

# 非增压柴油机高原有效功率修正

郑杰, 王成

(昆明理工大学 应用技术学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 讨论了内燃机台架试验国家标准 GB1105.1—1987 应用于高原非增压柴油机有效功率修正时存在的问题, 在此基础上提出了简单实用的修正公式, 并对比了该公式对高原和平原非增压柴油机的修正结果. 也把该修正结果和油耗线的核算结果以及 ISO1585 的修正结果进行了对比. 该公式适合我国国情, 无需标准状况的机械效率, 可对任何海拔高度的试验机的任何工况点的有效功率进行即时修正.

**关键词:** 非增压柴油机; 高原; 有效功率; 修正

**中图分类号:** TK42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)05-0100-06

## Brake Power Correction of Naturally Aspirated Diesels at High Altitude

ZHENG Jie, WANG Cheng

(Faculty of Applied Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** The paper deals with the problems when the national diesel bench test standard GB1105.1—1987 is applied to correcting the brake power of naturally aspirated diesels at high altitude. Based on that, a simple and practical correction equation has been derived, and the results are compared of applying the new correction equation to naturally aspirated diesels at high and low altitude. Also, the results are compared with those from the fuel consumption line method and ISO1585 correction equation. In the final analysis, the new equation is suitable for application in China regardless of the mechanical efficiency and can correct the brake power of tested diesels in time in any condition and any altitude.

**Key words:** naturally aspirated diesels; plateau; brake power; correction

### 1 GB1105.1—1987 修正公式

GB1105.1—1987 修正公式(以下简称修正公式)是假设过量空气系数  $\alpha$  相等, 则指示效率  $\eta_i$  相等, 不受大气状况变化的影响. 以此为前提, 指示功率修正公式如下:

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{G_T}{G_{T0}} = \frac{G_a}{G_{a0}} = K = \frac{p - \phi p_w}{p_0 - \phi_0 p_{w0}} \left( \frac{T_0}{T} \right)^{1-m} \quad (1)$$

式中  $N_i$  指示功率, kW;

$G_T$  为燃油流量, kg/h;  $G_a$  为柴油机实际进气量, kg/h;  $K$  为指示功率修正系数;  $p$  为大气压力, kPa;  $p_w$  为饱和蒸汽压力, kPa;  $T$  为大气温度, K;  $\phi$  为相对湿度, %; 下标带“0”均为标准大气状况下的参数; 无下标均为高原试验地的参数.

指数  $m$  与进气马赫数有关. 马赫数大,  $m$  大, 马赫数小,  $m$  小; 对于我国的柴油机, 转速较低,  $m$  一般取 0.25. 式(1)变为:

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{G_T}{G_{T0}} = \frac{G_a}{G_{a0}} = K = \frac{p - \phi p_w}{p_0 - \phi_0 p_{w0}} \left( \frac{T_0}{T} \right)^{0.75} \quad (2)$$

收稿日期: 2006-10-07.

第一作者简介: 郑杰(1947~), 男, 教授, 美籍专家. 主要研究方向: 汽车排放技术, 汽车的标定与控制.

E-mail: jiezz@hotmail.com

有效功率修正公式:

$$\frac{N_e}{N_{e0}} = C = K + 0.7(K - 1) \left( \frac{1}{\eta_{m0}} - 1 \right) \quad (3)$$

式中  $N_e$  为有效功率, kW;  $C$  为有效功率修正系数;  $\eta_m$  为机械效率.

如果海拔高度变化不大, 可认为机械损失功率不受大气状况变化的影响. 但在高原对有效功率进行修正时, 必须考虑泵损失功率的变化, 也即考虑机械损失功率的变化. 如图1和2所示, 当大气压力降低时, 泵损失减小. 另一方面, 大气重率减小, 最高燃烧压力减小, 因而摩擦损失减小. 图2中的重率比为  $\gamma/\gamma_0$ .  $\gamma_0$  为标准状况下的大气重率.  $P_m$  为泵损失.

有效功率修正公式一般推导如下<sup>[4]</sup>:

$$\alpha = \frac{N_{m0} - N_m}{N_{i0} - N_i} \quad (4)$$

$\alpha$  即为摩擦损失功率的变化率, K. Zinner 根据大量试验提供了柴油机的数据  $\alpha = 0.07$ .

$$\frac{N_e}{N_{e0}} = 1 - \frac{N_{e0} - N_e}{N_{e0}} = 1 - \frac{N_{i0} - N_i}{N_{i0} \eta_{m0}} \cdot \frac{(N_{i0} - N_i) - (N_{m0} - N_m)}{(N_{i0} - N_i)} = K + (K - 1) \left( \frac{1 - \alpha}{\eta_{m0}} - 1 \right) \quad (5)$$

把式(5)对比修正公式(3), 令  $\frac{1 - \alpha}{\eta_{m0}} - 1 = \lambda \left( \frac{1}{\eta_{m0}} - 1 \right)$ , 整理后有  $\lambda = \frac{1 - \alpha - \eta_{m0}}{1 - \eta_{m0}}$ . 显然,  $\eta_{m0}$  和  $\lambda$  有一一对应的关系. 如果  $\lambda$  取 0.7,  $\eta_{m0} \cong 0.7667$ . 换言之, 修正公式(3)已隐含了  $\eta_{m0} = 0.7667$ . 因此, 修正公式(2)可变为:

$$\frac{N_e}{N_{e0}} = C = K + 0.7(K - 1) \left( \frac{1}{\eta_{m0}} - 1 \right) = 1.213K - 0.213 \quad (6)$$

显然, 这是对一个特例的修正.

另一方面, 在我国目前柴油机试验的条件下, 要通过试验得到标准大气状况下的机械效率  $\eta_{m0}$  不是一件易事. 主要是不易模拟标准大气状况. 再者, 如果知道了标准大气状况下的机械效率  $\eta_{m0}$ , 即便是假设, 有效功率的修正就变得容易了, 因为:

$$\frac{N_e}{N_{e0}} = C = \frac{N_i \eta_m}{N_{i0} \eta_{m0}} = K \frac{\eta_m}{\eta_{m0}} \quad (7)$$

机械效率  $\eta_m$  可通过任何试验手段得到: 灭缸法, 油耗线法等等.  $K$  由式(2)得到.

综上所述, 修正公式(3)对有效功率的修正需要一个不易得到的参数  $\eta_{m0}$ , 并且是一种特例的修正.

## 2 有效功率新修正公式的推导

既然有效功率修正公式(3)需要一个不易得到的参数  $\eta_{m0}$ , 而任意大气状况(包括高原)的机械效率  $\eta_m$  却很容易得到, 那有效功率的修正公式就应当以  $\eta_m$  代替  $\eta_{m0}$ , 现推导如下:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_e + N_m} \quad N_m = N_e \left( \frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (8)$$

由(4)式有:

$$N_{m0} = \alpha(N_{i0} - N_i) + N_m = \alpha \left( \frac{N_i}{K} - N_i \right) + N_m = \alpha N_i \left( \frac{1}{K} - 1 \right) + N_m \quad (9)$$

将(8)式代入(9)式

$$N_{m0} = \alpha N_i \left( \frac{1}{K} - 1 \right) + N_e \left( \frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (10)$$

而

$$N_{e0} = N_{i0} - N_{m0} = \frac{N_i}{K} - N_{m0} \quad (11)$$

将(10)式代入(11)式

$$\begin{aligned} N_{e0} &= \frac{N_i}{K} - \alpha N_i \left(\frac{1}{K} - 1\right) - N_e \left(\frac{1}{\eta_m} - 1\right) \\ &= \frac{N_e}{\eta_m} \left(\frac{1}{K} - \alpha \left(\frac{1}{K} - 1\right)\right) - N_e \left(\frac{1}{\eta_m} - 1\right) \\ &= N_e \left(\frac{1 - \alpha}{\eta_m} \left(\frac{1}{K} - 1\right) + 1\right) \\ \frac{N_e}{N_{e0}} &= C = \frac{1}{\frac{(1 - \alpha)}{\eta_m} \left(\frac{1}{K} - 1\right) + 1} \end{aligned} \quad (12)$$

将  $\alpha = 0.07$  代入式(12)有:

$$\frac{N_e}{N_{e0}} = C = \frac{1}{\frac{0.93}{\eta_m} \left(\frac{1}{K} - 1\right) + 1} \quad (13)$$

有效比油耗的修正公式:

$$\beta = \frac{g_e}{g_{e0}} = \frac{N_{e0}}{N_e} \frac{G_T}{G_{T0}} = \frac{K}{C} = K \left( \frac{0.93 \left(\frac{1}{K} - 1\right)}{\eta_m} + 1 \right) \quad (14)$$

式(13)和(14)即为有效功率及比油耗的新修正公式. 不管通过什么试验手段,一旦得到柴油机试验现场的任何工况,包括标定工况的机械效率,就可以应用式(2)、(13)和(14)对该工况进行即时修正. 因而,在柴油机标定功率的工作结束后,只要通过试验得到各转速的机械效率  $\eta_m$ ,式(2)、(13)和(14)就可以对柴油机的整个外特性进行即时修正.

### 3 新修正公式在高原及平原的应用

如果海拔高度在 500 m 以内,不修正标定油量,由于过量空气系数的变化,修正公式的应用会引起一定的误差<sup>[2]</sup>. 如果海拔高度超过 500 m,在应用修正公式(2)、(13)和(14)前,必需对标定油量进行修正以满足等过量空气系数  $\alpha$  的前提. 否则,在平原标定的柴油机在高原使用时,由于大气密度减小,过量空气系数  $\alpha$  随之减小,柴油机燃烧变坏,排气烟度和温度都将上升,而动力急剧下降. 反之,在高原标定的柴油机在平原使用时,又会感到标定油量过小而影响了动力性.

标定油量应按下式修正:

$$K = \frac{G_T}{G_{T0}} = \frac{p - \varphi p_w}{p_0 - \varphi_0 p_{w0}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{0.75} \quad (15)$$

假设  $G_T$  是柴油机在高原的标定油量, $P$ 和 $T$ 是高原地区的大气压力和温度(如果是对大批生产柴油机的修正, $P$ 和 $T$ 可取年平均统计值),如果柴油机将在平原使用(可近似于标准状况.当然,也可以对平原地区的大气状况取统计平均替代  $P_0$  和  $T_0$ ),那么,平原地区的标定油量

$$G_{T0} = \frac{G_T}{K} \quad (16)$$

$K$ 由式(15)得到.反之,如已知平原地区的标定油量  $G_{T0}$ ,也可得到高原地区的标定油量  $G_T$ . 如果柴油机既需要在高原地区工作,又需要在平原地区工作,那么喷油泵可设置两个标定油量.

图3显示了4100QB柴油机在昆明地区的机械效率,有效功率修正系数和有效比油耗修正系数随转速的变化关系.由图可见,如果用一个修正系数修正所有工况是不合理的.图4和5显示了对4100QB柴油机在昆明地区的外特性的修正.

应用式(2)、(13)和(14)在平原地区修正4100QB柴油机标定功率的结果列入表1. 修正方法称为“新公式”. 同在表1内还有用GB1105—1987修正的油耗线法以及ISO1585的修正结果.

#### 4 修正的油耗线法

油耗线法<sup>[2]</sup>是在任意大气状况下,在标定转速下测得柴油机的负荷特性,用作图的方法以求得标准状况下的标定功率.作为一种方法,尤其在当前计算机软件比较发达的情况下,测得柴油机的负荷特性后,借助于计算机软件可得到较准确的结果.

在使用油耗线法时,修正系数及标定油量的修正仍建议使用式(15).文献[2]提到的油耗线法使用了SAEJ-270的修正系数

$$C_D = \left( \frac{p_0 - \phi_0 p_{m0}}{p - \phi p_w} \right) \left( \frac{t + 273}{t_0 + 273} \right)^{0.7} \quad (17)$$

比较式(17)和(15)可看出, $C_D$ 和 $K$ 互为倒数,指数仅相差0.05,那是因为SAEJ-270的修正系数公式中 $m$ 取0.3.前面已叙述过,根据我国国情, $m$ 宜取0.25.故 $K$ 的指数为0.75.

另外,SAE和GB1105规定的标准状况不同.

最后,SAEJ-270规定了式(17)的使用范围,干空气压力在95~101 kPa之间,约为海拔580 m以下,进气温度在15.5~43.3°C之间.

GB1105.1-1987并没有规定修正系数 $K$ 的使用范围,但 $K$ 和SAEJ-270的 $C_D$ 极相似.本文试图应用GB1105的 $K$ ,通过油耗线法求得标准大气状况4100QB柴油机的标定功率,并把结果和使用式(2)、(13)和(14)的修正结果进行比较.

图6显示了用修正的油耗线法,通过得到的负荷特性,求得4100QB柴油机在标准状况下的标定功率,结果列入表1内.

#### 5 ISO1585 修正公式

与GB1105和SAEJ-270不同,ISO1585修正公式是基于柴油机在恒定供油量下得到的,其修正公式如下:

$$\frac{N_{e0}}{N_e} = \alpha_d = f_a^{f_m} \quad (18)$$

式中: $\alpha_d$ 为有效功率修正系数; $f_a$ 为大气系数; $f_m$ 为各类柴油机及其调整状况下的特性参数.

$$f_a = \left( \frac{99}{p - \phi p_w} \right) \left( \frac{T}{298} \right)^{0.7} \quad f_m = 0.036q_c - 1.14$$

式中: $q_c$ 为柴油机每循环每升排量的供油量,以mg/1.cyc计;

上式在40 mg/1.cyc  $\leq q_c \leq$  65 mg/1.cyc时方有效.

$q_c < 40$  mg/1.cyc.  $f_m = 0.3$ ;  $q_c > 65$  mg/1.cyc.  $f_m = 1.2$ .

修正公式的大气状况变化范围规定如下:

$$p - \phi p_w : 80 - 110 \text{ kPa} \quad T : 283 - 313 \text{ k} (10 - 40^\circ \text{C})$$

虽然修正公式规定的大气干空气压力的下限80 kPa已大约相当于海拔1900 m左右(相当于昆明地区,也即高原地区),但前面已论述过,如在平原标定的柴油机来到昆明地区将由于过量空气系数的减小而使燃烧变坏,烟度和排温上升,功率下降,难于使用.如果海拔更高而无相应措施,柴油机将无法使用.反之,如在昆明(高原)地区标定的柴油机来到平原地区,如不增大标定油量(ISO方法),由于大气压力和空气重率的增大,实际进气量增加,柴油机将由于供油量的限制而无法发挥更大的功率.因此,在高原地区标定的柴油机如使用ISO1585修正公式(18)进行修正,其结果如和可调油量的修正方法如GB1105.1以及油耗线法相比,修正量将偏小.为说明这一点,本文也将用ISO1585修正公式对4100QB柴油机在昆明的标定功率的修正结果和用其它方法修正的结果进行了比较,见表1.

表1 不同修正方法修正结果的比较

Tab.1 Comparisons of correction results from different methods

序号	修正方法	大气状况			油耗 /kg·h <sup>-1</sup>	标定油量 /kg·h <sup>-1</sup> h	实测功率 /kW	修正功率 /kW
		$p$ /kPa	$T$ /K	$\Phi$				
1	新公式	80.4	297	0.61	12.04	15.14	44.25	59.33
2	新公式	100.1	295.5	1	15.05	15.05	59.00	59.59
3	GB1105-1987	80.4	297	0.61	12.04	12.04	44.25	58.87
4	修正油耗线法	100.1	295.5	1	15.1	15.1	59.00	59.13
5	ISO1585	80.4	297	0.61	12.04	12.04	44.25	47.40

由表1可以看出,ISO修正量偏小,GB1105.1使用固定的机械效率0.7667,修正功率稍小.序号2新公式使用了油耗线法求得机械效率,在作图过程中可能引起误差,其修正略偏高.序号1新公式和修正油耗线的结果较接近.修正油耗线法的标定油量略偏低引起0.2kW的修正差.说明新的修正公式简单实用,建议国标采用.

## 6 结论

- 1) 内燃机台架试验国家标准 GB1105.1-1987 有效功率修正公式存在缺陷;
- 2) 本文推出的有效功率修正公式简单实用,适合我国国情,可对试验柴油机即时修正.并可对任意工况及整个外特性进行修正;
- 3) 修正公式可以用于高海拔地区,但必需修正标定油量;
- 4) 油耗线法作为一种方法,可用来核算标定功率,但修正系数  $K$  推荐使用式(2)或(15)计算;
- 5) ISO1585 修正公式不适宜高海拔的有效功率修正.

## 参考文献:

- [1] Engine Rating Code - Diesel Engine SAEJ-270[R]. SAE Hand Book, SAE1974.
- [2] 朱倩,冯良华,许忠厚,等.柴油机标定功率的核算方法[J].内燃机工程,1980,1(1):1-10.
- [3] 吴光夏.试论柴油机标定功率的换算方法[J].内燃机工程,1982,3(1):64-72.
- [4] 于瑞涛.汽车柴油机标定功率修正方法的若干问题[J].内燃机工程,1982,(3)1:73-82.
- [5] 王陈生.非增压柴油机功率标定与修正方法[J].内燃机工程,1982,3(1):83-87.

(上接第99页)

1)  $\lambda_1$  的计算参数取值与模型取得最佳预测效果的取值略有差异,其原因需要通过更多的数值实验来分析与确定.

2) 模型还有待于进一步改进,以提高预测精度.

## 参考文献:

- [1] 姚祖康.道路与交通工程系统分析[M].北京:人民交通出版社,1996:125-130.
- [2] 汪树玉,刘国华,杜玉盖,等.大坝观测数据序列中的混沌现象[J].水利学报,1999,(7):22-26.
- [3] 韩超,宋苏,王成红.基于ARIMA模型的短时交通流实时自适应预测[J].系统仿真学报,2004,16(7):1530-1535.
- [4] Iwao Okotani, Yorgos J Stephanedes. Dynamic Prediction of Traffic Volume Through Kalman Filtering Theory[J]. Transportation Research (Part B), 1994, 1(8B):1-11.
- [5] 谭国真,丁浩.广义神经网络的研究及其在交通流预测中的应用[J].控制与决策,2002,17(11):777-784.
- [6] 贺国光,马寿峰,李宇.基于小波分解与重构的交通流短时预测法[J].系统工程理论与实践,2002,9:101-106.
- [7] 宗春光,宋靖雁,任江涛,等.基于相空间重构的短时交通流预测研究[J].公路交通科技,2003,20(4):71-75.