

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.06.014

非震综合物探方法在辽西牛营子地区油气地质调查中的应用

郇恒飞¹, 孙守亮^{1*}, 李永飞¹, 郜晓勇¹, 王导丽², 张静¹HUAN Hengfei¹, SUN Shouliang^{1*}, LI Yongfei¹, GAO Xiaoyong¹, WANG Daoli², ZHANG Jing¹

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 江苏华东八一四地球物理勘查有限公司, 江苏 南京 210007

1. *Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;*2. *Jiangsu East China 814 Geophysical Prospecting Company Limited, Nanjing 210007, Jiangsu, China*

摘要:为系统研究辽西牛营子地区的地层及断裂展布、深部构造特征等关键基础地质问题,开展油气远景区评价,在建立该区物性结构模型的基础上,综合处理解释重磁电等地球物理资料,确定了本区断裂特征、构造格架、中生代地层展布及有利生储盖组合的综合物探异常特征。结果显示:研究区内共有断裂26条,走向主要有NNE—NE向、NW向,前者以逆冲为主,后者以平移为主,兼具逆冲,NNE向断裂控制了本区的构造格架;区内划分出5个二级构造单元,呈“三四二凸、凹凸相间”的格局,其中,牛营子凹陷夹持于逆冲断裂间,中生界底面最大深度达2400 m,侏罗系发育全,厚度大;宋杖子凹陷呈断坡,中生界底面最大深度达1200 m;三家子凹陷为东倾单斜,中生界底面最大深度达1400 m。依据石油地质条件及解释成果,牛营子凹陷北票组—海房沟组烃源岩发育,确定为油气勘探有利区。研究成果为辽西牛营子地区油气勘探及工作部署提供了重要的地球物理学依据。

关键词:辽西;牛营子;重磁电;断裂特征;构造格局;中生代地层;油气勘查工程**中图分类号:**P618.13;P631 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)06-1035-12

Huan H F, Sun S L, Li Y F, Gao X Y, Wang D L, Zhang J. Application of non seismic comprehensive geophysical prospecting method in oil and gas geological survey in Niuyingzi area, western Liaoning Province. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(6): 1035-1046

Abstract: In order to systematically study the strata, fault distribution, deep structural characteristics and other key basic geological problems in Niuyingzi area, western Liaoning Province, and carry out the evaluation of oil and gas prospect areas, this paper, based on the establishment of physical property structure model and comprehensive processing and interpretation of gravity-magnetic-electric and other geophysical data, determines the comprehensive structure of fault characteristics, structural framework, Mesozoic strata distribution and geophysical abnormal characteristics of the under combination's favorable combination of reservoir. The results show that: there are 26 faults in the study area, and the strike is mainly NNE-NE and NW. The former is dominated by thrust, while the latter is dominated by translation with both thrust. The NNE faults control the structural framework of the area; the study area is divided into five secondary structural units, showing a pattern of three concave and two convex, alternating concave and convex. Among them, Niuyingzi sag is sandwiched between thrust faults, the maximum depth of the bottom of Mesozoic is 2400 m, and the

收稿日期:2021-03-16; **修订日期:**2021-04-04**资助项目:**中国地质调查局项目《辽西中小盆地群新区新层系油气调查评价》(编号:DD20221664)、《辽东-吉南成矿带宽甸—磐石地区铜金镍矿产地质调查》(编号:DD20221687)和《东北地区大地电磁基础调查》(编号:DD20230235)**作者简介:**郇恒飞(1988-),男,硕士,高级工程师,从事地球物理资料处理与解释综合研究工作。E-mail:huanhengfei@126.com***通信作者:**孙守亮(1982-),男,硕士,高级工程师,从事沉积学与石油地质研究工作。E-mail:ssl_email@126.com

Jurassic system is fully developed with large thickness; Songzhangzi sag is a fault slope, and the maximum depth of the Mesozoic bottom is 1200 m, Sanjiazi sag is an East dipping monocline, and the maximum depth of the Mesozoic bottom is 1400 m. According to the petroleum geological conditions and interpretation results, the source rocks of Beipiao formation-Haifanggou formation in Niuyingzi sag are well developed, which is determined as a favorable area for oil and gas exploration. The research results of this paper provide an important geophysical basis for oil and gas exploration and work deployment in Niuyingzi area, western Liaoning Province.

Key words: western Liaoning; Niuyingzi; gravity-magnetic-electric; fault characteristics; structural framework; Mesozoic strata; oil-gas exploration engineering

随着中国老油田进入开发中后期,新油气区的勘探工作至关重要(张文浩等,2019)。中国地质调查局针对新油气区的勘探问题在松辽盆地外围部署了一系列油气地质调查工作,松辽盆地南部盆地群的油气基础地质调查工作是其中之一。

辽西地区是松辽盆地外围的南部油气调查新区,油气勘探程度低,以往只开展过煤田普查工作,大部分地区缺少系统性物探基础资料,影响了对沉积地层展布形态、构造格架、盆地深部结构等关键基础地质问题的研究,制约着进一步的油气地质调查工作部署和油气资源前景评价。国内研究表明,非震综合物探方法在油气勘探前期评价方面具有独特的优势(张春贺等,2011;蒲丹等,2013;高飞等,2014;高树静等,2017;詹少全等,2017;王丹丹等,2020)。牛营子凹陷作为凌源-宁城盆地东南部的次级凹陷,2015年在该凹陷钻遇富含油地层,证实该凹陷为含油气凹陷(宗文明等,2017)。为揭示牛营子地区断裂展布、构造格局、中生界地层空间展布特征,进行油气远景区评价,在该区实施了800 km²重磁面积性测量和4条电磁法剖面测量的综合物探工作。本文在系统研究区内地层、岩性、物性特征的基础上,通过重磁二维、三维数据综合处理和重磁电剖面反演,建立地质-地球物理模型,完成综合地质解释,确定了研究区断裂展布形态、构造样式、中生界地层展布与埋深特征等基础问题,对牛营子地区的油气资源潜力评价具有重要作用,同时对类似盆地的油气评价工作具有重要的借鉴意义。

1 地质概况

牛营子凹陷为辽西凌源-宁城盆地东南部的次级凹陷,是该盆地6个构造单元之一,位于河北、内蒙古、辽宁三省交汇地带,大地构造位置处于华北地台北部,燕山陆内造山带的东段。研究区地层发育较全,主要发育有中元古界长城系和蓟县系、新

元古界青白口系、古生界寒武系和奥陶系、中生界侏罗系和白垩系、第四系,以及不同年代的侵入岩(马文坡等,2014;郑磊等,2019;肖飞等,2018)(图1)。中生界在研究区广泛发育,主要分布有侏罗系北票组、海房沟组、髫髻山组、土城子组和白垩系义县组、九佛堂组,其中,下侏罗统北票组和中侏罗统海房沟组为一套煤系地层,具有一定的生烃潜力,为本区重要的烃源岩层系(肖飞等,2018;孙求实等,2019)。辽凌地1井钻探结果(图2)首次揭示了牛营子凹陷中元古界蓟县系高于庄组之下隐伏着一套北票组暗色厚层泥岩,该套地层厚度超过195 m,其中泥岩累计总厚度为102.58 m,泥地比为59.79%,并见多层气测异常(孙求实等,2022)。该钻井处海房沟组表现为砂砾岩,但研究区总体以暗色泥岩为主,有机质较富集(肖飞等,2018)。

印支期和燕山期多次构造事件造成该区构造复杂,但NE向构造为研究区的主体构造,主要构造形迹为区域性的褶皱和逆冲推覆构造,控制着研究区内各地层的空间展布形态。

2 地层物性特征

地层岩石的物性差异是开展地球物理勘探与综合地质解释的前提,是减少地球物理多解性的重要约束条件。笔者通过对研究区及周边出露的岩石进行物性测量(表1),获取不同地层及侵入岩的磁化率、密度、电阻率特征,并在此基础上,完成了研究区的物性分层(图3)。

研究区综合物性柱状图直观地反映了地层自上而下的密度、磁化率、电阻率在垂向上的高低变化特征,呈现高、低相间的变化规律。具体分层及特征如下:①中生界白垩系九佛堂组(K_{1jf}),以粉砂质泥岩为主,属低密度、弱磁性、低阻层;②中生界侏罗系髫髻山组(J_2t)、土城子组(J_3t)、白垩系义县组(K_{1y}),以火山岩为主,夹碎屑岩,整体呈中低密度、中强磁、高阻层;③中生界侏罗系北票组(J_1b)、

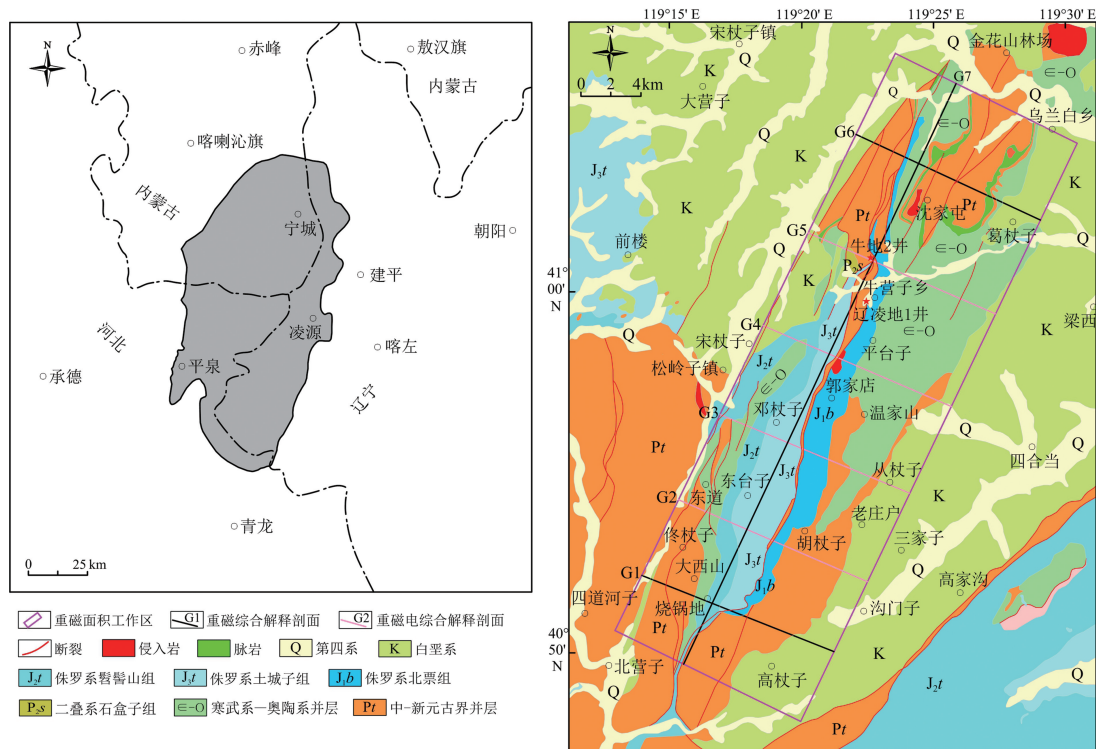


图 1 凌源-宁城盆地地理位置及牛营子地区地质简图(据董万德等,2003^①;宋鸿林等,2004^②;肖飞等,2018 修改)

Fig. 1 Geographical location of the Lingyuan-Ningcheng Basin and geological sketch of Niuyingzi area

界	系	组	岩性柱	深度/m	岩性定名
新生界	第四系			25	腐殖土、含砾石
中生界	侏罗系	海房沟组		272	绿色、灰绿色中、粗砾岩,底部灰色砂岩薄层
		杨庄组		889	灰色、灰红色白云岩、灰岩、白云质灰岩
中元古界	蓟县系	高于庄组		1527	灰色、灰黑色白云岩、灰岩、白云质灰岩
		北票组		1720	黑色、灰黑色泥岩、泥质粉砂岩,局部见灰绿色泥质粉砂岩,1596~1600 m、1680~1683 m、1686~1691 m 见气层

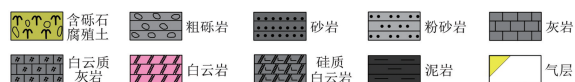


图 2 辽凌地 1 井地层剖面图(据孙求实等,2019 修改)

Fig. 2 The stratigraphic section of LLD1 well

海房沟组(J_2h),以粉砂质泥岩为主,属中低密度、弱磁、低阻层;④下古生界寒武系—奥陶系($\epsilon-O$),以灰岩、白云岩为主,夹碎屑岩,属中高密度、无磁、高阻层;⑤中新元古界蓟县系洪水庄组(J_xh)—青白口系景儿峪组(Q_nj),以砂岩、页岩为主,夹灰岩、白云岩等,整体属中等密度、弱磁、低阻层;⑥中新元古界高于庄组(Chg)—蓟县系雾迷山组(J_xw),以白云岩、灰岩为主,属高密度、无磁、高阻层;⑦中元古界长城系常州沟组(Chc)—大红峪组(Chd),以砂岩、页岩、白云岩为主,整体属中高密度、弱磁、低阻层;⑧太古宇为一套由各种变质岩组成的深变质岩系,属高密度、中磁、高阻层;⑨花岗岩属中低密度、中磁、高阻体。综上分析,中生界与下伏下古生界、中新元古界的物性差异明显,中生界整体表现出低密度、中强磁性、低电阻特征,下古生界、中新元古界整体为高密度、弱磁性、高电阻特征。

3 数据采集和处理方法

3.1 数据采集

图 1 中重磁工作区,采用 500 m×250 m 测网布设 1:5 万高精度重磁测量工作,测线方位角 115°,

表1 牛营子地区地层物性综合统计结果

Table 1 Comprehensive statistics of strata physical properties in Niuyingzi area

界	系	组	代号	主要岩性	物性标本 数/块	密度 /(g·cm ⁻³)	磁化率 /10 ⁻³ SI	电阻率 /(Ω·m)
中生界	白垩系	九佛堂组	K ₁ if	粉砂岩、泥岩	36	2.36	12	11.6
		义县组	K ₁ y	凝灰岩、安山岩、玄武岩、砂岩	72	2.48	720	48.9
	侏罗系	土城子组	J ₃ t	砂砾岩、凝灰质砂岩	208	2.45	89	36.4
		髫髻山组	J ₂ t	玄武安山岩、英安岩、 火山岩角砾岩	306	2.58	430	65.6
		海房沟组	J ₂ h	砂岩、粉砂质泥岩夹煤层	22	2.48	27	8.7
		北票组	J ₁ b	砾岩、砂岩、夹页岩煤层	19	2.50	41	15.6
古生界	寒武系— 奥陶系	Є—O	以灰岩为主,夹少量粉砂岩	155	2.71	14	72.0	
元古宇	青白 口系	景儿峪组	Qnj	灰岩				
		长龙山组	Qnc	长石石英砂岩	50	2.64	6	29.5
		下马岭组	Qnx	砂岩、泥页岩互层				
	蓟县系	铁岭组	Jxt	灰岩夹页岩	34	2.68	11	22.5
		洪水庄组	Jxh	泥页岩、粉砂岩	38	2.62	8	20.4
		雾迷山组	Jxw	白云岩	95	2.78	17	64.0
		杨庄组	Jxy	白云质灰岩	44	2.79	6	36.5
		高于庄组	Chg	白云岩、灰质白云岩	76	2.76	14	52.4
		大红峪组	Chd	石英砂岩夹白云岩	69	2.65	7	23.5
		长城系	团山子组	Chr	上段白云岩、下段砂岩、页岩	34	2.63	12
串岭沟组	Chch	长石石英砂岩夹页岩	24	2.58	14	19.2		
常州沟组	Chc	上下段砾岩夹中部砂泥岩	47	2.60	29	17.3		
太古宇		Ar	斜长角闪岩、片麻岩	10	2.78	102	85.5	
	侵入体	K ₁ ξγ	钾长花岗岩	83	2.58	565	102.6	

重磁分别采用 CG-5 型高精度重力仪和 GSM-19 型高精度磁力仪进行测量。测区内地形非常复杂,重磁同点位各完成测量面积 800 km²,布格重力异常总精度达 ±0.055×10⁻⁵ m/s²,磁力异常总精度达 ±1.37 nT,精度远高于规范要求,说明本次重磁测量结果可靠性较高。

野外电磁法(MT)数据采集使用加拿大凤凰公司研制的 V8 型多功能电法仪,通过不极化电极测量 E_x 、 E_y 两道正交的电场水平分量数据,磁传感器测量 H_x 、 H_y 、 H_z 三道正交的磁场分量数据,实现 5 个电磁场分量的大地电磁测深数据采集,点距为 500 m。电极和磁棒均采用标准“十”字形布设,分量 E_x 和 H_x 方向平行测线方向,分量 E_y 和 H_y 方向垂直测线方向。采集数据 I 级品率达 95.54% ,

检查点均方相对误差均小于 5%,符合规范质量要求。

3.2 数据处理

重磁电资料解决地质问题的效果各不相同,重力异常优势在于横向分辨率高,可确定断裂展布、构造格局与起伏特征;磁力异常是研究磁性体分布的重要依据;电法优势在于纵向分辨率高,可确定断裂性质、地层起伏形态与埋深。本文综合各种方法以减少多解性,提高地质解释的准确性和可靠性。

MT 数据采用参考道、相位校正、人为剔除、阻抗张量元素估计等方法来消除干扰噪声,采用阻抗相位、空间滤波等多方法消除静态干扰,最后采用二维非线性共轭梯度反演方法,尝试选取不同的视

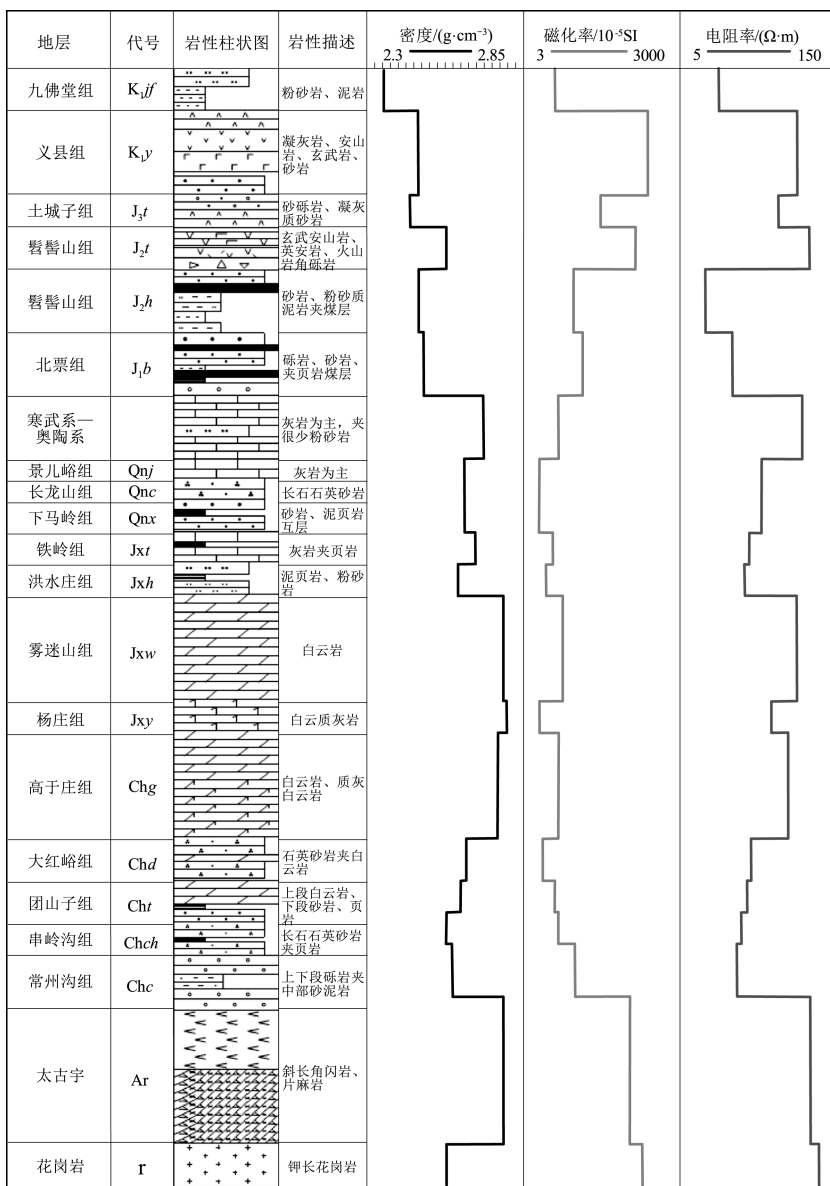


图 3 牛营子地区地层与岩体综合物性柱状图

Fig. 3 Comprehensive physical property histogram of strata and rock mass in Niuyingzi area

电阻率和相位误差级数、平滑因子、反演模式等反演参数,以获取接近地下介质真实情况的电性结构模型。

重磁数据通过位场分离、导数计算、水平总梯度、三维物性反演、密度界面反演等方法,研究构造格局、中新生界盆地的分布范围和展布特征、密度体和磁性体的空间展布特征,以及断裂位置与展布。以地质、物性、钻井资料作约束,对重磁电典型剖面建立地质-地球物理模型,进行精细的地质推断解释,综合重磁二维和三维处理结果,最终确定研究区的断裂空间展布、中生界地层展布与埋深、

构造格架。

4 重磁电综合研究

4.1 重磁异常特征及地质意义

从布格重力异常图(图 4)可以看出,重力异常总体具有西低东高的特征,整体形态为 NE 走向,反映了本区的构造格架,重力高与重力低之间存在一条明显的梯级带。研究区异常极大值为 $-19.4 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,位于高杖子东北局部重力高异常中;异常极小值为 $-47.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,位于研究区西缘,三盛永东北局部重力低异常中。根据重力异常形态、等值

线梯度变化、异常规模等特征进行分析,以沈家屯—牛营子乡—郭家店—胡仗子为界,可将研究区布格重力异常分为西部重力中低值异常区和东部重力高值异常区。西部重力中低值异常区西北缘分布一处规模较大的局部重力低异常,异常区地表为大面积白垩系覆盖,且该处对应高磁异常,结合地质与物性资料,推测为中生代拗陷和隐伏低密度体岩体共同引起。而西部其余重力中低异常区,地表大部分被侏罗系覆盖,少部分为白垩系,推测主要为中生代拗陷引起,中生代盖层厚度较大。同时,在重力低异常背景上还分布多个局部重力高异常,地表有面积古生界、元古宇出露,推测主要为基底隆起引起。东部重力高值异常区,异常整体呈不规则条带状,异常走向近 NE,多个局部重力高异常自北东向南西串连分布,其中沟门子以西局部重力高异常幅值最大,该重力高值异常区地表有面积古生界和元古宇出露,推测该处主要为基底隆起引起。同时,在重力高异常背景上叠加分布多个局部重力低异常,这几处地表均为大面积白垩系覆盖,推测主要为中生代拗陷引起,中生代盖层厚度较大。

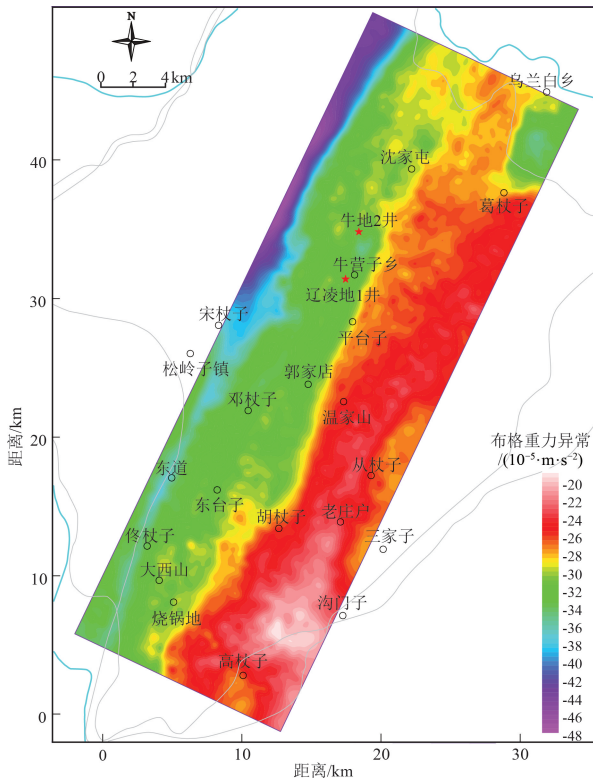


图4 牛营子地区布格重力异常图

Fig. 4 Bouguer gravity anomaly map in Niuyingzi area

从磁力化极异常图(图5)可见,磁力化极异常总体特征为:较平静的负值异常背景上分布多个正值磁异常带,化极磁异常极大值为423.1 nT,位于沈家屯以西研究区西北缘正值异常圈闭内,极小值为-967.9 nT,位于梁西以西负值磁异常圈闭内。研究区西北缘分布一处规模较大、幅值较高的正值异常带,高磁异常背景上叠加高频磁异常,该处地表为大面积白垩系义县组覆盖,根据物性资料,白垩系义县组中性火山岩为中强磁性,能引起一定的磁异常,由此推测,该高磁异常带上的高频磁异常主要为白垩系义县组的中性火山岩引起;此外,该高磁异常带对应图4中的重力低异常,而此处电阻率异常为高阻异常,根据物性资料,花岗岩具有一定的磁性,且密度较低,电阻率较高,推测该磁力高值带上较宽缓的高值背景异常为规模较大的隐伏花岗岩体引起,异常中心变化梯度非常陡的更高值磁力异常为花岗岩磁力背景下叠加中性火山岩所引起。研究区还存在4处主要高磁异常带,分别是沈家屯高磁异常带、松岭子镇—东道—佟杖子高磁异常带、牛营子乡—邓杖子—东台子—烧锅地高磁异常带、从杖子—胡杖子高磁异常带,4处异常带整体呈

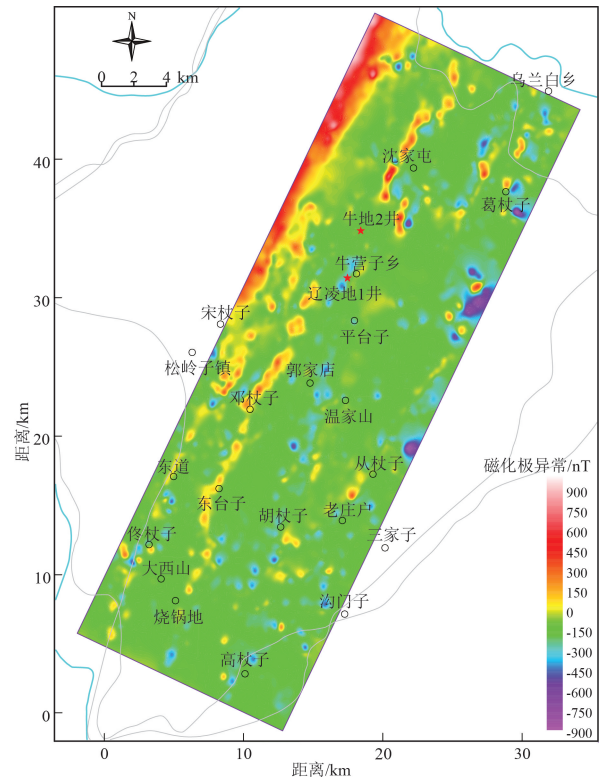


图5 牛营子地区磁力化极异常图

Fig. 5 Magnetic polarization anomaly map in Niuyingzi area

NE 走向,多个局部磁力高自北东向南西串连分布。沈家屯高磁异常带,地表有流纹斑岩出露,且形态与磁异常形态相似,均呈带状分布,整体呈 NE 走向,且与重力低异常相对应,流纹斑岩具有一定磁性,且密度较低,推测主要为流纹斑岩或其他隐伏中酸性侵入岩引起。另 3 处高磁异常带,地表为大面积侏罗系和少部分白垩系覆盖,根据物性资料,侏罗系火山岩和白垩系义县组中性火山岩为中强磁性,能引起一定的磁异常,推测高磁异常主要为侏罗系火山岩和白垩系义县组的中性火山岩引起。此外,胡杖子以南局部高磁异常,地表主要为元古宇出露,推测该异常是由基底地层所含磁性物质不均匀引起的。

4.2 重磁电剖面综合解译

本文以重磁二维、三维处理结果为基础,以区域地质、钻井等资料作约束,结合已有的电法剖面成果,选取 7 条典型剖面(图 1)建立研究区的地质-地球物理模型,进行综合地质解译,从而确定断裂性质、地层分布与埋深、构造格局、岩体分布等信息,控制本区的构造格架。本文仅选取 G2 线结果详述(图 6)。

G2 线呈 NW—SE 向横穿研究区南部,沿线地表元古宇、下古生界、中生界相间出露。重力异常曲线呈西低东高、高低相间的异常特征,局部重力低位于剖面的中部及两侧,由中浅部中生界侏罗系和白垩系引起,局部重力高异常段地表元古宇、下古生界出露,认为是由于断裂的逆冲推覆作用,将老地层推覆至浅部所致。磁力化极异常于剖面中部相对平缓,两侧呈锯齿状变化,反映沿线地质体内磁性物质的分布。在电磁法反演断面图上,电性结构清晰,垂向上呈高一低一高交替变化,横向上电性层分布间断与突变明显;电性异常大致分为 3 段,西部 289~319 点段和东部 367~443 点段,以中高阻为主,反映中新生界凹陷浅,盖层厚度小;中段 319~367 点间,低阻层发育,反映中生界盖层埋深较大,具有一定的沉积规模。

重力水平总梯度异常曲线的极值点、重磁三维反演的视密度及视磁化率突变面、电性层横向突变与等值线扭曲处,主要反映了剖面上的断裂位置与产状。F2 断裂以西,重力异常低、磁力异常高,电性异常上低、下高,浅表低阻层对应中新生界盖层白垩系和第四系分布,厚度约为 350 m;重力三维反演

断面显示,盖层之下分布有密度体,电性断面为高阻异常,推测由侵入的中酸性岩体引起。F2 与 F3 断裂之间为基底断凸,重力三维反演断面表现为中高密度体,电性断面以中高阻为主,上部高阻与低阻相间,对应古生界和元古宇。中部 F3 与 F7 断裂间,重力低,低阻层发育,为牛营子凹陷引起,电性层与密度体的横向突变,证实该凹陷两侧以断裂为界。该凹陷浅表为高阻层且具一定磁性,为凹陷内侏罗系髫髻山组和土城子组,厚度 400~900 m;该地层之下,浅部无磁性、低阻层对应侏罗系北票组和海房沟组,厚度为 200~500 m;中间低阻背景中升高的中低阻层对应古生界;下部低阻层由元古宇引起。F7 断裂以东,电性以中高阻为主,且重力异常高,为基底隆起的综合反映。剖面东端(电法 423 点以东),浅表低阻层对应中生界凹陷区白垩系九佛堂组,向东增厚,厚度约为 650 m。F7 断裂东侧浅表元古宇高阻层之下电性降低,结合地表地质调查,推测该元古宇呈岩片推覆于古生界之上。

4.3 断裂构造特征

本文以重力数据为主,采用小子域滤波联合水平总梯度模、水平方向导数的方法(许海红等,2014;郇恒飞等,2020),结合地表地质、磁力、重磁电剖面综合解译及重磁三维反演成果等资料,对研究区断裂构造位置及产状进行综合研究。研究区共识别出 NNE 向、NE 向、NW 向的断裂 26 条(图 7),其中 NE—NNE 向断裂 15 条,NW 向断裂 11 条。NE—NNE 向断裂以逆冲为主,NW 向断裂以平移为主,兼具逆冲特点。NNE 向断裂大致平行展布,控制了本区的构造格架,NW 向断裂对构造起切割与改造作用。依据断裂规模、切割层位、对构造格局和构造展布的控制作用等多方面因素,将研究区的断裂划分为主断裂和次级断裂,主断裂对研究区凹陷起决定性作用,切割基底地层及中生界盆地沉积盖层,该类断裂有 4 条,为 F2、F3、F6、F7;次级断裂主要对研究区局部构造或地层沉积起改造作用,该类断裂有 22 条。本文主要研究对凹陷起决定作用的主断裂。

(1) F2 断裂总体呈 NNE 向展布于研究区西侧,区内长约 50 km,两端延伸出区,倾向 SE,倾角较陡,为逆冲断裂。该断裂切割元古宇、下古生界和中生界,垂直断距 200~500 m。断裂东侧有元古宇和下古生界寒武系—奥陶系出露,断裂西侧有中

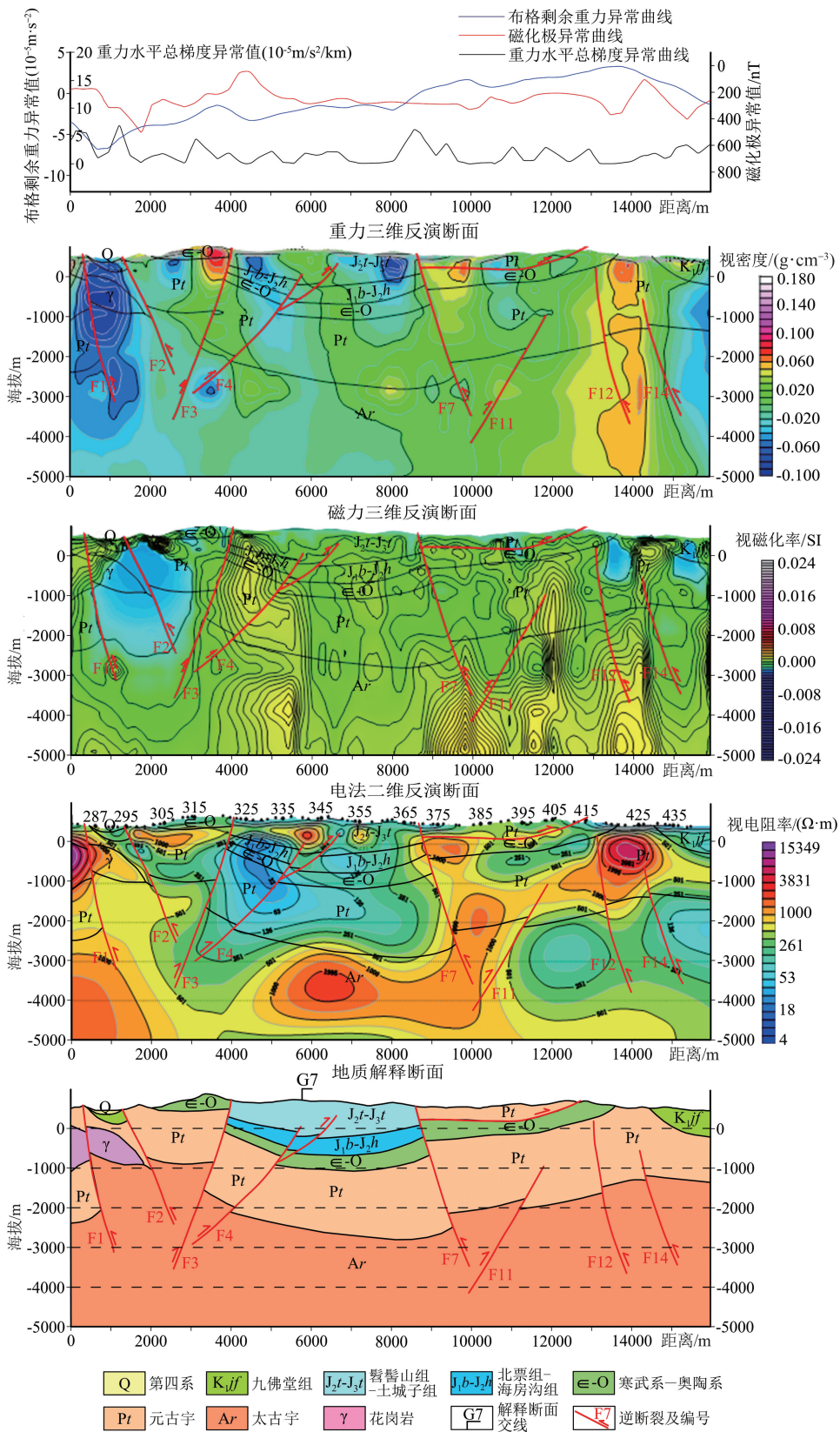


图6 牛营子地区G2线重磁电综合解释剖面

Fig. 6 Gravity-magnetic-electric integrated interpretation of line G2 in Niuyingzi area

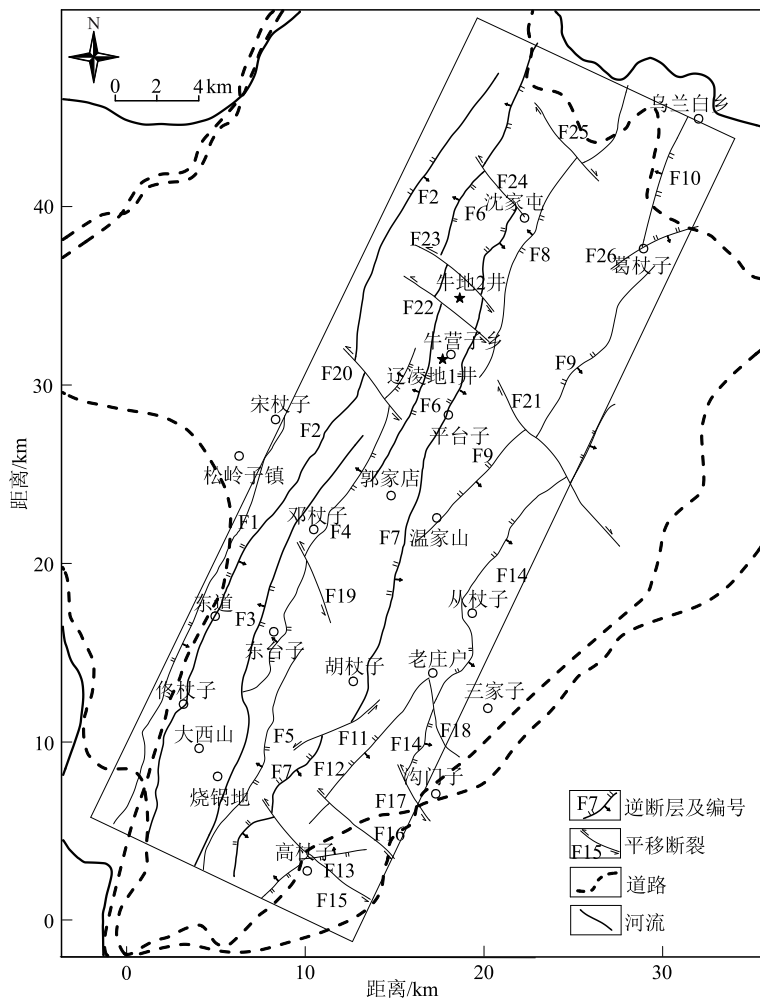


图 7 牛营子地区断裂分布

Fig. 7 Distribution map of faults in Niuyingzi area

生界盆地盖层侏罗系—白垩系分布。在电阻率断面图上表现为电性层横向突变和垂向梯度带;在布格重力异常图上为重力高异常和重力低异常的分界线,且在重力三维反演断面和断裂识别组合法结果图上也有清晰显示;在磁力异常图上同样表现为磁力高异常和低异常的分界线。结合地质资料,推测该断裂生成于燕山晚期。

(2) F3 断裂总体呈 NNE 向展布于研究区西南侧,区内长 31.2 km,向南西延伸出区,倾向 NW,倾角较陡,为逆冲断裂。该断裂与 F2 断裂南段近平行展布,相向而倾,共同控制长条状的基底凸起构造。断裂东侧为牛营子凹陷,有较厚的侏罗系分布。在电阻率断面图上表现为电性层横向突变和垂向梯度带,断裂西侧基底高阻上抬向东侧低阻逆冲,地表元古宇与下古生界出露,东侧低阻盖层发育,厚

度大,反映该断裂具逆冲性质;在布格重力异常图上为重力高异常和重力低异常的分界线,且在重力三维反演断面和断裂识别组合法结果图上也有清晰显示。结合地质资料,推测该断裂生成于燕山晚期。

(3) F6 断裂总体呈 NNE 向展布于研究区北部,区内长 26.5 km,向东北延伸出区,倾向 NW,沿走向倾角变化较大,中段缓,北段和南段较陡,为一逆冲推覆断裂,地表见长城系逆冲于侏罗系海房沟组之上,牛地 2 井于 1357 m 蓟县系之下钻遇有侏罗系北票组。在电阻率断面图上显示电性结构复杂,垂向上高阻层与低阻层相间分布,结合钻井资料,证实地下出现新老地层反序叠置;在布格重力异常图上为重力高异常和重力低异常的分界线,且在断裂识别组合法结果图上也有清晰显示。结合地质资料,推测该断裂生成于燕山期。

(4) F7 断裂总体呈 NNE 向纵穿研究区中部,区内长 40.5 km,向南东延伸出区,倾向 SE,倾角较陡,为牛营子凹陷东侧边界逆冲断裂。该断裂切割元古宇、下古生界和中生界,垂直断距 200~800 m。断裂东侧有元古宇和下古生界寒武系—奥陶系出露,断裂西侧有中生界侏罗系分布。在电阻率断面图上表现为电性层横向突变和垂向梯度带,断裂西侧低阻盖层发育,厚度大,断裂东侧基底高阻隆起,并向西侧逆冲,反映该断裂具逆冲性质;在布格重力异常图上为重力高异常和重力低异常的分界线,且在重力三维反演断面和断裂识别组合法结果图上也有清晰显示。结合地质资料,推测该断裂生成于燕山晚期,控制本区构造格局与展布。

5 构造单元划分及油气有利区

5.1 中生界地层分布与埋深特征

本文主要依据钻井、重磁电剖面综合解译、重磁异常平面处理等成果资料,对中生界进行综合研究。以钻井为点,以重磁电解释剖面为线,以重力剩余异常、重力界面反演异常、磁化极异常剩余及求导异常等结果为面,查明中生界底面埋藏深度(图 8)。

结果显示,中生代以来,在伸展拉张控陷沉积与挤压冲断、隆升剥蚀的交替作用下,中生界主要残留于研究区的中部及两侧凹陷内,平面上呈NNE向带状展布,凸起单元局部有少量残留。研究区内不同的凹陷区域,中生界分布存在一定差异:研究区中部的牛营子凹陷,发育侏罗系北票组、海房沟组、髫髻山组、土城子组,火山岩与正常沉积地层交替,总体厚度较大,缺失白垩系及以上地层;西侧侏罗系—白垩系发育较全,以髫髻山组、义县组为主,北票组、海房沟组多发育在凹陷较深的区域;东侧以白垩系义县组、九佛堂组为主,构成东倾的单斜地层,超覆于元古宇或古生界之上。自西向东分述如下。

研究区西侧表现出西凹东凸的特征,F2断裂东侧主体为基底断凸,仅断凸低位有少量侏罗系—白垩系残留;F2断裂西侧凹陷区域侏罗系—白垩系发育较全,中生界底面深度一般为400~1200 m,由宋杖子向南,凹陷抬升变浅。地表地质及重磁电反演断面显示,北票组、海房沟组主要分布在宋杖子一带的深凹处,厚300~600 m;髫髻山组和义县组分布范围扩大,见于松子岭东北,厚300~1100 m;九佛堂组残存于西南角F1与F2断裂间,最大厚度约为300 m;西北侧侏罗系—白垩系遭燕山期花岗岩侵入。

研究区中部受F3-F6、F7逆冲断裂分割控制,中生界主要分布于牛营子凹陷,地层以侏罗系北票组、海房沟组、髫髻山组、土城子组为主,构成NNE向的向斜构造,向斜翼部及转折端处,土城子组以下地层遭受不同程度的剥蚀。中生界底面埋深一般为600~2400 m,最深处位于牛营子乡一带,并遭受不同程度的剥蚀。北票组、海房沟组为正常沉积地层,分布范围最大,不整合于下古生界寒武系—奥陶系之上,北端及东翼遭受不同程度的剥蚀,残留厚度一般为400~800 m;髫髻山组、土城子组分布在牛营子乡以南的凹陷核部及西翼,残留厚度一般为300~900 m。

研究区东侧表现为东倾的单斜地层,中生界以白垩系义县组、九佛堂组为主,其中,东北部以义县组为主,东南部以九佛堂组为主,不整合于古生界或元古宇之

上。中生界底面埋深一般为0~1000 m,西南角及东北角发育次凹,中心最大深度分别为800 m和1400 m。

5.2 构造单元划分

前人研究主要集中于牛营子地区的地层层序、沉积相、烃源岩等问题(赵越,1988;徐刚等,2005;马文坡等,2014;宗文明等,2017;肖飞等,2018;郑磊等,2019),缺少系统的勘探资料,未能涉及该区中生界底面埋深、具体构造单元划分等内容。本文在前人研究的基础上,结合地质资料、野外调查、重磁电异常综合解译特征,以凌源—宁城盆地为基础单元,首次将牛营子地区划分出5个二级构造单元(图9),构造格局整体为三凹、二凸,凹、凸相间分布。凹陷内中生界保存较好,牛营子凹陷等赋存有侏罗系北票组、海房沟组烃源层,是中生界油气勘

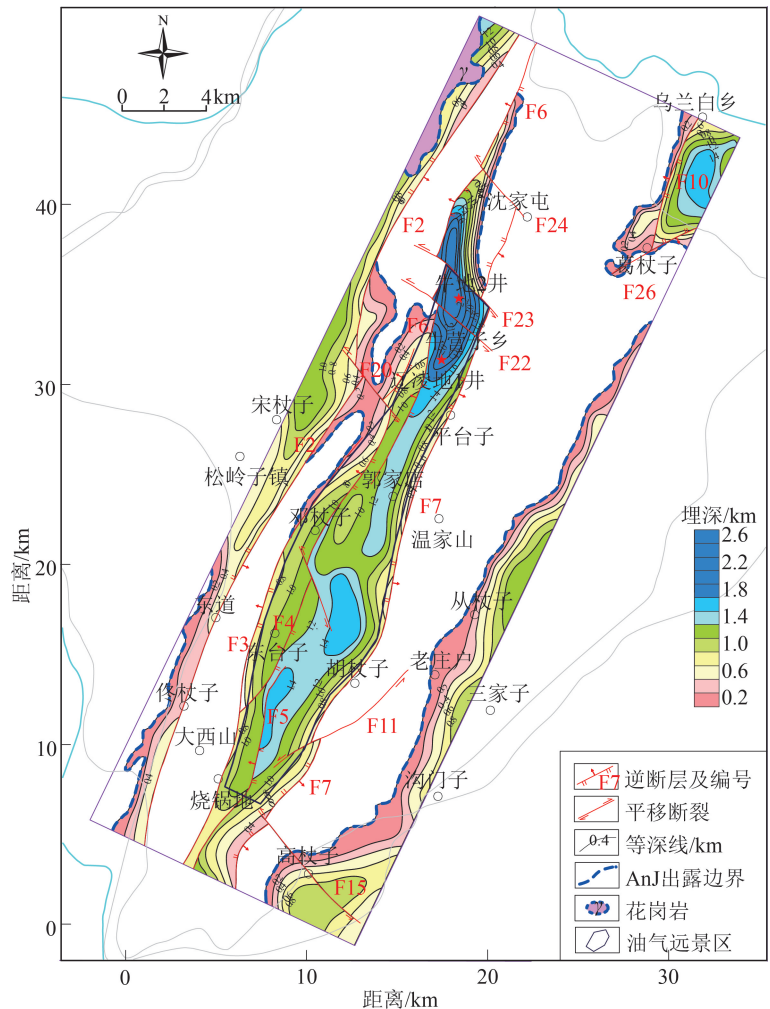


图8 牛营子地区中生界底面埋深图

Fig. 8 Map of the Mesozoic bottom buried depth in Niuyingzi area

探的重要目标层;凸起单元由于长期处于隆升状态,中生界遭受强烈剥蚀,古生界和元古宇出露。本文以中生界凹陷单元为重点,对其构造单元特征进行描述。

(1)宋杖子凹陷位于研究区西侧,该单元主体在研究区外,东以 F2 逆冲断裂为界与大西山凸起相邻,研究区内长约 50 km,宽 1~1.8 km,面积约 90 km²。中生界底面起伏形态表现为断坡特征,区内中生界底面最大深度约为 1200 m,总体呈北深南浅。

(2)牛营子凹陷位于研究区中部牛营子—邓杖子—烧锅地一线,为夹于逆冲断裂的长条状断拗,中间宽两侧窄,研究区内长约 46.4 km,宽 1.8~6.5 km,面积约 165 km²。凹陷西以 F3 和 F6 断裂为界与大西山凸起相隔,东以 F7 断裂为界与温家山凸起相邻,中生界底面最大埋深约为 2400 m,总体呈

中间深、两侧浅。

(3)三家子凹陷位于研究区东侧,西与温家山凸起相邻,凹陷主体在区外,研究区内长约 50 km,宽 1~5.7 km,面积约 109 km²。中生界底面起伏形态成东倾的单斜,区内中生界底面最大深度约为 1400 m,总体西浅东深。

5.3 油气有利区探讨

本文确定该区的油气远景区主要依据的原则有:①目标层为北票组—海房沟组;②分布范围及残留厚度;③已有油气地质调查成果;④烃源层的电性异常特征;⑤油气保存条件。

钻井揭示北票组—海房沟组赋存泥岩,见煤线,并对岩心样品进行岩石热解、总有机碳及氯仿沥青“A”分析。结果表明,海房沟组样品中有机质丰度中等偏好,TOC 分布范围为 0.18%~33.90%,平均值为 4.79%,北票组样品中有机质丰度好,TOC 分布范围为 0.75%~37.90%,平均值为 11.68%,具有油气生成的地质条件。重磁电资料解释结果表明,牛营子凹陷内北票组—海房沟组较发育,最大厚度可达 800 m,在电法反演断面上,该套地层具有明显的低阻特征,反映地层中暗色泥页岩发育,具备形成油气藏的有利条件。辽凌地 1 井在逆冲推覆体之下下侏罗统地层气测表现出异常值,见含气层 4 层,总厚度为 17 m,1 号层厚度为 5 m(1590~1595 m),含气层为灰色含砾粗砂岩,气测全烃值 1%~3%;2 号层厚 4 m(1596~1600 m),岩性为灰色砂质细砂岩,气测全烃值 4%~5%;3 号层厚 3 m(1680~1683 m),为灰色中砂岩,气测全烃值 4%~6%;4 号层厚 5 m(1686~1691 m),为黑色炭质泥岩,气测全烃值 5%~8%,显示出良好的生油潜力。前期研究表明,侏罗系泥岩和含煤层系为良好烃源岩(肖飞等,2018)。此外,在辽凌地 1 井北侧约 3 km 的牛 D2 井于 1357 m 同样钻遇了下侏罗统泥页岩。已有地质调查成果表明,凌源—宁城盆地普遍发育背驮式薄皮逆冲推覆构造,中新元古界逆冲推覆体之下,侏罗系沉积地层可能广泛存在。牛营子凹陷内的牛营子乡两侧逆冲断裂下盘有断鼻状构造,且在邓杖子东有

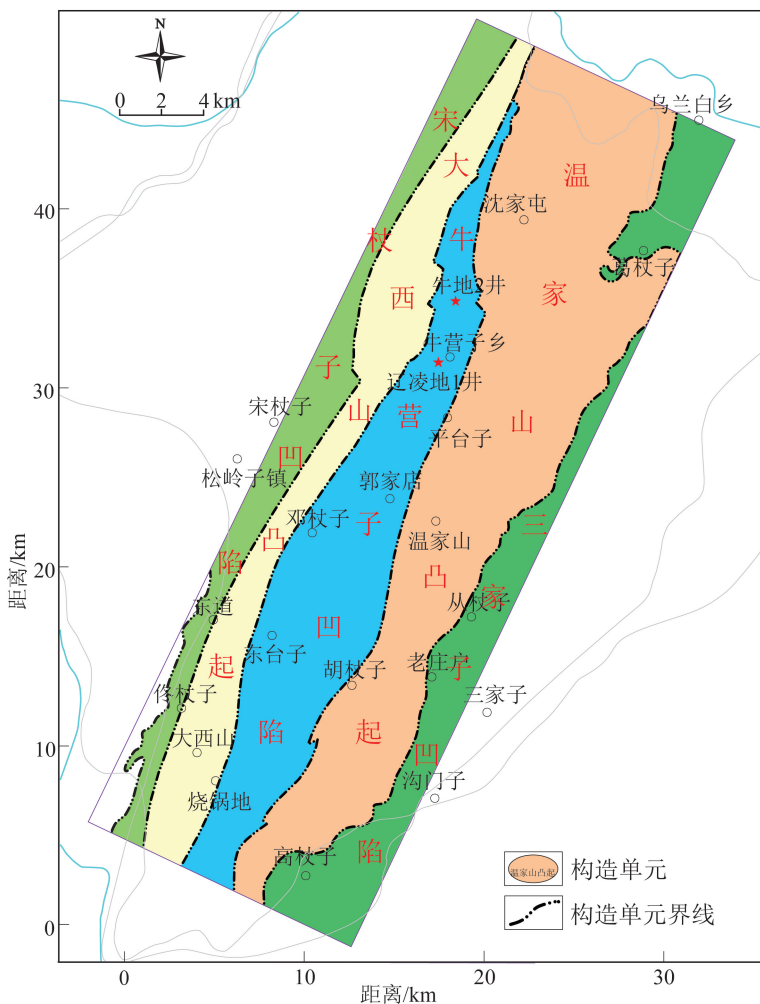


图 9 牛营子地区构造单元划分图

Fig. 9 Map of the Mesozoic tectonic unit division in Niuyingzi area

局部背斜状次凸,为油气聚集提供了有利空间。侏罗系中的砂岩、粉砂岩,以及下伏老地层中碳酸盐岩的次生孔隙、溶蚀孔洞、基底风化壳等有利于油气储集,而泥质岩、厚层火山岩可作为良好的盖层,局部逆冲推覆体也可起到封盖作用。综上研究,本文圈定了牛营子凹陷油气勘探有利区(图8),面积约58 km²。

侏罗系底面埋深不大,主要介于2.6~5.0 km之间,在中—下侏罗统海房沟组—北票组,埋深浅,厚度较稳定,顶面埋深介于1.1~2.5 km之间,厚度主要为1.2~1.6 km;沉积一套含煤岩系、粉砂岩、砾岩等,可自生自储;其上、下各沉积一套中基性熔岩和火山碎屑岩,也可形成上生下储、下生上储的储盖组合,多层系储藏,提供多种成藏聚集条件。

6 结论

非震综合物探方法在油气勘探前期评价中可发挥重要的作用,尤其在查明含油气盆地的断裂特征、构造格架、地层空间展布特征及有利油气生储盖组合条件等方面具有独特的优势。本文在综合地质、钻井、物性、重磁电勘探成果等资料的基础上,主要获得如下认识:

(1)识别出4条主断裂、22条次级断裂,断裂性质以逆冲为主,NNE向断裂控制了牛营子地区的构造格架。

(2)查明了牛营子地区的基底起伏形态和中生界埋深,揭示了研究区范围内宋杖子、牛营子和三家子凹陷中生界最大埋深分别约为1.2 km、2.4 km、1.4 km。

(3)将牛营子地区划分出5个二级构造单元,分别为宋杖子凹陷、大西山凸起、牛营子凹陷、温家山凸起、三家子凹陷,呈凹、凸相间分布,查明研究区中生界凹陷的规模,圈定牛营子凹陷58 km²区域为油气勘探有利区。

注释

①董万德,何振清,王忠江,等.建平县幅 K51C003004 1:25 万区域

地质调查报告[R].辽宁省地质矿产调查院,2003.

②宋鸿林,张长厚,王根厚,等.青龙县幅 K50C004004 1:25 万区域地质调查报告[R].中国地质大学(北京),2004.

参考文献

- 高飞,赵维俊,贾立国,等.非地震综合物探方法在油气地质调查中的应用——以松辽外围中生代盆地群巴林左盆地为例[J].地质与资源,2014,23(1):87-91.
- 高树静,何秦娥,王丽,等.重磁勘探在中牟凹陷油气勘查中的应用[J].地球科学前沿,2017,7(3):470-486.
- 郇恒飞,郭灿文,孙守亮,等.重力数据处理中几种断裂构造识别方法的组合应用[J].地质与资源,2020,29(5):467-475.
- 马文坡,张海龙.辽西凌源地区中侏罗统邓杖子组沉积环境探讨[J].地质与资源,2014,23(Supp.1):35-37.
- 蒲丹,雷宛,李怡,等.重磁电资料在XF山西侧油气地质—地球物理综合解释中的应用[J].工程地球物理学报,2013,10(4):497-504.
- 孙求实,袁杰,宗文明,等.广域电磁法在辽西地区牛营子凹陷油气资源潜力评价中的应用[J].物探与化探,2019,43(1):64-69.
- 孙求实,李晓海,宗文明,等.辽西牛营子凹陷北票组烃源岩生物标志化合物特征——以辽凌地1井为例[J].地质与资源,2022,31(6):762-769.
- 王丹丹,赵松,张文浩,等.松辽盆地外围通化地区高精度重磁电特征及其构造格架[J].中国地质,2020,47(4):1056-1068.
- 肖飞,郇晓勇,李永飞,等.凌源—宁城盆地牛营子地区侏罗系海房沟组烃源岩地球化学特征:以牛D1井为例[J].矿物岩石地球化学通报,2018,37(1):94-102.
- 徐刚,赵越,吴海,等.辽西凌源牛营子盆地晚三叠世—中侏罗世地层层序及区域对比[J].地球学报,2005,26(4):299-308.
- 许海红,袁炳强,杨高印,等.小子域滤波联合总水平导数在重力资料处理中的应用——以内蒙古银额盆地EQ区块断裂构造识别为例[J].地质通报,2014,33(11):1853-1860.
- 赵越.辽西牛营子地区早—中侏罗世地层层序及其早期中生代构造演化[J].地质探索,1988,(1):79-89.
- 张春贺,乔德武,李世臻,等.复杂地区油气地球物理勘探技术集成[J].地球物理学报,2011,54(2):374-387.
- 詹少全,陈中,李爱勇,等.重磁电综合解释在突泉盆地油气勘查中的应用[J].矿产与地质,2017,31(1):131-142.
- 郑磊,唐友军,李永飞,等.凌源—宁城盆地牛营子地区辽凌D1井高于庄组烃源岩地球化学特征[J].石油天然学报,2019,41(1):19-25.
- 张文浩,王丹丹,李世臻,等.重磁电勘探在黑龙江三江盆地石炭系—二叠系油气地质调查中的应用[J].中国地质,2019,46(1):191-201.
- 宗文明,郇晓勇,孙求实,等.华北北部凌源—宁城盆地蓟县系洪水庄组生烃潜力分析——以小庄户剖面为例[J].地质与资源,2017,26(4):370-376.