

基于细胞神经网络重力异常提取的东海火成岩分布

杜润林,杨慧良,杨长清

(国土资源部天然气水合物重点实验室,中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071;
青岛海洋科技与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室,青岛 266071)

摘要:岩浆活动是东海盆地在形成发展过程中各期构造运动伴生的产物,由于火成岩一般与围岩具有明显密度差异,从而引起局部重力异常,但火成岩引起的异常往往被区域异常所掩盖,在重力异常图上无法识别。利用改进细胞神经网络方法对东海盆地火成岩引起的重力异常进行提取,能够突出目标异常,将水平(横向)叠加异常区分开以识别火成岩。结果表明,东海盆地火成岩发育广泛,以 NNE 向条带状分布为主。

关键词:细胞神经网络;火成岩;重力异常;东海盆地

中图分类号: P312.9 **文献标识码:** A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2017.04009

1 引言

岩浆活动是东海盆地在形成发展过程中各期构造运动伴生的产物。重磁、地震及钻井资料揭示,东海岩浆活动十分活跃,从形成时间上可分为燕山期和喜山期 2 期。东海陆架盆地发育燕山期和喜山期火成岩体,冲绳海槽则主要为喜山期火成岩体。岩性上又可分为中基性岩体和中酸性岩体。从形状上又可分为柱状、枝状、蘑菇状、层状等^[1,2]。

东海陆架盆地,分布有燕山早期和晚期岩体,燕山早期岩体主要分布在东海陆架盆地的西部凹陷带及中部低隆起。沉积层以下主要为燕山期花岗岩、安山岩等,这些岩体已为上海海洋石油局所钻探的石门潭一井、明月峰一井所证实。1992 年

以后,石油公司在瓯江、闽江凹陷也有多口钻井揭示沉积层基底下的燕山期岩体。在长江、钱塘、瓯江及闽江凹陷的地震资料上陆续见到一些不穿过地震 T_0^s (新生代沉积层底界面)反射波的畸形反射地质体,仅发育在中生代沉积层内部,判断为燕山晚期岩体。在东海陆架盆地东侧的东部拗陷带中的西湖凹陷、基隆凹陷,在 T_0^s 地震反射波以下中生界中也局部见到岩体存在,主要为燕山晚期岩体^[3,4]。除此而外,在东海陆架盆地中西部新生代地层内也发育一些小规模的喜山早、中期岩体,但在东部拗陷带各凹陷中喜山早、中期岩体多发育在古近纪、中新世的地层中;在上新统甚至第四系内,局部也发育一些喜山晚期岩体。分隔西部拗陷带和东部拗陷带的中部低隆起,在 1 000~2 000 m 沉积层以下所覆盖的基底是类似浙闽隆起沿海露头区的燕山期火成岩^[5](图 1)。

从东海陆架盆地火成岩分布规律分析,东海陆架盆地西部主要为燕山期和喜山早、中期岩体,东部则主要是喜山早、中期到晚期岩体。这些岩体多属中酸性岩体,局部有中基性岩体。钓鱼岛

收稿日期:2017-01-25

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41476053);中国地质调查局项目(DD20160153)

作者简介:杜润林(1987—),男,博士,助理研究员,主要从事地球物理反演研究工作。E-mail:durunlin123@163.com

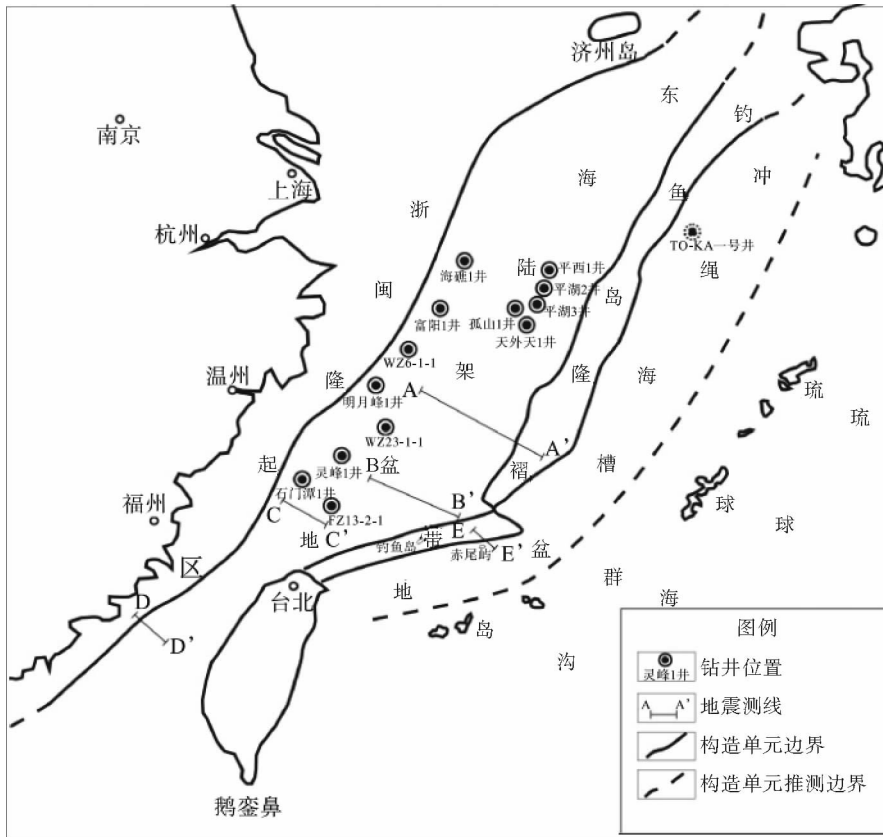


图1 东海新生界构造区划简图

Fig. 1 A simplified Cenozoic geotectonic map of the East China Sea

火成岩带上在 1 000~2 000 m 的上新统及第四系沉积层之下为无或杂乱反射波地质体。结合此带上出露水面的岛屿和重磁资料判断,此带上新统及部分中新统之下主要由喜山中、晚期岩体组成^[6-8]。

本文结合东海盆地火成岩重力异常特点,使用改进细胞神经网络方法(CNN)进行火成岩推测。该方法是由 Yang^[9]和 Chua 等^[10]提出的,它最初用于图像处理,如边界检测、消除噪声等。后来伊斯坦布尔大学的 Albora 等^[11]在此基础上提出了用细胞神经网络处理重力异常的方法,并通过模型试算和处理实际资料发现,细胞神经网络方法在对重力资料的处理上能够突出浅层异常,可以直观地看到浅部异常的形状、数量、规模、边界等信息,并将细胞神经网络处理后的效果与实际的钻井资料相对照,与常规的垂向二次导数方法相比,效果更好。

2 细胞神经网络法的原理

细胞神经网络中的一个细胞仅与它的近邻细胞相连接,近邻细胞可以彼此直接相互作用,因为神经网络的连续时间动力学的传播效应,非近邻细胞不直接连接^[12]。图 2 表示了当 r 为 1、2 和 3 时同一个细胞元的 3 个邻域,细胞神经网络中细胞的邻域 $C(i, j)$ 定义为:

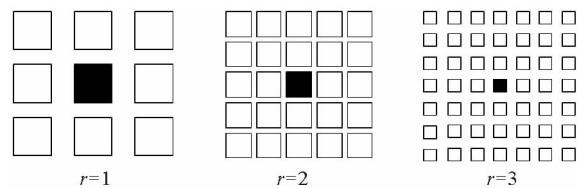


图2 细胞神经网络邻域示意图

Fig. 2 Schematic diagram of cell neural network neighborhood

$$N_r(i, j) = \{C(k, l) \mid \max\{|k - i|, |l - j|\} \leq r, 1 \leq k \leq M, 1 \leq l \leq N\} \quad (1)$$

本文采用细胞神经网络拟 bp 算法,这种算法本质上是运用最小二乘法原理,并用梯度下降法进行优化。

取(2)式作为全局误差函数^[13],选取离散细胞神经网络模型如图 1 所示:

$$E(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{i,j} (y_{i,j} - t_{i,j})^2 \quad (2)$$

式中: $y_{i,j}$ 为指神经网络的输出;

$t_{i,j}$ 为期望输出。

状态方程:

$$v_{ij}(n+1) = \sum_{c(k,l) \in N_r(i,j)} A_{(i-k)(j-l)}(n) y_{kl} + \sum_{c(k,l) \in N_r(i,j)} B_{(i-k)(j-l)}(n) u_{ij} + I \quad (3)$$

其中, $A = \begin{bmatrix} A_{-1,-1} & A_{-1,0} & A_{-1,1} \\ A_{0,-1} & A_{0,0} & A_{0,1} \\ A_{1,-1} & A_{1,0} & A_{1,1} \end{bmatrix}$,

$B = \begin{bmatrix} B_{-1,-1} & B_{-1,0} & B_{-1,1} \\ B_{0,-1} & B_{0,0} & B_{0,1} \\ B_{1,-1} & B_{1,0} & B_{1,1} \end{bmatrix}$, I 是偏量。

为了保持神经网络的稳定性,让权值矩阵中的元素保持一种对称的结构,即令

$$A_{-1,-1} = A_{1,1} = a_1, A_{-1,0} = A_{1,0} = a_2,$$

$$A_{-1,1} = A_{1,-1} = a_3, A_{0,-1} = A_{0,1} = a_4$$

$$B_{-1,-1} = B_{1,1} = b_1, B_{-1,0} = B_{1,0} = b_2,$$

$$B_{-1,1} = B_{1,-1} = b_3, B_{0,-1} = B_{0,1} = b_4$$

用一个向量来包含所有的权值:

$$\omega = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, I\} \quad (4)$$

这样做不仅保持了系统的稳定性,也使得原来的系数矩阵的元素由原来的 19 个变为现在的 9 个,大大减少了运算量。

输出方程:

$$y_{ij}(t) = f[x_{ij}(t)] = \frac{1}{2} (|x_{ij}(t) + 1| - |x_{ij}(t) - 1|) \quad (5)$$

利用梯度下降法是为了使误差函数取得极小值,像 BP 算法一样采用梯度下降法,来解决最优化问题(图 3)。这就需要对输出函数进行求导,这里的分段线性输出函数(5)是不适用的,为此给出了替代函数(6),其函数图形类似于一种平滑的分段线性函数,这就容易对其进行求导运算。

$$y_{ij}(t) = f[x_{ij}(t)] = 0.05e^{-x_{ij}^2} x_{ij} + 0.84L(x_{ij}) \quad (6)$$

这里

$$L(x_{ij}) \cong \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_{ij}} e^{-t^2} dt \quad (7)$$

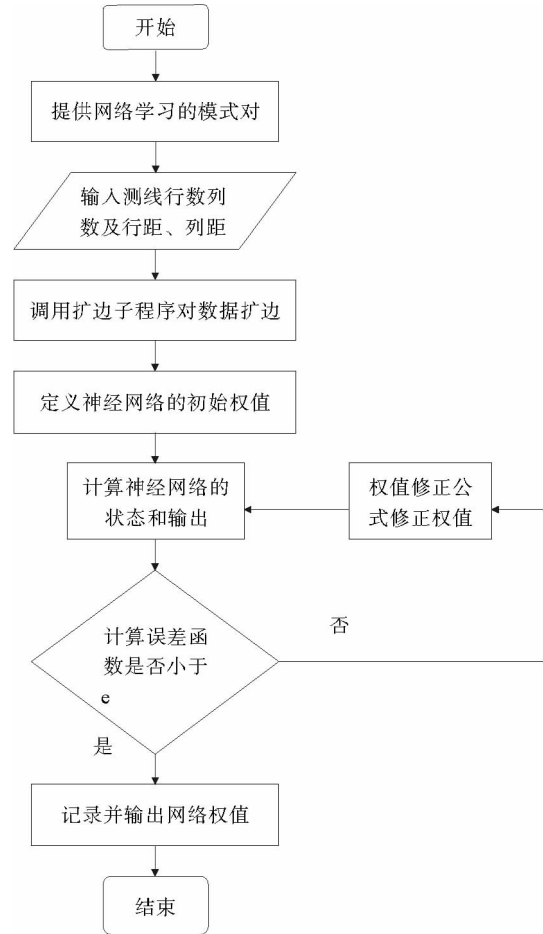


图 3 细胞神经网络拟 BP 学习算法程序流程图

Fig. 3 Flowchart of cellular neural network BP learning algorithm

3 细胞神经网络法预测火成岩分布

图 4 为东海盆地布格重力异常图。在图中我们看不出火成岩的分布,选取图中黑色方框内已知的火成岩异常作期望输出^[14,15],通过细胞神经网络训练得到了用于突出东海盆地火成岩局部异常的模板:

$$\omega = \{-0.224\ 731, -0.556\ 218, -0.251\ 149, -0.212\ 454, 0.898\ 942, -0.128\ 484, -0.131\ 946, -0.182\ 384, -0.171\ 134, 0.893\ 328, 0.001\ 242\}$$

图5为提取的火成岩异常,为了说明方法的有效性,将结果与重磁震以及钻井综合解释的火成岩分布进行对比。图6中红色框内为综合解释

结果,可以看出,本文得到的结果与之较吻合度较高,说明神经网络方法能够根据期望突出有用异常,压制区域场的效果较好,并且有较强的抗干扰能力,使得突出的异常更加清晰,可以用来圈定火成岩。

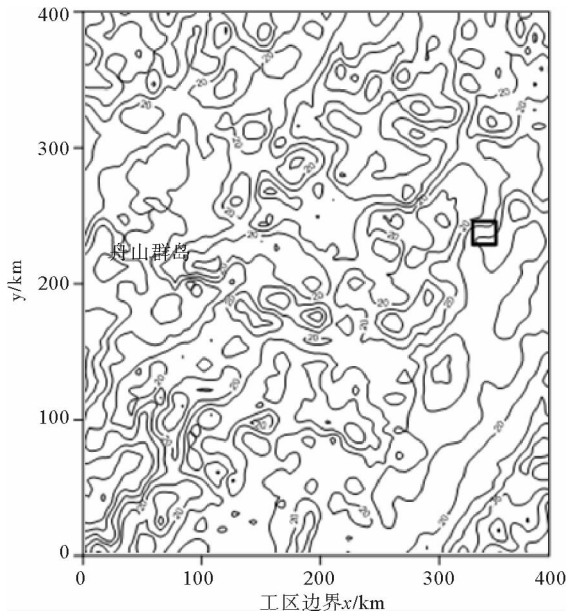


图4 东海盆地布格重力异常平面等值线图 (单位: 10^{-5} m/s^2)

Fig. 4 Contour map of bouguer gravity anomaly in the East China Sea Basin

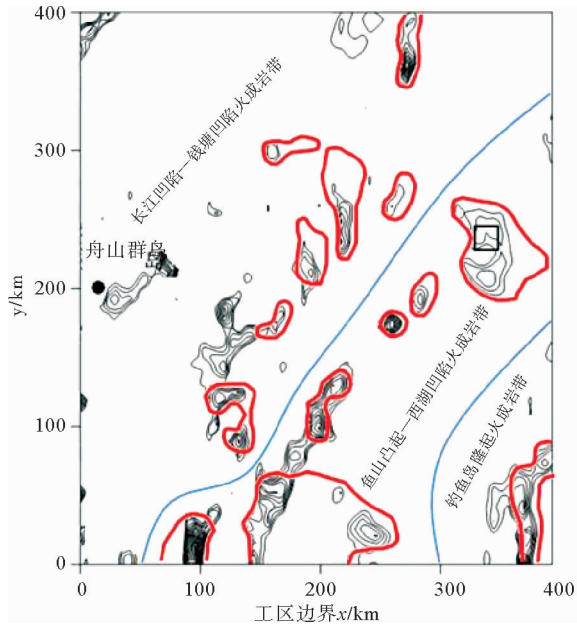


图6 与重磁震及钻井综合解释对比(单位: 10^{-5} m/s^2)

Fig. 6 The map of the results of the comprehensive explanation of gravity, magnetic, seismic and drilling.

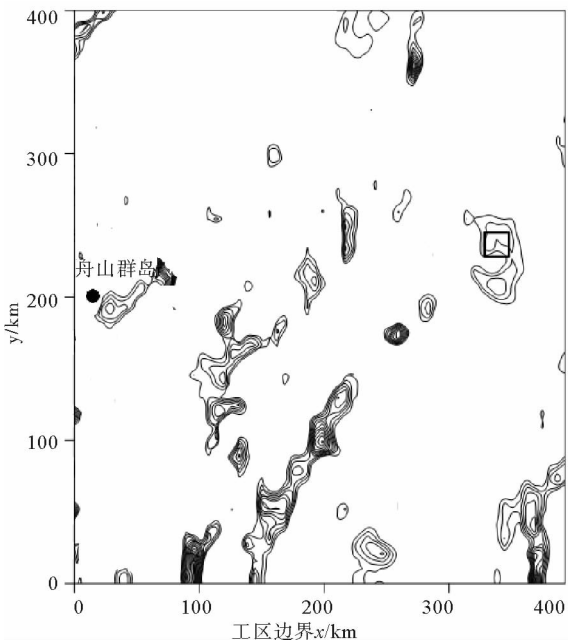


图5 CNN方法分离出的火成岩局部异常 (单位: 10^{-5} m/s^2)

Fig. 5 Local anomaly of igneous rock separated by CNN method

从结果图可以看出,研究区内火成岩广泛发育,基本遍及整个研究区,火成岩展布以NNE向条带为主,形态上表现为沿带展布的长条形和椭圆形。由于NNE向火成岩带的掩盖,NNW向在空间分布上没有清楚的显示。根据以上火成岩展布特点,将NNE带分为3个带:

(1) 钓鱼岛隆起火成岩带

该带主要发育于钓鱼岛隆起上,走向NNE向,成因以侵入为主。

(2) 鱼山凸起—西湖凹陷火成岩带

该带火成岩基本沿鱼山凸起—西湖凹陷的边界断裂发育,呈NNE向展布,主要发育于构造边缘高点处,受断裂控制明显,成因以侵入为主。

(3) 长江凹陷—钱塘凹陷火成岩带

该带分布于长江—钱塘凹陷内,同样呈NNE向,与断裂的展布无明显的对应关系,故成因应以

喷发为主,推测它们是闽浙火成岩带的北东延伸部分。

4 结论

(1)通过对东海盆地火成岩重力异常的提取表明,用改进细胞神经网络方法提取火成岩异常是切实可行的,只要选择合适的模板,突出期望异常,消除或减弱其他的干扰,可以较准确地突出火成岩异常边界,据此圈定火成岩体。

(2)在东海陆架盆地火成岩具有沿 NNE 向成带发育的特点,沿深大断裂侵入于中生代地层,NNW 向火成岩带发育时间较晚,规模小,与 NW 向断裂产生较晚相对应,火成岩分布呈现东西分带的特征。

参考文献:

- [1] 刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理特征[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 张凤旭, 孟令顺, 张凤琴, 等. 利用 Hilbert 变换计算重力归一化总梯度[J]. 地球物理学报, 2005, 4(3): 704-709.
- [3] 张训华. 中国海域构造地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [4] 万天丰, 赵庆乐. 中国东部构造—岩浆作用的成因[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(2): 155-163.
- [5] 杨文达, 崔征科, 张异彪. 东海地质与矿产[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [6] 杨传胜, 李刚, 杨长清. 东海陆架盆地及其邻域岩浆岩时空分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 125-132.
- [7] 高德章, 赵金海, 薄玉玲, 等. 东海重磁地震综合探测剖面研究. 地球物理学报[J], 2004, 47(5): 853-861.
- [8] 刘申叔. 东海油气地球物理勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [9] Yang T. Handbook of CNN Image Processing: All you need to know about Cellular Neural Networks[M]. Tucson AZ: Yang's Scientific Research Institute, 2002: 87-90.
- [10] Chua L O, Yang L. Cellular Neural Networks Networks: applications, IEEE Trans[J]. On Circuits, 1988, 35(10): 1273-1290.
- [11] Albora A M, Ucan O N, Ozmen A, et al. Separation of Bouguer anomaly map using cellular neural network[J]. Journal Applied Geophysics, 2001, 46: 129-142.
- [12] 刘展, 刘茂成, 魏巍, 等. 重力异常分离的细胞神经网络方法研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2010, 31(1): 31-34.
- [13] 王大勇, 郝立波, 陆继龙. 神经网络在识别浅覆盖区地质体中的应用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(11): 185-187.
- [14] 周波, 李舟波, 潘保芝. 火山岩岩性识别方法研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 3(3): 394-397.
- [15] 高德章. 东海陆架盆地岩石密度与磁性[J]. 上海地质, 1995(2): 38-45.

STUDY ON DISTRIBUTION OF IGNEOUS ROCKS IN THE EAST CHINA SEA BASIN BASED ON GRAVITY ANOMALY EXTRACTION

DU Runlin, YANG Huiliang, YANG Changqing

(Key Laboratory of Gas Hydrate, Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 2660071, China)

Abstract: Magmatism is a product of tectonic movement in the process of the formation and development of the East China Sea Basin. Igneous rocks which are generally of obvious density differences with the surrounding rock, are the factor causing local gravity anomaly. However, the anomalies caused by igneous rocks are often overshadowed by regional anomaly. It is difficult to define them in the gravity anomaly map. In this paper, we used the improved cellular neural network method to extract the gravity anomaly caused by the igneous rocks in the East China Sea Basin. The method has the advantage to highlight the target anomaly and distinguish them from horizontal (landscape) superimposed anomalies. Studies show that igneous rocks developed wildly in the East China Sea Basin in NNE direction.

Key words: Cellular Neural Networks; East China Sea Basin; Igneous rocks; Gravity anomaly