

# 活塞环动力响应中的弹性影响分析

余杨<sup>†</sup> 曾晓辉

(中国科学院力学研究所, 100190)

**摘要** 在发动机正常运行过程中活塞环在环槽内的往复运动同时伴随着活塞环的弹性变形, 沿环向不均匀的变形会造成局部漏气等危害, 同时也是活塞环发生故障的主要原因之一。本文通过利用有限元软件分析对以上问题进行了分析得到了一定的结果。

**关键词:** 活塞环弹性变形, 径向位移, 局部漏气, 接触分析

## 一、模型建立

在高温、高压、高速及润滑困难的条件下活塞环是发动机所有零件中工作寿命最短的。其中活塞环在环槽中的动态响应, 直接影响其封闭性。本文以某机车柴油机为例, 应用非线性有限元软件建立第一环的有限元模型。模型主要分析了活塞环正常作业时活塞环弹性变形对于整体运动的影响以及发动机运转中活塞环出现问题的特殊工况。

分析中首先建立活塞环、环槽以及气缸模型三维几何模型, 然后设定好环与环槽、环与缸壁的接触对关系。本模型主要考虑的是活塞环相对运动, 所以在假定环槽和气缸是静止不动的情况下施加边界条件。各模型均采用六面体单元并在控制网格疏密的同时保证了网格划分的质量。活塞环工作时的接触情况和压力分布受其端面形状和自由形状的影响且相当敏感, 因此在几何建模中尽量保证模型的准确性下, 将油膜所给的反力和气体压力按照发动机专业软件中得到的活塞环合力与合力矩施加, 进而给出力的边界条件, 最后利用软件显式进行动态分析。

## 二、计算结果分析

图 1 为各冲程下活塞环径向位移的比较, 其中除压缩段其他变形量均放大 50 倍, 压缩段变形放大 5 倍以便于分析。从做功冲程开始活塞环弹性变形不断加大在吸气处基本达到峰值约为公称直径的 8.5%, 压缩段活塞环弹性变形逐渐减弱在点火后达到最小。活塞环径向的弹性变形就是这样一个循环往复的过程。需要注意的是在压缩段活塞环局部发生了较明显的弹性变形, 时时刻刻容易出现局部窜漏, 需要注意油膜的润滑情况。

对于活塞环全环的应力状态选取了活塞环模型运行一周周期终止时刻与环口相距 60

<sup>†</sup> 作者简介: 余 杨 1988.2, 结构动力学, 博士生: np111en@126.com  
曾晓辉 1972.4, 工程结构动力响应和流固耦合, 副研究员

度和 180 度圆心角处截面进行了压力分布图的绘制。可以看出在同一时刻活塞环上不同位置的应力状态沿截面高度及厚度变化规律以及峰值大小都有极大差异。如图 4 和图 6 比较与环口相差 60 度的径向应力峰值约为与环口相差 180 度处的 4 倍。联系上文中所提到的换上各点径向位移以及垂向位移的差异，活塞环的弹性扭曲是比较剧烈的。

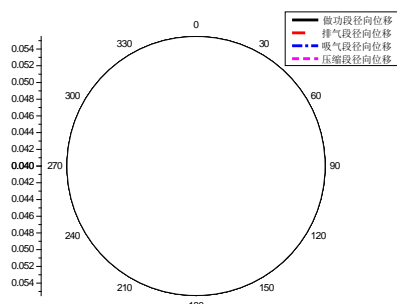


图 1 各冲程下活塞环径向位移的比较

整个活塞环与曲线梁相类似，动态响应更为复杂。尤其是对于活塞环粘环、磨损等特殊情况下，其弹性变形也应该是需要考虑；同时活塞环的轴向宽度相对较小，径向厚度又较大，在外载荷作用下可能产生弯扭共振现象，这也是不可忽视的问题。

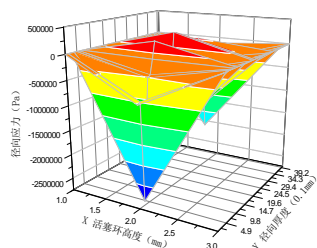


图 4 与环口差 60 度圆心角处截面径向压力图

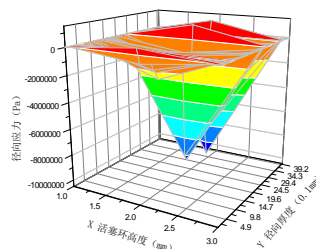


图 6 与环口差 180 度圆心角处截面径向压力图

### 三、 结论

在对于活塞环动力学响应的研究之中，活塞环弹性是不能忽视的重要组成部分，它会引起发动机运转中诸多问题。将二维活塞环润滑计算模型与三维动力学模型相结合才能更好得解决活塞环整体响应问题。

### 参 考 文 献

1. Dan Richardson. Understanding the fundamentals of piston ring axial motion and twist and the effects on blow-by[C], Proceedings of the ASME Internal Combustion Engine Division 2009 Spring Technical Conference, 2009.
2. T Tian. Dynamic behaviours of piston rings and their practical impact. Part 1: ring flutter and ring collapse and their effects on gas flow and oil transport[M], IMechE ASME, 2002..