

# 大庆长垣中部青山口组页岩油层地质参数 测井解释方法与分类评价

王圣照<sup>1</sup>,周文福<sup>2</sup>,张信勇<sup>3</sup>,毛 毳<sup>4,5</sup>,李小星<sup>2</sup>,王贵磊<sup>2</sup>,  
谢 鹏<sup>6</sup>,王有智<sup>6</sup>,吴海光<sup>1</sup>

(1. 东北石油大学 地球科学学院,黑龙江 大庆 163318; 2. 大庆油田有限责任公司 第五采油厂,黑龙江 大庆 163513; 3. 中国石油集团测井有限公司 长庆分公司,陕西 西安 710201; 4. 东北石油大学 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室,黑龙江 大庆 163318; 5. 东北石油大学 秦皇岛分校,河北 秦皇岛 066044; 6. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712)

**摘要:**页岩储层的地质参数是页岩油藏勘探开发的重要指标。以大庆长垣青山口组泥页岩层为研究对象,利用测井、岩心分析和测试等资料,采用测井曲线响应特征和数理统计分析等方法,建立大庆长垣青山口组测井解释模型,对页岩油层地质参数进行分类评价。结果表明:采用测井解释模型计算和解释长垣中部青山口组页岩油储层的岩性、物性、含油性和烃源岩特征,具有较好的精准度;长垣青山口组储层整体黏土矿物占比较高(主要介于35.0%~50.6%),有效孔隙度高(主要介于7.0%~11.0%),总有机碳质量分数高(主要介于1.0%~3.0%)、游离烃含量(主要介于0.2~3.0 mg·g<sup>-1</sup>)和成熟度(介于0.53%~0.94%)较低;青一段页岩发育二类和三类油层,二类页岩油层分布于研究区西北部和东部,三类页岩油层分布于研究区中部和南部。青二、三段发育三类页岩油层,分布于研究区西北部和东南部。该结果可为大庆长垣中部青山口组页岩油的勘探和开发提供地质参考。

**关键词:**大庆长垣;青山口组;页岩油;测井解释;分类评价;储层特征

**中图分类号:**TE122.3 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-4107(2025)06-0032-14

## 0 引言

中国大多数主力常规油田进入产量递减期,稳产难度大,采用常规开采方式难以开发的页岩油成为原油增产稳产的重要接替资源<sup>[1-6]</sup>。松辽盆地上白垩统青山口组、嫩江组广泛发育泥页岩<sup>[7]</sup>,是盆地最主要的烃源岩层系,也是页岩油资源潜力较大的层系,在平面上,松辽盆地北部页岩储层主要分布于中央凹陷区的齐家—古龙凹陷、三肇凹陷、大庆长垣和朝阳沟阶地<sup>[8]</sup>。齐家—古龙凹陷的中—高成熟页岩油地质资源量为 $1.0773 \times 10^{10}$  t,技术可采资源量超过 $8.00 \times 10^8$  t<sup>[9]</sup>。在三肇凹陷青一段底部高有机质页岩层段部署的肇页1H井,获得 $16.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业油流,表明松辽盆地北部页岩油具有巨大的勘探潜力。

柳波等分析松辽盆地北部青山口组页岩油形成的地质条件和含油气性,明确青一段有利页岩油层的空间分布<sup>[10]</sup>;根据实验分析和测井解释资料,王凤兰等明确页岩储层的岩性、岩相、电性和含油性等特征,建立青山口组页岩储层的综合分类评价标准<sup>[11]</sup>;郑建东等通过各地质参数和测井的响应关系,提出成熟度和总有机碳质量分数的双参数游离烃含量测井计算模型、变 $T_2$ 截止核磁有效孔隙度计算方法和二维核磁含油饱和度计算模型,提高青山口组页岩油关键地质参数的解释精度<sup>[12]</sup>;基于地球化学分析及生排烃热模拟实验,冯子辉等明确古龙页岩总有机碳质量分数、氢指数和成熟度等特征,建立游离烃含量的测井精细评价方法和轻烃恢复模型<sup>[13]</sup>;基于地球化学分析数据、测井资料和生产数据,孙龙德等制定以总有机碳质量分数、含油量、有效孔隙度和含油饱和度等为核心参数的页岩油分级标准<sup>[9]</sup>。

对于松辽盆地北部青山口组页岩油的测井解释方法和地质品质特征研究,主要集中于齐家—古龙凹陷地区、层位主要是青一、二段,大庆长垣地区页岩油的测井计算方法和地质品质特征不明确。根据大庆

收稿日期:2025-03-28;编辑:陆雅玲 任志平

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42372150);黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2024D010)

作者简介:王圣照(1999—),男,硕士研究生,主要从事油气储层地质学方面的研究。

通信作者:毛 毳,E-mail: maocui\_2008@163.com

长垣中部测井、岩心分析和测试等资料,采用测井曲线响应特征和数理统计分析等方法,建立大庆长垣中部青山口组页岩储层的地质参数测井解释模型,探讨页岩储层的地质特征,综合页岩油地质参数分类标准对储层进行评价,分析有利区范围,为研究区页岩油的勘探和开发提供地质依据。

### 1 区域地质概况

大庆长垣位于松辽盆地北部,西接齐家—古龙凹陷,东邻三肇凹陷,是一个完整的二级构造单元,为盆地萎缩阶段形成的背斜构造<sup>[14]</sup>。大庆长垣处于大型三角洲与湖泊沉积的过渡带<sup>[15]</sup>,地层由上向下倾角逐渐变大,厚度由两翼向顶部逐渐减薄<sup>[16]</sup>。青山口组沉积时期为松辽盆地第 1 次湖泛期,湖相分布范围广阔<sup>[17]</sup>,地层埋深为 1 400~1 800 m,厚度为 400~500 m。青一段沉积时期发生大规模湖侵,沉积环境主要为半深湖—深湖相(见图 1(a)),岩性以泥页岩为主,暗色泥页岩厚度为 30~100 m<sup>[18]</sup>;青二、三段总体为湖退背景沉积,沉积环境主要为三角洲相(见图 1(b)),岩性以泥页岩为主,含砂岩、粉砂岩夹层(见图 1(c)),沉积旋回性比较明显,总的变化趋势是地层从北向南逐渐增厚<sup>[19]</sup>。

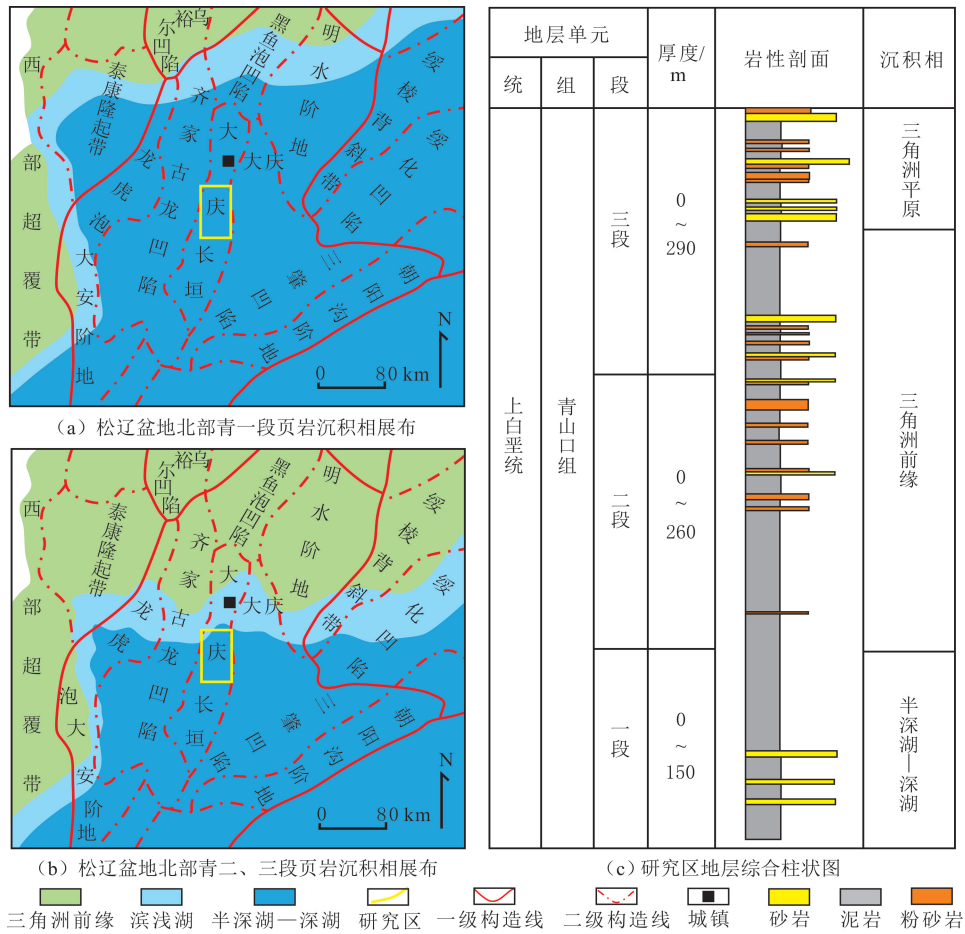


图 1 松辽盆地北部青山口组页岩沉积相展布及研究区地层综合柱状图(据文献[19-20]修改)  
 Fig. 1 Shale sedimentary facies distribution of the Qingshankou Formation in the Northern Songliao Basin and comprehensive stratigraphic column in the study area(modified by references[19-20])

### 2 测井解释方法

#### 2.1 测井曲线标准化

选取研究区青一段岩性均匀、测井曲线稳定的泥岩段作为标准层,对关键曲线(深侧向电阻率、声波时差、岩性密度和补偿中子)进行标准化(见图 2)<sup>[21-22]</sup>。对于深侧向电阻率曲线偏离较大的井,采用比值法

进行校正;对于声波时差、岩性密度和补偿中子曲线偏离较大的井,采用差减法进行校正。

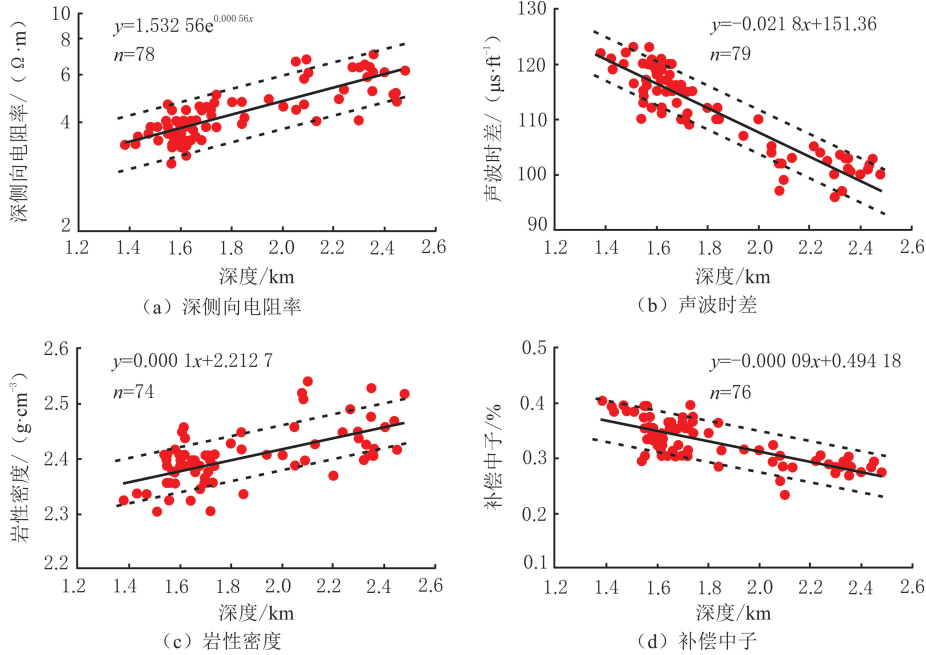


图 2 研究区泥岩段标准层关键曲线标准化

Fig. 2 Standardization of the key curves of the standard beds in the mudstone section in the study area

### 2.2 岩石矿物解释模型

准确识别岩性是储层特征研究的基础,根据测井曲线特征识别矿物,具有纵向连续性好、针对性强等优点<sup>[23-24]</sup>。选取岩心资料丰富的 QP1、J28-Z3 和 L26-Z2 取心井作为样本,采用相关分析、多元统计等方法,分析地层岩性与测井参数响应特征,选择实验数据与测井参数相关系数较高的声波时差、自然伽马、补偿中子等测井曲线,确定常规测井岩石矿物解释模型。

$$V_{sh} = 0.7416 \ln(LLD/LLD_{min}) + 0.2294 \Delta GR + 0.2198 DT + 68.5845 CNL - 20.022, \quad (1)$$

$$V_{quaz} = 1.4742 \ln(LLD/LLD_{min}) - 0.0229 \Delta GR - 0.0899 DT + 44.1277, \quad (2)$$

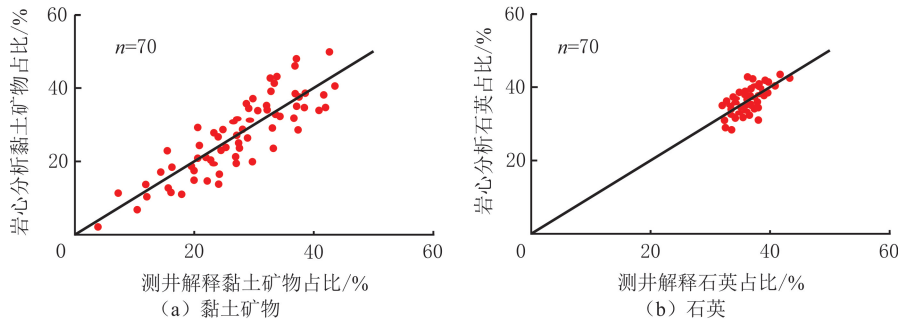
$$V_{feld} = 2.9209 \ln(LLD/LLD_{min}) - 0.1671 \Delta GR - 0.120 DT - 83.9944 CNL + 67.2064, \quad (3)$$

$$V_{cal} = 3.1076 \ln MSFL - 0.1539 DT + 13.44949, \quad (4)$$

$$\Delta GR = \frac{GR - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}, \quad (5)$$

式(1-5)中: $V_{sh}$ 为黏土矿物占比; $V_{quaz}$ 为石英占比; $V_{feld}$ 为长石占比; $V_{cal}$ 为方解石占比;LLD为深侧向电阻率;GR为自然伽马;DT为声波时差;CNL为补偿中子;MSFL为微球聚焦。

将解释结果与全岩分析数据进行对比,测井解释的黏土矿物占比平均绝对误差为 3.60%(见图 3(a)),石英占比平均绝对误差为 2.10%(见图 3(b)),长石占比平均绝对误差为 2.60%(见图 3(c)),方解石占比平均绝对误差为 2.80%(见图 3(d))。



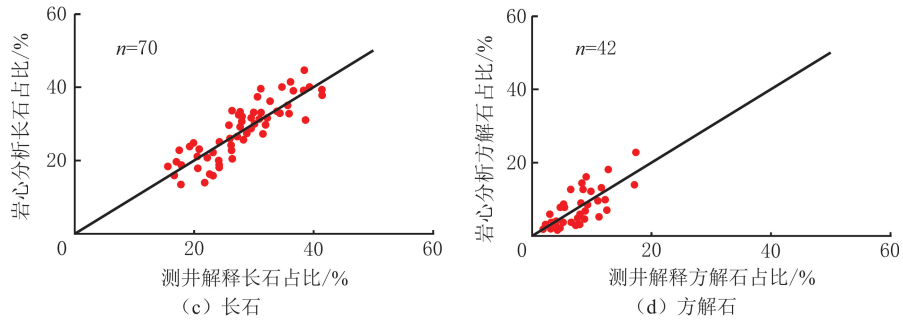


图 3 研究区矿物占比测井解释模型与岩心分析结果

Fig. 3 Logging interpretation model of mineral proportion and core analysis results in the study area

### 2.3 孔隙度测井评价方法

常用密度、补偿中子和声波时差测井曲线计算孔隙度。将大庆长垣及周边 T13-31、XY1、GY10HC、GY19、GY4HC、GY7 和 GY8HC 等井中取样密度大于 2 块/m 的、有代表性的层位作为样本,分析有效孔隙度、总孔隙度与岩性密度、补偿中子和声波时差测井的关系。研究区有效孔隙度与岩性密度相关关系较低、与补偿中子相关关系为中等、与声波时差相关关系较高(见图 4(a、c、e)),总孔隙度与岩性

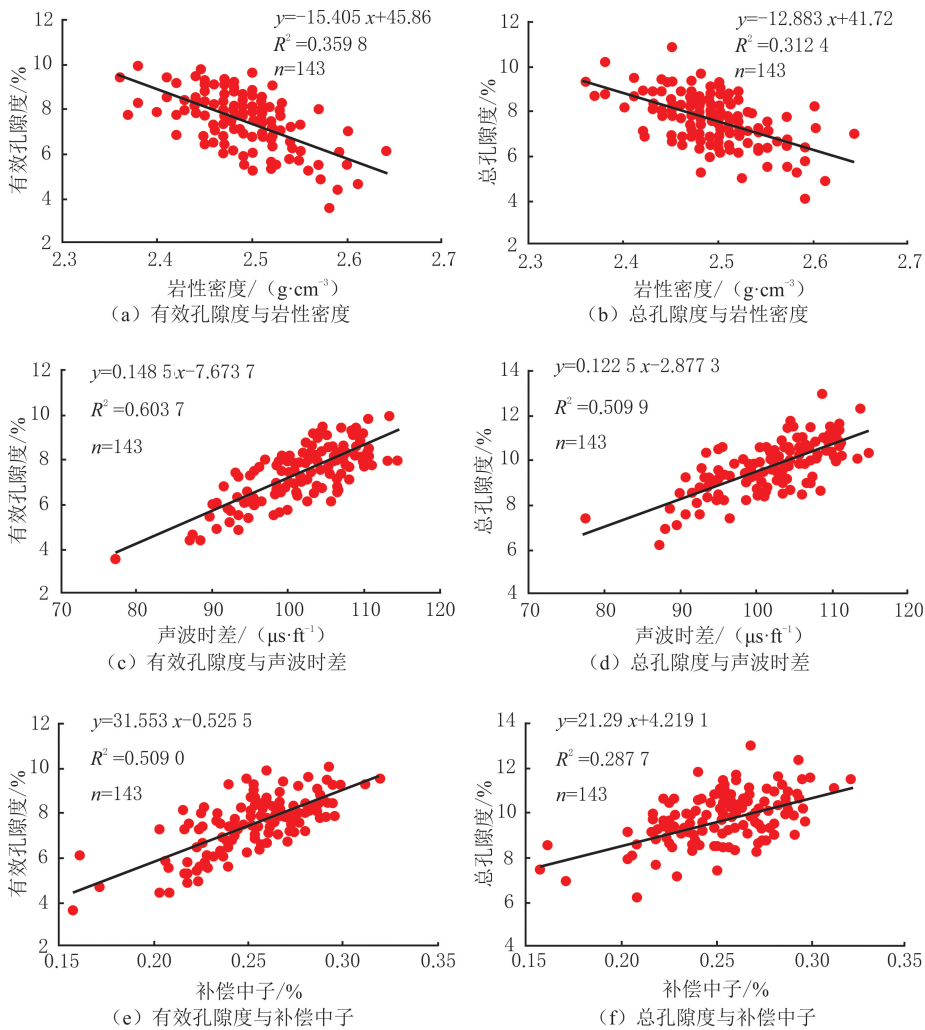


图 4 研究区有效孔隙度、总孔隙度与岩性密度、补偿中子、声波时差测井相关关系

Fig. 4 The correlation between effective porosity, total porosity and density logging, compensated neutron logging, and acoustic travel time logging in the study area

密度、补偿中子相关关系较低,与声波时差相关关系为中等(见图 4(b、d、f)),采用多元回归分析法建立孔隙度测井解释模型。将解释结果与全岩分析数据进行对比,总孔隙度平均相对误差为 7.30%(见图 5(a)),有效孔隙度平均相对误差为 7.90%(见图 5(b))。

$$\phi_z = 0.111 \ 2DT + 0.858 \ 8CNL - 4.775 \ 8DEN + 9.887 \ 8, \quad (6)$$

$$\phi_e = 0.107 \ 1DT + 9.583 \ 1CNL - 2.539 \ 8DEN + 0.399 \ 8, \quad (7)$$

式(6-7)中: $\phi_z$  为总孔隙度; $\phi_e$  为有效孔隙度。

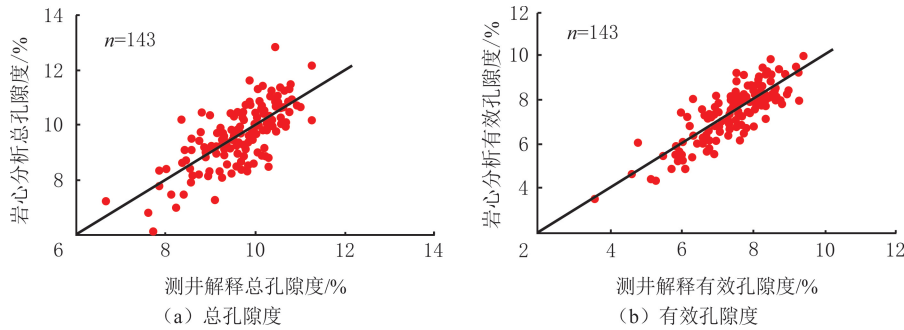


图 5 研究区总孔隙度、有效孔隙度测井解释模型与岩心分析结果

Fig. 5 Total porosity, effective porosity logging interpretation model and core analysis results in the study area

### 2.4 含油饱和度

储层含油饱和度的确定方法主要有密闭取心分析法、经验模型法、测井资料解释法和毛细管压力曲线法等<sup>[25-26]</sup>。松辽盆地青山口组页岩主要为黏土质长英页岩,相对于其他页岩油气田,黏土矿物和长石占比高,碳酸盐矿物占比低<sup>[8]</sup>,采用经典阿尔奇公式计算含水饱和度适用性较差<sup>[27]</sup>。根据松辽盆地青山口组页岩地质特征,采用适合分散黏土的泥质砂岩饱和度模型<sup>[28]</sup>。研究区储层沉积总体比较稳定,黏土矿物电阻率取为  $2.0 \ \Omega \cdot m$ <sup>[29]</sup>,根据地层水分析资料,地层水电阻率取为  $0.2 \ \Omega \cdot m$ ,采用高分辨率数字岩心物理实验和数值模拟方法,确定研究区页岩的胶结指数为 1.38,饱和度指数为 1.42,岩性因数为 1。计算研究区储层含油饱和度与真空低温干馏法分析数据接近,平均绝对误差为 4.80%(见图 6)。

### 2.5 烃源岩测井评价方法

#### 2.5.1 总有机碳质量分数

根据烃源岩高电阻率、高自然伽马、高声波时差和低密度的响应特征<sup>[30-32]</sup>,对 GY19、GY4HC、GY17、GY5HC、XY33、SYY1、T13-31、XY1 井的测井曲线与总有机碳质量分数  $w(\text{TOC})$  进行相关关系分析,选定响应最敏感的声波时差和深侧向电阻率拟合  $w(\text{TOC})$ ,平均绝对误差为 0.30%(见图 7)。

$$w(\text{TOC}) = 0.049 \ 3DT + 3.424 \ 2lg \ LLD - 5.988 \ 2. \quad (8)$$

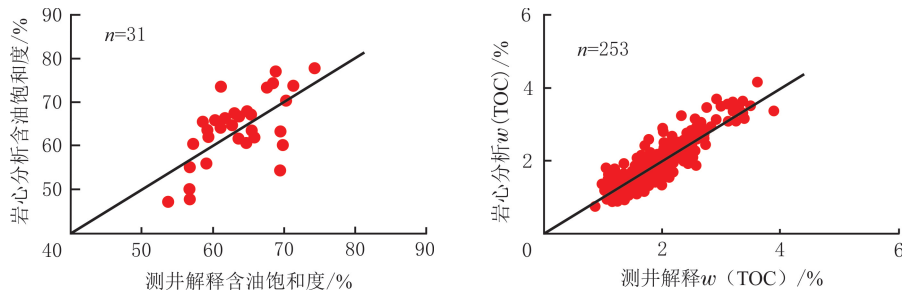


图 6 研究区含油饱和度解释模型与岩心分析结果

Fig. 6 Oil saturation interpretation model and core analysis results in the study area

图 7 研究区总有机碳质量分数解释模型与岩心分析结果

Fig. 7 Total organic carbon mass fraction interpretation model and core analysis results in the study area

### 2.5.2 有机质成熟度

有机质成熟度( $R_o$ )与深度之间存在正相关关系<sup>[33-34]</sup>。分析长垣及其周边地区的 S53、X67、X69、GY17、T2021、T13-31 和 XY1 等取心井的 24 块岩心,显示有机质成熟度与深度之间呈指数关系(见图 8(a)),解释结果与岩心分析数据对比的平均绝对误差为 0.03%(见图 8(b))。

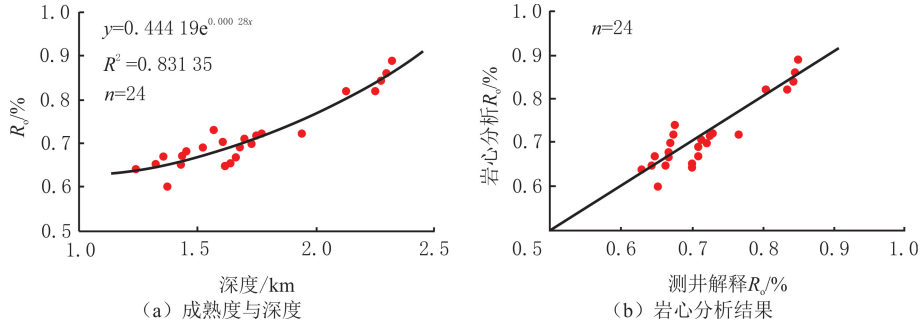


图8 研究区有机质成熟度测井解释模型及岩心分析结果

Fig. 8 Organic matter maturity logging interpretation model and core analysis results in the study area

### 2.5.3 游离烃含量

游离烃含量是页岩油资源评价的关键参数,能够直接反映页岩油的富集程度<sup>[35-37]</sup>。分析研究区游离烃含量( $S_1$ )与总有机碳质量分数、成熟度的关系, $S_1/w(\text{TOC})$ 与 $R_o$ 之间相关关系很好(见图 9(a)),确定研究区页岩油 $S_1$ 双参数测井计算模型,平均绝对误差为 $0.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (见图 9(b))。

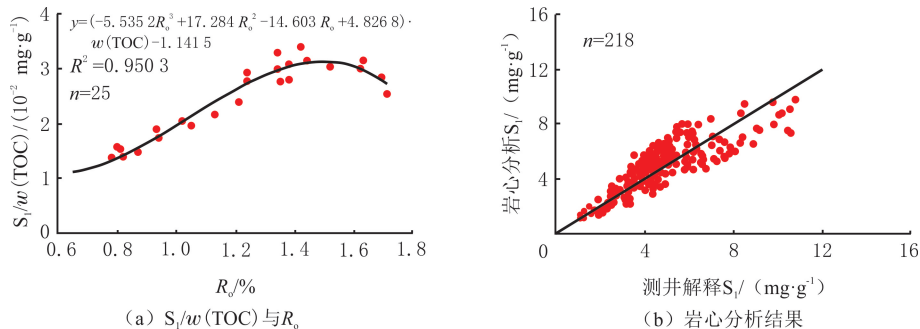


图9 研究区游离烃含量测井解释模型及岩心分析结果

Fig. 9 Free hydrocarbon content logging interpretation model and core analysis results in the study area

## 3 地质特征

### 3.1 矿物组成

研究区黏土矿物占比较高,总体分布介于 $23.5\% \sim 50.6\%$ 。青一段和青二、三段的黏土矿物占比主要介于 $35.0\% \sim 50.0\%$ ,其中青一段页岩黏土矿物占比平均为 $42.2\%$ ,青二、三段页岩黏土矿物占比平均为 $42.4\%$ (见图 10(a))。

脆性矿物主要是长石和石英,碳酸盐矿物占比很少。长英质矿物占比主要介于 $40.0\% \sim 50.0\%$ ,青一段长英质矿物占比平均为 $43.2\%$ ,青二、三段长英质矿物占比平均为 $47.1\%$ (见图 10(b))。方解石(碳酸盐矿物)占比普遍 $< 5.0\%$ ,青一段方解石占比平均为 $1.8\%$ ,青二、三段方解石占比平均为 $3.5\%$ (见图 10(c))。整体上,青二、三段的脆性矿物占比大于青一段的。

### 3.2 物性特征

青山口组有效孔隙度主要分布介于 $7.0\% \sim 11.0\%$ ,青一段页岩有效孔隙度集中分布介于 $8.0\% \sim 11.0\%$ ,平均为 $9.8\%$ ;青二、三段页岩有效孔隙度集中分布介于 $7.0\% \sim 10.0\%$ ,平均为 $8.4\%$ 。整体上,

青一段有效孔隙度大于青二、三段的(见图 11)。

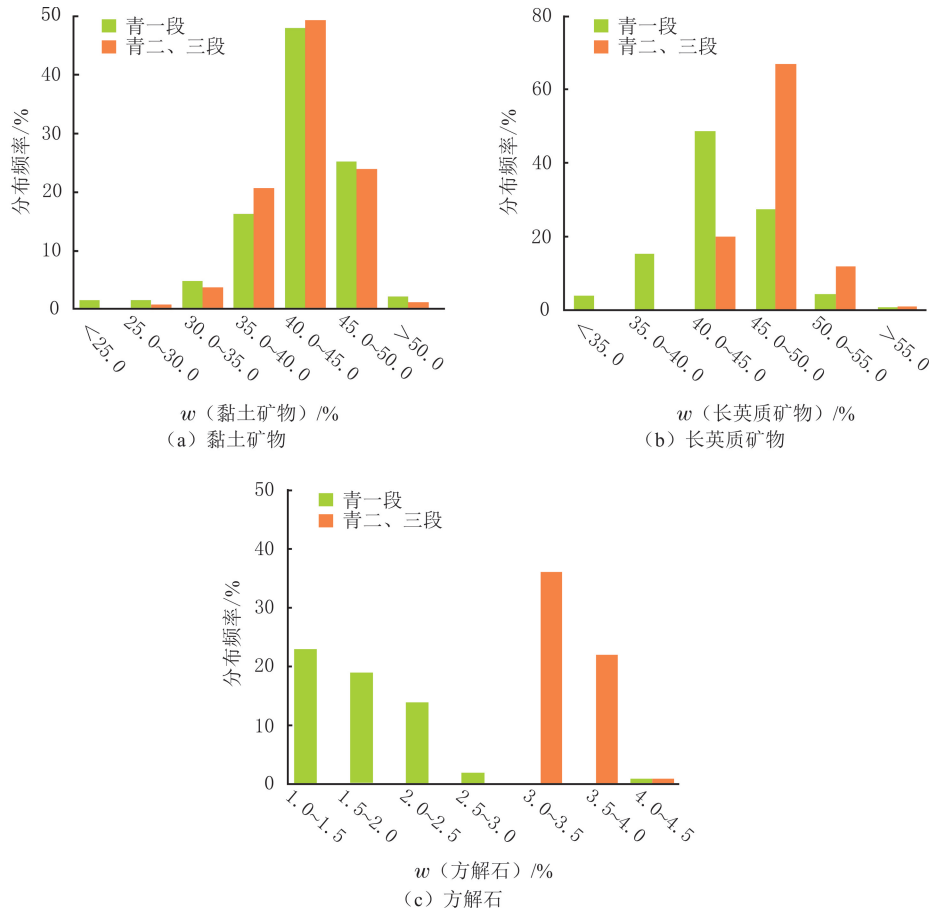


图 10 研究区青山口组主要矿物占比分布直方图

Fig. 10 Histogram of the distribution of main mineral proportion in the Qingshankou Formation in the study area

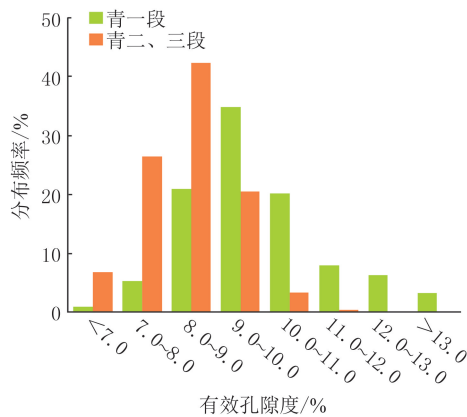


图 11 研究区青山口组有效孔隙度分布直方图

Fig. 11 Histogram of the distribution of effective porosity in the Qingshankou Formation in the study area

### 3.3 含油性特征

青山口组页岩含油饱和度总体分布为 40.0%~88.9%。青一段含油饱和度分布较为分散,介于 55.0%~70.0%,平均为 62.3%。青二、三段含油饱和度分布比较集中,介于 40.0%~55.0%,平均为

46.9%(见图 12)。整体上,青一段含油饱和度大于青二、三段的。

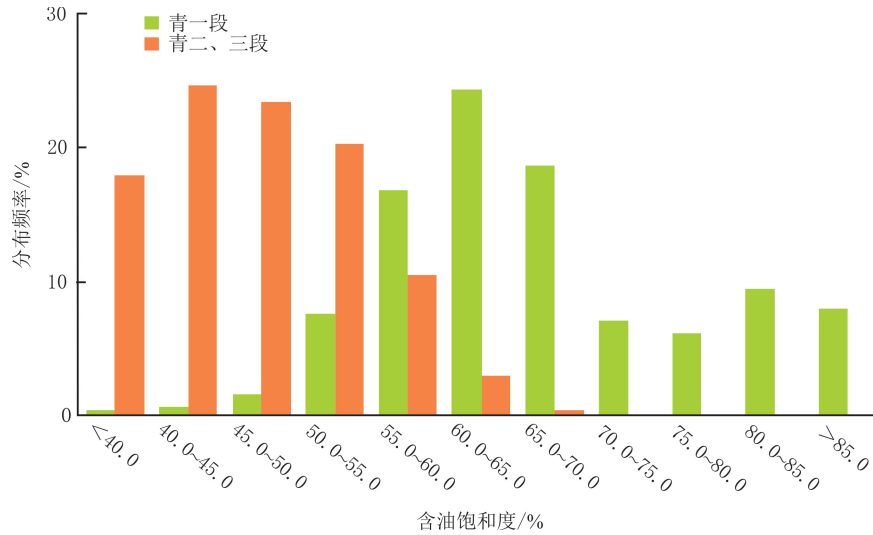


图 12 研究区青山口组含油饱和度分布直方图

Fig. 12 Histogram of the distribution of oil saturation in the Qingshankou Formation in the study area

### 3.4 烃源岩特征

研究区青山口组页岩总有机碳质量分数高,主要分布介于 1.0%~3.0%,有少量层位的为 4.0%~5.0%。青一段页岩总有机碳质量分数主要分布介于 2.0%~3.5%,平均为 3.0%。青二、三段页岩总有机碳质量分数主要分布介于 1.0%~2.0%,平均为 1.5%(见图 13(a))。

有机质成熟度分布介于 0.53%~0.94%。青一段页岩成熟度介于 0.66%~0.94%,平均为 0.73%。青二、三段页岩成熟度介于 0.53%~0.83%,平均为 0.68%。研究区烃源岩成熟度较低,普遍为中—低熟烃源岩。

游离烃含量主要分布介于 0.2~3.0  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。青一段页岩游离烃含量主要分布介于 1.0~3.0  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,平均为 2.8  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。青二、三段页岩游离烃含量主要分布介于 0.2~2.0  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,平均为 0.9  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。研究区青山口组页岩游离烃含量普遍较低(见图 13(b))。

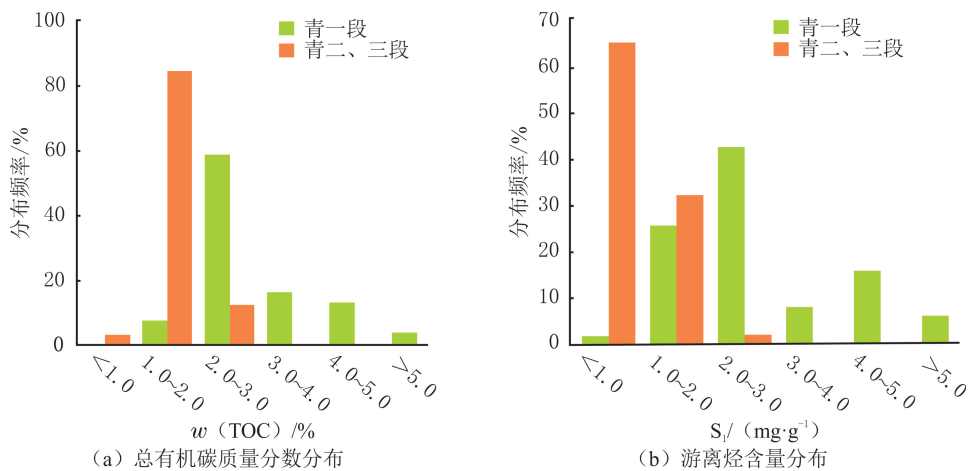


图 13 研究区青山口组总有机碳质量分数与游离烃含量分布直方图

Fig. 13 Histogram of the distribution of organic carbon proportion and free hydrocarbon content in the Qingshankou Formation in the study area

### 4 分类评价

研究区页岩储层发育较高占比的黏土矿物和长英质矿物,有效孔隙度和含油饱和度高,游离烃含量低,为中—低成熟度烃源岩。由于低成熟度页岩油有机质未充分转化、油质重和流动性差<sup>[38]</sup>,将有机质成熟度、游离烃含量及总有机碳质量分数作为分类评价的核心参数。其中,一类页岩油层划分标准为总有机碳质量分数大于 2.0%,游离烃含量大于 6.0 mg·g<sup>-1</sup>,有机质成熟度大于 1.00%;二类页岩油层划分标准为总有机碳质量分数介于 1.5%~2.0%,游离烃含量介于 4.0~6.0 mg·g<sup>-1</sup>,有机质成熟度介于 0.75%~1.00%;三类页岩油层划分标准为总有机碳质量分数介于 1.0%~1.5%,游离烃含量介于 2.0~4.0 mg·g<sup>-1</sup>,有机质成熟度介于 0.50%~0.75%<sup>[7,9,39-40]</sup>(见表 1)。在进行储层分类评价时,若参数间相差一个级别,则以成熟度为主控因素;若相差两个级别,则降低一个级别解释。

表 1 研究区青山口组页岩油地质参数分类评价

Table 1 Evaluation standards for geological parameters of shale oil in the Qingshankou Formation in the study area

类型	参数	一类页岩油层		二类页岩油层	三类页岩油层	参数级别
		一类 A 层	一类 B 层			
岩性	黏土矿物占比/%	<40.0		40.0~50.0	>50.0	参考[37]
	脆性矿物占比/%	>50.0		40.0~50.0	<40.0	
物性	可动孔隙度/%	≥4.0	3.5~4.0	2.5~3.5	<2.5	参考[38]
	有效孔隙度/%	≥5.0		4.0~5.0	<4.0	参考[9]
	总孔隙度/%	≥8.0		6.0~8.0	<6.0	参考[38]
含油性	含油饱和度/%	≥65.0		55.0~65.0	<55.0	参考[38]
烃源岩特征	游离烃含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	≥8.0	6.0~8.0	4.0~6.0	2.0~4.0	核心[38]
	总有机碳质量分数/%	≥2.0		1.5~2.0	1.0~1.5	核心[38]
	有机质成熟度/%	≥1.00		0.75~1.00	0.50~0.75	核心[7]

应用测井解释模型和页岩油层分类评价,对研究区 59 口井进行综合解释与评价,青山口组页岩储层主要发育二、三类页岩油层,二类页岩油层主要发育于青一段下部,累计厚度为 87.7 m;三类页岩油层位于青一段上部和青二、三段,累计厚度为 2 917.4 m。

以取心井 XY1 井为例,采用岩心实验数据验证测井解释模型,青山口组页岩黏土矿物和长英质矿物占比纵向上较为稳定,矿物占比参数指示为二类页岩油油层,青二、三段下部黏土矿物占比略降低、长英质矿物占比略升高,矿物占比参数有利;有效孔隙度普遍>6.0%,物性参数指示为一类页岩油油层;总有机碳质量分数、含油饱和度、有机质成熟度和游离烃含量总体上随深度呈上升趋势,青一段参数明显优于青二、三段的。其中,二类页岩油层发育于青一段中下部,如 1 790~1 840 m 深度段,游离烃和总有机碳质量分数出现明显的高峰,厚度为 3~8 m,多以夹层的形式出现;三类页岩油层发育于青一段上部和青二、三段,总有机碳质量分数为 1.5%,游离烃含量为 3.6 mg·g<sup>-1</sup>,有效厚度较大,为 50~120 m(见图 14)。

平面上,研究区总有机碳质量分数在 1.0%以上,紧邻三肇凹陷的东部区域青一段总有机碳质量分数在 4.0%以上,青二、三段的在 2.0%以上(见图 15(a,d))。有机质成熟度较低,游离烃含量与有机质成熟度具有明显的相关关系,与总有机碳质量分数的相关关系很差。游离烃含量和有机质成熟度的高值区域分布于研究区西北部,其中,青一段游离烃含量在 3.5 mg·g<sup>-1</sup>以上,有机质成熟度超过 0.80%;青二、三段游离烃含量在 2.0 mg·g<sup>-1</sup>以上,有机质成熟度在 0.75%以上(见图 15(b-c,e-f))。综合总有机碳质量分数、游离烃含量和有机质成熟度进行分类评价,各类富集层平面分布见图 16,研究区页岩油层地质品质明显受控于有机质成熟度和游离烃含量,青一段二类页岩油层主要分布于研究区西北部和东部,三类页岩油层主要分布于研究区中部和南部。青二、三段页岩发育三类页岩油层,成熟度和游离烃含量较低,地质品质较差,主要分布于研究区西北部和东南部。

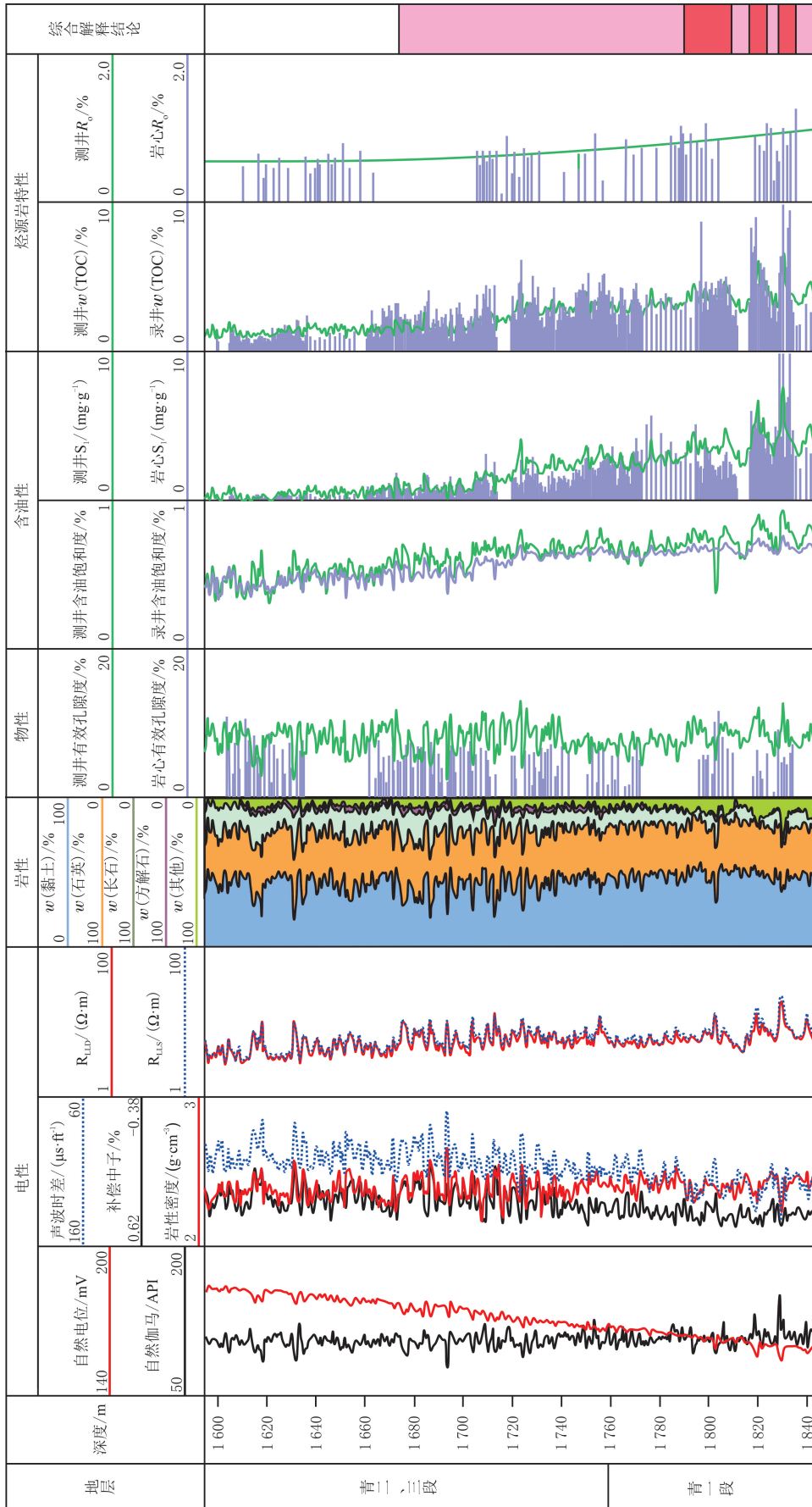


图 14 研究区 XY1 井测井解释与分类评价成果图  
 Fig. 14 Log interpretation and classification evaluation results of well XY1 in the study area

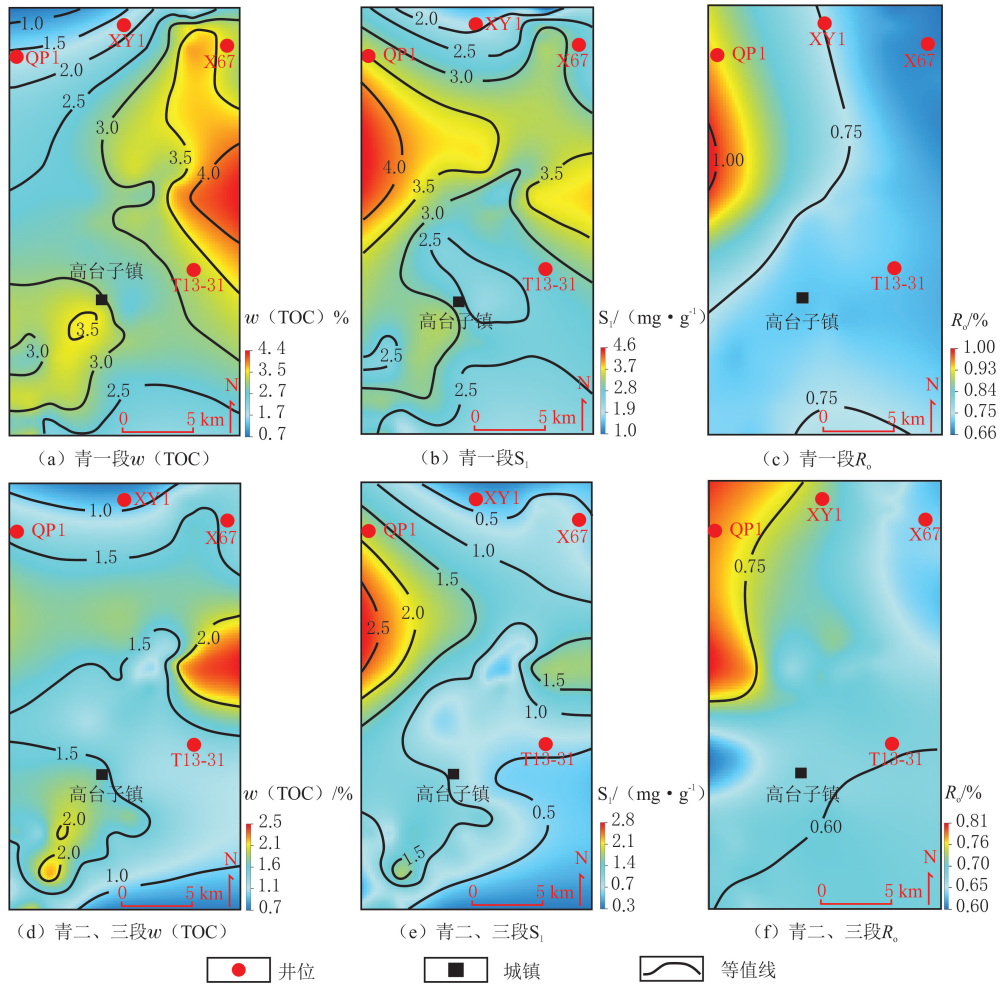


图 15 研究区青山口组  $w(\text{TOC})$ 、 $S_1$  和  $R_o$  分布

Fig. 15 Contour maps of  $w(\text{TOC})$ ,  $S_1$  and  $R_o$  in the Qingshankou Formation in the study area

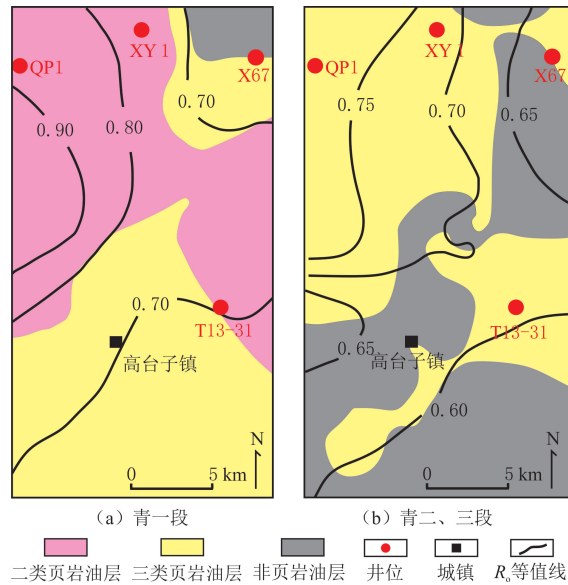


图 16 大庆长垣中部青山口组页岩油有利区分布

Fig. 16 Distribution of favorable areas for shale oil in Qingshankou Formation in the middle part of Daqing Placanticline

## 5 结论

(1)基于测井曲线的响应特征和数理统计方法建立测井解释模型,测井解释结果与岩心分析资料对比显示较好的精度,可为大庆长垣中部或邻区青山口组泥页岩层测井解释提供参考。

(2)研究区岩性主要为泥页岩,具有较高占比的黏土矿物和长英质矿物、有效孔隙度高、含油饱和度中等、总有机碳质量分数高,成熟度以中低成熟度为主,有机质转化未达到大量生油阶段,游离烃含量较低。

(3)研究区发育二、三类页岩油层,二类页岩油层主要发育于青一段中部和下部,平面上分布于研究区西北部和东部,多以夹层的形式出现;三类页岩油层主要发育于青一段上部和青二、三段,平面上主要分布于研究区南部,有效厚度大。

## 参考文献(References):

- [1] 赵文智,胡素云,侯连华,等. 中国陆相页岩油类型、资源潜力及与致密油的边界[J]. 石油勘探与开发,2020,47(1):1-10.  
ZHAO Wenzhi, HU Suyun, HOU Lianhua, et al. Types and resource potential of continental shale oil in China and its boundary with tight oil[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020,47(1):1-10.
- [2] 孙龙德,刘合,朱如凯,等. 中国页岩油革命值得关注的十个问题[J]. 石油学报,2023,44(12):2007-2019.  
SUN Longde, LIU He, ZHU Rukai, et al. Ten noteworthy issues on shale oil revolution in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023,44(12):2007-2019.
- [3] 姚玉来,肖飞,李士超,等. 松辽盆地齐家凹陷南部青山口组一段基岩型页岩油富集模式[J]. 地质学报,2024,98(11):3393-3407.  
YAO Yulai, XIAO Fei, LI Shichao, et al. Enrichment model of tight shale oil in the first member of Cretaceous Qingshankou Formation in the Southern Qijia Sag, Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2024,98(11):3393-3407.
- [4] 徐浩,解启来,陈孔全,等. 彰武断陷九佛堂组页岩油气潜力分析[J]. 东北石油大学学报,2015,39(3):94-103.  
XU Hao, XIE Qilai, CHEN Kongquan, et al. Shale oil and gas potential analysis of Jiufotang Formation in Zhangwu Fault Depression [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015,39(3):94-103.
- [5] 王濡岳,胡宗全,周彤,等. 四川盆地及其周缘五峰组—龙马溪组页岩裂缝发育特征及其控储意义[J]. 石油与天然气地质,2021,42(6):1295-1306.  
WANG Ruyue, HU Zongquan, ZHOU Tong, et al. Characteristics of fractures and their significance for reservoirs in Wufeng-Longmaxi shale, Sichuan Basin and its periphery[J]. Oil & Gas Geology, 2021,42(6):1295-1306.
- [6] 朱国文,王小军,白雪峰,等. 松辽盆地北部致密油勘探新领域及资源潜力[J]. 石油学报,2025,46(1):33-47.  
ZHU Guowen, WANG Xiaojun, BAI Xuefeng, et al. New exploration fields and resource potential of tight oil in Northern Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2025,46(1):33-47.
- [7] LIU B, WANG H, FU X, et al. Lithofacies and depositional setting of a highly prospective lacustrine shale oil succession from the Upper Cretaceous Qingshankou Formation in the Gulong Sag, Northern Songliao Basin, Northeast China[J]. AAPG Bulletin, 2019, 103(2):405-432.
- [8] 朱国文,王小军,张金友,等. 松辽盆地陆相页岩油富集条件及勘探开发有利区[J]. 石油学报,2023,44(1):110-124.  
ZHU Guowen, WANG Xiaojun, ZHANG Jinyou, et al. Enrichment conditions and favorable zones for exploration and development of continental shale oil in Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023,44(1):110-124.
- [9] 孙龙德,贾承造,张君峰,等. 松辽盆地古龙页岩油资源潜力[J/OL]. 石油学报,https://link.cnki.net/urlid/11.2128.TE.20241210.1528.002.  
SUN Longde, JIA Chengzao, ZHANG Junfeng, et al. Resource potential of Gulong shale oil in Songliao Basin[J/OL]. Acta Petrolei Sinica, https://link.cnki.net/urlid/11.2128.TE.20241210.1528.002.
- [10] 柳波,吕延防,冉清昌,等. 松辽盆地北部青山口组页岩油形成地质条件及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质,2014,35(2):280-285.  
LIU Bo, LYU Yanfang, RAN Qingchang, et al. Geological conditions and exploration potential of shale oil in Qingshankou Formation, Northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(2):280-285.
- [11] 王凤兰,付志国,王建凯,等. 松辽盆地古龙页岩油储层特征及分类评价[J]. 大庆石油地质与开发,2021,40(5):144-156.  
WANG Fenglan, FU Zhiguo, WANG Jiankai, et al. Characteristics and classification evaluation of Gulong shale oil reservoir in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2021,40(5):144-156.
- [12] 郑建东,王春燕,章华兵,等. 松辽盆地古龙页岩油储层七性参数和富集层测井评价方法[J]. 大庆石油地质与开发,2021,40(5):87-97.  
ZHENG Jiandong, WANG Chunyan, ZHANG Huabing, et al. Logging evaluating methods of seven property parameters and enriched layers for Gulong shale oil reservoir in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2021,40(5):87-97.

- 87-97.
- [13] 冯子辉,霍秋立,曾花森,等. 松辽盆地古龙页岩地球化学特征与油气资源评价方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2025, 44(3): 1-10.  
FENG Zihui, HUO Qiuli, ZENG Huasen, et al. Geochemical characteristics and hydrocarbon resource evaluation method of Gulong shale in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2025, 44(3): 1-10.
- [14] 向才富,冯子辉,王富东,等. 构造控制的油气晚期快速成藏: 松辽盆地大庆长垣流体包裹体和自生伊利石证据[J]. 地质学报, 2012, 86(11): 1799-1808.  
XIANG Caifu, FENG Zihui, WANG Fudong, et al. Tectonically controlled rapid hydrocarbon accumulation in the big Daqing Anticline of Songliao Basin: evidence from fluid inclusions and illite dating[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(11): 1799-1808.
- [15] 关德范. 大庆长垣成因及油气生成条件的探讨[J]. 大庆石油学院学报, 1981, 24(1): 11-22.  
GUAN Defan. Discussion on the origin of the Daqing Placanticline and the conditions for hydrocarbon generation[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1981, 24(1): 11-22.
- [16] 黄磊,童亨茂,杨东辉,等. 松辽盆地大庆长垣中浅层断层形成演化的新模式[J]. 地质学报, 2019, 93(3): 597-605.  
HUANG Lei, TONG Hengmao, YANG Donghui, et al. A new model for the formation and evolution of middle-shallow faults in the Daqing Placanticline, Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(3): 597-605.
- [17] 陆加敏,杨懋新,李军辉,等. 松辽盆地青山口组介壳滩的分布特征及控制因素[J/OL]. 大庆石油地质与开发, <https://link.cnki.net/urlid/23.1286.TE.20241119.1020.001>.  
LU Jiamin, YANG Maoxin, LI Junhui, et al. Distribution characteristics and controlling factors of ostracod beaches in the Qingshankou Formation of the Songliao Basin[J/OL]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, <https://link.cnki.net/urlid/23.1286.TE.20241119.1020.001>.
- [18] 黄越,常健,邱楠生,等. 松辽盆地齐家—古龙凹陷青山口组压力场特征和超压成因[J]. 石油学报, 2024, 45(12): 1800-1817.  
HUANG Yue, CHANG Jian, QIU Nansheng, et al. Pressure field characteristics and overpressure geneses of Qingshankou Formation in Qijia-Gulong Sag, Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(12): 1800-1817.
- [19] 于德水,何宇航,邢宝荣,等. 大庆长垣高台子油层沉积演化分布及沉积模式[J]. 沉积学报, 2024, 42(1): 238-250.  
YU Deshui, HE Yuhang, XING Baorong, et al. Sedimentary evolution, distribution and sedimentary model of Gaotaizi oil reservoir in Daqing Placanticline[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2024, 42(1): 238-250.
- [20] 何文渊,柳波,张金友,等. 松辽盆地古龙页岩油地质特征及关键科学问题探索[J]. 地球科学, 2023, 48(1): 49-62.  
HE Wenyuan, LIU Bo, ZHANG Jinyou, et al. Geological characteristics and key scientific and technological problems of Gulong shale oil in Songliao Basin[J]. Earth Science, 2023, 48(1): 49-62.
- [21] 肖佃师,卢双舫,陈海峰,等. 基于频谱分解的测井曲线标准化方法[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 129-136.  
XIAO Dianshi, LU Shuangfang, CHEN Haifeng, et al. Logging data normalization based on frequency spectral decomposition[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 129-136.
- [22] 肖佃师,黄文彪,张小刚,等. 王府凹陷青山口组含油气泥页岩层的测井曲线标准化[J]. 东北石油大学学报, 2014, 38(1): 46-53.  
XIAO Dianshi, HUANG Wenbiao, ZHANG Xiaogang, et al. Normalization of logging data of oil bearing mud shale of Qingshankou Formation in Wangfu Depression[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014, 38(1): 46-53.
- [23] 付光明,严加永,张昆,等. 岩性识别技术现状与进展[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(1): 26-40.  
FU Guangming, YAN Jiayong, ZHANG Kun, et al. Current status and progress of lithology identification technology[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(1): 26-40.
- [24] 赵显令,王贵文,周正龙,等. 地球物理测井岩性解释方法综述[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(3): 1278-1287.  
ZHAO Xianling, WANG Guiwen, ZHOU Zhenglong, et al. A review of lithology interpretation methods using geophysical well logs [J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(3): 1278-1287.
- [25] 闫伟林,田中元,马陆琴. 利用毛管压力和测井资料评价 H 油田碳酸盐岩储层的含油饱和度[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(3): 121-123.  
YAN Weilin, TIAN Zhongyuan, MA Luqin. Evaluation on oil saturation of carbonate reservoir in H Oilfield using capillary pressure and logging data[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2008, 27(3): 121-123.
- [26] 杨胜来,胡学军,李辉. 密闭心流体饱和度误差的影响因素及修正方法[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(6): 64-67.  
YANG Shenglai, HU Xuejun, LI Hui. Influencing factors and correction method for error of fluid saturation calculation during sealed coring[J]. Journal of the University of Petroleum(Natural Science Edition), 2004, 28(6): 64-67.
- [27] 张洁,罗健,夏瑜,等. 阿尔奇公式的适用性分析及其拓展[J]. 地球物理学报, 2018, 61(1): 311-322.  
ZHANG Jie, LUO Jian, XIA Yu, et al. Limitation analysis and modification of the Archie equation[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(1): 311-322.
- [28] 孙建孟,王克文,李伟. 测井饱和度解释模型发展及分析[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 101-107.

- SUN Jianmeng, WANG Kewen, LI Wei. Development and analysis of logging saturation interpretation models[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008,35(1):101-107.
- [29] 李潮流, 闫伟林, 武宏亮, 等. 富黏土页岩储集层含油饱和度计算方法: 以松辽盆地古龙凹陷白垩系青山口组一段为例[J]. *石油勘探与开发*, 2022,49(6):1168-1178.
- LI Chaoliu, YAN Weilin, WU Hongliang, et al. Calculation of oil saturation in clay-rich shale reservoirs; a case study of Qing 1 Member of Cretaceous Qingshankou Formation in Gulong Sag, Songliao Basin, NE China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2022,49(6):1168-1178.
- [30] LE DOAN T V, BOSTROM N W, BURNHAM A K, et al. Green river oil shale pyrolysis: semi-open conditions[J]. *Energy & Fuels*, 2013,27(11):6447-6459.
- [31] 侯庆杰, 金强, 牛成民, 等. 辽东湾地区主力烃源岩分布特征与主控因素[J]. *地球科学*, 2018,43(6):2160-2171.
- HOU Qingjie, JIN Qiang, NIU Chengmin, et al. Distribution characteristics and main controlling factors of main source rocks in Liaodong Bay Area[J]. *Earth Science*, 2018,43(6):2160-2171.
- [32] 霍志鹏, 姜涛, 庞雄奇, 等. 塔中地区深层低丰度碳酸盐岩有效烃源岩评价及其对油气藏贡献[J]. *地球科学*, 2016,41(12):2061-2074.
- HUO Zhipeng, JIANG Tao, PANG Xiongqi, et al. Evaluation of deep carbonate source rocks with low TOC and contribution to oil-gas accumulation in Tazhong Area, Tarim Basin[J]. *Earth Science*, 2016,41(12):2061-2074.
- [33] 宋春彦, 王剑, 付修根, 等. 羌塘盆地东部上三叠统巴贡组烃源岩特征及意义[J]. *东北石油大学学报*, 2018,42(5):104-114.
- SONG Chunyan, WANG Jian, FU Xiugen, et al. Geochemical characteristics and the significance of the Upper Triassic hydrocarbon source rocks of the Bagong Formation in the Eastern Qiangtang Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2018,42(5):104-114.
- [34] 武田田, 商斐, 陈睿倩, 等. 松辽盆地青山口组页岩有机碳含量分布特征[J]. *地球科学*, 2022,47(11):4309-4318.
- WU Tiantian, SHANG Fei, CHEN Ruiqian, et al. Organic carbon distribution characteristics of Qingshankou shale in Songliao Basin[J]. *Earth Science*, 2022,47(11):4309-4318.
- [35] JARVIE D M. Shale resource systems for oil and gas: part 2: shale-oil resource systems[M]//BREYER J A. Shale reservoirs-giant resources for the 21st century. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 2012:89-119.
- [36] 何晋译, 冷筠滢, 李志明, 等. 不同岩相泥页岩生烃能力与含油性特征: 以玛湖凹陷风城组玛页1井为例[J]. *东北石油大学学报*, 2025,49(1):1-17.
- HE Jinyi, LENG Junying, LI Zhiming, et al. Hydrocarbon-generating potential and oil-bearing characteristics of mud shales with different lithofacies: a case study of well maye-1 in Fengcheng Formation of Mahu Sag[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2025,49(1):1-17.
- [37] WANG Ruyue, WANG Guanping, ZHAO Gang, et al. Geological characteristics and resources potential of shale oil in Chang 7 Member of Upper Triassic Yanchang Formation in Fuxian Area, Southern Ordos Basin, Western China[J]. *Unconventional Resources*, 2023,3:237-247.
- [38] OEDER, DANIEL J. The successful development of gas and oil resources from shales in North America[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018,163:399-420.
- [39] 姜在兴, 张文昭, 梁超, 等. 页岩油储层基本特征及评价要素[J]. *石油学报*, 2014,35(1):184-196.
- JIANG Zaixing, ZHANG Wenzhao, LIANG Chao, et al. Characteristics and evaluation elements of shale oil reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014,35(1):184-196.
- [40] 崔宝文, 王瑞, 白云凤, 等. 古龙页岩油勘探开发进展及发展对策[J]. *大庆石油地质与开发*, 2024,43(4):125-136.
- CUI Baowen, WANG Rui, BAI Yunfeng, et al. Exploration and development progress and development strategies of Gulong shale oil[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2024,43(4):125-136.