

# 胜利油区航磁异常的小波分析

王 钢 林江发 张赛珍 陈耀松

(北京大学力学与工程科学系, 北京 100871)

**摘 要** 采用小波分析方法对山东胜利油区的航磁异常进行了分析处理。研究油田地磁局部异常的小波特征, 并进行分离提取, 寻找它们与地下油储之间的分布关系。结果表明, 地下油储范围与分离出来的高频成分的分布相一致, 并且, 高频成分的分布形态对于了解油储的构造控制因素有帮助。据此对邻近几个高频异常成分作了预测解释, 该预测意见为当地工作的石油地质和石油物探专家所认同。

**关键词** 小波 航磁 烟囱效应

## 0 引 言

1994年下半年, 在山东胜利油区的已知草桥油田及其邻区组织了航空磁力梯度测量试验, 考察该方法对勘探油气田的效果。其中一个目标是探索已知油田盖层中烟囱效应。

实测的结果说明, 本地区油气田上空的航磁 $\Delta T$ 异常信息是十分丰富的, 反映了断块、深断裂、基底隆起、洼陷区、斜坡区、凸起区、中、新界火山岩区以及局部构造的细节。航磁异常和梯度异常的空间频谱很宽, 过去缺乏深入彻底的分析研究, 对于异常的解释显得简单。

为了研究 $\Delta T$ 异常的高频部分, 我们将小波分析方法用于航磁数据处理, 对航磁异常的空间频谱进行了初步的分离分析, 觉得这个方法对航磁异常的分类解释有直接帮助。其中一个明显效果就是本文介绍的, 它比较直观地显示了分离出来的高频成分的分布与本地用钻井探测所圈出的地下油田的范围相一致。它为探索结果提供了一幅鲜明的图象。这对于说明油田盖层中烟囱效应的存在, 说明烟囱效应能形成一个高频的微弱磁异常(带)区, 因而为航磁直接勘探油气田的论证提供了一个有力的支持。

## 1 小波分析概念

小波分析是一个新的数学分支。它是继傅立叶分析后, 在信号分析上又一个重大进展。可广泛应用

于图象处理、量子场论、语音识别与合成、湍流分析等领域的信号处理。小波分析能将信号按频域或空域的局部特征进行分离, 而且对高频成分采用逐渐精细的取样步长, 原则上可以聚焦到对象的任意细节, 这是它优于傅立叶分析的地方。这里先简要介绍概念并讲明用到的部分, 详细资料请参考文献[4]。

### 1.1 连续小波函数

对于一个信号 $f(t)$ ,  $f(t) \in L^2(R)$ 来说, 它在空间 $L^2(R)$ 上的连续小波变换定义为:

$$Wf(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\phi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt, \quad (a, b \in R, a \neq 0) \quad (1)$$

其中 $a$ 是小波的尺度(逆波数),  $b$ 则代表分析的位置, 在这是指复杂共轭值。 $\phi(\xi)$ 是 $L^2(R)$ 空间上的一个函数, 叫分析小波或连续小波。

小波系数 $Wf(b, a)$ 可以解释为尺度 $a$ 对信号 $f$ 在位置 $b$ 的相对贡献。分析的效果可以通过选择分析小波, 位置 $b$ 和放大倍数 $a^{-1}$ 达到令人满意的程度。在小波变换中, 对不同频率成分在时域上的取样步长是调节性的, 高频部分步长小, 低频部分步长大。换种说法, 也就是对高频部分时间分辨率要比低频部分高。正是在这一意义上小波变换被誉为数学显微镜。它能将信号分解为交织在一起的多种尺度成分, 并对于大小不同的尺度成分采用相应粗细的时域或空域取样步长, 从而聚焦到对象的任意微小细节, 这也正是它优于经典傅立叶变换的地方。

小波系数 $Wf(b, a)$ 也可从对信号 $f(t)$ 的傅立

叶变换得到:

$$Wf(b, a) = \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) \overline{\hat{\phi}(a\omega)} e^{i\omega b} d\omega \quad (2)$$

如果分析小波满足允许条件,小波变换的逆变换公式可写成如下形式:

$$f(t) = \frac{1}{C_{\phi}} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Wf(b, a) \frac{1}{\sqrt{a}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dadb}{a^2} \quad (3)$$

### 1.2 离散小波变换(DWT)

象快速傅立叶变换(FFT)一样,离散小波变换是一个快速线性计算,它对长度为2的幂次的数据向量进行操作,将它变换成同样长度但数字上不同的向量。实际上,离散小波变换就是从输入空间(或时间)域转换到一个不同的域,通过这种转换,以及小波函数在频率或者(更精确地说)特征尺度上局域化的特点,可以对信号在某一频段上的情况进行分析。

## 2 地磁信号的小波分析

我们研究的是一张油田航磁  $\Delta T$  平面剖面图(如图1所示),它由81条剖面曲线构成。每条剖面有1024个离散等距的  $\Delta T$  样点,横轴代表样点位置,单位为纬度的分。



图1 油田  $\Delta T$  平面剖面图

图1各曲线和曲线之间反映了地磁异常  $\Delta T$  的变化。这些变化说明油田磁场信息十分丰富,信号的空间频谱很宽。

现在我们先选取其中第27号剖面曲线进行小波分析,认为它具有较好的代表性。我们采用了离散

小波变换中的 DAUB4<sup>[3]</sup>滤波器进行运算,分析该剖面曲线上各种频率成分。图2是该剖面曲线原来的情况。

图2中 I、II 两处出现的微小峰位介乎异常信号和干扰信号之间,这在以往的工作中常忽略不予考虑。本次飞行测量,为了探索油田上部盖层中的烟囱效应,事先注意提高测量精度,使这部分峰位达到明显可信,获得了研究这类信息的可能。

图3包含4种情形,它们是第27号曲线进行小波分析的结果,纵轴代表小波系数,横轴为纬度位置,单位为“分”。其中,图3(a)是最高频率的小波系数分布,图3(b)是次高频率的,亦即图3(a)的频率的二分之一频率的小波系数分布,图3(c)是又次频的,是图3(b)的频率的二分之一频率的小波系数分布,图3(d)是上述小波系数变换后的母函数系数分布。

图3的这4种曲线情形说明,小波分析确实将油区航磁异常的频率成分区分开来了。初步结果表明,航磁异常的频率大体分为3类,其中3(a)和3(b)类似,可称为高频类,图3(c)曲线的系数分布较普遍,可称中等频率类,而图3(d)曲线的系数分布又明显集中于西部,可称为低频类。这个结果证明小波分析的效果是较好的、适用的。同时也说明,如果样本密度(即空中采样率)能再增加,小波分析的效果还会更好。

图4是全部1条剖面曲线的小波分析结果,其中每条剖面曲线分别按图中3(a)、3(b)、3(c)的情形进行小波分析,结果对应为图4(a)、4(b)和4(c)。因为本文重点讨论高频成分的分布,故其余从略。

将图4与图1对比,  $\Delta T$  异常按频率成分分布表现出它的特色,它有助于识别  $\Delta T$  异常的控制因素。这在图1中是较难分辨的。

图4(a)是频率最高成分小波系数的分布,图中圈出的1、2两片是已知油田,3、4是预测油田。A是深大断裂带。图4(b)是次高频成分小波系数的分布。图4(b)的分布除包含了图4(a)的全部外,新增加5、6、7、8四处预测区,其中的7,后来的勘探工作证实为油田,B也是一条深大断裂带。就图4(a)和图4(b)两图情况看,图4(b)的显示更能反映油气烟囱效应的分布。图4(c)是频率更低的小波系数的分布。由于频率降低,成片分布的特点有所加重,而线状分布特点有所隐退。图中重新增加9、10两片低频成分,反映的是岩体性异常的分布。

需要指出,图4中圈出的油田中,1号油田处小

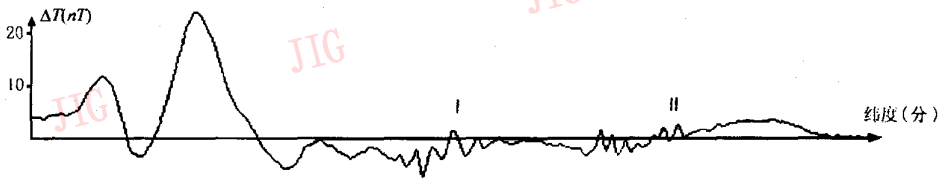
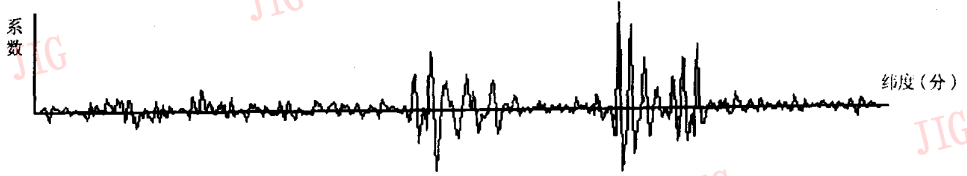
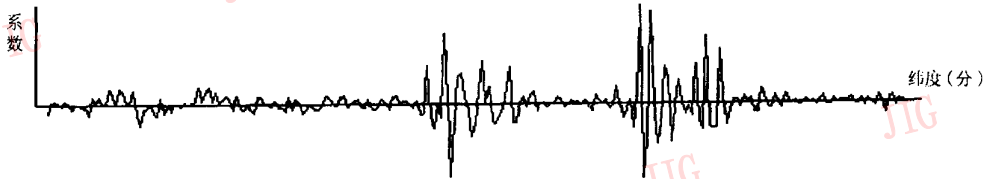


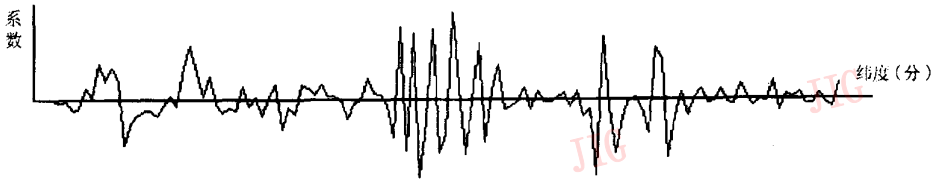
图 2 第 27 号剖面  $\Delta T$  曲线图



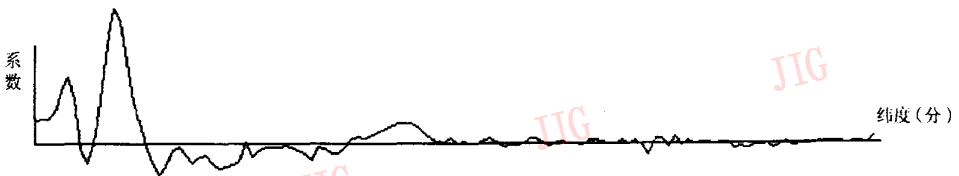
(a)



(b)

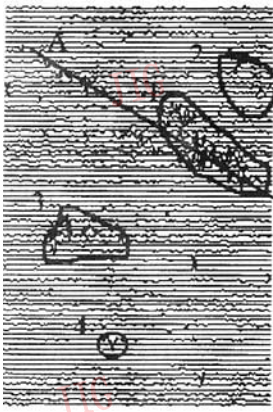


(c)



(d)

图 3 第 27 号剖面曲线的小波系数分布曲线图



(a)



(b)



(c)

图4 油田  $\Delta T$  异常频谱平面剖面图

波系数最高,高频成分分布最多,范围较大,这是因为有地面工程设施的干扰。从这个角度讲,图4(b)中的高频成分具有更好的代表性和指示性。

图5是我们对图4(b)小波系数进行处理后得到的。事实上,我们只是把图4(b)中小波系数的值低于一定的值(阈值)的数据全部变为0而得到的。这样,我们就可以更清楚地看出油气分布情况,由于不同地区的地质构造条件不同,阈值的选择也应有所不同,实际上这是一个经验数据,而不是绝对不变的。

为了更精确地分析,我们还采用了离散小波变换中的 DAUB12 和 DAUB20 滤波器,对每条曲线的各种频率成分进行分析。分别对应于图4(a)—(c)的情形形成了的图6和图7。

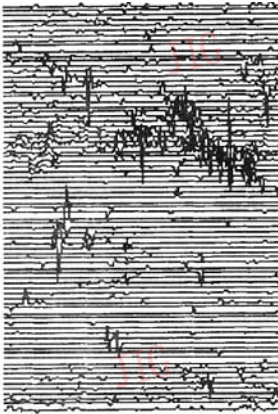
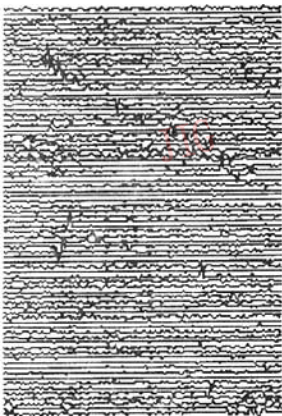
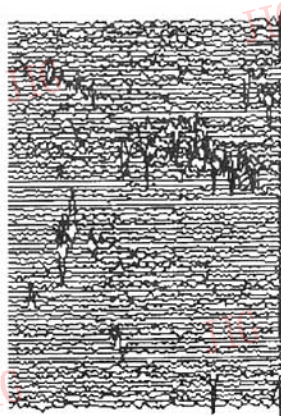


图5



(a)



(b)



(c)

图6

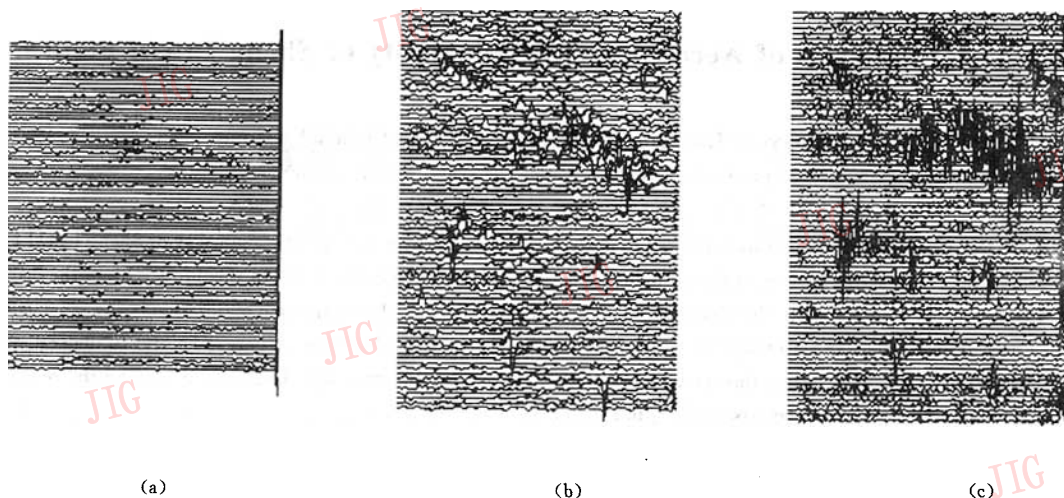


图 7

从上面的结果可以看出,由于原始信号样本数已经确定,采用不同个数的系数分析的结果只是小波系数曲线的光滑程度不同(系数个数越多,曲线越光滑),对问题本身的解决没什么影响。从计算简便,不影响结论的角度考虑,我们认为在实用中可采用 DAUB4 来进行分析。

### 3 结束语

(1)在提高测磁精度和采样率的前提下,用小波分析方法识别油田上部盖层中的烟囱效应具有较好的效果。

(2)地磁异常小波分析成图有助于地质勘探人员对地磁异常的直观理解。

(3)小波系数阈值上下界的确定是一个随地区而变的经验值,具有从已知推未知的经验性。

**致 谢** 胜利石油管理局勘探公司对本项目的全力支持以及寿宝奎教授对本文的修改在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 寿宝奎,秦积庚,张赛珍.胜利油田草桥地区三分量航磁梯度试验性油气勘探工作成果报告,1996.
- 2 秦积庚.胜利油田草桥地区三分量航磁梯度试验性油气勘探理论报告.
- 3 傅祖芸,赵梅娜,丁 岩.C语言数值算法程序大全.北京:电子工业出版社,1995(第二版).
- 4 秦前清,杨宗凯.实用小波分析,西安:西安电子科技大学出版社,1994.



**王 钢** 北京大学力学系博士生。目前主要从事计算机网络,科技图象处理和多媒体信息处理等方面的研究。



**林江发** 北京大学力学系硕士生。目前主要从事计算流体力学等方面的研究。



**张赛珍** 中国科学院地球物理所研究员。目前主要从事物理探矿的研究。



**陈耀松** 北京大学力学系教授,计算流体力学研究室主任,博士生导师。目前主要从事计算流体力学和近代测控技术等方面的研究。

## Wavelet Analysis of Aero-Magnetic Anomaly of Sheng Li Oil Field

Wang Gang, Lin Jiangfa, Zhang Saizhen and Chen Yaosong

(Department of Mechanics, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract** In this paper, wavelet analysis is utilized to analyze and process the aero-magnetic anomaly of Sheng Li Oil Field. The wavelet property of aero-magnetic of the oil field is studied, and the relationship between this property and the distribution of the underground oil is found. The result indicates that the distribution of underground oil location is the same as high-frequency part derived from the aero-magnetic anomaly signal. Furthermore, high-frequency part is helpful to understand the controlling factor of oil savings. Using this method, the authors predict by the other high-frequency parts, and the results are acknowledged by the oil geophysics experts working in local area.

**Keywords** Wavelet, Aero-magnetic, Chimney effect

## VTEL 的银河(Galaxy)系列为其大型会议电视产品锦上添花

VTEL 美国视讯公司于1999年8月10日宣布在北京推出其大型会议电视产品线中的新型号——银河(Galaxy)系列,此举进一步奠定了VTEL在世界视讯市场上的领导地位。VTEL 银河(Galaxy)系列终端产品是在现有的大型(ESA)系列产品的基础之上兴起的璀璨新星,该产品集成了更多的信息和应用共享功能以及VTEL最新开发出的软件,可以在广域网和局域网上共用。银河(Galaxy)系列的推出使VTEL的产品趋于全面化,为现代化通讯提供了功能最强大、品质最优秀的视讯解决方案。

Galaxy系列产品基于VTEL可扩展架构(VTEL Scaleable Architecture, VSA)的传统之上,所以此次推出的4种终端产品全部具有可扩展性,并且功能强大、灵活易用,既适用于小规模会议,也适合大规模会议和教学培训及多种行业的专业需求。VTEL新开发的V-Touch建立了一种实用而灵活的用户界面。Galaxy系列产品中的基础产品将以其具有竞争力的价格、业界领先的视音频和静止图象质量完全满足用户的需求。而其高端的产品所提供的信息共享工具和无线控制功能将最大限度地发挥会议电视的效力。

Galaxy系列产品超绝凡响之处主要在于:

- 遵循VTEL一贯的保护用户投资的宗旨,对于现有使用VTEL ESA系列产品的用户,将可以通过简单的软件升级达到产品更新。
- VSA产品是一种令人兴奋的新型视讯产品,具有无与伦比的易用性,并集成了强大的信息共享功能。
- 银河(Galaxy)系列产品是目前世界上罕见的符合局域网(H. 323)标准的大型视讯产品。
- V-Touch使视讯产品的应用更直观、更友好并充满乐趣。
- 令人叫绝的外观,使用了先进的高分子合成机架。

这样一种业界最优秀的产品,无疑会给用户带来更多的实惠。首先银河(Galaxy)系列产品延续了其易于应用且高度集成的特点,与VTEL现有的全线产品互通互控,从而为用户提供最佳效率的会议。其次,它具有最强大的网络适用性,既可以在局域网(H. 323)/广域网(H. 320)之间进行转换,又有新型的广域网(WAN)卡和高速异步传输模式(ATM)接口。此外,用户通过VTEL特有的网络管理软件(SmartVideoNet Manager)可以实现中央控制和远端诊断的全面管理目标。

此外,VTEL为满足用户和市场需求,将继续提供其原有的系列产品。同时为方便客户系统升级、安装和咨询、系统分析和技术支持等服务,经验丰富的VTEL全球服务部将提供更贴近客户的解决方案。

总部位于美国德州奥斯汀市的VTEL美国视讯公司是世界视频通讯系统领先的开发及制造商。它提供全系列会议电视系统产品和相应的软件及专业服务,可以广泛应用于政府办公、教育、医疗和商业沟通领域。1999年3月并购了开发流媒体软件的Vosaic LLC公司,把传统会议电视的强大功能与通达全球的Internet网完美地结合起来。目前,VTEL通过分布在61个国家的强大的代理商及合作伙伴,将其业界领先的数据视讯产品安装于教育、医疗、政府以及日臻发展的商业市场,在全球有将近30,000个安装点,居业界领先地位。VTEL公司自1993年进入中国市场以来,引入了与世界同步的先进的会议电视技术,成功地组建了中国邮电部骨干网以及20多个省、部网和一系列大型专网,在中国占有会议电视系统半数以上的市场份额,居绝对领先地位。