

准噶尔盆地南缘盆地轮廓和构造属性及页岩气战略选区的重磁电勘探研究

屈栓柱¹⁾, 唐宝山²⁾, 张海珠¹⁾, 叶高峰³⁾, 刘志龙⁴⁾

1) 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局地球物理化学探矿大队, 新疆昌吉, 831100;

2) 湖北省地质局地球物理勘探大队, 武汉, 430056;

3) 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京, 100083;

4) 天津地热勘查开发设计院, 天津, 300250

内容提要: 准噶尔盆地油气资源丰富, 位于准噶尔盆地与北天山结合部位的准噶尔盆地南缘, 构造复杂, 地震方法应用效果不理想, 因此利用综合地球物理方法圈定研究区页岩气产出层位二叠系芦草沟组的分布深度与范围。通过 200 块岩石标本物性测量, 获得了研究区主要地层密度、磁化率、极化率及电阻率等物性参数; 研究区主要为沉积岩系, 磁性普遍较弱, 其中二叠系地层较三叠系地层磁性小; 各地层密度差异不大, 其中砂岩密度常见值 $2.61 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、泥岩密度常见值 $2.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、页岩密度常见值 $2.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; 各地层电性特征差异较大, 电阻率特征呈现如下关系: 砂岩 > 泥岩 > 页岩。对实测重力、磁法、大地电磁测深等地球物理数据进行处理及反演, 得到了研究区布格重力异常平面等值线图、磁异常平面等值线图及大地电磁三维反演电阻率结构模型图。研究区东南部主要表现为高布格重力异常、负磁异常特征, 布格重力异常峰值为 $9.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 磁异常峰值为 -100 nT ; 西北部主要表现为低布格重力异常、正磁异常特征, 布格重力异常峰值为 $-12 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 磁异常峰值 280 nT 。MT 三维反演结果显示芦草沟组 a、b 段分别为较高阻和中低阻。芦草沟组总体表现为中低重力、中低电阻、低磁异常特征。结合地质资料, 建立了重磁电综合解释地质剖面。根据断裂破碎带表现为低重力、低电阻、低磁异常特征, 新推断出研究区 8 条逆断层, 并进一步推断了研究区芦草沟组地层空间展布特征, 为下一步勘探井位论证提供了地球物理依据。

关键词: 准噶尔盆地南缘; 综合地球物理方法; 页岩气; 大地电磁测深; 电阻率模型

页岩气是指富存于以富有有机质页岩为主的储集岩系中的非常规天然气(张东晓等, 2013), 页岩气的形成和富集有着自身独特的特点, 往往分布在盆地内厚度较大、分布广的页岩烃源岩地层中(董大忠等, 2011; 王世谦等, 2013; 郝兆栋等, 2018; 熊小辉等, 2018)。美国和加拿大已经开始了页岩气的大规模勘探开发, 特别是美国, 已对密歇根、印第安纳等 5 个盆地的页岩气进行了商业性开采, 使美国由石油进口国转变为石油输出国, 极大的改变了全球油气资源供应格局(吴馨等, 2013; 林文斌等, 2013)。中国作为能源消费大国, 石油天然气资源长期依赖进口, 目前石油对外依存度达到 67% 左右, 中国油气可持续发展的基础在于资源保障, 首先是国内油气的生产和供应。因此加大石油天然气资源勘探开发力度, 保障油气资源供应, 对国内经济社

会发展具有重要意义。

准噶尔盆地地处欧亚大陆构造域边缘, 与特提斯构造域相邻(吴孔友等, 2005), 夹持于哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块、阿尔泰褶皱造山带和天山褶皱造山带之间, 是我国大型含油气盆地之一, 为一复合叠加盆地, 经历了多期构造运动(陈新等, 2002; 康玉柱, 2003; 陈业全等, 2004)。准噶尔盆地南缘众多油气田的相继发现以及北天山山前因挤压所形成的构造带的成排展布, 吸引了大量学者进行了卓有成效的研究(汪新伟等, 2007; 白云来, 2008; 陈正乐等, 2010; 吴俊军等, 2013; 郑金海等, 2015; 李靖, 2015; 熊金红等, 2017), 但对于乌鲁木齐米东区富有机质烃源岩地层空间展布特征及区域构造特征仍需进一步探究。准噶尔盆地南缘冲断带东段位于横跨盆—山结合部位, 以多期侧向挤压作用形成

注: 本文为中央返还两权价款项目“新疆乌鲁木齐市米东区页岩气战略选区调查”(编号: N16-2-LQ28) 的成果。

收稿日期: 2019-01-15; 改回日期: 2019-06-30; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.05.017

作者简介: 屈栓柱, 男, 1982 年生, 高级工程师, 长期从事与地球物理找矿相关的生产和研究工作; Email: 381967187@qq.com。通讯作者: 叶高峰, 男, 1977 年生, 博士, 副教授, 主要从事地球物理勘探教学和研究工作; Email: ygf@cugb.edu.cn。

的冲断推覆构造为主,又兼具走滑扭动成因机制,构造变形强烈复杂;同时地层之间为整合、假整合、不整合等多种接触关系。地震方法对该区复杂的地质状况划分界线较困难、地形影响较大,以往的应用效果较差。本文在收集、分析已有地质资料的基础上,通过多种地球物理勘查方法联合实施,基本查明研究区内地层厚度和变化情况以及构造轮廓,重点是查明地表以下影响富有机质泥岩分布的断裂及褶皱构造发育情况。以往在本区只开展过 1 : 20 万化探、航磁和重力工作,本次应用的大比例尺重、磁、电 (MT) 方法均为新投入的工作,目标是查明研究区内油气构造圈闭情况以及 3500 m 以浅二叠系芦草沟组富有机质泥岩分布范围、厚度、埋深及空间展布特征,为下一步参数井位论证、部署及页岩气评价工作提供依据。

1 地质特征

1.1 地层

研究区出露的地层主要有二叠系井井子沟组 P_{2j} 、二叠系芦草沟组 a 段 P_2l^a 、二叠系芦草沟组 b 段 P_2l^b 、二叠系红雁池组 P_3h 、二叠系—三叠系仓房沟群 P_3T_1c 、三叠系小泉沟群 $T_{2-3}xq$ 、第四系洪积层 Q 等 (图 1)。其中与页岩气选区密切相关的为二叠系芦草沟组 a 段和芦草沟组 b 段。

芦草沟组 (P_2l): 芦草沟组 a 段 (P_2l^a) 为灰黑色碳质泥页岩夹油页岩及多层白云质灰岩、泥灰岩; 芦草沟组 b 段 (P_2l^b) 为黑褐色中细粒砂岩、砂质泥岩与油页岩互层。油页岩及碳质泥页岩十分发育是本组典型特征,其厚度大约 300~550 m,且主要位于该套地层上部。因此,该套地层具有良好的页岩气勘探潜力与条件,是页岩气勘探重点层位。该组最大厚度 1100~1300 m; 与下伏地层井井子沟组整合接触。产孢粉化石组合,双壳类组合,还产有丰富的鱼类、两栖类及介形类化石。

1.2 构造

研究区内褶皱、断裂构造发育,主要有妖魔山背斜和乌鲁木齐向斜,较大断裂构造有妖魔山断裂和三工河断裂。

妖魔山背斜为一断背斜,大致呈北东—南西走向,其轴部在乌鲁木齐市内红山公园处形成一缺口,并由市内的河滩路穿过;该背斜核部为芦草沟组地层,其北西翼北段以逆冲断层与侏罗系相接,南段由红雁池组过渡到仓房沟群,南东翼与乌鲁木齐向斜相接 (汪新伟等, 2007)。乌鲁木齐向斜大致由红雁池水库往北西至石人沟一带,呈北东—南西走向,且由北西向南东倾伏;其北西端翘起较高,导致仓房沟群及以上地层在石人沟一带被侵蚀;向斜核部最新时代的地层为;中—晚三叠世小泉沟群;南东翼与博格达山以逆断层相接,出露相对较窄;北西翼以逆冲断层与侏罗系地层相接,出露相对宽缓;大致为一个背驮式向斜。

妖魔山断裂带位于博格达山北缘山前,为准噶尔盆地南缘区域性断裂,位于博格达山北麓山前,平行博格达山走向,呈弧形展布,控制了一系列大致平行博格达走向发育的断向斜与断背斜,也是乌鲁木齐向斜北西翼的边界断层 (吴孔友等, 2004;汪新伟等, 2007;漆家福等, 2008;臧明峰等, 2009)。三工河断裂位于博格达山北缘,与博格达山走向一致,为一条区域性的大断裂,同时做为褶皱构造带边界断层,与阜康大断裂共同夹持着大黄山一带的背斜与向斜。

2 地球物理特征

2.1 物性特征

对研究区内不同时代的岩石密度、磁化率及电阻率物性等特征进行了标本测量,测定标本总数 200 块,标本规格 6 cm×6 cm×6 cm,浸泡 24 h 后自然风干,之后采用短导线法测定,实测物性参数如表

表 1 实测地层物性参数特征统计表
Table 1 Statistical Table of Characteristics of Physical Parameters of Measured Strata

地层	岩性	数	密度 (10 ³ kg/m ³)		磁化率 (4π×10 ⁻⁶ SI)		视极化率 (%)		视电阻率 (Ω • m)	
			范围	几何值	范围	几何值	范围	几何值	范围	几何值
小泉沟群	砂岩、砾岩	32	2.43~2.69	2.56	21.7~1523.5	176.5	0.163~1.857	0.901	95.1~954.4	501.1
仓房沟群	细砂岩、砾岩	30	2.19~2.78	2.54	16.0~1716.5	168.9	0.111~1.824	0.838	47.4~1414.4	309.2
红雁池组	泥岩、页岩	31	2.32~2.74	2.50	4.17~71.8	22.6	0.171~1.701	0.842	137.2~885.5	399.5
芦草沟组 a 段	页岩	37	2.09~2.85	2.61	8.7~47.7	27.1	0.061~1.122	0.470	223.0~1976.0	804.0
芦草沟组 b 段	泥岩、页岩	44	2.32~2.87	2.54	6.3~101.3	31.8	0.058~2.937	0.945	39.7~2237.7	594.6
井井子沟组	砂岩、泥岩	26	2.47~2.91	2.66	18.17~48.3	31.1	0.107~2.095	0.496	444.9~3169.8	874.8

1. 实测数据显示二叠系地层磁化率较三叠系地层明显偏低,而电阻率明显偏高,密度差异不甚明显,这是由于三叠系小泉沟群及仓房沟群主要岩性为砂岩、砾岩等较大颗粒类沉积岩,二叠系井井子沟组至红雁池组岩性主要为泥岩、页岩等。研究区物性标本测定结果表明,砂岩、泥岩和页岩的磁性差异较小,基本都为无磁性;但密度和电性参数具有一定差

异,密度按砂岩、泥岩和页岩由高到低变化,电阻率则是砂岩、页岩和泥岩由高到低变化。页岩和泥岩的电阻率与有机质含量成正比、密度与有机质含量成反比。

2.2 布格重力异常特征

研究区内重力剖面工作使用 CG-5 高精度微伽重力仪采集,完成有效物理点 311 个,经地形改正、

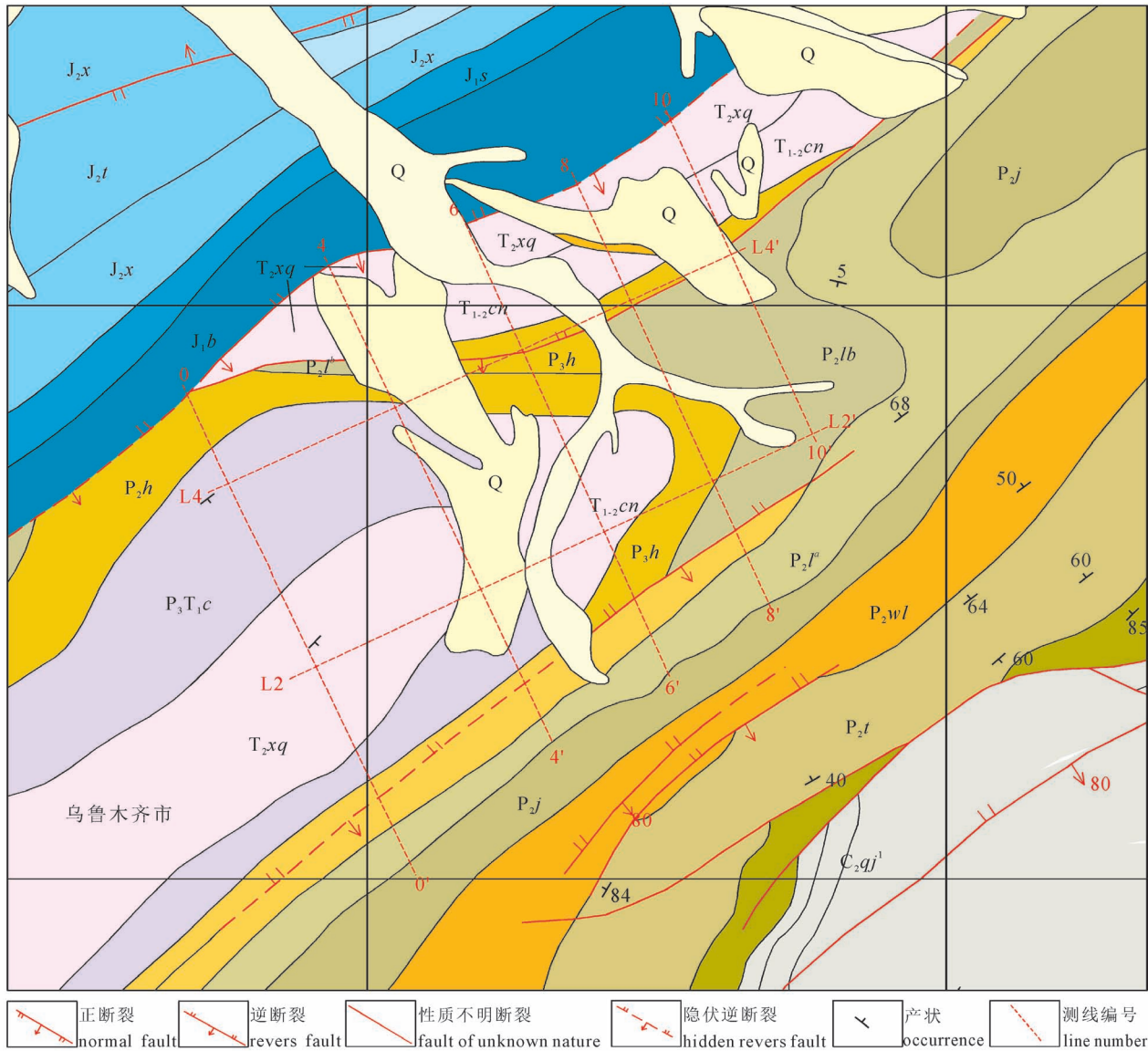


图 1 准噶尔盆地南缘米东区一带地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Midong area in the southern margin of the Junggar Basin

Q—冲、洪积堆积物;J₂t—侏罗系头屯河组;J₂x—侏罗系西山窑组;J₂s—侏罗系三工河组;J₂b—侏罗系八道湾组;T₁₋₂xq—三叠系小泉沟群;P₃T₁c—二叠系—三叠系仓房沟群;P₃h—二叠系红雁池组;P₂lb—二叠系芦草沟组 b 段;P₂la—二叠系芦草沟组 a 段;P₂j—二叠系井井子沟组;P₂wl—二叠系乌拉泊组;P₂t—二叠系塔什库拉组;C₂q¹—石炭系祁家沟组下段

Q—Alluvial and diluvial deposits;J₂t—Jurassic Toutunhe Formation;J₂x—Jurassic Xishanyao Formation;J₂s—Jurassic Sangonghe Formation;J₂b—Jurassic Badaowan Formation;T₂₋₃xq—Triassic Xiaoquangou Group;P₃T₁c—Cangfanggou Group of Permian—Triassic;P₃h—Permian Hongyanchi Formation;P₂wl—Permian Wulabo Formation;P₂t—Permian Tashikula Formation;C₂q¹—Lower segment of Qijiagou Formation of Carboniferous;P₂lb—section b of Lucaogou Formation of Permian;P₂la—section a of Lucaogou Formation of Permian;P₂j—Permian Jingjingzigou Formation;

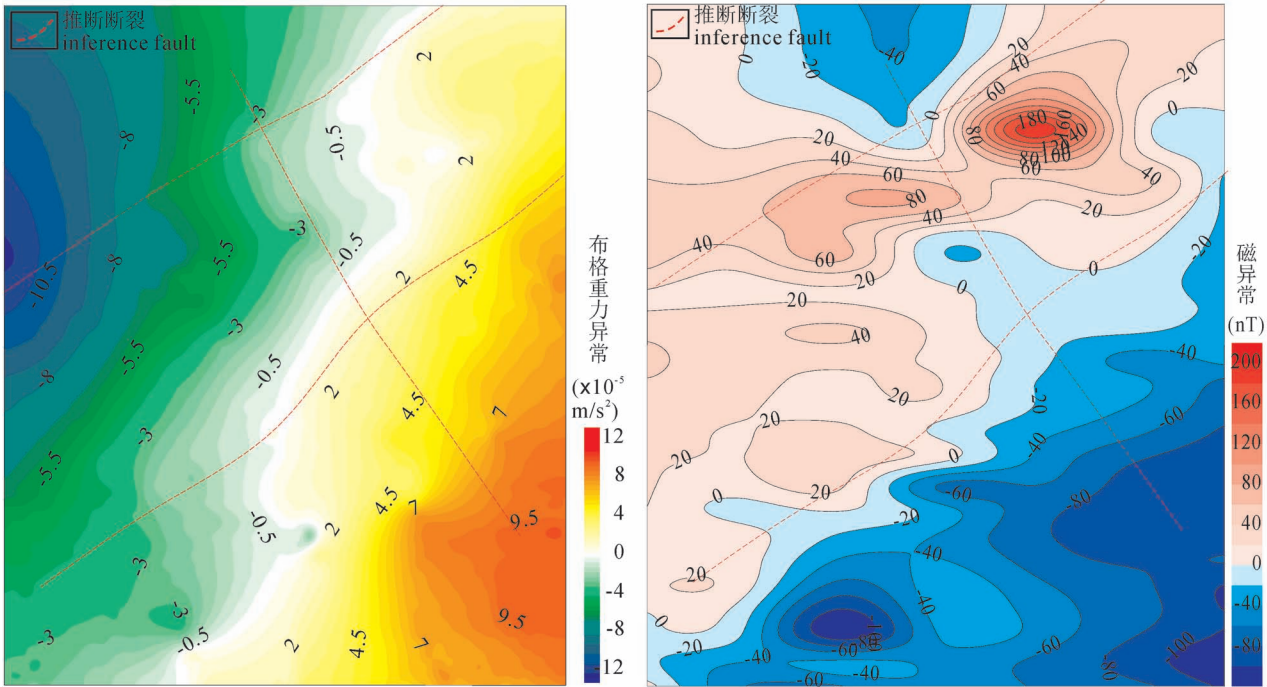


图 2 准噶尔盆地南缘米东区一带重磁异常平面等值线图

Fig. 2 Plane contour map of gravity and magnetic anomalies in Midong area, southern margin of the Junggar Basin

纬度改正、布格改正计算得到研究区布格重力异常平面等值线图(图 2)。

重力测量推断结果与地质图对应较好,工区东南地区接近高山,由于地壳挤压运动导致地层密度升高,基底抬升变厚,呈现出高布格重力异常的形态特征,工区西北地区位于向斜核部则呈现布格重力低异常;局部布格重力异常反应断裂构造及地层界限。

2.3 磁异常特征

研究区内磁测数据采用 ENVI-pro 高精度质子磁力仪采集,原始数据经日变校正、正常场校正、高度改正等计算得到研究区磁异常平面等值线图(图 2),研究区东南部芦草沟组地层表现为负磁异常特征,异常呈片状,磁异常峰值为-171 nT,异常走向大致与地层走向保持一致,推测大片平稳负磁异常为出露地表及隐伏于深部的芦草沟地层所致,而局部负磁异常可能由局部小构造所致。西北部表现为正磁异常,异常呈片状,磁异常峰值 293 nT,异常形态与地层走向保持一致,平缓正磁异常初步推测为红雁池组、仓房沟组、小泉沟组地层磁性反映。东南地区地层出露较好,蚀变作用较强,引起退磁,所以呈现负磁异常,相对于东南部,西北部地表蚀变作用较弱,呈现小幅高磁异常。

由地质、重力、磁法三维立体图(图 3)可知,重

磁测量推断结果与地质图对应较好:研究区西北部芦草沟组地层主要表现为弱磁、低重,反应构造活动较发育;东南部山前表现为高重、负磁,工区东南地区基底抬升地层出露较好,蚀变作用较强磁性变弱,所以呈现负磁异常。

2.4 电磁剖面特征

大地电磁测深野外工作实施的技术标准为原地质矿产部行业标准“大地电磁测深法技术规范”。测点位置由 GPS60 型手持 GPS 定位,水平误差小于 10 m,高程误差小于 100 m,满足定位要求,仪器主机上还有 GPS 模块用于记录点位坐标和测量时间。每个测点测量 E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 四个分量的大地电磁场信号,取磁南北方向为 x 轴,垂直磁南北方向为 y 轴,测点电极距一般为 100 m,采用森林罗盘仪确定方向,方位角误差小于 1° ,采用皮尺确定距离,距离误差小于 1 m。电极埋深大于 50 cm,水平方向磁场传感器埋深大于 30 cm,磁棒间距离大于 3 m,与主机距离大于 20 m,避免了互感和人为干扰。大地电磁测深仪采集频段范围为 320~0.002 Hz 的宽频信号,宽频测点的点距通常为 500 m,单点采集时间不少于 5 h。共完成 133 个 MT 测点,其中数据质量达到优秀(I 级)的测点为 110 个;数据质量达到良好(II 级)的测点为 23 个。此次 MT 测量工作原始数据质量满足规范要求。数据反演工作主要有二维非

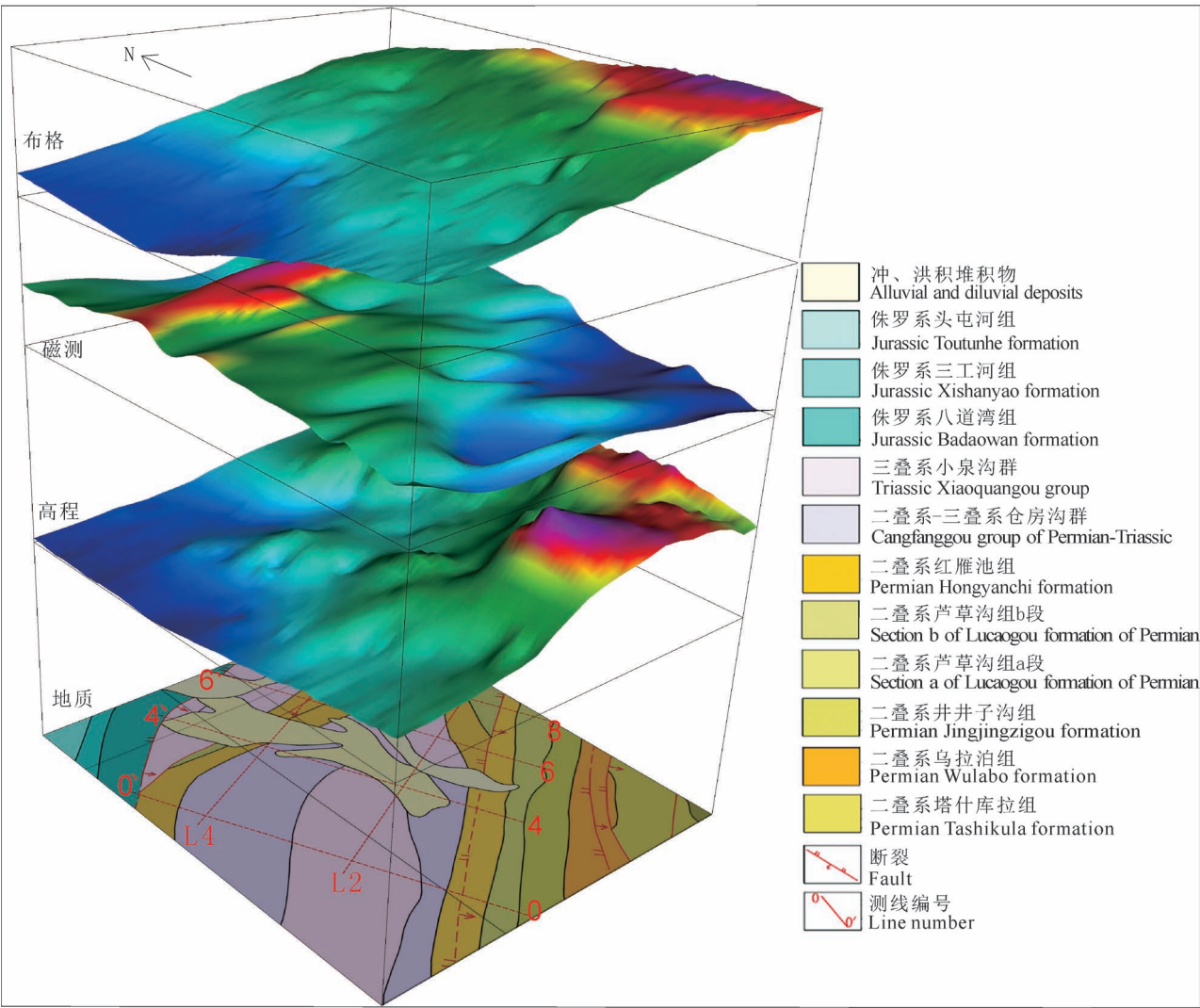


图 3 研究区重力、磁法、高程、地质三维立体图

Fig. 3 Three-dimensional gravity, magnetism, elevation and geology map of the research area

线性共轭梯度反演及三维反演。

MT 三维反演结果如图 4,从水平切片及垂直切片图综合分析, 勘查区中西部的 1500~2500 m 电阻率梯级带为芦草沟组目标层,电阻率异常值主要为 80~150 Ω·m,电阻率差异主要是由于断裂构造及芦草沟组 a、b 段岩性差异引起的。b 段主要为页岩,泥含量较低,电阻率相对较高;a 段主要为砂质泥岩与页岩互层,表现为中低电阻率。芦草沟组地层主要表现为低磁、中低阻、中低重异常的特征。断裂带附近储气条件较差,页岩气较易挥发,断裂破碎带表现为低重低阻低磁异常变化的物探特征。勘查区南部出露区地层相对较老、蚀变较强,储气盖层较差,表现为高重低阻低磁的物探特征。

3 重磁电综合分析

使用 MT 资料推断的模型在重磁联合反演中建模,通过重磁剖面数据结合物性资料统计对模型进行约束、修正,建立重磁电综合解释地质模型。联合反演数据为布格重力异常值和磁测 ΔT 异常。对物性标本统计计算,各地层平均密度为:仓房沟群小泉沟群 2.44×10³kg/m³;红雁池组 2.5×10³kg/m³;芦草沟组 b 段 2.54×10³kg/m³;芦草沟组 a 段 2.6×10³kg/m³;井井子沟组 2.66×10³kg/m³。在联合反演中深部二叠系下统地层平均密度值设为 2.8×10³kg/m³;全区主要为沉积地层,磁性较弱,基本为无磁性或弱磁性,磁化强度基本在 100×10⁻³A/m 以下。

结合物性密度值及磁化率值,对 5 条主剖面及

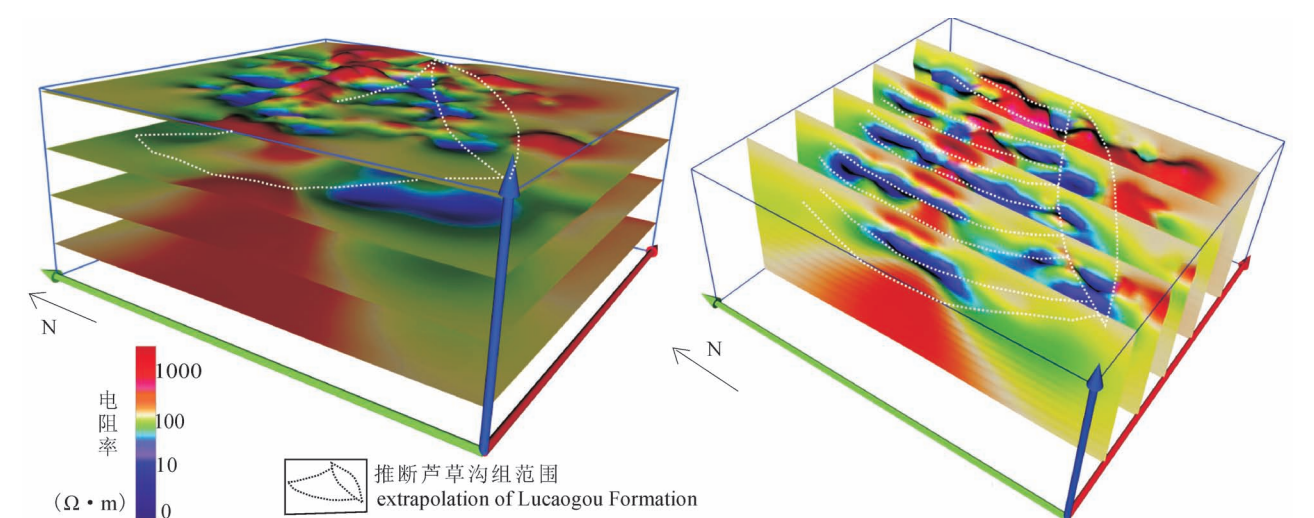


图 4 准噶尔盆地南缘米东区一带 MT 三维反演电阻率水平切片及垂直切片图

Fig. 4 Horizontal and vertical slices of 3-D resistivity inversion from MT in Midong area, southern margin of the Junggar Basin

2 条联络线均进行了反演解释,主参考因素为重力布格异常,磁异常曲线反映构造活动剧烈程度。以 6 号测线及 L4 测线为例进行详细说明。

3.1 6 号主测线

6 号主测线长 9 km,主要出露地层由北向南分别为八道湾组、小泉沟群、仓房沟群、红雁池组、芦草沟组 b 段、芦草沟组 a 段、井井子沟组,整体北倾。如图 5 重力值由北向南呈现逐渐升高的趋势,异常幅值最大为 $13\times10^{-5}\text{m/s}^2$ 。

由反演推断模型图上可以看出,地形由北向南呈现逐渐抬升的趋势。该线磁异常强度由北向南逐渐减弱,中部磁异常强度变化比较平稳,磁异常最大值 100 nT。经重磁联合反演结果可知该线地层近水平层状展布,各地层整合接触,其倾向受断裂及南部侵入岩体控制。该线 1500~2500 点,主要表现为相对高磁异常,磁异常强度最高可达 140 nT,推测异常主要由含磁铁矿颗粒的仓房沟群的地层所致,中部磁异常相对较平稳,根据重磁联合反演结果可知该处地层受两个断裂破碎带控制。

3.2 L4 号联络线

L4 号联络线长 10.5 km,位于勘查区中北部,主要出露地层由北向南分别为八道湾组、小泉沟群、仓房沟群、红雁池组、芦草沟组 b 段、芦草沟组 a 段和井井子沟组。如图 6 重力值由西向东呈现逐渐升高的趋势,布格重力异常幅值最大为 $12.4\times10^{-5}\text{m/s}^2$ 。磁异常较弱,异常峰值在 72 nT。

由反演模型图上可以看出,地层密度由北向南呈现逐渐升高的趋势。剖面北部地层主要为仓房沟

群呈“碗”状,最厚段约 800 m,密度为 $2.4\times10^3\text{kg/m}^3$;红雁池组厚度约为 700 m,密度为 $2.45\times10^3\text{kg/m}^3$;芦草沟组 b 段厚度约为 400 m,密度为 $2.5\times10^3\text{kg/m}^3$;芦草沟组 a 段厚度约为 400 m,密度为 $2.55\times10^3\text{kg/m}^3$ 。

中部出露地层主要为红雁池组,厚度约为 1000 m,密度为 $2.5\times10^3\text{kg/m}^3$;芦草沟组 b 段厚度约为 500 m,密度为 $2.55\times10^3\text{kg/m}^3$;芦草沟组 a 段厚度约为 400 m,密度为 $2.6\times10^3\text{kg/m}^3$;井井子沟组厚约 700 m,密度为 $2.7\times10^3\text{kg/m}^3$ 。中部及东侧发育有两向东倾逆断裂,中部断裂贯穿芦草沟组;东侧断裂贯穿二叠系中统作为中部和东部的分界。

东部出露地层主要为红雁池组,厚度约为 200 m,密度为 $2.45\times10^3\text{kg/m}^3$;芦草沟组 b 段厚度约为 400 m,密度为 $2.5\times10^3\text{kg/m}^3$;芦草沟组 a 段厚度约为 500 m,密度为 $2.55\times10^3\text{kg/m}^3$;井井子沟组厚约 700 m,密度为 $2.7\times10^3\text{kg/m}^3$ 。

4 控制断裂展布特征

通过重磁电综合推断,研究区断裂主要为北东向,与地层走向一致,且由于挤压应力作用均表现为逆断层。此次综合物探方法在研究区内新发现 8 条断裂,编号为 F_{16-1} 至 F_{16-8} 。按照控制程度分为:可靠断裂 4 条(F_{16-1} 、 F_{16-2} 、 F_{16-5} 、 F_{16-7})、较可靠断裂 3 条(F_{16-3} 、 F_{16-6} 、 F_{16-8})及控制较差断裂 1 条(F_{16-4}),详情见表 2。推断断裂分布见图 7。

5 芦草沟组地层空间分布特征

通过对反演剖面的分析研究,芦草沟地层从西

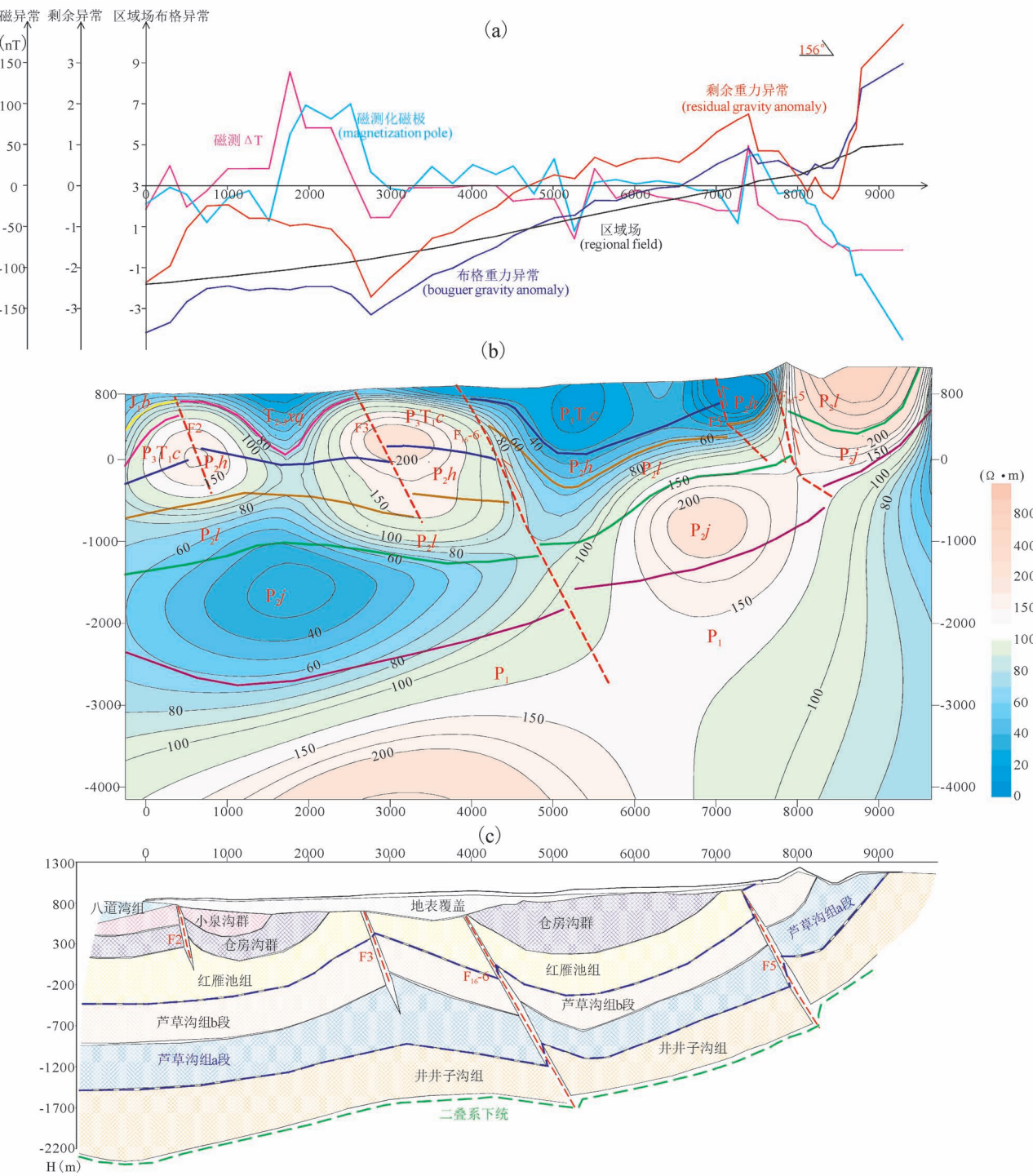


图 5 6 线重、磁、电推断地质模型：(a) 重磁综合曲线；(b) 电磁法剖面；(c) 综合推断模型

Fig. 5 Geological model of 6 line gravity, magnetoelectric inference：

(a) gravity—magnetic composite curve；(b) electromagnetic profile；(c) synthetic inference model

到东依次抬升,0 线、4 线、6 线中部芦草沟组地层埋深较深,岩石裂隙不甚发育,形成一向斜构造,构造环境相对稳定,芦草沟组上部盖层封闭性较好,生气储气条件有利。芦草沟组地层空间展布特征如图 8

所示。

6 结论

(1) 通过资料、成果综合推断解释,重磁联合反

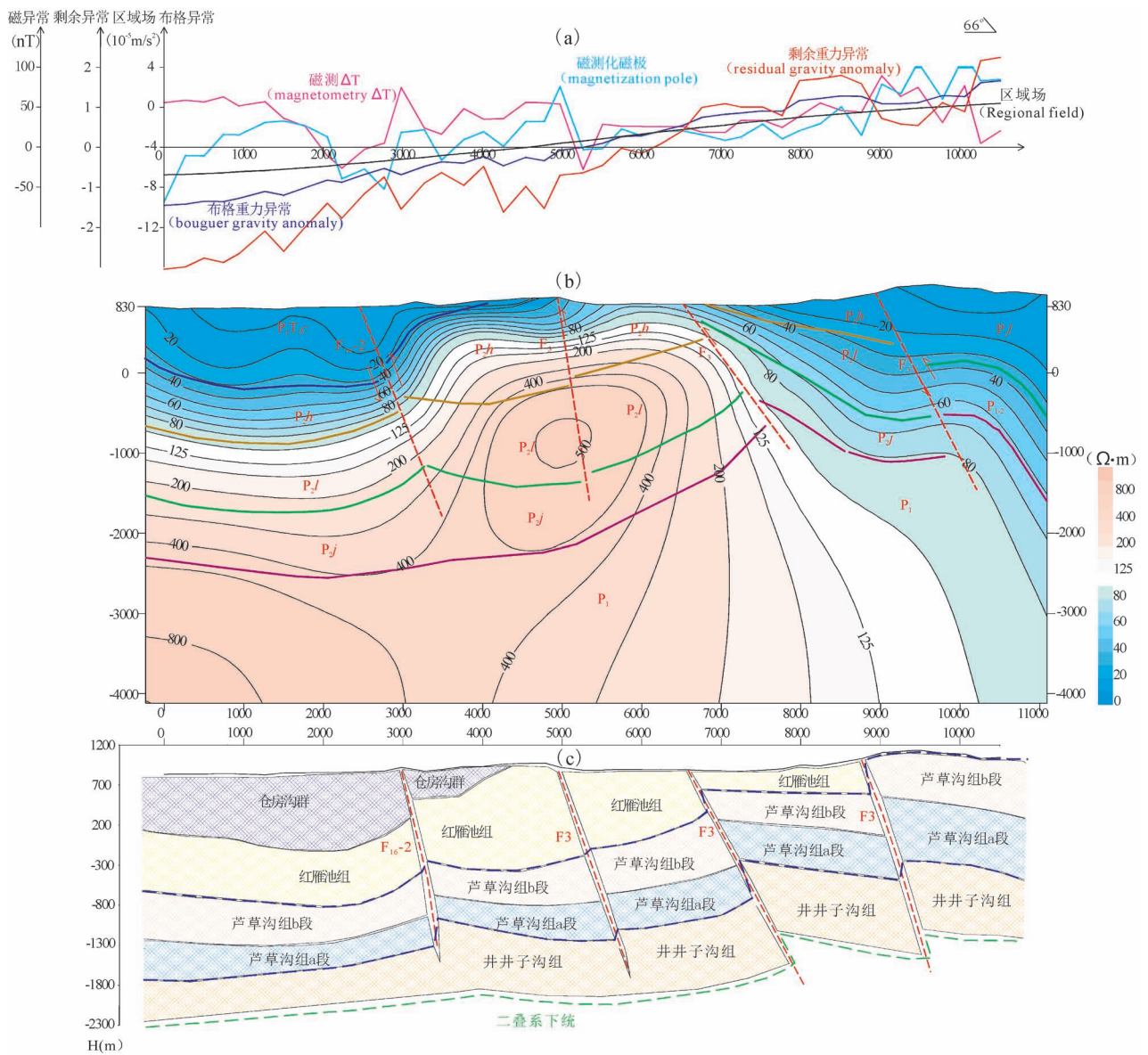


图 6 L4 线重、磁、电推断地质模型:(a) 重磁综合曲线;(b) 电磁法剖面;(c) 综合推断模型

Fig. 6 Geological model of L4 line gravity, magnetoelectric inference;

(a) gravity—magnetic composite curve; (b) electromagnetric profile; (c) synthetic inference model

表 2 研究区断层控制一览表								
Table 2 A list of fault control in the study area								
编号	性质	产状			落差 (m)	延伸长 度(km)	断层 依据	可靠性
		走向	倾向	倾角(°)				
F ₁₆ -1	逆	EW	S	75~85	约 500	>5	重磁电	可靠
F ₁₆ -2	逆	EW	S	75~85	0~500	1	重磁电	可靠
F ₁₆ -3	逆	NE	NNE	80~90	0~500	3	重电	较可靠
F ₁₆ -4	逆	NE	NNE	60~70	0~300	2	重电	较差
F ₁₆ -5	逆	NE	NNE	75~85	0~500	>5	重磁电	可靠
F ₁₆ -6	逆	NNE	SE	65~75	约 500	>5	重电	较可靠
F ₁₆ -7	逆	NNE	SE	55~65	约 500	>5	重磁电	可靠
F ₁₆ -8	逆	NNE	SE	55~65	0~500	>5	重电	较可靠

演结果和 MT 反演结果契合度较高,反映了勘查区地层基本分布和形态特征,其中芦草沟组地层比较完整,封闭性较好,具有良好的储气条件。

(2) 在剖面综合分析中,0 线、4 线、6 线中部 1200 m 以下、L2 线西部 1000 米以下和 L4 线西部 1000 m 以下区域,地层比较完整,构造活动较少,有较好的储气环境,可能有页岩气的存在,建议开展下一步工作进行验证。

(3) 重磁电异常显示勘查区中西部 1000 m 以下具有较好的含气指示物探异常特征,显示该区具有油气资源的前景。

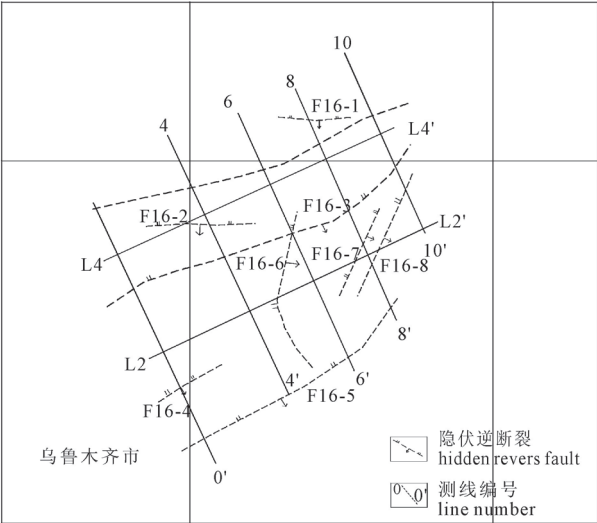


图 7 准噶尔盆地南缘米东区一带重磁电推断断裂层
Fig. 7 Tectonic faults inferred by gravity, magnetoelectricity in Midong area, southern margin of the Junggar Basin

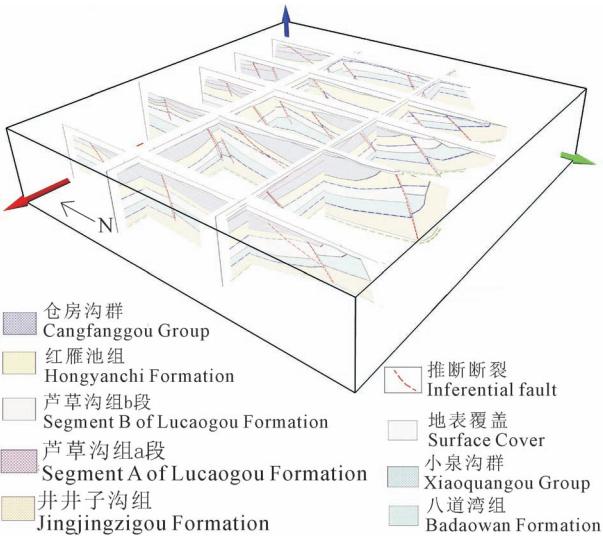


图 8 准噶尔盆地南缘米东区一带各地层空间展布特征
Fig. 8 Spatial distribution characteristics of strata in Midong area, southern margin of the Junggar Basin

致谢：评审专家们在论文评审过程中提出了诸多宝贵意见和建议,在此表示诚挚的谢意。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
白云来. 2008. 准噶尔盆地东南缘油页岩的开发前景. 新疆石油地质, 29(4): 462~465.

陈新, 卢华复, 舒良树, 王惠民, 张国清. 2002. 准噶尔盆地构造演化分析新进展. 高校地质学报, 8(3): 257~267.

陈业全, 王伟峰. 2004. 准噶尔盆地构造动力学过程. 地质力学学报, 10(2): 155~164.

陈正乐, 鲁克政, 王果, 陈柏林, 王国荣, 郑恩玖, 崔玲玲, 丁文君. 2010. 准噶尔盆地南缘新生代构造特征及其与砂岩型铀矿成矿作用初析. 岩石学报, 26(2): 457~470.

董大忠, 邹才能, 李建忠, 王社教, 李新景, 王玉满, 李登华, 黄金亮. 2011. 页岩气资源潜力与勘探开发前景. 地质通报, 30(2~3): 324~336.

康玉柱. 2003. 准噶尔盆地天山山前油气前景展望. 新疆地质, 21(2): 163~166.

李靖, 赵明. 2015. 吐哈盆地中侏罗统西山窑组页岩气成藏条件分析. 地质评论, 61(增1): 233~234.

林文斌, 刘滨. 2013. 北美页岩气政策研究及启示. 清华大学学报(自然科学版), (4): 437~441+446.

漆家福, 陈书平, 杨桥, 于福生. 2008. 准噶尔—北天山山前过渡带构造基本特征. 石油与天然气地质, 29(2): 252~282.

汪新伟, 汪新文, 马永生. 2007. 准噶尔盆地南缘褶皱—冲断带的构造变换带特征. 石油与天然气地质, 28(3): 345~356.

王世谦, 王书彦, 满玲, 董大忠, 王玉满. 2013. 页岩气选区评价方法与关键参数. 成都理工大学学报(自然科学版), 40(6): 609~620.

吴俊军, 游利萍, 杨和山. 2013. 准噶尔盆地阜康断裂带构造演化与油气成藏. 新疆石油地质, 34(1): 36~40.

吴孔友, 查明, 曲江秀, 田辉. 2004. 博格达山隆升对北三台地区构造形成与演化的控制作用. 石油大学学报(自然科学版), 28(2): 1~5.

吴孔友, 查明, 王绪龙, 曲江秀, 陈新. 2005. 准噶尔盆地构造演化与动力学背景再认识. 地球学报, 26(3): 217~222.

吴馨, 任志勇, 王勇, 刘长海, 李洋冰, 赵都菁, 曲日涛, 齐玉民. 2013. 世界页岩气勘探开发现状. 资源与产业, (5): 61~67.

郝兆栋, 唐书恒, 王静, 张振, 李彦朋, 龚明辉, 肖何琦. 2018. 中国南方海相页岩气选区关键参数探讨. 地质学报, 92(6): 1313~1323.

熊金红, 梁明亮, 曹占元, 王宗秀, 郑建京, 王作栋. 2017. 准噶尔盆地南缘柴窝堡凹陷泥页岩地球化学和矿物学特征研究. 地质力学学报, 23(4): 585~593.

熊小辉, 王剑, 熊国庆, 汪正江, 门玉澎, 周小琳, 周业鑫, 杨潇, 邓奇. 2018. 渝东北地区五峰组—龙马溪组页岩气地质特征及其勘探方向探讨. 地质学报, 92(9): 1948~1958.

臧明峰, 吴孔友. 2009. 准噶尔盆地南缘大龙口地区构造建模. 断块油气田, 16(4): 11~14.

张东晓, 杨婷云. 2013. 页岩气开发综述. 石油学报, 34(4): 792~801.

郑金海, 向才富, 王绪龙, 雷德文, 杨楠, 阿·布力米提, 张磊, 张越迁, 王力宏. 2015. 准噶尔盆地阜康凹陷侏罗系烃源岩特征与页岩气勘探潜力分析. 地质评论, 61(1): 217~226.

Bai Yunlai. 2008&. Prospects for Development of Oil Shale Deposits in Southeastern Margin of Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 29(4): 462~465.

Chen Xin, Lu Huaifu, Shu Liangshu, Wang Huimin, Zhang Guoqing. 2002&. Study on Tectonic Evolution of Junggar Basin. Geological Journal of China Universities, 8(3): 257~267.

Chen Yequan, Wang Weifeng. 2004&. Geodynamics Process in The Junggar Basin. Journal of Geomechanics, 10(2): 155~164.

Chen Zhengle, Lu Kegai, Wang Guo, Chen Bailin, Wang Guorong, Zheng Enjiu, Cui Lingling, Ding Wenjun. 2010&. Characteristics of

Cenozoic structural movements in southern margin of Junggar basin and its' relationship to the mineralization of sandstone-type uranium deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 457~470.

Dong Dazhong, Zou Caineng, Li Jianzhong, Wang Shejiao, Li Xinjing, Wang Yuman, Li Denghua, Huang Jinliang. 2011&. Resource potential, exploration and development prospect of shale gas in the whole world. *Geological Bulletin of China*, 30(23): 324~336.

Kang Yuzhu . 2003&. The prospects and suggestion of oilgas in front of Tiansan mountain in the southern fringe of Junnar basin. *Xinjiang Geology*, 21(2): 163~166.

Li Jing, Zhao Ming. 2015#. Analysis of shale gas reservoir formation conditions of Middle Jurassic Xishanyao formation in Turpan—Hami Basin. *Geological Review*, 61(Supp. 1): 233~234.

Lin Wenbin, Liu Bin. 2013&. North American shale gas policy research findings. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, (4): 437~441+446.

Qi Jiafu, Chen Shuping, Yang Qiao , Yu Fusheng. 2008&. Characteristics of tectonic deformation within transitional belt between the Junggar Basin and the northern Tianshan Mountain. *Oil & Gas Geology*, 29(2): 252~282.

Wang Xinwei, Wang Xinwen, Ma Yongsheng. 2007&. Characteristics of structure transform zones in the foldthrust belts on the southern margin of Junggar basin, Northwest China. *Oil & Gas Geology*, 28(3): 345~356.

Wang Shiqian, Wang Shuyan, Man Ling, Dong Dazhong, Wang Yuman. 2013&. Appraisal method and key parameters for screening shale gas play. *Journal of Chengdu University of Technology (Sci. & Technol. edition)*, 40(6): 609~620.

Wu Junjun, You Liping, Yang Heshan. 2013&. Structural evolution and hydrocarbon accumulation of Fukang fault zone in Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 34(1): 36~40.

Wu Kongyou, Zha Ming, Qu Jiangxiu, Tian Hui. 2004&. Control of Bogeda mountain uplift on the structural formation and evolution in Beisantai region. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 28(2): 15.

Wu Kongyou, Zha Ming, Wang Xulong, Qu Jiangxiu, Chen Xin. 2005&. Further Researches on the Tectonic Evolution and Dynamic Setting of the Junggar Basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(3): 217~222.

Wu Xin, Ren Zhiyong, Wang Yong, Liu Zhanghai, Li Yangbing, Zhao Dujing, Qu Ritao, Qi Yumin. 2013&. Situation of world shale gas exploration and development. *Resources & Industries*, (5): 61~67.

Xi Zhaodong, Tang Shuheng, Wang Jing, Zhang Zhen, Li Yanpeng, Gong Minghui, Xiao Heqi. 2018&. Discussion on key parameters of marine shale gas selection area in south China. *Acta Geologica Sinica*, 92(6): 1313~1323.

Xiong Jinhong, Liang Mingliang, Cao Zhanyuan, Wang Zongxiu, Zheng Jianjing, Wang Zuodong. 2017&. The geochemical and mineralogical characteristics of shales in Chaiwobu Depression, southern margin of Junggar Basin. *Journal of Geomechanics*, 23(4): 585~593.

Xiong Xiaohui, Wang Jian, Xiong Guoqing, Wang Zhengjiang, Men Yupeng, Zhou Xiaolin, Zhou Yexing, Yang Xiao, Deng Qi. 2018&. Shale gas geological characteristics of the Wufeng and Longmaxi Formations in northeast Chongqing and its exploration direction. *Acta Geologica Sinica*, 92(9): 1948~1958.

Zang Mingfeng, Wu Kongyou. 2009. Structure modeling of Dalongkou region in southern margin of Junggar Basin. *Fault Block Oil & Gas Field*, 16(4): 11~14.

Zhang Dongxiao Yang Tingyun. 2013&. An overview of shalegas production. *Acta Petrolei Sinica*, 61(1): 217~226.

Zheng Jinhai, Xiang Caifu, Wang Xulong, Lei Dewen, Yang Nan , A Bulimiti, Zhang Lei, Zhang Yueqian, Wang Lihong. 2015&. Characteristics of the Jurassic source rocks and their shale gas exploration potential in the Fukang Sag of the Junggar Basin. *Geological Review*, 61(1): 217~226.

Study on the shape and structural properties of the southern margin of Junggar Basin and the potential shale-gas strategic deposit with integrated geophysical methods

QU Shuanzhu¹⁾, TANG Baoshan²⁾, ZHANG Haizhu¹⁾, YE Gaofeng³⁾, LIU Zhilong⁴⁾

- 1) *Geophysical and Geochemical Prospecting Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Changji, Xinjiang*, 831100;
- 2) *Geophysical Exploration Brigade of Hubei Geological Bureau, Wuhan*, 430056;
- 3) *School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing*, 100083;
- 4) *Tianjin Geothermal Exploration and Development—Designing Institute, Tianjin*, 300250

Abstract: The Junggar basin is riched in oil and gas resources. Its southern margin, which located between the Junggar basin and the northern Tianshan Mountains, is geologically complicated, which makes seismic methods inapplicable. Thus, non-seismic geophysical methods were employed to determine geometrical features of the Lucaogou Formation of Permian which was supposed to be potential shale-gas deposit. With 200 pieces of rock samples of main rocks showed in research area, some geophysical properties, such as density, magnetic susceptibility, polarizability and resistivity were measured, and some statistically conclusions were obtained. The study area is dominated by sedimentary rocks, whose magnetic is generally weak. The magnetic of Permian strata is lower than the Triassic ones. The density difference of main strata is insignificant with average values of $2.61 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $2.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ and $2.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ of sandstones, mudstones and shales respectively. However, the

resistivity difference of these rocks is large enough, and an obvious resistivity relationship of sandstone > mudstone > shale can be concluded. The gravity, magnetic and magnetotelluric sounding data were collected in the research area. After careful data processing and inversion, the Bouguer gravity and magnetic anomalies in map view and three-dimensional resistivity model were produced. The southeastern part of research area characterized by high Bouguer gravity anomaly and negative magnetic anomaly with their peak values of $9.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ and -100 nT respectively. In contrast, the northwestern part showed low Bouguer gravity anomaly and positive magnetic anomaly with their values of $-12 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ and 280 nT respectively. Integrated with geological data, the a and b parts of target layer of the Lucaogou Formation show relatively high and medium to low resistivity in the three-dimensional resistivity model respectively. The strata of research area were deduced by integrated interpretation of gravity, magnetic data and resistivity model. Furthermore, eight thrust faults were deduced since faults are characterized with low resistivity, low gravity and low magnetic anomaly. Based on these new deduced thrust faults in the study area, the spatial distribution of the Lucaogou Formation was deduced, with which the positions of exploration wells were suggested.

Keywords: The southern margin of Junggar Basin; integrated geophysical methods; shale-gas; magnetotellurics; resistivity models

Acknowledgements: This study was financially supported by the Central Return Project (No. N16-2-LQ28). We would like to express our thanks to the project team members and reviewers

First author: QU Shuanzhu, male, born in 1982, senior engineer, is mainly engaged in production and research on geophysical prospecting; Email: 381967187@qq.com

Corresponding author: YE Gaofeng, male, born in 1977, doctor, associate professor, is mainly engaged in teaching and research of geophysical exploration; Email: ygf@cugb.edu.cn

Manuscript received on: 2019-01-15; Accepted on: 2019-06-30; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.05.017

GEOLOGICAL REVIEW

Vol. 65 No. 5 2019

CONTENTS

Scholarly Discussion

A new mode for continental accretion induced by interaction between the lithosphere and asthenosphere YANG Wencai(1053)

Zircon U-Pb ages and geochemical features of Wuzhangshan granite in Xiong'er Mountain, western Henan Province, and its
geologic implications LIANG Tao, LU Ren, LUO Zhaohua(1075)

Tectonic evolution of the Western Kunlun-Karakorum Orogenic Belt and its coupling with the mineralization effect
ZHANG Chuanlin, MA Huadong, ZHU Bingyu, YE Xiantao, QIU Lin, (1101)
ZHAO Haixiang, LIU Xiaoqiang, DING Teng, WANG Qian, HAO Xiaoshu

Leiolite bioherm dominated by cyanobacterial mats of the Furongian: an example from the Qijiayu section in Laiyuan County,
Hebei Province MEI Mingxiang, MUHAMMAD Riaz, LIU Li , MENG Qingfen(1121)

Paleo-sedimentary environmental study of mud-shale member of Madongshan Formation of well Gucan 1 in Liupanshan Basin,
North China Plate MA Fenghua, PAN Jinli, MA Ruiyun, WU Wenzhong, ZHANG Yong, MA Xiaojuan(1130)

Zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of the Pana Formation volcanic rocks from the Linzizong Group in Zhaxue
area, eastern Gangdese belt, Xizang(Tibet) , and its tectonic significance LIU Fujun, QIN Song, SUN Chuanmin(1151)

Geological and geochemical characteristics of the Paiting gold-mercury deposit in Danzhai, Guizhou
LI Depeng, YANG Ruidong, CHEN Jun, GAO Junbo, ZHENG Lulin, DU Lijuan(1168)