

半负荷时 S195 柴油机燃油系参数 对油耗的影响

张桐华 田志宏 薛少平

(西北农业大学机械与电子工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘 要 通过多因素全面试验, 定量分析研究了半负荷工况下 S195 柴油机燃油系中柱塞副供油压力、供油提前角和喷油压力等参数对耗油率的影响, 用最优化推估方法解决了多因素试验中个别试验值的自然缺失问题。最后就柱塞副磨损后供油提前角和喷油压力的调整策略提出了新观点。

关键词 小型柴油机, 燃油系, 耗油率, 多因素全面试验, 最优化

中图分类号 TK421.7

S195 柴油机是目前保有量最大的农机动力, 改善其技术状态以降低油耗的观点^[1~3]已受到了普遍的关注。研究表明, 燃油系技术状态不良是其动力性和经济性下降的主要原因^[1,2]。本文是在研究了各因素不同水平搭配关系^[1]的基础上, 对半负荷工况下燃油系主要参数对耗油率的作用作进一步探索。

1 主要问题

S195 燃油系的核心是柱塞副、出油阀和喷油嘴, 其可观测和调控的主要参数是柱塞副供油压力、供油角度、喷油压力和出油阀密封性等。

农机配套运用以发动机标定工况为基准^[3], 对燃油系参数的研究也以标定工况为主^[2~4]。但 Persson^[5]指出, 拖拉机发动机主要在部分负荷状态运行, Ricketts 和 Weber^[6]对 35 kW 拖拉机田间作业的研究表明, 消耗在每一种功率负荷上的时间均布, 可见部分负荷工况才是主要工作状态。

S195 柴油机的情况与此相同。文献[7]报道, 11 kW 拖拉机在公路上额定载荷最高档运输时负荷系数是 0.557; 有关厂家的测定发现, 11 kW 拖拉机配套 LXT12-2-20 型、160 型收割机和 1.5 t 拖车的平均负荷系数分别是 64%, 52% 和 42%, 纯负荷系数也仅为 82%, 69% 和 65%。据此, 针对实际运用条件研究部分负荷工况下燃油系技术状态对油耗的影响, 在某种程度上比标定工况更具实际意义。

典型的半负荷工况可分为高速和中速两种。本文主要考虑高速半负荷工况, 原因有二: 一是中速半负荷下的耗油率水平及燃油系参数对耗油率的作用效果与标定工况一致^[1]; 二是实际操作发动机多处于高速状态。

收稿日期: 1995-09-12

2 试验设计与试验方法

2.1 因素选择

用正交试验研究 4 个因素的影响^[1]。考虑到密封锥面产生出油阀密封性不良的情况较少,故对供油压力(A)、供油提前角(B)和喷油压力(C) 3 因素进行深入的全面试验。

2.2 因素水平选择及问题

该试验水平选择存在着一个现实矛盾,即若参数值范围太窄则不能反映实际情况,范围较宽时有些组合会因无法起动而得不到观测值,使试验结果自然缺失。本文以综合考虑参数的标准值^[2,3]和实际运用状态为主导思想选择水平。事实上,个别试验缺失值用最优化推估方法给予弥补(表 1)。个别乃至部分试验值自然缺失在多因素试验中出现的可能性较大,这种方法有普遍意义。

表 1 试验的因素水平

水平	供油压力 (MPa)	供油提前角 (°)	喷油压力 (MPa)
1	>58.84*	10	14.71
2	39.23	14	11.77
3	29.42	18	7.84

注: * 新柱塞副,供油压力达到压力表最大量程。

2.3 测试方法

燃油系 3 参数按试验规范^[3]测定;试验选用 $\Phi 8$ 柱塞,供油提前角用毛细管法测量。台架试验用 D150 水力测功器、重量式油耗仪和手持式转速表;试验前对柴油机全面维护和检测,每次测试都保持冷却水沸腾使柴油机工作平稳。功率、油耗按试验规范测量^[3,4];在燃油系参数不同的组合下测量转速为 2000 r/min,功率为 4.4 kW 时消耗 $\Delta G(g)$ 燃油所用的时间 $\Delta t(s)$,每组合重复 3 次,按 $g_e=3600 \Delta G \cdot \Delta t/N_e$ 计算耗油率 $g_e(g/kW \cdot h^{-1})$ 。

3 试验结果及数据处理

3.1 试验结果

表 2 全面试验结果

试验 编号	因素水平			耗油率 (g/kW · h ⁻¹)			试验 编号	因素水平			耗油率 (g/kW · h ⁻¹)		
	A	B	C					A	B	C			
1	1	1	1	293.16	292.58	288.85	15	2	2	3	317.94	319.75	326.40
2	1	1	2	292.47	296.03	294.21	16	2	3	1	296.62	293.31	301.27
3	1	1	3	287.98	293.00	291.43	17	2	3	2	285.46	290.24	287.93
4	1	2	1	286.32	289.52	288.85	18	2	3	3	314.27	319.69	314.45
5	1	2	2	286.72	291.01	291.43	19	3	1	1	306.19	306.88	300.89
6	1	2	3	302.95	301.38	302.22	20	3	1	2	288.95	286.22	291.79
7	1	3	1	282.84	290.70	289.41	21	3	1	3	292.32	289.88	289.05
8	1	3	2	289.98	284.47	287.07	22	3	2	1	300.39	297.81	299.12
9	1	3	3	300.00	299.45	301.11	23	3	2	2	300.00	296.46	299.06
10	2	1	1	293.16	295.38	291.79	24	3	2	3	303.06	313.06	304.93
11	2	1	2	303.63	301.55	298.63	25	3	3	1	—	—	—
12	2	1	3	293.16	294.48	290.80	26	3	3	2	—	—	—
13	2	2	1	285.16	290.13	287.68	27	3	3	3	359.63	360.82	356.33
14	2	2	2	285.66	291.32	288.70							

从表 2 可看出,试验 25,26 由于柴油机无法正常起动,试验值出现自然缺失。试验过

程中,空气温度 21~26℃,大气压 95.08~95.87 MPa,空气相对湿度 53%~97%。经计算各组试验功率和油耗的大气修正值之间最大不超过 0.9%和 0.3%,考虑到数据分析目的是对比,故未对 g_r 进行大气修正。

3.2 对缺失值的分析和处理

试验 25~27 的结果是由低供油压力和早的供油时间配合而成。柱塞副磨损后,按常规方法检查时供油泄漏量增大,供油时间变晚,这种变化规律与转速相关。S195 常规检查供油提前角的曲轴转速(100 r/min 左右)远小于其工作转速(>900 r/min),按常规方法调整使实际供油提前角偏大。供油压力偏低时若喷油压力较高,则循环油量减少。以上两种配合均使柴油机起动困难乃至无法起动,但起动后仍可能工作。

本文以试验误差估计 S_e 最小为目标,用最优化方法推估缺失值。设 A,B,C 各取 p, q, t 个水平,试验重复 r 次,对于表 2 有 $p=q=t=r=3$,记 A,B,C_k 组合的第 l 次试验结果为 $x_{ijkl}, x_{ijk}=(\sum_{l=1}^r x_{ijkl})$,且令表 2 中缺失值 $x_{331}=a, x_{332}=b$,进行交叉分组(A×B,B×C,A×C),每组按文献[8]方法计算。下面仅以 A×C 加以说明。

从表 2 中分离出 A×C($j=3$)即得表 3(为简便起见,表 3 及以下算式中均略去 $j=3$ 标记)。表 3 中, $K_k^C=\sum_{i=1}^p x_{ijk}, K_i^A=\sum_{k=1}^t x_{ijk}$. 若令 $P=\frac{1}{Pt}(\sum_{i=1}^p K_i^A)^2, R=\sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^t x_{ijk}^2, Q_A=\frac{1}{P} \sum_{i=1}^p (K_i^A)^2, Q_C=\frac{1}{t} \sum_{k=1}^t (K_k^C)^2$,考虑误差分解式 $S_e=R-Q_A-Q_C+P$,令 $\frac{\partial S_e}{\partial a}=\frac{\partial S_e}{\partial b}=0$,解方程组得 $a=1029.38, b=1014.88$.

表 3 缺失值估计用表 A×C($j=3$)

因 素	A ₁	A ₂	A ₃	K _i ^A
C ₁	862.96	891.21	a	1754.16+ a
C ₂	861.52	863.63	b	1725.15+ b
C ₃	900.56	948.41	1076.78	2925.75
K _k ^C	2625.03	2703.25	1076.78+ $a+b$	6405.06+ $a+b$

同法可得 A×B($k=2,3$)、B×C($i=3$)组合下的 a, b 最优估值。为了综合反映 3 因素的影响,对 3 组估值算术平均得 $a=1009.08, b=980.08$. 这样就获得了 x_{ijk} 的完整表格,只是 a, b 估值造成方差分析表中的自由度损失,F 检验灵敏度降低。

3.3 数据处理结果

3.3.1 方差分析 单因素和 3 因素组合对耗油率的影响分析结果如图 1,2. 可以看出,3 个因素及其交互作用对耗油率的影响作用均为极显著。值得一提的是,2 因素尤其是 3 因素交互作用的效果曾被以前的试验、分析方法和分析过程所忽略,下文对其做进一步的分析。

3.3.2 LSR 分析 限于篇幅,略去单因素及交互作用下的 SSR 检验表,仅给出主要结果。①若考虑 3 因素组合的各个方案,可根据耗油水平分为 4 类:耗油率无显著差异的 11 组最优组合方案依次是 A₁B₃C₂, A₁B₃C₁, A₂B₂C₁, A₂B₃C₂, A₁B₂C₁, A₂B₂C₂, A₃B₁C₂,

$A_1B_2C_2, A_3B_1C_3, A_1B_1C_3, A_1B_1C_1$; 次优方案是 $A_2B_1C_3, A_2B_1C_1, A_1B_1C_2$; 最劣组合是 $A_3 \times B_3, A_2B_2C_3, A_2B_3C_3$, 耗油率平均高出最优方案 14.9%; 介于最劣与次优间的较劣方案的耗油率与次优方案差异显著; ②考虑单因素及 2 因素交互作用, 结果是: 3 因素各水平之间的差异均为极显著; A_3 只有与 B_1 搭配才能达到较低耗油水平; C_3 主要出现在较劣或劣方案中。

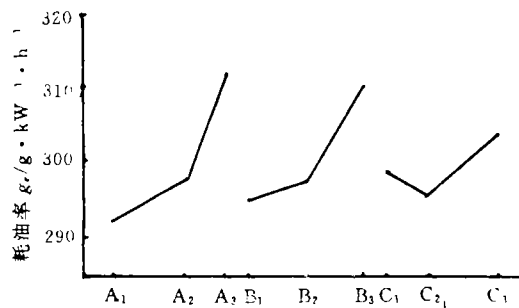


图1 单因素下耗油率与水平的关系

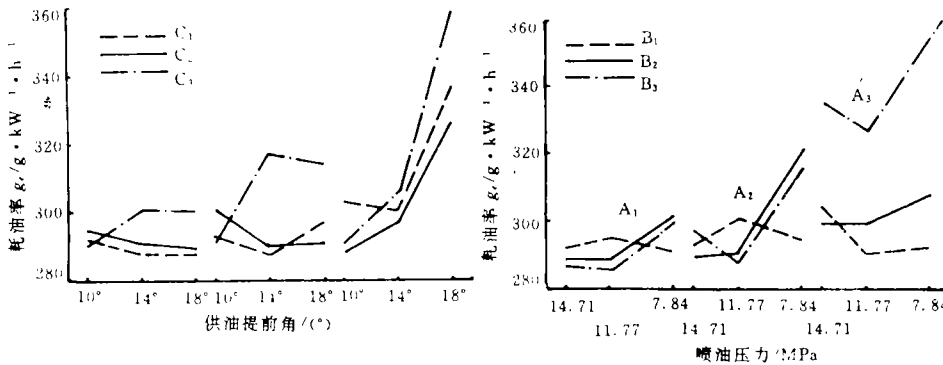


图2 因素组合及对耗油率的影响

4 讨论

1) 半负荷工况下, 供油压力对耗油率影响最大。当它为 29.42 MPa 时, 减小供油提前角和降低喷油压力能够改善起动性, 在个别组合下可获得较低的耗油水平, 但仍高于最优方案的耗油水平。

2) 柱塞副密封性下降后, 因低速时泄漏量较高速时增加更多及进油孔节流作用等原因, 按毛细管法检查的供油提前角减小, 高、低速时供油提前角差异增大。所以, 应根据柱塞副磨损程度适当调小按毛细管法检查的供油提前角。供油压力为 58.84, 39.23 MPa 时, 供油提前角应分别调在 18° 和 14° 左右。降低喷油压力可在一定程度上改善起动性, 增加柱塞副使用时间, 但耗油损失更大。

3) 燃油系 3 参数的交互作用非常显著。根据其工作原理^[2,4], 影响燃油在燃烧室中燃烧的直接因素是喷油提前角、喷油规律和雾化质量, 外界条件一定时它们直接影响着耗油率, 而上述 3 参数均对这 3 个直接因素产生不同程度的作用, 它们之间相互制约, 其共同作用则对直接因素乃至耗油率有决定性。

4) 与文献[1]结果相对照, 柱塞副磨损后供油角度的调整方向和大小基本相同; 但柱塞副状态好时, 适当调高喷油压力试验范围, 其显著程度降低且耗油率呈下降趋势, 这一结论也为一些生产厂家提高 S195 喷油压力标准的做法所证实。

5 结论与建议

1) 半负荷工况下供油压力、供油提前角、喷油压力及其交互作用对耗油率均有显著影响,对其测试、调整均应动态、综合地考虑。

2) 供油压力是耗油率最主要的影响因素。柱塞副磨损后,应适度减小毛细管法检查的供油提前角,建议将现有静态调整方法改为动态调整。

3) 调低喷油压力到 7.84 MPa 以不合理地延长柱塞副作用时间是不可取的;柱塞密封性好时喷油压力在 11.77~14.71 MPa 之间的油耗无显著差异。

4) 多因素全面试验是深入分析各因素影响程度及其交互作用的有效方法。本文所用最优化推估方法可弥补个别试验的自然缺失,亦有利于试验设计中的因子水平选择。

参 考 文 献

- 1 张桐华,朱瑞祥,潘天丽等. S195 柴油机燃油系状态对经济性的影响. 西北农业大学学报,1988,16(3):58~63
- 2 张桐华,白友仁. 小型拖拉机构造及运用. 西安:陕西科技出版社,1989,40~67
- 3 郭仁华,张锦庆,张桐华等. 农业机械运用学. 北京:农业出版社,1983,128~140
- 4 华中农学院主编. 发动机原理. 北京:农业出版社,1980
- 5 Persson S P E. Part load and varying-speed fuel consumption of tractors. Trans of the ASAE,1969,12(3):595~597
- 6 Hunt D R. Farm power and machinery management (8th Edition). Iowa:Iowa State University Press,1983,45
- 7 杨成海. 发动机的静动态动力性能研究及其计算机程序[学位论文]. 陕西杨陵:西北农业大学,1986
- 8 中科院数学所统计组. 方差分析. 北京:科学出版社,1977,25~105
- 9 袁志发,顾天骥. 概率论与数理统计. 北京:农业出版社,1988,190~218

Effect of the Fuel Supply System Parameters of S195 Diesel Engine on Specific Fuel Consumption in Half-Load Operating Mode

Zhang Tonghua Tian Zhihong Xie Shaoping

(The College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract The effects of fuel delivery pressure, delivery advance angle and fuel-injection pressure in the fuel supply system of S195 diesel engine on the specific fuel consumption in half load operating mode were quantitatively analyzed. Several test values missed naturally in the comprehensive tests with multi-factors were established with the optimum method. And new viewpoints about the adjust of the fuel delivery advance angle and fuel-injection pressure were put forward under the condition of plunger wear.

Key words small diesel engine, fuel supply system, specific fuel consumption, comprehensive test with multi-factors, optimization