

文章编号: 0253-9985(2007)01-0077-06

油藏不同开发阶段储集层测井曲线变化特征 ——以胜坨油田胜二区沙二₁²小层为例

赵红兵

(中国石油化工股份有限公司 胜利油田有限公司 胜利采油厂, 山东 东营 257051)

摘要: 胜坨油田胜二区沙二₁²小层油藏经历了近 42 年的高效注水开发, 造成对反映和记录地下储层真实性变化特征的测井曲线发生相应的变化。根据对子井原理, 采用了新、老井叠合对比法和岩心刻度测井方法。通过研究认为, 沙二₁²小层油藏经历较长时间的开采后, 电阻率测井曲线变化有随注入水的注入呈持续下降和先降后升两种类型, 声波时差测井曲线呈现一直增大的趋势, 自然电位曲线随着油藏不同开发阶段出现基线漂移、幅度差变小, 微电极测井曲线幅度和幅度差相对变小。

关键词: 叠合对比; 声波时差测井; 电法测井; 地层水; 油田开发; 胜坨油田

中图分类号: TE341 **文献标识码:** A

Logging curve changing characteristics of different reservoir development phases

— a case study of Shaer₁² layer in Shenger block, Shengtuo oilfield

Zhao Hongbing

(Shengli Recovery Plant, Shengli Oil Field Co., Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong 257051, China)

Abstract The Shaer₁² reservoir in Shenger block, Shengtuo oilfield has experienced forty-two years of high-efficient waterflooding development, resulting in a relevant variation of well log that reflects and records the reservoir characteristics. A study based on couplet well theory is carried out by superimposing correlation techniques of reservoir parameters from new and old wells and by core calibrating logging method. The result indicates that after a long time of production in the Shaer₁² reservoir, the resistivity logging curves represent two variation patterns with water injection: 1) continuously decreasing or 2) decreasing first and increasing afterwards. The acoustic time log has a tendency of sustained increase; the SP curve shows wandering base line and narrow amplitude difference in different development stages; and the micro-electric log displays relatively small amplitude and amplitude differences.

Key words superimposing correlation; acoustic time logging; electric logging; formation water; oilfield development; Shengtuo oilfield

油田开发地质工作者研究油气开采的过程, 对油藏地下的开采的过程研究的越透彻, 油田的采收率才能得到较大的提高^[1,2]。测井曲线记录和提供着大量、真实、连续(时间上和空间上)和精确的储集层信息, 不结合测井资料而对储集层进行综合地质研究和油藏精细描述是不确切的^[3,4]。因此, 以钻井取心分析化验资料为基础, 以不同开发

阶段储集层测井资料为研究手段, 来研究油藏的油气开采过程的储集层变化特征是非常重要的。

1 地质背景

胜坨油田胜二区沙二₁砂层组是东营凹陷沙二段沉积期第二次大规模水进期的粗粒沉积, ₁²

收稿日期: 2006-02-09

作者简介: 赵红兵, (1967—), 男, 高级工程师, 油田勘探开发

小层是其沉积末期较大范围的浅水浊积相沉积,一般可将浊流沉积划分为浊流中心微相、浊流河道微相和浊流侧缘微相 3 种沉积微相,浊流中心微相以含砾中砂岩、砂岩为主,单砂层一般厚 4~8 m,平面呈席状,平均孔隙度 31% 左右,平均渗透率一般大于 $1\mu\text{m}^2$,非均质性严重^[5]。

沙二 1^2 小层 1964 年 8 月试采,1966 年 11 月开始注水开发,属早期注水开发油藏。具体可分为 4 个阶段:1)沙二段上油组分注合采,低含水开发阶段(投产—1972 年 12 月);2)细分开发层系,扩建产能,中高含水期高速开发阶段(1973 年 1 月—1979 年 3 月);3)高含水期综合挖替,中速稳产阶段(1979 年 4 月—1989 年 8 月);4)特高含水期“强注强采”中速稳产阶段(1989 年 9 月—2005 年 8 月)。该注采单元在 1979 年以前注黄河水(淡水),之后污水回注。

2 注水开发期储层参数变化规律

利用不同开发期 17 口取心井沙二 1^2 小层 502 余块样品进行分析,首先以不同的沉积微相进行分类,选择沙二 12 小层浊流中心微相为对比研究对象,再选取地理位置较近的井进行参数叠合对比,尽量减少因沉积微相变化所造成的误差(表 1)。

从表 1 可以看出沙二 1^2 小层粒度中值经注水开发后显著增大,泥质含量随注水开发后有所降低的趋势,孔隙度随水驱程度的加大而增大的趋势,渗透率随注水开发后明显增大的现象,含油饱和度随注水开发后越来越低,含水饱和度随注水开发后越来越高(图 1)。

从选择的孔隙度、渗透率、泥质含量、粒度中值和油、水饱和度等储层的物性、含油性参数来看,随着 42 年的注水开发,上述 4 类宏观储层参

数的变化规律是“二低四升高”,即储层中原油被采出,储层长期的注水冲刷,使得沙二 1^2 砂层组储层中的泥质含量降低和含油饱和度降低,泥质含量从 3.69% 降低到 1.06%,含油饱和度从 73.8% 降低到 42.7%;储层中的粒度中值明显增大,粒度中值由 0.246 mm 增大到 0.295 mm,渗透率从原始状态的 $7\,580 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 增加为 $10\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度由 29.7% 升高到 32.6%,含水饱和度由 26.2% 升高到 57.3%。

3 不同开发阶段储层测井曲线动态变化特征

测井曲线记录和提供着大量的、真实的、连续的(时间上和空间上)和精确的储集层信息,地下储层随着油层的开采,储集层的物理性质发生着不同的变化^[6-7],不同的开发阶段储层测井曲线也发生着相应的变化。

3.1 电阻率

按注入水与地层水含盐量或电阻率的相对大小,可将注入水分为淡水($R_{wi}/R_w \geq 10$)、地层水($1 \leq R_{wi}/R_w < 5$)和污水($1 < R_{wi}/R_w < 10$),其中 R_{wi} 和 R_w 分别为注入水和地层水的电阻率。含盐量和电阻率不同的注入水,在不同的注水期产生的水淹层电阻率变化是不同的。现在用 Archie 公式来讨论水淹层电阻率 R_t 的变化:

$$R_t = \frac{abR_{wz}}{\Phi^n S_w^m} \quad (1)$$

式中: S_w 和 Φ ——水淹层的含水饱和度与孔隙度;

R_{wz} ——水淹层内混合地层水的电阻率;

a, b, m, n ——Archie 公式中的常数与指数。

表 1 胜二区沙二段不同开发时期 1^2 沉积时间单元岩心储层参数

Table 1 Core reservoir parameters of the 1^2 sedimentary time unit in different development stages of ShaerMamber, Shenger block

年代	孔隙度, %	水平渗透率 / ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	粒度中 值 /mm	泥质含量, %	含油饱和度, %	含水饱和度, %
1960	29.7	7 580			73.8	26.2
1970	31.7	7 500	0.246	3.69	63.4	36.6
1980	30.5	8 080	0.265	2.41	57.8	42.2
1990	32.2	9 990	0.293	1.12	51.9	48.1
2000	32.6	10 000	0.295	1.06	42.7	57.3

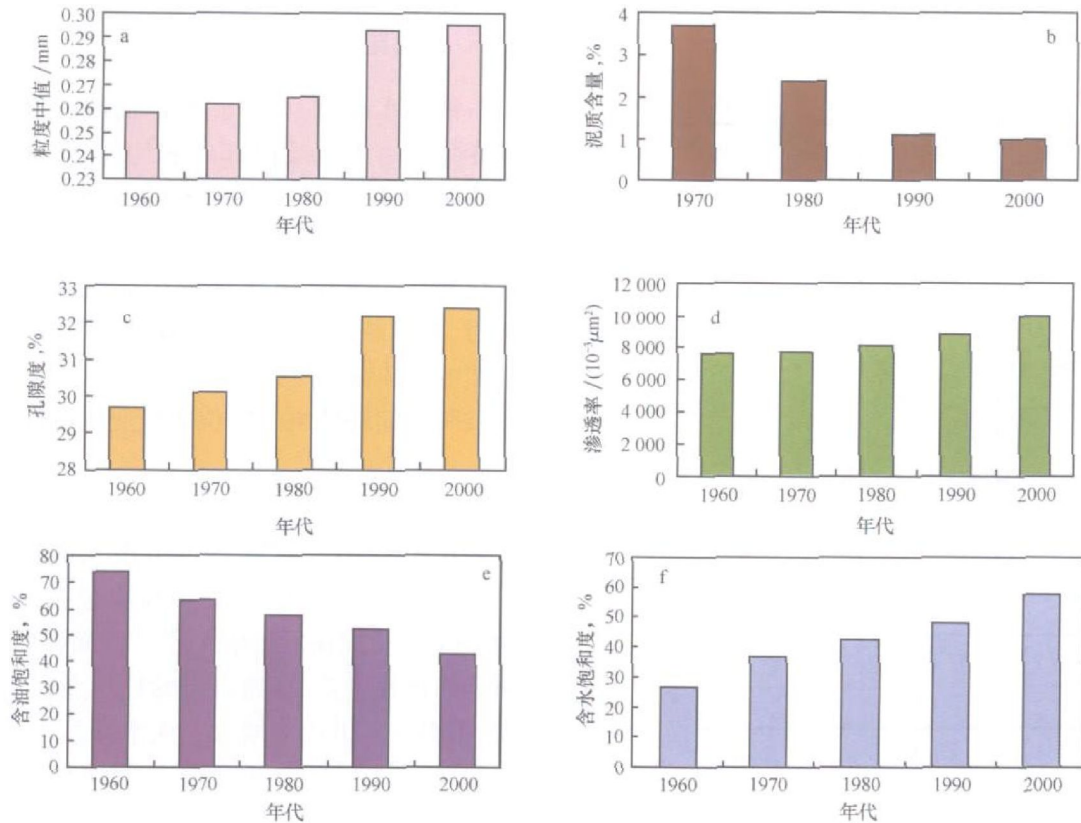
图 1 胜坨油田胜二区 1² 小层浊流中心微相储集层物性及含油性变化趋势

Fig. 1 Reservoir properties and oil saturation of turbidite-centre microfacies

of the 1² layer in Sheng 2 block, Shengtuo oilfield

a. 粒度中值; b. 泥质含量; c. 孔隙度; d. 渗透率; e. 含油饱和度; f. 含水饱和度

对于一定的地区, 对孔隙度一定的地层, 水淹层的电阻率 R_t 取决于混合地层水电阻率 R_{wz} 与含水饱和度 S_w 。对于 $R_{wz} \approx R_w$ 类水淹层, 油层水淹后, 由于含水饱和度增加, 水淹层电阻率 R_t 将比未水淹电阻率要降低。水洗程度越高, 水淹层电阻率越低。因此, 可通过 R_t 降低程度定性来判断水淹层性质, 研究区内 1966—1969 年间注入地下水, 使得电阻率测井曲线的幅度值有较明显降低 (图 2 图 3)。

对于 $R_{wz} > R_w$ 类水淹层, 情况较为复杂, R_{wz} 变大将使水淹层电阻率增大, 而含水饱和度的增加又使电阻率降低, 所以水淹层电阻率的变化由地层水电阻率 R_{wz} 的变化和地层水淹程度综合决定。

目前, 应用电阻率测井资料识别地层水型的水淹层还比较容易, 但识别淡水型和污水型的水淹层就比较困难。

在淡水注入油藏开发过程中, 随着淡水不断注入油层, 驱替地层中的原油, 一方面油层的含油饱和度不断下降, 含水饱和度不断增加, 产水率不

断上升, 直到油层完全产水; 另一方面, 注入的淡水不断溶解地层中的盐类, 并与油层中的束缚水进行离子交换。尽管注入水的矿化度有一定的增加, 但整个储层中混合液地层水的矿化度却不断下降, 即所谓的地层水被“淡化”。因此, 在油层水淹初期, 随着具有一定导电性的淡水进入油层, 油层含水饱和度增加, 电阻率呈明显下降的趋势。当油层水淹到一定的程度, 由于淡化作用, 混合地层水矿化度下降, 它对电阻率 R_t 的影响程度超过含水饱和度 S_w 的增加对电阻率 R_t 的影响时, 水淹层的电阻率便会增加, 这就是为什么到了后期, 有些井含水饱和度很大, 且电阻率也很大的原因, 见岩心实验图版^[7] (图 3)。有典型的实例, 以下为胜坨油田胜二区沙二 12 时间单元 4 口浊流中心沉积微相不同时期油井的测井图, 该 4 口井在地理位置上较近且代表不同的年代 (图 4)。通过对比可以看出不同含水阶段储层电阻率的变化规律。

20 世纪 70 年代, 沙二 1² 小层浊流中心沉积

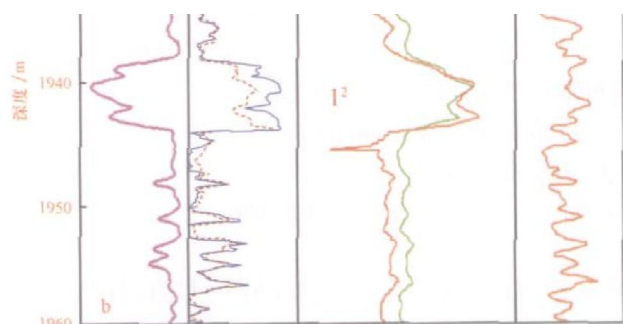
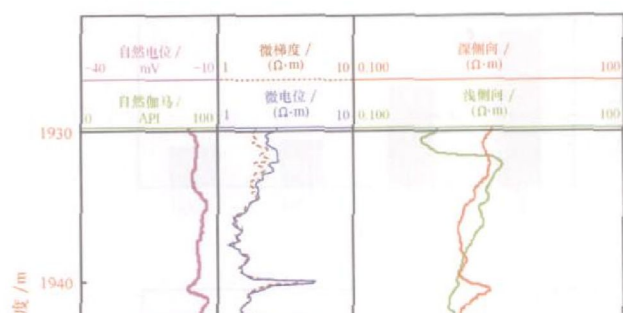


图 2 I^2 沉积时间单元浊流中心沉积微相测井曲线对比

Fig. 2 Logging curves of tubedite-centre microfacies in the I^2 sedimentary time unit, Shenger block

a. 2-3-15 井 (1966 年); b. 2-3-151 井 (1970 年)

微相的电阻率大于 $10 \Omega \cdot m$, 80 年代电阻率降为 $5 \sim 10 \Omega \cdot m$, 90 年代电阻率为 $3 \sim 8 \Omega \cdot m$, 2000 年电阻率为 $4 \sim 9 \Omega \cdot m$ (表 2)。

由以上 4 幅图可以看出, 电阻率测井曲线的幅度是越来越小的, 到了 2000 年之后, 电阻率测井曲线的幅度又稍微升高, 原因就是随目的层开采时间的逐渐加长, 水淹程度加大, 引起储层内流体的导电性增强, 从而致使其电阻率逐渐降低, 之后, 由于淡化作用, 混合地层水矿化度下降, 它对电阻率 R_t 的影响程度超过含水饱和度 S_w 的增加对电阻率 R_t 的影响时, 水淹层的电阻率便会增加^[8]。

3.2 自然电位曲线

油层水淹时, 其自然电位曲线也会发生明显的变化。由于油层内部的非均质性, 大多数油层水淹时均具有先局部水淹后全层水淹的特点。此时, 在局部水淹部位上常发生自然电位曲线幅度变化和基线飘移, 其主要原因是当油层被淡水水

层压力。所以, 在新钻的井中, 水淹层的泥浆滤液侵入浅, 泥饼薄, 微电极测井曲线受泥饼影响明显减小, 受冲洗带影响最大, 因而在水淹层处微电极测井曲线幅度和幅度差相对变小 (图 3 表 2)。但在某些油田的强淡水水淹层处, 特别是泥饼很薄或无泥饼处, 微电极极板直接接触井壁的情况下, 微电极测井曲线明显增高的趋势, 幅度差增大或

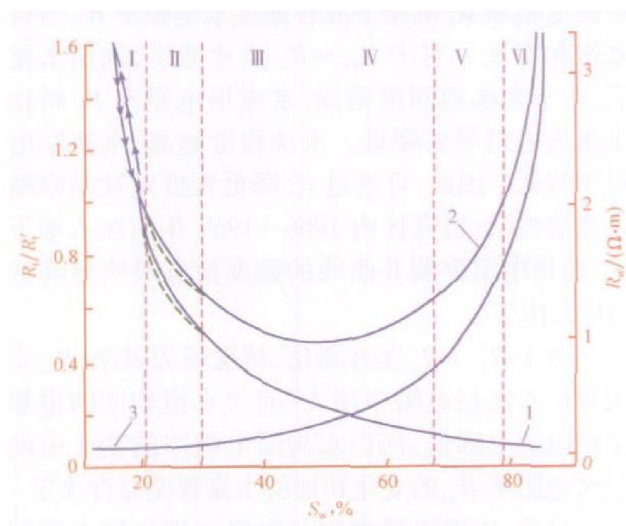


图 3 胜坨油田水淹层岩-电相驱图

Fig. 3 Lithology, water saturation and resistivity variation of waterflooding layers in Shengtuo oilfield

1. 注地层水时 R_t/R_i 与 S_w 关系; 2. 注淡水时 R_t/R_i 与 S_w 关系;

3. 注淡水时 R_w 与 S_w 关系

R_t 为地层电阻率; R_i 为地层注水电阻率

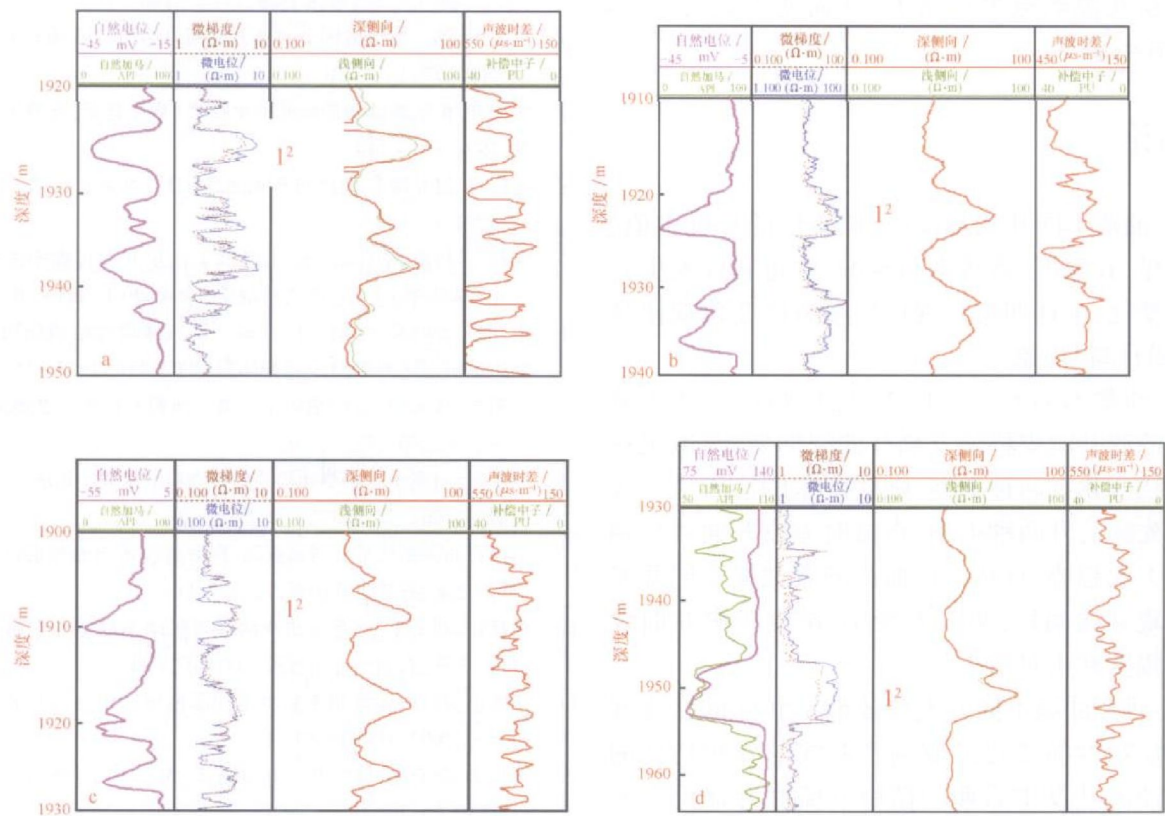


图 4 不同开发阶段储层测井曲线变化对比

Fig. 4 Logging curves of reservoirs in different development phases

a. 2- 140井 (1972年); b. 2- J1502井 (1980年); c. 2- J1803井 (1994年); d. 3- J1503井 (2000年)

表 2 胜二区沙二段 1² 沉积时间单元油流中心微相测井曲线特征

Table 2 Logging curves of turbidite-centre microfacies in the 1² sedimentary time unit in ShaerM anber; Shenger block

测井参数	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代
自然电位幅度	负异常, 幅度平均值最大	负异常, 幅度平均值相对较小	负异常, 幅度平均值最小	负异常, 幅度平均值相对较小
自然电位基线偏移	不偏移或稍右偏	平均偏移量最大, 大都右偏, 偶有左偏	平均偏移量相对较小, 大都右偏, 但左偏增多	平均偏移量较大, 大都右偏, 偶有左偏
电阻率 / ($\Omega \cdot m$)	> 10	5~ 10	3~ 8	4~ 9
声波时差 / ($\mu s \cdot m^{-1}$)	320~ 350	325~ 355	330~ 360	330~ 365
微电极幅度差 / ($\Omega \cdot m$)	> 1	0.4~ 0.8	0.3~ 0.6	0.5~ 1.0

减小, 有时水淹部位的微电极视电阻率要比油层还要高^[10]。

3 4 声波时差

油层水淹后, 经常发生声波时差 Δt 增大的现象。主要原因是: 在一般的油层中, 都存有粘土矿物, 注入水进入油层后, 粘土矿物可能被注入水从原地冲走, 在其它孔隙中聚集或从油井中产出。一般地, 粘土聚散作用具有以下规律: 大孔道中的粘土矿物经水驱后, 易被冲散迁移, 随水流带出, 从

而使孔道变得干净、畅通, 扩大了喉道直径; 另一方面, 一些被剥落或冲散的粘土可能在小孔隙或大孔隙角落中重新聚集, 从而加剧了孔间矛盾。④由于水流冲刷作用, 原来粘土矿物少的地方将更少, 原来粘土矿物多的地方将更多。④水洗后岩石内粘土矿物组成会发生明显的变化。除粘土矿物外, 储层中的其它微粒, 如岩屑片、云母等, 也可能被搬运迁移, 并可随采出液带出^[6 11~ 13]。那些呈现离散状附着在砂岩颗粒表面或占据粒间孔隙空间的粘土矿物和泥质成分有可能被注入水溶解或冲走, 造

成水淹层孔隙喉道半径增大,从而使声波时差 Δt 增大(图 4 表 2)。

4 结论

1) 油藏不同开发阶段中,储集层的粒度中值、泥质含量、孔隙度、渗透率和含油、水饱和度发生着较大的变化,上述四类宏观储层参数的变化规律是“二降四升高”现象。

2) 油藏不同开发阶段中,储层物性的变化造成相应的测井响应特征及测井曲线的变化,电阻率测井曲线变化有两种类型,随注入水的注入呈一直下降和先降后升两种类型,声波时差测井曲线呈现一直增大的趋势,自然电位曲线随着油藏不同开发阶段出现基线偏移,幅度差变小,微电极测井曲线幅度和幅度差相对变小。

3) 研究油藏不同开发阶段储层物性的变化规律及储层物性的变化造成测井曲线的变化特征的研究对油田开发中后期的储层的监测与评价以及开发中后期精细油藏描述有着重要的指导意义。

参 考 文 献

- [J]. 石油与天然气地质 1998, 19(2): 142~145
- 赵宗举. 油气系统成因分类及其勘探思路 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(1): 1~10
- 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991 100~110
- 塞拉 O. 测井解释基础与数据采集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992 1~33
- 郭莉, 王延斌, 刘伟新, 等. 大港油田注水开发过程中油藏参数变化规律分析 [J]. 石油实验地质, 2006 28(1): 85~90
- 宋万超, 孙焕泉, 孙国, 等. 油藏开发流体动力地质作用——以胜坨油田二区为例 [J]. 石油学报, 2002 23(3): 52~55
- 王瑞平, 郭元岭. 胜坨油田水淹油层解释方程统一性研究 [J]. 石油学报, 2002 23(5): 78~82
- 孙焕泉. 油藏动态模型和剩余油分布模式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002 72~76
- 中国石油天然气总公司勘探局. 测井新技术与油气层评价进展 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 11
- 孙梦茹, 刘文业. 河流三角洲储层油藏动态模型和剩余油分布 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 77~79
- 孙焕泉, 孙国. 储集层参数动态地质模型的建立 [J]. 石油勘探与开发, 2004 31(S0): 89~91
- 钟兴水, 耿全喜. 油田开发测井技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992 2~3
- 鲁国明, 刘魁元. 济阳拗陷高凸起斜坡带新近系油气成藏与勘探实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(2): 258~262

1 陈亮, 牛艳平, 熊琦华. 三次采油前油藏精细描述的关键技术

(编辑 陈喜禄)

刘兴材同志逝世

中国共产党优秀党员、原胜利石油管理局副局长、著名石油勘探家、教授级高级工程师刘兴材同志, 因病医治无效, 于 2007 年 1 月 7 日逝世, 享年 76 岁。

刘兴材同志是胜利油田和我国石油地质勘探界的著名专家。在 50 余年的工作生涯里, 他勤学不倦、勇于探索、奋斗不息, 对我国陆相石油地质理论的形成和发展作出了重大贡献, 为中原油田的崛起及为把胜利油田建成我国第二大油田作出了突出贡献。

李德生院士对刘兴材同志的一生给予了高度评价, 称刘兴材同志是一位卓越的石油地质学家, 具有开拓创新、不断进取的科学精神。在他参与创建的渤海湾盆地复式油气聚集带理论的指导下, 长期主持的济阳拗陷油气勘探工作始终走在全国同行业的前列, 并不断有新发现、不断有大发现。刘兴材同志还培养出一批能灵活运用滚动勘探开发的做法, 对复杂断块油田善于攻坚啃硬、精细解释、巧于布井、理论联系实际的石油勘探队伍。

李德生院士评价刘兴材同志在石油地质领域的造诣是多方面的, 在病危期间, 他于 2006 年 10 月 15 日还寄来论文《试论“幔源气”与“可燃冰”的成生联系及勘探开发效果预测》。其对我国能源地质的执着追求和拳拳之心, 值得后人学习!