

文章编号: 0253-2697(2006)06-0051-04

腰英台油田中孔隙低渗透型储层测井评价

张小莉¹ 冯 乔² 杨 懿¹ 王 鹏¹ 巨银娟¹

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室 陕西西安 710069; 2. 山东科技大学地球信息科学与工程学院 山东青岛 266510)

摘要: 腰英台油田青山口组为中等—薄层状、致密、中孔隙低渗透储层,孔隙结构复杂。油藏圈闭幅度小,油水分异差,油水关系复杂。在测井响应中,相对低电阻率油层、相对高电阻率水层与一般电阻率意义上的油、水层共存,影响了对油、水层的识别。对测井响应特征与岩性、粒度、孔隙度、孔隙结构之间关系的分析结果表明,岩性、粒度、孔隙度、孔隙结构、地层水矿化度等多因素共同作用,造成了储层测井响应特征的复杂性。在常规分析基础上,应用反映储层物性特征的组合参数与电阻率编制交会图,可以快速有效地识别油、水层。

关键词: 腰英台油田;青山口储层;孔隙结构;束缚水饱和度;测井响应;交会图;储层识别

中图分类号: P631.8

文献标识码: A

Well logging evaluation on reservoirs with middle-porosity and low permeability in Yaoyingtai Oilfield

Zhang Xiaoli¹ Feng Qiao² Yang Yi¹ Wang Peng¹ Ju Yinjuan¹

(1. State Key Laboratory for Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. College of Geo-information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: The reservoirs of Qingshankou Formation are from middle to thin in thickness and have the characteristics of tight, middle porosity, low permeability, complex pore structure, small trap scope, poor oil-water differentiation and complex relationship between oil and water. The existence of oil-water layers with the relatively low resistivity, water layers with relatively high resistivity, oil layers with normal resistivity and water layers with normal resistivity makes it difficult to identify oil and water layers due to their similitude log responses. The analysis results of the relationship between log responses and influencing factors, such as lithology, granularity, porosity, pore structures, indicated that the complex log responses were resulted from the combined factors such as lithology, granularity, porosity, pore structure, formation water salinity. On the basis of general analysis, the crossplot drawn by using a combined parameter and resistivity can be used to discriminate oil and water layers.

Key words: Yaoyingtai Oilfield; Qingshankou reservoir; pore structure; irreducible water saturation; log response; crossplot; reservoir identification

腰英台油田位于松辽盆地南部长岭凹陷东部。含油层系为中白垩系青山口组一段(简称青一段),其次为青山口组二段(简称青二段)。青山口组主要为一套三角洲沉积,沉积砂体在腰英台地区减薄尖灭,单砂层厚 1~5 m,主要为大套泥岩夹砂岩,砂体连通性和物性差。油藏类型主要为小幅度圈闭的构造—岩性复合油气藏和岩性油气藏^[1-2]。

青山口组储层主要为泥质粉砂岩和细砂岩。青一段储层孔隙度为 3.9%~15.6%,以 10.0%~15.0% 为主;渗透率为 $(0.01 \sim 1.88) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以 $(0.10 \sim 1.00) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主。青二段储层孔隙度为 3.1%

~19.4%,平均为 13.5%;渗透率为 $(0.01 \sim 14.75) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以 $(0.10 \sim 1.00) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主。整体属于中孔隙低渗透型砂岩储层^[3-4]。腰英台油田油水关系复杂,油水分异性差,无统一的油水界面,油、水同时产出。同时层间水发育,油水系统性差。

复杂的储集条件和油水系统导致油、水层的常规测井响应特征复杂多变,相对高电阻率水层、低电阻率油层与水层共存,影响了对油、水层的正确识别。因此,分析油水同层、水层的测井响应特征及其地质控制因素,有助于对储层流体性质进行更客观的识别和判断。

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40474045)“联合 PP 波与 PS 波各向异性弹性参数分步反演”资助。

作者简介: 张小莉,女,1968 年 9 月生,1991 年毕业于西北大学地质学系,现为西北大学副教授,主要从事油气地质、测井资料处理与解释的科研与教学工作。E-mail: xiaoli_nwu@163.com

1 油、水层测井响应特征

1.1 油、油水同层

腰英台油田仅有少数油层和常规油、水同层。油层自然电位明显为负异常,自然伽马为低值,深电阻率数值为中等偏高,曲线饱满,深、浅电阻率曲线之间有明显的幅度差,且一般为减阻侵入特征。声波时差值相对较高,且曲线呈现平台,密度值为中等,中子曲线显示孔隙性较好。少数油、水同层的测井响应特征与之类似,但物性和含油性较油层差。

1.2 相对低电阻率油水同层与高电阻率水层

腰英台油田普遍存在相对低电阻率油水同层,可分为两类。一类油水同层的测井响应特征类似于水层(或含油水层),自然电位曲线明显为负异常,电阻率低—中等;另一类的特征与干层、含油致密层类似。另外,局部地区存在相对高电阻率水层,自然电位、自然伽马曲线等均反映储层厚度大及物性特征偏优,但深侧向电阻率中等偏低—低,深、浅电阻率为明显增阻侵入特征。

1.3 干层及含油致密层

干层及含油致密层主要与胶结物类型有关,研究区有3种胶结类型:钙质、硅质胶结,孔隙度较小,渗透率较低;自然伽马明显为低值,自然电位曲线负异常不明显,深、浅电阻率值明显为高值且基本重叠,声波时差明显为低值,密度测井明显为高值,中子孔隙度较低。这类储层多为粉砂岩或钙质砂岩。泥质含量较高,自然伽马值较高,自然电位曲线负异常不明显,电阻率值较低,声波时差值明显偏高,中子孔隙度较大,密度测井值相对低。泥质、钙质混合型,测井响应特征介于上述两种类型之间。

1.4 油层、水层及干层的电阻率特征

根据试油结果,对青一段干层、含油致密层、水层、含油水层及油水同层的电阻率进行统计,结果表明,干层、含油致密层电阻率变化范围为 $12 \sim 46 \Omega \cdot m$,主要是由于干层具有富泥含钙的特征。水层、含油水层、油、水同层的电阻率分布范围均为 $13 \sim 52 \Omega \cdot m$,以 $13 \sim 35 \Omega \cdot m$ 为主。含不同流体性质的储层电阻率分布特征表明,腰英台油田普遍发育相对低电阻率油层。

2 电阻率影响因素

2.1 岩性

青山口组储层主要为长石砂岩和岩屑质长石砂岩。石英含量为 $15\% \sim 40\%$,长石含量为 $25\% \sim 55\%$,岩屑含量为 $20\% \sim 46\%$;填隙物含量为 $1\% \sim 20\%$ 。胶结物中,泥质含量为 $5\% \sim 35\%$,平均为

19.0% ,灰质含量为 $2\% \sim 15\%$ (个别高达 35%),储层具有富泥含钙的特征。

青山口组储层粘土矿物主要为伊利石和绿泥石,多呈分散状分布或充填于孔隙空间内。油水同层、含油致密层泥质含量与电阻率的关系曲线(图1)表明,当泥质含量小于 23% 时,岩石电阻率与泥质含量之间

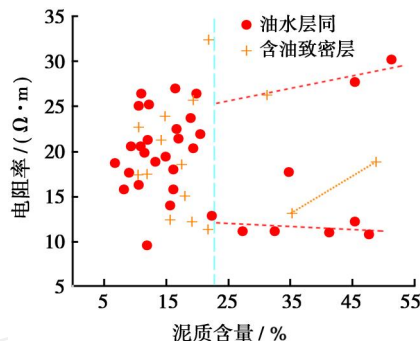


图1 青一段泥质含量与电阻率的关系

Fig. 1 Relationship of shale content with resistivity of oil-water layers and oil-bearing tight zone in the first member of Qingshankou Formation

关系不明显,说明影响岩石电阻率的因素较多,如钙质成分等;而当泥质含量大于 23% 时,随泥质含量的增加,电阻率有两种变化趋势:随泥质含量的增加,电阻率值呈微弱减小趋势;随泥质含量增大,电阻率也增大。

2.2 粒度

青山口组储层粒度中值为 $0.03 \sim 0.09 \text{ mm}$,平均为 0.06 mm 。其中DB16井粒度中值与电阻率关系(图2)表明,随粒度中值减小,电阻率值相应变小,两

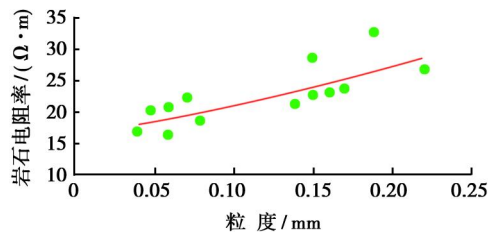


图2 DB16井青山口组储层粒度与电阻率的关系

Fig. 2 Relationship between granularity and resistivity of the reservoirs in Qingshankou Formation of Well DB16

者间相关性较好,说明岩性是影响电阻率的因素之一。青一段储层主要为粉细砂岩,因此,DB16井粒度与电阻率关系的特征具有普遍代表性。

2.3 孔隙度和孔隙结构

据扫描电镜资料,孔隙中常见粘土充填、含铁碳酸盐胶结及石英、长石的次生加大均减小了孔隙和喉道半径,致使微孔隙发育,孔隙结构复杂。另外,由于储

层主要为长石砂岩或岩屑质长石砂岩,长石和岩屑含量较高,石英含量较少。一方面,岩石遭受机械压实程度高,降低储层原生孔隙;另一方面,成岩矿物不稳定性有利于地下水溶蚀作用而形成粒间溶孔和粒内溶孔。这些因素在一定程度上使孔隙结构更加复杂化。

压汞结果表明,储层孔隙结构复杂,孔喉分布既有单峰特征,又有双峰特征。对 DB16 井青山口组一段、二段 12 块样品的分析结果表明,孔喉半径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的孔隙所占比例为 $25.6\% \sim 100\%$,一般为 $35.0\% \sim 65.7\%$,说明微孔隙网络占相当比例。同时储层排驱压力一般偏高,退汞效率也反映了上述特征。

相对渗透率分析结果表明,青山口组相对高渗透率储层样品(渗透率大于 $3.92 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度大于 12.8%)的束缚水饱和度一般为 $31.0\% \sim 48.0\%$ 。而腰英台油田普遍发育相对中—低孔隙度、低渗透率储层,渗透率主要为 $(0.1 \sim 1.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据上述实验趋势反推,腰英台油田大部分储层束缚水饱和度应明显高于已有分析测试样品的束缚水饱和度,最高可达 80.0% ,一般为 $40\% \sim 70\%$,平均为 55.0% 。另外,松南地区青山口组和泉头组储层束缚水饱和度为 $28.0\% \sim 81.5\%$ ^[5]。由此可见,储层普遍具有相对高束缚水饱和度和相对低含油饱和度特征,进而导致含油层电阻率较低及低电阻率油水同层普遍发育。

青山口组储层孔隙结构复杂,具有很强的非均质性。在一定构造背景和油源供给条件下,储层非均质特征控制其含油饱和度及油水分布^[6]。

2.4 地层水矿化度

青山口组地层水矿化度纵向上具有反向型特征,主力含油层系青一段处于一种相对低地层水矿化度的背景上;在平面上,同一砂组内地层水矿化度随深度的增大而加大。地层水矿化度的差异在一定程度上影响了储层电阻率。

2.5 润湿性

青山口组储层为亲水和弱亲水。这为孔隙中水的首先赋存提供了先决条件,致使微孔隙和部分大孔隙形成导电网络,储层电阻率较低。

2.6 岩层厚度

含油层厚度为中等—薄层状,一般为 $1.2 \sim 2.9\text{m}$,平均为 1.8m ,明显小于含水层厚度(一般为 $1.3 \sim 4.8\text{m}$,平均为 3.0m)。对于薄层和薄互层,常规测井响应往往具有薄层效应,从而难以反映储层特征及其流体性质。

3 油、水层的识别

研究区储层电阻率影响因素多,兼之地层水矿化

度的影响,很难应用某一种交会图准确地反映储层流体性质^[7]。因此,在制作常规交会图的基础上,考虑到青山口组储层富泥含钙的特征,进一步制作泥质含量—含油饱和度图、自然伽马—电阻率交会图以及声波时差(Δt)与自然电位参数(自然电位与最大静自然电位比值 $U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}}$)乘积与电阻率交会图。通过多种交会图相互验证,可以快速识别油、水层^[8]。 $\Delta t \cdot (U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}}) - R_t$ 交会图说明其油水同层、含油致密层、含水层、干层关系复杂,分布区域相互交叉、包含,但是各自具有分布优势区域(图 3)。根据实际资料分布,把图 3

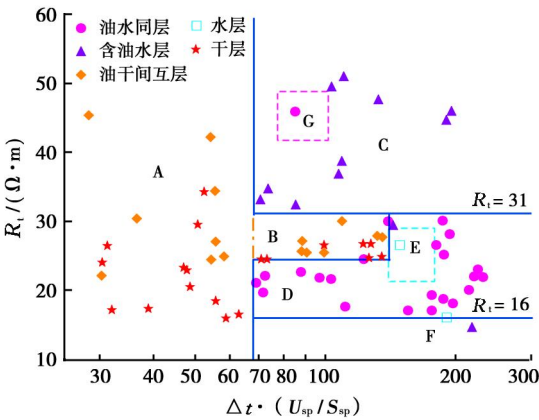


图 3 腰英台油田一号区青一段 砂组

$\Delta t \cdot (U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}})$ 与 R_t 交会图

Fig. 3 Crossplot of $\Delta t \cdot (U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}})$ with R_t of K_1q_1 segment in the first area of Yaoyingtai Oilfield

分为 A、B、C、D、E、F、G 区 7 个优势区域, A 为含油致密层—干层; B 为干层—含油致密层; C 为含油水层; D 为低电阻率油水同层; E 为高电阻率水层; F 为水层; G 为高电阻率油水同层。其主要测井参数如表 1 所示。

表 1 7 个优势区域测井参数

Table 1 The well log parameters of seven areas

编号	参 数				
	$\Delta t/(\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$	$U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}}$	GR/API	$R_t/(\Omega \cdot \text{m})$	厚度/m
A 区	198 ~ 260	0.10 ~ 0.40	68 ~ 134	16 ~ 46	1.0 ~ 4.0
B 区	202 ~ 225	0.30 ~ 0.60	99 ~ 119	24 ~ 33	1.0 ~ 6.0
C 区	211 ~ 232	0.40 ~ 0.80	69 ~ 100	32 ~ 50	1 ~ 2.8
D 区	213 ~ 246	0.30 ~ 1.00	60 ~ 135	17 ~ 33	1.0 ~ 5.0
E 区	220 ~ 242	0.65 ~ 0.75	70 ~ 90	21 ~ 29	1.0 ~ 2.4
F 区	234 ~ 246	0.75 ~ 0.90	76 ~ 110	< 16	2.9 ~ 3.2

(1) A 区反映储层孔隙度渗透率特征的参数 $\Delta t \cdot (U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}})$ 值较低,尤其是 $U_{\text{SP}}/S_{\text{SP}}$ 值为 $0.10 \sim 0.35$,表明储层渗透率较低;电阻率值范围大,声波时差为 $198 \sim 260 \mu\text{s}/\text{m}$,自然伽马为 $68 \sim 134 \text{API}$ 。综合分析认为,电阻率相对低的储层多是由于泥质含量较高所致,而电阻率相对高的干层或含油致密层主要由于钙质含量较高所致。

(2) B区以含油致密层为主,具有一定泥质与钙质。其 $\Delta t \cdot (U_{SP}/S_{SP})$ 值高于A区, U_{SP}/S_{SP} 值为0.30~0.6,声波时差为202~225 $\mu\text{s}/\text{m}$,自然伽马数值范围为99~119(API),电阻率一般为24~33 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

(3) C区储层物性中等,电阻率相对较高。另外,该区中包含一个电阻率为45 $\Omega \cdot \text{m}$ 的油水同层。该层压裂后试油,其产油量为4.84 t/d,产水量为10.79 m^3 。据实际资料分析,利用深电阻率与微电阻率比值(R_t/R_{xo})可把该层从C区中挑选出来。一般含油水层的 R_t/R_{xo} 值小于1.45,而该油水同层的 R_t/R_{xo} 值为1.58,具明显减阻侵入特征。

(4) D区电阻率为16~31 $\Omega \cdot \text{m}$,深电阻率与微电阻率比值(R_t/R_{xo}) ≥ 0.6 ,电阻增大率小于2.0,物性为中等偏优, $\Delta t \cdot (U_{SP}/S_{SP})$ 值为70~230。

(5) E区具有明显增阻侵入特征,深电阻率与微电阻率比值(R_t/R_{xo})小于0.6。E区周围的D区中仍有少数相对低电阻率油、水同层具有(R_t/R_{xo})小于0.6的特征,其测井响应特征与相对高电阻率水层的特征十分相似。据地层水分析资料和钻井动态资料推测,相对高电阻率水层起因于地层水矿化度的变化,或钻井液的侵入,尤以钻井液侵入影响为主。因此,分析钻井液侵入机理并开展电阻率反演,将有助于这类储层的评价。

(6) F区资料点较少这是受试油、测试资料的限制。根据目前资料状况和一般规律推测,该区为相对低电阻率水层区。

(7) G区电阻率相对高,物性参数为中等。研究区内仅DB18-3-4井的21号层为相对高电阻率油水同层。

4 结 论

(1) 腰英台油田油藏以中等—薄层状油层为主。

储层孔隙结构复杂,束缚水饱和度高。

(2) 储层电阻率受岩性、粒度、孔隙度及孔隙结构、地层水矿化度、含油性多种因素影响,普遍存在相对低电阻率油水同层。其中富泥含钙特征致使干层或含油致密层测井响应复杂,声波时差、自然伽马、电阻率数值变化范围大。

(3) 在 $\Delta t \cdot (U_{SP}/S_{SP})$ 与 R_t 的交会图中,含不同流体性质的储层具有各自分布优势区域和测井响应参数,据此可较快速、精确地识别流体性质。

(4) 青山口组储层孔隙结构复杂,限于测试分析数据的有限性和常规测井资料的负载能力,应用常规测井资料虽然能在一定程度上反映储层孔隙结构和含油性,但是难以达到对储层孔隙结构的精细分析。

参 考 文 献

- [1] 王永春. 松辽盆地南部岩性油藏的形成和分布[M]. 北京:石油工业出版社,2001:1-2.
- [2] 邹才能,李明,赵文智,等. 松辽南部构造—岩性油气藏识别技术及应用[J]. 石油学报,2004,25(3):32-36.
- [3] 蒋凌志,顾家裕,郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. 沉积学报,2004,22(1):13-18.
- [4] 刘宝柱,魏志平,唐振兴. 大情字井地区低孔、低渗型岩性油藏成因探讨[J]. 特种油气藏,2004,11(1):24-28.
- [5] 陆大卫. 石油测井新技术适用性典型图集[M]. 北京:石油工业出版社,2001:237-241.
- [6] 庞雄奇,陈冬霞,李丕龙,等. 砂岩透镜体成藏门限及控油气作用机理[J]. 石油学报,2003,24(3):38-41.
- [7] 张小莉,冯乔,王恺. 泌阳凹陷王集油田 断块油层特征及控制因素[J]. 西北大学学报:自然科学版,2005,35(2):191-194.
- [8] 张小莉,王恺. 王集油田相对低电阻率油层成因及识别[J]. 石油勘探与开发,2004,31(5):60-62.

(收稿日期 2006-01-09 改回日期 2006-04-12 编辑 张 怡)

塔里木油田力争 2010 年油气产量达 2 500 万 t

中国石油塔里木油田公司将从勘探开发、西气东输、优势资源转化工程等方面着手,力争 2010 年油气产量达到 2 500 万 t。

塔里木油田公司今后将把英买力地区浅层油气藏的勘探开发作为一个大课题进行研究。在塔中地区将塔中 1 号坡折带作为重点,力争拿到规模储量。

在西气东输方面,塔里木油田公司将以克拉 2、迪那、英买力、桑吉、吐孜洛克等气田为重点,建成 200 亿 m^3 天然气产能,确保西气东输一线的资源供应;进一步落实大北 1、依南 2、东秋、和田河等气田,争取拿到 5 000 亿 m^3 至 6 000 亿 m^3 储量,保证西气东输二线资源。在开发方面,确保 2010 年具备 200 亿 m^3 的年产气能力。

摘自《石油综合信息》