

高精度磁法在松辽盆地北部古龙—常家围子
断陷火山岩预测方面的应用

唐金生¹, 李成立¹, 杨海波², 崔瑞华¹

(1. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712 2 大庆油田有限责任公司 高级人才培训中心, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 利用高精度磁力资料预测了松辽盆地北部古龙—常家围子断陷深层火山岩的分布, 对采用的处理解释方法技术和应用效果进行了分析。在对岩石物性分析的基础上, 指出磁异常是基底岩性及断陷火山岩所产生磁异常的综合反映, 应用高精度磁异常能够进行盆地深层火山岩的预测, 但存在较大的难度。滑动趋势分析及小波多尺度分解方法能够较好地分离火山岩磁异常, 磁异常的解析信号及垂向导数对火山岩及其岩性有较好的识别作用。应用高精度磁异常预测火山岩所采用的方法技术对类似其他地区盆地深层火山岩的预测有重要的参考和借鉴作用。

关键词: 松辽盆地; 磁异常; 断陷; 火山岩; 异常分离; 异常增强

中图分类号: TE12 P631.2 P588.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-8527(2009)03-0508-07

Application of High-precision Geomagnetic Method in Volcanic Rocks Prediction
of Gulong-Changjiaweizi Fault-depression in North Songliao Basin

TANG Jin-sheng¹, LI Cheng-li¹, YANG Haibo², CUI Rui-hua¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Co Ltd, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712, China;
2. Advanced Training Center, Daqing Oilfield Co Ltd, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract The processing and interpretation techniques of high precision magnetic method are applied in deep-layer volcanic rocks prediction of Gulong-Changjiaweizi faulting-depression in Songliao Basin and the application results are discussed. The magnetic anomalies are produced by the superposition of basement lithology and volcanic rocks, therefore it is very difficult to predict the deep-layer volcanic rocks by applying the conventional high-precision geomagnetic method. The slide-trending and wavelet multiscale analysis can be a powerful tool for separating the magnetic anomalies of the volcanic rocks, and the analytical signals and vertical derivatives of magnetic anomalies can indicate and identify the lithology of volcanic rocks. This technique can also be applied in the prediction of deep-layer volcanic rocks in other areas.

Key words Songliao Basin; magnetic anomaly; fault-depression; volcanic rock; anomaly separation; anomaly enhancement

1 古龙—常家围子断陷概况

松辽盆地古龙—常家围子断陷西部与斜坡区相接, 东部为古中央隆起带和大庆断阶带, 北部与林甸断陷接壤, 南部与吉林探区相邻(图 1), 呈南北向狭长带状分布, 面积为 8 900 km²。近年来, 松辽盆地深层天然气勘探在营城组火山岩中取得了突破^[1-5], 发现了如徐深 1 井、长深 1 井等大型的火山岩气藏, 从而揭示了深层断陷火山岩是天然气勘探的重要领域。深层火山岩的研究也引起人们的高

度重视, 人们采取各种地球物理手段识别并圈定火山岩, 进行火山岩岩性及岩相的划分、火山口的识别、火山岩厚度及分布规律的研究, 以期提高深层火山岩预测与识别的可靠性。

火山岩勘探实践表明^[6-7], 综合物探方法是预测深层火山岩较为有效的方法技术, 可从重力、磁法、电法不同的侧面获取火山岩的地球物理信息, 辅助地震增强火山岩识别的可靠性。近年来, 综合物探技术方法在盆地深层火山岩的预测中取得了良好的应用效果。

古龙—常家围子断陷属松辽盆地北部的大型

侏罗系断陷, 也是深层天然气勘探的有利地区^[1-2]。在该区域曾进行过二维及少量的三维地震勘探, 断陷内有葡深 1、英深 1、同深 1、同深 2、阳深 1、杏深 1、齐深 1、松基 6 等 10 口完钻的深层探井, 葡深 1 井在登三段获少量气流, 断陷整体勘探程度较低。为进一步加强该断陷深层天然气的勘探, 大庆油田有限责任公司于 2005—2006 年冬春季节开展了 1: 50 000 高精度重磁力勘探工作, 控制面积为 15 476 km², 测网 0.5 km×0.5 km, 完成重磁力普查点 65 347 个, 重力异常总精度为 ±0.030×10⁻⁵ m s⁻², 磁力异常总精度为 ±1.50 nT。通过对高精度磁力资料的处理及解释, 对该断陷的区域火山岩的分布进行了较可靠的预测, 为该断陷进一步的勘探部署提供了重要的依据。

2 古龙—常家围子断陷火山岩的磁性特征

2.1 磁异常特征

通过对古龙—常家围子断陷及邻区 71 口钻井岩心 4 717 块岩石的磁性统计分析认为 (表 1), 营城组灰绿色、褐色安山岩具有弱磁性特征, 磁化率介于 8×10⁻⁵~176×10⁻⁵ SI, 平均值为 53×10⁻⁵ SI; 灰白色、黑灰色、灰黑色砾岩具有弱磁性特征, 磁化率平均值为 21×10⁻⁵ SI; 流纹岩具有弱磁性特征, 磁化率平均值为 20×10⁻⁵ 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, 磁化率平均值为 82×10⁻⁵ SI。

下白垩统沙河子组灰色—灰白色砂岩、灰白色—杂色砾岩、灰黑色泥岩、褐色泥岩、灰色泥岩具有弱磁性特征, 磁化率平均值为 27×10⁻⁵ SI; 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、安山岩具有强磁性的特征, 磁化率平均值为 215×10⁻⁵ SI, 最高可达

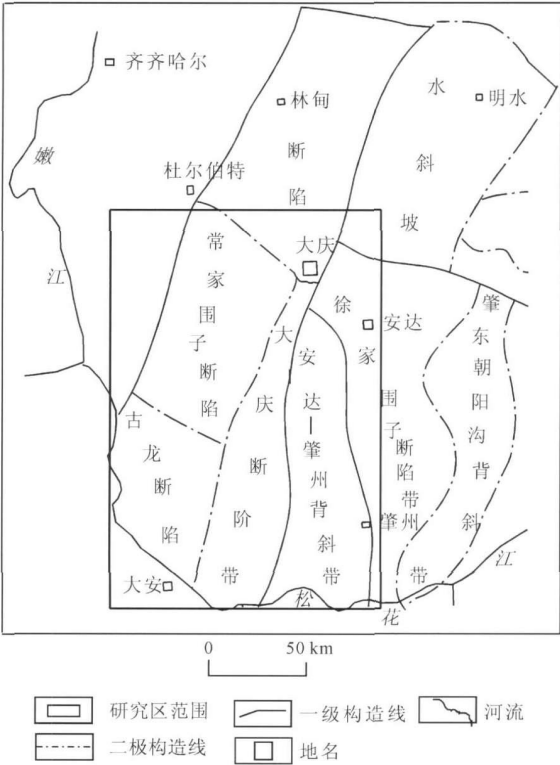


图 1 松辽盆地北部古龙—常家围子断陷构造位置图
Fig. 1 Structure and location map of Gulong-Changjiaweizi area in North Songliao Basin

表 1 松辽盆地北部古龙—常家围子断陷岩石磁性分布特征
Table 1 Distribution characteristics of rock magnetism in Gulong-Changjiaweizi faulting depression in North Songliao Basin

岩性	磁化率 /(10 ⁻⁵ SI)		剩余磁化强度 /(10 ⁻³ A/m)		总磁化强度 /(10 ⁻³ A/m)			
	范围	加权平均	范围	加权平均	感/剩磁倾角	0°	10°	45° 90°
沉积岩	3~481	20	20~181	63	感磁倾角 63°36′, 剩磁倾角 57°49′	83	82.7	78 66
酸性岩	流纹岩、英安岩	2~67	12	23~265		144	143.8	141 133
	流纹质、英安质凝灰岩	4~132	20	81~1 936		205	204.7	200 186
中性岩	安山岩	8~176	170	25~567		348	346.7	324 249
	安山质凝灰岩	25~4 700	463	49~596		891	886.7	824 631
	安山质角砾岩	79~6 050	1 016	643~1 463		2 146	2 138.0	1 983 1 520
基性岩	玄武岩、安玄岩	1 930~11 000	2 148	1 930~11 000		2 721	2 714.0	2 585 2 223

$2\ 308\times 10^{-5}\text{ SI}$

在对断陷期岩石物性统计分析的基础上,对断陷期岩石的物性特征作了综合分析,认为基性火山岩的磁化率最高,平均磁化率大于 $4\ 295\times 10^{-5}\text{ SI}$ 中性火山岩的次之,平均磁化率为 $340\times 10^{-5}\sim 935\times 10^{-5}\text{ SI}$ 酸性火山岩的平均磁化率为 $24\times 10^{-5}\sim 39\times 10^{-5}\text{ SI}$ 沉积岩的平均磁化率为 $39\times 10^{-5}\text{ SI}$

岩石的磁性包括感磁和剩磁,为了更好地利用岩石磁性特征来研究火成岩的岩性变化特征,本研究还统计分析了岩石的剩磁,在进行单位换算后按不同的交角求取了二者的矢量和,即总磁化强度。通过统计分析,古龙—常家围子断陷期地层的剩磁具有以下特征:(1)营城组流纹岩的剩余磁化强度平均为 $125\times 10^{-3}\text{ A/m}$; (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岩石,其剩余磁化强度平均为 $319\times 10^{-3}\text{ A/m}$,剩磁较高; (3)基性岩的剩余磁化强度平均为 $562\times 10^{-3}\text{ A/m}$,剩磁很强; (4)火山角砾岩的剩余磁化强度平均为 $1\ 623\times 10^{-3}\text{ A/m}$,剩磁非常强; (5)沉积岩的剩余磁化强度很低,一般小于 $60\times 10^{-3}\text{ A/m}$; (6)变质岩的剩余磁化强度平均为 $62\times 10^{-3}\text{ A/m}$; (7)大部分流纹岩剩磁大于沉积岩,而深颜色流纹岩剩磁数值则更大; (8)剩磁倾角平均为 $57^{\circ}49'$,剩磁倾角平均为 $63^{\circ}36'$,两者相差约 10° 。

从表 1 可以看出,该区基性火山岩的总磁化强度最强,中性火山岩次之,酸性火山岩相对较低。酸性、中性、基性火山岩的总磁化强度明显高于正常沉积岩的总磁化强度,酸性火山岩的总磁化强度约为沉积岩的 2~3 倍;中性火山岩的总磁化强度约为沉积岩的 4~10 倍;基性火山岩的总磁化强度约为沉积岩的 20 倍。由此可见,该区基性火山岩引起的磁异常强度明显大于中性火山岩、酸性火山岩、沉积岩引起的磁异常强度;中性火山岩引起的磁异常强度明显大于酸性火山岩、沉积岩引起的磁异常强度;酸性火山岩引起的磁异常强度明显大于沉积岩引起的磁异常强度;中基性火山岩引起的磁异常是局部跳跃的强正磁异常,酸性火山岩引起的磁异常为局部跳跃的中等—较弱的正磁异常。

2.2 磁异常与火山岩分布的关系

地表或近地表的火山岩常常表现为杂乱、幅值较大、正负相间、呈紧密的锯齿状磁异常

依据古龙—常家围子火山岩的赋存状态及磁性异常特征,圈定了火山岩的范围,确定了磁异常与水平尺度的关系(图 2)。火山岩埋藏的深浅在一定程度上决定火山岩磁异常的细节及磁异常对火山岩的分辨能力,当火山岩埋藏较深时,剖面或平面上的异常变得平缓,并有较低的水平分辨率;火山岩埋藏较深时,由火山岩局部不均匀磁化所产生的高频震荡的磁异常消失,随着火山岩埋深的逐步加深,磁异常随深度的增加衰减很快,由火山岩不均匀磁化或不均匀的剩磁所产生的在近地表情况下的磁异常特征逐渐消失,火山岩的磁场渐变为一个等效的磁性地质体在地磁场磁化状态下的磁场,且异常幅值并不很大,一般表现为叠加在强背景基岩岩性异常上面的次一级的叠加异常,一些弱磁性的酸性火山岩有时不能形成有效的在磁异常勘探精度范围内可分辨的明显磁异常。这为应用磁法进行盆地深部火山岩的预测与圈定带来相当大的困难。

通过对古龙—常家围子火山岩体磁异常的正演分析表明,磁异常随深度衰减较快,在浅部横向能够分辨其火山岩体,而在埋深较大时形成难以分辨其叠加异常,分布面积较大的面状火山岩在中部异常较弱,边部异常较强。在火山喷发形成的各种火山岩相,其磁异常特征也不相同,近火山口相、爆发相异常较大,溢流相次之,远火山口相、火山碎屑岩相最弱。火山岩磁性还与喷发类型及岩浆类型有很大的关系:基性岩浆、中性岩浆、酸性岩浆所形成的火山岩相所产生的磁异常大小依次降低。火山口处的磁异常大小及异常形态也有很大的不同,火山口处形成火山锥往往

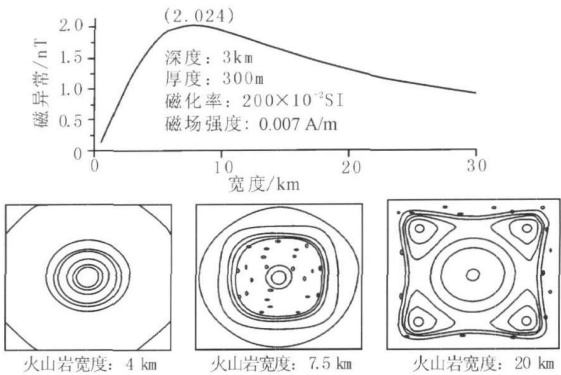


图 2 松辽盆地北部古龙—常家围子火山岩磁异常与水平尺度关系特征对比图

Fig. 2 Comparison between magnetic anomalies of volcanic rocks and horizontal scales in North Songliao Basin

表现为较大的孤立异常形态，破火山口常常表现为中间低、周边高的磁异常特征。

古龙—常家围子磁异常是由深部磁性层、基岩内具有磁性的古老变质岩系、各种具有磁性的岩浆侵入体、盖层中的磁性层及火山岩共同产生，火山岩所产生的磁异常仅仅是磁异常部分反映；因此，在应用磁力资料进行火山岩预测研究中，基底岩性异常对于火山岩的研究是一严重的干扰，应加以剔除。

3 古龙—常家围子断陷高精度磁力分析

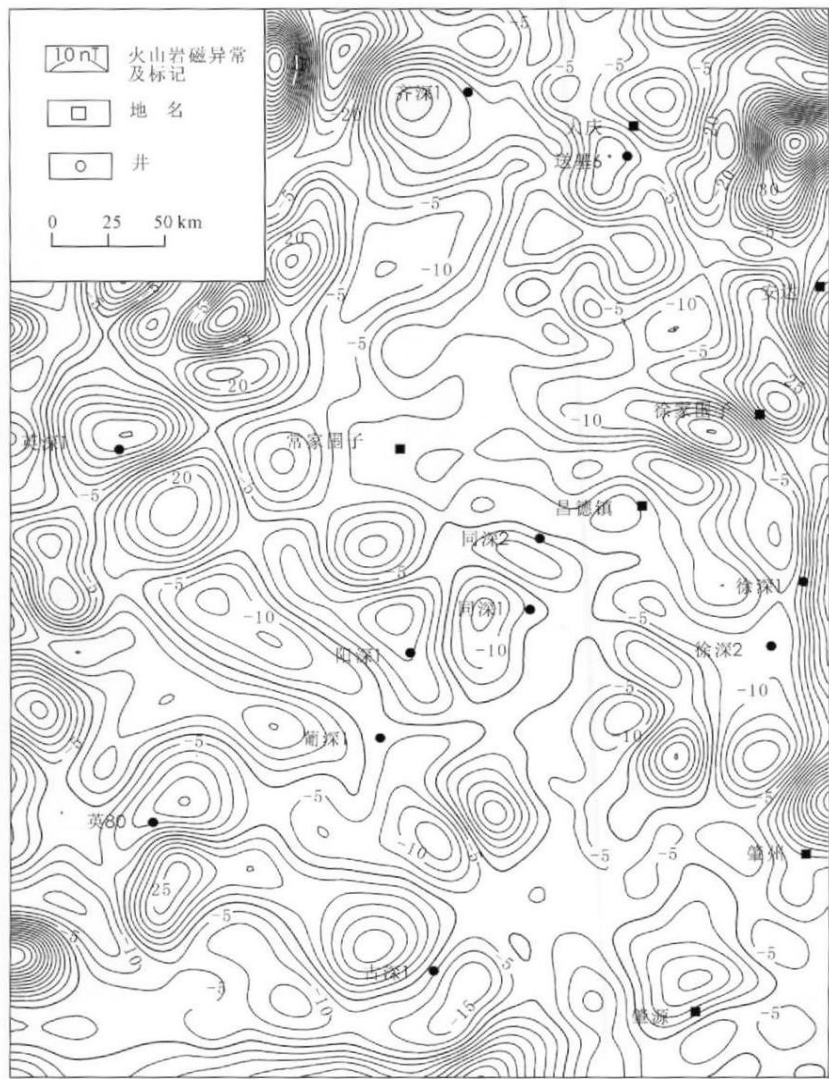
3.1 断陷火山岩磁异常的分离

为了对深部火山岩应用磁异常进行火山岩的预测和研究，本研究进一步剔除了与部分火山岩不相

关的重磁异常，分离出关系密切的重磁异常，并进行适当的增强处理。不论是浅部地质体还是深部地质体，它们所产生的重磁异常都包含各种不同波长的异常成分，只是在高频与低频成分的能量有所侧重，目前还没有一种方法能够准确分离某一特定地质目标所产生的磁异常。通过多种处理的试验分析，本研究采取小波多尺度异常分解^[2]及滑动趋势分析法，在古龙—常家围子断陷的火山岩磁异常进行提取(图 3)。

3.2 用磁力异常进行断陷火山岩圈定及岩性预测
在古龙—常家围子断陷火山岩地区，根据中性火山岩强磁、中酸性火山岩弱磁的特征，确定了磁力异常化→火山岩磁异常分离→火山岩磁异常增强→火山岩分布预测的研究思路。

根据各类火山岩与其磁力(磁性)异常的相关



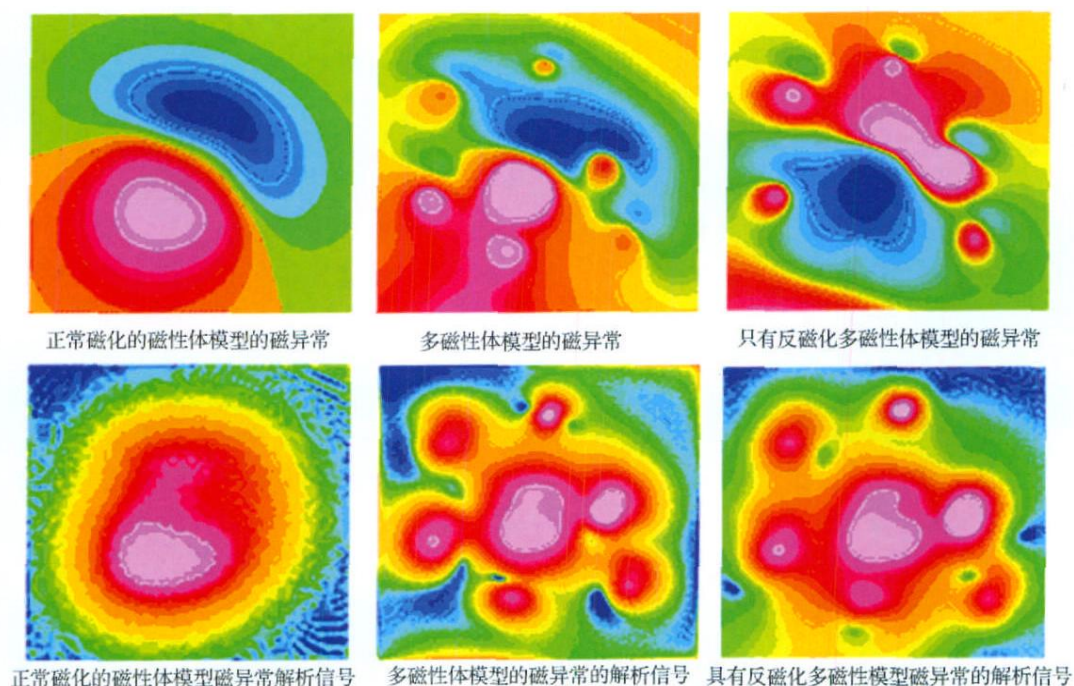


图 4 松辽盆地北部单体及多体火山岩磁异常与解析信号关系图

Fig. 4 Analytical signals of magnetic anomalies of single and multi-body volcanic rocks in North Songliao Basin

性(图4),认为局部高磁异常处以中基性岩为主,低磁异常推测以酸性岩为主。根据岩性,结合钻井、地震资料,初步预测了研究区火山岩的岩性(图5)。古龙—常家围子断陷火山岩磁异常解析信号见图6。据此推断区内的酸性火山岩最为发育,面积为4330.2 km²,占火山岩总面积的64.4%;中性火山岩次之,面积为1815.5 km²,占火山岩总面积的27.0%;基性火山岩相对不太发育,面积为576.9 km²,占火山岩总面积的8.6%。该结果与松辽盆地北部钻井所揭示的断陷火山岩岩性的情况基本一致。通过古深1井钻遇的营城组火山岩进一步证实了预测的可靠性。

断陷内火山岩分布广泛, 除基底隆起区, 火山岩几乎遍及整个断陷区, 各类火山岩分布面积达 $6\,722.6\text{ km}^2$, 占研究区总面积 ($15\,476\text{ km}^2$) 的 43.3%。根据火山岩厚度及火山岩预测分布范围计算了在古龙—常家围子地区分布各类火山岩的总体积为 $4\,470.63\text{ km}^3$ 。断裂控制了火山口的分布, 火山口沿断裂及其附近分布 (图 7), 从而深断裂也控制了火山岩的展布, 并主要分布在断陷中, 火山岩主要分布在侏罗系断陷盆地的陡坡, 靠近断裂, 沿断裂呈线状分布。

宽缓升高的磁异常是深部岩体与深部火山岩异常共同叠加的结果。磁异常缓坡一侧大多朝着

断陷的一方, 显示出火山岩在喷发时, 熔浆沿古低洼地形流动的溢流相特征。在箕状断陷的边部



图 5 松辽盆地北部古龙—常家围子断陷火山岩分布平面图

Fig. 5 Distribution of volcanic rocks in Gulong-Changjiaweizi fault depression, in North Songliao Basin

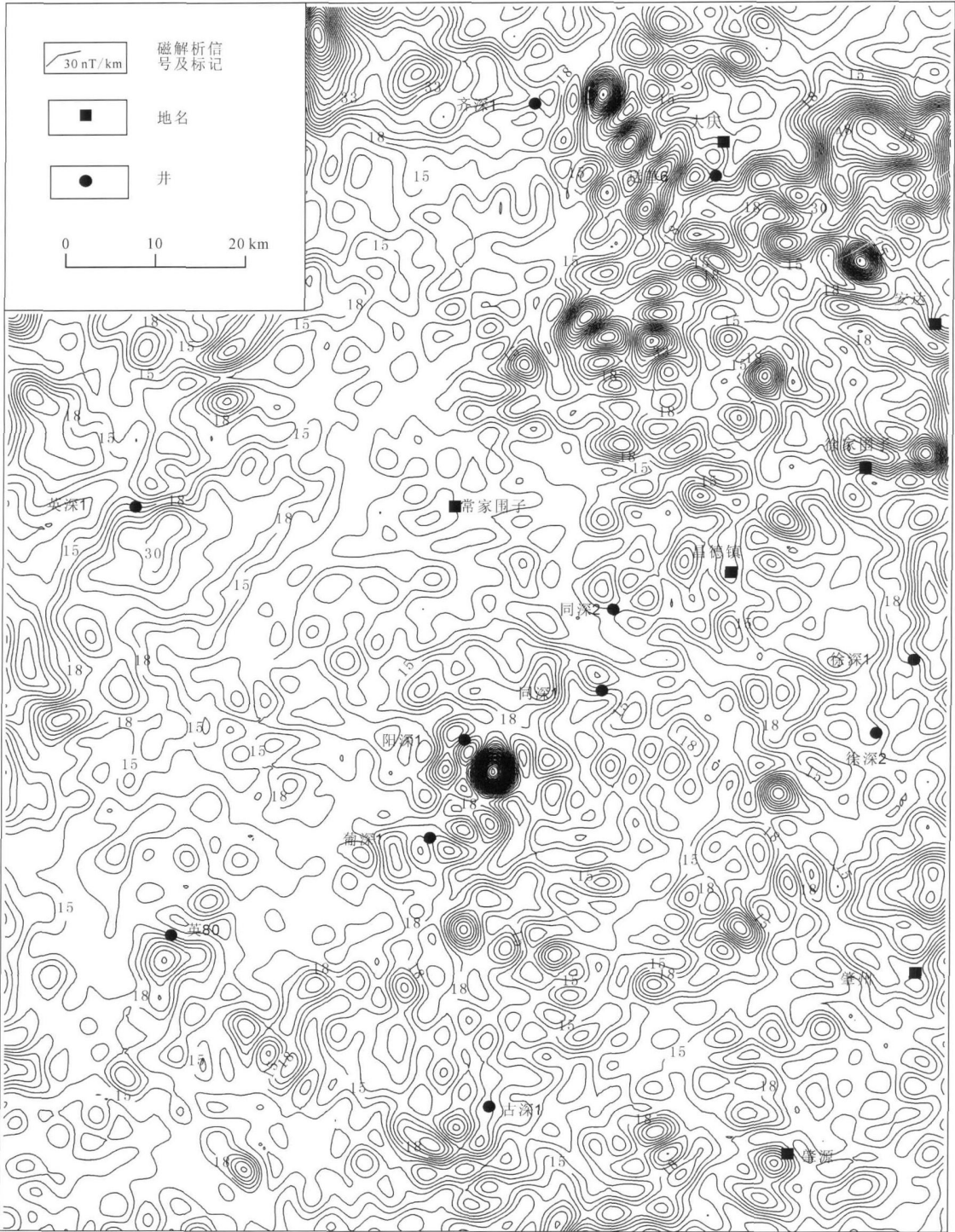


图 6 松辽盆地北部古龙—常家围子断陷火山岩磁异常解析信号平面等值线图

Fig. 6 Analytical signals of magnetic anomaly of volcanic rocks in Gulong-Changjiawazi fault depression in North Songliao Basin

具有较大的容纳能力，推断火山岩厚度相对较大，火山岩最大厚度为 1 850 m，最小厚度为 147 m，平均厚度为 665 m。火山岩在古龙—常家围子断陷的广泛分布，展示了该区具有较好的火山岩气藏勘探前景。

4 结 语

研究区深层火山岩埋藏较深，给应用磁法进行深层火山岩带来困难，因而在磁化率研究的基础上，采用高精度磁法勘探，对深层火山岩磁异

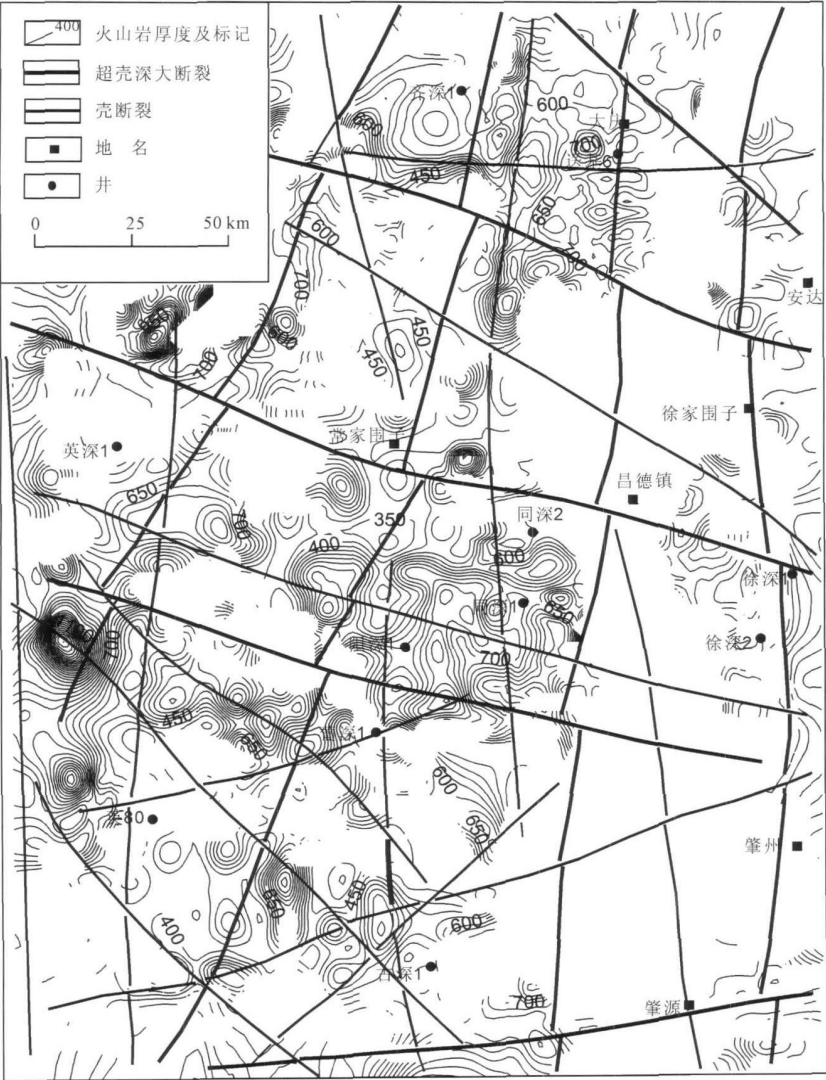


图 7 松辽盆地北部古龙—常家围子断陷深部断裂与火山岩厚度关系图

Fig. 7 Deep layer faults and depth of volcanic rocks in Gulong-Changjiawazi fault depression in North Songliao Basin

常进行分离并要进行适当的增强处理。据此，初步圈定古龙—常家围子地区分布各类火山岩的总体积为 $4\,470.63\text{ m}^3$ ，火山口的分布在断裂附近，火山岩在喷发时，熔浆沿古低洼地形流动的溢流相特征。火山岩在古龙—常家围子断陷的广泛分布，展示了该区具有较好的火山岩气藏勘探前景。

参考文献:

[1] 吴磊, 徐怀民, 季汉成, 等. 松辽盆地杏山地区深部火山岩有利储层的控制因素及分布预测 [J]. 现代地质, 2005, 19 (4): 585- 595.

[2] 刘宝柱, 孙万军, 陈少军, 等. 松辽盆地南部中浅层油气藏的成藏史 [J]. 现代地质, 2003, 17 (1): 87- 91

[3] 崔莹, 席党鹏, 万晓樵. 大庆油田徐 22 井青山口组 姚家组微体生物及其古气候响应 [J]. 现代地质, 2007, 21 (3):

484- 490.

[4] 陈昭年, 王小敏, 陈珊, 等. 松辽盆地朝长地区扶余油层的构造演化 [J]. 现代地质, 2008, 22 (4): 512- 519

[5] 张玮, 李明杰, 孙增玖, 等. 辽河油田大民屯凹陷东部陡坡带的构造演化特征 [J]. 现代地质, 2008, 22 (4): 489 - 494

[6] 李成立. 高位火山岩的圈定及其顶部埋深和厚度的计算方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25 (2): 91- 93.

[7] 邓荣来, 李庆浩. 重磁联合反演及重磁与 MT 综合解释巴彦浩特盆地火成岩 [J]. 石油物探, 2002, 41 (2): 222 - 225

[8] 董焕成. 重磁勘探教程 [M]. 北京: 地质出版社, 1993 15- 23.

[9] 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

[10] 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