第 34 卷第 3 期　　地　质　与　资　源　　Vol. 34 No. 3
2025 年 6 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　Jun. 2025
文章编号:1671-1947(2025)03-0313-10　　中图分类号:P618.13　　开放科学标志码(OSID):
DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2025.03.005　　文献标志码:A

松辽盆地陆家堡地区深部地层展布特征综合地球物理研究

冉　波[1],李　皓[1],张甲明[1],杨　曦[1],孙爽晨[1],张　健[2],尚竽良[3]
1. 中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院,辽宁 盘锦 124010;
2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034; 3. 兴仁市能源局,贵州 兴仁 562300

摘　要: 对于盆地中的浅层勘探,地震探测技术表现出高分辨率和强纵向分层能力的特点. 然而,当涉及到凹陷的深层区域时,由于火山岩等的屏蔽作用,地震信号变弱,成像质量也会下降,这使得推断深部地层发育特征变得极为困难. 大地电磁测深技术不受火山岩层的影响,并对深部的泥岩等低阻层信息敏感,因此在深部信息提取上与地震技术形成互补,能够获取关于基底格架和电性标志层的起伏信息. 重、磁异常主要受到体积效应的影响,并且是被动源,没有屏蔽,只要有明显的密度差异或界面存在,重力或磁力异常就会在地表反映出来,这为密度、岩性、侵入体分布等研究提供了有力的手段. 针对松辽盆地南部陆家堡及周边地区义县组深部地层的复杂地质背景,本文利用重、磁、电、震等多种地球物理方法的优点,对该地区的深部地层、岩性、构造等分布特征进行综合研究,可为后续的深层系油气勘探提供参考.

关键词: 松辽盆地;陆家堡凹陷;深部地层;综合物探;重磁电震

Comprehensive geophysical study on the distribution characteristics of deep strata in Lujiapu area, Songliao Basin

RAN Bo[1], LI Hao[1], ZHANG Jia-ming[1], YANG Xi[1], SUN Shuang-chen[1], ZHANG Jian[2], SHANG Yu-liang[3]
1. *Exploration and Development Research Institute, Liaohe Oilfield Branch Company of PetroChina, Panjin* 124010, *Liaoning Province, China*;
2. *Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang* 110034, *China*; 3. Xingren Energy Bureau, Xingren 562300, Guizhou *Province*, China

Abstract: For shallow exploration in basins, seismic detection technology exhibits advantages of high resolution and strong vertical stratification capability. However, when dealing with deep sag regions, due to the shielding effect of formations like volcanic rocks, which makes seismic signals weaken and imaging quality deteriorated, the interpretation for the development characteristics of deep strata becomes extremely difficult. Magnetotelluric (MT) sounding is unaffected by volcanic formations and is sensitive to low-resistivity information such as mudstones in deep subsurface. Therefore, it complements seismic technology in terms of deep information, enabling acquisition of details about

收稿日期:2024-04-01;**修回日期:**2024-11-14. **编辑:**张哲.
基金项目:中国石油天然气集团公司项目"开鲁地区义县组及深层勘探目标优选研究"(2022KJZX-05-02);中国地质调查局项目"东部新区新层系油气地质调查与评价"(DD20240045)资助.
作者简介: 冉波 (1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事石油地质综合研究工作, 通信地址 辽宁省盘锦市兴隆台区石油大街 95 号,E-mail//ranb@petrochina.com.cn
通信作者:张健(1980—),男,硕士,正高级工程师,主要从事油气地质调查研究工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//48487885@qq.com
引用格式:冉波,李皓,张甲明,杨曦,孙爽晨,张健,尚竽良. 松辽盆地陆家堡地区深部地层展布特征综合地球物理研究[J]. 地质与资源, 2025, 34(3): 313-322.
Ran B, Li H, Zhang J M, Yang X, Sun S C, Zhang J, Shang Y L. Comprehensive geophysical study on the distribution characteristics of deep strata in Lujiapu area, Songliao Basin [J]. Geology and Resources, 2025, 34(3): 313-322.

basement framework and undulation of electrical marker beds. Gravity and magnetic anomalies, as passive sources, are mainly influenced by volume effect, without shielding. As long as significant density contrasts or interfaces exist, gravity or magnetic anomalies will be reflected at the surface. These methods provide a powerful mean for the intergraded study of density, lithology, distribution of intrusive bodies, etc. Given the complex geological background of deep Yixian Formation strata in Lujiapu area and its surroundings in southern Songliao Basin, this study leverages the advantages of multiple geophysical methods including gravity, magnetic, electric, and seismic (GMES) techniques to comprehensively explores the distribution characteristics of deep strata, lithology, and structures in the area, which provides references for subsequent oil-gas prospecting of deep reservoirs.

Key words: Songliao Basin; Lujiapu Sag; deep stratum; integrated geophysical prospecting; gravity-magnetic-electric-seismic (GMES) techniques

0 引言

长期以来，我国东北地区的油气勘探开发主要集中于中生界[1-5]. 然而近年来,随着油田产量的持续下滑和稳产难度加大，这一传统勘探领域面临着巨大的挑战[6-7]. 为了满足国家能源需求和保障能源安全,寻找新的油气资源层系成为了东北老工业基地油气勘探开发的重要任务[8-15]. 自 2004 年以来,随着油气战略选区及地质调查工作的深入开展，松辽盆地深层及外围盆地群新区、新层系成为东北地区油气调查的的重要战略地区之一[16-21],具有较大的资源潜力.

为了进一步探索松辽盆地深层的油气潜力，中国地质调查局自 2007 年开始采用地质-地球物理综合调查方法,联合多家单位开展了 10 余年的地球物理勘探工作[22-28]. 这些工作包括区域重磁及电法、地震剖面等手段的应用，为深层的油气勘探提供了重要的技术支持. 在松辽盆地及外围石炭-二叠系油气地质调查中,通过这些地球物理勘探方法,取得了许多新的认识和发现,为深层的油气勘探提供了有力的科学依据. 近年来,研究团队针对松辽盆地南部陆家堡地区的地质、地球物理场特征进行了深入的研究,综合运用重、磁、电、震等多种地球物理方法,初步查明了松辽盆地南部陆家堡及其周边地区的深层构造地层特征. 这些研究成果不仅为深层油气勘探提供了重要的科学依据,也可为后续的勘探井位部署提供重要的参考.

1 区域地质概况

陆家堡地区位于松辽盆地西南部，西邻大兴安岭山脉东坡,南依华北地台北缘(图 1). 研究区构造演化可以明显区分出古生代构造演化和上叠中生代盆地演化. 古生代构造主体受古亚洲域构造作用影响,主要表现为松嫩地块与华北板块之间的相互作用关系，中生代主要处于滨太平洋构造演化过程中. 区内断裂以北东走向为主,近东西向次之,均为正断层. 其中嫩江-八里罕断裂和西拉木伦河断裂为区内的 2 条深大断裂,分别为松辽盆地西部边界断裂和松嫩地块与华北

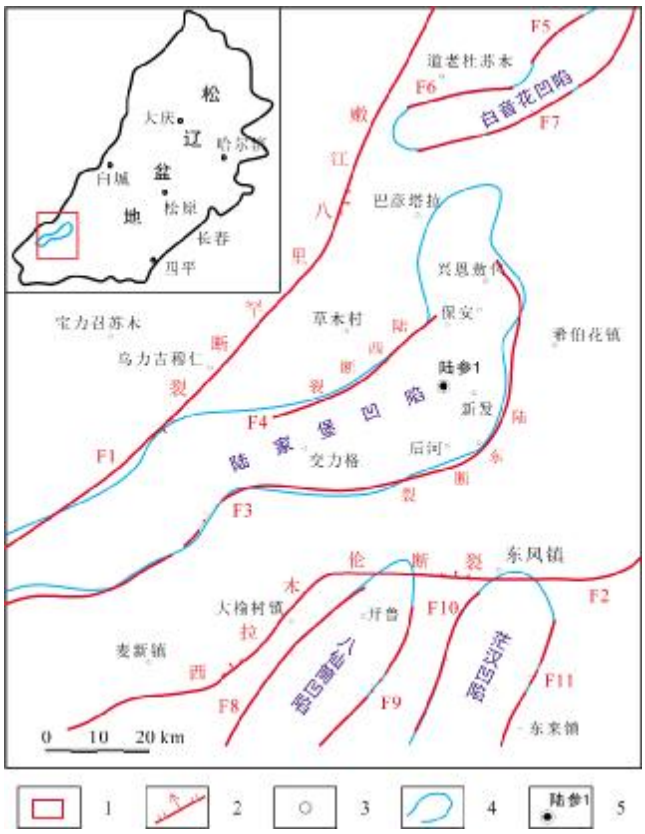

图 1 研究区位置及凹陷分布图

Fig. 1 Location of the study area and distribution of sags

1—研究区(study area); 2—正断层(normal fault); 3—地名(place name); 4—凹陷(sag); 5—钻井(borehole)

板块的分界断裂,断裂规模大,延伸长,切割深. 东北部的 3 条断裂为白音花凹陷边界断裂，中部的陆东断裂和陆西断裂为陆家堡凹陷的边界断裂，南部的 2 组断裂分别为八仙筒凹陷和芒汉凹陷的边界断裂. 该区主要中生代凹陷为北东向狭长展布的陆家堡凹陷，亦是主要油气产区. 区内发育的古生代沉积地层主要为下二叠统寿山沟组、中二叠统哲斯组、上二叠统林西组.

2　区域地球物理场特征

区域重、磁、电、震资料在盆地深部结构和油气基础地质研究中发挥着重要作用. 迄今为止,东北大部分地区完成 1∶20 万区域重力测量,1∶20 万及更大比例尺的航磁测量也覆盖了大部分地区. 油田公司在盆地内部开展了大量的二维、三维地震勘探工作. 近年来中国地质调查局在松辽盆地南部地区开展过区域大地电磁测深及少量的二维地震勘探. 上述资料为研究区域地球物理场、盆地结构、深部构造及油气地质条件提供了十分重要的基础资料.

总体看来，陆家堡及周边地区重力异常可分为东北侧重力高异常区和西南侧重力低异常区. 东北侧重力高异常区与其相邻南侧的低值异常区不论是异常形态还是异常值均存在明显的差异. 本区异常整体以高值异常为主，走向各异，存在多处规模较大的高值异常，其中北侧道老杜苏木附近为北东东走向的高值异常,希伯花镇附近分布多个近南北走向的高值异常,北东侧边界处为一个形态不完整的北西走向长椭圆形重力高值异常. 推测本区重力高值异常主要为基底隆起-斜坡区引起. 研究区在正值异常背景上发育了多处局部重力低值异常,其幅度变化较小,等值线宽缓,推测该处重力低除了因浅部盖层埋藏较厚以外，小部分地区可能与低密度磁性侵入岩有关. 而西侧、南侧重力低异常区内整体以重力低值异常为主,走向北东、北北东. 地表地质显示，该区域大部分地表被第四系(Qh)覆盖. 在北西方向和南侧松辽盆地边界以外,中生界和古生界大面积出露. 根据地质认识,研究区位于西南隆起区的开鲁凹陷区，推测重力低值异常主要由拗陷内低密度地层引起. 结合磁异常,推测该处基底可能存在中低密度花岗岩. 尽管该区域整体重力值偏低,但仍存在多处相对重力高值,表现为北东走向的高、低异常带相间分布. 区内分布几处局部重力高异常,如开鲁县以西的北东走向局部重力高，推测主要由中浅部地层局部起伏引起.

陆家堡及周边地区的磁力异常特征由多个走向北东的局部正磁异常组成(图 2). 这些异常包括巴彦塔拉以北的正磁异常、宝力召苏木以西的正磁异常、交力格-新发-兴恩敖包一带的正磁异常,几个正磁异常在零值线附近合并为一个大规模的正磁异常，暗示其深部可能存在同一个磁性基底. 但由于这些异常的走向和规模存在差异,将分别进行描述. 巴彦塔拉以北的正磁异常呈现出近似椭圆的形状,具有单峰值特性,在地表地质方面,此处主要为下侏罗统,少量二叠纪地层出露. 异常的南部边界有两处花岗岩出露. 重力异常显示此处以重力低为主，因此推测该宽缓的正磁异常主要由磁性花岗岩引起. 宝力召苏木以西的正磁异常呈北东走向,由多个正磁闭合圈串联组成,往西出研究

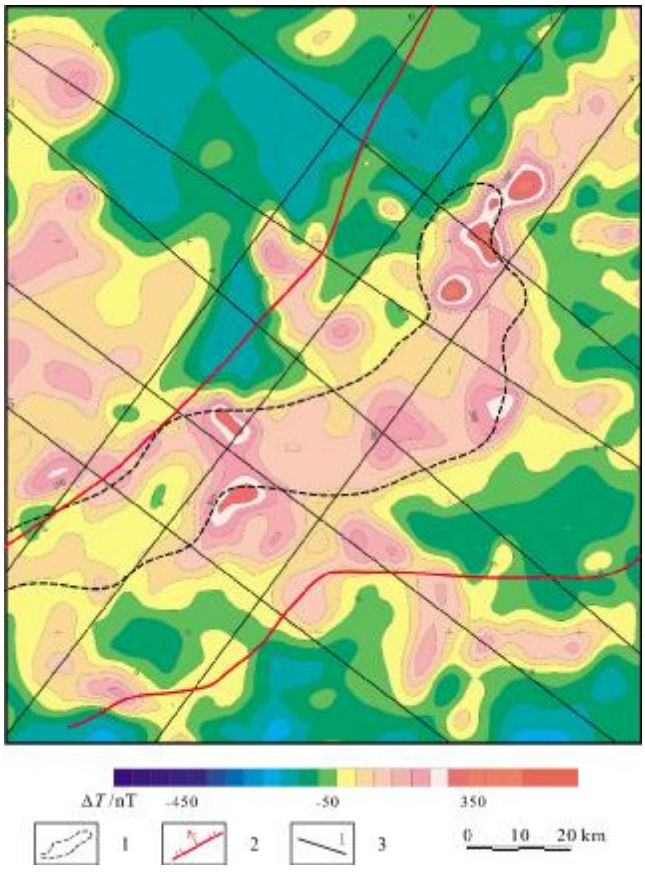

图 2　陆家堡及周边地区航磁异常平面图

Fig. 2　Aeromagnetic anomaly map of Lujiapu and surrounding areas

1—陆家堡凹陷(Lujiapu sag)；2—正断层(normal fault)；3—重磁解释剖面(gravity and magnetic interpretation profile)

区等值线较宽缓，该异常与巴彦塔拉以北的正磁异常类似，地表有侏罗系出露，多处小规模花岗岩侵入地表，磁力高闭合圈附近对应重力低值异常，推测该宽缓正磁异常由磁性花岗岩引起，异常等值线北西侧相对陡、南东侧宽缓，表明此处岩体应向南东倾斜，交力格–新发–兴恩敖包一带的正磁异常表现为一个北东向的异常带，规模大，此处正磁异常为高磁背景上叠加了局部高磁异常，结合重力资料，推测大规模正磁异常主要由磁性花岗岩引起，局部地区可能为花岗闪长岩，凹陷区内还叠加了义县组火山岩的影响。

3 岩石物性特征

地层岩石的物性差异是引起重磁电异常的基本因素，是开展物探工作与综合地质解释的基础，是联系重磁电异常与地质解释的“桥梁”。松辽盆地南部陆家堡地区沉积盖层由白垩系及少量新生界构成，具断拗双层结构，以正常沉积岩为主，部分断陷层火山岩发育。

在梳理、总结前人关于松辽盆地南部的岩石物理参数特征研究成果[29-32]的基础上，对该区岩石物性参数进行统计分析，归纳深部上古生界物性特征及与上下地层、岩体之间的物性差异，为重磁电震综合地质解释提供重要的基础资料。

通过地层岩石物性特征分析，建立研究区垂向上的物性分层，共划分出 6 套物性层和 2 类物性体(图3)。6 类物性层包括：1)泉头组—第四系，为极低密度、弱磁性层，分布于开鲁地区；2)九佛堂组—阜新组，为低密度、弱磁性层，分布于开鲁地区断陷内；3)义县组，

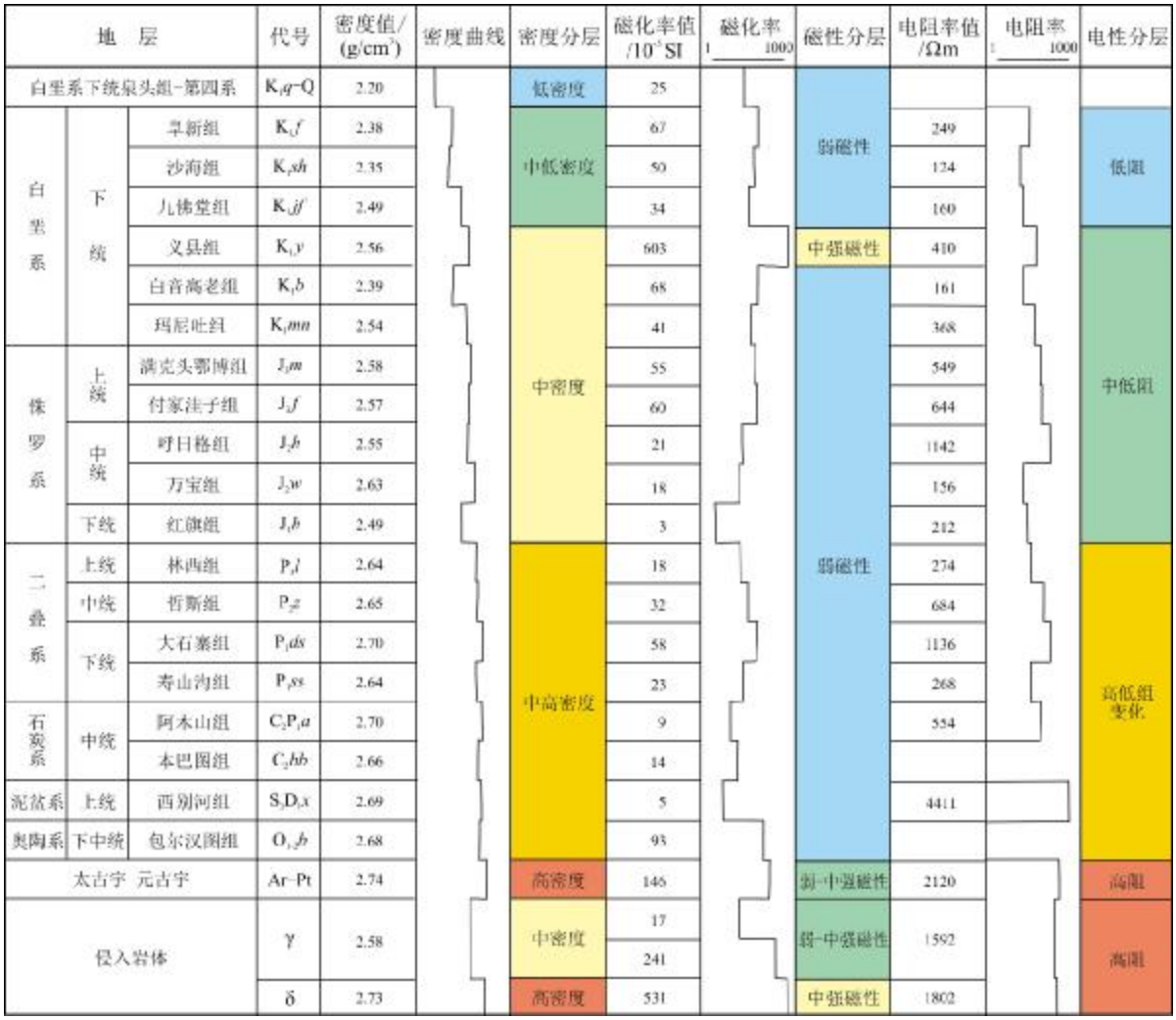

图 3 陆家堡凹陷及邻区地层岩石综合物性直方图

Fig. 3 Comprehensive physical property histogram of strata and rocks in Lujiapu sag and adjacent areas

属中密度、中强磁性层，当正常沉积岩发育时磁性降低,分布于开鲁地区断陷内；4)红旗组—白音高老组,总体表现为中密度、弱磁性层,部分地层当中性火山岩发育时可具一定磁性,分布于扎鲁特地区；5)古生界,总体属中高密度、弱磁性层,个别层位中基性火山岩可具一定磁性；6)太古宇—元古宇,属高密度、弱—中强磁性层. 2 类物性体为:花岗岩类,属中密度、弱—中强磁性体;闪长岩类,为高密度、强磁性体.

4　典型剖面综合地球物理研究

4.1　地球物理多方法联合约束反演-解释技术

地球物理方法在地质勘探中具有重要地位，不同方法所反映的地质体信息存在差异. 单一方法存在多解性,难以提供理想的效果,因为地质体具有多种物性特征. 重力、磁力、大地电磁和地震测量等参数各异,各自揭示地下某一方面的地质信息. 重力场是由不同深度场源引力的叠加作用形成的，主要反映地层体密度的变化,解决平面展布问题. 磁力勘探则主要揭示地质体的磁性变化. 大地电磁勘探反映地质体的电阻率变化,而地震勘探则揭示地质体的介质弹性差异. 地震勘探在纵向分辨率方面具有优势,重力、磁力则在横向分辨力上表现突出. 大地电磁测深在提供横向分辨的同时，也能进行纵向分辨. 综合运用这些地球物理方法,可以更全面地揭示地质体的特征，提高勘探的准确性和可靠性.

通过对物性进行系统的研究,结合重力、磁力剖面和平面数据的系统处理,开展了重、磁综合物探反演技术应用研究. 在此过程中,确定了地质模型和地质-地球物理模型的构建. 根据在陆家堡凹陷建立的地质地球物理模型,进行了全区的重磁综合剖面应用研究,重新研究和认识了全区断裂发育特征、构造特征等,并了解了研究区的隆凹格局. 同时,推测了义县组、古生界顶底面的深度及厚度特征.

整体思路是以岩石物性差异为桥梁，利用地震的浅部地质信息和大地电磁的深部信息来构建剖面构造格架和地层结构. 这些信息也被用作重力和磁力反演的初始地质模型. 参考区域物性特征和差异,对重力异常进行了密度反演,对磁异常进行了磁性反演. 基于重力异常的特征,进行反演调整和修改,从而得到了接近实际地质情况的地球物理综合模型(图 4).

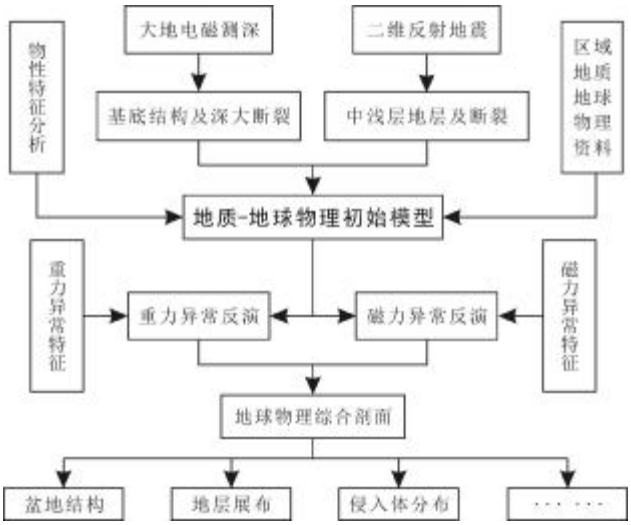

图 4　地球物理多方法联合约束反演-解释技术流程

Fig. 4　Flowchart of integrated geophysical inversion-interpretation techniques

4.2　典型剖面地质-地球物理综合解释

为了进一步明确陆家堡地区深层地质结构，本研究对穿过松辽盆地南部地区的一条重磁电长剖面开展了综合解释. 剖面贯穿于开鲁地区,其走向从北西至南东展布，整体长度约为 280 km. 该测线途经了多个地质凹陷,依次为陆家堡凹陷、八仙筒凹陷、芒汉凹陷、龙湾筒凹陷、甘旗卡凹陷以及张强凹陷(图 5).

通过对重力剩余异常的分析，可以发现剖面在整体上表现出高低交错的特征，揭示了深部地层存在的显著起伏变化,并且显示出多个凹陷的存在. 值得注意的是,在剖面的最东端,重力异常达到了最高值. 在磁力异常方面,共检测到了 9 个磁性体. 通过与重力异常的对比分析，可以推断出这些磁性体中的大部分属于低密度类型,而仅有 2 个磁性体表现为高密度特征. 这一发现为进一步的地质解释提供了重要的物探依据.

重磁反演剖面显示，浅部低密度弱磁性层为中新生界盖层,厚度小于 1 km,中部高密度弱磁性层反映了古生代地层分布特征. 在大兴安岭地区,古生代地层呈现出西低东高、西厚东薄的特点. 而在松辽盆地,古生代地层起伏明显,且被断裂切割成多个凹陷,凹陷内地层密度和磁性交替变化. 其中,陆家堡凹陷为西超东断的箕状凹陷,古生界顶面埋深较浅;八仙筒凹陷为双断式凹陷,古生界底面较深. 其他凹陷如芒汉、龙湾筒和甘旗卡凹陷，古生代地层深度和厚度变化较大. 赤

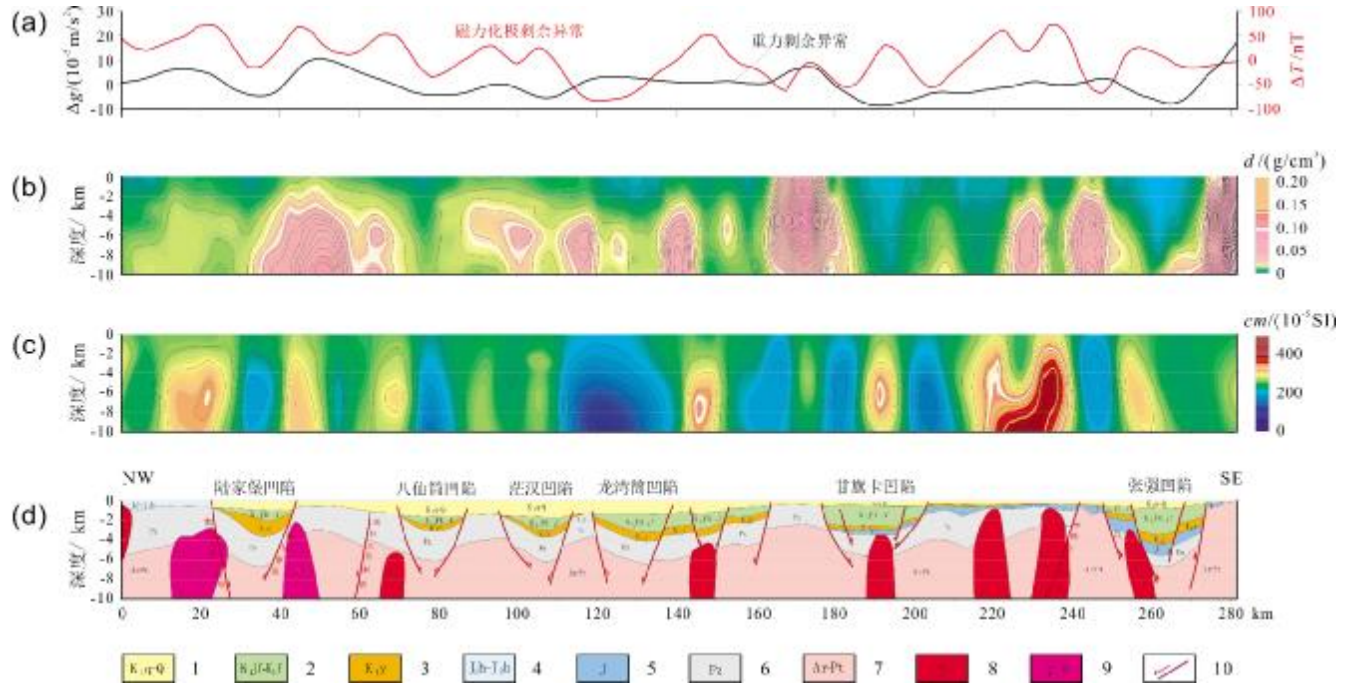

图 5 测线 III 地质-地球物理综合解释剖面

Fig. 5 Geological-geophysical comprehensive interpretation profiles along No. III exploratory line

a—重磁异常曲线(gravity and magnetic anomaly curves); b—三维反演视密度(3D inversion of apparent density); c—三维反演视磁化率(3D inversion of apparent magnetic susceptibility); d—地质解释剖面(geological interpretation profile); 1—侏罗系泉头组-第四系(Jurassic Quantou fm. to Quaternary); 2—九佛堂组-阜新组(Jiufotang fm. to Fuxin fm.);3—义县组(Yixian fm.); 4—红旗组-白音高老组(Hongqi fm. to Baiyingaolao fm.); 5—侏罗系(Jurassic); 6—古生界(Paleozoic); 7—太古宇-元古宇(Archaean-Proterozoic); 8—花岗岩(granite); 9—花岗闪长岩(granodiorite); 10—正断层(normal fault)

峰-开原断裂南侧地区高密度体发育，义县组和古生界地层在张强凹陷内发育，表现出中间低两边高的特征. 整体来看,古生界地层的厚度和变化特征主要受到断裂的控制. 这些发现为研究区的地质演化和构造特征提供了重要依据.

重磁异常数据与三维反演断面图的综合解析揭示,剖面沿线岩体较为发育. 通过重磁异常比对及三维地质反演分析，基本明确了沿线共存在 7 个花岗岩体和 2 个花岗闪长岩体. 两个花岗闪长岩体分别位于陆家堡凹陷的两侧，这些岩体多数已侵入到古生代地层内部.

剖面中明显反映出多处断裂构造，其中 25 km、60 km 以及 240 km 处断裂规模较大,研究表明它们分别与嫩江-八里罕断裂、西拉木伦河断裂以及赤峰-开源断裂相对应.

5 深部地层构造及厚度特征

根据现有地质和地球物理勘探资料的分析，松辽盆地南部上古生界的顶面埋深变化较大. 值得注意的是，本区域内钻遇石炭-二叠系地层的钻井数量相对较少,且迄今为止,尚未有钻井能够完全穿透石炭-二叠系，仅依赖钻井资料无法准确标定古生界顶面和底面的埋深；而地震资料中，T5 以下反射信息表现较弱,且资料品质相对较差,难以仅通过地震资料来精确获取古生界底面的埋深数据. 然而，值得欣喜的是,地震资料中 T1—T5 构造层的反射特征清晰，且资料品质优良,为我们提供了宝贵的浅层地质信息. 而地面观测的重磁电异常是地下深部各种异常体的综合反映，通过面积重磁勘探可以有效地揭示深层地质体物性的横向变化，为深层构造研究提供区域隆拗结构和断裂分布信息. 因此制定利用重磁电震联合研究、综合解释方法获取古生界顶、底埋深的思路.

地面实际测量的重磁异常反映了地下中、浅部与深部地质体的综合叠加效应. 通过地震 T1—T5 构造层数据和钻井资料,可以较为精确地获取中、浅层地质体或界面的信息. 利用重力正演方法，能够计算出 T5

以上地质体所产生的重力效应，进而从实际布格重力异常中剔除这部分效应.这样处理后,便可以分离出反映上古生界顶面附近岩性和深部地层的重力响应,随后进一步分离出深部重力效应，从而计算出上古生界地层和岩性的重力效应.

如图 6 所示，研究区域内古生界顶面的埋深主要分布在 0.5~5 km 的范围内.其中,陆家堡凹陷、八仙筒凹陷、茫汉凹陷和白音花凹陷内的埋深相对较大.在陆家堡凹陷中,古生界顶面呈现出西浅东深的趋势,凹陷东部埋深相对较大.特别是在交力格、乌拉格台等地区,存在多个凹陷中心,其中最深处的埋深约 5 km,位于交力格附近.八仙筒凹陷和芒汉凹陷内古生界顶面的埋深在 1.5~3.5 km 之间，最大顶深分别为 3 km 和 3.5 km.而位于北部的白音花凹陷规模较小,其古生界顶面的埋深相对较浅,最大深度为 2.5 km.通过上述分析,不仅能够更清晰地了解研究区域内古生界顶面的埋深分布特征，还能够为后续的地球物理勘探和地质研究提供重要的参考依据.

图 6　上古生界顶面深度图

Fig. 6　Depth contour map of the Upper Paleozoic top

1—陆家堡凹陷(Lujiapu sag)；2—正断层(normal fault)；3—重磁解释剖面(gravity and magnetic interpretation profile)；4—等值线 (contour line)

本研究区域内，古生界底面的构造主要呈东北走向,自北西至南东显现出明显的地势起伏特征.具体而言，位于研究区西北部嫩江八里罕断裂以西的古生代地层,其底面起伏相对平缓,深度大致保持在 4~7.5 km 的范围内，其中最深处可观测到位于研究区西北角的扎鲁特旗附近.相对地,嫩江八里罕断裂以东的古生界底面则呈现出更为显著的起伏变化,其深度在 3~7 km 间波动,最大埋深出现在研究区中部的陆家堡凹陷内,达到 7.5 km.而在陆家堡凹陷的南部,即陆东断裂与西拉木伦河断裂之间的地带，古生界底面的埋深则相对较浅,深度范围在 3~4.5 km 之间.进一步向南,西拉木伦河断裂以南的古生界底面在八仙筒凹陷和芒汉凹陷内展现出较大的埋深,最大深度可达 6 km,而两个凹陷之间的区域则相对较浅，最浅处深度仅为 3 km.值得注意的是,研究区内中酸性岩体的发育较为显著.在陆家堡凹陷的北部和中部,以及芒汉凹陷的北部地区,均可见到花岗岩体的侵入现象，局部地区还发育有花岗闪长岩,这些岩体主要沿着断裂带分布(图 7).

从古生界地层的残余厚度图(图 8)中,可知古生界残余厚度一般在 2~5.5 km 之间,整体上呈现出西北部较厚、东南部较薄的趋势.在香山-十间房-保安一带,地层的厚度达到最大值,为 5.5 km.而最薄处则位于陆家堡凹陷东部，仅残余 2 km 厚的地层.在南部的八仙筒凹陷和芒汉凹陷内，古生界地层的厚度相对较小,大约在 2.5~3 km 的范围内.

6　结论

针对松辽盆地南部深层复杂的构造地质条件,根据区域地球物理场特征，以岩石物性差异研究与认识为出发点,综合重磁电震等方法的技术优势,研究了松辽盆地南部陆家堡及其周边区域的深层上古生界油气地质条件,编制了该区上古生界构造、厚度分布图,为本区深层系古生界油气勘探部署提供了必不可少的地球物理研究成果.

(1)针对复杂的地质背景,利用地震方法在刻画深部地层顶界面时的精确性，辅以重力和磁力方法确定地质体隆凹格局和断裂构造、深部岩体发育特征,再结合电法在深部指示沉积岩层的低阻层的识别,来深入

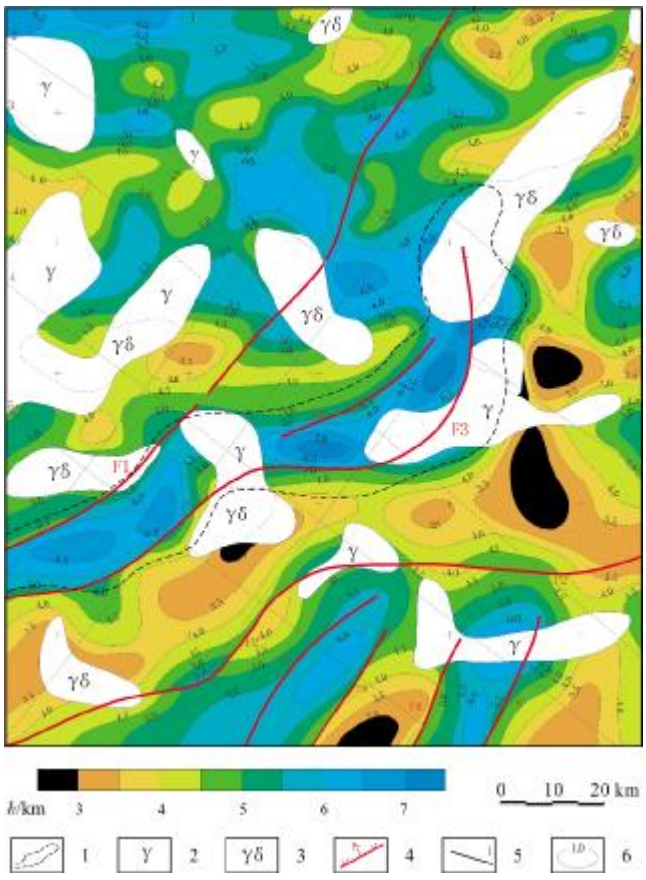

图 7 古生界底面深度图

Fig. 7 Depth contour map of the Paleozoic bottom

1—陆家堡凹陷（Lujiapu sag）；2—花岗岩（granite）；3—花岗闪长岩（granodiorite）；4—正断层（normal fault）；5—重磁解释剖面（gravity and magnetic interpretation profile）；6—等值线（km）（contour line）

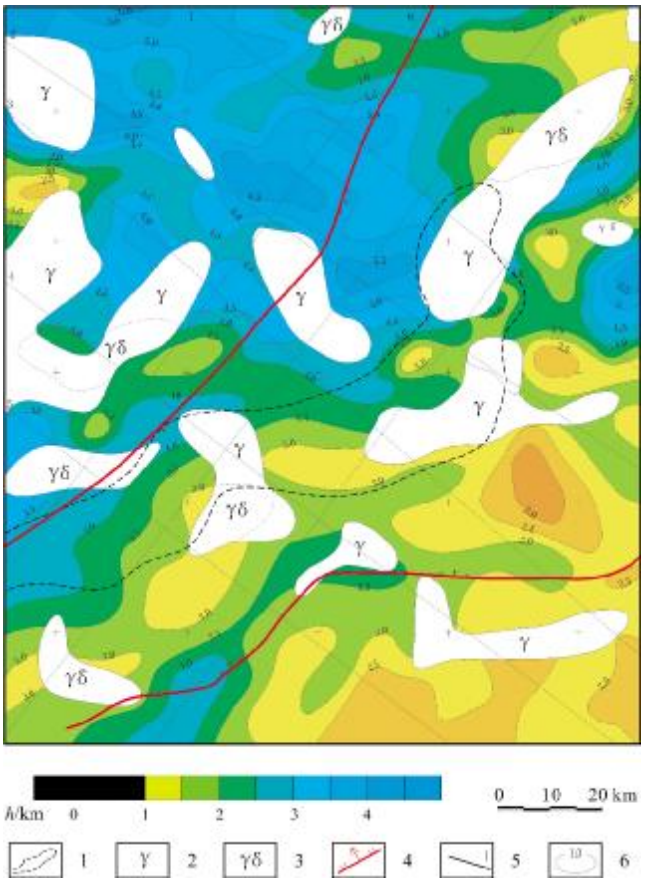

图 8 古生界残余厚度图

Fig. 8 Residual thickness contour map of the Paleozoic

1—陆家堡凹陷（Lujiapu sag）；2—花岗岩（granite）；3—花岗闪长岩（granodiorite）；4—正断层（normal fault）；5—重磁解释剖面（gravity and magnetic interpretation profile）；6—等值线（km）（contour line）

探究深部目标层系的发育特征. 该方法是目前针对深层系勘探的一种可以借鉴的技术思路.

（2）研究区内断裂走向以北东向为主，其中嫩江–八里罕断裂和西拉木伦河断裂为区内的 2 条深大断裂，分别为松辽盆地西部边界断裂和松嫩地块与华北板块的分界断裂. 其余断裂为控凹断裂，控制了研究区中生界凹陷分布.

（3）研究区内深部中酸性岩体较发育. 在陆家堡凹陷的北部和中部，以及芒汉凹陷的北部地区，均可见到花岗岩体的侵入现象，局部地区还发育有花岗闪长岩. 这些岩体主要沿着断裂带分布.

（4）研究区古生界顶面的埋深主要分布在 0.5~5 km 的范围内，底面深度大致分布在 4~7.5 km 的范围内，其中陆家堡凹陷、八仙筒凹陷、茫汉凹陷和白音花凹陷内的埋深相对较大. 古生界残余厚度一般在 2~5.5 km 之间，整体上呈现出西北部较厚、东南部较薄的趋势.

参考文献（Reference）：

[1]国土资源部油气资源战略研究中心. 东北地区油气资源动态评价[M]. 北京：中国大地出版社，2013.
Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources. Petroleum resources assessment of Northeast China[M]. Beijing: China Land Press, 2013. (in Chinese)

[2]国土资源部油气资源战略研究中心. 东北中—新生代盆地油气资源战略调查与选区[M]. 北京：地质出版社，2013.
Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources. Strategic investigation and selection of oil and gas resources in Mesozoic-Cenozoic basins in Northeast China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013. (in Chinese)

[3]汪新文. 中国东北地区中—新生代盆地构造演化与油气关系[M]. 北京：地质出版社，2007.

Wang X W. Tectonic evolution and its relation with oil and gas of Mesozoic and Cenozoic basins in northeastern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.

[4]高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
Gao R Q, Cai X Y. Formation conditions and distribution of oil and gas fields in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. (in Chinese)

[5]蒙启安, 白雪峰, 张文婧, 等. 松辽盆地北部西部斜坡石油成藏特征与勘探实践[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(2): 236-246.
Meng Q A, Bai X F, Zhang W J, et al. Accumulation and exploration of petroleum reservoirs in west slope of northern Songliao Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(2): 236-246.

[6]郑月娟, 张健, 张德军, 等. 松辽盆地及外围上古生界发育特征与油气资源前景[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2020.
Zheng Y J, Zhang J, Zhang D J, et al. Developmental characteristics of the paleozoic and petroleum resource prospects of the Songliao Basin and its adjacent areas[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2020. (in Chinese)

[7]张君峰, 许浩, 赵俊龙, 等. 中国东北地区油气地质特征与勘探潜力展望[J]. 中国地质, 2018, 45(2): 260-273.
Zhang J F, Xu H, Zhao J L, et al. Geological characteristics and exploration potential of oil and gas in the northeast area of China[J]. Geology in China, 2018, 45(2): 260-273.

[8]陈树旺, 丁秋红, 郑月娟, 等. 松辽盆地外围新区、新层系——油气基础地质调查进展与认识[J]. 地质通报, 2013, 32(8): 1147-1158.
Chen S W, Ding Q H, Zheng Y J, et al. New areas and series of strata on the periphery of Songliao Basin: The progress and recognition based on foundational geological survey for oil and gas resources[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(8): 1147-1158.

[9]陈树旺, 张健, 郑月娟, 等. 松辽盆地西部斜坡区上古生界油气地质调查进展与发现[J]. 中国地质调查, 2019, 6(1): 1-9.
Chen S W, Zhang J, Zheng Y J, et al. Progresses and discoveries of geological survey on oil and gas resources related to the Upper Paleozoic in the western slope of Songliao Basin[J]. Geological Survey of China, 2019, 6(1): 1-9.

[10]陈树旺, 许光, 杨建国, 等. 松辽盆地及外围油气资源基础地质调查——"十三五"阶段进展与未来工作展望[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 221-231, 248.
Chen S W, Xu G, Yang J G, et al. Foundational geological survey for oil and gas resources in Songliao Basin and its periphery areas: Progress and prospect[J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 221-231, 248.

[11]张健, 卞雄飞, 陈树旺, 等. 大兴安岭中南部上二叠统林西组页岩气资源前景[J]. 地质通报, 2013, 32(8): 1297-1306.
Zhang J, Bian X F, Chen S W, et al. Shale gas resources prospect of late Permian Linxi Formation in the middle-southern part of the Da Hinggan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(8): 1297-1306.

[12]张抗. 中国大北方上古生界油气勘探新领域(代序)[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 803-810.
Zhang K. New domain of Upper Paleozoic hydrocarbon exploration in "Large North" of China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6): 803-810.

[13]任收麦, 乔德武, 张兴洲, 等. 松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区研究进展[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 197-204.
Ren S M, Qiao D W, Zhang X Z, et al. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area in the Upper Paleozoic of Songliao Basin and surrounding area, NE China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 197-204.

[14]张兴洲, 周建波, 迟效国, 等. 东北地区晚古生代构造-沉积特征与油气资源[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(5): 719-725.
Zhang X Z, Zhou J B, Chi X G, et al. Late Paleozoic tectonic-sedimentation and petroleum resources in northeastern China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38(5): 719-725.

[15]张抗. 东北地区油气领域接替形势展望(代序)[J]. 地质通报, 2013, 32(8): 1141-1146.
Zhang K. The prospect of the development of oil and gas exploration in Northeast China (in lieu of preface)[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(8): 1141-1146.

[16]余和中, 蔡希源, 韩守华, 等. 松辽盆地石炭—二叠系烃源岩研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 62-66.
Yu H Z, Cai X Y, Han S H, et al. The Carboniferous-Permian source rocks in the Songliao Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(2): 62-66.

[17]张永生, 王延斌, 卢振权, 等. 松辽盆地及外围地区石炭系—二叠系烃源岩的特征[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 214-220.
Zhang Y S, Wang Y B, Lu Z Q, et al. Characteristics of source rocks from Carboniferous-Permian in Songliao Basin and its peripheral area, northeastern China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 214-220.

[18]杜少波, 文志刚, 温馨, 等. 松辽盆地石炭—二叠系烃源岩评价及构造体系控源[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(11): 12-13,51.
Du S B, Wen Z G, Wen X, et al. Evaluation of source rocks in Carboniferous and Permian and source control in the tectonic system of Songliao Basin [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2015, 12(11): 12-13, 51. (in Chinese)

[19]高岩冰. 松辽盆地石碳—二叠系烃源岩评价[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(2): 87-88.
Gao Y B. Evaluation of Carboniferous-Permian source rocks in Songliao Basin[J]. West-China Exploration Engineering, 2022, 34(2): 87-88. (in Chinese)

[20]张健，张海华，陈树旺，等. 松辽盆地北部上二叠统林西组地球化学特征及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2020，50(2)：518-530.
Zhang J，Zhang H H，Chen S W，et al. Geochemical characteristics and geological significance of Upper Permian Linxi Formation in northern Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition)，2020，50(2)：518-530.

[21]孙雷，陈树旺，张健，等. 松辽盆地西部斜坡区上二叠统林西组生烃潜力评价——来自吉白地 2 井的证据[J]. 地质与资源，2021，30(3)：333-340，332.
Sun L，Chen S W，Zhang J，et al. Evaluation on the hydrocarbon generation potential of Upper Permian Linxi Formation in western slope of Songliao Basin：Evidence from JBD-2 well[J]. Geology and Resources，2021，30(3)：333-340，332.

[22]周锡明，何委徽，刘益中，等. 松辽盆地及外围重磁连片处理解释[M]. 北京：科学出版社，2016.
Zhou X M，He W H，Liu Y Z，et al. Interpretation of gravity and magnetic connection in Songliao Basin and its periphery [M]. Beijing：Science Press，2016.(in Chinese)

[23]李成立，陈树民，姜传金. 重磁勘探基础理论与资料处理解释方法[M]. 北京：科学出版社，2015.
Li C L，Chen S M，Jiang C J. Basic theory and data processing and interpretation method of gravity and magnetic exploration [M]. Beijing：Science Press，2015.(in Chinese)

[24]孙月成，李永飞，孙守亮，等. 火成岩覆盖区地震有效成像技术探讨及其在辽西金羊盆地油气调查中的应用[J]. 中国地质，2021，48(5)：1469-1484.
Sun Y C，Li Y F，Sun S L，et al. Effective seismic imaging technology in igneous rock coverage area and its application to oil and gas investigation in Jinyang Basin of western Liaoning[J]. Geology in China，2021，48(5)：1469-1484.

[25]周锡明，任收麦，张兴洲，等. 海拉尔盆地阿拉尔—罕达盖重磁电剖面深部结构特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2013，43(5)：1630-1638.
Zhou X M，Ren S M，Zhang X Z，et al. Deep structural study on gravity-magneto-electricity profile of Alar-Handagai in Hailar Basin and its geological significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition)，2013，43(5)：1630-1638.

[26]李成立，崔瑞华，刘益中. 盆地基底岩性的综合地球物理预测方法——以松辽盆地滨北地区基底岩性预测为例[J]. 地球物理学报，2011，54(2)：491-498.
Li C L，Cui R H，Liu Y Z. Comprehensive geophysical prediction method of basement lithology：Example of Binbei area，Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geophysics，2011，54(2)：491-498.

[27]赵福海，王导丽，张明鹏，等. 松辽盆地北部石炭-二叠系底埋深综合物探预测技术[J]. 矿产与地质，2018，32(1)：116-121.
Zhao F H，Wang D L，Zhang M P，et al. The comprehensive geophysical prediction technique of the bottom buried depth of Carboniferous-Permian in the northern Songliao Basin [J]. Mineral Resources and Geology，2018，32(1)：116-121.

[28]张鹏辉，张小博，方慧，等. 地球物理资料揭示的嫩江-八里罕断裂中段深浅构造特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2020，50(1)：261-272.
Zhang P H，Zhang X B，Fang H，et al. Deep and shallow structural characteristics of middle segment of Nenjiang-Balihan fault based on geophysical data[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition)，2020，50(1)：261-272.

[29]孙月成，周锡明，刘洋，等. 松辽盆地深部上古生界物性特征与典型区勘探实践[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2022，52(6)：1747-1761.
Sun Y C，Zhou X M，Liu Y，et al. Petrophysical characteristics and exploration practice on the deep strata of Upper Paleozoic in Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition)，2022，52(6)：1747-1761.

[30]袁永真，张鹏辉，张小博. 大兴安岭中南段上古生界烃源岩地层的岩石物性特征[J]. 物探与化探，2019，43(4)：778-782.
Yuan Y Z，Zhang P H，Zhang X B. The petrophysical characteristics of Upper Paleozoic source rocks from the central and southern part of the Da Hinggan Mountains[J]. Geophysical & Geochemical Exploration，2019，43(4)：778-782.

[31]袁永真，张鹏辉，张小博. 松辽盆地西部斜坡区上古生界地球物理特征——以通榆断陷为例[J]. 现代矿业，2020，36(2)：8-10.
Yuan Y Z，Zhang P H，Zhang X B. Geophysical characteristics of Permian in the western slope of Songliao Basin：Taking Tongyu fault depression as an example[J]. Modern Mining，2020，36(2)：8-10.

[32]袁永真，方慧，裴发根，等. 松辽盆地上古生界深层系展布特征——来自综合地球物理资料的依据[[J]. 地质与资源，2022，31(3)：395-403.
Yuan Y Z，Fang H，Pei F G，et al. Distribution characteristics of Upper Paleozoic deep strata series in Songliao Basin：Evidence from comprehensive geophysical data[J]. Geology and Resources，2022，31(3)：395-403.