

神经网络在松辽盆地深层火山岩岩性预测中的应用

常桂华

(大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,黑龙江大庆 163712)

摘要:基于松辽盆地深层火山岩岩心分析,通过模型正演分析发现,深层火山岩产生的重、磁异常不是很大,表现为叠加在强背景之上的次级异常。提出了积分—迭代延拓平化曲线新方法,来增强火山岩磁异常信息,以达到均衡磁异常,消除深度的影响。通过对松辽盆地区域磁异常的处理与解释,提取反映深层火山岩的磁异常信息,利用斜导数、欧拉反褶积等多种方法圈定了深层火山岩的分布,指出火山岩的视密度、视磁化率与其两者的相关系数是最佳的三参数组合。神经网络模糊识别是判别火山岩岩性的有效方法,应用该方法在井约束下建立判别网络,完成了深层火山岩岩性的识别。应用神经网络判别火山岩岩性的方法对其他地区深层火山岩的预测有一定的参考和借鉴作用。

关键词:深层火山岩;火山岩磁异常;视密度;视磁化率;神经网络;松辽盆地

中图分类号:TE19

文献标识码:A

松辽盆地是我国较大的中—新生代陆相伸展裂陷型含油气盆地,总体呈 NE 向展布,四周为山脉、丘陵所环绕,西为大兴安岭,东北与小兴安岭接壤,东南以张广才岭为界,南部为康平—法库丘陵地带。盆地地势低平,平均海拔在 150 m 左右,地处松花江、嫩江、辽河流域,总面积达 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

近年来,在松辽盆地徐家围子断陷徐深 1 井、长岭断陷长深 1 井钻探发现大型的火山岩气藏,使得对深层火山岩天然气藏勘探的重视程度愈加提高,松辽盆地深层火山岩气藏已成为油气资源接替及勘探的重要领域。

为能够从宏观上认识松辽盆地深层火山岩的分布规律,笔者尝试应用区域磁异常对松辽盆地深层火山岩进行圈定,并在钻井火山岩岩性的控

制下利用神经网络进行火山岩岩性预测。本文所采用的方法对于其他盆地同类研究工作必将有一定的借鉴和参考作用。

1 全盆地重、磁异常图的编制

自 1955 年起,松辽盆地进行非地震勘探已有 50 多年的历史,大庆油田石油会战期间在松辽盆地进行了 1:200 000 地面重、磁勘探;20 世纪 80 年代,在盆地内开展了 1:200 000 的航磁,航磁覆盖了盆地大部分地区;21 世纪初期,为配合深层火山岩气藏勘探,在松辽盆地古中央隆起带、古龙常家围子、丰乐—双城、徐东、榆树、长岭、德惠、镇赉、洮南等 9 个地区开展了新一轮的大比例尺高精度重、磁勘探,资料基本覆盖了整个松辽盆地,对于没有覆盖的少量地区,应用 1:1 000 000 的重、磁资料加以补充。对于磁力资料经过转换统一到 ΔT ,应用区域过渡残差校正拼图技术完成了整个松辽盆地区域重、磁异常图的编制(图

收稿日期:2013-02-28

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)
(2009CB219307)

作者简介:作者简介:常桂华(1964—),女,工程师,主要从事油气地质勘探研究工作。E-mail:changgh@petrochina.com.cn

1、2),为松辽盆地深层火山岩的圈定及岩性预测奠定了基础。

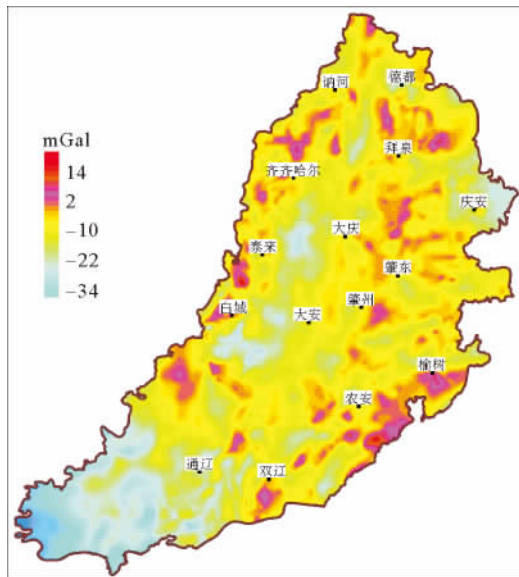


图 1 松辽盆地布格重力异常图

Fig. 1 Bouguer gravity anomaly map of Songliao Basin

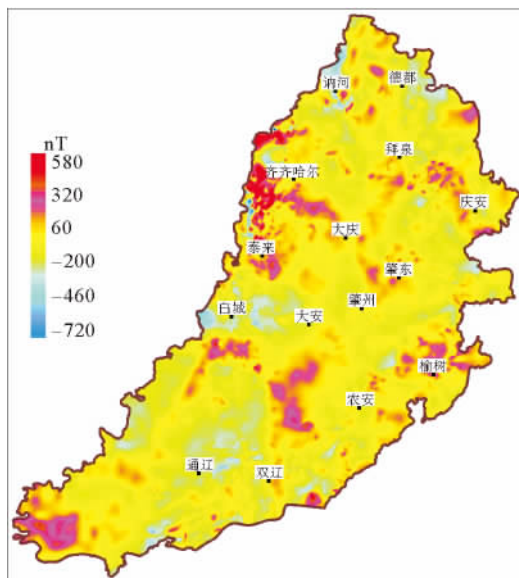


图 2 松辽盆地磁力异常平面图

Fig. 2 Magnetic anomaly map of Songliao Basin

2 盆地内岩石物性特征

火山岩的物性是应用区域重、磁异常进行火山岩预测及圈定识别的桥梁和纽带,掌握火山岩

的物性对应用重、磁异常预测火山岩及推断火山岩的性质尤为重要。

2.1 盆地内岩石的密度特征

对盆地断陷期地层的密度按不同时代、不同岩性进行统计整理,并用频数直方图的形式进行了统计分析,得出松辽盆地断陷期地层的密度分布规律。

(1)下白垩统营城组:灰绿色、褐色安山岩具有中等密度特征,密度介于 $2.510 \sim 2.840 \text{ g/cm}^3$,平均为 2.613 g/cm^3 ;灰白色、灰色、杂色、黑灰色、灰黑色砾岩具有中等密度特征,密度介于 $2.490 \sim 2.880 \text{ g/cm}^3$,平均为 2.621 g/cm^3 ;流纹岩具有低密度特征,密度介于 $2.190 \sim 2.750 \text{ g/cm}^3$,平均为 2.498 g/cm^3 ;灰褐色、褐色、浅灰色、灰黑色、灰紫色泥岩具有中等密度特征,密度介于 $2.440 \sim 2.820 \text{ g/cm}^3$,平均为 2.663 g/cm^3 。

(2)下白垩统沙河子组:灰—灰白色砂岩、灰白及杂色砾岩、灰黑色泥岩、褐色泥岩、灰色泥岩具有中等密度特征,密度介于 $2.460 \sim 2.800 \text{ g/cm}^3$,平均为 2.653 g/cm^3 。

(3)下白垩统火石岭组:杂色砾岩、黑色泥岩,英安岩、火山角砾岩、安山质凝灰岩、安山岩具有中等密度特征,密度介于 $2.580 \sim 2.840 \text{ g/cm}^3$,平均为 2.666 g/cm^3 。

火成岩的密度总体上呈现由超基性、基性岩向中性、酸性岩变小的特征。由于基性、超基性岩和中性岩的密度(基性岩平均为 2.80 g/cm^3 ,中性岩平均为 $2.66 \sim 2.71 \text{ g/cm}^3$)大于下白垩统正常沉积层的密度(平均 2.65 g/cm^3),当基性、超基性岩和中性岩发育于下白垩统层位中时,可引起中高频重力正异常;而酸性岩的密度小于下白垩统正常沉积层的密度,当酸性岩发育于下白垩统层位时,可引起重力负异常。

2.2 盆地内岩石磁性特征

通过对松辽盆地探井岩心及盆地周边出露地层的磁化率进行统计分析得出:

营城组灰绿色、褐色安山岩具有弱磁性特征,磁化率平均为 $53 \times 10^{-5} \text{ SI}$;灰白色、黑灰色、灰黑色砾岩具有弱磁性特征,磁化率平均为 $21 \times 10^{-5} \text{ SI}$;流纹岩具有弱磁性特征,磁化率平均为 $20 \times$

10^{-5} SI;灰褐色、褐色、浅灰色、灰黑色、灰紫色泥岩具有中等磁性特征,磁化率平均为 82×10^{-5} SI。

沙河子组灰—灰白色砂岩、灰白及杂色砾岩、灰黑色泥岩、褐色泥岩、灰色泥岩具有弱磁性特征,磁化率平均为 27×10^{-5} SI。

火石岭组杂色砾岩、黑色泥岩,英安岩、火山角砾岩、安山质凝灰岩、安山岩具有强磁性的特征,磁化率平均为 215×10^{-5} SI,最高可达 $2\ 308 \times 10^{-5}$ SI。

岩石既有感磁也有剩磁,为全面掌握火山岩的磁性特征,对火山岩的剩磁也进行了测定及分析,松辽盆地营城组火山岩剩磁具有以下特征:

①流纹岩的剩余磁化强度平均为 125×10^{-3} A/m;

②中性岩,包括安山岩、蚀变安山岩、安山质凝灰岩、安山质晶屑凝灰岩等,剩余磁化强度平均为 319×10^{-3} A/m,剩磁较高;

③基性火山岩的剩余磁化强度平均为 562 mA/m,剩磁很强;

④火山角砾岩,剩余磁化强度平均为 1 623 mA/m,剩磁非常强。

此外,盆地内沉积岩的剩余磁化强度较低,一般小于 60 mA/m。流纹岩剩磁大于沉积岩,而深颜色流纹岩剩磁则更大一些。

火山岩总的物性特征是:酸性火山岩具有低密度、弱磁性;中性火山岩具有中等密度、强磁性;基性火山岩具有高密度、强磁性的特征。

3 深层火山岩重、磁异常信息的提取与增强

众所周知,实际重、磁异常是地下具有密度与磁性差异地质体所产生异常的综合效应^[1]。通过对深层地震解释的火山岩体进行模型正演^[1]分析可以得出,由于盆地深层火山岩体埋深较大,所产生的重、磁异常较小。一个宽 3 km、长 5 km、埋深 4 km、厚度为 500 m、磁化率为 $2\ 000 \times 10^{-5}$ SI、与围岩密度差为 0.15 g/cm³ 的火山岩体在正常地磁场中仅能产生 1.85 nT 的磁异常及 0.34 mGal 的重力异常。在实际的重磁场中,这种较小的重、磁异常多是叠加在强背景之上的弱异常。

因此,必须采取有效方法分离与增强盆地深层火山岩的重、磁异常信息方能应用重、磁异常进行盆地深层火山岩的圈定与岩性判别。

在重、磁异常的异常提取与增强处理方面,常规的重、磁处理方法有高阶导数、下延拓、滑动趋势分析、小波多尺度分解等技术^[2-5],而常规的重、磁异常分离技术只能对原始异常进行分离,达不到增强与突出信息的目的。

在松辽盆地深层火山岩重力异常提取中,采取了应用地震资料解释的构造层做约束,结合岩石的密度进行剥皮处理,去掉浅部构造层的重力异常影响,进一步应用滑动趋势分析的方法去除背景区域场,所得的剩余重力异常(图 3)在一定程度上反映了深层火山岩的重力异常信息。

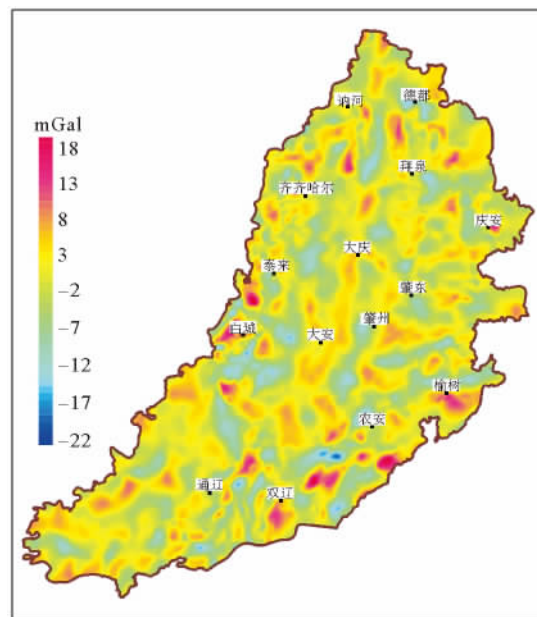


图 3 松辽盆地深层火山岩重力异常

Fig. 3 Gravity anomaly of deep-seated volcanic rocks in the Songliao Basin

在松辽盆地深层火山岩磁力异常提取中,在积分—迭代延拓^[6]的基础上发展了一种积分—迭代延拓平化曲的新型处理方法,利用这种方法来达到对深层火山岩提取与增强的目的。通过模型与实际资料的处理,表明该方法在强化与均衡深层火山岩磁异常方面具有良好的应用效果,有效地突出了深层火山岩弱磁异常信息(图 4)。

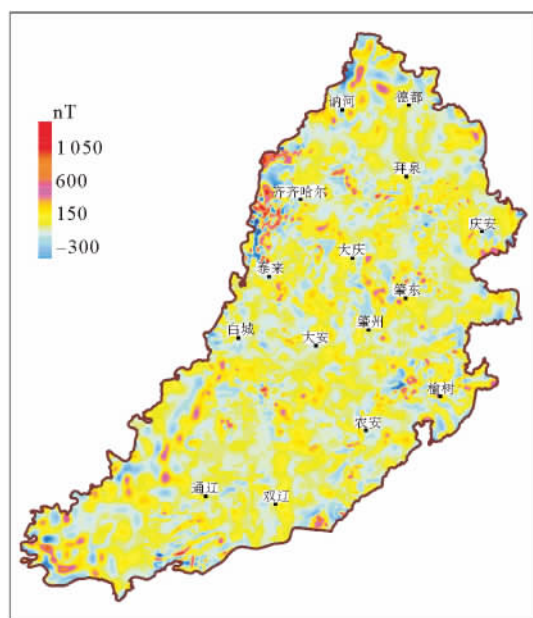


图 4 松辽盆地深层火山岩磁异常

Fig. 4 Magnetic anomaly of deep-seated volcanic rock in the Songliao Basin

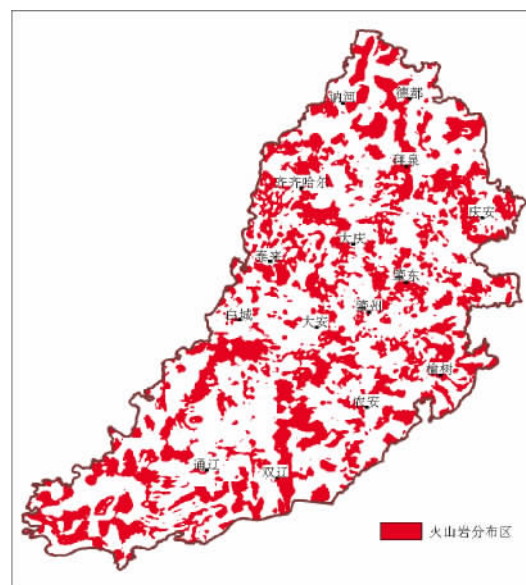


图 5 松辽盆地深层火山岩分布预测平面图

Fig. 5 The distribution map of deep-seated volcanic rocks in the Songliao Basin

4 松辽盆地深层火山岩分布预测

因火山岩具有和围岩明显的磁性差异,且磁异常影响因素较为单一,所以,在火山岩圈定时主要应用磁异常来进行。在获取反映盆地深层火山岩磁异常信息的基础上,对磁异常进行斜导数处理并应用欧拉反褶积方法反演得到磁性体顶面深度,结合地震相关资料进一步确定火山岩的分布范围,达到圈定火山岩的目的。值得说明的是,由于火石岭组火山岩和营城组火山岩相距较近,且两者埋深较大,很难通过磁力异常将两者区分开来,应用磁异常所圈定的深层火山岩是两者的综合反映。

应用以上方法预测了松辽盆地宏观火山岩的分布,并编制了松辽盆地深层火山岩分布预测平面图(图 5)。

5 松辽盆地深层火山岩岩性识别

不同岩性的火山岩通常表现为不同的密度及磁化率,因而也就产生不尽相同的重、磁异常。在地表的火山岩按照一般的重磁异常特征及相关分析可以有效进行火山岩岩性的识别,但在盆地深

处的火山岩,由于受盖层及基岩岩性等复杂因素的影响,一般很难准确地分离出由单一火山岩产生的重、磁异常,尽管已经通过各种增强技术处理,但仍不能达到这一目的。但无论如何,在所分离的重、磁异常中最大程度地包含有火山岩产生的重、磁异常,要想对这些包含有火山岩特征的重、磁异常进行火山岩岩性直接逐一识别是困难的,必须借助一定的数学方法。

5.1 视磁化率、视密度反演

通过多种参数的试验分析,视磁化率、视密度及两者的相关系数在判断火山岩岩性方面是最佳的三参数组合。为此将反映火山岩的重、磁异常分别进行了视密度(图 6)及视磁化率(图 7)的反演,并对两者进行相关分析,获取两者的相关系数(图 8),为火山岩岩性的判别做好参数的准备。

5.2 神经网络识别火山岩岩性方法

鉴于神经网络技术能对不确定性和非结构化数据进行有效表述和预测,因而在许多领域得到了成功的应用。人工神经网络模拟人类智能信息及具有分布式存储、自适应学习、联想记忆和容

错性等特点。我们在深层火山岩岩性预测中利用了人工神经网络模式判别技术^[7]。

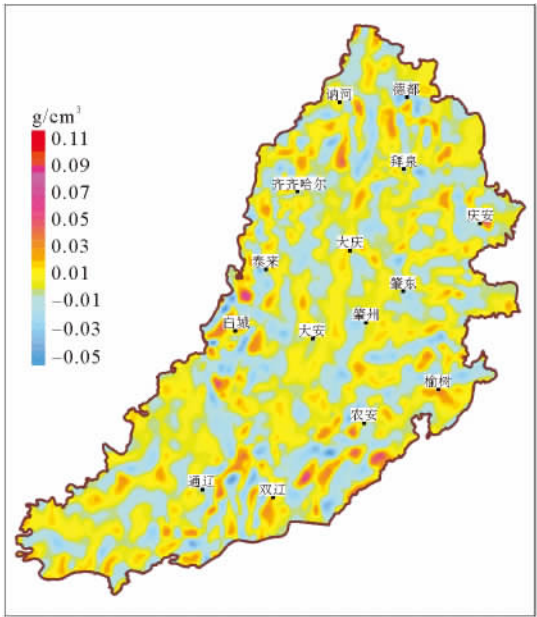


图 6 松辽盆地深层火山岩重力异常反演视密度平面图

Fig. 6 Magnetic anomaly map of deep-seated volcanic rocks in the Songliao Basin

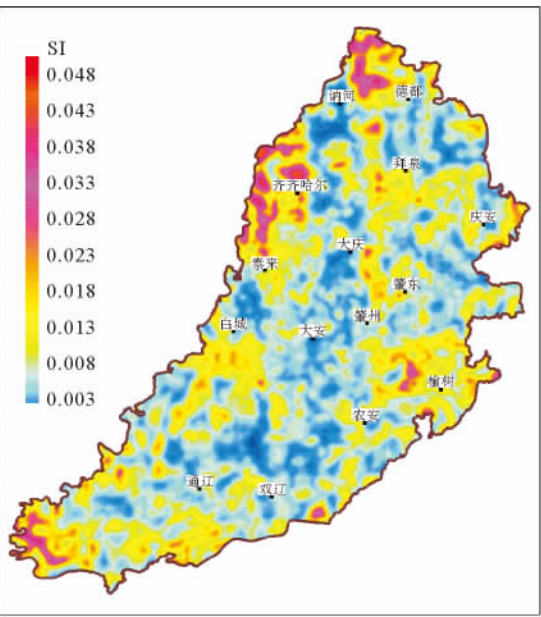


图 7 松辽盆地深层火山岩磁异常反演视磁化率平面图

Fig. 7 Gravity anomaly map of deep-seated volcanic rocks in the Songliao Basin

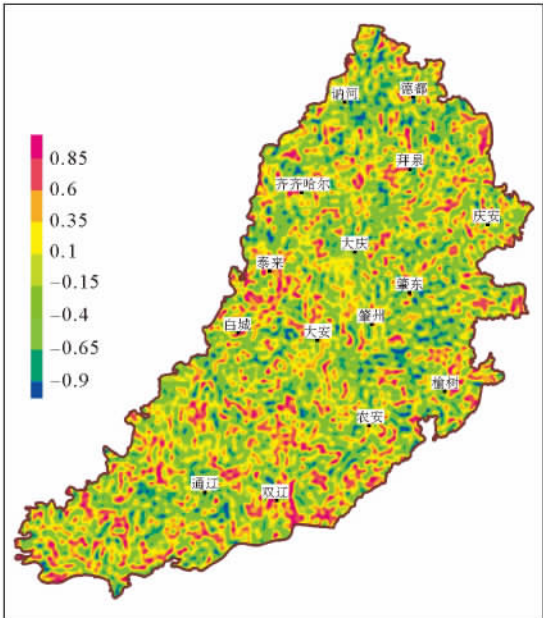


图 8 深层火山岩视磁化率与视密度相关系数平面图

Fig. 8 Map of apparent susceptibility and apparent density correlation coefficient of deep-seated volcanic rocks

在松辽盆地深层火山岩岩性预测中应用了使用最为广泛的前馈式反向传播神经网络，由输入层、中间层(可以有多个中间层)和输出层构成。

在所收集到的深部探井中，有 292 口井钻遇深层火山岩，按火山岩岩性类别分为基性火山岩、中性火山岩、酸性火山岩及火山碎屑岩。其中基性火山岩 37 口，中性火山岩 38 口，酸性火山岩 77 口，火山碎屑岩 140 口。在已知井坐标的控制下获取了井点位置的视密度、视磁化率及两者的相关系数，进行了全盆地三参数的归一化处理，并作为网络的输入进行网络训练，经过 5 608 次训练学习，完成对火山岩岩性的识别网络训练。所建立的火山岩岩性判别网络对火山岩岩性的识别准确率为 82.3%，满足了宏观深层火山岩岩性判别需要，最终利用训练好的网络对其他火山岩分布区的火山岩岩性进行识别。

图 9 给出了资料处理流程及处理过程，按下列步骤逐一进行资料的处理，完成松辽盆地深层火山岩岩性的预测。

(1)形成大于研究区一定范围的地震资料、重

磁资料的网格基础数据,网格距不大于 500 m,网格采用克里格方法,资料进行适当的低通滤波处理。

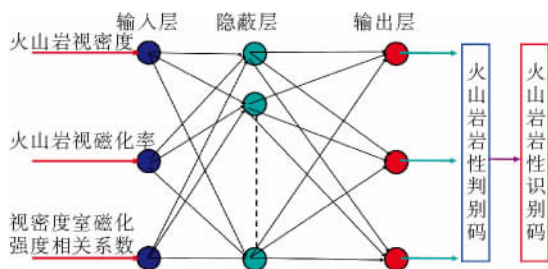


图 9 火山岩岩性的神经网络判别方法技术

Fig. 9 The neural network method for identification of volcanic rocks

(2)划分岩层的物性界面并统计出岩层物性,在已知地震资料的控制下,结合高精度重力资料,根据最小二乘法原理计算各岩层之间等效密度差。

(3)按等效密度差在地震资料的控制下剥去盖层重力效应,获取反映深部的重力异常。

(4)应用积分迭代延拓平化曲方法获取反映深层火山岩的磁异常。

(5)应用滑动趋势分析获取剥皮后的反映深层火山岩的重力异常信息。

(6)对反映深层火山岩重、磁异常进行视密度及视磁化率反演。

(7)对反映火山岩岩性的视密度、视磁化率进行对应分析获取两者的相关系数。

(8)对视密度、视磁化率、相关系数进行归一化处理。

(9)对钻遇的深层火山岩岩性进行岩性分类编码,通过插值获取已知探井处的视密度、视磁化率及两者的相关系数形成神经网络训练学习的样本空间。

(10)应用 BP 神经网络对已知样本进行训练学习形成判别网络。

(11)应用判别网络对火山岩岩性进行判别完成火山岩岩性的预测。

最后应用训练好的神经网络完成了松辽盆地深层火山岩岩性的预测,并首次编制完成松辽盆地深层火山岩岩性平面分布预测图(图 10)。从

图 10 可以看到,基性火山岩分布面积为 4 137 km²,占火山岩总分布面积的 3.62%;中性火山岩分布面积为 26 628 km²,占火山岩总分布面积的 23.31%;酸性火山岩分布面积为 28 239 km²,占火山岩总分布面积的 24.70%;火山碎屑岩分布面积为 55 311 km²,占火山岩总分布面积的 48.37%。从分布情况来看,中性火山岩与酸性火山岩分布面积相当,而火山碎屑岩分布最广,几乎占深层火山岩的一半。

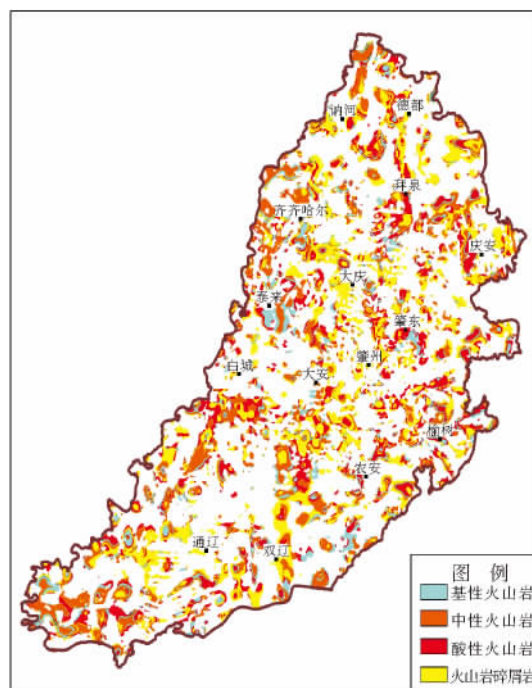


图 10 松辽盆地深层火山岩岩性预测分布平面图

Fig. 10 Distribution map of deep-seated volcanic rocks in the Songliao Basin

松辽盆地的深层火山岩主要受控于深大断裂,超岩石圈断裂与基性火山岩紧密相关,中、酸性火山岩沿壳断裂分布。火山岩主要分布在盆地深部的断陷中,靠近断裂附近火山岩分布厚度较大^[8-12]。火山岩在盆地深层的广泛分布,展示了松辽盆地深层火山岩气藏良好的勘探前景。

6 结论

通过应用区域重磁资料,采用神经网络方法对松辽盆地深层火山岩岩性的识别,可以得出以

下 4 点结论:

(1)区域重磁可以较好地应用于盆地深层火山岩的预测中;

(2)滑动趋势分析及迭代—积分延拓平化曲对于突出于盆地深层火山岩信息,增强了火山岩识别及岩性判别的可靠程度;

(3)与火山岩相关的视密度、视磁化率及两者的相关系数是判别火山岩岩性的最佳三参数组合;

(4)神经网络判别技术在火山岩岩性的识别预测中发挥了良好的应用效果。

参考文献:

- [1] 董焕成. 重磁勘探教程[M]. 北京:地质出版社,1993:35-151.
- [2] 杨文采,施志群,侯遵泽,等. 离散小波变换与重力异常多重分解[J]. 地球物理学报, 2001,44(4):535-540.
- [3] 程乾生. 信号数字处理的数学原理[M]. 北京:石油工业出版社,1979:35-42.
- [4] 杨文采,施志群,侯遵泽,等. 离散小波变换与重力异常多重分解[J]. 地球物理学报, 2001,44(4):534-541.
- [5] Cianciara B, Marcar H Z. Interpretation of gravity anomalies by means of local power spectra[J]. Geophysics Prospect, 1975, 24: 273-286.
- [6] 徐世浙. 位场延拓的积分—迭代法[J]. 地球物理学报, 2006, 49(4): 1 176-1 182.
- [7] 席道瑛, 张 涛. 神经网络模型在测井岩性识别中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 1994, 22(6): 56-61.
- [8] 姜传金, 冯肖宇, 詹怡捷, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩气藏勘探新技术[J]. 大庆石油地质与开发 2007, 26(4): 135-137.
- [9] 蒙启安, 门广田, 张正和. 松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3): 21-24.
- [10] 杨懋新. 松辽盆地断陷期火山岩的形成及成藏条件[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(5): 15-17.
- [11] 任延广, 朱德丰, 万传彪, 等. 松辽盆地徐家围子断陷天然气聚集规律与下步勘探方向[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 26-29.
- [12] 郑常青, 王璞珺, 刘 杰, 等. 松辽盆地白垩系火山岩类型与鉴别特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 10-14.

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TO PREDICTING DEEP-SEATED VOLCANIC ROCKS IN THE SONGLIAO BASIN

CHANG Guihua

(Daqing oil field exploration and development research institute, Daqing 163712, Heilongjiang, China)

Abstract: Forward modeling of the volcanic cores taken from the deep Songliao Basin demonstrates that the gravity and magnetic anomalies of the rocks, which usually are not high, are a kind of subordinate anomalies superimposed on a strong background. In this paper, the integral - iterative continuation flat change curve was selected to enhance the signal of magnetic anomaly of the volcanic rocks, in order to balance the magnetic anomaly so as to eliminate the depth influence. Through the magnetic anomaly processing and interpretation, the information of the magnetic anomaly of the deep-seated volcanic rocks were extracted. Then the methods of oblique derivative, Euler deconvolution and others were adopted to delineate the distribution pattern of the deep volcanic rocks. Results suggest that apparent density, apparent susceptibility and the correlation coefficient of the above two are the best combination of parameters. The neural network fuzzy recognition is an effective method in recognition of volcanic lithology. A well constrained discrimination network was established for identification of the lithology of volcanic rocks. The method could be used as an effective reference for prediction of deep-seated volcanic rocks in other areas

Key words: deep volcanic rocks; magnetic anomaly of volcanic rocks; apparent density; apparent magnetic susceptibility; neural network; Songliao Basin