mechanism of sequential turbocharging system.

Keywords: sequential supercharging system; switch; numerical simulation

1 引 言

顺序增压系统是将几台涡轮增压器与发动机并联, 通过控制系统使一台或几台增压器与发动机接通工作以满足发动机不同转速、负荷下对进气流量的要求^[1]。采用顺序增压系统, 可改善发动机与压气机的匹配、提高发动机的经济性、改进发动机性能, 弥补普通增压系统在低速大扭矩及加速反应方面存在的不足^[2,3]。

顺序增压系统进气切换机构由一个电磁阀、一套止回阀及相应的执行机构和管路附件等组成。其中, 装在压气机进口处的止回阀, 用以接通或停止压气机的工作, 从而使一台或几台增压器与发动机

接通工作。当发动机在高负荷工作状态时, 需打开止回阀, 如若打不开, 将使增压器超速, 严重时可能导致涡轮飞散; 当发动机在低速、部分负荷工作时, 需关闭止回阀, 如若关不严, 将产生增压空气倒流的现象, 而增压空气的倒流将减少柴油机的进气量, 使发动机的功率下降。因而进气切换机构既要设计合理, 流动损失小, 不能有泄漏, 又要保证能够随发动机工况的变化进行可靠灵活地开启关闭动作。

本文针对顺序增压系统进气切换机构, 应用 Pro/E 和 Fluent 软件对该机构进行了运动仿真分析和止回阀阀管内气流组织仿真研究。该方法将进气切换机构的三维建模、机构仿真、流动仿真工作有

收稿日期: 2009-09-10; 修回日期: 2010-03-08

作者简介: 杨磊 (1983-), 女, 硕士, 主要研究方向为增压系统调节与匹配, Email: yl8103072005@126.com。

机结合起来, 提高工作效率、降低开发成本, 为顺序增压系统进气切换机构的选型、优化设计提供了工程应用借鉴。

2 进气切换机构的运动原理

图 1 所示为进气切换机构简图。图中, O 点为连接阀板与阀壳的曲轴中心, A 点、C 点分别为止回阀阀板开启、关闭时曲柄销中心, B 点、D 点分别为止回阀开启、关闭时液压缸活塞杆销中心, 曲柄销将曲柄与连杆连接起来, 活塞销将连杆与活塞杆连接起来; R_1 为曲柄有效力臂, R_2 为连杆有效力臂, L 为止回阀阀板开启、关闭时活塞的极限位置之差, 即该液压缸活塞的设计行程; α 、 β 分别为阀板开启、关闭时曲柄与连杆的夹角, φ 为连杆摆角。

在进气切换机构的设计中, 需实现以下几个运动要求:

(1) 该机构的结构尺寸应满足实际柴油机的总体约束和总体布局;

(2) 由顺序增压系统的工作要求可知, 位于压气机前端的止回阀只允许空气沿正常方向流动, 阀板打开方向需与进气方向一致;

(3) 为使连杆在机构运动中尽量平稳, 连杆摆角尽量小;

(4) 为使在较小的液压缸推力下实现机构的运动, 曲柄力臂应尽量大, 且阀板开启、关闭时的 α 、 β 尽量相等。

结合以上四点机构运动要求, 当曲柄转角为 90° 时, 经计算分析后得: $R_1 = 60$, $R_2 = 50$, $\alpha = 55^\circ$, $\beta = 120^\circ$, $L \approx 87$ 。

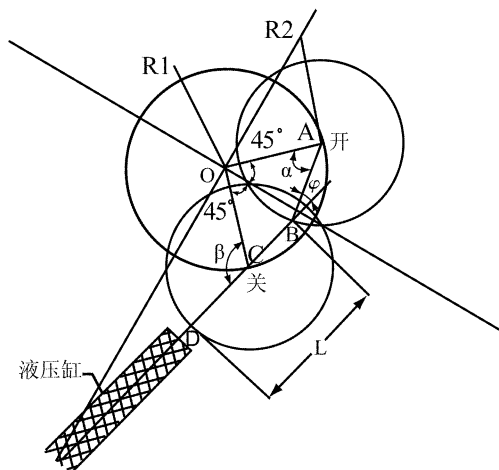


图 1 进气切换机构平面运动简图

3 进气切换机构模型的建立与仿真分析

根据柴油机及增压器的结构尺寸及柴油机的总

体约束和总体布局, 该机构止回阀的阀壳设计成弯管状, 考虑到阀板的安装及维护, 阀壳由直管段和弯管段组成; 液压执行机构位于阀壳的上方, 液压缸设计为单作用柱塞式液压缸, 为确保液压缸工作时的稳定性, 设计主定位和辅助定位来安装固定液压缸, 如图 2 所示。

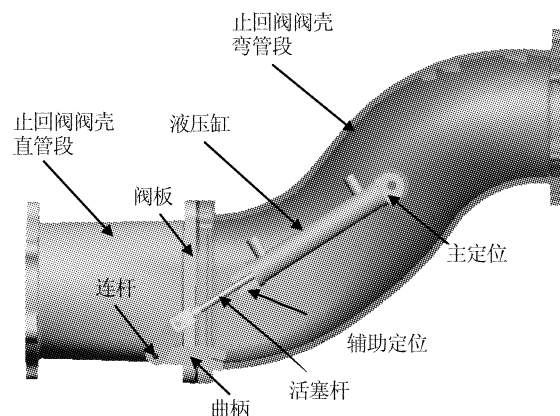


图 2 进气切换机构装配俯视效果示意图

根据机构中各部件间的运动约束关系进行装配、连接、定义各种约束, 然后对装配好的机构建立伺服电动机, 使机构产生一定形式的运动, 最后进行一个机构运动分析, 产生可视化的机构运动过程。在该过程中, 可以清楚地看到曲柄及连杆在机构运动中所需空间, 判断其外围轮廓是否超出阀壳法兰的最外轮廓, 判断在机构运动过程中各构件是否会产生干涉, 考察阀门能否实现预定的开启、关闭动作, 且与其它构件不产生干涉等。

通过以上分析, 按照 1 节中所述, 止回阀阀板开启 90° 时, 阀板与阀壳产生干涉。在发动机总体约束及总体布局不变的情况下, 不改变机构各零部件的尺寸, 将阀板的开启角度减小。通过 Pro/E 的机构运动仿真分析, 可以很容易地计算出当阀板开启 78° , 活塞行程 76 mm 时, 阀板与阀壳不干涉, 如图 3 所示。

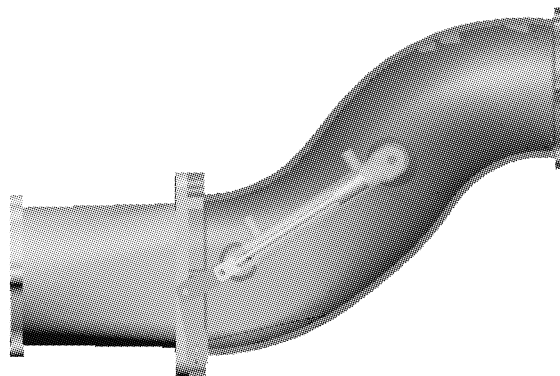


图 3 止回阀阀板开启 78° 示意图

4 进气切换机构气体流动的数值模拟

由于止回阀受到总体结构尺寸与总体约束的限制,重新设计后阀板最大开度 78° ,此时该机构能够完成预定的运动要求。与阀板开启 90° 时的阀壳弯管内部气流组织相比,阀板开启 78° 时弯管内部气流组织将发生变化。由于阀壳内部流场复杂,且很难通过试验的方法得到内部流场数据,为精确预测内部流场特性,采用 FLUENT 软件对阀壳弯管内部的流动状况、流量分布及压力分布进行数值仿真计算及分析。

4.1 计算模型及边界条件

应用 CFD 技术对止回阀阀壳内部流场进行数值计算,分两种方案:方案 1,止回阀阀板开启 78° ;方案 2,止回阀阀板开启 90° (此时可看作无阀板方案,见图 4)。两种方案下的计算模型和边界条件:壳内流体介质为绝热、不可压缩空气;由于止回阀进口离增压器较远,认为止回阀入口气流是均匀分布的,且仅沿轴线方向流动;入口区域采用压力入口边界,出口区域采用压力出口边界,壁面绝热;速度按无滑移边界条件计算,计算为稳态过程,认为流动不随时间变化,计算中采用 SIMPLE 算法和 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型、配合壁面函数法^[4]。

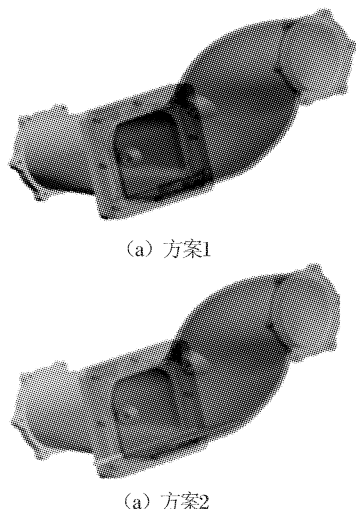


图 4 进气切换机构阀壳几何模型

4.2 数值模拟计算结果与分析

4.2.1 速度分析

图 5、6 分别为沿阀壳垂直中心轴平面的速度矢量图。从图 5 可以看出,阀板开启 78° 时,整个阀壳流场内部无旋涡形成,阀板底部气体的流动对整个壳内流场有一定的影响,与无阀板方案(图 6 所示)相比较,其阀板底部低速区域减少,且由于

流通截面变小,整个壳内平均流速有所增加,但主流区内流动分布较均匀,壳内气流较平顺,壁面附近气流速度能够更快地达到主流区速度,边界层内流量损失小,流动分离现象减弱。

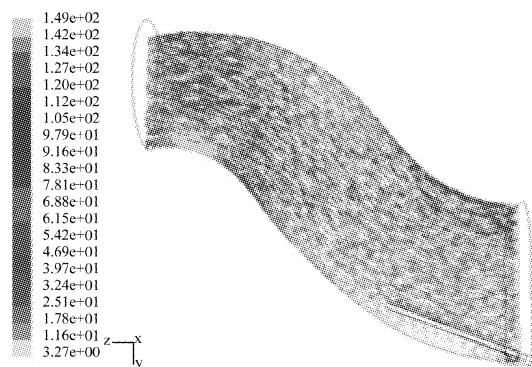


图 5 方案 1 下的速度场分布云图

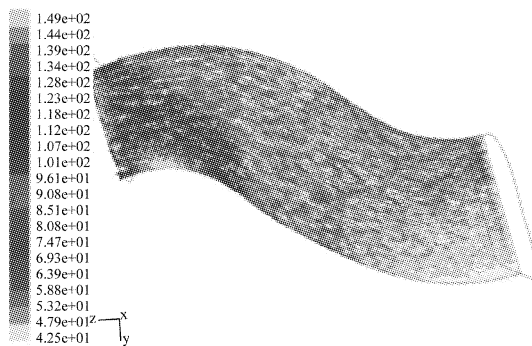


图 6 方案 2 下的速度场分布云图

表 1 ~ 表 4 是三维坐标下各截面及壁面处的速度值对比。

表 1 X 截面上的速度值 单位: m/s

X 值	-33	17	67	117	167	217	267
方案 1	89.5	92.1	96	83.6	74.9	63.4	47.9
方案 2	89.6	91.4	94.8	81.6	72.0	61.4	51.6
速度差比/%	-0.1	0.8	1.3	2.4	1.5	3.2	5.6

表 2 Y 截面上的速度值 单位: m/s

Y 值	-133	-83	-33	17	67
方案 1	62.4	72.6	79.9	80.7	87.3
方案 2	61.5	72.2	80.3	80.4	86.7
速度差比/%	1.4	0.5	0.5	0.4	0.7

表 3 Z 截面上的速度值 单位: m/s

Z 值	453	503	553	603	653	703	753	803	853
方案 1	64.0	63.4	65.3	66.8	71.0	78.6	94.2	108.9	123.1
方案 2	61.3	62.1	64.8	68.2	71.6	79.1	93.6	108.3	122.5
速度差比/%	4.2	2.1	0.8	-2.1	-0.8	-0.6	0.6	0.6	0.5

表 4 壁面上的平均速度值

单位: m/s

方案 1	66.7
方案 2	75.6
速度差比/%	11.7

从表中可以看到, 方案 1 多数截面的速度值比方案 2 对应截面的速度值大、壁面处的速度比方案 2 壁面处的小, 两种方案下速度值的最大差比为 5.6%; 表中数据分析可知, 两种方案下各截面上速度有差异, 但是差别较小。结合图 5、图 6 速度场的整体分布情况, 与方案 2 相比较, 阀板开启 78°对整个阀管内部流速有提高的作用, 增大了进气量, 同时阀板还起了一定的导流作用, 有利于阀壳通道内的整体流动。

4.2.2 压力分析

图 7、图 8 为止回阀阀壳垂直中心轴面的压力分布图。通过比较两种方案下的压力分布情况可以看到, 压力分布与阀壳构造有直接关系, 阀壳曲率大的区域, 其压力梯度大; 两种方案下压力分布趋势一致, 主流区域内的压力分布较均匀; 与方案 2 相比, 方案 1 阀壳底部的压力较小。

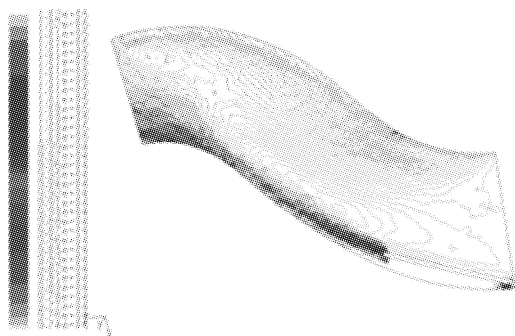


图 7 方案 1 总压力分布图

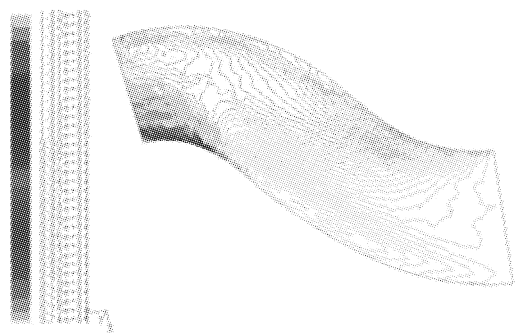


图 8 方案 2 总压力分布图

对两种方案下止回阀阀壳内部流场进行模拟分析后发现, 两种方案下的流场差异较小, 且在方案 1 下阀壳内部流场的平均流速、平均流量比方案 2 大, 在一定程度上增加了压气机的进气量; 同时, 在方案 1 内部流场的流速分布、流量及压力分布较为合理, 这说明阀板开启 78°的设计方案既满足总体结构布局与约束条件, 同时壳内能量损失小, 可被工程实际采用。

5 结 论

(1) 利用 Pro/E 对顺序增压系统进气切换机构进行建模与运动仿真, 具有很大的优越性, 根据仿真结果对设计零件进行修改, 使得原来在二维图纸上难以表达和设计的运动变得直观且易于修改, 大大简化该机构设计开发过程, 可帮助设计人员快速、高效地设计出理想的进气切换机构;

(2) 利用 CFD 技术对止回阀阀管内部流场进行模拟计算, 可在短时间内获得速度场、压力场以及流量分布等大量流动细节信息, 为评估止回阀阀管在工程设计上的优劣及为阀壳进行优化设计提供理论依据。

参考文献

- [1] 朱大鑫. 涡轮增压与涡轮增压器[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 任自中. 柴油机相继增压系统的理论与试验研究[J]. 内燃机工程, 2001, 22(1): 32-37.
- [3] 王贺春, 聂志斌, 刘丕人, 等. 采用相继增压技术改善柴油机低负荷性能的试验研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(8): 870-874.
- [4] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.