

反转构造盆地裂缝特征

——以松辽盆地大庆三肇地区为例*

张莉^{1,2}, 岳乐平¹, 杨亚娟¹, 王秀娟³

(1. 西北大学地质系, 陕西西安 710069; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640;
3. 大庆勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163453)

摘要: 松辽盆地主要经历了伸展构造期和反转构造期。伸展构造期主要形成一组近 NS 向的拉张破裂裂缝和两组斜交共轭剪裂缝。反转构造期主要形成 NE、NW 向两组共轭剪裂缝和一组近 EW 向的横张裂缝。盆地东部生长断层的活动到青山口组末期才基本结束。由于生长断层活动期间泉头组三段、四段尤其是青山组的沉积物基本处于塑性状态, 因此构造裂缝不发育。伸展期形成的裂缝由于经历了较长时间的成岩作用, 裂缝多被方解石充填, 有效程度低。进入反转构造期后, 盆地内储层已经成岩, 在挤压作用下形成了构造裂缝。因此, 三肇地区的构造裂缝主要是在反转构造期形成的。

关键词: 松辽盆地; 反转构造; 三肇地区; 裂缝

第一作者简介: 张莉, 女, 28 岁, 博士后, 石油地质

中图分类号: P618.130.2 **文献标识码:** A

三肇地区是大庆外围重要的石油富集区, 经过最近 20 多年勘探, 已发现榆树林、朝阳沟、卫星-宋芳屯-肇州、肇源、永乐及头台 6 大片含油区^[1]。主要含油层系扶杨油层属白垩系泉头组三、四段, 埋深 900~2 400 m。储层主要是分流河道砂体, 砂体规模小, 物性差, 砂层厚度为 2~20 m。储层孔隙度一般为 9%~12%, 空气渗透率一般为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属特低渗透储层。储层天然裂缝较为发育, 开发过程中油田不同程度的受到天然裂缝的影响^[1]。

1 裂缝特征

1.1 方向

三肇地区泉头组沉积后, 经历了多期构造运动, 其中以青山口组沉积末期的伸展构造和嫩江组末期及明水组末期的反转构造最为特征, 并形成了不同组系的裂缝。

1.1.1 野外露头测量

根据黑龙江省宾县松花江沿岸野外露头裂缝特征研究, 露头区裂缝主要有近 NS 向、近 EW 向和

NE 向三组** (图 1)。

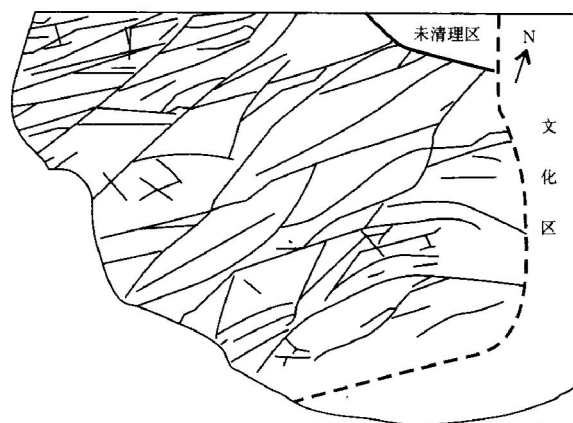


图 1 野外露头裂缝平面展布图

Fig. 1 Fracture plane distribution in the outcrop

1.1.2 岩芯古地磁定向

对岩芯样品裂缝方位的古地磁测定表明, 储层裂缝虽然总体上表现出多方向性, 但仍具有优势裂缝组系的方向, 三肇地区近 EW 向、NE 向和近 NS 向裂缝较发育 (图 2)。

1.1.3 现场示踪剂测试

现场示踪剂测试反映, 储层裂缝具有多方向性, 但以 EW 向为主。头台油田 1995 年进行了 4 个井组示踪剂现场试验, 除茂 804 井注示踪剂由于 4-11 井转注后其他井未见显示外, 其他 3 个井组

* 资助基金: 中国石油天然气总公司“九五”攻关项目“大庆三肇凹陷地应力及裂缝系统数值模拟”

** 曹瑞成, 王秀娟. 宾县泉头组野外天然裂缝发育特征. 1996

收稿日期: 2002-11-02

均见到良好显示(表 1)。

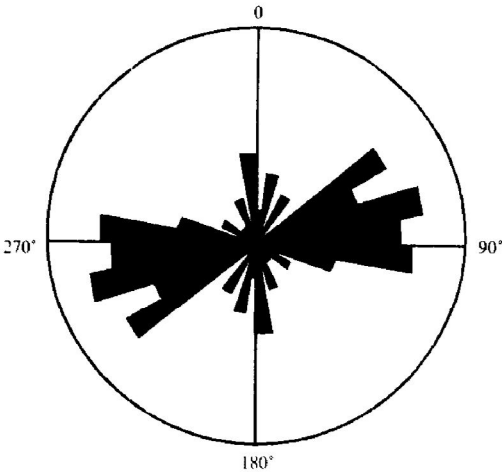


图 2 岩芯古地磁裂缝方位图

Fig. 2 Fracture direction determined by core paleomagnetism

表 1 三肇地区头台油田示踪剂监测情况表
Table 1 results of tracer detection in Toutai Oilfield
in Sanzhao area.

注入井号	注入压力 /MPa	监测井号	裂缝方位	推进速度 /m ³ ·h ⁻¹
62-86	12.0	63-85	EW	7.5
		61-85	SN	/
		63-87	NE	0.7
8-13	13.5	7-15	EW	1.09
		9-11	EW	0.8
		9-15	SN	0.6
40-74	12.5	41-73	EW	0.97
茂 804	13.0		未见显示	

1.2 类型

1.2.1 与伸展作用有关的裂缝组系

在张裂期,松辽盆地受到区域性近 EW 向拉张应力作用,在该作用下形成了一系列近 NS 向的断层。青山口组沉积末期在区域性伸展应力场中,盆地基底近 NS 向断层复活,受其控制,形成了伸展断层。与断层同期共生的裂缝组系主要有如下两组。

(1)拉张破裂裂缝:正断层由拉张应力形成,因此在拉张过程中会产生近于垂直的拉张破裂裂缝,裂缝走向平行于正断层面。

(2)剪切破裂裂缝:正断层附近发育两组斜交的剖面共轭“X”剪破裂面,一组与断层面平行,另一组与断层面斜交。

拉张破裂裂缝规模小,缝面较为粗糙。两组共轭剪裂缝中有一组发育较好,而另一组不发育或发育

较差,裂缝缝面上常见擦痕和阶步,其方向与缝面走向垂直。由于裂缝形成时间早,经历了后期较强的成岩作用,裂缝面常被钙质充填,因此有效程度低。

1.2.2 与挤压作用有关的裂缝组系

嫩江组沉积以后,松辽盆地已进入反转期。在来自盆地近 EW 向强裂挤压作用下,盆地内部形成一些褶皱,上部地层还形成一些新的断层。这次构造运动使松辽盆地的局部构造和二级构造基本定型,所形成的局部构造形态反映了当时的应力场分布,一些背斜的长轴方向为 NNE(10°),反映了当时的最大水平主应力方向为 SEE(100°)(近 EW 向)。在构造应力作用尚未使岩层发生弯曲时,首先形成两组近直立的平面共轭剪裂缝和一组垂直于褶皱轴部的横张缝;随着应力继续作用使岩层弯曲到一定程度时,背斜轴部会形成两组斜交的剖面共轭剪切缝和一组纵张缝。在反转期形成的这些裂缝产状垂直,很少被方解石充填,尤其是近 EW 向一组裂缝在后期应力作用下(区域性 EW 向挤压作用)及现今应力场作用下(最大水平主应力为近 EW 向),有效程度很高。

1.3 性质

根据露头和岩芯观察,三肇地区构造裂缝以剪裂缝和张裂缝为主,剪切缝的典型特征是缝面平滑光滑,具有明显擦痕及磨光镜面,缝面两侧有时具有一定剪切错动。根据松辽盆地构造发育史分析,三肇地区构造裂缝的力学性质与该区构造应力场特征相吻合。松辽盆地的形成和演化是“先张后压、早断晚皱”的过程,早期张性应力场的伸展断层附近,由于断层产生的局部应力所形成的共生裂缝,3种力学性质的裂缝均有分布,张裂缝一般平行于断层,而剪裂缝和张剪性缝常与断层斜交。后期挤压应力场环境中,也会产生张裂缝(包括横张裂缝和纵张裂缝)、剪裂缝和张剪性缝。

2 裂缝形成演化

2.1 反转构造

松辽盆地内早期正断层的后期逆转现象,在 20 世纪 60 年代末已有发现,20 世纪 80 年代许多研究者对松辽盆地的反转构造进行了研究^[2~4]。近期工作表明松辽盆地整体是一个大型反转盆地,其反转构造主要属于正反转构造,即由张性到压性(压扭性)的反转构造。松辽盆地反转构造可以分为西部、中部和东部反转构造区。三肇地区位于中

部反转构造区, 反转构造带为 NE 向, 反转构造以断层式反转构造为主。松辽盆地反转构造可以分为 3 期, 即嫩江组末、明水组末和早第三纪末反转期。

嫩江组末期, NNW - SSE 向区域性挤压, 孙吴-双辽断裂系左行走滑, 沿分支断裂带扭动形成了左行斜列的背斜带等压扭性反转构造。晚白垩世明水组末期, 太平洋板块的俯冲, 区域挤压应力变为 SEE - NWW 向(近 EW 向), 盆地内普遍形成了一系列压性反转构造, 松辽盆地大部分构造在此期定型。早第三纪末期, 由于日本海的扩张, 陆壳拉断, 使孙吴-双辽断裂左行走滑, 压扭性反转构造在盆地再次发育。盆地内反转构造的开始发育时期具有东早西晚的特点。三肇地区反转构造主要在明水组末期开始发育, 早第三纪反转构造增长的幅度不大。

2.2 裂缝演化

松辽盆地伸展期和反转期两期构造运动控制了松辽盆地构造裂缝的组系、方位、产状、力学性质等参数。

在伸展构造期, 盆地东部生长断层的活动到青山口组末期才基本结束, 由于生长断层活动期间泉头组三段、四段尤其是青山口组的沉积物基本处于塑性状态, 因此构造裂缝不发育, 且由于经历了较长时间的成岩作用, 裂缝多被方解石充填, 有效程度低。进入反转构造期后, 盆地内储层已经成岩, 在挤压作用下形成了构造裂缝。因此, 三肇地区的构造裂缝主要是在反转构造期形成的。

伸展构造期: 主要形成一组近 NS 向的拉张破裂裂缝和两组斜交共轭剪裂缝。

反转构造期: 主要形成 NE, NW 向两组共轭剪裂缝和一组近 EW 向的横张裂缝, 随着背斜的弯曲, 在核部可能会形成一些少量的张裂缝。

三肇地区构造裂缝是在长期的不同期次、不同性质、不同方向的应力场作用下逐步形成的。初期形成的裂缝方向单调, 规模有限, 经后期应力场的不断强化和改造, 特别是由于应力场性质和方向的转变, 会增大某些组系裂缝的密度和规模, 并产生新的裂缝。早期形成的裂缝由于经历了较长时期的成岩作用, 会使裂缝受到充填或溶蚀作用。此外, 由于应力场作用方向的不稳定, 构造裂缝的开启状态也会有很大的变化。当主压应力与裂缝平行时, 该组裂缝处于张开状态; 当裂缝与主压应力

垂直, 则可能会闭合或开度很小。

3 裂缝的有效性

根据双井径测井解释方法及压裂施工测试法分析, 三肇地区现今应力场最大水平主应力方向为近 EW 向。裂缝的地下开度和有效性受现代应力场控制^[5]。裂缝方向若与现代应力场最大水平主应力方向平行, 受拉张作用, 裂缝开度最大, 连通性最好, 渗流能力最强; 二者若垂直, 受挤压作用, 裂缝开度最小, 连通性最差, 渗流能力最弱; 二者若斜交, 开度、连通性和渗流能力居中, 随交角变大, 开度变小, 连通性、渗流能力变差。松辽盆地三肇地区天然裂缝是不同时期(主要是伸展构造期和反转构造期)地质活动形成的裂缝累加的结果, 存在多个组系, 有一组近 EW 向张裂缝、一组近 NS 向张裂缝和两组 NE, NW 向共轭剪裂缝。不同组系裂缝在现今应力场作用下的有效程度不同。三肇地区现今最大水平主应力方向为近 EW 向, 因此近 EW 向裂缝的有效程度最高, 渗流能力最强, 其次为 NE 和 NW 向裂缝, 近 NS 向裂缝由于垂直于最大水平主应力因而有效程度最低, 渗流能力最弱。从三肇地区投入开发的各油田示踪剂测试、高含水井分析等开发动态资料看, 注水井排上的东西向油井注水见效快, 这表明对油田注水开发有影响的主要是近 EW 向的张裂缝。由于 NE, NW 向的剪裂缝一般是闭合的, 近 NS 向的张裂缝走向垂直于现今最大水平主应力方向, 因此也是闭合的, 而近 EW 向的张裂缝在现今应力场的作用下, 开启程度高, 因此注入水沿着天然裂缝或在此基础上压开的人工裂缝迅速推进, 使东西向油井迅速见到注水效果。

致谢: 本文得到了大庆石油管理局研究院总地质师李伯虎教授的大力支持和指导, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 王秀娟, 孙贻铃, 庞彦明. 三肇地区扶、杨油层裂缝和地应力分布特征及对注水开发的影响[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(5): 9~12
- 2 殷进垠. 松辽盆地反转构造特征及其油气聚集的关系[A]. 见: 大庆油田勘探开发研究院. 大庆油田勘探开发研究论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 156~165
- 3 余和中, 韩守华. 松辽盆地构造样式分析[J]. 大庆石油地质与开发, 1997, 16(1): 1~4
- 4 胡望水. 正反转构造类型及其研究方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1997, 16(2): 6~9
- 5 张莉. 低渗透油田地应力、裂缝系统与油田开发[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 330~332 (下转 367 页)

RELATIONS BETWEEN ARCHIE' S FORMULA AND RESERVOIR PORE STRUCTURE

Li Qiushi¹ Zhou Rongan² Zhang Jingong³ Wu Hannin³ Li Xuesen

(1. Department of Geology, Northwest University, Postdoctor Station of Changqing Petroleum Exploration Bureau, Xi'an, Shanxi, Postdoctor Mobile Station of Petroleum University (Beijing); 2. Exploitation Institute of Changqing Oil company Xi'an, Shanxi; 3. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shanxi)

Abstract: It is discovered by the experimental study on Shan-2 Paleozoic reservoir of Shan-141 well area that the resistivity factor F in Archie's Formula is not only related with the porosity and tortuosity of the pore but also related with the throat of the pore as well. When the throat rate = 1, the minimum of n is 1, when the throat becomes larger, n becomes larger accordingly. It is concluded that the smaller the ratio of the pore throat, the lower the Value F is. The size of Value n of the reservoir resistivity index is chiefly effected by the ratio of the pore throat. The theory is that when the pore is full of oil, the layer of the conductor decreases and the length of it increases.

Key words: quartz; pore structure; diagenesis; rock-electric testing; mercury-injection curve; resistivity index

(上接 363 页)

FRACTURE FEATURES OF REVERSED BASIN: TAKING SANZHAO AREA OF SONGLIAO BASIN FOR EXAMPLE

Zhang Li¹ Yue Leping² Yang Yajuan¹ Wang Xiujuan³

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an)

Abstract: Songliao basin has principally experienced extensional and reverse stages. A set of near-NW tension fractures and two sets of oblique shear fractures were chiefly formed in the stage of extensional structure, whereas two sets of near-NE and NW shear fractures and one set of EW spreading fractures were developed in the stage of reverse structure. Fault growth activities could not cease basically until the late Qingshankou Formation. Structural fractures were not well-developed due to sediments in plasticity in the Third-Forth Member of Quantou Formation and Qingshankou Formation in particular. Most of fractures formed in the stage of extensional structure are discovered to be filled with calcite and in inefficient due to prolonged process of diagenesis. During the reverse stage, structural fractures were extensively formed by compressional process because the reservoir in the basin was already in deep diagenesis. Therefore, fractures in Sanzhao area were mainly formed in the reverse stage.

Key word: Reverse structure; fracture; Sanzhao area; Songliao basin