

# 近场声压法在定位柴油机故障中的应用

刘松林 李才良 马吉胜 郑海起

(军械工程学院研究生二队 石家庄 050003)

2001年1月12日收到

**摘要** 在柴油机的故障诊断中,常采用多个传感器测取柴油机的多个信号,如:振动信号、油压信号等进行分析判断各缸工作状态,所需设备复杂,数据处理繁杂。而本文提出了只用一个声压传感器就可定位并分析各缸的工况,较之以往的方法简单易行。

**关键词** 柴油机,故障诊断,近场声压法,单传感器

## Method of near-field acoustic pressure for ascertaining diesel fault

LIU Songlin LI Cailiang MA Jisheng ZHENG Haiqi

(The Second Postgraduate Team, Ordnance Engineering College, Shi jiazhuang 050003)

**Abstract** In the diagnosis of diesel fault, many sensors are conventionally used to get several kinds of signals such as vibration signals and oil pressure signals, in order to diagnosis the diesel state accurately. This paper puts forward a new method that can diagnosis the diesel state by using only one sensor, one that measures the near-field acoustic pressure. Compared with prior methods, this method is simple and easily realizable.

**Key words** Diesel, Fault diagnosis, Method of near-field acoustic pressure, One sensor

## 1 引言

目前,在柴油机的故障诊断中,较成熟的方法是振动诊断法,即利用振动传感器采集柴油机的振动信号,再利用油压传感器测取汽缸高压油管处的油压信号,然后以油压信号作为参考,并根据各缸之间的相位关系找出各缸所对应的信号段,来分析判断各缸工作状态。这种从时域上以油压信号为参考找出各缸相应的信号从而将故障状态定位到各缸的方法,判断

较为准确、直观。但是这种方法需要粘贴多个传感器,操作时较为繁琐,并且在信号测取时不但要采集振动信号,还要采集油压信号等,测的数据较多,分析时必须二者对照才能将故障定位到各缸,所需测试设备复杂,数据分析时也很不方便。本文提出近场声压法只需一个声压传感器就可分析、判断、定位出各缸的工况,所需设备及操作步骤都较为简单,数据的储存、处理也很方便,达到了简捷、实用和高效。

## 2 近场声压法定位原理

近场声压法定位各缸工况，主要利用信号的能量在介质中传播时要衰减的特性，从而先根据时域信号幅值的大小直接判断出各缸对应的信号段，再根据信号的时、频域特性进行分析、判断出各缸工作状态。图 1 所示为针对这一思想而进行的实验。本实验所用柴油机为 F3L912 型，为了检验和说明本方法的正确性，同时又使用了加速度传感器（用其测取的振动信号与声压信号作对比）和油压传感器（判断近场声压法定位的准确性）。为了便于说明，以 1 缸处测的声压信号为例，具体装置如下：声压传感器（传声器）放置于 1 号缸盖上方 20mm；油压传感器夹持于 1 缸的高压油管；加速度传感器粘贴于 1 缸盖外侧，各传感器信号输出到 B&K3560 测试系统。下面以本实验为例，对利用近场声压法进行故障定位的过程，先进行理论上的分析：

设  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  分别为 1、2、3 缸受燃爆激励力的作用所引起的当地振动响应的自功率谱， $H_{12}$ 、 $H_{13}$  分别为信号从 2 缸，3 缸传到 1 缸的导纳， $V$  为从 1 缸盖到声压传感器之间空气的导纳， $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  分别为声压传感器所接受到的传递过来的各缸信号的自功率谱，则有下列关系式成立<sup>[1,2]</sup>：

$$S_1 = |V|^2 \cdot P_1 \quad (1)$$

$$S_2 = |H_{12}|^2 \cdot |V|^2 \cdot P_2 \quad (2)$$

$$S_3 = |H_{13}|^2 \cdot |V|^2 \cdot P_3 \quad (3)$$

从上述公式可以看出，2 缸、3 缸受到燃爆激励力后所发出的信号要经过一定的传递路径，传到 1 缸后，再由 1 缸经过空气介质到声压传感器，与 1 缸受到激励后发出的信号直接经过空气传到声压传感器相比信号的能量受到衰减，在时域幅值上应表现为：2 缸、3 缸的幅值最大值小于 1 缸的幅值最大值。实际上，传声器测取的声信号组成中不但包括了通过 1 缸盖传播来的 3 个缸的声信号，而且还包括了 2 缸盖、3

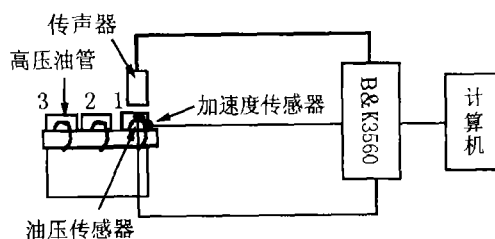


图 1 测试系统结构简图

缸盖、排气口周期性的排气噪声以及各种随机干扰噪声等直接通过空气介质传播来的声信号<sup>[3,4]</sup>。但由于声信号传播的方向性和空气对高频信号的衰减特性，使得 2 缸、3 缸受到激励后发出的声信号传播到传声器时已大大衰减，在声信号比例中占据的成分很少，而排气口发出的主要为低频噪声，不影响我们根据信号幅值的峰值直接找出 1 缸的燃爆位置，然后再根据 2 缸、3 缸与 1 缸之间在相位上的关系，判断出各自对应的信号。

## 3 实验验证与分析

本实验装置如图 1 所示，三个传声器测到的信号同时输入 B&K3560 系统，以分析比较，并验证本方案的可行性。下面首先利用油压信号对比分析各缸对应的声压信号的幅值情况。实验所测声压信号以及参考所用的油压信号如图 2 和图 3 所示（正常和故障工况）：

从图 2 和图 3 中我们可以看出，无论是正常工况还是 2 缸失火工况，将油压脉冲信号与所测声压信号对应后，按照三个缸的相位关系可得：1 缸声压信号的幅值较大（产生一尖峰），2 缸、3 缸的声压信号在幅值上依次减小。同时还应看出，2 缸故障时 1 缸燃爆尖峰突起没有正常时明显和稳定，但我们还是能够从信号图上根据尖峰定位出 1 缸声压信号。需要说明的是，图 2 中只粗略的给出了三个缸的燃爆位置主要是因为我们利用原始声信号只能进行初步定位，要想具体诊断各缸工况，必须对信号进一步处理，即利用下面提到的小波技术。

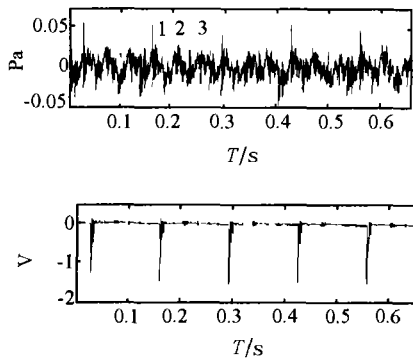


图2 正常工况时原始声压、油压信号

1—1缸燃爆位置; 2—2缸燃爆位置; 3—3缸燃爆位置

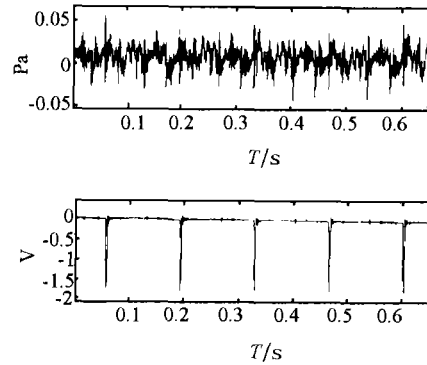


图3 2缸失火时原始声压、油压信号

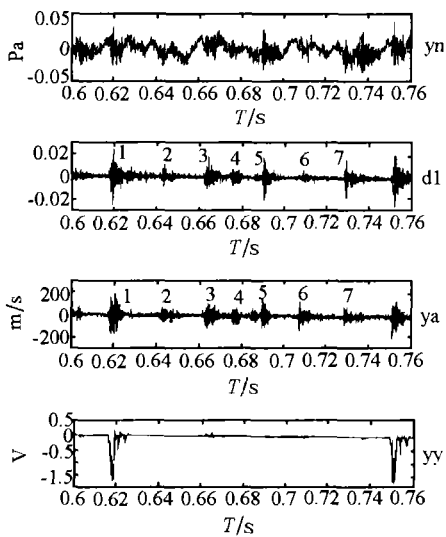


图4 正常工况信号图

yn—1缸原始声压信号 ya—1缸振动信号 d1—小波分解一层高频重构系数 yy—1缸油压信号  
1—1缸燃爆信号 2—1缸排气门开启 3—2缸燃爆信号 4—1缸进气门开启  
5—1缸排气门关闭 6—3缸燃爆信号 7—1缸进气门关闭

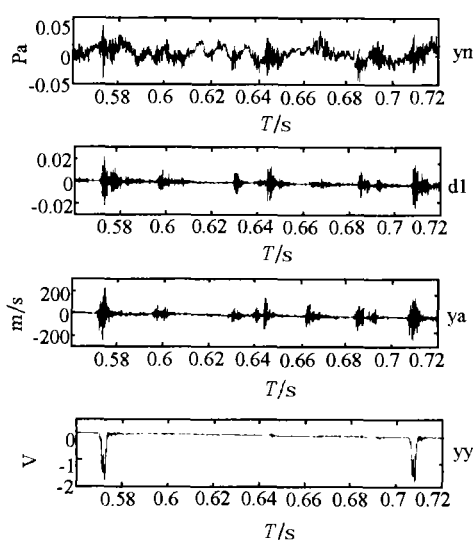


图5 2缸失火工况信号图

另外,我们利用声压传感器还对三个缸的正常与故障工况均进行了测试(图形略),得出结果如下:(1)若从某一缸上方测的声压信号中能够看出明显的周期性的尖峰,则尖峰处对应的就是当地缸对应的信号,另外两缸对应的信号可按照相位关系依次找出。(2)若从任一缸上方测的声压信号中,均找不出明显的周期性的尖峰,则证明三个缸均存在故障。这就说明了不但能够只利用声压信号及其幅值上的大小就可以将各缸与各自的声压信号对应起来,而

且利用近场声压法还可以根据声压信号进行柴油机的故障诊断,详细诊断方法在下面论述。

为了进一步验证本方法的科学性,将振动信号、油压信号和声压信号一并测出,如图4(正常工况)和图5(失火工况)所示。由于声信号是在离缸盖很近(“近场”)的位置测得的,因此包含了燃爆、进排气门冲击等产生的只有少量衰减的高频信号。为了从声压信号中提取高频部分,同时排除低频排气噪声,利用小波分析技术<sup>[5]</sup>(本实验中是根据实际信号的

(下转第5页)

- 10 Maji A K, Shah S P. *Experimental Mechanics*, 1988, **28**.
- 11 Nomura N, Mihashi H, Suzuki A. *The Japaness Society for NDI*, 1990.
- 12 纪洪广, 蔡美峰. 混凝土材料声发射非线性特征研究概述, 中国第七届声发射会议, 1997. 10 北京怀柔.
- 13 纪洪广, 蔡美峰. 岩石力学与工程学报, 1999, **18**(2).
- 14 Wells D. *Nuclear Engineering and Design V*, 1970, (12).
- 15 Rusch H. *Zement-Kalk-Gips*, (Wiesbaden), 1959, **12**(1).
- 16 Nielsen J, Griffin D F. *J.of Testing and Evaluation*, 1977, **5**(6): 467-483.
- 17 纪洪广, 李造鼎. 应用声学, 1997, **16**(6): 30-33.
- 18 Takayuki Hirata. *Geophysics J.R.*, (Austr) 1987, **90**.
- 19 谢和平. 分形 — 岩石力学导论. 科学出版社. 1997.
- 20 纪洪广. 混凝土材料声发射技术研究与应, 东北大学博士学位论文(沈阳), 1996年11月.
- 21 纪洪广, 贾立宏等. 声学学报, 1996, **21** (6).

~~~~~  
(上接第 43 页)

频率选用 db15 小波进行分析) 将信号分解后再重构, 这样来分离出其中的高频信号, 即是我们进行诊断所需用的信号。从图中可以明显看出: 无论是正常工况(图 4), 还是失火工况(图 5), 声压信号用 db15 小波 5 层分解后再进行一层高频重构的系数, 基本反映了振动信号所包含的信息, 这样我们再利用成熟的振动诊断方法就可以成功地判断出柴油机的运行工况, 即失火故障。这说明利用声压信号进行故障诊断的有效性(图 4 中详细标出了各缸燃爆及进排气门在相位上的依次排列关系)。

## 4 结论

从上述的实验结果和分析过程, 我们可以看出利用近场声压法可以定位并诊断出柴油机各缸的工况, 其具体过程可以从分为两步: 首先, 根据原始声压信号幅值大小粗略定位出各

缸所对应的信号。其次, 用小波分析技术对原始声压信号进行分析, 具体诊断各缸的工况。这样在以后利用声压信号进行故障诊断时, 只需根据一个声压信号就可以完全确定出柴油机各缸的工作状况, 使得我们在以后的测试中就可以不必再利用油压信号和振动信号来定位并分析各缸对应的信号。因此, 本方法较之以往的振动诊断法更加方便、快捷, 具有很好的实用和推广价值。

## 参 考 文 献

- 1 郑治真, 张少芬. 瞬态谱估计理论及其应用: 地震出版社, 1993.
- 2 孙月明, 唐任仲. 机械振动学(测试与分析): 浙江大学出版社, 1991.
- 3 [澳] 诺顿 M P. 工程噪声和振动分析基础: 航空工业出版社, 1993.
- 4 杨玉致. 机械噪声测量和控制原理: 航空工业出版社, 1983.
- 5 赵松年, 熊小芸. 子波变换与子波分析: 电子工业出版社, 1996.