

以微型计算机实现轨道随机动态 参数实时测定分析

铁道部科学研究院铁建所 王 澜

一、前 言

近年来微电子技术得到了飞速的发展,特别是微型计算机的应用已深入到仪器仪表、测量、工业控制、事务管理图象信息处理等各个领域。我们于1982年起进行了以微型计算机为中心进行铁路轨道随机动态参数实时测定和统计分析的探索。现已初步完成了两种型号的实时测试系统的研制。本文就这两种测试系统进行简单介绍。

随机动态参数现场测试的传统方法是采用电阻应变仪对测试信号进行放大,然后把经过放大后的电信号由记录装置记录下来,以便分析研究。经常采用的记录装置有光线示波器和磁带记录仪。由光线示波器记录的信号是记录在紫外线感光纸上,当分析时需用尺量和肉眼读,这种方法不但浪费人力、物力、而且具有精度低和感光纸不易长期保存的缺点。由磁带记录仪记录测试信号时,将现场测得的电信号记录在磁带上,然后到室内把信号回放或经磁带分析仪进行数据的分析处理,采用这种方法可以减少人力,而且精度高,但也应看到由于磁带记录仪和磁带分析仪价格的昂贵,它们是不便于普及和推广的。

以上的测试方法和数据处理方法称为“脱机法”,近年来,随着电子技术的高速发展,微型计算机已普及到各行各业,把微型计算机应用于现场测试中不仅具有体轻便携之优点,而且还可以对测试进行自动控制,并对测试数据进行实时处理。此种测试方法可称为“实时法”。微型计算机的应用为实现轨道参数的实时测试开辟了道路。

本文对我们最近研制的“Z80微型处理机自动控制极值采样和轨道测速系统”(简称MACES)和“Z80多微处理机实时测定分析系统”(简称MITAS)的结构组成、功能、使用检测方法和应用实例进行介绍,希批评指正。

二、Z80微机处理机自动控制板值采样和轨道测速系统 (MACES)的结构组成

MACES测试系统主要包括“TJF—3”型应变峰值仪、TP—801主机、信号输入接口及信号整形接口电路和系统软件四部分。MACES测试系统的结构图如图1所示。现将MACES测试系统的主要装置介绍如下:

1. 电桥放大器和极值保持电路

电桥放大器的作用是把传感元件输出的微弱电压信号加以不失真的放大,以推动指示电

表及外加负载。在一般的动态信号测量中,放大器通常采用交流式电桥电路;随着微电子技术的高速发展,具有体积小、功耗低、寿命长以及使用方便可靠等特点的各种集成电路已广泛应用于计算机、自动控制、通信和测量等各个领域,因而我们采用了集成运算放大器来

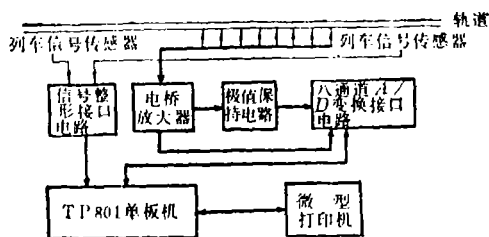


图1 MACES测试系统结构图

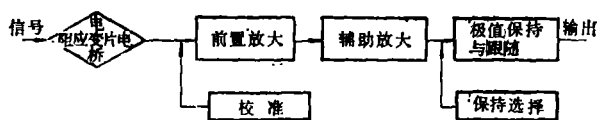


图2 电桥放大器和极值保持电路结构图

作为电桥放大器的主要部件。放大电路采用直流放大、平衡(差动或推挽)输入和非平衡(单端)输出。这种差动放大电路,只对输入信号之差有响应,而对两信号源中感应的等量噪声有良好的共模抑制能力,从而可提高信噪比。由于采用了低漂移运算放大器及差动放大电路,可使电桥放大器具有低零漂、线性度高及频率响应范围较大(可达2000Hz)等优点。在电桥放大器输出部分还设置了极值保持电路,可在一个短时间内(约若干毫秒)保持极值电压,在计算机软件配合下可以检测列车通过过程中的信号极值。电桥放大器和极值保持电路的结构图如图2所示。

2. 入通道A/D模—数变换电路

A/D模—数变换是将经电桥放大器放大后的动态电压信号之模拟量变换为数字量,以便进行数据处理。A/D变换的方式较多,有逐次近似法、积分法和直接比较法等,一般常用的A/D变换元件采用逐次近似变换方式。

逐次近似型模—数变换器的原理是将内部产生的模拟量和输入信号作反复比较,得到数字输出。比较过程如下:未知的模拟输入与满度的 $\frac{1}{2}$ 比较。如果输入是大于满度的 $\frac{1}{2}$,则下一位置“1”这就表明要和满度的 $\frac{3}{4}$ 比较,如果输入小于满度的 $\frac{1}{2}$,则下一位置“0”,这就表示要和满度的 $\frac{1}{4}$ 比较。将模拟输入按上述顺序比较一直到最低有效位。这种类型的模—数变换从电路复杂性,变换速度以及成本等方面考虑,还是比较优越,广泛应用于10KHz~1MHz 8—16位的模—数变换。

根据铁路轨道结构的随机振动动态特性及仪器系统功能要求,我们选用了ADC0809模—数变换器作为系统A/D变换的主要器件,它的主要技术参数为:分辨率二进制8位,总的不调节误差 $\pm 1/256$,变换时间 $100\mu\text{s}$ 、时钟频率要求 $< 640\text{KHz}$,具有锁存功能的8路,模拟开关,可对8路模拟电压分时进行转换。它的数字输出B与模拟输入 V_{IN} 的关系如下:

$$B = \frac{V_{IN} - V_{REF}^{(-)}}{V_{REF}^{(+)} - V_{REF}^{(-)}} \times 256$$

式中 $V_{REF}^{(+)}$ 和 $V_{REF}^{(-)}$ 为正、负参考电压。其A/D变换工作原理框图如图3。

ADC0809变换芯片是模—数变换部分的核心。它是八通道8位单片器件。片内8路模拟开关可由系统主机或各通道分机输出选通信号,由译码器译码后选通其任一路模拟信号。其时钟电路是利用CPU时钟信号(2MHz),经双D触发器4分频后产生500KHz时钟频率

供ADC0809使用。

3. 微型计算机

微型计算机就其用途和容量及结构的不同可划分为高级微型计算机、单板微型计算机和单片微型计算机，各种计算机系统均包括以下几个基本部分：

- ① 中央处理器（CPU）。（包括了算术/逻辑运算单元和控制器）；
- ② 程序存储器。（ROM或EPROM）；
- ③ 数据存储器。（RAM）；
- ④ 输入/输出接口（I/C接口）。

根据具体用途，在功能和容量可以满足的前提下，可选用不同类型的微型计算机来实现轨道参数的实时测试。单片微型计算机是一种集成度很高的集成电路元件。即在一块晶体芯片上就可以包括一个数字计算机的四个基本组成：CPU，ROM，RAM和I/C接口。只需做一些局部扩展（如数据存储器RAM的扩展和A/D变换扩展等），便可以构成一路通道的数据采集、存贮、控制及通讯的硬件部分。当对随机动态信号进行较复杂的多功能数据处理时（如波形分析和频谱分析等），尚可采用经过扩展的单板计算机或高级计算机来实现。

MACES测试系统是以TP801单板计算机为硬件系统的核心。内部结构如图4所示。TP801单板计算机采用Z80CPU芯片。CPU的内部寄存器组分两种类型，一种是专用寄存器（包括程序计数器PC、堆栈指针SP、变址寄存器IX和IY，累加器和状态标志寄存器等），另一种是通用寄存器组。算术和逻辑单元ALU是通过内部数据总线与内部寄存器数据总线交换信息完成算术和逻辑运算功能。指令寄存器和CPU控制起到控制器的功能。

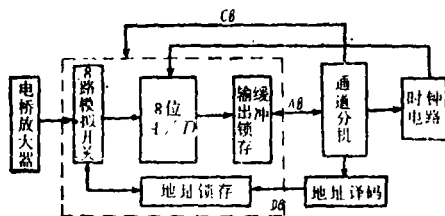


图3 A/D变换工作原理框图

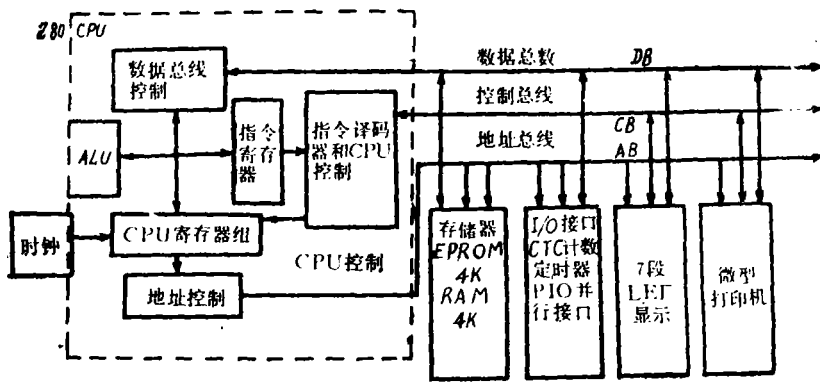


图4 TP801单板计算机结构图

三、MACES测试系统的功能和检测原理

MACES测试系统的硬件部分在系统软件的配合下可实现以下功能：

- (1) 列车到达时, 接收传感器输入信息, 记下列车到达的时刻, 读出月、日、时、分。
- (2) 确定列车的序次数。
- (3) 计算列车通过两个列车信号传感器区段的平均速度 V 。
- (4) 根据传感器的输入信号测定列车的轴数。
- (5) 确定列车行驶方向(上行或下行)。
- (6) 测定列车通过测试区段时八个通道轨道随机动态参数最大值(即极值)和列车过后测点漂移值。
- (7) 将测试结果经打印机全部打出。如图5所示。

MACES测试系统以上各项功能的执行全部由TP801微型计算机进行自动控制。

现将MACES测试系统的检测原理介绍如下:

1. 列车运行速度的检测

轨道结构各部件当线路通过列车时而产生随机振动, 其动力效应与列车运行速度有较大关系, 因而当对轨道结构进行动力学性能评定时, 首先须对列车运行速度进行检测。

对列车运行速度检测我们采用的方法是: 在一定长度 L 的线路钢轨内侧固定两个车轮信号传感器 K_1 、 K_2 , 当有车轮经过它的上方时, 传感器输出一个交变信号, 此交变信号由整形接口电路经整形后成为一方形脉冲信号, 经光电耦合管隔离后输入TP801的可编程并行输入输出接口CTC。将CTC0口设置为定时器中断方式工作, 它可在每25ms送出一个回零脉冲, 使CPU执行中断服务程序, 这样就可构成一个24位的25ms时钟, 此时钟便用作计时用。将CTC1口和CTC3口设置为计数器工作方式, 经整形的传感器信号输入此两端口, 如有信号便可使计数器增1, 这样CPU就可检测此端口是否接收到列车车轮产生的信号。其检测列车运行速度程序框图如图5所示。

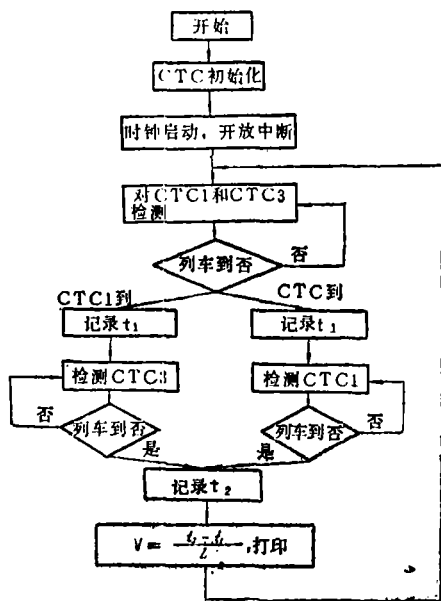


图5 检测列车运行速度程序框图

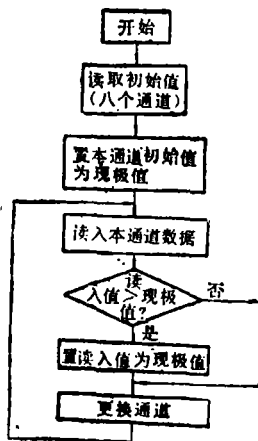


图6 多通道极值检测程序框图

2. 极值检测

极值检测的目的是取得列车通过时随机波形数据中的最大值。采用了硬件和软件相结合的方法,即在电桥放大器中设置了极值保持电路,它可以在一个短时间内保持随机波形中的峰值电压数据。在计算机软件应用程序中则设置了多通道极值检测程序,因此就可以检测到全部八个通道的信号极值。检测程序框图如图6所示。

四、Z280多微处理机实时测定分析系统(MITAS)的结构组成

MITAS测试系统采用了多微处理机结构,可以在列车通过测试区段的同时对八个通道的随机动态信号进行不同方式的采样和数据处理;MITAS测试系统的结构组成如图7所示。

MITAS测试系统要求在列车通过测试区间的短暂时间内同时对八个通道的动态信号进行不失真的采样、逻辑判断分析并进行实时处理。这就需要数据采集和逻辑判断的工作具有较高的频率响应范围,因而每个通道均应设置包括中央处理装置和一定容量的存储器的分机。我们同样采用了Z80CPU等器件来实现各分机的硬件装置。其分机结构图如图8所示。

由于各通道分机均设置了模-数转换器、CPU、4KRAM和6KEPROM,从而可使各个通道同时独立工作。

MITAS测试系统的八个通道各设一台分机,考虑到结构简单化,而不设置主机。在MITAS测试系统中由于各通道共用显示、打印等外设,并且键盘控制各通道时,各通道分机总线又不能互相串通,否则会造成各分机总线状态混乱。在这里我们采用了非可编程并行通讯接口方式,以解决各分机与显示、打印、键盘控制板的通讯问题。非可编程并行通讯接口采用双向开关电路器件和通道选择开关键盘。当通道选择开关键盘选通某一通道时,此通道双向开关导通,这时此通道分机CPU在扫描键盘时获取功能指令,而进入各种功能状态。而未被选通的通道分机接口的双向开关不导通而处于三态状态,其CPU扫描键盘无效,便处于候指状态。MITAS测试系统通讯接口结构图如图9所示。

以上解决了各分机与外设和键盘控制的通讯问题,但对动态信号进行数据采集时如果一个一个通道地颁布指令就来不及了。为此,我们采用中断方式使各个分机同时进入采样状态。用采样控制键同时向各通道分机CPU发出中断请求信号,当各通道分机CPU中断响应后,便会很快地同时进入采样状态而进行数据采集。从而使MITAS测试系统具有各通道独立工作、同时采样和分时处理打印的功能。当然MITAS测试系统也同时具有用键盘控制而使各通道分别进入不同采样状态的功能。

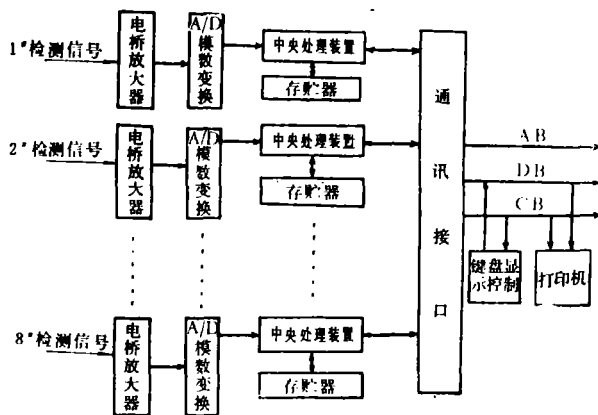


图7 MITAS测试系统结构图

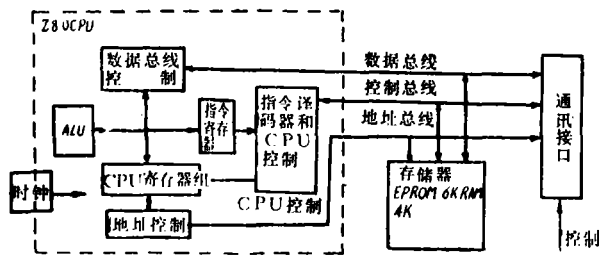


图8 MITAS测试系统分机结构图

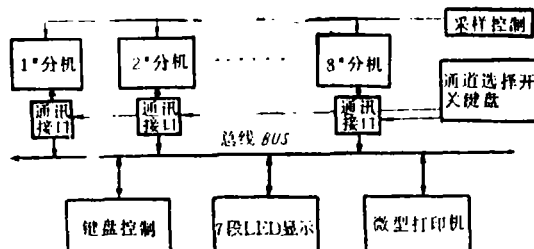


图9 MITAS测试系统通讯接口结构布置图

五、MITAS 测试系统的功能和检测原理

MITAS测试系统硬件部分在其系统软件的配合下可实现以下功能:

- (1) 扫描键盘、等待键盘输入指令, 检测控制系统要求通讯否。
- (2) 标定程序使标定值和标定结果贮存下来, 显示和打印出标定结果。以后其它各项结果均为标定换算后的应变值。
- (3) 等步长取点采样程序可进行给定步长 Δt 的取点采样, 并打印出相应结果 (Δt 可调, $\Delta t = n \cdot 125 \mu s$, $n = 1, 2, \dots, 256$)。
- (4) 峰谷值计数法采样程序, 可对被测信号进行峰谷值检测。本子程序设有盲区, 盲区值可调, 在10秒钟内信号变化值未超过盲区值则程序自动跳出, 而进入等待指令状态 (此程序采样间隔为120~150 μs)。
- (5) 数据处理程序可打印出通道号、极大值、极小值、峰谷值个数、峰谷值的平均值和方差等。
- (6) 编谱程序打印出峰谱、谷谱。
- (7) 雨流计数法程序可对顺序记录的峰谷值进行雨流并编谱, 打印出整循环的总数、平均值和方差以及整循环谱, 并打印出不能配对的正半循环和负半循环谱。

```

*****
Channel, 1
SPectrum of Peak
0134~ 0141 0001
0155~ 0162 0001
0168~ 0175 0001
0210~ 0217 0001
0237~ 0244 0001
0265~ 0244 0001
0279~ 0296 0002
0293~ 0300 0001
0313~ 0320 0002

```

```

*****
Channel, 1
RAINFLOW
Whole Cicle
Xmean Var Number
0227 15231 0010
{0041~0048} 0002
{0048~0055} 0001
{0227~0234} 0001
{0262~0269} 0001
{0282~0289} 0001
{0310~0317} 0001

```

0327~ 0334 0001	{0331~0337} 0001
0334~ 0341 0001	{0344~0351} 0001
Spectrum of Yale	{0351~0359} 0001
-0024~-0017 0002	POS Half Cicle
-0017~-0010 0007	{0172~0179} 0001
0093~ 0100 0001	{0303~0310} 0001
0106~ 0113 0001	{0331~0337} 0001
0237~ 0244 0001	Neg Half Cicle
	{0186~0193} 0001
	{0282~0289} 0001
	{0337~0344} 0001

(c)

(d)

图11 MITAS测试系统打印结果

(a) MITAS测试系统预处理结果, (b) 顺序记录的峰谷值, (c) 峰、谷值谱, (d) 雨流计数法结果 (整循环与半循环)。

现将MITAS测试系统的检测原理介绍如下:

1. 峰谷值计数检测

随机波形计数的方法较多, 包括等步长取点采样计数法, 通过时间计数法、峰谷值计数法、穿级计数法、雨流计数法等等, 采取那一种计数法应根据对随机波形作什么样的分析的需要和可能而具体选用。当前使用最多的除了等步长取点采样计数法以外, 就是峰谷值计数法和雨流计数法。而后者又取决于峰、谷值的检测。

一般来说结构物的失效包括一次性大荷载引起的超越性失效和疲劳累积损伤所致失效两类。对于超越性失效起决定性的结构物进行分析时就须研究荷载的超值概率分布和极值概率分布以便对结构物的可靠性作出定性和定量的分析。而研究超值分布和极值分布的基础就是研究它们的原始分布, 既对随机波形的峰值和谷值 (负峰值) 进行统计分析。这种计数方法就是峰谷值计数法。它将波形任何一个波峰和波谷依次计数, 然后便可进行统计分析, 由于波形小幅值的波动会对结果分析解释带来一定困难。因此应略去对振动现象和疲劳损伤影响不大的无效幅值差 (称为盲区)。而所谓无效幅值一般可取作实际信号中最大级数与最小级数之差的 5~15%。有时需要分别统计波峰点和波谷点, 也就是正峰计数法和负峰计数法。

峰谷值计数如图10所示。

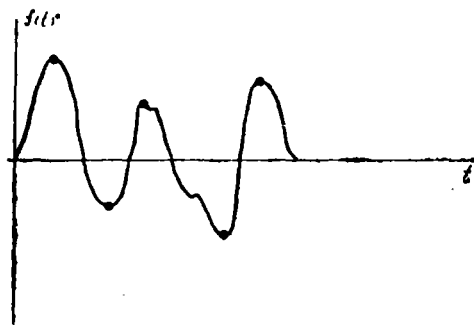


图10 峰谷值计数

通常采样的时间间隔 Δt 的选择与摘取峰谷点的精度有关, 这便是数据采集的频率响应特性。为保证采样中峰、谷点被遗漏的误差小于 5%, 采样间隔 Δt 应选为:

$$\Delta t \leq \frac{1}{f_i} \cdot \frac{1}{10}$$

式中: f_i 为精度 95% 时数据采集工作频率上限。如满足以上条件, 可使在采样中至少有一个采样点落在 $72^\circ \sim 108^\circ$ 之间如图11所示。

MITAS测试系统峰值采样程序设置时间间隔 Δt 为 $120\mu s \sim 150\mu s$ 。这样便决定了它的数据采集部分精度为95%时的工作频率上限为 $670 \sim 830\text{Hz}$ 。

摘取峰谷点的常用方法有三种:

- (1) 取峰——峰值或峰——峰值之半;
- (2) 以基线为准, 分别摘取峰、谷点;
- (3) 以基线为准, 依次摘取峰、谷点。

第一种方法较适用于手工在记录图上摘取峰值、但误差大。后二种方法适用于利用数据处理系统检测数据, 但第二种方法速度慢于第三种方法, 它不适用于随机波形的实时数据处理分析。

MITAS测试系统采用了第三种方法进行摘取随机波形的峰谷值。其基本检测原则如下:

- (1) 首次大于基线的波形必为峰, 小于基线的波形则为谷;
- (2) 峰后必谷, 谷后必峰;
- (3) 后一数据小于前一数据则前一数据附近必有峰点, 后一数据大于前一数据则前一数据附近必有谷点。MITAS检测随机波形峰、谷值程序框图如图12所示。

2. 雨流计数法检测

利用雨流计数法进行结构材料疲劳应力时间历程的计数, 较好地反映了材料的疲劳影响, 在随机疲劳波形的分析处理中已得到广泛的应用。

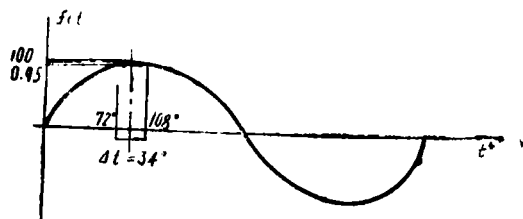


图 11

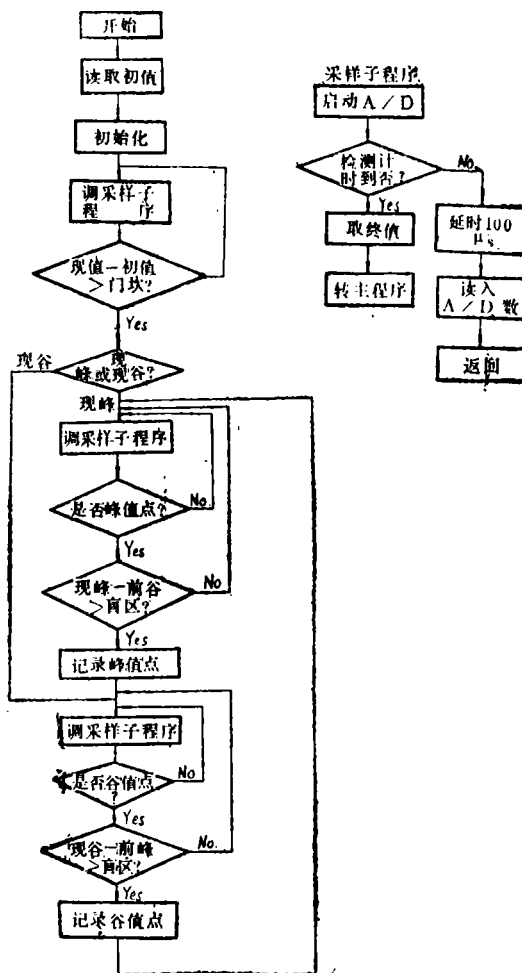


图 12

雨流计数法的命名是因为它的创始人, M.Matsuishi和T.Endo把所有峰谷的历程想象为从宝塔顶上流下的雨水。设想雨滴从波峰或波谷为起点向下流动, 根据雨流的迹线, 可确定出相应的应力循环。如图13所示。

根据雨流计数法原理, 其计数原则主要为以下两步:

- (1) 雨滴从峰值(谷值)处开始沿其塔顶向下流, 直至遇到此开始时峰值(谷值)更大(更小)的峰值(谷值)时停止。

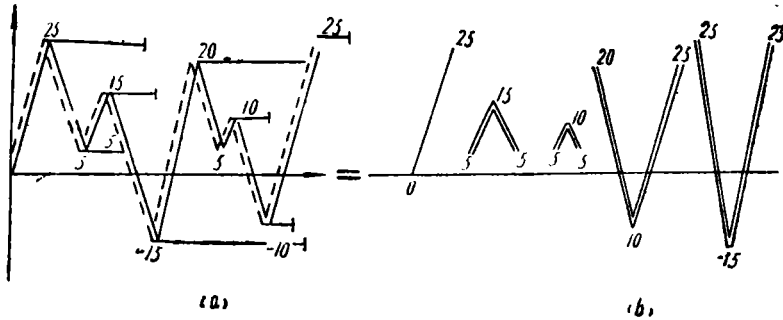


图13 雨流计数的应力—时间历程曲线

(a)雨流计数示意, (b)相应的整循环(双线)和半循环(单线)

(2) 雨流遇到从上一个塔顶落下的雨滴时停止流动。

MITAS测试系统用雨流计数法处理随机动态波形的程序框图如图14所示。

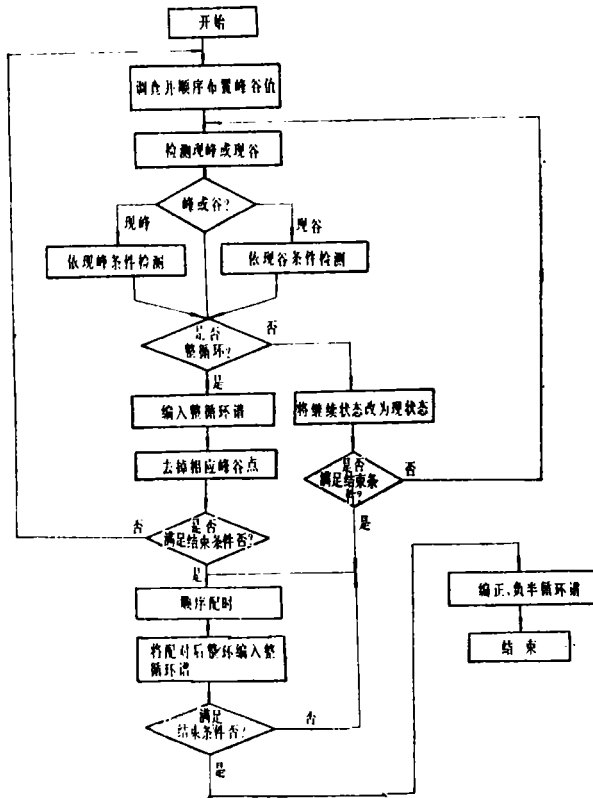


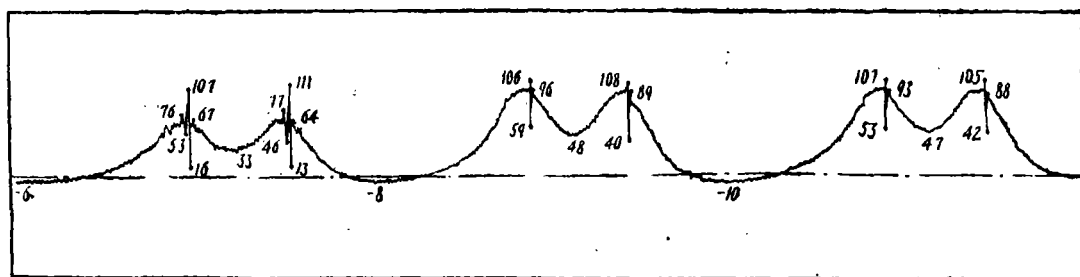
图14 雨流计数法程序框图

六、MACES和MITAS测试系统应用于混凝土枕的现场动态测试

采用MACES和MITAS测试系统曾先后对我国几条较有代表性的线路区段做了混 凝

土枕随机振动的现场测试。通过实测,为混凝土枕随机荷载历程和荷载弯矩谱的研究提供了大量参数和资料。由实际使用来看MACES和MITAS测试系统均达到预期的效果,它们具有使用性能稳定、精度高、速度快、便于携带等特点,较脱机处理方法有较大优越性。

图15示出了实测波形与峰值值采样计数的结果对比情况。我们看到这样的精度要用人工处理是无法达到的。对实测的大量结果再经电子计算机处理后,我们便得到整个测试阶段的荷载谱。如图16—18所示。



CZ=060 ZZ=061

PeakValePeakVale

088 042 105 047

093 053 107 -010

089 040 108 048

096 059 108 -008

064 013 111 046

077 033 067 016

107 053 076 -006

063 008 107 046

075 031 068 013

注:

上图为东方红内燃机车及一个客车转向架所产生的荷载弯曲应变波形。右侧为机车前进方向,记录纸走纸速度为100mm/s。

左图为同时记录下的微机系统打印结果(按行排列依次记录的峰值值)。与波形图相对应在谷值-006处截止。

为便于对比,波形图上与打印结果相对应点以“.”示出,并标出了相应数值。

图15 波形与打印结果对比图

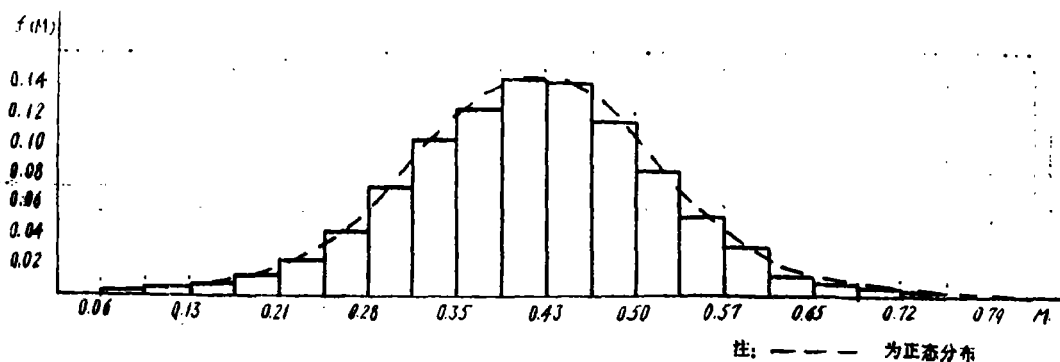


图16 沪宁线白洋湾混凝土枕中间截面正弯矩荷载谱

七、结语与展望

1. 微型计算机应用于轨道现场实时测试分析是轨道测试工作中的初步尝试。根据现场

使用情况来看,采用微型计算机是实现“实时处理”的较好途径,它具有便携、节省人力、提高精度、实现测试工作自动化等多方面的优越性,值得在今后轨道现场测试中推广普及。

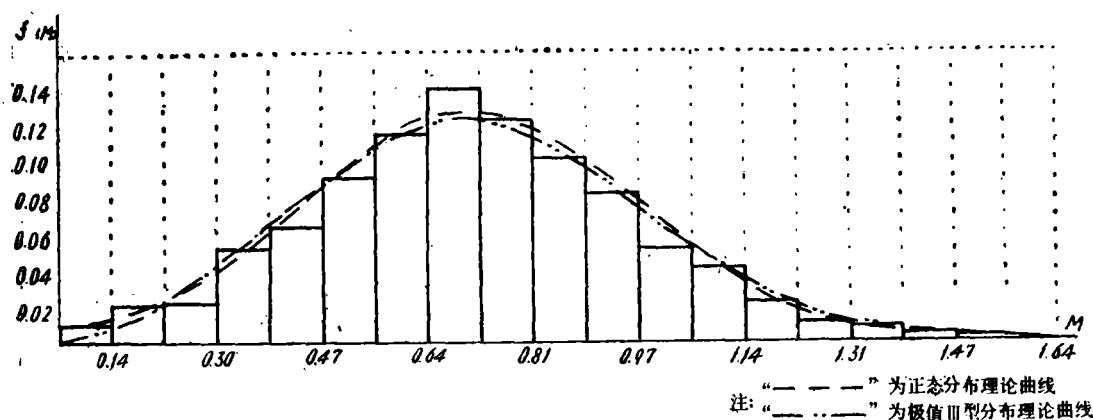


图17 沪宁线白洋湾混凝土枕轨下截面正弯矩荷载谱

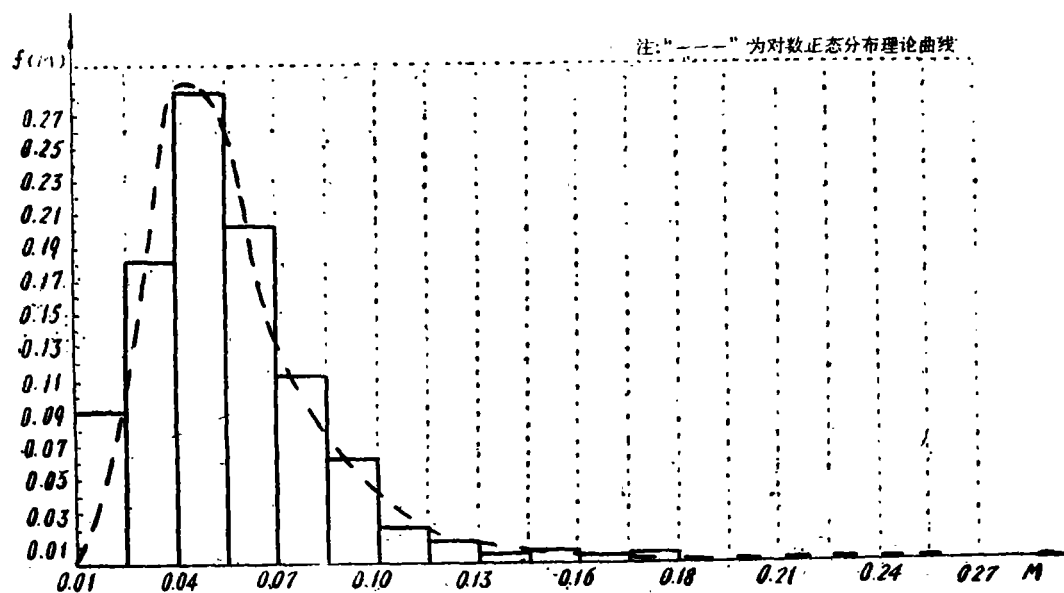


图18 沪宁线白洋湾混凝土枕中间截面负弯矩荷载谱

2. 轨道随机动态波形的识别多属于逻辑运算,对于这类工作采用微型计算机来进行是完全胜任的。这样,不但可以充分发挥微型计算机在逻辑运算功能方面的优越性,尚能对信息进行存贮以便综合分析,并且能够保证迅速而准确地得到结果。

3. 雨流计数法是处理随机应力波形,计算应力循环的一种较好方法;本文的雨流计数法汇编程序,可用以迅速而准确地分析计算结构的应力谱。

4. 对于多通道多功能随机波形频谱分析及数据处理的实时处理系统可采用高级便携式

微型计算机为主机,而以低功耗单片微型计算机为分机,此外还可以建立大容量的子程序库以满足多功能数据处理的需要。

5. 对于需要长期记录的轨道结构动态参数可以利用数字磁带机或软磁带盘机等大容量贮存装置建立数据库,以便进行综合处理分析。

6. 本文介绍的轨道测试系统也可推广应用于铁路、公路桥梁和机车车辆等动态参数的测试。

1985年诺贝尔奖金获得者

被世界公认为最高荣誉奖励之一的诺贝尔奖,1985年获奖人名单已经全部揭晓。每份奖金为25.5万美元。

诺贝尔奖是用瑞典著名化学家、发明家阿尔弗雷德·伯恩哈德·诺贝尔的部分遗产(920万美元)作为基金创立的。遵照他的遗嘱,瑞典皇家科学院、卡罗林医学院、文学院、议会从1901年起每年将诺贝尔奖授予在物理、化学、生理和医学、文学领域内为人类做出杰出贡献的人。和平奖由挪威议会颁发。1968年,瑞典银行创立了诺贝尔经济学奖。

1985年的获奖人是:

物理学: 联邦德国克劳斯·克利青教授,42岁,斯图加特马克斯——普朗克学院负责人。1980年春他验证了100多年前美国物理学家霍尔发现的“霍尔效应”。他的实验证明了量子定律可以高度准确地运用于普通金属和半导体,开拓了一个具有重大现实意义的研究领域。

化学: 美国赫伯特·豪普曼和杰罗姆·卡尔勒两位教授。豪普曼68岁,现任巴法罗医学基金会副主席兼研究部主任。卡尔勒67岁,现任美国海军实验室物质结构实验室主任。这两位教授利用测定水晶结构法研制出了用以测定有机和无机化学分子结构的仪器。这些仪器对测定天然产品的化学结构极为重要。

生理和医学: 美国科学家迈克尔·布朗和约瑟夫·戈尔茨坦。布朗44岁,现任得克萨斯大学西南医学院遗传病研究中心主任。戈尔茨坦45岁,担任该院分子遗传系主任,这两位科学家发现了有关胆固醇新陈代谢的规律,对减少心力衰竭和心脏病发作所造成的死亡具有卓越的贡献。利用这一发现制造新的药物,可以根本改变治疗由于血液中胆固醇升高而引起的疾病的传统方法。

经济学: 美国弗朗哥·莫迪克,67岁,马萨诸塞州技术学院教授。他在五十年代初期研究了家庭储蓄和金融市场的作用,提出了莫迪克利亚尼——米勒定理,经过了30多年的实践检验,证明在资本主义经济体系中,对大至国家、小至个人的经济活动,都有指导意义。

文学奖: 法国作家克劳德·西蒙,72岁。他的处女作《骗子》(1945年)和后来出版的《风》(1985年),突破了欧洲古典文学的禁锢。他的作品还有:《在佛兰德大道上》、《法尔萨拉古战场》、《双目失明的俄利翁》、《导体》等。1981年发表的描写西班牙内战的《乔治亚人》,是他最重要的代表作之一。他以对时代的深刻了解将诗人和画家的创造性融为一体,在作品中对社会加以精心刻画,敢于与旧潮流分道扬镳。

和平奖: 一个由美国和苏联医生组成的反战组织。其宗旨是防止世界核战争的爆发。