

Tremissis 三维电磁勘探软件包

大地电磁测深（部分）

Ver 1.0
（非商业用途）

使用指南

吉林大学 电法勘探研究组

2013 年 4 月

<http://www.dianfa.com>

声明：

- 1 这里提供的软件包为非商业版本，并保证不用于商业目的，请遵守此承诺；
- 2 我们不对软件的使用造成的任何经济损失负任何责任；
- 3 提供的辅助程序只是服务程序，还不完善；
- 4 请尊重我们的科研成果，由本软件包产生的科研成果请引用我们的论文。

1 软件包简介

三维大地电磁测深正演与反演程序 Ver1.0, 正演平台由 OREGON STATE UNIVERSITY 的 Gary Egbert 教授提供, 三维拟牛顿反演方法由翁爱华教授领导的吉林大学电法勘探研究组完成.

软件包包含三维正演与反演核心程序和辅助的工具程序组成. 核心程序为命令执行方式, 支持 32 位和 64 位 Windows 操作系统.

本软件包为自由软件, 主要用于理论研究和小规模模型的反演.

Windows 版的软件包目前支持最大约 40000 个网格模型的计算和反演.

本软件包不支持起伏地表三维模型模拟.

本软件包不支持起伏地表三维模型反演.

1.0 版本支持串行计算. 对于多频率, 可以分频反演.

为尊重作者的科研成果, 凡是采用本软件包获得的成果, 请在文献中引用翁爱华和 GARY EGBERT 的科研成果:

翁爱华, 刘云鹤, 贾定宇, 廖祥东, 殷长春. 地面可控源频率测深三维非线性共轭梯度反演. 地球物理学报, 2012, 55(10):3506-3515.

Weng AH, Liu YH, Jia DY, et al. Three-dimensional controlled source electromagnetic inversion using non-linear conjugate gradients. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(10):3506-3515

Egbert G D & kelbert A. Computational recipes for electromagnetic inverse problems. Geophysical Journal International, 2012, 189(1):1-17

Kelbert A & Egbert G D. Non-linear conjugate gradient inversion for global EM induction: resolution studies. Geophysical Journal International, 173(2):365-381

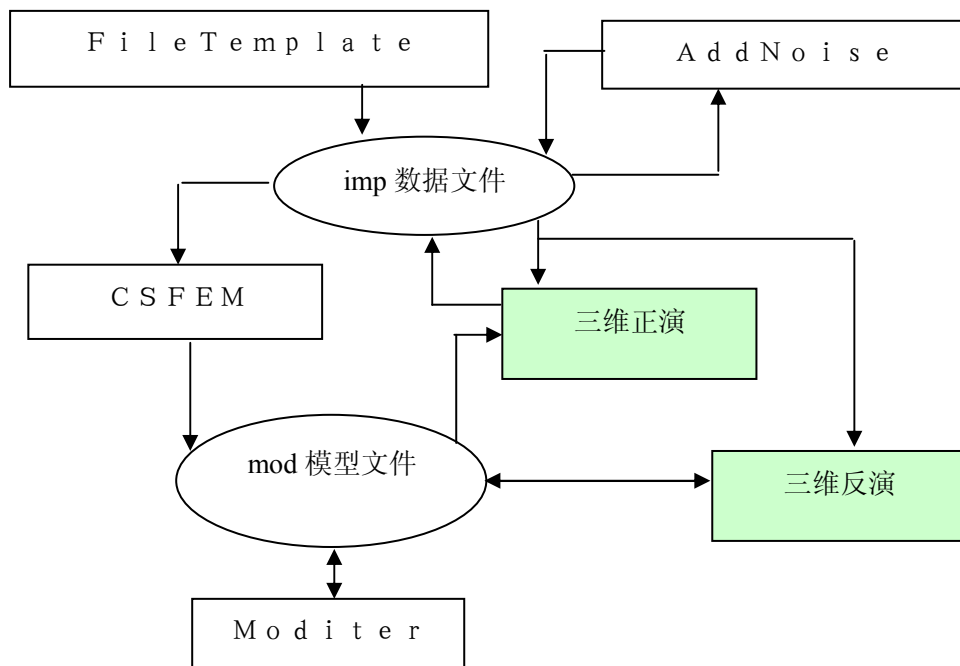
2 大地电磁测深模块 Ver 1.0 组成

核心程序: Mod3DMT

完成三维大地电磁测深正演和反演功能。正演采用交错网格有限差分方法, 反演采用拟牛顿反演方法 (BFGS)。

辅助程序:

- (1) FiltTemplate: 理论数据模版。
- (2) CSFEM: 三维模型文件模版程序。
- (3) Moditer: 三维模型编辑和显示程序。
- (4) AddNoise: 数据噪音产生器。



3 文件说明

Tremissis 三维电磁勘探软件包的数据文件主要包括数据文件和模型文件。这两个文件都是文本格式。

数据文件一般以 IMP 形式作为后缀，存放各个测点上的观测阻抗数据。

模型文件以 mod 为后缀，或者 rho 为后缀。

正演或者反演的结果都是同类型的数据文件或者模型文件。

4 正演

4.1 数据发生器

采用 FileTemplate，构造正演需要的观测参数，并保存到 IMP 格式的数据文件中作为数据模板文件。

过程：

- (1) 点击“数据模板”，出现对话框（如图 1），可选择 MT(大地电磁测深)或者 CSFEM(可控源大地电磁测深)，在对话框中选择输出的数据类型，如全阻抗、倾子、电磁场等；

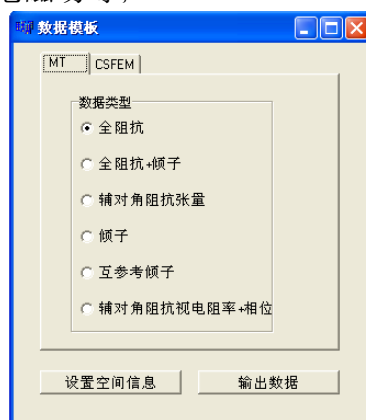


图 1 FileTemplate 主界面

- (2) 点击“设置空间信息”，出现对话框（如图 2），对测点、测线、抽取的频率及道数和源的信息进行设置，完成后点击“输出数据”，生成 IMP

文件，命名为 cm。

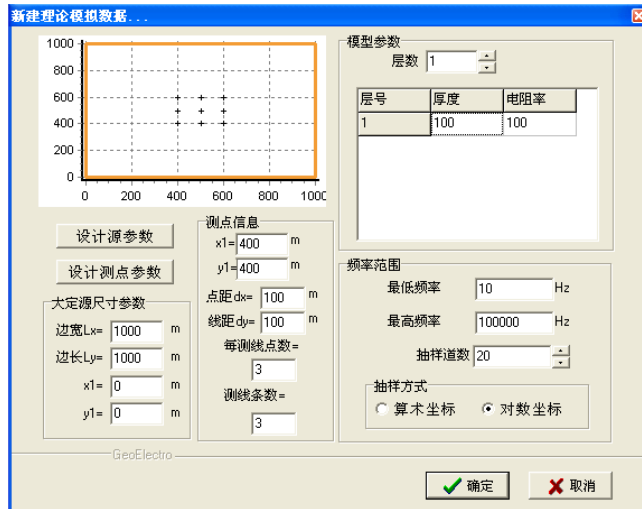


图 2 设置空间信息

4.2 模型模板

- (1) 点击“CSFEM”，根据上面的“cm.imp”文件设置模型网格大小及坐标范围。在程序界面上，单击鼠标右键，选择“输出三维电阻率”（如图 3），选择“cm.imp”，进入初始模型的编辑（图 4）。



图 3 CSFEM 主窗口



图 4 三维初始模型编辑

- (2) 点击“几何参数”，根据需要进行网格剖分（如图 4），可选择不同的网格个数，平均宽度，边界网格个数（通常为 5），扩边系数，z 坐标可以按照一定的厚度增大比例进行剖分，也可以点击“背景电阻率”进行编辑，根据需要对地层厚度进行改编（如图 5）。也可以编辑，也可以用鼠标水平拖动右侧的电阻率曲线。



图 5

- (3) 点击“显示模型与测区”（如图 6），检查网格编辑的合理性，查看测点与网格的位置关系。如果不合适，在“数据坐标系信息”中调整模型参考点坐标。最佳情形是数据测点分布在模型网格的中间区域。

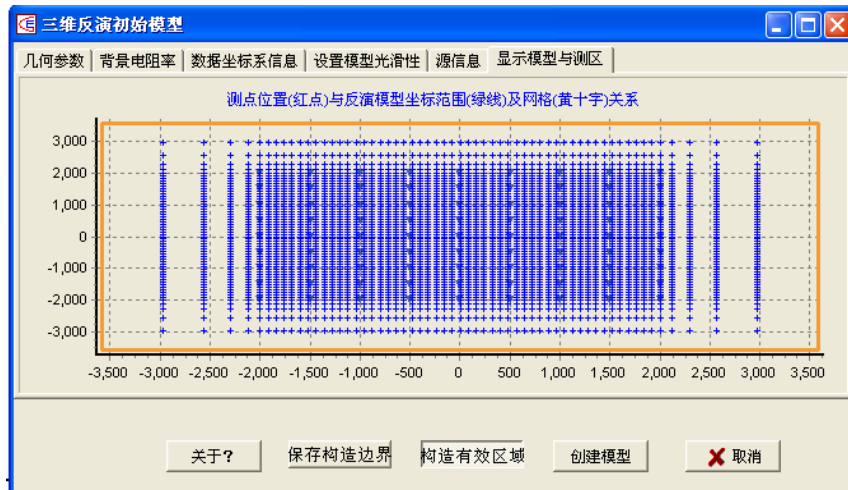


图 6

- (4) 检查合理后，点击对话框中右下角的“创建模型”，生成模型文件，假设为“cm.m”（如图 7）。

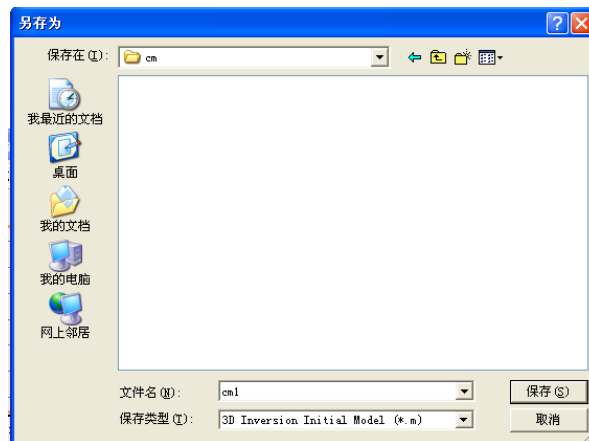


图 7

4.3 模型编辑

上面生成的模型只是含有背景电阻率的模型模板文件。没有电阻率异常。为了模拟异常响应，需要在模型文件中增加电阻率异常。通过 MODITER 程序实现。

- (1) 点击“模型编辑”（如图 8）或者执行 Moditer（图 9），选择编辑模型文件为“cm.m”。

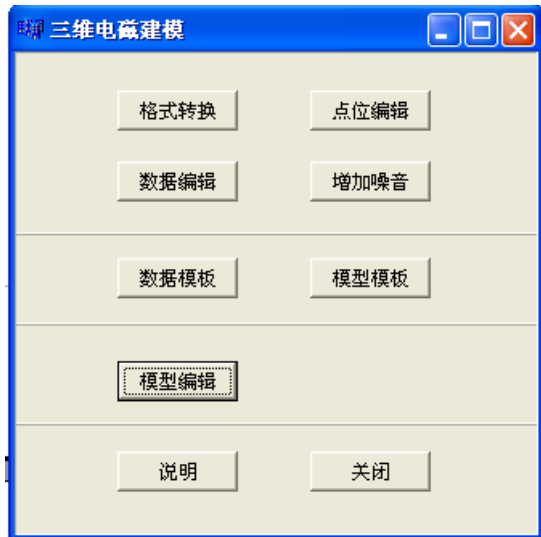


图 8

- (2) 在 Moditer 中点击“文件”，打开“cm.m”文件。



图 9

- (3) 点击“Edit Model”，出现编辑模型的对话框（图 10）
- (4) 点击左上角的“区编辑”，选择异常所在地层编号（图 11）
- (5) 选择“电阻率 (Res)”，点击左下角的“选区”，设置新异常电阻率值及色标，这里加入了一个 $0.5 \Omega_m$ 的电阻率值，定义为蓝色（图 12），点击“编辑”和“删除”（图 13）
- (6) 在右侧网格中编辑模型，异常由角点控制，通过鼠标顺序点击异常角点所在的块（四面体顶部），最后应该点击确定的第一个角点，构成圈闭区域。如果为规则异常体，可直接点击异常的端点，编辑后如图 14。
- (7) 复制区域：利用“区编辑”，展开层-value，选择完成的异常区域，如 region1，右键点击“region1”，可以对异常进行层间的运算（如图 15）。

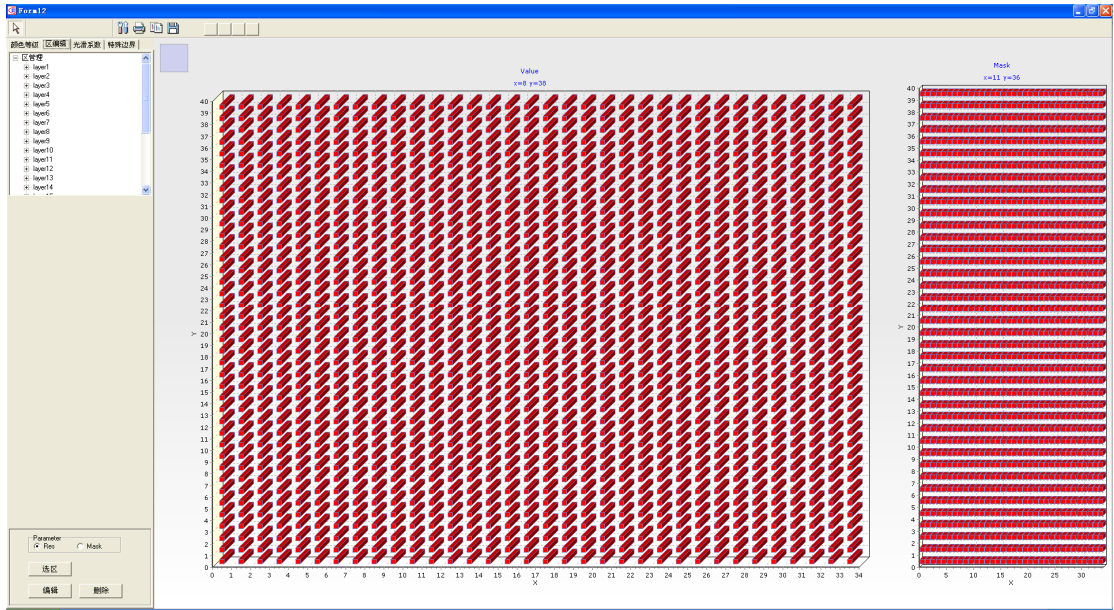


图 10

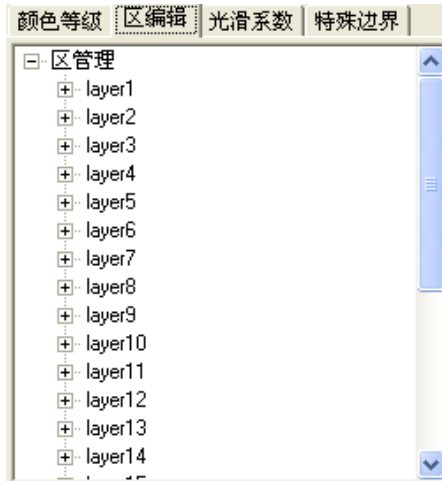


图 11



图 12



图 13

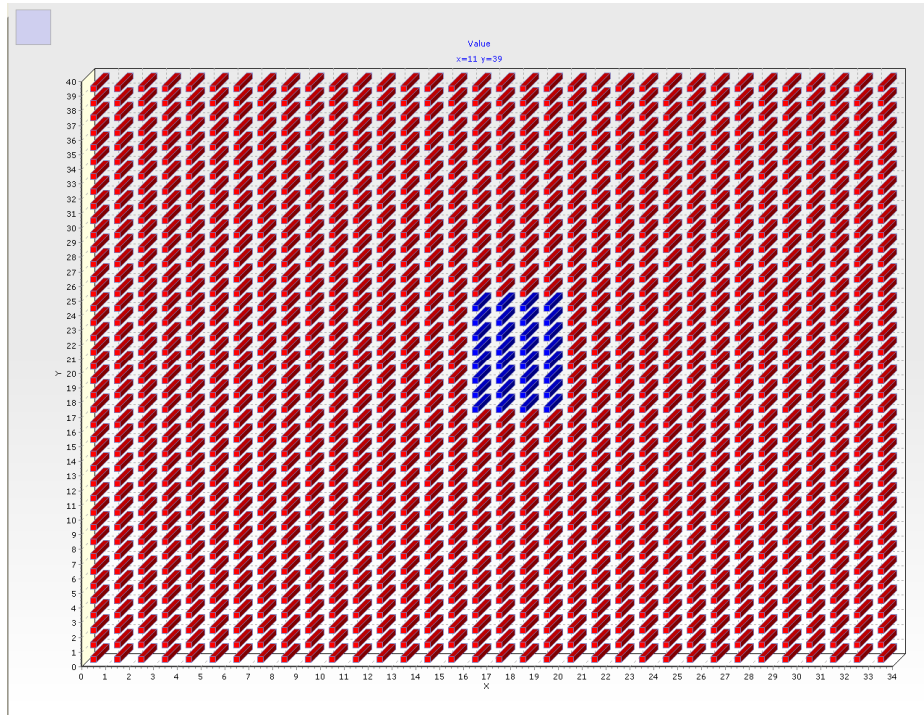


图 14

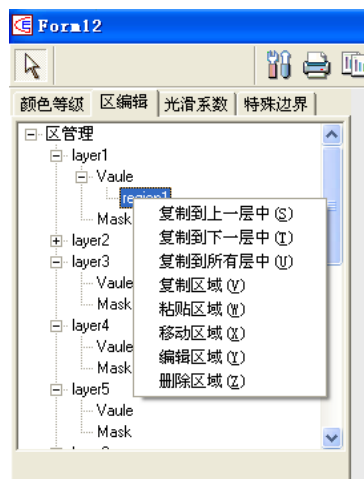


图 15

- (8) 模型编辑完成后，点击“文件”，保存模型文件，覆盖之前生成的“cm.m”文件，得到期望的电阻率模型。

4.4 三维正演

由模型文件“cm.m”，根据数据文件“cm.imp”的格式，进行正演模拟，得到三维理论响应数据文件，也是 IMP 格式文件，命名为“cmout.imp”。

具体的命令：

- (1) 在 Windows 下，执行 CMD 命令，进入命令行。
- (2) 导航到包含用户数据和模型文件的目录下。
- (3) 将 Mod3DMT 拷贝到当前目录下。
- (4) 执行 `Mod3DMT -F cm.m cm.imp cmout.imp>20130402.txt &`
- (5) 等待直道结束模拟。

5 反演

5.1 反演过程

(1) 数据准备

对于实际数据，进行必要的编辑。这里可以采用其他的软件。但实际数据必须是 IMP 格式的，并且包含观测误差。否则无法进行反演。

对理论数据，要在数据文件中增加合适的观测误差。

(2) 噪音发生器

点击“增加噪音”，选择 4.1.4 中生成的理论数据 cmout.imp 文件；

选择合适的噪声叠加方式，对于理论模拟，建议采用“噪声幅度固定”模式，噪声的大小为数据幅值的 1% 左右；或者增加幅度为 1 的固定噪音（如图 16）；

“保存文件”，形成新的数据文件，也是 IMP 文件，比如文件名：h1.imp；

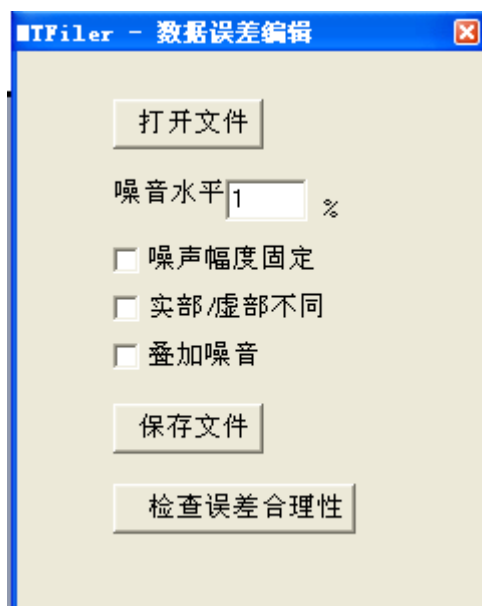


图 16

(3) 生成初始模型文件

具体见 4.1.2。根据 imp 文件，在利用“模型模板”进行网格剖分，生成“.m”文件，命名为 g.m。

也可以利用已有的反演结果作为反演模型的初始模型文件。

(4) 生成控制参数文件

利用“模型编辑”，加载模型文件 g.m（通常情况下编辑为均匀半空间模型），覆盖文件 g.m，同时生成“g.ict”、“g.fct”、“g.cov”文件，这些为控制文件。

(5) 反演

用编辑得到模型文件 g.m 和“g.ict”、“g.fct”、“g.cov”文件，对数据文件 h1.imp 进行反演，具体的命令：

Mod3DMT -I BFGS g.m h1.imp >20130402.txt &
或者

Mod3DMT -I NLCG g.m h1.imp >20130402.txt &

反演的过程的迭代误差信息等被保存在 20130402.txt 中。

5.2 反演模型浏览

- (1) 反演的中间结果及最终的反演结果，都保存在以 rho 为后缀的文件中。
- (2) 拟合差变化被保存在 bfgs_record.txt 中。
- (3) 反演的过程的迭代误差信息等被保存在 **20130402.txt** 中。
- (4) 反演模型可以用 Moditer 打开浏览，执行“Create Slice”浏览电阻率切片；或者将数据保存为 TecPlot 格式或者 Voxler 格式，这些都是三维数据体。

以上使用过程是 Windows 32 位操作系统的 1.0 版本。

在 Windows 上只支持 NLCG，串行运算。

1.0 版本的发布主要是提供国内同行进行理论研究和数值试验研究，并不支持商业化使用。

对于更大的模型，我们提供基于 Linux 的服务器版本，并且支持 MPI 并行运算，同时增加了拟牛顿反演技术。

Linux 版本支持起伏地表的三维模拟和三维反演。

Linux 版本的拟牛顿反演技术 (BFGS) 具有比 (NLCG) 快一倍的计算效率，对深部的分辨率更高。

用户图形界面的数据处理和模型编辑系统正在开发中，预期 2013 年底能与进入实用阶段。

欢迎使用我们并以书面方式提出宝贵意见。

联系人：翁爱华

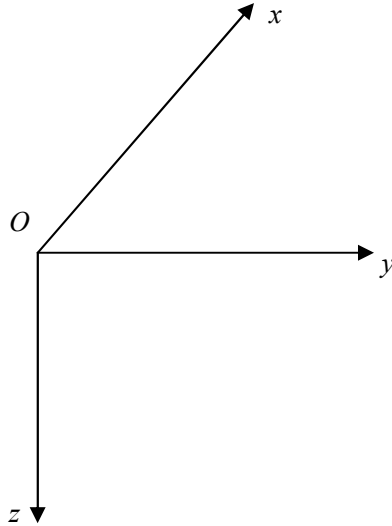
联系电话：13664400103

E-Mail:wengaihua@sina.com
wengah@jlu.edu.cn

关于模型坐标问题

模型坐标问题在正反演模型设计中非常重要。

这里采用右手坐标系，以北为 x 轴， y 轴指东， z 轴垂直向下。



这里重要的是参考坐标原点的位置。因为有三个数据与参考原点相关：

- (1) 三维模型参考坐标，其满足右手坐标系；
- (2) 默认情况下，取第一层表面作为 $z=0$ 的位置；
- (3) 数据高程，或者数据的坐标参考，向下为正，对于观测数据，在非商业版中要求地面测点高程必须为 0，即 $z=0$ 。地下测点高程 >0 。

附录：文件结构

示例文件

提供了两个例子文件

Test.mod :三维模型文件

Test_n5.imp :三维大地电磁数据模板

具体的文件格式说明如下。

F1 三维数据文件 rData_File

保存三维观测数据。

文件示例：文件名test.imp

```
1. Description: MT responses from CSFEM
2. Units: [V/m]/[nT]
3. Sign convension: 1
4.
5. 3
6. 1.000000e+00      2      2
7. 20 60
8. 300 300
9. 0 0
10.                Re(Zxy)      Im(Zxy)
11.      380020  1.461291e-08  -4.817767e-11
12.                1.000101e-08  2.213588e-10
13.      380060  1.700189e-08  -5.583344e-09
14.                9.666515e-09  6.238608e-09
15. 1.000000e+01      2      2
16. 20 60
17. 300 300
18. 0 0
19.                Re(Zxy)      Im(Zxy)
20.      380020  1.461291e-08  -4.817767e-11
21.                1.000101e-08  2.213588e-10
22.      380060  1.700189e-08  -5.583344e-09
23.                9.666515e-09  6.238608e-09
24. 1.000000e+02      2      2
25. 20 60
26. 300 300
27. 0 0
```

		Re (Zxy)	Im (Zxy)
28.			
29.	380020	1.461291e-08	-4.817767e-11
30.		1.000101e-08	2.213588e-10
31.	380060	1.700189e-08	-5.583344e-09
32.		9.666515e-09	6.238608e-09

格式说明:

Line1:文件功能描述字符串

Line2:数据物理单位, 对于不同的物理量, 该单位无效

Line3:数据符号, 只能为 1 和-1. 引导字符串长度固定为 18 个字节

Line4:空行

Line5:源(频率)个数 NT

以下 Line6 到 Line16 为第一个源的观测数据块。

Line6:第一个源的信息, 包括周期 T (单位秒), 观测数据个数 ND, 测量位置个数 NS

Line7:测点坐标 x 分量, 共有测点 NS 个

Line8:测点坐标 y 分量, 共有测点 NS 个

Line9:测点坐标 z 分量, 共有测点 NS 个

Line10:测点数据描述头, 共有 ND 个字符串, 这里假设只计算或者反演 Zxy 的实部和虚部。

Line11:依次为第一个测点点号, 该点上所有的观测数据, 后者共有 ND 个实数

Line12:观测数据对应的误差, 共有 ND 个

Line13:第二个测点点号, 该点上所有的观测数据, 后者共有 ND 个实数

Line14:观测数据对应的误差, 共有 ND 个

。。。 。。。

Line15:第 NS 个测点的点号, 该点上所有的观测数据, 后者共有 ND 个实数

Line16:各观测数据对应的误差, 共有 ND 个

对于每个源, 重复 Line6 到 Line16, 只到所有的源结束。一共有 NT 个数据块。

对于例子文件:

共有 3 个发射频率, 每个频率在 2 个测点上观测, 每个点观测 2 个数据。

F2 三维电阻率模型文件 rModel_File

保存三维模型数据。

示例文件：

```
# 3D INVERSION RES MODEL
      15      12      5      0  LOGE
800.0   400.0   200.0   100.0   50.0   25.0   25.0   25.0   25.0
25.0    50.0    100.0    200.0   400.0   800.0
      1600.0    800.0    400.0    200.0    100.0    50.0    50.0    100.0
200.0   400.0   800.0   1600.0
      15.0     16.5     18.1     20.0     22.0
      2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
. . .

      2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
2.39790e+00  2.39790e+00  2.39790e+00
      -1570          320          0
      0
```

格式说明

Line1:文件描述字串，无实际意义

Line2:NDX, NDY, NDZ, 0, LOGE: X, Y, Z 三个方向模型剖分单元个数, 0 备用, LOGE 表示文件中电阻率数值取自然对数

Line3:{DX[I], I=1 TO NDX}: X 方向的单元剖分大小, 共有 NDX 个实数

Line4:{DY[I], I=1 TO NDY}: Y 方向的单元剖分大小, 共有 NDY 个实数

Line5:{DZ[I], I=1 TO NDZ}: Z 方向的单元剖分大小, 共有 NDZ 个实数

Line6:第一层各单元网格中心电阻率数值的 LOGE 形式, 共有 NDX×NDY 个, 注意, 这里电阻率输出顺序和实际的脚标顺序是反向的。

Line7:空行

Line8:同 Line06.

Line9:空行

...

Line10:同 Line6, 最后一层的各单元网格中心电阻率值。

Line11:空行

Line12:模型左前顶角点参考坐标三分量 (是网格中心还是网格角点?), 实数

Line13:0, 备用