

松辽盆地南部低阻储层特征及其形成机理

黄志龙¹ 蒲秀刚¹ 梁春秀² 魏志平²

(1. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室 2. 中国石油吉林油田公司)

黄志龙等. 松辽盆地南部低阻储层特征及其形成机理. 天然气工业, 2006, 26(8): 27-29.

摘要 通过30块岩心样品的测试,对常规储层与低阻储层的岩性组成、物性、电性、微观孔隙结构及流体特征进行对比分析,剖析了低阻储层的形成机理。认为松辽盆地南部四方台和海坨子地区低电阻率储层形成的共同原因是:①均形成于三角洲(或扇三角洲)前缘的河口坝、远砂坝、席状砂等沉积微相中;②岩石颗粒细(粒度中值一般小于0.07 mm),泥质成分多(泥质含量普遍大于15%),岩性组合为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,岩石孔隙结构较复杂;③粘土矿物含量较高,粘土矿物中高含伊/蒙混层、伊利石等矿物(相对含量一般大于70%);④储层束缚水含量高(普遍大于20%)。此外,还有一些特殊原因。

关键词 低电阻率 储集层 形成机理 束缚水 松辽盆地 南

测井识别低电阻率油层已有30多年历史^[1]。这期间,世界各地都发现了低电阻率层^[2,3];国内如大庆、吉林、辽河、大港、塔里木等东、西部油田^[4,5]也有发现。在砂泥岩剖面上这些低阻油气层共同的特征是深探测电阻率低(小于 $1\sim 3\ \Omega\cdot m$),或者与邻近水层电阻率相差不大(有时甚至低于水层),与上下泥岩的电阻率差别小,电阻增大率(油层电阻率与水层电阻率之比)小于等于3,前者称为绝对低阻油层,后者则为相对低阻油层,从电阻率曲线上均不易识别,从而给油气层的识别与评价带来极大困难。松辽盆地南部部分油田也进行过低阻油气层的识别研究,但识别的有效性仍然较差^[6,7]。

一、低阻储层形成的地质背景

1. 低阻储层含义

松辽盆地南部四方台和海坨子地区泉四段—青三段低阻油气层深侧向及深感应电阻率分别为 $36\ \Omega\cdot m$ 和 $24\ \Omega\cdot m$,而水层深侧向及深感应电阻率分别为 $16\ \Omega\cdot m$ 及 $8\ \Omega\cdot m$,电阻增大率均小于等于3,深侧向电阻率都大于深感应电阻率。从业已发现的低阻油气层来看,已知低阻层电阻增大率普遍小于等于3。因此,本文将电阻增大率(油层电阻率与相似物性条件下的水层电阻率之比)小于等于3的油气层定义为低阻油气层。

2. 低阻储层形成的地质背景

区域沉积研究表明,研究区在泉四段到姚家组沉积时期,接受了来自西部白城水系的沉积,主体为扇三角洲前缘亚相。这些扇三角洲前缘亚相的岩性构成均以细粒的粉砂岩、泥质粉砂岩以及粉砂质泥岩为主,并含有较高的泥质成分,这种岩性组合特征和其潜在的孔隙微观结构特征、孔隙流体特征为这些区域中低阻油层的形成提供了必要的地质背景^①。

二、低阻储层特征和形成机理

1. 岩石特征与低阻储层的形成

(1)岩性组成特征:低阻储层岩性为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩等。岩石薄片鉴定结果表明,低阻储层细砂含量高达86%。低阻储层岩石填隙物中,杂基主要为泥质,含量最高可达38%;胶结物以灰质和泥质为主,含少量硅质。灰质成分以白云石和铁白云石为主,含量2%~10%。

(2)岩石结构特征:低阻储层砂岩结构一般中等一致密,颗粒分选中等—好,次圆状,支撑类型均为颗粒支撑,砂岩结构成熟度偏低。四方坨子地区的青三段低阻层及相邻的海坨子地区姚二三段低阻层,其颗粒接触方式一般为点、点—线或凹凸—线接触,说明低阻储层成岩演化程度不高,沉积环境物源较近,水动力较强。

作者简介:黄志龙,1962年生,教授;石油地质专业,主要从事天然气地质、油气运聚与成藏的教学和研究工作;发表论文40余篇,出版或合作出版专著5部。地址:(102249)北京市昌平区中国石油大学资源与信息学院。电话:(010)89734162。E-mail:huang5288@163.com

(3) 粒度特征: 低阻储层岩石粒度较细, 粒径为 $0.092 \sim 0.018 \text{ mm}$, 粒级为极细砂—中、细粉砂; 粒径细小则使比表面积增大, 引起束缚水含量升高, 导致含油饱和度下降, 从而造成油气层电阻率低。从四方坨子地区青山口组内部各段现有资料分析, 青二段分选程度最好、但粒级较细、泥质含量稍高, 对应的电性特征是青二段低阻不明显, 而青一段和青三段低阻明显。这说明岩石分选程度也影响油层的电性特征, 储层岩石结构成熟度越高, 越有利于正常电阻油层的形成。

(4) 导电矿物: 低阻储层中导电矿物主要为黄铁矿, 但黄铁矿含量并不高, 一般在 $0.5\% \sim 4\%$ 之间, 这些分散状黄铁矿不足以对储层的电性特征产生较大影响。

(5) 润湿性: 四方坨子、海坨子地区现有润湿性测试结果表明, 低阻储层岩石亲水, 这在客观上促成了低阻储层高束缚水饱和度的形成。

(6) 孔隙结构特征: 低阻油气层的岩性及填隙物(胶结物)决定了它们的孔隙类型。低阻砂岩是以分选、磨圆程度中等的细粒长石、岩屑砂岩为主的储集体, 结构成熟度偏低。扫描电镜和 X—衍射研究发现, 低阻砂岩不仅存在大量的粒间孔隙(原生和次生), 而且微孔隙也很发育, 其因素有二: 一是低阻油层中长石淋滤、石英次生加大发育, 破坏了原生孔隙, 可导致微孔隙 D 的形成; 二是伊利石、绿泥石等粘土矿物要么围绕矿物颗粒的周围边缘分布, 要么充填在颗粒之间的接触面上, 从而造成次生微孔隙发育。若归结到束缚水饱和度上, 意味着这类储层的束缚水饱和度较高, 这是形成低阻储层的内因和先决条件之一。

毛细管压力分析结果表明, 低阻储层孔隙结构较复杂^①, 非均质程度较高, 最大连通孔喉半径较小, 孔渗性能变化大也是该区低阻油气层形成的条件之一。

(7) 粘土矿物特征: 四方坨子、海坨子地区不同低阻层粘土总量分别为 1.54% 和 5.03% 。在这些粘土矿物组成中, 均以伊/蒙间层、伊利石为主, 相对含量分别为 71% 和 85% , 而它们的阳离子交换吸附容量较大, 附加导电能力较强(表 1)。高含量的具有附加导电性的伊/蒙间层、伊利石为低阻层的形成提供了物质基础。

但具有高含量的粘土矿物(伊/蒙间层和伊利石)并不一定就能形成低阻油气层, 形成低阻层的各

表 1 低阻储层粘土矿物阳离子交换吸附容量数据表

地区	样品数	层位	岩性	孔隙度 (%)	渗透率 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	Q_v (mmol/mL)	CEC (mmol/100g)
四方坨子	9	$K_1 q^n$	粉砂岩	19.56	99.28	0.1134	1.0347
海坨子	5	$K_1 y^{2+3}$	粉砂岩	15.98	15.62	0.3011	1.9440

影响因素之间互为消涨, 当储集层中原生孔隙发育而次生孔隙不发育时, 纵然是含有较多的粘土矿物, 储集层也可能表现为高阻, 形成低阻层的因素是多方面的, 单凭某一个因素得出的结论可能是不正确的。

(8) 低阻储层物性特征: 四方坨子、海坨子油田低阻储层普遍为中孔—低孔、低渗—特低渗储集层, 孔隙度一般为 $10\% \sim 20\%$, 渗透率一般在小于 $1 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 碳酸盐含量位于 $2\% \sim 10\%$, 最大进汞饱和度为 $50\% \sim 80\%$, 束缚水饱和度一般为 $17\% \sim 35\%$ 。四方坨子地区青山口组各段渗透率呈双峰分布, 低值部分以小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主峰, 频率分布为 36% , 高值部分以 $(30 \sim 500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主要区间, 频率分布达 32% (图 1), 渗透率所表现出的双峰形态正是低阻储层的特征, 低渗透率部分是岩石喉道细小, 微孔隙发育, 束缚水含量高的表现, 从而导致低阻, 而高渗透率部分是低阻储层出油的保证。

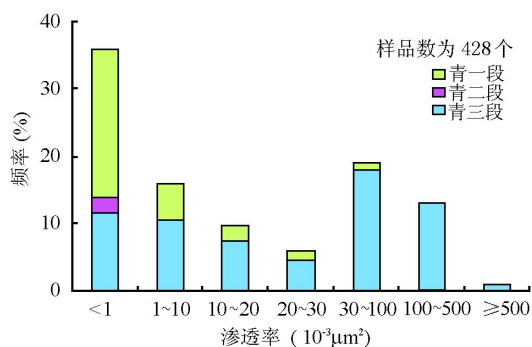


图 1 四方坨子地区低阻储层渗透率分布频率直方图

2. 流体特征与低阻储层

(1) 低阻储层束缚水含量

根据油水相对渗透率实验, 四方坨子束缚水饱和度位于 $30\% \sim 35\%$ 之间(表 2), 高含量的束缚水饱和度是形成明显低阻的重要原因之一。

细粒粉砂具有高的毛细管压力, 在粘土含量不高时, 由毛细管滞水和薄膜水, 造成束缚水饱和度很高, 同样能形成低电阻率油气层。粘土附加导电和高束缚水饱和度两种因素共同作用的结果导致高台子油层($K_1 qn$)在淡地层水环境下呈现相对低电阻。

表 2 低阻储层岩石束缚水饱和度测试结果

井号	层位	样号	井段 (m)	岩性	孔隙度 (%)	渗透率 (10 ⁻³ μm ²)	束缚水饱和度 S _{wi} (%)
方 44	K ₁ q ³ n	1	1833.4~1833.5	粉砂岩	13.32	2.918	34.07
方 54	K ₁ q ³ n	6	1628.6~1628.7	粉砂岩	25.00	173.469	29.66
方 60	K ₁ qn	49	1937.1~1937.2	粉砂岩	19.85	69.002	33.98
方 68	K ₁ q ³ n	6	1878.0~1878.1	粉砂岩	17.88	5.290	33.04

(2) 低阻储层地层水特征

四方坨子地区高台子油层(K₁qn)从青一段至青三段地层水矿化度逐渐增大,但平均值较低,为 10142.4 mg/L,而萨尔图油层(K₁y²⁺³)更低,为 8924.4 mg/L,为低矿化度淡地层水。

低阻层地层水统计表明,总矿度在一般 2500~27000 mg/L。地层水电阻率随其总矿化度的升高而降低,高矿化度的地层水有利于低阻层的形成(图 2),但当地层水矿化度超过 13000 mg/L 时,其电阻率下降幅度趋缓^①。

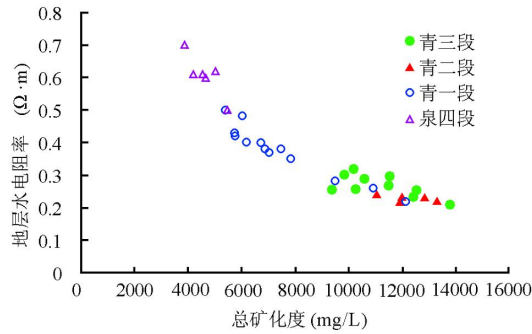


图 2 四方坨子地区地层水电阻率与总矿化度关系图

三、低阻储层形成的控制因素

统计表明,低阻油气层的形成原因在宏观地质背景上不外乎岩石骨架及流体导电两种原因,但各地区的具体原因各有侧重,各因素间互有因果关系。

各油气田低阻油层形成的共同原因是^①: ①分布于三角洲(或扇三角洲)前缘的河口坝、远砂坝、席状砂等沉积微相;②岩石颗粒细(粒度中值一般小于 0.07 mm),泥质成分多(泥质含量普遍大于 15%),岩性组合为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;岩石孔隙结构较复杂,结构成熟度低;③粘土矿物含量较高,粘土矿物中高含伊/蒙混层、伊利石等矿物(相对含量一般大于 70%);④储层岩石束缚水含量高(普遍大于 20%)。

不同地区某些特殊原因也可以导致低阻油层的形成^②: ①储层微孔隙、次生孔隙发育,具粒间孔—

裂缝双重孔隙系统或裂缝系统;②油藏为低幅度构造,油藏高度小,油水过渡带宽,油层含水饱和度高;③地层水矿化度较高(或较低);④测井原因(如方 44、方 54);⑤岩石中局部含有导电性能良好的金属矿物。

显然,当储集层具有上述因素时,极有可能形成低阻电性特征。详细成果见内部资料^①。

四、结 论

(1)岩性细、粘土矿物含量高、岩石孔隙结构复杂和储层束缚水含量高是低电阻率储层形成的主要原因。

(2)储层微孔隙、次生孔隙发育,具粒间孔—裂缝双重孔隙系统或裂缝系统;油气藏为低幅度构造,油气藏高度小,油水过渡带宽,油层含水饱和度高;地层水矿化度较高(或较低);测井原因;岩石中局部含有导电性能良好的金属矿物等也可以导致低阻油层的形成。

在撰写本文过程中,曾参阅以下内部资料: ①黄志龙、蒲秀刚,松辽盆地南部低阻储层的形成机理与评价,中国石油吉林油田公司内部报告,2002。

参 考 文 献

[1] BATEMAN-PHIL. Low resistivity pay in carbonates and variable “m”[C]//Geo-Triad 98 abstracts, plenary oral posters core workshop; rocks, risk and reward. Geo-Triad 98, Calgary, Canada, 1998:215-216.

[2] WORTHINGTON-PAUL-F. Recognition and evaluation of low-resistivity pay[J]. Petroleum Geoscience, 2000, 6(1):77-92.

[3] SEYLER-BEVERLY. Low resistivity in Aux Vases Sandstone reservoirs in the Illinois Basin linked to clay minerals coating sand grains[C]//AAPG 1997 annual convention. Annual Meeting Abstracts - AAPG and Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1997(6):105-106.

[4] 谢然红. 低电阻率油气层测井解释方法[J]. 测井技术, 2001, 25(3):199-203.

[5] 赵佐安, 何绪全, 唐雪萍. 低电阻率油气层测井识别技术[J]. 天然气工业, 2002, 22(4):34-37.

[6] 胡英杰, 冯启宁, 毛志强. 吉林油田低阻油气层岩心实验研究与解释[J]. 河南石油, 2001, 15(1):7-9.

[7] 侯俊胜, 黄智辉, 刘德顺. 吉林大老爷府油田高台子低阻储层油水识别方法及应用[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(1):119-128.