

扩频激电数据处理软件 SipProc

用户手册

版本 1.5.4 2026 年 02 月 26日

长沙巨杉智能科技有限公司

目录

- 一、 软件介绍..... 1
 - 1.1 关于 SipProc 软件..... 1
 - 1.2 系统要求..... 1
 - 1.3 软件安装..... 1
 - 1.4 软件概览..... 2
- 二、 数据查看及编辑 3
 - 2.1 查看采集站分布 3
 - 2.2 查看采集结果..... 5
 - 2.3 查看原始时序波形..... 7
 - 2.4 修改采集参数..... 9
 - 2.5 坐标文件制作 11
 - 2.6 高程文件制作 12
 - 2.7 三维相对坐标文件制作..... 13
- 三、 扩频激电数据导出..... 15
 - 3.1 检查点数据的导出 15
 - 3.2 中梯扫面数据的导出..... 17
 - 3.3 二维测深拟断面数据的导出 18
 - 3.4 二维测深反演数据的导出 19
 - 3.5 三维测深拟断面数据的导出 22
 - 3.6 三维测深反演数据的导出 24
 - 3.7 合格率导出..... 28
- 四、 扩频激电参数诠释..... 30
 - 4.1 主频频率及组合频率..... 30
 - 4.2 参数计算方法..... 30
- 五、 常见问题..... 32

一、 软件介绍

1.1 关于 SipProc 软件

扩频激电数据处理软件 SipProc 是一款用于处理扩频激电数据的预处理软件，处理的数据文件可以是包含频谱数据的 SRS 文件，也可以是包含原始时序数据的 SMT 文件。软件包括 SRS 文件编辑、SRS 文本格式导出、检查点误差表导出、拟断面数据体导出、扫面数据体导出、反演数据体导出、采集结果显示、采集站分布显示、原始时间序列查看等功能。在数据导出过程中，软件会进行通道组合、无效数据剔除、坐标添加、高程添加等操作。

1.2 系统要求

SipProc 软件设计在个人电脑上运行，计算机需满足：

- 操作系统：WindowsXP、Windows7、Windows10、Windows11
- 内存大于 2GB
- USB 接口一个
- 显示器分辨率大于 1280×800

1.3 软件安装

SipProc 软件是绿色的免安装软件，在获得压缩包后直接解压到自定义的软件目录，并将"SipProc-V*.exe"上单击右键，选择“发送到”->“桌面快捷方式”，方便以后快速打开使用。

1.4 软件概览

打开 SipProc 软件后，可以看到软件界面如图 1-1 所示。软件左侧为的数据导入及显示页面，右侧为数据输出设置页面、 SRS 参数编辑页面、时序显示页面以及采集站分布页面。



图 1-1. SipProc 主页面

二、 数据查看及编辑

2.1 查看采集站分布

在室内进行数据处理前，除了需要检查参数设置是否正确，还需要核对采集站位置是否按照设计位置进行摆放。可通过该软件的查看仪器位置功能来完成，具体操作如下。

- (1) 单击“采集站分布”，如图所示，软件左侧列表显示了各仪器的 经纬度及高程，右侧显示了各仪器 GPS 位置分布图和设计点位分布图。

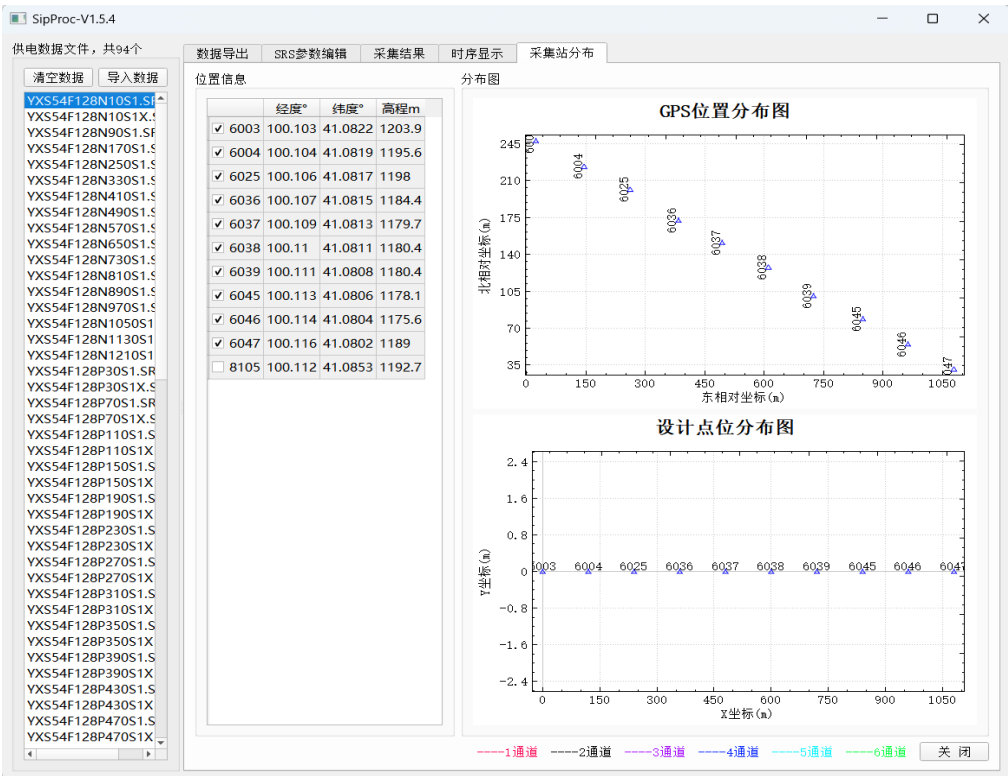


图 2-1 SRS 文件的采集站分布页面

- (2) 在数据列表框中勾选需要查看的仪器就可以看到所选采集站的实际位置分布和设计位置分布。勾选电流站可以看到电流站位置。如果出现某台采集站的经纬度和高程都为0的情况，表明该采集站未锁定，此时需

要将该采集站不勾选，便于清楚看到其它采集站的分布情况。

- (3) 在 GPS 位置分布图视图区，可以单击鼠标右键，弹出如下菜单。通过该菜单栏可以设置图形显示范围、坐标轴对数/线性显示、测点号是否隐藏、测点号是否 90 度旋转。

- (4) 视图区图形操作如下：

图形放大：光标放在绘图区，向前滚动鼠标。图形缩小：光标放在绘图区，向后滚动鼠标。

图形移动：光标放在绘图区，按下鼠标左键不放，移动鼠标，释放鼠标。

自定义矩形放大：光标放在待放大矩形区域的左上角顶点处，按下鼠标右键不放，向右下角移动鼠标到待放大矩形区域的右下角，释放鼠标。

图形还原：光标放在绘图区，按下鼠标右键不放，向左上角移动鼠标释放鼠标。

设置 X 轴：光标放在绘图区，单击鼠标右键，在弹出菜单中点击“X 轴对数”，可以使 X 轴在对数坐标和线性坐标之间切换。

设置 Y 轴：光标放在绘图区，单击鼠标右键，在弹出菜单中点击“Y 轴对数”，可以使 Y 轴在对数坐标和线性坐标之间切换。

设置显示范围：单击鼠标右键，选择弹出菜单中的“范围设置”，软件弹出“显示范围设置”对话框。对话框中的“默认范围”表示为进行“图形还原”操作时显示的坐标轴范围；“当前范围”表示当前显示的坐标范围。修改“默认范围”后，在进行“图形还原”操作时才会生效；修改“当前范围”后，点击“确认”按钮后即刻生效。

2.2 查看采集结果

为了查看 SRS 中的计算结果和合格率，可以利用软件的采集结果显示功能；若想对当前导入的供电点文件或者所有供电点文件进行还原和补充，可以利用该页面底部的“导出当前SRS”和“导出所有SRS”进行操作（导出前需要导入该项目的时序文件，通过SMT时序文件进行重计算来对SRS数据进行更新和补充）；同时也可对SRS文件进行手动的重计算和结果导出；具体如下：

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面左侧中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 单击右侧tab“采集结果”标签，切换到SRS采集结果显示页面，点击左侧SRS文件即可查看其采集结果数据信息；如图 2-2 所示。

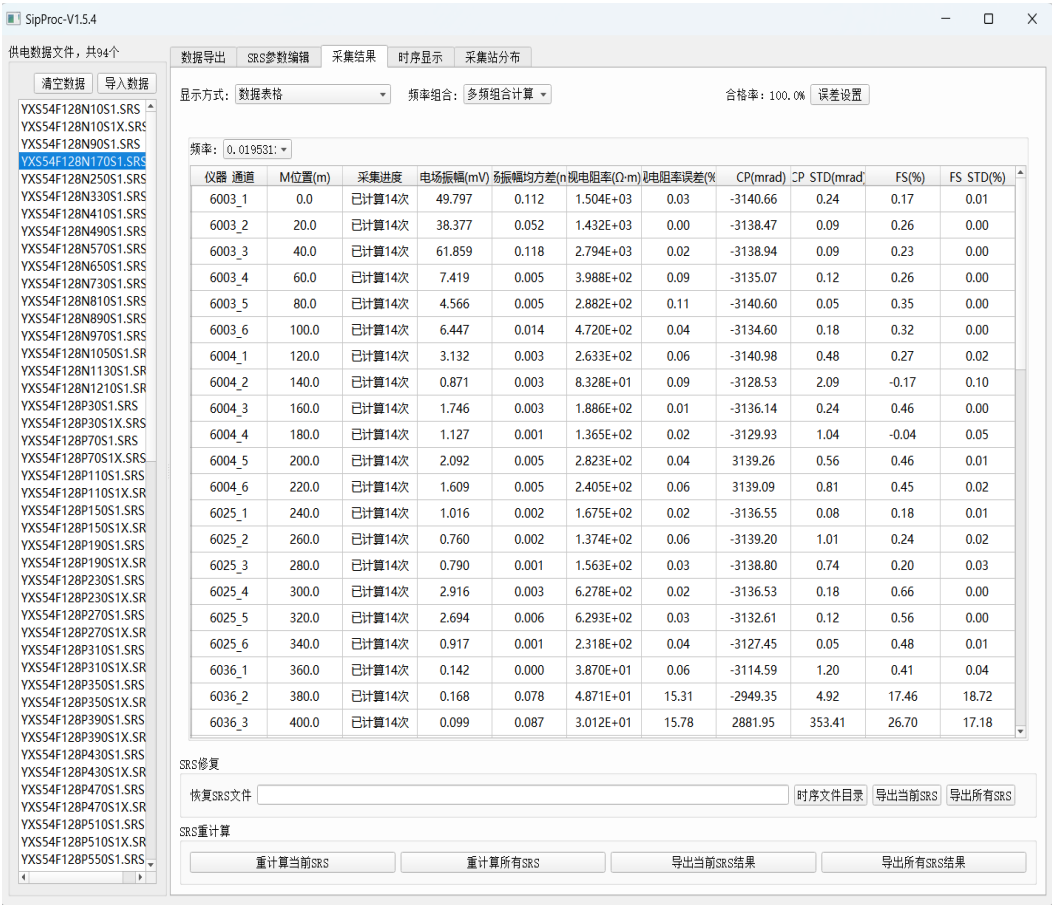


图 2-2. SRS采集结果显示页面

- (3) SRS恢复分为单个文件恢复和所有文件恢复，恢复时需要先点击“时序文件目录”导入SMT时序文件，然后选择“导出当前SRS”或者“导出所有SRS”进行数据恢复导出，软件会根据时序文件数据通过相关计算恢复SRS中缺失的数据，数据的恢复为双向，对于修改过的SRS文件，恢复数据时通道数据处理以SRS中的数据优先。需要注意的是选择导出当前SRS的时候要先在SRS文件列表中选择一个目标文件方可导出。
- (4) SRS重计算分为单个计算和多个计算，选择“重计算当前SRS”时需要先在SRS文件列表中选择目标文件，然后在弹出的组合频率设置框中选择单频组合的谐波数，如图2-2-1所示；点击“OK”按钮后选择导出的目录即可。

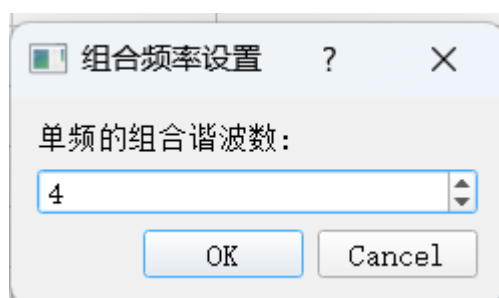


图 2-2-1. 组合频率设置框

- (5) 结果数据导出分为单个和多个，选择“导出当前SRS结果”时，需要现在左侧SRS文件列表中选择目标文件；“导出所有SRS结果”则会将左侧列表中的所有SRS结果数据导出，结果数据的导出不需要选择导出目录，导出的数据为txt文件，导出的地址为SRS源文件所在的同级目录。

2.3 查看原始时序波形

为了分析各个测点、供电点的时序干扰情况，可以利用软件的时序显示功能查看各测点的原始时序波形，具体操作步骤如下：

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 单击“时序显示”标签，切换到原始时序波形显示页面，如图 2-3 所示。

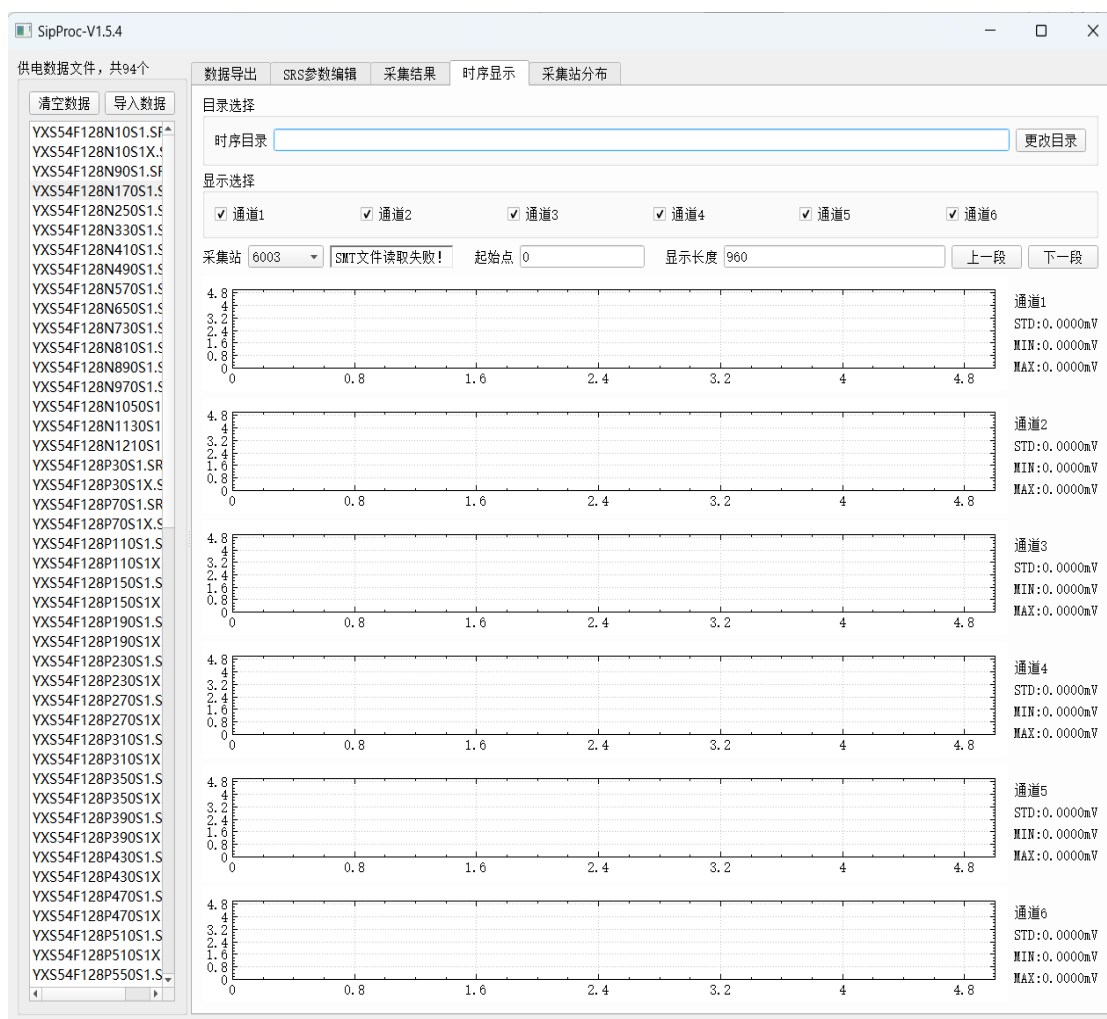


图 2-3. 原始时序显示页面

- (3) 点击“更改目录”按钮，选择仪器原始时序 SMT 文件的存放目录。选择的目录下应包括所有仪器号命名的子文件夹(图 2-4)，子文件夹下包含了该仪

器的所有 SMT 文件。

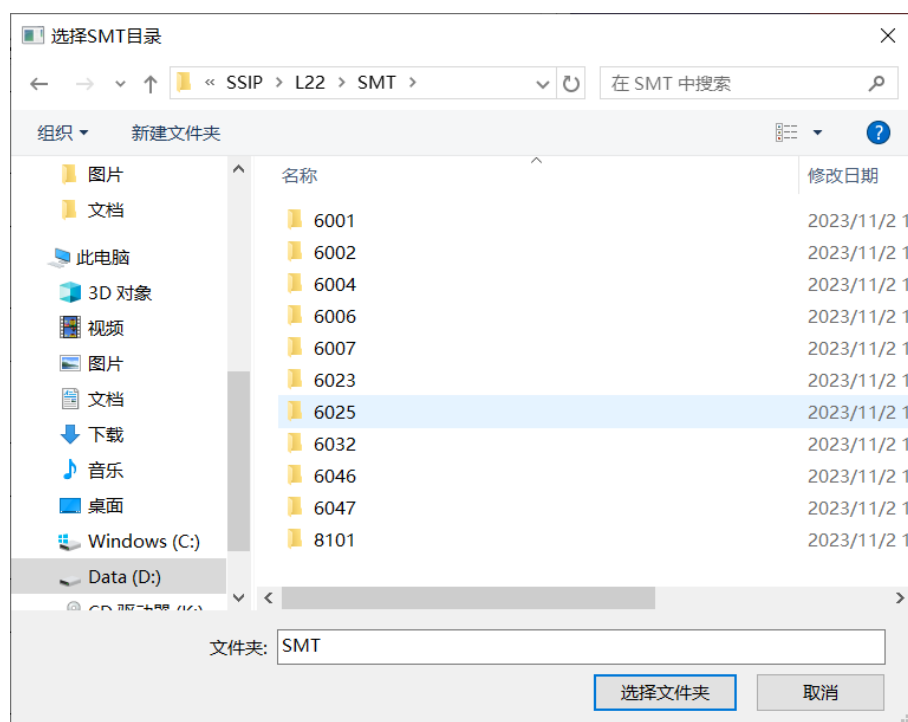


图 2-4. SMT 文件目录选择页面

- (4) 在左侧列表中选择需要查看的 SRS 文件，在右侧“采集站”下拉框中选择需要查看的仪器号，则软件会显示该仪器在对应供电点时的原始时序信号波形，如图 2-5 所示。图中起始点表示绘图区显示的起始采样点，显示长度表示绘图区显示的样点数，STD 为显示区域所有数据的均方差，MIN 为显示区域所有数据的最小值，MAX 为显示区域所有数据的最大值。

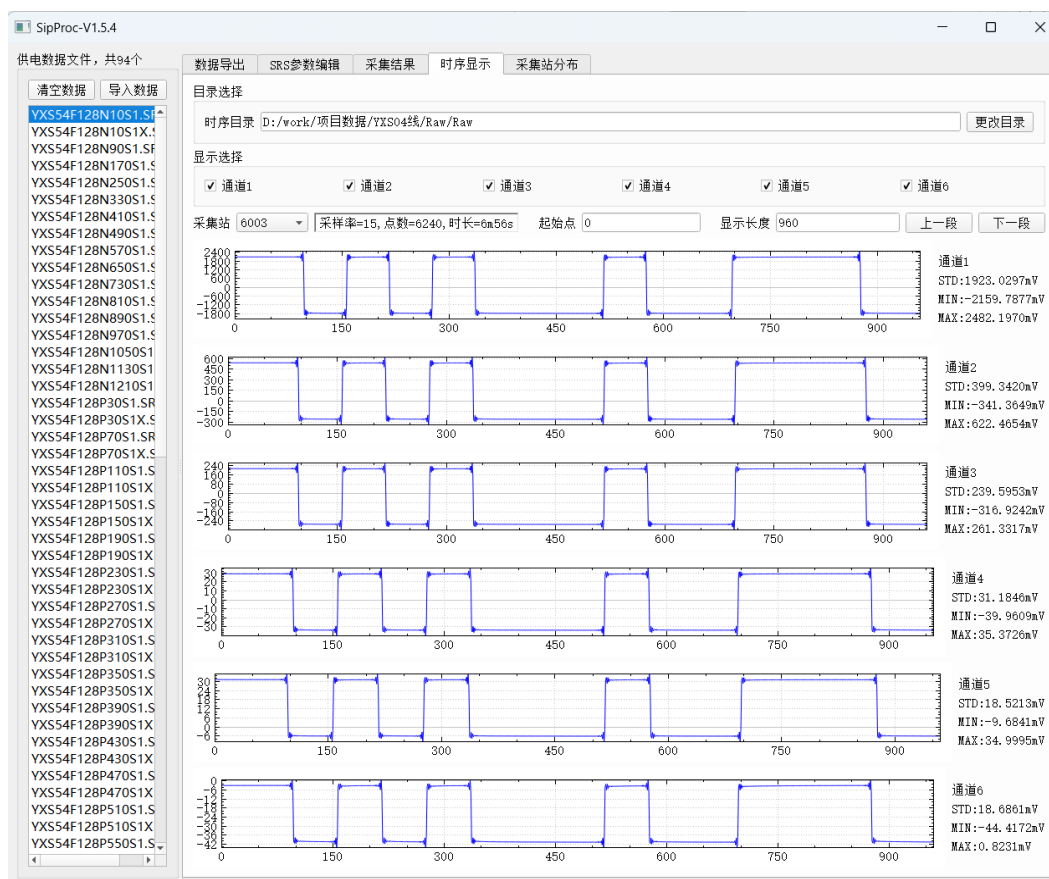


图 2-5. 620m 供电时 6001 仪器的原始时序波形

2.4 修改采集参数

当野外采集数据设置参数有误或者需要根据实测坐标更改仪器电极位置时，可以使用软件的 SRS 数据编辑功能。具体的操作步骤如下：

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 单击“SRS 参数编辑”标签，切换到“SRS 参数编辑页面”，如图 2-6 所示。

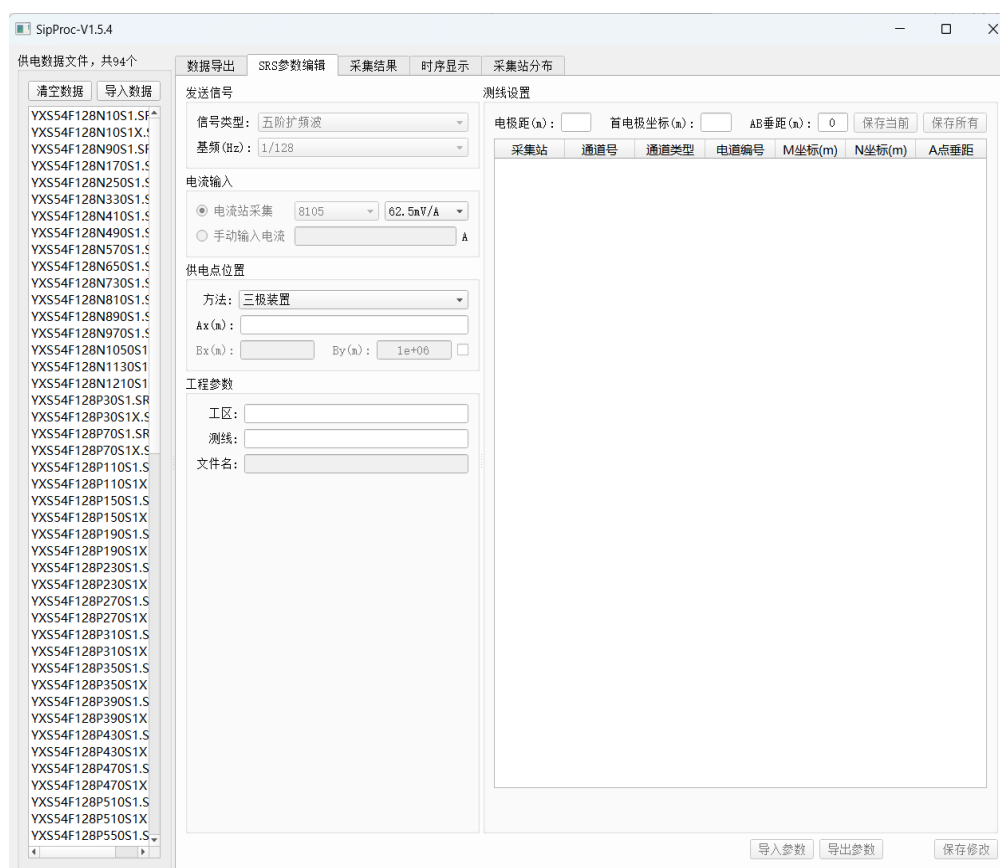


图 2-6. SRS 参数编辑初始页面

- (3) 修改参数并保存。在左侧列表中选中需要编辑的 SRS 文件，此时右侧页面显示该 SRS 文件中存储的参数信息，如图 2-7 所示。按照实际情况修改页面中的参数后，单击底部“保存修改”或者测线设置顶部的“保存当前”按钮，完成单个SRS文件数据的保存；点击测线设置顶部的“保存所有”按钮则会将当前测试设置部分的修改应用到左侧列表中所有的SRS文件当中。其中测线设置表格中的数据修改方式为双击单元格。修改的参数可以手动编辑修改，也可以通过单击“导入参数”快速导入之前编辑过的参数；编辑后的参数可以单击“导出参数”保存成文件，便于在修改其它 SRS 文件时的快速导入。

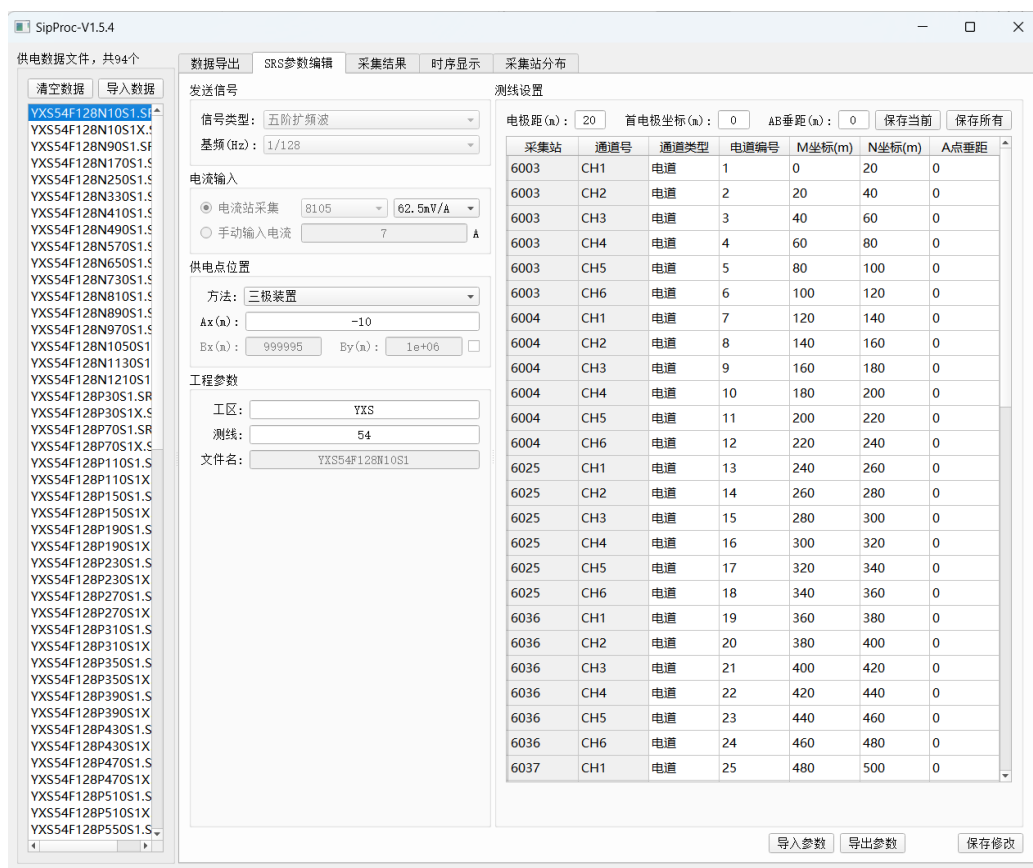
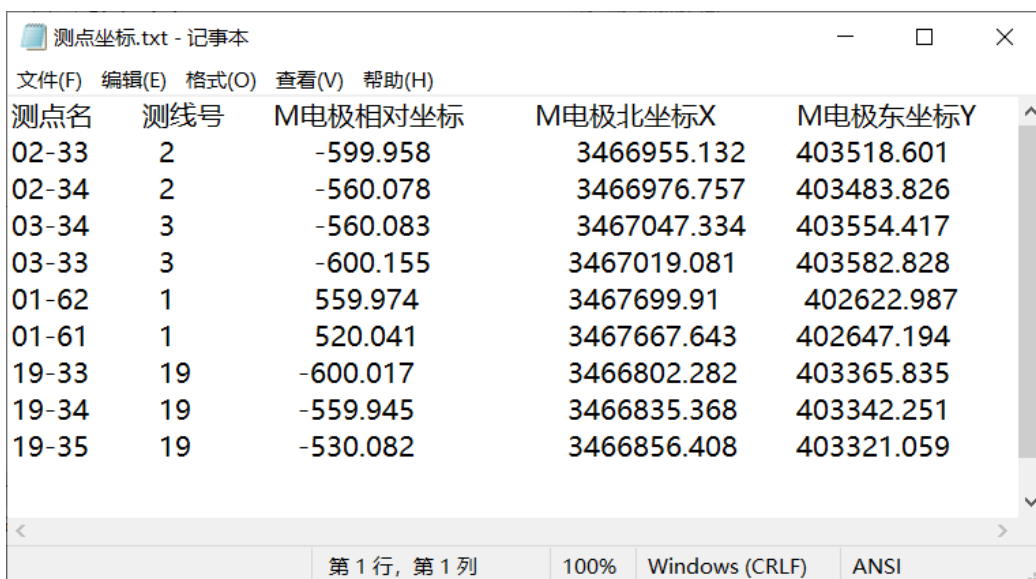


图 2-7. SRS 文件参数显示及编辑页面

2.5 坐标文件制作

坐标文件是为了将 SRS 数据中的每个通道与测点号、测点坐标信息关联起来的一个 txt 文本文件，文件中需要填写 5 列数据(测点名、测线号、M 电极北坐标 X、M 电极东坐标 Y)，每列数据之间用空格分隔，每一行数据表示 1 个测点。图 2-8 为安装目录下的示例数据，图中的“测点名”为施工设计时命令的测点号，一般为测线号+测点号；“测线号”为 SRS 数据中设置的测线编号；“M 电极相对坐标”为 SRS 数据中设置的通道 M 电极的相对坐标，单位为 m；“M 电极北坐标 X”为 M 电极的实测绝对坐标 X，单位为 m；“M 电极东坐标 Y”为 M 电极的实测绝对坐标 Y，单位为 m。该文件一般用 RTK 实测坐标文件或者设计坐标文件作为原始文件，先在 excel 中处理，然后再另存为 txt 文本文件，以提高制作效率。



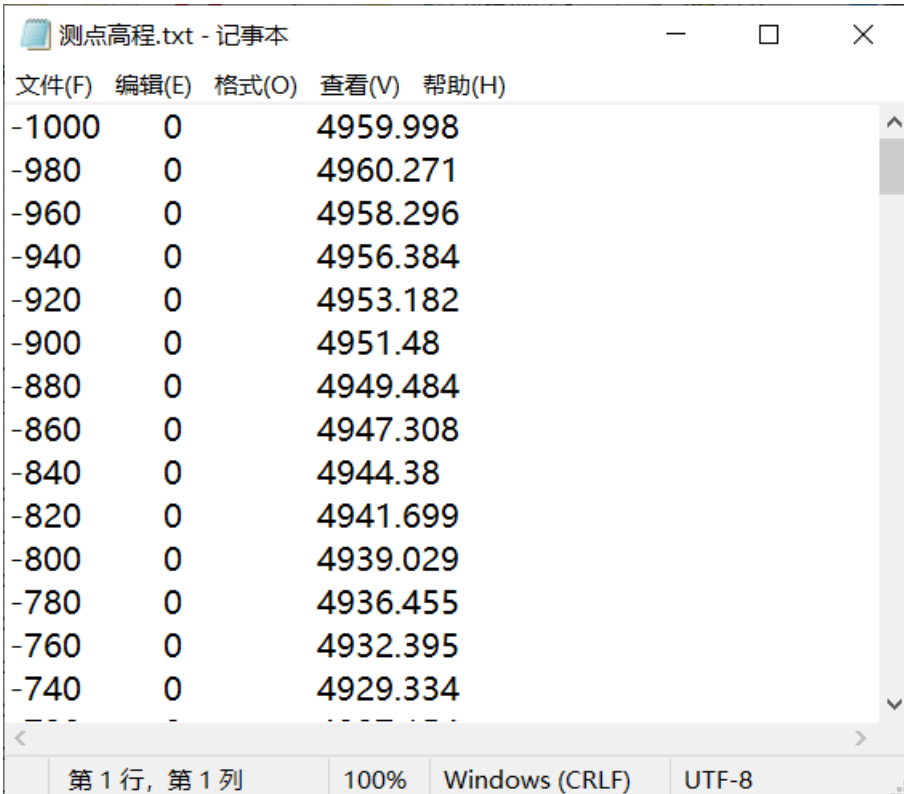
测点名	测线号	M电极相对坐标	M电极北坐标X	M电极东坐标Y
02-33	2	-599.958	3466955.132	403518.601
02-34	2	-560.078	3466976.757	403483.826
03-34	3	-560.083	3467047.334	403554.417
03-33	3	-600.155	3467019.081	403582.828
01-62	1	559.974	3467699.91	402622.987
01-61	1	520.041	3467667.643	402647.194
19-33	19	-600.017	3466802.282	403365.835
19-34	19	-559.945	3466835.368	403342.251
19-35	19	-530.082	3466856.408	403321.059

图 2-8. 测点坐标文件示例

注意：坐标文件中应包括所有测量点的电极位置信息，如果缺少接收电极，则导出的数据中会出现“*”。

2.6 高程文件制作

为了在导出带高程信息的反演数据体时，必须制作高程文件。该文件是能将 SRS 数据中的各电极(供电电极和接收电极)与高程信息关联起来的一个 txt 文本文件，文件中需要填写 3 列数据（相对坐标、测线与供电点 A 的垂距、高程），每列数据之间用空格分隔，每一行数据表示 1 个电极。图 2-9 为安装目录下的示例数据，图中的第 1 列数据为 SRS 数据中设置的电极的相对坐标，单位为 m；第 2 列数据为测线与供电点 A 的垂距(单位为 m)，该值用于在三维测量中区分不同测线，二维模式下一一般为 0；第 3 列为每个电极实测的高程数据(单位为 m)。该文件一般用 RTK 实测坐标文件或者设计坐标文件作为原始文件，先在 excel 中处理，然后再另存为 txt 文本文件，以提高制作效率。



文件(F)	编辑(E)	格式(O)	查看(V)	帮助(H)
-1000	0	4959.998		
-980	0	4960.271		
-960	0	4958.296		
-940	0	4956.384		
-920	0	4953.182		
-900	0	4951.48		
-880	0	4949.484		
-860	0	4947.308		
-840	0	4944.38		
-820	0	4941.699		
-800	0	4939.029		
-780	0	4936.455		
-760	0	4932.395		
-740	0	4929.334		
-	-	-		

第 1 行, 第 1 列 100% Windows (CRLF) UTF-8

图 2-9. 测点高程文件示例

2.7 三维相对坐标文件制作

为了导出三维测深反演数据，需要制作相对坐标文件。该文件是能将 SRS 数据中的各电极(供电电极和接收电极)与全局坐标系关联起来的一个后缀为 .csv 文本文件，文件中需要填写 4 列数据（需要进行坐标偏移的供电点文件前缀名称、电极号、x轴偏移量、y轴偏移量），每列数据之间用“,”分隔每行为将单测线坐标系转换为全局坐标系需要的坐标偏移信息。图 2-10 为安装目录下的示例数据，图中的第 1 列数据为需要进行坐标偏移的供电点(一般为SRS文件名的前缀部分，由工区名+侧线名组成，命名可按实际情况而定，但必须与 SRS 文件名的前缀部分相同。如：当前的供电点 SRS 数据文件名称为 YY102F16N70S1.SRS，则第一列名称可设置为：YY102；需要注意的是当第二列为配置供电点坐标时第一列文件名如果使用全名，如：YY102F16N70S1，则会对该供电点坐标进行

偏移，如果使用缩写则会对匹配当前缩写开头的供电点进行预定偏移)；第二列为配置需要偏移的电极号或者供电点，当配置电极号时电极号起始配置序号从1开始，若想坐标偏移应用至当前文件的所有电极则设置为-1，若想更改供电点的坐标偏移则需设置大写的A或者B，A表示供电点A的坐标需要做偏移，B表示供电点B的坐标需要偏移；第3列数据为当前供电点文件内每个电极应在X轴上的偏移距离(单位为 m)，该值用于在三维测量中区分不同测线，二维模式下一一般为 0；第4列为当前供电点文件内每个电极应在y轴上的偏移距离(单位为 m)。该文件可先在 excel 中处理，然后再另存为后缀为.csv的文本文件，以提高制作效率。

文件名	电极号	x坐标偏移量	y坐标偏移量
CLSS01F16N20S1,	A,	0,	100
GCHS03F16N60S1,	A,	0,	100
dwzL4-,	-1,	0,	80
dwzL6-,	-1,	0,	160
dwzL8-,	-1,	0,	240
dwzL10-,	-1,	0,	320
dwzL12-,	-1,	0,	400
dwzL14-,	-1,	0,	480
dwzL16-,	-1,	0,	560
dwzL18-,	-1,	0,	640
dwzL20-,	-1,	0,	720
dwzL22-,	-1,	0,	800

图 2-10. 相对坐标文件示例

三、扩频激电数据导出

3.1 检查点数据的导出

在数据采集过程中，需要检查数据采集质量，可以通过两种方式进行检查点测量：第一种方式为在部分供电点上供电 2 次，并采集 2 次；第二种方式为在检查点测量点上布设 2 套电极和线缆，并分别用 2 台仪器连接采集。检查点导出的步骤如下：

- (1) 导入包含原测点和检查点的 SRS 数据文件。点击主页面中的“导入数据”按钮，再弹出的对话框中选择原始 SRS 文件和检查点 SRS 文件，再单击“打开”按钮，完成数据导入。如图 3-1 所示，软件中导入了 2 对供电点的检查点数据。

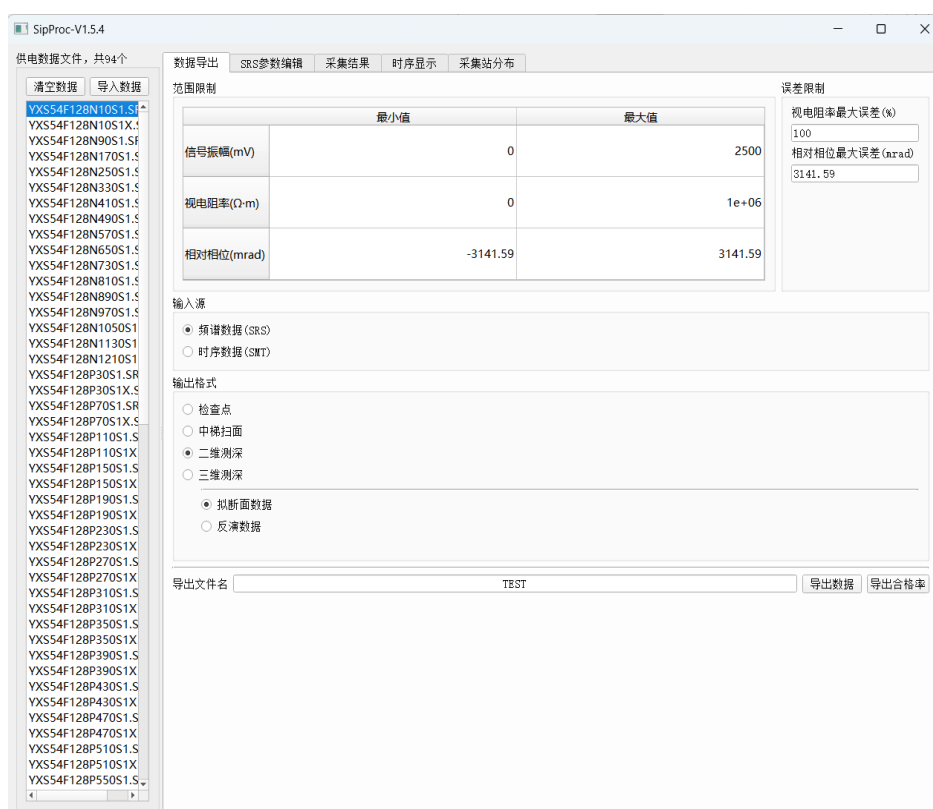


图 3-1. 导入检查点后的软件页面

- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-2 所示的默认值，仅当导出数据后发现部分测点附近有强干扰时，可设置限制值，剔除部分干扰大的数据。

范围限制(第1频点)

	最小值	最大值
信号振幅(mV)	0	2500
视电阻率($\Omega \cdot m$)	0	1e+06
相对相位(mrad)	-3141.59	3141.59

误差限制(第1频点)

视电阻率最大误差(%)

相对相位最大误差(mrad)

图 3-2. 范围限制及误差限制设置默认值

- (3) 选择数据输入源。一般情况下将输入源设置为 SRS，仅当需要重新从时序提取频谱时选择 SMT 数据源。
- (4) 选择输出格式。选择输出格式为“检查点”，如果需要在输出数据中增加测点号和绝对坐标，则需要制作“测点坐标文件”，并单击“导入坐标文件”完成测点号和绝对坐标信息的添加。”测点坐标文件”的制作步骤见“2.2 坐标文件制作”。
- (5) 设置文件名并导出数据。将“导出文件名”设置为需要存储的文件名，再单击“导出数据”，选择需要存储的目录，再单击“选择文件夹”，完成数据的导出。
- 导出的数据包括供电点 A 的相对坐标、测量点 M 的相对坐标、测点名、测点绝对 X 坐标、测点绝对 Y 坐标、视电阻率及误差、相对相位及误差、频散率及误差、采集站编号及通道号、原始 SRS 文件名。

3.2 中梯扫面数据的导出

对于中梯扫面装置的扩频激电数据，可以按照如下流程处理，以得到可以网格化成图的数据体。

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-3 所示的默认值，在数据成图后发现部分异常点，可进一步缩小参数的范围及误差限制值以剔除异常点；如果数据质量较差，踢点较多，可适当放宽误差限制范围。



图 3-3. 范围限制及误差限制设置默认值

- (3) 选择数据输入源。一般情况下将输入源设置为 SRS，仅当需要重新从时序提取频谱时选择 SMT 数据源。
- (4) 选择输出格式并导入坐标文件。选择输出格式为“中梯扫面”，按“2.5 坐标文件制作”的步骤制作测量坐标文件，并单击“导入坐标文件”以完成测点号和绝对坐标信息的添加。
- (5) 设置文件名并导出数据。将“导出文件名”设置为需要存储的文件名，再单击“导出数据”，选择需要存储的目录，再单击“选择文件夹”，完成数据的导出。
导出的数据包括原始 SRS 文件名、测点号、M 点坐标、N 点坐标、测点 X

方向绝对坐标, 测点 Y 方向绝对坐标、各频点视电阻率、各频点视电阻率对数值、各频点视电阻率相对误差、各频点相位、各频点相位误差、各频点相对相位、各频点相对相位误差、各频点频散率、各频点频散率误差、自然场交流值、自然场直流值及接地电阻。

3.3 二维测深拟断面数据的导出

完成二维测深野外工作后，一般需要导出拟断面数据体，并成图，以判断采集数据质量好坏及进行基本的异常定性分析。拟断面数据的导出流程如下。

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-4 所示的默认值，在数据成图后发现部分异常点，可进一步缩小参数的范围及误差限制值以剔除异常点；如果数据质量较差，踢点较多，可适当放宽误差限制范围。



图 3-4. 范围限制及误差限制设置默认值

- (3) 选择数据输入源。一般情况下将输入源设置为 SRS，仅当需要重新从时序提取频谱时选择 SMT 数据源。
- (4) 选择输出格式。选择输出格式为“二维测深”->“拟断面数据”。

- (5) 设置文件名并导出数据。将“导出文件名”设置为需要存储的文件名，再单击“导出数据”，选择需要存储的目录，再单击“选择文件夹”，完成数据的导出。导出的数据包括测量点位置、 $AO/5$ （仅针对三极测深， O 为 O 坐标位置）、 $AO/10$ （仅针对三极测深， O 为 O 坐标位置）、 $-AB/5$ （仅针对四极测深）、 $-PC/2d5$ （仅针对四极测深， P 为供电点位置， C 为测量点位置）、高程、各频点视电阻率、各频点视电阻率对数值、各频点视电阻率相对误差、各频点相位、各频点相位误差、各频点相对相位、各频点相对相位误差、各频点频散率、各频点频散率误差。

3.4 二维测深反演数据的导出

在完成整条剖面的测量后，需要将所有采集的SRS 转换为能够反演的数据体，转换的流程如下：

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-5 所示的默认值，如果在拟断面图中发现部分异常点，可进一步缩小参数的范围及误差限制值以剔除异常点；若数据质量较差，踢点较多，可适当放宽误差限制范围。

范围限制(第1频点)

	最小值	最大值
信号振幅(mV)	0	2500
视电阻率($\Omega \cdot m$)	0	1e+06
相对相位(mrad)	-3141.59	3141.59

误差限制(第1频点)

视电阻率最大误差(%)

3

相对相位最大误差(mrad)

20

图 3-5. 范围限制及误差限制设置默认值

(3) 选择数据输入源。一般情况下将输入源设置为 SRS，仅当需要重新从时序提取频谱时选择 SMT 数据源。

(4) 选择输出格式及导出参数。先选择输出格式为“二维测深”->“反演数据”，

再选择输出参数，一般选择如图 3-6 所示的默认参数。如果想使用不同参数反演，也可选择不同的参数输出；“极距组合”表示输出数据时将相邻的 2 道和多道组合成更大极距的通道以增加深部信息，“平移%”对应的参数表示组合极距起始点位置的移动值占极距的百分比，平移值越大，输出数据量越小，“极距不组合”表示直接输出原始通道数据；“相对相位”表示输出的激发极化参数为相对相位，“频散率”表示输出的激发极化参数为频散率；“视电阻”表示输出的电性参数为未考虑装置系数的电阻值(U/I)，“视电阻率”表示输出的电性参数为考虑了装置系数的电阻率值($K \cdot U/I$)。

☒ 二维测深

☐ 拟断面数据

☒ 反演数据

☒ 极距组合
 平移(%)

☐ 极距不组合

☒ 相对相位

☐ 频散率

☒ 视电阻

☐ 视电阻率

图 3-6. 反演数据导出默认参数

- (5) 导入高程文件并设置。先按“2.6 高程文件制作”的步骤制作测点高程文件，并单击“导入高程文件”完成测点高程信息的添加；然后设置最小电极距，即所有电极之间的最小距离(包括供电电极和测量电极)，一般该值为测量点距的一半；最后再设置系统误差，一般设置为图 3-7 所示的默认值。在软件输出中加入系统误差是为了将野外施工过程中的测点位置误差、固定干扰等因素加入，使反演软件权重设置更为合理，以提高反演结果准确性。“偏移 X 坐标”是将所有导出数据的 X 坐标加上一个偏移，以便于测线分段测量后的坐标统一。



图 3-7. 系统误差默认参数

- (6) 设置文件名并导出数据。将“导出文件名”设置为需要存储的文件名，再单击“导出数据”，选择需要存储的目录，再单击“选择文件夹”，完成数据的导出。数据输出格式为 Res2dinv 数据格式，软件会生成多个数据文件，每个文件对应一个频率的数据。每个数据文件包括数据头和数据体两部分，其中 1~15 行为数据头，剩下的数据为数据体，如图 3-8 所示。数据头中的关键参数为第 6 行、第 7 行、第 10 行和第 12 行，其中第 6 行为数据体导电参数类型标识 (0 表示视电阻率，1 表示视电阻)，第 7 行为总测点数，第 10 行为数据体极化参数类型(Phase Angle 表示极化参数为相对相位，Percent Frequency Effect 表示极化参数为频散率)，第 12 行为极化参数的低频频率和高频频率。三极装置的数据体总共包含 11 列数据，

其中第 1 列表示电极数量，第 2 列表示供电点 A 的坐标，第 3 列表示供电点 A 的高程，第 4 列表示测点电极 M 的坐标，第 5 列为测点 M 的高程，第 6 列为测点电极 N 的坐标，第 7 列为测点电极 N 的高程，第 8 列为视电阻率/视电阻，第 9 列为视电阻率绝对误差/视电阻绝对误差，第 10 列为相对相位/频散率，第 11 列为相对相位绝对误差/频散率绝对误差。四极装置的数据体包含 13 列数据，其数据体在三极装置数据体的基础上增加了 2 列数据，分别为供电点 B 坐标(位于第 4 列)和供电点 B 高程(位于第 5 列)。该文件详细的数据格式及参数意义可参考 Res2dinv 软件的使用说明书。

```

1 General array with IP:
2 10.000000:
3 11:
4 0:
5 Type of measurement (0=app. resistivity,1=resistance):
6 1:
7 51519
8 1:
9 1:
10 Phase Angle:
11 mrad:
12 0,0.15625:
13 Error estimate for data present:
14 Type of error estimate (0=same unit as data):
15 0:
16 3 -30.000000 974.129028 40.000000 1011.872986 60.000000 1017.581970 2.3581E-001 4.7173E-003 81.912994 0.100009
17 3 -30.000000 974.129028 60.000000 1017.581970 80.000000 1012.013000 4.1012E-002 8.2241E-004 177.153107 0.479748
18 3 -30.000000 974.129028 80.000000 1012.013000 100.000000 1010.706970 5.4755E-002 1.0951E-003 -52.774105 0.141621
19 3 -30.000000 974.129028 100.000000 1010.706970 120.000000 1004.585022 1.2931E-001 2.5866E-003 -48.234890 0.200207
20 3 -30.000000 974.129028 140.000000 997.203003 160.000000 990.726990 3.3366E-002 6.6732E-004 -117.501633 0.420467
21 3 -30.000000 974.129028 160.000000 990.726990 180.000000 985.090027 2.5825E-002 5.1752E-004 60.165882 0.557769
22 3 -30.000000 974.129028 180.000000 985.090027 200.000000 977.388977 2.4514E-002 4.9145E-004 108.229156 0.650414
23 3 -30.000000 974.129028 200.000000 977.388977 220.000000 969.520020 3.6884E-002 7.3772E-004 46.700001 0.126579
24 3 -30.000000 974.129028 220.000000 969.520020 240.000000 960.638977 4.8461E-002 9.6922E-004 35.987854 0.241979
25 3 -30.000000 974.129028 240.000000 960.638977 260.000000 954.338013 4.8788E-002 9.7577E-004 32.027721 0.100735
26 3 -30.000000 974.129028 260.000000 954.338013 280.000000 954.284973 2.5168E-002 5.0336E-004 27.673006 0.099801
27 3 -30.000000 974.129028 280.000000 954.284973 300.000000 955.528015 2.7734E-002 5.5469E-004 27.087450 0.121130
28 3 -30.000000 974.129028 300.000000 955.528015 320.000000 957.953003 1.8134E-002 3.6267E-004 26.695967 0.122190
29 3 -30.000000 974.129028 320.000000 957.953003 340.000000 958.617981 1.6222E-002 3.2444E-004 26.018620 0.132942
30 3 -30.000000 974.129028 340.000000 958.617981 360.000000 960.611023 1.5332E-002 3.0664E-004 26.122093 0.129337
31 3 -30.000000 974.129028 360.000000 960.611023 380.000000 961.153992 8.3973E-003 1.6795E-004 24.857998 0.184172
32 3 -30.000000 974.129028 380.000000 961.153992 400.000000 961.200012 7.8321E-003 1.5664E-004 24.644136 0.191729
33 3 -30.000000 974.129028 400.000000 961.200012 420.000000 960.179016 8.2664E-003 1.6534E-004 25.204897 0.177572
34 3 -30.000000 974.129028 420.000000 960.179016 440.000000 959.302979 1.0538E-002 2.1078E-004 24.886131 0.147808
35 3 -30.000000 974.129028 440.000000 959.302979 460.000000 958.101990 5.1416E-003 1.0284E-004 24.595022 0.163103
36 3 -30.000000 974.129028 460.000000 958.101990 480.000000 954.633972 8.8034E-003 1.7608E-004 25.137424 0.117984
37 3 -30.000000 974.129028 480.000000 954.633972 500.000000 953.539978 6.6458E-003 1.3293E-004 25.166988 0.138797
38 3 -30.000000 974.129028 500.000000 953.539978 520.000000 956.508972 8.1057E-003 1.6212E-004 25.405169 0.238787
39 3 -30.000000 974.129028 520.000000 956.508972 540.000000 957.002991 5.2027E-003 1.0406E-004 24.833441 0.159744
40 3 -30.000000 974.129028 540.000000 957.002991 560.000000 958.356995 4.6755E-003 9.3515E-005 24.330139 0.295449
41 3 -30.000000 974.129028 560.000000 958.356995 580.000000 961.216003 3.3852E-003 6.7707E-005 24.930239 0.254618

```

图 3-8. Res2dinv 的三极测深装置数据格式

3.5 三维测深拟断面数据的导出

完成三维测深野外工作后，一般需要导出拟断面数据体，并成图，以判断采集数据质量好坏及进行基本的异常定性分析。拟断面数据的导出流程如下。

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-9 所示的默认值，在数据成图后发现部分异常点，可进一步缩小参数的范围及误差限制值以剔除异常点；如果数据质量较差，踢点较多，可适当放宽误差限制范围。

范围限制(第1频点)

	最小值	最大值
信号振幅(mV)	0	2500
视电阻率($\Omega \cdot m$)	0	1e+06
相对相位(mrad)	-3141.59	3141.59

误差限制(第1频点)

视电阻率最大误差(%)
3

相对相位最大误差(mrad)
20

图 3-9. 范围限制及误差限制设置默认值

- (3) 选择数据输入源。一般情况下将输入源设置为 SRS，仅当需要重新从时序提取频谱时选择 SMT 数据源。
- (4) 选择输出格式。选择输出格式为“三维测深”->“拟断面数据”->“三级装置”/“四级装置”；“三级装置”在导出的数据文件中显示 AO/5 和 AO/10，“四级装置”则显示 -AB/5 和 -PC/2d5
- (5) 导入相对坐标文件。相对坐标文件的制作按照（2.7 相对坐标文件制作）制作即可。
- (6) 设置文件名并导出数据。将“导出文件名”设置为需要存储的文件名，再单击“导出数据”，选择需要存储的目录，再单击“选择文件夹”，完成数据的导出。
导出的数据包括测量点位置、AO/5（仅针对三极测深，0 为 0 坐标位置）、AO/10（仅针对三极测深，0 为 0 坐标位置）、-AB/5（仅针对四极测深）、

-PC/2d5（仅针对四极测深，P 为供电点位置，C 为测量点位置）、高程、各频点视电阻率、各频点视电阻率对数值、各频点视电阻率相对误差、各频点相位、各频点相位误差、各频点相对相位、各频点相对相位误差、各频点频散率、各频点频散率误差。

3.6 三维测深反演数据的导出

在完成实际测量后，需要将所有采集的SRS 转换为能够反演的数据体，转换的流程如下：

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-10 所示的默认值，如果在拟断面图中发现部分异常点，可进一步缩小参数的范围及误差限制值以剔除异常点；如果数据质量较差，踢点较多，可适当放宽误差限制范围。



图 3-10. 范围限制及误差限制设置默认值

- (3) 选择数据输入源。一般情况下将输入源设置为 SRS，仅当需要重新从时序提取频谱时选择 SMT 数据源。
- (4) 选择输出格式及导出参数。先选择输出格式为“三维测深”->“反演数据”，

再选择输出参数，一般选择如图 3-11 所示的默认参数。如果想使用不同参数反演，也可选择不同的参数输出；当前版本导出三维测深数据时暂时采用极距不组合”方式，表示直接输出原始通道数据；“相对相位”表示输出的激发极化参数为相对相位，“频散率”表示输出的激发极化参数为频散率；“视电阻”表示输出的电性参数为未考虑装置系数的电阻值(U/I)，“视电阻率”表示输出的电性参数为考虑了装置系数的电阻率值($K*U/I$)。

● 三维测深

☐ 拟断面数据

● 反演数据

☒ 相对相位 ☒ 视电阻

☐ 频散率 ☐ 视电阻率

导入高程文件

导入相对坐标

最小电极距(m)

☐ 偏移X坐标(m)

☒ 加入系统误差 视电阻率(%) 相对相位(mrad)

图 3-11. 反演数据导出默认参数

- (5) 导入高程文件并设置参数。先按“2.6 高程文件制作”的步骤制作测点高程文件，并单击“导入高程文件”完成测点高程信息的添加；然后设置最小电极距，即所有电极之间的最小距离(包括供电电极和测量电极)，一般该值为测量点距的一半；最后再设置系统误差，一般设置为图 3-12 所示的默认值。在软件输出中加入系统误差是为了将野外施工过程中的测点位置误差、固定干扰等因素加入，使反演软件权重设置更为合理，以提高反演结果准确性。“偏移 X 坐标”是将所有导出数据的 X 坐标加上一个偏移，以便于测线分段测量后的坐标统一。

☒ 加入系统误差 视电阻率(%) 相对相位(mrad)

图 3-12. 系统误差默认参数

- (6) 导入相对坐标文件。按照(2.7 相对坐标文件制作)制作即可
- (7) 设置文件名并导出数据。将“导出文件名”设置为需要存储的文件名，再单击“导出数据”，选择需要存储的目录，再单击“选择文件夹”，完成数据的导出。

数据输出格式为 Res3dinv 数据格式，软件会生成多个数据文件，每个文件对应一个频率的数据。每个数据文件包括数据头和数据体两部分，其中 1~19 行为数据头，中间部分数据为数据体，如图 3-13 所示，末尾部分为高程数据，如图3-14所示。数据头中的关键参数为第 9 行、第 10行、第 14 行和第 16 行，其中第 9 行为数据体导电参数类型标识（0 表示视电阻率，1 表示视电阻），第 10 行为总测点数，第 14 行为数据体极化参数类型(Phase Angle 表示极化参数为相对相位，Percent Frequency Effect 表示极化参数为频散率)，第 16 行为极化参数的低频频率和高频频率。数据体总共包含11 列数据，

其中第 1 列表示电极数量，第 2 列表示供电点 A 的坐标，第 3 列表示供电点 A 的高程，第 4 列表示测点电极 M 的坐标，第 5 列为测点 M 的高程，第 6 列为测点电极 N 的坐标，第 7 列为测点电极 N 的高程，第 8 列为视电阻率/视电阻，第 9 列为视电阻率绝对误差/视电阻绝对误差，第 10 列为相对相位/频散率，第 11 列为相对相位绝对误差/频散率绝对误差。尾部部分也分为头部和数据两部分；头部总共5行，关键行为第五行表示高程数据总数，数据部分分为三列，第一列为电极的x坐标，第二列为y坐标，第三列为z即高程坐标。

```

1 Mixed dipole-dipole and pole-dipole data
2 15
3 0
4 0
5 0
6 11
7 7
8 Type of data (0=apparent resistivity,1=resistance)
9 0
10 6819
11 1
12 1
13 IP present
14 Phase Angle
15 mrad
16 0.015625
17 Error estimate for data present
18 Type of error estimate (0=same unit as data)
19 0
20 3 -460.000000 0.000000 0.000000 1918.145996 40.000000 1933.155029 9.062458 -0.012285 19.634499 1.155216
21 3 -460.000000 0.000000 80.000000 1933.155029 80.000000 1940.557983 10.800226 -0.012031 14.616765 1.160240
22 3 -460.000000 0.000000 80.000000 1940.557983 120.000000 1941.750000 9.716198 -0.005848 12.993330 0.249189
23 3 -460.000000 0.000000 120.000000 1941.750000 160.000000 1940.621948 5.554076 -0.016522 33.704269 2.087933
24 3 -460.000000 0.000000 160.000000 1940.621948 200.000000 1930.005005 13.979576 0.026274 6.818531 0.961411
25 3 -460.000000 0.000000 200.000000 1930.005005 240.000000 1912.547974 17.266275 -0.035624 18.735556 0.767776
26 3 -460.000000 0.000000 0.000000 1918.145996 40.000000 1933.155029 9.062458 -0.001869 30.510254 0.596636
27 3 -460.000000 0.000000 40.000000 1933.155029 80.000000 1940.557983 4.757680 -0.000927 33.625187 0.113559
28 3 -460.000000 0.000000 80.000000 1940.557983 120.000000 1941.750000 3.780746 -0.004833 44.216827 0.781934
29 3 -460.000000 0.000000 120.000000 1941.750000 160.000000 1940.621948 2.773928 -0.007765 4.895351 1.986460
30 3 -460.000000 0.000000 160.000000 1940.621948 200.000000 1930.005005 3.118001 -0.011442 30.603058 3.228227
31 3 -460.000000 0.000000 200.000000 1930.005005 240.000000 1912.547974 10.070818 -0.017109 19.332508 0.693601
32 3 -460.000000 0.000000 0.000000 1918.145996 40.000000 1933.155029 9.793041 -0.002356 25.487127 0.215195
33 3 -460.000000 0.000000 40.000000 1933.155029 80.000000 1940.557983 6.031572 -0.009918 21.865828 0.431151
34 3 -460.000000 0.000000 80.000000 1940.557983 120.000000 1941.750000 4.868570 -0.016000 47.933273 2.502632
35 3 -460.000000 0.000000 120.000000 1941.750000 160.000000 1940.621948 1.799949 -0.016542 15.545723 1.093916
36 3 -460.000000 0.000000 160.000000 1940.621948 200.000000 1930.005005 8.105844 -0.033082 12.766004 2.021938
37 3 -460.000000 0.000000 200.000000 1930.005005 240.000000 1912.547974 6.989866 -0.020922 32.609730 1.451384
38 3 -460.000000 0.000000 0.000000 1918.145996 40.000000 1933.155029 22.561489 -0.031916 18.503704 0.492077
39 3 -460.000000 0.000000 40.000000 1933.155029 80.000000 1940.557983 18.195641 -0.052081 8.970517 1.238752
40 3 -460.000000 0.000000 80.000000 1940.557983 120.000000 1941.750000 13.030855 -0.032356 19.414974 7.543641
41 3 -460.000000 0.000000 120.000000 1941.750000 160.000000 1940.621948 13.451721 -0.036359 17.002746 0.450385
42 3 -460.000000 0.000000 160.000000 1940.621948 200.000000 1930.005005 26.176920 -0.047367 11.835915 1.015955
43 3 -460.000000 0.000000 200.000000 1930.005005 240.000000 1912.547974 28.351997 -0.031643 6.426887 1.927255
44 3 -460.000000 0.000000 0.000000 1918.145996 40.000000 1933.155029 7.997187 -0.711452 -763.827515 267.362488
45 3 -460.000000 0.000000 40.000000 1933.155029 80.000000 1940.557983 1.060570 -0.005770 23.141226 1.189898
46 3 -460.000000 0.000000 80.000000 1940.557983 120.000000 1941.750000 5.147435 -0.020656 2.839422 2.614410
47 3 -460.000000 0.000000 120.000000 1941.750000 160.000000 1940.621948 7.459357 -0.014065 7.254230 2.277333
48 3 -460.000000 0.000000 160.000000 1940.621948 200.000000 1930.005005 8.889297 -0.023353 30.520781 0.394913
49 3 -460.000000 0.000000 200.000000 1930.005005 240.000000 1912.547974 13.878868 -0.043158 16.193928 0.686075

```

```

6832 3 660.000000 800.000000 200.000000 2730.005005 240.000000 2712.547974 224.557480 0.292505 17.489433 1.512807
6833 3 660.000000 800.000000 0.000000 2718.145996 40.000000 2733.155029 255.597366 0.441167 21.919489 1.437400
6834 3 660.000000 800.000000 40.000000 2733.155029 80.000000 2740.557983 274.289978 0.458854 19.900084 1.327230
6835 3 660.000000 800.000000 80.000000 2740.557983 120.000000 2741.750000 180.340210 0.208924 18.736601 1.526256
6836 3 660.000000 800.000000 120.000000 2741.750000 160.000000 2740.621948 141.053360 0.358481 20.025969 1.585945
6837 3 660.000000 800.000000 160.000000 2740.621948 200.000000 2730.005005 242.863278 0.412751 21.027088 1.195774
6838 3 660.000000 800.000000 200.000000 2730.005005 240.000000 2712.547974 285.380066 0.474465 21.463633 1.178348
6839
6840 Topography
6841 1
6842 Topography in unstructured list
6843 Number of topography data points
6844 209
6845 1 -460.000000 0.000000 1868.771000
6846 2 -380.000000 0.000000 1864.527000
6847 3 -300.000000 0.000000 1864.520000
6848 4 -220.000000 0.000000 1867.118000
6849 5 -140.000000 0.000000 1887.269000
6850 6 -60.000000 0.000000 1912.700000
6851 7 -20.000000 0.000000 1918.146000
6852 8 20.000000 0.000000 1933.155000
6853 9 60.000000 0.000000 1940.558000
6854 10 100.000000 0.000000 1941.750000
6855 11 140.000000 0.000000 1940.622000
6856 12 180.000000 0.000000 1930.005000
6857 13 220.000000 0.000000 1912.548000
6858 14 260.000000 0.000000 1895.550000
6859 15 340.000000 0.000000 1888.405000
6860 16 420.000000 0.000000 1910.544000
6861 17 500.000000 0.000000 1907.983000
6862 18 580.000000 0.000000 1880.400000
6863 19 660.000000 0.000000 1848.231000
6864 20 -460.000000 80.000000 1861.259000
6865 21 -380.000000 80.000000 1858.773000
6866 22 -300.000000 80.000000 1857.340000
6867 23 -220.000000 80.000000 1860.523000
6868 24 -140.000000 80.000000 1879.466000
6869 25 -60.000000 80.000000 1906.112000
6870 26 -20.000000 80.000000 1917.343000
6871 27 20.000000 80.000000 1927.113000
6872 28 60.000000 80.000000 1930.542000
6873 29 100.000000 80.000000 1929.654000
6874 30 140.000000 80.000000 1924.657000
6875 31 180.000000 80.000000 1913.360000
6876 32 220.000000 80.000000 1895.723000
6877 33 260.000000 80.000000 1880.255000
6878 34 340.000000 80.000000 1888.910000
6879 35 420.000000 80.000000 1902.458000
6880 36 500.000000 80.000000 1879.540000

```

3.7 合格率导出

合格率导出格式为_passRate的txt文件，主要包含两部分，前部分为所有供电点的通道合格率，后部分为所有测量点的供电合格率；前后部分数据均为四列。供电点合格率数据第一列为供电点的SRS数据文件名，第二列为当前供电点的合格通道数，第三列为当前供电点通道总数，第四列为当前供电点的通道合格率；后部分测量点数据第一列为M电极x坐标，第二列为当前测量点的合格供电点数，第三列为当前测量点的总供电点数，第四列为当前测量点的供电合格率。具体数据格式如图3-16 合格率数据格式。具体步骤如下：

- (1) 导入采集的 SRS 文件。单击软件页面中的“导入数据”按钮，弹出打开数据页面，然后选择所有采集的 SRS 文件，并单击“打开”按钮，完成激电数据的导入。
- (2) 设置误差限制及范围限制。一般情况下设置为如图 3-15 所示的默认值，如果在拟断面图中发现部分异常点，可进一步缩小参数的范围及误差限制值以剔除异常点；如果数据质量较差，踢点较多，可适当放宽误差限制范围。



图 3-15. 范围限制及误差限制设置默认值

- (3) 输入需要导出的文件名，点击“导出合格率按钮”选择文件保存的目录地址，导出成功后将会在该目录下生成一个输入文件名+_passRate.txt 的文本文档；内容如图3-16.

1	file_name.....qualified_num.....total_num.....pass_rate(%)..
2	dwzL2-1F16N460S1.SRS.....30.....30.....100.00.....
3	dwzL4-1F16N460S1.SRS.....34.....35.....97.14.....
4	dwzL6-1F16N460S1.SRS.....35.....35.....100.00.....
5	dwzL8-1F16N460S1.SRS.....35.....36.....97.22.....
6	dwzL10-1F16N460S1.SRS.....35.....35.....100.00.....
7	
8	pos_m(x).....qualified_num.....total_num.....pass_rate(%)..
9	0.00.....27.....29.....93.10.....
10	40.00.....29.....29.....100.00.....
11	80.00.....27.....27.....100.00.....
12	120.00.....29.....29.....100.00.....
13	160.00.....28.....28.....100.00.....
14	200.00.....29.....29.....100.00.....
15	

图3-16. 合格率数据格式

四、扩频激电参数诠释

4.1 主频频率及组合频率

扩频波信号是一种包含多种主频信号的伪随机波形，主频能量大体分布均匀，且频点在线性坐标上呈等间距分布，主频数量 $N = 2^{m-1}$ ，其中 m 为扩频波的阶数。主频频率值的计算公式为 $f_i = f_1 \times i$ ，其中 f_i 为第 i 个主频的频率值， f_1 为扩频波的基频。为了提高抗干扰能力，软件会对相邻主频信号进行叠加以增强信噪比，叠加后的频率称为组合频率。每个组合频率叠加的主频数量一般为 4，叠加后的组合频率数 $N_c = N/4$ ，其中 N 为主频数量。每个组合频率能够算得 1 个视电阻率，相邻两个组合频率能够求得 1 个频散率和 1 个相对相位，所以单个测点一次采集能够同时获得 N_c 个视电阻率、 $N_c - 1$ 个频散率、 $N_c - 1$ 个相对相位。为了使频散率和相对相位的个数与视电阻率个数一致，使用第一个组合频率和最后一个组合频率计算出一个频散率和相对相位，作为最后一个频点的激电参数。比如，如果发射信号为 5 阶扩频信号，则信号具有 16 个主频频率，能够组合成 4 个组合频率，可以计算出 4 个视电阻率、4 个频散率和 4 个相对相位。

4.2 参数计算方法

第 j 个组合频率的复阻抗 C_j 的计算公式为

$$C_j = U_j / I_j \quad (1)$$

其中， U_i 为采集站电压信号的第 i 个组合频率的频谱值， I_i 为电流站电流信号的第 i 个组合频率的频谱值。

第 j 个组合频率的视电阻率 ρ_j 的计算公式为

$$\rho_j = k \times |C_j| \quad (2)$$

其中， k 为电法装置系数。

第 j 个组合频率的频散率 fs_j 为

$$fs_j = (|C_j| - |C_{j+1}|)/|C_j|. \quad (3)$$

当 $j = N_d$ 时，公式中的 C_{j+1} 应替换为 C_1 。

第 j 个组合频率的相对相位值 cp_j 为

$$cp_j = (r \times \varphi_j - \varphi_{j+1})/(1 - r), \quad (4)$$

其中， φ_j 为第 j 个组合频率的复阻抗相位， r 为组合频率的频率比值，当 $j = N_d$ 时，公式中的 φ_{j+1} 应替换为 φ_0 。

为了和常规极化率参数做对比，第 j 个组合频率的极化率可以近似为

$$\eta_j \approx cp_j/10. \quad (5)$$

五、 常见问题

1. 中梯扫面数据体中部分数据的测点名、X 坐标及 Y 坐标为“*”

可能原因：(1)制作的测量坐标文件中无该测点信息，需要补充该测点的信息项，每个测点都必须包含两个电极(M_n & M_{n+1})的位置信息。(2)测量坐标文件中对应测点的测线号输入有误，需要重新检查并修改该参数。(3)测量坐标文件中的测点 M_n 或测点 M_{n+1} 的相对坐标有误，应检查并修改；假设测点坐标文件中测点 M_n 与测点 M_{n+1} 之间的相对距离为 L_1 ，采集的 SRS 文件中存储的极距为 L_2 ，则 L_1 与 L_2 之间的相对误差不能超过 5%。