

文章编号: 1002-0268 (2004) 09-0131-05

超载运输对汽车燃料经济性 及排放性能的影响

蔡凤田, 韩国庆, 王祝鹏

(交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 根据汽车及发动机原理分析了汽车超载对汽车燃料经济性及排放性能的影响因素和影响程度, 并通过 EQ6100-I 发动机台架试验模拟东风 EQ140 载货汽车行驶, 分析汽车超载后的油耗变化, 提出汽车超载运输导致的大的运输周转量和汽车百吨公里单耗下降通过使用大吨位的运输车辆来实现, 保持汽车应有的动力性、安全性和正常的使用寿命。

关键词: 汽车运输; 超载; 汽车燃料经济性; 汽车排放

中图分类号: U461.2

文献标识码: A

The Effects of Overloading on Fuel Consumption and Emission of Motor Vehicle

Cai Feng-tian, HAN Guo-qing, WANG Zhu-peng

(Research Institute of Highway, Ministry of Communications Beijing 100088 China)

Abstract: This article analyzes the effects of overloading on fuel consumption and emission based on the principles of motor vehicle engine and the bench test of EQ6100-I engine to simulate the EQ140 truck operation mode on road. The increase of fuel consumption and emission caused by the overloading is discussed. To take advantage of the dynamic performance of motor vehicle and to improve safety and the service life of the motor vehicle, it is recommended that large heavy-duty trucks should be used.

Key words: Motor transport; Overloading; Fuel consumption; Vehicle emission

汽车在设计过程中对其动力性、燃料经济性、排放性能等进行综合考虑, 并通过大量匹配试验等工作, 使汽车的综合性能达到较佳的状态。在汽车使用过程中, 严重超载运行将大大突破汽车设计时考虑的范畴, 不但汽车的后备功率明显不足, 而且汽车的燃料经济性和排放性能将迅速恶化。

1 超载对汽车燃料经济性的影响

汽车的燃料经济性是指汽车在一定的使用条件下, 以最小的燃料消耗量完成单位运输工作的能力, 它是汽车的主要使用性能之一。我国及欧洲一般采用升/百公里 (L/hkm) 数表示法作为汽车燃料经济性的指标, 即用汽车行驶 100km 所消耗的燃油升数来衡量, 称为汽车百公里油耗。汽车运输企业还常用完成

每百吨公里或千人公里运输工作量时的燃料消耗量来表示汽车的燃料经济性 (单耗), 该指标便于比较不同装载 (客) 量汽车的燃料经济性。

1.1 汽车燃料经济性的主要影响因素

根据定义, 汽车百公里油耗的计算公式为

$$Q_L = \frac{Q_S}{L_S} \times 100 \quad (1)$$

式中, Q_S 为汽车行驶里程内的总油耗量, L; L_S 为汽车行驶里程, km。

从式 (1) 可推导出以汽车发动机的比油耗计算汽车百公里油耗的公式

$$Q_L = \frac{Q_h}{V \cdot \rho} \times 100 = \frac{g_e \cdot N_e}{V \cdot \rho} \times 0.1 \quad (2)$$

式中, Q_h 为发动机小时油耗量, kg/h; V 为汽车行

驶速度, km/h; ρ 为燃油比重, g/cm^3 ; g_e 为发动机比油耗, g/kWh ; N_e 为汽车行驶时发动机消耗的功率, kW。

由式(2)可以看出, 汽车燃料经济性主要受到发动机比油耗、汽车行驶时发动机消耗的功率及汽车行驶速度的影响。

1.1.1 发动机比油耗

发动机比油耗的高低与发动机的种类、设计制造水平及汽车行驶时发动机的负荷率有关。在发动机运行过程中, 发动机的比油耗主要取决于发动机的负荷率(发动机的负荷率是指发动机在某转速下发出的功率与该转速下发动机的最大功率之比), 发动机的负荷特性见图1。一般把汽油机节气门全开或柴油机喷油泵齿条位置在柴油机标定功率位置时称为发动机的全负荷, 汽油机节气门不是全开或柴油机喷油泵齿条位置小于标定功率位置时, 称为部分负荷。反映到汽车上, 当加速踏板踩到底时, 发动机为全负荷, 加速踏板部分踩下时发动机为部分负荷。发动机的比油耗随发动机负荷的变化而变化, 在负荷率约为80%~90%时比油耗最低, 低负荷和全负荷时比油耗都将增加。

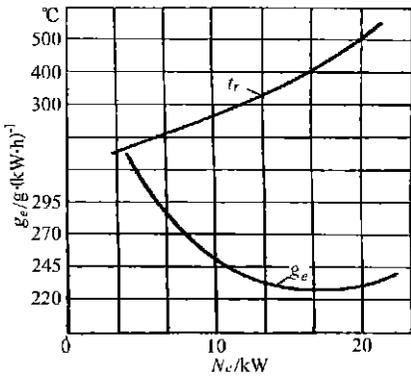


图1 某汽车发动机负荷特性

发动机比油耗随发动机转速的变化亦发生变化。在发动机负荷率一定的情况下, 存在比油耗最低的转速, 高于或低于该转速, 发动机的比油耗都将升高。

理想状况是汽车在发动机比油耗最低的负荷率下工作。但汽车是一个自己移动的物体, 比油耗最低的负荷率往往使得其后备功率不足, 即汽车的爬坡、超车、最高车速性能不佳。因此, 在汽车设计过程中, 权衡汽车的动力性及经济性, 根据汽车的使用功能, 将汽车常用工况设计在较发动机比油耗最低的负荷率低的工况下工作, 适当牺牲汽车的经济性来保证动力性。为了满足汽车不同的行驶要求及寻求汽车经济性和动力性的最佳平衡, 汽车设计有多个前进档位。正

常使用情况下, 高档位比低档位时发动机的负荷率高, 经济性好; 低档位时动力性好, 经济性差。以最常见东风140型货车为例, 试验表明, 同样以车速25km/h行驶时, 三档行驶的油耗为38.5L/100km, 四档行驶的油耗仅25.7L/100km, 三档比四档行驶油耗量高近50%; 同样以车速30km/h行驶时, 四档油耗为26L/100km, 五档油耗仅19.7L/100km, 四档比五档油耗高32%。

1.1.2 汽车行驶时发动机消耗的功率

汽车行驶时遇到的阻力来自汽车的滚动阻力、空气阻力、坡度阻力及加速阻力, 汽车通过发动机作功克服上述阻力使汽车前进。汽车行驶的每一瞬间发动机发出的功率始终等于机械传动损失与全部运动阻力所消耗的功率, 其功率平衡方程式为

$$N_e = \frac{1}{\eta_r} (P_f + P_w + P_i + P_j) = \frac{1}{\eta_r} \left(\frac{GfV_a}{3600} + \frac{C_D AV_a^3}{76140} + \frac{G i V_a}{3600} + \frac{\delta G V_a \frac{dV}{dt}}{3600g} \right) \quad (3)$$

式中, N_e 为发动机输出功率, kW; η_r 为传动效率; P_f 为滚动阻力功率, kW; P_w 为空气阻力功率, kW; P_i 为坡度阻力功率, kW; P_j 为加速阻力功率, kW; G 为汽车总质量, N; f 为滚动阻力系数; V_a 为车速, km/h; i 为道路坡度; C_D 为空气阻力系数; A 为汽车迎面面积, m^2 ; δ 为汽车旋转质量换算系数; g 为重力加速度, $g=9.8m/s^2$; $\frac{dV}{dt}$ 为行驶加速度, m/s^2 ;

发动机消耗功率克服的汽车的滚动阻力、坡度阻力及加速阻力, 与汽车总质量成正比。汽车载质量越大, 行驶阻力越大, 发动机消耗的功率也大, 汽车的油耗也相应地增加。

1.1.3 汽车行驶速度

汽车的油耗量随车速的不同而变化(图2)。汽车以各档位的中等速度行驶时的油耗量最低, 低速及高速时油耗量增加。汽车在高速行驶时, 尽管发动机的负荷率较高, 但汽车的行驶阻力加大很多而导致油耗增加; 在低速时, 尽管阻力减小, 但由于发动机负

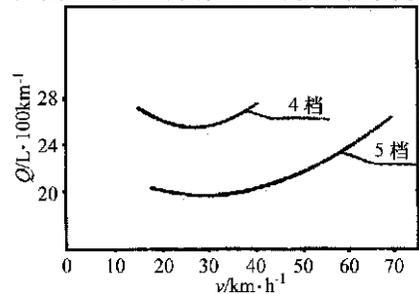


图2 某汽车的等速百公里油耗

荷率低起决定作用，比油耗上升。

1.2 超载对汽车燃料经济性的影响

汽车在使用过程中，超载运输迫使汽车在设计性能范围之外长时间运行，汽车的燃料经济性等大大恶化。

1.2.1 超载对汽车燃料经济性影响的一般规律

(1) 超载运输时汽车的行驶阻力大大提高，发动机的负荷率几乎为 100%，使发动机脱离了最低比油耗区域工作，比油耗上升。

(2) 汽车超载使得汽车的动力性大大下降，行驶过程中的汽车加速状态相对大为增加。而汽车加速这种非稳定工况的油耗要比汽车匀速运行的稳定工况油耗要高得多。

(3) 汽车超载后，汽车使用低档位的几率加大，油耗上升。

(4) 发动机长时间满负荷运行，容易导致发动机处于过热状态，发动机出现爆震、开锅等现象，油耗性能指标等迅速大幅度下降。汽车行驶中，发动机冷却系统温度过高可使汽车油耗上升 12%~15%。

(5) 超载迫使汽车车架变形量加大，运动部件间的合理配合间隙遭到破坏，部件间的摩擦损失加剧，车轮定位参数变化等均使汽车油耗增加。

1.2.2 超载对汽车燃料经济性影响的试验模拟分析

虽然汽车超载运输已是我国公路运输的普遍现象，但对汽车超载后的油耗变化并没有进行深入的试验研究分析。下面通过 EQ6100-I 发动机台架试验模拟东风 EQ140 载货汽车行驶，分析汽车超载后的油耗变化。

台架试验模拟汽车在平坦的道路上等速行驶，则汽车的功率平衡方程式 (3) 简化为

$$N_e = \frac{1}{\eta_r} (P_f + P_w) = \frac{1}{\eta_r} \left(\frac{GfV_a}{3600} + \frac{C_D A V_a^3}{76140} \right) \quad (4)$$

式 (4) 中，东风 EQ140 载货汽车的有关参数取值见表 1。

表 1 东风 EQ140 载货汽车参数取值

参数名称	汽车整备质量/kg	滚动阻力系数 f	空气阻力系数 CD	汽车迎面面积 A/m ²	传动效率 η _r
取值	4290	0.015	0.9	4.5	0.8

根据式 (4) 及表 1 所取参数值计算出不同车速及不同总质量下发动机所消耗的功率见表 2。

进行发动机台架试验时，发动机的转速选取遵循汽车以高档位行驶的原则，即某一车速及总质量下，取汽车能使用的最高档位所对应的转速。汽车各档位对应发动机转速取值见表 3，试验数据见表 4 及图 3。

表 2 东风 EQ140 载货汽车不同车速及不同总质量下发动机所消耗的功率 kW

汽车总质量/kg	车速/km·h ⁻¹						
	20	30	40	50	60	70	80
9290 (单车满载)	10	16	23	32	43	56	72
15290 (拖挂满载)	16	25	36	47	61	77	
19290 (超载 10t)	20	31	44	58	73		
24290 (超载 15t)	25	39	54	70			
29290 (超载 20t)	30	47	64	83			
34290 (超载 25t)	36	54					

表 3 东风 EQ140 载货汽车各档位对应的发动机转速 r/min

档位	车速/km·h ⁻¹						
	20	30	40	50	60	70	80
V 档		1050	1400	1750	2100	2450	2800
IV 档	1080	1620	2160	2700			
III 档	1720						

表 4 EQ6100-I 发动机台架试验模拟东风 EQ140 载货汽车等速行驶油耗试验数据 L/100km

总质量/kg	车速/km·h ⁻¹						
	20	30	40	50	60	70	80
9290 (单车满载)	31.5	25.3	25.8	27.8	30.5	34.3	39.9
15290 (拖挂满载)	(四档)	(五档)	(五档)	(五档)	(五档)	(五档)	(五档)
19290 (超载 10t)	(四档)	(五档)	(五档)	(四档)			
24290 (超载 15t)	(四档)	(四档)	(四档)	(四档)			
29290 (超载 20t)	(四档)	(四档)	(四档)	(四档)			

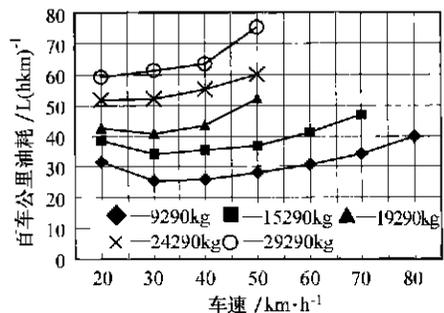


图 3 EQ6100-I 发动机台架试验模拟东风 EQ140 载货汽车等速行驶油耗曲线

上述数据是模拟汽车在平坦的道路上等速行驶得到的。在实际汽车行驶中，汽车往往在不断地加速、

减速或爬坡,汽车百公里油耗要高。表4及图3反映出汽车油耗随汽车的总质量的增加而迅速增加。合理的拖挂运输对汽车的动力性影响不大,仍能以五档行驶,汽车最高行驶速度下降较少。超载10t以上时,汽车动力性大幅下降,行驶使用档位基本不超过第四档,汽车最高行驶速度下降接近一半。

汽车超载运输促使汽车的油耗异常增加,并大幅度地牺牲了汽车的行驶速度、行驶安全性和车辆寿命,这在现实中往往被巨大的运输周转量所掩盖,显示出汽车的百吨公里单耗有所下降(表5)。这种巨大的汽车运输周转量及较低的汽车运输单耗,我们完全可以通过使用大吨位的车辆来实现(表6),且保持了汽车应有的动力性、安全性和正常的使用寿命。

表5 EQ6100-I 发动机车架试验模拟东风EQ140

载货汽车等速行驶单耗数据 L/100tkm

总质量/kg	车速/km·h ⁻¹						
	20	30	40	50	60	70	80
9290 (单车满载)	6.30	5.06	5.16	5.56	6.10	6.86	7.98
15290 (拖挂满载)	4.28	3.81	3.94	4.09	4.56	5.19	
19290 (超载10t)	2.83	2.71	2.89	3.47			
24290 (超载15t)	2.56	2.60	2.77	3.00			
29290 (超载20t)	2.36	2.45	2.54	3.00			

表6 部分国产重型载货汽车数据

汽车型号	整备质量/kg	最大总质量/kg	载质量/kg	最高车速/km·h ⁻¹	百公里油耗/L	单耗/L·(100km) ⁻¹
CZ1261	10400	26000	15600	90	34	2.18
CZ1260 铁马	10500	25500	15000	96	34	2.27
XC1320	12000	32000	20000	73	45	2.25
JN1301/066	10900	30000	19100	85	43	2.25
江淮 HFF1320G12	11500	31500	20000	85	45	2.25
斯达·斯太尔 149.1280/038	11600	32000	20400	73	37	1.81
北方·奔驰 ND1320S	8200	32000	23800	90	40	1.68

* 载质量=最大总质量-整备质量

2 超载对汽车排放性能的影响

汽车排放主要是和发动机的混合气形成、燃烧过程及燃烧结束后在排气过程中的化学反应有关。由于汽油机和柴油机的燃烧特点不同,因而它们的污染物生成机理也不同。然而,超载对汽油机和柴油机的影

响结果则都是使排放异常恶化。

2.1 汽油机汽车排放规律

汽油机汽车的有害排放物主要是CO(一氧化碳)、HC(碳氢化合物)、NO_x(氮氧化物)。汽油为C₄~C₁₁的碳氢燃料,易挥发,化学稳定性好,着火温度高,不易自燃,需靠点火使其点燃。汽油机是汽油和空气在外部预混合成比较均匀的混合气进入汽缸后,依靠火花塞点燃,形成火焰核心,化学反应加速,开始进行火焰传播。汽油机燃烧必需具备两个条件:一是混合气成分应处在可燃界限内(一般其空燃比在10~19之间);二是火花塞应具有足够的点火能量,能可靠地点燃混合气。汽油机的化学计量比为14.7(也称过量空气系数Φ_a=1,燃烧1kg燃料的实际空气量与理论空气量之比称为过量空气系数),一般最经济混合气的空燃比在15.4~16.2,最大功率的空燃比为12.5~14。汽油机排放污染物与空燃比的变化关系如图4所示。在Φ_a<1时,混合气较浓而燃烧不完全,排放的CO与HC浓度最高;在Φ_a=1附近,CO与HC浓度下降;Φ_a在1.1~1.25范围内HC降至最少,过分稀的混合气浓度时由于出现失火,HC排放增加。NO_x是高温富氧的产物,在混合气稍稀处(Φ_a=1.1左右)浓度最高;过稀和过浓混合气工作时NO_x都急剧下降。

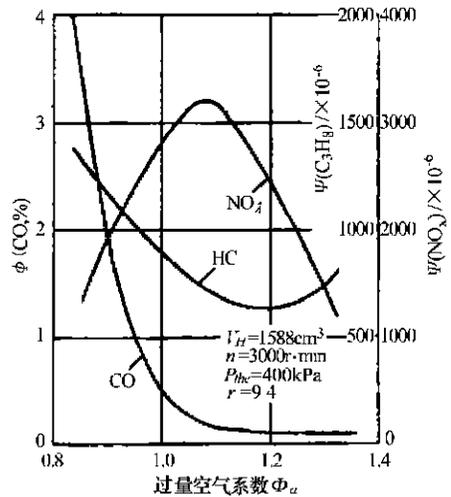


图4 汽油机排放污染物与空燃比的变化关系

2.2 柴油机汽车排放变化规律

柴油机汽车的有害排放物主要是CO、HC、NO_x和碳烟(微粒)。柴油机靠压缩提高汽缸内混合气的温度,使其自燃。由于柴油机是在极短的时间内靠高压将柴油喷入汽缸,经过喷雾、蒸发、混合过程形成非均质的可燃混合气,当压缩达到自燃温度就会有多处着火而燃烧。燃烧时,仍有燃料正在连续喷射,继

继续进行喷雾蒸发混合过程。虽然柴油机过量空气系数较大（一般 $\Phi_a > 2$ ），但由于混合气形成和燃烧特点不同，碳烟等微粒污染物远比汽油机大几十倍，而 NO_x （氮氧化物）的浓度与汽油机大致在同一数量级上，约少 50% 左右，而 HC、CO 排放较少。柴油机污染物与空燃比的变化关系如图 5。CO 在接近冒烟界限限时急剧增加；HC 较少，当 Φ_a 增加时，HC 浓度将随之上升。在 Φ_a 稍大于 1 的区域，虽然总体是富氧燃烧，但由于混合不均匀，存在着局部高温缺氧区域，因而会产生大量碳烟，随 Φ_a 增大，碳烟浓度将快速下降。

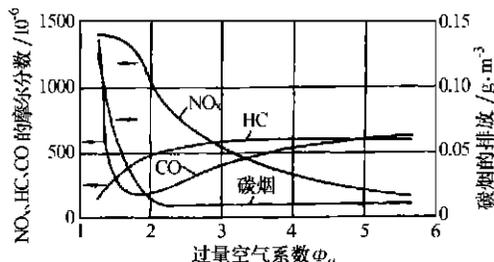


图 5 柴油机污染物与空燃比的变化关系

2.3 超载对汽车排放性能的影响

发动机的负荷率与过量空气系数 Φ_a 的关系如图 6，超载运输使发动机的负荷率几乎为 100%。对于汽油发动机，其全负荷时过量空气系数 Φ_a 低于 1，CO、HC 和 NO_x 均处于较高的水平（图 4）。对于高速柴油机，全负荷时过量空气系数 Φ_a 一般在 1.2~1.5 的范围内，CO 和 NO_x 处于较高水平，并产生大量碳烟（图 5）。

3 结束语

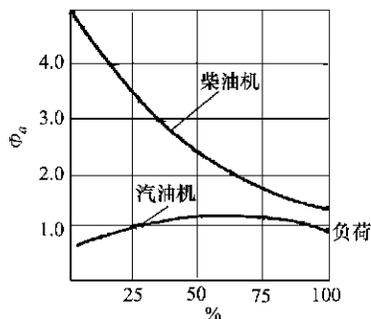


图 6 发动机的负荷率与过量空气系数 Φ_a 的关系

(1) 汽车超载运输促使汽车的油耗异常增加，并大幅度地牺牲了汽车的行驶速度、行驶安全性和车辆使用寿命。

(2) 汽车超载运输带来了较大的运输周转量，使汽车的百吨公里单耗有所下降。这种较大的汽车运输周转量及较低的汽车运输单耗，我们完全可以通过使用大吨位的运输车辆来实现，并保持了汽车应有的动力性、安全性和正常的使用寿命。

(3) 超载运输使发动机的负荷率几乎为 100%。对于汽油发动机，有害排放物 CO、HC 和 NO_x 均处于较高的水平；对于高速柴油机，有害排放物 CO 和 NO_x 处于较高水平，并产生大量碳烟。

参考文献:

[1] 蔡凤田, 谢素华, 王建昕, 渠华, 等. 汽车排放污染物控制技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
 [2] 机械工业部汽车工业司, 中国汽车工业咨询发展公司. 汽车摩托车和发动机产品技术参数及价格手册 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
 [3] 余志生. 汽车理论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.