

双河油田北块两个层系的储层孔隙结构特征

赵跃华

(河南石油勘探局勘探开发研究院, 南阳 473132)

双河油田北块三采试验区块Ⅱ₄₋₆、Ⅳ₁₋₄层系储层岩石成分成熟度及结构成熟度均低, 自生矿物及粘土矿物种类多, 物性及孔隙结构参数变化大, 储层微观非均质性及孔喉两极分化严重, 微孔隙发育; 储层孔隙结构在横向上变化大, 微观油水分布形态多样, 导致驱油效率低, 开发难度大。储层以Ⅱ、Ⅲ类为主, Ⅱ₄₋₆层系条件较差属中低储集类型, Ⅳ₁₋₄层系储层条件较好为中等储集类型。

关键词 孔隙结构 微观非均质性 储层评价 驱油效率 双河北块 Ⅱ₄₋₆、Ⅳ₁₋₄层系

作者简介 赵跃华 女 35岁 高级地质师 石油地质

双河油田北块Ⅱ₄₋₆、Ⅳ₁₋₄层系为三次采油试验区块。该储层为较典型的建设型扇三角洲沉积体系, 砂体横向变化大、岩石成分多样、韵律和粒度结构复杂, 属多物源方向, 多沉积时间叠加的砂体。储层孔隙结构复杂, 微观非均质性严重, 开发难度大。因此, 具有典型意义。

一、储层岩性及物性特征

(一) 储层岩性特征

1. 矿物组成 用电子颗粒计数器对双河油田北块Ⅱ₄₋₆、Ⅳ₁₋₄层系100余块铸体薄片进行了组分定量统计, 结果表明, 储层岩石矿物组分是: 石英47.34%、长石21.64%、岩屑15.15%、方解石(包括铁方解石)6.69%、云母4.82%、高岭石0.57%、菱铁矿0.58%、杂基2.76%、重矿物0.45%。其岩石的成分成熟度及结构成熟度均低。

2. 粘土矿物 由37块电镜样品148张照片(其中Ⅱ₄₋₆层系4块样品21张照片)及64块X-衍射样品(其中Ⅱ₄₋₆层系23块)分析, 粘土矿物主要为高岭石、伊利石、绿泥石、伊/蒙混层及蒙-蒙(伊/蒙)混层矿物(表1)。

从表1可以看出, 纵向上除绿泥石、伊利石外, 其余粘土矿物从上至下逐渐减小, 以分散、薄层、塔桥和堵塞4种产状出现, 尤其以分散状和堵塞状分布最广。

3. 胶结物 主要有硅质、以石英加大方式出现; 高岭石以孔隙式、悬浮式在粒间孔隙或喉道处分布; 方解石以粗—巨晶形式分布于储层的顶、底部。

4. 岩石类型 以岩屑砂岩为主, 次为长石岩屑石英砂岩, 此外有部分长石岩屑砂岩和长石石英砂岩。

表1 双河北块 I、IV 油组粘土矿物含量表

地 区	油 组	层 系	样品数	相 对 含 量 (%)					绝对含量 (%)
				蒙-蒙 (伊/蒙)	伊/蒙	伊利石	高岭石	绿泥石	
双 河 北 块	I	I ₄	3	7.37	14.9	27.70	46.73	13.30	8.3
		I ₅	20	1.11	13.83	25.22	44.18	15.63	7.5
		I ₄₋₅	23	4.24	14.37	26.46	45.46	14.47	7.9
	IV	IV ₁	23	1.08	12.23	41.76	33.74	11.39	5.5
		IV ₂	16		11.61	38.70	40.45	9.63	7.1
		IV ₄	1		10.00	27.00	40.00	23.00	2.5
		IV ₁₋₄	40	0.36	11.28	35.82	38.06	14.67	5.0

(二) 储层物性特征

1. 孔隙度 有效孔隙度平均 18.9%, 变化范围 5.36%—25.12%。
2. 渗透率 平均渗透率为 $0.457 \mu\text{m}^2$, 变化范围 0— $2.99 \mu\text{m}^2$ 。
3. 含油饱和度 采用密闭取芯岩样分析、高压气吹法、压汞法和电测解释四种方法求得两个层系的原始含油饱和度均为 70%。

二、储层的孔隙结构特征

(一) 孔隙和喉道划分标准

1. 孔隙 大孔型: $L \geq 80 \mu\text{m}$; 中孔型: $80 \mu\text{m} > L > 30 \mu\text{m}$; 小孔型: $L \leq 30 \mu\text{m}$ 。
 2. 喉道 粗喉道型: $D_M \leq 7\phi$, $R_D \geq 50 \mu\text{m}$, $\bar{R}_\pm \geq 20 \mu\text{m}$; 中喉道型: $7\phi < D_M < 8.5\phi$, $50 \mu\text{m} > R_D > 10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m} > \bar{R}_\pm > 7 \mu\text{m}$; 细喉道型: $D_M \geq 8.5\phi$, $R_D \leq 10 \mu\text{m}$, $\bar{R}_\pm \leq 7 \mu\text{m}$ 。
- L 平均孔隙直径, D_M 喉道均值, R_D 最大连通孔隙半径, $\bar{R}_\pm$ 主要流动孔隙半径平均值。

(二) 孔隙结构类型

根据双河油田孔隙结构分类标准, 储层孔隙和喉道划分为下列 9 种类型:

1. 大孔粗喉型 (I 类) 孔大喉粗, 物性及渗流性能好, 驱油效率高, 剩余油饱和度低, 面孔率大, 孔喉比小, 孔隙连通性好。
2. 大孔中喉型 (II 类) 孔隙大, 喉道中等, 物性及渗流性能较好, 驱油效率较高, 孔隙结构较好。
3. 大孔细喉型 (III 类) 孔隙大, 喉道细, 物性及渗流性能差, 孔喉比大, 驱油效率低, 孔隙结构差。
4. 中孔粗喉型 (IV 类) 孔隙中等, 喉道粗, 连通性好, 孔喉比小, 面孔率大, 驱油效率高, 孔隙结构好。
5. 中孔中喉型 (V 类) 孔隙和喉道均中等, 孔喉均匀程度高, 孔喉比小, 面孔率中等, 驱油效率及孔隙结构也为中等。
6. 中孔细喉型 (VI 类) 孔隙中等, 喉道细, 面孔率及连通性一般, 驱油效率较低,

孔隙结构较差。

7. 小孔粗喉型 (Ⅶ类) 孔隙小, 喉道粗, 面孔率小, 驱油效率低, 孔隙结构差。因样品统计有限, 两个层系内均未见该类样品分布。

8. 小孔中喉型 (Ⅷ类) 孔隙小, 喉道中等, 面孔率小, 连通性差, 驱油效率较低, 剩余油饱和度高。

9. 大孔细喉型 (Ⅸ类) 孔隙和喉道均小, 连通性差, 面孔率小, 物性及渗流性能差, 驱油效率低, 剩余油饱和度高。

各类型毛管压力曲线及孔喉分布见图 1。

三、储层微观渗流特征

(一) 毛管压力曲线特征

1. 参数的变化特征 毛管压力曲线计算参数表明, 其孔喉分选系数为 $0.97-3.51\phi$, 平均为 2.64ϕ ; 偏度为 $-1.11-1.21$, 平均为 0.44 ; 孔喉均值为 $6.66-12.21\phi$, 平均为 8.49ϕ (偏细); 均匀系数为 $0.06-0.81$, 平均为 0.26 , 属不均匀型。说明储层孔喉分选及均匀程度差, 微观非均质性严重。

2. 渗透率贡献值主要由大中孔道提供 主要流动孔隙半径平均值分别为 $10.34\mu\text{m}$ 和 $11.1\mu\text{m}$; 最大连通孔隙半径分别为 $20.01\mu\text{m}$ 和 $24.85\mu\text{m}$; 主要流动孔隙体积区间分别为 60.02% 和 51.87% ; 中值半径分别为 $4.01\mu\text{m}$ 和 $5.56\mu\text{m}$; 孔喉分布区间 $<0.1\mu\text{m}$ 和 $<1\mu\text{m}$; $>10\mu\text{m}$ 和 $>16\mu\text{m}$ 的孔隙体积百分数分别为 22.98% 和 20.14% 、 20.52% 和 16.68% 、 8.97% 和 12.56% 、 10.38% 和 25.28% 。

3. 采收效率 II_{4-6} 层系采收效率为 $46.66\%-51.07\%$, 平均为 48.79% ; IV_{1-4} 层系为 $15.38\%-62.35\%$, 平均为 41.27% , 反映出较强的非均质性。

(二) 相对渗透率曲线特征

油相相对渗透率曲线值高, 下降快且曲线陡, 水相相对渗透率上升缓慢。相对渗透率曲线交叉点大多在 $50\%-60\%$ 之间, 平均为 53.91% 。束缚水饱和度在 $21.42\%-48.71\%$ 之间, 平均为 33.19% 。剩余油饱和度在 $18.2\%-46.76\%$ 之间, 平均为 29.09% 。

(三) 润湿性

据双河北块 II_{4-6} 层系 74 块样品统计: 强亲水占 6.76% (5 块样品), 亲水占 25.68% (19 块样品), 弱亲水占 64.86% (48 块样品), 中性占 2.7% (2 块样品)。故储层润湿性为弱亲水—亲水 (占总数的 90.54%)。 IV_{1-4} 层系 51 块样品统计: 强亲水占 2.04% (1 块样品), 亲水占 14.29% (7 块样品), 弱亲水占 48.98% (25 块样品), 中性占 14.29% (7 块样品), 偏亲油占 20.41% (11 块样品), 故储层润湿性为非均匀润湿性。

(四) 敏感性

实验表明, 速敏性较弱, 因而颗粒迁移对渗透率的影响也较弱; 正反流有微粒流出, 可造成孔隙的堵塞; 由于膨胀性粘土矿物含量一般, 因此水敏性中等; 粘土矿物自然膨胀可使储层原始孔隙度平均下降 2.25% , 危害率达 88% , 即可使孔隙度下降 12% , 因而此类粘土矿物对双河北块两个三次采油试验层系储层的损害最大, 而造成盐敏性及酸敏性较强。

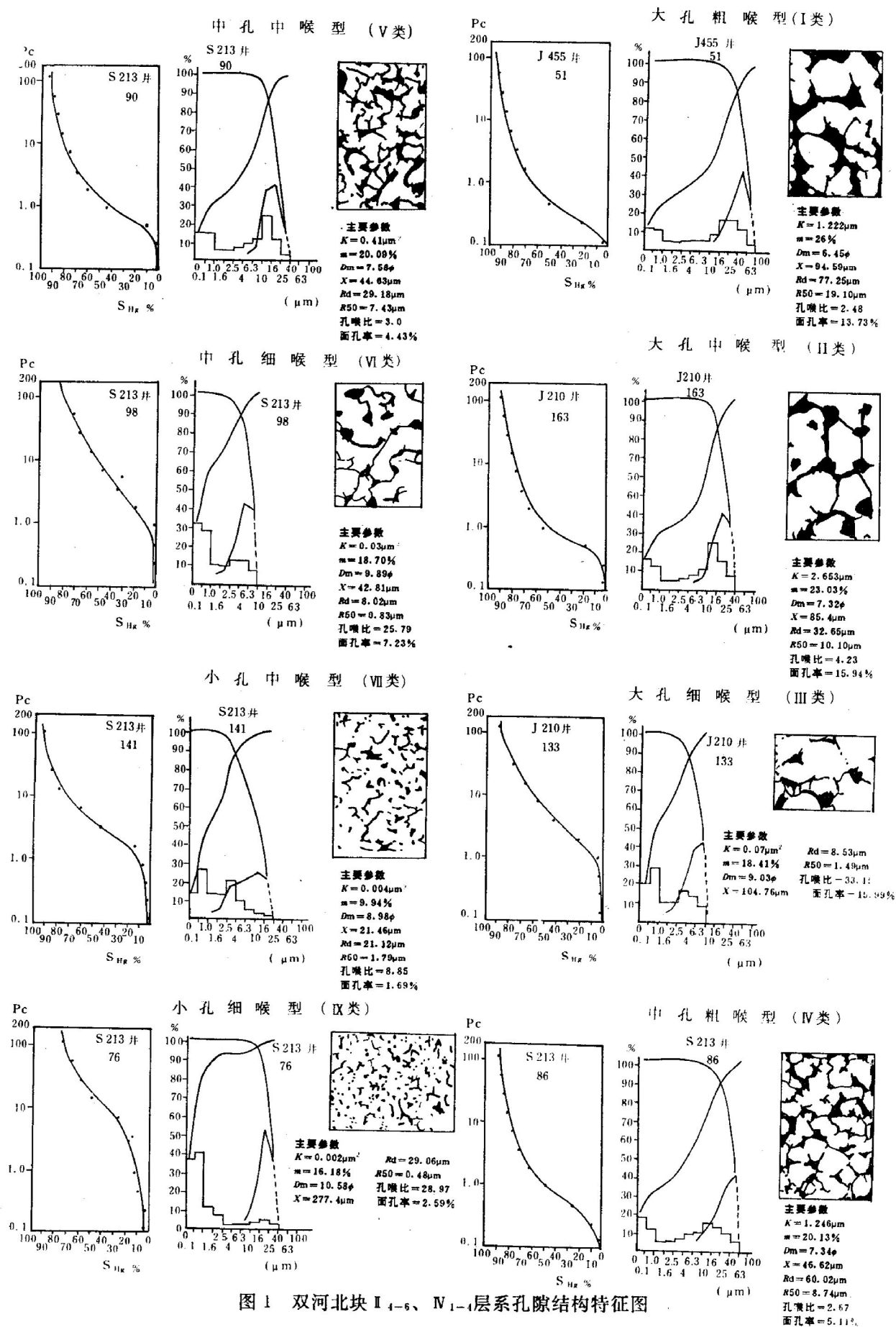
图1 双河北块 I₄₋₆、IV₁₋₄层系孔隙结构特征图

表2 双河油田北块 I₄₋₆、N₁₋₄层系储层孔隙结构纵向变化表

油组	层系	M (%)		K (μm ²)		R _D (μm)		R ₅₀ (μm)		$\bar{R}_{\pm}$ (μm)		D _M (φ)		α		<1μm 孔隙体积(%)		>10μm 孔隙体积(%)		L/D _M	
		均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围
I	I ₅	18.59	5.36	0.333	0.001	20.10	0.40	4.01	0.07	10.34	0.25	8.82	6.66	0.25	0.07	43.50	19.2	19.35	4.41	24.59	1.82
			25.12	1.960		62.75		19.22				12.21		0.54			57.8		62.55		124.07
	N ₁	18.97	6.70	0.535	0.012	24.23	8.65	5.06	0.59	10.27	2.63	8.15	6.75	0.25	0.06	33.09	16.57	34.60	2.67	29.28	1.02
			23.40	2.990		60.00		11.71				9.88		0.38			56.13		71.54		57.54
N	N ₂	17.97	9.32	0.685	0.008	27.78	2.34	5.14	0.70	11.35	0.97	8.15	6.92	0.25	0.06	35.04	16.95	40.47	8.99	36.74	1.04
			23.40	2.500		78.15		10.13				10.26		0.36			64.60		61.31		72.44
	N ₃	17.67	13.70	0.292	0.003	13.30	2.11	3.31	0.20	6.50	0.74	9.06	7.96	0.28	0.22	45.89	17.37	32.91	20.73	80.59	2.69
			21.62	0.637		22.98		5.35				11.24		0.33			64.63		44.35		158.49
I	N ₄	20.75	15.93	0.833	0.029	25.01	7.99	7.15	1.19	12.70	6.38	7.98	6.73	0.29	0.22	32.87	11.31	43.36	7.93	14.62	1.06
			23.91	2.737		43.52		18.22				9.93		0.37			44.39		77.92		28.18
	I ₅																				
	N ₁																				
N	N ₂																				
	N ₃																				
	N ₄																				

注: M—孔隙度; K—渗透率; R_D—最大连通孔隙半径; R₅₀—中值半径; $\bar{R}_{\pm}$ —主要流动孔隙半径均值; D_M—喉道均值; α—均匀系数; L/D_M—孔隙比。

四、储层微观非均质性

(一) 纵向上孔隙结构参数的变化

从表 2 可以看出, 双河北块 N_4 小层 M 、 K 、 R_D 、 R_{50} 、 $\bar{R}_\pm$ 均大, 均匀程度高, 大孔分布多, 孔喉比小, 因而该小层储层孔隙结构最好。而 N_3 小层上述参数均小, 孔喉细、分选差, 孔喉比大, 且 $<1\mu\text{m}$ 的孔隙占 45.89%, 故该小层孔隙结构最差。纵向上 N_{1-4} 层系孔隙结构从好至差的顺序分别为 N_4 — N_2 — N_1 — N_3 。而 II_{4-6} 层系则以 II_5 小层孔隙结构最好。

(二) 横向上孔隙结构参数的变化

离物源越近, 孔隙及颗粒的分选越差, 粒度中值高, 物性条件好, 地层微粒和泥质含量则相对减小; 反之亦然。

(三) 孔喉分布特征

从 210 份压汞孔喉分布频率图 (其中 II_{4-6} 层系 118 份) 统计可知, 双河北块 II_{4-6} 、 N_{1-4} 层系储层孔喉分布以双峰为主 (其中一个峰值为 $<0.1\mu\text{m}$ 的所有孔隙累加值) 占 88.1%, 单峰次之占 11.9%, 共有 5 种分布形态 (表 3)。 II_{4-6} 以双峰 3 型为主占 44.07%, 说明该层系喉道偏细; N_{1-4} ($N_{上}$) 层系则以双峰 2 型为主占 44.57%, 说明喉道偏粗, 渗透性能较好。

(四) 孔喉配置关系

从表 4 可以看出, 双河北块 II_{4-6} 层系孔隙主要以中孔为主占 85.42%, 喉道则以中、细喉为主占 97.92% (其中中喉占 45.83%, 细喉占 52.09%), 孔隙结构较差。而 N_{1-4} 层系孔隙以中孔为主占 80.46%, 喉道以中喉为主占 56.32%, 储层孔隙结构较 II_{4-6} 层系好, 粗喉大孔类分布多。

表 3 双河油田北块储层孔喉分布表 (%)

油 组	单 峰		双 峰			块数
	1	2	1	2	3	
I	0	0	0	100	0	7
II	9.32	8.48	22.03	16.10	44.07	118
III	6.67	6.67	26.66	53.33	6.67	15
IV _上	2.17	2.17	22.83	44.57	28.26	92
IV _下	2.30	6.90	21.84	41.38	27.58	87
均值	5.28	6.21	21.43	34.47	32.61	319

注: 单 1—尖峰分布的孔喉形态
单 2—平峰分布的孔喉形态
双 1—两峰近等的孔喉分布形态
双 2—大孔为主的双峰孔喉分布形态
双 3—小孔为主的双峰孔喉分布形态

表 4 双河油田北块储层孔喉配置关系

II ₄₋₆ 层系					N ₁₋₄ 层系				
孔隙 喉道	大孔	中孔	小孔	累加	孔隙 喉道	大孔	中孔	小孔	累加
粗喉	0	2.08	0	2.08	粗喉	5.75	11.49	0	17.24
中喉	6.25	37.5	2.08	45.83	中喉	10.34	45.98	0	56.32
细喉	0	45.84	6.25	52.09	细喉	3.45	22.99	0	26.44
累加	6.25	85.42	8.33	100	累加	19.54	80.46	0	100

五、孔隙结构对驱油效率的影响

(一) 储层油、水微观分布特征

油藏中油、水微观分布的形态与特征, 可以比较真实地反映出注水开发过程中水驱油的状态。根据双检2井 IV_{1-4} 层系370块含油薄片的分析研究可知, 该储层油、水的微观分布形态与特征大致可以分为4类:

1. 未洗段 孔隙中全为油或全为水所充满, 晶间孔隙十分干净, 含油饱和度很高, 驱油效率很低或为零。

2. 弱洗段 水的含量很低或没有水的分布, 含油饱和度稍高, 驱油效率值仅为18.7%。

3. 中洗段 孔隙中油与水共存, 含水量不断增大占据孔隙的中间, 周围的“油环”逐渐减薄, 驱油效率在25%—50%之间。

4. 强洗段 油呈薄环或孤滴状态, 油量很少。孔隙和喉道中大部分为水所充填。驱油效率较高, 已接近或达到最终驱油效率值。

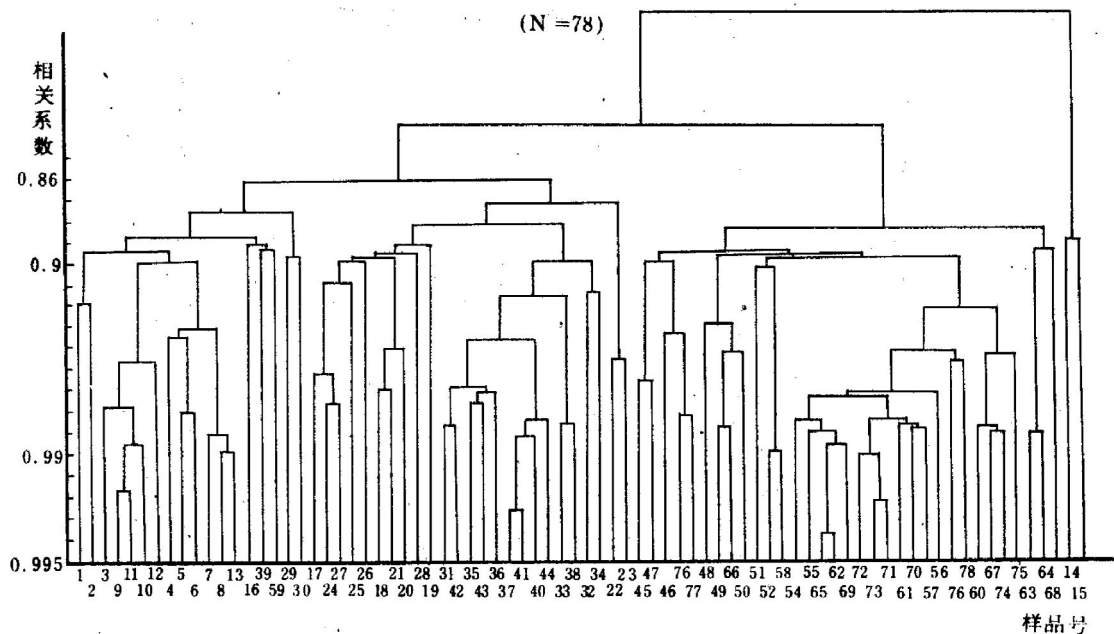
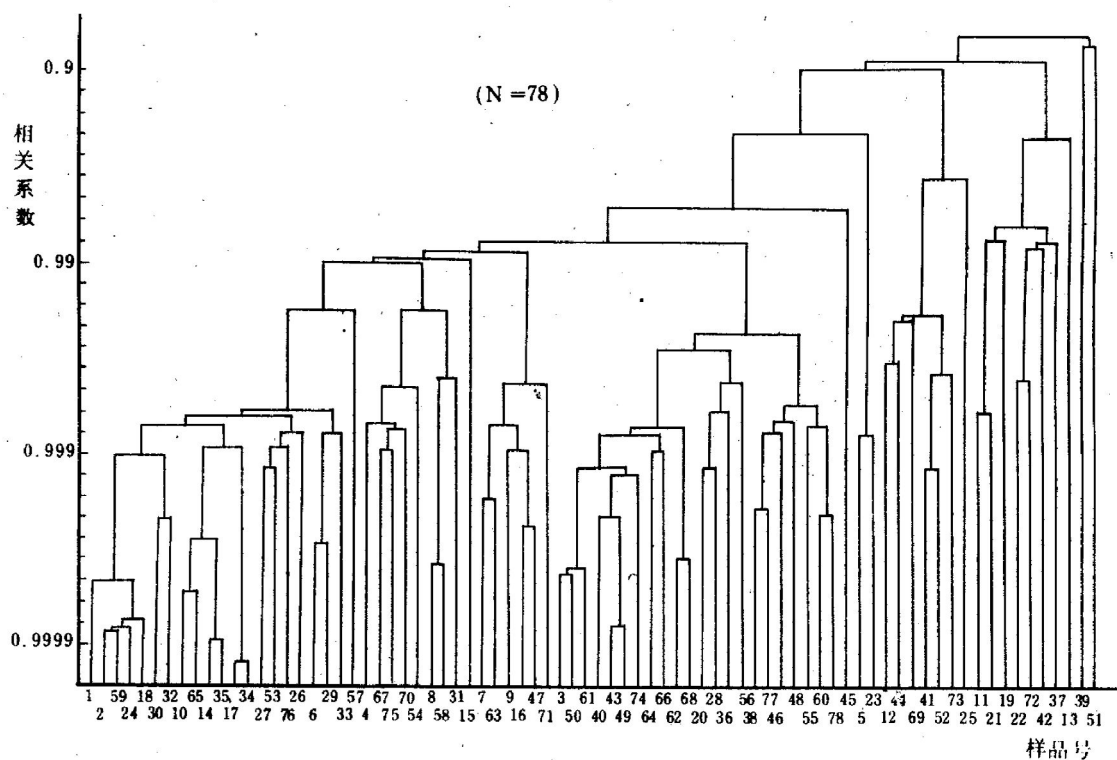
总体看, 储层油、水微观分布形态多样, 非均质性严重, 这与岩石骨架成分、填隙物含量、类型及产状相关, 同时也受到储层润湿性和孔隙结构非均质性的严重控制和制约。

(二) 微观非均质性对驱油效率的影响

由于双北 II_{4-6} 、 IV_{1-4} 层系储层微观非均质性非常严重, 因而导致其孔隙结构十分复杂, 驱油效率较低。与油水粘度比、渗透率相近的其它油田相比, 同是含水98%时, 后者驱油效率较高为57.2%, 而前者较低仅为49.9%, 两者相差7.3个百分点, 这是特殊的孔隙结构所致。 II_{4-6} 层系颗粒细, 喉道中值半径最小($R_{50}=4.01\mu m$), 分选差, 均匀程度最差($\alpha=0.25$), 平均孔隙直径小($L=41.28\mu m$), 孔喉比高(24.59); 而 IV_{1-4} 层系同样颗粒及孔隙分选差, 配位数低(3.29), 非均质性较强($\alpha=0.27$), 且岩石具非均匀润湿性。同时这两个层系高岭石、伊利石等粘土矿物含量高, 对油层的损害程度大。主要表现为在注水开发中, 伊利石易发生弯曲变形, 将大孔喉分割成许多小孔喉, 使流体流动的迂曲度增大, 甚至造成孔隙不连通。而充填于粒间孔内的高岭石, 一方面将粒间孔隙变成微细的晶间孔隙, 降低岩石的渗透率; 另一方面在高压开发中, 在高速流体的剪切应力下易打碎迁移, 堵塞孔喉。加之这两个层系孔隙两极分化严重, 微孔隙十分发育(II_{4-6} 层系 $<1\mu m$ 以下的微孔隙占43.5%, IV_{1-4} 层系 $<1\mu m$ 以下的微孔隙占36.81%), 因此, 原油不易被驱替出来(除非加大压力)而残留在这些微细孔隙中形成残余油。在这些因素的共同制约和影响下, 故双河油田北块 II_{4-6} 、 IV_{1-4} 层系驱油效率较低。

六、储层的综合评价

根据储层分类标准, 可把双河北块 II_{4-6} 和 IV_{1-4} 层系储层评价为4类: I类(高渗)为好的有效储集层; II类(中渗)为中等有效储集层; III类(低渗)为差的有效储集层; IV类(特低渗)为非有效储集层。从图2可直观地看出, 双河北块 II_{4-6} 层系储层II、III类为主占74.36%, 非有效储层占25.64%, 属于中低储集类型(图2)。 IV_{1-4} 层系以II类储层为主占78.21%, 属于中等储集类型(图3)。后者无论是储集渗流条件还是孔隙结构均较前者好。

图2 双河油田北块Ⅰ₅油层聚类分析谱系图图3 双河油田北块Ⅳ₅油层聚类分析谱系图

七、结论与建议

(1) 双河油田北块Ⅰ₄₋₆和Ⅳ₁₋₄层系储层岩石的成分成熟度及结构成熟度均低, 自生矿物

及粘土矿物种类多，物性及孔隙结构参数变化大，储层微观非均质性严重。

(2) 储层孔喉两极分化严重，微孔隙发育。孔喉的分布以双峰为主。孔喉配置则以中孔中喉为主。储层以Ⅱ、Ⅲ类为主。Ⅱ₄₋₆层系储集条件较差属于中下储集类型，Ⅳ₁₋₄层系储集条件较好属于中等储集类型。

(3) 储层孔隙结构在纵横向上变化大，微观油、水分布形态多样，这不仅与岩石骨架成分、填隙物含量、类型及产状有关，而且还受到储层润湿性和孔隙结构非均质性的严格控制 and 制约。孔隙结构的复杂性导致其驱油效率较低，开发难度大。

(4) 建议进一步开展这两个三次采油试验区块油藏的精细描述和微观驱油机理的研究，加强各种调剖剂的研制、筛选和评价试验，加快三次采油的步伐，保持油田稳产高产，从而提高整个双河油田的三次采油能力奠定坚实的基础。

PORE-STRUCTURE CHARACTERISTICS OF RESERVOIRS IN NORTH PART OF SHUANGHE OILFIELD

Zhao Yuehua

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Henan Petroleum Exploration Bureau)

Abstract

Both the compositional maturity and structural maturity of Ⅱ₄₋₆ and Ⅳ₁₋₄ reservoir rocks in the north part of Shuanghe Oilfield are relatively low, and the types of authigenic and clay minerals are various, pore-structural parameters and the size of pore-throats varies distinctly, microscopic anisotropy is high and micro-pores developed well. The considerable variation of reservoir pore structures in lateral direction and plenty of microdistributive pattern of oil and water lead to low oil-expulsion. The reservoirs mentioned above are predominately type-Ⅱ and type-Ⅲ ones.