

文章编号:1008 - 0058(2001)04 - 0395 - 03

# 核磁测井数据弛豫谱反演软件研究

翁爱华,李舟波,王雪秋

(吉林大学 勘查技术学院,吉林 长春 130026)

**摘要:**简单介绍了核磁测井数据弛豫谱反演方法原理,用混合编程方法和动态连接库技术,将用 FORTRAN 语言编写的核心处理模块转换为动态连接库,并在 C++ 语言中动态调用。应用快速应用程序开发工具完成了图形用户界面的核磁测井数据处理软件设计。

**关键词:**核磁测井;弛豫时间谱;混合编程;软件设计

**中图分类号:**P631.8 **文献标识码:**A

目前国内使用的核磁测井数据处理软件都是随国外仪器绑定销售的,且只作数据反演处理和通用的较为简单的储层评价,很难在其中嵌入地区适应新的储层解释评价方法。因此,开发独立于仪器的核磁测井数据反演与处理分析软件很有必要。

目前软件开发的语言有多种。但工程计算上, FORTRAN 语言具有不可替代的优势,而在进行图形用户界面程序开发时,采用 C 语言,尤其是最新发展起来的 C++ 语言非常方便。结合两者的优点是工程处理软件最有效的设计与开发途径之一<sup>[1]</sup>。

FORTRAN 程序有多种被 C 语言调用的方式,如 OBJ 文件嵌入,动态连接库(DLL)动态连接等。由于 DLL 具有如下优点: DLL 独立于主调用程序,可随时更新维护,占用系统资源小,程序模块可在进程间共享,语言独立,以及可随时装载与卸载连接库,故在程序设计中得到广泛应用。本文的 FORTRAN 语言核心处理模块将被编译成 DLL 形式,并由 C++ 图形用户程序动态调用。整个软件设计工作关键有三点:一是核心数据处理模块,即  $T_2$ -谱反演计算程序的实现;二是动态连接库的生成与调用;三是用快速应用程序开发工具制作图形用户界面,重点是核磁测井自由感应衰减信号(FID)与弛豫时间谱的图形显示技术。

## 1 核心模块设计

对于较为复杂的岩石孔隙系统,观测到的核磁

测井弛豫信号  $M(t)$  与弛豫时间  $T_2$ -谱  $P(T_2)$  满足如下的积分关系:

$$M(t) = \int_{T_{2\min}}^{T_{2\max}} P(T_2) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} dT_2 \quad (1)$$

$T_{2\min}, T_{2\max}$  为弛豫信号能反映的最短与最长弛豫时间。

为了由  $M(t)$  求出连续的  $P(T_2)$ ,离散化(1)式并用最小二乘方法计算,即

$$\min: y - Ax^2 + \lambda Wx^2, \quad s. t., x_i \geq 0 \quad (2)$$

$A$  为  $M \times N$  矩阵,且  $A_{ij} = \exp(-t_i/T_{2j})$ 。 $x_i = P(T_{2i})$ ,是  $T_2$ -谱的离散形式,长度为  $N$ 。 $y$  为长  $M$  的数据向量, $y_i = M(t_i)$ , $\lambda$  称为正则化因子, $W$  是体积为  $K \times N$  的模型约束条件矩阵,取决于模型限制方式<sup>[2]</sup>。

优化问题(2)的数值实现有多种方法<sup>[2~4]</sup>。这里采用 Prammer 介绍的负解迭代消去的方法<sup>[5]</sup>。图 1 给出具体实现流程。

## 2 DLL 生成与调用

### 2.1 DLL 生成

用 Visual Fortran 编译器生成 DLL 的关键有两点,一是选择创建新的项目为动态连接库,二是将用户的 FORTRAN 模块添加到该 DLL 项目中,编译后得到 DLL 输出。值得指出的是,在用户模块

收稿日期:2001 - 08 - 02

基金项目:国家自然科学基金项目(49874028)资助

作者简介:翁爱华(1969 - ),男,安徽省天长市人,博士,主要从事电(磁)法勘探与核磁测井教学与科研工作。

中,必须对待输出的例程进行性质说明,具体如下:

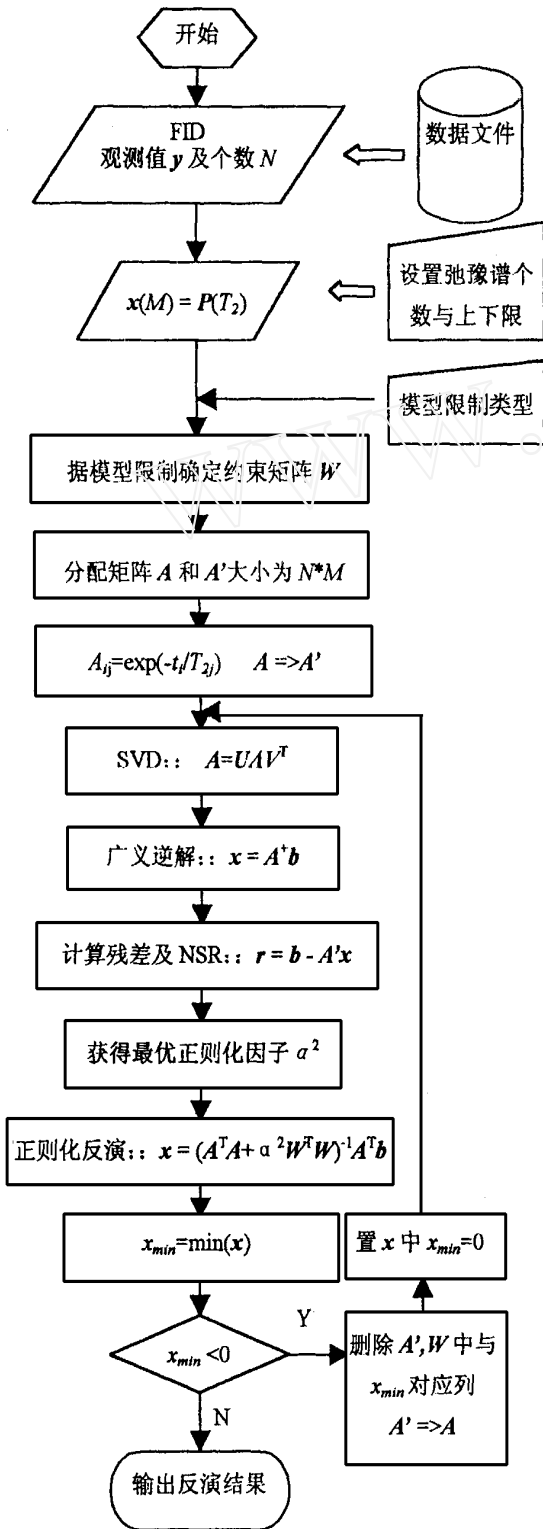


图 1 常规核磁测井数据反演流程图

Fig. 1 Flow chart for NMR logging data inversion

```

SUBROUTINE LS-T2Process ( NTIME,
TIME, FID, NT2, T2, P-T2, ERROR)
    ! MS $ IF .NOT. DEFINED (LINKDI-
RECT)
    ! MS $ ATTRIBUTES DLLEXPORT ::
LS-T2Process
    ! MS $ END IF
    ! 子例程定义 ...
    .....! 程序体
END SUBROUTINE LS-T2Process
    
```

2.2 DLL 调用

为了在 C++ 编程环境下调用 DLL 中的函数,首先在相应窗体实现文件 CPP 的开头增加相应的函数声明,如

```

void __stdcall NMR-T2Process (int *,float
*,float *,int *,float *,float *,int *);
    
```

注意,上述函数声明为标准调用的空函数,要求对应的 FORTRAN 例程的形参变量必须为标准的浮点型与整型。由于 C 语言与 FORTRAN 语言在参数传递上的差异,必须在函数声明时将对应变量声明为指针型,且在此声明中不能明确给出变量名。

接着,在对应的控制响应函数中直接调用该 DLL 中的处理模块。具体方法是:

定义实例句柄并将 DLL 的入口指针传给该变量:

```

HINSTANCE hInst ;
hInst = LoadLibrary (" NMR-Process.
DLL ");
    
```

if ( hInst == NULL) return; // Sphere. DLL 装载失败

获得 DLL 中待调入函数地址并赋给前面声明的函数指针:

```

(FARPROC &) NMR-T2Process = GetPro-
cAddress(hInst, "LS-T2Process");
if ( NMR-T2Process == NULL)
{
FreeLibrary (hInst);
return; // LS-T2Process 函数不能被成功调入
}
    
```

利用函数指针根据核磁测井数据反演 T2 - 谱;

释放动态连接库句柄,卸载 DLL:

```

FreeLibrary (hInst);
    
```

### 3 图形用户界面设计

C++ Builder 是面向对象的一种快速组件化图形用户界面开发软件,充分利用该软件提供的组件库能很容易完成图形用户界面设计。整个软件的设计围绕数据输入,处理,显示和输出进行,而图形显示是图形用户界面设计的关键。通过调用众多的 Windows API 函数完成这种工作非常繁杂<sup>[6]</sup>,采用 C++ Builder 提供的 VCL 组件库中的 TChart 组件,很容易完成这一工作。具体的方法是操纵该组件的属性 - TChartSeries 对象,利用该方法 Add 和 Clear 将用户数据添加到或删除出该对象,再用 Refresh 方法可随时更新与显示数据对应的图

形。而且,利用 TChart 组件的其它属性可随意改变图形(曲线)显示模式。设计的核磁测井数据  $T_2$  - 谱反演计算软件界面如图 2。

### 4 结束语

常规核磁测井储层评价的基础是弛豫时间谱(谱)。因此,获取正确的弛豫时间谱是核磁测井的一项关键技术。通过对已有数据反演结果的分析并比较国外实验室核磁测井数据处理软件的结果,发现本文设计的核磁测井数据反演处理软件处理结果毫不逊色,甚至在某些情况下处理效果更好。基于本软件的核心 DLL,可进一步开发出全面的核磁测井与实验室数据分析软件系统。

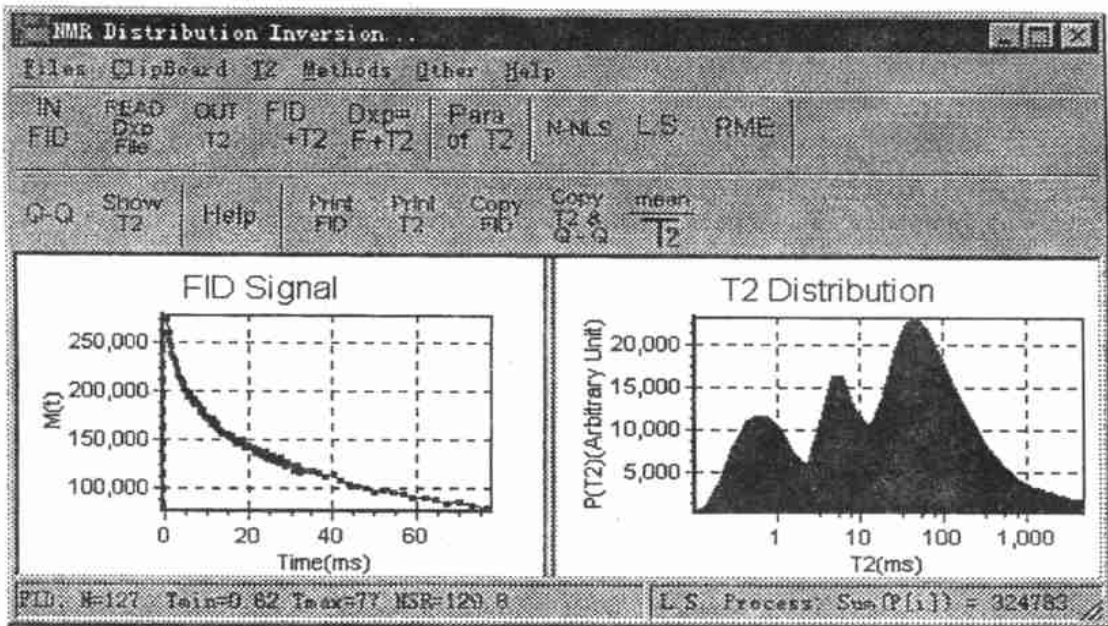


图 2  $T_2$  - 谱分解程序图形用户界面

Fig.2 GUI of  $T_2$  - distribution estimation software

#### 参考文献:

- [1] 张西坡. 在 C++ Builder 中调用 FORTRAN 生成的 DLL[J]. 电脑编程技巧与维护, 2000, (1): 20 - 21.
- [2] GALLEGOS D P, SMITH D M. A NMR technique for the analysis of pore structure: determination of continuous pore size distributions[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1988, 122(1): 143 - 153.
- [3] MUNN K, SMITH D M. A NMR technique for the analysis of pore structure: Numerical inversion of relaxation measurements[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1987, 119(1): 117 - 126.
- [4] WHITALL K P, MACKEY A L. Quantitative interpretation of NMR relaxation data[J]. Journal of Magnetic Resonance, 1989, 84: 134 - 152.
- [5] PRAMMER M G. NMR pore size distributions and permeability at the well site[J]. SPE, 1994. 28368.
- [6] 翁爱华, 刘国兴. 电测深交互反演软件设计[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2): 62 - 63.

(下转 403 页)

菜单中“单一公式(E) ...”命令时弹出的对话框。

#### 4 结束语

通过系统的开发过程及展示系统的实例应用,可以看到本系统具有如下特征:(1)具有多方面较强的灵活性、易用性,而用户也能够快速熟悉系统,轻松使用;(2)能够在单机条件下进行各种全面的测井解释,从而方便于各种测井工作;(3)适于小型测井解释工作,数据量太大可分割后再进行解释。

系统专用于测井解释工作,且保证数据处理的正确无误。但整个解释工作的正确与否,最终取决于用户本人,系统只是被使用的工具而已。对于许

多新兴测井任务的多样要求,在系统开发中没有考虑,笔者今后将继续弥补。

#### 参考文献:

- [1] 李舟波. 钻井地球物理勘探[M]. 北京:地质出版社, 1986.
- [2] 雍世和,张超谟. 测井数据处理与综合解释[M]. 山东东营:石油大学出版社,1996.
- [3] 车卓吾. 测井资料分析手册[M]. 北京:石油工业出版社,1995.
- [4] KATE GREGORY. Visual C++ 5 开发使用手册[M]. 康博创作室译. 北京:机械工业出版社,1998.
- [5] 陈建春. Microsoft Visual C++ 图形系统开发技术基础[M]. 北京:电子工业出版社,1998.

## THE DEVELOPMENT OF PC SYSTEM FOR LOGGING INTERPRETATION

MEN Shao-hua, WANG Zhu-wen, MEI Zhong-wu

(College of Exploration Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** A kind of Computer System for Logging Interpretation is developed in Visual C++. This system runs on a PC with visual interfaces and flexible functions. For users, to grasp its usage only need a little time, and to use it is very convenient, too. Applying to small logging data, it can be serving in varieties of interpretational works. If the data is too large, you can partition it into some pieces, then process partly. In the professional field, this system will become a new powerful tool.

**Key words:** system of logging interpretation; logging interpretation; system development; well-logging; database

(上接 397 页)

## STUDY ON SOFTWARE DESIGN OF NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE LOGGING DATA INVERSION

WENG Ai-hua, LI Zhou-bo, WANG Xue-qiu

(College of Exploration Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** The basic theory of spin-spin relaxation time distribution inversion of nuclear magnetic resonance logging data is described briefly. Via mixed language programming and dynamic linking library(DLL) techniques, a GUI software for nuclear magnetic resonance data inversion has been developed successfully. Here, the kernel module of the software is written in FORTRAN language, and called in the form of DLL from C programming environment.

**Key words:** NMR logging; spin-spin relaxation spectrum; mixed programming; software design