

鲁西地区太古界裂缝类型与发育规律

刘惠民¹, 张鹏飞¹, 宋国奇², 王志杰³, 田美荣¹, 程 荣¹

(1. 中国石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东东营 257015; 2. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257001;
3. 中国石化胜利油田分公司纯梁采油厂, 山东博兴 256504)

摘要:依据露头观测和成像测井数据,揭示鲁西地区太古界裂缝系统的成因及类型,将裂缝产状数据与区域构造背景结合分析,同时依据典型断裂-裂缝剖面的观测统计,对太古界构造裂缝的形成时期及发育规律进行剖析。结果表明:鲁西地区太古界裂缝系统主要由区域构造裂缝和局部构造裂缝组成;区域构造裂缝形成时期主要为中—新生代,其中低角度裂缝形成于印支期,高角度裂缝形成于燕山—喜山期;局部构造裂缝的发育虽不具有普遍性,但对局部地区太古界储集性能的改善意义重大;规模相近但力学性质不同的断裂对储层的改造程度和影响范围存在差异;压性断裂最好,压扭性断裂次之,张扭性断裂最差;断裂影响范围内裂缝面密度的显著增大主要表现为区域构造裂缝的加密或派生新的构造裂缝,新生裂缝通常与断裂平行或小角度斜交。

关键词:裂缝;太古界;鲁西地区;济阳坳陷

中图分类号:TE 121.2

文献标志码:A

引用格式:刘惠民,张鹏飞,宋国奇,等. 鲁西地区太古界裂缝类型与发育规律[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2014,38(5):34-40.

LIU Huimin, ZHANG Pengfei, SONG Guoqi, et al. Fracture types and distribution of Archaean rocks in west Shandong, China[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014,38(5):34-40.

Fracture types and distribution of Archaean rocks in west Shandong, China

LIU Huimin¹, ZHANG Pengfei¹, SONG Guoqi², WANG Zhijie³, TIAN Meirong¹, CHENG Rong¹

(1. Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257015, China;
2. Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257001, China;
3. Chunliang Oil Production Plant, Shengli Oilfield, SINOPEC, Boxing 256504, China)

Abstract: Based on outcrop observations and image logging data, the origin and types of Archaean rocks fracture were revealed in west Shandong. Integrating a large amount of measurements for fracture properties, this research focuses on the genetic type, the formation date and the characteristics of Archaean fracture systems in the region. Formation period and distribution of structural fracture were studied by drawing connection between the regional tectonic setting and the fracture occurrence inferred from observations of screened section from the typical faults and the associated fractures. The results show that the Archaean fracture system in west Shandong consists of two genetic types. One is the regional tectonic joint, which was formed in the Meso-Cenozoic era. The formation of low and high angle joint was in the Indo-Chinese epoch and the Yanshan-Himalayan period, respectively. The other type is local structure fracture, which is not typical but of great significance in improving the Archaean reservoir quality in some areas. Faults with similar length scale but different mechanical properties have different influences on reservoir properties: the tenso-shear faults seem to have minimal effects, the compressive faults have the maximum effects, and the compresso-shear faults are in the middle. The increase of the fracture areal density within the influenced fault mainly causes more infill of regional tectonic joints or new structure fractures, which are generally parallel to

or at a small angle oblique to the fractures.

Key words: fracture; Archaean; west Shandong; Jiyang Depression

据不完全统计,世界上裂缝性油藏的储量约占已探明总储量的一半^[1],裂缝性储层的油气产量也占到了全球石油天然气产量的一半以上,是 21 世纪石油增储上产的重要领域之一^[2]。近年来,随着中国东部多个油田相继在中生代花岗岩体或太古代岩浆岩及变质岩潜山勘探中取得重大突破,岩浆岩及变质岩油藏在裂缝性油藏中所占的比例逐渐增大。尤其是太古界潜山裂缝性油藏,以渤海湾盆地为例,该类油藏的产量已占到一定的比例^[3]。对于太古代岩石,前人研究表明主要发育两大类^[4],分别为沉积岩经历变质作用形成的副变质岩和岩浆作用形成的侵入岩或喷发岩,岩浆岩有时经历浅变质作用。对于太古界潜山的储集空间,主要包括裂缝和溶蚀孔隙两大类^[5],多数学者认为构造裂缝为太古界潜山的主要储集空间^[6]。前人采用裂缝充填物碳氧同位素测试、包裹体均一温度测试和岩石声发射试验、岩组学等方法推断了太古界裂缝的形成期次和时期^[7-9]。多数观点认为当前潜山裂缝系统主要形成于中—新生代的几期构造事件,加里东—海西期仅形成了少数网状风化缝^[10]。从裂缝的产状来看,

裂缝延伸方向受潜山带主干断裂控制明显^[11-12]。裂缝发育的控制因素主要包括岩性、构造运动、古风化溶蚀作用、断层、岩浆侵入、区域变质作用等^[13-14]。与辽河拗陷相比,济阳拗陷太古界潜山油藏勘探工作进展较慢。地震资料品质差、钻井资料有限是制约太古界评价的关键,而在济阳拗陷南部的鲁西露头区,太古界大面积出露^[15],为济阳拗陷太古界研究提供了丰富的基础资料。鲁西地区与济阳拗陷在构造特征、岩石物质基础等方面具有很好的相似性^[16-17]。笔者以鲁西地区太古界为研究对象,通过大量裂缝数据的实测和综合分析,对其裂缝系统的成因、形成时期和分布规律进行研究。

1 基本地质概况

鲁西地区位于山东省西部,济阳拗陷南侧,通常指沂沭断裂带之安丘—莒县断裂以西地区,该区前寒武纪结晶基底广泛出露^[18](图 1)。中生代以来的多期构造运动叠加奠定了研究区的总体构造格局为由近南北向、北西向和北东向展布的主干断裂分隔形成的隆起和盆地相间分布。太古代—元古代结

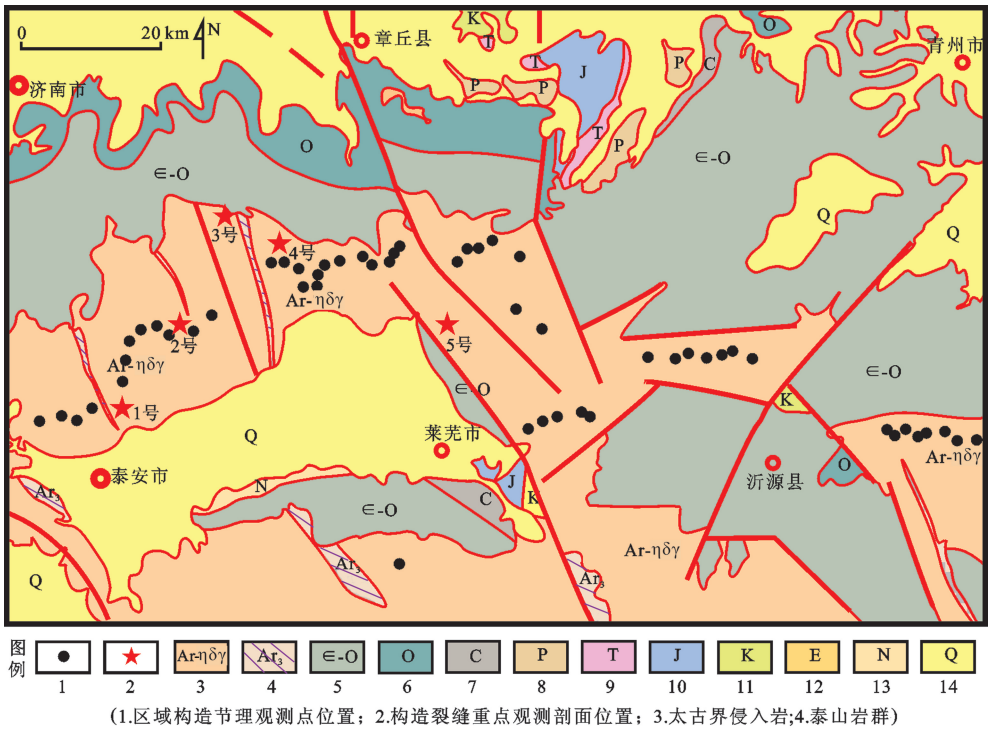


图 1 鲁西地区地质略图

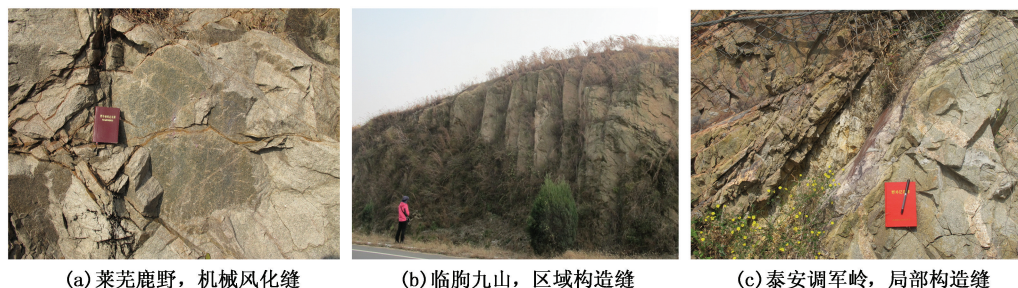
Fig. 1 Schematic geological map of west Shandong

晶基底往往出露于隆起区,基底岩石中常发育变形面理、褶皱及韧性剪切带。孟家屯组、雁翎关组、山草峪组和柳杭组组成的泰山岩群共同构成了鲁西地区太古界的古老陆核^[19]。该陆核平面上分布非常局限,呈北西向展布于泰安-新泰地区。后期在新太古代发生多次岩浆侵入事件,这些晚期的岩浆侵入体围绕陆核分布,由陆核向东西两侧,岩石年龄逐渐变小。岩浆侵入体与早期副变质岩及其他期次岩浆岩侵入接触现象明显,化学成分、矿物组成、稀土元素等多项数据也反映其为幔源岩浆或壳幔混合岩浆作用形成的岩浆岩^[20]。在所有新太古代岩浆侵入事件中,约 2514~2557 Ma 的两期侵入事件规模最大,分别对应于以闪长岩类为代表岩性的峰山岩套和以花岗岩类为代表岩性的徕山岩套。从出露面积来看,徕山岩套和峰山岩套分别约占到太古界总面积的 50% 和 16%。

2 太古界裂缝类型

与覆盖区钻孔资料的“一孔之见”相比,野外露头具有可观测范围大、信息量多的优势,是裂缝观测与相关研究的理想对象。从裂缝的产状、发育特征分析鲁西地区太古界主要发育了 3 种类型的裂缝。第一种裂缝长度和开度都较小,延伸距离短,通常不超过 1 m,开度通常仅约为 0.5 mm,横向上产状不稳定,多呈折线或曲线延伸(图 2(a)),裂缝发育的规律性不明显,分布偶然性强。从裂缝发育特征综

合判定该种裂缝应是机械风化成因的裂缝,由于分布局限,规模小,对太古界储集性能的改善意义较小。第二种裂缝,其裂缝面非常平直,横向上产状稳定,延伸距离远,通常在几百米范围内裂缝走向不会有明显变化,裂缝开度相对较大,一般为 1~3 mm。裂缝面倾角以高角度直立状为主(图 2(b)),此外也有少数呈低角度。这类裂缝在鲁西太古界普遍发育,大规模分布,常将太古界岩石切割成棋盘格子状。基于多方面特征综合分析认为此种裂缝应为区域构造裂缝。虽然区域构造裂缝的密度在不同地区有较大差异,但由于其发育的普遍性,因此该种裂缝对于太古界储集体的形成具有重要意义。第三种裂缝,其裂缝面同样平直,裂缝开度也与区域构造裂缝类似,但裂缝的横向延伸不如区域构造裂缝稳定。这种裂缝的发育往往造成区域构造裂缝背景下局部地区裂缝密度的增大。这类裂缝有时会明显终止于另一方向的规模较大的一条裂缝或区域裂缝,或终止于一条小型的断裂,但有时也与断裂平行发育(图 2(c))。这种裂缝通常与断裂具有较好的伴生关系,综合分析该种裂缝应为与断裂具紧密成因联系的断裂派生缝或次生缝,本文暂称之为局部构造裂缝。这种裂缝在宏观构造应力场和断裂的叠加作用下形成,通常集中发育于局部位置,裂缝密度往往很大,有时裂缝面密度为 50~60 m/m²。因此,局部构造裂缝的发育会大大改善太古界储集性能,对于油气储集具有重要意义。



(a) 莱芜鹿野, 机械风化缝

(b) 临朐九山, 区域构造缝

(c) 泰安调军岭, 局部构造缝

图 2 鲁西地区太古界主要裂缝类型

Fig. 2 Main fracture types of Archean in west Shandong

3 区域构造裂缝特征及形成时期

笔者在鲁西地区共选取了 52 个观测点,对太古界区域构造裂缝进行了观测,在实际选取观测点时尽量远离局部断裂体系或构造。观测结果表明鲁西太古界普遍发育区域构造裂缝。主要发育两种类型的裂缝,一种为倾角为 3°~28°的低角度裂缝,一种为倾角为 66°~90°的高角度裂缝(图 3),两类裂缝

通常都以成对的共轭裂缝出现。低角度共轭裂缝通常仅发育一组,裂缝密度小,间距比较大,一般为 1~2 m;高角度共轭裂缝有时发育两组或两组以上,裂缝密度大,间距一般为 0.3~0.5 m。有时一对共轭裂缝中,其中一个方向的裂缝发育程度较差,这种现象在低角度裂缝中更为常见。从共轭剪裂缝的形成机制来讲,不同的应力分布状态形成不同产状的裂缝,反之推测,不同的裂缝产状也应形成于不同的

应力环境,进而推测应形成于不同时期的构造事件。根据上述推论,低角度与高角度裂缝应形成于不同的地质历史时期。以下分别对两种裂缝的形成时期进行分析。

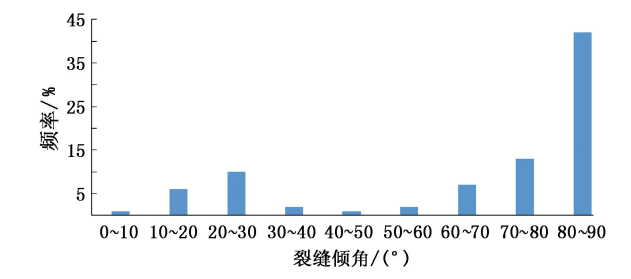


图3 鲁西地区太古界区域构造裂缝倾角分布直方图
Fig.3 Inclination histogram of regional tectonic joint of Archean in west Shandong

鲁西太古界低角度裂缝的走向主要集中在两个方向,分别为北东向和北北西(图4)。同时,济阳拗陷覆盖区发育的低角度裂缝,其走向与鲁西露头区基本一致。因此,形成低角度裂缝的最大主应力方向应为这一组共轭剪裂缝锐夹角的平分线方向,即

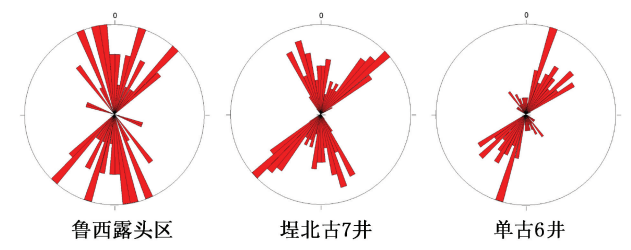


图4 鲁西露头区与济阳拗陷典型井低角度区域构造裂缝走向玫瑰花图

Fig.4 Strike rose diagrams of low angle fracture of Archean in west Shandong and Jiyang Depression

南南西-北北东方向。这一最大主应力方向恰好与中国东部印支期的区域最大主应力方向一致。印支期济阳及鲁西地区所处的华北板块,其北部已经与西伯利亚板块拼贴为一体,南部受到扬子板块的向北挤压,华北板块整体处于北北东-南南西的挤压应力背景下^[21]。因此,鲁西-济阳地区太古界中的低角度裂缝应形成于印支期。露头区高角度裂缝的走向主要集中分布在北东东向和北西向,覆盖区3口井的成像测井数据揭示的高角度裂缝走向与露头区基本一致(图5),形成高角度裂缝的最大主应力应为北西西-南东东向,而这一最大主应力方向恰好与中国东部燕山晚期-喜山期的区域最大主应力方向一致。燕山晚期-喜山期济阳及鲁西地区所处的华北板块受到东南部太平洋板块的挤压,因此该时期华北板块整体处于南东东-北西西的挤压应力背景下^[22]。前人根据在山东临朐地区实测的构造

裂缝产状反推的燕山期最大主压应力轴优选产状为SE116.7°,喜山期最大主压应力轴优选产状为SE102.3°^[23],与笔者推测结果基本一致,高角度裂缝的形成时期应为燕山-喜山期。

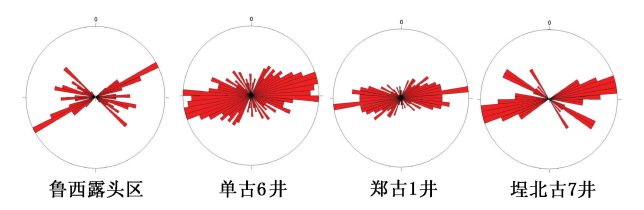


图5 鲁西露头区与济阳拗陷典型井高角度区域构造裂缝走向玫瑰花图

Fig.5 Strike rose diagrams of high angle fracture of Archean in west Shandong and Jiyang Depression

4 局部构造裂缝发育特征

与区域构造裂缝相比,鲁西太古界局部构造裂缝的发育虽然不具有普遍性,但其发育的部位往往会形成高孔高渗的优质储集体,对其发育规律进行研究非常必要。露头区大型断裂附近往往风化严重,出露差,无法进行裂缝的观测。笔者通过多次剖面踏勘,同时考虑太古界的岩石类型、断裂的力学性质等因素,针对规模较小的断裂,选取5条典型剖面进行局部构造裂缝的观测(图1)。篇幅所限,着重介绍具有代表性的2号、4号和5号共3条剖面。需要说明的是由于太古界经历多期构造改造,断层普遍具有多期活动特点。

2号剖面位于泰安市上港村东侧,其岩性为新甫山岩套上港单元奥长花岗岩。剖面中可见3条小型断层(图6),其中断层A与断层B特征类似,断面产状近直立,倾角分别为80°和75°,断裂带主要由断层泥组成,宽约30~40 cm,综合判定为走滑断层。断层C断面倾角较小,为60°,断裂带主要发育构造透镜体,断裂带宽度约为50 cm,具压性断层特征。在2号剖面中共设置了9个裂缝观测点,自西向东分别为SG1~SG9(图6)。所有观测点中SG1和SG4裂缝面密度最低,一般小于10 m/m²,其中SG1仅为6.2 m/m²,与剖面周围背景裂缝面密度基本一致,推测这两个观测点主要发育区域构造裂缝,基本不受小断层影响。SG2和SG3裂缝面密度约为11~14 m/m²,明显高于地区背景值,推测其主要是受到断层A的影响,横向影响范围约26 m;SG5和SG6裂缝面密度约为11~16 m/m²,与SG2和SG3类似,推测其主要受断层B的影响,影响范围略小于断层A,大约18~20 m。在所有观测点中SG7

和SG8的裂缝面密度最大,分别为18.8和24.8 m^2/m^2 ,推测其主要原因为上述两个观测点同时受到了断层B和断层C的影响,特别是SG8距离断层C仅约为3 m,主要受断层C影响,推测断层C的影响范围大于30 m。裂缝面密度的横向变化规律基本可以推测压性断层对储层的改善作用强于走滑断层,在断裂带宽度基本一致的情况下,压性断层的影响范围大于走滑断层。此外裂缝观测还表明,不管是何种力学性质的断层,同一条断层上盘的裂缝面密度明显大于断层下盘。各观测点裂缝产状的测量数据表明两组裂缝的产状与区域构造裂缝基本一致,另外还增加了一组与相邻断裂小角度相交的裂缝。区域构造裂缝的加密和新增的断裂派生缝共同导致了部分观测点裂缝面密度的增大。

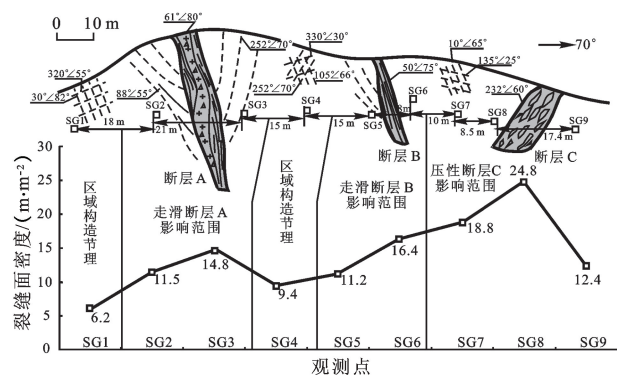


图6 第2号剖面断裂及构造裂缝发育特征

Fig. 6 Development characteristics of fault and structural fracture on profile 2

4号剖面位于章丘市射垛村,其岩性为傲徕山岩套松山单元中粒二长花岗岩。剖面最西侧发育1条小型断层,断裂陡倾,断层面平直且可见擦痕、阶步,擦痕近水平,断裂带主要发育断层泥和构造透镜体,宽度约1.5~2 m,推测为压扭性断层。在4号剖面中共设置了8个裂缝观测点,自西向东分别为SD1~SD8(图7)。位于剖面东部的SD6~SD8共3个观测点,其裂缝面密度较低,仅约为7 m^2/m^2 ,与剖面所在区域的背景裂缝面密度基本一致,推测这3个观测点主要发育区域构造裂缝,基本不受西侧断层影响。SD1~SD5观测点的裂缝面密度明显高于区域背景值,约为14~19 m^2/m^2 ,应主要受到西侧断层的影响。随着与断层距离的逐渐增大,裂缝面密度总体呈现减小趋势,至距断层64~70 m时,裂缝面密度迅速降低,逐渐趋于区域构造裂缝面密度(图7)。因此基本可以确定,上述断层在其上盘的横向影响范围约为68 m,超过这一临界距离后,裂缝组系基本稳定,裂缝面密度也变化不大。裂缝产

状测量表明,该地区主要发育3个走向的区域裂缝,一组为低角度,另外两组为共轭高角度裂缝。距离断层最近的SD1观测点,同样主要发育这三个方向的裂缝,与断层近于平行的一组裂缝密度非常大,裂缝间距仅为10~20 cm。随着与断层距离的增大,至SD4和SD5观测点时,与断层平行的一组裂缝密度有所减小,但新增一组与断层小角度斜交的裂缝,裂缝组系的增多减缓了裂缝面密度的降低趋势。

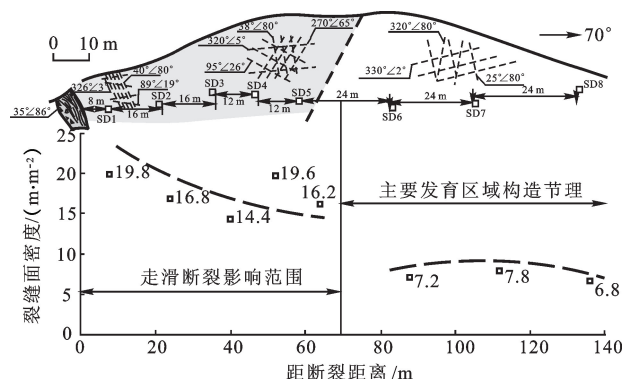


图7 第4号剖面断裂及构造裂缝发育特征

Fig. 7 Development characteristics of fault and structural fracture on profile 4

5号剖面位于莱芜毛家庄,该地区岩性为傲徕山岩套松山单元中粒二长花岗岩。该剖面发育3条小型断层,断层面都比较陡倾,倾角一般大于70°。断层A和断层C断面平直,可见擦痕,断裂带主要发育断层泥(绿泥石化),夹杂断层角砾岩,断裂带宽度分别约为50和70 cm,综合判定断层A、C为张扭性断层,断层B断裂带主要发育断层泥,推测为走滑断层(图8)。在5号剖面中共设置了9个裂缝观测点,自左向右分别为MJZ1~MJZ9。位于剖面东部的MJZ4~MJZ7四个观测点的裂缝面密度明显高于其他5个观测点,且自左向右呈逐渐增大的趋势,这一特征说明断层上盘的裂缝发育程度好于下盘这一规律同样

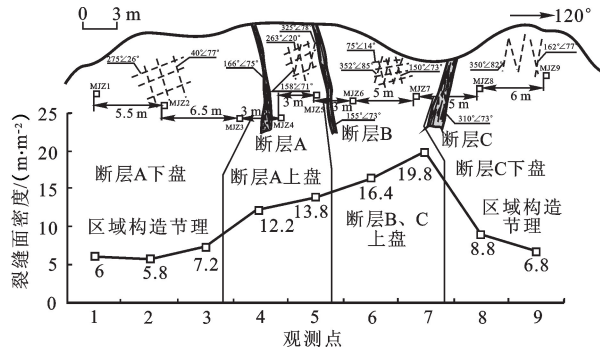


图8 第5号剖面断裂及构造裂缝发育特征

Fig. 8 Development characteristics of fault and structural fracture on profile 5

观测点,自左向右分别为MJZ1~MJZ9。MJZ4~MJZ7四个观测点的裂缝面密度明显高于其他5个观测点,且自左向右呈逐渐增大的趋势,这一特征说明断层上盘的裂缝发育程度好于下盘这一规律同样

适用于张扭性断层。MJZ6 和 MJZ7 两个观测点的裂缝面密度为 $16 \sim 19 \text{ m/m}^2$, 主要是由于这两个观测点同时位于断层 B 和断层 C 的上盘(图 8)。MJZ1 ~ MJZ3 和 MJZ8、MJZ9 的裂缝面密度较低, 为 $5.8 \sim 8.8 \text{ m/m}^2$, 与该地区的区域构造裂缝密度基本一致, 即使是靠近断层的 MJZ3 和 MJZ8 两个观测点裂缝面密度也没有明显增大。这说明张扭性断层的形成、活动对其下盘岩石储集性能的改善作用较弱。3 条断层对岩石储集性能的改善都集中在断层上盘, 影响范围约为 15 m。在断层具有影响作用的 15 m 范围内, 新增一组裂缝, 其走向与断层 A 和 B 小角度斜交, 而与断层 C 近于平行。

5 结 论

(1) 鲁西地区太古界裂缝系统主要由区域构造裂缝、局部构造裂缝和机械风化缝等 3 种成因的裂缝组成, 以前两种为主, 机械风化缝由于分布局限, 规模小, 对太古界储集性能的改善意义较小。

(2) 鲁西地区太古界区域构造裂缝具有产状稳定、分布广、延伸长的特点, 低角度裂缝主要形成于早—中侏罗世的印支期构造事件, 面密度较小; 高角度裂缝主要形成于晚侏罗世以来的燕山和喜山两期构造事件, 面密度较大。

(3) 规模相近但力学性质不同的断裂对储层的改造程度和影响范围存在差异, 压性断裂最好, 压扭性断裂次之, 而张扭性断裂最差。断层上盘的裂缝发育程度明显高于下盘, 这一地质规律适用于不同力学性质的断裂。

参考文献:

- [1] 袁士义, 宋新民, 冉启全. 裂缝性油藏开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 4-6.
- [2] 穆龙新, 赵国良, 田中元, 等. 储层裂缝预测研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 3-4.
- [3] 柏松章. 裂缝性潜山基岩油藏开发模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 2-5.
- [4] 孙娜. 辽河盆地兴马太古界潜山的岩性识别与储层划分[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(4): 20-26.
SUN Na. Lithologic identification and reservoir division of Xing-Ma Archean group buried hill in Liaohe Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2007, 21(4): 20-26.
- [5] 袁静. 埕北 30 潜山带太古界储层特征及其影响因素[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 48-52.
YUAN Jing. Characters and influence factors on Archeozoic reservoir in the Chengbei 30 buried hills[J]. Acta Pe-

- trolei Sinica, 2004, 25(1): 48-52.
- [6] 尤桂彬. 东胜堡西侧低潜山太古界变质岩储层研究[J]. 科技创新导报, 2010(5): 127.
YOU Guibin. Archean metamorphic buried hill reservoir study on the west side of Fort Dongsheng low[J]. Technology Innovation Herald, 2010(5): 127.
- [7] 郝琦, 刘震, 查明, 等. 辽河茨榆坨潜山太古界裂缝型储层特征及其控制因素[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(3): 384-390.
HAO Qi, LIU Zheng, ZHA Ming, et al. Characters and controlling factors on the Archean fracture-type reservoirs of the Ciyutuo Buried Hill in the Liaohe Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(3): 384-390.
- [8] 傅强, 王家林, 周祖翼. 利用岩矿记忆信息恢复基岩潜山裂缝储层形成的机制[J]. 地质论评, 1999, 45(4): 434-438.
FU Qiang, WANG Jialin, ZHOU Zuyi. The use of rock and mineral remember information to recall the dynamics of buried basement rock hill fracture reservoirs[J]. Geological Review, 1999, 45(4): 434-438.
- [9] 傅强, 游瑜春, 吴征. 曹台变质岩潜山裂缝系统形成的构造期次[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 18-20.
FU Qiang, YOU Yuchun, WU Zheng. Tectonic episodes and reservoir fissure systems in Caotai metamorphic buried hill reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 18-20.
- [10] 杨少春, 齐陆宁, 李拴豹. 埕岛地区埕北 20 潜山带裂缝类型、发育期次及控制因素[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2012, 36(5): 1-6.
YANG Shaochun, QI Luning, LI Shuanbao. Fracture types, development phases and controlling factors of Chenbei 20 buried hill in Chengdao area[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2012, 36(5): 1-6.
- [11] 周文, 刘家铎, 胡文艳, 等. 埕岛中东部潜山带古生界和太古界储层裂缝分布评价[J]. 矿物岩石, 2000, 20(1): 52-56.
ZHOU Wen, LIU Jiayi, HU Wenyan, et al. Evaluation on distribution of fracture from reservoir of Palaeozoic and Archeozoic in the East Chengdao Buried Hill[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20(1): 52-56.
- [12] 周廷全, 陈俊侠. 济阳坳陷桩西古潜山储层裂缝的分形特征[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(5): 1-13.
ZHOU Tingquan, CHEN Junxia. Fractal characteristics of fracture in Zhuangxi buried-hill reservoir, Jiyang depression[J]. Journal of China University of Petroleum

- (Edition of Natural Science), 2011, 35(5):1-13.
- [13] 张攀, 胡明, 何冰, 等. 东营凹陷太古界基岩储层主控因素分析[J]. 断块油气田, 2011, 18(1):18-21.
ZHANG Pan, HU Ming, HE Bing, et al. Analysis on main controlling factors of Archeozoic base rock reservoir in Dongying Depression [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(1):18-21.
- [14] 顾先觉. 含油气区基岩中储集岩的形成[J]. 海洋地质译丛, 1997(1):25.
GU Xianjue. Formation of reservoir rock within the bed-rock in the oil and gas zones [J]. Marine Geology Series, 1997(1):25.
- [15] 王世进, 万渝生, 张成基, 等. 鲁西地区早前寒武纪地质研究新进展[J]. 山东国土资源, 2008, 24(1):10-20.
WANG Shijin, WAN Yusheng, ZHANG Chengji, et al. Major advanced development gained in studying early cambrian geology in Luxi area [J]. Land and Resources in Shandong Province, 2008, 24(1):10-20.
- [16] 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:13-26.
- [17] 姜慧超, 张勇, 任凤楼, 等. 济阳、临清拗陷及鲁西地区中生代构造演化对比分析[J]. 中国地质, 2008, 35(5):963-974.
JIANG Huichao, ZHANG Yong, REN Fenglou, et al. Comparative analysis of Meso-Cenozoic tectonic evolutions of the Jiyang and Linqing Depressions and Luxi area [J]. Geology in China, 2008, 35(5):963-974.
- [18] 王世进, 万渝生, 宋志勇, 等. 山东省前寒武纪地层形成时代:同位素地质测年的证据[J]. 山东国土资源, 2011, 27(11):1-6.
WANG Shijin, WAN Yusheng, SONG Zhiyong, et al. Formation of precambrian strata in Shandong province: isotopic dating evidences [J]. Shandong Land and Resources, 2011, 27(11):1-6.
- [19] 王世进, 张成基, 宋明春, 等. 山东省侵入岩岩石单位及其代号的厘定[J]. 山东地质, 2002, 18(1):9-20.
WANG Shijin, ZHANG Chengji, SONG Mingchun, et al. Classification of intrusives' units and its code names in Shandong [J]. Geology of Shandong, 2002, 18(1):9-20.
- [20] 王世进, 万渝生, 杨恩秀, 等. 鲁西地区新太古代中期岩浆活动——新甫山与上港等岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年的证据[J]. 山东国土资源, 2012, 28(4):1-7.
WANG Shijin, WAN Yusheng, YANG Enxiu, et al. Mid Neoproterozoic magmatism in Western Shandong Province-evidence of zircon SHRIMP U-Pb dating in Xinfushan and Shanggang rock [J]. Shandong Land and Resources, 2012, 28(4):1-7.
- [21] 于建国, 韩文功, 王金铎. 中国东部断陷盆地中生代构造演化:以济阳拗陷为例[M]. 北京:石油工业出版社, 2009:151-153.
- [22] MARUYAMA S, ISOZAKI Y, KIMURA G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Island:plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. Island Arc, 1977, 6(1):121-142.
- [23] 万天丰. 中国东部中生代板内变形构造应力场及其应用[M]. 北京:地质出版社, 1993:24-37.

(编辑 徐会永)