

文章编号: 0253-9985(2011)02-0236-09

苏里格气田储层宏观非均质性 ——以苏 53 区块石盒子组 8 段和山西组 1 段为例

叶成林¹, 王国勇¹, 何 凯¹, 徐中波²

[1. 中国石油 长城钻探苏里格气田项目部 辽宁 盘锦 124010; 2. 中海石油(中国)有限公司 天津分公司 天津 300452]

摘要: 苏里格气田位于鄂尔多斯市苏里格庙地区, 属于典型的岩性圈闭气藏, 具有“低孔、低渗、低丰度”的地质特征。以苏 53 区块为研究目标, 从宏观上明确其总体低渗背景下的相对高渗储集砂体的分布规律, 优选出天然气相对富集区。结合区域基本地质特征, 在地层系统划分的前提下, 充分利用测井和试气等实际地质资料, 对储层非均质性参数进行分析。同时借助三维地质建模的研究结果, 结合微观分析数据, 分别对苏里格气田苏 53 区块石盒子组 8 段和山西组 1 段储层层内非均质性、平面非均质性和层间非均质性进行研究。结果显示, 研究区石盒子组 8 段和山西组 1 段层内和层间非均质性都十分严重, 但纵向上的层间和层内非均质性要强于平面非均质性; 石盒子组 8 上段砂体最发育, 在沿河道方向砂体连续性较好, 而在垂直河道方向上河道砂体更叠频繁, 连续性较差, 致使层间非均质性最严重。

关键词: 夹层; 砂体; 宏观非均质性; 储层; 苏 53 区块; 苏里格气田

中图分类号: TE121.1 文献标识码: A

Macro heterogeneity of reservoirs in Sulige gasfield

—a case study of the 8th member of the Shihezi Formation and the
1st member of the Shanxi Formation in the Su53 Block

Ye Chenglin¹, Wang Guoyong¹, He Kai¹ and Xu Zhongbo²

(1. Project Department of Sulige Gas Field, GWDC, Panjin, Liaoning 124010, China;

2. CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract: Sulige gas field, located at Sulige temple district in Ordos City, is a typical lithologic gas reservoir characterized by low porosity, low permeability and low abundance. In this paper, the distribution of sandbodies with relatively high permeability in the low permeability background is predicted and the relative gas enrichment zones are recognized in Su53 block. The reservoir heterogeneity is analyzed by using the logging and test data and combining with regional geological features. Meanwhile, 3D geological modeling results and microscopic analysis data are integrated to predict the in-layer, horizontal and interlayer heterogeneities in the eighth member of Shihezi Formation and the first member of Shanxi Formation in Su53 Block, Sulige gas field. The results suggest that both their in-layer and interlayer heterogeneities are strong, and are stronger vertically than horizontally. Sand-bodies are highly developed in the upper part of the eighth member of Shihezi Formation. Their continuity is good along the channel but poor perpendicular to the channel, resulting in the strongest interlayer heterogeneity.

Key words: interbed, sandbody, macro heterogeneity, reservoir, Su 53 Block, Sulige gasfield

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地苏里格气田位于长庆靖边气田

西北侧的苏里格庙地区, 是我国最大的气田之一。苏 53 区块位于苏里格气田的西北部, 行政区属内蒙古自治区鄂尔多斯市的鄂托克后旗所辖, 地面海拔为 1 350 ~ 1 510 m (图 1)。地质构造属于鄂

鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部中带^[1-2]。

苏里格气田含气层为上古生界二叠系下石盒子组 8 段及山西组 1 段,储层岩性主要为岩屑石

英砂岩、岩屑砂岩以及少量的石英砂岩。气藏主要受控于近南北向分布的大型河流、三角洲砂体带,是典型的岩性圈闭气藏。气层由多个单砂体横向复合叠置而成,基本属于低孔、低渗、低产、低丰度的大型气藏^[3]。

根据研究区测井曲线和岩性特征,采用沉积旋回分级的方法划分地层。苏里格气田上古生界地层自下而上划分为石炭系本溪组、二叠系太原组、山西组、石盒子组和石千峰组^[4]。同时借用高分辨率层序地层学的分层方法,将石盒子组自上而下分成 8 段,山西组分为 2 段。其中盒 8 段和山 1 段是主要的含气层系(表 1)。

2 储层宏观非均质性

根据裘亦楠的储层非均质性分类标准,储层宏观非均质性包括平面非均质性、层内非均质性和层间非均质性^[5]。

2.1 储层平面非均质性

平面非均质性是指一个储层砂体的几何形态、规模、连续性,以及砂体内孔隙度、渗透率的空间变化所引起的非均质性^[6]。

2.1.1 砂体几何形态

根据研究区目的层沉积微相砂体分布情况,对单砂体长宽比进行分类,基本可分为:席状砂体、土豆状砂体和条带砂体状^[7]。

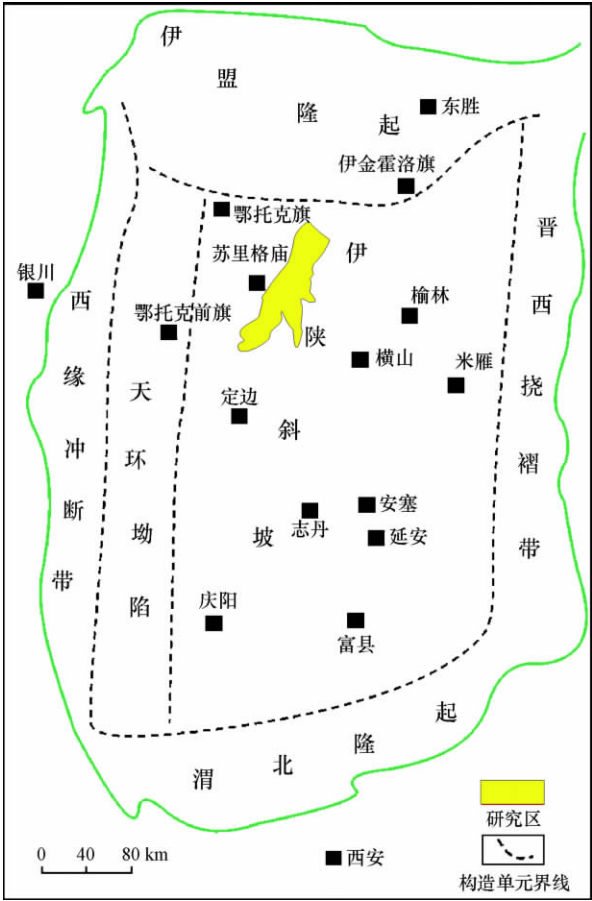


图 1 苏里格气田第 53 区块构造位置

Fig. 1 Location map of the Su53 Block in Sulige gasfield

表 1 苏里格气田地层划分

Table 1 Stratigraphic division in Sulige gasfield

系	统	组	地层代号	厚度/m	岩性特征
二叠系	上统	石千峰组	P ₃ s	240 ~ 280	下部紫红色砂岩与泥岩互层,上部为棕红色含钙质结核
	中统	上石盒子组	P ₂ sh	140 ~ 160	红色泥岩及砂质泥岩互层,夹薄层砂岩及粉砂岩
		下石盒子组	盒 ₅ P ₂ x ⁵	20 ~ 35	上部为桃花色泥岩,下部为浅肉红色、浅灰色含泥细砂岩
			盒 ₆ P ₂ x ⁶	20 ~ 35	褐色、灰绿色泥岩、砂质泥岩,浅灰色泥质砂岩、细砂岩
			盒 ₇ P ₂ x ⁷	20 ~ 35	浅肉红色、褐灰色、浅灰色泥质砂岩、粉砂岩及中砂岩
			盒 ₈ P ₂ x ⁸	60 ~ 75	浅灰色、灰白色含砾粗砂岩、中粗粒砂岩及灰绿色岩屑石英砂岩,主要含气层
	下统	山西组	山 ₁ P ₁ s ¹	40 ~ 55	灰色-灰黑色岩屑砂岩、岩屑石英砂岩及含泥砂岩,含气层
			山 ₂ P ₁ s ²	40 ~ 55	灰色、灰白色含砾中粗粒岩屑砂岩、石英砂岩夹薄粉砂岩、黑色泥岩及煤层,含气层
		太原组	太 ₁ P ₁ t ¹	10 ~ 20	东大窑灰岩,6#煤层,斜道灰岩
			太 ₂ P ₁ t ²	10 ~ 25	7#煤层,毛儿沟灰岩、庙沟灰岩,含气层系

2.1.2 砂体连通性

砂体的连通性是指各种成因单元砂体在垂向上和平面上相互接触程度^[8]。本次研究将主要通过砂体钻遇率和连井剖面分析对砂体连通性进行论述。

1) 砂体钻遇率

砂体钻遇率指钻遇砂体的长度与总进尺的百分比,是评价砂体连通性的一个重要方面。通过对苏 53 区块完钻井砂体钻遇率统计资料分析,纵向上各小层发育情况可划分为 3 类:① 4 5 6 7 小层砂体最发育,钻遇率最高可达 91%,其中大于 5 m 的砂体钻遇率为 40%左右;② 1 2 3 9 小层砂体较好,钻遇率在 70%~78%,大于 5 m 的砂体钻遇率为 35%左右;③ 8 小层砂体发育较差,钻遇率最低(图 2)。

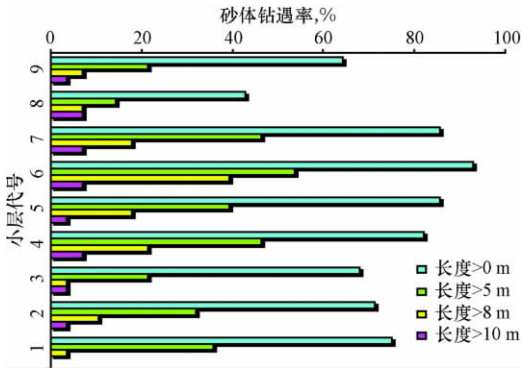


图 2 苏 53 区块各砂组钻遇率示意图

Fig.2 Drilling ratio of each sand unit in the Su53 Block

2) 连井剖面分析

运用钻井资料进行井间砂体对比,是评价砂体井间连通性的一种有效方法^[9]。研究中,选取控制程度最高的苏 53—26~苏 53—5~苏 53—25~苏 53~苏 53—11 井作了东西向砂体对比剖面,通过该剖面分析可知,垂直河道方向,纵向上砂体发育不均匀,盒 8 段各小层砂体发育,侧向上相互叠置,形成“砂包泥”的结构特征。其它小层砂体发育较差,呈透镜体状孤立分布,侧向连通性差,表现为“泥包砂”的结构特征(图 3)。

通过砂体对比剖面观察,可见在沿河道展布方向上,砂体连通性较好,延伸规模大,且南部砂体发育厚度、规模都明显好于北部。

2.1.3 砂体厚度分布

从砂体分布、连井分析和沉积砂体地质建模统计资料分析,纵向上 4 5 6 7 小层砂体发育最好,累计厚度均在 115~152 m 之间,砂地比达到 40%左右,单层厚度小于 1 m 的砂体分布率小于 23%;1 2 3 9 小层砂体累计厚度在 74~88 m 之间,砂地比为 22%~25%,厚度小于 1 m 的砂体分布占到 28%~37%;8 小层砂体发育最差,累计厚度在 54 m,砂地比低于 20%(图 4)。

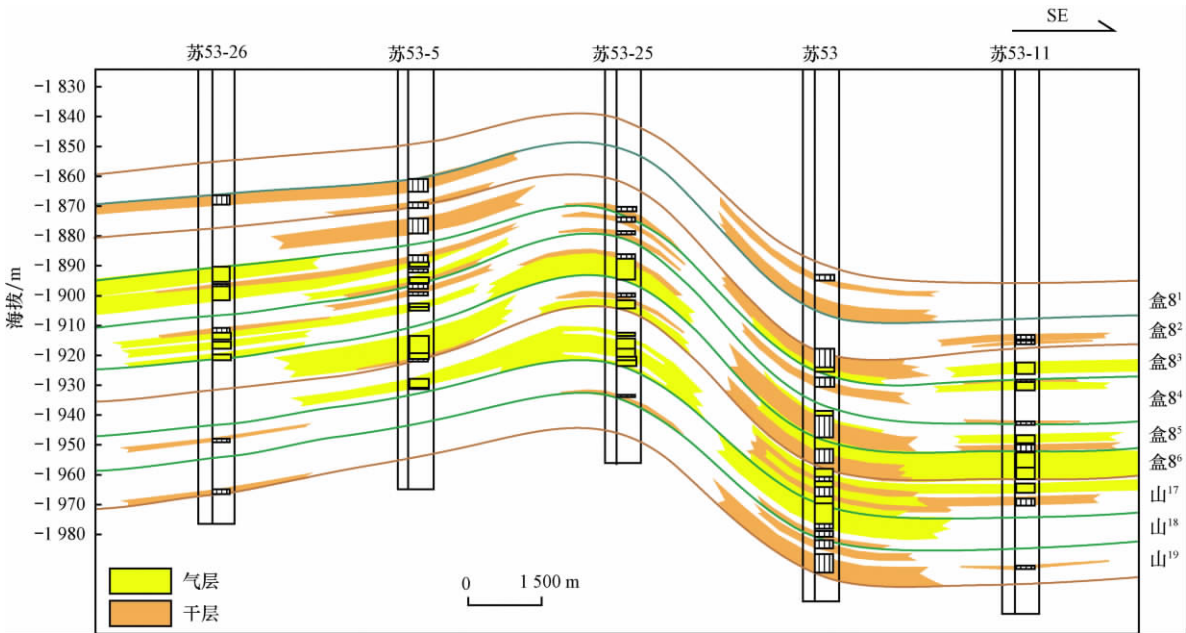


图 3 苏 53 区块苏 53—26 井—苏 53—11 井气藏剖面

Fig.3 Profile of gas reservoirs across Su 53—26 and Su 53—11 wells in the Su 53 Block

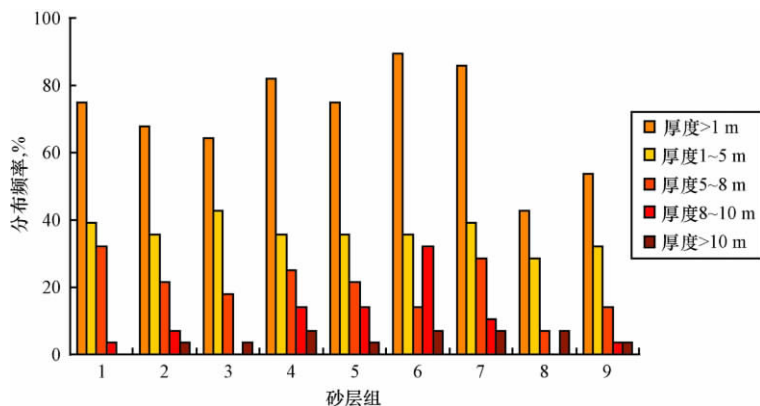


图4 苏53区块各砂层组砂体厚度分布频率

Fig. 4 Distribution frequency of sandstone thickness in the Su 53 Block

2.1.4 砂体平面展布特征

砂体总体呈南北方向展布,不同时期的砂体相互叠置,砂体较厚,平面上的分布具有北厚南薄、西厚东薄的特点。

1) 山1段

山1段沉积期间,分流河道少且宽度窄,单层砂体砂体发育面积最小,仅占到全区的60%左右,7小层砂体发育规模较好。砂体连片分布,分流河道砂体厚度大部分在5~15 m之间,少数井砂厚大于20 m,主要分布在中北部苏53-2井、南部苏53、苏71、苏53-12井附近。

2) 盒8段

盒8段水下分流河道砂体仍呈近南北方向展布,与山1段相比,河道网状化更为明显,多期分流河道砂岩相互叠置切割,形成连片的复合砂体。该时期单层砂体发育面积占到全区的80%。本区砂厚一般分布在10~30 m之间,其中,苏53-2井、苏53-10井、苏53井和苏72井附近的砂厚最为发育,砂体厚度超过了30 m(图5)。

2.1.5 平面渗透率非均质性评价

渗透率参数是评价储层渗透率的重要指标^[10]。通过对全区25口井测井解释和试气资料统计,根据储层非均质性划分标准(表2),认为区块各层非均质性较严重,各层分布不均,给开发带来不利影响(表3)。

2.1.6 孔隙度、渗透率平面分布特征

通过物性参数三维模型平面分布图可看出,

孔隙度及渗透率均表现出较强的非均质性,水下分流河道及砂坝沉积具有较好的孔隙度与渗透率,形成连片的相对高渗带(图6)。

2.2 储层层内非均质性

主要用来表征单砂体内部在垂向上储层性质的变化,是控制和影响一个单砂体层内垂向上注入剂波及厚度的关键地质因素^[11]。

2.2.1 渗透率韵律类型

渗透率韵律分为正韵律、反韵律和复合韵律。根据岩心分析的岩性、粒度、物性数据,结合电测曲线以单砂体内渗透率最高段所在位置及其在垂向上的变化规律来确定渗透率类型。通过对研究区取心井的分析统计,确定该区目的层以复合韵律和正韵律为主,分别占到总统计层数的51%和35%。

1) 渗透率正韵律型

该类渗透率韵律受反旋回沉积的影响,渗透率下好上差,从取心井测井解释分析结果反映出渗透率正韵律特征。

2) 渗透率复合韵律型

该类渗透率韵律由于沉积序列的多变性,对砂-泥互层型沉积旋回在一个单砂体内多次出现渗透率高低变化^[12]。

2.2.2 层内夹层分布特征

层内夹层指位于单砂层内部厚度小于2 m的非渗透层或低渗透层^[13]。依据其成因类型结合岩电特征,研究区夹层主要发育泥质夹层和物性夹层两种类型。根据井间的对比分析,按厚度、大小、延伸范围将研究区夹层划分为以下类型。

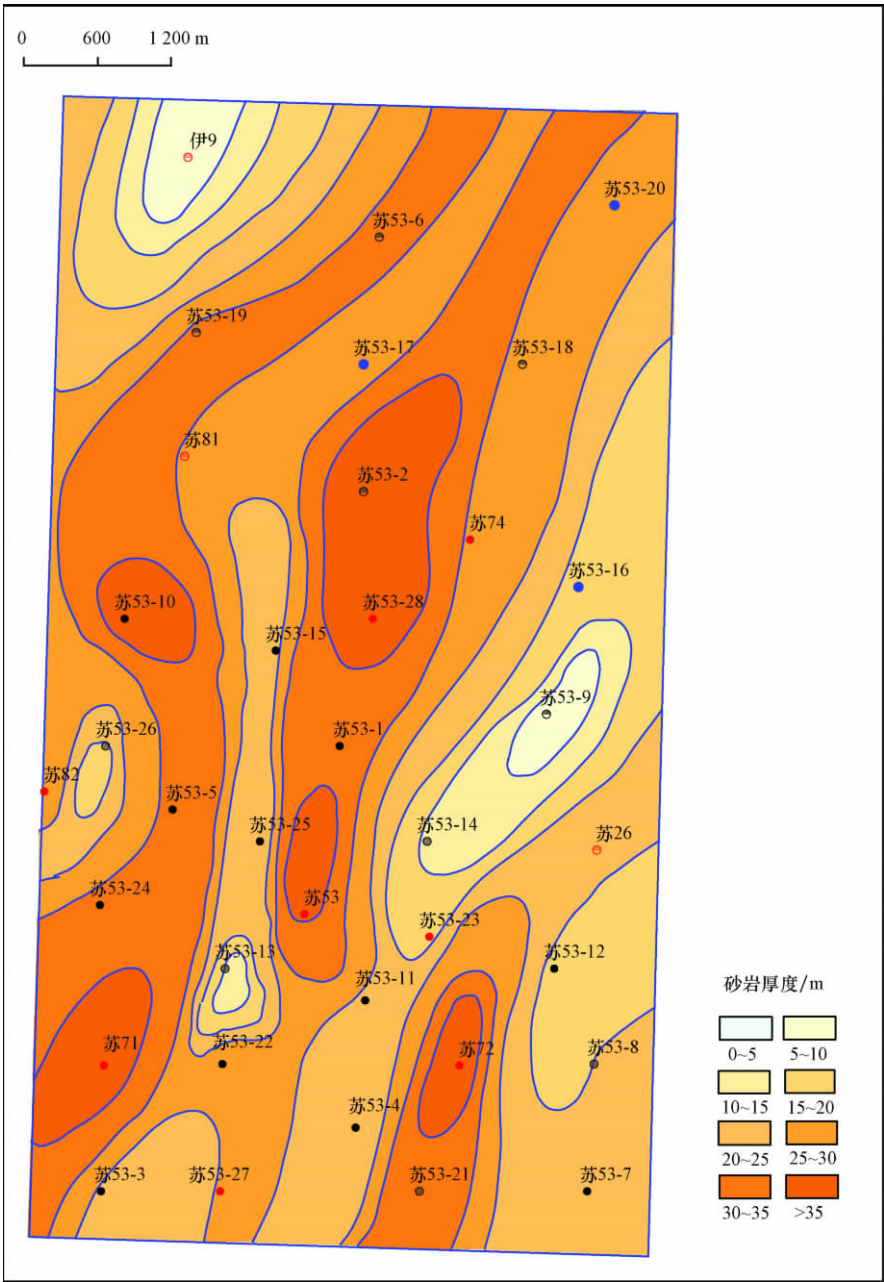


图 5 苏 53 区块盒 8 段砂岩厚度平面分布

Fig. 5 Areal distribution of sandstone thickness of the He 8 member in the Su 53 Block

表 2 苏 53 区块储层非均质性划分标准

Table 2 Standards for the division of reservoir heterogeneity in the Su 53 Block

非均质类型	变异系数	突进系数	级差
相对均质型	<0.5	<2	<2
非均质型	0.5~0.7	2~3	2~6
严重非均质型	>0.7	>3	>6

表 3 苏 53 区块测井解释评价砂体平面非均质性

Table 3 Logging interpretation for the evaluation of horizontal heterogeneity of sandbodies in the Su53 Block					
层位	小层	平均渗透率/($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	变异系数	突进系数	级差
盒 8 段	盒 8 ¹	0.274	1.69	5.41	1 483.50
	盒 8 ²	1.037	0.88	2.49	859.67
	盒 8 ³	1.680	1.01	1.79	3 001.00
	盒 8 ⁴	2.268	0.95	1.26	2 847.00
	盒 8 ⁵	2.892	1.06	0.73	85.00
	盒 8 ⁶	3.547	1.20	0.78	2 777.00
	平均	1.950	1.13	2.08	1 842.19
山 1 段	山 1 ⁷	4.562	1.27	0.79	3 584.67
	山 1 ⁸	8.656	1.34	0.17	1 463.00
	山 1 ⁹	5.980	1.83	0.27	1 630.00
	平均	6.399	1.48	0.41	2 225.89

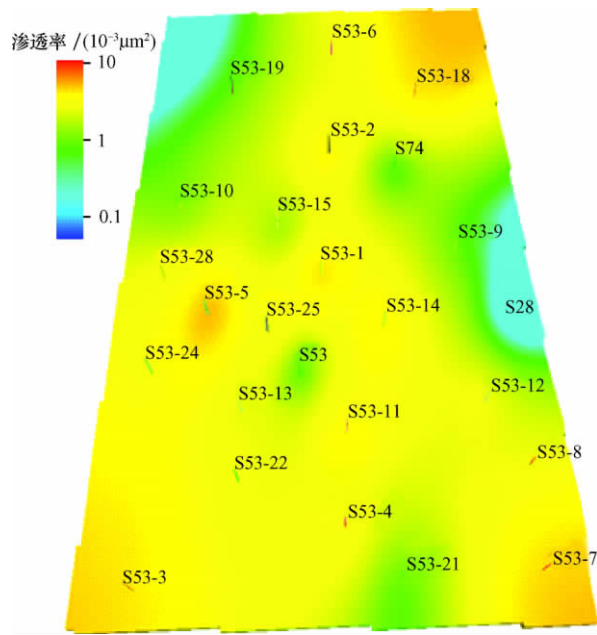


图 6 苏 53 区块盒 8 段与山 1 段渗透率三维分布模型

Fig. 6 3D permeability distribution models for the 8th member of the Shihezi Formation and the 1st member of the Shanxi Formation in the Su 53 Block

1) 1 ~ 2 m 厚夹层
本区这类夹层分布较多 ,主要表现井间范围内分隔单砂体或把单砂体在某一端分成两部分。可在较大规模上影响单砂体内渗流方向 ,尤其对垂向渗滤作用有较强的抑制作用。

2) 0.1 ~ 1 m 夹层
此类夹层在单砂体内普遍存在 ,主要岩性为泥岩。

通常采用夹层分布频率和夹层分布密度两个参数定量描述泥质夹层的分布^[14]。苏 53 区块盒 8 段夹层具有层数多、差异大、分布不均一的特点;山 1 段夹层层数较少 ,但分布密度较高。研究区

砂泥互层 ,层内夹层较发育 ,对流体流动起到隔层作用 ,增加了采气的难度(表 4)。

2. 2. 3 层内非均质性评价

表征渗透率非均质程度的定量参数有渗透率变异系数、渗透率突进系数、渗透率级差、渗透率均质系数^[15]。按照评价分类标准 ,由测井资料统计表可以看出(表 5) ,盒 8 段和山 1 段层内非均质性都比较严重 ,总体来看 ,盒 8 下部层位内非均质性最强 ,盒 8 上部层位次之 ,山 1 段相对于盒 8 较弱。区块各层层内非均质性普遍较严重 ,而且分布不均 ,对开发带来不利影响。

表 4 苏 53 区块夹层分布统计

Table 4 Statistics of interbeds in the Su 53 Block

层位	夹层数/层	夹层累厚/m		分布频率/%		分布密度/%	
		区间值	平均值	区间值	平均值	区间值	平均值
盒 8 ¹	1~2	0.5~11.6	2.9	0.060~0.440	0.203	14.81~72.05	31.24
盒 8 ²	1~3	0.6~7.4	2.8	0.077~0.465	0.230	20.69~56.92	33.72
盒 8 ³	1~2	0.4~7.3	3.1	0.068~0.303	0.180	8.70~71.23	31.92
盒 8 ⁴	1~3	0.5~10.8	3.3	0.066~0.429	0.162	8.54~72.00	33.10
盒 8 ⁵	1~4	0.6~6.0	2.4	0.100~0.400	0.220	5.56~66.67	27.00
盒 8 ⁶	1~3	0.3~8.3	2.6	0.066~0.400	0.191	3.49~70.94	27.26
山 1 ⁷	1~3	0.8~9.3	3.4	0.082~0.350	0.170	7.84~86.92	34.29
山 1 ⁸	1	0.7~4.2	2.4	0.144~0.185	0.165	10.14~77.82	43.98
山 1 ⁹	1	1.0~3.6	1.8	0.137~0.250	0.170	13.70~55.38	30.30

表 5 苏 53 区块测井资料评价砂体层内非均质性

Table 5 Logging interpretation for the evaluation of in-layer heterogeneity of sandbodies in the Su 53 Block

层位	小层	变异系数	突进系数	渗透率级差	平均渗透率/(10 ⁻³ μm ²)
盒 8 段	盒 8 ¹	1.03	2.27	827.77	0.541
	盒 8 ²	0.94	2.17	444.11	0.717
	盒 8 ³	0.86	2.02	141.73	0.584
	盒 8 ⁴	0.90	2.18	1 141.91	1.212
	盒 8 ⁵	1.10	2.59	854.99	0.929
	盒 8 ⁶	0.94	2.31	684.60	0.800
	平均	0.96	2.26	682.52	0.797
山 1 段	山 1 ⁷	0.85	2.10	233.45	1.261
	山 1 ⁸	1.12	2.44	260.58	0.604
	山 1 ⁹	0.82	1.97	73.76	0.346
	平均	0.93	2.17	189.26	0.737

2.3 储层层间非均质性

层间非均质性是指某一单元内各砂层之间垂向岩性、物性等差异的总体研究,属于层系规模的储层描述。苏 53 区块盒 8 段、山 1 段沉积、构造相近,两套含气层系之间无明显隔层,属于同一温度、压力系统^[16]。

2.3.1 层间非均质性基本参数

1) 分层系数和砂岩系数

分层系数越大,层间非均质性愈严重。砂岩系数即砂地比,指剖面砂岩总厚度占地层总厚度的百分数^[17]。数值越大,砂体越发育,连续性越好。由统计表可以看出,盒 8 段分层系

数较大,平均砂岩厚度和砂岩系数也较山 1 段大,表明盒 8 的砂体较发育,层间非均质性也较强(表 6)。

2) 有效厚度系数

指含气层厚度与砂岩总厚度之比,能较好地反映气层的分布规律和气层非均质性的强弱^[18]。通过对测井和试气解释资料综合分析,确定了苏 53 区块气层有效厚度评价划分标准(表 7)。在此标准下,筛选了苏 53 区块气层有效厚度,分别统计了气层有效厚度、砂岩厚度和有效厚度系数范围,分析表明,苏 53 区块气层有效厚度系数分布不均,差异较大,总的来看,盒 8 的有效厚度系数为 49.75%,比山 1 低,也进一步表明了盒 8 层间非均质性较山 1 严重。

表 6 苏 53 区块分层系数和砂岩系数统计分析

Table 6 Statistics of stratification coefficient and sand coefficient in teh Su 53 Block

层位	砂层组	分层系数/个	单井砂体平均厚度/m	累计地层厚度/m	砂岩系数/%	钻遇率/%
盒 8 段	1	1 ~ 3	4. 21	348. 3	25. 4	75. 0
	2	1 ~ 5	4. 37	339. 9	25. 7	71. 4
	3	1 ~ 3	3. 89	325. 4	22. 7	67. 9
	4	1 ~ 4	5. 60	320. 7	40. 2	82. 1
	5	1 ~ 7	4. 79	327. 2	35. 1	85. 7
	6	1 ~ 6	5. 87	338. 7	45. 1	92. 9
山 1 段	7	1 ~ 6	5. 13	329. 9	37. 3	85. 7
	8	1 ~ 3	4. 53	293. 4	18. 5	42. 9
	9	1 ~ 3	4. 28	306. 8	25. 1	64. 3

表 7 苏 53 区块气层有效厚度划分标准

Table 7 Standards for the division of effective thickness of gas layers in the Su 53 Block

层位	岩石物性		测井参数					
	渗透率/ ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	孔隙度, %	声波时差/ ($\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)	深侧向电阻率/ ($\Omega\cdot\text{m}$)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	泥质含量, %	孔隙度, %	含水饱和度, %
盒 8 段	$\geq 0. 1$	$\geq 5. 0$	≥ 220	$\geq 15. 0$	$\leq 2. 50$	$\leq 20. 0$	$\geq 5. 0$	$\leq 55. 0$
山 1 段	$\geq 0. 1$	$\geq 5. 0$	≥ 220	$\geq 15. 0$	$\leq 2. 52$	$\leq 18. 0$	$\geq 5. 0$	$\leq 55. 0$

表 8 苏 53 区块测井解释评价砂体层间非均质性

Table 8 Logging interpretation for the evaluation of inter-layer heterogeneity of sandbodies in the Su 53 Block

层位	变异系数	突进系数	级差	平均渗透率/ ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)
盒 8 上段	0. 94	2. 08	670. 9	0. 629
盒 8 下段	1. 12	2. 54	969. 6	0. 881
山 1 段	0. 92	2. 02	266. 8	0. 737

2. 3. 2 层间渗透率非均质评价

通过统计表可以看出,储层内单砂层之间物性差异明显,渗透率级差和层间变异系数都很高,表明储层层间非均质性较强(表 8)。根据苏 53 区块岩心分析化验资料,山 1 段孔隙度、渗透率平均值分别为 8. 60% 和 $0. 53\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。盒 8 段孔隙度和渗透率平均值分别为 8. 82% 和 $0. 87\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。总体上看,盒 8 段的物性较好,但层间非均质性较强。

3 结论

1) 从平面上看,盒 8 上段砂体最发育,在沿河道方向砂体连续性较好,而在垂直河道方向上河

道砂更叠频繁,连续性较差,导致平面非均质性增强。砂体平面上的分布具有北厚南薄、西厚东薄的特点。总体研究表明,盒 8 和山 1 平面非均质性都较强。

2) 层内非均质性研究认为,研究区目的层渗透率以正韵律和复合韵律为主。夹层分布广泛,主要为泥质夹层和物性夹层。参数分析表明,盒 8 段和山 1 段层内非均质性普遍严重,其中盒 8 下段非均质性最强。

3) 通过层间非均质性参数的统计和分析,认为盒 8 段、山 1 段层间非均质性都较强,其中盒 8 下段砂体最发育,但层间非均质性也最严重。

参 考 文 献

[1] 马新华. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地特点与成藏机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 230-236.
Ma Xinhua. Discussion on characteristics and reservoiring mechanism of deep basin gas in Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4): 230-236.

[2] 王志雄, 徐国盛. 鄂尔多斯盆地苏里格庙气田上古气藏成藏机理研究[J]. 断块油气田, 2003, 10(03): 9-11.
Wang Zhixiong, Xu Guosheng. Study on forming law of upper paleozoic gas reservoir in Suligemiao gas field, Ordos Basin [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2003, 10(03): 9-11.

[3] 董桂玉. 苏里格气田上古生界气藏主力含气层段有效储集

- 砂体展布规律研究[D]. 四川 成都: 成都理工大学, 2009.
- Dong Guiyu. Distribution regulation of effective reservoir sand-body in major gas-bearing interval of Upper Paleozoic in Sulige gas field [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009.
- [4] 李克明. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代的深盆气气藏[J]. 石油与天然气地质 2002 23(2): 190-193.
- Li Keming. Deep basin gas reservoirs of late Paleozoic in northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology 2002 23(2): 190-193.
- [5] 宋子齐, 杨立雷, 程英, 等. 非均质砾岩储层综合评价方法——以克拉玛依油田七中、东区砾岩储层为例[J]. 石油实验地质 2007 29(04): 419-425.
- Song Ziqi, Yang Lilei, Cheng Ying, et al. Comprehensive evaluation of heterogeneity conglomerate reservoirs-taking conglomerate reservoirs in Qizhong and Qidong area of Karamay oil field as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007 29(04): 419-425.
- [6] 于兴河. 油气储层地质学基础[M]. 北京: 石油工业出版社 2009: 312-450.
- Yu Xinhe. Basis of hydrocarbon reservoir geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press 2009: 312-450.
- [7] 于翠玲, 林承焰. 储层非均质性研究进展[J]. 油气地质与采收率, 2007 14(4): 16-22.
- Yu Cuiling, Lin Chengyan. Advancement of reservoir heterogeneity research [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007 14(4): 16-22.
- [8] Hao Fang, Li Sitian, Gong Zaisheng, et al. Mechanism of diapirism and episodic fluid injections in the Yinggehai Basin [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2002 45(2): 26-32.
- [9] Matthew D. Jackson, Ann H. Muggeridge, Shuji Yoshida, et al. Upscaling permeability measurements within complex heterolithic tidal sandstones [J]. Mathematical Geology, 2003 35(5): 65-69.
- [10] 王文环. 提高薄互层低渗透砂岩油藏采收率的有效开发技术[J]. 石油与天然气地质 2006 27(5): 660-667 674.
- Wang Wenhuan. Technology of effectively enhancing recovery efficiency in thin-interbedding reservoirs of low-permeability sandstone [J]. Oil & Gas Geology, 2006 27(5): 660-667, 674.
- [11] 李潮流, 周灿灿. 碎屑岩储集层内非均质性测井定量评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2008 35(05): 595-599.
- Li Chaoliu, Zhou Cancan. Quantitative evaluation on the heterogeneity of clastic rock by wireline logs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008 35(05): 595-599.
- [12] 单敬福, 纪友亮. 大庆油田葡萄花油层组储层非均质性主控因素分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2006 26(04): 95-100.
- Chan Jingfu, Ji Youliang. Controlling factors for the heterogeneity of the Putaohua oil reservoirs in the Daqing oil field [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006 26(04): 95-100.
- [13] 刘吉余, 尹万泉, 吕靖. 曙22块杜家台油层宏观非均质特征[J]. 大庆石油学院学报, 1998 22(03): 83-86.
- Liu Jiyu, Yin Wangquan, Lv Jing. Macro Heterogeneous Characteristics of Dujiatai Reservoir of Shu 22 Blocks [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute. 1998 22(03): 83-86.
- [14] 胡宗全. R/S 分析在储层垂向非均质性和裂缝评价中的应用[J]. 石油实验地质 2000 22(4): 110-113.
- Hu Zongquan. Application of R/S analysis in the evaluation of vertical reservoir heterogeneity and fracture development [J]. Experimental Petroleum Geology, 2000 22(4): 110-113.
- [15] 王昔彬, 刘传喜, 郑荣臣. 大牛地致密低渗透气藏启动压力梯度及应用[J]. 石油与天然气地质 2005 26(5): 698-702.
- Wang Xibin, Liu Chuanxi, Zheng Rongchen. Start-up pressure gradient of tight gas reservoirs in Daniudi gas field and its application method [J]. Oil & Gas Geology 2005 26(5): 698-702.
- [16] 陈红汉, 董伟良, 张树林, 等. 流体包裹体在古压力模拟研究中的应用[J]. 石油与天然气地质 2002 9(3): 207-211.
- Chen Honghan, Dong Weiliang, Zhang Shulin, et al. Application of fluid inclusion in palaeopressure modeling research [J]. Oil & Gas Geology, 2002 9(3): 207-211.
- [17] 林景晔, 王建堂, 谭保祥. 头台、葡西地区低孔低渗储层分类评价方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1994 13(02): 13-17.
- Lin Jingye, Wang Jiantang, Tan Baoxiang. Classifying evaluation to low porosity and permeability reservoirs in Toutai & Puxi areas [J]. Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing, 1994 13(02): 13-17.
- [18] 张莉, 柳广弟, 谢增亚, 等. 川西前陆盆地南部储层流体包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J]. 石油与天然气地质 2005 26(6): 800-807.
- Zhang Li, Liu Guangdi, Xie Zengye, et al. Characteristics of fluid inclusions in reservoirs and its application in study of natural gas reservoiring in southern West Sichuan foreland basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005 26(6): 800-807.

(编辑 董立)