

文章编号: 1001-6112(1999)04-0320-04

# 塔里木盆地塔河油田三叠系 油气藏低阻油气层的成因及意义

李国政

(中国新星石油公司西北石油局规划设计研究院, 新疆乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 塔河油田三叠系油气产层为低阻油气层。根据测井、地质、测试、化验分析等资料, 认为岩性、矿化度、孔隙结构、束缚水含量、导电矿物、填隙(胶)结物、泥岩夹层和泥浆性能等是直接影响低阻油气层形成的重要因素, 并提出了研究识别低阻油气层的现实意义。

**关键词:** 塔河油田; 三叠系油气藏; 低阻油气层

**中图分类号:** TE122.3

**文献标识码:** A

塔河油田位于新疆塔里木盆地阿克库勒凸起的塔河构造上, 该构造是轴向近北东受两侧断层夹持的三叠系低幅度背斜构造。

塔河油田三叠系发育的储层砂体在 I-<sub>3</sub> 砂层为辫状河道, II-<sub>1</sub>、III-<sub>1</sub> 砂层为分支河道, 自南东往西北方向储层厚度逐渐减薄, 岩石粒度变细, 溶蚀作用减弱, 碳酸盐岩等胶结物含量增多, 物性变差。

塔里木盆地北部的地质条件十分复杂。通过近十几年来的勘探开发, 发现该区有一定规模的低阻油气层, 是一个新开拓领域。塔河油田三叠系油气层就是一个典型的低阻油气层。

## 1 低阻油气层的形成机理

电阻增大率( $R_t$ ) 即油气层电阻率与相同物性水层的电阻率之比在  $1.4 \sim 2.0 \Omega \cdot m \geq R_t \geq 0.5 \Omega \cdot m$  之间的油气层称之为低阻油气层。根据本地区的油气、岩性、物性特点, 油气田典型水层的电阻率一般在  $0.2 \sim 0.4 \Omega \cdot m$  左右。由此, 本文将低阻油气层的极限值定为  $0.5 \Omega \cdot m$ 。

近些年实际勘探资料的整理分析研究结果表明, 导致油气层低电阻出现的条件归纳起来有以下几种: ① 岩石颗粒太细, 颗粒表面凹凸不光滑(包括颗粒成份、结构、填(胶)结物的含量、胶结类型); ④

微孔隙发育, 裂缝隙狭窄, 结构复杂化; ② 砂岩储层中泥质含量大; ③ 薄油层与泥岩夹层互层频繁; ⑤ 高束缚水饱和度; ⑥ 地层水矿化度大; ⑦ 导电次生矿物含量高; ⑧ 泥浆出现高侵影响; ⑨ 构造幅度小, 油柱高度低。

### 1.1 岩石颗粒细、颗粒表面凹凸不光滑

塔里木盆地塔河油田的三叠系地层经历了早期埋藏成岩作用<sup>[1][2]</sup>。经过水介质条件的多次影响, 岩石颗粒产生溶蚀形成孔隙。这表明颗粒度不稳定形成的复杂孔隙极易受水介质的作用。溶解比较彻底时, 次生孔隙就很发育。颗粒细小、本身孔隙就有限的砂岩体, 由于原生地层水在其间流动性很小或不流动, 碳酸盐岩溶解程度就很小, 往往未被完全溶蚀, 因此矿物的颗粒表面就形成凹凸不平的粗糙面, 使本来岩石表面比较光滑的矿物表面变为参差不光滑状, 其结果使表面积增大, 从而导致岩石的束缚水含量高, 测井电阻率明显降低。塔河油田三叠系油气藏低阻油气层的岩性为细粒结构的浅绿灰色长石岩屑细砂岩, 长石和岩屑含量高于正常油气层。21 块粒度样品分析资料表明, 长石含量为 11% ~ 27%、岩屑含量为 24% ~ 40% 的储层比正常油气层(长石、岩屑含量为 15% ~ 18%) 高出一倍多。因此长石、岩屑等细小颗粒矿物的大量存在是低阻油气层形成的因素之一。

收稿日期: 1998-11-01.

作者简介: 李国政(1952-), 男, 河南孟县人, 工程师, 石油地质。

组成地层的储集岩石颗粒平均粒径普遍细小。如沙 29 井和沙 22 井的 T-II<sub>1</sub>(三叠系 II 油组)的储集体层位,其低阻油气层的岩性均为粉、细砂岩,粒度均值在 1.67~3.03 $\mu\text{m}$  之间变化(图 1)。粒径细小则使其比表面积增大,引起束缚水含量增高,导致含油饱和度下降,从而造成油气层的电阻率降低。

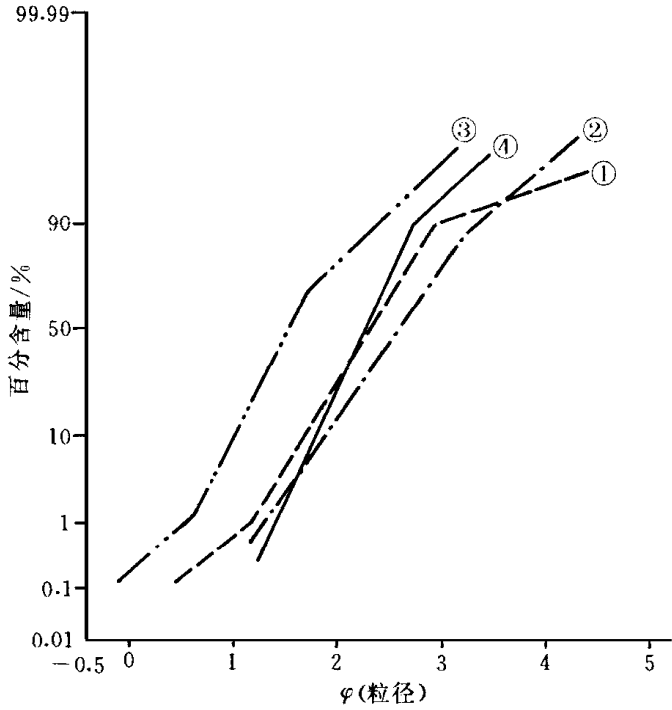


图 1 三叠系中油组砂岩概率曲线图  
4512.55~4512.63m, ④4520.04~4520.13m,  
③4523.08~4523.16m, ②4517.16~4517.26m

Fig. 1 Probability curve of sandstone in the Triassic Zhongyou Fr.

### 1.2 微孔隙发育, 裂缝隙狭窄, 结构复杂

低阻油气层的岩性及填(胶)隙(结)物决定了它们的孔隙类型<sup>[3]</sup>。三叠系的砂岩是以分选、磨圆程度中等的细粒长石砂岩、岩屑砂岩为主的储集体,结构成熟度偏低。I<sub>1</sub>砂岩的杂基含量多,其特征是非均质程度较高。孔隙的最大连通孔喉半径普遍较小,而且变化区间很大。据有关资料分析, I<sub>1</sub>的  $R_d \leq 2.5\mu\text{m}$ , I<sub>3</sub>的  $R_d = 10 \sim 12.5\mu\text{m}$ , II<sub>1</sub>的  $R_d = 25 \sim 27.5\mu\text{m}$ 。如图 2 所示,最小非饱和孔隙体积变化范围在 5%~15% 之间,分布频率为 64.7%~65%;主要孔隙结构由 12.5~25 $\mu\text{m}$  的孔隙组成。图 3 是塔里木盆地某油气田低阻油气层典型孔隙分布图,其孔隙半径有两个高峰,一个是主要孔隙半径,一个是  $< 0.1\mu\text{m}$  的微孔隙,这说明其孔隙分布极不均匀,微孔隙发育的程度较高。

毛细管排驱压力变化普遍较小,一般 <

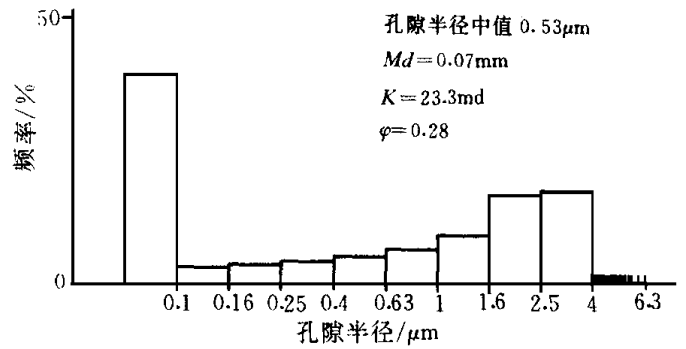


图 2 某油田低电阻率油层孔隙分布实例  
(据曾文冲, 1979)

Fig. 2. Pore distribution of the low-resistivity reservoir in an oil field

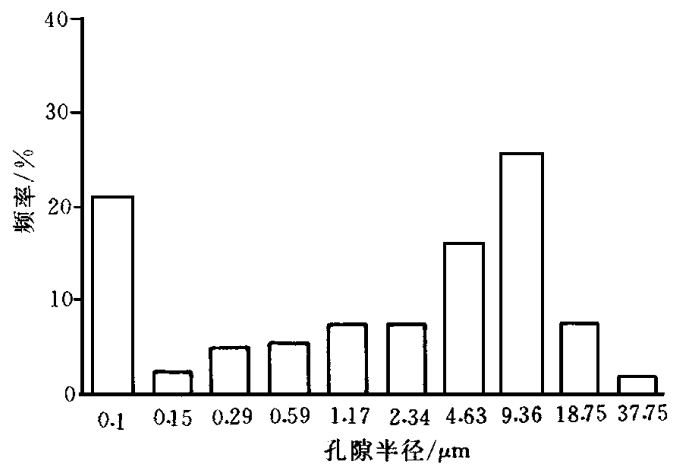


图 3 塔里木盆地某油田低电阻率油气层  
孔喉半径分布图

Fig. 3 Pore-throat radius distribution of the low-resistivity reservoir in an oil field of the Tarim Basin

0.05MPa, 中值压力  $< 0.6\text{MPa}$ 。由此可见,排驱压力下、非饱和孔隙度偏小和孔渗性能变化大也是低阻油气层形成的条件之一。

### 1.3 砂岩储层中泥质含量大

岩石胶结物的类型、含量及其存在形式在很大程度上将制约着储集层各类参数的正确获取,尤其对测井参数影响极大<sup>[4]</sup>。据扫描电镜研究发现,储集层中泥质填(胶)隙(结)物有两种最为常见的存在形式: ①围绕矿物颗粒的周围边缘分布; ②充填在颗粒之间的接触面上。

#### 1.3.1 围绕矿物颗粒的周围边缘分布

这种特征多发生在原生孔隙中,主要是原生粒间孔经过压实作用和胶结作用后保留下来的粒间孔隙。由于胶结物呈环边状分布于颗粒周围,使其颗粒边缘形成点、线接触的环边。例如 T-II 4518.52m 在浅灰色细粒岩屑砂岩中,电镜资料分析泥、微晶方解

石填(胶)隙(结)物包裹绿泥石胶结物,未溶蚀,而长石溶蚀却十分明显。由于存在粒子导电系统而构成离子交换,使得整个油气层储集体的电阻率偏低。

### 1.3.2 充填在颗粒与颗粒之间的接触面上

矿物成熟度和结构成熟度均偏低的砂岩储层,颗粒之间的胶结类型多以点的支撑形式或以短折式接触相互联接。成岩后生作用变化大多使胶结物(高岭石、绿泥石、碳酸钙)发生重要的粘土化和泥化。沙 29 井三叠系储层 11 块物性样品的实测结果表明, T-II 孔隙度为 13.0%~26.95%, 渗透率为  $(8.51 \sim 954.20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 岩石填隙物多为高岭石和绿泥石组成, 含量占 6%~9%, 成岩后生变化多为粘土化和泥化作用。可能这种原因为束缚水的大量存在提供了良好的基本条件, 使表面不同的颗粒间构成了一组良好的导电系统, 引起低阻油气层的导电率不断提高, 而地层电阻率下降。

### 1.4 薄油层与泥岩夹层互层频繁

在塔河地区的中生界地层沉积中, 可以发现单个砂岩层厚度小, 含水饱和度较低 ( $S_w = 60\%$ )。因存在于泥岩中的砂岩夹层单层厚度略薄(3.5m), 砂岩层和泥岩层两者交替出现, 造成油气层由于受泥质高电阻的影响, 自然伽马值(105~80API)和电阻率值( $R_i = 1.2 \Omega \cdot \text{m}$ )及中子密度值( $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$ )都不能有效地反映油气层的真实性。在薄片鉴定大量分析样品中, 泥质之间确实有分选好、泥质胶结疏松的长石岩屑砂岩储层的存在。大套砂岩(2~4m)、泥岩(16~52m)薄互层的厚度较大, 分布较广, 虽然电阻率并不高(仅  $1.2 \Omega \cdot \text{m}$ ), 但有效孔隙度占 17%。例如沙 40 井三叠系砂泥岩互层段, 当打开该段深度 4512.5~4516m 时, 获得无水自喷油气流, 初喷日产原油  $25.8 \text{m}^3$ 。测试结果说明薄层砂岩是具有一定工业价值的油气层, 从而扩大了找油气的新领域。

### 1.5 高束缚水饱和度

塔河油田三叠系储层孔隙类型是以原生孔隙为主的复合孔隙类型。根据毛细管压力测得的分析资料, 低阻油气层的毛细管排驱压力( $PC_{10}$ )为 0.11~2.487MPa, 平均为 0.124MPa; 中值压力( $PC_{50}$ )最大为 31.526MPa, 最小为 0.039MPa, 一般为 1.424MPa; 最小非饱和孔隙度( $S_{\text{min}}$ )最大为 34.75%, 最小为 1.46%, 一般为 13.72%; 束缚水饱和度 > 20%。根据储集岩物性分析资料, 平均孔隙度为 16.8%, 平均渗透率为  $125.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔渗变化范围宽: 孔隙度大于 15% 者占 51.8%, 小于 5% 者占 13.3%; 渗透率为  $(1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  者占 30.4%, 小于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  者约占 44.2%。从以上参数指标分析看来, 三叠系砂岩的  $PC_{10}$ 、 $PC_{50}$  值均较小, 反映其孔、渗性能良好, 就此证实中高孔、中低渗性储层是造成高束缚水大量存在的基本条件。形成有效的分子导电网络是低电阻的明显特征。

### 1.6 地层水矿化度大

油田区是个地层水矿化度极高的地区<sup>[51][6]</sup>。据有关水化学资料分析, 三叠系地层水矿化度普遍较高。如阿克库勒构造上的沙 18 井, 三叠系 T-II 氯离子( $\text{Cl}^-$ )含量达 26g/L,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量达 500mg/L, 水型为氯化钙型。3 条电阻率曲线特征为  $R_i < R_o < R_{\text{so}}$ ,  $R_i = 0.9 \sim 1.2 \Omega \cdot \text{m}$ 。由此证明在地层水矿化度比较高的情况下, 地层电阻率则随着矿化度的增大而减小。地层水矿化度的大小是影响油气层电阻率高低的直接因素。

低阻油气层由于埋藏较深(4500m 以下)、地温高(2.1~2.5℃)、压力大(50.5MPa), 再加上地层水矿化度高, 当地层水中还含有比较多的交换  $\text{Mg}^{2+}$  离子时, 在具有  $\text{pH} \leq 7$  的偏酸性水介质条件下最容易使碳酸盐岩矿物产生溶蚀, 这为地层水矿

表 1 地层水矿化度与地层电阻率关系表

Table 1 Relationship between mineralization degree of formation water and resistivity of strata

井号	地层	深度 (m)	$\text{Cl}^-$ (g/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	总矿化度 (g/L)	电阻率 ( $\Omega \cdot \text{m}$ )
沙 29 井	T	4508~4514	117406.16	500	191063.77	0.5~0.6
	T	4571~4574	128867.84	500	210212.63	0.6~0.8
沙 41 井	T	4513~4529	76980	300	126200	上: 1.4~1.5 下: 0.46~0.75
	T	4578.5~4581.5	110500	150	180700	1.1

(据华北石油勘探研究院, 1997)

化度的进一步增强提供了有利条件。测试表明,大多数低阻油层中的地层水矿化度均大于 13g/L。这种地层水一旦被粘土矿物吸附,电阻率曲线值就迅速下降,从而形成低阻油气层。

### 1.7 导电矿物含量高

根据砂岩储层的岩心观察发现,其裂隙不很发育,粒间超大孔隙约占 2%~10%,微细层理缝和充填小裂隙偶尔可见,填(胶)结物主要为泥质和次生黄铁矿,这类次生矿物多出现在地层界面附近的岩石中,莓状黄铁矿就集中于该层部位。由于在岩石骨架上的黄铁矿具有极强的导电能力,其本身的所谓电子导电介质(地层中的有机物如 H<sub>2</sub>S 等)发生反应,引起电子的转移和交换,促使电导率增高而电阻率下降,这也是引起油气层形成低电阻的又一个因素。

### 1.8 泥浆高侵严重

低阻油气层一般情况下具有孔渗条件比较好特征,这为高密度泥浆的深层侵入创造了一定的条件。在钻井使用泥浆密度太大的时候,必然引起高密度泥浆侵入到地层较深部位,挤赶并占据了井筒周围油气的位置。据实际资料,该地区钻井泥浆密度使用范围一般在 1.22~1.24g/cm<sup>3</sup>,按照 1.23g/cm<sup>3</sup>的泥浆密度计算,地层中部(4510m)泥浆柱压力应为 55.47MPa,而测试的油层中部压力为 49.233MPa,钻井当中的泥浆柱压力明显大于地层压力,产生泥浆侵入是必然的。在测井曲线上反映十分清楚的  $R_{so} > R_i$  的增阻高侵特征,造成高密度泥浆深层侵入的现象。在有关钻井的岩心上,可见到有比较厚的泥浆侵入环出现。

### 1.9 构造幅度小,油柱高度低

众所周知,塔北地区三叠系构造大都是在古生界断块潜山背景条件下发展起来的继承性构造,多具穹窿短轴状披覆背斜特征。这类构造一般圈闭面积小,闭合幅度低,油柱高度变化范围窄,油层厚度薄。但这类油层具有良好的油气储集空间,油气排驱压力低,中值压力亦小,油气仅饱和于储层内具较大孔隙的空间里,含油饱和度不高,形成的油水过渡带较宽,这也是低电阻油气层的成因之一

综上所述,塔河油田三叠系油气藏低阻油气层的主要影响因素为高束缚水饱和度和油柱高度的大小,其次为高密度泥浆的侵入,泥质含量及导电矿物的存在也不容忽视。

## 2 加强识别研究低阻油气层的意义

塔里木盆地北部地区地质因素十分复杂。经过多年的勘探开发,含油气特征尤为明显的油气层认识比较清楚。钻井工作由于受井身结构、泥浆性能、岩性变化和储层类型等诸多因素的制约,对一些比较特殊情况下的油气层识别和判断带来了不少困难。但是三叠系储层具有分布广、厚度大、储集类型好的特征。只要我们紧紧结合现场实际资料深入研究,应用地质、录井、测井、测试、化验分析及化探各种成果,力取准确的孔、渗、饱、油层有效厚度划分等 4 项基本参数<sup>[6]</sup>,准确地识别低阻油气层的方法是不难掌握的。勘查开发实践证明,原来较早的生产井因含水率的不断增高一般都处在末期,挖潜增产难度较大。因此塔里木盆地地区的低阻油气层倒是个蕴藏着潜在储量的新的开拓领域。对于这类特殊油气层,只要利用以往老井、老资料加强研究,认真地搞好二次开发,深挖细找,把以往漏掉的和未被发现的油气找回来,就能发现新油层,增加新储量。这是一个投资小、见效快、周期短的好方法。在国家能源需求大的今天,大力开展对塔里木盆地各钻井中油气显示层(尤其低阻油气层)的深入分析研究,提供新的地质储量将有着重要的经济现实意义。

致谢: 本文承蒙周永昌高级工程师审阅并提出宝贵意见,在此表示衷心感谢。

### 参考文献:

- [1] 闫华,罗宏,翟晓先,等. 塔里木盆地北部阿克库勒地区三叠系储层特征及孔隙形成机理探讨[A]. 康玉柱,陆青主编. 塔里木盆地油气勘查文集[C]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社香港,香港文化教育出版社,1994.
- [2] 叶德胜,王恕一,张希明,等. 新疆塔里木盆地北部储层沉积成岩特征及储层评价[M]. 成都:成都科技大学出版社,1995.
- [3] 肖玉茹,何峰煜. 塔里木盆地北部西达里亚油气田三叠系储层非均质概念模型及影响因素探讨[A]. 康玉柱主编. 中国塔里木盆地石油地质文集[C]. 北京:地质出版社,1996.
- [4] 杨卫文译. 用常规测井系列进行薄层分析[J]. 国外测井技术,1990,(4).
- [5] 西北大学地质系石油地质教研室编. 地层水油田水分析[A]. 石油地质学[M]. 北京:地质出版社,1979.
- [6] 陈荣书. 油气藏中流体——石油、天然气、油田水的产状和性质[A]. 石油及天然气地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1994.

(下转第 296 页)

# THE DIAGENETIC EVOLUTIVE LAW OF DEEP BURIAL STRATA AT SHAHEJIE FORMATION IN EASTERN AND WESTERN DEPRESSIONS OF LIAOHE OIL FIELD

YU Xing-he<sup>1</sup>, ZHANG Dao-jian<sup>1</sup>, LI Sheng-li<sup>1</sup>, LEI Ming<sup>2</sup>,  
GAO Jian-jun<sup>2</sup>, SUN Hong-bin<sup>3</sup>, MENG Wei-gong<sup>3</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Petroleum Institute, China National Star Petroleum Corporation, Beijing 100083, China;*

3. *Exploration & Development Research Institute of Liaohe Petroleum Exploration Bureau, Panjin 124010, China)*

**Abstract:** The development of secondary porosity of sandstones has evidence law at deep burial strata of Shahejie Formation in eastern and western depressions of Liaohe oil field. The eastern depression has three secondary porosity zones in vertical, but western only two. The secondary porosity zone of the second member lower to the third member top of Shahejie Formation, viz the upper secondary porosity, is the result of leached by surface fresh water and integrated process along unconformity interface later period by inorganic acid in open water circulation. The mechanism of lower two zones of secondary porosity is similar to two secondary porosity in western depression which silicate mineral had been made solution by organic acid in seal water circulation. The geological conditions of these two zones forming are following as: temperature is about 100 to 130 Celsius, pressure coefficient is 1.2 to 1.3 around, the phase and depth are during source rock had made abundant expulsion hydrocarbon.

**Key words:** Liaohe oil field; deep burial strata; diagenesis; secondary porosity; organic acid

(上接第 323 页)

## GENESIS AND SIGNIFICANCE OF LOW-RESISTIVITY RESERVOIRS IN THE TRIASSIC OIL AND GAS ACCUMULATIONS OF TAHE OIL FIELD IN THE TARIM BASIN

LI Guo-zheng

(*Research Institute of Planning and Designing, Northwest Bureau of Petroleum,  
CNSPC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)*

**Abstract:** The Triassic productive intervals of oil and gas in Tahe oil field belong to low-resistivity reservoirs. According to the study of logging, geological, testing and analytical data, it is considered that lithology, mineralization degree, pore structure, bound water content, conductive mineral, interstitial (colloform) structure, mudstone interbeds and mud performance are important factors directly affecting the formation of low-resistivity reservoirs. Also, the practical significance of studying and distinguishing low-resistivity reservoirs is suggested.

**Key words:** Tahe oil field; the Triassic oil and gas accumulations; low-resistivity reservoirs