

用多质量模型研究配气机构的动态特性

袁兆成 王建华

(吉林工业大学)

摘要 利用多质量模型对内燃机配气机构的动态特性如气门落座速度、气门冲击力、机构飞脱等进行了探讨,分析了它们随结构参数、凸轮型线的变化关系。结果表明,配气机构的结构参数、凸轮型线及凸轮转速之间存在匹配关系,在设计时要仔细选择。

关键词 柴油机 配气机构 动力学

柴油机配气机构动力性能的优劣对整机的可靠性有很大影响。过去,将配气机构简化成单质量模型,进行动态性能模拟,在考虑弹性变形的情况下计算气门的运动规律,仅能反映配气机构的整体响应,不能反映各个部件的动态性能。配气机构多质量模型,有3质量、5质量、9质量以至更多质量的模型,与实际机构更加接近。到本世纪80年代,又出现了配气机构的有限元模型^[1]。

对配气机构的研究,无论用哪种模型,往往以气门的最大负加速度峰值(- A_{max})作为研究对象^[2],因为在最大的负加速度峰值处容易产生由惯性力引起的机构飞脱。但是无法判断 $|-A_{max}|$ 达到多大是属于不正常工作状态,根据实验发现,飞脱现象不一定发生在最大的负加速度处。另外,气门与气门座的早期损坏,都是由于气门的落座冲击引起的,而对气门落座特性与结构参数、凸轮型线、凸轮转速之间的关系研究甚少,许多机器都是由于配气机构冲击噪声过大或气门与气门座早期损坏才发现问题,因此作者认为,应该直接研究气门落座特性和机构飞脱的变化规律,才能对高速配气机构的设计有实际指导意义。

本文利用自行开发的、配气机构多自由度动态分析软件,针对某车用6113柴油机气门过早损坏的现象,进行了气门落座特性和机构飞脱等现象随结构参数、凸轮转速变化规律的分析,并用为该机设计的新凸轮型线与原机对比,得出原机凸轮(复合摆线)型线只适用于低速凸轮的结论。同时为该机新设计的(多项动力)凸轮解决了该机气门过早损坏和机构飞脱的问题。

1 配气机构多质量模型

1.1 模型的建立

多质量模型的动力学方程一般写成以下方程式

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{f\} \quad (1)$$

收稿日期: 1997-12-25

袁兆成, 副教授, 长春市人民大街142号 吉林工业大学内燃机系, 130025

式中 $[M]$ ——总体质量矩阵; $[C]$ ——总体阻尼矩阵; $[K]$ ——总体刚度矩阵; $\{f\}$ ——外力列向量; $\{y\}$ $\{\dot{y}\}$ $\{\ddot{y}\}$ ——各集中质量的位移、速度和加速度列向量。

矩阵的阶数就是多质量模型的质量数。本文作者开发的多质量模型软件, 可根据使用者的要求构造模型, 也可直接使用软件包中已有的模型, 图 1 例举了其中两个模型, 图 1 例举了其中两个模型。本文选用的是图 1 所示的 9 质量模型。其中, k_1 : 凸轮轴及挺柱刚度; k_2 : 推杆刚度; k_3 : 摇臂轴及支撑刚度; k_4 : 摇臂当量刚度; k_5 : 气门杆刚度; $k_6 \sim k_9$: 气门弹簧等效刚度; k_{10} : 气门座刚度。 m_0 : 凸轮轴等效质量; m_1 : 挺柱和推杆下半部质量; m_2 : 推杆上半部及摇臂等效质量; m_3 : 摇臂轴及支撑当量质量; m_4 : 气门杆上部及弹簧盘质量; m_5 : 气门头及气门杆下部质量; $m_6 \sim m_8$: 气门弹簧等效质量。

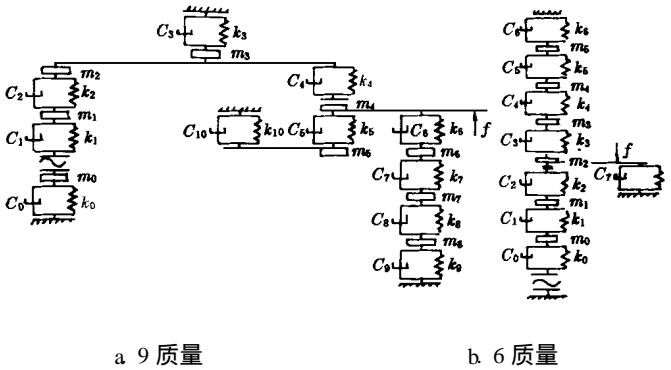


图 1 配气机构多质量模型

Fig 1 The multimass model

1.2 模型的验证

本文对某 6113 柴油机配气机构进行了实测和模拟计算。气门加速度采用加速度传感器测得; 摇臂作用力采用应变片测得, 在气门间隙为 0.3 mm 时, 原凸轮型线的气门加速度、摇臂作用力的计算值与实测值, 二者变化趋势一致, 而且数值也比较接近。因此, 可以利用此模型进行该配气机构的各项动态模拟考察, 从而得到该配气机构的动态特性变化规律。

2 结构参数对配气机构动态特性的影响

由于原机凸轮型线是复摆组合型线, 加速度变化率不连续, 本文设计了高阶导数连续的多项动力型线, 同时考察了应用两种凸轮型线时, 配气机构主要结构参数对气门落座速度 V_s (气门升程为零时的气门速度瞬时值) 和机构运动链发生飞脱的影响。

2.1 摇臂轴及其支座刚度 (k_3) 的影响

根据静态测量及柔度分配率可知, 摇臂轴及其支座刚度对配气机构刚度有很大影响, 其柔度往往占机构柔度的 40% 以上。因而它对机构的动态性能影响显著。图 2 为对应不同凸轮轴转速情况下, V_s 随支座刚度变化的关系。图 3 为推杆挺柱接触力随凸轮转速和支座刚度变化的关系。从图中可以看出, 支座刚度低时, V_s 比较大, 随着 k_3 的

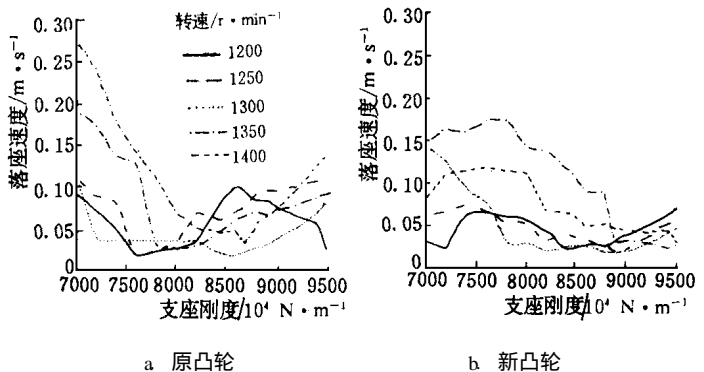


图 2 V_s 随支座刚度 k_3 的变化关系

Fig 2 The relationship of $V_s \sim k_3$

提高, V_s 呈下降趋势。但原机凸轮在高转速时 V_s 明显增加, 同时不存在随 k_3 增加 V_s 下降的趋势, 而新设计凸轮的气门落座速度在各转速下变化平稳, 高速时也没有明显变化。从图 3 可以看出, 原凸轮配气机构的推杆作用力(9 质量模型中 k_1 的最小弹簧力)随着凸轮转速的提高而迅速下降, 在 1500 r/min 时作用力为零, 即运动链发生飞脱。在同一转速下, 这一现象并没有随着 k_3 的提高而得到明显改善。在改用新设计凸轮后, 在整个转速范围内没有作用力为零的情况。说明新设计凸轮可以保证该机配气机构工作平稳, 不发生机构飞脱。

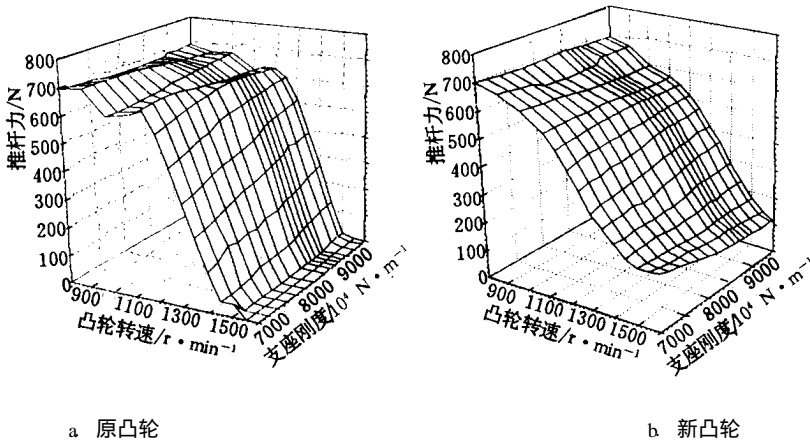


图 3 推杆力随凸轮转速和支座刚度的变化

Fig 3 The relationship of N_e with n_c and k_3

2.2 推杆刚度 k_2 的影响

推杆往往是配气机构中除气门弹簧外最薄弱的部分, 在许多内燃机的设计中都尽量提高凸轮轴的安装高度, 缩短推杆长度来提高推杆的刚度。如果在设计阶段对推杆刚度与机构动态性能的匹配关系进行研究, 可以对设计工作起到良好的指导作用。图 4 为对应不同凸轮转速时, V_s 随推杆刚度 k_2 的变化。与

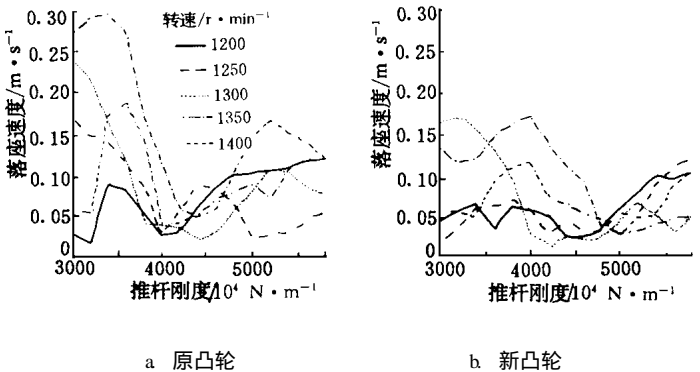


图 4 V_s 随推杆刚度 k_2 的变化关系

Fig 4 The relationship of $V_s \sim k_2$

前面类似, 推杆刚度提高, V_s 下降, 而且有一个最佳的 k_2 取值范围。但转速超过一定值后, V_s 随转速升高而急剧上升, 且 V_s 随 k_2 增加而下降的趋势不再存在。同样, 用新设计的凸轮时, 各转速下的气门落座速度随 k_2 的变化平缓, 即在同一个推杆刚度条件下, 虽然凸轮转速增加, V_s 也没有明显变化。图 5 为挺柱推杆接触力随转速和 k_2 值变化的关系。原凸轮配气机构在 1500 r/min 时发生飞脱, 在同一转速下, 刚度值增加到 4.4×10^7 N/m 后, 机构飞脱现象消失。新凸轮配气机构直至 1600 r/min 仍未发生飞脱, 而且表现出在高速低刚度区, 挺柱推杆作用力较大的现象。

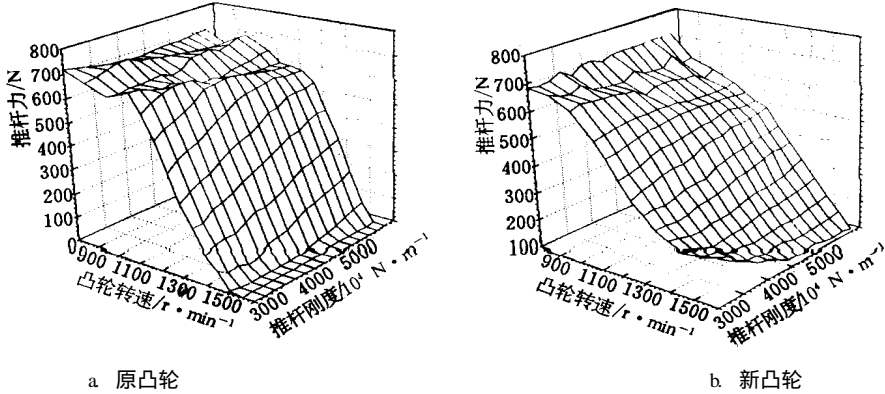


图 5 推杆力随凸轮转速和推杆刚度的变化

Fig 5 The relationship of V_s with n_c and k_2

2 3 气门落座冲击

气门落座反跳是配气机构工作时的一种不正常现象, 主要是由于落座冲击造成的, 严重时会导致配气机构噪声升高, 气门与气门座过早损坏。单质量模型无法研究气门座冲击, 多质量模型就可以方便地进行落座冲击研究。两种凸轮型线的气门冲击力(气门落座后的第一个冲击力峰值)随转速变化的关系(图 6)。可以看出, 原凸轮的气门落座冲击力在某一转速后急剧增加。原凸轮在转速为 1300 r/m in 时, 就已出现气门反跳, 而新凸轮的气门冲击力随转速的变化平缓, 直到 1500 r/m in, 气门才开始出现反跳。这又进一步证明, 原凸轮不适用于高速配气机构。

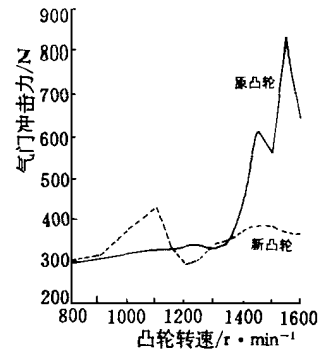


图 6 两种凸轮的气门冲击力曲线

Fig 6 The valve impulse force of two cam s

3 结 论

- 1) 不同类型的凸轮型线适应的转速范围不同, 在高速内燃机中不能采用类似复合摆线凸轮型线。
- 2) 结构参数与凸轮型线和凸轮转速之间存在匹配关系, 设计时应通过模拟计算仔细选择。
- 3) 直接研究气门落座冲击特性和机构运动链飞脱特征, 对设计配气机构有实际指导意义。

参 考 文 献

- 1 袁兆成等. 用有限元方法研究配气机构动力学. 内燃机学报, 1986, 4(3): 260~ 270
- 2 李惠珍等. 配气凸轮设计的进展. 内燃机工程, 1989, 10(1): 32~ 37

Study on Dynamics of Valve Train With Multi-mass Model

Yuan Zhaocheng Wang Jianhua

(Jilin University of Technology, Changchun)

Abstract In this paper, by means of multi-mass model, the dynamic properties of valve train, such as the sitting velocity of valve, the impulse force of valve and the linkage separation, were discussed. The relationship of the properties with various structure parameters and cam profiles was analyzed. The results show that the different cam profiles suit different cam speeds. There is a certain matching relationship among the structure parameters, the cam speed and the cam profile. **Key words** diesel engine, valve train, dynamics