第38卷 第1期　　地球物理学报　　Vol. 38, No. 1
1995年1月　　ACTA GEOPHYSICA SINICA　　Jan., 1995

地层电磁反射波的频谱及频散特性

王友善
（中国科学技术大学，合肥 230026）

摘　要

从电磁波在地下传播的一般原理出发，给出了地层界面电磁反射波的频谱及频散特性公式，为岩性电测深法的研究提供参考.

关键词　地层，电磁反射波，频谱，频散.

一、引　言

利用电磁波探测地层电性，首先要研究地层电磁反射波的频谱和频散特性. 一方面是为了确定可能的探测深度和可利用的波段，另一方面由于地层电磁反射波必然会受到地层介质电性的影响，带回介质电性的信息. 因此从理论上给出反射波场强与频率、地层电导率和反射界面深度的关系以及频散关系，对进一步研究岩性电测深方法是有意义的.

二、公式推导

1. 各界面反射波的相对场强

设地下为水平分层结构，平面电磁波垂直入射，如图1所示. E_{i0}，$E_{rk}(\kappa=0,1,2,\cdots)$ 分别为入射波和各界面反射波的场强复振幅，T_k 和 T'_k 分别为向下和向上的透射系数，R_k 为界面反射系数，σ_k 为电导率，d_k 为层厚. 则有地面合场强：$E=E_{i0}+E_{r0}+E_{r1}+E_{r2}+\cdots$，地面透射波场强：$E_{t0}=E_{i0}+E_{r0}=E_{i0}T_0$. 只考虑各界面一次反射的主波（由于存在吸收，可略去层间多次反射的贡献），所以各界面反射波的相对场强为

$$\begin{cases} E_0=E_{r0}/E_{i0}=T_0-1, \\ E_1=E_{r1}/E_{i0}=T_0T'_0R_1e^{-2\alpha_1d_1}e^{i(-2\beta_1d_1)}, \\ E_2=E_{r2}/E_{i0}=T_0T'_0T_1T'_1R_2e^{-2(\alpha_1d_1+\alpha_2d_2)} \\ \qquad \times e^{i[-2(\beta_1d_1+\beta_2d_2)]}, \\ \qquad\qquad \vdots \\ E_k=E_{rk}/E_{i0}=T_0T'_0T_1T'_1\cdots T_{k-1}T'_{k-1} \\ \times R_ke^{-2(\alpha_1d_1+\cdots+\alpha_kd_k)}e^{i[-2(\beta_1d_1+\cdots+\beta_kd_k)]}, \\ \qquad\qquad \vdots \end{cases} \tag{1}$$

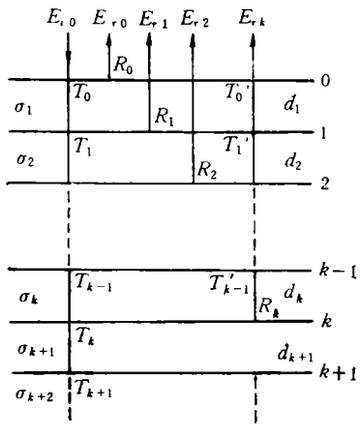

图1　地层结构与入射波和界面反射波示意图

本文1993年6月5日收到，1994年6月6日收到修改稿.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

式中 α 为衰减常数，β 为相位常数。

由电磁学知，反射系数、透射系数与波阻抗 Z 的关系为[1]

$$\begin{cases} R_k = (Z_{k+1} - Z_k)/(Z_{k+1} + Z_k), \quad T_k = 2Z_{k+1}/(Z_{k+1} + Z_k), \\ T'_k = 2Z_k/(Z_k + Z_{k+1}), \quad (k = 0,1,2,\cdots) \end{cases} \tag{2}$$

所以，$T_kT'_k = 1 - R_k^2$，$R'_k = -R_k$。

(1) 各层介质都满足 $\sigma \gg \omega\varepsilon$ 的情形

当 $\sigma \gg \omega\varepsilon$，有[1]

$$\begin{aligned} \alpha = \beta &\approx \sqrt{\omega\mu\sigma/2} = 2\pi \times 10^{-4}\sqrt{10f\sigma}, \\ Z &\approx \sqrt{i\omega\mu/\sigma}, \end{aligned} \tag{3}$$

式中 $\omega, f, \mu, \varepsilon$ 分别为圆频率、频率，磁导率和介电常数。空气中的波阻抗为 $Z_0 \simeq \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$，$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\mathrm{H/m}, \varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\mathrm{F/m}$，$\mu_0$、$\varepsilon_0$ 分别为真空磁导率和介电常数。对于非铁磁性介质有 $\mu \approx \mu_0$，把波阻抗公式代入(2)式可得

$$\begin{cases} T_0 = 2Z_1/(Z_1 + Z_0) = |T_0|e^{i\varphi_0}, \quad T'_0 = 2Z_0/(Z_0 + Z_1) = |T'_0|e^{i\varphi'_0}, \\ |T_0| = 2\sqrt{f}\Big/\sqrt{f + \sigma_1/2\pi\varepsilon_0 + \sqrt{f\sigma_1/\pi\varepsilon_0}}, \\ \varphi_0 = \arctan\,[1/(1 + \sqrt{2\omega\varepsilon_0/\sigma_1})], \\ |T'_0| = \sqrt{2\sigma_1/\pi\varepsilon_0}\Big/\sqrt{f + \sigma_1/2\pi\varepsilon_0 + \sqrt{f\sigma_1/\pi\varepsilon_0}}, \\ \varphi'_0 = \arctan\,[-1/(1 + \sqrt{2\sigma_1/\omega\varepsilon_0})]; \end{cases} \tag{4}$$

所以 $T_0T'_0 = [4\sqrt{\sigma_1/\omega\varepsilon_0}/(1 + \sigma_1/\omega\varepsilon_0 + \sqrt{2\sigma_1/\omega\varepsilon_0})]e^{i(\varphi_0+\varphi'_0)}$

$$\approx [\sqrt{8f}/(\sqrt{f} + \sqrt{\sigma_1/4\pi\varepsilon_0})]e^{i(\varphi_0+\varphi'_0)}; \tag{5}$$

$$\begin{cases} T_k = 2/(1 + \sqrt{\sigma_{k+1}/\sigma_k}), \quad T'_k = 2/(1 + \sqrt{\sigma_k/\sigma_{k+1}}) \\ T_kT'_k = 4\sqrt{\sigma_k\sigma_{k+1}}/(\sqrt{\sigma_k} + \sqrt{\sigma_{k+1}})^2, \quad (k = 1,2,\cdots) \end{cases} \tag{6}$$

$$R_k^{1)} = (\sqrt{\sigma_k} - \sqrt{\sigma_{k+1}})/(\sqrt{\sigma_k} + \sqrt{\sigma_{k+1}}), \quad (k = 1,2,\cdots). \tag{7}$$

把以上有关各式代入(1)式有

$$E_1 = \left(\frac{\sqrt{\sigma_1} - \sqrt{\sigma_2}}{\sqrt{\sigma_1} + \sqrt{\sigma_2}}\right)\frac{\sqrt{8f}}{\sqrt{f} + \sqrt{\sigma_1/4\pi\varepsilon_0}}e^{-4\pi\times10^{-4}\sqrt{10f}\sqrt{\sigma_1}d_1}e^{i\psi_1}, \tag{8}$$

$$E_k = \left(\frac{\sqrt{\sigma_k} - \sqrt{\sigma_{k+1}}}{\sqrt{\sigma_k} + \sqrt{\sigma_{k+1}}}\right)\frac{\sqrt{8f}}{\sqrt{f} + \sqrt{\sigma_1/4\pi\varepsilon_0}}\left[\prod_{s=1}^{k-1}\frac{4\sqrt{\sigma_s\sigma_{s+1}}}{(\sqrt{\sigma_s} + \sqrt{\sigma_{s+1}})^2}\right]$$

$$\times e^{-4\pi\times10^{-4}\sqrt{10f}\left(\sum_{s=1}^{k}\sqrt{\sigma_s}d_s\right)}e^{i\psi_k}, \quad (k = 2,3,\cdots) \tag{9}$$

1) R_k 可正可负，根据相邻两介质电导率的相对大小而定．由(9)和(10)式，R 为负时 E 为负，可将负号归入相位中，因 $-1 = e^{i\pi}$.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中
$$\psi_1 = \varphi_0 + \varphi_0' - 4\pi \times 10^{-4}\sqrt{10f}\sqrt{\sigma_1}\,d_1,$$
$$\psi_k = \varphi_0 + \varphi_0' - 4\pi \times 10^{-4}\sqrt{10f}\left(\sum_{s=1}^{k}\sqrt{\sigma_s}\,d_s\right).$$

由(8)和(9)式对 f 求极值，可得到峰值频率 f_{0k} 为

$$f_{0k} = \frac{1}{4}\left[-\sqrt{\frac{\sigma_1}{4\pi\varepsilon_0}} + \sqrt{\frac{\sigma_1}{4\pi\varepsilon_0} + \sqrt{\frac{5\sigma_1}{2\pi^3\varepsilon_0}} \times 10^3 \Big/ \left(\sum_{s=1}^{k}\sqrt{\sigma_s}\,d_s\right)}\right]^2, \tag{10}$$

式中取 $k = 1,2,\cdots$，分别表示界面 $1,2,\cdots$ 反射波的峰值频率。出现峰值频率是因为地面透射系数 T_0 随频率升高而增大，另一方面在地下传播时场强又随频率升高呈指数衰减。

因 $\sum_{s=1}^{k}\sqrt{\sigma_s}\,d_s = \sum_{s=1}^{k-1}\sqrt{\sigma_s}\,d_s + \sqrt{\sigma_k}\,d_k$，令 $\sum_{s=1}^{k-1}\sqrt{\sigma_s}\,d_s = \sqrt{\sigma}\,h$，$h$ 为 k 层顶部的深度，显然有：$h = \sum_{s=1}^{k-1} d_s$；σ 则为地面到 h 层顶部的等效电导率[1)]，所以有

$$\sigma = \left(\sum_{s=1}^{k-1}\sqrt{\sigma_s}\,d_s \Big/ \sum_{s=1}^{k-1} d_s\right)^2. \tag{11}$$

(2) 地层中夹有 $\sigma \ll \omega\varepsilon$ 层的情形

假设第 p 层媒质为 $\sigma \ll \omega\varepsilon$，其上下各层仍满足 $\sigma \gg \omega\varepsilon$，地层结构和各层参数如图 2 所示。

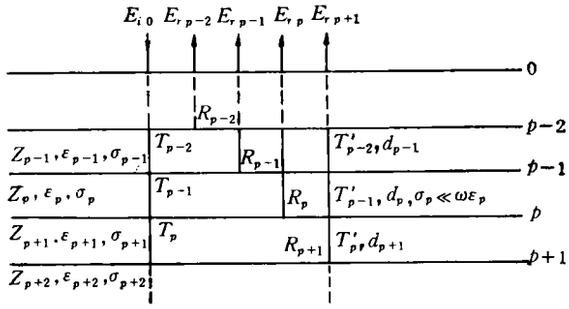

图 2　地层结构示意图

第 p 层 $\sigma \ll \omega\varepsilon$，其他各层仍为 $\sigma \gg \omega\varepsilon$。

显然，界面 $p-2$ 以上仍可用 $\sigma \gg \omega\varepsilon$ 条件下导出的公式，而 $p-2$ 界面以下将受到 $\sigma \ll \omega\varepsilon$ 层的影响。透射系数 $T_{p-1}, T'_{p-1}, T_p, T'_p$ 和反射系数 R_{p-1}，R_p 与(6)和(7)式不同。因 $\sigma_p \ll \omega\varepsilon_p$，该层波阻抗、衰减常数和相位常数分别为[1]

$$Z_p \approx \sqrt{\mu/\varepsilon_p}, \quad \alpha_p \approx \sigma_p\sqrt{\mu/\varepsilon_p}\Big/2, \quad \beta_p \approx \omega\sqrt{\mu\varepsilon_p}, \tag{12}$$

1) 此处定义的等效电导率与视电阻率法中定义的等效电导率不同。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由(2)式有

$$\begin{cases} T_{p-1} = |T_{p-1}|e^{i\varphi_{p-1}},\ T'_{p-1} = |T'_{p-1}|e^{i\varphi'_{p-1}}, \\ |T_{p-1}| = 2\sqrt{\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p}\Big/\sqrt{1+\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p+\sqrt{2\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p}}, \\ \varphi_{p-1} = \arctan[-1\Big/(1+\sqrt{2\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p})], \\ |T'^{-}_{p-1}| = 2\Big/\sqrt{1+\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p+\sqrt{2\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p}}, \\ \varphi'_{p-1} = \arctan[1/(1+\sqrt{2\omega\varepsilon_p/\sigma_{p-1}})], \end{cases} \tag{13}$$

所以 $T_{p-1}T'_{p-1} \simeq [\sqrt{8f}\Big/(\sqrt{f}+\sqrt{\sigma_{p-1}/4\pi\varepsilon_p})]e^{i(\varphi_{p-1}+\varphi'_{p-1})}$; (14)

$$\begin{cases} R_{p-1} = |R_{p-1}|e^{i\theta_{p-1}},\ R_p = |R_p|e^{i\theta_p}, \\ |R_{p-1}| = \sqrt{1+(\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p)^2}\Big/(1+\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p+\sqrt{2\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p}), \\ \theta_{p-1} = \arctan[\sqrt{2\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p}\Big/(1-\sigma_{p-1}/\omega\varepsilon_p)], \\ |R_p| = \sqrt{1+(\sigma_{p+1}/\omega\varepsilon_p)^2}\Big/(1+\sigma_{p+1}/\omega\varepsilon_p+\sqrt{2\sigma_{p+1}/\omega\varepsilon_p}), \\ \theta_p = \arctan[\sqrt{2\sigma_{p+1}/\omega\varepsilon_p}\Big/(1-\sigma_{p+1}/\omega\varepsilon_p)]. \end{cases} \tag{15}$$

由(15)式可看出，当 $\sigma_{p+1} = \sigma_{p-1}$ 时，R_{p-1} 与 R_p 的表达式相同，但实际上它们在位相上相差 π，这相当于同一界面两侧的反射系数间的关系。

(15)式可用于地表面，只要取 $p=0$，$\sigma_{p+1}=\sigma_1$，$\varepsilon_p=\varepsilon_0$ 就可得到地表面的反射系数 R_0。

由于界面 $p-1$ 及其以下各界面反射波相对场强都受到 $\sigma_p \ll \omega\varepsilon_p$ 层的影响，相应的峰值频率公式将与(10)式不同，这里从略。

2. 反射波的群时延

由电磁学，群速度为

$$v_g = \frac{\partial\omega}{\partial\beta} \approx \sqrt{8\omega/\mu\sigma}, \quad 当\ \sigma \gg \omega\varepsilon;$$

$$v'_g = \frac{\partial\omega}{\partial\beta} \approx 1/\sqrt{\mu\varepsilon}, \quad 当\ \sigma \ll \omega\varepsilon.$$

设反射界面深度为 h，则群时延为

$$t = 2\int_0^{h_1}\frac{dh}{v_g} + 2\int_{h_1}^{h_1+d_p}\frac{dh}{v'_g} + 2\int_{h_1+d_p}^{h}\frac{dh}{v_g},$$

对于水平分层介质可得到

$$t = \sqrt{10/f}\times 10^{-4}(\sqrt{\sigma_1}d_1+\sqrt{\sigma_2}d_2+\cdots) + 2\sqrt{\mu\varepsilon_p}d_p + \sqrt{10/f}\times 10^{-4}(\sqrt{\sigma_{p+1}}\ d_{p+1}+\cdots), \tag{16}$$

若没有 $\sigma \ll \omega\varepsilon$ 层，则群时延为

$$t_k = \sqrt{10/f}\times 10^{-4}\sum_{s=1}^{k}\sqrt{\sigma_s}\ d_s, \quad (k=1,2,\cdots). \tag{17}$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

根据以上导出的公式，可以看到：

(1) 相对场强定义为 E_{rk}/E_{i0} 时(这里 E_{i0} 是入射波场强)，相对场强随频率的变化不是简单的指数关系，存在着峰值频率 f_{0k}。

(2) k 界面的反射波相对场强 E_k，包含了 k 界面以下相邻介质电导率 σ_{k+1} 的信息。而其峰值频率 f_{0k} 与 k 界面以下的介质无关。

(3) 群时延反映了电磁波在地下传播的频散效应。如果波源是脉冲波，则有可能利用群时延将各层界面反射脉冲区分开，从而达到探测地层的目的，特别是地层深部探测。

(4) 如果利用脉冲法可以测出 E_k 和 t_k，由于 E_k 和 t_k 的方程组是闭合的，因此其解将是唯一的。

(5) 由于存在峰值频率，当波源由人工发射时，E_{i0} 已知，则由峰值频率公式可选择最佳工作频率。这对于埋藏在同一介质中的目标物(如水下目标物)的探测可能有用的。

(6) 地下空洞一般属于 $\sigma \ll \omega\varepsilon$ 层，因此本节(2)中的讨论可用于研究地下空洞的探测问题。

(7) 由于反射波相对场强 E_k 与地层电导率 σ 有关，$E_k \propto R_k = \dfrac{(\sqrt{\sigma_k} - \sqrt{\sigma_{k+1}})}{(\sqrt{\sigma_k} + \sqrt{\sigma_{k+1}})}$ 监测 E_k 的相对变化，有可能作为地震预报的一种参考手段。因为地层受挤压或松散会引起相对电导率的变化，从而使 E_k 增大或减小，偏离了正常值。

三、模拟计算

1. 模型 1 与计算结果见图 3。σ_1 理解为(11)式表示的等效电导率，取 $\sigma_1 = 1\times10^{-2}$，$1\times10^{-3}$ 或 1×10^{-4}S/m，$\sigma_2 = 1\times10^{-6}$S/m，分别计算了层厚 $d_1 = 5$，10km 时反射波的相对场强 E_1。假设入射波场强 $E_{i0} = 2$mV/m，则反射波场强 $E_{r1} = 2E_1 \geqslant 20$nV/m。

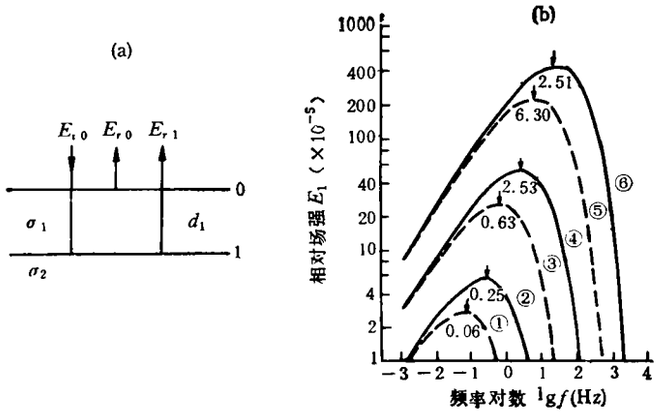

图 3　模型 1

(a) 地层结构示意图；(b) 界面反射波相对场强的幅频特性曲线。实线的 $d_1 = 5$km，虚线的 $d_1 = 10$km，①和②中 $\sigma_1 = 10^{-2}$S/m；③和④中 $\sigma_1 = 10^{-3}$S/m；⑤和⑥中 $\sigma_1 = 10^{-4}$S/m。箭头处数值为峰值频率。线⑥的峰值应为 25.1

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

就目前技术,仪器灵敏度达到“nV”量级是有可能的.

2.模型2与计算结果示于图4. 为了比较,在 $d_1=6$m 时 d_2 分别取 5,10,25m,给出3条 E_2 曲线. E_1 的峰值频率 $f_{01}=256.56$kHz, 图中未绘出. 地面透射系数 $T_0=E_{t0}/E_{i0}$ 在所取坐标中近似直线, 图 4c 为界面反射波的频率与时间特性曲线, 它表示电磁波在地下传播的频散特性; 曲线①为界面1反射波的频时特性, ②与③分别表示 $d_2=10$m 和 25m 时界面2反射波的频时特性.

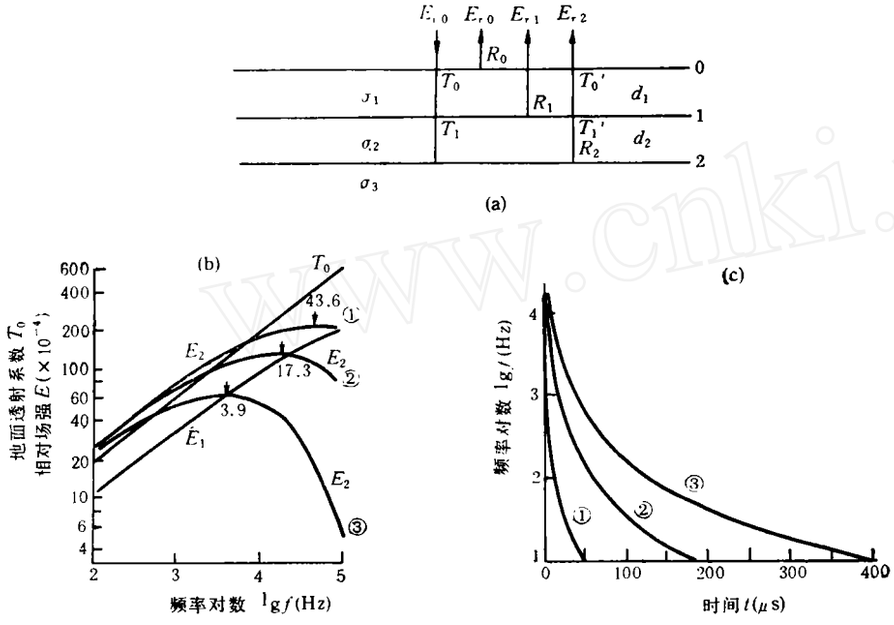

图 4 模型 2

(a) 地层结构示意图: 淤泥层 $\sigma_1=6\times10^{-3}$S/m, 含水沙层 $\sigma_2=2\times10^{-2}$S/m, 石灰岩层 $\sigma_3=3\times10^{-4}$S/m;
(b) 界面反射波相对场强的振幅频率特性曲线,箭头处数值为峰值频率;
(c) 界面反射波的频时特性曲线(频散特性).
①$d_2=5$m, ②$d_2=10$m, ③$d_2=25$m.

3.地层结构参数见表1. 首先要判断各层是否满足 $\sigma\gg\omega\varepsilon$ 条件. 因为各种矿物和岩石的相对介电常数 ε_r 大约在 3—173 范围内[3], $\sigma\gg\omega\varepsilon=\omega\varepsilon_0\varepsilon_r$, 当频率 $f\leqslant10^4$Hz 时, 计算表明表1所列各层都满足 $\sigma\gg\omega\varepsilon$ 条件. 因此计算时可用符合 $\sigma\gg\omega\varepsilon$ 条件导出的公式. 计算结果如图5. 由图可知峰值频率随界面深度增加而减小. 但界面4的反射波幅频曲线却在界面5反射波幅频曲线的内侧, 这是因为界面4的反射系数 $|R_4|=0.0638$ 比界面5的反射系数 $|R_5|=0.1940$ 小的缘故.

表2显示了该地层结构下的频时特性(频散特性).

由以上3个算例可以看出,在浅层探测时相对场强较大(量级在 10^{-3}—10^{-2}), 频率较高,利用人工源也是可以的. 但对深层探测,由于相对场强较小 (量级在 10^{-6}—10^{-4}), 频

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率较低，人工发射功率受到限制，只能利用强度相当大的自然源。

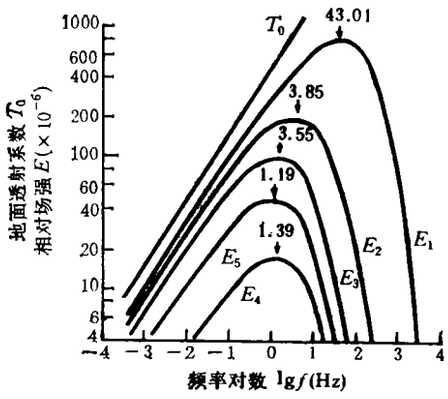

图 5　各界面反射波相对场强的幅频特性曲线

箭头处为峰值频率

表 1　地层结构参数[2]

层次	岩石名称	电阻率 (Ωm)	电导率 (S/m)	层厚 (m)
1	灰　岩	900	1.11×10^{-3}	1150
2	灰　岩 泥　岩	198	5.05×10^{-3}	1265
3	泥灰岩 灰　岩	45	2.22×10^{-2}	495
4	白云岩 灰　岩	170	5.88×10^{-3}	145
5	灰　岩 泥灰岩	220	4.55×10^{-3}	265
	泥灰岩 泥　岩	100	1.00×10^{-2}	

注：参数摘自文献[2]

表 2　界面反射波的频时特性(频散特性)

频率(Hz)	时　间 (s)				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
0.001	0.382 9	1.282 3	2.019 9	2.131 1	2.310 0
0.01	0.121 1	0.405 5	0.638 7	0.673 9	0.730 5
0.1	0.038 3	0.128 2	0.202 0	0.213 1	0.231 0
1	0.012 1	0.040 5	0.063 9	0.067 4	0.073 0
10	0.003 8	0.012 8	0.020 2	0.021 3	0.023 1
100	0.001 2	0.004 1	0.006 4	0.006 7	0.007 3

四、结　　语

1. 利用电磁反射波探测地层电性，首先遇到的问题是电磁波是否能在地下传播很深很远。对这一问题要作具体分析，根据本文给出的公式，计算表明，在深度为数公里范围内，对现有技术仪器可能达到的灵敏度而言，电磁反射波的场强可以被测量到，特别是以自然界提供的强度相当大的电磁波(如雷电)作为波源时。

2. 地面实际能测到的一般是合场强，欲将各界面反射波从合场强中分离出来是困难的。但本文的推导方法和给出的公式为进一步研究合场强与频率、地层电导率和界面深度的关系提供了基础。而合场强特性的研究，有可能给出新的有用的结果。

3. 利用脉冲法探测地下目标物时，本文的频散公式可供参考。

参　考　文　献

[1]　林志瑗、杨铨让、沙玉钧，电磁场工程基础，北京：高等教育出版社，1983.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[2] 寇绳武,用频率测深法在碳酸盐岩地区探测石油,物探与化探,9,308—311,1985.
[3] 孙正江、王华俊,地电概论,北京: 地震出版社,1984.

THE CHARACTERISTICS OF SPECTRUM AND DISPERSION OF ELECTROMAGNETIC WAVE REFLECTED BY THE SUBSURFACE FORMATIONS

WANG YOU-SHAN

(Department of Earth and Space Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract

The equations of spectrum and dispersion of electromagnetic wave reflected by the lithologic interfaces are deduced. They may be applied to study of the new method in exploration for structures and mineral deposits.

Key words Subsurface formations, Reflected wave, Spectrum, Dispersion

作者简介 王友善,男,生于1935年,1959年毕业于南京大学气象专业. 现任中国科学技术大学地球与空间科学系空间物理教授. 主要研究方向: 哨声、低频电磁波传播及其在地球物理学中的应用. 发表论文20余篇.

重力与大地水准面国际讨论会

由国际重力委员会 (IGC) 和国际大地水准面委员会共同召开的重力与大地水准面联合讨论会于1994年9月11日至17日在奥地利格拉兹举行. 参加会议的有来自奥地利、德国、美国、意大利、法国和中国等38个国家的代表160余人.

会议由奥地利格拉兹技术大学 Sunkel 教授领导的数学大地测量与地理信息分部组织的. 国际大地测量协会主席 Torge 教授到会致开幕词,前任主席 Moritz 教授作了题为"大地水准面测定的35年回顾"的报告. 会议共收到学术论文120余篇,其中会议报告78篇,其余为壁展论文.

会议按8个专题进行报告和讨论: 1.重力测量仪器的进展; 2.绝对重力仪国际比对;3.重力基准、重力网、重力数据库和软件;4.空间和航空重力测量与梯度测量;5.重力和大地水准面的地球物理反演;6.卫星测高;7.国际计划和现代技术;8.欧洲大地水准面.

为会议提供的论文反映了重力和大地水准面测定和研究领域中的仪器、测量方法、理论研究和实际应用的现状和发展趋势;也充分显示了重力和大地水准面在现代的大地测量学、地球物理学、海洋学和地球动力学中日益起着重要的作用.

(丘其宪)

GRAVITY AND GEOID JOINT SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL GRAVITY COMMISSION AND THE INTERNATIONAL GEOID COMMISSION, GRAZ, AUSTRIA, SEP. 11—17, 1994.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net