

# 导管架海洋平台声发射信号识别系统

林 丽,赵德有

(大连理工大学 船舶工程系,大连 116023)

**摘 要:**为管理大量导管架海洋平台声发射信号试验数据,运用识别算法对声发射信号进行定性识别,建立了以开放式数据库为支持,基于局域波法的导管架海洋平台声发射信号识别系统。介绍了系统的总体结构和近期研究的识别原理。在此基础上,采用 Power Builder 和 Matlab 等编程工具,结合 SQL Server 数据库技术,通过多种接口设计方法,实现了导管架海洋结构声发射信号的数据、识别算法等的有机结合。试验证明,该识别系统操作简便,具有较强的实用价值。

**关键词:**声发射检测;海洋平台;数据库;局域波

中图分类号:TG115.28 文献标识码:A 文章编号:1000-6656(2009)01-0042-04

## Identification System of Acoustic Emission Signals of Offshore Structures

LIN Li, ZHAO De-You

(Department of Naval Architecture, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

**Abstract:** This paper presented an identification platform of acoustic emission signals of offshore structures supported by the open country-wide interconnected database and based on local wave recognition arithmetic. The platform had the ability manage a lot of acoustic emission signal experimental data of offshore structures and study the nature of the acoustic emission signals. The general structure and some new recognition arithmetic principle were introduced. And then on this basis, by using the program tools such as Power Builder and Matlab, in combination with database technique, the data and algorithm of acoustic emission signals of offshore structures were combined by designing several interfaces. The results showed that the identification platform had powerful functions with easy operation, and had more practical values.

**Keywords:** Acoustic emission testing; Offshore platform; Database; Local wave

由于海洋环境的复杂性和随机性,历史上曾发生多起海洋平台因结构裂纹导致的海损事故。究其原因,常用的无损检测手段不能及时发现作业中的海洋平台结构危险裂纹,只能在检修时发现。为了解决这个问题,目前采用声发射方法对海洋平台进行检测试验研究。

由于传统的声发射信号参数分析法只是对声发射信号波形的某个特征的描述,对声发射源的特征识别分析能力有限。而声发射信号波形中包含有丰富的声发射源信息,更多先进处理方法使声发射信

号波形分析逐渐成为识别声发射源的主要方法。

在开展海洋平台结构模型的声发射信号识别研究过程中,声发射仪采集了大量的声发射信号波形数据。在 0.81 ms 时间内便可采集有 13 kByte 的文本数据,因此如何有效地管理这些宏大的数据,提取信号特征,进行信号的识别是一个迫切需要解决的问题。

为此笔者研究设计了导管架海洋平台结构声发射信号识别系统,提出了建立以 SQL Server 数据库为支持,基于局域波法的导管架海洋平台声发射信号识别系统(简称识别系统)。

## 1 识别系统的结构

整个识别系统由人机交互、数据管理和模型管理三个子系统组成<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2008-01-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50479060)

作者简介:林 丽(1971—),女,博士研究生,主攻方向为船舶及海洋结构物声发射研究。

人机交互子系统是用户和系统的接口<sup>[2]</sup>。负责接收用户请求,协调数据库和模型库之间的通信,为用户提供采集信息、模型分析识别计算等功能。从交互界面来看,包含以下五了模块。

(1) 海洋平台信息管理模块 具有对海洋平台基本信息、测点基本信息和声发射采集系统信息输入、查询、修改和打印功能。

(2) 声发射信号数据管理模块 由数据导入、浏览和查询等组成,可将大量的声发射信号数据进行有序的存储和查询。

(3) 计算模型管理模块 含有模型字典及模型库,可将局域波识别算法模型进行存储。

(4) 数据计算分析识别模块 可对模型计算分析结果显示和识别。

(5) 系统维护模块 由系统权限管理和背景数据维护组成。

数据管理子系统包括数据库和数据库管理系统,其功能是对大量声发射信号数据进行存储、检索、处理和维护。如图 1 所示,数据库管理的数据有海洋平台基本信息、测点信息以及采集的海洋平台声发射信号数据。

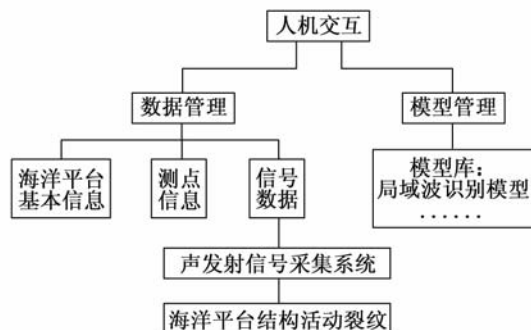


图 1 识别系统平台框架

模型管理子系统是本系统的核心。它存入多种识别模型的代码,并与数据库子系统交互作用,提供模型输入和输出。

## 2 识别算法原理

声发射信号识别方法中用得较为广泛并为大家所认可的一直是参数分析方法。其它识别方法有小波分析、神经网络分析、现代谱分析和模态声发射等。笔者研究了新近发展的局域波分析方法<sup>[3]</sup>。

局域波时频分析方法是一种新的具有自适应的广义时频分析方法,它是在 1998 年美国学者 Huang 提出的基于经验模式分解方法的基础上发展起来的,目的是对非线性、非平稳时变信号进行正

确的描述。

局域波法源于瞬时频率的概念。它能把动态信号的局部特征正确地在时频域内予以描述。瞬时频率能够反映非平稳信号的时变性。为了使瞬时频率变得有意义,把复杂的非平稳随机信号分解成有限个基本模式分量,从而把动态信号的局部特征正确地在时频域内予以描述,这些基本模式分量称为内蕴模式函数。它满足如下两个条件:

(1) 在整个数据序列中,极值点的数量与过零点的数量必须相等,或最多相差一个。

(2) 在任何时间点上,被它的局部最大值与最小值定义的包络的均值必须是零。

对于一时间信号  $x(t)$ ,其局域波法分解步骤如下:

(1) 提取信号  $x(t)$  的极大值点  $\max x(t)$  和极小值点  $\min x(t)$ ,  $t \in [0, T]$ 。

(2) 用三次样条插值法求取信号的上下包络  $e_{\max}(t)$ ,  $e_{\min}(t)$ 。

(3) 计算局部均值  $m(t) = [e_{\max}(t) + e_{\min}(t)]/2$ 。

(4) 提取基本模式分量  $h(t) = x(t) - m(t)$ 。

(5) 对  $m(t)$  重复以上操作。

在实际操作中,需要经过几次均值提取才可以得到一个基本模式分量,即把第一次提取的  $h_1$  看待处理数据:

$$h_1 - m_{11} = h_{11}$$

重复(1)~(4)步  $k$  次得:

$$h_{1(k-1)} - m_{1k} = h_{1k}$$

直到满足一定的终止标准后,得到第一个基本模式分量  $c_1$  为:

$$c_1 = h_{1k}$$

把  $c_1$  从原始信号中分离出来,得:

$$x(t) - c_1 = r_1$$

把  $r_1$  当新的待处理数据进行处理,余下类推:

$$r_1 - c_2 = r_2$$

$$r_2 - c_3 = r_3$$

...

$$r_n - 1 - c_n = r_n$$

当极大值点数与极小值点数之和  $\leq 2$  时,停止分解,此时认为  $r_n$  已不可再分,最后得:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r_n(t) \quad (1)$$

于是,把原始数据分解成  $n$  个基本模式分量  $C_i(t)$  及一个剩余分量  $r_n$ ,该剩余分量是一个平均趋势或是一个常数。对每个基本模式分量  $C_i(t)$  进行 Hilbert 变换,得到

$$x(t) = \sum_{i=1}^n A_i(t) e^{j\omega_i(t)t} \quad (2)$$

然后计算出每个基本模式分量对应的瞬时频率。最后把原始信号的幅度在 Hilbert 空间中表示为时间与瞬时频率的函数  $J(\omega, t)$ , 称为局域波时频函数, 其数学表达式为:

$$J(\omega, t) = \sum_{i=1}^n b_i A_i(t) e^{j\omega_i(t)t} \quad (3)$$

局域波法把信号分解成满足条件的基本内蕴模式函数分量, 从信号分解基函数的理论角度来说, 内蕴模式函数作为局域波法信号分析的基函数是不固定的, 对于不同的信号具有不同的内蕴模式函数, 且是自适应的。它完全不同于由一系列恒定幅度与频率的正余弦波组成的傅里叶分析基函数。

局域波识别方法就是对采集的声发射信号经局域波计算后提取出频率和能量等特征, 通过对比分析进行识别。

### 3 识别系统关键技术

#### 3.1 数据导入

识别系统采用北京声华兴业科技有限公司生产的 sdaes 数字声发射检测仪。设定采样频率为 2.5 MHz, 采样点数为 2 048。声发射检测仪将采集到的信号以文本格式输出, 以 2 048 点数据为一组存入数据库, 作为识别算法所需数据的基础, 流程如图 2。

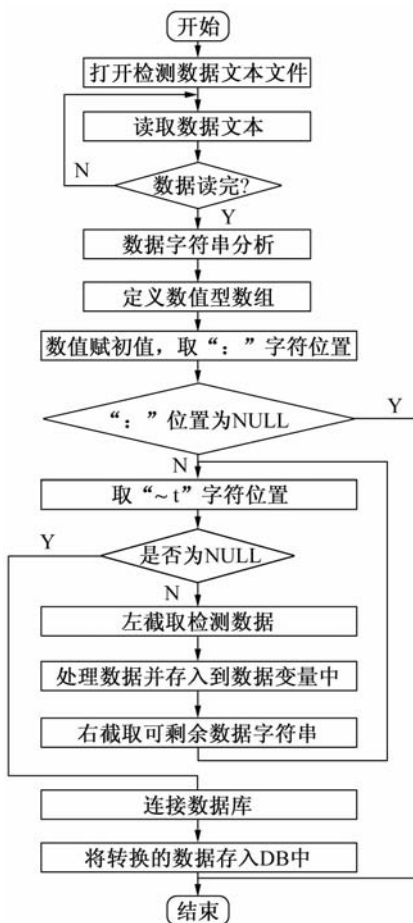


图2 数据转换与存储流程图

图3为导管架海洋平台声发射信号采集数据的表结构。声发射信号的监测数据按此结构在数据库中存储。

#### 3.2 系统开发与接口

Name	Code	Data Type	P	M
检测信号编号	PROJECTCODE	char(10)		
检测信号名称	PROJECTNAME	varchar(20)		
平台名称	OFFSHORENAME	varchar(20)		
检测时间	INJECTTIME	datetime		
测点编号	INJECTCODE	varchar(20)		
测点名称	INJECTNAME	varchar(20)		
检测信号编号	INJECTCODE	varchar(20)		
检测值	INJECTVALUE	float		

图3 采集数据的表结构

#### 3.2.1 系统运行环境及流程图

系统可以采用多种编程语言和软件进行编写。本系统基于 Windows XP 环境下 PowerBuilder 开发, 数据库采用 SQL Server, 其中的模型算法采用 Matlab 编写。具有开发时间短, 实用性强的优点。图4为系统的流程框图。



图4 识别系统流程图

#### 3.2.2 识别系统平台接口

由于系统采用不同的语言编写, 所以存在程序的接口问题<sup>[4,5]</sup>。

##### (1) Power Builder 与 Matlab 的互连

系统在进行模型计算时利用 Matlab 强大的科学计算能力进行识别算法程序的编制。然后将编制的识别算法作为类方法, 用 Matlab COM 生成器, 按照创建工程、管理 M 文件、生成组件、打包和分发组件创建 COM 组件。经过测试后, 进行编译, Matlab 自动组成生成的 Component, 以供其它系统调用。

把这个组件集成到系统 Power Builder 开发的导管架海洋平台结构声发射信号识别系统平台中。首先进行 COM 组件连接, 分为三步:

(a) 声明一个 OLEObject 类型的变量并使用 Create 语句来实例化该对象。

```
OLEObject OffshoreObj
```

```
Integer ll_zy
```

```
OffshoreObj=create OLEObject
```

(b) 使用对象的应用程序 ID 或 CLSID 来连接对象。

```
ll_zy = OffshoreObj. ConnectToNewObject("emdc.com.emd")
```



(c) 检查连接建立是否成功。

```
IF ll_zy<0 then
Destroy OffshoreObj
MessageBox("连接 COM 组件失败!", "错误:"
+string(ll_zy))
Return
else
MessageBox("连接 COM 组件成功!", "连接
COM 组件成功!")
End if
```

在与 COM 组件建立连接以后,就可以调用组件的方法。在调用拥有返回参数的方法中,必须使用 REF 关键字来修饰该返回参数。

在调用完组件的方法以后,关闭与组件建立的连接并删除实例。

```
OffshoreObj. DisconnectObject()
Destroy OffshoreObj
```

Power Builder 主控程序经选择模型后,调用 Matlab 编写的 COM 组件,进行模型算法的计算,然后将计算结果显示在 PB 的模型计算结果界面上,并且存入数据库中。

## (2) Power Builder 与数据库的连接

ODBC(Open Database Connectivity)的中文意思是“开放数据互联”。它由 Microsoft 公司首先倡导并已在数据库领域广为应用。ODBC 实际上是一个用以对数据库进行访问的函数库,通过此函数库,应用程序能够直接访问和操作数据库中的数据。ODBC 规范了一种数据库连接标准,它使得数据库连接过程不再过分地依赖管理系统。

因此,本系统采用 ODBC 与 SQL Server 管理下的数据库进行数据的传递。将采集的声发射信号存入数据库并显示在界面上,进行查询;将模型计算的结果存入数据库中并显示在界面上。

## 4 识别系统平台应用

目前对导管架海洋平台声发射识别处于研究阶段,设计制造的海洋平台结构模型正进行试验研究。将本模型用于试验研究中,对采集的大量声发射信号数据进行管理,并应用新近发展的识别算法进行识别。识别系统中的五个模块均显示于主界面上。通过双击进入相应模块。

项目的自然信息(如项目名称、规格、图样、产地、检测重点部位及名称、检测日期等)输入系统的

海洋平台信息管理模块并存入数据库中;用于模型计算的模型按模型类号、模型算法程序包名、模型输入输出变量名称、模型算法简单原理说明及用途等录入到计算模型管理模块;声发射采集设备采到的数据导入声发射检测的信号数据管理模块,显示在界面上并存入数据库中。

对声发射采集数据采用局域波分解模型进行计算。图 5 为局域波模型计算分析结果显示界面。图中所示是对导管架海洋平台模型实验采集的声发射信号进行局域波计算。通过双击相应图标,登录到项目名称为导管架海洋平台模型的 1 号模型,测点位置如图所示测点 1 处,按检测时间分为不同的测序。现登录到测序 1 处,在这一检测时间内可采集到数张信号数据,按时间顺序进行编号,如测序 1-1,测序 1-2 等,现登录到测序 1-1 处。采集的信号数据从数据库中取出并显示在图中<采集信号数据>的数据窗口中;然后按下<显示采集信号波形>按钮,通过编程,调用绘图 COM 组件,显示出该信号的波形;点击<进行局域波分解>按钮,调用局域波分解 COM 组件,进行局域波分解计算,相应的计算结果由局域波分解图显示出来;点击<计算局域波时频谱>按钮,调用相应局域波时频谱 COM 组件,可以进行计算并将结果显示在界面上;点击<计算局域波时频能量比>,调用计算用 COM 组件,可以进行计算并将结果显示在图中局域波时频能量比的数据窗口上。然后通过菜单操作选项将计算结果存入数据库中。模型计算完成后,用识别模块,根据经验数据和识别推理,进行声发射信号的定性识别。

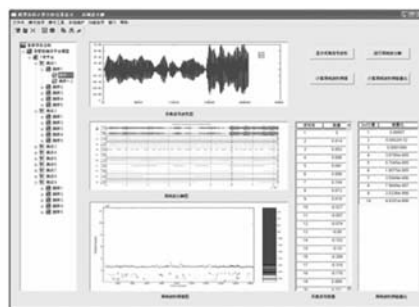


图 5 局域波模型计算分析结果显示界面

## 5 结论

提出了建立以开放式数据库为支持,基于局域波法的导管架海洋平台结构声发射信号识别系统。该系统使用不同语言混合编程技术,利用COM组

(下转第 47 页)

点,并用色笔作一标记。

(3) 用手将线坠上端摁在射线窗口假设中心点标记上,下端指向胶片暗盒上 T 型试件竖直有机玻璃块端面中心(图 2),进行第一次透照。

(4) 当底片冲洗后,如果竖直有机玻璃块的影像有斜影,说明假设点已偏离,再次透照时,窗口中的假设中心线的点应向影像斜影方向移动,直至竖直有机玻璃块的影像与其截面图像重合,生成如图 3 的影像。这时射线窗口中已设置的那个点,就是该射线的中心线必经点,在底片上只能见  $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  的影像(图中反白部分)。

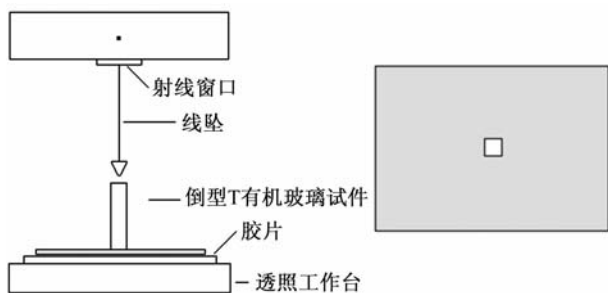


图 2 射线中心点寻找示意

图 3 有机玻璃块的底片影像

### 3 讨论

(1) 试验选用有机玻璃作试件,是因为它对 X 射线吸收较小,散射小,即使试件高度为  $100\text{ mm}$ ,透照时也不需要太高的电压,其影像黑度的细微变化好分辨,便于确定中心线的精确设置。

(2) 透照焦距选择  $1\ 250\text{ mm}$  以上,增加了影像的清晰度。

(3) 选取高度高( $100\text{ mm}$ )而截面积小( $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ )的竖直有机玻璃块,增加了 X 射线的准直难度,同时透照时需要的锥角小,不清晰度小,所得到的中心线位置更精确。

(4) 该方法确定的窗口中的中心线位置可完全实现  $\theta=0^\circ$ 。

(5) 试件制作时的平行度、垂直度要求较高,试验时窗口中心线的假设点操作很繁琐。一般的照相检测没有必要如此确定中心线。

### 4 结论

(1) X 射线照相检测中,需要  $\theta=0^\circ$  来进行精确定量透照检测时,就必须确定窗口的中心线位置,并使中心线垂直窗口平面和透照工作台面,且平行狭缝面。

(2) 利用确定的中心线,进行已知狭缝照相检测,准确度为  $\pm 0.02\text{ mm}$ ,深度可达  $20\text{ mm}$  以上。

(3) 用该方法测试现有射线机的中心线,发现几乎都有偏离,偏离窗口原中心最大约  $10\text{ mm}$ 。

(4) 为了很好地运用被确定的中心线,设计加工了一套简单透照中心对位移动装置,该装置从一光源的轴线(平行中心线)两端  $180^\circ$  方向分别发出两个亮点(约  $\phi 3\text{ mm}$ ),上端亮点对准射线窗口效果中心的点,下端亮点对准待测中心。装置使用方便、可靠。

### 参考文献:

- [1] JB/T 4730—2005 承压设备无损检测[S].
- [2] 余长江,王吉先,郑西振,等.射线探伤装置[M].北京:机械工业出版社,1994.

(上接第 45 页)

件技术,实现了系统中 Power Builder 与 Matlab 等软件之间的数据通信和模型集成,既发挥不同开发语言的优势,又使系统的结构更具集成性和智能性。实例表明,该识别系统不仅可以科学地管理大量的试验数据,而且可以运用局域波智能信号分析算法,实现声发射数据处理和结果表征。

今后,该系统将进一步扩充对其它相关智能算法的支持,如近似熵和神经网络等,增强声发射信号的处理与表征。

### 参考文献:

- [1] 黄梯云.智能决策支持系统[M].北京:电子工业出版社 2001.

- [2] 张宏伟,张永举,郭祎萍,等.城市供水系统决策支持系统的开发与设计[J].中国给水排水,2006,22(4):74.
- [3] Huang N E, Shen Z, Long S R. The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear non-stationary time series analysis[C]. Proc R Soc, London;1998.
- [4] 张新平. PB 集成 MATLAB 功能的方法[J]. 电脑学习,2006,2(4):27—29.
- [5] 王世香.精通 MATLAB 接口与编程[M].北京:电子工业出版社,2007.