

# 惯性动力增压器在小型高速柴油机上的应用<sup>\*</sup>

谢永杰

(华侨大学机电工程系, 泉州 362011)

**摘要** 介绍惯性动力增压器的基本原理及其设计,并分析在小型高速柴油机上的试验情况. 结果表明: 对提高功率、降低油耗、降低排气温度及排烟浓度都有明显的效果.

**关键词** 惯性动力增压器, 小型高速柴油机, 设计

**分类号** TK 421.8

随着小型高速柴油机的日益增多及广泛应用,如何解决提高发动机功率、降低油耗及减少黑烟对大气污染问题日趋迫切. 采用惯性动力增压器是一种有效的技术措施,它利用气体的波动效应来提高气缸的充量系数,增加富油状态下过量空气系数,从而达到提高功率、降低油耗及排烟浓度的目的. 为此,在小型高速柴油机上加装惯性动力增压器,并分别进行负荷特性测试和道路试验,取得较满意的结果.

## 1 基本原理及设计

### 1.1 提高柴油机功率的方法

通常对柴油机的设计 requirements 是体积小,重量轻,且又能发出较大有效功率  $P_e^{[1]}$ ,即

$$P_e = \frac{p_e i V_n n}{30\tau}, \quad (1)$$

由式(1)可知,当柴油机结构固定的情况下,提高气缸的平均有效压力  $p_e$  可提高柴油机的整机性能. 而气缸的平均有效压力  $p_e$  为

$$p_e = \frac{K \eta_k \eta_m \rho_s}{\alpha}, \quad (2)$$

则式(1)可改写为

$$P_e = \frac{\eta_k \rho_s}{\alpha} \left( \frac{K \eta_m V_n i n}{30\tau} \right), \quad (3)$$

式中  $\eta_k$  为充量系数,即每一循环进入气缸的实际空气量与理论空气量之比值;  $\rho_s$  为进气管的空气密度;  $\alpha$  为过量空气系数.

由式(3)可知,当柴油机处于一定的结构、几何参数与运行参数条件下,常数  $K$ 、气缸数目  $i$ 、气缸工作容积  $V_n$ 、转速  $n$  和冲程数  $\tau$  均为确定值,而机械效率  $\eta_m$  也基本不变. 此时,影响有效功率  $P_e$  的主要参数是  $\eta_k$ 、 $\eta_k$ 、 $\rho_s$  和  $\alpha$ . 其中燃烧效率  $\eta_k$  除与结构及运行参数有关外,还与  $\alpha$  有

关, 它们之间存在着对应的最佳关系, 一般正常状态下的  $\alpha$  值总是处于最佳值附近以便使  $\eta_i$  获得最大值. 因此, 对一确定结构的柴油机而言, 提高有效功率的途径主要就是提高气缸的充量系数  $\eta_i$  及其空气密度  $\rho_s$ .

为了提高  $\eta_i$  与  $\rho_s$ , 通常采用废气涡轮增压或机械增压. 前者结构复杂, 只适用于大、中型及高原地区运行的柴油机; 后者要消耗自身的一部分功率, 应用在小型柴油机上“得不偿失”.

鉴于上述原因, 在不改变柴油机本身结构和不消耗功率的情况下, 根据柴油机进、排气阀频繁开闭的特点, 如果适当加长进气管的长度及增加一个稳压箱, 利用进气管内气体本身的波动效应和惯性效应来增加吸入气缸的空气量同样可达到提高功率的目的. 采用这种方法来提高功率的柴油机即称为“惯性动力增压柴油机”; 如图 1 所示, 这种进气管和稳压箱的组件我们称之为“惯性动力增压器”.

### 1.2 惯性增压原理

柴油机活塞的往复运动以及进、排气阀的不断开关, 在进气管中会产生气体压力与速度的波动. 当进气阀突然急速打开时, 由于活塞的抽吸作用和进气管内气体的惯性, 在气缸和进气阀的入口处将产生负的压力. 根据空气动力学原理, 所形成负的压力波(即膨胀波)向开口端传播, 然后由开口端反射回一个正的压力波(压缩波). 当进气管的长度选择得当时, 可以使反射回来的压缩波峰在进气阀开启持续期的后半段时间内到达. 如图 2 所示, 为进气压力波的谐振情况. 图中  $t_s$  为进气持续期,  $t_a$  为开口端反射波返回时间. 此时, 空气将以较大的密度进入气缸, 这样便增加进入气缸的空气量, 提高充量系数  $\eta_i$ . 显然, 要最大限度利用惯性波动效应就必须使压力波峰与进气阀的关闭时刻配合最好, 否则就不能收到预期的效果. 因此, 问题的关键是如何确定进气管的长度.

根据理论分析及实验结果获得最佳的进气管长度为<sup>[2]</sup>

$$L = L_s - L_e = \left( \frac{1690}{n} \right)^2 \frac{f}{V} - L_e, \quad (4)$$

式中  $L(\text{m})$  为进气管的实际长度;  $L_s(\text{m})$  为进气管的理论长度;  $L_e(\text{m})$  为气缸盖气道长度;  $n(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$  为柴油机的额定转速;  $f(\text{m}^2)$  为进气管内腔的横截面积;  $V(\text{m}^3)$  为气缸的工作容积.

### 1.3 惯性增压与涡轮及机械增压的区别

惯性增压是用来提高充量系数  $\eta_i$ . 因为活塞的运动将使进入气缸内气体压力低于进入气

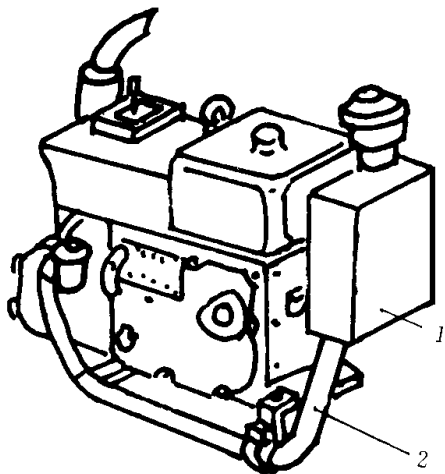


图 1 惯性动力增压柴油机

1. 进气管; 2. 稳压箱

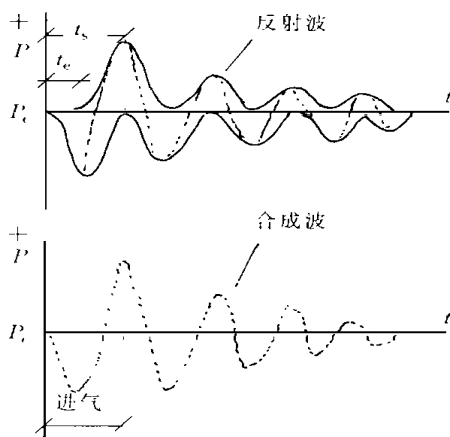


图 2 进气压力波的谐振

缸前的空气压力,产生负压.惯性增压能使进气充分充填气缸,弥补达不到完全充填气缸所形成的损失,消除负压作用,提高充量系数 $\eta$ ,有可能使 $\eta$ 达到1,最终导致提高有效功率.

废气涡轮或机械传动增压是整体提高进入气缸前的空气压力,即提高进气空气密度 $\rho_s$ ,使一定气缸容积条件下进入的空气质量增加,喷油量相应也增加,从而提高有效功率.

综上所述,虽然涡轮或机械增压与惯性增压同样可以提高进入气缸的空气量,但其工作原理是不同的,前者是提高进气压力与密度;而后者则是提高充量系数.当然,在采用涡轮或机械增压的同时,还可以采用惯性增压措施来提高充量系数,让柴油机发出更大的功率.

## 2 惯性动力增压器的试验与应用

根据上述原理及计算方法,选择广泛应用的S195柴油机进行惯性增压的试验.已知S195型柴油机的主要参数为:额定功率为8.8 kW,缸径为95 mm,活塞工作行程115 mm,标定转速 $2\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,气缸盖气道长度70 mm.选用内径为42 mm的无缝钢管作为进气管(使其内径与阀门口径相近).按式(4)求得最佳进气管长度为1.14 m.

据此,弯制新的进气管替代原进气管,在进气管的管口端安装了一个单级空气滤清器以保证进入气缸的空气清洁.这样相当于增加一个节流装置,但它破坏开口端的反射条件,影响了增压效果.当空滤器安装位置离管道开口端越近时,它的影响越明显<sup>[6]</sup>,为了缓解空滤器的节流作用,在空滤器和进气管之间增加一个容积为 $300\text{ mm}\times 255\text{ mm}\times 210\text{ mm}$ 的稳压箱,如图3所示;同时设计容积为 $290\text{ mm}\times 110\text{ mm}\times 290\text{ mm}$ 的稳压箱,如图4所示.

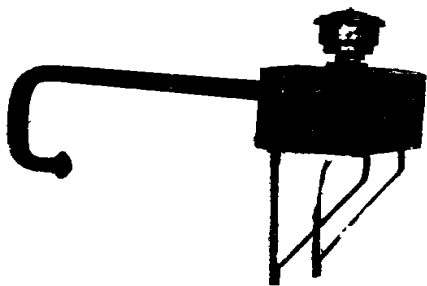


图3 增压1<sup>#</sup>

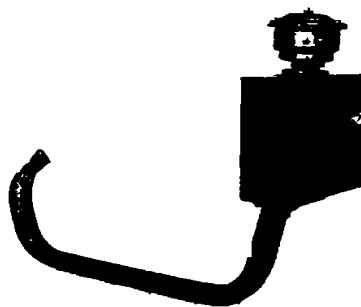


图4 增压2<sup>#</sup>

增压1<sup>#</sup>分别与机耕船及翻斗车上的柴油机配套,增压2<sup>#</sup>与手扶拖拉机配套.我们先将改装后的手扶拖拉机在惠安县崇武镇花园岭进行爬坡性能对比试验,结果见附表.表中, $G$ 为载重量, $l$ 为测试距离, $t$ 为时间.

附表 爬坡对比试验<sup>①</sup>

| 项 目                | $G/\text{kg}$ | $l/\text{m}$ | 行驶挡位 | 排烟情况 | $t/\text{s}$ |
|--------------------|---------------|--------------|------|------|--------------|
| 原手扶拖拉机             | 425           | 300          | 6    | 微黑烟  | 69           |
| 配套增压2 <sup>#</sup> | 425           | 300          | 6    | 无黑烟  | 69           |
| 原手扶拖拉机             | 1200          | 300          | 6~5  | 冒黑烟  | 81           |
| 配套增压2 <sup>#</sup> | 1200          | 300          | 6    | 无黑烟  | 74           |

① 正常工况下效果不明显;超负荷时增压效果显著

业,且工作吃力,冒黑烟;而配套增压 2<sup>#</sup> 后,犁耕  $1.87 \times 10^5 \text{ m}^2$ ,全部用 4 挡工作,速度提高 1 挡,不再冒黑烟;同样用增压 1<sup>#</sup> 配套在机耕船犁耕  $2.13 \times 10^5 \text{ m}^2$ ,工作速度也比非增压时提高 1 挡。

为了分析惯性增压对柴油机性能的影响,我们在该柴油机生产厂——福建龙溪柴油机厂的实验台架上,随机取样进行装配惯性增压前后的负荷特性测试。实测的数据可以绘出在额定转速下柴油机的负荷特性曲线,如图 5、6 所示。图中  $P_e$  为功率,  $Q$  为排温,  $g_e$  为耗油率。

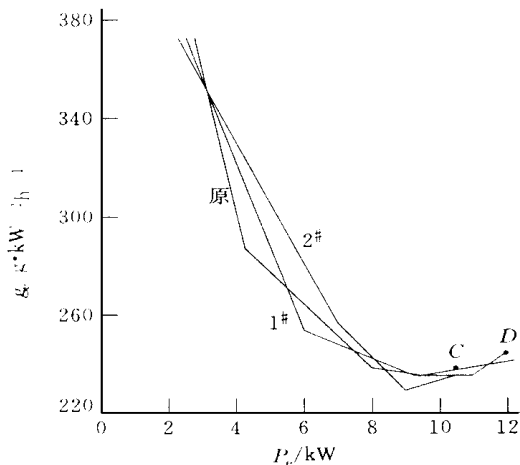


图 5 燃油特性曲线

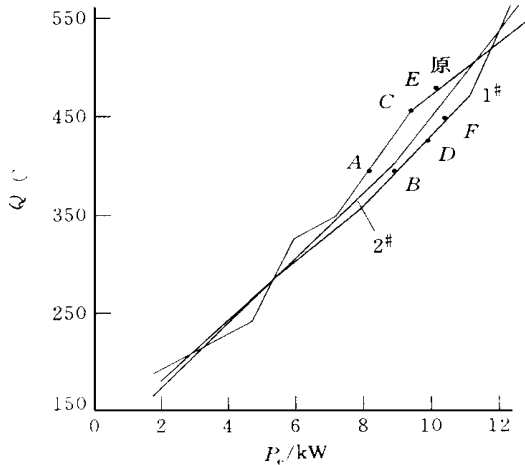


图 6 排温特性曲线

### 3 试验结果分析

由图 5 燃油特性曲线可见,将原机与增压 1<sup>#</sup> 比较,在超负荷时惯性增压效果明显,即提高了功率,又降低了油耗。当原机功率由 8.8 kW 增大到 10.3 kW 时,耗油率每千瓦时增加了 4.2 g。匹配增压 1<sup>#</sup> 后功率由 8.8 kW 增大到 11 kW 时,虽然功率增大 2.2 kW,但耗油率几乎不变,且其最大功率由原机 10.3 kW 增大到 11.8 kW。

从图 6 排温特性曲线可见,将原机与增压 1<sup>#</sup> 比较,即在功率越大时,两者的排温差别愈明显:当  $P_e = 8.8 \text{ kW}$  时,由 A—B 降低 28 °C;当  $P_e = 9.7 \text{ kW}$  时,由 C—D 降低 37 °C;而当  $P_e = 10.3 \text{ kW}$  时,由 E—F 降低 35 °C。

另从单位燃油消耗曲线<sup>[3]</sup>分析,当采用惯性增压后,在正常油门下,  $\alpha$  有所增大。当加大油门时,虽然  $\alpha$  有所下降,从 A—B,但仍保持在最佳过量空气系数  $\alpha_{opt}$  附近,燃烧仍比较完全而不冒黑烟,但这是有限度的。当惯性动力增压器设计得好,可提高功率 10% ~ 20% 左右。若企图更多增加功率而过分加大供油则最终仍可导致耗油率增大,并冒黑烟。正如试验数据图 5、6 所示,增压 1<sup>#</sup> 及增压 2<sup>#</sup> 最佳功率只到 10.3 kW 左右,超过时则耗油率反而增大,且排气温度也将过分增高。

从增压 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 对比还可看出,由于 1<sup>#</sup> 增压器的稳压箱容积大于 2<sup>#</sup> (但 1<sup>#</sup> 进气管的弯曲曲率小于 2<sup>#</sup>),缓冲了空气滤清器的节流作用,增压效果较好,所以 1<sup>#</sup> 优于 2<sup>#</sup> 配置。虽然耗油率相对高了一个百分点左右,但排气温度却低 5% 以上。

## 4 结论

经试验表明:小型高速柴油机采用惯性动力增压器有以下效果.

- (1) 提高了功率. 在额定转速下, 最大功率由 10.3 kW 提高到 11.8 kW, 田间作业速度提高 1 挡.
- (2) 降低了油耗. 在额定功率时, 燃油消耗差不多, 而同在 10.3 kW 超负荷的情况下, 燃油消耗反而由 241.7 g 下降到 236.6 g.
- (3) 排气温度下降. 在额定功率下, 原机与 1<sup>#</sup> 比较, 排温由 390 降为 362. 由于排温下降, 改善了柴油机性能和提高使用寿命.
- (4) 改善了烟色. 在超负荷的情况下, 排气烟色改善, 对净化环境有良好的效果.
- (5) 结构简单. 不必改变柴油机结构, 不增加操作及维修工作量, 且造价低, 普遍推广后可能获得较好的社会和经济效益.

应当指出的是, 影响惯性增压效果不仅与进气管长度、通道截面、管道弯曲情况和稳压箱容积大小有关, 而且也涉及管道系的匹配. 因此, 对一具体型号的柴油机, 欲得到最佳增压效果仍有必要进行多种方案的匹配试验. 总之, 惯性增压对提高小型高速柴油机功率, 是一种简单、经济而又行之有效的方法.

## 参 考 文 献

- 1 杨建华. 小型柴油机性能提高方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 2~23
- 2 刘元诚. 小型高速柴油机惯性增压. 北京: 人民交通出版社, 1980. 16~26
- 3 中国民用航空器维修部编. 民用航空器维修人员指南. 北京: 中国民航出版社, 1990. 120~123
- 4 张松寿. 工程燃烧学. 上海: 上海交通大学出版社, 1988. 229~235

## Application of an Inertia Dynamic Supercharger to a Small-Size High-Speed Diesel Engine

Xie Yongjie

(Dept. of Mech. & Electr. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** An inertia dynamic supercharger is presented and applied to a small-size high-speed diesel engine. The basic principle of the supercharger and its computing method are described. Its trial run on the diesel engine is analysed. As shown by the result, it has prominent effect in promoting power as well as lowering oil consumption, exhaust temperature and smoke density. The result is of practical application value.

**Keywords** inertia dynamic supercharger, small-size high-speed diesel engine, design