文章编号:1000-0550(2017)03-0600-11

# 松辽盆地北部青山口组致密油特征及聚集模式

杨可薪1,肖军1,王宇2,宁霄洋3

1.中国地质大学资源学院海洋系,武汉 430074

2.大庆油田有限责任公司试油试采分公司射孔大队第五中队,黑龙江大庆 163000

3.大庆油田有限责任公司第四采油厂第一油矿杏一联合站,黑龙江大庆 163000

**摘 要** 通过钻井、测井、岩芯及实验数据综合分析,对松辽盆地北部青山口组致密油特征与聚集模式进行了深入研究。结果表明,松辽盆地北部青山口组致密油分布在三角洲前缘及湖相区,储集层属于片状浊流形成的致密储层,孔隙度一般小于 10%,局部可达到 15%,渗透率普遍小于 0.1×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>。储集空间为粒间孔、粒内溶孔、铸模孔、微裂缝等,孔隙直径分布在 5~200 μm,孔 喉半径小于 0.5 μm。烃源岩是青山口组一段和二段湖相泥岩,具有广覆式分布特点,干酪根为 I 型或 II<sub>1</sub>型,平均有机碳含量 (TOC)为 1%~3%,热成熟度(*R*<sub>o</sub>)为 0.9%~1.1%,属优质成熟烃源岩。聚集模式为储层平面上大面积连续分布,无明显边界,纵向上储层与源岩交互叠置形成千层饼状,具有紧密接触的源储共生型成藏组合。因此,致密油聚集宏观上受成熟烃源岩控制,其次取决于致密储层分布。致密油储层普遍超压,含油级别为油斑和油迹,不存在油浸和富含油,原油属于低黏度轻质原油,单并无自然产能,采取水平钻井并进行大规模分段体积压裂才能获得工业产能。对其沉积及聚集模式的认识为松辽盆地北部致密油 勘探拓展了新的空间,具有实际指导意义。

关键词 聚集模式;致密油;青山口组;松辽盆地北部

第一作者简介 杨可薪, 女, 1988年出生, 硕士研究生, 油气沉积地质, E-mail: 1119181328@ qq.com

通讯作者 肖军,男,副教授,E-mail: xj0930@ cug.edu.cn

中图分类号 P618.13 文献标识码 A

致密储层是致密油发育的地质基础,储层界限为 孔隙度一般小于 10%. 地下渗透率小于 0.1×10-3 um<sup>2[1-2]</sup>。专家预测常规油气将在未来 10 年内达到产 量高峰,之后将趋于平缓下降。因此,致密油在未来 能源消费结构中必将占据重要位置,尽管目前致密油 勘探开发仅处于起步阶段,但其资源量很大。据统计 世界包括致密油在内的非常规石油储量超过 5 000× 10<sup>8</sup> bbl,非常规天然气证实储量超过7000 Tcf<sup>[1-2]</sup>。 虽然致密油储量巨大,但关于常规油气的规律认识不 能完全适用于致密油。因此,需要针对致密油发育特 征及聚集模式开展详细研究,进而深化致密油勘探开 发地质理论和技术。目前包括致密油在内的非常规 油气主要分布在美国、加拿大、委内瑞拉等地区,并取 得了突破性进展,在国外勘探实践的带动下,中国在 致密油的勘探和开发正在快速推进,并在鄂尔多斯及 松辽等盆地取得了初步成效。

半个世纪以来松辽盆地北部上白垩统油气勘探 一直围绕大型三角洲及大型河流相储层进行<sup>[1-10]</sup>,但 随着勘探程度不断提高,这类常规储层勘探空间及剩 余资源量越来越小。近年来随着包括致密油在内的 非常规油气勘探开发及理论研究不断取得突 破<sup>[11-21]</sup>,也推动了松辽盆地致密油的深入研究。 2010年以来利用已有的直井钻探资料及测井、岩芯、 实验室分析化验等资料,针对致密储层进行细致的综 合研究,发现青山口组湖相区发育大面积以粉砂岩及 泥质粉砂岩为主与湖相泥岩呈薄互层分布的片状浊 积岩,并积极开展钻探工作,利用水平钻井及分段体 积压裂获得了较好的工业产能,证实这类储层具有工 业开发价值,目前已经成为松辽盆地北部致密油勘探 重要领域。通过对青山口组片状浊积岩分析和梳理, 阐明了致密储层的地质特征和致密油聚集规律,进而 指导勘探。

#### 1 地质背景

松辽盆地位于中国东北黑龙江、吉林、辽宁三省 境内,长轴呈 NNE 向展布,长 750 km,宽 330~370 km,面积约 26×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,属中、新生代大型陆相坳陷 盆地。沉积盖层主要为白垩系,上覆新生代地层,总

收稿日期: 2016-02-23; 收修改稿日期: 2016-07-11

**基金项目:**国家自然科学基金项目(40702023,41172123)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 40702023, 41172123]

厚度超过 10 000 m<sup>[22]</sup>。划分 6 个一级构造单元,31 个二级构造单元。盆地经历了断陷、坳陷和反转三个 构造演化阶段,相应形成了断陷期、坳陷期及反转期 三套地层。断陷期地层主要是火山岩、砂砾岩、粗砂 岩及泥岩夹煤系地层,庆深气田的天然气藏就形成于 该套地层中。反转期地层主要是河流与浅水湖泊— 三角洲形成的砂岩与泥岩交互组合,以形成浅层生物 气藏为主<sup>[23-24]</sup>。坳陷期地层主要是大型河流相、三 角洲相砂岩与湖相泥岩及油页岩交互叠置形成的岩 性组合,松辽盆地油藏主要分布在该套地层中<sup>[25-27]</sup>。

松辽盆地青山口组是第一次湖泛期形成的大型 湖泊—三角洲相地层(图1),上覆姚家组一段浅水三 角洲相地层,下伏泉头组四段河流—浅水三角洲相地 层<sup>[28]</sup>。青山口组一段沉积时期湖相面积达到了 68 000 km<sup>2</sup>,沉积了盆地范围内广泛分布的湖相暗色 泥岩及油页岩,三角洲相仅分布在湖盆周边,地层最 大沉积厚度 150 m<sup>[4,29]</sup>。青山口组二段及三段沉积 时期,湖区面积缩小到最大时的三分之一,西部三角 洲向湖区推进了约 20 km,北部三角州向湖区推进了 约 60 km,成为青山口组常规油藏的主体,聚集了坳 陷层 30%的石油储量,地层厚度最大达到 450 m。研 究区位于松辽盆地北部,以中央坳陷区为主体(图 1),区内主要发育西部和北部三角洲,南部、东部和 中心区域为湖相,湖相泥岩连续沉积厚度最大达到 550 m<sup>[30]</sup>。

2 致密油聚集的储层要素

#### 2.1 储层沉积类型与分布

松辽盆地北部青山口组致密储层属于一种片状

浊积岩,这是在波浪、湖流、洪水等外界条件或自身重 力压实沉陷作用下,来自陆源三角洲前缘斜坡带的砂 体在其前端附近发生砂泥混合液化现象形成的席状 浊流沉积[31-33]。片状浊积岩与席状砂的区别是粒度 更细,纵向上与泥岩组合,表现为孤立的薄层砂体受 大段湖相泥岩分隔,而席状砂纵向上表现为砂泥互 层,呈现各种沉积微相砂体频繁接替的特征。2010 年研究区内钻探 QP1 水平井(图 1ab),在青山口组 一段至青山口组二段1925~2120m处取芯,取芯长 184.4 m。岩芯粒度分析表明概率累积曲线呈两段式 及S型三段式,悬浮总体比例明显偏大,一般为70% ~95%, C-M 图上处于浊流均匀悬浮区域(图 2)。储 层主要是灰黑色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂 岩、粉砂岩、棕灰色粉砂岩呈不等厚薄互层状(图2), 单砂层厚度 0.1~1.8 m, 多数分布在 0.3~0.8 m, 砂地 比(粉砂岩+泥质粉砂岩/地层)最大不超过20%,一 般小于10%。层理类型包括变形层理及波状层理, 发育搅混构造。纵向上表现为多期叠置现象,旋回性 不明显。自然伽马曲线(GR)为中、高值不规则齿状 与尖峰状、刺刀状相间分布,自然电位曲线(SP)为明 显的薄层指状特征(图2)。通过 QP1 井岩芯实验分 析资料统计,孔隙度 105 个数据,分布区间 1.4%~ 15.5%,平均 6.68%,渗透率 62 个数据,分布区间  $(0.01 \sim 1.26) \times 10^{-3} \mu m^2$ ,平均  $0.131 \times 10^{-3} \mu m^2$ (图 3), 受沉积环境、压实和胶结作用影响,储层总体上属于 致密性非常规储层,物性随深度增加而变差。这类储 层主要分布在中央坳陷区齐家—古龙凹陷、朝阳沟阶 地及长春岭背斜的三角洲前缘及湖相区,在三肇凹陷 也有零星分布(图1)。



图 1 松辽盆地北部青山口组沉积相图 等值线为粉砂岩与泥质粉砂岩叠合厚度,a.青山口组一段,b.青山口组二段,c.青山口组三段 Fig.1 Sedimentary facies of the Qingshankou Formation in northern Songliao Basin



图 2 松辽盆地 QP1 井青山口组致密储层概率累计曲线及 C-M 图

Fig.2 Accumulated probability curve and C-M diagram of the QP1 in the Qingshankou Formation's tight reservoir in Songliao Basin



Fig.3 Comprehensive analysis of mineral and rock chart of the QP1 in the Qingshankou tight reservoir

#### 2.2 储层岩石矿物组成

储层岩石类型为含钙粉砂质岩屑长石砂岩、含泥粉 砂质岩屑长石砂岩、含介屑钙质岩屑长石粉砂岩和介屑 质细粒岩屑长石砂岩及介壳灰岩。颗粒磨圆度为次棱 角状,分选较好,颗粒接触类型点—线—点。填隙物为 方解石 2%~49%,平均 7%,泥质 1%~40%,平均 24%,介 壳灰岩方解石胶结。储层石英、斜长石、方解石等脆性 矿物含量超过 80%,威德福脆性指数 49.4%~81.3%,平 均值 62.02%(表1)。钙质含量一般 5%~20%,长英质一般为 40%~70%,黏土矿物为 15%~50%,其中伊利石含量 50%以上,绿泥石含量超过 30%。泥岩中石英、斜长石、方解石等脆性矿物含量超过 70%,黏土矿物以伊利石为主,含量在 70%以上,绿泥石约 20%,其次为绿泥石和伊蒙混层。随深度增加伊利石相对含量逐渐增加,绿泥石、伊蒙混层变化趋势不明显,但伊蒙混层中蒙皂石含量逐渐减少,高岭石仅少量分布(图 3,4)。

表 1 松辽盆地北部青山口组致密储层脆性指数参数表

Table 1 The brittleness index parameter of the Qingshankou Formation's tight reservoir in northern Songliao Basin

三轴压缩岩石力学实验参数一威德福						超声波岩石力学参数—威德福					
深 度	围 压	抗压强度	静态杨氏模量	註静 态	脆性指数	深 度	围 压	体积密度	杨氏模量	がおいいと	脆性指数
/m	∕psi	/psi	$/10^6 \mathrm{psi}$	泊松比	/%	/ m	∕psi	/g/cc	$/10^6 \mathrm{psi}$	伯松比	%
1 985.19	2 450	15 758	1.19	0.16	49.40	1 985.19	2 450	2.49	3.68	0.13	73.10
1 998.92	2 450	23 279	1.88	0.21	44.28	1 998.92	2 450	2.51	4.54	0.12	81.30



图 4 QP1 井储层微观结构图片(A~J.铸体薄片;K~P.扫描电镜)

A.介壳灰岩,粒内溶孔,1938.79 m; B.含介屑砂岩,粒间孔,1952.2 m;C.含砂介屑灰岩,粒间溶孔,1984.23 m;D.含介屑粉砂岩,粒间溶孔,1985 m;E.含钙砂岩,粒间孔,1954.53 m;F.含钙砂岩,铸模孔,1955 m;G.粒间孔、粒间溶孔,984.37 m;H.含泥粉砂岩,粒内溶孔,2044.14 m;I.泥质粉砂岩,微裂缝,1949.89 m;J.含泥含钙粉砂岩,微裂隙,1999.94 m;K.深灰色油迹泥质粉砂岩,粒间孔隙,1952.33 m;L.棕灰色油斑粉砂岩,粒间孔,1953.27 m; M.油迹粉砂岩,粒间孔,1984.23 m;N.油斑粉砂岩,粒间孔,1997.64 m;O.油迹粉砂岩,长石粒内溶孔,2026.94 m;P.油迹粉砂岩, 粒间孔,2043.64 m。

Fig.4 Reservoir microstructure pictures of QP1 Well (A~J. Casting thin-section; K~P. Scanning electron microscope)

#### 2.3 储层微观特征

储层储集空间为粒间孔、粒内溶孔、铸模孔、微裂 缝等多种类型,孔隙半径一般 5~200 μm(图 3,4)。 目前,公认的致密储层界限为孔隙度一般小于10%, 地下渗透率小于 0.1×10<sup>-3</sup> µm<sup>2[11-15]</sup>, 根据 QP1 井储层 岩芯压汞资料所具有特点,将储层分为三种类型(图 5)。第一种类型储层孔喉分选较好,略粗歪度,孔喉 半径相对较大,分布在 0.106~0.424 μm, 排驱压力较 低,分布在1.734~8.787 MPa,最大汞饱和度大于 75%。储层分布在青山口组二段上部,以粉砂岩为 主,砂层较集中,单层较厚,孔隙度一般10%~15%, 渗透率较高,一般在 0.06~0.2×10<sup>-3</sup>µm<sup>2</sup>。第二种类 型储层孔喉分选较差,细歪度,孔喉半径很小,分布在 0.027~0.058 µm, 排驱压力高, 分布在 12.698~20.642 MPa,最大汞饱和度一般低于 50%。储层分布在青山 口组二段中部,以泥质粉砂岩为主,砂层相对较密,孔 隙度一般小于10%,渗透率低于第一种类型,一般在 (0.01~0.1)×10<sup>-3</sup>µm<sup>2</sup>。第三种类型储层孔喉分选很 差,细歪度,孔喉半径更小,排驱压力高,一般 27 MPa 左右,最大汞饱和度一般低于20%。储层分布在青 山口组二段下部并延伸到青山口组一段,以泥质粉砂 岩为主,泥岩隔层厚,砂层薄而分散,孔隙度一般小于 5%,渗透率低于 0.01×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>(图 3)。

### 3 致密油聚集的源岩要素

松辽盆地北部青山口组湖相泥岩最大厚度可达

550 m,优质烃源岩厚度达到 200 m,主要分布在青山 口组一段和青山口组二段中下部,有机质类型以 I~  $II_1$ 型为主<sup>[34]</sup>。青山口组一段残余有机碳含量(TOC) 为 0.73% ~ 8.68%,平均 2.13%;有机质成熟度( $R_o$ ) 0.4% ~ 2.0%,在齐家—古龙及三肇凹陷均已超过 0.8%,达到成熟和过成熟阶段。青山口组三段烃源 岩有机质虽然也是 I型,但烃源岩残余有机碳含量 (TOC)为 0.12% ~ 6.56%,平均只有 0.9%,有机质成 熟度( $R_o$ )小于 0.7%。青山口组二段各项指标介于 一段和三段之间,下部生油能力好,上部生油能力较 差<sup>[4-5]</sup>。

对 QP1 井青山口组烃源岩 192 个样品做了全岩 地球化学分析,其中包括有机质成熟度( $R_o$ )及残余 氯仿沥青"A"含量分别做了 7 块和 10 块样品。统计 获得青山口组一段烃源岩残余有机碳含量为 1.01% ~3.14%,平均 2.15%,有机质成熟度( $R_o$ )为 1.06%~ 1.07%,平均 1.067%,烃源岩残余氯仿沥青"A"含量 为 28%~68%,平均 43.6%,烃源岩生烃潜量( $S_1+S_2$ ) 8.36 mg/g(图 6a),烃源岩有机质主要为 II<sub>1</sub>型,少量 为 I 型(图 6b)。青山口组二段烃源岩残余有机碳含 量 0.6%~3.63%,平均 1.76%,有机质成熟度( $R_o$ )0. 93 %~1.01%,平均 0.96%,烃源岩残余氯仿沥青"A" 含量 31%~68.2%,平均 51.2%,烃源岩生烃潜量( $S_1+S_2$ ) 8.10 mg/g,烃源岩有机质类为 I~II<sub>1</sub>型。油源对 比共取了 2 个源岩样品和 1 个油砂样品,分析表明油 砂(1 954.63 m)中的原油与下伏烃源岩(2 046.14 m)





Fig.5 Mercury injection curves of the QP1 in the Qingshankou Formation's tight reservoir



图 6 QP1 并青山口组地球化学指标分析图

a.岩芯地球化学综合剖面:m.泥岩,sm.粉砂质泥岩,ps.泥质粉砂岩,S.粉砂岩,fs.细砂岩;b. HI-*T*<sub>max</sub>有机质类型划分图;C.生物标志化合物色 谱质谱对比图。

Fig.6 The geochemical index analysis chart of QP1 in the Qingshankou Formation

的特征比较相似,亲缘关系更好,属于近源运聚(图6c)。

### 4 致密油聚集的压力与原油物性特征

在齐家一古龙凹陷统计了青山口组 73 口井的油 层压力系实测数值,制作了压力系数等值图(图 7), 经分析表明三角洲相带常规储层压力系数一般分布 在 0.9~1.1之间,湖相区致密储层压力系数一般大于 1.1,最高可达 1.6,超压区集中在齐家—古龙凹陷南 部片状浊积岩分布的湖相区内,向北及西部三角洲相 常规储层分布区压力系数趋于正常(图 7C)。在齐 家—古龙凹陷统计了青山口组 89 个井点原油密度 值,测试温度为 20℃,密度值分布区间为 0.81~0.92 g/cm<sup>3</sup>,平均 0.86 g/cm<sup>3</sup>,在齐家—古龙凹陷北部三角 洲相带原油密度值一般大于 0.85 g/cm<sup>3</sup>,在齐家—古 龙凹陷南部湖相带致密储层分布区原油密度值一般 小于 0.83 g/cm<sup>3</sup>(图 7A)。原油黏度总计取 91 个井 点值,测试温度为 50℃,数据分布区间为 1.8~313.3 mPa・s,平均 32.32 mPa・s,在齐家—古龙凹陷北部 三角洲相带原油黏度一般大于 20 mPa・s,在南部湖相区原油黏度一般小于 15 mPa・s(图 7B),总体上分析致密储层原油属于低黏度轻质原油。

### 5 致密油聚集模式

致密油聚集主要受储层分布及类型,源岩发育规 模及成熟度,源岩与储层的组合方式。上述研究表 明,松辽盆地北部青山口组大面积片状分布的致密储 层与广覆式分布的腐泥型较高成熟度优质生油层呈 紧密接触的源储共生关系,纵向上形成交互叠置千层 饼状自生自储式成藏组合(图8),构造上位于盆地中 央坳陷区齐家一古龙凹陷湖相环境内(图1,9)。储 层宏观上无明显圈闭边界,属于连续型,同时,脆性矿 物的含量是决定储层优略的重要因素,储集空间主体 为微米级孔隙,局部发育毫米级孔隙,孔吼多为纳米 级,油气以原位滞留及短距离运移为主,浮力作用受 限,这一点与已有的研究成果具有共同的特 征<sup>[1417,35-38]</sup>。储层具有下列油气聚集特征,测井解



图 7 松辽盆地北部大庆长垣以西地区青山口组致密油密度(A)、黏度(B)与压力系数(C)分布图 Fig.7 The map in northern Songliao Basin in Daqing area of western Changyuan in Qingshankou Formation of dense oil density (A) and viscosity (B) and pressure coefficient (C)



图 8 松辽盆地北部青山口组致密油聚集剖面(剖面位置见图 1)

Fig.8 The aggregation profile in the Qingshankou Formation's unconventional reservoir in northern Songliao Basin



图 9 松辽盆地北部青山口组致密油聚集模式

Fig.9 The tight oil accumulation model in the Qingshankou tight reservoir of the north Songliao Basin

释无水夹层,岩芯资料分析表明总体含油级别较低, 只有油迹和油斑,不存在油浸和富含油(图3),油斑 分布在第一种类型储层中,第二种类型主要发育油 迹,第三种类型发育少量的油迹。储层原油具有低密 度、低黏度和超压的特点。岩芯扫描及荧光照片发现 不论是储层还是泥岩中都发育大量裂缝,而且泥岩中 裂缝具有荧光(图4),分析油气通过沟通烃源岩和致 密储层裂缝做原地运移(表2)。因此,致密油聚集宏 观上受成熟烃源岩控制,其次取决于致密储层分布。

#### 表 2 松辽盆地北部青山口组致密油聚集特征表 Table 2 Oil accumulation characteristics of the Qingshankou Formation's tight reservoir in the northern Songliao Basin

I of mation 5 th	gift reservoir in the		onghuo Dusin
参数类型	成藏特征	特征参数	成藏特征
沉积相	片状浊流	源储关系	源储共生
控制因素	受湖流及地形控制	油藏类型	连续型油藏
分布形态	片状及宽带状	压力系数	1.2~1.6
储层岩性	粉砂及泥质粉砂	原油密度	$<0.83 \text{ g/cm}^{3}$
砂地比/%	<20	含油级别	油迹与油斑
单层厚度/m	<1.8	运移方式	短距离排烃
砂体连通性	单层连通	油气水关系	一般不含水层
孔隙度/%	<10(局部15)	开发方式	水平井
渗透率/10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	0.01~1.0 局部高	储层改造	分段体积压裂
源岩成熟度	$R_{o} > 0.8\%$	单井产能	无自然产能

### 6 致密油分布预测

综合分析致密储层及烃源岩发育程度及其空间 接触关系,认为齐家--古龙凹陷南部是致密油聚集最 为有利地区,因为这里不仅源岩成熟度高,局部 R 最 高达到了 2.0%,平均在 1.2%,而且储层分布广、厚度 大,局部最大累计厚度33m,平均厚度16m。三肇凹 陷为较有利地区,虽然这里源岩成熟度相对较高,R。 值在 1.2%~0.8%,但储层不发育,只零星分布一些较 薄的储层。三肇凹陷东部周边地区虽然储层发育,但 源岩成熟度较低,一般在0.7%一下,缺少油源供给, 所以很难成藏(图1)。纵向上最有利层段分布在青 山口组二段,该层位不论是源岩还是储层都发育较 好,青山口组一段虽然源岩条件好,但储层较薄且规 模较小,所以不如上覆青山口组二段有利,青山口组 三段储层虽然较厚,在成熟源岩范围内分布局限,而 且源岩生烃能力远不如下伏青山口组二段,成藏性较 差,因此,齐家--古龙凹陷南部青山口组二段是致密 油聚集最为有利的地区(图1)。随着近几年国家非 常规重大科技攻关课题的开展,在齐家--古龙凹陷的 青山口组二段钻探了6口水平井,投产的2口井都无 自然产能,进行分段体积压裂后初期产量均超过 50 t/d,稳定产量分别为 10 t/d 和 31 t/d,取得了致密油 勘探重大突破。

### 7 结论

松辽盆地北部青山口组致密储层属于多期片状 浊流沉积的浊积岩,主要分布在齐家—古龙凹陷及朝 阳沟阶地和长春岭背斜的三角洲前缘及湖相区。这 类储层宏观上有一定的延展趋势,但无明显圈闭边 界,单层薄,层数多,孔隙度大多小于10%,地下渗透 率小于0.1×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>、孔喉半径小于0.5 μm。储层可 分为三种类型,其中第一种类型最为有利。储层纵向 上与成熟优质烃源岩呈频繁交互叠置,形成千层饼状 源储共生式组合。宏观上受成熟烃源岩控制,其次取 决于致密储层分布。致密油具有低黏度、储层普遍超 压、含油级别较低、无自然产能的特点,需要钻水平井 并进行大规模分段体积压裂才能获得工业产能。有 利区分析认为齐家—古龙凹陷是有利地区,其次是三 肇凹陷,这不仅为松辽盆地致密油勘探拓展了空间, 同时也为剩余资源有效开发找到了新途径。

#### 参考文献(References)

- [1] 孙赞东,贾承造,李相方,等.非常规油气勘探与开发[M].北京:石油工业出版社,2011:3-111.[Sun Zandong, Jia Chengzao, Li Xiangfang, et al. Unconventional oil & gas exploration and development[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 3-111.]
- [2] 邹才能,陶士振,侯连华,等.非常规油气地质学[M].2版.北京:地质出版社,2014:26-90. [Zou Caineng, Tao Shizhen, Hou Lianhua, et al. Unconventional oil and gas geology[M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2014: 26-90.]
- [3] 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,1997:1-5.[Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. Oil and gas fields formation conditions and the distribution regular in the Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-5.]
- [4] 侯启军,冯志强,冯子辉,等. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社,2009:166-189. [Hou Qijun, Feng Zhiqiang, Feng Zihui, et al. Petroleum geology of terrestrial facies in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 166-189.]
- [5] 杨万里. 松辽陆相盆地石油地质特征[M]. 北京:石油工业出版 社,1985:38-79. [Yang Wanli. The petroleum geology in the continental sedimentary basins of Songliao [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1985: 38-79.]
- [6] 高瑞祺. 松辽盆地白垩纪陆相沉积特征[J]. 地质学报, 1980
   (1), 9-22. [Gao Ruiqi. Characteristics of the continental Cretaceous in the Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 1980(1): 9-22.]
- [7] 付志国,石成方,赵翰卿,等. 喇萨杏油田河道砂岩厚油层夹层

分布特征[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(4):55-58. [Fu Zhiguo, Shi Chengfang, Zhao Hanqing, et al. The distribution characteristics of interlayer in thick channel sand oil reservoir in LaSaX-ing oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4): 55-58.]

- [8] 赵翰卿.大庆油田河流—三角洲沉积的油层对比方法[J].大庆 石油地质与开发,1988,7(4):25-31. [Zhao Hanqing. Formation correlation of fluvial-deltaic deposition in Daqing oil field[J]. Petroleum geology & Oilfield Development in Daqing, 1988, 7(4): 25-31.]
- [9] 卫平生,王建功,潘树新,等.河口坝、沿岸坝的形成及成藏机 制——以松辽盆地西、南部沉积体系为例[J].新疆石油地质, 2004,25(6):592-595. [Wei Pingsheng, Wang Jiangong, Pan Shuxin, et al. Formation of the Mouth Bar and Lakeshore Bar and their petroleum accumulation—An example of southern and western depositional systems in Songliao Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(6): 592-595.]
- [10] 黄薇,张顺,梁江平,等. 松辽盆地沉积地层与成藏响应[J]. 大 庆石油地质与开发,2009,28(5):18-22. [Huang Wei, Zhang Shun, Liang Jiangping, et al. Sedimentary strata and hydrocarbon accumulation response of Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2009, 28(5): 18-22.]
- [11] 赵政璋,杜金虎. 致密油气[M]. 北京:石油工业出版社,2012:
  2-14. [Zhao Zhengzhang, Du Jinhu. Densified oil and gas[M].
  Beijing: Petroleum Industry Press, 2012: 2-14.]
- [12] 关德师,李建忠. 松辽盆地南部岩性油藏成藏要素及勘探方向
   [J]. 石油学报,2003,24(3):24-27. [Guan Deshi, Li Jianzhong.
   Factors for controlling lithologic oil pool formation and exploration prospects in southern Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(3): 24-27.]
- [13] 关德师,牛嘉玉,郭丽娜,等.中国非常规油气地质[M].北京: 石油工业出版社,1995:75-79. [Guan Deshi, Niu Jiayu, Guo Li' na, et al. Unconventional oil and gas geology in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 75-79.]
- [14] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报,2012,33(2):173-187. [Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: Taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173-187.]
- [15] 邹才能,陶士振,袁选俊,等. 连续型油气藏形成条件与分布特征[J]. 石油学报,2009,30(3):324-331. [Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. The formation conditions and distribution characteristics of continuous petroleum accumulations[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 324-331.]
- [16] 邹才能,陶士振,袁选俊,等."连续型"油气藏及其在全球的重要性:成藏、分布与评价[J].石油勘探与开发,2009,36(6): 669-682. [Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. Global importance of "continuous" petroleum reservoirs: Accumulation, distribution and evaluation[J]. Petroleum Exploration and

Development, 2009, 36(6): 669-682.]

- [17] 邹才能,杨智,陶士振,等. 纳米油气与源储共生型油气聚集
   [J]. 石油勘探与开发,2012,39(1):13-26. [Zou Caineng, Yang Zhi, Tao Shizhen, et al. Nano-hydrocarbon and the accumulation in coexisting source and reservoir [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(1): 13-26.]
- [18] 赵靖舟,付金华,姚泾利,等.鄂尔多斯盆地准连续型致密砂岩 大气田成藏模式[J].石油学报,2012,33(增刊1):37-52.
  [Zhao Jingzhou, Fu Jinhua, Yao Jingli, et al. Quasi-continuous accumulation model of large tight sandstone gas field in Ordos Basin
  [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(Suppl.1): 37-52.]
- [19] 曾联波,高春宇,漆家福,等.鄂尔多斯盆地陇东地区特低渗透砂岩储层裂缝分布规律及其渗流作用[J].中国科学(D辑):地球科学,2008,38(增刊1):41-47.[Zeng Lianbo, Gao Chunyu, Qi Jiafu, et al. The distribution rule and seepage effect of the fractures in the ultra-low permeability sandstone reservoir in east Gansu province, Ordos Basin[J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2008, 38(Suppl.1): 41-47.]
- [20] 王瑞飞.特低渗透砂岩油藏储层微观特征——以鄂尔多斯盆地 延长组为例[M].北京:石油工业出版社,2008:35-135.[Wang Ruifei. Microscopic feature in ultra-low permeability sandstone reservoir—Taking the Yanchang Formation of Ordos Basin as examples
   [M]. Beijing; Petroleum Industry Press, 2008: 35-135.]
- [21] 郝蜀民,陈召佑,李良.鄂尔多斯大牛地气田致密砂岩气成藏理论与勘探实践[M].北京:石油工业出版社,2011:67-293.
  [Hao Shumin, Chen Zhaoyou, Li Liang. The reservoiring theory and exploration practice for tight sandstone gas in Daniudi gas field of Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011:67-293.]
- [22] 张顺,付秀丽,张晨晨. 松辽盆地泉头组及青山口组沉积演化 与成藏响应[J]. 石油天然气学报,2011,33(1):6-10. [Zhang Shun, Fu Xiuli, Zhang Chenchen. The sedimentary evolution and response to hydrocarbon accumulation of Quantou and Qingshankou formation in Songliao Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(1): 6-10.]
- [23] Feng Zhiqiang, Jia Chengzao, Xie Xinong, et al. Tectonostratigraphic units and stratigraphic sequences of the nonmarine Songliao basin, Northeast China [J]. Basin Research, 2010, 22(1): 79-95.
- [24] 王衡鉴,曹文富. 松辽湖盆白垩纪沉积相模式[J]. 石油与天然 气地质,1981,2(3):227-242. [Wang Hengjian, Cao Wenfu. A model of cretaceous sedimentary facies in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1981, 2(3), 227-242.]
- [25] 冯志强,张顺,付秀丽. 松辽盆地姚家组—嫩江组沉积演化与 成藏响应[J]. 地学前缘,2012,19(1):78-88. [Feng Zhiqiang, Zhang Shun, Fu Xiuli. Depositional evolution and accumulation response of Yaojia-Nenjiang Formation in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 78-88.]
- [26] 黄薇,张顺,张晨晨,等. 松辽盆地嫩江组层序构型及其沉积演 化[J]. 沉积学报,2013,31(5):920-927. [Huang Wei, Zhang Shun, Zhang Chenchen, et al. Sequence configuration and sedi-

mentary evolution of Nenjiang Formation in the Songliao Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 920-927.]

- [27] 张顺,安广柱,赵波,等. 松辽盆地古龙凹陷嫩江组二、三段层 序地层及油气藏分布规律[J]. 石油学报,2006,27(增刊1): 38-41. [Zhang Shun, An Guangzhu, Zhao Bo, et al. Sequence stratigraphy and distribution Law of oil-gas reservoirs of 2nd and 3rd members of Nenjiang Formation in Gulong sag, Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(Suppl.1): 38-41.]
- [28] 刘招君,孙平昌,贾建亮,等. 陆相深水环境层序识别标志及成因解释:以松辽盆地青山口组为例[J]. 地学前缘,2011,18
  (4):171-180. [Liu Zhaojun, Sun Pingchang, Jia Jianliang, et al. Distinguishing features and their genetic interpretation of stratigraphic sequences in continental deep water setting: A case from Qingshankou Formation in Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(4): 171-180.]
- [29] 高瑞祺,张莹. 松辽盆地白垩纪石油地层[M]. 北京:石油工业 出版社,1994:5-212. [Gao Ruiqi, Zhang Ying. Cretaceous oil and gas strata of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 5-212.]
- [30] 曾洪流,朱筱敏,朱如凯,等. 陆相坳陷型盆地地震沉积学研究 规范[J]. 石油勘探与开发,2012,39(3):275-284. [Zeng Hongliu, Zhu Xiaomin, Zhu Rukai, et al. Guidelines for seismic sedimentologic study in non-marine postrift basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3): 275-284.]
- [31] 赵宁,黄江琴,李栋明,等. 远源缓坡型薄层细粒浊积岩沉积规 律——以松南西斜坡大布苏地区青一段地层为例[J]. 沉积学 报,2013,31(2):291-301. [Zhao Ning, Huang Jiangqin, Li Dongming, et al. Sedimentary laws of thin-layer, fine-grain Turbidites of Distant-gentle slope: A case from the 1st member of Qingshankou Formation in Dabusu area of west slope, south Songliao Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(2): 291-301.]
- [32] 姜在兴,梁超,吴靖,等. 含油气细粒沉积岩研究的几个问题
   [J]. 石油学报,2013,34(6):1031-1039. [Jiang Zaixing, Liang Chao, Wu Jing, et al. Several issues in sedimentological studies on hydrocarbon-bearing fine-grained sedimentary rocks[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(6): 1031-1039.]
- [33] 蒲秀刚,周立宏,韩文中,等. 歧口凹陷沙一下亚段斜坡区重力 流沉积与致密油勘探[J]. 石油勘探与开发,2014,41(2):138-149. [Pu Xiugang, Zhou Lihong, Han Wenzhong, et al. Gravity

flow sedimentation and tight oil exploration in lower first member of Shahejie Formation in slope area of Qikou sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 138-149.]

- [34] 黄振凯,陈建平,薛海涛,等. 松辽盆地白垩系青山口组泥页岩 孔隙结构特征[J]. 石油勘探与开发,2013,40(1):58-65.
  [Huang Zhenkai, Chen Jianping, Xue Haitao, et al. Microstructural characteristics of the cretaceous Qingshankou Formation shale, Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1):58-65.]
- [35] 杜金虎,刘合,马德胜,等. 试论中国陆相致密油有效开发技术 [J]. 石油勘探与开发,2014,41(2):198-205. [Du Jinhu, Liu He, Ma Desheng, et al. Discussion on effective development techniques for continental tight oil in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 198-205.]
- [36] 张惠良,张荣虎,杨海军,等. 超深层裂缝——孔隙型致密砂岩储 集层表征与评价———以库车前陆盆地克拉苏构造带白垩系巴 什基奇克组为例[J]. 石油勘探与开发,2014,41(2):158-167.
  [Zhang Huiliang, Zhang Ronghu, Yang Haijun, et al. Characterization and evaluation of ultra-deep fracture-pore tight sandstone reservoirs: A case study of Cretaceous Bashijiqike Formation in Kelasu tectonic zone in Kuqa foreland basin, Tarim, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 158-167.]
- [37] 刘明洁,刘震,刘静静,等.砂岩储集层致密与成藏耦合关系——以鄂尔多斯盆地西峰—安塞地区延长组为例[J].石油勘探与开发,2014,41(2):168-175. [Liu Mingjie, Liu Zhen, Liu Jingjing, et al. Coupling relationship between sandstone reservoir densification and hydrocarbon accumulation: A case from the Yanchang Formation of the Xifeng and Ansai areas, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 168-175.]
- [38] 张洪,张水昌,柳少波,等. 致密油充注孔喉下限的理论探讨及 实例分析[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3):367-374. [Zhang Hong, Zhang Shuichang, Liu Shaobo, et al. A theoretical discussion and case study on the oil-charging throat threshold for tight reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41 (3): 367-374.]

## A Study on Qingshankou Formation's Tight Oil Characteristics and Accumulation mode in the northern Songliao Basin

YANG KeXin<sup>1</sup>, XIAO Jun<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>2</sup>, NING XiaoYang<sup>3</sup>

1. Department of Marine Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. No.5 Lochus, Perforating Service Brigade, Well Testing and Perforating Services of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163000, China

3. Xing No.1 Oilfield Combination Station, No.1 Operation Zone, No.4 Oil Production Plant, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163000, China

Abstract: Through a comprehensive analysis of drilling, well logging, cores and experimental data, an in-depth study on the Qingshankou Formation's tight oil characteristics and accumulation mode in northern Songliao Basin was described and established. It is found that the unconventional reservoir is a densified reservoir which developed from platelike turbidity current in both deltaic front and lake facies region. The porosity of the reservoir is less than 10% in general, in some part the porosity could reach 15%, and the permeability is less than  $0.1 \times 10^{-3} \ \mu m^2$  in general. Reservoir spaces are intergranular pore, intragranular dissolved pore, mold pore, and microfracture. The diameters of pores range from  $5 \sim 200 \ \mu m$  and the diameters of pore throat are less than 0.5  $\mu m$ . The source rock is the lacustrine facies mudstone of the first and second Section in Qingshankou Formation, and that are typical of extensive distribution: kerogens are either type I or type II<sub>1</sub>, average TOC is  $1\% \sim 3\%$ , Ro is from  $0.9\% \sim 1.1\%$  and the rock attributes to mature high-quality source rock. Horizontally, the reservoir has some characteristics of facies belt and regional belt, but there is no obvious entrapment boundary. Vertically, the reservoir and the source rocks piled up alternatively and formed like flaky pastry, reservoir forming type is source-reserve impinge and mutualistic symbiosis. The oil bearing degrees of the reservoir are oil patch and oil stain. Oil immersion and oil-rich rocks do not exist, the crude oil belong to low viscosity and light crude. The reservoir does not have natural production, but a relatively high industrial capacity could be adopted in horizontal well by large-scale segmental bulk fracturing. Therefore, the study on platelike turbidite reservoir develops and accumulation mode develop new space for the tight oil exploration in Songliao Basin, and possess practical significance.

Key words: accumulation mode; tight Oil; Qingshankou Formation; Songliao Basin