

临震电磁辐射信号的准—静电 磁场场强理论计算

张德齐 王盛飞 张念孝

(江苏省地震局)

摘 要

本文应用班尼斯特和迪尤布水平电偶极子准—静电磁场的工程表达式,利用1979年7月9日溧阳六级地震和1984年5月21日南黄海6.2级地震临震电磁波超低频观测结果,估算了这两次地震电磁发射的峰值电流矩 IL ,其量级分别为 10^7 — 10^8 安米(溧阳)和 10^8 安米(南黄海)。与按地壳波导原理所估算的结果吻合。

一、引 言

关于临震电磁波发射现象的观测与理论研究,近几年来国内外有越来越多的报导。事实表明,震前电磁波异常现象与地震孕育过程有一定的客观联系。

关于临震电磁波辐射源的机理,我们曾经在文献〔1〕中作过粗浅的讨论,其后我们根据近代物理知识提出过地下等离子体的作用可能是产生临震电磁波辐射的原因之一。文献〔2〕报导了国内在机理方面的最新研究成果,认为震前电磁辐射源是在地球内部。对于这种电源以及发射体所可能具有的规模,在1982年我们曾使用溧阳6级地震前的电磁波观测结果,初次引入地壳波导与地下无线电通讯理论进行过计算〔3〕,得到溧阳6级地震前的电磁波发射源峰值电流矩 IL 约 10^8 安米。为了深入分析与研究震前电磁发射信号的特点,离不开对场的研究和信息源的研究。为此,我们在新的观测结果的基础上从场的角度作了进一步的理论探讨,采用准—静电磁场的理论计算方法,对溧阳6级地震和黄海6.2级地震前电磁波近场(震中距分别为80公里和70公里)观测资料进行计算,以便与按地壳波导理论所计算的结果进行比较。

由于地壳表层的电阻率很低,对高频电磁波的能量吸收相当大,电磁波从深部辐射源处直接穿出地表是困难的。据此,有人认为所观测到的震前电磁发射的高频成份有可能是地下发射源在外空所激发的次生源引起的。本文只针对穿透能力很强因而可以直接从地下发射源穿出地表的超低频电磁波信息进行计算。

二、计算方法及结果

计算所采用的资料为1979年溧阳6级地震前南京卫岗电磁波观测点($\Delta = 80\text{km}$)7月5、6两日所观测到的超低频临震电磁波辐射信号记录(图1)和1985年5月21日南黄海6.2级地震前,江苏东台县琼港电磁波观测点($\Delta = 70\text{km}$)5月12、16、19日在超低频频道上所接收到的临震电磁波辐射记录(图2)。在发现上述临震信号期间,琼港地磁核旋垂直分量观测值亦出现明显的异常变化^[4]。两次地震的临震超低频电磁辐射信号的强度在毫伏量级。溧阳6级地震前所记录到的信号波形的短周期成份较为丰富,频率在20Hz左右。南黄海6.2级地震前所记录到的信号波形的长周期成分相对较为丰富,频率在0.17Hz左右。

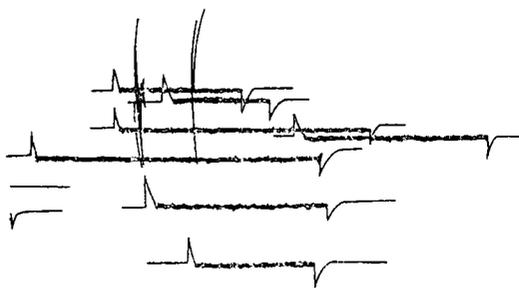


图1 溧阳6级地震的临震电磁波波形图

Fig.1 The Electromagnetic wave forms just before the event for the Liyang earthquake(M=6)

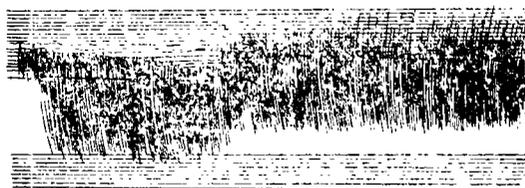


图2 南黄海6.2级地震前琼港观测点的电磁波辐射记录

Fig.2 The Jianggang observation diagram before the South Yellow Sea earthquake (M=6.2)

赫兹电偶极子所辐射出的电磁波的场强表达式中包含有若干项,在不同的观测距离范围内,场强表达式中贡献最重要的项是不同的,对于非常靠近赫兹偶极子的区域,电磁场强表达式中最重要的项分别是随 $\frac{1}{R^2}$ 和 $\frac{1}{R^3}$ 而变化的那一项(R 为观测距离)。相对说来,其余各项都可以忽略,这时磁场与电场具有感应场和相距 L 的正、负两电荷所产生的静电偶极子场的特征。通常称它为准—静电磁场。随着观测距离 R 的增加便有近区、中区和远区场。远区场的场强表达式中主要起贡献作用的是随 $\frac{1}{R}$ 而变化的项。

本文采用班尼斯特和迪尤布公式^[4]对准—静电磁场进行计算。它是使用有限导电土地镜像理论所推导出来的地下水平电偶极子(HED)天线所产生的准—静区场的工程表达式,包括地下发射——空中接收及地下发射——地下接收的情况。所具体规定的准静区范围是指观测距离 R 远小于自由空间一个波长 λ 的范围,对于溧阳6级地震和南黄海6.2级地震,距离最近的两个电磁信息观测点即南京卫岗及东台琼港分别距震中仅80公里和70公里,以信号频率 $f = 20$ 赫兹为例,其自由空间的一个波长 $\lambda = 15000$ 公里,完全满足准—静区范围的要求。用文献^[4]介绍的准—静区场强表达式来分析研究震前电磁波发射的准—静场,至少在发震构造是走滑断层为主的情况下是适合的,这时发震断层可相当于一个规模宏大的HED天线。

我们采用地下发射——地下接收情况下的场强表达式:

$$E_p \approx \frac{I L \cos \phi}{\Delta \pi \sigma} \left\{ \frac{e^{-r R_0}}{R_0^3} \left[\left(\frac{3\rho^2}{R_0^2} - 1 \right) (1 + r R_0) - r^2 (Z-h)^2 \right] \right. \\ \left. - \frac{e^{-r R_1}}{R_1^3} \left[\left(\frac{3\rho^2}{R_1^2} - 1 \right) (1 + r R_1) - r^2 (Z+h)^2 \right] \right. \\ \left. + \frac{2e^{-r a (Z+h)}}{K_3^3} \left[1 + b - \frac{2b^3 (Z+h)^2}{K_3^2} + r a b (Z+h) \right] \right\} \quad (1)$$

(E_ϕ 、 E_z 表达式略)

场(垂直分量):

$$H_z \approx \frac{I L \sin \phi}{4 \pi} \left\{ \frac{e^{-r R_0}}{R_0^3} (1 + r R_0) - \frac{e^{-r R_1}}{R_1^3} (1 + r R_1) \right. \\ \left. + e^{-r a (Z+h)} \left[\frac{1}{K_3^3} - \frac{1}{K_3^2} \right] \right\} \quad (2)$$

(H_ϕ 、 H_ρ 表达式略)

以上表达式均采用圆柱坐标系, 其中 σ 为传播路径中介质的平均电导率; h 为发射天线的埋藏深度(相应于震源深度); ρ 为震中距; R 为观测距离, $R_0^2 = \rho^2 + (Z-h)^2$,

$R_1^2 = \rho^2 + (Z+h)^2$; Z 为接收天线的埋藏深度; r 为电磁波传播常数; $r = j\omega \sqrt{\frac{\mu\sigma}{j\omega}}$

$= (1+j)/\delta$; δ 为表面厚度(趋肤深度), $\delta = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$; f 为频率; μ 为导磁率;

$K_3^2 = \rho^2 + [b(Z+h)]^2$; $K_3^2 = \rho^2 + [a-b(Z+h)]^2$ 。

式中 a 、 b 为与比值 R_1/δ 有关的常数, 在我们所讨论的两个震例中都取 $a=0.96$, $b=0.4$ 。我们仅对 ρ 方向的电场和 Z 方向的磁场进行计算。计算之前先根据(1)、(2)两式推导出 E_p 、 E_z 的模表达式。

由于在两次观测震例中均有 $h \gg Z$, $R \gg Z$, 即 $R_0 \approx R_1$,

$$\text{故 } E_p \approx \frac{I L \cos \phi}{4 \pi \sigma} \cdot \frac{2e^{-r a (Z+h)}}{K_3^3} \left[1 + b - \frac{3b^3 (Z+h)^2}{K_3^2} + r a b (Z+h) \right].$$

$$\text{因 } r = (1+j) \sqrt{\pi f \mu \sigma},$$

$$\text{故 } e^{r a (Z+h)} = e^{a(Z+h) \sqrt{\pi f \mu \sigma}} \cdot e^{j a (Z+h) \sqrt{\pi f \mu \sigma}},$$

$$\text{令 } A = a (Z+h) \sqrt{\pi f \mu \sigma}, \quad B = 1 + b - \frac{3b^3 (Z+h)^2}{K_3^2},$$

$$C = a b (Z+h) \sqrt{\pi f \mu \sigma} = b A.$$

$$\text{则 } E_p \approx \frac{I L \cos \phi}{4 \pi \sigma} \cdot \frac{2e^A}{K_3^3} \cdot e^{j A} [B + (1+j) C].$$

$$\text{考虑到 } e^{j A} = \cos A + j \sin A,$$

$$\text{故有 } |E_p| \approx \frac{I L \cos \phi}{2 \pi \sigma} \cdot \frac{e^A}{K_3^3} [(B+C) \cos A - C \sin A] \quad (3)$$

同理可得到垂直方向磁场的模

$$|H_z| \approx \frac{IL\rho \sin\phi}{4\pi} e^A \left[\left(\frac{1}{K^2} - S \right) \cos A + T \sin A \right] \quad (4)$$

其中：

$$A = a(Z+h) \sqrt{\pi f \mu \sigma}; \quad S = \frac{x^3 - 3xy^2}{(x^3 - 3xy^2)^2 + (3x^2y - y^3)^2};$$

$$T = \frac{3x^2y - y^3}{(x^3 - 3xy^2)^2 + (3x^2y - y^3)^2}; \quad x = \frac{\sqrt{\sqrt{Q^2 + N^2} + Q}}{2};$$

$$y = \frac{\sqrt{\sqrt{Q^2 + N^2} - Q}}{2};$$

$$Q = \rho^2 - 2b(Z+h)\delta + b^2(Zh)^2; \quad N = 2\delta^2 - 2b(Z+h)\delta.$$

与以上计算一样，我们假设震前电磁波辐射体是地震断层，根据溧阳 6 级地震震源机制解的结果与南京卫岗电磁波观测点之间的地理关系得到 (3)、(4) 两式中的 ϕ 角约 64° 。同理根据南黄海 6.2 级地震的震源机制解结果与琼港观测点间的地理关系得到 ϕ 角约为 17° 。在对这两次地震的计算中所取的各项参数值见下表：

参 数	地 震	
	溧 阳 6 级 地 震	南 黄 海 6.2 级 地 震
f (hz)	20	0.17
h (m)	12×10^3	17×10^3
z (m)	16	3
σ (西/米)	10^{-4} (平均)	10^{-2} (平均)
δ (m)	11.6×10^3	38×10^3
ρ (m)	80×10^3	70×10^3
R_1	R_0	R_0
a	0.96	0.96
b	0.40	0.40
μ	$\approx \mu_0$	$\approx \mu_0$

将以上参数代入 (3) 式计算得到 $|E_p|_{\text{溧阳}} = IL \times 2.15 \times 10^{-12}$ 。南京卫岗观测点实际观测记录的场强值 $E_r = 10^{-4} - 10^{-3}$ 伏/米。将以上两式相比较得到溧阳地震前电磁辐射的水平峰值电流矩 (HED) $IL \approx 4.7 \times 10^{7-8}$ 安米，即 $10^7 \sim 10^8$ 安米量级，与按地壳波导理论所计算的结果一致。

同样计算得到南黄海 6.2 级地震的 $|E_p| \approx IL \times 0.147 \times 10^{-11}$ ，观测值 $E_r = 10^{-3}$ 伏/米，则 $IL \approx 10^9$ 安米。

黄海 6.2 级地震的 IL 计算中参数 σ 的取值是根据该地区沿海地质构造的电参数资料考虑的。据电测深资料，沿海存在大片电导率高达 10^2 西/米的低阻层，并考虑到海水的电导率较高，因而取该地区地壳平均电导率约为 10^{-2} 西/米量级。

三、讨 论

1. 据有关资料介绍，1976 年夏季美国曾进行了一次超低频 (0.1 至 15 赫兹) 陆地—海

底电磁波传播试验。所使用的人工峰值电流矩 IL 就已经达到了 1.6×10^5 安米。1976年美国几百个超低频发射试验,所用的发射机组合就可以达到相当于溧阳6级地震的自然电磁波发射效能。

2.根据(4)式计算震前电磁辐射的准一静区磁场垂直分量,针对1979年溧阳6级地震,假设观测点为溧阳地震台($\rho = 20$ 公里),结果为:

$$|Hz| \approx 10^0 \sim 10^1 \text{伽玛},$$

同理南黄海6.2级地震($\rho = 60$ 公里)的 $|Hz| \approx 10^0 \sim 10^1$ 伽玛。

表明在频率极低的情况下,在准一静区范围内对垂直方向磁场计算的结果是与核旋Z分量在这两次地震中所实际观测到的异常量是比较吻合的。

3. $|E_p| \propto \cos\phi$, $|Hz| \propto \sin\phi$, 而 ϕ 角是发射体的法线在地面上的投影对观测点的方位角。因此临震自然电磁发射的准一静场空间分布可能存在一定的方向性。在进行临震电磁发射信息的观测研究时,不仅要考虑接收天线的方向性,而且也要考虑发射体所可能存在的方向性。

参 考 文 献

- [1]张德齐等,临震电磁波信息研究,西北地震学报, Vol. 3, No. 3, 1981.
 [2]冯竞等,产生地震电磁前兆信息的一种机制,地震研究, Vol. 8, No. 1, 1985.
 [3]张德齐等,临震电磁发射信号强度的量级估算,地震学刊, No. 4, 1985.
 [4]彭纯一等,黄海3.2级地震磁效应,地震学报, Vol. 8, No. 3, 1986.

THE THEORETIC CALCULATION OF INTENSITY OF QUASI-STATIC ELECTROMAGNETIC FIELD ABOUT ELECTROMAGNETIC RADIATION SIGNAL OF IMPENDING EARTHQUAKE

Zhang Deqi, Wang Shengfei, Zhang Nianxiao
(*Seismological Bureau of Jiangsu Province*)

Abstract

Employing P.R. Banister's engineering expression for horizontal electric dipole quasi-static electromagnetic field, makes an estimation hereof the peak current moment IL on the basis of the ultra-low frequency observations for the electromagnetic waves before two earthquakes: Liyang $M_s = 6.0$ on July 9, 1979 and South Yellow Sea $M_s = 6.2$ on May 21, 1984. The result is: the magnitude of $IL = 10^7 - 10^8 \text{ A.M}$ for Liyang earthquake and the magnitude of $IL = 10^8 \text{ A.M}$ for South Yellow Sea earthquake. This is just the same as what we estimated on the principle of crust waveguide.