

# 电磁导弹在勘探地球物理领域的 应用前景<sup>①</sup>

苏 发 何继善 温佩琳

(中南工业大学地质系, 长沙 410083)

**摘 要** 介绍了电磁导弹理论的基本原理, 分析了电磁导弹的特殊性质及其优势, 指出了电磁导弹在勘探地球物理领域的应用前景。

**关键词** 瞬态电磁脉冲 电磁导弹 分辨率 方向性

电磁波理论目前被广泛地应用于各种地质勘探中。随着科学技术的发展, 在电磁勘探领域又诞生了一种新的、应用电磁反射方法来找目的体的方法, 即瞬态电磁脉冲探地技术。它是通过发射宽频带的脉冲来实现探测。虽说近年来瞬态电磁脉冲探地系统得到了迅速的发展, 但仍存在探测深度和系统分辨率不理想、方向性差等问题。

电磁导弹(Electromagnetic missile)是近几年才发展起来的一门新的电磁波传播理论。1985年 Wu T. T 在聚集波模和粒子物理成就的启发下, 建立了电磁导弹理论<sup>[1]</sup>。这种理论的提出和应用解决了目前瞬间电磁脉冲探地系统中的两大难题, 即分辨率不理想、方向性差的问题。

## 1 电磁导弹基本原理

电磁导弹理论表明: 在总辐射能为有限值的情况下, 一个有限尺寸的辐射源所辐射的能量(以一种瞬态电磁场辐射出去的电磁脉冲—ps 级)在某一最大方向上, 在空间传播时随着距离的增加按  $Z^{-2\epsilon}$  ( $0 < \epsilon < 1$ ) 的规律衰减, 而不是按通常连续波遵循的距离平方反比规律

$Z^{-2}$  变化。在柱坐标下, 电磁导弹的能流密度表示为:

$$G(Z, \rho, \varphi) = g(\rho, \varphi) Z^{-2\epsilon} (\rho \ll Z, 0 < \epsilon < 1)$$

其中

$$g(\rho, \varphi) = 2a^{2\epsilon} \int_0^\infty \frac{dk}{k^{2\epsilon+1}} |E_0(k, \rho, \varphi)|^2; E_0$$

为电场强度;  $a$  为辐射器半径

这种定向慢衰减传播的电磁脉冲称为电磁导弹, 相对于普通电磁波而言, 它在空间和时间上具有很高的集中性。电磁导弹是一种束状平面波, 它在传播时, 波形在形状上几乎保持不变, 只在幅度上凋落<sup>[2]</sup>; 且横向能量的分布图在最大辐射方向上存在着尖顶。显然, 表征波形的参数  $\epsilon$  越小, 能量衰减就越慢, 这时明显地具有粒子的特性。

## 2 电磁导弹的特殊性质

慢衰减性、集中性、抗吸收能力强和宽频带特性是电磁导弹所特有的性质。图1、2是一矩形窄脉冲传播时的能量衰减特性, 同时还给出了  $Z^{-1}$  和  $Z^{-2}$  的变化规律作比较。从图中可见, 当脉冲宽度很窄时传播过程中有一段近乎不衰减的曲线; 且脉宽越窄, 不衰减的距离越大。在远区衰减规律以  $Z^{-1}$  的规律变化, 比常

<sup>①</sup> 收稿日期: 1994-07-01

规的  $Z^{-2}$  衰减要慢得多。由此可见,随着脉宽的变窄瞬态脉冲的性质就会产生一个突变;ps 级电磁脉冲就具备了电磁导弹这种独特的性质。它在空间和时间上具有很好的集中性,能量主要集中在传播方向附近,且在传播时波形几乎保持不变。

电磁导弹在时域表现为一个宽度极窄(ps 级或更窄)的电磁脉冲,这样一个无载频的电磁脉冲具有很强的抗吸收能力。对于吸波介质来说,无载频电磁脉冲的能量损耗与有载频电磁脉冲相比要小得多,即理想的吸波介质对无载频的电磁脉冲几乎不起吸收作用。从谱域看,电磁导弹占据了极宽的频带,即从近直流(0.1 Hz)到数十千兆赫(10 GHz)。在这样的电磁波的照射下,目标的全部特征(低频特性,谐频特性及光学特性)都将会暴露无遗。

### 3 电磁导弹的优势

目前在电磁测深中,存在一个分辨率和测

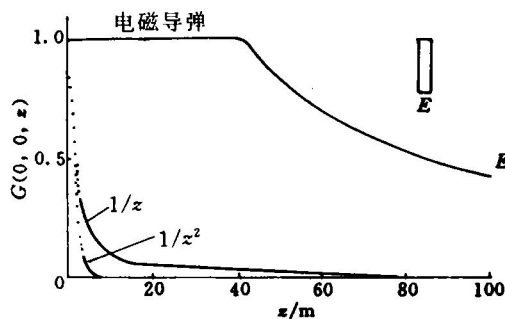


图1 脉冲近距离传播特性(均匀坐标)

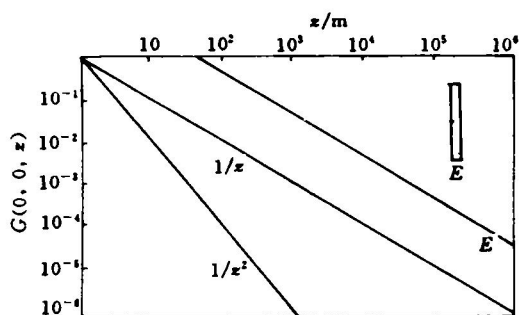


图2 脉冲远距离传播特性(对数坐标)

深之间的矛盾问题,即低频探测深度大,但分辨率低;高频分辨率高但测深浅。理论和实验均已证明,在地层中电波传播有两大窗口;其一为低频窗,工作频率低于 10 kHz,可用作深层探测;其二为高频窗,工作频率高于 10 MHz,可用作浅层探测,而目前短脉冲探地方法中,脉宽最窄也在几个纳秒(ns)级,故频带宽度不够理想,缺少足够的低频和高频部分。因而探测深度和分辨率就不会太高,这是目前探地系统的一大缺陷。

对电磁导弹而言,它的脉宽为 ps 级或更窄,因而具有从近直流到  $10^{10}$  Hz 以上的宽频带范围。因此它完全可以利用电磁波在地层中传播的两大窗口,同时还可利用它特有的慢衰减性和抗吸收能力强的特点,从而能够克服探测深度与分辨率之间的矛盾,达到各种探测目的。

### 4 应用前景

电磁导弹理论的应用可以在如下几个方面来改善探地系统的性能指标,形成一个全新的探地系统—电磁导弹探地系统。

#### (1) 提高探地系统的探测深度

电磁波在地下传播过程中的一个最大的特点是频率越高衰减越大,因而高频测深就越浅。要想得到大的探测深度,就必须降低电磁波的频率,但这无形中降低了探测的分辨率,故深度的加大是以分辨率的降低为代价的。如何权衡两者是一个难题,现有的方法目前还难以处理分辨率和测深之间的矛盾。

电磁导弹理论的应用可以解决这个问题。利用它的慢衰减和频率无关的特性及抗吸收能力强和宽频带特性,就可以很好地处理这种矛盾,而兼顾两者。

#### (2) 提高探地系统的分辨率

分辨率问题是迄今为止勘探地球物理领域一个棘手的问题,它包括垂向分辨率和水平分辨率两个方面。在瞬态脉冲探地系统中,影响两者的主要原因是脉冲的频率分量和空间分

量。电磁脉冲的频率分量决定了距离(垂向)分辨率;它的空间分量决定了水平分辨率。目前脉冲探地系统中所用脉冲的脉宽不够宽,包含的频率成份不够充分,这决定了垂向分辨率不可能高。脉冲发射的方向性差,弥散严重,因而也决定了水平分辨不够理想。总之,不论是何种方法,提高分辨率的基本方法都是依赖于宽频带频率分量的利用(提高垂向分辨率),以及宽频带空间分量的利用(提高水平分辨率)。

电磁导弹所具有的空间和时间上的高度集中性及慢衰减性正好具有这两种优越性,故可在提高探测系统的分辨率上发挥巨大的作用,同时还可以解决探测深度和系统分辨率之间的矛盾。

### (3) 修正电磁波在有耗介质中的传播理论

在常规电磁波传播理论中,电磁波的衰减是与频率有关的,不同频率的电磁波的衰减特征是不同的。由于电磁导弹所具有的独特性质

—慢衰减性,且与频率的依赖关系不紧密,因此可以预言,电磁导弹理论的应用将会修正常规电磁波的传播理论,使得电磁波在有耗介质中的传播理论得以完善。

总之,由于电磁导弹所具有的独特的慢衰减性、空间和时间上的高度集中性、宽频带特性及抗吸收能力强等特点,会对勘探地球物理产生极大的影响。它的应用将会大大地改善电磁探地系统的各种性能指标,会使探地系统的研制、开发和应用产生一个飞跃。新一代探地系统—电磁导弹探地系统的实现将会使勘探地球物理走向新的时代。

### 参考文献

- 1 Wu T T. J Appl Phys, 1985, 57: 2370.
- 2 Shen H M, Wu T T. J Appl Phys, 1989, 66: 4025.