

·油气地质·

红层油气成藏要素定量评价及成藏概率分析

——以东营凹陷博兴地区为例

贾光华^{1,2}

(1.中国地质大学(武汉)资源学院,湖北 武汉 430074; 2.中国石化胜利油田分公司地质科学研究院,山东 东营 257015)

摘要:东营凹陷古近系孔店组一段—沙四段下亚段广泛发育陆相红层沉积。对博兴地区红层油气藏地质特征、分布规律统计发现,烃源岩条件、储集条件、运移条件和保存条件是控制红层油气藏形成和分布的4个成藏要素。考虑影响4个成藏要素控制红层油气成藏概率的有效指标,建立研究区成藏要素的能力指数模型,分别为烃源岩能力指数、储集能力指数、运移能力指数和保存能力指数。研究表明,烃源岩能力指数为排烃强度归一化结果,储集能力指数为有效储层厚度归一化结果,运移能力指数为流体势、砂地比和断层运移效率的归一化结果,保存能力指数为排替压力与盖层厚度乘积的归一化结果。利用4个成藏要素的能力指数模型,可以定量评价单一成藏要素的成藏概率,经加权平均赋予不同成藏要素权重系数,进而建立研究区油气成藏概率指数模型。根据该模型预测的有利油气成藏区与博兴地区目前沙四段下亚段红层已发现油气藏进行对比,其结果较为吻合。

关键词:红层 油气成藏主控因素 成藏要素 成藏概率 博兴地区 东营凹陷

中图分类号: TE112.31

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0001-05

东营凹陷是胜利油区东部探区最主要的含油气区,多年来为胜利油区的增储上产做出了巨大贡献;但从目前已发现储量的分布来看,存在着严重的不均衡性。已发现油气藏主要分布于沙河街组(占已发现油气藏的73.6%),包括三角洲、滩坝、水下扇和浊积扇等多种沉积类型^[1-4],其中“十一五”以来针对滩坝的勘探进入高峰,年均探明石油地质储量超过 $3\ 000\times 10^4\ \text{t}$,但其储量规模已基本探明。因此,为了胜利油区油气勘探的持续发展,寻找新的规模储量接替阵地成为油气勘探工作的首要任务。

近年来,东营凹陷博兴地区高89井区于沙四段下亚段红层获得工业油气流,揭示出红层巨大的勘探潜力。但目前对红层的研究主要集中于沉积环境、沉积相类型等方面^[5-6],对其油气成藏规律研究较少,仅对油气藏类型、油气来源等进行了定性评价^[7-8],导致对红层油气藏分布的预测存在困难,须探索新的、有效的预测方法和技术来指导进一步的油气勘探。为此,笔者借鉴庞雄奇等在研究叠合盆地油气藏分布规律时提出的建立多种成藏要素控制的综合成藏模式^[9-12],通过逐一定量评价影响博兴地区红层油气成藏的单一成藏要素,建立油气成藏概率模型,进而预测研究区有利的油气成藏区。

1 区域地质概况

博兴地区位于东营凹陷西南部,包括博兴洼陷及周缘地区,其南抵鲁西隆起,北部和东部分别与利津洼陷和牛庄洼陷相连。博兴洼陷油气资源丰富,目前已发现博兴、大芦湖和正理庄等油田,为东营凹陷重要的油气勘探区。研究区发育博兴断层、高青—平南断层、高94断层以及石村断层西支,对油气运移具有重要作用。

研究区在断陷盆地初始期发育的始新统孔店组一段(孔一段)—沙四段下亚段为一套红砂红泥或灰砂红泥的砂泥互层沉积,俗称为红层。红层本身不具备生油能力,其油气主要来源于凹陷内其他层系的烃源岩,油气通过大的油源断层运移至红层储层中,因此,烃源岩的排烃能力和油气运移条件决定了红层的含油层位和成藏规模。此外,博兴地区发育的油气藏类型以构造和构造-岩性油气藏为主,且埋深多大于 $3\ 000\ \text{m}$,储层物性是控制其油气成藏的关键因素之一;储层的侧向尖灭决定了构造-岩性油气藏的形成,油层与非油层之间存在着明显的储层物性界限(其储层物性下限为7%)^[13]。

收稿日期:2014-04-20。

作者简介:贾光华,男,高级工程师,在读博士研究生,从事石油地质研究与管理工。联系电话:(0546)8716952,E-mail:sddyjgh@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”课题三“济阳坳陷油气富集机制与增储领域”(2011ZX05006-003),中国石化重点科研攻关课题“东营南坡红层基本地质特征与油气成藏”(P09009)。

因此,博兴地区红层油气藏的形成和分布受烃源岩条件、储层条件、运移条件和保存条件共4个成藏要素控制,可以利用这4个成藏要素代替传统的6大地质要素对红层油气藏的形成和分布进行研究。

2 油气成藏要素定量评价

2.1 烃源岩条件

2.1.1 烃源岩能力指数模型的建立

烃源岩条件控制油气藏的平面分布范围,有效烃源岩及其生排油气量决定了油气成藏的规模、分布范围和资源潜力^[14-16]。有机质的丰度、类型和成熟度是评价烃源岩的3个重要指标,仅依据单一指标不能准确表征烃源岩对油气成藏的贡献。目前排烃强度是公认的评价烃源岩的最有效指标,主要通过生烃潜力法来求取^[16-17]。烃源岩能力指数是将排烃强度进行归一化处理,可以更加直观地反映烃源岩的排烃能力,其表达式为

$$Si = \frac{qe - qe_{\min}}{qe_{\max} - qe_{\min}} \quad (1)$$

式中: Si 为烃源岩能力指数; qe 为排烃强度, 10^4 t/km^2 。

2.1.2 定量评价

博兴洼陷主要发育沙四段上亚段和沙三段下亚段2套烃源岩,其中沙四段上亚段烃源岩厚度大,有机质含量丰富,有机碳含量约为3%,氯仿沥青“A”含量一般大于0.2%,可以作为博兴地区红层的主力烃源岩,而沙三段下亚段烃源岩的有机质成熟度低,镜质组反射率为0.32%~0.75%,处于未成熟—低成熟演化阶段。基于表征烃源岩条件的参数,计算沙四段上亚段烃源岩的排烃强度,归一化处理得到烃源岩能力指数(图1)。结果表明,博兴

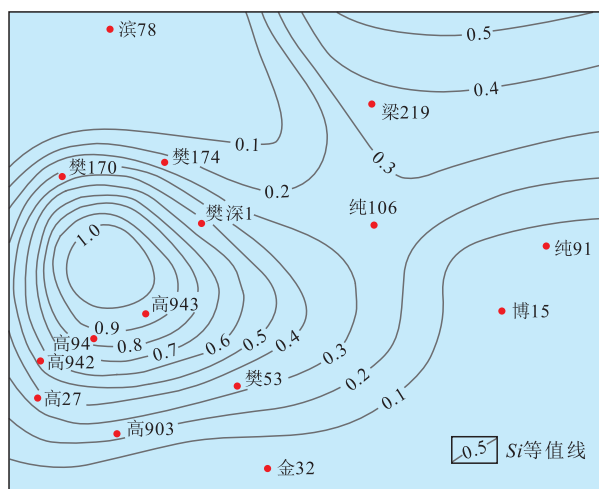


图1 博兴地区沙四段上亚段烃源岩能力指数

洼陷中心的烃源岩排烃强度平均值约为 $140 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 烃源岩能力指数大于0.6, 有大量的烃源岩生烃并排出; 由洼陷中心向周缘过渡, 烃源岩排烃强度平均值低于 $60 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 相应的烃源岩能力指数逐渐降低, 排烃规模大幅减小。

2.2 储集条件

2.2.1 储集能力指数模型的建立

孔隙度是表征储层储集能力的微观参数, 而储层厚度和展布范围是宏观研究储集能力的重要参数, 决定了整个区域储集油气的数量和质量。综合考虑博兴地区沙四段下亚段红层的储层孔隙度和砂砾岩厚度, 引入有效储集空间的概念^[18], 将储层的微观特征与宏观能力有机结合, 用以表征储层储集油气的的能力。储集能力指数是将有效储层厚度进行归一化处理, 其表达式为

$$Ri = \frac{H - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}} \quad (2)$$

式中: Ri 为储集能力指数; H 为有效储层厚度, m。

2.2.2 定量评价

博兴地区的孔隙度分布极不均匀, 洼陷中心的孔隙度一般小于10%, 平均约为5%, 尚店—平方王潜山披覆带和金家—柳桥缓坡带的孔隙度为10%~18%。博兴洼陷发育较厚的砂砾岩体, 在洼陷中心厚度超过100 m, 向周缘逐渐减薄。由于目前研究区的孔隙度和砂砾岩体的厚度数据不具有点一点的对应性, 因此, 首先采用孔隙度和砂砾岩体厚度数据分别插值成图, 然后利用计算机对其在相同区域内进行点一点的乘法运算, 得出有效储层厚度再进行归一化处理, 最终得到储集能力指数(图2)。研究结果表明, 博兴洼陷有效储集空间较差, 储集能力指数大多小于0.5, 高94—樊170一带

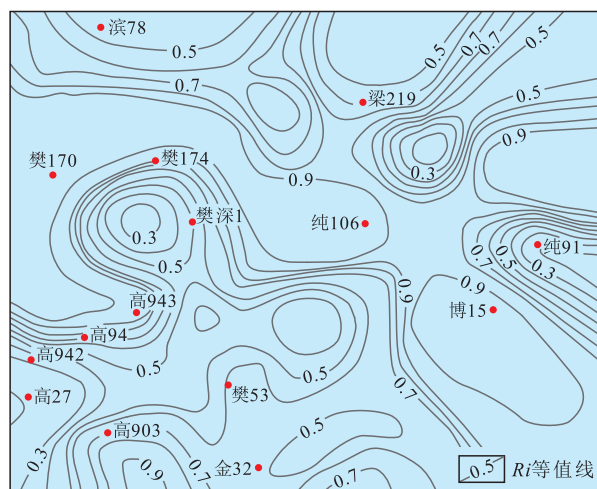


图2 博兴地区沙四段下亚段红层储集能力指数

的储集能力指数较大,整个缓坡带的储集能力指数分布较均匀。

2.3 运移条件

2.3.1 运移能力指数模型的建立

运移条件的影响因素包括油气的密度和粘度、运移通道顶界的构造起伏、地层温度以及地层压力分布等^[19]。博兴地区红层的油气运移主要受构造形态、断层以及砂体控制。由于勘探资料的限制,油气运移能量场和非均质输导体的评价模型及参数具有较大差异,导致盆地尺度油气运移路径的预测难以得到有效实现。针对上述问题,在综合博兴地区油气优势运移通道现有认识的基础上,提出运移能力指数,综合考虑油气运移动力和通道,对二者进行耦合来表征油气运移情况,主要包括流体势、运载层物性和断裂对油气运聚的控制作用。

流体势和运载层物性对油气运聚的控制作用 前人对流体势和运载层物性控制油气运聚的能力进行了相关计算^[20-21],其中流体势归一化处理的计算式为

$$\Phi_1 = \frac{\Phi - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}} \quad (3)$$

式中: Φ_1 为归一化流体势; Φ 为某区域的流体势, J/kg。

表征运载层物性对油气运聚控制作用的砂地比归一化处理的计算式为

$$X_1 = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

式中: X_1 为归一化砂地比; X 为某运载层的砂地比。

断裂对油气运聚的控制作用 博兴地区断裂的发育程度影响着油气藏的形成与分布,而断裂对油气的输导作用在不同地区存在较大的差异。对博兴地区沙四段下亚段红层油气藏分布及失利探井的统计结果表明,其油气的平面分布与距油源断裂的距离有关,纵向分布受油源断裂的断距控制。

根据油气运移距离与油气显示的关系建立油气运移距离的模型,以油气显示井数来定义油气运移概率,将油气显示井数进行归一化处理。当油气运移距离为0时,油气运移概率定义为1;油气运移距离大于10 km时,油气运移概率定义为0;油气运移距离为0~10 km时,油气运移概率定义为1~0,即可得到油气运移距离与油气运移概率的关系式为

$$F_{\text{距离}} = 1.051e^{-0.25L} \quad (5)$$

式中: $F_{\text{距离}}$ 为与油源断裂距离相关的油气运移

概率,其值为0~1; L 为油气平面运移距离, km。

油源断裂的断距控制着红层油气藏的纵向分布范围,因此须建立断距控制油气运移概率的模型。根据博兴地区油源断裂的断距($H_{\text{断距}}$)、错断沙四段地层的厚度($H_{\text{总}}$)、错断沙四段上亚段地层的厚度($H_{\text{上}}$)以及错断沙四段上亚段纯下亚段地层的厚度($H_{\text{纯下}}$)的匹配关系,将与断距相关的油气运移概率($F_{\text{断距}}$)的模式分为3类。当 $H_{\text{断距}} > H_{\text{总}}$ 时, $F_{\text{断距}}$ 取值为1;当 $H_{\text{上}} < H_{\text{断距}} < H_{\text{总}}$ 和 $H_{\text{纯下}} < H_{\text{断距}} < H_{\text{总}}$ 时, $F_{\text{断距}}$ 等于 $H_{\text{断距}}$ 与 $H_{\text{总}}$ 的比值;当 $H_{\text{断距}} < H_{\text{纯下}}$ 时, $F_{\text{断距}}$ 取值为0。

综合考虑与油源断裂的距离、断裂的断距及其控制油气运移概率的模型,建立断裂控制油气运移概率的模型,其表达式为

$$F_{\text{断裂}} = \sqrt{\frac{F_{\text{距离}}^2 + F_{\text{断距}}^2}{2}} \quad (6)$$

式中: $F_{\text{断裂}}$ 为断裂控制油气运移概率,其值为0~1。

综合流体势、运载层物性和断裂3个要素控制油气成藏概率的模型,建立输导体系在任意空间单元的油气运移能力指数模型,其表达式为

$$Mi = \sqrt{\frac{[(1 - \Phi_1)X_1]^2 + F_{\text{断裂}}^2}{2}} \quad (7)$$

式中: Mi 为运移能力指数,其值为0~1。

2.3.2 定量评价

综合流体势、运载层物性及断裂对油气运聚的控制作用,利用运移能力指数模型对博兴地区的油气运移条件进行定量评价,得到博兴地区沙四段下亚段红层的运移能力指数(图3)。结果表明,研究区的油气运移能力较弱,运移能力指数均小于0.5,主要是由于洼陷带地层的物性较差导致的;而尚店一平方王地区和金家一柳家缓坡带的油气输导

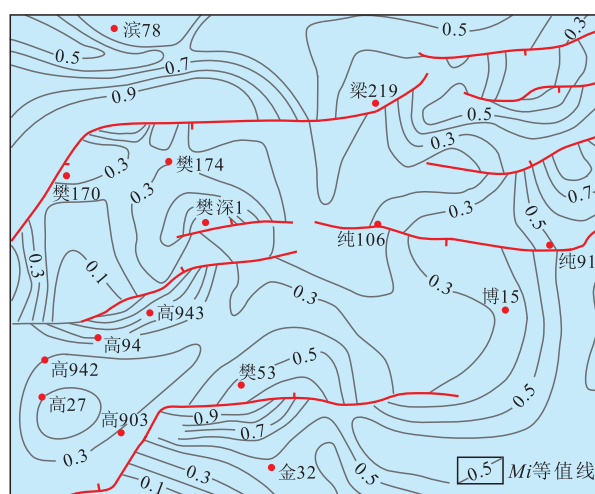


图3 博兴地区沙四段下亚段红层运移能力指数

条件明显好于洼陷,运移能力指数相应也较大,多大于0.5。

2.4 保存条件

2.4.1 保存能力指数模型的建立

排替压力和盖层厚度是反映盖层封闭能力的2个主要参数,可以从微观和宏观上反映盖层封闭油气的能力^[22]。保存能力指数综合考虑了排替压力和盖层厚度,其表达式为

$$P_i = \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad (8)$$

式中: P_i 为保存能力指数,其值为0~1; P 为排替压力(归一化处理)与盖层厚度(归一化处理)的乘积。

2.4.2 定量评价

根据博兴地区红层泥质岩类的厚度与排替压力,得到研究区沙四段下亚段红层的保存能力指数(图4)。结果表明,研究区的保存能力指数多大于0.6,整体保存条件良好。

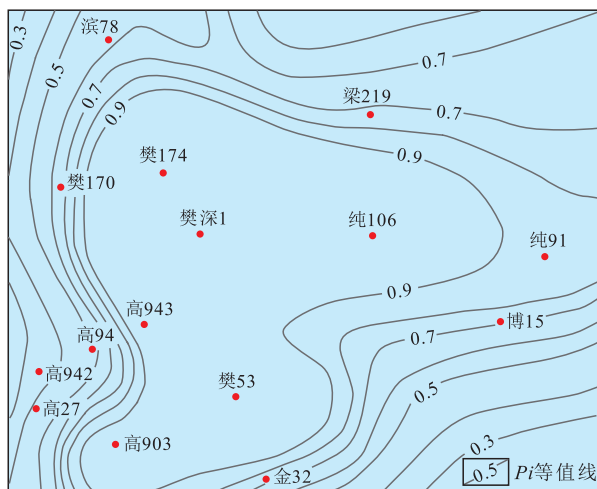


图4 博兴地区沙四段下亚段红层保存能力指数

3 油气成藏概率分析

3.1 油气成藏概率预测

为综合表征博兴地区沙四段下亚段红层的油气成藏概率,对其成藏要素在时空上进行叠合,考虑单一成藏要素对油气成藏的贡献,建立油气成藏概率模型,其表达式为

$$SRMP_i = \sum r_n f_n \quad (9)$$

式中: $SRMP_i$ 为油气成藏概率,其值为0~1; r_n 为成藏要素相应的权重系数; f_n 为油气成藏要素; n 取值为1~4。

利用层次分析法赋予烃源岩、储集、运移和保

存条件4个成藏要素不同的权重系数,分别为0.368 2,0.301 5,0.234 8和0.095 5,则研究区油气成藏概率的表达式为

$$SRMP_i = 0.368 2S_i + 0.301 5R_i + 0.234 8M_i + 0.095 5P_i \quad (10)$$

综合考虑博兴地区沙四段下亚段红层油气藏的勘探现状,对表征红层油气成藏的4项成藏要素的能力指数采用权值叠加的耦合运算方法,其结果可以定量表征研究区红层的油气成藏概率。

3.2 预测结果验证

根据式(10)计算博兴地区沙四段下亚段红层的油气成藏概率,并结合研究区钻遇红层探井的统计结果(图5)发现,在见油气显示探井中,油气成藏概率大于0.5的探井占该类探井数的80%以上,且油气成藏概率越大,见油气显示越多;如高943井的油气成藏概率大于0.9,于红层试油获产油量为5.43 t/d,产气量为232 m³/d。此外,在有利的油气成藏概率范围内,有小于20%的失利探井存在,这可能与断层的侧向封堵性、探井钻探砂体部位等有关。因此,根据4个成藏要素综合预测的有利油气成藏区,可以有效地指导油气勘探有利区的优选,但不能直接用于选取有利的勘探目标。

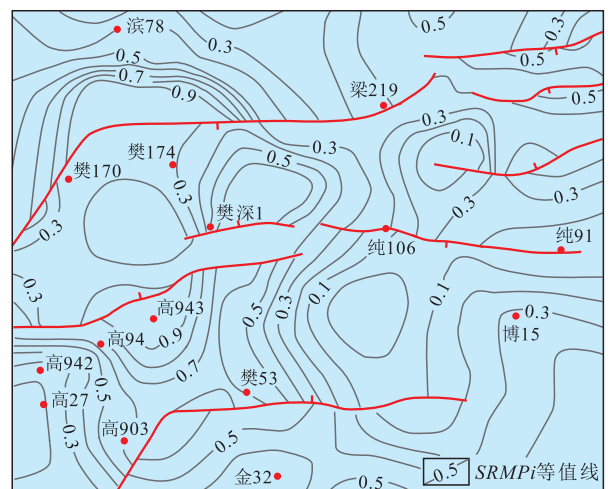


图5 博兴地区沙四段下亚段红层油气成藏概率

4 结束语

多成藏要素组合的油气成藏概率预测为定量预测油气藏有利分布区提供了新的思路。博兴地区沙四段下亚段红层油气藏的形成和分布受烃源岩条件、储集条件、运移条件和保存条件共4个成藏要素控制。综合影响4个成藏要素的有效指标,建立其指数模型(归一化处理)。根据研究区红层油

气成藏多要素匹配模式,将4个成藏要素在时空上进行叠合,建立油气成藏概率模型,进而定量表征博兴地区沙四段下亚段红层的油气成藏概率。在油气成藏概率大于0.5的区域内,见油气显示探井的比例高于80%,但预测的有利油气成藏区内还存在少量的失利探井,表明预测结果存在一定的局限性,可用于指导选择有利的油气勘探区带,但不能作为选取有利勘探目标的证据。

参考文献:

- [1] 王健,操应长,刘惠民,等.东营凹陷南坡沙四段下亚段滩坝砂岩储层孔喉结构特征及有效性[J].油气地质与采收率,2011,18(4):21-24,34.
- [2] 刘鑫金,宋国奇,刘惠民,等.东营凹陷北部陡坡带砂砾岩油藏类型及序列模式[J].油气地质与采收率,2012,19(5):20-23.
- [3] 王勇.岩性油藏成藏机理及运聚模式——以牛庄洼陷为例[J].特种油气藏,2012,19(3):18-23.
- [4] 杨勇强,邱隆伟,李聪,等.不同类型盆缘区沉积体系展布与演化——以东营凹陷南坡博东潜山周缘地区为例[J].石油实验地质,2012,34(6):604-610.
- [5] 刘书会,唐东,陈敬义.东营凹陷南坡西段红层地球物理特征及储层预测[J].油气地质与采收率,2012,19(3):53-56.
- [6] 韦启新,苑小燕.我国东部油田红层沉积特征与油气成藏规律[J].石油学报,2008,29(2):191-194.
- [7] 孙红蕾.东营凹陷南斜坡孔店组油气成藏控制因素[J].油气地质与采收率,2008,15(6):43-45.
- [8] 王建伟,宋国奇,宋书君,等.东营凹陷南斜坡孔店组原油地球化学特征及其来源[J].吉林大学学报:地球科学版,2008,23(4):726-733.
- [9] 庞雄奇,高剑波,吕修祥,等.塔里木盆地“多元复合过程叠加”成藏模式及其应用[J].石油学报,2008,29(2):159-166.
- [10] 李建华,庞雄奇,宋兵,等.岩性油气藏分布区定量预测新方法——以大民屯凹陷为例[J].石油勘探与开发,2011,38(6):756-763.
- [11] Pang Xiongqi, Meng Qingyang, Jiang Zhenxue, et al. A hydrocarbon enrichment model and prediction of favorable accumulation areas in complicated superimposed basins in China [J]. Petroleum Science, 2010, 7(1): 10-19.
- [12] Meng Qingyang, Pang Xiongqi, Gao Jianbo. The multifactor recombination and processes superimposition model for hydrocarbon accumulation: Application to the Silurian in the Tarim Basin [J]. Petroleum Science, 2008, 5(1): 13-18.
- [13] 王健,操应长,高永进,等.东营凹陷古近系红层砂体有效储层的物性下限及控制因素[J].中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(4):15-21.
- [14] 胡朝元.“源控论”适用范围量化分析[J].天然气工业,2005,25(10):1-7.
- [15] 戴金星,宋岩,张厚福.中国大中型气田形成的主要控制因素[J].中国科学:D辑 地球科学,1996,26(6):481-487.
- [16] 姜福杰.源控油气作用机制及其定量模式[D].北京:中国石油大学(北京),2008:25-36.
- [17] 庞雄奇,周新源,姜振学,等.叠合盆地油气藏形成、演化与预测评价[J].地质学报,2012,86(1):1-103.
- [18] 李易隆,贾爱林,何东博.致密砂岩有效储层形成的控制因素[J].石油学报,2013,34(1):71-81.
- [19] 卢浩,蒋有录,谷国翠,等.渤南洼陷沙三段油气运移路径分析[J].油气地质与采收率,2012,19(3):49-52.
- [20] 金之钧,张一伟,王捷,等.油气成藏机理与分布规律[M].北京:石油工业出版社,2003:22-48.
- [21] 庞雄奇.地质过程定量模拟[M].北京:石油工业出版社,2003:286-321.
- [22] 付广,许凤鸣.盖层厚度对封闭能力控制作用分析[J].天然气地球科学,2003,14(3):186-190.

编辑 邹淑滢

致 歉 声 明

本人李堪运在《油气地质与采收率》期刊2014年第1期发表的《非均质油藏二元复合合理毛管数实验研究》一文,是在攻读硕士学位期间,在导师指导及课题组其他成员协作下共同完成的科研成果的一部分。经过比照,该篇文章存在如下错误:①该成果主要是在中国石油大学(华东)石油工程学院完成的,同时得到了相关油田企业的资助,而文章未体现上述两单位的贡献,也未得到上述两单位的许可;②除第一作者外,其余三位作者李翠平、赵光、温栋良都是与本文成果无关的人员,其中第3作者赵光不是中国石油大学(华东)国家重质油重点实验室研究人员,而是中国石油大学(华东)石油工程学院2012级博士研究生。由于本人所犯以上错误,对相关单位和个人造成了损害,在此深表歉意,并愿意承担相应的责任。

声明人 

2014年4月