

文章编号:0253-9985(2010)01-0057-06

塔中隆起早古生代反转构造及其石油地质意义

宁飞^{1,2}, 汤良杰^{1,2}, 张钰³, 何春波^{1,2}, 朱传玲³, 王鹏昊^{1,2}, 陈群^{1,2}

(1. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249;

2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:根据典型的地震剖面解释结果,探讨了塔中隆起早古生代反转构造样式发育特征,分析了反转构造发育的石油地质意义。结果表明,震旦纪一早、中奥陶世的裂陷作用产生的基底正断层对后期构造变形样式产生了重要的控制作用。由于先存基底正断裂的影响,塔中隆起发育两种不同类型的反转构造组合样式。当先存正断层倾角较大时,断层方位不利于进一步反转,此时反转扩展到毗邻断层,先期正断层可能为后期的逆冲断层提供应力集中点,如塔中Ⅱ号断裂带和塔中10号断裂带;也可能被后期的压性构造褶皱,如塔中Ⅰ号断裂带。反转构造发育早期有利于烃类聚集,后期还可以发育不同幅度的反转型背斜,为油气聚集提供有利的圈闭。

关键词:反转构造;地质模型;石油地质意义;早古生代;塔中隆起

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Eopaleozoic inversion structures in the Tazhong Uplift and their significance to petroleum geology

Ning Fei^{1,2}, Tang Liangjie^{1,2}, Zhang Yu³, He Chunbo^{1,2}, Zhu Chuanling³, Wang Penghao^{1,2}, and Chenqun^{1,2}

(1. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. State Key Laboratory for Petroleum Resource and Prospecting, Beijing 102249, China;

3. SINOPEC Northwest Company, Xinjiang, Urumqi 830011, China)

Abstract: By using typical seismic interpretation results, this paper focuses on a discussion of the development characteristics of the Eopaleozoic inversion structures in the Tazhong uplift and an analysis of their petroleum geological significance. The basement normal faults that were developed during the Sinian to the Early-Middle Ordovician controlled the later structural deformation styles, resulting in two inversion structural styles in the Tazhong uplift. The azimuth of the pre-existing fault with larger dip angle might not be favorable for its further inversion and forced the inversion to the adjacent faults. The early faults might then serve as stress concentration point for later thrust faults, such as the Tazhong-Ⅱ fault belt and the Tazhong-10 fault belt. Or, they might be buckled by later compressional structures, such as the Tazhong-Ⅰ fault belt. It is suggested that an inversion structure contributes in its early stage to hydrocarbon accumulation and forms in its later stage inverted anticlines with different amplitudes that are favorable traps for hydrocarbon accumulation.

Keywords: inversion structure, geological model, significance of petroleum geology, Eopaleozoic, Tazhong Uplift

反转构造是在地质历史发展过程中由不同时期、不同性质的构造相互叠加形成的现象;它的形成与区域应力场的变化有关。关于反转构造,国

内外已有大量研究实践^[1~5],它不仅对盆地的构造演化具有控制作用^[2,6],对油气成藏也有重要影响^[1,5,7,8]。反转构造的演化与形成既受盆地初始

收稿日期:2009-07-27。

第一作者简介:宁飞(1981—),男,博士研究生,构造地质学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40672143);国家项目(2005CB422107);中国石化西北油田分公司项目(XBKT2007KY10-013)。

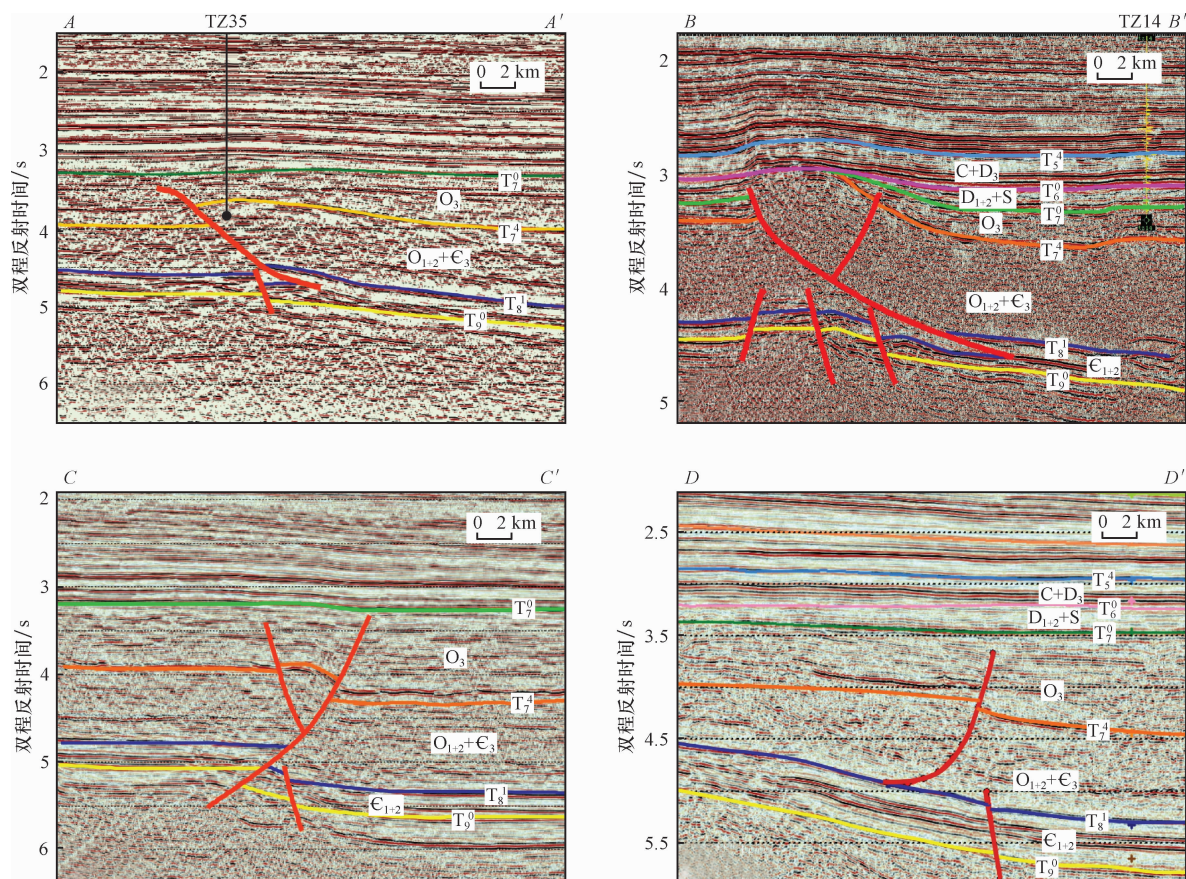
图2 地震剖面解释成果^①

Fig. 2 Seismic profile interpretations

2.1 A—A'剖面

该剖面位于塔中隆起西部,剖面显示了塔中10号断裂带的构造样式。整体看来,断裂样式明显受到早期的基底正断层控制的剪切断层转折褶皱。早加里东运动时期,由于区域伸展应力作用的影响,上盘断块拉张前生成的地层沿正断层下落,所形成的伸展半地堑被拉伸同期沉积的沉积物充填,主要是巨厚的寒武—奥陶纪碳酸盐岩浅海台地相沉积物。从剖面图上可以看出,受基底正断层的影响,断层上盘拉张同期的沉积明显比断层下盘的同时代的中、下奥陶统及上寒武统厚的多,反映了该时期的同沉积特征。形变停止以后所沉积的上奥陶统与下伏地层间由一不整合面所分隔。到了中奥陶世沉积期,北昆仑洋的消减与阿尔金沟—弧—盆体系的消亡,使塔里木板块转化为以挤压应力为主的构造背景,受先期正断

层影响,在正断层附近形成应力集中,造成构造上拱,逆冲断层扩展到濒临断层,形成反转构造。塔中35井钻遇该断层转折背斜,揭示出了多套生储盖组合,并且在石炭、志留和奥陶系都有油气显示。

2.2 B—B'剖面

该剖面位于塔中隆起中部,过塔中Ⅱ号断裂带,其构造样式特征与A—A'剖面相似,发育了早期由区域伸展应力形成的地堑系统及后期的逆冲断层。受基底伸展地堑的影响,塔中Ⅱ号断裂带在该剖面上显示为背冲断块,且背斜顶部被后期的构造运动剥蚀。同样,受正断层控制,拉伸同期沉积的上寒武统和中、下奥陶统沉积物沉积在断层上盘比下盘厚。对于整套断裂体系,塔中Ⅱ号断裂带构造样式发育特征与塔中10号断裂带类似。体现了后期断裂受先期断裂的影响,正断层

^① 地震资料来源于中国石化勘探开发研究院西北分院。

倾角较陡,不利于断层性质发生改变,因此逆冲断裂在正断层附近发育,形成反转构造的特征。

2.3 C—C'剖面 and D—D'剖面

这两条剖面过塔中 I 号断裂构造带,C—C'剖面位于西侧,D—D'剖面位于东侧,两条剖面发育的构造样式有相似之处。前者显示出基底卷入式逆冲断层的特征,而后者逆冲断层则在中、下寒武统界面滑脱。中寒武统有阿瓦塔格组及沙依里克组,野外观测结果表明中寒武统阿瓦塔格组岩性主要为较软的含膏云岩(图 3a),而沙依里克组为一套软层,发育褶曲构造样式等小型构造(图 3b),因此可以为后期的断层提供滑脱层。先期构造运动形成的正断层倾向与后期主逆冲断层倾向相反,且由于后期的挤压应力作用,使正断层褶皱并被后期形成的逆冲断层错断。但同样表现出正断层上盘上寒武统和中、下奥陶统沉积物厚度比下盘大,反映了早加里东运动区域伸展应力形成的正断层控制的同沉积地层。在随后的挤压时期,先存地层单元卷入压性构造变形中,同时错断先期正断层,形成另一种类型的反转构造。

3 反转构造演化模型

反转构造的一个共同特征是先存断层在反转时具有很强的选择性,即一些断层逆转,而另一些断层则保持原来的性质。在其他条件相同的情况下,先存张性断层越缓,断层所产生的拉张越大,

当先存正断层的倾角达到 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 或更大时,因断层方位不利于进一步反转,此时反转有可能扩展到毗邻断层。以地震剖面解释成果为基础,结合前人研究成果^[5],对塔中地区主要构造带构造特征进行了综合分析,建立了反转构造演化的地质模型。根据地质模型可以发现,该地质构造具有明显的相关性,即早期形成的古构造对后期构造运动产生的构造样式起着重要的控制作用,而后期的构造运动又对前期的构造样式产生影响。

震旦纪一早、中奥陶世的裂陷作用使塔中地区产生了区域伸展应力场,此时正断层发育(图 4b),上盘断块中的前伸展地层单元沿断层下落,形成的地堑或半地堑逐渐被同伸展期地层单元所充填,充填地层厚度明显较下盘同期地层厚,反映出断层对地层沉积的明显控制作用。在塔中地区,此时接受了巨厚的台地相碳酸盐岩为主的沉积,裂陷作用一直持续到中奥陶世末,同沉积作用使正断层上盘 $O_{1+2}-C_3$ 的地层比下盘厚。奥陶纪末期,南天山洋的聚敛消减,使塔里木板块的应力场转换为挤压环境,塔中地区受到南北向挤压应力作用,浅层构造样式受到先存基底正断层的影响,先存地层单元卷入压性构造变形中,形成多种形态的组合样式(图 4c, d)。正断层可能为后期的逆冲断层提供应力集中点,使逆冲断层在先存正断层前方发育(图 4c),如塔中 II 号断裂带(图 2b)和塔中 10 号断裂带。另外,正断层还可能被后期的压性构造错断,使其产生褶曲并截顶(图 4d)。如图 2c 塔中 I 号断裂带,先期产生的正断层被后期的逆冲断层错断,并产生褶曲。

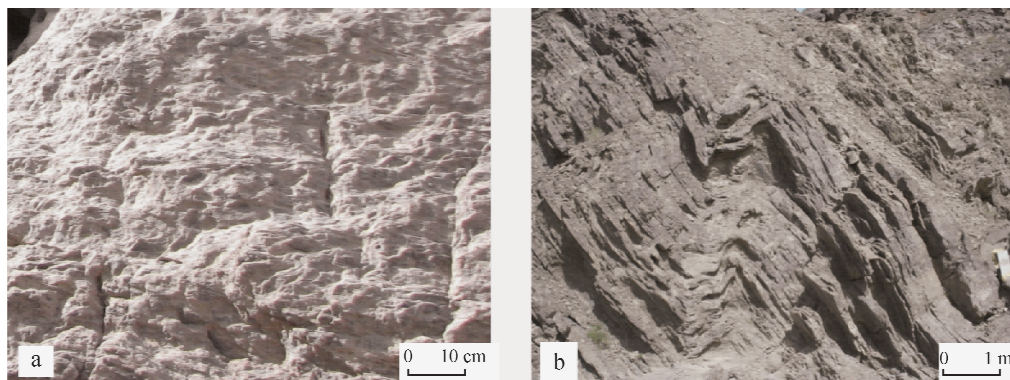


图3 塔里木盆地中寒武统阿瓦塔格组及沙依里克组野外照片

Fig. 3 Photos showing the outcrops of the Middle Cambrian Awatag and Shayilik formations in the Tarim Basin

a. 阿瓦塔格组膏质云岩,镜头方向 70° ; b. 沙依里克组地层褶曲现象,镜头方向 135°

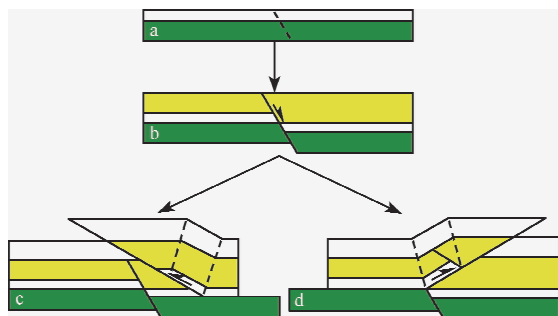


图4 两种类型反转构造演化模型(据文献[5]修改)

Fig. 4 Evolution models for two types of inversion structures

- a. 变形前构造样式;b. 具有拉张同期生长地层的面状正断层,上盘变厚;c. 正断层为后期的逆冲断层提供应力集中点;d. 正断层被后期的压性构造褶曲并截顶

根据反转构造演化模式,塔中地区主要断裂带发育区在一定程度都受其所对应的基底断裂控制,这与该区精细地震解释的结果一致,也能够保证构造演化过程中剖面几何学上的平衡。

4 石油地质意义

反转构造的油气意义主要表现在两方面。伸展期,同沉积正断层控制沉积相的展布,从而可以控制有效烃源岩的分布;随后的挤压期,使先期地层发生褶曲并产生逆冲断层,褶曲可能提供了有效圈闭,逆冲断层为后期的油气运移提供了通道。

4.1 控制烃源岩的分布

反转构造的构造-地层演化过程能够形成烃类聚集的理想条件^[5]。勘探实践证明,塔中地区油气显示主要集中在塔中Ⅰ号带与塔中Ⅱ号带之间。成藏研究表明^[9,16],塔中地区主力烃源岩来自于寒武系和奥陶系,早-中寒武世时期,塔中隆起处于伸展构造环境,发育一系列张性正断层,受这些正断层控制,塔中地区发育楔状形态的箕状断陷。断陷盆地构造活动往往比较强烈,在断层控制下断块体的旋转或差异上升会造成在靠近大断层处形成深凹带,发育较厚层的沉积,有利于烃源岩的发育。塔中地区主要以碳酸盐岩和泥岩沉积为主,沉积相为深海盆地相和斜坡泥质岩相。构造反转之前该地区经历了长期的稳定沉降沉积,给反转过程中形成油气田奠定了坚实的物质基础,奥陶系发育了巨厚的泥岩盖层,形成了良好的封闭条件。

4.2 控制圈闭的形成

塔中地区主要构造圈闭样式有潜山披覆背斜、断背斜及背冲断块等,油气藏空间位置多与断裂有关,在构造反转期间,可能发育幅度不同的反转型背斜,这些背斜为油气聚集提供了有利的构造圈闭,一般位于生烃凹陷之上或紧邻生烃凹陷。在古隆起形成与定型期发育的构造圈闭主要依附断裂带产出,背冲断块圈闭多被围限在两条背冲断裂之间,其长轴方向基本与断裂走向一致。受早期正断层控制的强烈的构造活动,导致逆冲断裂造成地层抬升、遭受剥蚀,从而形成古潜山圈闭,主要分布在塔中地区隆起部位相对最高的塔中东部和塔中Ⅱ号断裂带的部分地区,活动较弱的断裂大多形成断背斜或断块圈闭。古隆起稳定沉降阶段形成的中、浅层地层-岩性圈闭主要是围绕隆起斜坡部位分布。另外,塔中Ⅰ号断层也是塔中地区主要的油气运移通道。目前已在塔中Ⅰ号断裂构造带相继发现了TZ24、TZ44和TZ45等油田即是很好的验证。

5 结论

根据典型地震剖面综合解释分析,塔中隆起主要断裂带发育两种不同类型的反转构造组合样式,由于先存正断层倾角较大,断层方位不利于进一步反转,此时反转扩展到毗邻断层,先期正断层可能为后期的逆冲断层提供应力集中点,也可能被后期的压性构造褶曲并截顶。

基底先存断裂在一定程度上对塔中地区主要断裂带发育区具有控制作用。该两期构造具有明显的相关性,即早期形成的古构造对后期构造运动产生的构造样式起着重要的控制作用,而后期的构造运动又对前期的构造样式产生影响。

反转构造发育早期有利于烃类聚集,后期则可发育不同幅度的反转型背斜,为油气聚集提供了有利圈闭。

参 考 文 献

- 1 Roca D, Sans M, Koyi H A. Polyphase deformation of diapiric areas in models and in the eastern Prebetics (Spain) [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(1): 115-136

- 2 Zanchi A, Berra F, Mattei M, et al. Inversion tectonics in central Alborz, Iran [J]. *Journal of Structural Geology*, 2006, 28 (11): 2 023 ~ 2 037
- 3 刘学锋, 孟令奎. 松辽盆地北部深层构造的平衡剖面研究[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2004, 19(5): 11 ~ 15
- 4 汤良杰, 金之均, 张一伟, 等. 塔里木盆地北部隆起负反转构造[J]. *现代地质*, 1999, 13(1): 93 ~ 98
- 5 Mitra S. Geometry and kinematic evolution of inversion structures [J]. *AAPG Bulletin*, 1993, 77(7): 1 159 ~ 1 191
- 6 Turner J P, Williams G A. Sedimentary basin inversion and intra-plate shortening [J]. *Earth-Science Reviews*, 2004, 65 (3 - 4): 277 ~ 304
- 7 谢晓安, 吴奇之, 高岩, 等. 塔里木盆地压扭断裂带构造特征与油气聚集[J]. *石油学报*, 1997, 18(2): 13 ~ 17
- 8 金晓辉, 闫相宾, 李铁军, 等. 塔里木盆地油气勘探实践与发现规律探讨[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(1): 45 ~ 52
- 9 翟光明, 王建君. 对塔中地区油气条件的认识[J]. *石油学报*, 1999, 20(4): 1 ~ 5
- 10 徐国强, 刘树根, 李国蓉, 等. 塔中、塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 114 ~ 119
- 11 邬光辉, 李启明, 张宝收, 等. 塔中 I 号断裂坡折带构造特征及勘探领域[J]. *石油学报*, 2005, 26(1): 27 ~ 30
- 12 张仲培, 王毅, 云金表, 等. 塔中地区断裂不同演化阶段对油气聚集的控制[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(3): 316 ~ 323
- 13 张振生, 李明杰, 刘社平. 塔中低凸起的形成和演化[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(1): 28 ~ 31
- 14 吕修祥, 胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(4): 288 ~ 293, 308
- 15 李明杰, 郑孟林, 冯朝荣, 等. 塔中低凸起的结构特征及其演化[J]. *西安石油学院学报(自然科学版)*, 2004, 19(4): 43 ~ 45
- 16 赵宗举, 周新源, 郑兴平, 等. 塔里木盆地主力烃源岩的诸多证据[J]. *石油学报*, 2005, 26(3): 10 ~ 15

(编辑 高岩)

(上接第56页)

3 结论

建立了碳酸盐岩缝洞型油藏单缝单洞油藏和多缝多洞串联型油藏流体流动的数学模型, 得出了产量和压力的变化规律。单缝单洞油藏的产量和压力均呈指数递减。对于三缝三洞油藏, 靠近生产井的溶洞产量的递减规律为几个指数递减函数的代数和; 压力的递减规律为几个指数递减函数与井底流压的代数和, 远离生产井的溶洞压力下降速度远远慢于靠近井的溶洞压力下降速度, 生产初期产量主要是靠近生产井的溶洞在做贡献, 远离生产井的溶洞逐渐开始补充。据此可以通过分析油井的动态认识油藏的缝洞连通模式和缝洞参数。这对于碳酸盐岩缝洞型油藏油井的动态分析和动态预测, 认识油藏的缝洞连通模式、缝洞参数以及储量计算有一定的理论意义。

参 考 文 献

- 1 张抗. 缝洞储集体类型与塔河油田的勘探开发[A]. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 28 ~ 38
- 2 余家人, 樊哲仁. 任丘古潜山油田碳酸盐岩储集层研究[A].

碳酸盐岩油气田开发[C]. 北京: 石油工业出版社, 1988. 3 ~ 12

- 3 柏松章. 我国华北地区碳酸盐岩油藏类型及其开采特征[A]. 碳酸盐岩油气田开发[C]. 北京: 石油工业出版社, 1988. 12 ~ 22
- 4 谭承军. 塔河碳酸盐岩油田储集空间与储集体连通关系初探[A]. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 51 ~ 56
- 5 陈志海, 戴勇, 郎兆新. 缝洞性碳酸盐岩油藏储渗模式及其开采特征[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(3): 101 ~ 105
- 6 康志江, 李江龙, 张冬丽, 等. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏渗流特征[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 635 ~ 640
- 7 李江龙, 黄孝特, 张丽萍. 塔河油田4区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 630 ~ 633
- 8 陈志海, 刘常红, 杨坚. 缝洞型碳酸盐岩油气藏开发对策——以塔河油田主体开发区奥陶系油气藏为例[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 623 ~ 629
- 9 李宗宇. 塔河奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发对策探讨[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(6): 856 ~ 862
- 10 杨坚, 姚军, 王子胜. 三重介质符合油藏压力动态特征研究[J]. *水动力学研究与进展*, 2005, 20(4): 418 ~ 425
- 11 葛家理. 现代油藏渗流理学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 231 ~ 232
- 12 何更生. 油层物理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007. 130 ~ 131

(编辑 高岩)