

渤南凹陷渤深6块潜山储层描述技术

金平信^{1,2}, 刘承红³, 高保国³, 舒立民³

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院 北京 102249; 2. 中国石化胜利石油管理局 石油开发中心, 山东 东营 257000; 3. 中国石化胜利油田公司 河口采油厂, 山东 东营 257200)

摘要: 渤深6块潜山储层位于沾化拗陷渤南凹陷北部, 埋藏深度4 100~4 900 m, 储层发育及成藏规律复杂。为了高效开发渤深6块, 必须引进和优化潜山油藏描述技术, 然后根据自身特点选择优化并创新使用。采用地震资料目标处理、叠前深度偏移、高精度三维地震采集处理解释等基础资料处理技术; 用多井地震合成记录综合标定、变速成图等技术准确描述潜山形态。多井采用了斯伦贝谢成相、核磁共振测井、多尺度边缘检测平面预测等先进技术, 最后根据录井、测井等多项信息进行综合判识并量化。应用结果表明, 渤深6块15口新井全部钻遇设计油层, 且均自喷生产, 投产平均产油能力84 t/d, 产气 5×10^4 m³/d, 油藏开发效果好。

关键词: 渤南凹陷; 渤深6块; 古潜山油藏; 奥陶系; 储层描述技术

中图分类号: P618.130.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)02-0174-04

Description Technology for Layer of Burial Hill Oil Pool in Boshen-6 Block of Bonan Depression

JIN Ping-xin^{1,2}, LIU Cheng-hong³, GAO Bao-guo³, SHU Li-min³

(1. School of Geology Resources and Information, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Exploration Center, Shengli Petroleum Administration Bureau, SINOPEC, Dongying 257000, Shandong, China;

3. Hekou Oil Production Factory, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257200, Shandong, China)

Abstract It is difficult to discover the subtle deposit in area with high exploration mature. This paper illustrates great discovery of subtle deposit in turbidity channel sand in the Bonan Depression caused by two aspects. The first one is the prosperous exploring potent revealed by the analysis of the feature of oil test of some wild wells. The second one is the new recognition in sedimentary pattern in the area where the pattern of sheet sand sediment pattern is replaced by the turbidity channel sand resulted from the geological research with advanced techniques, including integration treatment of seismic data, mapping with variable velocity, reservoir analyzing according to principle of sequence strategy, reservoir prediction under control of sedimentary face, and reverse of seismic data with boundary of well log data. Application indicates that the reservoir is drilled by 15 wells with 84 t/d oil and 5×10^3 m³/d gas production.

Key words: Bonan Depression; Boshen-6 Block; Burial hill oil reservoir; Ordovician System; description technology for layer

0 引言

渤深6块潜山油田位于胜利油田河口采油厂渤南凹陷北部, 北靠埕东凸起, 是从埕东凸起沿埕

南大断层滑至渤南凹陷的小型滑脱山, 处于孤西大断层和埕南大断层夹持的二台阶上。该油田向东、向西、向南均被渤南凹陷所包围, 潜山有利含油面积约20 km²。

收稿日期: 2006-07-12

基金项目: 中国石油化工股份有限公司项目(P99049)

作者简介: 金平信(1968), 男, 山东东营人, 工程师, 从事油田开发地质综合研究。E-mail: hkipx@126.com

渤深 6 并于 4 165.5 m 进入下古生界潜山, 钻遇奥陶系地层 149 m, 钻遇寒武系地层 125 m。全井下古生界录井见油斑 4 层 25.8 m, 荧光 3 层 57.5 m。钻井过程中奥陶系冶里亮甲山组 4 165.5~4 246 m 井段测完钻井深 4 431.89 m, 层位属寒武系长山组。投产采用 8 mm 油嘴自喷生产, 油压 28.0 MPa, 产油 175 t/d, 产气 118 125 m³/d。该井是整个渤南凹陷中第一口在深层潜山获得高产工业油流的探井, 其揭示了渤东北深层潜山良好地勘探和开发前景。

国内外潜山油藏开发建设过程中, 已形成一套古潜山油藏开发技术^[1-3], 但由于渤深 6 块储集层埋藏较深、成藏规律复杂, 在推广应用这些技术时还存在一定的局限性, 有待于进一步的创新和完善。渤深 6 块产能建设需要解决: 地震资料品质差, 如何准确描述潜山构造形态; 下古生界灰岩油藏的储层发育特征如何、平面如何展布、储层有几套开发层系、为块状还是层状油藏、油水界面多少等难题。

1 下古生界潜山油藏地质特征

1.1 构造发育特征

渤深 6 块北为埕南大断层, 东为孤西断层所夹持, 埕南大断层近东西向走向, 倾向南, 延伸距离约 13 km, 孤西大断层走向西北, 倾向西南, 延伸距离

约 15 km。受两条大断层长期活动的影响, 渤深 6 块地区下古生界潜山构造被复杂化, 发育了多条次级断层, 可分为两组, 走向分别为近北西向和南北向, 断距 100~600 m。这些断层相互交错, 将渤东渤北地区下古生界切割成 10 多个潜山断块, 其中渤深 6 块东部发育了一条近南北向展布的断层, 倾向东, 断距超过 1 000 m。这条断层与义 942 西部近南北向展布的西掉断层在义 156 井一带形成一大型槽谷, 将渤深 6 块与渤东地区分割开来。

渤深 6 块下古生界潜山整体上呈南高北低的构造形态, 潜山地层被孤西断层切割后形成有利的鼻状构造, 渤北地区潜山高点位于渤深 6 井区, 埋深约 4 140 m, 圈闭幅度约 500 m。

1.2 地层发育特征

渤深 6 块是自埕东凸起上滑脱的小型滑脱山, 潜山地层为古生界寒武系、奥陶系, 上覆依次为中生界、沙河街组、东营组、馆陶组、明化镇组、平原组。下古生界地层整体北倾, 倾角 13°~18°, 由南向北出露地层越来越新。受构造活动差异影响, 渤深 6 块古生界地层剥蚀程度不同, 古地形高点剥蚀程度高, 低部位剥蚀程度低, 渤深 6 井出露下马家沟, 渤深 6-5 井进山上马家沟, 渤深 6-6 出露地层八陡组。下第三系沙三段底部及沙四段砂砾岩体直接覆于潜山之上。由于所处位置不同, 上覆砾岩体的厚度也不同, 导致潜山储层发育十分复杂(图 1)。

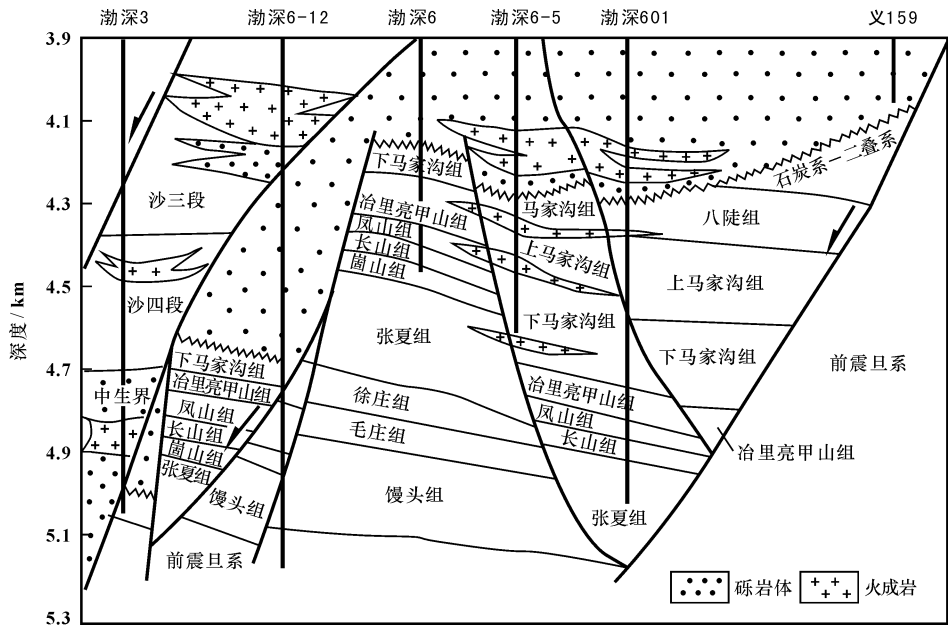


图 1 渤深 6 块地层剖面

Fig. 1 Seismic Profile of Boshen-6 Block in Bonan Oilfield

1.3 储层发育特征

渤深 6 块潜山储层主要分 3 套:①潜山顶部风化壳,渤深 6 井在奥陶系潜山风化壳取心,收获率为 33%;②冶里亮甲山组;③张夏组鲕粒灰岩,渤深 6-12 张夏组在 4 885.0~4 945.0 m 中途测试,折产油 73.6 t/d,产气 28 000 m³/d。

储层主要为灰岩、白云岩。储层原生孔隙不发育,主要为次生孔隙和裂缝,储层储集空间主要为溶孔、溶洞、裂缝。冶里亮甲山组溶孔、裂缝发育,其次为上马家沟组、下马家沟组。凤山组溶孔、裂缝不发育,裂缝走向为近东西向,主要为高角度裂缝。渤深 601 井 FMI 测量段所见裂缝包括高导裂缝、钻井诱导裂缝及少量高阻裂缝。天然裂缝的发育范围或裂缝发育的构造部位高导裂缝在 FMI 图像上表现为深色的正弦曲线,为钻井泥浆侵入或泥质充填所致。沿裂缝常常发育溶蚀孔洞,从而构成良好的储层。

渤深 6 井电测解释下马家沟组 4 165.5~4 172.2 m 井段, I 类层厚 6.7 m,孔隙度 10.46%,渗透率 $8.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 双侧向电阻率正差异,为典型的孔隙型储层;4 175.8~4 181.3 m 井段, I 类层厚 5.5 m,孔隙度 5.59%,渗透率 $0.487 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为洞缝型储层。冶里亮甲山组 4 231.5~4 234.7 m, II 类层 3.2 m,孔隙度 4.805%,渗透率 $0.136 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,该层电阻率较低,为典型的洞缝型储层。4 235.0~4 250.0 m 井段, II 类层厚 15 m,孔隙度 4.921%,渗透率 $0.142 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。4 277.5~4 299.0 m 井段, II 类层厚 21.5 m,孔隙度 4.058%,渗透率 $0.104 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

1.4 流体性质

据渤深 6 井高压物性分析,取样井段 4 165.5~4 246 m,地层原油密度 0.4744 g/cm^3 ,原油粘度小于 $0.50 \text{ MPa} \cdot \text{s}$,地面原油密度 0.8203 g/cm^3 ,粘度 $1.78 \text{ MPa} \cdot \text{s}$,原始油气比 $651 \text{ m}^3/\text{t}$,体积系数 2.774,饱和压力 43.58 MPa,压缩系数 2.68×10^{-3} MPa,凝固点 21,硫质量分数为 0.04%。气体分析其体积分数分别为:甲烷 63.22%、乙烷 14.18%、丙烷 7.69%、正丁烷 2.90%、二氧化碳 6.25%、戊烷等 3.09%,相对密度 0.89 g/cm^3 ,油气比 $700 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{t}$,根据油气组分三角图和相态图,油藏为易挥发油。

1.5 地层温度压力系统

渤深 6 块油层温度 175°C ,原始地层压力

49.65 MPa,压力系数为 1.18,属高压异常。

1.6 油藏类型

从渤深 6 井试油试采结果看,奥陶系潜山顶部风化壳和冶里亮甲山组储层发育,其次为上马家沟组、下马家沟组,而寒武系储层较差,由此初步推断渤深 6 块为断块型古潜山油藏。

2 古潜山油藏储层描述与预测

2.1 古潜山识别与精细构造解释

由于古潜山构造的复杂性,用常规的三维地震剖面(渤南三维、陈家庄三维)难以识别,胜利油田有限公司进行了三维地震资料目标处理,叠前深度偏移处理,高精度三维重新采集、处理解释技术,最大限度地使潜山形态显现清楚。

2.1.1 高精度三维地震重新采集、处理解释技术

为准确描述潜山,在渤深 6 块地区进行了 120 km^2 的高精度三维重新采集、处理。潜山顶面和内幕反射能量增强,断面反射及潜山形态更加清晰,信噪比明显提高,波组特征突出,内幕成像效果有所提高。笔者运用叠前深度偏移处理,对渤深 6 块地区潜山顶面重新解释,得到的潜山顶面构造图与原来的相比,渤深 6 块与渤深 6-5 井之间增加了一条断层,潜山形态与实钻结果符合率有新的提高。

2.1.2 用合成地震记录标定潜山顶,用变速成图、相干分析、水平切片技术精确描述潜山构造

用合成地震记录标定潜山顶,人机联作三维地震综合解释。由于该地区潜山上覆砾岩体厚度差别较大,因此采取变速成图才能准确描述潜山形态。

用高精度三维资料对潜山进行重新解释,潜山的构造形态更加清楚准确,内幕断层反射更加清晰,渤深 6 井至渤深 6-6 井间的内幕断层得到了解释,并且渤深潜山断块由原来的 5 个断块增加到了 7 个,在渤深 6-8 井西部和渤 601 井东部分别找到新的断块。

2.2 储层描述与预测

渤深 6 块地层为碳酸盐岩地层,储层的孔隙性、含油性采用常规测井方法难以识别。为了准确识别有利储集段,采用电阻率成像(FMI)分析储层裂缝、孔隙发育情况。微电阻率成像测井仪测试井壁微电阻率变化,用不同颜色级别,代表电阻率由低变高,也可以反映地层孔洞、裂缝、沉积构造等。

为了描述储层孔隙结构分布、地层流体类型,应用增强型核磁共振(CMR-PLUS)测井仪对下古

生界储层进行了测试, 可分析储层发育流体分布, 同时还可测量储层孔隙中氢核的横向弛豫时间, 通过弛豫特征的分析可以识别流体性质、确定地层孔隙度、含水饱和度、渗透率。

为了描述潜山有利储集区在平面上的分布, 研究中应用了多尺度边缘检测方法、潜山裂缝地震反演储层预测技术。通过地震资料的相异性和地震波场的综合特征来预测裂缝宏观、微观的分布, 依据储层裂缝的发育状况, 总体评价潜山储层的储集性能, 并通过设计井做三维多尺度边缘检测剖面, 通过地震资料的相异性和地震波场的综合特征来预测裂缝有利储集区在平面上的分布, 潜山储层发育有利部位见图 2 中一、二级有利储集区^[4]。

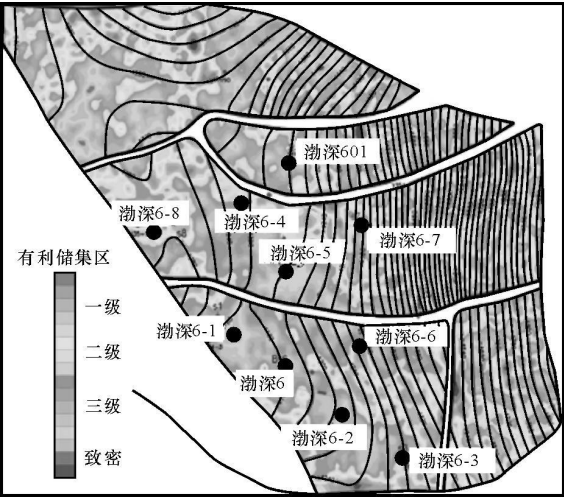


图 2 渤深 6 块储层发育有利部位分布
Fig. 2 Resistivity Photograph of Boshen-6 Block

3 渤深 6 块潜山油藏开发效果分析

通过运用以上古潜山油藏描述与预测技术, 渤深 6 块总体部署新井 15 口, 投产 15 口。新井目的层钻遇率 100%, 均自喷生产, 单井产能 49 ~ 170 t/d, 区块产能 400 t/d, 建成产能 12×10^4 t/a, 产能建设取得很好效果, 已经累计产油 28.6×10^4 t, 探明含油面积 5.7 km², 石油地质储量 433×10^4 t, 溶解气地质储量 29.9×10^8 m³ (图 3)。

4 结语

渤深 6 块潜山是济阳拗陷中典型的滑脱型潜山, 在多期构造运动及古岩溶作用下, 潜山中以碳酸盐岩为主的下古生界形成良好的储集空间。渤南凹陷中沙三段烃源岩为潜山提供了充足的油源, 潜山内幕发育的断层为油气运移提供了良好的通

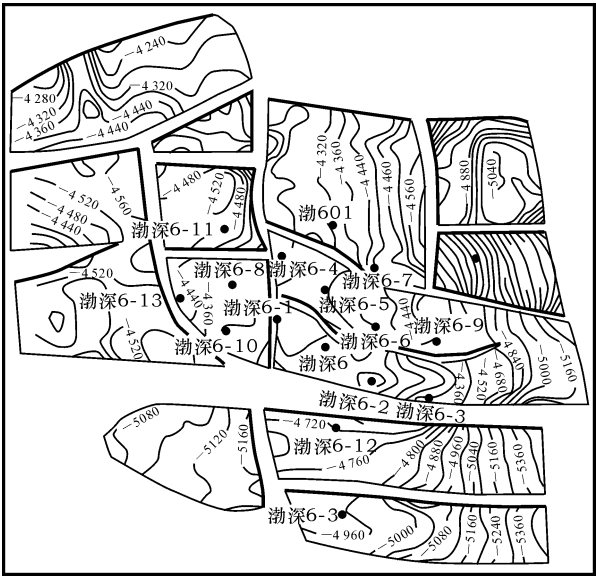


图 3 渤深 6 块构造井位

Fig. 3 Structure Map of Boshen-6 Block in Bonan Oilfield
道, 从而在潜山顶部形成风化壳油藏, 在潜山内幕则形成层状油藏^[9]。

古潜山油藏成藏机制十分复杂, 勘探开发必须借鉴国内外潜山油藏开发经验^[6-9]。渤深 6 块潜山油藏具有埋藏深、破碎严重、含油层系多、单井产能高特点, 油藏构造及储层发育复杂。因此, 用以上方法在渤深 6 块储层进行应用取得了好的效果和经济效益。

参考文献:

[1] 李丕龙, 张善文. 多样性潜山成因、成藏与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
[2] 王端平, 金 强, 戴俊生, 等. 基岩潜山油气藏储集空间分布规律与评价方法[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
[3] 康仁华, 叶小川. 河口油区潜山油藏开发配套技术[C] // 李阳. 胜利油田开发技术论文集. 北京: 石油工业出版社, 2004.
[4] 刘 磊. 渤深 6 下古生界潜山碳酸盐岩储层预测研究[J]. 石油物探, 2005, 44(3): 225-229.
[5] 单保杰, 徐 刚, 刘魁元. 滑脱型潜山成藏研究[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 65-69.
[6] 周建林. 济阳拗陷上古生界煤成气成藏规律认识[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 47-50.
[7] 王永诗, 王学军. 富台下古生界潜山油藏特征[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(4): 23-25.
[8] 党 牛, 赵 虹, 姜常义. 塔里木盆地东北部侏罗系烃源岩特征及初步评价[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 1-5.
[9] 刘克奇, 蔡忠贤, 张淑贞. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩不整合带的结构[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 41-44.