

# 195 型柴油机耗油率与功率利用系数的关系探讨

田志宏 张桐华

(西北农业大学机电学院, 陕西杨陵 712100)

**摘要** 从农机运用学的角度研究了 195 型柴油机耗油率与功率利用系数的数量关系。文中分析了 195 型柴油机调速器的特性, 用多项式逐步回归方法描述了耗油率与负荷程度的关系, 拟合效果很好, 并就此进行了深入分析, 给出了各种负荷程度下功率利用系数与油耗系数的关系表。

**关键词** 小型柴油机, 耗油率, 功率利用, 多项式回归, 数学模型

**中图分类号** TK421.7

功率 ( $N_e$ ) 和耗油率 ( $g_e$ ) 是评价柴油机动力性和经济性主要指标<sup>[1]</sup>。发动机不同工况下 (即功率利用系数  $\gamma$  不同)  $g_e$  值是不同的。人们常用标定状况下的耗油率  $g_{en}$  来表示发动机的燃油消耗水平, 实际作业的发动机却是在多种多样负荷工况下运行, 因此研究  $g_e = f(N_e)$  或  $g_e = f(\gamma)$  规律, 不仅对合理利用发动机的动力性和经济性, 达到高效低耗的目的有重要意义, 而且对研究其他农机运用问题, 也有广泛的意义。以往在表述  $g_e = f(\gamma)$  规律时, 常用试验法, 用二维表格列出若干组  $g_e$  和  $\gamma$  的离散值, 而且仅限于大中型拖拉机用柴油机<sup>[2,3]</sup>。本文将采用多项式曲线拟合方法, 用数学模型式  $g_e = f(\gamma)$  来表达规律, 使其表述和应用更为完善和方便。

195 型柴油机是我国保有量最多的农机动力, 对其耗油率与负荷程度关系的研究具有广泛的意义。目前尚未见到这方面的研究报道。本文选用了作者近年来用 D150 型水力测功器和 TCY-69 型重量式油耗仪的台架试验结果, 并参考一些生产厂家的相同精度试验结果, 对以下所有  $N_e$ 、 $g_e$  数据都进行了大气修正。

## 1 195 型柴油机 $g_e$ 、 $N_e$ 关系的定量描述

### 1.1 $N_e$ 和 $g_e$ 的测取

用 D150 型水力测功器测量柴油机扭矩  $M_e (N \cdot m)$ , 用手持式数字转速表测量转速  $n (r/min)$ , 则发动机功率

$$N_e = 1.047 \times 10^{-4} M_e n \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

用重量式油耗仪测量  $\Delta t (s)$  时间内的燃油消耗量  $\Delta Q (g)$ , 则耗油率

$$g_e = \frac{3600 \Delta Q}{N_e \Delta t} \quad (\text{g/kW} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (2)$$

### 1.2 195 型柴油机标定功率、调速器特性和特性曲线

收稿日期: 1995-08-29

根据生产标准, 8.8 kW, 11 kW 两种 195 型柴油机标定转速  $n_n$  为 2000 r/min, 2200 r/min, 12 h 和 1 h 标定功率  $N_{en}$  分别为 8.8 kW, 9.7 kW 和 11 kW, 12.1 kW. 用功率利用系数  $\zeta_N = N_e / N_{en}$  来衡量功率的变化.

195 型柴油机调速器不同于一般柴油机所用的全制式调速器. 其结构比较简单, 只有一根调速弹簧, 没有校正器和高、低速限止螺钉, 最高转速由调速手柄滑槽限止, 若调速手柄位置一定, 柴油机超负荷后, 调速器可以不受限制地加大循环供油量, 一直到起动油量. 因此, 当负荷超过 12 h 功率甚至 1 h 功率及相应扭矩时也不会出现转速急剧下降的现象, 直到最大功率出现, 表现出了“功率储备”<sup>[4]</sup>的特性.

这样, 195 型柴油机从空负荷到最大功率  $N_{emax}$  的负荷变化特性可以用一条光滑连续的曲线来描述, 具体对 11 kW 柴油机来说,  $N_e \in (0, 13)$  是一条光滑连续曲线, 如图 1 所示. 调速特性曲线中  $g_e - N_e$  曲线在  $N_e \in (0, N_{en})$  范围内是光滑连续曲线, 经验及拟合结果均表明, 一些超负荷点 ( $M_e > M_{en}$ ) 也能够相当高的精度范围内用上述曲线进行描述 (图 2).

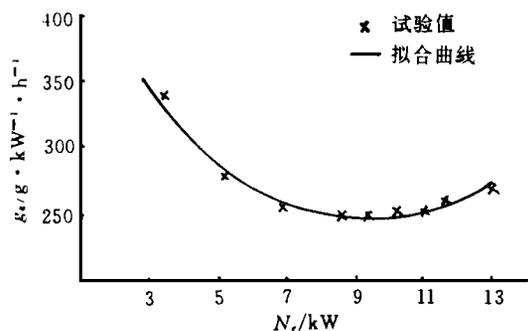


图 1 11 kW 柴油机负荷特性  $g_e - N_e$  图

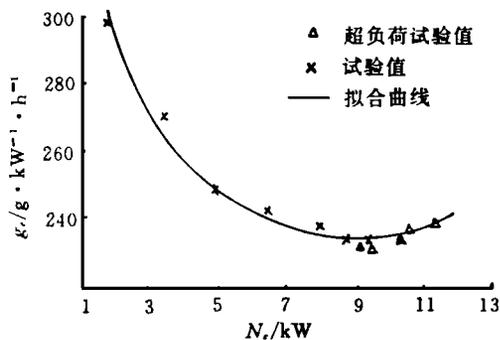


图 2 11 kW 柴油机调速特性  $g_e - N_e$  图

### 1.3 $g_e - \zeta_N$ 线拟合

通过对图 1, 2 中  $g_e - N_e$  曲线的分析发现,  $g_e - N_e$  曲线完全可以用一条函数曲线来表达. 为了可比和直观起见, 用  $\zeta_N$  代替  $N_e$ , 并用多项式逐步回归方法进行曲线拟合. 结果表明, 以  $\zeta_N$  为自变量的二次多项式具有很好的拟合效果. 下面以一组实测数据 (表 1) 为例加以说明, 其 12 h 标定功率  $N_{en} = 8.8$  kW.

表 1 8.8 kW 柴油机调速特性台架试验结果

$N_e$ (kW)	4.884	7.274	8.914	9.598	10.032	10.319
$g_e$ (g/kWh)	265.13	242.42	243.10	253.16	259.14	272.68
$\zeta_N$	0.553	0.824	1.010	1.087	1.137	1.169

用计算机进行多项式逐步回归, 且定义平均拟合误差 (MAE) =  $\sum_{i=1}^n |g_{ei} - \hat{g}_{ei}| / n$ , 平均

相对误差 (MRE) =  $\sum_{i=1}^n |g_{ei} - \hat{g}_{ei}| / g_{ei} / n \times 100\%$ , 式

中  $n$  为样本量,  $g_{ei}$  为第  $i$  个样本点拟合值,  $i=1, 2, \dots, n$ , 得到

$$g_e = 457.66 - 511.90\zeta_N + 299.13\zeta_N^2$$

$$r = 0.962 \quad MAE = 2.759 \quad MRE = 1.08\%$$

拟合曲线如图 3.

同法,表 2 中给出了不同的 195 型柴油机的组负荷特性和 5 组调速特性测试数据的处理结果.

查表得  $t_{0.01}(3) = 0.959, t_{0.001}(6) = 0.925, t_{0.001}(9) = 0.847$ , 易知 9 个回归模型相关系数检验均为

极显著; 9 组数据共 99 个测试点平均拟合误差为  $3.867 g/kW \cdot h^{-1}$ , 平均相对拟合误差为 1.410%. 与测试系统的测试精度 (如 D150 水力测功器用于测量 195 型发动机功率时最高精度 1%) 相比, 拟合误差与之相当. 因此, 本文所得关于  $g_e - \zeta_N$  数学模型的精度是令人满意的

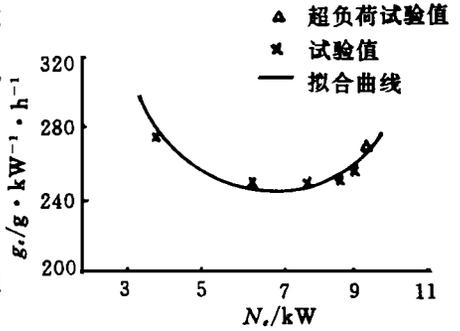


图 3 8.8 kW 柴油机调速特性  $g_e - \zeta_N$  曲线

表 2 195 型柴油机台架试验数据回归计算结果

编号	样本量	回归模型	r	MAE ( $g/kW \cdot h^{-1}$ )	MRE (%)	试验类型
1	9	$g_e = 449.05 - 469.7\zeta_N + 272.6\zeta_N^2$	0.976	5.073	1.85	负荷特性
2	11	$g_e = 460.62 - 500.9\zeta_N + 280.3\zeta_N^2$	0.993	2.668	1.00	负荷特性
3	9	$g_e = 449.28 - 479.8\zeta_N + 277.8\zeta_N^2$	0.992	2.976	1.12	负荷特性
4	10	$g_e = 453.21 - 428.8\zeta_N + 226.4\zeta_N^2$	0.989	3.354	1.19	负荷特性
5	11	$g_e = 478.59 - 562.6\zeta_N + 326.9\zeta_N^2$	0.982	4.571	1.86	12 h 功率调速特性
6	15	$g_e = 451.91 - 482.5\zeta_N + 275.8\zeta_N^2$	0.980	4.357	1.68	1 h 功率调速特性
7	16	$g_e = 442.38 - 511.6\zeta_N + 329.7\zeta_N^2$	0.980	3.344	1.29	1 h 功率调速特性
8	12	$g_e = 455.12 - 482.1\zeta_N + 276.3\zeta_N^2$	0.984	3.663	1.43	1 h 功率调速特性
9	6	$g_e = 457.66 - 511.9\zeta_N + 299.1\zeta_N^2$	0.962	2.759	1.08	12 h 功率调速特性

注: 1. 编号 1~8 是 11 kW 195 型柴油机试验数据; 编号 9 是 8.8 kW 195 型柴油机试验数据; 2. 测试用柴油机工作时间均为 1000 h 左右, 工况完好; 3. 对于负荷特性下  $g_e - \zeta_N$  曲线回归时, 取  $N_{ei}$  为 12 h 标定功率

值得指出, 上述曲线拟合的主要目的是用于解决实际使用问题, 很小负荷 ( $\zeta_N < 0.20$ ) 下的试验点不能代表任何有实际意义的作业工况. 且在拟合中加入很小负荷试验点后拟合效果变差, 故本文所做的曲线拟合主要用来表达具有实际作业意义工况点的试验数据.

## 2 对 195 型柴油机 $g_e$ 与 $\zeta_N$ 关系的分析

### 2.1 最低耗油率工况

对表 2 中的拟合模型进行分析, 令  $\frac{dg_e}{d\zeta_N} = 0$ , 易得  $g_e$  极小点  $g_{e\min}$  所对应的功率利用系数  $\zeta_N^*$  (表 3).

表 3 对应于  $g_{e\min}$  的  $\zeta_N$  值 ( $\zeta_N^*$ )

回归模型 编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$\zeta_N$	0.861	0.893	0.863	0.947	0.860	0.875	0.776	0.872	0.856
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

总体上说, 195型柴油机耗油率最低点出现在标定功率的 86.7% 处, 变异为 5.1%。这一结果与我们所完成的试验结果及一些厂家的试验结果完全一致; 它与大中型柴油机的特性不同, 大中型柴油机最低耗油率点一般接近标定功率, 主要差异源于二者调速器结构和作用的不同

## 2.2 耗油率系数及其与 $\zeta_N$ 的关系

设耗油率系数

$$K = \frac{g_e}{g_{en}} \quad (5)$$

$g_{en}$  是 195型柴油机的标定点耗油率,  $K$  值与  $\zeta_N$  的关系体现了柴油机发出不同功率时耗油率的变化情况, 利用表 2 所示模型进行模拟计算, 得到表 4 中 8.8 kW、11 kW 195型柴油机在 12 h 标定功率调速特性下和 11 kW 195型柴油机在负荷特性下的  $\zeta_N$  和  $K$  的关系数值, 这些数值的变异很小

表 4 195型柴油在  $\zeta_N$ 、 $K$  关系表

$\zeta_N$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
8.8 kW 调速特性 $K$ 值	1.432	1.277	1.150	1.052	0.984	0.944	0.934	0.952	1.00	1.077	1.183
11 kW 调速特性 $K$ 值	1.512	1.386	1.259	1.149	1.065	1.008	0.979	0.976	1.00	1.051	1.129
11 kW 负荷特性 $K$ 值	1.522	1.371	1.265	1.170	1.096	1.044	1.014	1.006	1.019	1.054	1.111

## 3 讨 论

结合表 2、4, 对 195型柴油机耗油率与功率利用系数的关系做进一步的讨论

1) 当  $\zeta_N$  取值为 0.6~1.0 时, 195型柴油机耗油水平较低, 这是与大中型柴油机不同的特性。

2) 195型柴油机超负荷工作时耗油率增加并不显著, 如 11 kW 195型柴油机  $\zeta_N=1.1$  时耗油率仅增加 5.1%。

3) 在负荷较低时, 195型柴油机耗油率系数迅速增大, 油耗水平高于大中型柴油机, 如  $\zeta_N$  为 0.3、0.4 时, 耗油率比  $g_{en}$  高出 39.6%、25.9%, 比  $g_{min}$  高出 42.3%、28.5%。事实上, 功率利用系数较低的情况在 195型柴油机运用中十分普遍, 例如按额定载重的 15 型小四轮拖拉机 (配 11 kW S195型柴油机) V 档沥青路运输  $\zeta_N=0.267$ , 土路运输  $\zeta_N=0.328$ , 即使最高档沥青路运输  $\zeta_N$  才达到 0.557<sup>[5]</sup>。实际运用中, 以运输作业为例, 相当多的小型拖拉机驾驶员总是利用超载或提高车速加大柴油机负荷, 这些方法对于运输安全性和整机可靠性来说是不合理的, 但对发动机来说却有提高负荷程度降低耗油率的合理成份。

## 4 结 论

1) 从农机运用学的角度分析了 195型柴油机耗油率和功率利用系数的数量关系, 二次多项式函数能够在实际作业意义的功率区间内取得很好的拟合效果, 99 个测试点平

均拟合误差为 1.410% ; 195 型柴油机最低耗油率点约在标定功率的 86.7% 处。

2) 表 4 是 195 型柴油机在不同功率利用系数时的耗油率系数值, 其中对应的调速特性部分可作为实际检测、运用查定时的参考。

3) 研究表明,  $\zeta_N > 1$  时 195 型柴油机超负荷耗油率增加不显著, 但  $\zeta_N < 0.5$  耗油率增加很明显; 提高 195 型柴油机的负荷程度有很大的实际意义。

4) 本研究处于初始阶段, 所测得和处理的试验数据尚嫌不足, 建议进一步加大试验数量, 参本文方法及文献 [6, 7] 的试验设计, 并对不同使用时间的机器的  $g_e$  与  $\zeta_N$  ( $g_e$  与  $N_e$ ) 关系进行研究, 使结果更加完善和精确。

### 参 考 文 献

- 1 郭仁华, 张缔庆, 张桐华等. 农业机器运用学. 北京: 农业出版社, 1983
- 2 张桐华. 农机化设计. 西北农业大学, 1987
- 3 万鹤群, 周一鸣. 关于发展大马力拖拉机问题的探讨. 见: 翁之馨等. 万鹤群论文选集. 北京: 北京理工大学出版社, 1992, 20
- 4 张桐华. S195 型柴油机功率和耗油率测定方法的探讨. 宝鸡农机 (专辑), 1987, (1)
- 5 杨成海. 发动机的静态动态动力性能研究及其计算程序: [学位论文]. 陕西杨陵: 西北农业大学, 1986
- 6 坂井 纯, 刘蛟鼈, 中司 敬等. 原动机-变速机-作业系の最適制御に関する研究 (第 4 版)——トラクタエ性能の最適运转曲线. 农业机械学会志, 1990, 52(1): 3~ 10
- 7 牛兴荣, 邹诚, 陈济勤. 4115TD 型柴油机节油减污的最佳运转工况. 北京农业工程大学学报, 1994, 14(1): 24~ 28
- 8 Hunt D R. *Farm Power and Machinery Management*. 8th Edition. Iowa: Iowa state University Press, 1983

## Research on the Relationships between the Fuel Consumption Rate and the Power Factor of 195 Diesel Engine

Tian Zhihong Zhang Tonghua

(College of Machinery and Electronics Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

**Abstract** This paper studies the quantitative relationships between the fuel consumption rate and the power factor of 195 diesel engine from a point of view of farm machinery management. The performance of the governors in the 195 diesel engine has been analysed and the relationships between the power consumption rate and the load extent have been described by the method of polynomial expression regression. Therefore, some tables of data about the relationships under various working conditions have been put forward.

**Key words** small diesel engine, fuel consumption rate, power factor, polynomial expression regression, mathematical model