

孤岛馆陶组注水开发储层性质动态变化特征研究

张伟峰^{1,2}, 刘守军², 李拥安², 高小鹏², 谢余庆²

(1. 西安石油大学 石油工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 胜利油田有限公司 孤岛采油厂, 山东 东营 257231)

[摘要] 综合利用取心资料、实验室分析化验数据和矿场动态测井资料, 研究了孤岛油田低含水期、中高含水期、特高含水期馆陶组砂岩油层岩性、物性、含油性和电性的变化特征。经过长期的注水开发, 造成油层泥质含量、碳酸盐含量、含油饱和度和束缚水饱和度降低, 平均孔隙直径增大, 岩石粒度中值提高, 导致渗透率、孔隙度增大。在物性总体增大的同时, 孔渗参数的分异度增加; 同时, 也会由于水敏和速敏的影响使物性变差。声波时差和自然电位、感应电阻率都发生了明显变化, 不同岩性的储层参数变化程度有差异, 粉砂岩的变化程度小于细砂岩。

[关键词] 注水开发; 岩性; 物性; 电性; 含油性; 孤岛油田; 馆陶组; 山东

[中图分类号] TE122.2⁺3 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0051-03

[作者简介] 张伟峰(1970—), 男, 陕西大荔人, 工程师, 现从事油田开发动态管理工作。

孤岛油田位于山东省东营市河口区境内, 于1971年11月投产, 1973年4月转注, 先后经历了低含水开发期、中高含水开发期, 目前已进入特高含水开发期。由于长期的注水开发, 加之油层疏松, 出砂严重, 在不同开发阶段, 储层的岩石物理性质发生了很大变化。为此利用不同时期的取心资料, 结合实验室分析化验数据和动态测井资料进行分析研究, 观察各个时期储层性质的变化。

1 孤岛馆陶组地质特征

孤岛油田是一个在古潜山基础上发育的推覆背斜构造油藏, 长轴近东西向, 区内构造简单, 除少数断块外, 主体部位完整平缓, 油藏埋深1120~1350 m。主要开发层系是上第三系的上馆陶组油层, 为河流相正韵律沉积, 砂岩以细砂~粉砂岩为主。上馆陶组原油性质为高粘度、低含蜡、低凝固点的沥青质石油, 地面原油密度0.935~0.99 g/cm³, 粘度250~5700 mPa·s, 地下原油密度0.871~0.925 g/cm³, 粘度20~130 mPa·s, 油水粘度比大(80~350), 注水开发容易引起舌进现象。边、底水不活跃, 天然能量弱, 顶部有

小气顶。

2 储层性质动态变化特征

2.1 储层岩性参数的变化

孤岛油田馆陶组属河流相正韵律沉积, 岩性以细砂岩、粉砂岩为主。利用3个不同时期16口取心井的粒度分析资料, 根据泥质含量(V_{sh})与粒度中值(M_d)的回归分析, 发现3个不同开发时期其之间均具有良好地负相关性。经岩石薄片观察, 馆陶组砂岩孔隙内主要为粘土矿物充填。长期的注水开发使小粒径的泥质随水洗而被带走, 泥质含量、碳酸盐含量均有所降低, 岩石粒度中值提高(表1)。开发初期, 馆上段砂岩的粒度中值对孔隙度、渗透率有一定的影响, 它们之间呈正比关系; 至开发后期砂岩结构对孔隙度、渗透率的影响明显降低(图1)。

表1 不同开发时期储层的岩性参数变化

Table 1 Lithological property change of different exploitation period

岩性	低含水开发期		中高含水开发期		特高含水开发期	
	$V_{sh}/\%$	M_d/mm	$V_{sh}/\%$	M_d/mm	$V_{sh}/\%$	M_d/mm
粉砂岩	10~20	0.10~0.14	8~12	0.11~0.15	<5	0.14~0.18
细砂岩	8~12	0.13~0.16	5~8	0.14~0.21	<5	0.16~0.25

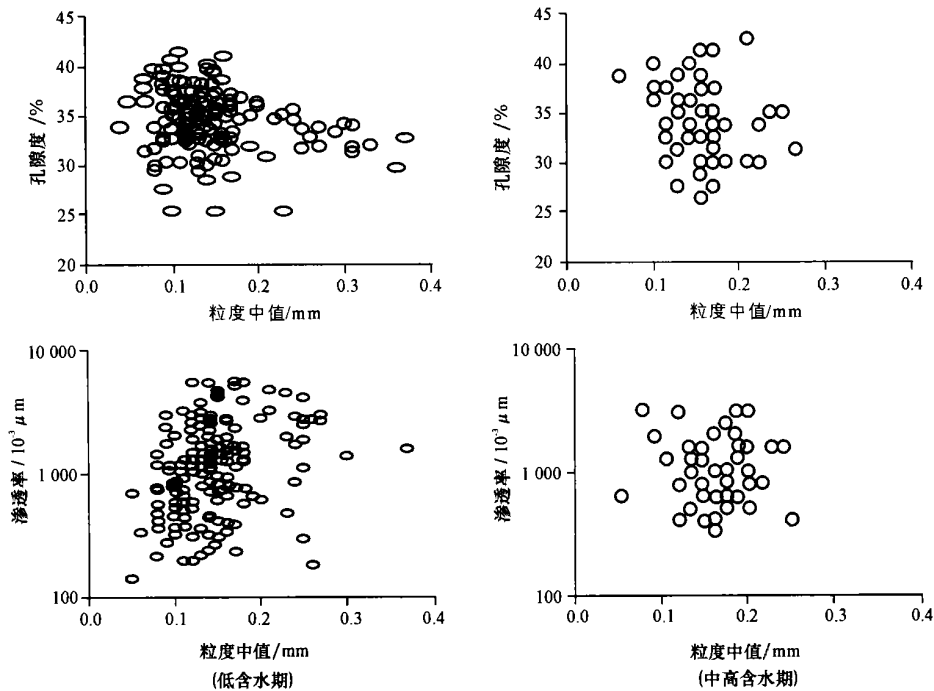


图 1 物性与岩性参数相关图

Fig. 1 Correlatograph between lithological property and physical property

2.2 储层物性参数的变化

通过不同开发时期取心井的油层物性资料表明：从低含水期、中高含水期到特高含水开发期，储层的物性发生了很大变化（图 2，图 3）。从表 2 中可以看到，孔隙度由初期的平均 33.3% 提高到特高含水期的平均 38.7%。渗透率的变化更大，平均值由低含水期 $1\,437\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 提高到特高含水期的 $5\,410\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。据取心井的实测资料分析，不同岩性表现出明显的变化差异。中高含水期，粉砂岩的粒度中值变化较小，渗透率相应变化较小，而细砂岩的粒度中值增加 1/3 左右，渗透率相应增大 1 倍左右；特高含水期，后者渗透率增大 10 倍以上（见表 1，图 1）。由此说明，注水开发使得充填于储层孔隙内的粘土矿物的分布形态和含量发生了变化，导致储层的孔隙度和渗透率增加，尤其是高含水期，强注强采以后，渗透率明显增大。在物性总体增大的同时，孔渗参数的分异度增加；同时，也会由于水敏和速敏的影响使物性变差。

比较低含水期的渤 116 井，中高含水期的中 22-415 井，中 13-K10 井及特高含水期的中 30-J18 井，中 11-J10 井的孔渗相关性，可以看出这个关系在后期基本不变。其相关函数依次为：

$\log k=0.163\,25p+1.302\,1$ (渤 116 井)，

表 2 不同开发时期储层参数变化

Table 2 Formation property change of different exploitation period

时 期	孔隙度 / %	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	粒度中值 / mm	碳酸盐 / %	泥质含量 / %	油饱和度 / %	束缚水饱和度 / %
低含水期	33.3	1 437	0.121	2.16	11.20	61.8	36.0
中高含水期	35.6	2 104	0.142	1.78	10.60	56.9	32.2
特高含水期	38.7	5 410	0.165	0.97	3.97	51.4	27.4

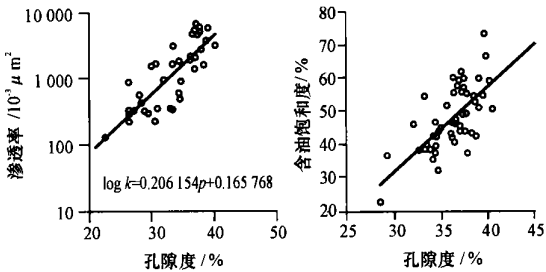


图 2 中高含水期物性相关参数

Fig. 2 Correlatograph between medium and high water bearing period

$\log k=0.206\,154p+0.1657\,68$

(中 22-415 井、中 13-k10 井)，

$\log k=0.203\,34p+0.586\,349$

(中 30-J18 井、中 11-J11 井)，

式中: k 为渗透率; p 为孔隙度。

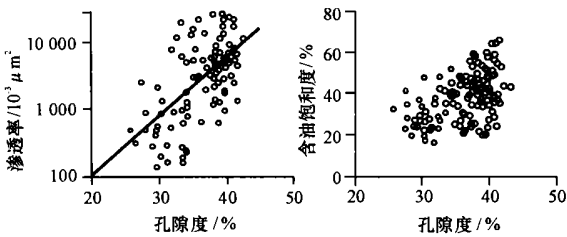


图 3 特高含水期物性参数相关图

Fig. 3 Correlatograph of super high water bearing period

2.3 储层孔隙结构参数的变化

选用开发初期渤 108 井的岩样分析结果和开发中期中 13-K10 井的岩样分析结果对比如表 3, 表 4。孤岛油田馆上段在开发初期砂岩的喉道类型以收缩喉道和片状喉道为主, 而随着注水开发, 在中高含水开发期砂岩的喉道类型却以缩颈和收缩喉道为主。面孔率一般在中高含水开发期大于开发初期的面孔率, 平均孔隙直径也是初期的数倍。由此表明, 注水开发对孤岛油田馆上段砂岩的孔隙结构具有明显地改善作用。

表 3 渤 108 井馆 3-6 储层评价

Table 3 Evaluation of Guantao 3 to 6 formation in Bo108 well

深度 / m	面孔率 / %	平均孔隙 直径/ mm	孔隙配 位数	喉道 类型	渗透率 / 10 ⁻³ μm ²
1 173~1 184	20~25	50~80	3~4	收缩、片状	> 400
1 195~1 206	> 25	30~50	> 4	缩颈、片状	> 500
1 230~1 237	> 25	< 30	> 4	收缩、片状	> 100
1 249~1 254	> 25	> 80	> 4	收缩、片状	> 1 000

表 4 中 13-K10 井馆 3-6 储层评价

Table 4 Evaluation of Guantao 3 to 6 formation in 13K10 well

深度 / m	面孔率 / %	平均孔隙 直径/ μm	孔隙配 位数	喉道 类型	渗透率 / 10 ⁻³ μm ²
1 182.11~1 186.3	54	225	5	缩 颈	1 000
1 200.00~1 206.0	32	120	4	缩颈、收缩	600~800
1 233.00~1 237.0	29	147	4	缩颈、收缩	800~1 000

2.4 储层含油性的变化

对比油田开发初期渤 108 井(油基泥浆)和特高含水期的中 11-检 11 井(密闭取心)的饱和度分析表明: 储层含油饱和度随着油田的开发逐渐降低, 但不同岩性的储层下降幅度不同。中砂岩从平均饱和度 58% 降至 25%; 细砂岩从平均饱和度 58% 降至 45%; 粉砂岩则变化不大。这说明孔渗条

件好的中细砂岩, 原始含油饱和度高, 而开发后期剩余油饱和度低; 粉砂岩原始含油饱和度低, 开发后期水洗程度低, 因此剩余油饱和度变化不大。此外, 经开发初期和高含水开发期岩心的毛管压力资料分析, 开发初期油层束缚水饱和度相对较高, 平均 36%, 而高含水开发期束缚水饱和度降低, 平均为 27.4%。

2.5 储层电性的变化

长期的注水开发, 使储层的孔隙大小及结构均发生了重要的变化。致使声波时差和自然电位、感应电阻率都发生了明显变化。图 2, 图 3 中孔隙度与声波时差相关图反映了不同含水期两个参数之间的关系及其变化。其关系式分别是: $p = 0.037\ 143\ 2\ d + 19.323\ 9$ (低含水期); $p = 0.135\ 661\ d - 17.681\ 6$ (中含水期); $p = 0.163\ 303\ d - 28.642\ 6$ (特高含水期)。回归线的斜率增大, 声波时差增加。开发初期的声波时差一般为 375~395 μs/m, 开发中期为 380~420 μs/m, 开发后期为 410~450 μs/m。

3 结论

长期的注水开发使储层中小粒径的泥质随水洗而被带走, 泥质含量、碳酸盐含量均有所降低, 岩石粒度中值提高。开发初期, 馆上段砂岩的粒度中值对孔隙度、渗透率有一定影响, 它们之间呈正比关系; 至开发后期砂岩结构对孔隙度、渗透率的影响明显降低。随着注水开发, 渗透率明显增大, 喉道类型却以缩颈和收缩喉道为主。面孔率一般在中高含水开发期大于开发初期的面孔率, 平均孔隙直径也是初期的数倍。储层含油饱和度和束缚水饱和度随着油田的开发逐渐降低。储层岩性和物性的变化致使声波时差和自然电位、感应电阻率都发生了明显变化。

[参 考 文 献]

[1] 穆龙新, 裴悻楠. 不同开发阶段的油藏描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
[2] 戈定夷, 田慧新, 曾若谷. 矿物学简明教程[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
[3] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1982.

(下转第 58 页)

关。显然在目前的工程地质条件下，一旦发生同样规模的地震活动，坝址区所遭受的破坏程度会更大，对拟建的水利工程设施将产生严重威胁。

[参 考 文 献]

[1] 韩文峰. 黄河黑三峡大柳树松动岩体工程地质研究[M]. 兰

州: 甘肃科学技术出版社, 1993.

[2] 田勤俭, 丁国瑜. 青藏高原东北隅的三联点构造特征[J]. 中国地震, 1998, 14(4): 27~35.

[3] 田勤俭, 丁国瑜, 申旭. 青藏高原东北隅强震构造模型[J]. 地震, 2002, 22(1): 9~16.

[4] 黎克武, 刘汉超, 冯永国, 等. 大柳树坝址松动岩体的基本特征及成因机制[J]. 地质灾害与环境, 1994, 5(4): 1~17.

[5] 彭建兵. 区域稳定动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

Dynamic simulation test analysis on destructive mechanism of rock mass at Daliushu dam site of Huanghe River

WANG Yong-zhi, QI Wei, MEN Yu-ming, PENG Jian-bing

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: There is a large scale of dynam-relaxed rock mass lies in DaLiushu dam site of Huanghe River. Geostatic stress released, structural planes opened and density reduced are the main characteristics of dynam-relaxed rock mass. In order to study the destructive mechanism of the rock mass, geological background conditions and earthquake dynamic effects of the region round DaLiushu dam site are investigated. The internal relations between earthquake dynamic effects and dynam-relaxed rock mass are confirmed. A further research to the conclusion is given by the dynamic simulation test. Consequently once a more serious earthquake happened at pesent engineering geological conditions the rock mass of dam site will be further destroyed. That would be threaten to the new water conservancy at DaLiushu dam site of Huanghe River.

Key words: Daliushu; dynam-relaxed rock mass; earthquake dynamic effect; dynamic simulation test

(英文审定: 苏生瑞)

(上接第 53 页)

Study on the dynamic change feature of reservoir property with injection exploitation in Guantao formation of Gudao oil field

ZHANG Wei-feng^{1,2}, LIU Shou-jun², LI Yong-an², GAO Xiao-Peng², XIE Yu-qing²

(1. School of Petroleum Engineering, Xi'an University of Petroleum, Xi'an 710061, China;

2. Gudao Production Group of Shengli Oil Field Limited Company, Dongying Shandong 257231, China)

Abstract: Based on coring information, laboratory test data and dynamic logging information of the formation, the paper elaborated on the changing feature of the lithology, physical property, oil bearing property and electrolysis property for sandstone reservoir in Gudao oil field during low water bearing period, medium water bearing period and high water bearing period respectively. Because of long-term injection exploitation, within the reservoir the clay volume, carbonate content, oil saturation and bound water saturation was reduced, and average pore diameter and rock grain size was increased, which led to an increase of the permeability and porosity. However, with overall growth of physical property, the discrepancy of the parameter for porosity and permeability was raised. At the same time, the physical property became worse due to the water sensitivity and rate sensitivity. Additionally, interval travel, spontaneous potential and induction resistivity changed obviously. There was a difference in change level for reservoir parameter of different lithology. For example, the change level for reservoir parameter of silt is less than that of fine sand.

Key words: injection exploitation; lithological property; physical property; oil bearing property; electrolysis property; Guantao Formation; Gudao oil field; Shandong

(英文审定: 苏生瑞)