

汽车发动机排气噪声的测量

郑 郦 杨正江

(第二汽车制造厂技术中心噪声室)

一、概 述

当前,汽车噪声是城市环境噪声主要污染源之一。噪声的大小已被作为车辆性能的一个重要技术指标,且受到国家法规所制约。在汽车的诸多噪声源中,排气噪声占很大的比例。排气噪声是由于排气阀突然打开,高温气体自气缸经排气系统排出而产生的。对排气噪声采取措施,通常是在汽车发动机上配置一个高性能的消声器。在设计阶段,为了得到消声器消声性能指标,常需要在发动机试验台架上进行实机试验。试验中,为了避免发动机的机械噪声和燃烧噪声对排气噪声的影响,必须将测点与发动机分离。最常用、最简便的方法是用排气管将排气噪声引到室外的空地中进行测量。作者在试验中发现,排气系统随着发动机的转速变化会出现管道共振,而共振转速则随排气管的长度变化而改变。在共振转速处的声级比非共振转速处的声级要高得多。由于测量时加长了排气管的长度,使台架试验的排气管长度比汽车上装备的排气管要长得多。这就改变了共振转速的位置,引起台架试验和实车测量值的不一致。

二、测试装置及方法

1. 测试仪器

使用的仪器为:日本 RION NA-61 精密声级计,丹麦 B&K2010 外差分析仪,日本 TEAC R-81 磁带机, RION SA-73 双通道 FFT 分析仪, YEW3086 x-y 记录仪, RION NC-72 活塞发生器,以及转速表,测功机等。测量仪

器框图见图 1。

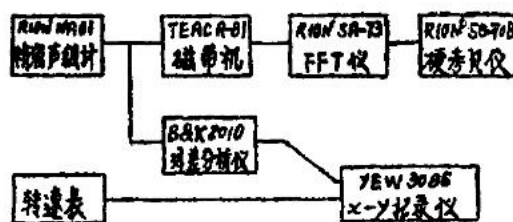


图 1 测量装置框图

2. 测试装置

用排气管将发动机排气噪声引到室外,用隔声障板堵住试验室大门,以防止室内的发动机噪声传出对测量产生影响。

测量按 GB4759^[2] 要求进行,排气噪声的测量点布置在与排气口气流轴向成 45° 方向上距离 0.5m 处,传声器指向排气口,测点距

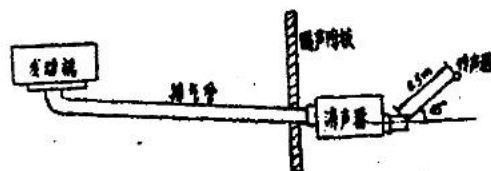


图 2 测量布置示意图

地面高度 $>1.5\text{m}$ 。测量布置示意图见图 2。

为了防止排气气流对测点的冲击和废气对传声器的腐蚀,测量时传声器戴防风罩。在测量前后及中途用 NC-72 活塞发生器对测量仪器校验,控制误差 $\leq 0.2\text{dB}$ 。为使发动机处于良好的工作状态,控制发动机转速在规定的转速之上,转速误差 $\leq \pm 5\text{r}/\text{min}$ 。

3. 试验过程

在发动机满负荷状态下,排气管长度 $l =$

9.7m(带消声器)以及 $l = 10.9\text{m}$ (不装消声器)时,转速从 800r/min 至 3200r/min 变化时测出排气口测点处的声压级 L_p 随发动机转速 n 的变化曲线。并参考 L_p-n 曲线上的噪声共振峰值点和其他特殊点间隔地选定几个测量转速,测量在这几个稳态转速下的噪声级,并做磁带记录。回到试验室后对信号进行频谱分析。

三、测试结果及分析

排气管长度 $l = 9.7\text{m}$ 和 $l = 10.9\text{m}$ 时测点的噪声级随转速变化 (L_p-n) 曲线见图3、图4。从图中可以看出:在发动机的几个转速下排气噪声级出现了峰值,当排气管长度不同时噪声峰值在不同的转速时出现。这种现象是由排气管道共振所造成的。排气管道共振转速的计算公式为:

$$n = \frac{30 \cdot t}{m} (2 \cdot K - 1) \frac{C}{4l} \quad \text{r/min} \quad (1)$$

管道中的声速:

$$C = 331.4 + 0.61t \quad \text{m/s} \quad (2)$$

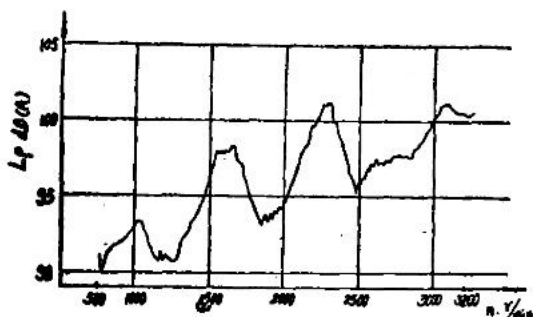


图3 $l = 9.7\text{m}$ 时噪声随转速变化曲线

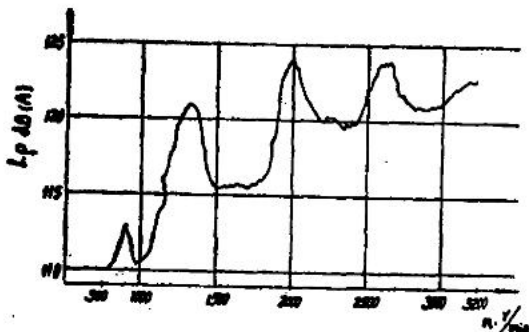


图4 $l = 10.9\text{m}$ 时排气噪声随转速变化曲线

式中: l —排气管长度, m ; τ —冲程系数, 4冲程发动机 $\tau = 2$; K, m —正整数; t —排气管中的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

此次试验中, $\tau = 2, t = 520^{\circ}\text{C}$, 由(2)式计算得 $C = 649\text{m/s}$, 当 $l = 9.7\text{m}$ 和 $l = 10.9\text{m}$ 时, 由式(1)计算得到的排气管道共振转速与实测的共振转速见表1。

表1 排气管道共振转速的计算值与实测值

m	K	共振转速(r/min)			
		$l = 9.7\text{m}$ 时计算值	$l = 9.7\text{m}$ 时实测值	$l = 10.9\text{m}$ 时计算值	$l = 10.9\text{m}$ 时实测值
1	1	1003	1000~1050	893	890
2	2	1505	1500~1700	1339	1300~1400
3	3	1872	1500~1700	1488	1300~1400
4	4	1756	1500~1700	1563	
4	5	2258	2200~2300	2009	1900~2000
1	2	3010	3000~3100	2879	2600~2700

从表1可以看到排气系统共振转速的计算值与实测值较接近。

从图3、图4中可以得出:在排气管道共振转速时排气口测点处的噪声级比非共振时上升了 $5 \sim 7\text{dB(A)}$ 。所以,排气系统的共振现象及其对测点噪声级的影响必须引起我们的注意。

对于汽车用发动机及排气噪声,国标限值主要是对在加速行驶时 7.5m 车外处噪声级而言的^[3]。按国标 GB1496-79 的要求^[4],在测试区内汽车发动机以 $3/4$ 额定转速入线,节流阀全开自由加速,并在出线前达到额定转速。按此法测得某车车外 7.5m 的噪声级 L_p 变化和发动机转速 n 变化过程见图5。

由此可见,加速行驶车外最大噪声级并不出现在发动机的最大转速处。因此,为控制汽车车外噪声,常需要在台架上做发动机等间隔转速下的排气噪声试验。表2为测试条件和消声器均同图3的等间隔测量值和本次试验值的比较。

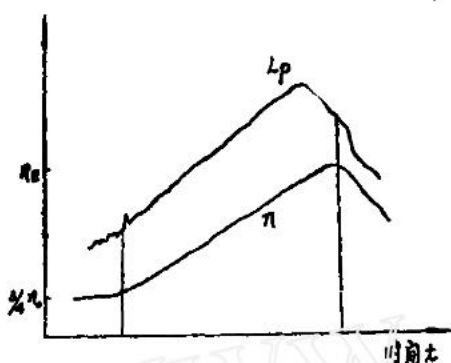


图 5 加速行驶车外噪声及发动机转速变化历程

从表中数据并对照图 3 线曲可见，等间隔转速测量并不能很好地反映出排气噪声的峰值。因此，必然使台架试验值和实车测量值之间产生误差。

表 2 排气噪声 L_p 两次测量值的比较 单位: dB(A)

转速(r/min)	1200	1600	2000	2400	2800	3000
以前测量值	91.7	97.2	94.2	97.2	99.0	101.6
此次测量值	91.2	97.1	94.2	98.0	98.3	101.1

发动机在稳态转速时在测点测得的噪声级与发动机转速慢加速扫描的动态曲线(见图 3、图 4)中某转速下的测点噪声级数值列入表 3、表 4。

表 3 $l=9.7m$ 时，两种测量方法测得的排气噪声 L_p 单位: dB(A)

转速 (r/min)	1000*	1500*	2250*	2500	3000*	3200
稳态噪声	94.0	95.0	98.0	98.1	100.6	102.5
动态扫描	93.2	96.5	100.7	96.0	101.1	100.5
差 值	0.8	-1.5	-2.7	2.1	-0.5	2.0

注：带*的转速为排气系统的共振转速，下同。

表 4 $l=10.9m$ 时两种测量方法测得的排气噪声

发动机转速(r/min)	1000	1300*	1500	1900*	2250	2500*	3000	3200*
稳态噪声[dB(A)]	118.5	118.5	117.5	119.6	120.5	120.0	121.6	122.2
动态扫描[dB(A)]	110.5	120.5	115.5	122.5	119.5	122.0	121.2	123.0
差值[dB(A)]	8.0	-2.0	2.0	-1.9	1.0	-2.0	0.4	-0.8

从表中可以看出，尽管我们在这两种试验中严格控制其试验条件使两种测试工况保持一致，但是稳态转速下的噪声级与对应动态扫描测得的数据之间仍有差别，而且存在着这样的规律，即在排气系统共振转速下(带*的转速)，用动态扫描方法比稳态转速下测得的数值要高出 1~3dB(A)；反之，在非共振转速下测量时，用稳态法比动态扫描法的测量值要高出 1~3dB(A)。而测量汽车加速行驶车外噪声的过程与发动机转速加速扫描的动态过程相似。因此在发动机的噪声测量，特别是在进行有关汽车噪声控制研究中的发动机排气噪声测量中应采用动态扫描方法测出测点的噪声随转速变化曲线为好。

测得发动机稳态转速下的排气噪声频谱见图 6~图 11($l=9.7m$ ，装有消声器)。

从频谱图上可以看出，随着发动机转速的变化，排气频谱的基频也随之改变，排气基频

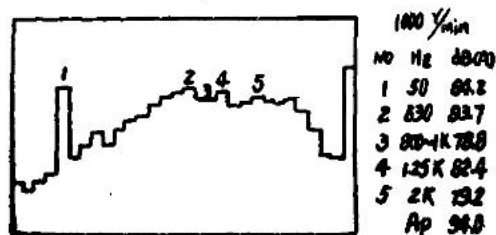


图 6 $n=1000r/min$ 时的排气噪声频谱

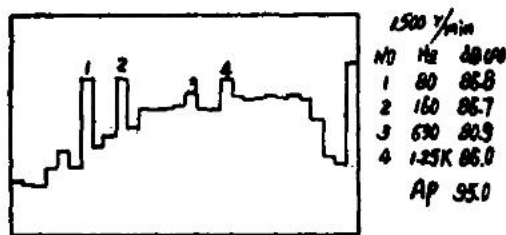


图 7 $n=1500r/min$ 时的排气噪声频谱

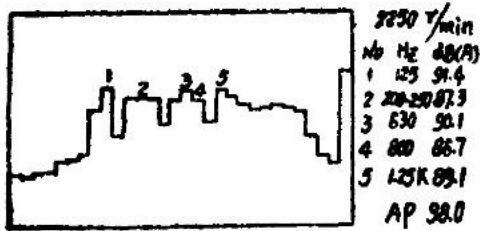


图8 $n = 2250 \text{ r/min}$ 时的排气噪声频谱

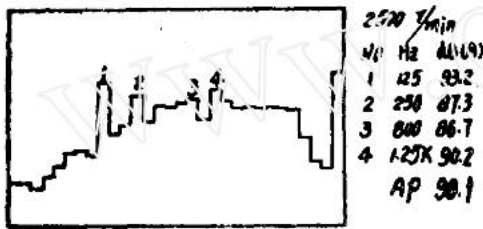


图9 $n = 2500 \text{ r/min}$ 时的排气噪声频谱

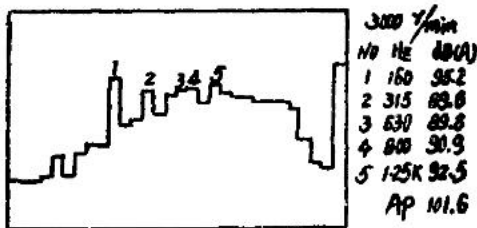


图10 $n = 3000 \text{ r/min}$ 时的排气噪声频谱

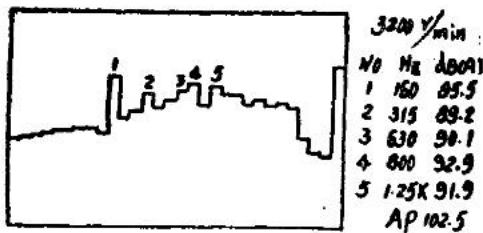


图11 $n = 3200 \text{ r/min}$ 时的排气噪声频谱

表5 转速、排气基频及所属 1/3 倍频程对应表

发动机转速 (r/min)	排气基频 (Hz)	所属 1/3 倍频程	1/3 倍频程频率范围 (Hz)
1000	50	50	45~56
1500	75	80	71~90
2250	112.5	125	112~140
2500	125	125	112~140
3000	150	160	140~180
3200	160	160	140~180

可由下式计算

$$f = \frac{Z \cdot n}{60 \cdot \tau} \quad (8)$$

随发动机转速变化的排气基频以及与排气的 1/3 倍频程谱图所对应的中心频率见表 5。

从频谱图上可以看出,虽然配置了消声器,但在排气基频处的噪声级仍然很高,说明该消声器的消声性能可以进一步提高。例如在该消声器中改变扩张腔之间的尺寸匹配或增加一个共振腔等方式降低排气基频噪声。

从频谱图上可以发现:在 800~1.25kHz 处有不随转速变化的噪声峰值。据有关资料得知,这是由排气管道共振造成的。

四、结 论

1. 发动机排气管道共振对排气噪声影响较大。共振转速处的噪声级比非共振转速处的噪声级要高出 5~7dB(A)。在今后的汽车排气系统的设计及噪声试验中对排气管长度的选取应给予足够的重视。

2. 用发动机转速慢加速扫描的动态方法和在稳态转速下测得的排气噪声值之间有差异。在排气系统共振转速下测量时,前种方法比后种方法的噪声值约高出 1~3dB(A);在非共振转速下测量时,前种方法比后种方法测得的噪声值约低 1~3dB(A)。更深入的研究有待于以后进行。

感谢徐滇、江伟等同志对本文所做的帮助。

参 考 文 献

- [1] 徐滇等:“EQ140 汽车噪声的分析研究”,中国汽车工程学会 83 年年会论文;编号 830225;
- [2] GB4759《内燃机排气消声器测量方法》;
- [3] GB1495《机动车辆允许噪声》;
- [4] GB1496《机动车辆噪声测量方法》;
- [5] 柴油机设计手册编写组:《柴油机设计手册》,中国农机出版社,1984。