

# 利用归一化总梯度方法实现中梯激电剖面数据的解释

翁爱华<sup>1,2</sup>, 董瑞春<sup>1</sup>

(1. 浙江大学 理学院, 浙江 杭州 310027; 2 吉林大学 应用地球物理系, 吉林 长春 130026)

摘要: 将归一化总梯度数据处理技术运用于中间梯度剖面视极化率观测数据的延拓处理, 研制了一套实用的中梯激电数据解释软件系统。实验数据与野外数据的处理结果表明, 在选择合理的计算参数基础上, 归一化总梯度能给出激电异常较为可靠的解释。

关键词: 归一化总梯度; 激电异常; 数据解释

中图分类号: P631.3 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 8918(2005)05 - 0435 - 03

归一化总梯度 (NTG) 首先由前苏联的别列兹金提出, 用于油气田的重力异常解释, 并形成一套解释理论<sup>[1]</sup>。该方法的基本原理是, 位场及其微商属于解析函数, 而解析函数可以向任意区域延拓, 对场源所在的非解析区域在形式上仍可以延拓。对于位场的解释来说这是极重要的, 因为这样可以确定位于场源范围内的奇点, 这些奇点又与某些几何特征点对应, 这样就可以大致确定异常源的某些几何参数, 有助于进一步反演时选取初始参数。

国内从 20 世纪 80 年代初引进该方法并进行了研究<sup>[2,3]</sup>, 通过这些工作, 对该方法处理参数选择、异常规律认识等有了基本的了解。最近, 孟平等详细介绍了归一化总梯度法使用中值得注意的问题<sup>[4]</sup>; 曾华霖等还将该方法发展到重力数据的三维延拓解释中<sup>[5]</sup>; 同时, 由于该方法的数据独立性以及重磁场与点源电位场的等价性, 杨华等将该方法成功运用到充电法的数据解释中<sup>[6]</sup>。这些工作是对归一化总梯度解释方法的有益补充。

由于激电异常场可以用等效源来模拟, 与重磁场一样是保守位场。因此, 有可能利用归一化总梯度对激电异常进行处理解释, 从而获得激电异常源的位置。由于基于位场向下延拓的概念, 因此在激电异常源附近, 利用总梯度解释, 将得到正的总梯度异常。同时, 由于激电效应总是正效应, 故在总梯度延拓的异常断面上, 主要研究正异常的分布规律。在向下延拓过程中, 于异常的奇点附近, 将出现极大值, 该极值的中心将对应于激电异常体的顶部。

## 1 基本公式

由剖面观测的数据  $U_i$ , 计算剖面上任意点  $(x, z)$  的归一化总梯度  $G_H(x, z)$  的公式是

$$G_H(x, z) = \frac{[U_{xx}^2(x, z) + U_{zz}^2(x, z)]^{v/2}}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [U_{xx}^2(x_i, z) + U_{zz}^2(x_i, z)]^{v/2}}, \quad (1)$$

式中  $v$  是幂指数,  $M$  为剖面上测点总数,  $U_{xx}$  与  $U_{zz}$  是计算点  $(x, z)$  所在空间位置场的水平方向与垂直方向二阶导数, 它们可以用

$$U(x, z) = \sum_{n=N_1}^{N_2} \left[ A_n \sin \frac{2nx}{L} + B_n \cos \frac{2nx}{L} \right] \exp \left( \frac{2nz}{L} \right), \quad (2)$$

描述的由剖面上的观测场向下延拓结果获得。上式中,  $L$  为剖面的长度,  $A_n, B_n$  为傅立叶滤波系数,  $N_1$  与  $N_2$  是谐波个数下界与上界。为增加延拓的稳定性, (2) 式还要乘以一个滤波因子

$$Q_n(m) = \left( \sin \frac{n}{M} / \frac{n}{M} \right)^m, \quad (3)$$

式中,  $m$  是光滑因子指数。

## 2 关键技术

(1) 观测数据精度 原始数据越精确, 计算结果越可靠。因此, 在处理解释前应采用各种滤波技术对数据进行去噪处理, 提高数据的信噪比。

(2) 剖面长度 (观测数据点数) 为了得到可靠的延拓结果, 一般要求剖面长度  $L$  为异常源埋深

$H$ 的10倍左右,即 $L = 10H$ 。 $L$ 越大,延拓越稳定。反过来说,延拓时最大的延拓深度为剖面长度的 $1/10$ 左右。

(3)边界处理 由于要对观测数据进行傅立叶分析,因此场应该在剖面上为周期函数,但实际边界处的函数值非零,造成傅立叶分析出现假频。克服方法通常是将观测数据的剖面边界数据归算到零值,可以采用线性归零,或者是余弦扩展归零进行<sup>[1,3]</sup>。

(4)傅立叶级数(谐波)上界 谐波上界 $N_2$ 实际对应于高频(局部)异常。由于噪音的傅立叶谱也在高频部分,因此在延拓时,采用合适的 $N_2$ 以压制噪音干扰对延拓的影响,同时保留合适的局部异常,是延拓成功的重要因素。按照经验,通常有 $N_2 (0.3 \sim 0.5)M$ 。

(5)傅立叶级数(谐波)下界 傅立叶级数的低频部分对应于剖面数据的区域分量,因此,在延拓过程中选择合适的谐波下界 $N_1$ ,可以消除区域场对延拓的影响,更加突出局部异常。在默认的情况下,取 $N_1 = 1$ 。

(6)光滑因子指数 在延拓过程中增加光滑因子,可增加延拓的稳定性。光滑因子指数 $m$ 决定光滑的程度,可取 $1, 2, 3 \dots$ 。 $m$ 越大,光滑作用越大。目前尚未有最佳 $m$ 的选取方法,通常认为取 $m = 2$ 效果就足够了。取其它数值,在有些情况下可能更有效,但需要试验研究。

(7)总梯度幂指数 总梯度幂指数 $\nu$ 决定总梯度延拓的异常分辨率, $\nu$ 越大,延拓的分辨率越高,但在数据存在误差时,也将导致延拓的稳定性下降。通常 $\nu = 1, 2, 4, 6, 8, \dots$ 。在实际工作中, $\nu = 2$ 是合适的。在场中,如重力位、电位,当 $\nu = 1$ 时,总梯度有明确的物理意义,实际是指向场源即奇点的位矢量的模数。

### 3 软件实现

在上述方法的基础上,针对中梯激电剖面数据,设计开发了数据处理系统 RECT2005<sup>[7]</sup>。该程序的使用非常简单。在加载中梯激电数据后,程序可以根据默认的延拓控制参数,自动进行延拓处理。由于延拓的效果受多种参数制约,为增加程序的灵活性,用户也可以指定处理方法与延拓参数,进行总梯度延拓处理,获得更合理的解释结果。延拓处理的结果将以断面等值线图或彩色断面图的形式显示,同时原始数据的剖面曲线也将显示在断面图的上部,以便进行对比分析。图1是中梯激电剖面数据

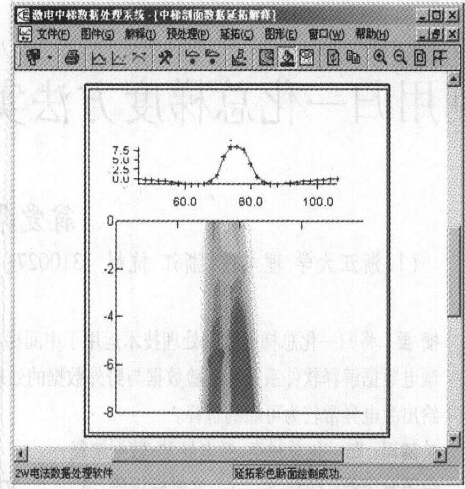


图1 激电数据延拓系统用户界面  
延拓处理程序 RECT2005的图形用户界面。

### 4 数值结果

#### 4.1 实验模型数据

为了讨论归一化总梯度在激电数据上的应用效果及水平分辨率,我们在水槽中物理模拟的结果进行了延拓处理。实验模型示意如图2,其中两薄铜板中心间距 $d$ 分别为30、10、6 cm。每个薄铜板长80 cm,厚1 cm,高10 cm。

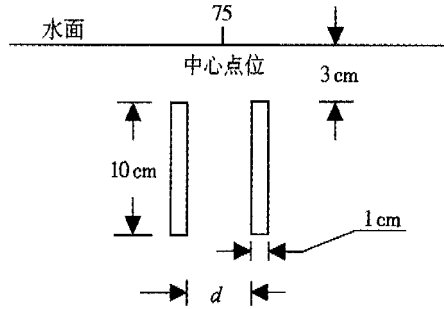
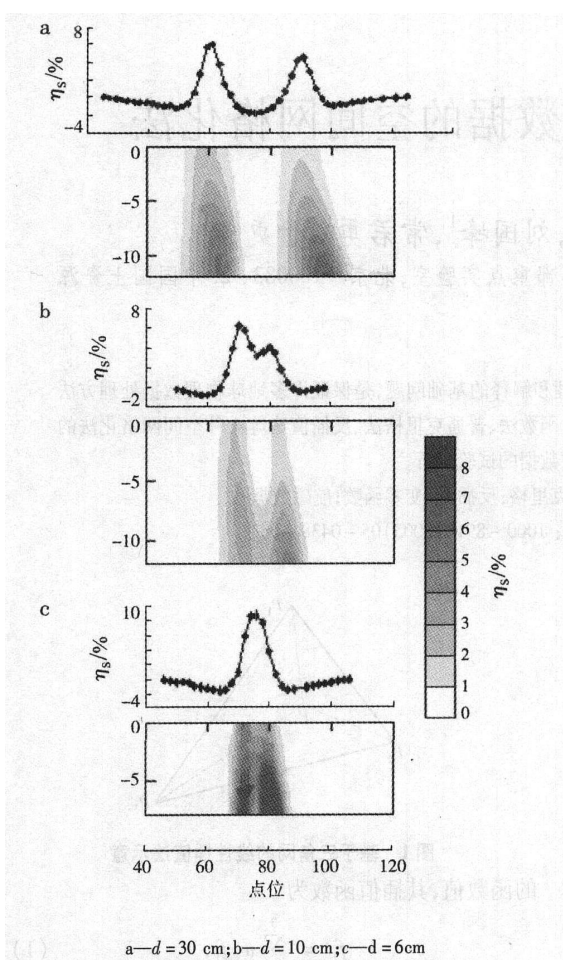


图2 物理实验模型

图3给出了模型间距 $d$ 不同时观测得到的视极化率曲线延拓处理的结果。可见,当铜板水平距离较大时,测量的视极化率(%)异常分离较大,延拓的结果比较明显地显示出异常源的空间位置(图3a)。当铜板靠近时,观测异常相互靠近并部分重叠,但对该数据延拓后,异常源同样可以明显分辨出来,并且位置与铜板的位置相当(图3b)。当2块铜板靠得非常近时,所产生的异常已经叠加在一起,以致无法区分。根据这样的数据进行延拓,在延拓断面图中,异常仍然非常明显地被区分开来,且异常的中心位置与铜板位置基本重合(图3c)。

通过上述分析可见,虽然随铜板间距的减小,异常由明显的独立异常逐渐靠拢并合并为1个异



a— $d = 30$  cm; b— $d = 10$  cm; c— $d = 6$  cm

图 3 3个模型的测量曲线及延拓处理结果

常,以致无法区分,但对数据的延拓结果却较为明显地分辨出异常源的空间位置,从而说明归一化总梯度延拓在极化率数据处理上的有效性。

#### 4.2 野外实测数据

实测数据来自吉林永吉头道沟长春地质学院地球物理实习基地 1 条主剖面的激电中梯观测结果。观测剖面基本地质情况简图如图 4c 所示<sup>①</sup>。从图可见,在视极化率异常曲线上,存在 3 个高激电异常;但总梯度解释的结果只有 2 个明显的激电异常,且比照图 4c,延拓得到的 2 个激电异常基本反映了硫铁矿体的位置。

#### 5 结论

(1)实验数据与实际数据的处理结果表明,归一化总梯度可以用于激发极化剖面数据的处理解释。

(2)延拓处理的各个参数对延拓结果影响很大。为得到好的解释效果,用户需要仔细设置延拓解释参数。

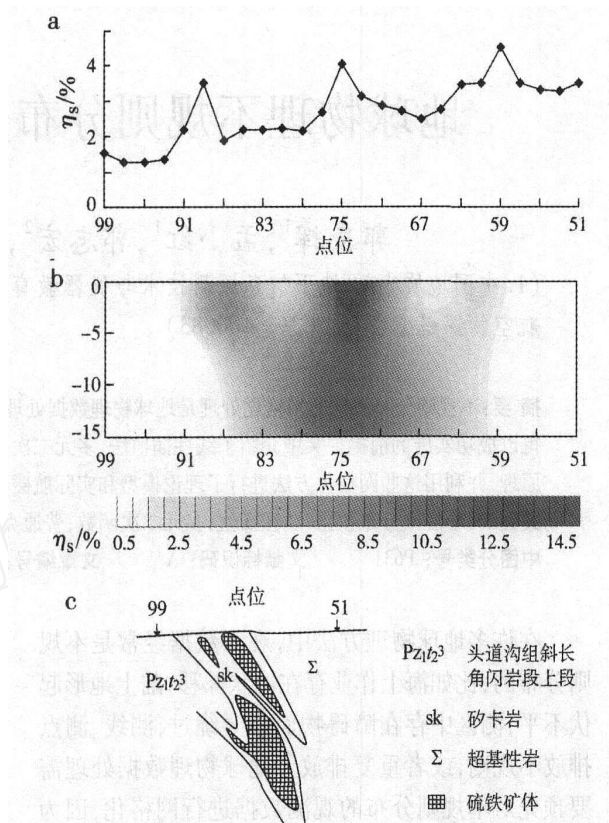


图 4 某实测激电数据及延拓解释结果

(3)利用我们的中梯度电处理系统可以方便地实现上述处理过程。

#### 参考文献:

- [1] 别列兹金. 物探数据的总梯度解释法 [M]. 陆克, 刘文锦, 焦恩富译. 北京: 地质出版社, 1994.
- [2] 朱永盛, 于舟. 重力数据处理方法在寻找油气田中的应用 [J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(1): 93 - 101.
- [3] 吴燕冈, 单如俭, 周富祥, 等. 重力归一化总梯度及其相位的叠置方法研究 [J]. 世界地质, 1996, 15(3): 84 - 90.
- [4] 孟平, 秦瞳, 吴云海. 关于归一化总梯度异常多解性问题的研究 [J]. 石油物探, 2003, 42(2): 252 - 255.
- [5] 曾华霖, 李小孟, 姚长利, 等. 改进的重力归一化总梯度法及其在胜利油区油气藏探测中的应用效果 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 1 - 6.
- [6] 杨华, 李金铭. 归一化总梯度解释法在充电法中的应用研究 [J]. 物探与化探, 2001, 25(2): 95 - 101.
- [7] 翁爱华. GeoElectro 用户手册 [EB/OL]. <http://www.dianfacm.com>. 2004

下转 454 页

① 董焕成, 石宝林, 郝志刚. 教学实习指导书 (地球物理专业). 长春地质学院, 1993.

## THE ADAPTIVE PRINCIPAL COMPONENTS EXTRACTION ALGORITHM AND ITS APPLICATION

LU Bao-tong, ZHU Guang-ming

(Department of Geology and Environment Engineering, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** This paper presents the Adaptive Principal Components Extraction (APEX) procedure in neural networks. The algorithm is used for the first time in seismic data processing. Noise can be eliminated via the orthogonal decomposition of seismic data followed by eigen extraction. The results of synthetic and real data processing illustrate the effectiveness of this method.

**Key words:** seismic data processing; neural networks; APEX method; denoise

作者简介: 刘保童 (1965 - ), 男, 甘肃天水人, 西安科技大学博士研究生, 主要从事地震数据处理及数学物理方法教学与研究  
工作, 公开发表学术论文数篇。

上接 437页

## THE APPLICATION OF THE NORMALIZED TOTAL GRADIENT TECHNIQUE TO THE INTERPRETATION OF IP DATA

WENG Ai-hua<sup>1,2</sup>, DONG Rui-chun<sup>1</sup>

(1. Department of Geology Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Department of Applied Geophysics Jilin University, Changchun 130026, China;

**Abstract:** The normalized total gradient technique (NTG) was employed in the interpretation of induced polarization (IP) with the purpose of obtaining the space information on IP sources. A program package based on the NTG theory was also developed to process IP data along a profile. The results from experiments and field work show that the NTG method can generate a reliable section of IP source distribution with correct continuation parameters.

**Key words:** normalized total gradient; induced polarization; data processing; software package

作者简介: 翁爱华 (1969 - ), 男, 2001年毕业于吉林大学地球探测与信息技术专业, 获博士学位, 讲师。从事电磁法勘探与地面核磁共振勘探理论与方法研究, 现在浙江大学做博士后研究。