

贝尔凹陷基岩潜山致密储层裂缝分布预测

杨勉¹,徐梓洋¹,杨柏松²,魏伟³,李启菊³

(1. 东北石油大学 地球科学学院,黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油对外合作部,北京 100007;

3. 中国石油 青海油田分公司 采油一厂,青海 茫崖 816499)

摘要:贝尔凹陷基岩潜山储层属低孔低渗-超低孔超低渗型致密储层,构造裂缝是其主要的储集空间。预测致密储层构造裂缝的分布规律是寻找优质储层、提高油气藏勘探成功率的前提和保障。文章根据贝尔凹陷基岩顶面构造形态及基底断层分布特征,利用“曲率法”和“有限元数值模拟法”对“与褶皱相关裂缝”和“与断裂相关裂缝”成因的两种裂缝发育带的分布进行了预测。结果表明,贝尔凹陷基岩顶面与褶皱相关裂缝发育带主要沿构造走向分布,分布于贝西次凹贝302-贝13井及贝D4井东部、贝中断隆带霍10井周边及贝42-贝16井一线、贝中次凹内希13-希5-德8井附近。与断裂相关裂缝发育带主要分布于贝西次凹西南部及中部、贝中断隆带贝30井附近、贝中次凹东北部德8井附近及西南部希5井周边。岩心观察表明贝16井基岩潜山顶部主要发育构造曲率控制下的溶蚀性裂缝,与裂缝预测结果相一致,证明了预测方法的合理性。

关键词:基岩潜山;裂缝预测;致密储层;贝尔凹陷

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Fracture prediction of bedrock buried hill tight reservoirs in Beier Depression

Yang Mian¹, Xu Ziyang¹, Yang Baisong², Wei Wei³, Li Qiju³

(1. School of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Foreign Cooperation Department, PetroChina, Beijing 100007, China; 3. No. 1 Oil Production Plant, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Mangya, Qinghai 816499, China)

Abstract: Bedrock buried hill reservoirs in Beier Depression belong to tight reservoirs with low to ultralow porosity and low to ultralow permeability, and have structural fractures as the main reservoir spaces. Mapping of these structural fractures is the premise and guarantee for looking for high quality reservoirs and improve exploration success rate. According to the top structural form of bedrock and distribution of basement faults in Beier Depression, we mapped two types of structural fractures by using curvature method and finite element numerical simulation method. One is fracture related to folds and the other is fracture related to faults. The fold-related fracture on top of the bedrock in Beier Depression are distributed mainly along strike, and are located in east of well Bei302-Bei13 and BeiD4 of west Beixi sub-depression, periphery of well Huo10 and Bei42 to Bei16 of Beizhong fault-uplift zone, and periphery of well Xi13-Xi5-De8 of Beizhong sub-depression. The fault-related fractures are mainly distributed in the southwest and central of Beixi sub-depression, periphery of well Bei30 of Beizhong fault-uplift zone, and periphery of well De8-Xi5. Cores observation shows that curvature-controlled dissolution fractures are common on top of the bedrock in well Bei16, which coincides with fracture prediction results.

Key words: bed rock buried hill, fractures prediction, tight reservoir, Beier Depression

1 地质背景

贝尔凹陷是海拉尔盆地中部断陷带内的一个二级构造单元,面积约3010 km²,受北东向和北东东向主干断裂控制,凹陷具有“三四二隆一斜坡”的特点,自西向东分别是贝西斜坡带、贝西次凹、贝中断隆带、贝中次凹、贝东断隆带和贝东次凹6个次级构造单

元^[1-3](图1)。目前,贝尔凹陷内勘探目的层主要为基岩、下白垩统的铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组。

截至2012年凹陷内已钻探评井158口,其中工业油流井达59口,预测资源量为2.78×10⁸ t,提交探明储量1.59×10⁸ t。其中,贝中断隆带的苏德尔特潜山构造带和贝中次凹基岩潜山获得工业油流,提交探明储量2568×10⁸ t;贝中断隆带内的霍多莫尔构造带、贝西斜坡带、贝西次凹、贝东次凹等也获得低产油流或

收稿日期:2013-08-11;修订日期:2014-01-12。

第一作者简介:杨勉(1974—),男,博士、副教授,含油气盆地分析和油气成藏。E-mail:1543641@qq.com。

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目(2013AA064903);黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划项目(1155G03)。

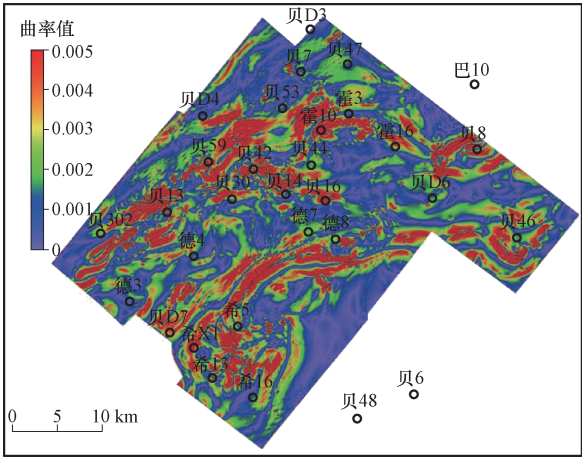


图 4 贝尔凹陷基岩顶面曲率分布
Fig. 4 Bedrock top surface curvature distribution
of Beier Depression

3.2 与断裂相关裂缝发育带预测

与断裂相关的裂缝是局部构造裂缝的重要类型,断裂带内以伴生裂缝为主,而断裂附近则是诱导裂缝的发育部位。在构造应力场作用下,往往产生一系列与断裂平行的剪破裂,裂缝的密度在断裂带中央部位最大,裂缝带宽度一般不超过数十米。此外,断裂在活动过程中派生的局部应力场也会产生一些裂缝,其分布由断层活动引起的次级构造应力场和岩石力学性质所决定,离断裂越近,密度越大^[12-14]。此外,多期构造运动形成的长期活动断层周边裂缝系统更加密集和复杂,是多期裂缝相互交叉和叠加的最终结果^[15]。

有限元数值模拟方法是现今裂缝平面预测采用最为普遍的方法,其主要通过建立地质模型、加载边界条件和载荷、模拟计算等一系列步骤反演出裂缝形成时期构造应力场的分布,从而分析获得裂缝发育的特征及分布规律。

贝尔凹陷经历了多期构造演化,主要可分为“断陷期”、“断-凹转化期”和“凹陷期”三个阶段,其中断陷期阶段构造活动最为强烈,这一时期沉积形成了南屯组地层,也是基岩潜山构造裂缝形成的主要时期。据此,选择南屯组沉积时期基岩潜山的顶面构造格局来建立数值模拟模型,赋予其力学参数、边界条件及载荷(表 1),进行计算后即求得基岩潜山顶面在南屯组沉积时期构造应力值的分布。

表 1 构造应力数值模拟岩石力学参数及边界条件

Table 1 Rock mechanical parameters and boundary conditions for structural stress simulation

岩性	密度/ (10 ³ kg · m ⁻³)	杨氏模量/ (10 ⁵ MPa)	泊松比	边界条件
基岩	2.55	1.24	0.16	东西边界东西向约束; 南部边界南北向约束;
断裂带	2.00	0.70	0.20	北部边界为自由边界。

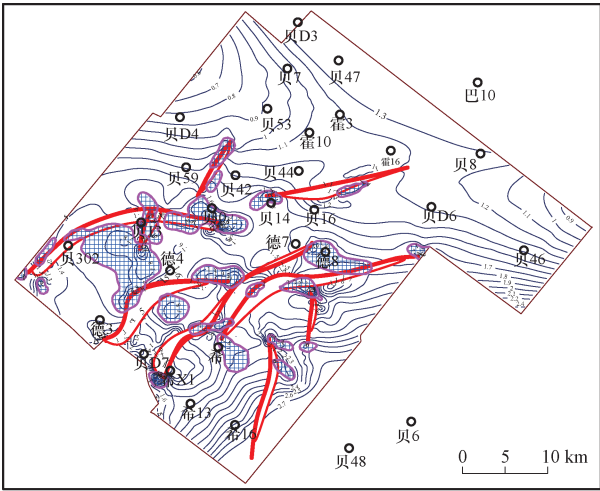


图 5 贝尔凹陷基岩顶面南屯组沉积时期应变能密度
Fig. 5 Strain energy density map of top bedrock in Beier
Depression during the deposition of the Nantun Fm

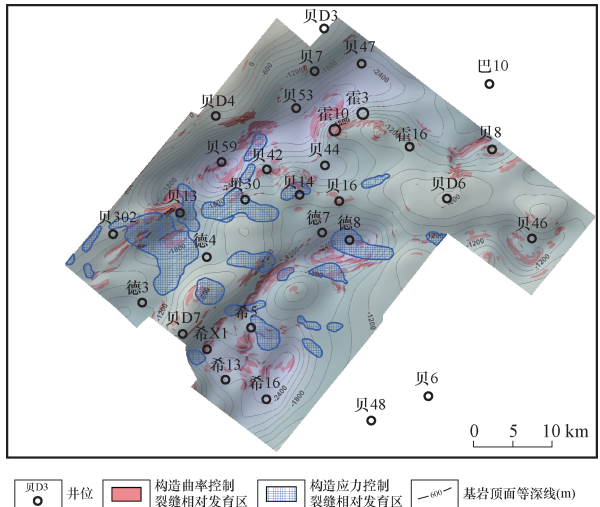


图 6 贝尔凹陷基岩顶面裂缝发育区
Fig. 6 Fracture distribution on top bedrock of Beier Depression

研究发现,裂缝的发育程度与应变能密度具有非常高的相关性,并可以将之作为裂缝定量预测模型加以应用^[16][式(2)]。

$$W = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\gamma(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]$$
(2)

式中:σ₁——最大主应力值,MPa;
σ₂——中间主应力值,MPa;
σ₃——最小主应力值,MPa;
γ——泊松比,小数;
E——弹性模量,MPa;

利用数值模拟计算得到的构造应力值分布结果,通过式(2)计算后求得南屯组沉积时期贝尔凹陷基岩顶面的应变能密度大小。在断裂的末端、转折部位及交汇处存在应变能密度高值区,这些区域是“与断裂相关裂缝”的发育区(图 5)。

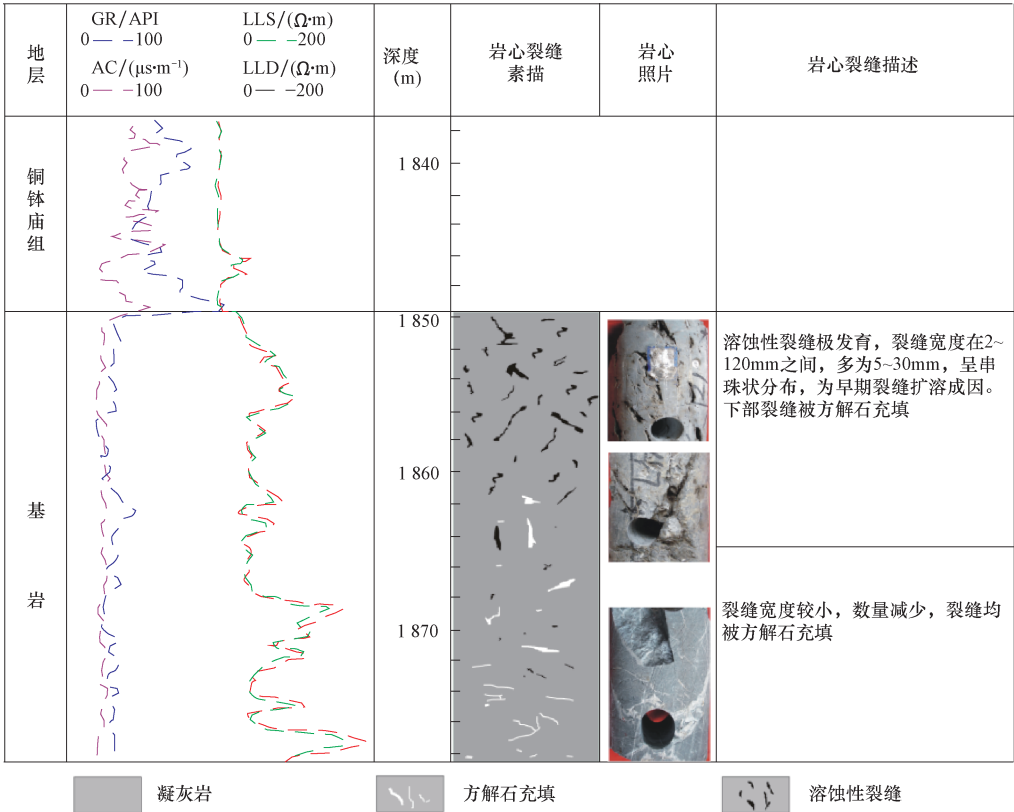


图 7 贝 16 井基岩潜山岩心裂缝发育特征
Fig. 7 Fractures in cores of bedrock buried hill in well Bei16

3.3 裂缝发育带分布范围及分布规律

将上述两种类型的裂缝发育区带预测结果进行综合,即为研究区基岩顶面裂缝发育区带的分布范围(图 6)

由裂缝分布预测图可以看出,贝尔凹陷内,基岩顶面与褶皱相关裂缝发育带分布规律明显,主要沿构造走向分布。在贝西次凹裂缝相对发育带分布于贝 302—贝 13 井及贝 D4 井东部;贝中断隆带则分布于北部霍多莫尔构造带霍 10 井周边、中部苏德尔特构造带贝 42—贝 16 井一线。贝中次凹内分布于希 13—希 5—德 8 井附近。与断裂相关裂缝发育带则主要分布于贝西次凹西南部及中部、贝中断隆带贝 30 井附近、贝中次凹东北部德 8 井附近及西南部希 5 井周边。

3.4 验证实例

贝 16 区块是贝尔凹陷内含油气性较好的基岩潜山油藏之一,目前已投入开发阶段,单井日产油量 3.1 吨。油藏储层岩性主要为凝灰岩和砂砾岩。

钻井岩心观察与描述表明(图 7),区内贝 16 井基岩潜山顶部主要为褐灰色凝灰岩,见油斑、油迹。溶蚀性裂缝极发育,裂缝宽度在 2~120 mm 之间,多为 5~30 mm,呈串珠状分布,为早期发育的裂缝后期

扩溶而成,是油气的主要储集空间。随着深度的增加,下部裂缝的数量和宽度均减小,且大部分被方解石充填。据此证明贝 16 井基岩顶部的溶蚀性裂缝储层主要是由构造曲率控制下形成的裂缝发育区演变而来;此外,该井距基底主干断层较远,并不发育构造应力控制下形成的裂缝区。这与贝尔凹陷基岩顶面裂缝发育区预测结果相一致,证明了预测方法的合理性。

4 结论

- 1) 贝尔凹陷基岩潜山储层总体上属于低孔低渗—超低孔超低渗型致密储层,储集空间以“与褶皱相关裂缝”和“与断裂相关裂缝”形成的构造裂缝为主。
- 2) 利用“曲率法”和“有限元数值模拟法”预测裂缝分布的结果表明,贝尔凹陷基岩顶面与褶皱相关裂缝发育带主要沿构造走向分布,主要分布于贝西次凹贝 302—贝 13 井及贝 D4 井东部、贝中断隆带霍 10 井周边及贝 42—贝 16 井一线、贝中次凹内希 13—希 5—德 8 井附近。与断裂相关裂缝发育带主要分布于贝西次凹西南部及中部临近苏德尔特构造带的贝 30 井附近、贝中次凹东北部德 8 井附近及西南部希 5 井

周边。

3) 岩心观察表明贝16井基岩潜山顶部主要发育构造曲率控制下的溶蚀性裂缝,与裂缝预测结果相一致,证明了预测方法的合理性。

参 考 文 献

- [1] 付广,李海丽. 贝尔凹陷油藏形成过程及油富集的主控因素[J]. 中南大学学报(自然科学版),2012,43(12):4850-4858.
Fu Guang, Li Haili. Forming procession of oil and gas reservoirs and main controlling factors of oil accumulation in Beier Depression[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(12): 4850-4858.
- [2] 李树青,汪利. 海拉尔盆地贝尔凹陷下白垩统南屯组储集层特征[J]. 古地理学报,2009,11(2):241-249.
Li Shuqing, Wang Li. Reservoir characteristics of the Lower Cretaceous Nantun Formation in Beier Sag of Hailar Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(2): 241-249.
- [3] 付晓飞,胡春明,李景伟. 贝尔凹陷布达特群潜山演化及含油气性[J]. 石油学报,2008,29(3):356-362.
Fu Xiaofei, Hu Chunming, Li Jingwei. Evolution of buried hill and oil-gas bearing property in Budate Group of Beier Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 356-362.
- [4] 张新涛,刘立,任延广,等. 海拉尔盆地贝尔凹陷布达特群水力破裂的岩石学特征及其成因探讨[J]. 世界地质,2004,23(4):343-347.
Zhang Xintao, Liu Li, Ren Yanguang, et al. Lithology features and preliminary study of Budate Group hydro-fracturing in Beier sags, Hailar Basin[J]. Global Geology, 2004, 23(4): 343-347.
- [5] 牛文,梁江平,江涛,等. 贝尔凹陷布达特群潜山裂缝发育特征及有利区预测[J]. 大庆石油地质与开发,2006,25(4):21-23.
Niu Wen, Liang Jiangping, Jiang Tao, et al. Fracture development characteristic and favorable zone prediction for budatequn buried hill in Beier depression[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(4): 21-23.
- [6] 康德江,庞雄奇,张云峰. 贝尔凹陷苏德尔特潜山储集性能及其主控因素[J]. 石油勘探与开发,2008,35(2):188-194.
Kang Dejiang, Pang Xiongqi, Zhang Yunfeng. Reservoir properties of Suderte buried hill and main controlling factors, Beir Sag, NE China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 188-194.
- [7] 苏玉平,吕延防,付晓飞,等. 分形理论在贝尔凹陷基岩潜山裂缝预测中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006,36(4):563-569.
Su Yuping, Lue Yanfang, Fu Xiaofei, et al. Application of fractal theory on the fracture prediction in the buried hill of bed rock in Beier depression[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(4): 563-569.
- [8] 白斌,邹才能,朱如凯,等. 四川盆地九龙山构造须二段致密砂岩储层裂缝特征、形成时期与主控因素[J]. 石油与天然气地质,2012,33(4):526-535.
Bai Bin, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. Characteristics, timing and controlling factors of structural fractures in tight sandstones of the 2nd member of Xujiahe Formation in Jiulong Mountain structure, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 526-535.
- [9] 巩磊,曾联波,李娟,等. 南襄盆地安棚浅、中层系特低渗储层裂缝特征及其与深层系裂缝对比[J]. 石油与天然气地质,2012,33(5):778-784.
Gong Lei, Zeng Lianbo, Li Juan, et al. Features of fractures in shallow-to mid-depth reservoirs with ultra-low permeability and their comparison with those in deep reservoirs in Anpeng oilfield, the Nanxiang Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 778-784.
- [10] Murray G H. Quantitative fracture study, sanish pool, Mc Kenzie County, North Dakota[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1968, 52(1): 57-65.
- [11] 朱志澄. 构造地质学[M]. 中国地质大学出版社,2004.
Zhu Zhicheng. Structural Geology[M]. China University of Geosciences Press, 2004.
- [12] 孙焕泉,王加滢. 地下构造裂缝分布规律及其预测[J]. 大庆石油学院学报,2000,24(3):83-85.
Sun Huanquan, Wang Jiaying. Distribution law of underground structural fissures and their forecasting[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2000, 24(3): 83-85.
- [13] Grechka V, Vasconcelos I, Kachanov M. Effective elasticity of rocks with irregular shaped and intersecting cracks[J]. SEG, 2006, 1355-1358.
- [14] 周新桂,操成杰,袁嘉音. 储层构造裂缝定量预测与油气渗流规律研究现状和进展[J]. 地球科学进展,2003,18(3):398-403.
Zhou xingui, Cao Chengjie, Yuan Jiayin. The research actuality and major progresses on the quantitative forecast of reservoir fractures and hydrocarbon migration law[J]. Advances in Earth Sciences, 2003, 18(3): 398-403.
- [15] 孙炜,李玉凤,何巍巍,等. P波各向异性裂缝预测技术在ZY区碳酸盐岩储层中的应用[J]. 石油与天然气地质,2013,34(1):137-144.
Sun Wei, Li Yufeng, He Weiwei, et al. Using P-wave azimuthal anisotropy to predict fractures in carbonate reservoirs of the ZY block[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 137-144.
- [16] 宋惠珍. 地应力场综合研究[M]. 北京:石油工业出版社,1990.
Song Huizheng. Comprehensive study on stress field[M]. Petroleum Industry Press, 1990.

(编辑 董立)