文章编号:1006－544X(2004)04－0417－05

高密度电法二维反演软件设计与实现

吕玉增[1,2]　阮百尧[2]

(1. 中南大学 信息物理工程学院，湖南 长沙 410083；2. 桂林工学院 资源与环境工程系，广西 桂林 541004)

摘　要：分析高密度电法二维反演过程，给出了二维反演软件的设计思路和软件界面框架. 针对高密度电法中二极、偶极－偶极、三极和对称四极装置的各自工作特点和实测数据格式，分析并简化了实测数据的输入流程. 另外，FlexGrid 表格控件的使用，解决了高密度电法大数据量输入和数据显示问题. 二维反演计算采用了 VC＋＋/C 和 Fortran 混合编程技术，既减少了软件开发的工作量，又便于软件的维护和升级.

关键词：高密度电法；二维反演；FlexGrid；VC＋＋，Fortran；混合编程

中图分类号：P631. 322　　　　**文献标识码：**A①

高密度电法是一种阵列勘探方法，与常规电法相比，具有成本低、效率高、信息丰富等优点，近年来在水文地质、工程地质勘察等领域广泛应用，并取得了较好的效果[1－8]. 国内外高密度电法数据二维反演方法研究基本成熟，主要是基于圆滑约束最小二乘法的计算机自动反演[9－10]，反演计算的速度和反演效果都达到了实用水平.

目前，有不少公司和单位研制高密度电法仪器，国外主要有日本的 OYO 公司、瑞典的 ABEM 公司、法国的 IRI 公司和美国的 AGI 公司；国内有中国地质大学（武汉）、吉林大学、重庆奔腾数控技术研究所等[2]. 然而，国内外高密度电法数据解释商用软件却很少. 国内的电法数据实际解释仍然还是以拟断面等值线图、一维反演、二维近似反演为主. 因此，研究高密度电阻率/激化率数据的反演解释软件有着重要的现实意义.

1　高密度电法二维反演软件模块设计

高密度电法二维反演软件主要包括三大处理模块（图 1）：数据准备模块、二维反演计算模块和结果显示模块.

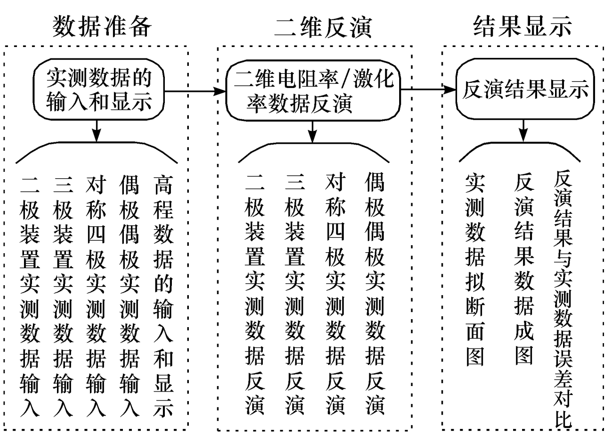

图 1　二维反演软件处理模块

Fig. 1　Disposal module of 2D inverse software

数据准备、二维反演和结果显示 3 个处理过程成顺序关系：数据准备过程提交二维反演的实测数据，二维反演计算最终得出反演结果数据，结果显示用于显示反演结果和反演结果误差. 因此，数据准备、二维反演和结果显示 3 个过程又相对独立.

在 VC＋＋6. 0 开发环境下，二维反演软件的

① 收稿日期：2004－05－14

基金项目：国家自然科学基金资助项目（40064001）；广西科学研究与技术开发项目（桂科攻 0428006－17）

作者简介：吕玉增（1978－），男，博士研究生，地球探测与信息技术专业.

设计可采用单文档（或多文档）形式，数据输入、反演计算和结果显示可分别作为3个主菜单，各装置的数据输入、网格剖分、地形显示等处理作为相应主菜单的下拉菜单选项. 二维反演界面的主窗口用于显示地形和区域的网格剖分、反演结果以及反演结果和实测数据的对比误差曲线.

2　高密度电法实测数据输入和显示

2.1　二极、三极和偶极－偶极装置的数据输入

在二极、三极和偶极－偶极装置高密度电法中，电极的移动很具规律性，野外工作方法和数据点的记录方式也很相近，因此，数据输入模块设计可以大体采用相同的模式. 简化后的数据输入选项和输入流程见图2.

2.2　对称四极装置的数据输入

对称四极的工作方式不同于其它的装置，极距变化很大，*AB*/2小到1.5 m，大到上百乃至上千米；随着*AB*/2的变化，*MN*/2也有变化. 为了方便用户数据输入，对称四极数据的输入格式沿用了习惯的方式，即输入格式为：*AB*/2，*MN*/2和电阻率/激化率，简化后的输入内容和输入流程见图3.

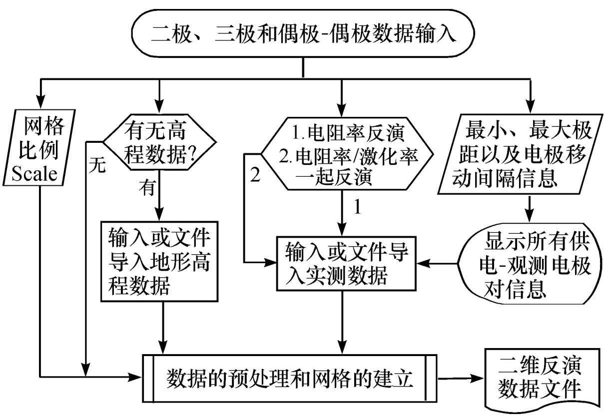

图2　二极、三极和偶极－偶极数据输入流程

Fig. 2　Flow chart of the data input for two array, dipole－dipole attay and tri－electrode arrangement

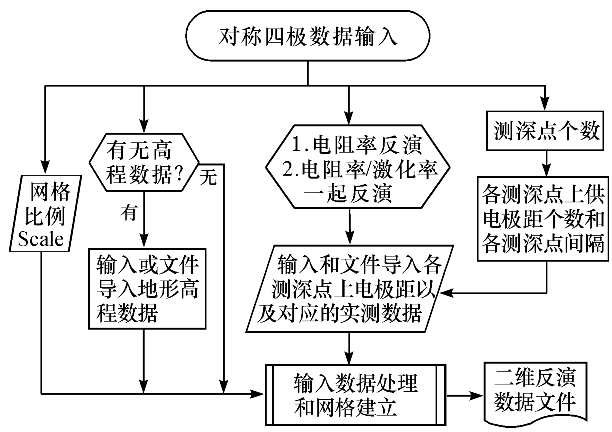

图3　对称四极数据输入流程

Fig. 3　Flow chart of the data input for Schlumberger electrode array

2.3　数据的输入方式和显示

实测数据的输入可采用对话框的形式，根据观测装置的不同分别制作不同的数据输入对话框，以方便用户的输入. 在VC＋＋6.0开发环境下，制作实测数据输入对话框并不难，但如何方便的输入和显示实测数据，并能适应实测数据数量的变化是开发人员必须考虑的问题. FlexGrid控件是Microsoft已注册的ActiveX控件，它提供了一个接收和显示数据的表格并支持编程操作，可用于电法实测数据输入. 在电法二维反演数据的输入中，要求输入数据的是实数，只要求对键盘上的数字键、“.”和“－”响应，因此需要对加入的FlexGrid控件进行编程. 可通过重载它的KeyPress()等消息函数，来响应键盘和鼠标输入.

编　号	A极位置	M极位置	视电阻率	视激化率
19	4	8	1071.	2.7
20	4	9	1160.	2.6
21	5	6	1322.	2.5
22	5	7	2443.	3.3
23	5	8	5204.	3.4
24	5	9	6354.	3.4
25	5	10	5414.	3.3
26	6	7	2761	3.7
27	6	8	736.	2.8

图4　FlexGrid表格控件

Fig. 4　FlexGrid control

响应数字、“.”和“－”的KeyPress()消息函数代码编写如下：

```
void CDiaSanji::OnKeyPressMsflexgrid1(short FAR * KeyAscii)
    {
      CString str,m_str;                    //定义字符串变量
```

```
    char str1;                                  //定义字符变量
    m_str = m_datagrid1.GetText();              //获得所选表格中的字符串
    str = char( * KeyAscii);
    str1 = char( * KeyAscii);                   //获得按键的字符
 if((str1 < '0' || str1 > '9')&&(str1 ! = '.')&&( * KeyAscii ! = 8)&&(str1 ! = ' - '))
                                //若按键不是数字、小数点、回退键和负号
      AfxMessageBox("请输入数字!");      //弹出信息框,提示“请输入数字!”
 else if( * KeyAscii = = 8)                     //如果是回退键
    {
        if(m_datagrid1.GetText() = = "")        //若表格为空
          ;                                     //不执行任何操作
        else                                    //若表格不为空
        {
       m_str = m_str.Left(m_str.GetLength() - 1);//回退键相应,按一次删去一个字符
       m_datagrid1.SetText(m_str);
          }
    }
 else                                           //若是数字和小数点
    {
      m_str = m_str + str;                      //可以输入并在表格中显示出来
      m_datagrid1.SetText(m_str);
    }
 }
```

3　二维反演计算

电法正反演程序大多是用 Fortran 语言编写的，若把二维反演 Fortran 代码翻译成 C + +/C 语言，工作量很大，也不利于软件的维护和升级. 运用 C + +/C 和 Fortran 混合编程技术将是一个好的解决办法，可以把二维反演计算 Fortran 程序制作成动态库文件，在 VC 中直接调用反演动态库文件来实现反演计算，这样一来，只需在 VC 中编写调用接口，大大地减少了软件开发的工作量.

3.1　Fortran DLL（Dynamic Link Library）文件的书写格式

FPS 4.0（Microsoft Fortran PowerStation）上 Fortran DLL 文件书写格式如下[11]：

（1）在 Fortran DLL 文件中，没有主程序（Program），全部是子函数（Function）和子程序（Subroutine）.

（2）文件头要加上导出的程序名的声明，声明如下：

```
! MS $  Attributes DLLExport:: Name
! MS $  Attributes Alias:" 别名":: Name     //Name 指供外部调用的该函数名
```

上面 2 个语句声明了函数 Name 的两个属性：DLLEXport 属性表明 Name 对外导出，可供外部程序调用；Alias 属性表示 Name 被调用时使用的名称，制定它以防止 Name 中出现 VC + +等外部程序不可识别的字符，还可实现同一个程序，不同名称调用的一致性.

若二维反演子程序名为 fy，别名用 FY，则表示如下：

```
Subroutine fy(参数 1,参数 2……)
! MS $  Attributes DLLExport:: fy
! MS $  Attributes Alias:"FY":: fy
……
End
```

另外，在康柏（Compaq）公司出版的 Visual Fortran 6.5 及以上开发环境下，则应把! Ms $ 改为! Dec $，其他相同.

3.2 VC 调用二维反演动态库

3.2.1 C&Fortran 调用约定[12]　在 C 和 VC＋＋模块中，可以通过在函数原型或定义上使用_ stdcall 关键词制定 STDCALL 调用约定，声明如下：

```
extern "C"   void _stdcall FY(int * ,float * );
```

extern "C"用来调整 Visual C＋＋对 Fortran 函数的调用,而不考虑类型说明.

3.2.2 VC 对二维反演程序的调用　当在 FPS 上编译生成二维反演计算动态库文件后（fy. dll 和 fy. lib），在 VC 中就可以调用 fy. dll 中的导出函数来进行反演计算，VC 中的实现代码如下：

```
void CMy2DJMDoc::OnInCompute()      //调用二维反演动态库的 VC 函数
{
……
    HINSTANCE hInst = LoadLibrary("fy. dll"); //获取反演 fy. dll 模块句柄
      if(hInst = = NULL)
    {
        AfxMessageBox("二维反演动态链接库加载失败 !",MB_YESNO);
        return;
    }
    int(_stdcall * pp)(int,float);
    pp = (int(_stdcall * )())::GetProcAddress(hInst,"_WFY@6");
                                    //转化为 DLL 内部地址
   ( * pp)(nn,qq);                  //调用外部函数进行二维反演计算
    if(hInst!  = NULL)
     FreeLibrary(hInst);
……
}
```

4 二维反演软件主界面和数据输入

运行二维反演软件进入二维反演主界面（图 5），主界面上有文件、数据输入、二维反演、数据成图和帮助 5 个菜单，主要用来实现数据准备、二维反演计算和结果显示三大模块处理. 工具栏给出了 4 种装置的数据输入、地形网格剖分、反演计算等快捷方式，方便用户使用.

下面以二极排列的数据反演为例，介绍如何进行实测数据输入和反演计算：

（1）选择数据输入→二极实测数据或点击工具栏上的 AM 快捷按钮，进入二极实测数据输入对话框（图 6）；

（2）输入网格大小和工作参数，系统会在实测数据控件表格中自动列出所有满足条件的电极对，

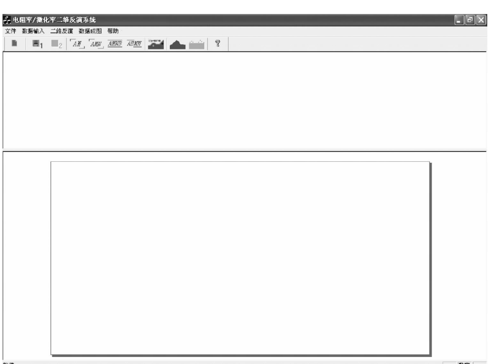

图 5　二维反演软件主界面

Fig. 5　Main interface of 2D inverse software

图 6　二极装置数据输入对话框

Fig. 6　Dialogue of data input for two array

用户可以方便的在表格中输入实测电阻率/激化率数据；

（3）若地形起伏，用户可以选择地形高程数据输入按钮输入地形高程数据；

（4）选择合适的反演深度；

（5）输入完成后，选择二维反演→二维反演计算，系统调用二维反演的动态库文件进行反演计算.

5　结束语

（1）简化后的用户界面和各个装置的实测数据输入贴近用户，提高了反演计算工作的效率.

（2）FlexGrid 控件的使用解决了高密度电法数据输入量大、输入和显示困难等问题.

（3）二维反演计算采用了 VC + +/C 和 Fortran 混合编程技术，既减少了软件开发的工作量，又利于软件的维护和升级，为电法软件等其他软件的设计和完善提供了参考.

参考文献

[1] 阮百尧，单娜琳. 电阻率影像法及在水文和工程地质中的应用［J］. 工程勘察，2000，（1）：25 – 27.

[2] 董浩斌，王传雷. 高密度电法的发展和应用［J］. 地学前沿，2003，10（1）：171 – 176.

[3] 侯烈忠，秋兴国. 高密度电法在地基勘察中的效果［J］. 煤田地质与勘探，1997，（4）：58 – 60.

[4] 陈正山，张如旭. 高密度电法在堤坝探测上的应用［J］. 河海水利，2003，（1）：50 – 51.

[5] 刘晓东，张虎生. 高密度电法在工程物探中的应用［J］. 工程勘察，2001，（4）：64 – 66.

[6] 刘金涛，胡晓明. 高密度电法勘探在岩溶查找中的应用［J］. 地质科技情报，2003，22（2）：100 – 102.

[7] 王士鹏. 高密度电法在水文地质和工程地质中的应用［J］. 水文地质工程地质，2000，（1）：52 – 56.

[8] 单娜琳，阮百尧，程志平. 二维有限元反演法在金矿电法勘探中的应用［J］. 桂林工学院学报，2000，（S）：14 – 21.

[9] SASAKI Y. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation［J］. Geophysics Prospecting，1992，（40）：453 – 464.

[10] 阮百尧. 激发激化数据的最小二乘二维反演方法［J］. 地球科学——中国地质大学学报，1999，（6）：619 – 624.

[11] 肖晓玲，卢正鼎. VC 和 Fortran 混合编程及其在大地电磁测深中的应用[J]. 物探化探计算技术，2000，22(1)：82 – 85.

[12] David J Kruglinski，Scot Wingo. Visual C + +6. 0 技术内幕(第 5 版)[M]. 希望图书创作室译. 北京：北京希望电子出版社，2002.

Design and Implementation of 2D Inverse Software in High Density Resistivity Method

LU Yu-zeng[1,2]，RUAN Bai-yao[2]

（1. *School of Info-Physics and Geomatics Engineering*，*Central South University*，*Changsha* 410083，*China*；
2. *Department of Resources and Environmental Engineering*，*Guilin Institute of Technology*，*Guilin* 541004，*China*）

Abstract：The design and a surface framework of 2D inverse software by analyzing 2D inverse procedure in high density resistivity method are introduced. For the working style and data format of different arrays such as two array，dipole-dipole array tri-electrode arrangement and Schlumberger electrode array，respectively，the inputting of measured data are simplified. Furthermore，the using of FlexGrid control solves some problems of inputing a great deal of data and displaying them. Mixed-language programming of VC and FORTRAN is applied in 2D inverse computation，which not only reduces many works，but also improves the upholding and updating of the software.

Key words：high density resistivity（HDR）；2D inverse；FlexGrid；VC + +；Fortran；mixed-language programming