一种反演频谱激电法视频谱求取真参数的方法

张桂青 崔先文 罗延钟

(武汉地质学院)

在撒电效应引起的电阻率变化范围内,将稀释系数假设为常数的条件下,提出了利用归一化视谱和归一化真谱之间近似关系式,直接反演视谱求极化体真参数的方法。大量的反演算例表明,若固定 m_2 等于极化体的真充电率值,这种反演方法求得的参数 β_1' 、 τ_1' 和 ϵ_2' 值的稳定性很好。反演求得之 ϵ_2' 即为极化体的固有频率相关系数 ϵ_2 1、 ϵ_2' 的等于稀释系数实分量频谱的拐点值 ϵ_3 1、 ϵ_3' 2值虽然保持稳定,但和极化体的真时间常数值不同,不过,引入适当的系数可估算出真时间常数 ϵ_3 2。



近年来,頻谱激电法的研究引起了国内外地球物理工作者的广泛重视,对用频谱参数区分和评价激电异常的可能性,予以极大的关注。获得客观反映极化体频谱特性的 参数,是实现上述可能性的前提。

研究工作表明 " " : 用柯尔一柯尔模型对露头或标本上观测的频谱作最优化反演,物 探 与 化探 能得到反映体极化岩、矿石频谱性质的真参数m, τ 和 c。然而,用常规装置在非均匀大地上观测得到的是视复电阻率频谱。若按柯尔一柯尔模型反演视谱,得到的结果将是视参数m, τ , 和 c, ,其值一般和真 参数不同。我们研究的结果表明:虽然低阻极化体上的视时间常数 τ , 和真参数 τ 的值一般 相差 不大(在一个级次以内);但高阻极化体上的 τ , 和 τ 可相差两到三个级次以上。因此,不能简单地按视时间常数 τ , 的大小,直接对激电异常进行区分和评价。本文提出,在地下赋存有隐伏极化体的情况下,可直接对实测视谱用文中所述的近似公式作最优化反演,求得反映极化体频谱性质的真参数。

获得极化体真参数方法的研究现状

对于均匀非极化大地中,埋藏有单个隐伏极化体的简单地电断面,佩尔通等 '' 在假设稀释系数不随频率变化的前提下,用稀释系数 ß 2建立了归一化视谱和极化体归一化真频谱之间的近似关系式:

$$\frac{\rho_{s}(i\omega)}{\rho_{so}} = \left[\frac{\rho_{2}(i\omega)}{\rho_{2o}}\right]^{\beta_{2}} \tag{1}$$

他们按照这一近似关系,对给定的极化体真参数 m_2 , r_2 , c_2 和 ℓ 0构组了视参数随稀释系数 ℓ 0变化的列线图。当野外实测了视谱,按柯尔模型反演求出视参数后,用该列线图便可计算出极 化 体 的 真 参数。

这种求真参数的方法是可行的。但列线图是对给定的频率相关系数 c_2 值绘制的,列线图上的曲线数目有限,使用时,往往需要内插取数,这势必带来一定的误差,使用的操作过程也十分烦琐。

为避免列线图作内插取数的误差,并简化求真参数的操作手续,曾对单个隐伏极化体,围岩不极化的简单地电条件,根据关系式(1)建立了视参数与真参数的近似式 ¹¹。利用这些近似式,同样可以在得到视参数后,计算出极化体的真参数。

不难看出,上述两种求真参数的方法的共同点,都是先按柯尔一柯尔模型对视谱作最优化反演求 出视参数;然后再由视参数求得真参数。此外,上述两法都假定围岩是不极化的。下面将介绍一种由 视谱直接反演极化体真参数的方法,它适用于极化围岩条件下的频谱解释。

据文献[3],对于由N种极化岩(矿)石组成的非均匀大地,在假设激电效应引起的电阻率变化范围内,稀释系数可近似地视为常数的情况下,给出了归一化视谱与各种极化岩(矿)石归一化真谱之间的一般近似关系式

$$\frac{\rho_{s}(i\omega)}{\rho_{so}} \approx \prod_{j=1}^{N} \left[\frac{\rho_{j}(i\omega)}{\rho_{jo}} \right]^{\beta_{j}} \tag{2}$$

式中 $\rho_{s}(i\omega)$ 为复视电阻率; ρ_{s} 。是频率为零时的视电阻率; $\rho_{i}(i\omega)$ 是第 j 种极化岩(矿)石的复电阻率; $\rho_{i,o}$ 是第 j 种极化岩(矿)石的零频电阻率; β_{j} 是第 j 种极化岩(矿)石的稀释系数。

在地下仅有两种电性不同的极化岩(矿)石的条件下,(2)式可简化为,

$$\frac{\rho (i\omega)}{\rho_{so}} \approx \left[\frac{\rho_1(i\omega)}{\rho_{10}}\right]^{1-\beta_2} \cdot \left[\frac{\rho_2(i\omega)}{\rho_{20}}\right]^{\beta_2} \tag{3}$$

鉴于视复电阻率和复电阻率均可表示为如下的指数形式:

$$\rho_{s}(i\omega) = A_{s}(\omega)e^{i\varphi_{s}(\omega)}$$

$$i\varphi_{j}(\omega)$$

$$\rho_{j}(i\omega) = A_{j}(\omega)e^{i\varphi_{j}(\omega)}$$
(4)

式中, $A_s(\omega)$ 为视复电阻率振幅; $A_j(\omega)$ 为第j 种岩(矿)石的复电阻率振幅; $\varphi_s(\omega)$ 为视复电阻率相位; $\varphi_j(\omega)$ 为第j 种岩(矿)石的复电阻率相位。表示视谱和真谱近似关系的(3)式可写成;

$$\frac{A_{s}(\omega)}{\rho_{so}}e^{i\varphi_{s}(\omega)} \approx \left[\frac{A_{1}(\omega)}{\rho_{10}}e^{i\varphi_{1}(\omega)}\right]^{1-\beta_{1}} \cdot \left[\frac{A_{2}(\omega)}{\rho_{20}}e^{i\varphi_{2}(\omega)}\right]^{\beta_{1}}$$
(5)

因而

$$\frac{A_{1}(\omega)}{\rho_{10}} \approx \left[\frac{A_{1}(\omega)}{\rho_{10}}\right]^{1-\beta_{2}} \left[\frac{A_{2}(\omega)}{\rho_{20}}\right]^{\beta_{2}}$$

$$\varphi_{1}(\omega) \approx (1-\beta_{2}) \varphi_{1}(\omega) + \beta_{2}\varphi_{2}(\omega)$$
(6)

以上两式分别表示视振幅谱和视相位谱与组成大地的两种极化岩石之真振幅谱和真相位谱间的近似关系式。

前已述及,对标本及露头复电阻率频谱的测定及反演结果表明,体极化岩(矿)石的真频谱满足一个柯尔 — 柯尔模型 ¹¹¹ ¹²¹,

$$\rho_{j}(i\omega) = \rho_{10} \left\{ 1 - m_{j} \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau_{j})^{c_{j}}} \right] \right\}$$
 (7)

式中 m_j , τ_j 和 c_j 分别为第j种极化岩(矿)石的真极化率、真时间常数和真频率相关 系数。于是(6)式等号右端各项可写成

$$A_{1}(\omega) = \rho_{10} \left[\left(1 - m_{1} + \frac{m_{1}R_{1}}{R_{1}^{2} + I_{1}^{2}} \right)^{2} + \left(\frac{m_{1}I_{1}}{R_{1}^{2} + I_{1}^{2}} \right)^{2} \right]^{1/2}$$

$$A_{2}(\omega) = \rho_{20} \left[\left(1 - m_{2} + \frac{m_{2}R_{2}}{R_{1}^{2} + I_{2}^{2}} \right)^{2} + \left(\frac{m_{2}I_{2}}{R_{2}^{2} + I_{2}^{2}} \right)^{2} \right]^{1/2}$$

$$\varphi_{1}(\omega) = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-m_{1}R_{1}}{(1 - m_{1})} \frac{R_{1}}{(R_{1}^{2} + I_{2}^{2}) + m_{1}R_{1}}$$

$$\varphi_{2}(\omega) = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-m_{2}R_{2}}{(1 - m_{2})(R_{2}^{2} + I_{2}^{2}) + m_{2}R_{2}}$$
(8)

式中 R_1 , R_2 , I_1 , I_2 分别为中间变量:

$$R_{1} = 1 + (\omega \tau_{1})^{c_{1}} \cos \frac{c_{1}\pi}{2}$$

$$R_{2} = 1 + (\omega \tau_{2})^{c_{2}} \cdot \cos \frac{c_{2}\pi}{2}$$

$$I_{1} = (\omega \tau_{1})^{c_{1}} \cdot \sin \frac{c_{1}\pi}{2}$$

$$I_{2} = (\omega \tau_{2})^{c_{2}} \cdot \sin \frac{c_{2}\pi}{2}$$

$$(9)$$

 ρ_{10} , m_1 , τ_1 , c_1 和 ρ_{20} , m_2 , τ_2 , c_2 分别表示围岩和极化体的真頻谱参数。

把(8),(9)两式代入(6)式,便将非均匀大地上观测的视谱直接表示为地下极化岩(矿)石的真参数(m_1 , τ_1 , c_1 , m_2 , τ_2 , c_2),稀释系数(b_1) 及零 频率的视电阻率($\rho_{r,o}$)的函数。按(6)式对野外实测的视振幅谱或视相位谱进行最优化反演,可直接求出表征极化岩(矿)石频谱性态的真参数。

算例及反演结果的分析

为弄清直接反演视谱求真参数的实际效果,根据近似式(6)编制了最优化反演程序。该程序具有多种功能,既可单独反演振幅谱,也可单独反演相位谱;还能对振幅和相位谱实现联合反演。程序还可计算并打印反演参数的协方差矩阵和相关矩阵。后者可用来估计反演参数的确定性及参数之间的相关性。

曾利用所编程序对埋藏有单个极化球和旋转椭球(m_2 =0.6)的地电断面,在极化体埋深和产状不同(顶深H分别为 2.5、10,椭球产状分别为直立、水平及 α =45°)、极化体与围岩的相对电阻率不同(μ_2 分别为 0.1、1和10),极化体的频率相关系数不同(c_2 分别为0.25和0.5)以及时间常数不同(τ_2 分别为100、1和 0.01秒)的36种条件下,对极化体正上方x=0处,用解析法计算的中梯装置理论视谱进行了反演。

50

考虑到在实际工作中,可以通过标本、露头或背景地段的物性测定,事先得知围 岩的 频谱 参数值 $(m_1, \tau_1 + nc_1)$,为了减少参加反演的参数个数,反演理论视谱时,我们将(6)式中的 m_1, τ_1 和 c_1 分别固定为已知值,只反演极化体的谱参数 m_2 , τ_2 , c_2 , β_2 和 ρ_2 。。

理论视谱的反演结果表明,单独反演振幅谱和联合反演振幅、相位谱所得参数之间的差别很大, 一般 都超 过 15%,其 至达 到 百分之几十。而单独反演相位谱与联合反演的结果十分相近,两种反 演参数的差别绝大多数都在1%以下,仅极少几个算例差别为1.7%和2.9%。可见,单独反演相位谱 是最简便的。文中对反演结果的分析,均以单独反演相位谱的结果为例。

(一) 对反演结果的初步剖析

对36种地电断面上的理论视谱进行了反演,结果表明,当赋予的参数初值不同时,反演所得的参 数不一样。下面举例介绍初始参数值对反演结果的影响。

1. 稀释系数初值(β20) 对反演结果的影响

在反演时,选用相同的初始参数 $m_{20}=0.145$, $\tau_{20}=0.24$, $c_{20}=0.23$,而初始稀释系数 Ω_{0} 取 值不同。反演结果表明: $m{eta}_{m{\beta}_0}$ 由0. 21 换为0. 135,变化36 % 时,反演求得的稀释系数 $m{eta}$ 相应由0. 703 减小为0.435,变化38%; 充电率m2/由0.23增大为0.326,变化41%; 时间常数 t2/的变化最大,由 48.98增大为78.83秒,变化60%。可见, 620取值不同时,反演所得参数间的差别很大。

2. 时间常数初值(720)对反演结果的影响

保持参数初值 $m_{20}=0.19$, $\beta_{20}=0.24$, $c_{20}=0.23$ 相同,时间常数初值分别取为2 秒和0.119秒 的反演结果。对应 τ_{20} 的变化, \hbar' 由0.248增大为0.60,变化将近一倍半; m_2 中由0.585减小为0.321, 变化45%; τ_2' 由0.495减小为0.22,变化56%。显然,反演出的参数值 β_2' , m_2' , τ_2' 明显受 τ_{20} 取 值 的

3. 频率相关系数初值 (c_{20}) 对反演结果的影响

保持 $\beta_{20}' = 0.24$, $m_{20} = 0.19$ 和 $\tau_{20} = 0.119$ 相同,而 c_{20} 取值不同的反演结果。当 c_{20} 由 0.23换 为 0.6, 变化将近一倍半时, ½' 由0.601变为0.622, 变化为 3%; m2' 由0.321变为0.341, 变化 6 %; t2' 由0.22变为0.216,变化不到2%,且两者的c2值相同,肾等于0.248。

对比反演算例得出如下认识:初值620和1220 的选 取对反演参数61', m2', 72'的稳定性有显著的影响, 而 c_{20} 取值不同时,各反演参数的变化都不大。

由各算例打印出的相关矩阵可以看出,反演出的参数 β /和<math>m $_{2}$ $'以及<math>\beta$ /和 $_{12}$ '之间的相关系数均接近于 - 1 。这说明,按近似公式(6)反演所得的参数ß(和m2 ,以及ß)和z;均呈强烈负相关,而m2和z; 呈强烈正相关。由此容易理解前述算例中反演参数变化的规律性:反演求出之6/较小者,与之对应的 m2/和t2值较大; 反之, ß/值较大者, 对应的m2/和t2/值较小。

在 m_2 /, au_2^\prime 和 eta_2^\prime 三个参数彼此呈强烈相关的情况下,除非已知其中某一参数值,否则无法单值确定 任何一个参数。为克服参数间的相关性影响,提高反演结果的稳定性,可以预先给定某一参数值。考 虑到三个反演参数中有可能通过物性测定或根据相同的地电条件下的工作经验,事先求出或估计极化 体的充电率m2,而稀释系数为与地电断面,所用装置的几何形状、大小、位置等多种因素 有关, 其 值 难以事先估计; 12值是籍以评价激电异常的关键参数,是反演的主要目标。因此,我们洗用固定加。 等于极化体真充电率值,通过反演求取62, 13 和63的方案。

固定四2为极化体真实参数的反演效果

- 1. 反演结果与初始参数的取值无关,反演参数的稳定性很好。
- (1) 稀释系数初值(β_{20}) 不同的反演结果

共做了九个算例,都是固定 m_2 等于极化体之真参数,初始参数 au_{20} (=29.79)和 c_{20} (=0.23)

保持相同, β_{20} 分别取值为0.05,0.1, …, 0.27, …, 0.425, …, 0.9的反演结果。结果表明, β_{20} 由0.05增大至0.9,变化18倍时,各算例的反演参数皆为同一稳定值, $\beta_{2}'=0.24$, $\tau_{2}'=52.68$, $\epsilon_{2}'=0.25$ 。这和前面列举的算例的反演效果是截然不同的。对旋转椭球体上的视谱,在固定 m_{2} 等于极化体真参数的反演结果中同样表明, β_{20} 取值不同时,各反演参数值皆保持稳定。

(2) 时间常数初值(120)不同的反演结果

固定 m_2 为极化体真参数,并保持 β_{20} (=0.1) 和 c_{20} (=0.23) 相同,而 τ_{20} 的取值有所不同。 反演结果表明,当 τ_{20} 分别取值为0.1和100秒,其值相差一千倍时,反演参数值 β_2' , τ_2' 和 c_2' 皆稳定不变, β_2' =0.11, τ_2' =19.27, c_2' =0.25。

(3)β, 和τ, 同时任意取值的反演结果

对低阻极化体、高阻极化体以及极化体与围岩导电性相同三种情况的地电断面 的 反演结果表明: 只要固定m₂ 为极化体的真参数,即使ß₂ 和r₂0 取值都不一样,反演求出的参数皆各自保持稳定。

从各算例的相关矩阵可见, β_2' 和 τ_2' 以及 β_2' 和 c_2' 之间的相关系数皆远小于1。这表明: 固定 m_2 进行 反演,所得参数间的相互制约作用减弱,各参数的独立性和稳定性增强。

2. 反演参数与极化体真参数的关系

前面我们介绍了固定m2参数反演视谱的一般规律。下面根据反演结果,论讨各反演参数和极化 体真参数间的关系

(1) 頻率相关系数

近二百余个算例,反演出的 c_2 均接近极化体的固有参数 c_2 值。甚至在 m_2 不固定的情况下,反演的 c_2 与 c_2 值的最大相对误差也未超过 4 %。因此按(6)式反演视谱求得 c_2 ,即为极化体相应的真参数,或写成 c_2 = c_2 。

(2) 稀释系数

固定 m_2 ,反演各种不同地电条件下的视谱,求得的 β_2 均与相应条件下解析计算出的稀释系数实分量($\mathbf{Re}_{\mathcal{L}}$)頻谱在拐点处的值(记为 β_2 *)相近。

文献[3]指出: 当稀释系数选用特征频率 f 处的振幅值时,由视参数求真参数之近似式的近似程度最好。由于虚分量Im f。相对于实分量Re f。小很多,因此,特征频率的稀释系数振幅近似地等于f。这就是说,固定 m_2 进行反演,求得之f。与特征频率对应的稀释系数幅值相近,这一结果是十分理想的。

(3)时间常数

固定 m_2 ,反演不同地电断面视谱求得的时间常数 τ_2 。 与极化体和围岩电阻率的比值(即相对电阻率 $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$)、 极化体的形态、产状 以及极化体的埋深有关。

①对于 $\mu_2 \ge 1$ 的极化体, τ_2' 小于或近于 τ_2 ,其差别一般不超过一个级次。对于不同形体、不同产状的非低阻极化体来说, τ_2' 和 τ_2 的数量关系可笼统归纳为

$$\tau_2 \approx (1 - 10) \ \tau_2' \tag{10}$$

其中,陡立产状的旋转椭球或透镜体,其で接近で值,因而可以直接将反演结果看做真参数で,即

$$au_2 \approx t_2'$$

水平或缓倾斜(倾角 α < 60°)的椭球或透镜体上,视谱反演求出的 τ_2 皆远小于 τ_2 值,可按

$$\tau_2 \approx 5 \, \tau_2' \tag{12}$$

关系式由珍求得真时间常数。

球形或等轴状极化体对应的吃虽小于吃,但接近于吃值,可按

$$\tau_2 \approx (1.5 - 3) \ \tau_2'$$
 (13)

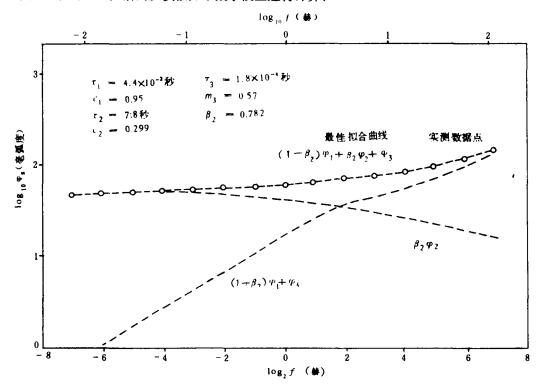
估算72值。

对比不同形状的极化体的视谱反演求得的参数 ½ 可知:直立椭球对应的 ½ 最大,极化球的 ½ 居中,倾斜或水平产状的椭球的 ½ 值最小。

- ②对于相对电阻率 μ_2 < 1 的低阻极化体, 球体和陡立产状的椭球对应的 τ_2 比 τ_2 大 2 ~ 4 倍 , 而 水平或缓倾椭球的 τ_2 却小于 τ_2 , 不过小得不多。
 - ③不论极化体的形态及产状如何, 12值均随极化体埋深增加而变大。

对隐伏极化体稀释系数频谱性态的研究表明:按(6)式的反演所得的 $\frac{1}{2}$ 与 $\frac{1}{2}$ 不同,这是因为将随频率变化的稀释系数(β_2)视为常数所致。不过,固定 m_2 按(6)式反演,所得参数的稳定性好:对反演结果按(10)~(13)式进行适当校正后,估算 $\frac{1}{2}$ 值的相对误差可控制在 $\frac{100}{2}$ %以内,鉴于不同成分,特别是不同结构的极化岩、矿石的时间常数的差别,可高达好几个级次,故 $\frac{100}{2}$ %的误差是可以容许的。

为检验以上算法,对江苏某激电异常上的实测视相位频谱进行了反演。该异常系1983年激电普查扫面时发现,位于靠近接触带的岩体中,为一低阻高极化异常。推断时,认为有一定找矿前景,但异常附近发现有炭质岩层,又怀疑其为石墨化地层引起。为评价该异常,1984~1985年在异常中心布置了两条频谱激电剖面。观测结果在原异常部位重现了视激电相位、视频散率和视极化率异常;特别是视时间常数 τ_s =0.5~2秒的等值线,在偶极装置拟断面图上圈出了一个局部异常。对 τ_s 异常范围内的12条视相位谱用本文所介绍的算法进行了反演,以求取极化体的真时间常数 τ_z。由于野外实测频谱包含有电磁效应,故对视相位谱的反演按如下数学模型进行计算;



按(14)式对江苏某激电异常上的实测视相位谱反演的结果

偶极装置, AB=MN=40米, n=4, $m_1=0.11$, $m_2=0.4$, $C_3=0.55$ 为固定参数

$$\varphi_{s}(\omega) = (1 - \beta_{2})\varphi_{1}(\omega) + \beta_{2}\varphi_{2}(\omega) + \varphi_{3}(\omega) = (1 - \beta_{2}) \operatorname{tg}^{-1} \frac{-m_{1}I_{1}}{(1 - m_{1})(I_{1}^{2} + R_{1}^{2}) + m_{1}R_{1}} +$$

$$+ \beta_{2} \cdot \operatorname{tg}^{-1} \frac{-m_{2}I_{2}}{(1 - m_{2})(I_{2}^{2} + R_{2}^{2}) + m_{2}R_{2}} + \operatorname{tg}^{-1} \frac{-m_{3}I_{3}}{(1 - m_{3})(I_{3}^{2} + R_{3}^{2}) + m_{3}R_{3}}$$

$$(14)$$

式中,第三个柯尔—柯尔模型代表电磁耦合效应。

反演时, m_1 固定为剖面两端视极化率的背景值 m_1 (约为 0.11), m_2 固定 为 0.4, c_3 固定为 0.55(根据该区反演经验确定);其余参数由反演确定。附图为一条有代表性的频谱反演结果。由图 看出,反演出的围岩真时间常数很小($\tau_1=4.4\times10^{-2}$ 秒),是稀疏 浸 染 矿 化 的 反映;目标极 化 体的真时间常数 $\tau_2=7.8$ 秒,小于石墨化岩层的时间常数(典型值为 $10^1\sim10^3$ 秒),而明显 大于稀疏 浸染矿化岩石(后者的时间常数一般小于 1 秒)。故推断该激电异常为稠密硫化物矿化所引起。根据 频谱激电法推断结果,在时间常数异常范围内布置的两个钻孔都打到了总厚度达 40 多米 的 铜 钼 矿体。该例表明,本文提出的反演方法能提供比 τ_1 更接近的目标极化体真时间常数的 τ_2 值。

二百余条理论和实测频谱曲线的反演表明,固定 m_2 为极化体真参数,按近似式(6)或(14) 反演隐伏极化体上方的视频谱,反演结果的稳定性很好:可直接获取极化体的频率相关系数 c_2 和特征频率对应的稀释系数 β_2 ,反演所得的时间常数 τ_2 一般和极化体的真参数 τ_2 值不同,但有一定规律,在能粗略估计极化体之相对导电性和几何形态的情况下,可引入适当校正,由 τ_2 估算真时间常数 τ_3 值。这对于用频谱激电法评价激电异常有着重要意义。

金老女献

- (1) Pelton, W. H. et al: Geophysics, 1978, v. 43. p. 588 609
- 〔2〕张赛珍等: 地球物理学报, 1984, 第27卷, 第2期
- (3) 罗延钟等:地球科学,1986,第1期

The Determination of Intrinsic Parameters by Inversing IP Apparent Spectrum

Zhang Guiqing

Cui Xianwen

Luo Yanzhong

(Wuhan College of Geology)

Abstract

Within the variation range of resistivity values obtained by IP effect measurements, if the dilution factor is assumed to be constant, an approximate expression relating the normalized apparent spectrum to the normalized intrinsic spectrum may be derived and used to determine the intrinsic parameters of a polarizable body by a direct inversion of the apparent spectrum. It has been shown that parameters β_2 , τ_2 , and c_2 obtained by inversion method are steady in value so long as m_2 is equal to the true chargeability of the polarizable body. Of the parameters obtained by the inversion of the spectral curve, c_2 is the intrinsic frequency dependent coefficient c_2 of the polarizable body, β_2 is approximately equal to the value of the real component Re β_2 of the complex dilution factor at the inflection point on the spectrum curve, and the value of τ_2 is steady but somewhat different from that of the intrinsic time constant of the polarizable body. However, by introduction of an appropriate coefficient the intrinsic time constant may be calculated.