

# 发动机动态参数测量与分析系统关键问题的实现<sup>①</sup>

卫海桥, 申立中, 沈颖刚, 毕玉华, 蒋卫东

(昆明理工大学交通工程学院, 云南昆明 650051)

**摘要** 针对发动机动态参数测量与数据处理及分析系统中的一些关键性技术问题, 论述了如何确定数据采集的采样频率和实现数据处理中的一些问题, 提出了处理这些关键性问题的技术, 为实现发动机动态参数测量与分析系统提供了技术支撑。

**关键词:** 数据采集; 采样频率; A/D 转换器; 数据处理

中图分类号: U467.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2001)03-035-04

## 0 前言

发动机动态参数的测量主要有: 燃烧压力、转速、针阀升程、进排气压力、高压油管压力等。选择合适的测量仪器与这些动态参数的动态特性相匹配, 并使测量的动态误差达到试验允许范围, 成为动态测试技术中的关键性问题。本系统采用高速数据采集分析仪, 针对发动机动态参数的测量和分析, 阐明了数据采集和处理中的一些问题的实现方法。

基于数据的采样速度, 对采样数据进行处理有两种方式: 一是采样速度较慢时, 系统可多通道边采样、边传送、边存盘、边显示; 另一种方式是采样速度较快, 数据采样后, 先存于各个通道的缓冲存贮器内, 采样结束后, 再分别传送至计算机存入硬盘。本文以下所述为后一种采样方式。

## 1 系统简介

### 1.1 内燃机动态参数测量的技术及其分析

本系统测量的对象是非稳态的或瞬变过程的动态参量。要实现这样一种测量系统, 采用了高速并行采集分析仪, 将采集到所需的信号, 经过高速 A/D 转换器把模拟量转换为数字量, 由预先建立的数学模型, 在计算机内按给定的各种程序对这些数据进行分析计算, 包括动态参量的动态图形显示、平均循环处理、各种计算分析及其图形显示、频域、时域处理分析等。

### 1.2 系统的主要功能

本系统主要功能分为:

- (1) 发动机燃烧过程的关键参数的测量与处理分析;
- (2) 供油规律的关键参数的测量与处理分析;
- (3) 进、排气特性涉及的关键参数的测量与处理分析。

### 1.3 硬件系统<sup>[1]</sup>

硬件系统如图 1 所示, 它由传感器(光电编码器、石英压力传感器等)、高速数据采集系统、工业控制机、打印机以及其他一些必要的附件组成。

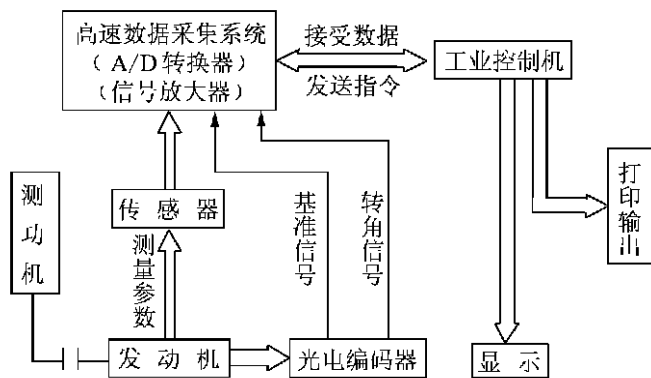


图 1 发动机动态参数测量与处理分析系统硬件系统

① 收稿日期: 2000-09-21;

基金项目: 国家教育部高等学校骨干教师资助计划;

第一作者简介: 卫海桥(1974.10~), 男, 工学硕士, 主要研究方向为内燃机测试。

通过传感器, 高压油管压力、针阀升程、发动机燃烧室压力、凸轮升程、进排气压力等非电量信号转化为电量信号, 电量信号经过信号放大器放大, 再经过 A/D 转换器将模拟量转化为数字量, 并送入工业控制机, 在工业控制机进行数据处理, 并在终端上显示结果, 或在打印机上输出相应曲线和数据报表。

硬件技术指标: ① 输入通道数(8CH, 可扩展); ② 输入耦合形式(DC); ③ 输入电压范围(0~ 5V); ④ A/D 转换精度(12 位); ⑤ A/D 采集速率(25kHz~ 500kHz); ⑥ 触发方式(外触发); ⑦ 输入角度信号间距(0.2 °CA、0.5 °CA、1 °CA 等)。

### 1.4 软件系统

本系统是建立在 Windows 操作系统上的应用软件. 选用 VB( Visual Basic 语言) 作为主体程序的开发工具. VB 综合了 BASIC 语言和新颖、易用的可视化设计工具的特点, 在保持了 Windows 特有的优良性能和图形环境的同时, 又提供了编程的简易性. 虽然 VB 本身不具备对硬件地址进行控制的函数, 但支持 DLL 来扩充自身的功能. 这样对应用系统中硬件接口的控制, 采用 DLL 高级技术, 利用 C 语言可对硬件地址直接操作的特点, 通过建立 DLL 函数, 由 VB 主控程序调用来实现。

## 2 数据采集时采样频率的确定

以缸内压力为例. 根据采样原理, 保证所采集的信号不失真的必要条件是采样频率大于信号最高频率的两倍<sup>[2]</sup>. 发动机气缸压力是一个不可缺少的测量参数, 气缸压力中含有大量的高阶谐波, 而有影响的最大阶谐波频率为内燃机基波频率  $f_0$  的  $k$  倍。

$$f_{\max} = kf_0 = kn/30l$$

式中  $f_{\max}$  — 有影响的最高阶谐波频率;  $k$  — 谐波阶数;  $n$  — 内燃机转速;  $l$  — 内燃机冲程数。

对柴油机而言,  $k = 150$  左右. 对四冲程柴油机:

$$f_{\max} = 150n/30 \cdot 40 = 5n/4$$

则采样频率为:  $f_{\text{SAN}} = i \cdot 360n/60 = 6in$ , 其中:  $i$  为每 1 度曲轴转角采样次数。

不同转角分辨率下, 采样频率与柴油机缸内压力信号有影响的最高阶谐波频率的关系如表 1 所示。

表 1 采样频率与柴油机缸内信号频率关系

转角分辨率	$i$	$f_{\max}$	$f_{\text{SAN}}$	$f_{\text{SAN}}/f_{\max}$
0.5 °CA	2	$5n/4$	$12n$	$9.6 > 2$
0.25 °CA	4	$5n/4$	$24n$	$19.2 > 2$

由表 1 可知, 对柴油机而言, 转角分辨率为 0.5 °CA 或 0.25 °CA, 已经能保证采集信号不失真. 对于不同转角分辨率, 不同转速, 其采样频率如表 2 所示。

表 2 不同转角分辨率下转速对应的最低采样频率

转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	转角分辨率	采样频率/kHz	转角分辨率	采样频率/kHz
4500	0.5 °CA	108	0.25 °CA	216
4800		115.2		230.4

由表 2 可知, 转角分辨率为 0.5 °C 时, 采样频率要大于 115.2kHz; 转角分辨率为 0.25 °CA 时, 采样频率要大于 230.4kHz. 因此, 对一般发动机而言, 为保证在任何转速下采样的可靠性, 本系统采取大于 120kHz~ 250kHz 的采样频率。

A/D 转换器的转换精度和采样频率也是决定采样频率的一个关键因素. A/D 转换器的转换精度越高, 其采样频率就相对较低, 并决定了内燃机数据采集时的最高转速<sup>[3]</sup>. 本系统采样的数据采集分析仪采用 12 位 A/D 转换器, 其相对精度为 1/4 096, 转换时间为 0.8 $\mu$ s, 即最高采样速率为 1250kHz, 考虑到控制 A/D 工作指令执行时间和数据传送时间, 本系统采用高性能的工业控制计算机, 这样最大采样频率达到几百 kHz 是毫无问题的. 而其决定的最高转速  $n_{\max}$  :

转角分辨率为 0.25 °C 时有:  $60/(4 \cdot 360 \cdot n_{\max}) \geq 0.8 \cdot 10^{-6}$ , 即  $n_{\max} \leq 5100(r/min)$  ;

转角分辨率为 0.5 °CA 时有:  $60/(2 \cdot 360 \cdot n_{\max}) \geq 0.8 \cdot 10^{-6}$ , 即  $n_{\max} \leq 10200(r/min)$  .

由论述可知,在保证系统采样频率和采样精度的情况下,也能保证发动机转速在试验要求范围内。

### 3 数据处理中关键问题的实现

#### 3.1 图形的实时动态显示

本系统采用 Visual Basic 高级语言进行程序界面的开发,VB 支持 Windows API 函数及 DLL 的调用,可实现图形的实时动态显示。

信号边采集,边存贮在临时存贮空间;同时,VB 通过 API 函数或对 DLL 的调用,在临时存贮空间读取各通道数据,并计算出每个点在计算机屏幕的相对坐标,实时动态显示每条曲线。由于采样频率高,在动态显示曲线时,如果每一个循环画出一条曲线,并在屏幕上刷新的话,因为人的视觉分辨率远远低于屏幕上的曲线刷新频率,根本就觉察不到曲线的变化,毫无动态可言。所以,要动态显示曲线,应在显示一条曲线后,间隔一段时间,也即跳过几个循环,再显示下一条曲线。具体的间隔时间,应在编程过程中反复试验,找到合适的视觉效果为准。

#### 3.2 发动机示功图中上止点的确定

示功图的动态曲线显示,上止点的确定极其重要。目前,确定动态上止点的方法很多,除了直接测量(如光电测量法、磁电测量法、起动电流法)外,还可借助倒拖示功图用压缩中线法或多变指数法来计算。但是,用这些方法只能找到最高压力点,而不能确定动态上止点,即存在一热力学损失角。在编程过程中动态显示示功图曲线时,应根据找到的上止点,把热力损失角考虑进去,把曲线移动一定的距离,使示功图显示准确。

#### 3.3 数据的平均循环处理

对于发动机的缸内压力,为了提高测量的准确性,一定要对所测得的缸内压力数据进行若干次平均处理,本系统采用 50 次平均循环处理。

以 360 分频的光电编码器为例。编码器每转产生 360 个转角信号,一个基准信号。而发动机每两转为一个循环,则一个循环内有 720 个转角信号和两个基准信号产生,图 2 简单表示了一个循环内缸内压力信号和光电编码信号的关系。转角信号的作用:计算转速,并确定转角位置,提供用来平均循环的数据点的基准。基准脉冲的作用:确定上止点位置,是确保整个系统测量准确性的关键基准信号。

平均循环处理数据时,每间隔一个基准脉冲进行平均处理,用来平均处理的数据点数由转角分辨率决定,而每个点的基准则由光电编码器的转角信号确定,即在每个循环内,以光电编码器产生的转角方波信号的上升沿的数据点为基准,对应缸内压力信号的该数据点进行平均。因为发动机转速的不均匀性,一个循环内采集的数据量一般不相等,根据光电编码器的转角信号来确定数据点的基准,能确保所有循环内某个用来平均处理的数据点对应的曲轴转角一致。

#### 3.4 单通道的存贮容量与数据处理的关系

如果本系统采用 50 次循环平均处理,由表二可知,采样频率不得低于 110kHz,以 0.25 °CA 转角分辨率,转速为 2 000r/min,120kHz 的采样频率为例,每个通道所需用来处理数据量为  $M$ ,则

$$M = 50 * 120 * 10^3 * (60 * 2 / 2000) / 1024 = 351.625K$$

由于每个通道所需用来处理数据量均大于单通道的最大采样量(64K),则一次采样从开始到结束,然后把采集到的数据存贮在一个数据文件中,所存贮的数据要小于 50 个循环的数据量。也就是说,要满足

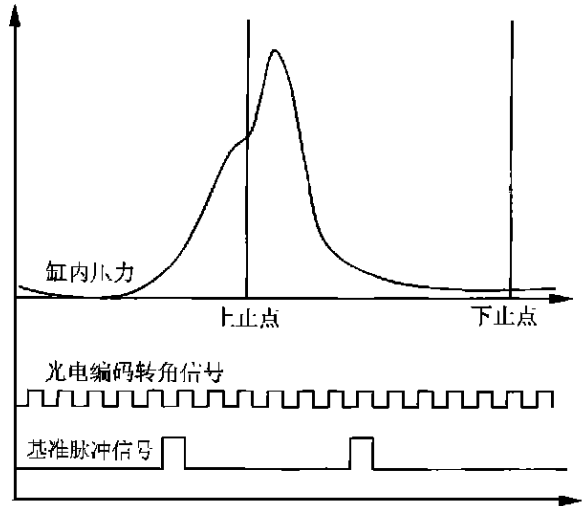


图 2 一个循环中缸内压力和光电编码器中信号的关系

50 次循环平均处理的数据, 需从 2 次或 2 次以上的采样数据中获得, 并且要在这些采样数据中进行取舍, 使得取出用来处理和图形显示的数据连续且数据量相符.

在数据处理过程中, 从循环次数和转角分辨率计算出用来处理的数据量, 并确定连续采样次数. 调用作为数据处理的数据文件, 从第一次采样数据中取出若干次循环的数据, 其中包括最后一个数据对应的曲轴转角角度, 然后进行第一次处理; 在另一次采样数据中, 根据曲轴转角的连续性, 对应取出若干次循环的数据, 然后进行下一次处理, 并与上一次处理后的数据进行平均化处理; 如此类推, 直到平均化处理了满足条件的 50 次循环为止.

## 4 结 论

本系统针对发动机进行动态参量的测试与数据处理及分析, 论述了在开发本系统的过程中所遇到的一些问题, 并对这些问题进行探讨, 确定了系统的最低采样频率, 解决了数据处理中的一些关键问题, 由此得出以下结论.

- (1) 发动机缸内压力的采样分辨率可以确定为  $0.25^{\circ}\text{CA}$  或  $0.5^{\circ}\text{CA}$ , 由此确定采样频率大于  $120\text{kHz} \sim 250\text{kHz}$ , 且转速满足试验要求范围.
- (2) 在确定示功图上止点时, 编程过程中考虑热力损失角, 使示功图显示准确.
- (3) 在对缸内压力进行平均循环处理时, 利用光电编码器的转角信号作为数据点的基准, 使用于平均处理的数据与发动机的曲轴转角对应起来.
- (4) 根据通道存储容量, 可从若干次采样的数据中取数作平均循环处理, 提高数据处理精度.

### 参考文献:

- 1 熊仕涛等. 发动机燃烧分析系统的国产化研制. 见: 中西部地区第六次学术会议论文集[C], 1997.
- 2 扬升华. 柴油机测试技术[M], 国防工业出版社, 1980.
- 3 陈勇等. DCA-1 型柴油机燃烧分析仪的开发及通用 A/D 板在数据采集系统中的应用. 小型内燃机[J], 1988(3), 1~10.

## Actualize on Pivotal Questions about Dynamic Parameters' Measurement and Analysis System for Engines

WEI Hai-qiao, SHEN Li-zhong, SHEN Ying-gang, BI Yu-hua, JIANG Wei-dong

(The Faculty of Communication Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

**Abstract** Aiming at some pivotal technical problems of the system of dynamic parameters' measurement and data dealing and analyzing, how to decide sampling frequency of the data acquisition and actualize some question of data dealing are discussed. Technology is advanced to deal with these key problems. Technical sustain is provided to carry out the system of dynamic parameters' measurement and data dealing and analyzing.

**Key words:** data acquisition; sampling frequency; A/D converter; data dealing