

# 塔中志留系特低孔超低渗储层测井评价

秦伟强, 孙兆辉

(中国石化西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**塔中顺托果勒地区志留系储层具“特低孔、超低渗”的特征,依据常规测井、核磁测井和岩心资料,对储层的测井响应特征和微观特征进行了精细分析,并对油层、水层的特征和流体性质的识别以及油水界面进行了综合评价,为后期的低孔低渗储层测井精细评价和勘探开发提供了重要技术支撑。

**关键词:**核磁测井;低孔低渗;储层评价;志留系;塔里木盆地

中图分类号:TE24

文献标识码:A

## Logging evaluation of ultra-low porosity and super-low permeability reservoirs in Silurian, middle Tarim Basin

Qin Weiqiang, Sun Zhaohui

(SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** The Silurian reservoirs in Shuntuoguole area of the middle Tarim Basin are featured by ultra-low porosity and super-low permeability. Based on conventional logging, NMR logging and core data, the logging responses and micro features of reservoirs were analyzed. The features of oil and water beds as well as the properties of fluids were identified. The oil/water interfaces were evaluated. The studies provided technical supports for the fine description and exploration of reservoirs with ultra-low porosity and super-low permeability.

**Key words:** NMR logging; low porosity and permeability; reservoir evaluation; Silurian; Tarim Basin

顺托果勒地区位于塔里木盆地中部(图1),南部紧邻塔中隆起与古城墟隆起,是北部顺托果勒地区及东部满加尔坳陷油气长期运移的指向区。顺托果勒区块志留系主要发育柯坪塔格组上段砂岩和下段砂岩2套储层。埋深在5 200~5 600 m之间,有利的储盖组合位于柯坪塔格组下段。储层岩性主要为灰色、浅灰色细砂岩,夹少量具撕裂屑特征的泥岩,属于低孔低渗砂岩储层。沉积相以前滨—下临滨为主。砂岩颗粒分选较差,结构成熟度相对较低,储集空间主要为原生残余粒间孔,可见少量次生溶孔,以低孔、低渗和复杂孔隙结构为主要特征<sup>[1-4]</sup>。

2011年,中国石化西北油田分公司在该地区志留系的油气勘探获得重大突破,部署的S1井在志留系柯坪塔格组取心录井获良好油气显示,对该井进行完井射孔测试和加砂压裂,获得低产油流,实现了该公司在塔中碎屑岩领域勘探的重要突破,初步落实构造背景控制下具有亿吨级储量规模的大型岩性复合油气藏。通过对该地区志留系储层的测井响应特征及岩心实验数据分析,认为该地区

志留系储层主要为“特低孔、超低渗”的储层<sup>[5]</sup>。在随后的S2、S3等井储层分析及多井对比过程中,使大家深刻意识到其储层的复杂性和独特性。依据该地区核磁测井资料,并结合常规测井资料,首先对储层的微观测井响应特征进行了精细研究,同时对该地区油、水层及储层的流体识别技术进行了深入分析。为该地区储层的微观评价和勘探开发提供了重要支撑。

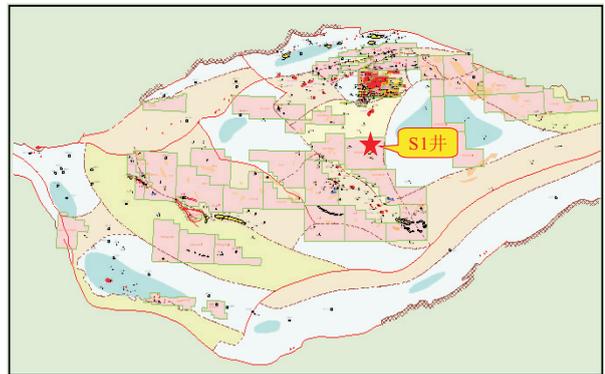


图1 塔里木盆地勘探现状

Fig.1 Exploration status of Tarim Basin

# 1 塔中志留系储层测井分析

塔里木盆地顺托果勒区块的 S1 井在柯坪塔格组见重要油气显示:油浸 9.15 m/6 层,油斑 3.84 m/9 层,油迹 4.89 m/3 层;在随后的测井解释中,柯坪塔格组测井解释油气层 1 层,12.5 m,差油气层 4 层,累厚 17 m。

在完井测试过程中,对该井柯坪塔格组进行 DST 射孔测试,地层基本不产液;随后采取小型压裂改造,未出油;之后进行大型加砂压裂改造,获低产油流。完井措施的方式不仅为特低孔超低渗复杂碎屑岩储层的后期开发提供了重要指导,同时也为该类型储层的测井评价标准带来了重要思考。

## 1.1 S1 井常规及核磁测井解释分析

从该井常规测井曲线图分析(图 2),柯坪塔格组 5 560~5 590 m,GR 在 65~75 API 之间,反映储层泥质含量相对较高,SP 幅差较弱,三电阻率曲线几乎重合,表明储层的渗透性较差,同时从三孔隙度曲线分析,密度在 2.55~2.60 g/cm<sup>3</sup> 之间,声波在 60~65 μs/ft 之间,综合测井曲线反映储层的物性较差,渗透率比较低,属于低孔低渗的储层特征。然而,精细对比 5 560~5 574 m 差油气层与 5 577.0~5 589.5 m 油气层段的差别变化,常规测井资料上变化不明显,利用常规测井来评价储层的有效性、渗透性和可动流体方面存在较大的困难<sup>[6-7]</sup>。

为了进一步评价和研究该井储层的微观特征,对该井进行了核磁测井,从该井核磁测井资料分析(图 2),孔隙频谱曲线反映油气层段储层孔径以中小孔径为主,而差油气层段基本为小孔径特征;核磁解释差油气层段有效孔隙度 4.0% 左右,油气层段有效孔隙度在 6.0%~8.5% 之间;差油气层段渗透率在 (0.1~0.3) × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup> 之间,油气层段渗透率在 (0.1~0.7) × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup> 之间;另外,从该井 T<sub>2</sub> 谱分布及可动流体分析,油气层段可动流体所占比例较高,在 1/2 左右,差油气层可动流体所占比例较低,在 1/3 左右。综合分析,S1 井志留系柯坪塔格组为特低孔超低渗的储层<sup>[8-10]</sup>。

资料对比分析表明,在储层的微观评价和有效性分析方面,核磁测井显示出独特的优势,为储层的精细评价提供了有力的技术支持,同时为后期压裂段的选择和水平井井眼设计提供了较好的参考。

## 1.2 S1 井岩心核磁分析对比

结合岩心孔渗实验分析数据,对核磁测井分析数据进行了分析对比,从图 3 中对比分析,岩心分析的储层孔隙度、渗透率与核磁分析的有效孔隙度、渗透率数据具有较好的一致性,并且孔渗相关性均比较好。从另一方面表明,核磁分析的数据比较客观,具有较强的说服力。另外,岩心实验分析表明柯坪塔格组储层局部存在微裂缝<sup>[11]</sup>。

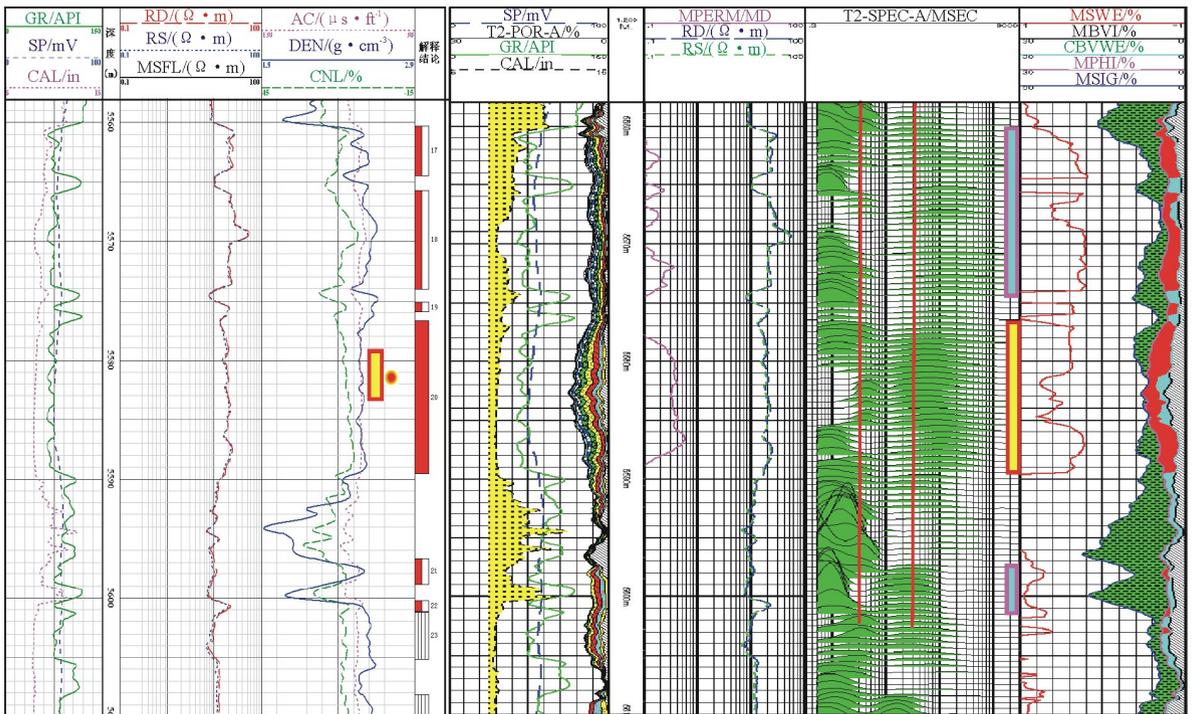


图 2 S1 井常规及核磁测井对比

Fig.2 Conventional vs. NMR logging of well S1

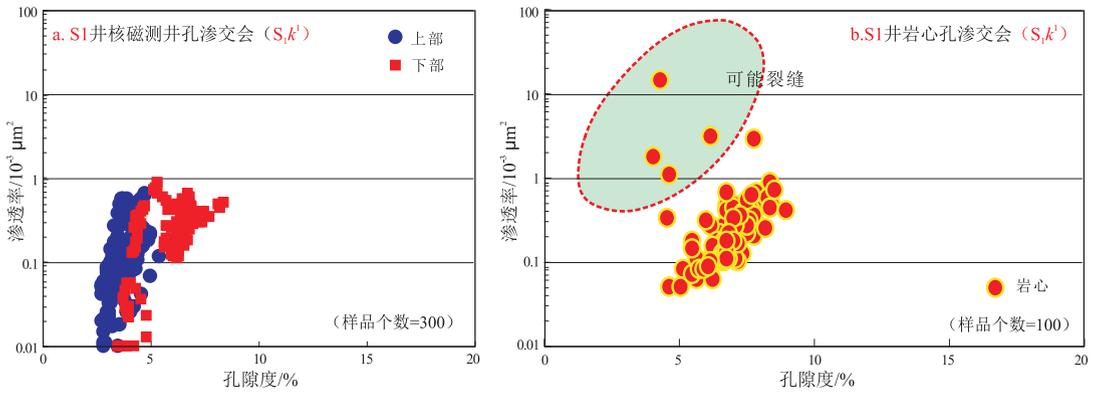


图 3 S1 井岩心、核磁测井对比分析

Fig.3 Cores vs. NMR logging of well S1

## 2 塔中志留系储层综合评价

### 2.1 油层特征分析

S1 井在塔中志留系获得突破之后,西北油田分公司先后部署了 S2 和 S3 井,通过对 S1、S2 以及 S3 井常规测井资料的对比分析,发现 3 口井的油气层电阻率数值变化较大,并且每口井的油气层内部也存在电阻率的高低变化,因此将 3 口井油气层的电阻率与核磁测井的孔渗参数做交会图分析(图 4),发现电阻率随着总孔隙度的增加有降低的趋势。考虑到储层的总孔隙度包括有效孔隙度和黏土束缚孔隙度,因此将电阻率分别与有效孔隙度和黏土束缚孔隙度做交会图分析,发现电阻率数值并没有随着有效孔隙度的增加有明显降低的趋势,反而随着黏土束缚孔隙度的增加存在明显降低的趋势<sup>[12-13]</sup>。因此认为对于特低孔超低渗的志留系柯坪塔格组油气层,其黏土束缚的部分充填的为水,而有效孔隙空间,即可动和毛管束缚的部分充填的为油<sup>[14]</sup>。

### 2.2 水层特征分析

目前,S1 井区志留系柯坪塔格组的水层,只在 S2 井进行了测试,共获取地层水+垫水累计 18.3 m<sup>3</sup>,

密度为 1.106 8 g/cm<sup>3</sup>,流体矿化度分析为 90 965 mg/L,水样进行电阻率分析,在室温 13.0 ℃下,地层水电阻率为 0.22 Ω·m。

从该井核磁测井资料分析,水层的有效孔隙度为 5.2%~10.0%,渗透率为 (0.05~0.25)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,渗透率之所以这么低,主要是可动孔隙度所占比重较小所致<sup>[15]</sup>。

### 2.3 流体性质识别分析

目前,结合前期的测试分析资料,对该地区志留系储层的流体性质识别技术进行了分析和研究,并进行了电阻率与核磁分析的孔渗数据之间的交会图分析。通过分析,认为电阻率与核磁的有效孔隙度和可动孔隙度之间的交会图,在识别储层流体方面有一定的效果(图 5)。

不过,目前仅有 S1、S2 等 2 口井的测试信息,并且都属于孔渗性较差的储层,因此目前的图版只是初步的,需要不断的丰富和完善。

### 2.4 油水界面分析

通过 S2 井与 S1 井之间的对比分析,发现 S2 井测试水层的海拔高度比 S1 井测试的油气层高度还高。另外,顺 S3 测井解释的水层深度为 4 553.1~4558.6m,而 S1 油气层的深度为 4565.3~4577.8m,

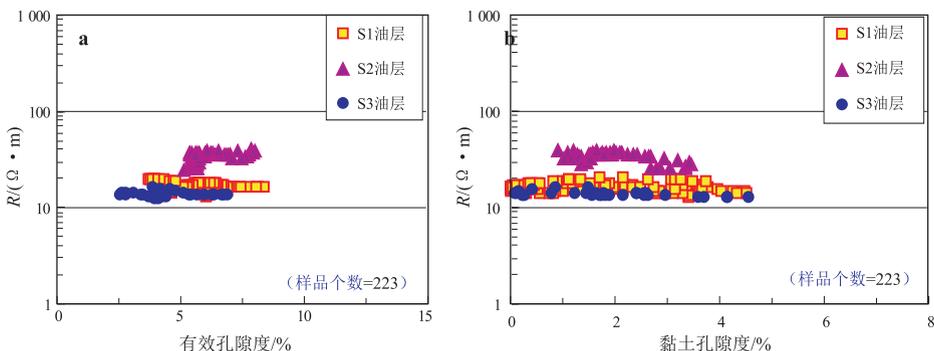


图 4 S1 井区电阻率—核磁测井孔渗交会

Fig.4 Resistivity-NMR porosity and permeability of well S1

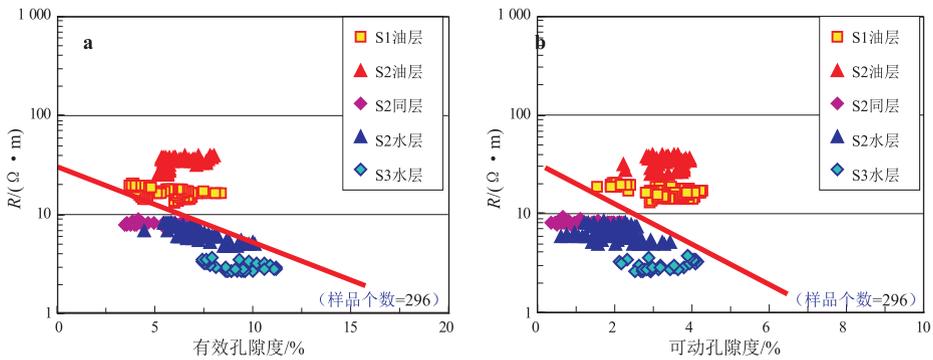


图 5 S1 井区电阻率—核磁孔渗交会

Fig.5 Resistivity-NMR porosity and permeability of well S1

即 3 口井之间的油水界面存在明显的不一致。因此,经过对比分析,认为 S1 井区志留系柯坪塔格组无统一的油水界面,该地区油气藏可能为一大构造背景控制下的局部以岩性控制为主的油气藏<sup>[16-17]</sup>。

### 3 结论

(1) 储层评价中,常规测井有其固有的优势,但在低孔低渗储层评价方面也存在一定的不足,目前对于低孔低渗储层,核磁测井技术已成为关键的评价技术。

(2) 初步认为,塔中志留系柯坪塔格组砂体油气层储层孔隙中可动和毛管束缚的部分充填为油,黏土束缚的部分充填为水。

(3) 利用核磁测井交会图技术识别储层的流体性质,具有较好的效果,流体判别图版需结合后期的钻井测试资料进一步修正和完善。

(4) 初步认为,顺 9 井区  $S_1k^1$  目标砂体无统一的油水界面,该区油气藏可能为一大构造背景控制下的局部以岩性控制为主的油气藏。

#### 参考文献:

- [1] 陈元壮,王毅.塔河地区志留系柯坪塔格组砂岩储集岩特征[J].西安石油大学学报:自然科学版,2009,24(s1):56-62.
- [2] 郭建军,陈践发.塔中志留系沥青砂岩的地质特征及研究进展[J].新疆石油地质,2006,27(2):151-154.
- [3] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等.塔里木盆地志留系沉积构造及

沥青砂岩的特征[J].石油学报,2001,22(6):11-17.

- [4] 朱筱敏,王贵文,谢庆宾.塔里木盆地志留系沉积体系及分布特征[J].石油大学学报:自然科学版,2002,26(3):5-11.
- [5] 王贵文,张新培.塔里木盆地塔中地区志留系测井沉积相研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(3):40-45.
- [6] 王胜奎,罗水亮,张俊.应用核磁共振测井资料评价低渗透储层[J].断块油气田,2007,14(6):81-83.
- [7] 谢然红,肖立志,张健民.低渗透储层特征与测井评价方法[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(1):47-51.
- [8] 张龙海,周灿灿,刘国强,等.不同类型低孔低渗储集层的成因、物性差异及测井评价对策[J].石油勘探与开发,2007,34(6):702-710.
- [9] 蒋宏修,于伟,章成广.核磁共振测井在低孔低渗储层评价中的应用[J].江汉石油学院学报,2004,26(2):218-220.
- [10] 曾清波,樊太亮,刘聪,等.塔里木盆地志留系下砂岩段成藏组合分析及有利勘探区带评价[J].现代地质,2008,22(2):247-254.
- [11] 肖承文,钱毅,高进发,等.塔北志留系浅变质低孔隙度裂缝性砂岩储层测井评价[J].测井技术,2008,32(6):529-532.
- [12] 运华云,赵文杰,刘兵开.利用  $T_2$  谱进行岩石孔隙结构研究[J].测井技术,2002,26(1):19-21.
- [13] 匡立春.利用测井资料评价储集层性质的探讨[J].测井技术,1992,16(2):117-119.
- [14] 吕修祥,白忠凯,赵风云.塔里木盆地塔中隆起志留系油气成藏及分布特点[J].地质学前沿,2008,15(2):156-165.
- [15] 唐海发,彭仕宓,赵彦超,等.致密砂岩储层物性的主控因素分析[J].西安石油大学学报:自然科学版,2007,22(1):59-63.
- [16] 肖晖,任站利,崔军平.塔里木盆地孔雀 1 井志留系含气储层成藏期次研究[J].石油实验地质,2008,30(4):357-362.
- [17] 陈强路,范明,尤东华.塔里木盆地志留系沥青砂岩储集性非常规评价[J].石油学报,2006,27(1):30-33.

(编辑 叶德燎)