

结构与可靠性

基于 ADAMS 和 TYCON 的内燃机气阀落座特性研究

刘金星, 李 全

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 分别采用 ADAMS 软件和 AVL/TYCON 软件对某型柴油机配气机构进行仿真研究。采用 ADAMS 进行了多刚体系统动力学分析; 采用 AVL/TYCON 进行配气机构运动学与动力学分析, 通过对比两者的气阀落座力特性, 对配气机构的工作平稳性、落座冲击力对配气机构工作的影响程度进行评价分析。结果表明: 该配气机构的气阀运动规律比较平稳, 工作状况较好, 但落座时存在轻微的跳动现象; 凸轮轴转速越高, 气阀的落座力就越大, 在低转速下增幅较慢, 在高转速下增幅度较快。两种方法结合可以得到完整的配气机构运动学和动力学工作特性。

关键词: 内燃机; 配气机构; 落座力

中图分类号: TK423.4+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)06-0014-04

Study of Air Valve Seating Force of Engine Based on the Simulation with ADAMS and TYCON

Liu Jinxing, Li Quan

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: ADAMS and AVL/TYCON was employed to carry out simulation research on a certain engine's valve-train seating force. The analysis of rigid dynamics simulation of the valve train of a certain diesel engine was carried out by ADAMS, and the kinematics and dynamics simulation was carried out by AVL/TYCON. By comparing these two results of contact force of valve seat, the working stabilization of valve train and the influence of impact force of valve train were analyzed. It shows that the motion and the working condition of valve is proper, though slight bounce was found, the impact force of valve increased with the speed of the camshaft, the incensement amplitude is low with low camshaft speed and is high with high camshaft speed. The combination of these two methods could obtain the complete kinematics and dynamics characteristics of valve-trains.

Keywords: internal combustion engine; valve train; seating force

0 引 言

配气机构是柴油机可靠运行的重要保证, 其运行特性直接影响内燃机的性能指标, 这些指标不仅包括动力性、经济性, 也包括如内燃机的振动、噪声及排放等运行性能指标。气阀是燃烧室的组成部分, 是气体进、出燃烧室的通道, 工作时须承受较

高的机械负荷和热负荷, 尤其是排气阀, 由于经常受到高温燃气的冲刷, 工作环境异常恶劣, 因而容易引起腐蚀、烧损甚至是漏气等现象。气阀周期性的开合, 会对气阀座产生一定的冲击作用, 这是配气机构振动和噪声主要来源之一, 由此产生的冲击力也是影响气阀-气阀座使用寿命的重要因素。在配气机构设计中, 考虑得比较多的是构件在传动过程

收稿日期: 2014-04-21; 修回日期: 2014-08-25

作者简介: 刘金星(1981-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机控制理论与性能仿真, E-mail: ljx5710@163.com。

的接触和碰撞问题，这些因素对系统工作的可靠性、平稳性以及零件的使用寿命产生着重要的影响。气阀-气阀座是一对关键的摩擦副，长期在高温、高负荷及燃气腐蚀环境下工作，恶劣的工作环境使气阀密封锥面的磨损受气阀落座载荷的影响很大。

本文采用 ADAMS 有限元计算软件对配气机构进行了刚性体仿真分析，获得动力学工作参数；采用一维的配气机构工作过程分析软件 TYCON 计算分析了配气机构运动学工作特性。

1 计算过程

本文研究的对象是某型内燃机凸轮轴下置式顶置气阀配气机构，其结构如图 1 所示。该配气机构的传动方式是：曲轴通过齿轮传动的方式按 2 : 1 的转速比驱动凸轮轴转动，凸轮驱动挺柱将运动传递至摇臂，使摇臂能够绕其旋转中心在一定的角度范围内转动；在气阀侧，气阀最初承受气阀弹簧的预紧力作用，当摇臂转至一定位置时迫使气阀下行，直至下行至最低点，之后气阀在气阀弹簧的作用下上行，最后落座。

1.1 ADAMS 多刚体系统动力学模型

在完成三维模型建模后，采用 MECHANISM/Pro 将装配完毕的总成根据其运动关系定义为机械系统模型，进行简单的运动学或动力学仿真，并进行干涉检查，计算约束副的作用力，完成刚体定义、施加约束等初始定义后，将模型导入 AMAMS 中^[3]。导入 ADAMS 后对模型做进一步完善，如在凸轮轴的旋转副上定义驱动，在气阀和阀座之间定义碰撞力。完成定义后即可通过设置驱动参数来完

成不同转速下配气机构的动力学仿真。图 2 为定义完全的配气机构的多刚体动力学模型。

在仿真运行中，各运动部件之间的约束情况如表 1 所示。

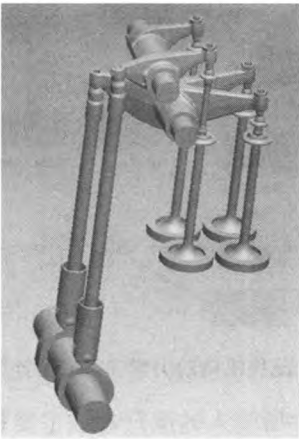


图 1 配气机构三维模型



图 2 配气机构多刚体系统模型

表 1 配气机构系统的约束类型

编号	约束对象	约束类型	编号	约束对象	约束类型
1	凸轮轴与气缸体	旋转副	8	摇臂与调节螺钉	固定副
2	凸轮轴与挺柱	凸轮副	9	调节螺钉与摇臂球承座	球面副
3	挺柱与推杆	球面副	10	摇臂球承座与气阀	碰撞副
4	挺柱与缸体	平移副	11	气阀与气阀导管	圆柱副
5	推杆与球头座	球面副	12	气阀与气阀座	碰撞副
6	球头座与摇臂	固定副	13	气阀弹簧与气阀座	固定副
7	摇臂与摇臂轴	旋转副	14	气阀与缸盖(ground)	固定副

1.2 TYCON 仿真分析模型

TYCON 是通过软件自身含有的通用元素(刚体、一般性的连接)和专用元素，按照配气机构的运动特性组装模型，并对模型中各参数进行详细的定义。在定义过程中，推杆刚度等参数来自标定试验的数据，其他相关参数来自设计参数和材料自身

的特性参数，其输入参数与 ADAMS 保持一致。但由于进气和排气的参数不完全相同，分别对进气结构系统及排气结构系统建立动力学计算等价模型，只在输入参数之间存在差异。根据配气机构结构，应用 AVL \ TYCON 软件，简化配气机构相关部件设置，建立双阀机构的运动学和动力学计算模

型^[1]，如图 3 所示。

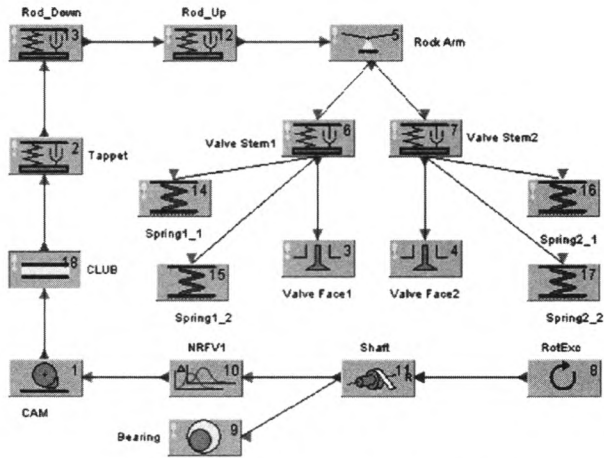


图 3 配气机构动力学 TYCON 计算模型

该模型中所输入的运行参数主要是通过标定试验和有限元软件分析获取。

2 仿真结果比较与分析

2.1 ADAMS 仿真结果

在 ADAMS 中创建气阀和阀座的碰撞约束，添加气阀弹簧，修正边界条件和参数，进行仿真分析，得到额定转速 750 (r·min⁻¹) 下的落座力如图 4、5 所示。

在配气机构运行过程中，气阀周期性的开合，每次落座时气阀会对气阀座产生一定的冲击作用，这是配气机构振动和噪声主要来源之一，由此产生的冲击力也是影响气阀-气阀座使用寿命的重要因素。

图 4 和图 5 分别是凸轮轴转速为 750 (r·min⁻¹)

时进、排气阀的落座冲击力。经过模拟分析，得出不同凸轮轴转速下气阀落座力曲线和凸轮轴转速为 750 (r·min⁻¹) 时的趋势基本一致。由图中可以看出，气阀在开启前只受到气阀弹簧的预紧力，然后开启，回落，在落座的瞬间，产生剧烈的冲击。一般来讲，凸轮轴转速越高，气阀的落座力就越大，气阀落座力应小于弹簧预紧力的 6 倍，而实际弹簧的预紧力为 781.06N，在发动机工作转速内气阀落座冲击力要远小于 4 686.36 N，因此，该配气机构的落座冲击力基本稳定。不同转速下气阀落座时的最大落座力如表 2 所示。

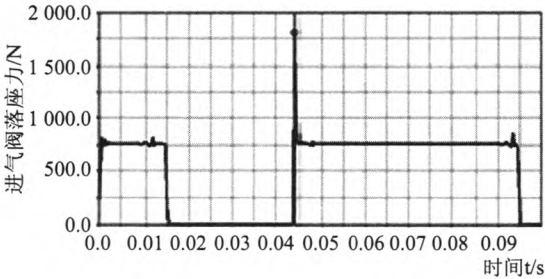


图 4 凸轮轴转速 750 (r·min⁻¹) 时进气阀落座力

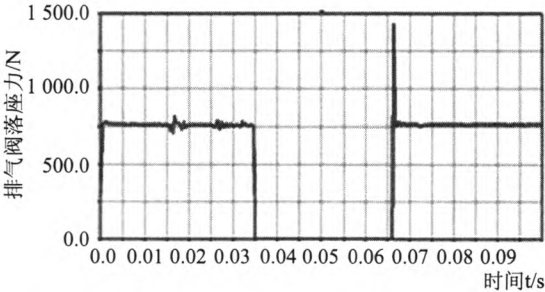


图 5 凸轮轴转速 750 (r·min⁻¹) 时排气阀落座力

表 2 ADAMS 仿真运行中气阀最大落座力

凸轮轴转速/(r·min ⁻¹)		150	300	450	600	750	900	960
气阀最大落座力/N	进气阀	846.7	941.4	1 095.7	1 377.1	1 801.3	2 624.7	4 400
	排气阀	763.7	806.3	788.8	1 091.1	1 486.8	2 217.4	2 288.7

2.2 TYCON 仿真结果

在 TYCON 中构建模型后，按照以上输入条件，对相关部件的参数进行输入与修正，凸轮轴转速为 750 (r·min⁻¹) 时的仿真结果如图 6、7 所示。

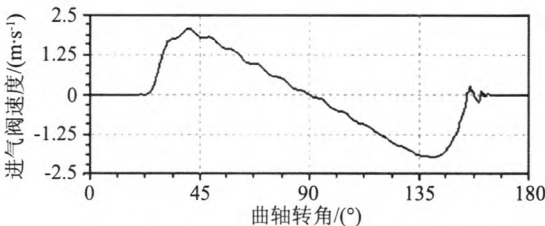


图 6 进气阀速度变化曲线

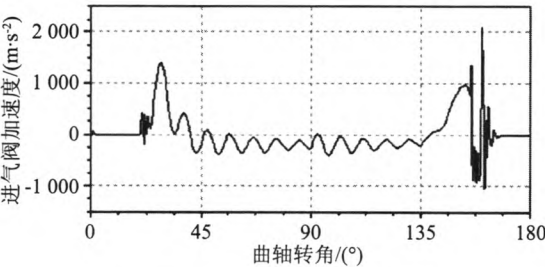


图 7 进气阀加速度变化曲线

从图 6、7 可以看出，气阀落座时速度曲线有波动现象，加速度曲线出现较大跳跃现象，加速度值最大达到 2 100 (m·s⁻²)。而查看气阀升程规律

曲线, 气阀落座速度过大, 会对气阀座产生强烈的冲击, 不利于配气机构的正常工作, 因此, 须要对气阀落座速度进行控制。一般而言, 对于合金钢材料的气阀座, 气阀的落座速度应小于 $0.6\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$; 而对于铸铁及粉末冶金材料的气阀座, 其落座速度应小于 $0.3\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ 。气阀落座最大速度的判别方法是: 气阀在落座瞬间, 位移出现负值, 速度由负值急剧变为 0, 加速度有一个很大的跳跃。

如图 8 所示, 若从位移值出现负值判断气阀落座瞬间, 气阀落座角度在 154.48°CA 处, 气阀落座速度为 $0.23\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$; 同理可计算得到排气阀落座速度为 $0.31\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ 。该气阀材料为合金钢材料。从以上分析可看出: 这两组气阀落座速度均满足要求。

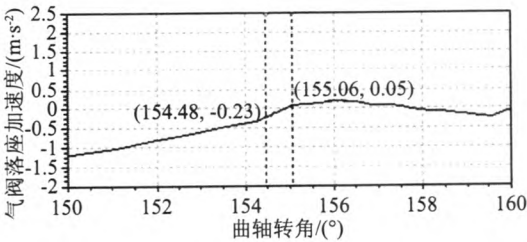


图 8 进气阀落座速度

经过模拟分析得出: 不同凸轮轴转速下的气阀落座力曲线和凸轮轴转速为 $750\text{ (r}\cdot\text{min}^{-1}\text{)}$ 时 (图 9, 10) 的趋势基本一致。各个转速下气阀落座的最大接触力如表 3 所示。

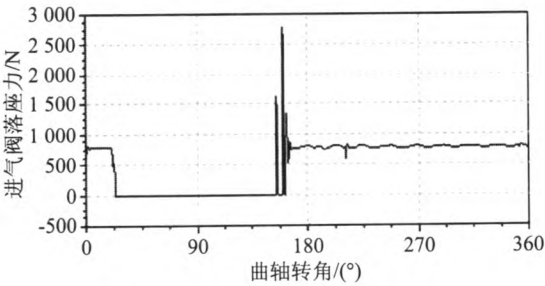


图 9 进气阀落座力变化曲线图

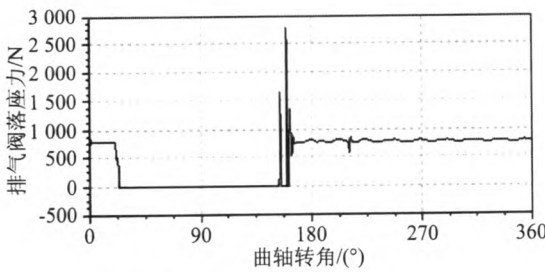


图 10 排气阀落座力变化曲线图

表 13 TYCON 仿真运行中气阀最大落座力

凸轮轴转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)		250	375	500	625	750	875	1 000
气阀最大落座力/N	进气阀	780	850	1 000	2 000	2 750	4 100	6 750
	排气阀	850	1 125	1 500	1 775	2 830	3 510	4 170

3 结 论

通过建立该配气机构的动力学多质量模型对配气机构运动规律进行了模拟计算。虽然进气阀和排气阀的弹簧安装一致, 但其气阀落座力不尽相同, 这主要与气阀自身的惯性、凸轮型线以及气阀间隙等参数设置有关。结论如下:

- (1) 从气阀运动规律及气阀落座力等方面来看, 该配气机构的气阀运动规律比较平稳, 工作状态较好, 但落座时存在轻微的跳动现象。
- (2) 气阀落座力随着转速的增大而增大。气阀落座力在低转速下增幅较慢, 在高速下增幅较快, 超过额定转速后, 气阀落座力飞速增加。
- (3) 两种分析方法结合应用, 可以得到完整的配气机构运行学与动力学工作特性, 为配气机构的优化设计提供可靠的依据。

参考文献

[1] Gao Wenzhi. A design approach of asymmetrical cam profile and its effect on performance of high speed automotive engine [C]. SAE Paper 2004-01-0610, 2004.

[2] 张霖, 林建生, 张宝欢. 基于 Pro/E 和 ADAMS 的内燃机虚拟样机技术[J]. 小型内燃机与摩托车, 2008, 37(3): 31-33.

[3] 芮执元, 程林章. 基于 Pro/E 与 ADAMS 结合的虚拟样机动态仿真[J]. 现代制造工程, 2005(1): 56-58.

[4] 王国强, 张进平, 马若丁. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002.

[5] Takashi IRITANI, Akira SHOZAKI, Bencheng SHENG, et al. Prediction of the dynamic characteristics in valve train design of a diesel engine [C]. SAE Paper 2002-32-1839, 2002.