

doi: 10.12029/gc20190112

张文浩, 王丹丹, 李世臻, 周新桂, 张交东, 刘卫彬, 周锡明, 王佩业. 2019. 重磁电勘探在黑龙江三江盆地石炭系一二叠系油气地质调查中的应用[J]. 中国地质, 46(1): 191–201.

Zhang Wenhao, Wang Dandan, Li Shizhen, Zhou Xingui, Zhang Jiaodong, Liu Weibin, Zhou Ximing, Wang Peiye. 2019. The application of gravity-magnetic-electric prospecting engineering for Carboniferous-Permian petroleum geological survey in Sanjiang Basin, Heilongjiang Province[J]. *Geology in China*, 46(1): 191–201(in Chinese with English abstract).

## 重磁电勘探在黑龙江三江盆地石炭系一二叠系油气地质调查中的应用

张文浩<sup>1</sup>, 王丹丹<sup>1</sup>, 李世臻<sup>1</sup>, 周新桂<sup>1</sup>, 张交东<sup>1</sup>, 刘卫彬<sup>1</sup>, 周锡明<sup>2</sup>, 王佩业<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 江苏华东八一四地球物理勘查有限公司, 江苏 镇江 210022)

**摘要:**三江盆地东部地区零星出露有古生界石炭一二叠纪地层, 总有机碳等烃源岩评价指标良好, 但在盆地中的展布情况一直未知。在东北地区老油田开发成本日益高涨, 亟需新的油气勘探接替区的背景下, 为了查明三江盆地石炭一二叠纪地层的发育特征, 在三江盆地以石炭一二叠系为主要目的层开展油气地质调查实施了重磁电勘探工程, 对所取得的 4 条重磁电剖面资料进行了处理和定性分析, 在综合信息反演和成像的基础上建立了重磁电综合反演剖面图。对研究区地层、物性特征进行了系统的研究与总结, 主要利用大地电磁测深反演电阻率低阻标志层, 初步刻画了石炭一二叠系的分布特征, 并通过对二维反演电阻率断面进行残差处理, 探索了石炭一二叠系泥岩的展布特征。

**关键词:**重磁电勘探; 三江盆地; 石炭系一二叠系; 珍子山组; 泥岩

中图分类号: P631; P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2019) 01-0191-11

## The application of gravity-magnetic-electric prospecting engineering for Carboniferous-Permian petroleum geological survey in Sanjiang Basin, Heilongjiang Province

ZHANG Wenhao<sup>1</sup>, WANG Dandan<sup>1</sup>, LI Shizhen<sup>1</sup>, ZHOU Xingui<sup>1</sup>, ZHANG Jiaodong<sup>1</sup>,

LIU Weibin<sup>1</sup>, ZHOU Ximing<sup>2</sup>, WANG Peiye<sup>2</sup>

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China; 2. No. 814 Geological Party, East China Geological & Mining Bureau for Nonferrous Metals in Jiangsu Province, Zhenjiang 212005, Jiangsu, China)

**Abstract:** Paleozoic Carboniferous-Permian strata occur sporadically in the eastern part of the Sanjiang Basin, their total organic carbon and other evaluation indexes of hydrocarbon source rocks are good, but their distribution in the basin has been unknown. In the background of the increasingly high cost of development and the urgent need of new oil and gas replacement area, the authors

收稿日期: 2017-11-08; 改回日期: 2018-08-20

基金项目: 中国地质调查局项目“松辽外围东部断陷盆地群油气基础地质调查”(DD20160165)资助。

作者简介: 张文浩, 男, 1987 年生, 博士, 高级工程师, 从事油气调查和石油地质综合研究工作; E-mail: wenhaoogs@163.com。

通讯作者: 李世臻, 男, 1982 年生, 博士, 高级工程师, 从事石油地质研究工作; E-mail: lishz2006@sina.com。

carried out oil and gas geological survey with gravity–magnetic–electric prospecting engineering in the Sanjiang Basin and established a comprehensive inversion profile through qualitative analysis, integrated information inversion and imaging for the purpose of identifying the developmental characteristics of the Carboniferous–Permian strata in the Sanjiang Basin. The physical properties of the strata in the study area were systematically studied and summarized, and the distribution characteristics of the Carboniferous–Permian strata was preliminarily characterized by the use of magnetotelluric sounding inversion resistivity for the low–resistance marker layer. Then, the distribution characteristics of the Carboniferous–Permian mudstone were explored by the residual treatment of the two–dimensional inversion resistivity section.

**Key words:** gravity–magnetic–electric prospecting engineering; Sanjiang Basin; Carboniferous–Permian; Zhenzishan Formation; mudstone

**About the first author:** ZHANG Wenhao, male, born in 1987, senior engineer, doctor candidate, mainly engages in the petroleum geological study; E–mail: wenhaocugb@163.com.

**About the corresponding author:** LI Shizhen, male, born in 1982, doctor candidate, majors in the study of Petroleum geology; E–mail: lishz2006@sina.com.

**Fund Support:** Support by China Geological Survey Program (No. DD20160165).

## 1 引 言

随着东北大型含油气沉积盆地研究程度越来越高,油气勘探难度越来越大,加之老油田开发程度已进入中后期,亟需新的油气区接替,为油田的增储上产和可持续发展提供接替领域和资源保障。三江盆地位于黑龙江省东北部三江平原,作为松辽盆地外围7个一级油气远景盆地之一,具有面积大、埋藏深、发育较好的烃源岩和资源量大等特点(吴河勇与刘文龙, 2004;吴河勇等, 2009; 门相勇等, 2010)。对三江盆地的油气勘探工作始于1959年111地质队在该区开展的地质调查,虽然多年来进行了不懈的油气勘探工作,但还未取得油气勘探突破。以往所开展的一些石油物探工作,主要是针对中生代地层,目前还未有钻遇上古生界的探井(胡志方等, 2006; 刘云武等, 2006)。特别对石炭—二叠纪盆地的形成与演化、石炭—二叠系分布等开展的研究工作及认识较少,制约了盆地石油地质条件和资源潜力的研究(张兴洲等, 2011; 任收麦等, 2011)。近年来,中国地质调查局组织开展了针对三江盆地的油气基础地质调查,在三江盆地东部地区实施了以大地电磁测深法为主的综合物探剖面测量,在研究盆地构造格局和石炭—二叠纪地层展布及其中的泥岩分布特征等方面取得了重要进展,为三江地区石炭—二叠系油气资源潜力评价提供了丰富的资料信息。本文对在三江盆地开展实施的重磁电勘探工程所取得的4条重磁电剖面资料进

行了处理和定性分析,在综合信息反演和成像的基础上建立了重磁电综合反演剖面图。通过对研究区地层、物性特征的系统研究与总结,主要利用大地电磁测深反演电阻率低阻标志层的方法,初步刻画了石炭系—二叠系的分布特征,并进而对二维反演电阻率断面进行残差处理,探索了石炭—二叠系泥岩的展布特征,对三江盆地石炭—二叠系油气资源潜力评价具有一定意义。

## 2 地质背景

三江盆地位于中国东北黑龙江省东部地区,处在依通—舒兰断裂带和敦密断裂带之间,是一个中生界叠合残留盆地,发育中侏罗统绥滨组,上侏罗统东荣组,下白垩统城子河组、穆棱组、东山组,上白垩统海浪组、七星河组、雁窝组,古近系宝泉岭组和新近系富锦组(图1)(黑龙江省地质矿产局, 1993; 张云鹏等, 2011; 季汉成等, 2013)。三江地区基底形成经历了太古宙—古元古代古陆块结晶基底形成,中—新元古代陆内裂陷和闭合,最终形成稳定地块的过程。三江盆地以跃进山缝合带为界,由佳木斯地块与完达山地体(或那丹哈达地体)拼贴而成,佳木斯地块东部为那丹哈达地体增生混杂岩(图1)(周建波等, 2016)。早古生代,除早寒武世在萝北地区接受稳定浅海相碳酸盐岩沉积外,主要处于隆起剥蚀状态。晚古生代,佳木斯地块东侧接受南北向海相、海陆交互相、陆相基性、中酸性火山喷发和碎屑岩沉积,形成了火山岩—沉积建造。早

二叠世晚期,西伯利亚板块与华北板块碰撞,形成欧亚古陆。中生代以来,三江盆地构造上属于滨太平洋构造域,经历了多期成盆与改造,具残留盆地特征。

三江盆地自西向东划分为绥滨拗陷、富锦隆起、前进拗陷等3个一级构造单元(图1)。三江盆地中部富锦隆起及东南缘零星出露有上古生界海相、海陆交互相地层,其中晚石炭世—早二叠世珍子山组( $C_2-P_1z$ )为一套含煤碎屑岩沉积,暗色泥岩较发育,具有一定的生烃能力,有可能作为深部油气勘探的重要新层系。尤其是在近年来通过大量沉积及构造等工作已经表明,东北地区发育的晚古生代地层并未发生区域变质作用,而是该区复合地块基底之上的第一个具有区域性分布的准盖层沉积的背景下,对三江盆地这一松辽外围东部面积最大的盆地开展古生界油气地质调查及研究显得更为重要(王成文等2008;周建波等,2009,2016;张兴洲等,2011)。本次实施的重磁电勘探工程的调查区域主要位于三将盆地东部前进拗陷,共部署测线4条近400 km(图1)。

### 3 岩石和地层的物性特征

地球物理勘探是以地壳中地层岩石存在物性差异为前提条件的,物性参数是联系地下地质体与地球物理场的“桥梁”,是物探资料地质解释的重要依据,因此,开展物性研究是重磁电资料处理解释过程中十分重要的基础工作。

本次所利用的电性参数资料有标本电阻率、露头小四极电阻率、测井和井旁MT测深反演电阻率等。中生界盖层电性参数以测井和井旁反演电阻率为主,标本电阻率作补充;古生界、元古界和各类岩体的电性参数主要依据标本测定成果,测井和井旁反演电阻率作补充。将上述岩石露头标本、首支、测井与井旁MT反演电阻率综合整理于表1。由表1可知:地层由新到老,电阻率总体呈低—高一低—高规律性变化:三江盆地中生界陆相地层为低阻;下中生界—古生界电性呈高、低阻交替变化;元古界和岩体为高阻层。整体可划分为7套电性层(体):(1)新近系富锦组—第四系(Nf-Q),以碎屑岩为主,电阻率为 $25.6\sim 38\ \Omega\cdot m$ ,其电性略高于下地

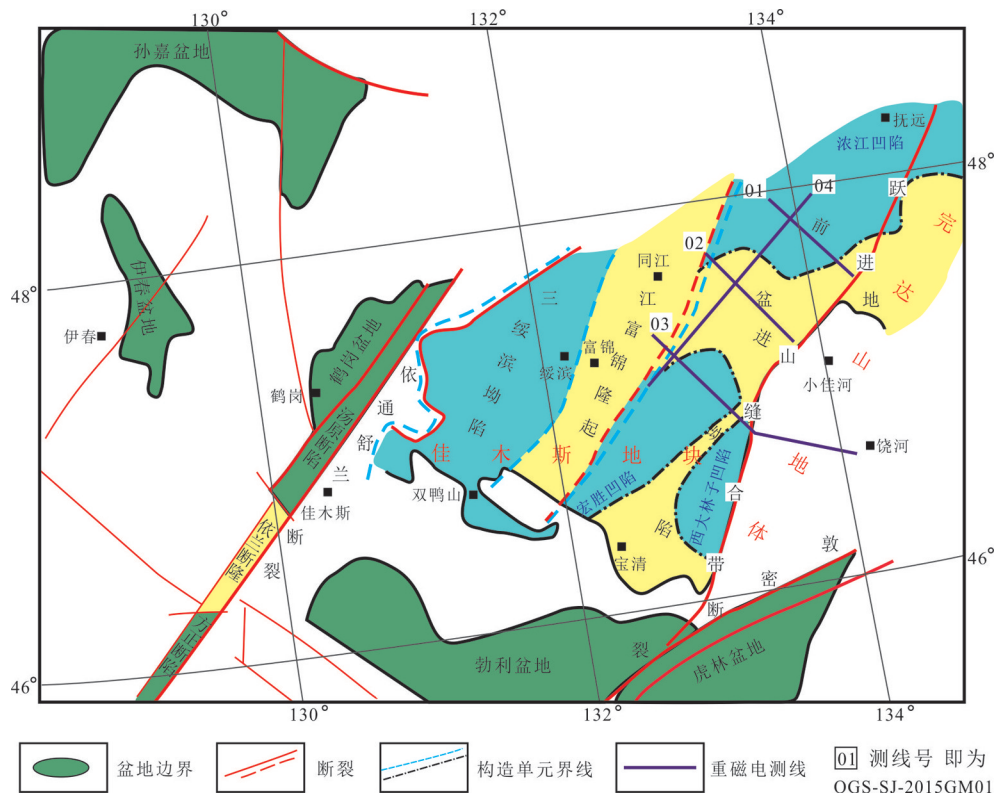


图1 三江盆地大地构造位置图

Fig.1 Geological location of Sanjiang Basin

表1 三江地区地层电阻率综合统计分层  
Table 1 Comprehensive statistical table of stratigraphic resistivity in Sanjiang area

系	地层组	代号	电阻率/( $\Omega \cdot m$ )				综合分层
			小四极	标本	测井	井旁 MT	
第四系		Q	2671		56	38	
新近系	船底山组	Nc		158602	260~400		浅表相对高层
	富锦组	Nf	814		13.8	25.6	
古近系	宝泉岭组	Eb	539		6.4	9.2	
	达连河组	E <sub>2d</sub>			6.5	27.8	
白垩系	松木河组	K <sub>2s</sub>	201	1057	120~150		
	雁窝组	K <sub>2yw</sub>				10.6	低阻层
	七星河组	K <sub>2q</sub>			8.1	10.6	
	海浪组	K <sub>2h</sub>				13.2	
	东山组	K <sub>1d</sub>	1272	112.6	45	17.4	
侏罗系	曙光组	J <sub>3K<sub>1s</sub></sub>	1320	292			
	永福组	J <sub>1y</sub>		10418			
三叠系	大岭桥组	T <sub>3J<sub>1d</sub></sub>	157314	2989	146	118	中高阻层
	大佳河组	T <sub>2J<sub>1d</sub></sub>	33778	2635			
二叠系	红山组	P <sub>2h</sub>	513	491			中低
	二龙山组	P <sub>1e</sub>		4611			高
石炭系	珍子山组	C <sub>2P<sub>1z</sub></sub>	6099	439			中低
	北兴组	C <sub>1b</sub>		1335			
泥盆系	七里卡组	D <sub>3q</sub>		9501			中高-高层
	老秃顶子组	D <sub>3l</sub>	940928	9970			
	黑台组	D <sub>1-2h</sub>		3007			
元古界		Pt	25553	11894	280~1000		高层
侵入岩	花岗岩类		7008			72~988	高阻(体)
	闪长岩类		13969				
	基性、超基性岩		17605	2185			

层,属表层相对高层。船底山玄武岩,测井电阻率为260~400  $\Omega \cdot m$ ,但分布较局限,为局部高层。(2)上侏罗统一古近系(J<sub>3</sub>-E),以碎屑岩为主(含煤),夹中酸性火山岩,电阻率为9.2~27.8  $\Omega \cdot m$ (多数地层一般小于20  $\Omega \cdot m$ ),为低阻层。其中,松木河组以火山岩为主,测井电阻率为120~150  $\Omega \cdot m$ ,但分布较局限,为局部中阻层。(3)下中生界中三叠统一下侏罗统(T<sub>3</sub>-J<sub>1</sub>),以海相复理石与硅质建造为主,标本电阻率一般在2000  $\Omega \cdot m$ 以上,测井电阻率为146  $\Omega \cdot m$ ,明显高于上下相邻地层,中高阻层。(4)上古生界石炭—二叠系(C-P),由于岩性差异,电性呈高阻、低阻变化层。二叠系红山组(P<sub>2h</sub>)为陆相正常沉积地层,珍子山组(C<sub>2P<sub>1z</sub></sub>)为陆相含煤沉积地层,电阻率平均值分别为491  $\Omega \cdot m$ 和439  $\Omega \cdot m$ ,均属中低阻层;二龙山组(P<sub>1e</sub>)岩性主要为玄武岩,电阻率平均值为4611  $\Omega \cdot m$ ,属高层;北兴组(C<sub>1b</sub>)上部为中基性火山岩,下部为沉积砂岩,电阻率平均值为

1335  $\Omega \cdot m$ ,总体呈中阻特征。(5)泥盆系七里卡组(D<sub>3q</sub>)、老秃顶子组(D<sub>3l</sub>)皆为陆相中酸性火山岩建造,夹碎屑岩沉积,电阻率平均值为9500  $\Omega \cdot m$ 以上,均为高层;黑石台组(D<sub>1-2h</sub>)为海相陆源碎屑岩-碳酸盐岩建造,电阻率平均值为3007  $\Omega \cdot m$ ,为中高阻层;本层总体属高层。(6)元古界(Pt)主要为基底变质岩系地层,为高层。(7)中酸性至基性、超基性岩体,为盆地基底重要组成部分,属高阻体。

以岩石和地层的电性特征为主,结合其密度、磁性参数,进行综合物性分层,其综合物性分层及物性变化规律见表2、图2。具体分层及特征如下:(1)新近系富锦组—第四系(Nf-Q),主体属浅部高阻、低密度、无磁性或—弱磁性层。其中Nc基性火山岩为主,属局部高阻、高密度、强磁性层。(2)古近系达连河组—宝泉岭组(E<sub>2d</sub>-Eb),含煤碎屑岩为主,属低阻、低密度、无—微弱磁性层。(3)侏罗系上统曙光组—白垩系松木河组(J<sub>3</sub>K<sub>1s</sub>-K<sub>2s</sub>),碎屑岩为

表2 三江地区地层物性综合统计分层  
Table 2 Comprehensive statistical table of stratigraphic physical properties in Sanjiang area

界	系	地层组	代号	密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	磁化率 / (10 <sup>-5</sup> SI)	电阻率 / (Ω·m)	综合物性特征		
新生界	第四系		Q	1.82	10	38	低密度、弱磁性、中低阻层 (Nc 局部高密度、强磁性、中高阻层)		
	新近系	船底山组	Nc	2.84	879	260~400			
		富锦组	Nf	2.32	19	25.6			
	古近系	宝泉岭组	Eb	2.23	2.28	18		9.2	
达连河组		E <sub>2d</sub>				27.8			
中生界	白垩系	松木河组	K <sub>2s</sub>	2.57	2.53	49	120~150	中低密度、弱磁性、低阻层 (K <sub>2s</sub> 局部中阻、中密度、中强磁性层)	
		雁窝组	K <sub>2yw</sub>	2.36		29	10.6		
		七星河组	K <sub>2q</sub>	2.52		27	10.6		
		海浪组	K <sub>2h</sub>	2.54		38	13.2		
		东山组	K <sub>1d</sub>	2.62		30	17.4		
	侏罗系	曙光组	J <sub>3K<sub>1s</sub></sub>	2.56	10	292			
		永福桥组	J <sub>1y</sub>	2.70	13	10418			
	三叠系		大岭桥组	T <sub>3j<sub>1d</sub></sub>	2.64	2.62	6	2989	中密度、弱磁性、中高阻层
			大佳河组	T <sub>2j<sub>1d</sub></sub>	2.61		5	2635	
郝家屯组			T <sub>3h</sub>	2.60	29		2049		
古生界	二叠系	红山组	P <sub>2h</sub>	2.57	2.65	13	491	中高密度、弱-中强磁性、 高一低阻变化层 (P <sub>1e</sub> 高密度、高磁性、高阻)	
		二龙山组	P <sub>1e</sub>	2.74		834	4611		
	石炭系	珍子山组	C <sub>2P<sub>1z</sub></sub>	2.65		8	439		
		北兴组	C <sub>1b</sub>	2.62		4	1335		
	泥盆系		七里卡山组	D <sub>3q</sub>		2.69	7		9501
老秃顶子组			D <sub>3l</sub>	2.70	2.69	35	9970		
黑台组			D <sub>1-2h</sub>	2.66	9	3007			
元古界			Pt	2.75		25	11894	高密度、弱磁性、高阻层	
侵入体	花岗岩		γ	2.58		9~1373	中-高密度、弱-强磁性、 高阻体		
	花岗闪长岩		γδ	2.65		14~1460			
	基性、超基性岩		N-Σ	2.97		23~33656		2185	

主夹火山岩,总体属次低阻、中低密度、弱磁性层。其中K<sub>2s</sub>中酸性火山岩为主,属局部中阻、中密度、中强磁性层。(4)石炭—二叠系(C-P),碎屑岩-火山岩地层,属高一低阻变化、中高密度、弱磁性层。其中,P<sub>2h</sub>、C<sub>2</sub>-P<sub>1z</sub>和C<sub>1b</sub>以碎屑岩为主,后者夹火山岩,属中低阻、中等密度、弱磁性层;P<sub>1e</sub>基性火山岩为主,属高阻、高密度、中强磁性层。(5)泥盆系(D),中酸性火山岩-碎屑岩、灰岩地层,属中阻—高阻、中高密度、弱磁性层。(6)元古宇(Pt)为基底变质岩系,属高阻、高密度、弱磁性层。(7)中酸性至中性、基性、超基性岩体,属高阻、中-高密度、中-强磁性体。

## 4 资料采集和处理

### 4.1 资料采集

为了研究三江盆地基底结构构造和石炭—二叠系的地层分布特征,以及获取相关地质信息,项目部署了以大地电磁测深法(MT)为主,高精度重力和磁法相结合的综合物探剖面4条,累计剖面长度400 km(图1)。

野外MT资料采集使用的仪器为加拿大凤凰地球物理公司研制的V5-2000大地电磁测深仪,采用五分量(Ex、Ey、Hx、Hy和Hz)张量阻抗方式实采

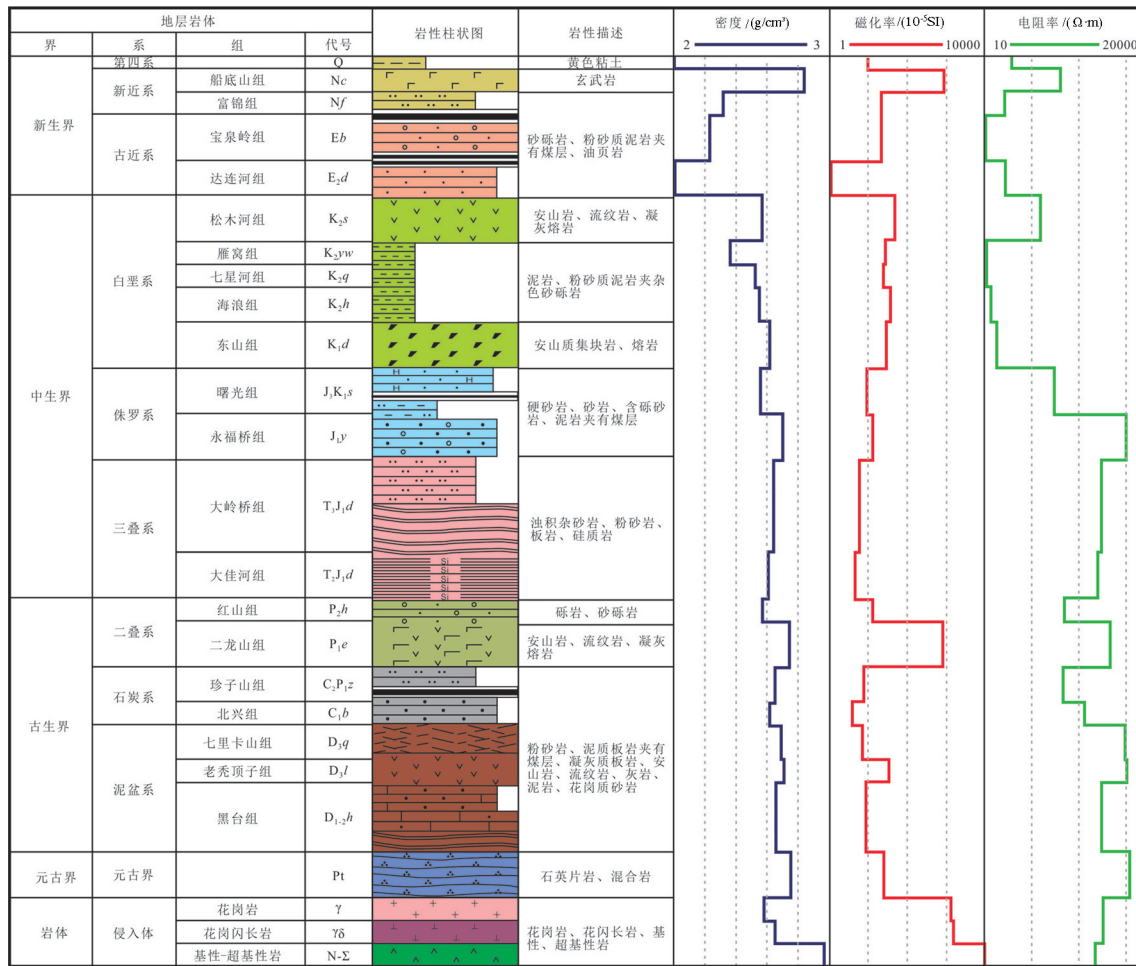


图2 综合物性柱状图

Fig.2 Synthetic stratigraphic physical properties histogram

集,点距 500 m。电极、磁棒均采用标准“+”字形布设,Ex、Hx 方向与测线延伸方向一致,Ey、Hy 方向与测线延伸方向垂直(图 3)。布极方位误差小于 1°,极距误差小于 1%。经试验剖面确定了工作参数,有效采集时间大于 8 h,有效观测记录频带为 320~0.0005 Hz,有效频点个数不少于 38 个。共完成大地电磁测深点 834 个,优质品率为 92.45%,检查点平均均方相对误差小于 5%。重磁剖面测量与电法同点位,实达重力异常总精度为 $\pm 0.070 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ;实达磁力异常总精度为 $\pm 1.9 \text{ nT}$ 。采集资料质量符合规范要求。

4.2 资料处理

实测的重磁电异常是地下由浅至深各类地质体的物性差异所产生异常的综合叠加效应,需要通过各种数据处理技术手段,将重磁电异常所反映地质信息充分提取出来,作为地质解释依据。野外实

测 MT 数据解算时采用了远参考技术、相位校正技术、层状函数拟合飞点剔除技术来消除资料中的干扰噪声。采用阻抗张量分解技术和测点聚类静态校正法消除静态干扰对曲线形态的影响,经静态位移校正处理后视电阻率变化规律性明显、电性层横向界面清晰、垂向上隆起或坳陷区更加容易识别。资料反演是把频率域数据转化成电阻率(或相位)-深度的关系,以便更直观地反映地下电性特征和电性层的分布规律。资料反演按 Bostick 反演、一维反演、二维反演三个层次进行。上步反演为下步反演提供初始模型,在岩石和地层电性资料、钻孔资料、地质资料的约束下,根据要解决的地质问题进行带地形的连续介质二维反演,其反演断面作为地质解释主要依据。同时对电法资料进行残差法处理,提取古生界泥质岩类分布信息。利用电法反演成果,建立地质-地球物理模型,进行重力剖面资料拟合,

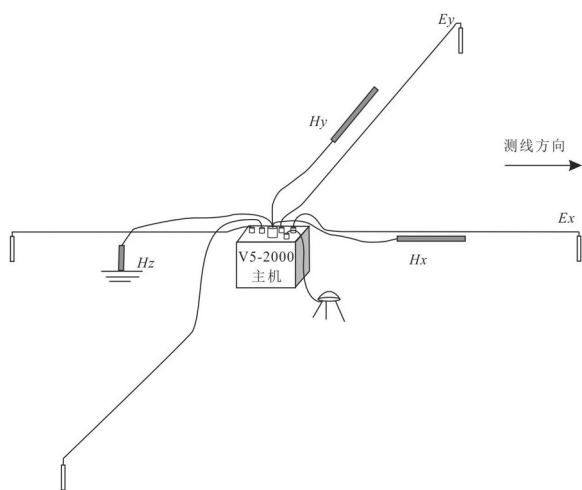


图3 测点布设示意图

Fig.3 Sketch map of measuring point deployment

在各种约束条件下进行反复人机交互式正反演,直至得到客观合理的拟合结果。重磁资料处理采用向上延拓的方法区分深源和浅源场,提取重磁目标场,取得反映深部构造与地质体分布等信息。磁力资料通过小波变换处理,对把磁异常进行多尺度分解,得到不同尺度、不同深度的地层与磁性体分布信息,以小波分解结果进行基底岩性的研究。对重力异常进行水平总梯度处理,强化和提取断裂构造信息,其极值带反映了断裂平面位置与展布。

## 5 资料解释

### 5.1 典型剖面地质解释

OGS-SJ-2015GME01线呈北西向分布于工区的北部(图1,图4a~e)。地表第四系广泛覆盖,剖面北西端为侏罗纪花岗闪长岩和中生界大岭桥组出露,剖面东端大岭桥组零星出露,对剖面上的电性层地质属性识别和地质分层可起标定作用,故该线地质解释主要如下:

(1)重力异常呈高低相间,与深部电法高阻异常的起伏大致呈“镜像”关系(图4a,c)。重力高处下部低阻层较厚,反映下部低阻层密度较高,重力高应主要由古生界高密度体引起;重力低与深部高阻隆起相对应或浅表低阻层相对应,应由盆地盖层或深部低密度岩体引起。

(2)磁力异常总体表现为在平缓磁力高背景中

局部叠加高频杂乱磁异常。平缓磁力高推测主要由中酸性岩体引起;高频杂乱磁异常由浅表地层中不均匀磁性物质或浅部火山岩引起。

(3)在反演电阻率断面图,电性结构整体呈“低—高一低—高”交替,剖面中段低阻层厚度大,剖面两端以高阻为主(图4a)。其中,浅表层状低阻层代表三江盆地中新生界白垩—第四系(K-Q)沉积盖层分布与厚度变化,厚度一般为200~1200 m(图4a~e)。浅部断续分布的中高阻层(条带),主要反映了中三叠统一下侏罗系( $T_2$ - $J_1$ )海相地层分布,该层厚一般为400~1500 m(190~242点间可能因剥蚀而缺失)(图4a~e)。厚层状中低阻层,主要反映古生界隐伏盆地以石炭—二叠系(C-P)为主体地层分布,本线中段127~201点间该层厚度大,两侧因岩体侵入而减薄(图4a~e)。该套地层分布与底面起伏明显受深部高阻岩体上侵顶拱或侵位影响及张性断裂等控制,呈两隆夹一坳,凹凸相间格局,顶面埋深一般为600~1500 m,厚1500~4900 m。

### 5.2 古生界地层分布与埋深特征

通过系统物性研究,分析各类地质体(地层和不同种类岩体)的物性差异在重磁电异常上的响应,建立物探异常与地质体之间的内在联系。通过全平面向上延拓和小波变换等方法进行重磁深源场和浅源场分离,提取反映深部地质体分布、构造格局与展布的异常信息,推测地层与岩体分布。通过剖面综合地质解释与正反演拟合计算,确定古生界和岩体在剖面沿线的分布与埋深。笔者以实测的4条重磁电剖面为骨架,同时利用2012年电法剖面解释成果,结合平面重磁异常特征,编制了古生界顶面深度图(图5)。

从整体来看,研究区古生界呈两隆、两坳,隆坳相间格局(图5)。构造线走向为NE向,研究区中部受NE向断裂控制,具凸、凹相间的特征。古生界顶面埋深一般为400~3000 m。中部岩浆带北侧最大埋深约5600 m,南部F16与F18断裂之间、红旗岭农场东侧,古生界顶面最大埋深分别约4000 m和4200 m。研究区西北部和东侧较浅,高点埋深一般为200~700 m,富锦市砚山镇一带古生界出露。总体呈中部深,两侧浅,东南深,岩浆带以东呈北浅南深变化。

按古生界顶面埋深与起伏特征,分区带介绍

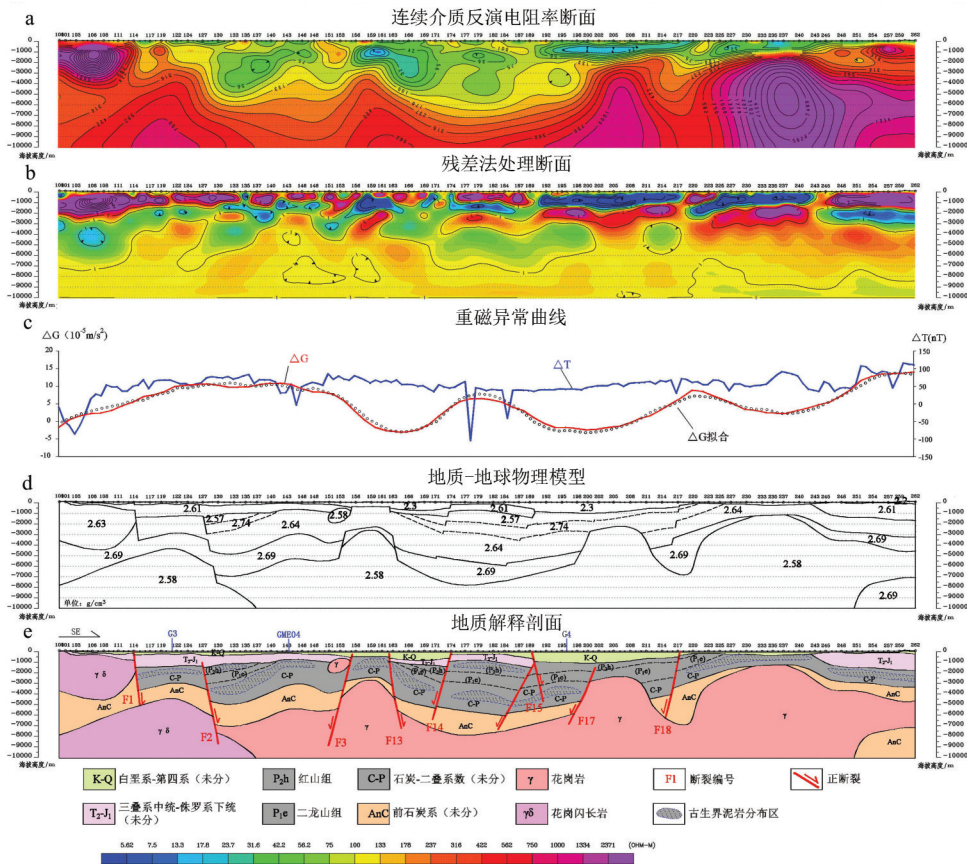


图4 三江盆地GME01线综合解释剖面  
Fig.4 Comprehensive interpretation of GME01 line

如下：

研究区北西侧，古生界顶面埋深一般为200~2000 m。最深处位于本区西部F2断裂两侧，中心最大埋深可达3000 m以上，南部二龙山北侧次之，中心最大埋深约2400 m。西南部埋深最浅，砚山镇一带古生界出露。中部岩浆带西北侧和北部F6断裂北侧，以及F3与F13断裂间，高点埋深一般为600~800 m。

研究区中部(岩浆带以东)，F5-F7-F13断裂以东至F18断裂间，古生界顶面埋深一般为1200~4000 m，最大埋深可达5600 m，总体呈北浅南深，受NE向断裂控制及岩体上侵顶拱影响，起伏幅度变化大。埋深较浅有2个带，分别位于F14与F15断裂间、创业农场东侧(F16断裂下盘)，其构造形态为背斜状的凸起，高点埋深分别约1400 m和1700 m。埋深较大有3个带：西带分别位于中部岩浆带北侧F5-F7-F13断裂与F14断裂，整体形态为一向斜，南宽北窄，顶面埋深一般为1200~5000 m，北浅南深变

化，岩体北侧最大埋深可达5600 m，最浅处位于研究区北部F13断裂上盘，呈鼻状高；中带位于创业农场一带F15与F16断裂间，形态为向斜，顶面埋深一般为2200~3200 m；东带位于F18断裂西侧(该带与西带在创业东侧以凸起相隔)，形态为向斜(长槽状凹陷)，顶面埋深一般为800~3600 m，总体北浅南深，南部最大埋深约4000 m，中部和北部沿F18断裂上盘有2个局部鼻状高，高点埋深分别约1600 m和600 m。

研究区东部，F18断裂东侧至F19断裂间，整体表现为背斜隆起，顶面埋深一般为400~2400 m，北浅南深，中段与东北部有两个局部构造高，高点埋深分别约800 m和300 m。

研究区东南部，F19断裂以东，处于完达山及山前地带，构造形态不清，总体反映为坳陷，顶面埋深一般为2200~4200 m，埋深较浅处于红旗岭农场西268点一带，最深处位于红旗岭农场东F20断裂上盘附近。



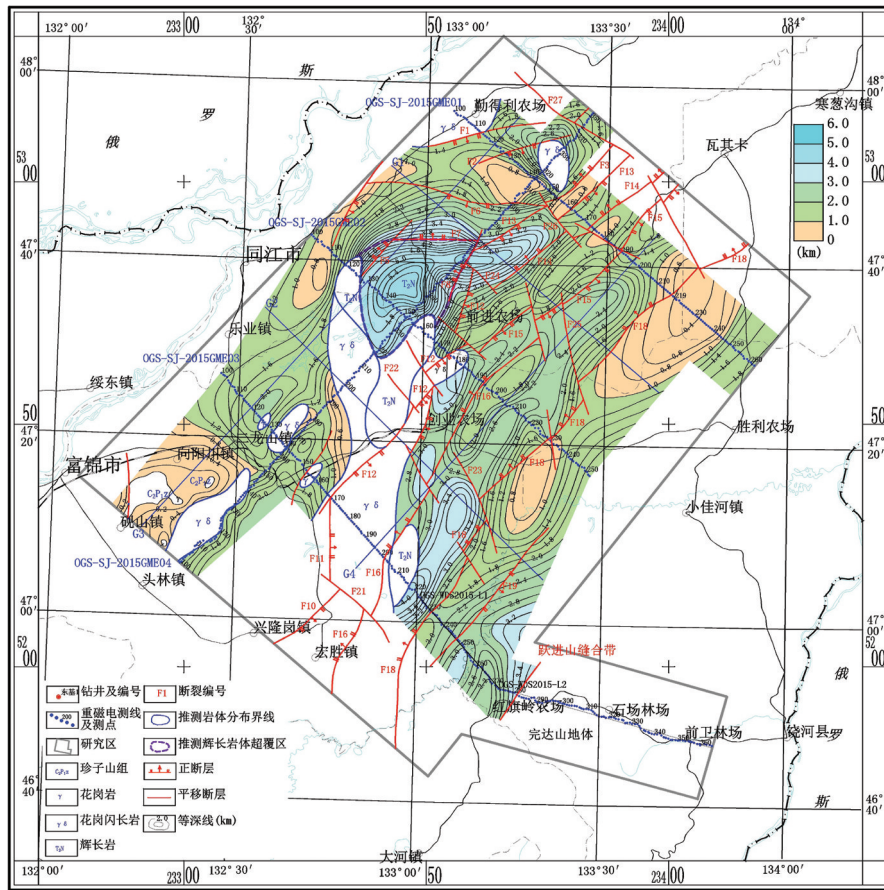


图5 古生界顶面深度图  
Fig.5 Depth map of Paleozoic top surface

### 5.3 古生界泥岩分布特征

由于电法勘探存在体积效应,且古生界地层大都隐伏于中生界盖层之下,一般埋深较大。随着勘探深度的增厚,电法勘探分辨率也会随之降低。由地表露头来看,珍子山组暗色泥岩累积厚度为数十米,古生界地层泥岩累积厚度可能会增大,泥岩低阻异常信息往往会隐藏在所属地层电性异常中,常规的二维反演电阻率断面很难较为准确地探索泥岩分布情况。

笔者借鉴重磁消除区域场的数据处理思路,对二维反演电阻率断面进行残差处理,从二维反演电阻率断面消除区域场,显示同层电性差异,得到残差法处理断面图,作为探索古生界泥岩分布的主要依据之一。首先由二维反演断面确定残差断面中的研究目标(低阻目标层);再根据残差断面中低阻层分布及其起伏特征进行圈划;然后结合二维反演电阻率断面进行适当调整,去除不合理部分,完成

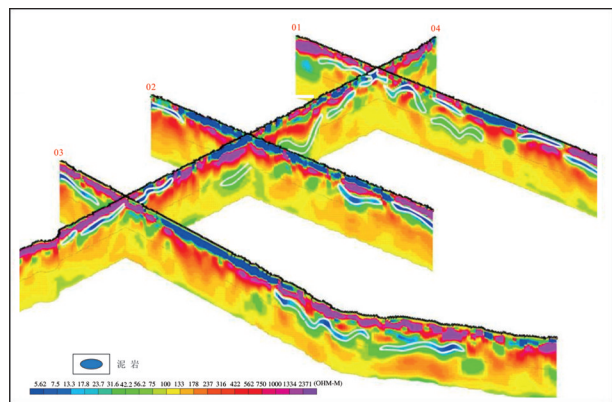


图6 电残差断面立体视图  
Fig.6 Three-dimensional view of electricity residual section

剖面上的古生界泥岩分布推测。二维反演电阻率断面经残差法处理,突显了同层的电性差异,残差法断面图作为本次探索古生界泥岩分布的重要依据,该图下部低值电性异常可大致反映本区石炭—二叠系中泥岩分布情况(图6)。

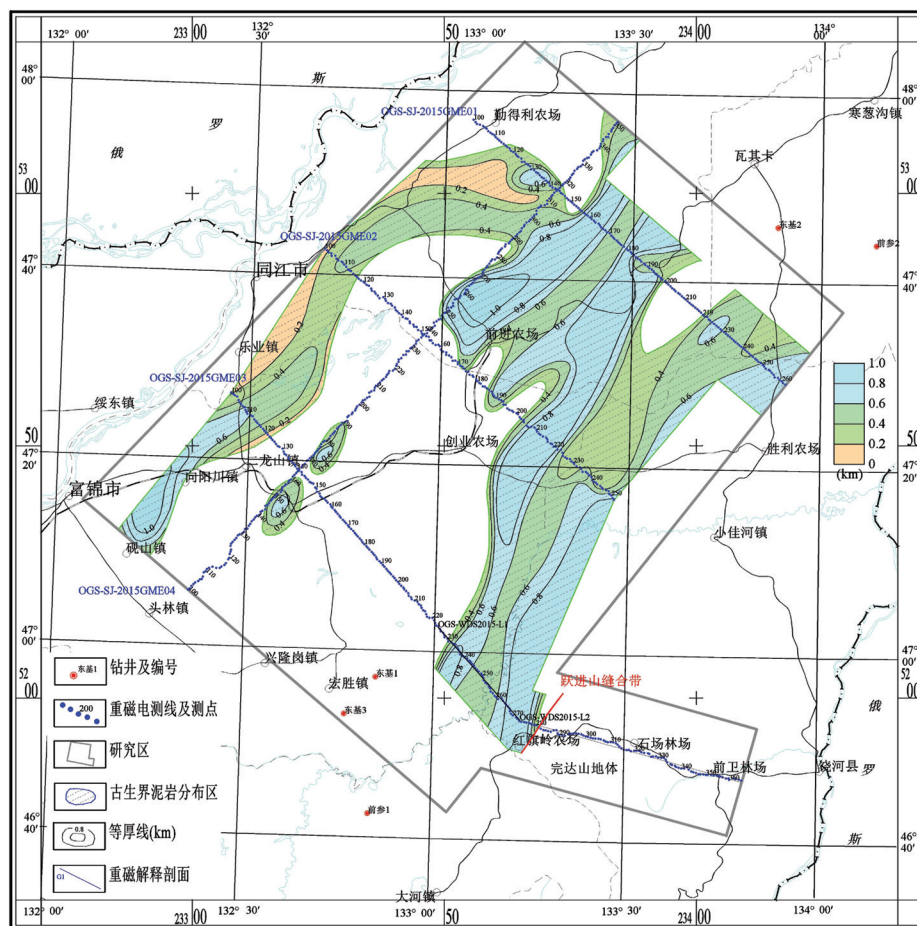


图7 黑龙江三江盆地东部地区古生界泥岩分布与厚度图

Fig.7 Distribution and thickness of Paleozoic mudstone in the eastern area of Sanjiang Basin in Beilongjiang

重磁电剖面解释成果反映,研究区古生界泥岩主要发育在石炭—二叠系珍子山组的中上部。平面上主要分布研究区西北侧、东北部及东部地区(图7)。向西北、东北及向东古生界泥岩分布范围有进一步扩大趋势。研究区中南部由于多期岩浆侵入作用,古生界泥岩分布较为局限。区内古生界泥岩分布面积约4900 km<sup>2</sup>,古生界泥岩厚度一般为200~800 m,总体隆起(凸起)单元厚度小,坳陷(凹陷)单元古生界泥岩厚度大。前进农场北部的青龙山凹陷南部古生界泥岩最大厚度约1100 m,研究区西南部(砚山镇北部)古生界泥岩最大厚度约1000 m。

需要说明的是,古生界珍子山组为泥岩、砂岩、粉砂岩互层,夹煤层,由电法反演断面所圈出的泥岩分布,只能是定性地给出该套地层中泥岩发育区域,在所推测的泥岩发育区域内均有砂岩、粉砂岩

等分布。

## 6 结论

三江盆地石炭系—二叠系呈明显电性低阻层展布于中新生界地层之下,在综合物性上与上覆或下伏地层存在差异。重磁电勘探能够反映出地下各类地质体的物性差异进而获取地层信息,可作为获取古生界石炭系—二叠系资料的有效手段,能有效地刻画出石炭系—二叠系的厚度及其顶底界面的起伏变化。

三江东部地区的西南部和东北部受大范围花岗岩侵入影响,古生界地层呈岩片或岩块残存于中酸性岩体上部,中南部为南北向展布的岩浆带,其余地区古生界地层广泛分布,东部古生界地层残留较厚。受多期构造运动改造及岩浆岩侵入作用影响,古生界盆地具残留盆地的特点。综合地质解释

剖面反映,三江盆地东部地区古生界顶面埋深一般为400~3000 m,部分凹陷中心最大深度可达4000 m和5000 m;石炭系底面埋深一般为2000~6500 m。石炭—二叠系残余厚度一般为1000~3500 m,凹陷中心最大厚度可达4000 m和3500 m。依据电法处理断面探索了古生界泥岩分布,古生界泥岩主要发育于珍子山组中上部,平面上主要分布于研究区西北侧与东部,分布面积约4900 km<sup>2</sup>,厚度一般为200~800 m。

**致谢:**衷心感谢东北石油大学孟元林教授,吉林大学郭巍教授、周建波教授对野外工作和本文的撰写给予的帮助!

## References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. Regional Geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, (in Chinese).
- Hu Zhifang, Ma Yizhong, Qiao Guiling, Yu Mingde, Li Lei, Zhang Liuxin. 2006. Petroleum geologic conditions and exploration prospect of Sanjiang Basin[J]. *Henan Petroleum*, 20(1): 1-4.
- Ji Hancheng, Men Xiangyong, Weng Qingping, Yang Dongjie, Meng Peiwei. 2013. Study on Early Cretaceous lithofacies paleogeography in Dasanjiang Area of Northeast China[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 35(2): 81-91(in Chinese with English abstract).
- Liu Yunwu, Tang Zhenguo, Liu Wenlong. 2006. Evolutional characteristics of Sanjiang Basin and direction of hydrocarbon Exploration[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 28(2): 1-5(in Chinese with English abstract).
- Men Xiangyong, Li Xuefeng, Li Ming. 2010. Structural Evolution and oil/gas prospects of basin groups east of Songliao peripheral basins[J]. *China Petroleum Exploration*, 15(3): 7-10(in Chinese with English abstract).
- Ren Shoumai, Qiao Dewu, Zhang Xingzhou, Liu Yongjiang, Wang Nan, Sun Yuewu, Tang Zhenxing, Cui Yongqian. 2011. 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*, 30(2/3): 197-204(in Chinese with English abstract).
- Wu Heyong, Yang Jianguo, Wang Shihui, Li Zishun. 2009. Progress in petroleum exploration in Large Three Rivers Region[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 28(5): 49-53(in Chinese with English abstract).
- Wu Heyong, Liu Wenlong. 2004. Evaluation and optimum of peripheral basins[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 23(5): 20-22(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xingzhou, Qiao Dewu, Chi Xiaoguo, Zhou Jianbo, Sun Yuewu, Zhang Fengxu, Zhang Shuqin, Zhao Qingying. 2011. Late-Paleozoic tectonic evolution and oil-gas potentiality in northeastern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(2/3):205-213(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunpeng, Ren Jianye, Hou Yanping, Wang Shan, Yang Chengzhi. 2011. Heavy mineral characteristics and provenance analysis of Chengzihe and Muling Formations in Dasanjiang basin group, East Heilongjiang Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(4):674-682(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 胡志方, 马义忠, 乔桂林, 于明德, 李磊, 张留欣. 2006. 三江盆地石油地质条件与勘探前景[J]. *河南石油*, 20(1): 1-4.
- 季汉成, 门相勇, 翁庆萍, 杨东杰, 孟培伟. 2013. 东北大三江地区早白垩世岩相古地理研究[J]. *地球科学与环境学报*, 35 (2): 81-91.
- 刘云武, 唐振国, 刘文龙. 2006. 三江盆地演化特征与油气勘探方向[J]. *石油天然气学报*, 28(2): 1-5.
- 门相勇, 李雪峰, 李明. 2010. 松辽外围东部盆地群构造演化特征及油气前景[J]. *中国石油勘探*, 15(3): 7-10.
- 任收麦, 乔德武, 张兴洲, 刘永江, 王楠, 孙跃武, 唐振兴, 崔永谦. 2011. 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*, 30(2/3): 197-204.
- 王成文, 马志红, 孙跃武, 刘立. 2008. 晚古生代海相地层——东北地区油气勘查的一个新层系[J]. *世界地质*, 27(2): 113-118.
- 吴河勇, 杨建国, 王世辉, 李子顺. 2009. 大三江地区油气勘探进展[J]. *大庆石油地质与开发*, 28(5): 49-53.
- 吴河勇, 刘文龙. 2004. 外围盆地评价优选[J]. *大庆石油地质与开发*, 23(5): 20-22.
- 张兴洲, 乔德武, 迟效国, 周建波, 孙跃武, 张凤旭, 张淑琴, 赵庆英. 2011. 东北地区晚古生代构造演化及其石油地质意义[J]. *地质通报*, 30(2/3): 205-213.
- 周建波, 张兴洲, 马志红, 刘立, 金魏, 张梅生, 王成文, 迟效果. 2009. 中国东北地区的构造格局与盆地演化[J]. *石油与天然气地质*, 30 (5): 530-538.
- 周建波, 石爱国, 景妍. 2016. 东北地块群: 构造演化与古大陆重建[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 46(4): 1042-1055.
- 张云鹏, 任建业, 侯艳平, 王珊, 杨承志. 2011. 三江盆地群城子河组 and 穆棱组时期重矿物特征及物源分析[J]. *岩石矿物学杂志*, 30 (4): 674-682.