



新疆某油砂矿储层特征及 测井识别对比研究

尹俊凯¹, 赵伟东², 陈华剑³, 杨振¹, 于申², 韩晓⁴, 杜贤军², 刘同庆^{2*}

(1. 山东省煤田地质局第三勘探队, 山东 泰安 271000; 2. 山东省煤田地质局第五勘探队, 山东 济南 250100; 3. 新疆吉通矿业有限责任公司, 新疆 昌吉州 831700; 4. 山东德和地热开发有限公司, 山东 济南 250104)

摘要:油砂矿作为一种非常规油气资源,其埋藏较浅,储层物性变化较大,储层对比有较大的难度。为有效利用各类勘探数据进行油砂储层的识别和对比,本文以新疆某油砂矿为例,探索从微观储层岩石学特征、储层测井特征、标志层等进行储层横向对比分析。结果表明:七克台组储层岩石以粗颗粒为主,成分多含长石;油砂层具有自然伽马呈低值、自然电位有一定负异常、补偿中子呈低值的基本物性特征,与水层相比,阵列感应电阻率曲线由“增阻侵入”的含水特征变为微弱“减阻侵入”特征,电阻率绝对值也有一定增大,同时阵列感应电阻率与岩性密度曲线有明显包络面积,呈“镜像对称”特征。通过对七克台组油砂储层的岩性组合、砂组(矿体)对比标志、沉积相、隔层分析,表明研究区油砂厚度分布比较稳定,板状为主,夹少量透镜状,七克台组油砂矿平均有效厚度可达16 m。

关键词:油砂矿;储层特征;测井物性;储层对比;新疆

中图分类号: P618.130

文献标识码: A

doi: 10.12128/j.issn.1672-6979.2025.10.002

0 引言

油砂作为一种非常规油气资源,因其巨大的储量潜力而备受关注^[1-9]。近年来,随着全球能源需求的增长和开发技术的进步,油砂资源的勘探逐渐成为学界和工业界的研究热点^[1,4,8,10]。尽管我国油砂资源丰富,开发利用潜力巨大,但勘查与开发程度仍较低,储层识别对比的手段还不成熟^[4,11-18]。因而有必要梳理前人在油砂资源勘探方面的研究成果,并系统总结油砂储层识别对比的方法,对于推动我国油砂资源的勘探和有效利用具有重要意义^[17-20]。

李冰等^[6]通过常规和成像测井相结合,建立了加拿大阿尔伯塔省油砂储层测井评价方法,余刚等^[21]则通过岩电特征分析,确定了柴达木盆地干柴沟地区油砂储层特征及测井评价方法,赵晓林等^[3]

研究了准噶尔盆地喀拉扎背斜侏罗系头屯河组油砂储层的地质特征,并对储层进行了评价。

前人已有大量关于油砂资源的研究,但仍存在一些不完善之处。首先,现有的研究多集中于国外油砂资源丰富的地区,如加拿大,而对于我国境内油砂资源的具体情况研究较少。其次,由于国内油砂储层四性特征变化大,油砂矿储层的测井评价尚无系统的方法。本文以新疆某油砂矿为例,结合岩石学特征与测井数据,系统分析储层特征和分布规律,尝试建立一套测井识别对比方法,可为类似油砂矿勘探提供参考。

1 研究区地质背景

1.1 大地构造位置

研究区位于吐哈盆地—台北凹陷—邱东洼陷南

收稿日期:2025-03-24;修订日期:2025-04-23;编辑:武昕普

基金项目:山东省煤田地质局2025年度局科研专项任务“深部煤层隐蔽致灾因素多模态智能探查技术研究”(鲁煤地科字[2025]29号),“砂岩热储采灌平衡条件下不同井网井型回灌效果研究”(鲁煤地科字[2025]42号)联合资助

作者简介:尹俊凯(1989—),男,黑龙江绥化人,高级工程师,主要从事水工环地质调查及相关研究工作;E-mail:sdmtsdyjk@163.com

*通信作者:刘同庆(1987—),男,山东潍坊人,高级工程师,主要从事非常规油气资源的勘探相关工作;E-mail:liutongqing1234@163.com

部的七克台构造带,七克台构造带西起红山,东至十三间房一带,延伸近 150 km,是一近 EW 向的短轴

背斜四级构造带,总面积约 1 200 km²^[22],研究区位于七克台构造带的南部(图 1)。

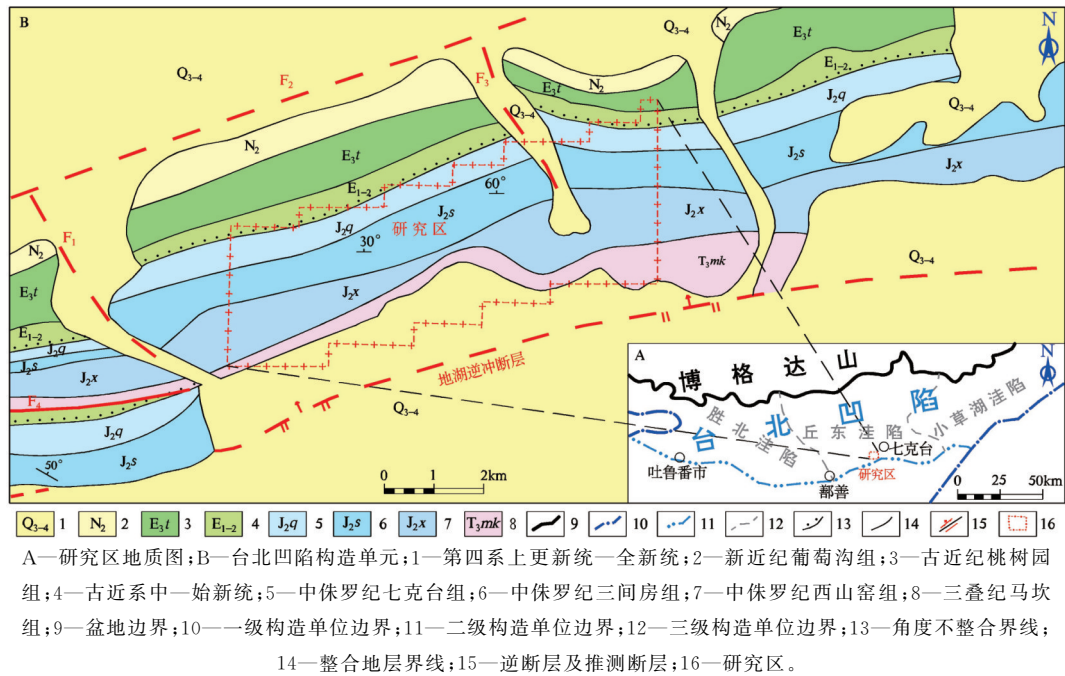


图 1 台北凹陷构造单元及研究区地质图

1.2 地层特征

通过对地表出露和钻探揭露的数据分析,结合先前的地质研究成果,确定了研究区的地层结构。地层从新到老分别为第四系全新统、上侏罗纪齐古组、中侏罗纪七克台组、三间房组、西山窑组^[22]。七克台组为研究区主力含油层位,含油砂层主要以灰褐色含砾粗砂岩为主,展布于研究区中北侧,东西向贯穿整个研究区;主力含油层有 4 层,局部可见 6 层油砂矿层^[22]。

1.3 构造特征

研究区内构造为残留背斜的北翼,呈现为一单斜构造。受七克台断层控制,上盘形成牵引背斜构造;构造顶部后期被剥蚀、夷平,残留陡倾的北翼^[22]。地层露头倾角 30°~73°,平均 55°左右。研究区发育 F₃ 断层,为平移断层,呈 SN 向贯穿研究区,以 F₃ 断层为界划分为东区和西区。断层总体走向 NNE 10°,东区地层向北错动,错断约 300 m;受构造错动影响,东部矿体倾角稍缓,为 50°~60°,西部矿体倾角稍陡,为 55°~60°。

2 油砂储层岩性

通过对研究区探槽和钻孔岩心进行岩石特征分

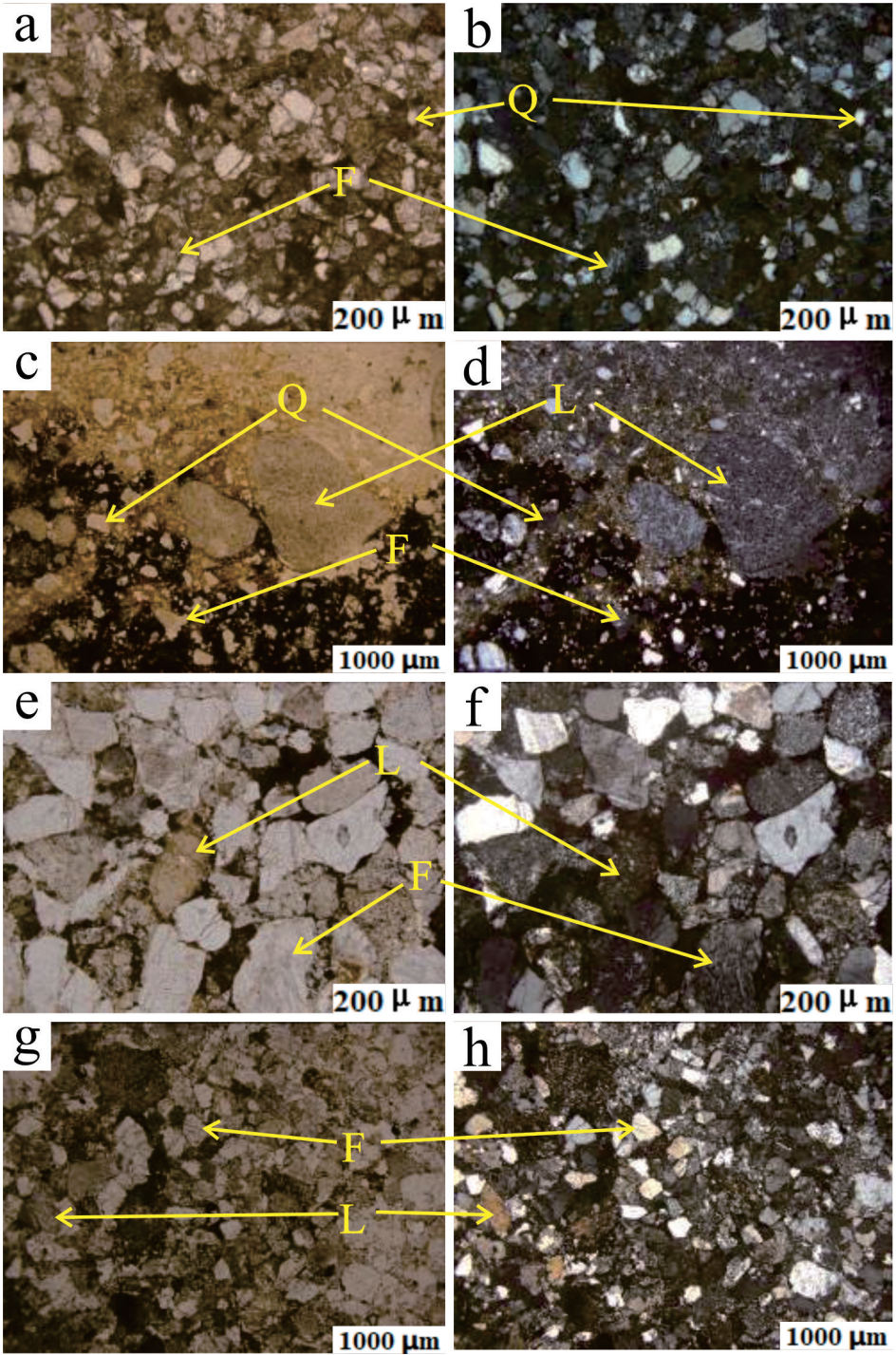
析,发现油砂储层岩性主要包括 4 种类型,分别为油浸长石细砂岩、油浸含砾长石粗砂岩、油浸长石中粗砂岩、油浸含砾岩屑长石中粗砂岩。

2.1 油浸长石细砂岩

油浸长石细砂岩为灰色、灰绿色,细粒砂状结构,碎屑颗粒占 93%,以长石和石英为主,少量岩屑,偶见黑云母,钙质填隙物占 7%;自生矿物较多,多为黏土矿物。长石碎屑以正长石为主,无色柱状、板状,干涉色一级灰为主,个别可见卡式双晶和解理,平行消光,粒度以 0.1~0.25 mm 为主,见有少量条纹长石和斜长石。杂基主要为粉砂级岩石碎屑,杂乱分布于颗粒之间。岩石自生矿物较多,多为黏土矿物(图 2a、图 2b)。

2.2 油浸含砾长石粗砂岩

岩石为灰色、灰绿色,粗粒砂状结构,含砾,碎屑颗粒占 85%,以长石和石英为主,岩屑少量,偶见黑云母,含砾石,砾石以 2.5 mm 为主,个别可达 3.5 mm;钙质填隙物占 15%;自生矿物少量。长石碎屑以正长石为主,无色柱状、板状,干涉色一级灰为主,个别可见卡式双晶和解理,平行消光,粒度以 0.1~0.25 mm 为主,见有少量条纹长石和斜长石。岩屑以硅质岩岩屑为主,见少量云母(图 2c、图 2d)。



a—灰绿色细粒长石砂岩(单偏光,10×10);b—灰绿色细粒长石砂岩(正交偏光,10×10);c—灰褐色油浸含砾长石粗砂岩(单偏光,10×4);d—灰褐色油浸含砾粗粒长石砂岩(正交偏光,10×4);e—灰褐色油浸长石中粗砂岩(单偏光,10×10);f—灰褐色油浸长石中粗砂岩(正交偏光,10×10);g—灰褐色油浸含砾岩屑长石中粗砂岩(单偏光,10×10);h—灰褐色油浸含砾岩屑长石中粗砂岩(正交偏光,10×10);Q—石英;F—长石;L—岩屑。

图 2 研究区油砂储层岩石镜下特征

2.3 油浸长石中粗砂岩

岩石为灰色、灰绿色，中粗粒砂状结构，碎屑颗粒占 90%，以长石和石英为主，岩屑少量，偶见黑云母；钙质填隙物占填隙物 15%；自生矿物少量。长石碎屑以正长石为主，无色柱状、板状，干涉色一级灰为主，个别可见解理，平行消光，粒度以 0.4~0.8 mm 为主。杂基少量，主要为黏土矿物和粉砂级岩石碎屑，杂乱分布于颗粒之间(图 2e、图 2f)。

2.4 油浸含砾岩屑长石中粗砂岩

岩石为灰色、灰绿色，中粗粒砂状结构，碎屑颗粒占 85%，以长石和石英为主，岩屑较多，偶见黑云母，含砾石；钙质填隙物占 15%；自生矿物少量。长石碎屑以正长石为主，无色柱状、板状，干涉色一级

灰为主，个别可见卡式双晶和解理，平行消光，粒度以 0.5~2.5 mm 为主。岩屑以花岗岩岩屑为主。杂基少量，主要为黏土矿物和粉砂级岩石碎屑，杂乱分布于颗粒之间。成岩作用以胶结作用和压实作用为主(图 2g、图 2h)。

3 油砂储层的测井识别

根据研究区钻井，该区储层自然伽马呈低值，自然电位有一定负异常，补偿中子呈低值。依据以上标准，进行了油砂储层的测井解释。依据测井参数范围值，建立了不同层位油砂、水层和干层的解释标准(表 1)。

表 1 研究区测井综合解释标准

| 层系 | 深侧向/ ($\Omega \cdot \text{m}$) | 深感应/ ($\Omega \cdot \text{m}$) | 声波时差/ ($\mu\text{s}/\text{m}$) | 岩性密度/ (g/cm^3) | 补偿中 子/% | 自然伽马 /API | 泥质含 量/% | 有效孔 隙度/% | 渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$ | 含水饱 和度/% | 解释 结论 | 岩性 |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|-------------|----------|-----|
| J _{3q} | 7.5 | 5.5 | 343 | 2.30 | 22 | 49 | 18 | 19.7 | 42.33 | 95 | 水层 | 粉砂岩 |
| | 9.4 | 5.5 | 366 | 2.30 | 19 | 49 | 14 | 20.0 | 45.43 | 94 | | |
| J _{2q} | 10.6 | 11.7 | 382 | 2.31 | 24 | 53 | 22 | 19.6 | 40.79 | 60 | 油砂 | 细砂岩 |
| | 19.8 | 16.5 | 381 | 2.36 | 22 | 72 | 18 | 16.4 | 18.76 | 60 | | 砂砾岩 |
| | 11.0 | 15.0 | 304 | 2.38 | 24 | 50 | 22 | 15.1 | 13.04 | 69 | | |
| | 19.6 | 15.5 | 277 | 2.52 | 12 | 65 | 6 | 7.5 | 0.61 | 100 | 干层 | 细砂岩 |
| | 41.2 | 20.6 | 210 | 2.55 | 10 | 44 | 4 | 5.8 | 0.20 | 100 | | |
| | 23.1 | 20.2 | 212 | 2.58 | 13 | 40 | 7 | 4.0 | 0.10 | 100 | | |
| | 17.6 | 12.8 | 269 | 2.52 | 17 | 79 | 12 | 7.3 | 0.54 | 100 | | |
| | 9.0 | 6.8 | 399 | 2.37 | 24 | 74 | 21 | 15.5 | 14.75 | 99 | 水层 | 细砂岩 |
| | 13.9 | 10.7 | 344 | 2.39 | 19 | 58 | 14 | 15.1 | 13.13 | 100 | | |
| | 10.6 | 7.6 | 378 | 2.33 | 19 | 55 | 13 | 18.6 | 32.79 | 100 | | |
| | 9.3 | 7.9 | 336 | 2.39 | 19 | 55 | 14 | 14.8 | 12.11 | 100 | | |
| | 9.1 | 7.1 | 355 | 2.33 | 22 | 69 | 18 | 18.1 | 29.07 | 100 | | |
| | 7.4 | 5.3 | 385 | 2.32 | 20 | 73 | 16 | 19.0 | 35.68 | 100 | | 砂砾岩 |
| J _{2s} | 9.3 | 7.4 | 384 | 2.31 | 17 | 72 | 12 | 20.1 | 46.36 | 100 | 水层 | 细砂岩 |
| | 13.8 | 13.0 | 334 | 2.39 | 21 | 78 | 16 | 14.6 | 11.41 | 100 | | |
| | 23.7 | 16.0 | 310 | 2.42 | 17 | 72 | 11 | 13.0 | 6.75 | 100 | | |

七克台组砂岩物性特征较为明显，水层流动性好于油层，故水层自然电位曲线负异常幅度较油层要大；油层的双侧向电阻率值要明显高于水层，储层典型物性特征见图 3。通过对井下油砂层段的测井曲线特征分析认为：油砂测井曲线的基本特征为高视电阻率、中—低自然伽马及中等密度；声波时差和中子孔隙度变化不明显。低自然伽马与重油中放射性有关，中等密度与储层中含油以及岩石的致密程度相关。油砂自然电位曲线有弱负异常。

在特殊测井阵列感应测井曲线上油层呈微弱“减阻侵入”特征，阵列感应反演储层侵入深度为 10 m 左右，与下部水层相比，阵列感应电阻率曲线

由“增阻侵入”的含水特征变为微弱“减阻侵入”特征，且电阻率绝对值也有一定增大，有一定含油特征，同时阵列感应测井曲线与岩性密度曲线有明显包络面积，呈“镜像对称”特征。

4 储层对比

4.1 储层基本特征

七克台组主要由三角洲—湖泊相沉积的碎屑岩组成，其岩性明显分为两个部分。中部和上部主要由灰色泥岩构成，在某些区域可能会发育含灰质的泥岩或钙质泥岩。下部主要由灰黑色或深灰色泥岩

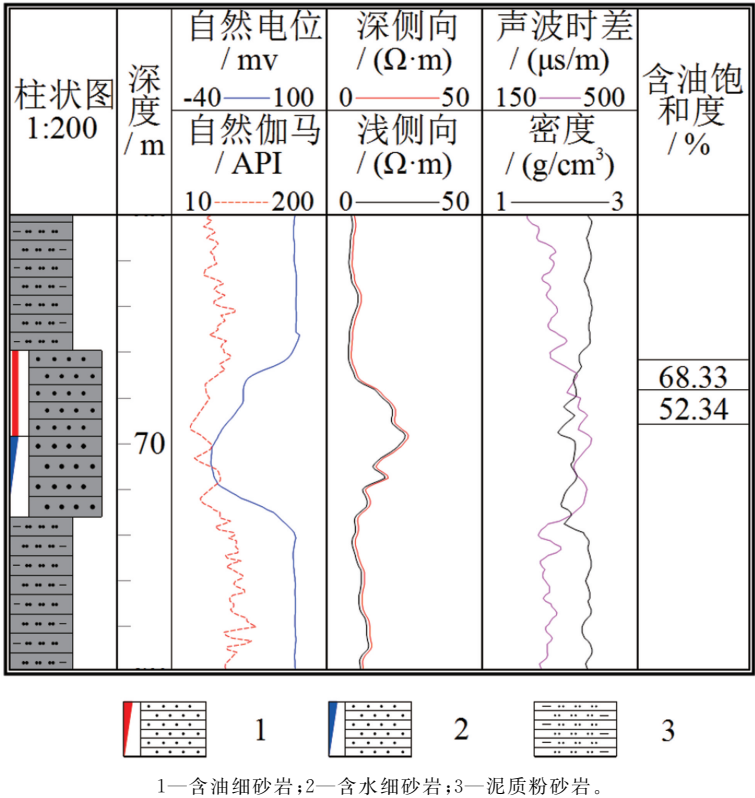


图 3 研究区某孔井 J₃q 油层及水层测井特征图

组成,局部含有薄煤层。储层在这一段更为发育,并且伴随有较高的录井气测值。结果显示,研究区钻遇的地层可以明确划分为七克台组下段和上段,其中含油砂层主要集中在七克台组下段中。

4.2 油砂矿砂组划分及对比

七克台组底部发育有较好的砂层,颗粒粗,孔隙度和渗透率均较高,同下伏三间房组泥岩之间存在显著差异。七克台组底部砂层具有高的电阻率,自然电位明显的负异常,与下伏的三间房组形成了清晰的界限。基于上述特征及划分对比标志,对研究区探井中的七克台组地层进行了详细分析和对比。砂组划分为 Q I (粗砂岩)、Q II (含砾砂岩)、Q III (细砂岩),隔层以泥质粉砂岩为主。

4.2.1 岩性组合

七克台组的岩性主要由灰色泥岩与灰色砂岩构成,二者以不等厚互层的形式存在。在该组底部局部发育有两套煤线或炭质泥岩。各砂组之间的岩性差异较小,但仍有其独特性,主要由粗砂岩和细砂岩组成。Q I 砂组以粗砂岩为主,显示出较高的颗粒粒径。Q II 砂组除了含有一定比例的粗砂岩外,还包含少量砾岩,表明沉积环境可能存在较强的水动

力条件。Q III 砂组以细砂岩为主,颗粒粒径相对较小,表现为水动力弱的沉积环境。

4.2.2 砂组(矿体)对比标志

七克台组砂组上部为一段低阻泥质粉砂岩,电阻率曲线突变,区域对比性较好,可作为研究区七克台组砂组顶界面,其下部同样发育此类型泥质粉砂岩,可作为七克台组砂组底界面。

4.2.3 沉积相

Q I 砂组以河口坝微相为主,Q II 砂组包括水下分流河道和河口坝两种微相,Q III 砂组以水下分流河道为主。

4.2.4 隔层

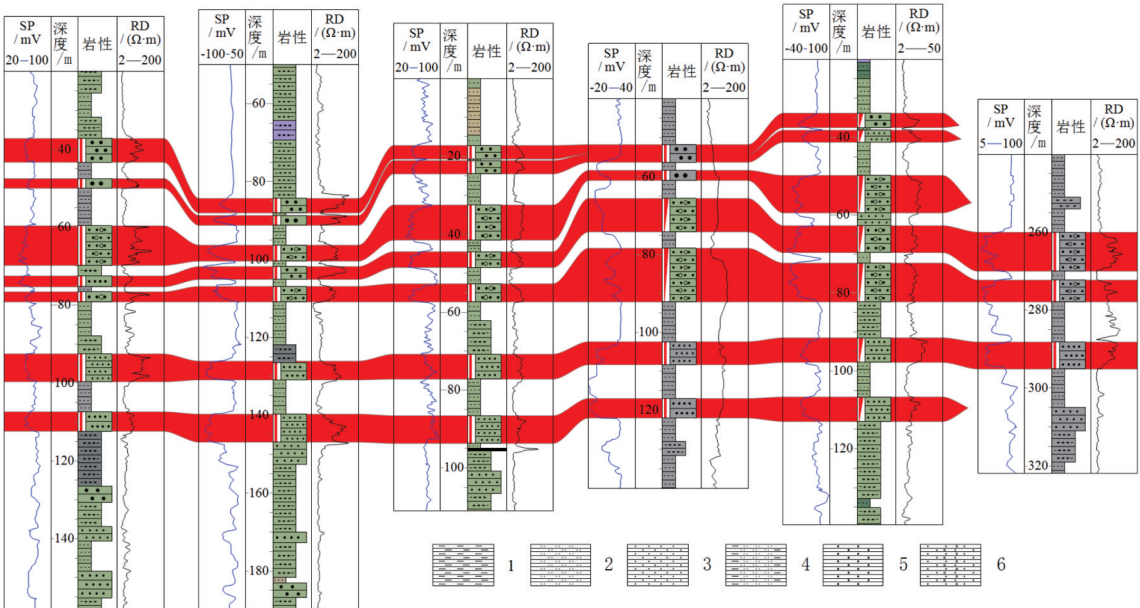
各个砂组之间基本都以不含油的泥质粉砂岩或细砂岩作为主要隔层,Q I 砂组和 Q II 砂组之间为一套相对分布较广的分流间湾泥岩为隔层;Q II 砂组和 Q III 砂组之间为一套全区发育的浅湖泥岩作为隔层。

4.2.5 空间分布

在划分单井砂组的基础上,为反映研究区内油砂的空间分布,根据研究区钻井砂组(矿体)的分布特征,绘制的油砂对比剖面(图 4)可知,东西向油砂

分布相对较稳定;南部油砂组连续性较好,个别砂组存在小范围尖灭现象,北部连续性也较好。研究区

油砂厚度分布比较稳定,板状为主,夹少量透镜状,七克台组油砂矿平均有效厚度可达 16 m。



1—泥岩;2—粉砂岩;3—细砂岩;4—泥质粉砂岩;5—粗砂岩;6—含砾砂岩。

图 4 研究区北部连井剖面图

5 结论

(1)研究区油砂资源主要赋存于七克台组下段中,储层岩性主要包括油浸长石细砂岩、油浸含砾长石粗砂岩、油浸长石中粗砂岩、油浸含砾岩屑长石中粗砂岩。研究区油砂储层沉积相为三角洲沉积,主要砂体以水下分流河道和河口坝微相为主。七克台组油砂厚度分布比较稳定,测井曲线反应其连续性较好,以板状为主,夹少量透镜体,平均有效厚度可达 16 m。

(2)研究区水层双侧向电阻率曲线呈正差异,阵列感应测井曲线呈微弱“增阻侵入”特征,其与岩性密度曲线几乎无包络面积;油层双侧向电阻率曲线呈微弱正差异,阵列感应测井曲线呈微弱“减阻侵入”特征;与水层对照阵列感应电阻率曲线由“增阻侵入”的含水特征变为微弱“减阻侵入”特征,且电阻率绝对值也有一定增加。

参考文献:

[1] 马小平.准噶尔盆地西北缘油砂储层特征及成矿主控因素研究[D].武汉:中国地质大学,2023.

[2] 乔伟.南堡凹陷柳中地区沙三段油砂体分布研究[D].北京:中国石油大学,2023.

[3] 赵晓林,单玄龙,郝国丽,等.准噶尔盆地喀拉扎背斜侏罗系头屯河组油砂储层沉积相与储层评价[J].地球科学与环境学报,2017,39(3):419-427.

[4] 周伯玉,刘太勋,黄文华,等.准噶尔盆地西北缘风城地区白垩系油砂矿沉积特征及演化模式[J].沉积与特提斯地质,2016,36(2):11-19.

[5] 陈峰,冯乔,徐明璞,等.柴西地区上下油砂山组沉积相及有利储层[J].山东国土资源,2014,30(5):9-13.

[6] 李冰,令狐松,包鑫,等.加拿大油砂储层测井评价关键技术[J].测井技术,2019,43(4):391-397.

[7] 王江,王雪峰,付允中,等.基于小波边缘分析与井-震联合建模的波阻抗反演技术在乌尔逊断陷储层预测中的应用[J].大庆石油地质与开发,2023,42(2):133-142.

[8] 李森.准噶尔盆地陆 9 井区西山窑组含油砂体地层精细划分及油层预测[D].昆明:昆明理工大学,2020.

[9] CHENG M., KOTOV A., PYKE K., et al.Improvement in Heavy - Oil Reservoir Evaluation Using Nuclear Magnetic Resonance: Long Lake and Kinosis SAGD Projects, Alberta, Canada[J].Petrophysics,2015(56):239-250.

[10] 马金强.准噶尔盆地玛湖 4、18 井区三工河组二段储层预测[D].武汉:长江大学,2023.

[11] 张永庶,张审琴,吴颜雄,等.基于成像测井和岩性扫描测井的沉积相研究:以柴达木盆地黄瓜崂地区为例[J].新疆石油地质,2019,40(5):593-599.

[12] 曹鹏,邹伟宏,戴传瑞,等.油砂研究概述[J].新疆石油地质,2012,33(6):4.

[13] WANG Y,CHANG X C;LIU Z Q,et al.New insights on the

petroleum migration and accumulation in the basal conglomerate reservoir of Cretaceous Qingshuihe Formation of Yongjin area, Central Junggar Basin[J].Geological Journal, 2021(56):4429-4450.

[14] 李建平,熊连桥,黄涛,等.加拿大 Alberta 盆地白垩统油砂沉积特征分析及隔夹层识别[J].中国海上油气,2019,31(5):30-41.

[15] 郝国丽,单玄龙,全立华,等.小太平山油砂油地球化学及生物降解特征[J].世界地质,2017,36(3):913-923.

[16] 赵光通,李俊武,邓翔,等.羌塘盆地隆鄂尼地区油砂矿地质特征及成藏模式[J].特种油气藏,2019,26(2):40-44.

[17] 侯明扬. 2020 年全球油气资源并购市场特点及前景展望[J].国际石油经济,2021,29(3):45-52.

[18] PANG X Q, JIA C Z, CHEN J Q, et al. A unified model for the formation and distribution of both conventional and unconventional hydrocarbon reservoirs[J]. Geoscience Frontiers, 2021, 12(2): 695-711.

[19] ZHAO J M, CHEN S Z, DENG G, et al. Basement Structure and Properties of the Western Junggar Basin, China[J]. Journal of Earth Science, 2019, 30(2): 223-235.

[20] 贾承造,庞雄奇,宋岩.论非常规油气成藏机理:油气自封闭作用与分子间作用力[J].石油勘探与开发, 2021, 48(3):437-452.

[21] 余刚,马丽娟,徐永发,等.油砂储层特征及测井评价方法研究:以柴达木盆地干柴沟地区为例[J]. 岩性油气藏,2015,27(6):119-124.

[22] 刘同庆.吐哈盆地某油砂矿成藏分析[J].中国煤炭地质, 2020,32(7):14-17,45.

Study on Reservoir Characteristics and Logging Identification Comparison of an Oil Sand Deposit in Xinjiang Uygur Autonomous Region

YIN Junkai¹, ZHAO Weidong², CHEN Huajian³, YANG Zhen¹, YU Shen², HAN Xiao⁴, DU Xianjun², LIU Tongqing²

(1.No.3 Exploration Brigade of Shandong Provincial Coalfield Geological Bureau, Shandong Tai'an 271000, China; 2.No.5 Exploration Brigade of Shandong Provincial Coalfield Geological Bureau, Shandong Tai'an 250100, China; 3. Xinjiang Jitong Mining Limited Corporation, Xinjiang Uygur Autonomous Region Changji 831700, China; 4.Shandong Dehe Geothermal Development Limited Corporation, Shandong Jinan 250104, China)

Abstract: As an unconventional oil and gas resource, oil sand deposits are characterized by shallow burial depths and significant variability in reservoir petrophysical properties. There is a significant difficulty in reservoir comparison. In order to effectively utilize various exploratory data for identification and comparison of oil sand reservoirs, taking an oil sand deposit in Xinjiang Uygur Autonomous Region as an example, based on microscopic reservoir petrological characteristics, logging features, and marker beds, lateral comparative analysis has been carried out. It is indicated that the reservoir rocks of Qiketai formation are predominantly coarse grained with a composition rich in feldspar. The oil sand layers exhibit fundamental petrophysical characteristics, such as low natural gamma values, certain negative anomalies in spontaneous potential, and low compensated neutron values. Comparing to water-bearing layers, array induction resistivity curves change from "increased resistance intrusion" characteristics typical of water-bearing zones to slightly "decreased resistance intrusion" features, and absolute resistivity values are also increasing. Additionally, there is a noticeable envelope area between the array induction resistivity and lithology density curves, and shows a "mirror symmetry" feature. Through analysis of lithological associations, sand body (orebody) correlation markers, depositional environments, and interbedded layers within Qiketai formation, it is showed that the thickness distribution of oil sands in the study area is relatively stable, primarily in plate-like forms with a small amount of lenticular structures. The average effective thickness of Qiketai oil sand deposit reaches approximately 16m.

Key words: Oil sand deposit; reservoir characteristics; logging properties; reservoir comparison; Xinjiang Uygur Autonomous Region