

砂砾岩扇体成藏过程的定量化分析

——以东营凹陷胜坨油田为例

闫长辉^{1,2}, 王 安², 严曙梅³, 刘惠民⁴, 王永诗⁴

(1. 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059; 3. 中国石化上海海洋油气分公司, 上海 200120;

4. 中国石化股份胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:在“相—势”耦合控藏理论的基础上,以东营凹陷胜坨油田为研究对象进行成藏过程定量化分析。在砂砾岩扇体油气成藏期物性恢复和古压力估算的基础上,选取含油饱和度作为定量化分析成藏过程充满度的表征参数,建立了含油饱和度与孔隙度、渗透率和毛细管压力的函数关系式,并计算了 3 个成藏期的含油饱和度。结合胜坨油田的沉积和构造背景,分析了砂砾岩扇体的扇根封堵差异。3 个成藏期的油气充满度都逐渐增加,其中第 3 期的含油饱和度高达 63.54%。油气充注主要发生在第 3 期,流体能量充足是成藏的关键。分析得出扇根封堵的孔隙度为 6.36%~11.67%,实现了“相—势”耦合控藏的定量化表征。

关键词:“相—势”耦合控藏;含油饱和度;砂砾岩扇体;扇根封堵;东营凹陷

中图分类号:TE112.12

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2010)01-0009-03

进入 21 世纪以来,陆相断陷盆地石油地质理论和油气勘探理论得到快速发展。其中,“相—势”耦合控藏在理论和实践上都取得了很大的进步。“相—势”耦合控藏主要体现在对油气聚集特征和油气充满度的影响上^[1-2]。在油源充足的条件下,油气进入砂体取决于储层介质(相)和流体流动能力(势)两者的耦合作用,即油气成藏过程是“势”所代表的动力不断克服“相”所代表的阻力的过程^[2]。目前的“相—势”耦合控藏研究大多处于定性研究阶段,从定量的角度进行研究的还很少。笔者在前人对胜坨油田的沉积、构造背景、成藏期物性和古压力研究的基础上,以该油田沙四段和沙三段为研究层位,从定量的角度研究了成藏期的油气充注过程以及砂砾岩扇体在纵向上的扇根封堵差异,建立了“相—势”耦合控藏的定量化关系。

1 胜坨油田构造和沉积背景

胜坨油田位于东营凹陷北侧的坨庄—胜利村—永安镇二级构造带中段,陈家庄凸起南端,是一个明显受近东西向的陈南铲式正断层和多条低序次节节下掉的阶梯式断阶所控制的逆牵引背斜构造油气

藏^[3]。近年的油气勘探证实,胜坨油田主要发育近岸水下扇、深水浊积扇和扇三角洲等沉积扇体,其中扇中一扇端位置物性较好,以水下河道中粗、细砂岩和粉砂岩为主,是一套陆相断陷盆地内多物源、近距离、快速堆积的产物。

胜坨油田发育的多数扇体的成藏与断层密切相关,尤其在扇体的中、上部,油气以断层、砂层和层序界面组成的复合输导体系为通道,在纵、横向上以转换传递的方式呈阶梯状运移。由于古压力不断变化和扇根封堵,使得油气间断地充注成藏^[4]。因此,在断层、砂体岩性和物性等因素在时空上有机配置的情况下,砂砾岩扇体在沙四段和沙三段的油气生成、运移、聚集具有多期次性^[5]。根据前人的研究^[6],胜坨油田主要经历了 3 次油气充注过程,而且多数扇体都存在 2 期以上的油气充注过程。

2 油气成藏期物性恢复与古压力估算

2.1 物性恢复

成藏期储层介质(相)即储层物性和孔隙结构是影响油气充注的重要因素。然而想获得成藏期的储层物性和孔隙结构十分困难,而且在实验室的条

件下也很难模拟成藏期的孔隙结构。鉴于现今储层物性随深度的变化特征,通过类比的方法,在沉积特征相近以及成岩过程相近的条件下,借用现今的储层物性和孔隙结构,近似地获得成藏期的储层物性和孔隙结构。物性恢复研究主要是在前人研究的基础上^①,以沙四段和沙三段扇体的主要相带为研究对象,用 Matlab 拟合出物性随深度的变化关系,再根据孔隙度与渗透率之间的指数关系^[7]得出量化研究所需的渗透率,即

$$\phi = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (1)$$

$$K = 0.068 1e^{0.28\phi} \quad (2)$$

式中: ϕ 为孔隙度,%; A, B, C 和 D 为待定系数; x 为归一化深度; K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.2 古压力估算

成藏的主要驱动力是流体压力和浮力^[8],即各个成藏期的古压力。根据关德范等^②的研究成果,取得古埋深,结合陈红汉等^③对古压力系数的研究求出不同成藏期次的古压力,为下一步的含油饱和度计算打下基础。

3 成藏期含油饱和度的计算

3.1 函数关系式的建立

成藏期的油气充注是成藏期物性、储层孔隙结构以及各成藏期的古压力等因素之间耦合作用的结果。针对砂砾岩体成藏过程中充满度的表征问题,确定采用含油饱和度作为量化分析成藏过程充满度的变化表征参数^[9-12]。鉴于“相—势”耦合理论的重点是“相”与“势”之间的关系,选择油藏成藏期的古压力(势)作为成藏能量的量化参数;而把成藏期储层的孔隙度、渗透率、毛细管压力等参数作为储层物性(相)的量化参数,以成藏过程中的含油饱和度作为函数的变量,建立与孔隙度、渗透率、毛细管压力等参数的函数关系,用以分析含油气性的差异。

由于含油饱和度与J函数^④间存在幂函数关系,因此采用J函数建立含油饱和度与孔隙度、渗透率、毛细管压力的量化关系,而且J函数可以对孔隙度、渗透率进行修正,还能体现成藏期物性对含油气性的影响。对J函数等式两边取对数,即可得到含油饱和度与孔隙度、渗透率、毛细管压力的函数关系式为

$$S_o = a + b \lg p_{ca} + c \lg K + d \lg \phi \quad (3)$$

式中: S_o 为含油饱和度,%; a, b, c 和 d 为待定系数; p_{ca} 为毛细管压力,MPa。

利用各油藏不同期次地层条件下的含油饱和度、毛细管压力、物性参数,采用 Matlab 进行拟合求取待定系数 a, b, c 和 d ,即可建立油藏成藏期“相”与“势”的定量关系。

3.2 含油饱和度的计算

采用拟合的含油饱和度关系式,即可得出胜坨油田各个成藏期的含油饱和度(表1),再结合胜坨油田的构造、沉积以及物性即可分析胜坨油田的量化成藏规律。

表1 胜坨油田砂砾岩扇体各成藏期含油饱和度

区块	扇体类型	井名	相带	层位	含油饱和度,%		
					第1期	第2期	第3期
坨719	深水浊积扇	坨710	内扇	Es ₄	12.86	30.43	64.21
		坨719	内扇	Es ₄	12.43	31.44	65.27
坨71	近岸水下扇	坨711	扇中	Es ₃ ^F	9.25	29.89	68.74
		坨712	扇中	Es ₃ ^F	9.51	29.26	68.04
坨160	近岸水下扇	坨160	扇中	Es ₃ ^F	7.57	27.48	56.20
坨174	近岸水下扇	坨174	扇中	Es ₄	7.08	26.63	58.80
		丰深1	扇中	Es ₄	6.62	31.97	63.97
平均含油饱和度					9.78	29.28	63.54

胜坨油田是一个受阶梯式断阶所控制的油气藏。多数扇体的成藏与断层密切相关,尤其在扇体的中、上部,油气受古压力的作用,从扇体的底部沿断层、砂层和层序界面向扇体中、上部运移,使油气在扇体中、上部间断聚集成藏,而且扇体中部油气充满度最高(表1)。从表1可知,3期的油气充满度都有所增加,但第3期含油饱和度平均高达63.54%。比第2期增加了30%以上,可见油气充注主要发生在第3期。由于沉积和构造等地质作用的影响,第3期储层孔隙度比第2期明显降低,但储层内的古压力增加了10MPa以上,含油饱和度显著增加,反映出第3期成藏时流体能量十分充足。由于每一期的含油饱和度增量都在7%以上,因此,用含油饱和度为7%来测算对应的孔隙度,以此判断储层下限,分析得出扇根封堵的孔隙度为6.36%~11.67%,同时深部储层的孔隙度下限为6.36%,说明扇根的封堵主要是由物性引起的。

①纪友亮,王伟,李尊芝.地质历史时期储层物性参数变化研究.北京:中国石油大学(北京),2007:143-146.

②关德范,张善文,徐旭辉,等.东营凹陷成烃成藏定量研究.北京:中国石化石油勘探开发研究院,2007:63-65.

③陈红汉,李纯泉,蔡李梅,等.“相—势”控藏中古流体势场的量化研究.武汉:中国地质大学(武汉),2008:55-60.

④陶庆学,黄吉爽,孙广博.“J函数”计算含油气饱和度方法的简化.复式油气田,1995,6(3):39-44.

4 结论

东营凹陷胜坨油田油气充注主要发生在第3期,且主要聚集在扇中部位。在储层物性不断变差的情况下,其含油饱和度却显著增加,体现了流体能量是控制成藏的关键因素。同时通过含油饱和度测算对应的孔隙度,分析得出砂砾岩扇体的扇根封堵主要是由物性引起的。从定量的角度研究了成藏期的油气充注过程和砂砾岩扇体的扇根封堵,从定量的角度建立了“相”与“势”之间的耦合关系,促进了“相—势”耦合控藏理论的发展。

参考文献:

- [1] 庞雄奇,李丕龙,张善文,等.陆相断陷盆地相—势耦合控藏作用及其基本模式[J].石油与天然气地质,2007,28(5):641-652.
- [2] 王志刚.东营凹陷北部陡坡构造岩相带油气成藏模式[J].石油勘探与开发,2003,30(4):10-12.
- [3] 李春英.渤海湾盆地东营凹陷胜坨油田储层精细研究及应用

[J].天然气地球科学,2008,19(4):561-565.

- [4] 隋风贵.断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体成藏动力学特征——以东营凹陷为例[J].石油与天然气地质,2003,24(4):335-340.
- [5] 张林晔,刘庆,张春荣,等.陆相断陷盆地成烃与成藏组合关系研究——以胜坨油田为例[J].沉积学报,2004,22(增刊):8-9.
- [6] 李兆奇,陈红汉,刘惠民.流体包裹体多参数综合划分东营凹陷沙三段油气充注期次及充注时期确定[J].地质科技情报,2008,27(4):69-74.
- [7] 王允诚.油层物理学[M].北京:石油工业出版社,1993:6.
- [8] 李丕龙,张善文,宋国奇,等.断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J].石油实验地质,2004,26(1):3-10.
- [9] 伍松柏.东营凹陷北带不同类型砂砾岩扇体“相—势”控藏作用[J].油气地质与采收率,2008,15(3):39-42.
- [10] 王永诗.油气成藏“相—势”耦合作用探讨——以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J].石油实验地质,2007,29(5):472-476.
- [11] 李明刚,庞雄奇,漆家福,等.东营凹陷砂岩岩性油气藏分布特征及成藏模式[J].油气地质与采收率,2008,15(2):13-15.
- [12] 卓勤功,向立宏,银燕,等.断陷盆地洼陷带岩性油气藏成藏动力学模式——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2007,14(1):7-10.

编辑 经雅丽

(上接第8页)

海拉尔盆地贝尔凹陷的应用结果表明,利用封闭压力下限定量评价裂缝垂向封闭性是可行的,评价结果与实际油藏分布相符合。与以往评价方法相比,裂缝垂向封闭的压力下限不再是一个固定值,而是随埋深变化的,符合地下泥岩变形的实际地质条件。然而这种方法毕竟属于初步尝试,可能存在着许多不足之处,还有待于今后不断完善和提高。

参考文献:

- [1] 付广,吕延防,付晓飞.断裂缝垂向封闭性评价方法及其应用[J].天然气工业,2004,24(10):20-23.
- [2] 付广,刘洪霞,段海风.断层不同输导通道封闭机理及其研究方法[J].石油实验地质,2005,27(4):404-408.
- [3] 付广,王有功.断裂活动时期的垂向开启程度识别方法及其应用[J].油气地质与采收率,2007,14(4):12-14.
- [4] 付广,王有功,黄劲松.倾斜裂缝垂向封闭性演化特征研究[J].地质科学,2008,43(1):23-33.
- [5] 徐兵.塔里木盆地塔中地区断裂分形特征[J].油气地质与采收率,2007,14(4):35-37.

- [6] 付广,刘江涛.乌尔逊拗陷北部苏仁诺尔断裂带在大一段垂向封闭性演化及其研究意义[J].油气地质与采收率,2006,13(4):4-7.
- [7] 付广,王国民,王有功.贝尔凹陷布达特群垂直裂缝垂向封闭性演化特征[J].吉林大学学报:地球科学版,2007,37(5):913-918.
- [8] 付广,玄昌姬.潜山油藏分布规律及其主控因素——以海拉尔盆地贝尔凹陷布达特群为例[J].油气地质与采收率,2008,15(6):6-9.
- [9] 吕延防,付广.断层封闭性研究[M].北京:石油工业出版社,2002:66-131.
- [10] 付广,苏玉平.泥岩盖层抑制浓度封闭形成与演化及其研究意义[J].沉积学报,2006,24(1):141-147.
- [11] 付广,张发强.利用声波时差资料研究欠压实泥岩盖层古压力封闭能力的方法[J].石油地球物理勘探,1998,33(6):812-820.
- [12] 付广,黄劲松,康德江,等.源断裂在油气成藏与分布中的作用研究——以贝尔凹陷布达特群潜山为例[J].石油物探,2006,45(5):459-463.

编辑 常迎梅