

# 中国斜坡逸散型油砂成矿模式及有利区预测

拜文华<sup>1</sup>, 刘人和<sup>1</sup>, 李凤春<sup>2</sup>, 昌 燕<sup>1</sup>

(1.中石油勘探开发研究院廊坊分院新能源所,河北廊坊 065007;

2.成都理工大学地球科学学院,成都 610059)

**摘 要:**在总结多年油砂勘探实践经验及成果的基础上,分析了典型盆地油砂成矿特点,提出了斜坡逸散型油砂成矿模式,并认为斜坡逸散型油砂是中国陆相含油气盆地中规模最大、最重要的油砂类型,可进一步分为简单斜坡逸散型和复杂斜坡逸散型两种。复杂斜坡逸散型油砂在中国陆相含油气盆地中成矿条件最佳、规模最大、勘探前景最好。以松辽西斜坡为例,在分析简单斜坡逸散型油砂成矿模式的基础上指出了简单斜坡油砂找矿方向,预测出三个油砂勘探有利区。以准噶尔盆地西北缘为例,在分析复杂斜坡逸散型油砂成矿模式的基础上指出了复杂斜坡油砂找矿方向,预测出四个油砂勘探有利区。斜坡逸散型油砂成矿模式及找矿方向的提出,对中国油砂勘探及有利区预测具有重要意义。

**关键词:**油砂; 斜坡逸散型; 复杂斜坡; 简单斜坡; 成矿模式; 有利勘探区预测

**中图分类号:** P618.130.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2009)03-0228-08

油砂矿作为非常规油气资源的一种,分布广泛,而且资源非常丰富。在石油资源日益紧缺的今天,油砂的勘探开发在一定程度上是对常规石油资源的补充,目前主要在加拿大得到了开发利用。中国油砂勘探开发工作才刚刚起步,缺乏相应的成矿规律及模式来指导勘探。油砂的成矿规律和常规石油成藏规律具有很大的差异,不能照搬,因此深入研究中国油砂成矿规律及模式,预测重点地区油砂找矿方向,对中国油砂勘探工作具有重要的指导意义。从2004年起,石油勘探开发研究院廊坊分院在国内开展了较为系统的油砂资源评价及勘探工作,先后对准噶尔、青海、塔里木、四川、鄂尔多斯、二连、松辽等国内主要含油盆地进行了油砂资源调查及勘探,实施油砂钻孔520余个,分析化验5000多项次,取得了大量地质资料,获得了重大勘探突破,发现了大型优质油砂矿。通过深入研究,笔者发现并总结出了中国油砂的主要成矿规律及模式,在此基础上预测了主要有利区块,为下步勘探指出了方向。

## 1 成矿特点及分类

勘探及研究结果表明,油砂的形成与分布,受其赋存盆地构造类型的影响很大,大型油砂矿多分布于盆地的斜坡及边缘。加拿大阿尔伯达盆地斜坡区的阿萨巴斯卡油砂规模巨大<sup>[1]</sup>,中国规模较大的油砂矿也主要产于含油盆地的斜坡区。通过对比研究,笔者把这一类型的油砂定义为斜坡逸散型油砂。与加拿大不同的是,中国含油盆地多为陆相,其含油及油砂规模远不如海相盆地,并且盆地构造类型也复杂很多。东部地区主要形成拉张盆地,西部地区则以挤压复合盆地为主,因此油砂成矿特点及规律也不尽相同。

### 1.1 斜坡逸散型油砂成矿特点

总结中国主要油砂矿地质特征后笔者认为,斜坡逸散型油砂成矿具有以下特点:1)油砂在平面上主要分布在盆地或凹陷斜坡边缘,在垂向上越靠近边缘层位越高、越新。2)油砂矿床类型以地层型或地层-岩性圈闭为主。3)边缘斜坡带成为油气大规

收稿日期: 2006-02-27 责任编辑: 刘新秒

基金项目: 国家科技支撑计划重点“十一五”项目“非常规油气评价技术及装备研究”(2006BAB03B08)及国家财政部、国土资源部“全国新一轮油气资源评价”子课题“全国油砂资源评价”(ZP-S-06)

作者简介: 拜文华(1969-),男,高级工程师,1995年硕士毕业于成都理工学院矿床学专业,2003年博士毕业于中国地质大学(北京)矿产普查与勘探专业,现从事非常规油气地质及新能源勘探开发研究,Email:baiwh696@sohu.com。

模运移和聚集的指向,油源主要来自盆地内部生油区,油气沿地层不整合面或稳定砂体向上倾方向运移,进入盆地边缘地层。4)油砂成矿期偏晚,与盆地后期构造活动抬升活动密切相关。伴随后期构造抬升,形成一系列的断裂及褶皱,为原油向上运移及稠油成藏、油砂成矿提供了必要条件,此外后期构造抬升有利于原油稠化形成油砂,也使得原来埋藏深度大的油藏变浅、稠化,最终形成油砂。5)生物降解及地层水交替作用为原油稠化形成油砂的主要原因。盆地边缘急剧抬升,在水交替带,原油发生严重生物降解作用,沿地层倾斜方向自下而上,原油生物降解程度和物理性质有一个明显的变化规律,下倾部位原油具有原生性,上倾部位原油均发生不同程度生物降解作用,油质变重变稠,甚至在盆地边缘部位形成软沥青,有利于重质藏、油砂矿的形成。6)斜坡逸散型油砂矿一般规模较大,广泛分布在盆地或凹陷边缘,如中国东部许多断缓坡带和西部许多盆地边缘的油砂矿。

### 1.2 斜坡逸散型油砂成矿分类

斜坡是断陷和凹陷型盆地的重要构造单元,按其断裂发育程度和沉积厚度分为复杂斜坡和简单斜坡。生油凹陷及深部的原油沿断裂、不整合面、输道层等通道运移至斜坡浅部或近地表砂岩或松散堆积物中,受氧化或生物降解,稠化后形成斜坡逸散型油砂矿。斜坡逸散型可进一步划分为简单斜坡逸散型和复杂斜坡逸散型。

#### 1.2.1 简单斜坡逸散型油砂矿床特点及矿床样式

通过对松辽盆地西斜坡的油砂勘探评价,笔者提出并总结了我国简单斜坡逸散型油砂矿床特点及矿床样式。简单斜坡逸散型油砂矿常见于断层、褶皱不发育的盆地或凹陷<sup>[2]</sup>。例如松辽西斜坡的图牧吉油砂、白城-镇赉西油砂有利区。常见以下三种矿床样式:

(1)不整合型:储层在不整合面处向地表间接开启。到达不整合面处的原油发生稠变作用,愈来愈稠,因而在不整合面之下的储层及不整合面附近的储集空间形成油砂矿。

(2)地层超覆型:分布于斜坡的高部位,主要依赖基底不整合面与超覆沉积的浅部储层及地表松散沉积物沟通,在相应部位形成油砂矿。

(1)储集层上倾尖灭型:储集层主要是物性较好的砂岩层,上方及上倾方向泥岩封盖条件好,储集

体的侧方或下方均有作为连通通道的断层相配合,在储集层上倾尖灭方向形成稠油或油砂。

#### 1.2.2 复杂斜坡逸散型油砂矿床特点及矿床样式

通过对准噶尔盆地西北缘的油砂勘探评价,笔者提出并总结了我国复杂斜坡逸散型油砂矿床特点及矿床样式。复杂斜坡逸散型油砂矿常见于断层、褶皱发育的盆地或凹陷。如准噶尔盆地西北缘稠油及油砂。常见以下四种矿床样式:1)不整合型;2)地层超覆型;3)背斜聚集型,即在褶皱发育的盆地或凹陷边缘,原油沿储集层或背斜核部断裂聚集在背斜核部及两翼形成油砂矿;4)断层遮挡型。在褶皱发育的盆地或凹陷边缘,由于边缘逆冲断层的遮挡,使得断层下盘形成品质较好的稠油藏及油砂矿。如准噶尔盆地西北缘九区、风城重32井区稠油及油砂。

## 2 简单斜坡逸散型油砂成矿模式及有利区预测

通过深入研究松辽西斜坡图牧吉油砂矿的成因及成矿控制因素,笔者提出了简单斜坡逸散型油砂成矿模式,分析了该类油砂成矿的找矿分向,预测了松辽西斜坡油砂有利勘探区块。

### 2.1 简单斜坡逸散型油砂成矿模式

简单斜坡由于构造不发育,油的运移通道主要是河道砂体等,因此油砂分布规模相对较小。成矿主要受河流砂体控制、断层次之。

松辽盆地西斜坡区油气运移的主要通道是原油沿河流砂体等输导层侧向运移至斜坡边缘,由于埋深减小、温度和压力降低、生物降解及地层水交替作用形成稠油及油砂<sup>[3,4]</sup>。这一成矿模式的典型实例为松辽西斜坡的图牧吉油砂矿。

图牧吉油砂矿油气运移和成藏规律是:原油由南东方向向上倾北西方向运移,先充满位置较低的砂体,再继续沿砂体及断层运移至浅部砂体,稠化形成油砂矿(图1)。

### 2.2 简单斜坡逸散型油砂成矿实例

#### 2.2.1 松辽盆地西部斜坡基本特征

松辽盆地西部斜坡隶属于盆地一级构造单元,在盆地发展过程中长期处于区域性大单斜状态,自盆地西部边缘向坳陷区倾斜,断裂极不发育,构造平缓,沉积盖层较薄,是典型的简单斜坡。斜坡带油气一般来自临近的生油凹陷,侧向运聚成藏,其成藏规

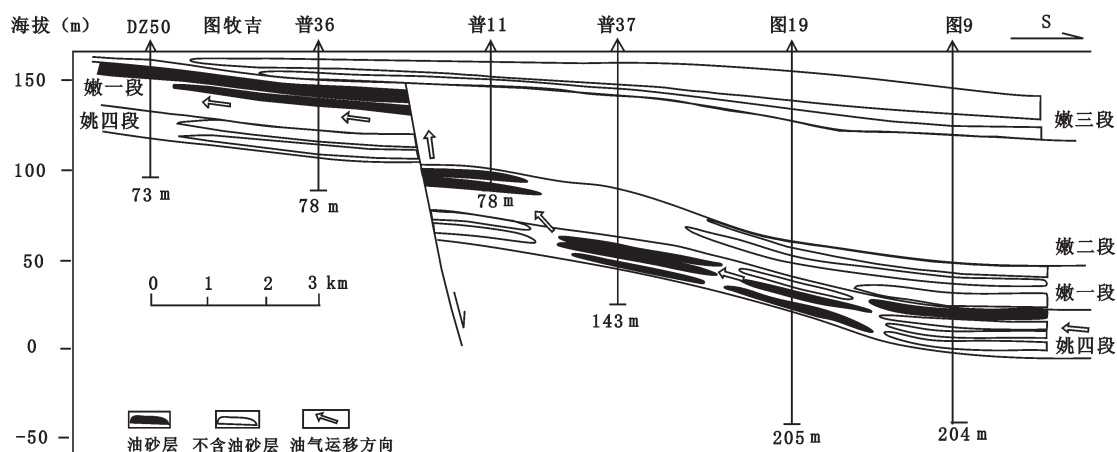


图 1 松辽西斜坡图牧吉油砂成藏剖面图

Fig. 1 Pattern of oil-sand formation in the western slope of the Songliao Basin

律必有其特殊性。

西斜坡地区构造发育史研究表明,该区是一个长期继承发育的斜坡构造,不存在区域性大规模的地壳抬升使油气输导层隆起、压力降低、油气大规模释放及运移的地质条件。松辽盆地西斜坡原油普遍具有密度大、粘度高的特点,主要为稠油。油源对比表明,西部斜坡油气并非来自本区的烃源岩,而是来自临近的齐家-古龙凹陷,由于运移的分异效应和后期大气降水渗入的氧化降解作用,原油普遍稠化。典型实例是图牧吉油砂矿。

#### 2.2.2 图牧吉油砂矿矿床特征及成矿控制因素

图牧吉位于松辽盆地西部斜坡区西部超覆带的西部边缘,基底为向东倾的平缓斜坡,受基底形态控制,上覆地层整体仍为一个平缓的东倾单斜,地层倾角较小,一般小于 $2^{\circ}$ 。构造简单,断裂不发育,构造线大致南北向平行展布。

由于基底形成后,图牧吉处于盆地边缘,在侏罗系至中白垩纪期间,地层长期处于剥蚀状态,地层缺失。中白垩纪中后期,随着湖盆范围的扩大,本区沉积了一套青山口组至嫩江组的砂泥岩建造。白垩系地层逐层超覆于基底之上,形成了又一个不整合面。

本区块自上而下地层有:第四系河流相或洪积相松散砂砾;灰黑色嫩江组泥岩,该套泥岩自西向东变厚、倾角较小,形成了很好的直接盖层;其下为嫩一段及姚家组的含油砂岩层,对应于大庆油田的萨尔图油层组。

##### (1) 发育两套油砂,嫩一段为主

图牧吉地区有两套油砂,一是嫩一段,二是姚

家组的上部砂岩层。以上层的嫩一段油砂为主,这也符合斜坡逸散型油砂越到盆地边缘层位越靠上的规律。油砂主要岩性为细砂岩,胶结较差,结构松散,总体物性较好。油砂厚度 $2.1 \sim 8.7$  m,含油率 $6\% \sim 11\%$ ,平均 $9.1\%$ 。含油砂岩属于冲积扇及三角洲前缘沉积,以席状砂、水下分流河道、河口坝为主的沉积微相。

##### (2) 油砂油质好

图牧吉油砂矿的油砂油成分,在保存封闭条件好的储层中,其原油性质与套保原油性质接近,也是重质原油,烷烃含量 $38.5\% \sim 58.4\%$ ,芳烃 $12.4\% \sim 22.1\%$ ,沥青质 $1.3\% \sim 4\%$ ,非烃+沥青质 $15.5\% \sim 42.3\%$ 。局部因氧化或地下水侵蚀、细菌分解等作用,油质变差,轻质组份少,粘稠度增高,并导致比重较大、胶质含量高。

##### (3) 油砂分布受水下扇、河道砂控制

在图牧吉地区,嫩二段泥岩是良好的区域盖层,本区储层发育,嫩江组一段砂体以水下扇为主,姚家组砂体以河道砂为主,本区长期发育的斜坡,是油气运移的指向。

(4) 油气以侧向运移为主,斜坡边缘油源供给严重不足

据研究,本区原油主要以侧向运移的方式形成,且其上大面积分布的嫩江组泥岩盖层为其长距离运移提供了很好的先决条件。经油源对比研究认为,该区油气来自中央凹陷的青山口组地层,油气沿着斜坡上运,以姚家组的河道砂为运移通道,聚集于图牧吉地区的姚家组地层。

从图牧吉油砂成藏剖面图(图 1)中可以看出,



大部分砂体中均未充注油稠油形成油砂,特别是位于断层下盘低部位和姚家组中更是只有很少砂体成为油砂。这也充分说明陆相盆地简单斜坡由于挤压抬升作用不明显,断层及褶皱不发育,油源供给严重不足。

#### (5) 断裂系统对油砂成藏具有控制作用

松辽西斜坡断层不发育,仅见少量小规模断层。根据钻井资料,在图牧吉油砂矿东南下倾方向推测出一条北东向正断层,断距20~35 m。该断层对油砂的形成及分布具有控制作用:在断层西北侧,油砂埋深小于50 m,断层东南侧油砂埋深在45~150 m之间。断层下降盘的姚家组、嫩一段的稠油沿断层进一步上升,运移至上升盘的嫩一段砂体中形成图牧吉油砂矿(图1)。断裂西侧油砂埋藏浅,有利于露天开采。

### 2.3 简单斜坡逸散型油砂找矿方向

简单斜坡油砂成矿有特殊性,表现在三个方面:一是简单斜坡的原油主要来自临近的凹陷,油气沿砂体以优势路径方式侧向运移,油气呈“线状”分布;二是简单斜坡大规模构造圈闭不发育,圈闭类型以地层、岩性和构造-岩性圈闭为主,分布受构造带控制,超覆带发育岩性上倾尖灭圈闭,受规模较大的断层控制形成的鼻状构造带上发育断层遮挡和构造-岩性圈闭,不受断层控制的鼻状构造带主要发育构造-岩性圈闭;三是简单斜坡普遍受大气水的淋滤作用,由于游离氧的进入使原油遭受氧化降解作用而稠化,造成简单斜坡稠油、油砂分布普遍<sup>[2]</sup>。

这种成藏的特殊性决定了简单斜坡油砂富集规律:1)只有位于油气运移路径上的圈闭或砂体才最有可能形成油砂矿。2)低幅度构造背景上的构造-岩性圈闭,规模较大的断层附近的断层遮挡圈闭和超覆带的岩性上倾尖灭圈闭也是简单斜坡油砂及稠油藏的圈闭类型。

简单斜坡逸散型油砂成矿主控因素是:1)延伸较远扇体、河流及分流河道砂体;2)不整合面。找矿方向主要是:1)在砂体等油气运移路径上寻找低幅度构造背景下寻找的小规模岩性油砂矿;2)在规模较大断层附近寻找中等规模的断层遮挡油砂矿;3)在地层超覆带上寻找岩性上倾尖灭型油砂矿。

### 2.4 松辽盆地西斜坡油砂有利区预测

根据上述简单斜坡逸散型油砂的成矿规律和找矿方向,抓住延伸较远的砂体这一主控因素,在

编制嫩江组沉积相图的基础上,对松辽盆地西斜坡的油砂勘探有利区进行了预测。

松辽盆地西斜坡嫩江组形成时为湖泛期,由北向南发育四个冲积扇,表现为,水体快速扩张,物源近,向盆内延伸较短。该区油气运移条件有两种可能,一是该扇体与分流河道构成的储层连通体;二是断层沟通。

综合考虑砂体及油气的运移路径等控制因素,预测北部的三个冲积扇的前缘分别为三个油砂勘探有利区,预测出三个油砂勘探有利区:①图牧吉及其南部;②普4区块;③普6(套保西)区块。这三个有利区与物化探资料显示的油异常区<sup>[5,6]</sup>相印证。后两个有利区块目前勘探程度低,值得进一步勘探。

南部的冲积扇离生烃中心较远,偏离主要油气运移路径,并且处于姚家组地层尖灭带,不利于油砂成矿。

## 3 复杂斜坡逸散型油砂成矿模式及有利区预测

通过深入研究准噶尔盆地西北缘油砂矿的成因及成矿控制因素,笔者提出了复杂斜坡逸散型油砂成矿模式,分析了该类油砂成矿的找矿分向,预测了准噶尔盆地西北缘油砂有利勘探区块。

### 3.1 复杂斜坡逸散型油砂成矿模式

复杂斜坡断裂及褶皱构造发育,油气运移通道主要为断裂,成矿主要受断裂、不整合、砂体控制,因此油砂分布区域及规模大。这一成矿模式的典型实例为准噶尔盆地西北缘油砂矿。

西北缘地表油砂分布与重油、常规油关系密切,从深层-浅层-地表,呈常规油-重油-油砂分布规律。平面上分布比较集中,主要分布在红山嘴区、黑油山区-三区、白碱滩区和乌尔禾地区。纵向上,集中分布在白垩系吐谷鲁组( $K_1$ ),其次为三叠系克拉玛依组( $T_2$ )、侏罗系齐古组( $J_3q$ )<sup>[7,8]</sup>。

油砂分布与地层不整合紧密相关,集中分布在中生界超覆尖灭带上,如红山嘴、白碱滩和乌尔禾地区。油砂主要分布在白垩系吐谷鲁组底部不整合面附近向老山超覆尖灭的位置上,特别是在石炭系老地层“天窗”或“潜山”靠盆地一侧,油砂厚度变大,含油性变好,如红山嘴石蘑菇沟、白碱滩白沟、乌尔禾油砂山露头区。

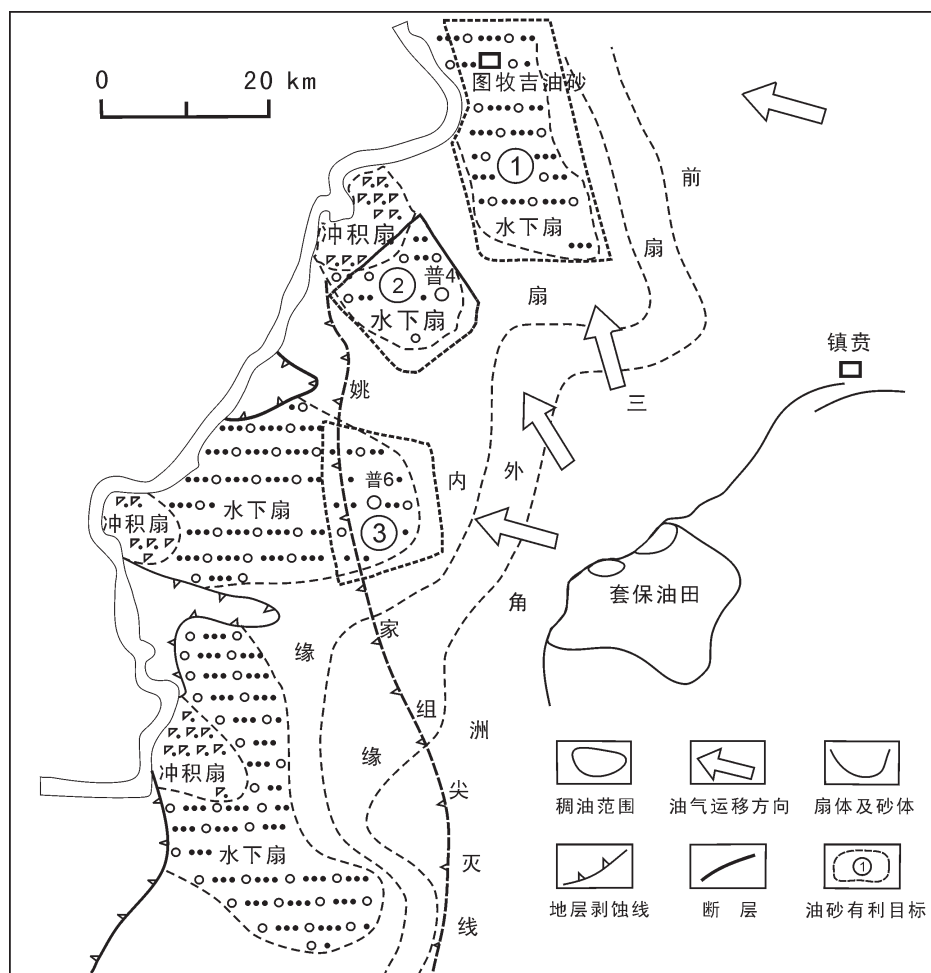


图 2 松辽西斜坡嫩江组沉积相及油砂有利勘探目标预测图

Fig. 2 The predicated map of the precipitation facies and favorable places for oil-sand prospecting in the western slope of Songliao Basin

①.图牧吉及其南部;②.普 4 区块;③.普 6(套保西)区块

原油从下倾方向的三叠系生油凹陷沿断层、不整合面向上倾方向运移至浅部后,先充满与不整合面接触的吐谷鲁组底砾岩,再向上倒灌进了底砾岩之上的砂岩层。但由于油源距离远和油量的限制,砂岩只充满了边缘部分,而向下倾方向油砂逐渐尖灭(图 3)。

由上述油砂分布规律可以看出,西北缘油砂成藏控制因素主要有三个方面:1)砂体空间展布及物性;2)不整合面;3)断裂体系。其中,石炭系不整合面及侏罗系、三叠系的逆断层为主要的油运移通道,这些同生断裂对沉积作用及油气运移有控制作用。盆地边缘物性较好的河流及冲积扇砂体成为有利的储集空间。局部有稠油储层暴露地表形成沥青封闭。

### 3.2 复杂斜坡逸散型油砂成矿实例

准噶尔盆地西北缘逆冲断层发育,构造复杂,

属于典型的复杂斜坡<sup>[9]</sup>。稠油及油砂主要分布在克—乌逆掩断阶带,该带可分为上、中、下三个台阶,上侏罗—白垩系地层超覆不整合在中侏罗统至石炭一二叠系不同时代地层之上。在构造上,盆地西北缘属于薄壳型的推覆体构造,克拉玛依大逆掩断裂带贯穿全区。地表出露了石炭纪、三叠纪、侏罗纪、白垩纪地层,呈向东南倾的单斜,但在加依尔山的侧向挤压下,也出现了一系列平行于加依尔山的宽缓背斜向斜。在此背景下,形成一系列油气藏,成为盆地内最主要的油气富集区。

本区发现七套含油层系(C、C-P、T<sub>1-2</sub>、T<sub>2</sub>、J<sub>2</sub>、J<sub>3</sub>、K 等),每套含油层系是由下粗上细正旋迴组成,底部为一套砂岩和砂砾岩层,向上逐渐变为泥质岩,自成良好储盖组合<sup>[10]</sup>。砂岩和砂砾岩埋藏浅,成岩作用较弱,原生孔隙发育,孔隙度 30%~32%左右,