

活塞横向运动及其对活塞环径向失效的影响

吴 晗¹, *曾晓辉¹, 徐万海², *虞 钢¹

(1. 中国科学院力学研究所, 北京海淀 100190; 2. 天津大学, 天津南开 300072)

摘 要: 在发动机内, 活塞在缸套内运动不是沿直线往复运动的, 在连杆的横向力作用下会向一侧横移与倾斜, 活塞裙部会对气缸产生冲击和刮伤, 活塞也会对活塞环产生挤压作用。活塞环在挤压下产生的径向失效会非常严重。采用修改环槽几何形状的方法解决此问题, 并进行了计算验证。

关键词: 活塞横移; 径向失效; 活塞裙部; 环槽

LATERAL MOTION OF PISTON AND ITS EFFECT ON RADIAL COLLAPSE OF PISTON RING

WU Han¹, *ZENG Xiao-hui¹, XU Wan-hai², YU Gang¹

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190; 2. Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract: In combustion engine, piston is not doing reciprocating motion along a straight line, it will move transversely and tilt because of the lateral force of connecting rod. As a result, piston skirt will scratch the cylinder, and extrude the piston ring. Piston ring under the extruding will occur severe radial collapse. In this paper, we change the geometry of ring groove to suppress radial collapse, and calculate for checking.

Key words: piston lateral motion; radial collapse; piston skirt; ring groove

发动机内, 活塞环是决定整体性能的关键部件, 起到密封、支撑、控油、导热等作用。高功率密度发动机由于其高温高压的工作环境, 活塞环在环槽内的运动会更为复杂。Tian T 等对活塞环的受力进行了分析 [1,2,3], Piao Y 和 Gulwadi S.D 等对活塞环的轴向运动进行了数值模拟 [4], 国内孔凌嘉等对活塞环的摩擦问题分析较多 [5], 而活塞运动对环的运动和径向失效影响尚未有学者做出研究。

1 模型建立

为研究活塞环在活塞影响下径向运动响应, 使用商业软件建立发动机模型。在可以达到我们所期望目的下, 对发动机进行了适当简化。模型中包含三道环、活塞、气缸, 不考虑气缸与活塞的温度变形。利用计算软件, 对发动机内的活塞以及活塞环的运动进行了模拟, 计算分析活塞横向运动与第二道环径向失效问题对发动机窜气、摩擦、油耗以及其他方面的影响, 并提出了相关方案。

2 活塞横向运动

活塞在连杆横向力作用下, 在气缸内会产生相当大的横向位移以及倾斜。对活塞环以及气缸的挤压对发动机的性能产生很大影响。考虑活塞横向运动的影响下, 环的推力侧(TS)与反推力侧(ATS)受力以及窜气等是不相等的, 变化最明显的是摩擦以及油膜厚度。

作者简介: 吴 晗(1988—), 男, 山东潍坊人, 博士生, 主要从事结构动力学研究

*曾晓辉(1972—), 男, 湖南新化人, 副研究员, 主要从事工程结构动力响应和流固耦合研究(E-mail: zzh@imech.ac.cn);

*虞 钢(1958—), 男, 研究员, 主要研究高密度激光制造工艺学(E-mail: gyu@imech.ac.cn);

徐万海(1981—), 男, 讲师, 主要从事工程结构动力响应和流固耦合研究。

以第一道环的最大摩擦力为例，反推力侧(TS)与推力侧(TS)摩擦最大值时曲轴角度分别为 5° 和 14° ，此曲轴角是活塞由反推力侧横移到推力侧(图 1)，摩擦最大值分别是 166.3N、263.9N，由于活塞的挤压使得环推力侧与汽缸壁的摩擦更严重。从气缸油膜厚度(LOFT)和最小油膜厚度(MOFT)的变化(图 2)以及后面的分析，可以在活塞偏向推力侧后初始阶段发生了较严重的径向失效，这将在第三部分分析。

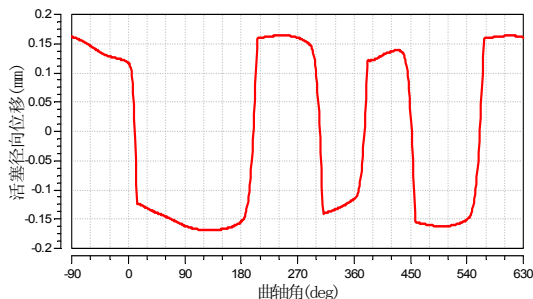


图 1 活塞横移曲线

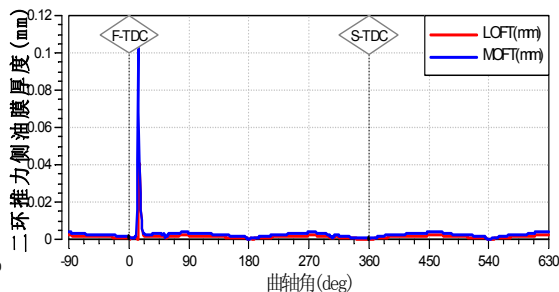


图 2 推力侧(TS)油膜厚度变化

另外，在活塞发生横移的前后以及做功冲程，连杆在径向的分力很大，作用在活塞上使得活塞发生很大的径向变形，刮伤气缸。对活塞型线进行适当优化，将裙部型线向内收缩，可基本消除裙部对气缸的刮伤，优化型线如图 3。

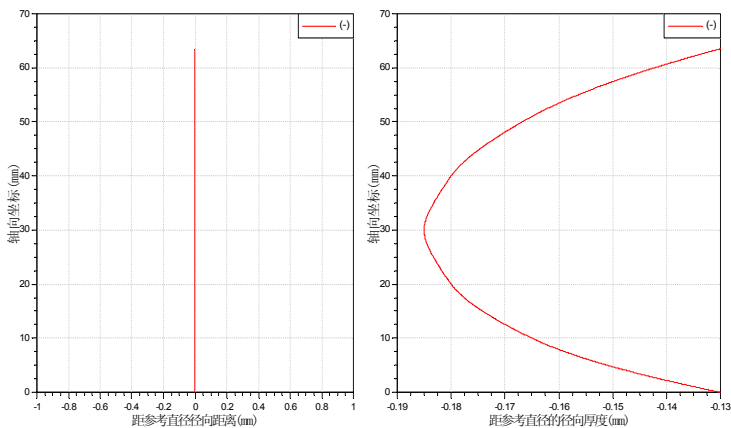


图 3 活塞型线优化对比图

3 活塞环径向失效影响

计算中发现，在做功冲程的开始阶段，推力侧(TS)二环运行面的气流以及二环油膜会发生脉冲式变化，如图 4a 和 4b 所示。曲线表明二环运行表面在做功冲程初始阶段会重复地脉冲式的远离汽缸壁，学者 Tian T 将这种现象定义为径向失效(Radial Collapse)。

Tian T 在文章中分析了二环以及油环发生径向失效的原因，在做功冲程开始初期，燃烧室内的压力达到最大，使的第一道环与二环之间的压力也随之增大，由于环的扭转或者活塞的倾斜，推力侧(TS)二环会贴在槽的上侧面，高温气体不能及时通过环槽，使得环背面的压强要小于环运行面，二环截面形状使得环运行面很大部分受到气体压力作用，气体压力的径向分量急剧增大，从而克服环的自身的弹力，将环压向内侧，大量气体流过环运行面与气缸壁的间隙。而抗推力侧(ATS)由于活塞的倾斜情况正好与之相反，高温气体可以较顺利的通过环槽间隙，故而不会产生如此严重的径向失效，图 4c。

二环发生径向失效需要一定的条件，Tian T [3] 提出了发生径向失效的先决条件：(1) 第一道环与二环之间的压强足够大；(2) 二环贴在槽上侧面。当二环上面活塞与气缸的空间内压强很大或者二环的高度较大，并且二环贴在槽的上侧面，运行面上的气体压力的径向分量才会克服环的弹力以及环背面的气体压力，产生径向失效。依据此可以通过修改设计消除径向失效。

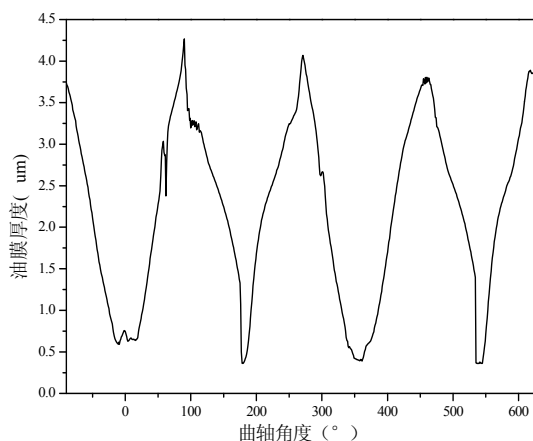
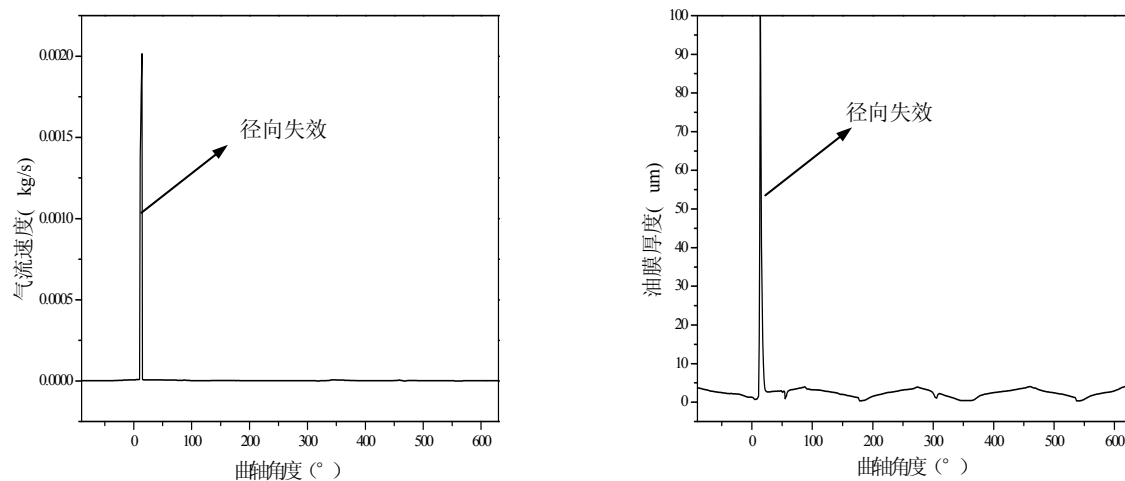


图 4 未加凹槽 a 推力侧(TS)二环运行面气流; b 推力侧(TS)二环油膜厚度变化; c 抗推力侧油膜厚度变化

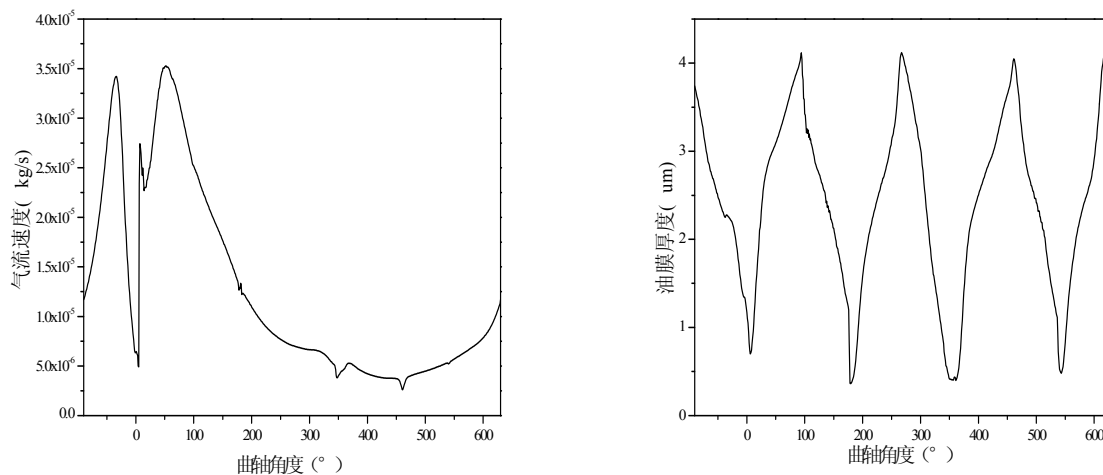


图 5 环槽上侧面加凹槽后推力侧(TS)a 二环运行面气流 ; b 二环油膜厚度变化

计算发现,改变第一道环的端部开口大小,第一道环端部开口较小时,前两道环之间活塞与气缸围成区域的压强较小,二环也不会发生径向失效;另外,我们在第二道环槽的上侧设置一个凹槽,轴向高 2mm,径向深 1.3mm,计算后发现,二环运行面处脉冲式气流以及油膜脉冲式变化消失,这表明径向失效已经消失,图 5a 和 5b。对于第二种方法, Tian T 也做出了介绍[3]。在槽上侧面加上凹槽之后,会使环受到的向下的轴向气体压力更大,在二环上部空间气体压强未达到产生径向失效所需压力之前,将二环压到槽的下侧面。

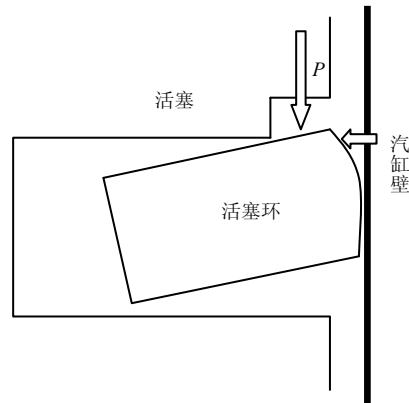


图 6 环槽上侧面施加凹槽图

4 结论

对于大功率发动机,曲轴扭矩大,连杆对活塞的作用使得活塞的变形对气缸产生刮伤,将活塞裙部型线设计成凹形;二环由于其截面形状使其较容易发生径向失效,对汽缸壁产生碰撞,建议在二环凹槽上部设置一个凹槽,缓解其径向失效。

参考文献:

- [1] Tian T. Modeling the performance of the piston pack in internal combustion engines[D].PHD thesis .Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology. June 1997:89—122.
- [2] Tian T. Dynamic behaviors of piston rings and their practical impact[J]. Part 2:Oil transport, friction and wear of ring/liner interface and the effects of piston and ring dynamics[J]. Proceedings of the institution of mechanical engineering part J-Journal of engineering tribology. 2002, 216(J4):229-247.
- [3] Tian T. Dynamic behaviors of piston rings and their practical impact[J]. Part 1: ring flutter and ring collapse and their effects on gas flow and oil transport, Proceedings of the institution of mechanical engineering part J-Journal of engineering tribology. 2002, 216(J4):209-227.
- [4] Piao Y. and Gulwadi S.D..Numerical investigation of the effects of axial cylinder bore profiles on piston ring radial dynamics[C]. Proceeding of ICE 2002, Spring Technical Conference of the ASME Internal Combustion Engine Division. April 2002:14-17.
- [5] 孔凌嘉,内燃机缸套—活塞环的摩擦学系统研究[J]. 西安交通大学机械学报, 1991.