

# 柴油机运行参数对碳烟排放的影响

李祥, 朱云\*, 王明扬

(云南农业大学工程技术学院, 云南昆明 650201)

**摘要:** 在农用动力机械中占主要地位的单缸小型柴油机普遍存在碳排放高的严重问题。对 X195 型柴油机进行了试验和研究, 分析了供油提前角、喷油压力、转速、负荷等运行参数对排放烟度的影响, 为降低柴油机碳烟生成提供理论依据。

**关键词:** 柴油机; 运行参数; 烟度

**中图分类号:** S 219.031    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1004-390X (2008) 03-0414-04

## Effect of Diesel Operation Parameters on the Emission of Soot

LI Xiang, ZHU Yun, WANG Ming-yang

(Faculty of Engineering and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** Small single-cylinder diesel engine almost dominates the field of agricultural power machinery in China, but it has a serious problem of the high emission of soot. Diesel X195 was tested and studied in this paper. The effect of diesel operation parameters, such as the fuel supply advance angle, injection pressure, speed, load, etc on the emission smoke was analyzed in order to provide a theoretical basis to reduce the emission of soot.

**Key words:** diesel; operation parameters; smoke

柴油机以其高的热效率和低燃油消耗率具有广泛的应用。在我国的农用机械动力中, 单缸小型柴油机占了绝对主要的地位。随着石油资源的短缺和环境的恶化, 对柴油机排放的限制也越来越严厉。从大气污染的角度看, 柴油机的排烟中的有害成份是  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  和碳烟, 其中  $\text{SO}_x$  是燃料含有的硫因燃烧而产生, 使用低硫燃料就可以解决这一问题, 因柴油机一般为过量空气燃烧,  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  排放量很少, 所以对它们限制较少, 主要限制的是  $\text{NO}_x$  和碳烟。传统的柴油机特别是农用单缸柴油机普遍存在烟度高、噪声大、耗油多、寿命短等严重问题, 烟度高尤为突出, 碳烟是碳原子团

组成的片状晶体构成的物质, 其粒子很小一般不到  $1 \mu\text{m}$ , 可以在空气中长时间飘流且具有很强的亲和力和吸附力, 进入人的呼吸系统后有很强的致癌作用<sup>[1]</sup>。

本文选用的试验用发动机为 ZX195 型柴油发动机, 试验主要从供油提前角、转速、喷油压力、负荷等这几个运行参数对烟度的影响进行了试验研究。

### 1 试验装置与方法

#### 1.1 试验用柴油机

试验用柴油机选用 ZX195 型柴油发动机。主要技术参数如表 1。

表1 ZX195型柴油发动机主要技术参数

Tab.1 Major Technical Parameters of diesel ZX195

项目 item	参数 parameters
型号 model	ZX195
型式 type	卧式单缸四冲程 Horizontal single-cylinder four-stroke
燃烧室形状 combustion chamber shape	浅盆形 Shallow basin-shaped
行程 itinerary	115 mm
标定转速 calibration speed	2 000 r/min
进气方式 inlet way	自然吸气 naturally aspirated
压缩比 compression ratio	20:1
缸径 diameter of cylinder	95 mm
标定功率 calibration power	8.8 kW

## 1.2 试验系统的主要仪器

测量烟度排放的主要仪器如表2。

表2 试验系统的主要仪器

Tab.2 Main experimental instruments

仪器名称 instrument	型号 model	用途 use
水力测功机 hydraulic dynamometer	D150	加载负荷 add load
烟度计 smokemeter	FD-3	测烟度 smoke test
转速仪 tachometer	DSZ-02M	测转速 measuring speed
智能油耗仪 smart fuel consumption	FC2210	测柴油消耗量 measuring diesel consumption

## 1.3 试验设备

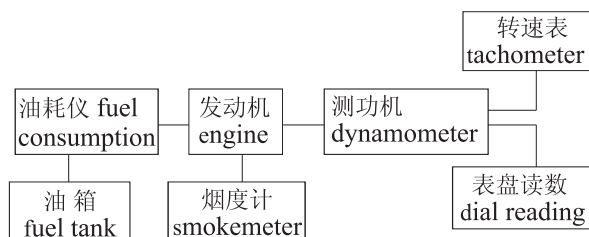


图1 试验设备布置简图

Fig.1 Layout of the experimental equipments

## 1.4 试验方法

为了获得发动机在不同工况下的碳烟排放数

据,就必须获得碳烟排放随参数调整情况或运转工况变化的规律。其中随调整情况变化的特性称为调整特性,如供油提前角调整特性、喷油压力调整特性;记录在不同的调整特性时的碳烟排放数据并绘制成曲线,即可分别获得供油提前角调整特性曲线和喷油压力调整特性曲线。

当燃料供给调节机构位置固定不变时,内燃机的主要性能参数(扭矩、功率、燃油消耗率、排放等,这里指烟度排放指标)随转速改变而变化的关系,所得曲线称为外特性曲线。试验时发动机预热后将喷油泵油量调节机构(供油拉杆或齿条)位置固定,使发动机稳定运转。测取这个工况下发动机的转速、测功机读数、碳烟排放读数。然后调节测功机载荷,使发动机转速改变。稳定后,可同样测取这个转速下的测功机读数、碳烟排放读数等。按一定的转速间隔,重复上述步骤,然后记录碳烟排放数据并整理绘制成曲线。

在转速不变时,内燃机主要性能参数随负荷的改变而变化的关系。所得曲线称为负荷特性曲线。特性曲线的制取方法为:试验时发动机预热后调节齿杆位置在小供油量位置,同时调节测功机载荷,保持发动机转速在某一预定值,稳定后,即可记录此工作点的有关数据:测功机读数、转速、碳烟排放读数等。随后,调节齿杆到下一个位置,增大供油量,同时增大测功机载荷,保持转速一定,再进行测量记录。发动机负荷特性分为全负荷特性和部分负荷特性。全负荷特性为在规定条件下允许连续工作的最大负荷。部分负荷特性是在一定转速下低于全负荷的负荷,试验时将发动机油门操纵杆放在最大位置,减少测功器负荷,使它在无负荷运转的情况下达到稳定运转状态。此时记录下应测数据。根据确定的转速,从该发动机的特性试验曲线上找出相应的有效功率 $p_e$ 及有效转矩 $T_e$ 的值,按照它的0,30%,50%,80%,100%的比例算出相应点的磅称读数。以后根据选好的点逐渐增大供油量,改变负荷一直达到最大,即油泵齿条在标定循环油量位置。重复上述步骤,然后记录碳烟排放数据并整理绘制成曲线。

## 2 结果与分析

### 2.1 烟度随供油提前角的变化关系

柴油机的燃烧可以分为4个:从喷油开始到着火滞燃期;滞燃期内燃油爆发燃烧的速燃期,

从压力急剧上升到喷油结束的缓燃期；从喷油结束到燃烧终了的后燃期。图2给出了在不同转速时柴油机烟度与供油提前角的关系，从图2中可以看出：在该柴油机的台架试验中，供油提前角在 $18^\circ$ 时柴油机烟度最低。供油提前角过大大于 $18^\circ$ 时喷油时气缸内的压力和温度都较低，滞燃期变长，缸内压力上升迅猛，柴油机工作粗暴，噪声较大，较多的燃油同时着火，造成燃烧不完全，致使大量碳烟生成。

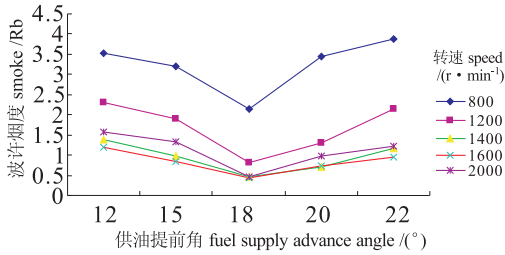


图2 不同转速下烟度随供油提前角的变化关系  
Fig. 2 Change of smoke with fuel supply advance angle at different speeds

供油提前角小于 $18^\circ$ 时，随着供油提前角的减小，柴油机的滞燃期缩短，预混合燃烧的燃油量占循环供油量的比例降低，相应的扩散燃烧的燃油量所占比例增加，碳烟生成主要在扩散燃烧中发生，因此烟度随供油提前角的减小而增加。

## 2.2 烟度随喷油压力的变化关系

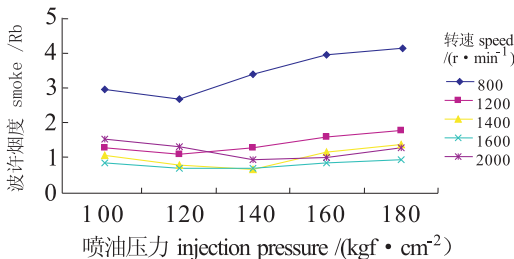


图3 不同转速下烟度随喷油压力的变化关系  
Fig. 3 Change of smoke with injection pressure at different speeds

如图3，随着喷油压力的升高，烟度先减小然后增加。喷油压力在 $140 \text{ kgf/cm}^2$ 左右时达到最低。当喷油压力过低时，燃油雾化不良，使燃烧不完全，烟度增加，柴油机污染物产生的根本原因是燃油与空气混合的程度不均匀，缸内燃烧不充分所致。因此控制柴油机碳烟的生成必须以优化燃烧、改善燃油与空气的混合为目标。燃油雾化程度是燃油与空气混合程度的主要影响因素。影响燃油雾化程度的因素主要有喷油压力、空气燃油密度比、雷诺数、燃油粘度和表面张力、喷

油嘴的部位结构和几何特性等。在实际中，空气燃油密度比、雷诺数、燃油粘度和表面张力、喷油嘴的部位结构和几何特性等参数一般不容易改变，因此改善燃油雾化最有效的手段是提高喷油压力。高的喷油压力可以增加喷注的贯穿距离，使喷雾细化，促进空气的涡流作用，改善燃油与空气的混合，从而改善燃烧，降低烟度的排放<sup>[3]</sup>。当喷油压力过高时，喷油时间短、喷射速度高、射程大，使汽缸壁面油膜厚度增加，使油膜不能全部迅速与空气混合，燃料不能完全燃烧，排气烟度同样增加。

## 2.3 烟度随转速的变化关系

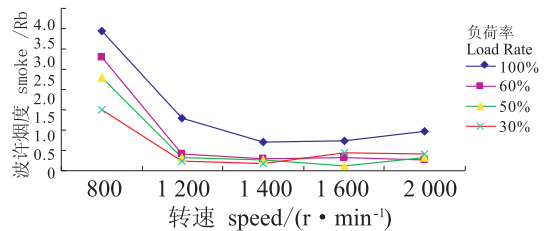


图4 不同负荷率下烟度随转速的变化关系  
Fig. 4 Change of smoke with Speed at different load rate

从在图4中可以发现，烟度在转速为 $1400 \text{ r/min}$ 左右时达到最低，在转速低于 $1400 \text{ r/min}$ 时碳烟的生成量随着转速的升高而减少，因为在发动机在低转速时燃烧室内气体流动性差，燃料与空气混合不均匀，转速波动大，柴油的扩散变慢，燃烧温度不足，热分层效应差，导致燃烧时局部缺氧严重，从而引起碳烟的生成量明显增加。当转速高于 $1400 \text{ r/min}$ 时，随着转速的升高，循环燃烧时间大大缩短，使扩散燃烧阶段生成的碳烟来不及反应就排出机外，同时由于转速太高时，充量系数大大降低，也会引起局部缺氧，从而导致碳烟生成量的显著增加<sup>[4]</sup>。

## 2.4 烟度随负荷的变化关系

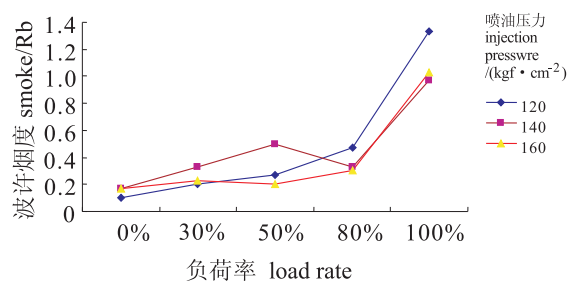


图5 不同喷油压力下烟度随负荷率的变化关系  
Fig. 5 Change of smoke with load rate in different injection pressure

由图5可以发现,当转速一定时,随着负荷的增加,烟度排放量有明显的上升趋势。因为柴油机随着负荷的增加,每循环的喷油量会急剧增加,过量空气系数减小,使部分燃油在缺氧的条件下燃烧,从而造成烟度排放的明显上升。在较小负荷时,烟度值并不高,但在超负荷情况下,柴油机出现了浓黑排烟状态,在较小负荷和超负荷时的过量空气系数前者为1.80,后者为0.97<sup>[1]</sup>,也即在过载状态下喷进发动机内的燃油只有不到20%用于增加了功率输出,其余大部分变成黑烟排出机外,因此柴油机出现浓黑排烟状态。

### 3 减少碳烟排放的结构改进措施

#### 3.1 选择合适的供油提前角

控制柴油机的喷油正时是控制碳烟排放的重要手段。采用电控喷射可以有效地控制喷油正时,使柴油机在不同运行工况下都能在最佳的供油提前角下运行。在没有电控燃油喷射条件下,可调整为常用工况下的最佳供油提前角。

#### 3.2 喷油规律改进

合理的喷油规律应该是:初期喷油速率不宜过高;中期应急速喷油,提高喷油速率和喷油压力,以加速扩散燃烧速度,防止烟度升高和热效率的恶化;后期要迅速结束喷射,避免燃烧不完全引起碳烟增加。在没有电控燃油喷射条件下,通过改变油泵凸轮形状,对喷油规律加以改进,传统凸轮为切线凸轮,改进凸轮为凹弧型凸轮,其供油规律具有初期低、中期急速及补燃期不拖长的特征。为了实现先缓后急的喷油规律,也可使用双弹簧喷油器即为双开启压力喷油器,在油压上升时首先克服第一级较软的弹簧压力,使针阀略微顶起,由于流通面积很小,燃油喷射的速率较低;当油压升高到克服第二级弹簧压力时开始主喷射。

#### 3.3 提高喷油压力和减小喷孔直径

提高喷油压力和减少喷孔直径可以使燃油的

喷雾颗粒进一步细化,以增大燃油和空气接触的表面积,加速燃油和空气的混合,明显地降低碳烟的排放。高压喷射技术对喷油系统提出了十分苛刻的要求。要求整个系统有极高的强度、刚度和密封性。此种措施也必须和其他改进方法相结合才能达到更好的效果。提高喷油压力可以有效地降低柴油机的碳烟排放;减少燃油平均滴径,促进混合气形成;降低发动机最大压力升高率、降低燃烧噪声。

### 4 小结

(1) 通过该试验可以看出:供油提前角、喷油压力、转速、负荷等运行参数对碳烟生成影响很大,选择合适的运行参数可以有效地控制柴油机烟度。烟度随着供油提前角、喷油压力的增加而下降,到达最佳值后又随着参数值的增加而增加。在柴油机实际运行过程中,需保持的最佳值。

(2) 在调整运行参数时,还需综合考虑柴油机的动力性、经济性。例如在通常情况下,综合考虑所确定的最佳供油提前角要比只考虑碳烟排放所确定的最佳供油提前角要小,而且为了降低NOX的排放量和燃烧噪声,又要求减小供油提前角,实际上运用的供油提前角并不是碳烟排放的最佳供油提前角度。

(3) 结合柴油机的通用工况,选择合适的运行参数对控制现用柴油机的烟度是简便可行的。

#### [参考文献]

- [1] 姚春德. 限制单缸柴油机烟度的试验研究 [J]. 内燃机工程, 1998, 19 (4): 1-4.
- [2] 周龙保. 内燃机学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [3] 张少明, 陈文彬. 降低车用柴油机排放技术的措施及实现 [J]. 内燃机, 2004, 12 (6): 39-42.
- [4] 陈汉玉, 袁银南. LPG/柴油双燃料发动机烟度排放的试验研究 [J]. 拖拉机与农机运输车, 2007, 34 (2): 51-53.