

X195 型柴油机活塞结构尺寸 对其性能的影响研究

李冠峰 李隧亮 王新威

(河南农业大学)

摘要 分析了活塞结构对发动机动力性和经济性的影响,对 X195 型柴油机的活塞结构进行了改进,设计采用了 3 种方案,并在原机上只换用活塞,其它条件不变进行了发动机台架试验。结果表明:进一步将原节能活塞的环数由 4 个减少为 3 个,将 3 道气环改为 2 道气环,并加大活塞顶部直径尺寸,改进补偿槽尺寸,同时将活塞裙部缩短,裙部的凹台形改变为锥形,可减少摩擦面积,改善润滑条件,有效地减少摩擦损失,使发动机的最大输出功率提高最大达 4.57%,降低耗油率最大达 9.34%。

关键词 X195 型柴油机 活塞结构 摩擦损失 发动机性能

柴油机是将燃料的热能转换为机械能的装置,能量转换的有效度可以用有效功率和有效耗油率来评判。由发动机原理^[1]知,单位气缸工作容积的有效功率 P_L 可由下式表示

$$P_L = k_i \cdot \eta \cdot \eta_m \cdot \eta_v \frac{1}{\alpha \cdot \tau} \cdot \rho_s \cdot n$$

式中 k_i ——发动机的比例常数; η ——指示效率; η_m ——机械效率; η_v ——充气效率;
 α ——过量空气系数; τ ——冲程数; ρ_s ——进气状态下的空气密度, kg/m^3 ; n ——转
速,
 r/min 。

发动机的有效小时耗油率 g_e 可用下式表示

$$g_e = \frac{3.6 \times 10^6}{\eta \eta_m H_u}$$

式中 H_u ——燃料的低热值, kJ/kg 。

对于一定的发动机来说, k_i, τ, n 是常数,在无增压时 $\eta_v \propto \rho_s$ 也视为常数,而当燃料一定时 H_u 也是常数,则发动机的动力性和经济性主要取决于 η 和 η_m 。提高发动机的动力性和经济性也就要采取措施减少能量转换过程中的热损失,提高指示效率 η ; 减少发动机工作过程中的机械摩擦损失,提高机械效率 η_m ^[2,3]。

降低发动机的摩擦损失是世界性的课题,也是内燃机工作者的重要工作内容之一。活塞作为发动机的主要零件之一,其结构尺寸以及与气缸配合间隙的变化对提高指示效率 η 和机械效率 η_m 有明显的影响。据资料介绍,活塞组件与气缸孔摩擦副的摩擦功占整机总摩擦损失约 45%~60%^[4]。本课题在该方面进行了研究。

1 试验方案的建立

195 系列柴油机是小型农业机械的主要动力之一,其使用面广,拥有量大。对该系列柴油机的节能技术改造都曾做了大量的研究,其主要措施之一就是采用节能型活塞。节能活塞是将

收稿日期: 1998-07-03

李冠峰, 副教授, 郑州市文化路 95 号 河南农业大学机电工程学院, 450002

原活塞顶部的凹坑深度由 3.5 mm 减少为 1.7 mm, 活塞圆柱部分的直径加大 $0.1 \sim 0.15$ mm 并车削 0.1×1.5 mm 的绝热槽; 减少活塞环槽数, 将原来的两道油环槽改为一道油环槽^[5]。改进后取得了一定的效果, 但仍有潜力可挖。

据资料, 活塞环的摩擦力占整个活塞组的 70% ~ 80%^[6], 因而减少活塞环数, 对降低摩擦功率消耗将有明显的影响。节能型活塞尽管将原设计的 5 环组改为 4 环组, 但对气环未作变动, 活塞环的数目仍较多, 活塞环在气缸壁面上的滑动摩擦表面积较大, 造成的摩擦损失也就较多。

活塞环分油环和气环, 油环的主要作用是布油和刮油, 气环的主要作用之一是保证活塞与气缸壁间的密封, 防止气缸中的高温高压燃气漏入曲轴箱。密封的效果与活塞环的弹力、开口间隙和数量有关。气体穿过第一道环时, 环内气体压力为活塞顶部气体压力的 70%, 第二道环为 0.5%, 第三道环为 0.02%^[7], 这也就是说第三道环的密封作用已很小, 相应地只是增加了摩擦功率消耗。鉴于此, 对 X195 柴油机的活塞进行了进一步的改进, 其总体方案是:

将活塞环槽数 4 个减少为 3 个, 取消第 3 道气环, 变为 2 道气环和 1 道油环。为了防止由于活塞环数目的减少而引起的高压气体的泄漏, 加大活塞顶部尺寸, 同时加大绝热槽的尺寸。绝热槽的功用主要是隔断或减少活塞顶部向下部的传热; 补偿活塞由于受热的膨胀量, 因而又叫补偿环槽。加大绝热槽主要是考虑弥补活塞直径加大后产生的过大膨胀量, 防止大负荷工作时产生拉缸、粘缸现象的发生。绝热槽的尺寸如图 1 所示。并针对不同的局部结构改进采用了 3 种方案。

改进后的活塞纵断面自上而下仍呈阶梯形。裙部尺寸保持不变, 即椭圆长轴尺寸为 $95^{+0.12}_{-0.15}$ mm, 以保持与气缸套的配合间隙。

第 1 种方案除上述改动外, 其它尺寸不变。

为了减少活塞裙部的摩擦面积, 改善裙部的摩擦条件, 第 2、3 种方案将活塞裙部缩短, 活塞销孔上部尺寸保持不变, 活塞总高度减为 $105^{+0}_{-0.22}$ mm, 裙部的形状由原来的凹台形改为锥形, 如图 2 所示。

方案 3 在方案 2 的基础上将绝热环槽数由 4 个减少为 2 个, 活塞顶部尺寸恢复为 $94^{+0}_{-0.06}$ mm。原 X195 柴油机(原机)活塞和各种方案改进活塞的尺寸、结构改进情况见表 1。

表 1 X195 柴油机活塞尺寸、结构改进情况

Tab. 1 The reformed piston structure and size of the X195 diesel engine

方 案	活塞总高度/mm	活塞顶部直径/mm	补偿环槽数/个	裙部结构改变情况
1	$110^{+0}_{-0.22}$	$94^{+0.45}_{-0.06}$	4	不变
2	$105^{+0}_{-0.22}$	$94^{+0.45}_{-0.06}$	4	变为锥形
3	$105^{+0}_{-0.22}$	$94^{+0.40}_{-0.06}$	2	变为锥形
原机	$110^{+0}_{-0.22}$	$94^{+0.40}_{-0.06}$	无	—

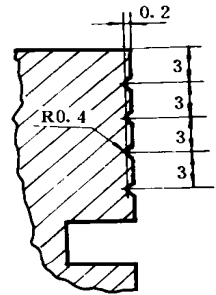
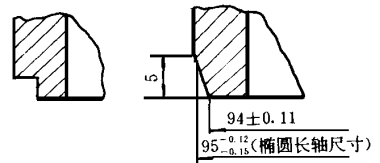


图 1 绝热槽的尺寸和位置

Fig. 1 The structure and size of the compensating slot



a 改前 b 改后

图 2 活塞裙部改进前后结构形状

Fig. 2 Contrast the reformed piston skirt structure with the original

2 改进活塞方案的发动机台架试验及结果

采用 3 种方案改进后的活塞在 X195 型柴油机上与采用原节能型活塞(原机)进行了对比试验。试验在原机上只换用活塞,其它条件不变。试验用发动机型号为: X195(排量 0 815 L;缸径 95 mm;生产厂为郑州第二柴油机厂;出厂编号,24607。测功器为 D110A 型水力测功机;测功机系数 0 0005;生产厂为江苏启东测功设备厂。测试仪器为 SZC-II 型内燃机集中测试台;生产厂为无锡江南测试仪器厂。

试验主要测试了发动机的输出功率和耗油量,并监测了机油温度和排气温度。试验所用燃油为 0 号轻柴油,发动机按出厂说明书调整至规定要求。试验中定量燃油为 50 g,测功机轴转速为 2000 r/min。试验结果见表 2。各组试验发动机负荷特性见图 3。

表 2 发动机台架试验结果

Tab 2 The results of the engine test-bed test

序号	有效功率 /kW	比耗油量/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$			机油温度/			排气温度/					
		原机	方案 1	方案 2	方案 3	原机	方案 1	方案 2	方案 3	原机	方案 1	方案 2	方案 3
1	2.2	381.08	376.35	380.55	376.00	94	92	94	94	160	160	165	160
2	4.4	272.73	273.55	273.00	271.19	94	93	94	95	230	230	230	210
3	6.6	251.13	248.16	247.48	247.15	94	94	98	97	320	310	315	315
4	8.8	259.41	253.46	250.36	251.75	94.5	94	98	97	440	430	435	425
5	9.7	294.08	269.92	266.62	274.91	94.5	95	98	97	565	515	570	520
6	9.85	491.91				95				570			
	10.2		490.2		475.02		95		96		557		550
	10.3			469.78				98				560	

注:表中第 6 项为发动机最大输出功率值及对应的参数。

3 试验结果分析

从发动机台架试验结果可见,采用改进活塞的 3 种方案发动机输出功率最大值分别达 10.2、10.3 和 10.2 kW,比原机的最大输出功率(9.85 kW)提高 3.55%、4.57% 和 3.55%。3 种方案的小时燃油消耗率与原机相比,从小负荷到大负荷随着负荷的增加逐渐降低,在标定状况(9.7 kW)时,分别降低 8.22%、9.34% 和 6.52%。即表明发动机的动力性和经济性都有明显提高。

3 种改进活塞的方案,由于活塞环数目减少,减少了活塞环和气缸壁间的摩擦总面积,同时又改善了第一、二道气环的润滑条件,使这两道环的摩擦损失减少,减少了发动机工作中的摩擦功率消耗,提高了机械效率,从而使发动机的动力性和经济性得以提高。

从 3 种活塞的改进方案对比可见,第 2 种方案的效果最好,其输出功率最大,油耗最低。此种方案综合了第 1 种和第 3 种方案的优点,即同时采用了活塞顶部尺寸加大、活塞裙部缩短和

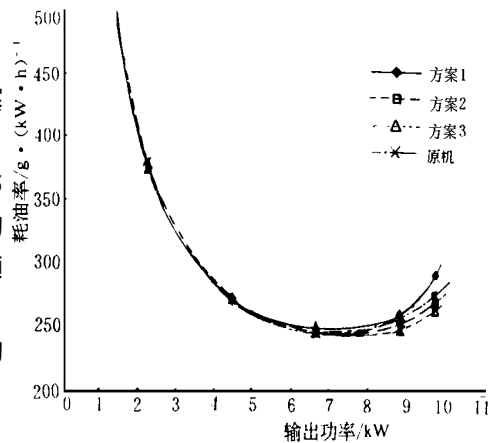


图 3 发动机负荷特性图

Fig. 3 The load characteristics of the engine

裙部结构改进的措施。顶部尺寸加大后,可以弥补由于活塞环数目减少引起的部分漏气损失;活塞裙部缩短可减少活塞与气缸壁间的磨擦面积;活塞裙部结构尺寸改变后改善了裙部的摩擦条件,减少了裙部的摩擦损失,提高了整机的机械效率。因而相对于第1、3种方案而言,其性能改善较多。

3种改进活塞方案发动机的耗油率与原机相比,都是随着负荷的增加而减少,在小负荷时油耗基本持平。其原因是中小负荷时发动机温度相对较低,活塞的膨胀较少,活塞环数目减少后的漏气损失较多,由活塞环数目减少带来的摩擦损失的减少,机械效率的提高被漏气损失带来的指示效率的下降所抵消。而在大负荷时,燃烧室内温度较高,活塞的温度也较高而使活塞的膨胀较多,漏气损失减少,活塞环数目减少带来的摩擦损失的降低得以较好地显现出来,而使发动机的有效功率上升,动力性和经济性能改善。

采用第2、3种改进活塞方案发动机的机油温度在大负荷时比原机略有增加,第1种方案与原机相比没有变化。分析其原因是:活塞裙部的凹台型结构在活塞下行时具有一定的刮油作用,使发动机工作过程中飞溅到气缸壁上的润滑油先由活塞裙部的凹台刮去一部分,这就使这部分润滑油在气缸壁上的停留时间缩短,缸壁加热润滑油的机会减少,油温较低。而活塞裙部改变成锥形后,刮油作用降低,润滑油在缸壁上的停留时间相对延长,油温提高。而刮油作用降低有利于改善活塞裙部的润滑条件,减少摩擦损失,这也是第2种方案动力性经济性较好的原因之一。

采用改进活塞的3种方案与原机相比,其排气温度变化不大。发动机润滑油的消耗没有明显的变化。发动机短时间超负荷工作后拆检活塞、气缸,没有发现明显的拉缸和划痕现象。

4 结论及讨论

根据上述试验和分析可知:

1) 将原X195柴油机活塞的3道气环减为2道气环,可以有效地减少工作过程中的摩擦损失,提高其动力性和经济性。

2) 活塞环数目减少后,适当加大(加大量在0.05 mm以内)活塞顶部直径,可以弥补由于活塞环数减少而引起的漏气损失,对发动机的指示效率不会产生大的影响。

3) 将原X195柴油机活塞裙部的尺寸缩短,可减少活塞裙部与气缸壁的磨擦面积;活塞裙部的凹台形结构改为锥形结构,可改善活塞裙部的润滑条件,减少裙部的磨擦损失,有利于提高整机的动力性和经济性。但发动机润滑油的温度略有提高。

另外,3道气环改为2道气环后会对指示效率 η 产生影响,但由于第3道气环的密封作用已较小,磨损后的漏气影响也不会很大,影响的程度如何需做进一步的试验。

加大活塞顶部直径尺寸和绝热槽后,短时超负荷工作后虽没有出现拉、划缸现象,但长时间超负荷工作的情况如何,需进一步试验验证。

参 考 文 献

- 1 刘永长. 内燃机原理 武汉: 华中理工大学出版社, 1995 122~ 132
- 2 李冠峰等. 柴油发动机节油技术相容性试验研究 河南农业大学学报, 1993 6(2): 134~ 139
- 3 Li Guanfeng et al. Study and test on the compatibility of the fuel economy techniques applied to diesel engine International Agricultural Engineering Conference Bangkok, Thailand, 1994 12: 25 ~ 32
- 4 张效工等. 降低汽油机整机磨擦损失的研究 内燃机学报, 1997. 1(1): 71~ 75
- 5 陈国储等. 小型柴油机使用维修技术 北京: 机械工业出版社, 1997. 56~ 57
- 6 宫本擗幹夫 木村勉 节能活塞环的开发 国外内燃机, 1990 8(4): 32~ 38

7 华中农业大学. 拖拉机汽车学. 北京: 农业出版社, 1990. 24~ 28

Effect of Piston Structure and Size on the Performance of the X195 Diesel Engine

Li Guanfeng Li Sui liang Wang Xinwei

(Henan Agricultural University, Zhengzhou)

Abstract The effect of piston structure and size on the power and economy performance of the engine was analyzed. The piston structure of the X195 diesel engine was reformed and 3 types reformed piston were used to make test-bed test. The test was made with in the same condition except to change the piston. The results showed by changing that the original design of 4 piston-ring slots to 3 ones, changing 3 gas rings into 2 ones, increasing the top diameter of the piston, informing the compensating slot, reducing the length of the piston skirt, and changing the step form of the piston skirt into taper, the friction area can be reduced, the lubricate condition of the piston can be ameliorated, the frictional loss was effectively reduced, so that the maximum output power of the engine can go up 4.57%, and the rate of fuel consumption can reduce by 9.34%.

Key words X195 diesel engine, piston structure, frictional loss, engine performance