

15. 数学算法

15.1	标准平均误差 (SEM).....	2
15.2	三点去耦.....	3
	二进制频率	3
15.3	电阻率计算注意事项.....	4
15.4	电阻率计算.....	4
	偶极-偶极	4
	偶极-单极	4
	单极-单极	4
	梯度排列	5
	菜单	7
	施伦贝尔热	9
15.5	适用的可控源音频大地电磁 (CSAMT) 公式.....	11
15.6	实用瞬变电磁 (TEM) 公式.....	12

15.1 标准平均误差 (SEM)

标准平均误差或 SEM 是由标准偏差除以周期数或萃取 (bursts) 数的平方根来获得的:

$$SEM = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N} - \left(\frac{\sum_{j=1}^N x_j}{N}\right)^2}}{\sqrt{N}}$$

where: $x_j = \arctan \left[\frac{\text{imaginary}_j}{\text{real}_j} \right]$ 对频域程序

$x_j = \frac{\text{Window_Integral}_j}{V_{pj}}$ 对时域程序

$x_j = \frac{\text{Window_Voltage}_j}{\text{Current}}$ 对瞬变电磁程序

以及: N = 采集周期数

单位

SEM (TDIP) = SEM x 1000 x $\frac{0.116875}{\text{frequency}}$ 毫秒 (ms)

(RPIP) = SEM (CSAMT) = SEM x 1000 毫弧度

(CR) =

SEM (TEM) = SEM 以 V/A 为标定单位

15.2 三点去耦

均方 (QUADRATIC) 去耦公式

谐波频率

1. 一次, 三次, 五次谐波 (0.1,0.3,0.5 Hz; 0.125,0.375,0.625 Hz; 等等)

$$\phi_c = (15 \phi_1 - 10 \phi_3 + 3 \phi_5) / 8$$
2. 三次, 五次, 七次谐波 (0.3,0.5,0.7 Hz; 0.375,0.625,0.875 Hz; 等等)

$$\phi_c = (35 \phi_3 - 42 \phi_5 + 15 \phi_7) / 8$$
3. 0.1, 0.3, 1.0 Hz (0.1, 0.3, 1.0 Hz)

$$\phi_c = (35 \phi_1 - 15 \phi_3 + \phi_{10}) / 21$$
4. 一次, 三次, 五次, 七次谐波 (.1,.3,.5,.7 Hz; .125,.375,.625,.875 Hz; 等等)

$$\phi_c = (35 \phi_1 - 35 \phi_3 + 21 \phi_5 - 5 \phi_7) / 16$$

二进制频率

5. 三序列二进制频率 (0.125,0.250,0.5 Hz; 8,16,32 Hz; 等等)

$$\phi_c = (8 \phi_1 - 6 \phi_2 + \phi_3) / 3$$
6. 一, 二和四序列二进制频率 (0.125,0.250,1.0 Hz)

$$\phi_c = (48 \phi_1 - 28 \phi_2 + \phi_4) / 21$$
7. 四序列二进制频率 (0.125,0.250,0.5,1.0 Hz; 4,8,16,32 Hz; 等等)

$$\phi_c = (8 \phi_1 + 2 \phi_2 - 5 \phi_3 + \phi_4) / 6$$

在低频环境使用大偶极距操作时, 诸如一般的偶极-偶极或单极-偶极测量, 电磁耦合常常是激电测量中不可抗拒的因素。复电阻率(CR)程序提供了采用三点去耦算法自动消除电磁效应的方法, 该方法的假定前提是在极低频条件下激电效应是相对独立于频率的。在适度耦合环境, 这一程序效果良好。对强耦合环境(例如 10 欧姆.米大地地层并用 300 米偶极), 我们建议采用全频复电阻率测量, 以便更精确地消除电磁耦合。

在 GDP-32^{II} 中应用的三点去耦公式如下:

$$\phi_{3pt} = 1.875 \phi_1 - 1.25 \phi_3 + 0.375 \phi_5$$

$$\phi_1 = \text{基频相位}$$

$$\phi_3 = \text{三次谐波相位}$$

$$\phi_5 = \text{五次谐波相位}$$

15.3 电阻率计算注意事项

因为 RPIP (电阻率相位激电)和 CR(复电阻率)所接受到的电压振幅是用于付立叶变换的,用来计算视电阻率的方波电流必须乘以 $4/\pi$ 以获得等效付立叶振幅。因此,15.4 节中应用于 RPIP 和 CR 的电流值 (TX curr),必须乘以 $4/\pi$ 以便获得正确的视电阻率。

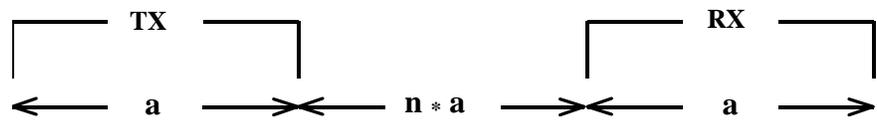
TDIP (时域激电)的电阻率计算应用的是(发送电流)接通期间接收电压的方波值,所以方波电流幅度可以直接应用。

15.4 电阻率计算

为了电阻率计算,GDP-32^{II} 程序中定义了五种装置类型。它们是偶极-偶极,单极-偶极,单极-单极,施伦贝尔热和梯度。

每一种装置的计算如下。操作者输入的参数以及 GDP-32^{II} 所测量的相位,在参数描述中是用[]括上的。

偶极-偶极



$$RHO(\text{视电阻率}) = (\pi * V / I) * (a * n * (n + 1) * (n + 2))$$

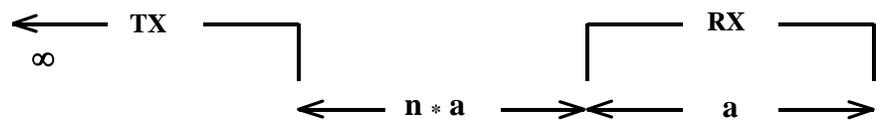
其中: $a = [A-SP]$ = A-间距 (米)

$n = [N]$ = N-间距

V = 接收电压(伏)[测量值]

$I = 4/\pi * [Tx Curr]$ = 发送电流(安)乘以 $4/\pi$

偶极-单极



$$RHO = (\pi * V / I) * (2 * a * n * (n + 1))$$

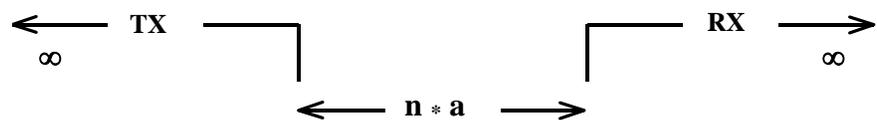
其中: $a = [A-SP]$ = 间距 (米)

$n = [N]$ = 间距

V = 接收电压(伏)[测量值]

$I = 4/\pi * [Tx Curr]$ = 发送电流(安)乘以 $4/\pi$

单极-单极



$$RHO = (\pi * V / I) * a * n * 2$$

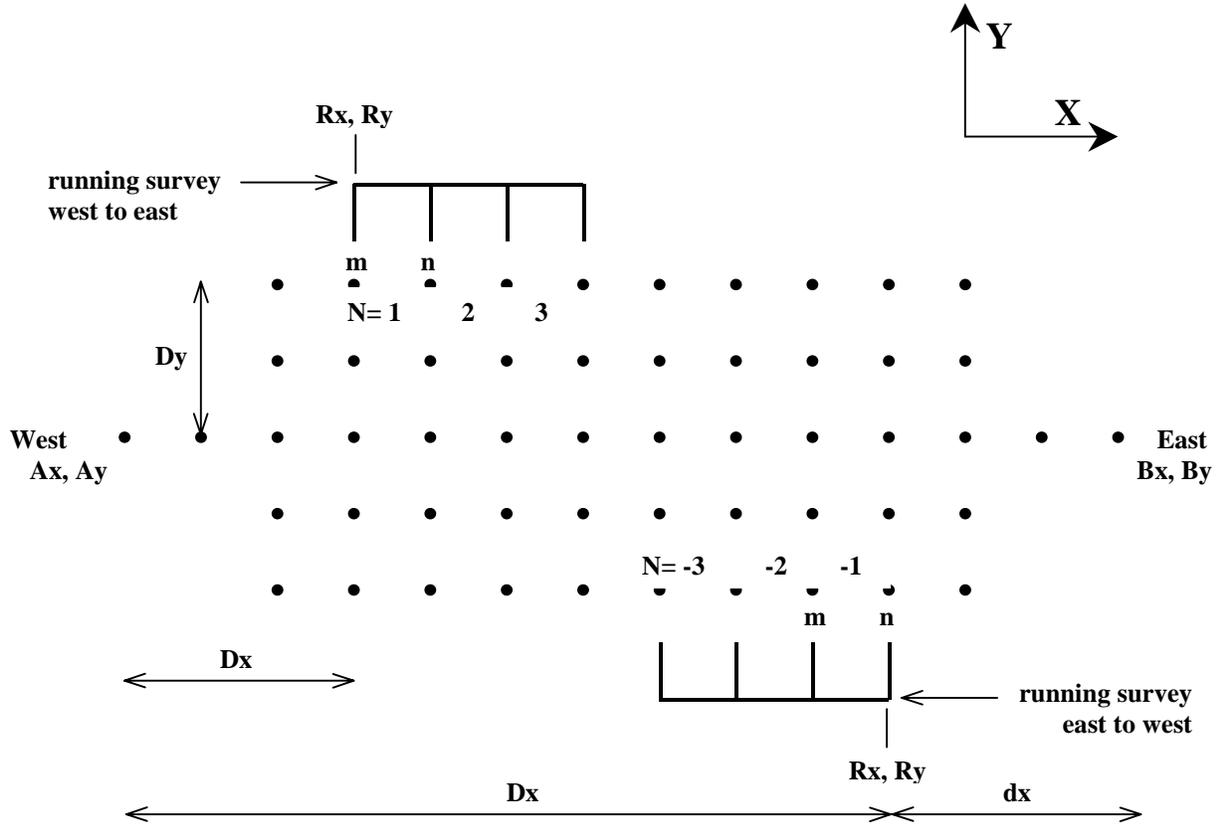
其中: $a = [A-SP]$ = 间距(米)(基本间距增量)

$n = [N]$ = A 的数量-电极间的间距

V = 接收电压(伏)[测量值]

$I = 4/\pi * [Tx Curr]$ = 发送电流(安)乘以 $4/\pi$

梯度排列



其中：

$$RHO = 2\pi * \frac{V}{I} * \frac{1}{\frac{1}{m_1A} - \frac{1}{m_2B} - \frac{1}{n_1A} + \frac{1}{n_3B}}$$

$$m_1A = \sqrt{(Dy^2 + Dx^2)}$$

$$n_1A = m_2A = \sqrt{(Dy^2 + (Dx + N_1 * a)^2)}$$

$$n_2A = m_3A = \sqrt{(Dy^2 + (Dx + N_2 * a)^2)}$$

$$n_3A = \sqrt{(Dy^2 + (Dx + N_3 * a)^2)}$$

$$Dx = |Ax - Rx|$$

$$Dy = |Ay - Ry|$$

$$dx = |Ax - Bx| - Dx$$

$$m_1B = \sqrt{(Dy^2 + dx^2)}$$

$$n_1B = m_2B = \sqrt{(Dy^2 + (dx - N_1 * a)^2)}$$

$$n_2B = m_3B = \sqrt{(Dy^2 + (dx - N_2 * a)^2)}$$

$$n_3B = \sqrt{(Dy^2 + (dx - N_3 * a)^2)}$$

为了这些计算，我们假定编号(坐标)数值向右和向上增大(例如向东和向北)。

梯度装置注意事项

这一电阻率计算方案的目的是为了对梯度测量易于输入方格坐标。

注意：菜单 2 中的测线编号在这个程序中已经随着 AB 发送偶极的 Y 坐标而被改变为 Ay 了。仔细阅读下述标志：

$a = [\mathbf{A-SP}] =$ 间距(接收偶极尺寸)(米)

$V =$ 接收电压(伏) [测量值]

$I = 4/\pi * [\mathbf{Tx Curr}] =$ 发送电流(安)乘以 $4/\pi$ (安)

$4/\pi$ 因子包含于软件中

$\mathbf{Ax}, \mathbf{Bx} =$ 发送电流供电电极位置 A 和 B, Ax 和 Bx 在菜单 1 中输入(以米为单位), 并且是坐标位置。

$\mathbf{Ay} = \mathbf{By} =$ 在菜单 2 中输入的发送偶极的 Y 坐标(以米为单位)。如果发送偶极沿基线移动, 则调为 0。

$\mathbf{AB} = |\mathbf{Ax} - \mathbf{Bx}| =$ 发送偶极长度(米)。

Rx 和 Ry 是接收配置中第一个电极的坐标。

$\mathbf{Rx} = [\mathbf{Rx}] =$ 平行于发送电极的第一个测量电极的坐标。如果由西向东移动, 它将是西边的一个, 如果自东向西移动, 它就是最东面的。如果 Ax 调节为 0, Rx 将等于 Dx, 并且是离开 Ax 的距离。

$\mathbf{Ry} = [\mathbf{Ry}] =$ 垂直于发送偶极的第一个测量电极的坐标。如果让测线 (LINE) 调为 0, Ry 将是离开 AB 偶极的距离并且将等于 Dy。

$\mathbf{N} =$ 涉及 Rx 的电极位置(乘以 a 倍)。如果沿坐标增加方向移动, 此值为正。如果沿坐标减小方向移动, 此值为负(在其它程序中此值作为 N-间距应用)。

电阻率计算中输入参数可概述为:

\mathbf{Ax}, \mathbf{Bx} : 菜单 1, 以米为单位。 发送偶极的 X 坐标

\mathbf{Ay} : 菜单 2, 以米为单位。 发送偶极的 Y 坐标。

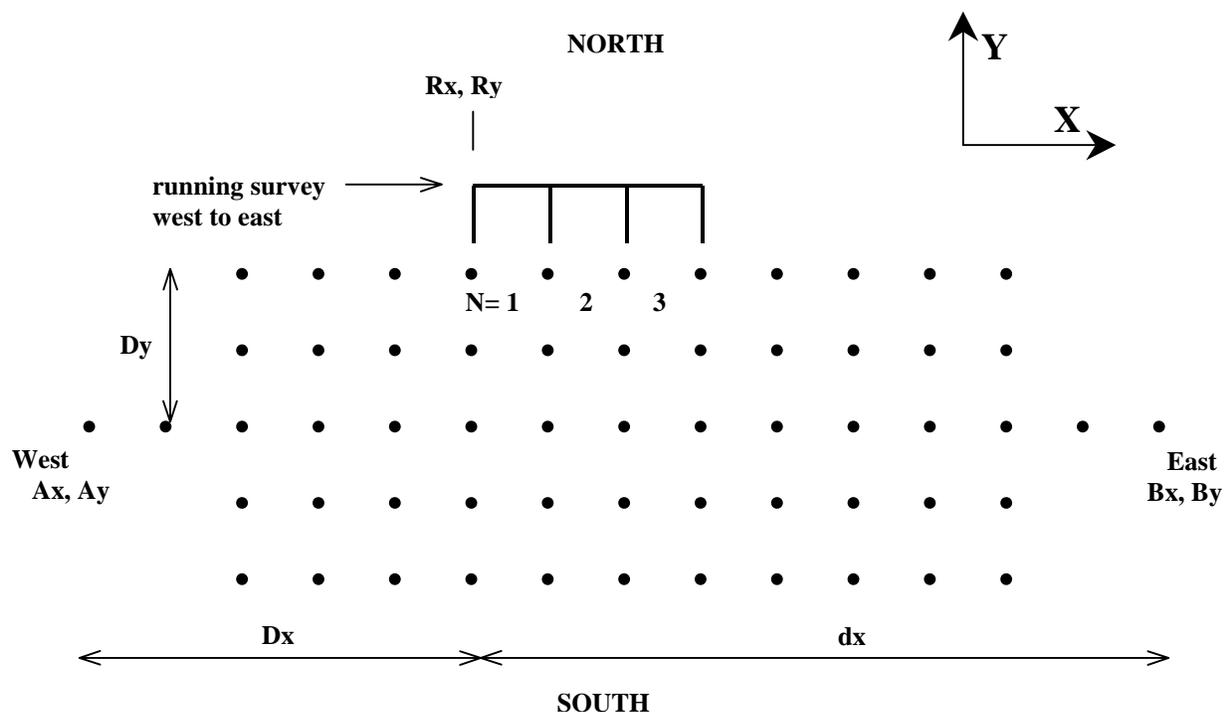
$\mathbf{A-SP}$: 菜单 2, 以米为单位。 接收偶极间距。

\mathbf{Rx}, \mathbf{Ry} : 菜单 4, 以米为单位。 第一个接收电极的坐标。

$\mathbf{Tx Curr}$: 菜单 4, 以安培为单位。 发送电流。

\mathbf{N} : 菜单 3, 4。乘积 $a*N$ =涉及 Rx 的测量电极位置。

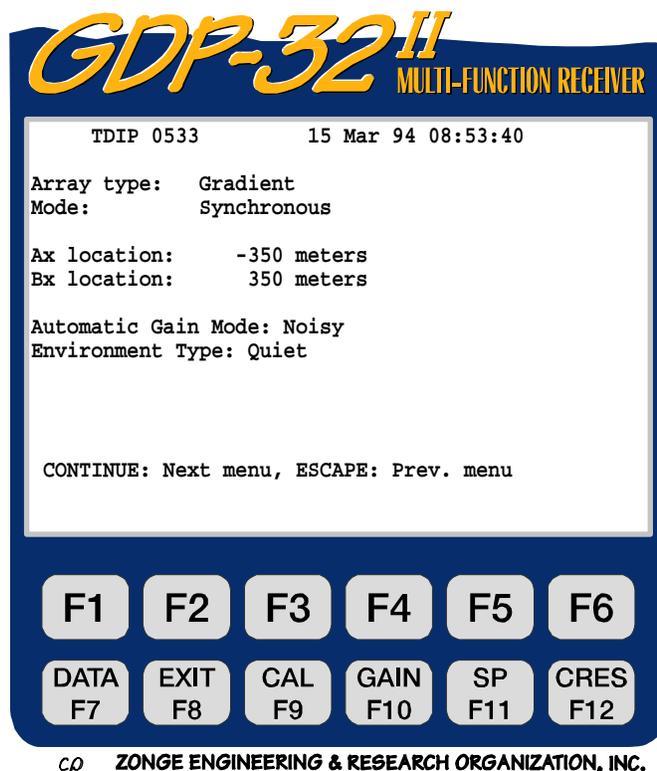
一个梯度装置实例



AB 发送偶极安置于方格线 52000N,a-间距=50 米。北-南基线穿过装置中部，所以 A 在-350米(350W)而 B 在+350米(350E)。第一个测量电极位置如图所示在-00米(100W)并且在发送偶极以北 100米或在 52100。数据将输入如下：

菜单

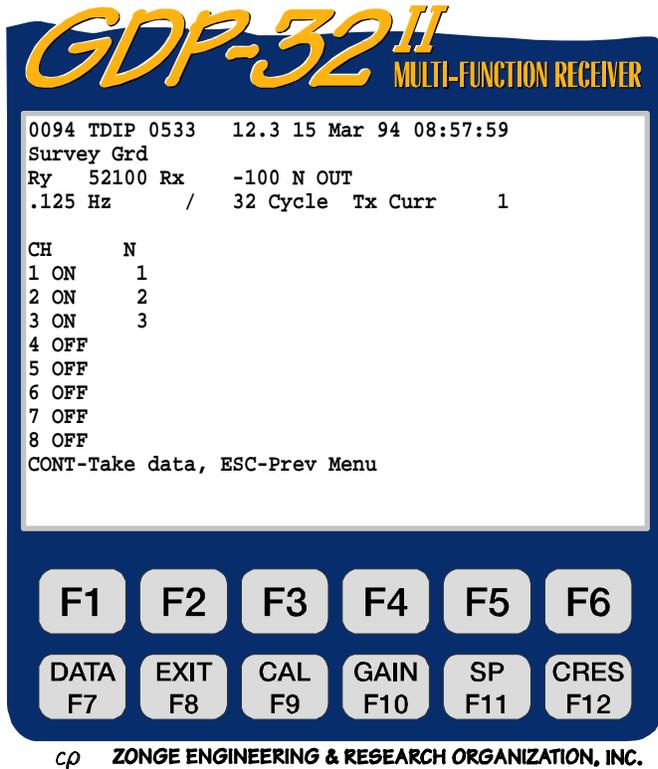
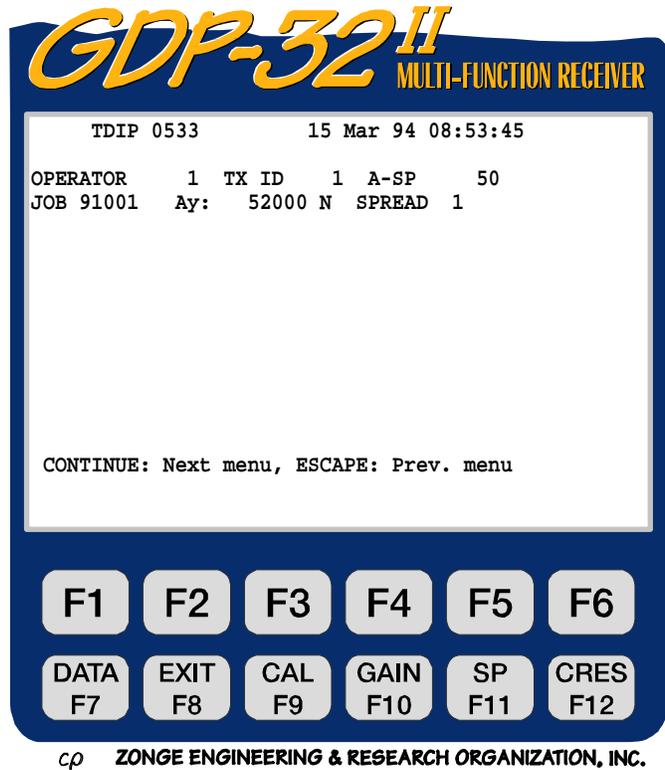
Ax = -350
Bx = +350



cp ZONGE ENGINEERING & RESEARCH ORGANIZATION, INC.

菜单 2

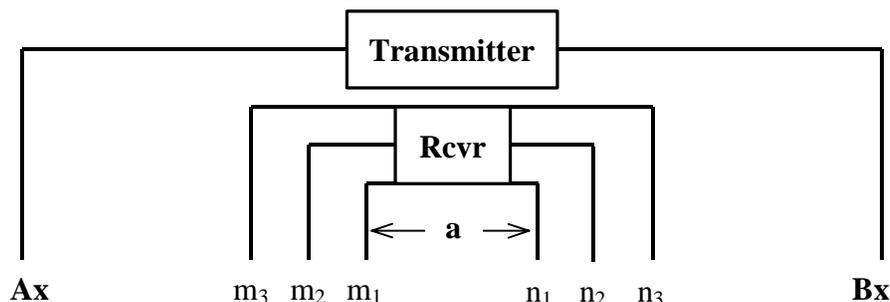
A-Sp= 50 米
Ay = 52000



菜单 4

← 选择梯度装置
Ry = 52100
Rx = -100

施伦贝尔热



$$mA = \frac{1}{2} (AB - Na)$$

$$mB = \frac{1}{2} (AB + Na)$$

$$RHO = 2\pi * \frac{V}{I} * \frac{1}{\frac{1}{mA} - \frac{1}{mB} - \frac{1}{nA} + \frac{1}{nB}}$$

$$nA = \frac{1}{2} (AB + Na)$$

$$nB = \frac{1}{2} (AB - Na)$$

其中： a = [A-SP] = a-间距 (接收偶极尺寸) (米)

V = 接收电压 (测量值) (伏)

I = $4/\pi * [Tx Curr]$ = $4/\pi$ 乘以发送电流 (安)

N = 在电阻率和激电测量中, 为偶极间隔系数. 在其它方法中, 为测点间距。

m,n = 测量电极位置

A,B = 供电电极位置。Ax 和 Bx 在菜单 1 中输入并且可以作为坐标位置。

AB = |Ax - Bx| (米)

假定：接收偶极中心邻近于发送偶极 (AB) 中部。

注意：施伦贝尔热和温纳尔装置是梯度装置的特例。

输入参数：

Ax, Bx : 菜单 1, 以米为单位。

A-SP : 菜单 2, 以米为单位。在公式中以 a 表示。

N : 菜单 3 和 4。乘积 a*N=测量电极长度。

Tx Curr: 菜单 4, 以安培为单位。

在上述图示中, 如果测量偶极是 10, 20 和 30 米长度, a=10 米, 并且 10

米偶极连到通道 1, 20 米偶极连到通道 2 而 30 米偶极连到通道 3, 那么操作者将对通道 1 输入 N=1, 对通道 2 输入 N=2, 而对通道 3 输入 N=3。

菜单 2 中的测线编号，是通过数据处理程序作为一个垂直于测线方向的方格坐标来应用的。

T_x 和 R_x 项是通过数据处理程序作为测量参数来应用的。无论菜单是否存取， A_x 和 B_x 值都将自动调节为 $T_x=AB/2$ 和 $R_x=A_x+AB/2$ =接收装置。

为了增加测量速度，操作者可在菜单 4 T_x 项中改变 $AB/2$ 的数值，而不必返回菜单 1。在测深中 R_x 将不改变，除非操作者返回菜单 1 从而 T_x 和 R_x 的结果会自动更新。

对电阻率计算，数据采集程序将始终应用 T_x 数值= $AB/2$ 。

一个施伦贝尔热配置的实例：

令 AB 发送偶极长度为 1000 米，起始测量偶极间距为 10 米，我们想同时按对数间距 10 米，30 米和 100 米测量三个测量电极。

数据将输入如下：

菜单 1:	菜单 2:	菜单 4:
$A_x = 1000$	$A-Sp = 10$ 米	CH N
$B_x = 0$		1 ON 1
		2 ON 3
		3 ON 10

一个利用施伦贝尔热程序的温纳尔配置实例：

令 AB 发送偶极长度为 90 米，然后测量偶极间距将是 30 米。

数据输入如下：

菜单 1:	菜单 2:	菜单 4:
$A_x = 90$	$A-Sp = 30$ 米	CH N
$B_x = 0$		1 ON 1

15.5 适用的可控源音频大地电磁(CSAMT)公式

Cagniard 电阻率, ρ_a :

$$\rho_a = \frac{1}{5f} \left| \frac{E}{H} \right|^2 \quad (\text{欧姆-米})$$

相位差, Φ :

$$\phi = \phi E - \phi H \quad (\text{毫弧度})$$

趋肤深度定义为:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu \sigma \omega}} = 503 \sqrt{\frac{\rho_a}{f}} \quad (\text{米})$$

等效探查深度, D:

$$D = 356 \sqrt{\frac{\rho_a}{f}} \quad (D \text{ 以米为单位})$$

波长, λ : , λ :

$$\lambda = 2\pi\delta$$

其中:

E = 电场 (伏/公里)

H = 磁场 (伽码) 或毫微特斯拉

Φ = 相位 (毫弧度)

μ = 空气的导磁系数

$$= 4\pi \times 10^{-7}$$

σ = 导电率 (西门/米)

$$= 1/\rho$$

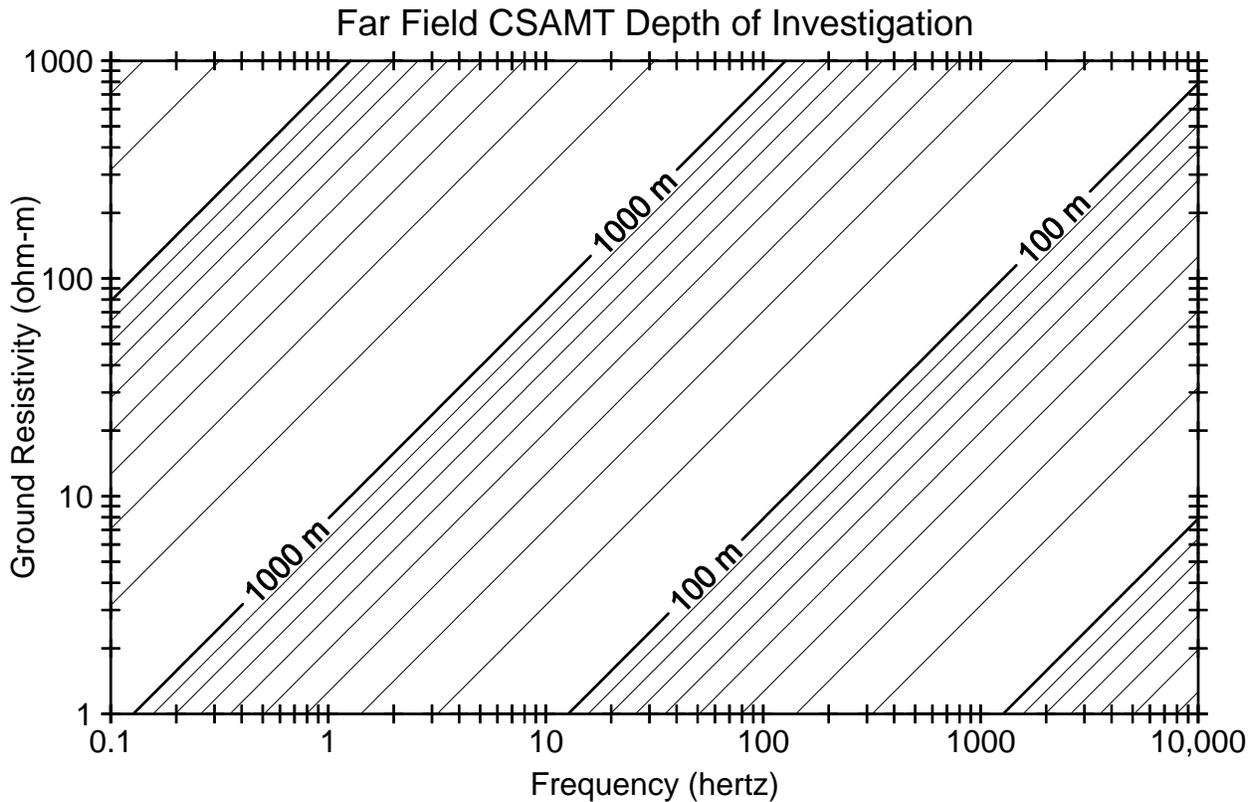
$$\omega = 2\pi f,$$

f = 频率 (Hz)

ρ = 电阻率 (欧姆. 米)

$$= 1/\sigma$$

远场 CSAMT 探查深度



15.6 实用瞬变电磁 (TEM) 公式

视电阻率, ρ_a , (晚期时间)

$$\rho_a = \left(\frac{I A_T A_R}{V} \right)^{(2/3)} \left(\frac{1}{t} \right)^{\frac{5}{3}} \times 6.3219E-3 \quad (\text{欧姆-米})$$

扩散深度, d :

$$d = 40 \sqrt{\frac{t}{\sigma}} = 40 \sqrt{\rho_a t} \quad (\text{米})$$

等效探查深度, D :

$$D = 28 \sqrt{\frac{t}{\sigma}} = 28 \sqrt{\rho_a t} \quad (\text{米})$$

其中:

A_T = 发送磁矩 (平方米)

A_R = 接收磁矩 (平方米)

I = 发送电流 (安)

t = 时间 (毫秒)

V = 接收电压 (微伏)

σ = 导电率 (西门/米) = $1/\rho$

瞬变电磁 (TEM) 的探查深度图示, 假定噪声电平为 1 毫微伏/米²。显示出了 100x100 和 500x500M1 迴线的绝对界限。

TEM 探查深度

